

研究室名

16-2-3 物理情報科学研究室

最近の研究課題とその取り組みの概要

政田研究室では、自然界にあふれるさまざまな非線形物理現象、特にその究極としての“宇宙”を最終的なターゲットに見据え、研究を進めている。我々が長い歴史の中で磨き上げてきた物理を、究極の複雑系である宇宙を舞台に検証する。その際に有効になる手法が『シミュレーション（＝計算科学）』である。いっぽう、宇宙には我々がまだ知らない『未知の物理・未開の物理地平』が存在するはずであり、それら隠された物理を見抜く新しい目が『人工知能（＝データ科学）』だと言える。計算機を基盤とした、これら二つの強力な手法を駆使して、自然や宇宙の解明に挑むのが、本研究室の基本的な研究スタンスである。

政田は、(1) 太陽熱対流の理論・数値モデリング研究、(2) さまざまな機械学習手法で太陽観測データから特微量を抽出する研究、(3) 誕生直後の中性子星に関するシミュレーション研究、などを進めている。(1) の研究においては、熱対流の大規模数値計算に基づき、乱流による熱・運動量の輸送を記述する新しい理論フレームワークを構築した (Yokoi et al. 2022; Masada et al. 2025 in prep.)。また、国際共同研究で、北欧理論物理学研究所 (NORDITA) の A. Brandenburg らとともに、天体の乱流プロセスに関するレビュー論文を執筆・出版した (Turbulent Processes and Mean-field Dynamo, A. Brandenburg, D. Elstner, Y. Masada, & V. Pipin (2023), Space Science Reviews, Volume 219, Issue 7, article id.55)。(2) の研究においては、従来の太陽観測では得ることのできなかった情報（具体的には太陽表面の流れの視線を横切る成分）を、ディープラーニングを使って推定する手法の開発に成功した (Ishikawa et al. 2022)。これは、太陽表面の流れに関するシミュレーションデータを多層ニューラルネットワークに学習（深層学習）させることで、観測可能な量（太陽表面の温度分布や視線方向速度分布）をもとに “観測できない情報” を機械的に推定するという画期的な手法であり、国立天文台や核融合科学研究所でプレスリリースも出された。また、最近では空間多次元のデータに潜む”トポロジー構造”に着目、その特徴を抽出する Topological Data Analysis (TDA) と呼ばれる手法を天文データ（特に太陽観測データ）に応用する研究を進めており、太陽粒状斑のデータが長寿命の『トポロジカル欠陥』（流線が収束する構造）によって特徴づけられることを明らかにした (Masada et al. 2025 in prep.)。さらに、現在は、敵対的生成ネットワーク (GAN) を使った太陽熱対流のサロゲートモデルの開発を進めており、太陽熱対流の特徴を定量的に再現するモデルの開発に成功した (Miyazaki, Matsumoto & Masada 2025 in prep.)。(3) の研究では、誕生直後の中性子星内部の対流をスーパーコンピュータを使って解き、対流によるダイナモ作用で、宇宙最強とも呼べる極めて強い磁場が形成されること、その形成条件が理論的に推測されていたものより遙かに緩いこと、などを明らかにした (Masada et al. 2022)。また、最近では、誕生直後の中性子星から放射される重力波の解析から、中性子星内部の大規模循環流がその痕跡を重力波形にインプリントしている可能性があることを発見した (Masada et al. 2025 in prep.)。

