

論文審査の結果の要旨

氏名 陣 英克

惑星大気・電離層は、惑星下層の物理化学的状态だけでなく、太陽コロナ活動に伴い変動する太陽風の影響を大きく受ける。そして金星や火星のように固有磁場を持たない惑星では、太陽風と電離層が直接相互作用するので、太陽風の変化により電離層構造が大きく変化することが知られていた。しかし、太陽風動圧の変化により惑星電離層がどのように応答するのかについては、諸説が提出されているのが現状であり理論的に理解されていない点が多かった。申請者は、中性大気と電離大気の相互作用を組み込んだ惑星大気全体系を扱うことが出来る電磁流体シミュレーションを独自に開発し、そのシミュレーション結果に基づき惑星プラズマ・磁場の輸送過程の解析を詳細に行い、固有磁場を持たない惑星大気のダイナミクスを明らかにした。特にこれまで問題となっていた電離層内に局在化する磁場形成過程について、明快な物理的解釈を与えることにも成功した。本論文は全部で6章と3つの appendix から成り、第1章は研究背景と概要、2章から5章が本論文の中核であり、第6章は結論となっている。以下に2章から5章の内容を述べる。

まず第2章では、本論文で用いる惑星大気の物理化学モデルについて述べられている。電離層の主成分であるイオン (O^+ , O_2^+ , CO_2^+) と太陽風 (H^+) の複数成分を扱える電磁流体コード、電離層内での物理化学過程 (光化学反応、中性大気との運動量交換、重力、磁場拡散)、初期条件や境界条件、計算格子の配置について記述されている。

次に第3章では、後章での議論の基礎となる金星大気の全体構造の特徴を概観している。申請者のモデルでは、電離層付近で細かく計算格子を配置する高空間分解能計算を行うことにより、衝撃波、磁気バリア、磁気シース、イオンテイルといった比較的スケールの大きい構造に加えて、電離層内のプラズマ不安定に伴う微細擾乱構造もよく再現している。昼間側鉛直流構造や夜側電離層起源の問題、夜側尾部領域の乱流的プラズマ構造について、本研究で得られたシミュレーション結果を過去の研究結果と比較しながらレビューを行っている。

4章では、太陽風-電離層相互作用が特に重要となる昼側電離層とその境界付近のダイナミクスについて詳細な解析を行った。これまでの観測から、太陽

風動圧が電離層圧力よりも小さい場合には明確な ionopause の境界が存在できること、太陽風動圧が大きくなると ionopause 境界が不明瞭になり電離層内に太陽風磁場が侵入していることが知られていたが、その明確な理論的説明がされていないのが現状であった。本論文では、太陽風動圧 (P_{sw}) がある臨界圧力 (P_{crtc}) を超えるまでは太陽風磁場が電離層内に侵入してこないことに着目し、磁場の侵入の有無で定義される臨界圧力をパラメータにして金星電離層構造を論じた。太陽風動圧 (P_{sw}) がある臨界圧力 (P_{crtc}) を越えるまでは、すなわち $P_{sw} < P_{crtc}$ では、上層でのプラズマ生成と下層でのプラズマ消滅過程による鉛直対流が、電離層構造を決める重要な要素であること、そして P_{sw} の増加に伴って消滅過程が卓越してきて鉛直下降流が増大することを見出した。一方 $P_{sw} > P_{crtc}$ では、下層でのプラズマ消滅率が上層での生成率より卓越し、電離層プラズマだけでは太陽風動圧を支えきれなくなり、太陽風プラズマが電離層下層まで侵入することによって定常的構造を維持すると結論付けた。そしてこの鉛直下降流と共に輸送されてきた太陽風磁場が、電離層磁場の起源であることを突き止めた。またこの知見に基づき、 $P_{sw} < P_{crtc}$ では、ionopause は 2 領域間の圧力がバランスする tangential discontinuity であるのに対し、 $P_{sw} > P_{crtc}$ では、ionopause を通過するプラズマ流が存在し、その境界は不明瞭になることも明らかにした。

第 5 章では、4 章で考察した金星電離層のシミュレーションを火星にも適用し、火星と金星の電離層の類似性・相違性を議論した。火星でも基本的には金星電離層と同様のメカニズムがおきているが、火星では上層における中性酸素と二酸化炭素の密度の違いが小さいため、酸素イオン (O^+) 生成が軽減される。そのため火星では金星のように顕著な鉛直対流機構が働かないこと、ionopause 構造が曖昧になってくることを明らかにした。

以上をまとめるに、本論文提出者は惑星電離層と太陽風の相互作用について、大気化学反応を組み込んだ 2 次元電磁流体シミュレーションを行い、惑星大気の構造について数多くの重要な成果を挙げた。本論文には、前沢冽氏・向井利典氏との共著論文の内容が含まれるが、本論文提出者が主体となって遂行した研究であると認められる。

以上により、審査員一同は、博士（理学）の学位を授与するに十分値するものと判定した。