

# 大気海洋結合モデルによる 季節予報の改善

Improvements of Seasonal Forecast  
by introducing CGCM

前田 修平

気象庁地球環境・海洋部気候情報課

Shuhei MAEDA

Climate Prediction Division /JMA

# 概要：Outline

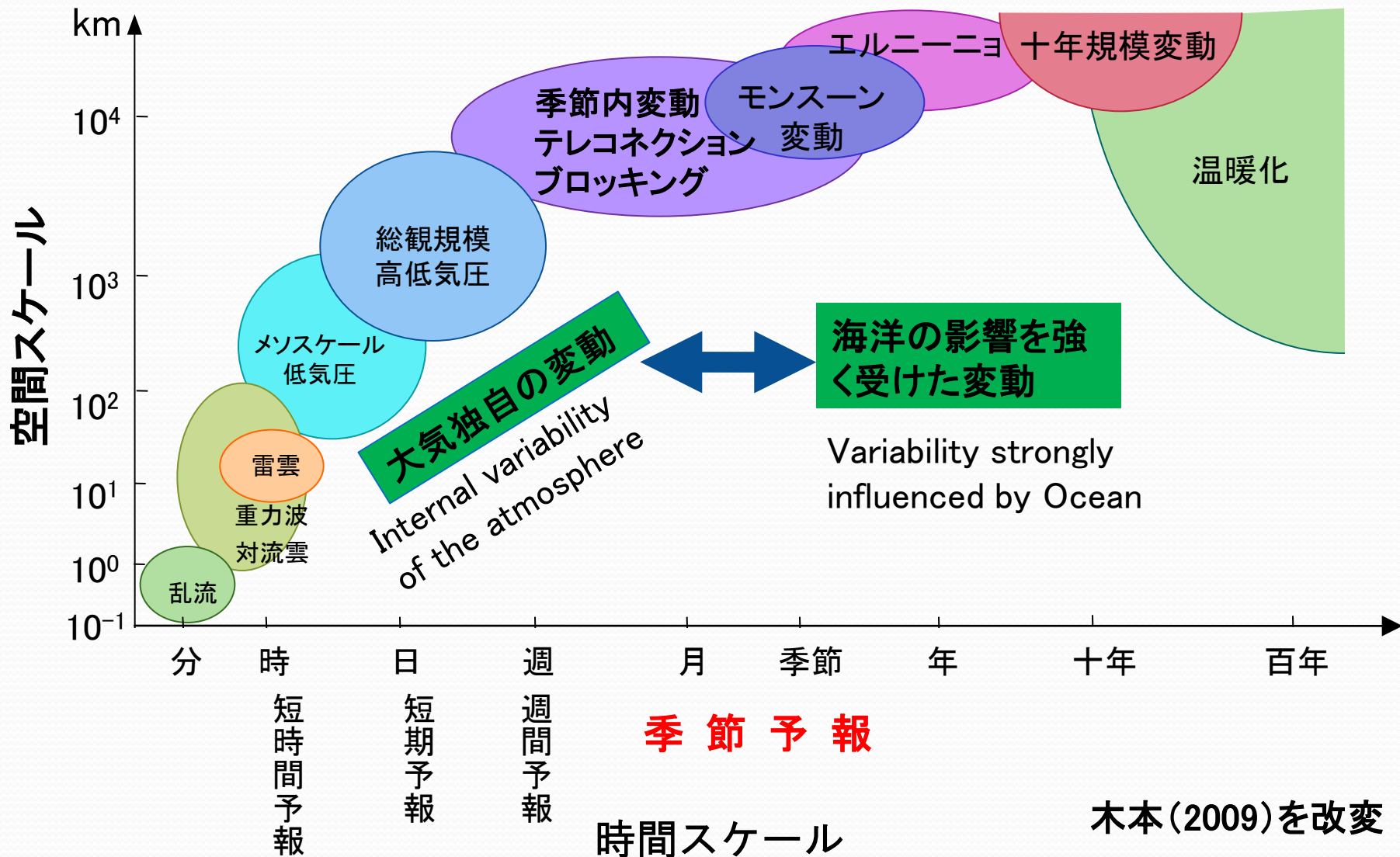
1. はじめに： Introduction  
～季節予報はなぜ可能か、なぜ難しいか～  
Predictability of Seasonal Forecast
2. 大気海洋結合モデルの導入による季節予報の改善:  
Improvements of Seasonal Forecast by introducing  
CGCM
3. 今後の課題： Future subjects
4. おわりに： Concluding remarks

# 1. はじめに

～季節予報はなぜ可能か、なぜ難しいか～

Predictability of Seasonal Forecast

# 気象の時間・空間スケール

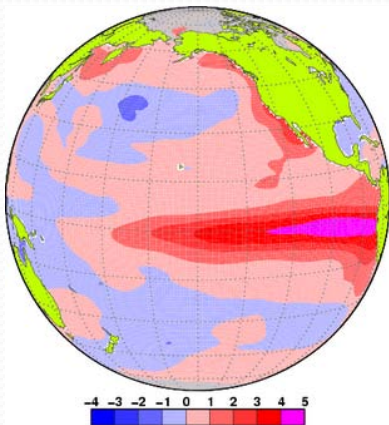


# 季節予報はなぜ可能か？

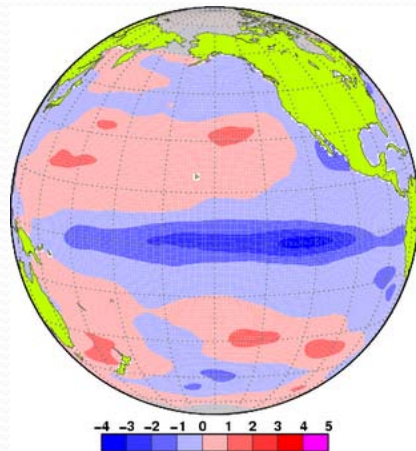
- ・熱容量の大きい海洋を主体としたゆっくりとした変動が、季節予報の時間スケールで予測可能であるため。
- ・特に、気候システムにおける最も顕著な年々変動としてエルニーニョ/ラニーニャ現象があり、それが予測可能であることが重要。

## 季節予報にとってのシグナル

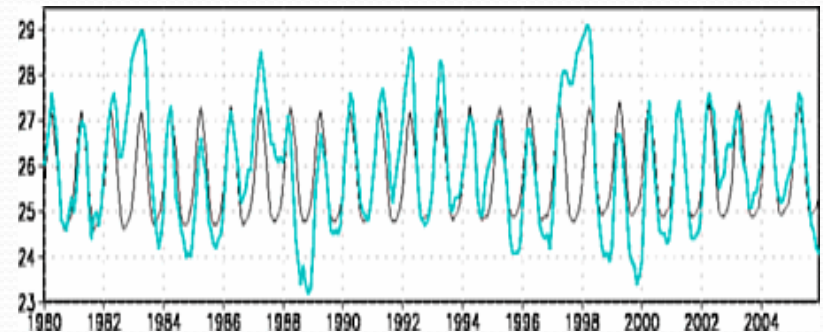
エルニーニョ現象



ラニーニャ現象



°C NINO.3 1980-2005

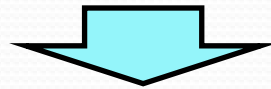


エルニーニョ監視海域(5S-5N,150W-90W)の海面水温(NINO.3)の変化(青線)、1980年1月~2005年12月。黒線は平年値

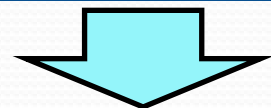
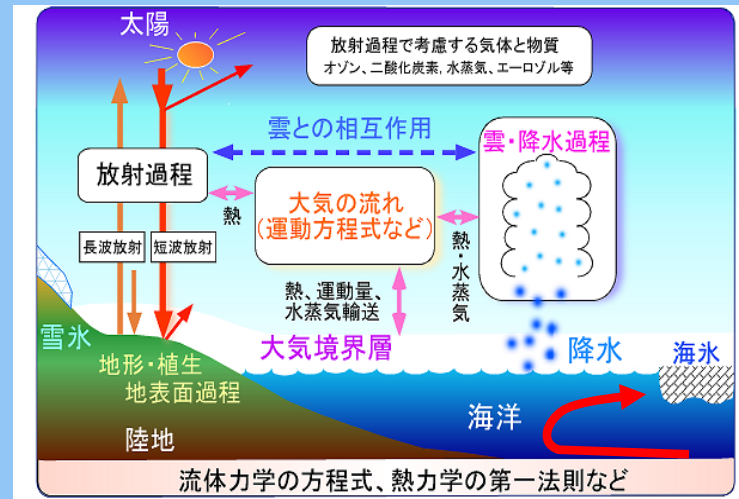
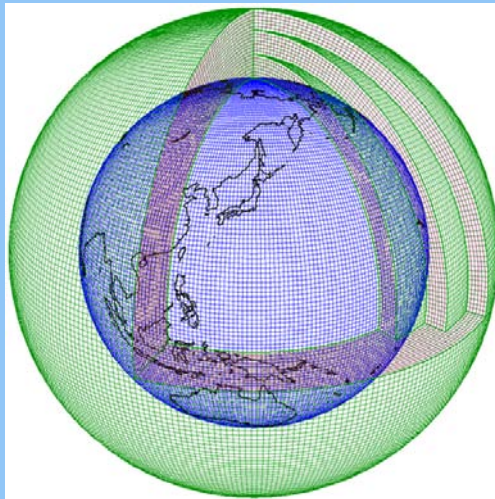
1997年11月の月平均海面水温平年偏差(左)及び、1988年12月の月平均海面水温平年偏差(右)

