

明治大学 数理科学 研究集会 2025

Data-driven Mathematical Sciences：経済物理学とその周辺

2025 年 9 月 26 日（金）9:30–17:35

明治大学 中野キャンパス 研究セミナー室 1（601）

主催：明治大学「現象数理学」共同利用・共同研究拠点（MIMS）

はじめに

本研究会はデータ解析に基づいた数理および定量科学の視点から経済学を見直すとの目標のもとに研究活動を行っている、数理・情報・物理科学分野の研究者に発表の機会を提供するため形を変えつつ 4 半世紀の期間にわたって継続してきた。

研究会の歴史

経済物理学は物理学と社会科学の境界領域の探求を目指して 20 世紀の終わり頃から 21 世紀の初め頃より欧米と日本の両方で精力的に研究が進められてきた。その原型はまず、総合研究大学院大学（SOKENDAI）の新分野開拓プロジェクト（1998-2003）として始まり、統数研研究集会「経済物理学とその周辺」（2003-2017）に引き継がれた後、2017 以降は明治大学先端数理科学インスティテュート「現象数理学研究拠点」共同研究集会の「Data-driven mathematical science: 経済物理学とその周辺」として、データサイエンスの視点を軸に開催されてきている。

テーマとしては

- 1) 価格変動の科学的解明
- 2) データサイエンスとしての視点の確立
- 3) コンピュータシミュレーションの手法による経済学
- 4) 機械学習等の人工知能の手法と統計物理学との融合
- 5) 経済学としての経済物理学の位置づけの検討
- 6) 景気変動の研究
- 7) 予測力のある手法の開発

等、多岐にわたる。

年一度の研究集会は常連メンバの成果発表と共に、新しい視点を提供して頂ける新規の講演者も交えて、研究者間の意見交流と知識共有を目標とする。

- 第 1 期 (1998-2003)：総合研究大学院大学・教育研究交流センター「新分野の開拓」
- 第 2 期 (2003-2017)：統計数理研究所「経済物理学とその周辺」研究会
- 現在：明治大学「現象数理学」共同利用・共同研究拠点主催 年次研究集会「Data-driven Mathematical Sciences：経済物理学とその周辺」

開催概要

2025 年 9 月 26 日、明治大学中野キャンパス研究セミナー室 1 (601) において、「Data-driven Mathematical Sciences：経済物理学とその周辺」研究集会を開催した。本研究集会は対面とオンラインを併用したハイブリッド形式で行われ、現地参加 18 名、オンライン参加 13 名、合計 31 名が参加した。

当日は 5 セッションにわたり 22 件の講演が行われ、金融市場のデータ解析、ネットワーク科学、エージェントベース・モデリング (ABM)、機械学習と統計物理学の融合など、多岐にわたるテーマについて活発な発表と議論が展開された。特に、若手研究者による発表や異分野的な視点を取り入れた議論が注目を集め、参加者間の交流と新たな研究の契機となった。

本研究集会を通じて、経済物理学とデータサイエンスの接点における課題と可能性が改めて浮き彫りとなり、今後の共同研究や学際的連携に向けた基盤が築かれたといえる。

また、集会終了後には、組織委員の守、石川温先生、増川純一先生に加え、筑波大学の佐野幸恵先生を交えて会合を行い、来年度の申請や実施体制について意見交換を行った。申請は引き続き守が担当し、さらに組織委員の世代交代についても議論を行い、佐野先生に新たに組織委員として加わっていただくこととなった。今後は、来年度の実施内容等についてオンラインで議論を継続していく予定である。

最後に、本研究集会の開催にあたり、明治大学「現象数理学」共同利用・共同研究拠点 (MIMS) の支援に深く感謝申し上げる。

プログラム

開催場所：明治大学 中野キャンパス 研究セミナー室 1 (601)

9:30–9:35 開会挨拶

セッション 1 (座長：守 真太郎)

- 09:35–09:50 菅原 知弥 (大阪大学基礎工学研究科), 守 真太郎 (弘前大学理工学研究科)

題目：Ornstein–Uhlenbeck 過程を用いた競馬市場分析

- 09:50–10:05 清水 太陽, 守 真太郎 (弘前大学理工学研究科)

