

最新の数値予報

数値予報50周年記念公開講演会

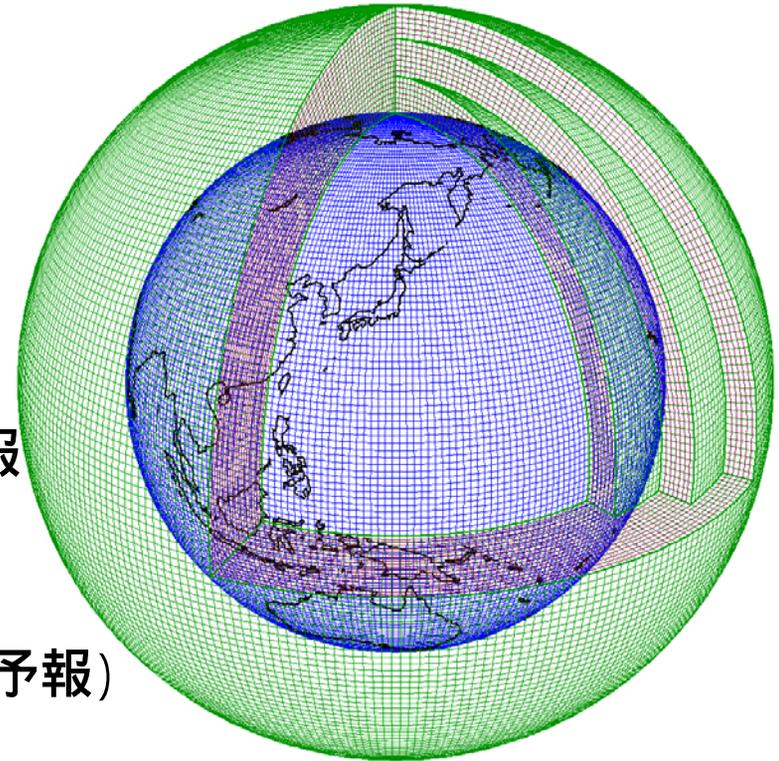
気象庁数値予報課数値予報班長

小泉 耕

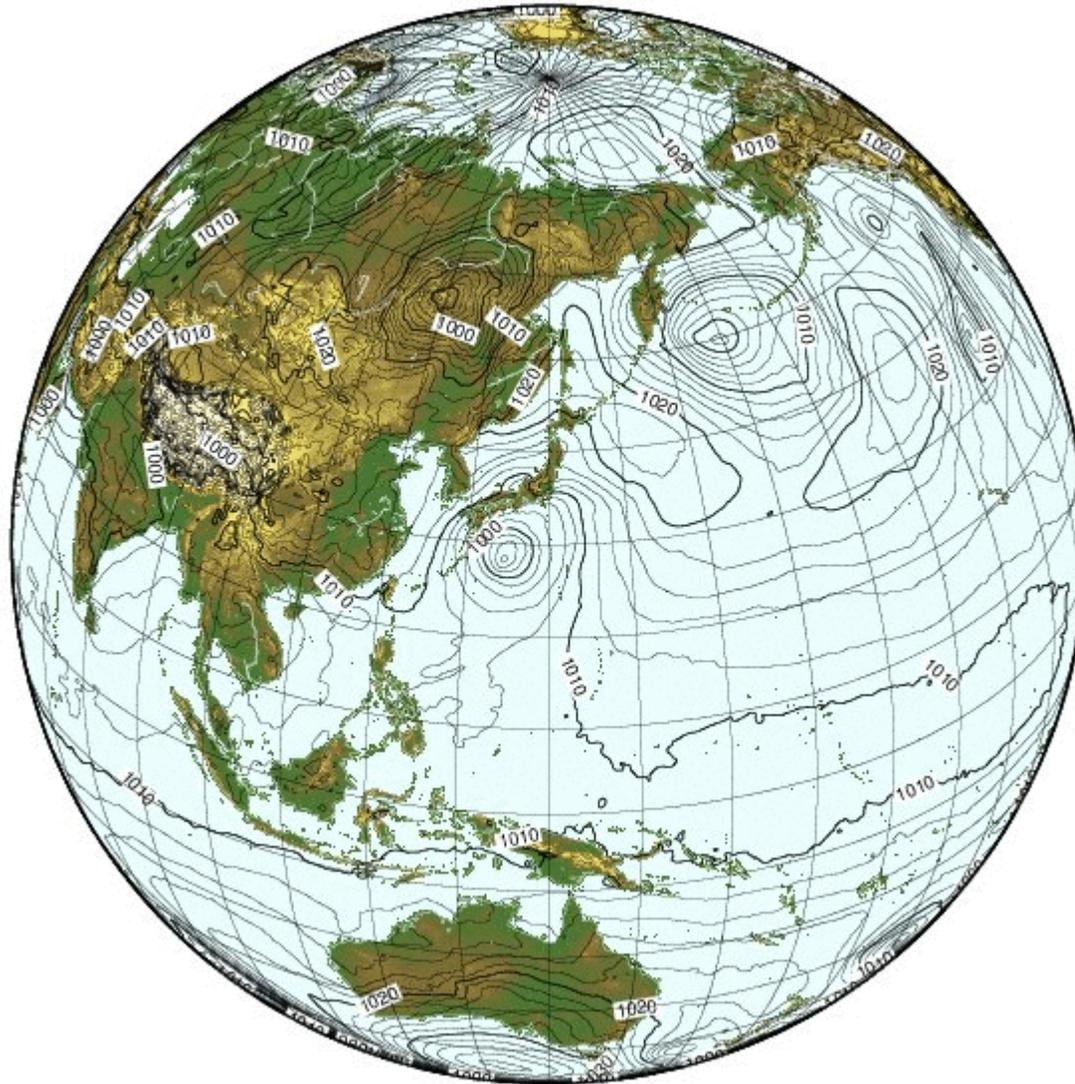
気象庁で運用している数値予報モデル (大気モデル) その1

■ 全球モデル

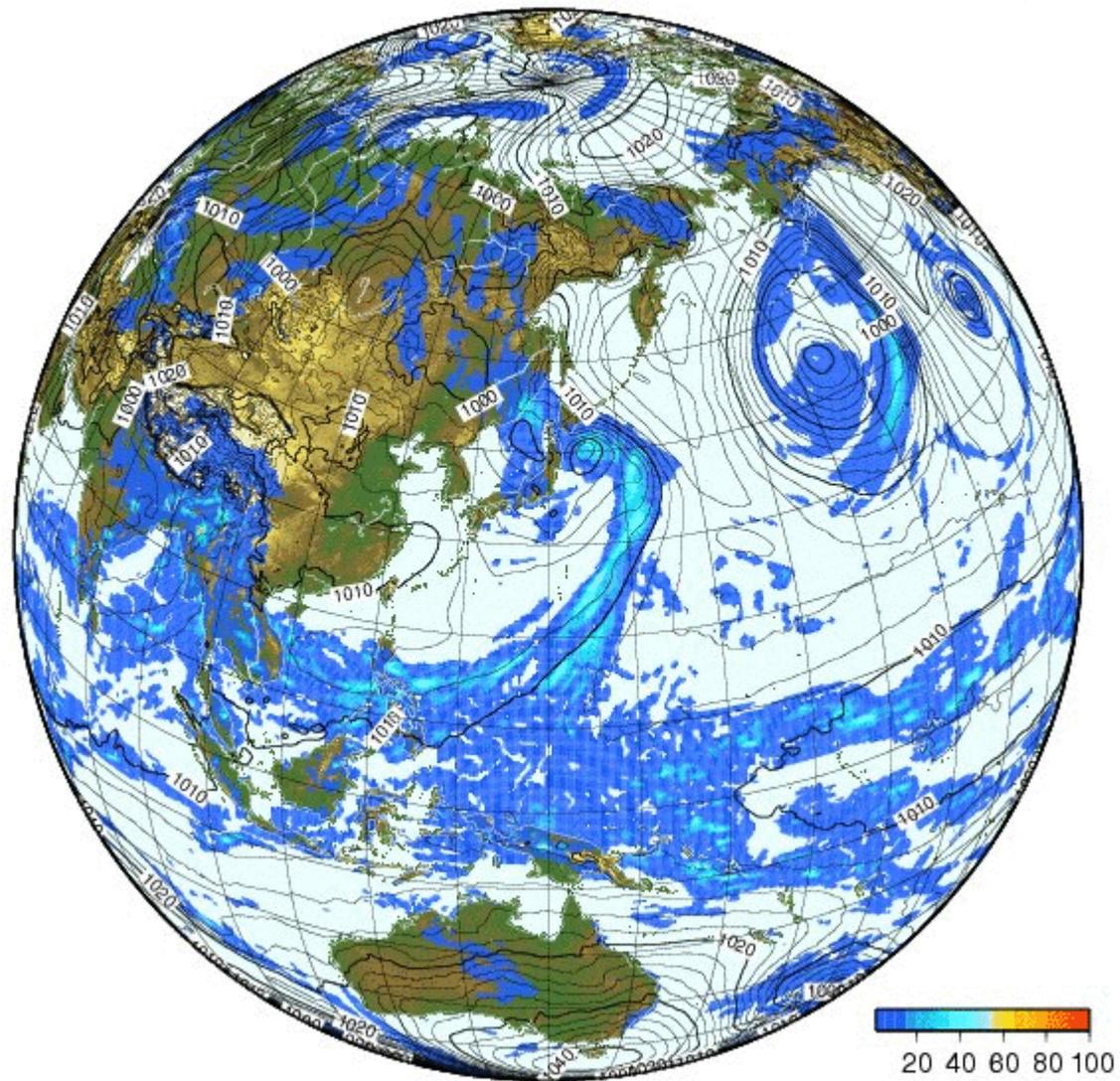
- 水平格子間隔 約20 km
- 鉛直60層
- 1日4回実行
 - 03,09,15時初期値から84時間予報
 - 21時初期値から216時間予報
- 用途
 - 天気予報支援(今日、明日～週間予報)
 - 台風予報支援(進路、強度)
 - メソモデルの側面境界
 - 海洋のモデルの大気境界
 - など



GSM-TL959L60 2009.05.28.12UTC FT=000
(Valid Time: 05.28.12UTC)



GSM-TL959L60 2009.05.28.12UTC FT=060
(Valid Time: 05.31.00UTC)



GSM-TL959L60 2009.05.28.12UTC FT=000
(Valid Time: 05.28.12UTC)



GSM-TL959L60 2009.05.28.12UTC FT=000
(Valid Time: 05.28.12UTC)



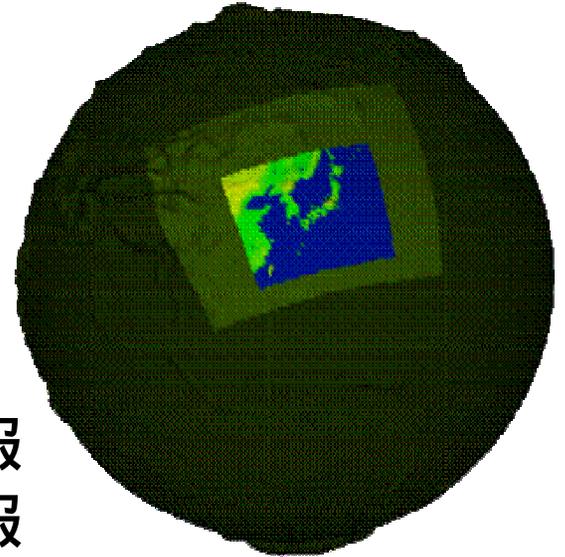
GSM-TL959L60 2009.05.28.12UTC FT=000
(Valid Time: 05.28.12UTC)



気象庁で運用している数値予報モデル (大気モデル)その2

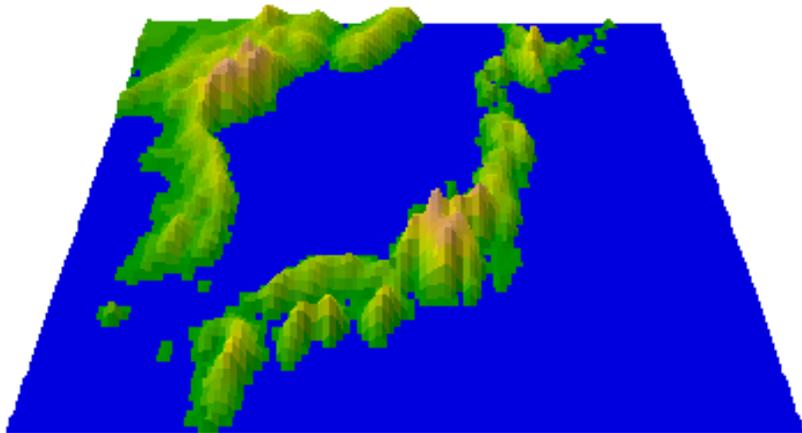
■ メソモデル

- 水平格子間隔 5 km
- 鉛直50層
- 1日8回実行
 - 03,09,15,21時初期値から15時間予報
 - 00,06,12,18時初期値から33時間予報
- 用途
 - 防災気象情報支援
 - 降水短時間予報への利用
 - 航空予報支援
 - など

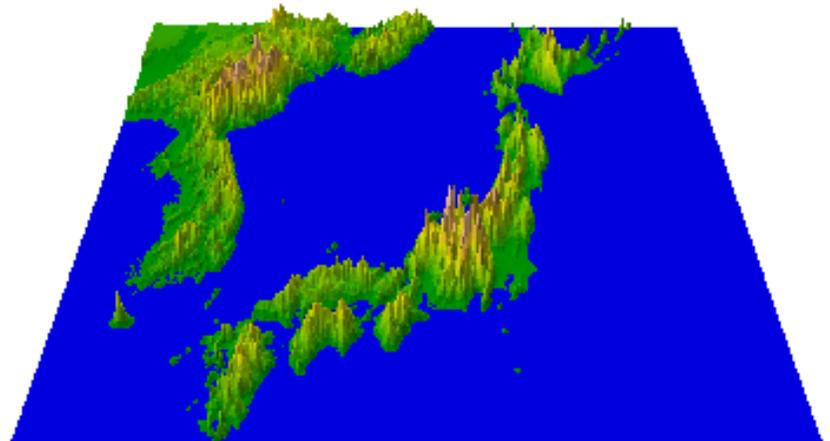


地形で見る格子間隔の違い

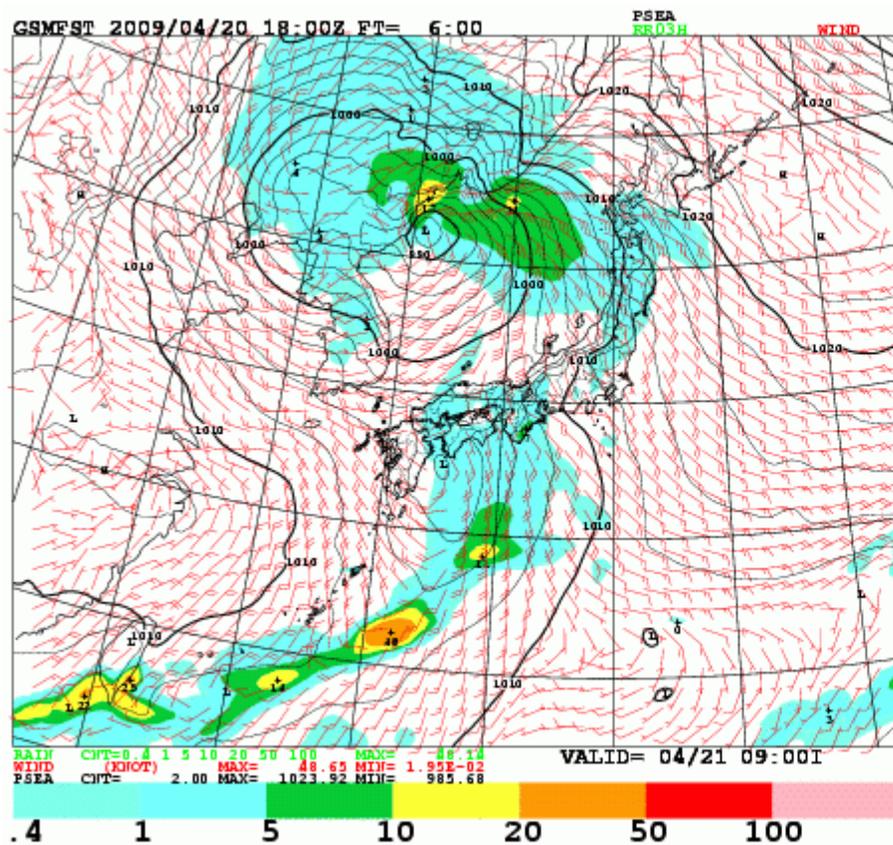
格子間隔20km



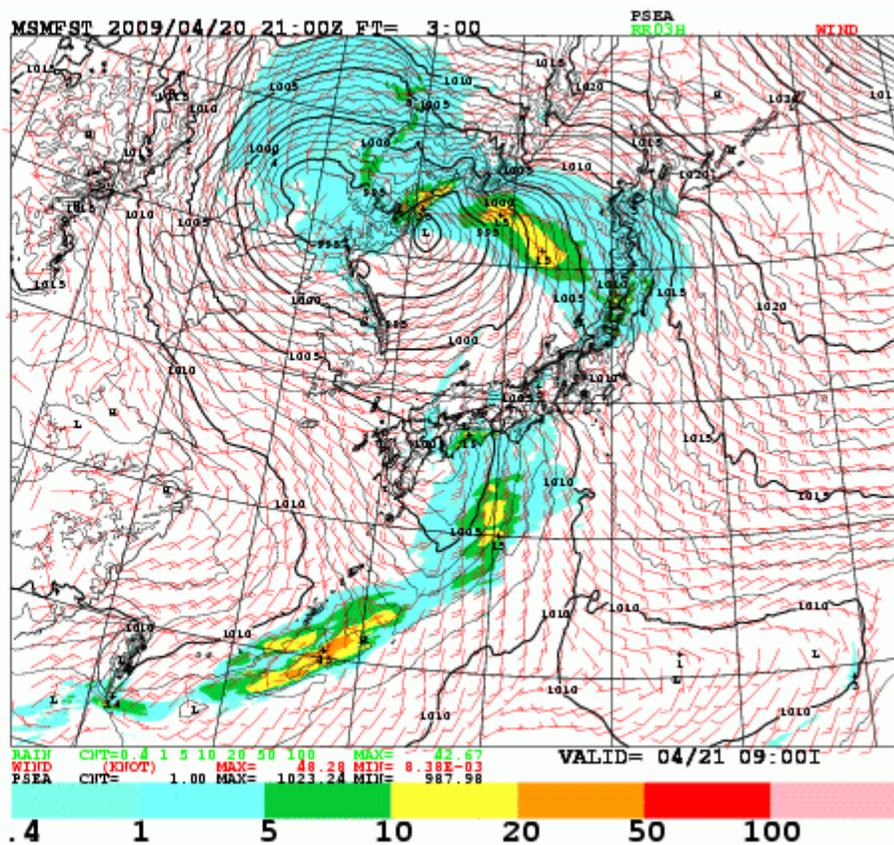
格子間隔5km

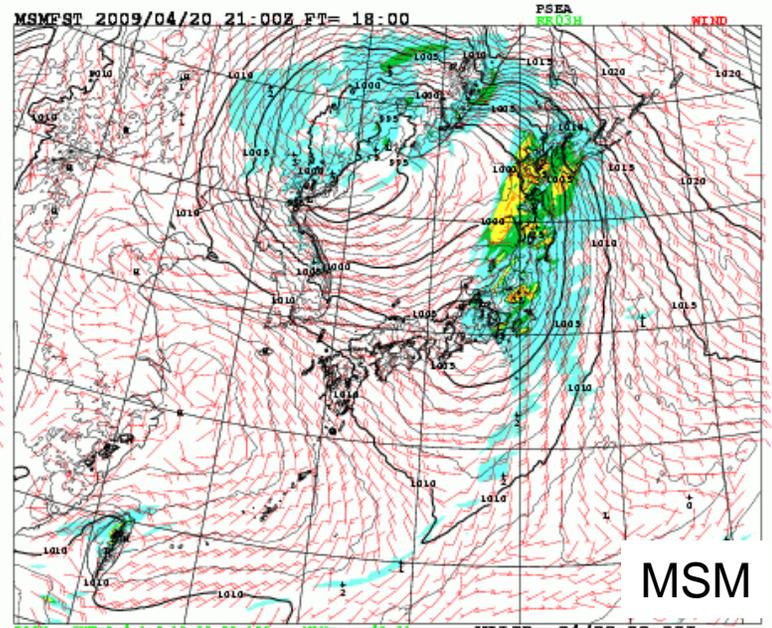
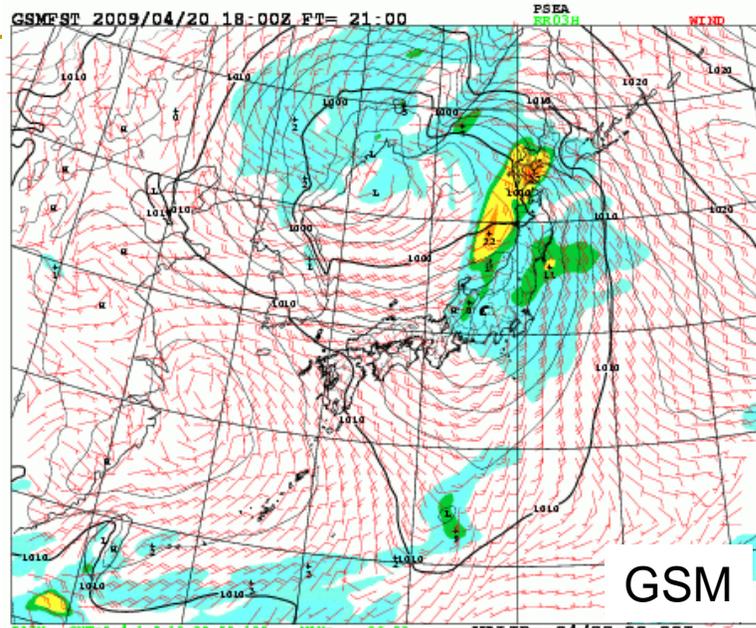


