

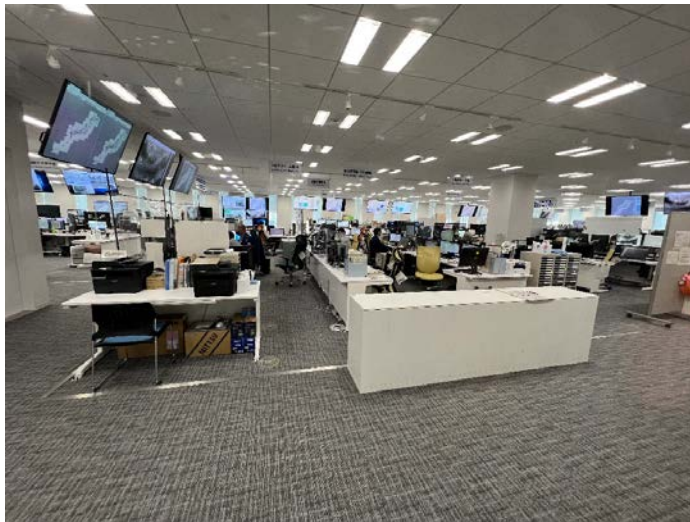
## 天気予報技術

- 予報技術の変遷
- 予測手法、予測モデル
- ナウキャスト、降水短時間予報
- 数値予報
- アンサンブル予報
- ガイダンス

# スパコン(清瀬市): 天気予報および国際的な観測データの収集・交換



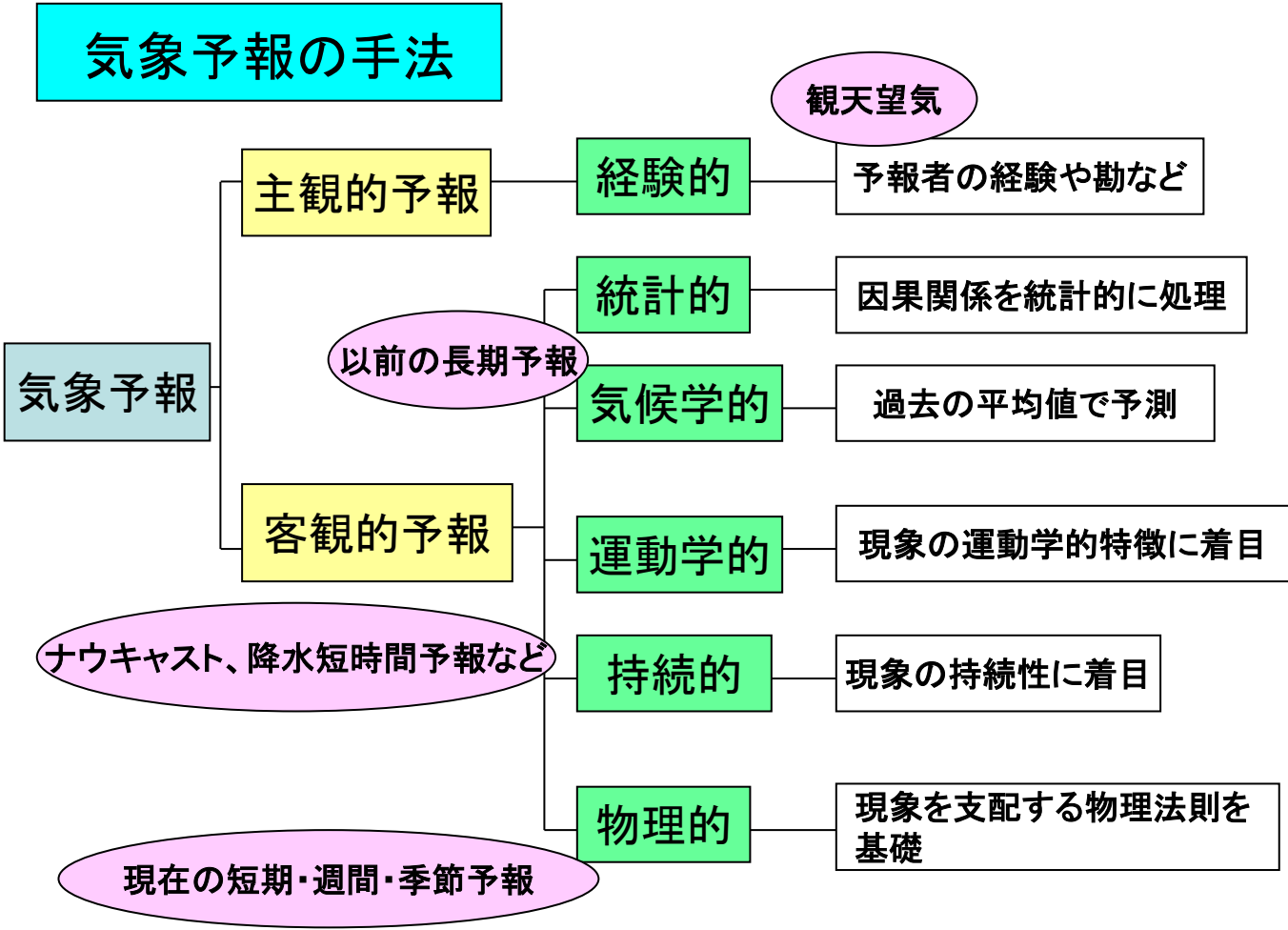
スパコン(正副)



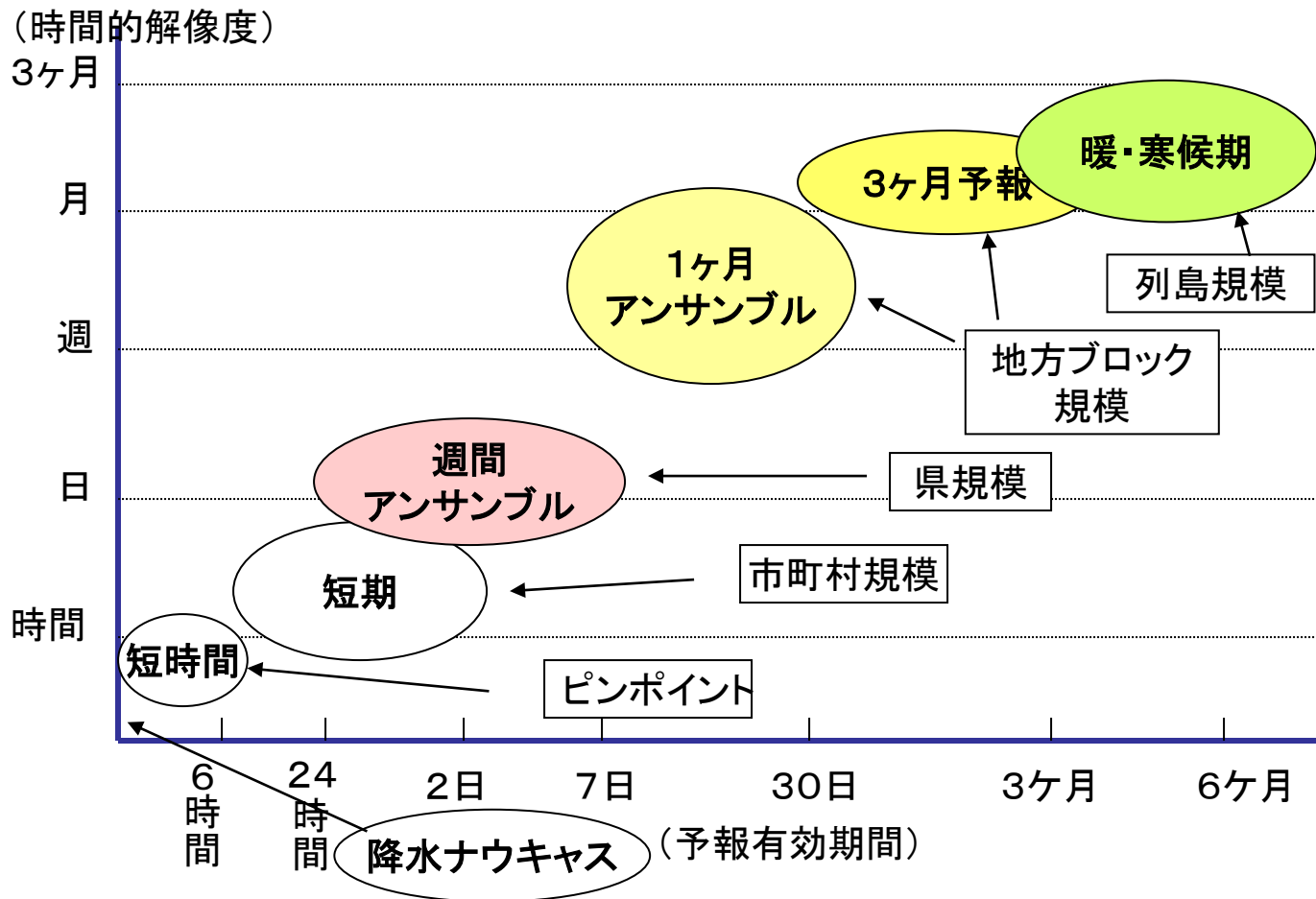
気象庁予報課現業室(虎ノ門)

# 天気予報技術の変遷

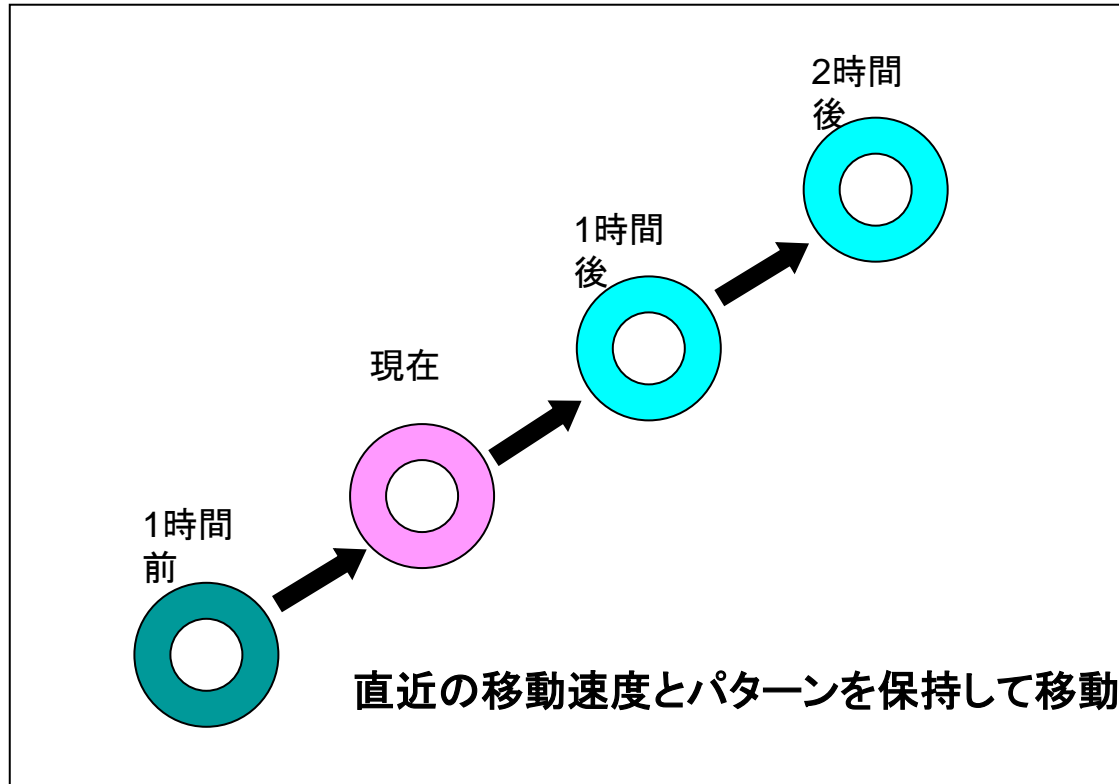
- 「観天望気」時代(～江戸時代・明治初中期)
  - ― 空を見、風を読む、見晴台：天気俚諺
- 前期天気図時代(明治中期～太平洋戦争)
  - ― 地上天気図がベース、経験と勘：主観的技術
- 後期天気図時代(戦後～1960年代)
  - ― 地上・高層天気図がベース、経験、統計、勘：主観的技術
- 数値予報時代(1960年代～今日)
  - ― 数値予報モデル、ガイダンス：客観的技術



