

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 29 年 6 月 16 日現在

機関番号：82706

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2013～2016

課題番号：25400474

研究課題名(和文) 大気海洋結合データ同化システムを用いた大気と海洋表層の共変動過程の解明

研究課題名(英文) Study of covariability processes between the atmosphere and surface ocean using a coupled atmosphere-ocean data assimilation system

研究代表者

小守 信正 (KOMORI, Nobumasa)

国立研究開発法人海洋研究開発機構・アプリケーションラボ・主任技術研究員

研究者番号：80359223

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,300,000円

研究成果の概要(和文)：アンサンブル手法を用いて全球大気海洋結合モデルに大気観測データを同化するシステムを構築し、2ヶ月間の実験的な再解析を実施した。海面水温と降水のラグ相関関係など、大気海洋相互作用の影響をより適切に反映できるようになっただけでなく、大気大循環モデルに基づいたシステムには見られなかった熱帯太平洋における海盆規模の相関構造が見出された。
また、アンサンブル平均およびスプレッドの時間発展に関する基礎的な方程式を導出し、結果の解釈を行う上で基盤となる興味深い知見が得られた。

研究成果の概要(英文)：We have constructed a system to assimilate atmospheric observational data into a global coupled atmosphere-ocean model using an ensemble-based method, and conducted two-months of experimental reanalysis. Effects of atmosphere-ocean interaction, such as lead-lag relationship between SST and precipitation, are well reflected in the reanalysis. In addition, the basin-scale structure of surface atmospheric variables over the tropical Pacific is reconstructed from the ensemble correlation in the CGCM-based system but not in the AGCM-based system.
We also derived some basic equations for temporal development of ensemble mean and spread, and got interesting knowledge helpful to interpret the results.

研究分野：海洋物理学

キーワード：海洋物理・陸水学 気象学 大気海洋相互作用 データ同化

1. 研究開始当初の背景

近年、人工衛星観測や大循環モデルの高解像度化に伴い、黒潮やメキシコ湾流などの西岸境界流に伴う海面水温前線が大気に与える影響が認識されるようになった。また、海洋表層の貯熱量分布が熱帯低気圧の強度・進路に与える影響も指摘されている。一方、アルゴフロートに代表される海洋内部の観測網の充実により、海洋混合層の発達過程に大気の総観規模擾乱がイベント的に影響している可能性も報告されている。

このような大気海洋共変動過程の実態に迫り、そのメカニズムを明らかにするためには、大気のみならず海洋表層まで含めた再解析データを構築し、個々の擾乱にまで立ち返って研究を行うことが有効であると期待される。(再解析とは、本来、日々の天気予報の初期条件作成のためデータ同化によって観測データを数値モデルへと融合させる『解析』を、最新のシステムを使いある期間に渡って統一的にやり直すことであるが、ここでは広義に捉え、過去の観測データのある期間に渡って『解析』しデータセットを構築することも再解析に含めるものとする。)

世界の現業予報センターで実施されている季節・経年変動予測では、大気と海洋の相互作用が本質的に重要であることから、大気大循環モデルと海洋大循環モデルを結合させた大気海洋結合モデルが使用されるが、その初期条件は大気と海洋それぞれのデータ同化システムによって別々に作成されているのが現状である。研究レベルにおいても、大気海洋結合モデルに大気と海洋の観測データを同時に同化する試みは先駆的な研究が数例ある程度で、世界的に見てもチャレンジングな研究課題である。

一方、数日から一週間程度の天気予報では、海洋変動は大気変動に比べて十分に遅いとして、大気大循環モデルを用い、海面水温は陽には計算せず境界条件として与える場合が多い。しかしながら、特に熱帯域や夏半球の中高緯度域では海洋混合層が薄く表層の熱容量が小さいため、このような時間スケールにおいても、海面水温を境界条件として大気場を解析し予測を行う妥当性は自明ではない。実際、熱帯域における海面水温変動と降水量変動の位相関係は、大気大循環モデルを用いる場合と大気海洋結合モデルを用いる場合とで大きく異なることが知られている。

