

研 究 教 育 活 動 報 告 年 報

令 和 6 年 度

Annual Report

2024

九州大学大学院数理学府

マス・フォア・イノベーション連係学府数理学系
数理学研究院 マス・フォア・インダストリ研究所

序

研究教育活動報告年報は、数理学研究院、マス・フォア・インダストリ研究所（IMI）および基幹教育院に所属する教員、ならびに数理学府やマス・フォア・イノベーション連係学院（JGMI）数理学系の博士後期課程学生やポスドク等の若手研究者を対象としています。その内容は以下の通りです。

1. 研究活動の進捗状況と成果
2. 研究集会の企画や学会活動
3. 数理学府や JGMI における教育の成果
4. 外部資金の獲得状況及びそれに伴う活動

本報告の目的は、研究と教育の現状を公開し、自己点検・自己評価に資することで、数理学府・JGMI・数理学研究院・IMI における教育体制と研究環境の充実・改善を図ることにあります。今後も理学府や関連部局と緊密に連携しつつ、幅広い数学分野において一層活発な研究教育活動を推進していく所存です。

【移転について】数理学研究院は平成 21 年（2009）秋に伊都キャンパスへ移転し、それまで三カ所に分かれていた数学系教員が一堂に会することになりました。さらに、平成 27 年（2015）秋には理学院の移転に合わせ、数理学研究院は伊都キャンパス内のウエスト 1 号館へ移転し、7 年越しで移転が完了しました。

【組織改革について】平成 23 年度（2011）に、それまでの数理学研究院は改組により「数理学研究院」と「IMI」に分離再編されました。両組織は数理学府の責任担当部局として、従来通り数理学府の教育を担い、理学部数学科、工学部の基礎・専門・大学院教育、全学教育科目など、九州大学における数学教育全般を協力して担当しています。なお、全学教育は平成 26 年度（2014）から「基幹教育」として新たに出発しました。基幹教育院には数学教員が 4 名配置され、基幹教育院もまた数理学府の責任担当部局としてその教育の一端を担っています。さらに、令和 2 年度（2020）秋には九州大学の GPMI が卓越大学院プログラムに採択され、1 年半の準備期間を経て、令和 4 年度（2022）4 月より数理学府、システム情報科学府および経済学府と連携し、JGMI を設置しました。令和 5 年度（2023）には、数理学研究院の「数学部門」と「数理科学部門」を発展的に解消し、新たに「代数幾何部門」と「解析部門」に再編しました。

【刊行について】平成 22 年度（2010）まで刊行されてきた「研究報告年報」は、その後「研究教育活動報告年報」としてまとめられるようになりました。令和 6 年度（2024）からは紙媒体を廃止し、電子媒体で刊行されることになりました。

令和 6 年度の研究に関する顕彰では次の方々が受賞されました。佐伯修教授が令和 6 年度文部科学大臣表彰「科学技術賞」、日下部佑太准教授が第 13 回飛田賞、池松泰彦准教授が APKC2024 にて Best Paper Award、埴原紀宏助教が 2024 年度日本数学会建部賢弘奨励賞をそれぞれ受賞されました。また、濱地敏弘名誉教授と脇本實名誉教授が令和 6 年度瑞宝中綬章を受章されましたことは喜ばしい限りです。学生では、原田健太郎さんが「数学・数理科学専攻若手研究者のための異分野異業種研究交流会 2024」においてベストポスター賞、村上真悟さんが「未来社会デザイン統括本部&データ駆動イノベーション推進本部合同シンポジウム 2024」のポスターセッションで奨励賞をそれぞれ受賞されました。

2025 年 8 月
九州大学大学院数理学府長
廣島 文生

目次

1	教員名簿（令和7年3月31日現在）	1
1.1	数理学研究院	1
1.1.1	代数幾何部門	1
1.1.2	解析部門	1
1.2	マス・フォア・インダストリ研究所	1
1.2.1	数学テクノロジー先端研究部門	1
1.2.2	応用理論研究部門	1
1.2.3	基礎理論研究部門	1
1.2.4	数理計算インテリジェント社会実装推進部門	2
1.2.5	産業数理統計研究部門	2
1.2.6	先進暗号数理デザイン室	2
1.2.7	リエゾン戦略部門	2
1.2.8	オーストラリア分室	2
1.2.9	富士通意思決定数理モデリング共同研究部門	2
2	研究活動	3
2.1	数理学研究院 教授	3
2.2	数理学研究院 准教授	36
2.3	数理学研究院 助教	56
2.4	数理学研究院 学術研究員	75
2.5	マス・フォア・インダストリ研究所 教授	78
2.6	マス・フォア・インダストリ研究所 准教授	105
2.7	マス・フォア・インダストリ研究所 助教	119
2.8	マス・フォア・インダストリ研究所 学術研究員	127
2.9	博士後期課程在学大学院生(数理学府)	133
2.9.1	博士後期課程3年生	133
2.9.2	博士後期課程2年生	143
2.9.3	博士後期課程1年生	144
2.10	博士後期課程在学大学院生(連係学府数理学系)	148
2.10.1	博士後期課程3年生	148
2.10.2	博士後期課程2年生	150
2.10.3	博士後期課程1年生	152
3	大学院学位取得者	157
3.1	博士(数理学府)	157
3.2	博士(連係学府数理学系)	157
3.3	修士(数理学府)	157
3.4	修士(連係学府数理学系)	159
4	科学研究費等補助金受領状況	160
5	九州大学『マス・フォア・イノベーション卓越大学院』プログラム	164
6	数理学府に関わる諸活動	166
6.1	『Study Group Workshop 2024』の開催	166
6.2	『Forum "Math-for-Industry" 2024』の開催	167
7	IMI オーストラリア分室を活用した諸活動	168

8	マレーシアとの提携	169
9	2024 年度長期インターンシップ実施状況	169
9.1	数理学府	169
9.2	マス・フォア・イノベーション関係学府	170
10	談話会	171
11	IMI Colloquium	171
12	集中講義	172
13	セミナー	173
14	Kyushu Journal of Mathematics	185
15	International Journal of Mathematics for Industry	187
16	MI レクチャーノートシリーズ	189
	索引	190

1 教員名簿（令和7年3月31日現在）

1.1 数理学研究院

1.1.1 代数幾何部門

教授：翁 林, 岡田 拓三, 金子 昌信, 岸本 大祐, 小林 真一, 笹平 裕史, 中村 健太郎, 森下 昌紀

准教授：アデ イルマ スリアジャヤ, 大津 幸男, 今野 拓也, 竹田 雄一郎, 蔦谷 充伸, 森田 陽介

助教：数川 大輔, 片田 舞, 埴原 紀宏, 深作 亮也, 松坂 俊輝

1.1.2 解析部門

教授：石井 豊, 稲濱 譲, 神本 丈, 川野 秀一, 瀬片 純市, 辻井 正人, 原 隆, 廣島 文生, 増田 俊彦

准教授：日下部 佑太, 坂本 祥太, 佐藤 康彦, 平良 晃一, 佃 康司, 角田 謙吉, 新居 俊作, 樋上 和弘, 吉田 寛

助教：後藤 佑一, 三宅 庸仁, 村山 拓也, 山崎 陽平

1.2 マス・フォア・インダストリ研究所

以下, *印は特定プロジェクト教員を表す.

1.2.1 数学テクノロジー先端研究部門

教授：神山 直之

准教授：グエン ディン ホア, 田上 大助 (兼任)

助教：武内 太貴

1.2.2 応用理論研究部門

教授：梶原 健司, 溝口 佳寛

准教授：手老 篤史, 脇 隼人

助教：高瀬 裕志, 浦本 武雄*

1.2.3 基礎理論研究部門

教授：落合 啓之, 佐伯 修, 白井 朋之

助教：濱田 法行*, 小谷 久寿*, 重富 尚太

1.2.4 数理計算インテリジェント社会実装推進部門

教授：鍛冶 静雄, 神山 直之 (兼任), 溝口 佳寛 (兼任), 富安 亮子, 藤澤 克樹

1.2.5 産業数理統計研究部門

教授：廣瀬 慧, グエン デュイ ヒエン, 藤澤 克樹 (兼任)

准教授：池 祐一, 廣瀬 雅代, 徳田 悟

助教：倉田 澄人

1.2.6 先進暗号数理デザイン室

教授：溝口 佳寛 (兼任), 縫田 光司, 藤澤 克樹 (兼任)

准教授：池松 泰彦, 脇 隼人 (兼任)

1.2.7 リエゾン戦略部門

教授：佐藤 文一*, 松江 要, 山口 晃広*, 鍛冶 静雄 (兼任), 神山 直之 (兼任), 藤澤 克樹 (兼任), 廣瀬 慧 (兼任)

准教授：吉良 知文, 田上大助

助教：石塚 裕大*

1.2.8 オーストラリア分室

教授：梶原 健司 (兼任), グエン デュイ ヒエン (兼任)

准教授：チェザナ ピエルイジ, ガイナ ダニエル

1.2.9 富士通意思決定数理モデリング共同研究部門

教授：廣瀬 慧 (兼任), 鍛冶 静雄 (兼任), 神山 直之 (兼任)

准教授：池松 泰彦 (兼任)

客員教員：高橋 哲朗 (鹿児島大学)

2 研究活動

2.1 数理学研究院 教授

石井 豊 (ISHII Yutaka)

A. 研究概要

(i) Material science and 4D visualization

論文 [1] では早稲田大学の五十嵐治雄や高エネルギー加速器研究機構の城戸大貴らとともに、材料工学における X 線分光顕微鏡法で得られた 4 次元データの幾何学および位相的側面を理解するために、virtual reality を用いた Polyvision をベースにして 4 次元可視化デバイスを開発した。このデバイスを用いることで、材料内部の特徴的な場所である「トリガー・サイト」を特定し、破壊現象などのマクロな伝播の予測に応用することが期待される。

(ii) Dekking's recurrent sets

論文 [2] では岡達也 (九大数理) と共に、自由群の自己準同型から定まる Dekking の recurrent set と呼ばれるフラクタル集合が 2 次元トーラス上の等角拡大的な力学系のマルコフ分割に対応している場合はそのハウスドルフ次元が真に 1 より大きいことを証明した。これは 3 次元トーラス上のアノソフ微分同相写像のマルコフ分割の境界が決して滑らかにならないという Bowen の古典的な結果に対応している。

(iii) Symbolic dynamics for Hénon maps

論文 [5] では弘中祐希 (九大数理) と共同で、ホースシュー領域の境界に近いパラメータを持つ Hénon 写像に対して記号力学系を構成し、さらに特定の記号列を持つ相空間内の点の個数によってその力学系を分類した。またちょうどホースシュー領域の境界にあるパラメータを持つ Hénon 写像に対しては、2 つのシンボルからなるフルシフトの商力学系と位相共役になることを証明した。

(iv) Homotopy kernel

論文 [8] では John Smillie (University of Warwick) と共に、homotopy semi-conjugacy に対して homotopy kernel と呼ばれる概念を導入し、これが軌道空間上に誘導された semi-conjugacy の「非単射部分」を完全に特徴付けることを示した。特に、2 次多項式の場合にこの手法を応用して tight automaton と呼ばれるオートマトンを構成した。さらに homotopy Hubbard tree の概念を導入し、その双対として得られるループのホモトピー類の族が Nekrashevych による反復モノドロミー群の理論における nucleus の概念に一致することを証明した。

(v) Lipa's conjecture for the complex Hénon family

最近複素 Hénon 写像族におけるホースシュー領域の基本群によるモノドロミー問題を考察している。その第一歩として論文 [9] では Thomas Richards (九大数理) と共同で、Hénon 写像が退化した場合のモノドロミー問題を適切に設定し、この場合の Lipa の予想を解決した。

(vi) Rigorous entropy estimates for Lozi maps

論文 [10] では Duncan Sands (Université de Paris) と共同で、Hénon 写像の区分的アフィン版として導入された Lozi 写像に対して、位相的エントロピーの「ラップ数公式」を精度保証計算や繰込みの手法と組み合わせることによりエントロピーの精密かつ厳密な評価を行なった。さらにこの結果に基づいて、Lozi 写像のエントロピーの大域的単調性や零エントロピー領域の境界の正則性などに関するいくつかの予想を提出した。

B. 研究業績

1. *Visualization of four-dimensional X-ray absorption fine structure data using a virtual reality system* (with Haruo Igarashi, Daiki Kido, Yasuhiro Niwa, Atsushi Okamoto, Masao Kimura). *Journal of Synchrotron Radiation* 32, part 1, pp. 162–170 (2024).
2. *On the Hausdorff dimension of the recurrent sets induced from endomorphisms of free groups* (with Tatsuya Oka). *J. Fractal Geom.* 9, no. 1, pp. 171–192 (2022).
3. 複素力学系の問題. 複素幾何学の諸問題 II, 数理解析研究所講究録 2211, pp. 23–44 (2022).
4. バーチャル・リアリティを用いた 4 次元可視化プロジェクト. 特集「数学と VR」, 数学通信, 第 27 巻第 3 号, pp. 49–54 (2022).

5. *Symbolic dynamics for Hénon maps near the boundary of the horseshoe locus* (with Yuki Hironaka). *Ergodic Theory & Dynam. Systems* 45, no. 1, pp. 140–174 (2025).
6. *Hénon maps: a list of open problems* (with Pierre Berger, Eric Bedford, Fabrizio Bianchi, Xavier Buff, Sylvain Crovisier, Tien-Cuong Dinh, Romain Dujardin, Charles Favre, Tanya Firsova, Patrick Ingram, Liviana Palmisano, Enrique Pujals, Jasmin Raissy, Sonja Stimag, Gabriel Vigny). *Arnold Math. J.* 10, pp. 585–620 (2024).
7. *Conjectures, problems and questions on the parameter space of the Hénon/Lozi family* (with Zin Arai and Masayuki Asaoka). Submitted (2024).
8. *The homotopy kernel* (with John Smillie). In preparation (2025).
9. *Pseudo-monodromy and the Mandelbrot set* (with Thomas Richards). Preprint (2024).
10. *On some conjectures concerning the entropy of Lozi maps* (with Duncan Sands). In preparation (2025).

C. 講演

1. *Visualization in 4D spaces with virtual reality*. Colloquium talk, April 2023, Kavli IPMU at the University of Tokyo, Kashiwa, Japan.
2. *Is $\mathcal{M}$ disconnected?* Dynamics of Hénon maps: real, complex and beyond, April 2023, Banff International Research Station, Banff, Canada; Around the Mandelbrot set: A conference celebrating the 60th birthday of Mitsuhiro Shishikura, May 2023, Kyoto University, Kyoto, Japan; Symposium on foliation theory, October 2023, University of Tokyo, Tokyo, Japan; NCTS workshop on dynamical systems, June 2024, National Taiwan University, Taipei, Taiwan; Dynamics seminar, March 2025, IMS at Stony Brook University, New York, USA.
3. *Critical polyratio and core entropy*. Winter workshop on dynamical systems, January 7, Layup Miyukimachi Bldg, Shizuoka, Japan (by Joowan Park).
4. *Pseudo-monodromy and the Mandelbrot set*. Dynamics seminar, March 2024, IMS at Stony Brook University, Stony Brook, USA (by Thomas Richards); Dynamics seminar, March 2024, Fields Institute at University of Toronto, Toronto, Canada; Workshop on complex dynamics, December 2024, RIMS at Kyoto University, Kyoto, Japan.
5. *On some conjectures concerning the entropy of Lozi maps*. New development of dynamical systems, March 2025, Kitami Institute of Technology, Kitami, Japan.

D. その他の活動

1. 力学系勉強会のオーガナイザー, 九州大学, 福岡, 2023 年 3 月.
2. 研究集会 Atelier franco-japonais sur la dynamique réelle et complexe des applications de Hénon のオーガナイザー, 京都大学, 京都, 2023 年 3 月.
3. 研究集会 Around the Mandelbrot set: A conference celebrating the 60th birthday of Mitsuhiro Shishikura のオーガナイザー, 京都大学, 京都, 2023 年 5 月.
4. 研究集会 Atelier franco-japonais de dynamiques réelles et complexes のオーガナイザー, Sorbonne Université, Paris, France, 2023 年 9 月.
5. 研究集会 Atelier franco-japonais de dynamiques réelles et complexes のオーガナイザー, 北海道大学, 札幌, 2024 年 9 月.

稲濱 譲 (INAHAMA Yuzuru)

A. 研究概要

この 5 年間はラフパス理論とその派生理論の研究に集中してきた。これは現代確率論のなかで中心的な役割をはたしている伊藤流の確率微分方程式を「非ランダム化」とするという一見変わった理論である。伝統的な確率微分方程式の理論に比べると、ラフパス理論は比較的新しい理論で約 25 年前に誕生した。パスそのもののだけでなくその

重複積分まで組にして考えると、常微分方程式論が拡張できるうえに、確率微分方程式を拡張された意味での常微分方程式の「束」として扱えるというのがこの理論の骨子である。

2024年度はこの理論の枠組みの中で、ラフ微分方程式の緩急系に関することを研究した。レベル2の場合のラフ緩急系は数年前から研究してきたが、レベル3の場合はこれまで全く手付かずだったので、この場合を研究して「平均化原理」と呼ばれる伝統的な定理の一つ証明した。

B. 研究業績

1. Averaging principle for rough slow-fast systems of level 3, preprint, 46 pages. arXiv: 2504.03110.
2. Moderate deviations for two-time scale systems with mixed fractional Brownian motion, Appl. Math. Optim. 90 (2024), no. 1, Paper No. 18, 41 pages (with Yong XU and Xiaoyu YANG).
3. Moderate deviations for rough differential equations, Bull. Lond. Math. Soc. 56 (2024), no. 8, 2538–2548 (with Yong XU and Xiaoyu YANG).

C. 講演

1. 2024年2月13日 大阪大学「ラフパス解析の新潮流」において。
“Wong-Zakai approximation for density functions”
2. 2024年12月25日 京都大学「確率論シンポジウム」において。
“Wong-Zakai approximation for density functions”
3. 2024年11月4日 Oberwolfach workshop 2445 (Directions in Rough Analysis) at Mathematisches Forschungsinstitut Oberwolfach, Germany.
“Wong-Zakai approximation for density functions”

D. その他の研究活動

准教授の角田謙吉氏と大偏差原理に関する講義録（約260項）を書き、現在出版を引き受けてくれる出版社を探している。原稿は角田氏の個人ウェブサイトにある。

翁 林 (WENG Lin)

A. 研究概要

Since 2020, our research interests have been mainly concentrated on high rank zeta functions for curves over finite fields, stability of arithmetic G -torsors for split reductive groups G/F and their moduli, among others.

(1) The academic years 2020-2025

(1.1) Zetas and Their Zeros:

[(a)] High Rank Zeta Functions for Curves over Finite Fields:

In our 2022 paper on “Riemann Hypothesis for Non-Abelian Zeta Functions of Curves over Finite Fields”, we develop some basic techniques towards the Riemann hypothesis for higher rank non-abelian zeta functions of an integral regular projective curve of genus g over a finite field $\mathbb{F}_q$. As an application of the Riemann hypothesis for these genuine zeta functions, we obtain some explicit bounds on the fundamental non-abelian α - and β -invariants of $X/\mathbb{F}_q$ in terms of X and n, q and g :

$$\alpha_{X, \mathbb{F}_q; n}(mn) = \sum_V \frac{q^{h^0(X, V)} - 1}{\#\text{Aut}(V)} \quad \text{and} \quad \beta_{X, \mathbb{F}_q; n}(mn) := \sum_V \frac{1}{\#\text{Aut}(V)} \quad (m \in \mathbb{Z})$$

where V runs through all rank n semi-stable $\mathbb{F}_q$ -rational vector bundles on X of degree mn . In particular,

$$\prod_{k=1}^n \frac{(\sqrt{q}^k - 1)^{2g-1}}{(\sqrt{q}^k + 1)} \leq q^{-\binom{n}{2}(g-1)} \beta_{X, \mathbb{F}_q; n}(0) \leq \prod_{k=1}^n \frac{(1 + \sqrt{q}^k)^{2g-1}}{(\sqrt{q}^k - 1)},$$

Finally, we demonstrate that the related bounds in lower ranks in turn play a central role in establishing the Riemann hypothesis for rank three zetas.

Around the same period, in our paper on “Derived Zeta Functions for Curves over Finite Fields”, for each $(m+1)$ -tuple $\mathbf{n}_m = (n_0, n_1, \dots, n_m)$ of positive integers, the $\mathbf{n}_m$ -derived zeta function $\widehat{\zeta}_{X, \mathbb{F}_q}^{(\mathbf{n}_m)}(s)$ is defined for a curve X over $\mathbb{F}_q$, motivated by the theory of rank n non-abelian zeta function $\widehat{\zeta}_{X, \mathbb{F}_q, n}(s)$ of $X/\mathbb{F}_q$. This derived zeta function satisfies standard zeta properties such as the rationality, the functional equation and admits only two singularities, namely, two simple poles at $s = 0, 1$, whose residues are given by the $\mathbf{n}_m$ -derived beta invariant $\beta_{X, \mathbb{F}_q}^{(\mathbf{n}_m)}$ for which the Harder-Narasimhan-Ramanan-Desale-Zagier type formula holds. In particular, similar to the Artin Zeta function of $X/\mathbb{F}_q$, this $\mathbf{n}_m$ -derived Zeta function for X over $\mathbb{F}_q$ is a ratio of a degree $2g$ polynomial $P_{X, \mathbb{F}_q}^{(\mathbf{n}_m)}$ in $T_{\mathbf{n}_m} = q^{-s} \prod_{k=0}^m n_k$ by $(1 - T_{\mathbf{n}_m})(1 - q_{\mathbf{n}_m} T_{\mathbf{n}_m}) T_{\mathbf{n}_m}^{g-1}$ with $q_{\mathbf{n}_m} = q^{\prod_{k=0}^m n_k}$. To be more precise,

$$\begin{aligned} \widehat{\zeta}_{X, \mathbb{F}_q}^{(\mathbf{n}_m)}(s) = \widehat{Z}_{X, \mathbb{F}_q}^{(\mathbf{n}_m)}(T_{\mathbf{n}_m}) &= \frac{(q_{\mathbf{n}_m} - 1) T_{\mathbf{n}_m} \beta_{X, \mathbb{F}_q}^{(\mathbf{n}_m)}}{(1 - T_{\mathbf{n}_m})(1 - q_{\mathbf{n}_m} T_{\mathbf{n}_m})} \\ &+ \left(\sum_{\ell=0}^{g-2} \alpha_{X, \mathbb{F}_q}^{(\mathbf{n}_m)}(\ell) \left(T_{\mathbf{n}_m}^{\ell-(g-1)} + q_{\mathbf{n}_m}^{(g-1)-\ell} T_{\mathbf{n}_m}^{(g-1)-\ell} \right) + \alpha_{X, \mathbb{F}_q}^{(\mathbf{n}_m)}(g-1) \right) \end{aligned}$$

for some $\mathbf{n}_m$ -derived alpha invariants $\left\{ \alpha_{X, \mathbb{F}_q}^{(\mathbf{n}_m)}(\ell) \right\}_{\ell=0}^{g-1}$ of $X/\mathbb{F}_q$. Furthermore, when X restrict to an elliptic curve, or when $\mathbf{n}_m = (2, 2, \dots, 2)$, established is the $\mathbf{n}_m$ -derived Riemann hypothesis claiming that all zeros of $\widehat{\zeta}_{X, \mathbb{F}_q}^{(\mathbf{n}_m)}(s)$ lie on the central line $\Re(s) = \frac{1}{2}$. In addition, formulated is the Positivity Conjecture claiming that the above $\mathbf{n}_m$ -derived alpha and beta invariants are all strict positivity. This Positivity Conjecture is the key to control our $\mathbf{n}_m$ -derived zetas.

[(b)] Murmurations and Sato–Tate Conjectures for High Rank Zetas of Elliptic Curves (I), (II), jointly with my PhD. student Mr. Zhan Shi.

(I) For elliptic curves over rationals, there are a well-known conjecture of Sato–Tate and a new computational guided murmuration phenomenon, for which the abelian Artin zeta functions are used. In this paper, we show that both the murmurations and the Sato–Tate conjecture stand equally well for non-abelian high rank zeta functions of the p -reductions of elliptic curves over rationals. We establish our results by carefully examining asymptotic behaviors of the p -reduction invariants $a_{E/\mathbb{F}_p, n}$ ($n \geq 1$), the rank n analogous of the rank one a -invariant $a_{E/\mathbb{F}_p} = 1 + p - N_{E/\mathbb{F}_p}$ of elliptic curve $E/\mathbb{F}_p$. Such asymptotic results are based on a ‘counting miracle’ of the so-called $\alpha_{E/\mathbb{F}_q, n}$ - and $\beta_{E/\mathbb{F}_q, n}$ -invariants of $E/\mathbb{F}_q$ in rank n , and a remarkable recursive relation on the $\beta_{E/\mathbb{F}_q, n}$ -invariants, both established by Weng–Zagier.

(II) As a continuation of our earlier paper in this series, we offer a new approach to murmurations and Sato–Tate laws for higher rank zetas of elliptic curves. Our approach here does not depend on the Riemann hypothesis for the so-called a -invariant $a_{E/\mathbb{F}_p, n}$ in rank $n (\geq 3)$ even for the Sato–Tate law, rather, on a much refined structure, a similar of which was already observed earlier by Zagier and the senior author of this paper when the rank n Riemann hypothesis was established. Namely, instead of the rank n Riemann hypothesis bounds $\left| \frac{a_{E/\mathbb{F}_p, n}}{2\sqrt{p^n}} \right| \leq 1$ on which our first paper is based, we use the asymptotic bounds $\left| \frac{a_{E/\mathbb{F}_p, n} + (n-1)p + (n-5)}{(n-1)\sqrt{p}} \right| \leq 1$. Accordingly, rank n Sato–Tate law can be established and rank n murmuration can be formulated equally well, similar to the corresponding structures in the abelian framework for Artin zetas of elliptic curves.

(1.2) Reductive Moduli of Semi-Stable Arithmetic G -torsors

[(a)] Reductive Modifications of Locally Symmetric Spaces:

Let $X = G/A_G K$, resp. $Y = \Gamma \backslash G/A_G K$, be a symmetric space, resp. a locally symmetric space, associated to a split reductive group $G/\mathbb{Q}$, its maximal compact subgroup K and an arithmetic subgroup Γ . In this paper, motivated by Zucker’s reductive Borel–Serre compactification $\overline{Y}^{\text{rBS}}$ of Y , we construct new but genuine

topological spaces X^{red} and Y^{red} , together with their natural compactifications $\overline{X^{\text{red}}}$ and $\overline{Y^{\text{red}}}$ respectively, for the purpose to uniformly understand reductive structures involved at different parabolic levels, based on Saper's tiling theory. We show that for a regular representation $\rho : G \rightarrow \text{GL}(V)$, there is a natural isomorphism

$$IH^*(\overline{Y^{\text{red}}}, \mathbb{V}) \simeq IH^*(\overline{Y^{\text{rBS}}}, \mathbb{V}),$$

where $\mathbb{V}$ denotes the natural associated local systems on the associated spaces induced by ρ . Furthermore, when X is of equal rank, we show that, for the interiors Y_0° of the central tile $Y_0 = \overline{Y_G^{\text{red}}}$ of a tiling $\overline{Y^{\text{red}}} = \bigsqcup_P \overline{Y_P^{\text{red}}}$, and for the equal rank Satake compactification Y^* of Y , there are natural isomorphisms

$$H_{(2)}^*(Y_0^\circ, \overline{\mathbb{V}}_\rho) \simeq H_{(2)}^*(Y, \overline{\mathbb{V}}_\rho) \simeq IH^*(\overline{Y^{\text{rBS}}}, \mathbb{V}) \simeq IH^*(Y^*, \mathbb{V})$$

based on Looijenga, Saper-Stone's solution to the (Borel-)Zucker conjecture and Saper's confirmation to the Rapoport/Goresky-MacPherson conjecture. For details, please refer to our related paper in 2025.

[(b)] Reductive Moduli Spaces of Semi-Stable Arithmetic $\mathcal{G}$ -Torsors:

There are rich mathematical structures and theories for the classical triple $(X, \overline{X}^{\text{BS}}, \overline{X}^{\text{rBS}})$ consisting of a locally symmetric space $X_{\mathcal{G}, K}$, its Borel-Serre compactification $\overline{X}^{\text{BS}}$ and the induced reductive Borel-Serre compactification $\overline{X}^{\text{rBS}}$. Motivated by them, for a split reductive group G over a number field F and an integral reductive extension $\mathcal{G}/\mathcal{O}_F$ over the integer ring $\mathcal{O}_F$ of F , with respect to a fixed $\mathcal{G}$ -torsor $\mathcal{E}$ on $\text{Spec } \mathcal{O}_F$, we construct a new stable triple $(\mathcal{M}_{\mathcal{E}, F}^s, \mathcal{M}_{\mathcal{E}, F}^{\text{ss}}, \mathcal{M}_{\mathcal{E}, F}^{\text{rss}})$ of stable, semi-stable and reductive semi-stable moduli spaces for arithmetic $\mathcal{G}$ -torsors $(\mathcal{E}, h)$ over $\overline{\text{Spec } \mathcal{O}_F}$ and propose the following stable analogue of Zucker's conjecture (in the equal rank generality) identifying the L^2 -cohomologies on the stable moduli with the intersection cohomologies on the reductive semi-stable moduli:

$$H_{(2)}^*(\mathcal{M}_{\mathcal{E}, F}^s, \overline{\mathbb{V}}) \simeq IH^*(\mathcal{M}_{\mathcal{E}, F}^{\text{rss}}, \widetilde{\mathbb{V}}).$$

[(c)] Arithmetic Donagi-Gaitsgory correspondences: Not only we formulated a conjectural framework on the arithmetic Donagi-Gaitsgory correspondences claiming that there exists a natural one-to-one correspondence between arithmetic Higgs G -torsors on base arithmetic curves $\overline{Y} = \overline{\text{Spec } \mathcal{O}_F}$ associated to the arithmetic characteristic cover $\pi : \overline{X} = \overline{\text{Spec } \mathcal{O}_K}$ and what I called the R -twisted, N -shifted W -equivariant arithmetic T -torsors on the arithmetic spectral curve $\overline{X}$.

B. 研究業績

1. L. Weng and D. Zagier, Higher rank zeta functions for elliptic curves, PNAS (Proc. Natl. Acad. Sci. USA) 117 (2020), no.9, 4546-4558
2. L. Weng and D. Zagier, Higher rank zeta functions and SL_n -zeta functions for curves, PNAS (Proc. Natl. Acad. Sci. USA) 117 (2020), no.12, 6279-6281
3. L. Weng, *Zeta Functions for Reductive Groups and Their Zeros*, World Scientific (2018), pp. 528+xxvii
4. I. Nakamura & L. Weng eds, *Algebraic and arithmetic structures of moduli spaces*, ASPM 58, 2010
5. L. Weng & M. Kaneko eds, *The Conference on L-Functions*, World Scientific, 2007
6. L. Weng & I Nakamura eds, *Arithmetic Geometry and Number Theory*, World Scientific, 2006
7. L. Weng, Non-Abelian Zeta Functions for Function Fields, Amer. J. Math., 127(2005), 973-1017
8. L. Weng Ω -Admissible Theory II, Math Ann. 320(2001)

C. 講演

1. Reductive Moduli Spaces of Semi-stable Arithmetic $\mathcal{G}$ -Torsors, *Algebraic Number Theory and Related Topics* 2024 (2025.01.08-12), RIMS, Kyoto
2. Murmurations and Sato-Tate Conjectures for High Rank Zetas of Elliptic Curves, *Murmurations in Arithmetic Geometry and Related Topics* (2024.11.11-15), Simons Center for Geometry and Physics, Stony Brook, NY

D. その他の研究活動

For more details about our researches and activities, please refer to:
<http://www2.math.kyushu-u.ac.jp/~weng/>

岡田 拓三 (OKADA Takuzo)

A. 研究概要

代数多様体の有理性を判定する問題を主に研究している。近年においては、双有理剛性といった双有理幾何学的性質の解明や、あるいは0サイクルのなす Chow 群の普遍的自明性の研究を通して、ファノ多様体やデルペッツォ曲面束などといった様々な高次元有理連結多様体の非（安定）有理性の証明を与えてきている。

2024 年度は、ファノ多様体の双有理剛性に関する 2 件の成果を得た。

1 件目の研究 ([10]) は、Krylov, Paemurru, Park との共同研究である。3 次元代数多様体上の可動線形系の 2 つの一般メンバーの交叉として定まる 1 サイクルの、 cA_1 型端末特異点における重複度に関する $2n^2$ -不等式と呼ばれる不等式を示した。これは 3 次元における双有理剛性の理論において重要な役割を演じている「非特異点における $4n^2$ -不等式」の cA_1 型特異点への拡張である。この不等式の応用として、高々 cA_1 型端末特異点しかもたない sextic double solid (6 次曲面で分岐する 3 次元射影空間の 2 重被覆のこと) や、同じく高々 cA_1 型端末特異点しかもたない射影直線上の次数 1 の del Pezzo ファイバー束の双有理超剛性を示した。

2 件目の研究 ([11]) では、3 次元重み付きファノ超曲面の中で双有理堅固的 (birationally solid) であるものを完全に決定させた。ファノ多様体の双有理堅固性は双有理剛性を弱めた概念であり、非有理性を導くものである。Cheltsov–Park により、指数 1 の 3 次元重み付きファノ超曲面は全て双有理剛的であることが示されていた。さらに、Abban–Cheltsov–Park により指数 2 以上のものは双有理剛的でないことも示されていたが、それらの双有理堅固性についての結果は得られていなかった。このような状況の中で、本年度は、指数 2 以上の 3 次元重み付きファノ超曲面の全 35 族の内 5 族が双有理堅固的であり、その他は双有理堅固的でないという結果を得た。

B. 研究業績

1. T. Okada; Birationally superrigid Fano 3-folds of codimension 4. *Algebra Number Theory* **14** (2020), no. 1, 191–212.
2. T. Okada; On birational rigidity of singular del Pezzo fibrations of degree 1. *J. Lond. Math. Soc.* (2) **102** (2020), 1–21.
3. T. Okada; Birational Mori fiber structures of $\mathbb{Q}$ -Fano 3-fold weighted complete intersections, III. *Kyoto J. Math.* **60** (2020), no. 3, 825–893.
4. I. Krylov and T. Okada; Stable rationality of del Pezzo fibrations of low degree over projective spaces. *Int. Math. Res. Not. IMRN* 2020, no. 23, 9075–9119.
5. I.-K. Kim, T. Okada and J. Won; Alpha invariants of birationally bi-rigid Fano 3-folds. *Eur. J. Math.* **7** (2021), no. 1, 272–308.
6. T. Okada; Smooth weighted hypersurfaces that are not stably rational. *Ann. Inst. Fourier (Grenoble)* **71** (2021), no. 1, 203–237.
7. T. Okada; Stable rationality of index one Fano hypersurfaces containing a linear space. *Eur. J. Math.* **8** (2022), no. 3, 1158–1171.
8. I. Cheltsov, K. Fujita, T. Kishimoto and T. Okada; K-stable divisors in $\mathbb{P}^1 \times \mathbb{P}^1 \times \mathbb{P}^2$ of degree $(1, 1, 2)$. *Nagoya Math. J.* **251** (2023), 686–714.
9. I.-K. Kim, J. Won and T. Okada; K-stability of birationally superrigid Fano 3-fold weighted hypersurfaces. *Forum Math. Sigma* **11** (2023), Paper No. e93, 1–114.

10. I. Krylov, T. Okada, E. Paemurru and J. Park, ; $2n^2$ -inequality for cA_1 points and applications to birational rigidity. *Compos. Math.* **160** (2024), no. 7, 1551–1595.
11. T. Okada, ; Birationally solid Fano 3-fold hypersurfaces. arXiv:2305.06183, 2024, 72 pp, to appear in *Mem. Eur. Math. Soc.*

C. 講演

1. “On K-stability of birationally superrigid Fano 3-folds”, 阪大オンライン代数幾何学セミナー, 2020 年 7 月.
2. “K-stability of birationally superrigid Fano 3-fold weighted hypersurfaces”, Zoom Algebraic Geometry Seminar, 2020 年 12 月.
3. “Birational Geometry of Fano 3-fold WCIs”, Fano varieties and Birational Geometry, Online, University of Nottingham, UK, 2021 年 2 月.
4. “Birational geometry of sextic double solids with cA points”, Algebraic Geometry Seminar, Online (Zoom), IBS-CGP, Pohang, Korea, 2021 年 10 月.
5. “Birational geometry of Fano 3-fold weighted complete intersections”, The 19th Affine Algebraic Geometry Meeting, Online, 2021 年 3 月.
6. “代数多様体の有理性の問題”, 複素幾何学の諸問題 II, オンライン, 大阪市立大学, 2021 年 9 月.
7. “Birational Geometry of sextic double solids with cA points”, Seminar of Algebraic Geometry in East Asia, Online, 2021 年 9 月.
8. “Birational Geometry of sextic double solids with cA points”, Algebraic Geometry Seminar, Online, IBS-CGP, Pohang, Korea, 2021 年 10 月.
9. “On birationally solid Fano 3-fold hypersurfaces”, Algebraic Geometry Seminar, IBS-CGP, Pohang, Korea, 2022 年 10 月.
10. “On birationally solid Fano 3-folds”, Rationality, Moduli Spaces, and Related Topics, 名古屋大学, 2022 年 11 月.
11. “Birational rigidity of certain singular Fano 3-folds”, The 21st Affine Algebraic Geometry Meeting, 埼玉大学, 2023 年 3 月.
12. “Birationally solid Fano 3-folds”, 談話会「代数幾何学の話題から」, 熊本大学, 2023 年 4 月.
13. “Birationally solid Fano 3-fold hypersurfaces”, 2023 Clay Research Workshop: K-stability and Birational Geometry, Clay Mathematical Institute, UK, 2023 年 9 月.
14. “Birationally solid Fano 3-fold hypersurfaces”, Fano varieties, their Geometry and Moduli, KIAS, Korea, 2023 年 10 月.
15. “Birational Mori fiber space structures of Fano varieties and rationality problem”, 九大代数学セミナー, 九州大学, 2023 年 11 月.
16. “代数多様体の有理性問題とファの多様体の双有理幾何”, 数理談話会, 九州大学, 2024 年 1 月.
17. “Birationally solid Fano 3-folds”, 談話会, 埼玉大学, 2024 年 1 月.
18. “Birationally solid Fano 3-folds”, 代数・解析・幾何学セミナー, 鹿児島大学, 2024 年 2 月.
19. “Birationally solid Fano 3-fold hypersurfaces”, Complex Geometry, Algebraic Geometry and Related Fields, 中央大学, 2024 年 8 月.
20. “3 次元ファノ多様体の双有理幾何”, 代数学シンポジウム, 筑波大学, 2024 年 8 月.
21. “Birationally solid Fano 3-fold hypersurfaces”, Workshop on Algebraic Geometry over complex number field or in positive characteristic –Around positivity of tangent sheaves and anti-canonical divisors–, 大阪公立大学, 2024 年 9 月.
22. “K-stability of Fano 3-fold hypersurfaces of index 1”, Algebraic Geometry Seminar, IBS-CGP, Pohang, Korea, 2024 年 9 月.
23. “Rationality problem of Johnson–Kollár Fano 3-folds”, 奥武山代数幾何学ワークショップ, 沖縄, 2024 年 11 月.
24. “Birationally solid Fano 3-fold hypersurfaces”, Algebraic Geometry in Taipei, National Taiwan University, Taipei, 2024 年 12 月.
25. “Rationality problem of Johnson–Kollár Fano 3-folds”, 可換環論と射影代数幾何学, 熊本大学, 2024 年 12 月.

26. “Birational geometry of sextic double solids”, ファノ多様体と双有理幾何学, 名古屋大学, 2025 年 2 月.

D. その他の研究活動

研究集会の世話人

1. 阿蘇代数幾何学研究集会, 休暇村阿蘇, 2023 年 9 月 10 日-13 日.
2. 第一回新潟代数シンポジウム, 新潟大学, 2023 年 12 月 6 日-8 日.
3. 南知多研究集会, 南知多町公民館, 2024 年 5 月 24 日-25 日.
4. Varieties with boundaries, 稚内日口友好会館, 2024 年 6 月 25 日-28 日.
5. 可換環論と射影代数幾何学, 熊本大学, 2024 年 12 月 4 日-7 日.
6. 第二回新潟代数シンポジウム, 新潟大学, 2024 年 11 月 27 日-30 日.
7. 阿蘇代数幾何学研究集会, 休暇村阿蘇, 2023 年 9 月 10 日-13 日.

金子 昌信 (KANeko Masanobu)

A. 研究概要

最近 5 年間程度で研究してきたことは以下の通り.

(1) 多重ゼータ値および多重ベルヌーイ数.

(実の) 多重ゼータ値については, 村原英樹, 村上拓也との共同研究で “quasi-derivation relation” という関係式族の新しい見方による簡明な証明を与えた ([5]) ほか, 徐策, 山本修司との共同研究で, 正規化定理を一般化することにより, 川島関係式の新しい導出を与えた ([7]). また, 村上拓也, 吉原周と共同で, レベル 2 の有限多重ゼータ値について, 基本的な性質を調べ, 興味深いと思われる予想を提出した ([10]). さらに, 津村博文と共に, 以前荒川恒男と共同で研究したある種のゼータ関数およびその姉妹版とも言える関数の「レベル 2」類似を導入し, 類似の結果を導いた ([1]). これは更に「レベル 2 多重ゼータ値」の研究へと発展し, 基礎的な事実を証明した ([4]). また同じく津村と「レベル 4」版の研究も行い, Entringer 数と呼ばれる組合せの数との意外な関係や, モジュラー形式との関係を見出した ([11]). 津村とは, ある種の 2 変数多重ポリログ関数の研究も行い, 有名な dilog の五項関係式を一般化するような関数等式を導いた ([14]). 多重ベルヌーイ数については, Maneka Pallewatta, 津村と共同で, 「レベル 2」の多重ベルヌーイ数とも見られる, 「多重コセカント数」を導入, 双対性などいくつかの性質を明らかにした ([6]).

(2) 種の指標の L 関数と 2 次体の類数.

水野義紀との共同研究で, 2 次体の整環の, 種の指標の L 関数を完全に一般的に計算し, それを用いて, Hirzebruch-Zagier による, 実 2 次無理数の連分数展開と虚 2 次体の類数に関する結果の類似物を証明した ([2]).

(3) ヤコビテータ関数の値の代数的独立性.

Carsten Elsner および立谷洋平との共同研究により, 古典的なヤコビテータ級数の値の独立性に関する結果を得た ([3]). さらに, そこでの手法を発展させ, Daniel Duverney, Elsner, 立谷と共同で, Fibonacci 数や Lucas 数のある種の無限積で書ける数たちの独立性, 代数従属性に関する結果を得た ([8]).

(4) 有限オイラー定数.

有限多重ゼータ値の研究を手本とし, 松坂俊輝, 関真一郎と共同で, 古典的なオイラー定数の有限類似を何通りか導入し, その間の関係を調べた ([13]).

(5) その他

ある種の微分方程式系に現れる特殊多項式の計算や (吉田正章らと共同 [9]), 古典的なヤコビテータ関数を使って, Klein や Hurwitz らの “elliptic normal curve” の研究をレベルが偶数の場合に補完するような研究 (鎌田政人と共同 [12]) も行った.

B. 研究業績

1. Zeta functions connecting multiple zeta values and poly-Bernoulli numbers (with H. Tsumura), Adv. Stud. Pure Math., 84, 181–204, (2020).

2. Genus character L -functions of quadratic orders and class numbers (with Y. Mizuno), J. London Math. Soc., 102-1, 69–98, (2020).
3. Algebraic independence results for the values of theta-constants and some identities (with C. Elsner and Y. Tachiya), J. Ramanujan Math. Soc., 35-1, 71–80, (2020).
4. On multiple zeta values of level two (with H. Tsumura), Tsukuba J. Math., 44-2, 213–234, (2020).
5. Quasi-derivation relations for multiple zeta values revisited (with H. Murahara and T. Murakami), Abh. Math. Semin. Univ. Hamburg, 90, 151–160, (2020).
6. On poly-cosecant numbers (with M. Pallewatta and H. Tsumura), J. of Integer Sequences, Vol. 23 (2020), Article 20.6.4.
7. A generalized regularization theorem and Kawashima’s relation for multiple zeta values (with C. Xu and S. Yamamoto), Journal of Algebra, 580, 247–263, (2021).
8. A criterion of algebraic independence of values of modular functions and an application to infinite products involving Fibonacci and Lucas numbers (with D. Duverney, C. Elsner, and Y. Tachiya), Research in Number Theory, 8, no. 2, Paper No. 31, 13 pp, (2022).
9. A study of a Fuchsian system of rank 8 in 3 variables and the ordinary differential equations as its restrictions (with A. Ebisu, Y. Haraoka, H. Ochiai, T. Sasaki, and M. Yoshida), Osaka J. Math., 60, no. 1, 153–206, (2023).
10. On finite multiple zeta values of level two (with T. Murakami and A. Yoshihara), Pure and Applied Mathematics Quarterly, 19, No. 1, 267–280, (2023).
11. Multiple L -values of level four, poly-Euler numbers, and related zeta functions (with H. Tsumura), Tohoku Math. J. (2) 76, no. 3, 361–389, (2024).
12. Elliptic normal curves of even degree and theta functions, Res. Number Theory 10, no. 3, Paper No. 63, 37 pp, (2024).
13. On finite analogues of Euler’s constant (with T. Matsusaka and S. Seki), Int. Math. Res. Not. IMRN 2025, no. 2, Paper No. rnae281, 12 pp, (2025).
14. Two formulas for certain double and multiple polylogarithms in two variables (with H. Tsumura), to appear in Comment. Math. Univ. Sanct. Pauli.

C. 講演

1. A new approach to Kawashima’s relation for multiple zeta values, Japan Europe Number Theory Exchange Seminar, Online (Zoom), 2020.10.13.
2. 正規化定理の一般化と川島関係式, 第 14 回多重ゼータ研究集会, 九州大学伊都キャンパス「日本ジョナサン・K S・チョイ文化館」, 2020.11.5–6 (11.6 講演).
3. Genus character L -functions of quadratic orders and class number formulas, NCTS Seminar on Number Theory (Taiwan), Online (Cisco Webex), 2021.1.6.
4. Caliber, 香川セミナー (オンライン, Zoom) (内藤先生ご退職記念), 2021.3.6.
5. レベル 2 有限多重ゼータ値について, 九州代数的整数論 2021 夏 (オンライン, Zoom), 2021.9.26–9.27 (9.26 講演).
6. Multiple L -values of conductor 4, Entringer numbers, and period polynomials, 第 16 回多重ゼータ研究集会& 第 58 回関西多重ゼータ研究会 (オンライン, Zoom), 2022.2.21–23 (2.23 講演).
7. レベル 4 の多重 L 値について, RIMS 研究集会「多重ゼータ値の諸相」, 京都大学数理解析研究所, 2022.5.16–5.20 (5.19 講演).
8. Euler 数, Entringer 数と導手 4 の多重 L 値, 三角函数研究会, 神戸大学理学研究科, 2022.9.5–9.7 (9.7 講演).
9. 「多重ゼータ値」小史, 第 32 回数学史シンポジウム, 津田塾大学 (オンライン (Zoom)), 2022.10.15–10.16 (10.15 講演).
10. 虚 2 次体の類数をめぐる 2,3 の話題, 愛知数論セミナー (柳井さん古希), 名古屋工業大学, 2022.12.10.
11. フルヴィッツ型多重ゼータ値の正規化と川島関係式, 「代数的整数論とその周辺」研究集会, 京都大学数理解析研究所, 2022.12.12–12.16 (12.15 講演).
12. On some formulas for quadratic class numbers, Number Theory in Tokyo, 東京工業大学, 2023.3.20–3.24 (3.21 講演).

13. Multiple L -values of conductor four, Entringer numbers, and modular forms, Number Theory Seminar, Università degli studi Roma Tre, 2023.4.3.
14. Multiple L -values of conductor four, Entringer numbers, and modular forms, The 2nd International Workshop on Multiple Zeta Values and Related Fields, Hangzhou, China, 2023.8.4–6 (8.4 講演).
15. Prime numbers and multiple zeta values, 談話会, 会津大学, 2023.11.13.
16. On finite multiple zeta values and related topics, 第 19 回代数・解析・幾何学セミナー, 鹿児島大学理学部, 2024.2.13–2.16 (2.14 講演)
17. On finite analogues of Euler's constant, NCTS Number Theory Seminar, National Center of Theoretical Sciences, 新竹, 台湾, 2024.3.14.
18. On finite analogues of Euler's constant, The 2024 Workshop on Multiple Zeta Values, L-functions and Related Fields, Anhui Normal University, Wuhu, China, 2024.6.7–6.9 (6.8 講演).
19. The elliptic modular function, l'objet de ma tendresse, 談話会, 会津大学, 2024.7.1.
20. On finite analogues of Euler's constant, The 6th Workshop on Number Theory and Algebra, Shilla Stay Haeundae, Busan, Korea, 2024.7.30–8.1 (7.30 講演).
21. オイラー定数の有限類似について, 明学セミナー, 明治学院大学・白金校舎, 2025.1.25.
22. Finite multiple zeta values and other elements in the “poor man's adèle ring”, The 17th MSJ-SI Modular Forms and Multiple Zeta Values, Kindai University, 2025.2.17–2.22 (2.21 講演)

D. その他の研究活動

[研究集会の主催]

1. 第 14 回多重ゼータ研究集会, 九州大学伊都キャンパス「日本ジョナサン・KS・チョイ文化館」, 2020.11.5–11.6.
2. 第 15 回多重ゼータ研究集会 & 第 53 回関西多重ゼータ研究会 (共同開催), オンライン (Zoom) ミーティング, 2021.2.22–2.24.
3. 九大多重ゼータセミナー (拡大版), 九州大学伊都キャンパス「日本ジョナサン・KS・チョイ文化館」, 2021.11.22–11.23.
4. 第 16 回多重ゼータ研究集会 & 第 58 回関西多重ゼータ研究会 (共同開催), オンライン (Zoom) ミーティング, 2022.2.21–2.23.
5. 第 14 回福岡数論研究集会, 九州大学伊都キャンパス, 2022.8.19–20.
6. 第 17 回多重ゼータ研究集会 & 第 61 回関西多重ゼータ研究会 (共同開催), 近畿大学理工学部 東大阪キャンパス, 2023.2.20–22.
7. 第 15 回福岡数論研究集会, 立命館アジア太平洋大学, 2023.9.11–13.
8. 第 18 回多重ゼータ研究集会 & 第 64 回関西多重ゼータ研究会 (共同開催), 近畿大学理工学部 東大阪キャンパス, 2024.2.20–22.
9. 第 16 回福岡数論研究集会, 九州大学伊都キャンパス, 2024.8.23–24.
10. Lectures on multiple zeta values and beyond (Scientific Committee), The 17th MSJ-SI Developments of Multiple Zeta Values, 九州大学西新プラザ, 2025.2.10–2.15.
11. Modular Forms and Multiple Zeta Values (Scientific Committee), The 17th MSJ-SI Developments of Multiple Zeta Values, 近畿大学理工学部 東大阪キャンパス, 2025.2.17–2.22.

[各種委員]

International Journal of Number Theory 編集委員 (2004.10–)

Kyushu Journal of Mathematics 編集委員長 (2016.4–2022.9)

Journal of Number Theory 編集委員 (2016.7–)

京都大学数理解析研究所 専門委員会委員 (2013.9–2019.8, 2021.9–2023.8), 同 運営委員会委員 (2015.9–2019.8, 2021.9–2023.8)

Journal of Mathematical Society of Japan 編集委員長 (2020.7–2024.6)

日本数学会理事 (2022.6–2024.5)

科学技術振興機構 創発的研究支援事業 創発アドバイザー (2020.9–)

A. 研究概要

代数幾何学の分野で有名な広中の特異点解消定理が、様々な解析の問題に応用されて、多くの成果をあげてきたことは、よい意味で想定外の出来事であった。ニュートン多面体を用いた特異点解消は、定量的で重要な情報を持っており、解析学の問題に関してより詳細な結果をもたらすことは、すでに多くの研究が示すところである。私の研究では、特異点論的に重要な概念であるニュートン多面体の位相幾何学的、組み合わせ的な情報から、具体的な特異点解消をより一般で応用上利用しやすい形で構成し、それらを、実際に多変数複素解析学と調和解析学の様々な未解決な問題に応用し、現在までに得られていないような強い結果を得ることを目的とする。

「ニュートン多面体」の名前は、Isaac Newton が、特異点解消に関するある種のアプローチをいわゆるニュートン多面体を用いて構成したところ由来する。滑らかな関数 $f(x_1, \dots, x_n)$ をテーラー展開し、その係数が消えていない冪の集合を S と書く。 $S + \mathbf{R}_+^n$ の $\mathbf{R}^n$ 内における凸包が、 f に関するニュートン多面体と呼ばれるものである関数の局所的な性質を考える際、一変数の場合、その関数のテーラー展開の初項に本質的な情報が集約される。多変数の場合の重要な情報も、ニュートン多面体の原点から近い部分、すなわちその境界にあると考えられ、境界の幾何学的な性質から関数の本質的な性質を理解しようというのがニュートン多面体を用いる際の大雑把な発想である。

以上の戦略を踏まえ、私の行った研究について、テーマに別けて説明する。

(局所ゼータ関数の漸近解析) K を $\mathbf{R}$ や $\mathbf{C}$ などの体とすると、局所ゼータ関数

$$Z_\phi(s; f) = \int_{K^n} |f(x)|_K^s \phi(x) |dx|_K \quad (s \in \mathbf{C})$$

に関する解析接続の問題は様々な分野で重要である。ただし、 f は K -解析的な関数とし、 $|dx|_K$ は K^n 上のハール測度とする。歴史的には、Bernstein-Gelfand や Atiyah らにより、広中の特異点解消定理を用いることにより、上の局所ゼータ関数は、全平面に有理型に解析接続されることが示された。その後、特異点解消定理の精密化により、解析接続のされる様子がより精密に研究されたわけであるが、特に興味深いのは Varchenko の結果であろう。具体的には、 f のニュートン多面体の幾何学的性質が解析接続に強く影響を与えることが示された。

これらの研究では、特異点解消を用いるために、上の関数 f に解析性を仮定して議論がなされてきたが、解析学への応用上その仮定は強過ぎる。最近、私と野瀬敏洋氏との研究により、 C^∞ 級の仮定の下で詳細にそれまでの研究を検証し、多くの成果をあげている。中でも注目すべきものとして、局所ゼータ関数が極でないような特異点を持つという非常に奇妙な現象がある。その原因となるのは、零でない平坦関数の存在であり、本質的に C^∞ 級の場合特有の重要な研究対象である。

その他の一般化に関する研究では、 f を有理型関数に一般化したものが最近盛んに行われている。その中で、私と水野宏真氏の共同研究では、その有理型関数を二つの解析的な関数を用いて f/g と表しておくと、 f と g のニュートン多面体の幾何学的な関係性が解析接続の様子に定量的な形で現れることを示した。

(振動積分の漸近解析) 偏微分方程式や調和解析学等の研究分野において、振動積分

$$I(t) = \int_{\mathbf{R}^n} e^{itf(x)} \phi(x) dx \quad (t \in \mathbf{R})$$

の無限遠点での挙動を調べることは、応用上非常に重要な問題である。この問題は、相関関数 f の特異点論的な性質に深く関連している。非退化特異点の場合には、モースの補題により、 f は本質的に $x_1^2 + \dots + x_k^2 - x_{k+1}^2 - \dots - x_n^2$ の形に表されるため、フレネル積分を用いた計算により詳しい状況がわかる。退化した特異点の場合については、 f をどのように表示すればよいかはまだ一般的には理解されておらず、その意味で特異点解消定理の有用性が容易に想像される。実際に、近年 E. M. Stein スクールのニュートン多面体を用いた特異点解消定理の応用は、著しい進展をもたらしている。2次元の場合には、望ましい座標系の構成に関して、かなり詳しい結果が得られており、そのおかげで、振動積分の問題に関しても、深く理解されるようになった。

一方で、振動積分の挙動の問題は、先にあげた局所ゼータ関数の解析接続の問題と深く関連しており、上で述べた野瀬氏や水野氏との共同研究により得られた成果は、振動積分の挙動に関する結果として翻訳することができる。これらのいくつかは、まとめてすでに論文として出版されているものもあるが、まだ論文にまとめていない

いものも多くある．たとえば，局所ゼータ関数が極以外の特異点をもつという現象は，振動積分の問題に翻訳すれば，その挙動を表す漸近展開に関して，その展開が途中で壊れてしまうことに対応する．また，有理型関数に関する問題は，振動積分に関していえば， t が原点に近づく場合も考えないといけないことが解っており，その挙動も計算できる．

(多変数複素解析学における漸近解析) 境界の滑らかな擬凸領域上の正則関数の境界挙動を調べることは，例えばレビ問題など，多変数複素解析学において非常に重要な問題である．さらに，その挙動の中に見つけられる解析的な不変量を，境界の幾何学的な不変量で記述するという問題は興味深いものであり，現在盛んに研究されている．具体的に本研究で考える問題を列挙すると以下ようになる．

- (a) $\mathbf{C}^n$ 内の実超曲面に関する様々な不変量 (D'Angelo や Catlin の型等) の定量的な決定,
- (b) ベルグマン核とセゲー核の境界挙動に関する定量的な解析,
- (c) 様々な不変計量の境界挙動に関する定量的な評価,
- (d) 正則 Peak 関数の構成,
- (e) $\bar{\partial}$ -ノイマン問題における劣楕円評価指数の定量的な決定,
- (g) 複素多様体上の正則直線束の幕空間に関するベルグマン関数の漸近展開.

強擬凸領域は適切な正則座標をとることにより，局所的に

$$\operatorname{Re}(z_n) + |z_1|^2 + \cdots + |z_{n-1}|^n + (\text{剰余項}) < 0 \quad (1)$$

という形に表されることから，上に挙げた問題に関して，すでに十分満足できる解決をみている．ところが，「強」擬凸性の仮定をはずした「弱擬凸」の場合，(1) のようなきれいな表示は一般的には知られておらず，このこと自体が深刻な問題である．したがって，まず根本的に考えるべき問題として，次は重要である：

問題 実超曲面 (領域の境界) がきれいに表示されるように，適切な (局所) 正則座標系を与えよ．

実際に，“きれいな形”で領域が局所的に表示される場合には，すでに上の多くの問題に関して，強い結果が得られている．例えば，準斉次な多項式で近似されるように表示される擬凸領域の場合 (セミレギュラーと呼ばれる場合)，非常に詳しい成果が得られる．このクラスは，2次元，凸状など多くの重要な弱擬凸な場合を含んでいる．しかし，より一般の場合には，退化の構造がよく解らないため，現在までのところよい座標系を見つけることは困難な状況にあった．従って，上の問題に関して手掛かりすらない状況であったが，最近になってニュートン多面体を用いた解析から，成果が得られるようになってきている．

もう少し詳細に説明すると，ニュートン多面体という概念を用いて，特異点論的な手法により，解析に有用となる座標系を導入することで，さらに上に述べた具体的な諸問題を考えることが可能となる場合がある．実空間における議論は，上で説明したように，すでに先行研究が多くあるので，それを参考にしながら，複素空間の研究に一般化していく．まず， $\mathbf{C}^n$ 内の実超曲面に関して十分その情報を含むようにニュートン多面体という概念を導入する．ニュートン多面体は非常に座標に依存してしまうため，「ニュートン非退化」という条件をどのように導入するかが鍵となる．私の導入した「非退化」は，その条件そのものが，適切な座標系の条件になっており，結果としてその座標の上で，問 (a) にある D'Angelo の型に関して正確な結果を得ることができた．さらに問 (b), (g) に関する部分的な成果も得られている．このように，多変数複素解析学に特異点論的なアイデアを導入することにより，それまで未解決であった多くの問題が解決され，多くの先行研究が統一的に理解されるようになった．複素空間におけるニュートン多面体の応用は，まだはじまったばかりであり，今後さらに精密な議論を経て発展していくべきものである．

B. 研究業績

1. (with T. Nose) Non-polar singularities of local zeta functions in some smooth case, Trans. Amer. Math. Soc. **372** (2019), 661–676.
2. A sufficient condition for equality of regular type and singular type of real hypersurfaces, 数理解析研究所講究録掲載予定.

3. (with T. Nose) Meromorphy of local zeta functions in smooth model cases, *Journal of Functional Analysis*, **278** (2020).
<https://doi.org/10.1016/j.jfa.2019.108408>
4. Newton polyhedra and order of contact on real hypersurface, *Journal of the Mathematical Society of Japan*, **73** (1): 1–39 (January, 2021).
 DOI: 10.2969/jmsj/80868086
5. On Holomorphic Curves Tangent to Real Hypersurfaces of Infinite Type, *J. Geom. Anal.* **31** (2021), no. 8, 8063–8079.
<https://doi.org/10.1007/s12220-020-00567-z>
6. 「複素解析の探求にかける情熱」(巻頭言) 数理科学 2022 年 8 月号, 5–6.
7. (with H. Mizuno) Asymptotic expansion of oscillatory integrals with singular phases, *Kyushu J. Math.* **77** (2023), no.2, 319–329.
 DOI: <https://doi.org/10.2206/kyushujm.77.319>
8. 特異点解消定理と局所ゼータ関数の有理型解析接続, 岡シンポジウム講義録.
9. The Asymptotic Behavior of the Bergman Kernel on Pseudoconvex Model Domains. In: Hirachi, K., Ohsawa, T., Takayama, S., Kamimoto, J. (eds) *The Bergman Kernel and Related Topics*. HSSCV 2022. Springer Proceedings in Mathematics & Statistics, **447**. (2024) pp 273–292.
 DOI: https://doi.org/10.1007/978-981-99-9506-6_10
10. Resolution of singularities for C^∞ functions and meromorphy of local zeta functions, *J. Funct. Anal.* **286** (2024), no.1, Paper No. 110185, 53 pp.
 DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jfa.2023.110185>
11. On meromorphy of local zeta functions for C^∞ functions, 京都大学数理解析研究所講究録 2302, 2025 年 1 月, 31–40.
12. (with H. Mizuno) Newton polyhedra and local zeta functions for meromorphic functions, preprint, 投稿中.
13. On local zeta functions with meromorphic functions, 京都大学数理解析研究所講究録掲載予定.
14. (with H. Mizuno) Newton polyhedra and oscillatory integrals with rational phases, In preparation.
15. (with H. Mizuno and T. Nose) On local zeta function associated to flat functions, In preparation.

C. 講演

1. ニュートン多面体を用いた特異点解消とその解析学への応用, 研究集会「接触構造、特異点、微分方程式及びその周辺」金沢市, 2018 年 1 月 25 日.
2. Regular and singular orders of contact on real hypersurfaces, 第 53 回函数論サマーセミナー, 福岡県北九州市, 2018 年 8 月 24 日～26 日.
3. Non-polar singularities of local zeta functions in some smooth case, 日本数学会 2018 年度秋季総合分科会, 岡山大学, 2018 年 9 月 24 日.
4. Meromorphy of local zeta functions in smooth model cases, 日本数学会 2018 年度秋季総合分科会, 岡山大学, 2018 年 9 月 24 日.
5. Regular and singular orders of contact on real hypersurfaces, 代数解析学の諸問題–超局所解析及び漸近解析–, 京大数理解析研, 2018 年 10 月 15 日～19 日.
6. ニュートン多面体と重みつき振動積分, 第 228 回 広島数理解析セミナー, 広島大学, 2018 年 11 月 16 日.
7. Newton polyhedra and order of contact on real hypersurfaces, 複素解析幾何セミナー, 東京大学 2018 年 12 月 17 日.
8. ニュートン多面体と振動積分の漸近解析 I,II, 研究集会: 筑波 RCMS 解析学シンポジウム 2019 年 1 月 23 日～24 日, 沖縄県市町村自治会館.
9. 無限型擬凸領域のベルグマン核の境界挙動, 第 54 回函数論サマーセミナー, 静岡県伊豆の国市, 2019 年 8 月 28 日～30 日.
10. 多変数関数論におけるニュートン多面体とその応用, 日本数学会 2019 年度秋季総合分科会, 特別講演, 金沢大学, 2019 年 9 月.

11. Meromorphy of local zeta functions in smooth model cases, 研究集会「超局所解析と漸近解析」, 京大数理解析研究所, 2019 年 11 月 18 日～22 日.
12. On meromorphy of local zeta functions, (局所ゼータ関数の有理型解析接続について), 研究集会「第 15 回代数・解析・幾何学セミナー」, 鹿児島大学, 2020 年 2 月 12 日～14 日.
13. 局所ゼータ関数の有理型解析接続可能領域について, 日本数学会 2020 年度春季総合分科会, 日本大学, 2020 年 3 月 16 日.
14. 複素平面入門, 出前講義 (熊本済々黌高校) 2020 年 11 月 4 日.
15. C^∞ 平面曲線の特異点解消と局所ゼータ関数の有理型解析接続, 第 63 回函数論シンポジウム, 2020 年 11 月 23 日 (オンライン)
16. On holomorphic curves tangent to real hypersurfaces of infinite type, 多変数関数論冬セミナー, 2020 年 12 月 18 日. (オンライン)
17. Asymptotic analysis of oscillatory integrals with degenerate phases, 偏微分方程式姫路研究集会, 2021 年 3 月 4 日～6 日. (オンライン)
18. 局所ゼータ関数の特異性について, 研究集会「アクセサリー・パラメーター研究会」, 熊本大学, 2022 年 3 月 8 日～3 月 10 日.
19. C^∞ 関数に関する特異点解消と局所ゼータ関数の有理型解析接続, 日本数学会 2021 年度春季総合分科会, 埼玉大学, 2022 年 3 月 28 日～3 月 31 日.
20. Resolution of singularities for C^∞ functions and meromorphy of local zeta functions, CIMAT's Commutative Algebra / Algebraic Geometry Seminar, (on line) 2022 年 5 月 16 日.
21. Newton polyherda in several complex variables, Virtual East-West Several Complex Variables seminar, (on line), 2022 年 5 月 24 日
22. Asymptotic analysis of the Bergman kernel on pseudoconvex model domains, HAYAMA Symposium on Complex Analysis in Several Variables XXIII, 2022 年 7 月
23. Resolution of singularities for C^∞ functions and meromorphy of local zeta functions, 研究集会「超局所解析と漸近解析の展望」, 京大数理解析研究所, 2022 年 10 月 3 日～7 日.
24. 特異点解消定理と局所ゼータ関数の解析接続, 岡シンポジウム, 2022 年 12 月 17 日,18 日, 奈良女子大学.
25. A new boundary invariant and the growth of the Bergman kernel, 研究集会「Problems on foliations and dynamics in complex geometry」, 京大数理解析研究所, 2023 年 11 月 21 日～23 日.
26. Newton polyhedra and Archimedean zeta functions for meromorphic functions, 研究集会「Recent topics in algebraic analysis」(代数解析日大研究集会), 日本大学, 2024 年 3 月 5 日～7 日.
27. Newton polyhedra and oscillatory integrals with meromorphic phases RIMS 共同研究 (公開型)「超局所解析と漸近解析の展望」2024 年 10 月 7 日 (月)～10 月 11 日 (金) 京都大学数理解析研究所
28. Newton polyhedra and Archimedean zeta functions for meromorphic functions, RIMS 共同研究 (公開型)「SCV, CR geometry and Dynamics」, 2024 年 11 月 25 日 (月)～11 月 29 日 (金) 京都大学数理解析研究所.
29. 特異点解消定理と局所ゼータ関数の漸近解析, 北大代数解析セミナー, 2024 年 12 月 19 日.
30. ニュートン多面体を用いた振動積分と局所ゼータ関数の漸近解析, 静岡複素解析幾何セミナー, 2025 年 3 月 4 日 (火)・5 日 (水), 静岡大学理学部 B 棟 203
31. 局所ゼータ関数の特異性について, Mini-workshop on Algebraic Geometry and Several Complex Variables in Fukuoka, 2025 年 5 月 14 日 (水)～16 日 (金) 福岡工業大学, 予定

D. その他の研究活動

[本の編集]

1. (with Kengo Hirachi, Takeo Ohsawa, Shigeharu Takayama) The Bergman Kernel and Related Topics, Hayama Symposium on SCV XXIII, Kanagawa, Japan, July 2022, Conference proceedings, Springer Proceedings in Mathematics & Statistics, **447**. Springer, Singapore. (2024)

DOI: <https://link.springer.com/book/10.1007/978-981-99-9506-6>

[研究集会の主催]

1. 第 7 回福岡複素解析シンポジウム, 九州大学, 2018 年 3 月 16 日.
2. 第 8 回福岡複素解析シンポジウム, 九州大学, 2019 年 3 月 9 日.

3. 第 144 回日本数学会九州支部例会, 2021 年 2 月 13 日~19 日 (オンライン)
4. 第 10 回福岡複素解析シンポジウム, 2021 年 3 月. (オンライン)
5. HAYAMA Symposium on Complex Analysis in Several Variables XXIV, 2023 年 7 月.
6. HAYAMA Symposium on Complex Analysis in Several Variables XXIII, 2022 年 7 月.
7. 第 11 回福岡複素解析シンポジウム, 九州大学, 2024 年 3 月 16 日.
8. 第 12 回福岡複素解析シンポジウム, 九州大学, 2025 年 3 月 15 日.

[各種委員]

1. 日本数学会九州支部連絡責任評議員 (2020 年度)
2. 日本数学会「数学通信」編集員 (2020 年度~2021 年度)
3. 日本数学会「解析学賞」選定委員 (2020 年度)
4. 日本数学会「メモワール」編集員 (2021 年度~)

川野 秀一 (KAWANO Shuichi)

A. 研究概要

統計的モデリング手法, 特にスパース推定を援用した多変量解析手法の開発研究を行っている. 近年では主に以下の研究に取り組んでいる.

1 つ目は主成分回帰に関する研究である. 主成分回帰とは, 1 段階目に主成分分析を実行し, 2 段階目に得られた主成分スコアを新たな説明変数として用いた回帰分析のことである. 本研究では, 主成分分析に関連する損失関数と回帰分析に関連する損失関数の重み付き和を全体の損失関数とし, lasso 型のスパース推定を導入することによって, 新たな主成分回帰を提案している. ここで導入したスパース推定は, 変数選択を実行するとともに, パラメータの不定性を排除する役割も有している. パラメータの推定値を求めるために, 座標降下法や交互方向乗数法に基づく計算アルゴリズムを導出している.

2 つ目はベイズモデリングに関する研究である. 線形回帰モデル, ロジスティック回帰モデル, 凸クラスタリングなどの統計モデルを想定し, 事前分布にスパース推定を誘発する確率分布を用いることにより, 新たなベイズモデリングの開発研究に取り組んでいる. 事前分布には Global-Local 縮小事前分布, 具体的には馬蹄分布, 正規-指数-ガンマ分布, ディリクレ-ラプラス分布などを用いている. パラメータの推定値を得るために, 確率分布の畳み込み表現である正規尺度混合の考えに基づいてギブスサンプリングアルゴリズムを構成している.

3 つ目はマルチタスク学習に関する研究である. マルチタスク学習とは, 回帰モデルの枠組みにおいて, 回帰係数がタスク毎に異なることを想定した統計手法である. 本研究では, タスク間の情報を共有するために, ネットワーク lasso 正則化法による方法を採用し, 組成データに対するモデリングや正則化項に含まれる調整パラメータの自動決定に関する研究を推し進めている. また, 凸クラスタリングを組み込んだ方法論, 外れ値タスクが存在するときのモデリング手法についても研究を進めている.

4 つ目は統計的因果推論に関する研究である. 統計的因果推論とは, 観測される二つの変数間に因果関係があるか否かをデータを用いて検証する統計手法である. 原因を表す暴露変数, 結果を表す結果変数, およびそれらに関係するその他の変数に各要因が分類され, 暴露変数・結果変数以外の変数をいかに統制できるかが, 因果推論研究の要となる. 本研究では, これらの変数の個数が多い状況を想定し, スパース推定を援用したモデリング手法を構築することにより, 高次元データに適用可能な因果推論モデルの開発研究を行っている.

最後にさまざまな分野におけるデータ解析研究も行っている. 既存の統計手法で解決できる場合は最適な手法で解析し, 解決できない場合は新たな方法論の開発に取り組んでいる.

B. 研究業績

1. Kojima, S., Yoshikawa, K., Ito, J., Nakagawa, S., Parrish, N. F., Horie, M., Kawano, S., Tomonaga, K., Virus-like insertions with sequence signatures similar to those of endogenous non-retroviral RNA viruses in the human genome. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, **118**(5), e2010758118, 2021 年 2 月.

2. Kawano, S., Sparse principal component regression via singular value decomposition approach. *Advances in Data Analysis and Classification*, **15**(3), 795–823, 2021 年 9 月.
3. Yoshikawa, K., Kawano, S., Multilinear common component analysis via Kronecker product representation. *Neural Computation*, **33**(10), 2853–2880, 2021 年 10 月.
4. 奥田忠久, 吉川剛平, 川野秀一, スパース部分的最小二乗回帰による因果媒介分析. 行動計量学, **49**(2), 185–196, 2022 年 9 月.
5. Okazaki, A., Kawano, S., Multi-task learning regression via convex clustering. *Computational Statistics & Data Analysis*, **195**, 107956, 2024 年 7 月.
6. Kato, A., Iwasaki, R., Takeshima, K., Maruzuru, Y., Koyanagi, N., Natsume, T., Kusano, H., Adachi, S., Kawano, S., Kawaguchi, Y., Identification of a novel neurovirulence factor encoded by the cryptic orphan gene UL31.6 of herpes simplex virus 1. *Journal of Virology*, **98**(7), e00747–24, 2024 年 7 月.
7. Oshiki, M., Yamaguchi, G., Takahashi, K., Okabe, S., Kawano, S., Nakagawa, J., Fukushima, T., Thermophilic dark fermentation for hydrogen and volatile fatty acids production from breadcrumbs. *Chemical Engineering Journal*, **501**, 157633, 2024 年 12 月.
8. Kakikawa, Y., Kawano, S., Bayesian fused lasso modeling for binary data. *Behaviormetrika*, **52**, 139–161, 2025 年 1 月.
9. Okazaki, A., Kawano, S., Multi-task learning via robust regularized clustering with non-convex group penalties. *Statistics and Computing*, **35**, 23, 2025 年 1 月.
10. Shimamura, K., Kawano, S., A Bayesian approach to multi-task learning with network lasso. *Bulletin of Informatics and Cybernetics*, **57**(1), 2025 年 3 月.

C. 講演

1. Okazaki, A., Kawano, S. “Multi-task learning regression via robust convex clustering”. 2024 Joint Statistical Meetings (2024JSM), Oregon Convention Center, 2024 年 8 月.
2. 岡崎彰良, Rui Luo, 川野秀一「Multi-task learning regression via adaptive smooth signal graph approach」. 2024 年度統計関連学会連合大会, 東京理科大学, 2024 年 9 月.
3. 吉田拓真, 桃木光輝, 川野秀一「クラスターデータに対する極値データの統合解析」. 2024 年度統計関連学会連合大会, 東京理科大学, 2024 年 9 月.
4. 岡崎彰良, Rui Luo, 川野秀一「Multi-task learning via adaptive smooth signal graph」. 日本計算機統計学会第 38 回シンポジウム, 岡山市立オリエント美術館, 2024 年 10 月.
5. 吉川剛平, 川野秀一「傾向スコア関数を用いた類似する処置の統合と因果効果推定」. 第 27 回情報論的学習理論ワークショップ (IBIS2024), ソニックシティ (さいたま), 2024 年 11 月. (ポスター発表)
6. 奥田忠久, 吉川剛平, 川野秀一, 田栗正隆「経路 lasso による共変量選択と平均処置効果の推定」. 2024 年度日本分類学会シンポジウム, 名古屋工業大学, 2024 年 11 月.
7. Oshiki, M., Yamaguchi, G., Takahashi, K., Okabe, S., Kawano, S., Nakagawa, J., Fukushima, T. “Hydrogen (H₂) and volatile fatty acids (VFA) production from bread wastes in thermophilic fermentation reaction”. The 14th International Symposium on Southeast Asian Water Environment (SEAW-14), Wyndham Grand Bangsar Kuala Lumpur, 2024 年 12 月.
8. 三宅純矢, 岡崎彰良, 川野秀一「非局所スラブ型事前分布に基づくベイズ的変数併合」. 第 19 回日本統計学会春季集会, 筑波大学, 2025 年 3 月. (ポスター発表)
9. 大住聡太, 岡崎彰良, 川野秀一「正則化法に基づく応答包絡モデルの変数選択問題」. 第 19 回日本統計学会春季集会, 筑波大学, 2025 年 3 月. (ポスター発表)

D. その他の研究活動

1. 統計ソフトウェア R のパッケージ作成

- (1) パッケージ SVaRu. 平滑化パラメータを自動決定するノンパラメトリック回帰モデルを計算する. また, モデル内の超調整パラメータを一般化情報量規準で求めることができる. URL: <https://github.com/ShuichiKawano/SVaRu>
- (2) パッケージ CSNL. スパースネットワーク lasso 正則化に基づく組成データに対するマルチタスク学習モデルを計算する. URL: <https://github.com/aokazaki255/CSNL>

- (3) パッケージ MTLRRC. ロバスト正則化クラスタリングに基づくマルチタスク学習モデルを計算する. URL: <https://github.com/aokazaki255/MTLRRC>
2. Behaviormetrika, Coordinating Editor.
 3. Bulletin of Informatics and Cybernetics, Editor-in-Chief.
 4. Japanese Journal of Statistics and Data Science, Associate Editor.
 5. 統計科学研究会, 委員長.
 6. 応用統計学会, 企画理事, 評議員.
 7. 日本行動計量学会, 運営委員会委員.
 8. 日本統計学会, 代議員.

岸本 大祐 (KISHIMOTO Daisuke)

A. 研究概要

空間に内在する代数構造と組み合わせ構造, そして, 組み合わせ的に構成される空間に関する以下の項目を代数トポロジーの視点から研究した.

1. 非コンパクト多様体の Morse 不等式
2. 有向グラフの基本群
3. 擬トーリック多様体上のループ構造
4. van Kampen-Flores の定理の一般化

B. 研究業績

1. D. Kishimoto and N. Oda, Monoids of self-maps of topological spherical space forms, Homology Homotopy Appl. **23** (2021), no. 2, 141-149.
2. D. Kishimoto and M. Takeda, Spaces of commuting elements in the classical groups, Adv. Math. **386** (2021), 107809.
3. K. Iriye and D. Kishimoto, Two-dimensional Golod complexes, Homology Homotopy Appl. **23** (2021), no. 2, 215-226.
4. D. Kishimoto, I. Membrillo-Solis, and S. Theriault, The homotopy types of $SO(4)$ -gauge groups, Eur. J. Math. **7** (2021), no. 3, 1245-1252.
5. D. Kishimoto and T. Matsushita, Relative phantom maps and rational homotopy, Proc. Amer. Math. Soc. **149** (2021), no. 9, 4029-4040.
5. D. Kishimoto, A. Ohsita, and M. Takeda, Note on Samelson products in exceptional Lie groups, Glasg. Math. J. **63** (2021), no. 3, 741-752.
6. D. Kishimoto, T. Matsushita, and R. Yoshise, Jacobi identity in polyhedral products, Topology Appl. **312** (2022), Paper No. 108079.
6. D. Kishimoto, M. Takeda, and Y. Tong, Homotopy commutativity in Hermitian symmetric spaces, Glasg. Math. J. **64** (2022), no. 3, 746-752.
7. S. Hasui, D. Kishimoto, and A. Kizu, The Stiefel-Whitney classes of moment-angle manifolds are trivial, Forum Math. **34** (2022), no. 6, 1463-1474.
8. D. Kishimoto and R. Levi, Polyhedral products over finite posets, Kyoto J. Math. **62** (2022), no. 3, 615-654.
9. T. Kato, D. Kishimoto, and M. Tsutaya, Homotopy type of the unitary group of the uniform Roe algebra on $\mathbb{Z}^n$, J. Topol. Anal. **15** (2023), no. 2, 495 – 512.
10. T. Kato, D. Kishimoto, and M. Tsutaya, Homotopy type of the space of finite propagation unitary operators on $\mathbb{Z}$, Homology Homotopy Appl. **25** (2023), no. 1, 375-400.

11. K. Iriye and D. Kishimoto, Golod and tight 3-manifolds, *Algebr. Geom. Topol.* **23** (2023), no. 5, 2191-2212.
12. M. Kameko, D. Kishimoto, and M. Takeda, Homotopy types of gauge groups over Riemann surfaces, *Algebr. Geom. Topol.* **23** (2023), no. 5, 2309-2327.
13. S. Hasui, D. Kishimoto, M. Takeda, and M. Tsutaya, Tverberg's theorem for cell complexes, *Bull. Lond. Math. Soc.* **55** (2023), no. 4, 1944-1956.
14. D. Kishimoto and S. Theriault, The mod- p homology of the classifying spaces of certain gauge groups, *Proc. Roy. Soc. Edinburgh Sect. A* **153** (2023) no. 6, 1805-1817.
15. D. Kishimoto and T. Matsushita, Van Kampen-Flores theorem for cell complexes, *Discrete Comput. Geom.* **71** (2024), no. 3, 1081-191.
16. D. Kishimoto, Y. Minowa, T. Miyauchi, and Y. Tong, Homotopy commutativity in symmetric spaces, *Bol. Soc. Mat. Mex.* **30** (2024), no. 2, Paper No. 42.
17. D. Kishimoto and M. Takeda, Torsion in the space of commuting elements in a Lie group, *Canad. J. Math.* **76** (2024), no. 3, 1033-1061.
17. T. Kato, D. Kishimoto, and M. Tsutaya, Hilbert bundles with ends, *J. Topol. Anal.* **16** (2024), no. 2, 291-322.
18. D. Kishimoto and Y. Minowa, A short elementary proof of Beben and Theriault's theorem on homotopy fibers, *Topology Appl.* **55** (2024), Paper No. 108998.
19. T. Kato, D. Kishimoto, and M. Tsutaya, Vector fields on non-compact manifolds, accepted by *Algebr. Geom. Topol.*
20. T. Kato, D. Kishimoto, and M. Tsutaya, Vector fields on non-compact manifolds, *Algebr. Geom. Topol.* **24** (2024), no. 7, 3985-3996.
21. D. Kishimoto, M. Takeda, and M. Tsutaya, The space of commuting elements in a Lie group and maps between classifying spaces, accepted by *Proc. Roy. Soc. Edinburgh Sect. A*.
22. D. Kishimoto and T. Matsushita, Van Kampen-Flores theorem and Stiefel-Whitney classes, accepted by *Proc. Amer. Math. Soc.*

C. 講演

1. Upper bounds for virtual dimensions of Seiberg-Witten moduli spaces, Kansai Gauge Theory Seminar (Kyoto University), online, February 2022.
2. Golod and tight 3-manifolds, Topology Seminar (Kyushu University), Fukuoka, May 2022.
3. Tverberg's theorem for cell complexes, New Trends in Transformation Group Theory, Kyoto, May 2022.
4. Golod and tight 3-manifolds, Topology Seminar (University of Aberdeen), Aberdeen, UK, September 2022.
5. Tverberg's theorem for cell complexes, Math and Biology Seminar (BIMSA), online, September 2022.
6. Golod and tight 3-manifolds, International Polyhedral Products Seminar (Princeton University), online, October 2022.
7. Golod and tight 3-manifolds, Homotopy Theory Symposium 2022, online, November 2022.
8. Golod and tight 3-manifolds, Advances in Homotopy Theory III, online, November 2022.
9. Vector fields on non-compact manifolds, Topology Seminar (Kyushu University) - Kansai Algebraic Topology Seminar, Fukuoka, May 2023.
10. Tverberg's theorem for cell complexes, Colloquium (Kyoto University), Kyoto, June 2023.
11. Torsion in the space of commuting elements in a Lie group, Iberoamerican and Pan Pacific International Conference on Topology and its Applications, Puebla, Mexico, September 2023.
12. Vector fields on non-compact manifolds, Homotopy Theory Symposium 2023, Osaka, November 2023.
13. The space of commuting elements in a Lie group and maps between classifying spaces, Algebraic Topology for Manifolds and Mapping Spaces, Okayama, November 2023.
14. Vector fields on non-compact manifolds, Transformation Group Theory Symposium, Nagasaki, December 2023.
15. Tight complexes are Golod, Fukuoka Homotopy Theory Seminar, Fukuoka, January 2024.