題目：ACO による全結合イジングモデルの基底状態探索とコンセンサス形成

- 10:05–10:15 高森 大聡, 守 真太郎 (弘前大学理工学研究科)

題目：部分空間による固有ベクトルの安定化と株式相関構造の推定

- 10:15–10:40 久門 正人 (野村証券)

題目：時系列相関とランダム行列

セッション 2 (座長：田中 美栄子)

- 10:45–11:10 高橋 友則 (総合研究大学院大学), 水野 貴之 (国立情報学研究所)

題目：金融市場の多変量時系列とオーダーブックの深層生成

- 11:10–11:20 王 菲 (総合研究大学院大学), 水野 貴之 (国立情報学研究所)

題目：企業 - 技術ネットワークに基づく特許価値創出の構造的分析

- 11:20–11:30 水野 貴之 (国立情報学研究所), 中嶋 一貴 (東京都立大学)

題目：研究者人口ピラミッドフレームワークの提案

- 11:30–11:55 水野 貴之 (国立情報学研究所)

題目：オープンエンド質問対応のマルチエージェント熟議的推論フレームワーク

セッション 3 (座長：水野 貴之)

- 13:00–13:20 後藤 弘光 (金沢学院大学), 相馬 亘 (立正大学)

題目：主要自動車メーカー間の部品供給相互依存ネットワークの変遷

- 13:20–13:35 WU QIANYUN (東京科学大学情報理工学院), 佐野 幸恵 (筑波大学システム情報系), 高安 秀樹 (東京科学大学情報理工学院), Havlin Shlomo (Bar-Ilan University), 高安 美佐子 (東京科学大学情報理工学院)

題目：Twitter コミュニティがユーザーの COVID-19 ワクチンに対する意見変容に及ぼす影響

- 13:35–13:50 藤原 俊太, 佐藤 優輝, 金澤 輝代士 (京都大学)

題目：平方根則を取り入れた一般化 LMF モデルの戦略多様性に関するロバスト性：価格の拡散についての理論解析

- 13:50–14:05 ジャン ジウエイ (東京科学大学情報理工学院)

題目：ハッシュタグの出現頻度の経験則を再現するエージェントベースモデル

- 14:05–14:15 結城 実怜, 相馬 亘 (立正大学データサイエンス学部)

題目：Mrs.GREEN APPLE 楽曲歌詞分析

セッション 4 (座長：増川 純一)

- 14:25–14:50 相馬 亘 (立正大学データサイエンス学部), Carolina Magna Roma (Brazilian Development Bank), Irena Vodenska (Boston University)

題目：経済政策不確実性と地政学的リスクのグローバルな相互依存関係

- 14:50–15:10 石崎 龍二（福岡県立大学）, 井上 政義（鹿児島大学名誉教授）

題目：金融時系列における自己励起型モデルを用いた混乱期の異常検知

- 15:10–15:30 有賀 裕二（京都先端科学大学）

題目：A review on spectral evidence for the structural almost uncontrollability of the income multiplier process in actual economies

- 15:30–15:55 石川 温（金沢学院大学）

題目：移動軌跡に観られる統計則

- 15:55–16:05 石川 温（金沢学院大学）

題目：地図情報より生成する移動軌跡

セッション 5（座長：石川 温）

- 16:15–16:40 増川 純一（成城大学）

題目：株式市場におけるボラティリティのカスケードモデル

- 16:40–17:00 佐野 幸恵（筑波大学システム情報系）

題目：集合的記憶の減衰モデルと想起・忘却の分類

- 17:00–17:10 万 李陽（筑波大学大学院システム情報工学研究群）, 武内 慎（サイバーエージェント）, 森下 壮一郎（サイバーエージェント）, 佐野 幸恵（筑波大学システム情報系）

