

令和元年6月20日現在

機関番号：82706

研究種目：挑戦的萌芽研究

研究期間：2016～2018

課題番号：16K13885

研究課題名(和文) 大気・海洋シミュレーションのための超高時間分解能特徴追跡とイベント可視化

研究課題名(英文) Super high resolution feature extraction and event visualization for atmospheric and ocean simulation

研究代表者

松岡 大祐 (MATSUOKA, Daisuke)

国立研究開発法人海洋研究開発機構・地球情報基盤センター・技術研究員

研究者番号：80543230

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 2,700,000円

研究成果の概要(和文)：本研究課題では、超高解像度の大気または海洋シミュレーションが再現する様々な特徴構造の時間変化を理解するための可視化手法に関する研究開発を行った。特に、海洋渦や海流、積雲クラスターや熱帯低気圧等の特徴構造の抽出を行い、それらの時間変化を追跡することで、時間発展に伴う構造の変化を明らかにした。また、これらのプロセスをシミュレーションと同時実行可能なフレームワークとして実装した。これら一連の研究によって、高解像度の超高時間分解能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。

研究成果の学術的意義や社会的意義

スーパーコンピュータの性能向上にともない、様々な分野において超高解像度な大規模シミュレーションが行われている。一方で、シミュレーションの結果として得られるデータを、科学的な理解や知見に結び付けるためには、データ中に含まれる特徴的な構造や現象を、解析者が視覚的に理解可能な形に効果的に結び付けることが必要不可欠である。本研究課題は、学術的または社会的な利益に直接的に結びつくものではないが、超高解像度シミュレーションの理解において必要不可欠な可視化技術において意義あるものであると考える。

研究成果の概要(英文)：In this work, we have conducted research and development on data visualization method to understand temporal changes of various characteristic structures reproduced by ultra-high resolution atmospheric and ocean simulations. In particular, we extracted characteristic structures such as ocean eddies, ocean currents, cloud clusters and tropical cyclones, and clarified their structural changes with time evolution by tracking their temporal changes. Furthermore, we implemented these processes as a framework that can be executed simultaneously with simulation. Through these series of studies, we succeeded in obtaining an intuitive and effective visual representation that deepens the understanding of high spatio and temporal resolution simulation results.

研究分野：可視化情報学

キーワード：海洋 大気 可視化 シミュレーション

様式 C - 19、F - 19 - 1、Z - 19、CK - 19 (共通)

1. 研究開始当初の背景

大気や海洋等における超高解像度の全球シミュレーションは、様々な時空間スケールの様々な特徴をもった構造の再現に優れている。特徴構造や現象の時間スケールと空間スケールは正の相関があるため、特に空間スケールの小さい微細構造の時間変化を理解するためには、シミュレーションと同程度の時間分解能でそれらの構造の抽出から時間発展の追跡までを行い、そこで発生する現象を可視化する必要がある。しかし、超高解像度のシミュレーションは、出力されるデータのサイズも大規模であり、全タイムステップのデータをディスクに保存することはほぼ不可能である。また、仮に保存できたとしても、全データにアクセスしながら特徴構造の抽出から追跡までを行うのは計算コストが非常に高く、現実的でない。そこで、本研究では、スーパーコンピュータ上でシミュレーションを実行しながら、ハードディスクにアクセスすることなくオンメモリで全タイムステップのデータから特徴構造の抽出から追跡および可視化までを行う手法に着目した。

2. 研究の目的

本研究では、海洋渦や積雲クラスター等の特徴構造の抽出および追跡から、併合、分離、消滅等のイベント抽出、さらに可視化処理までをシミュレーションと同時にスーパーコンピュータ上で実行することが可能なフレームワークの開発を行うことを目的とする。地球科学分野のシミュレーション研究に計算科学・情報科学における先進的な技術を組み込むことで、超高解像度シミュレーションのもつ表現能力を最大限に引き出すための手法構築を目指す。さらに、開発した手法を、実際の大気または海洋シミュレーションに適用することにより、これまでの可視化・解析技術では得られなかった科学的知見を創出することも主目的の一つである。

