

特集「新海洋データ同化システム (MOVE/MRI.COM) による海洋情報の高度化」

エルニーニョ予測システムの改良*

平井 雅之**・石川 一郎**・新保 明彦**_{※1}・曾我 太三**・
森 浩俊**・藤井 陽介***・松本 聡***_{※2}・安田 珠幾****

要 旨

大気海洋結合モデルとその海洋初期条件を作成する海洋データ同化システム (エルニーニョ予測システム) の更新を 2009 年 2 月に実施したので、その概要について報告する。今回の更新では、アンサンブル手法に海洋初期摂動を導入し、メンバー数の増加と時間ずらし平均法 (Lagged Averaged Forecast Method ; LAF 法) で用いる初期値に関して過去にさかのぼって平均する期間 (ラグ期間) の短縮を図った。過去事例の予測実験 (ハインドキャスト実験) の結果、新システムによる海面水温 (SST) 予測精度の向上が確認できた。また、従来から予測誤差に比べてスプレッドが過小であるという問題があるが、今回の更新によりスプレッドが拡大し、この問題を軽減できることも分かった。

1. はじめに

気象庁では、大気海洋結合モデルにより、エルニーニョ予測を行っている。大気海洋結合モデルに与えられる大気と海洋の初期条件は、大気と海洋それぞれのデータ同化システムにより作成される (第 1 図)。

海洋データ同化システムによる解析結果は、気候系監視、海洋の健康診断における全球の海況監

視、及び大気海洋結合モデルの海洋の初期場等として用いられている。また、モデルの予測結果は、毎月のエルニーニョ監視速報におけるエルニーニョ/ラニーニャ現象の予測のほか、3 か月予報、暖・寒候期予報のための季節アンサンブル予報システムで用いられる海面水温の境界条件を決定する資料の一つとしても利用されている。ここでは、大気海洋結合モデルとその海洋初期条件を作成す

* Improvement of the El Niño Prediction System

** Masayuki Hirai, Ichiro Ishikawa, Akihiko Shimpo, Taizo Soga, Hirotohi Mori
Climate Prediction Division, Global Environment and Marine Department (地球環境・海洋部気候情報課)

*** Yosuke Fujii, Satoshi Matsumoto
Oceanographic Research Department, Meteorological Research Institute (気象研究所海洋研究部)

**** Tamaki Yasuda
Climate Research Department, Meteorological Research Institute (気象研究所気候研究部)

現所属 ※₁ 総務部企画課 ※₂ 地球環境・海洋部海洋気象情報室

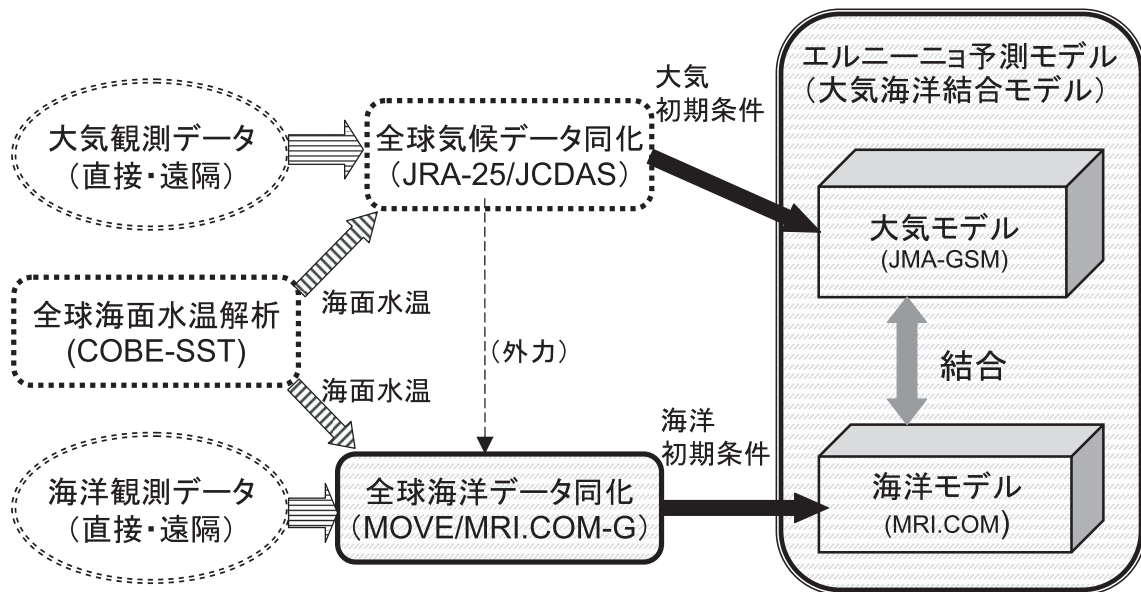
る海洋データ同化システムを総称してエルニーニョ予測システムと呼ぶことにする。

エルニーニョ予測システムは、運用開始以来、改良を重ねてきており（第1表）、最近では2008年2月に海洋データ同化システムと大気海洋結合モデルの抜本的な変更を行った。まず、海洋データ同化システムとして、気象研究所海洋研究部で開発された全球海洋データ同化システム（Multivariate Ocean Variational Estimation / Meteorological Research Institute Community Ocean Model - Global ; MOVE/MRI.COM-G, 以下MOVE-G）（Usui *et al.*, 2006 ; 石崎ほか, 2009）を導入した。大気海洋結合モデルに関しては、海洋モデルとしてMRI.COM（石川ほか, 2005）を導入したことに加え、大気モデルを水平高解像度化し、物理過程も改良した。

今回（2009年2月）の変更では、大気海洋結合モデルは変更しない。しかし、アンサンブル手法として、従来使用してきた時間ずらし平均法

（Lagged Averaged Forecast Method ; 以下LAF法と記述）（Hoffmann and Kalnay, 1983）に加えて、初めて初期摂動を扱うという点で大きな変更を行った。モデルの予測精度は予測初期ほど急激に低下することを考慮すると、LAF法では、古い初期日のメンバーの影響により、特に予測初期ほど精度を悪化させる懸念がある。そのため、LAF法により古い初期日の予測を利用は、極力避けられることが望ましい。初期摂動の導入により同一初期日に複数メンバーを確保するため、メンバー数の増強と同時にLAF法におけるラグ期間を短縮することができた。また、海洋データ同化システムやモデルのフラックス修正量等の統計量の変更も同時に行った。

