

IV: 1月26日、1000-1130 季節予報の予測システムと予報事例

気象研究所 前田修平

* 講義資料には、気象庁が実施している季節予報担当者向けの研修資料(季節予報研修テキスト、Web技術指導、東京気候センター(TCC)研修資料)から多くを引用しました。

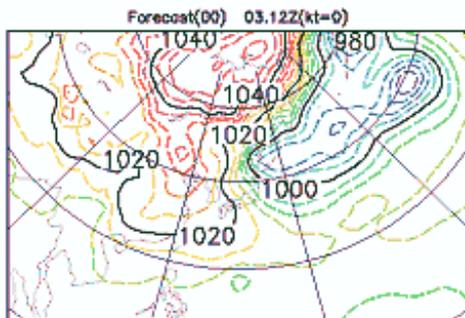
IV.1 予測可能性

(1)大気のカオス的性質と予測可能性

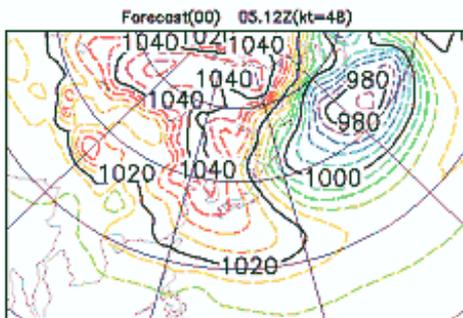
- ・季節予報は、短期予報と同じく(主に)数値予報モデルを用いて予報を行う。
- ・季節予報と短期予報では色々な違いがあるが、最も大きな違いは、予報期間(リードタイム)が長いこと。
- ・大気のカオス的性質による「予測可能性」の問題に直面する。

わずかな初期値の違いで予報が大きく変わる例

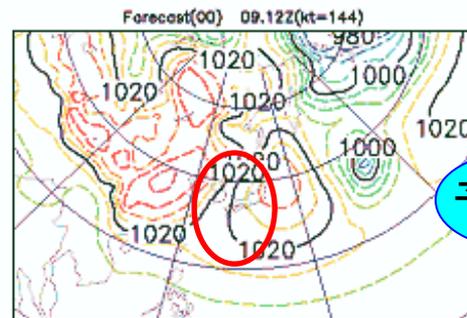
T106L40(Forecast vs Analysis) / init=2001.01.03.12UTC / Psea



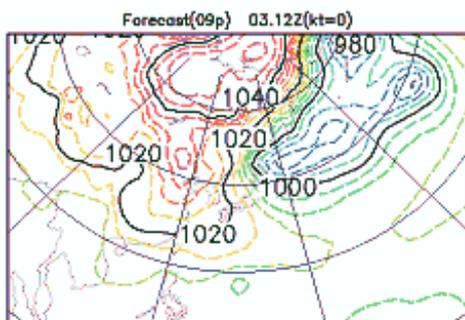
予報1の初期値



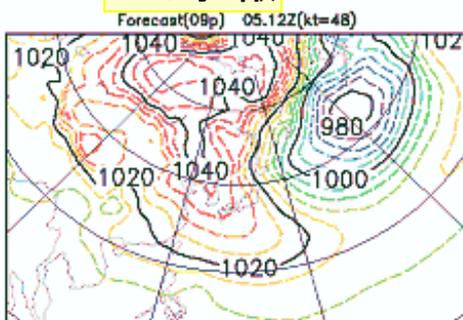
2日予報



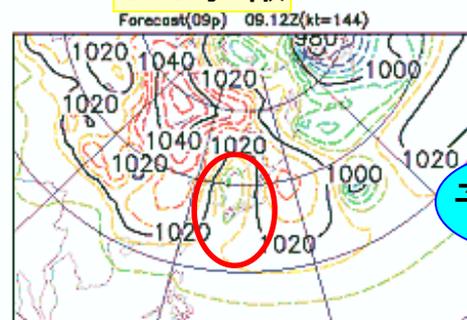
予報1



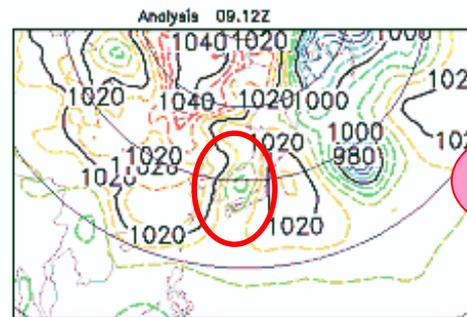
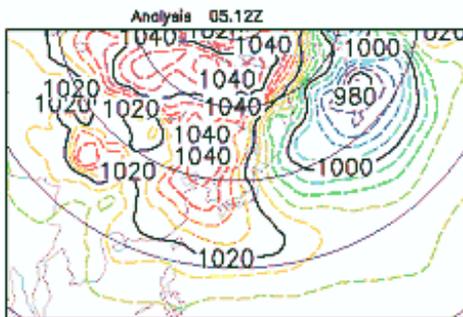
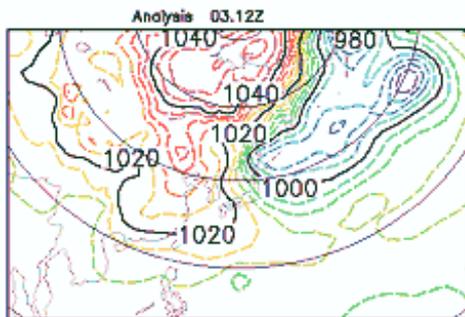
予報2の初期値



6日予報



予報2



実況

ローレンツモデル

ロール状の対流の方程式を極度に簡略化した方程式系

$$\frac{dX}{dt} = -10X + 10Y$$

$$\frac{dY}{dt} = rX - Y - XZ$$

$$\frac{dZ}{dt} = -\frac{8}{3}Z + XY$$

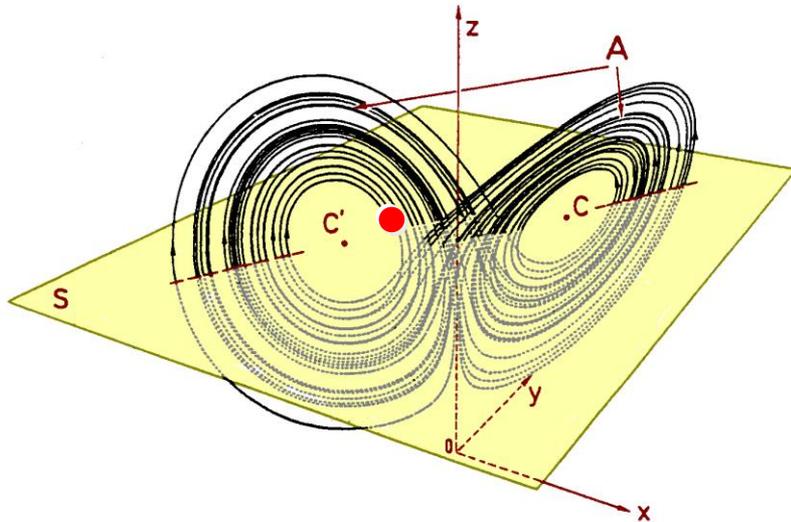
X: 流線関数のフーリエ成分

Y, Z: 温度のフーリエ成分

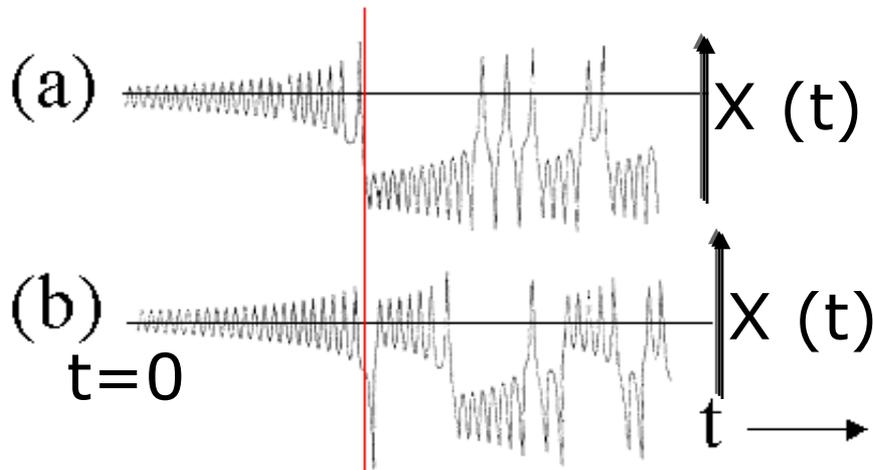
t: 時間

初期値 (t=0) のときのX, Y, Zを与えると将来のX, Y, Zが一意に決まる非線形な予報方程式。

ローレンツモデルとカオス



ローレンツモデルの点 (X, Y, Z) の軌跡。この軌跡は、ローレンツのストレンジアトラクターと呼ばれる。

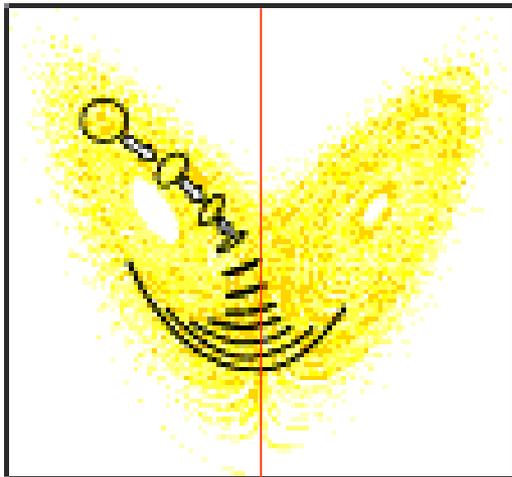
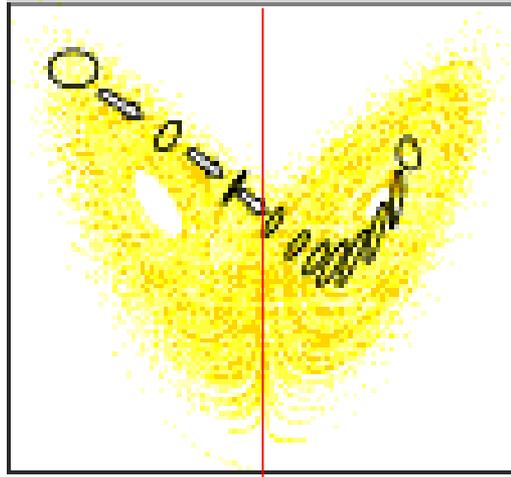


初期値が少し異なるとある時間後には解が全く異なるようになる。(a)を実況、(b)を予測とすると、ある時間後から誤差が大きく発展してしまう。

(ローレンツモデル)

0 : 100

初期の誤差の発展が遅い



70 : 30

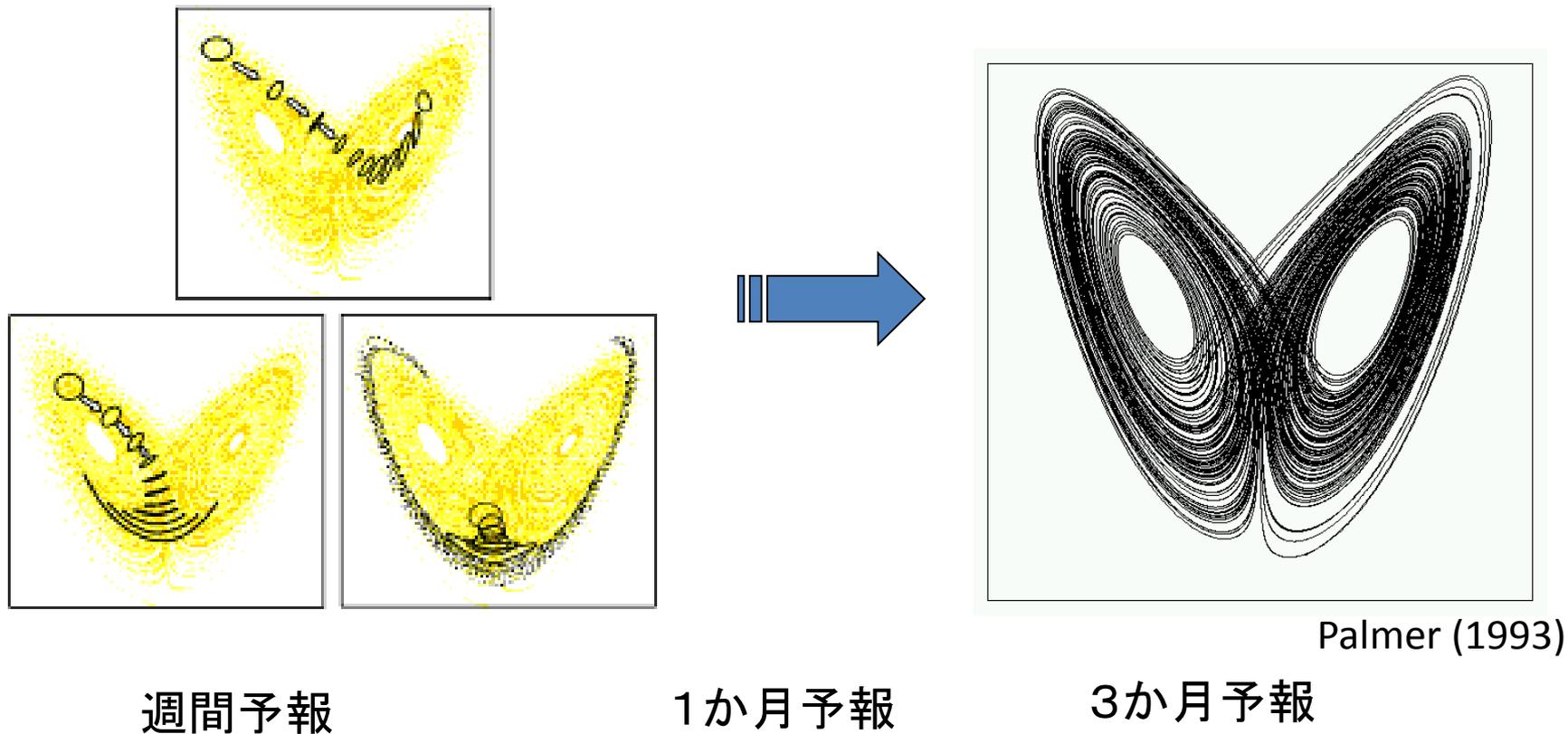


50 : 50

初期の誤差が大きく発展する

初期値によって
誤差の発展の仕
方が大きく異なる

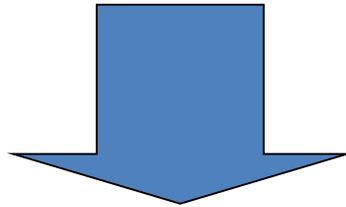
さらに予報時間が長くなると？



大気初期値による大気の予測可能性(第1種の予測可能性)の限界を超えてしまう！！

何を頼りに3か月予報を行うのか？

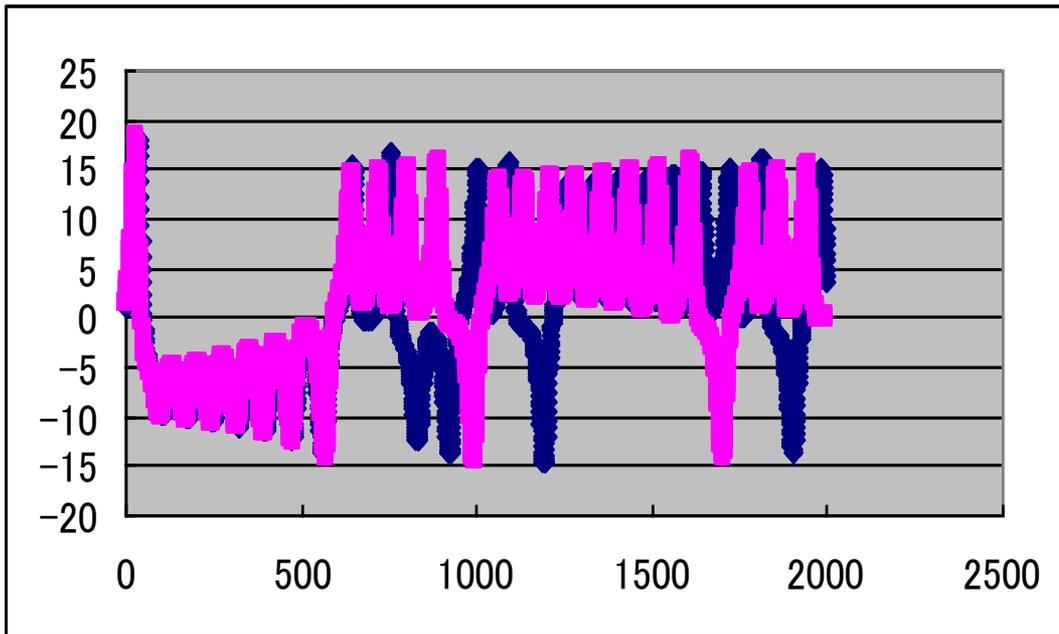
- シグナルは大気初期条件ではなく海面水温などの境界条件（あるいは、エルニーニョ現象などのゆっくりした時間スケールを持つ現象）



第2種の予測可能性

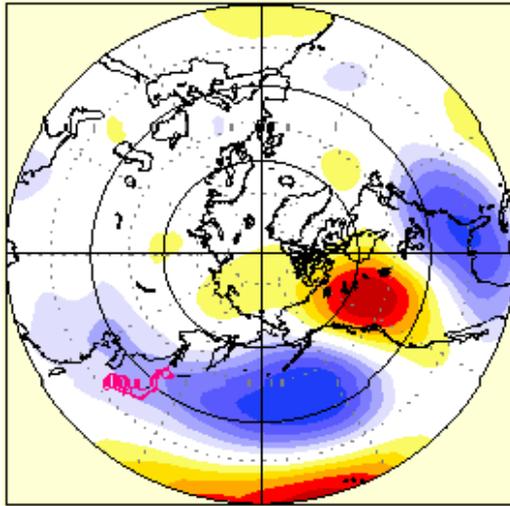
ロレンツモデルに強制を加えると

例えば、 $\frac{dX}{dt} = \dots - \frac{1}{T}(X - X_0)$ のような強制力



強制力が(長期平均値の)予測可能性を増大させる

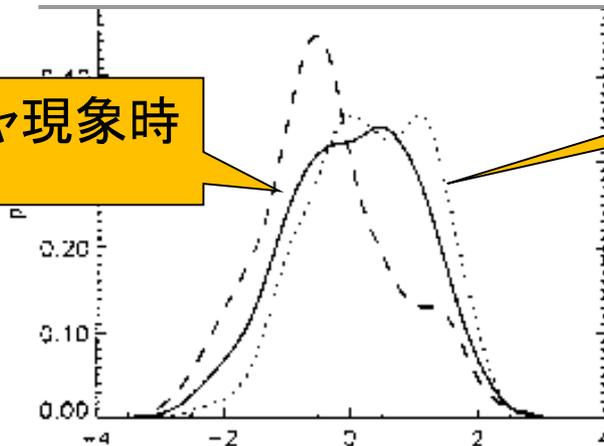
実際の大気では？



PNAパターン
エルニーニョ現象時に
出やすい
テレコネクションパターン

観測されたPNAイン
デックスの頻度分布

ラニーニャ現象時



エルニーニョ現象時

PNAパターン出現の確率
密度が変わる



予測可能性

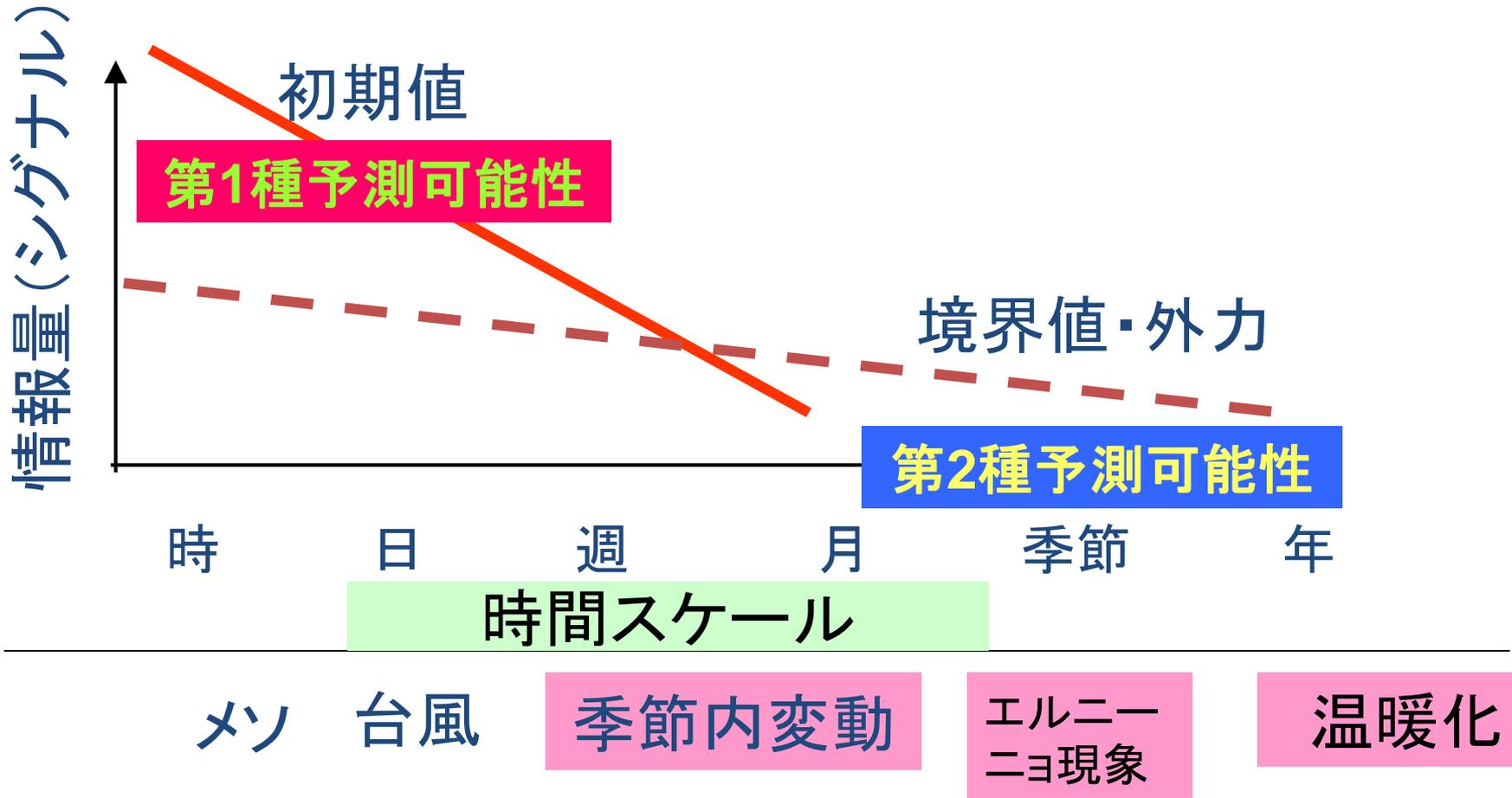
■ 大気初期値で決まる予測可能性(第1種予測可能性)

