

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

小守 信正¹, 榎本 剛^{1,2}, 三好 建正^{3,4}, 田口 文明¹

(1: 海洋機構 ESC, 2: 京大 防災研, 3: メリーランド大 大気海洋, 4: 理研 AICS)

1 はじめに

アンサンブル手法を用いたデータ同化は、解析値に加えてそのバラツキ具合 (spread) に基づく解析誤差の情報も得られ、また並列計算機での実行に有利なことから、近年急速にその研究・応用が進んでいる。

Miyoshi and Yamane (2007) は、そのようなデータ同化手法の一種である局所アンサンブル変換カルマンフィルタ (LETKF, Hunt et al., 2007) を大気大循環モデル AFES (Ohfuchi et al., 2004; Enomoto et al., 2008) に適用した同化システム AFES-LETKF を構築し、さらに Miyoshi et al. (2007a) は、このシステムを用いた実験的再解析 ALERA を実施した。アンサンブル spread を活用した観測システム研究 (Inoue et al., 2009; Moteki et al., 2011) や予測可能性研究 (Enomoto et al., 2010), 入力データを NCEP の PREPBUFR に変更・アンサンブルメンバー数を増強し最新の AFES (Kuwano-Yoshida et al., 2010) と LETKF (Miyoshi et al., 2007b) を用いた ALERA2 (Enomoto et al., 2013) も進行中である。

しかしながら、AFES-LETKF は大気大循環モデルに基づいたシステムであり、海面水温や海水分布は全メンバーで共通の境界条件として与えるため、海面付近の spread が過小評価されてしまう。また、熱帯域における海面水温変動と降水量変動の位相関係など、大気海洋相互作用の影響も反映できない。さらに、TRITON ブイなどの海洋観測ブイは、海洋内部だけでなく海上気象要素も観測するため、その影響を正しく評価するためには大気と海洋を同時に扱えるシステムが必要がある。

そこで本研究では、AFES から大気海洋結合

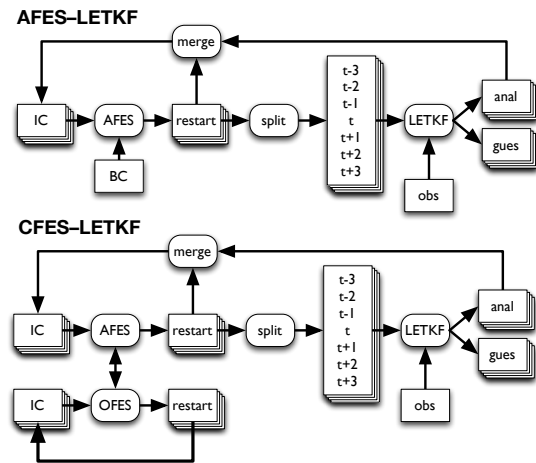


図 1: 解析・予測サイクルのフローチャート. (上) AFES-LETKF, (下) CFES-LETKF.

モデル CFES (Komori et al., 2008) へと拡張した同化システム CFES-LETKF の開発について報告する。

2 CFES-LETKF の設定

本研究で用いた CFES の大気部分の解像度は水平 T119 (~100 km) 鉛直 48 層 (ALERA2 と同じ), 海洋部分は水平 1/2° (~50 km) 鉛直 54 レベルで、大気海洋間の情報交換は 1 時間毎に行う。この解像度の CFES に関する詳細は Richter et al. (2010); Taguchi et al. (2012) を参照されたい。

対象期間は 2008 年 8 月 1 日から 9 月 30 日までとし、大気の観測データ (PREPBUFR) を 6 時間毎に同化、大気場のみを修正する (海洋の観測データは同化しない、図 1)。アンサンブルメンバー数は 40 である。

同化システムの特性を確認するため、海洋部分の初期値に関して 2 通りの計算を行った。

CFESの海洋部分と同じ解像度・設定の海洋大循環モデル OFES (Masumoto et al., 2004; Komori et al., 2005) を, CORE (Large and Yeager, 2004, 2009) v2 データで 1948 年から 2006 年まで駆動し, 実験 1 では後半 40 年分の 8 月 1 日を各メンバーの初期値, 実験 2 では 2006 年 8 月 1 日を全メンバーの初期値とした。いずれも, 大気部分の初期値は ALERA2 の解析値を使用した。以下では, 結果を CLERA-A と呼ぶ。

3 予備的な結果

3.1 実験 1

海面水温で見ると, ALERA2 では境界条件として与えているため spread が 0 である (図 2 右上) のに対し, CLERA-A では海洋モデルの変動を反映して, 赤道域や中緯度西岸境界流域などで spread が大きくなっている (図 2 右下)。一方, CLERA-A で潜熱フラックスの spread が大きい海域は, 必ずしも海面水温のそれとは対応しておらず, 境界条件だけではない相互作用の影響を示唆している (図 3)。