松本は、天体アウトフローの中でも、超新星爆発や相対論的ジェットのダイナミクスに焦点を当

て、それらのダイナミクスに対して磁場が及ぼす影響を電磁流体シミュレーションを駆使して研究している。Matsumoto et al. (2021)では、相対論的ジェット表面に成長する Rayleigh–Taylor 不安定性について三次元相対論的流体シミュレーションを用いて解析し、磁場が存在しない場合、ジェット表面は常に不安定である一方、強いトロイダル磁場が存在すると不安定性の成長が抑制されることを示した。また、Matsumoto et al. (2020), (2022) では、ニュートリノ輻射輸送を取り入れた 2 次元および 3 次元の MHD シミュレーションにより、磁場が存在しても非回転の大質量星においてニュートリノ加熱駆動による爆発が成立することを明らかにした。さらに、初期磁場が強いほど爆発が早く発生し、爆発エネルギーも大きくなる傾向を確認した。さらに、Matsumoto et al. (2024)では、強磁場を持つ大質量星の重力崩壊型超新星爆発を三次元シミュレーションで解析し、ゲイン領域で磁場の指数関数的增幅が起こること、磁場の增幅が衝撃波の復活を促進することを明らかにした。この磁場增幅は、乱流ヘリシティが担うダイナモ効果に起因しており、特に極域付近でそのダイナモ効果が強く働き、ニュートリノ加熱による衝撃波の再加熱を強く促進することがわかった。福岡大学着任後は、データサイエンス手法を使った天文データの理論解析研究にも力を入れており、階層ベイズモデルを使った太陽活動周期の特徴量抽出と予測 (Fukuda, Masada & Matsumoto 2025 in prep.) に成功するなど、新しい分野の開拓に精力的に取り組んでいる。

キーワード：非線形物理、計算科学（シミュレーション）、データ科学（ベイズ推定、トポロジカルデータ解析、ディープラーニング【e.g., Physics-informed Neural Networks: PINNs】等）、ハイパフォーマンスコンピューティング

研究室の構成員

政田 洋平（准教授）・博士（理学）

松本 仁（助教）・博士（理学）

2024 年度の大学院生および卒論生の人数と研究テーマ

修士 1 年次生：2 名、4 年次生：5 名

修士論文テーマ：

- Physics-informed Neural Network を使った銀河系中心 S-stars の軌道予測にもとづく宇宙論パラメータの推定
- 階層ベイズモデルによる恒星磁気活動サイクル-自転周期関係の推定

卒業研究テーマ：

- スマート望遠鏡と Raspberry Pi を利用したポータブル天文台の開発
- 1 次元エネルギーバランスモデルで探るデイジーワールドのハビタビリティ
- ベイズ推定による太陽風と地震の相関解析
- ベイズ推定による太陽活動の特徴量抽出と将来予測
- 敵対的生成ネットワーク: GAN による乱流ジェネレータの開発

