

第40回夏季大学「新しい気象学」  
～気象のシミュレーション～

# 実際の数値予報 観測から予報まで

気象庁予報部数値予報課  
本田 有機

2006年8月5日(土)

# 第一部

## 新世代

### 気象庁数値解析予報システム

(Numerical Analysis Prediction System)

## の紹介

# 気象庁業務と数値予報

「数値予報モデル技術」

＝「精度の高い気象予測情報を提供する上で核となる  
基盤技術」

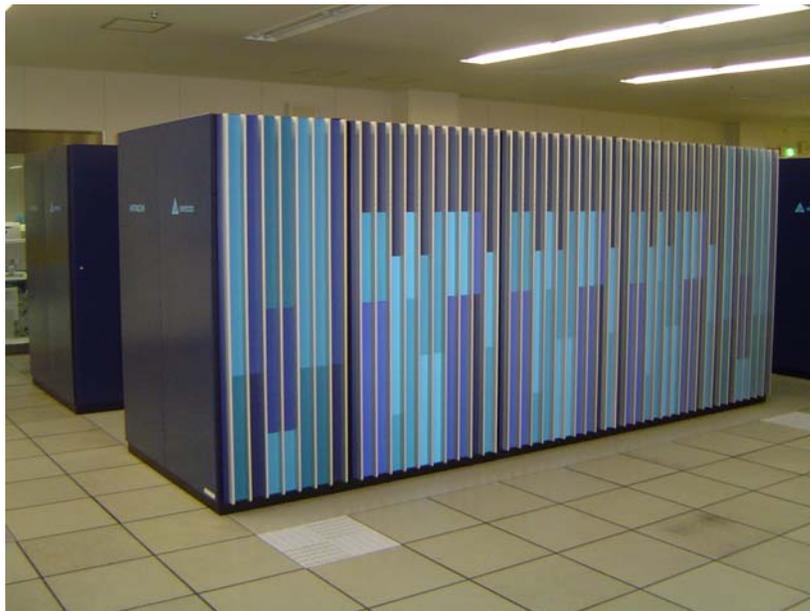
数値解析予報システム(NAPS)更新の目的

- (1) 防災気象情報支援用メソ数値予報モデルの高度化
- (2) 台風予報・短期予報支援用全球数値予報モデルの導入
- (3) 週間天気予報支援用全球アンサンブルモデルの高度化

# 気象庁スーパーコンピュータの更新

- 数値予報業務用：2006年3月より運用開始
  - HITACHI SR11000K1 (80ノード) × 2
    - 処理能力21.5Tflops (10.75Tflops × 2)
    - 主記憶容量10Tbyte (5.0Tbyte × 2)
- 衛星データ処理業務用：2005年3月より運用開始
  - HITACHI SR11000J1 (50ノード)
    - 処理能力6.08Tflops    ● 主記憶容量3.1Tbyte

NAPS7(SR8000)と比較して、処理能力で約28倍、主記憶容量で約16倍



# 気象庁数値解析予報システム更新

- **メソ数値予報システムの改善**

防災気象情報支援用メソ数値予報モデルの高度化

- 高解像度化(水平10km→5km、鉛直40層→50層)
- 高頻度予測(1日4初期値→1日8初期値)
  - 予報時間は短縮(18時間→15時間)

- **全球数値予報システムの改善**

- 06,18UTC初期値36時間予報の開始
  - 国際航空悪天格子点情報などの充実
- 解析の水平解像度向上
  - T63(約200km)→T106(約120km)

- **週間アンサンブル予報システムの改善**

週間天気予報支援用全球アンサンブルモデルの高度化

- アンサンブル用全球モデルの更新
- アンサンブルメンバーの増加(25→51メンバー)

# 気象庁第8世代数値解析予報システム

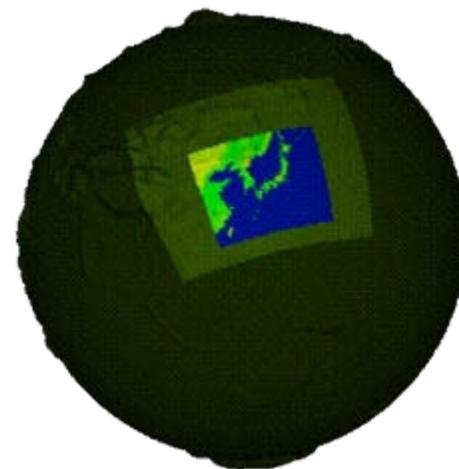
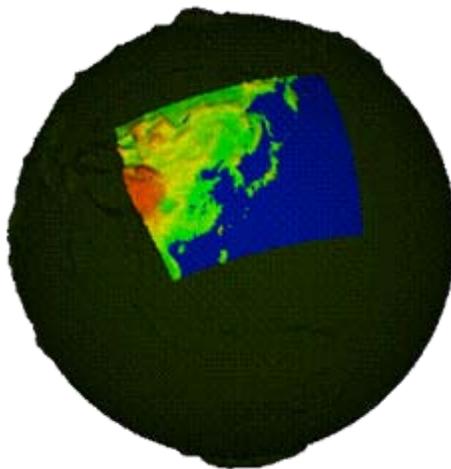
全球モデル／全球解析 領域モデル／領域解析 メソモデル／メソ解析

予報解像度：約60km  
解析解像度\*：約120km  
同化ウィンドウ：-3h～+3h

予報解像度：20km  
解析解像度\*：40km  
同化ウィンドウ：-3h～+3h

予報解像度5km  
解析解像度\*：20km  
同化ウィンドウ：-6h～0h

\* 解析はすべて4次元変分法。インナー解像度。アウトター解像度はモデルと同じ



台風モデル／台風解析

予報解像度：24km。全球解析と同じ

週間アンサンブル予報

予報解像度：約120km 51メンバー

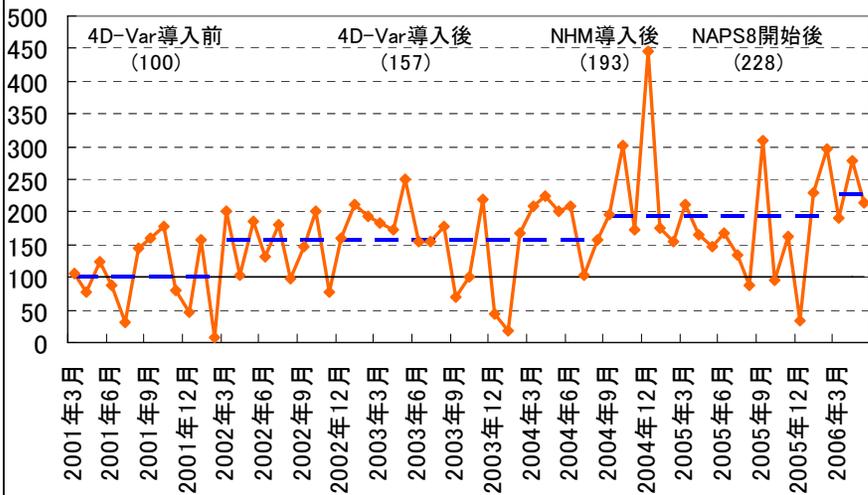
1ヶ月アンサンブル予報

予報解像度：約120km 51メンバー

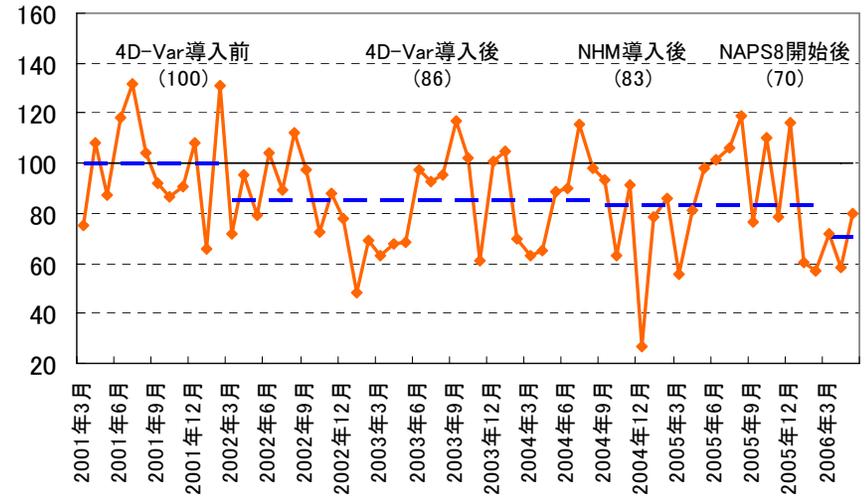
(2006/03現在)

# メソモデルの予報成績

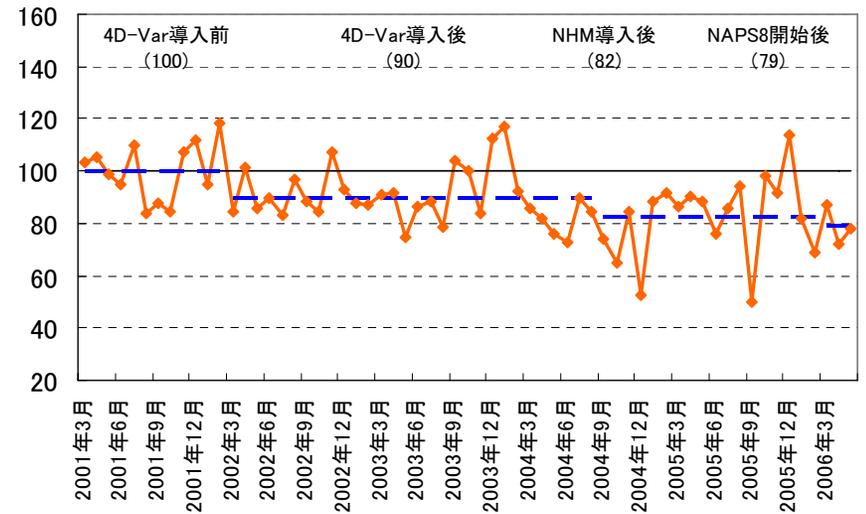
スレットスコア (10mm/3h 10km grid FT=06-09)



見逃し率 (10mm/3h 10km grid FT=06-09)



空振り率 (10mm/3h 10km grid FT=06-09)