16. Tight complexes are Golod, Shinshu Topology Seminar - Kansai Algebraic Topology Seminar, Matsumoto, January 2024.
17. van Kampen-Flores theorem for cell complexes, Kansai Algebraic Topology Seminar, Fukuoka, March 2024.
18. Vector fields on noncompact manifolds, Topology, Representation Theory and Higher Structures, Isle of Skye, UK, June 2024.
19. Vector fields on noncompact manifolds, Advances in Homotopy Theory VI, online, June 2024.
20. Golod and tight manifold triangulations, Workshop on Polyhedral Products, Toronto, Canada, July 2024.
21. Morse inequalities for noncompact manifolds, Kansai Algebraic Topology Seminar, Special Workshop on the occasion of Atsushi Yamaguchi's 65th birthday, Tokyo, November 2024.
22. Morse inequalities for noncompact manifolds, Saga Souhatsu Mathematical Seminar, Saga, January 2025.
23. The fundamental group and the magnitude-path spectral sequence of a directed graph, One Day Workshop with Rachael Boyd on Algebraic Topology, Kyoto, January 2025.

D. その他の研究活動

以下の集会の世話人をした。

1. Homotopy Okinawa 2022, 30-31 July 2022, Okinawa.
2. Classifying Spaces in Algebraic Topology: in honour of Ran Levi's 60th Birthday, 5-9 September 2022, Edinburgh, UK.
3. Homotopy Okinawa 2023, 1-2 July 2023, Okinawa.
4. Iberoamerican and Pan Pacific International Conference on Topology and its Applications, 11-14 September 2023, Puebla, Mexico.
5. Fukuoka Homotopy Theory Seminar, 7-8 January 2024, Fukuoka.
6. Fukuoka Homotopy Theory Seminar, 11-12 January 2025, Fukuoka.

小林 真一 (KOBAYASHI Shinichi)

A. 研究概要

Beilinson-Bloch-Kato 予想 (BBK 予想) という L 関数の特殊と数論的不変量を結びつける整数論の予想の例を与える研究を行った。クレイ研究所のミレニアム問題になっている Birch and Swinnerton-Dyer 予想 (BSD 予想) もこの BBK 予想のほんの一例にすぎず, BBK 予想に関しては, 新しい例を一つでも示すことができれば大きな進歩とみなされる。ここ 5 年間で次の研究を行なった。1. 高次重さをもつ楕円型保型形式を虚二次体の反円分 Hecke 指標でひねった L -関数に関して, Coates-Wiles 型の定理を示し, その一般化してこの場合の岩澤主予想の半分の不等式を証明した。2. テキサス大学オースティン校の Ashay Burungale 氏と大阪大学の太田和椎氏と inert または ramified な場合の CM 楕円曲線の岩澤理論の共同研究を行い, 30 年以上未解決だった K. Rubin の予想を解決した。3. 2 の設定における p 進 L -関数の特殊値と楕円曲線の有理点を結びつける p 進 BSD 予想の特別な場合を証明した。4. 2 と同じ設定で, 加藤のイプシロン予想の別証明を与えた。5. 2 と同じ設定で, L -関数の特殊値の p 進付値を記述する公式を証明した。6. 2 と同じ設定で, Tate-Shafarevich 群の漸近的位数公式を証明した。7. Q_p の絶対ガロワ群の階数 2 の symplectic self-dual な p 進表現族に対して, その 1 次ガロワコホモロジーの局所符号分解を発見し証明した。これより Rubin 予想の ramified な素数への一般化や p -parity 予想の新しい場合の証明を得た。

B. 研究業績

1. K. Bannai, S. Kobayashi, S. Yasuda, The radius of convergence of the p -adic sigma function. Math. Z. 286 (2017), no. 1-2, 751–781.
2. Kazuto Ota, S. Kobayashi, Anticyclotomic main conjecture for modular forms and integral Perrin-Riou twists. In the proceedings of Iwasawa 2017.
3. 小林真一, 反円分拡大の岩澤理論と一般 Heegner サイクル, RIMS 別冊講究録, B77, 55–74.

4. K. Bannai, K. Hagihara, S. Kobayashi, K. Yamada, S. Yamamoto, S. Yasuda, Category of mixed plectic Hodge structures. *Asian J. Math.* 24 (2020), no. 1, 31–76.
5. 太田和椎, 小林真一, 楯円保型形式に対する反円分岩澤主予想, *RIMS 別冊講究録 B83*, 161–167. (2020)
6. A. Burungale, S. Kobayashi, K. Ota, Rubin’s conjecture on local units in the anticyclotomic tower at inert primes. *Annals of Mathematics* (2021), Vol. 194, Issue 3, 943–966.
7. S. Kobayashi, A p-adic interpolation of generalized Heegner cycles and integral Perrin-Riou twist I, *Annales mathématiques du Québec* (2022), Vol. 47, Special issues in honour of Bernadette Perrin-Riou, 73–116.
8. A. Burungale, S. Kobayashi, K. Ota, p-ADIC L-FUNCTIONS AND RATIONAL POINTS ON CM ELIPTIC CURVES AT INERT PRIME, *Journal of the Institute of Mathematics of Jussieu*, Published online by Cambridge University Press: 17 July 2023, pp. 1–44.
9. 加藤文元 編, 小林真一, 他, 数論入門事典, 朝倉書店, 2023.
10. A. Burungale, S. Kobayashi, K. Ota, S. Yasuda, Kato’s epsilon conjecture for anticyclotomic CM deformations at inert primes Ashay A. Burungale, Shinichi Kobayashi, Kazuto Ota, Seidai Yasuda *Journal of Number Theory*, Aug, 2024

C. 講演

1. Birch and Swinnerton-Dyer 予想と楯円曲線の岩澤理論, 九州大学数理談話会, IMI colloquium, 2019, (招待講演).
2. Birch and Swinnerton-Dyer 予想と反円分岩澤理論, 名古屋大学多元数理科学研究科談話会, 2019, (招待講演).
3. A p-adic interpolation of generalized Heegner cycles and integral Perrin-Riou twists, Number theory Seminar at California technology of Institute, 2019. (招待講演)
4. On p-divisibilities of Special values of the Hecke L-function of CM elliptic curves at inert primes, Online conference ”L-values and Iwasawa theory”, NCTS, Taiwan, Nov. 12, 2020 (招待講演)
5. 九州代数的整数論 2021 春 hybrid, March 8, 2021, (招待講演)
6. Arithmetic Geometry -Takeshi 60, September 7, 2021, (招待講演)
7. 非通常素点における CM 楯円曲線の反円分岩澤理論と p 進 Beilinson 公式, 6 月, 北陸数論セミナー (招待講演)
8. 非通常素点における CM 楯円曲線の反円分岩澤理論, 7 月, 京都大学数論合同セミナー (招待講演)
9. Rubin’s conjecture on local units in the anticyclotomic tower at inert primes, Elliptic curves and modular forms in arithmetic geometry, Milano, Italy, September, 2022 (招待講演)
10. The p-adic valuation of local resolvents and anticyclotomic Hecke L-values of imaginary quadratic fields at inert primes, Algebraic/Analytic aspects of L-functions, Inchon, Korea, January 2023 (招待講演)
11. The p-adic valuation of local resolvents and anticyclotomic Hecke L-values of imaginary quadratic fields at inert primes, Algebraic/Analytic aspects of L-functions, Seminar on Geometry and Arithmetic, UCSB, USA, January 2023 (招待講演)
11. Integral structures on p-adic Fourier theory, Number theory seminar, UT Austin, USA, February 2023 (招待講演)
12. Anticyclotomic CM Iwasawa theory at inert primes, Arithmetic of L-functions, Madrid, May 2023 (招待講演)
13. The p-adic valuation of local resolvents and anticyclotomic Hecke L-values of imaginary quadratic fields at inert primes, The fifth Japan-Taiwan Number theory conference, Taiwan, August 2023 (招待講演)
14. The p-adic valuation of local resolvents and anticyclotomic Hecke L-values of imaginary quadratic fields at inert prime, Vistas in Number Theory, Brin Mathematics Research Center, Maryland University, June 5, 2024. (招待講演)
15. A local sign decomposition for symplectic self-dual Galois representations, Kurihara 60, Keio University, July 23, 2024. (招待講演)
16. The p-adic Gross-Zagier formula and Iwasawa theory of elliptic curves, MPI-Oberseminar, at Max Planck Institute, Bonn, Sept.26, 2024. (招待講演)
17. A local sign decomposition for symplectic self-dual Galois representations, Number Theory Seminar at Max Planck Institute, Bonn, Oct.2, 2024.(招待講演)

18. ルートナンバーと岩澤理論, 代数的整数論とその周辺, RIMS, 2025 年 1 月 7 日 (招待講演) 19. Root Numbers and Iwasawa Theory, NCTS Number Theory Seminar, NCTS, Taiwan, 2025 年 2 月 19 日 (招待講演) 20. A local sign decomposition for symplectic self-dual Galois representations I, II. Tianyuan Mathematical Center in Southwest China, China, 2025 年 3 月 10 日 (招待講演)

D. その他の研究活動

1. Advanced Studies in pure mathematics, 日本数学会, 編集委員, 2017-.
2. Taiwan journal of mathematics, 台湾数学会, 編集委員, 2022.2-.
3. Research in Number Theory, Springer, 編集委員, 2022.2-.
4. 国際研究集会 Sendai Workshop on Hypergeometric Series, Mahler Measures, and Multiple Zeta Values, Tohoku University, 2019.
5. 代数学シンポジウム 2020, プログラム委員
6. 代数的整数論とその周辺 2020, プログラム委員
7. 代数的整数論とその周辺 2021, 代表
7. 日本数学会 代数学分科会 運営委員 2023.1-

笹平 裕史 (SASAHIRA Hirofumi)

A. 研究概要

Seiberg-Witten Floer 安定ホモトピー型という 3 次元多様体の不変量について研究した. Y を向きのついた閉 3 次元多様体とする. Y のリーマン計量と spin-c 構造を固定する. このとき, Seiberg-Witten 方程式と呼ばれる楕円型の偏微分方程式が Y と $Y \times \mathbf{R}$ 上に考えられる. これらの方程式は, 次のように (形式的には) 無限次元力学系を与えると考えることができる. Chern-Simons-Dirac 汎関数 と呼ばれる無限次元多様体上の関数 $CSD : \mathcal{B} \rightarrow \mathbf{R}$ (または S^1) があり, Y 上の Seiberg-Witten 方程式の解は CSD の臨界点に対応し, $Y \times \mathbf{R}$ 上の Seiberg-Witten 方程式の解は CSD の勾配流に沿った軌道に対応する. Seiberg-Witten 方程式は, (形式的に) $\mathcal{B}$ 上の力学系を与える.

Kronheimer-Mrowka は, この無限次元力学系の Morse ホモロジーを考えることによって, Y の Seiberg-Witten Floer ホモロジー $HM(Y)$ を定義した. つまり (適当に CSD を摂動して) CSD の臨界点によって生成される加群 $C_*(Y)$ (次数の定義は省略) に, 2 つの臨界点の間の勾配流に沿った軌道の個数を数えることによって, $\partial : C_*(Y) \rightarrow C_{*-1}(Y)$ が定義される. さらに, $\partial \circ \partial = 0$ を証明することができる. そのホモロジーが Seiberg-Witten Floer ホモロジー $HM_*(Y)$ である. Seiberg-Witten Floer ホモロジーは様々な重要な応用を持つ.

Floer ホモロジーは, Seiberg-Witten 理論のみならず, インスタントン方程式やシンプレクティック幾何学においても定義され, それぞれ重要な不変量となっている. Cohen-Jones-Segal は Floer ホモロジーを精密化する Floer ホモトピー型を提唱した. それは, 位相空間の (安定) ホモトピー型として定義され, その特異ホモロジーを取ると Floer ホモロジーを再現するというものである.

Floer ホモトピー型を構成するには様々な困難があるが, Manolescu は Seiberg-Witten 理論において, $b_1(Y) = 0$ である 3 次元多様体に対して, Floer ホモトピー型を構成した. その方法は, Seiberg-Witten 方程式により定義される無限次元多様体 $\mathcal{B}$ 上の力学系を, 有限次元して得られる有限次元力学系に対して, Conley の理論を適用するものであった. $b_1(X) > 0$ の場合には, 著者と Khandhawit, Lin との共同研究や著者と Stoffregen との共同研究によって構成を拡張した.

Seiberg-Witten Floer 安定ホモトピー型の計算は難しく, $b_1 = 0$ の非常に特殊なザイフェルトファイバー空間にしか計算されていなかった. 2023 年度は, Dai や Stoffregen との共同研究として, より広いクラスの 3 次元多様体に対する計算を行った. $b_1 = 0$ の任意のザイフェルトファイバー空間を含む広いクラスの 3 次元多様体に対して, 実際に計算をすることができた. その結果はプレプリントとして公表した. 今後は $b_1 > 0$ の 3 次元多様体に対して, 計算を実行することを目指している.

また, 今野氏と族の 3 次元多様体に対する Seiberg-Witten Floer 安定ホモトピー型の応用に関する共同研究を行った. 現在, 論文を執筆しているところである.

サイエンス社から、「サイバーク-ウィッテン方程式」という題の本を出版した。

今年度は“Geometry and Topology 2024”と“East Asian Conference on Gauge Theory and Related topics 2”の二つの研究集会を組織委員として開催した。

B. 研究業績

1. T. Kato, H. Sasahira, H. Wang, *Twisted Donaldson invariants*, Math. Proc. Cambridge Philos. Soc. 171 (2021), no. 3, 515–568.
DOI: <https://doi.org/10.1017/S0305004121000013>
2. T. Khandhawit, J. Lin, H. Sasahira, *Unfolded Seiberg-Witten Floer spectra, II: Relative invariants and the gluing theorem*, Journal of Differential Geometry, 124, (2023), 231–316.
3. I. Dai, H. Sasahira, M. Stoffregen, *Lattice homology and Seiberg-Witten-Floer spectra*, preprint. arXiv:2309.01253.
4. 笹平 裕史, サイバーク-ウィッテン方程式, ホモトピー論的手法を中心に, SGC ライブラリ 189, サイエンス社, 2024 年.
5. H. Sasahira, M. Stoffregen, *Seiberg-Witten Floer spectra for $b_1 > 0$* , the Memoirs of the European Mathematical Society, vol. 17, 2025.

C. 講演

1. Twisted Donaldson invariants, Spring Operator Algebra Program, East China Normal University, 2018 年 4 月.
2. Survey of basic Nahm transform, 関西ゲージ理論セミナー, 京都大学, 2018 年 5 月.
3. Seiberg-Witten 方程式とトポロジー, 談話会, 九州大学, 2018 年 5 月 24 日.
4. ゲージ理論と非可換非幾何学, Year-End workshop on geometry, topology and related topics in Kagoshima, 鹿児島大学, 2018 年 12 月.
5. The Seiberg-Witten equations and topology, Geometry, Topology and Dynamics seminar, OIST, 2019 年 1 月.
6. Seiberg-Witten-Floer 安定ホモトピー型, 幾何学シンポジウム, 名古屋大学, 2019 年 8 月.
7. Seiberg-Witten-Floer stable homotopy type for 3-manifolds with positive first Betti number, 第 1 回日独友好幾何学研究集会, 中央大学, 2019 年 9 月.
8. 第一 Betti 数が正の 3 次元多様体の Seiberg-Witten-Floer 安定ホモトピー型とトポロジーへの応用研究集会 “4 次元トポロジー” (zoom), 2020 年 11 月.
9. Freed-Uhlenbeck の第 10 章 の解説, 研究集会 “微分トポロジー” (zoom), 2021 年 2 月.
10. Seiberg-Witten Floer stable homotopy type and its applications to Corks and the intersection forms of 4-manifolds, 研究集会 “変換群論の新潮流”, 京都大学, 2022 年 5 月
11. Surgery exact triangle for Seiberg-Witten Floer stable homotopy type, 研究集会 “Gauge theory in Kyoto”, 京都大学, 2023 年 3 月

D. その他の研究活動

1. 2021 年度 日本数学会九州地区 評議委員
2. 研究集会 “Geometry and Topology” の組織委員, 九州大学, 2023 年 6 月 28 日–30 日.
3. 研究集会 “Geometry and Topology 2024” の組織委員, 九州大学, 2024 年 10 月 16 日–18 日
4. 研究集会 “East Asian Conference on Gauge theory and Related topics II”, 奈良県コンベンションセンター, 2024 年 12 月 17 日–20 日

瀬片 純市 (SEGATA Jun-ichi)

A. 研究概要

非線形分散型及び双曲型偏微分方程式の解の長時間挙動を, 散乱およびソリトンという観点から解明している.

(1) ポテンシャルのついた非線形 Schrödinger 方程式の解の長時間挙動について研究を行った. 論文 [8] では, 空間 3 次元において線形ポテンシャルおよび 3 次のべき乗型非線形項をもつ非線形シュレディンガー方程式 (NLS) の解のダイナミクスを, 対応するシュレディンガー作用素が負の固有値を 1 つもつ場合に考察した. この場合, 負の固有値から小さな基底状態が分岐するとともに, ポテンシャルのない NLS の基底状態の摂動として第一励起状態も現れる. 本研究では質量が小さく第一励起状態のエネルギーよりも小さいエネルギーを持つ解について, 時間大域挙動が散乱と (有限または無限時間) 爆発の 2 種類に分類されることを解明した.

(2) gauge 不変な非線形項をもつ Klein-Gordon 方程式の解の長時間挙動について研究を行なった. 非線形項のべきが $1 + 2/d$ (d は空間次元) の時には, この方程式は長距離型, つまり解は時刻無限大で線形 Klein-Gordon 方程式の解に散乱しないことが知られている. 論文 [1] では空間次元が 2 で非線形項のべきが 2 の場合に修正波動作用素を構成した. また, 論文 [2] では同じく長距離型である空間次元が 1 で非線形項のべきが 3 の場合に初期値問題について考察した. これまでは解の減衰評価のみが得られていたが, 解の時刻無限大での詳細な挙動を, 解の漸近形がみたす常微分方程式を精密に解析することにより捉える事ができた. さらに論文 [3] では, 1 次元で 3 次の非線形項をもつ Klein-Gordon 方程式の連立系について考察し, スカラーの場合に現れなかった興味深い挙動を持つ解を捉えることができた. この方法は非線形 Schrödinger 方程式の連立系にも応用可能である (論文 [4,7]).

B. 研究業績

1. Satoshi Masaki, Jun-ichi Segata and Kota Uriya, *Long range scattering for the complex-valued Klein-Gordon equation with quadratic nonlinearity in two dimensions*, Journal de Mathématiques Pures et Appliquées. **139** (2020), 177–203.
2. Jun-ichi Segata, *Asymptotic behavior in time of solutions to complex valued nonlinear Klein-Gordon equation in one space dimension*, Hokkaido Mathematical Journal **50** (2021) 187–205.
3. Satoshi Masaki, Jun-ichi Segata, Kota Uriya, *On asymptotic behavior of solutions to cubic nonlinear Klein-Gordon systems in one space dimension*, Transactions of the American Mathematical Society, Ser. B **9** (2022), 517–563.
4. Naoyasu Kita, Satoshi Masaki, Jun-ichi Segata, and Kota Uriya, *Polynomial deceleration for a system of cubic nonlinear Schrödinger equations in one space dimension*, Nonlinear Analysis **230** (2023), Paper No. 113216.
5. Satoshi Masaki, Jason Murphy, and Jun-ichi Segata, *Asymptotic stability of solitary waves for the 1d NLS with an attractive delta potential*, Discrete and Continuous Dynamical Systems **43** (2023), 2137–2185.
6. Priyanjana M.N. Dharmawardane, Shuichi Kawashima, Takayoshi Ogawa, and Jun-ichi Segata, *Linear decay property for the hyperbolic-parabolic coupled systems of thermoviscoelasticity*, Journal of Hyperbolic Differential Equations **20** (2023) 967–986.
7. Satoshi Masaki, Jun-ichi Segata, and Kota Uriya, *Asymptotic behavior in time of solution to system of cubic nonlinear Schrödinger equations in one space dimension*, S. Machihara (ed.), Mathematical Physics and Its Interactions, Springer Proceedings in Mathematics & Statistics **451** (2024) 119–180.
8. Satoshi Masaki, Jason Murphy, and Jun-ichi Segata, *Global dynamics below excited solitons for the non-radial NLS with potential*, Indiana University Mathematics Journal **73**, no.3 (2024) 1097–1205.
9. Jun-ichi Segata, *Scattering for quantum Zakharov system in two space dimensions*, Proceedings of the American Mathematical Society **152** (2024) 3367–3379.

C. 講演

1. Scattering problem for the generalized Korteweg-de Vries equation, Geometric PDE and Applied Analysis Seminar, OIST (沖縄科学技術大学院大学), 沖縄県国頭郡恩納村, 2024 年 10/24.
2. Scattering problem for the generalized Korteweg-de Vries equation, RIMS 研究集会 Evolution Equations and Related Topics -Quantitative Analysis and Abstract Structures-, 京都大学益川ホール, 京都市, 2024 年 10/28-10/30.
3. Scattering problem for the generalized Korteweg-de Vries equation, PDE Seminar at KAIST, Korea Advanced Institute of Science and Technology (KAIST), Korea, 2024 年 12/19.

D. その他の研究活動

[研究集会の主催]

1. 第 42 回九州における偏微分方程式研究集会, 九州大学 西新プラザ, 福岡市, 2025 年 1 月 27 日-1 月 29 日.
2. 第 18 回若手のための偏微分方程式と数学解析, 九州大学 西新プラザ, 福岡市, 2025 年 2 月 20 日-21 日.

辻井 正人 (TSUJII Masato)

A. 研究概要

カオス的な力学系の統計的 (エルゴード的) 性質に関する性質を探究している。この数年はアノソフ微分同相などの双曲的離散力学系、アノソフ流などの双曲的な流れ、さらにその一般化として部分双曲的力学系についての研究を行ってきた。方法としては、これまで一般に使われてきた微分位相幾何学や微分エルゴード理論の方法に加えて、フーリエ解析や準古典解析の手法を取り入れてきた。今後はこれらの経験を生かして、高次元の力学系の統計的な性質について挑戦したいと考えている。

私の近年の研究成果の中で特に興味深いと思われるのは、測地流やその転送作用素は完全に古典力学の対象であるにもかかわらず、その解析は (量子力学を対象とする) 準古典解析の手法が有効に用いられることである。さらに、単に手法のみならず、古典力学の離散的スペクトルの中に量子的スペクトル (多様体のラプラス作用素のスペクトル) の類似物が現れるということを発見した。 (下記の論文 [6,10]) これはカオス的な古典力学系の中に量子力学の類似物が実現されているということを意味し、「量子カオス」と呼ばれるカオス的な古典系を古典極限として持つ量子系の性質を調べる研究分野において重要な発見になると考えている。

5 年ほど前からアノソフ流の指数混合性の問題に興味を持ち、上記の研究とは別に研究を続けてきた。1 つの成果は論文 [8] にまとめた、3 次元体積保存アノソフ流が生成的な条件の下で指数混合的であるという結果で、これは日本数学会の学術雑誌「Journal of Japan Mathematical Society」において 2018 年の論文賞をいただいた。その後、当時 Princeton にいた Z. Zhang 氏と議論してその応用として「アノソフ流は混合的であれば指数混合的であろう」という Bowen-Ruelle 予想を肯定的に解決することに成功し、論文 [7] として発表した。また、「力学系の超局所解析」なるものを構想して研究を進め、応用として論文 [1,2] を発表した。

2024 年度は 3 次元部分双曲力学系における Palis 予想 (ジェネリックな条件の下で有限個のエルゴード的アトラクターの基本系が存在する) に向けて予備的な考察を進めた。2025 年度前期はサバティカルを取り、その期間で集中的に研究を進めることで予想の証明を目指す。

B. 研究業績

1. Tsujii, Masato; Hiroki Takahasi; *Polynomial rate of mixing for the heterochaos baker maps with mostly neutral center*, preprint, arXiv:2408.16618
2. Tsujii, Masato; *Virtually expanding dynamics*, Kyushu Journal of Mathematics, **77-2** (2023), 291-298, arXiv:2203.16103.
3. Tsujii, Masato; Zhang, Zhiyuan; *On bifurcation of statistical properties of partially hyperbolic endomorphisms*, Ergodic Theory and Dynamical Systems, **44-3** (2024), 933-944, arXiv:2203.15240.
4. Tsujii, Masato; Zhang, Zhiyuan; *Smooth mixing Anosov flows in dimension three are exponential mixing*, Ann. of Math. (2) **197**(2023), no.1, 65-158. arXiv:2006.04293
5. Tsujii, Masato; Kalle, Carlene; Mátache, Valentin; Verbitskiy, Evgeny; *Invariant densities for random continued fractions*, Journal of Mathematical Analysis and Applications, Vol. 512-2, (2022)
6. Tsujii, Masato; Faure, Frederic; *Micro-local analysis of contact Anosov flows and band structure of the Ruelle spectrum*, Communications of American Mathematical Society 4 (2024), 641-745, arXiv:2102.11196
7. Tsujii, Masato; Faure, Frederic; *Fractal Weyl law for the Ruelle spectrum of Anosov flows*, Ann. H. Lebesgue **6**, (2023), 331-426. arXiv:1706.09307
8. Tsujii, Masato; *Exponential mixing for generic volume-preserving Anosov flows in dimension three*, Journal of the Mathematical Society of Japan, Vol. 70, No.2 (2018), 757-821. arXiv:1601.00063
9. Tsujii, Masato; Takahasi, Hiroki; *Existence of large deviation rate function for any S -unimodal map*, preprint, arXiv:1908.07716

10. Faure, Frédéric ; Tsujii, Masato, *The semiclassical zeta function for geodesic flows on negatively curved manifolds*, *Inventiones Mathematicae* **208** (2017), 851-998

C. 講演

1. *Virtually expanding dynamics*, 2023 年 5 月 31 日 16:30-17:30 at the Workshop “Analytic Techniques in Dynamics and Geometry”, at SwissMap research station at Les Diablerets, Swiss
2. *Virtually expanding dynamics*, 2023 年 3 月 6 日 15:00-15:40 (International workshop on Ergodic theory, Dynamical systems and Climate sciences, 2023 年 3 月 6 日-10 日)
3. *On bifurcation of statistical properties of partially hyperbolic endomorphisms*, 2023 年 1 月 6 日 15:00-15:50 (2022 年度冬の力学系研究集会、2023 年 1 月 6 日-9 日)
4. *3-dimensional Anosov flows*, ”Spring School on Transfer operators (Classical and Modern Techniques)”, March 26-30 2021, at CIB, Lausanne, Switzerland
5. *Large deviations principle for S -unimodal maps*, 2019 年 11 月 25 日 9:00-10:00, French-Japanese workshop “Real and Complex Dynamics of Henon’s maps” (Observatoire de Paris and IHP, Nov 25-29 2019)
6. *Expanding semi-flows*, 2019 年 10 月 9 日～11 日, 4 lectures (90 minutes) at The 2019 Fall program of Low-dimensional dynamics. Shanghai center for Mathematical Science, Shanghai)
7. *Cohomological theory of the semi-classical zeta functions*, 2019 年 9 月 16 日 10:00-10:40 (DEA, Krakow, Poland, 2019 年 9 月 16-20 日)
8. 力学系の半古典ゼータ関数, 2019 年 8 月 27 日 9:30 - 10:30, 第 6 6 回幾何学シンポジウム 基調講演 (2019 年 8 月 26 日～29 日, 名古屋大学)
9. *Micro-local methods in hyperbolic dynamics* (Lectures in Summer School at CIRM, “Thermodynamic Formalism: Applications to Probability, Geometry and Fractals”, 2019 年 7 月 1 日～5 日 (CIRM, Marseille, France)

D. その他の研究活動

特になし。

中村 健太郎 (NAKAMURA Kentaro)

A. 研究概要

大域体及び局所体の p 進ガロア表現について、主に岩澤理論的な側面から研究をしている。ここ 5 年間では次の研究を行なった。1. Chan-Ho Kim 氏との共同研究で、 p で加法的還元を持つ有理数体上の楕円曲線に対して、モジュラーシンボルの法 p 的な性質を用いて定義される栗原数と呼ばれる数の非ゼロ性が、加藤和也氏の定式化した岩澤主予想を導くことを示した。2. 石田哲也氏との共同研究で、ドラム (φ, Γ) 加群の円分変形の局所イプシロン予想が、ドラム (φ, Γ) 加群に付随する p 進微分方程式に対する局所イプシロン予想と同値であるという定理を証明した。この定理は、従来クリスタリン表現の場合に知られていた Perrin-Riou 写像及びその補間法則の、一般のドラム (φ, Γ) 加群に対する一般化かつ精密化にあたる結果である。3. 保型形式に付随する階数 2 の p 進ガロア表現に対して加藤和也氏が構成したゼータ元を、階数 2 の p 進ガロア表現の普遍族に対して拡張した。これを用いて、法 p 還元で合同となる 2 つの保型形式に対して、互いのゼータ元の間にも合同関係が存在することを示した。さらに、ゼータ元の合同関係を用いることで、ゼータ元が法 p 還元で消えていないという仮定のもと、ある保型形式に対する岩澤主予想の成立はそれと合同な保型形式に対する同予想の成立と同値であるという定理を示した。この同値性によって特に、 p で非超尖点的な保型形式に対する既知の岩澤主予想 (Skinner-Urban, Wan など) から、 p で超尖点的な保型形式に対する未知の同予想を導くことができる。

B. 研究業績

1. K. Nakamura, ゼータ元の合同と岩澤主予想への応用について, RIMS Kokyuroku Bessatsu Algebraic Number Theory and Related Topics 2020.
2. Chan-Ho Kim, K. Nakamura, Coleman-Mazur 固有値曲線上の p 進 L 関数の構成, RIMS Kokyuroku Bessatsu Algebraic Number Theory and Related Topics 2022.

3. Chan-Ho Kim, K. Nakamura, Remarks on Kato's Euler systems for elliptic curves with additive reduction, Journal of Number Theory, 210, (2020), 248-279.
4. K. Nakamura, Zeta morphisms for rank two universal deformations, Invent. Math. Vol 234 (2023), 171-290.
5. T. Ishida, K. Nakamura, Local epsilon conjecture and p -adic differential equations, Doc. Math. 29 (2024), 1125-1156.

C. 講演

1. $GL_2/\mathbb{Q}$ の p 進 Langlands 対応と岩澤主予想, 集中講義, 東京大学, 2019 年 11 月.
2. Congruences of zeta elements and its application to Iwasawa main conjecture 1,2,3,4, Number Theory seminar, KIAS(ソウル), 2020 年 11 月.
3. ゼータ元の合同と岩澤主予想への応用, 代数的整数論とその周辺, RIMS., 2020 年 12 月.
4. Zeta morphisms for rank two universal deformations, 保型形式, 保型表現, ガロア表現とその周辺, RIMS, 2021 年 1 月.
5. p 進ラングランズ対応と岩澤主予想について, 集中講義, 慶應義塾大学, 2021 年 10 月.
6. p 進 Langlands 対応と岩澤主予想について, 集中講義, 大阪大学, 2022 年 5 月.
7. Coleman-Mazur 固有曲線上の p 進 L 関数, 代数セミナー, 慶應義塾大学, 2022 年 8 月.
8. Coleman-Mazur 固有曲線上の p 進 L 関数, 代数的整数論とその周辺, RIMS, 2022 年 11 月.
9. Construction of p -adic L -functions over the Coleman-Mazur eigencurve, Algebraic and Analytic Aspects of L -functions, Sheraton Grand Incheon Hotel (UNIST), 2023 年 1 月.
10. Zeta morphisms for rank two universal deformations, Shimura Varieties and L -functions (Shouwu Zhang 60th), MSRI. 2023 年 3 月.
11. 階数 2 の p 進ガロア表現の岩澤理論について, 第 27 回代数学賞受賞特別講演, 大阪公立大学, 2024 年 3 月.
12. Local epsilon conjecture and p -adic differential equations, PAN Asia Number Theory Conference, VIASM(ハノイ), 2024 年 7 月.
13. Local sign decomposition for symplectic self-dual Galois representations, Workshop on Shimura varieties, representation theory and related topics 2024, 東京大学, 2024 年 10 月.
14. 階数 2 の p 進ガロア表現に対する岩澤主予想, 数理談話会, 九州大学, 2024 年 10 月.
15. 階数 2 の p 進ガロア表現に対する岩澤主予想, 談話会, 京都大学, 2024 年 11 月.
16. p 進ガロア表現の局所岩澤理論について, 集中講義, 京都大学, 2024 年 11 月.
17. A local sign decomposition for symplectic self-dual Galois representations, 代数学セミナー, 九州大学, 2024 年 12 月.
18. $GL_2(\mathbb{Q}_p)$ の p 進 Langlands 対応と岩澤主予想, 整数論セミナー (連続講演), 北海道大学, 2025 年 3 月.
19. A local sign decomposition for symplectic self-dual Galois representations II, Number Theory Seminar, Sichuan University(四川), 2025 年 3 月.

D. その他の研究活動

1. 2024 年度日本数学会九州地区代議員.
2. RIMS 研究集会「代数的整数論とその周辺 2024」研究副代表

原 隆 (HARA Takashi)

A. 研究概要

主な研究テーマは数理物理学, 特に相転移・臨界現象の厳密理論と構成的場の理論. またこれらに関する確率論のモデルの解析. さらに最近では, 量子統計力学の基礎についても研究している.

(1) 統計力学の基礎付けに関する研究

統計力学の基礎付けについては、未だに満足の行く理論がない。「等重率の原理」などの ad hoc な仮定を入れての（平衡）統計力学の定式化は完成されており、その有効性も日々、膨大な研究によって確かめられている。この意味で、物理の理論としての（平衡）統計力学の定式化とその有効性には全く揺るぎがない。

ところが、この世の中が量子力学で記述されている以上、付加的な仮定を入れなくとも熱力学的・統計力学的現象が説明できて良いはずである。しかし現在の統計力学の定式化はそうにはなっておらず、新たな仮定（例：等重率の原理）を導入して話が進められている。さらに世の中には非平衡状態もたくさん存在するが（我々が生きている事自身が非平衡状態の例である）、現在の統計力学での非平衡状態の扱いは未だに不満足である。

このような疑問に答えたい、というのがこの研究の（遠大な）テーマで、この 10 年は特に、緩和時間の問題について考察してきた。緩和時間の問題とは、「我々が日常見るように、かなりの系はオーダー 1 の緩和時間で緩和するが、この程度の緩和時間を理論的に導出することが異常に難しい」問題である。「宇宙の年齢よりもはるかに長い時間待てば緩和する」ことは割合簡単に示せるが、それより小さい時間スケールを出すのが本当に難しい。2013 年度は特に、「典型的」な「非平衡部分空間」に関する緩和時間を考察し、それなりの成果を得た。ただし、「典型的」な非平衡部分空間というのが非物理的な仮定であるため、これだけでは非常に不満足な結果である。そのため、より正しい物理系を考察すべく、2014~2024 年度は「典型的」でない場合（こちらが物理的意味がある）を研究した。

すでに 10 年以上考えているテーマであるが、進展は遅い。ただ、以前に比べれば、物事がかなり見えるようにはなってきた。少なくとも、「何が起きているのか」は数値計算の援用なども含め、だんだんとはっきりしつつあるし、だんだんと色々な見方ができる（かつ、それらの関係がわかる）ようになって来た。そこそこ成果は溜まっているので、そろそろまとめるべきだと思っているが、決定的な結果が出そうで出ないため、どうも踏ん切りがつかない。このような状態で 2024 年度も終わってしまった。（このままでは終われないので、早期にまとめることを計画している。）

(2) くりこみ群を用いた臨界現象の研究

スピン系の、特に低温相での臨界現象をくりこみ群を用いて厳密に解明することが目標である。こちらまかなり物事が見えるようになってきている。

以下の (3) については、活動は行ったが、進展がほとんどなかったもので、題目だけを述べる。

(3) レース展開を用いた臨界現象の研究

B. 研究業績

1. Sheldon Goldstein, Takashi Hara, and Hal Tasaki: Extremely quick thermalization in a macroscopic quantum system for a typical nonequilibrium subspace. *New J. Phys.* **17** (2015) 045002
2. Sheldon Goldstein, Takashi Hara, and Hal Tasaki: The approach to equilibrium in a macroscopic quantum system for a typical nonequilibrium subspace. Preprint, arXiv:1402.3380
3. 田崎晴明&原隆「相転移と臨界現象の数理」（共立出版、2015）
4. 原隆「構成的場の理論 — 古典的な問題の紹介」 in 「数理物理の最前線 量子場の数理」（数学書房、2016; 新井朝雄，河東泰之，廣島文生との共著；緒方芳子，小島泉，河東泰之編）
5. なお、これは「研究」業績ではないが、このところ Aizenman と Diminil-Copin によって大きな進展があった「Ising 模型と ϕ^4 模型の triviality」についての解説記事を「数学セミナー」に書き（数学セミナー 2023 年 1 月号）、同時に 4 回の連続セミナーで詳しく解説した。また、臨界現象やくりこみ群などについて、「数理科学」にも解説記事を書いた。

C. 講演

D. その他の研究活動

2018 年の秋、短期ながら Cambridge と Princeton を訪れ、大変良い刺激を得ることができた。また 2023 年の 12 月にはシンガポール国立大に 3 週間滞在して研究集会に参加し、各国からの参加者と密に交流できた。

A. 研究概要

2024 年 6 月にアキレス腱を断裂し手術を受けてから、加速度的に論文を書く速度がはやくなった。また、30 年以上解けなかったスケーリング極限の問題が最近解けたことは特筆に値する。この 5 年間は、(1) スケーリング極限、(2) 量子 Rabi 模型のスペクトルゼータ関数、(3) 時間作用素と正準交換関係の表現論、(4) Wigner 測度による準古典近似、(5) 格子上の Schrödinger 作用素、(6) 基底状態の空間局所性などを研究してきた。

(1) プレプリント [5] で PF 模型のスケーリング極限を求めた。この問題に、初めて遭遇したのが 1990 年の夏なので解決までに随分時間がかかってしまった。生成子に無限大に発散するくりこみ項をもつ熱半群の一樣バウンドを示す部分が難解だったが、GW 直前に学研都市駅から電車に乗る直前に気がつき解けた。ちょっと信じられなかった。

(2) ラビ模型のスペクトルゼータ関数の漸近極限を論文 [10] で示した。また、非可換調和振動子と 2p ラビ模型の関係を論文 [9] で示した。論文 [10] はシンガポール国立大滞在中から書き始め、論文 [9] はアキレス腱断裂で入院中に病床で執筆した。

(3) 調和振動子の時間作用素の性質を徹底的に研究した。特に、論文 [5] で角作用素と Galapon 作用素の関係を明らかにした。また、プレプリント [3,4] でフォック表現上で相互の関係を明らかにした。現在、時間作用素の存在を実験で明らかにしようと考えている。この研究課題が今年度の科研費の基盤研究 A に採択された。

(4) 論文 [7] では Wigner 測度の概念を利用して場の量子論における準古典近似から Newton-Maxwell 方程式を導いた。現在書籍 (Springer から出版予定) を執筆中である。また、この研究の延長線上の課題が RIMS の 2026 年の訪問型滞在研究に採択された。

(5) 論文 [1,8] で離散的な Schrödinger 作用素の埋蔵固有値の存在非存在を調べた。特にデルタポテンシャルが複数ある場合のスペクトル解析を行なった。2022 年に共同研究者に誘われてサマルカンド大学に滞在した。

(6) 論文 [4] でくりこまれた Nelson 模型の基底状態の存在とギブス測度の存在を示し、それを応用して、基底状態の存在と局所性を考察した。これは Nelson 模型の基底状態の研究に関する最良の結果だと自負している。プレプリント [1] ではくりこまれた Nelson 模型の空間的減衰性を Agmon 距離を使って下から評価した。共同研究者の Oliver くんが最後のピースを証明してくれた。当初 80 ページ以上あった論文が最終的に 20 ページ以下になった。また、プレプリント [2] では平行移動不変な場合の半群の正値改良性を示した。全運動量がゼロのときは 2007 年に示していたが、この論文では非零の場合も証明した。共同研究者の Benjamin くんが相対論的な場合まで拡張した。

プレプリント

1. Two-sided bounds on the point-wise spatial decay of ground states in the renormalized Nelson model with confining potentials,(with O.Matte),
arXiv:2501.10704.

2. On the ergodicity of renormalized translation invariant Nelson-type semigroups (with B.Hinrichs),arXiv:2412.09708.

3. Conjugate operators of 1D harmonic oscillator (with N.Teranishi),
arXiv:2404.12286.

4. Self-adjointness of unbounded time operator (with N.Teranishi),
arxiv:2405.02851.

5. Weak coupling limit of the Pauli-Fierz Hamiltonian,in preparation.

B. 研究業績

1. Threshold of discrete Schrödinger operators with delta potentials on n -dimensional lattice(with Z.Muminov,etc),Linear and Multilinear Algebra,published online (2020).

2. Functional central limit theorem and $P(\phi)_1$ -process in quantum field theory (with S.Gheryani,etc), Math.Phys.,Anal.and Geom.23(2020),30pages.

3. Spectrum of semi-relativistic Pauli-Fierz Hamiltonian II (with T.Hidaka and I.Sasaki),J.Spectral Theory 11 (2021),1779-1830.

4. Ground states and their associated Gibbs measures in the renormalized nelson model (with O.Matte), Rev.Math.Phys.34 (2022),84pages.

5. Time operators of harmonic oscillator and its representations (with N.Teranishi) J.Math.Phys.65,042105 (2024).
6. Representations of Pauli-Fierz type models by path measures,to appear in Proceedings of the workshop "Mathematical Physics and its Interactions" 2024,111pages.
7. From the quantum to the classical electrodynamics of charges and fields, (with Z.Ammari and M.Falconi),to appear in Annales de l'institut Fourier.
8. On the spectrum of discrete Schroedinger operator of a rank-two perturbation on $\mathbb{Z}$ (with Sh.U.Alladustov,etc),Lobachevski J.Math.45,4639-4643 (2024)
9. Fiber decomposition of non-commutative harmonic oscillators by two-photon quantum Rabi models (with T.Shirai),J.Math.Phys.66,No.032101,31 pp (2025)
10. Spectral zeta function and ground state of quantum Rabi model (with T.Shirai), J.Funct.Anal.289,No.110901,57 pp (2025)

C. 講演

1. NAKAMURA60 (学習院大),2020/2.
2. Rennes I univ. 集中講義 (France),2020/3 コロナ禍で延期.
3. Scattering,microlocal analysis and renormalisation (Mittag-Leffler Institute),2020/6 (online).
4. 日本数学会, 函数解析分科会特別講演 (2019 解析学賞受賞講演),2020/9.
5. 国際ワークショップ講師 (早稲田大),2022/7.
6. A quantum two-day meeting with Green talks,Green functions,and threshold behavior (Denmark),2022/4.
7. Open Japanese-German conference on stochastic analysis and applications (Munster Univ.),2022/8.
8. The 43-rd International Conference on Quantum Probability and Infinite Dimensional Analysis (麗水),2023/1.
9. Hausdorff School for Mathematics の summer school の講師 (HCM),2023/7.
10. Mathematical Physics in the heart of Germany (Paderborn Univ.),2023/7.
11. ICIAM Tokyo(早稲田大),2023/8.
12. Random Interacting Systems,Scaling Limits,and Universality (NUS),2023/12/11.
13. RIMS 研究会, 量子場の数理とその周辺,2023/12.
14. Renormalized spectral zeta function of Rabi model,Mathematical Challenges in Quantum Mechanics (Italy), 2024/2 (online).

D. その他の研究活動

書籍出版

1. 「関数解析」サイエンス社 2024.
2. 双書 21・大数学者の数学 フォン・ノイマン 1,2,3 , 現代数学社,2021
- 3.Feynman-Kac-Type Theorems and Gibbs Measures on Path Space,Vol2, (with J.Lőrinczi),GSTM 34/2 De Gruyter 2020,564 pages.
- 4.Feynman-Kac-Type Theorems and Gibbs Measures on Path Space,Vol1, (with V.Betz and J.Lőrinczi),GSTM 34/1 De Gruyter 2020,536 pages.
- 5.Ground States of Quantum Field Models,Springer 2019.
6. 「量子場の数理」 数学書房 2016.

研究会の世話人など

1. ドロセミ (2001～) の世話人
2. RIMS 研究会「量子場の数理とその周辺」(2012～2023) の代表
3. ICIAM ミニワークショップ,2023/7, 世話人
4. 時間・量子測定・準古典近似の理論と実験,IMI 共同利用,2022/7, 世話人
5. 九大数理物理セミナー, 世話人

日本数学会

1. 函数解析学分科会評議委員 (2020～)
2. 解析学賞委員会委員長 (2020)

- 3. 解析学賞事務局 (2020～2021)
- 4. 合同シンポジウム世話人 (2019)
- 5. 九州若手数学賞賛同者の会事務局 (2013～)
- その他
- 2019 年度日本数学会解析学賞受賞

増田 俊彦 (MASUDA Toshihiko)

A. 研究概要

私の研究分野は作用素環論である。作用素環論はヒルベルト空間上の作用素のなす*-代数を研究対象とするが、主に C^* 環と von Neumann 環の 2 種類に分けられる。私の専門は von Neumann 環の理論で、その中でも因子環への群作用や、部分因子環理論の研究を主に研究した。

1 では、 III_1 型部分因子環の再中心化環について研究した。部分因子環の小さい方の環が単射的な時に、Ando-Haagerup-Houdayer-Marrakchi によって導入された相対的再中心化環上の流れが、相対的荷重の流れに同型であることを示した。この同型については AHHM の論文で問題としてあげられていたもので、彼らの論文でも同型になるような例が与えられていたが、私の論文の結果は彼らの結果より一般的なものである (単射性の仮定は必要であるが)。

2 では離散従順群の単射的因子環への外部的作用の分類を行なった。これは Jones-Takesaki, Sutherland-Takesaki, Kawahigashi-Takesaki の離散従順群の作用の分類や、Katayama-Takesaki の離散従順群の外部的作用の分類を合わせて一般化したものである。証明は私の離散従順群の作用の統一的分類理論を利用することにより従来のモデル作用を用いた証明とは異なる、より自然なものとなっている。またモデル作用の構成においても Jones-Takesaki や、Sutherland-Takesaki の方法とは異なり、離散従順群上のランダムウォークの理論を利用することで、より自然な構成を与えた。

3 ではエルゴート変換の軌道同型を保存するような離散従順群の作用の研究を行なった。Connes-Krieger や、Bezuglyi-Golodets などによってこの種の作用の分類は得られているのだが、これらはエルゴード変換の型に大変依存した複雑な証明であった。私は以前の群作用の分類理論の統一的手法を適用することにより、この分類結果について型によらない統一的な証明を与えることに成功した。

B. 研究業績

- 1. On the relative bicentralizer flows and the relative flow of weights of inclusions of factors of type III_1 , Publ. RIMS, Vol.56, no.2, 391–400, (2020)
- 2. Classification of outer actions of discrete amenable groupoids on injective factors, J. Math. Soc. Japan, Vol. 74, no.3, 873–901, (2022)
- 3. Actions of discrete amenable groups into the normalizers of full groups of ergodic transformations, preprint, Ergodic Theory Dynam. Systems, Vol. 55, no.11, 3290–3315, (2024)

C. 講演

- 1. Outer actions (G-kernels) of discrete amenable groupoids on injective factors, 東大京大合同オンライン作用素環セミナー, 2020 年 6 月 25 日.
- 2. Classification of outer actions of discrete amenable groupoids on injective factors, 日本数学会函数解析分科会, 千葉大学, 2021 年 9 月 16 日
- 3. Classification of outer actions of discrete amenable groupoids on injective factors, 研究集会「作用素環論の最近の進展」, 京大数理研, 2021 年 9 月 27 日
- 4. Actions of discrete amenable groups into the normalizers of full groups of ergodic transformations, 研究集会「作用素環論における群作用と数理物理の関連」, 京大数理研, 2023 年 1 月 24 日

5. Actions of discrete amenable groups into the normalizers of full groups of ergodic transformations, 京都作用素環セミナー, 2023 年 6 月 6 日
6. Modular actions of a discrete Kac algebras on type III factors, 研究集会「作用素環論の最近の進展」, 京大数理研, 2023 年 9 月 13 日
7. Actions of discrete amenable groups into the normalizers of full groups of ergodic transformations, 日本数学会函数解析分科会, 東北大学, 2023 年 9 月 22 日
8. Introduction to Rohlin flows on von Neumann algebras, RIMS 共同研究「作用素環論と種々の対称性」, 京大数理研, 2024 年 1 月 22 日, 23 日
9. Relative center construction for G -graded C^* -fusion categories and Longo-Rehren inclusions, 日本数学会函数解析分科会, 早稲田大学, 2025 年 3 月 20 日

D. その他の研究活動

1. 研究集会「Operator algebras and Mathematical Physics」世話人 (2023 年 7 月 24-28 開催)
2. 2023 年度作用素論作用素環論研究集会会場世話人
3. 日本数学会函数解析分科会評議員 2025 年 3 月～.

森下 昌紀 (MORISHITA Masanori)

A. 研究概要

結び目と素数の類似に基づき, 数論的位相幾何学を創め, 数論, 3 次元位相幾何学および数理物理を結ぶ三位一体的な研究を行ってきた. 最近, 数論的位相幾何学の視点から, Deninger の葉層力学系と Connes のアデル類空間の関係を発見し, 類似を超えて, 数論の幾何学化を目指すスタートラインにたった. 2024 年度に得た結果は以下の通りである.

1. 数論的 Chern-Simons 不変量の貼り合わせ公式に示唆され, 代数的数論におけるトリプル記号の新しいコホモロジー的解釈を得た. これは D. Kim との共同研究である. この結果について論文一編を著わした (論文 7).
2. 3 次元 Riemann 葉層力学系のゼータ関数を葉層コホモロジー上の無限次元行列式で表す Deninger の予想をある仮定のもとで証明した. これは J. A. Álvarez López と J. Kim との共同研究である. この結果について論文一編を著わした (論文 8).
3. 数論的位相幾何学の視点から, Deninger の葉層力学系と Connes のアデル類空間の関係を発見した. この結果について論文を執筆中である (論文 9).
4. 著書 Knots and Primes の増補第 2 版を出版した (著書 1). また, ガロア理論の教科書を出版した (著書 2). その他, 数論的位相幾何学の基礎に関する著書を執筆中である (著書 3, 4, 5).

B. 研究業績

論文

1. T. Kitayama, M. Morishita, R. Tange, Y. Terashima, On certain L -functions for deformations of knot group representations, Transactions of AMS., **370**, no. 5, 3171-3195, 2018.
2. F. Amano, Y. Mizusawa, M. Morishita, On mod 3 triple Milnor invariants and triple cubic residue symbols in the Eisenstein number field, Research in Number Theory, **4**, no. 1, Art. 7, 29 pp, 2018.
3. H. Hirano, M. Morishita, Arithmetic topology in Ihara theory II - Milnor invariants, dilogarithmic Heisenberg coverings and triple power residue symbols, Journal of Number Theory, **198**, 211-238, 2019.
4. J. Kim, M. Morishita, T. Noda, Y. Terashima, On 3-dimensional foliated dynamical systems and Hilbert type reciprocity law, Münster Journal of Mathematics, **14** (2), 323-348, 2021.
5. T. Kitayama, M. Morishita, R. Tange, Y. Terashima, On adjoint homological Selmer modules for SL_2 -representations of knot groups, International Mathematics Research Notices, rnae255, 2022.
6. H. Hirano, J. Kim, M. Morishita, On arithmetic Dijkgraaf-Witten theory, Communications in Number Theory and Physics, **17**, (1), 1 -61, 2023.

7. D. Kim, M. Morishita, Triple symbols in arithmetic, to appear in Research in Number Theory
8. J. A. Álvarez López, J. Kim, M. Morishita, Regularized determinant formulas for the zeta functions of 3-dimensional Riemannian foliated dynamical systems, arXiv:2410.20758
9. M. Morishita, On a relation between Deninger's foliated dynamical systems and Connes-Consani's adelic spaces, arXiv:2508.15971

著書

1. M. Morishita, Knots and Primes - An Introduction to Arithmetic Topology, 2nd edition, Springer, 2024.
2. 森下昌紀, ガロア圏と基本群, 森北出版, 2024.
3. 森下昌紀, グロタンディーク位相と類体論, 森北出版 (準備中).
4. M. Morishita, Galois Categories and Arithmetic Dualities for Number Rings, Springer (準備中).
5. 森下昌紀, 結び目とゼータ関数, 共立出版 (準備中)

概説

1. 森下昌紀, 素数のアイデアと描像, 数理科学, 2019 年 12 月号, 5-12.
2. M. Morishita, On local symbols and the reciprocity law for foliated dynamical systems on 3-manifolds, 京都大学数理解析研究所講究録別冊, **83**, 107-116, 2020.
3. 森下昌紀, ガウスと 2(次), 数学セミナー, 2021 年 12 月号, 21-23.
4. M. Morishita, Refined arithmetic topology and arithmetic Chern-Simons theory, 京都大学数理解析研究所講究録 (to appear).

C. 講演

1. 2018 年 4 月 11 日, Münster University, Germany, Arithmetic and Analysis on the occasion of Deninger's 60th birthday, 「On 3-dimensional foliated dynamical systems and Hilbert reciprocity law」
2. 2018 年 5 月 22 日, 京都大学数理解析研究所, 研究集会 “Profinite monodromy, Galois representations, and Complex functions in honor of Professor Yasutaka Ihara's 80th birthday”, 「Arithmetic topology in Ihara theory: Milnor invariants, Heisenberg covers and triple power residue symbols」
3. 2019 年 7 月 2 日, 東京電機大学, 数学講演会, 「3 次元葉層力学系について」
4. 2019 年 10 月 19 日, Johns Hopkins University, USA, JAMI Workshop “Riemann-Roch in characteristic one and related topics”, 「On 3-dimensional foliated dynamical systems and Hilbert type reciprocity law」
5. 2021 年 2 月 5 日, Institute of Mathematics of the Romanian Academy, Geometric Method in Algebra and Topology Seminar オンライン講演 「On arithmetic Dijkgraaf-Witten theory」
6. 2021 年 2 月 22 日, 東京大学カブリ数物連携宇宙機構, Mathematics - String Seminar オンライン講演 「On arithmetic topology and arithmetic Dijkgraaf-Witten theory」
7. 2021 年 12 月 7 日, 京都大学数理解析研究所 10th Pan Asian Number Theory Conference オンライン講演 「On arithmetic Dijkgraaf-Witten theory」
8. 2022 年 1 月 25 日, Feza Gürsey Institute, Istanbul Turkey, Higher Structures Seminar オンライン講演 「Arithmetic topology and arithmetic TQFT」
9. 2022 年 8 月 5 日, Münster University, Seminar, 「Arithmetic Topology and Arithmetic TQFT」
10. 2023 年 3 月 9 日, ICMS, Edinburgh, Scotland, Workshop “Gauge Fields in Arithmetic, Topology and Physics”, 「Symbols on 3-manifolds and conformal field theory」
11. 2021 年 2 月 22 日, 東京大学カブリ数物連携宇宙機構, Mathematics - String Seminar オンライン講演 「On arithmetic topology and arithmetic Dijkgraaf-Witten theory」
12. 2021 年 12 月 7 日, 京都大学数理解析研究所 10th Pan Asian Number Theory Conference オンライン講演 「On arithmetic Dijkgraaf-Witten theory」
13. 2022 年 1 月 25 日, Feza Gürsey Institute, Istanbul Turkey, Higher Structures Seminar オンライン講演 「Arithmetic topology and arithmetic TQFT」
14. 2022 年 8 月 5 日, Münster University, Seminar, 「Arithmetic Topology and Arithmetic TQFT」
15. 2023 年 3 月 9 日, ICMS, Edinburgh, Scotland, Workshop “Gauge Fields in Arithmetic, Topology and Physics”, 「Symbols on 3-manifolds and conformal field theory」

16. 2023 年 10 月 5 日, Seoul National University, Colloquium, 「Class field theory for 3-dimensional foliated dynamical systems」
17. 2023 年 12 月 12 日, 東京大学カブリ数物連携宇宙機構, Mathematics - String Seminar, 「Reciprocity laws in arithmetic topology」
18. 2024 年 1 月 25 日, Universidade de Santiago de Compostela, Topology Seminar, 「On reciprocity laws in arithmetic topology」
19. 2024 年 3 月 19 日, Australia National University, Algebra and Topology Seminar, 「Class field theory in arithmetic topology」
20. 2023 年 3 月 21 日, Australia National University, MSI Colloquium, 「On reciprocity laws in arithmetic topology」
21. 2023 年 3 月 25 日, Australia National University, Public Lecture, 「Knots and Primes - Wat do primes look like ?」
22. 2023 年 4 月 18 日, ICMS, Edinburgh, Scotland, Workshop “Gauge Fields in Arithmetic, Topology and Physics”, 「Arithmetic Chern-Simons theory and metaplectic theory」
23. 2024 年 6 月 25 日, University of Bologna, Italy, Conference “ Noncommutativity at the Interface of Topology, Geometry and Analysis”, 「Refined arithmetic topology and arithmetic Chern-Simons TQFT」
24. 2024 年 12 月 7 日, 立教大学, Two days seminar on algebraic number theory and arithmetic topology, 「Regularized determinant formulas for the zeta functions of 3-dimensional Riemannian foliated dynamical systems」
25. 2025 年 1 月 7 日, 京都大学数理解析研究所, “代数的整数論とその周辺”, 「Refined arithmetic topology and arithmetic Chern-Simons theory」

D. その他の研究活動（研究集会主催など）

1. 2009 年 3 月, Workshop “Low dimensional topology and number theory”, 主催, 福岡
2. 2010 年 3 月, Workshop “Low dimensional topology and number theory II”, 主催, 東京大学数理科学研究科.
3. 2011 年 3 月, Workshop “Low dimensional topology and number theory III”, 主催, 福岡.
4. 2011 年 10 月 28 日, 奈良女子大学 院生企画セミナー「結び目と素数-数論的位相幾何学入門」
5. 2012 年 3 月, Workshop “Low dimensional topology and number theory IV”, 主催, 福岡.
6. 2013 年 3 月, Workshop “Low dimensional topology and number theory V”, 主催, 福岡.
7. Workshop “Modular functions and Quadratic forms-Number theoretic delights” 組織委員, 大阪, 2013 年 12 月.
8. 2014 年 3 月, Workshop “Low dimensional topology and number theory VI”, 主催, 福岡.
9. 2015 年 3 月, Workshop “Low dimensional topology and number theory VII”, 主催, 福岡.
10. 2016 年 3 月, Workshop “Low dimensional topology and number theory VIII”, 主催, 福岡.
11. 2017 年 3 月, Workshop “Low dimensional topology and number theory IX”, 主催, 福岡.
12. 2017 年 6 月 9 日, 福岡県立東筑高校 課題研究 講演会「結び目と素数」
13. 2017 年 10 月 10 日, 舞鶴高校, 出前講義 「結び目と素数」
14. 2018 年 3 月, Workshop “Low dimensional topology and number theory X”, 主催, 福岡.
15. 2019 年 3 月, Workshop “Low dimensional topology and number theory XI”, 主催, 大阪大学.
16. 2022 年 3 月, Workshop “Low dimensional topology and number theory XIII (In memory of Professor Toshie Takata)”, 主催, 福岡.
17. 2023 年 3 月, Workshop “Gauge Fields in Arithmetic, Topology and Physics”, 主催, ICMS, Edinburgh, Scotland.
18. 2023 年 3 月, Workshop “Low dimensional topology and number theory XIV”, 主催, 福岡.
19. 2024 年 3 月, Workshop “Low dimensional topology and number theory XV”, 主催, 福岡.
20. 2025 年 3 月, Workshop “Low dimensional topology and number theory XVI (In honor of Professor Hiroaki Nakamura’s 60th birthday)”, 主催, 大阪大学.

2.2 数理学研究院 准教授

アデイルマ スリアジャヤ (SURI AJAYA Ade Irma)

A. 研究概要

A. Speiser (1935) はリーマンゼータ関数 $\zeta(s)$ の一階導関数 $\zeta'(s)$ が $\operatorname{Re}(s) < 1/2$ で実数でない零点を持たないこととリーマン予想は同値であることを示した。この結果は $\zeta(s)$ の零点の分布がその導関数の零点の分布に関係していることを意味する。その後、 $\zeta(s)$ の導関数の零点は R. Spira (1960–70 年代), B. C. Berndt (1970), N. Levinson と H. L. Montgomery (1974), H. Akatsuka (2012) などとにかく調べられた。私 (2015) はリーマン予想の仮定の下で、Akatsuka (2012) の $\zeta'(s)$ に関する結果を $\zeta(s)$ の全ての導関数に拡張し、Berndt (1970), Levinson と Montgomery (1974) の一部の結果を条件付きで改良した。Akatsuka が示した評価をさらに改良し、 $\zeta(s)$ 自身の場合と同じ誤差の評価を実現したのは F. Ge (2017) であった。最近の研究で、私と Ge [論文 2] は、その結果を $\zeta(s)$ の全ての導関数に拡張した。 $\zeta(s)$ 以外に、 $q > 1$ を法とする主指標でない原始的指標 χ に付随するディリクレ L 関数 $L(s, \chi)$ に対しても類似研究を行った [Akatsuka と Suriajaya (2018), Suriajaya (2017)]。特に、Akatsuka と Suriajaya (2018) で Speiser (1935) の結果に類似した結果を得て、一般化されたリーマン予想の $L'(s, \chi)$ の零点の分布との同値条件を示した。この研究を「セルバークラス」の L 関数の導関数の零点に拡張することを S. Chaubey と S. Singh Khurana と試みている。結果の一部を論文 15 にまとめた。

ゼータ関数と L 関数の一様分布、確率的な変換による平均値を調べた研究に続き、 $\zeta(s)$ の臨界領域内の値分布を調べた [論文 1 と 3 に加えて、Lee, Onozuka と Suriajaya (2016), Lee と Suriajaya (2016)]。この研究の動機の一つは、C. R. Putnam (1954) が示した $\zeta(s)$ の零点の非周期性の結果である。Putnam (1954) は、臨界線上の任意の等差数列 $\{1/2 + i\eta n\}_n$ に対して $\zeta(1/2 + i\eta n) \neq 0$ となる項 n が無限に存在することを示した。私は Lee, A. Sourmelidis, J. Steuding との共同研究 [論文 1] で、臨界領域 $0 < \operatorname{Re}(s) < 1$ に対して、臨界線を除いて、臨界領域内の縦の直線上の等差数列において、 $\zeta(s)$ の値は内点を持つ任意の複素数集合に含まれることを示した。但し、 $0 < \operatorname{Re}(s) < 1/2$ に対して、例の複素数集合は無限大を内点に持つ必要がある。また、等差数列がどの程度で $\zeta(s)$ の値の分布を特徴付けているかも調べた。論文 3 の内容を次の次の段落で解説する。

$\zeta(1/2 + it)$ と任意の直線 $re^{i\phi}$ の交差点は、 $\zeta(s)$ の関数等式 $\zeta(s) = \Delta(s)\zeta(1-s)$ を満たす $\mathbb{C} \setminus \{1\}$ 上正則関数 $\Delta(s)$ に対して、 $\Delta(1/2 + it) = e^{2i\phi}$ を満たす点 $1/2 + it$ である。J. Kalpokas と Steuding (2011) は、 $\zeta(1/2 + it) = 0$ となることを除けば、 $t \in \mathbb{R}$ の関数として、 $\operatorname{Re}(\zeta(1/2 + it)) > 0$ になることが多いことを詳しく観察した。これを一般化し、私と Steuding [論文 3] は、任意の $a \in \mathbb{C} \setminus \{0\}$ に対して、 $\Delta(\delta_a) = a$ となる点 $\delta_a \in \mathbb{C}$ の分布を調べ、それに対して、 $\zeta(\delta_a)$ の分布と平均値を調べた。この研究をさらに、周期性を持つディリクレ級数によって定義される有理型関数 $L(s; f)$ に拡張し [論文 7]、Sourmelidis の協力で、Landau 公式に類似する $\sum_{\delta_a} x^{\delta_a}$ の上から評価 [論文 7, Theorem 3] を用いて、 δ_a の虚数部分の一様分布性およびその上での $L(s; f)$ の普遍性を示した [論文 7, Theorem 4 と Theorem 5]。

以上で述べた論文 3 と 7 の結果を「拡張されたセルバークラス」の L 関数 $\mathcal{L}(s)$ に対して拡張したのは論文 12 と 11 の内容である。拡張されたセルバークラスとは $\zeta(s)$ と $L(s, \chi)$ のような関数等式を持つ、ディリクレ級数で定義される関数の集まりである。Kalpokas と Steuding (2011) や論文 3 と 7 と違い、 $\mathcal{L}(s)$ は次元の大きさにより大きくなる場合があり、Lindelöf 予想の仮定が避けられない困難が生じるが、次元が小さい場合に対して、無条件な結果が得られる。また、論文 11 で $\mathcal{L}(s)$ のディリクレ多項式近似（ディリクレ級数を適当な長さに切り、ディリクレ級数が絶対収束する範囲より広い範囲で成り立つもの）及び、実軸と交わる点 δ_a の分布も考察した。これらの研究の続きとして、Sourmelidis と Steuding と $\zeta(s)$ の a -点 ρ_a と素数定理の関係を明らかにし [論文 18]、 ρ_a 及び δ_a の対相関も調べている。

$\zeta(s)$ と $L(s, \chi)$ の $s = 1$ の周りでのローラン展開の正幂における係数の漸近公式、上限と符号は W. E. Briggs と S. Chowla (1955), B. C. Berndt (1972), J. Knopfmacher (1978), Y. Matsuoka (1984–1989), J. A. Adell (2011) や S. Saad Eddin (2013) などによって調べられた。この研究は特に、 $s = 1$ の近くに例外的な零点を持つ可能性のある L 関数に対して重要である。私はその証明方法が拡張されたセルバークラスの L 関数 $\mathcal{L}(s)$ に対しても適用できると気づき、Saad Eddin と S. Inoue との共同研究 [論文 6] で、 $\mathcal{L}(s)$ の $s = 1$ 付近でのローラン展開における係数の上から評価を示した。この結果により、従来知られている $\zeta(s)$ に関する上限が改良できることも確か

められた。但し、 $\mathcal{L}(s)$ を決めるパラメーターの大きさにより、私らの結果 [論文 6] は必ずしも全ての正冪に対して成り立たず、若干大きな冪以上に対してしか成り立たない場合もある。

278 年も渡り証明されていないゴールドバッハ予想は「4 以上の偶数が二つの素数の和として書ける」ことを主張する。G. H. Hardy と J. E. Littlewood (1922) は、十分大きな偶数が全て二つの奇素数の和で書けると予想し、その和として表示する方法（ゴールドバッハ表現）の個数の漸近公式も予想した。その漸近公式において、素数を渡る積として書ける Hardy と Littlewood の特異級数 (singular series) $\mathfrak{S}(k)$ と呼ばれる特殊な級数が現れる。 $\mathfrak{S}(k)$ の平均は D. A. Goldston (1990), J. B. Friedlander (1995), R. C. Vaughan (2001) などにより調べられてきた。特に、小区間における素数の分布を調べるために用いられている平均 $\sum_{k \leq x} (x-k) \mathfrak{S}(k)$ は注目されている。しかし従来、上からの評価しか得られず、Goldston と私は初めてその下限を示した [論文 8]。この結果は実際、より滑らかな重みをつけたもの $S(x, m) := \sum_{k \leq x} (x-k)^m \mathfrak{S}(k)$ を研究 [論文 9] しながら発見したものである。 $m \geq 2$ であるとき、 $S(x, m)$ の誤差項に対して漸近公式が得られ [論文 9, Theorem 1]、 $\zeta(s)$ の零点に関わるいくつかの予想の下で精密な評価が得られた [論文 9, Theorem 3 と Theorem 4]。

実指標（実数の値を取るディリクレ指標） χ に付随する $L(s, \chi)$ は先ほど述べた例外的零点を持つ可能性があり、その存在は上段落で述べたゴールドバッハ表現の個数の振る舞いに影響される。J. Fei (2016) は上段落で述べた Hardy と Littlewood (1922) の予想より弱い予想の仮定の下で、素数 $q \equiv 3 \pmod{4}$ を法とする原始的実指標 χ に付随する $L(s, \chi)$ に対して、例外的零点の位置が $s = 1$ よりどれくらい遠くなれるかの評価を示した。この結果は G. Bhowmik と K. Halupczok (2021) と独立に C. Jia (2021) により、少し違う形の弱い Hardy と Littlewood の予想を用いて、 $\chi(-1) = -1$ を満たす原始的実指標 χ に対して拡張された。Friedlander, Goldston と Iwaniec と私 [論文 10] は、その観察に必要な予想を元の Hardy と Littlewood の予想に最も近い形に書き直し、手法の改良で Fei, Bhowmik と Halupczok, Jia の結果を全ての原始的実指標 χ に対して拡張した上で、 $L(s, \chi)$ の例外的な零点が存在し得る領域を更に狭めた。特に、弱い Hardy と Littlewood の予想の下で $L(s, \chi)$ の例外的な零点が存在しないことを示した [論文 10]。

上記の研究の続きとして、Goldston とゴールドバッハ表現の平均 [論文 16] と滑らかな重み付き平均 [論文 17] を調べた。論文 16 では素数定理への応用も考察した。SENTAN-Q 研修プログラムの 2 年目に入り、このゴールドバッハ表現の平均に関する研究の続きを、サンノゼ州立大学の Schettler と大学院生 2 名、Billington と Cheng との共同研究で行った。その結果として、ゴールドバッハ表現の平均の近似公式における誤差項とリーマンゼータ関数の非零領域の関係を明示的に示した [論文 21]。その媒介となるのは、素数定理における誤差評価とリーマンゼータ関数の非零領域の関係である。SENTAN-Q 研修プログラム修了後、論文 17 で残した問題を本学大学院生の K. Ikeda と共に解決した [論文 22]。

前段落で述べた研究により、素数定理と $\zeta(s)$ の零点の対相関（ペアコリレーション）との関係に気づき、その関係をさらに明かす研究を行なった [論文 14]。Montgomery (1973) はリーマン予想の仮定の下で、リーマンゼータ関数の二つの非自明な零点からなる組みの分布を調べるための関数 F を考察し、その漸近挙動を限られた範囲において明らかにした。Montgomery はそれを用いてリーマンゼータ関数の零点の 66.66% 以上が一位であることを示した。この割合はそのあと改良はされたが、これまでの研究において、横に広がる零点の群れの処理がうまくいかず、零点が一直線上に並んでいない場合に F 関数の解析が困難だったため、リーマン予想の条件が外せなかった。その問題は、私と S. A. C. Baluyot, Goldston と C. L. Turnage-Butterbaugh の共同研究 [論文 20 と論文 24] で解決できた。即ち、リーマン予想を仮定しなくても、Montgomery が示した F 関数の漸近挙動が同様に得られる。但し、実部の分布を考慮する必要があるため、実部の情報が入るように拡張した F 関数の挙動は無条件に証明できたが、その漸近挙動から、元々の Montgomery の F 関数の漸近挙動を導くために強い零点密度予想が必要である。この拡張された F 関数の無条件の漸近公式を用いれば、リーマン予想より弱い条件の下で Montgomery のペアコリレーション手法で得られた単純零点の割合が再現できる [論文 20 と論文 24] だけではなく、そのほとんどの実部が $1/2$ である、即ちリーマン予想を満たすことも明らかになった [論文 24]。

Montgomery は前段落で紹介した F 関数に対して更に広い範囲における漸近挙動を予想し、その特殊な場合としてよく耳にする「Montgomery のペアコリレーション予想」を得る。このペアコリレーション（対相関）予想においても、リーマン予想の仮定の下でしか研究されなかったが、再び Goldston, Lee と Schettler との共同研究 [論文 25] で、Montgomery のペアコリレーション予想の定式化だけでなく、その応用においてもリーマン予想が全く要らないことを明らかにした。その結果、リーマンゼータ関数のほとんど（漸近的に 100%）の零点が一位であり、実部が $1/2$ である（リーマン予想を満たす）ことが導けた。前者はリーマン予想の下で P. X. Gallagher と J. H.

Mueller (1978) により得られたが、リーマン予想を仮定されたせいで、ペアコリレーション予想のリーマンゼータ関数の非自明な零点の横分布への影響が見られなかった。ペアコリレーション予想はリーマンゼータ関数の非自明な零点の縦分布に関する主張であるため、それが「漸近的リーマン予想」を果たすことは面白い現象である。

以上で述べたゼータ関数及び L 関数に関する研究と若干異なる方向で、S. Sugiyama と $L(s, \chi)$ の実軸に近い零点 (low-lying zeros) の分布とランダム行列に関する研究も行った。ある保型 L 関数の特殊値の重みつき零点分布が Sugiyama により与えられたが、その研究によって零点分布が従来の分布と一致しない場合もあることが明らかになった。その例外的な場合が生じる条件を調べるために、私と Sugiyama は一つの具体例として、ディリクレ L 関数 $L(s, \chi)$ に対して調べた [論文 13]。このような実軸に近い零点の分布の情報から、 L 関数の中央値 (central values) の情報もある程度得られることが M. Radziwiłł と K. Soundararajan の最近の研究で明らかになった。Radziwiłł と Soundararajan (2024) は楕円曲線と二次ディリクレ指標のツイストに付随する L 関数の場合に対して、中央値が 0 にならない L 関数の割合の下から評価を得た。私と D. Lesesvre [論文 23] はその結果を重さ 2 の保型 L 関数に対して拡張した。一般の保型 L 関数の場合に対しても試みている。

ゼータ関数や L 関数の研究から離れて、オイラーの φ 関数を拡張した数論的関数の平均値 (論文 19) を調べた。正整数 n と互いに素な n 以下の正整数の数を数える関数 $\varphi(n)$ は 1700 年代にオイラーにより導入され、素数の分布を理解するのに非常に役立つため、たくさん調べられてきた。Schemmel (1869) はこの関数をより一般化し、 n の全ての素因数より小さい m に対して、 n と互いに素な n 以下の m 個の正整数の組を数える関数 $\varphi_m(n)$ を考えた。この関数はまだ十分に知られていないが、魔法陣や二つのグラフの直積の部分グラフの考察に現れた。私と Steuding はこの一般化されたオイラー関数 $\varphi_m(n)$ をさらに全ての整数 m に対して拡張し、 $\varphi_m(n)$ の n と m による平均を調べた [論文 19]。

また更に違う整数論の研究で、L. G. Fel と T. Komatsu との共同研究 [論文 4 と 5] で組み合わせ論的な議論を用いた。具体的には、「離散的な半群の値の差」の「負冪」の和が、 $\zeta(s)$ と $\zeta(s)$ のまた別の一般化であるフルヴィッツゼータ関数 $\zeta(s, \alpha)$ によって書き表せることを明らかにした。その関係式を用いて、 $\zeta(s)$ を $\zeta(s, \alpha)$ の有理数 α に関する和として表す公式に対して別証明を与えた。

最後に、以上で述べた純粋数学の研究以外に、私は理化学研究所の数理論創造プログラムの基礎科学特別研究員として行った分野横断型共同研究も続けている。生物物理学者の C. Beauchemin (ライアソン大学教授 兼 理化学研究所数理論創造プログラム副プログラムディレクター) と天体物理学者の D. Warren (理化学研究所数理論創造プログラム研究員) と共に、ウイルスの感染率を表す二つの異なる数学モデルの間における数学的な関係を調べた。この研究の目標は、二つのモデルの変換方法を数学的に与えることであったが、自明な場合において二つのモデルを満たす解が存在しないことを明らかにした。自分と共同研究者の時間の都合で研究が 4 年以上も渡り行われてきて、ほとんどそれぞれモデルの解を求めることに費やした。理論的な解 (解析解) と数値的な解が一致することをまず確認しなくてはいけないが、最初に求めた解析解の形が複雑すぎたため、正否の確認が不可能であった。修正と式の単純化を繰り返して 2022 年度の始まりにやっと解析解が確認でき、シンプルな形のおかげで、二つのモデルの関係を調べることができた。二つモデルは理論的に (解析的には) 同値ではなく、同値な場合もないことが明らかになった。

B. 研究業績

- (1) Junghun Lee, Athanasios Sourmelidis, Jörn Steuding, Ade Irma Suriajaya, *The Values of the Riemann Zeta-Function on Discrete Sets*, Proceedings of Various Aspects of Multiple Zeta Functions — in honor of Professor Kohji Matsumoto's 60th birthday, Advanced Studies in Pure Mathematics **84** (2020), 315–334.
- (2) Fan Ge and Ade Irma Suriajaya, *Note on the number of zeros of $\zeta^{(k)}(s)$* , Ramanujan J. **55** (2021), 661–672.
- (3) Jörn Steuding and Ade Irma Suriajaya, *Value-Distribution of the Riemann Zeta-Function along its Julia Lines*, Comput. Methods Funct. Theory **20** (2020), no. 3-4, 389–401.
- (4) Leonid G. Fel, Takao Komatsu, Ade Irma Suriajaya, *A sum of negative degrees of the gaps values in 2 and 3-generated numerical semigroups*, Annales Mathematicae et Informaticae **52** (2020), 85–95.
- (5) Leonid G. Fel, Takao Komatsu, Ade Irma Suriajaya, *A Sum of Negative Degrees of the Gaps Values in Two-Generated Numerical Semigroups and Identities for the Hurwitz Zeta Function*, In: Nathanson M.B.

- (eds) Combinatorial and Additive Number Theory IV. CANT 2020. Springer Proceedings in Mathematics & Statistics, vol 347. Springer, Cham. (2021), 151–160.
- (6) Shota Inoue, Sumaia Saad Eddin and Ade Irma Suriajaya, *Stieltjes constants of L -functions in the extended Selberg class*, Ramanujan J. **55** (2021), 609–621.
 - (7) Athanasios Sourmelidis, Jörn Steuding, and Ade Irma Suriajaya, *Dirichlet Series with Periodic Coefficients and their Value-Distribution Near the Critical Line*, Proceedings of the Steklov Institute of Mathematics **314** (2021), no. 1, 238–263, Analytic and Combinatorial Number Theory: Special issue in commemoration of the 130th birth anniversary of Academician Ivan Matveevich Vinogradov. Also published in Russian: Collected papers. In commemoration of the 130th birth anniversary of Academician Ivan Matveevich Vinogradov, Trudy Mat. Inst. Steklova **314** (2021), 248–274.
 - (8) D. A. Goldston and Ade Irma Suriajaya, *The error term in the Cesàro mean of the prime pair singular series*, J. Number Theory **227** (2021), 144–157.
 - (9) D. A. Goldston and Ade Irma Suriajaya, *A singular series average and the zeros of the Riemann zeta-function*, Acta Arith. **200** (2021), 71–90.
 - (10) John B. Friedlander, Daniel A. Goldston, Henryk Iwaniec and Ade Irma Suriajaya, *Exceptional zeros and the Goldbach problem*, J. Number Theory **233** (2022), 78–86.
 - (11) Athanasios Sourmelidis, Jörn Steuding, and Ade Irma Suriajaya, *Riemann-Type Functional Equations – Dirichlet Polynomial Approximations and a Weak Gram Law –*, Acta Arith. **204** (2022), 97–113.
 - (12) Athanasios Sourmelidis, Jörn Steuding, and Ade Irma Suriajaya, *Riemann-Type Functional Equations – Julia Line and Counting Formulae –*, Indag. Math. **33** Issue 6 (2022), 1236–1262.
 - (13) Shingo Sugiyama and Ade Irma Suriajaya, *Weighted one-level density of low-lying zeros of Dirichlet L -functions*, Res. Number Theory **8** (2022), article number: 55.
 - (14) D. A. Goldston and Ade Irma Suriajaya, *The Prime Number Theorem and Pair Correlation of Zeros of the Riemann Zeta-Function*, Res. Number Theory **8** (2022), article number: 71.
 - (15) Sneha Chaubey, Suraj Singh Khurana, Ade Irma Suriajaya, *Zeros of derivatives of L -functions in the Selberg class on $\text{Re}(s) < 1/2$* , Proc. Amer. Math. Soc. **151** (2023), 1855–1866.
 - (16) D. A. Goldston and Ade Irma Suriajaya, *On an Average Goldbach Representation Formula of Fujii*, Nagoya Math. J. **250** (2023), 511–532.
 - (17) Daniel A. Goldston and Ade Irma Suriajaya, *On a smoothed average of the number of Goldbach representations*, Number Theory in Memory of Eduard Wirsing (2023), H. Maier et al. (eds.), Springer Nature Switzerland AG, 145–156.
 - (18) Athanasios Sourmelidis, Jörn Steuding, and Ade Irma Suriajaya, *The a -points of the Riemann zeta-function and the functional equation*, Number Theory in Memory of Eduard Wirsing (2023), H. Maier et al. (eds.), Springer Nature Switzerland AG, 307–321.
 - (19) Jörn Steuding and Ade Irma Suriajaya, *Mean-Values Associated with Generalized Schemmel’s Function*, Ann. Univ. Sci. Budapest. Sect. Comput. **54** (2023), 307–319.
 - (20) Siegfried Alan C. Baluyot, Daniel Alan Goldston, Ade Irma Suriajaya, and Caroline L. Turnage-Butterbaugh, *An Unconditional Montgomery Theorem for Pair Correlation of Zeros of the Riemann Zeta Function*, Acta Arith. **214** (2024), 357–376.

- (21) Keith Billington, Maddie Cheng, Jordan Schettler and Ade Irma Suriajaya, *The Average Number of Goldbach Representations and Zero-Free Regions of the Riemann Zeta-Function*, Int. J. Number Theory **21** (2025), no. 02, 289–316.
- (22) Karin Ikeda and Ade Irma Suriajaya, *The average number of Goldbach representations over multiples of q* , published online in Functiones et Approximatio, Commentarii Mathematici, doi: 10.7169/facm/240922-30-1, preprint in arXiv:2405.04315 [math.NT].
- (23) Didier Lesesvre and Ade Irma Suriajaya, *Conditional lower bounds on the distribution of central values: the case of modular forms*, preprint in arXiv:2411.06218 [math.NT].
- (24) Siegfried Alan C. Baluyot, Daniel Alan Goldston, Ade Irma Suriajaya, and Caroline L. Turnage-Butterbaugh, *Pair Correlation of Zeros of the Riemann Zeta Function I: Proportions of Simple Zeros and Critical Zeros*, preprint in arXiv:2501.14545 [math.NT].
- (25) Daniel A. Goldston, Junghun Lee, Jordan Schettler, and Ade Irma Suriajaya, *Pair Correlation Conjecture for the Zeros of the Riemann Zeta-function I: Simple and Critical Zeros*, preprint in arXiv:2503.15449 [math.NT].

