

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 28 年 6 月 8 日現在

機関番号：14501

研究種目：基盤研究(B) (一般)

研究期間：2011～2015

課題番号：23340128

研究課題名(和文) 次世代スパコンと3次元可視化技術による現実的低粘性領域での地球ダイナモ機構解明

研究課題名(英文) Geodynamo simulation in low viscosity regime with next-generation supercomputer and three-dimensional visualization

研究代表者

陰山 聡 (Kageyama, Akira)

神戸大学・システム情報学研究科・教授

研究者番号：20260052

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 15,300,000円

研究成果の概要(和文)：我々が考案した球殻ジオメトリ用の重合格子「イン=ヤン格子」を応用した高解像度地球ダイナモシミュレーションを行い、磁場増幅過程を磁力線描像に基づいて明らかにした。イン=ヤン格子は球の中心を解くことができないため、球の中心部分に第三の要素格子(ゾン格子)を導入した球ジオメトリ用の新しい重合格子「イン=ヤン=ゾン格子」を開発し、原点も含めた球全体のMHD計算を可能にした。これらの計算格子に基づくMHDシミュレーションデータを解析するため、没入型バーチャルリアリティ(VR)技術を応用した3次元可視化手法と共に、計算と同時に可視化を行いつつ対話性をもつ新しいin-situ可視化手法を開発した。

研究成果の概要(英文)：We have performed high-resolution simulations of geodynamo in the spherical shell geometry using Yin-Yang grid and analyzed the generation mechanism of the magnetic field based on the concept of (almost) frozen-in field lines. Since our Yin-Yang dynamo code had a "cavity" at the center of the sphere, we could not solve the magnetic diffusion effect in the inner core. To resolve this problem, we have developed a new overset grid system, Yin-Yang-Zhong grid, for a full sphere including the origin. The Yin-Yang-Zhong grid enables us to perform MHD simulations in a ball. To analyze the geodynamo simulation data obtained by these simulation codes, we have developed an application program for immersive-type virtual reality (VR) systems. The VR visualization approach shares the problem of the massive data size with other post-process visualization methods. We have developed a new in-situ visualization method by which we can perform interactive viewing of in-situ visualization movies.

研究分野：計算科学

キーワード：地球ダイナモ 磁気流体力学 データ可視化 イン=ヤン格子

1. 研究開始当初の背景

- (1) 地磁気の起源は地球内部に流れるリング状電流である。10⁹アンペアに及ぶその強い電流は、外核の液体鉄の対流運動が生み出している。液体鉄の流れは磁気流体力学 (Magnetohydrodynamics, MHD) で記述されるため、地磁気の生成機構を解明するためには MHD 方程式を高精度で解く必要がある。電気伝導性流体の流れが電流を生み出す作用は MHD ダイナモと呼ばれ、基本的にはそれは単なる電磁誘導であるが、地球外核で起きている MHD ダイナモ (地球ダイナモ) は、物理的に極めて複雑であり、長年の研究にもかかわらず完全な解明からはほど遠い。
- (2) 地球ダイナモの解明を難しくしている要因の一つは地球の自転にある。外核の対流速度や粘性係数で決まる時間スケールに対して地球の自転時間スケールとの比をとった無次元数 (ロスビー数とエクマン数) をみると、どちらも極端に小さな値をとる。流体現象では一般に、系を特徴付ける無次元パラメータが極端に小さい (あるいは大きい) 値を持つとき、物理量の空間分布が局所的に激しく変化する傾向があり、地球ダイナモもその例外ではない。従って地球ダイナモの計算機シミュレーションでは常に高い空間解像度が要求される。このような事情から、地球ダイナモシミュレーションは、スーパーコンピュータの演算性能の向上に合わせて進展を遂げてきた。
- (3) 研究代表者は、スーパーコンピュータを用いた 3 次元地球ダイナモシミュレーションを米国のグループと同時期に世界で初めて成功させ [PoP95]、その後、双極子磁場の自発的生成の解明 [PRE97]、双極子磁場逆転の再現 [PRL99]、そしてその物理機構の解析 [Sci02] 等の成果を挙げてきた。地球ダイナモの高解像度 (低エクマン数) シミュレーションで世界をリードしてきたといえる。

