

R010-04

Zoom meeting B : 11/3 AM1 (9:00-10:30)

9:45~10:00

電離圏分極型 PBI における電子加速メカニズム：3次元流体的電子加速シミュレーターから得られる新機構

#樋口 颯人¹⁾, 吉川 顕正²⁾

(¹⁾ 九大, (²⁾ 九州大学地球惑星科学専攻

Electron acceleration mechanism in ionospheric polarized PBI: A new solution using 3D fluid electron acceleration simulators

#Hayato Higuchi¹⁾, Akimasa Yoshikawa²⁾

(¹⁾ Kyudai, (²⁾ ICSWSE/Kyushu Univ.

The auroral oval poleward boundary auroral intensification (PBI) had been regarded the result of “distant neutral line reconnection” effects in the ionosphere. On the other hand, Ohtani and Yoshikawa., [2016] proposed a model in which PBI is the result of polarization process caused by plasma flows due to “dayside reconnection” approaching the conductivity gradient region of auroral oval. This model is an application of the theory of ionospheric polarization-Alfvénic field aligned current (FAC) proposed by Yoshikawa et al., [2013]. According to this model, Alfvén waves upwelling from the ionosphere to the magnetosphere accelerate electrons downward and generating explosive auroral intensification. This is a new concept of the auroral process that has never existed in magnetospheric physics before. The purpose of our research is to investigate Alfvén wave coupling between regions and 3D plasma wave-electromagnetic interaction, which explains the essential question of the above physical process, “As a result of ionospheric polarization, how can upward Alfvén waves upwelling from the cold ionosphere induce explosive downward electron acceleration?” Our goal is to reveal Alfvén wave coupling between regions and 3D plasma wave-magnetic field interaction. As an initial step, we have developed 3D fluid electron acceleration simulators to recreate the auroral electron acceleration process associated with ionospheric polarized PBI and are constructing a more comprehensive auroral electron acceleration model. These simulators can reproduce the plasma oscillations as wave equilibrium solutions as well as the macroscopic dynamics of the electromagnetic field, however, the step width is limited to the plasma frequency band ($10^5 \sim 10^7$ /s) because of CFL conditions. Therefore, the computational cost is very high ($\sim 10^5 \times N^3$) where N is the number of cells and $\text{step} = 10^5$). In our research, the following two simulators cover the propagation process of the reflected Alfvén wave from the ionosphere to the magnetosphere with the interaction between the ion-electron fluid and magnetic field after the ionospheric response. (1) Form the initial structure of the Alfvén wave propagated by Hall-MHD. (2) Reproduce the plasma wave-magnetic field interaction in the Hall-MHD wave by simulating the two-fluid model (e. g. Shumlak et al., [2003]), which makes fluid through the first principle Vlasov-Maxwell equations system by taking the distribution function moments. This method can track the evolution of the electromagnetic field and the detailed plasma behavior in the system within a realistic computational cost. The main purpose of our research is to obtain evidence of electron acceleration of 1 keV \sim 10 keV per particle of electron energy by using the above two simulators under the conditions of ionospheric polarized PBI.

In this presentation, we will start with a basic understanding of PBI, and explain the background, methods, and conditions of the Hall-MHD and the perfect two-fluid simulator introduced to prove the new PBI hypothesis, and then we will discuss the physics of the calculation results.

オーロラオーバル極域境界オーロラ増光現象 (Poleward Boundary Intensification 以下 PBI) はこれまで distant neutral line reconnection の影響が電離層に現れた結果だと考えられてきた。これに対して、Ohtani and Yoshikawa., [2016] により PBI は dayside reconnection によるプラズマフローがオーロラ帯に接近し、電気伝導度勾配領域を分極させることに起因する一連の応答の結果であるというモデルが提案された。このモデルは Yoshikawa et al., [2013] によって提案された電離圏起源の polarization-Alfvénic FAC 励起の理論を、オーロラオーバルの極域境界領域で発生する PBI に適用したものである。このモデルでは、電離圏から湧き上がった Alfvén 波が電離圏から磁気圏へと伝播する最中に電子を下向きに加速させ、爆発的なオーロラ増光を発生させるという、これまでの磁気圏物理学には存在しなかった全く新しい概念の物理プロセスの導入が必然となる。本研究の目的は、上記物理プロセスの根幹をなす「電離層分極の結果、冷たい電離圏から湧き上がった上向き Alfvén 波が、如何に爆発的な下向き電子加速を引き起こすことが可能となるのか？」を説明する、Alfvén 波による領域間結合と、3次元プラズマ波動-電磁場間相互作用を解明する事にある。その初期段階として、「電離圏分極型 PBI」に伴うオーロラ電子加速過程を再現する「3次元流体的電子加速シミュレーター」を開発し、より包括的なオーロラ電子加速モデルの構築を進めている。このシミュレーターは、プラズマの波動的平衡解であるプラズマ振動から巨視的な電磁場のダイナミクスまで再現可能であるが、一方で CFL 条件により step 幅がプラズマ周波数帯 (10⁵~10⁷/s) に制限されるため、3次元で且つ見たい現象スケール (10⁻¹s) まで時間発展するには莫大な計算コスト ($\sim 10^5 \times N^3$; N はセル数, step 数=10⁵) が要求される。そこで、「電離圏応答を得た後の電離圏から湧き上がる反射 Alfvén 波がイオン-電子流体と相互作用しながら磁気圏方向に伝搬する」という過程を、(1) Hall-MHD により伝搬する Alfvén 波の初期構造を形成し、(2) 「Hall-MHD が形成した波の中で振る舞うプラズマ波動-電磁場間相互作用」を、第一原理的な Vlasov-Maxwell 方程式系の分布関数モーメントを取ることで流体

化した完全2流体方程式 (e.g. Shumlak et al., [2003]) のシミュレータにより再現することを試みた。この手法により、現実的な計算コスト内で、電磁場の発展と系で起こる詳細なプラズマの振る舞いを追うことができる。電離圏分極型 PBI の条件下で上記二つのシミュレータを駆使し、最終的に電子エネルギー 1 粒子当たり $1\text{keV}\sim 10\text{keV}$ の電子加速の証拠を掴むことが本研究の主旨である。

本講演では、PBI の基本的理解から、新 PBI 仮説立証のために導入した Hall-MHD と完全2流体シミュレータの背景、手法、各条件について解説し、計算結果についての物理的考察を行う。