題目：動画配信サービスにおける特異日の視聴行動分析

- 17:10–17:30 田中 美栄子（金沢学院大学情報工学部）

題目：経済物理学と私

17:30–17:35 閉会挨拶

Ornstein–Uhlenbeck 過程を用いた競馬市場分析

講演者・所属： 菅原 知弥（大阪大学基礎工学研究科システム創成専攻），守 真太郎（弘前大学理工学研究科）

要旨： 日本の競馬における単勝オッズの時間的変化を確率過程としてモデル化し、投票シェアの確率的動態とオッズの変動の時系列を分析することで、Ornstein–Uhlenbeck 過程を導出した。当フレームワークでは、現在のオッズに基づいて賭けを調整する「herders」と、馬の真の勝率に基づいて賭ける「fundamentalists」という 2 種類のベッターを想定し分析を行った。論文情

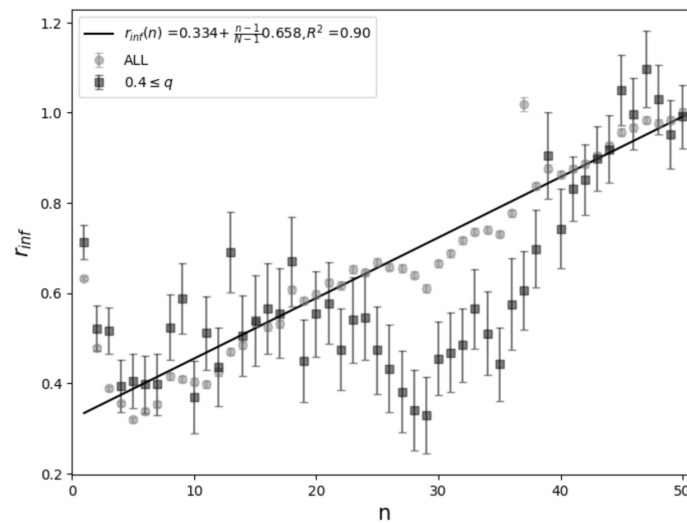


図1 ファンダメンタリストの比率を投票の時間 n に対してプロットした。実線は比率を時間変数 n で回帰した時の回帰直線をプロットしたもの。 $r_{inf}(n) = 0.334 + \frac{n-1}{50-1} \cdot 0.658$ 。決定係数は $R^2 = 0.90$ 。

報：<https://arxiv.org/abs/2503.16470>

蟻コロニー最適化による全結合イジングモデルの解析とコンセンサス形成の出現

講演者・所属： 清水 太陽，守 真太郎（弘前大学理工学研究科）

要旨： 本研究は、蟻コロニー最適化（ACO）にポリア壺的な自己強化を導入し、 α （フェロモン）と β （自己履歴からの強化）が共存する二重強化ダイナミクスを、全結合イジングモデル上で解析する。 α を時間的に変化させるアニーリングと β による非線形強化の影響を検証し、探索から活用へ切り替わるときの様子とコンセンサスの現れ方を示す。

EWMA（指数加重移動平均）共分散行列を用いた株価相関構造の推定

講演者・所属：高森 大聡，守 真太郎（弘前大学理工学研究科）

要旨：訓練期の上位固有ベクトルを時間平均して部分空間 H を構成し， H への重なり（射影ノルム）の推移から相関構造の安定性と変化を評価する。相関行列は指数加重移動平均（EWMA）と固定 1000 日の二法で生成し，学習 6 年・検証 8 年で連続評価した。結果，市場全体に共通する広域要因は検証期でも一貫して強く，他の要因はイベント期に入替や縮退が現れた。無相関の基準水準と比べて重なりは持続的に高く，不変な低次元空間の存在が示唆される。この空間を軸に固有ベクトルをモデル化し，相関行列を組み立てる推定法へ接続することを目的とする。

時系列相関とランダム行列

講演者・所属： 久門 正人（野村証券）

要旨： 時間相関をもつ時系列から作られるランダム行列の固有値を研究する。相関がない場合、二重スケーリング極限において、ウィシャート行列の固有値分布はマルチェンコ-パストゥール分布 (MPD) として知られている。時間相関がある場合、固有値分布は変形 MPD に収束し、その分布は MPD よりもテールが長く、ピークが高い。本研究では、ガウス過程に時間相関を持たせた場合の分布のモーメントと変形 MPD への収束について議論する。時間相関が強くなるにつれて、分布の二次モーメントが増加することを示す。時間相関がべき減衰である場合、相転移のような現象が観測される。時間相関のべき指数を γ とすると、 $\gamma > 1/2$ の場合には分布の二次モーメントは有限であり、最大固有値も有限となる。一方、 $\gamma \leq 1/2$ の場合には二次モーメントは発散し、最大固有値も発散する。有限サイズスケーリング解析を用いて、この相転移の臨界指数を推定する。