2. 研究の目的

本研究では、アンサンブル手法を用いて大気海洋結合モデルに大気と海洋の観測データを同時に同化するシステムを開発し、短期間の実験的再解析を行うことにより、比較的短い時間スケールの大気と海洋表層の共変動過程のメカニズムを明らかにする。

まず、アンサンブル大気再解析データを外力としてアンサンブル海洋シミュレーションを実施し、海洋表層(ここでは、水温躍層付近よりも上

層を指すものとする)に焦点を絞り、数日程度の時間スケールを持つ高周波の大気擾乱の影響が、どのような海域のどのような深度に表れるか、その季節的な変動まで含めて明らかにする。

次に、この知見を活用し、大気海洋結合モデルに大気と海洋の観測データを同時に同化するシステムを開発する。データ同化の手法としては、近年注目を集めているアンサンブル手法を用いることにより、システム開発を容易にするだけでなく、アンサンブル出力を活用した高度な分析研究が可能となる。

最後に、開発したデータ同化システムを用い、数年間程度の実験的な大気海洋結合アンサンブル再解析を実施する。大気と海洋表層の共変動過程のメカニズムや、比較的短い時間スケールの大気変動に大気海洋相互作用が果たす役割を明らかにする。

3. 研究の方法

(1) アンサンブル海洋シミュレーションを通じた表層変動特性の解明

実験的アンサンブル大気再解析 ALERA2 (Enomoto *et al.* 2013, 図書①)を外力として、海洋大循環モデル OFES を駆動するアンサンブルシミュレーションを実施した。

ALERA2 は、局所アンサンブル変換カルマンフィルタ LETKF を大気大循環モデル AFES に適用した AFES-LETKF アンサンブルデータ同化システムを用い、アメリカ国立環境予測センター (NCEP) 全球データ同化システム用の観測データ (PREPBUFR) を同化して構築されたものである。アンサンブルメンバー数は 63 である。

OFES の計算領域は全球であり、解像度は、水平が経度方向・緯度方向ともに $1/2^\circ$ (約 50 km)、鉛直には 54 レベルとした。

まず、CORE (Common Ocean-ice Reference Experiments) データを用いて OFES を 1948 年から 2007 年まで駆動した。2008 年 1 月 1 日からは外力を ALERA2 のアンサンブル平均に変更して計算を延長し、さらに初期値を 2008 年 6 月 2 日 (実験 1) および 12 月 3 日 (実験 2) として ALERA2 の各メンバーを外力とするアンサンブル海洋シミュレーション EnOFES を実施した。

(2) 全球大気海洋結合モデルを用いた実験的アンサンブル大気再解析

AFES-LETKF アンサンブルデータ同化システムの予報モデル部分を大気海洋結合モデル CFES に置き換えたシステムを開発し、大気の観測データ (PREPBUFR) のみを同化する 2 ヶ月間の実験的な再解析を実施した。

CFES の海洋部分の設定は上記の OFES と同様とした。大気部分の設定は ALERA2 と同様とし、解像度は水平が T119 (約 100 km) で鉛直は 48 層とした。

CFES-LETKF アンサンブルデータ同化システムを用いて、2008 年 8 月 1 日から 9 月 30 日ま

で6時間毎の解析・予報サイクルを実施し、実験的な再解析データ CLERA-A を作成した。63メンバー分の初期値として、大気は ALERA2 の各メンバーを、海洋は対応する EnOFES を使用した。局所化スケールなどデータ同化のパラメータは ALERA2 と同じ値を使用した。

