

論文審査の結果の要旨

氏名 葛原 昌 幸

本論文は、太陽系外に存在する巨大ガス惑星の特性や起源の解明に向けて、直接撮像法という手法を用いて観測的にアプローチしたものである。具体的には、多くの恒星に対して系外巨大ガス惑星の探査を行なった結果、巨大ガス惑星であることが有力である天体を実際に検出することに成功した。さらに、全データの統計的考察によって、巨大ガス惑星の形成過程に対する重要な示唆を与えた。本論文は本編8章と3つの Appendix から構成される。以下、各章の内容を要約し、審査委員会の評価を述べる。

第1章はイントロダクションであり、巨大ガス惑星の起源に対する理論的研究および系外惑星の観測的研究の手法や成果に対するレビューが行われている。そして、それらをふまえた上で、本研究における論文提出者の研究動機や目的が述べられている。

第2章では、本探査計画を実行するにおいて論文提出者が行なった観測ターゲット選定について詳しく議論されている。直接撮像観測において、ターゲットとなる恒星の年齢が、検出された惑星の特徴や起源を議論する際に重要な要素になる。そのため、提出者は年齢推定の手法の利点や精度、注意点に対して注意深く議論を行なっている。また、その議論に基づいて提出者が考えたターゲットの年齢推定の主旨や、その年齢推定の結果を説明している。

第3章では、本研究で用いられた直接撮像法の観測方法や得られたデータの解析方法を説明している。また観測やデータ解析において、提出者が工夫した点や注意した点についても説明を行なっている。本研究で用いられた観測・解析手法は必ずしも独自に考案されたものではないが、提出者がそれらの手法の適用に対して独自に注意深く検討してきたことがうかがえる。

第4章では、同探査において得られた全体的な結果がまとめられている。特に、多数検出された惑星候補天体が主星に重力的に束縛されているものであるか否かを議論し、さらに本探査で得られた検出感度（それぞれの主星からどの程度は離れたところで、どの程度の質量の惑星が検出可能かを示したもの）を提示している。

第5章では、本研究の最大の成果である太陽型の恒星 GJ 504 から 43.5 天文

単位離れたところを公転する巨大ガス惑星 (GJ 504 b) の検出について報告されている。GJ 504 の年齢は提出者が注目した gyrochronology という手法に基づいて主に推定されている。同手法は星の自転周期が年齢に応じて長くなる現象に基づいて年齢を推定する手法であり、単独で存在する恒星に対しては、現在のところ最も高い精度で年齢を推定することが可能な手法の一つである。提出者の年齢推定の結果では、GJ 504 の年齢は 1.6 [-0.6, +3.5] 億年である。また、GJ 504 b の質量は巨大ガス惑星の光度進化モデルから木星の 3[-1, +4.5] 倍と推定されている。その光度進化モデルは直接撮像法で検出された巨大ガス惑星の質量推定に一般的に用いられるものであるが、特に若い巨大ガス惑星に対する年齢推定には大きな不定性を含むことが知られている。しかし、GJ 504 b の年齢は 1 億年よりも長いと推定されたため、その不定性は過去の検出例と比較し極めて小さい。これは、検出された惑星の特徴や信頼性を解釈する際に重要な点であり、本発見の特筆すべき点である。また、GJ 504 b は主星から遠く離れた巨大ガス惑星であり、古典的な惑星形成論の枠組みでは起源を説明することが困難である。本研究の発見は、そのような巨大ガス惑星が太陽に近い質量を持つ恒星 (いわゆる太陽型星) の周囲にも存在することを示した初めての確実な例として極めて興味深いと言える。

第 6 章では、本研究における全探査で得られた惑星の検出頻度 (約 3%) がコア集積理論と惑星移動理論に基づいた統合理論と整合的かどうかを統計的に検証することを試みている。それによって、理論モデルが本探査からは確率的に否定されないことを示した。論文提出者の本章における試みは直接撮像法が他の手法同様に、統計的観点からガス惑星起源を議論するのに有用であることを例証するのに至ったと言える。さらに本章では、今後の直接撮像探査によって展開されるべきサイエンスについて、提出者の分析方法に基づいて提案されている。従って、本章における統計的考察は今後の系外惑星の研究において重要な糸口になると言える。

第 7 章では、本論文の結論が述べられている。最後に、第 8 章では、本研究成果に基づいて、将来における系外惑星の観測的研究が幾つか提案されている。

なお、本論文の内容の多くは、田村元秀氏および SEEDS グループとの共同研究であるが、論文提出者が主体となって観測ターゲット選定やデータ解析、統計的考察を行ったものであり、論文提出者の寄与が十分であると判断する。

以上により、論文提出者に博士 (理学) の学位を授与できると認める。