金融市場の多変量時系列とオーダーブックの深層生成

講演者・所属： 高橋 友則（総合研究大学院大学）, 水野 貴之（国立情報学研究所）

要旨： 金融市場の複雑な多変量時系列データとオーダーブックの動態を捉えるため、深層生成モデルを適用した。本研究では、市場の微細構造が持つ非線形性や長期依存性を学習し、統計的に類似した人工データを生成する新たな手法を提案・検証する。

企業 - 技術ネットワークに基づく特許価値創出の構造的分析

講演者・所属： 王 菲（総合研究大学院大学）, 水野 貴之（国立情報学研究所）

要旨： 本研究は、企業と技術要素から成る二部ネットワークを構築し、特許価値が生まれる構造を分析する。ネットワーク上の企業の中心的役割や技術の組み合わせが、引用数などで測られる特許価値にどう影響するかを定量的に解明する。

研究者人口ピラミッドフレームワークの提案

講演者・所属： 水野 貴之（国立情報学研究所）, 中嶋 一貴（東京都立大学）

要旨： 本研究は、研究者コミュニティの年齢や職位の分布を可視化する「人口ピラミッド」を用いた分析フレームワークを提案する。若手研究者のキャリアパス停滞や世代交代の課題を構造的に把握し、持続的な研究発展のための組織・政策的介入を議論する。

オープンエンド質問対応のマルチエージェント熟議的推論フレームワーク

講演者・所属： 水野 貴之（国立情報学研究所）

要旨： 本研究は、オープンエンドな質問に対し、複数のエージェントが熟議（対話）を通じて多角的な視点から回答を生成する推論フレームワークを提案する。多様な意見を統合し、単一モデルでは困難な、深く構造化された解答の導出を目指す。

主要自動車メーカー間の部品供給相互依存ネットワークの変遷

講演者・所属： 後藤 弘光（金沢学院大学）, 相馬 亘（立正大学）

要旨： パンデミックや半導体不足、地政学リスクを背景に、自動車産業のサプライチェーン強靱化が求められている。本研究では MarkLines 社が提供する 2018 年から 2024 年の自動車部品供給情報から主要メーカー間の相互依存ネットワークを構築し、年次・部品分類別のコミュニティ変化を分析した。EV 関連部品で依存関係が強まる傾向を確認した。

Twitter コミュニティがユーザーの COVID-19 ワクチンに対する意見変容に及ぼす影響

講演者・所属： WU QIANYUN (東京科学大学情報理工学院), 佐野 幸恵 (筑波大学システム情報系), 高安 秀樹 (東京科学大学情報理工学院), Havlin Shlomo (Bar-Ilan University), 高安 美佐子 (東京科学大学情報理工学院)

要旨： COVID-19 の発生以降、日本国内の Twitter ではワクチンに関する議論が活発に行われている。本研究では、複雑ネットワークと自然言語処理の手法を統合し、Twitter ユーザーのワクチンに対する意見変容とその形成要因を明らかにすることを目的とした。具体的には、リツイートに基づいて構築したユーザ間ネットワークから動的なコミュニティ所属を抽出し、ワクチンに関する意見を検出した上で、条件確率を用いてコミュニティ所属が意見変容に与える影響を推定した。

平方根則を取り入れた一般化 LMF モデルの戦略多様性に関するロバスト性： 価格の拡散についての理論解析

講演者・所属： 藤原 俊太，佐藤 優輝，金澤 輝代士（京都大学）

要旨： 機関投資家は、注文分割（大口注文の小口注文への分割）を行うことが知られており、これは LMF モデルにより説明される。このモデルに平方根則（注文に対する価格変化がその平方根に比例）を取り込んだモデルが近年提案され、注文分割の下でも平方根則によって価格が拡散すると示した。しかし、これは投資家の均一性を仮定しており、現実の多様性を考慮していない。そこで、投資家の戦略多様性の下でも価格の拡散がロバストか調べた。

