

論文審査の結果の要旨

氏名 増 田 賢 人

本論文は、太陽系外惑星系の軌道進化の原因を解明することを最終目的として、高精度の測光観測を利用することにより、系外惑星の軌道と主星の自転軸との関係（スピン軌道角）を高精度で明らかにする手法を確立・実証したものである。

本論文は7つの章から構成される。

第1章では、まず、本論文の研究の動機付けとなる「スピン軌道角」の問題が議論されている。我々の太陽系においては、太陽の自転軸と、惑星の公転軸とは7度以内でよくそろっている。一方、系外惑星のうち「ホットジュピター」と呼ばれるものについては、その約3割が惑星公転軸と主星自転軸が有意にずれていることが明らかになっている。このような惑星公転軸と主星自転軸とのずれを生むメカニズムを解明するためには、「ホットジュピター」に限らない多様な惑星について「スピン軌道角」を調べることの重要性が議論されている。

第2章では、「スピン軌道角」の測定方法が紹介されている。従来は、トランジット中の視線速度を精密に測定する「Rossiter-McLaughlin 効果法」（以下RM効果法）が、「スピン軌道角」の決定に主に用いられてきた。しかし、RM効果法では、真の「スピン軌道角」は分からず、その天球面への投影成分が分かるのみである。そこで、「星震学」（恒星の振動による光度変動のスペクトル解析）を組み合わせることにより、三次元的に「スピン軌道角」を求めることができることが議論されている。さらに、RM効果法では精密な分光観測が必要であったが、「重力減光法」（重力減光を示す高速自転星のトランジットによる減光曲線から、スピン軌道角を求める）では、精密な測光観測から「スピン軌道角」を求めることが議論されている。

第3章では、大きな「スピン軌道角」を生む2つのメカニズムが紹介されている。1つは、ホットジュピターなどの惑星が太陽系の木星と同様に主星から遠方で形成されたのち、惑星同士の重力散乱のような軌道を大きく変化させる力学的過程を経て主星の近傍に移動してきたとするものである。もう1つは、太陽系で自転軸と公転軸が揃っているのは単なる偶然で、原始惑星系円盤の軸と主星の自転軸は一般には揃っておらず、初期条件の違いを反映しているとするものである。この両者を区別することが、本論文の動機の一つとなっている。

続いて第4章では、星震学とトランジット光度曲線およびRM効果の組み合わせによる真のスピン軌道角の推定について議論されている。本章では、RM効果とトランジットによる減光曲線を、星震学から得られる主星の自転軸傾斜角の情報と組み合わせて解析することにより、射影ではない真のスピン軌道角を推定する方法論を確立している。さら

に、その手法を HAT-P-7 と Kepler-25 という惑星系に適用した。その結果、RM効果法で求められていた結果とは質的に異なるスピン軌道角が得られることを示した。さらに、上記のような同時解析によってスピン軌道角以外の系の性質（軌道離心率など）についてもより精密な制限が得られることを示した。

続いて、第5章では、重力減光を用いた高速自転星まわりの惑星のスピン軌道角測定について議論している。この手法は、RM効果の観測が困難な高速自転星まわりの惑星で、公転周期の長いものにも適用できるため、スピン軌道角の測定対象を広げる上で特に有効である。この方法を、具体的に Kepler-13Ab と HAT-P-7b という惑星系に適用し、その有効性を示した。

さらに、第6章では、3重食連星系 KIC 6543674 の測光データによる構造決定が議論されている。本系での、3つの星の食の光度曲線と、これらの星の重力相互作用が食の時刻に及ぼす影響の力学的なモデルを組み合わせることで、3つの星の軌道および質量・半径を含む物理的性質を測光データのみから精密に推定した。

最後に第7章で結果をまとめている。さらに、本論文で示された各種の「高精度測光による惑星系の構造決定」手法により、将来どのような惑星系について「スピン軌道角」を決定することが期待され、「スピン軌道角」の起源の解明に迫る可能性について論じている。

本論文は、「スピン軌道角」を決定するために、「高精度測光」観測を用いた手法が有効であることを示したものであり、その価値は高い。

なお、本論文のうち第4章と6章は他の研究者との共同研究であるが、論文提出者が主体となってデータ解析、分析及び検証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。

したがって、博士（理学）の学位を授与できると認める。