大気の変動におけるカオスの性質から初期値のわずかな違いが時間と共に増大。決定論的予報は2週間が限界、その後は確率的な予測が可能。→アンサンブル予報

■ 境界条件で決まる予測可能性(第2種予測可能性)

予報時間がより長くなると、大気の初期状態をもとにした予報は意味を持たなくなるため、時定数の長い海面水温や陸面の状態(土壌水分、地表面温度など)から大気が強制されることにより状態が変化することをシグナルとしてとらえ予報を行う(第2種の予測可能性)。→アンサンブル予報

初期値と境界値の重要性



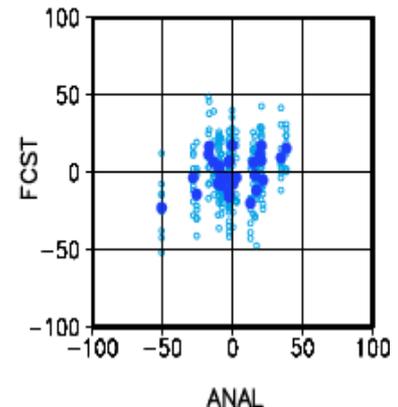
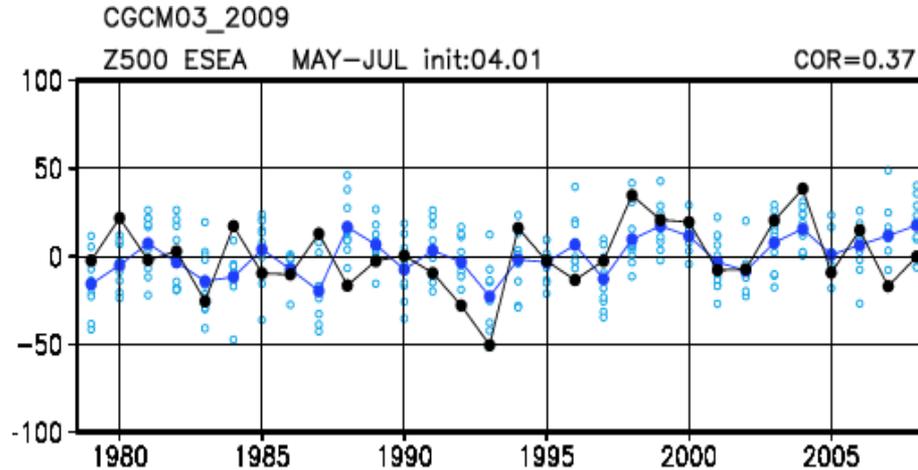
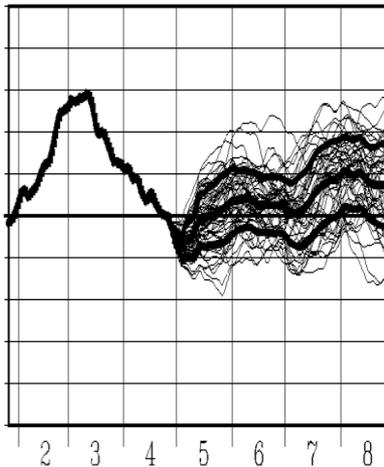
予報時間が長くなると、初期値による第1種予測可能性が小さくなり、境界条件や外力による第2種予測可能性に頼ることとなる。

アンサンブル予報によるシグナルとノイズの推定

2010年5月初期値 東方海上高度

ハインドキャスト: 東方海上高度、5月1日初期値

東方海上高度 140E-170E 40N



シグナル: アンサンブル平均 (初期値の小さな誤差によらない共通の変動)

ノイズ: アンサンブル平均からのずれ (初期値の差から生じた予測不可能な変動)

$$y_i = x + \varepsilon_i$$

シグナル
(アンサンブル
平均)

ノイズ

$$S^2 = \text{Var}(x)$$

シグナル(予測可能変動)の
分散

$$N^2 = \text{Var}(\varepsilon_i)$$

ノイズの分散

$$\text{Var}(y_i) = S^2 + N^2 \quad \text{全分散}$$

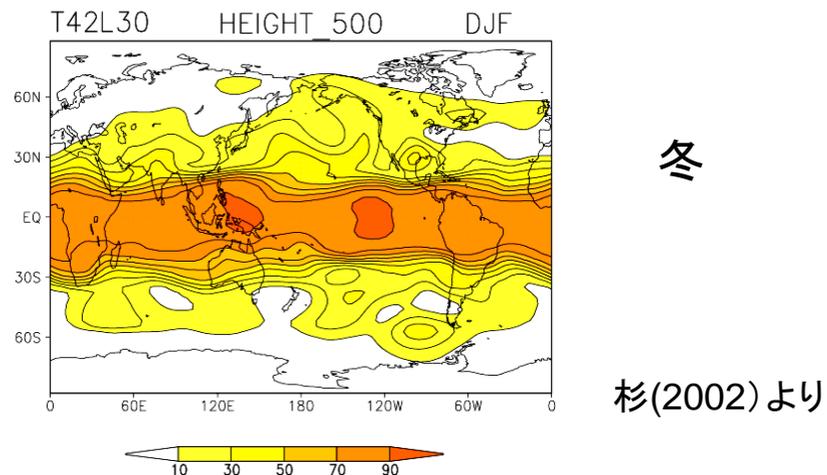
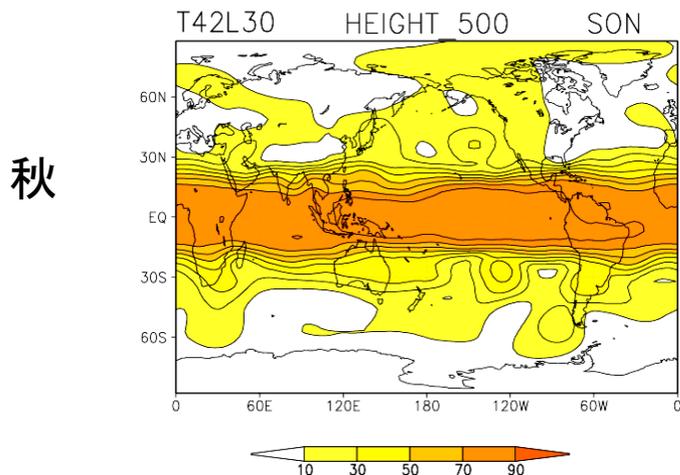
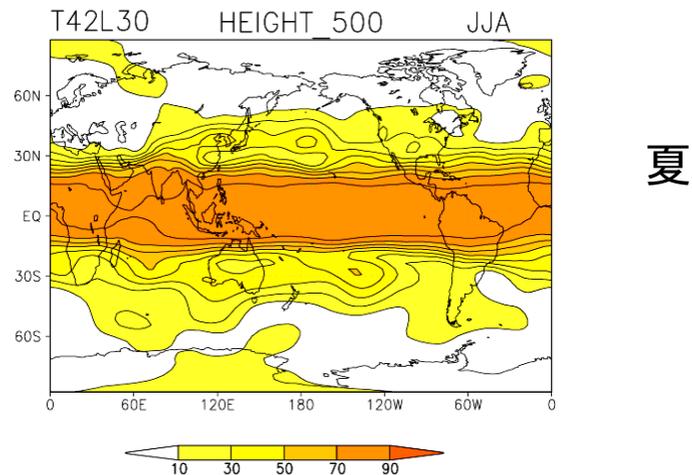
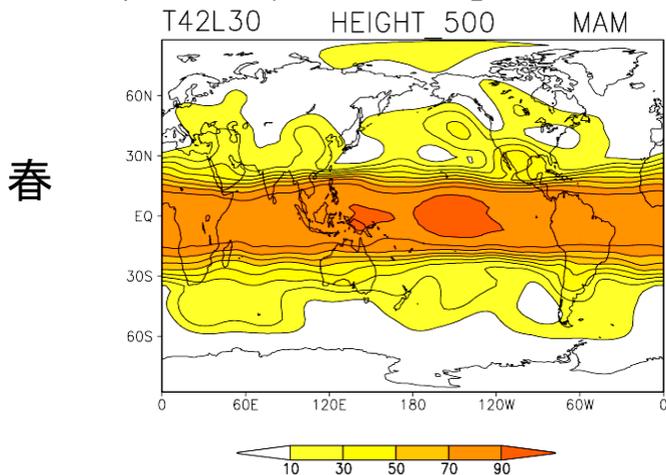
多数事例でS/N比を推察する

$$R = \frac{S^2}{S^2 + N^2}$$

予測可能性

3か月平均場の(潜在的)予測可能性(R) 500hPa高度

T42L30I mj98-001209, 49 years runs, ENS6, ratio_vr



wcl3e020 : lonlat_a.run

Thu Dec 13 12:00:04 JST 2001

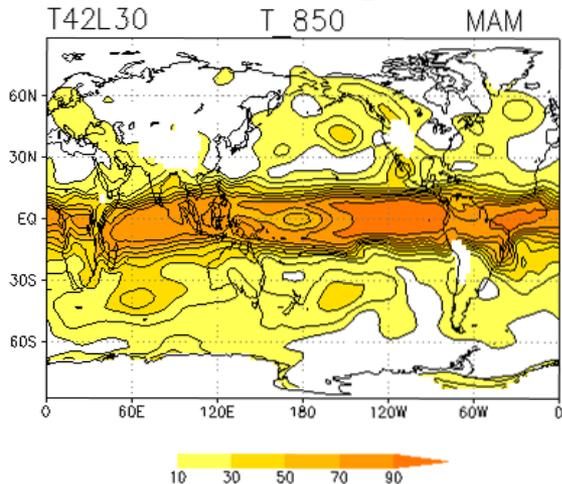
带状、熱帯大・高緯度小、北太平洋大・ユーラシア小

日本付近は0~30%、夏大

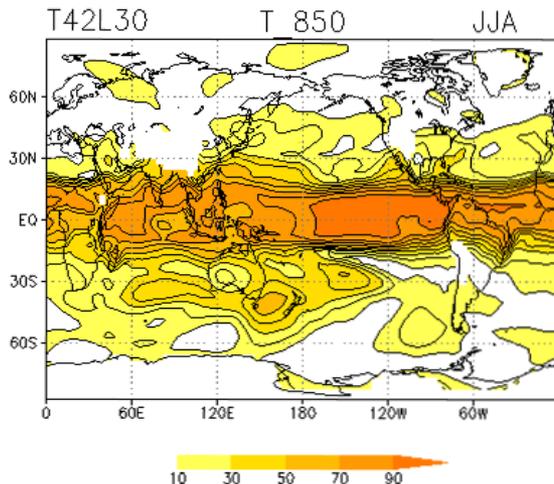
3か月平均場の予測可能性(R) 850hPa気温

T42L30l mj98-001209. 49 years runs. ENS5, ratio_vr

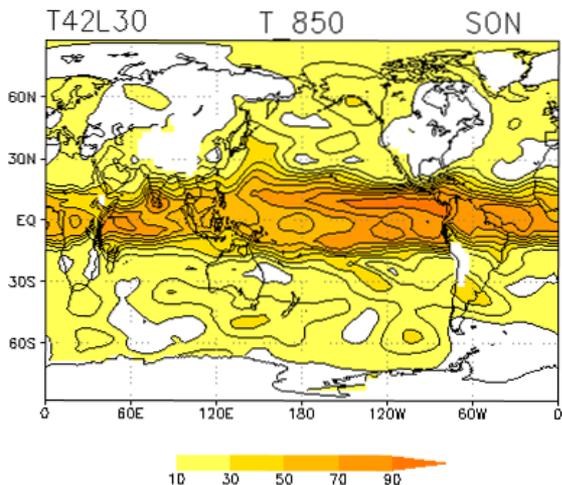
春



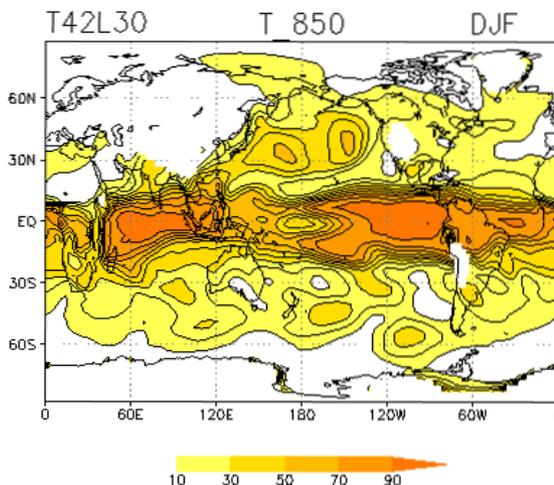
夏



秋



冬



杉(2002)より

wcl3e020 : lonlat a.run

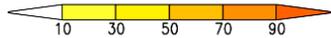
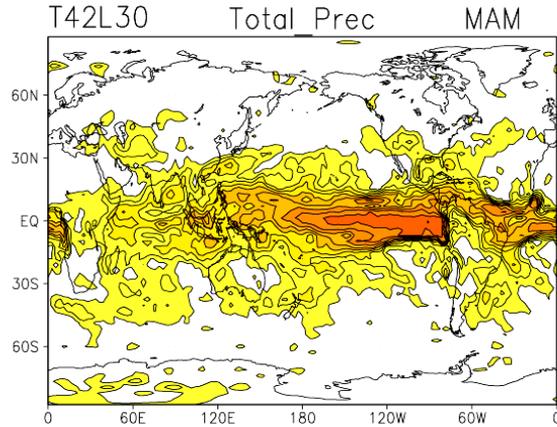
Thu Dec 13 12:00:23 JST 2001

500hPa高度と似た傾向

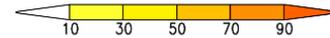
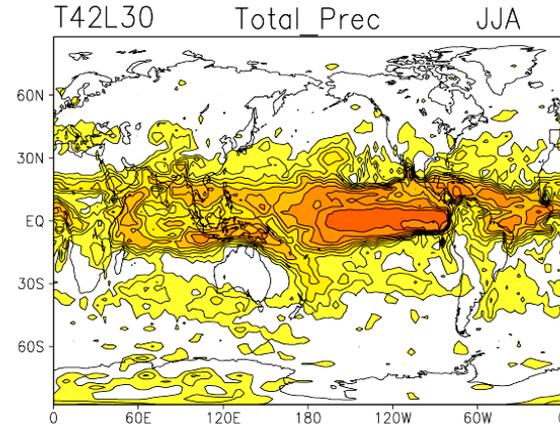
3か月平均場の予測可能性(R) 降水量

T42L30I mj98-001209, 49 years runs, ENS6, ratio_vr

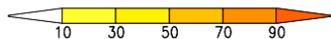
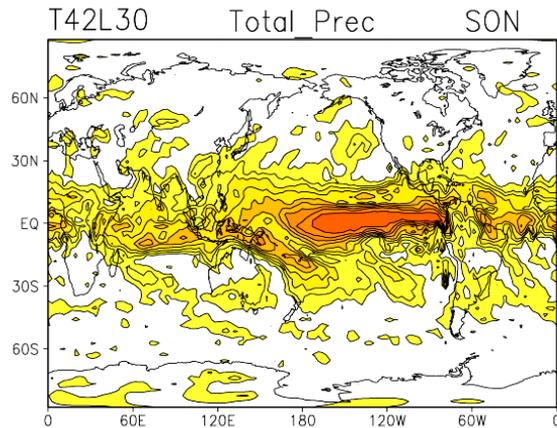
春



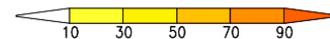
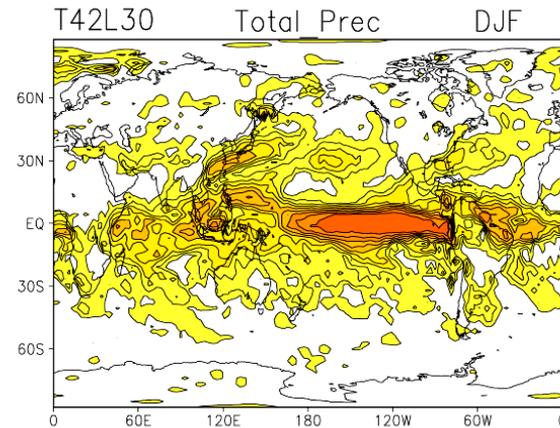
夏



秋



冬



杉(2002)より

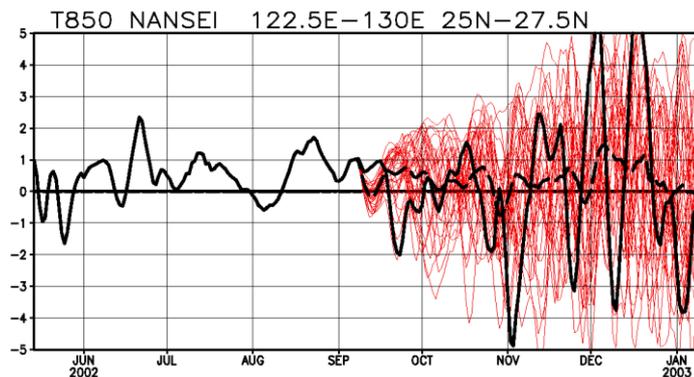
wcl3e020 : lonlat_a.run

Thu Dec 13 12:00:25 JST 2001

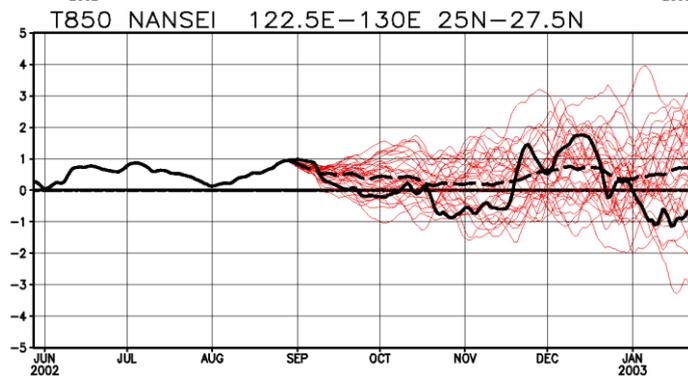
降水量の予測可能性は低い

S/N比は大きくない！

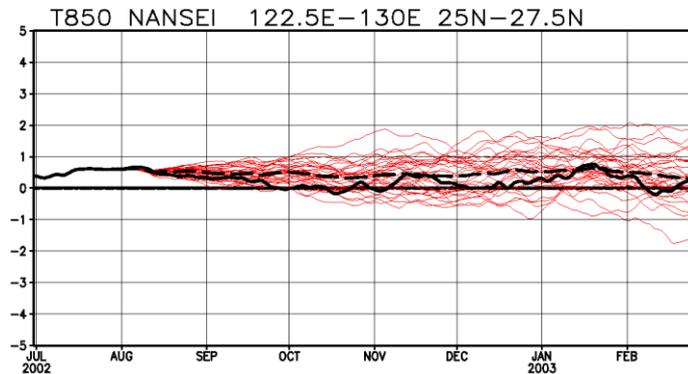
5日移動平均



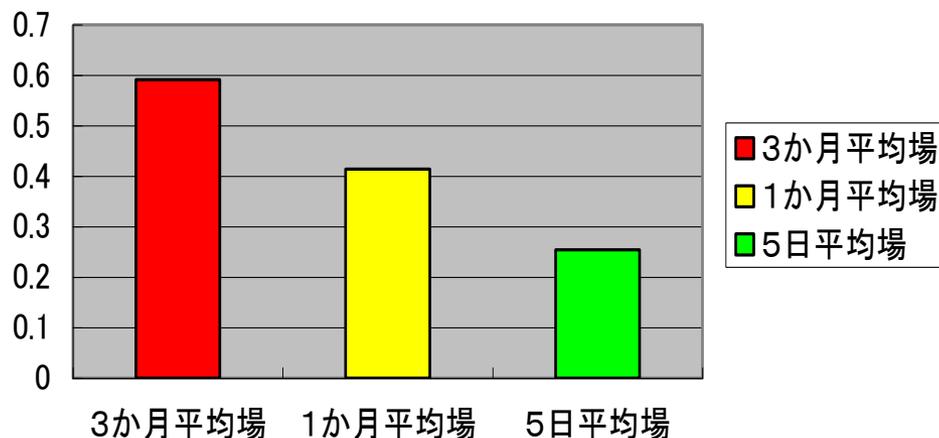
30日移動平均



90日移動平均



ノイズに対するシグナルの比(S/N)
日本域、500hpa高度場



なるべく長く時間平均をとる

季節予報では、SとともにNを
きちんと予測することが必要。

高野(2003)より

アンサンブル予報による南西諸島の気温時系列予報の例

(2)季節予報の予測システム

季節予報技術に求められること

季節予報にとってのSignalとNoiseを
適切に予測すること

- 大気、海洋、陸面の観測と解析技術
- 気候システムの変動を予測できる数値予報モデル
- 予測の「不確実性」を適切に推定できるアンサンブル予報技術
- 過去事例を対象とした大規模な予報実験と評価
- 予報実験結果を用いた予測の補正技術

数値予報における不確実性の要因

- **初期値の誤差**
 - 真の初期値は分からない
(限られた観測データ、観測誤差、客観解析の誤差)
- **境界値の誤差**
 - 真の境界値は分からない
- **モデルの不完全性**
 - 解像度は有限
 - すべてのプロセスが完全に理解されているわけではない

これらの不確実性を表現するアンサンブル手法が必要
(+補正技術)

不確実性を考慮する手法

- 初期値アンサンブル

- 初期値に含まれる不確実性を考慮
- 初期値にわずかな(解析誤差程度の)ばらつきを与え、複数の予測を行う
- BGM法、LAF法、SV法など

- 境界値アンサンブル

- 境界値の不確実性を考慮したアンサンブル手法

- モデルアンサンブル(物理アンサンブル)