全球モデル

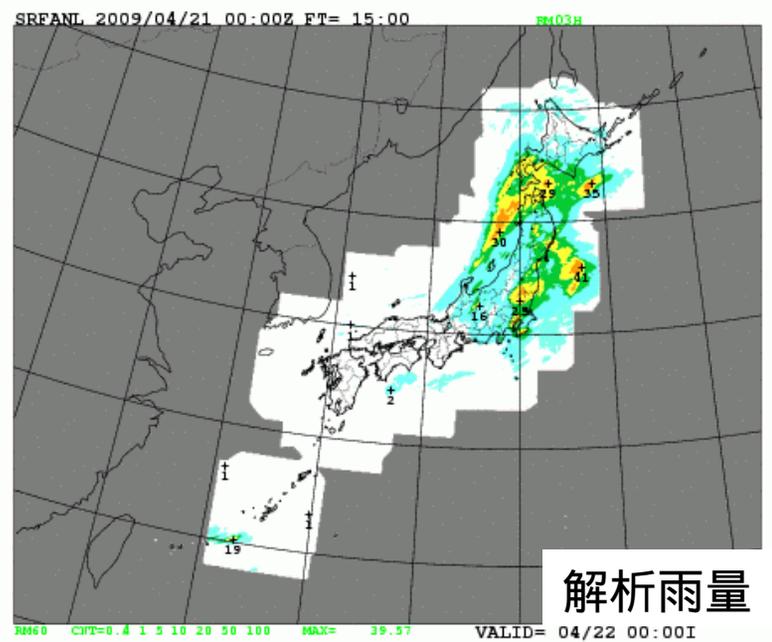


メソモデル





2009年4月22日0時の予報



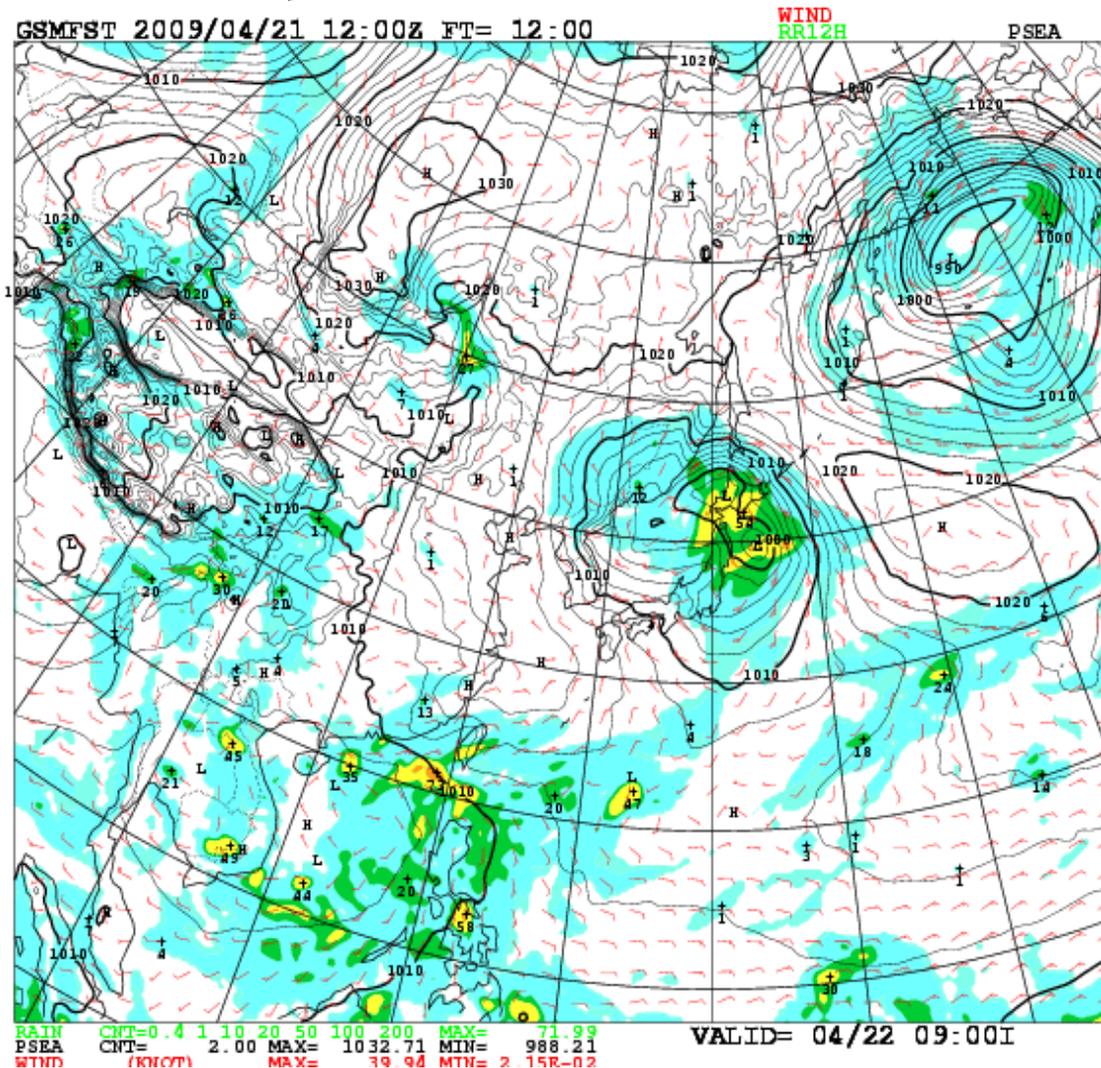
気象庁で運用している数値予報モデル (大気モデル) その3

- アンサンブル予報モデル(低解像度の全球モデルを用いる)
 - 週間アンサンブル(60 km 60層 51メンバ)
 - 台風アンサンブル(60 km 60層 11メンバ)
 - 1ヶ月予報アンサンブル(110 km 60層 50メンバ)
 - 季節予報アンサンブル(180 km 40層 51メンバ)

アンサンブルとは？

...の前に

数値予報モデルの「誤差」について 考えてみましょう

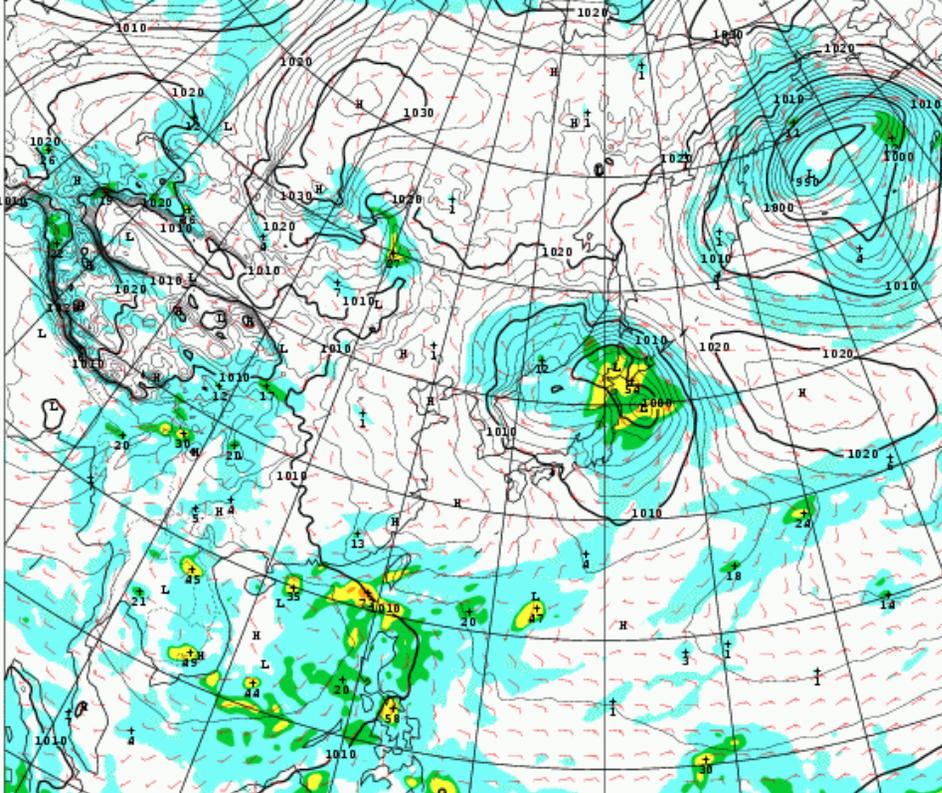


12時間予報

GSMFST 2009/04/21 12:00Z FT= 12:00

WIND
RR12H

PSEA



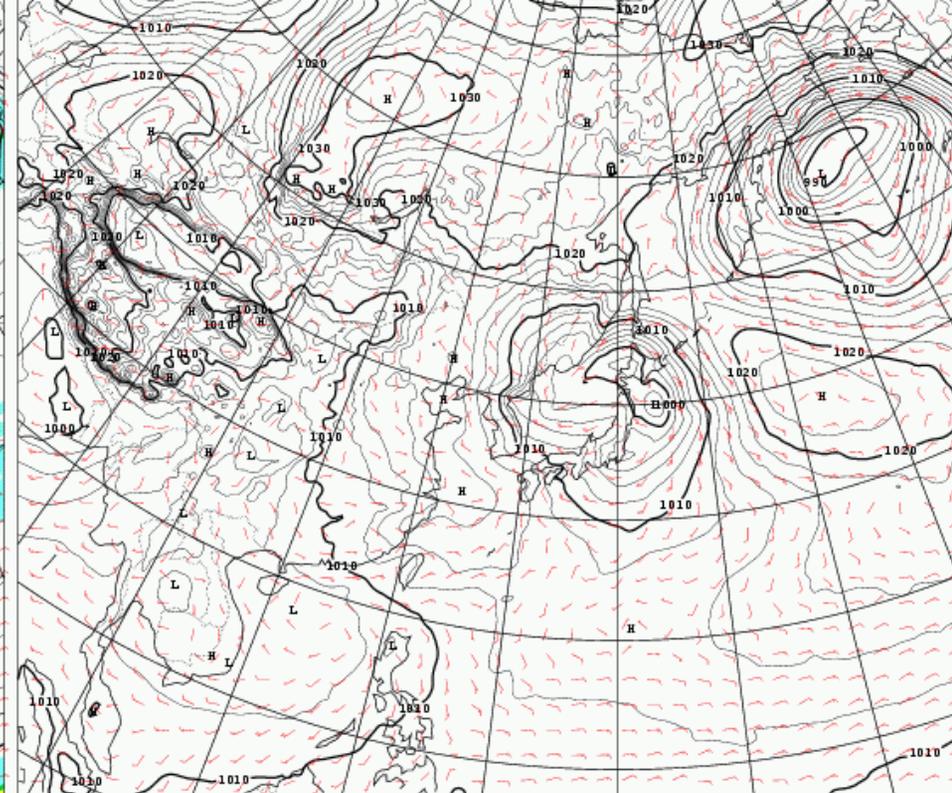
RAIN CNT=0.4 1 10 20 50 100 200 MAX= 71.99
PSEA CNT= 2.00 MAX= 1032.71 MIN= 988.21
WIND (KNOT) MAX= 39.94 MIN= 2.15E-02

VALID= 04/22 09:00I

GSMFST 2009/04/22 00:00Z FT= 0:00

WIND
RR06H

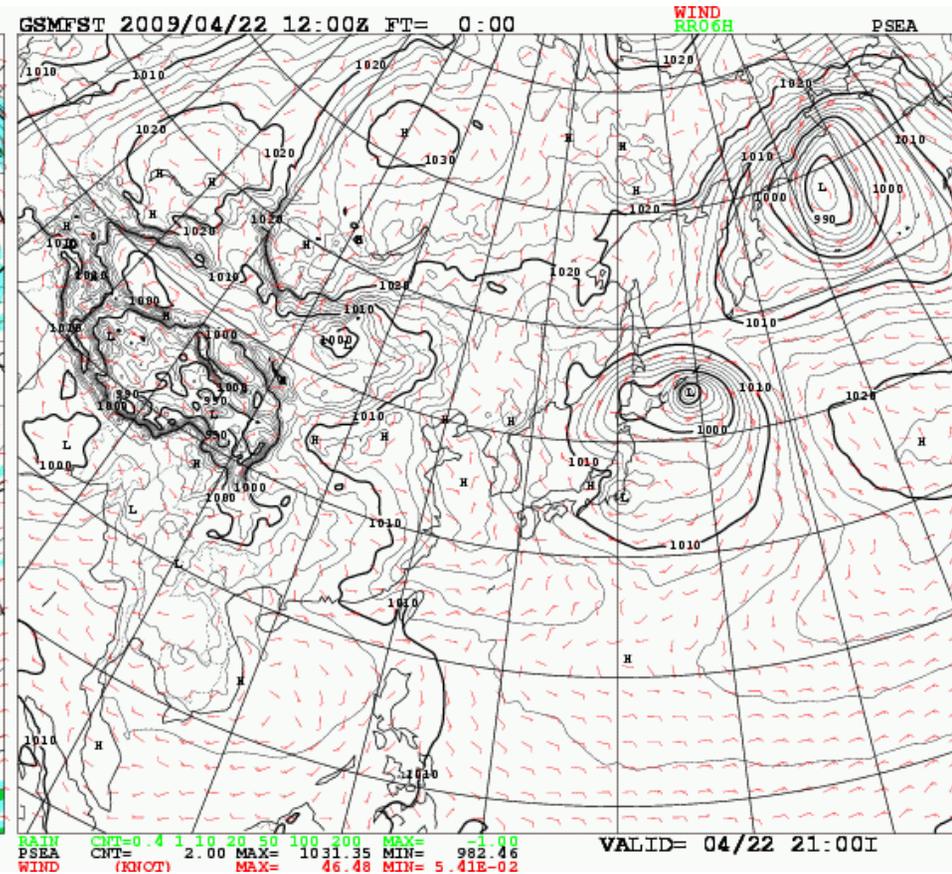
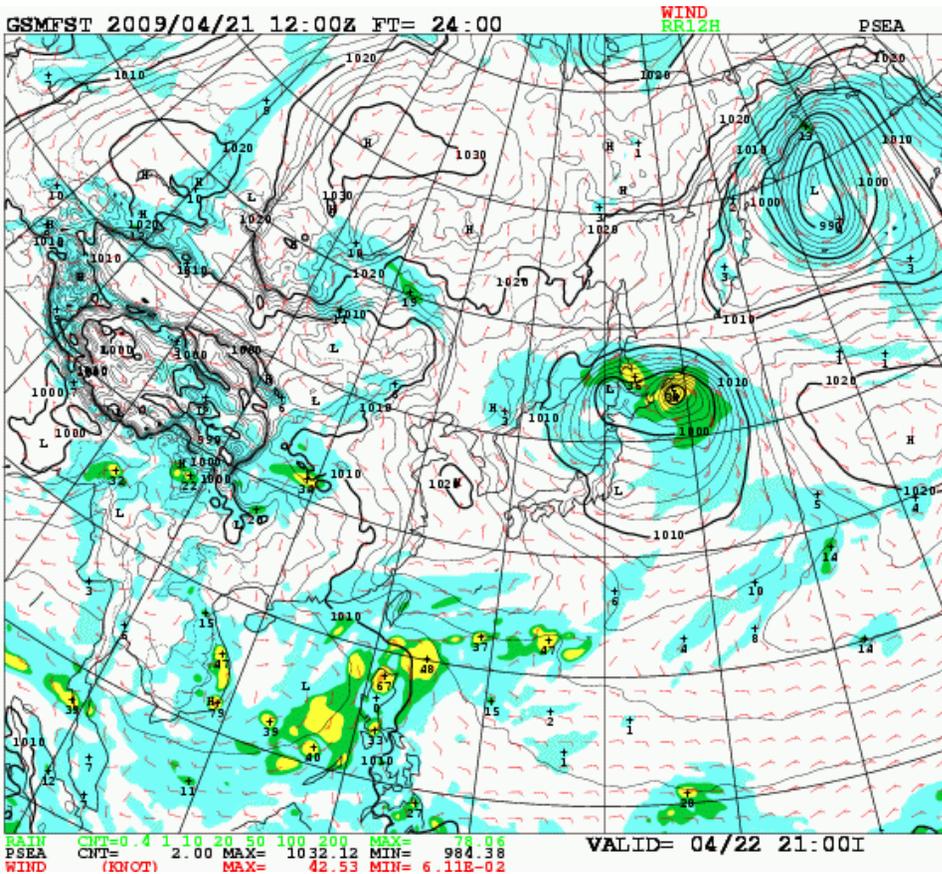
PSEA



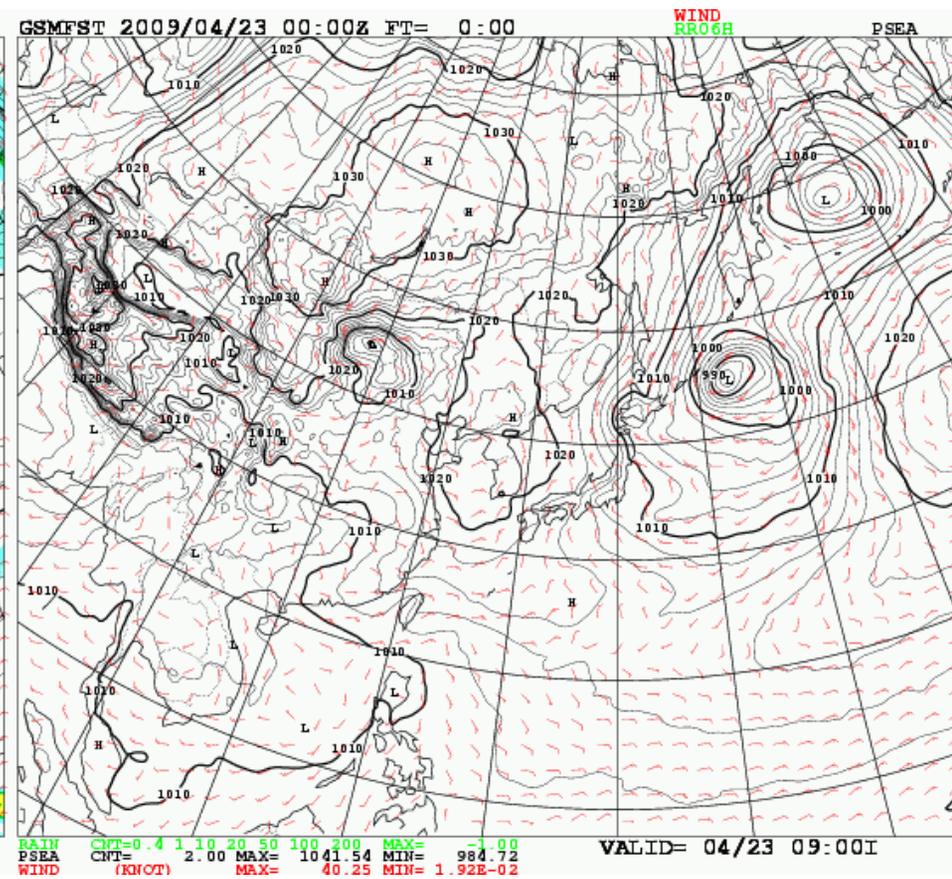
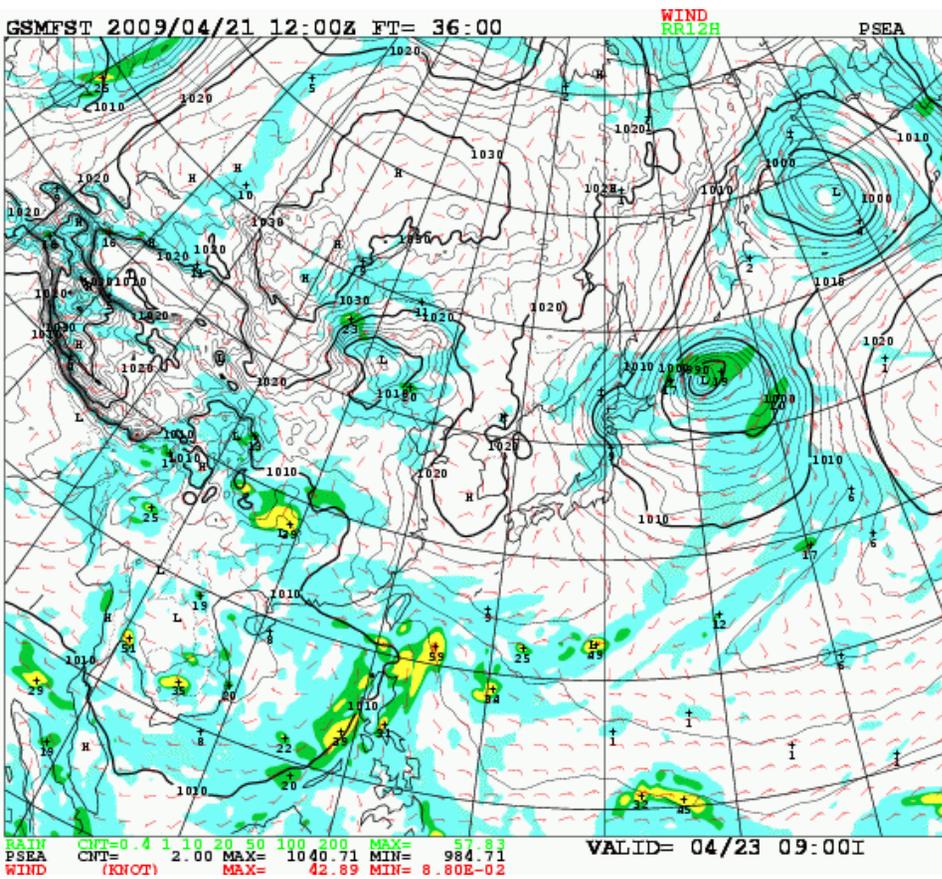
RAIN CNT=0.4 1 10 20 50 100 200 MAX= 41.42
PSEA CNT= 2.00 MAX= 1033.40 MIN= 988.38
WIND (KNOT) MAX= 41.42 MIN= 3.86E-02

