

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 26 年 6 月 16 日現在

機関番号：82706

研究種目：挑戦的萌芽研究

研究期間：2012～2013

課題番号：24650045

研究課題名(和文) 多次元伝達関数と多変量解析を用いた高解像度海洋大循環モデルのデータ可視化

研究課題名(英文) Data visualization for high-resolution ocean general circulation model using multi-dimensional transfer function and multivariate analysis

研究代表者

松岡 大祐 (MATSUOKA, Daisuke)

独立行政法人海洋研究開発機構・地球シミュレータセンター・研究員

研究者番号：80543230

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 1,700,000円、(間接経費) 510,000円

研究成果の概要(和文)：本研究課題では、高解像度の海洋大循環モデルによって再現された数値データに対し、多変量データを同時に表現するための可視化手法および多変量データから特徴領域を抽出するための多変量解析手法の研究開発を行った。特に、海面水温と流速を同時に表現するための多次元伝達関数(カラーマップ)を開発した。また、特に強調して表現したい海流等の特徴領域を自動的に抽出するためのクラスタ分析手法を開発し、抽出結果を用いた多次元伝達関数の最適化を行った。これらによって、高解像度のシミュレーション結果の理解を深める直観的かつ効果的な可視化表現を得ることに成功した。

研究成果の概要(英文)：In this study, we carried out research on a multivariate visualization method to represent multivariate data and a multivariate analysis method to extract characteristic features for the Ocean General Circulation Models (OGCMs). In particular, multi-dimensional transfer functions (color maps) are developed in order to simultaneously represent multiple physical quantities. Furthermore, cluster analysis methods to automatically extract ocean structures such as ocean currents are developed and applied to the optimization of multi-dimensional transfer functions. As a result, we succeeded in visualizing high-resolution simulation data more intuitively and effectively.

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：可視化 グラフィクス 海洋物理

1. 研究開始当初の背景

スーパーコンピューティング技術の進歩によって、地球科学分野においても超高解像度の大規模シミュレーション研究が主流となってきた。大規模シミュレーションから出力される数値データは、従来と比べてデータサイズが大きだけでなく、数多くの有益な情報が含まれている。しかし、地球流体のシミュレーションのように、取り扱う物理量の種類が多く様々な時空間スケールの現象が混在するようなデータの解析においては、特徴的な現象や構造を効果的に表現し、解析者が容易に理解するための可視化が特に困難となる。そのため、大規模シミュレーションによる結果を用いて効率よく科学的な知見に結びつけるには、「データ中に内在する特徴を効率よく抽出し効果的に表現する、直感的な理解と発見のための可視化」が重要である。

2. 研究の目的

本研究課題では、地球科学分野における直感的な理解と発見のための可視化を目指す。特に、複数の物理量から決定される特徴的な構造や現象を同時かつ直観的に理解可能な可視化表現を得ることを目的とする。

3. 研究の方法

- (1) 海洋大循環モデルのシミュレーション結果から、複数の物理量を表現可能な多次元伝達関数の開発を行う。
- (2) 多変量データから、特徴的な構造を半自動的に抽出する手法の開発を行う。
- (3) 特徴抽出結果を用いた多次元伝達関数の最適化を行う。

4. 研究成果

- (1) 可視化における伝達関数 (カラーマップ) は、数値の大きさを色 (や不透明度) に割り当てる重要な役割をもつ。通常の伝達関数は、スカラ値のような単一の値を一つの色に割り当てるが、本研究では、複数の物理量の組み合わせから色を決定する多次元的な伝達関数を用いる。図 1(a)に、本研究で開発した、日本周辺の海域を可視化するための2次元の伝達関数を示す。横軸は海面水温を色相で表し、縦軸は海面流速を明度で表している。これによって、水温の分布が色で表現されつつ、流れの速い領域が明るく強調される。また、水温が高く流れが速い黒潮と、水温が低く黒潮よりも流れが遅い親潮を同等に強調するために、最大の明度を与える流速の閾値を、水温によって変化させている。この伝達関数を用いて可視化した結果を、図 1(b)に示す。図 1(b)では、黒潮および親潮の分布とそれらの水温が効果的に可視化されている。
- (2) 上述の黒潮と親潮の例からも分かるように、海流は絶対的な流れの速さではな