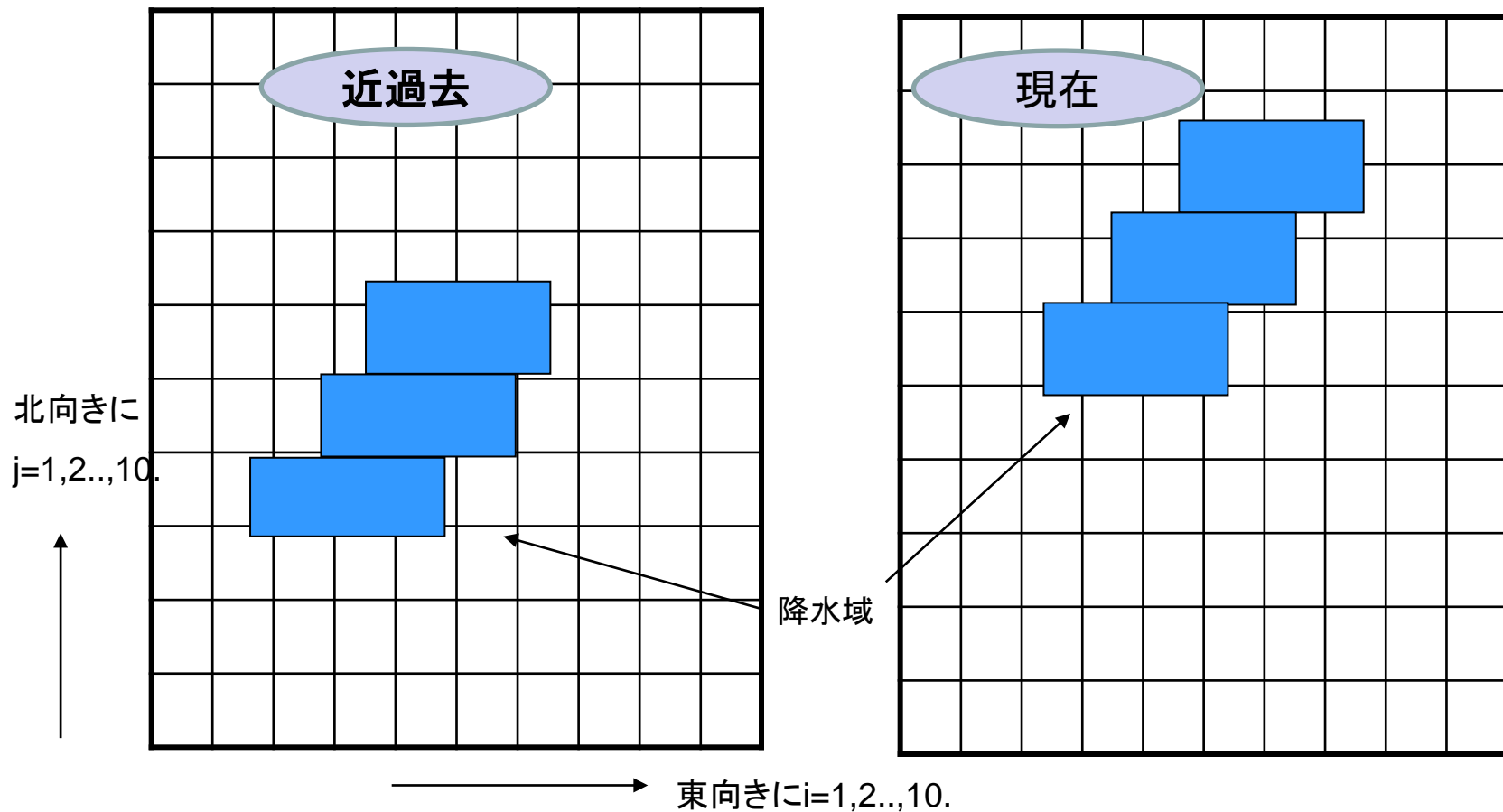
# 天気予報メニューの予報有効期間と時間・空間的解像度



## 持続予報の概念(降水のノウキャスト、台風の短時間予報)



# 降水短時間予報におけるパターンマッチング法



# 降水ナウキャスト(5分おきに1時間先まで)

下の図は、平成24年7月14日の大雨を予測した例です。実況から目先1時間までの雨域が移動していく様子を容易に把握することができます。

08:50の  
観測

08:55の  
観測

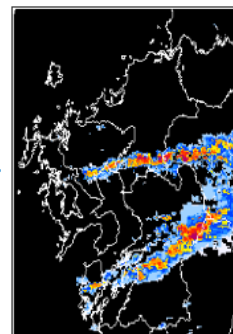
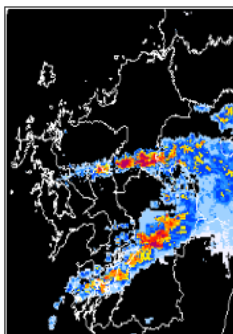
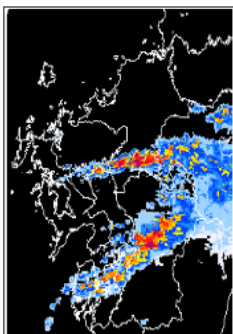
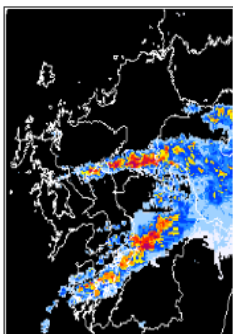
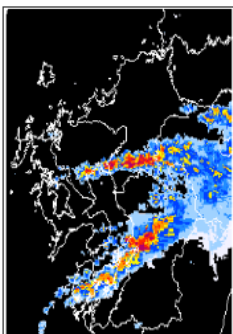
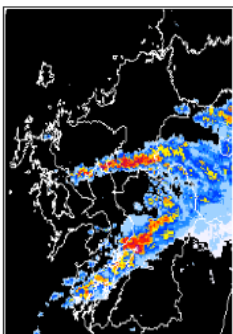
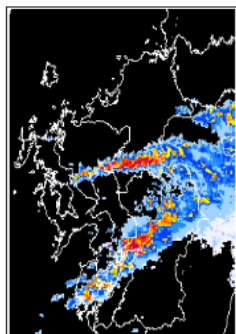
09:00の  
観測(初期値)

09:05の  
予想

09:10の  
予想

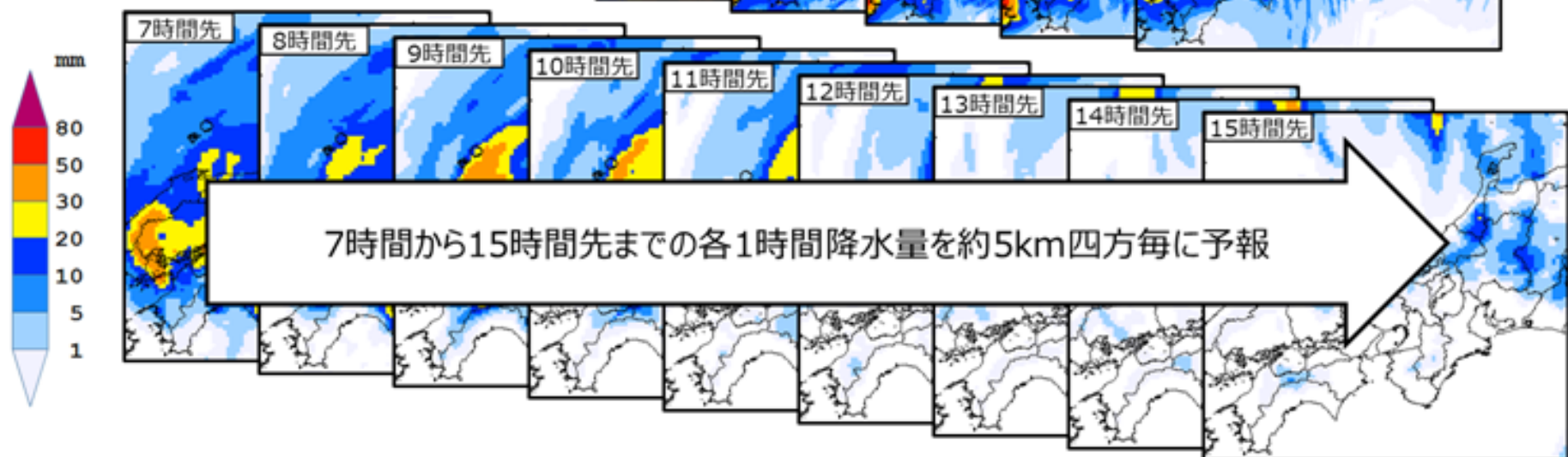
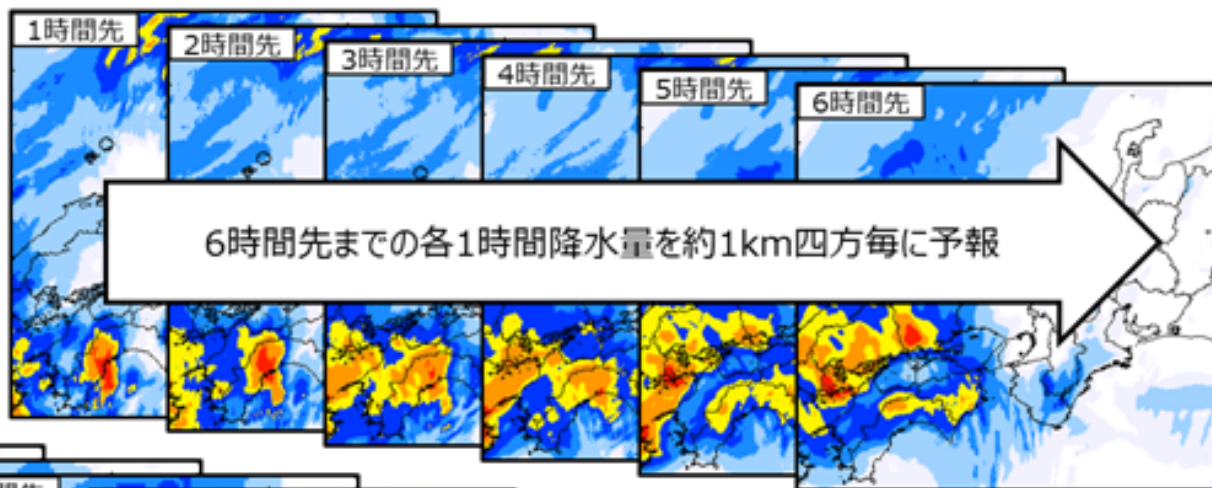
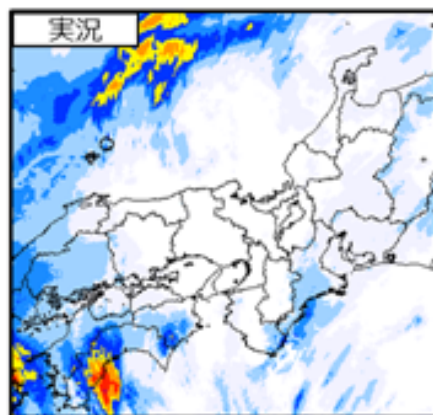
09:15の  
予想

