

超並列粒子コードを用いた ジオ・スペースプラズマ工学シミュレーション

代表者氏名：三宅 洋平（神戸大学・計算科学教育センター）

共同研究者：小路 真史（名古屋大学・ジオスペース研究センター）

梅田 隆行（名古屋大学・ジオスペース研究センター）

石井 克哉（名古屋大学・情報基盤センター）

本研究は、ジオ・スペースプラズマ環境に関する理工学問題について、大規模プラズマ粒子シミュレーションによって取り組むことを目的とする。本研究で用いる粒子シミュレーションは粒子の移動に伴う負荷不均衡に対して動的に対処する機構を備えるなど将来の超並列計算に向けた工夫を積極的に取り入れている。H25年度はハイブリッド並列実装に向けたノード内スレッド並列手法の検討も開始した。

理学的な問題として、電磁イオンサイクロトロン(EMIC)トリガード放射と呼ばれる、周波数上昇を伴う自然波動放射現象について取り扱った。内部磁気圏において、磁気嵐時に強く生じるイオンの温度異方性によって自発的に発生する EMIC トリガード放射を、磁気赤道付近を模擬した 1次元リアルスケールシミュレーションによって自己無頓着に再現し、波動励起に重要な 2種の共鳴電流がシミュレーション中で交互に現れている様子を示し、それぞれが波動の非線形成長、周波数上昇を支えていることを明らかにした。これは、衛星観測において観測される、数々の EMIC 波動スペクトルが、非線形波動放射によって形成されている可能性を示唆している。また、波動のコヒーレンシーの差によって、粒子の散乱・加速効率が大きく異なることを示した。

一方、工学的観点からは、大気抵抗の補償が重要となる低軌道衛星のための次世代推進器として、実用化が期待される大気吸入型イオンエンジンに着目した。軌道上の原子状酸素を吸入し、放電室内で電離・加速することでイオンプラズマを形成する。本研究では放電室内での電子サイクロトロン共鳴(以下 ECR)による種電子加速過程と、加速された種電子と中性粒子の衝突・電離に基づくイオン生成過程に焦点をあて、大規模全粒子シミュレーション解析を実施した。これまでの解析により、複雑な磁場配位を有する放電室内で ECR メカニズムにより加速される電子の個々の軌道を追跡することに成功し、またこの ECR 加速と、磁場による加速電子の閉じ込めがイオン生成効率の向上のための重要なファクターであることが示唆された。今後は、空間分布としての高加速効率領域の絞り込みとその形成要因を数値的に探ることにより、実際のエンジン開発に対する設計指針を得ることを目標とする。