

# 高精度メソスケール気象予測の実証

齊藤和雄

(気象庁気象研究所予報研究部/海洋研究開発機構)

1. メソスケール気象現象
2. 数値天気予報とメソ現象予測の難しさ
3. 戦略プログラムメソ気象予測課題の目標

資料協力:

気象庁予報部数値予報課

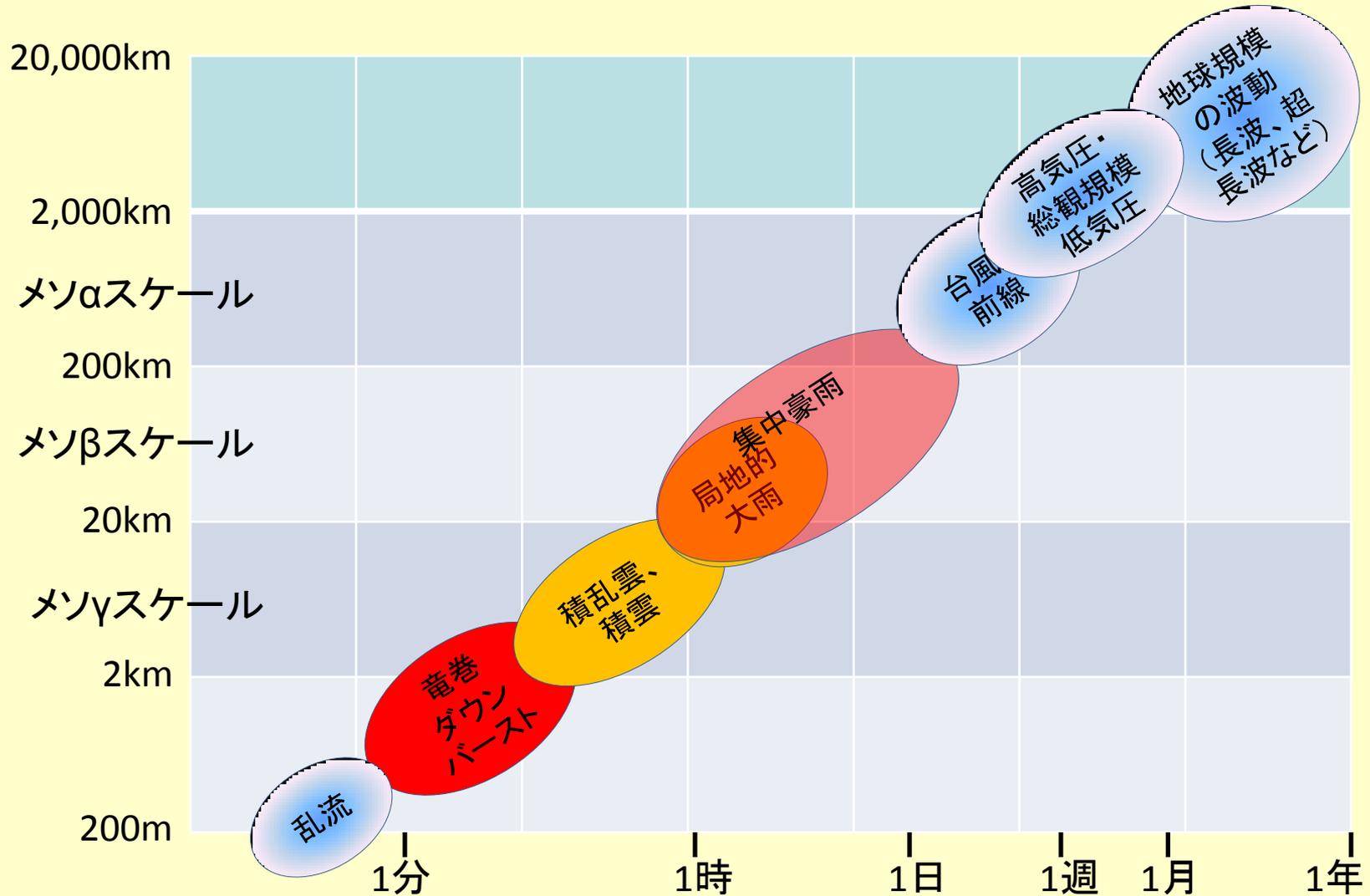
露木義、瀬古弘、川畑拓矢、折口征二、益子渉、橋本明弘(気象研究所)

