

11-MD01

## 次世代ジオスペースシミュレーション拠点の構築

荻野 瀧樹 (名古屋大学太陽地球環境研究所)

概要 太陽から地球に至るジオスペース環境において生起する様々なプラズマ・大気非線形現象を、東京大学の HA8000、名古屋大学の FX1 と HX600 及び、九州大学の RX200 を用いた大規模シミュレーションにより解明することを目的とする。超高解像度の磁気圏グローバル MHD シミュレーションにより従来の解像度では再現できなかった境界層渦を再現すると共に、大規模粒子シミュレーションにより KH 不安定性の渦構造や無衝突衝撃波の波面構造に対して電子スケールの不安定性が寄与していることを明らかにした。また、高速ネットワークを用いた Gfarm 広域分散ファイルシステムの整備を行い、大規模シミュレーションの画像処理に適用した。

### 1. 研究の目的と意義

太陽から地球に至るジオスペース環境の変動を理解することは、人類の活動が宇宙へと拡大しつつある今日、極めて重要な課題である。本研究の大きな目的は、ジオスペースで生起するプラズマの非線形現象を解明し、宇宙環境変動の因果関係を理解すると共に、数値宇宙天気予報に適用することである。人類の活動に影響を与えるジオスペースの変動現象としては、突発的な磁気嵐やオーロラの爆発現象、放射線高エネルギー粒子生成、高エネルギー粒子線による人工衛星の誤作動などが挙げられる。これらの現象は、電磁気圏プラズマのグローバルな対流循環、メソスケールでの物質の突発的な異常輸送（例えば境界層で生起する渦乱流や磁場構造再形成）及び、電子・イオンが粒子として振舞うミクロスケール現象（粒子加速や加熱）が複雑に結びついており、マルチスケール結合過程である。これらの広範囲な時空間の非線形現象を解明するためには、グローバル現象を扱う MHD/流体モデル、ミクロ現象を扱う運動論（粒子/ブラソフ）モデル及び、両者の中間（メソ）スケール現象を扱う流体+運動論のハイブリッドモデルそれぞれを独自に発展させるとともに、それらを連携統合した大規模マルチスケールシミュレーションが不可欠である。

本研究は、ジオスペース研究分野の大規模シミュレーション研究者と計算機科学と情報関係研究者が連携して、これらのコードを最新のスーパー

コンピュータの能力を最大限に活用できるように並列化・最適化するとともに、大規模シミュレーション環境の構築と利活用を意図した共同研究拠点を形成することを目的とする。特に、千以上の CPU を用いた超並列計算において、どのアーキテクチャにおいても 10%以上（できれば 20%以上）の実効効率を達成した「次世代の」ジオスペースシミュレーション手法の構築を目標とする。そして、大規模シミュレーションからスペースプラズマの未解決の研究課題（異常輸送、粒子加速・加熱、領域間結合、スケール間結合など）の解明に繋げようとするものである。

名古屋大学太陽地球環境研究所は、太陽から地球に至るジオスペース環境の変動を研究する全国共同利用・共同研究拠点であり、ジオスペース環境変動の地上観測及びスーパーコンピュータによるジオスペース大気・プラズマ変動の計算機シミュレーションを、国内外の共同利用研究者とともに推進している。当研究所を中心機関として、国際協同研究プロジェクトである「第二期 宇宙天気・宇宙気候研究(通称:CAWSES-II)」(2009-2013)が実施されている。本研究の 1 つの意義は、宇宙天気・宇宙気候変動の物理を解明し、数値予測の基礎的技術を確立することにある。また、2014 年打ち上げ予定の次世代太陽観測衛星 Solar-C、2015 年打ち上げ予定の内部磁気圏観測小型衛星 ERG 及び、2020 年以降打ち上げ予定の次世代磁気圏観測衛星 SCOPE において、本研究は中心的な役割を果

たす。そのために、次世代スーパーコンピュータを含む超並列計算機において、MHD/流体・運動論（粒子/ブラソフ）・ハイブリッドという全く異なる方程式系および数値解法を持つシミュレーションコードで高い実効効率を達成するための超並列計算技術の確立及び、時空間スケールの異なる方程式系を結合させるマルチスケールシミュレーション技術の確立という 2 つの目標がある。

また、大規模シミュレーションデータを効率よく解析するためには、高速ネットワークと大容量広域分散ファイルシステム（Gfarm）の利用が必要不可欠なので、情報基盤センターと協力して引き続き利活用を促進する。