VALID= 04/22 09:00I

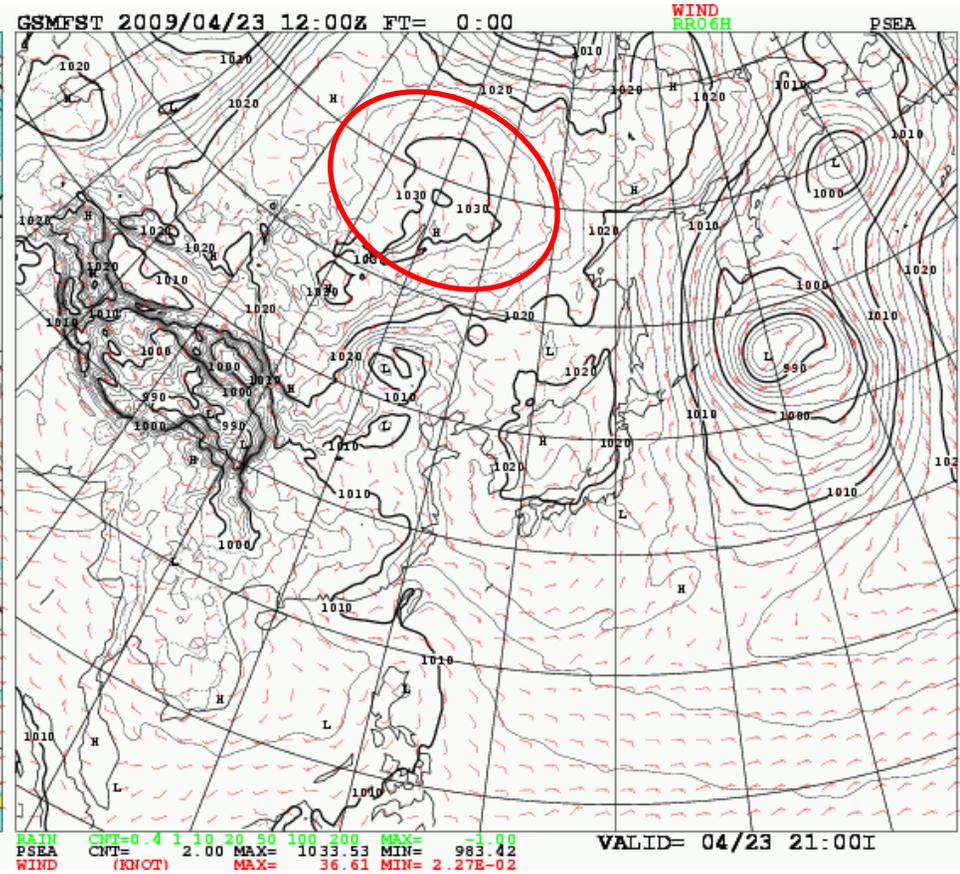
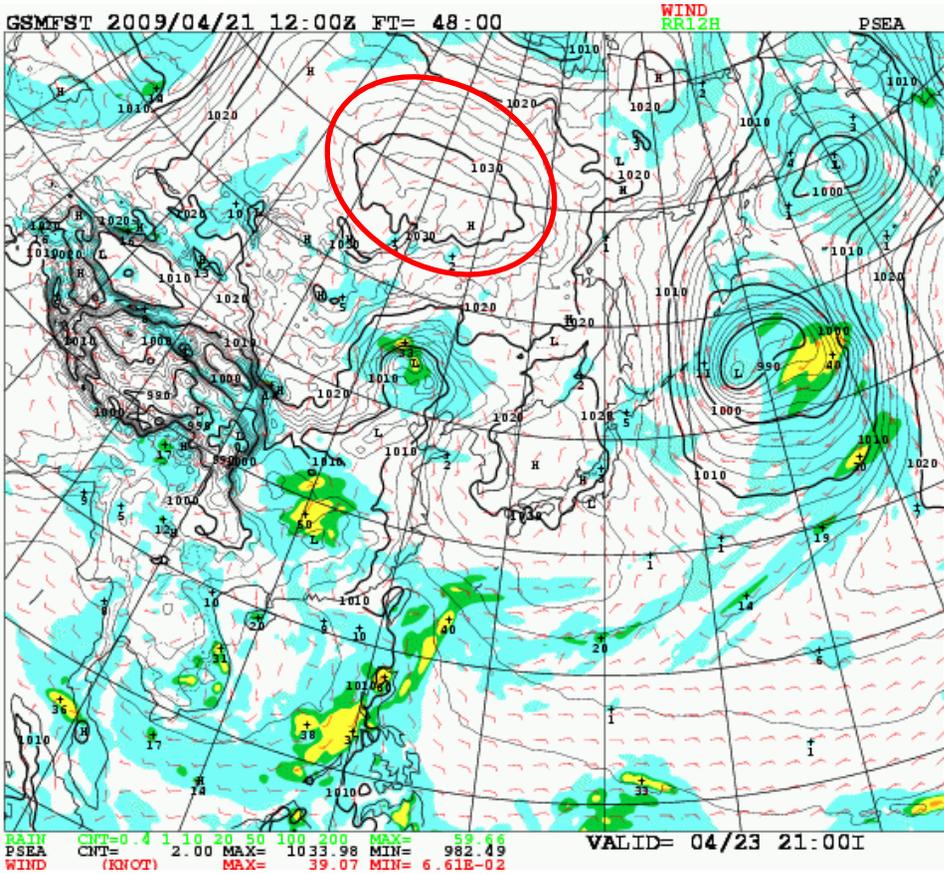
24時間予報



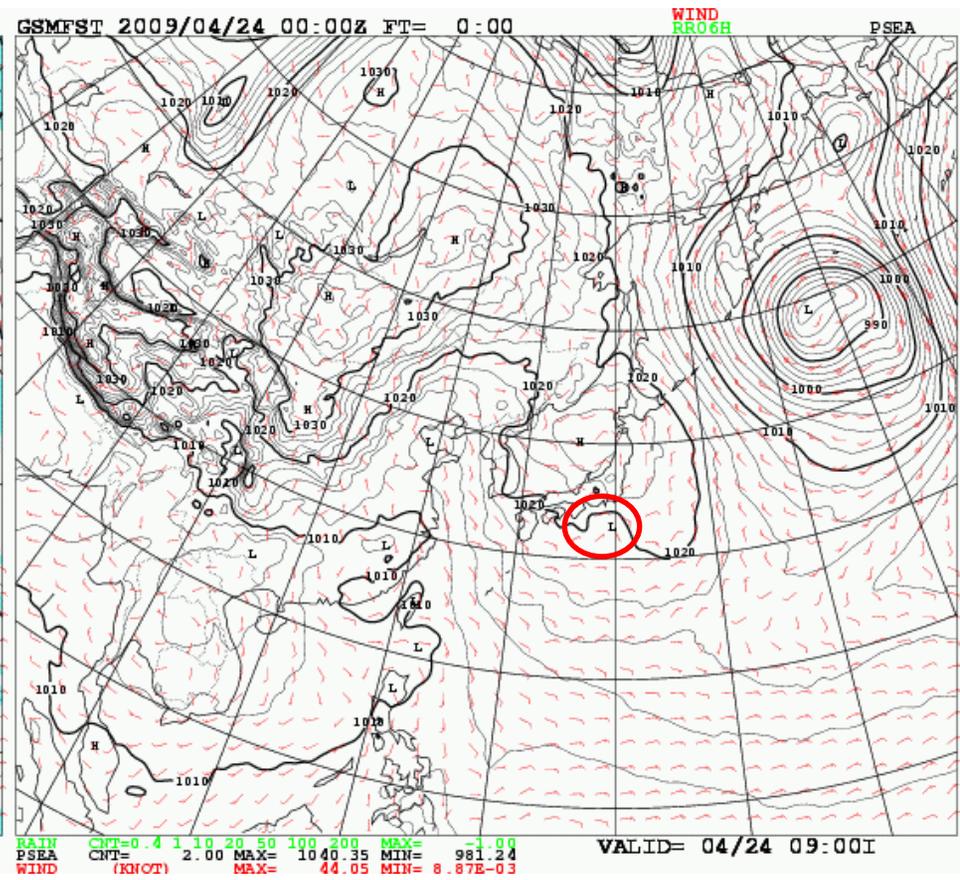
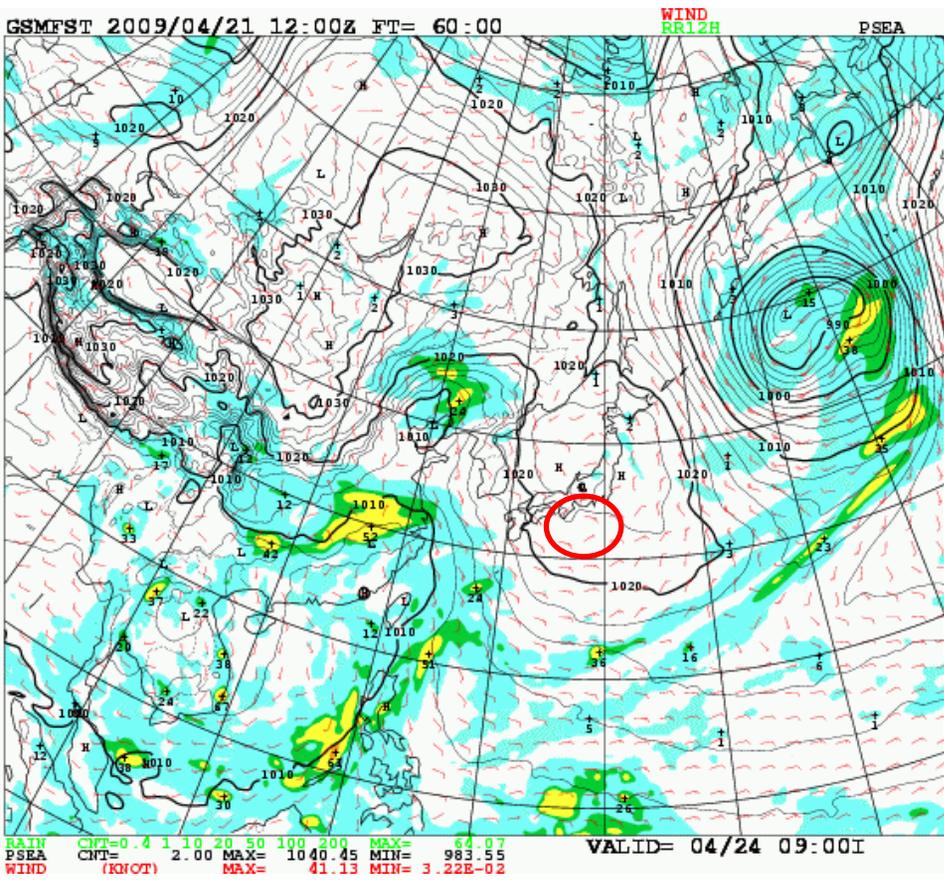
36時間予報



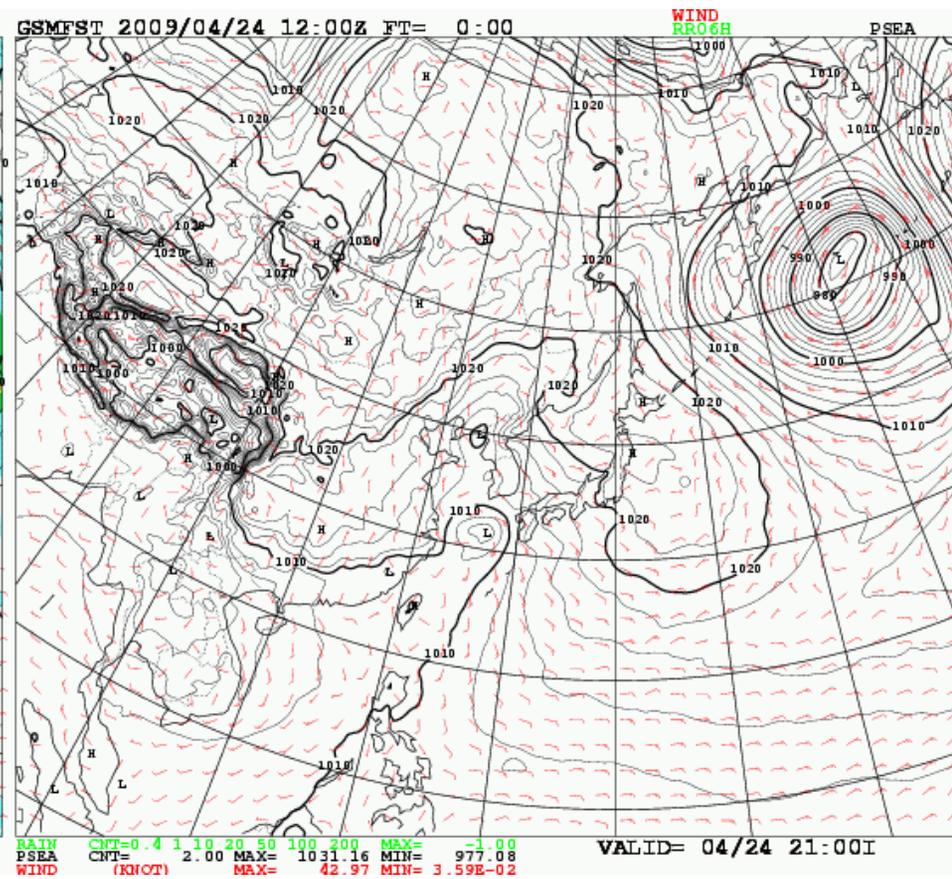
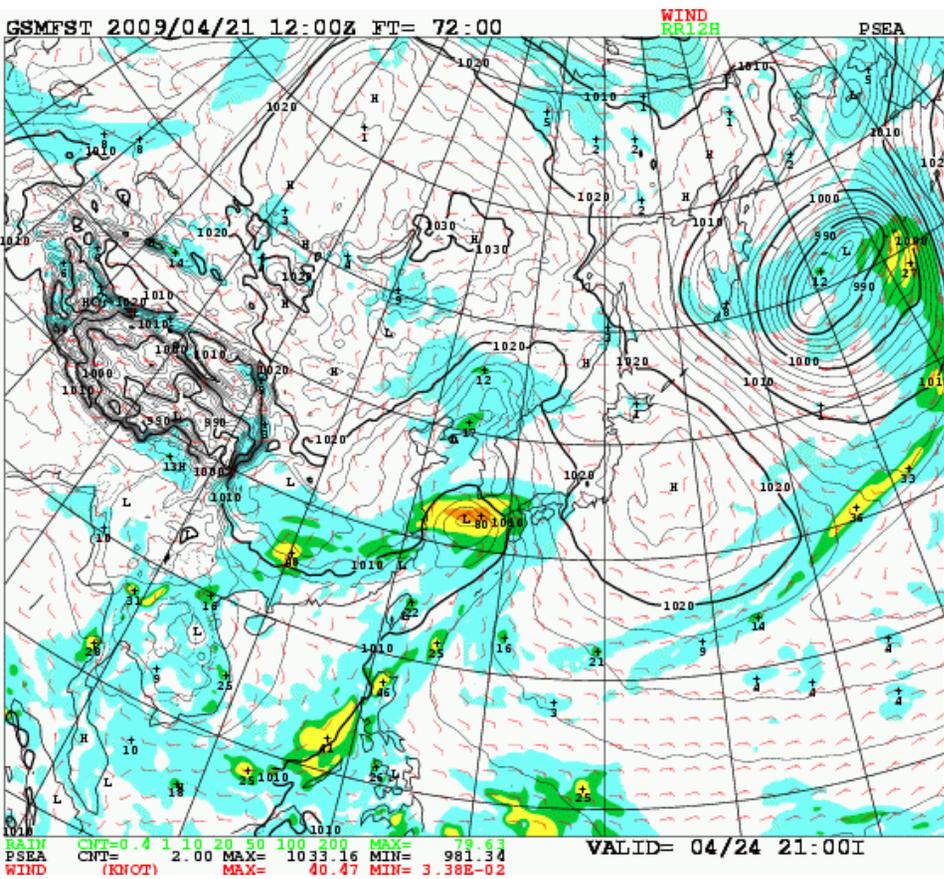
48時間予報



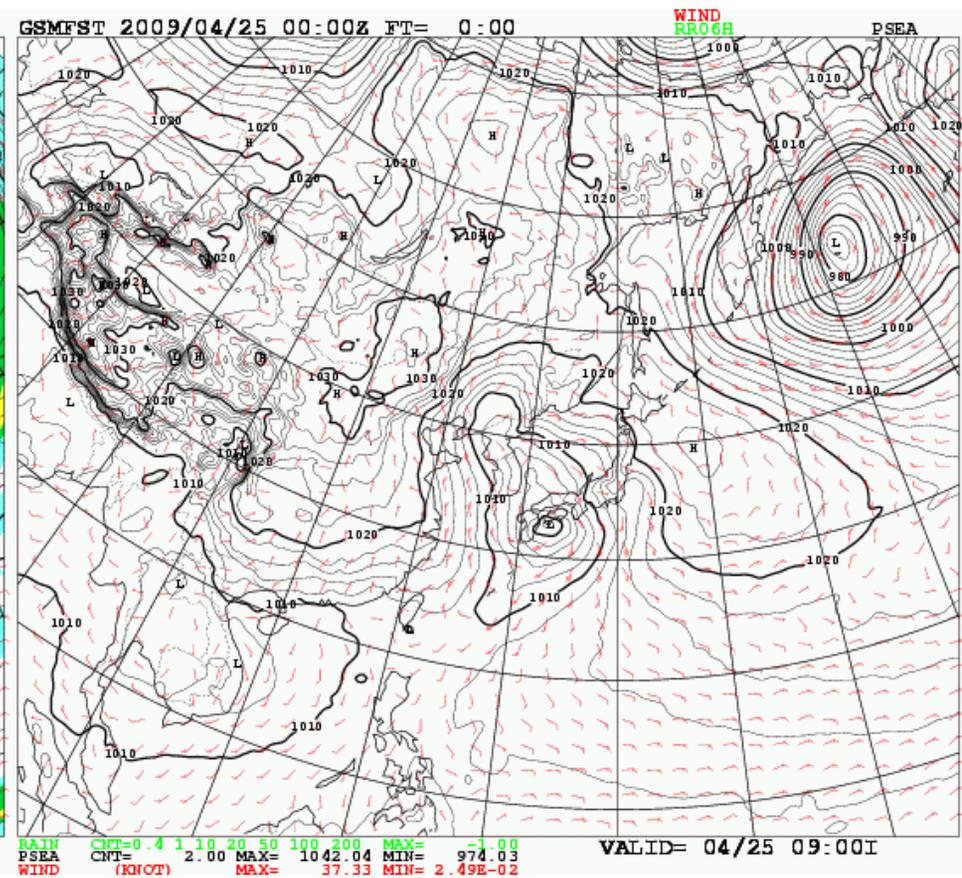
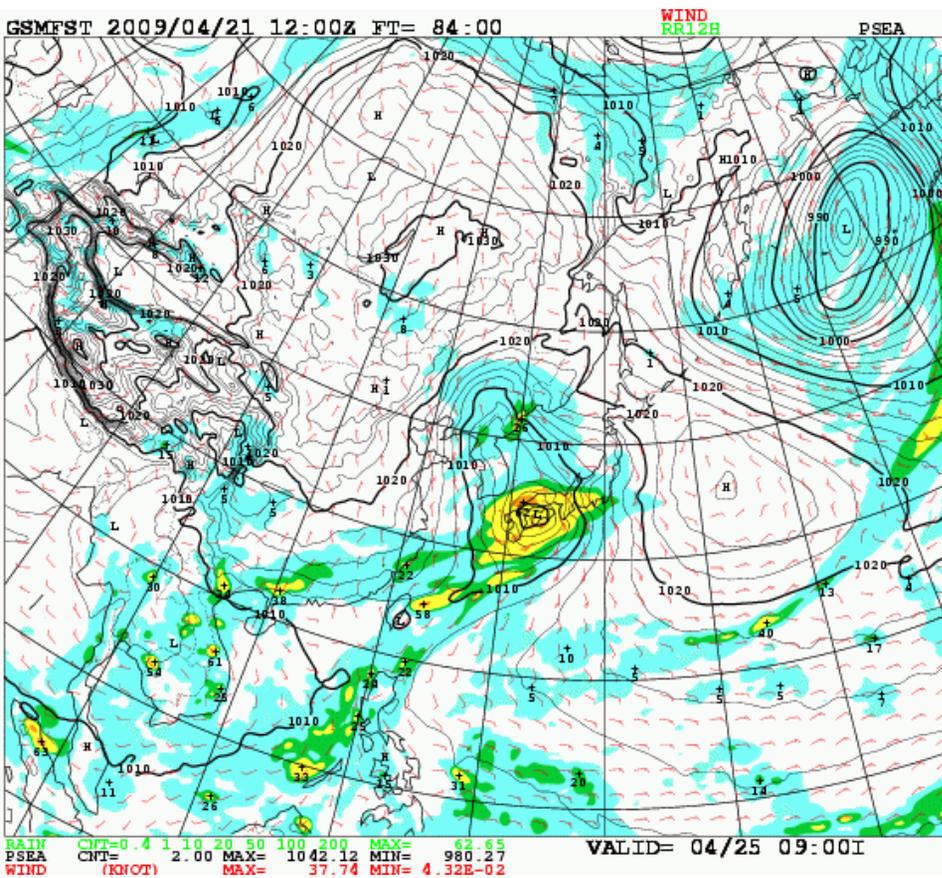
60時間予報



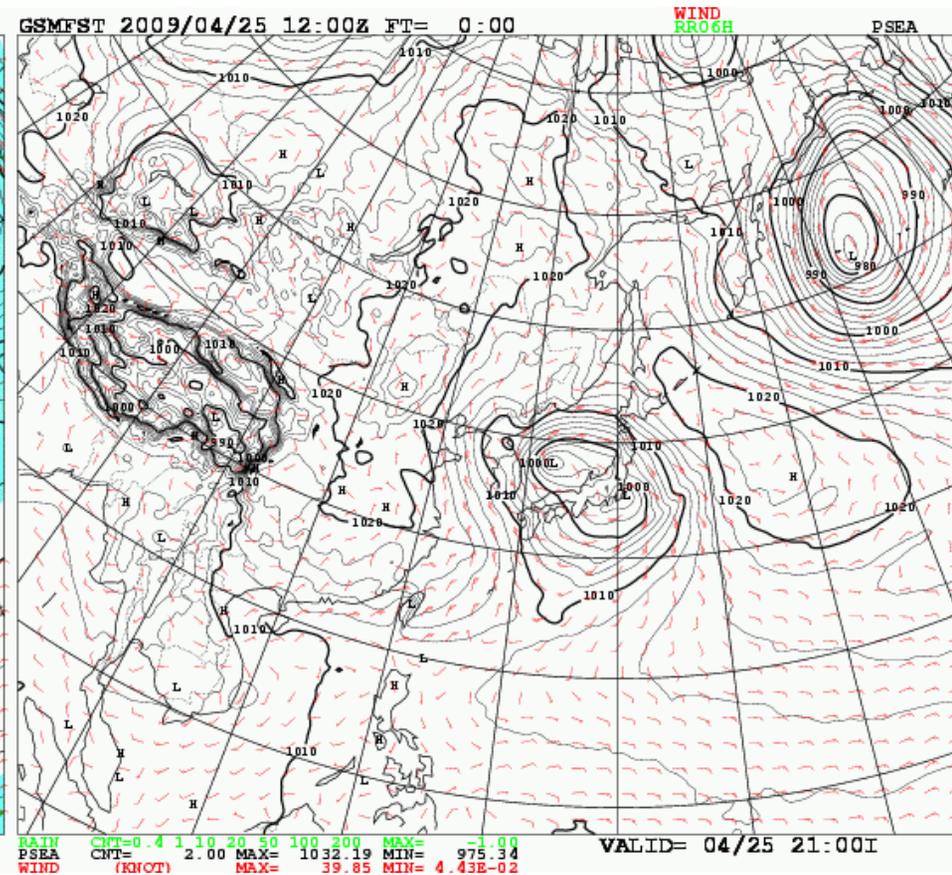
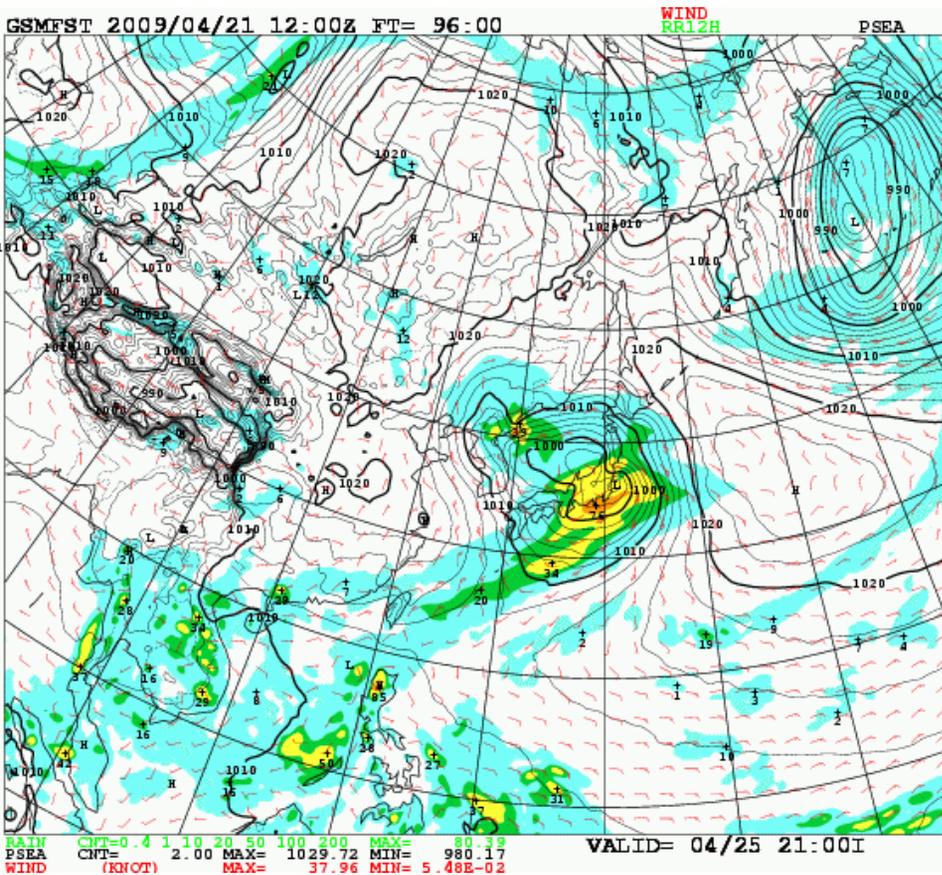
72時間予報