以下、今回のシステム変更の概要を第2章に、性能評価試験による今回のシステム変更の予測精度への効果を第3章に、初期摂動とLAF法の併用を採用したことに関する考察を第4章に、まとめと今後の課題を第5章に示す。



第1図 エルニーニョ予測モデル（大気海洋結合モデル）とその初期条件を作成する概念図

ここでは、図中の陰影枠で示した過程、すなわち大気海洋結合モデルとその海洋初期条件を作成する海洋データ同化を総称して、エルニーニョ予測システムと呼ぶことにする。

第 1 表 エルニーニョ予測システムの略歴 (1998 年 7 月～現在)

現業化した年月	1998年7月 ^a	2003年7月 ^b	2005年6月	2008年2月	2009年2月
システム名称	空海/ JMA-CGCM	空海2003/ JMA-CGCM02	同左	JMA/MRI-CGCM	同左
アンサンブル手法					
メンバー数	6メンバー	同左	12メンバー	同左	30メンバー
手法	15日ごとLAF		5日ごとLAF		海洋初期摂動 (5メンバー) と5日ごとLAF の併用
メンバーに含まれる最も古い初期日	75日前		55日前		25日前
大気モデル					
バージョン ^c	GSM8911	GSM0103	同左	GSM0603 ^d	同左
解像度	T42 L21	T42 L40	同左	TL95 L40	同左
大気初期値	GANAL ^e	同左	同左	JRA-25/JCDAS	同左
海洋モデル	ODASに使用している海洋モデル ^f	同左	同左	MRI.COM ^f	同左
解像度	東西2.5度×南北 0.5～2.0度 L20			東西1度×南北 0.3～1.0度 L50	
海洋データ同化					
名称	ODAS	同左	同左	MOVE/MRI.COM-G	同左
客観解析法	2次元最適内挿法 (2D-OI)	3次元変分法 (3D-Var)	同左	3次元変分法+水温・塩分鉛直結合 EOFによる拘束条件	同左
解析変数	水温	水温・塩分・ 海面高度	同左	水温・塩分・海面 高度	同左
同化手法	ナッジング ^g	簡易IAU ^h	同左	IAU	同左

^a ODAS による海洋データ同化システムは、大気海洋結合モデルに先行して、1995 年 2 月に運用が開始された。また、1999 年 8 月にエルニーニョ監視速報への利用が開始された。

^b ODAS は、大気海洋結合モデルに先行して、2003 年 1 月に更新された。

^c 大気モデルのバージョンを示す。末尾の 4 桁の数字は、短期予報向け全球数値予報モデルに導入された年月を意味する。GSM8911, 0103, 0603 の概要は、それぞれ里田 (1990)、松村 (2000)、北川 (2006) などを参照していただきたい。

^d 大気海洋結合モデル向けの調整が施されており、物理過程が短期予報業務向けの全球モデルと一部異なる。

^e 短期予報モデル向けに数値予報課が運用している全球大気データ同化のサイクル解析。

^f ODAS に使用している海洋モデル、MRI.COM とも 3 次元海洋大循環モデルという点では共通であるが、MRI.COM は高解像度化と物理過程の改良が図られており、北西太平洋の海況監視のための高解像度版も有する共用モデルである。

^g 第一推定値から解析値へ、時間発展方程式の中で徐々に近づけながら同化する手法。

^h IAU (Incremental Analysis Update) は、第一推定値の解析誤差をあらかじめ計算しておき、インクリメントとして同化期間中一定の割合で与える手法。ナッジングより場を乱さずに修正できる利点がある。ただし、ODAS と MOVE-G の IAU の違いについては、石崎ほか (2009) を参照していただきたい。

2. 変更の概要

2.1 海洋データ同化システムの変更

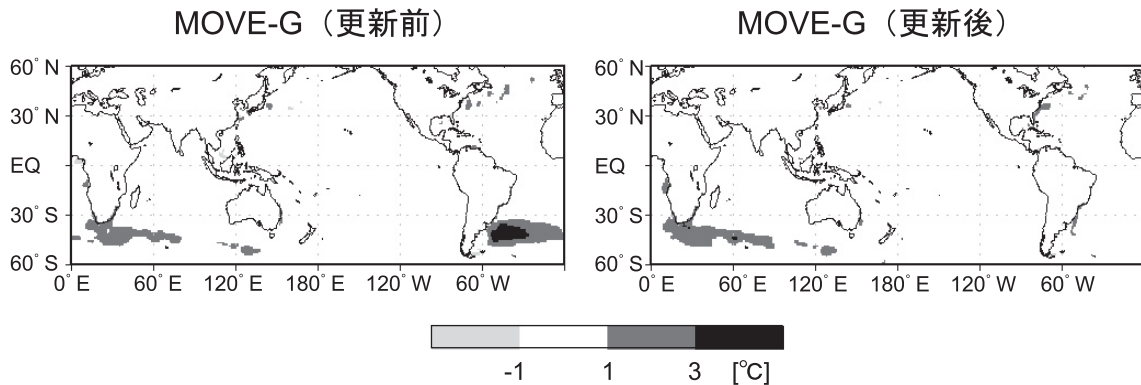
2008年2月のMOVE-Gの導入により熱帯域の海洋変動の解析精度は向上した(例えば石崎ほか, 2009)。しかし, MOVE-Gによる海洋再解析によると, 衛星観測による海面高度計データが使用できるようになった1993年ころを挟む統計期間の表層水温のトレンドに関して, 南米南東沖に局地的に大きな正の領域が現れることが分かった(第2図左)。主な原因として, 次の点が考えられた。まず, 南米南東沖は, 水温と塩分の水平, 鉛直勾配が大きく, 現状のモデルの解像度では, 変動の再現の難しい領域である。そのうえ, データ同化の観点では, この海域は現場観測データが少なく, 衛星による海面高度計データが解析結果に大きく影響する。海面高度には, 密度の鉛直分布, すなわち水温と塩分の鉛直分布が反映される。この領