# 気候システムの変動の予測

大気・海洋・陸面の初期状態



大気海洋結合モデル

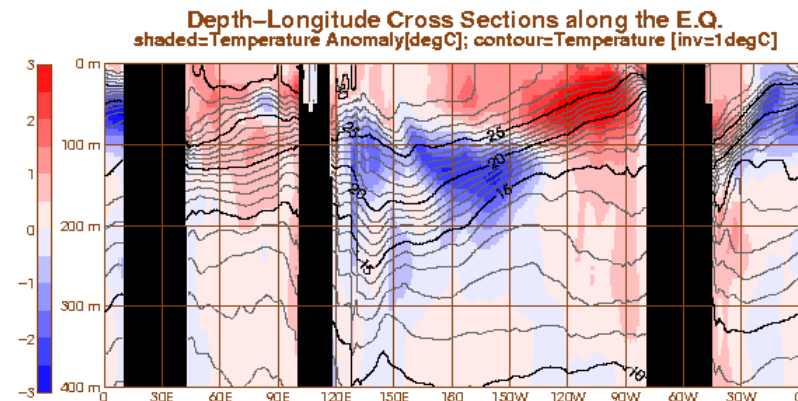
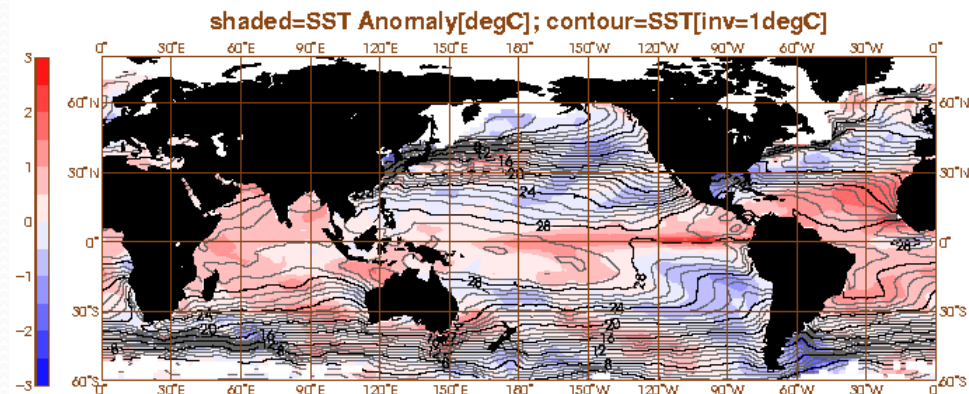
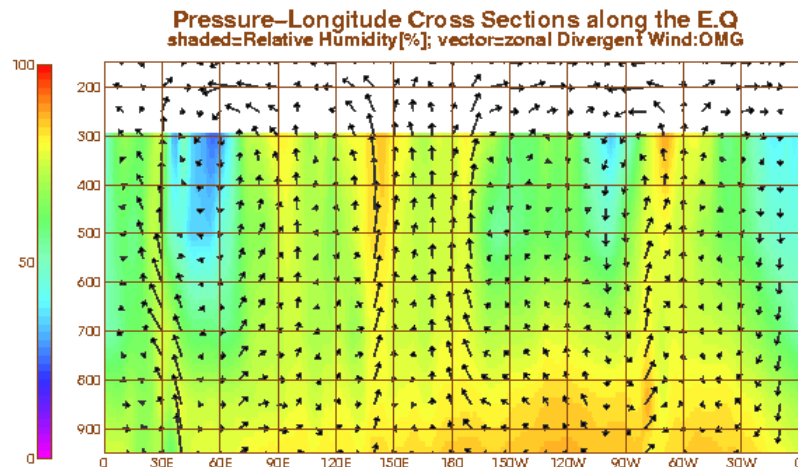
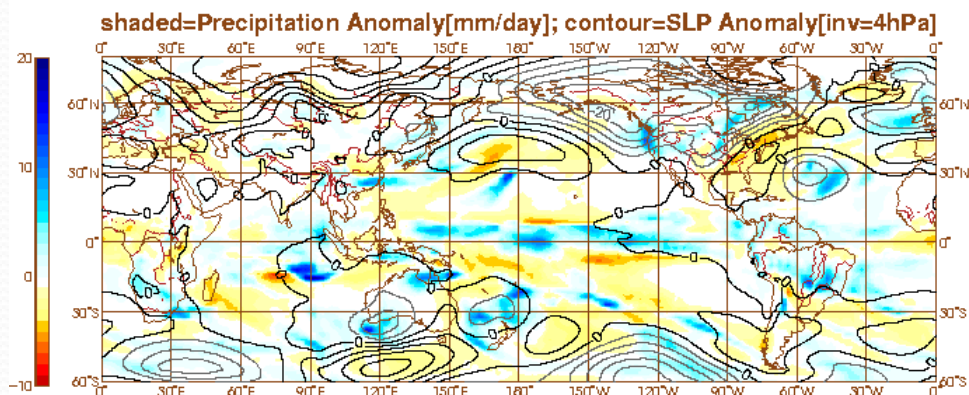


大気・海洋・陸面の将来の状態



# 結合モデルのシミュレーション例

JMA/MRI-CGCM [2010.04.01- 2010.04.05; initial=2010.04.01:CNTL]



左上:海面気圧(等値線)と降水量偏差(色)  
左下:海面水温(等値線)と海面水温偏差(色)

右上:赤道上の風の流れ  
右下:赤道上の水温断面

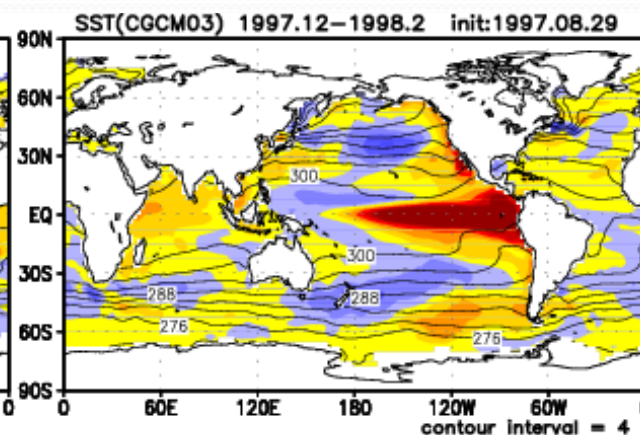
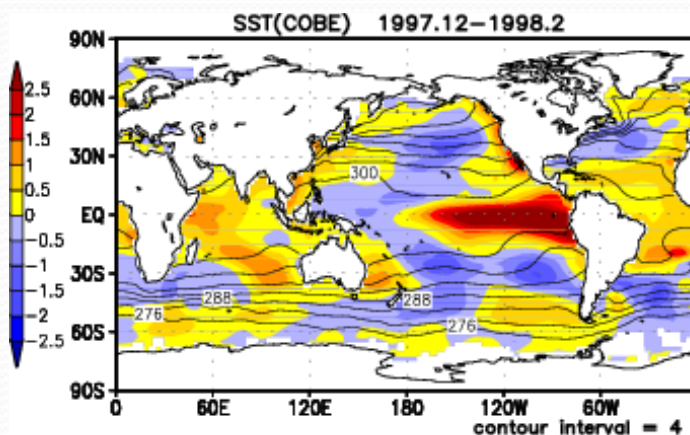
# エルニーニョ現象の予測事例

1997.8.29を初期値とする1997.12~1998.2の予測

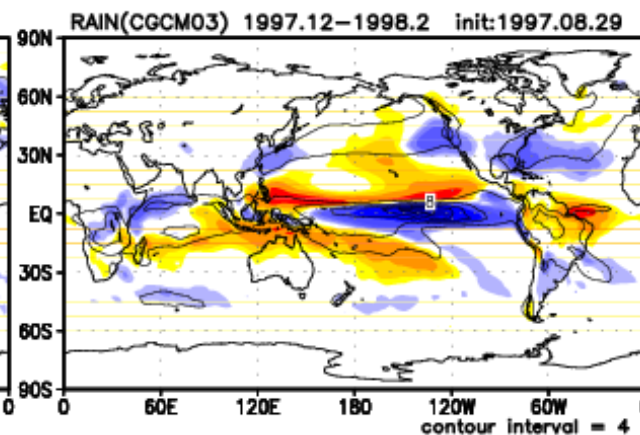
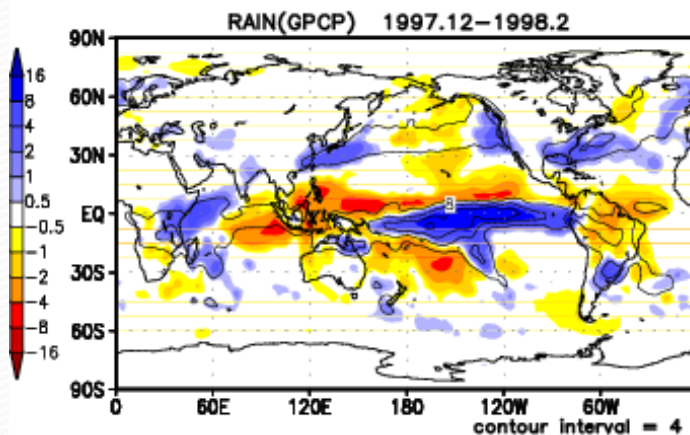
**実況**