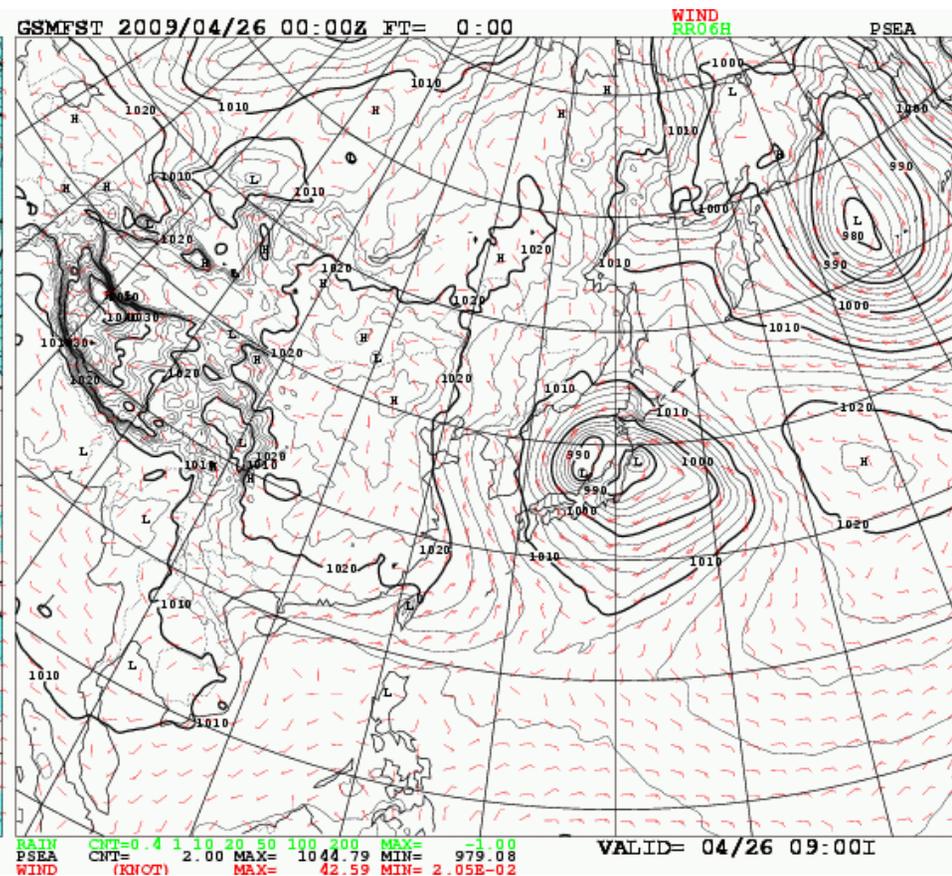
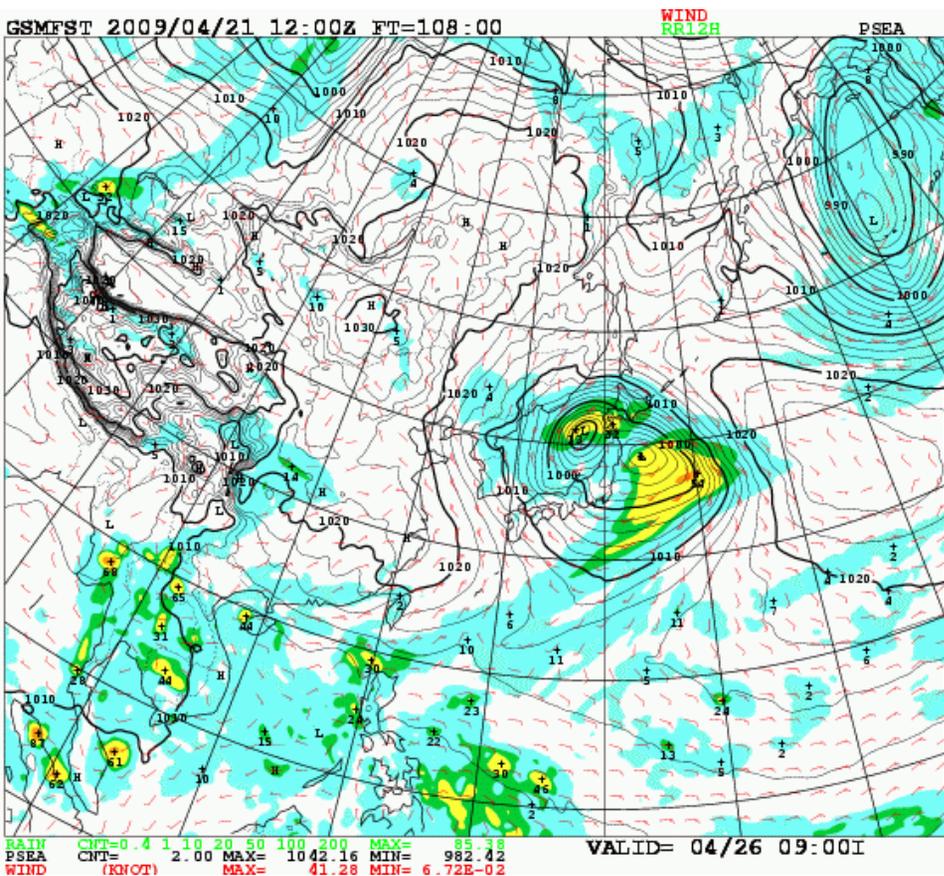
8 4 時間予報



9 6 時間予報



108時間予報

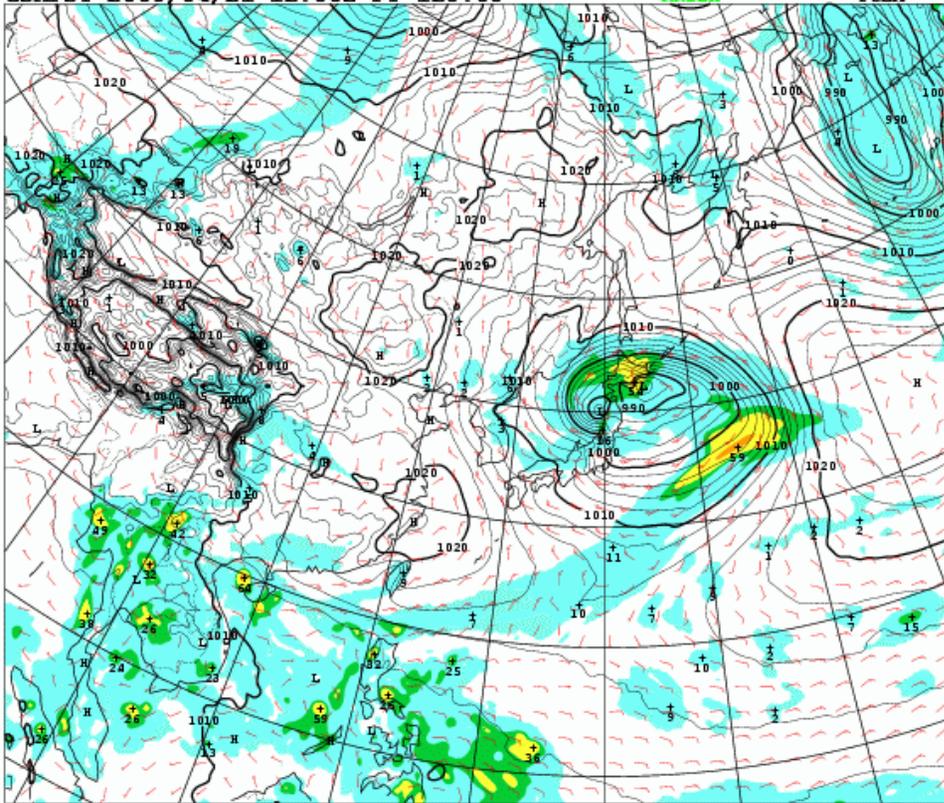


120時間予報

GSMFST 2009/04/21 12:00Z FT=120:00

WIND
RR12H

PSEA



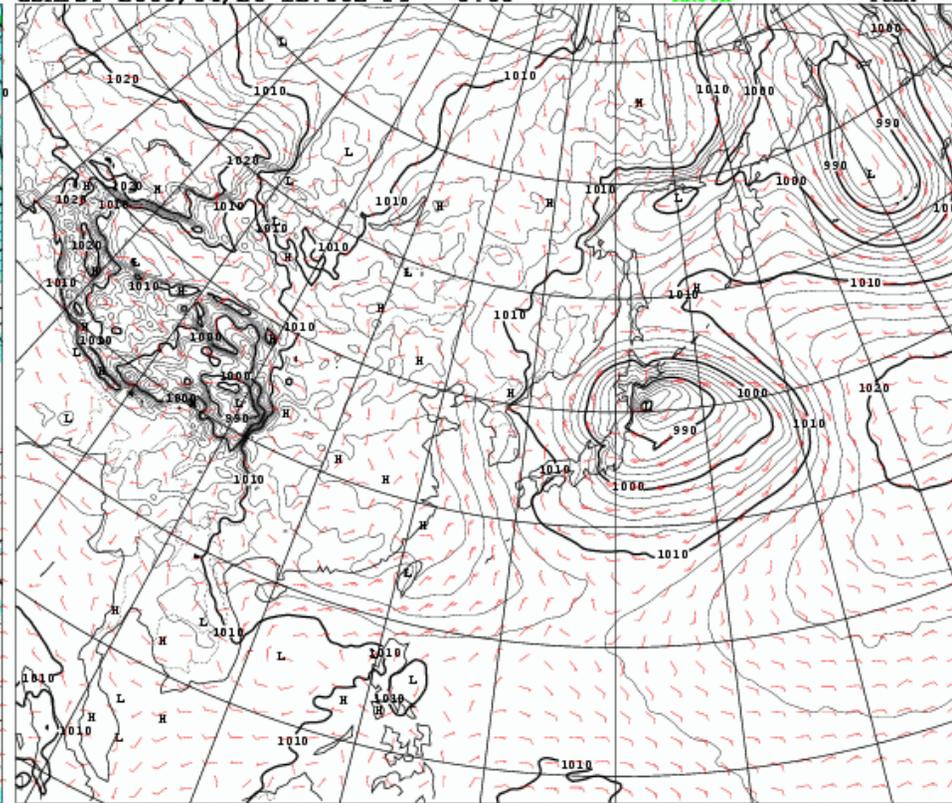
RAIN CNT=0.4 1 10 20 50 100 200 MAX= 62.84
PSEA CNT= 2.00 MAX= 1027.04 MIN= 983.39
WIND (KNOT) MAX= 41.56 MIN= 4.44E-02

VALID= 04/26 21:00I

GSMFST 2009/04/26 12:00Z FT= 0:00

WIND
RR06H

PSEA



RAIN CNT=0.4 1 10 20 50 100 200 MAX= -1.00
PSEA CNT= 2.00 MAX= 1027.69 MIN= 978.04
WIND (KNOT) MAX= 50.16 MIN= 3.40E-02

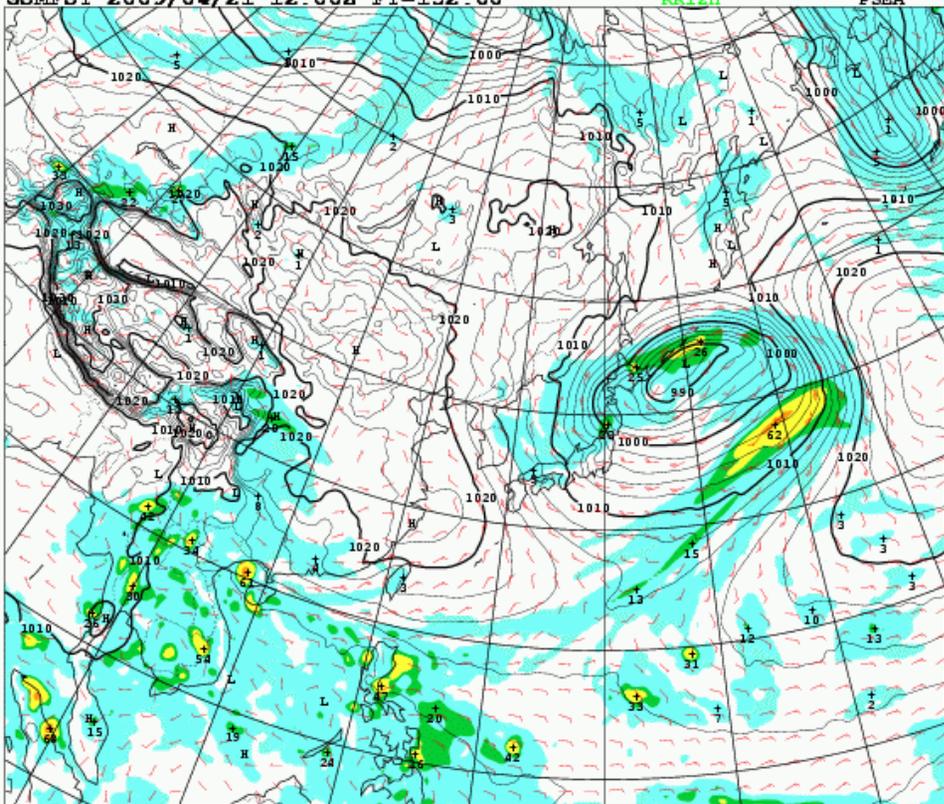
VALID= 04/26 21:00I

132時間予報

GSMFST 2009/04/21 12:00Z FT=132:00

WIND
RR12H

PSEA



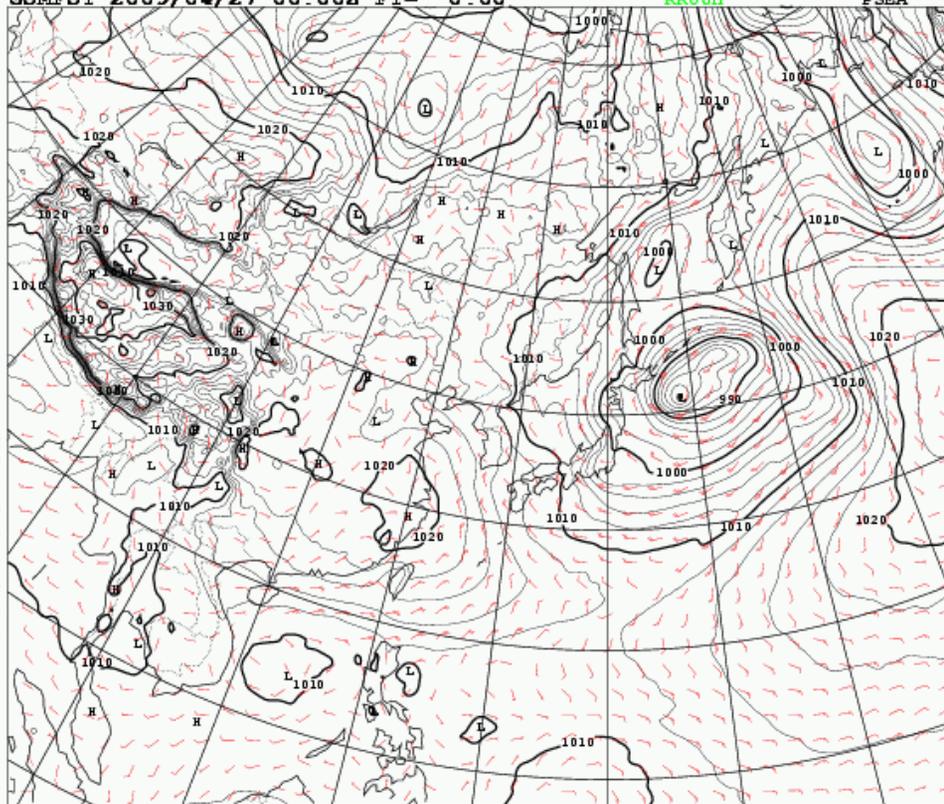
RAIN CNT=0.4 1 10 20 50 100 200 MAX= 67.13
PSEA CNT= 2.00 MAX= 1040.73 MIN= 986.05
WIND (KNOT) MAX= 36.94 MIN= 2.02E-02

VALID= 04/27 09:00I

GSMFST 2009/04/27 00:00Z FT= 0:00

WIND
RR06H

PSEA



RAIN CNT=0.4 1 10 20 50 100 200 MAX= -1.00
PSEA CNT= 2.00 MAX= 1038.81 MIN= 979.91
WIND (KNOT) MAX= 41.55 MIN= 1.20E-02

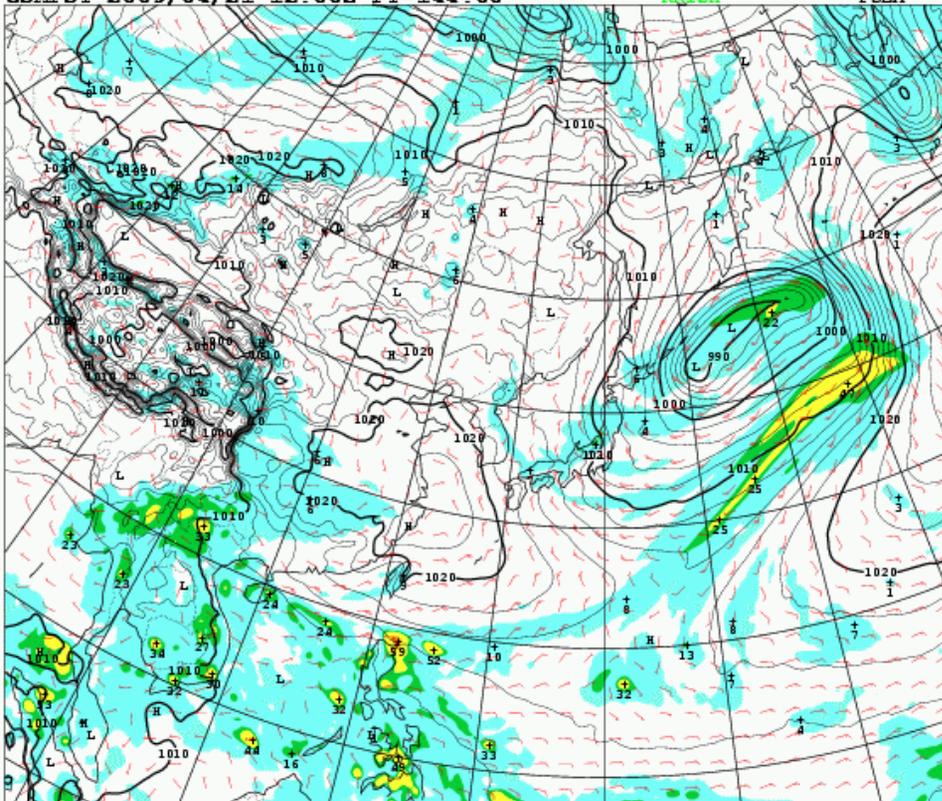
VALID= 04/27 09:00I

144時間予報

GSMFST 2009/04/21 12:00Z FT=144:00

WIND
RR12H

PSEA

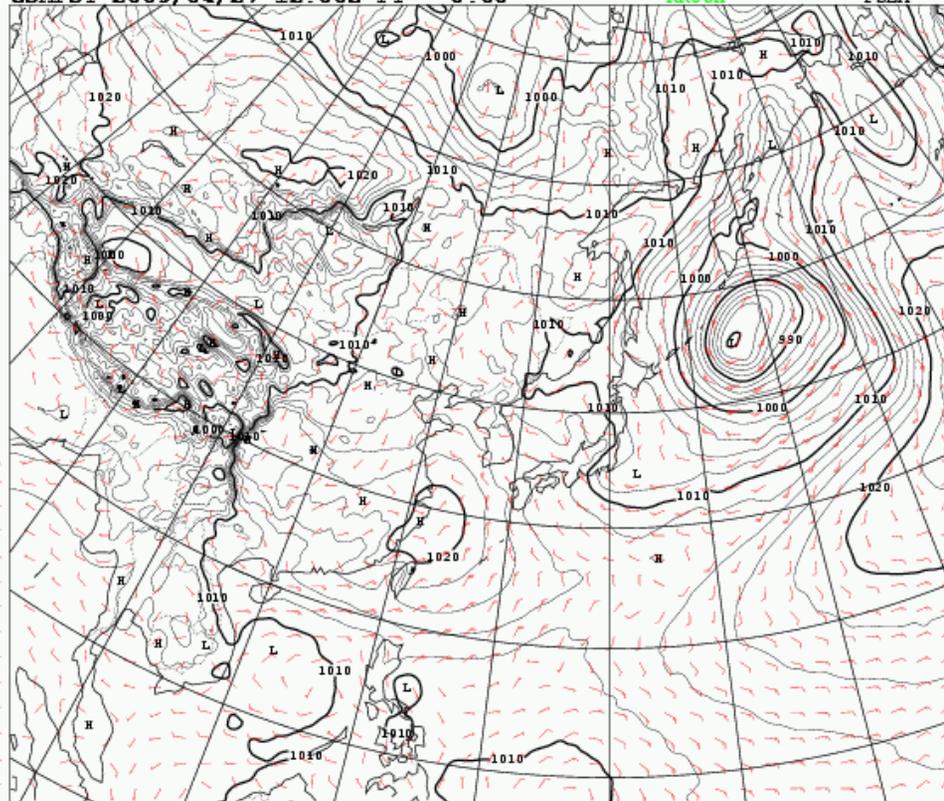


RAIN CNT=0.4 1 10 20 50 100 200 MAX= 58.13
 PSEA CNT= 2.00 MAX= 1027.78 MIN= 985.81
 WIND (KNOT) MAX= 37.67 MIN= 1.75E-02
 VALID= 04/27 21:00I

