



# 第1章 基礎編

## 1.7.10 季節アンサンブル予報システム

# 季節アンサンブル予報システム

季節アンサンブル予報システム(JMA/MRI-CPS3)	
運用	2022年2月～
数値モデル	大気海洋結合モデル(第3世代)
水平分解能	大気: 約55km 海洋: 経度方向0.25度×緯度方向0.25度
鉛直層数	大気: 100層(上端0.01hPa) 海洋: 60層
初期値	大気: 全球速報解析 陸面: オフライン地表面解析(*) 海洋: 4次元変分法(*) 海氷: 3次元変分法(*) * 大気強制力は、速報解析部分が全球速報解析で、 遅延解析部分がJRA-3Q
予報時間	240日
メンバー数	初期値あたり5メンバー
実行頻度	1日1回
再予報	24初期値×5メンバー×30年(1991～2020年)
再予報初期値	大気: 気象庁第3次長期再解析(JRA-3Q) 海洋: 4次元変分法(大気強制力: JRA-3Q)
モデル出力解像度	全球域1.25度、日本域0.5625度

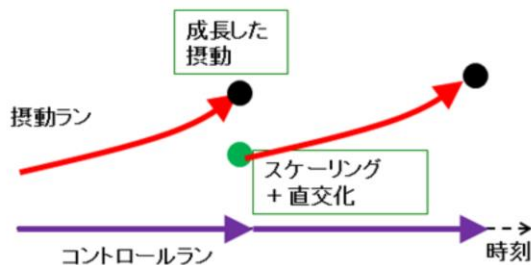
季節アンサンブル予報システムには、大気海洋結合モデルが用いられている。大気海洋結合モデルは海洋・海氷モデルの計算が加わり、大気モデルに比べて多くの計算機資源を必要とするため、大気部分の解像度は全球アンサンブル予報システム(GEPS)より粗くなっている。現業予報における大気・陸面初期値は、全球アンサンブル予報システム(GEPS)と同じであるが、海洋部分の初期値を4次元変分法、海氷の初期値を3次元変分法にて作成している点が異なる。1日1回5メンバーの計算を実施しており、予報時間は、時間ずらし平均法(LAF法)とリードタイムを考慮しても6か月予報に十分な期間として240日間となっている。

# 季節アンサンブル予報システム

## アンサンブル摂動

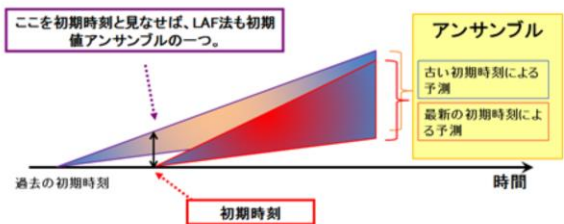
### ▶ 成長モード育成法(BGM法)

BGM(Breeding of Growing Mode)法は、前初期時刻の解析値に摂動を足し込んだ予測と足し込まない予測をそれぞれ計算することで、初期時刻までに成長した摂動を抽出する。



### ▶ 時間ずらし平均法(LAF法)

LAF(Lagged Average Forecasting)法はアンサンブル予報技術の一つで、最新の初期値だけでなく、古い初期値からも予報を行い、その結果を組み合わせるアンサンブル予報を構成する手法である。



季節アンサンブル予報システムの初期値あたりの摂動は、成長モード育成(BGM: Breeding of Growing Mode)法(Toth and Kalnay, 1993)で作成される。BGM法とは前初期時刻の解析値に摂動を足し込んだ予測と足し込まない予測をそれぞれ計算することで、初期時刻までに成長した摂動を抽出する手法である。予報の初期時刻以外の期間もBGMサイクルを維持する必要があるが、全球アンサンブル予報システム(GEPS)で用いている特異ベクトル(SV: Singular Vector)法に比べると計算コストが小さい。初期値直後から成長する摂動を作成する方法としてはSV法の方が優れているが、季節予報では週間から2週間の予報より初期値の重要性が比較的小さいため、計算コストの小さいBGM法を用いている。なお、季節アンサンブル予報システムの初期値あたりのコントロールメンバーとBGM法による摂動メンバーは合わせて5メンバーしかなく、季節予報における不確実性を表現するには不十分である。このため、季節予報では古い初期値からの予報も摂動として組み合わせることで、不確実性を評価するために十分な摂動数を確保する。この様に、最新の初期値だけでなく、古い初期値からも予報を行い、その結果を組み合わせるアンサンブル予報を構成する手法は、時間ずらし平均(LAF: Lagged Average Forecasting)法(Hoffman and Kalnay, 1983)と呼ばれる。LAF法は単純である上に、計算機資源を複数の日に分散することが出来るが、古い初期時刻からの予報精度は一般的に最新の初期時刻より低いため、予報精度が低下する。しかし、初期値の重要性が比較的小さい季節予報では、古い初期値を利用するによる予報精度の低下は僅かである。