2. 研究の目的

- (1) 世界最高解像度の地球ダイナモシミュレーションを実施し、未開拓のエクマン数領域における流れ場・磁場構造の解明する。特に磁場の生成機構や生成された磁場、および流れ場の 3 次元構造を磁力線描像に基づいて詳しく解析する。
- (2) これまでの我々のシミュレーションでは、内核への磁気の拡散による浸透が無視されていた。この効果を取り込むため、以前、研究代表者が独自に考案したイン=ヤン格子 [GG04] を改良する。
- (3) 地球ダイナモシミュレーションではデー

タ可視化が鍵となる。特に磁力線の 3 次元的な変形を正確に把握することが不可欠である。そこで、先進的な可視化技術に基づく新しい可視化手法を開発する。

- (4) 我々の最終目的は地磁気の正確な再現ではなく、磁場増幅の物理機構解明にある。そのため、我々のシミュレーションモデルは理想化された部分が多い。このため、地球以外の天体のダイナモに応用しやすい。この特徴をいかし、地球ダイナモと MHD 環境に近い太陽ダイナモのシミュレーションに挑戦する。

3. 研究の方法

- (1) 新しい計算格子の開発: 内核は外核と同じ磁気拡散率を持つため、外核で生成された磁場は内核に侵入する。内核の磁場は独自の特徴的時間スケールを持つので、地球ダイナモ系全体の時間発展に影響を与えることが予想される。申請者の以前のシミュレーションモデルでは、内核の存在を正確に取り込んでいなかった。これは申請者が地球ダイナモシミュレーションのために独自に考案したイン=ヤン格子が、球の中心部分を避けた空間格子になっているためである。この点を改良し、球の原点も含めて解くことのできる球ジオメトリ向けの新しい計算格子を開発する。
- (2) 実時間可視化手法の開発: 本研究では、一回のシミュレーションで出力される計算結果が膨大なものになることが予想されるため、通常の手順、即ちポストプロセス (計算終了後の作業) としてデータを可視化することは非効率的であり、現実的ではない。そこで、計算しながら (スーパーコンピュータ上で) 可視化処理を行う実時間可視化手法の研究開発を進める。
- (3) VR 技術を応用した可視化手法の開発: MHD ダイナモを磁力線の描像で記述すれば、流れに凍り付いた磁力線が、3 次元的な流れによって引き伸ばされ、折りたたまれる過程である。シミュレーション結果からその様子を直感的に把握することは難しい。そこでバーチャルリアリティ技術を応用し、流れ場に凍り付いた磁力線を 3 次元的に可視化する手法を開発する。
- (4) 太陽ダイナモシミュレーションモデルの開発: 太陽磁場も地磁気と同様に MHD ダイナモ作用によって生成されている。MHD 流体の媒質は地球の場合は液体金属、太陽の場合は水素プラズマという違いはあるものの、球殻状の領域内部で回転の影響の受けつつ対流運動する流体による

MHD ダイナモによって磁場が生成される過程は同一である。そこで、本研究で開発する地球ダイナモシミュレーションモデルに基づいて適切なモデルの改良を施し、太陽ダイナモのシミュレーション研究を進める。

4. 研究成果

- (1) 地球ダイナモシミュレーション：イン=ヤン格子を用いた地球ダイナモシミュレーションを世界最高解像度で行い、磁場の生成機構を詳しく解析した。これまでの低解像度（高エクマン数）シミュレーションとは異なり、シート状のブルーム対流が流れ場の基本構造である。このシート状ブルーム対流が磁力線を引き延ばす過程を様々な可視化手法を組み合わせで解析したところ、内核付近から上昇するブルームが加速運動する際に流れに巻き込まれた磁力線がひきのばされ（この時に磁場のエネルギーが増幅される）、上部に運ばれた磁力線はシート状ブルームを取り囲むようにして形成されている帯状流に巻き込まれることで経度方向成分を持つ。ここまでは基本的には以前の我々の研究結果[Nat08, Nat10]の再確認であるが、本研究ではさらに、シート状ブルームが持つ自転軸(z)方向の流れ成分により磁場のz成分が生成され、磁場の大規模な螺旋構造が生成される過程を明らかにした[PoP11]。また、直方体ジオメトリでのMHDシミュレーションも行った。地磁気は液体金属の対流運動によって生じているので、回転（自転）と磁場の影響下での液体金属の対流運動についての理解が不可欠である。そこで、新たに直方体容器の中でのMHD流体の熱対流運動を解くシミュレーションコードおよび専用の可視化ツールを完成させ、水平一様磁場の印加された条件のもとでの対流運動、および、鉛直方向を回転軸とした速い回転の下での対流運動について詳細に調べた。水平磁場の下では、磁場方向に対流ロールが揃う現象（これは実験で観察されている）を確認しただけでなく、そのロール中の流線が螺旋型となっていること（これは実験では未確認であった）を見いだした。また、高速回転下での対流運動は対流の水平方向の空間スケールが小さくなることを確認した。
- (2) VR技術を応用した3次元可視化手法の確立：地球ダイナモの物理機構を理解するための鍵は磁力線描像にある。流れに（ほぼ）凍り付いた磁力線が如何に引き延ばされ、折りたたまれ、つなぎ変わって最終的に密度を上げていく様子を正確に把握することがダイナモの理解に他ならない。我々は神戸大学に導入された没入型（CAVE型）バーチャルリアリティ（VR）