09:00の  
予想





# 降水短時間予報(6時間先、15時間先)



# 数値予報の手続き

全世界の観測結果(気象電報)を気象専用回線を通じて入手

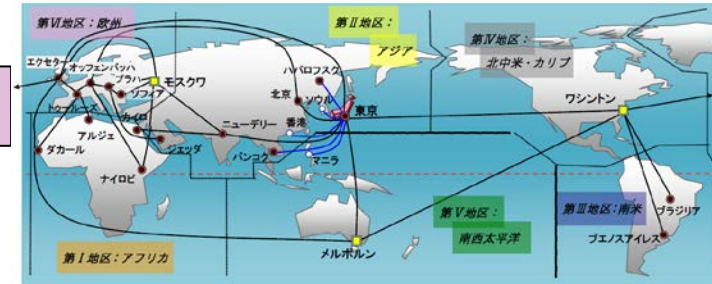
気象電報を解読して、気象要素に換算

すべての格子点を対象に、最適な気象要素を設定。初期条件の設定

数値予報モデルにインプット、モデルのラン

数値予報モデルのアウトプット(出力)。予測値は各格子点の上  
(grid point value; グリッド ポイント バリュウ)

数値予報結果の応用: ガイダンスの作成など

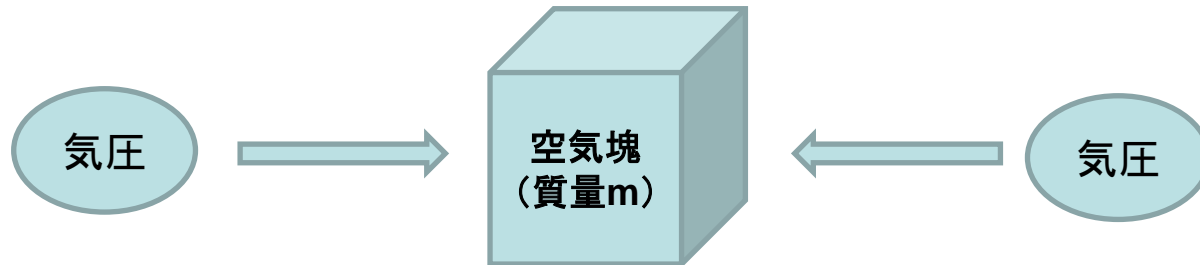


## 数値予報の基本原理

ニュートンの運動の第2法則



力 = 質量 × 加速度

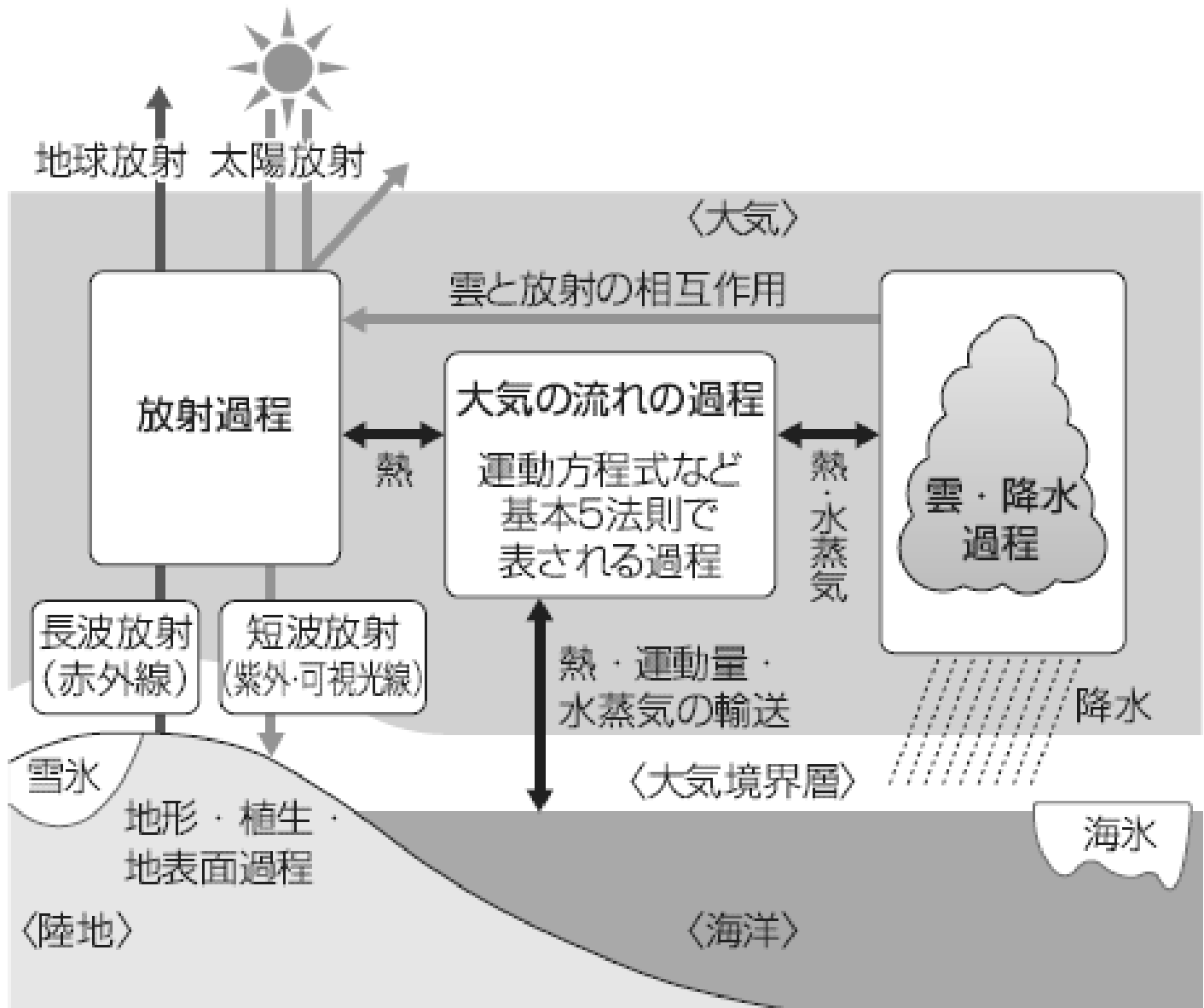


気圧差 = 空気塊の質量  $m$  × 速度の時間的変化率)

$$\Delta p = \text{空気塊の質量 } m \times \Delta v / \Delta t$$

$$\Delta v / \Delta t = \text{観測データ } (F) \longrightarrow \Delta v = F \times \Delta t$$

$$\Delta v = v_1 - v_0 \longrightarrow v_1 = v_0 + \Delta v = F \times \Delta t$$



**数値予報モデルで考慮されている諸現象**

$$\begin{array}{l} \text{水平方向の風速} \\ \text{の時間変化率} \end{array} \frac{\Delta v}{\Delta t}$$

$$= - \boxed{\text{風速の移流}} + \frac{1}{m} \left\{ \boxed{\text{気圧傾度力}} + \boxed{\text{コリオリ力}} + \boxed{\text{摩擦力}} \right\} \dots\dots \textcircled{8}$$

$$\frac{\Delta T}{\Delta t} = - \boxed{\text{温度の移流}} + \boxed{\text{加熱・冷却の効果}} - \boxed{\text{空気の膨張・圧縮の効果}} \dots$$

$$\begin{array}{l} \text{水蒸気量の} \\ \text{時間変化} \end{array} = \boxed{\text{入ってくる水蒸気量}} - \boxed{\text{出ていく水蒸気量}} \\ + \boxed{\text{水や氷の蒸発量の時間変化}} - \boxed{\text{水蒸気の凝結量の時間変化}} \dots$$

# 数値予報モデルにおける計算の進め方(時間積分)(概念図)

ある物理量Aの予想値を求めるには、

$$\frac{\Delta A}{\Delta t} = K(\text{観測値からわかる量})$$

という形で、物理量を式で表し、  
右辺を観測値から与えればよい。  
すると、次のように予想値を計算できる。

この形の式にすれば、物理量の予想値が計算できるね。



現在の物理量

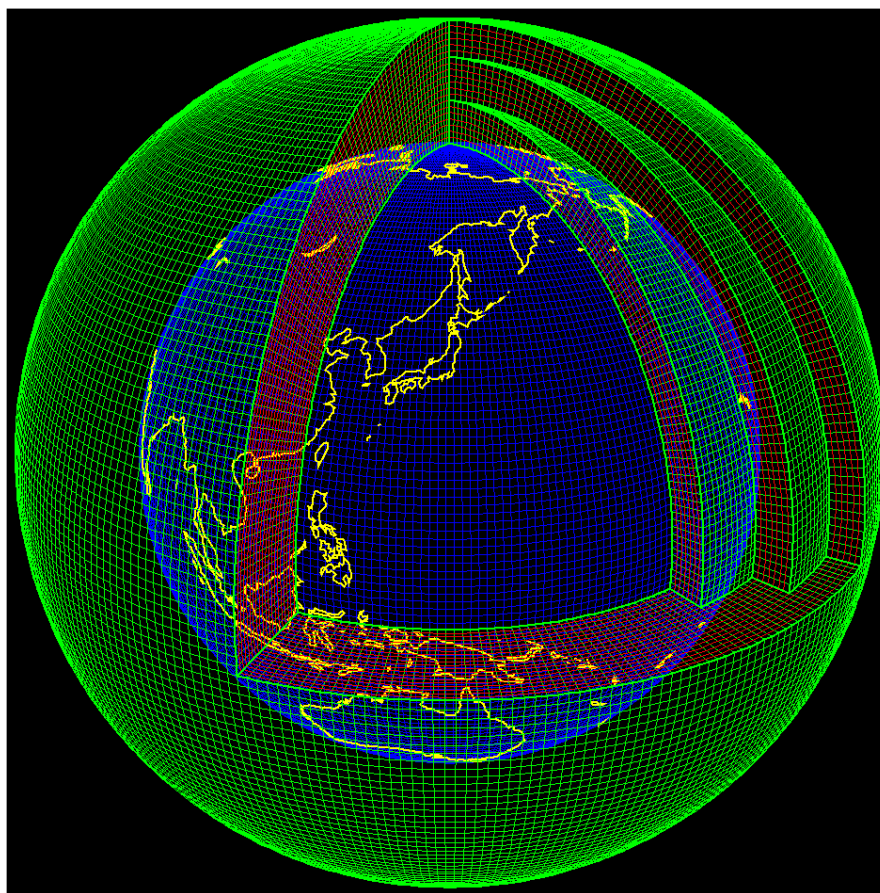
$$\Delta t \text{ 後の予想値} = A + \Delta A = A + K \cdot \Delta t$$

