

New generation of Exoplanet exploration by data science

河原 創¹, John Livingston¹, 檜山和己¹, 藤井通子¹,
増田賢人², 生駒大洋¹, 田近英一¹

1: 東京大学, 2: 大阪大学

概要:2020 年度には、データサイエンスの手法を太陽系外惑星探査に取り入れた成果を多数発表した。まず、TESS のビッグデータ解析にニューラルネットワークを用いることで、分子雲から脱出した若い系であるランナウェイ・ディッパーを発見した。また、直接撮像・惑星表面マッピング法に情報科学分野の3つの新手法を導入し、手法を大幅に拡張した。また、TESS/K2 惑星ミッションの白色矮星周りの惑星探査のための巴御前パイプラインが完成し、運用を開始した。さらに、Exo JASMINE のデータシミュレーションのためにGPUを用いたパイプラインを作成した。以下の記述は、我々の成果の一部を抜粋したものである。

1. ディープニューラルネットを用いた TESS 光度曲線探査

TESS の初年度のフルフレームデータを処理するパイプラインを開発し、700 万個の天体を解析した。特に、星の周りを回るデブリのような物質が原因で不規則な減光を生じるディッパーを、ディープニューラルネットを用いた学習により探索した。その結果、分子雲から脱出したと思われる暴走ディッパーを含む 38 個の新しいディッパーを発見し、その速度はフィールドで 70km/s 以上であることがわかった[1]。

2. 直接撮像された惑星のマッピング

宇宙からの直接撮像が可能になった将来、地球型惑星の特徴をどのように把握するかは、宇宙生物学の大きな課題の一つである。本プロジェクトの PI は、測光の変動に逆問題を適用することで惑星表面の2次元分布を推定できる Spin-Orbit Tomography (SOT)を以前から提案している。今回のプロジェクトでは、機械学習技術の応用をSOTに拡張することに成功した。SOTでは、これまでスペクトル情報を考慮することはほとんどなかった。しかし、未知の惑星表面のスペクトル組成を推定することは、植

物のレッドエッジ探査や生息域の探査に非常に重要である。本研究では、機械学習において高い性能を持つ分離手法の一つである非負行列因子分解(NMF)の理論を拡張し、スペクトルと二次元分布が混在する多色ライトカーブから、本来の表面組成スペクトルとその二次元分布を同時に分離する逆問題の形式を提案した。NMF の理論を逆問題の形に拡張することで、スペクトルと2次元分布が混在する多色光カーブから、元の表面組成スペクトルとその2次元分布を同時に分離・抽出できる手法、Spin-Orbit Unmixing を提案することができた[2]。

SOT では、正則化をどのように行うかがその性能を左右する。当初は古典的な L2 正則化が用いられていたが、現在では、EHTのブラックホール影のイメージングにも用いられたスパースモデリング(L1 + Total Square Variation)により、よりシャープな2次元マップを再現できることが分かっている[3]。

SOT は、惑星表面が静止していることを前提としている。そのため、雲の分布を再現することができなかった。その理由の一つは、時間方向に展開されたマップは動画の作成を意味し、膨大な数のパラメータが問題を難しくしているためである。そこで本研究では、時空方向にガウシアンプロセスを適用し、同型変換を施すことで解を求め、計算量を大幅に削減することに成功した。また、定式化自体を完全なベイズ形式で行うことができるため、地図や回転軸の傾き角度を事後分布の形で推定することができる[4]。

参考文献:

- [1] Tajiri et al. , ApJS, 251, 2 (2020)
- [2] Kawahara, ApJ 894 58 (2020)
- [3] Aizawa, Kawahara, Fan ApJ 896, 22 (2020)
- [4] Kawahara and Masuda, ApJ 900, 48 (2020)