## 2. 当拠点公募型共同研究として実施した意義

### (1) 共同研究を実施した大学名と研究体制

九州大学：超並列化支援（深沢）

名古屋大学：Gfarm システム構築（石井、永井）

東京大学：3次元可視化のサポート（中島）

### (2) 共同研究分野

超大規模数値計算系応用分野

超大容量ネットワーク技術分野

超大規模情報システム関連研究分野

### (3) 当公募型共同研究ならではの事項など

近年のスーパーコンピュータは、スカラ型 CPU によるクラスター型超並列計算機が主流となっており、これまでのベクトル型 CPU による並列計算機のように高い実効性能を達成することが容易ではなく、また並列数が格段に上がったために高い並列効率を達成することが容易ではないという 2 つの問題が生じた。CPU アーキテクチャによりチューニングの手法が異なるため、これまで地球シミュレータなどのベクトル型 CPU において高い実効効率を誇っていたコードが、スカラ型 CPU においては実効性能が低い例は少なくない。また並列化の問題に関しては、千個以上の CPU コアを用いた計算を実行できる環境が日本に数多く存在しないために、どのシステムにおいても並列化のスケラビリティが保障されるコードの開発が困難となっている。様々な CPU (x86, SPARC, POWER)

環境において千コア以上の並列度におけるベンチマークテストを行い、共通のチューニング手法・共通の並列化手法を見出すことが、様々なスーパーコンピュータシステムを使うことのできる学際大規模共同研究の大きな意義であると言える。

更に、大規模シミュレーションの効率的な遂行には先端的な IT 基盤の利用が今後益々重要になるが、それらの IT 基盤構築を推進している情報科学の研究者と共同研究を遂行するためには本学際大規模共同研究の役割が本質的に重要である。

## 3. 研究成果の詳細と当初計画の達成状況

### (1) 研究成果の詳細について

#### ①大規模磁気流体力学（MHD）シミュレーション

本プロジェクトで利用している九州大学の計算機システムが 2011 年 6 月に更新されたため、この新計算機システムに対して MHD コードの性能評価及びチューニングを行った。このシステムでは Intel Xeon X5670 (6 コア 2.93GHz) を 144 個 (864 コア) が利用できた。性能評価では 2 次元、3 次元領域分割を利用した MPI 並列と更にキャッシュチューニングとして配列の順序を入れ替えた計 3 つのコードを利用した。

図 1 に評価結果を示す。今までの x86 系 CPU と同様にキャッシュヒットチューニングを加えないものの性能が良かった。これは SSE によるベクトル効果のためであるが、最内ループ長が長い 2 次元領域分割よりも、通信量が最も少ない 3 次元領域分割の方が明らかに良い性能という典型的なスカラ型+ベクトル型といえる結果になった。実際の数値としては最大で 864 コア利用時に 3.5TFlops (実行効率 35%) を達成できた。

地球の固有磁場に傾き (角度 30 度) がある場合の太陽風と地球磁気圏相互作用の高精度 3 次元グローバル MHD シミュレーション (格子間隔は 0.1Re) を実施して、間歇的で斑状に起る磁気リコネクションの振る舞いと磁気圏境界の速度シアに起因する Kelvin-Helmholtz 不安定から生成される磁気圏境界層の渦乱流形成を調べた。図 2 は IMF (惑星間磁場) が南向きの場合の電流強度をボリ

ームレンダリングで磁力線とともに示した。北半球が夏の時、昼側磁気圏境界の磁気赤道で波動構造の形成、即ち渦乱流が起っている。また、尾

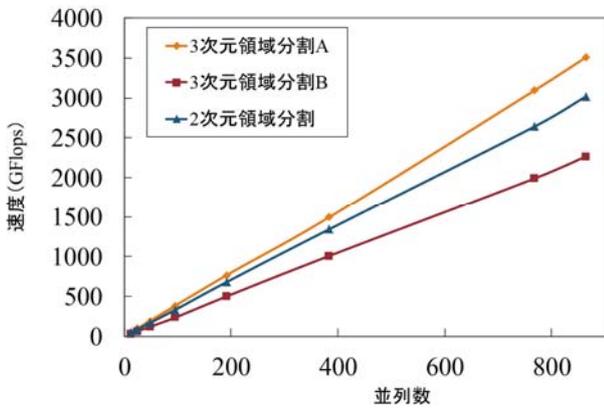


Fig. 1 九州大学新システムにおける性能評価。Intel Xeon X5670 は擬似ベクトル化の効果が発揮されるのでベクトル長と通信量がバランスした 3 次元領域分割方が高効率である。

