

2024年度共同利用研究報告書

2025年01月04日

所属・職名 武蔵野大学工学部数理工学科・東北大学大学院理学研究科数学専攻・講師
佐々木 多希子

		整理番号	2024a005	
1.研究計画題目	機械学習と数理モデルの融合と理論の深化Ⅱ			
2.新規・継続	継続			
3.種別	一般研究			
4.種目	研究集会（Ⅱ）			
5.開催方法	ハイブリッド開催			
6.研究代表者	氏名	佐々木 多希子		
	所属 部局名	武蔵野大学工学部数理工学科・東 北大学大学院理学研究科数学専攻	職 名	講師
7.研究実施期間	2024年10月12日(土曜日)～2024年10月14日(月曜日)			
8.キーワード	LiDAR, 自動運転支援, 交通流シミュレーション, Automated negotiation: Academic and Business motivation and Recent Advances. The general area is real world applications of AI, 因果発見AI、説明可能AI			
9.参加者人数	49人			

10.本研究で得られた成果の概要

本研究集会は、研究集会Ⅱ「機械学習と数理モデルの融合」(2023年9月)の継続と位置付けられる研究集会である。この研究集会に引き続き、機械学習と数理モデルの融合に焦点を当て、理論と実装の両面から議論をし、新しい課題の認識と分野を横断した研究協力体制の構築を目的とした。2023年6月中旬から8月初旬まで東北大学材料科学高等研究所でg-RIPS-Sendaiプログラムが開催され、組織委員3名が所属する武蔵野大学の大学院生、学部生5名が参加した。そこでは、アメリカと国内の参加者がグループとなり、集中的に課題に取り組み、解決に至る道筋を学んだ。本研究集会では、g-RIPSで武蔵野大学の学生が参加したグループに研究課題を提供して頂いた大野正夫氏(株式会社IHI)、石川光氏(株式会社IHI)、Mohammad Yasser氏(NEC Corporation)、樋口博之氏(富士通株式会社)、g-RIPSに参加した大学院生を含む数理工学系の学生、数理工学系の分野を専門とする研究者が一堂に会して互いに補完しうる点等を議論し、社会課題解決のための新たな数理モデル構築の可能性を探った。

また、講演者を含む49名の方に参加登録をして頂いた。AIを活用する企業とトポロジー、ネットワーク理論、数値解析など多岐の分野にわたる研究者や大学院生が集まり議論することで、機械学習技術の様々な分野への応用と実装、共同研究体制の構築に対して大きな可能性が生まれたと考えている。また、関数解析など、数学理論に精通する研究者も参加し、機械学習の基礎理論の整備につながる有意義な議論を行うこともできた。この研究集会により、今後、一層充実した研究活動ができると期待される。

機械学習と数理モデルの融合と理論の深化 Ⅱ

成果報告書

組織委員

佐々木 多希子（武蔵野大学）

坪井 俊（武蔵野大学）

時弘 哲治（武蔵野大学）

佐伯 修（九州大学）

落合 啓之（九州大学）

1. 本研究集会の目的

本研究集会は、研究集会Ⅱ「機械学習と数理モデルの融合」（2023年9月）の継続と位置付けられる研究集会である。この研究集会に引き続き、機械学習と数理モデルの融合に焦点を当て、理論と実装の両面から議論をし、新しい課題の認識と分野を横断した研究協力体制の構築を目的とする。

2. 本研究集会の講演概要

本研究集会では様々な分野の専門家に講演を依頼し、活発な研究討論を行った。主な講演の題目と概要は以下の通りである。

① （特別講演）樋口博之（富士通株式会社）

【講演題目】 AI technologies evolving from explainable AI to causal discovery AI

【講演概要】 人間中心の人工知能（Human-Centric AI）の実現を目指し、説明可能 AI から因果発見 AI に発展する AI 技術について紹介する。

② （特別講演）大野正夫，石川光（IHI Corporation, Corporate Research and Development Division）

【講演題目】 Applications of machine learning and mathematical models in traffic flow data analysis: latest research and challenges

【講演概要】 LiDAR (Light Detection and Ranging) facilitates precise traffic sensing even in environments imperceptible to the human eye, such as inclement weather and halation at night. Moreover, the measurement data with high density three-dimensional information marked a significant leap in remote sensing and is currently expanding its applications into data analysis for urban design. However, in areas with a high demand for LiDAR technology, such as accident-prone locations, object tracking can sometimes become challenging. In high-traffic intersections or merging sections, the detection accuracy decreases due to overlapping objects.