4DVAR導入により空振り・見逃しとも減少

NHM導入により空振り減少

5km50層化により見逃し減少

10km検証格子 10mm/3hr FT=06-09

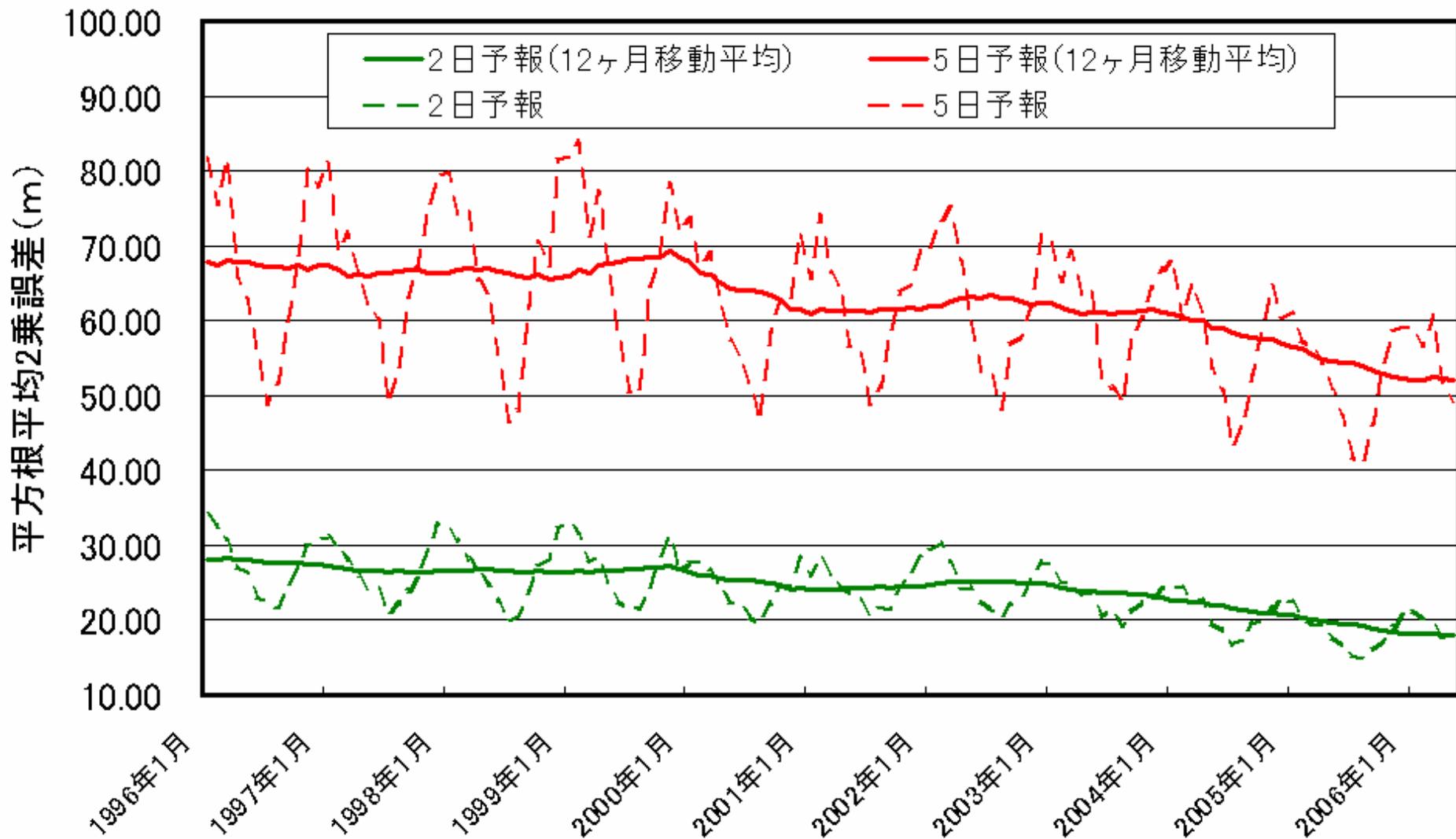
いずれも、4D-Var導入前の平均値を基準として、その相対値として示した。

気象庁数値予報課提供



# 全球モデルの予報成績

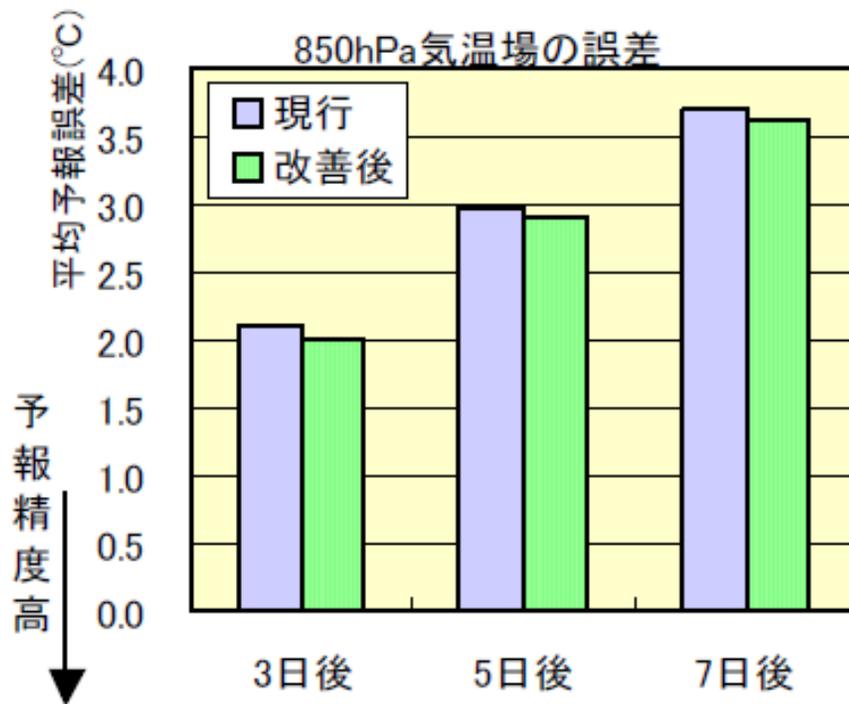
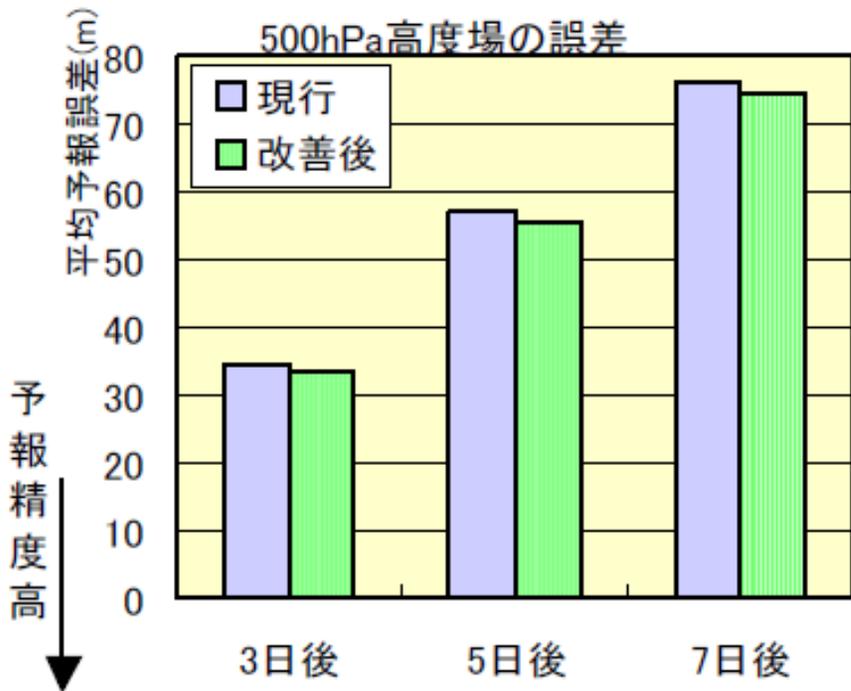
北半球500hP高度場の予報誤差(1996年1月～2006年5月)



# 週間アンサンブルの予報成績

- メンバーの増加(25→51メンバー)

⇒ 確率情報の精度向上



# 更なる改善に向けて

## 台風予報・短期予報支援用全球数値予報モデルの導入

- 全球数値予報システム
  - 高解像度全球モデルの導入(水平解像度20km)
    - 領域モデル・台風モデルを統合
- 台風アンサンブル予報(新規)
  - 11メンバーによる台風のアンサンブル予報

## 週間天気予報支援用全球アンサンブルモデルの高度化

- 週間アンサンブル予報システム
  - 高解像度化(約120km→約60km)

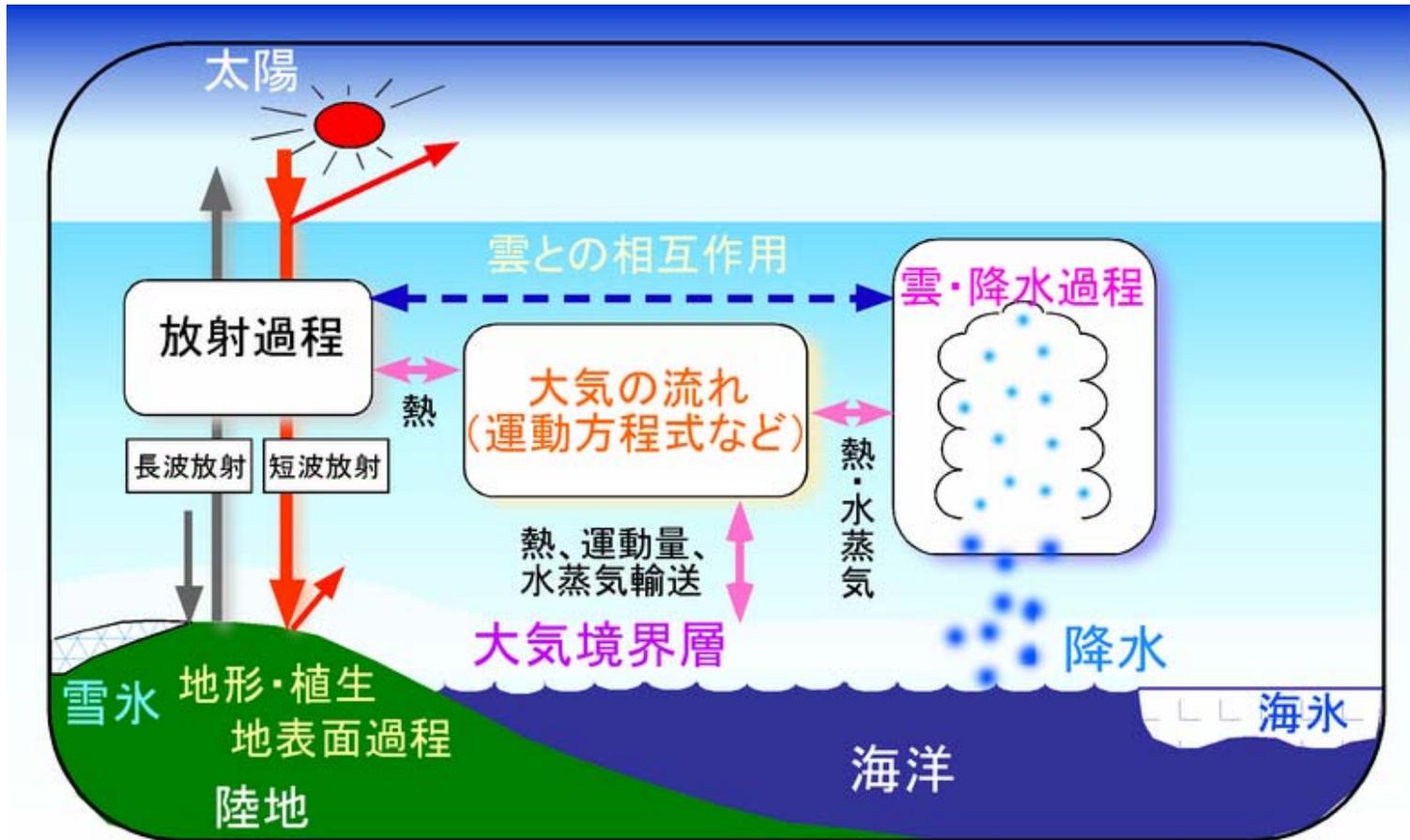
## 防災気象情報支援用メソ数値予報モデルの高度化

- メソ数値予報システム
  - 予報時間延長(15時間→33時間)
    - 1日8回のうち4回(03,09,15,21UTC初期値)
  - 解析システムの高度化
    - 解析システムで静力学近似を撤廃

## 第二部

# 数値解析予報システム

# 数値予報の概念

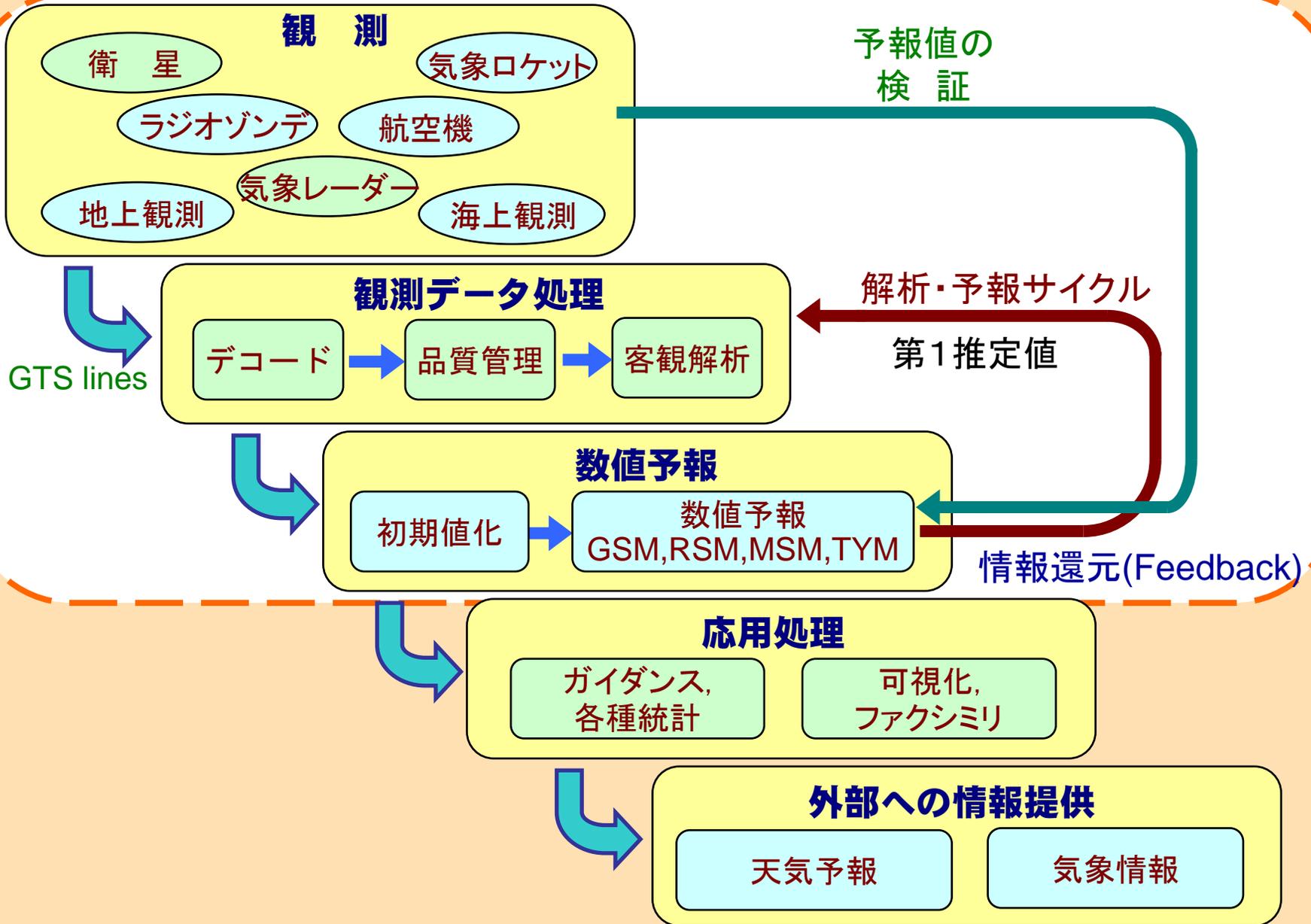


数値予報では、大気の運動や水蒸気、雲などの振る舞いを、流体力学などの物理法則を用いて予想する。予想の出発点は、観測値を元に解析した状態(初期値)である。予想では様々な現象を考慮した数値計算を行う。

# 天気予報のための数値予報

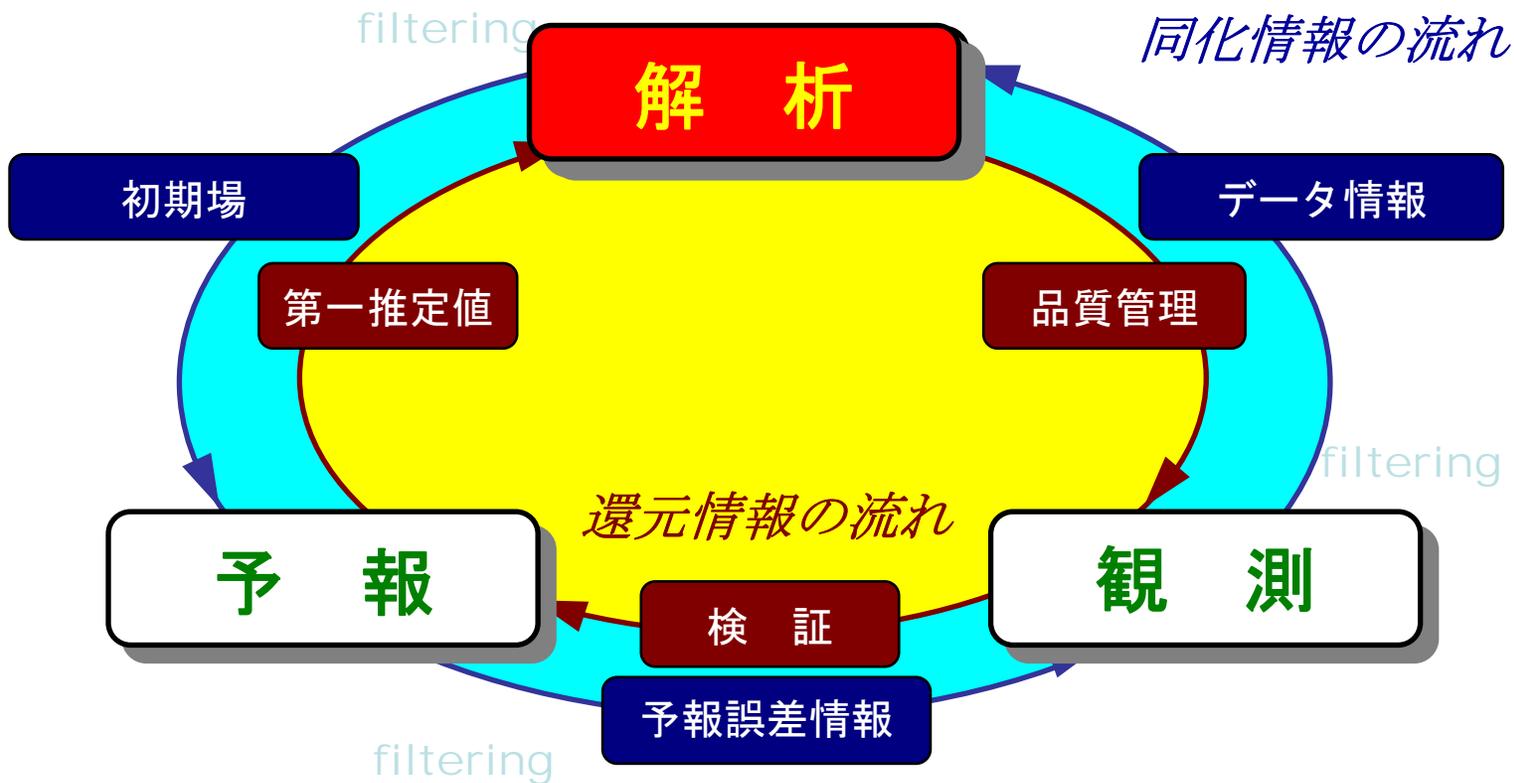
- 現実大気の予測
  - 理想的なシミュレーションではない
  - 外で起こっていることと一致していることが必要
- 精度良い予測のために必要なもの
  - 精度良い初期値
    - 現在の大気の状態をしっかりと把握することが重要
  - 精度良い予報モデル
    - 大気現象を正しくシミュレートできることが重要

