

令和 2 年 6 月 10 日現在

機関番号：24506

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2016～2019

課題番号：16K00173

研究課題名(和文)地球科学データ解析に向けたベクトル型計算機上での「その場」可視化の実現

研究課題名(英文)Development of In-Situ Visualization Library for Geoscience on Vector Computers

研究代表者

大野 暢亮 (Ohno, Nobuaki)

兵庫県立大学・シミュレーション学研究科・教授

研究者番号：50373238

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,100,000円

研究成果の概要(和文)：ベクトル型計算機向けの「その場」可視化を実現するために、基本的な可視化手法のスカラ計算機用のプログラムを高いベクトル化率と長いベクトル長になるように修正した。その結果、ベクトル計算機上では、修正前のプログラムと比較して、高速に動作させることに成功した。この結果を基に、地球科学で使用されているYin-Yang格子、カーテシアン座標および非構造格子(四面体格子)に対応する「その場」可視化ライブラリを開発した。本開発により、ベクトル計算機においてもYin-Yang格子などを利用した地球科学のシミュレーションの「その場」可視化が可能となった。

研究成果の学術的意義や社会的意義

本研究でスカラ計算機用およびベクトル計算機用Yin-Yang格子版、四面体格子版の「その場」可視化ライブラリを開発した。また、カーテシアン座標版VISMOのベクトル計算機向け版を開発した。四面体格子や地球科学でよく使用されているYin-Yang格子版のライブラリは、スカラ計算機用も有用であると考えられる。さらに、これらのベクトル計算機向けのバージョンは、NEC SX-ACE(地球シミュレータ)で開発を行なったが、現在はその後継機(SX-AURORA Tsubasa)が存在しており、また一般のCPUでもベクトル化機能を備えているものもあるので、今後も本研究で開発した技術は、重要であると考えられる。

研究成果の概要(英文)：In order to carry out in-situ visualization on vector parallel computers, such as Earth Simulator, we modified programs of basic visualization methods for scalar computers to achieve higher vectorization rates and a longer vector lengths. As a result, we succeeded in running them much faster on the vector computer, Earth Simulator, compared to the unmodified programs. Based on this result, we developed in-situ visualization libraries for Yin-Yang grid used actively in geophysical simulations, Cartesian coordinates, and unstructured grid (tetrahedral mesh). This development enables in-situ visualization of computer simulations using Yin-Yang grid, Cartesian coordinates, and tetrahedral mesh.

研究分野：可視化情報学

キーワード：その場可視化 In-Situ可視化 Yin-Yang格子

様式 C - 19、F - 19 - 1、Z - 19 (共通)

1. 研究開始当初の背景

近年のスーパーコンピュータの高性能化に伴い、コンピュータシミュレーションとそのシミュレーションから出力されるデータの大規模化を引き起こした。これは、データ転送に時間がかかったり、大容量の保存用のストレージが必要となるなど、従来通りにシミュレーション結果のデータをシミュレーション研究者が、手元の PC に転送して可視化・解析することを困難にしている。そのため、シミュレーションと同時に、シミュレーションを実行しているスーパーコンピュータ上で可視化を行い、大規模なデータではなく可視化画像を保存するという「その場」可視化(In-Situ 可視化)が注目を集め、可視化の研究者により効率化などの研究がなされている。

しかし、地球シミュレータのようなベクトル計算機で In-Situ 可視化を行うことは、スカラ計算機の場合と異なりそれ自体に困難が伴う。可視化プログラムは、ベクトル計算機で実行させると、動作が非常に遅いことが理由である。

2. 研究の目的

本研究の目的は、シミュレーション研究者が可視化・解析時によく使用する基本的な可視化手法をベクトル計算機上で高速に動作させる方法を提案し、それを実装した In-Situ 可視化用のライブラリを開発することである。

シミュレーションデータの座標系としては、多くの地球科学で用いられている球ジオメトリの Yin-Yang 格子系と非構造格子(四面体格子)をその対象とする。高速動作させる可視化手法としては、スカラデータの可視化手法の等値面表示、スライス表示、ポリウムレンダリング、ベクトルデータの可視化手法の矢印表示とする。また、大規模シミュレーションが対象なので、当然のことながら、並列化されている必要もある。