C. 講演

- (1) (招待講演) Séminaire ADA, Université du Littoral Côte d’Opale (フランス、カレー市), 2024 年 9 月 19 日, 題目「The Goldbach Problem and Zeros of the Riemann Zeta Function」
- (2) (招待講演) Université de Lille (フランス、リール市), 2024 年 9 月 24 日, 題目「The Error in Average Goldbach and Zeta Zeros」
- (3) (招待講演) Bilecik Algebra & Number Theory (オンライン), 2024 年 12 月 17 日, 題目「Pair correlation of zeros of the Riemann zeta-function, zero density and simple zeros」
- (4) (招待講演) KIAS (韓国、ソウル特別市), 2024 年 12 月 19 日, 題目「Goldbach counting and Zeta Zeros」 – 韓国語で
- (5) (招待講演) 第 3 回大分数論研究集会, J:COM ホルトホール大分サテライトキャンパスおおいた講義室.201 会議室 (大分), 2025 年 1 月 26 日, 題目「リーマンゼータ関数の零点の対相関、単純零点の割合と零点密度」
- (6) (招待講演) G-BRL LFANT Number Theory Seminar at CNU, 全南大学校 光州キャンパス (韓国、光州広域市), 2025 年 2 月 21 日, 題目「Pair correlation of zeros of the Riemann zeta-function, zero density and simple zeros」 – 韓国語で
- (7) (招待講演) SJSU Math/Stats Colloquium, San José State University (アメリカ合衆国、サンノゼ市), 2025 年 3 月 12 日, 題目「Pair correlation of zeros of the Riemann zeta-function, and the proportion of simple zeros and zeros on the critical line」

D. その他の研究活動

- (1) 九大代数学セミナー世話人, 2019 年 4 月–現在
- (2) (研究訪問) Max Planck Institute for Mathematics (ドイツ、ボン市), 2024 年 3 月 6 日–4 月 4 日、2024 年 8 月 12 日–9 月 11 日
- (3) (研究訪問) Université de Lille (フランス、リール市), 2024 年 9 月 12 日–26 日
- (4) (研究訪問) San José State University (アメリカ合衆国、サンノゼ市), 2025 年 3 月 5 日–4 月 4 日

- (5) (査読無し報告集) Ade Irma Suriajaya, 題目「ゴールドバッハ表現の平均個数とリーマンゼータ関数の非零領域 (*The Average Number of Goldbach Representations and Zero-Free Regions of the Riemann Zeta Function*)」, 京都大学数理解析研究所講究録 2024.6, no. 2285-23 (会議名: 解析的整数論とその周辺, 2023 年開催). (日本語)

大津 幸男 (OTSU Yukio)

A. 研究概要

コンパクトリーマン多様体, または, 曲率の下から制限されたコンパクトアレクサンドロフ空間を考える. 有限個の点をネットといい, ネットから構成される離散ラプラシアンは, ネットの空間の列から行列の空間の列への写像を定め, 行列の空間の線形性から空間の摂動の近似列を構成出来る. これらの組を粗モジュライ空間という. ランダムなネットの離散ラプラシアンは適当なスケールリングのもと適切な統計的意味で通常のラプラシアンに収束する. この離散ラプラシアンを用いて, 物体の振動をまねて中性スカラー場を量子化した理想ボーズ気体の平衡統計力学を構成した. 上で述べた摂動により自由エネルギーの変分を考えると, 粗モジュライ空間にリーマン計量の列を導入できる. 自由エネルギーは温度に依存して決まるので, この計量は温度に依存して決まり, 逆温度についてのある種の単調性を有し, 温度無限大で発散する. 逆温度は空間の見方の粗さ (同じことだが, 細かさ) に関係していると考えられる. この計量の列に関して自然に表れる温度グリーン関数の表示を与え, それと計量の関係を明確化し, 対応する諸量の経路積分による表示, ファインマンダイアグラムによる表示を与えた. すべての温度で計量が定まる場合と, 温度が低い場合は定義されるがある温度で無限大になる場合があるが, これはある種の相転移と考えることが出来る. 空間及びネットの連続変形が不可能な場合がこれに当たると考えられるので, その温度を連続変形の障害として定義した. これはある意味ハウスドルフ距離とモジュライ空間の融合をめざしたものである. また, 連続変形が可能な場合にもこの計量はネットの組の取り方に依存しており, 空間の摂動のより細かな情報を持っているので, ネットの取り替えの方向と真の変形の向きに分解される. これらの平均に当たるものを考え, 温度を無限大に飛ばして, スケール変換したものが真のモジュライ空間に対応するはずであり, 簡単な場合にこれを確かめた.

B. 研究業績

C. 講演

D. その他の研究活動

日下部佑太 (KUSAKABE Yuta)

A. 研究概要

多変数複素解析学および複素幾何学を専門としており, 特に岡の原理と複素多様体の楕円性の研究をしている. ここ数年は, 自身が確立した複素多様体の岡性と条件 Ell_1 と呼ばれる楕円性の同値性 (Gromov 予想の肯定的解決) を通じて, 岡の原理の幾何学的側面の解明を目指している.

研究業績 B.1 においては, ある種の凹性が岡性を導くことを示し, Forstnerič–Prezelj による問題を肯定的に解決し, 岡多様体の Gromov 楕円性に関する Gromov 問題に対して多くの反例を与えた. 研究業績 B.2 においては, 研究業績 B.1 の結果から自然に生じる領域の岡性と境界の幾何学に関する問題を考察し, ある特別な代数幾何学的状況で Levi 擬凹性が岡性を導くことを示し, Levi 擬凹性や曲率の正值性と岡性の新たな関係を確立した.

以上の結果は擬凹性と岡性の関係についての研究であるが、同時に岡性よりも真に強い Gromov 楕円性と擬凸性の関係についても研究を進めてきた。この成果として、Adachi-Suzuki-Yoshida の定理を一般化する Gromov 楕円的複素多様体への正則写像の Hartogs 型拡張定理を証明することができた。この研究成果については講演 C.14 で報告し、論文の執筆を進めているところである。

B. 研究業績

1. Kusakabe, Y.: Oka properties of complements of holomorphically convex sets. *Ann. of Math.* (2), 199(2): 899–917, 2024.
2. Forstnerič, F., Kusakabe, Y.: Oka tubes in holomorphic line bundles. *Math. Ann.*, 391, 5265–5292, 2025.
3. 日下部佑太: 岡多様体と楕円性—複素解析におけるホモトピー原理—. *数学*, 第 77 巻, 第 1 号, 2025.
4. 日下部佑太: Gromov の楕円幾何学から岡の原理へ. *現代数学* (連載), 2024 年 4 月号 – 2025 年 8 月号 (予定), 2024–2025.

C. 講演

1. Levi 問題から岡の原理へ, そして新たな Levi 問題へ. 数理談話会, 九州大学, 2024 年 5 月 16 日.
2. Toward Gromov’s Oka principle with growth conditions. 福岡複素解析セミナー, 九州大学, 2024 年 5 月 21 日.
3. Oka tubes in holomorphic line bundles. 複素解析幾何セミナー, 東京大学, 2024 年 6 月 17 日.
4. 複素解析学における剛性と柔軟性. 数理科学の研究フロンティア: 宇宙, 物質, 生命, 情報, 2024 年 7 月 3, 10 日. (オンライン)
5. Oka domains and the dual Levi problem. MCM Seminar, Morningside Center of Mathematics, Chinese Academy of Sciences, 2024 年 7 月 9 日.
6. Oka tubes in holomorphic line bundles. MCM Seminar, Morningside Center of Mathematics, Chinese Academy of Sciences, 2024 年 7 月 9 日.
7. 岡領域と双対 Levi 問題. 第 71 回幾何学シンポジウム, 関西大学, 2024 年 9 月 12 日.
8. Oka tubes in holomorphic line bundles. *Geometry and Topology* 2024, 九州大学, 2024 年 10 月 17 日.
9. Toward Gromov’s Oka principle with growth conditions. SCV, CR geometry and Dynamics, 京都大学数理解析研究所, 2024 年 11 月 25 日.
10. 軌近岡理論の展望. 第 22 回岡シンポジウム, 奈良女子大学, 2024 年 12 月 1 日.
11. Levi 問題から岡の原理へ, そして新たな Levi 問題へ. 談話会, 名古屋大学, 2024 年 12 月 18 日.
12. 複素解析幾何と代数幾何における Gromov の楕円性について. 代数幾何学セミナー, 名古屋大学, 2024 年 12 月 19 日.
13. Oka tubes in holomorphic line bundles. 葉層構造の幾何学とその応用, 京都教育大学, 2024 年 12 月 21 日.
14. On pseudoconvexity of Gromov elliptic manifolds. The 8th workshop “Complex Geometry and Lie Groups,” 大阪大学中之島センター, 2025 年 3 月 13 日.
15. Toward Gromov’s Oka principle with growth conditions, 北大代数解析セミナー, 北海道大学, 2025 年 3 月 26 日.

D. その他の研究活動

1. 福岡複素解析セミナー世話人. 2024 年 4 月–.
2. Young Mathematicians Workshop on Several Complex Variables 2024 世話人. 大阪公立大学, 2024 年 8 月.
3. 第 13 回名古屋大学数理科学同窓会学生奨励賞 (飛田賞) 受賞. 2024 年 10 月.

今野 拓也 (KONNO Takuya)

A. 研究概要

古典的な上半平面上の保型形式は有理数体上の GL_2 のアデル群の保型表現と見なされる。このように解釈することにより、オイラー積展開の非可換類似である制限テンソル積分解が定まり、保型形式の代数性や定義体などの

概念が自然に定義される．さらに保型表現の概念は有理数体以外の代数体上で定義された連結簡約線型代数群のアデル群に拡張できるとされ、実際に、一般線型群のそれは Gelfand-Kazhdan, Bernstein-Zelevinskii や Jacquet-Piatetskii-Shapiro-Shalika により付随する L 関数を用いた記述が得られている (1980 年代)．また、分裂古典群や準分裂ユニタリ群の保型表現は付随する保型 L 関数と内視論により、一般線型群の保型表現と関連づけられるという Langlands-Arthur のプログラムが提起された．このプログラムは Ngo や Arthur 自身, Moeglin-Waldspurger ら多くの研究者の努力により、2010 年代前半にほぼ完成を見た．またこの際に開発された新たな技術を用いた保型形式の周期積分の研究がいわゆる Gan-Gross-Prasad の予想を中心に大きく進展した．

近年はこうした結果が準分裂ではない簡約代数群にどのように広がるかに関心を持っている．一般に代数体 F 上の連結簡約線型代数群 G は可換 F 代数である F のアデル環

$$\mathbb{A} = \varinjlim_S \mathbb{A}(S), \quad \mathbb{A}(S) := \prod_{v \in S} F_v \times \prod_{v \notin S} \mathcal{O}_v$$

に対して、 $\mathbb{A}$ 値点の群 $G(\mathbb{A})$ を対応させる．Bruhat-Tits は 1984 年の論文で、この際にほとんど全ての素点 v で $G_v := F_v \otimes_F G$ は付値環 $\mathcal{O}_v$ 上の順滑アフィン群スキーム $\mathcal{G}_v$ に延びることを示し、実質的に制限直積分解

$$G(\mathbb{A}) = \varinjlim_S G(\mathbb{A}(S)), \quad G(\mathbb{A}(S)) := \prod_{v \in S} G(F_v) \times \prod_{v \notin S} \mathcal{G}_v(\mathcal{O}_v)$$

を保証している．さらに G が準分裂な場合にはそのボレル部分群 B を取るごとに、適切な素点の集合 S と極大コンパクト部分群 $K_v \subset G(F_v)$, ($v \in S$) に対して大域岩澤分解

$$G(\mathbb{A}) = B(\mathbb{A}) \prod_{v \in S} K_v \times \prod_{v \notin S} \mathcal{G}_v(\mathcal{O}_v)$$

が成り立つ．準分裂ではない簡約アデル群でも、保型形式の定義やそのスペクトル分解には、上の分解の類似が必要となる．そのために G_v の $\mathcal{O}_v$ 上の模型を分類する Bruhat-Tits の建物の一般的な構成法を見直し、特に F_v の最大不分岐拡大 F_v^{ur} への係数拡大 G_v^{ur} の建物やその F_v への Galois 降下の考察を進めている [2]．以前は G. Rousseau による Bruhat-Tits 建物の特徴付けを用いることを考えていたが、この結果は書かれた証明がないため、方法を変更した．

当該の岩澤分解については今少し時間が必要だが、その副産物として非アルキメデス局所体 F 上の簡約代数群 G の岩堀球表現について新しい知見が得られた． G の Bruhat-Tits の建物内の勝手なアフィンワイル室 C を取れば、その $G(F)$ での固定化群 K_C は岩堀部分群と呼ばれる． $G(F)$ 上のコンパクト台付き両側 K_C 不変関数からなる畳み込み代数 $\mathcal{H}_{K_C}(G(F))$ は岩堀・松本代数と呼ばれ、 $G(F)$ のアフィンルート系のアフィンヘッケ代数を含む．一方で $G(F)$ の順滑表現 (π, V) で K_C で固定されるベクトルの空間 V^{K_C} で生成されるものを岩堀球表現と呼び、それらのなすアーベル圏を $\mathcal{R}_{K_C}(G(F))$ で表す．このとき $K_C \subset G(F)$ は有限次元 F ベクトル空間上の調和解析における自己双対格子の非可換類似と見なせることがわかった．すなわち $\mathcal{R}_{K_C}(G(F))$ は左 $\mathcal{H}_{K_C}(G(F))$ 加群の圏に同値である．この結果に $\mathcal{H}_{K_C}(G(F))$ の中心についての若干の考察を加えることにより、不分岐 Hecke 代数を記述する佐武同型の簡潔な証明を与えることもできた [1]．

関連してアルキメデス素点における線型代数群の周期の記述に必要な構造の考察も行なった．Casselman による随筆に刺激され、Chevalley 版淡中双対性のコンパクト群の表現論を用いた簡潔な証明を与えた．一方で、アルキメデス局所体上の簡約線型代数群の構造は付随するリーマン対称空間を用いて記述されている．その類似を追求する目的で非アルキメデス局所体上の対称空間 (代数多様体)、いわゆる簡約対称多様体の構造に関心を持っている．保型形式の周期積分の問題設定は非常に広範で、簡約対称多様体で捉えられる場合はごく一部に過ぎないが、簡約対称多様体上の調和解析はそれ自体が興味深い問題である．現状では単一の簡約対称対に対して、複数の簡約対称多様体が考えられているが、これらの中の普遍被覆と呼ぶべきものの構成を進めている．

このような対称多様体の構成のアイデアは冒頭に述べた Langlands-Arthur のプログラムに用いられる、ひねり付き内視論 (twisted endoscopy) から供給される．2000 年には一般線型群とその唯一の外部自己同型 θ に対するひねり付き内視論を用いて、分裂する奇数次特殊直交群、斜交群、準分裂ユニタリ群の generic packet conjecture と呼ばれる予想を証明した．最近、この証明を偶数次の特殊直交群のように主内視群ではない場合に拡張するアイデアを得て、周辺技術の整備を進めている．

B. 研究業績

1. Takuya KONNO *Center of Iwahori spherical representations and Satake isomorphism*, preprint.

2.. Takuya KONNO, *On adelic Iwasawa decomposition of reductive algebraic groups*, in preparation.

C. 講演

1. p 進簡約群の構造, 第 21 回整数論サマースクール「 p 進簡約群の表現論入門」, 箱根高原ホテル, (2013 年 9 月 2 日–6 日) にて.
2. 簡約アデル群の Siegel 領域, 「保型形式ミニワークショップ」, 岡山大学, (2014 年 2 月 8 日–9 日) にて.
3. アデル群上の保型形式, 「熊本保型形式ミニ研究集会」, 熊本大学, (2014 年 5 月 16 日–18 日) にて.
4. On the Satake isomorphism, 「保型形式と数論」池田保先生還暦記念集会, 京都大学, (2023 年 1 月 11 日–13 日) にて.

D. その他の研究活動

坂本 祥太 (SAKAMOTO Shota)

A. 研究概要

近年は非切断ボルツマン方程式の初期値問題及び初期値境界値問題の研究を推進している。執筆者は 2021 に非切断ボルツマン方程式とランダウ方程式のウィーナー空間における定常解周りの問題の解の一意存在を証明した (Duan et al., CPAM, 2021)。この解空間を用いた理由は、先行研究で用いられていたソボレフ空間等では扱えないようなよりなめらかでない初期条件を扱うことであった。特に上記の論文では空間領域は 3 次元トラス $\mathbb{T}^3$ であり、この場合はボルツマン方程式が質量・運動量・エネルギーの保存則を持つことによりフーリエ級数の 0 モードが 0 になり、低周波部分の解析が容易になるという利点があった。しかしながら、同様の初期値問題を 3 次元全空間 $\mathbb{R}^3$ で考察した場合、周波数が離散値から連続値になるためフーリエ 0 モードが 0 であるからといって低周波部分の解析は完結しない。また $\mathbb{T}^3$ 上の空間であるウィーナー空間を $\mathbb{R}^3$ 上で考えた場合の類似空間は関数のフーリエ変換が L^1 であるという空間 L_k^1 だが、このノルムだけでも低周波部分を制御するには十分ではない。従って補助空間として関数のフーリエ変換が L^p ($p > 1$) であるという空間 L_k^p を用いて、両空間におけるエネルギー評価と L_k^1 における時間重み付きエネルギー評価を組み合わせ、 $\mathbb{R}^3$ 上の非切断ボルツマン方程式の定常解周りの初期値問題に対して時間大域解とその時間減衰レートを証明した。この結果は SIAM J. Math. Anal. に掲載済みである (下記参照)。

本年は定常解周りの摂動問題の解の一意性について考察した。非常に正則性の低い解についてはまだ一意性が得られていないので、非線形項を線形化し正則性評価を導出したいが、現在この方法について検討中である。

B. 研究業績

1. An $L_k^1 \cap L_k^p$ approach for the non-cutoff Boltzmann equation in $\mathbb{R}^3$. SIAM J. Math. Anal. **56**(2024), no.1, 762 – 800.

C. 講演

1. Global solution to the Boltzmann equation without cutoff on the whole space in $(L^1 \cap L^p)_k$. 九州関数方程式セミナー 2023 年 5 月 12 日
2. Global solution to the Boltzmann equation without cutoff on the whole space in $(L^1 \cap L^p)_k$. 応用解析研究会 2023 年 6 月 24 日
3. Global solution to the Boltzmann equation without angular cutoff in $(L^1 \cap L^p)_k$. 流体と気体の数理解析 2023 年 7 月 7 日
4. Solution to the Boltzmann equation without cutoff in $(L^1 \cap L^p)_k$. ICIAM 2023 2023 年 8 月 21 日
5. Faster decay of the microscopic part of a solution to the Boltzmann equation. Seminar at CUHK, 2023 年 9 月 27 日
6. Faster decay of the microscopic part of a solution to the Boltzmann equation without angular cut-off. East Asian Workshop on PDEs from Kinetics and Continuum Mechanics 2023 年 11 月 30 日

7. Global solutions to the Boltzmann equation without angular cut-off that are characterized by integrability of their Fourier transform. 微分方程式の総合的研究 2023 年 12 月 17 日
8. Faster decay of the microscopic part of a solution to the Boltzmann equation. CM2LA Seorabeol Research Station: Workshop in Kinetic Theory 2024 年 1 月 10 日
9. Faster decay of the microscopic part of a solution to the Boltzmann equation. Workshop on PDE Week-Kinetic and Related Topics 2024 年 2 月 2 日
10. 全空間上の非切断 Boltzmann 方程式の時間大域解とその微視的部分の速い減衰大阪大学 微分方程式セミナー 2024 年 5 月 24 日
11. Global solutions to the non cutoff Boltzmann equation with low-regularity initial data 偏微分方程式姫路研究集会 (2025) 2025 年 3 月 4 日

D. その他の研究活動

国際研究集会 ‘Fluids and Maximal Regularity’ を京都大学において 2024/09/09-11 に開催した。

また国際研究集会「第 42 回 九州における偏微分方程式研究集会」を西新プラザにおいて 2025/01/27-29 に開催した。

佐藤 康彦 (SATO Yasuhiko)

A. 研究概要

作用素環論の文脈で現れる条件付き期待値を用いることにより、物理量としてよく調べられる KMS 状態とトレースが対応づく事が知られている。主に当該年度はこの対応を無限次元係数を持つ KMS 状態へ拡張する事を目指した。接合積 C^* 環と呼ばれる環の KMS 状態と接合積をとる前の (元の) C^* 環のトレースとの対応が Bratteli-Elliott-Herman の研究により古くから知られていた。通常の離散群の作用では接合積から元の C^* 環に条件付き期待値が存在し、この条件付き期待値によりトレースと KMS 状態の物理量が対応している。これまでの研究では、私の分類可能理論を適用し、1 係数すなわち実数 $\mathbb{R}$ の作用で得られる KMS 状態を全て列挙する事が可能となっていた。この結果は G.A.Elliott 氏との共著として本年 PRIMS への掲載が決定している。本年度はこの枠組みを多数係数、さらには無限次元の係数へ拡張し、条件付き期待値に対し KMS 状態とトレースを対応づける条件を導き出した。技術的には自由群の作用が弱 Rohlin 性を持つ場合に接合積と、元の C^* 環の間に KMS-トレース対応が得られる事がわかり、既知として知られていた KMS 状態に関する研究を無限次元へ押し上げる事に成功した。

これらの結果は 2024 年に中国の上海と河北の国際研究集会で発表済みである。無限次元係数を持つ KMS 状態の研究は、最先端の分類理論では手の届かない困難が多い。そもそも無限次元係数の KMS 状態の定義が認知されておらず、加えて非従順群として知られる自由群の作用など克服すべき問題が多かった。それらの問題点を解決し「相対的な近似対角の実現」「KMS-トレース対応と Rohlin 性の関連」など今後の研究に効果が期待できる結果が得られた。

当初は一係数 KMS 状態に関する我々の先行研究を多変数のパラメータに拡張する事を目的としていたが、予想に反し無限次元への拡張が得られた点が大い進捗といえる。これまでは各パラメータ毎に自由群の位数を変更し研究するという手法が一般的であったが、この拡張により無限位数の自由群一つを扱えば他を影の様に扱う事ができる様になるので、この方向性としてはある種極大なものが得られたと考える。しかし当初予定していたよりも解決すべき問題点が多く論文の執筆に遅れが出ている。

B. 研究業績

1. Rationally AF algebras and KMS states of $\mathbb{Z}$ -absorbing C^* -algebras G. A. Elliott, Y. Sato, Publications of the Research Institute for Mathematical Sciences (2025) 掲載受理

C. 講演

1. Endomorphisms of $\mathbb{Z}$ -absorbing C^* -algebras without conditional expectations, International Workshop on Structure of C^* -algebras, 2024, 2. KMS bundles of rationally AF algebras with finitely many parameters, Special Week on Operator Algebras 2024,

D. その他の研究活動

平良 晃一 (TAIRA Kouichi)

A. 研究概要

近年は、シュレディンガー時間発展作用素の時間減衰評価や平滑化効果、楕円型でない作用素のスペクトル理論の構築、行列値型作用素の半古典理論、及び距離空間上のマグニチュードに関する研究を行っている。本年度は以下の問題に取り組んだ：

- (k, a) Laguerre 作用素の Strichartz 評価についての論文（田森氏（芝浦工業大学）との共同研究）が SIGMA から出版された。また、一般的なフーリエ掛け算作用素に、無限遠方でゆっくりと減少する反発型のポテンシャルを加えた場合に、シュレディンガー発展作用素の時間減衰評価を示した論文が Annales Henri Poincaré に受理された。
- 非楕円型作用素のうち、簡単に自己共役性が証明できるものをいくつか考えて、そのスペクトルの性質としてどのようなものが現れるか考察した。
- 行列値の半古典シュレディンガー作用素を考え、共鳴状態の解析において重要な役割を果たす connection formula と呼ばれる公式を一般的な形で証明した。特別な場合に限っては以前からその証明がいられていたが、そこで用いられた手法は技術的な理由により、一般化するのが困難であった。今回の研究では、技術的な議論を排除して一般化することに成功し、かつより幾何学的に自然な形で connection formula を再定式化した。この研究は Louatron 氏（立命館大学）と樋口健太氏（愛媛大学）との共同研究であり、論文は現在執筆中である。
- 有限距離空間上のマグニチュード関数と呼ばれる普遍量（の族）を考えて、small scale limit と呼ばれる、空間を一様に 1 点に潰した時にマグニチュード関数がどのような性質を持つのか考察した。本研究では、Roff-Yoshinaga の研究で現れた展開式が、古典的な Cayley-Menger 行列式と呼ばれる、ユークリッド空間への埋め込みの判定に用いられる量に一致することを指摘した。それを用いて 5 点距離空間の small scale limit に関する結果を得た。この研究は浅尾氏（福岡大学）との共同研究であり、論文は現在執筆中である。
- $X = (0, \infty) \times \rho S^{n-1}$ の形の錐的な多様体上で分散型評価（強い意味での時間減衰評価）について考察し、半径 ρ の大きさが 1 以上の場合にはこれが成り立ち、 $\rho < 1$ の場合には成り立たないことを証明した。2024 年に arxiv に投稿された Jia-Zhang の結果は、より一般に $X = (0, \infty) \times M$ の形の多様体を見ると、 M の conjugate radius が π より大きい場合には分散型評価が成り立つというもので、 $M = \rho S^{n-1}$ の場合にはこの条件は $\rho > 1$ に相当する。今回の研究では、 $M = \rho S^{n-1}$ という特別な場合にこの条件が（ほぼ）本質的であることを証明し、かつ調和解析を用いたより簡明な証明を与えた。論文は現在執筆中である。

B. 研究業績

1. Kouichi Taira, Equivalence of classical and quantum completeness for real principal type operators on the circle, arXiv:2004.07547, submitted.
2. Kouichi Taira, Hiroyoshi Tamori, Strichartz estimates for the (k, a) -generalized Laguerre operators, SIGMA 21 (2025), 014, 37 pages.
3. Kouichi Taira, Local time decay for fractional Schrödinger operators with slowly decaying potentials, to appear in Annales Henri Poincaré, arXiv:2403.16148.

C. 講演

1. 平良晃一, Essential self-adjointness of wave operators on Lorentian manifolds, 九大・数理 数理物理セミナー, 九州大学伊都キャンパス, 2024 年 6 月.

2. 平良晃一, Uniform resolvent estimates for the discrete Schrödinger operator in dimension three, 九州関数方程式セミナー, 九州大学伊都キャンパス, 2024 年 6 月.
3. 平良晃一, 波の伝播と超局所解析, 数理談話会, 九州大学伊都キャンパス, 2024 年 6 月.
3. 平良晃一, Spectral theory for the d'Alembertian on Lorentzian manifolds, 幾何学セミナー, 九州大学伊都キャンパス, 2024 年 6 月.
4. 平良晃一, Spectral properties of some non-elliptic operators, 研究集会 第 30 回 数理物理と微分方程式, 亀の井ホテル鴨川, 2024 年 10 月.
5. 平良晃一, Smoothness of the fundamental solution of Schrödinger equations on Riemannian manifolds, Non-Commutative Probability and Related Topics 2024, 九州大学西新プラザ, 2024 年 10 月.
6. Koiuchi Taira, The WKB method and its application to spectral theory, BKC, Ritsumeikan University, October, 2024.
7. 平良晃一, Spectral properties of some non-elliptic operators, 福岡数理物理研究集会 - 廣島文生先生 還暦記念-, 九州大学 伊都キャンパス, 2024 年 11 月.
8. 平良晃一, Strichartz estimates for (k, a) -generalized Laguerre operators, 第 197 回神楽坂解析セミナー, 東京理科大学神楽坂校舎 13 号館 (森戸記念館), 2024 年 11 月.
9. 平良晃一, マグニチュードの 1 点性と Cayley-Menger 行列式, Magnitude 2024, 九州大学西新プラザ, 2025 年 1 月.
10. 平良晃一, Smoothness of the fundamental solution of Schrödinger equations on Riemannian manifolds, 愛媛大学解析セミナー, 愛媛大学, 2025 年 1 月.
11. 平良晃一, Essential self-adjointness for real-principal type operators, 信州微分方程式セミナー, 信州大学, 2025 年 2 月.
12. 平良晃一, Resolvent estimates near the spectrum and their application to a time decay estimate for the time propagator, Saga Workshop on Partial Differential Equations, 佐賀大学本庄キャンパス, 2025 年 3 月.

D. その他の研究活動

特になし.

竹田 雄一郎 (TAKEDA Yuichiro)

A. 研究概要

アラケロフ幾何学における計量つきベクトル束の算術的特性類の理論を高次化することを目標に研究を行った. その方法は, 次のとおりである: まず, 算術的多様体に対してそれに付随する iterated double よばれる既約でない代数多様体 (球面の代数幾何における類似物) を考えて, その iterated double 上の計量つきベクトル束の特性形式の理論を構築した. これは, ある種の条件をもつ計量つきベクトル束に対して, 元の算術的多様体の微分形式を対応させるものである. その結果を用いて, iterated double 上の計量つきベクトル束に付随する算術的チャーン指標を構成した. その算術的チャーン指標の性質を調べることで, それが (筆者が以前定義した) 高次算術的 K 群から高次算術的チャウ群への写像 (算術的チャーン指標の高次での類似物) を与えることを示した. また, その写像が算術的 K_0 群や算術的チャウ群との積構造と両立することを示した [1].

t -コアと呼ばれる特別な分割に関する研究を行った. K. Ono と L. Sze の論文にある t -コア分割のラベルづけから研究を始めて, そのラベルづけに関連したある正定値 $(t-1)$ 元 2 次形式を見つけた. この 2 次形式の直交群は t 次対称群と $\{\pm 1\}$ の直積を含み, ある条件をもつ整数を成分とする $(t-1)$ 次ベクトルの t 次対称群による軌道が, t -コア分割と 1 対 1 に対応する. また, この軌道には t 次対称群が自由に作用していることを示した.

また上に述べた分割数の研究の手法を, 自然数を 3 つの平方数の和で表す表現の個数の研究に応用した. 3 つの平方数の和による表現の個数の母関数はテータ関数の 3 乗になることから, 異なる自然数に対する表現の個数の間にはある関係式がなりたつ. 筆者は, 異なる自然数に対する表現の間に対応を与えることにより, 母関数を用いなくてこの関係式を証明した [2].

B. 研究業績

1. Higher arithmetic Chern character, preprint.
2. On representations of an integer as a sum of three squares, preprint.

C. 講演

D. その他の研究活動

特になし.

佃 康司 (TSUKUDA Koji)

A. 研究概要

確率分割 (ランダムな整数の分割), 確率過程の統計学, 回帰分析, 多変量解析, 広告マネジメントについて研究している. 2024 年度は主に次の内容について研究した:

- Pitman 抽出公式に従う確率分割の長さの積率に対する漸近評価
- 多変量 allometric regression model のもとでの第一主成分ベクトルに対する推定
- 高次元パラメータをもつエルゴード的確率過程のセミパラメトリックモデルに対するスパース推定
- Allometric extension の関係にある部分集団からなる集団に対して spectral clustering algorithm を用いたときの精度評価 (研究室に所属している学生との共同研究)
- 一般線形モデルにおける二つの一般リッジ推定量の同等性 (研究室に所属している学生との共同研究)

B. 研究業績

1. Koji Tsukuda, Shuhei Mano, Toshimichi Yamamoto. (2020). Bayesian approach to discriminant problems for count data with application to a multilocus short tandem repeat dataset. *Statistical Applications in Genetics and Molecular Biology* **19**(2), 20180044, 18 pp.
2. Koji Tsukuda, Hiroshi Kurata. (2020). Covariance structure associated with an equality between two general ridge estimators. *Statistical Papers* **61**(3) 1069–1084
3. Koji Tsukuda, Yoichi Nishiyama. (2020). Weak convergence of marked empirical processes in a Hilbert space and its applications. *Electronic Journal of Statistics* **14**(2) 3914–3938.
4. Koji Tsukuda. (2020). Error bounds for the normal approximation to the length of a Ewens partition. In: Hoshino N., Mano S., Shimura T. (eds) *Pioneering Works on Distribution Theory* 55–73.
5. Koji Tsukuda, Shun Matsuura. (2021). Limit theorem associated with Wishart matrices with application to hypothesis testing for common principal components. *Journal of Multivariate Analysis* **186**, 104822.
6. Koji Tsukuda, Shun Matsuura. (2023). High-dimensional hypothesis testing for allometric extension model. *Journal of Multivariate Analysis* **197**, 105208.
7. 佃 康司. (2023). 2つのパラメータが大きいときの Ewens 抽出公式に対するポアソン近似に関する結果の紹介. 日本統計学会誌 **53**, 205–225.
8. Mukasa, H., Tsukuda, K. (2025). Equality between two general ridge estimators and equivalence of their residual sums of squares. *Statistical Papers* **66**, 27.
9. Kawamoto, K., Goto, Y., Tsukuda, K. (2025). Spectral clustering algorithm for the allometric extension model. *Statistical Papers* **66**, 63.

C. 講演

1. 佃 康司, 松浦 峻. ウィシャート行列に関する高次元極限定理を用いた共通主成分性の仮説検定. 2020 年度統計関連学会連合大会, 2020 年 9 月.
2. 佃 康司, 松浦 峻. 四つのウィシャート行列の積のトレースに関する高次元極限定理とその応用. 日本数学会 2020 年度秋季総合分科会, 2020 年 9 月.
3. 佃 康司. Pitman 分割の長さの積率に対する漸近評価. 研究集会「大規模データの公開におけるプライバシー保護の理論と応用」, 2020 年 12 月.
4. 佃 康司. Pitman 分割の長さの積率に対する漸近評価. 日本数学会 2021 年度年会, 2021 年 3 月.
5. 佃 康司, 松浦 峻. Flury の共分散行列モデルに対する高次元二標本検定の検討. 2021 年度統計関連学会連合大会, 2021 年 9 月.
6. 佃 康司, 松浦 峻. 二つの母共分散行列の共通主成分性に対する高次元検定. 日本数学会 2021 年度秋季総合分科会, 2021 年 9 月.
7. Koji Tsukuda, Shun Matsuura. On high-dimensional testing for common principal components model. 国際シンポジウム「International Symposium on New Developments of Theories and Methodologies for Large Complex Data」, 2021 年 11 月.
8. 佃 康司, 松浦 峻. Allometric extension モデルの高次元検定法について. 応用統計学会 2022 年年会, 2022 年 5 月.
9. Koji Tsukuda, Shun Matsuura. Testing allometric extension in high-dimensional and spiked eigenvalue situations. 5th International Conference on Econometrics and Statistics, 2022 年 6 月.
10. 佃 康司. 突然変異パラメータと標本サイズが同時に大きくなる場合の Ewens 抽出公式に対するポアソン近似について. 2022 年度統計関連学会連合大会, 2022 年 9 月.
11. 佃 康司. Pitman 分割の長さの漸近挙動について. 日本数学会 2022 年度秋季総合分科会, 2022 年 9 月.
12. 佃 康司, 古谷野 良太. オンライン広告の効果測定における質的変数の影響分析に関する研究. 日本品質管理学会 第 52 回年次大会 研究発表会, 2022 年 11 月.
13. Kou Fujimori, Koji Tsukuda. The Dantzig selector for semiparametric models of stochastic processes. 6th International Conference on Econometrics and Statistics, 2023 年 8 月.
14. Koji Tsukuda, Shun Matsuura. A study on estimation in multivariate allometric regression. 6th International Conference on Econometrics and Statistics, 2023 年 8 月.
15. Kohei Kawamoto, Yuichi Goto, Koji Tsukuda. Evaluating the error probability of the spectral clustering algorithm in the allometric extension model. 6th International Conference on Econometrics and Statistics, 2023 年 8 月.
16. 佃 康司. Allometric extension モデルに対する高次元検定についての研究. 統計サマーセミナー 2023, 2023 年 8 月. (ポスター発表)
17. 藤森 洸, 佃 康司. 高次元パラメータを含む確率過程のセミパラメトリックモデルに対する Dantzig selector. 2023 年度統計関連学会連合大会, 2023 年 9 月.
18. 河本 亘平, 後藤 佑一, 佃 康司. Evaluating the error probability of the spectral clustering algorithm in the allometric extension model. 2023 年度統計関連学会連合大会, 2023 年 9 月.
19. 佃 康司, 松浦 峻. Allometric extension モデルに対する高次元仮説検定とその応用. 2023 年度統計関連学会連合大会, 2023 年 9 月.
20. 佃 康司, 松浦 峻. 高次元の設定における allometric extension モデルの仮説検定について. 日本数学会 2023 年度秋季総合分科会, 2023 年 9 月.
21. 藤森 洸, 佃 康司. The Dantzig selector for semiparametric models of stochastic processes. 日本数学会 2023 年度秋季総合分科会, 2023 年 9 月.
22. 藤森 洸, 佃 康司. Two step estimations via the Dantzig selector for models of stochastic processes with high-dimensional parameters. 科研費シンポジウム「統計科学と関連分野における諸問題に関する理論と方法論の革新的展開」, 2023 年 9 月.
23. 佃 康司, 古谷野 良太. 複数媒体へ出稿したオンライン広告の効果測定における質的変数の影響分析. 日本品質管理学会 第 53 回年次大会 研究発表会, 2023 年 11 月.

24. 佃 康司. ゼロ修正ポアソン分布に関連する条件付き標本分布について. 研究集会「大規模データの公開におけるプライバシー保護の理論と応用」, 2023 年 12 月.
25. Kou Fujimori, Koji Tsukuda. Two step estimations via the Dantzig selector for ergodic time series models. International Symposium on Recent Advances in Theories and Methodologies for Large Complex Data, 2023 年 12 月.
26. Koji Tsukuda. Asymptotic distribution of the trace of the products of four high-dimensional Wishart matrices and its application. The Institute for Mathematical Statistics – Asia-Pacific Rim Meeting 2024, 2024 年 1 月.
27. 佃 康司, 松浦 峻. 多変量 allometric 回帰モデルにおける第一主成分の推定について. 日本数学会 2024 年度年会, 2024 年 3 月.
28. 藤森 洸, 佃 康司. Two step estimations via the Dantzig selector for ergodic time series models. 日本数学会 2024 年度年会, 2024 年 3 月.
29. 佃 康司. Allometric extension モデルおよび関連するモデルに対する推測の研究. MfIP 連携探索ワークショップ 数学を軸とする新たな価値創造に向けて, 2024 年 4 月. (ポスター発表)
30. 河本 亘平, 後藤 佑一, 佃 康司. Allometric extension model に対する spectral clustering algorithm の評価. 応用統計学会 2024 年年会, 2024 年 5 月. (ポスター発表)
31. Koji Tsukuda. A study on estimation in the multivariate allometric regression model. Kyushu University/Seoul National University - Statistics DS workshop, 2024 年 6 月.
32. Kou Fujimori, Koji Tsukuda. Two step estimations via the Dantzig selector for ergodic time series models. 6th International Conference on Econometrics and Statistics, 2024 年 7 月.
33. 松浦 峻, 佃 康司. 多変量 Allometric Regression モデルにおけるパラメータ推定について. 2024 年度統計関連学会連合大会, 2024 年 9 月.
34. 穆佐 飛来, 佃 康司. 2 つの一般リッジ推定量及びその残差平方和の等価性. 2024 年度統計関連学会連合大会, 2024 年 9 月.
35. 河本 亘平, 後藤 佑一, 佃 康司. Spectral clustering algorithm for the allometric extension model. 日本数学会 2024 年度秋季総合分科会, 2024 年 9 月.
36. 佃 康司, 松浦 峻. Allometric 回帰モデルにおける推定量. 日本数学会 2024 年度秋季総合分科会, 2024 年 9 月.
37. 藤森 洸, 佃 康司. Two step estimations via the Dantzig selector for models of stochastic processes with high-dimensional parameters. 第 29 回 情報・統計科学シンポジウム, 2024 年 12 月.

D. その他の研究活動

1. その他の記事

- (1) 佃 康司. (2023). 第 52 回年次大会. 品質 **53**(1), 20–27. (まえがき (p.20) のみ執筆)
- (2) 佃 康司. (2024). Yoichi Nishiyama: Martingale Methods in Statistics. 数学 **76**, 105–111. (書評)

2. 学会における委員等

- 一般社団法人 日本品質管理学会, 代議員.
- 日本品質管理学会 論文誌編集委員会, 編集委員.
- 日本数学会 統計数学分科会, 運営委員.
- Kyushu University/Seoul National University - Statistics DS workshop (2024 年 6 月 28 日, 7 月 10 日), Co-organizer.

薦谷 充伸 (TSUTAYA Mitsunobu)

A. 研究概要

私は代数的位相幾何学を専門として研究しており、これまで A_∞ 構造と呼ばれる高次ホモトピー構造に関する研究を主に行ってきたが、近年はそこから派生してより具体的な幾何的現象や構成の研究にも多く取り組んでいる。

今年度は特に、前年度から続けてきた擬トーリック多様体の基点付きループ空間の研究、非コンパクト多様体上の Morse 理論の研究をおこない、これらの論文を完成させた（前者は掲載決定）。後者については、臨界点の「個数」が無限個になる問題を group of coinvariants の元として「個数」の概念を一般化することで解決し、熱核の手法を非コンパクト多様体に拡張することで一般化に成功した。

また、有限モノイドの分類空間のホモトピー型についても研究を進めている。モノイドの分類空間は任意の弧状連結な位相空間の弱ホモトピー型を実現することが知られているが、具体的に与えられたモノイドの分類空間はこれまで研究されてこなかった。本研究では計算機を用いて位数の少ないモノイドの中で意味のあるものをしらみつぶしに探すなど、これまで用いたことの無かった手法にも挑戦している。こちらの研究については現在論文を執筆中である。

B. 研究業績

1. S.Hasui, D. Kishimoto, Y. Tong, M. Tsutaya, Homotopy commutativity in quasitoric manifolds, accepted for publication in Algebr. Geom. Topol.
2. T. Kato, D. Kishimoto, M. Tsutaya, Morse inequalities for noncompact manifolds, preprint.

C. 講演

1. Morse inequalities for amenable coverings, ホモトピー論シンポジウム, 沖縄県立博物館・美術館, June 2024.
2. Higher homotopy normalities in topological groups, Algebraic Topology and Related Fields (Conference in honor of Nguyen H.V. Hung's 70th birthday), HUS, Vietnam National University, August 2024.

D. その他の研究活動

2025 年 1 月開催の「福岡ホモトピー論セミナー」の世話人を担当した。

角田 謙吉 (TSUNODA Kenkichi)

A. 研究概要

流体力学極限と呼ばれるスケール極限に関する問題に興味を持って研究を行なっている。流体力学極限の問題に対して 1990 年代に Varadhan によるブレイクスルーがあったが、それ以来確率論や数理物理の分野において現在も重要な問題として研究されている。流体力学極限を研究する上で重要なことは、局所エルゴード性とよばれる性質の証明にある。局所エルゴード性の証明で鍵となるのは相対エントロピーであるが、近年相対エントロピーに定量的に精密な評価を与えることにより、従来扱えなかった問題まで扱えるようになってきている。ここ数年はそのような問題に関連することを中心に、流体力学極限に関連するスケール極限の研究を行なっている。

B. 研究業績

1. T. Funaki, P. van Meurs, S. Sethuraman and K. Tsunoda. Motion by mean curvature from Glauber-Kawasaki dynamics with speed change. J. Stat. Phys. Vol. 190, (2023) Article number: 45.
2. T. Funaki, P. van Meurs, S. Sethuraman and K. Tsunoda. Constant-speed interface flow from unbalanced Glauber-Kawasaki dynamics. Ensaios Mat. Vol. 38, (2023) 223–248.
3. Y. Hiraoka, S. Kanazawa, J. Miyanaga and K. Tsunoda. Large deviation principle for persistence diagrams of random cubical filtrations. J. Appl. Comput. Topol. Vol. 8, (2024) 1649–1700.
4. T. Kagaya and K. Tsunoda. Sharp interface limit for a quasi-linear large deviation rate function. Math. Phys. Anal. Geom. Vol. 27, (2024) Article number: 21.
5. P. van Meurs, K. Tsunoda and L. Xu. Incompressible limit for weakly asymmetric simple exclusion processes coupled through collision. Electron. J. Probab. Vol. 29, (2024) 1–36.

C. 講演

1. Scaling limits for Glauber-Kawasaki process, The 13th AIMS conference on dynamical systems, differential

- equations and applications, University of North Carolina Wilmington, 2023/06/04.
2. Scaling limits for Glauber-Kawasaki process, 11th International conference on stochastic analysis and its applications, ICMS, Bayes centre, 2023/06/27.
 3. Sharp interface limit for Glauber-Kawasaki process, Stochastic processes and related fields, Kyoto University, 2023/09/07.
 4. 反応拡散模型に対するスケール極限, 東北確率論セミナー, 東北大学, 2023/11/24.
 5. Incompressible limit for a weakly asymmetric simple exclusion process with collision, Random interacting systems, scaling limits, and universality, National University of Singapore, 2023/12/13.
 6. 流体力学極限に対する大偏差原理, 数理談話会, 九州大学, 2023/12/21.
 7. Glauber+Kawasaki 過程のレート関数に対する特異極限, 2023 年度確率論シンポジウム, 立命館大学, 2023/12/28.
 8. Large deviations for random graphs, 無限粒子系、確率場の諸問題 XVIII, 奈良女子大学, 2024/01/20.
 9. Sharp Interface Limit for Glauber-Kawasaki Process, French Japanese conference on probability & interactions, Institut des Hautes Études Scientifiques, 2024/03/06.
 10. Sharp interface limit for a quasi-linear large deviation rate function, Interacting particle systems and stochastic analysis, Beijing Institute of Mathematical Sciences and Applications, 2024/03/24.
 11. Large deviations for a stochastic lattice-gas model, 佐々研究室セミナー, Online, 2024/07/02.
 12. Incompressible limit for a weakly asymmetric simple exclusion process with collision, 2nd China-Japan-Korea Joint Probability Workshop, Ramada by Wyndham Jeju in the Hamdeok, 2024/10/10.
 13. Incompressible limit for a weakly asymmetric simple exclusion process with collision, Workshop on Probability and Mathematical Physics in Gimhae 2024, Lotte Hotels & Resorts GIMHAE, 2024/12/17.

D. その他の研究活動

1. 21st Stochastic analysis on large scale interacting systems, 23–26 October 2023, RIMS, Kyoto University.
2. Kyushu Probability Seminar 1 day workshop, 7 August 2024, Nishijin PLAZA, Kyushu University.
3. 22nd Stochastic analysis on large scale interacting systems, 18–21 November 2024, Graduate School of Mathematical Sciences, the University of Tokyo.

新居 俊作 (NII Shunsaku)

A. 研究概要

(1) 一次元反応拡散方程式等の一次元放物型方程式の進行波の存在の問題は、適切な相空間上のホモ／ヘテロクリニック軌道の存在の問題に書き直すことが出来る。更に、系に対する適当な摂動によって、このホモ／ヘテロクリニック軌道が分岐を起こすならば、進行波も対応する分岐を起こすことになる。従って、一次元放物型方程式の進行波の分岐理論の一部は力学系の大域分岐理論を用いて記述されることになる。更に、進行波の安定性の問題という、上述の相空間上の力学系では明示的には記述されない問題についても、当該の進行波の分岐構造が安定性にも強い影響を与えているため、やはり力学系の分岐理論と密接に関連している。この様な視点から、ホモ／ヘテロクリニック軌道の分岐の幾何学的構造がどのように進行波の安定性に反映しているかを位相的な手法を用いて研究をしてきた。これに対し直近の研究は、1990 年に J.Alexander, R.Gardner, C.Jones の三者による提案に始まり私自身もその発展に寄与している Stability Index の理論の高次元系への拡張に焦点を絞って行なった。すなわち、Stability Index は従来空間一次元の方程式に対してのみ定義されていたのだが、これを空間 2 次元以上で定義された方程式に対してもある種の拡張が定義できること、及び、その際に期待される、空間一次元の方程式に対するものと同様の基本的な性質が成り立つことを示した。更に、上記の拡張は、当初無限帯状領域において定義された楕円型作用素について行われたが、この枠組みは有界星状領域上で定義された楕円型作用素の境界値問題等の他の設定への応用も行なった。

この研究の困難は、本質的に無限次元の対象を扱わなければならないことであり、空間一次元系の安易な拡張からは自明な結論しか得られないことであった。この困難は、最終的には考える作用素の空間を Fredholm 作用素の

範囲に制限し, Fredholm Grassman 多様体を用いて Index を定義することで解決された. この研究以前に知られていたこととして, 方物型の微分差分方程式への同 Index の拡張では, 「半無限次元」を扱うことになり, この場合は直接的な拡張が可能であった. この, 直接の拡張から得られた Index と今回の本質的に無限次元の場合への拡張とが, 「半無限次元」の範囲では同値な Index を与えることも示している.

(2) 非退化条件を課してベクトル場の等の特異点の分類を行うスタンダードな分岐理論とは逆に, 完全に退化した状況からシステムを眺めることによって分岐解析が行えることを, 実例によって示した.

(3) 蔵本モデルの相転移現象に関して, 元々の蔵本モデル及びその後の研究の大部分は, 本質的に無限次元の枠組みで捉えられるべきものであり, 有限次元の極限として考えた場合には蔵本理論とは異なる結果を与える事を指摘した.

(4) 相転移の問題はこれまで主に解析的な手法を用いて研究された. その手法は, 先ず有限サイズのイジング模型などの具体的な有限サイズの統計力学的なモデルに対し解析的な手段を用いて分配関数などの統計量やその近似値を計算し, 次にその統計量のモデルのサイズが無限大での極限における振る舞いを直接的或いは近似的に求めるというものである. この様な手法では, 実際に相転移が起こることを同定することはできるが何故そのような現象が起こるかの背景にある数学的な構造を理解することは難しい. これに対し, 相転移の問題を幾何学的な視点から捉え直す試みがごく最近一部で始まっている. そこでの議論は, 各モデルのエネルギー関数について, それが与えられた値をとるような超曲面の幾何学的な構造と相転移を関連付けることにより, 相転移現象の数学的な構造を理解しようというものである. この相転移の幾何学的な固有に関連して, 任意のシステムサイズに対しポテンシャルがモース関数になる隣接相互作用の genericity を証明した.

更に, φ^4 モデルと呼ばれる具体的な系において相転移の起きる具体的なメカニズムを推定することに成功した. この系は有限サイズでは等エネルギー曲面が特異点を持たずその幾何学的な構造は不変であるが, サイズを無限大にする極限における「漸近的な連結性の崩れ」の概念の定式化により相転移を説明出来ることが明らかになった.

(5) 明治大学の関坂歩幹氏と共同で, 指数的に減衰する摂動項をを付けた一次元 Shrödinger 作用素の固有値問題において Maslov Index と呼ばれる位相的な手法を用いることによって, 既存の結果と比較して圧倒的に少ない計算量でより精密な結果を出すことに成功した.

B. 研究業績

1. Genericity of interactions with potentials being Morse functions, Journal of Geometry and Physics 129(2018), pp. 233–237
2. Computer assisted verification of the eigenvalue problem for one-dimensional Shrödinger operator, with A. Sekisaka, Mathematical Challenge to a New Phase of Materials Science, pp. 145–157, Springer, 2016

C. 講演

1. 変分原理, 対称性, 熱力学概説, 北大 MMC セミナー, 北海道大学 2016 年 2 月
2. Carathéodory 流熱力学の紹介, 量子と古典の物理と幾何学, 港のホテル 2016 年 4 月
3. 微分形式による熱力学入門, 語ろう数理解析, 芝浦工業大学 2016 年 5 月
4. マスロフ指数入門, 語ろう数理解析, 京都大学 2016 年 8 月
5. マスロフ指数入門, 拡散に付随する数理科学セミナー, 九州大学 2017 年 1 月
6. 進行波の安定性に対する Stability Index, 量子と古典の物理と幾何, 九州大学, 2017 年 11 月
7. “Finite Element Exterior Calculus” のためのトポロジー入門, 幾何と数値解析, 九州大学東京オフィス, 2023 年 12 月

D. その他の研究活動

1. 力学系研究集会-理論から応用へ, 応用から理論へ- (2010 年) 世話人
2. 研究集会” Far from Equilibrium Dynamics 2011” 組織委員
3. The 4-th Mathematical Society of Japan Seasonal Institute ” Nonlinear Dynamics in Partial Differential Equations” (2011) Scientific committee.
4. 非線形集中セミナー世話人 (2023 年)
5. 幾何と数値解析 (2023 年) 世話人

6. 幾何と数値解析 (2024 年) 世話人

樋上 和弘 (HIKAMI Kazuhiro)

A. 研究概要

- 結び目・3次元多様体の量子不変量には Jones 多項式や Witten–Reshetikhin–Turaev 不変量などさまざまなものがある。これら量子不変量のうち、モジュラー形式に「近い」性質を持つものがあり量子モジュラー形式と呼ばれる。Kontsevich–Zagier 級数がその一例であり、1 の冪根での値は三葉結び目の Kashaev 不変量と一致する。Khovanov 不変量や超多項式に代表される量子不変量の精密化を目指すため、ヤコビ形式のように量子モジュラー形式を眺めてみることも面白いものと思われる。前年度よりこの立場に基づき、double affine Hecke 代数 (DAHA) を用いた量子不変量の研究に取り組んだ。これまで Cherednik による DAHA を用いた量子不変量の構成は知られていたが、非双曲結び目であるトーラス結び目の場合に限られていた。Askey–Wilson 多項式に用いられる $C^\vee C_1$ 型 DAHA を拡張することによって、ダブルトーラス上のスケイン代数を記述する新しい DAHA を構成した。Dehn ツイストに対応する自己同型を用いて有理結び目の量子不変量の新しい構成方法を提出した。また、2 点穴あきトーラス上のスケイン代数についても DAHA による新しい記述を得るとともに、クラスター代数による構成を行った。高種数の場合や高ランクの場合についても部分的な結果を得た。
- 様々な頂点作用素代数においてあらわれる指標は、モジュラー形式の観点からも興味深い研究対象である。特に、対数型頂点作用素代数において、偽テータ関数のようなモジュラー形式に「近い」ものが出現する。対数型の指標について量子不変量との関係を調べトーラス絡み目と対数 Virasoro 代数の指標との対応関係を明らかにした。

B. 研究業績

1. K. Hikami, Generalized double affine Hecke algebra for double torus, Lett. Math. Phys. **114**, 102 (2024)
2. K. Hikami, A note on double affine Hecke algebra for skein algebra on twice-punctured torus, J. Geom. Phys. **209**, 105408 (2025)

C. 講演

1. 樋上, 二重アフィン Hecke 代数とスケイン代数, 研究集会「スケイン代数とその周辺」, 大阪公立大学, 2024 年 10 月

森田 陽介 (MORITA Yosuke)

A. 研究概要

等質空間 G/H に G の離散部分群 Γ が固有かつ自由に作用するとき、商空間 $\Gamma \backslash G/H$ は G/H を局所的なモデルとする多様体になる。このとき $\Gamma \backslash G/H$ を Clifford–Klein 形という。 G の簡約部分群 L が G/H に固有に作用するとき、 L の離散部分群たちもみな G/H に固有に作用する。この方法で得られる固有作用を標準的という。

今年度はポーランドの Maciej Bocheński 氏 (University of Warmia and Mazury in Olsztyn) との共同研究で、曲面群の標準的な固有作用を持たないが、非標準的なものは持つような簡約型等質空間 G/H の初めての例を与えた。実はさらに強く、我々の構成した例は $O(3, 1)$ および $O(4, 1)$ のある種の余コンパクト格子の非標準的な固有作用も持つ。これは私が大学院生の頃から折に触れて考え続けてきた問題だったので、今年度ついに解決することができて (しかも、より強い結果まで示すことができて) 非常に満足している。非標準的な固有作用の構成は、Guéritaud–Kassel による双曲空間の凸余コンパクト商の最適 Lipschitz 定数に関する理論と、Danciger–Guéritaud–Kassel が与えた「一様に縮小的な」直角 Coxeter 群の変形に基づく。一方で標準的な固有作用の非存在は、古典群内の冪零軌道の分類と、数の分割に関する初等的な議論によって示される。

今年度の2月後半からはフランスに長期滞在し, Fanny Kassel 氏 (IHES) および Nicolas Tholozan 氏 (ENS) とコンパクト Clifford–Klein 形の存在の必要条件に関する共同研究を進めている. フランスには来年度の9月後半まで滞在する予定である.

またここ数年, 位相力学系における Conley 指数の新しい定式化について研究を進めている. 今年度は, 新しい Conley 指数の定式化を使って Morse ホモロジー定理の新しい証明が与えられないか考察した.

B. 研究業績

1. (with M. Bocheński) Exotic proper actions on homogeneous spaces via convex cocompact representations. arXiv:2501.14274, preprint.
2. Conley index theory without index pairs. I: The point-set level theory. *J. Fixed Point Theory Appl.* **25** (2023), Paper No. 15; Correction: *J. Fixed Point Theory Appl.* **26** (2024), Paper No. 2.
3. Cartan projections of some non-reductive subgroups and proper actions on homogeneous spaces. *Transform. Groups* **29** (2024), 823–845.

C. 講演

1. Exotic proper actions on reductive homogeneous spaces via convex cocompact representations. Teichmüller Theory and Beyond, Seoul National University (韓国, ソウル), 2025 年 2 月 17 日.
2. Conley 指数の易しい定式化. 葉層構造の幾何学とその応用, 京都教育大学, 2024 年 12 月 22 日.
3. 等質空間上の exotic な固有作用. Workshop on “Actions of Reductive Groups and Global Analysis”, 玉原国際セミナーハウス (オンライン), 2023 年 8 月 22 日.
4. Compact quotients of homogeneous spaces and sphere bundles. International Workshop on Higher Teichmüller theory, 南開大学陳省身数学研究所 (中国, 天津), 2024 年 5 月 24 日.

D. その他の研究活動

特記事項なし.

吉田 寛 (YOSHIDA Hiroshi)

A. 研究概要

再生の数理モデル: 令和6年度はリンデンマイヤシステムによるモデル化を修士課程の石田航己さんに行った。恒常性のモデル化を行い、赤血球および白血球の消去パラメータが調整されることで動的恒常性を維持する細胞の挙動を再現することができた。また博士課程のダスロイサランヤさんと緑藻類の再生についてリンデンマイヤシステムとトポロジーの統合モデルを構築した。

B. 研究業績

1. DasRoy, S., Yoshida, H. (2024). An Integrated Topological-Lindenmayer System Model of Volvox Embryonic Inversion And Cell Division, Apoptosis and Cancer Growth Models. in the 8th International Conference on Computational Biology and Bioinformatics, to appear.

C. 講演

1. 石田航己、消去パラメータ付 L システムを用いた赤血球と白血球の動的恒常性の再現、2024 年 9 月 日本数理生物学会年会 北海道.

2.3 数理学研究院 助教

数川 大輔 (KAZUKAWA Daisuke)

A. 研究概要

リーマン多様体や測度距離空間の収束理論について研究を行っている。空間の収束理論では、測度距離空間 (の同型類) 全体の上に距離を与えることで空間列の収束を考える。私は特に測度の集中現象に基づいた収束概念を与えるオブザーバブル距離に興味を持って研究を行っている。測度の集中現象とは、Lévy や V. Milman によって確立された「高次元空間上の測度の偏り現象」のことであり、“高次元空間上の任意の 1-Lipschitz 関数が測度的にほぼ定数関数であること”として定式化される。Gromov は、この現象が空間列のある種の収束であることを見抜き、実際にオブザーバブル距離を導入して、彼の独自の収束理論を発展させた。典型的な例として、Lévy による古典的な高次元単位球面における測度の集中現象は、単位球面列 $\{S^n(1)\}_{n=1}^\infty$ がオブザーバブル距離に関して 1 点空間に収束することと同値である。オブザーバブル距離は、収束理論において有名な measured Gromov-Hausdorff 収束よりも弱い収束を与え、次元が無限大に発散する空間列に対しても広く収束を許容するという特徴的な性質を持つ。この距離による収束は空間の高次元での振る舞いを捉えるのに効果的であるとして注目されている。

本年度以前の私の研究成果として、最近具体的な空間列の極限の決定問題に注力してきた。特に研究業績の 1. と 2. では、半径が $\sqrt{n}$ のオーダーの n 次元球面列や n 次元楕円体列が、 $n \rightarrow \infty$ で、無限次元ガウス空間に収束することを証明している。ここで、有限次元のガウス空間とは、正規分布を測度として持つユークリッド空間のことであり、無限次元ガウス空間は、形式的には測度距離空間として捉えることはできないが、測度距離空間全体をオブザーバブル距離に関してある自然なコンパクト化をしたところで、適切に捉えることができる対象である。またこのとき収束も自然にコンパクト化上の位相に拡張して考えている。この球面列や楕円体列の収束は、測度論や統計学では半径が次元のルートのオーダーの高次元球面・楕円体分布は正規分布に近いという事実がよく知られているが、その幾何学版であると言え、実際に極限として無限次元的な対象が現れることが興味深い。また研究業績の 6. で、 n 次元コーシー分布を持つユークリッド空間の $n \rightarrow \infty$ でのオブザーバブル距離に関する極限空間を決定した。適切にスケールされた n 次元コーシー空間は $n \rightarrow \infty$ で 1 次元の半直線に収束する。これは正規分布の場合とは全く異なる現象を捉えており、非常に興味深い結果である。

本年度は主に以下の 2 つの研究を行った。

1 つ目の研究として、昨年度からコーシー分布に引き続き、安定分布など様々な確率分布を持つユークリッド空間の高次元挙動について、大分大学の江崎氏・福岡大学の三石氏と研究を行っている。昨年度に困難であった部分が解決し、大きく進展した。まず回転対称な定常分布列に対して、研究業績 6. の拡張となる結果が得られた。これは確率論における Berman 分解の帰結であり、回転対称性が強く影響して適切なオーダーで半直線に収束する。ただし、半直線が退化する場合は別途適切なオーダーを考え直す必要がある。またこの時、収束の定量評価にあたる最適な集中不等式が得られ、幾何と解析の両分野にまたがる新しい結果となった。次に 1 次元安定分布の直積分布に対して、収束の適切なスケールオーダーを決定した。そこで、そのオーダーでの極限空間を求めたいが現状この問題はかなり難しい。一方で、ユークリッド距離を l_p 距離に拡張し、分布もより一般に加法過程に基づく分布列を考えた際の一般論を構築し、 $p = 1$ のときは適切なオーダーでの極限空間を決定することができた。ここでも対応する集中不等式が得られ、同時にその不等式が問題解決の鍵であった。加法過程に基づく分布列に対する一般論は適用範囲が広く、ポアソン過程などの離散的な対象に対しても極限空間が得られる場合があり、今後の展開が興味深い。

2 つ目の研究として、研究業績 5. に引き続き、愛媛大学の中島氏・東北大学の塩谷氏とコンパクト距離空間に対するスノーフレーク作用によるファイブレーション構造の研究を行った。まず群作用として適切に定義するためには、コンパクト距離空間全体を超距離空間全体に制限するか、冪乗して距離関数となるような関数をもつ空間全体に拡張する必要がある。そのどちらに対してもスノーフレーク作用は非自明かつ局所自明な主束構造を誘導することが得られた。これは測度距離空間全体に対するスケール作用の結果と類似しているが、コンパクト距離空間全体ではスケール作用は自明束の構造を誘導するため、それとは異なる現象が観られたことになる。本研究を発展させ、測度距離空間に対するスノーフレーク作用が誘導する構造についても言及したい。

B. 研究業績

1. D. Kazukawa, *Convergence of metric transformed spaces*, Israel J. Math, Vol.252, No.1 (2022), 243-290.
2. D. Kazukawa and T. Shioya, *High-dimensional ellipsoids converge to Gaussian spaces*, J. Math. Soc. Japan, Vol.76, No.2 (2024), 473-501.
3. S. Esaki, D. Kazukawa, and A. Mitsuishi, *Invariants for Gromov's pyramids and their applications*, Adv. Math, Vol.442, No.1 (2024), Article 109583.
4. D. Kazukawa, H. Nakajima, and T. Shioya, *Topological aspects of the space of metric measure spaces*, Geom. Dedicata, Vol.218, No.3 (2024), Article 68.
5. D. Kazukawa, H. Nakajima, and T. Shioya, *Principal bundle structure of the space of metric measure spaces*, Proc. Roy. Soc. Edinburgh Sect. A., Published online (2024).
6. S. Esaki, D. Kazukawa, and A. Mitsuishi, *Convergence of cones of metric measure spaces and its application to Cauchy distribution*, arXiv:2402.14331 (preprint).

C. 講演

1. 数川大輔, “ガウス空間の無限 l_p 直積とその応用”, 横国大幾何トポロジーセミナー, 横浜国立大学, 2024 年 6 月 14 日.
2. 数川大輔, “ガウス空間の無限 l_p 直積とその応用”, 日本数学会 2024 年度秋季総合分科会, 大阪大学, 2024 年 9 月 6 日.
3. 数川大輔, “The classical Wiener space is a Gaussian space in the pyramid sense”, Geometry and Topology 2024, 九州大学, 2024 年 10 月 16 日.
4. 数川大輔, “ガウス空間の無限 l_p 直積とその応用”, 多様体上の微分方程式, 石川県文教会館, 2024 年 11 月 28 日.
5. 数川大輔, “ガウス空間の無限 l_p 直積とその応用”, 測地線及び関連する諸問題, 熊本大学, 2025 年 1 月 5 日.
6. 数川大輔, “ユークリッド空間上の高次元分布の測度距離空間としての収束について”, 立命館大学幾何学セミナー, 立命館大学, 2025 年 1 月 17 日.

D. その他の研究活動

1. 九大幾何学セミナー世話人, 2024 年度.
2. 研究集会 “幾何学阿蘇研究集会 2024” 世話人, 2024 年 8 月 27 日-8 月 30 日.

片田 舞 (KATADA Mai)

A. 研究概要

私は、絡み目の量子不変量である Kontsevich 不変量が値をもつヤコビ図の空間の代数構造、特に自由群の自己同型群上の加群構造に関する研究を行ってきた。主結果は、ヤコビ図の空間の直既約分解を求めたことである。また、私は、自由群の自己同型群の正規部分群である IA-自己同型群の有理 (コ) ホモロジーの代数構造に関する研究も行なってきた。有理ホモロジーの商であるアルバネーゼホモロジーを特定した。また、葉廣和夫氏との共同研究において、有理ホモロジー全体の代数構造の予想を立てた。

B. 研究業績

1. The stable Albanese homology of the IA-automorphism groups of free groups, arXiv:2404.15901

C. 講演

1. The category of Jacobi diagrams in handlebodies, Virtual Seminar on Geometry and Topology, Korea Institute For Advanced Study, May.
2. The polynomial functor associated with the spaces of Jacobi diagrams, Virtual Seminar on Geometry and Topology, Korea Institute For Advanced Study, May.
3. The stable Albanese homology of the IA-automorphism groups of free groups, 変換群論とその進展, 京都大学数理解析研究所, May.
4. The first homology of the IA-automorphism groups of free groups with coefficients in spaces of Jacobi diagrams, Intelligence of Low-dimensional Topology, 京都大学数理解析研究所, May.

5. ヤコビ図の空間を係数に持つ自由群の IA-自己同型群の 1 次ホモロジー, 佐賀創発数理セミナー, 佐賀大学, June.
6. Stable homology of the IA-automorphism groups of free groups, Summer school on low-dimensional topology, and AlMaRe conference, Institut Fourier, July.
7. The stable Albanese homology of the IA-automorphism groups of free groups, 日本数学会 2024 年度秋季総合分科会, 大阪大学, September.
8. On the stable (co)homology of the IA-automorphism groups of free groups, 岡潔女性数学者セミナー, 奈良女子大学, September.
9. 自由群の IA-自己同型群の安定ホモロジー, 第 8 回幾何学的幾何学的群論ワークショップ, 鹿児島大学, November.

D. その他の研究活動

後藤 佑一 (GOTO Yuichi)

A. 研究概要

統計学における時系列解析では, 気温や株価などの時間に依存するデータを解析するために様々な手法を用いて未知母数の推定や仮説検定を行う. モデルや手法の提案及びそれらの数学的な性質を明らかにすることを目標としている. 手法の中でも時系列解析特有の概念である周波数領域における解析では, スペクトルと呼ばれる過去現在未来のつながりの強さを表す指標を用いて解析する. 近年では, 様々な種類のスペクトルが提案されており, これらのスペクトルを用いた解析手法の開発を行っている. また, 時系列データに対する分散分析や整数値時系列モデルに関する研究にも取り組んでいる.

B. 研究業績

1. Boucher, M., Francq, C., Goto, Y., and Verdebout, T. (2025+) “On runs tests for directional data and their local and asymptotic optimality properties”, to appear in *Stat. Sin.*
2. Kawamoto, K., Goto, Y., and Tsukuda, K. (2025+) “Spectral clustering algorithm for the allometric extension model”, to appear in *Stat. Pap.*
3. Xu, X., Yijiong, Z., Liu Y., Goto, Y., Taniguchi, M., and Chen. Y. (2025). “Long memory modelling to Covid-19 pandemic count series”, *Stat. Sin.* **35**, 505–532
4. Zhang, X., Goto, Y., Kedem, B., Chen, S. (2024). “Detection of Quadratic Interactions in Brain Functional Connectivity”. In: Chen, DG., Coelho, C.A. (eds) *Biostatistics Modeling and Public Health Applications. Emerging Topics in Statistics and Biostatistics*, Springer, Cham. 141–155.

C. 講演

1. 2025 Jan. 16,
“Integrated Copula Spectrum with Applications to Tests for Time Reversibility and Tail Symmetry”,
Y. Goto, T. Kley, R. V. Hecke, S. Volgushev, H. Dette, M. Hallin,
2025 Kyushu-Thammasat Symposium on Actuarial Science
Kyushu University
2. 2024 Dec. 16–19,
“ANOVATS: A subsampling-based test for detecting fixed or random effects in small-sample oceanographic time series”,
Y. Goto, H. K. Solvang, T. Falkenhaus, M. Taniguchi,
2024 IMS International Conference on Statistics and Data Science (ICSIDS)
Nice, France, Radisson Blu Hotel
3. 2024 Dec. 14–16,
“Optimal tests for the absence of random individual effects in large n and small T dynamic panels”,
Y. Goto, N. Bennala, M. Hallin,

18th International Joint Conference on Computational and Financial Econometrics (CFE) and Computational and Methodological Statistics (CMStatistics), CFE-CMStatistics 2024,
King's College London

4. 2024 Nov. 22–24,

“ANOVATS: A subsampling-based test to detect differences among small-sample time series in marine study”,
Y. Goto, H. K. Solvang, T. Falkenhaus, M. Taniguchi,

「構造化されたデータ解析とその統計・機械学習モデルの新展開」,

Nanzan University

5. 2024 Nov. 9–10,

“ANOVATS: A subsampling-based test to detect differences among small-sample time series in marine study”,
Y. Goto, H. K. Solvang, T. Falkenhaus, M. Taniguchi,

Innovations in Statistical Modeling and Inference: Applications Across Various Manifolds,

Hosei University

6. 2024 Sep. 23–27,

“Optimal tests for the absence of random individual effects in large n and small T dynamic panels”,

Y. Goto, N. Bennala, M. Hallin,

Fall School Time Series, Random Fields and beyond - 2024,

Ulm University

7. 2024 Sep. 5–6,

“A test for counting sequences of integer-valued autoregressive models”,

Y. Goto, K. Fujimori,

Mathematical Society of Japan Autumn Meeting 2024,

Osaka Univ.

8. 2024 Aug. 23,

“A test for counting sequences of integer-valued autoregressive models”,

Y. Goto, K. Fujimori,

National Tsing Hua University

9. 2024 Aug. 19,

“A test for counting sequences of integer-valued autoregressive models”,

Y. Goto, K. Fujimori,

Academia Sinica

10. 2024 Jul. 17–19,

“A test for counting sequences of integer-valued autoregressive models”,

Y. Goto, K. Fujimori,

The 7th International Conference on Econometrics and Statistics (EcoSta 2024),

Beijing Normal University

11. 2024 Jul. 10,

“Some hypothesis testing problems for non-negative integer-valued time series”,

Y. Goto, K. Fujimori,

Kyushu University/Seoul National University - Statistics DS workshop,

Seoul National University

D. その他の研究活動

次のワークショップを主催しました:

2024 June 28 and July 10

Kyushu University/Seoul National University - Statistics DS workshop

A. 研究概要

環の表現論に現れる導来圏、特異圏、クラスター圏（団圏、余特異圏）といった種々の三角圏を、その微分次数付き圏（differential graded category, dg 圏）による増強の立場から研究している。特に三角圏の Calabi-Yau 性の増強である、Calabi-Yau 構造の理論を環の表現論の立場から整備し、これらの概念を有限次元代数・可換環の表現論における傾理論、団傾理論、非可換特異点解消の理論へ応用することを目標としている。以下、近年得た諸結果を述べる。

(1) 可換 Gorenstein 環（やその非可換類似）の特異圏を有限次元代数の導来圏やクラスター圏として実現する問題について、伊山修氏との共同研究によって次数付き特異圏と有限次元代数の導来圏の三角同値が、自動的に（次数なしの）特異圏とクラスター圏の間の同値を導くことを示した。これは個別の設定に依らずにクラスター圏との間の三角同値を導く手段を与える一般的な結果である。その過程で、可換 Gorenstein 環（より一般にその上の対称整環）の特異圏の自然な dg 増強が右 Calabi-Yau 構造を持つことおよび、付加的な次数をもつ dg 圏のなかから dg 軌道圏の特徴づけを与えた。

(2) 可換環の Cohen-Macaulay 表現論や、特異点の非可換クレパント解消に関する問題に関して、以下の研究を行った。環の表現論において表現型（有限・順・暴）は、表現の分類という最も根源的な問題に関する理論として、古典的に重要な概念である。殆どの環は暴表現型であり表現の分類は不可能とされている。そこで暴表現型でも加群圏の構造の理解が期待されるクラスとして、傾理論の観点から可換 Gorenstein 環に対して遺伝的表現型の概念を導入した。遺伝的表現型の可換環について基本的性質を与えると同時に、無限個の例を構成した。その過程で、2つの可換正規 Gorenstein 環に対して、その上の非可換クレパント特異点解消の存在が Segre 積に遺伝することを示した。

(3) Calabi-Yau 完備化は dg 圏の双対化複体を用いて定義され、左 Calabi-Yau 構造を持つ dg 圏の普遍的な構成として、クラスター理論や表現論、あるいは代数幾何において重要な役割を果たす。Calabi-Yau 完備化に関して、その双対化複体のべき根に対する類似を与えた。さらに付随するクラスター圏の構造を記述する結果および、上記の Segre 積に対する非可換クレパント特異点解消の存在をべき根に対する Calabi-Yau 完備化を用いて説明を与えた。

(4) 非可換特異点解消に関連して、環上の反射的加群の圏に関する研究を行った。（可換）整閉整域や（非可換）Auslander 代数を共通に一般化する形で、環自身の極小入射分解に関する条件を見出し、この条件によって反射的加群の圏が良く振る舞うこと、特に反射的加群の圏が擬アーベル圏になるための必要十分条件であることを示した。

B. 研究業績

1. N. Hanihara, Auslander correspondence for triangulated categories, *Algebra & Number Theory* 14-8 (2020), 2037–2058.
2. 埴原 紀宏、「形式的 dg 代数のクラスター圏とその森田型定理」、第 66 回代数学シンポジウム報告集、2021.
3. N. Hanihara, Yoneda algebras and their singularity categories, *Proc. Lond. Math. Soc.* (3) 124 (2022), no. 6, 854 – 898.
4. N. Hanihara, Cluster categories of formal DG algebras and singularity categories, *Forum Math. Sigma* 10 (2022), Paper No. e35, 50 pp.
5. N. Hanihara, Morita theorem for hereditary Calabi-Yau categories, *Adv. Math.* 395 (2022) 108092.
6. N. Hanihara, Cluster tilting for Segre products, in: *Representation Theory of Quivers and Finite-Dimensional Algebras*, Oberwolfach Rep. 20 (2023), no. 1, pp. 397 – 486.
7. N. Hanihara, Non-commutative resolutions for Segre products and Cohen-Macaulay rings of hereditary representation type, *Trans. Amer. Math. Soc.* 378 (2025), pp. 2429–2475.
8. N. Hanihara and O. Iyama, Enhanced Auslander-Reiten duality and tilting theory for singularity categories, preprint, arXiv:2209.14090.
9. N. Hanihara, Calabi-Yau completions for roots of dualizing dg bimodules, preprint, arXiv:2412.18753.
10. N. Hanihara, Higher hereditary algebras arising from some toric singularities, preprint, arXiv:2412.19040.
11. N. Hanihara, Reflexive modules and Auslander-type conditions, preprint, arXiv:2412.19625.

C. 講演

1. Norihiro Hanihara, “Cluster categories of formal DG algebras”, Paris algebra seminar, online, October 2020.
2. 埴原 紀宏、「Morita theorem for hereditary cluster categories」, OCAMI 代数セミナー、大阪市立大学/オンライン、2020 年 10 月。
3. Norihiro Hanihara, “Morita theorem for hereditary cluster categories”, XIX International Conference on Representations of Algebras (ICRA 2020)/fd seminar, online, November 2020.
4. 埴原 紀宏、「Cluster categories and singularity categories from Calabi-Yau algebras」, 可換環論オンラインワークショップ、オンライン、2020 年 11 月。
5. Norihiro Hanihara, “Yoneda algebras from additive generators”, Bielefeld Seminar, Bielefeld University/online, June 2021.
6. 埴原 紀宏、「形式的 dg 代数のクラスター圏とその森田型定理」、第 66 回代数学シンポジウム、早稲田大学/オンライン、2021 年 9 月。
7. 埴原 紀宏、「The structure of Adams graded dg algebras and Cohen-Macaulay representations」, 第 53 回環論および表現論シンポジウム、山口大学/オンライン、2021 年 9 月。
8. 埴原 紀宏、「Derived Auslander-Reiten duality and applications」, 第 42 回可換環論シンポジウム、オンライン、2021 年 11 月。
9. Norihiro Hanihara, “Tilting theory via enhancements”, Paris algebra seminar, online, March 2022.
10. Norihiro Hanihara, “Representation theory in triangulated categories”, GTM seminar, Kavli IPMU/online, May 2022.
11. Norihiro Hanihara, “Higher hereditary algebras arising from quotient singularities”, XX International Conference on Representations of Algebras (ICRA 2022), University of Buenos Aires/online, August 2022.
12. Norihiro Hanihara, “Roots of Auslander-Reiten translations for higher hereditary algebras”, Silting theory, Algebras and Representations, Charles University, Prague, September 2022.
13. Norihiro Hanihara, “Higher cluster categories in representation theory”, Trends in cluster algebras 2022, online, September 2022.
14. Norihiro Hanihara, “Cohen-Macaulay rings of hereditary representation type”, 第 43 回可換環論シンポジウム、大阪大学、2022 年 11 月。
15. Norihiro Hanihara, “Cluster tilting for Segre products”, Representation Theory of Quivers and Finite-Dimensional Algebras, Mathematisches Forschungsinstitut Oberwolfach, Oberwolfach workshop, February 2023.
16. Norihiro Hanihara, “Non-commutative resolutions for Segre products”, Current trends in categorically approach to algebraic and symplectic geometry 2, Kavli IPMU, June 2023.
17. Norihiro Hanihara, “Quotient singularities, higher hereditary algebras, and non-commutative regular algebras”, The 9th China-Japan-Korea International Conference on Ring and Module Theory, Incheon National University, Incheon, August 2023.
18. Norihiro Hanihara, “Calabi-Yau completions from roots of Auslander-Reiten translations”, Cluster algebra, representation theory and algebraic geometry, Hong Kong University, September 2023.
19. Norihiro Hanihara, “Cluster categories and singularity categories” (2 lectures), Silting in Representation Theory, Singularities, and Noncommutative Geometry, Casa Matematica Oaxaca, September 2023.
20. Norihiro Hanihara, “Silting-cluster tilting correspondences”, Paris algebra seminar, Institut Henri Poincaré, October 2023.
21. Norihiro Hanihara, “Reflexive modules over Auslander-Gorenstein rings”, 第 44 回可換環論シンポジウム、レクトーレ葉山、2023 年 11 月。
22. Norihiro Hanihara, “Reflexive modules and Auslander-Gorenstein rings”, McKay correspondence, tilting theory and related topics, Kavli IPMU, December 2023.
23. Norihiro Hanihara, “Reflexive modules and Auslander-Gorenstein rings”, Bielefeld Seminar, Bielefeld University, February 2024.
24. 埴原 紀宏、「Cohen-Macaulay representations in triangulated categories」, 九大代数学セミナー、九州大学、2024 年 5 月。

25. Norihiro Hanihara, “Reflexive modules and Auslander-Gorenstein rings”, Algebra & Geometry Seminar, University of Graz/online, May 2024.
26. Norihiro Hanihara, “Cluster categories from roots of Auslander-Reiten translations”, XXI International Conference on Representations of Algebras (ICRA 2024), Shanghai Jiao Tong University, August 2024.
27. 埴原 紀宏, “Calabi-Yau completions and cluster categories from roots of dualizing bimodules”, Derived categories and cotilting theory: conference honoring Jun-ichi Miyachi on the occasion of his 65th birthday, Tokyo Gakugei University, September 2024.
28. 埴原 紀宏, 「Cluster categories and singularity categories」(3 コマ講演), 神楽坂セミナー、東京理科大学、2024 年 10 月。
29. 埴原 紀宏, 「森田理論と Cohen-Macaulay 表現論」、九大数理談話会、九州大学、2024 年 11 月。
30. Norihiro Hanihara, “Cluster categories from roots of Auslander-Reiten translations”, Autumn School & Conference: New developments in representation theory of algebras, Okinawa Institute of Science and Technology, November 2024.
31. Norihiro Hanihara, “Singularity categories and Calabi-Yau structures” (2 lectures), The 9-th Isfahan Seminar on Representations of Algebras, online, December 2024.
32. 埴原 紀宏, “Calabi-Yau structures on (co)singularity categories”, 第 2 回環論表現論ワークショップ in 信州、信州大学、2024 年 12 月。
33. Norihiro Hanihara, “Reflexive modules and Auslander-type conditions”, Algebra and Representation theory seminar in Bonn/Oberseminar Representation theory, University of Bonn, January 2025.
34. Norihiro Hanihara, “Reflexive modules and Auslander-type conditions”, Köln Algebra and Representation Theory Seminar, University of Cologne, January 2025.
35. Norihiro Hanihara, “Tilting ideals and Calabi-Yau structures”, Perspectives in tilting theory and related topics, Kyoto University, February 2025.

D. その他の研究活動

D-1. 主催した研究集会等

1. 第 27 回代数学若手研究会、2023 年 3 月
2. 第 19 回可換環論サマースクール、2024 年 8 月
3. 九大代数学セミナー世話人 (2024 年 10 月-現在) .