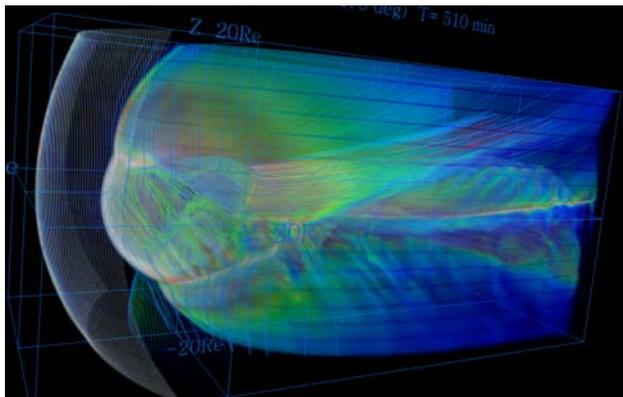


Fig. 2 地球のダイポール固有磁場に傾きがある場合の地球磁気圏の高精度 3 次元 MHD シミュレーション、磁気圏境界層で渦乱流が形成されている。

部のプラズマシートでも斑状で波状の乱流が形成される。その渦乱流は冬半球（南側）の昼側磁気圏で強く発生し、磁気圏境界の脇腹に沿ってプラズマシートの方へ移動していくことが分かった。

## ②大規模粒子シミュレーション

電磁プラズマ粒子 (PIC) コードを領域分割化することにより、超並列計算機に対応した。これまでの MPI による並列化 (Flat MPI) から、各ノード内での OpenMP によるスレッド並列を組み合わせ

せた hybrid 並列化を行い、プロセス数を減らすことにより、同期待ちによる遅延の解消、プロセス間のロードバランスの崩れの緩和を図った。また、hybrid 並列化された PIC コードを用いて、高マッハ数衝撃波の 2 次元大規模計算を行った。より現実的なイオン-電子質量比 ( $M/m=100$ ) を用いたところ、近年の報告に反し、高マッハ数衝撃波 ( $M_A>30$ ) ではより効率的に電子が加速されることが明らかになった (図 3 参照)。

次に、準垂直衝撃波(衝撃波角  $\theta_{Bn}=78^\circ$ )の大規模 2 次元粒子シミュレーションを行い、衝撃波面の変動(リップル)が磁気ミラー効果によるショックドリフト加速に与える影響を調べた。図 4 に衝撃波の生成の様子を示す。左のパネルは  $x-v_x$  位相空間におけるイオンの密度を表し、 $x=0$  付近に存在する衝撃波面において一部のイオンが反射しているのが見える。右のパネルには  $x-y$  面における磁場強度  $B_y$  成分及び磁力線を表し、衝撃波面付近で磁力線が曲げられている様子が見える。この現象はリップルと呼ばれている。

図 5 は  $x-v_y$  位相空間における電子の密度を表す。Run (a)では  $y$  方向の空間領域をイオン慣性長の 5 倍とし、Run (b)では  $y$  方向の空間領域をイオン慣性長の 1 倍としている。そのため、Run (b)ではリップルが現れずに、1 次元計算と同様に衝撃波面において電子が反射している様子が見える。一方 Run (a)では、電子がリップルによって散乱され、反射が抑制される傾向にあることが明らかとなった。

