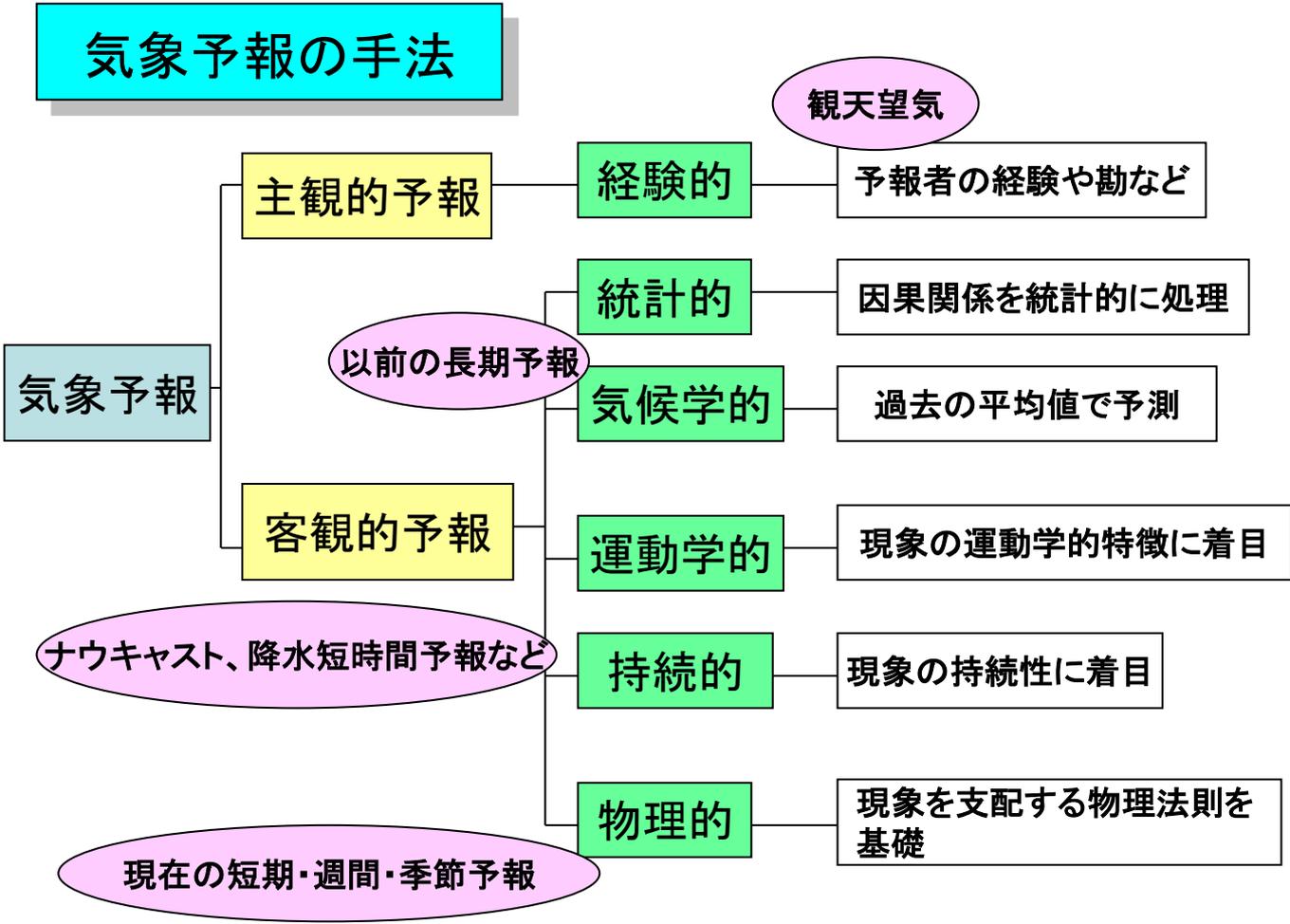


天気予報の仕組み)

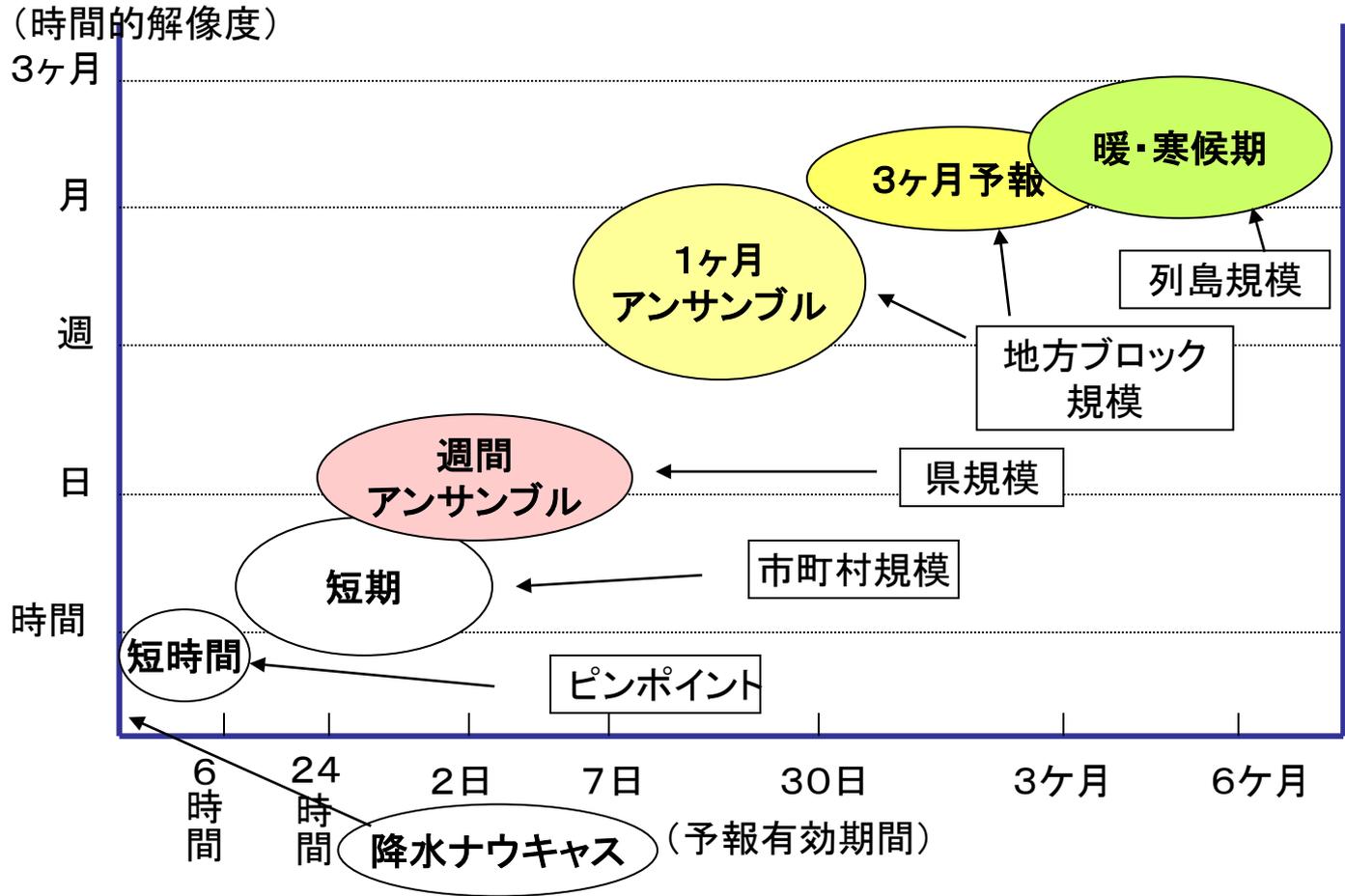
- 予報技術の変遷
- 予測手法、予測モデル
- 降水短時間予報
- 数値予報
- アンサンブル予報
- ガイダンス