# 気象データ処理の流れ



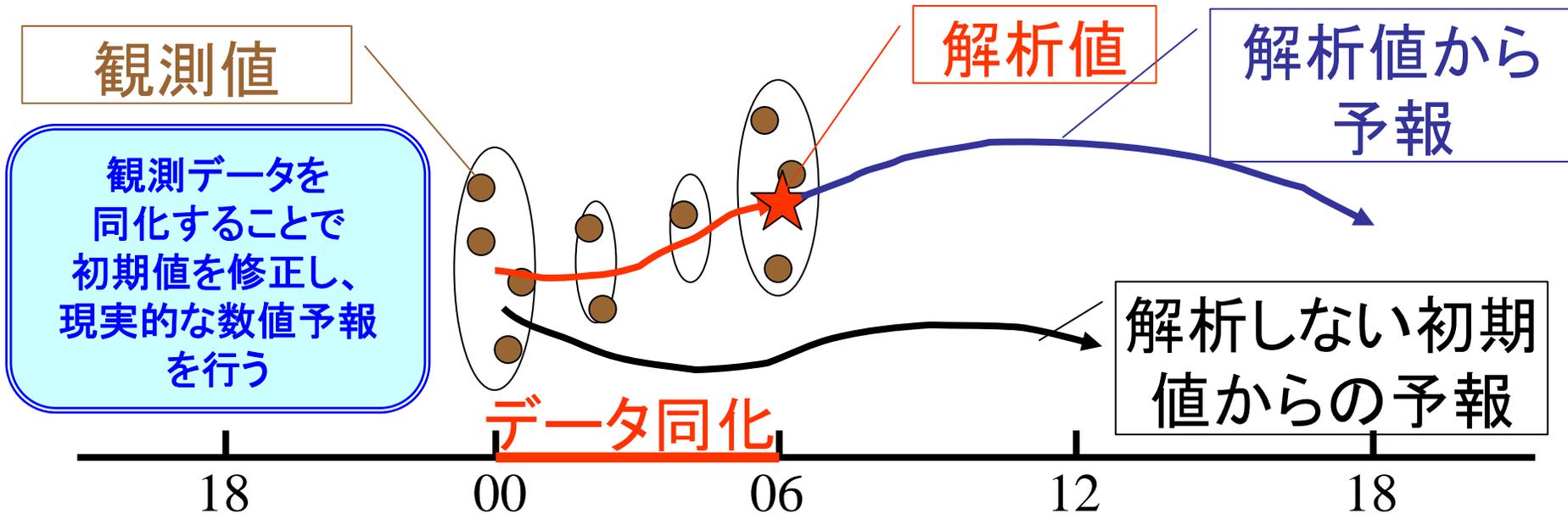
# 統合システムとしての数値予報

- 観測・解析・予報の間で相互に情報交換をすることで、現実大気のシミュレーションが可能となる。



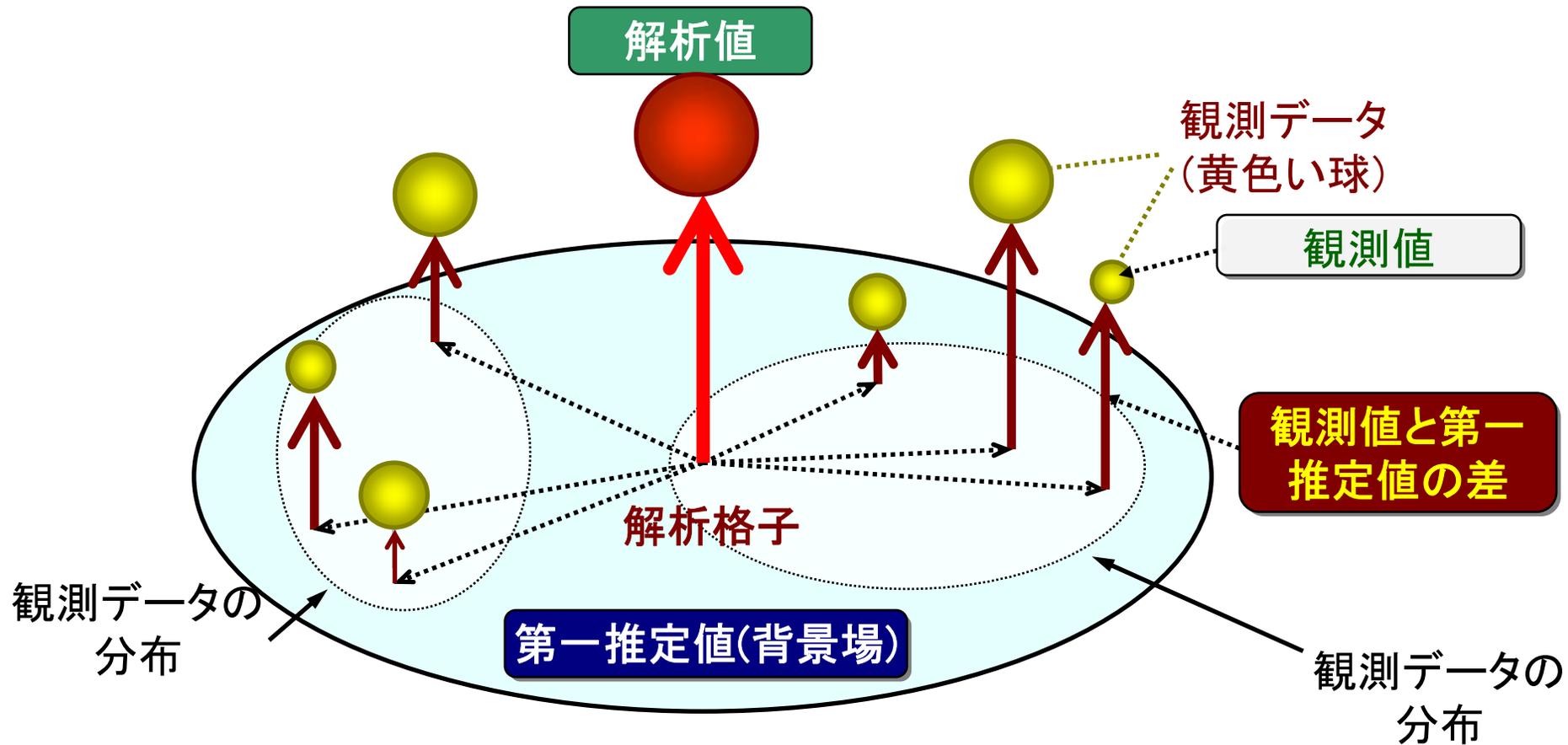
# 「数値予報」と「データ同化」

- 「数値予報」  
＝予報モデルを用いた気象シミュレーション
- 「データ同化」  
＝観測データを用いて、現実世界とシミュレーション世界を整合させること



# データ同化の概念

**解析値** = 第一推定値 (過去の初期値からの予報値)  
+ **修正値** (観測データによる修正量)



# 信頼度を考慮した解析

- 「解析値」＝「最も確からしい推定値」

情報＝データ＋信頼度（誤差情報）

6.0°C？

どこか？

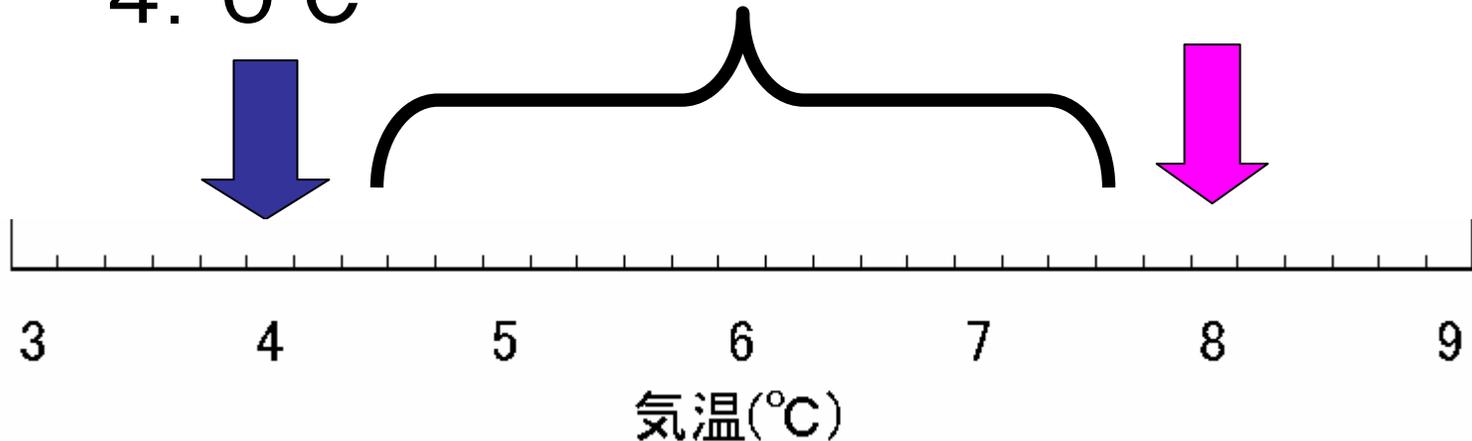
第一推定値

観測値

4.0°C

どちらに寄せるか

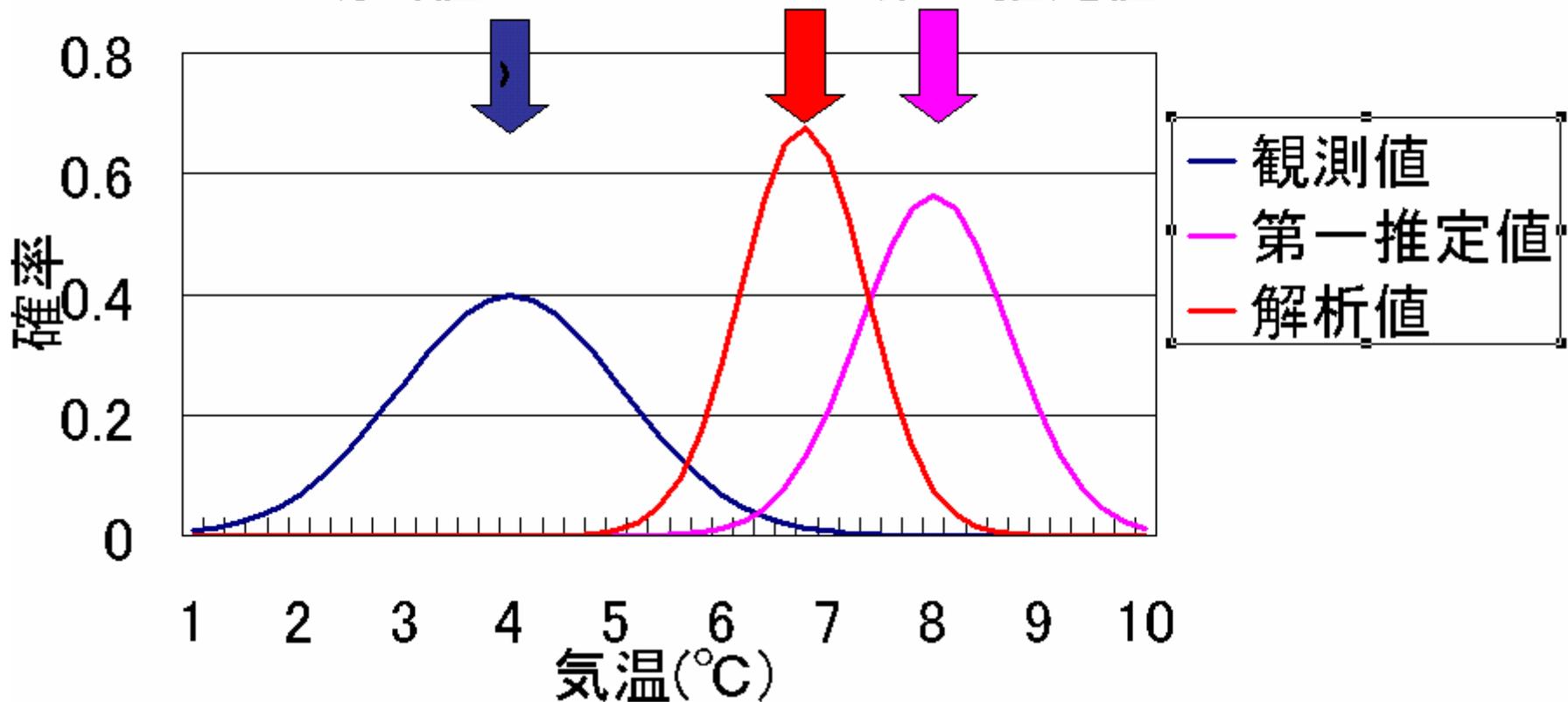
8.0°C



# 解析値＝確率最大となる推定値

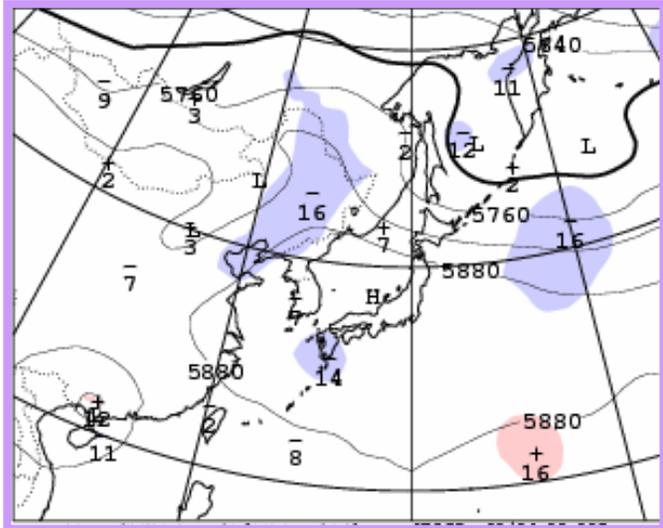
- 「予報誤差」＝「予報」の確からしさ
  - 「観測誤差」＝「観測」の確からしさ
- 最も確からしい値  
＝解析