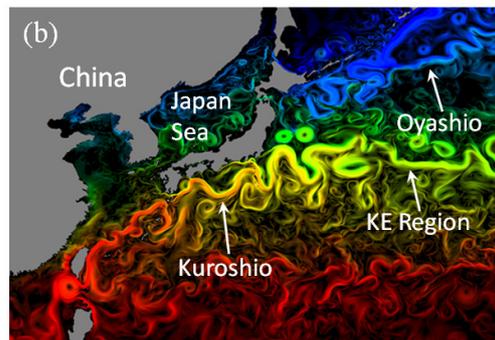
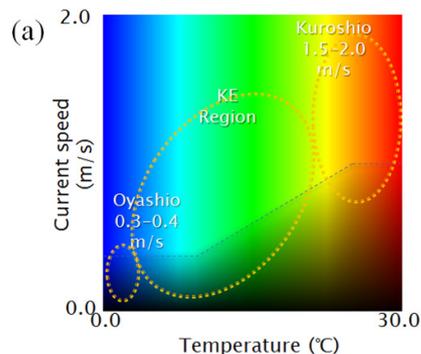


図 1 黒潮と親潮の強調可視化

(a)2次元伝達関数、(b)可視化結果

く、周辺と比べた相対的な流れの速さから決定される構造である。図 1 では明度を高く与えて強調すべき温度と流速の組み合わせを手動で与えたが、本研究では、多変量解析の一手法であるクラスタ分析による自動的な特徴抽出を用いる。クラスタ分析は、k-means 等の非階層的な手法、階層的な手法および密度型手法が知られている。このうち、非階層的な手法および階層的な手法は、データまたはクラスタ間の変数空間における距離から類似度を求め、類似度の高い (距離の近い) もの同士をグルーピングする手法である。一方で海流を変数空間で見ると、必ずしも物理的に似た特徴が一か所に集まっているのではなく、鎖状に連続して繋がっていると想像できる。これは、例えば暖流や寒流は低緯度から高緯度に向かって水温が低くなることから分かる。

そこで、本研究では、鎖状に分布した特徴をグルーピング可能な密度型手法を用いて海流の抽出を行った。図 2 は、密度型クラスタ分析を用いた黒潮と親潮の抽出結果である。密度型クラスタ分析では、最初に初期シードの位置と、範囲 Eps および密度のパラメータ Pts を与える。初期シードから Eps の範囲内にあるデータの密度が Pts の範囲内にある場合、そのデータをグルーピングして次のシード候補とする。この処理を繰り返すことによって、多次元変数空間において初期シードからスタートし、鎖状に繋がって分布した構造を抽出することがで

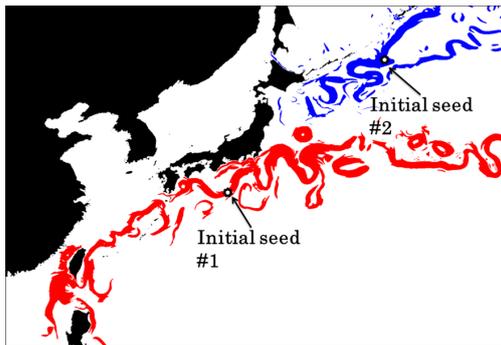


図2 密度型クラスタ分析を用いた海流の抽出

きる。本研究では、水温、流速、緯度および経度の4変数空間中で密度型手法を適用することにより、図2に示すように初期シードから黒潮および親潮を抽出することに成功した。

- (3) 一つの海流を複数の細切れのクラスタに分割すれば、分割されたクラスタ内では物理的特徴は似ていると仮定できる。そこで、いったん非階層的手法によって細切れのクラスタに分割した後に、階層的手法によって海流を再構成するハイブリッド手法を開発した。図3(a)は、非階層的手法を用いたグルーピング結果を示す。ここでは、16個のシードを与え、水温、流速、緯度および経度の4変数空間においてクラスタリングを行った。次に、同様の変数空間においてクラスタ間の類似度を求め、近いものから順に階層的に再クラスタ化を行った。得られた階層構造を樹形図として図3(b)に示す。縦軸は変数空間における距離を示す。樹形図において適当な距離を与えて階層構造を分割することによって、図3(c)に示すように黒潮および親潮を抽出することができた。また、密度型手法は、データとデータ間の距離判定に膨大な計算コストを要するが、階層的手法と非階層的手法を組み合わせることによって、低計算コストかつ高精度な海流の抽出を実現した。