木村富士男、LeDuc、野田暁、黒田徹、大泉伝(海洋研究開発機構)

GuixingChen(東北大学)、小林健一郎(神戸大学)、坪木和久(名古屋大学)

伊藤純至(東京大学)、中西幹郎(防衛大学校)、岩井宏徳(情報通信研究機構)

# 大気現象の時間スケールと水平スケール



# 集中豪雨

- 梅雨末期など日本付近に前線が停滞している時や台風接近に伴って起こることが多い
- 暖かく湿った空気が大気下層に流入し、積乱雲群が次々に発生発達して豪雨を降らせる

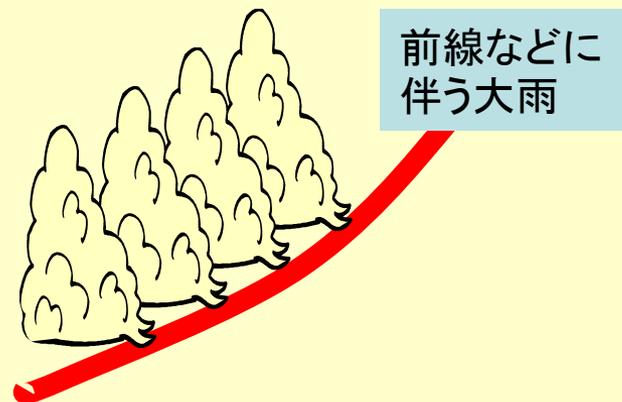
## ・台風接近時の大雨

台風の進路と強度を正確に予測することが重要。台風の進路が合っていれば、風の地形強制による大雨はかなり良く予想出来るようになってきた。

