

審査の結果の要旨

氏名 奈良 佑亮

本論文は5章からなり、第1章は序論で、第2章では金星の紫外画像で観察される惑星規模の模様形成メカニズム、第3章では大気波動による雲層高度と上層大気の力学的結合、第4章では新たな雲追跡手法による惑星上の風速導出、第5章ではまとめが述べられている。いずれの研究においても、論文提出者は自ら開発した雲追跡手法により風速ベクトル場を導出し、独自性のある惑星流体力学の議論を展開している。

金星は全球を厚い雲に覆われており、太陽光の約8割がこの雲によって反射される。雲頂高度では紫外から可視波長域にかけて太陽光吸収があり、大気の熱収支に大きな影響を与えていると考えられている。この太陽光吸収には特徴的な空間構造があり、その形成過程は解明されていない。第2章において論文提出者は、この謎を解くために欧州の金星探査機によって得られた紫外画像を用いて惑星規模の模様と風速場を比較し、模様の形成メカニズムを考察した。輝度変動と風速変動を周期解析することで、赤道域に約4日、中緯度に約5日の周期性が検出され、それぞれケルビン波、ロスビー波と呼ばれる惑星規模の大気波動に起因することが分かった。論文提出者はこの解析結果から、惑星規模波動により惑星規模の模様が形成されるとする仮説を立て、さらに数値計算によって仮説を検証した。これは惑星の気象学における長年にわたる疑問を解決するものであり、当該研究分野でも注目されている。

第3章で論文提出者は、大気波動による下層大気（雲層高度）と上層大気（熱圏）の力学的結合に注目した。日本の金星探査機あかつきと地球周回の宇宙望遠鏡ひさきが同時に金星を観測したデータを用いる、前例のないアプローチである。用いたデータはあかつきによる紫外画像とひさきによる極端紫外線分光データで、あかつきの紫外画像から推定した雲層高度の風速場とひさきが捉えた熱圏の酸素原子の発光強度を比較した。その結果、両者に共通する3.6日周期の変動が検出され、雲層高度には惑星規模の大気波動であるケルビン波が伝播していること、熱圏への影響はより小さな大気重力波によって生じているらしいことが、波動の鉛直伝播の数値計算によって示唆された。ケルビン波は放射減衰のため熱圏までは鉛直伝播できないが、大気重力波の伝播特性がケルビン波によって変化させられるため、遠く離れた高度間に共通の周期性が表れるものと結論されている。論文提出者はまた、熱圏に到達した重力波がもたらす鉛直混合が大気発光強度に与える影響を調べるために光化学モデルを構築した。酸素原子の生成消滅過程を考慮して酸素原子密度の時間発展を解き、波動の碎波が引き起こす鉛直混合の変化により発光強度の変動を説明できることが示された。このように異種の観測を数値モデルによって組み合わせて問題解決に至るアプローチは非常にユニークであり、得られた成果も価値が高い。

第4章で論文提出者は、金星の雲画像に観察されるような筋模様が卓越する領域においても高い信頼性を持つ雲追跡手法を開発した。画像内に筋模様が存在すると、筋模様の向きに沿っ

た大気の変位がわからないため、従来は雲追跡が困難であった。そこで論文提出者は、筋模様に沿って明るさの変化が小さいことを利用し、筋模様に沿った向きに画像を空間微分することによって筋模様を低減するという解決方法を考案した。この手法を金星探査機あかつきが取得した紫外画像に適用して風速場を導出し、得られた風速場の時系列データに周期解析を適用することで、風速場に顕著な周期性が検出された。検出された 4.9 日周期の変動の空間構造を調べたところ、金星に存在すると予想されていた惑星規模波動であるロスビー波と整合することが示された。論文提出者はさらに、この波動が角運動量を運ぶことによって金星で特徴的な高速大気循環の維持に寄与している可能性を示した。ここで開発された手法は今後、惑星大気研究一般に広く活用されていくものと期待される。

なお、本論文第 2 章および第 3 章の研究には複数名の共同研究者がいるが、論文提出者が主体となってほとんど全ての解析と議論を行ったもので、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 1755 字