- 予測モデルの不完全性を考慮
- 確率的物理過程強制法、マルチパラメタリゼーション法

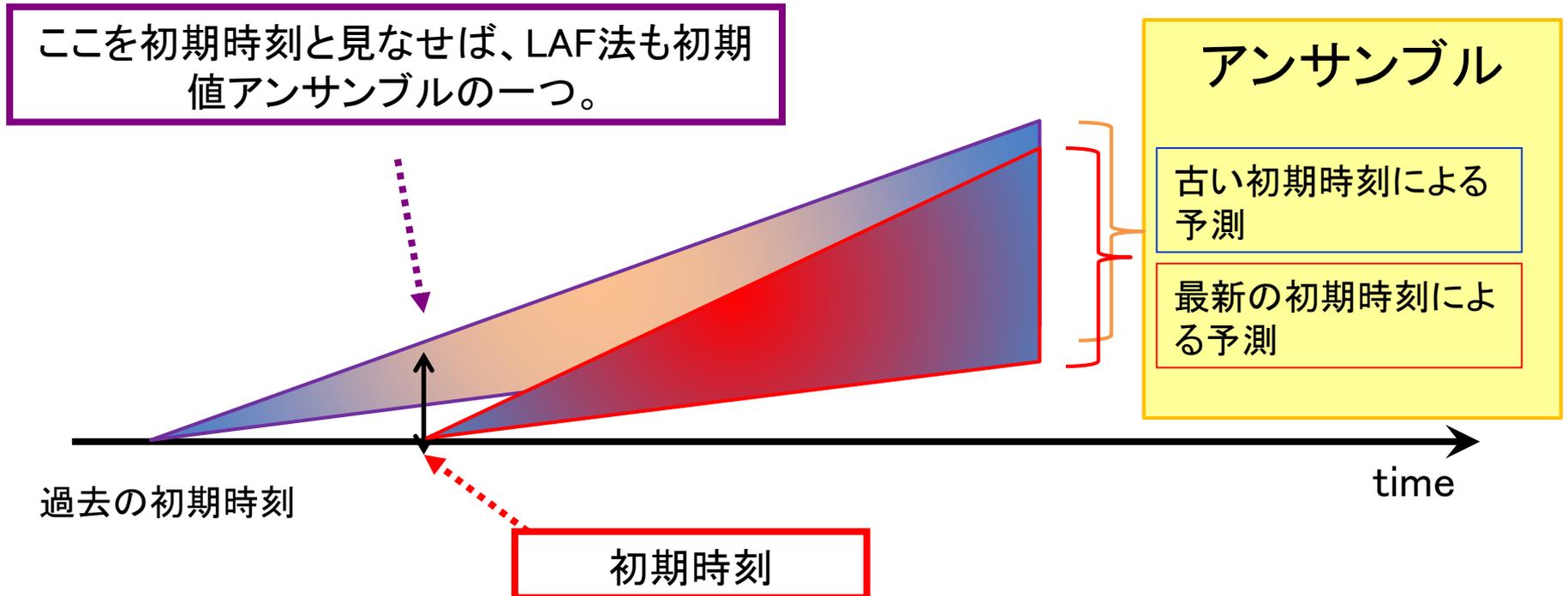
- マルチモデルアンサンブル

どの手法でも、すべてのアンサンブルメンバーは“同様に確からしい”ことが原則。

赤字で示したものは季節予報の現業予測システムで利用している手法。

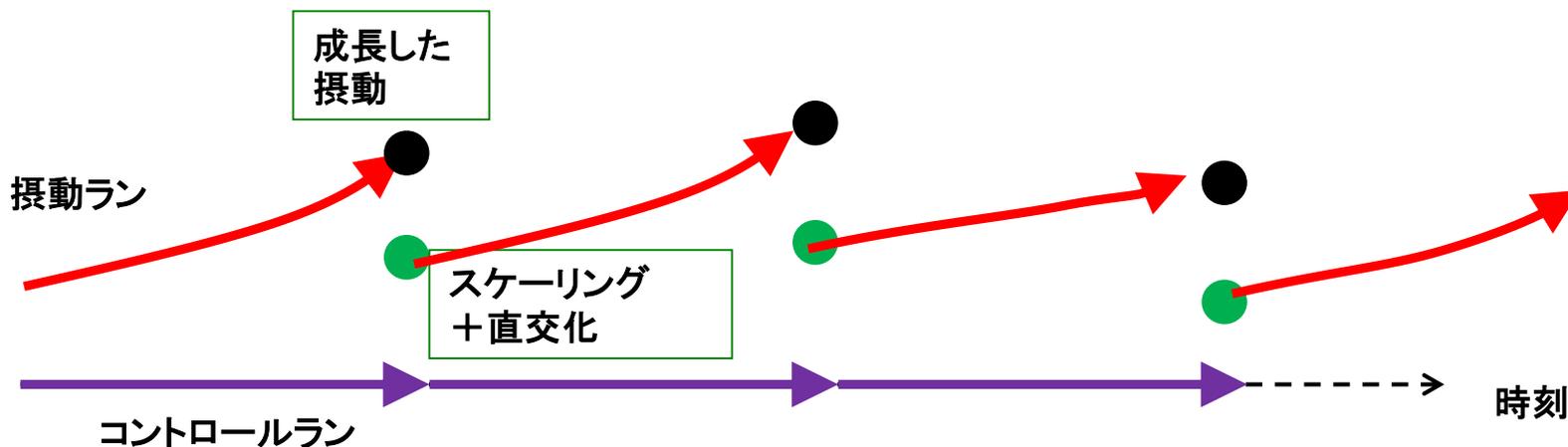
LAF法

- 複数の初期時刻における予測結果を組み合わせる
 - 長所: 簡単。計算機資源の負荷分散。
 - 短所: 古い予測を用いることによる精度低下。



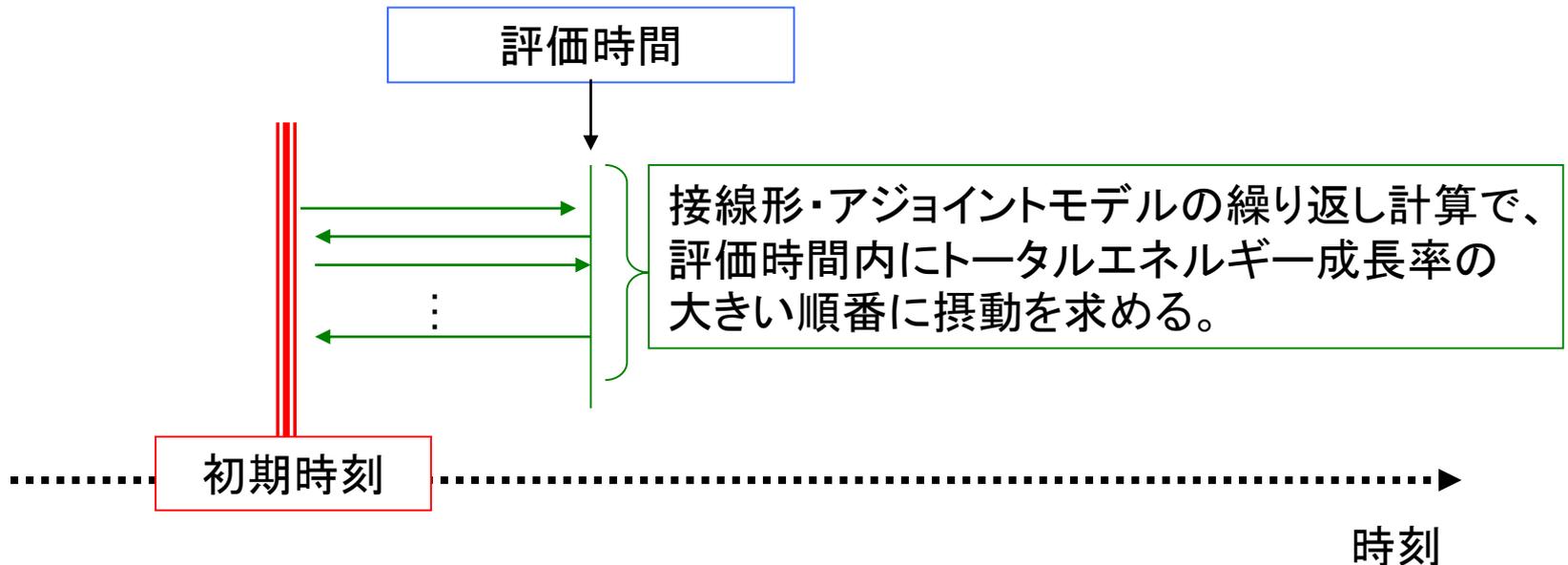
BGM法（成長モード育成法）

- 短時間予報のサイクル(BGMサイクル)で、直前に大きく成長する誤差パターンを初期摂動として利用。
- スケールダウンの基準とする要素、サイクルの周期に任意性あり。
 - 1か月・季節アンサンブル予報システムでは・・・
 - 北半球域(20N-90N): Z500を基準、12時間サイクル→傾圧不安定波動の誤差成長に伴う初期誤差を考慮
 - 熱帯域(20S-20N): CHI200を基準、24時間サイクル→熱帯の季節内振動と関連した、比較的長い時間スケールで成長する初期誤差を考慮。
- 長所: 比較的簡単(予測モデルを用意すればよい)
- 短所: 予測を行わない日でもBGMサイクルを維持する必要あり。



SV法（特異ベクトル法）

- 予測開始直後に成長率の高い誤差パターンを抽出する。
- 振幅や評価時間には任意性があり。
- 線形化したモデル（接線形モデル）と、時間方向に過去に向かうモデル（アジョイントモデル）が必要。開発コストが重い。
- 長所：予測直後に大きく誤差成長するパターンが必ず抽出できる
- 短所：重い開発コスト



確率的物理過程強制法

- 数値予報モデルの中でも比較的不確実性が高い、物理過程による予報変数の時間変化量に対し、乱数を掛けることで摂動とする。
- 長所: 時間積分の途中に摂動を加えるので、長時間積分時にスプレッドを確保できる。
- 短所: 乱数の与え方に任意性があり、調整が難しい。

$$\frac{\partial x}{\partial t} = \text{力学過程による時間変化量} + \text{乱数} \times \text{パラメタリゼーションによる時間変化量}$$

ハインドキャスト

(過去予報・再予報)

現業システムと(ほぼ)同じシステムを用いた多数の過去事例の予測実験

目的

□ モデルの予測精度や特性把握

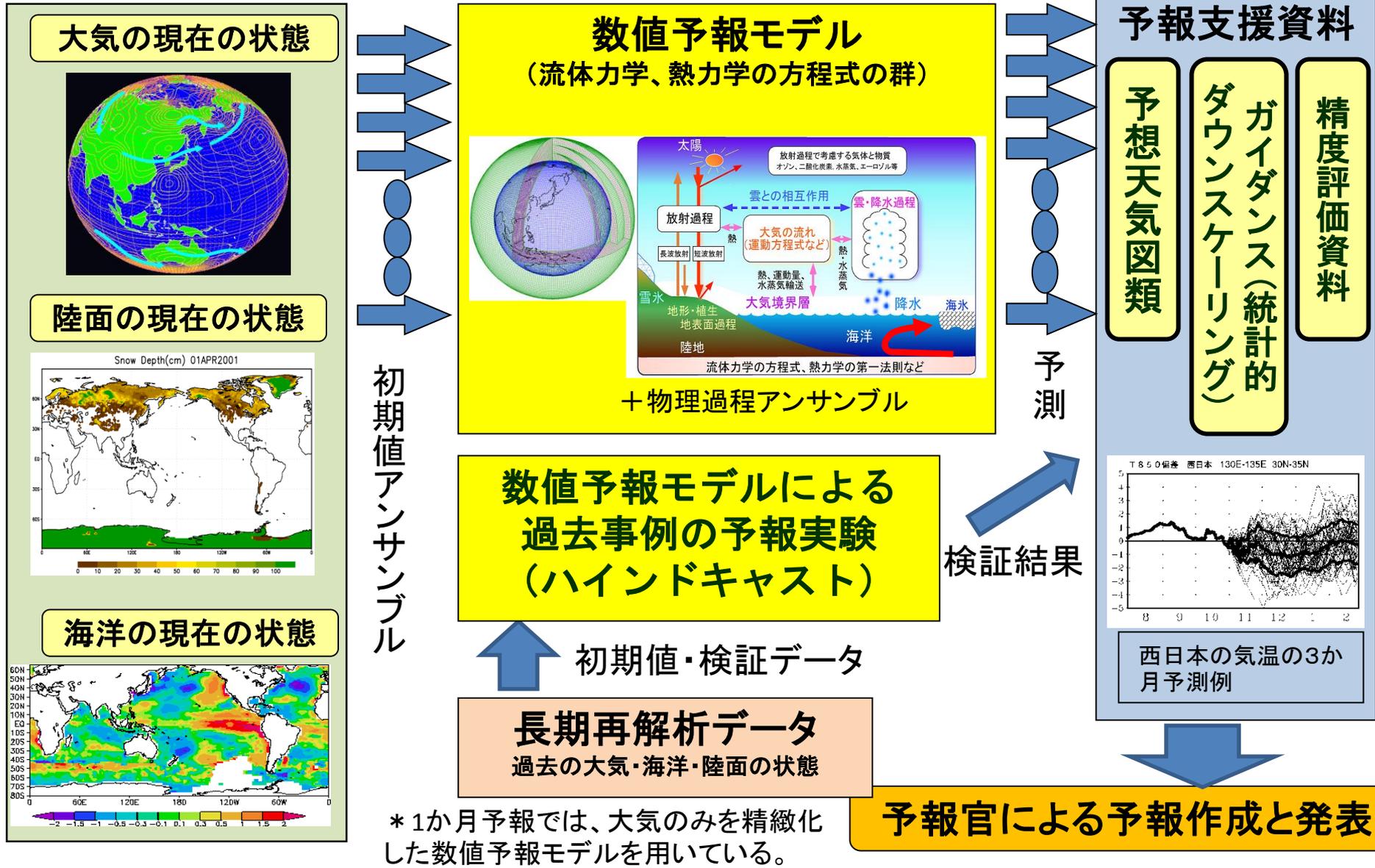
- 現業化の最終判断資料
- 予報作業上の参考資料(予測精度を考慮した利用)

□ モデル統計値作成

- モデル平年値・系統誤差の計算
- プロダクトの系統誤差補正に利用

□ ガイダンス(予報要素への翻訳)の作成

季節予報の作成



気象庁の主な数値予報システム

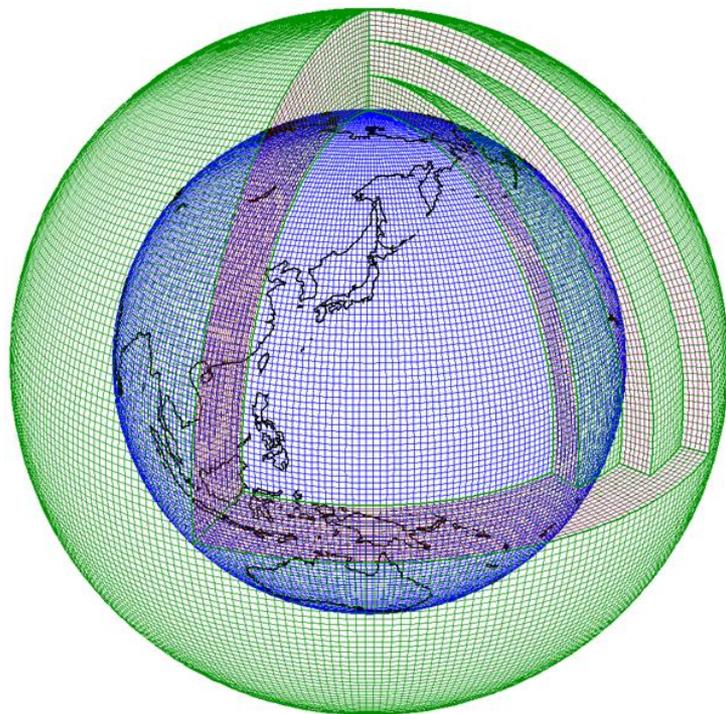
2015.06現在

| | | 主な用途 | 解像度、領域 | 予報時間 | |
|----------|-------------------------|--|----------|-------|-------|
| 領域モデル | 局地モデル(LFM) | <ul style="list-style-type: none"> 短時間予報 航空向け、防災情報 | 2km、日本周辺 | 9時間 | 数値予報課 |
| | メソモデル(MSM) | <ul style="list-style-type: none"> 短時間予報 防災情報、航空向け | 5km、日本周辺 | 39時間 | |
| アンサンブル予報 | (高解像度) 全球モデル(GSM) | <ul style="list-style-type: none"> 短期予報 | 20km、全球 | 最大11日 | |
| | 台風アンサンブル予報システム | <ul style="list-style-type: none"> 台風進路予報 | 40km、全球 | 5.5日 | |
| | 週間アンサンブル予報システム | <ul style="list-style-type: none"> 週間予報 | 40km、全球 | 11日 | |
| | 1か月アンサンブル予報システム(1か月EPS) | <ul style="list-style-type: none"> 異常天候早期警戒情報 1か月予報 | 55km、全球 | 最大34日 | |
| 全球モデル | 季節アンサンブル予報システム(季節EPS) | <ul style="list-style-type: none"> 3か月予報 暖／寒候期予報 エルニーニョ予測 | 110km、全球 | 7か月 | 気候情報課 |

気候情報課では2つのシステムを運用

(2.1) 1か月アンサンブル予測システムの仕様

(2014年3月～)

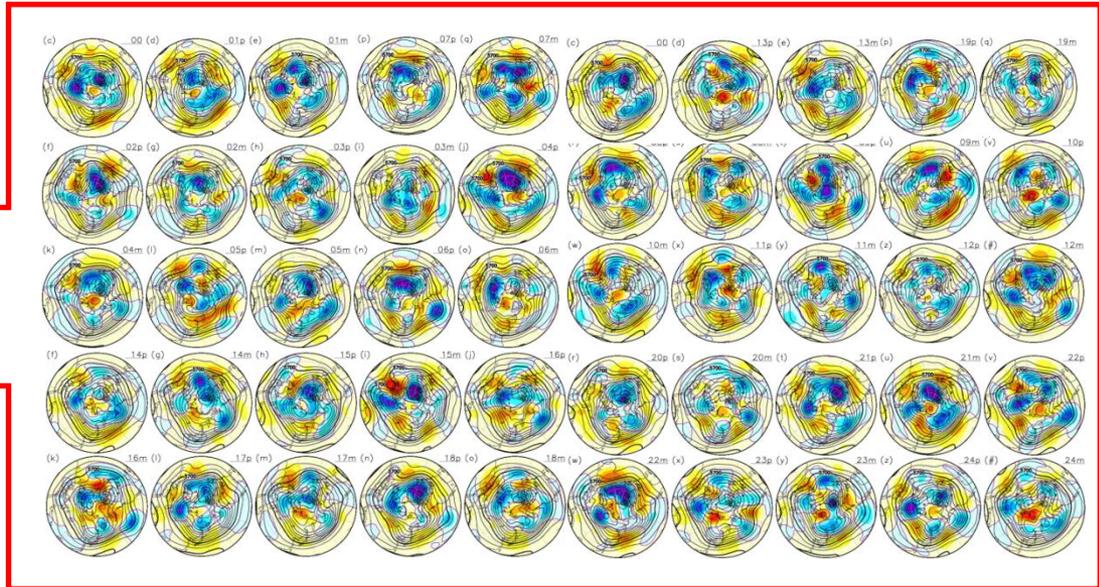
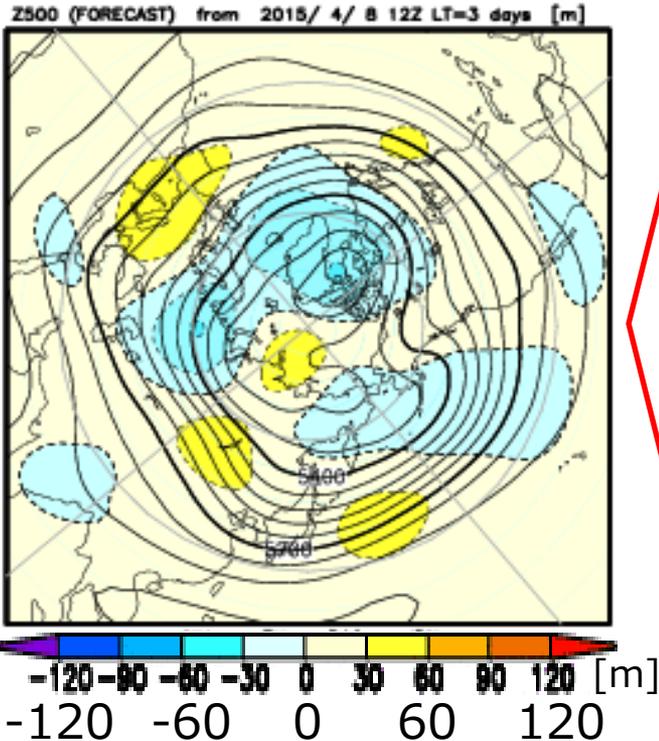


| | |
|----------|--|
| 大気モデル | GSM1304 |
| 水平解像度 | TL319 (約55km格子) |
| 鉛直層数 | 60層 (最上層0.1hPa) |
| 予報時間 | 34日 |
| 大気初期値 | 全球速報解析 |
| 陸面初期値 | オフライン陸面解析 |
| 海面水温 | 初期偏差持続 |
| 海氷 | 初期偏差に基づく統計的推定 |
| アンサンブル手法 | BGM法 (北半球域+熱帯域) +確率的物理過程強制法 +LAF法 (1日ごと) |
| メンバー数 | 50 (25×2初期時刻) |
| 実行頻度 | 2週間予報: 土日 (早警) 1か月予報: 火水 |

アンサンブル予報の例

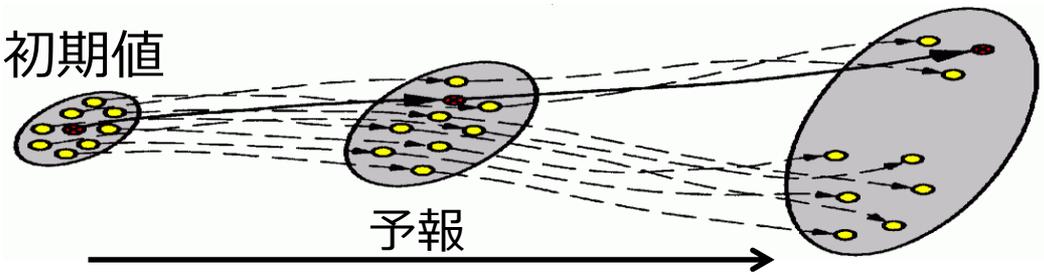
アンサンブル平均

50メンバー



2015年4月8日初期日の1か月EPS
による500hPa高度の予測
等値線は500hPa高度で等値線間隔は60m
陰影は平年偏差でカラーバーを参照。
北半球 (20°N~90°N) を描画