- (4) 本研究では、類似度計算に用いるユークリッド距離の定義において、各物理変数に対して重みづけを行っている。それぞれの変数に対する重みが抽出結果に与える影響を調査するため、抽出結果の評価手法の開発を行った。提案手法では、2次元平面のうち緯度および経度方向に等間隔にとった複数本の線分上のみ正解を定義する。平面上のデータ全てに正解を定義することは非現実的（そもそもそれが目的であるので本末転倒）であるが、ごく限られた領域のみに目視で正解を与えることは現実的である。海流が存在する場所、存在しない場所およびその境界をそれぞれ定義し、目視で与えた正解に対して採点を行った。ここで、海

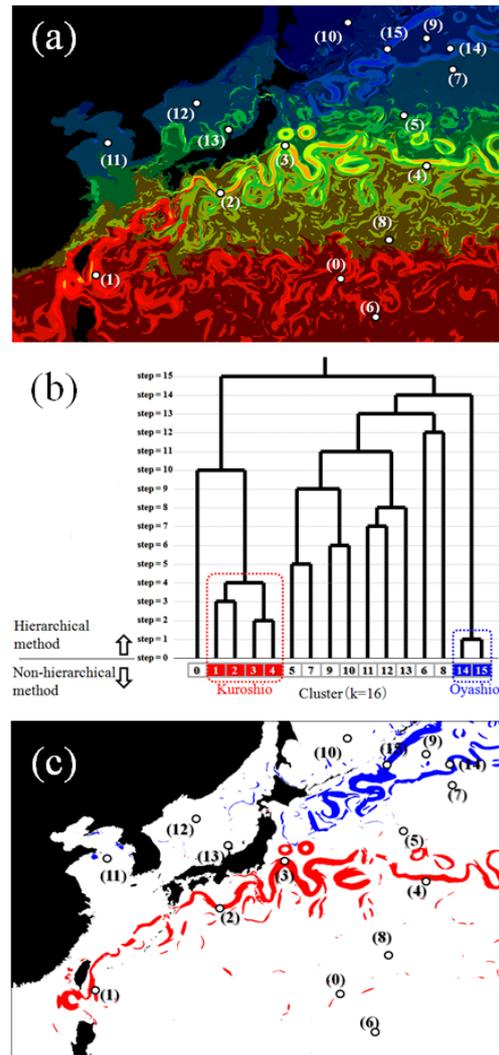


図3 非階層的・階層的ハイブリッドクラスタ分析を用いた海流の抽出

- (a)非階層的手法による結果、(b)階層的手法による結果、(c)黒潮と親潮の抽出結果

流の境界は判断が困難であるため、評価尺度において重みづけを低くしている。提案手法を用いて採点を行ったところ、密度型手法では70~92%、ハイブリッド手法では78~88%の正解率が得られた。また、各物理変数の重みが正解率に与える影響としては、①位置（緯度、経度）を用いる場合、全体的に良い結果が得られる、②位置を用いない場合、温度よりも密度の方が重要である、③温度は経度に依存するため、両者を同時に用いると抽出結果に温度が強く反映される等が分かった。

- (5) 海流の抽出結果を用いた2次元伝達関数の最適化を行った。最も良い正解率を得たハイブリッド手法におけるケースの抽出結果を水温および流速の2変数空間に投影し、2次元伝達関数をインタラクティブに設定しながら可視化を行った。

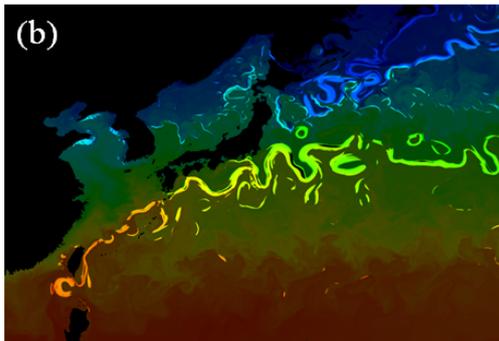
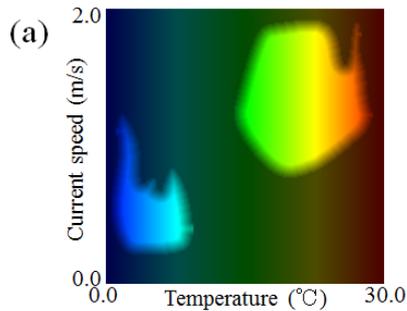