Therefore, our research team is currently working on developing methods to smooth and interpolate missing measurement data with using statistical and mathematical models to estimate vehicle motion. In this presentation, we will discuss applications and challenges of LiDAR sensing in transportation systems, and then introduce our latest research results, focusing on the contribution of mathematics.

③ (特別講演) Yasser Mohammad (NEC CORPORATION and AIST)

【講演題目】 Automated Negotiation: A new frontier for AI in business

【講演概要】 Negotiation is one of the most widely used methods for reaching agreements in human societies. One specific feature of negotiation is that it provides a form of cooperation within a competitive environment which can result in win-win results for all involved. Recently, and with the wide adoption of AI in business operations, there is a growing interest in automating negotiations between AI agents crossing institutional boundaries. This talk will introduce our research in automated negotiation. I will define the problem and provide our motivation as industrial researchers to work on it. The talk will then describe some of the technical challenges that need to be overcome for wide adoption of this technology in business operations for the benefit of society. I will then provide a formal definition of negotiation and situate it within agreement technologies providing details on our Generalized Bargaining Protocols research program. A specific new automated negotiation protocol that can guarantee completeness, optimality and some form of fairness in negotiations with no information about partner preferences will be described. The talk will also touch upon the use of machine learning in general and reinforcement learning in particular to improve outputs of automated negotiations.

④ 浅野夏未人 (武蔵野大学)

【講演題目】 Lane formation in Vicsek model with bidirectional desired orientation

【講演概要】 群衆の代表的な振る舞いの 1 つとしてレーンの自発的な形成が挙げられる。先行研究の Social Force Model (SFM) では粒子間に斥力が働き、斥力によって希望方向へ向かう粒子の相対的な位置が安定になった結果、レーン形成が起こる。本研究では斥力が働かない系を考え、粒子が近傍の粒子と向きを揃える Vicsek model (VM) に注目した。本研究では、粒子に相反する希望方向を持たせた VM (VMBDO) の数値実験を行った。その結果、VM で群れが発生するパラメータ領域で VMBDO の粒子はレーンを形成した。

⑤ 楊家宝 (武蔵野大学)

【講演題目】 Stability Analysis of Linear Multistep Methods for Continuous Optimization Problems

【講演概要】 既存の連続最適化手法の連続極限である常微分方程式の数値解法を理解

することで、もとの最適化手法を理解し、さらにその視点をもって新たな最適化手法を構成する研究が盛んに行われている。Ushiyama-Sato-Matsuo(2022)により、最急降下法など既存の最適化手法に比べてステップ幅を大きくとることができる最適化手法が提案された。本研究では、勾配流に対し、安定領域の広い既存の線形多段法を適用することで、2段数の陽的なルンゲ・クッタ法より大きなステップ幅を取れることを確認した。

⑥ 四ツ谷晶二 (龍谷大学)

【講演題目】 All eigenvalues and eigenfunctions of a nonlocal linearized eigenvalue problem

【講演概要】 We investigate a nonlocal linearized eigenvalue problem arising from a phase-field model, which is related to the Allen-Cahn equation. For the Allen-Cahn equation in a 1D case, Wakasa (Funkcial Ekvac., 2006) and Wakasa-Yotsutani (JDE, 2015, 2016) obtained representation formulas of all eigenvalues and corresponding eigenfunctions. In this talk, we show representation formulas of all eigenvalues and corresponding eigenfunctions of the nonlocal linearized eigenvalue problem.

