

太陽風変化時におけるホイッスラーモードコーラス波動の励起領域及び励起原因

池田 拓也 [1]; 海老原 祐輔 [2]; 田中 高史 [3]; フォック メイチン [4]
[1] 京大・工・電気; [2] 京大生存圏; [3] 九大・国際宇宙天気科学教育センター; [4] NASA/GSFC

Response of electrons in near-Earth space to solar wind, and possible region where electromagnetic waves are excited

Takuya Ikeda[1]; Yusuke Ebihara[2]; Takashi Tanaka[3]; Mei-Ching Fok[4]
[1] Electronics, Kyoto Univ.; [2] RISH, Kyoto Univ.; [3] REPPU code Institute; [4] NASA/GSFC

<http://space.rish.kyoto-u.ac.jp/people/2016/takuya.ikeda/index-j.html>

The Earth is surrounded by energetic charged particles. The population of the energetic charged particles is called radiation belts. The growth and decay of the radiation belt are critical issues because these particles are hazardous to artificial satellites and human activities in space. To understand the growth and decay of the radiation belts, we need to understand two different processes. One is an adiabatic process in which adiabatic invariants of the particles are conserved. The other one is a non-adiabatic process in which the adiabatic invariants are violated. The non-adiabatic process is thought to occur when the particles interact with electromagnetic waves. The electromagnetic waves are excited when a certain condition of lower energy particles is set up by the adiabatic process. Toward the understanding of the radiation belts, we used the global magnetohydrodynamics (MHD) simulation (Tanaka, 2015; Ebihara and Tanaka, 2015) together with the advection simulation called Comprehensive Inner Magnetosphere-Ionosphere (CIMI) model (Fok et al., 2014). By MHD simulation, we calculated the response of the magnetosphere to the simulated solar wind change and by advection simulation, calculated the time evolution of the phase space of electrons. In MHD simulation, we imposed the following parameters to obtain steady state magnetosphere; the solar wind velocity of 400 km/s, the density of 5 /cc, the y component of interplanetary magnetic field (IMF) of 2.5 nT and the z component of IMF of 5 nT. To simulate an interplanetary (IP) shock, we changed the solar wind velocity to 980 km/s and the z component of IMF to -5 nT. In advection simulation, we gave electron temperature and density inferred from MHD simulation at the outer boundary. For an initial condition, we used AE8 model and kappa distribution. Using the velocity distribution function obtained by the advection simulation, we calculated the linear growth rate of the whistler-mode chorus waves as a response to IP shock and subsequent southward IMF. When the IP shock arrives at the dayside magnetosphere, the following occur subsequently. An increase in the hot electron density results in the increase in the number of electrons near resonance velocity (η). An increase in the magnetic field results in an increase in the perpendicular temperature of electrons, giving rise to an increase in the temperature anisotropy of resonant electrons (A^-). The linear growth rate of the whistler-mode chorus waves increased. At substorm expansion phase, the following occur subsequently. The enhanced electric field transports hot electrons deep inward, giving rise to an increase in the hot electron density, the η and A^- . The linear growth rate increases. We discuss the evolution of the region where the whistler-mode chorus waves can grow in response to the arrival of IP and the substorm.

地球の周囲には高エネルギー粒子が取り巻いており、高エネルギー粒子の集合体を放射線帯と呼ぶ。高エネルギー粒子の存在は人工衛星や、宇宙空間における人類の活動を脅かすものであり、従ってこの放射線帯の増減過程の理解は重要な課題である。この課題の達成に向けて、我々は2種類の加速過程を理解する必要がある。1つ目の加速過程は、断熱不変量が保存される「断熱過程」である。2つ目の加速過程は、断熱不変量が保存されない「非断熱過程」である。粒子が非断熱的に加速されるのは、粒子が電磁波と相互作用したときであると考えられており、電磁波は低エネルギー粒子が断熱過程によって、電磁電子ホールと、それに伴う共鳴電流が形成された際に励起される。

放射線帯の増減を理解するために、3次元グローバル電磁流体 (MHD) シミュレーション (Tanaka, 2015; Ebihara and Tanaka, 2015) と Comprehensive Inner Magnetosphere-Ionosphere (CIMI) model と呼ばれる移流シミュレーション (Fok et al., 2014) を組み合わせて使用した。MHD シミュレーションでは、模擬した太陽風の変化に対する地球磁気圏の応答を計算し、移流シミュレーションでは電子の位相空間の時間発展を計算した。MHD シミュレーションでは、境界条件として、太陽風の速度 400 km/s、密度 5 /cc を与え、惑星間空間磁場 (IMF) の y 成分 2.5 nT、z 成分 5 nT を与えた。また、太陽風の速度を 980 km/s、IMF の z 成分を -5 nT へと変化させることにより惑星間空間衝撃波を模擬した。移流シミュレーションでは、外側境界条件として MHD シミュレーションから得た温度、電場、磁場、密度、圧力の計算結果を与え、内側境界条件として粒子のフラックスを 0 とした。MHD シミュレーションから得た電場及び磁場は、シミュレーションの計算領域における背景場としても計算に使用した。電子フラックスの初期分布として AE8 モデルと kappa 分布とを組み合わせたものを用い、幅広いエネルギー、ピッチ角を持った電子を対象とした包括的なシミュレーションを行った。

上記の条件でシミュレーションを行った結果は以下のようであった。惑星間空間衝撃波が到来すると、(1) ホット電子密度及び磁場が上昇した。(2) 磁場の上昇によって電子の垂直方向運動量が上昇した。(3) ホット電子密度の上昇により、電磁波と共鳴する電子の密度 (η) が上昇した。それと同時期に、電子の垂直方向運動量の上昇によって共鳴する電子のピッチ角異方性 (A^-) が上昇した。(4) η 及び A^- が上昇した結果、サイクロトロン周波数で規格化した線形成長率が 0 から 0.001 へと上昇した。衝撃波到来から約 45 分後にサブストームが発生し、磁気圏真夜中から明け方にかけてにおいて、(1) 磁場及び電場が上昇した。(2) 電場の上昇によってホット電子密度が上昇した。(3) ホット電子密度の上昇によ

て、 η 及び A^- が上昇した。(4) η 及び A^- が上昇した結果、波の周波数で規格化した線形成長率は 0 から 0.002 程度にまで上昇した。

以上の結果から、惑星間空間衝撃波の到来や、サブストームの発生によって、それぞれ磁気圏昼側及び磁気圏真夜中から明け方にかけてホイッスラーモードコーラス波動が励起され、その結果電子の加速が行われ放射線帯の形成に繋がっている可能性があることがわかった。以後、ホイッスラーモードコーラス波動の非線形成長等も検討し、放射線帯の増減過程の理解を目指す。