教員の担当科目

政田 洋平：

（学部）情報活用演習、情報処理概論、コンピュータシミュレーション、力学 TE-a、

物理の世界 P-a(薬学部共通教育科目)、物理の世界 P-b(薬学部共通教育科目)、 物理科学研究 I・II、卒業論文 (大学院) 応用物理学特論 I, II、物理情報計測実験、物理情報科学特論、修士論文 松本 仁： (学部) 物理学実験、物理科学実験、情報処理概論
教員の所属学会
政田 洋平：日本天文学会、International Astronomical Union
松本 仁：日本天文学会、International Astronomical Union
最近5年間の学術論文
<p><u>政田</u></p> <p>A. Brandenburg, D. Elstner, <u>Y. Masada</u>, & V. Pipin, "Turbulent Processes and Mean-field Dynamo", submitted to Space Science Reviews, Volume 219, Issue 7, article id.55 (2023) (査読有)</p> <p>N. Yokoi, <u>Y. Masada</u>, & T. Takiwaki, "Modelling stellar convective transport with plumes - I. Non-equilibrium turbulence effect in double-averaging formulation", Monthly Notices of the Royal Astronomical Society, Vol.516, Issue 2, 2718-2735 (2022) (査読有)</p> <p>R.T Ishikawa, M. Nakata, Y. Katsukawa, <u>Y. Masada</u>, & T.L. Riethmuller, "Multi-scale deep learning for estimating horizontal velocity fields on the solar surface", Astronomy & Astrophysics, Vol.658, id.A142, 9pp (2022) (査読有)</p> <p><u>Y. Masada</u>, T. Takiwaki, & K. Kotake, "Convection and Dynamo in Newly Born Neutron Stars", The Astrophysical Journal, Vol.924, Issue 2, id.75, 16pp (2022) (査読有)</p> <p><u>松本</u></p> <p>K. Nakamura, T. Takiwaki, <u>J. Matsumoto</u>, K., Kotake, "Three-dimensional magnetohydrodynamic simulations of core-collapse supernovae- I. Hydrodynamic evolution and protoneutron star properties", Monthly Notices of the Royal Astronomical Society, Vol.536, Issue 1, pp.280 -294 (2025) (査読有)</p> <p><u>J. Matsumoto</u>, T. Takiwaki, K. Kotake, "Neutrino-driven massive stellar explosions in 3D fostered by magnetic fields via turbulent α-effect", Monthly Notices of the Royal Astronomical Society, Vol.528, Issue 1, pp.L96 -L101 (2024) (査読有)</p> <p>H.Ito, <u>J. Matsumoto</u>, S.Nagataki, D.C.Warren, M.V.Barkov,D.Yonetoku, "Numerical Simulation of Photospheric Emission in Long Gamma-ray Bursts: Prompt Correlations, Spectral Shapes, and Polarizations", The Astrophysical Journal , Vol.961, Issue 2, id.243 18pp (2024) (査読有)</p> <p><u>J. Matsumoto</u>, Y. Asahina, T. Takiwaki, K. Kotake, H.R. Takahashi, "Magnetic support for neutrino-driven explosion of 3D non-rotating core-collapse supernova models", Monthly Notices of the Royal Astronomical Society, Vol.516, Issue 2, pp.1752-1767 (2022) (査読有)</p> <p><u>J. Matsumoto</u>, N. Yamamoto, Di-Lun Yang, "Chiral plasma instability and inverse cascade from nonequilibrium left-handed neutrinos in core-collapse supernovae", Physical Review D,</p>

Vol.105, Issue 12, article id.123029 (2022) (査読有)

J. Matsumoto, S.S.Komissarov, K. N. Gourgouliatos, "Magnetic inhibition of the recollimation instability in relativistic jets", Monthly Notices of the Royal Astronomical Society, Vol.503, Issue 4, pp.41918-4929 (2021) (査読有)

J. Matsumoto, T. Takiwaki, K. Kotake, Y. Asahina, H.R. Takahashi, "2D numerical study for magnetic field dependence of neutrino-driven core-collapse supernova models", Monthly Notices of the Royal Astronomical Society, Vol.499, Issue 3, pp.4174-4194 (2020) (査読有)

最近5年間の学術著書

該当なし

最近5年間の学術国際会議での発表

政田 洋平 :

Y. Masada (Invited), "Global MHD dynamo simulations", SCOSTEP international conference "Solar cycle variability: From understanding to making prediction", Nainital, India (2024)

Y. Masada (Invited), " Modeling Convection and Transport in the Sun", IAU Symposium 365, "Dynamics of Solar and Stellar Convection Zones and Atmospheres", Yerevan, Armenia (2023)

Y. Masada (Invited), " Modeling Convection and Transport in the Sun", AAPPS-DPP 2023 (Cross Disciplinary Session), Nagoya, Japan (2023)

Y. Masada (Oral), "Magnetohydrodynamics with Swirling flow: Spontaneous order - From the Sun to compact objects", Plasma Explosions in the Universe (PEU2022), Kyoto, Japan (2022)

Y. Masada (Invited), "Solar and Stellar Dynamos: the linkage between MHD simulations and mean-field models", ISSI workshop "Solar and Stellar Dynamos: A New Era", International Space Science Institute (ISSI), Bern, Switzerland (2022)

松本 仁 :

J. Matsumoto (Invited), "Role of helicities for amplification of the magnetic field", "Focus Workshop on Collective Oscillations and Chiral Transport of Neutrinos", Taipei, Taiwan (2023)

J. Matsumoto (Oral), "Dependence of the magnetic field and rotation on the explosion mechanism of core-collapse supernovae", "Supernovae in the Gravitational Wave Detection Era", Melbourne, Australia (2022)