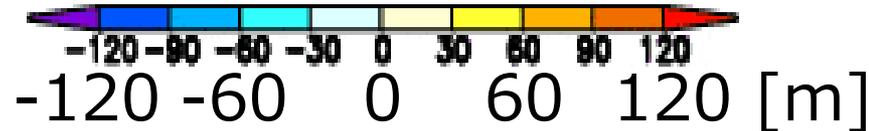
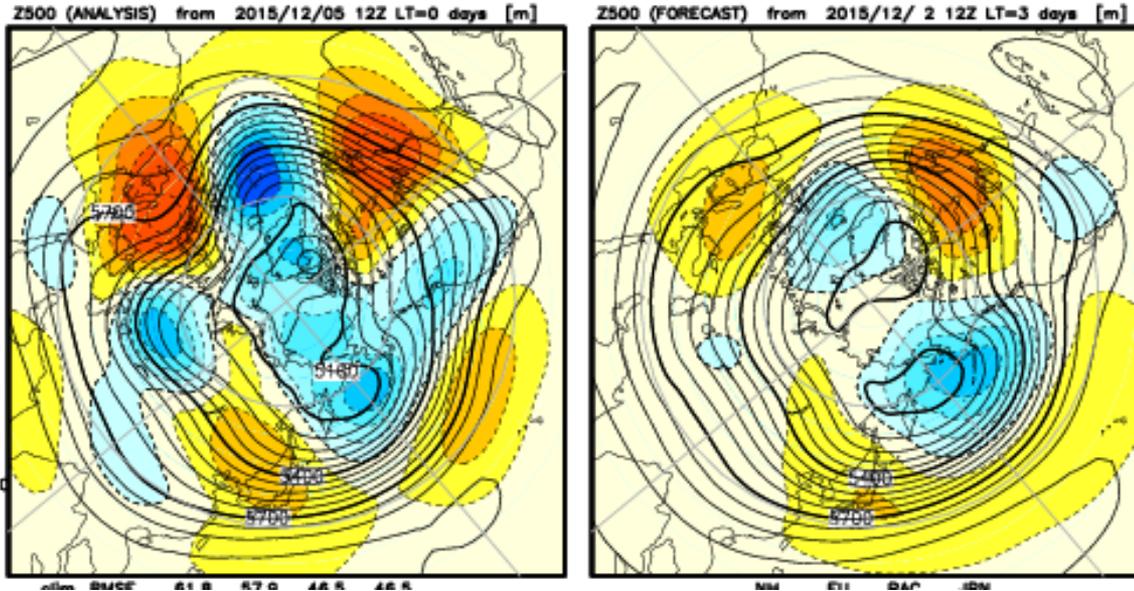
初期値



アンサンブル予報の例

実況

予測 (アンサンブル平均)



※
この事例の
北半球に
おける
平年偏差を
対象とした
アノマリー
相関 = 0.73

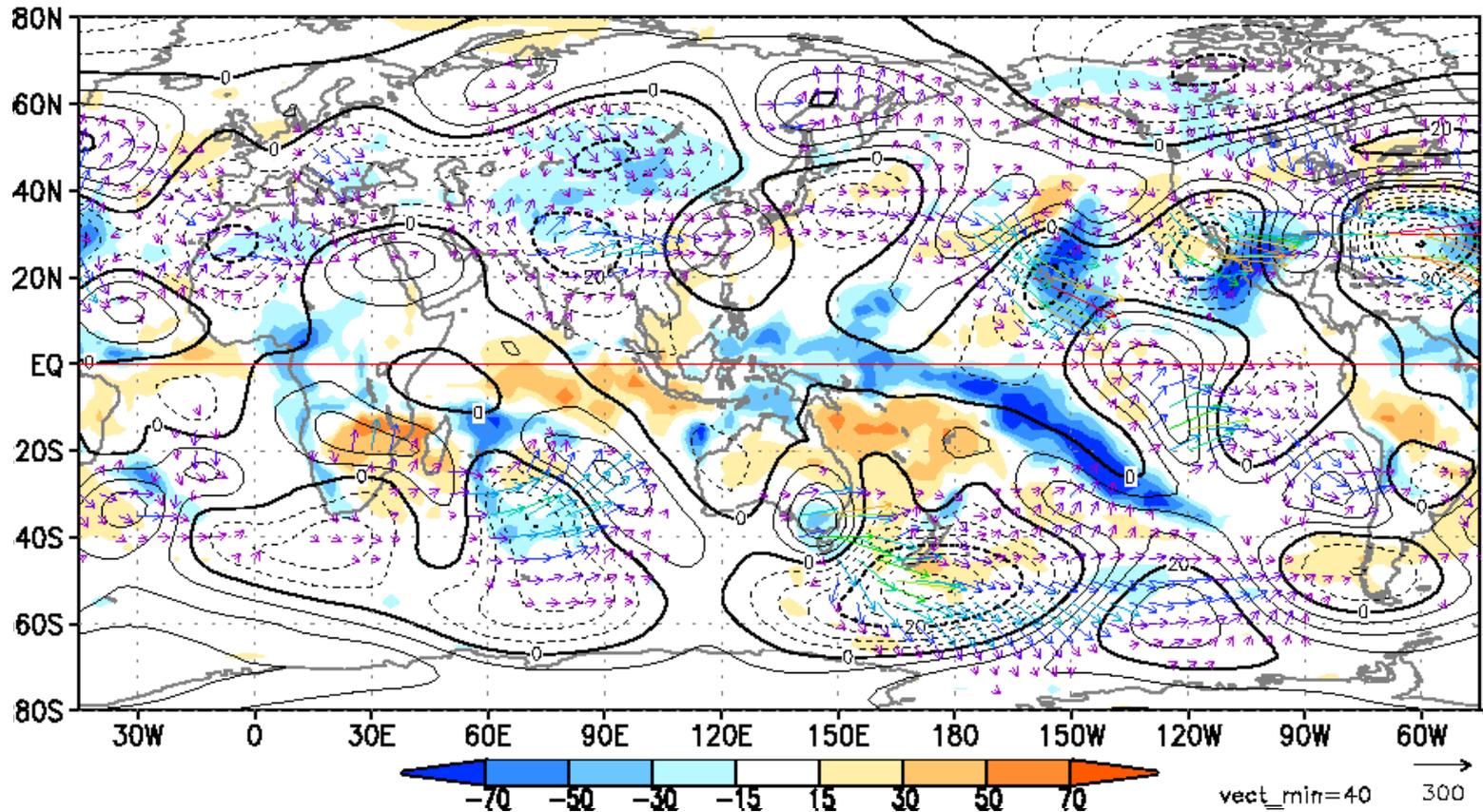
2015年12月2日初期日の1か月EPSによる500hPa高度の実況と予測の比較

(左) 実況 (2015年12月5日からの28日平均) (右) 予測 (予測3~30日目の28日平均)
等値線は500hPa高度で等値線間隔は60m 陰影は平年偏差でカラーバーを参照。
北半球 (20°N~90°N) を描画

アンサンブル予報事例

北大西洋のブロッキング高気圧とアジアジェット沿いのロスビー波列の予測

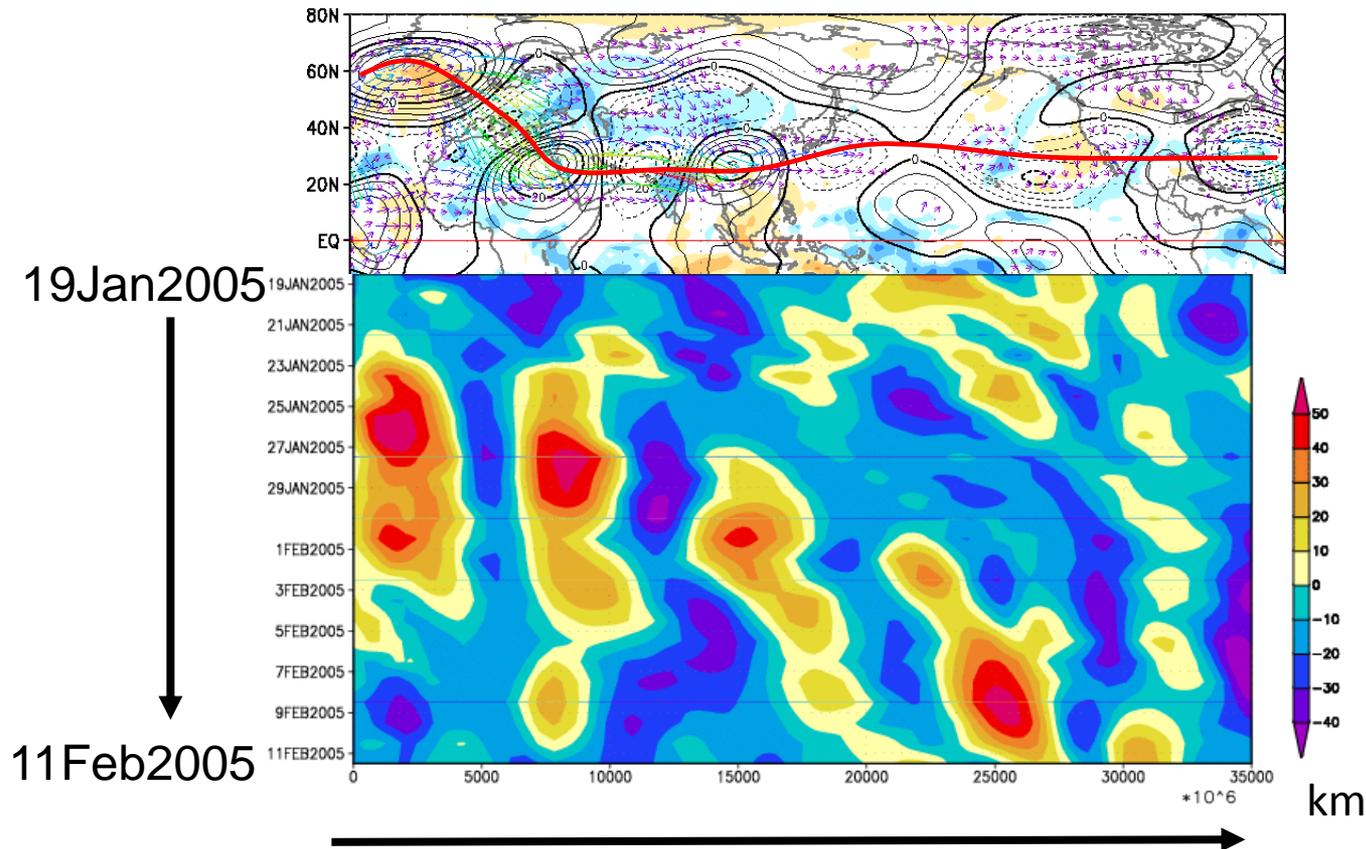
5-day mean stream function anomalies at 200hPa 2005.1.18-
2.2 - 2.6



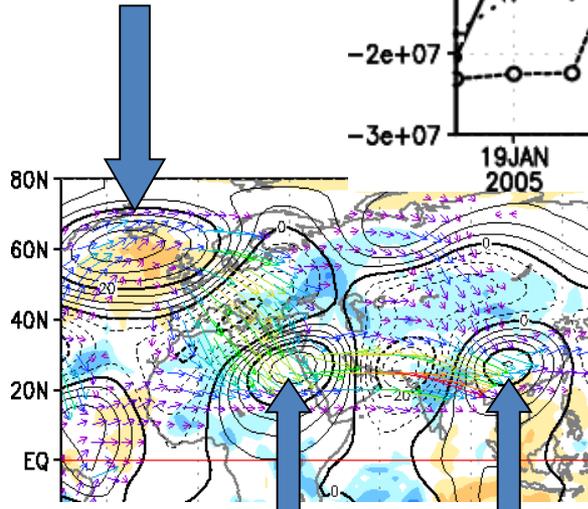
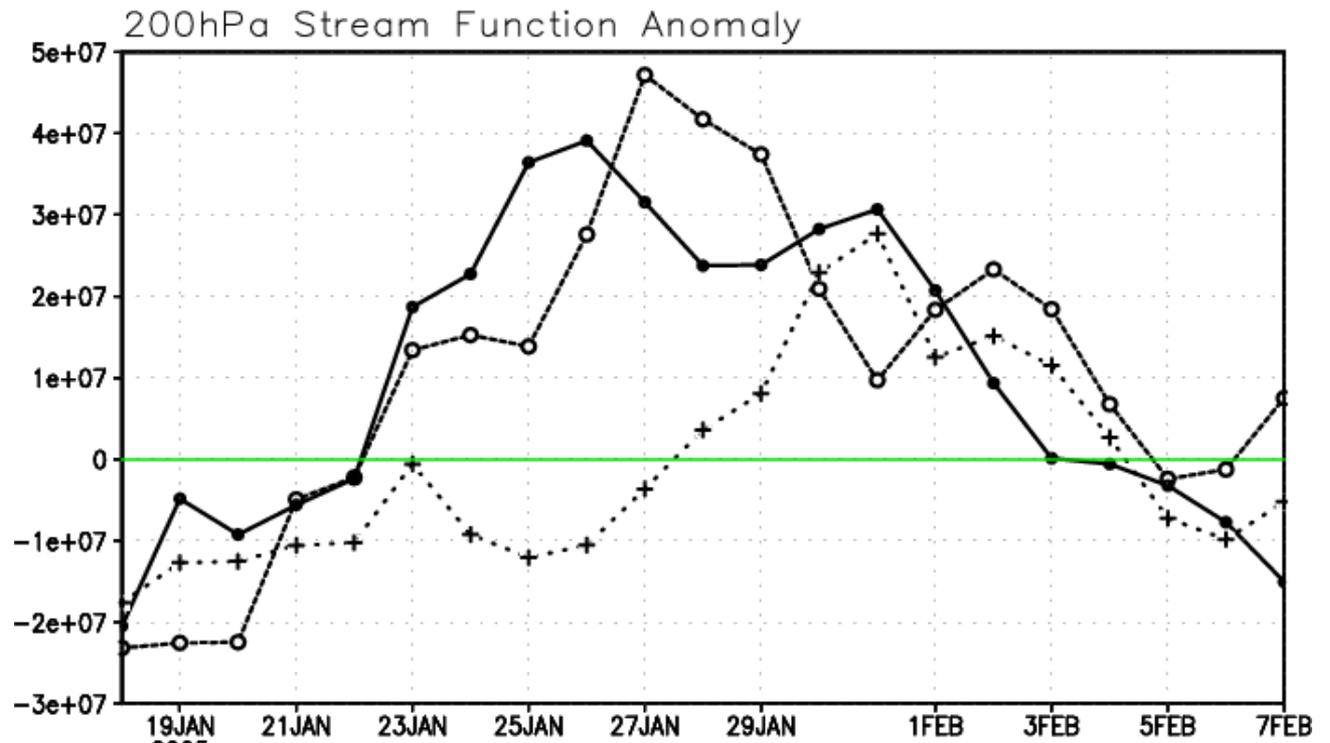
200hPa流線関数偏差の時間断面図

x軸：上図の赤線に沿ったベースポイント(60°W,60°N)からの距離

1.27 - 2.2

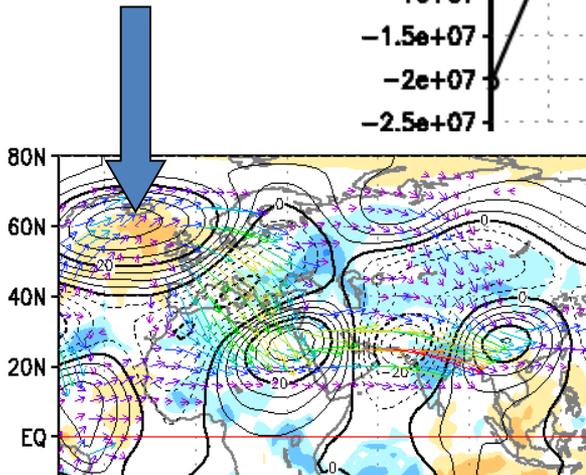
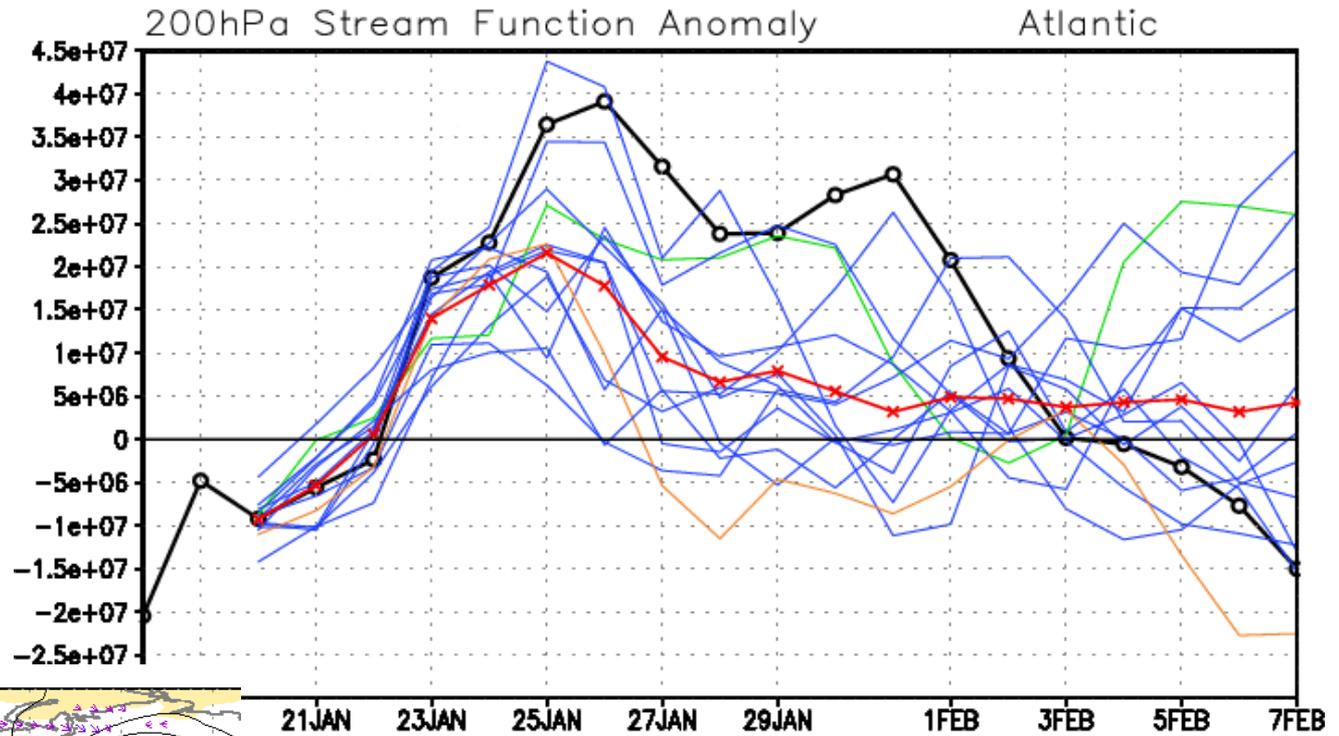