D-2. 受賞

1. 「建部賢弘奨励賞」、日本数学会、2024 年 9 月。

深作 亮也 (FUKASAKU Ryoya)

A. 研究概要

最近は次のような研究活動を行ってきた。

(1) 実数領域における計算代数手法の効率化: 2015 年 7 月に開催された国際会議 International Symposium on Symbolic and Algebraic Computation (ISSAC) 2015 に研究業績 1 が採択されてから今日に至るまで、実数領域における限量記号消去の効率化に取り組み、計算代数システム Maple にその成果を実装してきた。実数領域における限量記号消去は、記述能力が高く、様々な数理学問問題を正確に記述し得る一階述語論理式を入力として扱い、記号的な処理を行うことで正確な解を出力する。実際に、自身も大学院生時代にリサーチアシスタントとして参加していた国立情報学研究所グランドチャレンジ「ロボットは東大に入れるか」では本手法が数学入試問題を解く上での中核を担っていた。一方で、この手法では正確な解を計算するために記号的な処理が避けられず、膨大な計算資源 (計算時間、記憶領域等) が消費されてしまう。そうしたデメリットを解消させるため、本研究に取り組んできた結果、2019 年度には研究業績 15, 16 が出版された。そして、効率化には表現の簡略化が必要不可欠であるが、2023 年度には包括的グレブナー基底系の表現の簡略化に着目した成果を国際会議 38 で発表することができた。

- (2) 力学系への計算代数手法の応用: 2019 年度から取り組んできた応用研究を 2020 年度に講演 28, 29 で発表し, それが 2021 年度には研究業績 19, 講演 30 の通り, 国際会議 ISSAC 2021 に採択された. この応用研究では唯一つのリミットサイクルだけでなく高々有限個のリミットサイクルが発生するホップ分岐に関する判定法を提案している. また, パラメータ空間の表現の簡単化のためなどに実数領域における限量記号消去の実装を用いている.
- (3) 暗号理論への計算代数手法の応用: 2019 年度から, 安田雅哉氏や池松泰彦氏らと共同研究を行い, 2019 年度には講演 24 で研究成果を発表できた. 本研究では主に計算代数手法のグレブナー基底を用いて, 同種写像を用いた耐量子暗号の安全性評価を行なった. 安全性評価を行うため, 本研究では計算代数システム Magma での実装を行い, 実験を行った. 実験では興味深いデータを得ることもできていて, 2020 年度はそうした成果を研究業績 17, 18 で出版でき, 2022 年度にも研究業績 20 で出版できた.
- (4) 一変数代数計算アルゴリズムの開発と実装: 田島慎一氏と共同研究を行い, 2021 年度には講演 31 で, 2022 年度には講演 34 で研究成果を発表できた. このアルゴリズムは複雑な計算が発生しないように設計されており, 位数が高い場合の留数も効率的に計算することができる.
- (5) 数理統計モデルへの計算代数手法の応用: 廣瀬慧氏, 加葉田雄太郎氏, 山本倫生氏と共同研究を行い, 2022 年度に講演 35 で研究成果を発表できた. そして, 2023 年度では研究集会や国際会議 36, 37, 39, 40, 41, 42 などでも発表し, さらに論文を投稿することができた. この研究では, 因子分析モデルに最尤法を適用した際に発生することがある不適解問題と呼ばれる計算課題の解明を目指している. また, 因子回転と呼ばれる因子分析モデル特有の操作に関する研究も開始している. 特に, 我々の計算方法は, 因子分析モデルの最尤推定量の候補を厳密に全て算出でき, 数値的に最尤推定量を求めてきた既存の計算方法とは全く異なる.

B. 研究業績

1. Ryoya Fukasaku, Hidenao Iwane, Yosuke Sato: Real Quantifier Elimination by Computation of Comprehensive Gröbner Systems . Proceedings of the International Symposium on Symbolic and Algebraic Computation (ISSAC 2015), page 173 - 180. 2015 年 7 月
2. Ryoya Fukasaku, Shutaro Inoue, Yosuke Sato: On QE Algorithms over an Algebraically Closed Field based on Comprehensive Gröbner Systems. Mathematics in Computer Science 9(3), page 267 - 281. 2015 年 9 月
3. Yosuke Sato, Ryoya Fukasaku: Detecting unnecessary assumptions of elementary geometry problems by CAS. Proceedings of the 20th Asian Technology Conference in Mathematics (ATCM 2015), page 316 - 325. 2015 年 12 月
4. Ryoya Fukasaku, Hidenao Iwane, Yosuke Sato: Improving a CGS-QE algorithm . Proceedings of the Sixth International Conference on Mathematical Aspects of Computer and Information Science (MACIS 2015), Lecture Notes in Computer Science 9582, page 231 - 235. 2016 年 4 月
5. Takuya Matsuzaki, Hidenao Iwane, Munehiro Kobayashi, Yiyang Zhan, Ryoya Fukasaku, Jumma Kudo, Hirokazu Anai, Noriko H. Arai: Race Against the Teens – Benchmarking Mechanized Math on Pre-university Problems. Proceedings of the International Joint Conference on Automated Reasoning 2016, Lecture Notes in Computer Science 9706, page 213 - 227. 2016 年 6 月
6. Ryoya Fukasaku, Hidenao Iwane, Yosuke Sato: On the Implementation of CGS Real QE. MATHEMATICAL SOFTWARE, ICMS 2016 9725, page 165 - 172. 2016 年 7 月
7. Ryoya Fukasaku, Hidenao Iwane, Yosuke Sato: CGSQE/SyNRAC: a real quantifier elimination package based on the computation of comprehensive Gröbner systems. ACM Communications in Computer Algebra 50(3), page 101 - 104. 2016 年 9 月
8. Yosuke Sato, Ryoya Fukasaku, Katsusuke Nabeshima: On Simple Representation of Locally Closed Sets. Proceedings of the 21st Asian Technology Conference in Mathematics (ATCM 2016), page 190 - 199. 2016 年 12 月
9. Ryoya Fukasaku, Yosuke Sato: On Real Roots Counting for Non-radical Parametric Ideals. Proceedings of Seventh International Conference on Mathematical Aspects of Computer and Information Science (MACIS 2017), Lecture Notes in Computer Science (LNCS) 10693, page 258 - 263. 2017 年 11 月
10. Yosuke Sato, Ryoya Fukasaku: On Possible Use of Quantifier Elimination Software in Upper Secondary Mathematics Education. Proceedings of the 22nd Asian Technology Conference in Mathematics (ATCM 2017), page 198 - 207. 2017 年 12 月

11. Takuya Matsuzaki, Hidenao Iwane, Munehiro Kobayashi, Yiyang Zhan, Ryoya Fukasaku, Jumma Kudo, Hirokazu Anai, Noriko H. Arai: Can an A.I. win a medal in the mathematical olympiad? - Benchmarking mechanized mathematics on pre-university problems. AI Commun. 31(3), page 251 - 266. 2018 年 5 月
12. Yosuke Sato, Ryoya Fukasaku, Hiroshi Sekigawa: On Continuity of the Roots of a Parametric Zero Dimensional Multivariate Polynomial Ideal. Proceedings of the International Symposium on Symbolic and Algebraic Computation (ISSAC 2018), page 359 - 365. 2018 年 7 月
13. Ryoya Fukasaku: On Hermitian Quadratic Forms of Non-Radical Ideals. Communications of Japan Society for Symbolic and Algebraic Computation 3, page 19 - 29. 2018 年 10 月
14. Yosuke Sato, Ryoya Fukasaku, Katsusuke Nabeshima: On Applications of Technology to Understanding Hierarchies of Elementary Geometry. Proceedings of the 23rd Asian Technology Conference in Mathematics, page 176 - 185. 2018 年 11 月.
15. Yosuke Sato, Hiroshi Sekigawa, Ryoya Fukasaku, Katsusuke Nabeshima: On Parametric Border Bases. Proceedings of Seventh International Conference on Mathematical Aspects of Computer and Information Science (MACIS 2019), Lecture Notes in Computer Science (LNCS) 11989, page 10-15. 2019 年 5 月.
16. Ryoya Fukasaku, Hidenao Iwane, Yosuke Sato: On Multivariate Hermitian Quadratic Forms. Mathematics in Computer Science 13(1-2), page 79-93. 2019 年 6 月.
17. Yasuhiko Ikematsu, Ryoya Fukasaku, Momonari Kudo, Masaya Yasuda, Katsuyuki Takashima, Kazuhiro Yokoyama: Hybrid Meet-in-the-Middle Attacks for the Isogeny Path-Finding Problem. Proceedings of the 7th ACM Workshop on ASIA Public-Key Cryptography, Page 36-44. 2020 年 10 月.
18. Yasushi Takahashi, Momonari Kudo, Ryoya Fukasaku, Yasuhiko Ikematsu, Masaya Yasuda, Kazuhiro Yokoyama: Algebraic approaches for solving isogeny problems of prime power degrees. Journal of Mathematical Cryptology 15(1), Page 31-44. 2020 年 11 月.
19. Ryoya Fukasaku: Criteria for Hopf Bifurcations with Fixed Multiplicities. Proceedings of the International Symposium on Symbolic and Algebraic Computation (ISSAC 2021), page 147 - 154. 2021 年 7 月
20. Ryoya Fukasaku, Yasuhiko Ikematsu, Momonari Kudo, Masaya Yasuda, Kazuhiro Yokoyama: Introduction to algebraic approaches for solving isogeny path-finding problems. RIMS Kokyuroku Bessatsu (Theory and Applications of Supersingular Curves and Supersingular Abelian Varieties), page 169 - 184. 2022 年 6 月.

C. 講演

1. 深作亮也: CGS-QE の効率的実装について. 日本数式処理学会第 24 回大会. 2015 年 6 月 5 日
2. 岩根秀直, 深作亮也, 佐藤洋祐: 論理関数処理による論理式の簡単化 (包括的グレブナー基底系を利用した限量記号消去法編). 日本数式処理学会第 24 回大会. 2015 年 6 月 5 日
3. Ryoya Fukasaku, Hidenao Iwane, Yosuke Sato: Real Quantifier Elimination by Computation of Comprehensive Gröbner Systems. The International Symposium on Symbolic and Algebraic Computation (ISSAC 2015). 2015 年 7 月 6 日
4. 深作亮也: 実数領域における包括的グレブナー基底系と限量子消去. 数式処理研究の新たな発展, 京都大学数理解析研究所研究集会. 2015 年 8 月 19 日
5. Ryoya Fukasaku, Hidenao Iwane, Yosuke Sato: Improving a CGS-QE algorithm. The Sixth International Conference on Mathematical Aspects of Computer and Information Sciences (MACIS 2015). 2015 年 11 月 11 日
6. Yosuke Sato, Ryoya Fukasaku: Detecting unnecessary assumptions of elementary geometry problems by CAS. The 20th Asian Technology Conference in Mathematics (ATCM 2015). 2015 年 12 月 17 日
7. 深作亮也, 岩根秀直, 佐藤洋祐: 包括的グレブナー基底系を利用した限量子消去における包括的グレブナー基底系計算. 日本数式処理学会第 25 回大会. 2016 年 6 月 3 日
8. Takuya Matsuzaki, Hidenao Iwane, Munehiro Kobayashi, Yiyang Zhan, Ryoya Fukasaku, Jumma Kudo, Hirokazu Anai, Noriko H. Arai: Race against the Teens – Benchmarking Mechanized Math on Pre-university Problems. The 8th International Joint Conference on Automated Reasoning (IJCAR 2016). 2016 年 6 月 27 日
9. Ryoya Fukasaku, Hidenao Iwane, Yosuke Sato: On the Implementation of CGS Real QE. The 5th International Congress on Mathematical Software (ICMS 2016). 2016 年 7 月 10 日
10. Ryoya Fukasaku, Hidenao Iwane, Yosuke Sato: CGSQE/SyNRAC - A real quantifier elimination package

- based on the computation of comprehensive Groebner systems. The International Symposium on Symbolic and Algebraic Computation (ISSAC 2016) -Software Presentation-. 2016 年 7 月 19 日
11. 深作亮也, 岩根秀直, 佐藤洋祐: 飽和イデアル計算なしの CGS-QE. 平成 28 年度 RIMS 共同研究 “数式処理の新たな発展”. 2016 年 9 月 7 日
 12. 松崎拓也, 伊藤巧, 外川拓真, 深作亮也, 岩根秀直, 穴井宏和, 横山和弘, 新井紀子: 深い言語処理と高速な数式処理の接合による数学問題の自動解答. ロボットは東大に入れるか 2016 成果報告会. 2016 年 11 月 14 日
 13. Yosuke Sato, Ryoya Fukasaku, Katsusuke Nabeshima: On Simple Representation of Locally Closed Sets. Asian Technology Conference in Mathematics (ATCM 2016). 2016 年 12 月 15 日
 14. 深作亮也: 根基イデアルに対するエルミート二次形式について. 日本数式処理学会第 26 回大会. 2017 年 6 月 9 日
 15. Ryoya Fukasaku, Hidenao Iwane: On multivariate hermitian quadratic forms. 23rd Conference on Applications of Computer Algebra (ACA 2017). 2017 年 7 月 17 日
 16. 深作亮也: CGB と CGS の入門. 京都大学数理解析研究所共同研究 (グループ型) “数式処理の新たな発展 – その最新研究と他分野との連携 –”. 2017 年 9 月 6 日
 17. Yosuke Sato, Ryoya Fukasaku: On Possible Use of Quantifier Elimination Software in Upper Secondary Mathematics Education. Asian Technology Conference in Mathematics (ATCM 2017). 2017 年 12 月 15 日
 18. 佐藤洋祐, 深作亮也, 関川浩: パラメトリックな連立代数方程式の根の連続性について. Risa/Asir Conference 2018. 2018 年 3 月 24 日
 19. 佐藤洋祐, 深作亮也, 関川浩: パラメトリックな連立代数方程式の根の連続性について II. 日本数式処理学会第 27 回大会. 2018 年 6 月 8 日
 20. Yosuke Sato, Ryoya Fukasaku, Hiroshi Sekigawa: On Continuity of the Roots of a Parametric Zero Dimensional Multivariate Polynomial Ideal. the International Symposium on Symbolic and Algebraic Computation (ISSAC 2018). 2018 年 7 月 16 日
 21. Yosuke Sato, Ryoya Fukasaku, Katsusuke Nabeshima: On Applications of Technology to Understanding Hierarchies of Elementary Geometry. the 23rd Asian Technology Conference in Mathematics. 2018 年 11 月 21 日
 22. 深作亮也: 実限量子消去とその応用について. 応用特異点論研究集会. 2018 年 12 月 19 日
 23. 深作亮也: ガロア群の計算. 2019 年度第 27 回整数論サマースクール “構成的ガロア逆問題と不変体の有理性問題”. 2019 年 9 月 6 日.
 24. Yosuke Sato, Hiroshi Sekigawa, Ryoya Fukasaku and Katsusuke Nabeshima: On Parametric Border Bases. Mathematical Aspects of Computer and Information Sciences 2019. 2019 年 11 月 13 日.
 25. 池松泰彦, 深作亮也, 工藤桃成, 安田雅哉, 高島克幸, 横山和弘: 同種写像パス探索問題に対する中間一致攻撃のハイブリッド手法. 2020 年暗号と情報セキュリティシンポジウム. 2020 年 1 月 31 日.
 27. 池松泰彦, 深作亮也, 中村周平, 坂田康亮, 工藤桃成, 王亜成, 高島克幸: 耐量子計算機暗号におけるグレブナー基底攻撃の計算量評価について. 日本数式処理学会第 29 回大会. 2020 年 11 月 1 日.
 28. 深作亮也: 重複ホップ分岐が発生するようなパラメータ条件の計算アルゴリズム. 日本数式処理学会第 29 回大会. 2020 年 11 月 1 日.
 29. 深作亮也, 田島慎一: 単純ホップ分岐判定法の実装. RIMS 共同研究 (公開型) Computer Algebra Theory and its Applications. 2020 年 12 月 23 日.
 30. Ryoya Fukasaku: Criteria for Hopf bifurcations with fixed multiplicities. the International Symposium on Symbolic and Algebraic Computation (ISSAC 2021). 2021 年 7 月 20 日
 31. 深作亮也, 田島慎一: 一変数留数計算について. RIMS 共同研究 (公開型) Computer Algebra Theory and its Applications. 2021 年 12 月 21 日.
 32. 深作亮也: 限量子消去. IMI 短期共同研究, 数式処理研究と産学連携の新たな発展. 2022 年 2 月 15 日.
 32. 深作亮也: 限量子消去. IMI 短期共同研究, 数式処理研究と産学連携の新たな発展. 2022 年 2 月 15 日.
 33. Ryoya Fukasaku, Yasuhiko Ikematsu, Comprehensive Gröbner systems over finite fields, Applications of Computer Algebra (ACA) 2022, 2022.08.
 34. 深作亮也, 田島慎一: 効率的な一変数留数計算アルゴリズム. 日本数学会. 2022 年 09 月 13 日.

35. 深作亮也, 廣瀬慧, 加葉田雄太朗, 寺本圭佑: 因子分析へのグレブナー基底に基づくアプローチ. RIMS 共同研究 (公開型) Computer Algebra - Foundations and Applications. 2022 年 12 月 20 日.
36. 深作亮也, 廣瀬慧, 加葉田雄太朗, 寺本圭佑: 計算機代数に基づく因子分析の最尤推定. 日本計算機統計学会第 37 回大会. 2023 年 6 月 2 日.
37. 深作亮也, 廣瀬慧, 加葉田雄太朗, 寺本圭佑: 代数計算に基づく因子分析モデルの最尤推定値候補の算出. 日本数式処理学会第 32 回大会. 2022 年 6 月 9 日.
38. Yosuke Sato, Ryoya Fukasaku: On simplification of comprehensive Gröbner systems. The 28th International Conference on Applications of Computer Algebra ACA 2023. 2023 年 7 月 18 日.
39. Ryoya Fukasaku, Kei Hirose, Yutaro Kabata, Keisuke Teramoto: An algebraic approach to factor analysis. 10th International Congress on Industrial and Applied Mathematics. 2023 年 8 月 22 日.
40. 深作亮也: 因子分析における代数計算の可能性. 九州大学 IMI 共同利用・短期共同研究公開プログラム, 記号計算の高速化と産業課題解決への応用. 2023 年 11 月 15 日.
41. 廣瀬慧, 深作亮也, 加葉田雄太朗, 寺本圭佑: 計算機代数による因子分析の最尤推定. 2024 年度統計関連学会連合大会, 2024 年 9 月 4 日.
42. 深作亮也: 因子分析モデルに現れる連立代数方程式の代数的操作. Intersection of Pure Mathematics and Applied Mathematics Re., 2024 年 12 月 6 日.
43. 深作亮也: 計算代数と統計手法研究の融和を目指して. 計算技術による学際的統計解析ワークショップ, 2025 年 2 月 17 日.

D. その他の研究活動

2019 年度から 2024 年度までに次の研究集会や国際会議のセッションに組織委員として参加した.

- (1) 池松泰彦, 高安敦, 中村周平, 坂田康亮, 工藤桃成, 高島克幸, 深作亮也: IMI 若手研究-短期共同研究, 理論・計算数学と暗号学の融合アプローチによる次世代暗号構築の新展開. 2020 年 2 月 3 日 - 7 日.
- (2) Ryoya Fukasaku, Yosuke Sato and Tateaki Sasaki: Session 14. Algorithms for Polynomial System Solving and their Applications. 26th International Conference on Applications of Computer Algebra. 2021 年 7 月 23 日 - 27 日.
- (3) 王イントウ, 池松泰彦, 深作亮也, 青野良範, 高安敦, 照屋唯紀, 梶田海成, 相川勇輔: IMI 若手研究-短期共同研究, 格子暗号の実用化に向けた研究. 2021 年 11 月 15 日 - 19 日.
- (4) 藤本光史, 濱田龍義, 深作亮也, 池松泰彦, 溝口佳寛, 横田博史, 江木聡志, 横山俊一: IMI 短期共同研究, 数式処理研究と産学連携の新たな発展. 2022 年 2 月 14 日 - 17 日.
- (5) 石原侑樹, 深作亮也, 池松泰彦, 神戸祐太, 岩根秀直: IMI 若手研究-短期共同研究, 限量子消去の効率的なアルゴリズムの構築と産業課題解決への応用. 2022 年 10 月 31 日 - 11 月 4 日.
- (6) 石原侑樹, 深作亮也, 池松泰彦, 神戸祐太, 岩根秀直, 伊藤勝, 小林宗広, 湯野剛史, 計良宥志: IMI 若手研究-短期共同研究, 記号計算の高速化と産業課題解決への応用. 2023 年 11 月 13 日 - 11 月 17 日.
- (7) 石原侑樹, 深作亮也, 池松泰彦, 神戸祐太, 岩根秀直, 伊藤勝, 小林宗広, 湯野剛史, 計良宥志, 庵智幸: IMI 若手研究-短期共同研究, 記号計算の高速化と産業課題解決への応用 2. 2024 年 11 月 11 日 - 11 月 15 日.

松坂 俊輝 (MATSUSAKA Toshiki)

A. 研究概要

2024 年度に出版・発表された論文について, B 節における番号と対応させながら, それぞれ概要を記す.

1. 2 つのモジュラー結び目の間の絡み数を与える, という目的で Duke-Imamoglu-Tóth (2017) によって導入された双曲 Rademacher 記号について考察を行った. 具体的には, 双曲 Eisenstein 級数に対して, 均質化サイクル積分という新たな概念を導入することで, 双曲 Rademacher 記号をモジュラー形式の文脈で捉え直し, 古典的な Rademacher 記号の類似として, 複数の明示公式を与えた.
2. 量子不変量の一つである Gukov-Pei-Putrov-Vafa 不変量 (ホモロジカルブロック) について, モックテータ関数や偽テータ関数の研究を通じて築かれた技術を適用することで, Seifert fibered homology 3-sphere の場合にそ

の保型変換公式を明示的に与えた。その系として、Witten-Reshetikhin-Turaev 不変量の量子モジュラー性を得るとともに、Witten の漸近展開予想の別証明を与えた。

3. 秋山-金子によって発見された、円分多項式 $\Phi_n(x)$ の高階微分値が満たす合同式 $\Phi_n^{(2k+1)}(1)/\Phi_n(1) \equiv 0 \pmod{\phi(n) - 2k}$ について、次の予想を解決した：(秋山-金子予想) その多項式への持ち上げとして、Lehmer の多項式 $F_{2k+1}(x_1, \dots, x_{2k+1}) \in \mathbb{Q}[x_1, \dots, x_{2k+1}]$ が因子 $x_1 - k$ を持つだろう。

4. 漫画「せいすうたん」の中で「 k -Göbel 数列 $g_k(n)$ について、 $N_k = \inf\{n \geq 0 : g_k(n) \notin \mathbb{Z}\}$ と定めるとき、 N_k の最小値はいくつか」という問題が提示されていたが、これを学部 1 年生の講義「コアセミナー I」において学生と共に考察し、最小値が 19 であること、また $N_k = 19$ となるための必要十分条件が $k \equiv 6, 14 \pmod{18}$ であることを突き止めた。

5. 多重ゼータ関数 $\zeta(s_1, \dots, s_r)$ の整数点周りの漸近公式について、その係数が Bernoulli 数の複雑な積和で記述できることが小野塚 (2013) によって知られている。この研究では、古典的な Gregory 係数を一般化することで、特に原点周りの漸近係数について、ある種の対称性が明快になる形で極めて簡潔な別表示を与えた。

6. 研究 4. の続きとして、当時学部 2 年生であった学生とともに考察を行った。具体的には、4. で示した結果の (k, l) -Göbel 数列への拡張、また、Zagier によって観察されていた漸近公式の証明および拡張を与えた。

7. 金子 (1996) によって発見された j 関数の Fourier 係数の特異モジュライ公式と、Eichler-Selberg の跡公式を共通の枠組みで捉え直すことで、両者を包含する“Eichler-Selberg relations”とでも呼ぶべき等式の族を与えた。加えて、Selberg によって (ある種人工的に) 導入された Shifted convolution L 関数の数論における役割についても、新たな示唆を与えることができた。

8. 葉廣の unified Witten-Reshetikhin-Turaev 不変量について、樋上の研究を基礎として、偽テータ関数の新たな理論を応用する形で研究を行った。特に、Poincaré ホモロジー球面の場合に葉廣によって指摘されていた「葉廣級数の極限と値の $1/2$ のずれの問題」について、偽テータ関数の観点から一つの説明を与えた。

9. 有限多重ゼータ値の研究で用いられる環 $\mathcal{A} := (\prod_p \mathbb{Z}/p\mathbb{Z})/(\bigoplus_p \mathbb{Z}/p\mathbb{Z})$ において、Euler 定数 $\gamma \in \mathbb{R}$ の類似物 $\gamma_{\mathcal{A}} \in \mathcal{A}$ を 3 つの異なる Heuristic に基づいて導入し、それらが Fermat 商 ($\mathcal{A}$ における対数関数の類似物) 程度のずれを除いて一致していることを示した。

10. 多重ゼータ値の二つの表示「級数表示」と「反復積分表示」は、それぞれ「有限で打ち切った和」および「Riemann 和」の極限として定まる表示であるが、これが極限を取る前にも、有理数の等式として成り立つことが前阪-関-渡邊によって 2024 年の 2 月に発見された。この研究では、この「離散化」とでも呼ぶべき現象を、より一般に多重対数関数に対して明らかにした。

11. 三葉結び目 $K_{2,3}$ の S^3 内の補空間を、商空間 $\mathrm{SL}_2(\mathbb{Z}) \backslash \mathrm{SL}_2(\mathbb{R})$ によって実現するとき、その測地流の閉軌道としてモジュラー結び目が定まる。Ghys (ICM2006) は、モジュラー結び目 C_γ と三葉結び目の間の絡み数 $\mathrm{lk}(C_\gamma, K_{2,3})$ が Rademacher 記号と一致することを 3 通りの方法で証明した。松坂-植木 (2023) は、モジュラー形式を用いる 1 つ目の方法を拡張することで、一般のトーラス結び目 $K_{p,q}$ の補空間の場合に拡張しており、この研究では、3 つ目の証明を拡張することで同様の結果を示した。

12. 楕円モジュラー j 関数の Fourier 係数 $c(n)$ が $n \not\equiv 7 \pmod{8}$ の場合に常に偶数になることは有名な事実であるが、 $c(8n-1)$ の偶奇がどのように振る舞うかは謎に包まれている。本研究では、位数 2 のモックテータ関数 $\mu_2(q)$ について、その係数が $c(8n-1) \equiv c_{\mu_2}(n) \pmod{2}$ を満たすことを明らかにした。さらに同様の現象が多く Hauptmoduln と偶数位数のモックテータ関数の間に成り立つことを発見した。

13. 複素解析における Jensen の公式のモジュラー類似として、Rohrlich の公式が知られており、これと類似の型を持つモジュラー形式の因子上の和が、様々な文脈の中で研究されてきた。この研究では、Stokes の定理に基づく極めて単純な一つの定理から次の 5 つの結果を導けることを明らかにした：(1) Valence 公式、(2) Rohrlich の公式のレベル N への一般化、(3) Bringmann-Kane-Löbrich-Ono-Rolen の因子和公式の誤差項の特定、(4) Bringmann-Kane の一般化 Rohrlich 公式のカスプに関する条件の排除、(5) 金子-水野の L 関数の分解公式の簡単な別証明。

14. MacMahon 分割関数の準モジュラー性の別証明を与えることによって、一般のレベル N への拡張を可能にし、さらに Craig-van Ittersum-Ono によって与えられた素数検出表示の一般化を行った。

15. Kac-Wakimoto (1994) の予想 5.1 の解決、つまり、三角数に関する q -級数の等式について、2 通りの証明を与えた。1 つ目の証明は、アフィン・スーパー Lie 代数 $\widehat{\mathfrak{spo}}(2m, 2m+1)$ の分母公式を (正しく) 適用することによる導出であり、もう一つは不定値テータ関数の理論を適用することによるモジュラー形式を用いた証明である。

B. 研究業績

1. A hyperbolic analogue of the Rademacher symbol, *Mathematische Annalen*, 388 (2024), 2843–2886.
2. Modular transformations of homological blocks for Seifert fibered homology 3-spheres (with Yuji Terashima), *Communications in Mathematical Physics*, 405 (2024), article number 48.
3. Curious congruences for cyclotomic polynomials II (with Genki Shibukawa), *Research in Number Theory*, 10, Article Number 3 (2024).
4. How long can k -Göbel sequences remain integers? (with Rinnosuke Matsuhira and Koki Tsuchida), *The American Mathematical Monthly*, vol. 131, Issue 9 (2024), 784–793.
5. Asymptotic coefficients of multiple zeta functions at the origin and generalized Gregory coefficients (with Hideki Murahara and Tomokazu Onozuka), *Functiones et Approximatio, Commentarii Mathematici*, Published online 1–20 (2024).
6. On integrality and asymptotic behavior of the (k, l) -Göbel sequences (with Hibiki Gima, Taichi Miyazaki, Shunta Yara), *Journal of Integer Sequences*, 27 (2024), Article 24.8.1.
7. Eichler–Selberg relations for singular moduli (with Yuqi Deng and Ken Ono), *Forum of Mathematics, Sigma*, (2024), vol.12: e117, 1–24.
8. Hikami’s observations on unified WRT invariants and false theta functions, “Low Dimensional Topology and Number Theory” Fukuoka, Japan, March 15–18, 2022. In Memory of Professor Toshie Takata, Springer, (2025), 133–173.
9. On finite analogues of Euler’s constant (with Masanobu Kaneko and Shin-ichiro Seki), *International Mathematics Research Notices*, (2025), no. 2, rnae281.
10. A discretization of the iterated integral expression of the multiple polylogarithm (with Minoru Hirose and Shin-ichiro Seki), arXiv:2404.15210.
11. Note on an explicit formula of Rademacher symbols for triangle groups (with Gyucheol Shin), arXiv:2409.12779.
12. Hauptmoduln and even-order mock theta functions modulo 2 (with Soon-Yi Kang, Seonkyung Kim, and Jaeyeong Yoo), arXiv:2410.06745.
13. A unified approach to Rohrllich-type divisor sums (with Daeyeol Jeon, Soon-Yi Kang, and Chang Heon Kim), arXiv:2410.12571.
14. Quasi-modularity in MacMahon partition variants and prime detection (with Soon-Yi Kang and Gyucheol Shin), arXiv:2412.19180.
15. Denominator identity for the affine Lie superalgebra $\widehat{\mathfrak{spo}}(2m, 2m + 1)$ and indefinite theta functions (with Miyu Suzuki), arXiv:2502.06449.

C. 講演

1. Modular knots, automorphic forms, and the Rademacher symbols, (invited), Gauge Fields in Arithmetic, Topology and Physics, ICMS (Scotland), April 15, 2024.
2. グレゴリー係数と多重ゼータ関数の原点での振る舞い, (invited), 第 65 回関西多重ゼータ研究会, 東北大学, 2024 年 5 月 18 日.
3. Eichler–Selberg relations for singular moduli, (invited), Number Theory Seminar, Korea University (Korea), Sept. 24, 2024.
4. Eichler–Selberg relations for singular moduli, (invited), 2024 KMS Annual Meeting, Sungkyunkwan University (Korea), Oct. 25, 2024.
5. A unified approach to Rohrllich-type divisor sums, (invited), Seoul National University (Korea), Nov. 4, 2024.
6. A unified approach to Rohrllich-type divisor sums, (invited), Modular Forms and Multiple Zeta Values – Conference in Honor of Masanobu Kaneko’s 60+4th Birthday–, Kindai University, Feb. 19, 2025.
7. Hauptmoduln and even-order mock theta functions modulo 2, 東北-名古屋ゼータ若手研究集会, 東北大学, Mar. 9, 2025.
8. Eichler–Selberg relations for singular moduli, (invited), 2025 早稲田整数論研究集会, 早稲田大学, Mar. 14, 2025.

D. その他の研究活動

D-1. 書籍・雑誌等

1. 対数ガンマ関数にまつわる数論の話題, 「特殊関数探訪 三角関数からはじめる不思議な世界」(2024), 数学セミナー編集部 (日本評論社) .
2. 僕らの数学の生み出し方 (村上友哉氏との対談記事), 数学セミナー 2025 年 4 月号.

D-2. アウトリーチ活動

1. 数学研究の舞台裏, Qst Lounge#1, 2024 年 4 月 26 日.
2. 素数が映し出す小さな世界, 舞プラン, 福岡舞鶴高等学校, 2024 年 6 月 15 日.
3. 星野友教授「カーボンニュートラルと科学技術」, Qst Lounge#2, 2024 年 8 月 9 日, ファシリテータ.
4. TEDxSaikai, 大島文化ホール (長崎県西海市), 2024 年 11 月 17 日.
5. 石橋勇志教授「地球環境変動と食料生産」, Qst Lounge#3, 2024 年 11 月 22 日, ファシリテータ.
6. 中村真子教授, Qst Lounge#4, 2025 年 3 月 22 日, ファシリテータ.
7. 「かわっても, かわらない」ルールの発見, こどものためのワークショップ博覧会, ワークショップコレクション in 福岡 2025, 2025 年 3 月 30 日.

D-3. 主催した研究集会等

1. 第 16 回福岡数論研究集会, 2024 年 8 月 23 日-2024 年 8 月 24 日 (世話人) .
2. The 17th MSJ-SI, Developments of Multiple Zeta Values, Week 1: Lectures on multiple zeta values and beyond, 2025 年 2 月 10 日-2025 年 2 月 15 日 (Local Organizers).
3. 九大代数学セミナー.

D-3. その他

1. 2022 年 4 月 1 日 - 現在, 九州大学大学院数理学研究院助教, SENTAN-Q 5 期生 (2023.08.01 - 2025.07.31) .
2. 2024 年 8 月 1 日 - 2025 年 7 月 31 日, 江原大学校数学科客員教授, 兼務.
3. 編集委員, The Ramanujan Journal (2025.02-)

三宅 庸仁 (MIYAKE Nobuhito)

A. 研究概要

私は主に放物型方程式に分類される偏微分方程式に関する研究を行なっている. 近年取り組んだ研究について以下に列挙する.

A-1. 高階幾何学的発展方程式に対する閾値型近似アルゴリズム

閾値型近似アルゴリズムとは, ある放物型方程式に対する初期値問題の super level set を用いて幾何学的発展方程式の近似解を構成するアルゴリズムである. 上記アルゴリズムを初めて提唱した Bence-Merriman-Osher (1992) では, 熱方程式を用いて平均曲率流と呼ばれる幾何学的発展方程式の近似解を構成していた. 我々の研究では, 熱方程式の代わりに, ラプラシアン摂動を加えた重調和熱方程式を用いることにより, ある高階幾何学的発展方程式の近似解を構築した. この幾何学的発展方程式は, 表面積汎関数を加えた Willmore 汎関数の L^2 勾配流 (以下, Willmore-type flow と呼ぶ) と見做せる方程式である. 上述の内容は, 石井克幸氏 (神戸大学), 高坂良史氏 (神戸大学), 榊原航也氏 (金沢大学) との共同研究として掲載済みである.

さらに, 上記研究で取り扱った閾値型近似アルゴリズムに対する変分的取り扱いについて考察を行った. これは, 「閾値型近似アルゴリズムによる近似解の構成方法は, 適当な近似エネルギーの最小化問題と見做せる」という, Laux-Otto (2016) による平均曲率流に対する閾値型近似アルゴリズムの条件収束の証明の際に鍵となった解釈である. 上記の先行研究に基づいた解析により, 同様の解釈が Willmore-type flow の場合にも可能であること, 及び構築した近似エネルギーが平均曲率流の場合のものと部分的に類似の性質を持つことを示した. この近似エネルギーの構築には, 上記研究で使用した四階放物型方程式の解に対して定義される高階版 heat content に対する高次漸近展開が重要となった.

A-2. 不安定薄膜方程式に対する初期値問題

不安定薄膜方程式 (unstable thin film equation) とは, 通常の薄膜方程式に現れる四階の主要項の他に, 二階の退

化拡散項が不安定性を引き起こす方向で加えられた方程式であり、低階項に現れる指数によって時間大域可解性が変化することが知られている。また、近年の Carrillo 氏らの研究では、不安定薄膜方程式がみたすエネルギー勾配構造を基盤とする時間大域解の構成が行われている。以上のようなエネルギー構造に着目した解析手法に基づき、より詳しい時間大域挙動を解析することを目的として考察を行った。また、同様の手法に基づいた（有限時間特異性が発生し得る指数の範囲における）時間局所解の構成について、初期値により強い可積分性を課して考察を行い、構成の際に必要な先験的評価を部分的に得ることに成功した。

A-3. 冪乗型非線形項をもつ多孔質媒体方程式の初期値問題

冪乗型非線形項をもつ多孔質媒体方程式の初期値問題について、「初期トレースの定性的性質の解析」及び「Morrey 型ノルムを用いた可解性理論の構築」を（超関数の意味の）弱解の枠組みで行った。さらに、これらの結果を用いることで同問題の時間局所可解性が得られるか否かの閾値となる初期値の特異性の強さを同定した。可解性の証明では Morrey 型ノルムを用いたエネルギー評価が鍵となった。本研究成果は、石毛和弘氏（東京大学）と佐藤龍一氏（岩手大学）との共同研究として現在投稿中である。

B. 研究業績

1. H.-Ch. Grunau, N. Miyake, and S. Okabe, Positivity of solutions to the Cauchy problem for linear and semilinear biharmonic heat equations, *Advances in Nonlinear Analysis* **10** (2020), no. 1, 353–370.
2. N. Miyake and S. Okabe, Asymptotic Behavior of Solutions for a Fourth Order Parabolic Equation with Gradient Nonlinearity via the Galerkin Method, *Geometric properties for parabolic and elliptic PDE's*, Cham: Springer. Springer INdAM Ser. **47**, 247–271.
3. N. Miyake, Effect of decay rates of initial data on the sign of solutions to Cauchy problems of polyharmonic heat equations, *Mathematische Annalen* **387** (2022), no. 1-2, 265–289.
4. K. Ishii, Y. Kohsaka, N. Miyake, and K. Sakakibara, A thresholding algorithm for Willmore-type flows via fourth-order linear parabolic equation, *Interfaces Free Bound.* **27** (2025), no. 2, 235–283.

C. 講演

1. 三宅庸仁, 勾配型非線形項をもつ四階放物型方程式の爆発問題, 楕円型・放物型方程式の集いの会, 2020 年 8 月.
2. 三宅庸仁, Positivity of solutions to Cauchy problems for linear and semilinear biharmonic heat equations, 応用数理解析セミナー, 2021 年 1 月.
3. 三宅庸仁, ある高階放物型方程式に対する初期値問題の解の正值性について, 第 14 回若手のための偏微分方程式と数学解析, 2021 年 2 月.
4. Hans-Christoph Grunau, 三宅庸仁, 岡部真也, Positivity of solutions to the Cauchy problem for linear and semilinear biharmonic heat equations, 日本数学会・2021 年度年会, 2021 年 3 月.
5. 三宅庸仁, Positivity of solutions to the Cauchy problem for some higher order parabolic equations, 広島数理解析セミナー, 2021 年 4 月.
6. 三宅庸仁, Positivity of solutions to the Cauchy problem for linear and semilinear polyharmonic heat equations, 京都大学 NLPDE セミナー, 2021 年 5 月.
7. 三宅庸仁, Effect of decay rates of initial data on the sign of solutions to Cauchy problems of polyharmonic heat equations, 鳥取 PDE 研究集会 2021, 2021 年 11 月.
8. 三宅庸仁, Effect of decay rates of initial data on the sign of solutions to Cauchy problems of some higher order parabolic equations, 応用解析セミナー, 2022 年 4 月.
9. 三宅庸仁, Effect of decay rates of initial data on the sign of solutions to Cauchy problems of some higher order parabolic equations, 熊本大学応用解析セミナー, 2022 年 6 月.
10. 三宅庸仁, Effect of decay rates of initial data on the sign of solutions to Cauchy problems of polyharmonic heat equations, Summer School on Variational Problems and Functional Inequalities, 2022 年 9 月.
11. 三宅庸仁, 多重調和熱方程式の初期値問題の解の符号に対する初期値の減衰速度の影響について, 「解析学とその周辺」@野田, 2022 年 11 月.
12. 三宅庸仁, ある高階放物型方程式に対する初期値問題の解の符号における初期値の減衰速度の影響について, 楕円型・放物型微分方程式研究集会, 2022 年 11 月.

13. 三宅庸仁, Effect of decay rates of initial data on the sign of solutions to Cauchy problems of some higher order parabolic equations, 第 183 回神楽坂解析セミナー, 2022 年 11 月.
14. 三宅庸仁, Effect of decay rates of initial data on the sign of solutions to Cauchy problems of some higher order parabolic equations, NTU-Tokyo Joint Conference 2022, 2022 年 12 月.
15. 三宅庸仁, Eventual global positivity of solutions to Cauchy problems of polyharmonic heat equations, The 24th Northeastern Symposium on Mathematical Analysis, 2023 年 2 月.
16. 三宅庸仁, Eventual global positivity of solutions to Cauchy problems of some higher order parabolic equations, 精密解析による非線形問題の新展開, 2023 年 3 月.
17. 三宅庸仁, Effect of decay rates of initial data on the sign of solutions to Cauchy problems of some higher order parabolic equations, The 13th AIMS Conference on Dynamical Systems, Differential Equations and Applications, 2023 年 5 月.
18. 三宅庸仁, Threshold-type approximation algorithm for gradient flows of Willmore-type energy functionals, Workshop on Nonlinear Partial Differential Equations — China-Japan Joint Project for Young Mathematicians 2023, 2023 年 11 月.
19. 三宅庸仁, Canham-Helfrich 型汎関数の勾配流に対する閾値型近似アルゴリズムについて, 第 2 回若手応用数学研究会, 2023 年 12 月.
20. 三宅庸仁, Threshold-type algorithm for gradient flows of Willmore-type functionals, 微分方程式の総合的研究, 2023 年 12 月.
21. 三宅庸仁, Threshold-type algorithm for gradient flows of Canham-Helfrich type functional, 九州関数方程式セミナー, 2024 年 4 月.
22. 三宅庸仁, Threshold-type algorithm for the gradient flow of Willmore-type functionals, The Mathematics of Shapes, 2024 年 8 月.
23. 三宅庸仁, Canham-Helfrich 型汎関数の勾配流に対する閾値型近似アルゴリズム, 第 20 回非線形の諸問題 2024 年 9 月.
24. 三宅庸仁, Thresholding algorithm to Willmore-type flows, China-Japan Workshop on Nonlinear Elliptic and Parabolic Equations, 2024 年 10 月.
25. 三宅庸仁, Thresholding algorithm for Willmore-type flow via fourth order parabolic equation, Geometric Analysis and Phenomena, 2024 年 11 月.
26. 三宅庸仁, Thresholding algorithm for Willmore-type flows via fourth order linear parabolic equation, Geometric Aspects of Partial Differential Equations, 2024 年 11 月.
27. 三宅庸仁, Thresholding algorithm for Willmore-type flows via fourth order parabolic equations, Gradient flows in geometry and PDE, 2025 年 1 月.

D. その他の研究活動

1. 九州関数方程式セミナー, 世話人 (2024 年 4 月 – 現在).
2. 第 42 回九州における偏微分方程式研究集会, 世話人.

村山 拓也 (MURAYAMA Takuya)

A. 研究概要

函数論では, Loewner 微分方程式の解が等角写像の時間発展を表すことが古典的に知られている. 21 世紀に入って, 平面格子上の臨界的な古典スピン模型の相境界をランダムな Loewner 方程式によって記述する「Schramm-Loewner 発展」(SLE) の理論が現れた. 近年では, SLE に刺激され, Loewner 鎖の理論の応用が複数の分野で見られるようになってきている. このような背景の下, 村山はここ数年,

- Loewner 方程式ならびに SLE を多重連結領域へと拡張する方法
- 多重パス SLE への応用を念頭に置いた multi-finger Loewner 方程式の基礎理論

などについて考察を続けている。また、共同研究者とともに、非可換（量子）確率論における「単調独立」な増分を持つ加法過程と「Loewner 微分積分方程式」との対応を調べ、その結果を学術誌に投稿した他、複数の研究会で発表した。

B. 研究業績

今年度に掲載されたものは無いため割愛する。

C. 講演

1. Additive processes on the real line and Loewner chains. 東北確率論セミナー, 2024 年 6 月 7 日, 東北大学
2. レヴナー微分方程式の跡と駆動関数に関するいくつかの問題, 日本数学会 2024 年秋季総合分科会, 2024 年 9 月 3 日, 大阪大学
3. Additive processes on the real line and Loewner chains. 2024 Open German-Japanese Conference on Stochastic Analysis and Applications, September 11, 2024, Hokkaido University
4. Additive processes on the real line and Loewner chains. Non-Commutative Probability and Related Topics 2024, 2024 年 10 月 17 日, 九州大学西新プラザ
5. Additive processes on the real line and Loewner chains. 第 67 回函数論シンポジウム, 2024 年 10 月 26 日, 鹿児島大学
6. Additive processes on the real line and Loewner chains. 実解析・複素解析・函数解析の総合的研究, 2024 年 11 月 26 日, 京都大学数理解析研究所
7. Continuity of certain capacity-like quantities related to chordal Loewner chains. Geometric Function Theory in Several Complex Variables and Complex Banach Spaces, November 30, 2024, Cluj-Napoca, Romania (online)
8. Additive processes on the real line and Loewner chains. Pacific Quasiworld seminar, December 12, 2024, online
9. Loewner エネルギーと Weil-Petersson Teichmüller 空間：非専門家からみたイントロダクション. Random topics on Teichmüller theory III, 2025 年 1 月 14 日, 武蔵野美術大学
10. Additive processes on the real line and Loewner chains. International Workshop on Conformal Dynamics and Loewner Theory 2025, January 21, 2025, Kyushu University
11. Carathéodory kernel theorem for Pick functions with hydrodynamic normalization revisited. 2024 年度「等角写像論・値分布論」合同研究集会, 2025 年 2 月 15 日, 山口大学
12. Additive processes on the real line and Loewner chains. Non-commutative probability, random matrices and Levy processes, March 26, 2025, The Institute of Statistical Mathematics, Tokyo

D. その他の研究活動

1. 九州確率論セミナー 幹事 (2022 年度 – 現在)
2. International Workshop on Conformal Dynamics and Loewner Theory 2025 (January 20 - January 22, 2025, Kyushu University), organizer

山崎 陽平 (YAMAZAKI Yohei)

A. 研究概要

水面波やプラズマ物理学, 非線形光学で現れる非線形分散型方程式を研究している。非線形分散型方程式は定在波や進行波と呼ばれる解を持つことがあり, 非線形分散方程式により記述される多くの波動現象は, 安定な定在波や進行波によって記述されると考えられている。特に, 横方向に周期境界条件をもつ Kadomtsev–Petviashvili-I(KP-I) 方程式や空間 2 次元の Zakharov–Kuznetsov(ZK) 方程式の線状進行波の安定・不安定性を研究してきた。最近, 定在波周りの線形化作用素が internal mode を持つ場合について, 中心安定多様体上の解の漸近挙動に関しても研究している。

[1] Kadomtsev–Petviashvili-I(KP-I) 方程式の臨界速度を持つ線状進行波の安定性

横方向に周期境界条件をもつ KP-I 方程式の臨界速度を持つ線状進行波について研究を行った。先行研究では, KP-I 方程式の線状進行波について, 線状進行波の速度が臨界速度より真に小さいときは安定であり, 臨界速度よ

り真に大きいときは不安定であることを示していた。線状進行波の速度が臨界速度と一致するときは、安定性を示す際に用いられているリャプノフ関数の 2 次の項が退化しており、安定性・不安定性は示されていなかった。リャプノフ関数の 2 次の項退化をより高次の項で補うために、私が以前に示した非線形 Schrödinger 方程式の臨界周波数を持つ線状定在波の安定性・不安定性を示す議論を用いた。非線形 Schrödinger 方程式の臨界周波数を持つ線状定在波では、4 次の項の非負値性を示すことで、リャプノフ関数の 2 次の項の退化を補い、安定性・不安定性を示していた。しかし、KP-I 方程式の線状進行波についてはさらに 4 次の項が退化する。そのため、線状定在波と Zaitsev ソリトンとの分岐の情報を用いることで、6 次の項の非負値性を示し、線状進行波の安定性を示した。

[2] Zakharov–Kuznetsov(ZK) 方程式の線状進行波周りの中心安定多様体の構成

私の以前の研究により、横方向に周期境界条件をもつ ZK 方程式の線状進行波について、線状進行波の速度が臨界速度より小さいときは漸近安定であり、臨界速度より真に大きいときは不安定であることを示していた。一般に、不安定な進行波周りの解は、線形化作用素の安定スペクトルの固有関数空間に対応する線状進行波から離れない解の集合である中心安定多様体と、不安定スペクトルの固有関数成分を持つ線状進行波から離れる解の集合で分類されると考えられる。線状進行波周りの中心安定多様体を構成するためには、微分を含む非線形項の評価と移流項の取り扱いが問題となった。微分を含む非線形項に対しては Molinet–Pilod により示されたフーリエ制限ノルムによる双線形評価を用い、移流項に対しては Nakanishi–Schlag の mobile distance を用いることで、中心安定多様体の候補となる不変多様体を構成した。ここで、進行速度をパラメータとする定常方程式の分岐点となる不安定な線状進行波に関しては、中心安定多様体の候補となる不変多様体上でのリャプノフ関数が退化しているため、既存の議論では、不変多様体上の解の安定性が示せていなかった。そのため、非線形 Schrödinger 方程式の臨界周波数を持つ線状定在波の安定性・不安定性を示す議論を用いて、リャプノフ関数の 2 次の項の退化を 4 次の項で補った。さらに、不変多様体と線形化作用素の安定スペクトルに対応する固有関数空間との線状進行波での接触次数が $3/2$ 次より大きいことと、boots strap argument を用いて、誤差項になると考えられる不安定方向と安定方向の相互作用からくる項について、その項の次数が 4 次より真に大きい次数を持つことを示し、中心安定多様体を構成した。

[3] 非線形 Schrödinger 方程式について、定在波周りの線形化作用素が internal mode を持つ場合の中心安定多様体上の解の漸近挙動に関する研究

定在波周りの線形化作用素が internal mode と呼ばれる固有値を持つ場合は、線形化方程式が時間周期解を持つ。故に、線形化作用素の分散性だけでは、非線形 Schrödinger 方程式について、定在波周りの解の漸近挙動は得られない。そのため、定在波が安定な場合は、Cuccagna は Fermi の黄金則と呼ばれる非線形性から現れる分散性の非退化性を仮定することで、internal mode のエネルギーが連続スペクトル成分のエネルギーに遷移することを示し、安定な定在波の周りの解が定在波に漸近することを示した。千葉大学の前田昌也氏と共同で、不安定な定在波について、線形化作用素が internal mode を持つ場合に、中心安定多様体上の解の漸近挙動を得た。解の漸近挙動を得るために、Fermi の黄金則の仮定、Cuccagna–Maeda で導入された refined profile を一般化することで、internal mode 成分から連続スペクトル成分へのエネルギー遷移を示した。

B. 研究業績

1. Y. Yamazaki, *Stability of the line soliton of the Kadomtsev–Petviashvili-I equation with the critical traveling speed*, Differential Integral Equations, **33** (2020), no. 9–10, 489–506.
2. Y. Yamazaki, *Center stable manifolds around line solitary waves of the Zakharov–Kuznetsov equation with critical speed*, Discrete & Continuous Dynamical Systems - A, **41** (2021), no.8, 3579–3614.
3. Y. Yamazaki, *Center stable manifolds around line solitary waves of the Zakharov–Kuznetsov equation*, J. Dyn. Diff. Equat. **36** (2024), 871–914.
4. M. Maeda and Y. Yohei, *Center stable manifold for ground states of nonlinear Schrödinger equations with internal modes*, J. Differential Equations, **387** (2024), 256–298.

C. 講演

1. 山崎陽平, 「Center stable manifolds around line solitary waves with critical speed」, 第 6 回 神楽坂非線形波動研究会, 東京, 2019 年 5 月.
2. 山崎陽平, 「Center stable manifolds around line solitary waves of the Zakharov–Kuznetsov equation with critical speed」, 数学と現象: Mathematics and Phenomena in Miyazaki 2019, 宮崎, 2019 年 11 月.

3. 山崎陽平, 「Center stable manifolds around line solitary waves of the Zakharov–Kuznetsov equation」, 津田塾大学 PDE 研究会, 小平, 2020 年 2 月.
4. 山崎陽平, 「Zakharov–Kuznetsov 方程式の臨界速度を持つ線状進行波周りの中心安定多様体について」, 日本数学会 2020 年度秋季総合分科会, 熊本大学 (オンライン), 2020 年 9 月.
5. 山崎陽平, 「Center stable manifolds around line solitary waves of the Zakharov–Kuznetsov equation with critical speed」, 九州関数方程式セミナー, オンライン, 2020 年 10 月.
6. 山崎陽平, 「Center stable manifolds around line solitary waves of the Zakharov–Kuznetsov equation with critical speed」, 第 4 回反応拡散方程式と非線形分散型方程式の解の挙動, オンライン, 2021 年 2 月.
7. 山崎陽平, 「Center stable manifolds around line solitary waves of the Zakharov–Kuznetsov equation with critical speed」, 京都大学 NLPDE セミナー, 京都 (オンライン), 2021 年 4 月.
8. 山崎陽平, 「Asymptotic behavior of solutions around line solitary waves of the Zakharov–Kuznetsov equation with critical speed」, The 18th Linear and Nonlinear Waves, オンライン, 2021 年 11 月.
9. 山崎陽平, 「Center stable manifold for ground states of nonlinear Schrödinger equations with internal modes」, 九州関数方程式セミナー, 福岡, 2022 年 7 月.
10. 山崎陽平, 「Center stable manifold for ground states of nonlinear Schrödinger equations with internal modes」, 日本数学会 2022 年度秋季総合分科会 一般講演, 北海道大学 2022 年 9 月.
11. 山崎陽平, 「Center stable manifold for ground states of nonlinear Schrödinger equations with internal modes」, Workshop on recent progress in standing waves for nonlinear Schrödinger equations, 京都, 2022 年 11 月.
12. 山崎陽平, 「Center stable manifold for ground states of nonlinear Schrödinger equations with internal modes」, 偏微分方程式の幾何的様相, 京都, 2022 年 12 月.
13. 山崎陽平, 「Center stable manifold for ground states of nonlinear Schrödinger equations with internal modes」, Conference "Mathematical Structures in Quantum Fluids", 大阪, 2023 年 1 月.
14. 山崎陽平, 「Center stable manifold for ground states of nonlinear Schrödinger equations with internal modes」, The 40th Kyushu Symposium on Partial Differential Equations, 福岡, 2023 年 1 月.
15. 山崎陽平, 「Center stable manifold for ground states of nonlinear Schrödinger equations with internal modes」, Workshop on Variational Methods and Dispersive Equations, 京都, 2023 年 2 月.
16. 山崎陽平, 「Center stable manifold for ground states of nonlinear Schrödinger equations with internal modes」, 名古屋微分方程式セミナー, 名古屋, 2023 年 5 月.
17. 山崎陽平, 「Center stable manifold for ground states of nonlinear Schrödinger equations with internal modes」, 第 7 回神楽坂非線形波動研究会, 東京, 2023 年 5 月.
18. 山崎陽平, 「Center stable manifold for ground states of nonlinear Schrödinger equations with internal modes」, One-day workshop on nonlinear dispersive equations, 札幌, 2023 年 12 月.
19. 山崎陽平, 「Stability and instability for line solitary waves of Zakharov–Kuznetsov equation」, UNIST Webinar on Nonlinear Wave Motions, オンライン (Ulsan, Korea), 2023 年 12 月.
20. 山崎陽平, 「Center stable manifold for ground states of nonlinear Schrödinger equations with internal modes」, Imadegawa Workshop on Dispersive Equations, 京都, 2024 年 8 月.
21. 山崎陽平, 「Center stable manifold for ground states of nonlinear Schrödinger equations with internal modes」, T2024 CAU–Kyoto Joint Workshop on Nonlinear PDEs, Jeju, 2024 年 8 月.

D. その他の研究活動

セミナー・研究集会運営

1. 九州関数方程式セミナー, 世話人, 2020 年 10 月–2025 年 3 月
2. 九州大学解析セミナー, 世話人, 2024 年 10 月–2025 年 3 月
3. 九州における偏微分方程式研究集会, 世話人, 2023 年 4 月–2025 年 3 月
4. RIMS 共同研究グループ型 A 「線形及び非線形分散型方程式の近年の研究」 代表者, 2024 年 5 月

2.4 数理学研究院 学術研究員

金城 俊輝 (KINJO Toshiteru)

A. 研究概要

私は、整数論、特に保型形式について、研究している。近年の研究概要は以下の通りである。

I. 混合モックモジュラー形式に関して、次の2点の結果を得た。

①フリッケ群に関する金子-ザギエ方程式の混合モックモジュラー形式解について

②混合モックモジュラー形式のフーリエ係数の満たす合同関係式について

P. Guerzhoy の $SL_2(\mathbf{Z})$ に関する混合モックモジュラー形式の研究 (2015, 2018) をもとに、①では、レベル 2, 3 のフリッケ群に関する金子-ザギエの非モジュラー解が、混合モックモジュラー形式になることを示した。②では、その証明中に現れる、混合モックモジュラー形式のフーリエ展開の満たす合同関係式について、証明した。また、その副産物として、本多-金子合同式と呼ばれる弱正則モジュラー形式に関する合同関係式を得た。この結果を C.1,2 で発表した。この結果をまとめた、B.1 を準備中である。

II. L 関数の零点と微分方程式の関係性について、志村五郎の結果 (1989) の類似として、以下の保形関数について研究した。直交群 $O(n+1, 1)$ に関するカスプ関数に関するランキン-セルバーグ型の L 関数 $L(s)$ と微分方程式

$$[\Delta - \lambda(s)]f_s = p$$

の解 f_s の間の関係を研究した。ここで、 Δ は実 n 次元上半空間 $\mathbf{H}_n$ 上のラプラシアン、 $\lambda(s)$ は s に関するある多項式、 p はある 0 でない保型関数。特に、 f_s が無限遠点で急減少であることと、 $L(s) = 0$ が同値であることを示した。また、 $SL_2(\mathbf{Z})$ のある合同部分群の重さ 2 のカスプ形式に付随する L 関数、および実二次体のデデキントゼータ関数に対する f_s の類似物も得た。これらの結果を B.2, C.4-6 で発表した。現在この結果の投稿準備中である。

3 $\mathbb{Q}(\sqrt{-7})$ 上で定義されるある楕円曲線と関連する楕円ガウス和について

浅井哲也により考察されたガウス数体、およびアイゼンシュタイン数体を虚数乗法の体を持つ楕円曲線に付随する Hecke の L 関数、及びそのある種のツイストの $s = 1$ での特殊値での考察を、志村五郎の研究した楕円曲線の族を用いて、 $\mathbb{Q}(\sqrt{-7})$ を虚数乗法の体にもつ楕円曲線の場合について考察し、同様の現象を確認した。現在は浅井氏の示した L 値のある種の整数性と、関連する先行研究から類推される合同関係式について研究している。

B. 研究業績

1. Non-Modular Solution of Kaneko-Zagier Equation with respect to the Fricke Group for Lower Levels, Mathematical Journal of Okayama University 65 (1), 83-96, 2023-01

2. On some inhomogeneous differential equations and zeros of L-functions, thesis, Kyushu University

C. 講演

1. 金城俊輝, 「Mixed mock modular form に関する2つの話題について」, 第139回 日本数学会九州支部例会, 大分, 2018年10月.

2. 金城俊輝, 「Mixed mock modular form に関する2つの話題について」, 異分野・異業種研究交流会 2018, 東京, 2018年11月.

3. 金城俊輝, 「L-functions and Differential equations」, 第142回 日本数学会九州支部例会, 大分, 2020年2月.

4. 金城俊輝, 「ある L 関数の零点とある微分方程式を満たす保型関数について」, 九州代数的整数論 2020 夏 on zoom, オンライン, 2020年8月

5. 金城俊輝, 「あるゼータ関数の零点と保形関数の関係について」, 異分野・異業種研究交流会 2020, オンライン, 2020年11月

6. 金城俊輝, 「非斉次の微分方程式と L 関数の零点について」, 第14回福岡数論研究集会, 福岡, 2022年8月

D. その他の研究活動

特になし。

A. 研究概要

今年度は超幾何多項式を用いて記述可能な, Kohnen plus space のある基底についての研究を行った. 保型微分方程式の文脈で Kohnen plus space を扱った先行研究は皆無であるため, 本研究はこの空間の新たな側面を明らかにするものである. まず Kohnen plus space $M_{k+1/2}^+(4)$ ($k \in \mathbb{Z}_{\geq 0}$) は志村対応の研究において Kohnen が導入した空間であり,

$$M_{k+1/2}^+(4) := \left\{ \sum_{n \geq 0} c_n q^n \in M_{k+1/2}(4) \mid c_n = 0 \text{ if } (-1)^k n \equiv 2, 3 \pmod{4} \right\}$$

と定義される. ここで $M_{k+1/2}(4)$ は $\Gamma_0(4)$ に関する重さ $k + 1/2$ (半整数ウェイト) のモジュラー形式がなす $\mathbb{C}$ ベクトル空間である. また $S_{k+1/2}^+(4)$ をカスプ形式からなる $M_{k+1/2}^+(4)$ の部分空間とする. いま集合 Λ_k を $\Lambda_k := \{(r, s) \in \mathbb{Z}_{\geq 0}^2 \mid r + s = \dim_{\mathbb{C}} S_{k+1/2}^+(4)\}$ と定める. 簡単のため, 以下では $k \equiv 0 \pmod{3}$ の場合に限りて研究結果を述べる. (残りの $k \equiv 1, 2 \pmod{3}$ の場合でも同様の結果が成り立つが, $k \equiv 2 \pmod{3}$ に対する $F_{k+1/2, (r, s)}$ の明示的な表示に現れる多項式は超幾何多項式ではない.)

- 各 $(r, s) \in \Lambda_k$ に対して超幾何多項式を用いて明示的に表せる $F_{k+1/2, (r, s)} \in M_{k+1/2}^+(4)$ が存在し, その Fourier 展開は次のような形をしている (先頭係数は 1 とする):

$$F_{k+1/2, (r, s)} = \sum_{n \geq r} c_{4n} q^{4n} + \sum_{n \geq s} c_{4n+2+(-1)^{k-1}} q^{4n+2+(-1)^{k-1}}. \quad (2)$$

また, $f \in M_{k+1/2}^+(4)$ と $F_{k+1/2, (r, s)}$ がいずれも (2) の形の Fourier 展開を持ち, 先頭係数が一致するならば $f = F_{k+1/2, (r, s)}$ となる. 言い換えると $F_{k+1/2, (r, s)}$ は Fourier 展開 (2) から純代数的に一意に定まる.

- 上記の記号の元で $\mathcal{B}_k := \{F_{k+1/2, (r, s)} \mid (r, s) \in \Lambda_k\}$, $\mathcal{B}_k^{\text{cusp}} := \{F_{k+1/2, (r, s)} \mid (r, s) \in \Lambda_k, r \geq 1\}$ と定めると, これらは各々 $M_{k+1/2}^+(4)$ と $S_{k+1/2}^+(4)$ の基底である.

煩雑さを避けるため本稿では $F_{k+1/2, (r, s)}$ の明示的な表示は割愛するが, 代わりに具体例を紹介する. $k = 21$ に対して $\dim_{\mathbb{C}} S_{k+1/2}^+(4) = 3$ であり, $A := \sum_{n \in \mathbb{Z}} q^{n^2}$, $B := \sum_{n \in \mathbb{Z}} q^{(n+1/2)^2}$, $j_4 := 16A^4/B^4$ と定めると

$$\begin{aligned} F_{43/2, (0,3)} &= A^{43} {}_2F_1 \left(-\frac{43}{4}, -7; -14; \frac{16}{j_4} \right) \\ &= 1 - \frac{3870}{11} q^4 + \frac{952020}{11} q^8 - \frac{323743560}{11} q^{12} - \frac{57264144384}{11} q^{15} + O(q^{16}), \\ F_{43/2, (1,2)} &= A^{23} (\tfrac{1}{2}B)^{16} (A^4 - B^4) {}_2F_1 \left(-\frac{19}{4}, -3; -6; \frac{16}{j_4} \right) \\ &= q^4 - 290q^8 - 26752q^{11} - 74760q^{12} - 583680q^{15} + O(q^{16}), \\ F_{43/2, (2,1)} &= A^7 (\tfrac{1}{2}B)^{28} (A^4 - B^4)^2 \cdot 1 \\ &= q^7 - 2q^8 - 40q^{11} + 84q^{12} + 735q^{15} + O(q^{16}), \\ F_{43/2, (3,0)} &= A^{19} (\tfrac{1}{2}B)^{12} (A^4 - B^4)^3 {}_2F_1 \left(-\frac{7}{4}, -4; -8; \frac{16}{j_4} \right) \\ &= q^3 - 288q^7 + 154035q^{11} - 565760q^{12} + 12260640q^{15} + O(q^{16}). \end{aligned}$$

特にこれらの Fourier 展開が (2) の形をしていることに注目されたい.

続いて Kohnen plus space に対する上述の研究結果の応用について述べる. いま $J_{w,1}$ (resp. $J_{w,1}^{\text{sk}}$) を Jacobi 群 $\Gamma^J := SL_2(\mathbb{Z}) \ltimes \mathbb{Z}^2$ に関する重さ w , インデックス 1 の正則 Jacobi 形式 (resp. 歪正則 Jacobi 形式) のなす空間とする. このときよく知られているように, ある同型 Ψ と Ψ^* が存在して以下の図式が成り立つ ($\Psi(h)$ と $\Psi^*(h)$ はテータ分解を用いることで具体的に記述可能であるが省略する):

$$\begin{array}{ccccc} J_{k+1,1} & \xleftarrow{\sim} & M_{k+1/2}^+(4) & \xrightarrow{\sim} & J_{k+1,1}^{\text{sk}} \\ \cup & k \text{ odd} & \cup & k \text{ even} & \cup \\ \Psi(h) & \longleftarrow & h & \longrightarrow & \Psi^*(h) \end{array}$$

さて Kiyuna によりインデックス 1 の正則 Jacobi 形式に関する Kaneko-Zagier 方程式 (保型微分方程式) が研究されている. また Kimura によるインデックス 1 の歪正則 Jacobi 形式に関する同様の研究がある. 報告者は彼らの研究に現れた (歪) 正則 Jacobi 形式が, 実は $\Psi(F_{k+1/2, (0,d)})$ あるいは $\Psi^*(F_{k+1/2, (0,d)})$ に他ならないことを示し

た (ここで $d = \dim_{\mathbb{C}} S_{k+1/2}^+(4)$). いずれにしても (歪) 正則 Jacobi 形式の空間で保型微分方程式を考えるのではなく, Kohnen plus space における同値な微分方程式を扱うことで見通し良く計算することができる. この利点を活かし, より一般に $(r, s) \in \Lambda_k$ に対する $\Psi(F_{k+1/2, (r,s)})$ および $\Psi^*(F_{k+1/2, (r,s)})$ のテータ分解を明示的に記述することもできた. 本研究内容は論文 [B. 研究業績 5] として準備中である.

B. 研究業績

1. T. Nakaya, On modular solutions of certain modular differential equation and supersingular polynomials, The Ramanujan Journal, **48**(1):13–20, 2019
2. T. Nakaya, The number of linear factors of supersingular polynomials, Journal of Number Theory, **204**:471–496, 2019
3. T. Nakaya, Determination of extremal quasimodular forms of depth 1 with integral Fourier coefficients, International Journal of Number Theory, **20**(3):641–689, 2024
4. T. Nakaya, On the orthogonality of Atkin-like polynomials and orthogonal polynomial expansion of generalized Faber polynomials, The Ramanujan Journal, **64**(3):1003–1039, 2024
5. T. Nakaya, On a basis of the Kohnen plus space expressed by hypergeometric polynomials, 2025 (in preparation)

C. 講演

1. The number of linear factors of supersingular polynomials and sporadic simple groups, RIMS 共同研究 (公開型)「保型形式, 保型表現とその周辺」, 京都大学, 2019 年 1 月
2. 深さ 4 以下の extremal quasimodular form が持つ漸化的構造について, 第 23 回早稲田整数論研究集会, 早稲田大学, 2019 年 3 月
3. The number of linear factors of supersingular polynomials and sporadic simple groups, AMS Spring Central and Western Joint Sectional Meeting, ハワイ大学, 2019 年 3 月
4. On the inductive structure of certain quasimodular forms of depth ≤ 4 , 第 18 回広島仙台整数論集会, 広島大学, 2019 年 7 月
5. 古典的楕円関数と保型微分方程式について, 第 13 回福岡数論研究集会, 九州大学, 2019 年 8 月
6. Determination of normalized extremal quasimodular forms of depth 1 with integral Fourier coefficients, 第 15 回福岡数論研究集会, 立命館アジア太平洋大学 (APU), 2023 年 9 月

D. その他の研究活動

村上 友哉 (MURAKAMI Yuya)

A. 研究概要

本年度は本研究計画のメインテーマである量子モジュラー形式に関する研究を行い、プレプリント 2 本の発表と 10 件の研究発表を行った。小泉淳之介氏・佐野薫氏・竹平航平氏との共著論文では数論的力学系に由来するある種の多項式族に関する既約性予想を部分的に証明した。これは昨年 3 月に発表した佐野薫氏・竹平航平氏との共著論文の続編的内容である。南デンマーク大学の Mistegard 氏との共著論文では、Costantino–Gukov–Putrov によって定式化された半単純でない位相的場の理論から定まる量子不変量の radial limit conjecture を解決した。また、これまでの私の量子モジュラー形式と量子不変量の研究に基づき、ある種の広範な 3 次元多様体のクラスに対し WRT 不変量という量子不変量の漸近展開を決定した。これは量子不変量の漸近展開予想という大予想の部分的解決に向けたものである。証明の際に準備した枠組みは量子不変量の文脈を飛び越えて、多重 Eisenstein 級数や不定値テータ関数などの他の数論的対象にも応用があることを発見した。この結果は現在論文を準備中である。

B. 研究業績

1. Yuya Murakami, “Witten-Reshetikhin-Turaev invariants and homological blocks for plumbed homology spheres,” Communications in Number Theory and Physics, **18**, 2, 371–403 (2024),

2. **Yuya Murakami**, “A proof of a conjecture of Gukov-Pei-Putrov-Vafa,” *Communications in Mathematical Physics*, **405**, 274 (2024).
3. **Yuya Murakami**, “Witten-Reshetikhin-Turaev invariants and indefinite false theta functions for plumbing indefinite H-graphs,” *Journal of Knot Theory and Its Ramifications*, **33**, 12, 2450035 (2024)
4. **Yuya Murakami**, “L-function invariants for 3-manifolds and relations between generalized Bernoulli polynomials,” *Letters in Mathematical Physics*, **115**, 23, (2025)
5. Junnosuke Koizumi, **Yuya Murakami**, Kaoru Sano and Kohei Takehira, “Irreducibility of polynomials defining parabolic parameters of period 3,” arXiv:2408.04850
5. William Mistegård and **Yuya Murakami**, “A proof of the radial limit conjecture for Costantino–Geer–Patureau–Mirand quantum invariant,” arXiv:2408.07423

C. 講演

1. 種々の多項式写像に対する力学的多項式の整数性, 東北大学整数論セミナー, 東北大学, 2024 年 5 月
2. 3 次元多様体の L 級数不変量, 仙台保型形式春集会, 東北大学, 2024 年 6 月
3. 量子不変量が織りなす数理論・トポロジー・整数論の神秘的な関係, NTT 基礎数学セミナー, NTT 基礎数学研究センタ, 2024 年 8 月
4. 非半単純リボンテンソル圏の量子不変量に関する円周極限予想, 東北結び目セミナー 2024, カレッジプラザ講堂 / 秋田大学地方創生センター 2 号館, 2024 年 10 月
5. Quantum modularity of multiple Eisenstein series, Sendai seminar on Multiple Eisenstein Series, 東北大学, 2024 年 12 月
6. 負定値鉛管多様体の WRT 不変量の漸近展開と量子モジュラー性, 研究集会「結び目の数理 VII」, 早稲田大学, 2024 年 12 月
7. Asymptotics and quantum modularity of WRT invariants of negative definite plumbed manifolds, The 20th East Asian Conference on Geometric Topology, 東京大学, 2025 年 2 月
8. 偽テータ関数のモジュラー変換公式と量子モジュラー性, 第四回 仙台保型形式小集会, 東北大学, 2025 年 2 月
9. Quantum modular forms and quantum invariants of 3-manifolds, 第 20 回 代数・解析・幾何学セミナー, 鹿児島大学, 2025 年 2 月
10. 偽テータ関数と多重 Eisenstein 級数の量子モジュラー性, 東北-名古屋ゼータ若手研究集会, 東北大学, 2025 年 3 月

D. その他の研究活動

2.5 マス・フォア・インダストリ研究所 教授

落合 啓之 (OCHIAI Hiroyuki)

A. 研究概要

表現論や数論に現れる特殊関数や作用に関する幾何的な問題を代数解析的な手法で研究している。2024 年度の活動は以下の通り。

- (1) 特別な線形常微分方程式の特殊関数論的な共同研究を引き続き行なっている [B6]。最適化で用いられる交互射影法による収束レートを上からの評価だけでなく下からも評価する (exact convergent rate) 問題を共同で考えている [B1][B5]。未解決問題ワークショップ 2022 を契機とする微分方程式の爆発解の共同研究 [B3][B4]。未解決問題ワークショップ 2023 を契機とする解の包絡の研究を共同で進めている [C12]。田内大渡の発見した、軌道が有限個で相対不変関数が無限次元となる事例を、具体的な平易な同型で simple holonomic 系と関連づけ、田内の見つけた現象を D 加群の言葉で解釈した [B2][C1][C2]。
- (2) (2-1) 和書の単著を初めて出版した [B7]。(2-2) 池田岳や山中勇毅の出版前の本の原稿を見せてもらいコメントした。(2-3) 大阪公立大学の共同利用の研究集会に初めて採択され主催した。内容は OCAMI としての初めてのス

タディグループワークショップ。(2-4-1) 高校生向けの講義「夢ナビ」に数学科の教員として初めて登場した(10月)。自分で行うアウトリーチとは勝手が違うところがあり戸惑いつつも新鮮だった。(2-4-2) 公立中学生向けに出前講義を行った。希望者ではなくて、学年全員を対象としたのは初めて。寝かせないように工夫した。大野城市立大野中学校。2024.11. (2-5-1) 院生向けに日本学術振興会へ応募を促す説明会を非公式に実施。採択を目指すきちんとしたものは理学部で開催されているので、もっと初歩レベルに特化した。(2-5-2) 鍛冶さん・池さんとインフォーマルなお茶会を数理の学生教員向けに1-2ヶ月に1回のペースで、数回開いてみた。なお、この催しは専攻長が学科行事として引き継いでくれたので現在は続いている。(2-5-3) 研究室付近の廊下のホワイトボードに数学の問題を書き、解答を書いてくると顔の見えないやり取りしている。Goodwill Hunting 方式。(2-5-4) 研究室の整理で不要になった本や研究資料を「蚤の市」と称して無料で頒布した。(2-5-5) JSPS のセンター研究員に付随した日本数学会の教育研究資金問題委員会のオブザーバとして報告を行い、数理学府の中で非公式の説明会も実施した。(2-6) おいで math 談話会の世話人を宮岡礼子先生から引き継いだ(本年度10月から)。(2-7) RIMS 訪問滞在型研究2026に採択され、RIMS 専門委員としての世話人になった。(2-8) IMI 共同利用拠点の運営責任者として、半数以上の集会に出席した。また、全ての報告書を確認し約半数に書き直しを依頼している。

B. 研究業績 (1-6 は査読つき)

1. Hiroyuki Ochiai, Yoshiyuki Sekiguchi and Hayato Waki, Exact Convergence Rates of Alternating Projections for Nontransversal Intersections. *Japan J. Indust. Appl. Math.*, **41**, 57–83, (2024).
2. Hiroyuki Ochiai, A D-module approach to invariant distributions with finitely many orbits. *Indagationes Mathematicae*, **36**, Issue 2, 497–506, (2025).
3. Taisei Asai, Hisatoshi Kodani, Kaname Matsue, Hiroyuki Ochiai, and Takiko Sasaki, Multi-order asymptotic expansion of blow-up solutions for autonomous ODEs. I — Method and Justification. *Nonlinearity*, **38**:045003, (2025).
4. Hisatoshi Kodani, Kaname Matsue, Hiroyuki Ochiai, and Akitoshi Takayasu, Multi-order asymptotic expansion of blow-up solutions for autonomous ODEs. II — Dynamical Correspondence. *Nonlinearity*, **38**:045004, (2025).
5. Hiroyuki Ochiai, Yoshiyuki Sekiguchi and Hayato Waki, Analytic formulas for alternating projection sequences for the positive semidefinite cone and an application to convergence analysis, *Journal of Mathematical Analysis and Applications*, **544** (1), (2025).
6. Yoshishige Haraoka, Hiroyuki Ochiai, Takeshi Sasaki, Masaaki Yoshida, Fuchsian differential equations of order 3,...,6 with three singular points and an accessory parameter I, Equation of order 6. *math.arXiv:2307.01358*, accepted for publication in *Funkcialaj Ekvacioj*.
7. 落合啓之, *SL(2,R) の表現論*. 朝倉書店, ISBN:978-4-254-11874-2, 2024.11 月出版.

C. 講演 (3,12 以外は単独)

1. A D-module approach to invariant distributions with finitely many orbits. *Combinatorial Representation Theory and Geometry*, 東京工業大学, 2024/6/28.
2. A D-module approach to invariant distributions with finitely many orbits. *Branching Problems for Representations of Real, P-Adic and Adelic Groups (24w5220)*, Banff International Research Station for Mathematical Innovation and Discovery, Keowna, Canada, 2024/7/9.
3. 長谷川 勇, 前田 航希, 鍛冶 静雄, 落合 啓之, ゲームプログラマのための数学の歩き方 — スペクトルグラフ理論編. *CEDEC2024*, パシフィコ横浜, 2024/8/23. 登壇者の一人.
4. Linear algebraic approach to commutative ladder of size 2 times 3. *Workshop on Data Science and related mathematics in Wakkanai*, 育英館大学, 2024/8/25.
5. Deformation of prehomogeneous action. *The Ulaan Khad workshop on mathematics*, Mongolia, 2024/9/18.
6. 有限型多重旗多様体の分類. センター研究員数物班動向調査, 日本学術振興会, 2024/10/11.
7. Special Function. 研究集会 (II) 機械学習と数理モデルの融合と理論の深化 II, 九重研修所, 2024/10/12.
8. 特殊関数論は応用できるのか. *Intersection of Pure Mathematics and Applied Mathematics Re.*, 東京都立大学, 2024/12/6.
9. A mathematician meets Computer Graphics. *Joint meeting of the NZMS, AustMS and AMS*, University of Auckland, 2024/12/10.

10. 応用数学. JST CRDS 俯瞰ワークショップ「数理科学」, JST 東京別館会議室, 2024/12/11.
11. On International Actuarial Notation from Classroom. 2025 Kyushu-Thammasat Symposium on Actuarial Science, 九州大学, 2025/1/16.
12. Kazunari Tanaka, Ryoga Iwanami, Kaname Matsue, and Hiroyuki Ochiai, Green's function-based framework for pointwise enclosures: Extending sub- and super-solutions of Poisson's equation, The Second French-Japanese Workshop on Numerical Computations (FJWNC 2025), 2025/3/13, 講演者は田中さん.

D. その他の研究活動

1. 本年度に研究室に所属した学生 (副指導教員分などは含まない) は, 学部生 7 名, 修士課程 6 名, 博士課程 7 名。年度末に 6 名が巣立った。
2. 九大 IMI の関係の委員: 経理委員長 (継続中), 企画広報委員長 (継続中), 所長補佐 (9 月末で任期満了), ジャーナリスト・イン・レジデンス (JIR) 窓口 (継続中)。
3. 九大数理学府の関係の委員: 情報化推進委員 (継続中), 卓越大学院「マス・フォア・イノベーション連係学府」の担当委員 (継続中)。
4. 九大の委員 (公開済みのもののみ): 広報本部スポークスパーソン (継続中), 量子コンピューティングシステム研究センター量子計算アルゴリズム部門のメンバー (継続中)。
5. 委員 (公開済みのもののみ): IMI 共同利用拠点共同利用共同研究委員会委員長 (委員長は本年度末で終了, 委員は継続), 京都大学数理解析研究所専門委員と運営委員 (2023.9 から継続中, 2027.8 まで), Journal of Mathematical Society of Japan 編集委員 (継続中, 2025.6 まで), Kyushu Journal of Mathematics 編集委員 (継続中), International Journal of Math-for-Industry 編集委員兼 subject editor (継続中), 科学技術振興機構さがけ「数学と情報科学で解き明かす多様な対象の数理構造と活用」の領域アドバイザー (本年度末まで), 内閣府ムーンショット型研究開発制度の目標 1「2050 年までに、人が身体、脳、空間、時間の制約から解放された社会を実現」のアドバイザー (継続中), 日本学術振興会学術システム研究センター数物系科学専門調査班専門研究員 (本年度末まで), 日本数学会教育研究資金問題検討委員会オブザーバ (本年度末まで), 科学技術振興機構創発的研究支援事業永江パネル創発アドバイザー (酒見パネルと名称変更して継続中)。

鍛冶 静雄 (KAJI Shizuo)

A. 研究概要

形状やデータをトポロジー・幾何学の観点から解析する手法について研究を行なっている。本年度は、医学・脳科学・化学・ロボット工学などの分野と連携を進めた。特に、二つの有限距離空間が与えられたときに、その間に距離をなるべく保存するような対応を与える手法を考察した。これは本質的には離散最適化問題となり計算が困難であるが、最適輸送のアイデアを援用した近似解法を用いることで実用的な計算が可能なアルゴリズムを提案した。この手法を、異なる個体から計測された脳データをアラインするという目的に応用した。

B. 研究業績

1. Y. Shiraishi, N. Tanabe, R. Sakamoto, T. Maetani, S. Kaji, H. Shima, S. Terada, K. Terada, K. Ikezoe, K. Tanizawa, T. Oguma, T. Handa, S. Sato, S. Muro, and T. Hirai. Longitudinal assessment of interstitial lung abnormalities on CT in patients with COPD using artificial intelligence-based segmentation: a prospective observational study. BMC Pulmonary Medicine 24:200, (2024).
2. N. Tanabe, H. Suito, S. Kaji, Y. Shiraishi, K. Terada, R. Sakamoto, A. Sato, S. Sato, and T. Hirai. Expiratory-inspiratory Ratios of Cross-sectional Lumen Diameter and Longitudinal Length of Spatially Matched Proximal Airway Branches on CT in Patients With COPD. Am. J. Respir. Crit. Care. Med., 209, A1246, (2024).
3. Kota Takeda, Shizuo Kaji, and Takemasa Miyoshi. Topological regularization on numerical simulations of the advection equation. JSIAM letters, vol. 16, 53–56, (2024).
4. R. Hayashi, S. Kaji, Y. Matsumoto, S. Nishida, S. Nishimoto, and H. Takahashi. Homogenization of word relationships in schizophrenia: Topological analysis of cortical semantic representations. Psychiatry and Clinical Neurosciences, 78(11), 687–695, (2024).

5. Sho Ozaki, Shizuo Kaji, Toshikazu Imae, Kanabu Nawa, Hideomi Yamashita, and Keiichi Nakagawa. Iterative CT Reconstruction with Generative AI. Radiotherapy and Oncology, 194, Supplement 1, S3905-S3908, (2024).
6. Tomoki Maetani, Naoya Tanabe, Kiminobu Tanizawa, Ryo Sakamoto, Yusuke Shiraishi, Yusuke Hayashi, Michihiro Uyama, Atsushi Matsunashi, Susumu Sato, Katsuhiko Suzuki, Izuru Masuda, Motonari Fukui, Shizuo Kaji, Tomohiro Handa & Toyohiro Hirai. Computed tomography morphological assessments of central airways in interstitial lung abnormalities and idiopathic pulmonary fibrosis. Respiratory research, vol. 25(1), 404, (2024).
7. Daiki Nakamura, Shizuo Kaji, Ryota Kanai, and Ryusuke Hayashi. Unsupervised method for representation transfer from one brain to another. Frontiers in Neuroinformatics, vol.18, (2024).