また, 対流圏下層の気温や比湿についても, CLERA-A の方が ALERA2 よりも spread が増大しており (図 4), 過小評価の改善による解析精度の向上が期待される。

3.2 実験 2

将来的に海洋場の修正も行うことを考えた場合, 結合系における海洋の spread の特性を把握しておくことは, 同化システムを設計する上で非常に重要である。

海面水温の spread (図 5 左) は, 大気擾乱の活発な赤道収束帯域と, 海洋の内部変動が卓越する東部赤道域に極大を持つ (実験 1 よりも振幅はかなり小さいことに注意)。また, 混合層深度 (海洋表層の熱容量) の違いを反映して, 熱帯域・夏半球の方が冬半球よりも大きい。振幅は, 2ヶ月間ではまだ単調に増加している途中である (図は省略)。一方, 海面塩分の spread (図 5 右) は, 海面水温と同様の特徴に加えて, 大河川の河口など低塩域周辺にも極大を持つ。

水温の spread の鉛直断面 (図 6) を見ると, ごく表層だけでなく, 混合層底部や躍層付近で

も値が大きい。これは, 水温勾配が大きく変動が現れやすいことに加え, 大気擾乱に対する海洋の力学的応答を反映したものと考えられる。

4 おわりに

今後は, 長期の実験を通じて, 大気海洋相互作用が本質的な現象の再現性がどの程度改善されるかを明らかにするとともに, 海洋観測データも用いた大気海洋結合データ同化に向けて, 適切な同化間隔やメンバー数の設定, 摂動の作成法, 大気変数と海洋変数の間の誤差共分散の利用法などを検討していく必要がある。

謝辞

本研究は, 科学研究費補助金 新学術領域研究 (研究領域提案型) 『気候系の hot spot: 熱帯と寒帯が近接するモンスーンアジアの大気海洋結合変動』 22106008, 基盤研究 (A) 22244057, 若手研究 (B) 22740319 の支援を受けて行われた。数値計算には地球シミュレータを利用した。

参考文献

- Enomoto, T., M. Hattori, T. Miyoshi, and S. Yamane, 2010: Precursory signals in analysis ensemble spread. *Geophys. Res. Lett.*, **37** (8), L08804, doi:10.1029/2010GL042723.
- Enomoto, T., A. Kuwano-Yoshida, N. Komori, and W. Ohfuchi, 2008: Description of AFES 2: Improvements for high-resolution and coupled simulations. *High Resolution Numerical Modelling of the Atmosphere and Ocean*, K. Hamilton and W. Ohfuchi, Eds., Springer, New York, NY, chap. 5, 77–97, doi:10.1007/978-0-387-49791-4_5.
- Enomoto, T., T. Miyoshi, Q. Moteki, J. Inoue, M. Hattori, A. Kuwano-Yoshida, N. Komori, and S. Yamane, 2013: Observing system research and ensemble data assimilation at JAMSTEC. *Data Assimilation for Atmospheric, Oceanic and Hydrological Applications II*, S. K. Park and L. Xu, Eds., Springer, in press.
- Hunt, B. R., E. J. Kostelich, and I. Szunyogh, 2007: Efficient data assimilation for spatiotemporal chaos: A local ensemble transform Kalman filter. *Physica D*, **230** (1–2), 112–126, doi:10.1016/j.physd.2006.11.008.
- Inoue, J., T. Enomoto, T. Miyoshi, and S. Yamane, 2009: Impact of observations from Arctic drifting buoys on the reanalysis of surface fields. *Geophys. Res. Lett.*, **36** (8), L08501, doi:10.1029/2009GL037380.
- Komori, N., A. Kuwano-Yoshida, T. Enomoto, H. Sasaki, and W. Ohfuchi, 2008: High-resolution simulation of

