

論文審査の結果の要旨

氏名 関 克隆

本論文は、八章からなる。

第一章は、本論文が主眼とする、衝撃波面の非定常構造に関するこれまでの研究を紹介している。非定常衝撃波とは、衝撃波面が時間的・空間的に変動している構造をさす。これまで、理論・数値シミュレーションを中心に、衝撃波面が時間的・空間的に非定常な構造(衝撃波再形成やリップル)をしていることが示唆されてきた。非定常構造は、衝撃波遷移層で起こる粒子加速機構に大きく影響するため、磁気圏物理だけでなく、天文分野においても非常に重要な問題となっている。しかし、これまでの単一衛星観測では、原理的に時空間構造を分離することが難しいという問題があり、非定常構造が観測的に示されたことはない。しかしながら、編隊飛行衛星を用いることにより、衝撃波面の時間・空間変動を分離することができる。編隊飛行衛星を使用し、特に衝撃波再形成を同定し、無衝突衝撃波でおこる粒子加速機構を理解する、というのが本論文の独特の着眼点である。

第二章は、本研究で使用した磁気圏探査機(Cluster、Geotail)及び観測機器に関する説明である。1994年に日米共同で打ち上げられたGeotail衛星に関する説明と、2000年に欧州宇宙機関によって打ち上げられた、初の編隊観測衛星であるClusterに関する説明をしている。

第三章は、衝撃波上流で観測された高エネルギー粒子の加速機構に関して議論している。コロナ質量噴出イベント中に $\sim 20\text{keV}$ まで加速された沿磁力線ビーム(FABs)と $\sim 800\text{keV}$ まで加速されたロスコーン型分布の二つの高エネルギー粒子分布が観測された。後者は新発見である。二つの分布は、衝撃波角に依存して変化しており、FABsが断熱加速理論から予想されるエネルギーとよい一致をしていたのに対してロスコーン型分布を生成することは難しく、衝撃波角により加速機構が異なること、かつ、ロスコーン型生成には衝撃波遷移層の非定常性が効いている可能性という新しい知見をもたらした。

第四章は、Clusterによる観測データを用いて、準垂直衝撃波における非定常構造の特徴を示している。結果から、これまでの数値シミュレーションから示唆されていた衝撃波再形成やリップルとは異なる非定常構造も引き起こされている、という新しい知見をもたらした。

第五章は、四章で発見された衝撃波再形成イベントに関して、さらに詳細に調べている。本研究では、観測をもとにした数値シミュレーション結果と衛星観測データを詳細に比較することにより、衝撃波再形成が実際に起こっていることを観測的に証明した。さらに、衝撃波再形成に伴い励起されていた波動を解析した結果、理論・シミュレーション研究から報告されていた変形二流体不安定性の特徴と矛盾しない、などの新しい知見をもたらしている。

第六章は、衝撃波角 50° 付近での斜め衝撃波面の構造に関して統計的に調べた。これまでの研究では、衝撃波角 50° 付近の構造に関しては、理論的にも観測的にもあまり調べられてこなかった。そのため、衝撃波角 50° 付近における衝撃波構造がどのような特徴を持っているかは、よくわかっていない。本研究では、編隊飛行衛星を用いることにより、衝撃波角 50° 付近の斜め衝撃波は、準垂直衝撃波とは異なるメカニズムによって衝撃波面が非定常構造になっている、などの新しい知見をもたらしている。

第七章は、衝撃波角 50° 付近の3イベントに注目し、衝撃波上流のパラメータの微妙な違いが、

衝撃波面の構造を大きく変えることを議論し示した。さらに、衝撃波上流で励起された波の急峻化によって新しい衝撃波面が形成され、そして衝撃波面の再形成が起こる、という新しい知見をもたらした。このメカニズムは、平行衝撃波での再形成メカニズムと非常によく似ており、衝撃波角 50° では初めて発見された。

第八章は、結論である。本論文は、編隊観測衛星を使用して衝撃波面の非定常構造を同定することにより、これまでの単一衛星観測では成し得なかった衝撃波面の時空間変動を観測的に調べることができることを示した。そして、衝撃波角の違いにより非定常構造を引き起こす原因が異なるという、新しい知見をもたらした。また、非定常衝撃波構造とそこで起こっている粒子加速機構についても新しい知見をもたらした。本論文の主要な成果は、これまで大規模数値実験によって示唆されていた垂直衝撃波における衝撃波再形成が実際に起こっているという証拠を観測的に示し、さらには、衝撃波角 50° においても、衝撃波面が再形成していることを観測的に発見したことである。

なお、第3章、第5章、第7章は、藤本・篠原・長谷川 (ISAS/JAXA)、S.J.Schwartz (Imperial College)、松清 (九州大) らとの共同研究であるが、論文提出者が主体となって解析を行い、その寄与は十分である。

したがって、博士 (理学) の学位を授与できると認める。