

小型天体・太陽風プラズマ相互作用過程の 超並列粒子シミュレーション

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： 西野 真木、梅田 隆行、荻野 正雄（名古屋大学）

薛 宇航、岡崎 ほのか、白川 遼、臼井 英之（神戸大学）

本研究は、名古屋大学 FX100 を用いた大規模高並列プラズマシミュレーションにより、月や小惑星などの「小型天体」と太陽風プラズマ間の相互作用を定量的に理解することを目的とする。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を用いたアクセス競合回避に基づく共有メモリ並列化、そしてカーネル処理である速度・電流ルーチンの SIMD 最適化実装など、次世代の階層型計算機アーキテクチャを見据えたプログラム最適化を精力的に進めている。これまでに階層毎個別の最適化手法を組み合わせた分散／共有メモリ並列・SIMD ハイブリッド実装をほぼ完了し、主要な計算カーネルで期待通りの性能が確認された。一方で、一部の MPI 集団通信処理（具体的にはプラズマ電流の All-reduce 通信）が律速となり、コード全体の並列性能を押し下げていることも判明した。H30 年度は当該集団通信の高効率化の余地を検討した結果、組み込み集団通信関数ではなく、通信に関与するプロセス間や通信データサイズの特性に適合した通信アルゴリズムを自前で選択することで、若干の性能向上が得られることを見出した。

これと並行して物理シミュレーションとしては、代表的な非磁化天体である地球の月に着目し、月表層・磁気異常・月上空の各領域における月一太陽風相互作用現象の関連を明らかにすることを目標に粒子シミュレーション解析を進めている。月表層では月レゴリス層から供給されるサブミクロンサイズの微粒子（ダスト）の帯電過程と挙動を数値的に予測した。結果として、月のクレーターや縦孔の日陰境界に形成される強電場により、日陰領域間でダストの交換運動が発生することが明らかになった。本成果は、将来の月面探査への影響を事前評価する工学的側面のみならず、ダストに付着した水分子や有機物の輸送過程予測への応用も期待される。月上空の科学衛星観測では、観測領域が太陽風磁場により月面に接続される時間帯にのみ、特徴的なプラズマ波動がしばしば確認される。これは月面とプラズマの相互作用が上空の荷電粒子速度分布関数や波動環境に及ぼす影響を示唆しているが、科学衛星と月面の距離は一般的なプラズマシース暑さであるデバイ長よりはるかに離れており、その物理メカニズムが不明であった。H30 はこの点に着目した月面－観測領域間の数万デバイ長の長距離 1 次元を実施した。その結果、電子の強い磁化により、月面での速度分布関数じょう乱が磁力線方向に長距離に波及し、その結果波動励起が引き起こされていることを示す初期結果を得た。