3. 研究の方法

本研究では、まずスカラ計算機用のソフトウェアレンダリングによる In-Situ 可視化プログラムを開発し、そのソースコードを高いベクトル化率で動作するように修正することで、ベクトル計算機向けのプログラムにしあげる。その後、MPI および OpenMP によるハイブリッド並列化を施して、研究代表者自らが開発している VISMO(VISualization MOdule)と呼ばれる In-Situ 可視化ライブラリに組み込んで Yin-Yang 格子版と非構造格子版として仕上げる。VISMO は、すでに複数の研究者が利用している In-Situ 可視化ライブラリで、可視化パラメータの読み込みやシミュレーションコードとの結合のためのサブルーチンがあり、これを利用することで効率よくライブラリを作製することができる。

4. 研究成果

Yin-Yang 格子、および非構造格子(四面体格子)を用いたシミュレーション用のスカラ計算機向けおよびベクトル計算機向けの In-Situ 可視化ライブラリを開発した。また、Yin-Yang 格子版の開発の知見を基に、カーテシアン座標版の VISMO の基本的な可視化手法のベクトル化計算機向けコードを開発した。

(1) Yin-Yang 格子版の In-Situ 可視化ライブラリ

Yin-Yang 格子版の VISMO ライブラリを開発した。使用可能な可視化手法は、スカラデータ用の手法では等値面・スライス表示・ポリウムレンダリング、ベクトルデータ用の手法では矢印表示・流線表示である。このライブラリは、MPI および OpenMP によりハイブリッド変列化されている。シミュレーションコードが、ハイブリッド並列化されていれば、可視化プロセスもその恩恵を受ける。すべての可視化手法の描画には、Ray-Casting 法を用いており、OpenGL は用いていないので、OSMesa(Off Screen Mesa)などのライブラリは必要としない。ポリウムレンダリングの画像重畳には、非構造格子向けの手法に似た手法を利用している。

これらの可視化手法の流線表示機能以外の可視化手法をベクトル計算機向けに修正した。ベクトル化計算機向けの修正であるが、ベクトル化率を高めるには、可視化プログラム内の計算を多数のループで書き直し、さらにそのループのループ長をできるだけ長くする必要がある。等値面・ポリウムレンダリング・スライスについては、レイが独立な計算であることを利用したベクトル計算機向けの修正を施した。具体的には、256本の独立したレイの計算をループで行うようにした。更に、計算が終了したレイはループから除き、計算が終了していないレイをループに加えるようにした。スライス表示については、レイと平面・曲面との交点を1度求めるだけなので、ループ除外などの工夫は必要がない。矢印表示については、複数の矢印オブジェクトとレイの交点を同時に求めるループを作製した。

領域が8分割されているサンプルデータを地球シミュレータ上でMPI8並列で可視化したところ、この修正により単純にスカラ計算機向けに作成したコードを使用するよりも可視化に要する時間を大幅に短縮することができた。さらに、この知見を生かして、カーテシアン版の VISMO のベクトル計算機向けの修正版も作製した。

(2) 四面体格子版の In-Situ 可視化ライブラリ

四面体格子版の VISMO ライブラリを開発した。使用可能な可視化手法は、Yin-Yang 格子版と同様である。実装方法は、等値面は Marching Tetrahedron 法で各格子で等値面を計算して描画、

スライス表示はスライス面と交差する格子に面を生成し色付け、ボリュームレンダリングは粒子ベースボリュームレンダリング法、矢印表示はYin-Yang 格子版と同じ手法である。ベクトル計算機向けの修正であるが、等値面・スライス表示・矢印表示に関しては、面・矢印とレイの交点をもとめたのちに投影する。ループは、(1) で述べた方法と同様に格子内ではなく複数の格子、矢印は一つの矢印オブジェクトではなく複数の矢印の交点を同時に計算するループを作製した。粒子ベースボリュームレンダリング法の粒子発生については、一様サンプリング法とメトロポリスサンプリング法を実装したが、前者は単純に粒子でループを作製、後者は粒子を発生させる複数の格子でループを作製した。この修正により、単純にスカラ計算機向けに作成したコードを動かすよりも可視化に要する時間を大幅に短縮することができた。