C. 講演

1. Designing a Kinematic Chain through Point Configuration on the Two Sphere, The 17th EASIAM conference, University of Macau, 30 Jun. 2024

D. その他の研究活動

1. Organising committee of the 15th workshop on the interaction between CRYptography, Information Security and MATHeMATICS (CRISMATH2024, 暗号及び情報セキュリティと数学の関連ワークショップ), Kyushu University, 23-24 Dec. 2024.
2. Organising committee of the 2024 Ajou-Kyushu-NIMS Joint Workshop on Industrial and Applied Mathematics, 27 - 29, Sep. 2024, Ramada Hotel, Suwon, South Korea.

梶原 健司 (KAJIWARA Kenji)

A. 研究概要

B. 研究業績

1. Shun Kumagai and Kenji Kajiwar. Self-affinities of planar curves: towards unified description of aesthetic curves. Preprint.
2. Kenji Kajiwar, Shota Shigetomi, and Seiichi Udagawa. Simple and explicit constructions of semi-discrete surfaces and discrete surfaces. Preprint.

C. 講演

1. Generation of Aesthetic Shapes: a Small Example of "Mathematics for Industry". TWSIAM Annual Conference 2024, National Chung Hsing University, China, 2024/5/18.
2. Generation of Aesthetic Shapes by Integrable Differential Geometry. Open Communications in Nonlinear Mathematical Physics, Germany, 2024/6/24.
3. Geometric Generation of Aesthetic Shapes. Geometry Seminar, Germany, 2024/7/3.
4. Challenges of Mathematics for Industry in Japan. Finland-Japan Workshop in Industrial and Applied Mathematics, Finland, 2024/8/27.
5. Generating Aesthetic Shapes by Integrable Differential Geometry. Forum "Math-for-Industry" 2024, Malaysia, 2024/9/11.
6. 曲線の自己アフィン性と等積アフィン幾何. 日本応用数理学会 2024 年度年会, 日本, 2024/9/16.
7. Generating Aesthetic Shapes by Integrable Differential Geometry. African Conference for Industrial and Applied Mathematics 2024, Republic of South Africa, 2024/10/1.
8. Generation of Aesthetic Shapes by Integrable Differential Geometry. International Conference on Mathematical Sciences and Technology 2024, Malaysia, 2024/12/3.
9. Towards Geometry of Aesthetic Shapes: Klein Geometry, Integrability and Self-Affinity. Joint Meeting of the NZMS, AustMS and AMS, New Zealand, 2024/12/11.

10. Towards Geometry of Aesthetic Shapes: Klein Geometry, Integrability and Self-Affinity. ANZIAM Conference 2025, Australia, 2025/2/4.
11. 等積幾何における自己アフィン性が定める新しい「美的曲線」の族. 日本応用数理学会第 21 回研究部会連合発表会, 日本, 2025/3/6.

D. その他の研究活動

1. 梶原健司、『マス・フォア・インダストリーの挑戦: 数学と社会に多様性と創造性を』。じっきょう数学資料、2024。
2. Pacific Journal of Mathematics for Industry, 編集。
3. Journal of Physics A: Mathematical and Theoretical, 編集。
4. International Journal of Mathematics for Industry, 編集。
5. 査読：国際学術誌 43, 国際会議録 1.
6. 日本応用数理学会 応用可積分系部会委員。
7. 日本応用数理学会 国際活動委員会委員。
8. International Council for Industrial and Applied Mathematics, Officer-at-Large.
9. 日本応用数理学会理事。
10. International Council for Industrial and Applied Mathematics, Executive.
11. Journal of Integrable Systems, Editorial Board.
12. 日本学術会議連携会員。
13. アジア太平洋産業数学コンソーシアム理事（総務担当）。
14. 国際産業数理・応用数理評議会理事（Officer-at-Large）。
15. 日本応用数理学会理事。
16. MATEMATIKA: Malaysian Journal of Industrial and Applied Mathematics MATEMATIKA: Malaysian Journal of Industrial and Applied Mathematics Editorial Board Editorial Board.
17. Journal of Nonlinear Mathematical Physics, Editorial Board.
18. International Journal of Mathematics for Industry, Editorial Board.
19. 設計の新パラダイムを拓く新しい離散的な曲面の幾何学, CREST 戦略的創造研究推進事業, 日本科学技術振興機構, 2019.10-2026.3.

神山 直之 (KAMIYAMA Naoyuki)

A. 研究概要

最適化問題とは、与えられた解の候補の中から目的関数が最大もしくは最小となるものを求める問題である。その中でも、解が離散的な構造を持つものである離散最適化問題を主な研究対象としている。離散最適化問題が包含する問題は非常に多岐にわたるが、特にこれらの問題に対する離散的な凸性であるマトロイド構造や劣モジュラ性を基礎とする解法や、双対性を基礎とする数理計画法を用いた解法の研究を行っている。加えて、離散最適化に関連の深い、離散数学の一分野であるグラフ理論や理論計算機科学の一分野である計算量理論に関する研究も行っている。

B. 研究業績

【2024 年度に新たに採録されたもの】

1. (with Takehiro Ito, Naonori Kakimura, Yusuke Kobayashi, Yoshio Okamoto) Algorithmic Theory of Qubit Routing in the Linear Nearest Neighbor Architectures, *ACM Transactions on Quantum Computing*, accepted.
2. The Minimum-Cost Dynamic Flow Problem in a Fixed Graph with a Constant Target Flow Value, *Networks*, accepted.
3. Super-Stable Common Independent Sets of Generalized Matroids, *Operations Research Letters*, 60:107248, 2025.
4. Modifying an Instance of the Super-Stable Matching Problem, *Information Processing Letters*, 189:106549, 2025.

5. (with Takehiro Ito, Yuni Iwamasa, Naonori Kakimura, Yusuke Kobayashi, Yuta Nozaki, Yoshio Okamoto, Kenta Ozeki) Reforming an Envy-Free Matching, *Algorithmica*, 87:594–620, 2025.
6. (with Ayumi Igarashi, Warut Suksompong, Yuen Sheung Man) Reachability of Fair Allocations via Sequential Exchanges, *Algorithmica*, 86:3653–3683, 2024.
7. (with Kristóf Bérczi, Erika Bérczi-Kovács, Endre Boros, Fekadu Tolessa Gedefa, Telikepalli Kavitha, Yusuke Kobayashi, Kazuhisa Makino) Envy-free Relaxations for Goods, Chores, and Mixed Items, *Theoretical Computer Science*, 1002:114596, 2024.

【これまでに採録されていたもので 2024 年度に出版されたもの】

8. A Note on Robust Subsets of Transversal Matroids, *Journal of the Operations Research Society of Japan*, 67(2):37–45, 2024.

C. 講演

1. Some Recent Results on Super-Stable Matchings, *Workshop on Voting, Matching, and Preference Aggregation*, 2024.

グエン ヒエン デュイ (NGUYEN Duy Hien)

A. The outline of your research

My research in 2024–2025 focuses on the application of empirical processes theory to construct model selection and model evaluation tools in scenarios when data distributions and generating processes are not known to practitioners. These tools allow for construction of asymptotic and finite-sample inference devices that provide accurate and principled assessments of model uncertainty and consistent modelling decisions.

B. Papers and Books

X V To, H D Nguyen, P Cumming, P Curpen, and F A Nasrallah. Contemporaneous outcomes multiple imputation (KOMI) can communicate missing Glasgow Outcome Scale – Extended (GOSE) scores: A multi-domains imputation for GOSE in the Transforming Research and Clinical Knowledge in Traumatic Brain Injury (TRACK-TBI) data. *Journal of the Neurological Sciences*, to appear, 2025.

H Nguyen, TT Nguyen, J Arbel, and F Forbes. Revisiting concentration results for approximate Bayesian computation. *Bayesian Analysis*, to appear, 2025.

A Hoe, E Freer, P K T Goh, D Ong, H Nguyen, and T Weir. Predictability of mesiodistal tip of maxillary central incisors in clear aligner therapy. *American Journal of Orthodontics and Dentofacial Orthopedics*, 167:568 – 577, 2045.

K Chan, T Weir, E Freer, D Ong, and H Nguyen. Predictability of incisal labiolingual inclination, overjet, and overbite changes, and the prevalence of open gingival embrasures in patients with mandibular incisor extraction treated with Invisalign: A retrospective cohort study. *American Journal of Orthodontics and Dentofacial Orthopedics*, to appear, 2025.

L Truong, T Weir, H Nguyen, E Freer, and D Ong. Mesiodistal tip expression of lower anterior teeth in lower incisor extraction cases treated with Invisalign aligners. *American Journal of Orthodontics and Dentofacial Orthopedics*, 166:538 – 548, 2024.

S Roohi, R Scarbez, and H D Nguyen. A Reliable uncertainty estimation in emotion recognition in conversation using conformal prediction framework. *Natural Language Processing*, to appear, 2024.

T T Nguyen, F Forbes, J Arbel, and H D Nguyen. Bayesian nonparametric mixture of experts for inverse problems. *Journal of Nonparametric Statistics*, (to appear), 2024.

H Nguyen. PanIC: consistent information criteria for general model selection problems. *Australian and New Zealand Journal of Statistics*, 66:441 – 466, 2024.

S Grot, S Smine, S Potvin, M Darcey, V Pavlov, S Genon, H Nguyen, and P Orban. Label-based meta-analysis of functional brain dysconnectivity across mood and psychotic disorders. *Progress in Neuro-Psychopharmacology and Biological Psychiatry*, 131(110950), 2024.

P K T Goh, A Pulemotov, H Nguyen, N Pinto, and R Olive. Treatment duration by morphology and location of impacted maxillary canines: a CBCT investigation. *American Journal of Orthodontics and Dentofacial Orthopedics*, 166:160 – 170, 2024.

Q Duong, H Gilbert, and H Nguyen. A novel framework for crash frequency prediction: Geographic support vector regression based on agent-based activity models in Greater Melbourne. *Accident Analysis and Prevention*, 207(107747), 2024.

M Chiu Chong, H D Nguyen, and TT Nguyen. Risk bounds for mixture density estimation on compact Domains via the h-lifted Kullback – Leibler divergence. *Transactions of Machine Learning Research*, (Open-Review: lAKvQO4vHj), 2024.

F Almasi, M J Stear, M Khansefid, H Nguyen, A Desai, and J E Pryce. Innovative use of sensor technology to study grazing behaviour and its associations with parasitic resistance in sheep. *Small Ruminant Research*, 232(107223), 2024.

J Westerhout, T T Nguyen, X Guo, and H D Nguyen. On the asymptotic distribution of the minimum empirical risk. In *Forty-first International Conference on Machine Learning*, 2024.

S Roohi, R Skarbez, and H D Nguyen. Beyond factualism: an investigation of calibration in LLMs through the lens of emotion recognition in conversation. In *Proceedings of the 37th Australasian Joint Conference on Artificial Intelligence*, 2024.

D Fryer, H Nguyen, I Str ü mke, and D Lowing. Multi-choice explanations for feature and parameter importance. In *Proceedings The 22nd Australasian Data Science and Machine Learning Conference*, 2024.

F Forbes, H D Nguyen, and T T Nguyen. Bayesian likelihood free inference using mixtures of experts. In *Proceedings of the International Joint Conference on Neural Networks*, 2024.

C. Talks

2025

Approximation and estimation of density functions by finite mixture models (I2CNER-IMI Joint International Workshop). Location: Kyushu University, Japan.

A Generalized Functional Delta Method with Applications to Bayesian Inference. Conference: BayesComp. Location: Singapore.

2024

Lp approximation rates for location-scale mixture densities and other matters (Sydney Workshop on Mathematics of Data Science). Location: University of Sydney, Australia.

The limits of some Bayesian model evaluation statistics (VIASM, Workshop on Bayesian learning and network analysis). Location: VIASM Hanoi, Vietnam.

Lp approximation rates for location-scale mixture densities and other matters. Conference: Joint Meeting of the NZMS, AustMS and AMS. Location: Auckland, New Zealand.

Bayesian Likelihood Free Inference using Mixtures of Experts. Conference: International Society for Bayesian Analysis World Meeting. Location: Venice, Italy.

D. Other scientific activities

Grants

2025 – 2027 Discovery Project. Funding Body: Australian Research Council. Project: Advancing statistical models for clustering data with structured dependence. Co-investigators: Professor Shu-Kay Angus Ng (Griffith University), Dr. Florence Forbes (Inria Centre at the University Grenoble Alpes), and A/Prof. Liming Xiang (Nanyang Technological University, Singapore)

2023 – 2026 Inria Associate Teams. Project: Variance-reduced Optimization Methods and Bayesian Approximation Techniques for scalable inference (WOMBAT). Co-investigator: Dr. Florence Forbes (Inria Centre at the University Grenoble Alpes).

2023 – 2025 Discovery Project. Funding Body: Australian Research Council. Project: Stochastic majorization – minimization algorithms for data science. Co-investigators: Dr. Xin Guo (University of Queensland), Dr. Florence Forbes (Inria Centre at the University Grenoble Alpes), and A/Prof. Gersende Fort (CNRS).

Editorial Positions

Associate Editor, Book Review Editor, and Technical Editor Australian and New Zealand Journal of Statistics (Wiley)

Executive Editor, Statistical Analysis and Data Mining (Wiley)

Associate Editor (Statistics), Frontiers in Applied Mathematics and Statistics (Frontiers)

Associate Editor, International Journal of Mathematics for Industry (World Scientific)

Associate Editor, Japanese Journal of Statistics and Data Science (Springer)

Other Academic Duties

La Trobe – Kyushu Joint Seminar Administrator. Institution: Institute of Mathematics for Industry, Kyushu University, Japan.

Member of the Graduate Program of Mathematics for Innovation. Institution: Joint Graduate School of Mathematics for Innovation, Kyushu University, Japan.

佐伯 修 (SAEKI Osamu)

A. 研究概要

私は主に位相幾何学について種々の観点から研究を行っているが、2024年度は以下の研究を行った。

可微分写像の特異点はこれまでにかなり研究されてきているが、ほとんどは局所的振る舞いを調べるにとどまり、大域的性質の研究はあまりなかった。さらに、このような特異点論の観点から可微分多様体の構造を研究することは、意外なことに今までほとんどなされてこなかった。これまでの我々の研究により、多様体間の写像の特異点が、多様体の構造の本質的な部分を担っていることが明らかにされており、こうした研究が位相幾何学において重要であることが認識されるようになってきている。

今年度は、そうした研究の概要について解説したサーベイ論文を2編執筆した。特にそのうちの1編では、学生を意識し、初学者にもわかりやすくなるようにある程度詳細についても解説した。

ジェネリックな可微分写像の具体例として、複素超曲面孤立特異点のリンクとして現れる可微分多様体上に、折り目写像であって、その特異値集合が同心球面状になっているもの (round fold map と呼ばれる) を、複素線形関数の制限として具体的に構成することに初めて成功した。

一般次元の多様体から2次元球面や平面へのジェネリックな写像が与えられたとき、その特異点集合とその像を簡略化するためのアルゴリズムを与え、球面への写像の場合には、特定の指数の折り目とカスプだけしか許容しない写像に変形できることを明らかにした。さらに、その結果を用いて、多様体が偶数次元の場合は、平面へのジェネリックな写像であって、特異点集合への制限が位相的埋め込みとなるものが存在することを示すことに成功した。奇数次元の場合には、特異点集合の像が原点の周りを同一方向に回ることができることを示し、その結果、開本構造が常に存在するという既存の定理に大域的特異点論的証明を与え、さらにその応用として、多様体が高連結の場合に、平面へのジェネリックな写像で、低い指数の折り目特異点を持たないものが存在することも示すことができた。これはSmaleが高次元Poincaré予想を解決するために、Morse関数に対して示したことの一般化とも言えるものであり、今後の大域的特異点論に対して極めて重要な役割を果たすものと期待される。

連係学府のシステム情報科学系の学生や、富士通株式会社の研究者との共同研究では、3次元多様体上に2つの実数値関数が与えられたとき、それらのレベル集合の位置関係を記述する際の基礎となる概念としてReeb complementという数学的対象を初めて定義し、具体的なデータに対してそれを求めるアルゴリズムを開発した。

なお、本年度はサバティカルを取得した。その調査、研究の成果を次のとおり報告する。

サバティカル期間：2024年4月1日～2024年9月30日

調査研究の場所：

- ・Institute for Advanced Mathematical Research (IRMA), University of Strasbourg, France
- ・Department of Geometry and Topology, University of Valencia, Spain
- ・Faculty of Mathematics and Information Science, Warsaw University of Technology, Poland

調査研究の課題：結び目の同境と大域的特異点論の局所特異点論への応用

調査研究の概要：複素特異点に付随した結び目、特にファイバー結び目はその特異点のトポロジーを担っている重要な研究対象であるが、その間のアイソトピーという通常の関係よりも弱い「同境」の関係が、どのくらい特異点のトポロジーを反映するかは、古典的な問題であるにもかかわらず、いまだによく理解されていない。また、実特異点の場合は、必ずしも結び目のように埋め込まれたものではなく、特異点を持った写像が現れる。そうした対象を、大域的特異点論を用いて実特異点の研究に応用することは特定の次元については行われているが一般論はない。今回のサバティカルでは、こうした問題に、共同研究者と集中的に取り組む、いくつかの重要な成果を得た。

調査研究の成果：複素特異点に付随した結び目の同境については、今回は特にBrieskorn型特異点の場合に対象を絞って、Strasbourg大学のVincent Blanlœil氏と共同研究を進め、同境となるための必要条件であるFox-Milnor型関係式を満たすための完全な特徴づけを得ることに成功した。その系として、Brieskorn型多項式に付随した結び目が球面の場合に、結び目同境群において無限位数を持つことを示すことができた。さらに、ある種のBrieskorn型多項式に付随した球面結び目の族が、結び目同境群において線形独立となることも示すことができた。また、関連して、巡回懸垂という結び目の操作が、同境という関係を保たない具体例を、特異点に付随した結び目で発見した。このことは、仮に対象をBrieskorn型に限ったとしても、当該の問題が単純ではないことを示唆しており、今後の当該分野の発展に貢献する結果となった。

また、実特異点の場合は必ずしも結び目のように埋め込まれたものではなく、特異点を持った写像が現れる。そうした対象を、大域的特異点論を用いて実特異点に応用する研究を、Valencia大学のJuan José Nuno Ballesteros氏、及びそこに国際共創力強化インターンシップで滞在していた本学マス・フォア・イノベーション連係学府学生の太田氏と共同で研究を行い、次元の低い場合に太田氏が主導する形で、ある種の分類に成功した。さらに、同大学で開催された国際研究集会18th International Workshop on Real and Complex Singularitiesに参加し、参加者と議論を行うことで、2次元多様体へのジェネリックな写像の単純化について、大域的特異点論の観点から新しい結果を得ることもできた。

また、ワルシャワ工科大学で開催された研究集会Polish-Japanese Singularity Theory Working Daysに参加し、大域的特異点論に関する成果を発表するとともに、参加者と、連続写像に対する特異点の定式化について議論を行い、データ可視化への応用を見越した共同研究を開始することができた。

さらに、サバティカル期間中には、International Institute of Information Technology (Bangalore, India)のAmit Chattopadhyay氏、Yashwanth Ramamurthi氏と電子メールを介して共同研究を行い、多値関数データの可視化で重要な役割を果たすReeb空間を、多重次元Reebグラフを用いて正確に計算するアルゴリズムを開発した。

こうして、今回のサバティカル期間においては、共同研究者らと集中的にいくつかの課題に取り組むことで、当該分野にインパクトを与える結果を得ることができた。

B. 研究業績

1. Osamu Saeki and Shuntaro Sakurai, Differentiable maps on links of complex isolated hypersurface singularities. To appear in Hokkaido Math. J.
2. Osamu Saeki, Introduction to global singularity theory of differentiable maps. Chapter in “Handbook of Geometry and Topology of Singularities VII,” Eds. José Luis Cisneros-Molina, Lê Dũng Tráng, José Seade, pp 273–326, Springer Nature Switzerland, 2025.
3. Osamu Saeki, Global singularity theory of generic differentiable maps. To appear in the Proceedings of MSJ-SI2022 “Deepening and Evolution of Applied Singularity Theory,” Advanced Studies in Pure Mathematics.
4. Osamu Saeki, Simplifying generic smooth maps to the 2-sphere and to the plane. Preprint.
5. Vincent Blanœil and Osamu Saeki, Cobordism of algebraic knots defined by Brieskorn polynomials, II. Preprint.

C. 講演

1. Simplifying generic smooth maps to the 2-sphere and to the plane. International Workshop on Real and Complex Singularities, Spain, 2024/7/26.
2. Reeb spaces of smooth functions on manifolds. Geometry, Topology of Singular Submanifolds and Related Topics, China, 2024/8/12.
3. Special generic maps and Gromoll filtration. Polish-Japanese Singularity Theory Working Days 2024, Poland, 2024/9/9.
4. Simplifying generic smooth maps to the 2-sphere and to the plane. Séminaire Géométrie et application, France, 2024/9/16.
5. Computing Reeb space using multi-dimensional Reeb graph. 機械学習と数理モデルの融合と理論の深化 II, 日本, 2024/10/13.
6. 多様体上の可微分関数の Reeb 空間について. 研究集会「多様体のトポロジーの進展」, 日本, 2024/11/10.
7. Simplifying generic smooth maps to the 2-sphere and to the plane. 研究集会「接触構造、特異点、微分方程式及びその周辺」, 日本, 2025/1/23.
8. Topology of Reeb spaces of smooth functions on manifolds (mini course, 2 lectures). The 20th East Asian Conference on Geometric Topology, Japan, 2025/2.
9. Special generic maps and Gromoll filtration. Special session on geometric and algebraic approaches to manifold theory III, 2025 Spring Central Sectional Meeting, Amer. Math. Soc., USA, 2025/3/25.

D. その他の研究活動

1. International Journal of Mathematics for Industry, 編集.
2. Mathematics for Industry Series, Springer, Scientific Board Member.
3. 近代科学社「IMI シリーズ：進化する産業数学」, 編集.
4. 共立出版「ひろがるトポロジー」シリーズ, 編集.
5. 日本数学会会員, 日本応用数理学会会員, オーストラリア数学会会員.
6. Asia Pacific Consortium of Mathematics for Industry (APCMfI) メンバー.
7. Algebraic Geometry, Topology, Combinatorics and Related Topics 2025, 学術調査立案・実施.
8. 研究集会「多様体のトポロジーの進展」, 企画立案・運営等.
9. Japanese Australian Workshop on Real and Complex Singularities 2024, 企画立案・運営等.
10. 機械学習と数理モデルの融合と理論の深化 II, 企画立案・運営等.
11. 社会科学における幾何と代数, 企画立案・運営等.
12. Polish-Japanese Singularity Theory Working Days, 企画立案・運営等.
13. Ajou-Kyushu Summer School on Applied Mathematics, 企画立案・運営等.
14. 査読：国際学術誌 1, 国際会議録 1.
15. 18th International Workshop on Real and Complex Singularities, 学術調査立案・実施.
16. 京都大学数理解析研究所 専門委員会委員.
17. トポロジー連絡会議 構成員.

18. CREST 研究領域「数学・数理科学と情報科学の連携・融合による情報活用基盤の創出と社会課題解決に向けた展開」領域アドバイザー.
19. 文部科学省基礎研究振興部会 部会長.
20. 文部科学省基礎研究振興部会 委員.
21. 文部科学省科学技術・学術審議会 委員.
22. 文部科学省令和 6 年度科学技術分野の文部科学大臣表彰科学技術賞（研究部門）受賞.
23. 特異点論と幾何的トポロジーが織りなす数学イノベーション, PI, 科学研究費基盤研究 (S), 日本学術振興会, 2023–2027.
24. 3 次元双曲多様体上の量子トポロジー, 研究分担者, 科学研究費基盤研究 (A), 日本学術振興会, 2021–2025.
25. データのねじれをモノドロミーで可視化する, PI, 科学研究費挑戦的研究（開拓）, 日本学術振興会, 2022–2027.

佐藤 文一 (SATO Fumikazu)

A. 研究概要

2024 年 4 月より、リエゾン戦略部門に着任し、主に、①連携研究の推進に向けたプラットフォーム作りや支援機能の強化、②共同研究の強化のためのネットワーク体制の整備、③企業との実践的研究のための相談・マッチングを行ってきている。

①については、企業との間でのクロスアポイントメント制度の活用、知的貢献費制度の導入支援、海外の大学との連携協力協定の締結、ブリッジなど外部資金の獲得、IMI アドバイザリーボードの設置などを通じ、IMI の知的アセットを社会に還元し、中長期的な視野を持って研究を構想・企画・実行した。

②については、MfIP（マス・フォア・インダストリ・プラットフォーム）の規約を整備することによって、活動の枠組みの基盤固めを行うとともに、HP の整備、ワークショップの企画・運営、SGW の規約の策定等を通じて、数学コミュニティ全体としてのネットワークの強化と活動の活性化を図った。

③については、延べ 100 件以上の企業との面談、関係省庁との緊密な意見交換、新規の企業との共同研究契約などを通じて、マッチングに基づく実践的研究を推進してきた。

これらに加え、中高生に対するアウトリーチの実施、関係の業界団体との意見交換など、中長期的な視点からの活動を含め、IMI の活動・プレゼンスの向上と支援・協力ネットワークの拡大を進めている。

B. 研究業績

C. 講演

D. その他の研究活動

1. 一般社団法人量子技術による新産業創出協議会 アドバイザー.
2. 社会に現れる数学について. 大阪府立大手前高等学校マスツアー, 九州大学マス・フォア・インダストリ研究所.

白井 朋之 (SHIRAI Tomoyuki)

A. 研究概要

量子ラビ模型のエネルギーに対して定義されるスペクトルゼータ関数を解析し、結合定数の無限大の極限においてフルヴィッツゼータ関数に収束することを示した ([1]). さらに、非可換調和振動子 (NcHO) と二光子量子ラビ模型 (2pQRM) との関係について、従来知られていた対称な場合に加え、非対称やエネルギーシフトを含むより一般の状況においても両者に構造的対応が存在することを明らかにし、NcHO の構造を 2pQRM に基づいてファイバー分解できることを示した ([2]).

CO₂の地中貯留における岩石の細孔構造の幾何学的特徴が貯留効率に与える影響を、ランダムウォーク法を用いて解析した。単相および多相の閉塞モデルを導入し、ミネラル化による細孔の目詰まり挙動を数値的に評価した。対象とした4種の天然の岩石の解析から浸透性が高く貯留に適した岩石が判明した ([3])。方体複体のラプリアンの固有値と固有ベクトルを完全に決定し、それを利用して、全域非輪体の数え上げをした ([4])。

成長するグラフ上の単純ランダムウォークに対する再帰性と非再帰性について、グラフの成長速度に着目した違いについて考察した。無限 k 分木や d 次元整数格子 ($d \geq 3$) 上の単純ランダムウォークは非再帰的であるが、グラフが適度に遅く成長する場合には初期点へ無限回戻る再帰性を示すことがある。特に、超立方体において次元が無限大に発散するモデルに対し、成長速度に応じた相転移を示し、その証明のために less homesick as graph growing (LHaGG) およびその仮定を少し弱めた weakly LHaGG を用いたカップリング手法を導入して解析を行った ([5,6])。また、ビットコインのトランザクションの推移を表現するビットコイングラフについて、特にチェーンレットと呼ばれる部分グラフに着目して、その統計量からパーシステントホモロジーの数値計算を実行した ([7])。暗号資産取引ネットワークの動的グラフに対して異常検知の数理的基盤を構築し、価格変動との関係性を検証、AI による統合的異常検知手法の構想を提示した ([8])。

B. 研究業績

1. Spectral zeta function and ground state of quantum Rabi model (with Fumio Hiroshima), *Journal of Functional Analysis* **289**, no.3, 110901 (2025).
2. Fiber decomposition of non-commutative harmonic oscillators by two-photon quantum Rabi models (with Fumio Hiroshima), *Journal of Mathematical Physics* **66**, 032101 (2025).
3. Characterization of Rock Pore Geometry and Mineralization Process via a Random Walk-Based Clogging Scheme (with Linh Thi Hoai Nguyen and Takeshi Tsuji), *Algorithms* **18** (2025) 68.
4. Torsion-weighted spanning acycle entropy in cubical lattices and Mahler measures (with Yasuaki Hiraoka). *Journal of Applied and Computational Topology* **8** (2024) 1575–1605.
5. The Recurrence/Transience of Random Walks on a Bounded Grid in an Increasing Dimension. (with Shuma Kumamoto and Shuji Kijima). The 35th International Conference on Probabilistic, Combinatorial and Asymptotic Methods for the Analysis of Algorithms (AofA2024).
6. An Analysis of the Recurrence/Transience of Random Walks on Growing Trees and Hypercubes. (with Shuma Kumamoto and Shuji Kijima). *Proceedings of the 3rd Symposium on Algorithmic Foundations of Dynamic Networks (SAND 2024)*, *Leibniz International Proceedings in Informatics*, **292** (2024), 17:1-17:17.
7. Stochastic modeling of UTXOs in Bitcoin graphs. (with Shinya Hirata), *JPS Conference Proceedings of Blockchain Kaigi 2023 (BCK2023)*, *JPS Conf. Proc.* 011008 (2024).
8. Verification of Elemental Technologies for Anomaly Detection in Crypto Asset Transactions, (with Yuichi Ikeda, Hideaki Aoyama, Tetsuo Hatsuda, Yoshimasa Hidaka, Wataru Souma, Hiroshi Iyetomi, Abhijit Chakraborty, Akihiro Fujihara, Yasushi Nakayama, Yuta Arai, Krongtum Sankaewtong), *RIETI Discussion Paper Series*. RIETI Discussion Paper Series 24-E-085.
9. Weighted Point Configurations with Hyperuniformity: An Ecological Example and Models (with Ayana Ezoe and Makoto Katori). *Journal of the Physical Society of Japan* **94**, 064002 (2025).
10. Accumulated spectrograms for hyperuniform determinantal point processes (with Makoto Katori and Pierre Lazag). To appear in *Journal of Mathematical Physics* (2025+).
11. A remark on elephant random walks via the classical law of the iterated logarithms for self-similar Gaussian processes (with Shuhei Shibata). To appear in *Illinois Journal of Mathematics*. Available at <https://arxiv.org/abs/2504.00594>.
12. Spectral representation of correlation functions for zeros of Gaussian power series with stationary coefficients. Available at <https://arxiv.org/abs/2501.03704/>
13. The density of zeros of random power series with stationary complex Gaussian coefficients. Available at <https://arxiv.org/abs/2501.02586/>
14. Generalized Eigenspaces and Pseudospectra of Nonnormal and Defective Matrix-Valued Dynamical Systems (with Saori Morimoto and Makoto Katori), Available at <https://arxiv.org/abs/2411.06472/>

15. Eigenvalue and pseudospectrum processes generated by nonnormal Toeplitz matrices with rank 1 perturbations (with Saori Morimoto and Makoto Katori), Available at <https://arxiv.org/abs/2401.08129/>
16. Enumeration of connected bipartite graphs with given Betti number (with Taro Hasui and Satoshi Yabuoku). Available at <https://arxiv.org/abs/2208.03996>
17. Interlacing of zeros of orthogonal Gaussian Functions in consecutive Landau levels, and white noise spectrograms (with Luis Daniel Abreu). Preprint.

C. 講演

1. 2024.5.6-10. Zeros of random power series with stationary Gaussian coefficients. program Random Matrices and Related Topics in Jeju, Jeju Island, Korea.
2. 2024.7.11-13. Correlations between zeros of Gaussian polyanalytic functions. Mini Symposium on "Determinantal Point Processes, Quantum Mechanics and Signal Analysis", Chuo University, Tokyo.
3. 2024.8.26-30. Spanning acycles in cubical complexes. Lorentz center, Leiden, Netherlands.
4. 2024.9.3-6. 行列式点過程の諸相. 日本数学会, 大阪大学.
5. 2024.9.27-28. Probabilistic aspects of topology of simplicial complexes. 数学と材料科学 2024, 青葉サイエンスホール, 東北大学.
6. 2024.10.16-18. Correlations between zeros of Gaussian polyanalytic functions. Non-Commutative Probability and Related Topics 2024, Nishijin Plaza, Kyushu University
7. 2024.11.25-27. Accumulated spectrograms for hyperuniform determinantal point processes. 量子場の数理とその周辺, RIMS, Kyoto University.
8. 2024.12.11. 確率論研究の潮流, JST CRDS 俯瞰ワークショップ『数理科学』, JST 東京別館会議室.
9. 2025.3.17. Random Schrodinger operators with point interactions built over alpha-determinantal point processes. 慶應確率論ワークショップ, 慶応大学.

D. その他の研究活動等

1. International Pacific Journal of Math-for-Industry 編集委員 (2012~).
2. IMI 共同利用・共同研究委員会委員 (2013~).
3. 2022 年度第 2 回学術変革領域研究 (A) 「データ記述科学創出に向けた数学的基盤構築」主たる研究者 (2022.10~2027.3).
4. 科研費基盤研究 B 「行列式点過程の普遍性とランダム現象の解析」研究代表者 (2023~2027).
5. 科研費基盤研究 A 「無限粒子系の確率解析学の発展、深化、新展開」研究分担者 (2021~2025)
6. 国際共同研究加速基金 (海外連携研究) 「ガウス型ランダム解析関数に対する無限粒子系の合成と確率力学」研究分担者 (2024~2030)
7. RIETI プロジェクト「暗号資産や実体経済における価格ダイナミクスとその複雑ネットワーク」, 経済産業研究所 (2023.11.1~2026.4.30).
8. 科学技術振興機構 CREST, 予測・制御のための数理科学的基盤の創出 [予測数学基盤], 領域アドバイザー (2024.5.24~2026.3.31)
9. Workshop on "Random Media and Random Fields", Japan-Netherlands seminar, Aug. 26st – 30th, 2024, at Lorentz center, Leiden, Netherlands, 主催.
10. Kyushu Probability Seminar 1 day workshop, Aug. 7th, 2024, Nishijin Plaza, Kyushu University, Fukuoka, 開催.
11. Mini Symposium on "Determinantal Point Processes, Quantum Mechanics and Signal Analysis", Jun. 13th, 2024, Chuo University, Tokyo, 開催.
12. Blockchain Kaigi 2024 (BCK24), 2024.9.12-9.13, Zurich, Switzerland, 組織委員.
13. Workshop "Mathematics for Innovation" on Ito Campus 2025, Jan. 9th, 2025, at Kyushu University, Japan, 開催.

A. 研究概要

以下の外部資金それぞれの研究計画に沿って研究を遂行した。

- 2022.4– 創発的研究支援事業 「生物由来の新しいパッキング生成法による離散モデリング」(産休・育児のため 2022.9-2024.3 中断)
- 2024–: 科学研究費補助金 基盤研究 (C), 「物質構造解析のための有限データ調和解析の実装と応用」, 代表.
- 2019–24: 科学研究費補助金 基盤研究 (C), 「格子・代数計算の応用を創出する離散点集合の研究」, 代表.
- 2019–23: 共同研究契約 (日本製鉄) 「数理結晶学による電子回折像からのブラベー格子・結晶方位の第一原理決定」
- 2020–21: 文部科学省ダイバーシティ研究環境実現イニシアティブ (先端型) プログラム研修生.
- 2018–21: JST 未来社会創造事業 探索加速型 「共通基盤」領域 「物質の構造解析に用いるフーリエ解析・大域的最適化の高度化」, 代表.

また研究室学生と各テーマに関わる研究を実施した。

- 今村安座間雄喜, 修士課程 (2024–), 正標数の 2 次形式の数論.
- 安座間雄喜, 修士課程 (2020–2022), 格子基底簡約, マルコフ数, 日本製鉄との共同研究補助
- 谷口蓮, 修士課程 (2019–2021), ブラベー格子, マルコフ数.

2022.–2023.1 に産・育休を取得した。

B. 研究業績

2024 年度:

1. C.-H. Chen, W.-H. Hsu, R. Oishi-Tomiyasu, C.-C. Lee, M.-W. Chu, and I.-S. Hwang, “Derivation of Crystalline Water Structure In Mesoscopic Clathrate Hydrate Particles”, *Small Structures* 2400594/1–8 (in press, 2025).
2. R. Oishi-Tomiyasu, “Ideas of lattice-basis reduction theory for error-stable Bravais lattice determination and ab-initio indexing”, *Acta Cryst.* A80, pp.339–350 (2024).
3. S. E. Graiff Zurita & R. Oishi-Tomiyasu, “Packing theory derived from phyllotaxis and products of linear forms”, *Constructive Approximation.* 60 (3), pp. 515–545 (2024).

2023 年度:

1. 富安 (大石) 亮子, “トポグラフを用いた指数付け (ab-initio indexing) の手法とその背景にある数理のアイデア”, *日本結晶学会誌* 66(1), pp.19–30 (2024).
2. J. A. De Loera, R. Hemmecke, M. Köppe (著), 佐久間 雅, 富安 亮子, 八森 正泰, 脇 克志 (翻訳) “代数的・幾何的アプローチによる離散最適化入門”, 共立出版. (企画 & Part 3 の翻訳等担当)

2022 年度:

1. R. Kamaraj, B. Kane, R. Oishi-Tomiyasu, “Universal sums of generalized heptagonal numbers”, *Journal of Number Theory* 249 (2023), pp.500–536. (2021 年 Sentan-Q 研修の成果)

2021 年度:

1. Ryoko Oishi-Tomiyasu, Tomohito Tanaka and Jun'ichi Nakagawa, “Distribution rules of systematic absences and generalized de Wolff figures of merit applied to electron backscatter diffraction ab initio indexing”, *Journal of Applied Crystallography*, 54:2 (2021), pp.624–635.

2020 年度:

1. Ryoko Oishi-Tomiyasu, “Mathematical Tools that Connect Different Indexing Analyses”, Proceedings, IOCC2020, 62:1, pp.1–8.
2. R. Oishi-Tomiyasu, “On positive-definite ternary quadratic forms with the same representations over $\mathbb{Z}$ ”, Int. J. Number Theory, 16:7 pp.1493–1534.

C. 講演

2024 年度:

1. R. Oishi-Tomiyasu, “Applications of Geometry of Numbers to Phyllotaxis and Crystallography”, iTHEMS seminar (理化学研究所), 2025/2/28.
2. 富安亮子, “第 1 部: 数の幾何・微分幾何による数理植物学の黄金角の方法の一般化について”, Catch-all Mathematical Colloquium of Japan (online), 2024/12/20.
3. 富安亮子, “第 2 部: 数学コミュニティの境界や外部で数学をする方法”, Catch-all Mathematical Colloquium of Japan (online), 2024/12/20.
4. 富安亮子, “有限個の計算値のための標準化定理の拡張とその数値計算”, 奈良ウェーブレット研究集会 (奈良女子大学), 2024/11/21–23.
5. R. Oishi-Tomiyasu, “Application of geometry of numbers and the theory of PDEs to the generalized golden angle method”, Tilings, quasiperiodicity and related topics (Kyoto University), 2024/10/21–23.
6. 富安亮子, “結晶構造データベースにおける半正定値計画緩和法 (SDR) の利用”, 研究集会「最適化, 計算機科学, 代数幾何」(電気通信大学), 2024/9/24–27.
7. 富安亮子, “有限個の標本値のための標準化定理の統計的拡張”, ウェーブレット OS@2024 年度日本数学会年会 (京都大学), 2024/9/14–16.

2023 年度:

1. 富安 亮子, “葉序と線形式の積に由来するパッキング理論”, 日本数学会年会, 2024/3/17–20.
2. R. Oishi-Tomiyasu, “Applications of lattice-basis reduction theory to crystal structure analysis”, AIMR seminar@東北大学 AIMR, 2024/3/13.
3. R. Oishi-Tomiyasu, “Packing theory derived from phyllotaxis and products of linear forms”, ANZIAM 2024@Adelaide Hills Convention Centre, 2024/2/11–15.
4. 富安 亮子, “葉序の機構によるパッキングの一般曲面・一般次元への拡張”, 大阪大学 談話会, 2024/11/27.
5. 富安 亮子, “マルコフ理論の種々の変種とその応用”, 大阪大学 集中講義, 2024/11/28–12/1.
6. 富安亮子, “黄金角の方法の一般化による非周期的パッキング・メッシュ生成”, 離散数学とその応用研究集会 (JCCA-DMIA-2023).
7. R. Oishi-Tomiyasu, “A role of semidefinite relaxation in mathematics of phase retrieval”, Talk in Minisymposium “Advances in Optimization I”, ICIAM 2023 Tokyo@早稲田大学, 2023/8/20–25.

2022 年度:

1. Ryoko Oishi-Tomiyasu, “Reduction theory for unit-cell parameters containing observation errors”, satellite of the 33rd European Crystallographic Meeting, 2022.
2. 富安亮子, “黄金角の方法の一般化による多様体のメッシュ・パターン生成法”, 応用数学会年会, 2022.
3. Ryoko Oishi-Tomiyasu, “Reduction theory for determining the Bravais type of unit-cell parameters containing observation errors”, MIF++ seminar, University of Liverpool, UK, 2022.
4. 富安亮子, “植物に由来するパターン生成・メッシュ生成技術” J S T 未来社会創造事業 新技術説明会, 2022.

2021 年度:

1. Ryoko Oishi-Tomiyasu, “Aperiodic packing construction derived from phyllotaxis”, 研究集会「数論とエルゴード理論」, 2022.
2. 富安 亮子, “植物に由来する非周期的パッキングの生成法”, 筑波大セミナー, 2022.

3. 富安 亮子, “植物に由来する新しいパッキング・パターン生成法”, 第一部会シンポジウム, 2021.
4. R, Oishi-Tomiyasu, K. Tomiyasu, M. Hagihara, “Global optimization of magnetic structure analysis by semidefinite relaxation method (SDR)”, 25th IUCr Congress, 2021.
5. Ryoko, Oishi-Tomiyasu, “Packing theory derived from phyllotaxis and products of linear forms”, HKU Number Theory Days, 2021.
6. Ryoko, Oishi-Tomiyasu, “Application of geometry of numbers to problems in the real world”, SNU-KYUSHU Workshop in Number Theory, 2021.

2020 年度:

1. 富安 亮子, “数論の実社会への応用について”, 九州代数的整数論 2021 春 hybrid, 九州大学, 2021.
2. 富安亮子, “Conograph を用いた指数付けの方法”, 2020 年度中級者向け Z-Code 講習会, オンライン開催, 2021.
3. 富安 亮子, “有限個のフーリエ係数から元の波形を復元する数理の基盤開発”, 「超スマート社会のシステムデザインのための理論と応用」第 9 回研究会 オンライン, 2021.
4. R Oishi-Tomiyasu, “Mathematical Tools that Connect Different Indexing Analyses” IOCC2020, オンライン, 2020.
5. 富安亮子, “Conograph を用いた指数付けの方法”, 2020 年度初級者向け Z-Code 講習会, エッサム神田, 2020.

D. その他の研究活動

2024 年度:

1. プレスリリース <https://www.kyushu-u.ac.jp/ja/researches/view/1158>
2. 主催: 自発的融合の場 “数理・情報と諸科学の連携のための研究会”@2024 年度第 3 回融合の場（京都大学）, <https://sites.google.com/view/sohatu2024-math/>, 2024/7/16.

2023 年度:

1. 富安 亮子, 「研究室の窓: 自然の書物に書かれた数学: 結晶学と葉序とブラベール」, サイエンス社数理科学 2024 年 1 月号.
2. 富安 亮子, FMfI2023 local organizer, 2023/8/29-9/1.

2022 年度:

1. ICIAM2023 プログラム委員.

2021 年度:

1. 特許出願.
発明の名称: パターン生成方法、パターン生成装置、及びパターン生成プログラム
代表発明者: 富安 亮子
出願番号 : 特願 2021-103968
出願日 : 2021/06/23
2. 受託研究「磁気構造解析における SDP 解析」, 株式会社日産アーク, 2022.
3. ”coffee break/数理結晶学という分野”, 数学セミナー 2021 年 12 月号.
4. ”coffee break/コンピュータの年に”, 数学セミナー 2021 年 6 月号.

2020 年度:

1. 数理生物学セミナー（数理生物学分野の佐竹研究室において実施）, 2020.

縫田 光司 (NUIDA Koji)

A. 研究概要

近年は主に、暗号分野としては暗号基礎理論、秘密計算、情報理論的暗号、耐量子計算機暗号の研究を行い、数学分野としては群論および組合せ論の研究を行っている。2024 年度は特に、暗号分野および関連分野については下記の研究成果を得た（主要な成果を抜粋）。

- 物理的なカードを用いた秘密計算プロトコル（カードベース暗号）について、2 者間で入力集合の共通部分および和集合を計算する問題に対する効率的なプロトコルを提案した（共著論文を論文誌 New Generation Computing で発表済）。また、カードベース暗号のプロトコルを、秘密計算の一種である PSM (Private Simultaneous Messages) 技術のプロトコルへ変換する汎用的方法を提案した（共著論文を国際会議 STACS 2025 で発表済）。
- 15 パズルおよびルービックキューブの初期状態をランダムに、かつ生成された初期状態を秘匿したままの状態で生成する効率的なプロトコルを提案した（共著論文を国際会議 FUN 2024 で発表済）。
- 耐量子計算機暗号および秘密計算について、企業との共同研究（計 3 件）を行い、国際会議で論文 2 件（共著）を発表した。

また、数学分野については主に下記の研究成果を得た（主要な成果を抜粋）。

- 耐量子計算機暗号の一種である同種写像暗号の安全性解析に用いられるアルゴリズムのうち、クンマー曲面間の同種写像を具体的に計算するアルゴリズムの効率化手法を提案した（指導学生を主著とする共著論文を国際会議 PQCrypto 2025 で発表済）。

B. 研究業績

1. Reo Eriguchi, Kaoru Kurosawa, and Koji Nuida, Efficient and Generic Methods to Achieve Active Security in Private Information Retrieval and More Advanced Database Search. In: Proceedings of EUROCRYPT 2024 (Part V), LNCS 14655, 92–121, (2024).
2. Kazumasa Shinagawa, Kazuki Kanai, Kengo Miyamoto, and Koji Nuida, How to Covertly and Uniformly Scramble the 15 Puzzle and Rubik's Cube. In: Proceedings of FUN 2024 (12th International Conference on Fun with Algorithms), LIPIcs 291, 30:1–30:15, (2024).
3. Anastasiia Doi, Tonmoki Ono, Yoshiki Abe, Takeshi Nakai, Kazumasa Shinagawa, Yohei Watanabe, Koji Nuida, and Mitsugu Iwamoto, Card-based Protocols for Private Set Intersection and Union. New Generation Computing, vol.42, 359–380, (2024).
4. Koji Nuida, A Simple and Elementary Proof of Zorn's Lemma. Discrete Mathematics Letters, vol.13, 108–110, (2024).
5. Koji Nuida, and Tomoko Adachi, On Weighted-Sum Orthogonal Latin Squares and Secret Sharing. IEICE Transactions on Fundamentals of Electronics, Communications and Computer Sciences (Letter), vol.E107-A, no.9, 1492–1495, (2024).
6. Koji Nuida, グラフの連結成分を数えるカードプロトコル. コンピュータセキュリティシンポジウム 2024(CSS2024) 予稿集, 情報処理学会（電子媒体）, 2024 年 10 月.
7. Yoshihiro Takahashi, Kazumasa Shinagawa, and Koji Nuida, 2 色 $2n+1$ 枚あるいは 3 色 $2n$ 枚の対称関数プロトコル. コンピュータセキュリティシンポジウム 2024(CSS2024) 予稿集, 情報処理学会（電子媒体）, 2024 年 10 月.
8. 品川和雄、金井和貴、宮本賢伍、縫田光司、有限群の一様分解にまつわる諸問題。2025 年暗号と情報セキュリティシンポジウム (SCIS2025) 予稿集, 電子情報通信学会（電子媒体）, 2025 年 1 月.
9. 石崎悠斗、品川和雄、縫田光司、バッチング技術に用いるカード枚数の削減。2025 年暗号と情報セキュリティシンポジウム (SCIS2025) 予稿集, 電子情報通信学会（電子媒体）, 2025 年 1 月.
10. 品川和雄、縫田光司、Mizuki-Shizuya モデルとその周辺。2025 年暗号と情報セキュリティシンポジウム (SCIS2025) 予稿集, 電子情報通信学会（電子媒体）, 2025 年 1 月.
11. Kazumasa Shinagawa, and Koji Nuida, Card-Based Protocols Imply PSM Protocols. In: Proceedings of STACS 2025, LIPIcs 327, 72:1–72:18, (2025).
12. Akira Nakashima, Yukimasa Sugizaki, Hikaru Tsuchida, Takuya Hayashi, Koji Nuida, Kengo Mori, and Toshiyuki Isshiki, Multi-Key Homomorphic Encryption with Threshold Re-Encryption. In: Proceedings of SAC 2024 (Part I), LNCS 15516, 84–104, (2025).
13. Ryo Yoshizumi, Hiroshi Onuki, Ryo Ohashi, Momonari Kudo, and Koji Nuida, Efficient Theta-based Algorithms for Computing $(1,\ell)$ -isogenies on Kummer Surfaces for Arbitrary Odd ℓ . In: Proceedings of PQCrypto 2025 (Part II), LNCS 15578, 3–37, (2025).

14. Yuji Hashimoto and Koji Nuida, Bounds on Heights of 2-isogeny Graphs in Ordinary Curves over $\mathbb{F}_p$ and $\mathbb{F}_{p^2}$ and Its Application.

C. 講演

1. Efficient and Generic Methods to Achieve Active Security in Private Information Retrieval and More Advanced Database Search. EUROCRYPT 2024, Switzerland, 2024/5/29.
2. How to Covertly and Uniformly Scramble the 15 Puzzle and Rubik's Cube. FUN 2024 (12th International Conference on Fun with Algorithms), Italy, 2024/6/5.
3. Multi-Key Homomorphic Encryption with Threshold Re-Encryption. SAC 2024, Canada, 2024/8/29.
4. Efficient and Generic Methods to Achieve Active Security in Private Information Retrieval and More Advanced Database Search (from EUROCRYPT 2024). 2024 年暗号と情報セキュリティワークショップ (WCIS 2024), Japan, 2024/9/2.
5. クンマー曲面間の同種写像とその暗号応用. 数学・数理科学専攻若手研究者のための異分野・異業種研究交流会 2024, Japan, 2024/10/19.
6. グラフの連結成分を数えるカードプロトコル. コンピュータセキュリティシンポジウム 2024 (CSS 2024), Japan, 2024/10/24.
7. 2 色 $2n+1$ 枚あるいは 3 色 $2n$ 枚の対称関数プロトコル. コンピュータセキュリティシンポジウム 2024 (CSS 2024), Japan, 2024/10/25.
8. Parameterizing Time-Memory Trade-off for Flexible Implementation of CRYSTALS-Dilithium. SecITC 2024, Romania, 2024/11/21.
9. 有限群の一様分解にまつわる諸問題. 2025 年暗号と情報セキュリティシンポジウム (SCIS 2025), Japan, 2025/1/29.
10. Mizuki-Shizuya モデルとその周辺. 2025 年暗号と情報セキュリティシンポジウム (SCIS 2025), Japan, 2025/1/30.
11. バッチング技術に用いるカード枚数の削減. 2025 年暗号と情報セキュリティシンポジウム (SCIS 2025), Japan, 2025/1/30.
12. Card-Based Protocols Imply PSM Protocols. STACS 2025, Germany, 2025/3/4.
13. 高次元超立方体の構成と秘密分散法. 日本応用数理学会第 21 回研究部会連合発表会, Japan, 2025/3/6.

D. その他の研究活動

1. IEICE Transactions on Fundamentals of Electronics, Communications and Computer Sciences, Associate Editor.
2. 数学 (日本数学会) 編集委員.
3. International Journal of Mathematics for Industry, Editor
4. IEICE Transactions on Fundamentals of Electronics, Communications and Computer Sciences, Special Section on Discrete Mathematics and Its Applications (for September 2024 issue), Guest Associate Editor
5. IEICE Transactions on Fundamentals of Electronics, Communications and Computer Sciences, Special Section on Discrete Mathematics and Its Applications (for September 2025 issue), Guest Associate Editor.
6. CSS 2024 プログラム委員.
7. 電子情報通信学会 情報セキュリティ研究専門委員会 専門委員.
8. 暗号技術の安全性証明における暗黙知の再考および明晰な安全性証明の実現, PI, 科学研究費基盤研究 (C), 日本学術振興会, 2022-2024.

廣瀬 慧 (HIROSE Kei)

A. 研究概要

統計モデリングに関する応用研究としては、「合計値」に特化した予測手法である合計値回帰モデルを提案し、そ

のバイアス・バリエーション・トレードオフの理論を構築した。これは、複数地点からのデータを統合的に扱う様々な応用場面において重要な役割を果たす。2025 年度に論文投稿予定である。

また、数理学研究院の深作氏らと共同で、計算機代数を用いた因子分析における最尤推定や因子回転の解析に取り組んだ。とくに、最尤解を代数的に特徴づけることで、すべての解を網羅的に計算し、フィッシャー情報量が正になるもののみを取り出すことによって、最尤解の性質を調べた。すると、最尤解のみから不適解の原因を解明することが困難であることが明らかになった。

学生との共同研究として、サンプルサイズが小さい場合における回帰分析のブートストラップ法に関する研究を進めた。とくに、モデル選択後の予測精度に注目し、ブートストラップの標本の分布の選択方法が予測精度に与える影響を理論および実証の両面から検討した。その結果、最小二乗法に基づく従来の分布ではなく、クロスバリデーションによって選ばれた分布を用いることで、予測精度が大幅に向上することが示唆された。

さらに、統計的推測の理解を深めるための教育的活動として、統計学の基本的な考え方をわかりやすく解説する書籍「統計学の考え方」を執筆した。本書は 2025 年 6 月に刊行される予定である。本書では、数理と直感の両面から統計を捉え、確率モデルに基づく考え方の筋道を提供している。

B. 研究業績

1. Sumito Kurata and Kei Hirose, Robust and consistent model evaluation criteria in high-dimensional regression. Preprint.

C. 講演

D. その他の研究活動

1. 査読: 国際学術誌 63, 国内学術誌 2.

2. 代数的・幾何的アプローチによる因子分析モデルの最尤推定量の性質の解明, PI, 学術変革領域研究 (A), 日本学術振興会, 2023–2024.

3. 高次元時系列解析におけるスパース因子分析とエネルギービッグデータへの応用, 科学研究費基盤研究 (C), 日本学術振興会, 2023–2025.

4. 予測精度と解釈性を両立した共同住宅の空室率予測手法の開発, 科学研究費基盤研究 (C), 日本学術振興会, 2023.4–2026.3.

5. レヴィノイズに基づく従属性統計理論の深化と展開, 科学研究費基盤研究 (B), 日本学術振興会, 2022.4–2026.3.

福本康秀 (FUKUMOTO Yasuhide)

A. 研究概要

オイラー方程式によって記述される理想流体の運動は無限自由度ハミルトン力学系であり、定常流が不安定化するための必要条件は、逆符号のエネルギーを持つ 2 個のモードが共存するか、エネルギー 0 のモードが共存することである (Krein の理論)。Arnold(1966) は、非圧縮性流体に対して、定常オイラー流は等循環攪乱に関する運動エネルギーの極値状態であることを証明し、この性質を利用して振幅について 2 次である攪乱のエネルギーを 1 次の擾乱場のみで表した。等循環攪乱は流体粒子のラグランジュ変位場によって書き表され、ラグランジュ変位場の時間発展は Howard-Gupta(HG) 方程式によって記述される。HG 方程式は時間について 2 階の偏微分方程式系であるが、これを時間について 1 階のみの項を含む作用素によって因子化することに成功し、因子化 HG 方程式に基づいて、圧縮性バロクリニック流体の定常流に立つ波のエネルギーの一般式を導いた。

Hall 効果を受ける非圧縮性の電気伝導性流体 (MHD) 中を運動するトロイダル渦度と磁場を同時に含む軸対称「磁束渦輪」の運動速度を渦核が細い場合と太い場合の両方に対して導いた。細い軸対称磁束渦輪に対して、渦度の粘性拡散と磁場の拡散が効く非定常運動に対しても適用できる運動速度の一般式を導いた。MHD のもとでは、磁場は渦輪の運動速度を加速するが、Hall 効果には、トロイダル渦度とトロイダル磁場が同方向のときは減速、逆方向のときは加速する 2 次的作用がある。逆に、太った極限として、球形磁束渦の定常運動を記述する理想 H-MHD の厳密解を構築した。球形磁束渦の場合、Hall 効果による運動速度の加速／減速は細い渦輪と逆になる。さらに、H-MHD のみに属する球状渦の特解を見つけた。

地下水流をありのまま捉える方法として、表面に多数の微小孔が穿いた円筒（ストレーナ）を地中に差し込んで、円筒内に取り込まれた水流を加熱してその温度分布を測定する方法がとられる。ストレーナの中央にヒーターが設置され、その周囲に配置されたセンサー温度分布から温度分布を割り出す。確率論とダルシーの法則に基づく解析により、孔の形状が円形とスリット状の場合を比較して、スリット状の孔が透水性はるかに低いことを示した [B1]。

B. 研究業績

1. Milton O. Assuncao, Pierluigi Cesana, Yasuhide Fukumoto, Graeme Hocking, Michael Vynnycky, and Doireann O’Kiely, Optimal design of observation holes on strainers for groundwater measurements. Mathematics in Industry Reports (MIIR), online (2024).
2. Muhammad Nurjati Hidayat, Hemanta Hazarika, Masanori Murai, Haruichi Kanaya and Yasuhide Fukumoto, Development and evaluation of landslide early warning system for mitigating rainfall induced disasters. Indian Geotechnical Journal, online (2024).

C. 講演

1. Global time evolution of a vortex pair in a viscous fluid. 22nd ECMI Conference on Industrial and Applied Mathematics (ECMI 2023), Poland, 2024/6.
2. Particle-relabeling as variational and divergence symmetries for 3D ideal fluid dynamics and magnetohydrodynamics, Sweden, EQUADIFF Conference 2024, 2024/6/11.
3. Influence of observation holes on strainers for groundwater measurement, Pusan National U., Kyushu Young Researchers Workshop on Mathematics for Industry, 2024/8/19.
4. Nambu bracket, wave energy and compressible Kelvin-Helmholtz instability revisited, Korea, 26th International Congress of Theoretical and Applied Mechanics (ICTAM 2024), 2024/8/29.
5. 流体・MHD 方程式の変分・発散対称性としての粒子ラベル付け替え変換, 日本国, 日本物理学会 2024 年第 79 回年次大会, 2024/9/18.
6. 圧縮性バロクリニック流体の定常流に立つ波のエネルギー, 日本国, 日本流体力学会年会 2024, 2024/9/26.
7. Isovortical perturbations and wave energy on steady flows of a compressible baroclinic fluid, Japan, 21th International Conference on Flow Dynamics (ICFD2024), 2024/11/19.
8. Effect of gravity and surface tension on compressible Kelvin-Helmholtz instability, USA, 77th Annual Meeting of the APS Division of Fluid Dynamics, 2024/11/24.
9. Motion of a vortex ring and a counter-rotating vortex pair, UK, Workshop in memory of Felix Kaplanski (1946-2023), 2024/12/17.
10. Effect of surface tension and gravity on compressible Kelvin-Helmholtz instability, USA, 2025 Joint Mathematics Meetings (JMM 2025), 2025/1/9.
11. Dynamics of vortices, topological invariants and underlying symmetries for ideal fluid dynamics and magnetohydrodynamics, Japan, YITP International Molecule-type workshop 2025 Topology and dynamics of magnetovortical matter, 2025/1/23.

D. その他の研究活動

1. Progress of Theoretical and Experimental Physics, 編集.
2. Pacific Journal of Mathematics for Industry, 編集.
3. Fluid Dynamics Research, 編集.
4. International Journal of Mathematics for Industry, 編集.
5. SIAM Conference on Nonlinear Waves and Coherent Structures, ミニシンポジウム「Generation and Dynamics of Vortex Filaments」のオーガナイザー.
6. 日本流体力学会年会 2007, 実行委員.
7. 京都大学数理解析研究所研究集会「オイラー方程式 250 年：連続体力学におけるオイラーの遺産」, 研究代表者.
8. 京都大学数理解析研究所研究集会「流体と気体の数学解析」, 座長.
9. 第 53 回理論応用力学講演会, 座長.
10. 京都大学数理解析研究所特別計画 (短期共同)「流体渦場のゲージ構造と変分原理」, 座長.

11. 日本物理学会第 59 回年次大会, 座長.
12. 査読: 国際学術誌 14, 国際会議録 1.
13. 東北大学未来型医療創造卓越大学院プログラム外部評価委員会.
14. 大阪公立大学戦略的研究選考委員会/外部委員.
15. 京都大学数理解析研究所運営委員.
16. 準線形双曲-放物型保存則系における時空間非一様ダイナミクスの数学解析の新展開, 研究分担者, 科学研究費基盤研究 (A), 日本学術振興会, 2020–2024.
17. 南部括弧による非正準ハミルトン系の深化に拠って立つ圧縮性渦度ダイナミクス, PI, 科学研究費基盤研究 (C), 日本学術振興会, 2023–2025.

藤澤 克樹 (FUJISAWA Katsuki)

A. 研究概要

B. 研究業績

1. Akihiro Yoshida, Haruki Sato, Shiori Uchiumi, Nariaki Tateiwa, Daisuke Kataoka, Akira Tanaka, Nozomi Hata, Yousuke Yatsushiro, Ayano Ide, Hiroki Ishikura, Shingo Egi, Miyu Fuji, Hiroki Kai & Katsuki Fujisawa, Comprehensive and practical optimal delivery planning system for replacing liquefied petroleum gas cylinders. Japan J. Indust. Appl. Math., 42, 21–61, (2025).

C. 講演

D. その他の研究活動

1. Pacific Journal of Mathematics for Industry, 編集.
2. ACS 情報処理学会, 編集.
3. 査読: 国際学術誌 7, 国内学術誌 6, 国際会議録 27, 国内会議録 1.
4. 特別研究員等審査会専門委員.
5. A-STEP 機能検証フェーズ専門委員.
6. 科研費 基盤研究 (S) 中間評価委員.
7. 創発的研究支援事業 事前評価における外部専門家.
8. 科研費 学術変革領域研究 (A) 各区分委員.
9. IEEE Control Systems Society Technical Committee on Computational Aspects of Control Systems Design (TC-CACSD), Technical Committee.
10. Graph500 Committee, 2024 年 第 28 回 Graph500 ベンチマーク 世界 1 位 (ISC24, ハンブルク/ドイツ).
11. ロート製薬 共同研究: IoT・CPS を活用したスマート工場の実現.
12. ソフトバンク: データ分析アルゴリズムを活用した LP ガス事業者向け LP ガス配送業務の最適化 (ガス残量予測、配送ルート最適化等).
13. Yahoo! Japan: 共同研究.
14. TIS との共同研究: 量子コンピューターアルゴリズムに関する.
15. NTT 研究所: 共同研究.
16. Fixstars 共同研究: 量子アニーリング・イジングマシンの組合せ最適化問題への適用とソフトウェアの性能評価.
17. 超スマート社会実現のためのユニバーサル多様体学習アルゴリズムの開発と産業応用, 科学研究費基盤研究 (C), 日本学術振興会, 2021–2025.
18. 自動性能チューニング機能を持つ高性能グラフィブラリの開発, 科学研究費基盤研究 (C), 日本学術振興会, 2021–2024.

19. エッジでの高効率なデータ解析を実現するグラフ計算基盤, 研究分担者, JST CREST Society5.0 を支える革新的コンピューティング技術, 戦略的創造研究推進事業 (文部科学省), 2018.10–2024.3.
20. CPS(サイバーフィジカルシステム) での実証実験 (深層距離学習による人物再同定&最適なスケジューリング・人員配置案の提案), PI, 共同研究, 2017.4–.
21. QA(量子アニーリング) 計算機: 組合せ最適化問題に対する性能評価, PI, 共同研究, 2018.4–.
22. 自動性能チューニング機能を持つ高性能グラフィブラリの開発. 科学研究費基盤研究 (B), 日本学術振興会, 2021.4–2025.3.

松江 要 (MATSUE Kaname)

A. 研究概要

1. 有限時間特異性ダイナミクスの特徴づけ. 微分方程式の解の適切性を有限時刻で壊す有限時間特異性, 特に爆発解を記述する数理を考察している. 無限遠を多様体の境界: 地平線に対応させるコンパクト化, 無限遠ダイナミクスに意味を持たせる時間スケール特異点解消により, 地平線も含めて意味を持つ特異性解消ベクトル場を導出し, その地平線上不変集合の安定多様体上の軌道として爆発解を特徴づけている. 漸近的に斉次なベクトル場から始まり, 漸近的擬斉次ベクトル場を考察の対象として, 典型的に見られる爆発解に対応する「定常爆発」, 急激振動しながら爆発する「周期爆発」を, 例とともに与えたのが始まりである.

2024 年度は, 前年度に提唱した「法双曲型爆発」: 地平線上の法双曲型不変多様体に漸近する (特異性解消ベクトル場の) 解に対応する爆発解と, その特徴づけのアイデアを援用した非自励的微分方程式系における爆発解: 「非自励的爆発」を漸近相など, 地平線に漸近する (特異性解消ベクトル場の) より一般の軌道の性質として整理した. その結果, 「法双曲型 / 非自励的爆発」はその特別な場合として特徴づけられた. また, 不変集合に付随する (dichotomy) スペクトルの非共鳴条件を用いて滑らかな位相共役を適用し, タイプ-I 爆発レートの導出も実現した.

加えて, 前年度までに構築した「タイプ-I (定常) 爆発解の複数項漸近展開と, 無限遠ダイナミクスとの対応」について, 非自励的 (定常) 爆発に対する同様の対応の構築に成功した. これにより, コンパクト化 (あるいは, より一般の無限遠の埋め込み) に頼らずとも, 瞬時に (タイプ-I 定常) 爆発解の存在判定とその特徴づけを非自励系に対しても行えるようになり, 様々な微分方程式に対して「まず, 簡単に爆発解の存在判定をしてみる」ことが可能となった.

2. 燃焼の数理と展開. 燃料と酸化物の反応による「燃焼」, 特にこれらがあらかじめ混ぜてある時に生じる火炎: 予混火炎のダイナミクス数学的側面を考察している. 火炎のダイナミクスを記述する基礎方程式として, 炎を流体力学スケールに対して充分細いと仮定することで, 炎の外部・内部の流体が満たす方程式及びその解を共通部分で接合するマルチスケール解析に基づいた“流体力学モデル”を考察の中心としている. これは火炎面の形状の不安定化をもたらす2つの要素: 流体力学的不安定性と拡散・熱不安定性のうち, 流体力学的不安定性を発現する火炎の性質を主に説明するために導出されたモデルである. 流体力学モデルでは, 炎の内部で起こる化学反応に付随する性質は一つのパラメータ: Markstein 数に押し込められている. Markstein 数の温度・輸送性質依存性を考慮した一般化モデルも過去に提唱されているが, 考察の対象とするパラメータと計算のコストを絞り込むため, 本課題においては Markstein 数は一つの定数とし, 化学反応を詳細に議論することはしない立場をとる.

2023 年度, 予混合火炎の粘性が及ぼす影響, 火炎の不安定性の基礎原理の1つである拡散・熱的不安定性との複合効果, 加えて音との相互作用に伴う火炎動態の考察を行った. 拡散・熱的不安定性については Kuramoto-Sivashinsky 方程式への帰着に始まり, 分岐理論を適用して同不安定性が様々な周期振動プロファイルを誘導することを確認した. 音との相互作用は Assier-Wu による先行研究 (*J. Fluid Mech.*, 2014) を基礎として Sivashinsky 型の方程式を導出し, 平面火炎, および時間と共に形を変えない火炎は自発的に音を生まない事を見出した. 周期振動プロファイルの音への作用, およびその音の炎への作用は, 現在も考察中である. 粘性の影響は, 安定性を決定する分散関係の導出に苦戦している.

さらに, 2024 年度は東北大学流体科学研究所の森井雄飛氏, 博士課程学生の角田陽氏と共に, 1次元火炎構造の再考察を行った. 従来, この火炎構造は常微分方程式の (特に固有値も未知変数とする) 境界値問題似て特徴付けられるが, cold boundary difficulty など, 時に恣意的な数学的技巧を用いなければ解決できない困難が求積に含まれ

ている。一方、森井氏は火炎の「着火」と「火炎構造」を、特別な燃料特性 (Lewis 数) の場合に等価であることを示し、気体の着火構造から火炎構造が特徴づけられる理論を展開している。この結果に基づき、(本来の物理的な火炎には生じ得ない) cold boundary difficulty が生じない火炎構造モデルと、その特徴づけの考察を力学系の分岐理論に基づいて行い、(予混合) 火炎を特徴づける火炎帯の厚さ、層流火炎速度をシステマティックに導出できるようになった。2025 年度はこれらの考察を通して、古典的に知られていた古典的な 1 次元火炎構造の理論を再構築し、「乱流燃焼などの応用的な燃焼技術」の基盤としても役立つ展開を試みる。

3. 斜面を流れる多相流体の波面の解析：平らでない斜面の効果を含んだ現象のモデリングと計算。 摂南大学の友枝恭子氏との共同研究として、土石流などに代表される斜面を流れる多相流体ダイナミクスを考察している。粒子を含む多相流体を Stokes 近似や希釈近似で保存則系に帰着させ、衝撃波・希薄波の理論を適用して、(1 次元波面の範疇で) どのような流れが存在しうるかを網羅することが、本研究の主な取り組みである。2023 年度より「平らでない斜面」を流れる多相流体の単純化モデルを非斉次保存則系 (systems of conservation laws)・平衡則系 (systems of balance laws) として導出し、先行研究にて知られている平衡則系の解の数値計算法 (stiffly accurate DIRK 型のスキーム) を用いて、様々な斜面における多相流体の振る舞いを計算した。他方で、実際の流体の振る舞いに関する実験的考察がなく、数値的な設定の (境界、初期条件などの) 正しさを検証する術がなかったため、摂南大学の堀江昌朗教授の力を借り、(平らとは限らない) 斜面を流れる多相流体の観察実験の確立と、「駆動力を有する流体のダイナミクス」(と一部応用) という発展的な方向性を見出した。2025 年度は、これらの発展的研究を実践する。

4. アルツハイマー・認知症など、脳神経異常由来の疾病の予測・予防に向けた解析。(一部、共同研究者によるサマリーから抜粋。) ストレスやライフイベントなどの刺激による神経の過剰興奮の繰り返しは、統合失調症、うつ病、認知症、薬物依存症などをはじめとする各種の精神・神経疾患の共通のリスクファクターであると考えられている。他方で、神経の刺激はこれらの疾患を促進、あるいは抑制する効果も様々な実験や刺激療法などで確認されている。共同研究者 (藤田医科大学の宮川剛教授、東京都医学総合研究所の池田和隆分野長らの研究グループ) らの先行研究により、認知機能、社会的行動、活動量などにおける行動異常を示すマウスに共有する特性として未成熟歯状回、これらと酷似する脱成熟現象が、海馬歯状回、側坐核における細胞とそれらを含む神経回路にて見出されている。本研究の目的の 1 つとして、これらの現象の数理モデルを構築し計算機上で再現すること、またその数理モデルにおけるメタ可塑性のメカニズムを数理的に解明し、予測・制御の基盤を構築することを挙げている。共同研究者との研究議論により、脱成熟などの発現パターンが生態学・気候変動などに見られる、非自励系における有限時間特異性：「**tipping** (転換)」現象と非常に酷似していると予想した。この線からの数理モデル構築と、解析を行う。2024 年度はこれらの共同研究を開始するための準備として「生理学の基礎」、特にカルシウムダイナミクスの情報収集、てんかんの数理的研究の情報収集、「研究 1.」の関連として tipping の情報収集と布教活動を行った。Tipping については 2023 年度に University College Cork (アイルランド) の Sebastian Wicczorek 教授らを始めとした数学者から薫陶を受け、松江の有限時間特異性の研究との類似・相違点の共有と共に、発展の可能性も含めて情報収集と考察を行っている。これらの活動に基づき、2024 年度はセミナー、勉強会、学部生向けの講義、高校生向けの授業など、幅広い層に向けて tipping の考え方を展開した。

5. その他。 上記課題以外にも、企業との共同研究に基づいた「AI 技術の課題解決に資する最適化問題」、「制御理論に基づく課題」など、様々な問題に取り組んでいる。

B. 研究業績

1. 松江 要, (日本語) Fixed Point Theorems in Differential Equations and Numerical Analysis: Fundamentals and Developments. 数理科学, (2024).
2. Kaname Matsue, Blow-up behavior for ODEs with normally hyperbolic nature in dynamics at infinity, SIAM Journal on Applied Dynamical Systems, 24, 415–456, (2025).
3. Taisei Asai, Hisatoshi Kodani, Kaname Matsue, Hiroyuki Ochiai, and Takiko Sasaki, Multi-order asymptotic expansion of blow-up solutions for autonomous ODEs. I - Method and Justification. Nonlinearity, 38:045003, (2025).
4. Hisatoshi Kodani, Kaname Matsue, Hiroyuki Ochiai, and Akitoshi Takayasu, Multi-order asymptotic expansion of blow-up solutions for autonomous ODEs. II - Dynamical Correspondence. Nonlinearity, 38:045004, (2025).
5. Dinh Hoa Nguyen and Kaname Matsue, Analysis of Optima Set in A Class of Non-Convex Geometric Optimization Problems Using Bifurcation Theory. Preprint, arXiv:2404.13832.

6. T. Kagaya, M. Koiso, and K. Matsue, Continuation of Capillary Surfaces with Topological Change via the Van Der Waals-Cahn-Hilliard Theory. Submitted.
7. Kyoko Tomoeda and Kaname Matsue, Particle-Laden Flows on Non-Flat Inclines in the Settled Regime: Mathematical Modeling and Numerical Investigations. Submitted.

C. 講演

1. (日本語) 有限時間特異性：自励系・非自励系で. MFIP 連携探索ワークショップ, 明治大学, 2024/4/27.
2. Dynamics of hydrodynamically unstable premixed flames in a gravitational field. 19th International Conference on Numerical Combustion, Japan, 2024/5/8.
3. (日本語) Flame Dynamics and Bifurcation Theory. Seminar at Institute of Fluid Science, Tohoku University, 2024/6/5.
4. On Studies of Flame Dynamics based on Bifurcation Theory. Conference on Combustion & Flame Instabilities in Confined Geometries, University of Manchester, UK, 2024/7/18.
5. Finite-time singularities: dynamics at infinity, computer-assisted proofs and asymptotic expansions. 2024 Ajou-Kyushu-NIMS Joint Workshop on Industrial and Applied Mathematics, Korea, 2024/9/28.
6. (日本語) Flame Dynamics and Bifurcation Theory. New development of fusion approach in experimental mathematics involving disaster prevention, Japan, 2024/10/17.
7. (日本語) Description and perspective of finite-time singularities: Approaching through dynamics at infinity. New approach through integration of global structural analysis in dynamical systems and bifurcation analysis, Japan, 2024/10/29.
8. (日本語) A new insight of ignition/flame correspondence via the bifurcation theory. Quantitative prediction of transition phenomena in combustion processes, Japan, 2024/11/13.
9. On Studies of Flame Morphology based on Bifurcation Theory. The 21st International Conference on Flow Dynamics (OS2), Japan, 2024/11/18.
10. (日本語) Blow-up solutions in nonautonomous ODEs: correspondence between asymptotic expansions and dynamics at infinity. Joint Workshop of Applied Mathematics 2024, Japan, 2024/12/5.
11. (日本語) Finite-time singularities and dynamics at infinity: A summary at present. Seminar on Finite-Time Singularities, Japan, 2024/12/12.
12. Flame Dynamics based on Bifurcation Theory". Workshop "Mathematics for Innovation" on Ito Campus 2025, Japan, 2025/1/9.
13. (日本語) Finite-time singularities and dynamics at infinity: A summary at present 2. Seminar on Finite-Time Singularities, Japan, 2025/2/20.
14. (日本語) A simple criterion of the existence of monotonous blow-up solutions in nonautonomous systems of ODEs. The Mathematical Society of Japan, 2025 Spring, Japan, 2025/3/21.
15. (日本語) Introduction to Mathematics of Tipping phenomena. Seminar on Finite-Time Singularities, Japan, 2025/3/26.

D. その他の研究活動

1. 学会誌「応用数理」(日本応用数理学会), 編集.
2. 日本応用数理学会論文誌, 編集.
3. Mathematical Review.
4. 「有限時間特異性」勉強会 (Seminars on "Finite-Time Singularities"), 企画立案・運営およびパネル司会・セッションチェア等.
5. 「有限時間特異性」勉強会 (第8回-第9回) 座長, 企画運営.
6. MEMS デバイスに発生する touch-down 現象の制御に向けた数理的アプローチ (Mathematical approach for controlling touch-down phenomena in MEMS devices), 企画立案・運営.
7. 論文査読: 国際学術誌 3.
8. ある数学者の四方山話 2024. 九州大学オープンキャンパス, 九州大学理学部.
9. 本例会講演「分岐理論に基づく様々な『形』の追跡」. 企業研究会: 第38期 CAMM フォーラム (コンピュータによる材料開発・物質設計を考える会) 本例会.

10. 講演「破局のひきがね」, 大阪府立大手前高等学校マツター, 九州大学マス・フォア・インダストリ研究所
11. 有限時間特異性の包括的記述に向けた数学解析・計算機援用解析の展開, PI, 科学研究費基盤研究 (B), 2021–2024.
12. 特異点を持つ超曲面に対する変分問題及び幾何解析と離散曲面論の新展開, 研究分担者, 科学研究費基盤研究 (B), 2020–2025.
13. 炭化物の水性ガス化反応を通じたガス化炉稼働状況の把握と改質ガス生成改善に向けた戦略の立案, PI, エネサイクル株式会社, 2021.8–2025.3.
14. 物理化学的相互作用を伴う予混合火炎動態の大域的描像の記述と予測, PI, 九州大学 (日本), 2023.4–2025.3.
15. 数理技術のシーズ評価, ならびに説明性の高い AI 技術の構築に向けた研究, PI, T 社, 2024.10–.
16. 多様な拡散特性を持つ可燃性物質の「火炎・着火対応」の構築, PI, 東北大学流体科学研究所 2024 年度公募共同研究, 2024.4–2025.3.

溝口 佳寛 (MIZOGUCHI Yoshihiro)

A. 研究概要

- 近年の定理証明支援ソフトウェアの発達により, プログラムの正当性証明の検証に留まらず, 基本的な数学理論の証明の計算機による検証も行われています. 例えば四色定理, 群論の奇数位数定理, 球面充填問題のケプラー予想などの大きな証明が計算機で検証可能な形式証明として蓄積されて来ています. この背景の中, 定理証明支援系を用いて有限オートマトンとスティッカー系と呼ばれる DNA 計算機のモデルとの計算能力の同等性についての証明を考察しました. そして, 関係計算理論の形式化, 特に, ファジィ関係の形式化 (B4,B5) を実現しました. また, Wang タイルプログラムの正当性証明 (B3,B6) に加えて, 定理証明支援系に興味を持って取組み (D10,D11), 2022 年度より, 科研費企画「物理的・確率的システムの検証を支える形式的基盤の構築」の分担者として共同研究に着手しています. 2023 年度は, ChatGPT を活用した自然科学と数学への影響を考えるセミナーにて, 形式証明支援システムや数式処理システムの活用について講演し, 議論を始めました (C3). また, 関係計算の形式体系の論文を公開しました (B1). 2024 年度は, DNA 計算に関する Coq モジュール開発を開発し公表しました (C1). また, 自然言語の統語意味論に関する記号処理系の開発を行っています (C2).
- 数理・データサイエンス教育強化拠点コンソーシアム事業に従事し, 2022 年度は, 日本数学会教育シンポジウムにおいて活動報告を行い (C4), 数理・データサイエンス教育研究連携のために討論を重ねています. また, 初等・中等数学教育や大学における産学連携推進のための数理・データサイエンス教育について, 講演や訴求活動を行なっています (C5,C6,C7).
- 文部科学省委託事業「数学アドバンストイノベーションプラットフォーム (AIMaP)」事業 (2017-2021) において, 数学と諸科学・産業界との連携によるイノベーション創出 (D4,D6-D9), また, そのための人材育成活動を行いました (D5,D10,D11). その後, 自動車技術会「自動車制御とモデル委員会」主催により, 企画セッションを適宜開催しています (D1,D2,D3).

B. 研究業績

- (1) H.Furusawa, T.Ishida, Y.Kawahara, Y.Mizoguchi, Relational Calculus as a Formal System, Bulletin of informatics and cybernetics, 56(2), p.1-22, 2024.
- (2) 檜貝信一, 溝口佳寛, 深作亮也, 計算材料科学の課題への数学・数理科学からのアプローチ: 数理ベースプログラミング, Journal of Computer Chemistry, Japan, 2021 年 20 巻 3 号, p.112-115, 2021.
- (3) A. D.-Jourdan, S.Kaji, Y.Mizoguchi, A linear algorithm for brick Wang tiling, Japan J. Indust. Appl. Math., 1-13, 2019.

- (4) M.D.Akbar Y.Mizoguchi, Class dependency of fuzzy relational database using relational calculus and conditional probability, Dec., 2017, ICoDIS 2017, Indonesia, Journal of Physics: Conference Series, Volume 971, conference 1, 2018.
- (5) M.D.Akbar, Y.Mizoguchi, Formal Equivalence Classes Model of Fuzzy Relational Databases Using Relational Calculus, IEEE International Conference on Applied Computer and Communication Technology, May, 2017.
- (6) T.Matsushima, Y.Mizoguchi, A.D.-Jourdan, Verification of a brick Wang tiling algorithm, 7th International Symposium on Symbolic Computation in Software Science (SCSS2016), 39, 107-116, 2016.
- (7) M.Kondo, T.Matsuo, Y.Mizoguchi, H.Ochiai, A Mathematica module for Conformal Geometric Algebra and Origami Folding, 7th International Symposium on Symbolic Computation in Software Science (SCSS2016), 39, 60-80, 2016.

C. 講演

- (1) 早川銀河, 溝口佳寛, DNA 計算に関する Coq モジュール開発, 2025 年 3 月, ソフトウェア科学会 PPL2025 研究集会, 愛知県.
- (2) 原田祐介, 溝口佳寛, 上山あゆみ, 統語意味論の実装とゼブラパズル解法への応用, 2024 年 9 月, 電気・情報関係学会九州支部連合大会, 鹿児島大学.
- (3) 溝口佳寛, 証明支援系および Mathematica の利用について, Exploring GPT's Influence on Natural Science and Mathematics, 2023 年 5 月, 理研 iTHEMS.
- (4) 溝口佳寛, 九州大学数理・データサイエンス教育研究センターの活動について, 日本数学会教育シンポジウム「数理・データサイエンス教育の発信と波及 II」, 2022 年 9 月, 北海道大学.
- (5) 檜貝信一, 溝口佳寛, 深作亮也, 解析力学的アプローチによる分子動力学計算, 日本コンピュータ化学会春季年会, 2021 年 6 月, オンライン.
- (6) 溝口佳寛, 日本における数学の教育研究プログラムについて, 第 7 回九州大学 ITPx 松下政経塾 x 博志会合同勉強会, 2021 年 1 月, オンライン.
- (7) 溝口佳寛, 算数・数学と人間や社会とのかかわり, 九州数学教育会第 54 次第 1 回研修会, 2020 年 10 月, オンライン.