観測誤差＝1.5      解析値      予報誤差＝1  
観測値＝4      ＝6.78      第一推定値＝8



# 空間的な広がりと予報誤差

500hPaの高度場の予報誤差



解析値

+8K

相関が広い場合

相関が狭い場合

予報誤差統計から  
広がりを推定する

+4K

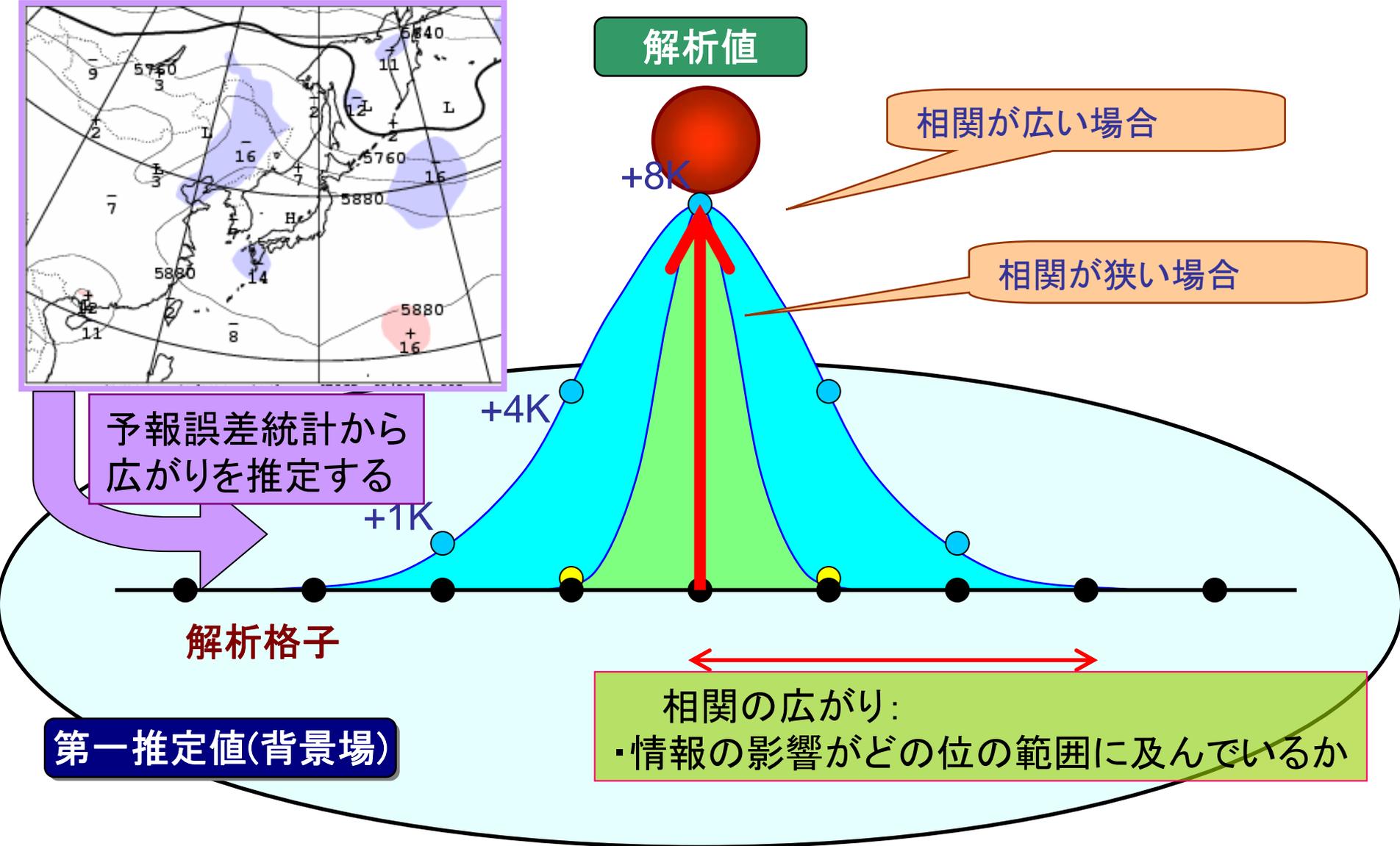
+1K

解析格子

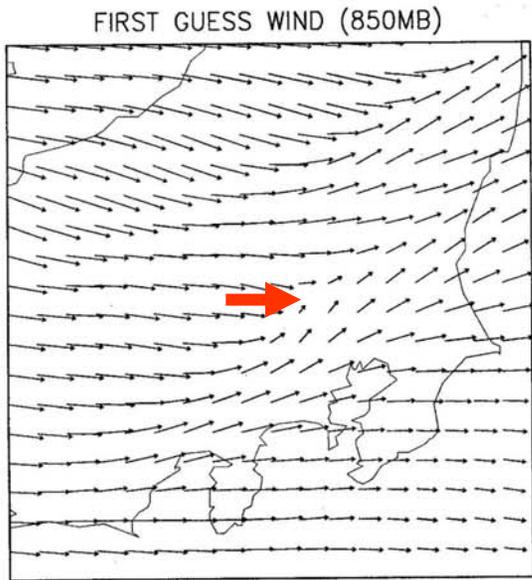
第一推定値(背景場)

相関の広がり:

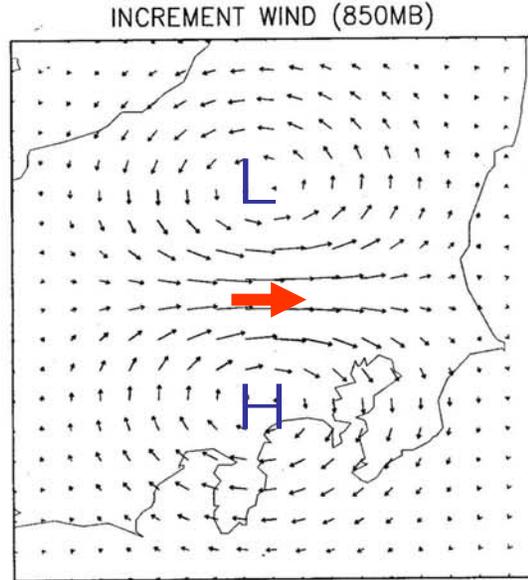
・情報の影響がどの位の範囲に及んでいるか



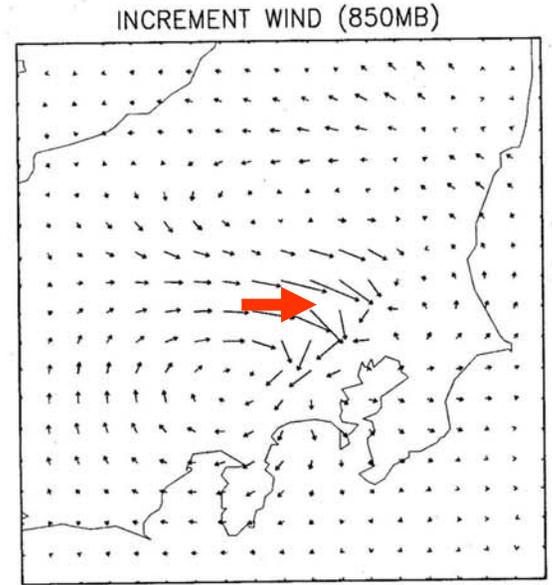
# 1個の観測データによる解析例



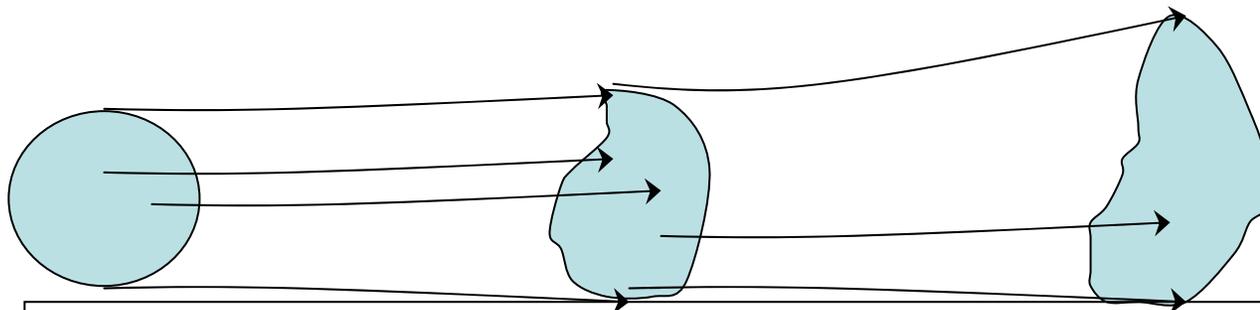
第一推定値  
(過去データの利用)



解析インクリメント  
(統計的相関の利用)



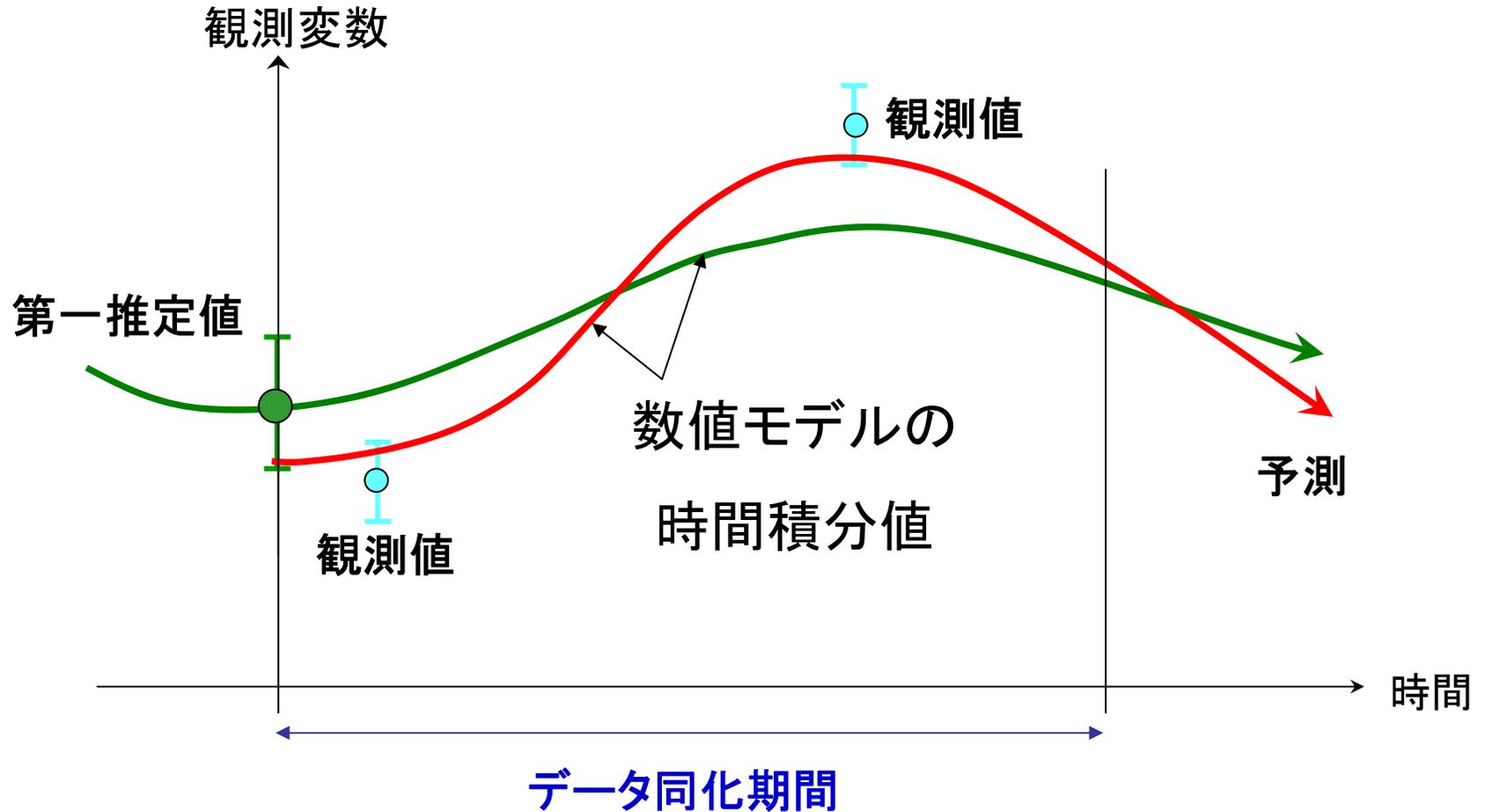
解析インクリメント  
(物理法則の利用)



予報モデルによって、予報誤差の広がりは変化していく

物理法則とは  
予報モデルによる  
予報誤差の変化  
を考慮すること

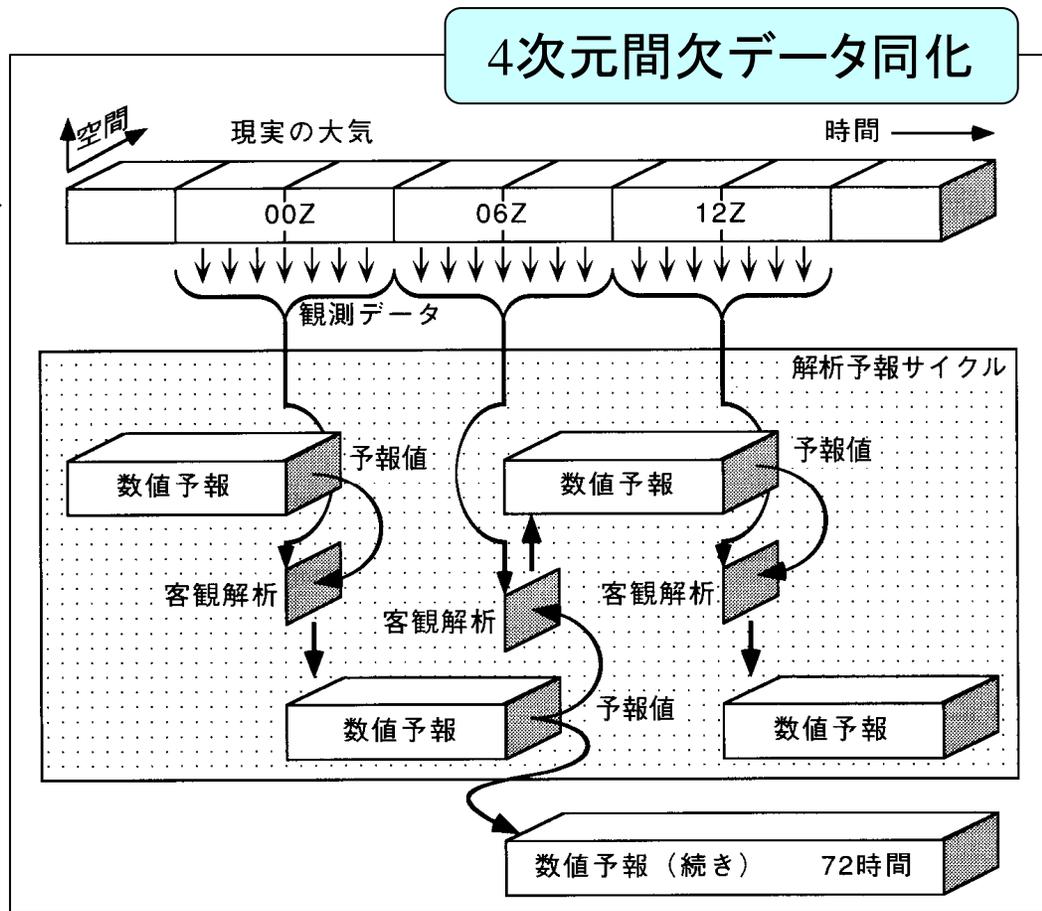
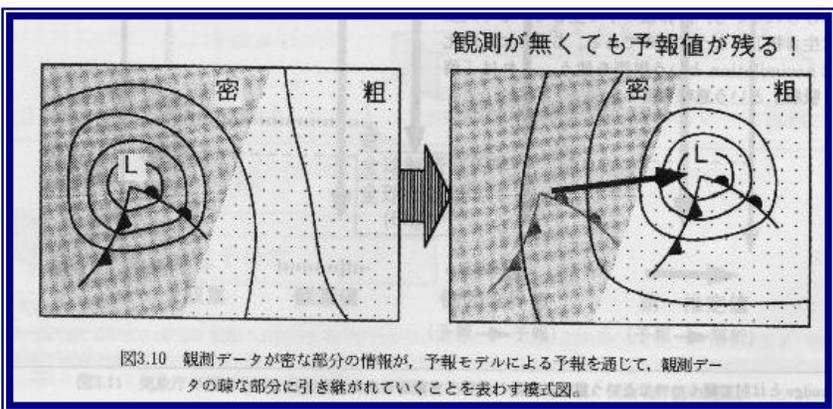
# 現業データ同化システム 4次元変分法 の概念



