

双極子磁場中でのオーロラ微細構造の非局所的成長

名古屋大学大学院・理学研究科 榊 剛志

[背景]

磁気圏－電離圏結合系におけるフィードバック不安定性を介したオーロラ形成に関するシミュレーション研究は、三次元シミュレーションによるアークの成長特性や局所近似の下でのアーク形成と渦状の微細構造の発達、及び乱流遷移過程の議論に留まっており、背景の磁場や電場が空間不均一性を持つ場合に個々のアークが南北に伝播しながら渦状の微細構造を形成する過程やその非線形発達などに関する詳細な解析は行われていない。

本研究では背景の磁場の空間不均一性がある場合における、大域的な磁気圏－電離圏結合系でのオーロラ成長のシミュレーションを実現し、オーロラアークの成長や渦構造の発達、乱流遷移過程を明らかにすることを目的とする。

[結果]

背景電場が低緯度方向を向いている場合と高緯度方向を向いている場合の二つの条件のもとで、双極子磁場配位におけるフィードバック不安定性の解析を行った。このとき、双極子座標系のヤコビアンが電離圏と磁気赤道で大きく変化することに起因する数値不安定性を抑制するため、背景磁場強度に反比例する動粘性係数を仮定した。

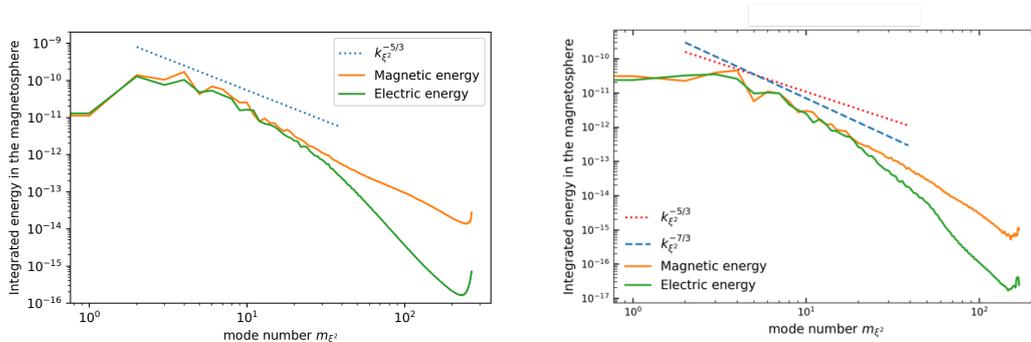


図 1 磁気圏エネルギースペクトル。左: 低緯度伝播する場合, 右: 高緯度伝播する場合(緑:電場, 橙:磁場)

二つのケースともに、線形段階ではフィードバック不安定性によって振幅を増大させながら電場方向の群速度をもって伝播することが明らかになった。その後、電場揺動振幅の増大に伴う Kelvin-Helmholtz 不安定性(K-H 不安定性)によって自発的な渦構造の形成が確認された。揺動量のスペクトルから、渦構造が現れる初期段階においては K-H 不安定性の主要モードと高調波が励起され、時間と共に連続的なスペクトルへと変化し、乱流状態へと変化することが明らかになった。低緯度伝播する場合の乱流状態における磁気圏のエネルギースペクトルは慣性領域で波数の $-5/3$ 乗の冪乗則に従い、FAST 衛星や Goldreich-Sridhar の理論と整合する結果が得られた (図 1)。一方、高緯度側への伝播では低緯度側と比較して

急峻なスペクトルが得られた。また、電場と磁場のエネルギースペクトルを比較すると、散逸領域におけるスペクトルは磁場に比べて電場の方が急峻になった。これらの結果は、空間不均一な動粘性係数を仮定したことによるものであると考えられる。結果は論文として出版予定である。

今後は MPI 並列数を増やし、現在、電離層上で緯度幅3°、経度幅3.5°の計算領域を緯度幅5°、経度幅15°へと拡大するとともに、背景電場の空間不均一性を考慮したシミュレーションを行うことを計画している。

[成果発表]

[1] T. Sakaki, T.-H. Watanabe. Non-local analysis of auroral fine structure formation and transition to a turbulent state, Committee on Space Research, Korea, July 2024