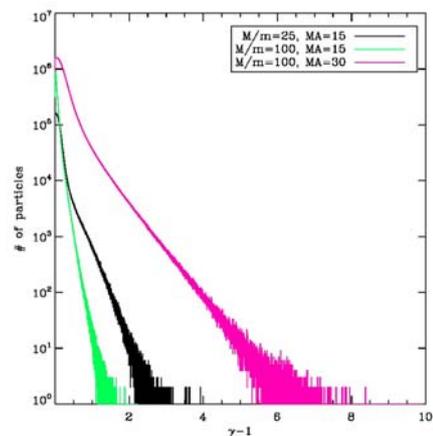


Fig. 3 衝撃波下流での電子のエネルギースペクトル

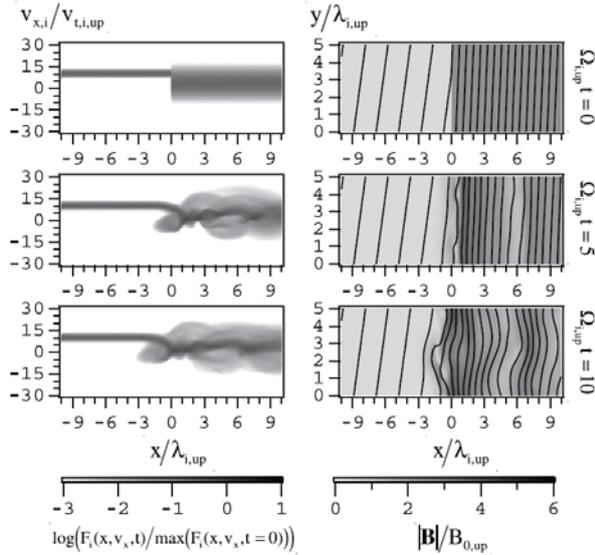


Fig. 4 (左)イオンの  $x$ - $v_x$  位相密度及び(右)磁場成分  $B_y$  の強度と磁力線

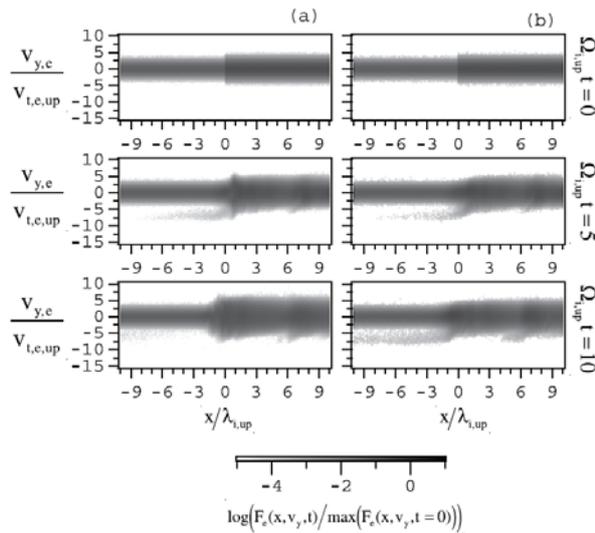


Fig. 5 電子の  $x$ - $v_x$  位相密度。(a)  $y$  方向の空間領域がイオン慣性長の 5 倍。(b)  $y$  方向の空間領域がイオン慣性長の 1 倍

### ③大規模ブラソフシミュレーション

新しい九州大学のシステムに対する性能評価及び最適化を行った。図 6 に結果を示す。Intel Westmere CPU (RX200)の単体コア性能が最も高いことがわかる。並列性能は 768 コア使用時でも 90%を超えた。