域では水温と塩分ともに水平, 鉛直勾配が大きいため, 解析の結果ある大きさの海面高度の修正が必要な場合, 他海域に比べて大きな水温と塩分の修正が必要になる。そのため, 南米南東沖では, 海面高度から海洋の水温と塩分の3次元構造を解析することが, 他海域に比べてさらに困難になっている。

ここでは, 以下の変更を行った。

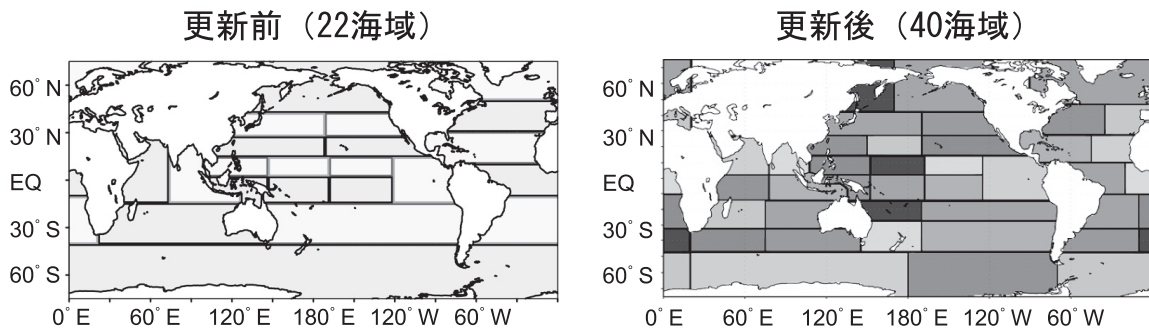
- 南米南東沖における海面高度計データの観測誤差の引き上げ,
- 水温塩分結合鉛直 EOF モード統計における海域分割数の増強 (特に, 局地的に大きな正のトレンドが見られた40°S付近の領域を細分化) (第3図),
- 統計量算出における海面高度計データの使用中止。

さらに, 海洋ブイなど1日に複数回観測するデ



第2図 MOVE-G再解析における, 海面から700mまでの鉛直平均水温の1999~2002年と1989~1992年の期間平均値の差

左が更新前, 右が更新後の海洋データ同化システムによる結果を示す。



第3図 MOVE-Gの水温塩分結合鉛直 EOF モード統計における海域分割

左が更新前, 右が更新後の海洋データ同化システムにおける設定を示す。

一タの取り扱いの改良（参照するデータを，複数回のうち最古の観測値から1日間の全データの観測値の平均への変更）も同時に行った。

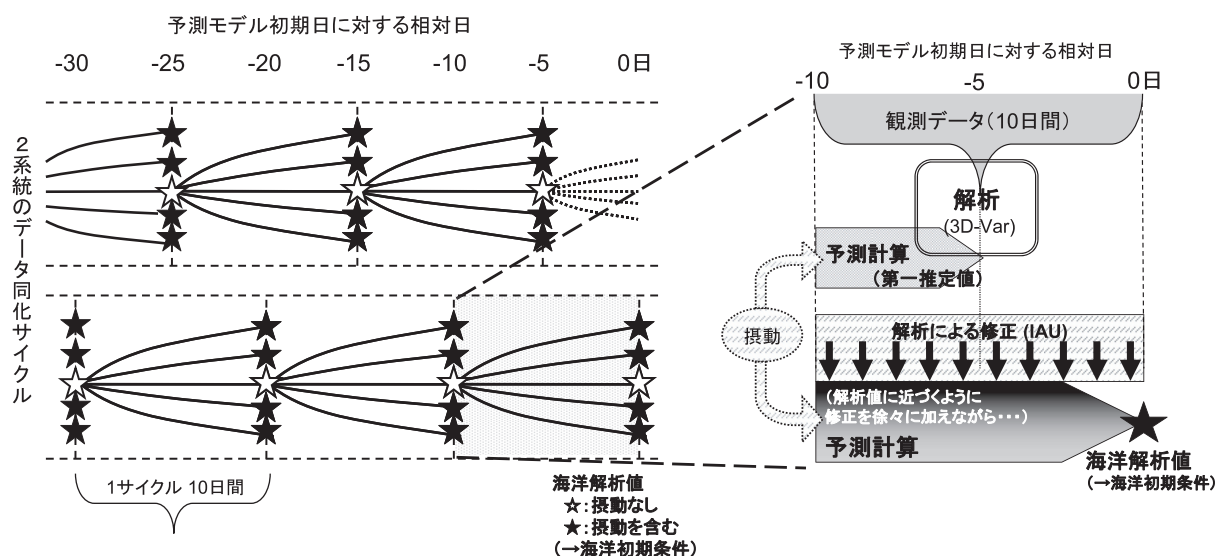
これらの変更により，南米南東沖の不自然な水温変動の問題が解消した（第2図右）．これには，南米南東沖における海面高度計データの観測誤差の引き上げの効果が最も寄与したと思われる．一方，アフリカ南東沖には依然として大きな表層水温の正のトレンドが残っており，今後の課題として考える．また，太平洋赤道域東部の表層水温の低温バイアスがやや軽減することも確認できた（図略）．

2.2 海洋初期摂動の導入

MOVE-Gによる海洋データ同化システムから大気海洋結合モデル向けの海洋初期条件を求める模式図を第4図に示す．慣性重力波成分など，モデルに対して悪影響を及ぼす可能性のある数日周

期以下の短周期変動成分の影響を避けるため，またデータ同化に用いる観測データ数を確保するため，同化期間は10日とする．解析日を5日ずらした2系統のシステムを用意することで，5日ごとに海洋解析場を求め，これを大気海洋結合モデルの海洋初期条件として利用する（第4図左）．

