

## グローバルMHDシミュレーションの3次元可視化技術の改良

# 磯田 総子 [1]; 村田 健史 [2]; 深沢 圭一郎 [3]; 久保田 康文 [4]; 山本 和憲 [2]; 海老原 祐輔 [5]; 才田 聡子 [6]; 渡邊 英伸 [4]; 鵜川 健太郎 [7]; 村永 和哉 [7]; 鈴木 豊 [8]; 建部 修見 [9]; 田中 昌宏 [10]; 木村 映善 [11]

[1] サイエンスサービス; [2] 情報通信研究機構; [3] 九大・情基センター; [4] NICT; [5] 京大生存圏; [6] ROIS; [7] (株) セック; [8] セック; [9] 筑波大・シス情・CS; [10] 筑波大・計セ; [11] 愛大・医・医療情報

### Development of technique for 3D visualizations of global MHD simulation

# Fusako Isoda[1]; Ken T. Murata[2]; Keiichiro Fukazawa[3]; Yasubumi Kubota[4]; Kazunori Yamamoto[2]; Yusuke Ebihara[5]; Satoko Saita[6]; Hidenobu Watanabe[4]; Kentaro Ukawa[7]; Kazuya Muranaga[7]; Yutaka Suzuki[8]; Osamu Tatebe[9]; Masahiro Tanaka[10]; Eizen Kimura[11]

[1] ScienceService; [2] NICT; [3] RIIT, Kyushu Univ.; [4] NICT; [5] RISH, Kyoto Univ.; [6] ROIS; [7] SEC Co.,LTD; [8] SEC; [9] Computer Science, University of Tsukuba; [10] CCS, Univ. of Tsukuba; [11] Medinfo, Ehime Univ.

The Virtual Aurora Tool, an application for three dimensional visualizations of MHD simulations, is developed based on the AVS. The Virtual Aurora Tool is designed on interactive operation basis on the GUI mode. The command line mode is also available to survey these data files. Users obtain a sequence of object files. By combining them a 3D profile of simulation result in 3D movie (GFA format) is made.

A Starting point must be identified at first by user in the simulation space to draw a magnetic field line. We can draw many lines (-1000 lines) in the 3D movie. The 3D movie of the magnetic field lines, which should correspond to convection of magnetic field lines, are created with combining each frame along with the time series. To create this 3D movie for convection, we trace the movement of a point which is identified first by user. It is possible to assume the point as a fluid element.

The tracing technique to calculate the position of the identified fluid element in the next time step is as follows: we interpolate to get a velocity vector at the point of the fluid element, then push the element with this vector value.

The authors examined several well-known phenomena concerned with the simple Earth magnetosphere dynamics in the Virtual Aurora Tool to find that most of the phenomena consistent with typical physics of the magnetosphere: response of the magnetosphere to the change of the Interplanetary Magnetic Field (IMF), reconnections of the Earth's magnetic field lines and IMF, magnetic flux lobes in a phase of a magnetospheric substorm and KH instabilities generated near sub-solar points.

To create such magnetic field convection 3D with high time resolution, it is needed to process a large amount of data set. For speed-up of the visualization process, parallel processing with a distributed computer cluster is adapted on the NICT Science Cloud. It enables the Virtual Aurora Tool to generate object files to compose 3D movies in extremely high speed. Due to the big data processing technique of parallel processing with a distributed computer servers and storages attached with each server using Pwrake with Gfarm file system, our processing time get shorter.

The Virtual Aurora Tool used to have limited functions in parallel and distributed processing. For example, the tool is unable to generate object files to draw spheres which represent the movements of the fluid elements and to draw magnetic field lines with a color scale by user-selected parameter. Another serious problem was a limitation of magnetic field line tracing function: a magnetic field line moving out of the simulation area cannot be correctly traced.

We recently have fixed the problems discussed above. A long-time and big data processing by using parallel and distributed system to express tracing of the magnetic field lines and fluid elements are available. The total file size for 1 hour event reaches 15TB (7200files\*2.3GB, 7200 steps or files, corresponding to the 1 hour event in the MHD simulation). The processing of such big data takes in a day after our development. This development is crucial for our researches since we can carry out try-and-error studies.

As a result of present development, behaviors of plasma particles coming from the solar wind or the inner magnetosphere are able to be estimated visually on the assumption that the fluid elements represent plasma particles. Also, colorings to magnetic field lines or fluid elements with user-selected physical parameters, such as temperature or velocity, help us to understand physical processes or mechanism in the Earth's magnetosphere.

We should be careful in treatment of the magnetic field lines and fluid elements. It is because the frozen-in of plasma in a magnetic field line is occasionally broken in some regions (diffusion region).

