



HOKKAIDO UNIVERSITY

Title	Studies on dust-plasma interaction in Saturn's inner magnetosphere and its magnetosphere-ionosphere coupling [an abstract of dissertation and a summary of dissertation review]
Author(s)	堺, 正太朗
Degree Grantor	北海道大学
Degree Name	博士(理学)
Dissertation Number	甲第11376号
Issue Date	2014-03-25
Doc URL	https://hdl.handle.net/2115/55655
Rights(URL)	https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/2.1/jp/
Type	doctoral thesis
File Information	Shotaro_Sakai_abstract.pdf, 論文内容の要旨



学 位 論 文 内 容 の 要 旨

博士の専攻分野の名称 博士（理 学） 氏 名 堺 正 太 朗

学 位 論 文 題 名

Studies on dust-plasma interaction in Saturn's inner magnetosphere and its magnetosphere-ionosphere coupling

(土星内部磁気圏におけるダスト-プラズマ相互作用及び磁気圏—電離圏結合に関する研究)

研究の背景と目的

土星の固有磁場は太陽風との相互作用により土星磁気圏を形成している。その磁気圏は地球磁気圏と同様にプラズマで満たされている。内部磁気圏と呼ばれる 10 Rs (Rs: 土星半径、60268 km) より内側の領域には土星の衛星やリングを起源としたプラズマが大量に存在している。その中でも衛星エンセラダスは南極から大量の水蒸気を噴出していること（プリューム）が土星探査機カッシーニによって観測されており、内部磁気圏の重要なプラズマ源であると考えられている。カッシーニ・ラングミュアプローブで観測されたデータを解析したところ、エンセラダスから放出されたガスは磁気圏内へと広がっていた。一方で土星には氷などのダストを主成分としたリングが広がっており、特に 3 から 8 Rs 程度に広がっているのが E リングである。E リングの起源の一つがエンセラダスプリュームに含まれるダストだと考えられている。負に帯電したダストはダストの電位内に低エネルギーイオンを捉えることにより共回転速度よりもイオン速度は遅くなる。カッシーニによって観測されたイオン速度はこの現象を発見した。

土星内部磁気圏全体の描像を明らかにするためには内部磁気圏で生じているダスト-プラズマ相互作用について理解する必要がある。しかし、観測だけではダスト-プラズマ相互作用の物理を解明することは難しい。本研究では数値モデルを用いることで、ダスト-プラズマ相互作用の物理過程と内部磁気圏全体への影響を明らかにする。

ダスト-プラズマ相互作用

ダストが土星磁気圏に与える影響を調べるために、土星内部磁気圏多流体 (H^+ 、 H_2O^+ 、ダスト、電子) モデルを構築しイオン速度の計算を行った。その結果、ダスト密度が大きい時、また磁気圏内のダスト層の厚さが大きい時、イオン速度は共回転速度よりも小さくなった。ダスト密度が 10^5 m^{-3} 以上、ダスト層の厚さが 1 Rs 以上の時、カッシーニ観測と一致している。共回転速度からの遅れは、イオンがダストと衝突することによって磁気圏内に電流が流れ、新たに磁気圏電場を生成し共回転電場を弱めるためである。新たに生成される磁気圏電場は電離圏ペダーセン伝導度に強く依存することから、磁気圏—電離圏結合により土星内部磁気圏の構造と力学が支配されていることが明らかとなった。

電離圏プラズマ密度及び温度分布

電離圏ペダーセン伝導度を求めるために電離圏モデルを構築した。モデルから密度、速度、温度が計算される。モデルは電離圏-磁気圏系として扱い、磁気圏の情報を境界条件として与えることができる。磁気圏の影響を考慮した土星電離圏モデルは本研究が初めての試みである。磁気圏側のプラズマ温度 2 eV (約 20000 K) を与え、磁気圏からの熱流をモデルに取

り入れた。その結果、電離圏プラズマ温度は従来考えられていた温度 500 K より非常に高くなり、高度 2000 km で 3000 K、高度 10000 km で 20000 K となった。掩蔽観測による電離圏電子密度分布から推定される温度と一致していることから、高度 2000 km 以上の高高度では磁気圏からの熱流が重要である。高度 1000 km 程度の高度では、ジュール加熱と衝突による加熱が重要な加熱プロセスであり、その温度は約 2000 K である。プラズマ密度は高度 1200 km で最大となり約 10^{10} m^{-3} 、高度 10000 km で約 10^6 m^{-3} である。

電離圏ペダーセン伝導度と磁気圏イオン速度との関係

電離圏ペダーセン伝導度のローカルタイム依存性が存在し、正午が大きく、夕方、真夜中、明け方の順に小さくなった。緯度が高くなる (L が大きい) とともに電離圏伝導度は小さくなる。この電離圏伝導度を用いて磁気圏のイオン速度を計算すると、電離圏伝導度の大きい夕方が最も速度が大きく、伝導度の小さい明け方が最小速度になった。これは、磁気圏内に新たに作られる電場は磁気圏－電離圏結合により電離圏で電流が流れることによりショートされ、磁気圏電場の影響が相対的に小さくなることが原因である。カッシーニ探査機によるイオン速度のばらつきはローカルタイム依存性を含んでいる可能性がある。

まとめと結論

本研究では 2 つのモデル計算から、土星内部磁気圏におけるダストープラズマ相互作用及び磁気圏－電離圏結合についての議論を行った。

ダストープラズマ相互作用はダスト密度が大きい時、または磁気圏内でのダスト層の厚さが大きい時卓越した。これはイオン－ダスト衝突によって磁気圏内に流れる電流が新たな磁気圏電場を生成し、共回転電場を小さくするためである。新たに作られる磁気圏電場は電離圏ペダーセン伝導度に強く依存することから、磁気圏－電離圏結合により土星内部磁気圏の構造と力学が支配されている。電離圏伝導度は電離圏プラズマ密度から計算され、ローカルタイム依存性及び緯度依存性を持った。電離圏伝導度が小さい時は、磁気圏－電離圏結合によって電離圏に流れる電流が大きくなり、磁気圏電場の影響が相対的に大きくなる。以上から土星内部磁気圏では、ダストープラズマ相互作用及び磁気圏－電離圏結合が内部磁気圏物理を支配しており、磁気圏と電離圏を一体として議論しなければならないことが明らかとなった。