# 季節アンサンブル予報システム 再予報

## ◆ 再予報(過去予報)

英語では、**Re-forecast (Hindcast)**と言うため、  
日本語でも、**ハインドキャスト**と呼ばれることもある。  
**Hindcast**は、**Behind + Forecast**の造語である。  
運用するモデルを用いて行う過去事例の予報実験

### ➤ 再予報の目的

- 予測精度の評価
- モデル統計値(気候値・平年値)や系統誤差の計算

### ➤ 再予報の期間

- エルニーニョ・ラニーニャ現象等による変動の影響を除去するため、最低20年間以上は必要。平年値と同じ30年間が望ましい。

### ➤ 問題点

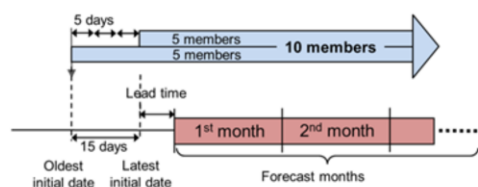
- 多くの過去事例について計算するため、大量の計算機資源を必要とする。  
(気象庁では計算機資源の制約のため、運用モデルに比べて計算頻度を減らしている。)

季節予報を目的とした数値予報システムでは、予測精度の評価やモデル統計値(気候値・平年値)や系統誤差の計算のために再予報(Re-forecast, Hindcast)を行うことが一般的で、日本の気象庁だけでなく季節予報を実施している世界各国の数値予報センターでも実施されている。再予報はエルニーニョ・ラニーニャ現象等の数年周期の変動の影響を除去するために、最低20年以上の期間が必要で、平年値と同じ30年間が望ましい。しかしながら、多くの過去事例について計算するため、大量の計算機資源を必要とするため、気象庁では計算機資源の制約のため、運用モデルに比べて計算頻度を減らしている。

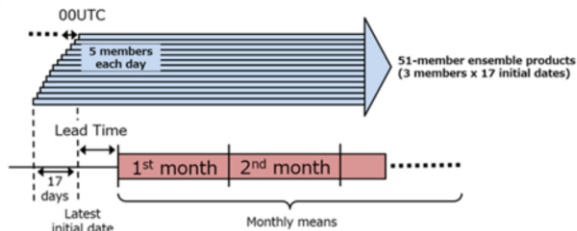
# 季節アンサンブル予報システム

## 再予報と現業予報の比較

### ■ 再予報



### ■ 現業予報



初期月 LAF初期日構成

1月	12/27, 12/12
2月	1/31, 1/16
3月	2/25, 2/10
4月	3/27, 3/12
5月	4/26, 4/11
6月	5/31, 5/16
7月	6/30, 6/15
8月	7/30, 7/15
9月	8/29, 8/14
10月	9/28, 9/13
11月	10/28, 10/13
12月	11/27, 11/12

- ▶ 再予報は現業予報と完全に同一のモデルを用いて行う必要がある。
- ▶ 計算機資源制約のため、再予報を実施する初期値は、月2日と少ない。
- ▶ 再予報の計算期間は、平年値と同じ1991～2020年の30年間である。

図は再予報と現業予報の仕様を比較したものである。系統誤差補正に利用するため、再予報は現業予報と完全に同一のモデルを用いて行う必要がある。現業予報では、毎日5メンバーの予報を行い、うち3メンバーを利用して17初期日のLAF法で51メンバーのアンサンブル予報を構成して予報を行っている。一方、再予報では15日間隔の月2日の初期値でそれぞれ5メンバーの予報を行い、LAF法で10メンバーのアンサンブル予報を構成している。再予報の計算期間は、平年値と同じ1991～2020年の30年間である。

