

研究種目：基盤研究(B)
 研究期間：2006～2008
 課題番号：18300026
 研究課題名（和文） 大規模高次多変量時系列データの位相解析と高度可視化
 研究課題名（英文） Topological Analysis and Advanced Visualization of Large-Scale, High-Order and Multi-Variate Datasets
 研究代表者
 藤代 一成 (FUJISHIRO ISSEI)
 東北大学・流体科学研究所・教授
 研究者番号：00181347

研究成果の概要：3次元の数値シミュレーションや計測等から得られるボリュームデータの特徴的な構造や挙動に関する知見を効果的に獲得するために、微分位相幾何学的解析によって目的の3次元スカラ場の位相骨格を捉え、その情報に基づいて高度なボリューム可視化を実現するツール群を発展させ、大規模高次多変量時系列ボリュームを対象とする視覚的データマイニングにより、ハイブリッド風洞や後方乱気流をはじめとする、さまざまな流動現象の複雑動態を効果的に解析する環境を開発した。

交付額

(金額単位：円)

	直接経費	間接経費	合計
2006年度	6,700,000	2,010,000	8,710,000
2007年度	3,800,000	1,140,000	4,940,000
2008年度	3,900,000	1,170,000	5,070,000
年度			
年度			
総計	14,400,000	4,320,000	18,720,000

研究分野：総合領域

科研費の分科・細目：情報学・メディア情報学・データベース

キーワード：サイエンティフィック・ビジュアライゼーション、ボリューム可視化、微分位相幾何学、流れの可視化、時系列データ可視化、多変量データ可視化、高次数データ可視化、多様体学習

1. 研究開始当初の背景

3次元数値シミュレーション等から得られる格子データ(ボリュームデータ)に潜在する対象の特徴的な構造や挙動に関する情報を効果的に獲得する上で、ボリューム可視化が現在、種々の理工学問題において必要不可欠な要素技術であることは疑う余地がない。昨今のCG環境の著しい発展に支えられ、GPUを搭載する標準的なPCでも、 256^3 ボクセル程度のボリュームデータであれば、実時間で可視化できるようになった。しかし、たとえこ

のような計算資源が利用可能になっても、数多くの制御パラメタを効果的に調整し、目的の可視化結果を効率的に得ることは決して容易なタスクではない。

研究代表者らは分担者たちとともに平成11年度から、微分位相幾何学解析を導入することによって、3次元スカラ場の位相骨格を捉え、その情報に基づいてボリューム可視化を高度化するための共同プロジェクトを展開してきた。その成果として、ボリューム骨格木とよばれるボリューム位相骨格表現を

効率的かつ頑健に抽出した後、それを参照して、高度なボリューム可視化を実現する基本ツール群を開発した。

2. 研究の目的

本研究の目的は、この基本ツール群をさらに発展させ、さまざまな流動現象の複雑動態の効果的な解析のために、大規模高次多変量時系列ボリュームを対象とする視覚的データマイニング環境を開発することである。

3. 研究の方法

上記の目的を達成するために、以下に示すような3つのサブゴールの達成を目指した。

(1) ツール群の拡充

従来ツールは固定時刻のスカラ場を主たる解析対象にしていたが、流動現象を包括的に扱うために、位相骨格化を多次元化して時系列の一括処理に対処するとともに、データの次数をマルチスカラ・ベクトル・テンソル場に拡大する。また、対照数値実験における組合せの爆発が招くデータの大規模化に対応し、提案環境のスケラビリティを獲得するために、複数の高性能計算環境で実働可能なようにツール群の並列化も試みる。

(2) 流動位相可視化オントロジーの開発

個々の流動現象解析における目的を、一般的な位相解析タスクに翻訳し、適切な位相可視化ツールを選択するために、ドメイン知識に立脚した効果的なユーザインタフェースを提供する。