天気予報技術の変遷

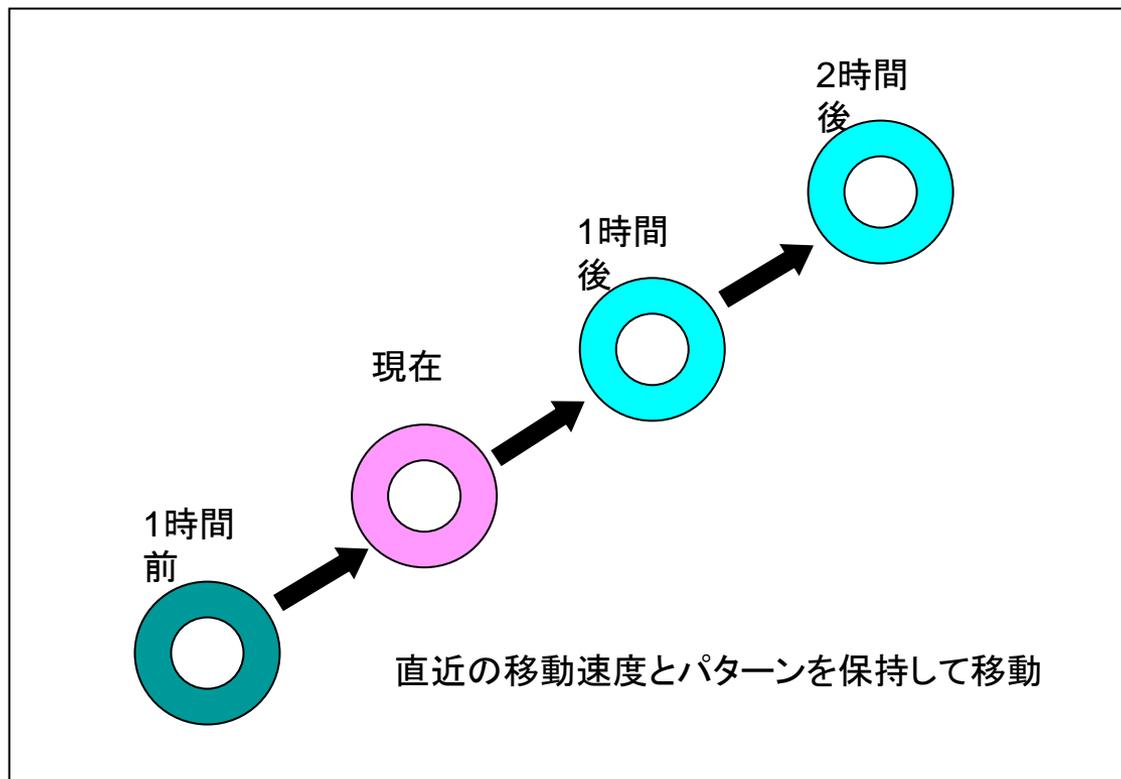
- 「観天望気」時代(～江戸時代・明治初中期)
 - ― 空を見、風を読む、見晴台：天気俚諺
- 前期天気図時代(明治中期～太平洋戦争)
 - ― 地上天気図がベース、経験と勘：主観的技術
- 後期天気図時代(戦後～1960年代)
 - ― 地上・高層天気図がベース、経験、統計、勘：主観的技術
- 数値予報時代(1960年代～今日)
 - ― 数値予報モデル、ガイダンス：客観的技術



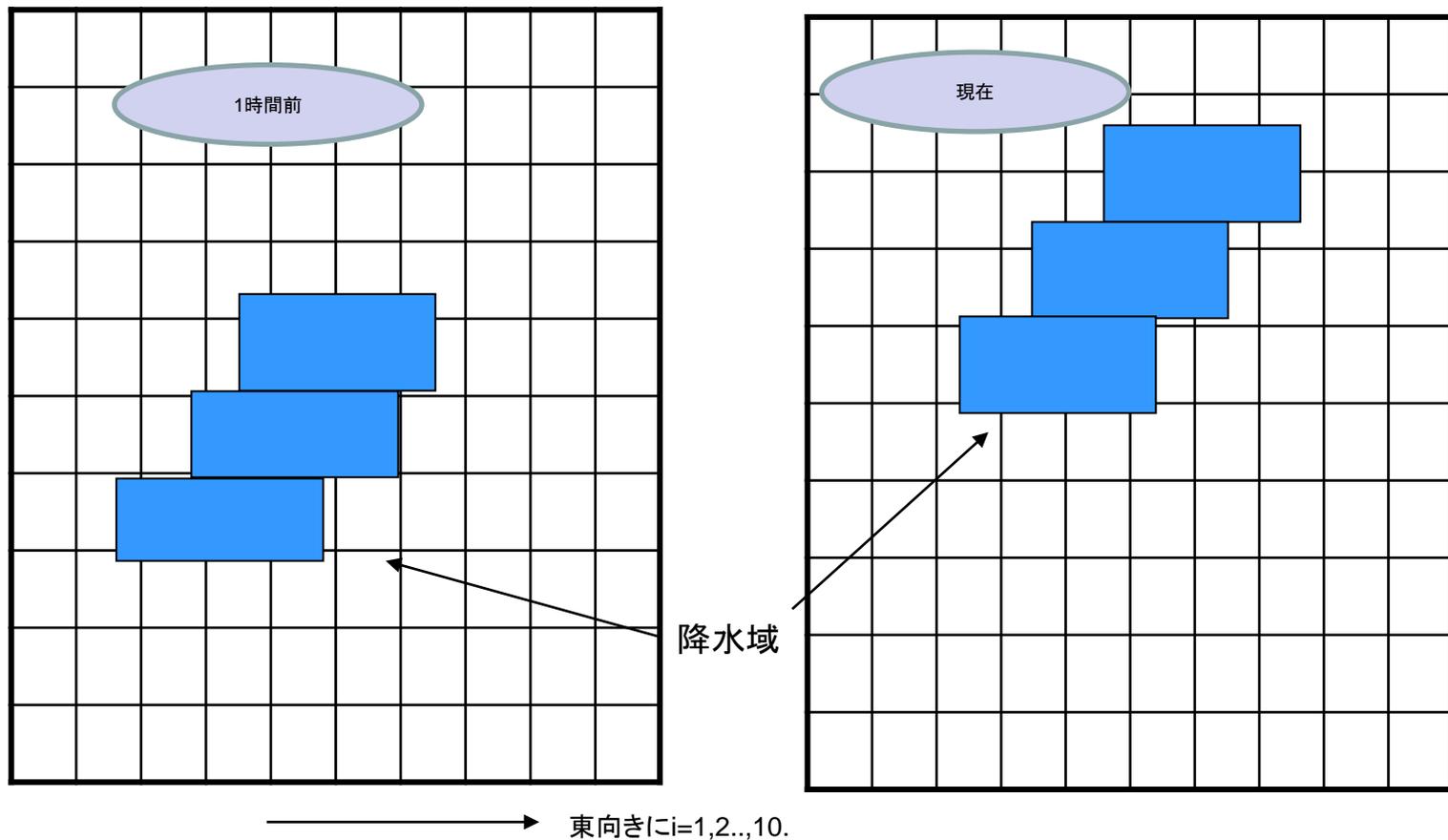
天気予報メニューの予報有効期間と時間・空間的解像度



持続予報の概念(降水や台風の短時間予報)

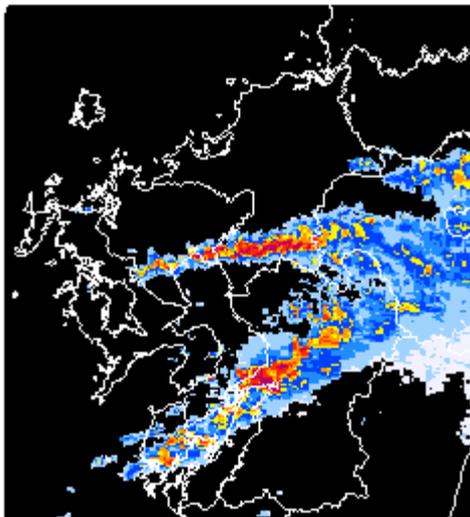


降水短時間予報におけるパターンマッチング法

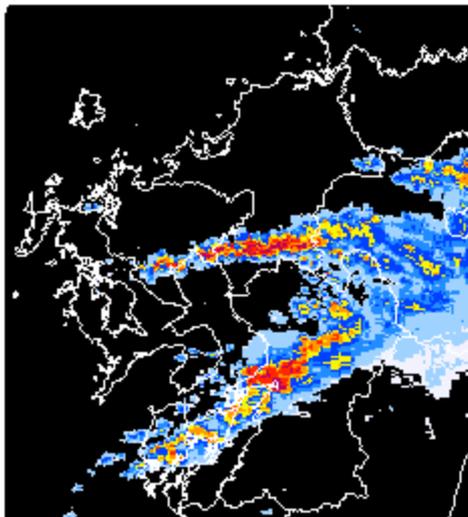


高解像度ナウキャスト(30分先まで5分ごと、解像度250m)

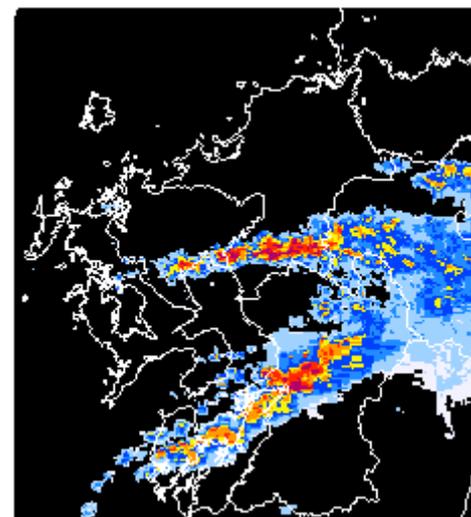
08:50の
観測



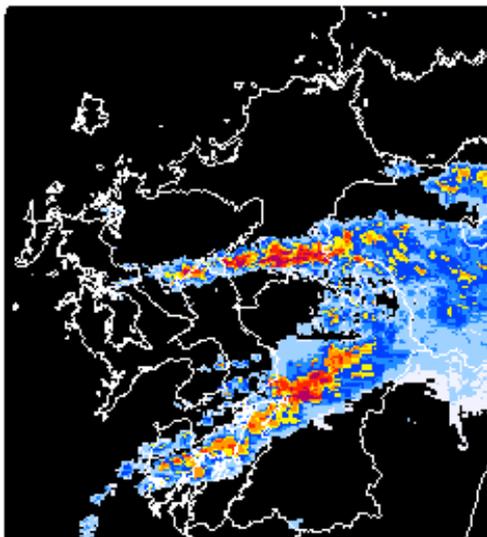
08:55の
観測



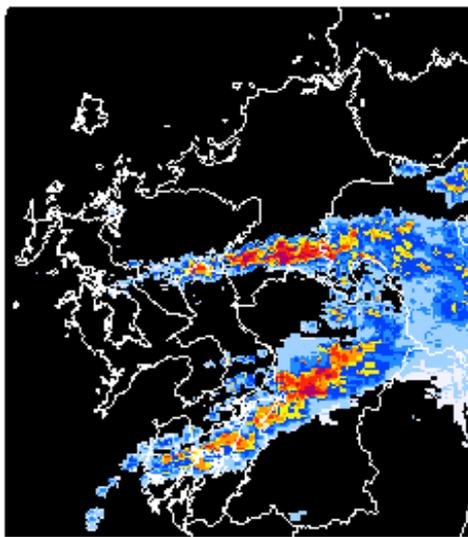
09:00の
観測(初期値)



