

不均一電離圏での共鳴型キャビティモード

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

Resonant cavity mode 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.

The feedback instability in the IAR (Ionospheric Alfvén Resonator) region in Earth's magnetosphere has been investigated by many researchers. Inhomogeneity of the Alfvén speed in the IAR causes a resonance known as a cavity mode (Lysak [1991]). Most of previous studies have neglected inhomogeneity of the ionosphere and treated it as a height-integrated conductive layer, assuming that the thickness is much shorter than wavelength of the Alfvén waves. However, a recent work claims that the height dependence of ionosphere parameters has stabilizing effects of the feedback instability (Sydorenko and Rankin [2017]). On the other hand, low-frequency and long-wavelength modes associated with the field line resonance (FLR) have unstable solutions even with the inhomogeneous ionosphere (Watanabe and Maeyama [2018]).

The purpose of this study is to elucidate what kind of influence the height dependent of ionospheric inhomogeneity has on the cavity modes. In particular, we focus on the ion-neutral collision frequency in the ionosphere, and investigate the influence of stabilization in each mode. In the study by Sydorenko and Rankin (2017) with the inhomogeneous ionosphere, they performed a linear numerical simulation where time development of plasma density is calculated from an arbitrary initial value. In contrast, we performed the linear eigenvalue analysis so that we could distinguish the cavity modes due to IAR and other modes related to FLR, and could investigate them independently. It is expected to reveal differences between the two results, that is, Sydorenko and Rankin (2017) and Watanabe and Maeyama et al (2018).

In the present study, we extend study the model used in Watanabe and Maeyama et al (2018) including the height dependence of the Alfvén speed (Lysak [1991]) so that we can deal with the cavity and long-wavelength modes simultaneously. For comparison with the height-integrated ionosphere model, we employ the same normalization and numerical box size as those in Lysak (1991). Our linear analysis confirms that the ionospheric inhomogeneity strongly stabilizes the cavity mode. In a weak ionospheric inhomogeneity, however, the cavity mode remains unstable. Simultaneously, we find that the ionospheric inhomogeneity has no serious impact on the low-frequency and long-wavelength modes related to FLR, which is also consistent to Watanabe and Maeyama (2018).

Furthermore, we have been working on the initial value analysis including the inhomogeneous Alfvén speed profile. In the work by Sydorenko and Rankin (2017), it was not clearly which modes are included in the simulation because the initial condition is given by an arbitrary density perturbation. In contrast, our initial value analysis starting from the initial condition given by the linear eigenfunction enables us to find time-development of the cavity mode related to IAR.

地球磁気圏の底部と電離圏の間には IAR (Ionospheric Alfvén Resonator) と呼ばれる領域があり、そこでのフィードバック不安定性についてはこれまでに多くの研究がなされてきた。IAR 領域では Alfvén 速度に急峻な変化があり、それに起因してキャビティモードと呼ばれる固有の共鳴現象が存在することが知られている (Lysak [1991] など)。この分野の先行研究では、電離圏の厚さが Alfvén 波の空間スケールに対して十分に小さいと仮定して、電離圏に対しては高さ平均をとった厚さを持たない平面として扱われてきた。しかし、最近の研究では、その電離圏の高度依存性にはフィードバック不安定性を安定化させる効果があることが示唆された (Sydorenko and Rankin [2017])。一方、FLR (Field Line Resonator : IAR 領域だけでなく磁気圏全体を伝う磁力線の共鳴現象) に起因するより低周波・長波長のモードは、不均一電離圏モデルでも不安定解を持つことが Watanabe and Maeyama (2018) らの研究によって示されている。

本研究の目的は、高度依存性のある不均一電離圏がキャビティモードに対してどのような影響を与えるのかを解明することにある。その中でも、電離圏におけるイオンと中性粒子の衝突周波数に着目し、それぞれのモードごとにおける安定化の影響を調査する。上記の Sydorenko and Rankin (2017) らの不均一電離圏での研究では、電離圏でのプラズマ密度に適当な初期揺動を与え、それを時間発展させる線形初期値解析が行われた。一方、本研究では、線形固有値・固有モード解析を行った。その理由は、線形固有値解析では FLR に起因するモードと IAR に起因するキャビティモードを区別し、独立に解析を行うことができるからである。これにより、Sydorenko and Rankin (2017) と Watanabe and Maeyama (2018) の相違をより明らかにできる。

本研究では、Watanabe and Maeyama (2018) のモデルで一定とされていた Alfvén 速度分布に、Lysak (1991) の IAR と同様の高度依存性を与え、キャビティモードと長波長モードが同時に扱えるように拡張した。また高さ平均モデル (Lysak [1991]) との比較のために、無次元化の値や計算領域などは Lysak (1991) に準拠している。線形固有値解析の結果、IAR に対応しているキャビティモードは、電離圏の不均一の効果を強く受け安定化されることが分かった。しかし、電離圏の不均一性が弱い場合ではキャビティモードでも不安定解を持ち得ることも新たに分かった。一方 FLR に対応する低周波のモードは電離圏不均一化の影響を受けないことが改めて確認でき、Watanabe and Maeyama (2018) 氏らの研究結果とも矛盾しないことが確認できた。

さらに、電離圏不均一効果を取り入れた場合の線形初期値解析にも取り組んでいる。Sydorenko and Rankin (2017) 氏

らの線形初期値解析では、プラズマ密度に適切な初期揺動を与えていた故にどのモードによる時間発展を扱っているかが明確でなかった。一方、本研究の初期値解析では、線形固有値解析によって求められた固有関数を使って初期揺動を与え、IARに起因するキャビティーモードの時間発展を求めることが可能となった。