⑦ 児玉大樹 (武蔵野大学)

【講演題目】 A harmonic representation of a square lattice split at one point

【講演概要】 正方格子から、原点および原点から出る辺からなる X-型の部分グラフを取り除き、代わりに H-型のグラフを取り付けたものを一点分裂正方格子と呼ぶ。一点分裂正方格子の各頂点の位置を微調整して、すべての頂点が隣接する頂点の重心に位置するように実現したい。本講演では、ランダムウォーク、母関数、フーリエ変換などのテクニックを駆使して頂点の移動先の正確な座標を導出する。

⑧ 佐藤惣一郎 (武蔵野大学)

【講演題目】 Numerical simulation of two-dimensional crack growth in arches

【講演概要】 接触によるアーチ形状の変形とそこから発生するき裂形状を、線形弾性エネルギーとフェーズフィールドによるき裂面作成のエネルギーから導出した勾配流型き裂進展モデルを用いて、非貫入条件を付加した 2 次元断面の数値シミュレーションで調べた。足元の固定されたアーチ断面の上面に平面上の物体が接触しながら下がってくる場合において、アーチの厚さが変わると破断に至るまでの接触領域が変化し、その結果破断の形状が変化することが分かった。

⑨ 佐伯修 (九州大学)

【講演題目】 Computing Reeb space using multi-dimensional Reeb graph

【講演概要】 Reeb space is an important tool for topological data analysis that captures the quotient space topology of a multi-field (or multiple scalar fields). Efficient algorithms have been designed for computing Reeb graphs, which are scalar field counterparts of Reeb spaces. However, computing correct Reeb spaces

for multi-fields, even for bivariate fields, is a challenging open problem. In this talk, we introduce the notion of a multi-dimensional Reeb graph and show that it is homeomorphic to the Reeb space. Based on this mathematical observation, we propose a new algorithm for correctly computing the Reeb space of a generic piecewise-linear bivariate field on 3-dimensional manifolds. This is a joint work with Amit Chattopadhyay and Yashwanth Ramamurthi of International Institute of Information Technology, Bangalore, India.

⑩ 坪田凌輔（武蔵野大学）

【講演題目】 A Blow-up theorem for discrete semilinear wave equation

【講演概要】本研究では、べき乗型の非線形項を持つ単独の半線形波動方程式を離散化して得られる方程式の解の *lifespan* 評価を行う。離散化の対象となる波動方程式は、初期条件が十分小さいとき、非線形項に現れる指数がある値より小さいと爆発することが知られている。Matsuya(2013)で提案された偏差分方程式は、元の波動方程式と類似する結果を有することが証明されている。本研究では、Matsuya(2013)により提案された偏差分方程式の *lifespan* 評価を行う。

⑪ 篠崎裕司（武蔵野大学）

【講演題目】 A high-order recombination algorithm for weak approximation of stochastic differential equations

【講演概要】 We present a high-order recombination algorithm that satisfies the theoretical assumptions and is still practically feasible. Refining the original work, we propose a patch a patch radius criteria that depends on patch weight and a recursive patch dividing algorithm based on its patch radius criteria. The numerical examples show that our recombination algorithm clearly overcomes the curse of the dimensionality for the practical problems of pricing an Asian option under the Heston model, and the patch radius criteria becomes more relevant in problems with strong singularity.

⑫ 岡本朋揮（武蔵野大学）

【講演題目】 Numerical simulation of stability of stationary solutions for a phase field model

【講演概要】 Mori-Tasaki-Tsujikawa-Yotsutani(2023)によって、1次元フェーズフィールドモデルの全ての定常解の大域的分岐ダイアグラムが明らかにされた。定常解の安定性については Mori(2023)によって、時間発展問題を解くことで部分的に調べられている。しかしながら、安定性を議論する上で必要不可欠な線形化固有値問題を解いてえられる詳細な主固有値の分布については、いまだ未解明のままである。そこで、本講演では、1次元フェーズフィールドモデルの定常解の安定性について線形化固有値問題を数値的に解くことでえられた結果について報告する。

⑬ 中島毅志 (武蔵野大学)

【講演題目】 Predicting trajectories for two- and three-body problems using Hamiltonian neural networks