4. 研究成果

- (1) アンサンブル海洋シミュレーションを通じた表層変動特性の解明

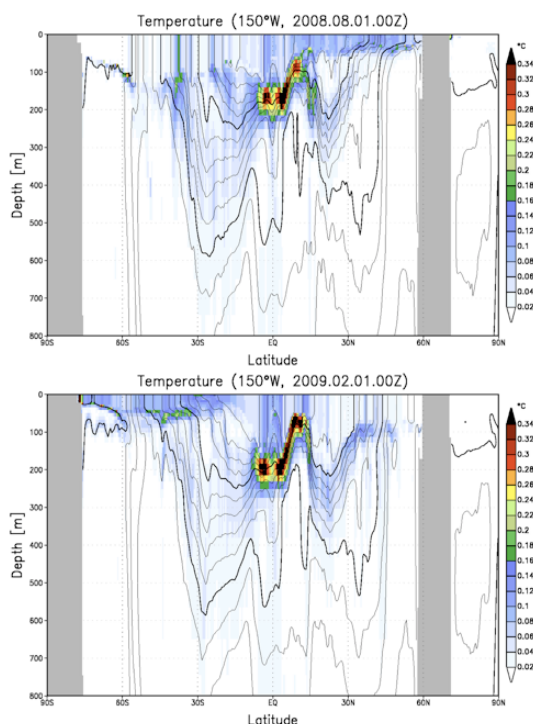


図1 150°W に沿った水温のアンサンブルスプレッドの鉛直断面。(上)実験1および(下)実験2の60日後の結果。

アンサンブルシミュレーションの開始から60日後における、150°W に沿った水温のアンサンブルスプレッドの鉛直断面を図1に示す。実験1(図1上)・実験2(図1下)いずれにおいても、スプレッドが大きい海域は混合層の薄い夏半球の表層および水温躍層付近に局在している。また、積分を延長すると、スプレッドは単調に増加するわけではなく、季節進行に伴い減少する海域も見られた。

大気海洋結合系におけるアンサンブル平均およびスプレッドの時間発展に関して、古典的な乱流クロージャ問題に倣って基礎的な方程式を導出した。アンサンブル平均の時間発展方程式には非線形の移流項に起因するアンサンブル拡散項が生じること、アンサンブル平均の勾配が大きい場所はスプレッドの生成域となること、大気と海洋のアンサンブルスプレッドの時間発展方程式を海面水温と熱フラックスの共分散項などが繋ぎ大気海洋間をアンサンブルスプレッドが流入出していることなど、結果の解釈を行う上で基盤となる興味深い知見が得られた。

- (2) 全球大気海洋結合モデルを用いた実験的アンサンブル大気再解析

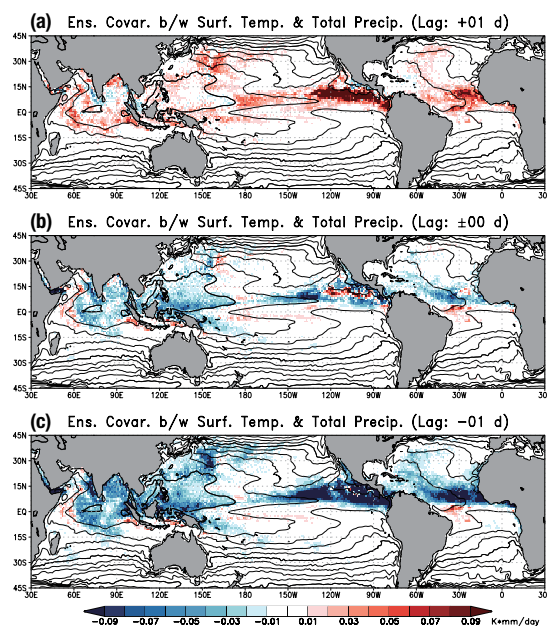


図2 CLERA-A における海面水温と降水量のラグアンサンブル共分散。(a)海面水温が1日先行、(b)同時、(c)降水量が1日先行。等値線は海面水温を表す。小守ら(2017)より引用。

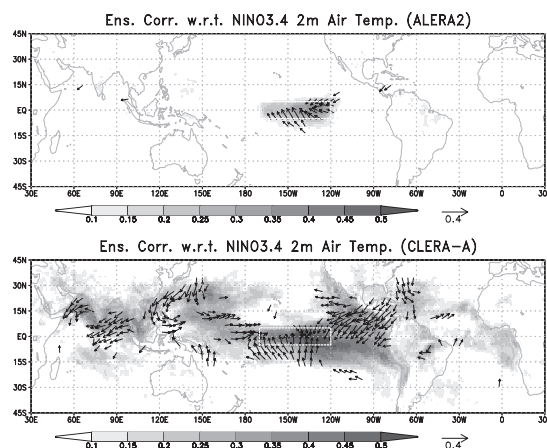


図3 NINO3.4 海域 (170°-120°W, 5°S-5°N) 平均の2m気温に対する、2m気温(陰影)と10m風速(矢印)のアンサンブル相関係数。2008年9月1日から30日までの平均値。(上)ALERA2、(下)CLERA-A。小守ら(2017)より引用。

