

## VLF トリガードエミッションの発生機構に関する計算機実験

## Simulation study on the generation mechanism of VLF triggered emission

# 加藤 雄人 [1]; 大村 善治 [2]

# Yuto Katoh[1]; Yoshiharu Omura[2]

[1] 京大・生存研; [2] 京大・生存圏

[1] RISH, Kyoto Univ.; [2] RISH, Kyoto Univ.

VLF トリガードエミッションの発生機構について、粒子シミュレーションを実施し、波動励起と周波数上昇のプロセスを考察する。

VLF トリガードエミッションは、地球磁気圏が宇宙プラズマ物理学の巨大な実験場として捉えられることを示す典型例の一つであり、40年に及ぶ長い研究の歴史がある。高緯度の地上局を発信源とする単一周波数の波動が、ホイスラーモードで地球磁気圏内を伝搬する経路上において、周波数がダイナミックに変動する2次的な波動を励起する。地上観測結果の蓄積と、連携して実施された人工飛翔体による直接観測の結果から、その励起源が磁気赤道近傍に存在することや、励起源近傍では速度分布に温度異方性を持つ電子が存在していることなどが明らかとなっている。観測的研究に同期して、その発生機構に関する理論研究が続けられてきている。これまで波動励起プロセスについて幾つかのモデルが提唱されているが、近年では、keV オーダーのエネルギーを持つ電子とのサイクロトロン共鳴を基本とする、非線形波動粒子相互作用の効果が有力な候補として認識されている。詳細な物理プロセスの解明に向けて、計算機シミュレーションを用いた研究が進められているが、未解決の問題が多く残されている。波動の周波数変化を再現した報告例もあるものの、単色波を仮定して、その成長と周波数変化を解くモデルが用いられており、十分ではない。

本研究では、トリガードエミッションの生成機構の理解を目的として、“電子ハイブリッドモデル”を用いた粒子シミュレーションを実施している。電子ハイブリッドモデルは、コールド電子を流体、ホット電子を粒子として扱うモデルであり、電磁場の時空間発展を Maxwell 方程式により解き進める。従来のトリガードエミッションに関するシミュレーション研究では行われていない、任意の周波数及び帯域を持つプラズマ波動を、近似なく取り扱うことのできるモデルである。このモデルを用いて、一本の磁力線をシミュレーション空間として設定し、ミラー運動する電子と、磁力線沿いに伝搬するホイスラーモードの波動との相互作用を self-consistent に解き進める。初期パラメータは、トリガードエミッションの励起源である磁気赤道付近での観測結果に基づいて設定する。

シミュレーションでは、 $0.525$  ( は電子のジャイロ周波数 ) の周波数を持つ単色のホイスラーモードの波動を、20波長分の長さを持つパケットとして、ミラー運動する keV 電子が分布するシミュレーション空間に注入、その伝搬経路上で生じる keV 電子との相互作用を観察する。シミュレーション空間の大きさは、実パラメータに換算して 3,350km ( 注入するホイスラーモードの波動の 400 倍 ) であり、シミュレーション中での経過時間は 56.8 msec ( ジャイロ周期の 5000 倍 ) に相当する。その結果、注入したホイスラーモードの波動の成長と、その後方に周波数が時間的に上昇する 2 次的な波動が励起される様相が再現された。励起された波動の周波数変化量は  $0.136$  ( 注入した波動の 25.9 % ) であり、波動のパケットが磁気赤道を超えたところで生成され始める様子が示された。シミュレーション中で再現されたトリガードエミッションの生成機構については、波動とサイクロトロン共鳴する非捕捉電子が、位相空間中に位相パンチすることによって生じる共鳴電流の寄与が大きいことが、シミュレーション結果の解析から明らかとなっている。発表では計算結果の一例を紹介し、シミュレーションにより再現された波動の成長と周波数変化のメカニズムを議論する。