GSMFST 2009/04/27 12:00Z FT= 0:00

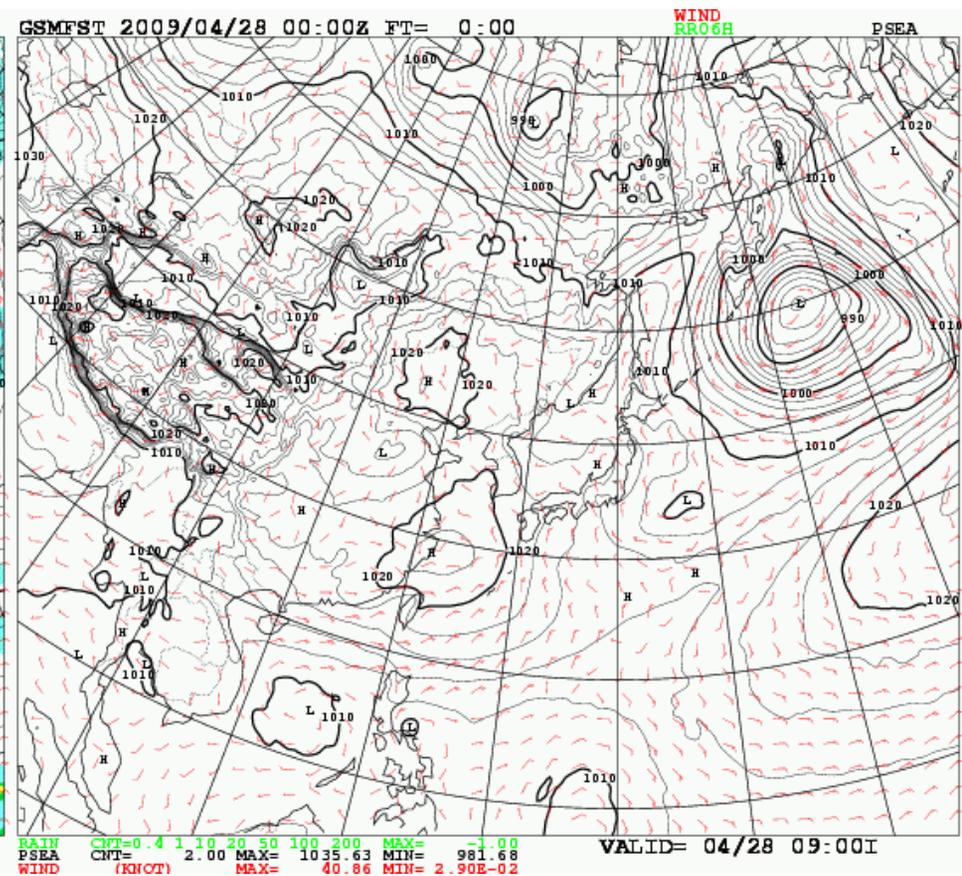
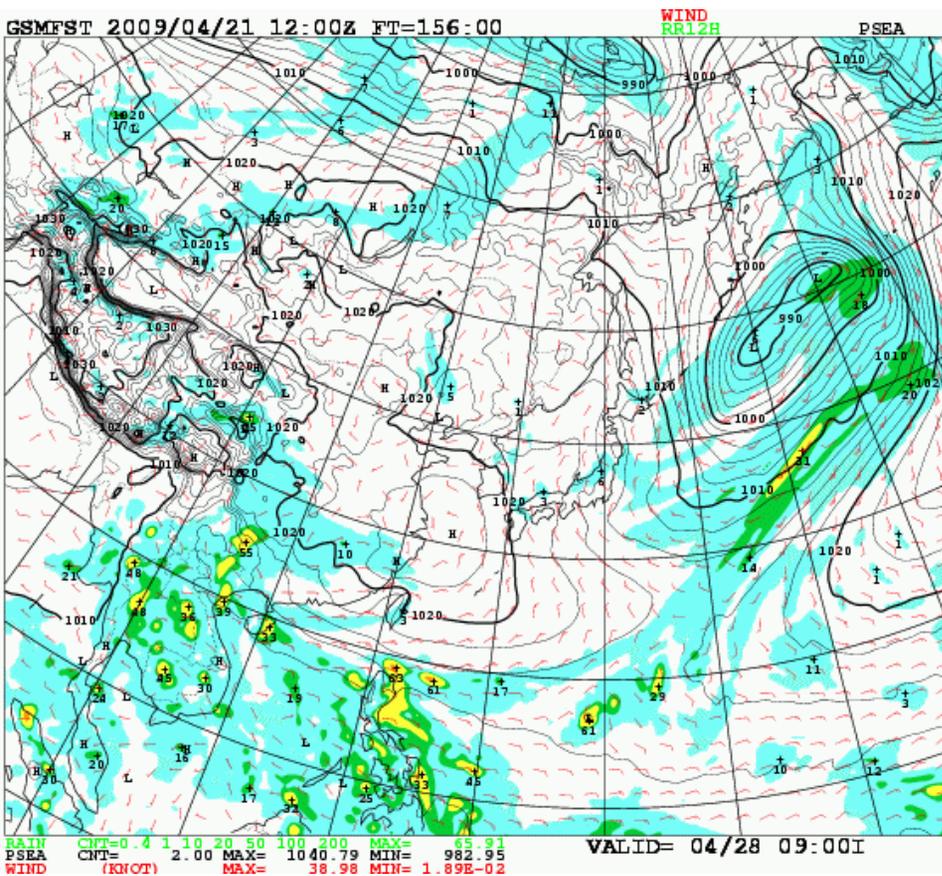
WIND
RR06H

PSEA



RAIN CNT=0.4 1 10 20 50 100 200 MAX= -1.00
 PSEA CNT= 2.00 MAX= 1033.30 MIN= 979.81
 WIND (KNOT) MAX= 39.19 MIN= 1.24E-02
 VALID= 04/27 21:00I

156時間予報

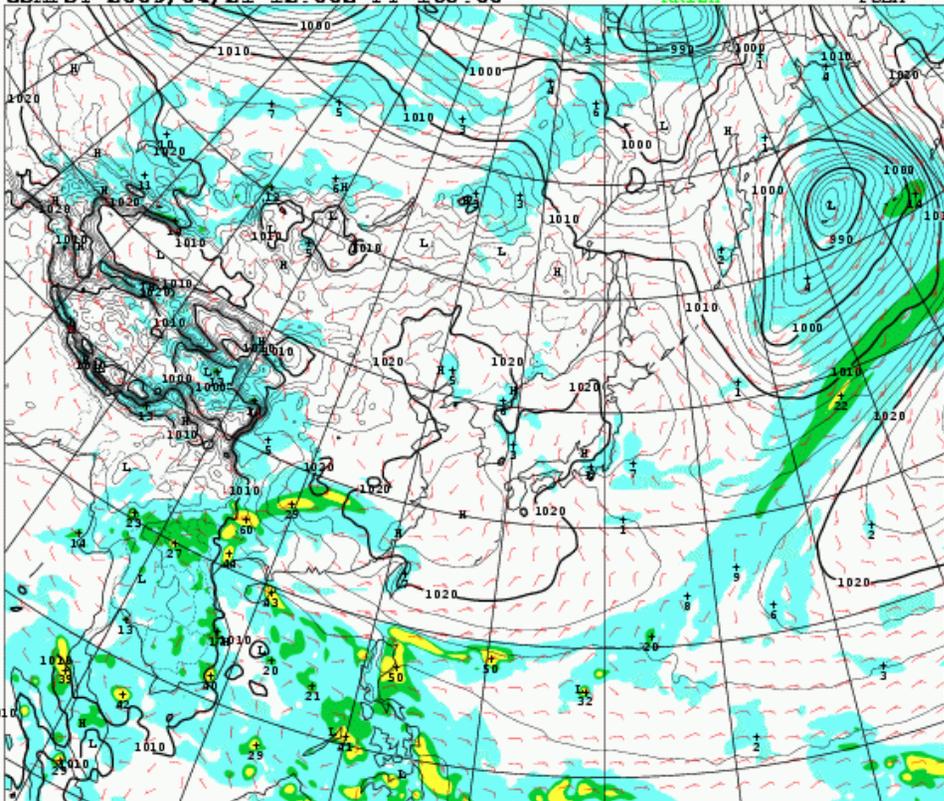


168時間予報

GSMFST 2009/04/21 12:00Z FT=168:00

WIND
RR12H

PSEA



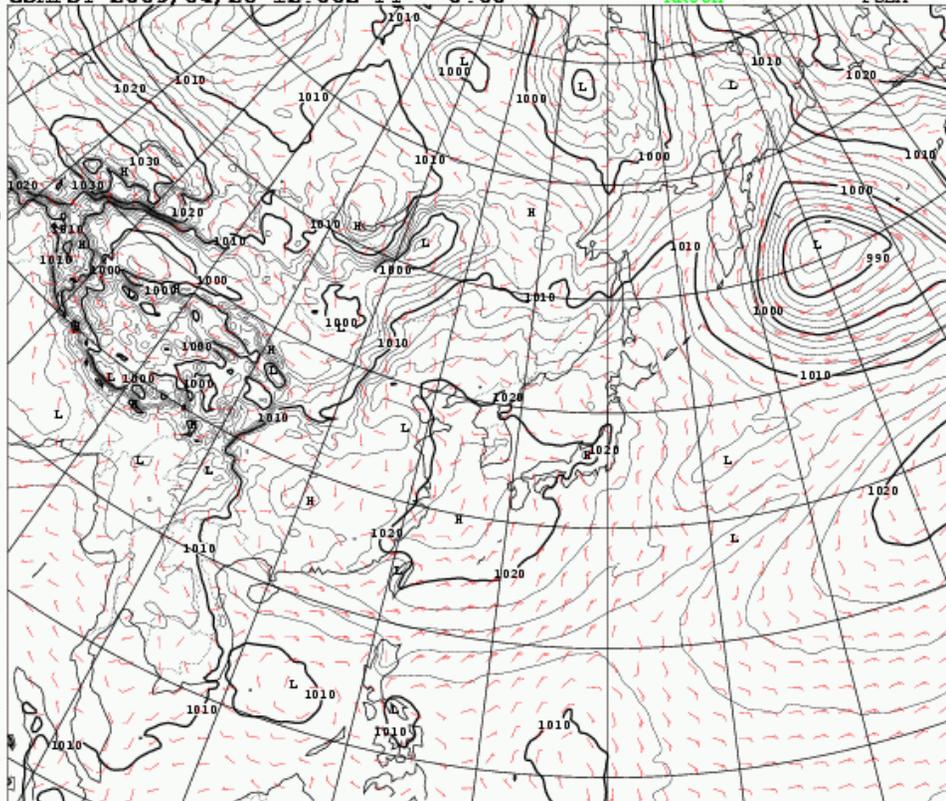
RAIN CNT=0.4 1 10 20 50 100 200 MAX= 58.17
PSEA CNT= 2.00 MAX= 1029.67 MIN= 981.76
WIND (KNOT) MAX= 37.54 MIN= 4.18E-02

VALID= 04/28 21:00I

GSMFST 2009/04/28 12:00Z FT= 0:00

WIND
RR06H

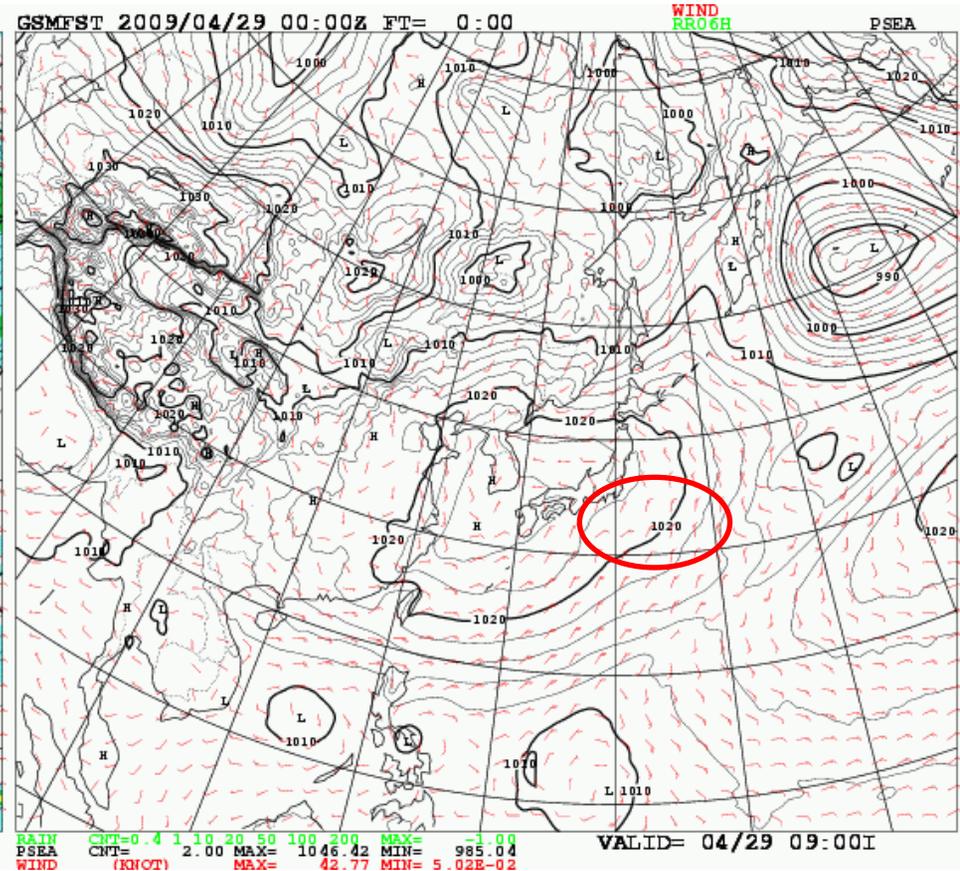
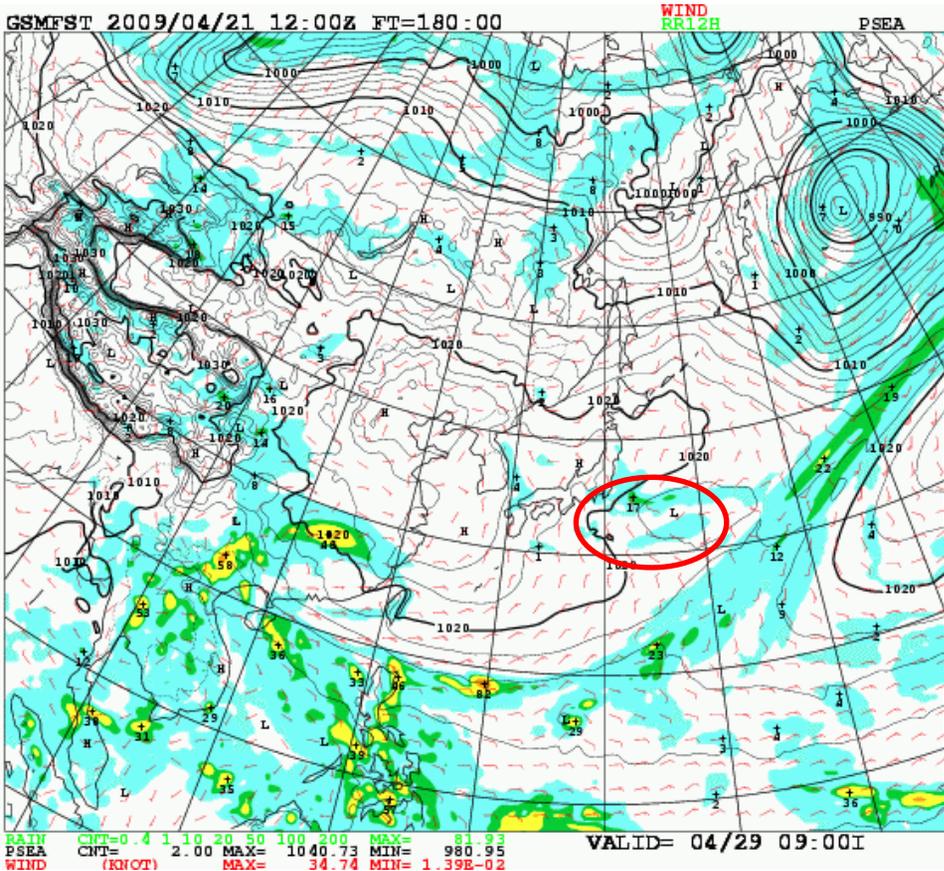
PSEA



RAIN CNT=0.4 1 10 20 50 100 200 MAX= 58.17
PSEA CNT= 2.00 MAX= 1036.96 MIN= 984.00
WIND (KNOT) MAX= 37.84 MIN= 7.71E-02

VALID= 04/28 21:00I

180時間予報

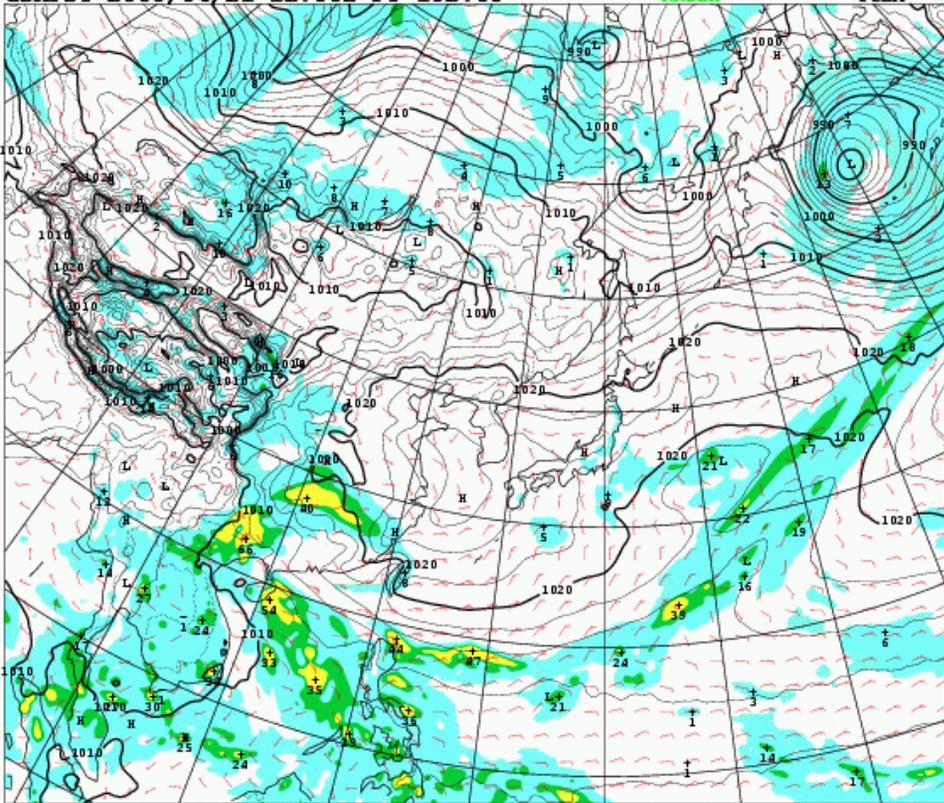


192時間予報

GSMFST 2009/04/21 12:00Z FT=192:00

WIND
RR12H

PSEA



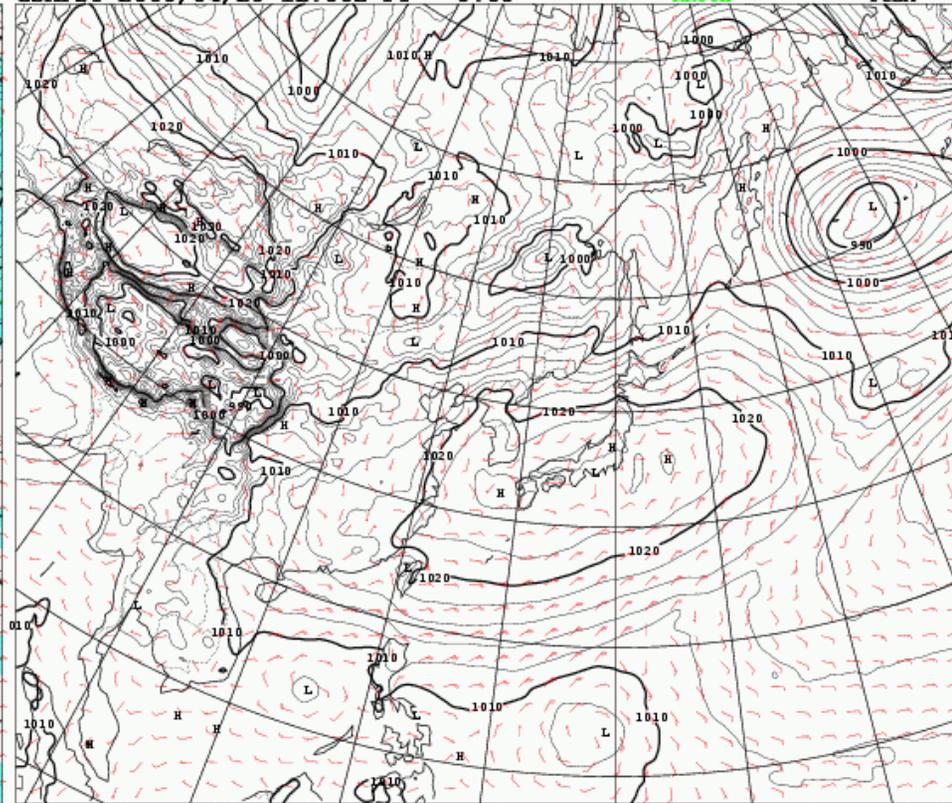
RAIN CNT=0.4 1 10 20 50 100 200 MAX= 65.92
PSEA CNT= 2.00 MAX= 1031.04 MIN= 978.32
WIND (KNOT) MAX= 39.04 MIN= 2.34E-02