ロスビー波束の射出によるブロッキングの衰退



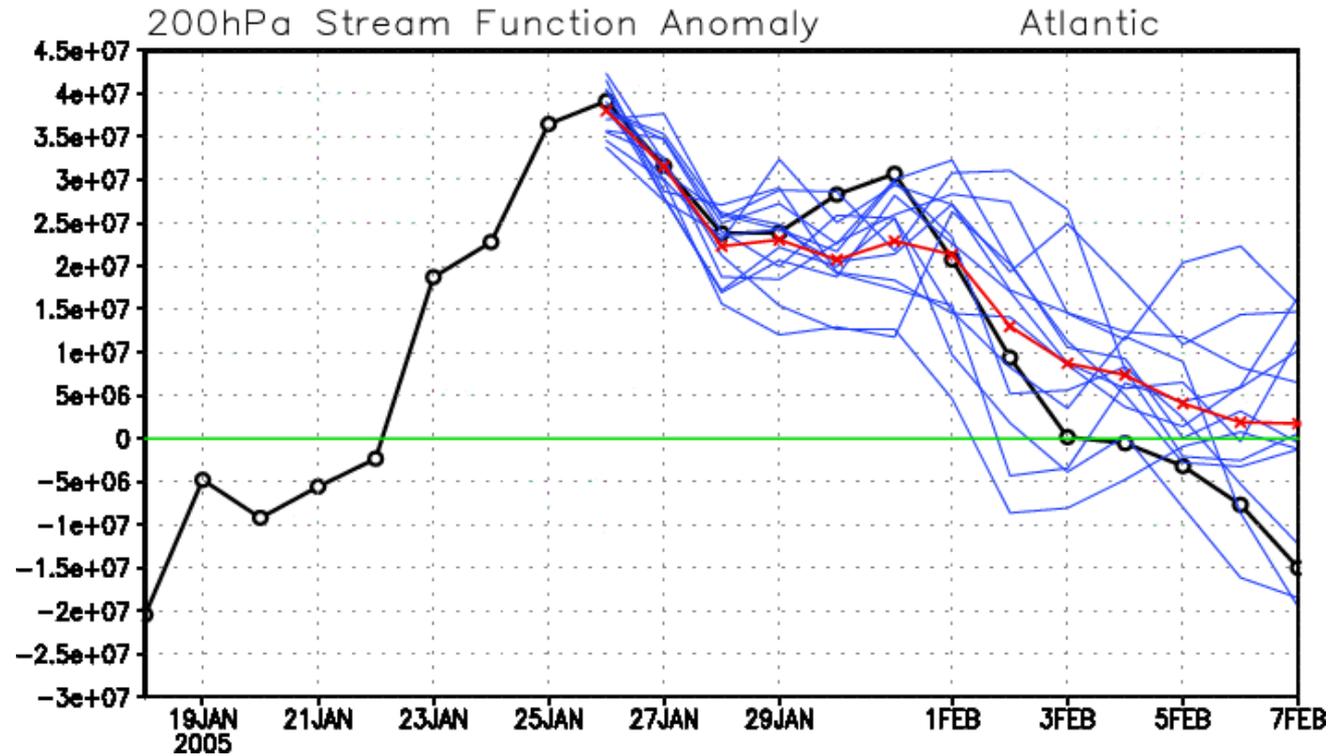
ブロッキングの発達の予測

Initial : 20th JAN 2005



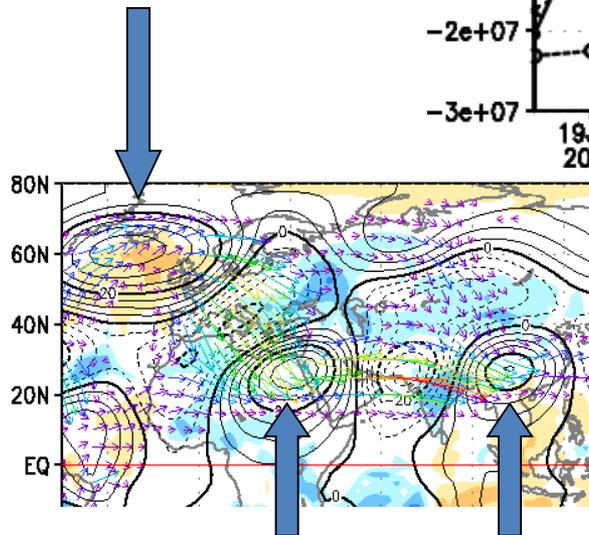
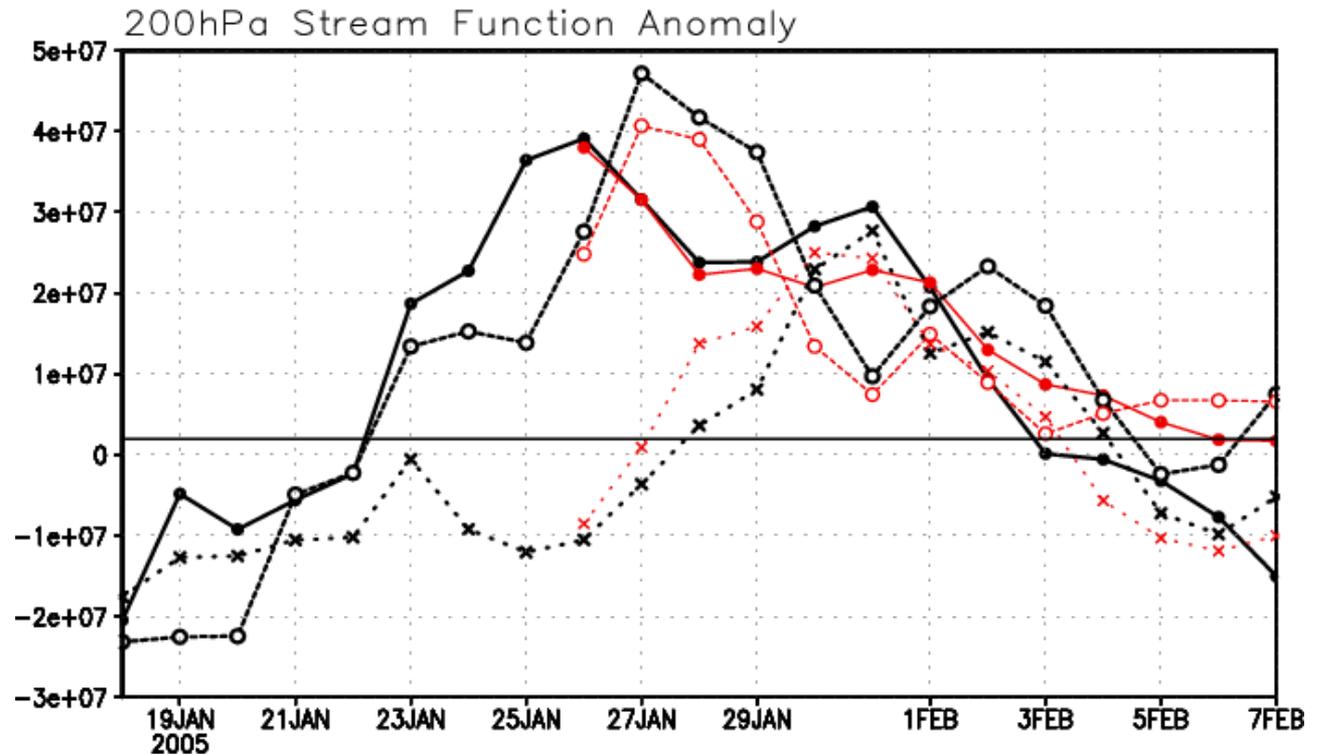
ブロッキングの衰弱の予測

Initial : 26th JAN 2005



ブロッキングの衰弱とロスビー波列の予測

Initial : 26th JAN 2005



アンサンブル平均

ハインドキャスト（再予報）

- 過去の多数の事例を“同一のモデル”で予測
 - 予報モデルの違いに依存しない均質な予測結果
- 目的 1：現業運用時の予測結果の補正
 - モデル平年値の作成
 - 解析との系統的な差（系統誤差/平均誤差）の推定
- 目的 2：予測精度の把握（検証）

（参考）高谷(2012、天気): 「再予報・ハインドキャスト」

| | 期間 | 頻度 | メンバー数 | 大気初期値 |
|--------------|-------------------------|---------------------------|--------------|-----------------|
| ハインド キャスト | 1981～ 2012年 (32年) | 10日、20日、月末 12UTC (月3回) | 5 | 長期再解析 JRA-55 |
| 現業 | — | 毎週火・水曜日 12UTC | 50 (25×2) | 全球速報解析 |

降水量平均値 (7月)

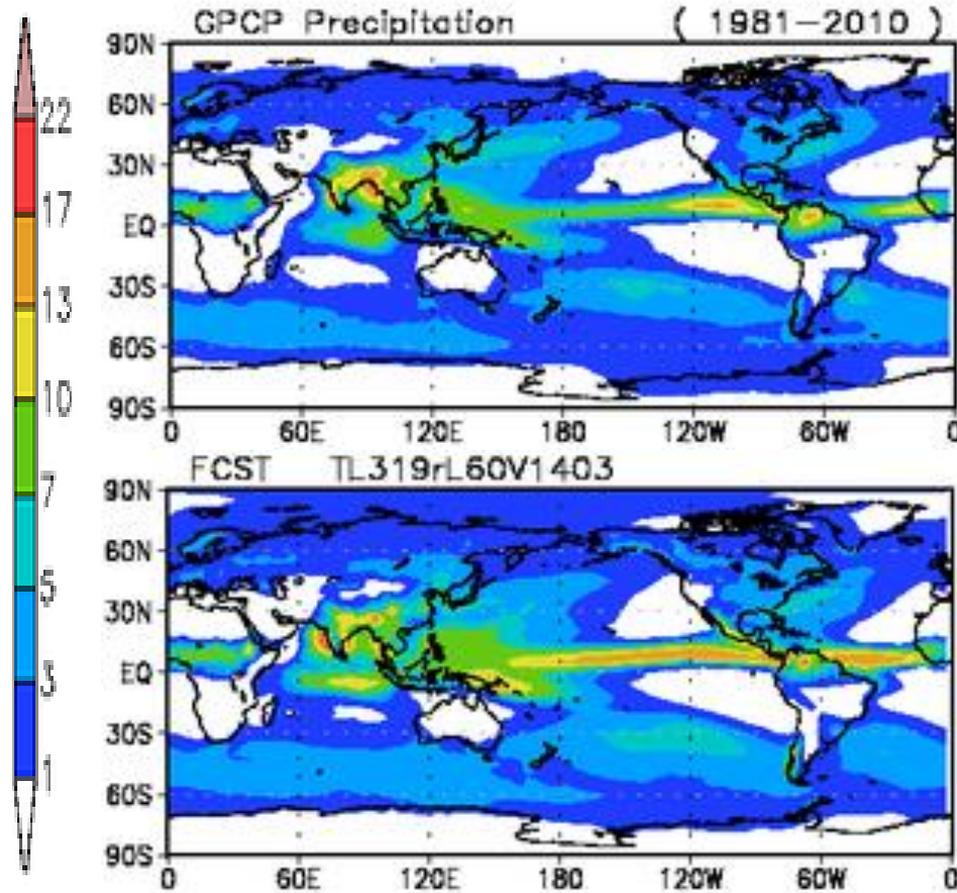
[mm/day]

実況

予測 - 実況

多

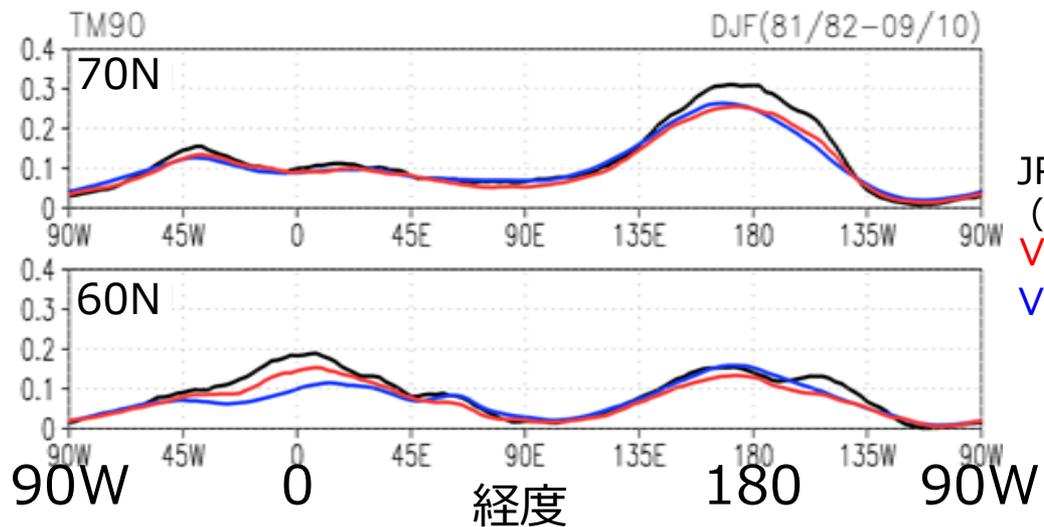
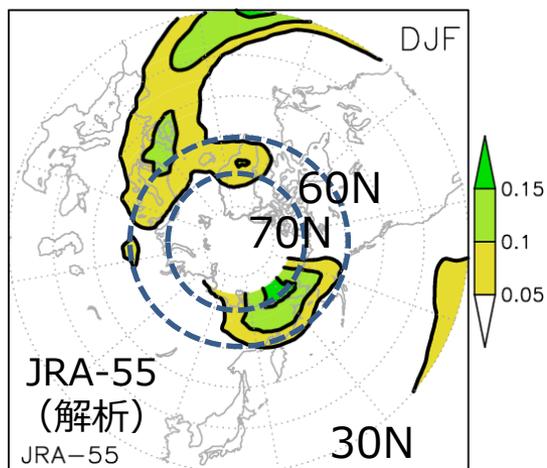
少



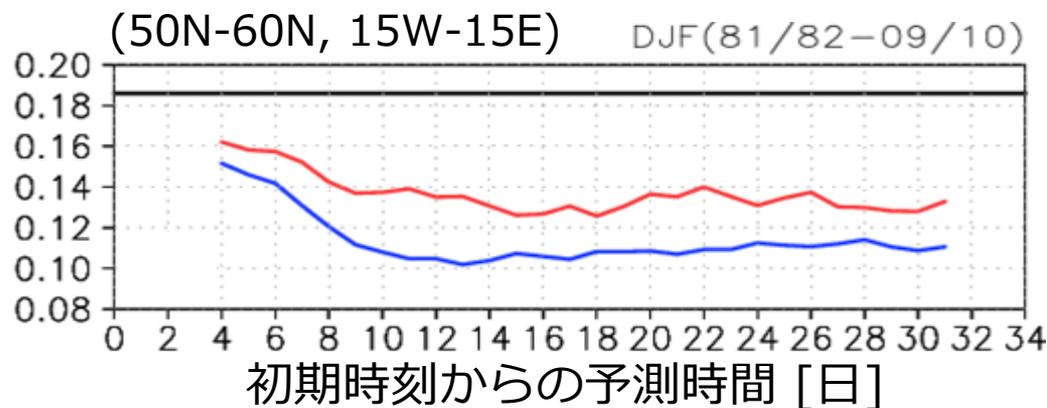
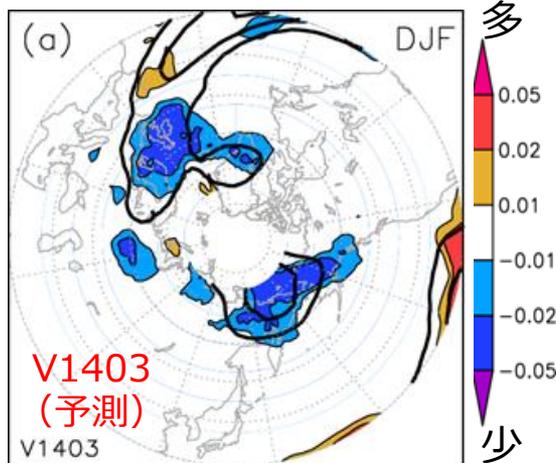
降水量予測の平均値と平均誤差
(ハインドキャストに基づく)
(左上) GPCP (実況)
(左下) 6月30日初期日の予測
(右上) 予測と実況の差 (予測 - 実況)
単位はmm/day、7月を対象
期間は1981~2010年の30年

予測 (アンサンブル平均)

ブロッキングの再現性（北半球（冬））



JRA-55
(解析)
V1403
V1103



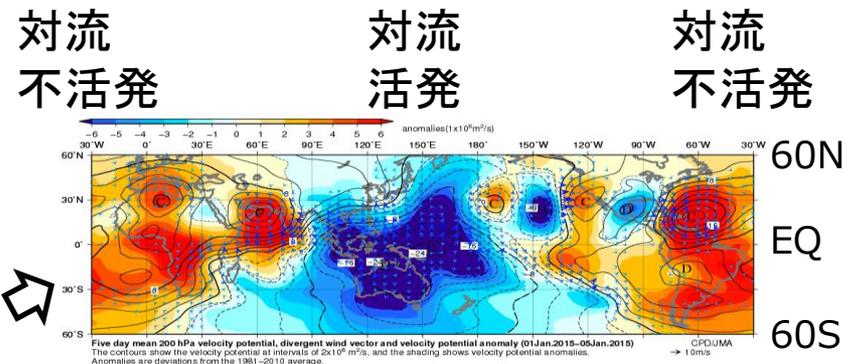
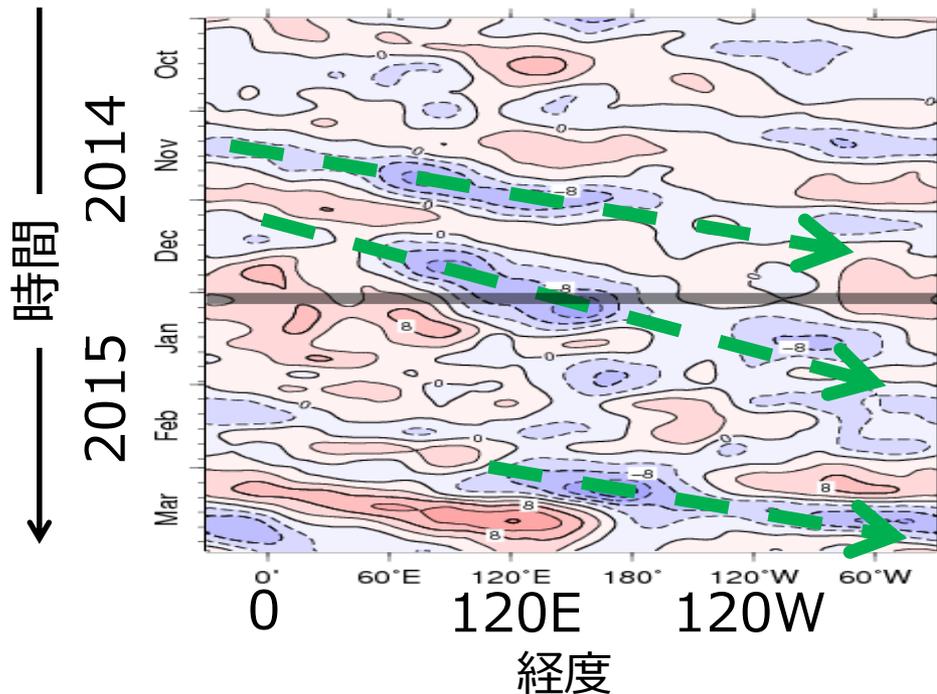
JRA-55
(解析)
V1403
V1103

ブロッキングの平均出現頻度分布（冬）

1981/1982～2009/2010年（29年）の
北半球の冬（12～2月）を対象

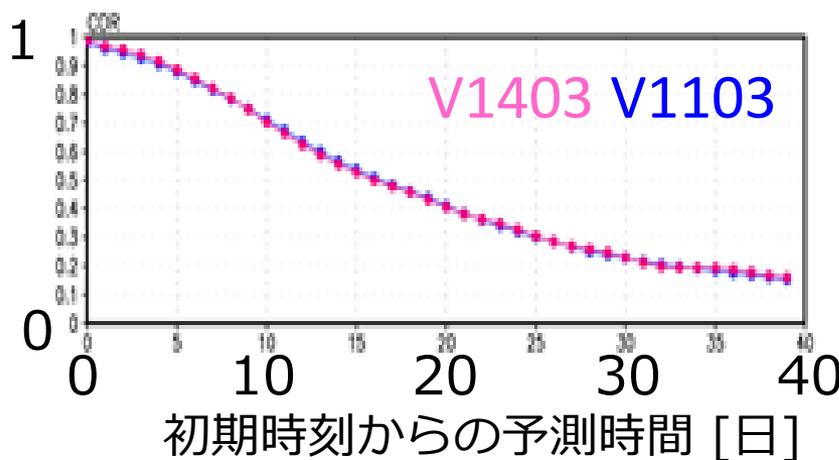
Tibaldi and Molteni(1990)のブロッキング指数を使用
予測4～31日目の7日移動平均（前後3日）に基づく

熱帯季節内変動の予測精度



(左) 赤道付近の5日移動平均
200hPa速度ポテンシャル偏差の
経度時間断面図 (実況)
2014年10月～2015年3月

(上) 5日平均200hPa速度ポテンシャル偏差の
緯度経度平面図 (実況)
2015年1月1日～5日の5日平均



MJO指数の予測精度 (相関)
1981～2010年 (30年) を対象
Wheeler and Hendon(2004)の
MJO指数を使用

* 気象庁モデルの弱点

(2.2) 気象庁の結合モデル [季節・エルニーニョ予測]

2015 JMA/MRI-CGCM2

Atm: T_L159 (~110 km, 1.125 deg.) L60 (~0.1hPa)

Ocn: 1x0.5-0.3 L53

2010 JMA/MRI-CGCM1 季節予測へ導入

2008 JMA/MRI-CGCM1 エルニーニョ予測へ導入

Atm: T_L95 (~180 km, 1.875 deg.) L40 (~0.4hPa)

Ocn: 1x1-0.3 (30N-30S) L50 (top: ~1m)

2003 JMA-CGCM02 (GSM0103)

Atm: T63 (~180 km, 1.875 deg.) L40 (~0.4hPa)

Ocn: 2.5x2-0.5(10N-10S) L20 (top: ~10 m)

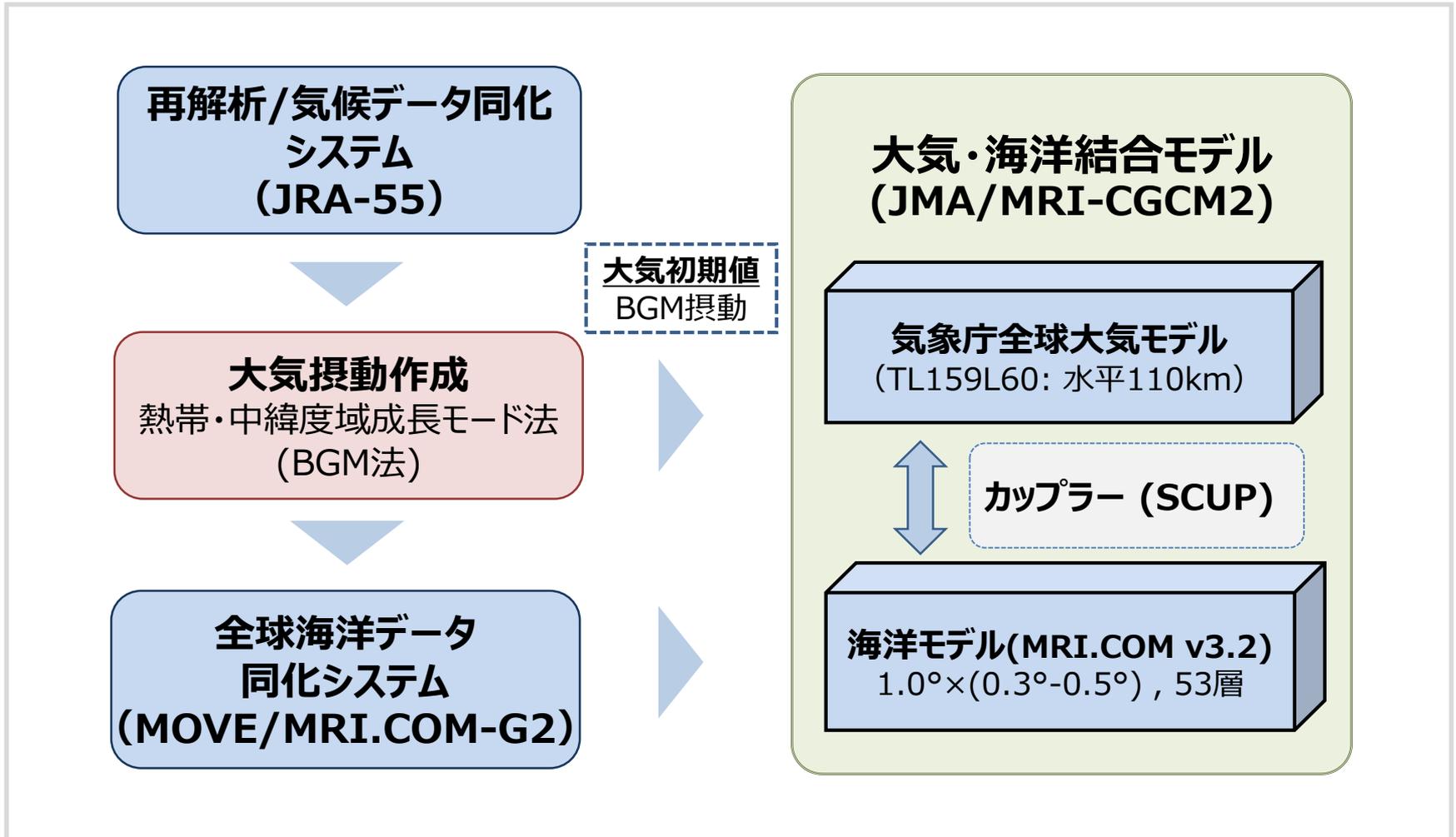
1999 JMA-CGCM01 (GSM8911)