4次元変分法 の概念図。緑線は第一推定値からの数値モデルの時間積分値、赤線はデータ同化期間内で第一推定値と観測値に最も近い数値モデルの時間積分値で、後者をその期間内の解析値とする。第一推定値と観測値につけた縦線は、それぞれの誤差の大きさを示す。

# 解析予報サイクル

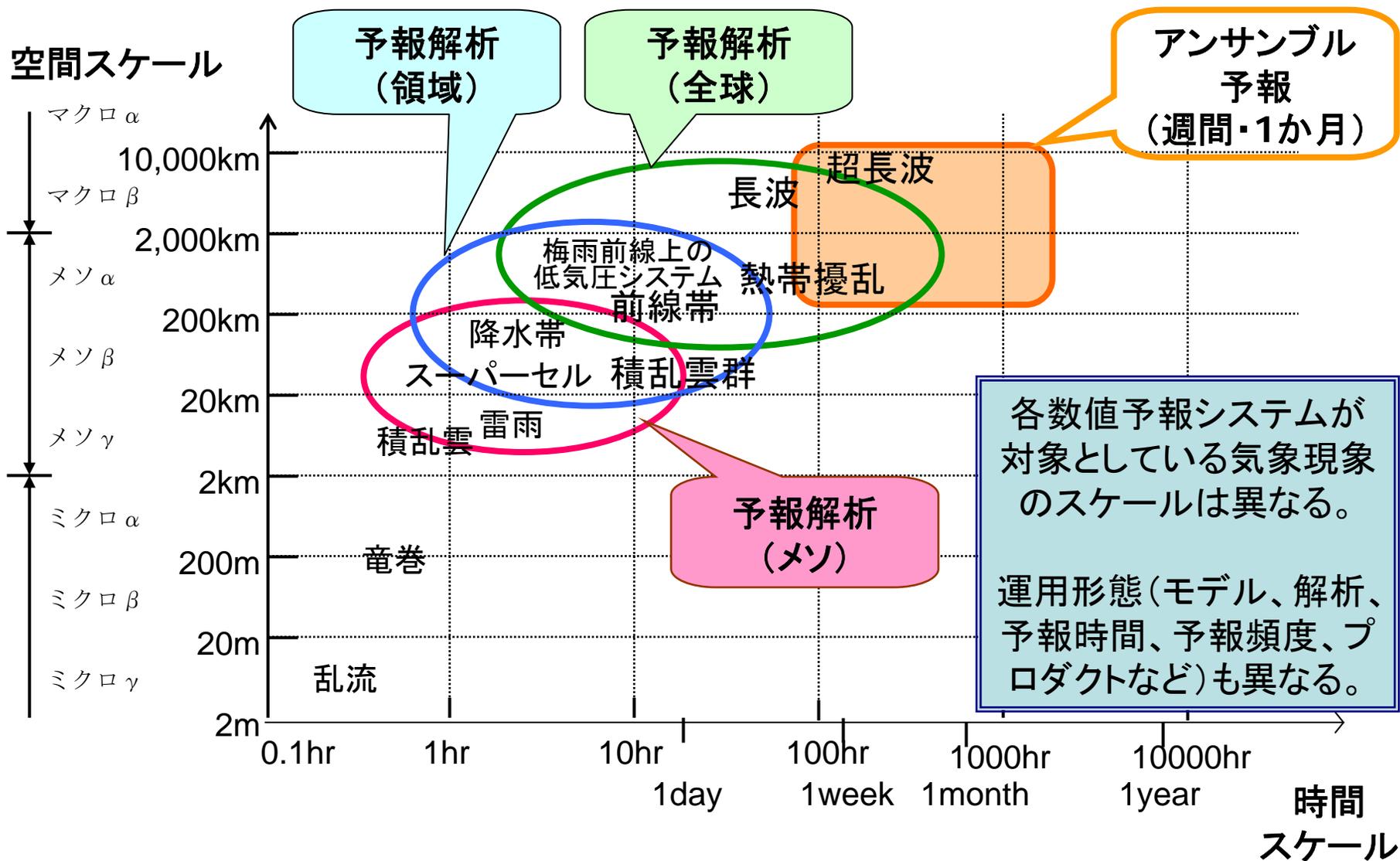
- 予報と解析を繰り返すことで、観測密度が不均一であっても、**予報モデルによって観測が密な場所の情報が疎な場所へ伝達**することで、より均一な品質の解析結果が得られる。



## 第三部

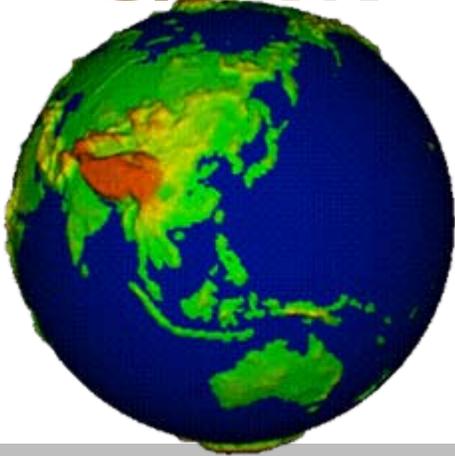
現業メソスケール数値予報システム

# 時空間スケールと数値予報システム

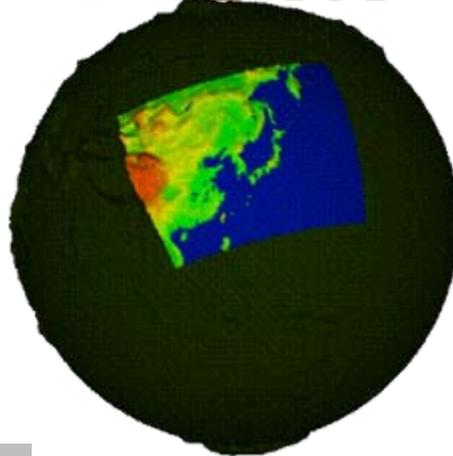


# 計算領域とモデル地形

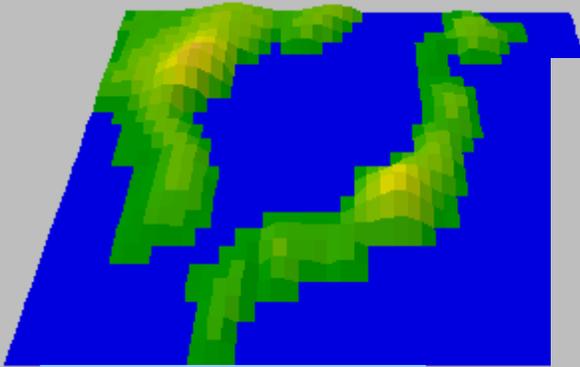
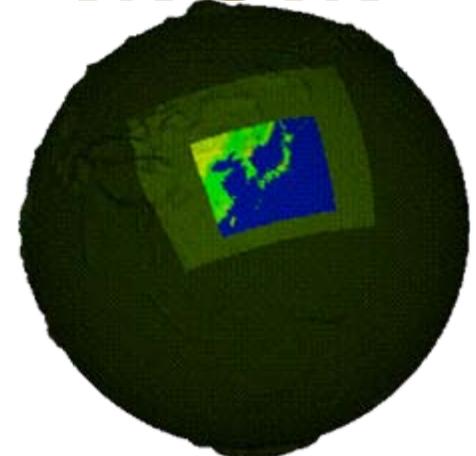
GSM



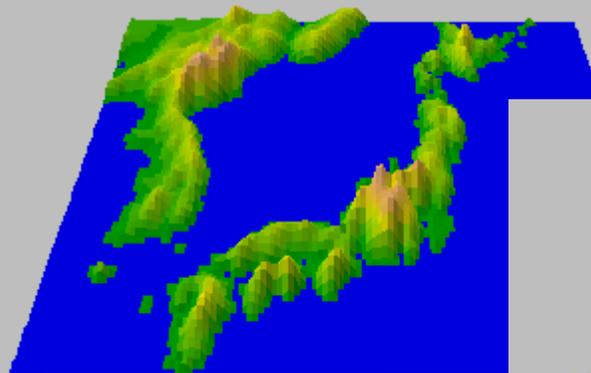
RSM



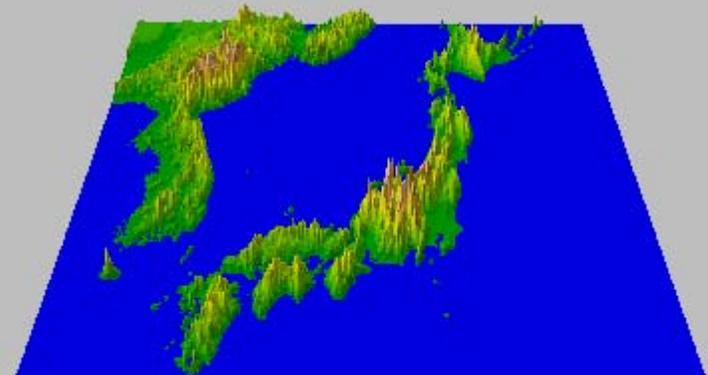
MSM



解像度 約60km



解像度 20km



解像度 5km

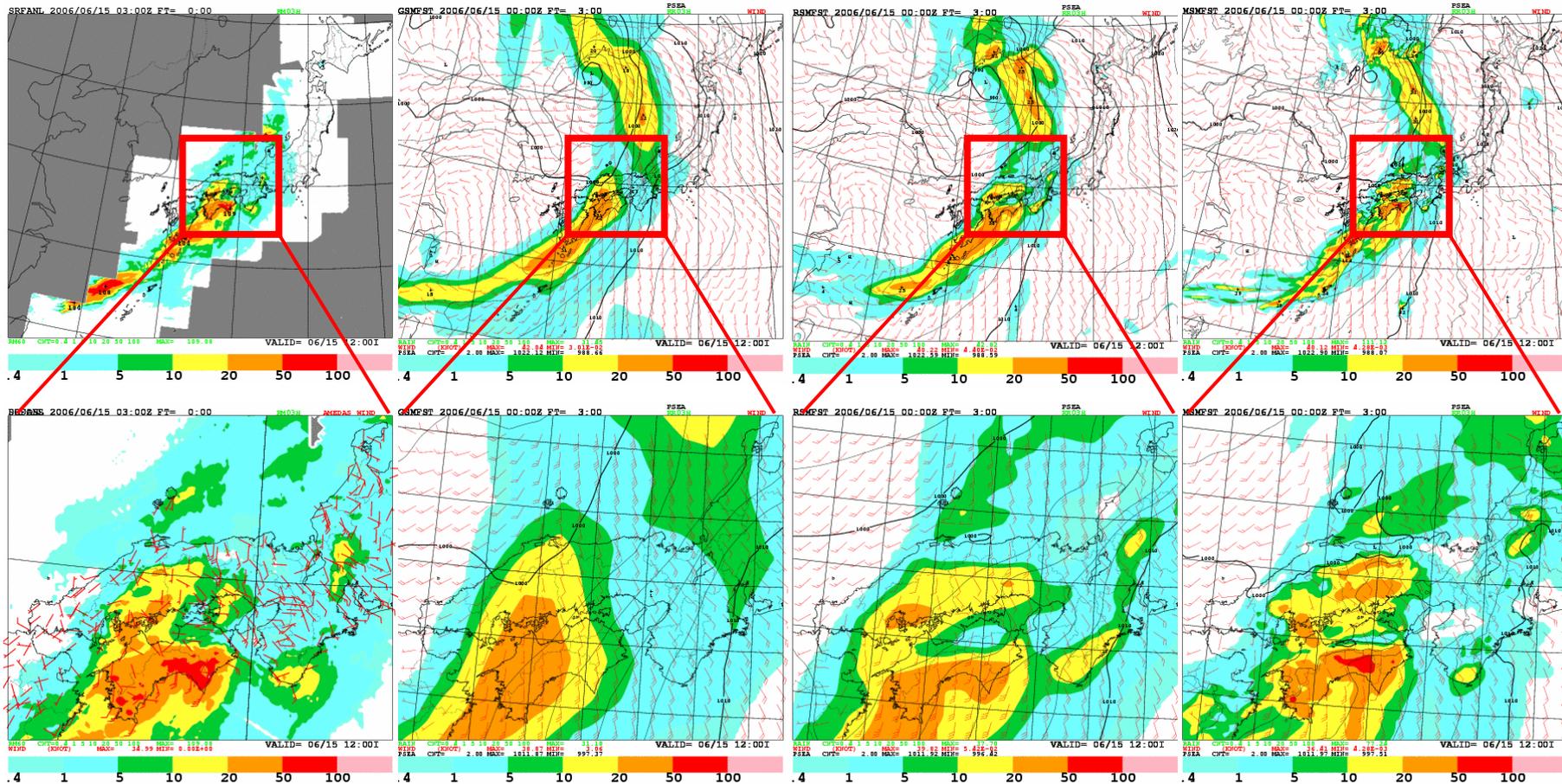
# 降水表現の違い: 2006/6/15初期値

解析雨量(観測)

GSM(約60km)

RSM(20km)

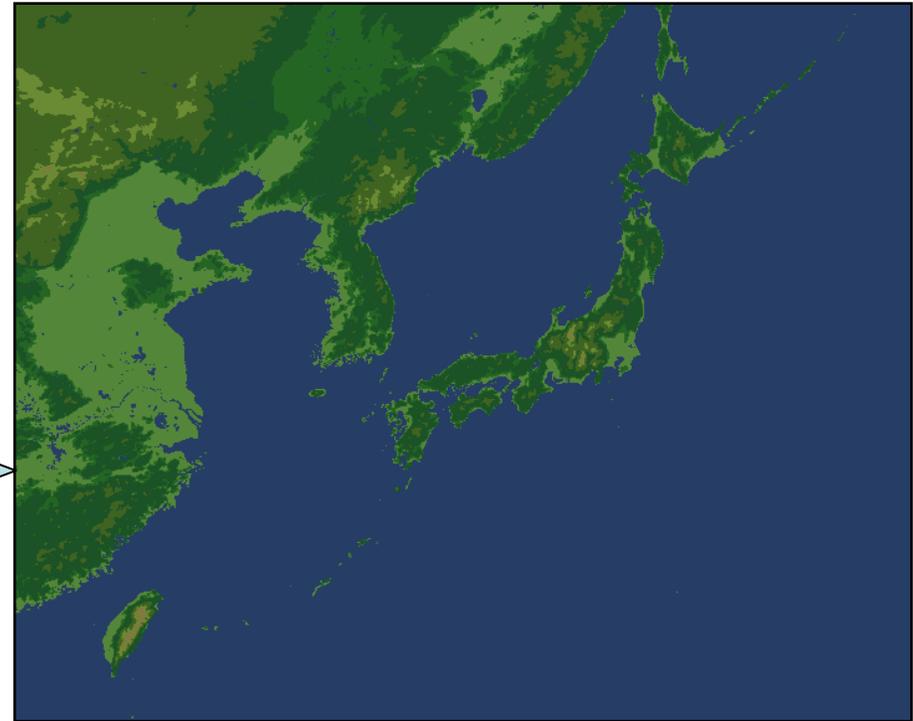
MSM(5km)



解像度が高いほど、より現実的な降水分布を表現することができる。

# メソ数値予報システム

- 目的
  - 防災気象情報・航空気象予報の支援
  - 降水6時間予報・高潮モデルの入力データ
- 運用形態
  - 1日8回15時間予報
  - 水平解像度5km
  - 鉛直解像度40~908m
  - 予報領域 
- 対象
  - メソスケール現象



