

非一様磁場中でのフィードバック不安定の非線型発展

平木 康隆 [1]; 渡邊 智彦 [1]
[1] 核融合研

Nonlinear simulation of feedback instability in a nonuniform magnetic flux tube

Yasutaka Hiraki[1]; Tomo-Hiko Watanabe[1]
[1] NIFS

The feedback instability has been presented for the model that describes the dynamics of auroral arcs developed in convection electric fields [Sato, 1978; Lysak, 1991]. Destabilization of shear Alfvén waves is induced through a resonant coupling with electric drifts propagating on the ionosphere. Recently, formations of small-scale arcs and ionospheric cavity modes were investigated by numerical simulations including non-uniformity in the background plasma density and the two-fluid effects in a dipole magnetic field geometry [Streltsov and Lotko, 2004; Lu et al., 2008]. However, these simulations were performed in a two-dimensional system (along the magnetic field and perpendicular to the auroral arcs) and did not necessarily treat the nonlinear effects of fluid in a sufficient manner. Watanabe [2010] performed a three-dimensional simulation in a slab magnetic field geometry with the reduced-MHD model that treats the nonlinear terms appropriately. The results indicate that Kelvin-Helmholtz type vortex structures are spontaneously excited in the magnetosphere. We made a linear eigenmode analysis of shear Alfvén waves in a dipole field geometry to understand characteristics of the ionospheric cavity modes excited by non-uniformity in the Alfvén velocity [Hiraki and Watanabe, 2011]. A realistic Alfvén velocity profile is known such that it increases with height from the ionosphere, peaks around 1 Re, and decreases toward the magnetic equator. We found that the cavity resonance condition breaks for lower harmonics and their growth rates are considerably reduced by a large gradient of the Alfvén velocity in the magnetospheric side. On the other hand, the fundamental mode of a global field-line resonance has a larger growth rate. Based on these results, we perform nonlinear simulations of feedback instability in a dipole field geometry. We will present some new results of the analysis focusing on the dynamics of auroral arcs and their relation to the field-line oscillations.

対流電場中で発達するオーロラアークのダイナミクスを記述するモデルとして、フィードバック不安定性が提案された [Sato, 1978; Lysak, 1991]。電離層上を伝播する電場ドリフトモードとの共鳴結合を通して、シアアルヴェン波の不安定化が引き起こされる。近年では、双極子磁場配位において、背景プラズマ密度の非一様性や二流体効果を考慮したシミュレーションにより、小スケールアークや電離圏キャビティモードの形成について調べられた [Streltsov and Lotko, 2004; Lu et al., 2008]。しかし、これらの計算は（磁力線方向とアークに直交する方向の）二次元で行われ、非線型効果が十分に扱われているとは言えない。Watanabe [2010] では、非線型項を適切に取り入れた簡略化 MHD モデルを用いて、スラブ磁場配位における三次元シミュレーションが行われた。その結果、磁気圏側で Kelvin-Helmholtz 型の渦構造が自発的に発生することが示された。我々はさらに、磁力線方向のアルヴェン速度非一様性によって発達すると考えられる電離圏キャビティモードの性質を調べるため、双極子磁場配位における線型固有モード解析を行った [Hiraki and Watanabe, 2011]。現実的なアルヴェン速度は、電離圏から高度とともに上昇して 1 Re 付近でピークをとり、磁気赤道に向かって減衰することが知られている。我々は、磁気圏側でのアルヴェン速度勾配が大きくなることで、低い高調波成分に対するキャビティ共鳴条件が破れ、それらの成長率が大きく減少することを明らかにした。一方で、グローバルな磁力線共鳴基底モードの成長率が卓越した。本研究ではこの結果に基づき、双極子磁場配位におけるフィードバック不安定の非線型シミュレーションを行った。オーロラアークのダイナミクスやその磁力線振動との関連性に焦点をあてて解析を行い、本発表では現状までの研究成果について紹介する。