ハッシュタグの出現頻度の経験則を再現するエージェントベースモデル

講演者・所属： ジャン ジウエイ（東京科学大学情報理工学院）

要旨： Twitter 等の SNS のデータにおいて、ハッシュタグの日ごとの出現頻度が定常的なべき分布に近いファットテール分布に従うことが観察され、これを乗算型確率過程モデルで再現できることを説明した。また、出現頻度の変位比率として定義される対数成長率がテント型のラプラス分布に従うことが観察され、我々はユーザーレベルでエージェントベースモデルを構築し、ハッシュタグに対するユーザーの関心の変化をモデリングすることで、データで観測された成長率の分布を含むハッシュタグの出現頻度に関する様々な経験則を再現した。

Mrs.GREEN APPLE 楽曲歌詞分析

講演者・所属： 結城 実怜，相馬 亘（立正大学データサイエンス学部）

要旨： Mrs. GREEN APPLE の歌詞分析から人気の理由を分析している。具体的には、Genius API を用いて歌詞データを収集し、MeCab と NEologd 辞書を使って形態素解析を行った。その上で、語彙分析や感情分析を行い可視化した。結果，語彙分析では作詞家の語彙力が示され，感情分析ではポジティブな曲が多いことが判明した。さらに Word クラウドでは「僕」が最頻出単語として出力され，聴き手が感情移入しやすい点が共感を生み、人気につながっていると結論付けた。

経済政策不確実性と地政学的リスクのグローバルな相互依存関係

講演者・所属： 相馬 亘 (立正大学データサイエンス学部), Carolina Magna Roma (Brazilian Development Bank), Irena Vodenska (Boston University)

要旨： 1971 年 1 月から 2024 年 12 月までの、世界各国の経済政策不確実性指数と地政学的リスク指数に対して、複素ヒルベルト主成分分析を適用した。解析結果を複雑ネットワークで表現することによって得られる知見について報告する。

金融時系列における自己励起型モデルを用いた混乱期の異常検知

講演者・所属：石崎 龍二（福岡県立大学），井上 政義（鹿児島大学名誉教授）

要旨：金融時系列データは通常、ランダムウォークに近い変動を示し、その分布はしばしばファットテールを示す。また、市場が不安定化した局面では「ボラティリティ・クラスタリング」と呼ばれる短期間の大変動の連続が観察される。さらに金融時系列は一般に非定常であるため、従来の定常モデルでは十分に説明できず、非定常性を考慮した解析や異常検知の手法が求められる。

私たちはこれまで、短期情報量や短期 Kullback–Leibler 情報量を用いて、市場の混乱期や異常な変動局面を特定する手法の構築に取り組んできた。短期情報量は一定時間幅ごとに大変動の出現のランダムさを定量化し [1]、短期 Kullback–Leibler 情報量は大変動の出現パターンが独立な二項分布からどの程度乖離するかを評価するものである [2]。さらに、金融時系列データに自己励起型の確率過程であるホークス過程を適用し、株価や為替レートにおける大変動を「イベント」としてモデル化した [3]。

本研究では、株価や為替レートにおける大変動を「イベント」とし、その発生過程を記述する枠組みとして自己励起型モデルを適用した。異常検知の精度向上を目的として強度関数を推定し、イベントの自己励起性や相互励起性を解析することで、市場混乱期に特徴的な変動パターンを抽出した。

参考文献

- [1] R. Ishizaki and M. Inoue, Analysis of local and global instability in foreign exchange rates using short-term information entropy, *Physica A* **555**, 124595 (2020).
- [2] R. Ishizaki and M. Inoue, Short-term Kullback–Leibler divergence analysis to extract unstable periods in financial time series, *Evolutionary and Institutional Economics Review*, **21**, 227–236 (2024).
- [3] R. Ishizaki and M. Inoue, Exploring the Self-Exciting Dynamics of Financial Time Series: Modeling Extreme Fluctuations with the Hawkes Process, *J. Phys. Soc. Jpn.* **94**, 044801 (2025).