観測から求められる値

たとえば1秒

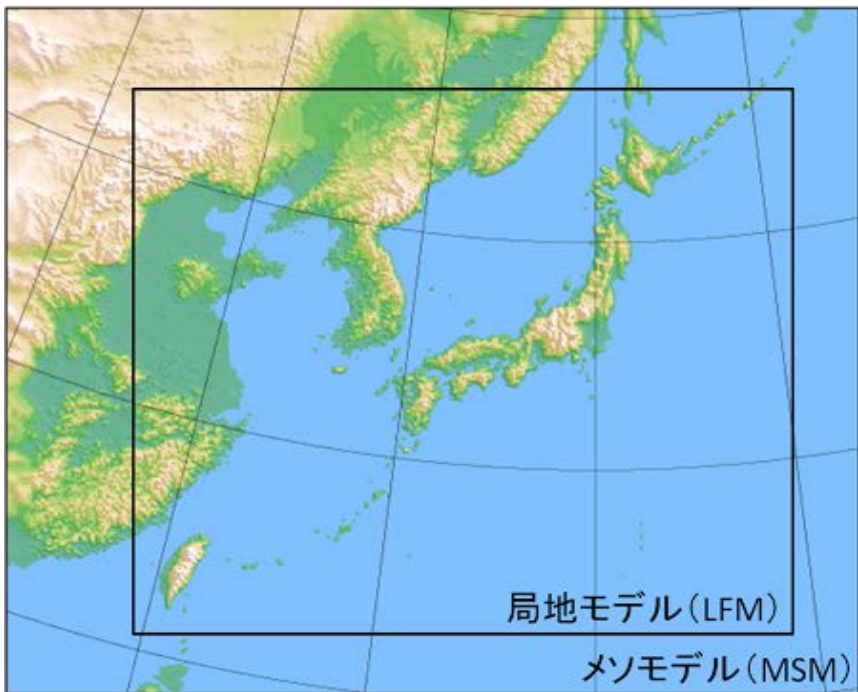
図 5-8 数値予報で予報値を計算する一般的な原理

# 全球モデル(GSM)の格子網(概念図)





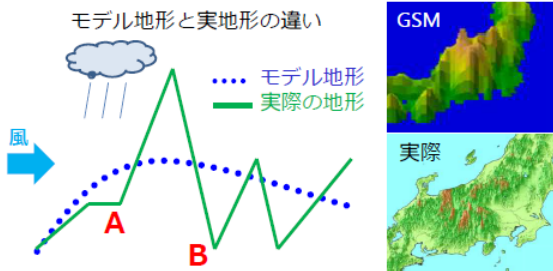
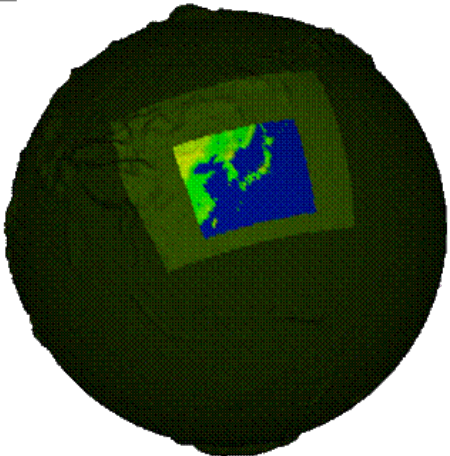
# 数値予報モデルの領域、地形の表現



MSMの地形  
(水平格子間隔5km)



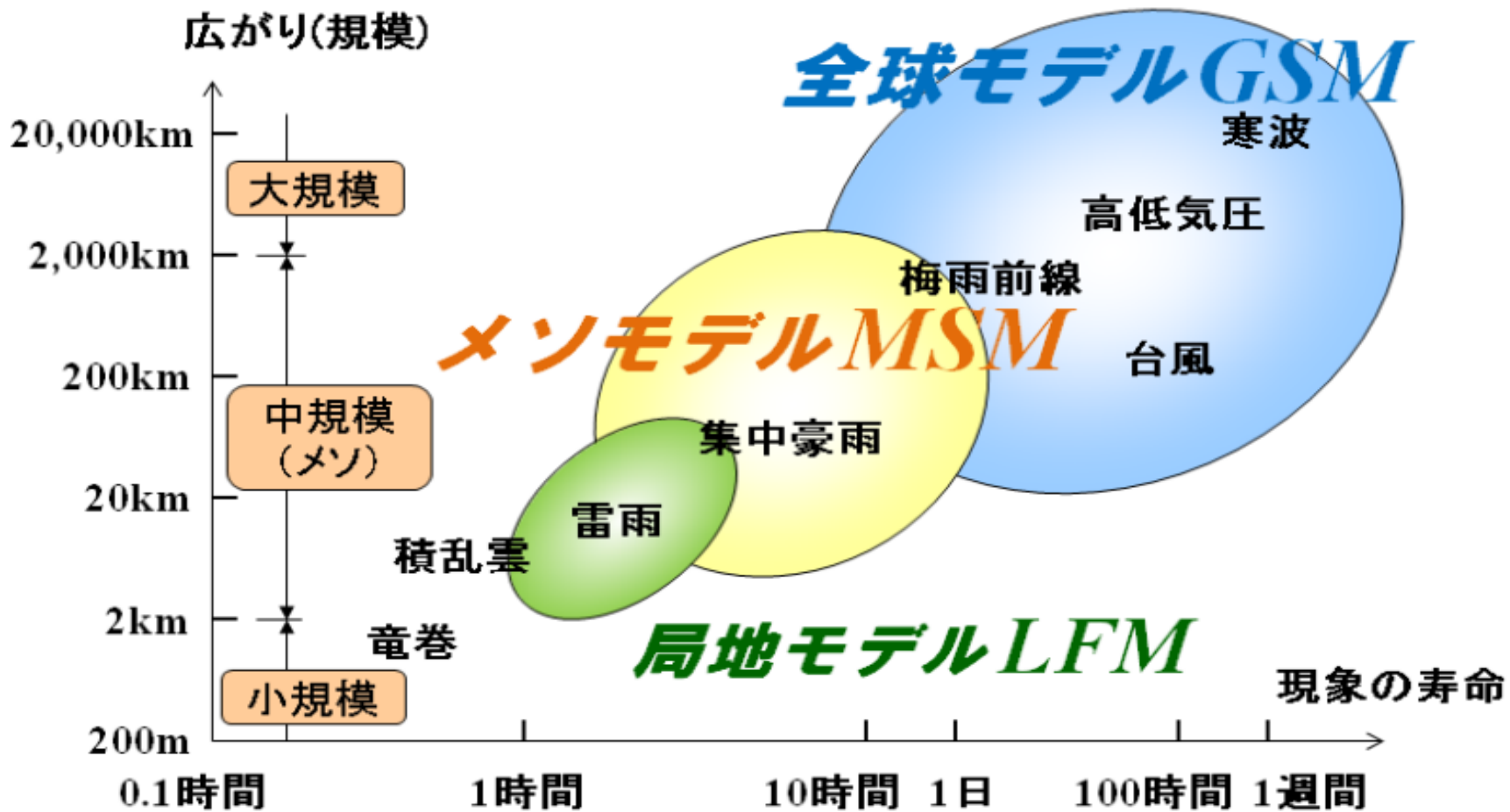
LFMの地形  
(水平格子間隔2km)



<p>実際の地形では</p> <p>A : 急斜面で地形性の降水多い</p> <p>B : 標高低く、気温高い</p>	<p>モデルの地形では</p> <p>A : 地形がなだらかで降水少ない</p> <p>B : 標高高く、気温低い</p>
---	---



# 数値予報モデルと時間・空間的きめ細かさ



# 数値予報モデルの概要

気象に関する数値予報モデルの概要

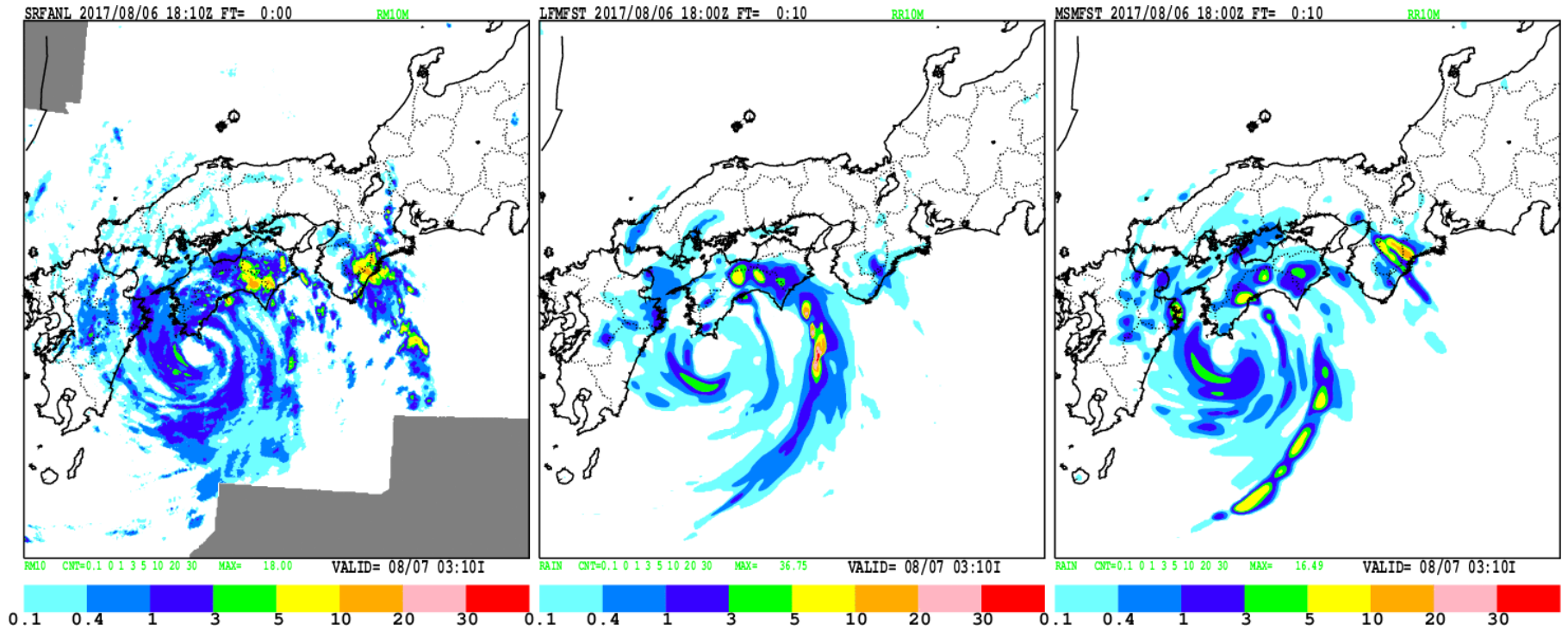
数値予報システム (略称)	モデルを用いて 発表する予報	予報領域と 格子間隔	予報期間 (メンバー数)	実行回数 (初期値 の時刻)
局地モデル (LFM)	航空気象情報 防災気象情報 降水短時間予報	日本周辺 2km	10時間	毎時
メソモデル (MSM)	防災気象情報 降水短時間予報 航空気象情報 分布予報 時系列予報 府県天気予報	日本周辺 5km	39時間	1日6回 (03,06, 09,15, 18,21UTC)
			78時間	1日2回 (00,12UTC)
全球モデル (GSM)	台風予報 分布予報 時系列予報 府県天気予報 週間天気予報 航空気象情報	地球全体 約13km	5.5日間	1日2回 (06,18UTC)
			11日間	1日2回 (00,12UTC)
メソアンサンブル 予報システム (MEPS)	防災気象情報 航空気象情報 分布予報 時系列予報 府県天気予報	日本周辺 5km	39時間 (21メンバー)	1日4回 (00,06, 12,18UTC)