今回のシステム更新では，海面風応力の摂動に関わる海洋初期摂動を導入した．海面風応力の摂動は，大気モデルによる成長モード育成法（Breeding of Growing Mode 法；Toth and Kalnay 1993, 1997）で得られる海上風の摂動から診断的に求める．海面風応力摂動（2メンバー）から風応力の基本場（JRA-25/JCDAS）に加算・減算することで，4メンバーの摂動を含む風応力場を求める．こうして得られる摂動を含む風応力場（4メンバー）を海洋同化システムへそれぞれ与えることで，摂動を含む海洋初期値（4メンバー）を求める（第4図右）．



第4図 MOVE-Gのデータ同化サイクル（左）と各サイクルの概要を示す模式図（右）

2.3 アンサンブルメンバー数の増強

海洋初期摂動の導入により、同一初期日に複数のアンサンブルメンバーを確保できるようになった。ただし、今回の変更では、同一初期日に確保できるメンバー数は5メンバー（コントロールラン1メンバーと摂動ラン4メンバー）と、そのみでアンサンブル予測を行うにはメンバー数が不十分であるため、海洋初期摂動とLAF法を併用する。

第5図に、従来システムと新しいシステムにおけるアンサンブルメンバーの集め方の概要を示す。大気海洋結合モデルは海洋初期条件の求まる5日ごとに実行される。従来は、最新の初期日を含む過去12初期日分の予測結果を集め、12メンバーのアンサンブル予測を行っていた。そのため、最大55日前の初期日から始めた予測結果がメンバーの一つとして使われていたことになる。今回の変更では、海洋初期摂動の導入により1初期日に5メンバーを確保できるようになった。そこで、最新の初期日を含む6初期日分の予測結果を集め、計30メンバーによるアンサンブル予測を行うことにした。その結果、LAF法のラグ期間を55日から25日へ短縮するとともに、アンサンブルメンバー数を12から30へ増強できた。

3. 新システムによる SST の予測精度

ここでは、新旧のエルニーニョ予測システムを用いた過去事例の予測実験（ハインドキャスト実験）を行い、海面水温（SST）の予測結果について比較し予測精度の改善状況を確認する。ハインドキャスト実験として、次の2つの実験を行った。

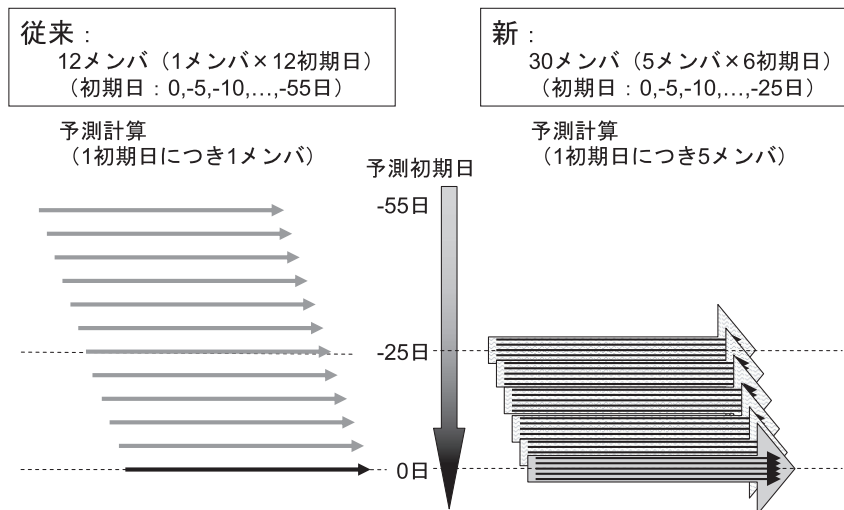
・実験1 コントロールラン実験

従来と新システムのコントロールランを比較する。ここでは、新しい海洋データ同化システムによる効果を確認する。

・実験2 アンサンブル実験

ここでは、海洋初期摂動の導入に伴い、アンサンブルメンバーの集め方を変えたときの予測精度への影響を調べる。ここでは、いずれのメンバーも新しい海洋データ同化システムにより海洋初期場を作成し、海洋データ同化システムの変更の影響を除いた、アンサンブル手法の変更のみの影響を確認する。

それぞれの実験結果について、以下に示す。なお、モデルの予測値と比較するためのSSTの解析値は、COBE-SST (Ishii *et al.*, 2005) を用いた。



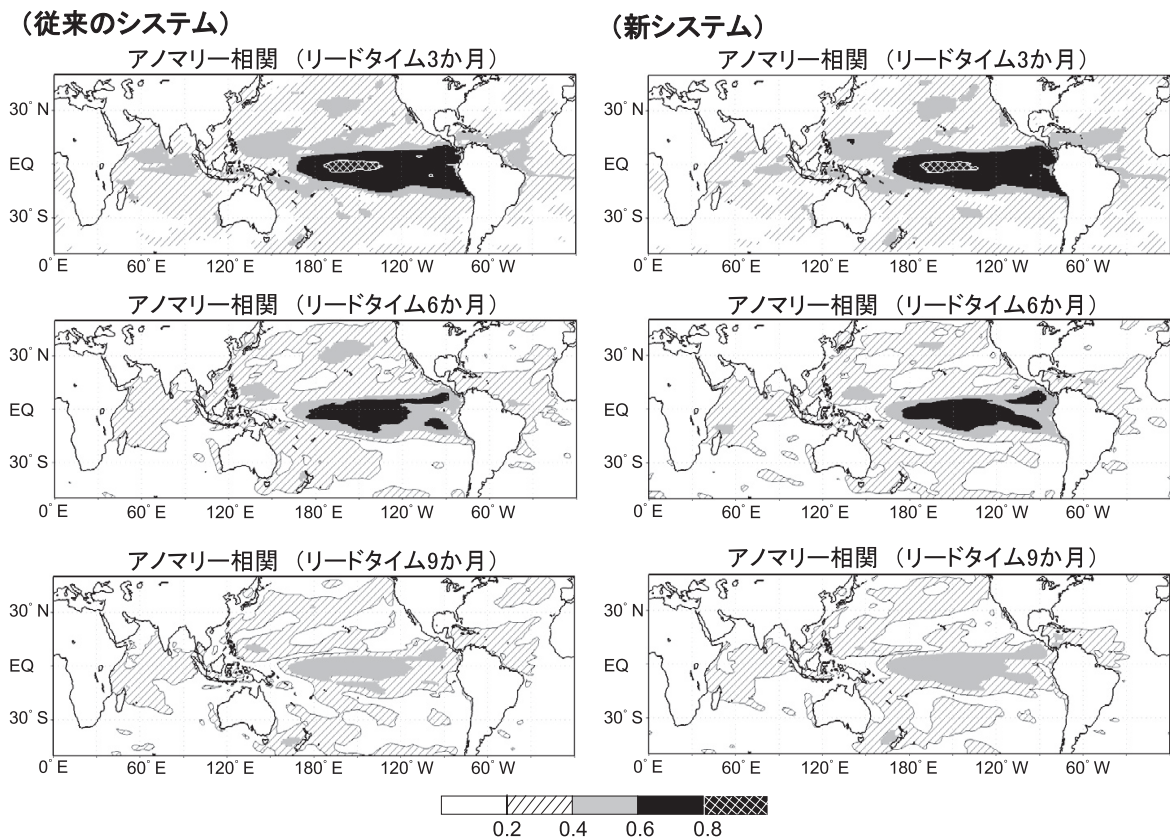
第5図 アンサンブルメンバーの取り方の概念図
左が従来システム、右が新システム。