**予測 Prediction**

初期日 I.C.: 1997.8.29



海面水温  
SST  
色: 平年偏差



降水量 Prec.  
色: 平年偏差

エルニーニョ現象をよく予測。エルニーニョ現象の影響と考えられる、熱帯太平洋域以外の海面水温、降水量もよく予測。

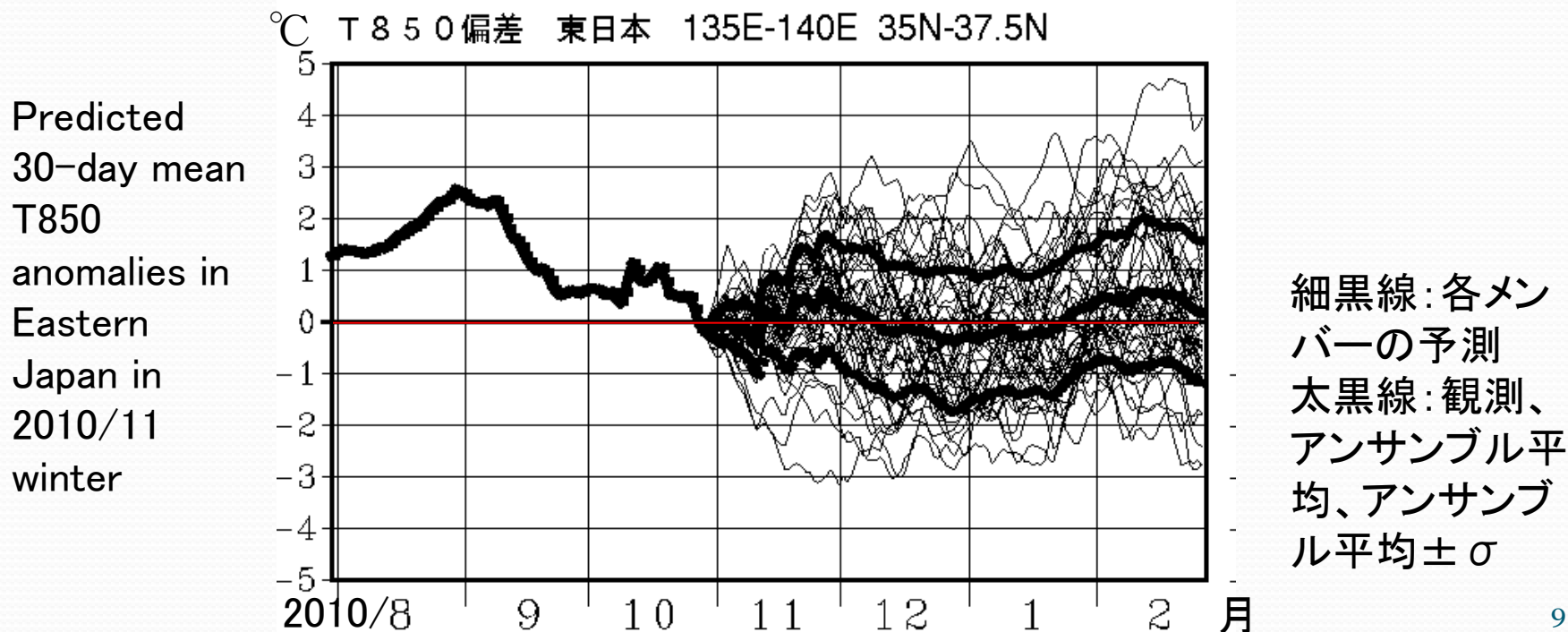


# 季節予報はなぜ難しいか？

- ・中高緯度においては、海洋の影響が小さい大気の「内部変動」成分が大きい。
- ・大気の内部変動には「現在」のちょっとした違いが「将来」の大きな違いとなる「カオス」的性質があり、予測が難しい。

## 季節予報にとってのノイズ

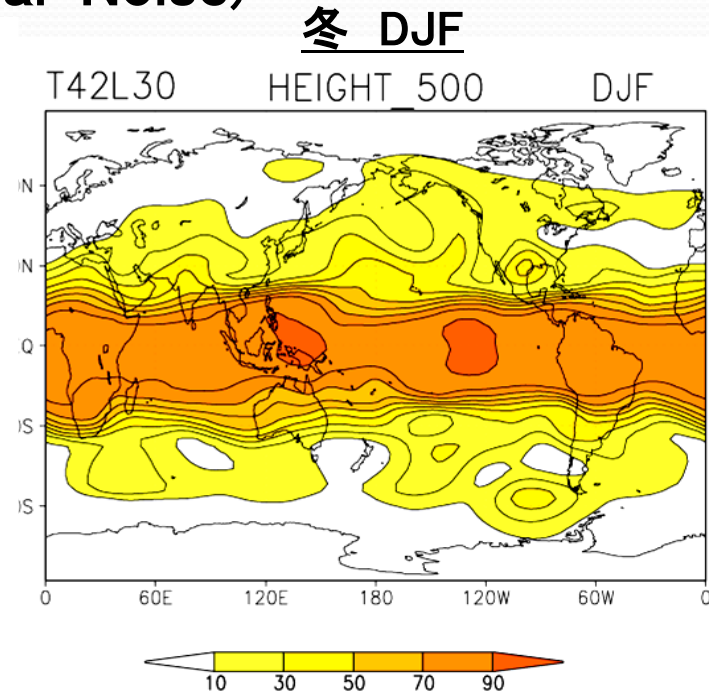
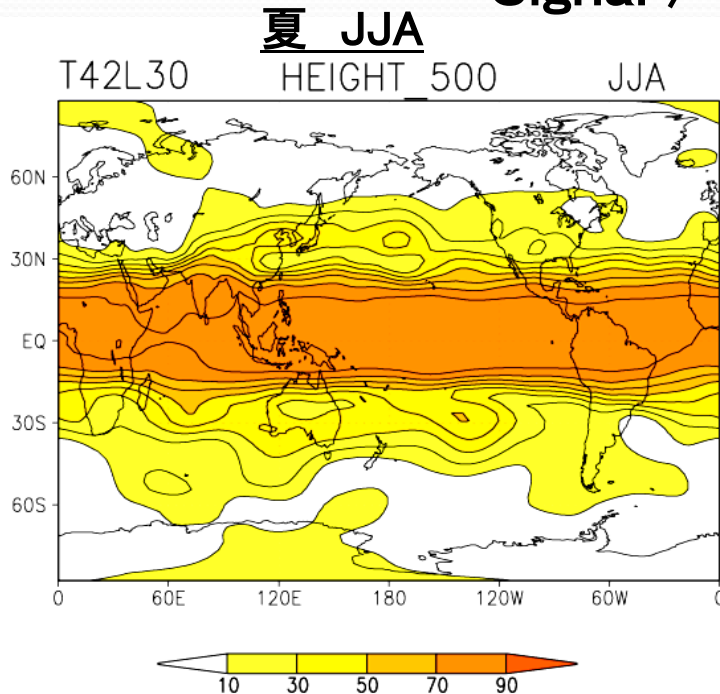
例：今冬の東日本上空の気温偏差(30日移動平均)の予測：



# 3か月平均場の(潜在的)予測可能性

夏(6~8月)と冬(12~2月)の500hPa高度

Signal / (Signal+Noise)



Sugi 2002

- ・海面水温が「完全に予測」された場合に、大気の変動の何%が予測可能か見積もった。
- ・日本付近では、大気の変動の20~40%程度が予測可能。

# 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大気海洋結合モデル
- 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

# 季節予報技術の進展(過去十数年)

1995年：海洋データ同化の開始

96年：1か月アンサンブル数値予報の導入と確率予報の開始

99年：大気海洋結合モデルによるエルニーニョ予測の開始

2001年：大気長期再解析(JRA-25)に着手

03年：数値予報モデルによる3か月、暖寒候期予報の開始

06年：JRA-25完了

10年：大気海洋結合モデルによる季節予報の開始

## 2. 大気海洋結合モデルの 導入による季節予報の改善

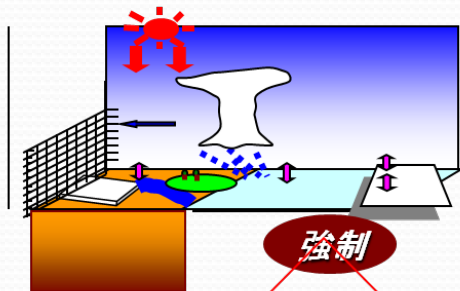
Improvements of Seasonal Forecast by  
introducing CGCM



# 大気海洋結合モデルによる季節予報 2010. 2開始

(従来)

大気モデル  
(AGCM)



あらかじめ海面水温を統計的に予測  
(持続偏差+エルニーニョ予測に基づく統計)

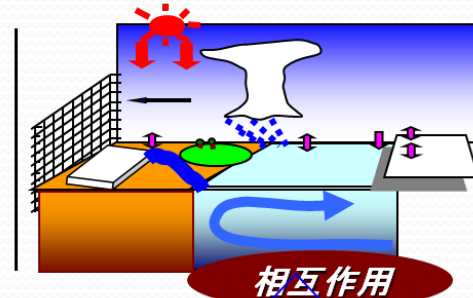
↓  
大気モデルの下部境界条件

2段階法

Two tiered

(新)

大気海洋結合モデル  
(CGCM)



大気モデルと海洋モデルを結合

↓  
予測計算の中で、大気と海洋の  
相互作用を考慮。

1段階法

One tiered

# モデルの仕様 (JMA/MRI-CGCM)

|       |  |
|-------|--|
| 大気モデル | <u>気象庁/気象研 全球大気モデル</u><br>T <sub>L</sub> 95L40 (水平解像度 ~ 180km)   |
| 海洋モデル | <u>気象研海洋モデル</u><br>Ishikawa <i>et al.</i> (2005)<br>75S–75N, 0–360E<br><ul style="list-style-type: none"><li>• 水平解像度: 経度1°, 緯度 0.3–1°</li><li>• 鉛直解像度 : 50 層<br/>(23 層が表層200m)</li></ul> |
| カップラー | <ul style="list-style-type: none"><li>• 結合間隔: 1 時間</li><li>• フラックス調整 (熱と運動量)</li></ul>   |

# 改善点 (Improvements)

- ①モデルの予測精度が向上した  
(Prediction skill)
- ②予報の物理的な解釈、根拠の解説が容易となった  
(Physical interpretation)
- ③予報結果の検証が容易となった  
(Verification)

**①モデルの予測精度が向上した  
(Prediction skill)**

# 過去事例予報実験 (Hindcast)

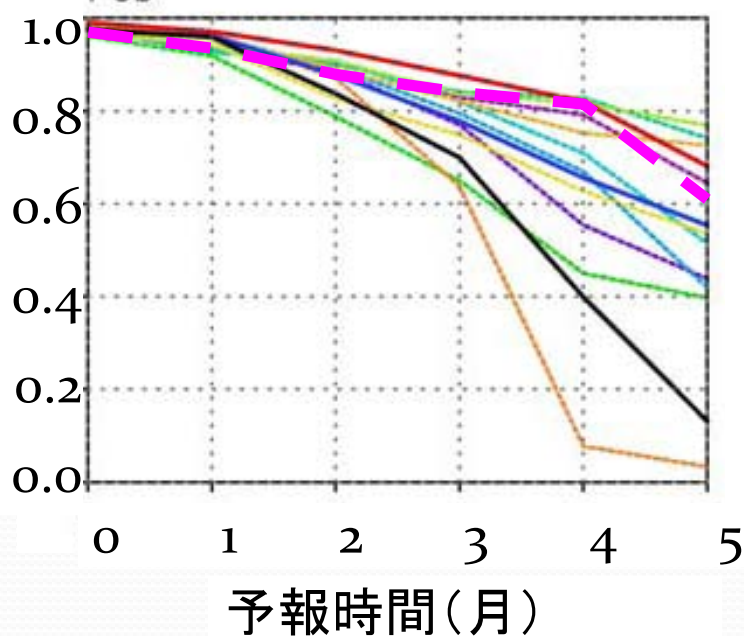
- Period : 30 years from 1979 to 2008  
(実験期間: 1979年~2008年の30年間)
- Initial date : around the end of every month  
(初期値: 毎月月末頃)
- Integration time : 7 months  
(積分時間: 7か月)
- Ensemble size : 10  
(アンサンブル数: 10個)



