

超並列粒子コードを用いた ジオ・スペースプラズマ理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、梅田 隆行、石井 克哉（名古屋大学）

川口 伸一郎、木倉 佳祐、松原 琢磨、鬼頭 沙希（神戸大学）

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、並列プロセス間の動的負荷分散処理や、マルチカラスケジューリングに基づく共有メモリ並列化など、次世代の超並列計算機環境を想定した最適化を精力的に進めている。H27年度は演算のSIMDベクトル化の観点からプラズマ粒子計算の最適実装手法の検討を実施した。

工学的観点からは、近年かぐや衛星で発見され、月火山活動の重要な証拠として注目されている月縦孔地形周辺のプラズマ電気環境を大規模粒子シミュレーションにより再現し、将来の着陸探査に先駆けて必要となる表面近傍電界分布を予測した。その結果、月面の帯電現象に関して、①縦孔地形によって生じる日向と日陰の間に40V超の電位差が生じること、②同じ日向の条件であっても、縦孔の内部では外部に比べて高電位に帯電すること、③縦孔内部の強力な電場により、 $10^{-1} \sim 10^0 \mu\text{m}$ サイズの帯電ダストが月の重力に打ち勝ち浮遊しうること（通常の昼側月面では $10^{-2} \mu\text{m}$ サイズのダストしか浮遊条件を満たさない）、が確認された。今後は、縦孔の底部に存在が示唆されている地下空洞を含めたシミュレーション解析により、より現実性の高い電気環境予測を実施する。

一方、理学的な問題としては、月に局所的に存在する磁気異常と太陽風プラズマの電磁的相互作用現象について取り扱った。Reiner Gammaと呼ばれる月磁気異常をモデルケースとし、月上空数100kmまでの空間における小型磁気圏形成過程を、3次元シミュレーションによって自己無撞着に再現した。特に磁気圏境界層における電子ダイナミクスによって決定づけられる電流構造に着目して、詳細解析を実施したところ、電子ドリフト運動の構造により磁気圏層間側、すなわち磁気異常上空の南北両半球において渦的な電子構造が見られた。特に赤道面における電子電流には、電子-イオン間の荷電分離によって発生する電場と磁気異常磁場による $E \times B$ ドリフトと、磁気圏境界層付近での電子圧力の急速な減少に伴う反磁性ドリフト電流が大きな役割を果たしていることが明らかとなった。これらの結果は小型磁気圏の構造、ひいてはその周辺でのイオンのダイナミクスにも大きく影響を及ぼすという点で、月プラズマ科学上、きわめて重要な成果である。