# 気象庁非静力学モデル(NHM)

- 完全圧縮非静力学方程式系
  - 静水圧平衡の近似を撤廃
- 精緻な物理過程
  - 雲物理過程  
水蒸気、雲水、雲氷、雨、雪、あられを予報
- 格子モデル
  - $z^*$ 座標系(最下層で地形に沿う)
- メソ対流系擾乱など顕著な降水を伴う気象現象の予報に適している

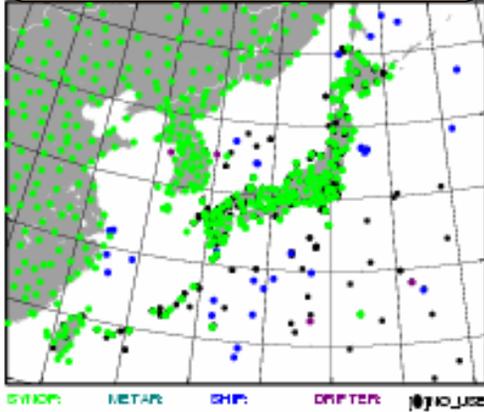
# メソ4次元変分法

- 静力学スペクトルモデルに基づいた4次元変分法解析システム
  - 世界で最初に現業化された(2002年3月)
  - 予報モデルのバランスを考慮した解析を行う
- メソスケールの観測データの同化に成功
  - レーダー・アメダス解析雨量
  - 航空機データ
  - ウィンドプロファイラー
  - ドップラーレーダー動径風 など

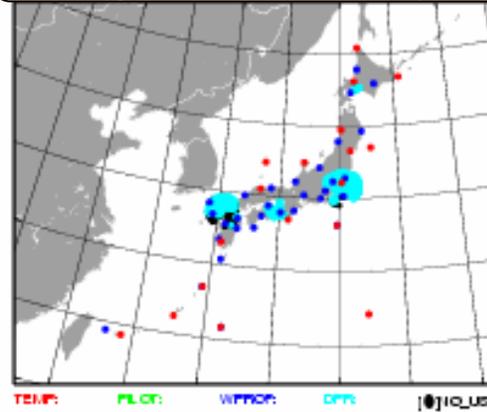
# データ同化に利用される観測

## 事例：メソ解析：2006年7月10日00UTC

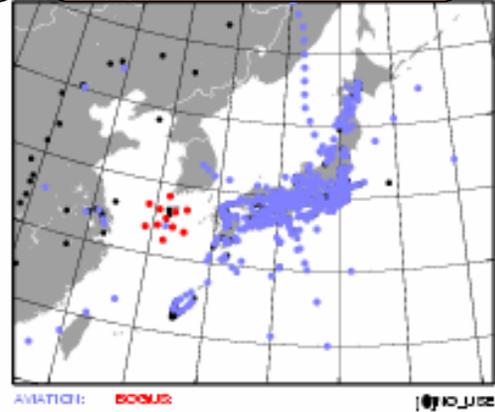
SYNOP・SHIP  
・BUOY等



高層観測・ドップラーレーダー  
・ウィンドプロファイラー

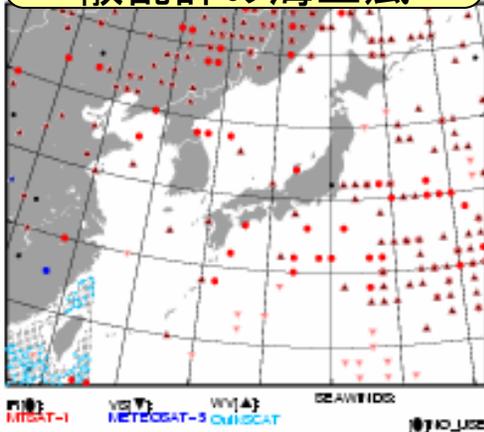


航空機観測・  
台風ボース

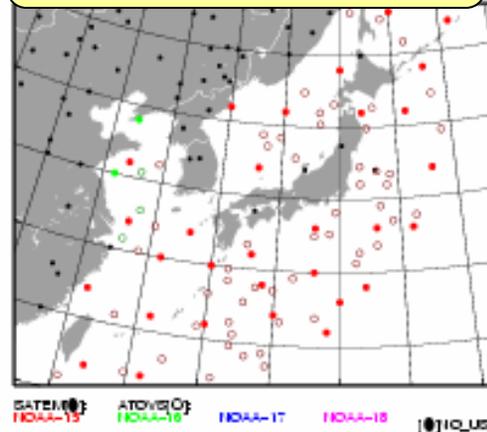


UTC

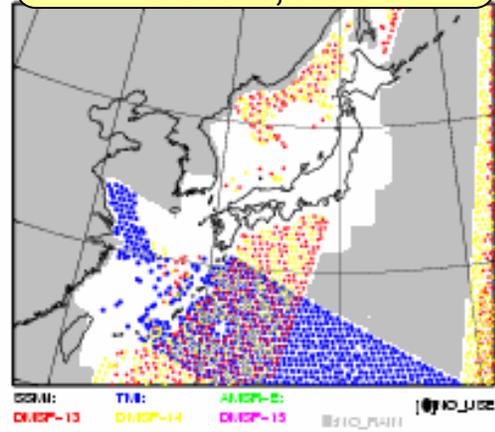
静止衛星風  
散乱計の海上風



サウンダ(ATOVS)



マイクロ波放射計  
SSM/I, TMI

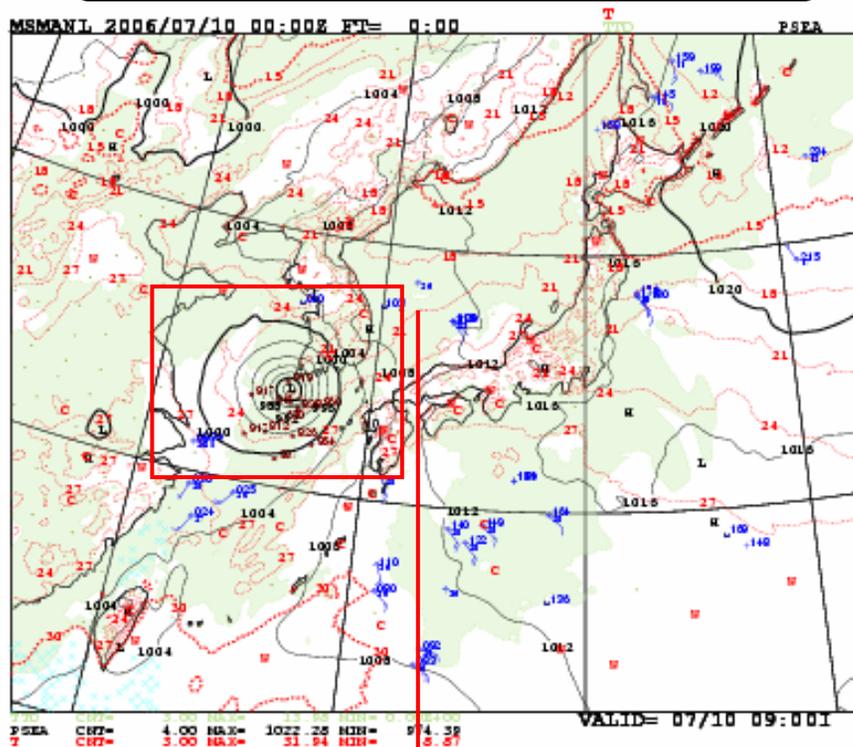


(注意) ●は、品質管理で落とされたデータ

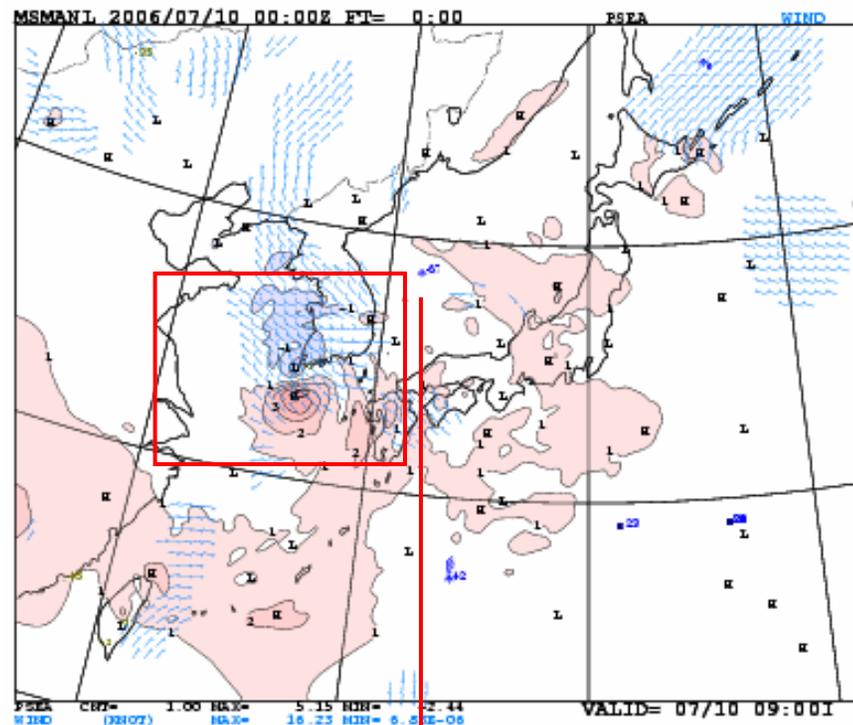
# メソ解析

事例：台風3号：2006年7月10日00UTC

解析値(地上)



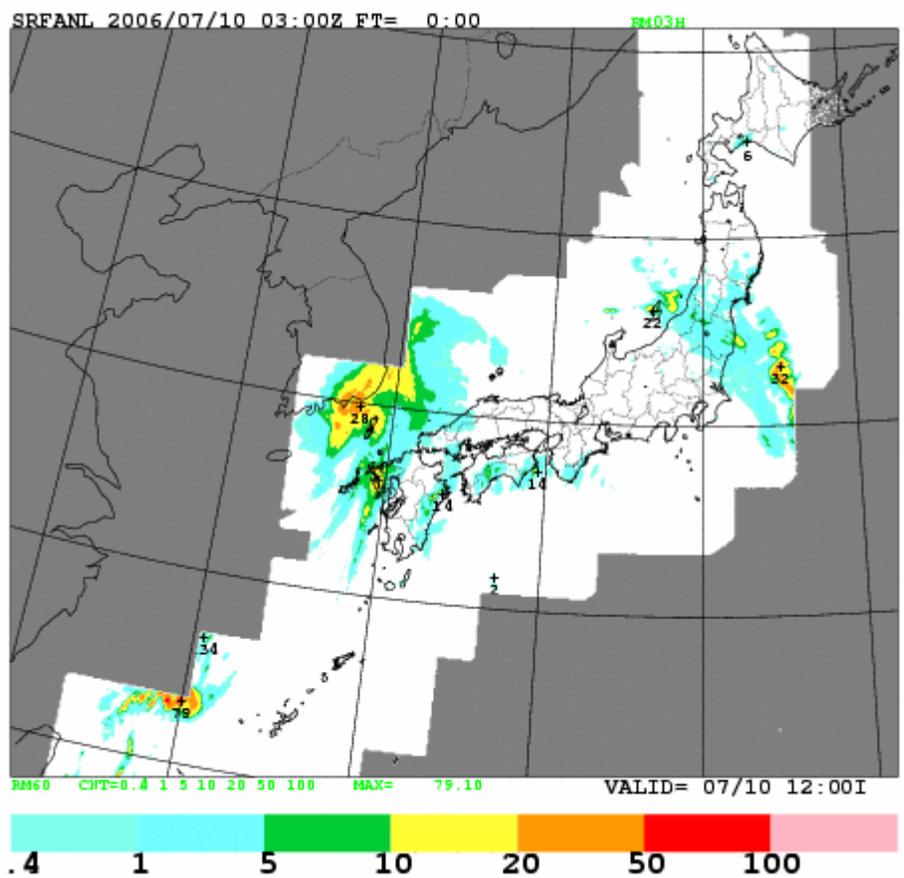
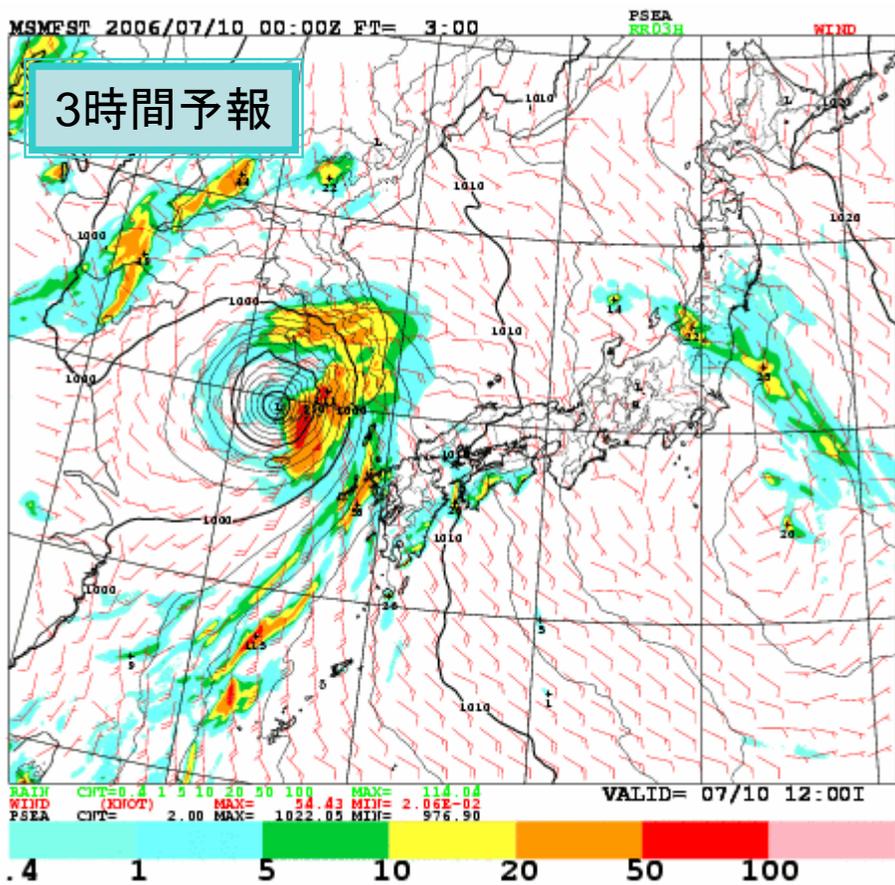
解析インクリメント(地上)