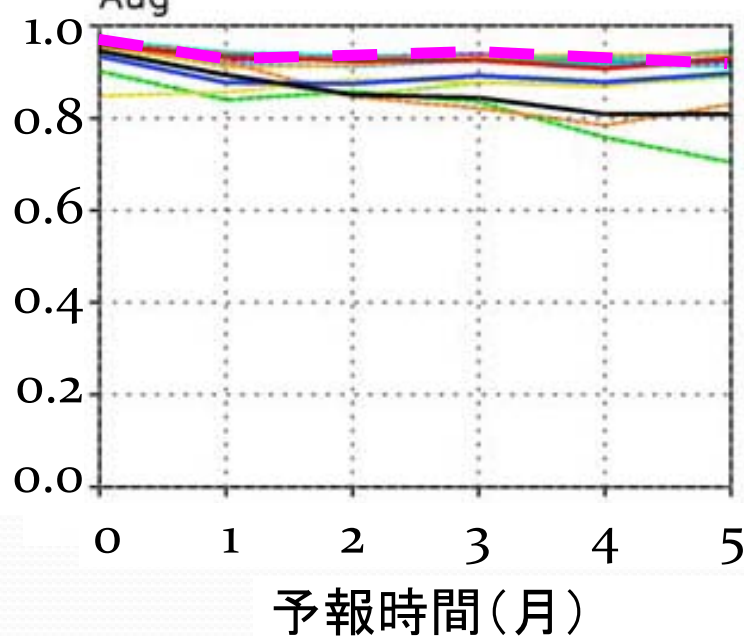
# 予測精度：エルニーニョ現象の予測

## エルニーニョ予測 (NINO.3.4) のアノマリ相関係数

2月初期値 (1980-2001)



8月初期値 (1980-2001)



— 気象庁/気象研モデル

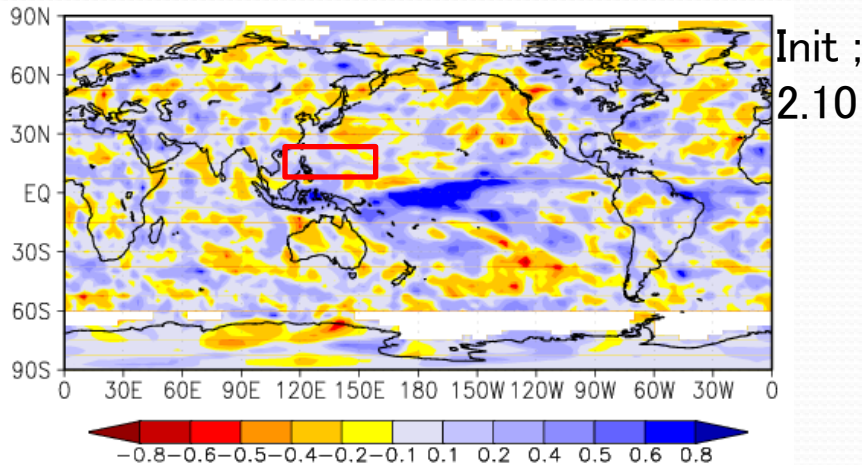
Prediction skill for NINO.3.4 (ACOR) :

(Jin et. al(2008)の図8から引用し、気象庁/気象研モデルの精度を追記)

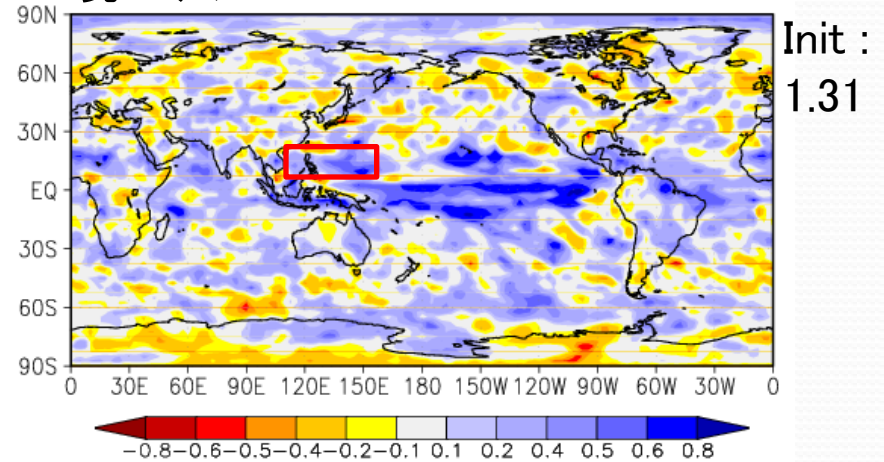
# 予測精度：熱帯の降水量の予測

～1月末初期値の夏の予測 (Prediction Skill for JJA precipitation) ～  
偏差相関係数(ACOR;1984～2005の22年間)

旧モデル Two tiered

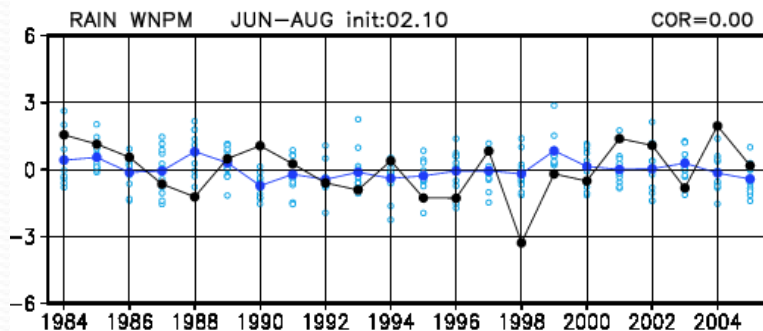


現モデル One tiered

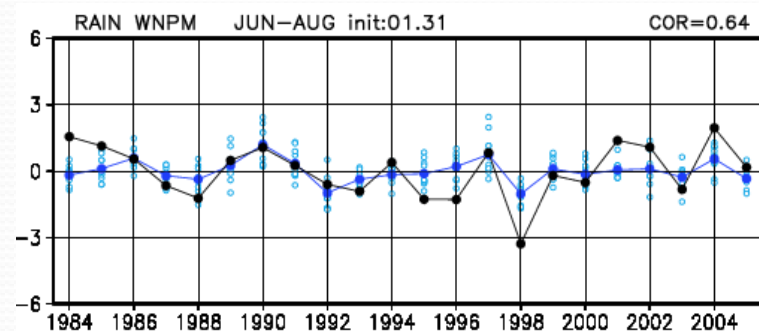


北西太平洋モンスーン域 (WNPM, 110～160E, 10-20N) の降水量

旧モデル; Two tiered (相関係数:0.0)



現モデル; One tiered(相関係数:0.6)

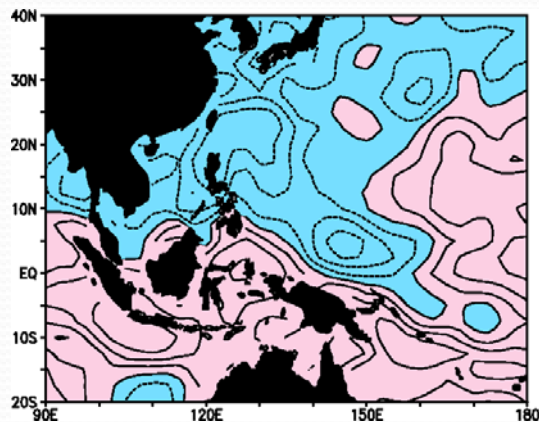


黒線:観測  
 青線:アンサンブル平均予測  
 青×:各メンバーの予測

# 海面水温と降水量との相関関係(JJA)

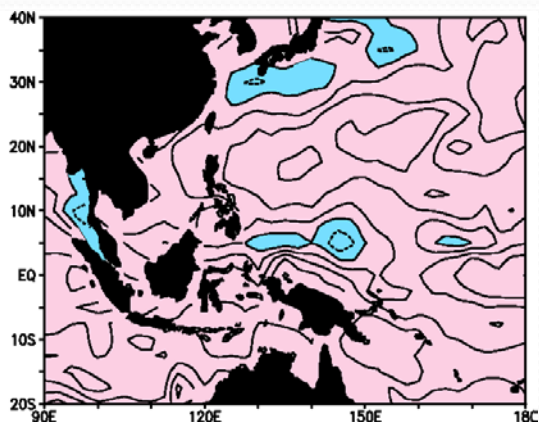
## (SST and Precipitation Relation in JJA)

OBS.(COBE-SST & GPCP)