全球アンサンブル 予報システム (GEPS)	台風予報 週間天気予報 早期天候情報 2週間気温予報 1か月予報	地球全体 18日先まで 約27km 18~34日先まで 約40km	5.5日間 (注1) (51メンバー)	1日2回 (06,18UTC)
			11日間 (51メンバー)	1日2回 (00,12UTC)
			18日間 (51メンバー)	1日1回 (12UTC)
			34日間 (25メンバー)	週2回 (12UTC 火・水曜日)
季節アンサンブル 予報システム (季節EPS)	3か月予報 暖候期予報 寒候期予報 エルニーニョ監視速報	地球全体 大気 約55km 海洋 約25km	7か月 (5メンバー)	1日1回 (00UTC)

実際の降水量

局地モデルによる予測

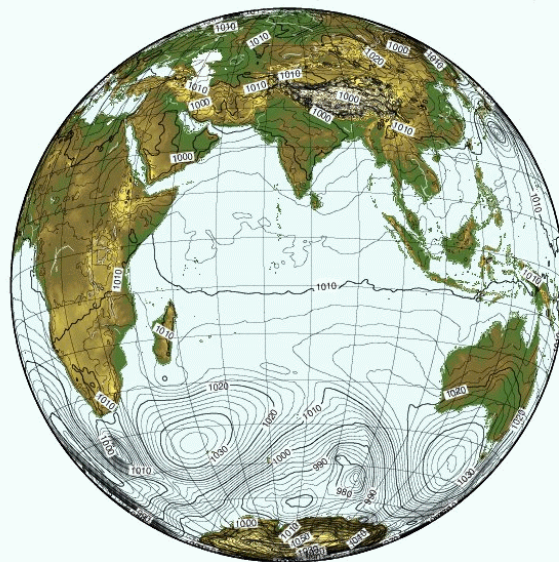
メソモデルによる予測



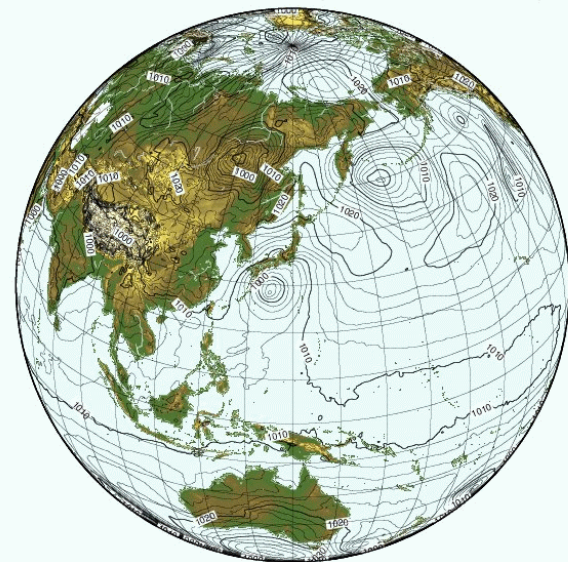
**GSM-TL959L60 2009.05.28.12UTC FT=000**  
(Valid Time: 05.28.12UTC)



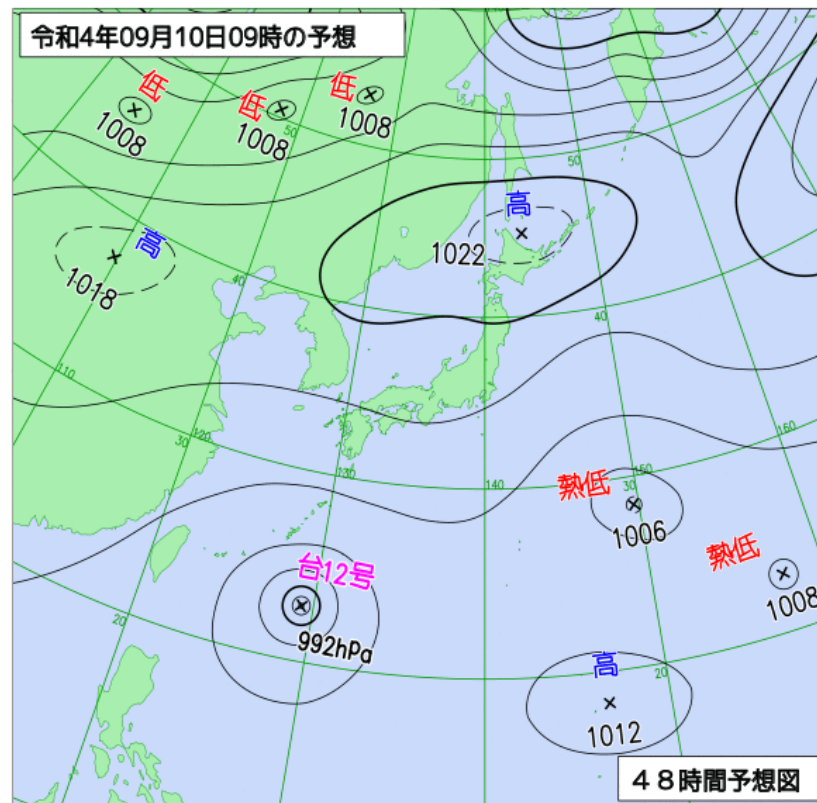
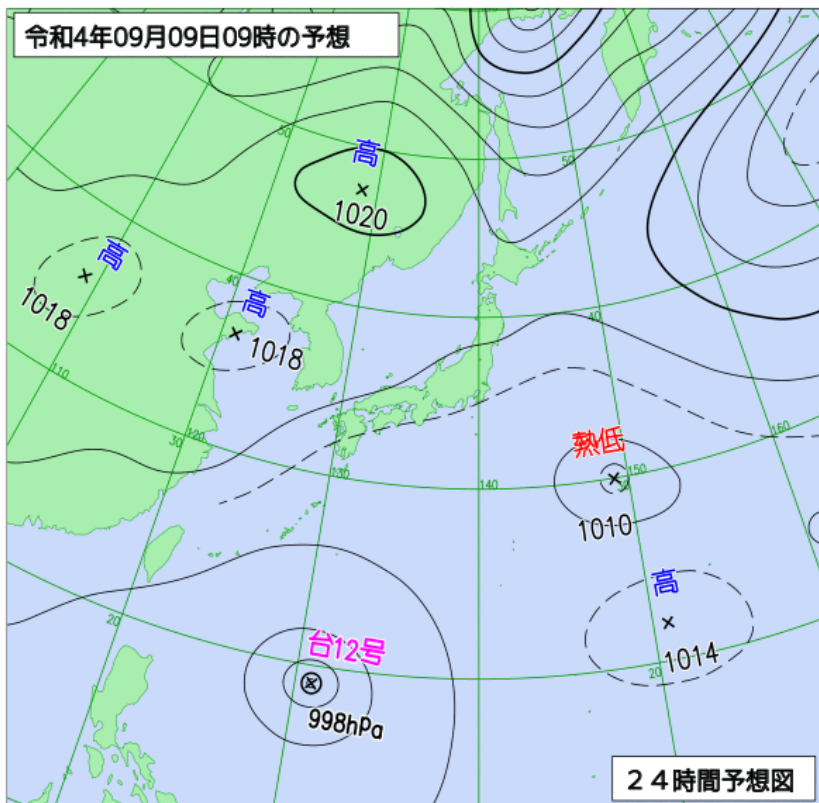
**GSM-TL959L60 2009.05.28.12UTC FT=000**  
(Valid Time: 05.28.12UTC)



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



# 全球モデル(GSM)による24, 48時間予想図

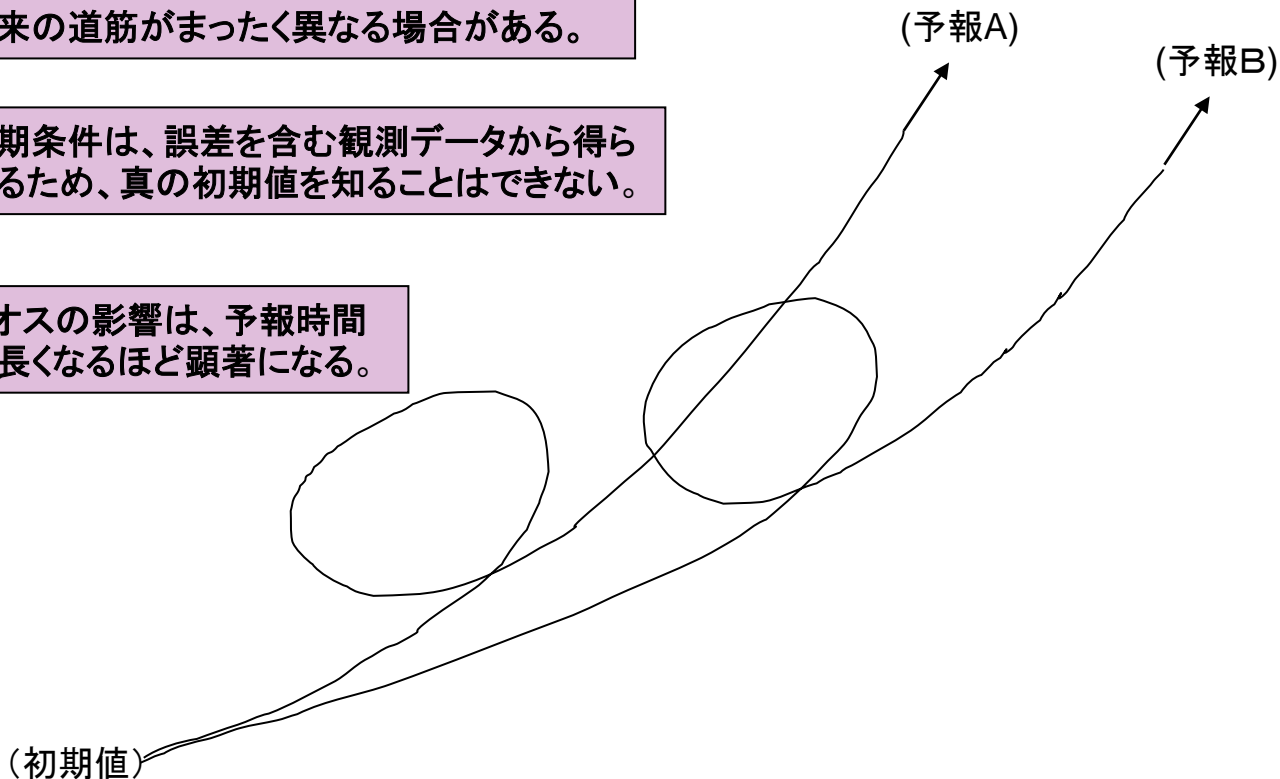


# 大気の運動におけるカオス

初期条件がわずかに異なると、  
将来の道筋がまったく異なる場合がある。

初期条件は、誤差を含む観測データから得られるため、真の初期値を知ることはできない。

カオスの影響は、予報時間が長くなるほど顕著になる。





## アンサンブル予報

- 通常の数値予報では、尤もらしい初期条件を1セット与えて、予報を行う。  
したがって、答え(予報)も1個である。確定的・断定的予報である。
- アンサンブル予報では、尤もらしい初期条件の周りに、それと僅かに異なる初期条件を集団的(アンサンブル)に与えて、その各々について、予報を行う。  
例えば、30通りの予報の結果(分布)から、確率的に予報を得る。

