

# 論文審査の結果の要旨

氏名 ミード カイル エーロン

本論文は、太陽系外惑星の研究のために有用な系外惑星の3次元軌道と質量を決定する新たなツールの開発とそれを2つの天体(V450 Andromeda と HR8799)に適用して得た新たな科学的成果を示した。

本論文は、5章からなる。第1章は、序章であり、先ず、系外惑星研究に関する一般的なレビュー、特に、系外惑星探査のための間接的および直接的な検出方法や系外惑星の形成と進化に関する重要な科学的課題について言及されている。そして、科学的課題の解決のためには、系外惑星の軌道要素(楕円軌道の長半径、離心率等)とそこから導かれる惑星の質量の情報などが重要かつ必要であることが述べられている。

第2章は、先ず、主星の視線速度と系外惑星の位置天文測定データを組み合わせて系外惑星の軌道要素を解くことが、系外惑星の質量を正確に求め、系外惑星の特徴を同定するために必要であること、さらに、軌道長半径や離心率、傾斜角などの情報が系外惑星系の力学的進化の解明に重要であることなど、軌道要素の解析が系外惑星の形成と進化にとって非常に重要であることが記載されている。そこで、系外惑星がケプラー運動をしていると仮定した場合、主星の視線速度と天球面上での主星に対する系外惑星(または伴星)の相対位置の時間変化から軌道要素を求めるソフトウェアを開発したことが詳細に記述されている。このソフトウェアは、ExoSOFT (Exoplanet Simple Orbit Fitting Toolbox) と呼ばれ、独自に開発されたものであるとともに公開予定となっている。軌道要素のパラメータ値を決定する方法として ExoSOFT で主に用いられる、マルコフ連鎖モンテカルロ法(MCMC)の手法が言及されている。そして、ExoSOFT の妥当性を確認するため、太陽と木星からなる系をそのまま仮に20パーセク離れた距離においた場合の模擬的データに対して ExoSOFT を適用したところ、木星の軌道要素の再現の妥当性の確認ができたことが記載されている。なお、ExoSOFT は、視線速度と位置変動の観測データの両方を同時に用いて軌道要素と質量を直接決定できるようにし、さらにパラメータ値の決定において焼きなまし法(Simulated Annealing 法)と MCMC 法を組み合わせる点において独創的であること、また他の類似のソフトウェアに比べて、別のアルゴリズムの導入や取り扱う観測データの形態に対応しての拡張性が高いこと等の利点があることが強調されている。

第3章は、ExoSOFT による軌道要素解析を V450 Andromeda の伴星に適用した結果、特に伴星の質量について新たな知見を得たことが記述されている。すばる望遠鏡の HiCIAO カメラにより、SEEDS( Strategic Exploration of Exoplanets and Disks with Subaru)サーベイの一環として観測された伴星の位置変動のデータ、および海外の2つの望遠鏡(Observatoire de Haute-Provence の1.9m 望遠鏡と Lick Observatory の3.5m Shane 望遠鏡)の観測装置によって得られた視線速度のデータに ExoSOFT を適用し、伴星の質量は、太陽質量の0.282倍程度であり、先行研究では褐色矮星と考えられていたが、実はM型矮星であることが確認されたことが示されている。

第4章は、ExoSOFT による軌道解析を HR8799 の4個の惑星に適用した結果が示されている。ケック望遠鏡により得られている4個の惑星に対する位置の時間変化データをもとに軌道解析した結果は、

一部の先行研究の結果とは異なり、惑星の離心率は 0.2 以下であることを支持すること、また、4 個の惑星の軌道面はお互いに交差する角度が  $5^\circ$  以内で、ほぼ同一平面にあり、その面は、系の外側の円盤や HR8799 の赤道面とほぼ等しいことも分かったことが示されている。ただ、データがまだ不足しているため暫定的結果であると記載されている。

第 5 章は、主に本論文に記された章毎のまとめが記述されている。また、今後、系外惑星に関する様々な観測データが手に入る時代を迎え、惑星の軌道要素解析の進展も重要であり、ExoSORT はそれに貢献できることが言及されている。

以上、系外惑星の軌道解析にとって必要な視線速度と位置変動の観測データの両方を組み合わせ、求めるべきパラメータが多数ある場合にも有効かつ効率的な独自のソフトウェアを開発し、しかもそれを公開する点は高く評価できる。また、ExoSORT を実際の 2 つの天体に適用し、科学的成果として新たな知見を与えたことも高く評価できる。ExoSORT による系外惑星の軌道解析は、今後も系外惑星の形成や進化に関する研究の進展をもたらす可能性があり、科学的意義は高いと考える。

なお、本論文第 2 章は、Timothy D.Brandt 氏との共同研究であり学術雑誌に投稿されているとともに、第 3 章の内容も Krzysztof Helminiak 氏を筆頭著者とし、SEEDS チームとの共同研究として学術雑誌へ投稿されている。第 2 章は論文提出者が主体的にソフトウェアの開発を行ったものであり、また第 3 章はそれを用いた解析を行ったもので、特に 2 章での論文提出者の寄与は十分であると判断する。したがって、博士（理学）の学位を授与できると認める。