# 季節アンサンブル予報システム 再予報の利用

## ■ 系統誤差(バイアス)

- モデル気候値(モデル平年値)と解析気候値(解析平年値)の差

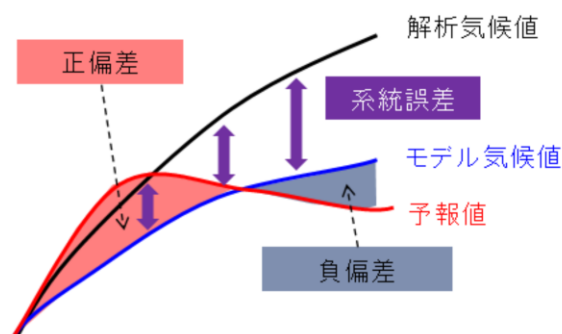
## ■ 偏差(平年差)

- モデル気候値(モデル平年値)と予報値の差

モデル気候値と予報値は同程度の系統誤差を持つため、  
系統誤差の影響を最小限にすることが出来る。

## ■ 問題点

- ジェット気流の位置など、系統誤差補正が出来ない要素もある。  
このため、より系統誤差の小さい  
数値予報モデル開発が不可欠である。



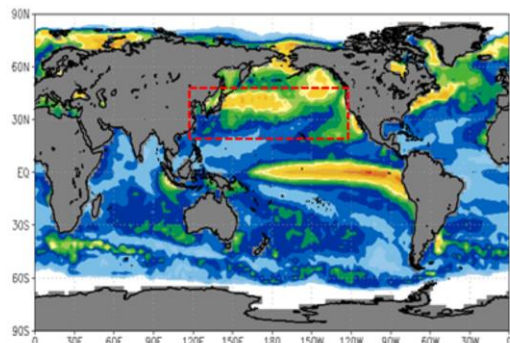
再予報は、系統誤差補正や偏差(平年差)の算出に利用されている。系統誤差とは、再予報の計算結果を平均して求めたモデル気候値(モデル平年値)と解析気候値(解析平年値)の差である。偏差(平年差)は、解析気候値(解析平年値)との差でも算出できるが、その場合は系統誤差の影響を受ける。モデル気候値(モデル平年値)と予報値の差を取ることで、系統誤差の影響を最小限にすることが出来る。しかし、モデル気候値(モデル平年値)を用いて、系統誤差の影響を最小限に補正することが出来るのは、気温やジオポテンシャル高度などの一部要素に限られ、ジェット気流の位置の系統誤差などは補正が不可能であるため、より系統誤差の小さい数値予報モデルを開発していくことが不可欠である。

# 季節アンサンブル予報システム

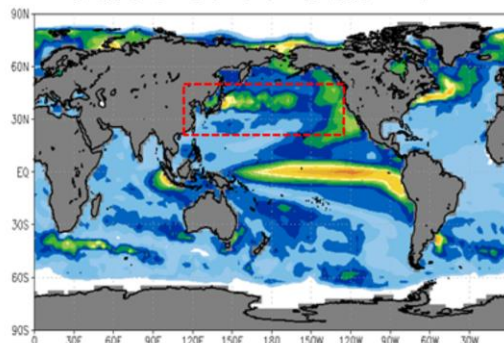
## 予測精度(海洋変動)

### 海面水温標準偏差

解析値(MGDSST)