また、太陽風と非磁化天体との相互作用に関する実空間 2 次元・速度空間 3 次元グローバルブラソフシミュレーションを世界に先駆けて行った。

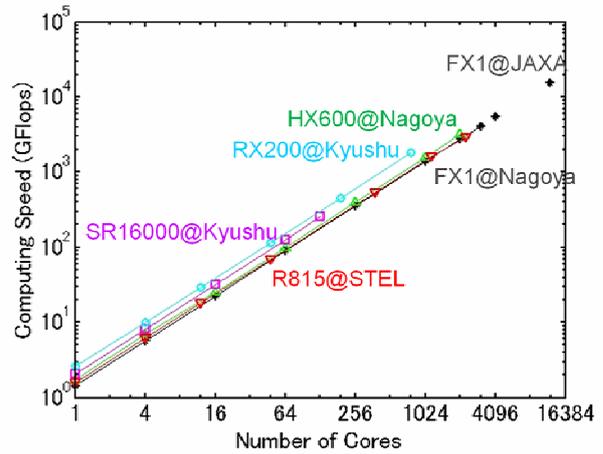


Fig. 6 ブラソフコードの弱いスケーリング (40x20x30x30x30/core)。

図 7 は相互作用によって生じる夜側ウェイクの様子を表しており、イオン密度及びその電場構造を示している。

ジャイロ運動によるウェイク内へのイオンの侵入は上側(+ $y$ )からであるが、本研究では逆側(- $y$ )からのほうがイオンの侵入量が多いという結果を得た。

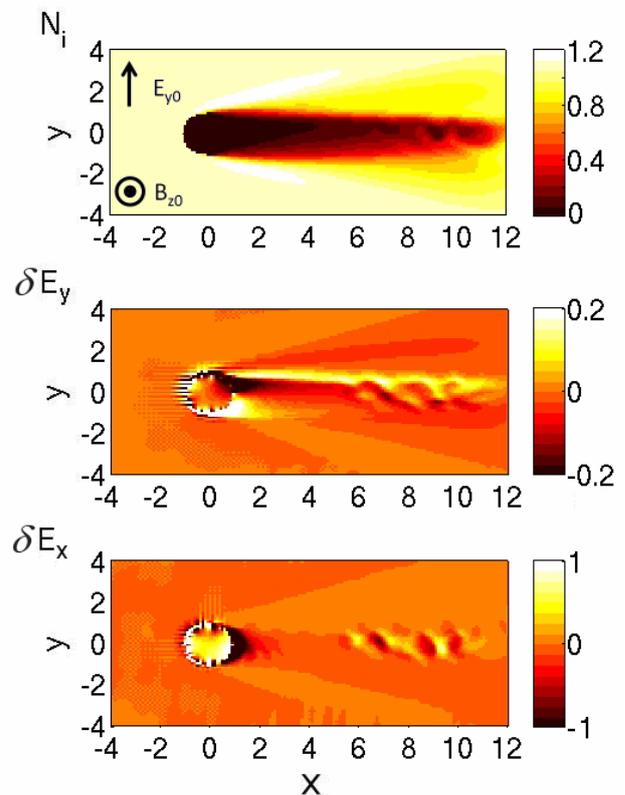


Fig.7 イオン密度及び電場  $E_x$  と  $E_y$  成分。左側境界より太陽風粒子及び惑星間磁場(IMF:  $B_z$  成分)が流入。

これは、熱速度の大きな電子がより小天体近傍へ熱拡散によって侵入して天体表面に吸着し、夜側に天体向き(-x)の電場を生じるからである。この結果  $E \times B$  ドリフトにより下側(-y)からのウェイク内への粒子の侵入が起こる。

#### ④IT 基盤の整備

近年、グリッドやクラウドコンピューティングの言葉がよく聞かれるようになった。その重要点は、利用者が意識することなくコンピュータと IT 資源を利用できる環境を提供することである。特に、最近では並列型スーパーコンピュータの性能が飛躍的に伸び、ネットワークの速度が 10 Gbps と高速化され、更に広域分散ファイル (Gfarm) の利用が始まって、その先端的な 3 つの基本要素が出揃ったといえる。即ち、それらは新しい先端的 IT 基盤を提供する 3 要素である (図 9 参照)。しかし、それを現実的に利用するとなるといくつかの重要な問題に遭遇する。一つは、それらを結合連携して有効に活用するためには、それらの Integration (結合連携の方法とツール) が必須なことである。もう一点は、セキュリティと利用者の利便性のバランス点を見出すことである。

これらの観点を調べる目的で、東京工業大学などが推進している RENKEI-PoP プロジェクトと NICT の村田氏が中心となって推進している JGN-X と OneSpaceNet プロジェクトに参加し、名

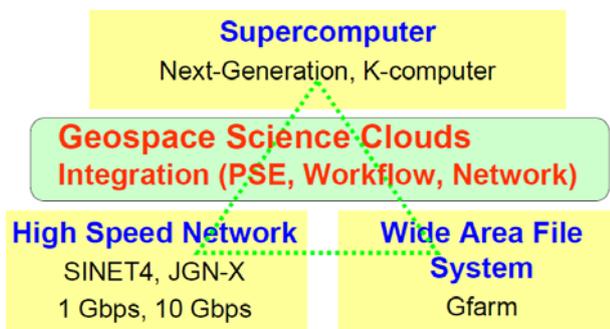


Fig.9 スーパーコンピュータと高速ネットワークと広域分散ファイル (Gfarm) の先端的 IT 基盤を連携したシステムの構築・整備及びそれらの有効活用は重要な研究課題である。

古屋大学情報基盤センターの教員と協力してそれらの構築・整備に関与するとともに実証実験を実施してきた。

RENKEI-PoP を利用するために整備したコンピュータ資源とネットワークポロジリーを図 10 に示す。これらは地球磁気圏の 3 次元 MHD シミュレーションの大規模データのポスト処理を目的としている。シミュレーションは名古屋大学情報基盤センター (ITC) のスーパーコンピュータ (Fujitsu FX1) で実行し、その結果を ITC の共用ファイルに保存する。従来のポスト処理方法はその保存データを名古屋大学太陽地球環境研究所のコンピュータシステムの共用ファイルに転送して行っていた。私達の処理の特徴は、画像処理を中心とするポスト処理の基本プログラムは全て自作であり、Fortran が動けばどの計算機でも実行できることである。その制限は、メモリ容量が絶対で、処理速度が二義的である。こうして、名大 ITC の共用ファイルから RENKEI-PoP の広域ファイル (Gfarm) に sftp でデータを転送し、RENKEI-PoP の Linux マシンを利用することにより、シミュレーションデータのポスト画像処理が可能になった。また、結果の画像ファイルは太陽地球環境研究所の Windows PC から WinSCP を利用して直接取り出すことができる。この整備したシステムは大規模シ