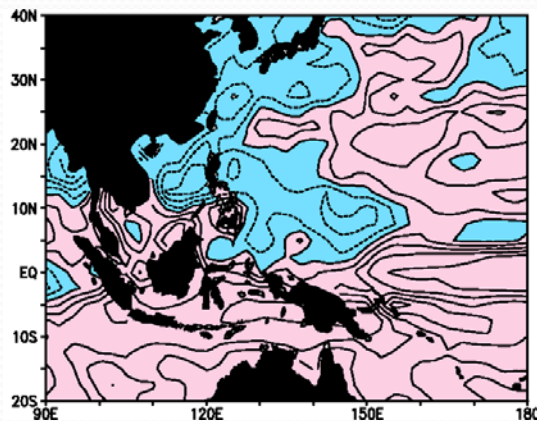


等値線は海面水温と降水量との相関係数(0.1間隔)で、負相関が青。予測は5月初期値。1984～2005の22年間

旧モデル; Two tiered

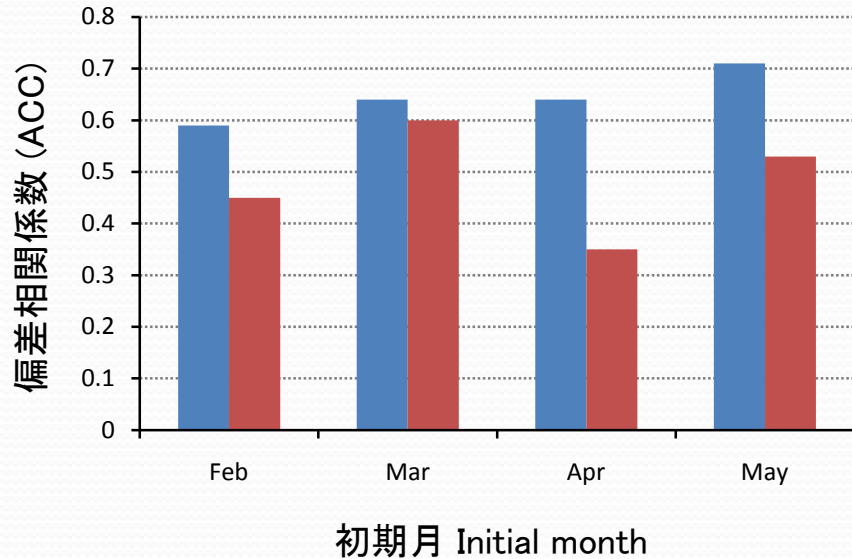


現モデル; One tiered

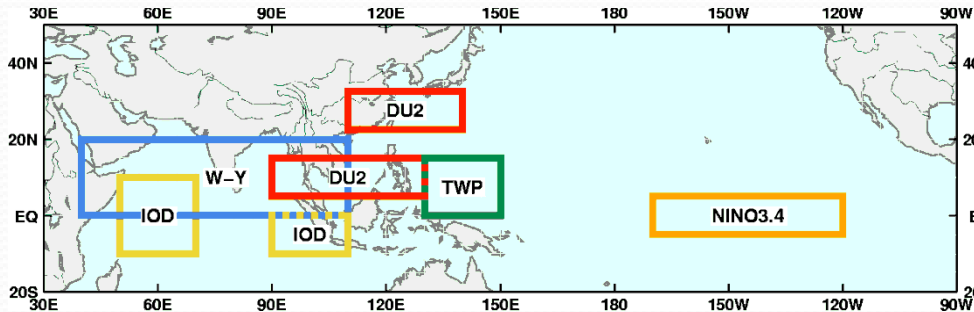
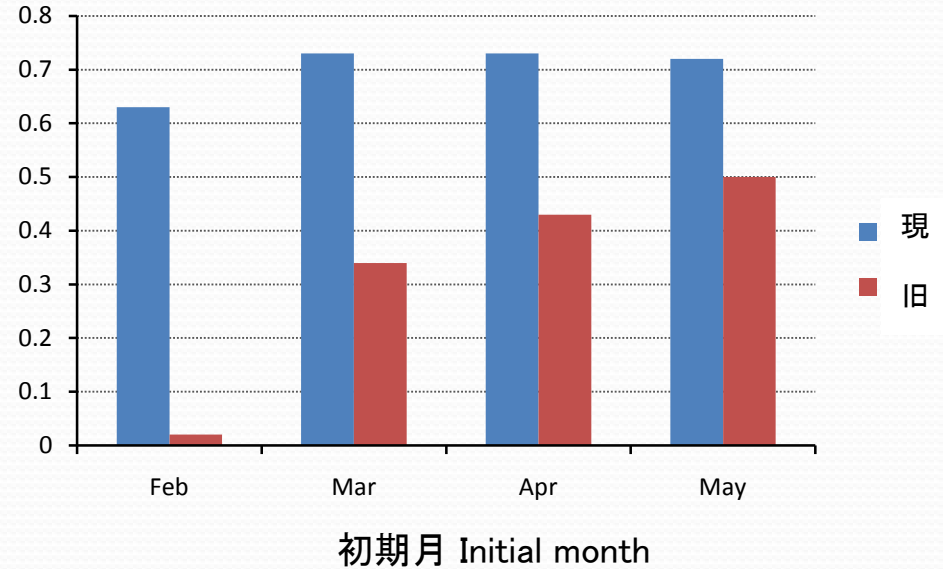


# 夏 (JJA) の Asia Monsoon Circulation の予測

WY : Webster Yang (1992)



DU2 : Wang and Fan (1999)



WY index : U850-U200  
(0-20N, 40-110E)  
DU2 index: U850 (5-15N,90-130E)  
- U850(22.5-32.5N,110-140E)

Based on hindcast with the new seasonal forecast system (1984-2005)



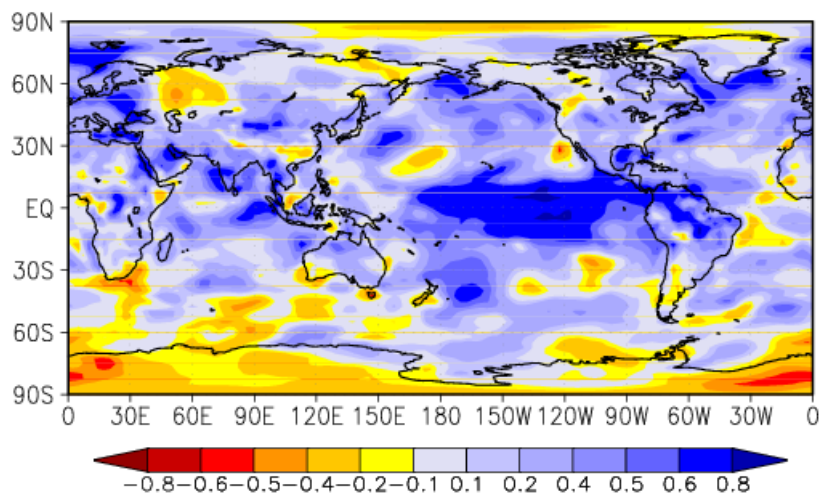
# 予測精度: 2m気温

～1月末初期値の夏の予測 (Prediction Skill for JJA T2m) ～

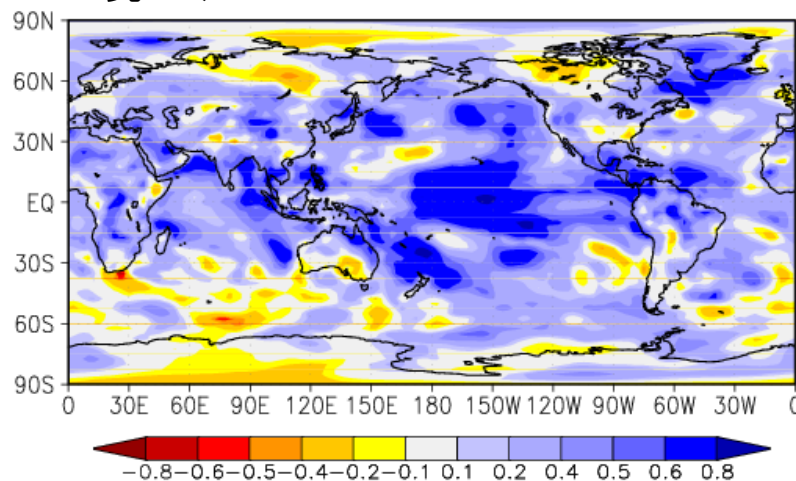
偏差相関係数(ACOR;1984～2005の22年間)

Init : 1.31

旧モデル Two tiered T2m



現モデル One tiered T2m





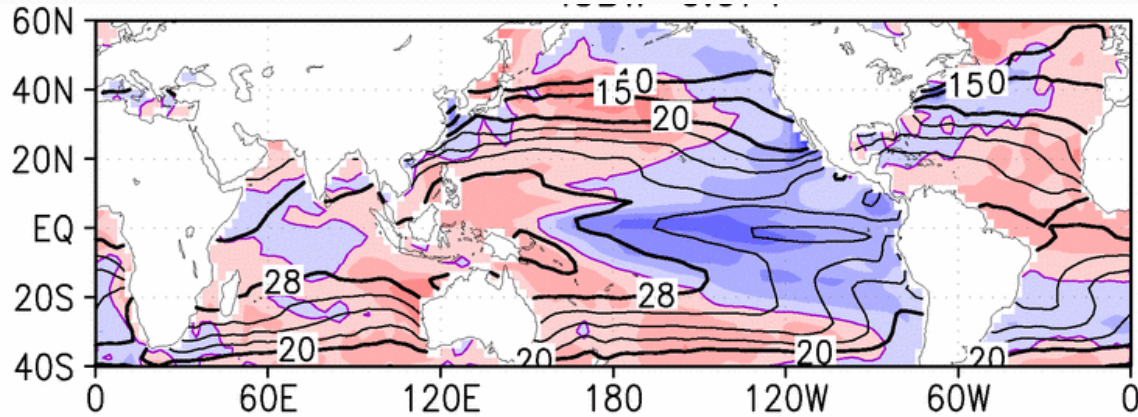
**②予報の物理的な解釈、根拠の解説  
が容易となった  
(Physical interpretation)**

# 今冬(DJF)の予報根拠

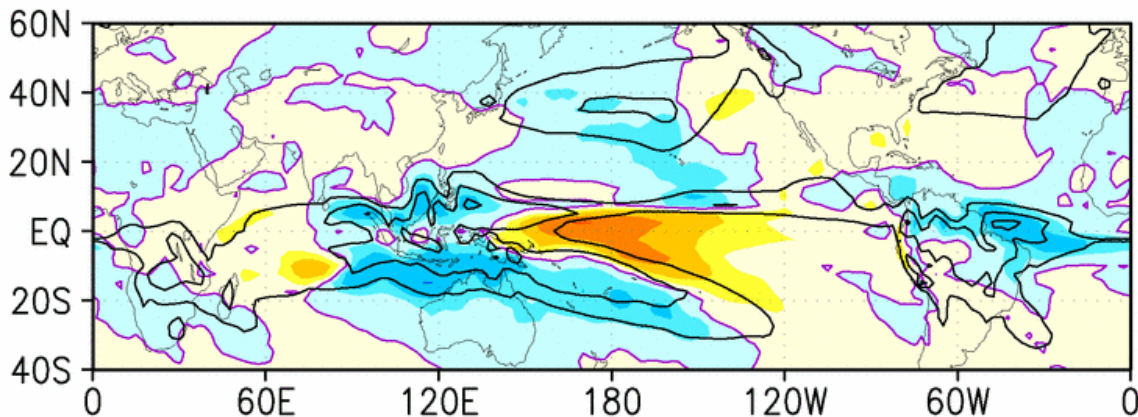
(Prediction for 2010/2011 winter)

Init : 2010.11.12

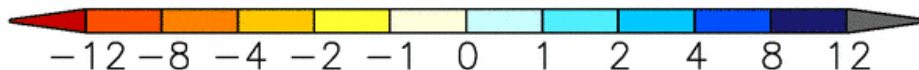
アンサンブル平均予測



海面水温  
(SST)



