

研究室名

17-2-3 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

この研究室では、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据え研究をすすめている。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、我々の基本的な研究スタンスである。それに加えて、データベース天文学や科学データの可視化、小型シングルボードコンピュータ (Raspberry PI) を科学研究に応用する手法・フレームワークの開発も行なっている。

政田は、(1) 太陽熱対流の理論・数値モデリング研究、(2) 機械学習手法で太陽データから特徴量を抽出する研究、(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)。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した (Turbulent Processes and Mean-field Dynamo, A. Brandenburg, D. Elstner, Y. Masada, & V. Pipin (2023), Space Science Reviews, in press)。 (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つた情報 (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。(3) 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遥かに緩いこと、などを明らかにした (Masada et al. 2022)。

江口は、データベース天文学の研究を進めている。現在天文学の観測分野では、データ爆発が問題になっている。例えば電波望遠鏡 ALMA では、天文学者が解析に使用する「標準較正済みデータ」ですら近々1観測=1TBを超える見込みであり、「研究者個人のPCで解析する」という従来の手法が通用しなくなりつつある。いっぽう、インターネット回線の高速化と計算機資源の仮想化技術の進展はめざましく、加えて、信頼性の低い「パソコン」を多数束ねて分散並列処理に利用する“Hadoop”の普及により、高性能な計算機資源を「オンデマンドで購入する」ことが可能となった。そこで我々は、従来のデータ解析ソフトウェアで行われていた処理を Hadoop 上に実現する技術を開発している。過去の観測データは「天文データ・アーカイブ」という形で一般公開されているが、我々は現在、世界中のアーカイブを

自動巡回するロボット・プログラムとそれらをインデックス化するプログラム, すなわち「天文データの検索エンジン」の開発作業を進めている。

2015年に人類は初めて重力波の直接検出に成功した。これは、従来の多波長電磁波観測にニュートリノ観測や重力波観測を加えた「マルチメッセンジャー天文学」の本格的な幕開けを意味する。現在我々は、重力波望遠鏡ネットワークのデータを統合的に解析するパイプラインの開発を行っており、特に本研究室では、ウェブ・ブラウザさえあれば誰でもこのパイプラインを利用可能にするウェブ・システム“SuperNova Event Gravitational-wave-display in Fukuoka (SNEGRAF)”の開発を行っている。

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 (ディープラーニング), 天文データ・アーカイブ, ハイパフォーマンスコンピューティング, 分散コンピューティング, クラウド・コンピューティング, ウェブ・アプリケーション

研究室の構成員

政田 洋平 (准教授)・博士 (理学)

江口 智士 (助教)・博士 (理学)

2022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：0名、4年次生：4名

卒業研究テーマ：

- ・ TRAPPIST-1 星系におけるハビタブル惑星の軌道共鳴と一般相対論
- ・ JIT コンパイラ"Numba"を使った Python プラズマ粒子シミュレーションの高速化
- ・ 深層学習による画像の超解像：原理と学習済みニューラルネットワークの解析
- ・ 魔球の条件を探る：ボール軌道のシミュレーション予測と簡易風洞装置による実験

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)、物理数学、物理科学研究 I・II、卒業論文

(大学院) 応用物理学特論、物理情報計測実験、物理情報科学特論、修士論文

江口 智士：

(学部) 物理科学実験 I・II、物理学基礎ゼミナール、ナノサイエンス基礎演習、物理学実験

教員の所属学会

政田 洋平：日本天文学会、International Astronomical Union

江口 智士：日本天文学会、International Astronomical Union

最近5年間の学術論文

A. Brandenburg, D. Elstner, **Y. Masada**, & V. Pipin, "Turbulent Processes and Mean-field Dynamo", submitted to Space Science Reviews, special issue "Solar and Stellar dynamos:

- A New Era", arXiv: 2303.12425, (2023) (査読有)
- N. Yokoi, **Y. Masada**, & 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)
- R.T Ishikawa, M. Nakata, Y. Katsukawa, **Y. Masada**, & 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)
- Y. Masada**, 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)
- J. Matsumoto, & **Y. Masada**, "Propagation, cocoon formation, and resultant destabilization of relativistic jets", Monthly Notices of the Royal Astronomical Society, Vol.490, Issue 3, 4271-4280 (2019) (査読有)
- N. Kawanaka, & **Y. Masada**, "Neutrino-Dominated Accretion Flows with Magnetic Prandtl Number-Dependent MRI-driven Turbulence", The Astrophysical Journal, Vol.881, issue 2, id.138, 10pp. (2019) (査読有)
- Y. Masada**, T. Takiwaki, K. Kotake, & N. Yamamoto, "Chiral magnetohydrodynamic turbulence in core-collapse supernovae", Physical Review D, Vol.98, Issue 8, id.083018. (2018) (査読有)
- P. Bushby, P.J. Kapyła, **Y. Masada**, A. Brandenburg, B. Favier, C. Guervilly, M.J. Kapyła, "Large-scale Dynamos in Rapidly-rotating Plane-layer Convection", Astronomy & Astrophysics, Vol.612, id.A97, 16pp. (2018) (査読有)
- 高橋真聡, 幅良統, **政田洋平**, 愛知教育大学天文台一般公開と天文教育, 愛知教育大学研究報告. 自然科学編, 67(1), 31 頁-36 頁 (2018 年) (査読有)
- 政田洋平**, 中野友美, 教育現場で観る太陽系外惑星 -小中口径望遠鏡でできる系外惑星観測とその愛教大 60cm 望遠鏡による実践-, 愛知教育大学研究報告. 自然科学編, 67(1), 61 頁-68 頁 (2018 年) (査読有)
- S. Eguchi** et al., "Xappl: software framework for the XRISM pre-pipeline", Proc. SPIE 12181, Space Telescopes and Instrumentation 2022: Ultraviolet to Gamma Ray, 1218161 (2022). (査読有)
- 江口 智士**, 柴垣 翔太, 端山 和大, 固武 慶, "科学ソフトウェアのウェブ・アプリケーション化: RIDGE パイプラインの場合", 宇宙科学情報解析論文誌, 第10号, 67-76 (2021). (査読有)
- S. Eguchi**, S. Shibagaki, K. Hayama, K. Kotake, "the Recent Developmental Status of SNEGRAF: a Web-Based Gravitational Wave Signal Analyzer", Astronomical Data Analysis Software and Systems XXIX, ASP Conference Series, 527, 93-96 (2020). (査読なし)
- S. Eguchi**, S. Shibagaki, K. Hayama, K. Kotake, "Prototype Implementation of a Web-Based Gravitational Wave Signal Analyzer: SNEGRAF", Astronomical Data Analysis Software and

Systems XXVIII, 523, 493-496 (2019). (査読なし)

S. Eguchi, "Pre-feasibility Study of Astronomical Data Archive Systems Powered by Public Cloud Computing and Hadoop Hive", Astronomical Data Analysis Software and Systems XXVI, 521, 608-611 (2019)

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

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)

Y. Masada (**Invited**), "Spontaneous Formation of Large-scale Flow and Magnetic Fields in Proto-Neutron Stars", Multi-dimensional Modeling and Multi-Messenger observation from Core-Collapse Supernovae, Fukuoka, Japan (2019)

Y. Masada (**Invited**), "Generation of Large-scale Field in Stars and Supernova Cores", 9th East-Asian School and Workshop on Laboratory, Space, Astrophysical Plasmas, Nagoya, Japan (2019)

Y. Masada (Oral), "Mean-field Modeling of Large-scale Dynamo in Solar-like Strongly-stratified Convection", Space Climate 7 - The Future of Solar Activity-, Canton Orford, Canada, (2019)

Y. Masada (**Invited**), "Evolution of the Solar/Stellar magnetism", International workshop on relations between solar evolution and atmospheric escape from terrestrial planets, Nagoya, Japan, (2019)

Y. Masada, & T. Sano (Oral), "Numerical simulations of solar magnetism: Organization of large-scale magnetic structure in turbulent stratified convection", 12th International Conference on High Energy Density Laboratory Astrophysics (HEDLA), Okayama, Japan, 2018

Y. Masada (Oral), "The Rossby number dependence of large-scale dynamo in solar-like strongly-stratified convection", Helicity Thinkshop 3, Tokyo, Japan, (2017)

Y. Masada (**Invited**), "Numerical Modeling of Solar and Stellar Dynamos - Current Status and Future Perspectives -", 1st Asia-Pacific Conference on Plasma Physics, Cheng-Du, China, (2017)

S. Eguchi et al., "Xappl: software framework for the XRISM pre-pipeline", SPIE Astronomical Telescopes + Instrumentation, 2022, Montréal, Québec, Canada. 2022年7月.