3.1 コントロールラン実験

1979年1月～2003年12月(25年間)の年12初期日(1/1, 1/31, 3/2, 4/1, 5/1, 5/31, 6/30, 7/30, 8/29, 9/28, 10/28, 12/2)について, 新システムと従来のシステムのコントロールランを比較する. 両システムのSSTのアノマリー相関(予報値の年平均偏差と実況値の年平均偏差の相関係数で表した指標. ここでは, 予測値としてアンサンブル平均, 実況値としてCOBE-SSTの解析値を用い, ハインドキャスト実験の期間(1979～2003年)を統計期間とする年平均偏差に関するアノマリー相関を示す.)を第6図に示す. なお, ここでは, 予測初期日を含む予測対象月を予測時間0か月と表すことにする.(ただし, 予測初期日が月末の場合, その翌月を予測時間0か月とする.) 両システムとも, 予測時間6か月の予測でも, 太平洋

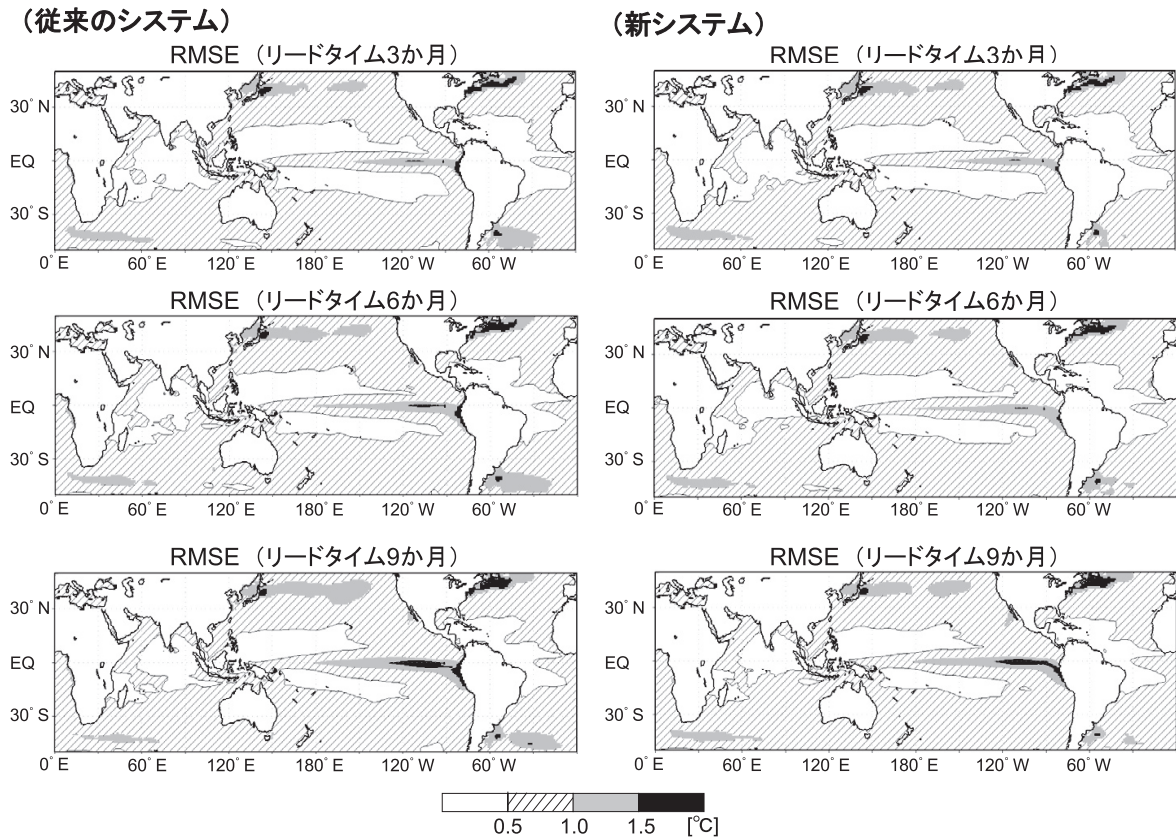
赤道域の中部で0.6以上の予測精度の高い領域が東西に広く見られるなど, 両システムのアノマリー相関における予測精度の空間分布には大きな違いはない. 両システムの予測特性が類似しているのは, 今回のシステム更新で大気海洋結合モデルの変更はないことによると考えられる. 詳細に見ると, フィリピンの東方沖やインド洋熱帯域でも, 予測時間3か月でアノマリー相関が0.4以上の領域が若干拡大している. また, エルニーニョ監視海域にあたる太平洋赤道域東部でも, 新システムで若干の精度の向上が見られ, これに関連して, NINO.3のSSTのアノマリー相関が0.6以上である予測時間は, 6か月から7か月へ延びるなど顕著ではないが予測精度の向上が見られた(図略).