装置「 π -CAVE」を使い、3次元シミュレーションデータを効率的に可視化・解析するためのプログラム Multiverse を開発した。Multiverse は、複数の可視化アプリケーションを π -CAVE のバーチャルリアリティ空間に居ながら自由に切り替えることが可能にする一種のフレームワークである。本研究では Geomag と名付けた地球ダイナモシミュレーションデータ用の可視化プログラムを Multiverse に組み込んだ。なお Geomag は、申請者が以前開発した VR 可視化ソフト VFIVE を発展させたものである。Geomag には流れに凍り付いた磁力線を可視化する機能を実装した[AiaSim15]。

- (3) 太陽ダイナモ：太陽ダイナモ系と地球ダイナモ系の大きな違いは太陽の場合、対流層の下部境界が固体壁（地球の場合は内核）ではないという点である。我々是对流層の下部に対流安定な層を設定し、この層が対流層の流れ場と磁場に与える影響について調べた。その結果、対流層の底の部分に強い速度シア層が自発的に形成される興味深い現象を見いだした。この速度シア走は太陽のタコクラインを想起させる構造を持つ。計算結果を解析したところ、対流不安定な層に閉じ込められた軸対称磁場成分がこの速度シア層の形成に重要な役割を果たしていることが分かった。この軸対称磁場は、MHD ダイナモ機構によって対流層内部に形成された磁場の一部が底部の対流安定な層に運び込まれることで維持されている。対流層の速度場を見ると、太陽で見られるような赤道加速の分布を持つ作動回転が形成され、また磁場については強い双極子成分を持つ大規模な構造が形成された。興味深いことにこの双極子磁場成分の逆転現象も観察された[ApJ13]。同じコードを使い、磁場の有無による比較と初期条件の違いによる比較することで、太陽型回転分布を形成するための条件を探った。その結果、以下の事柄を明らかにした。
(a) 対流ロスビー数の臨界値は HD モデルよりも MHD の方が大きく、磁場は太陽型回転分布を促進する効果がある。
(b) しかし、ロスビー数の臨界値は磁場の有無に依らず等しく、 $Ro \approx 1.0$ である。
(c) HD モデルでは、遷移が起こる臨界対流ロスビー数の値が初期回転分布によって異なり、ヒステリシスは存在するように見える。
(d) しかし、臨界ロスビー数の値は初期回転分布に依らず $Ro \approx 1.0$ であるため、ヒステリシスは消失する。これら結果が示唆することは、磁場の有無や初期条件の違いに関わらず、回転球殻対流系における反太陽型一太陽型プロファイルを特徴づけるパラメータは、対流ロスビー数ではなく、ロスビー数であるとい

うことである。ロスビー数は、慣性力とコリオリ力の比で表される無次元量であるので、慣性力がコリオリ力より強ければ反太陽型、弱ければ太陽型に帰着すると考える事ができる[ApJ15]。