アンサンブル手法を用いた再解析の場合、メンバー間で統計量を計算できるため、比較的短い時系列データからでも変数間の関係が推定可能である。図2に、CLERA-A における海面水温と降水量のラグアンサンブル共分散を示す。海面水温が1日先行する場合(図2a)、西部熱帯太平洋の暖水プール域や東部熱帯太平洋の熱帯収束帯域など、降水が生じるほぼ全ての海域で共分散が正となっており、これは、海面水温の高いメンバーほど翌日の降水量が多くなることを示している。同時の場合(図2b)には共分散が正の海域と負の海域が入り混じり、降水量が1日先行する場合(図2c)、ほぼ全ての海域で共

分散が負となる。これは、降水量の多いメンバーほど翌日の海面水温が低くなることを表しており、大気海洋結合モデルを使用することによって初めて生じる関係である。

NINO3.4 海域 (170°–120°W, 5°S–5°N) で平均した 2 m 気温に対する、アンサンブル相関係数を図 3 に示す。ALERA2 では、参照海域の内部およびごく近傍にのみ 2 m 気温や 10 m 風速の高い相関が存在するのに対し、CLERA-A では、大気海洋間の結合過程を通じて、海盆全体に渡って高い相関が存在しており、同じ観測データを同じ手法で同化しているにも関わらず、両者では質的に大きく異なる解析値が得られていることがわかる。

5. 主な発表論文等

[雑誌論文] (計 2 件)

- ① 小守 信正, 榎本 剛, 三好 建正, 山崎 哲, 吉田 聡, 田口 文明: 全球大気海洋結合モデルを用いた実験的アンサンブル大気再解析, 月刊 海洋, 査読無, 号外 No.59, 2017, 93–97.
- ② Yamazaki, A., T. Enomoto, T. Miyoshi, A. Kuwano-Yoshida, and N. Komori: Using observations near the poles in the AFES–LETKF data assimilation system, SOLA, 査読有, Vol.13, 2017, 41–46, doi:10.2151/sola.2017-008.

[学会発表] (計 17 件)

- ① Yamazaki, A.: Implementing the ensemble forecast sensitivity to observations (EFSO) method with the AFES–LETKF data assimilation system, 3rd RIKEN International Symposium on Data Assimilation, 2017 年 2 月 28 日, 理化学研究所計算科学研究機構 (兵庫県・神戸市).
- ② Komori, N.: Ensemble-based experimental atmospheric reanalysis using a global coupled atmosphere–ocean GCM, Symposium on Past, Present, Future of Predicting Ocean and Climate Variability, 2017 年 1 月 26 日, 東京大学山上会館 (東京都・文京区).
- ③ Komori, N.: Ensemble-based experimental atmospheric reanalysis using a global coupled atmosphere–ocean GCM, CLIVAR (Climate and Ocean: Variability, Predictability, and Change) 2016 Open Science Conference, 2016 年 9 月 20 日, 青島 (中国).
- ④ 小守 信正: 全球大気海洋結合モデルを用いた実験的アンサンブル大気再解析, 第 20 回データ同化夏の学校, 2016 年 8 月 25 日, プラザホテルむつ (青森県・むつ市).
- ⑤ Yamazaki, A.: Arctic OSE studies by using the AFES–LETKF data assimilation system, 5th International Symposium on Data Assimilation, 2016 年 7 月 20 日, レディング (イギリス).
- ⑥ Komori, N.: Ensemble-based experimental

atmospheric reanalysis using a global coupled atmosphere–ocean GCM, 5th International Symposium on Data Assimilation, 2016 年 7 月 18 日, レディング (イギリス).