【講演概要】 現代ではニューラルネットワークによる自然言語処理や画像分析が盛んにおこなわれており、物理法則に基づいたニューラルネットワークの研究も行われている。その中でも解析力学のハミルトニアンとニューラルネットワークを組み合わせたハミルトニアンニューラルネットワークに注目し、多体問題の予測精度の検証を行うことにした。今回の研究は2体・3体問題の軌道予測を新たな手法を交え、ハミルトニアンニューラルネットワークとの精度の比較をした。

⑭ 洪偉鋒 (武蔵野大学)

【講演題目】 Mathematical Study of Self-Assembly and Self-Organization

【講演概要】 This PowerPoint introduces the paper titled 'Programmable Self-Assembly in a Thousand-Robot Swarm,' which I would like to study and replicate using Unity 3D

⑮ 宮本利之 (武蔵野大学)

【講演題目】 Horse racing rating model

【講演概要】 競馬のオッズは印象に左右されてしまうことが多くあり、これでは本当に強い馬が分からなくなってしまう。そこで客観的に馬の強さを評価できるような手法をうまく作れないかと考えている。先日まで、スポーツのレーティングモデルについて学び、様々な手法があることが分かった。そこで学んできたスポーツでのレーティングモデルをもとに競馬の構築を試みている。今現在は競馬に適応させて、実装に移る段階である。

⑯ 川野日郎 (宮崎大学)

【講演題目】 On asymptotic behavior of positive radial solutions of semilinear elliptic equations

【講演概要】 We consider the asymptotic behavior of positive radial solutions of semilinear elliptic equations. The power of nonlinear term is p , and p satisfy $0 < p < (n+2)/(n-2)$. The radial solutions are mainly studied, so that we put $r = |x|$ then the argument can be reduced to study the behavior of the solutions of the initial value problem of second order ordinary differential equation of r . On the positive solution of this initial value problem, there is many results, but special one for our argument is that there uniquely exists a special initial value and the positive solution satisfying this initial value is fast decay, but another solution which has smaller one is slow decay and has larger one is zero hit at finite value. To study the asymptotic behavior primitive tool is Sturm's Theorem and Pohozaev's identity also useful. In order to investigate the relation of solutions we introduce the partial

derivative of solutions with respect to the initial data. From this idea, the intersection points of solutions correspond to the zeros of the partial derivative of the solution. Eventually, the nonlinearity p of the original equation influence so that to analysis is very complicate.

References

[BN] S. Bae and Y. Naito, Existence and separation of Positive Radial Solution for Semilinear Elliptic Equations, J. Diff. Eps.,257(2014).

[KYY] N.Kawano, E. Yanagida and S. Yostsutani, Structure theorems for positive radial solutions to $\Delta u + K(x)u^p=0$ in R^n , Funccial. Ekvac., 36(1993).

⑰ 東康平 (武蔵野大学)

【講演題目】 Exact solutions to nonlinear partial differential equations with singular integral terms and their application to traffic flow

【講演概要】 We introduce a method for deriving nonlinear partial differential equations with singular integral terms and their solutions by imposing analyticity conditions in the complex domain. Using this approach to construct exact solutions, we analyze traffic flow phenomena through the application of a traffic flow model with a singular integral, regarded as an extension of the Burgers equation. Our analysis reveals that changes in the density gradient and the occurrence of deadlock phenomena are dependent on specific parameters. Additionally, we will discuss an integrable discretization of these equations, utilizing discrete Riemann-Hilbert problem.

⑱ 藤田海渡 (武蔵野大学)

【講演題目】 Research and Development of a Light-Emitting Sword Tip Accompanying Thrusts and a Device for Judging Valid Thrusts in the Foil Event of Fencing Competitions

【講演概要】 フェンシング競技フルール種目において、電機審判機を使用した得点判定に伴う 2 つの課題点である①設置の手間と②判定の分かり難さを解決するために、剣先を光らせて、突きの有効性を自動判別する装置の研究開発を行っている。この方法の実現によって、フェンシングにおける手間と分かり難さの問題を解決することができ、フェンシングの普及に貢献できるものと考えられる。

⑲ 森竜樹 (武蔵野大学)

【講演題目】 Stability of stationary solutions of a phase-field model with zero total enthalpy

【講演概要】 We have been investigating the global bifurcation diagrams of stationary solutions for a phase field model proposed by Fix and Caginalp in a one-dimensional case.