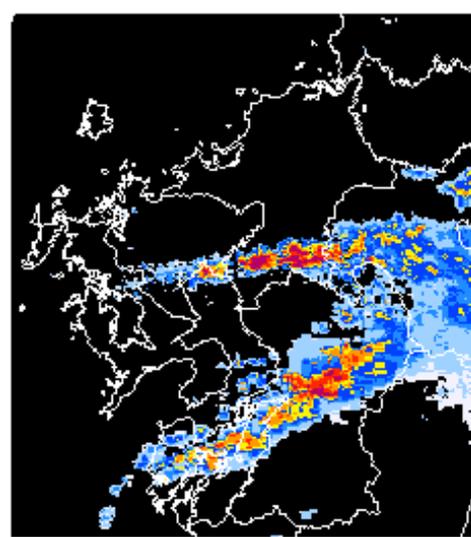
09:05の
予想



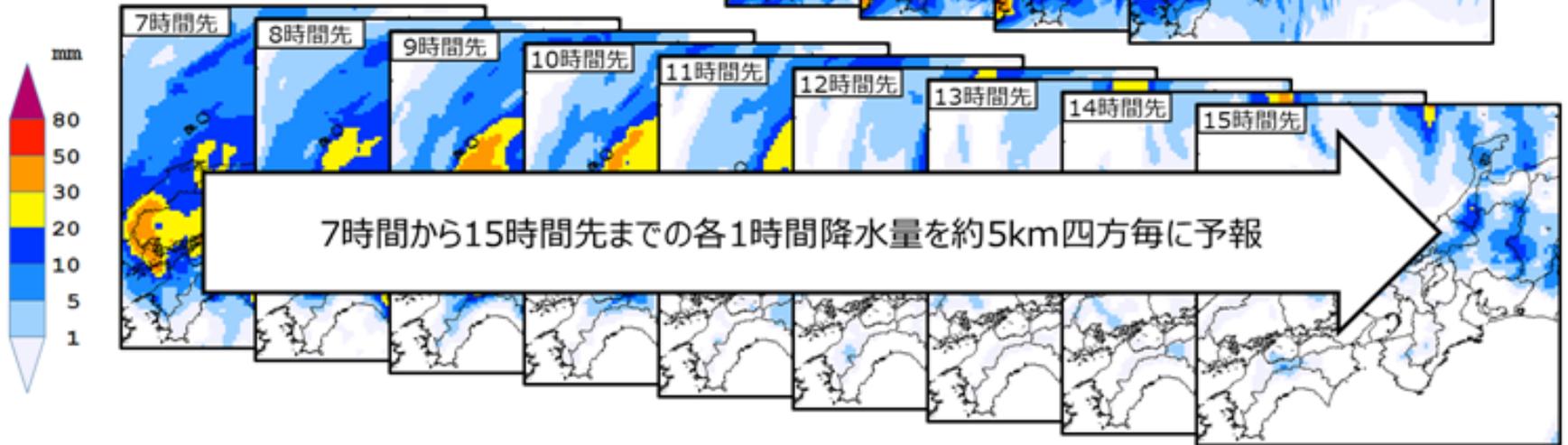
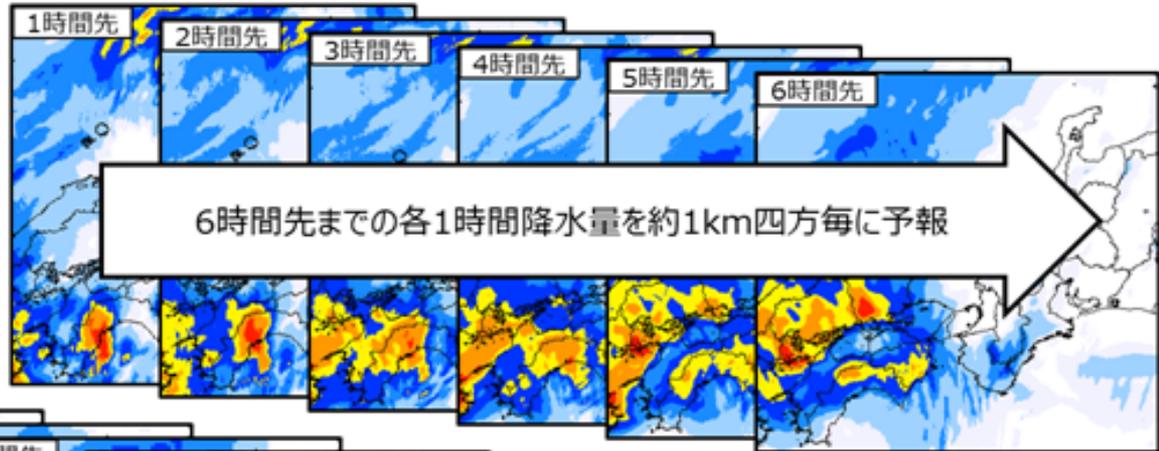
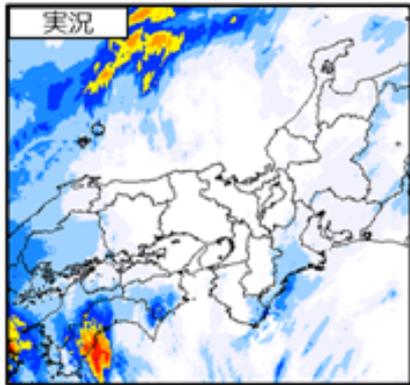
09:10の
予想



09:15の
予想



降水短時間予報(6時間先、15時間先)