季節アンサンブル予報システム

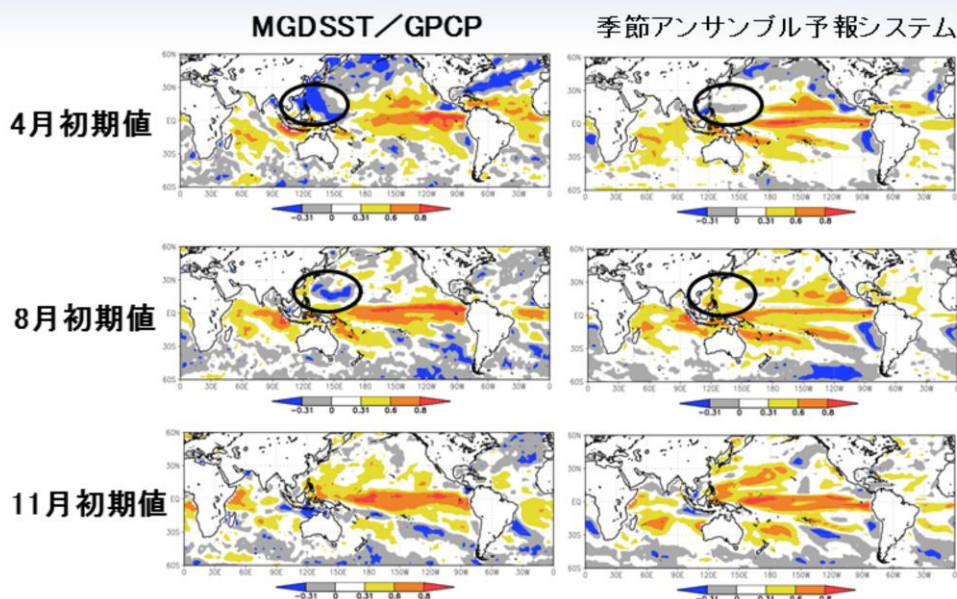


[K]

図は海面水温の標準偏差について、解析値(MGDSST)と季節アンサンブル予報システムを比較したものである。熱帯付近の海洋の渦を解像できる0.25度の渦許容海洋モデルを結合しているため、熱帯における海洋の変動は良く再現されていることが分かる。一方、より海洋の渦のスケールが小さい中緯度の黒潮続流域などでは海洋変動量が過小であるため、利用の際には注意が必要である。中緯度における海洋変動の再現性を改善するには、中緯度の海洋の渦を解像出来る0.1度の渦解像モデルの結合が必要である。

# 季節アンサンブル予報システム

## 予測精度(海面水温と降水量の相関)



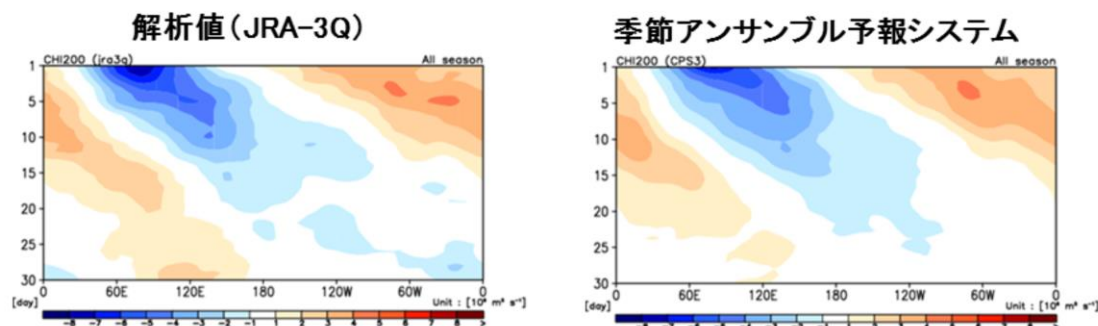
各初期月からの3か月予報における海面水温と降水量の相関

季節アンサンブル予報システムで用いている大気海洋結合モデルは、海面水温と降水量の過剰な正相関を抑制して、熱帯海洋変動に関連した大気海洋相互作用の再現性を向上する。しかしながら、4～8月の暖候期において、解析値では日本の南の海上では海面水温と降水量が負相関であるが、季節アンサンブル予報システムでは負相関となっていない。大気の解像度が粗く、熱帯低気圧による海面水温の急激な変化を十分に再現出来ていないこと等が考えられる。



# 季節アンサンブル予報システム 予測精度(赤道季節内振動(MJO))

## 200hPa速度ポテンシャルのホフメラー図



図は、インド洋域にMJOの対流活発位相がある時(Phase3)のCHI200合成図(全季節)

季節アンサンブル予報システムは、大気海洋結合モデルを用いているため、大気モデルに比べて大気と海洋の相互作用の再現性が高い。図は、赤道季節内振動(MJO)について、熱帯域の200hPa速度ポテンシャルの解析値と季節アンサンブル予報システムによる予測を比較したものであるが、MJOに伴う対流活発位相や対流不活発位相の東進が良く再現されていることが分かる。

# 参考文献

- 気象庁, 2022: 季節アンサンブル予報システムの改良. 数値予報開発センター年報(令和3年), 気象庁数値予報開発センター, 122-132.
- Toth, Z., and E. Kalnay, 1993: Ensemble Forecasting at NMC: The Generation of Perturbations. *Bull. Amer. Met. Soc.*, **74**, 12, 2317-2330.
- Hoffman, R. N. and E. Kalnay, 1983: Lagged average forecasting, an alternative to Monte Carlo forecasting. *Tellus A*, **35A**, 100-118.
- 高谷祐平, 2012: 再予報・ハインドキャスト. *天気*, **59**, 493-495.