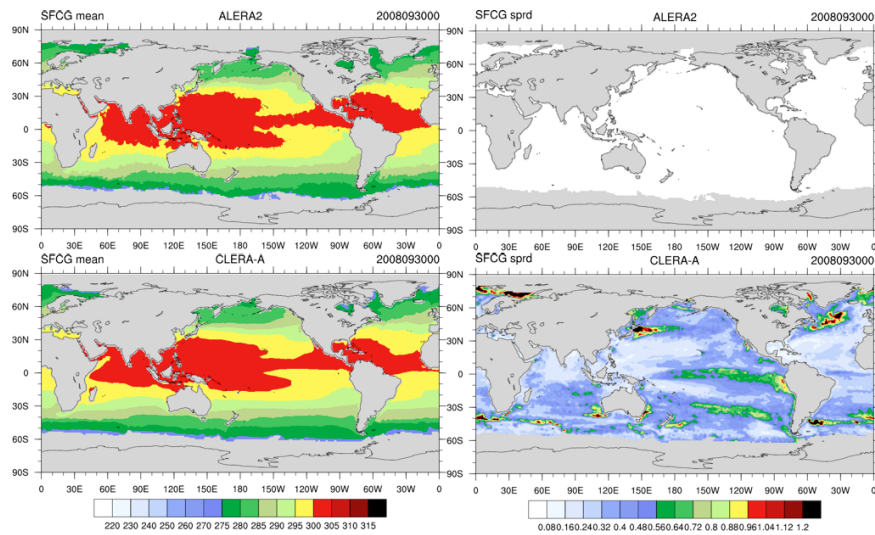


図2: 実験1の2008年9月30日00Zにおける海面水温 [K] の (左) mean と (右) spread. (上) ALERA2, (下) CLERA-A.

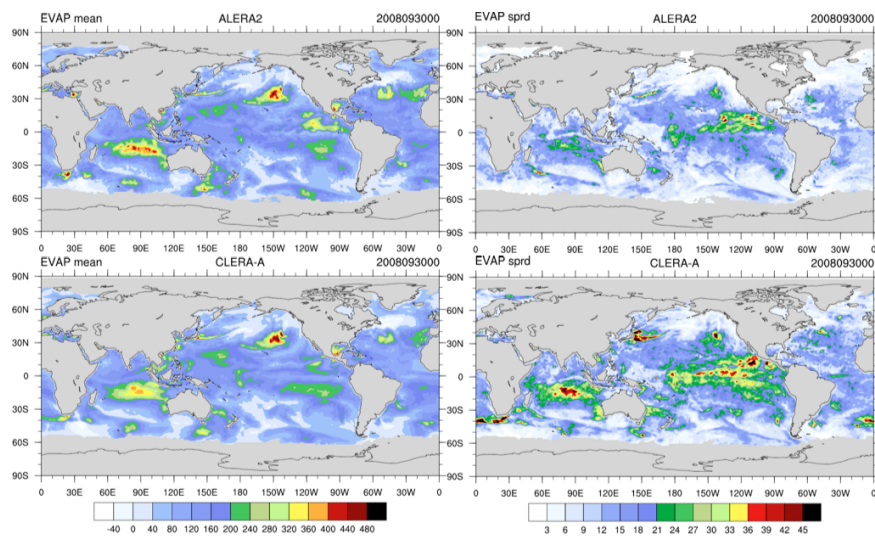


図3: 図2に同じ。ただし潜熱フラックス [W m^{-2}].

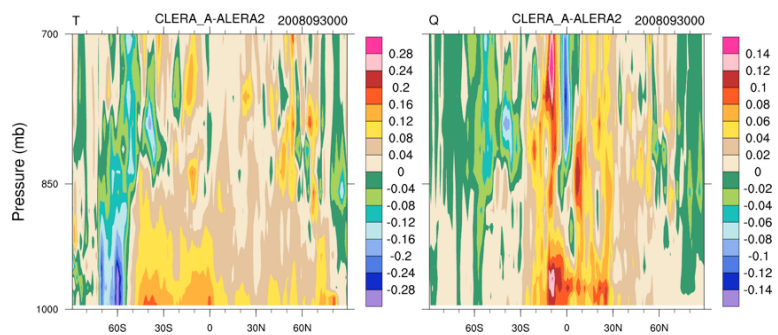


図4: 実験1の2008年9月30日00Zにおける東西平均 spread の差 (CLERA-A - ALERA2). (左) 気温 [K], (右) 比湿 [g/kg].

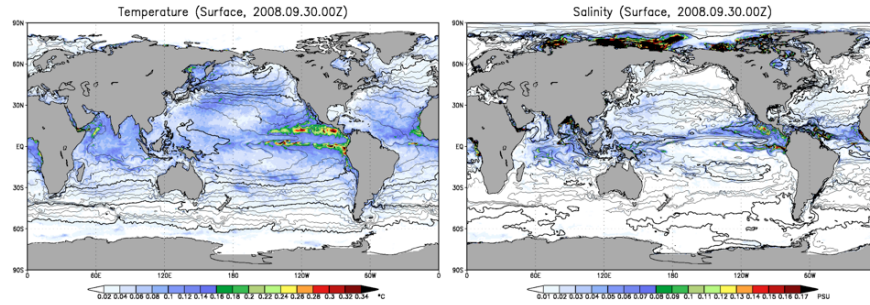


図 5: 実験 2 の 2008 年 9 月 30 日 00Z における CLERA-A の mean (線) と spread (色). (左) 海面水温 [°C], (右) 海面塩分 [PSU].