図4 抽出結果を用いた2次元伝達関数の最適化。(a)2次元伝達関数、(b)可視化結果

図4(a)は、最終的に得られた2次元伝達関数、(b)は可視化結果を示す。図1(b)に示す単純な2次元カラーマップを用いた可視化結果と比べ、黒潮と親潮のみがより正確に強調されているのが分かる。

- (6) 密度型クラスタ分析を用いて、海洋深層における熱塩循環の抽出と可視化を行った。現在、抽出結果の妥当性の検証を行っている最中である。

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3件)

- ① Fumiaki Araki, Shintaro Kawahara and Daisuke Matsuoka, Studies of Large-Scale Data Visualization and Visual Data Mining, Annual Report of the Earth Simulator Center April 2012-March 2013, 査読無, 2013, 207-211.
- ② Daisuke Matsuoka, Fumiaki Araki, Shinichiro Kida, Hideharu Sasaki and Bunmei Taguchi, Visualization for Ocean General Circulation Model via Multi-dimensional Transfer Function and Multivariate Analysis, Transaction of the Japan Society for Simulation Technology, 査読有, 4巻, 2013, 168-175, DOI: 10.11308/tjsst.4.168.
- ③ Daisuke Matsuoka, Fumiaki Araki, Shinichiro Kida, Hideharu Sasaki and Bunmei Taguchi, Visualization for Ocean General Circulation Model via

Multi-dimensional Transfer Function and Multivariate Analysis, Proceedings of JSST 2012 (International Conference on Simulation Technology), 査読有, 2012, 90-94.

〔学会発表〕(計23件)

- ① Daisuke Matsuoka, Fumiaki Araki and Yumi Yamashita, Applications of Visual Analytics to Ocean Science: Case Studies, IEEE Pacific Visualization 2014, 2014年3月4-7日, 慶應義塾大学
- ② 松岡 大祐, 山下 由美, 荒木 文明, 木田 新一郎, 海洋大循環モデルで再現された流れ場の多変量可視化, 第27回数値流体力学シンポジウム, 2013年12月17-19日, 名古屋大学
- ③ 松岡 大祐, 山下 由美, 荒木 文明, 多次元伝達関数の地球流体シミュレーションの可視化への応用, 可視化情報全国講演会(会津2013), 2013年9月27-28日, 会津大学
- ④ 松岡 大祐, 荒木 文明, 山下 由美, 木田 新一郎, 佐々木 英治, 田口 文明, 海洋モデル/観測データセットのための新しい多変量可視化の提案, 2013年度日本海洋学会秋季大会, 2013年9月17-21日, 北海道大学
- ⑤ Daisuke Matsuoka, Yumi Yamashita and Fumiaki Araki, Application of Multi-dimensional Transfer Function to Visualization of Geophysical Fluid Simulation: Case Studies, JSST 2013 International Conference on Simulation Technology, 2013年9月11-13日, 明治大学
- ⑥ 松岡 大祐, 荒木 文明, 木田 新一郎, 佐々木 英治, 田口 文明, クラスタ分析を用いた海流の抽出と可視化, 日本機械学会2013年度年次大会, 2013年9月8-11日, 岡山大学
- ⑦ 松岡 大祐, 荒木 文明, 木田 新一郎, 佐々木 英治, 田口 文明, クラスタ分析を用いた海流の抽出と可視化, 第41回可視化情報シンポジウム, 2013年7月16-17日, 工学院大学
- ⑧ Daisuke Matsuoka, Fumiaki Araki, Shinichiro Kida, Hideharu Sasaki and Bunmei Taguchi, Feature Extraction and Visualization for Ocean General Circulation Model via Multivariate Analysis, AOGS 10th Annual Meeting, 2013年6月24-28日, Brisbane, Australia
- ⑨ 松岡 大祐, 荒木 文明, 佐々木 英治, 木田 新一郎, 田口 文明, 海洋大循環モデルで再現された海洋深層における熱塩循環の抽出と可視化, 第26回数値

