

大村善治(京都大学)

超並列宇宙プラズマ粒子シミュレーションの研究

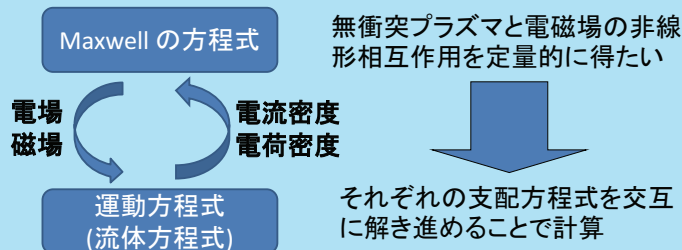


宇宙プラズマ粒子シミュレーション

- ダイナミックに変動する地球周辺宇宙環境の徹底解明
- 人類の宇宙利用に向けた衛星工学シミュレーション

「微視的(粒子)効果を取り込みつつ、グローバル領域を解析したい」

→大規模並列(超並列)環境への対応が不可欠!



粒子プラズマシミュレーション =
非常に多数の荷電粒子 + 格子点上に定義された電磁場

高並列化のための要件1. 粒子計算と格子(電磁場)計算、
双方の計算負荷を分散高並列化のための要件2. 粒子の分布に依らず負荷を均衡化
特に粒子がシミュレーション領域の一部に局在する状況において、
流体系計算で広く用いられている単純な領域分割型並列化では、
粒子に関する計算負荷を各ノードにバランスよく分散できない

新動的負荷分散アルゴリズムOhHelpを開発し

代表的な粒子コードである全粒子・ハイブリッドコードに適用

宇宙プラズマの理工学両方の問題に応用

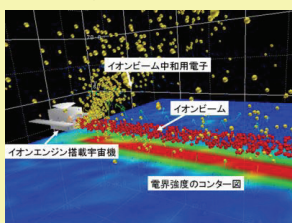
全粒子シミュレーション(工学)

→衛星プラズマ環境シミュレータ(EMSES)の並列化

(三宅洋平、臼井英之)

人工衛星システムと宇宙プラズマ間の相互干渉過程の解明
→専用シミュレータ(EMSES)の開発および並列化(OhHelpの適用)

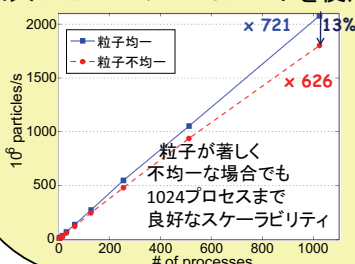
イオン推進エンジンビーム



衛星近傍では電子スケールの微視的効果が重要であり、熱力学的平衡を仮定しない(だが計算量が莫大な)粒子シミュレーションが必要

衛星近傍プラズマ環境解析の特徴

- 電子、イオンスケールに加え、衛星構造体スケールの分解が必要
- 各方向1000 grid程度の大規模計算
- 衛星を中心に粒子密度が著しく非一様
- OhHelpが効力を発揮できる事例

全粒子法の中核計算部分(OhHelp適用後)のWeak Scaling性能評価
(京大T2Kスパコン1~64ノードを使用)

今後の開発要素

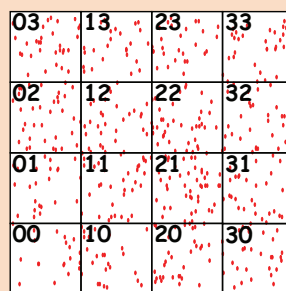
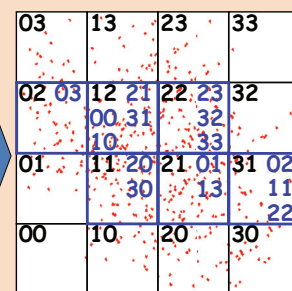
衛星導体壁における
光電子放出・粒子吸収に対応
→総粒子数変動モデルに対する
OhHelp法の有効性の評価

並列化手法:動的負荷分散技法 OhHelp

(大村善治、中島浩、臼井英之、三宅洋平、小路真史)

京都大学学術情報メディアセンター中島浩教授との共同開発
→計算機科学的な発想・視点を取り込んだアルゴリズム

“計算科学と計算機科学の分野間連携の一事例”

一次モード(粒子均衡時)
→一次担当(黒数字)のみ二次モード(粒子不均衡時)
→一次担当(黒)と二次担当(青)

- 均一な多次元ブロック分割
- 均衡状態のチェック:
V担当粒子数 ≤ 全粒子数 / ノード数 × (1 + α)
均衡 → 一次担当だけで実行
→ 近接通信のみ

OhHelp:
One-handed Help

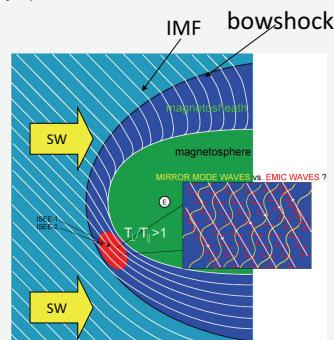
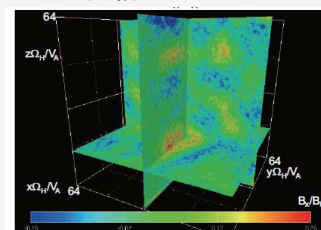
- 高々1つだけ他ノードの一次担当領域を「手助け」
→ 二次担当領域
- 初期的には完全に負荷均衡
- 担当領域サイズもほぼ均衡
- 一次・二次間の粒子の融通で均衡が維持できないときのみ
二次担当割合を更新

粒子・流体ハイブリッドシミュレーション(理学)

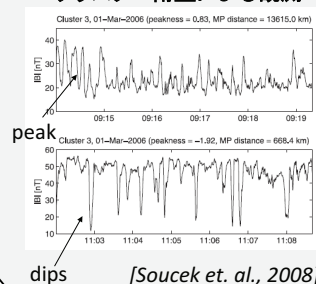
→ミラー不安定性の非線形発展の研究

(小路真史、大村善治)

イオンスケールで起きる、大振幅の磁場構造(magnetic peaks, dips)の空間構造とミラー不安定性の関係を調べる

3次元モデルによる
空間構造再現より高解像度
な解析へ

クラスター衛星による観測



[Soucek et al., 2008]

各方向512 grid, 粒子数86億
個の大規模シミュレーションOhHelpコードで
64ノード, 1.3TByte必要太陽風中の大規模磁場構造
の発展の定量的な理解