

対流電場と自己電流シア下におけるオーロラアークの安定性

平木 康隆 [1]

[1] 核融合研

Stability of auroral arc in convection electric field and self-current shear

Yasutaka Hiraki[1]

[1] NIFS

The dynamics of auroral arcs in the magnetosphere-ionosphere coupling system has been vigorously studied on the basis of magnetohydrodynamic instabilities and their nonlinear evolution. The feedback instability was proposed for a mechanism [Sato, 1978; Lysak, 1991], where destabilization of shear Alfvén waves is induced through a resonant coupling with density waves propagating in the ionospheric convection electric field. Recently, two-dimensional simulations demonstrated formation of small-scale arcs and ionospheric cavity modes [Streltsov and Lotko, 2004; Lu et al., 2008]. Treating nonlinear terms appropriately, a three-dimensional simulation showed that Kelvin-Helmholtz type vortex structures are spontaneously excited in the magnetosphere [Watanabe, 2010]. A linear analysis with non-uniformity of the Alfvén velocity clarified eigenmode properties of the field-line and cavity resonances [Hiraki and Watanabe, 2011; 2012]. Furthermore, their relationship to the occurrence of auroral vortices has been investigated with nonlinear simulations.

The motivation of this study is to give a theoretical suggestion to the essential question "Auroral arc initially has an east-westwardly elongated anisotropic structure, does an unstable mode therein hold some directivity?" It can be stated that east-westward modes, if dominated, are involved in wavy and bead structures in observable levels, whereas north-southward modes are related to splitting of arcs. Here, we take into account the arc-inducing field-aligned current and magnetic shears and examine changes in the characteristics and stability of feedback eigenmodes. Analyses in the southern hemisphere clarified that the growth rate of westward modes decreases by an order due to the southward current shear under the westward convection electric field. Southward modes (in the frame of convection drifts) are still unstable because of the properties of shear waves, while east and northward modes are feedback stable by nature. It is found that arcs are apt to split in poleward side rather than form into vortices. We further drew a diagram of westward mode growth rates as functions of electric field and current shear. A switching phenomenon of fast-growing mode from fundamental to the first harmonic mode is found in response to the field strength, as well as structures in the stable/unstable transition. In this talk, we will discuss suggestions to the behavior of observed auroral arcs.

磁気圏-電離圏結合系におけるオーロラアークの発達を磁気流体不安定性、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]、対流電場の形成に伴って電離層上を伝播する密度波と共鳴して、シアアルヴェン波が不安定化する。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、磁力線方向のアルヴェン速度非一様性を取り入れた線型解析では、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り [Hiraki and Watanabe, 2011; 2012]、それに基づく非線型シミュレーションにより、オーロラの渦構造発生との関連が調べられている。

本研究の動機は、「オーロラアークは初めから東西に長くのびた異方性を有するが、そこで不安定化するモードに東西南北の指向性はないのか?」という本質的問題に対して、一つの理論的な提言を与えることである。東西モードが卓越すれば、観測されるマクロレベルで波状・ビーズ構造等と関連があり、南北モードであればアークのスプリットと関連づくはずだ。ここでは、アークが誘起する沿磁力線電流・磁気シアを導入することで、フィードバック固有モードの性質と安定性がどう変わるかを評価した。結果、南半球において、西向き対流電場がある状況を考えて、南向きの電流シアによって西向きモードの成長率が1桁程度減少することがわかった。一方、シアモードの性質上、南向きモード(対流電場ドリフトの系からみて)は不安定なままであり、東・北向きモードはそもそもフィードバック的に安定である。つまり、アークは渦巻くよりは極方向へスプリットしやすい。さらに、西向きモードの成長率に関する対流電場-電流シアダイアグラムを作成し、安定-不安定領域の遷移構造、対流電場の強さに応じて最も成長しやすいモードが基本波から第一高調波へスイッチする現象を見出した。本発表では、これらの事実に基づき、観測されるオーロラアークの挙動に対する提言について議論したい。