J. Matsumoto & Y. Masada (Oral), " Magnetohydrodynamics with Swirling Flow: Astrophysical Impacts via Plasma Outflows", Plasma Explosions in the Universe (PEU2022), Kyoto, Japan (2022)

J. Matsumoto (Oral), "Dependence of the magnetic field and rotation on the explosion mechanism of core-collapse supernovae", "Supernovae in the Gravitational Wave Detection Era", Melbourne, Australia (2022)

J. Matsumoto (Oral), "3D MHD simulations of non- and slowly- rotating core-collapse supernovae",

“The 9th East Asian Numerical Astrophysics Meeting”, Okinawa, Japan (2022)

J. Matsumoto (Invited), “MHD simulations of astrophysical jets with toroidal magnetic field reversals”, “Max Planck Princeton Center Workshop”, Gottingen, Germany (2020)

最近5年間の代表者としての学外資金導入実績

政田 洋平 :

①科学研究費助成事業(学術研究助成基金助成金)(基盤研究(C)), “超新星の磁気進化: データ駆動型モデリングで解き明かすエネルギーの逆カスケード描像”, 研究代表者【課題番号:25K07374】， 2025年-2029年, 429万円

②科学研究費助成事業(学術研究助成基金助成金)(基盤研究(C)), “原始中性子星ダイナモ: 系統的数値モデリングで探る中性子星の磁気的分岐の物理”, 研究代表者【課題番号:21K03612】， 2021年-2024年, 351万円

松本 仁 :

①科学研究費助成事業(学術研究助成基金助成金)(若手研究(B)), “三次元一般相対論的電磁流体シミュレーションで迫る活動銀河核ジェットの力学進化”, 研究代表者【課題番号:20K14473】， 2020年-2025年, 351万円

最近5年間の代表者としての学内資金導入実績

① 領域別重点研究, “物理拘束型深層学習で解き明かす中性子星の進化・はじまりの1分”, 研究代表者【研究費番号: GR2302】， 2023年-2024年, 800万円 (400万円/年)

②学部長預かり金・新任特別補助, “計算・データ科学手法を基礎とする宇宙物理インフォマティクス研究の開拓”, 研究代表者, 2022年, 300万円

最近5年間の学会等学術団体における役職など

該当なし

最近5年間の一般向け論文と著書、行政報告書など

・著書（共著）大朝由美子、株本訓久、沢武文、富田晃彦、福江純、政田洋平、松村雅文、室井恭子、吉富進、2章（太陽は燃える火の玉か？）担当、天文宇宙検定公式テキスト2級2025-2026年度版、天文宇宙検定委員会編、恒星社厚生閣、分担部分21頁-34頁、総頁数160頁（2025年6月）

・著書（共著）福江純、沢武文、高橋真聰、松本桂、政田洋平、大朝由美子、西山正吾、須藤広志、信川正順、幅良統、14章-17章（太陽面現象と周縁減光効果、太陽コロナの構造と加熱源、太陽風とパーカーモデル、太陽エネルギーの発生と輸送）を担当、
極・宇宙を解く-現代天文学演習-、福江純・沢武文・高橋真聰編、恒星社厚生閣、分担部分56頁-72頁、総頁数301頁（2020年2月）

最近5年間の一般（非学術）集会での発表論文

該当なし

最近5年間の学術団体以外の団体での啓蒙活動や社会貢献活動とその役職など

・夢ナビ Talk&Live 講師（フロムページ主催、高校生向け講座）

（<https://yumenavi.info/lecture.aspx?GNKCD=g009087>）

・平成29年度-令和3年度 知の探求講座 講師（主催：愛知県教育委員会事務局 あいち理科教育推進事業）（内容：高校生向けの探究授業@夏季休業中）

・四日市市小中学校教職員研修会 講師(2019年度, 四日市市教育委員会主催, 四日市市立博物館)

・学術誌レフェリー (Progress of Theoretical and Experimental Physics, Monthly Notices of the Royal Astronomical Society, Astronomy & Astrophysics 等)

その他特筆事項

該当なし