降水量  
(Precipitation)

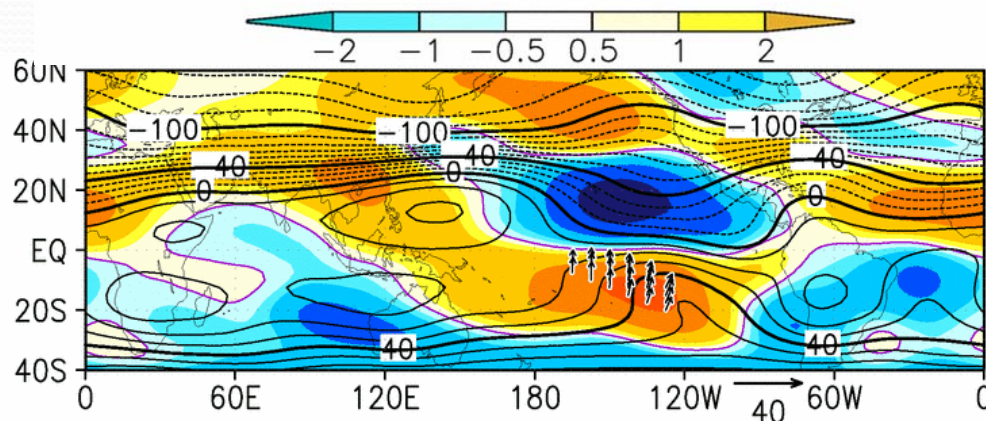
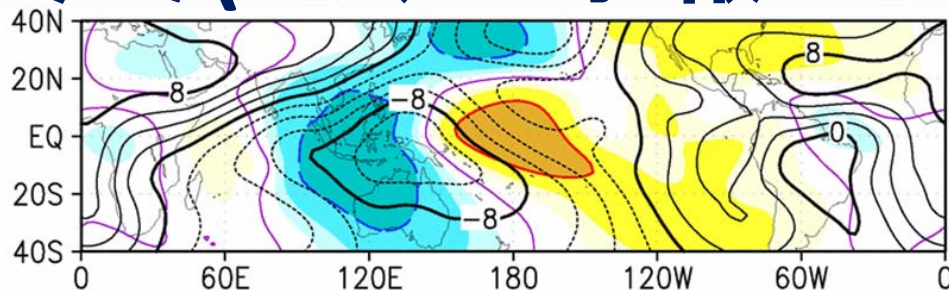


# 今冬(DJF)の予報 (Prediction for 2010/2011 winter)

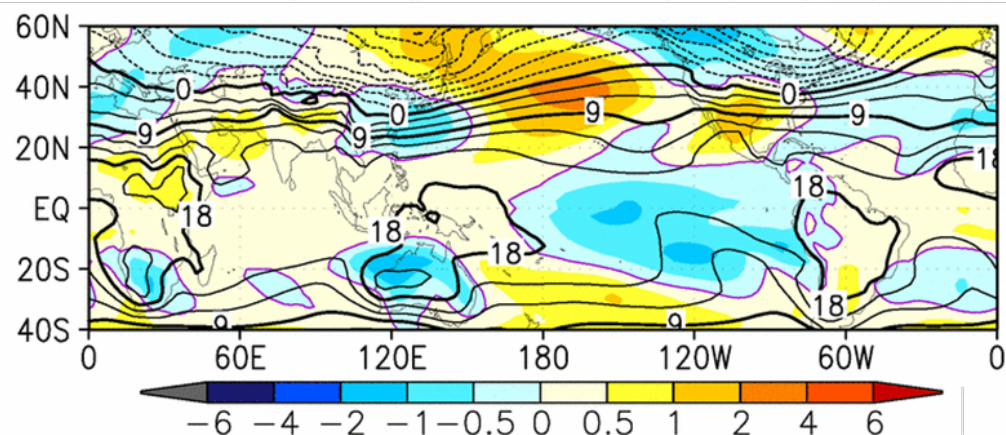
## アンサンブル平均予測

Init : 2010.11.12

200hPa速度ポテンシャル  
(Velocity Potential at 200hPa)



200hPa流線関数  
(Stream function at 200hPa)

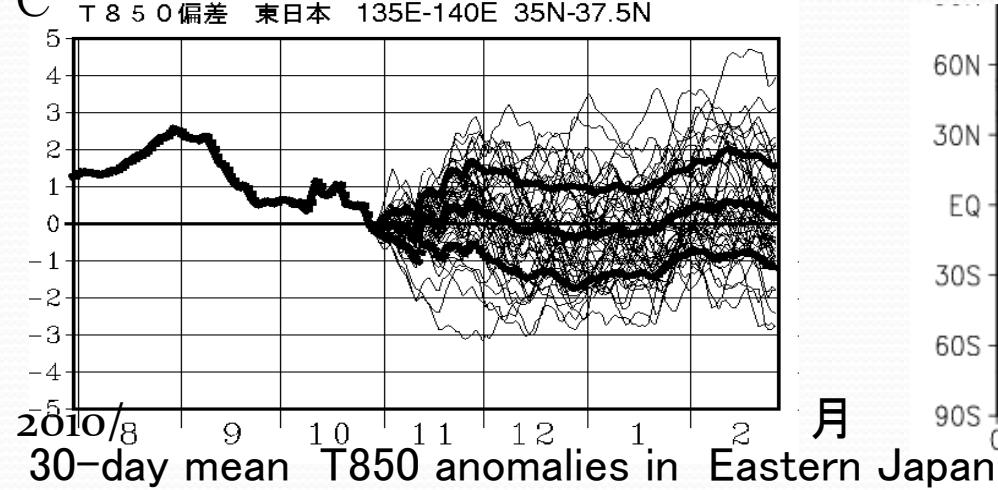


850 hPa気温  
(Air temperature at 850hPa)

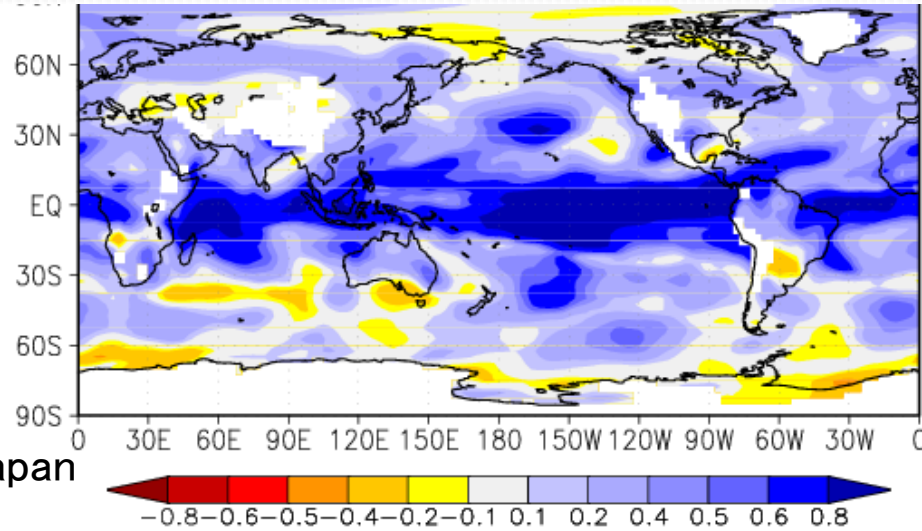


# 不確実性は？ (Uncertainty?)

東日本上空の気温偏差(30日移動平均)  
の予測

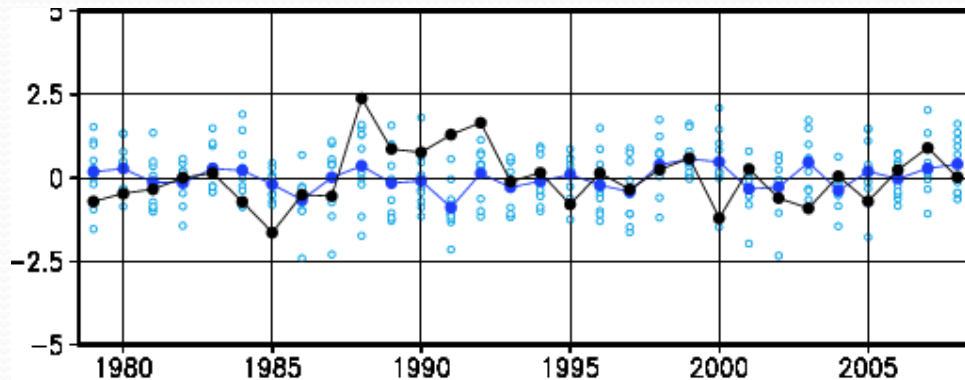


850気温予測の偏差相関係数  
(ACOR for T850 ;1979~2008の30年間)



北極振動の予測 (EOF1 for DJF Z500 in NH)

(Prediction for AO init ;1028 ;1979~2008の30年間, 相関係数 0.0)



黒線: 観測  
青線: アンサンブル平均予測  
青×: 各メンバーの予測

# ③予報結果の検証が容易となった (Verification)



# 2010年夏の季節予報

## Seasonal forecast for 2010 Summer (JJA)

5月25日発表の3か月予報

Three month forecast issued on 2010.5.25

| 地域    | 確率(6~8月の平均気温)         |                       |                       |
|-------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|
|       | 低い<br>below<br>normal | 平年並<br>near<br>normal | 高い<br>above<br>normal |
| 北日本   | 40%                   | 40%                   | 20%                   |
| 東日本   | 30%                   | 30%                   | 40%                   |
| 西日本   | 30%                   | 30%                   | 40%                   |
| 沖縄・奄美 | 20%                   | 30%                   | 50%                   |