第7図に両システムのSSTの平方根平均二乗誤差(RMSE)を示す. 従来のシステムに見られ



第6図 予測時間3(上), 6(中), 9(下)か月のSSTのアノマリー相関

左が従来のエルニーニョ予測システム, 右が新エルニーニョ予測システムによる予測. COBE-SSTによる解析に対するアノマリー相関を示す.



第7図 予測時間3(上), 6(中), 9(下)か月のSSTのRMSE
 左が従来のエルニーニョ予測システム, 右が新エルニーニョ予測システムによる予測. COBE-SSTによる解析に対するRMSEを示す.

た南米南東沖の東西に延びるRMSEの大きい領域で予測時間を通じて, RMSEが減少し, 新システムでは改善していることが分かる. これは, 今回の海洋データ同化システムの変更による効果と考えられる.

3.2 アンサンブル実験

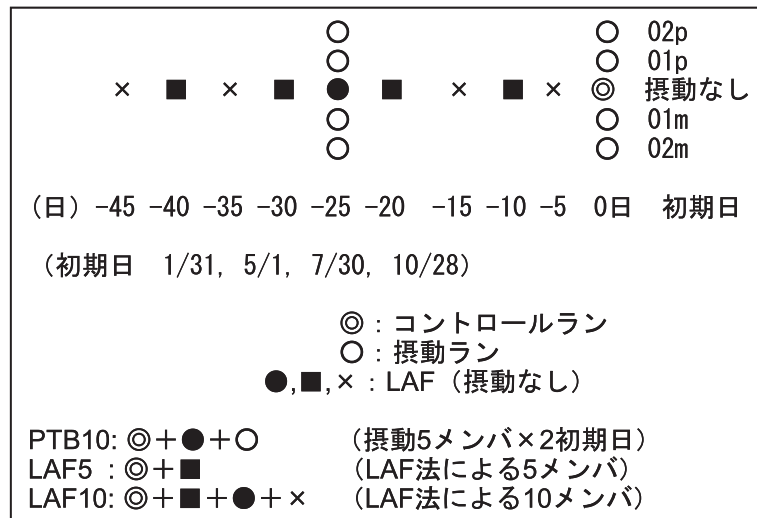
3.2.1 実験の概要

1996年4月~2006年3月(10年間)の年4初期日(1/31, 5/1, 7/30, 10/28)について, 新システムによるアンサンブルメンバーの取り方による予測精度の違いを評価する. ここでは, すべて新しいシステムにより予測計算を行い, アンサンブルメンバーの取り方による影響のみに注目する. メンバーの取り方は次の3パターンを考える(第8図).

- ・「PTB10」: 当日と25日前初期日の海洋初期摂動を用いた10メンバー
- ・「LAF5」: LAF法による5メンバー(初期日0, -10, -20, -30, -40日前)
- ・「LAF10」: LAF法による10メンバー(初期日0, -5, -10, ..., -45日前)

今回のシステム変更が, 海洋初期摂動の導入・LAF法のラグ期間の短縮・メンバー数増であることを考慮すると, 「LAF5」と「PTB10」の比較が今回のアンサンブル手法の変更の効果を確かめるのに適している. そのため, ここでは主に「LAF5」と「PTB10」を比較するが, アンサンブル手法の変更のみの効果を考えるために「LAF10」と「PTB10」の比較も行った.

PTB10 vs. LAF5 or LAF10



第 8 図 「PTB10」と「LAF5」, 「LAF10」のアンサンブルメンバーの集め方の違い

「PTB10」は、当日と 25 日前初期日の海洋初期摂動を用いた 10 メンバー。
「LAF5」は、LAF 法による 5 メンバー（初期日 0, -10, -20, -30, -40 日前）。
「LAF10」は、LAF 法による 10 メンバー（初期日 0, -5, -10, ..., -45 日前）。

3.2.2 結果

熱帯 (20°S ~ 20°N) と全球 (海洋モデル領域全体 (75°S ~ 75°N)) のアノマリー相関, RMSE, スプレッドに関する検証結果を以下に示す。

3.2.2.1 アノマリー相関

初めに、「PTB10」と「LAF5」を比較する (第 9 図)。熱帯では予測初期から予測時間 3 か月にかけて、全球では予測初期から予測時間 4 か月にかけて、「PTB10」の方が「LAF5」よりアノマリー相関に見られる予測精度が高くなっている。その後は、両者のアノマリー相関はほぼ同程度になる。

「PTB10」と「LAF10」を比較した場合、予測時間 2 か月までのアノマリー相関は、「PTB10」の方が「LAF10」よりも高くなる。一方、予測時間 3 か月以降は、「PTB10」のアノマリー相関が「LAF10」より低くなる。