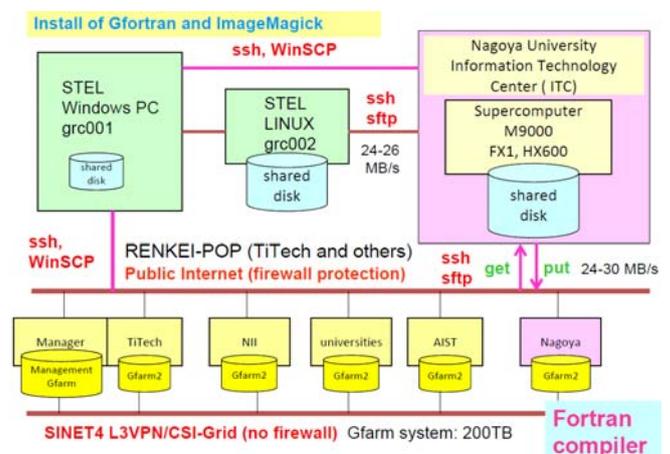


Fig.10 RENKEI-PoP プロジェクトで構築された広域分散ファイルシステム (Gfarm) を用いた地球磁気圏 3 次元 MHD シミュレーションの画像処理。

ミュレーションデータのポスト処理には十分機能することが確認された。同時に残された課題も明確になった。その一つはネットワーク速度が名大 ITC 共用ファイル-RENKEI-PoP の Gfarm 間で 1 Gbps と遅いことである。1 ファイル 8GB のデータを転送しているが 24-30 MB/s の速度であった。もう一点は、元のシミュレーションデータは 1 ファイル 4 倍の 32GB であり、そのファイル数も 100-1000 個である。これらの問題を解決するには 10Gbps の高速ネットワークの導入と Gfarm ストレージの更なる大容量化が必要である。

次に、NICT の JGN-X と OneSpaceNet プロジェクトで整備したネットワークと IT 資源のトポロジーを図 11 に示す。JGN-X への接続は NII の SINET (1Gbps) 経由で接続した。JGN-X は通常の Internet とは独立のネットワークであるために、名大 ITC の共用ファイルと OneSpaceNet の広域分散ファイル Gfarm 間のデータ転送は、名大 ITC の共用ファイルの一部 (/backup-tmp/stel/) が OneSpaceNet の特定の LINUX (seg-gfarm-n41) からみえるように設定することで可能にしている。従って、その特定の LINUX から cp コマンドで OneSpaceNet の Gfarm へ転送する。その速度は 8-20MB/s であった。また、太陽地球環境研究所からの OneSpaceNet へのコンピュータアクセスは全

て NICT のゲートウェイ (seg-gw) を経由して行う。こうして、OneSpaceNet でも地球磁気圏の 3 次元 MHD シミュレーションの大規模データのポスト処理が実行できるようになった。

(2) 当初計画の達成状況について

①大規模磁気流体力学 (MHD) シミュレーション  
 利用できる全ての環境において、実行効率 15% 以上を達成した。新しい九州大学のシステムに対する性能評価により最適な分割方法が明らかになり、実際に土星磁気圏シミュレーションに対して適用して大規模計算を開始した。また、地球磁気圏の高精度 MHD シミュレーションは、磁気圏境界層で生起する渦乱流の生成に成功し、3 次元可視化により渦乱流が磁気圏ダイナミクスへ与える影響の統合的な解明に迫りつつある。

②大規模粒子シミュレーション

粒子コードに領域分割法を適用して並列化を行い、中間マッハ数及び低マッハ数垂直衝撃波における衝撃波の非定常性と電子加速について、新たな知見を得ることができた。しかし、コードのチューニングはまだ不十分であり、今後も進めていく必要がある。

③大規模プラソフシミュレーション

利用できる全ての環境において、実行効率 13% 以上を達成した。また、並列化したコードを用いて、天体スケールのグローバルプラソフシミュレーションに世界に先駆けて成功した。しかし、5 次元計算のために計算負荷が非常に高く、今後も継続してチューニングを進める必要がある。

④IT 基盤の整備

スーパーコンピュータを利用した大量のシミュレーションデータのポスト処理には、先端的な IT 基盤の有効利用は大きな威力を発揮することが期待されている。その本質的な構成要素には、並列型スーパーコンピュータの効率的な利用し易さと高速ネットワーク (10Gbps) と広域分散ファイルシステム (Gfarm) の 3 つがある。そして実際に利

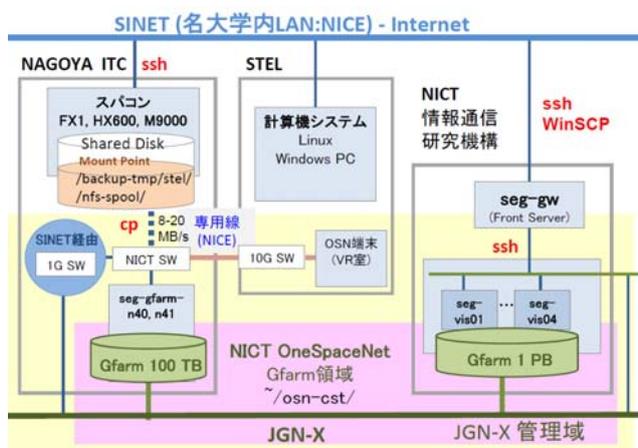


Fig.11 JGN-X で構築された広域分散ファイルシステム (Gfarm) と NICT OneSpaceNet を用いた地球磁気圏 3 次元 MHD シミュレーションの画像処理。