(3) 応用評価

計測融合シミュレーションによって実現されるハイブリッド風洞や後方乱気流等の現象解析に提案環境を適用し、その効果を具体的に検証する。

4. 研究成果

上記のサブゴールごとに実際に得られた研究成果を示す。

(1) ツール群の拡充

- ・照明エントロピーの拡張的導入により、微分位相特徴の見えるを考慮して、単一の平行光源を最適配置するアルゴリズム[発表⑩]を提案した。これにより、ボリューム可視化に必要な伝達関数・視点・照明配置の3点すべてに対して、微分位相特徴を考慮することが可能になった(図1)。
- ・微分位相特徴をなるべく多く通過する断面を自動選択する機能[論文⑥]を開発した。
- ・多様体学習理論による時系列ボリュームのスケラブルな位相骨格近似法を開

発した。2005年に発表したT-Mapに較べ、特徴的な部分時空間の特定能力に優れるため、現時点では研究会報告[発表⑦]にとどまるが、今後の進展によっては、本成果は、本研究における最大の成果の一つになる可能性がある。

- ・位相強調を内包するボリュームデータの通信手段である volume fairing 法[発表③]を開発した。
- ・時系列流動ボリュームデータにおける渦構造を派生的微分位相構造である尾根環・谷環と経時的臨界点ヒストグラムに基づいて同定する視覚/力覚伝達関数設計法[発表⑤⑫]を開発した。
- ・拡散テンソル場における連結性を3次元ホワイトノイズテクスチャの適応的拡散効果により可視化する手法であるDBT(Diffusion-Based Tractography)法[発表⑬]とそのGPU高速化[発表⑧]、力覚伝達関数設計法[発表④]、異方性保存型補間法[発表②]をそれぞれ開発した。
- ・SMP クラスタ並列アーキテクチャ上で流動可視化のロードバランシングを最適化するアルゴリズム[発表⑩⑬]を提案した。

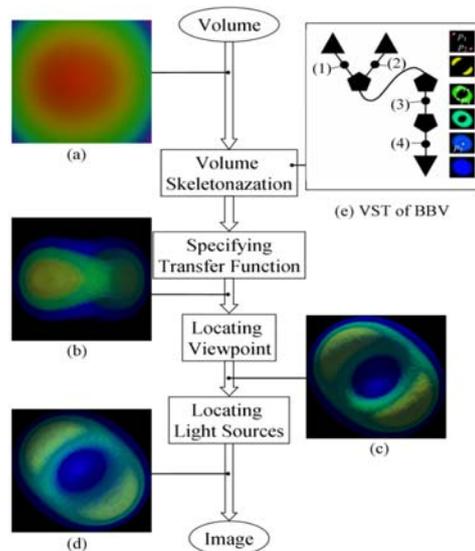


図1: 位相強調型ボリューム可視化パイプライン

(2) 流動位相可視化オントロジーの開発

流体位相オントロジーの基本設計に相当する Wehrend Matrix を拡張し、それに基づいてユーザの解析目的に叶う流れの可視化技法を対話的に選択し、商用可視化ソフトウェア AVS/Express 上で可視化応用コードの初期設計を支援する環境 GADGET/FV[論文①②⑤, 発表⑨]のプロトタイピングを実施した。

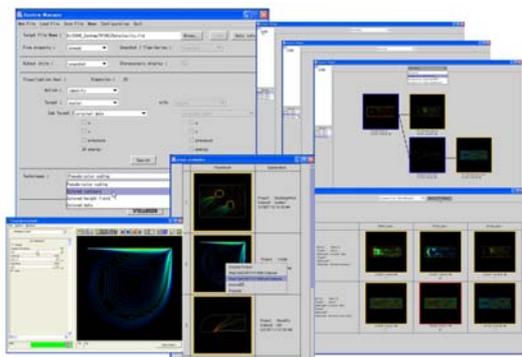
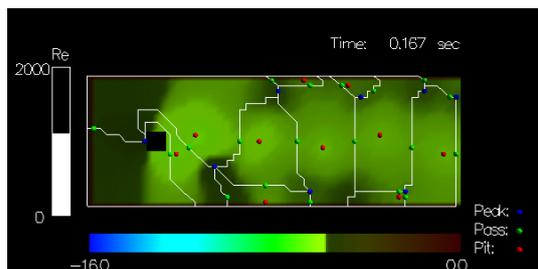


