

論文審査の結果の要旨

氏名 上赤 翔也

本論文は、星震学を用いて恒星の自転傾斜角を求めることにより、惑星系における主星の自転方向に対する惑星の公転軌道角（スピン軌道傾斜角）を求める手法の有効性を論じたものである。本論文は7章からなる。

第1章から3章までは、本研究の背景を論じるものである。まず第1章では、本研究のイントロダクションとして、太陽系外惑星研究の現状をまとめている。続いて第2章では、惑星系におけるスピン軌道傾斜角情報が惑星系の形成研究に関してもたらす意義とその研究の現状をまとめている。さらに第3章では、本論文で用いる星震学の基礎を議論、恒星の変光の周波数成分から恒星の自転傾斜角および自転周期情報を導く原理を議論している。

続いて4章から6章で、本論文の主要成果を議論している。まず第4章では、本研究で提案する星震学を用いた恒星の自転傾斜角および自転周期の測定について、信頼性の高い結果を得るための条件を解析的に導出し、次いで数値シミュレーションを通してこれらの条件が実際の観測結果に適用可能であることを確認している。

続いて、第5章では、4章で議論した手法を、ケプラー衛星の観測結果に適用している。具体的には、ケプラー衛星の観測の中から、恒星の変光の周波数解析が可能で、かつ惑星を保有する33の恒星に対して、星震学を用いて、自転傾斜角と自転周期を測定した。惑星をもつ恒星に対して、星震学を応用した自転傾斜角と自転周期を導出したサンプルとしてとしては、今まで最も大きなサンプルである。このうち、9個の恒星に対して、自転傾斜角を信頼性高く求めることができた。その中で、Kepler-408では、 2σ 以上の有意性で惑星の軌道と恒星の自転軸とが傾いていることが明らかになった。Kepler-408を公転する惑星(Kepler-408b)は地球と同程度の大きさのため、従来の手法(例えば、ロシター効果)ではこの系のスピン軌道傾斜角を測定することは困難である。Kepler-408bは、地球型惑星において大きなスピン軌道傾斜角が検出された初めての例である。このことは、これまで主に巨大惑星を想定しモデル化されてきた惑星軌道傾斜機構が、地球型惑星にも働くことを示したものである。

6章では、恒星の自転周期と惑星の公転周期との関係を議論している。恒星の自転周期は、従来は光度の周期的変動から決定されたものが多かったが、光度の周期的変動は自転以外に原因を持つ場合もあり、この手法には大きな不定性があった。一方、本論文で議論している星震学を用いた自転周期の決定手法は、本質的な不定性が少なく、かつ光度周期

的変動とは全く独立の方法である。したがって、両者が一致する場合は、信頼性高く自転周期が決定できたと考えられる。本研究にて解析された惑星を持つ 33 個の恒星では、13 個の恒星で光度周期変動から求めた自転周期と星震学で求めたものがよく一致し、信頼性の高い自転周期見積もりが得られたと考えられる。このうちいくつかの惑星系において、主星の自転周期と惑星の公転周期の間に整数比の関係がある可能性が示唆された。複数の惑星の公転周期の間に整数比関係があることは、これまでも報告されており、それらは軌道の共鳴状態にあると解釈されている。本研究は、同様の規則性が恒星の自転と惑星の公転周期の間においても成立していることを観測的に示唆するものである。

最後に 7 章において、本論文の議論のまとめを行っている。

本論文は、星震学を利用した恒星の自転傾斜角の決定が、太陽系外惑星系におけるスピン軌道傾斜角の決定を研究するうえで、有用な手法となることを数値シミュレーションおよび実際の観測への適用により明らかにした。さらに、星震学を利用した自転周期の決定が、恒星自転と惑星公転との間の関係を明らかにする可能性を示した。これらは、太陽系外惑星の研究分野で新たな手法を開拓するものであり、大きな意義が認められる。

なお、本論文第 4 章と第 5 章は、Othman Benomar、須藤靖との、第 6 章は、Othman Benomar、須藤靖、Fei Dai、増田賢人、Joshua N. Winn とのそれぞれ共同研究であるが、論文提出者が主体となって解析及び検証を行ったもので、論文提出者の寄与が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。