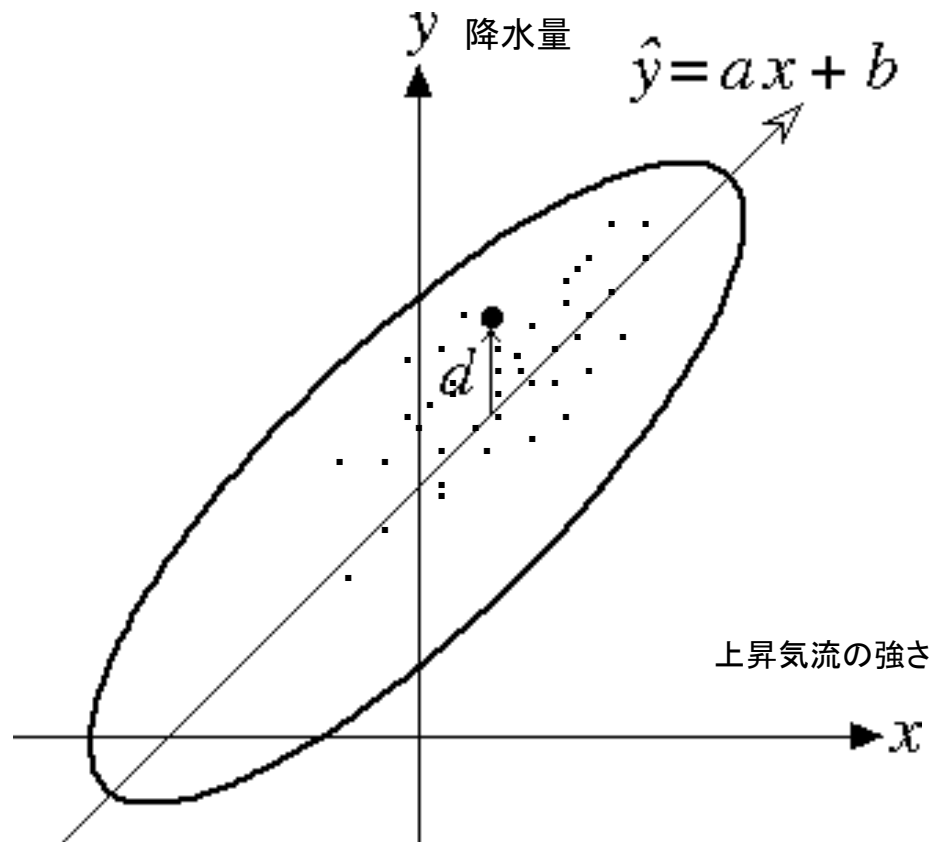
# ガイダンス

## 数値予報結果の天気予報への翻訳資料









- ① ガイダンスは数値予報モデルの持つ系統的な誤差などを補正して、気象庁の予報担当者や気象予報士などが、具体的な「天気」、「最高気温」などの予報を行うための客観的な「予報支援資料」である。
- ② 過去の数値予報モデルのGPVと過去の実際の天気などから、両者の関係式（一種の翻訳ルール）を作成している。
- ③ ガイダンスの基本（アルゴリズム）は、予報対象となる天気などの要素を「目的変数」、それに寄与する湿度や風などの要素を「説明変数」とした、両者の関係式である。
- ④ 実際の予報作業では、数値予報モデルの予測値（GPV）を説明変数として関係式に代入して、目的変数を求めている。
- ⑤ ガイダンスの関係式には、予測目的によってろいな方式が開発・運用されている。
- ⑥ ガイダンスの関係式は、あくまでも最大公約数的であり、したがって、たまに起きる事象には精度がよくない。
- ⑦ ガイダンスは、民間の気象事業者にも、「（財）気象業務支援センター」を通じて、提供されている。
- ⑧ ガイダンスは、天気予報の一種の「虎の巻」と言える。




## ガイダンスの予測式の問題



# 週間予報(アンサンブル予報)

茨城県の天気予報 (7日先まで)									
2023年12月07日14時 水戸地方気象台 発表									
日付	今日 07日(木)	明日 08日(金)	明後日 09日(土)	10日(日)	11日(月)	12日(火)	13日(水)	14日(木)	
茨城県	晴時々曇 	晴 	晴 	晴時々曇 	曇 	曇一時雨 	晴時々曇 	晴時々曇 	
降水確率(%)	-/-/20/0	0/0/0/0	0	10	40	60	20	20	
信頼度	-	-	-	A	B	B	A	A	
水戸 気温 (°C)	最高	18	15	18 (17~20)	17 (15~19)	11 (9~13)	12 (9~17)	13 (11~16)	11 (9~14)
	最低	-	1	2 (0~4)	3 (1~5)	4 (2~6)	5 (3~8)	4 (1~6)	1 (-1~3)
向こう一週間 (明日から7日先まで) の平年値									
降水量の7日間合計				最低気温		最高気温			
水戸	平年並 2 - 13mm				1.1°C		11.9°C		

# 短期予報

茨城県北部の天気予報 (明後日までの詳細)											
2023年12月07日14時 水戸地方気象台 発表											
日付		今日 07日(木)				明日 08日(金)				明後日 09日(土)	
北部	天気										
		晴れ 時々 曇り 所により 夕方 まで 雨 で 雷を伴う				晴れ				晴れ	
	風	西の風 やや強く 後 北西の風 やや強く 海上 では 西の風 強く				北西の風 後 南西の風				北西の風 後 南西の風	
	波	3メートル うねり を伴う				2.5メートル 後 2メートル うねり を伴う				2メートル	
	降水確率(%)	00-06	06-12	12-18	18-24	00-06	06-12	12-18	18-24		
	気温 (°C)	朝の最低		日中の最高		朝の最低		日中の最高			
	水戸	-		18		1		15			

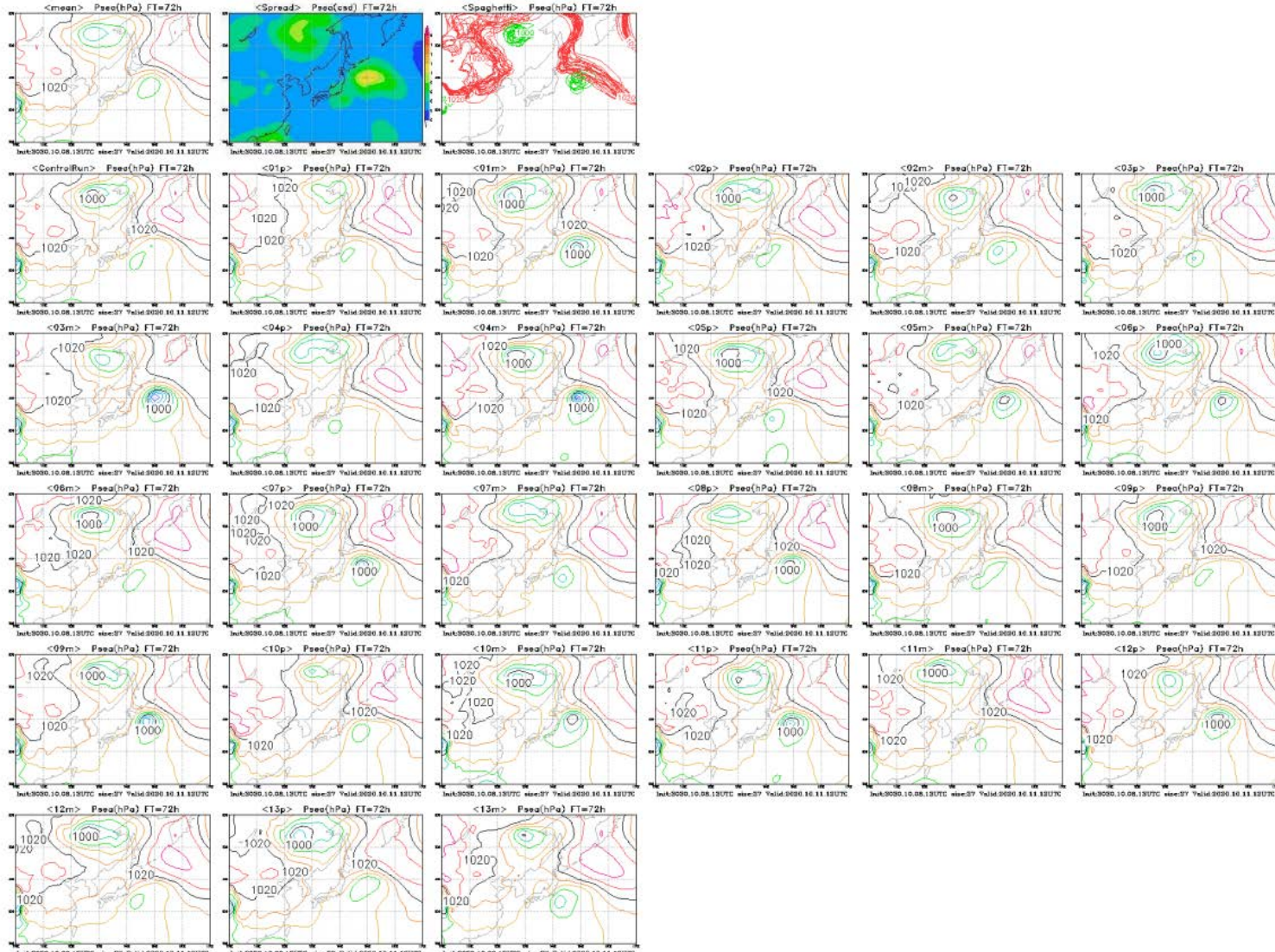


# 週間アンサンブル予報(72時間予測:27メンバー)

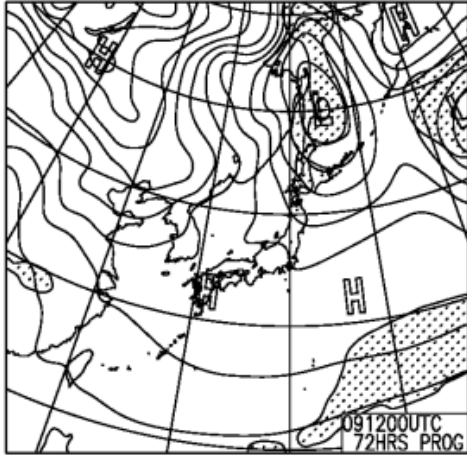
Forecast Charts

Stamp Sequence Size Small Large Area Fact Data Variable Psea Member All(51)Members

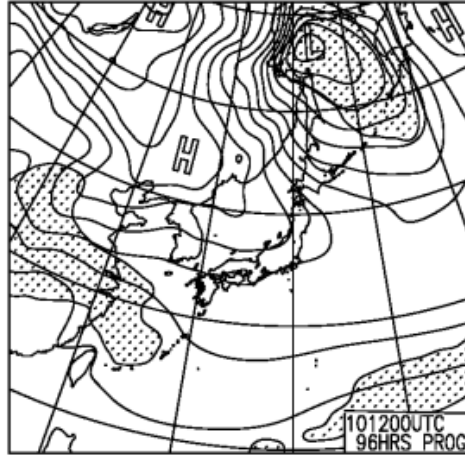
lvskka (200906-present) Forecast time : back next initial 72h (3.0d) Initial time : Year.Month 2020.10 - Day 8 - Hour 12 -1 Day -12 Hours +12 Hours +1 Day latest