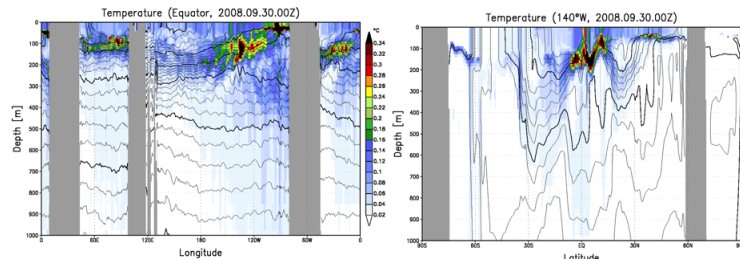


図 6: 実験 2 の 2008 年 9 月 30 日 00Z における CLERA-A 水温 [°C] の mean (線) と spread (色). (左) 赤道, (右) 140°W 断面.

- the global coupled atmosphere–ocean system: Description and preliminary outcomes of CFES (CGCM for the Earth Simulator). *High Resolution Numerical Modelling of the Atmosphere and Ocean*, K. Hamilton and W. Ohfuchi, Eds., Springer, New York, NY, chap. 14, 241–260, doi:10.1007/978-0-387-49791-4_14.
- Komori, N., K. Takahashi, K. Komine, T. Motoi, X. Zhang, and G. Sagawa, 2005: Description of sea-ice component of Coupled Ocean–Sea-Ice Model for the Earth Simulator (OIFES). *J. Earth Simulator*, **4**, 31–45.
- Kuwano-Yoshida, A., T. Enomoto, and W. Ohfuchi, 2010: An improved PDF cloud scheme for climate simulations. *Quart. J. Roy. Meteor. Soc.*, **136** (651), 1583–1597, doi:10.1002/qj.660.
- Large, W. G. and S. G. Yeager, 2004: Diurnal to decadal global forcing for ocean and sea-ice models: the data sets and flux climatologies. NCAR Technical Note NCAR/TN-460+STR, Climate and Global Dynamics Division of the National Center for Atmospheric Research, 105 pp., Boulder, CO.
- Large, W. G. and S. G. Yeager, 2009: The global climatology of an interannually varying air–sea flux data set. *Climate Dyn.*, **33** (23), 341–364, doi:10.1007/s00382-008-0441-3.
- Masumoto, Y., et al., 2004: A fifty-year eddy-resolving simulation of the world ocean—Preliminary outcomes of OFES (OGCM for the Earth Simulator). *J. Earth Simulator*, **1**, 35–56.
- Miyoshi, T. and S. Yamane, 2007: Local ensemble transform Kalman filtering with an AGCM at a T159/L48 resolution. *Mon. Wea. Rev.*, **135** (11), 3841–3861, doi:10.1175/2007MWR1873.1.
- Miyoshi, T., S. Yamane, and T. Enomoto, 2007a: The AFES-LETKF experimental ensemble reanalysis: ALERA. *SOLA*, **3**, 45–48, doi:10.2151/sola.2007-012.
- Miyoshi, T., S. Yamane, and T. Enomoto, 2007b: Localizing the error covariance by physical distances within a local ensemble transform Kalman filter (LETKF). *SOLA*, **3**, 89–92, doi:10.2151/sola.2007-023.
- Moteki, Q., et al., 2011: The influence of observations propagated by convectively coupled equatorial waves. *Quart. J. Roy. Meteor. Soc.*, **137** (656), 641–655, doi:10.1002/qj.779.
- Ohfuchi, W., et al., 2004: 10-km mesh meso-scale resolving simulations of the global atmosphere on the Earth Simulator—Preliminary outcomes of AFES (AGCM for the Earth Simulator). *J. Earth Simulator*, **1**, 8–34.
- Richter, I., S. K. Behera, Y. Masumoto, B. Taguchi, N. Komori, and T. Yamagata, 2010: On the triggering of Benguela Niños: Remote equatorial versus local influences. *Geophys. Res. Lett.*, **37** (20), L20604, doi:10.1029/2010GL044461.
- Taguchi, B., H. Nakamura, M. Nonaka, N. Komori, A. Kuwano-Yoshida, K. Takaya, and A. Goto, 2012: Seasonal evolutions of atmospheric response to decadal SST anomalies in the North Pacific subarctic frontal zone: Observations and a coupled model simulation. *J. Climate*, **25** (1), 111–139, doi:10.1175/JCLI-D-11-00046.1.