

日本天文学会早川幸男基金渡航報告書

2025年3月10日採択

申請者氏名	大久保宏真 (会員番号 8370)
連絡先住所	〒305-8577 茨城県つくば市天王台1-1-1
所属機関	筑波大学
職あるいは学年	D1(採択当時)
任期(再任昇格条件)	
渡航目的	研究集会での口頭発表
講演・観測・研究題目	Potential of Feature Extraction Methods Using Kernel PCA and Kernel SHAP in Astronomy
渡航先(期間)	ギリシャ(2025年6月2日～6月6日)

本渡航の概要

2025年6月2日～6日にギリシャ・アテネの Harokopio 大学で開催された IAUS 397, "UniversAI: Exploring the Universe with Artificial Intelligence" で口頭発表を行った。本シンポジウムは、IAU 初の Artificial Intelligence(AI) をテーマとしたものである。私は、銀河進化研究・ビッグデータ時代における天文研究の発展を支えるために、機械学習と説明可能な AI(XAI) を駆使した新たな解析方法を発表した。この発表を通して、本研究の役割と意義を発信できた。さらにシンポジウム全体を通して、AI活用研究の課題を世界規模で共有・議論でき、新たな視点を取り入れる貴重な機会となった。

IAUS 397, "UniversAI" の主旨

本シンポジウムの目的は、天文学・宇宙物理学 × AI の学際的な連携の促進である。この背景には、ビッグデータとマルチメッセンジャー観測の新たな時代に突入しつつあることが挙げられる。このような時代に突入しつつある今、データ量は増加し続けるため、新たな構造化・処理・可視化手法を確立しなければ、最大限にデータを活用できない。そのため、この問題を解決できる AI の導入は不可欠であり、本シンポジウムはその一助として、研究成果の報告や議論による AI を駆使したデータ活用の推進を目指している(詳細は [UniversAI 公式サイト](#) を参照)。

研究内容と成果

私は "Potential of Feature Extraction Methods Using Kernel PCA and Kernel SHAP in Astronomy" というタイトルで口頭発表を行った。本研究は、銀河の多輝線解析において輝線間の非線形関係を捉えることで、物理現象ごとのデータに再構築・可視化するための手法の確立を目的としている。

具体的には、輝線間の非線形関係を捉えることが可能な教師なし機械学習であるカーネル主成分分析 (kernel PCA) を、近傍銀河 NGC 1068 の ALMA Band3 多輝線データに対して適用する。このデータは Okubo et al. (in press) で線形的な PCA に適用されているため、kernel PCA と PCA の比較が可能になる。kernel PCA は PCA では捉えられない非線形関係の可視化を可能にする一方で、その結果と輝線の対応関係を把握できない。そのため、得られた結果の物理的な意味付けは容易ではない。そこで、XAI の kernel SHapley Additive exPlanations (kernel SHAP) を導入する。XAI とは、機械学習や深層学習の持つブラックボックス性を解消できることで注目されている情報科学の一分野であり、kernel SHAP は XAI における新しい手法である。

本研究の成果は主に二つある。

- (1) kernel PCA を適用した結果、PCA では得られなかった NGC 1068 の AGN アウトフローの特徴を可視化することに成功した。この結果は主観的な視認に基づくだけでなく、二標本の t 検定によって統計的にも有意であることが確認された。
 - (2) kernel SHAP を用いることで kernel PCA のブラックボックス性を解消し、輝線の寄与を定量化することで kernel PCA 結果に物理的意味を与えることに成功した。これは、単に kernel SHAP を適用しただけに留まらず、先行研究との比較や推定した物理量との相関を取ることで、物理的に意味を持つことを明らかにした重要な結果である。
- (1)(2) より、物理現象ごとにデータを再構築することで今まで見落とされていた現象の発見が期待される (Okubo et al. in prep)。また (2) より、ブラックボックス性を解消することで、機械学習や深層学習を用いた研究のさらなる進展が見込まれる。さらに本手法はデータの質と量にほとんど制限がなく、ビッグデータとマルチメッセンジャー観測の新時代にも対応できるため、まさに本シンポジウムが求めている手法と言える。

シンポジウム全体を通して得られた成果

聴講を通して、天文学・宇宙物理学 × AI 研究における最先端の動向と今後の期待を把握できた。特に興味深かったのは、招待講演者である Jean-Luc Starck 氏の講演である。過去・現在・未来における imaging の概観を話されており、深層学習 (特に U-Net, SU-Net) を用いた deconvolution による高精度なデータ作成を期待されていた。

また、多くの研究者との議論を通して、AI 活用研究における課題を共有できた。大半の研究者が、機械学習や深層学習の持つブラックボックス性を問題視していた。天文学や宇宙物理学においては、むしろ結果の解釈が重要になるため、この問題への対処方法が常に議論の中心であった。その中で私の研究は、kernel SHAP を用いて解釈性を担保できることを、物理的観点との整合性を明らかにした点が評価され、関心を持っていただいた。

謝辞

AI の原理は理解できても、それを天文・宇宙物理研究にどのように応用するかが難しいところです。本シンポジウムを通して応用方法を一挙に把握でき、新たな視点を取り入れることができました。この貴重な機会に参加できたのは、渡航援助あってこそです。関係者の皆様、そして早川幸男基金に深く感謝申し上げます。ありがとうございました。