D. その他の研究活動

- (1) JSAE-SICE-PaiMaP Industry-Academia Collaboration Toward Automotive Society Beyond 2030, 計測自動制御学会 2024 年年会特別企画, 2024/08/28, 高知県立大学.
- (2) 自動車制御における産学連携と人材育成 (OS), 自動車技術会 2024 年春季大会, 2024/05/24, パシフィコ横浜.
- (3) New Encounters in Spatial Intelligence, Intelligent Mobility and Mathematics, 計測自動制御学会 2023 年年会特別企画, 2023/09/08, 三重大学.
- (4) AIMaP ノウハウ事例集 (数学・数理科学応用事例) の紹介, 第 20 回自動車制御とモデル研究部門委員会, 2022/11/18, 佐賀県嬉野市 (ハイブリッド).
- (5) 数学・数理科学専攻若手研究者のための異分野・異業種研究交流会 2022, 日本数学会・日本応用数理学会・統計関連学会連合, 2022/10/29, オンライン.

- (6) 数学アドバンスイノベーションプラットフォーム (AIMaP) 最終成果報告書+別冊, 九州大学マス・フォア・インダストリ研究所, 2022/09/26, <https://hdl.handle.net/2324/7341512>.
- (7) SICE-JSAE-PAIMap Advanced Automotive Control and Mathematics, 計測自動制御学会 2022 年年会特別企画, 2022/09/08, 熊本市 (ハイブリッド).
- (8) 第 5 回数理活用産学連携イニシアティブ, 2022/07/27, 経団連会館.
- (9) 自動車制御とモデリング-新しい課題と新しいアプローチ-, 自動車技術会 2022 年春季大会, 自動車制御とモデル部門委員会 OS, 2022/05/27, パシフィコ横浜 (ハイブリッド).
- (10) 檜貝信一, 溝口佳寛, 深作亮也, 計算材料科学の課題への数学・数理科学からのアプローチ: 数理ベースプログラミング, 分子シミュレーション学会誌”アンサンブル”, 23 巻 (2021)4 号, pp.242-248.
- (11) The 9th International Symposium on Symbolic Computation in Software Science, 2021/09/08-10, オンライン.
- (12) 溝口佳寛, 人工知能は数学者になれるのか〜論理と計算について考えた人たち, 数学セミナー, 2019 年 1 月号, pp.57-61.
- (13) 溝口佳寛, 棚橋典大, 文部科学省委託事業 AIMaP の取り組みについて, 計測と制御, 58, 1, pp.38-41, 2019.01.

山口 晃広 (YAMAGUCHI Akihiro)

A. 研究概要

東芝 総合研究所にも現在所属しているが, 2024 年 10 月からリエゾン戦略部門に着任し, 主に (1) 専門分野である解釈可能な時系列データマイニング技術の研究開発と, (2) 専門分野に限らず数理技術と事業課題を結びつけるための活動を行っている. (1) では, 国内会議 DEIM2024 での発表が最優秀論文賞を受賞し, 日本データベース学会 若手功績賞も受賞した. また, IMI と東芝の共同研究の先行研究にあたる技術を ACM CIKM2024 で発表した (採択率 27%). また, 外部講演を 2 件と書籍の分担執筆を 1 件実施した. また, 異常検知を含む産業上重要となる広範の時系列分類器に適用可能な反事実波形生成技術の研究開発も行った. (2) では, 東芝との共同研究の進め方を整理し, 企業の視点で IMI 所員の専門性を分類し, AI と直接関連しそうな数理技術の中で数理最適化のマッチングに向けた打ち合わせを実施した.

B. 研究業績

1. 齊藤 暁斗, 山口 晃広, 新垣 隆生, 植野 研, 丸島 敬, 小川 慧, 金谷 和長, 落合 隆介, 永田 真一, 1D-CAE モデルを利用したガス遮断器向け状態診断技術の開発. 日本機械学会 2024 年度年次大会, (2024).
2. 山本 昌治, 植野 研, 山口 晃広, 周期波形の僅かな変化を検知可能な 1 クラス Shapelets 学習法. 人工知能学会第二種研究会資料 2024 巻 SMSHM-001 号, 13-17, (2024).
3. Akihiko Yamaguchi, Ken Ueno, Ryusei Shingaki, and Hisashi Kashima. Learning Counterfactual Explanations with Intervals for Time-series Classification. CIKM '24: Proceedings of the 33rd ACM International Conference on Information and Knowledge Management, 4158-4162, (2024).
4. 山口 晃広, 植野 研, 内田 和徳, 松本 詠治, 才田 敏之, 時系列波形異常検知技術の変電設備診断への適用と改良, 日本データベース学会データドリブンスタディーズ, Vol.3, Article No.4, (2025).

C. 講演

1. 山口 晃広, 説明性の高い時系列波形データ分析向け AI の活用と異常データが少ない場合の評価指標, 少ないデータによる異常検知技術の導入と活用方法, オンライン, 2024/12/16. (招待講演)
2. 山口 晃広, インフラ・製造分野向け波形異常診断 AI, IMI Colloquium, 九州大学, 2025/1. (招待講演)

D. その他の研究活動

1. IJCAI (Special Track on AI4Tech) Program Committee.

2. AIGC Program Committee.
3. 情報処理学会 論文誌デジタルプラクティス編集委員／会誌編集委員.
4. 情報処理学会 アルゴリズム研究運営委員.
5. PAKDD Program Committee.
6. ITISE Program Committee.
7. 山口 晃広, 説明性の高い時系列波形データ分析向け AI の開発と異常診断への活用, 少ないデータによる AI・機械学習の進め方と精度向上、説明可能な AI の開発, 第 6.6 節, 技術情報協会, (ISBN : 978-4-86798-048-4) 2024/10.
8. DEIM 2024 最優秀論文賞受賞.
9. 日本データベース学会 若手功績賞受賞.

2.6 マス・フォア・インダストリ研究所 准教授

池 祐一 (IKE Yuichi)

A. 研究概要

2024 年度は主に超局所層理論のシンプレクティック幾何学への応用に関する研究を行った.

1. 京都大学の桑垣氏と共同で, Weinstein 多様体に対する Novikov 環上の超局所圏およびラグランジアン層量子化の構成を行った. これは昨年度公開した論文で構成した余接束に対する超局所圏の一般化である. また, arXiv の論文を差し替える際に, 余接束における非コンパクトな対象の分離性定理に関する結果を独立した論文にまとめた.
2. 京都大学の浅野氏と共同で, 「平面内の長さ有限の単純閉曲線上に異なる 4 点を取り, あらかじめ指定された比率の長方形が作れる」という定理を証明し, プレプリントにまとめて arXiv で公開した. 長方形の存在をラグランジュ部分集合の交叉の問題に帰着し, それを層量子化を使って示すという手法で証明を行った.

B. 研究業績

1. Charles Arnal, Felix Hensel, Mathieu Carrière, Théo Lacombe, Hiroaki Kurihara, Yuichi Ike, and Frédéric Chazel, MAGDiff: Covariate Data Set Shift Detection via Activation Graphs of Deep Neural Networks. Trans. Mach. Learn. Res. May 2024.
2. Kentaro Kanamori, Takuya Takagi, Ken Kobayashi, and Yuichi Ike, Learning Decision Trees and Forests with Algorithmic Recourse. In Proceedings of the 41st International Conference on Machine Learning (ICML2024), 2024.
3. Yuichi Ike and Tatsuki Kuwagaki, Tamarkin's separation theorem for non-compact objects in cotangent bundles. To appear in Proc. Amer. Math. Soc.
4. Tomohiro Asano, Yuichi Ike, and Wenyan Li. Lagrangian cobordism and shadow distance in Tamarkin category. Selecta Mathematica, 31, article number 45, (2025).
5. Tomohiro Asano, Stéphane Guillermou, Yuichi Ike, and Claude Viterbo, Regular Lagrangians are smooth Lagrangians. Preprint.

C. 講演

1. γ -supports and sheaves. Tuesday Seminar on Topology, Japan, 2024/5/21.
2. γ 台と超局所層理論. Geometry and Mathematical Physics, 2024/11/20.
3. Higher-dimensional Birkhoff attractors as γ -supports and their properties. One-day workshop on contact and symplectic dynamics, 2024/11/26.

D. その他の研究活動

1. 日本応用数理学会若手の会 運営委員.
2. シンプレクティック幾何学・位相的データ解析の層理論による深化, PI, 科学研究費若手研究, 日本学術振興会, 2021–2024.

3. 「かたち」と「うごき」を表す高次元データ記述子の開発, 研究分担者, 学術変革領域研究 (A), 日本学術振興会・文部科学省, 2022–2026.
4. 産業数理統計チュートリアル, 九大 IMI, 2024/12/12–2024/12/13.

池松 泰彦 (IKEMATSU Yasuhiko)

A. 研究概要

本年度はアメリカ政府機関 NIST が行っている耐量子計算機暗号のデジタル署名方式標準化プロジェクトに投稿された方式に関する安全性解析を行った。特に、SNOVA, VOX に関して代数的な情報を解析し、新たな攻撃手法が適用できることを示し、提案パラメータのいくつかが安全でないことを指摘した。また上記の標準化プロジェクトにおいて、NTT、東京大、長崎県立大との共同研究で開発した QR-UOV 署名方式が第 1 次選考を通過し、第 2 次選考の候補となったことも成果してあげられる。

B. 研究業績

1. Hiroki FURUE, and Yasuhiko IKEMATSU, A New Cryptanalysis Against UOV-Based Variants MAYO, QR-UOV and VOX. IEICE Transaction on Fundamentals of Electronics, Communications and Computer Sciences (Special Section on Cryptography and Information Security), Vol.E108-A, No.3, (2025).

C. 講演

1. New security analysis for UOV-based signature candidates with small public key size. 5th NIST PQC Standardization conference, USA, 2024/4/11.
2. Revisiting the security analysis of SNOVA. The 11th ACM ASIA Public-Key Cryptography Workshop (APKC2024), Singapore, 2024/7/2.
3. UOV 署名方式とその改良. 耐量子署名方式の設計と安全性の数理, 日本, 2024/7/17.
4. 多変数署名方式とその安全性解析について. 第 7 回情報数理セミナー, 日本, 2024/8/21.

D. その他の研究活動

1. International Symposium on Mathematics, Quantum Theory, and Cryptography, Proceedings of MQC 2019, 編集.
2. QCNC2024, Technical Program Committee.
3. IWSEC2024, Program Committee.
4. 2025 年暗号と情報セキュリティシンポジウム (SCIS2025), 座長.
5. 第 15 回 暗号及び情報セキュリティと数学の相関ワークショップ (CRISMATH 2024), 組織委員.
6. 情報・計算・暗号の融合による新しい数理基盤の創出, 組織委員.
7. エクスパンダーグラフの新しい構成手法の確立とその応用 3, 組織委員.
8. 耐量子計算機暗号の社会実装に向けた数理基盤の研究, 組織委員.
9. 記号計算の高速化と産業課題解決への応用 2, 組織委員.
10. Study Group Workshop 2024 モデレーター.
11. 査読: 国際学術誌 8, 国際会議録 15, 国内会議録 3.
12. 電子情報通信学会, 情報セキュリティ研究会, 専門委員会専門委員.
13. 電子情報通信学会 『Special Section on Cryptography and Information Security』編集委員会 編集委員.
14. 電子情報通信学会 英文論文誌 A 編集委員会 英文論文誌編集委員.
15. 電子情報通信学会 和文論文誌 A 編集委員会 和文論文誌編集委員.
16. 電子情報通信学会 『Special Section on Cryptography and Information Security』編集委員会 編集委員.
17. the 11th ACM Workshop on ASIA Public-Key Cryptography, APKC 2024 Best Paper Award.
18. 暗号技術-インターネットの安全を守る数学問題-, 九州大学オープンキャンパス, 九州大学理学部.
19. 耐量子計算機暗号方式のパラメータ解析に真に有効な古典・量子アルゴリズムの開発, 科学研究費基盤研究 (B), 日本学術振興会, 2024.4–2028.3.

20. グレブナー基底理論を用いた耐量子計算機暗号の安全性解析と開発, PI, 科学研究費若手研究, 2022.4–2025.3.
21. CREST ポスト量子社会が求める高機能暗号の数理基盤創出と展開, 2021.10–.

ガイナ ダニエル (GAINA Daniel)

A. The outline of your research

Dr. Gaina’s research is rooted within universal logic, a general study of logical structures with no commitment to any particular logical system. Universal logic is to logic what universal algebra is to the study of algebraic structures. The term ”universal” refers to the collection of global concepts that allow one to unify the treatment of the logical systems and avoid repetition of similar results. One major approach to universal logic, in terms of both number of research contributions and significance of the results, is institution theory. This relies upon a category-based definition of the informal notion of logical system, called institution, which includes both syntax and semantics as well as the satisfaction relation between them. As opposed to the bottom-up methodology of conventional logic tradition, the institution theory approach is top-down: the concepts describe the features that a logic may have and they are defined at the most appropriate level of abstraction; the hypothesis are kept as general as possible and they are introduced only on by-need basis. This has the advantage of proving uniformly results for a multitude of logical systems. It leads to a deeper understanding of the logic ideas since the irrelevant details of particular logics are removed and the results are structurally obtained by clean causality. Dr. Gaina applies institution theory to the development of algebraic specification languages.

B. Papers and Books

1. Go Hashimoto, Daniel Găină, and Ionuț Țuțu, Forcing, Transition Algebras, and Calculi. In Proceedings of 51st EATCS International Colloquium on Automata, Languages and Programming (ICALP 2024), Tallinn, Estonia, 8–13 July 2024.
2. Daniel Gaina, Birkhoff Style Proof Systems for Hybrid-Dynamic Quantum Logic. In Proceedings of Advances in Modal Logic (AiML 2024), Prague, The Czech Republic, 19–23 August, 2024.
3. G. Badia, D. Găină, A. Knapp, T. Kowalski, and M. Wirsing, A modular bisimulation characterisation for fragments of hybrid logic. *Bull. Symb. Log.*, 1–24, (2025).
4. Guillermo Badia, Daniel Gaina, Alexander Knapp, Tomasz Kowalski, and Martin Wirsing. Hybrid-Dynamic Ehrenfeucht-Fraïssé Games. Preprint.
5. Daniel Gaina, Foundations of logic programming in hybrid-dynamic quantum logic. Preprint.

C. Talks

1. Birkhoff style proof systems for hybrid-dynamic quantum logic. *Advances in Modal Logic 2024*, Charles University (Prague), 2024/8/19.

D. Other scientific activities

1. A theorem prover for the correct development of reconfigurable systems, PI, Grant-in-Aid for Scientific Research (C), JSPS KAKENHI, 2023–2026.
2. Mathematical foundations for the reconfiguration paradigm, PI, Grant-in-Aid for Scientific Research (C), JSPS KAKENHI, 2020–2024.

吉良 知文 (Kira Akifumi)

A. 研究概要

社会（ビッグデータ）の中から劣加法性を満たす部分構造（協力すると互いにメリットがある者の組合せ）を抽出

したり、劣加法性を満たす部分構造にクラスタリングしたりする数理最適化技術の構築に取り組んでいる。また、「応用が理論を鍛える」という信念のもと、新たに取り組む社会的課題や連携先の模索を行っている。2024年度の主な実績は以下の3点である。

(1) 昨年度に引き続き、共同輸送の一形態である混載輸送について、往路長の短縮率（値が小さいとほど協力効果が高い）が所与の値より小さくなる企業の組合せを高速に列挙するアルゴリズムの再検証をおこなった。混載輸送を構成する一部の区間の情報のみから、全体の短縮率の下界を算出できるが、昨年度に導出した下界よりもさらに tight な下界を導出できた。この下界から、3つの輸送を混載輸送として束ねる際、第二・第三の輸送は、第一の輸送の始点と終点を焦点とする楕円に囲まれた領域になければならない、という綺麗な必要条件が得られ、探索範囲を効果的に絞り込むことができる。この結果を論文にまとめた。

(2) 共同輸送の一形態である三角輸送について、実車率（値が大きいほど協力効果も高い）が所与の値を上回る企業の組合せを高速に列挙するアルゴリズムの再整理をおこなった。三角輸送を構成する一部の区間の情報をもとに、実車率が所与の値を上回るための、残りの区間に課せられる必要条件を明示的に表すことができる（2021年度の成果）。この必要条件についても、輸送拠点が円と楕円で定まる領域に含まれるという形で表現が可能であることが分かった。この観点から再投稿に向けて論文の改訂をおこなった。

(3) 新たな連携先を模索するべく今年度は4つの企業と交渉をおこなった。鹿島興産株式会社と共同研究（自動車教習所の運営業務を支援する数理最適化手法の研究）を開始した。

B. 研究業績

1. A. Kira and N. Terajima, Fast enumeration of effective mixed transports for recommending shipper collaboration, arXiv:2503.24179, 2025. (Preprint)

C. 講演

1. 吉良知文, もし IMI の准教授が野球のマネージャーになったら. IMI Colloquium, 九州大学, 2024/6/12. (招待講演)
2. 吉良知文, 数学パワーで全力支援: 競争から共創への物流改革. 文部科学省と国立大学附置研究所・センター個別定例ランチミーティング 第89回 九州大学マス・フォア・インダストリ研究所, 九州大学, 2024/7/12.
3. 吉良知文, 物流改革に資する数理の力. 京都大学モビリティ基盤数理研究ラボ 中間報告会, オンライン開催, 2024/8/28. (特別講演)
4. 吉良知文, OR で支援: 担い手に優しい、競争から共創への物流改革. 日本オペレーションズ・リサーチ学会 2024 年秋季シンポジウム, 南山大学, 2024/9/9. (招待講演)
5. 吉良知文, 最適化とその実践. ソーシャル数理に関する集中討議, リファレンス駅東ビル (福岡市), 2024/10/4. (招待講演)
6. 吉良知文, 数理技術に基づく社会システムデザイン. ソーシャル数理に関する集中討議, リファレンス駅東ビル (福岡市), 2024/10/5. (招待講演)
7. 吉良知文, 物流改革を支援する共同輸送マッチング. 日本オペレーションズ・リサーチ学会 九州地区における OR 若手研究交流会—2024 湯布院—, FIT セミナーハウス (大分県), 2024/10/19. (特別講演)
8. 吉良知文, ソーシャル数理—近況報告—. 第16回 DP 研究会, サムティフェイム新大阪, 2025/1/26.

D. その他の研究活動

1. 共同研究（鹿島興産株式会社）「自動車教習所の運営業務を支援する数理最適化手法の研究」. 2025.1–2027.3. (代表)
2. 共同研究（富士通株式会社）「意思決定のための社会モデリングおよび解析に関する研究」. 2024.11–2026.3. (分担)
3. 協力価値を見出す劣加法性の数理の研究とその社会への展開, PI, 基盤研究 (C), 日本学術振興会, 2021–2024. (代表)
4. 「持続可能な開発」規範の形成過程の解明-仮想世界ゲーム電子版を用いた研究展開-, 基盤研究 (B), 日本学術振興会, 2023.4–2028.3. (分担)

A. Outline of Research

In the fiscal year 2024, my research aimed at studying two problems. The first problem was on developing a mathematical foundation for characterizing the set of optimizers in a geometric optimization problem arising from optical wireless power transfer (OWPT) systems, in which the optimal location of the energy receiver was sought when the distance between two parallel planes hosting the energy transmitters and the energy receiver is changed, or the positions of the energy transmitters are varied. To do so, bifurcation theory was employed to figure out the exact number of optimizers which is characterized by the number of bifurcation branches determined via one-dimensional isotropic subgroups of a Lie group acting on $\mathbb{R}^2$. *This is the first time such a connection between the fields of non-convex geometric optimization and bifurcation theory is reported.*

The second problem was on the exploitation of the repetitive nature of driving patterns, and hence, battery state-of-charge (SoC) profiles, in a class of electric vehicles (EVs) for energy saving purpose. Iterative learning control (ILC), model predictive control (MPC), and dynamic mode decomposition (DMD) frameworks were utilized to derive efficient prediction and control methods for the electro-thermal dynamics of EV battery packs.

In addition, I continued doing research on OWPT systems, in which both theoretical backgrounds and experimental tests were conducted. One specific theoretical investigation was described above.

B. Papers and Books

(Preprint) Dinh Hoa Nguyen, Kaname Matsue, “Characterization of Maximizers in A Non-Convex Geometric Optimization Problem With Application to Optical Wireless Power Transfer Systems”. Available online at: <https://arxiv.org/abs/2404.13832>.

1. Intelligent Technology for Future Transportation: First International Symposium, ITFT 2024, Helsinki, Finland, October 19 – 21, 2024, Proceedings, Editors: Abolhassan Razminia, Dinh Hoa Nguyen, Communications in Computer and Information Science (CCIS) Series, vol. 2378, Springer, 2025. <https://link.springer.com/book/10.1007/978-3-031-84148-4>
2. Dinh Hoa Nguyen, “Iterative Learning Control Design for Iteration-Varying State-of-Charge Profiles of Electric Vehicle Batteries”, IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics: Systems, vol. 55(1), pp. 805-816, 2025. DOI: 10.1109/TSMC.2024.3490553
3. Dinh Hoa Nguyen, “Water tanks as lenses for optical wireless power transfer”, IEEE Access, vol. 12, pp. 194171-194181, 2024. DOI: 10.1109/ACCESS.2024.3520206
4. Dinh Hoa Nguyen, “Model Predictive Iterative Learning Control Design for Battery Optimal Electro-Thermal Management Under Daily-Variant State-of-Charge Patterns”, IEEE Access, vol. 12, pp. 155904-155914, 2024. DOI: 10.1109/ACCESS.2024.3482319
5. Anshuman Singh, L. P. Mohasha Isuru Sampath, Dinh Hoa Nguyen, Hoay Beng Gooi, Hung Dinh Nguyen, , “ Multi-Agent Framework for P2P Energy Trading with EV Aggregators Supporting V2X Services”, IEEE Transactions on Vehicular Technology, vol. 73 (12), pp. 18548-18559, 2024. DOI: 10.1109/TVT.2024.3450879
6. Dinh Hoa Nguyen, “A Moving-Horizon Dynamic Mode Decomposition Method for Daily Residential Electric Consumption Prediction”, IEEE Access, vol. 12, pp. 96008-96016, 2024. DOI: 10.1109/ACCESS.2024.3426627
7. Jiayi Xu, Dinh Hoa Nguyen, “Optimal Configuration of Offshore Vertical-Axis Wind Turbine Farms”, IEEE TENCON 2024, Singapore, Dec. 1-4, 2024.
8. Dinh Hoa Nguyen, “Model Predictive Control Based Battery Energy Management For EV Ancillary Service Provision”, The 2024 Annual Conference of the IEEE Industrial Electronics Society (IECON), Chicago, Illinois, USA, Nov. 3-6, 2024.
9. Yuanting Wu, Dinh Hoa Nguyen, “A Commutative Fusion Method for Transformers based on Optimal

Transport”, Forum Math for Industry (FMfI) 2024, Kuala Lumpur, Malaysia, Sept. 9-11, 2024.

10. Rufan Yang, Singh Anshuman, L. P. Mohasha Isuru Sampath, Wei Guo Foo, Hoay Beng Gooi, Dinh Hoa Nguyen, and Hung Dinh Nguyen,, “Dendrite Growth Control in Lithium-ion Batteries using Current Density Ratio and Thermal Effect”, IEEE Power and Energy Society General Meeting 2024, Seattle, Washington, USA, Jul. 21 - 25, 2024.

11. Sida Huang, Yuanling Wu, Dinh Hoa Nguyen, “Deep Learning Based Solar Cell Recognition for Optical Wireless Power Transfer”, The International Council on Electrical Engineering Conference 2024, Kitakyushu, Japan, Jun. 30 - Jul.4, 2024.

12. Dinh Hoa Nguyen, “Characterizing OWPT Efficiency of An LED Row Transmitter Under Misalignments With The Receiver”, The 6th Optical Wireless and Fiber Power Transmission Conference (OWPT2024), Yokohama, Apr. 23-26, 2024.

C. Talks

1. Dinh Hoa Nguyen, “Increasing renewable integration via grid innovations”, POWERFORUM 2025, Kuala Lumpur, Malaysia, March 10th, 2025 (**Keynote Talk**).

2. Dinh Hoa Nguyen, “Iterative Learning for Prediction and Control”, Workshop ”Mathematics for Innovation”, IMI, Ito Campus, Kyushu University, Jan. 9th, 2025. (**Invited Talk**).

3. Dinh Hoa Nguyen, “Optimality and Robustness in P2P Energy Systems”, EE Department, Chulalongkorn University, Bangkok, Thailand, Oct. 22, 2024 (**Distinguished Lecture**).

Other Scientific Activities

- Associate Editor, Cyber Physical Energy Systems, Elsevier. <https://www.editorialmanager.com/cpes/default.aspx>
- Guest Editor, Collection on Carbon Reduction and Energy Policy Analysis, in the journal Green Technology, Resilience, and Sustainability, Springer Nature.
- Review Editor, Smart Grid Section, Frontiers in Energy Research, Frontiers.
- Topic Editorial Board, Multi-Agent Systems, IntechOpen Book Series on Artificial Intelligence, IntechOpen.
- Topical Advisory Panel Members for ‘Energy Sustainability’, Sustainability, MDPI.
- Conference committee:
 - Technical Program Committee Chair of the first International Symposium on Intelligent Technology for Future Transportation (<https://itft.org/index.html>): 2024. <https://itft.org/index.html>
 - Program Committee member, Optical Wireless and Fiber Power Transmission Conference (OWPT): 2023–now
 - International Program Committee, International Conference on Control, Decision and Information Technologies (IEEE CoDIT): 2019–now
 - International Technical Committee, International Conference on Power and Energy Systems Engineering (CPESE): 2020–now
- One of organizers of The 2024 Ajou-Kyushu-NIMS Joint Workshop on Industrial and Applied Mathematics: Co-organizer, September 27-29, 2024, Suwon, Korea. <https://sites.google.com/ajou.ac.kr/2024ajou-kyushu-nims/>
- One of organizers of Special Session on EV charging systems and infrastructure, 2024 11th International Conference on Power and Energy Systems Engineering (CPESE 2024), Nara, Japan, September 6-8, 2024.

- Organizer and Chair of The 2025 I²CNER-IMI Joint International Workshop, January 30, 2025.
- Session chair, "Control Systems and Applications", The 2024 Annual Conference of the IEEE Industrial Electronics Society (IECON 2024) .
- Session chair, "Net Zero Future I: Energy Efficiency and Conservation", International Conference on Sustainable Energy (ICUE) 2024.
- Session chair, "AI and Intelligent System Application", The International Council on Electrical Engineering (ICEE) Conference 2024.
- Professional Membership: IEEE Control System Society, IEEE Smart Grid Community, IEEE Smart Cities Community, IEEE Big Data Community.
- Reviewer: IEEE Transactions on Power Systems, IEEE Transactions on Smart Grid, IEEE Transactions on Automatic Control, IEEE Transactions on Industry Application, IEEE Transactions on Cybernetics, IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics, Automatica, Renewable and Sustainable Energy Reviews, International Journal of Electrical Power and Energy Systems, Electric Power Systems Research, Applied Energy, Journal of Cleaner Production, etc.

田上 大助 (TAGAMI Daisuke)

A. 研究概要

計算機性能の飛躍的な進歩に伴い、実験・理論解析に続く物理現象を理解するための手法として、数値計算は広く利用されている。しかしながら、数学解析が不十分で信頼性が低い、計算コストが高く実用性が低い、といった解決すべき点が残されている数値計算手法も多い。そこで、特に流れ問題や磁場問題に着目し、偏微分方程式の数学解析の結果などを応用することで、理論的に正当化された計算手法の提案、および提案した手法の現実問題への適用と高効率化の2点を目的として研究を行なっている。以下、個別の項目ごとに成果の概要を述べる：

(1) 反復型領域分割法を用いた磁場問題に対する前処理の検討：

磁場問題から導かれる大規模計算モデルに対する数値計算手法として、我々は、その効率の良さが知られている反復型領域分割法を導入している。さらに領域分割法に現れる反復過程に対する前処理として、構造問題や流れ問題でその有効性が確認されている Balancing Domain Decomposition (BDD) 法を、電磁場問題へ適用した。BDD 法では、得られる連立1次方程式の係数行列の核が重要な鍵を握るが、電磁場問題では核の自由度数が Lagrange 乗数の近似空間の自由度数と一致してしまい、手法の計算効率が落ちることが懸念される。我々は、係数行列の核に対して、離散 de Rham 系列を厳密に満たす多角形要素を用いたある近似を用いることで、計算効率を維持することが可能な手法を提案した。

(2) 次数低減法を用いた偏微分方程式の数値計算：

計算機を援用して製品を設計する場合、形状や性能を最適化するために対象となる現象を記述する偏微分方程式の数値計算をパラメーターを変えながら反復する過程が現れる。製品の設計を要求されるコストの範囲で行うには、反復1ステップ毎の(1つのパラメーターの組み合わせに対する)計算コストを可能な限り低く抑えることが要求される。この要求に対応するための1つの方法として、次数低減法が提案されている。我々は、Navier-Stokes 方程式で支配される粘性流れ問題に対して次数低減法を用いた数値実験を行い、その有効性を確認した。今後、スナップショットの選択と数値解の計算精度との関係などについて、数値解析を進めていく。

B. 研究業績

1. TAGAMI, D., *Numerical stability of a semi-implicit characteristic time integration of the generalized particle method for flow problems*, Proc. the 15th SPHERIC Int. Workshop (Virtual), 2021, pp.24–29
2. TAGAMI, D., *Numerical analysis of the viscoelastic flow problems by a semi-implicit characteristic generalized particle methods*, Proc. the 17th SPHERIC Int. Workshop, 2023, pp.369–375

C. 講演

1. TAGAMI, D., *Numerical computations of an incomplete balancing domain decomposition method based on polytopal finite element spaces*, ECCOMAS Congress 2024, Jun 2024, Lisbon
2. 田上大助, 数値計算による製品設計へ向けた取り組み—超大規模計算モデルから次数低減法まで—, 応用数学と数値解析の最近の進展, 2024 年 6 月, 金沢市
3. 田上大助, 方程式の構造や性質を保存する数値計算手法の必要性, ブラソフ方程式とマックスウェル方程式, プラズマの数理 II, 2024 年 6 月, 仙台市
4. TAGAMI, D., *Practical applications of iterative domain decomposition methods to industrial software*, Finland-Japan Workshop in Industrial and Applied Mathematics, Aug 2024, Helsinki
5. 田上大助, 側弯症診断への応用を目指した画像情報を用いた幾何学的指標の基礎的検討, 第 12 回 TR 推進合同フォーラム・ライフサイエンス技術交流会, 2024 年 10 月, 福岡市
6. 田上大助, 有限要素外積の導入～ 計算電磁気学を例に, 幾何と数値解析 2024, 2024 年 10 月, 東京都
7. 田上大助, 構造保存型数値解法の導入, 希薄プラズマに現れる異方性拡散問題に対する構造保存型数値解法, 2024 年 10 月, 福岡市
8. TAGAMI, D., *A preconditioner of iterative domain decomposition methods based on a multigrid strategy*, ANZIAM Conference, Feb 2025, Coffs Harbour
9. 田上大助, 多面体要素を用いた不完全 BDD 法と静磁場問題への適用, 第 8 回大規模電磁界数値解析手法に関する研究シンポジウム (LSCM2025), 2025 年 2 月, 石垣市

D. その他の研究活動

1. 日本機械学会 計算力学部門, 第 34 回 計算力学講演会 優秀講演表彰, Jan 2022.
2. Japan Association for Computational Mechanics (日本計算力学連合), 2019 JACM Fellows Award 受賞, Dec 2019.
3. 日本計算工学会 代表会員.
4. 日本機械学会 計算力学部門 電磁流体解析関連技術研究会 主査.
5. 日本数学会九州支部評議員.
6. ECCOMAS 2024, Minisymposium Organizer.
7. 第 29 回計算工学講演会, セッションオーガナイザー.
8. 第 37 回計算力学講演会, セッションオーガナイザー.

チェザナ ピエルイジ (CESANA Pierluigi)

The outline of your research

Topic 1. Modeling of plasticity and topological defects in elastic crystals.

- JSPS Grant-in-Aid for Scientific Research (C) 24K06797, ¥3,600,000 (+¥1,080,000 indirect expenses) "Design of graphene for tailored functionalities: a novel mathematical approach". April 1, 2024-March 31, 2027.

We create new mathematical methods to design graphene structures for specific applications. We predict shape and mechanical properties of graphene flocks with defects. We use machine learning to combine large-scale and nano-scale information to optimize the pattern of defects.

- JSPS Innovative Area Grant JP21H00102, ¥1.8M (+¥0.54M indirect expenses) in the framework of the JSPS program "Materials Science on Mille-Feuille Structures". Work on modeling of kink formation and disclinations in elastic crystals. Continuing, extended till March 31, 2024 (originally due to terminate on March 1, 2023).
- Analysis and numerics of variational models for microplasticity. Work done in collaboration with Prof.

Marco Morandotti's group at Politecnico di Torino (Italy). Initiated a bi-lateral students exchange across IMI and Torino, several joint papers have been published and are in progress.

- Probabilistic modeling of martensitic avalanches as branching random walks. Joint work in collaboration with Prof. Ben Hambly's group at Oxford. Two papers published and more work in progress in collaboration with my group at IMI and Oxford.

Topic 2. Industry-academia research on the application of Artificial Intelligence in the design of functional molecules.

- Daicel Corporation, consultation grant. Team member. Research Representative=Y. Fukumoto. Total amount for the team= 3.484M (FY24).
- Selected by Daicel Corporation to lead an IMI-I2CNER group on the modeling of molecules with Artificial Intelligence techniques. Team member. Research Representative=Y. Fukumoto. Secured consecutive collective IMI-I2CNER grants during FY20-FY23 for up to ~34M; hired a postdoctoral student and research assistants. Published two papers, produced software for optimization of chemical reactions.

Topic 3. Modeling of opto-mechanical instabilities in elastic-liquid crystals.

- Accomplished modeling and analysis of elastic foundations made of nematic elastomers, published several research papers. On-going modeling of nematic elastomers columns under torsion. Analysis of microstructure and construction of stress-strain curves. Collaboration with the experimental Lab of K. Urayama (Kyoto) and K. Bhattacharya (Caltech).

Topic 4. Reaction-Diffusion Partial Differential Equations.

- Accomplished analysis of a 4th order reaction-diffusion model in collaboration with Prof. Broadbridge's group (Kyushu University Australia Branch at La Trobe University), published two papers.
- Student Exchange Program with Shanghai University Serving as co-supervisor for PhD students M. Yang and J. Zheng from Shanghai University, who are spending one year at IMI as part of the China Scholarship Council Program. The ongoing collaborative research focuses on the analysis of viscosity solutions in continuum models, with applications to martensite and liquid crystals.

B. Papers and Books

1. Andrés A. León Baldelli, and Pierluigi Cesana, Variational Solvers for Irreversible Evolutionary Systems. *Journal of Open Source Software*, 9 (104), 6897, (2024).
2. Milton O. Assuncao, Pierluigi Cesana, Yasuhide Fukumoto, Graeme Hocking, Michael Vynnycky, and Doireann O'Kiely, Optimal design of observation holes on strainers for groundwater measurements. *Mathematics in Industry Reports*, (2024).
3. Pierluigi Cesana, Edoardo Fabbrini, and Marco Morandotti. Variational formulation of planar linearized elasticity with incompatible kinematics. Preprint.
4. Edoardo Fabbrini, Linh Thi Hoai Nguyen, Yasuhide Fukumoto, Yu Kaneko, and Pierluigi Cesana. Automated Platform for Bandgap Optimization in Diarylethene Derivatives via Structural Substitutions. *Int. J. Quant. Chem.*, 125(10), e00752, (2025).
5. Edoardo Fabbrini, Andrés A. León Baldelli, and Pierluigi Cesana, Kinematically incompatible Föppl-von Kármán plates: analysis and numerics. To appear in *Applied Mathematical Modelling* (December 2025).
6. Pierluigi Cesana, Alfio Grillo, Marco Morandotti, Andrea Pastore, Dissipative dynamics of Volterra disclinations, accepted for publication on *Siam Journal of Applied Mathematics* (March 2025).

C. Talks

1. Self-organization and criticality in martensite. I2CNER seminar, Fukuoka, Japan, 2024/4/18.

2. Fully automatized optimization of ring-opening reactions in lactones via 2-step machine learning. CEMDI Symposium, Montreal, Canada, 2024/5/28.
3. Materials design at the nano- and meso- scale. Ajou-Kyushu-NIMS joint workshop, Sewong, South Korea, 2024/10/4.
4. Mesoscale modeling of system of planar wedge disclinations and edge dislocations via the Airy Stress Function method. Plucinsky's Group Seminar, University of Southern California, USA, 2024/11/5.
5. Modeling and analysis of kinematically incompatible von Karman plates. Division of Materials Integration, Institute of Science Tokyo, Japan, 2024/11/15.
6. Modeling and analysis of kinematically incompatible von Karman plates. Division of Materials Integration, Institute of Science Tokyo, Japan, 2025/1/17.
7. Space-time evolution of Volterra disclinations. ANZIAM, Coffs Harbour NSW, Australia, 2025/2/1.
8. Modeling and analysis of kinematically incompatible von Karman plates. Department of Mechanical Engineering, Osaka University, Japan, 2025/3/19.

D. Other scientific activities

1. Forum Math for Industry Proceedings book, referee.
2. Co-organizer of the CEMDI-PAIMS symposium: "Advancing Materials Data, Design and Discovery", jointly with INRS (Montreal) and I2CNER. April 23-25, 2025, Kyushu University, Ito Campus.
3. Steering Committee member for the "Blockchain Kaigi" December 2025, Mumbai, India.
4. Executive Committee member for the "Forum Math for Industry" 2023, a satellite conference of ICIAM2023. August 29-September 1, 2023, Fukuoka.
5. Co-organizer of the symposium: "Perspectives of Artificial Intelligence and Machine Learning in Materials Science, 2nd ed." ICIAM2023. August 23, 2023, Waseda University.
6. Referee, Foreign Journal: 13; Domestic Journal: 1.
7. Educational Affairs in charge of students' International Activities.
8. Steering Committee of the Joint Research Center.
9. Planning/Public Relations Committee of IMI.
10. IT Promotion Committee of IMI.
11. Past JSPS grants: JSPS Innovative Area-21H00102 (4.550M yen) 2021-2023; JSPS Innovative Area-19H05131 (4.680M yen) 2019-2021; JSPS Grant in Aid for Young Scientists B-16K21213 (4.290M yen) 2016-2018; AiRiMaQ Fellowship (2.276M yen) 2019; RIMS grant 1.2M yen (2019).
12. 3 MS students (2021-to date), 1 PhD student (2022-to date), 3 exchange students from Italy (2024), 2 exchange students from PRChina (2021-2023).

手老 篤史 (TERO Atsushi)

A. 研究概要

私はこれまでに真正粘菌変形体という多核単細胞生物の知性を解明する事を目的として研究を行ってきた。粘菌には迷路を解いたり、最適なネットワークを発見したり、時間間隔を記憶して予測行動をとるという能力がある事が近年実験によりわかってきた。本研究はこの粘菌の行動をモデル方程式であらわし、コンピューター上で再現する事により、原生生物の知性を理解し、生物の知性の起源を調べるものであった。

(1) 真正粘菌の作る管ネットワークの解明

本研究は中垣俊之氏（現北海道大学教授）の行った、真正粘菌変形体という単細胞生物が迷路を解く実験に基づく。私はこのメカニズムを数理モデルにより解明した。これが重み付きの最短経路問題や最短ネットワーク問題にも適応可能であることを示し、新しい解法を得た。このように単細胞生物であっても高度に知的な振る舞いをするという研究が認められ、2008,2010年にイグノーベル賞を共同受賞した。（Nature 誌 Nature News でも紹介された）

(2) 適応ネットワークの共通原理の解明

この粘菌による最短経路が求まるパラメータは適応的ネットワークの形状決定の重要な境界となっており、この結果、様々な生物ネットワークに共通する原理の解明に成功した。特に人間が作る鉄道網を例とし、都市ネットワークの構築に応用した結果を Science 誌にて第一著者として発表した。この研究の反響は大きく、他に Science 誌にて Wolfgang Marwan にも解説され、読売新聞・日経新聞等の国内主要 13 紙等にて幅広く紹介されるなど、大きな反響を得た。現在はマレーシアとの国際交流共同研究事業としてマレーシア工科大学の Intan 研究員と共同研究を行っている。Intan 研究員は IMI の主催する国際学会 FMFI でポスター賞を受賞した副賞として 3 ヶ月（他の予算含む）IMI に滞在した。Intan 研究員は血管内の狭窄が成長し、血流を阻害する疾患を流体運動の数値モデルであるナビエ-ストークス方程式を用いて研究を行っている。しかし、1 本の血管を数値計算するだけで計算時間がかかるため、患者の体内の広範囲の数値計算をすることは現実的に不可能である。本共同研究では血管の特徴量のみを取り出すことにより、計算時間を短縮し、臨床実験への実用可能な手法を開発することを目標とする。現時点では血管半径一定・単純ネットワークという制限の基で第一段階の開発を行っている。

(3) 単細胞と人間の学習能力の解明と比較

人間は高等な情報処理能力を持っており、その解明には高い需要がある。しかし、人間の脳は複雑であり、倫理的な問題もあるため、解明は難しい。そこで本研究課題では単細胞から人間まで広い範囲の知的行動を統括する数値モデルを構築することにより、生物の知的行動を理解するだけでなく、人間の知性を理解するものである。本研究では特に、粘菌の馴化現象（慣れることにより苦痛を感じづらくなる）やアメーバプロテウスの条件付け学習の研究を行っている。既に基本的な数値モデルは構築しており、研究室学生との共同研究として発表済みである。なお、本研究は研究室学生である原田健太郎君が「アメーバの古典的条件付けに関する数値モデル」として異分野異業種研究交流会 2024(10/19 開催地：東京科学大学 主催：日本応用数理学会) でベストポスター賞を受賞している。

B. 研究業績

なし

C. 講演

1. Mathematical modeling of behavior decision from single cell to academic society La Trobe Joint Seminar 2025/6/3

D. その他の研究活動

1. 明善高校マスツアー, 福岡県立明善高等学校, 九州大学 IMI, 2025.3.21.

徳田 悟 (TOKUDA Satoru)

A. 研究概要

古くは 17 世紀に発見されたケプラーの法則に象徴されるように、単純な数式を用いて計測データを記述する数値モデリングは様々な物理現象を理解する足掛かりを築いてきた。しかし、高度な計測技術を駆使し、複雑な現象を扱う現代科学においては理解が困難なデータが顕在化している。我々はあらゆる物理現象をデータに基づいて曖昧さなく理解するための指導原理の確立に挑戦している。理論と実証の双方向的な研究サイクルの中で、基盤となるベイズ統計の数値を探索するとともに、諸科学や産業の研究者との異分野協働を通じ、複雑な現象の理解に貢献することを目指している。今年度は特に、ノンパラメトリック統計による計測データの不確実性定量化に関する研究に注力した。新たな統計手法の開発と材料およびエネルギー分野との連携による実証研究をそれぞれ展開し、3 報の論文が出版された。

B. 研究業績

1. Akihiko Hirata, Satoru Tokuda, Chihiro Nakajima and Siyuan Zha. Local structural modelling and local pair distribution function analysis for Zr-Pt metallic glass. Scientific Reports 14 (1), 13322 (2024).

2. Takashi Nishizawa, Satoru Tokuda, Akio Sanpei, Makoto Hasegawa, Kotaro Yamasaki and Akihito Fujisawa. Equilibrium reconstruction of axisymmetric plasmas by combining Gaussian process regression and Markov chain Monte Carlo sampling. Plasma Physics and Control Fusion 67, 015006 (2024).

3. T. Nishizawa, P. Manz, S. Tokuda, G. Grenfell, M. Sasaki, S. Inagaki, Y. Kawachi and A. Fujisawa. Inference of flow shear from reciprocating plasma potential measurements by means of Gaussian process regression, *Physics of Plasmas* 32 (3), 032507 (2025).

C. 講演

1. 「ベイズ統計を規範とした物理現象のモデリング」, 日本地震学会 2024 年度秋季大会, 朱鷺メッセ 新潟コンベンションセンター, 2024/10/22.
2. 「ベイズ線形回帰、ベイズ情報量規準」, 産業数理統計チュートリアル, 九州大学, 2024/12/13.
3. 「計測データに根ざした数理モデリング: 数学と物質科学の橋渡し」, 九大データ駆動科学セミナー「計測技術と統計解析を基盤とした異分野共創」, 九州大学, 2025/2/17.
4. 「物質科学におけるベイズ統計の活用と発展」, 科研費シンポジウム「ベイズ統計学の実践」, 明治大学, 2025/3/7.

D. その他の研究活動

1. 情報計測オンラインセミナーシリーズ運営委員, 2024/10-.
2. 統計数学×情報×物質セミナー①～数学とマテリアルズ DX～, 九大 IMI, 企画立案・運営等, 2025/1/27.
3. 九大データ駆動科学セミナー「計測技術と統計解析を基盤とした異分野共創」, 九大 IMI (大学院工学研究院および超顕微解析研究センターとの共催), 企画立案・運営等, 2025/2/17.
4. 統計数学×情報×物質セミナー②～高次元データの計測と統計解析～, 九大 IMI, 企画立案・運営等, 2025/2/28.
5. Study Group Workshop 2024 実行委員, 2024/4-.
6. 計測データに根ざしたモデリング原理の革新. PI, さきがけ, 2023-2026.
7. 作用素論的データ解析に基づく複雑ダイナミクス計算基盤の創出. 連携研究者, CREST, 2019-2024.
8. 企業との共同研究: 1 件.

廣瀬 雅代 (HIROSE Masayo)

A. 研究概要

【小区分別推定における経験的予測量, とその予測誤差に関する研究】

昨今 Evidence Based Policy Making (EBPM) の重要性が認識されつつある. 小区分ごとの実態把握に基づくより丁寧な計画立案への期待も大きくなっている. 調査データによって小区分ごとの特性値を推定する際, 区分ごとの情報のみならず, 統計的モデルを介して他の区分からの情報を有効に活用することで, 統計的精度の向上が期待できる場合がある.

(1) 小区分別統計的推測法の理論

小区分ごとに特性値を推定する場合, 統計的モデルを活用したモデルに基づくアプローチでは, 仮定モデル下で経験的に線形不偏予測量のクラスの中で平均二乗予測誤差を漸近的に最小化する経験的最良線形不偏予測量が多くの場合で活用される. しかし, 従来用いられる手法は実用面において複数の問題を抱えている. 2024 年度は, 主に, 非正規の状況下や測定誤差を考慮した場合の研究をはじめ, 4 件の国際共同研究と 1 件の国際共同研究可能性の議論を行った. また, 昨年度に引き続き, より一般的なモデルにおける漸近不偏性の獲得への幾何的解釈に関する共同研究を行った.

(2) 応用分野への適用可能性の吟味

開発した統計的手法を実データに適用することにも興味を持っている. 最近では, 公的統計マイクロデータを活用した応用研究にも関心がある. さらに, 観光分野や社会学分野への本分野の適用可能性を見出し, 実際のデータ解析に適用できるよう, 各専門家とともに議論を重ねた. さらに, 医学分野への応用可能性についても, 2 件の国際共同研究の可能性を議論した.

【保健学】2024 年度 IMI 共同利用の機会を利用して, 公衆衛生学の研究者と母子保健に関する統計的手法について議論を行った.

B. 研究業績

1. Yuting Chen, Masayo Y. Hirose, Partha Lahiri, Impact of existence and nonexistence of pivot on the coverage of empirical best linear prediction intervals for small areas, arXiv:2410.11238, 2024.

C. 講演

1. A Small Area Estimation under Arc-sin Transformed Area Level Model. Statistics Seminar at George Washington University, USA, 2024/4.
2. A Poverty Mapping based on Arc-sin Transformed Area Level Model. Statistics Seminar at the University of Florida, USA, 2024/4.
3. An Estimation of Variance of Random Effects to Solve Multiple Problems in Small Area Estimation. ISI-IASS webinar series, Online, 2024/5/29.
4. A Poverty Mapping based on Arc-sin Transformed Area Level Model. RIMS Symposium Modeling and Learning of Stochastic Dynamics, Japan, 2024/7/9.
5. 観光統計への小地域推定手法適用の可能性について. 2024 年度研究会「マイクロデータ利活用推進のための課題探究」, Japan, 2024/8.
6. 就業構造基本調査を利用した県内経済圏別貧困率の推定. 2024 年度統計関連学会連合大会, Japan, 2024/9.
7. 就業構造基本調査を用いた小区分別貧困率推定. 2024 年度共同研究集会「公的統計マイクロデータ利活用に関する研究集会」(オンライン), Japan, 2024/11.
8. 公的マイクロデータを活用した貧困状況実態把握のための解析. 2024 年度数理・DS に関する教育・研究支援プログラム発表会, Japan, 2024/12.
9. 公的マイクロデータ利活用のためのオンサイト施設紹介. 2024 年度数理・DS 合宿, Japan, 2024/12.
10. A Poverty Mapping based on Arc-sin Transformed Area Level Model. Ajou-Kyushu Statistics Joint Seminar (closed), Japan, 2025/2.
11. 集計レベルモデル下の経験的最良線形不偏予測量とその不確実性の程度の推定. 日本数学会九州支部例会, Japan, 2025/2/15.
12. 延べ宿泊者数の小地域推定. 「マイクロデータから見た我が国の社会・経済の実像」令和 6 年度研究集会 (オンライン), Japan, 2025/3.

D. その他の (研究) 活動

1. 2024 Ajou-Kyushu-NIMS Joint Workshop organizer.
2. Ajou-Kyushu Statistics Joint Seminar (closed) organizer.
3. FMFI2025 Program Committee.
4. Associate Editor (Japanese Journal of Statistics and Data Science)
5. EBPM に向けた統計的推測法の理論的研究, PI, 科学研究費基盤研究 (C), 日本学術振興会, 2022–2026.
6. 九州大学 SENTAN-Q Step 6 海外研修: The Joint Program in Survey Methodology, University of Maryland, College Park, Maryland, USA. (博士課程学生 2 名の研究指導と複数回の授業実施; 研究成果の一つが American Statistical Association (ASA) Student Paper Award 2025 受賞 Sponsored by the ASA Consortium of Sections (GSS/SRMS/SSS))
7. 2024 年度数理・データサイエンスに関する教育・研究支援プログラム
8. 九州電力共同研究
9. 福岡県庁データ利活用アドバイザー
10. 国土交通省統計品質改善会議委員
11. 第 151 回 Q-AOS ブラウンバックセミナーの講師, 第 151 回 Q-AOS ブラウンバックセミナー.
12. 中学生へのアウトリーチ活動, 九州大学 IMI, 新宮町立新宮東中学校.
13. 産業数理統計チュートリアル講師

A. 研究概要

(0) 昨年度から引き続き、共創学部を担当した。講義だけではなく、学生相談や入試監督・面接員、学生の講義やカリキュラムに対するアンケートの集計・分析など不慣れな仕事が多く戸惑う事が多かった。

以下の文章は、実施状況報告書(令和6年度)の研究概要に加筆・修正したものである。

(1) 半正定値錐とアフィン集合の交わりに対する交互射影法の収束率を評価・議論した。特に、交わりの singularity degree が1以上の場合、つまり二つの集合が接している場合について議論した。既存の結果では、singularity degree を用いた量で収束率の上界値が得られているが、これが厳密であるような例題を与えることができた。また、この収束率の上界よりも早く収束する例題も構成できた。一見矛盾しているように思えるかもしれないが、次のようなことから正当化できる: 既存の収束率の評価では、エラーバンドと呼ばれる、最適化理論で用いられる重要な不等式を用いて証明されている。エラーバンドはある点の近傍内の任意の点とそれぞれの凸集合(ここでは半正定値錐とアフィン集合)との距離に関する評価不等式である。一方、交互射影法で生成される点列は、その近傍の一部分しか動かないため、エラーバンドによる評価が緩すぎるのである。つまり、交互射影法では考える必要のない領域も含めて収束率を評価しているのである。これにより、既存の結果が厳密であるような例題やより早く収束するような例題が構成できるのである。

(2) もう一つの成果としては、アフィン集合が直線の場合は、収束率が遅くても $O(n^{-1/2})$ であることが証明できた。これも、singularity degree による評価と比較すると、より精密な評価になっている。これら二つの結果を論文としてまとめ査読付き国際誌に投稿した。

(3) アフィン部分空間と半正定値錐の場合は、(特に半正定値錐への射影の) 解析が難しく初期点による影響を正確に議論できなかった。そこで、半正定値錐と類似の性質を持っている二次錐の場合を評価した。錐が1つの場合は、全ての初期点(交わり方によっては一部の点は除く)における収束率が同一で評価できることがわかった。一方、錐が複数の二次錐の直積の場合は、解析が難しいことがわかったので、その代わりに、知られている収束率の上界値が一致する例と、ずれる例を構成し解析した。後者の例では、error bound と呼ばれる不等式による評価とずれているので、とても興味深い例になったと思っている。論文としてまとめたが、その後、後者の例でなぜ正確な収束率とその上界がずれているのかわかった。この結果を論文としてまとめ査読付き国際誌に投稿した。

(4) 修士の学生の研究で、ダイクストラ射影法の収束率に関して興味深い(数値)結果が得られた。交互射影法とダイクストラ射影法は、交わりが1点の場合、収束率の比較が可能になる。これまで交互射影法の方が速い例(設定)が多く挙げられていたが、ダイクストラ射影法の方が収束が速い例が構成できた。しかし数値実験による予想なので、これを数学的に正当化することが今後の課題となる。

B. 研究業績

1. Hiroyuki Ochiai, Yoshiyuki Sekiguchi and Hayato Waki, Exact Convergence Rates of Alternating Projections for Nontransversal Intersections. Japan J. Indust. Appl. Math., 41, 57–83, (2024).

C. 講演

1. 連続最適化の紹介. 数学・数理科学5研究拠点合同市民講演会, Tokyo, 2024/11/16.

D. その他の研究活動

1. Journal of the Operations Research Society of Japan, 編集.

2. 査読: 国際学術誌 6.

3. 科学研究費助成事業 第1段審査(書面審査)委員.

4. 日本オペレーションズ・リサーチ学会 九州支部副支部長.

5. 錐計画に基づく再帰型ニューラルネットワークの安定性解析と最適設計, 科学研究費基盤研究(B), 研究分担者, 日本学術振興会, 2021.4–2026.3.

6. 凸最適化理論における革新を目指して, 科学研究費基盤研究(C), 研究代表者, 日本学術振興会, 2024.4–2029.3.

2.7 マス・フォア・インダストリ研究所 助教

石塚 裕大 (ISHITSUKA Yasuhiro)

A. 研究概要

以下の内容について研究を進め、投稿・出版した：

(1) 数論的不変式論に現れる指数和と、それにまつわる不変式論：

- 当時慶応大に所属していた金村佳範氏との共同研究で得られた、楕円曲線の族にまつわる数論統計的な結果を出版した。
- 神戸大学の谷口隆氏、サウスカロライナ大の Frank Thorne 氏、UNBC の Stanley Yao Xiao 氏との共同研究で得られた、二元四次形式についての結果を arXiv に公開した。現在投稿中である。

(2) 可積分系を背景に持つ整数列の整数論的性質：Somos-6 型の非線形漸化式を持つ整数列について、神戸大学の谷口隆氏、京都大の伊藤哲史氏、群馬大の大下達也氏、東京都立大の内田幸寛氏との共同研究の結果を出版した。この整数列を素数で割った余りについて、その周期のよい上界を代数幾何的な方法で得たというものである。

(3) ハミング距離を利用した ATAC-seq データの解析：帯広畜産大の太田洋輝氏、および田中梓氏らとの共同研究である。あるウィルス性白血病の患者から得られた ATAC-seq のデータについて、先だって得られていた解析手法を適用した結果とその考察を出版した。

B. 研究業績

1. Yasuhiro Ishitsuka and Yoshinori Kanamura, On the Proportions of Soluble Forms in Some Families of Locally Soluble Binary Quartic Forms. Tokyo J. Math., 47(2), 505–521, (2024).
2. Azusa Tanaka, Yasuhiro Ishitsuka, Hiroki Ohta, Norihiro Takenouchi, Masanori Nakagawa, Ki-Ryang Koh, Chiho Onishi, Hiromitsu Tanaka, Akihiro Fujimoto, Jun-ichirou Yasunaga, and Masao Matsuoka, Integrative analysis of ATAC-seq and RNA-seq for cells infected by human T-cell leukemia virus type 1. PLoS Comput. Biol., 21(1):e1012690, (2025).
3. Yasuhiro Ishitsuka, Tetsushi Ito, Tatsuya Ohshita, Takashi Taniguchi, and Yukihiro Uchida, Periods modulo p of integer sequences associated with division polynomials of genus 2 curves. New York J. Math., 31, 568–588, (2025).

C. 講演

1. Periods modulo p of integer sequences associated with division polynomials of genus 2 curves Sixteenth Algorithmic Number Theory Symposium (ANTS XVI), USA, 2024/7/16.

D. その他の研究活動

1. 査読：国際学術誌 2.
2. 大野城市立大野中学校出前講義（落合啓之先生ご講演）、大野城市立大野中学校、九大 IMI.
3. 新宮町立新宮東中学校出前講義（廣瀬雅代先生ご講演）、新宮町立新宮東中学校、九大 IMI.
4. 大阪府立大手前高校マスツアー 2024（体験型講義）、大阪府立大手前高校、九州大学マス・フォア・インダストリ研究所.
5. 表現の指数和に現れる不変式の幾何的・数論的研究. PI, 科学研究費若手研究, 日本学術振興会, 2021–2025.
6. 離散可積分系とディオファントス問題. 研究分担者, 科学研究費挑戦的研究 (萌芽), 日本学術振興会, 2021–2024.
7. 代数幾何の理論に基づいた力学系の変数間の因果関係についての数理科学研究. 研究分担者, 科学研究費基盤研究 (C), 日本学術振興会, 2024–2027.
8. 数論統計の手法によるディオファントス幾何学の研究とその応用, 研究分担者, 科学研究費挑戦的研究 (萌芽), 日本学術振興会, 2024.6–2027.3.

浦本 武雄 (URAMOTO Takeo)

A. 研究概要

2024 年度の研究は以下のとおり：

1. 第一論文をジャーナル版に直し出版された。
2. 石塚氏と共同で SCSS2021 で発表していた結果を拡張し論文を執筆した。
3. 丸山氏らとの Full Lambek calculus に関する共同研究を実施し、その一部が国際会議に受理された。
4. 第四論文以降、非可換化に関する観察と関数体の場合に関する観察を進めている。

B. 研究業績

1. Takeo Uramoto, Semi-galois Categories I: The classical Eilenberg variety theory. Journal of Pure and Applied Algebra, 229 (2), 107863, (2025).

C. 講演

D. その他の研究活動

1. 圏論の歩き方, 編集.
2. Study Group Workshop 2024 モデレーター, 九州大学 IMI, 2024/7/24–2024/7/31.
3. 京都大学数理解析研究所集中講義, 京都大学, 2024/12/9–2024/12/12.
4. 代数的言語理論と類体論の融合研究, PI, 基盤研究 (C), 日本学術振興会, 2022–2026.

倉田 澄人 (KURATA Sumito)

A. 研究概要

統計分析において、手法の基盤となる理論の多くは、データがある真の確率分布に従う標本の実現値であるとし、モデルや真の分布に対して様々な仮定を置く。然し乍ら、現実のデータがそれらから逸脱することは決して珍しくない。他から大きく離れた値を取る「外れ値」はその代表的なものの一つであり、その影響を抑えて「頑健に」分析を行う意義は大きい。現状、母数推定に関してはロバスト推定が広く浸透しているが、モデル選択に関しては未発達な部分が多く、本研究では特に、統計学的ダイバージェンスに基づいたモデル評価規準を中心に研究を行っている。本年度では主に、スパース正則化におけるモデル選択 (正則化パラメータの決定) に関して究明を行った。

推定・選択対象となる母数が非常に多い「高次元設定」は近年盛んに研究されており、特に回帰分析では LASSO を中心としたスパース正則化が広い分野で活用されている。正則化には正則化パラメータと呼ばれる、縮小の強さを規定するパラメータが付随し、この値を適切に定めることで、不要な説明変数を取り除き、必要な要素を呼び出すことが出来る。正則化パラメータの決定には AIC や BIC といった有名な情報量規準に加え、高次元であること、正則化に基づいていることを念頭に置いて改良された手法も存在しているが、従来法の多くは外れ値の影響を受けやすく、極端な値が一つ混ざることによってその性能を大きく損なってしまう傾向にある。本研究では、過去に導出してきたダイバージェンスに基づく頑健なモデル評価規準を、スパース正則化に即して改良し、高次元においても頑健性と選択一致性を両立可能な規準を導出した。また、正則化における罰則項についても検討を行い、スパース正則化が持つ「良さ」を失うことなく、選択における「良さ」を持った規準を導出可能な形を提案した。本内容は現在論文投稿中である。本年度はこれと併せて、より広いデータに対する応用可能性を目指し、経時データ分析に資するモデル選択手法についても検討を開始している。

B. 研究業績

1. Sumito Kurata, On robustness of model selection criteria based on divergence measures: Generalizations of BHHJ divergence-based method and comparison. Communications in Statistics - Theory and Methods, 53 (10), 3499–3516, (2024).
2. Sumito Kurata and Kei Hirose, Robust and consistent model evaluation criteria in high-dimensional regression. arXiv preprint arXiv:2407.16116 (2024).

C. 講演

1. 統計的分析を破綻させる外れ値と、外れ値に耐えるダイバージェンスについて. 国際数理科学協会「統計的推測と統計ファイナンス」分科会研究集会, 日本, 2024/8/18.
2. スパース正則化に対する頑健性と選択一致性を備えたモデル評価規準について. 統計関連学会連合大会, 日本, 2024/9/2.
3. 統計学的ダイバージェンスを応用した頑健なモデル評価規準. 日本数学会 2025 年度年会 (特別講演), 日本, 2025/3/21.

D. その他の研究活動

1. 査読: 国際学術誌 3.
2. 東京大学エクステンション 講師 (2020/04–現在) 社会人向けの統計学・データサイエンススクール, 東京大学エクステンション.
3. 産業数理統計チュートリアル (2024 年度), 九州大学 マス・フォア・インダストリ研究所 産業数理統計研究部門.

小谷 久寿 (KODANI Hisatoshi)

A. 研究概要

今年度は, 主として, Hodge correlator に関する整数論と位相幾何学の間のある類似性に基づいた観点からの研究と, ある 3 次元多様体の配置空間積分不変量に関する研究を行った.

Hodge correlator について, 整数論と位相幾何学の間類似性に基づいた共同研究を東北大学の寺嶋郁二氏と行った. Hodge correlator は, Goncharov 氏によって導入されたあるツリーグラフに付随する Feynman 積分として表される周期である. この共同研究では, Chern–Simons 摂動理論との類似の観点から Hodge correlator class のループ拡張を行い, その拡張版が量子マスター方程式の類似の微分方程式を満たすことを示した. これについて論文にまとめ, プレプリントを公開し, 雑誌に投稿した. また, これについて国内外の研究集会・セミナーで講演を行った.

ある 3 次元多様体の配置空間積分不変量に関する研究については次年度以降に論文を公開する予定である.

また, JST の未解決問題ワークショップに端を発する松江要氏 (九州大学), 落合啓之氏 (九州大学), 高安亮紀氏 (早稲田大学), 佐々木多希子氏 (武蔵野大学), 浅井大晴氏 (早稲田大学) との自励系常微分方程式の爆発解の高次漸近展開についての共著論文が学術誌 Nonlinearity から掲載されることとなった.

B. 研究業績

1. Taisei Asai, Hisatoshi Kodani, Kaname Matsue, Hiroyuki Ochiai, and Takiko Sasaki, Multi-order asymptotic expansion of blow-up solutions for autonomous ODEs. I - Method and Justification. Nonlinearity, 38:045003, (2025).
2. Hisatoshi Kodani, Kaname Matsue, Hiroyuki Ochiai, and Akitoshi Takayasu, Multi-order asymptotic expansion of blow-up solutions for autonomous ODEs. II - Dynamical Correspondence. Nonlinearity, 38:045004, (2025).
3. Hisatoshi Kodani, Yuji Terashima, Quantum master equation and Hodge correlators, preprint, arXiv:2404.09488, 2024.
4. 藤井 良宜; 堀部 典子; 山口 尚哉; 川野 秀一; 小谷 久寿; 溝口 佳寛, 3つの大学で連携したデータサイエンス PBL 科目の取り組み レベルの異なる学生の協働した活動を活用して, 日本科学教育学会「科学教育研究」, 掲載予定.

C. 講演

1. Quantum master equation and Hodge correlators, Séminaire de Topologie, Institut de Mathématiques de Jussieu-Paris Rive Gauche, 2025.03.26.
2. Integral invariants for framed 3-manifolds associated to trivalent graphs possibly with self-loops, Seminar semiklassische Analysis und Darstellungstheorie, Universität zu Köln, 2025.03.18.

D. その他の研究活動

重富 尚太 (SHIGETOMI Shota)

A. 研究概要

楕円テータ函数は様々な数学的性質を持つということが知られている．例えば，楕円テータ函数は数多くの恒等式を満たすが，これらは可積分な方程式の解を構成するときに非常に役に立つ．より具体的には，可積分な微分方程式の従属変数に対して適切な変換を行い，元の方程式を広田型双線型方程式に書き換え，その広田型双線型方程式の解を，楕円テータ函数の満たす恒等式から構成するという流れである．また，可積分な方程式は，解の性質を保ったまま離散化することが可能であるということも知られている．一方で，可積分系と関連した幾何学的対象の研究も活発に行われており，特に，微分幾何学においては，広田型双線型方程式の解を利用して，曲線の等周変形を表す明示公式を構成するという研究が興味深い．また，可積分性を利用した曲線や曲面の離散化も研究されており，特に，振率一定曲線の離散化である振率角一定離散曲線は，カライドサイクルと呼ばれる様々な特異的性質を持つリンク機構とのつながりが指摘されており，工学への応用という意味でも興味深い．2024 年度は，離散微分幾何学およびカライドサイクルについて研究してきた．より具体的に述べると，(a) 楕円関数を用いた，カライドサイクルおよび半離散 K 曲面の明示公式の構成，(b) 楕円テータ関数で構成された振率角一定離散曲線が閉曲線となるようなパラメータの存在証明，についての研究を行った．以下詳細に説明する．(a) カライドサイクルは振率角一定離散曲線としてモデル化できることが知られている．その曲線を半離散 sine-Gordon 方程式に従って変形させると，半離散曲面を作ることができるが，それが K 曲面の半離散版になる．これらの曲線や曲面は，半離散 sine-Gordon 方程式の楕円関数解に対応したものである．本研究では，曲率や振率だけでなく，曲線・曲面の位置ベクトルも楕円関数を用いて明示的に構成した．論文は査読中．(b) 楕円テータ関数による振率角一定離散曲線・半離散曲面の明示公式は，上述の結果の一般化とも考えられるが，閉曲線を作るためのパラメータの存在が数値実験でしか確認できていなかった．このパラメータの存在証明は，どのような周期のカライドサイクルが存在するかという問いに具体的な解を与えるものであり，非常に重要である．研究の結果，ほぼ解決したので，arXiv にある論文を改訂し雑誌に投稿する．

B. 研究業績

C. 講演

重富尚太，楕円テータ函数を軸とした離散微分幾何学および応用物理学の研究，愛媛大学数学談話会，愛媛大学，2024 年 8 月．

D. その他の研究活動

高瀬 裕志 (TAKASE Hiroshi)

A. 研究概要

主に楕円型偏微分方程式の Cauchy 問題に関する非適切問題解析・逆問題解析を遂行しました． $D \subset \mathbb{R}^n$ を境界 $\partial D \in C^{0,1}$ を持つ有界領域， $\emptyset \neq \Gamma \subset \partial D$ を開部分集合， $V \in L^\infty(D)$ ， $g \in W^{1,\infty}(D)$ を Riemann 計量， Δ_g をその Laplace-Beltrami 作用素， ∂_{ν_g} を g に関する外向き法線微分とすると，楕円型方程式の Cauchy 問題 (CP) を

考えます：

$$\begin{cases} -\Delta_g u + V u = 0 & \text{in } D, \\ u = u_0, \partial_{\nu_g} u = u_1 & \text{on } \Gamma. \end{cases} \quad (\text{CP})$$

Sobolev ノルムや連続ノルムで評価する限り，Cauchy データ (u_0, u_1) が小さくても解 u が D 上で小さいとは限らず，安定性がないため (CP) は Hadamard の意味で非適切 (ill-posed) です。

そこで固定した $M > 0$ に対し，解にあらかじめ制約 $u \in \mathcal{A} := \{u \in H^2(D) \mid \|u\|_{H^2(D)} \leq M\}$ を課し，この条件下で (CP) を解くことで安定性を回復させる定量的一意継続性 (quantitative unique continuation) について研究しました。 $u \in \mathcal{A}$ の仮定下では， $\partial D \in C^2$ のとき非常に弱い対数型の安定性評価

$$\exists C > 0, \exists k > 0, \|u\|_{L^2(D)} \leq CM(\log(M/\delta))^{-k}$$

が最適であることを示しました。ここで $\delta := \|u_0\|_{H^1(\Gamma)} + \|u_1\|_{L^2(\Gamma)}$ は Cauchy データの大きさを表しています。この安定性評価は境界の正則性とも関係し， $\partial D \in C^{0,1}$ のとき更に弱い二重対数型評価 $\|u\|_{L^2(D)} \leq CM(\log \log(M/\delta))^{k_1 - k_2}$ が最適であることを示しました ($V \in L^p(D)$, $p \in [n/2, \infty)$ の場合も扱いました)。しかし，対数関数を右辺に含むこれらの不等式では， $\delta \rightarrow +0$ のときの $\|u\|_{L^2(D)} \rightarrow +0$ の収束が非常に遅く，特に応用の観点からは十分とはいえません。

そこで制約条件に着目し， $\mathcal{A}$ とは別の制約条件下で安定性を改善できないかと考え，新たな条件付き安定性理論を模索しました。そして $\partial D \in C^2$ の場合 Cauchy データを与えない部分境界 $S := \partial D \setminus \Gamma$ 上における g についての接線方向の微分 $\nabla_{\tau_g} u$ に関する制約条件 $u \in \mathcal{A}' := \{u \in H^2(D) \mid \|\nabla_{\tau_g} u\|_{L^2(S)} \leq M\|u\|_{L^2(S)}\}$ を課すことで，対数関数を含まない最適な Lipschitz 型の安定性 $\|u\|_{H^1(D)} \leq C\delta$ が成り立つことを証明しました。

さらにこの結果は地球の重力に関する典型的な逆問題に応用できます。地球に相当する $B \subset \mathbb{R}^n$ を境界 $S := \partial B \in C^2$ を持つ有界開集合，地球表面 S 上の重力ポテンシャルを $\mathbf{a} \in H^{3/2}(S)$ とするとき Laplace 方程式の Dirichlet 境界値問題を考えます：

$$\begin{cases} -\Delta u = 0 & \text{in } \mathbb{R}^n \setminus \overline{B}, \\ u = \mathbf{a} & \text{on } S. \end{cases} \quad (\text{BVP})$$

$\Omega \ni B$ を境界 $\Gamma := \partial\Omega \in C^{0,1}$ を持つ有界領域とします。 $\mathbf{a}$ が未知関数のとき，地球 B を取り囲む Γ 上の重力ポテンシャル及び重力 $(u|_{\Gamma}, \partial_{\nu} u|_{\Gamma})$ から $\mathbf{a}$ を決定する逆問題を考えます。 $D := \Omega \setminus \overline{B}$ とおくと，(BVP) の解 u は (CP) を満たすので先ほどの結果を適用し $\mathbf{a} \in \mathcal{A}'$ のとき最も強力な Lipschitz 型安定性 $\|\mathbf{a}\|_{H^1(S)} \leq C\delta$ が成り立つことが分かります。Dirichlet 問題に関する逆問題だけでなく，Nemann 問題・Robin 問題に関する逆問題においても Lipschitz 型安定性を証明しました。

さらにこの逆問題解析は楕円型方程式のみならず，放物型・双曲型・Schrödinger 方程式の境界値決定逆問題にも拡張可能であり，Lipschitz 型や Hölder 型にまで従来の安定性を改善することに成功しました。

B. 研究業績

C. 講演

1. Global Lipschitz stability for inverse problems of waves on Lorentzian manifolds. The 11th International Conference Inverse Problems: Modeling and Simulation, Malta, 2024/5/28.
2. 楕円型方程式のコーシー問題に対するリプシッツ型安定性. 応用数学・数値解析に関する研究会, Japan, 2024/6/16.
3. Lipschitz stability for Cauchy problems of elliptic equations. Finland-Japan Workshop in Industrial and Applied Mathematics, Finland, 2024/8/27.
4. Lipschitz stability estimate for an inverse problem related to unique continuation. Workshop for young scholars Control and inverse problems on waves, oscillations and flows - Mathematical analysis and computational methods -, Japan, 2024/9/24.
5. Lipschitz stability for Cauchy problems of elliptic equations and applications to evolution equations. The 8th Young Scholar Symposium, East Asia Section of Inverse Problems International Association, China, 2024/11/17.

D. その他の研究活動

1. East Asia Section of Inverse Problems International Association, Best Presentation Award.
2. 検知技術の革新のための逆問題理論, 国際共同研究加速基金 (海外連携研究), 日本学術振興会, 2023.9–2028.3.

A. 研究概要

物理現象等を記述する数理モデルのうち、主に放物型の偏微分方程式の可解性およびその解の正則性について研究した。具体的な対象としては、例えば熱の拡散を記述する熱方程式、細胞が特定の化学物質の濃度に応じて凝集する現象（走化性）を記述する Keller-Segel 方程式系、水などの非圧縮粘性流体の運動を記述する Navier-Stokes 方程式系などである。可解性に関する研究はこれまでも非常に多く行われてきているが、特にどの程度強い特異性を持つような初期条件に対して可解性が保証されるかという観点に関心がある。これは、物理学や工学分野でデルタ関数などの「ゼロではない量だが理想的に 1 箇所にのみ値を持つような初期条件」を考察する際の議論を数学的に正当化することに相当する。また、数値シミュレーション等を用いて数理モデルの記述する現象を理解する際には、あらかじめ与えられた初期条件に対して解が一意的に存在することを前提としている。実際、もし対応する数理モデルに数学的な解が存在しなければ、その数値シミュレーションは何を意味するか解釈ができない。また、解が一意的でないならば数値シミュレーションによる結果はシミュレーション毎に変化してしまう可能性があり、実用上では不安定である。数学的な解の一意存在を保証することはそのような数値シミュレーションの「確からしさ」を理論的に支えるものであり、その可解性が従う初期条件の数学的枠組みを広げたいということは自然な動機付けであると考えられる。

特異的な初期条件に対する可解性を保証するには調和解析の手法がよく用いられる。調和解析とは Fourier 解析を用いた理論であり、「滑らかさ」の指標を Fourier 変換に基づく周波数の概念で捉えることが可能である。この概念を用いると微分階数が負の関数空間を定義することができ、中でも Besov 空間と呼ばれる関数空間は調和解析学において主要な位置付けにある。実際に、今年度の研究ではこの Besov 空間を用いて上述の数理モデルの可解性の枠組みを広げてきた。また、可解性に関する問題としては初期条件のみならず、外力を既知の情報として与える場合がある。例えば上述の Navier-Stokes 方程式系は流体の運動を記述しているため、重力などの外的要因を方程式系に加えて考察することは自然である。初期条件に比べて外力は時間が経過しても外的要因として影響が与えられ続けるため、特異的な初期条件に比べて特異的な外力はより可解性を妨げる要因となる。特異的な外力に対する可解性は初期条件のそれと比べ研究が部分的であり、まだ研究の余地が大きいと考えられる。今年度は特異的な外力に対する可解性の研究もいくつか行ってきた。

次に、解の正則性に関する研究について述べる。初めに述べたように放物型の偏微分方程式が主要な研究対象であるが、一般に放物型方程式には「平滑化効果」と呼ばれる性質がある。これは、仮に特異的な初期条件を与えても、対応する解は時間の経過によって滑らかになるというものである。このような性質に基づいた解の正則性の研究も多く行われている。今年度の研究として解の平滑化効果に関する調査もいくつか行ってきた。なお、その中での結果のひとつとして、特別な非線形構造を持つ半線形熱方程式の解の正則性に関するものがある。上述のように、放物型方程式には平滑化効果によって解は滑らかになることが期待されるが、必ずしもそうとはならない場合があることが確認された。それは非線形構造としての正則性が欠如している場合である。上述の数理モデルで言えば、Keller-Segel 方程式系や Navier-Stokes 方程式系は「双線形」と呼ばれる非線形構造を持つ一方で、半線形熱方程式はより一般の非線形構造を仮定する 경우가少なくない。その中でも特殊な非線形構造を仮定すると、非線形項を合成関数とみなした際の合成元の関数が滑らかではない状況を考察でき、これは線形化方程式における平滑化効果を妨げる。今年度ではこの研究成果を得たと同時に、非線形構造の違いによる更なる発展的な研究課題を発見した。なお、このような古典的な解の平滑化効果とは別に、解の正則性に関する研究として最大正則性理論の研究が知られている。これは比較的現代的な理論であり、最大正則性理論に基づく可解性および解の正則性の研究は現在でも精力的に行われている。今年度に行った可解性理論の成果においては、最大正則性理論を用いた研究も含まれている。来年度では今年度の Besov 空間および最大正則性理論を用いた研究成果に基づき、その発展的内容を中心に扱っていく予定である。

B. 研究業績

1. Taiki Takeuchi, Remarks on the smoothing effect of the heat semigroup on $\dot{B}_{p,\infty}^s(\mathbb{R}^n)$. Partial Differential Equations in Applied Mathematics. 10, 100718, (2024).
2. Taiki Takeuchi, Breakdown of C^∞ -smoothing effects of solutions to the semilinear equation in the whole space. Communications on Pure and Applied Analysis. 23(6), 830–872, (2024).
3. Tohru Ozawa and Taiki Takeuchi, A new proof of the Gagliardo–Nirenberg and Sobolev inequalities: Heat

semigroup approach. Proceedings of the American Mathematical Society. Series B. 11, 371–377, (2024).

4. Taiki Takeuchi, Well-posedness and inviscid limits for the Keller–Segel–Navier–Stokes system of the parabolic–elliptic type. Mathematice Nachrichten. 298(1), 53–86, (2025).

5. Tohru Ozawa and Taiki Takeuchi, Refined Interpolation Inequality in Besov Spaces With Applications to the Gagliardo–Nirenberg Inequality. Asymptotic Analysis. 141(2), 119–131, (2025).

C. 講演

1. On regularities of sign-changing solutions of the semilinear heat equation. 京都大学 NLPDE セミナー (京都大学), 2024/4/19.

2. Breakdown of smoothness of solutions to the semilinear heat equation. 第 2 回 信州若里偏微分方程式セミナー (信州大学), 2024/4/22.

3. Real interpolations on the Lorentz-Besov-type spaces. 第 43 回 調和解析定例セミナー (中央大学), 2024/6/15.

4. Global solvability of the chemotaxis-fluid system with rotational flux via the maximal regularity theory. 第 195 回 神楽坂解析セミナー (東京理科大学), 2024/8/4.

5. The Lorentz-Chemin-Lerner space and its characterizations. The 11th East Asian Conference in Harmonic Analysis and Applications (Kyoto University), 2024/8/19.

6. On the generalized Chemin-Lerner spaces via the Lorentz spaces in time. 第 5 回 大同大学若手微分方程式セミナー (釧路工業高等専門学校), 2024/8/31.

7. Maximal regularity approach to the Keller–Segel–Navier–Stokes system with nonlinear boundary conditions. 日本数学会 2024 年度 秋季総合分科会 (大阪大学), 2024/9/6.

8. Global well-posedness for the Keller–Segel–Navier–Stokes system with rotational flux. 九州大学 解析セミナー (九州大学), 2024/11/8.

9. On the strong solutions to the Keller–Segel–Navier–Stokes system with rotational flux. 第 1 回 北陸微分方程式研究集会 (金沢歌劇座), 2024/11/24.

10. Strong solutions to the chemotaxis-fluid system with nonlinear boundary conditions. 第 847 回 応用解析研究会 (早稲田大学), 2024/12/7.

11. Maximal regularity approach to the chemotaxis-fluid system with rotational flux. 第 152 回 日本数学会九州支部例会 (九州大学), 2025/2/15.

D. その他の研究活動

1. 九州における偏微分方程式研究集会 世話人.

2. 九州関数方程式セミナー 世話人.

3. 九州大学解析セミナー 世話人.

4. 査読: 国際学術誌 11.

5. 調和解析学的手法に基づく藤田型方程式の最大正則性理論の構築, PI, 特別研究員奨励費, 日本学術振興会, 2024.4–2027.3.

6. 関数解析的手法による走化性方程式系の可解性と正則性の解明, PI, 科学研究費若手研究, 日本学術振興会, 2024.4–2029.3.

濱田 法行 (HAMADA Noriyuki)

A. 研究概要

私は主に 4 次元可微分閉多様体の構成の研究を行っている. 2024 年度は以下のような研究を行った.

(1) 以前の研究で, 種数 5 のレフシェッツペンシルでその全空間がエキゾチック $\mathbb{CP}^2 \# 4\overline{\mathbb{CP}}^2$ であるようなものを構成している. その 4 次元多様体が幾何学的単連結であること, すなわち 1-ハンドルをもたないハンドル分解を許容することを証明した. これはこれまでに知られている幾何学的単連結エキゾチック 4 次元多様体の中ではオイラー標数がかなり小さいものであり, 興味深い例である.

(2) シンプレクティック地誌学では、符号数が非負の領域の格子点をシンプレクティック 4 次元多様体で実現することは大きな課題となっている。その中で、符号数を任意に固定した場合に、地誌学上でその安定領域を単連結レフシェッツ束で実現できることを証明した。

(3) 以前から続けている種数 3 シンプレクティック・カラビ-ヤウ・レフシェッツペンシルの基本群の計算を進めた。このクラスのペンシルは多様な構成が可能であり、その全貌はまだ掴めていないが、その基本群の多様性についての知見に進展があった。

(4) レフシェッツペンシルをブローアップするとレフシェッツ束が得られ、それは一意的に決まる。しかし、そのようなレフシェッツ束を固定した場合に、ブローアップしてそのレフシェッツ束になるようなレフシェッツペンシルは複数あることがある。このような例で、無限個のレフシェッツペンシルでそのブローアップが一つのレフシェッツ束になるようなものは知られていない。この例を構成する研究を行ったが、ホモロジー的にかなり強い制約があることがわかった。そこでモノドロミー群で区別することを考えたが、想定外に微妙な問題であることがわかり、研究を継続している。

B. 研究業績

1. R. İnanç Baykur and Noriyuki Hamada, Lefschetz fibrations with arbitrary signature. J. Eur. Math. Soc., 26, no. 8, 2837–2895, (2024).
2. R. İnanç Baykur and Noriyuki Hamada, Exotic 4-manifolds with signature zero. Preprint.

C. 講演

1. 浜田 法行, 符号数 0 のエキゾチック 4 次元多様体, トポロジー火曜セミナー, 東京大学数理科学研究科 (オンライン開催), 2024 年 5 月 14 日.
2. 浜田 法行, Exotic 4-manifolds with signature zero via mapping class group relations, 研究集会「リーマン面に関連する位相幾何学」, 東京大学大学院数理科学研究科, 2024 年 9 月 12 日-15 日 (講演日は 9 月 14 日).
3. 浜田 法行, Exotic 4-manifolds via fibration structures, Geometry and Topology 2024, 九州大学数理学研究院, 2024 年 10 月 16 日-18 日 (講演日は 10 月 18 日).
4. 浜田 法行, Geography of simply-connected symplectic 4-manifolds with non-negative signature, 研究集会「接触構造、特異点、微分方程式及びその周辺」, 金沢大学駅前サテライト, 2025 年 1 月 21 日-23 日 (講演日は 1 月 22 日).
5. 浜田 法行, 符号数 0 のシンプレクティック 4 次元多様体, さくらセミナー 2025, 鹿児島大学理学部, 2025 年 3 月 10 日-11 日 (講演日は 3 月 11 日).