用するためには、それらの **Integration** (結合連携の方法とツール) が必要である。これらの先駆的利用、東京工業大学などが連携して推進している **RENKEI-PoP** プロジェクトと **NICT** が推進している **JGN-X** と **OneSpaceNet** プロジェクトに参加して、それらの整備に関与するとともに地球磁気圏の 3 次元 **MHD** シミュレーションのポスト処理に適用できることを実証してきた。同時に、解決すべき課題も明確になってきた。まず第一は、利用者がより使い易い環境の実現である。しかし、それはセキュリティとトレードオフの関係もあるのでそのバランスをどこに置くかを定める必要がある。次に、ネットワークの速度とストレージ容量である。今後ネットワークの高速化 (10Gbps) と **Gfarm** ストレージシステムの更なる大容量化が期待される。同時にそれらの先端的な IT 基盤を利用者がどうコントロールして有効に活用するかもこれから実証すべき重要な課題である。

#### 4. 今後の展望

##### ①大規模磁気流体力学 (MHD) シミュレーション

地球磁気圏 3 次元 **MHD** シミュレーションは極端な太陽風と IMF 条件下で生じる大規模磁気嵐の描像を再現すべく研究を進める。土星磁気圏 3 次元 **MHD** シミュレーションは、カッシーニ探査機と **HST** 同時観測データを利用する。NASA から提供を受けた太陽風データを入力し、オーロラの変動を見るためにより高い時空間解像度でシミュレーションを行う必要がある、九大及び東大の次期システムの利用が不可欠である。

##### ②大規模粒子シミュレーション

これまでの研究から、より現実的なイオン-電子質量比 ( $M/m$ ) においても、マッハ数を上げることにより、さらなる高エネルギー電子の生成が可能であることがわかった。現状では、 $M/m=100$ 、アルヴェンマッハ数  $M_A \sim 30$  であるが、現在の計算機リソースからは、 $M/m=225$ 、電子プラズマ-ジャイロ振動数比 ( $\omega_{pe}/\Omega_{ge}$ ) = 10、 $M_A > 45$  の計算が可能であり、超新星残骸衝撃波により近いパラメタ領域での電子加速を調べる予定である。予想

される計算規模は、空間グリッド  $48000 \times 1536$ 、粒子数は 100 億 ( $10^{10}$ ) 個である。

##### ③大規模ブラソフシミュレーション

現在、実空間グリッド  $600 \times 400$ 、速度空間グリッド  $100 \times 100$  を用いたケルビンヘルムホルツ不安定性の 2 次元 (4 次元位相空間) ブラソフシミュレーションを行っている。これまでにイオンジャイロ運動の回転方向が渦の回転方向と同じ場合の計算がほぼ終了したため、イオンジャイロ運動の回転方向が渦の回転方向と逆の場合の計算を開始し、イオンの運動論効果が **KH** 渦形成に与える影響を調べる。

また、IT 基盤の実用実験を継続し、セキュリティと利便性の両立性を目指し、次の **HPCI** システムの効率的な利用に繋げていきたい。

#### 5. 研究成果リスト

- (1) 学術論文 (投稿中のものは「投稿中」と明記)
  - ✓ Walker, R. J., K. Fukazawa, T. Ogino, and D. Morozoff, A simulation study of Kelvin-Helmholtz waves at Saturn's magnetopause, *Journal of Geophysical Research*, Vol.116, A03203, 2011.
  - ✓ Saito, S., and T. Umeda, Suppression of reflected electrons in rippled structure at a quasi-perpendicular shock: Full particle-in-cell simulation, *Astrophysical Journal*, Vol.736, 35, 2011.
  - ✓ Umeda, T., Y. Nariyuki, and D. Kariya, A non-oscillatory and conservative semi-Lagrangian scheme with fourth-degree polynomial interpolation for solving the Vlasov equation, *Computer Physics Communications*, Vol.183, 1094-1100, 2012.
  - ✓ Umeda, T., Effect of ion cyclotron motion on the structure of wakes: A Vlasov simulation, *Earth, Planets and Space*, Vol.64, 231-236, 2012.
  - ✓ Umeda, T., Y. Kidani, S. Matsukiyo, and R. Yamazaki, Modified two-stream instability at perpendicular collisionless shocks: Full particle simulations, *Journal of Geophysical Research*, Vol.117, A03206, 2012.