図 2 : 提案環境 VIDELICET の基本画面

さらに、その後の可視化応用コードの洗練化と得られた知見の一元管理をライフサイクル全体に波及させる総合的環境 VIDELICET[発表①]の階層的出自管理モデルを提案し、その基本アーキテクチャを考案した (図 2)。

(3) 応用評価

2次元ハイブリッド風洞におけるカルマン渦列の解析[発表⑫⑬] (図 3) と計測シミュレーションに基づく仙台空港の後方乱気流データ解析[⑤]を基本例題として設定して、上記の開発コードおよび環境の有効性を実証する基礎実験を



実施した。

図 3 : 圧力場の尾根環によって領域分割されたカルマン渦列

なお、文献[論文③④⑤, 発表⑥⑭]は本研究の成果群を直接的に俯瞰するサーベイであり、一方図書[①②]の可視化技術の総説においてもその成果に一部言及している。

5. 主な発表論文等

(研究代表者, 研究分担者には下線)

[雑誌論文] (計 10 件)

- ① H. Miyamura, I. Fujishiro, Y. Takeshima, S. Takahashi, and T. Saito: "Guidelines for LoD control in volume visualization," 画像電子学会誌, Vol.37, No.4, pp.461-468, 2008 [査読有]
- ② 竹島由里子, 藤代一成: 「GADGET/FV: 流れ場の可視化アプリケーション設計支援システム」, 画像電子学会誌, Vol. 36, No. 4, pp. 796-806, 2007 [査読有]

- ③ 竹島由里子, 高橋成雄, 藤代一成: 「情報科学的に美しい可視化アプローチの探求」, 情報処理, Vol. 48, No. 7, p. 766, 2007 [査読無] [平成 18 年度情報処理学会論文賞受賞記事]
- ④ 藤代一成: 「見せない可視化」, 画像電子学会誌, Vol. 36, No. 3, p. 193, 2007 [査読有]
- ⑤ 藤代一成, 竹島由里子, 高橋成雄: 「協調的可視化の役割 - 応用設計とパラメータ調整のソフトウェア支援 -」, 画像電子学会誌, Vol. 36, No. 2, pp. 146-155, 2007 [査読有]
- ⑥ 森 悠紀, 高橋成雄, 五十嵐健夫, 竹島由里子, 藤代一成: 「ボリュームデータの位相構造に基づく自動断面生成」, 画像電子学会誌, Vol. 35, No. 4, pp. 82-87, 2006 [査読有]

他 4 件

[学会発表] (計 59 件)

- ① 藤代一成, 竹島由里子, 早瀬敏幸: 「VIDELICET: 階層的出自モデルに基づく可視化ライフサイクル支援システム」, 情報処理学会グラフィクスとCAD画像電子学会Visual Computing合同シンポジウム 2009, 旭川, 2009.6.25
- ② 石田明久, 高橋成雄, 小川雄太, 藤代一成: 「異方性特徴を考慮した回転変換に基づく3次元拡散テンソル場の補間」, 情報処理学会グラフィクスとCAD画像電子学会Visual Computing合同シンポジウム 2009, 旭川, 2009.6.25
- ③ S. Takahashi, J. Kobayashi, and I. Fujishiro: "Feature-driven volume fairing," *Smart Graphics 2009*, Salamanca, 2009.5.30.
- ④ Y. Ogawa, I. Fujishiro, Y. Suzuki, Y. Takeshima: "Designing 6DOF haptic transfer functions for effective exploration of 3D diffusion tensor fields," *Third Joint Eurohaptics Conference and Symposium on Haptic Interfaces for Virtual Environment and Teleoperator Systems*, Salt Lake City, 2009.3.20.
- ⑤ 星 陽介, 榎 優一, 竹島由里子, 藤代一成, 高橋成雄, 大林 茂, 三坂孝志: 「後方乱気流の計測融合シミュレーションデータのリアライゼーション (1) 微分位相解析に基づく経時的伝達関数の設計, (2) 非定常流れ場に対する力覚化の試み」, 日本機械学会東北支部第 44 期講演会, 仙台, 2009.3.13
- ⑥ I. Fujishiro: Volume Data Exploration Based on Differential Topology, *Chinagraph2008*, Changsha, 2008.9.27. [基調講演]
- ⑦ 小林 潤, 高橋成雄, 藤代一成, 岡田真人: 「多様体学習を用いた近似 contour tree