数値予報から予報までの手続き

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

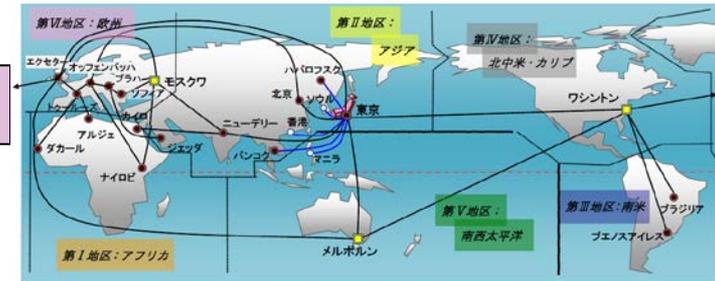
気象電報を解読して、気象要素に換算

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



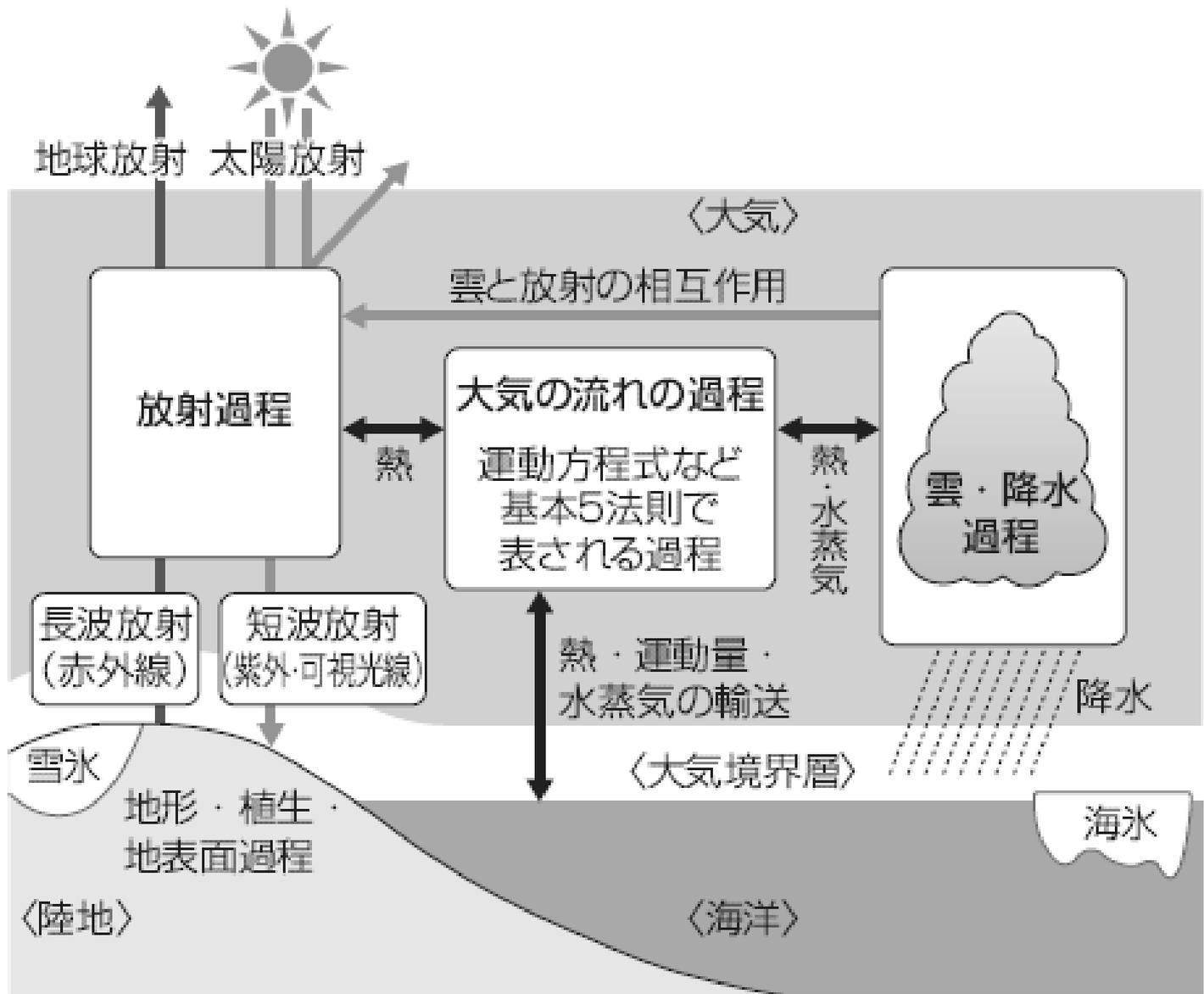


図 5-5 数値予報で考慮される大気中の物理現象など
 (参考：気象庁資料)

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

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

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

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

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。



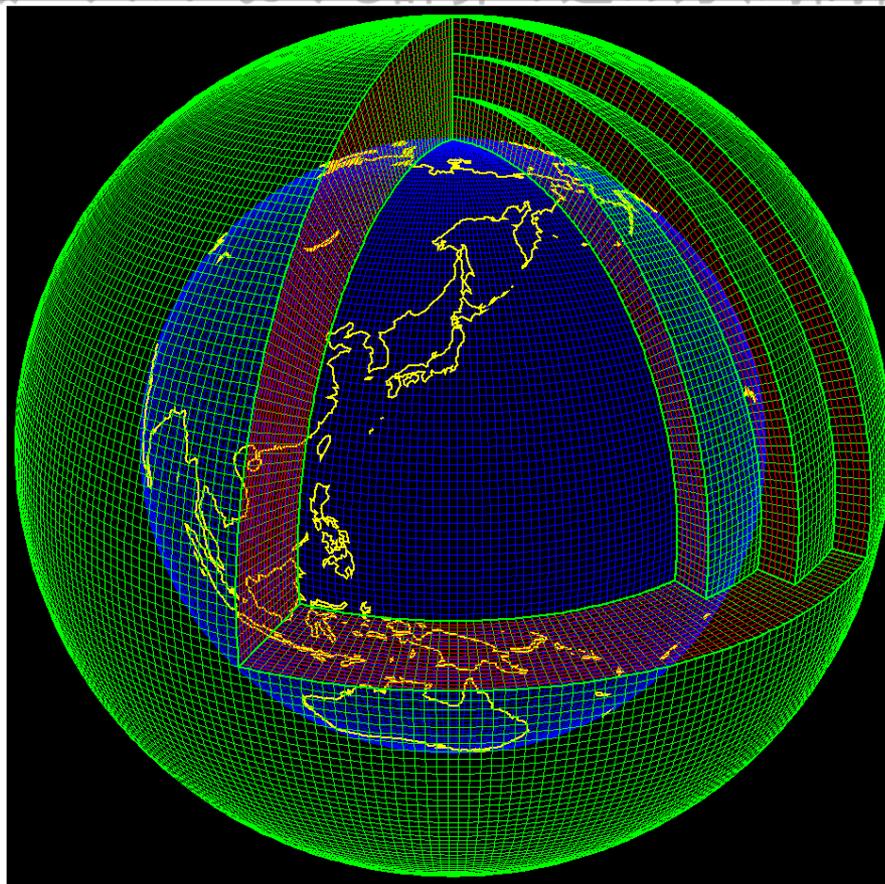
現在の物理量

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

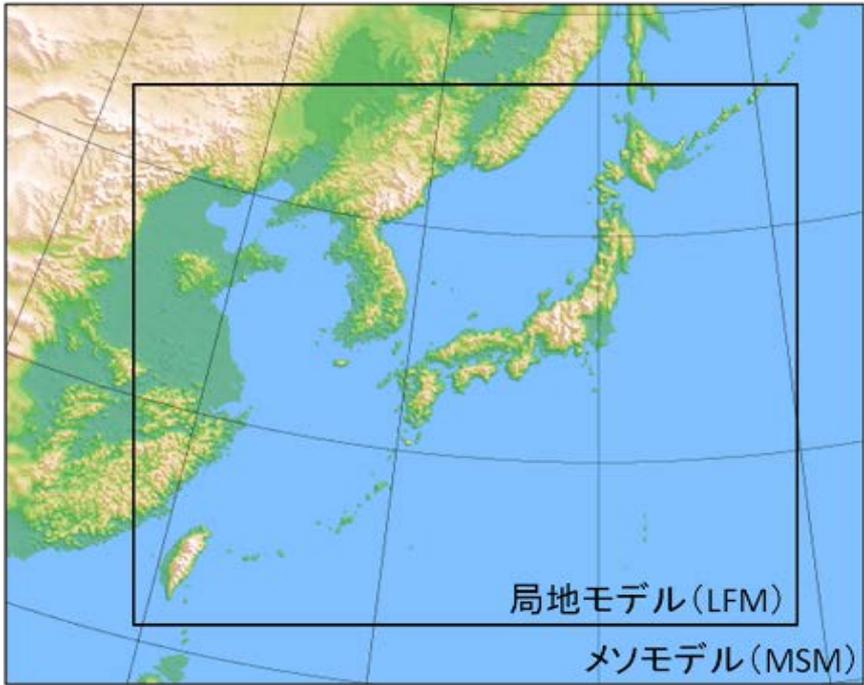
観測から求められる値

たとえば1秒

数値予報モデルにおける計算の進め方(時間積分)(概念図)



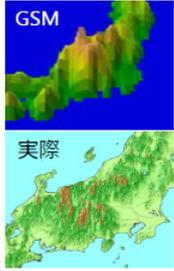
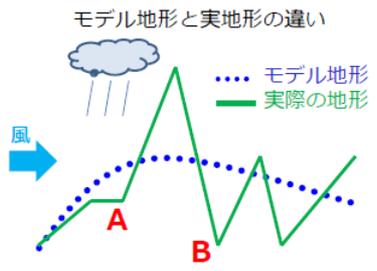
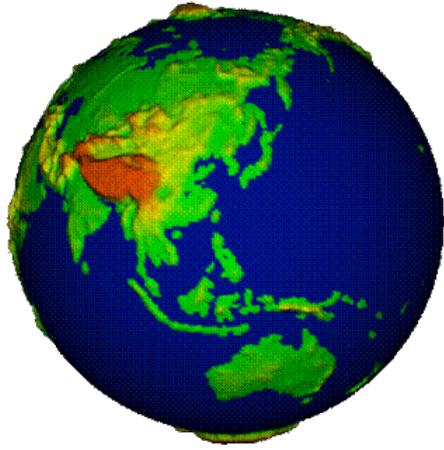
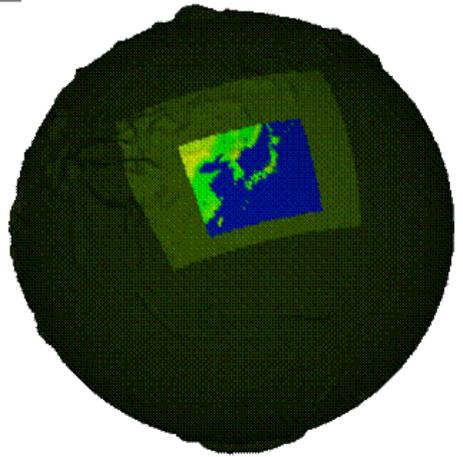
数値予報モデルの領域、地形の表現



MSMの地形
(水平格子間隔5km)