In our presentation, developed functions will be presented with examples of an event called Galaxy 15, which occurred on 5th April, 2010.

バーチャルオーロラは、AVSをベースに開発された、磁気圏シミュレーション結果を3次元可視化するツールである。GUIでインタラクティブにパラメータを決定し、利用者の目的とする物理現象を捉えることが出来る。また、パラメータを指定しバッチ処理で次々にデータファイル进行处理して3次元可視化オブジェクトを作ることも出来る。さらに、このオブジェクトファイルはAVSの機能を用いてGFA形式で3次元動画として保存することで動画像ではなく3Dレンダリングで結果の確認が可能である。筆者らのグループでは、これまでバーチャルオーロラを用いて、グローバルMHDシミュレーションデータから、磁力線、プラズマ圧、等磁場、プラズマ圧面などの可視化を行ってきた。

磁力線の可視化については、始点を固定して磁場を積分することで磁力線を描画する手法をとっている。また、磁力

線の時間的な変化についても、高時間分解能のシミュレーションデータから算出することが出来る。これらは一般的な手法であるが、それに加えてバーチャルオーロラでは磁力線描画始点が移動する距離を速度ベクトルから算出することで、磁力線そのものを追尾し、磁力線の輸送を可視化する。さらには、磁力線を、描画始点を流体要素として点(小球)で表示することで、プラズマ流体の流れを視覚的に理解できる。これらの技術を用いて現在までにバーチャルオーロラで再現された磁気圏物理の様相は、定性的にこれまでの論理に沿ったものであった。具体的には、太陽風磁場の変化により磁気圏全体が反応する様子、地球磁場と太陽風磁場のリコネクション、サブストーム時のフラックスロープの生成やサブソーラーポイントからのKH不安定などが可視化されてきた。

これらの可視化処理は大規模なデータ解析環境が必要となる。時間分解能の高い大規模データを NICT サイエンスクラウド内でバーチャルオーロラのバッチ処理機能を用いて並列分散処理することにより、高時間分解能シミュレーションデータが再現する複雑な地球磁気圏の様相をより精密に調べることが可能となった。

一方で、並列分散環境でバーチャルオーロラによる可視化オブジェクト作成を行う際、流体要素の可視化や、磁力線や流体要素に特定の物理量を基にしたカラーリングが出来ないという制約があった。さらに、追跡点が領域外に出てしまうために磁力線が長時間連続的に表示されないという問題点も改良する必要があった。

本研究では、上記の点を改良し、長時間大量データの並列分散処理による磁力線、流体要素追尾の可視化処理が可能になった。本研究のシミュレーションでは、空間分解能 0.2Re、直交座標系グリッド数 450

\*300\*300、時間分解能 0.5 秒の出力を行っており、0.5 秒ごとにデータが生成されるため、オリジナルデータファイル数は実時間 1 時間に対して 7200 となる。7200 ファイルから可視化オブジェクトファイルを生成するのに数日(3 日程度)を費やしていたものが、並列分散処理では半日から数時間で可能になり、トライアンドエラーで研究を進めることが出来るようになった。

改良の結果、表示する流体要素の数の制限がなくなったため、流体要素を定期的に加えながら個数を増やして追尾することが可能になり、流体要素をプラズマ粒子と仮定できる領域において、太陽風起源あるいは磁気圏内部のプラズマの振る舞いを視覚的に捉えることが出来るようになった。また、温度やプラズマ圧、速度などの物理量で磁力線や粒子の着色が出来るため、プラズマの加熱、加速の様子が一見して分かるようになった。さらに、追尾点が領域から出る前に、同じ磁力線上の別の点に追尾点を引き戻す機能を実装することで、長時間連続的に特定の磁力線を追尾することが可能になった。

基本的な性能の実装と評価が完了し、今後はバーチャルオーロラツールを使った磁気圏ダイナミクスの研究を進めていくことができる。地球磁気圏 3 次元グローバルシミュレーションでの計算上の制約から、磁場の拡散項が比較的大きくなる領域(たとえばリコネクションが起こっている場所)ではプラズマの磁場凍結が破れ、流体要素の追尾の意味がなくなってしまう。このことを考慮して流体要素追尾を行い、意味のあるデータを抽出して地球物理学的な議論をする必要がある。

本研究では、バーチャルオーロラの新機能を紹介し、例として 2010 年 4 月 5 日の Galaxy15 イベントの際の磁場データを用いたグローバル MHD シミュレーション結果を用いて、磁力線追尾、流体要素追尾を行った結果見られる諸現象について説明したい。