- プロット」, 情報処理学会研究報告 2008-CG-132 (13), pp.67-72, 小樽, 2008.8.23
- ⑧ 鈴木靖子, 竹島由里子, 藤代一成: 「GPUによる拡散トラクトグラフィ法の高速化」, 第36回可視化情報シンポジウム, 東京, 2008.7.22
- ⑨ Y. Takeshima, I. Fujishiro, and T. Hayase: “GADGET/FV: Ontology-supported design of visualization workflows in fluid science,” *First International Workshop on Super Visualization, Island of Koss*, 2008.6.7.
- ⑩ L. Chen and I. Fujishiro: “Optimizing parallel performance of streamline visualization for large distributed flow datasets,” *IEEE Pacific Visualization Symposium 2008, Kyoto*, 2008.3.6.
- ⑪ R. Naraoka, I. Fujishiro, S. Takahashi, and Y. Takeshima: “Locating an optimal light source for volume rendering,” *DVD Proceedings of IEVC2007*, Cairns, 2007.11.25. [Best Paper Award of Visual Computing Session受賞]
- ⑫ 荒田亮輔, 竹島由里子, 高橋成雄, 藤代一成: 「地理学的特徴解析を用いた2次元時系列データの可視化」, 日本機械学会2007年度年次大会, 吹田, 2007.9.11
- ⑬ L. Chen and I. Fujishiro: “Optimization strategies using hybrid MPI+OpenMP parallelization for large-scale data visualization on Earth Simulator,” *International Workshop on OpenMP 2007, Beijing*, 2007.6.3
- ⑭ I. Fujishiro, S. Takahashi, and Y. Takeshima: “Collaborative Visualization: Topological approaches to parameter tweaking for informative volume rendering,” *Systems Modeling and Simulation: Theory and Applications, Asia Simulation Conference 2006, Tokyo*, 2006.10.30 [基調講演]
- ⑮ S. Muraki, I. Fujishiro, Y. Suzuki, and Y. Takeshima: “Diffusion-Based Tractography: Visualizing dense white matter connectivity from 3D tensor fields,” *Eurographics/ IEEE International Workshop on Volume Graphics 2006, Boston*, 2006.7.31.
- ⑯ 竹島由里子, 柴田光, 高橋成雄, 藤代一成, 早瀬敏幸: 「カルマン渦列計測融合シミュレーションの臨界点情報を用いたリアルタイム可視化」, 情報処理学会グラフィクスとCAD画像電子学会 Visual Computing 合同シンポジウム 2006, pp. 263-266, 船橋, 2006.6.22

その他43件

〔図書〕(計2件)

- ① 藤代一成, 茅 暁陽: 「ビジュアルゼーション」, 画像電子情報ハンドブック, 第II編第6章 (pp. 252-264), 東京電機大学出版局, 2008
- ② 藤代一成, 茅 暁陽: 「ビジュアルライゼーション」, ビジュアルコンピューティング — 3次元CGによる画像合成 —, 西田友是, 近藤邦雄, 藤代一成 (監修), 東京電機大学出版局, 第6章 (pp. 125-141), 2006

6. 研究組織

(1) 研究代表者

藤代 一成 (FUJISHIRO ISSEI)
 東北大学・流体科学研究所・教授
 研究者番号: 00181347

(2) 研究分担者

竹島 由里子 (TAKESHIMA YURIKO)
 東北大学・流体科学研究所・助教
 研究者番号: 20313398

高橋 成雄 (TAKAHASHI SHIGEO)
 東京大学・大学院新領域創成科学研究科・准教授
 研究者番号: 40292619

早瀬 敏幸 (HAYASE TOSHIYUKI)
 東北大学・流体科学研究所・教授
 研究者番号: 30135313

(3) 連携研究者

なし