3. 研究の方法

本研究で提案するフレームワークでは、大気または海洋における対象構造の特徴に合わせて、構造の抽出、分類、時間発展の追跡、時間発展イベントの特定および可視化を行う。図1に、海洋渦と海流を対象とした場合のワークフローを示す。ここでは、海洋渦を渦領域(内側領域)とストリーム領域(外側領域)に分けて抽出し、さらに海流との接続関係も考慮することで、いくつかの渦パターンに分類する。次に、一つ一つの海洋渦の時間発展を追跡することで、単なる渦の移動だけでなく、渦と渦の併合や渦の分離、消滅、または海流への併合や海流からの切離といったイベントまでを特定する。最後に、何らかのイベント発生時の渦のみを効果的に表現するような可視化を行う。例えば、通常の渦を明度 50%の色で、発生時の渦や併合時の渦を明るい色(明度 100%)で強調して表現することで、解析者にとっての注視領域(ROI: Region of Interest)を一目で認識可能な動画となる。

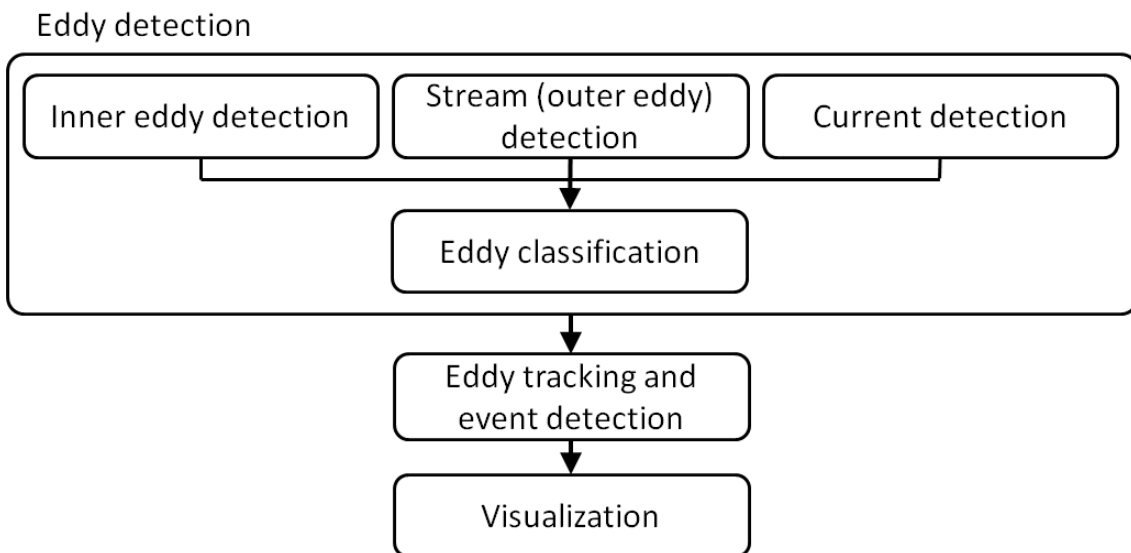


図1 海洋渦および海流のイベント可視化におけるワークフロー

4. 研究成果

本研究における代表的な成果の一つとして、全球海洋シミュレーションを用いた海洋渦のイベント可視化結果について述べる。図2は、本研究において開発した手法を水平解像度 1/30度という超高解像度の準全球海洋大循環モデル OFES2 に適用した結果の一例を示している。南アフリカ大陸南岸において、北東から流れてくるアガラス海流が、東向きの南極周極流がぶつかることで、進路を急激に東に変え、南インド洋海流を形作っている。この海域では、アガラスリングと呼ばれる直径数十 km の渦が形成され、南インド洋の高温・高塩分の海水を大西洋に運び込むことが知られている。本研究では、対象とする海域中の暖水渦(図中赤色、明度 50%

