

審査の結果の要旨

氏名 武藤 圭史朗

本論文は6章からなる。第1章（序論）では、惑星大気分野で用いられてきた雲追跡による風速場導出の先行研究が紹介されている。第2章では、回転不変位相限定相関法という画像解析分野の新しい手法を本研究で初めて惑星大気に応用することと、その手順が述べられている。第3章ではこの新手法を理想的な風速場を模擬した疑似データに応用して解析の精度を評価し、その結果を踏まえて第4章では木星と金星の画像データに新手法を応用している。第5章では木星と金星のデータの解析によって新たに明らかになった大気運動の特徴の科学的意味を議論している。第6章は全体のまとめである。

惑星大気の流体力学は様々な空間スケールの中の相互作用が本質的であり、惑星よりはるかに小さなスケールも含めた幅広いスペクトルの運動を把握することが重要である。惑星大気の運動を計測する手段として、連続画像を用いる雲追跡があり、これは特に直接計測が難しい地球以外の惑星において貴重なデータをもたらしてきた。これまでの雲追跡手法は、画像の中の小領域（追跡領域）が時間を隔てた画像間でどのように並行移動したのかを相互相関係数や複素振幅スペクトルを用いて決定するというもので、追跡領域の回転や拡大・縮小などは検出できなかった。学位申請者は新たに回転不変位相限定相関法を用いて惑星の雲追跡を行うアルゴリズムを開発し、追跡領域の平行移動だけでなく回転運動も同時に検出できるようになった。これは学位申請者が世界で初めて取り組んだ、前例のない試みである。局所的な回転運動は大気中の乱流や波動を反映しており、これらを追跡領域の大きさまで検出できるようになることは、スケール間相互作用の理解のために大いに役立つはずである。

学位申請者はまず、理想的な流れ場を仮定して雲の模様を移流させた模擬データを作成し、これに開発した手法を適用して、手法の特性や精度を評価した。流れ場としては剛体回転、渦度がゼロの点渦、水平方向に正弦波的に振動する風速場を採用し、雲パターンの回転角度と風速場から導出した渦度を比較した。この調査によって、雲パターンの回転を直接求める新手法では、並行移動を追跡する方法で求められる渦度よりも小さなスケールの回転運動を検出できることが確かめられた。実験は注意深く設計されており、実データに適用する前に系統的な感度実験をして特性を把握していることが評価される。

これらの結果を踏まえ、学位申請者は新手法を木星の画像データに適用した。木星を対象とした雲追跡ではこれまでに複数の東西ジェット構造や大規模な渦の構造などが調べられてきたが、小規模な渦運動はほとんど捉えられてこなかった。今回得られた結果によれば、緯度方向にも経度方向にも 1° 程度の大きさを持つ小規模な渦が赤道域に連なって存在している。この特徴は、赤道域に存在する速いジェットのエネルギーが赤道域の対流に起因する微細な渦によ

って供給されているとする近年の理論モデルを支持する可能性がある。この発見は、新手法が回転運動の空間解像度を従来より数倍高めたことによって初めてもたらされたものであり、極めてユニークである。今後の木星の科学への波及効果が期待される。

学位申請者はまた、金星の画像データに新手法を適用した。その結果、微細な雲パターンの回転の分布に、北半球で左回転、南半球で右回転という南北対称の惑星スケールの構造が確認された。これは背景風速の水平勾配により小スケールの雲が回転・変形していると解釈できる結果であり、このことが観測的に実証されるのは今回が初めてのことである。金星の雲層に見られる筋状構造の起源や、空気塊の引き延ばしによる物質拡散過程の解明につながる成果であり、科学的価値は高い。

本論文では、小規模な渦が金星よりも木星で顕著であることについても興味深い考察がなされている。木星の自転は速く、金星の自転は遅い。このためコリオリ力は木星で圧倒的に大きく、木星のほうが水平収束・発散にともなって小さな渦が作られやすいというものである。両惑星における対流活動の違いが影響している可能性も示唆されている。このような比較惑星科学の視点からの議論は、広く惑星流体力学の理解に資するものと評価できる。

このように、学位申請者は自らユニークな雲追跡手法を考案し、これを模擬データや惑星大気の実験データに適用して有用性を実証するとともに、科学的価値の高い成果を得ることに成功した。この新手法によって、惑星大気力学の観測的研究においてカバーできる空間スケールが拡がり、小スケールの擾乱と大規模場の相互作用について新たな研究が可能となった。この手法は今後、惑星大気研究一般に広く活用されていくことが期待される。

なお、本論文第3章、第4章は今村 剛との共同研究であるが、論文提出者が主体となっており、ほとんどの分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。

よって本論文は博士（科学）の学位請求論文として合格と認められる。

以上2051字