Atm: T42 (~250 km) L21 (~10 hPa)

Ocn: 2.5x2-0.5(10N-10S) L20

システム構成

JMA/MRI-Coupled Prediction System version 2 (JMA/MRI-CPS2)



大気・海洋結合モデル

旧結合モデルと現結合モデルのスペック概要

| | JMA/MRI-CGCM1 (現) | JMA/MRI-CGCM2 (2015.06-) |
|---|--|---|
| 大気モデル 気象庁全球モデル (JMA 2013) | 水平解像度: TL95L40 (~180km) モデルトップ: 0.4hPa | 水平解像度: TL159L60 (~110km) モデルトップ: 0.1hPa 確率的物理過程強制法 温室効果ガスの精緻化 (RCP4.5シナリオ) |
| 海洋モデル (MRI.COM) (Tsuji et al 2010) | 1.0° (東西) x 0.3-1° (南北) L50 75°S-75°N海洋 (極域は気候値) 海氷: 気候値 | 1.0° (東西) x 0.3-0.5° (南北) L53 三極座標系による全球海域 海氷: 力学モデル |
| カップラー (Scup) (Yoshimura and Yukimoto 2008) | 1時間間隔で結合 フラックス修正あり (運動量・熱) | 1時間間隔で結合 フラックス修正なし 海流の効果を考慮 |
| 初期条件 | 大気: JRA-25 陸面: ERA15強制による気候値 海洋: MOVE/MRI.COM-G T, S & SSH 海氷: 気候値 | 大気: JRA-55 陸面: JRA-55陸面解析値 海洋: MOVE/MRI.COM-G2 T, S & SSH 海氷: 海洋データ同化システム |
| メンバー数 | 51 (9 BGMs, 6 days with 5-day LAF) | 51 (13 BGMs, 4 days with 5-day LAF) |

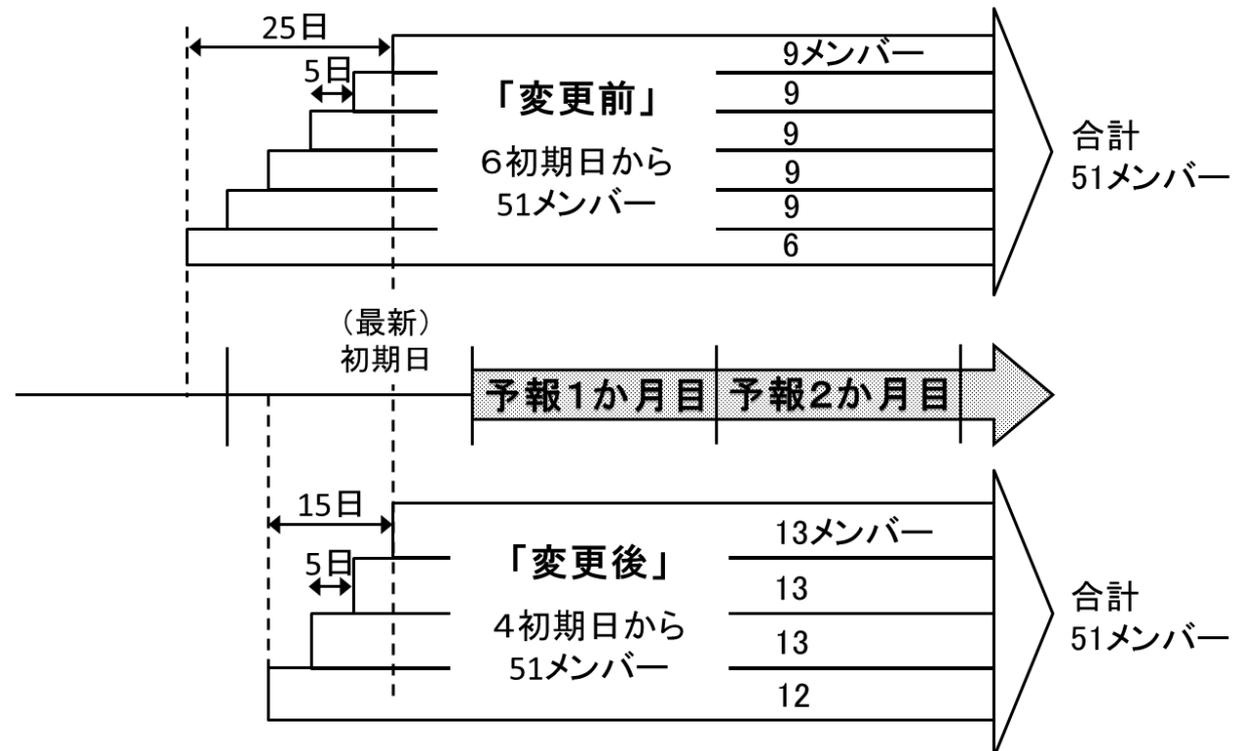
アンサンブル手法

時間ずらし平均(LAF)法 + 成長モード育成(BGM)法 + 確率的物理過程強制法

初期値アンサンブル

モデルアンサンブル

旧季節予測システム
(2010.02-)



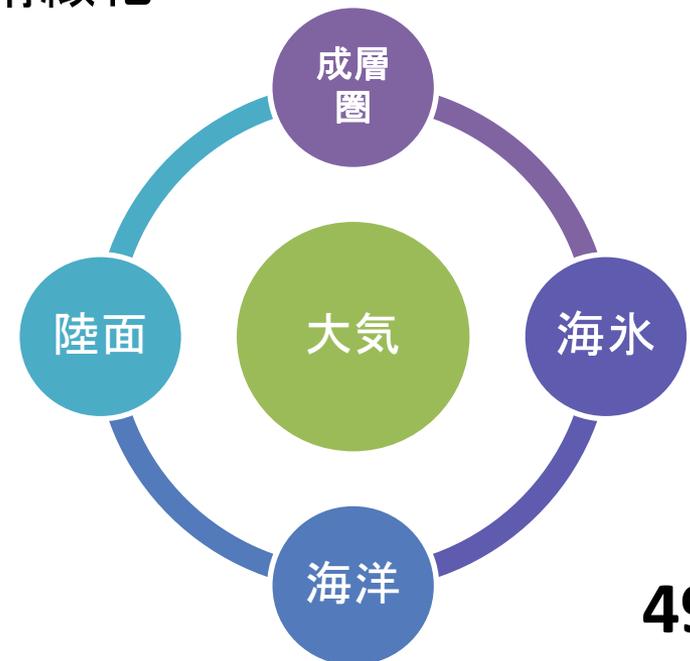
現季節予測システム
(2015.06-)

1 初期日あたりのアンサンブルメンバー数が増加されることで、より新しい初期日の予測値を使えるようになる

新しい予測可能性シグナル

- **海氷過程**: 力学的な海氷モデル
- **陸面過程**: JRA-55による陸面初期値化
- **成層圏**: 鉛直高解像度化により成層圏をフルカバー
(モデルトップ: 0.1 hPa)
- **海洋**: 全球域に拡張
- **温室効果ガス**: 温室効果ガスの与え方の精緻化
(RCP4.5シナリオによる6種類)

新システムでは、季節予測のシグナル
であると言われる主な過程を
表現できるようになった。



ハインドキャストによる予測精度の評価 モデル気候

旧現システムのハインドキャスト検証

旧および現季節予測システムハインドキャストの初期日

- 期間: 32年間
[1979-2010年]
- 初期値: 毎月2回
- メンバー数: 5
- 積分期間: 420日
- 検証データ:
 - JRA-55
 - GPCP
 - COBE-SST

| 初期月 | 旧システム (JMA/MRI-CPS1) | 新システム (JMA/MRI-CPS2) |
|-----|-------------------------|-------------------------|
| 1月 | 1/1, 12/17 | 12/27, 12/12 |
| 2月 | 1/31, 1/16 | 1/31, 1/16 |
| 3月 | 3/2, 2/15 | 2/25, 2/10 |
| 4月 | 4/1, 3/17 | 3/27, 3/12 |
| 5月 | 5/1, 4/16 | 4/26, 4/11 |
| 6月 | 5/31, 5/16 | 5/31, 5/16 |
| 7月 | 6/30, 6/15 | 6/30, 6/15 |
| 8月 | 7/30, 7/15 | 7/30, 7/15 |
| 9月 | 8/29, 8/14 | 8/29, 8/14 |
| 10月 | 9/28, 9/13 | 9/28, 9/13 |
| 11月 | 10/28, 10/13 | 10/28, 10/13 |
| 12月 | 12/2, 11/17 | 11/27, 11/12 |

※ 一部の初期月で初期値が変更されていることに注意

降水量気候値, バイアス [6-8月, LT:1か月]

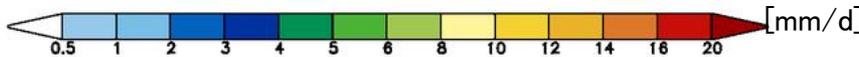
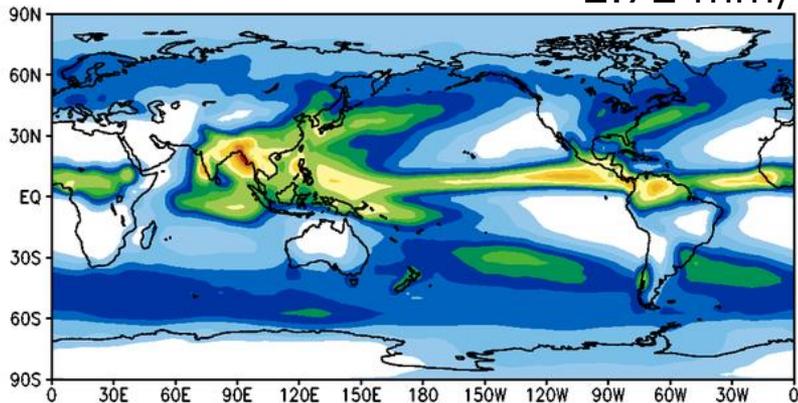


Precip Clim (GPCP v2.2, JJA)

Climatology for 30 years (1981-2010)

Initial : 04.26 , Lead time : 1 (Target month : Jun to Aug)

2.72 mm/d

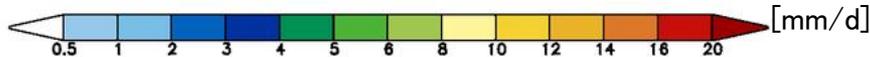
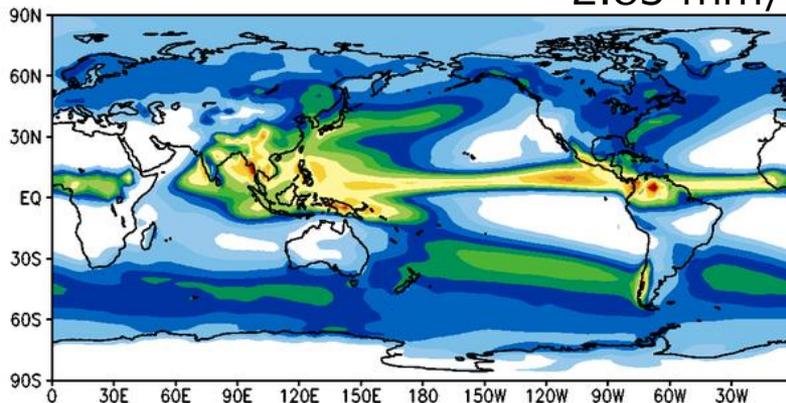


Precip Clim (JMA/MRI-CGCM2, JJA)

Climatology for 30 years (1981-2010)

Initial : 04.26 , Lead time : 1 (Target month : Jun to Aug)

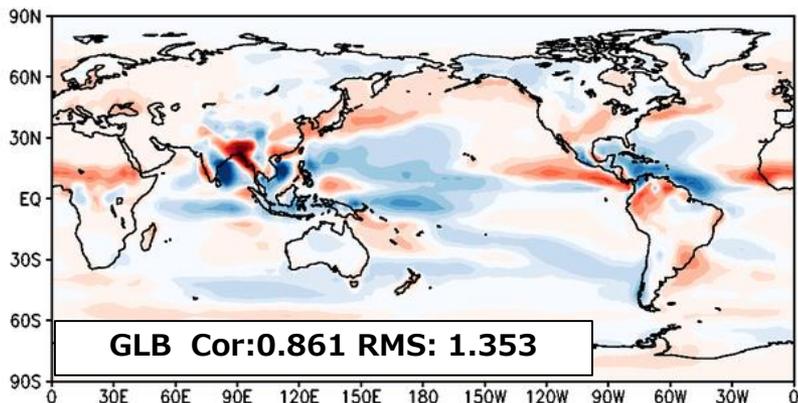
2.83 mm/d



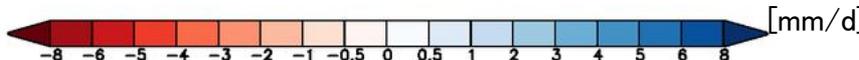
Precip Bias (JMA/MRI-CGCM1, JJA)

BIAS for 30 years (1981-2010)

Initial : 05.01 , Lead time : 1 (Target month : Jun to Aug)



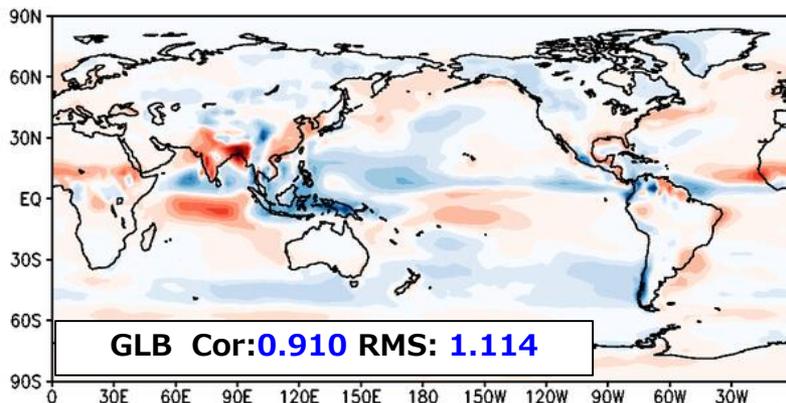
GLB Cor:0.861 RMS: 1.353



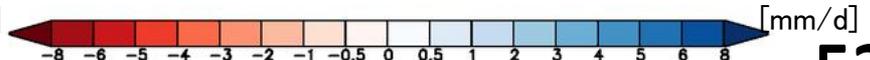
Precip Bias (JMA/MRI-CGCM2, JJA)

BIAS for 30 years (1981-2010)

Initial : 04.26 , Lead time : 1 (Target month : Jun to Aug)



GLB Cor:0.910 RMS: 1.114



- 熱帯北西太平洋域の降水パターンの改善、熱帯大西洋の東西コントラストの改善

降水量気候値, バイアス [12-2月, LT:1か月]

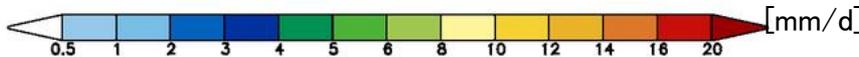
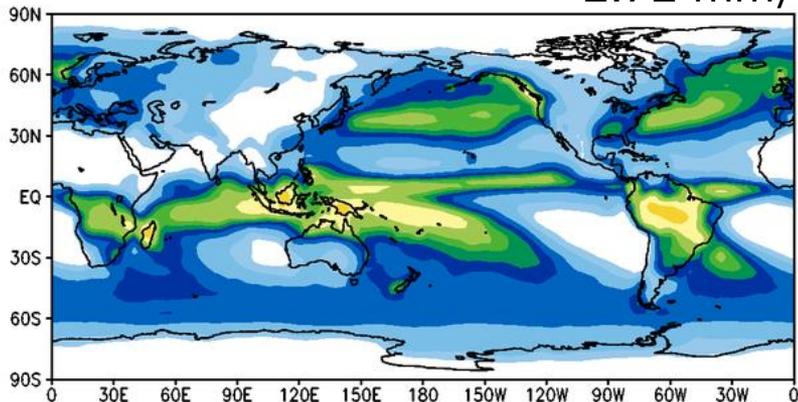


Precip Clim (GPCP v2.2, JJA)

Climatology for 30 years (1981-2010)

Initial : 10.28 , Lead time : 1 (Target month : Dec to Feb)

2.72 mm/d

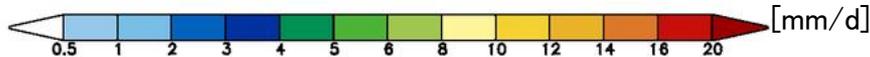
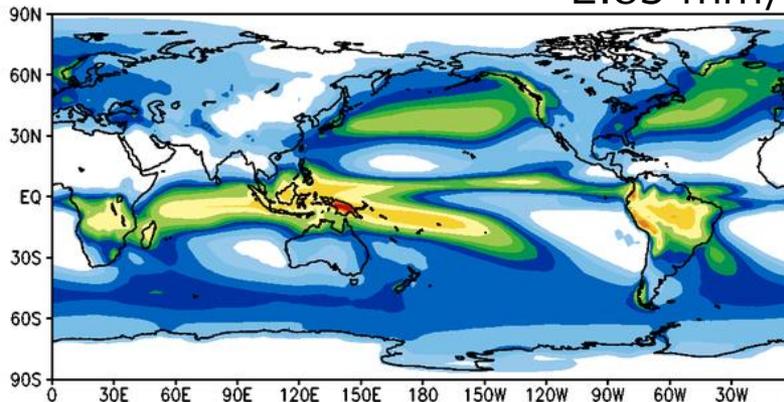


Precip Clim (JMA/MRI-CGCM2, JJA)

Climatology for 30 years (1981-2010)

Initial : 10.28 , Lead time : 1 (Target month : Dec to Feb)

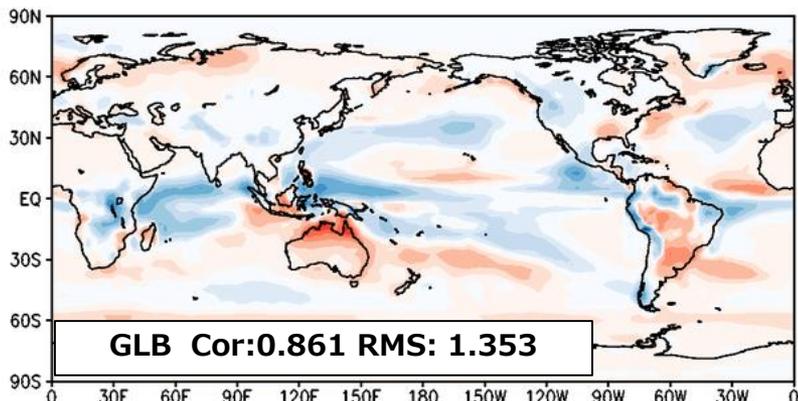
2.83 mm/d



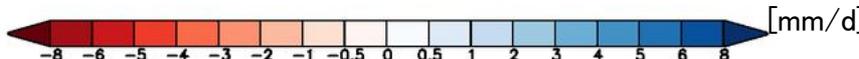
Precip Bias (JMA/MRI-CGCM1, JJA)

BIAS for 30 years (1981-2010)

Initial : 10.28 , Lead time : 1 (Target month : Dec to Feb)



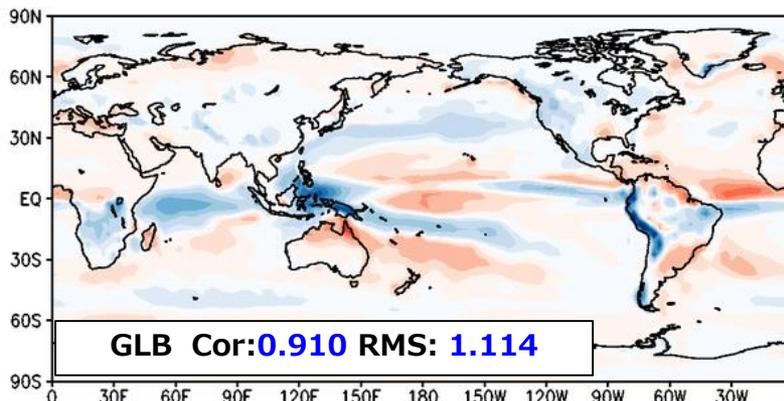
GLB Cor:0.861 RMS: 1.353



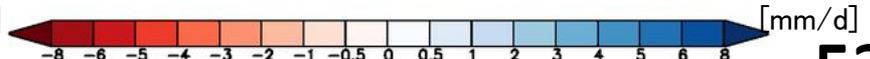
Precip Bias (JMA/MRI-CGCM2, JJA)

BIAS for 30 years (1981-2010)

Initial : 10.28 , Lead time : 1 (Target month : Dec to Feb)



