

本論文は、八章からなる。

第一章は、本論文が主眼とする、サブストーム開始時の物理に関するこれまでの認識を紹介している。サブストームとは、ある規則性を持った大規模なオーロラ活動を指す。サブストームの開始は、磁気圏の夜側に端を発するが、その開始メカニズムは定説がない。これまでのオーロラ観測から、サブストームは、複数の物理モジュールの組み合わせの効果で説明される、と提唱されている。しかし、サブストーム開始時のオーロラに対応する磁気圏領域の近尾部 ($X \sim 10$ Re) での物理過程がわからないという問題がある。そこで、近尾部領域でサブストームを観測した人工衛星のデータを解析すれば、サブストーム開始を担っている物理過程が解明できるはずである。特に波を分析することで、磁気圏でおこるプラズマ過程を物理的に特定できるだろう、というのが本論文の独特の着眼点である。

第二章は、使用した観測データの説明である。これまで観測的な盲点であった、近尾部の磁気赤道面近くの領域で、Geotail 衛星がサブストームを観測した6イベントを集めた。このときのオーロラは、Polar 衛星による観測があり、オーロラ活動と近尾部を比べられる希少なデータセットといえる。

第三章は、新しい波の分析手法 (“low-frequency wave fitting method”) を提案している。これは、磁気流体波の性質を定量的に求める手法であり、波の波長、モード、伝播方向、ドップラーシフトの補正、背景の非一様性などを定量的に推定できる。人工衛星の一点観測で導出できるところが、これまでにない特徴である。磁場だけでなく、プラズマと合わせて解析し、平衡状態からの摂動と仮定して扱うことで可能となった。これを実際、観測に適用することで、サブストーム開始直前から、開始時の波の性質を明らかにしている。特に、サブストーム開始前から Slow モードの磁気流体波が近尾部にあり、開始時には Fast モードの磁気流体波があることを示した初めての研究である。ここでは、磁気流体波を解析する手法とサブストーム開始前から開始時の波のモード、伝播方向、という新しい知見をもたらした。

第四章は、磁気圏尾部で Fast モードの磁気流体波が観測されたことを強調している。Fast モードの磁気流体波は、その存在を示唆されていたが、直接的な観測はこれまでなかった。上で開発した “low-frequency wave fitting method” だけでなく、磁場とプラズマの圧力変化を見ることで、二重に確認を行っている。ここでは、Fast モードの波は、近尾部を含むより広範囲の磁気圏尾部でも観測される、という新しい知見をもたらした。

第五章は、サブストーム開始を誘導する主要な候補のひとつとして提案されてきたブルーニング不安定を調べている。サブストーム開始前から観測される、磁場変動がブルーニングモードの波の特徴と合うこと、その時、プラズマ観測と組み合わせて解析することで波長を導出できる、という新しい着眼点に基づく解析方法を示している。解析の結果、波長はイオンのラーモア半径程度であり理論予想に一致すること、プラズマベータが高いときだけに検出される、などの

新しい知見をもたらしている。

第六章は、サブストーム時の近尾部観測とオーロラ観測の比較研究である。サブストーム開始の後、時間、空間的に不連続な2番目のオーロラ発光があることの重要性を指摘し、近尾部観測と比較を示している。ここでは、2段階オーロラという見方が多様な性質を見せるサブストームを分類する出発点となる、新しい知見をもたらした。

第七章は、観測事実を総合した議論である。本論文を代表するいくつかの観測的な発見は、Fast モードの波、バルーニングモードの波、2段階のオーロラ、である。これらは、既存のサブストーム開始モデルの具体的な構成要素を初めて観測的に示したものになっている。さらに、本論文で観測された波は、オーロラの空間構造などを説明できる可能性があり、オーロラ発展を含むサブストーム開始シナリオを提案している。

第八章は、結論である。本論文は、磁気圏の波の解析はサブストームの開始過程を個別の物理モジュールに分解して調べることができる、という新しい知見をもたらした。本論文の主要な成果は、そのための方法論とその応用を示し、その結果として、サブストームの開始は、複数のプラズマ過程の組み合わせで説明する必要があることを磁気圏観測から再確認し、具体的にいくつかのプラズマ過程の同定を示したことである。

なお、第3章・第5章は、藤本・齋藤・篠原（JAXA, ISAS スタッフ）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。