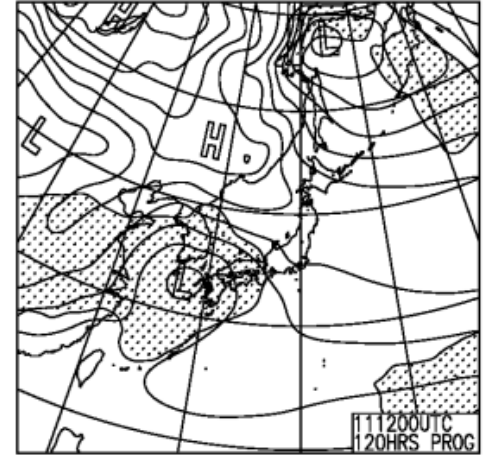




SURFACE PRESS, PRECIP(48-72)

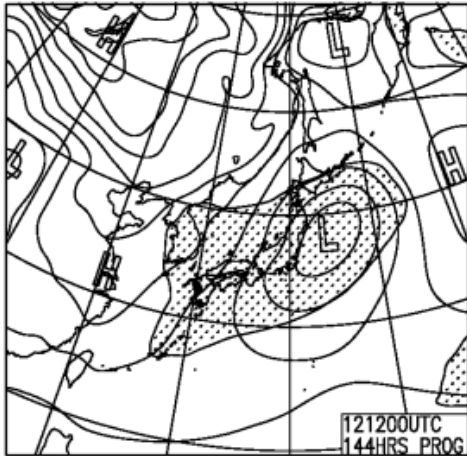


SURFACE PRESS, PRECIP(72-96)

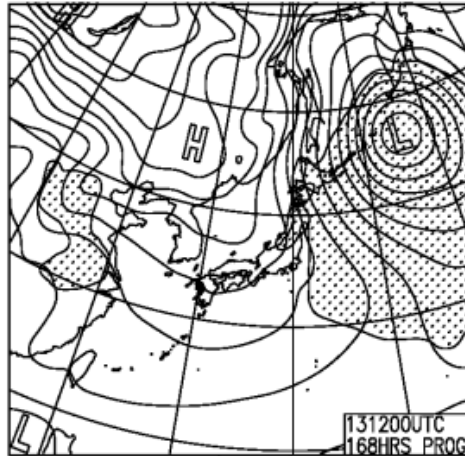


SURFACE PRESS, PRECIP(96-120)

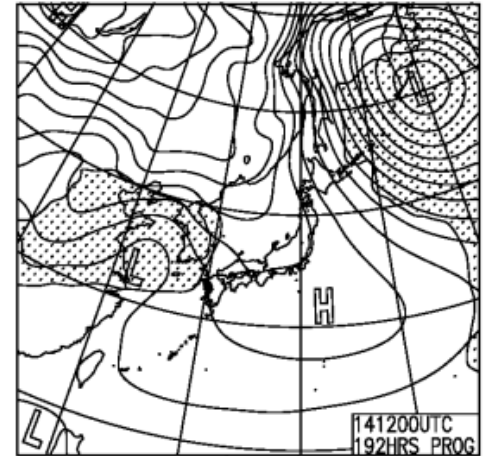
## 週間予報アンサンブル予報の例 (FEFE19)



SURFACE PRESS, PRECIP(120-144)

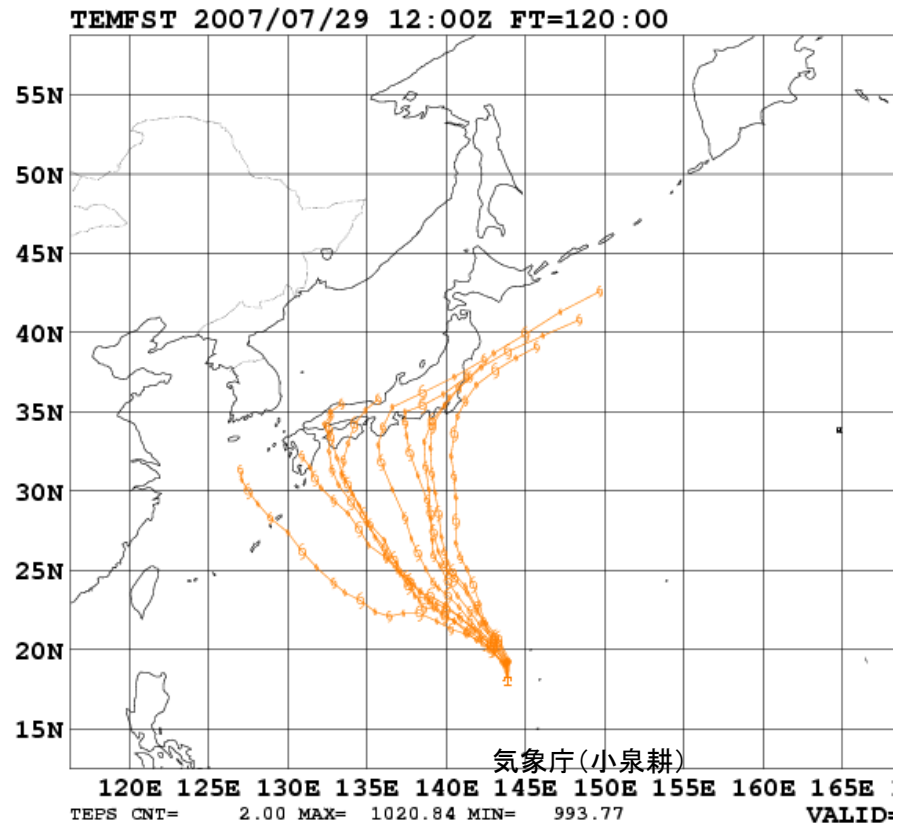
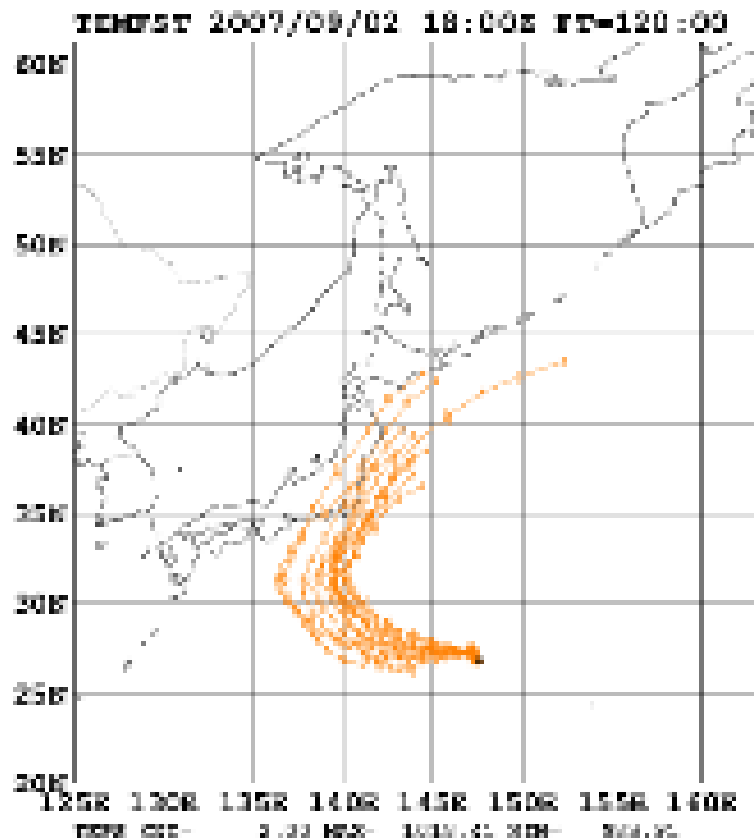


SURFACE PRESS, PRECIP(144-168)



SURFACE PRESS, PRECIP(168-192)