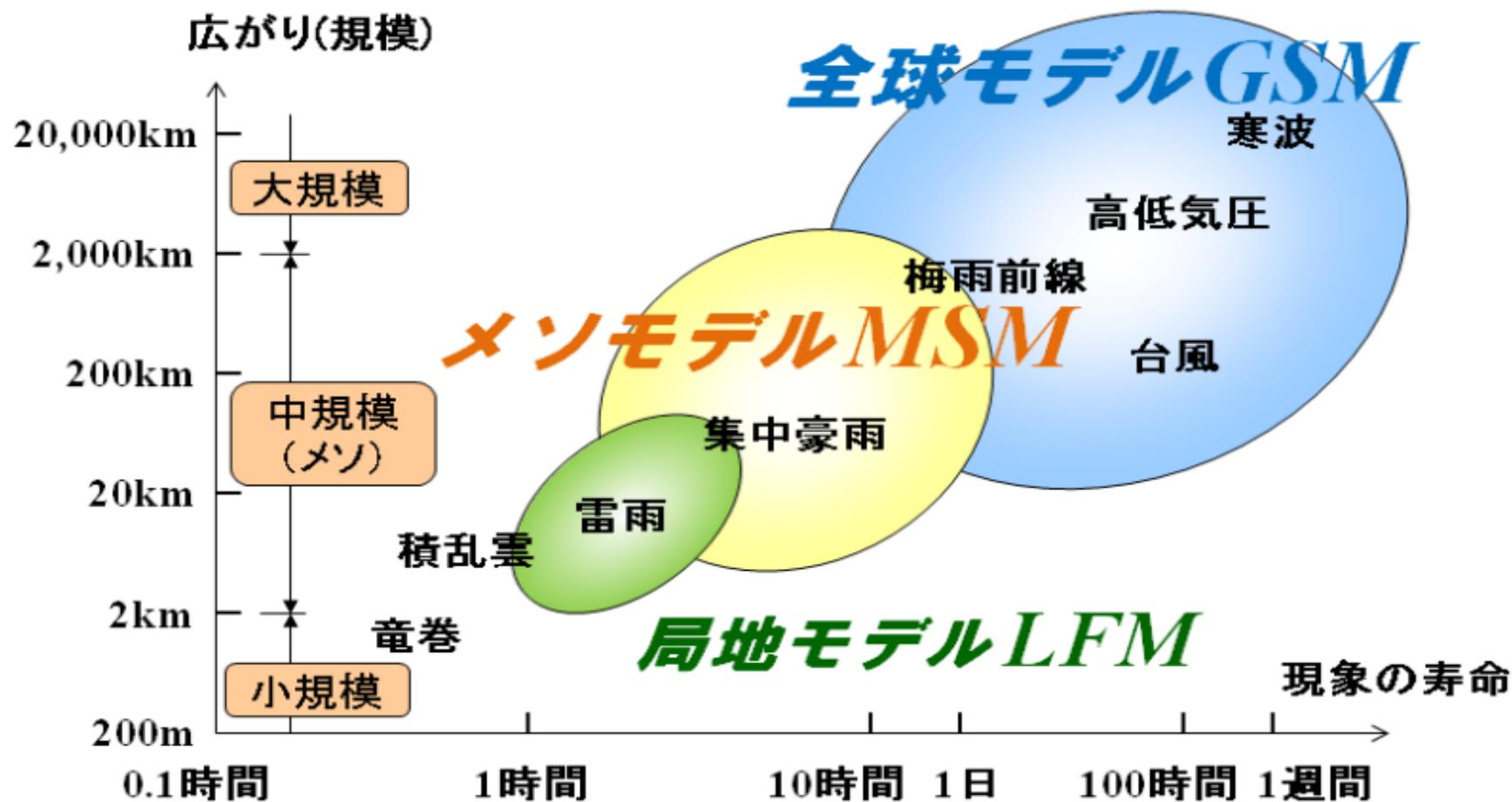


LFMの地形
(水平格子間隔2km)



実際の地形では
A：急斜面で地形性の降水多い
B：標高低く、気温高い

モデルの地形では
A：地形がなだらかで降水少ない
B：標高高く、気温低い



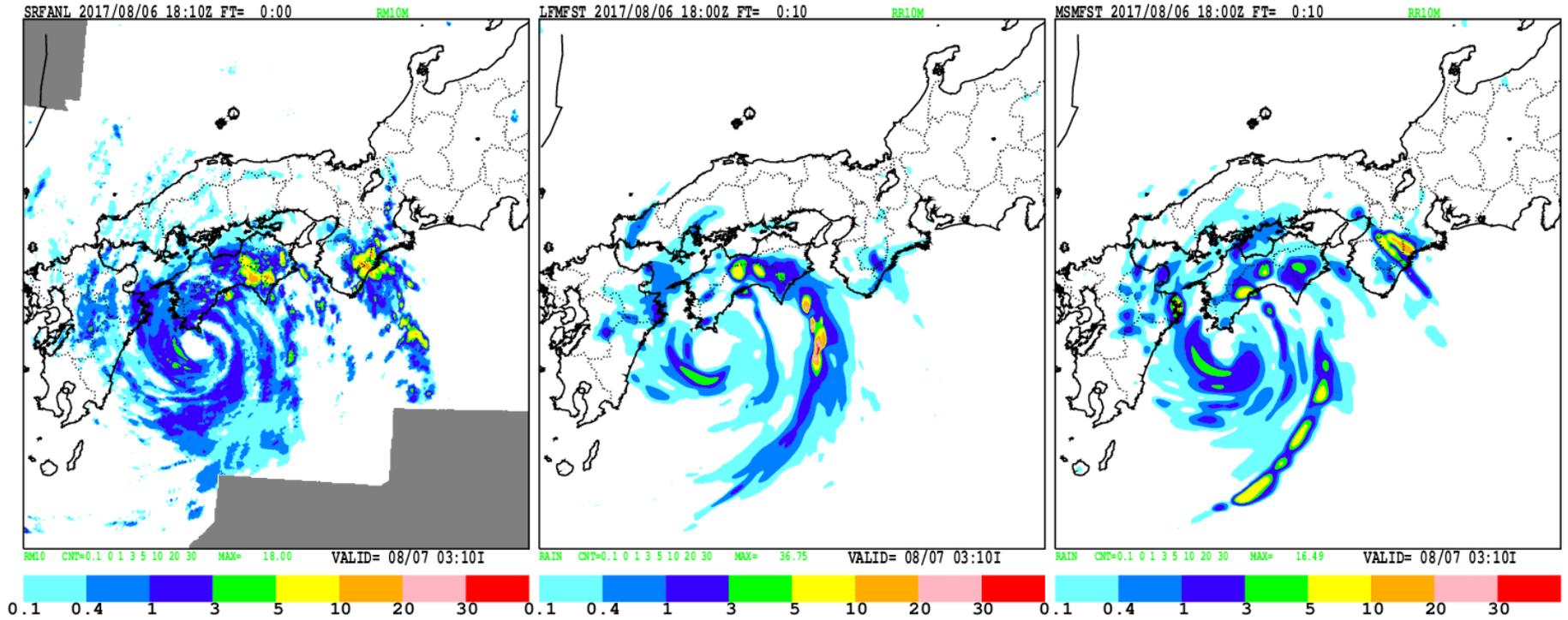
主な数値予報モデルの概要

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)
			51時間	1日2回 (00,12UTC)
全球モデル (GSM)	分布予報 時系列予報 府県天気予報 台風予報 週間天気予報 航空気象情報	地球全体 約20km	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40km 18~34日先まで 約55km	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 (JMA/MRI-CPS2)	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110km 海洋 約50~100km	7か月 (13メンバー)	半旬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

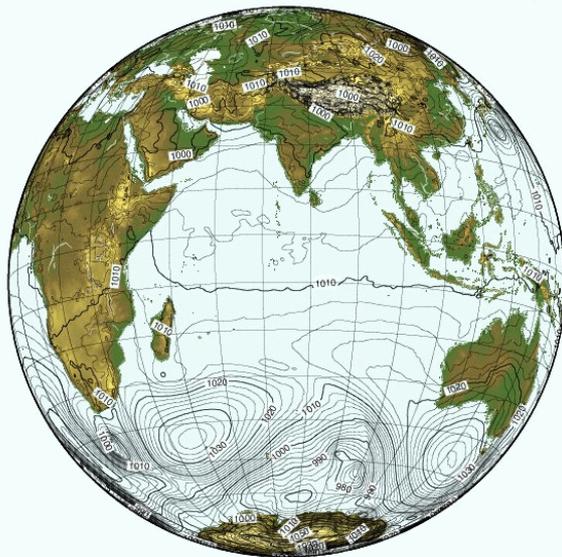


地球の裏側まで予測がされている！！

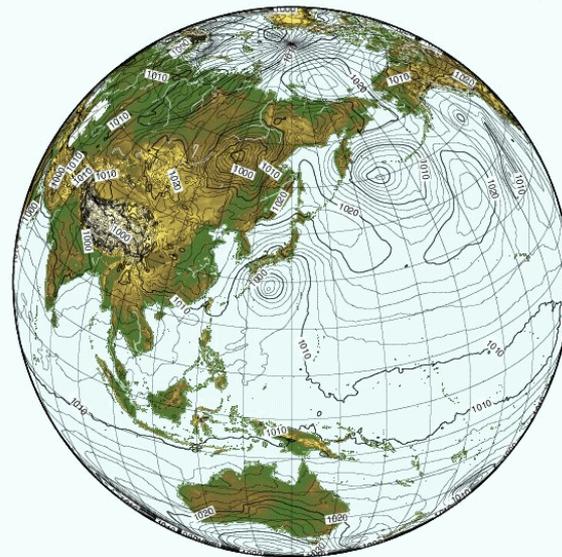
GSM-TL959L60 2009.05.28.12UTC FT=000
(Valid Time: 05.28.12UTC)