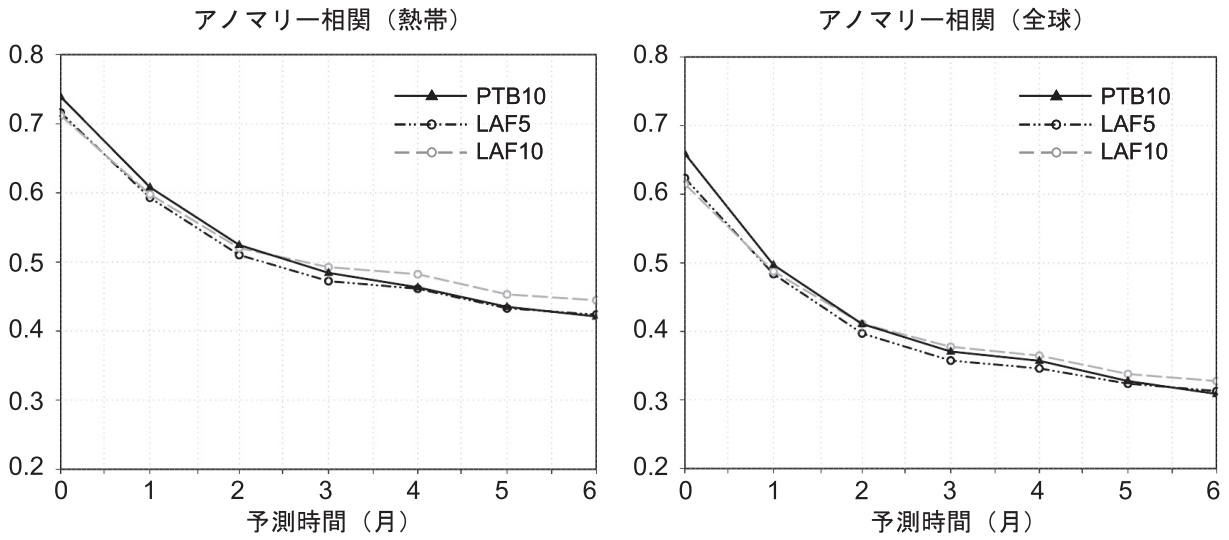
3.2.2.2 RMSE

「PTB10」と「LAF5」の SST の RMSE (第 10

図) は、熱帯・全球ともに、「PTB10」の方が「LAF5」よりすべての予測時間で小さくなる。一方、「PTB10」と「LAF10」を比較した場合、「PTB10」の RMSE は予測時間 1 か月までは「LAF10」より小さいが、その後は「LAF10」より大きい。これらの特徴は、アノマリー相関に見られた予測精度の特徴と共通する。

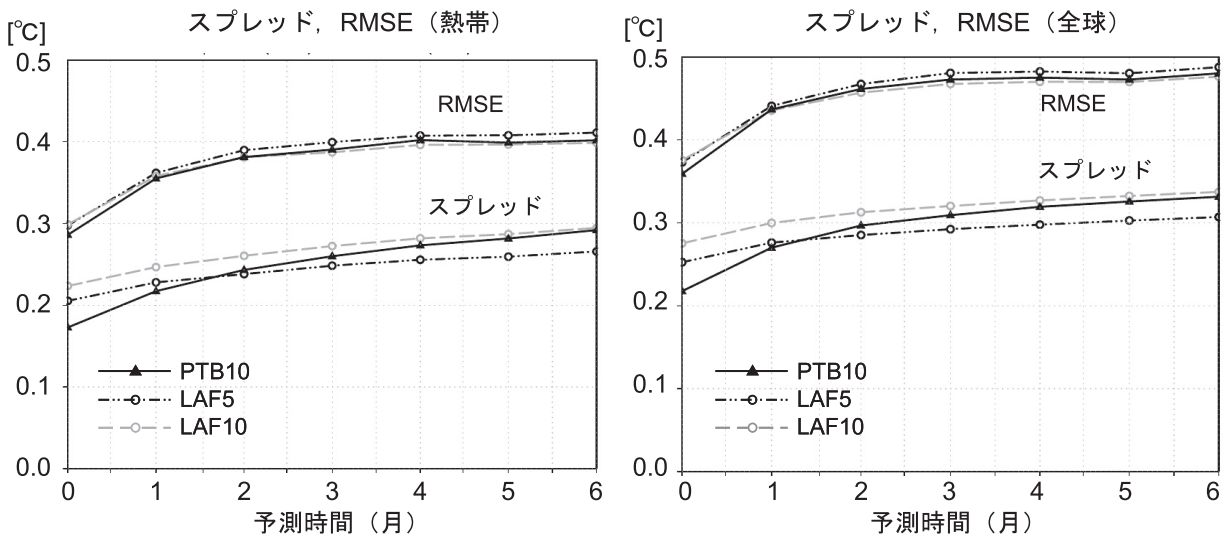
3.2.2.3 スプレッド

アンサンブル予測システムとしては、スプレッドが予測誤差と同程度であることが望ましい。しかし、現状では、スプレッドが RMSE に見られる予測誤差に比べて過小になっており、スプレッドが予測誤差とほぼ同程度となるような予測システムの開発が求められている。「PTB10」の SST のスプレッドは、熱帯・全球のいずれの領域とも、予測時間 1 か月まで「LAF5」より小さいものの、その後は「LAF5」より大きい。ただし、「PTB10」のスプレッドは「LAF10」と比べると予測初期を中心に小さい。



第9図 熱帯 (20°S ~ 20°N) (左) と全球 (右) の SST 予測のアノマリー相関

黒色実線が「PTB10」、黒色鎖線が「LAF5」、灰色破線が「LAF10」。ここで全球とは、海洋モデル領域全体 (75°S ~ 75°N) を意味する。



第10図 第9図と同じ

ただし、スプレッドとRMSE.

4. 考察（初期摂動と LAF 法を併用することについて）

新しいエルニーニョ予測システムでは、アンサンブル手法として、従来の LAF 法から初期摂動と LAF 法を併用する方法へ変更し、LAF 法のラグ期間の短縮と同時にメンバー数の増強を図った。ここでは、第 3.2.2 項に示したアンサンブル実験の結果をもとに、今回のアンサンブル手法の変更について考察する。

アンサンブル実験から、アノマリー相関や RMSE に見られる予測精度に関して次のことが考えられる。予測初期の数か月程度は、「PTB10」の予測精度が「LAF5」、「LAF10」に比べて高く、この傾向は予測初期ほど顕著である。これは、「PTB10」がほかに比べて LAF 法のラグ期間が短い効果と考えられ、新しいシステムにより予測精度の向上が期待できる。

一方、予測時間数か月以降の長い予測時間に対する「PTB10」の予測精度は、「LAF5」に比べわずかに高いものの、「LAF10」よりは低い。これは、今回の変更を想定した「PTB10」と「LAF5」の比較に関しては、わずかではあるものの予測精度が向上することを意味する。しかし、「PTB10」と「LAF10」の比較によると、最大 2 か月程度の LAF 法を採用した場合、LAF 法により初期日の数ある程度確保した方が、予測精度が高くなることを意味する。ただし、この点に関しては、ハインドキャスト実験では計算機資源の制約から、「PTB10」に含まれる初期日は 2（当日と 25 日前）と「LAF10」に含まれる初期日 10 より少ないものの、実際の新システムの予測頻度は従来のシステムと変わらないため、懸念する必要はないと考えられる。また、LAF 法のみではメンバー数の増強に限界があることにも留意する必要がある。実際、新システムと同じ 30 メンバーのアンサンブル予測を LAF 法のみで行うためには、約 5 か月前の初期日の予測まで利用する必要がある。これは、予測時間に対する予測精度の低下を考えると現実的ではない。実際、初期のシステムでもラグ期間は 75 日であり、2005 年 6 月にラグ期間を短縮し、予測精度が向上した経緯がある（第 1 表）。すなわち、新システムでは、海洋初期摂動の導入