台風3号の進み具合がやや遅かったのが、北よりに修正されていることが分かる。

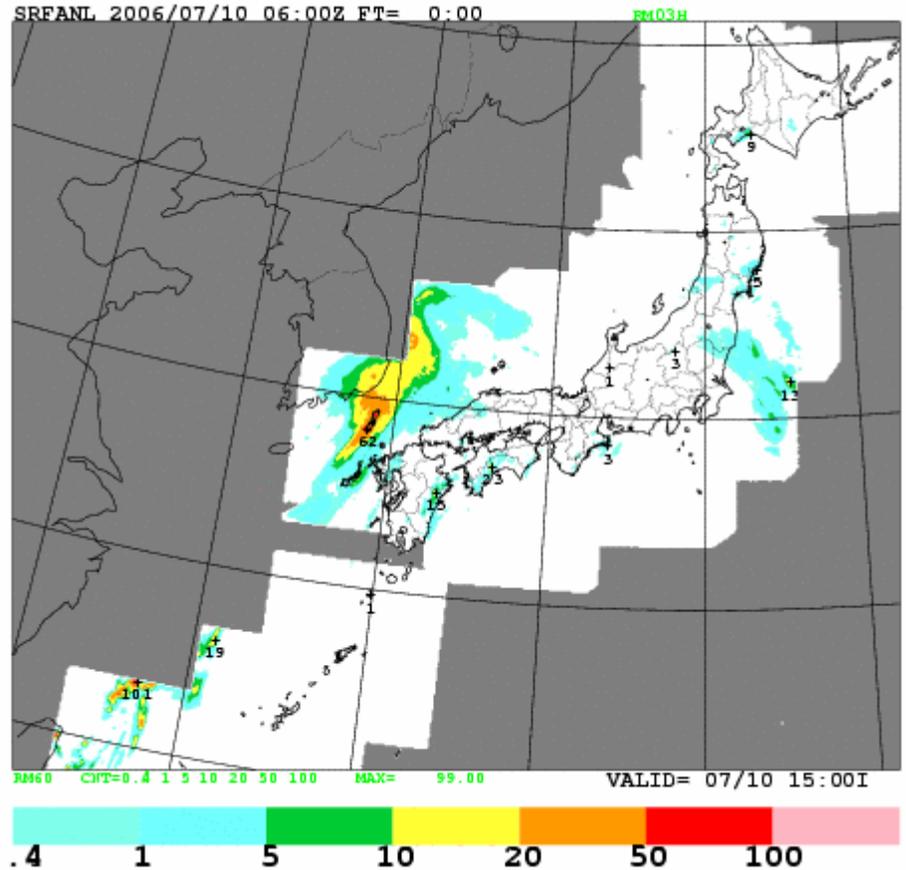
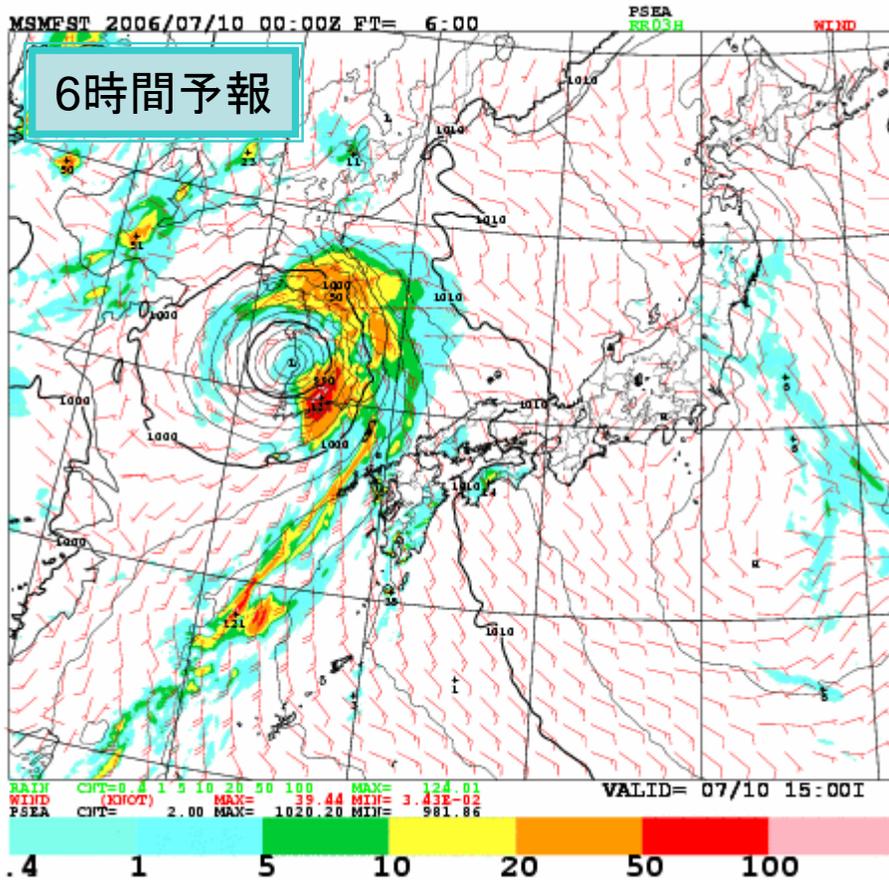
# 実際の予報と観測

## 台風3号:7月10日00UTC15時間予報



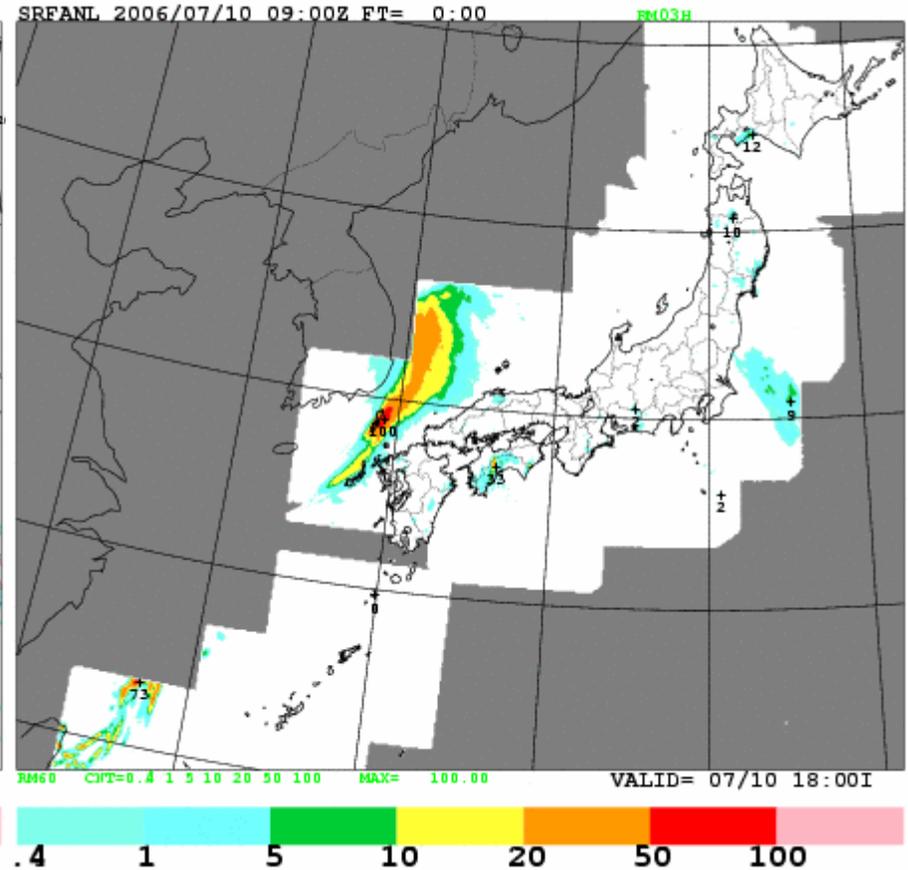
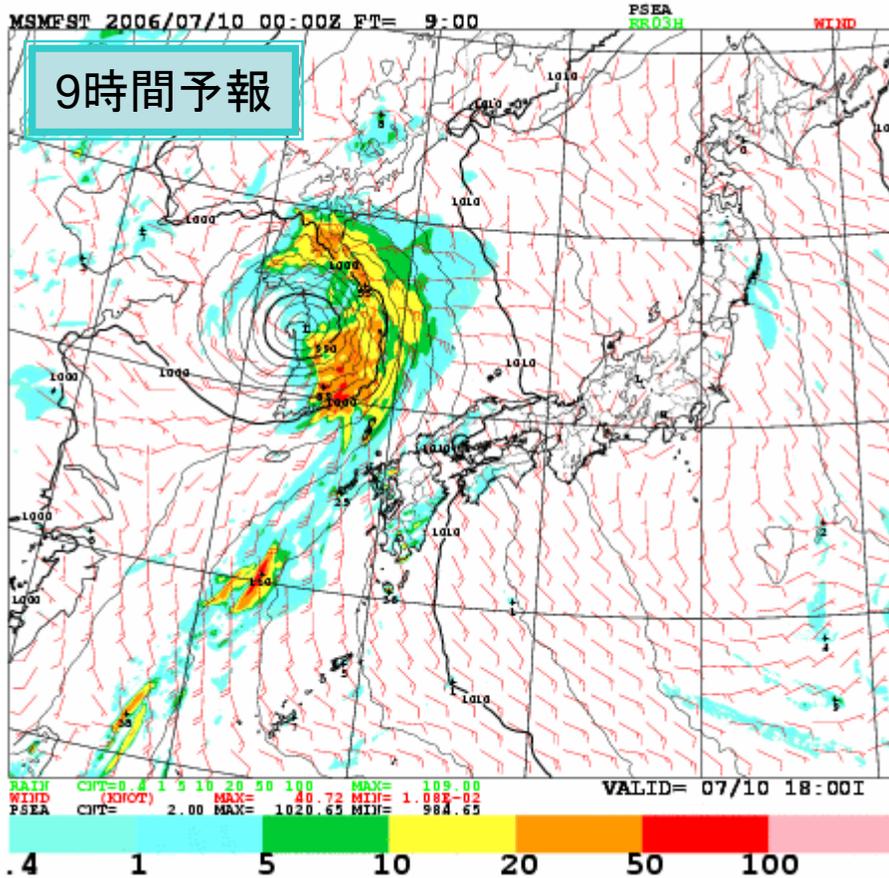
# 実際の予報と観測

## 台風3号:7月10日00UTC15時間予報



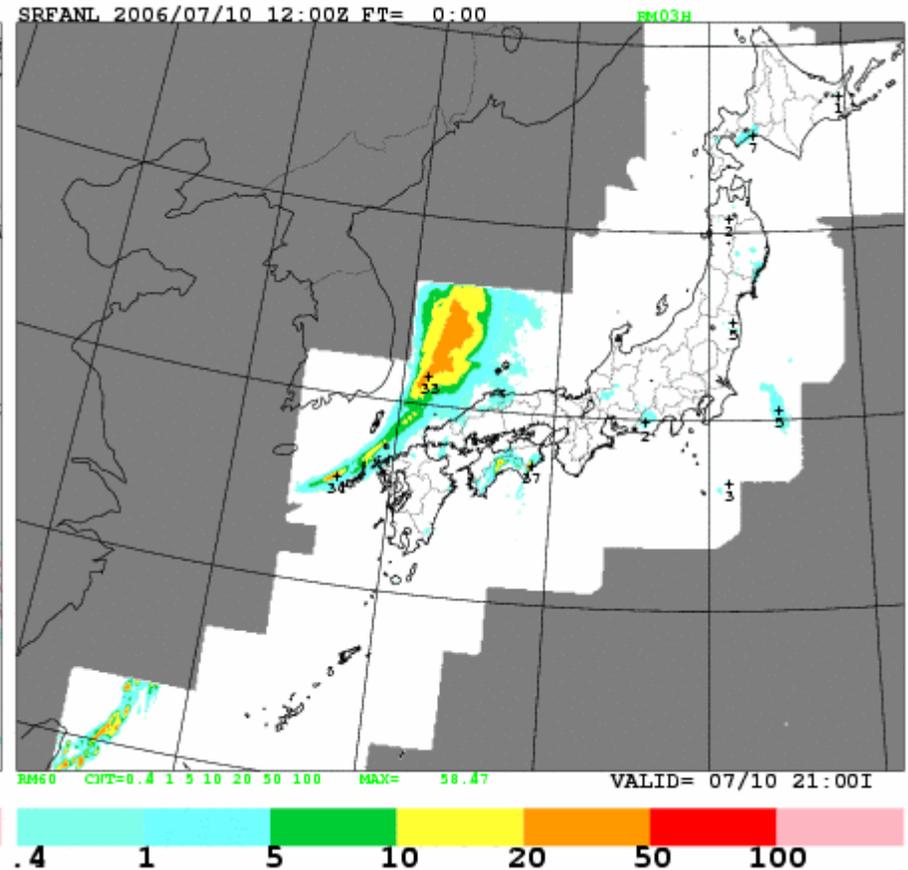
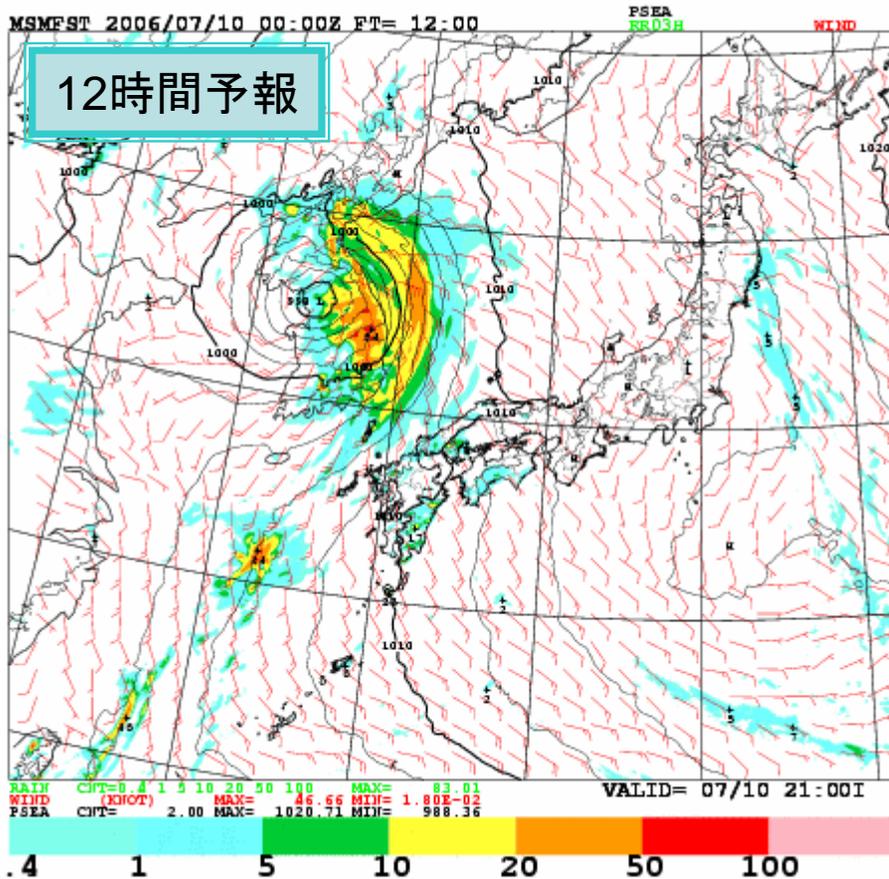
# 実際の予報と観測