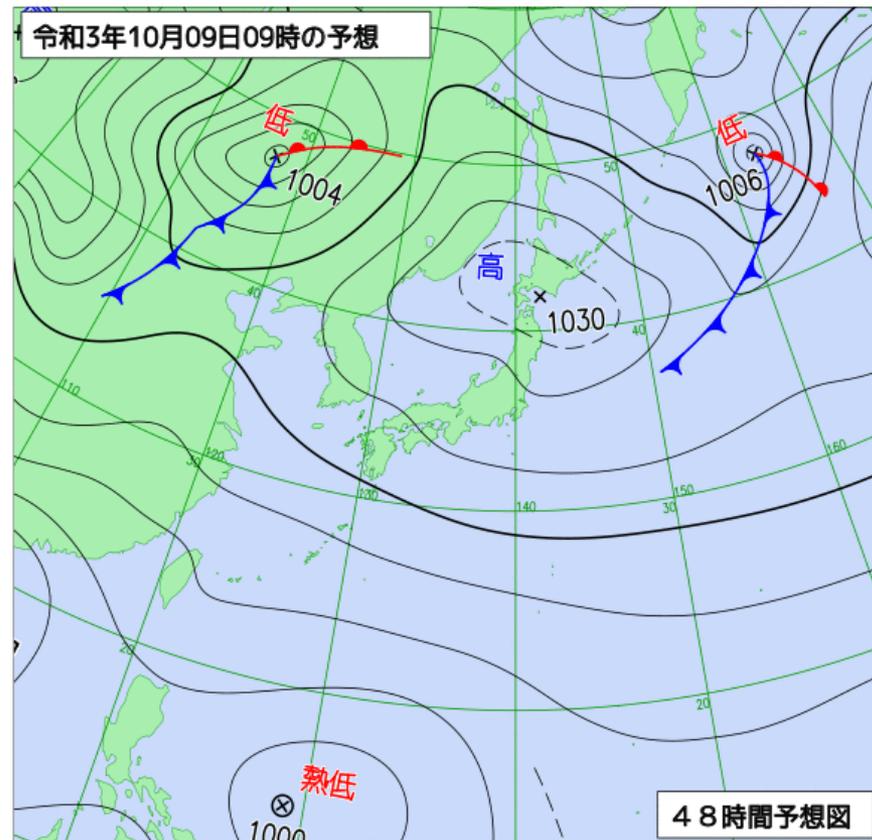
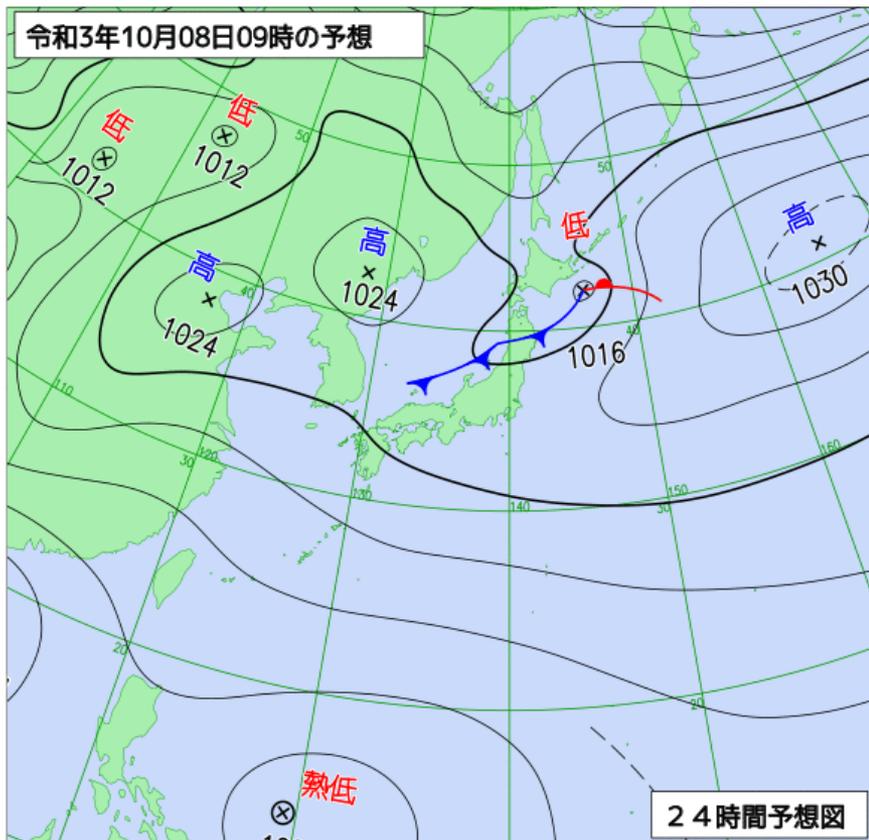
GSM-TL959L60 2009.05.28.12UTC FT=000
(Valid Time: 05.28.12UTC)



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



週間予報(アンサンブル予報)

茨城県南部の天気予報(7日先まで)

2021年10月07日17時 水戸地方气象台 発表

日付	今夜 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	曇 	曇時々晴 	曇 	曇時々晴 	曇時々晴 	曇一時雨 	曇一時雨 	曇時々 	
降水確率(%)	-/-/-/20	20/10/10/20	30	30	30	60	50	30	
信頼度	-	-	-	A	A	C	C	A	
水戸 気温 (℃)	最高	-	29	25 (22~28)	26 (24~28)	28 (26~30)	23 (21~28)	21 (18~24)	23 (20~24)
	最低	-	19	18 (17~20)	17 (16~19)	18 (16~20)	17 (15~19)	16 (13~17)	15 (12~17)
		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 12 - 46mm			13.7℃		22.0℃		

