

磁気圏-電離圏結合におけるオーロラ乱流の数値シミュレーション

名古屋大学大学院理学研究科

渡邊智彦

はじめに オーロラは、地球をはじめとした磁化惑星の極域電離層で共通して見られる自然現象であり、その発生機構の解明には磁気圏と電離層という異なる性質を持つプラズマの結合系についての理解が不可欠である。本研究では、プラズマ物理学の視点に立ち、オーロラにともなう電磁場の構造形成とそのダイナミクスを考察する。

オーロラの構造形成をもたらす機構として、フィードバック不安定性がある。これは、大規模な磁気圏対流電場をエネルギー源として、磁力線に沿って磁気圏を往復伝搬するシア Alfvén 波と電離層中を伝わる密度波が相互作用することにより互いに増幅・成長するというものである。本課題では、フィードバック不安定性の非線形発展を中心に研究を進めた。

研究成果 磁気圏-電離圏結合系において、磁場垂直方向の電場が閾値を超えると上記のフィードバック不安定性が成長する。背景電場を一定に保って不安定性を駆動し続けると、オーロラ構造にともなって生み出されたシアを持つプラズマ流が、渦列構造を有する2次的不安定性を誘起することが分かってきた。この Kelvin-Helmholtz 型の2次的不安定性の成長率は、もとのフィードバック不安定性の振幅とともに増大し、急激に成長する。さらに2次的不安定性の成長が進むと初期の不安定性の成長は飽和し、互いに逆向きに伝播するシア Alfvén 波の相互作用を介して複雑な渦構造をともなう乱流状態へと遷移することがわかった。

本研究では、従来の解析よりも散逸の小さなケースについて高解像度のシミュレーションを実行した。下図はシミュレーションにより得られた電離層上の密度揺動成分の分布を示す。非線形飽和直前の様子を見ると（中心図）、2次的不安定性の成長により、初期の波状のオーロラ構造に加え、明確な渦構造が現れていることがわかる。さらに乱流遷移後の密度分布は複雑かつ非定常な分布を示すとともに、大域的には密度の増大部分（赤色）が図の左下方に、減少領域（青色）が右上方に伝播する様子が見られた。これは電離層電気伝導度の非等方性に関連しており、オーロラの挙動に関連して興味深い。

一方、磁気圏中の電磁場揺動は、Alfvén 乱流に特徴的なエネルギーの等分配則をほぼ満足しており、そのエネルギースペクトルは高波数領域まで広がっている。今後さらに散逸の低い場合についてシミュレーション範囲を拡大し、揺動スペクトルのベキ乗則や磁場に平行方向の相関長との関連などについてより詳しい解析を進める。

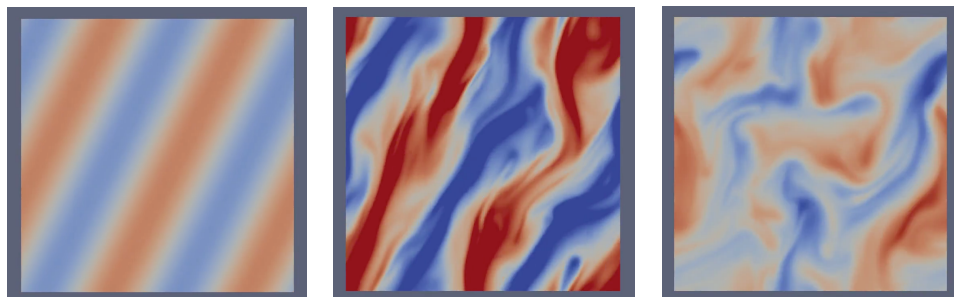


図1: 電離層密度分布のカラー図。左から線形成長時、非線形飽和時、乱流遷移後の状態を示す。初期に与えた平面波状の構造が非線形発展により複雑に乱されていることがわかる。