VALID= 04/29 21:00Z

GSMFST 2009/04/29 12:00Z FT= 0:00

WIND
RR06H

PSEA



RAIN CNT=0.4 1 10 20 50 100 200 MAX= -1.00
PSEA CNT= 2.00 MAX= 1034.04 MIN= 985.13
WIND (KNOT) MAX= 39.14 MIN= 8.46E-03

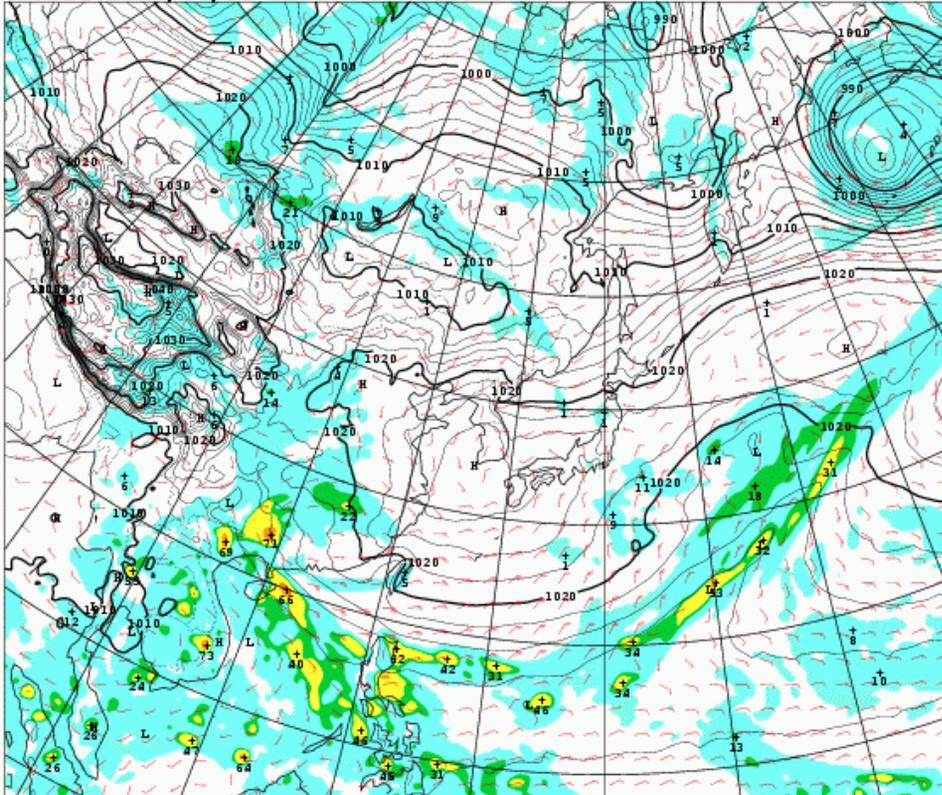
VALID= 04/29 21:00Z

204時間予報

GSMFST 2009/04/21 12:00Z FT=204:00

WIND
RR12H

PSEA



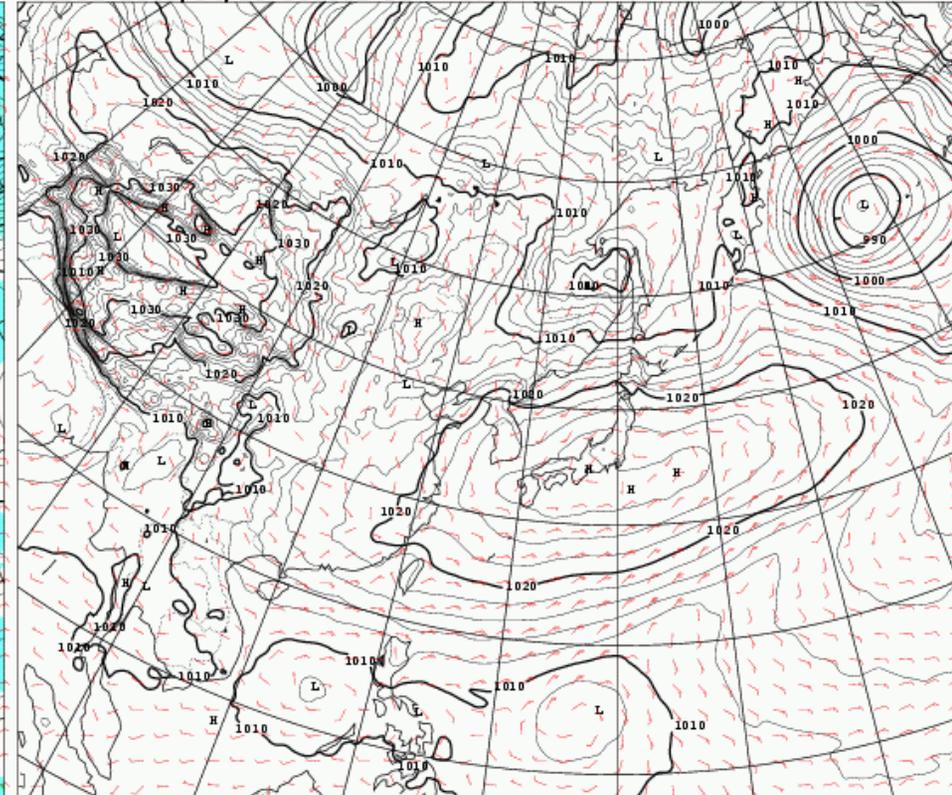
RAIN CNT=0.4 1 10 20 50 100 200 MAX= 70.05
PSEA CNT= 2.00 MAX= 1047.73 MIN= 980.84
WIND (KNOT) MAX= 41.11 MIN= 7.19E-02

VALID= 04/30 09:00I

GSMFST 2009/04/30 00:00Z FT= 0:00

WIND
RR06H

PSEA



RAIN CNT=0.4 1 10 20 50 100 200 MAX= -1.00
PSEA CNT= 2.00 MAX= 1043.93 MIN= 985.84
WIND (KNOT) MAX= 34.82 MIN= 3.72E-02

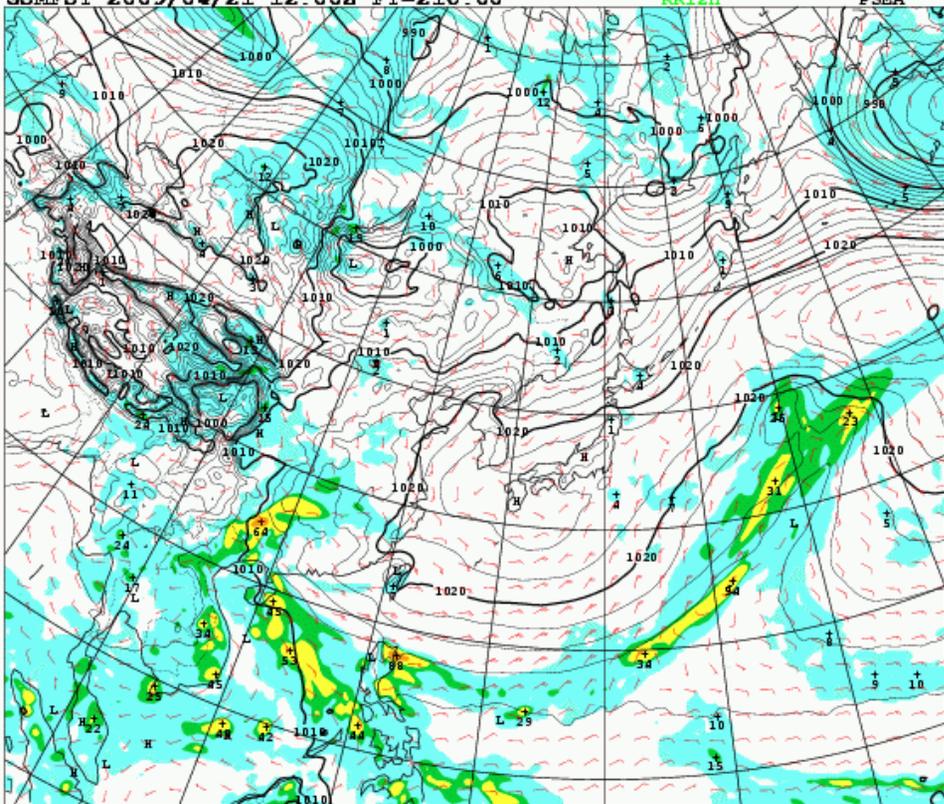
VALID= 04/30 09:00I

216時間予報

GSMFST 2009/04/21 12:00Z FT=216:00

WIND
RR12H

PSEA



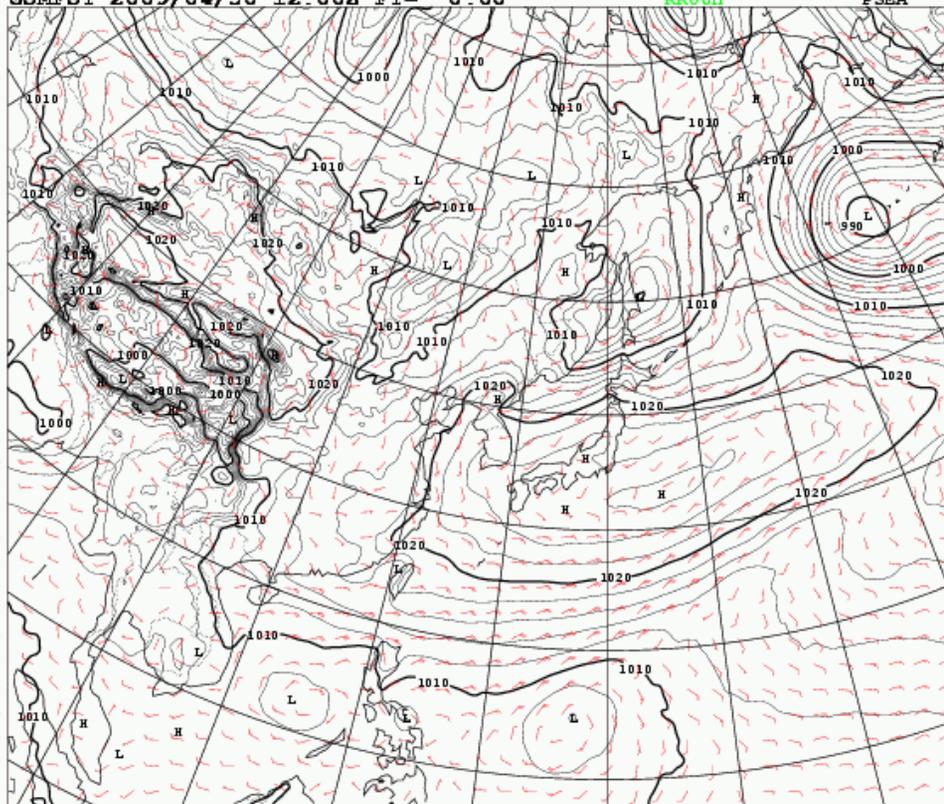
RAIN CNT=0.4 1 10 20 50 100 200 MAX= 87.10
PSEA CNT= 2.00 MAX= 1030.14 MIN= 982.04
WIND (KNOT) MAX= 40.33 MIN= 7.22E-02

VALID= 04/30 21:00I

GSMFST 2009/04/30 12:00Z FT= 0:00

WIND
RR06H

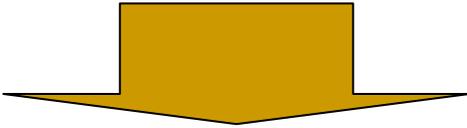
PSEA



RAIN CNT=0.4 1 10 20 50 100 200 MAX= -1.00
PSEA CNT= 2.00 MAX= 1032.43 MIN= 988.55
WIND (KNOT) MAX= 33.63 MIN= 2.69E-02

VALID= 04/30 21:00I

数値予報の誤差

- 予報初期のわずかな誤差も予報時間とともに成長する
 - 大気の時間変化が持つカオス的性質
- 
- 初期値に含まれる誤差をできるだけ小さくする
 - 本講演の後半で
 - 「誤差」を予測する
 - アンサンブル

アンサンブルとは？

アンサンブル【フランスensemble】

《共に、の意》

1 服飾で、ドレスとコート、上着とスカート、靴とバッグなどの材質・色調の調和のとれた組み合わせ。

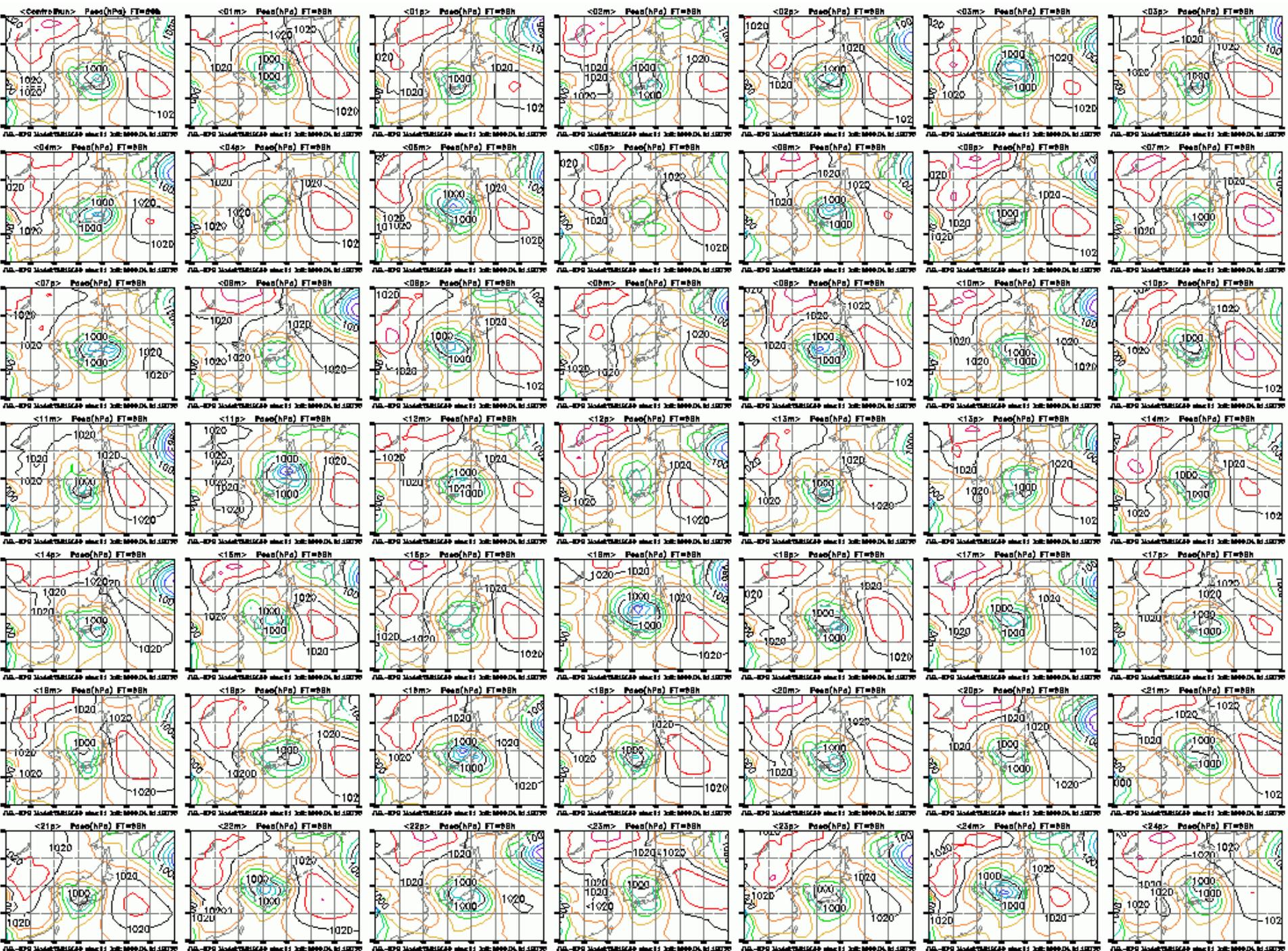
2 音楽用語。

小人数の合奏・合唱。また、合奏団・合唱団。
演奏の調和のぐあい。

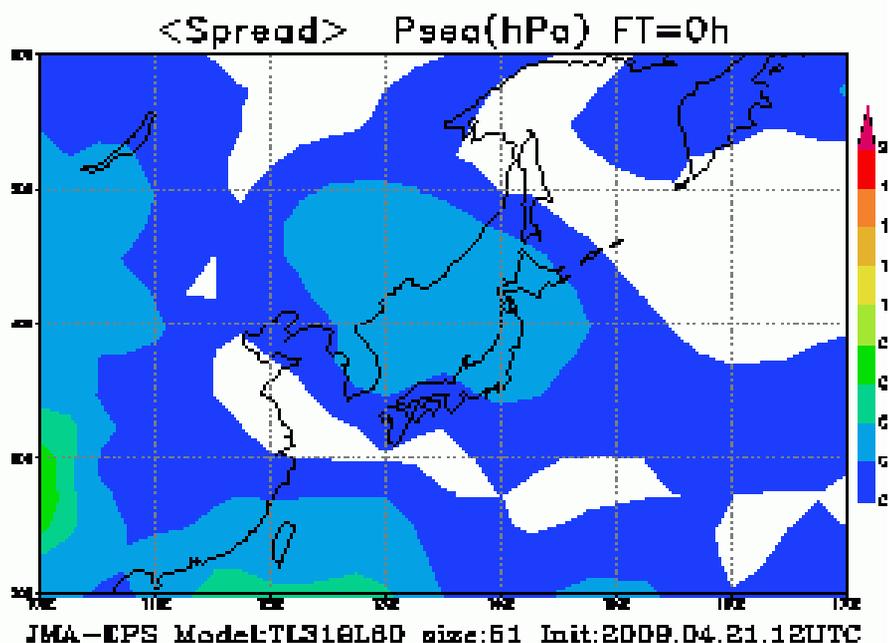
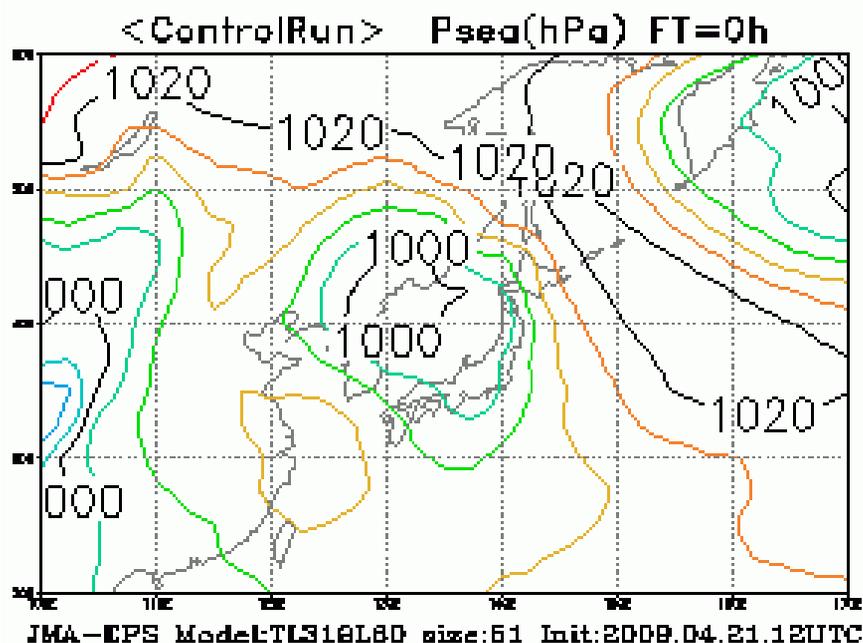
(小学館「デジタル大辞泉」による)

ここでは……

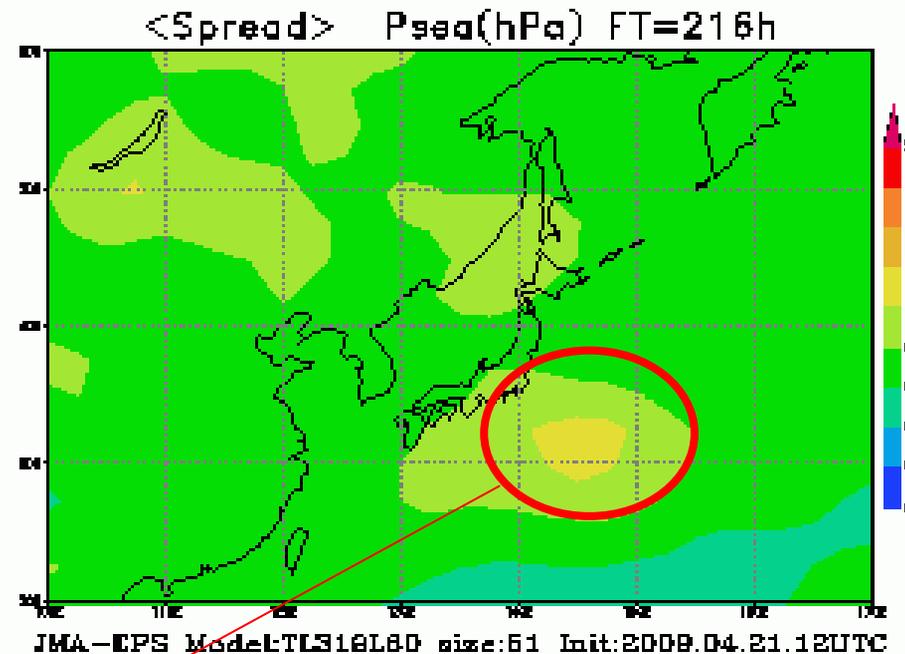
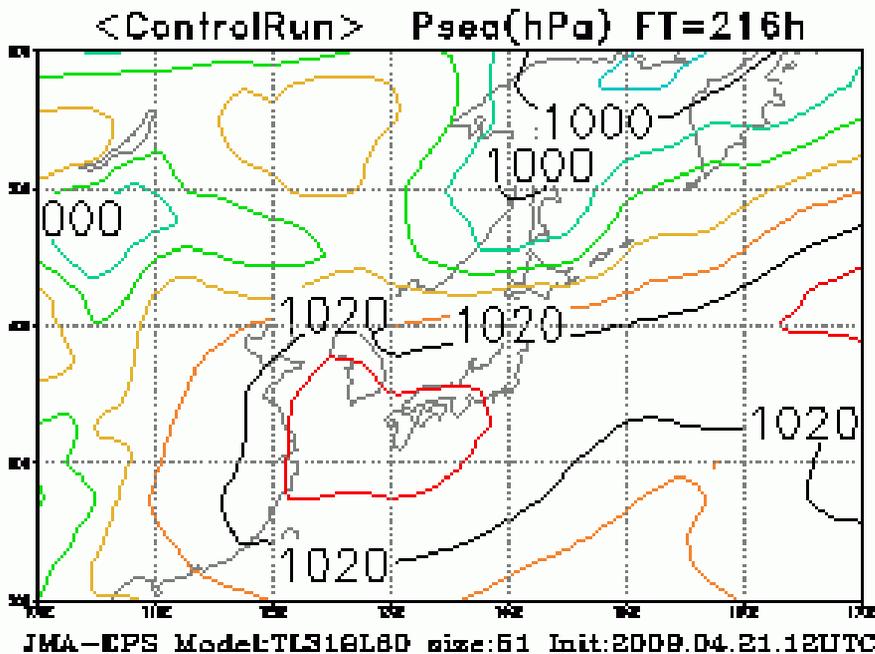
(初期値が)わずかに異なる数値予報の集団