および 100%)、冷水渦 (図中青色、明度 50%および 100%)、ストリーム領域 (図中緑色、明度 50%および 100%) および海流 (図中黄色) をそれぞれ抽出し、渦をストリームまたは海流との接続関係によって、単体の渦、ストリームをともなう渦、一つのストリームをともなう 2 つの渦、海流をともなう渦、海流およびストリームをともなう渦、の 5 パターンに分類した。次に、分類された渦に対して時間発展を追跡し、前後のパターンの変化から、時間発展イベントを特定した。ここで、時間発展イベントは、渦の生成、渦の併合、渦の分離、渦の海流からの切離、渦の海流への併合、渦の消滅、の パターンである。例えば、二つの連続する時間ステップにおいて、前のステップにおいて単体の渦に分類されているものが、次のステップにおいて海流をともなう渦と変化したとき、このステップ間において、渦の海流への併合というイベントが発生していることになる。

図 2 の可視化結果のうち(a)から(c)では、海流をともなう暖水渦 (白い点線の枠内) が海流から切離されている様子が高い明度で強調して可視化されている。このプロセスによって、南インド洋の高温・高塩分の海水を大西洋に運ぶ渦のみを、膨大な数の渦から容易に把握することができる。(d)から(f)では、南極側の冷水渦 (白い点線の枠内) が、海流に併合され、南インド洋内に入り込む様子が強調して可視化されている。

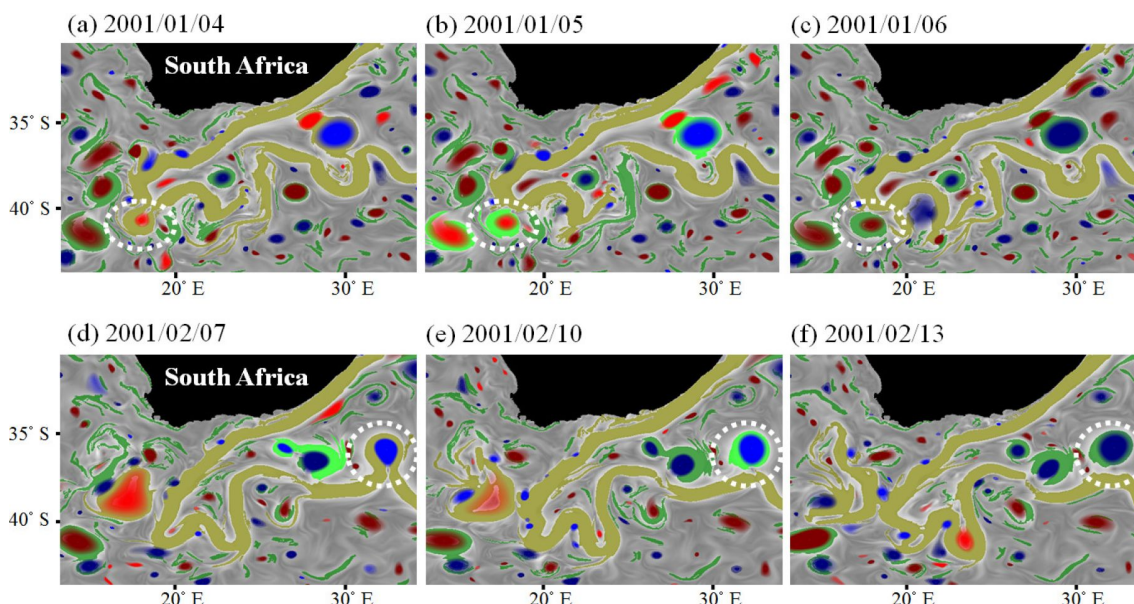


図 2 アガラス海流付近の渦および海流のイベント可視化結果。(a)-(c)アガラスリングの生成、(d)-(f)冷水渦の南インド洋への侵入過程。

5 . 主な発表論文等

[雑誌論文] (計 5 件)