D. その他の研究活動

1. 九州大学トポロジー金曜セミナー, 世話人.

藤井 幹大 (FUJII Mikihiro)

A. 研究概要

令和 6 年度の研究では 3 次元異方的 Boussinesq 方程式を安定成層流周りで考察し、その滑らかで小さな時間大域解の長時間挙動や、スケール臨界空間における大きな解の一意存在と強成層特異極限問題を考察した。また、3 次元全空間上における定常 Navier-Stokes 方程式の解の空間無限遠方における解の減衰率を求める研究を行なった。さらに、2 次元準地衡流方程式の定常問題について適切性と非適切性が保証されるスケール臨界な Besov 空間の枠組みを完全に分類した。

B. 研究業績

1. M. Fujii and Y. Li, Large time behavior for solutions to the anisotropic Navier-Stokes equations in a 3D half-space, International Mathematics Research Notices (2024). • Published: 10 December 2024
2. M. Fujii and H. Tsurumi, Well-posedness of the two-dimensional stationary Navier-Stokes equations around a uniform flow, Mathematische Nachrichten (2024) • First published: 26 September 2024

3. M. Fujii and R. Nakasato, Global solutions for the incompressible Hall-magnetohydrodynamics system around constant equilibrium states, Journal of Mathematical Analysis and Applications (2024). ・ Received 24 July 2023, Available online 15 February 2024 ・ 2024 August 号

4. M. Fujii, Ill-posedness of the two-dimensional stationary Navier-Stokes equations on the whole plane, Annals of PDE (2024) ・ Published: 28 May 2024

C. 講演

1. 藤井幹大, 「2次元非圧縮性 Navier-Stokes 方程式の定常問題の非適切性」, 大阪大学微分方程式セミナー, 2024/7/26. (招待講演)

2. 藤井幹大, 「Ill-posedness of the stationary and time-periodic solutions to the 2D Navier – Stokes equations on the whole plane」, 第 11 回 流体数学セミナー, 2024/7/12. (招待講演)

3. Mikihiro Fujii, 「Ill-posedness of the 2D stationary Navier-Stokes equations on the whole plane with the application to the time-periodic problem」, RIMS 共同研究 (公開型) 「調和解析と非線形偏微分方程式」, 2024/6/26. (招待講演)

4. 藤井幹大, 「Ill-posedness of the two-dimensional stationary Navier-Stokes equations on the whole plane」, 応用解析研究会, 2024/5/25. (招待講演)

D. その他の研究活動

1. 圧縮性回転粘性流体方程式の数学解析とその応用, PI, 科学研究費研究活動スタート支援, 2023–2024.

2.8 マス・フォア・インダストリ研究所 学術研究員

北川 宜稔 (KITAGAWA Masatoshi)

A. 研究概要

簡約リー群の分岐則について研究を行っている。群 G の既約表現を部分群 G' に制限すると一般には既約ではなくなり複雑な様相を見せる。この制限の既約分解または表現としての振る舞い (どのような既約商が現れるかなど) のことを分岐則という。リー環に対しても同様の問題を考えることができ、簡約リー群の場合には微分表現を考えることで、ある程度対応があることがわかってる。一方で、簡約リー群の分岐則の問題、簡約リー環の分岐則の問題、それらの対応、どの問題も未解決な部分は多く残されている。これらの問題に対して、非可換環論、 $\mathcal{D}$ 加群、簡約代数群とそれが作用する代数多様体の理論等を用いて研究している。昨年度と今年度は分岐則がどのような組み合わせ論的な対象によって統制されているかについて考察を行い、以下で述べる 3 つのカルタン部分代数とも呼べる対象とその 1 つに付随するルート系を発見した。

G を代数多様体 X を滑らかな G 多様体とし Y を X の滑らかな G 部分多様体とする。さらに X は球多様体とする。このとき、 X と $T_Y X$ から二つルート系を構成できることが知られており、それらを用いて $\Delta_{X|Y}$ というルート系を構成した。 $\Delta_{X|Y}$ は Y の X への埋め込みの複雑さを表しており、旗多様体の場合には分岐則に現れる絡作用素の形を統制していると考えられる。実際、正則離散系列表現と呼ばれる具体的な既約表現の場合に、ケースバイケースでこれを示した。

$\mathfrak{g}$ を簡約リー環とし、 $\mathfrak{g}'$ をその簡約部分リー環とする。 V を $\mathfrak{g}$ の既約表現とすると、 $\mathfrak{g}'$ の普遍包絡環の中心 $Z(\mathfrak{g}')$ が V に作用する。 $Z(\mathfrak{g}')$ は Harish-Chandra 同型により多項式環と同型なので、この作用に関する台を考えることができる。この台を統制するものとして残り 2 つ、大小のカルタン部分代数を定義した。小さいほうのカルタン部分代数は分岐則における連続的なスペクトルの形を統制するものであり、大きいほうのカルタン部分代数はスペクトル全体の形を統制するものである。これらの論文は現在投稿中である。

B. 研究業績

1. M. Kitagawa, Family of $\mathcal{D}$ -modules and representations with a boundedness property, Represent. Theory 27 (2023), 292–355.

2. M. Kitagawa, Kobayashi's conjectures on the discrete decomposability, Symmetry in geometry and analysis. Vol. 3. Festschrift in honor of Toshiyuki Kobayashi, 31–99.

C. 講演

1. 北川 宜稔, A root system for G-varieties and symmetry breaking operators, 7th Tunisian-Japanese Conference "Geometric and Harmonic Analysis on Homogeneous Spaces and Applications" in Honor of Professor Toshiyuki Kobayashi, チュニジア, 2023 年 11 月
2. 北川 宜稔, A root system for a pair of G-varieties and symmetry breaking operators, 2023 年度表現論シンポジウム, 沖縄, 2023 年 11 月
3. 北川 宜稔, Cartan subalgebras in the branching problem, Branching Problems for Representations of Real, p-Adic and Adelic Groups, ブリティッシュ コロンビア大学オカナガン校, 2024 年 7 月
4. 北川 宜稔, Cartan subalgebras in the branching problem and Hamiltonian action, IHP Workshop 1: Intertwining operators and geometry, Institut Henri Poincaré, 2025 年 1 月

Kim Keunsu

A. 研究概要

In the 2024 research, a new matrix factorization framework called Nonnegative Matrix Factorization with topological regularization (Top-NMF) was developed. While conventional NMF methods aim to decompose a nonnegative data matrix into a set of latent basis vectors and coefficients, they often overlook the underlying topological structure inherent in the data domain. The key idea of Top-NMF is to promote basis vectors whose supports form connected structures over the data domain, thereby achieving more interpretable and structured decompositions. The topological regularization term is formulated using persistent homology techniques, encouraging the basis components to reflect meaningful geometric and topological features of the data. Through this approach, Top-NMF effectively extracts localized and topologically coherent patterns from complex datasets. In conclusion, this study proposes a new direction for interpretable unsupervised learning by combining NMF with topological regularization.

B. 研究業績

1. Keunsu Kim, Hanbaek Lyu, Jinsu Kim, and Jae-Hun Jung. Supervised Low-Rank Semi-Nonnegative Matrix Factorization with Frequency Regularization for Forecasting Spatio-Temporal Data. Journal of Scientific Computing, Vol. 100, Article 29, 2024.

C. 講演

1. 위상수학적 데이터 분석: 事實에서 眞實 추론하기, 데이터의 숨겨진 위상 구조 탐색, Pusan National University guest lecture, Pusan National University (South Korea) 2024 年 12 月 3 日.
2. Topological analysis on Hamiltonian time-series data, Pusan National University guest lecture, Pusan National University (South Korea) 2024 年 12 月 4 日.
3. Nonnegative Matrix Factorization with Topological Regularization, 2024 KSIAM (The Korean Society for Industrial and Applied Mathematics) Annual Meeting, Bexco, Busan (South Korea) 2024 年 12 月 6 日.
4. Nonnegative Matrix Factorization with Topological Regularization, 6th Aihara Moonshot Project General Meeting, Online, 2025 年 3 月 13 日.

D. その他の研究活動

A. 研究概要

In the past 5 years, I have been researching plasma engineering and its applications. Plasma is the 4th state of matter, which consists of electrons, ions, and radicals. It has been widely used in several applications, including energy conversion, materials processing, medical, and agricultural. I develop atmospheric pressure plasma for material modification, and medical applications as well as studying its electrical and physical properties. Recently, I started doing a simulation to understand the plasma characteristics to obtain a high-quality thin film. Furthermore, I employ machine learning to predict the quality of the thin film using plasma internal parameters.

B. 研究業績

1. J. D. H. Dionysius Santjojo, Sukma W. Fitriani, Masruroh, P. Setyawan Sakti, Fabrication of micro-pillar by plasma etching texturing of carbon-based thin film, *Materials Today: Proceedings* 44, 2021, 3207-3210.
2. Sukma W. Fitriani, S. Ikeda, M. Tani, H. Yajima, H. Furuta, A. Hatta, Hydrophilization of PTFE using DBD plasma of argon gas with water-ethanol vapor, *Mat. Chem. and Phys.* 282 2022, 125974.
3. Sukma W. Fitriani, H. Yajima and A. Hatta, Photoemission-induced atmospheric-pressure DC gas discharge using back-illuminated nano thickness photocathode, *Appl. Phys. Express* 15 2022, 116001.
4. Sukma W. Fitriani, T. Okumura, K. Kamataki, K. Koga, M. Shiratani, Pankaj Attri, Capture and conversion of CO₂ from ambient air using ionic liquid-plasma combination, *Plasma Chem. Plasma Process.* 44 2024, 2153-2162.
5. Sukma W. Fitriani, K. Kamataki, Y. Yamamoto, Y. Sato, Y. Kurosaki, K. Koga, M. Shiratani, Predictive model for SiO₂ film properties using plasma optical emission spectroscopy based on machine learning, *Surf. Coat. and Technol.* 504 2025, 132029

C. 講演

1. Modification of PTFE Surface by Atmospheric Pressure Plasma of Ar/ Water and Ethanol Vapor Mixture, The 11th Asian Pacific Symposium on Plasma Technology (APSPT-11), Kanazawa-Japan, December 2019.
2. Comparison between N₂ and Ar Gas with Water/Ethanol Vapor DBD Plasma for Surface Treatment of Polytetrafluoroethylene, The 38th Symposium on Plasma Processing/The 33rd Symposium on Plasma for Materials (SPP-38/SPM-33), Virtual Conference, January 2021
3. Plasma Treatment of Polytetrafluoroethylene in Nitrogen with Water/Ethanol Vapor Dielectric Barrier Discharge Plasma, International Surfaces, Coatings, and Interfaces Conference (SURFCOAT Korea), Virtual Conference, May 2021.
4. Treatment and Analysis of PTFE Surface using Atmospheric Pressure Water/Ethnaol Mixture Vapor Plasma, The 39th International Conference of Photopolymer Science and Technology, Materials and Process for Advanced Lithography, Nanotechnology and Photo technology (ICPST-39), Virtual Conference, June 2022.
5. Surface Treatment for Hydrophilization of Polytetrafluoroethylene using Atmospheric-pressure Plasma by Argon Gas with Water-ethanol Vapor, Eurodisplay 2022, Stuttgart-Germany, September 2022
6. Influence of the UV Wavelengths on Photoemission-induced Atmospheric Pressure DC Gas Discharge, The 70th JSAP Spring Meeting 2023, Tokyo-Japan, March 2023
7. Production of Reactive Oxygen and Nitrogen Species in Photoemission-induced atmospheric pressure DC air discharge, The 25th International Symposium on Plasma Chemistry, Kyoto-Japan, May 2023.
8. Current-Voltage Characteristic of Photoemission Induced Atmospheric Pressure Gas Discharge in Argon, Air, Nitrogen, and Helium, XXIII International Conference on Gas Discharge and Their Applications, Greifswald-Germany, Sept 2023.
9. Evaluation of Reactive Species Production in Atmospheric Pressure Air Discharge Using a Back-Illuminated Photocathode, The 84th JSAP Autumn Meeting 2023, Kumamoto-Japan, Sept 2023

10. Surface Functionalization of Polytetrafluoroethylene using Atmospheric DBD Plasma of Nitrogen with Water-Ethanol Vapor, The Grand Meeting MRM2023/IUMRS-ICA2023, Kyoto-Japan, Dec 2023.
11. TEOS-based Plasma Enhanced Chemical Vapor Deposition SiO₂ Film Prediction by Using Machine Learning, The 2024 Gordon Research Seminar (GRS) on Plasma Processing Science, Andover, New Hampshire – United State, July 2024
12. TEOS-based Plasma Enhanced Chemical Vapor Deposition SiO₂ Film Prediction by Using Machine Learning, The 2024 Gordon Research Conference (GRC) on Plasma Processing Science, Andover, New Hampshire – United State, July 2024
13. Predictive Model for SiO₂ Film Properties Using Plasma Optical Emission Spectroscopy based on Machine Learning, 19th International Conference on Plasma Surface Engineering (PSE2024), Erfurt – Germany, Sept 2024
14. Prediction of Silicon Dioxide Film Properties Fabricated Using TEOS-based PECVD, the 10th International Symposium on Surface Science (ISSS-10), Kita-Kyushu – Japan, Oct 2024
15. Machine Learning Application for Plasma Discharge and Material Processing based on Optical Emission Spectroscopy, 2025 International Workshop on Emerging Device and Circuit Technologies, Fukuoka – Japan, March 2025

D. その他の研究活動

-

蓮井 太朗 (HASUI Taro)

A. 研究概要

筆者の近年の研究課題はランダムグラフ理論 (Random Graph Theory) およびネットワーク科学 (Network Science) である。ランダムグラフ理論においては、特に単純 2 部グラフ (simple bipartite graph) 過程における連結成分 (connected component), すなわち l -component の生成と成長の期待値の解析している。頂点集合を V_1, V_2 , 辺集合を E とする単純 2 部グラフ $BG(V_1, V_2, E)$ に対し, $|V_1| = r, |V_2| = s$ のとき完全 2 部グラフを $K_{r,s}$ とし, その各辺に $[0, 1]$ の一様分布に従う重みを与え, 閾値 t 以下の辺のみを用いてランダム 2 部グラフ過程を構成する。これは Erdős – Rényi 型のランダムグラフモデルに対応する。このとき, $l = |E| - |V|$ で定義される l -component の生成・合成の期待値 $\alpha_{r,s}(l; k_1, k_2)$ および $\beta_{r_1, s_1, r_2, s_2}(l; k_1, k_2)$ を導出することが目標である。このために, Betti number に対応するパラメータ k を用い, 連結な 2 部グラフの個数 $f(r, s, r + s - 1 + k)$ の指数型母関数 (exponential generating function) $F_k(x, y)$ を導入し, それが以下の 1 階線形偏微分方程式に従うことを示した:

$$(D_x + D_y + k)F_{k+1} = (D_x D_y - D_x - D_y + 1 - k)F_k + \sum_{l=0}^{k+1} D_x F_l \cdot D_y F_{k+1-l}$$

ここで D_x, D_y は Euler 微分演算子である。これにより, $F_1(x, y)$ や $F_2(x, y)$ の明示式を導出し, それぞれの漸近挙動を,

$$\langle x^n \rangle F_1(x, x) \sim \sqrt{\frac{\pi}{8}} n^{n-1/2}, \quad \langle x^n \rangle F_2(x, x) \sim \frac{5}{48} n^{n+1}$$

と求めた。

また, 基本グラフ (basic graph) の概念を導入し, $F_k(x, y)$ を基本グラフ上での有理関数の和として表現した。さらに, 単純連結グラフの個数 $C(k, k + l)$ との関係式

$$C(k_1, k_2, l + k) \sim \frac{1}{2^l} C(k, k + l)$$

を用いて, α および β の漸近挙動の導出に応用する方針である。本研究は白井朋之氏 (九州大学), および藪奥哲史氏 (福岡大学) との共同研究によるものである。

ネットワーク科学においては, 仮想通貨 XRP (リップル) の取引データに対し, 異常検知および位相的データ解析を実施した。これによって 2017 年-2021 年の取引期間における価格 (終値) の先行指標を発見した。仮想通貨は, 中央管理者を持たない分散型のデジタル通貨であり, XRP もその一例である。株式や為替と比較すると法

的整備が未成熟であるため、市場には大きな価格変動（バブル）が起こりやすく、異常検知技術の重要性が増している。また、マネーロンダリングなどの非合法利用に対する監視のためにも異常検知は有効である。筆者の研究対象データは2017年10月2日から2021年12月26日までの221週にわたるXRPの取引履歴である。それぞれの週に対応するような重み付き有向グラフ（directed graph）を作成し、主に以下の2点に焦点を当てて解析した。1. 重み付き有向グラフの遷移行列 A^n のトレース列に基づく異常検知。2. 有向 Flag 複体（directed Flag complex）の複数のフィルトレーションに対するパーシステントホモロジー（Persistent Homology）を用いた位相的データ解析。これらの解析の結果、221週の取引履歴の情報を持つ有向グラフの時系列の1st-Betti numberの推移が、価格に先行していることを発見した。異常検知の実施においては、遷移行列の行和・列和に基づいてノードをフィルタリングし、部分グラフを抽出して分析した。また、得られたPersistence DiagramからBetti数、lifetime sum、重心などの特徴量を算出した。加えて、データをクリーンアップしたうえで再解析し、Boltzmann machineへの入力に使える特徴量の抽出も試みた。本研究は独立行政法人経済産業研究所（RIETI）による研究プロジェクト「暗号資産や実体経済における価格ダイナミクスとその複雑ネットワーク」の一部である。白井朋之氏（九州大学）の指導のもとに実施された。

B. 研究業績

1. 2018年 修士論文「パーシステントホモロジーと Linial Meshulam ランダム複体過程」を執筆
2. 2022年 博士論文「Total number of connected bipartite graphs with given Betti numbers and their applications」を執筆
3. 2022年 ENUMERATION OF CONNECTED BIPARTITE GRAPHS WITH GIVEN BETTI NUMBER arXiv:2208.03996, Aug,2022 を執筆（蓮井太郎, 白井朋之, 藪奥哲史 共著）
4. 2024年 Verification of Elemental Technologies for Anomaly Detection in Crypto Asset Transactions (IKEDA, Yuichi et al. RIETI Discussion Paper Series 24-E-085) に執筆協力。

C. 講演

1. 2019年2月12日 上記修士論文を九州大学数理学府博士後期課程入学試験口頭試問において発表
2. 2019年2月18日 上記修士論文を佐賀大学卒業発表研究会において発表
3. 2020年9月7日 確率論若手セミナー・オンライン「Random Permutation の漸近挙動」
4. 2020年10月31日 異分野・異業種研究交流会2020「Random Graph の漸近挙動」
5. 2020年11月13日 異分野・異業種研究交流会2021「ランダムグラフの基礎および連結グラフの総数」 ※ベストポスター賞受賞
6. 2022年10月29日 異分野・異業種研究交流会2022「ベッチ数を指定した連結2部グラフの数え上げ」
7. 2023年3月7日 第19回数学総合若手研究集会 数学の交叉点 「ベッチ数を指定した連結2部グラフの総数とその応用」
8. 2024年2月20日 第20回組合せ論若手研究集会 「ベッチ数を指定した連結2部グラフの数え上げ」
9. 2025年3月14日 第3回 MfIP 連携探索ワークショップ 「仮想通貨 XRP の取引データに対する異常検知および位相的データ解析」

D. その他の研究活動

筆者はこれまでに、「スタディグループワークショップ」、「Stochastic Analysis, Random Fields and Integrable Probability」、および「九州確率論セミナー」など、九州大学大学院数理学府において開催された複数の研究集会に継続的に参加してきた。また、所属機関主催のシンポジウム「Stochastic Analysis, Random Fields and Integrable Probability」においては、運営補助の役割も担った。

さらに近年では、文部科学省・科研費による学術変革領域（A）「データ記述科学の創出と諸分野への横断的展開」（令和4年度～8年度）の領域会議に参加し、純粋数学（pure mathematics）、応用数学（applied mathematics）どちらも知見を深めることを意識している。

李文 (LI Wen)

A. 研究概要

主な研究テーマ:

社会規範・大学教育へのジェンダーギャップについて研究

キーワード:

労働供給、大学教育プレミアム、主観的ウェルビーイング

2018.10～2025.03.

B. 研究業績

1. Li, W. (2020). Do Social Norms Overpower Comparative Advantage Theory?: Evidence from China and Japan. *The Keizai Ronkyu*, (167), 57-72.
2. Li, W. (2020). A survey of factors influencing married female labor force participation-The case of Japan and US. *The Keizai Ronkyu*, (170), 17-46.
3. Suga, F., Urakawa, K., and Li, W. (2022). Postgraduate Wage Premiums in Japan. *The Japanese Journal of Labour Studies*, 742, 64-80. [In Japanese]
4. Li, W., Urakawa, K., and Suga, F. (2023). Are Social Norms Associated with Married Women's Labor Force Participation? A Comparison of Japan and the United States. *Journal of Family and Economic Issues*, 44(1), 193-205.
5. Li, W., Urakawa, K., and Suga, F. (2023). Gender gap in returns to college education in Japan: The impact of attending a highly-ranked college. *Social Science Japan Journal*, 26(1), 61-76.
6. Li, W. (2024) Preference for traditional gender norms and spouses' subjective well-being. *Studies in Applied Economics*, 16/17, 1-14.

C. 講演

1. Li, W., Urakawa, K., and Suga, F. "Do social norms overpower relative income? Evidence from Japan and the U.S." Japan Association for Applied Economics, Nanzan University, 2019/06/16.
2. Li, W., Urakawa, K., and Suga, F. "Do Social Norms Affect Wives' Labor Force Participation? A Comparison of Japan and the U.S." Labor Economics Workshop, Osaka University, 2019/10/11.
3. Li, W., Urakawa, K., and Suga, F. "Attending a more selective college and return on the labor and marriage markets in Japan," The Japanese Economic Association, On-line, 2020/5/30.
4. Li, W. "Gender gap in returns to college education in Japan: The impact of attending a highly-ranked college," Labor Economics Workshop, Online, 2020/10/9.
5. Li, W. "Preference for traditional gender norms and spouses' subjective well-being," Japan Association for Applied Economics, Online, 2020/11/22.
6. Li, W. "The power of role models: Gender role attitudes and female labor participation in Japan," Japan Association for Applied Economics, Online, 2021/6/26.
7. Li, W. "Intergenerational mobility in China: the lucky only child?," Kyushu Association of Economic Science, Kyushu University, 2023/12/2.
8. Li, W. "Family Caregiving, Time Poverty and Well-being in Japan," Japan Association for Applied Economics, Fukuoka University, 2024/6/8.
9. Li, W. "Intergenerational mobility in China: the lucky only child?," The Japanese Economic Association, Fukuoka University, 2024/10/19.
10. Li, W. "Family Caregiving, Time Poverty and Well-being in Japan," 2024 Annual Conference of the Western Japan Division, Japan Association for Applied Economics, Fukuoka University, 2025/3/15.

D. その他の研究活動

海外渡航状況, 海外での教育研究歴

University of Illinois Urbana-Champaign, United States of America, 2023.2～2023.2.

2.9 博士後期課程在学大学院生 (数理学府)

2.9.1 博士後期課程 3 年生

伍 耘沛 (WU Yunpei)

A. 研究概要

最近 5 年間の研究は数理統計と機器学習の分野に焦点を当て、以下の内容を中心に展開した。1) 拡散生成モデルの最適化：確率微分方程式 (SDE) を基盤とした線形計算の理論枠組みを提案し、効率的な数値アルゴリズムと生成プロセスの擾乱最適化を通じて、計算効率を大幅に向上させ、生成精度を維持した。2) 確率過程の数値シミュレーション：Student-Lévy 過程のパラメータ推定のための新たな統計推論枠組みを構築し、似然関数ベースの推定法とニューラルネットワークを用いたデータ駆動型アプローチを開発し、推定精度と計算効率を向上させた。

B. 研究業績

1. WU Yunpei, “Parameter estimation and random number generation for student Lévy processes,” *Computational Statistics & Data Analysis*, 2024.

C. 講演

- 2023 年、ANZIAM 2023 (オーストラリア・クイーンズランド大学) にて技術報告「An Operator Analysis Approach for Diffusion Generative Model」を実施。拡散生成モデルの算子解析手法を紹介し、国際的研究者と議論を深めた。
- 2024 年、FMI 2024 (マレーシア) にてポスター発表「An Operator Analysis Approach to Diffusion Generative Models through Stochastic Differential Equations (SDE)」を実施。核手法に基づく算子解析枠組みの改良案や誤差最小化策を議論し、理論・応用面での新たな示唆を得た。

D. その他の研究活動

特になし。

太田 了徳 (OTA Ryotoku)

A. 研究概要

4 次複素一般線型群の既約表現を、4 次複素正方行列全体から 4 次複素一般線型群の表現空間のテンソル積への多項式写像とみなし、像とザリスキ閉包を調べている。2024 年度は、2023 年度の計算結果を基に、像やザリスキ閉包が 4 次複素一般線型群の表現空間のテンソル積内で、どのような部分集合であるかを調べ定理として定式化した。この結果は京都大学数理解析研究所講究録で公開する予定である。今後は、2023 年度の計算結果を基にザリスキ閉包のグレブナー基底に含まれる 3 次以降の同次同重多項式を我々が導入した式を用いて書き直す。さらに、2024 年度の結果と合わせて、像とザリスキ閉包に行列としての特徴づけがあるのかどうかを調べる。

B. 研究業績

1. 太田了徳, 4 次複素一般線型群の既約表現のテンソル積におけるグレブナー基底の特徴, 数理解析研究所講究録 **2280** (2024), pp.46-54.

C. 講演

- 太田了徳, 4 次複素一般線型群の既約表現のテンソル積におけるザリスキ閉包について, 異分野異業種研究交流会 2024, 東京科学大学, 2024 年 10 月 19 日.
- 太田了徳, 4 次複素一般線型群の既約表現のテンソル積空間におけるザリスキ閉包, Computer Algebra - Foundations and Applications RIMS 共同研究 (公開型), 京都大学, 2024 年 12 月 19 日.

3. 太田了徳, 4 次複素一般線型群の既約表現のテンソル積におけるザリスキ閉包, 第 152 回 日本数学会九州支部会, 九州大学, 2025 年 2 月 15 日.
4. Ryotoku OTA, *Computation of a zariski closure using Noether operators*, FMFI2023 産業数学国際フォーラム, 2023 年 8 月 31 日.
5. 太田了徳, 複素一般線型群の既約表現のテンソル積空間におけるグレブナー基底の特徴, 異分野異業種研究交流会 2023, 中央大学, 2023 年 10 月 14 日.
6. 太田了徳, 4 次複素一般線型群の既約表現のテンソル積空間におけるグレブナー基底の特徴, 第 149 回 日本数学会九州支部会, 熊本大学, 2023 年 10 月 29 日.
7. 太田了徳, 4 次複素一般線型群の既約表現のテンソル積空間におけるグレブナー基底の特徴, *Computer Algebra - Foundations and Applications*, 京都大学, 2023 年 12 月 18 日.
8. 太田了徳, ゼロ知識証明を用いた生体認証方式のグレブナー基底 による暗号解読法, 株式会社富士通 富士通研究所 データ&セキュリティ研究所 (オンライン), 2023 年 11 月 1 日

D. その他の研究活動

なし

岡崎 彰良 (OKAZAKI Akira)

A. 研究概要

推定の精度が分析に用いる標本の数に比例する統計的機械学習において, 複数のデータセットを統合することで得られる膨大な標本を活用することは重要である. 複数のデータセットを単一のデータセットへ統合し, 統計モデルの推定を行う場合, データセット固有の特徴を無視することとなるため, 推定精度が悪化する可能性がある. このような状況において, 複数のデータセットそれぞれに対して統計モデルを仮定し, それらの同時推定を行うマルチタスク学習の枠組みを利用することができる. マルチタスク学習では, データセットごとに設定された複数の統計モデルに対して共通した構造と固有の構造を仮定する. これにより, データセット固有の情報を活用しつつ推定精度の改善を行うことができる. 共通した構造がデータセット間に複数存在する状況では, 共通した構造を持つ統計モデルを分類するため, モデルに対するクラスタリングを行うことでマルチタスク学習が実行される. 本研究では, クラスタリングに基づくマルチタスク学習手法の開発を行う. 特に, スパース構造を誘引する正則化を利用したクラスタリング手法に着目し, 高い推定精度を有しながら, 効率的な計算が可能な手法の実現を目指す.

B. 研究業績

1. Okazaki, A., and Kawano, S. (2025). Multi-task learning via robust regularized clustering with non-convex group penalties. *Statistics and Computing*, 35(1), 23.

C. 講演

1. Akira Okazaki, Shuichi Kawano. Multi-task learning regression via robust convex clustering. 2024 Joint Statistical Meetings (JSM2024). 2024 年 8 月 8 日.
2. 岡崎彰良, Luo Rui, 川野秀一. Multi-task learning regression via adaptive smooth signal graph approach. 2024 年度 統計関連学会連合大会. 2024 年 9 月 3 日.
3. 岡崎彰良, Luo Rui, 川野秀一. Multi-task learning via adaptive smooth signal graph. 日本計算機統計学会第 38 回シンポジウム. 2024 年 10 月 26 日.
4. 大住聡太, 岡崎彰良, 川野秀一. 正則化法に基づく応答包絡モデルの変数選択問題. 第 19 回日本統計学会春季集会. 2025 年 3 月 8 日.
5. 三宅純矢, 岡崎彰良, 川野秀一. 非局所スラブ型事前分布に基づくベイズの変数併合. 第 19 回日本統計学会春季集会. 2025 年 3 月 8 日.

D. その他の研究活動

A. 研究概要

まず、2022 年度について述べる。2022 年度の活動は主に修士論文の内容を研究集会で発表することとなった。発表は合計 3 回行い、うち 2 回は招待講演である。発表を重ねることで、プレゼンテーション能力を大いに身に付けることができ、自身の研究を俯瞰的に捉えることができたことと確信している。私の研究対象である楕円 Gauss 和はあまり認知度が不高いため、多くの場で発表できたことは楕円 Gauss 和を広めることにもつながったのではないかと考えている。

また、研究の一助として発表の機会以外にも研究集会にはできる限り多く参加するよう心掛けた。他の研究者と交流する機会が増え、様々な研究者の方からアドバイスや情報を得ることができた。椎井氏と東京電機大学でのセミナーに参加し筑波大学の坂本氏から Euler 系について話を伺うことができた。私が修士課程のときにお世話になった京都大学数理解析研究所の山下剛先生からの提案で楕円 Gauss 和の Euler 系を考える研究を勧められたことがあったので、これからの研究計画を立てる上で非常に参考になった。この研究について、同じく数理学府博士後期課程 2 年の椎井氏と共同で進めていく計画を立てたが、必要知識の膨大さ故、実行に写せていない状況である。

2023 年度には、名城大学の大西良博氏と広島国際大学の西来路文路氏による Gauss 数体上の楕円 Gauss 和が消える必要十分条件を Kummer 型合同式により与えた結果を Eisenstein 数体上に置き換えるという研究を、椎井氏との共同研究で進めた。元論文で形式群が本質的に用いられるが椎井氏にはその形式群や岩澤理論に関する専門的な知識のフォローをしていただこうと考えている。元論文と同様に Kummer 型合同式により楕円 Gauss 和の零性を特徴付けることを最終目標とした。私の修士論文では Eisenstein 数体上の楕円 Gauss 和で 0 にならないものに限定したが、上の研究は修士論文では扱わなかった例外的な場合の考察である。私の修士論文の結果も用いて、元論文に現れる楕円曲線に対応する楕円曲線を決定することができた。また偶然かどうか分かっていないが、この楕円曲線は修士論文で扱ったものと全く同じ形のものである。したがって、今まで行ってきた計算がほぼ同様に適用できるため、さまざまな数論幾何的不変量の計算が容易であると予想できる。これにより、元論文の主定理がどのような主張になるかを具体的に決定することも容易になった。数値実験を繰り返すことで元論文の主定理に対応する定理を確立し、Kummer 型合同式を決定することができた。

また、年度の後半には、Ramanujan–Serre 微分作用素に関する研究を行った。Ramanujan–Serre 微分作用素からくる有理数体上の楕円曲線が、谷山-志村予想により対応する新形式を考えると、すべて η 積になっていることの理論的背景を構築することを目標としたが、未だ達成できていない状況である。現在はこの研究は一旦停止させている。

2024 年度には、Ramanujan の τ 関数の値について研究を行った。Mordell により、判別式関数 Δ が Hecke 固有関数であることが知られ、Deligne の Weil 予想の解決により、 $\tau(p)$ の絶対値が $2p^{11/2}$ で抑えられるということが示された。一方、 τ が 0 に等しくなることはないということを主張する Lehmer 予想は未だ解決に至っていない。Balakrishnan, Ono, Craig, Tsai らは Lehmer 予想の変形版として、 $0 \neq a \in \mathbb{Z}$ に対し、 $\tau(n) = a$ という方程式を考えた。主に絶対が 100 未満の奇素数やその 2 倍であるような a に対して、上の方程式の解がないことが彼らによって示された。

これを踏まえ、私は 1000 未満の奇素数やその 2, 4, 8 倍であるような a に対して、いくつかの例外を除き、 τ -関数の値に成り得ないことを示した。

来年度は、 Δ のみならず、他の Hecke 固有関数について拡張することを目標とする。

B. 研究業績

1. **A. Goto**, “Congruence Relations Connecting Tate–Shafarevich Groups with Bernoulli–Hurwitz Numbers by Elliptic Gauss Sums in Eisenstein Integers Case”, submitted, arXiv:2204.04425.
2. **A. Goto**, “On some values which do not belong to the image of Ramanujan’s tau-function” (2025 年 4 月 26 日受理済み, Archiv der Mathematik に掲載予定).

C. 講演

1. (国内) Congruence Relations Connecting Tate–Shafarevich Groups with Bernoulli–Hurwitz Numbers by Elliptic Gauss Sums in Eisenstein Integers Case, 第 49 回 Friday Tea Time Zoom Seminar, オンライン, 2022 年 5 月 13 日, (招待講演)

2. (国内) Congruence Relations Connecting Tate–Shafarevich Groups with Bernoulli–Hurwitz Numbers by Elliptic Gauss Sums in Eisenstein Integers Case, 第 21 回仙台広島整数論集会, 東北大学, 2022 年 7 月 15 日
3. (国内) Congruence Relations Connecting Tate–Shafarevich Groups with Bernoulli–Hurwitz Numbers by Elliptic Gauss Sums in Eisenstein Integers Case, 2022 大分熊本整数論集会, くまもと県民交流館パレア, 2022 年 9 月 25 日, (招待講演)
4. (国際) On the elliptic Gauss sums, 32èmes Journées Arithmétiques 2023, Nancy, France, 2023 年 7 月 7 日
5. (国内) The conditions of vanishing central value of Hasse–Weil L -function of a certain family of CM elliptic curve in Eisenstein integers case, 第 22 回広島仙台整数論集会, 広島大学, 2023 年 7 月 11 日
6. (国内) Ramanujan – Serre 微分作用素と楕円曲線に関する Kaneko – Sakai の結果について, 第 6 回情報数理論セミナー, 呉工業高等専門学校, 2024 年 1 月 7 日
7. (国内) On some values which do not belong to the image of Ramanujan’s tau function, 愛知数論セミナー, 名城大学, 2024 年 5 月 25 日
8. (国内) On some values which do not belong to the image of Ramanujan’s tau function, 第 23 回広島仙台整数論集会, 東北大学, 2024 年 7 月 11 日

D. その他の研究活動

椎井 亮太 (SHII Ryota)

A. 研究概要

私の研究目的は, 「楕円曲線の解析的対象である Hasse–Weil L -関数の特殊値と代数的対象である Mordell–Weil 群や Tate–Shafarevich 群, Selmer 群との関係を調べること」である. これはミレニアム問題の 1 つである “Birch and Swinnerton-Dyer 予想 (BSD 予想)” に関連した研究である. そのような研究の手法の 1 つとして, p -進的なアプローチである岩澤理論を主に扱っている. 惰性的素数における反円分岩澤理論において, 「符号付き Selmer 群に指数有限な Λ -部分加群が存在しない」という結果とそこから得られる BSD 予想の p -部分についての結果が得られた. また, この結果の応用として, Mazur–Tate の “弱い” 予想の反円分類似を証明することができた. さらに, 岩澤理論とは別のアプローチとして, 野本慶一郎氏、足立大雅氏と共に, ツイストされた楕円曲線の L -関数の特殊値の代数的部分を 2 進付値で評価するという研究を行い, プレプリントとしての発表とジャーナルへの投稿を行った.

B. 研究業績

1. R. Shii. On Λ -submodules with finite index of the plus/minus Selmer group over anticyclotomic $\mathbf{Z}_p$ -extension at inert primes. Annales mathématiques du Québec. (2025)
2. T. Adachi, K. Nomoto, R. Shii. The 2-adic valuations of the algebraic central L -values for quadratic twists of weight 2 newforms. arXiv:2403.11474.
3. R. Shii. On the Mazur–Tate refined conjecture for the anticyclotomic tower at inert primes. arXiv:2503.09034.

C. 講演

1. 惰性的素数における反円分 $\mathbf{Z}_p$ -拡大上の plus/minus Selmer 群の指数有限 Λ -部分加群について, 九州代数的整数論 2023.
2. On non-trivial Λ -submodules with finite index of the plus/minus Selmer group over anticyclotomic $\mathbf{Z}_p$ -extension at inert primes, 第 22 回広島仙台整数論集会.
3. On non-trivial Λ -submodules with finite index of the plus/minus Selmer group over anticyclotomic $\mathbf{Z}_p$ -extension at inert primes, Mini-workshop for young number theorists.
4. On non-trivial Λ -submodules with finite index of the plus/minus Selmer group over anticyclotomic $\mathbf{Z}_p$ -extension at inert primes, 第 19 回北陸数論研究集会. (ポスター発表)
5. 惰性的素数における反円分 $\mathbf{Z}_p$ -拡大上の plus/minus Selmer 群の指数有限 Λ -部分加群について, 第 6 回 情報数理論セミナー. (招待講演)

6. On non-trivial Λ -submodules with finite index of the plus/minus Selmer group over anticyclotomic $\mathbf{Z}_p$ -extension at inert primes, 第 20 回数学総合若手研究会.
7. On the Mazur–Tate refined conjecture for the anticyclotomic tower at inert primes, 津田塾大学整数論ワークショップ 2024, 2024 年 11 月.

D. その他の研究活動

1. 九州代数的整数論 2024, 世話人.
2. 九州代数的整数論 2025, 世話人.

重信 賢直 (SHIGENOBU Takasugu)

A. 研究概要

離散最適化の研究として、整数線形不等式系 (ILS) の遷移問題に関する研究を行った。本研究では 2021 年の K. Kimura と A. Suzuki による ILS の遷移問題に関する論文 “Trichotomy for the reconfiguration problem of integer linear systems.” の結果より着想を得た問題について考えた。特に、(i) Horn ILS 及び TVPI ILS の遷移可能性問題における多項式時間アルゴリズムの拡張に関する研究と、(ii) ILS の解グラフが連結グラフとなる条件に関する研究を行った。(i) Horn ILS 及び TVPI ILS の遷移可能性問題における多項式時間アルゴリズムの拡張に関する研究では、それぞれ不等式系における係数の範囲の拡張が可能であることを証明し、その結果を 2022 年 3 月 9 日に行われた組合せ遷移の学生シンポジウムで発表した。(ii) ILS の解グラフが連結グラフとなる条件に関する研究では、ILS における行列のサイズによって、行列が Elimination Ordering を持つことが ILS の解グラフが常に連結であることの必要条件になっているという結果を得た。この結果について、COCOAS23 で発表を行った。特に ILS の解グラフが常に連結であることの必要条件について、行列が特定の符号パターンを持つことではないかと予想し証明を構成した。小さい行列のサイズにおいてこれが十分条件になっていることを証明し、Elimination Ordering が必要十分条件となっている行列のサイズよりも真に大きいことを証明した。

B. 研究業績

1. Shigenobu, T., Kamiyama, N.: On connectedness of solutions to integer linear systems. In: Wu, W., Guo, J. (eds.) Combinatorial Optimization and Applications. pp.421 – 433. Springer Nature Switzerland, Cham (2024).

C. 講演

1. 重信賢直、神山直之、木村慧：多項式時間可解な Horn ILS 及び TVPIILS における遷移問題の拡張に関する研究「組合せ遷移」の学生シンポジウム、オンライン、3 月 9 日、2022。
2. 重信賢直、神山直之：ILS における解グラフの連結性に関する研究九州支部 OR 若手研究交流会、福岡、10 月 29 日、2022。
3. 重信賢直、神山直之：ILS 解グラフの連結性の行列のサイズによる分類九州支部 OR 若手研究交流会、福岡、10 月 28-29 日、2023。
4. 重信賢直、神山直之：ILS における解グラフの連結性の行列のサイズによる分類異分野異業種研究交流会 2023、東京、10 月 14 日、2023。
5. Shigenobu, T., Kamiyama, N.: On Connectivity of Solutions to Integer Linear Systems. Forum “Math-for-Industry”, Fukuoka, Japan, August 29-September 1, 2023.
6. Shigenobu, T., Kamiyama, N.: On connectedness of solutions to integer linear systems. The 16th Annual International Conference on Combinatorial Optimization and Applications, Honolulu, Hawaii, USA, December 15-17, 2023.

D. その他の研究活動

A. 研究概要

量子リーマン構造を持つ量子群上の、 q -ラプラス作用素に対する熱方程式について、(1) q -熱方程式の解、(2) 対称性、(3) q -差分方程式としての解析接続、を計算する。研究目的は、 q -ラプラス作用素の調和解析を考察し、量子群上の q -熱方程式の (1),(2),(3) を計算し、リー代数の対称対の q -変形として得られる量子対称対と、量子団代数による解釈が進む量子群の表現という、独立に発展した二つの理論を量子リーマン幾何の視点から理解することである。研究背景にある問題として、物理学の実効的な定義のコピーである量子リーマン幾何の道具が量子群の幾何の観点から考察段階であること、生成元と関係式から定義される量子群を「座標」によらない「多様体」の構造に基づき把握する課題、に注目する。これらの問題に対し、量子群の表現の「座標」によらない概念である標準基底を用いて座標環に支配ウェイトのフィルトレーションを入れる手法を参照し、 q -差分方程式の導入が部分的解決の状況証拠となることを明らかにする。ただし、有限型の量子対称対に対しこのように構成された複素数体上のフィルトレーション入り座標環は、余イデアル部分代数上の integrable 加群と一致する。

B. 研究業績

1. M. Shimada, A theta inversion relation in Riemann-type Jorgenson–Lang’s program on a systematic construction of zeta-type functions from the heat kernel on $SL(n, \mathbb{C})$ (submitted)

C. 講演

1. 嶋田 将史, Riemannian structures of quantum groups accompanied by quantum symmetric pairs, AL-TReT2024, 熊本県南阿蘇休暇村, 2024 年 5 月
2. 嶋田将史, The heat kernel on $SL(2)$ for the Laplace–Beltrami operator, 表現論と調和解析のひろがり, RIMS, 2024 年 6 月
3. 嶋田 将史, Spherical functions in an integrable bi-submodule over a quantum symmetric pair coideal subalgebra and geometry on quantum groups, クラスター代数と可積分系, 大阪公立大学, 2024 年 9 月
4. 嶋田 将史, $SL(2, \mathbb{R})$ 上の Laplace–Beltrami 作用素の行列式, 表現論シンポジウム 2024, 大阪公立大学文化交流センター, 2024 年 11 月
5. 嶋田 将史, A theta relation in a general path to a zeta-type function associated with the heat kernel on a symmetric space, 第 152 回 日本数学会九州支部例会, 九州大学, 2025 年 2 月

D. その他の研究活動

孫 荐博 (SUN Jianbo)

A. 研究概要

In the fall semester of 2024, I am interested in are relation ship of modular form and multiple zeta values. Kaneko and Tsumura define T -values, which is the level 2 analogue of multiple zeta value. And we also have Sum formula for double T -values. For $T(r, s) = \sum_{m: \text{ even}, n: \text{ odd}} \frac{4}{m^r n^s}$, $r \geq 2$ and $s \geq 1$, we have

$$\sum_{i=1}^{k-2} 2^{k-i-1} T(k-i, i) = (k-1)T(k).$$

We want to generalize the theorem to the double Eisenstein series of level 2. We prove the following theorem:

Theorem (Sum formula for double Eisenstein series of level 2)

$$\sum_{i=1}^{k-2} 2^{k-i} G_{k-i, i}^{\text{eo}}(\tau) = (k-1)G_k^{\text{o}}(\tau).$$

where the double Eisenstein series of level 2 is define as:

$$G_{r,s}^{\text{eo}}(\tau) := (2\pi i)^{-r-s} \sum_{\substack{\lambda > \mu > 0 \\ \lambda \in \text{ev} \cdot \tau + \text{ev} \\ \mu \in \text{ev} \tau + \text{od}}} \frac{1}{\lambda^r \mu^s} \quad (r \geq 3, s \geq 2).$$

$$G_k^{\text{o}}(\tau) := (2\pi i)^{-k} \sum_{\substack{\lambda > 0 \\ \lambda \in \text{ev} \cdot \tau + \text{od}}} \frac{1}{\lambda^k}.$$

B. 研究業績

C. 講演

1. *Multiple zeta values, the variants and connections to modular Forms*. Multiple zeta values and L -function 2024, June 2024, Anhui normal university, Wuhu.
2. *Sum Formula for Double Eisenstein Series*, 2nd Kindai Workshop on Multiple Zeta Values and Modular Forms, Nov 2024, Kindai University, Osaka.
3. *Relations Among Double Eisenstein Series of Level Two*, Kyushu Algebraic Number Theory 2025, Mar 2025, Kyushu University, Fukuoka.
4. *The Combinatorial Proof of Relations Among Double Eisenstein Series of Level Two*, The 18th Young Mathematicians Conference on Zeta Functions, Mar 2025, Tohoku University, Sendai.
5. *The Combinatorial Proof of Relations Among Double Eisenstein Series of Level Two*, Combinatorial Number Theory And Connected Topics IV, Mar 2025, Ahmedabad University, Online.

D. その他の研究活動

エランデ ウダヤンガー ダルマシリ (DHARMASIRI Erandi Udayanga)

A. 研究概要

Hankel matrices of integer sequences and their determinants have recently become popular among researchers in Number Theory. We study how the solution of the elliptic sequence can be expressed by means of the Hankel determinants. We can show that the Hankel determinants of a generalized Catalan sequence satisfy the equations of the elliptic sequence. As a consequence, the coordinates of the multiples of an arbitrary point on the elliptic curve can be expressed by the Hankel determinants.

We can study the families of generalized Catalan numbers with three parameters following Paul Barry. Following his research work, we also can formulate another representation of Generalized Catalan sequence with three parameters. we refer this sequence as the (a,b,c) -Catalan sequence as three parameters a,b,c being the first three terms of the sequence, and on the other hand the so-called Catalan numbers may be retrieved from the $(1,1,2)$ -Catalan sequence. In this work we use the elements of the (a,b,c) -Catalan sequence for the Hankel determinants. And then we can define a sequence in terms of Hankel determinants whose elements are the (a,b,c) -Catalan numbers. The interesting thing is that the sequence defined above satisfies a kind of elliptic sequence. In other words, we can show that the Hankel determinants of a generalized Catalan sequence satisfy the equations of the elliptic sequence. On the other hand the sequence defined directly possess a explicit formulae for the elliptic sequence by means of the Hankel determinants. The formulae are being expected to contribute to enumeration in combinatorics or algorithmic number theory through elliptic curves because determinants have linear algebraic structure behind them.

B. 研究業績

1. K.G.E.U. Dharmasiri, Resultants and discriminant of division polynomials for elliptic curves (Master Thesis)

2. K.G.E.U. Dharmasiri, Resultants and discriminant of division polynomials for elliptic curves, The preceding of the 16th research meeting of women in Number Theory in Japan (WINJ2023)

C. 講演

1. Resultants and discriminant of division polynomials for elliptic curves (Master thesis presentation), 2022.02.04
2. Resultants and discriminant of division polynomials for elliptic curves, The 16th research meeting of women in Number Theory in Japan (WINJ2023), 2023.06.10

D. その他の研究活動

床波 航 (TOKONAMI Wataru)

A. 研究概要

私はこれまで超幾何関数の勉強、CG についての調査、プログラミング、球面調和関数の勉強、データ解析を進めてきた。

(1) 超幾何関数の勉強については原岡喜重『超幾何関数』(すうがくの風景) 朝倉書店、2002 を中心に読み進め、他にも同じく原岡喜重著の『アクセサリパラメーターとモノドロミー 概説』、『大域解析可能な Fuchs 型方程式論説』などを参考に勉強を進めた。具体的には超幾何関数の合流をまとめたり、級数展開から得られる超幾何関数の例である GKZ 超幾何関数についてまとめた。

(2) CG についての調査は、主にレンダリングについて調査し球面調和関数を用いた手法について勉強した。主にレンダリング方程式の計算手法の1つである PRT 法を用いた計算手法について調査、勉強を行った。

(3) 球面調和関数を勉強するにあたって、まずは野村隆昭『球面調和函数と群の表現』日本評論社、2018 を中心に読み進めた。ここでは球面調和関数の定義やこの関数から派生して得られる球面帯調和関数の導出、そしてこの球面帯調和関数と超幾何関数の関係について勉強した。他には球面調和関数のレンダリングへの応用の仕方などを調査した。具体的には『イメージベーストライティングを用いた高速レンダリング』、『球近似と符号付き球面調和関数による動的シーンのリアルタイムレンダリング』などの資料を読み球面調和関数がどのようにレンダリングに応用されるのか調査した。

(4) プログラミングについては 2023 年に住友電装のインターンシップを行なった際、Python を用いて数理モデルを構築する時に勉強した。具体的には簡単な割り当て問題を数理モデルを作って解く、ナーススケジューリング問題を例に定式化の手法を学び現実の割り当て問題の定式化を行い数理モデルを構築するといったことを行った。

(5) データ解析については 2024 年度に「G-RIPSSendai」というプロジェクトに参加して東北大学で約二ヶ月間インターンシップを行った。その中で IHI 株式会社様が提案したテーマ「地球温暖化への対策および持続可能な食糧供給のためのレジリエントな水管理モデリング」に取り組んだ。このプロジェクトでは一つのテーマに対して五人グループで取り組み、英語で意見交換を行った。このインターンシップでデータクリーニングの手法や機械学習の手法を学んだ。具体的には与えられた水分データのクリーニングを行うために欠損値の補完の方法、スムージングの手法を学び、河川におけるゲート開閉の要因を「水不足」「水過剰」「計画り」の三つに分類し、それを元に機械学習を用いてゲート操作のタイミングの特定と要因の分類を行う数理モデルを構築した。この過程で私はニューラルネットワークを用いてゲート操作のタイミングとその要因ごとの分類を行う数理モデルを構築した。時系列データを分割し、分割した時系列データをラベリングして学習させることで分類タスクを行うニューラルネットワークを構築した。

B. 研究業績

1. Mayu Ishikawa, Ochanomizu University. Takehiro Matsumoto, Tohoku University. Kristina Moen, Colorado State University. Alaina Stockdill, University of California Davis. Wataru Tokonami, Kyushu University 「Resilient water management against global warming and for sustainable food supply」、Preprint

C. 講演

1. Mayu Ishikawa, Takehiro Matsumoto, Kristina Moen, Alaina Stockdill, Wataru Tokonami 「Resilient water management modeling against global warming and for sustainable food supply」、G-RIPS 2024（令和6年8月7日）

D. その他の研究活動

Edoardo Fabbrini

A. The outline of your research

My research focuses on the mathematical modeling, analysis, and numerical simulation of defective elastic materials (that is, materials whose crystalline structure contains lattice defects such as disclinations and dislocations) in both linear and non-linear regimes. In the linear regime, I investigate regularized models for two-dimensional elastic bodies under plane-strain conditions, incorporating both types of lattice defects. In the non-linear regime, I employ tools from mathematical analysis and the calculus of variations to study non-classical Föppl – von Kármán equations modeling thin elastic membranes with wedge disclinations. To complement the theoretical work, I use an in-house developed numerical solver for fourth-order partial differential equations, based on the Discontinuous Galerkin Finite Element Method.

As part of a collaborative research group between the IMI and I²CNER departments in Kyushu University, I developed a computational platform for the exploration of chemical space for various types of Diarylethene. Starting from a minimal initial set of parent molecules, the platform employs a generative algorithm to efficiently explore the chemical space, selecting the most promising offspring, and leading to the optimization of desired molecular properties. The platform is built to be fully modular and run without human interaction. Molecular properties are either computed using high-fidelity models (Density Functional Theory) or using faster machine learning surrogate models trained for the case at hand. Key features of the platform include the ability to restrict exploration to symmetric molecules, filter out clearly unstable structures, and limit the maximum number of mutations a molecule can undergo. Together, these constraints are specifically designed to ensure that the generated molecules are, not only theoretically promising, but also practically synthesizable in the laboratory.

B. Papers and Books

1. E. Fabbrini, Linh Thi Hoai Nguyen, Y. Fukumoto, Yu Kaneko, P. Cesana. Automatized Platform for Bandgap Optimization in Diarylethene Derivatives via Structural Substitutions. *International Journal of Quantum Chemistry*. (status: accepted)
2. E. Fabbrini, A. A. Leòn Baldelli, P. Cesana. Kinematically incompatible Föppl-von Kármán plates: analysis and numerics. *Applied Mathematical Modelling*. (status: in revision)
3. P. Cesana, E. Fabbrini, M. Morandotti. Variational formulation of planar linearized elasticity with incompatible kinematics. *Journal of Elasticity*. (status: submitted)

C. Talks

1. Aeroelasticity of Helicopter Rotors in Axial Flight through BEM for Compressible Flows in Frequency Domain. ANZIAM. Cairns, Queensland, Australia. 5/02/2023.
2. Energy scaling factors of systems of disclinations in a periodic infinite bidimensional material. Forum Math-for-Industry 2023. Kyushu University, Nishijin Plaza, Fukuoka, Japan. 2023/8/31.

3. Finite Element Analysis of Kinematically In compatible Von Kármán Plates. Ajou Kyushu NIMS joint workshop on Industrial and Applied Mathematics. Suwon, South Korea. 28/09/2024
4. Modeling, Analysis and Finite Element Simulations of Kinematically Incompatible von Kármán Plates. Séminaire mécanique des solides. Institute Jean le Rond d'Alembert. 19/11/2024.
5. Modeling, Analysis and Finite Element Simulations of Kinematically Incompatible von Kármán Plates. Seminario congiunto di Analisi Matematica. Politecnico di Torino. 4/12/2024.
6. Modelling, analysis and finite element simulations of kinematically incompatible von Kármán plates. ANZIAM. Australia, Coffs Harbour. 03/02/2025.
7. Modelling, analysis and finite element simulations of kinematically incompatible von Kármán plates. RNL. France, Paris. 26/03/2025.

D. Other scientific activities

8. MISG Study Group, Monash University, Melbourne, Australia. From January 30th to February 3rd 2023.
9. SWG Study Group, Kyushu University, Fukuoka, Japan. From July 26th to August 1st 2023.
10. Ajou-Kyushu Summer School on Applied Mathematics, Kyushu University, Fukuoka, Japan. From July 2nd to July 12th 2024.
11. MISG Study Group, Monash University, Melbourne, Australia. From February 10th to February 14th 2025.

吉田 明広 (YOSHIDA Akihiro)

A. 研究概要

数値最適化・グラフ理論・機械学習などを組み合わせて実課題に対して数値モデルの構築及びソフトウェアを実装する研究を行っている。現在はLP ガス配送業者のガスボンベ交換計画立案を対象としている。LP ガス業者は、顧客を定期的に訪問し、メーターを目視でガス残量を確認し、必要に応じてボンベ交換を行なっている。従来のメーターでは、ガス残量を確認するために頻繁に訪れる必要があり、膨大なコストを要していた。本研究では、スマートメーターを一定数の家庭に設置し、日単位で訪問せずにガス残量が把握できる状態でのガスボンベ交換計画の策定を対象とする。大きく分けて、1. ガスボンベ交換日の見積もり、2. 配送顧客リストの取得、3. 配送ルートの決定の3ステップでアプローチをする。1. ガスボンベ交換日の見積もりにおいては、機械学習を用いた直近のガス使用量の予測を行い、需要予測の誤差を考慮して、顧客を配送緊急度に応じて3レベルに分類する。2. 配送顧客リストの取得においては、効率的な顧客リストの取得を顧客を囲う小さい矩形を抽出する問題として見做し混合整数計画法による定式化・求解を行った。3. 配送ルートの決定においては、配送員や顧客の許容時間制約がある元での配送員の総労働時間を最小にする問題として混合整数計画法による定式化・求解を行った。千葉県にて1,000顧客以上を対象にしたフィールドテストを実施し、提案手法の有用性を確認している。また、ガスボンベ交換計画の立案に関して、組合せ最適化と機械学習を組合せた発見的解法に関して研究を行っている。

B. 研究業績

1. Akihiro Yoshida, Haruki Sato, Shiori Uchiumi, Nariaki Tateiwa, Daisuke Kataoka, Akira Tanaka, Nozomi Hata, Yousuke Yatsushiro, Ayano Ide, Hiroki Ishikura, Shingo Egi, Miyu Fuji, Hiroki Kai and Katsuki Fujisawa, Comprehensive and practical optimal delivery planning system for replacing liquefied petroleum gas cylinders, Japan Journal of Industrial and Applied Mathematics, Volume 42, pages 21 – 61, 2025, <https://doi.org/10.1007/s13160-024-00664-4>

C. 講演

1. Akihiro Yoshida, Demand Forecasting of the Daily Usage of Liquefied Petroleum Gas with an Imbalance in

Data Acquisition Frequency, The 5th ZIB-RIKEN-IMI-ISM MODAL Workshop on Optimization, Data Analysis and HPC in AI, Online, 27th to 30th September, 2021.

2. Akihiro Yoshida, Long-Term Optimal Delivery Planning for Replacing the Liquefied Petroleum Gas Cylinder, The 5th ZIB-RIKEN-IMI-ISM MODAL Workshop on Optimization, Data Analysis and HPC in AI, Online, 27th to 30th September, 2021.

D. その他の研究活動

2.9.2 博士後期課程 2 年生

吳 淵亭 (WU Yuanting)

A. 研究概要

My research primarily focuses on Riemannian geometry and optimal transport theory on graphs. Riemannian geometry provides a theoretical framework for measuring geometric properties in non-Euclidean spaces, which is particularly meaningful for the study of discrete structures such as graphs. However, applying geometric tools from continuous spaces to discrete objects poses several challenges, and this area of research is still under active development.

I began my investigation with the concept of Ricci curvature on graphs and have completed a related study. In this work, I proposed a novel method for approximating the Wasserstein distance based on the heat kernel process and introduced several new definitions of discrete Ricci curvature, which are yet to be thoroughly validated. My future work will focus on exploring the geometric properties and behaviors of these new definitions, aiming to better integrate tools from continuous Riemannian geometry with graph-theoretical analysis.

Beyond my main research topic, I am also exploring practical applications of discrete Ricci curvature. For instance, in collaboration with my advisor, Prof. Nguyen Dinh Hoa, I have examined how Ricci curvature can be used to analyze power grid networks. In addition, my research interests extend to deep learning and artificial intelligence. I have participated in two academic conferences with related works, and I plan to further pursue edge computing in deep learning, aiming to deploy efficient algorithmic models on unmanned aerial vehicle (UAV) systems.

B. 研究業績

1. Wu Yuanting, Nguyen Dinh Hoa. "Heat-kernel-based Approximated Wasserstein Distance and Ricci Curvature Methods for Community Detection". (Under Review)

2. Huang Sida, Wu Yuanting, Nguyen Dinh Hoa. "Deep Learning Based Solar Cell Recognition for Optical Wireless Power Transfer". International Council on Electrical Engineering Conference 2024 (ICEE2024), Kitakyushu, Japan, 2024/06/30 07/04

3. Wu Yuanting, Nguyen Dinh Hoa. "A commutative fusion method for Transformers based on Optimal Transport". Forum Mathematics for Industry 2024 (FMI2024), Kuala Lumpur, Malaysia, 2024/09/09 09/11

C. 講演

D. その他の研究活動

2.9.3 博士後期課程 1 年生

麻生 恵太 (ASO Keita)

A. 研究概要

超平面配置の、特にグラフ配置と strictly plus-one generated arrangement との関係について研究を行なった。超平面配置とは ℓ 次元のベクトル空間に貼られた $\ell - 1$ 次元の超平面の有限集合であり、グラフ配置とはグラフから定義される超平面配置である。超平面配置には自由配置と呼ばれるクラスがあり、超平面配置の研究における重要な対象の一つとなっている。その自由性に近い性質として導入されたのが strictly plus-one generated である。グラフ配置が自由配置であることと、そのグラフがコーダルであることが必要十分であることは既に知られているが、グラフ配置が strictly plus-one generated であることの必要十分条件が何であるかはまだ知られていない。私は、修士論文で研究対象とした、どのようなグラフ配置が strictly plus-one generated であるかという考察を発展させ、グラフ配置が strictly plus-one generated であることの必要十分条件を発見した。現在は、論文投稿に向けて執筆を行なっている最中である。

B. 研究業績

C. 講演

D. その他の研究活動

喜納 勝海 (KINA Katsumi)

A. 研究概要

修士論文に引き続き、二重ゼータ値のモジュラー現象についての研究を行った。形式的、解析的にレベル付き二重ゼータ値の成す空間にモジュラー形式が埋め込めることを示し、それにより次元の上限を与えた。

B. 研究業績

1. Double Eisenstein series and modular forms of level 4, 2024, The Ramanujan Journal, 65(4):1651-1696, DOI: 10.1007/s11139-024-00954-y.

C. 講演

1. Properties of Formal Double Zeta Values of Level N, 2nd Kindai Workshop Multiple Zeta Values and Modular Forms, 口頭発表 (招待講演、英語), 2024/11/10
2. Modular Phenomenon of Double Zeta Values of Some Levels, 名古屋月例報告会, 口頭発表 (招待講演), 2025/1/23

D. その他の研究活動

K2-Spring の量子ユニットにおいて、モジュラーフレーバー物理に関する研究を進めた。

相良 博喜 (SAGARA Hiroki)

A. 研究概要

本年度は生存時間解析に注力し、以下の研究を行った。まず、競合リスク下での生存時間解析において介入効果の

異質性を推定するため、M-Learner を競合リスク対応に拡張した。また、Fine – Gray サブディストリビューションハザードモデルにおける IPCW 法を理論的に検証し、実装上の課題と方針を整理した。次に、回帰係数が時間変動する生存時間モデルを構築し、Polya – Gamma データ拡張を用いたギブスサンプリングによるベイズ推定法を検討した。更に、時系列回帰係数に対し Fused Lasso 正則化を導入し、ギブスサンプリングベースの MCMC アルゴリズムを構築した。加えて、 $\lambda_1 \cdot \lambda_2$ の正則化パラメータ調整による正則化パス分析を実施し、モデルの解釈性向上と過学習抑制効果を確認した。今後は階層構造によるランダム効果をモデルに取り込み、性能評価を進める予定である。

B. 研究業績

C. 講演

D. その他の研究活動

韓 松林 (HAN Songlin)

A. 研究概要

We've studied a smooth weighted prime number theorem. We proved the new form of the prime number theorem, and then considered the correlation between the error term of smooth weighted prime number theorem and the zero-free region of the Riemann zeta function. Our new theory can be applied to the 'average number of Goldbach representations' problem. The preprint paper on this study is expected to be published next year (2025).

B. 研究業績

None.

C. 講演

1. 「Selberg の篩のアイディア」八王子数論セミナー

D. その他の研究活動

We are interested in the sieve methods, in particular sieves may solve the twin prime conjecture. But we are still trying to find a breakthrough. Also, we've started joint research on the noise of Fama-French-3/5 model. We expect that the noise can be reduced to a certain extent by using the Doc2Vec/Word2Vec. A python code will be upload to the GitHub soon.

引間 泰成 (HIKIMA Yasunari)

A. 研究概要

機械学習を用いた数理最適化手法に関する研究に取り組んでいる。まず、多目的最適化問題に対する最適解集合 (パレートセット/フロント) を近似するための超曲面モデルを求めるためのアルゴリズムについて研究しており、その成果が査読付き国際会議である AISTATS および査読付き国際雑誌 TMLR に採択された [業績 2,3]。また、データ駆動型の意思決定を支援するためのパラダイムとして近年盛んに研究され始めている Decision-Focused Learning に関する研究を行っており、その成果が査読付き国際会議である IJCAI に採択された [業績 4]。さらに、量子機械学習に関する研究にも取り組んでおり、古典的な bandit 手法を量子アルゴリズムを用いて高速化することを目的とした研究が査読付き国際会議である UAI に採択された [業績 1]。

B. 研究業績

1. Hikima, Y., Murao, K., Takemori, S., & Umeda, Y. (2024, July). Quantum Kernelized Bandits. In The 40th Conference on Uncertainty in Artificial Intelligence.
2. Hikima, Y., Kobayashi, K., Tanaka, A., Sannai, A., & Hamada, N. (2025, April). Stochastic Gradient Descent for Bézier Simplex Representation of Pareto Set in Multi-Objective Optimization. In The 28th International Conference on Artificial Intelligence and Statistics.
3. Sannai, A., Hikima, Y., Kobayashi, K., Tanaka, A., & Hamada, N. (2025). Bézier Flow: a Surface-wise Gradient Descent Method for Multi-objective Optimization. Transactions on Machine Learning Research, 2835-8856.
4. Hikima & Y., Kamiyama, N. (2025). An Inverse Optimization Approach to Predict-then-Optimize. In The 34th International Joint Conference on Artificial Intelligence.

C. 講演

1. 引間泰成, 神山直之「Predict-then-Optimize に対する逆最適化アプローチ」. 第 27 回情報論的学習理論ワークショップ (IBIS2024), ソニックシティ (さいたま). 2024 年 11 月.

D. その他の研究活動

特になし.

藤井 昭徳 (FUJII Akinori)

A. 研究概要

- 2023 年度 (一昨年度) では岩澤理論の研究を行い, その結果を修士論文として提出した. 具体的な内容としては, 非可換 Lichtenbaum 予想において特定の非可換群を Galois 群に持つ場合では予想が正しいことを, 名城大学の許斐氏の手法をもとにして証明を行った.
- 2024 年度では 2023 年度とは変わり多重ゼータ値の研究に方向転換をした. 現時点では正標数の多重ゼータ値の研究を行いたいと考えており, 関連論文を読んで勉強している途中である. また, 2025 年 2 月に福岡で行われた研究集会「Developments of multiple zeta values」にて, 正標数の多重ゼータ値を研究している東北大学の三柴氏と原田氏 (現 東京理科大学助教) からアドバイスを貰い, 今後の研究の方向性をあらかじめ決めることができたと考えている. また, 修士論文の結果を Journal に投稿する準備を行った. こちらは 2025 年度中に投稿予定である.

B. 研究業績

1. On the special values of Artin L -functions for semidirect product extensions of order pq , preprint. (2025 年度内で Journal に投稿予定)

C. 講演

D. その他の研究活動

吉川 剛平 (YOSHIKAWA Kohei)

A. 研究概要

データをもとに原因と結果の結びつき（因果関係）の有無や、その強さ（因果効果）を推論する統計的因果推論に関する研究を行っている。近年では、特に、以下の研究に取り組んでいる。

(1) 類似する処置の統合に関する研究。

原因に対応する処置変数の取りうる値の種類が増えると、因果効果の解釈性が低下し、特定の処置の割り当てが極端に少ない場合には正值性違反や推定の不安定化が生じやすくなる。そこで本研究では、処置割り当て確率を表す傾向スコア関数を用い、類似した処置を統合する新たな方法論を提案した。現在は、より一般的な状況下での処置統合に関する理論的検討を進めている。

(2) 未観測処置バージョンの推定に関する研究。

安定単位処置値仮定（SUTVA）のもとで問題となる「multiple-versions of treatment」に着目し、各処置に含まれるバージョン構造を潜在変数モデルを用いて明らかにする手法を検討している。従来手法では周辺化されていたバージョンごとの効果を、個別に推定できるようにし、因果効果のより詳細な解釈を可能にすることを目指している。

B. 研究業績

C. 講演

1. 吉川剛平, 川野秀一. 傾向スコア関数を用いた類似する処置の統合と因果効果推定. 第 27 回情報論的学習理論ワークショップ (IBIS2024). 2024 年 11 月 5 日.
2. 奥田忠久, 吉川剛平, 川野秀一, 田栗正隆. 経路 lasso による共変量選択と平均処置効果の推定. 2024 年度日本分類学会シンポジウム. 2024 年 11 月 30 日.

D. その他の研究活動

2.10 博士後期課程在学大学院生（連係学府数理学系）

2.10.1 博士後期課程 3 年生

隈部 哲 (KUMABE Satoshi)

A. 研究概要

代数多様体から得られる整数論的に重要な量と超幾何関数との関係について研究を行っている。特に超幾何関数の有限体における類似の研究やゼータ関数, L 関数の超幾何関数論的な手法による研究を行っている。

B. 研究業績

1. S. KUmabe, Dwork hypersurfaces of degree six and Greene's hypergeometric function, Hiroshima Math. J. 52 (3), 287-310
2. R. Ito, S. Kumabe, A. Nakagawa, Y. Nemoto, Kampé de Fériet hypergeometric functions over finite fields, Research in Number Theory, Volume 9, article number 52. (2023)
3. S. Kumabe, H.Saad, On matrices arising in finite field hypergeometric functions, Bulletin of the Australian Mathematical Society, Volume 110, Issue 3, (2024), pp. 421 - 426

C. 講演

1. Dwork hypersurfaces of degree six and Greene's finite field hypergeometric function, 第 19 回仙台広島整数論集会 2020 年 9 月 10 日
2. 6 次の Dwork 超曲面と Greene の超幾何関数, 第 144 回日本数学会九州支部例会 2021 年 2 月 13 日~19 日
3. 6 次の Dwork 超曲面と Greene の超幾何関数, 九州代数的整数論 2021 春 hybrid 2021 年 3 月 9 日
4. 6 次の Dwork 超曲面と Greene の超幾何関数, 日本数学会 2021 年度年会 3 月 18 日
5. Appell の超幾何関数の Supercongruence, 日本数学会 2022 年度秋季分科会 2022 年 9 月 16 日
6. 有限体上の Dwork 超曲面と Greene の超幾何関数, 仙台超幾何小集会 2023 年 1 月 17 日
7. Supercongruences for the Appell functions and elliptic curves with complex multiplication, 第 22 回広島仙台整数論集会 2023 年 7 月 12 日
8. Supercongruences for the Appell functions, University of Virginia, Ramanujan-Serre seminar (Number Theory) 2023 年 10 月 27 日

D. その他の研究活動

楊 曼 (YANG Man)

A. The outline of your research

The objective of my research this year is to investigate the influence of lower-order terms on the convergence rates in the stochastic homogenization of elliptic equations under the spectral gap assumption. While lower-order terms are often considered to have little impact, our study shows that their effects depend on the domain setting.

In an unbounded domain, lower-order terms significantly reduce the convergence rate compared to the case without them. On the other hand, in a bounded domain, the convergence rate remains unchanged, as the influence of the boundary is stronger than that of the lower-order terms.

To analyze these effects, we introduce a localization technique that divides the domain into small grids. This method enables precise estimates by leveraging fundamental mathematical inequalities. Through this study, we

aim to provide a deeper understanding of stochastic homogenization with lower-order terms and refine existing analytical approaches for estimating convergence rates.

B. Papers and Books

1. Stochastic Homogenization of Parabolic Equations with Lower-order Terms. To appear in *Kyushu Journal of Mathematics*.
2. Influence of Lower-Order Terms on the Convergence Rates in Stochastic Homogenization of Elliptic Equations. (Preprint)
3. The Hardy Z-Function and Algebraic Differential Equations. (Preprint)

C. Talks

1. 2022 Younger Summer Seminar
2. Forum Mathematics for Industry 2022
3. The 20th Symposium Stochastic Analysis on Large Scale Interacting Systems
4. SPDE-Seminar TU Berlin 2023/12/14
5. Probability Symposium 2024

D. Other scientific activities

1. 3rd International Workshop on Education and Research for Future Electronics
2. Illinois University—Numbers and Theorems
3. WIS 2023

吉田 航 (YOSHIDA Wataru)

A. 研究概要

時系列データに状態空間モデルを適用することで様々な予測が可能である。しかし、特にデータの次元が大きい場合に計算コストの問題が生じる。そこで、高速なパラメータ推定法やモデル選択法を構築することで、実用に耐えうるほど高速であり、かつ良い精度を持つ予測の実現を目指す。また、モデル選択が不安定な状況での効果的な予測についても興味があり、特に parametric bootstrap smoothing という手法を使った予測に着目している。この手法ではパラメトリックなモデルからリサンプリングを行うが、その際のモデルと予測精度との関係について研究を進めている。最終的に、これらの研究を組み合わせたバスや食堂の混雑度予測、電力需要予測アルゴリズムの構築まで目標としている。

B. 研究業績

1. Yoshida, W., and Hirose, K. Fast same-step forecast in SUTSE model and its theoretical properties. Computational Statistics & Data Analysis, open access, 2023.
2. Yoshida, W., and Hirose, K. Improvement of prediction accuracy by choosing resampling distribution via cross-validation. Behaviormetrika, Volume 52, pages 197-212, 2025.

C. 講演

1. 吉田航、廣瀬慧、”適切な誤差分散推定によるモデル選択後の予測精度向上”、2021 年度 統計関連学会連合大会、2021 年 9 月
2. 吉田航、廣瀬慧、”多変量線形ガウス状態空間モデルを使った当日予測とその高速化”、2021 年度 統計データサイエンス研究集会、2021 年 12 月
3. W.Yoshida, K.Hirose, “Computationally efficient forecasting algorithm in the SUTSE model and its properties” , 5th International Conference on Econometrics and Statistics, June 2022.

4. 吉田航、廣瀬慧、”スパース動的回帰モデルによる複数時刻の時系列分析”、2023 年度 統計関連学会連合大会、2023 年 9 月 5. W.Yoshida, K.Hirose, “Dynamic variable selection based on Kalman filter”, IASC-ARS Interim Conference 2024, December 2024.

D. その他の研究活動

1. 特許第 7099770 号登録、名称：予測装置、予測方法、及び、予測プログラム、発明者: 吉田航、廣瀬慧、2022 年 7 月
2. 日本学術振興会 特別研究員 (DC1) に採用、2022

2.10.2 博士後期課程 2 年生

足立 大雅 (ADACHI Taiga)

A. 研究概要

岩澤健吉により創始されたイデアル類群の岩澤理論のグラフ理論類似にあたる「グラフの岩澤理論」の研究が近年発展している。これまでは、辺にかかる重みが全て 1 になるようなグラフで、Vallières らにより研究が進められていた。そこで、量子ウォークなどへの応用を視野に入れて、名古屋大学の館野莊平氏、水野宏亮氏と共に、一般の重みがかかる荷重グラフの岩澤理論の構築を試みた。この共同研究により、岩澤類数公式や木田の公式のグラフ類似を荷重グラフへと一般化することに成功した。さらにその応用として、グラフの離散時間量子ウォークの遷移行列の固有多項式に固有値以外の値を代入して得られる値の p 進付値の $\mathbb{Z}_p^d$ -塔における漸近挙動を記述することに成功した。

B. 研究業績

1. (プレプリント) Taiga Adachi, Kosuke Mizuno, Sohei Tateno, Iwasawa theory for weighted graphs, arXiv:2412.01612.
2. (報告集) Iwasawa theory for weighted graphs, 第 21 回数学総合若手研究集会テクニカルレポート.

C. 講演

- 1.(English) Iwasawa theory for weighted graphs, PNU-Kyushu Young Researchers Workshop on Mathematics for Industry, 2024 年 8 月 19 日, 九州大学.
2. Iwasawa theory for weighted graphs, 日本数学会 2024 年度秋季総合分科会, 2024 年 9 月 5 日, 大阪大学, [登壇者として講演: 水野 宏亮氏 (名古屋大学), 館野 莊平氏 (名古屋大学) との共同発表]
- 3.(English) Iwasawa theory for weighted graphs, Conférence de théorie des nombres Québec-Maine 2024, 2024 年 10 月 5 日, Université Laval (カナダ).
- 4.(English) Iwasawa theory for weighted graphs, Ottawa/Carleton Number Theory Seminar, 2024 年 10 月 7 日, University of Ottawa (カナダ).
5. Iwasawa theory for weighted graphs and discrete-time quantum walks in graphs, 神楽坂代数セミナー, 2025 年 1 月 16 日, 東京理科大学神楽坂キャンパス.
6. Iwasawa theory for weighted graphs, 第 152 回日本数学会九州支部例会, 2025 年 2 月 15 日, 九州大学.
7. Iwasawa theory for weighted graphs, 第 21 回数学総合若手研究集会, 2025 年 3 月 6 日, 北海道大学札幌キャンパス.

Ho, Ka Long Keith

A. Research Outline

Model selection and parametric estimation are core challenges in statistics. My research proposes two novel methods to address these issues concurrently. First, I extend the adaptive ridge framework to heteroscedastic

models with log-linear errors, with plans to apply AR to over-parametrized models. Second, I develop an information criterion approach based on the Sin-White IC, focusing on threshold selection in hard-thresholding setups. These results provide a robust justification for this widely used method across various scientific disciplines.

B. Papers and Books

1. **Ka Long Keith Ho**, Masayo Hirose, Malay Ghosh, Kimiyo Kikuchi, Small Area Estimation under Square Root Transformed Fay-Herriot model with Functional Measurement Error in Covariates. *Sanhkya B* (accepted for publication)
2. **Ka Long Keith Ho**, Hiroki Masuda, Adaptive Ridge Approach to Heteroscedastic Regression. *Mathematical Methods of Statistics* (Under Review)
3. **Ka Long Keith Ho**, Hien Nguyen, Variable selection via thresholding. (Submitted)

C. Talks

1. Adaptive Ridge Approach to Heteroscedastic Regression, Japanese Joint Statistical Meeting, Kyoto University, 2023
2. Adaptive Ridge Approach to Heteroscedastic Regression, Forum Mathematics for Industry, Kyushu University, 2023
3. Electricity consumption modelling using Adaptive Ridge, 1st Asia Pacific Conference on Offshore Wind Technology, 2024
4. On the application of Adaptive Ridge in high-dimensional models, Invited Talk, Hong Kong Baptist University, 2025

D. Other Scientific Activities

吉住 峻 (YOSHIZUMI Ryo)

A. 研究概要

研究テーマは高次元の同種写像計算とその耐量子計算機暗号への応用である。耐量子計算機暗号とは、量子計算機が実現しても安全であるような暗号技術のことであり、その一つに同種写像を用いた同種写像暗号と呼ばれるものがある。元来、同種写像暗号では1次元の同種写像、すなわち楕円曲線の同種写像が中心的な役割を果たしていたが、近年、高次元の同種写像の役割が大きくなっている。本研究では、その高次元の同種写像の計算効率性を上げたり、精密に調べたりすることにより、同種写像暗号を効率化したり、安全性を精密に解析したりすることを目的としている。

B. 研究業績 (2024 年度, *は査読あり)

- 1*. Ryo Yoshizumi, Hiroshi Onuki, Ryo Ohashi, Momonari Kudo, Koji Nuida, “Efficient theta-based algorithms for computing (ℓ, ℓ) -isogenies on Kummer surfaces for arbitrary odd ℓ ”, PQCrypto 2025, Lecture Notes in Computer Science, vol 15578. Springer, Cham.
2. 吉住 峻, “楕円曲線の直積を定義域とする高次数同種写像計算の効率化”, 2025 年暗号と情報セキュリティシンポジウム (SCIS2025),

C. 講演

1. 吉住 峻, “クンマー曲面間の同種写像とその暗号応用”, 異分野異業種研究交流会 2024, 東京科学大学, 2024 年 10 月 19 日, (ポスター発表)

2. Ryo Yoshizumi, “Isogeny calculation algorithms in dimension 2”, Theory and Applications of Supersingular Curves and Supersingular Abelian Varieties, II (Supersingular 2024), 京都大学数理解析研究所, 2024 年 11 月 6 日

3. 吉住 峻, “楕円曲線の直積を定義域とする高次数同種写像計算の効率化”, 2025 年暗号と情報セキュリティシンポジウム (SCIS2025), リーガロイヤルホテル小倉, 2025 年 1 月 31 日

D. その他の研究活動

1. スタディグループワークショップ Study Group Workshop 2024 に学生モデレータとして参加し, 課題 “量子コンピュータ時代に備えた暗号の高速化” に取り組む. 九州大学, 2024 年 7 月 25 日- 30 日
2. NTT 研究所のインターンシップに参加し, “同種写像ベースの署名方式のアルゴリズム構成, 実装” に取り組む. オンライン, 2025 年 1 月 14 日- 2 月 14 日
3. “同種写像暗号セミナー” の世話人を担当.

2.10.3 博士後期課程 1 年生

池田 香凜 (IKEDA Karin)

A. 研究概要

整数論において重要な研究対象である素数, その分布に深く関わっている Riemann ゼータ関数やその一般化である Hurwitz ゼータ関数, またそれらを変形した中央二項級数と呼ばれる対象, およびそれぞれの関数の特殊値など, 様々な数論的対象に解析的アプローチで研究に取り組んでいる. 研究内容を論文ごとに以下に述べる. [B-1] ガンマ関数の逆数のテイラー展開を多重ゼータ値によって与える公式が Arakawa-Kaneko によって, Weierstrass の無限積展開を用いることで与えられていた. これとガンマ関数の相補公式を組み合わせることで多重ゼータ値のある関係式が導かれる. この関係式を調和積を用いて計算することにより純代数的に証明した. [B-2] Hurwitz ゼータ関数の実零点に関する結果を与えた. Hurwitz ゼータ関数の零点の一般的な研究は Spira によって行われた. その後実零点については, 整数を端点とする各単位区間にそれが存在するための必要十分条件が Nakamura, Matsusaka によって研究されてきた. 存在条件は明確に与えられたが, 一意性に関しては Endo-Suzuki, Matsusaka によって部分的に示されたものの, 全ての区間においては証明されていなかったため, この論文では残された区間における一意性の証明を与えた. [B-3] Goldbach 表現の個数の評価は一般に, フォン・マンゴルト関数を用いて Goldbach 表現の個数を数えたものを研究する. その平均についての評価が Fujii や Bhowmik-Schlage-Puchta, Languasco-Zaccagnini によって研究されてきた. この論文では Granvill によって導入されたある倍数の Goldbach 表現のみを数えるような対象に対して同様に平均個数の評価を考え, その評価を改善させた. [B-4] 中央二項級数については, 1 以下の整数点での特殊値が多重ベルヌーイ数と二変数 Eulerian 多項式と関わりを持つことや, 2 以上の整数点での特殊値が多重ゼータ値, 多重 Clausen 値, 多重 Glaisher 値の $\mathbb{Q}$ 線形結合で表されることなどが知られている. このような性質が, この論文で新しく定義した, Hurwitz 版中央二項級数に対しても存在することを証明した.