It has recently been shown that there exists a secondary bifurcation with a symmetry-breaking phenomenon from a branch consisting of symmetric solutions in the case where the total enthalpy equals zero. We determine the stability/instability of all symmetric solutions and asymmetric solutions near the secondary bifurcation point.

3. 本研究集会の成果

2023年6月中旬から8月初旬まで東北大学材料科学高等研究所で g-RIPS-Sendai プログラムで武蔵野大学の学生が参加したグループに研究課題を提供して頂いた大野正夫氏(株式会社 IHI), 石川光氏(株式会社 IHI), Mohammad Yasser 氏(NEC Corporation), 樋口博之氏(富士通株式会社), g-RIPS に参加した大学院生を含む数理工学系の学生, 数理工学系の分野を専門とする研究者が一堂に会して互いに補完しうる点等を議論し, 社会課題解決のための新たな数理モデル構築の可能性を探った.

また, 講演者を含む 49 名の方に参加登録をして頂いた. AI を活用する企業とトポロジー, ネットワーク理論, 数値解析など多岐の分野にわたる研究者や大学院生が集まり議論することで, 機械学習技術の様々な分野への応用と実装, 共同研究体制の構築に対して大きな可能性が生まれたと考えている. また, 関数解析など, 数学理論に精通する研究者も参加し, 機械学習の基礎理論の整備につながる有意義な議論を行うこともできた. この研究集会により, 今後, 一層充実した研究活動ができると期待される.

九州大学マス・フォア・インダストリ研究所
2024年度 共同利用研究計画一般研究 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
開催のお知らせ

本研究集会では、「機械学習と数理モデルの融合」に焦点を当て、理論と実装の両面から議論をし、新しい課題の認識と分野を横断した研究協力体制の構築を目的とします。近年、病気の診断や発症の予測、自然災害の予測や被害状況の把握、ECサイトにおける推薦システムの最適化、交通流の渋滞解消など、多岐にわたる分野で機械学習が活用されています。一方、このような社会問題の解決には、従来、微分方程式や離散力学系などで数理モデルを構築し、数学的な解析及び数値的なシミュレーションを行うことが有効に用いられてきました。本研究集会では、機械学習と数理モデルの専門家が一堂に会して互いに補完しうる点等を議論し、社会課題を解決する新たな融合モデル構築の可能性を探ることを目的としています。¹ 参加を希望される方は、世話人宛てにメールをお願いします。

日時：2024年10月12日（土）～10月14日（月）

場所：九重共同研修所・山の家

〒879-4912 大分県玖珠郡九重町湯坪字八丁原 600-1

<https://www.kyushu-u.ac.jp/ja/university/facility/kokonoe/>

プログラム

10月12日（土）

10:00～11:30 佐々木 多希子（武蔵野大学，東北大学）

趣旨説明

第1セッション：10:00-11:30 ポスターの準備とフリー ディスカッション
(対面のみ)

昼食

第2セッション：12:00-14:00 ポスター 発表（対面のみ）

洪偉鋒（武蔵野大学）

Mathematical Study of Self-Assembly and Self-Organization

渡邊姫菜（武蔵野大学）

Gradient method and its application to MNIST image classification

¹本研究集会は九州大学マス・フォア・インダストリ研究所と武蔵野大学数理工学センター共催で開催されます。また、本集会は以下の援助の下で開催されます：

- 九州大学マス・フォア・インダストリ研究所 2024年度共同利用研究計画
- JSPS 科研費 基盤研究 (B) 22H01137 内皮細胞動態に基づく血管網構築の数理モデル (研究代表者 時弘哲治)
- JSPS 科研費 挑戦的研究 (萌芽) 21K18580 実解析的作用の研究 (研究代表者 坪井 俊)
- 武蔵野大学数理工学センター

菅野美優 (武蔵野大学)

Mathematical demography

谷ヶ崎成美 (武蔵野大学)

Dynamical system of differential equation

飯嶋あみ (武蔵野大学)

Mathematical modeling to calculate the air flow inside an instrument

大石花音 (武蔵野大学)