- (4) 対話的 in-situ 可視化手法の開発：大規模な計算機シミュレーションでは出力データが膨大になり、従来の可視化スタイル、即ちポストプロセスとしての可視化は非現実的であるため、近年、in-situ 可視化手法が注目を集めている。in-situ 可視化とは、計算しながら可視化処理を行い、シミュレーション結果を画像として出力する方法である。in-situ 可視化は将来の大規模シミュレーション向け可視化手法の基盤として期待が持たれている。しかしこの手法には、あらかじめ設定したカメラ位置と可視化手法で撮影された可視化映像しか得られないという欠点がある。この問題を解決するために我々は、大量の可視化カメラをシミュレーション領域に散布し、それぞれのカメラから複数の可視化手法で可視化を行い、膨大な数の動画ファイルを出力させるといった新たな可視化手法を考案した。その膨大な数の動画ファイルを独自に開発した動画ブラウザを用いることで対話的に解析することがこの手法の鍵である。実証実験を行い、有効性を確認した[CPC14]。
- (5) イン=ヤン=ゾン格子の開発：これまで用いてきたイン=ヤン格子を拡張し、「イン=ヤン=ゾン格子」という新たな計算格子を開発した。イン=ヤン格子は、球の中心部分を解くことができないという問題があり、このためにこれまでの計算ではイン=ヤン格子の内側（地球ダイナモの場合は内核、太陽ダイナモの場合には放射層に対応する）領域は「穴」がいていた。イン=ヤン=ゾン格子はこの穴の部分をカーチアン座標に基づくブロック状の計算格子で覆うものである。中心部分の格子をゾン格子と呼ぶ。イン=ヤン格子とゾン格子は重合格子手法に基づき相互補間によって接続する。イン=ヤン=ゾン格子の有効性と精度を確認するために（原点も含めた）球全体のスカラー場の拡散問題に適用した。この問題は解析解が求まっている。解析解とイン=ヤン=ゾン格子で得られた数値解を比較したところ高い精度で一致することを確認した。また、球内部の中性流体の回転運動や、MHD 流体の自由（磁場と流れ場を持つ）緩和計算にも適用した。後者の問題は、初期条件として球内部に静止した MHD 流体を設定し、そこにランダムに与えた磁場をかける。したがって磁場はローレンツ力の分布を持つ。この初期条件から緩

和させると、流れと磁場が共に存在する状態に緩和し、準定常状態に落ち着くことが観察される。どちらの計算も問題なくイン=ヤン=ゾン格子で計算することができた[JCP16]。

<引用文献>

- [Nat08] A. Kageyama, T. Miyagoshi, and T. Sato, Formation of current coils in geodynamo simulations, *Nature*, 454, 1106-1109 (2008)
- [Nat10] T. Miyagoshi, A. Kageyama, and T. Sato, Zonal flow formation in the Earth's core, 463, 793-796 (2010)
- [AsiaSim15] A. Kageyama and A. Tomiyama, Multiverse: A Software Framework for Visualization in CAVE Virtual Reality Systems, Proceedings of The 15th Asia Simulation Conference 2015, November 4-7, 2015, Jeju, Korea (2015)
- [ApJ13] Y. Masada, K. Yamada, A. Kageyama, Effects of Penetrative Convection on Solar Dynamo, *Astrophys. J.*, 778, doi:10.1088/0004-637X/778/1/11 (2013)
- [ApJ15] J. Mabuchi, Y. Masada, and A. Kageyama, Differential Rotation IN Magnetized and Non-magnetized Stars, *Astrophys. J.*, 806, doi:10.1088/0004-637X/778/1/11 (2015)
- [CPC14] A. Kageyama and T. Yamada, An Approach to Exascale Visualization: Interactive Viewing of In-Situ Visualization, *Comput. Phys. Comm.*, 185, 79-85 (2014)
- [GGG04] A. Kageyama and T. Sato, "Yin-Yang grid": An overset grid in spherical geometry, *Geochem. Gophys. Geosyst.*, 5, Q09005 (2004)
- [JCP16] H. Hayashi and A. Kageyama, Yin-Yang-Zhong grid: An overset grid system for a sphere, *Journal of Computational Physics*, 305, 895-905 (2016)
- [PoP11] T. Miyagoshi, A. Kageyama, and Tetsuya Sato, Formation of sheet plumes, current coils, and helical magnetic fields in a spherical magnetohydrodynamic dynamo, *Physics of Plasmas*, 18, 072901 (2011)
- [PoP95] A. Kageyama and T. Sato, Computer simulation of a magnetohydrodynamic dynamo II, *Physics of Plasmas*, 2, 1421-1431 (1995)
- [PRE97] A. Kageyama and T. Sato, Generation mechanism of a dipole field by a magnetohydrodynamic dynamo, 55, 4617-4626 (1997)
- [PRL99] A. Kageyama, M. M. Ochi, and T. Sato, Flip-flop transitions of the magnetic intensity and polarity reversals in the

magnetohydrodynamic dynamo, Phys. Rev. Lett., 82, 5409-5412 (1999)
[Sci02] J. Li, T. Sato and A. Kageyama, Repeated and sudden reversals of the dipole field generated by a spherical dynamo action, Science, 295, 1887-1890 (2002)

5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

[雑誌論文] (計 48 件)