アンサンブルの「ばらつき」は数値予報の「確からしさ」についての情報を与える



アンサンブルの「ばらつき」は数値予報の「確からしさ」についての情報を与える



関東沖に低気圧ができるという予報は確実性が低いということが**あらかじめわかる**

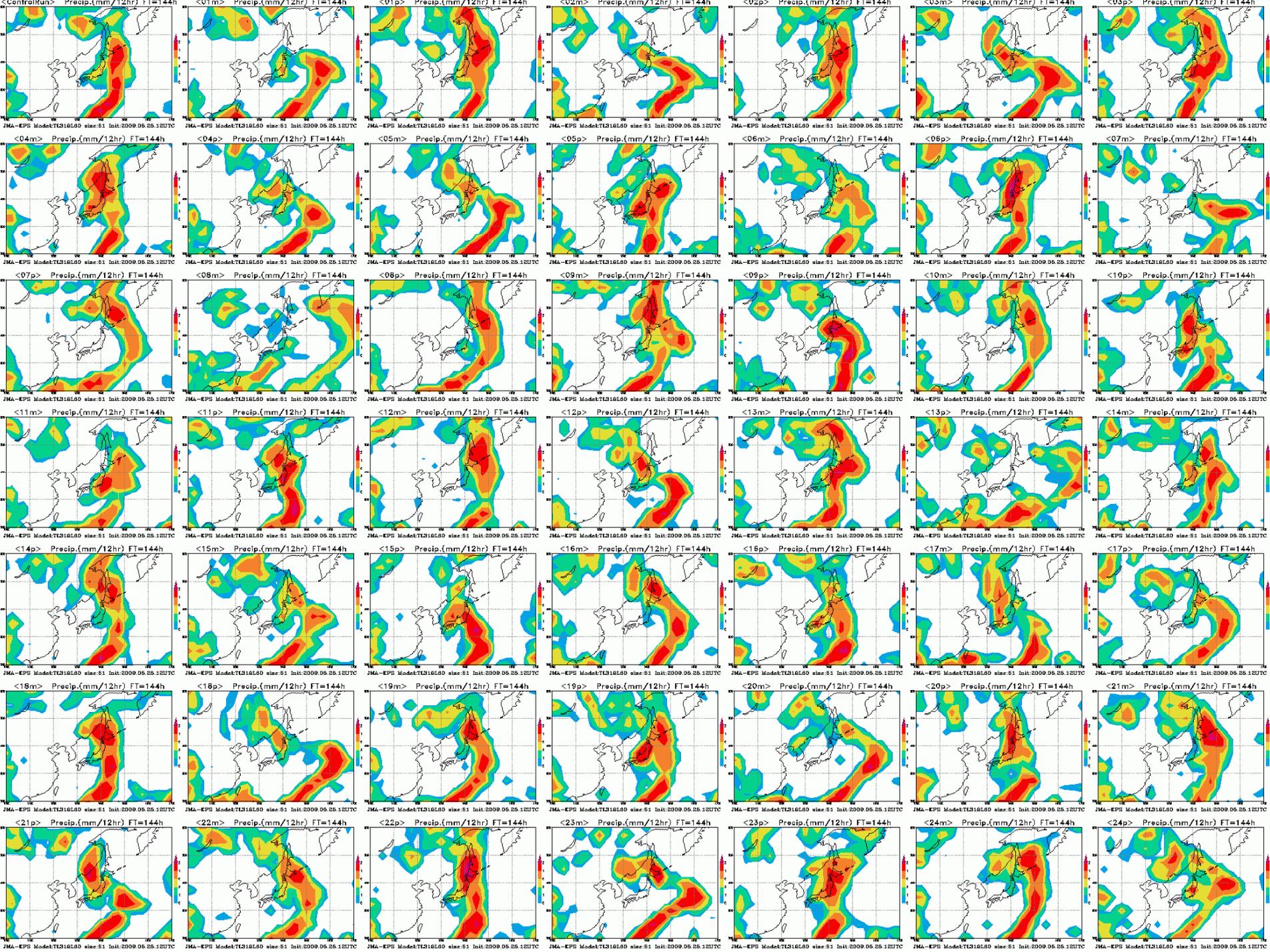
アンサンプル予報の利用

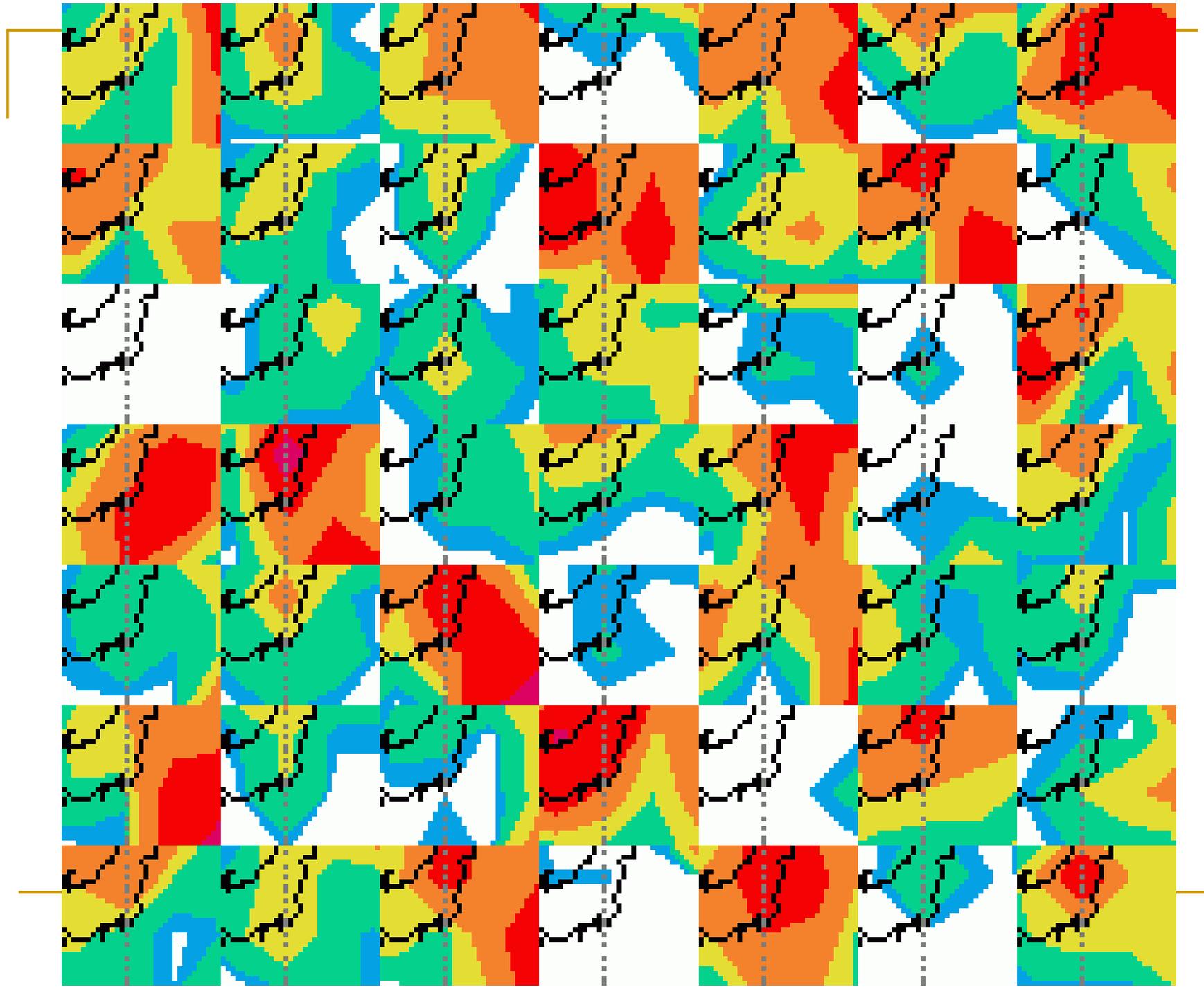
- 予報の「確からしさ」を見積もる
 - 週間天気予報の「信頼度」に使われている

5月26日11時

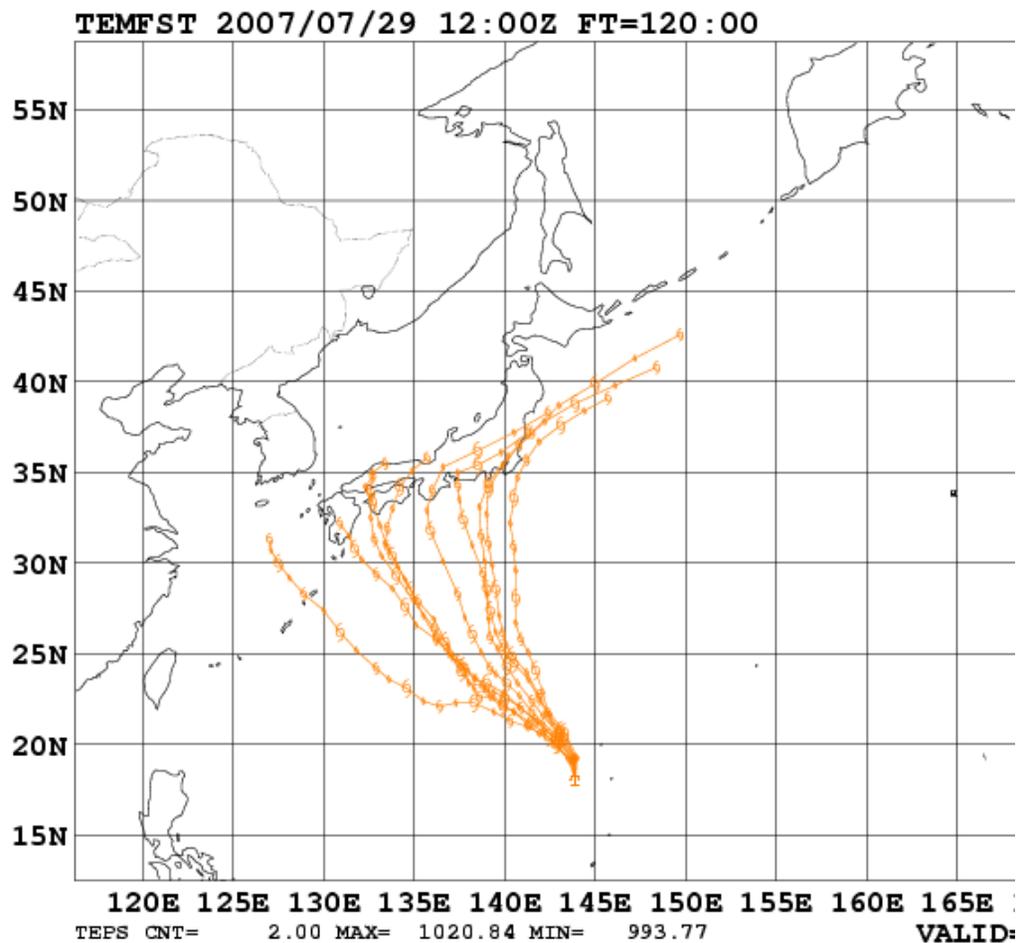
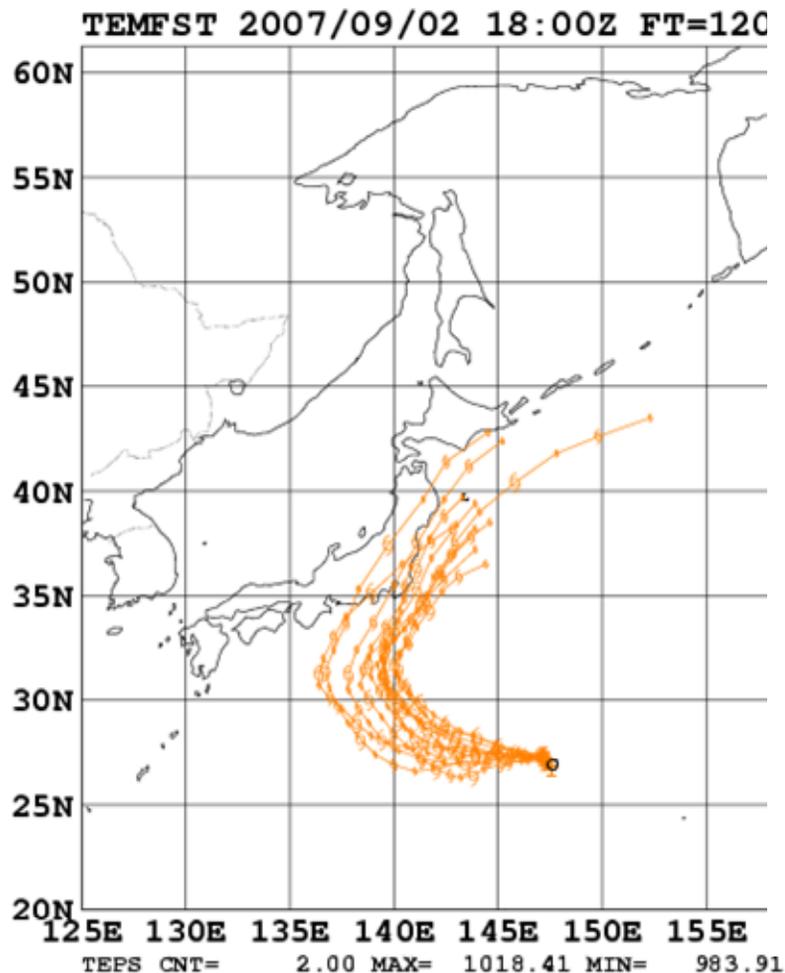
日付	27 水	28 木	29 金	30 土	31 日	1 月	2 火	
東京地方 府県天気予報	曇時々晴 	曇時々晴 	曇のち一時雨 	曇一時雨 	曇一時雨 	曇時々晴 	晴時々曇 	
降水確率(%)	20/10/20/30	30	60	80	50	30	10	
信頼度	/	/	B	B	C	B	A	
東京	最低(°C)	19	18 (±2)	16 (±3)	17 (±4)	19 (±4)	19 (±3)	19 (±2)
	最高(°C)	25	25 (±4)	21 (±4)	23 (±4)	26 (±4)	26 (±4)	27 (±4)

- 未来の現象の「確率分布」が得られる
- 起こりうる「シナリオ」をあらかじめ把握しておくことができる





台風進路予報への適用

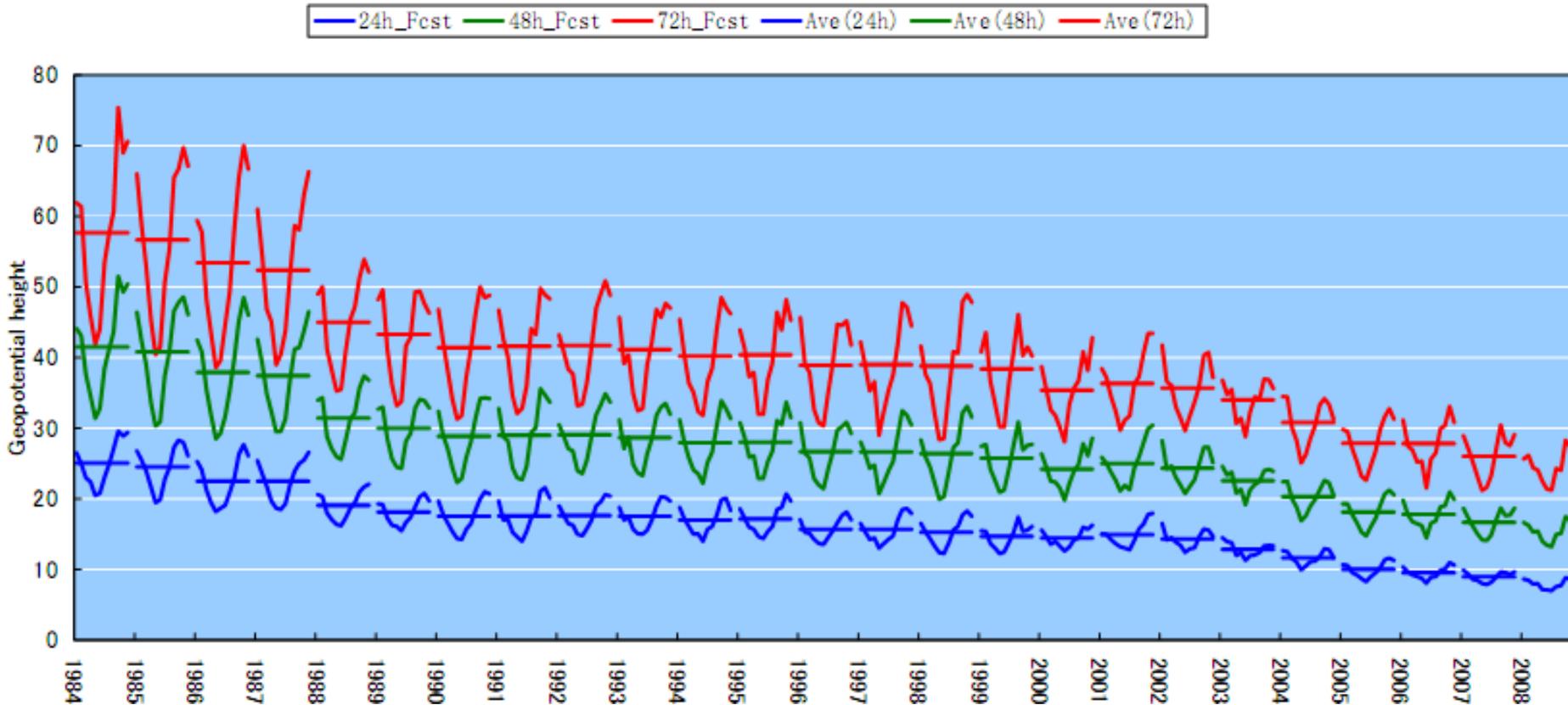


海外の主要数値予報センターのモデル構成

(全球モデル + アンサンブル + 限定領域モデルの組み合わせが主流)

国名またはセンター名	全球モデル		全球アンサンブル予報モデル			限定領域モデルの 格子間隔・鉛直層数
	格子間隔・ 鉛直層数	予報期間	格子間隔・鉛直 層数	メンバ 数	予報期間	
日本	20km60層	9日間	60km60層	51	9日間	5km50層
欧州中期予報センター	25km91層	10日間	50km62層 80km62層	51 51	10日間 +5日間	なし
イギリス	40km50層	6日間	90km38層	24	3日間	12km70層、4km60層
フランス	37km60層	4日間	55km55層	11	2.5日間	2.5km60層
ドイツ	40km40層	7日間	なし			7km40層、2.8km50層
米国	52km64層 105km64層	7.5日間 16日間	160km28層	45	16日間	12km60層、4km50層
カナダ	35km58層	10日間	100km28層	20	16日間	10km58層

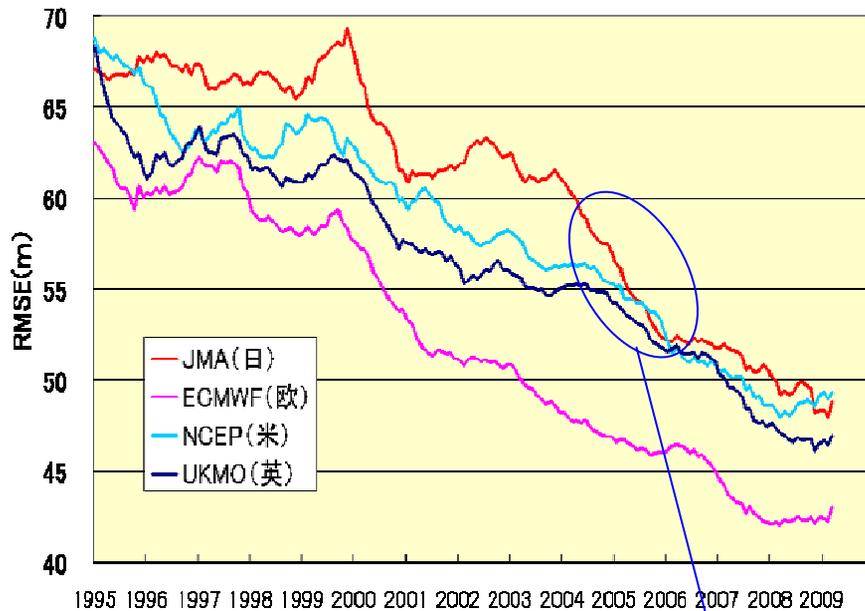
気象庁のモデルの成績はどのくらい？



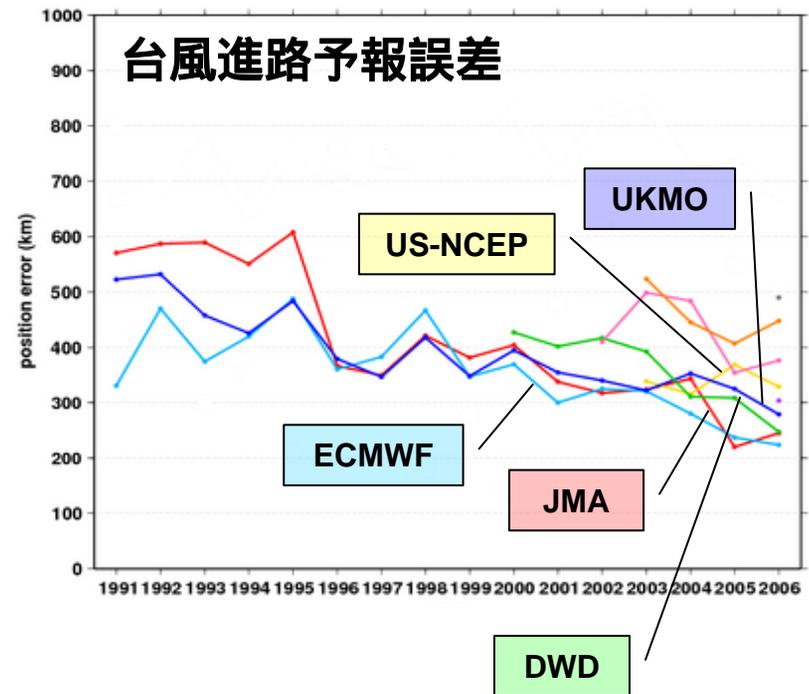
上空約5000mの大気の流れ(500hPa高度)についての、数値予報の誤差(平方根平均2乗誤差)を北半球全体で平均した後に1ヶ月平均したもの(短い横線は年平均)

世界の中の日本

図0-3 2009年3月までの北半球500hPa高度予報誤差(120時間予報)



後半はこの改善のヒミツについて
お話します



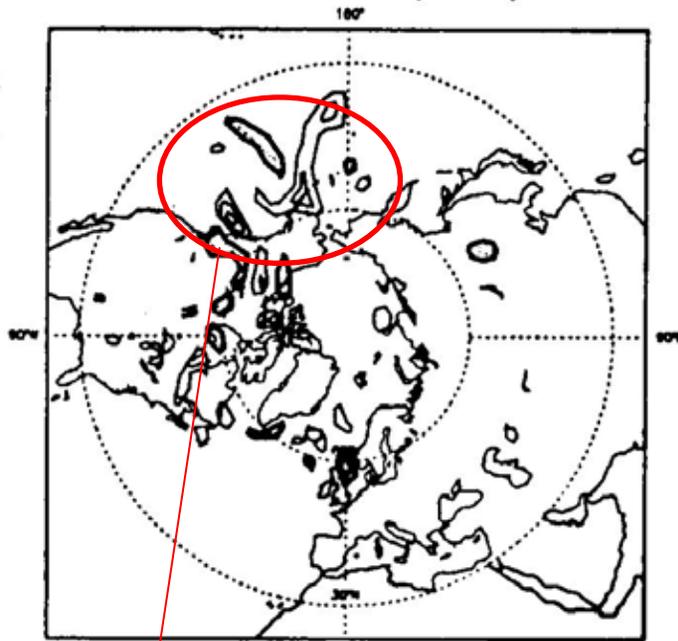
数値予報精度改善のために

- 「モデル」の精度を上げる努力が重ねられてきた
 - 1層モデルから多層モデルへ
 - 半球(北半球)モデルから全球モデルへ
 - 水平格子間隔をより細かく
 - 精度の高いパラメタリゼーションの開発