Daisuke Matsuoka, Fumiaki Araki and Hideharu Sasaki, Event Detection and Visualization of Ocean Eddies Simulated by Ocean General Circulation Model, International Journal of Modeling, Simulation, and Scientific Computing, 査読有, 2019, DOI: 10.1142/S1793962319500181

Daisuke Matsuoka, Masuo Nakano, Daisuke Sugiyama and Seiichi Uchida, Deep learning approach for detecting tropical cyclones and their precursors in the simulation by a cloud-resolving global nonhydrostatic atmospheric model, Progress in Earth and Planetary Science, 査読有, Vol. 5, Issue 80, 2018, DOI: 10.1186/s40645-018-0245-y

矢野 緑, 伊藤 貴之, 田中 裕介, 松岡 大祐, 荒木 文明, Tobias Czuderna, Kingsley Stephens, VR 空間におけるモード水領域の形状比較のための視点選択, 芸術科学会論文誌, 査読有, Vol. 17, No. 4, 2018, 105 - 114,

<https://www.art-science.org/journal/v17n4/v17n4pp105/artsci-v17n4pp105.pdf>

Daisuke Matsuoka, Extraction, classification and visualization of 3-dimensional clouds simulated by cloud-resolving atmospheric model, International Journal of Modeling, Simulation, and Scientific Computing, 査読有, Vol. 8, No. 4, 2017, DOI: 10.1142/S1793962317500519

Daisuke Matsuoka, Fumiaki Araki, Yumi Inoue and Hideharu Sasaki, A New Approach to Ocean Eddy Detection, Tracking and Event Visualization -Application to the Northwest Pacific Ocean-, Procedia Computer Science, 査読有, Vol. 80, 2016, 1601 - 1611

[学会発表](計 4 件)

Daisuke Matsuoka, Scientific Visualization of Climate Simulation Data for Deep Convolutional Neural Network, Japan Geoscience Union Meeting 2018, 2018

Daisuke Matsuoka, Masuo Nakano, Daisuke Sugiyama and Seiichi Uchida, Detecting Precursors of Tropical Cyclone using Deep Neural Networks, 7th International Workshop on Climate Informatics, 2017

Daisuke Matsuoka, Fumiaki Araki, Yumi Inoue and Hideharu Sasaki, A New Approach to Ocean Eddy Detection, Tracking and Event Visualization –Application to the Northwest Pacific Ocean-, International Conference on Computational Science 2016, 2016

Daisuke Matsuoka, Fumiaki Araki, Yumi Inoue and Hideharu Sasaki, Event Detection and Visualization of Ocean Eddies based on SSH and Velocity Field, European Geosciences Union General Assembly 2016, 2016

6. 研究組織

(1)研究分担者

研究分担者氏名：川原 慎太郎

ローマ字氏名：(KAWAHARA, Shintaro)

所属研究機関名：国立研究開発法人海洋研究開発機構

部局名：地球情報基盤センター

職名：技術研究員

研究者番号(8桁)：60415982

研究分担者氏名：山下(井上) 由美

ローマ字氏名：(YAMASHITA (Inoue), Yumi)

所属研究機関名：国立研究開発法人海洋研究開発機構

部局名：地球情報基盤センター

職名：技術研究員

研究者番号(8桁)：80633883

(2)研究協力者

研究協力者氏名：佐々木 英治

ローマ字氏名：(SASAKI, Hideharu)

研究協力者氏名：荒木 文明

ローマ字氏名：(ARAKI, Fumiaki)

科研費による研究は、研究者の自覚と責任において実施するものです。そのため、研究の実施や研究成果の公表等については、国の要請等に基づくものではなく、その研究成果に関する見解や責任は、研究者個人に帰属されます。