S. Eguchi, S. Shibagaki, K. Hayama, K. Kotake, "SNEGRAFF: Coherent Network Analysis on Your Web Browser!", Multi-dimensional Modeling and Multi-Messenger observation from Core-Collapse Supernovae. Fukuoka Japan. 2019年10月.

S. Eguchi, S. Shibagaki, K. Hayama, K. Kotake, "the Recent Developmental Status of SNEGRAFF: a

Web-Based Gravitational Wave Signal Analyzer”, the 29th annual Astronomical Data Analysis Software & Systems (ADASS) conference. Groningen the Netherlands. 2019年10月.

S. Eguchi, S. Shibagaki, K. Hayama, K. Kotake, “Prototype Implementation of a Web-Based Gravitational Wave Signal Analyzer: SNEGRA”, the 28th annual Astronomical Data Analysis Software and Systems (ADASS) conference. Maryland USA. 2018年11月.

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(B)), “自己無撞着な乱流モデルを組み込んだ超新星数値計算の実現-中性子星誕生の動力学”, 研究分担者(総人数3名)【課題番号: 23H01199, 研究代表者:横井喜充(東大生産研)】, 2023-2028, 1846万円(初年度分配: 50万円)
- 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
- ③科学研究費助成事業(学術研究助成基金助成金)(基盤研究(B)), “乱流超新星: 自己無撞着な乱流モデル解き明かす星の終末”, 研究分担者(総人数3名)【課題番号: 18H01212, 研究代表者:横井喜充(東大生産研)】, 2018-2022, 1720万円(分配: 300万円)
- ④科学研究費助成事業(学術研究助成基金助成金)(新学術領域研究・研究領域提案型: 公募研究), “平均場理論に基づく3次元太陽全球ダイナモモデルの開発”, 研究代表者【課題番号: 18H04444】, 2018年-2020年, 220万円
- ⑤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)), “太陽磁場の状態遷移: 電磁流体計算で探る太陽活動のグランドミニマムへのトリガー”, 研究代表者【課題番号: 18K03700】, 2018年-2022年, 364万円

江口 智士 :

- 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)), “公開天文画像の天球への再投影による統合的データ管理とその可視化システムの開発”, 340万円, 2019年4月1日~2023年3月31日
- ②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)), “超巨大天文データからなる全天アーカイブをHadoopにより超低費用で実現する研究”, 150万円, 2015年4月1日~2018年3月31日

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) 福江純、沢武文、高橋真聡、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・高橋真聡編、恒星社厚生閣、分担部分56頁-72頁、総頁数301頁(2020年2月)

・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2019-2020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（2019年6月）（2021年8月に2021-2022年度新装版が出版）

・著書（共著）岩山勉、安藤秀俊、越桐國雄、三宅明、政田洋平、稲毛正彦、吉本直弘、常木静河、島田知彦、戸田茂、加藤淳太郎、日野和之、宮川貴彦、阿武木啓朗、長昌史、幅良統、吉原伸敏、川村三志夫、16章（月と星）と32章（月と太陽）を担当、小学校で理科を教えるための理科ミニマム-小学校教員を目指す学生と理科の苦手な現職教員のために、岩山勉編、愛知教育大学出版会、分担部分61頁-68頁と127頁-130頁、総頁数140頁（2018年3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 あいち理数教育推進事業）（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（2018, 2019年度，四日市市教育委員会主催，四日市市立博物館）
- ・天文宇宙検定(1級試験)作問委員(2019年度)
- ・愛知教育大学一般公開(年8回実施，2018年から2021年まで)（一般聴衆向けの宇宙ミニ講座と望遠鏡を使った観望会）(<https://www.phyas.aichi-edu.ac.jp/~takahasi/AUE60Tel/index.html>)
- ・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