これら(1) , (2) の成果は国際会議や国内学会・研究会で発表している。また、論文も準備中である。

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計2件（うち査読付論文 2件/うち国際共著 0件/うちオープンアクセス 2件）

1. 著者名 陰山聡, 坂本尚久, 大野暢亮	4. 巻 96
2. 論文標題 4次元ストリートビュー: 計算機シミュレーションの新しい可視化法	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 プラズマ・核融合学会誌	6. 最初と最後の頁 199-206
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) なし	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 -

1. 著者名 A. Kageyama, N. Sakamoto, H. Miura, N. Ohno	4. 巻 -
2. 論文標題 Interactive Exploration of In-situ Visualization of MHD Simulation	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Plasma and Fusion Research	6. 最初と最後の頁 -
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) なし	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 -

〔学会発表〕 計14件（うち招待講演 2件/うち国際学会 3件）

1. 発表者名 大野暢亮, 陰山聡
2. 発表標題 Yin-Yang格子用In-Sit 可視化ツールの開発
3. 学会等名 第33回数値流体力学シンポジウム
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 大野暢亮
2. 発表標題 Yin-Yang格子用In-Situ可視化ツールの開発
3. 学会等名 第24回計算工学講演会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 大野暢亮, 大谷寛明
2. 発表標題 In-Situ可視化ツールの開発
3. 学会等名 第23回計算工学講演会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 大野暢亮, 大谷寛明, 三浦英昭
2. 発表標題 ベクトル計算機上でのIn-Situ可視化の試み
3. 学会等名 プラズマシミュレーションポジウム2018 (招待講演)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 N. Ohno, H. Ohtani, K. Kaneko
2. 発表標題 In-Situ Visualization Tool: VISMO
3. 学会等名 The 27th International Toki Conference on Plasma and Fusion Research & The 13th Asia Pacific Plasma Theory Conference
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 大野暢亮
2. 発表標題 YinYang格子向けIn-Situ可視化ツールの開発
3. 学会等名 先進的可視化デバイスを用いた可視化情報の研究会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 大野暢亮
2. 発表標題 ベクトル計算機上での可視化
3. 学会等名 第22回計算工学講演会
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 大野暢亮, 大谷寛明, 張イ
2. 発表標題 In-Situ可視化へ向けた開発(ポスター)
3. 学会等名 プラズマシミュレーションポジウム2017
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 大野暢亮
2. 発表標題 ベクトル計算機用可視化ツールの開発
3. 学会等名 可視化情報学会全国講演会 (室蘭2017)
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 大野暢亮, 大谷寛明, 張イ
2. 発表標題 In-Situ可視化ツールの開発(ポスター)
3. 学会等名 第1回ビジュアライゼーションワークショップ (招待講演)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 N.Ohno and Wei Zhang
2. 発表標題 Volume Rendering on Vector Machines(poster),
3. 学会等名 IEEE Pacific Visualization 2017 (国際学会)
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 Nobuaki Ohno, Hiroaki Ohtani and Wei Zhang
2. 発表標題 Development towards In-Situ Visualization(poster)
3. 学会等名 Joint Meeting of The 26th International Toki Conference (ITC-26) & The 11th Asia Plasma and Fusion Association Conference(APFA-11) (国際学会)
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 田邊恵李, 大野暢亮
2. 発表標題 粒子ボリウムレンダリング法のベクトル化と性能評価
3. 学会等名 プラズマシミュレーションポジウム2016
4. 発表年 2016年

1. 発表者名 N.Ohno
2. 発表標題 Vectorization of Volume Rendering Methods
3. 学会等名 The 7th AICS International Symposium (国際学会)
4. 発表年 2017年

〔図書〕 計0件

〔産業財産権〕

〔その他〕

-

6. 研究組織

	氏名 (ローマ字氏名) (研究者番号)	所属研究機関・部局・職 (機関番号)	備考
--	---------------------------	-----------------------	----