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概念

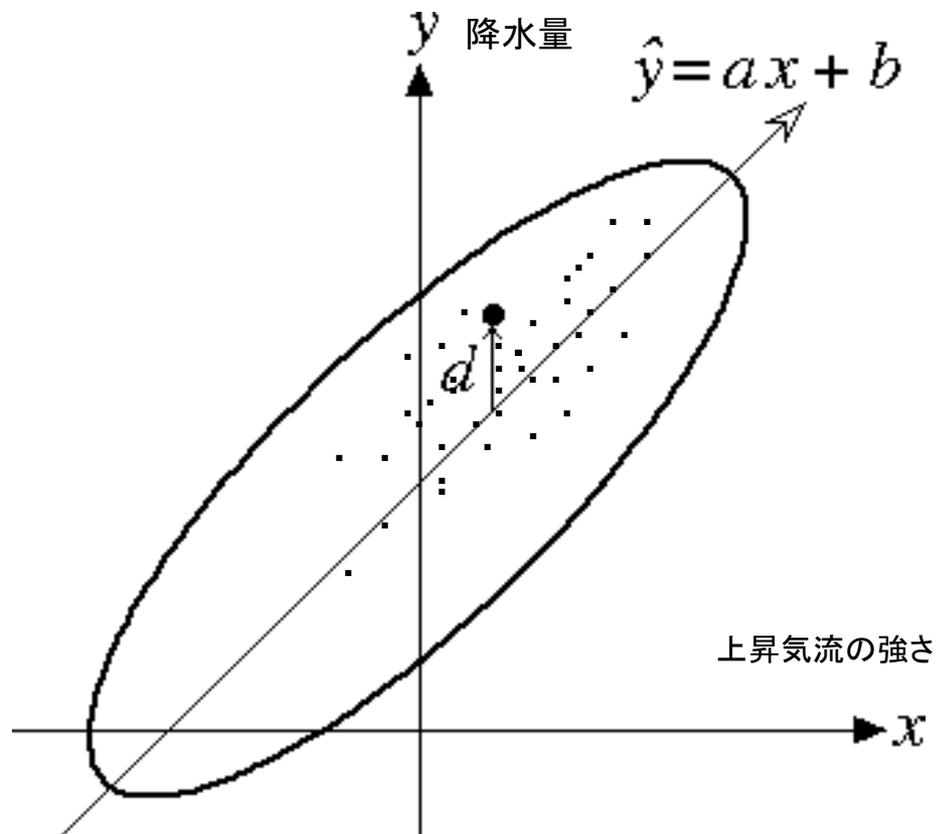


表 6-1 天気予報ガイダンスの一覧

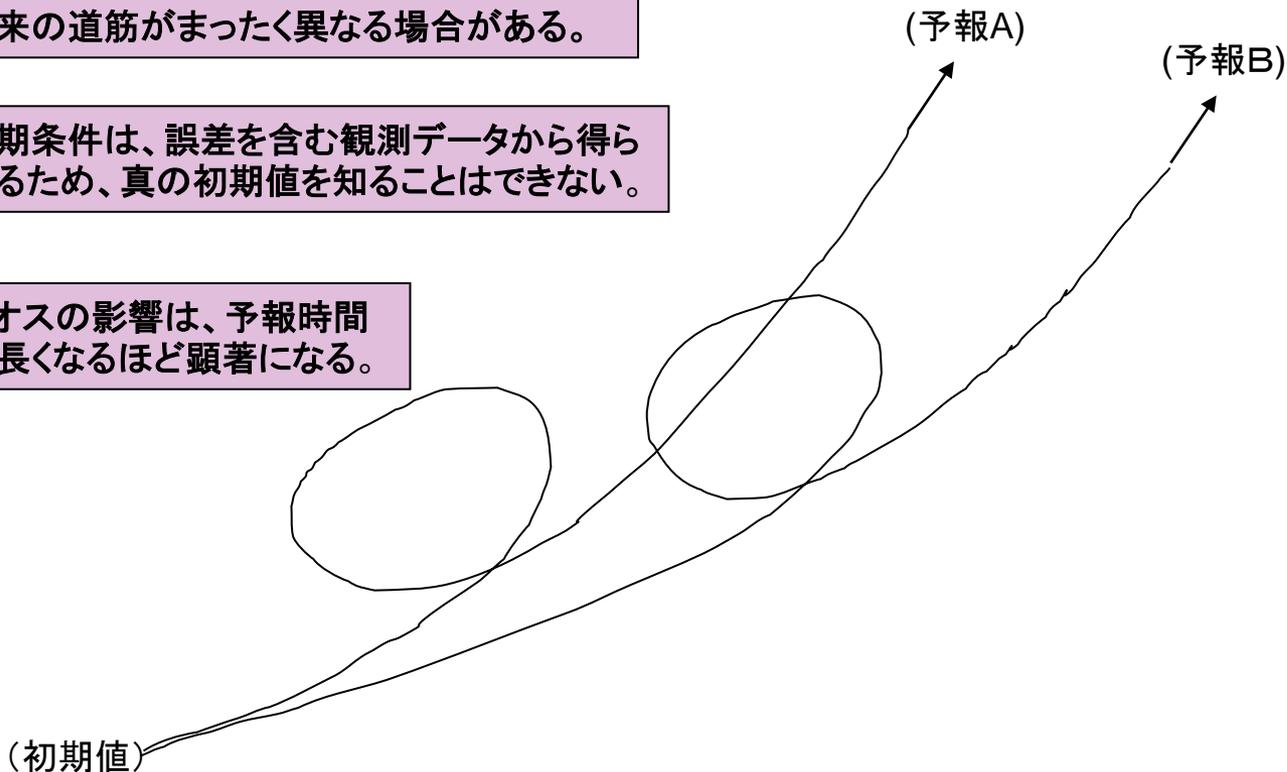
種別	ガイダンス名	統計手法	対象
降水	平均降水量	カルマンフィルター、 頻度バイアス補正	20 km 格子 (GSM) 5 km 格子 (MSM) 2 km 格子 (LFM)
	降水確率	カルマンフィルター	
	最大降水量	ニューラルネットワーク、 線形重回帰	
降雪	雪水比・降水種別・ 最大降雪量	診断手法	5 km 格子
	降雪量地点	ニューラルネットワーク、 頻度バイアス補正	アメダス (323 地点)
気温	時系列・ 最高・最低気温	カルマンフィルター	アメダス (927 地点)
	格子形式気温		5 km 格子
風	定時・最大・最大 瞬間風速	カルマンフィルター、 頻度バイアス補正	アメダス (927 地点)
天気	日照率	ニューラルネットワーク	20 km 格子 (GSM)
	天気	フローチャート	5 km 格子 (MSM)
発雷 確率	発雷確率	ロジスティック回帰	20 km 格子
湿度	時系列湿度	カルマンフィルター	気象官署 (153 地点、特別地域 気象観測所含む)
	日最小湿度	ニューラルネットワーク	
視程	視程分布予想	診断手法	20 km 格子 (GSM) 5 km 格子 (MSM)

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。



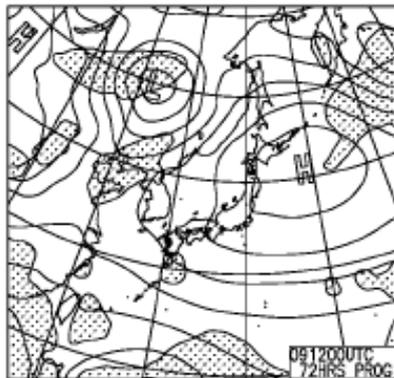
アンサンブル予報

- 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。

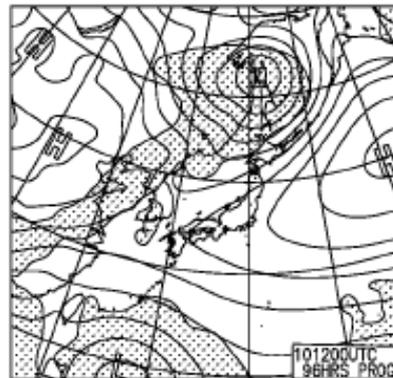
週間予報アンサンブル予報の例 (FEFE19)

FEFE19 061200UTC OCT 2021

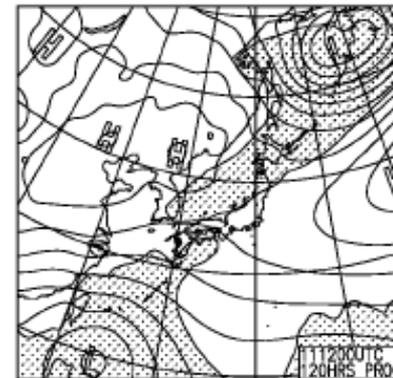
ENSEMBLE PREDICTION CHART



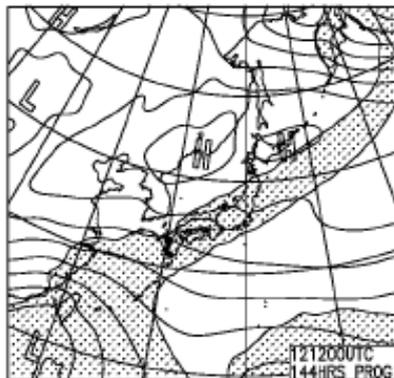
SURFACE PRESS. PRECIP(48-72)



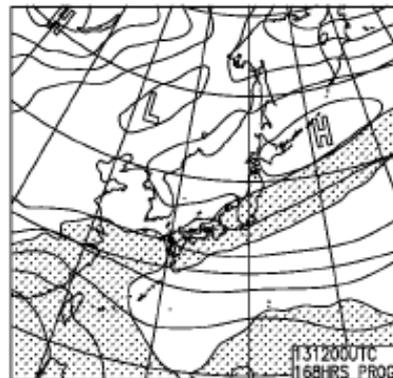
SURFACE PRESS. PRECIP(72-96)



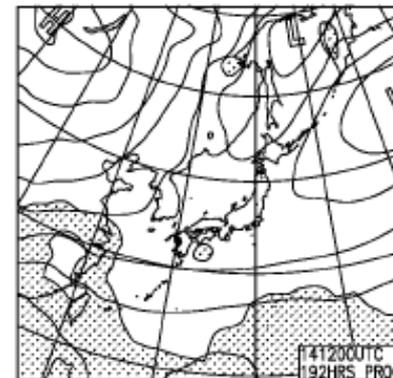
SURFACE PRESS. PRECIP(96-120)



SURFACE PRESS. PRECIP(120-144)



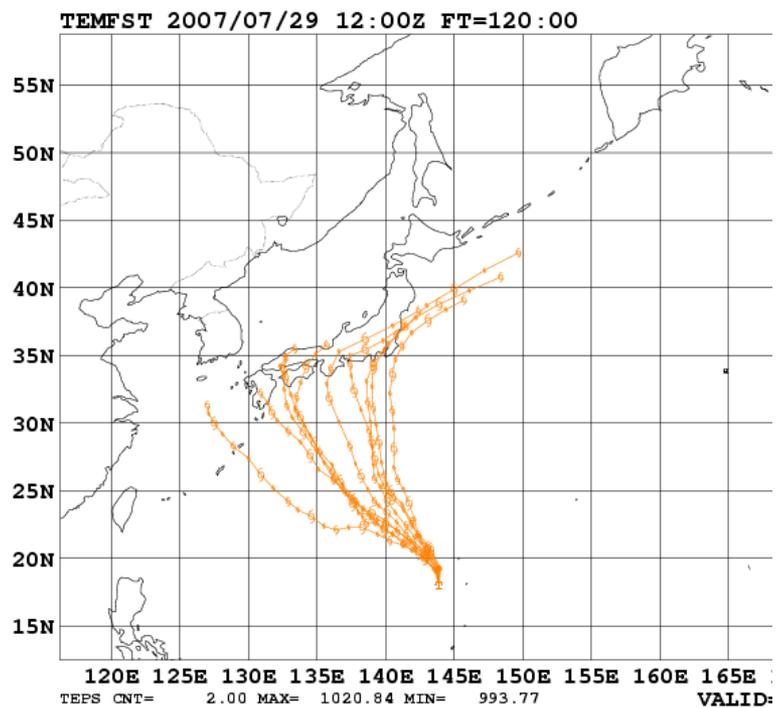
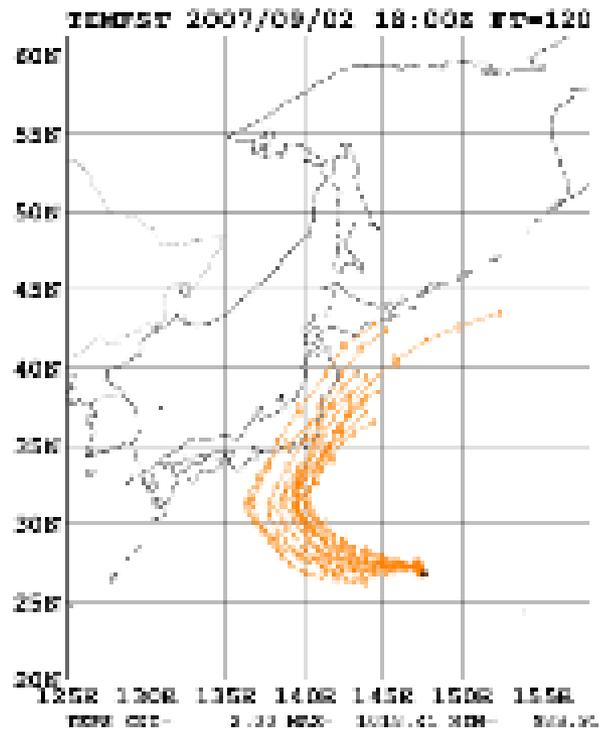
SURFACE PRESS. PRECIP(144-168)



