

論文審査の結果の要旨

氏名 平野 照幸

本論文は、太陽系外の惑星における恒星の自転軸と惑星の公転軸のなす角度（以下、軌道傾斜角）を求めるにあたり、「ロシター・マクローリン効果」（以下、ロシター効果）の理論モデルの精密化を行い、さらにロシター効果に代わる新しい方法を提案し、それを実証したものである。

本論文は6章から構成される。

まず、1章において、研究の動機、すなわち「軌道傾斜角測定」が「惑星系における巨大惑星の移動機構の解明」に重要であることが述べられている。

続いて2章において、軌道傾斜角を求める研究の方法のレビューが行われている。特にロシター効果を用いて軌道傾斜角を求める方法について詳しく述べている。

3章では、ロシター効果に対する新たな理論モデルの構築を論じている。ロシター効果は、惑星がトランジットする際に恒星面の一部分が隠されることで、スペクトル線の形が歪む現象である。しかし、この歪を直接捉えることは困難であるため、代わりに星のスペクトル線の位置の時間変化を測定することで検出される。Ohta et al. (2005)は、歪んだスペクトル線の重心を計算することによって、ロシター効果を記述する解析的な表式を導いた。しかし、この式は、観測結果、特に視線速度の振幅を正しく表現できないという欠点がある。そこで、本論文では、より現実的なスペクトル線プロファイルをとりこむことによってロシター効果による視線速度変動を記述する高精度解析公式を導出している。さらに実際の視線速度解析の手続きを数学的に記述し、ロシター効果による視線速度変動を惑星の位置の関数として解析的に導出している。その上で、実際の視線速度解析ソフトを用いたシミュレーションと比較し、新解析公式が実際の観測データの解析を行う上で十分な精度であることを示している。また解析公式の応用として、恒星が差動回転している場合に解析公式を拡張し、差動回転の検出が可能であることを示している。

次に4章では、ロシター効果の新しい観測と過去のデータの再解析が論じられている。新たな観測としては、HAT-P-11、XO-3、KOI-94という3つの系の観測結果が報告されている。このうちHAT-P-11は海王星サイズの惑星を持ち、KOI-94はトランジット惑星を4つ持つという特徴をもつ。その結果、HAT-P-11では惑星公転軸が中心星自転軸と有意にずれており、KOI-94ではそれらが揃っていることを明らかにしている。特にKOI-94では、4つの惑星のうち2つが、ほぼ同時に主星の手前を横切り、その際に互いに視線上で重なるという稀な現象を捉え、2つの惑星の公転軸がほぼそろっていることを示している。さらに、過去の他グループの過去の観測データについても、新しい理論

モデルを適用して再解析し、過去の解析よりもモデル・フィットが有意に良くなることを示している。

さらに5章では、惑星の軌道傾斜角推定のための新たな方法論の提案と、観測への適用とを行っている。ロシター効果が適用できないより暗い星まで軌道傾斜角を推定するため、本論文では、黒点による星の明るさの周期的変動を用いて星の自転傾斜角を測定するという新しい方法論を提案している。まず星の明るさの変動から星の自転周期を求め、さらに分光観測によるスペクトル線の吸収線幅から射影自転速度（星の自転速度を我々の視線方向に射影したもの）を求める。これらの情報を合わせると、星の自転軸が我々の視線方向に対してどれだけ傾いているか（自転傾斜角）の情報が得られる。トランジット惑星系では惑星の公転軸は、ほぼ観測の視線方向に垂直であるため、自転傾斜角の推定は星の自転軸と惑星公転軸の関係を与える。この方法は惑星のサイズや軌道長半径によらず適用でき、小さい惑星に対してもその公転軸と中心星自転軸の関係を調べられるという利点がある。本研究では、トランジット探査衛星である「ケプラー宇宙望遠鏡」によって見つかったトランジット惑星候補を持つ10個程度の天体に対して、本方法により星の自転傾斜角を測定している。結果として、KOI-261と呼ばれる海王星よりも小さい惑星候補を持つ系において星の自転軸と惑星公転軸が有意にずれている証拠を発見している。

最後に6章で、結論をまとめている。

このように、本研究は、太陽系惑星系において軌道傾斜角を求めるにあたり、ロシター効果の理論モデルをより精密化すると同時に、より暗い星についても適用できる新しい方法を提案・実証したものであり、太陽系外惑星系研究に新たな道を開いたものとして、高い価値を持っている。

なお、本論文は多く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、観測の提案、観測の実行、データの解析を行ったもので、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。