- ✓ Fukazawa, K., and T. Umeda, Performance measurement of magnetohydrodynamic code for space plasma on the typical scalar type supercomputer systems with the large number of cores, *International Journal of High Performance Computing*, in press.
- ✓ Umeda, T., K. Fukazawa, Y. Nariyuki, and T. Ogino, A scalable full electromagnetic Vlasov solver for cross-scale coupling in space plasma, *IEEE Transactions on Plasma Science*, in press.
- (2) 国際会議プロシーディングス  
該当なし
- (3) 国際会議発表
  - ✓ Umeda, T., and Y. Ito, Vlasov simulation on the interaction between the solar wind and a dielectric body, *25th International Union of Geodesy and Geophysics (IUGG) General Assembly*, Melbourne, Australia, July 2011.
  - ✓ Umeda, T., Recent Advancement in Vlasov code simulations, *10th International School for Space Simulations (ISSS-10)*, Banff, Canada, July 2011.
  - ✓ Umeda, T., Y. Kidani, and S. Matsukiyo, Dynamics of quasi-perpendicular shocks: Recent results issued from 2D PIC simulation, *30th General Assembly of the International Union of Radio Science (URSI)*, Istanbul, Turkey, August 2011.
  - ✓ Umeda, T., Y. Ito, Y. Kidani, and K. Fukazawa, Study of the Moon-solar wind interaction with parallel kinetic plasma simulations, *International Conference for High Performance Computing, Networking, Storage and Analysis 2011 (SC11)*, Seattle, USA, November 2011.
  - ✓ Fukazawa, K., T. Umeda, and T. Ogino, Massively parallel computing of magneto-hydro-dynamic simulation toward peta and exa scale computers, *International Conference for High Performance Computing, Networking, Storage and Analysis 2011 (SC11)*, Seattle, USA, November 2011.
  - ✓ Ogino, T., A. Iwadachi, and T. Umeda, Space plasma simulation and geospace science clouds, *The 1st ICSU World Data System Conference*, September 3-6, 2011, Kyoto University, Kyoto.
- (4) 国内会議発表
  - ✓ 梅田 隆行, 深沢 圭一郎, 成行 泰裕, 荻野 竜樹, ブラソフコードによる様々なスーパーコンピュータの性能評価, *日本地球惑星科学連合 2011 年大会*, 幕張メッセ, 2011 年 5 月.
  - ✓ 深沢圭一郎, 荻野瀧樹, 湯元清文, 南北向き IMF 時における高解像度土星磁気圏シミュレーション, *日本地球惑星科学連合 2011 年大会*, 幕張メッセ, 2011 年 5 月.
  - ✓ 梅田 隆行, 全粒子コードの高次精度化, *第 130 回地球電磁気・地球惑星圏学会*, 神戸大学, 2011 年 11 月.
  - ✓ 深沢圭一郎, 荻野瀧樹, Study of Kronian Field-Aligned Currents and Aurora, *第 130 回地球電磁気・地球惑星圏学会*, 神戸大学, 2011 年 11 月.
  - ✓ 深沢圭一郎, スーパーコンピュータを利用した大規模惑星磁気圏シミュレーションと可視化, *第 17 回ビジュアライゼーションカンファレンス*, タイム 24 ビル, 2011 年 11 月.
  - ✓ 深沢 圭一郎, 梅田 隆行, 南里 豪志, 超並列惑星磁気圏電磁流体シミュレーションに向けた隣接通信の効率化, *2012 年ハイパフォーマンスコンピューティングと計算科学シンポジウム*, 名古屋大学, 2012 年 1 月.
  - ✓ 梅田 隆行, 大矢 宗平, OpenMP を用いたソーティングのスレッド並列化, *2012 年ハイパフォーマンスコンピューティングと計算科学シンポジウム*, 名古屋大学, 2012 年 1 月.
  - ✓ 荻野 竜樹, HPC/HPCI の状況と今後の取り組み, *物理学会・天文学会・SGEPSS 合同プラズマ共催セッション, 企画セッション「プラズマ宇宙物理」*, 龍谷大学, 2012 年 3 月.
- (5) その他 (特許, プレス発表, 著書等)
  - ✓ 深沢圭一郎, 梅田隆行, 荻野瀧樹, 電磁流体コードによる大規模惑星磁気圏シミュレーション, *東京大学スーパーコンピューティング ニュース*, Vol. 13, 特集号, 73-88, 2011.
  - ✓ 深沢圭一郎, 黒木勇, 土星磁気圏シミュレーション結果の大規模可視化に伴う AVS/Express PCE の評価, *東京大学スーパーコンピューティング ニュース*, Vol. 13, No. 5, 39-45, 2011.