流体力学シンポジウム, 2012年12月18-20日, 国立オリンピック記念青少年総合センター

- ⑩ Daisuke Matsuoka, Fumiaki Araki, Shinichiro Kida, Hideharu Sasaki and Bunmei Taguchi, Visualization for Ocean General Circulation Model via Multi-Dimensional Transfer Function and Multivariate Analysis, JSST 2012 International Conference on Simulation Technology, 2012年9月27-28日, 神戸大学
- ⑪ Daisuke Matsuoka, Fumiaki Araki, Shinichiro Kida, Hideharu Sasaki and Bunmei Taguchi, Visualization for High-Resolution Ocean General Circulation Model via Multi-Dimensional Transfer Function and Multivariate Analysis, SC12, 2012年11月10-16日, Salt Lake City, USA
- ⑫ 松岡 大祐, 荒木 文明, 木田 新一郎, 佐々木 英治, 田口 文明, 多変量解析を用いた海洋大循環モデルの可視化, 第40回可視化情報シンポジウム, 2012年7月24-25日, 工学院大学
- ⑬ 松岡 大祐, 荒木 文明, 佐々木 英治, 木田 新一郎, 田口 文明, 多次元伝達関数を用いた海洋大循環モデルの可視化—黒潮と親潮の可視化—, 第17回計算工学講演会, 2012年5月29-31日, 京都教育文化センター
- ⑭ 松岡 大祐, 荒木 文明, 木田 新一郎, 佐々木 英治, 田口 文明, 多変量解析を用いた海洋大循環モデルの可視化, 日本地球惑星科学連合 2012年大会, 2012年5月20-25日, 幕張メッセ

[その他]

- ① 第41回可視化情報シンポジウム アート賞 大賞, 松岡 大祐, 現代版ゴッホが描いた地球, 2013年7月16日
- ② 第26回数値流体力学シンポジウム ベスト CFD グラフィックス・アワード 優秀賞, 松岡 大祐, 海洋大循環モデルで再現された海洋深層における熱塩循環の抽出と可視化, 2012年12月19日
- ③ Best Poster Award, International Conference for High Performance Computing, Networking, Storage and Analysis (SC12), Daisuke Matsuoka, Fumiaki Araki, Shinichiro Kida, Hideharu Sasaki and Bunmei Taguchi, Visualization for High-Resolution Ocean General Circulation Model via Multi-dimensional Transfer Function and Multivariate Analysis, 2012年11月15日
- ④ Outstanding Presentation Award, International Conference on Simulation Technology (JSST2012),

Daisuke Matsuoka, Visualization for Ocean General Circulation Model via Multi-dimensional Transfer Function and Multivariate Analysis, 2012年9月28日

- ⑤ 第40回可視化情報シンポジウム ベストプレゼンテーション賞, 松岡 大祐, 多次元伝達関数と多変量解析を用いた海洋大循環モデルの可視化, 2012年9月15日
- ⑥ 第17回計算工学講演会 グラフィクスアワード 最優秀賞, 松岡 大祐, 荒木 文明, 佐々木 英治, 木田 新一郎, 田口 文明, 多次元伝達関数を用いた海洋大循環モデルの可視化—黒潮と親潮の可視化—, 2012年5月30日
- ⑦ 平成23年度 科学技術における『美』のパネル展 入選・優秀賞, 松岡 大祐, 荒木 文明, 木田 新一郎, 佐々木 英治, 田口 文明, 日本周辺の海の流れ, 2012年4月12日

6. 研究組織

(1) 研究代表者

松岡 大祐 (MATSUOKA, Daisuke)
独立行政法人海洋研究開発機構・地球シミュレータセンター・研究員
研究者番号: 80543230

(2) 研究分担者

荒木 文明 (ARAKI, Fumiaki)
独立行政法人海洋研究開発機構・地球シミュレータセンター・グループリーダー
研究者番号: 90359224

(3) 連携研究者

川原 慎太郎 (KAWAHARA, Shintaro)
独立行政法人海洋研究開発機構・地球シミュレータセンター・研究員
研究者番号: 60415982

佐々木 英治 (SASAKI, Hideharu)
独立行政法人海洋研究開発機構・地球シミュレータセンター・研究員
研究者番号: 50359220

木田 新一郎 (KIDA, Shinichiro)
独立行政法人海洋研究開発機構・地球シミュレータセンター・研究員
研究者番号: 50543229

田口 文明 (TAGUCHI, Bunmei)
独立行政法人海洋研究開発機構・地球シミュレータセンター・研究員
研究者番号: 80435841