

## 電離圏不均一性を考慮した磁気圏-電離圏結合系におけるフィードバック不安定性の解析

# 樋渡 淳也 [1]; 渡邊 智彦 [2]; 前山 伸也 [2]  
[1] 名大・理・素粒子宇宙; [2] 名大・理・物理

### Analysis of Feedback instability in the magnetosphere-ionosphere coupling system with ionospheric inhomogeneity

# Junya Hiwatari[1]; Tomo-Hiko Watanabe[2]; Shinya Maeyama[2]  
[1] Particle and Astrophysical Science, Nagoya Univ.; [2] Dept. Physics, Nagoya Univ.

Aurora coloring the polar night sky. The variety of colors and curtain-like shapes and behaviors have continued to attract people. Aurora is a light emission phenomenon when plasma particles emitted from the sun and falling on the earth collide with neutral particles in the atmosphere and particles in the excited state return to the ground state. Neutral particles emit light in the earth's ionosphere, but in order for plasma particles flying from outer space to penetrate into it, a physical mechanism that accelerates that plasma particle is necessary. Moreover, we can not give clear answer to the fluctuating behavior characteristic of aurora even today. Since the aurora is observed even in the quiet time without explosive energy opening phenomenon such as magnetic reconnection, its physical mechanism exists potentially in the terrestrial ionosphere and the magnetosphere surrounding it. However, its details are often unresolved.

The theory considered to give the most influential answer to these problems is the physical mechanism of Feedback instability in the magnetosphere - ionosphere coupled system.

The area where we can observe aurora is the ionosphere E layer (altitude 100 - 120 km), and the degree of ionization in this region is low and it is filled with weakly ionized plasma. Therefore, collision with neutral particles is important. The electron cyclotron frequency is larger than the collision frequency with neutral particles, so that the collision with neutral particles can be ignored. However, in the ion motion, the collision frequency with the neutral particle is larger than the ion cyclotron frequency, so the influence of the magnetic field is small for ions.

Unlike such ionosphere, the magnetosphere (altitude 1,000-100,000 km) is filled with completely ionized plasma, so that collisions between neutral particles and electrons or ions can be ignored.

The outline of Feedback instability is as follows. In the Earth's magnetosphere, there is a magnetic field line extending from the ionosphere to the magnetic equator. The Alfvén wave along this magnetic field and the wave of density fluctuation propagating in the vertical direction to the magnetic field existing in the ionosphere resonate with each other. As a result, field aligned current and density fluctuation grow spontaneously. Therefore, it is believed that only waves of frequencies causing resonance grow selectively, resulting in the generation of aurora.

In previous studies, physical quantities in the ionosphere have been treated as uniform with height averaging and not highly dependent (Robert L. Lysak, 1991, T. - H. Watanabe, 2010 etc). This is due to the fact that the thickness of the ionosphere is a very small scale compared with the it of the magnetosphere. However, the physical quantity of the ionosphere actually depends on the altitude, in particular the conductivities are changing drastically. Therefore, in this research, we performed a linear analysis with a model that treats various physical quantities in the ionosphere as heterogeneous with altitude dependence. As a result of the linear analysis, it was found that there were situations that became unstable even in consideration of ionospheric heterogeneity.

極圏の夜空を彩るオーロラ。その多彩な色やカーテン状の形状や挙動は人々を魅了し続けてきた。オーロラとは、太陽から放出され地球に降り注ぐプラズマ粒子が大気中の中性粒子に衝突し、励起状態になった粒子が基底状態に戻る時の発光現象である。中性粒子が発光を起こすのは地球の電離圏だが、そこにまで宇宙空間から飛来したプラズマ粒子が侵入するためには、何かそのプラズマ粒子を加速させるような物理機構が必要である。また、オーロラに特徴的な揺らめく挙動に対しては、今日でも明確な答えを与えることはできていない。磁気リコネクションのような爆発的なエネルギーの開放現象のない静穏時でもオーロラが観測されることから、その物理機構は地球電離圏やそれを取り巻く磁気圏に潜在的に存在しているものであることが分かる。しかし、その詳細は未解決なことが多い。

これらの問題に対して、最も有力な答えを与えると考えられている理論が、磁気圏 - 電離圏結合系におけるフィードバック不安定性という物理機構である。

オーロラが発光が最も観測される領域は電離圏 E 層（高度 100-120km）であり、この領域での電離度は低く弱電離プ

ラズマで満たされている。そのため中性粒子との衝突が重要である。電子の運動では、中性粒子との衝突周波数よりも電子サイクロトロン周波数の方が大きいいため中性粒子との衝突は無視することができる。しかしイオンの運動では、中性粒子との衝突周波数がイオンサイクロトロン周波数よりも大きいため磁場の影響は小さい。

このような電離圏とは異なり、磁気圏（高度 1,000-100,000km）は完全電離プラズマで満たされているため、電子・イオンの双方において中性粒子との衝突は無視することができる。

フィードバック不安定性の概略は次のとおりである。地球磁気圏には、電離圏から磁気赤道に伸びる磁場が存在しているのだが、この磁場に沿った Alfvén 波と電離圏に存在する磁場に垂直方向に伝播する密度揺らぎの波が互いに共鳴しあい、その結果として沿磁力線電流と密度揺らぎが自発的に成長する。したがって、共鳴を引き起こす周波数の波だけが選択的に成長し、オーロラが発生するに至ると考えられている。

これまでの研究では、電離圏での諸物理量は高さ平均をとって高度に依存しない均一なものとして扱ってきた（Robert L. Lysak, 1991 や T.-H. Watanabe, 2010 など）。これは、電離圏の厚さが磁気圏の厚さに比べて非常に小さいスケールであることに由来している。しかし、実際の電離圏の物理量は高度に依存しており、なかでも伝導度などは激しく変化している。そこで本研究では、電離圏での諸物理量が高度依存性を持つ不均一なものとして扱うモデルで線形解析を行った。線形解析の結果、電離圏の不均一性を考慮に入れた場合でも不安定となる状況が存在することが分かった。