観測された6~8月の3か月平均  
気温偏差と階級

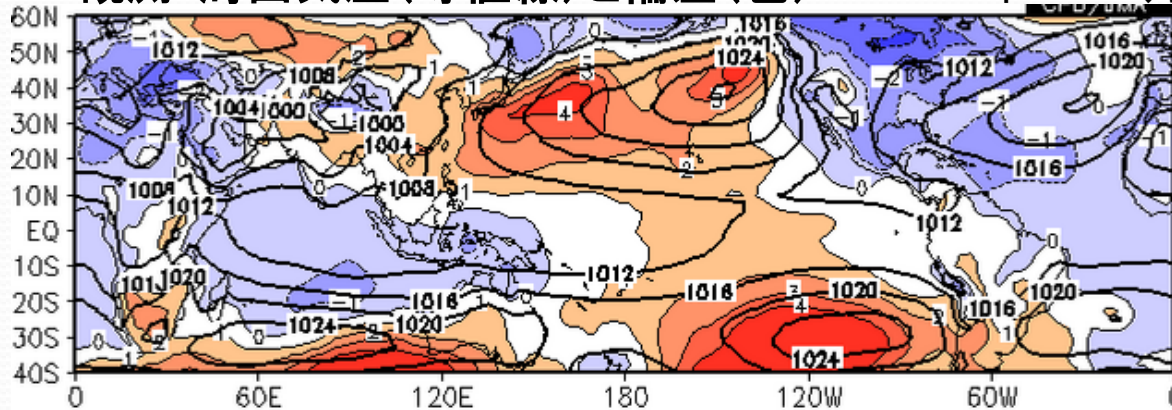
Observed 2010 JJA temperature  
anomalies

| 地域    | 夏(6~8月)平均気温<br>偏差 |
|-------|-------------------|
| 北日本   | +2.3°C(かなり高い)     |
| 東日本   | +1.8°C(かなり高い)     |
| 西日本   | +1.1°C(かなり高い)     |
| 沖縄・奄美 | +0.3°C(高い)        |

# 2010年夏(6~8月)の予測と実況

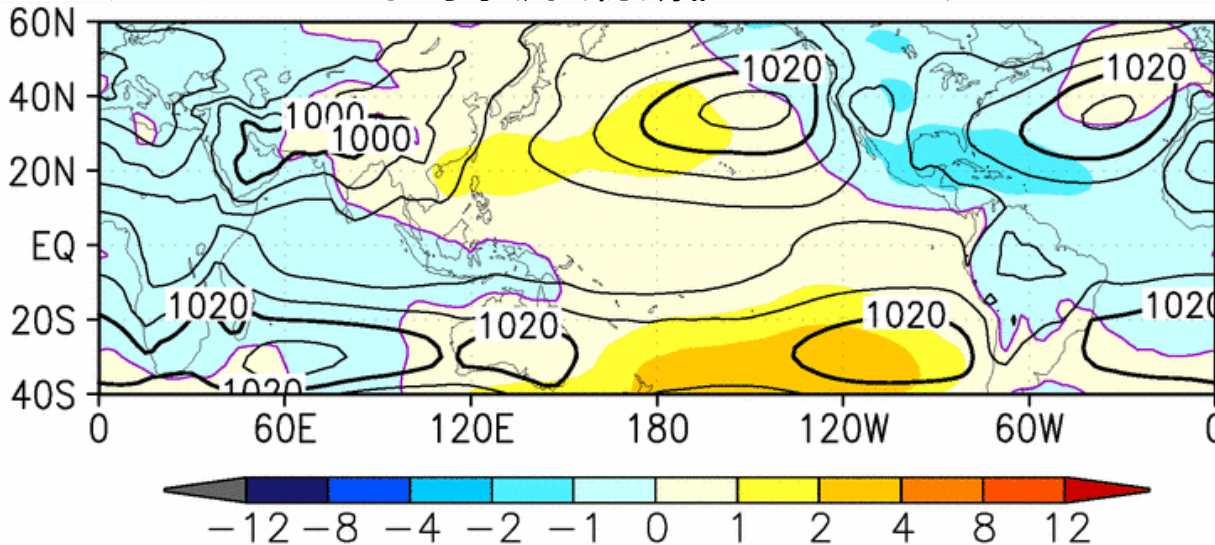
(Prediction for JJA in 2010 and results)

観測: 海面気圧(等値線)と偏差(色) 2010年6~8月



Observed SLP  
(contour) and anomalies  
(shade) in 2010 JJA

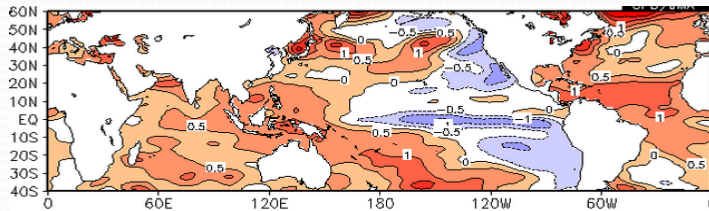
アンサンブル平均予測 (初期値: 2010.5.11)



Predicted SLP  
(contour) and anomalies  
(shade) in 2010 JJA.  
Ensemble mean.  
Init: 2010.5. 11

# 2010年夏(6~8月)の予測と実況

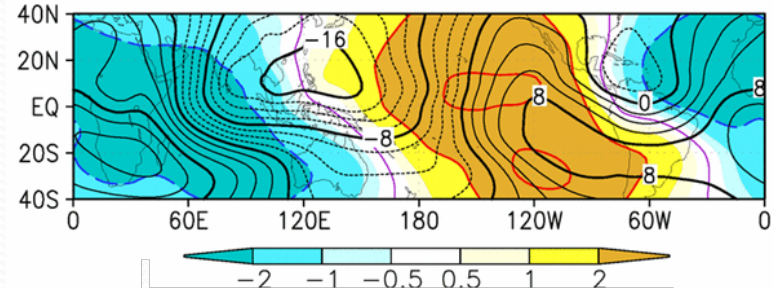
観測:海面水温偏差



アンサンブル平均予測(初期値:2010.5.11)

観測:200hPa速度ポテンシャル偏差

アンサンブル平均予測(初期値:2010.5.11)



観測:200hPa流線関数偏差

## Left panels:

Observed and predicted SST in  
2010 JJA Init:2010.5.11

## Right upper two panels:

Observed and predicted velocity  
potential anomalies at 200hPa in  
2010 JJA

## Right lower two panels:

Observed and predicted stream  
function anomalies at 200hPa

アンサンブル平均予測(初期値:2010.5.11)

# 3. 今後の課題

～予報官からモデル開発者へ～

Future subjects

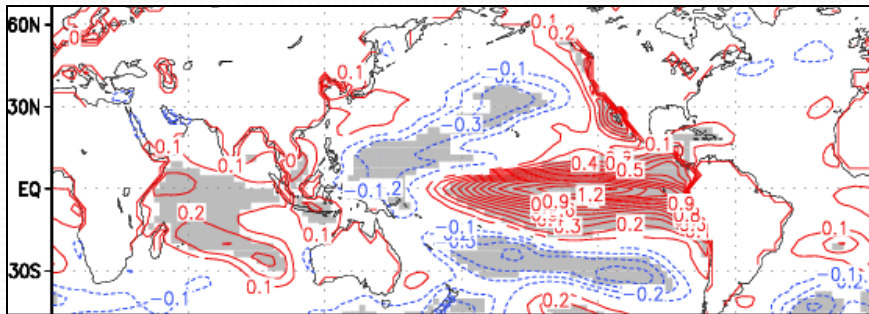
Requirements From Forecasters to Modelers/Researchers



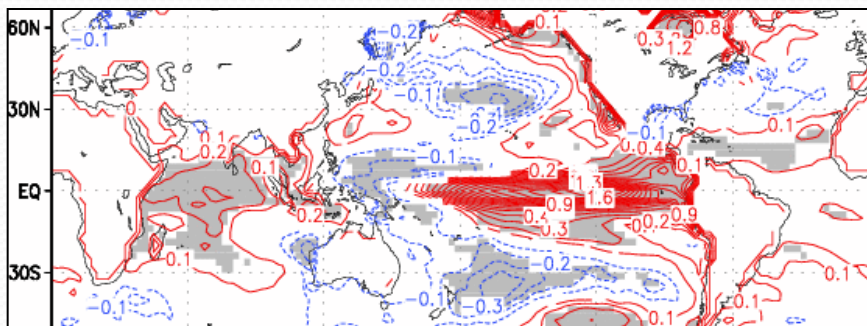
# エルニーニョ予測の精度向上

## Nino.3(DJF)との回帰 (Regression on Nino.3 in DJF)

観測 OBS. : 海面水温 SST

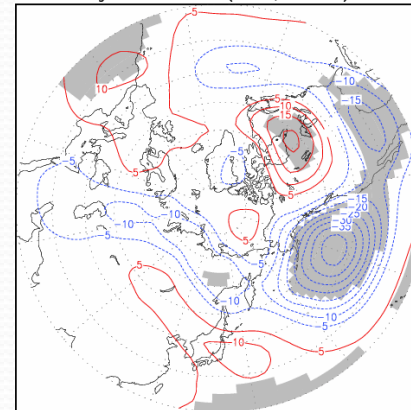


結合モデル CGCM (Init.8.29) : SST



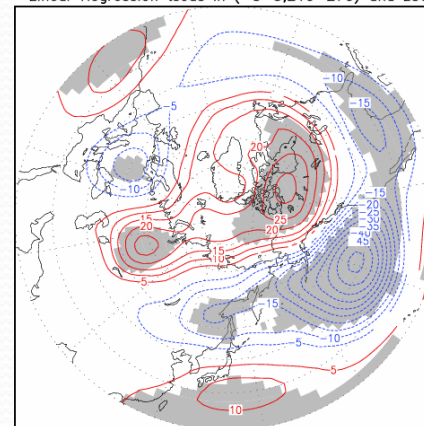
観測 OBS. : 500-hPa高度Z500

JRA DJF 1979-2006 index\_std:0.97  
Linear Regression tseas in (-5,-5,210-270) and z500



結合モデルCGCM  
(init.8.29) : Z500

CGCM3 RTN DJF init:0829 1979-2006  
Linear Regression tseas in (-5,-5,210-270) and z500