Modeling cyclic events using Petri nets and max-plus algebra

浅野夏未人 (武蔵野大学)

Lane formation in Vicsek model with bidirectional desired orientation

荒岡葵 (武蔵野大学)

Integrable Cellular Automaton over finite fields of order 2^n

熊澤悠太郎 (武蔵野大学)

TBA

繆丁楠 (武蔵野大学)

TBA

休憩

第3セッション：14:30-15:05 座長 森 竜樹 (武蔵野大学)

坪井 俊 (東北大学・理化学研究所)

The "homotopy principle" in the first half of AY2024

落合啓之 (九州大学)

Special Function

高石武史 (武蔵野大学)

A study on crack growth in mud walls of modern architecture

薩摩順吉 (武蔵野大学・東京大学)

On Ultradiscrete Karman Filter

時弘哲治 (武蔵野大学)

Generalization of Fuzzy Cellular Automaton

由良文孝 (武蔵野大学)

TBA

松家敬介 (武蔵野大学)

TBA

佐々木多希子 (武蔵野大学)

自然言語処理による高楠順次郎日記の分析

休憩

第4セッション：15:20-16:20 座長 時弘 哲治 (武蔵野大学)

大野 正夫, 石川 光 (株式会社 IHI)

Applications of machine learning and mathematical models in traffic flow data analysis: latest research and challenges

休憩

第5セッション：16:30-17:30 座長 高石 武史 (武蔵野大学)

樋口 博之 (富士通株式会社)

AI technologies evolving from explainable AI to causal discovery AI

10月13日(日)

第6セッション：9:30-10:30 座長 松家 敬介 (武蔵野大学)

楊家宝 (武蔵野大学)

Stability analysis of linear multistep methods for continuous optimization problems

佐藤惣一郎 (武蔵野大学)

Numerical simulation of two-dimensional crack growth in arches

坪田凌輔 (武蔵野大学)

A Blow-up theorem for discrete semilinear wave equation

中島毅志 (武蔵野大学)

Predicting trajectories for two- and three-body problems using Hamiltonian neural networks

宮本利之 (武蔵野大学)

Horse racing rating model

藤田海渡 (武蔵野大学)

Research and development of a light-emitting sword tip accompanying thrusts and a device for judging valid thrusts in the foil event of fencing competitions

休憩

第7セッション：10:40-11:35 座長 薩摩 順吉 (武蔵野大学)

篠崎裕司 (武蔵野大学)

A high-order recombination algorithm for weak approximation of stochastic differential equations

佐伯修 (九州大学)

Computing Reeb space using multi-dimensional Reeb graph

川野日郎 (宮崎大学)

On asymptotic behavior of positive radial solutions of semilinear elliptic equations

昼食

第8セッション：13:00-14:00 座長 坪井 俊 (東北大学・理化学研究所)

Yasser Mohammad (NEC CORPORATION・AIST)

Automated Negotiation: A new frontier for AI in business

休憩

第9セッション：14:30-17:30 フリー ディスカッション (対面のみ)

10月14日(月)

第10セッション：9:30-10:30 座長 由良 文孝 (武蔵野大学)

児玉大樹 (武蔵野大学)

A harmonic representation of a square lattice split at one point

東康平 (武蔵野大学)

Exact solutions to nonlinear partial differential equations with singular integral terms and their application to traffic flow

第 11 セッション：10:40-11:35 座長 東 康平（武蔵野大学）

岡本朋揮（武蔵野大学）

Numerical simulation of stability of stationary solutions for a phase field model

森竜樹（武蔵野大学）

Stability of stationary solutions of a phase-field model with zero total enthalpy

四ツ谷晶二（龍谷大学）

All eigenvalues and eigenfunctions of a nonlocal linearized eigenvalue problem

昼食

第 11 セッション：13:00-15:30 情報交換会（対面のみ）

15:30～15:40 **佐々木 多希子（武蔵野大学）**

閉会の挨拶

（対面のみ）

世話人：佐々木多希子（t-sasaki@musashino-u.ac.jp）,
坪井俊，時弘哲治，佐伯修，落合啓之