## 台風3号:7月10日00UTC15時間予報



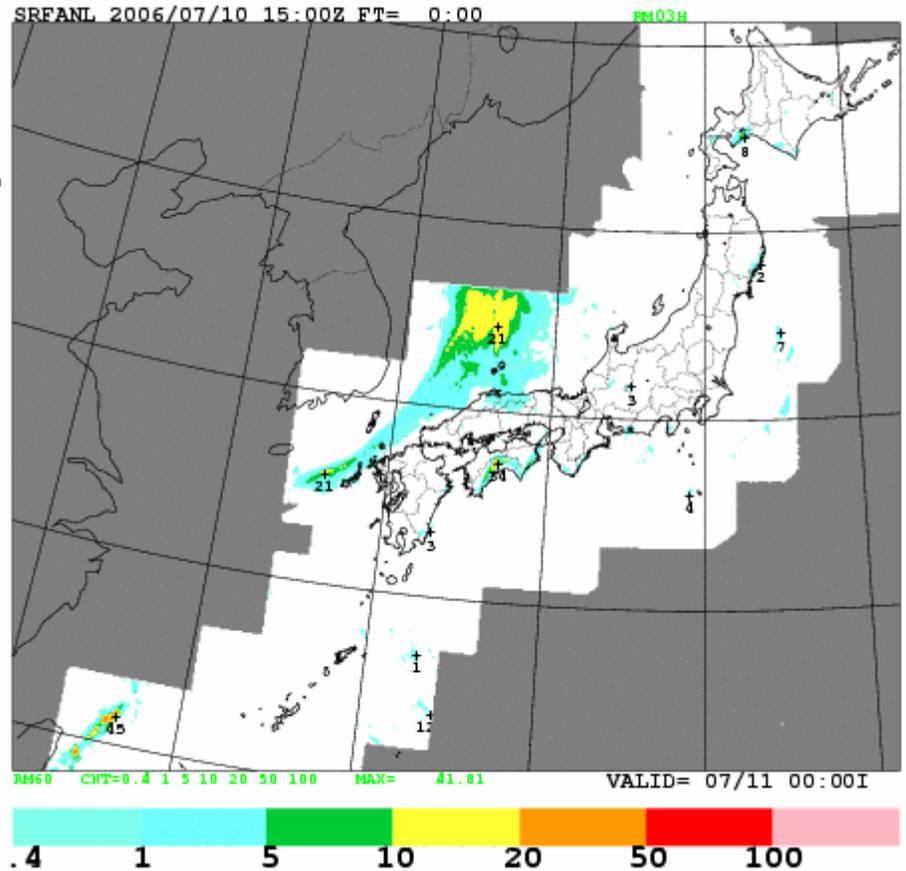
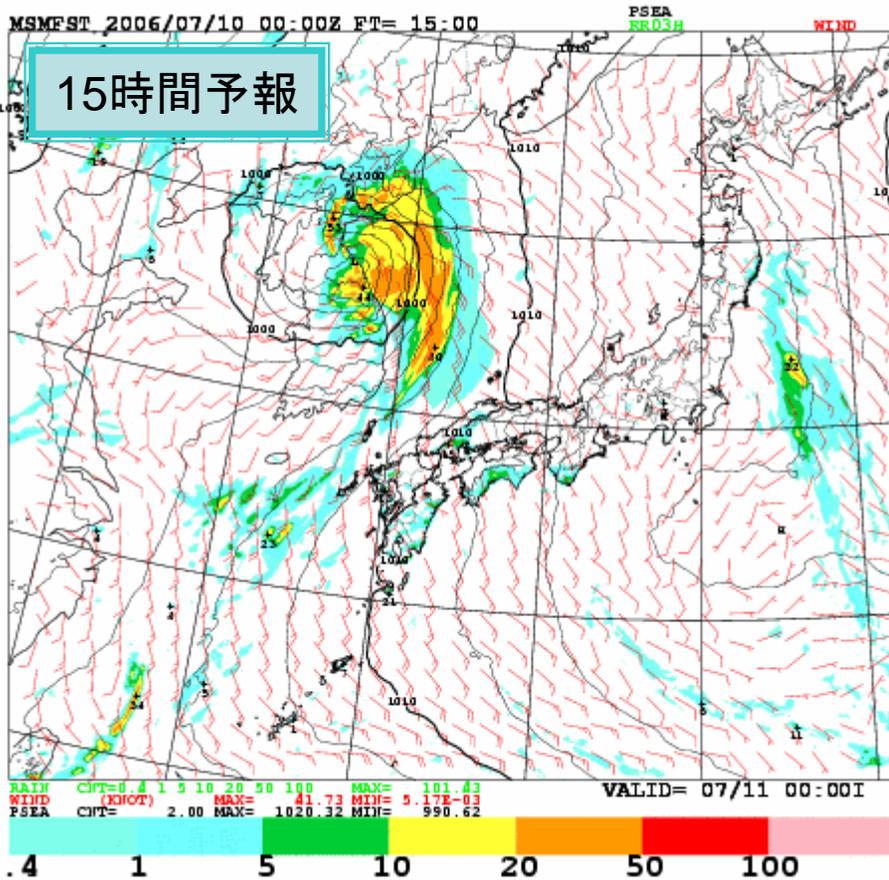
# 実際の予報と観測

## 台風3号:7月10日00UTC15時間予報



# 実際の予報と観測

## 台風3号:7月10日00UTC15時間予報



# メソ数値予報システムの最近の履歴

時期	更新内容
2002年3月	メソ解析にメソ4次元変分法導入
2002年8月	メソ解析に国内航空機観測データの同化開始
2003年6月	メソ解析に台風ボーガス導入
2003年10月	メソ解析に衛星搭載マイクロ波データ(可降水量、降水強度)の同化開始
2004年7月	メソ解析にQuikSCAT衛星の海上風データ同化開始
2004年9月	メソモデルとして気象庁非静力学モデルの利用開始
2004年11月	メソ解析にマイクロ波放射計AMSR-Eデータ(可降水量、降水強度)の同化開始
2005年3月	メソ解析に空港ドップラーレーダー動径風データ同化開始
2005年6月	メソ解析に中部国際空港及び福岡空港のドップラーレーダー動径風データ同化開始
2006年3月	メソモデルを高解像度化(水平5km、鉛直50層)

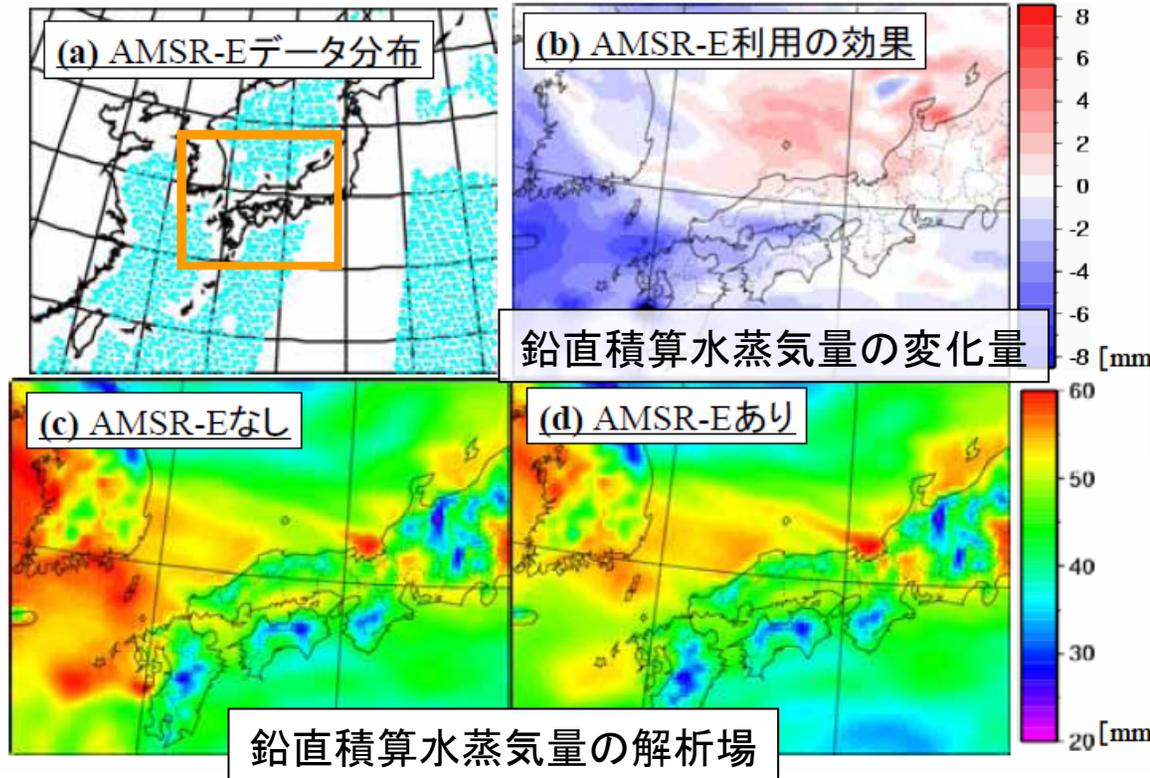
赤字:データ同化関係 青字:予報モデル関係

# マイクロ波放射計AMSR-E(可降水量、降水強度)

- AMSR-Eとは？

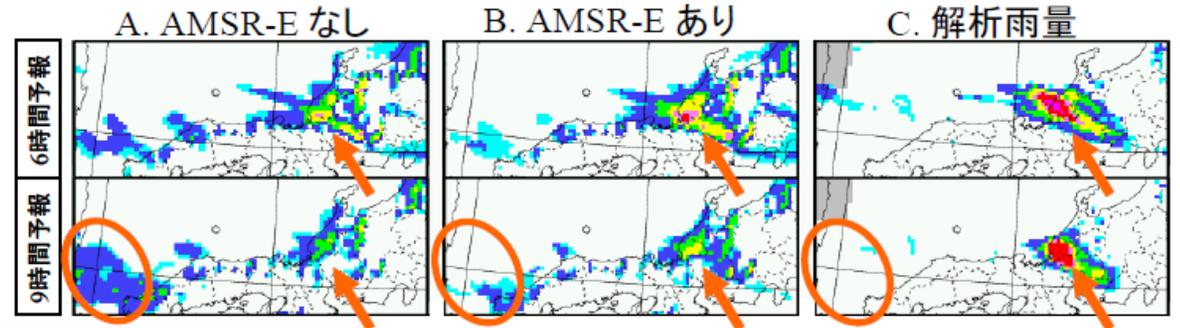
- 米国の地球観測衛星Aquaに搭載されているマイクロ波放射計
- 極軌道衛星であり、1日2回ほど日本上空を観測
  - 米国の軍事気象衛星DMSP(SSM/I)や熱帯降雨観測衛星TRMM(TMI)とは違う時間帯に観測
- 可降水量や降水強度が推定される
  - SSM/IやTMIと同様に、海上の湿りに関する観測

# メソ解析への AMSR-E (可降水量、降水強度) の同化



AMSR-Eのデータを同化することで、主に海上で水蒸気場の解析が修正される

降水予報が改善

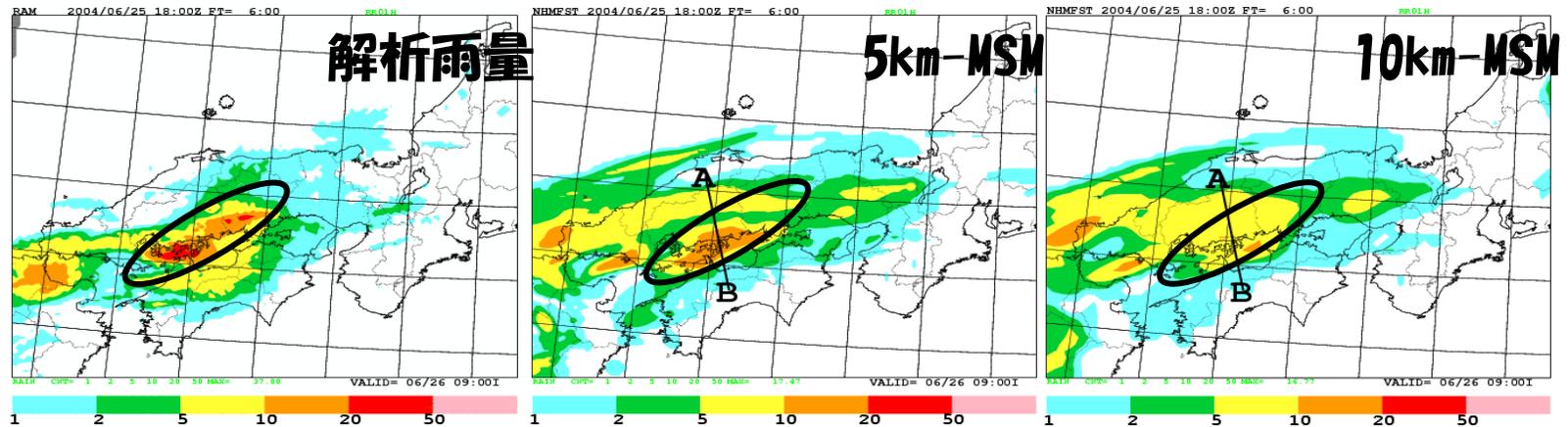


# メソモデルの高解像度化

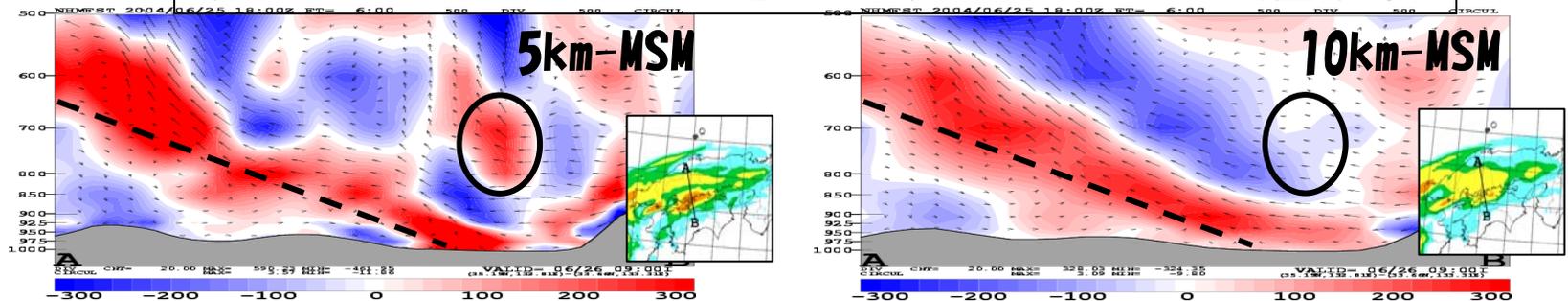
H17年数値予報研修テキストより

## 水平解像度10km→5km、鉛直層40層→50層

高分解能化することにより、前線面上での収束域が表現できるようになり、梅雨前線上の強い降水表現が改善されている



暖色系が収束域、寒色系が発散域を表す。ベクトルは鉛直循環。



# 将来のメソスケール数値予報 開発トピックス

- 更なる高解像度化
  - － 高分解能局地モデルの開発
    - 水平分解能を2kmまで高解像化
    - 防災情報の強化
    - 局地予報(空港・都市での時系列予報)
- 解析手法の高度化
  - － 非静力学メソ4次元変分法の開発
    - 非静力学モデルを採用する
    - 雲物理量と関係のある観測データの同化

# 資料協力

- 平成9年度数値予報課報告・別冊第43号「データ同化の現状と展望」
- 平成14年度数値予報課報告・別冊第48号「変分法データ同化システムの現業化」
- 平成17年度数値予報研修テキスト「第8世代数値解析予報システム」
  
- 第3回天気予報研究連絡会 中山 寛(気象庁数値予報課)「2005年9月4日から5日の首都圏豪雨の予測と発生・維持機構」(近日、気象学会定期雑誌「天気」に掲載予定)
- 気象学会2006年度春季大会 D305 本田 有機「雲物理過程を考慮した非静力学メソ4次元変分法(JNoVA)を用いた地上降水とレーダー反射強度の同化による量的降水予報の改善(1)」
  
- 配信資料に関する技術情報(気象編)第175号「メソ解析における衛星搭載マイクロ波放射計AMSR-Eデータの利用について」