B. 研究業績

1. K. Ikeda and M. Sakata, Multiple zeta values and Euler’s reflection formula for the gamma function, *Commentarii mathematici Universitatis Sancti Pauli*, 71, 71–76, (2024).
2. K. Ikeda, On real zeros of the Hurwitz zeta function, *Journal of Number Theory*, 258, 269–280, (2024).
3. K. Ikeda and Ade Irma Suriajaya, The average number of Goldbach representations over multiples of q , to appear in *Functiones et Approximatio, Commentarii Mathematici*.
4. K. Ikeda and Y. Kadono, Hurwitz-Lerch type central binomial series, preprint, <https://arxiv.org/abs/2409.16026>.

C. 講演

1. ガンマ関数と多重ゼータ値 2, 第 15 回数論女性の集まり, 東京工業大学, 2022 年 6 月.
2. ガンマ関数と多重ゼータ値, マス・フォア・イノベーション連係学府シンポジウム, 九州大学, 2022 年 6 月.

3. Hurwitz ゼータ関数の実零点, 近大ミニワークショップ, 近畿大学, 2022 年 9 月.
4. Multiple zeta values and Euler's reflection formula for the gamma function, Forum "Math-for-Industry" 2022, La Trobe University, Nov 2022.
5. Multiple zeta values and Euler's reflection formula for the gamma function, 第 53 回神楽坂代数学セミナー, 東京理科大学, 2022 年 11 月.
6. Hurwitz ゼータ関数の実零点について, 第 148 回日本数学会九州支部例会, 福岡教育大学, 2023 年 2 月.
7. Multiple zeta values and Euler's reflection formula for the gamma function, 第 17 回多重ゼータ研究集会 & 第 61 回関西多重ゼータ研究集会, 名古屋大学・近畿大学, 2023 年 2 月.
8. On real zeros of the Hurwitz zeta function, 月例報告会, 名古屋大学, 2023 年 4 月.
9. On real zeros of the Hurwitz zeta function, 第 16 回数論女性の集まり, 東京工業大学, 2023 年 6 月.
10. On real zeros of the Hurwitz zeta function, 第 22 回広島仙台整数論集会, 広島大学, 2023 年 7 月.
11. On real zeros of the Hurwitz zeta function, Conference for Young Number Theorists in Bonn, Max Plank Institute for Mathematics, Sep 2023.
12. On real zeros of the Hurwitz zeta function, 解析的整数論とその周辺, 京都大学 RIMS, 2023 年 10 月.
13. On real zeros of the Hurwitz zeta function, 東北大学整数論セミナー, 東北大学, 2023 年 10 月.
14. On real zeros of the Hurwitz zeta function, 京都大学数論合同セミナー, 京都大学, 2023 年 11 月.
15. Hurwitz 版中央二項級数と超幾何級数, 第 19 回北陸数論研究集会「超幾何関数の数論とその周辺」, 金沢大学, 2023 年 11 月 (東北大学 角野 裕太 氏との共同発表).
16. 多重ゼータ値およびフルヴィッツゼータ関数の研究, 第 150 回日本数学会九州支部例会, 九州工業大学, 2024 年 2 月.
17. The average number of Goldbach representations over multiples of q , 第 18 回多重ゼータ研究会 & 第 64 回関西多重ゼータ研究会, 九州大学・近畿大学, 2024 年 2 月.
18. On real zeros of the Hurwitz zeta function, 36th Automorphic Forms Workshop, Oklahoma State University, May 2024.
19. The average number of Goldbach representations over multiples of q , 第 17 回数論女性の集まり, 東京工業大学, 2024 年 6 月.
20. Hurwitz 版中央二項級数の特殊値と超幾何級数表示について, 第 7 回解析数論セミナー II, 早稲田大学, 2024 年 6 月.
21. Hurwitz-Lerch type central binomial series, Number Theory Seminar, Queens University, Oct 2024.
22. Hurwitz-Lerch type central binomial series, Workshop "Mathematics for Innovation" on Ito Campus 2025, Kyushu University, Jan 2025.

D. その他の研究活動

[研究集会等の主催]

1. マス・フォア・イノベーションセミナー, 2023 年度, 2024 年度
2. 第 17 回ゼータ若手研究集会, 2024 年 2 月 15 日-2 月 18 日
3. 九州代数的整数論 2024, 2024 年 2 月 28 日-3 月 1 日
4. 九州代数的整数論 2025, 2025 年 3 月 3 日-3 月 5 日

[受賞]

1. 第 9 回九州若手数学者発表賞, 2024 年 2 月
2. 第 12 回九州若手数学賞, 2024 年 2 月
3. 学生表彰, 春季学位記授与式, 2024 年 3 月

河本 亘平 (KAWAMOTO Kohei)

A. 研究概要

非分類データのクラスタリングは、多変量解析における重要な課題の一つであり、特に高次元データに対してもそ

の適用可能性を理論的に保証することが求められている。Spectral clustering は、主成分分析の考え方を応用した代表的なクラスタリング手法であり、高次元非分類データに対して有効に機能することが知られているが、その精度保証に関する既存の研究は、多くの場合グループごとに共分散行列が等しいという仮定の下で行われている。

本研究では、既存研究の仮定が成り立たない状況として、共分散行列に Allometric Extension Model を仮定し、平均が既知の場合と未知の場合の両方において spectral clustering アルゴリズムを適用した際の誤分類確率に対する非漸近的上界 (non-asymptotic bound) を導出した。Allometric Extension Model とは、2 群間において、それぞれの共分散行列の第一固有ベクトルと平均の差が同じ方向を向いているという構造を持つモデルであり、生物のサイズデータを記述する際に用いられる代表的なモデルの一つである。

本研究の主な成果として、導出された上界が次元数および信号対雑音比 (SNR) に応じて指数関数的に減少することを示し、本手法の高次元クラスタリングにおける理論的有效性を示した。さらに、本結果は混合正規分布モデルにも拡張可能であることを示し、より広範な応用可能性についても議論した。

B. 研究業績

1. Kawamoto, K., Goto, Y., and Tsukuda, K. (2025). Spectral Clustering Algorithm for the Allometric Extension Model. Statistical Papers, 66, 63.

C. 講演

1. Kohei Kawamoto, Yuichi Goto, Koji Tsukuda. Evaluating the error probability of the spectral clustering algorithm in the allometric extension model. 6th International Conference on Econometrics and Statistics. 2023 年 8 月.

2. 河本亘平, 後藤佑一, 佃康司. Evaluating the error probability of the spectral clustering algorithm in the allometric extension model. 2023 年度統計関連学会連合大会. 2023 年 9 月.

3. 河本亘平, 後藤佑一, 佃康司. Allometric extension model に対する spectral clustering algorithm の評価. 2024 年度応用統計学会年会. 2024 年 5 月.

4. Kohei Kawamoto, Yuichi Goto, Koji Tsukuda. Spectral clustering algorithm for the allometric extension model. Kyushu University/Seoul National University - Statistics DS workshop. 2024 年 6 月.

5. 河本亘平, 後藤佑一, 佃康司. Spectral clustering algorithm for the allometric extension model. 2024 年度日本数学会秋季総合分科会. 2024 年 9 月.

6. 河本亘平. 混合正規分布モデルにおける spectral clustering algorithm の評価. 情報・統計科学シンポジウム. 2024 年 12 月.

D. その他の研究活動

徳田 智紀 (TOKUDA Tomoki)

A. 研究概要

空間の n 個の異なる点の組み全体からなる空間を配置空間 (n-configuration space) と呼ぶ. 特に点の順序を考慮したものを ordered configuration space といい, 点の順序を無視したものを unordered configuration space と呼ぶ. 自身の研究は, $n = 2$ とした場合の configuration space の mod 2 コホモロジーの研究である.

B. 研究業績

1. Tomoki Tokuda, Mod 2 representation of the symmetric group of order 2 over cohomology groups of 2-configuration space of torus, arXiv:2402.11277, Feb. 2024.

C. 講演

1. 2025 年 2 月 15 日 第 152 回日本数学会九州支部例会にて講演, 題目「2 点配置空間の mod 2 コホモロジーについて」

D. その他の研究活動

今年度は特にありません。

橋本 豪 (HASHIMOTO Go)

A. 研究概要

論理とそのコンピューターサイエンスへの応用に興味を持って研究しています。

修士2年では動的仕様記述のための論理、TA(Transition Algebra)を定義し、推論規則の完全性を示しました。完全性の証明にはモデル理論版の強制法を拡張して用いました。この拡張によって空ドメインを含む一般の多ソート論理に対しても強制法を適応できるようになりました。結果は学会に論文として受理されICALP2024で発表しました。

博士1年ではTAのタイプ排除定理、 α -コンパクト性、ロビンソンの合併無矛盾性について調べました。タイプ排除はシグネチャ(文法)が可算な場合とフラグメントがコンパクトな場合で成り立ち、コンストラクターベースの証明の完全性を示す時などに使えます。今回も強制法を一般化して用いました。今回は意味論的強制法を使いました。ついでに拡張された強制法で下向きレーベンハイムスコーレムの定理も証明しました。TAは繰り返し演算「*」を持つため一般にコンパクトではありません。特に一般連続体仮説と到達不能基数の非存在性の仮定から、TAは同型を除いてモデルが一意になるように理論を拡張できるということがわかります。ドメインの要素数を決めることができるので、コンパクト性、上向レーベンハイムスコーレムの定理、ロビンソンの合併無矛盾性は否定されます。ZFCが無矛盾である限りこれらはZFCから証明することができません。タイプ排除についての結果は論文として投稿中です。

現在の研究の一つはTAのモノイダル圏を使った拡張です。これはTAの表現力を飛躍的に向上させ、並列処理やループを含んだシステムや、量子システムなどに応用できると考えています。また、応用の数学だけでなく、モデル理論的方法を一般化し高次の代数構造を調べるための道具を作ることにもつながると考えています。

B. 研究業績

1. Go Hashimoto and Daniel Găină and Ionut Țuțu, Forcing, Transition Algebras, and Calculi, 51st International Colloquium on Automata, Languages, and Programming, ICALP 2024, July 8-12, 2024, Tallinn, Estonia

C. 講演

なし

D. その他の研究活動

なし

山本 航大 (YAMAMOTO Kodai)

A. 研究概要

力学系の非双曲現象に伴う性質について研究を行っている。特に、ホモクリニック接触を用いた Takens の最終問題について安定多様体と不安定多様体の非横断的な度合いを測る接触の余次元に焦点を当て研究を進めた。Takens は、historic behavior という軌道平均が収束しないような点の集合がルベーグ測度正であるような広いクラスは存在するかという問題を残した。これは、Takens の最終問題と呼ばれ、非双曲現象と強い関わりがあることが示唆されている。従来の研究は余次元1のホモクリニック接触を持つ場合に限り、研究が進められてきた。そこで、今年度は高い余次元での Takens の最終問題の解決に向け、最大余次元のホモクリニック接触で historic behavior を持つ点の集合がルベーグ測度正であるようなモデルの構成を行った。この結果については、論文を執筆中である。今後は、この結果の拡張を行うとともに他の性質についても研究を行っていく。

B. 研究業績

1. Yushi Nakano, Teruhiko Soma, Kodai Yamamoto, Observable Lyapunov irregular sets for planar piecewise

expanding maps, Discrete and Continuous Dynamical Systems, 2023,43(7):2737-2755.

C. 講演

1. Kodai Yamamoto, Lyapunov regularity for planar piecewise expanding maps, Forum "Math-for-Industry" 2022-Mathematics of Public Health and Sustainability-, La Trobe university, 2022 年 11 月 23 日.
2. 山本 航大, Observable Lyapunov irregular sets for planar piecewise expanding maps, エルゴード理論研究集会, 2023 年 12 月 8 日.
3. 山本 航大, 最大余次元のホモクリニック接触と統計的非正則性, 日本数学会 2025 年度年会, 2025 年 3 月 20 日.

D. その他の研究活動

3 大学院学位取得者

3.1 博士（数理学府）

氏名	主査	論文題目
山村 圭一郎	藤澤 克樹	Development and Improvement of White-box Attack Considering the Balance between Diversification and Intensification
吉田 明広	藤澤 克樹	Comprehensive and Practical Optimal Delivery Planning System for Replacing Liquefied Petroleum Gas Cylinders
熊本 舟馬	白井 朋之	The Recurrence and Transience of Random Walks on Growing Graphs
井上 俊実	大津 幸男	Geometry of hypersurfaces with zero or pinched anisotropic mean curvature in Euclidean space
鄧 宇琪	森下 昌紀	On arithmetic Dijkgraaf-Witten invariants of real quadratic fields
岡崎 彰良	川野 秀一	Statistical Multi-Task Learning for Robust Task Clustering via Fused Regularization

3.2 博士（連係学府数理学系）

氏名	主査	論文題目
楊 曼	白井 朋之	Stochastic Homogenization of Generalized Parabolic and Elliptic Equations: The Effects of Lower-Order Terms
程 宇中	増田 弘毅	On Statistical Analysis of Stochastic Differential Equations with Markovian Switching
隈部 哲	落合 啓之	Zeta functions of certain two-parameter families of K3 surfaces via the Appell functions
吉田 航	川野 秀一	Model estimation and selection schemes for efficient and accurate forecasting

3.3 修士（数理学府）

数理学コース

氏 名	指導教員	論文題目
中村 祐誠	佐伯 修	Construction of a new relation in mapping class group of a surface by using a covering space
家村 一成	佐伯 修	直交群上のある種の Morse-Bott 関数の構造について
茜ヶ久保 大樹	岸本 大祐	Fundamental categories of directed spaces
樺山 資英	神本 丈	Hartogs 領域における canonical solution operator のコンパクト性について
吉田 謙祐	大津 幸男	同時競り上げ式オークションについて
金子 和樹	瀬片 純市	一般化 KdV 方程式の条件付き散乱について
綿井 理久	廣島 文生	GSB 模型の共鳴極の存在と固有状態の生存確率

傳 正宇	増田 俊彦	Ultraproducts of crossed product C^* -algebras
杉林 直樹	金子 昌信	レベル 2 の Eisenstein 級数の微分に関する研究
秋山 紫生	金子 昌信	レベル 2 の有限多重ゼータ値について
石田 宥貴	森下 昌紀	THE DENSITY OF BORROMEAN PRIMES
鄭 丁川	森下 昌紀	On periodic orbits of the suspension flow of the monodromy around the figure eight knot
倉本 篤希	森下 昌紀	On Triple Quadratic Residue Symbols in Real Quadratic Fields
佐藤 皓彦	Ade Irma Suriajaya	素数定理の短い証明の詳しい解説
長谷川 正汰	権 寧魯	”レベル 2 の Fricke 群上で構成されるあるモジュラー関数の零点分布について”
前田 航希	落合 啓之	ψ 完全グラフ超平面配置と MAT-free 性
藤原 威吹	辻井 正人	G2 型多重配置の指数および Free Extension について
酒井 真志	辻井 正人	多重超平面配置の free path について
藤井 稜平	原 隆	ランダム媒質中のランダムウォーク (高分子鎖) について
内田 壮一郎	鍛冶 静雄	Box Pleating による ポリオミノの展開図の普遍的構成方法
黒田 桂	鍛冶 静雄	ラスタライズの数理的処理
宮藤 傑章	鍛冶 静雄	最大等積折り問題とその 2 重折りによる解法
袁 亜文	池 祐一	CT-Image Analysis with Cubical Persistent Homology and Machine Learning
ZHAO JUNLIN	池 祐一	Topological Analysis of Feedforward Neural Networks Using the Mapper Algorithm
疇津 祥吾	福本 康秀	圧縮性気体流における Lie 対称性と球面衝撃波
張 一弘	福本 康秀	Diffusional-Thermal Instability of Planar and Cylindrical Premixed Flames
NAYAMA T S	福本 康秀	Flood waves over an open inclined channel subject to bottom drag of Manning law
KIM MYUNGJUN	縫田 光司	A Weak Security Notion for Keyed Homomorphic Encryption Schemes
隈崎 蓮	脇 隼人	数値実験によるダイクストラ射影法と交互射影法の比較
祖父江 凜太郎	藤澤 克樹	整数計画問題を用いたマッチングペア構築による因果推論手法の提案と評価
前田 慈英	藤澤 克樹	”除雪経路最適化問題に対するグラフ拡大を用いた数理モデルの構築と実験的解析”
楠原 大輝	藤澤 克樹	物体検出のための数理最適化に基づいた後処理手法の提案と評価
馬 驍	CESANA Pierluigi	Graph-based approaches for modeling and classification of martensitic microstructure
角田 涼輔	溝口 佳寛	進化戦略を用いた勝敗予測モデルについて
高橋 虎太郎	斎藤 新悟	支払備金の上限と下限の改善度について
大浦 精鋭	斎藤 新悟	強度が与えられたときの条件付き破産確率の単調性について
二階 壮真	佃 康司	精度構造の推定に基づく共分散構造のロバスト推定に関する研究
徐 佳怡	Nguyen Dinh Hoa	Optimal Configuration of Offshore Wind Farms Consisting of Vertical-Axis Wind Turbine
黄 思達	Nguyen Dinh Hoa	Deep Learning Based Solar Cell Detection for Optical Wireless Power Transfer

氏 名	指導教員
和田 拓也	松江 要
小山 雄大	森下 昌紀
有海 伸洋	森下 昌紀
松浦 真也	神本 丈
杉原 宏信	神本 丈
鴛海 広人	森下 昌紀

3.4 修士（連係学府数理学系）

氏 名	指導教員	論文題目
岩倉 康樹	佐伯 修	Combinatorial criteria for the existence of non-singular extensions of singular maps
津阪 耀	瀬片 純市	Hardy-Hénon 型方程式の解の挙動について
井上 陽斗	廣島 文生	On the Existence of Ground States for Spin-Boson Model with Variable Coefficients
山本 侑希	廣島 文生	Spatial Decay of Ground States of the Nelson Model with Variable Coefficients
三苫 隆翔	翁 林	"Singularities of Arithmetic Curves: Quadratic Fields"
村上 真悟	鍛冶 静雄	法的因果関係概念の数学的モデリング
西 康汰	手老 篤史	真正粘菌の馴化メカニズムの数値モデリング
室屋 秀平	廣瀬 慧	精確な推定を実現する glmnet の設定値選択

4 科学研究費等補助金受領状況

以下では当該年度に配分されたものを掲載している（繰越は掲載しない）。

(1) 数理学研究院

種目	代表者名	配分額 (円) (直接経費)
基盤研究 (A)	金子 昌信	7,600,000
基盤研究 (A)	小林 真一	6,700,000
基盤研究 (B)	稲浜 譲	2,200,000
基盤研究 (B)	廣島 文生	2,600,000
基盤研究 (B)	瀬片 純市	2,400,000
基盤研究 (B)	辻井 正人	2,600,000
基盤研究 (B)	増田 弘毅	3,000,000
基盤研究 (B)	樋上 和弘	1,700,000
基盤研究 (B)	岡田 拓三	2,100,000
基盤研究 (C)	中村 健太郎	722,130 (着任時)
基盤研究 (C)	神本 丈	600,000
基盤研究 (C)	蔦谷 充伸	600,000
基盤研究 (C)	森下 昌紀	1,100,000
基盤研究 (C)	岸本 大祐	800,000
基盤研究 (C)	増田 俊彦	800,000
基盤研究 (C)	川野 秀一	1,300,000
基盤研究 (C)	綿谷 安男	1,100,000
基盤研究 (C)	岩瀬 則夫	1,000,000
基盤研究 (C)	深作 亮也	900,000
基盤研究 (C)	笹平 裕史	800,000
基盤研究 (C)	佐藤 康彦	1,000,000
若手研究	佃 康司	700,000
若手研究	角田 謙吉	800,000
若手研究	後藤 佑一	1,200,000
若手研究	スリアジャヤ アデイルマ	500,000
若手研究	日下部 佑太	1,000,000
若手研究	坂本 祥太	900,000
若手研究	佐藤 謙太	800,000
若手研究	平良 晃一	800,000
若手研究	三宅 庸仁	900,000
若手研究	森田 陽介	1,200,000
若手研究	数川 大輔	1,000,000
若手研究	片田 舞	700,000
若手研究	松坂 俊輝	700,000
若手研究	村山 拓也	1,000,000
挑戦開拓	金子 昌信	5,000,000

基盤研究 (A) (分担)	森下 昌紀	840,000
基盤研究 (A) (分担)	森下 昌紀	700,000
基盤研究 (B) (分担)	辻井 正人	50,000
基盤研究 (B) (分担)	石井 豊	100,000
基盤研究 (B) (分担)	川野 秀一	500,000
基盤研究 (B) (分担)	川野 秀一	300,000
基盤研究 (B) (分担)	村山 拓也	500,000
基盤研究 (B) (分担)	岡田 拓三	130,000
基盤研究 (B) (分担)	山崎 陽平	400,000
基盤研究 (B) (分担)	深作 亮也	200,000
基盤研究 (C) (分担)	中村 健太郎	50,000
基盤研究 (C) (分担)	樋上 和弘	50,000
基盤研究 (C) (分担)	山崎 陽平	150,000
基盤研究 (C) (分担)	深作 亮也	250,000
基盤研究 (C) (分担)	深作 亮也	56,250
基盤研究 (C) (分担)	葛谷 充伸	100,000

寄附金

種 目	受入責任者	配分額 (円)
日本数学会季期研究所	金子 昌信	5,000,000
稲盛研究助成 2024	スリアジャヤ アデイルマ	1,000,000
九州大学基金 数学教育研究支援基金		687,586
九大基金 国際会議等参加支援 (数理)		250,000
その他の寄附金		950,000

受託研究受入金額

件数 : 0

総額 : 0 円 (直接経費と間接経費の合計)

共同研究

件数 : 3

総額 : 5,275,000 円 (直接経費と間接経費の合計)

(2) マス・フォア・インダストリ研究所

種 目	代表者名	配分額 (円) (直接経費)
基盤研究 (S)	佐伯 修	15,400,000
基盤研究 (B)	小磯 深幸	3,400,000
基盤研究 (B)	松江 要	1,700,000
基盤研究 (B)	白井 朋之	2,700,000
基盤研究 (C)	縫田 光司	1,200,000
基盤研究 (C)	吉良 知文	700,000
基盤研究 (C)	田上 大助	1,000,000

基盤研究 (C)	廣瀬 慧	1,100,000
基盤研究 (C)	福本 康秀	1,200,000
基盤研究 (C)	Gaina Daniel	1,100,000
基盤研究 (C)	Cesana Pierluigi	1,200,000
基盤研究 (C)	廣瀬 雅代	1,000,000
基盤研究 (C)	神山 直之	800,000
基盤研究 (C)	脇 隼人	500,000
基盤研究 (C)	富安 亮子	800,000
研究スタート	藤井 幹大	1,100,000
若手研究	池 祐一	800,000
若手研究	池松 泰彦	1,100,000
若手研究	北川 宜稔	168,647 (着任時)
若手研究	石塚 裕大	700,000
若手研究	武内 太貴	700,000
挑戦開拓	佐伯 修	2,800,000
学術変革 (A)	白井 朋之	26,600,000
学術変革 (A)	廣瀬 慧	1,800,000
基盤研究 (A) (分担)	佐伯 修	200,000
基盤研究 (A) (分担)	福本 康秀	400,000
基盤研究 (A) (分担)	廣瀬 慧	1,400,000
基盤研究 (A) (分担)	鍛冶 静雄	100,000
基盤研究 (A) (分担)	溝口 佳寛	700,000
基盤研究 (A) (分担)	白井 朋之	300,000
基盤研究 (B) (分担)	廣瀬 慧	400,000
基盤研究 (B) (分担)	吉良 知文	115,400
基盤研究 (B) (分担)	池松 泰彦	750,000
基盤研究 (C) (分担)	廣瀬 慧	200,000
基盤研究 (C) (分担)	石塚 裕大	100,000
挑戦萌芽 (分担)	石塚 裕大	250,000
学術変革 (A) (分担)	白井 朋之	50,000
学術変革 (A) (分担)	落合 啓之	8,400,000
学術変革 (A) (分担)	池 祐一	1,000,000
海外連携 (分担)	白井 朋之	200,000
国際共同研究強化 (B) (分担)	高瀬 裕志	500,000

寄附金

種 目	受入責任者	配分額 (円)
産業数学人材育成プロジェクト		6,187,330
湯川記念財団望月基金	雀部矩正	460,000

受託研究受入金額

件数：1

総額：2,973,608 円 (直接経費と間接経費の合計)

研究開発コンサルティング

件数：2

総額：6,136,000 円 (直接経費と間接経費の合計)

共同研究

件数：20

総額：62,841,000 円 (直接経費と間接経費の合計)

(3) マス・フォア・イノベーション卓越大学院

研究拠点形成費等補助金 配分額：72,000,000 円

5 九州大学『マス・フォア・イノベーション卓越大学院』プログラム

事業目的：AI 技術の爆発的発展により、データサイエンスは学術、技術、ビジネス、生活のあり方を激変させている。しかし、AI 技術には、信頼できる精度や理論的基盤の不確実性など、未知の要素が多い。そうした中で、数学には、その汎用性と厳密性によって、AI 技術の限界を克服し、ひいては分野の壁を越えた他分野との積極的な協働を通して、人類社会の未来を切り拓く役割が期待される。特に、現実にある問題の数学モデルを構築し、これらの問題の解決に資するモデリングは、データがないところでも威力を発揮でき、文理を問わず多様な分野に貢献するために必須のものである。これらの社会的要請に応えるため、本「マス・フォア・イノベーション卓越大学院」プログラムは、国際的に優れた数学力・統計力を基盤に、数学モデリングを通して組織や分野の垣根を越えて各分野で共創し、イノベーションを創出する卓越した数学博士人材を育成することを目的とする。

事業期間：2020 年 10 月 6 日～2027 年 3 月 31 日

実施主体：大学院マス・フォア・イノベーション連係学府

連係する学府：数理学府、システム情報科学府、経済学府

プログラム担当者：廣島文生（責任者）、佐伯修（コーディネーター）（他 96 名：令和 7 年 3 月 31 日時点）

連携先機関：15 機関

令和 6 年度の主な活動：

【管理・運営】

- ・総長が機構長を務める「未来人材育成機構」の下に設置した「未来人材育成機構運営会議」を開催し、5 月に本プログラムの進捗状況を報告した。また、「卓越大学院プログラム実施委員会」及び「卓越大学院プログラム運営委員会」を毎月開催し、プログラム運営に関する様々な事案に対し、迅速に協議、決定した。

- ・プログラム担当者全員による General Meeting を 12 月に開催し、全体の進捗状況と課題、そして今後のプログラムの発展にむけての意識合わせを行うとともに意見交換を行った。

- ・本プログラム終了後の継続・発展について全学的に議論を行う会議体として、マス・フォア・イノベーション連係学府の今後を考えるタスクフォースを設置し、特に国からの経費的支援終了後の資金獲得の方策などについて具体的な検討を開始した。

【教育・研究活動】

- ・新入生に対するオリエンテーションを 4 月 4 日に実施した。学府長の挨拶に始まり、教員・ヤングメンターの紹介、本プログラムの実施主体である大学院マス・フォア・イノベーション連係学府の説明、教務関係の説明を行い、新入生のプログラム履修に対する意識を高めた。

- ・構築済みのカリキュラムを逐次改善しつつ、本プログラム独自の講義、講究を通じた研究や論文執筆指導、学内外インターンシップを通じた実践的指導などにより、マス・フォア・イノベーション プロフェッショナル育成を確実に推進するべく教育を実施した。

- ・学内インターンシップとして、本学の異分野教員が共創メンターとなる「数学共創モデリング」、「数学創発モデリング」を全学体制で実施し、学生の共創力や創発力の養成に資する活動とした。

- ・学外インターンシップとして共創力強化インターンシップを、学外の受け入れ担当者などの協力により 7 名の学生が履修し、共同研究など多くの成果をおさめるとともに、受け入れ側から高い評価を得た。

- ・企業研究者による集中講義を 2 件開講し、人工知能技術を活用した実社会の課題解決の取り組みやビジネスにおける数学・統計基礎とコミュニケーションをテーマに講義をしていただいた。

- ・Prelims（博士前期課程修了時の進学資格審査）を実施し、対象の 11 名の学生に対し、コースワークの絶対評価及びプレゼンテーションの評価から博士後期課程への進学資格を審査した。その結果 11 名全員が合格した。

- ・Preliminary Thesis Exam（博士後期課程 2 年次終了時の資格審査）を実施し、対象の 4 名の学生に対し、研究の背景・過程・今後の戦略、数学共創モデリング・数学創発モデリングや共創力強化インターンシップの報告、本プログラムの種々の活動の報告及び最終年度のプログラム生としての活動計画に関するプレゼンテーションを課し、博士論文執筆段階に達しているかを審査した。その結果、4 名全員が合格した。

- ・博士後期課程 3 年次の 5 名の学生に対し学位審査を実施し、MFF 評価委員会にて本審査に進む資格の有無を審査した後、本審査は MFF 審査委員会（博士号）を設置し、博士論文と公開口頭発表（ディフェンス）により、

世界的水準からの学術性と MFF の総合的達成度を審査した結果、博士の学位を授与することを決定し、5 名が本プログラムを修了した。

- ・IMI コロキウムを 9 回開催し、様々な産業現場で生じた数理的課題やその解決に関する企業研究者等による講演を通し、共創力の向上に繋げた。

- ・7 月 24 日から 7 月 30 日にわたり、数学共創実践の一環としてスタディグループ・ワークショップを開催した。企業等から計 3 件の課題提供を受け、数学者、学生及び産業界や異分野の研究者が共同で、数学を使った問題解決を目指し討論を重ねた。

- ・本プログラムで重要な研究交流会である、マス・フォア・イノベーションカフェおよびセミナーを計 38 回開催した。若手研究者等の講演・ポスター発表、プログラム生の研究発表等を行い、様々な視点から意見交換を行うとともに、学部生や他分野の学生にも参加してもらい、リクルート活動の機会としても活用した。また、プログラム生がヤングメンターと日常的な相談を行える機会としても有効に活用した。

- ・プログラム生のうち希望者 12 名に対して、実践的な英語能力を向上させ、グローバルに活躍できる力を養成するため、外注により英語教育を実施した。

- ・プログラム生に研究進捗状況報告書を年度末に提出させ、学修や研究の進捗状況を把握するとともに、アンケート調査も行い、本プログラムの改善に役立てた。

【学修支援】

- ・本学が全額負担する形で、プログラム生に対して、卓越奨励金（博士前期課程学生 535,800 円× 24 名、博士後期課程学生 2,400,000 円× 25 名）を支給し、卓越社会人博士課程制度適用学生 1 名に対しては、授業料支援金（535,800 円）を支給した。博士後期課程学生については、授業料の半額免除を実施した。

- ・プログラム生の研究活動をさらに活性化するために、研究に必要な機器や書籍を購入するなどの研究支援を行った。

- ・プログラム生の学会発表・参加への旅費、学会参加費の支援を行い、研究力向上を図った。その結果、のべ 9 名のプログラム生が、優秀発表賞等を受賞するに至った。

- ・プログラム生の共創力強化インターンシップが円滑に実施されるよう、旅費などの経費的支援を行った。

- ・プログラム生全員にヤングメンターを配置し、学生からの履修・研究や生活に関する相談等を受けるサポート体制を確立するとともに、プログラム実施に関する学生からの意見を汲み上げることもできた。

【広報、学生募集・選考】

- ・プログラムの内容と意義を社会に広く周知するため、ポスター及びパンフレットを作成した。プログラム説明会を 6 月 15 日、入試説明会を 12 月 14 日に開催し、さらに、他大学主催の国際シンポジウムやイベント、大学院教育改革フォーラムなどに本プログラムとしても参画し、プログラムの紹介等を行い、国内外に広く広報活動を展開した。

- ・第 5 期生を募集し、33 名の志願者（M1:23 名、D1:10 名）について選抜を行い、21 名（M1:17 名、D1:4 名）を合格とした。

【評価】

- ・海外の研究者を含む外部有識者から構成されるグローバルアドバイザリーボードを 1 月 16 日に開催し、プログラムの進捗状況について、国際的な見地から評価、助言を受けた。

【連携活動、イベント等】

- ・今年度新たに、トリノ工科大学（イタリア）、ルンド大学工学部（スウェーデン）、亜洲大学校数学科（韓国）を連携先機関に追加した。

- ・亜洲大学校数学科と 7 月 2 日から 7 月 12 日にサマースクールを本学において開催し、9 月 27 日から 9 月 29 日にワークショップを韓国において開催した。

- ・本プログラムの特徴的な取り組みである卓越社会人博士課程制度について、今年度新たに、半導体製造装置メーカーである SPP テクノロジーズ株式会社を卓越社会人博士課程制度の連携先企業として追加した。

- ・富士通株式会社との卓越社会人博士課程制度について、7 月 6 日にプログラム生向けの説明会を開催し、学内面接を経て、学生 1 名を推薦した。

- ・他の卓越大学院プログラムとの連携活動に積極的に参加し、活動内容に関する意見交換、ポスターセッションを通じた学生同士の交流を行った。

- ・産業数学をテーマとする国際シンポジウム Forum “Math-for-Industry” 2024 (FMFI 2024) を、本学マス・フォア・インダストリ研究所と本プログラムと共同で 9 月 9 日から 9 月 11 日にマレーシアで開催し、プログラム生が

ポスターセッションなどに参加して、参加者とともに活発な議論を行った。

6 数理学府に関わる諸活動

6.1 『Study Group Workshop 2024』の開催

日 時：2024 年 7 月 24 日（水）－7 月 26 日（金）

および 7 月 29 日（月）－7 月 30 日（火）

会 場：九州大学 マス・フォア・インダストリ研究所、伊都キャンパス

オーガナイザー：

廣瀬 慧（九州大学 IMI） / Kei Hirose, Kyushu University

徳田 悟（九州大学 IMI） / Satoru Tokuda, Kyushu University

参加者総数：84 名

（講演者・発表者 4 名、一般参加者 80 名：うち、数学・数理科学系 63 名、諸科学 7 名、産業界 12 名、その他 2 名）

概要：九州大学マス・フォア・インダストリ研究所、九州大学大学院数理学研究院・大学院数理学府・理学部数学科による主催、マス・フォア・イノベーション卓越大学院、九州大学数理・データサイエンス教育研究センター、ならびにミッション実現加速化経費 令和 5 年度 教育研究組織改革分（組織整備）「総合知による社会変革をブーストする分野横断数理基盤形成事業 ―マス・フォア・インダストリ研究所リエゾン戦略部門の新設―」による共催のもと、スタディグループ・ワークショップ 2024（SGW 2024）を開催した。その際、東京大学大学院数理科学研究科附属数理科学連携基盤センターの団体・プロジェクトから支援を受けた。

SGW は、1968 年にオックスフォードで開始されたイベントで、企業などから提案された未解決課題について、数学科の大学院生や数学者が一週間の合宿形式で問題解決に取り組むものである。イギリスを始めヨーロッパやオーストラリアなどではすでに盛んに開催されている SGW であるが、日本においては、2010 年度の九州大学大学院数理学府・研究院と東京大学数理科学研究科による開催が、その本格的活動の最初である。

SGW2024 は、対面形式にて開催された。初日には以下の 3 つの問題提起が行われた：

課題名：時代や環境の変化に対応した次世代の食品流通網の構築 (Building a next-generation food distribution network that responds to changes in era and environment)

課題提供者：

井川 裕貴氏（株式会社日本アクセス マーケティング部）

モデレータ：

浦本 武雄（九州大学 マス・フォア・インダストリ研究所）

重富 尚太（九州大学 マス・フォア・インダストリ研究所）

学生モデレータ：

秋山 智紀（九州大学 マス・フォア・イノベーション関係学府）

課題名：量子コンピュータ時代に備えた暗号の高速化 (Accelerating cryptography for the quantum computing era)

課題提供者：高橋 康氏（パナソニックホールディングス株式会社 テクノロジー本部 デジタル・AI 技術センター）

モデレータ：

池松 泰彦（九州大学 マス・フォア・インダストリ研究所）

学生モデレータ：

吉住 峻（九州大学 マス・フォア・イノベーション関係学府）

課題名：社会課題解決に向けたリソース配分の最適化 (Resource allocation optimization for social problem solving)

課題提供者：

瀬川 英吾氏 (富士通株式会社 コンバージングテクノロジー研究所)

モデレータ：

倉田 澄人 (九州大学 マス・フォア・インダストリ研究所)

学生モデレータ：

重信 賢直 (九州大学大学院数理学府)

2 日目以降は、参加者が課題ごとにグループに分かれて、それぞれの方向性を持って課題解決に当たった。最終日には課題提供者の参加のもとで、学生を主とした参加者による最終報告会を開催し、得られた成果に関する熱心な質疑が交わされた。

多様なバックグラウンドや専門分野を持つ研究者・学生たちが協力して取り組む中で、多くの参加者から貴重な経験が得られたとの声が寄せられた。また、この取り組みを通じて、産学連携研究の現場を体験し、普段の講義や研究では得られない数学の実社会での応用に触れる貴重な機会になったという感想も多く聞かれた。さらに、SGW 期間終了後には、参加学生を加えた体制で、富士通株式会社と IMI の共同研究が継続している。

6.2 『Forum "Math-for-Industry" 2024』の開催

Date: 9 September – 11 September 2024

Venue: Concorde Hotel, Kuala Lumpur, Malaysia

CHAIR Assoc. Prof. Dr. Arifah Bahar (Universiti Teknologi Malaysia (UTM))

VICE CHAIR Assoc. Prof. Dr. Zaitul Marlizawati Zainuddin (Universiti Teknologi Malaysia (UTM))

SECRETARY Assoc. Prof. Dr. Shariffah Suhaila Syed Jamaludin (Universiti Teknologi Malaysia (UTM))

TREASURER Dr. Nur Arina Bazilah Aziz (Universiti Teknologi Malaysia (UTM))

SECRETARIAT

Assoc. Prof. Dr Norhaiza Ahmad (Universiti Teknologi Malaysia (UTM))

Dr. Noraslinda Mohamed Ismail (Universiti Teknologi Malaysia (UTM))

Dr. Mohd Ariff Admon (Universiti Teknologi Malaysia (UTM))

Puan Nik Zetti Amani Nik Faudzi (Universiti Teknologi Malaysia (UTM))

WEBSITE & PROMOTIONAL

Dr. Shazirawati Mohd Puzi (Universiti Teknologi Malaysia (UTM))

INTERNATIONAL LIAISON

Assist. Prof. Dr. Busayamas Pimpunchat (King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang)

Prof. Dr. Zainal Abdul Aziz (MyHIMS Solutions LLP)

Prof. Dr. Nor Haniza Sarmin (Universiti Teknologi Malaysia (UTM))

SCIENTIFIC

Prof Dr. Sharidan Shafie (Universiti Teknologi Malaysia (UTM))

Dr. Ahmad Fadhilah Embong (Universiti Teknologi Malaysia (UTM))

Dr. Zaiton Mat Isa (Universiti Teknologi Malaysia (UTM))

Emeritus Prof. Dr. Philip Broadbridge (La Trobe University)

Assoc. Prof. Dr. Xiaoping Lu (University Of Wollongong)

Prof. Dr. Kenji Kajiwara (Kyushu University)

Prof. Dr. Kei Hirose (Kyushu University)

Prof. Dr. Osamu Saeki (Kyushu University)

全体の参加者：112名（教員61名、学生44名、その他7名）

九大から参加者：14名（教員5名、学生9名）

概要：2024年9月9日～11日、マレーシア・クアラルンプールのコンコルドホテルにて、アジア太平洋産業数学コンソーシアム（APCMFI）のもと、「ISMI2024」の特別企画として Forum “Mathematics for Industry” 2024（FMFI2024）が開催されました。本フォーラムは、産業界との連携を通じて課題解決に取り組む産業数理・応用数学の研究者が一堂に会し、数学の活用を促進するとともに、知識の共有や共同研究の機会を提供する場です。2024年のテーマは “Mathematical Evolution Guiding Industrial Innovation Futures” であり、企画には Scientific Committee として卓越プログラム担当教員も参加し、招待講演も多数行いました。また、大学院生やポスドクなど若手研究者によるポスターセッションも実施され、連係学府生の柴田修平君（当時 M1）は、このポスターセッションにおいて Excellent ポスター賞を受賞し、副賞としてシンガポール国立大学での2週間の研究滞在を行いました。同時に、最優秀ポスター賞を受賞したマレーシアの学生には副賞として九州大学に長期研究滞在の機会が与えられました。

参考: <https://apcmfi.org/fmfi2024/index.html>

7 IMI オーストラリア分室を活用した諸活動

IMI オーストラリア分室は、La Trobe 大学（メルボルン）に2015年3月に開設され、九州大学の正規教員として採用された外国人数員2名（Pierluigi Cesana 准教授・Dimetre Triadis 助教）が常駐して強い機能をもち、La Trobe 大学と密接な教育・研究交流を実施してきた。2017年4月より Cesana 准教授を伊都キャンパス勤務に配置替えし、2017年10月末からは Daniel Gaina 助教が分室に赴き、助教2名が常駐する形で活動した。Gaina 助教は2018年11月に伊都に戻り、その後は Triadis 助教が常駐して運営した。Gaina 助教が理論計算機数学分野で、また、Cesana 准教授と Triadis 助教が数理モデル分野で、それぞれ La Trobe 大学の数学教室の研究・教育に貢献しつつ、遠隔合同セミナーの企画、オーストラリアのスタディグループや学会への数理学府学生の派遣に対する支援を通じた国際連携や、オセアニア地域の有力数学研究機関との連携拡充のための活動を行ってきた。この体制は2022年度9月をもって終了した（Triadis 助教は任期満了で退職）が、ラ・トロブ大学と協議の上で新たな協定を締結し、2023年10月より統計・データサイエンス分野の若手教授をクロスアポイントメント（50%ずつ、本務地はラ・トロブ大学）で雇用してオーストラリア分室を継続することとした。その結果、国際公募によって Hien Duy Nguyen 教授を採用し、La Trobe 大学に常駐しつつ、各学期毎に3週間程度 IMI を訪問して共同研究、集中講義などを行うこととした。

- La Trobe-Kyushu Joint Seminar on Mathematics for Industry の開催: 11 回
- Mathematics in Industry Study Group (MISG 2025) (2025年2月10日～14日、メルボルン) への派遣：教員1名、大学院生1名。
- オーストラリア・ニュージーランド応用数理学会年会 (ANZIAM 2025) (2025年2月2日～6日、コフス・ハーバー) への派遣：教員3名・大学院生1名。
- Hien Duy Nguyen 教授が2024年11月11日から28日、および2025年3月3日から29日の二回にわたり IMI を訪問し、11月18日から21日にかけては集中講義を実施している。
- 2025年1月30日から2月1日、2月7日から8日、2月17日から18日の三度にわたり、Cesana 准教授が La Trobe 大学の Andriy Olenko 教授を訪問した。

8 マレーシアとの提携

2024年9月12日、マレーシア工科大学において、九州大学マス・フォア・インダストリ研究所（IMI）とマレーシア工科大学産業数理・応用数理センター（UTM-CIAM）の交流協定（Letter of Intent, LoI）が締結され、調印式が行われた。

また、それを基盤に JST の日 ASEAN 科学技術・イノベーション協働連携事業（NEXUS）に IMI から提案していた交流計画「日本とマレーシアの最先端産業応用数学の研究協力」（実施主担当者：佐藤文一教授）が採択された。この交流計画に基づいた教員間の人材交流計画に加え、2025年8月26日にはマレーシアとの国際研究集会“Malaysia-Japan Symposium on Mathematical and Statistical Modelling”を企画するなど、学生・研究者の交流を継続している。

9 2024年度長期インターンシップ実施状況

9.1 数理学府

氏名：床波 航

研究機関：重工メーカー

期間：2か月

指導教員：落合 啓之

テーマ：地球温暖化への対策および持続可能な食料供給のためのレジリエントな水管理モデリング

氏名：重信 賢直

研究機関：化学製品メーカー

期間：2か月

指導教員：神山 直之

テーマ：物理ベース機械学習アルゴリズムを用いた定電流計算の高速化

氏名：大前 諄起

研究機関：重工メーカー

期間：1か月

指導教員：落合 啓之

テーマ：複雑系数理における DNB（動的ネットワークバイオマーカー）理論の適用可能性検討

氏名：萩原 涼太

研究機関：電機メーカー

期間：1か月

指導教員：笹平 裕史

テーマ：脱炭素・ESG ×金融×デジタル技術を活用した新事業開発

氏名：鳥井 陽介

研究機関：電機メーカー

期間：1か月

指導教員：笹平 裕史

テーマ：プライバシーの保護加工を行ったデータの保護強度とこのデータで学習した行動モデルの精度の関係調査

9.2 マス・フォア・イノベーション関係学府

氏名: 太田 亮輔

研究機関: University of Valencia、スペイン

期間: 3 か月

指導教員: 佐伯 修

テーマ: Application of singularities of differentiable maps to the topology of manifolds

氏名: 田島 凌太

研究機関: 電気メーカー, 日本

期間: 2 か月

指導教員: 小林 真一

テーマ: デジタル署名方式のサイズ等削減

氏名: 施 展

研究機関: 電機メーカー, フランス

期間: 2 か月

指導教員: 翁 林

テーマ: 有限体上の曲線の非可換ゼータ関数の研究

氏名: Ho Ka Long Keith

研究機関: La Trobe University, オーストラリア

期間: 2 か月

指導教員: 廣瀬 慧

テーマ: Information criterion based pruning scheme in regression

氏名: 池田 香凜

研究機関: Queen's University, カナダ

期間: 3 か月半

指導教員: 金子 昌信

テーマ: 確率数論

氏名: 前原 将太

研究機関: Ruhr University Bochum, ドイツ

期間: 2 か月

指導教員: 落合 啓之

テーマ: 多重配置の extendability, multi-Euler

10 談話会

2024-04-02

Christopher Deninger (University of Münster)

Hasse Weil zeta functions as dynamical zeta functions

2024-05-16

日下部 佑太 (九州大学数理学研究院)

Levi 問題から岡の原理へ、そして新たな Levi 問題へ

2024-06-27

平良 晃一 (九州大学数理学研究院)

波の伝播と超局所解析

2024-07-11

杉山 真吾 (金沢大学)

Hecke 固有値の代数的整数性と Hecke 体の次数評価への応用

2024-10-31

中村 健太郎 (九州大学)

階数 2 の p 進ガロア表現に対する岩澤主予想

2024-11-14

埴原 紀宏 (九州大学)

森田理論と Cohen-Macaulay 表現論

2024-12-17

Chenyang Xu (Princeton Univ.)

Local K-stability of singularities

2025-01-30

横山 俊一 (東京都立大学)

高水準言語 Julia を用いた数式処理システム開発とその展望

11 IMI Colloquium

2024-04-10

谷口 哲至

株式会社 産業数理研究所 Calc 代表取締役社長

広島工業大学 准教授

数学者が数学を産業界に活かす活動～産業界に期待される数学って何？～

2024-05-08

小川口 深雪

(株) 四国総合研究所 エネルギー技術部 副主席研究員

数値シミュレーションによる設備運用・保全支援

2024-06-12

吉良 知文 (九州大学マス・フォア・インダストリ研究所 准教授)

もし IMI の准教授が野球のマネージャーになったら

2024-07-10

GIM Minjung

National Institute for Mathematical Sciences, Korea

Ajou University Department of Mathematics, Korea

Soon-Sun Kwon

Ajou University Department of Mathematics, Korea

Statistical Distances with Mathematical Explanation / Statistical Learning Models in Functional structure of Clinical data

2024-10-09

中野 泰河

ナブソン株式会社

半導体試料への高精度な抵抗率測定に向けた数値シミュレーション活用への取り組み

2024-11-13

日本電気株式会社 NEC セキュアシステム 中島 明

準同型暗号の基礎と応用; Introduction to homomorphic encryption and its applications

2024-12-11

ダイキン工業株式会社 高根沢 悟

空調機の数値シミュレーションと数理的課題

2025-01-08

東芝 研究開発センター / 九州大学 マス・フォア・インダストリ研究所 山口 晃広

インフラ・製造分野向け波形異常診断 AI; Anomaly Diagnosis AI on Waveforms for Infrastructure and Manufacturing

2025-01-23

Martin Kružík (Institute of Information Theory and Automation, The Czech Academy of Sciences/ Faculty of Civil Engineering, The Czech Technical University in Prague)

Non-interpenetration of Matter in Lower-Dimensional structures

12 集中講義

2024-05-21 – 2024-05-24

富士通株式会社

穴井 宏和、梅田 裕平、CHANG Shuang、上村 健人

数理・人工知能のフロンティアと社会価値創造 (4 年: 数理科学特論 15) (院: 数理科学特別講 XV)

2024-06-03 – 2024-06-07

佐々木 格 (信州大学)

Bogoliubov 変換による量子場の解析について (4 年: 数理科学特論 10) (院: 数理科学特別講義 X)

2024-07-01 – 2024-07-05

沈 維考 (復旦大学)

力学系における単調性と横断性 (4 年: 数理科学特論 14) (院: 数理科学特別講義 XIV)

2024-07-08 – 2024-07-12

隠居 良行 (東京工業大学)

流体方程式の分岐安定性解析 (4 年: 数理科学特論 6) (院: 数理科学特別講義 VI)

2024-07-08 – 2024-07-12

杉山 真吾 (金沢大学)

保型 L 関数の族の low-lying zero の分布 (4 年: 数理科学特論 9) (院: 数理科学特別講義 IX)

2024-07-23 – 2024-07-26

三浦 達哉 (京都大学)

部分多様体の幾何解析の諸課題 (4 年: 数理科学特論 11) (院: 数理科学特別講義 XI)

2024-09-10 – 2024-09-17

溝口佳寛 (マス・フォア・インダストリ研究所教授)

川野秀一 (大学院数理学研究院教授)

小谷久寿 (数理・データサイエンス教育研究センター助教)

数理データサイエンス PBL 集中講義

2024-10-07 – 2024-10-11

小池 茂昭 (早稲田大学)

粘性解入門 - 超関数解が扱えない方程式の弱解 - (4 年: 数理科学特論 3) (院: 数理科学特別講義 III)

2024-10-15 – 2024-10-18

阿部 拓郎 (立教大学)

超平面配置の対数的ベクトル場とその代数・幾何・組み合わせ論 (4 年: 数理科学特論 1) (院: 数理科学特別講義 I)

2024-10-21 – 2024-10-25

荒野 悠輝 (名古屋大学)

部分因子環論とテンソル圏入門 (4 年: 数理科学特論 13) (院: 数理科学特別講義 XIII)

2024-10-21 – 2024-10-25

岡本 健太郎 (和から株式会社)

実践統計学 (4 年: 数理科学特論 4) (院: 数理科学特別講義 IV)

2024-11-11 – 2024-11-15

龍田 真 (国立情報学研究所)

情報論理学 「一階述語論理とホーア論理」 (4 年: 数理科学特論 2) (院: 数理科学特別講義 II)

2024-11-25 – 2024-11-29

奥田 隆幸 (広島大学)

等質空間上の群作用の固有性と粗幾何学 (4 年: 数理科学特論 7) (院: 数理科学特別講義 VII)

2024-11-26 – 2024-11-29

寺田 吉壺 (大阪大学)

関数データ解析の基礎と応用 (4 年: 数理科学特論 8) (院: 数理科学特別講義 VIII)

2024-11-18 – 2024-11-21

Hien Duy Nguyen(九州大学マス・フォア・インダストリ研究所 / La Trobe University)

Approximation Theory for Statistical Learning(院: 数理科学特別講義 XVI)

2024-12-16 – 2024-12-20

岸本 崇 (埼玉大学)

Severi-Brauer 多様体の双有理幾何学とシリンダー性 (4 年: 数理科学特論 5) (院: 数理科学特別講義 V)

2025-01-27 – 2025-01-30

横山 俊一 (東京都立大学)

計算機代数システム Magma と計算機数論 (4 年: 数理科学特論 12) (院: 数理科学特別講義 XII)

13 セミナー

- 代数学セミナー

2024-04-02

Christopher Deninger (University of Münster)

Hasse Weil zeta functions as dynamical zeta functions

2024-04-26

Kang Zuo (Wuhan University)

p -adic Simpson correspondence, motivic Higgs bundles and Katz convolution

2024-05-10

埴原 紀宏 (九州大学)

Cohen-Macaulay representations in triangulated categories

2024-06-07

馬 昭平 (東京工業大学)

Mixed Hodge structures of locally symmetric varieties

2024-07-12

Didier Lesesvre (Lille 大学)

Poles of Rankin-Selberg L-functions

2024-10-04

Vaidehee Thatte (King's College London)

Ramification Theory for Henselian Valued Fields

2024-10-25

山口 永悟 (東京工業大学)

Anabelian geometry and m -step solvable reconstruction

2024-12-03

中村 健太郎 (九州大学)

A local sign decomposition for symplectic self-dual Galois representations

2024-12-13

翁 林 (九州大学)

Murmurations and Sato-Tate Conjectures for High Rank Zetas of Elliptic Curves

2025-01-24

井上 翔太 (日本大学)

Riemann ゼータ関数の非自明零点の間隔について

● 幾何学セミナー

2024-04-12

宮武 夏雄 (東北大学)

Cyclic volume forms for a positive singular Hermitian metric on the canonical bundle over Kähler manifolds

2024-05-10

中田 彬文 (広島大学)

等質空間上の確率測度に対する Delsarte 理論

2024-05-24

濱中 翔太 (大阪大学)

全スカラー曲率の極限定理

2024-06-21

小林 彦蔵 (広島大学)

左不変統計構造のモジュライ空間と双対平坦性および共役対称性

2024-06-28
平良 晃一（九州大学）
Spectral theory for the d'Alembertian on Lorentzian manifolds

2024-07-05
Tianyu Yuan（Peking University）
A local computation of finite Hecke algebra using Floer theory

2024-07-12
本田 公（UCLA）
A Morse A_∞ -model for the higher-dimensional Heegaard Floer homology of cotangent fibers

2024-07-17
Sheng-Fu Chiu（National Hsing Hua University）
Quantum Speed Limit and Relative Categorical Energy

2024-07-19
直川 耕祐（広島工業大学）
可展面に現れる特異点とその離散化について

2024-08-02
前川 拓海（東京大学）
“Six” perspective(s) on the J-homomorphism

2024-08-02
宮澤 仁（京都大学）
4次元多様体に埋め込まれた曲面の不変量とエキゾチック P^2 -knot

2024-10-04
山口 健太郎（東京都立大学）
アフィン部分空間から定まるシンプレクティックトーリック多様体の同変埋め込み

2024-10-25
鈴木 良明（新潟大学）
Heisenberg Bieberbach 多様体上の Folland-Stein 作用素のスペクトル

2024-11-08
高橋 雄也（名古屋大学）
Riemann 面上の $SU(2)$ -平坦接続のモジュライ空間の幾何学的量子化に現れるオペラッド構造

2024-11-15
Hao Chen（ShanghaiTech Univ）
Triply Periodic Minimal Surfaces, an interdisciplinary topic

2024-11-29
奥田 隆幸（広島大学）
Coarse coding theory and discontinuous groups for homogeneous spaces

2024-12-13
山口 夏穂里（立命館大学）
Fisher 計量を用いた δ 概十分統計量の定式化とその特徴づけ

2024-12-20
下山 翔（東京大学）
 p -勾配流の一意性とパラメータ変換

2025-01-23
吉田 謙祐（九州大学）
架空名義入札, 談合, 転売, 情報の非対称性に頑健なオークション形式の設計

2025-01-24

井上 俊実 (九州大学)

非等方的平均曲率が零または有界な超曲面について

2025-01-27

趙 俊霖 (九州大学)

Topological Analysis of Feedforward Neural Network with Mapper Algorithm

2025-01-27

袁 亜文 (九州大学)

CT-Image Analysis with Cubical Persistent Homology and Machine Learning

2025-01-31

木村 直記 (東京理科大学)

Hesse 多様体の一般化と Poisson 幾何

2025-02-07

古賀 勇 (九州国際大学)

球面, 複素射影空間, 四元数射影空間を終域とする調和写像のモジュライ空間の構成

● 関数方程式セミナー

2024-04-19

三宅 庸仁 (九州大学)

Threshold-type algorithm for gradient flows of Canham-Helfrich type functional

2024-04-26

小杉 卓裕 (福岡工業大学)

ある制約条件付き平均場ゲームで表される価格形成モデルの解の存在

2024-05-10

高橋 仁 (東京工業大学)

Sobolev 優臨界な半線形熱方程式における臨界ノルム爆発について

2024-05-17

太田 雅人 (東京理科大学)

非線形シュレディンガー方程式の定在波の強不安定性について

2024-05-24

小島 瑞輝 (東京工業大学)

時間非整数階微分を含む半線形熱方程式の臨界冪における可解性と非可解性について

2024-05-31

渡邊 圭市 (公立諏訪東京理科大学)

Maximal (L_1)-regularity approach to the free boundary problem of the Navier-Stokes equations via generalized semigroup theory

2024-06-07

岡 大将 (福岡工業大学)

Homogenization problem with nonlinear boundary conditions and its applications to optimal design problems

2024-06-14

佐藤 拓也 (熊本大学)

非線形消散型シュレディンガー方程式の特別な解の長時間挙動

2024-06-21

平良 晃一 (九州大学)

Uniform resolvent estimates for the discrete Schrödinger operator in dimension three

2024-07-05

竹田 寛志 (福岡大学)

強消散項を含む非線形弾性波方程式の時間周期解について

2024-07-12

隠居 良行 (東京工業大学)

圧縮粘性流体方程式の分岐周期パターンの安定性について

2024-07-19

小藺 英雄 (早稲田大学・東北大学)

Generalized quasi-geostrophic equation in the critical Lorentz-Besov space based on the maximal regularity theorem

2024-07-26

三浦 達哉 (京都大学)

平面 p -弾性曲線に対する安定性理論

2024-12-13

清水 一慶 (京都大学)

Time decay estimate for localized perturbation around helical state for 2D Landau-Lifshitz-Gilbert equation

2024-12-13

池畠 良 (広島大学)

波動方程式の古典的かつ最新の話

- 表現論セミナー

2024-06-20

山口尚哉 (宮崎大学)

巡回行列式と不変式論

- 九州確率論セミナー

2024-04-26

土田 兼治 (防衛大学校)

On some estimates of symmetric stable-type processes with singular or degenerate Lévy densities

2024-05-17

稲濱 譲 (九州大学)

Wong-Zakai approximation of density functions

2024-05-24

中島 誠 (名古屋大学)

3次元 Edwards 模型の確率量子化

2024-05-31

清水 良輔 (早稲田大学)

Sobolev spaces, self-similar energies and energy measures on the Sierpinski carpet

2024-06-14

高野 凌史 (大阪大学)

Large deviation principle for stochastic differential equations driven by stochastic integrals

2024-06-21

Hoi H. Nguyen (The Ohio State University)

On roots of random polynomials

2024-07-05

渡辺 樹 (大分大学)

Continuum limit of nonlocal diffusion on inhomogeneous networks

2024-07-19

長田 博文 (中部大学)

Determinantal point processes and diffusions

2024-10-04

江崎 翔太 (大分大学)

Concentration of measure related to Generalized Normal Distribution

2024-10-25

稲濱 譲 (九州大学)

Averaging principle for slow-fast systems of rough differential equations via controlled paths

2024-11-15

広兼 巳紀雄 (大阪大学)

A limit theorem for generalized tempered stable processes and their quadratic variations with stable index tending to two

2024-11-29

金澤 秀 (京都大学)

Central limit theorem for linear eigenvalue statistics of the adjacency matrices of random simplicial complexes

2024-12-13

野田 涼一郎 (京都大学)

Convergence of collision measures of stochastic processes on resistance metric spaces

2025-01-10

楠岡 誠一郎 (京都大学)

構成的場の理論と確率量子化

2025-01-24

蛭名 真久 (京都大学)

Malliavin-Stein approach to local limit theorems

2025-01-31

原 隆 (九州大学)

くりこみ群の考え方 (厳密でない解説)

• **La Trobe-Kyushu Joint Seminar on Mathematics for Industry**

2024-05-07

Daniel Fryer (La Trobe University)

The wealth of features: towards a coherent cooperative game theory for feature importance

2024-05-28

Hiroaki Wagatsuma

(Graduate School of Life Science and Systems Engineering, Kyushu Institute of Technology)

Description Logics and its Industry Needs: A Mechanism of Reasoning with Horn Clauses

2024-06-04

Junze Zhang (University of Queensland, Australia)

Poisson polynomial algebras in superintegrable systems: Structures and representations

2024-07-02

Canh Minh Do (Japan Advanced Institute of Science)

Automated Quantum Protocol Verification Based on Concurrent Dynamic Quantum Logic

2024-08-27

Katherine Seaton (La Trobe University)

Hitomezashi mathematics

2024-09-03

Marco Morandotti (Politecnico di Torino)

Dynamics of crystal defects: dislocations and disclinations

2024-10-01

Paul Kabaila (La Trobe University)

The performance of Yu and Hoff's confidence intervals for treatment means

2024-10-15

Marcos Gomes Eleutério da Luz (Universidade Federal do Paraná, Brasil)

Graphs topological quantifiers and Green's functions: ideal mathematical concepts in modeling systems of interest in applications

2024-11-26

Owen Dearricott (La Trobe University)

Integrable systems Painlevé VI and explicit solutions to the anti-self dual Einstein equation via radicals

2024-12-10

Yoàv Montacute (National Institute of Informatics)

Expressivity Meets Decidability in Spatiotemporal Logics

2025-02-25

Christian Thomas (Macquarie University, Australia)

Linear disturbance development on a rotating disk with time-periodic motion

● 統計科学セミナー

2024-05-17

吉田 拓真 (鹿児島大学 大学院理工学研究科)

A feature grouping method for clustered extreme value data

2024-07-12

Andriy Olenko (La Trobe University, Australia)

Simultaneous parameter estimation of cyclic long-memory time series

2024-07-26

室谷 健太 (久留米大学 医学部 医療検査学科)

医学研究における標準的生存時間分析・競合リスク・マルチステートモデル

2024-10-25

丸山 祐造 (神戸大学 大学院経営学研究科)

Minimaxity under the half-Cauchy prior

2024-11-15

小池 祐太 (東京大学 大学院数理科学研究科)

高次元データに対するブートストラップ法と漸近展開

2024-11-29

寺田 吉壱 (大阪大学大学院基礎工学研究科)

関数データに対する半教師付き及び教師なし分類問題とその応用

2024-12-13

室屋 秀平 (九州大学大学院マス・フォア・イノベーション関係学府)
精確な推定を実現する glmnet の設定値選択

2024-12-13

二階 壮真 (九州大学大学院数理学府)
精度構造推定に基づく共分散構造のロバスト推定に関する研究

2025-01-24

松井 孝太 (名古屋大学 大学院医学系研究科)
転移学習の基本概念、理論的な展開と材料科学問題への適用

2025-02-10

Soon-Sun Kwon (Ajou University)
From Complexity to Clarity: Clustering and Classification for multidimensional functional structure

2025-03-06

Minh Ha Quang (RIKEN Center for Advanced Intelligence Project)
Wasserstein and Fisher-Rao distances between Gaussian processes

2025-03-07

原瀬 晋 (立命館大学理工学部)
マルコフ連鎖モンテカルロ法のための準乱数とベイズ統計

2025-03-28

豊田 祥史 (九州大学 大学院システム情報科学研究院)
尤度なし時系列統計解析

- 福岡複素解析セミナー (W1-D-313)

2024-05-21

日下部 佑太 (九州大学数理学研究院)
Toward Gromov's Oka principle with growth conditions

2024-06-25

Zhangchi Chen (Chinese Academy of Sciences)
Universal holomorphic maps, conflict between full hypercyclicity and slow growth

2024-09-05

Franz Forstnerič (University of Ljubljana)
Minimal surfaces from a complex analytic viewpoint

2024-10-11

松村 慎一 (東北大学)
Fundamental groups of compact Kähler manifolds with semi-positive holomorphic sectional curvature

2024-12-06

吉田 正章 (九州大学)
超幾何的黑写像

- 作用素環論・エルゴード理論セミナー

2024-12-09

縄田 紀夫 (大阪大学)
 $\mathcal{W}$ -absorbing actions of finite groups

2024-12-13

Zhuang Niu (University of Wyoming)
Structure of transformation group C^* -algebras

2024-12-20

山上 滋 (名古屋大学)

自由群の球表現と Haagerup の正定値関数

- 数理物理セミナー (W1-C-616)

2024-06-13

平良 晃一 (九州大学)

Essential self-adjointness of wave operators on Lorentian manifolds

2024-06-20

樋口 健太 (愛媛大学)

エネルギー交差における状態の半古典漸近挙動について

2024-10-04

高江洲 俊光 (群馬大学)

ポテンシャルの減衰による binding 条件

2024-11-07

福嶋 翔太 (千葉工大)

界面抵抗のある完全導体による静電場の摂動

2024-12-12

Marius Wesle (Universitat Tübingen)

Hall-conductivity in periodic infinite-volume Systems

2024-12-19

佐々木 伸 (熊本学園大学)

Picard-Fuchs 方程式を用いた荷電球対称時空におけるテスト粒子の散乱角の解析

2025-02-13

峯 拓矢 (京都工芸繊維大)

IDS for point interactions supported on the determinantal processes

2025-03-11

Jesse Gell-Redman (University of Melbourne)

Microlocal methods in scattering for nonlinear evolution equations

2025-03-11

Moritz Doll (University of Melbourne)

Microlocal Analysis of the Klein-Gordon equation

2025-03-11

Merz Konstantin (TU Braunschweig)

On the electron distribution of relativistic atoms and heat kernel bounds

2025-03-27 16:30 – 2025-03-27 18:00

上島芳倫 (東洋大学)

量子 Ising 模型に対するレース展開

- トポロジー金曜セミナー

2024-06-14

武田 雅広 (九州大学)

The space of commuting elements in an exceptional Lie group and maps between classifying spaces

2024-07-26

高野 暁弘 (大阪大学)

Stabilizer subgroups of Thompson's group F in Thompson knot theory

2024-08-02

前川 拓海 (東京大学)

“Six” perspective(s) on the J-homomorphism

2024-08-02

宮澤 仁 (京都大学)

4次元多様体に埋め込まれた曲面の不変量とエキゾチック P^2 -knot

2024-11-20

箕輪 悠希 (京都大学)

Rational parametrized topological complexity

2024-12-06

Serban Matei Mihalache (佐賀大学)

2つの3次元多様体の量子不変量に関する同値性について

2024-12-20

佐藤 正寿 (東京電機大学)

Torelli 群の降中心列とホモロジーシリンダーのなすモノイドの Y 降下

2025-01-24

中村 祐誠 (九州大学)

Construction of new relation in mapping class group by using covering map

2025-01-24

家村 一成 (九州大学)

3次特殊直交群上のある種の Morse-Bott 関数の構造について

2025-01-24 17:20 – 2025-01-24 17:50

岩倉 康樹 (九州大学)

Non-singular extensions of circle-valued Morse functions

2025-01-28

北澤 直樹 (九州大学)

A classification of Morse functions on 3-dimensional closed manifolds represented as connected sums of $S^1 \times S^2$ and Lens spaces

2025-01-28

小島 道 (九州大学)

Non-isotopic trisections of a 4-manifold and Nielsen equivalence

2025-01-28

Boldizsar Kalmar (Eotvos Lorand University / Budapest University of Technology and Economics)

Cobordism group of Morse-Bott functions on Surfaces

2025-02-21

野崎 雄太 (横浜国立大学)

ホモロジーシリンダーに関わる群のねじれ元

● 暗号学セミナー

2024-07-03

森田 啓 (Aarhus University, University of Copenhagen)

テーブル引きを用いて AES を秘密計算する新方式 MAESTRO

2024-08-27

橋本 侑知 (東京電機大学)

楕円曲線の超特異性判定アルゴリズム

2024-08-27

小貫 啓史 (東京大学)

同種写像署名方式 SQIsign と Deuring 対応計算アルゴリズム

2024-10-02

品川 和雅 (茨城大学)

有限群の一様巡回群分解について

2024-10-10

Vishnupriya Anupindi (Austrian Academy of Sciences, RICAM)

Properties of pseudorandom numbers from genus 2 curves

2024-10-30

内山 智貴 (早稲田大学)

Function Secret Sharing と文字列検索への応用

2024-11-20

中川 皓平 (NTT 社会情報研究所)

2次元の同種写像を用いた署名方式について

- 多項式数学セミナー

2024-10-02

Sohei Tateno (Nagoya University)

Iwasawa theory for weighted graphs

2025-02-06

Kaoru Yamamoto (Kyushu University)

Bounded disturbance amplification in mass chains

- 現象数理セミナー

2024-11-29

David Wood (The University of Calgary, Canada)

Consistent boundary conditions for computational fluid dynamics modelling in steady, incompressible, two-dimensional flow

2024-12-09

Michael Vynnycky (University of Limerick, Ireland)

Beyond the Richards equation: two-phase flow in an unsaturated porous medium

2024-12-09

Daurenbek Serikbaev (Institute of Mathematics and Mathematical Modeling, Almaty, Kazakhstan)

Inverse problem of determining time-dependent leading coefficient in the time-fractional heat equation

2025-03-03

Intan Diyana Munir (University of Technology Malaysia)

Analysis of the Unsteady Solute Dispersion in a Blood Flow Through a Catheterized Artery with the Presence of Stenosis and Chemical Reaction

- 解析セミナー

2024-12-06

川越 大輔 (京都大学)

小さな有界凸領域における定常 Boltzmann 方程式の解の存在と正則性

2025-01-10

猪奥 倫左 (東北大学)

非線形増大度の分類に基づく半線形楕円型方程式の特異解の構成

- 代数幾何学セミナー

2024-12-17

Chenyang Xu (Princeton Univ.)

Local K-stability of singularities

- その他

2024-10-18

Takuji Kashiwabara (Grenoble Alpes University)

Generating series method in algebraic topology

2025-01-22

Martin Kruzik (チェコ科学アカデミー)

Variational Methods in Continuum Mechanics of Solids

2025-01-24

Martin Kruzik (チェコ科学アカデミー)

A Model of Viscoelastic Solids

2025-02-18

Zied Ammari (University of Rennes 1)

Mean field theory of many-body quantum systems

2025-03-05

福本 康秀 (マス・フォア・インダストリ研究所)

福本康秀教授 最終講義: ながれにまかせて 40 余年、流体力学はわかる？

2025-03-05

原 隆 (数理学研究院)

原隆教授 最終講義: 量子力学・場の量子論と統計力学

2025-03-11

若林 泰央 (阪大情報)

Oper, Dormant Oper, p-adic Teichmuller theory

14 Kyushu Journal of Mathematics

Kyushu Journal of Mathematics

Vol. 78 (2024) No. 1

Nobuaki YAGITA

Algebraic cobordism and flag varieties

Keiichiro NOMOTO

Lower bound for the 2-adic valuations of central L -values of elliptic curves with complex multiplication

Benjamin CAHEN

Berezin correspondence and Stratonovich–Weyl correspondence for the semi-direct product of the Heisenberg group and $SU(p, q)$

Hironobu SASAKI

Remark on the scattering operator for the two-dimensional nonlinear Klein–Gordon equation with exponential nonlinearity

Shamik DAS, Anupam SAIKIA

Families of non-congruent numbers with arbitrarily many triplets of prime factors

Hironobu KIMURA

On the Lie algebra of contiguity for the hypergeometric functions F_A , F_B and F_D

Nguyen THINH, Dang Hung THANG, Ta Cong SON

On the regularity of generalized random spectral measures and their applications

Yuta MARUYA, Yutaka MATSUI

Asymptotic behavior of composite numbers with three constrained prime factors of general type

Yasuaki FUJITANI

Aronson – Bénilan gradient estimates for porous medium equations under lower bounds of N -weighted Ricci curvature with $N < 0$

Norio EJIRI, Toshihiro SHODA

The existence of hyperelliptic minimal surfaces with even genus and their geometric invariants

Michihiro HIRAYAMA, Davit KARAGULYAN

On Möbius disjointness for infinite measure-preserving transformations

Alexey BESHENOV

Zeta-values of one-dimensional arithmetic schemes at strictly negative integers

Kodai OYU

The maximal ideal cycles over normal surface singularities defined by $z^3 = f(x, y)$

Tadayoshi ADACHI, Yuta TSUJII

On multidimensional inverse scattering under the time-dependent Stark effect

Hiroaki NAKAMURA, Rani Sasmita TARMIDI

On a two-parameter family of tropical Edwards curves

Setsuo TANIGUCHI

Transformations and quadratic forms on Wiener spaces

Jerome T. DIMABAYAO, Soma PURKAIT

A variant of the congruent number problem

Fuminori KAWAMOTO, Yasuhiro KISHI, Koshi TOMITA

On some subgroups of the ideal class group of real quadratic orders

Shun SHIMOMURA

Two error bounds of the elliptic asymptotics for the fifth Painlevé transcendents

15 International Journal of Mathematics for Industry

マス・フォア・インダストリに関する査読付き電子ジャーナル International Journal of Mathematics for Industry (IJMI) はマス・フォア・インダストリ研究所 (IMI) が World Scientific 社の協力を得て刊行する査読付き英文学術誌でオープンアクセス形式をとります。Scopus にもインデックスされるようになっています。2009 年 4 月に大学院数理学府のグローバル COE プログラムのもとで創刊した Journal of Math-for-Industry は、2014 年に Pacific Journal of Mathematics for Industry (Springer-Nature) となり、2019 年からは現在の IJMI に新装されました。

産業界の数学的問題の解決やその基礎たり得る数学理論等、マス・フォア・インダストリ全般を対象とするのが特徴です。狭義の研究論文に留まらず、産業数学の現状分析や産官学連携に関する評論なども収めます。エディターには、アジア・太平洋地域を中心に、国内外の大学・企業の有力研究者の協力を得ています。

Volume 16, Issue 01 (December 2024)

An asymptotic expansion of the solution of a semi-linear partial differential equation implied by a nonlinear Feynman-Kac formula

Kaori Okuma

Published: 22 February 2024

A model of redistribution of dopant in a multilayer structure with changing overgrowth regime

E. L. Pankratov

Published: 8 March 2024

Maximal resolving sets in a graph

V. Swaminathan and R. Sundareswaran

Published: 15 March 2024

m -step inverse fuzzy mixed competition graphs

Rahul Mondal and Ganesh Ghorai

Published: 24 April 2024

Sensitivity and bifurcation analysis of corruption dynamics model with control measures

Tesfaye Worku Gutema, Alemu Geleta Wedajo, and Purnachandra Rao Koya

Published: 25 May 2024

A novel approach on laplacian energy of σ J-dominating complex spherical fuzzy graph structures and with application

S. N. Suber Bathusha, S. Angelin Kavitha Raj, Mufti Mahamud, and Sowndharya Jayakumar

Published: 1 June 2024

Caputo fractional model for the predator-prey relation with sickness in prey and refuge to susceptible prey

Shivani Sharma, Ravi Shanker Dubey, and Arun Chaudhary

Published: 5 July 2024

Insurance design for the loss of epidemic outbreaks involving Cramer Lundberg model

Andres Mauricio Molina Barreto, Naoyuki Ishimura, Koichiro Takaoka, and Chenwei Sun

Published: 29 June 2024

Analytic solutions of fractional kinetic equations involving incomplete N -function

Manisha Meena and Mridula Purohit

Published: 16 July 2024

On estimation of maximal value of full diffusion time of infused and implanted dopants

E. L. Pankratov

Published: 16 July 2024

Maximal productivity rate of threading machine operations

Ryspek Usubamatov, Darina Kurganova, and Sarken Kapayeva

Published: 17 July 2024

Hybrid technique for multi-dimensional fractional diffusion problems involving Caputo-Fabrizio derivative

Surendar Kumar Yadav, Mridula Purohit, Murli Manohar Gour, Lokesh Kumar Yadav, and Manvendra Narayan Mishra

Published: 23 July 2024

On fractional Pennes bio-heat equation using Legendre collocation method

Arvind Kumar Mishra, Sushil Kumar, and Ajay Kumar Shukla

Published: 20 August 2024

Strong incidence domination in some operations of fuzzy incidence graphs and application in security allocation

Kavya R. Nair and M. S. Sunitha

Published: 24 August 2024

Optimization of machining for the maximal productivity rate of the drilling operations

Ryspek Usubamatov and Abdusamad Abdiraimov

Published: 24 August 2024

An efficient technique to study of time fractional Whitham-Broer-Kaup equations

Nishant Bhatnagar, Kanak Modi, Lokesh Kumar Yadav, and Ravi Shanker Dubey

Published: 30 August 2024

Reaction-diffusion for fish populations with realistic mobility

Philip Broadbridge

Published: 28 October 2024

Pseudo-random number generation with β -encoders

Charlene Kalle, Evgeny Verbitskiy, and Benthien Zeegers

Published: 16 December 2024

16 MI レクチャーノートシリーズ

MI (Math-for-Industry) レクチャーノートシリーズは、文部科学省 21 世紀 COE プログラム「機能数理学の構築と展開」(平成 15 年～19 年)において刊行された COE レクチャーノートの後継シリーズです。文部科学省大学院教育改革支援プログラム「産業技術が求める数学博士と新修士養成」(平成 19 年～21 年)、グローバル COE プログラム「マス・フォア・インダストリ教育研究拠点」において招聘された国内外の研究者による連続講義に基づく講義・講演録を公開してきました。同プログラム終了後も、平成 23 年 4 月のマス・フォア・インダストリ研究所設立と平成 25 年 4 月の同研究所の文部科学省共同利用・共同研究拠点として「産業数学の先進的・基礎的共同研究拠点」の認定を受け、MI レクチャーノートはマス・フォア・インダストリに関わる国内外の研究者による講義の講義録、会議録等として出版を続けています。

Volume No. : 100

Title : 2024 度採択分 九州大学マス・フォア・インダストリ研究所 共同利用研究集会 情報通信の技術革新のための基礎数理

Editors : Yutaka Jitsumatsu, Masayoshi Ohashi, Akio Hasegawa, Katsutoshi Shinohara, Shintaro Mori

Written In : English

ISSN : 2188-1200

Published On : 2025 年 3 月 19 日

Volume No. : 99

Title : 2024 度採択分 九州大学マス・フォア・インダストリ研究所 共同利用研究集会 コンピュータによる定理証明支援とその応用

Editors : Jacques Garrigue

Written In : Japanese

ISSN : 2188-1200

Published On : 2025 年 3 月 17 日

Volume No. : 98

Title : 2024 度採択分 九州大学マス・フォア・インダストリ研究所 共同利用研究集会 自動車性能の飛躍的向上を目指す Data-Driven 設計

Editors : 中澤 嵩

Written In : Japanese

ISSN : 2188-1200

Published On : 2025 年 2 月 24 日

Volume No. : 97

Title : 2023 度採択分 九州大学マス・フォア・インダストリ研究所 共同利用研究集会 Proceedings of 4th Malaysia Mathematics in Industry Study Group (MMISG2023)

Chief Editors : Zaitul Marlizawati Zainuddin, Arifah Bahar

Editors : Shariffah Suhaila Syed Jamaludin, Zaiton Mat Isa, Nur Arina Bazilah Aziz, Taufiq Khairi Ahmad Khairuddin, Shaymaa M.H.Darwish, Ahmad Razin Zainal Abidin, Norhaiza Ahmad, Zainal Abdul Aziz, Hang See Pheng, Mohd Ali Khmaeini Ahmad

Written In : English

ISSN : 2188-1200

Published On : 2024 年 4 月 2 日

索引

- ADACHI, Taiga, 150
ASO, Keita, 144
CESANA, Pierluigi, 112
DHARMASIRI, Erandi Udayanga, 139
FABBRINI, Edoardo, 141
FITRIANI, Sukma Wahyu, 129
FUJII, Akinori, 146
FUJII, Mikihiro, 126
FUJISAWA, Katsuki, 98
FUKASAKU, Ryoya, 62
FUKUMOTO, Yasuhide, 96
GAINA, Daniel, 107
GOTO, Akihiro, 135
GOTO, Yuichi, 58
HAMADA, Noriyuki, 125
HAN, Songlin, 145
HANIHARA, Norihiro, 60
HARA, Takashi, 28
HASHIMOTO, Go, 155
HASUI Taro, 130
HIKAMI, Kazuhiro, 54
HIKIMA, Yasunari, 145
HIROSE, Kei, 95
HIROSE, Masayo, 116
HIROSHIMA, Fumio, 30
HO, Ka Long Keith, 150
IKE, Yuichi, 105
IKEDA, Karin, 152
IKEMATSU, Yasuhiko, 106
INAHAMA, Yuzuru, 4
ISHII, Yutaka, 3
ISHITSUKA, Yasuhiro, 119
KAJI, Shizuo, 80
KAJIWARA, Kenji, 81
KAMIMOTO, Joe, 13
KAMIYAMA, Naoyuki, 82
KANEKO, Masanobu, 10
KATADA, Mai, 57
KAWAMOTO, Kohei, 153
KAWANO, Shuichi, 17
KAZUKAWA, Daisuke, 56
KIM, Keunsu, 128
KINA, Katsumi, 144
KINJO, Toshiteru, 75
KIRA, Akifumi, 107
KISHIMOTO, Daisuke, 19
KITAGAWA Masatoshi, 127
KOBAYASHI, Shinichi, 21
KODANI, Hisatoshi, 121
KONNO, Takuya, 42
KUMABE, Satoshi, 148
KURATA, Sumito, 120
KUSAKABE, Yuta, 41
LI, Wen, 132
MASUDA, Toshihiko, 32
MATSUE, Kaname, 99
MATSUSAKA, Toshiki, 66
MIYAKE, Nobuhito, 69
MIZOGUCHI, Yoshihiro, 102
MORISHITA, Masanori, 33
MORITA, Yosuke, 54
MURAKAMI, Yuya, 77
MURAYAMA, Takuya, 71
NAKAMURA, Kentaro, 27
NAKAYA, Tomoaki, 76
NGUYEN, Dinh Hoa, 109
NGUYEN, Duy Hien, 83
NII, Shunsaku, 52
NUIDA, Koji, 93
OCHIAI, Hiroyuki, 78
OKADA, Takuzo, 8
OKAZAKI, Akira, 134
OTA, Ryotoku, 133
OTSU, Yukio, 41
SAEKI, Osamu, 85
SAGARA, Hiroki, 144
SAKAMOTO, Shota, 44
SASAHIRA, Hirofumi, 23
SATO, Fumikazu, 88
SATO, Yasuhiko, 45
SEGATA, Jun-ichi, 24
SHIGENOBU, Takasugu, 137
SHIGETOMI Shota, 122
SHII, Ryota, 136
SHIMADA, Masafumi, 138
SHIRAI, Tomoyuki, 88
SUN, Jianbo, 138
SURIJAYA, Ade Irma, 36
TAGAMI, Daisuke, 111
TAIRA, Kouichi, 46
TAKASE, Hiroshi, 122
TAKEDA, Yuichiro, 47

TAKEUCHI , Taiki, 124
TERO, Atsushi, 114
TOKONAMI, Wataru, 140
TOKUDA Tomoki, 154
TOKUDA, Satoru, 115
TOMIYASU, Ryoko, 91
TSUJII, Masato, 26
TSUKUDA, Koji, 48
TSUNODA, Kenkichi, 51
TSUTAYA, Mitsunobu, 50
URAMOTO, Takeo, 120
WAKI, Hayato, 118
WENG, Lin, 5
WU, Yuantin, 143
WU, Yunpei, 133
YAMAGUCHI, Akihiro, 104
YAMAMOTO, Kodai, 155
YAMAZAKI, Yohei, 72
YANG, Man, 148
YOSHIDA, Akihiro, 142
YOSHIDA, Hiroshi, 55
YOSHIDA, Wataru, 149
YOSHIKAWA, Kohei, 146
YOSHIZUMI, Ryo, 151

研究教育活動報告年報 令和 6 年度
Annual Report 2024
2025 年 9 月

〒 819-0395 福岡市西区元岡 744
九州大学大学院数理学府
Graduate School of Mathematics
Kyushu University
744, Motooka, Nishi-ku, Fukuoka, Japan 819-0395