により同一初期日に複数のメンバーを確保できることで、従来のシステムより大規模な 30 メンバーのアンサンブル予測が可能になった点は重要である。

なお、スプレッドは、いずれのアンサンブル手法でも予測誤差に比べて過小である。「PTB10」のスプレッドは、予測初期に「LAF5」、「LAF10」と比べて明りょうなスプレッドの過小傾向がある。予測初期の「PTB10」の予測精度は LAF 法のみを用いるより改善するが、これまでと同様にスプレッドが予測精度の対して過小な点には、実際の利用の際に留意する必要がある。一方、長い予測時間では、従来のシステムを想定した「LAF5」よりもスプレッドの過小傾向が軽減されるが、その効果は海洋初期摂動の導入の効果よりメンバー数の増強の寄与が大きいことを示している。

5. まとめ

2009 年 2 月に、エルニーニョ予測システムの変更を行った。今回の変更では、大気海洋結合モデル本体の変更はないものの、海洋初期摂動によるアンサンブル手法の導入と海洋データ同化システムの変更を行った。海洋初期摂動の導入により、アンサンブルメンバー数の増強と同時に LAF 法におけるラグ期間の短縮を図ることができた。

ハインドキャスト実験を行い、今回の変更による海洋の予測精度に対する効果について調べた。まず、海洋データ同化システムの変更により、熱帯域の SST の予測精度はほぼ同程度であるものの、南米南東沖では表層水温の解析場におけるトレンドが適切になり、この領域の予測誤差が小さくなることを確認した。次に、海洋初期摂動の導入によるメンバー数の増強とラグ期間の短縮による効果を確認した。アノマリー相関に見られる予測精度が予測初期を中心に向上した。SST のスプレッドは予測のごく初期を除いて拡大し、スプレッド過小の問題を軽減できることも分かった。ただし、これらの改善は、海洋初期摂動の導入の効果よりメンバー数の増強の寄与が大きかった。

最後に、今後の開発に向けた課題を挙げる。気候情報課は、2009 年度末にエルニーニョ予測システムを季節予報システムと統合し、同一の予測

システムにより、エルニーニョ予測と季節予報のための予測資料を提供する予定である。これにより、エルニーニョ監視速報と季節予報の整合性を高めることができる。今後は、海洋に加えて大気への予測精度の向上も一段と重要となることから、大気モデルには海面の熱収支のバイアスが小さいだけでなく、大気循環場の予測精度の向上も重要になる。また、海洋モデルに関しては、将来の計算機資源の状況にもよるが、高解像度化することで、特に水温、塩分の勾配の大きい領域における変動の再現性が向上すると思われる。

他方、アンサンブル手法にも課題がある。今回のシステムでは、程度は小さくなるものの、スプレッドが予測誤差に比べて過小な状態が続く。モデルの予測精度は予測初期ほど急激に低下することを考慮すると、将来的にはLAF法を極力利用しないアンサンブル予測を目指す必要がある。しかし、現状では、同メンバー数のアンサンブル予測の場合、初期摂動によるスプレッドはLAF法より小さく、初期摂動とLAF法を併用せざるを得ない。2009年度末のシステム変更時には、初期摂動作成の改良として、海洋モデルに与える初期摂動の要素を、今回の変更の1要素（風応力）に加えて熱フラックスに関わる摂動を加えるほか、大気にも初期摂動を加えることで、スプレッドの拡大を図る予定である。

参 考 文 献

- Hoffman, R. N. and E. Kalnay (1983) : Lagged average forecasting, an alternative to Monte-Carlo forecasting. *Tellus*, 35, 100-118.
- Ishii, M., A. Shouji, S. Sugimoto, and T. Matsumoto (2005) : Objective Analyses of Sea-Surface Temperature and Marine Meteorological Variables for the 20th Century using ICOADS and the Kobe Collection. *Int. J. Climatol.*, 25, 865-879.
- 石川一郎・辻野博之・平原幹俊・中野英之・安田珠幾・石崎廣 (2005) : 気象研究所共用海洋モデル (MRI.COM) 解説. 気象研究所技術報告, 第 47 号.
- 石崎士郎・曾我太三・碓氷典久・藤井陽介・辻野博之・石川一郎・吉岡典哉・倉賀野連・蒲地政文 (2009) : MOVE/MRI.COM の概要と現業システムの構築. 測候時報, 76, 特別号, S1-S15.
- 北川裕人 (2006) : 高解像度全球モデル. 平成 18 年度数値予報研修テキスト, 気象庁予報部, 7-10.
- 松村崇行 (2000) : 全球モデル. 平成 12 年度数値予報研修テキスト, 気象庁予報部, 17-22.
- 里田弘志 (1990) : 新全球モデルの概要. 平成 2 年度数値予報研修テキスト, 気象庁予報部, 2-10.
- Toth, Z. and E. Kalnay (1993) : Ensemble forecasting at NMC: The generation of perturbations. *Bull. Amer. Meteor. Soc.*, 74, 2317-2330.
- Toth, Z. and E. Kalnay (1997) : Ensemble forecasting at NCEP and the breeding method. *Mon. Wea. Rev.*, 125, 3297-3319.
- Usui, N., S. Ishizaki, Y. Fujii, H. Tsujino, T. Yasuda, and M. Kamachi (2006) : Meteorological Research Institute Multivariate Ocean Variational Estimation (MOVE) System: Some early results. *Adv. Space Res.*, 37, 806-822.