- ⑦ Komori, N.: Ensemble-based experimental atmospheric reanalysis using a global coupled atmosphere–ocean GCM, 2016 Ocean Sciences Meeting, 2016 年 2 月 22 日, ニューオーリンズ (アメリカ).
- ⑧ 小守 信正: 全球大気海洋結合モデルを用いたアンサンブルデータ同化システムの開発, 日本気象学会 2014 年度秋季大会, 2014 年 10 月 23 日, 福岡国際会議場 (福岡県・福岡市).
- ⑨ 小守 信正: 全球大気海洋結合モデルを用いたアンサンブルデータ同化システムの開発, 2014 年度日本海洋学会秋季大会, 2014 年 9 月 16 日, 長崎大学文教キャンパス (長崎県・長崎市).
- ⑩ Komori, N.: Development of an ensemble-based data assimilation system with a coupled atmosphere–ocean GCM, Asia Oceania Geosciences Society 11th Annual Meeting, 2014 年 7 月 30 日, ロイトン札幌 (北海道・札幌市).
- ⑪ Komori, N.: Development of an ensemble-based data assimilation system with a coupled atmosphere–ocean GCM, 日本地球惑星科学連合 2014 年大会, 2014 年 4 月 29 日, パシフィコ横浜 (神奈川県・横浜市).
- ⑫ Komori, N.: Development of an ensemble-based data assimilation system with a coupled atmosphere–ocean GCM (II), 6th OFES International Workshop and 3rd ESC–IPRC Joint Workshop on Computationally-Intensive Modeling of the Climate System, 2013 年 12 月 4 日, ホノルル (アメリカ).
- ⑬ Komori, N.: Development of an ensemble-based data assimilation system with a coupled atmosphere–ocean GCM, 6th WMO Symposium on Data Assimilation, 2013 年 10 月 9 日, カレッジパーク (アメリカ).
- ⑭ Enomoto, T.: AFES–LETKF experimental ensemble reanalysis 2, 6th WMO Symposium on Data Assimilation, 2013 年 10 月 7–8 日, カレッジパーク (アメリカ).
- ⑮ 小守 信正: アンサンブル大気外力に対する全球海洋海氷モデルの応答, 2013 年度日本海洋学会秋季大会, 2013 年 9 月 19 日, 北海道大学学術交流会館 (北海道・札幌市).
- ⑯ Komori, N.: Development of an ensemble-based data assimilation system with a coupled atmosphere–ocean GCM, Davos Atmosphere and Cryosphere Assembly 2013, 2013 年 7 月 9 日, ダヴォス (スイス).
- ⑰ 榎本 剛: 熱帯低気圧に伴う解析アンサンブル・スプレッドの変動, 日本気象学会 2013 年

度春季大会, 2013年5月18日, 国立オリンピック記念青少年総合センター(東京都・渋谷区).

[図書] (計1件)

- ① Enomoto, T., T. Miyoshi, Q. Moteki, J. Inoue, M. Hattori, A. Kuwano-Yoshida, N. Komori, and S. Yamane: Observing-system research and ensemble data assimilation at JAMSTEC, *Data Assimilation for Atmospheric, Oceanic and Hydrologic Applications (Vol. II)*, S. K. Park and L. Xu (Eds.), Springer, 2013, 730 pp. (509–526),
doi:10.1007/978-3-642-35088-7_21.

[その他]

「小守 信正 < JAMSTEC」

<http://www.jamstec.go.jp/res/ress/komori/index.ja.html>

6. 研究組織

(1) 研究代表者

小守 信正 (KOMORI, Nobumasa)

国立研究開発法人海洋研究開発機構・アプリケーションラボ・主任技術研究員

研究者番号: 80359223

(2) 連携研究者

榎本 剛 (ENOMOTO, Takeshi)

京都大学・防災研究所・准教授

研究者番号: 10358765

三好 建正 (MIYOSHI, Takemasa)

国立研究開発法人理化学研究所・計算科学研究機構・チームリーダー

研究者番号: 90646209

吉田 聡 (KUWANO-YOSHIDA, Akira)

国立研究開発法人海洋研究開発機構・アプリケーションラボ・研究員

研究者番号: 90392969

山崎 哲 (YAMAZAKI, Akira)

国立研究開発法人海洋研究開発機構・アプリケーションラボ・研究員

研究者番号: 20633887