- (1) Hiroshi Hayashi and Akira Kageyama, Yin-Yang-Zhong grid: An overset grid system for a sphere, Journal of Computational Physics, vol.305, pp.895-905, 査読有 (2016)
- (2) Shintaro Kawahara and Akira Kageyama, Data visualization by video see-through head mounted display, Plasma and Fusion Research, Vol.10, 1201087, 査読有 (2015)
- (3) Akira Kageyama, A visualization method of four-dimensional polytopes by oval display of parallel hyperplane slices, Journal of Visualization, doi:10.1007/s12650-015-0319-5, 査読有 (2015)
- (4) Akira Kageyama, Keyboard-based control of four-dimensional rotations, Journal of Visualization, doi:10.1007/s12650-015-0313-y, 査読有 (2015)
- (5) Jun Mabuchi, Youhei Masada, and Akira Kageyama, DIFFERENTIAL ROTATION IN MAGNETIZED AND NON-MAGNETIZED STARS, The Astrophysical Journal, 806:10, 16pp doi:10.1088/0004-637X/806/1/10, 査読有 (2015)
- (6) 宮腰 剛広, 陰山 聡, 講座「MHD ダイナモ:流れによる磁場の自発的生成」第3章「地球ダイナモ研究のこれまでとこれから」, プラズマ・核融合学会誌, vol.91, no.10, pp.597-602, 査読無 (2015)
- (7) 陰山 聡, 講座「MHD ダイナモ:流れによる磁場の自発的生成」第1章「MHD ダイナモとは何か」, プラズマ・核融合学会誌, vol.91, no.9, pp.676-682, 査読無 (2015)
- (8) Masato Yoshida and Akira Kageyama, A Fortran visualization program for spherical data on a Yin-Yang grid, GEOCHEMISTRY, GEOPHYSICS, GEOSYSTEMS, vol.15, pp.1642-1647, doi:10.1002/2013GC004967, 査読有 (2014)
- (9) Akira Kageyama and Tomoki Yamada, An Approach to Exascale Visualization: Interactive Viewing of In-Situ Visualization, Comput. Phys. Comm., vol.185, pp.79-85, doi:10.1016/j.cpc.2013.08.017, 査読有 (2014)
- (10) Youhei Masada, Kohei Yamada, Akira Kageyama, Effects of Penetrative Convection on Solar Dynamo, Astrophys. J., vol.778 (14pp), doi:10.1088/0004-637X/778/1/11, 査読有 (2013)
- (11) Yuki YAMAURA, Youhei MASADA and Akira KAGEYAMA, High-Speed Volume Rendering in CAVEs, Plasma Fusion Res., vol.8, 1201135, 査読有 (2013)
- (12) Akira Kageyama and Nobuaki Ohno, Immersive VR Visualizations by VFIVE. Part 1: Development, Int. J. Model. Simulat. Sci. Comput., vol.4, 1340003, doi:10.1142/S1793962313400035, 査読有 (2013)
- (13) Akira Kageyama, Nobuaki Ohno, Shintaro Kawahara, Kazuo Kashiya and Hiroaki Ohtani, Immersive VR Visualizations by VFIVE. Part 2: Applications, Int. J. Model. Simulat. Sci. Comput., vol.4, 1340004, 16 pages, doi:10.1142/S1793962313400047, 査読有 (2013)
- (14) 陰山 聡, 『シミュレーションデータの二つの可視化手法』, 九州大学応用力学研究所 研究集会報告 24A0-S3 「非線形波動研究の最前線」, pp.20-34, 査読無 (2013)
- (15) Takehiro Miyagoshi, Akira Kageyama, and Tetsuya Sato, Formation of sheet plumes, current coils, and helical magnetic fields in a spherical magnetohydrodynamic dynamo, Physics of Plasmas, vol.18, no.7, 072901, 査読有 (2011)
- (16) Kaori Murata and Akira Kageyama, Virtual Reality Visualization of Frozen-in Vector Fields, Plasma and Fusion Research, vol.6, pp.2406023-1-5, 査読有 (2011)

[学会発表] (計 54 件)

- (1) 陰山 聡, 『HPC と可視化』, 大阪大学サイバーメディアセンター サイバーHPC シンポジウム (基調講演), 大阪大学 (大阪) (2016年3月25日)
- (2) Akira Kageyama (Invited Talk), Dynamo simulations with Yin-Yang-Zhong grid and its visualizations, The Dynamo Effect in Astrophysical and Laboratory Plasmas, Princeton (USA),