A review on spectral evidence for the structural almost uncontrollability of the income multiplier process in actual economies

講演者・所属： 有賀 裕二（京都先端科学大学）

要旨： This paper reviews the article of the same title, authored by Theodore Mariolis et al., Panteion University, Athens, Greece. Mariolis's paper addresses the fundamental question of the controllability of Keynesian-type linear multiplier processes of income, import and primary input changes, for a significant class of actual input-output table economies. This is based on a dynamic and extended version of the Kurz multi-sector multiplier model, with relevant spectral evidence provided from extensive input-output table data. The authors' findings suggest that, regardless of the direction of the control policy instrument vector, dynamic multiplier systems are 'structurally almost uncontrollable'. These incontrollability characteristics therefore suggest the ineffectiveness of economic policies. In short, we noticed that our aggregate demand policy would be uncontrollable in present-day society. In other words, this problem may be attributed to a special property of the recently changed production structure. Next, we will examine the methodological background of structural uncontrollability in a more general framework.

移動軌跡に観られる統計則

講演者・所属： 石川 温（金沢学院大学情報工学部）

要旨： 人間や動物の移動軌跡にはある種の統計則が観測される。発表では、移動軌跡が囲む面積と移動距離にスケール則があること、その指数が短距離移動と長距離移動で 2 層に分かれる場合があること等を報告する。また移動軌跡のフラクタル次元より、中心地採餌理論も確認できることも報告する。

地図情報より生成する移動軌跡

講演者・所属：石川 温（金沢学院大学情報工学部）

要旨：都市計画における未整備地域や将来の道路変更に対し、人の移動データが得られない課題を解決するために、地図情報を用いて移動軌跡を生成する手法を提案する。既存の移動データと比較し、生成軌跡の妥当性を検証しつつ、都市設計や交通計画への応用可能性について議論する。

株式市場におけるボラティリティのカスケードモデル

講演者・所属： 増川 純一（成城大学経済学部）

要旨： 金融市場のボラティリティに見られるマルチスケール構造と間欠性を、非平衡熱力学の枠組みで解析する。ボラティリティの時間スケールを跨いだカスケード過程を Langevin 方程式によってモデル化し、ロンドンと東京の株式市場データを用い、エントロピー生成に関するゆらぎ定理の成立を実証的に確認した。ボラティリティ・カスケードの因果的構造についても議論する。

集合的記憶の減衰モデルと想起・忘却の分類

講演者・所属： 佐野 幸恵（筑波大学システム情報系）

要旨： 集合的記憶は社会的集団が共有する過去の出来事の記憶であり，1950 年代に社会学者 Halbwachs により提唱された。近年は電子データの蓄積により定量的分析が進んでいる。本研究では Wikipedia 人物記事のアクセス減衰を記憶の減衰と捉え，新たな数理モデルを提案した。講演ではモデルの概要と，人物が「想起」か「忘却」かに分類される結果を紹介する。

動画配信サービスにおける特異日の視聴行動分析

講演者・所属： 万 李陽（筑波大学大学院システム情報工学研究群）, 武内 慎（サイバーエージェント）, 森下 壮一郎（サイバーエージェント）, 佐野 幸恵（筑波大学システム情報系）

要旨： 近年、インターネット動画配信サービスは若年層を中心に利用されて、コロナ禍後の市場拡大により、メディアとしての存在感を高めている。本研究では、インターネットテレビの視聴ログを用い、特定日に放送された“特異番組”に注目する。視聴傾向や再訪行動を分析し、番組の波及効果やユーザーロイヤリティに影響する要因を明らかにすることで、サービス改善への示唆を得ることを目的とする。

経済物理学と私

講演者・所属： 田中 美栄子（金沢学院大学情報工学部）

要旨： 経済物理学とは何だろうか、という問いに答えることはすぐには困難だが、少なくとも私はこういう側面から見てこう考えています、くらいは言えるようにしなければ、と最近特に考えるようになった。そこで未完成ながら昨今考えていることをお話ししたいと思います。