やや歪んだエルニーニョとその影響

Warped ENSO and its influences

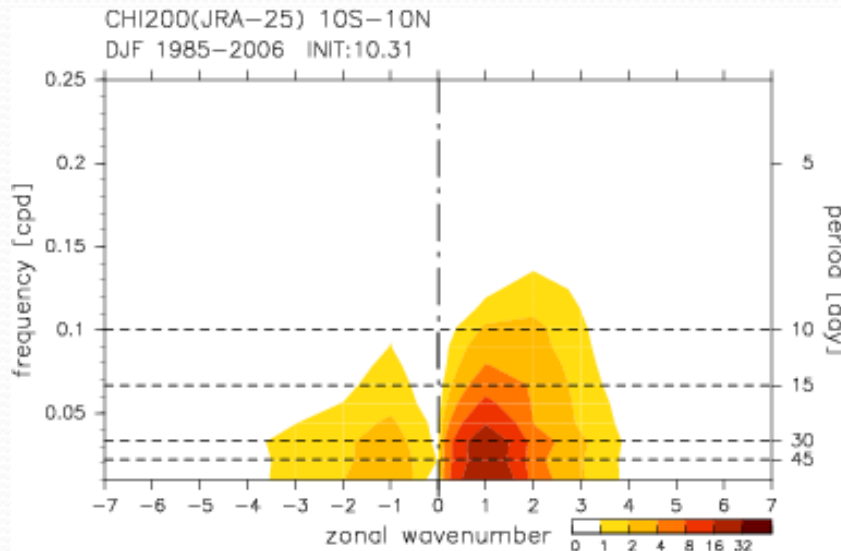
\* 陰影は、危険率5%で有意な領域

# MJOの再現性の向上

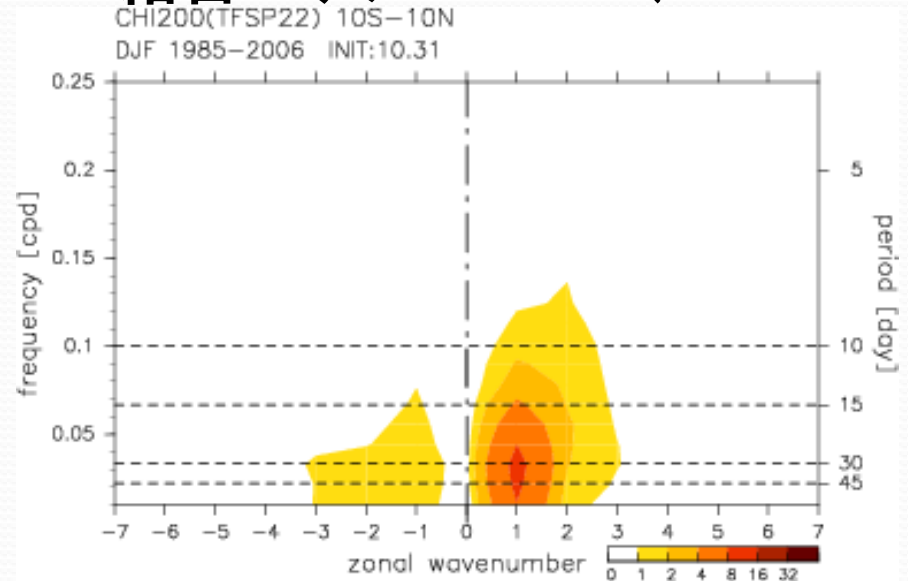
## 赤道域200hPaの速度ポテンシャルの時空間スペクトル(DJF)

(Time-space spectrum for 200hPa velocity potential in the equatorial region (10S-10N) in DJF)

観測 OBS:



結合モデル CGCM (init. 10.31)



MJOが弱く、周期が早い予測  
Weak and rapid MJO

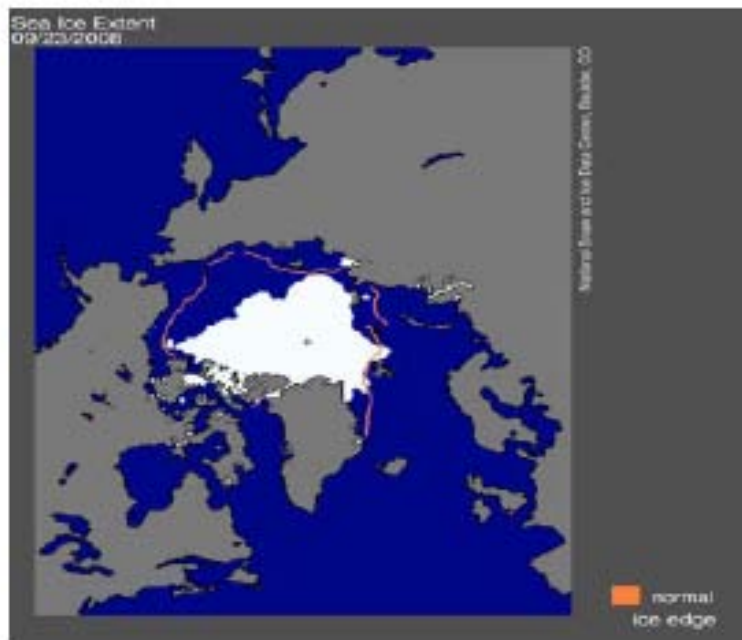
From Sato et al. (2008)



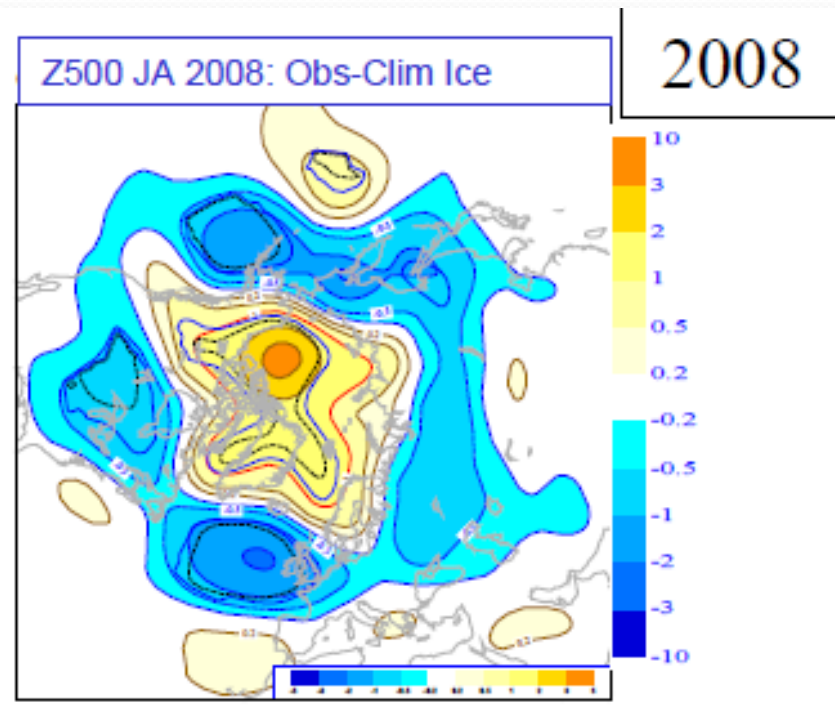
# 海氷の予測 (Prediction of Sea Ice)

Sea Ice の影響. 2008.7-8.500hPa高度、  
ECMWFの大気モデルで推定

## Sea Ice の分布 (2008.9.23)



Images from the National Snow and Ice Data Center:



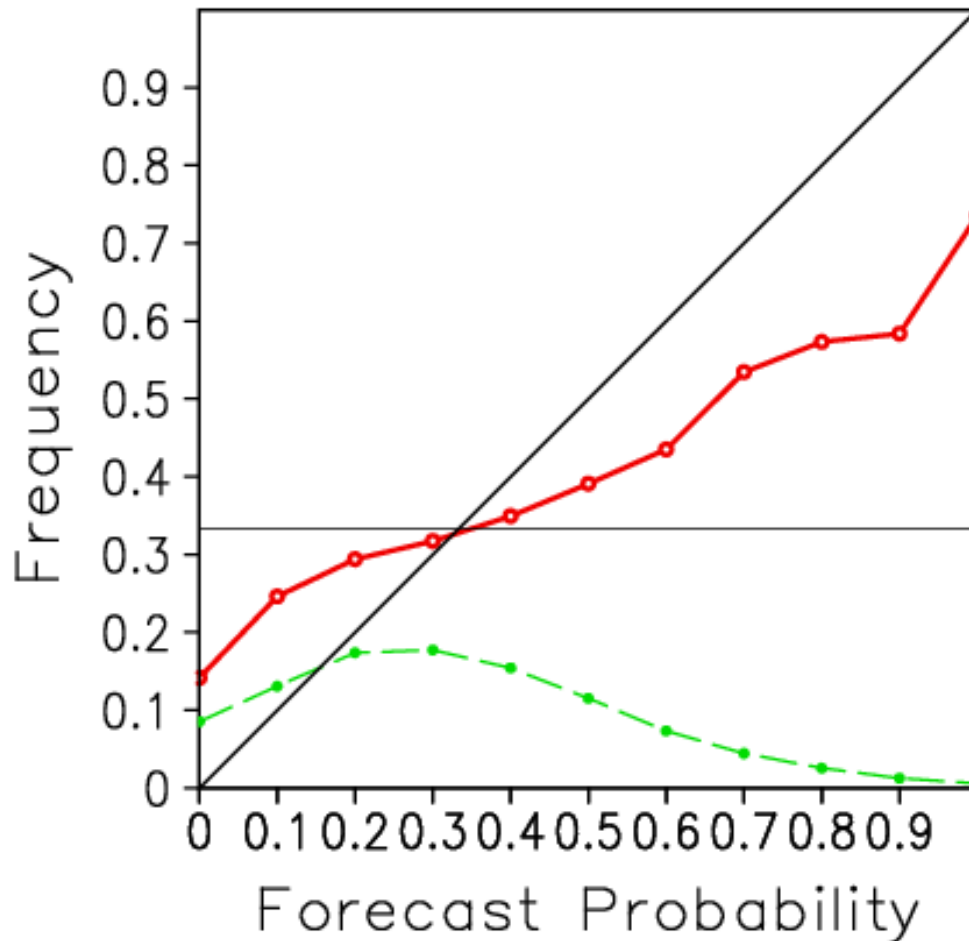
From Balmaseda et al. (2008)

大気に影響のありそうな海氷には平年値を使っている  
Sea ice is normal in CGCM

# シグナル/ノイズ比の精度向上

DJFのT2m予測の信頼度曲線、北半球「高い」階級 1979～2008

(Reliability diagram for DJF T2m in NH. Event: Above normal)



「自信過剰」の確率予測

Over confidential prediction

## 4. おわりに : Concluding remarks

- ・季節予報技術に求められることは、SignalとNoiseを適切に予測すること
- ・2010年2月の大気海洋結合モデルの導入で、主にSignalの精度が向上した
- ・更なる技術開発により、季節予報を改善する