- (2015. 12. 08)
- (3) Akira Kageyama (Invited Talk), Yin-Yang Grid and Its Applications, The 17th International Symposium on Applied Electromagnetics and Mechanics, Awaji Yumebutai International Conference Center (兵庫県), 2015. 09. 17
- (4) Akira Kageyama (Invited Lecture), Dynamo, 5th East-Asia School and Workshop on Laboratory, Space, and Astrophysical plasmas, POSTECH (Korea), (2015. 08. 19)
- (5) 陰山 聡, 『気まぐれな地球と律儀な太陽』 (招待講演)、スパコンを知る集い in 大阪 (大阪)、2014. 09. 28
- (6) 陰山 聡, 『MHD ダイナモ』, プラズマ科学のフロンティア 研究会 (招待講演), 核融合科学研究所 (岐阜県) 2014. 08. 08
- (7) 陰山 聡, 『計算機シミュレーションと可視化』, 第 47 回光学五学会関西支部 連合講演会 (招待講演), 大阪 (2013. 12. 07)
- (8) 陰山 聡, 『仮想現実技術を利用した科学データの可視化』 (招待講演), 日本音響学会関西支部 2013 年度講演会, 神戸大学 (兵庫県) (2013. 04. 26)
- (9) 陰山 聡, 『仮想現実技術による科学データの可視化』 (基調講演), プロジェクトマネジメント学会 関西支部 産学連携シンポジウム, 神戸大学 (兵庫県) (2013. 04. 17)
- (10) 陰山 聡, 『地磁気・計算・仮想現実』 (講演), 兵庫県機械技術研究会 平成 25 年 特別講演会, 湊川神社楠公会館 (兵庫県) (2013. 02. 01)
- (11) Akira Kageyama (Keynote Talk), Simulations & Visualizations of Magnetic Fields in Nature, IEEE/SICE International Symposium on System Integration, 神戸国際会議場 (兵庫県), (2013. 12. 16)
- (12) Akira Kageyama (Invited Talk), Scientific Visualization by Immersive Virtual Reality, Conference on Computational Physics, ニチイ学館・神戸ポートアイランドセンター (兵庫県), (2012. 10. 16)
- (13) 陰山 聡, 『バーチャルリアリティ技術を利用した科学データの可視化』 (特別講演), 平成 24 年度九大応力研共同利用研究集会 非線形波動研究の最前線—構造と現象の多様性—, 九州大学 (福岡県春日市) (2012. 11. 01)
- (14) 陰山 聡, 『日本最大の没入型バーチャルリアリティ装置による 3 次元データの対話的可視化』 (招待講演), 日本機械学会第 25 回計算力学講演会 (CMD2012) フォーラム 大規模シミュレーションと可視化 神戸 (2012. 10. 06)

- (15) 陰山 聡, 『プラズマ数値計算』 (招待講義), プラズマ若手夏の学校 講義, 高野山大学 (和歌山県) (2011. 08. 09)
- (16) 陰山 聡, 『地磁気シミュレーションとバーチャルリアリティ可視化』 (招待講演), SS 研 HPC フォーラム 2011 富士通本社 (東京) (2011. 08. 25)
- (17) 陰山 聡, 『スーパーコンピュータによる計算機シミュレーションのバーチャルリアリティ可視化』 (特別講演), FAN 2011 (第 21 回インテリジェント・システム・シンポジウム) 神戸大 (神戸) (2011. 09. 01)
- (18) 陰山 聡, 『スーパーコンピュータとバーチャルリアリティで探る 地磁気の起源』 (特別講演), 日本機械学会 第 24 回計算力学講演会 (CMD2011), 岡山大学 (岡山) (2011. 10. 09)
- (19) A. Kageyama (Invited Talk), Virtual Reality Visualization of Geophysical Data, IUGG (The International Union of Geodesy and Geophysics) 2011, Melbourne (Australia) (2011. 07. 05)
- (20) Akira Kageyama, Immersive Visualization in CAVE (Invited Talk), ISSS-10 (The 10th International School/Symposium for Space Simulations), Banff (Canada) (2011. 07. 30)

6. 研究組織

(1) 研究代表者

陰山 聡 (KAGEYAMA, Akira)
神戸大学・システム情報学研究科計算科学
専攻・教授
研究者番号: 20260052

(2) 研究分担者

(3) 連携研究者

政田 洋平 (MASADA, Youhei)
愛知教育大学・現代学芸課程宇宙物質科学
専攻・助教
研究者番号: 30590608

宮腰 剛広 (MIYAGOSHI, Takehiro)
海洋研究開発機構地球深部ダイナミクス研
究分野・主任研究員
研究者番号: 60435807

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