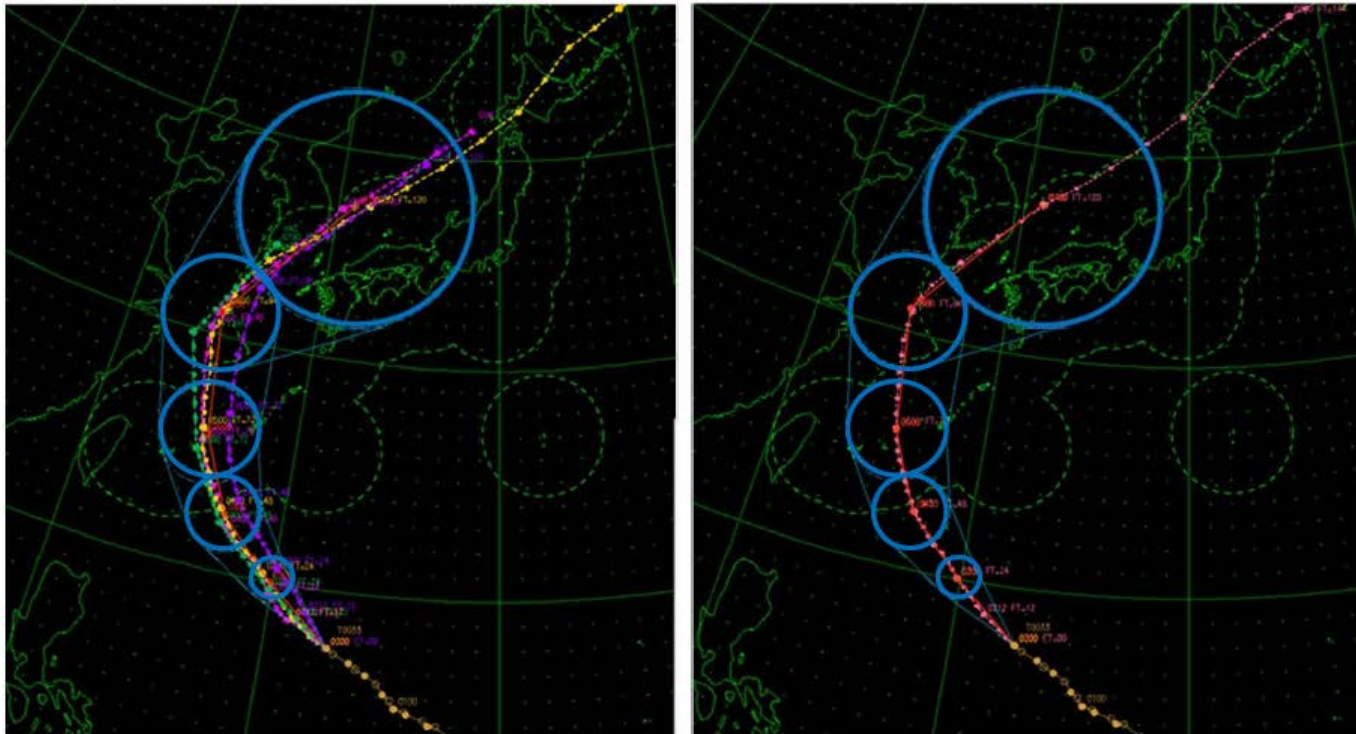
# アンサンブル予報の台風進路予報への適用例





## コンセンサス台風進路予報の例

5. コンセンサスの結果を元に12時間～120時間の予想位置を決定。

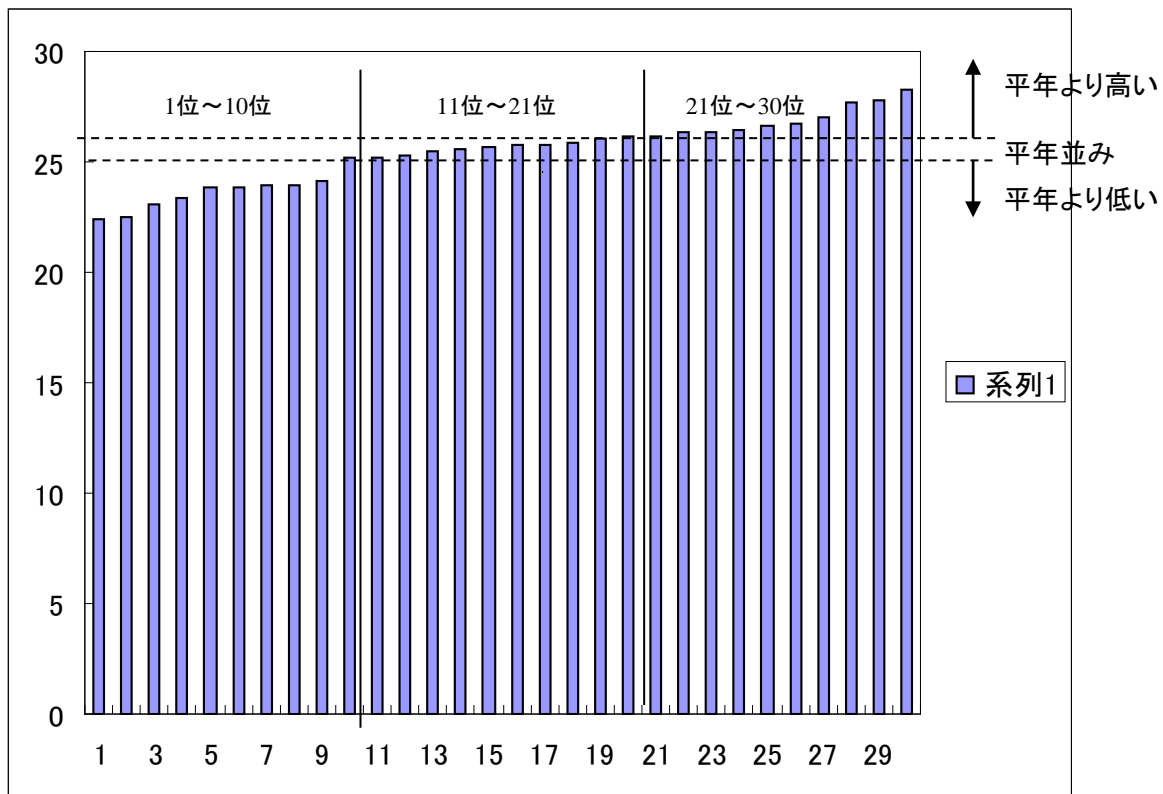


2018年台風第25号 解析時刻:2018年10月2日09時

各モデルの予測値表示(左)、コンセンサス予測値表示(右)  
青○は各予報時刻の予報円

# 日平均気温の累年順位、平年、3階級分け

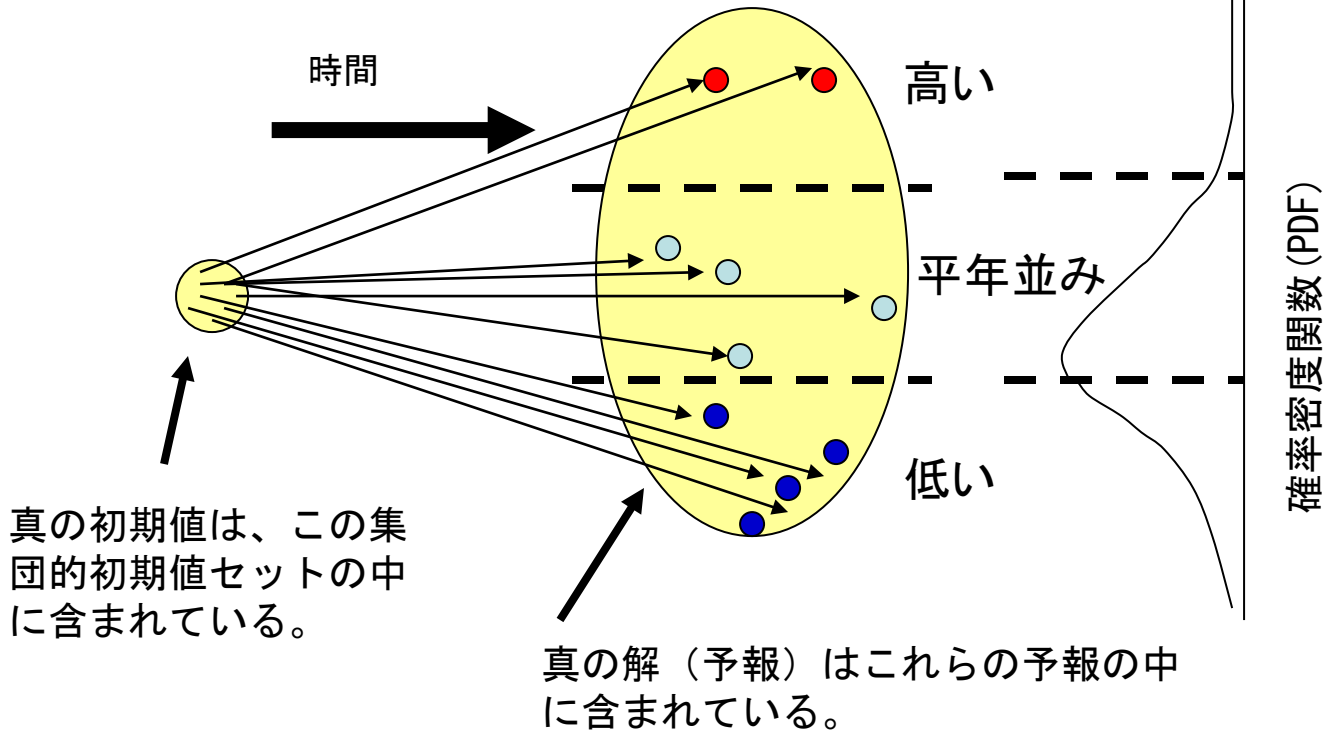
(7月、1971年～2000年、東京)





# アンサンブル予報は確率的予報

気温予報の場合



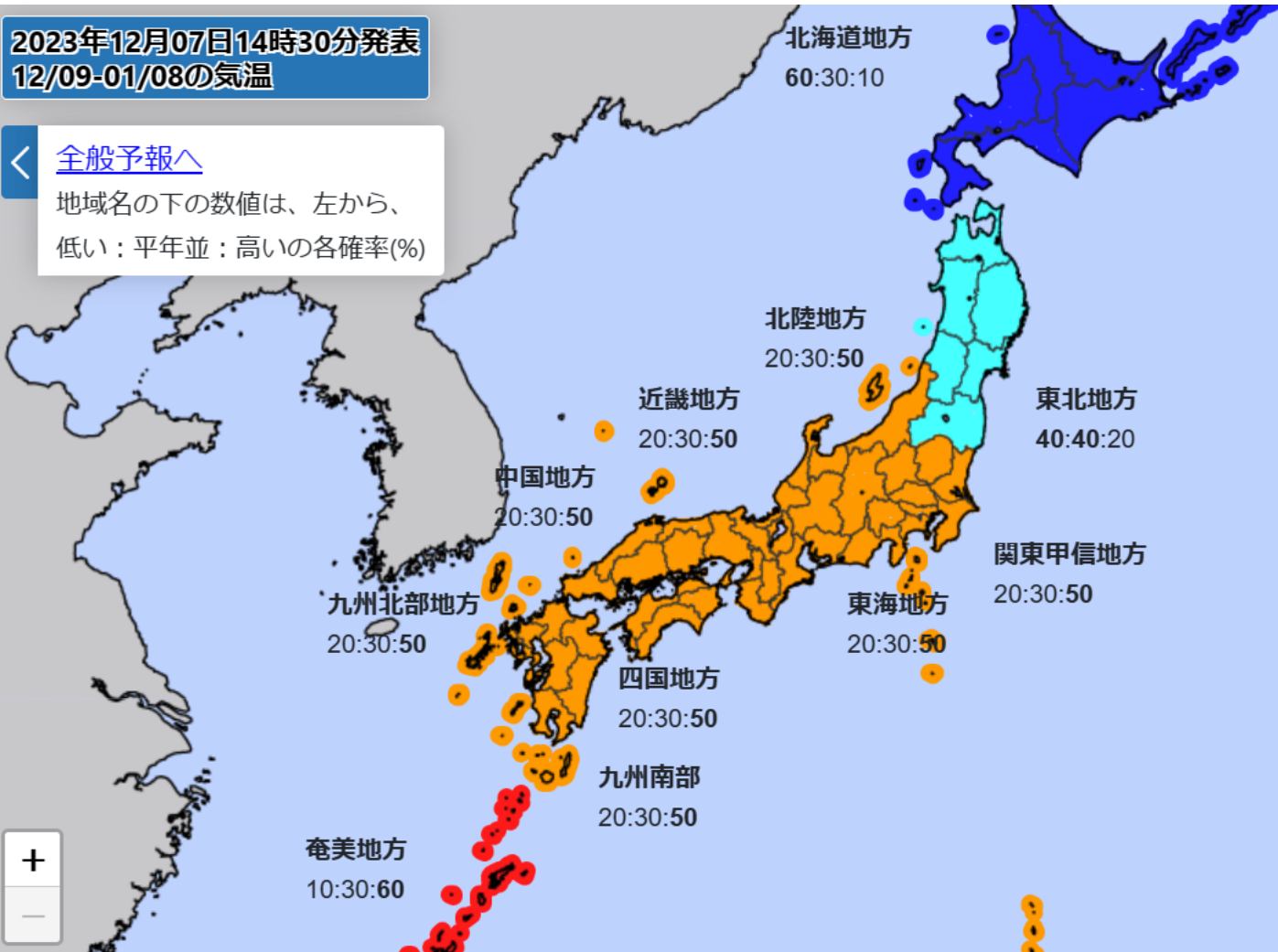
真の初期値は、この集団的初期値セットの中に含まれている。

真の解 (予報) はこれらの予報の中に含まれている。

初期値数 (メンバー) を増やせば、確率密度関数が得られる。

2023年12月07日14時30分発表  
12/09-01/08の気温

◀ [全般予報](#) △  
地域名の下の数値は、左から、  
低い：平年並：高いの各確率(%)



高い確率

- 70%以上
- 60%
- 50%
- 40% (20:40:40)
- 40% (30:30:40)

平年並

- 平年並

低い確率

- 40% (40:30:30)
- 40% (40:40:20)
- 50%
- 60%
- 70%以上

+  
-

- 向こう1か月 12/09-01/08
- 第1週目 12/09-12/15
- 第2週目 12/16-12/22
- 第3-4週目 12/23-01/05
- 12月-02月
- 12月
- 01月
- 02月
- 冬 (12-2月)