SURFACE PRESS. PRECIP(168-192)

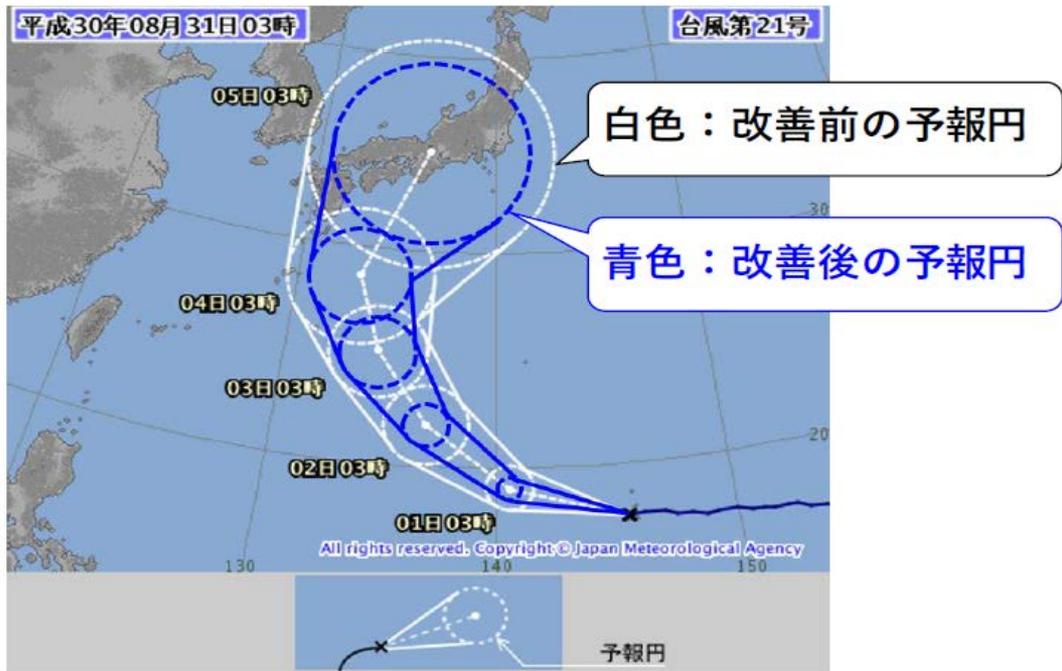
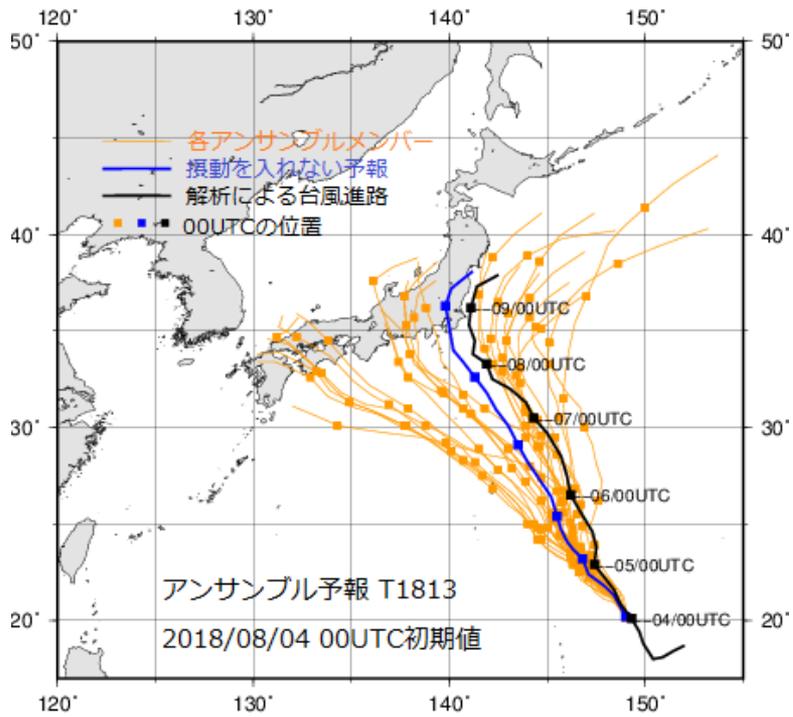
PRECIPITATION AREA ($\geq 5\text{mm}/24\text{h}$)
JAPAN METEOROLOGICAL AGENCY TOKYO

アンサンブル予報の台風進路予報への適用例



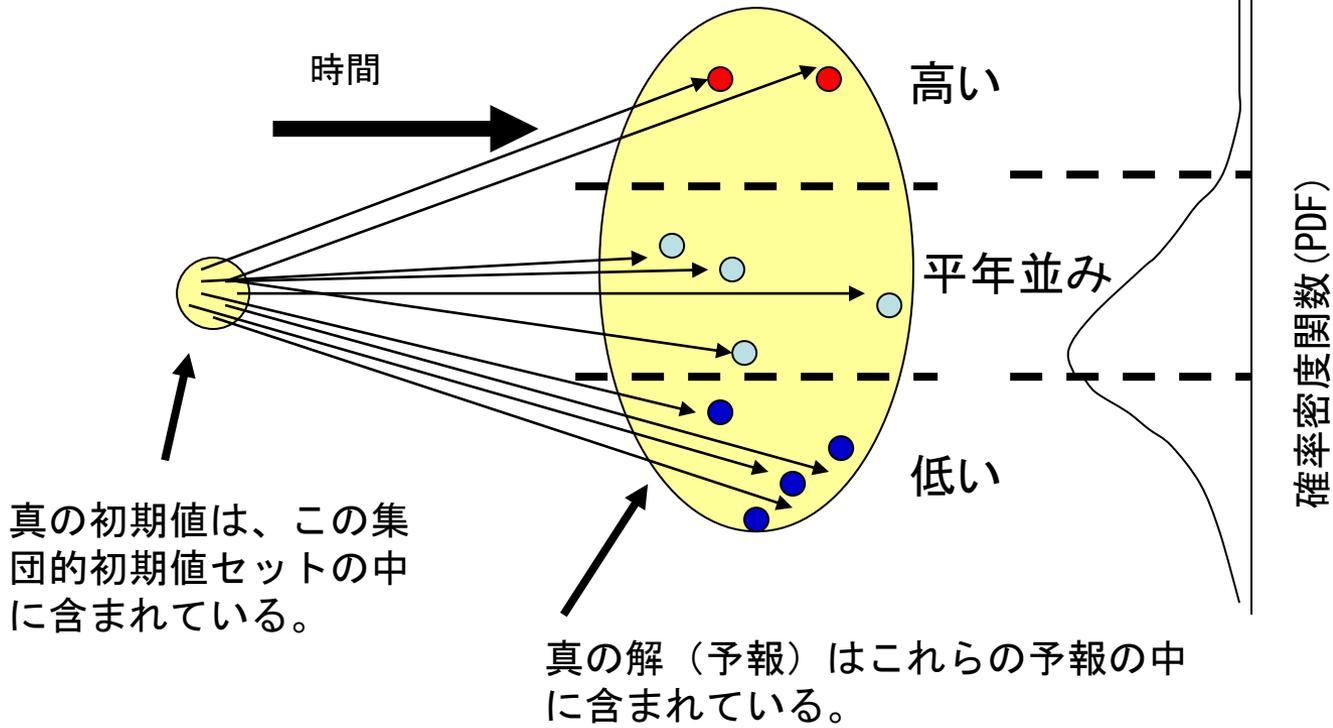
気象庁(小泉耕)

アンサンブル予報の台風進路予報への適用例



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。

1っか月予報(アンサンブル予報)

2021年10月07日14時30分発表
10/09-11/08の気温

[全般予報へ](#)

地域名の下の数値は、左から、
低い：平年並：高いの各確率(%)