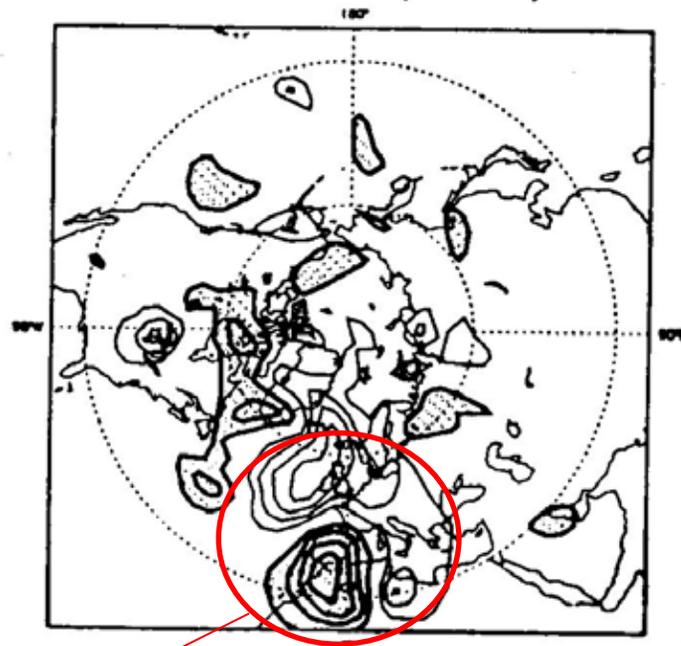
数値予報の歴史の初期～中期には
初期値の精度にはあまり
関心が払われてこなかった

初期値の誤差を減らすことは 予報の誤差を減らすのに有効

(c) DAY 0 (5m)



(d) DAY 5 (60m)



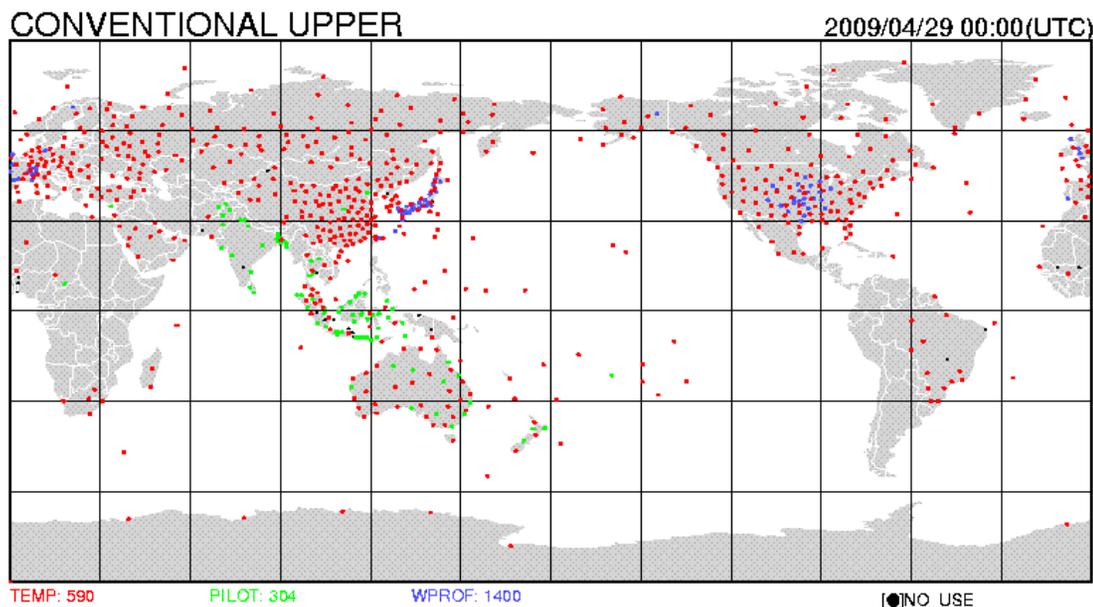
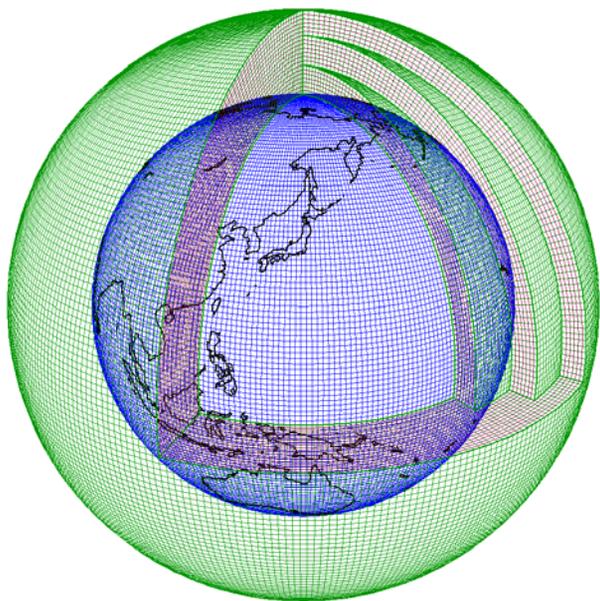
初期値でのわずかな差が予報の大きな差になる

(Rabier et al., 1996: QJRMS)

初期値の精度を上げるには

- 精度の高い観測データをできるだけ多く使う

しかし



モデルの格子点は1層あたり
百万点以上

>>
圧倒的に足りない

ラジオゾンデの観測は1000地点未満

モデルの格子点に比べて
直接観測データは少ない.....そこで

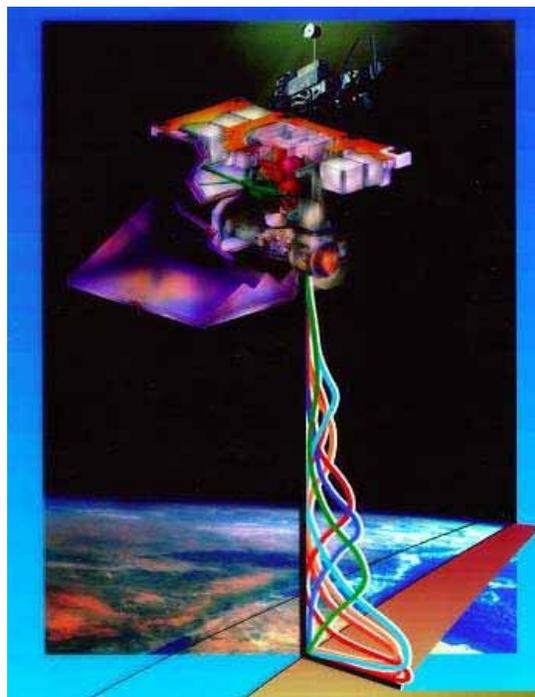
衛星データの利用

衛星データは世界中をカバーする

しかし衛星リモートセンシングデータの
利用には大きな問題がある



衛星は気温や水蒸気を 直接測っているわけではない



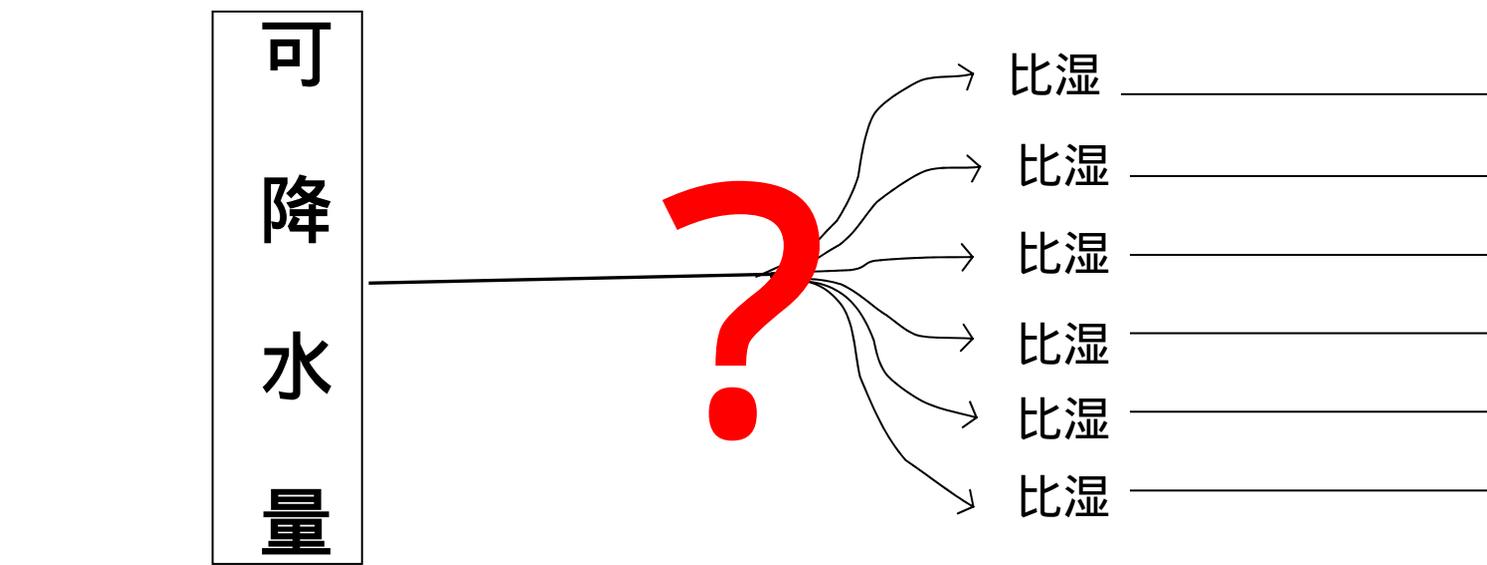
- 測っているのは、電波(赤外線、マイクロ波など)の強さ(「放射強度」という)
- 放射強度は、気温や水蒸気を重みを付けて平均したような量と対応している

数値予報に必要な「ある格子点での
気温・水蒸気」を直接与えてくれる
ものではない

ある波長のマイクロ波で可降水量(水蒸気を鉛直方向の総量)が観測できる...しかし

観測されるのは総計

欲しいのは各層の内訳



各層の水蒸気量にどのように分配すれば良いかわからない
むりやりでっちあげると、そこに誤差が入ってしまう

これを解決するために「変分法」という手法が考案された

「変分法」以前の方法



「たたき台」は前回の予報値

解析値が1回の計算で求められる
解析値と種類の異なる観測値は使えない

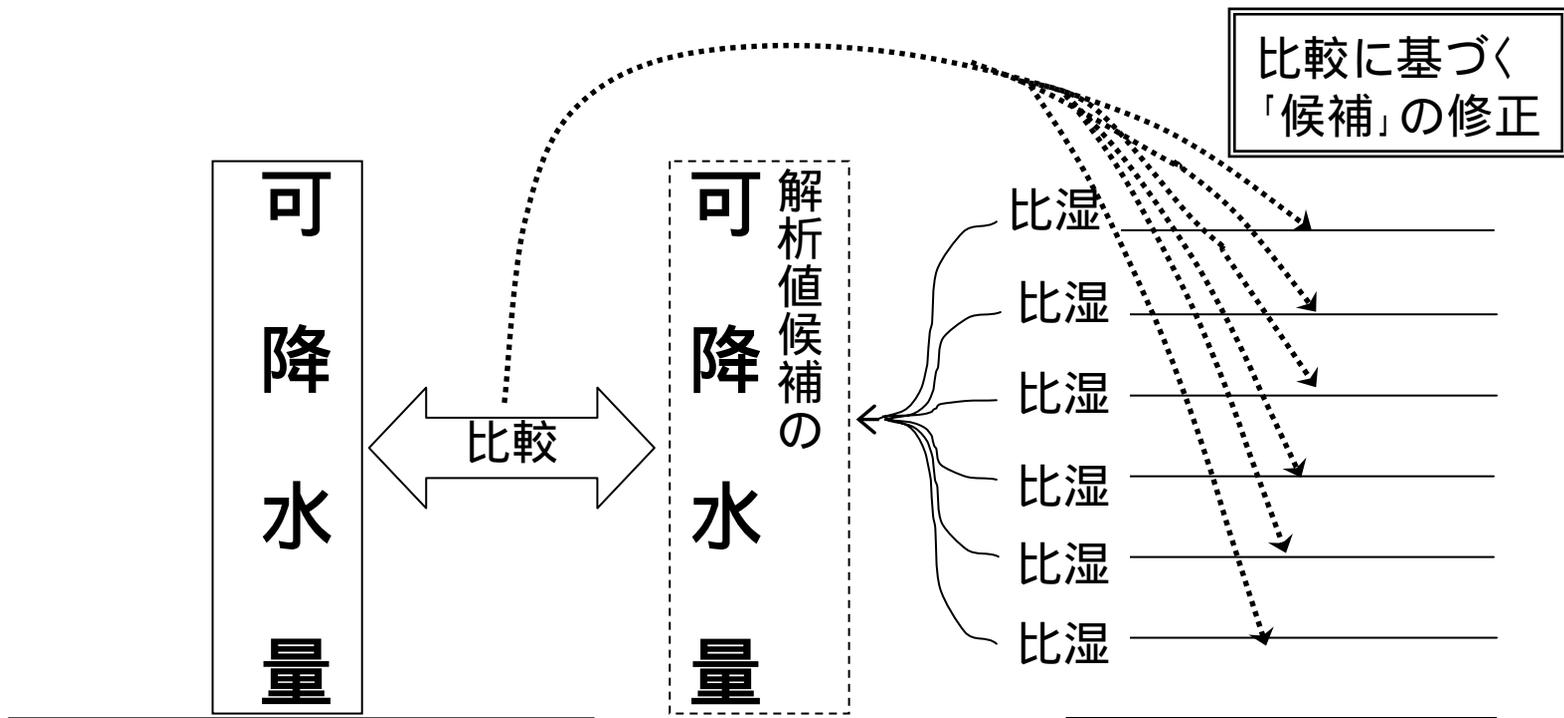
「変分法」という手法

- 「解析値」を一発で求めることはあきらめ、「解析値の候補」を少しずつ変えて最適なものを求めることにする。
- 「解析値の候補」は「たたき台」から出発し、「評価関数」を小さくするように少しずつ調整する。
- 評価関数が最も小さくなったところで止める。

$$\text{評価関数} = \left(\text{解析値の候補} - \text{たたき台} \right)^2 + \left(\text{解析値の候補から計算した値} - \text{観測値} \right)^2 \times \text{係数}$$

解析値が1回の計算では求められない
解析値と種類の異なる観測値も使える

可降水量の場合



「解析値候補」から算出できるものであればどんな観測データも利用できる
観測データの方に手を加える必要がない(データの品質を落とさないですむ)

衛星可降水量データ利用例

雲が無い!

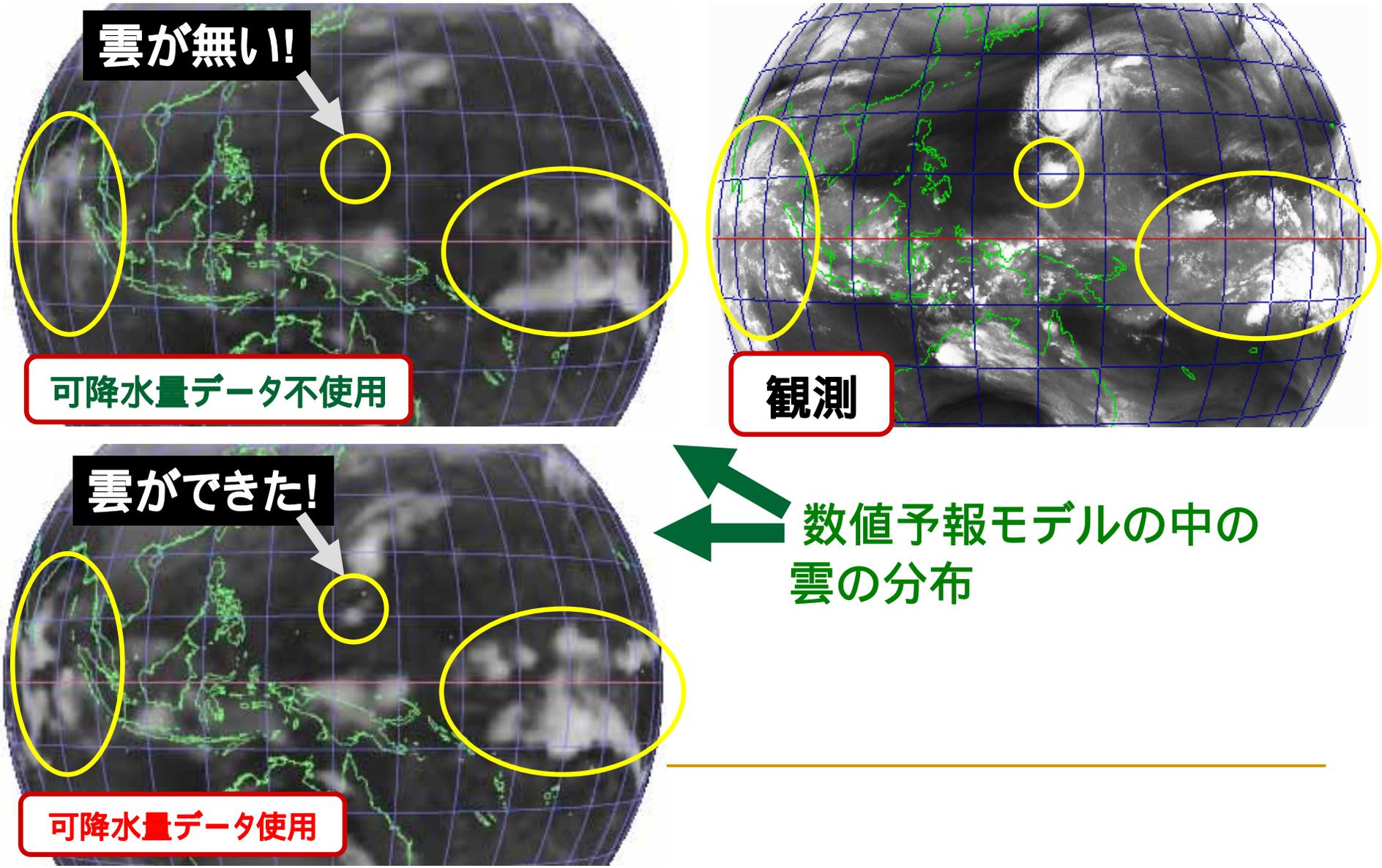
可降水量データ不使用

観測

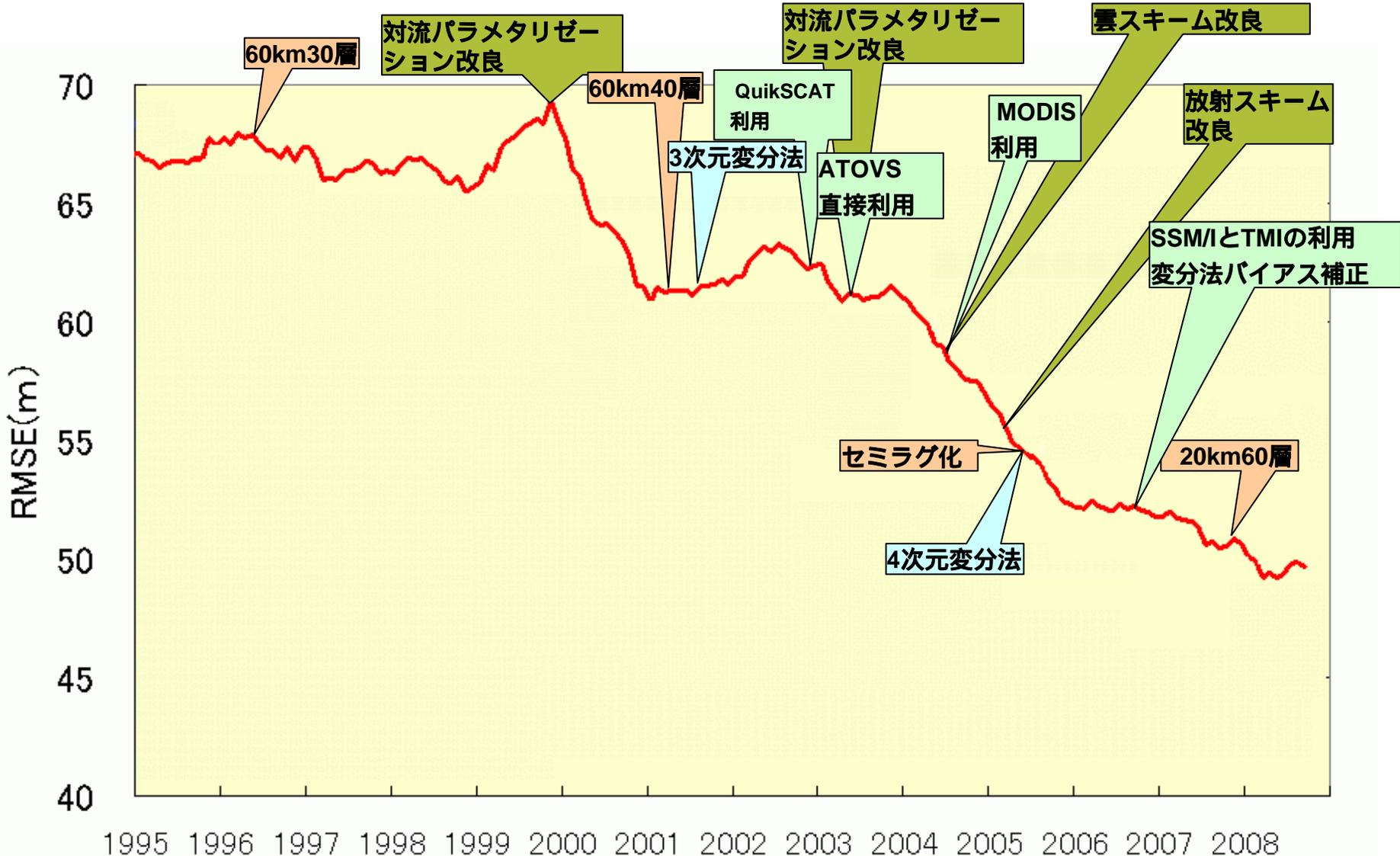
雲ができた!

可降水量データ使用

数値予報モデルの中の
雲の分布



最近の全球モデルの改善は変分法の導入と衛星データの利用に依るところが大きい



主要数値予報センターにおける 全球解析への変分法の導入

3次元変分法

米国(1991)

4次元変分法

ヨーロッパ中期予報センター(1997)

フランス(2000), 英国(2004), 日本(2005)

カナダ(2005)

数値予報開発の「今」

- 衛星データの持続的な利用開発
 - 衛星は寿命があり、代替わりで新しい測器が載ることも多いので、利用開発に終わりはない
 - 多くの数値予報センターでモデル開発と同じくらいのマンパワーを衛星利用につぎこむようになった
- モデル自体の精度向上のチャンス
 - 衛星観測データの充実は、今まで観測がなくてあいまいにされてきた部分を見直す機会でもある