GLB Cor:0.910 RMS: 1.114

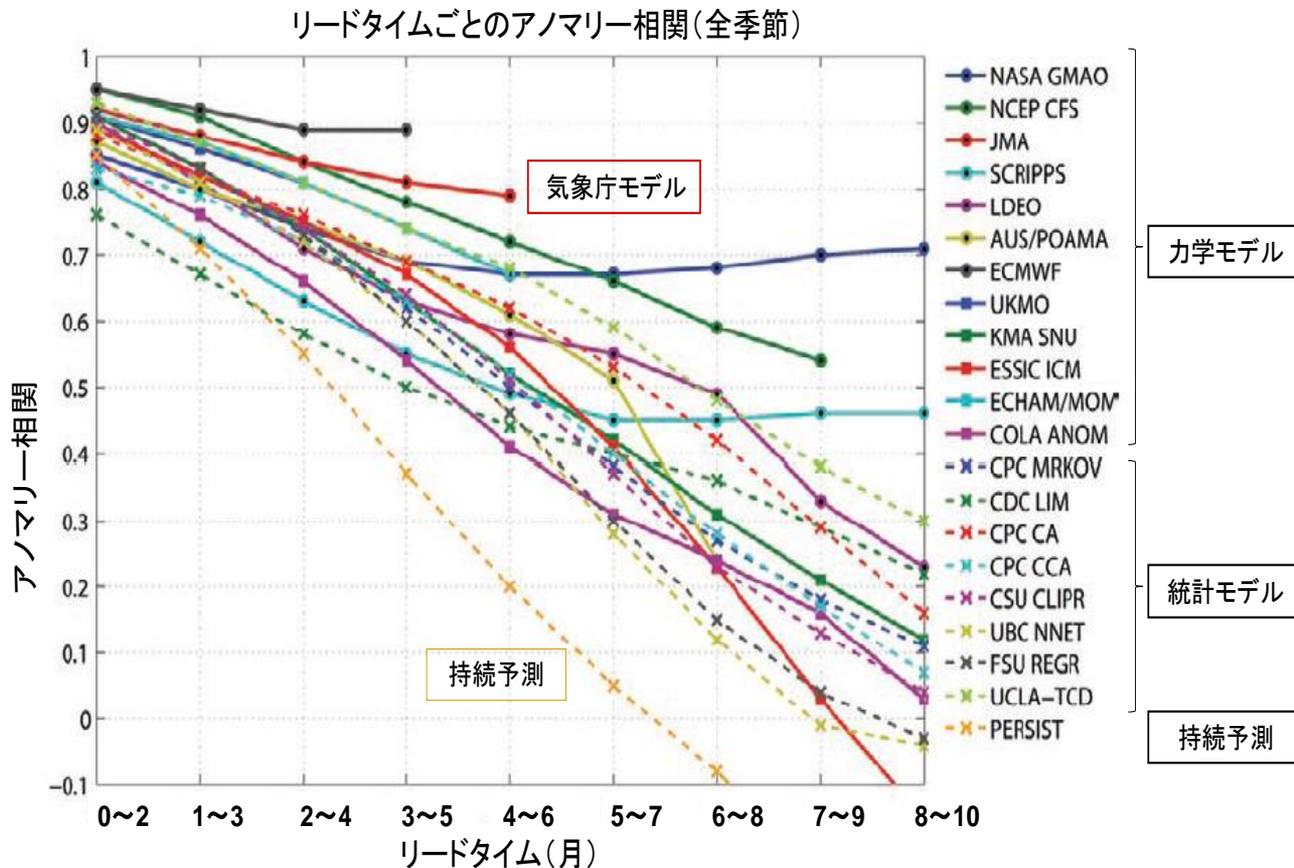


- 熱帯北西太平洋域の降水パターンの改善、熱帯大西洋の東西コントラストの改善

ハインドキャストによる予測精度の評価 海面水温、エルニーニョ予測

エルニーニョ現象の予測精度

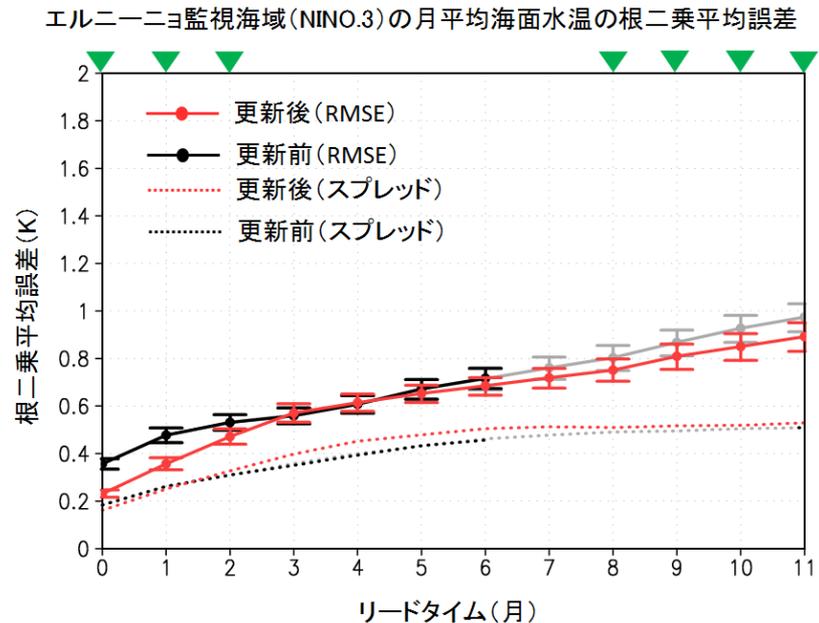
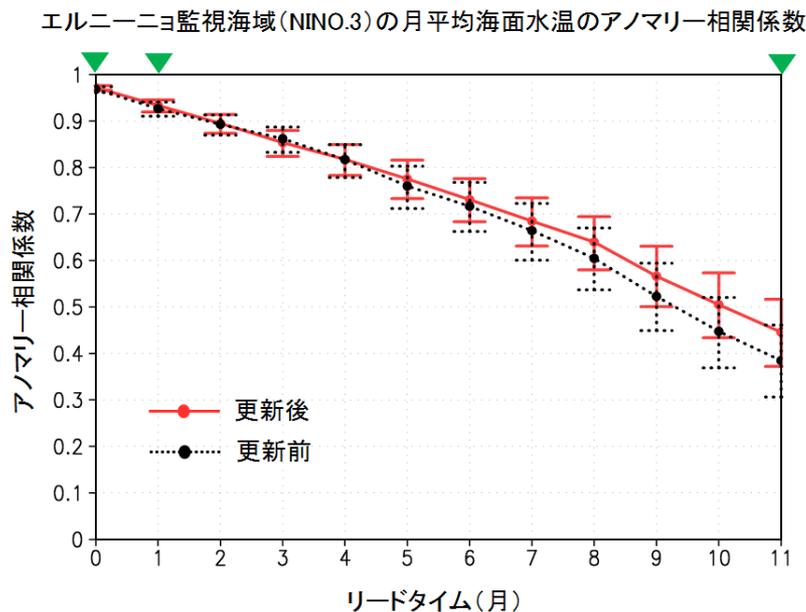
- 気象庁のエルニーニョ現象の予測は世界トップレベル。
- エルニーニョ現象予測のために大気海洋結合モデルを1999年から現業運用。



エルニーニョ予測、海洋予測の精度評価

- ENSO(NINO3,NINO3.4)の予測は概ね改善。特に春を越える予測の精度が改善。
- ✗ NINO.WESTは改悪。
- IOBWは概ね改善。
- ENSOのSSTパターン、振幅が改善。降水年々変動パターンが改善。
- 規則正しすぎるENSO、2年周期の改善。

※ 初期日は新旧で同一



30年(1981-2010)各月を初期月とする10メンバーアンサンブルを評価。

▼は信頼度95%で有意に改善していることを示す。

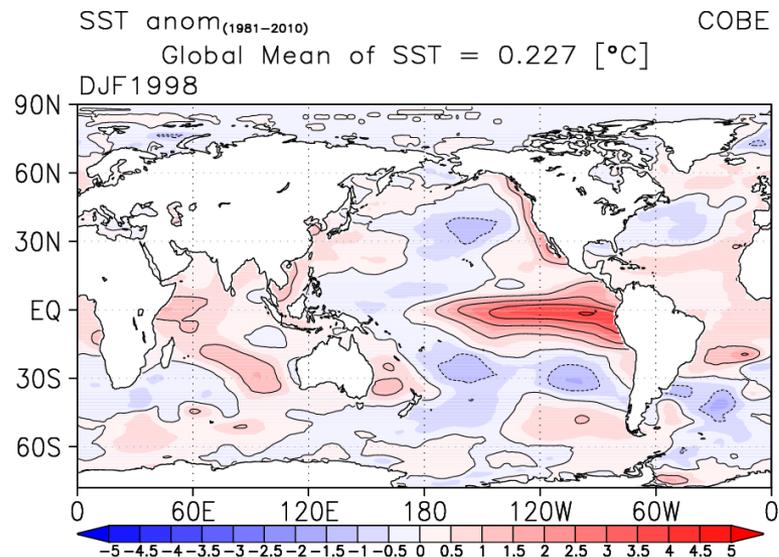
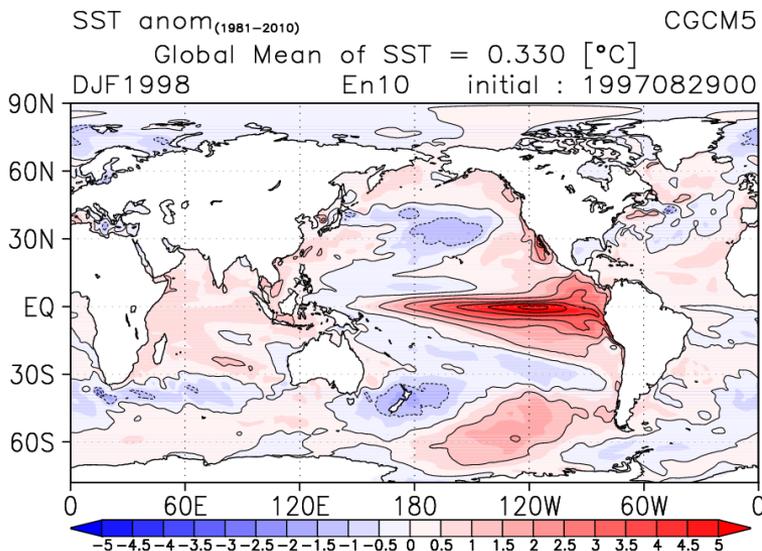
エルニーニョ現象の予測事例

1997年9月初期値の12~2月

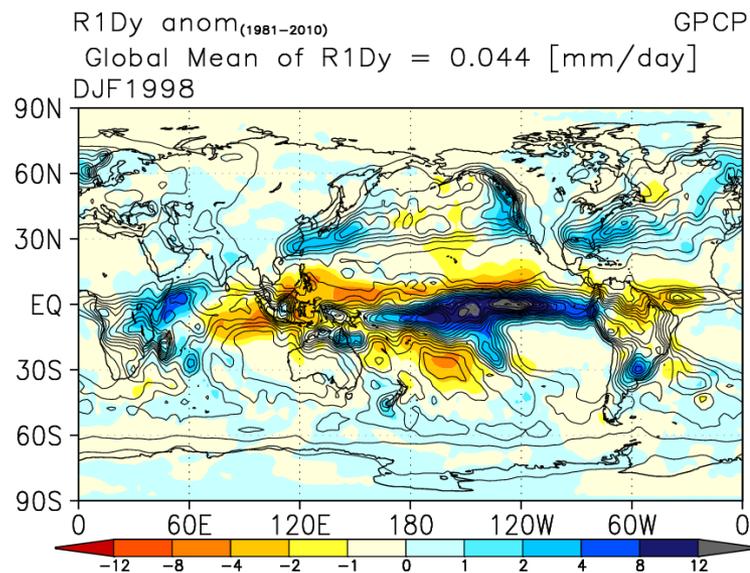
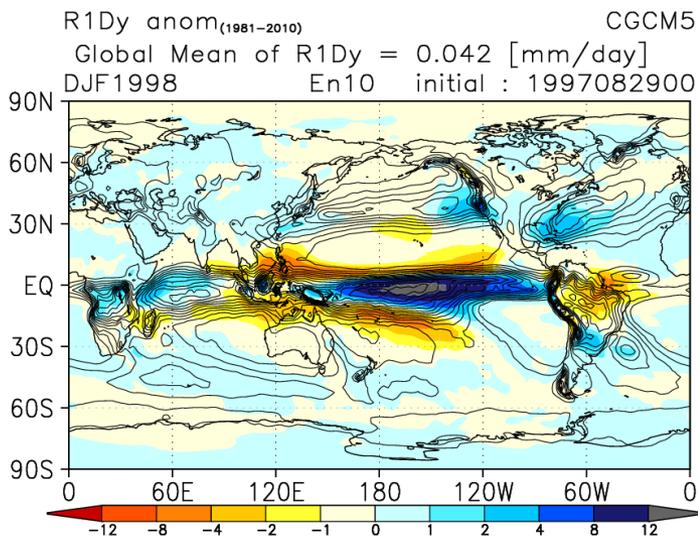
アンサンブル平均予測

観測

海面水温



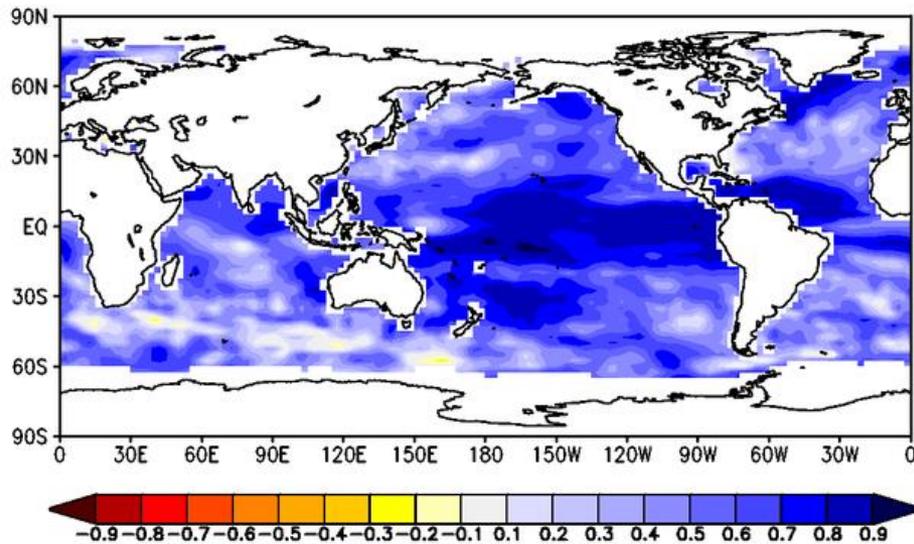
降水量



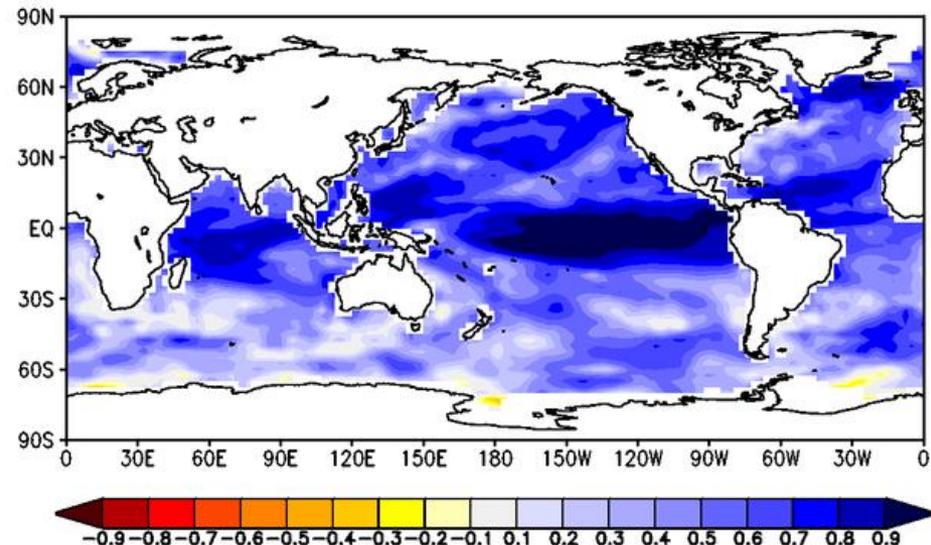
海面水温 (SST) の予測精度

- 熱帯域で予測精度が高い。
- 特にENSOとの関連の強い海域で精度が高い。

6-8月(5月初期月, LT: 1か月)

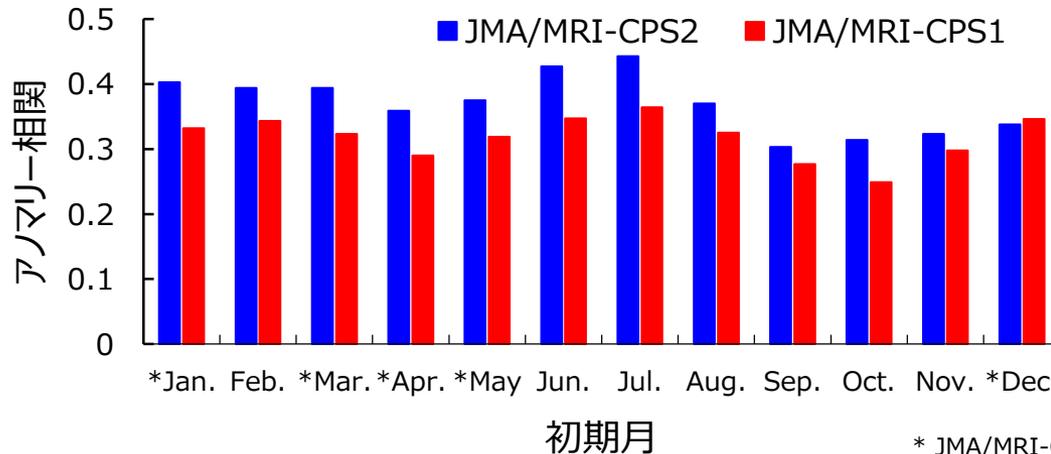
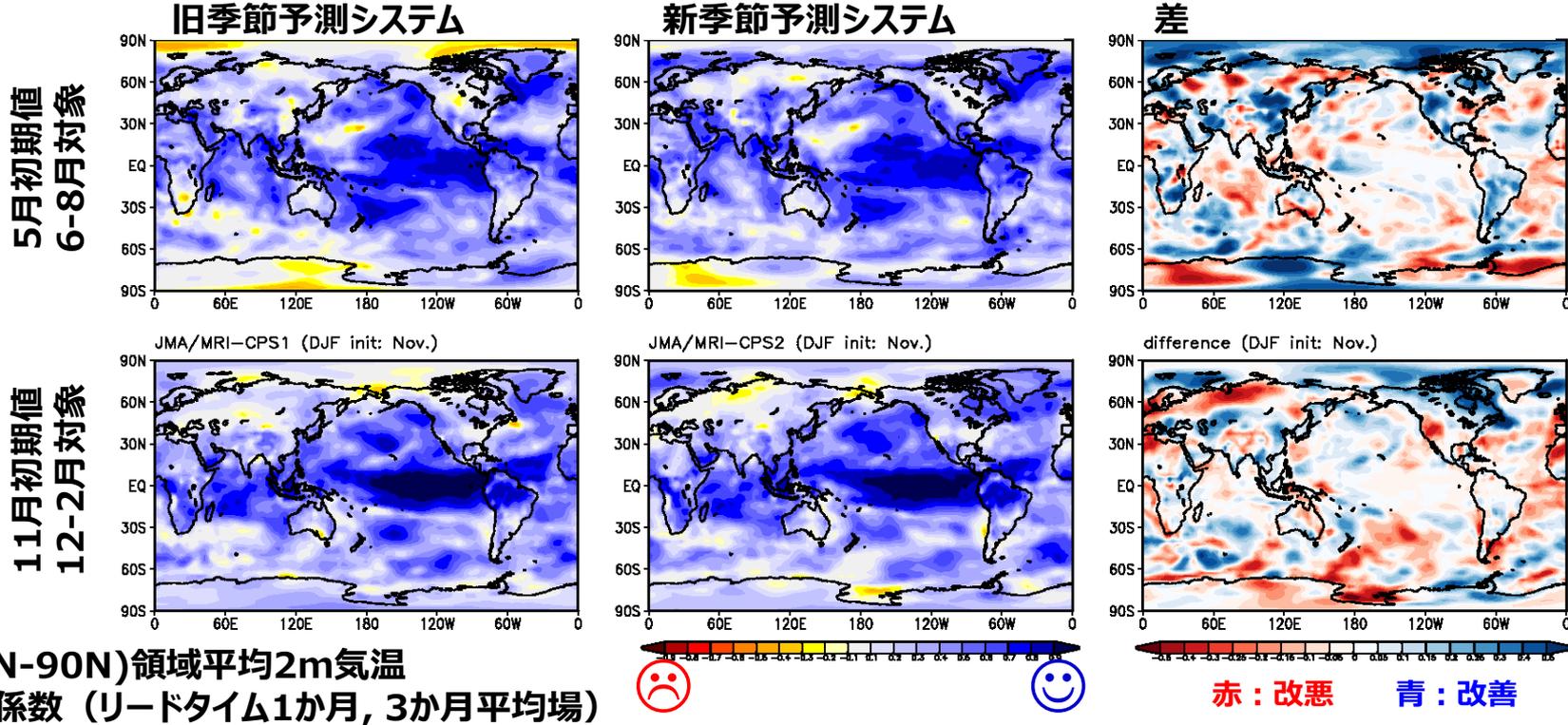


12-2月(11月初期月, LT: 1か月)



ハインドキャストによる予測精度の評価 大気予測

アノマリー相関係数(2m気温)

