

## グローバルMHDシミュレーション磁力線追尾システムの基盤技術検証

# 村田 健史 [1]; 久保田 康文 [1]; 山本 和憲 [1]; 渡邊 英伸 [2]; 亘 慎一 [1]; 深沢 圭一郎 [3]; 坪内 健 [4]; 村山 泰啓 [1]; 鶴川 健太郎 [5]; 村永 和哉 [5]; 田中 高史 [6]; 藤田 茂 [7]

[1] 情報通信研究機構; [2] NICT; [3] 九大・情基センター; [4] 東京大学; [5] (株) セック; [6] 九大・宙空センター; [7] 気象大

### An Examination of Magnetic Flux Tracing System of Global MHD Simulations

# Ken T. Murata[1]; Yasubumi Kubota[1]; Kazunori Yamamoto[1]; Hidenobu Watanabe[2]; Shinichi Watari[1]; Keiichiro Fukazawa[3]; Ken Tsubouchi[4]; Yasuhiro Murayama[1]; Kentaro Ukawa[5]; Kazuya Muranaga[5]; Takashi Tanaka[6]; Shigeru Fujita[7]

[1] NICT; [2] NICT; [3] RIIT, Kyushu Univ.; [4] The University of Tokyo; [5] SEC Co.,LTD; [6] SERC, Kyushu Univ.; [7] none

<http://www.nict.go.jp>

Computer simulation data continues being increasingly stored in many fields of geoscience, resulting in growing volumes of all kinds of data. This paper proposes a distributed data-type and/or data-intensive processing system that are provided via Gfarm/Pwrake as a solution to large-scale data processing in the context of distributed data management and data processing environments in the field of solar-terrestrial physics. The usefulness of a system composed of many file system nodes was examined using large-scale computer simulation data. In the parallel 3D visualization of computer simulation data varying in terms of data processing granularity, optimized load balancing through FIFO scheduling or pipe-line scheduling yielded parallelization efficacy.

Using the large-scale data processing system, we have developed a magnetic flux tracing system of global MHD simulations. Under the assumption of magnetic field frozen-in theory of ideal MHD plasma, we trace an element (or elements) of plasma at all steps of global MHD simulation, and visualize magnetic flux (magnetic field lines) penetrating the element(s).

Since this system depends on the frozen-in theory, we need to examine when and where this assumption breaks before we apply it for physical data analyses. Figure (a) and Figure (b) show magnetic field lines in the vicinity of the Earth's magnetopause visualized via present system. Both figures show that the magnetic field lines are scattered as they advance downward. In the present talk we discuss the error in the tracings and the restrictions to apply for this technique.

現在の宇宙天気研究（太陽地球物理研究）分野では、他の地球科学研究分野と同様、データの大規模化と多様化が進んでいる。これまで主流であった特定データ処理手法から、多様で大規模なデータを統合的に解析する統合データ解析手法へのパラダイムシフトは、多くの研究分野で期待されているにもかかわらず、依然として実現していない。たとえば、コンピュータシミュレーションにおいては、神戸の新しいペタフロップススパコンが登場し、さらには将来のエクサフロップススパコン技術への議論が始まっている。一方で、これらのスパコンが生成する大規模なデータのポスト処理（データ処理、可視化処理など）の技術開発は進んでいない。その結果、高速スーパーコンピュータの研究開発を行う計算科学分野と、それを用いて太陽地球物理分野などの研究を行う計算科学分野がかい離した状態は、依然として改善されていない。

大規模なコンピュータシミュレーションデータや多様な科学衛星・地上観測データ処理環境の実現は、次世代の宇宙天気研究へのステップアップのためには必須である。情報通信研究機構（NICT）では、同機構において構築した科学研究向けクラウドシステムであるサイエンスクラウド（OneSpaceNet）上において、大規模データ処理のための分散処理システムの開発に成功した。分散処理システムは、スーパーコンピュータ、分散処理・ストレージシステム（Gfarm）をクラウド上にL2接続し、数値計算データを高速（またはリアルタイム）に処理するシステムである。特に、Gfarmにより、大規模データ格納と処理を連携することで、これまでできなかった大規模データの高速度処理が可能となった。

さらに、この大規模分散ストレージ・処理システムを用いて、地球磁気圏のグローバルMHDシミュレーションデータから磁力線のフラックスを追尾するためシステム（以下、MHD磁力線追尾システム）を構築した。理想MHD流体では、プラズマの磁力線凍結（frozen-in）原理により磁力線を追尾することができる。具体的には、任意の点を始点とするプラズマの動きを追跡し、各時刻における磁力線を描画することで磁力線（磁場フラックス）の追跡が可能である。本研究のMHD磁力線追尾システムでは、この手法をグローバルMHDシミュレーションに適用し、シミュレーション時空間において任意の磁力線を追尾する。

シミュレーションデータから磁力線の動きを高精度に追尾するためには、プラズマの動きを高精度に追尾する必要がある。そのため、シミュレーション時空間において、各時刻ステップでのプラズマの動きを追跡しなくてはならない。したがって、本システムでは、シミュレーションの全空間の全時刻ステップデータを大規模分散ストレージ・処理システムに保存し、これらのデータから磁力線の追尾を行う。

MHD磁力線追尾システムでは、次の手順により、グローバルMHDシミュレーション時空間の磁力線を追尾する。シミュレーションの全空間の全時刻ステップデータを大規模分散ストレージ・処理システム（Gfarm）に保存する。任意時刻の任意の点（複数点でもよい）を始点群として選択する。これらの始点群と内挿により求めた各点のプラズマ速度ベクトルより、次の時刻ステップの点の位置を求める。この処理を、対象となるすべての時間ステップ分だけ繰り返し、各時刻ステップの点群データを作成する。対象となるすべての時間ステップの点群データについて、各時刻のグローバルMHDシミュレーションデータを用いて磁力線を3次元可視化する。各時刻ステップの磁力線可視化データ

をまとめて一つの時系列 3 次元可視化データを作成する。

なお、抵抗や粘性により理想 MHD の過程が崩れる場合には、プラズマの動きと磁力線の動きがスリップするために、本手法を適用することができない。理想 MHD の崩れは、数値抵抗・数値粘性によっても発生する。図 (a) は、太陽風中に  $0.1Re$  半径で円周上に 30 点の始点を取り、磁力線追跡した場合である。太陽風領域 (黄色、detached) とシース領域 (赤色、open) の磁力線群 (flux tube) を描画している。図 (b) は、太陽風中の 1 本の磁力線上に磁力線に沿って 30 点の始点を取った場合の磁力線の追尾結果である。磁気圏前面でリコネクションが始まっており、南半球に繋がっている磁力線 (赤色、open) 北半球に繋がっている磁力線 (赤色、open) 太陽風中の磁力線 (黄色、detached) が混在していることがわかる。これらのばらつきが可視化誤差に対応する。本講演では、これらの誤差について議論し、本技法の有効性とその適用範囲について議論する。

