

内部磁気圏高エネルギー電子生成に対するサブストームの影響に関する数値実験

海老原 祐輔 [1]; フォック メイチン [2]; 田中 高史 [3]
[1] 京大生存圏; [2] NASA/GSFC; [3] 九大・宙空センター

Numerical experiments on the impacts of substorms on energetic electrons in the inner magnetosphere

Yusuke Ebihara[1]; Mei-Ching Fok[2]; Takashi Tanaka[3]
[1] RISH, Kyoto Univ.; [2] NASA/GSFC; [3] SERC, Kyushu Univ.

The reconstruction of the outer radiation belt is the object of a controversial argument. The previously suggested processes of the reconstruction can be divided into two groups; the internal acceleration hypothesis and the external source hypothesis. For both hypotheses, substorms are thought to play an important role in the reconstruction of the outer radiation belt. Hot electrons are rapidly injected into the inner magnetosphere during substorms, which provide free energy for wave growth of whistler mode chorus waves. Electrons are accelerated to the MeV range through Doppler shifted cyclotron resonance, or relativistic turning acceleration with whistler mode chorus waves. Relativistic, or sub-relativistic electrons may also be transported inward by strong, impulsive electric field, probably contributing to the reconstruction of the outer belt directly. In general, to distinguish the two hypotheses is problematic. Although no direct evidence has been proven to show that energy is certainly transferred from waves to electrons, some characteristic manifestations have been used to be a proxy of the internal acceleration, that is, characteristic pitch angle distribution (for example, flat-top distribution), hard energy spectra, and earthward gradient of the phase space density at constant adiabatic invariants. The purpose of this study is to test if these manifestations are necessary condition or sufficient condition for the internal acceleration, and to illuminate the relative contributions from the two hypotheses to the reconstruction of the outer belt. We have solved bounce-averaged drift transport equations under the electric and magnetic fields given by the recently developed global MHD simulation. We reproduced the sequence of a substorm, and determined onset as a sudden decrease in the AL index and a sudden increase in the ionospheric conductivity (a proxy of aurora). Near the onset, a strong electric field is formed in the inner magnetosphere in a longitudinally narrow region with a thickness of the order of earth radius (R_e), which rapidly transported relativistic electrons inward. Simultaneously, keV electrons were also injected inward, which may become a seed of relativistic electrons. Temperature anisotropy becomes large near the leading edge of the injected hot electrons. As the plasmopause shrinks, the ratio of the plasma frequency to the cyclotron frequency becomes small outside the plasmopause, which may favor the growth of chorus waves. We estimated the evolution of the phase space density of electrons due to the interaction with chorus waves under the assumption that the wave amplitude is small. We will demonstrate the results of numerical experiments on the energy spectrum, pitch angle distribution and radial gradient of the phase space density of energetic electrons for the purpose of identifying physical processes responsible for the observable signatures and providing a guide to understanding the abrupt reconstruction of the outer radiation belt.

放射線帯外帯の再生過程には内部加速と外部供給という大きく二つの考え方があり、議論の対象となっている。サブストームは両過程において重要な役割を担うと考えられている。サブストーム時、熱い電子が磁気圏尾部から流入し、ホイッスラーモード・コーラス波動を励起するための自由エネルギーを提供する。波動粒子相互作用の結果として電子は MeV レンジまで加速されることが指摘されている。これは内部加速の考え方である。一方、相対論的、準相対論的電子がサブストーム時に印可された電場によって内側に輸送され、外帯を作るという指摘がある。これは外部供給の考え方である。一般的に両過程を観測的に区別することは大変困難である。波のエネルギーが電子に転移する現場はまだ直接捉えられておらず、内部加速過程の直接的な証拠は得られていないが、flat-top 型など特徴のあるピッチ角分布や、硬いエネルギースペクトル、地球方向の位相空間密度勾配は内部加速過程の間接的な証拠とされている。本研究の目的は、内部加速過程の間接的な証拠とされるこれらの特徴が内部加速過程の必要条件か十分条件かを明らかにすること、放射線帯外帯再生に対する両過程の相対的な寄与を明らかにすることにある。グローバル MHD シミュレーションを用いてサブストームを再現し、得られた電場と磁場のもとバウンス平均ドリフト輸送シミュレーションを用いて内部磁気圏電子の輸送・加速・消失過程を解く。境界条件を様々に変えた数値実験を行い、両過程で発現が期待される電子の分布関数の特徴を抽出し、放射線帯外帯再生に対する両過程の相対的寄与について考察する。