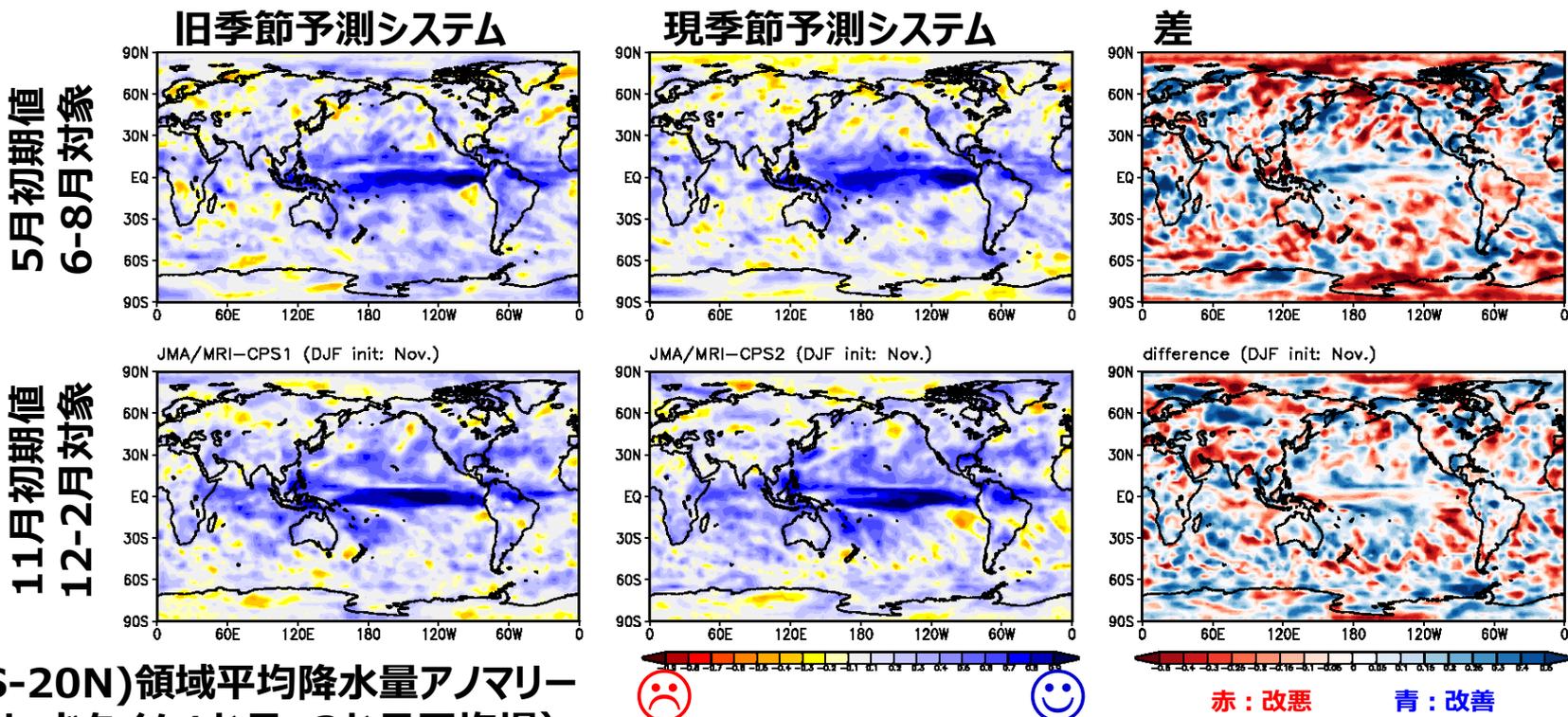


北半球域の2m気温

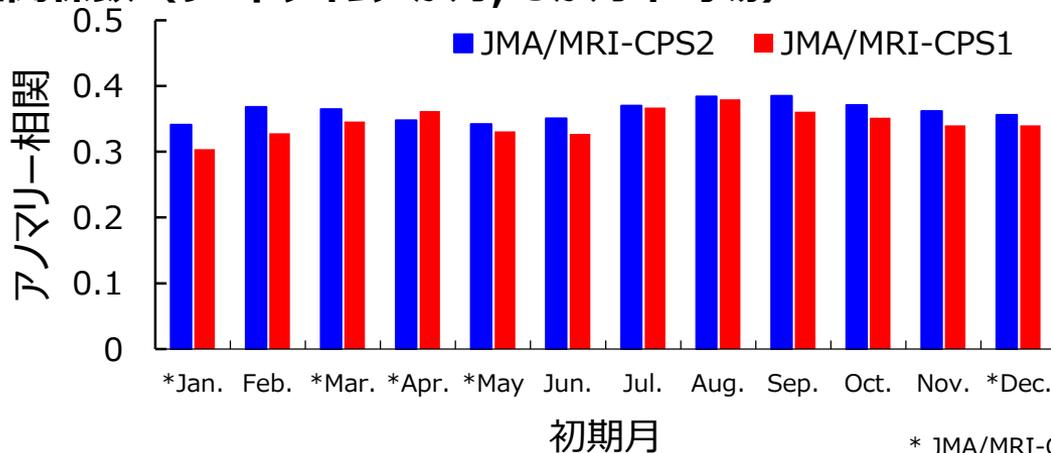
- ほぼ全ての初期日で現システムよりも改善
- 陸上での改善が明瞭で、温室効果ガスの精緻化や陸面初期値化の効果が出ているとみられる

* JMA/MRI-CPS1とJMA/MRI-CPS2でハインドキャストの初期日が異なる

アノマリー相関係数(降水量)



熱帯域(20S-20N)領域平均降水量アノマリー相関係数 (リードタイム1か月, 3か月平均場)



熱帯域の降水量

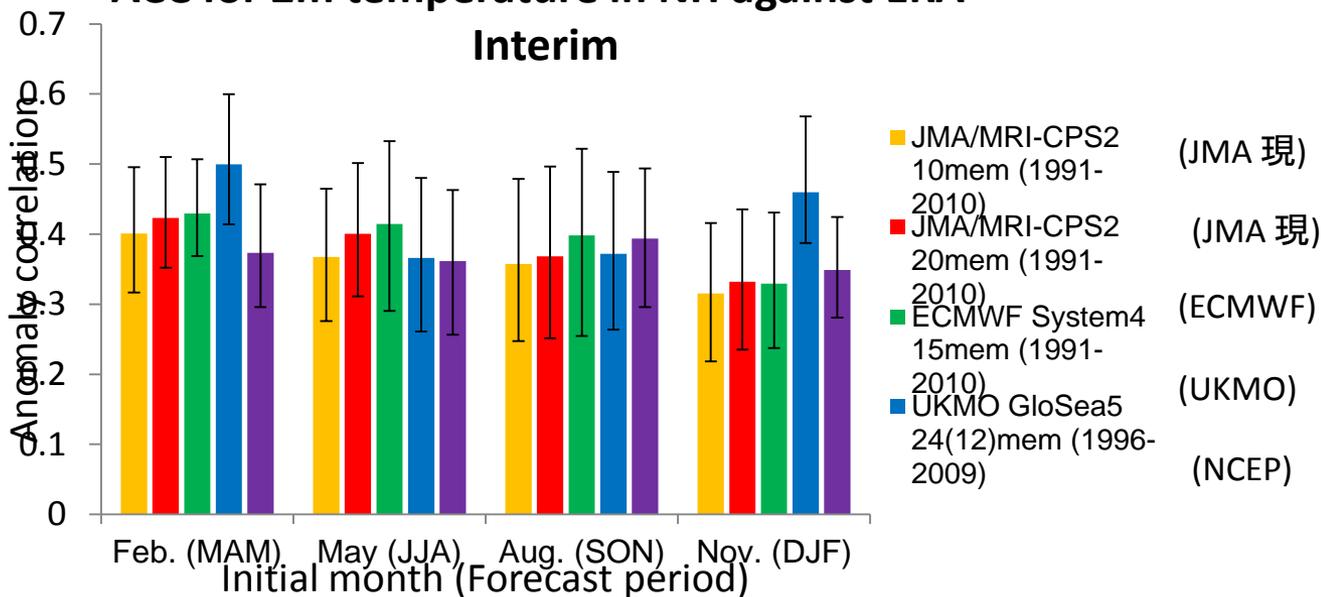
- ほぼ全ての初期日で旧システムよりも改善
- 夏の西部太平洋など、海面水温の改善に対応して降水量も改善している

* JMA/MRI-CPS1とJMA/MRI-CPS2でハインドキャストの初期日が異なる

H27年6月に現業化した季節予測システムの予測精度

北半球2m気温のアノマリー相関係数

ACC for 2m temperature in NH against ERA-Interim



The area-weighted average of z-transformed correlation of T2m for NH (20-90N) for 4 seasons.

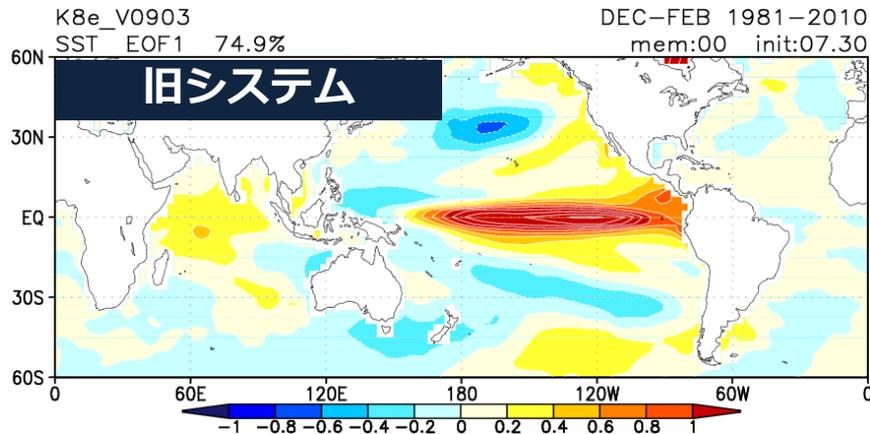
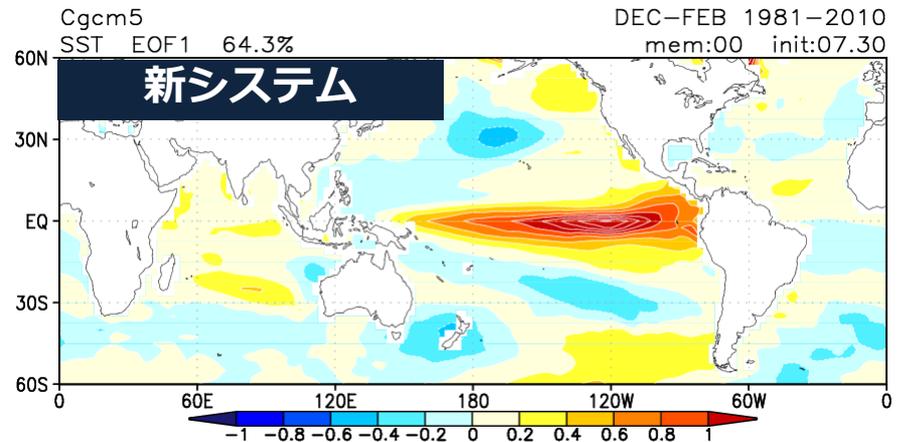
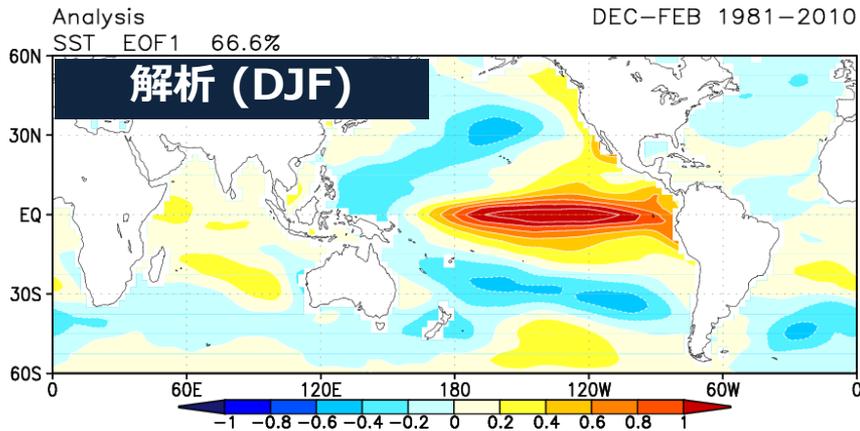
○北半球夏・秋は世界トップクラス

○北半球冬・春はUKMOの予測精度が高い

予測特性の課題例

ENSO (SST) の特性

- ENSO(NINO3 SST)の振幅、パターンには誤差がある。
- モデルでは太平洋赤道域の正のパターンが細く、西に延びすぎる傾向。



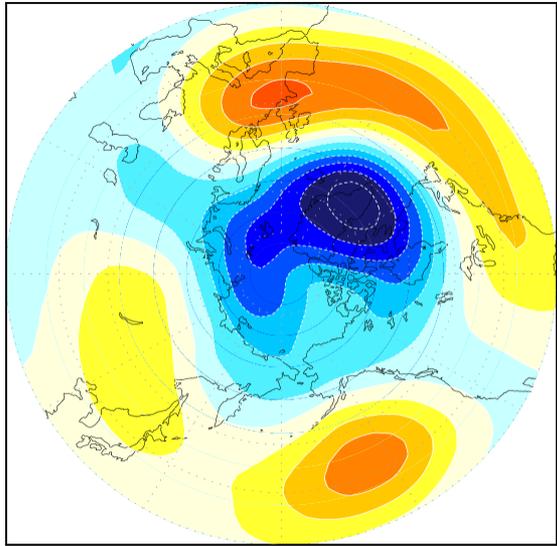
1981-2010年の60S-60N域のSSTの
EOFパターン
予測はリードタイム4か月（8月
初期月）のコントロールランの結果

ENSOの応答(Z500)の特性

- ENSOの特性(振幅等)を反映して、500hPa高度にも特徴的な誤差がある。
- モデルは解析に比べ、冬季のアリューシャン低気圧の変動が強い。

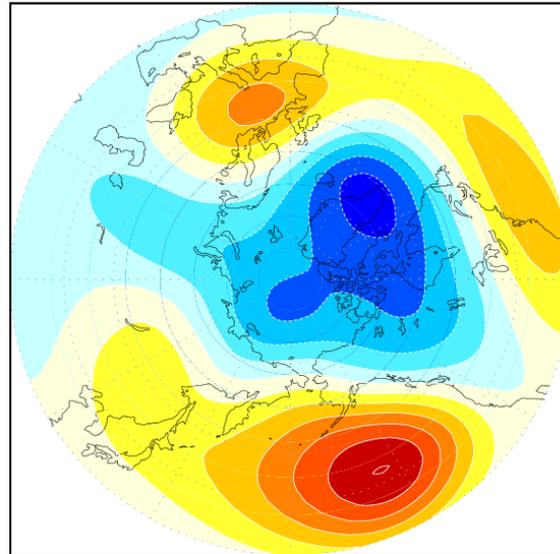
解析 (DJF)

Analysis
Z500 EOF1 28.4%
DEC-FEB 1981-2010



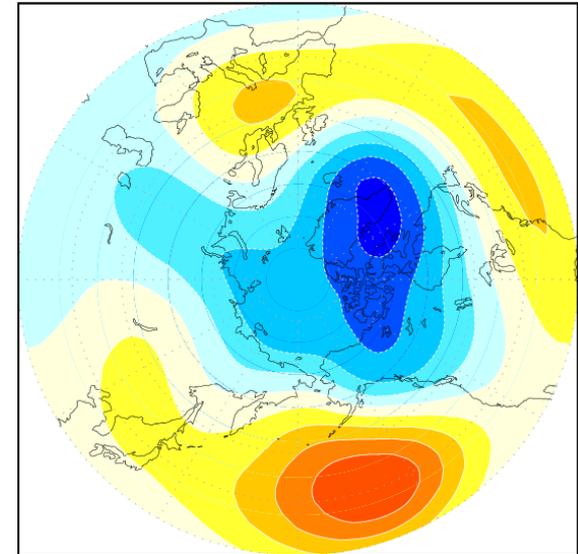
新システム

Cgcm5
Z500 EOF1 26.1% mem:10 init:07.30
DEC-FEB 1981-2010



旧システム

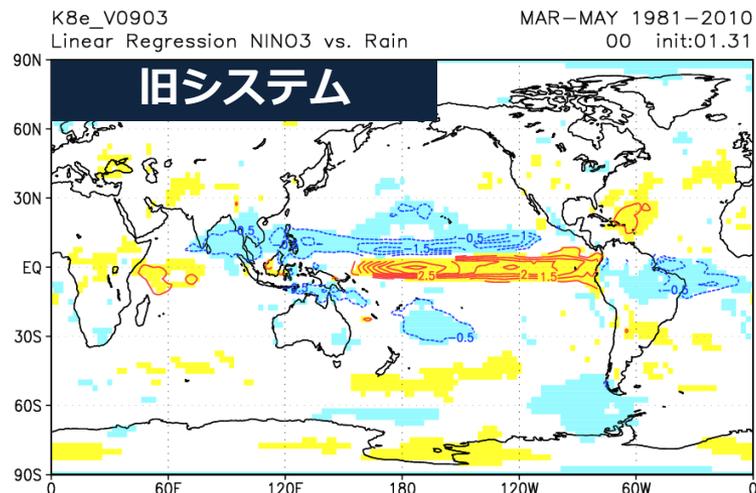
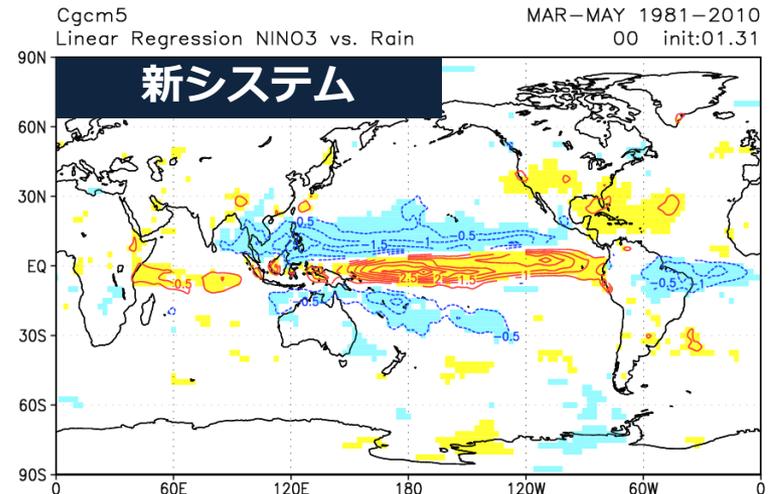
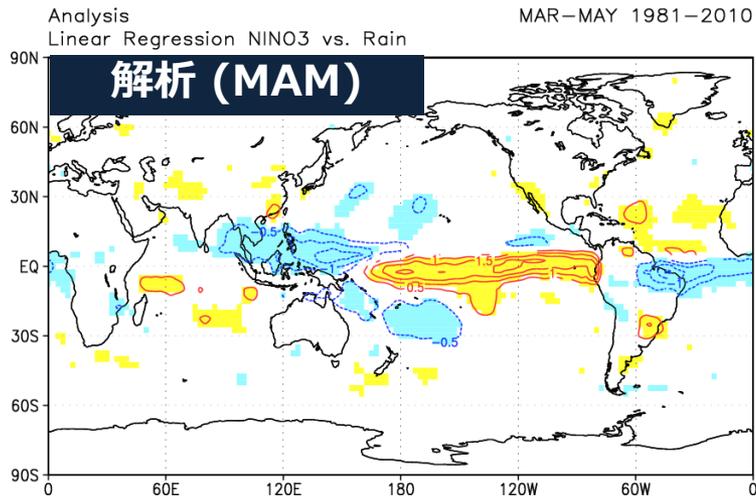
K8e_V0903
Z500 EOF1 22.3% mem:10 init:07.30
DEC-FEB 1981-2010



1981-2010年の20N-90N域のZ500のEOFパターン
予測はリードタイム4か月（8月初期月）のコントロールランの結果

ENSOの応答(降水量)の特性 | NINO3 SST回帰

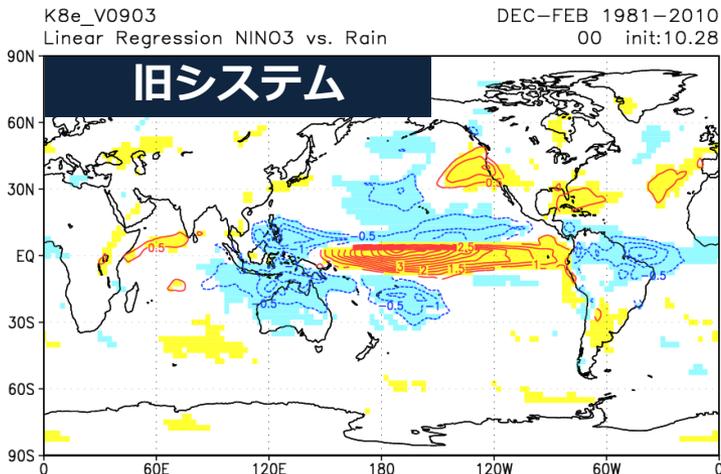
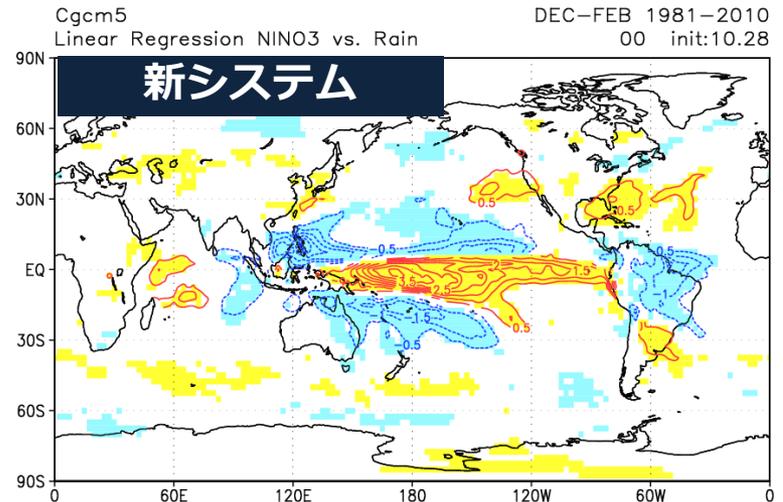
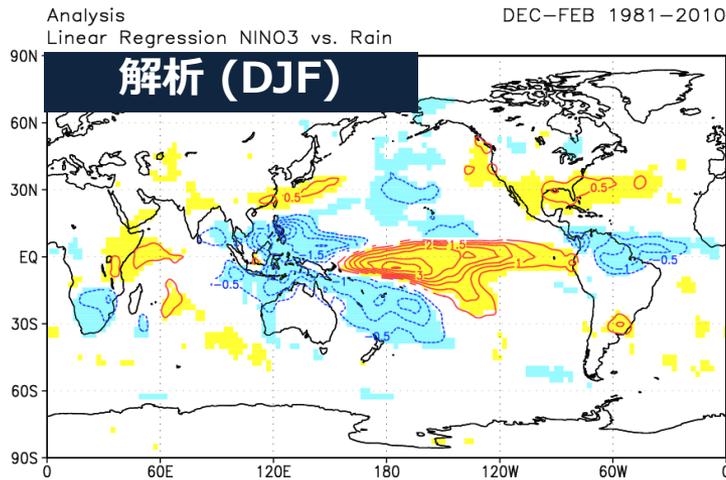
- モデルのENSO時の降水パターンには誤差がある。
- モデルでは特に春季の降水量において、太平洋赤道域の正相関の領域が西に過剰に延び、また、負相関が赤道を挟んで見られる。



1981-2010年のNINO.3 SSTに対する
降水の回帰パターン
予測はリードタイム1か月（2月初期月）
のコントロールランの結果

ENSOの応答(降水量)の特性 | NINO3 SST回帰

- 冬季の回帰パターンについては旧システムに比べ改善傾向。



1981-2010年のNINO.3 SSTに対する
降水の回帰パターン
予測はリードタイム1か月（11月初期
月）のコントロールランの結果

(2.2)のまとめ

- 2015年6月に季節予測システムを更新した。
 - 物理過程の改善
 - 温室効果ガス
 - 大気、海洋高解像度化
 - 全球域の海洋モデル
 - 海氷モデル
 - 陸面初期値化
 - フラックス修正の廃止
- エルニーニョ、3か月、暖・寒候期予測の精度が改善された。
- 地上気温、降水量等で改善。循環場も概ね改善。
- 北半球夏・秋の予測精度は世界トップクラス。
- が、、、今後の課題も多いし、、、**伸び代もある。**

