

オーロラアーク構造化の非線型シミュレーション

平木 康隆 [1]
[1] 極地研

Nonlinear simulation of structuring of auroral arcs

Yasutaka Hiraki[1]
[1] NIPR

The structuring of auroral arcs has been vigorously studied in the context of magnetohydrodynamic instabilities and their nonlinear evolution in the magnetosphere-ionosphere coupling system. The feedback instability was proposed for a mechanism [Sato, 1978; Lysak, 1991], where a slight slippage and over-reflection of shear Alfvén waves occur due to the ionospheric convection. Recently, two-dimensional simulations showed formation of small-scale arcs and ionospheric cavity modes [Streltsov and Lotko, 2004; Lu et al., 2008]. Three-dimensional simulation including proper nonlinear terms showed that Kelvin-Helmholtz type vortex structures are spontaneously excited in the magnetosphere [Watanabe, 2010]. Linear analysis of Alfvén eigenmodes, considering the velocity cavities, clarified feedback properties of the field line and ionospheric Alfvén resonances [Hiraki and Watanabe, 2011; 2012; Hiraki, 2013].

The purpose of our modeling studies is to get a comprehensive understanding for evolution of auroral arcs and the related nonlinear wave activities. The model basically treats Alfvén wave dynamics driven by the magnetosphere-ionosphere coupling process and covers a local dipole flux tube in the auroral region. The magnetospheric plasma is described by the reduced-MHD equations of electric and magnetic perturbations in a global convection electric field. The ionospheric plasma motion is described by the compressible two-fluid equations and is characterized by the Pedersen and Hall currents. Field-aligned current carried by the Alfvén wave flows into the ionosphere, producing an internal non-uniformity of plasma density or conductivity, which in turn pulls back new waves to the magnetosphere to affect the vortex formation. Our 3D simulations reproduced auroral structuring such as splitting of arcs and vortices observed in the pre-breakup phase [Donovan et al., 2006; Liang et al., 2008; Sakaguchi et al., 2009]. The points to be addressed in the next step are 1) the relationship between ionospheric cavity modes and auroral vortex, 2) deformation from arc to vortex by feedback modes, and 3) the role of the two-sphere coupling on auroral structuring. In this talk, we would present the recent results of calculations focusing on the above topics 1) and 2).

オーロラアークの構造化を磁気圏-電離圏結合系における磁気流体不安定性、及び、その非線型発展の観点で理解しようとする研究が近年まで盛んに行われている。その一つがフィードバック不安定性であり [Sato, 1978; Lysak, 1991]、電離圏対流の効果でシアアルヴェン波がわずかに横滑りし、過剰反射を起こして不安定化する。近年では、2次元シミュレーションにより、微細なアークや電離圏キャビティモードの形成が示された [Streltsov and Lotko, 2004; Lu et al., 2008]。非線型効果を適切に取り入れた3次元シミュレーションでは、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 [Watanabe, 2010]。さらに、双極子磁場中でアルヴェン速度不均一を考慮した線型解析では、磁力線共鳴とキャビティ共鳴の固有モードの特徴が明らかになった [Hiraki and Watanabe, 2011; 2012; Hiraki, 2013]。

我々の理論研究の目的は、オーロラアークの発達とその背後にある波の非線型活動に対する統一理解を得ることである。本研究では、主に磁気圏・電離圏結合過程によって駆動されるアルヴェン波のダイナミクスを扱い、オーロラ帯の局所双極子磁力線を対象とする。磁気圏プラズマは、大局的な対流電場中での電場・磁場揺動に対する簡略化 MHD 方程式を用いて記述する。電離圏プラズマの運動は、Pedersen, Hall 電流で特徴づけられる圧縮性の二流体方程式によって記述する。これにより、次のような圏間双方向の結合を考える。アルヴェン波の作る沿磁力線電流が電離圏に流入し、自発的に密度（電気伝導度）の不均一を引き起こす。それに伴って新たな波が磁気圏に引き戻され、そこでの渦形成に影響を及ぼす。我々の3次元計算では、ブレークアップ前に観測されるアークのスプリットや渦構造 [Donovan et al., 2006; Liang et al., 2008; Sakaguchi et al., 2009] が再現されている。次のステップにおける主な着眼点は、1) 電離圏キャビティモードとオーロラ渦形成の関係、2) フィードバックモードによるアークから渦への変形、3) オーロラの構造化に対する圏間相互作用の役割、である。本講演では、1) 2) に関して、現状までに得られた計算結果を紹介する。