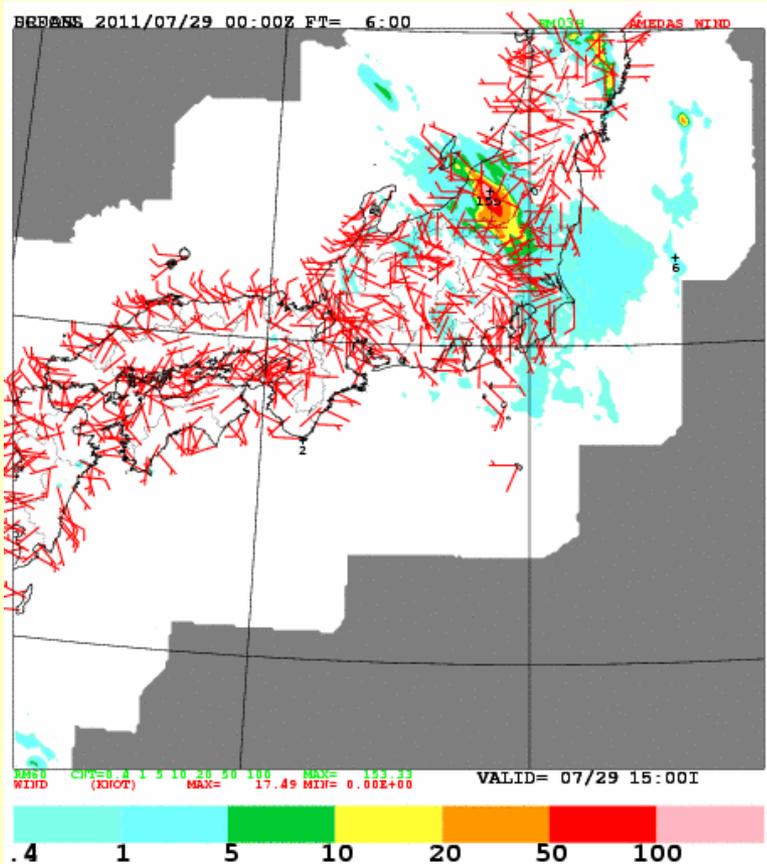


## ・梅雨末期の前線の雨

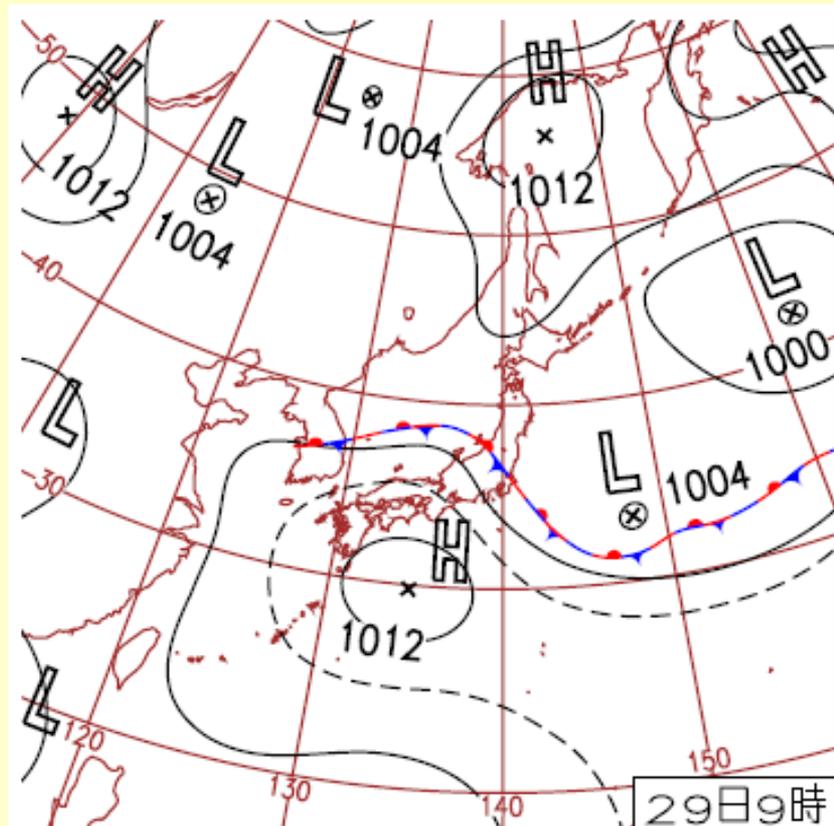
空間的・時間的スケールが小さく(数十km、数時間～半日)、どこでどれだけ降るかを正確に予測するのはまだ難しいが、近年予測が向上しつつある。



# 集中豪雨の例 前線に伴う下層収束で発生



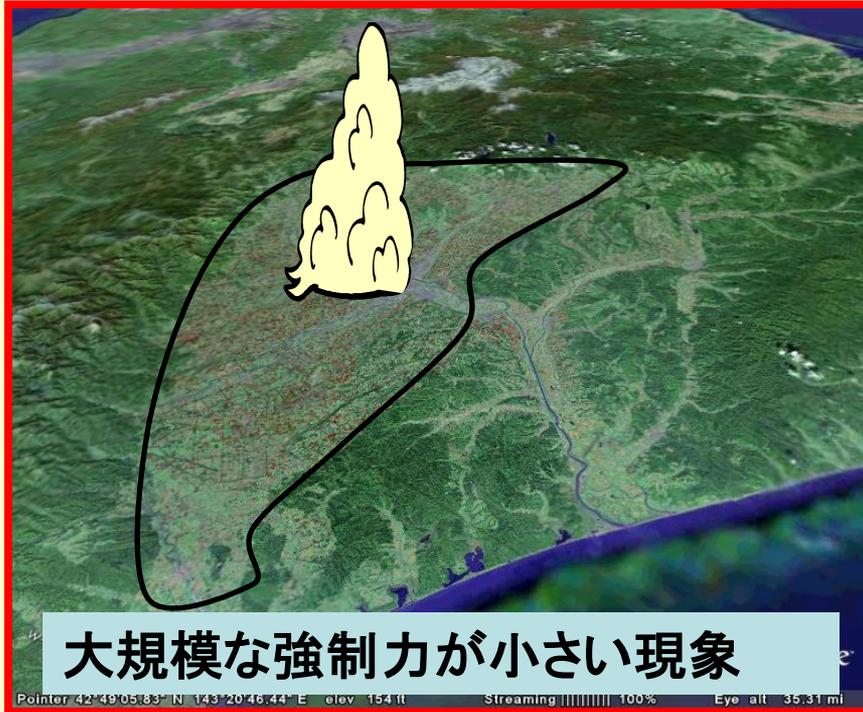
レーダーアメダス解析雨量  
12-15時, 2011年7月29日



29日(金)新潟・福島で豪雨続く  
前線が停滞し、新潟県十日町で  
121mm/1h、新潟県加茂市宮寄上で  
93.5mm/1h、福島県只見で430mm/日  
など観測史上1位の記録更新。

(平成23年7月新潟福島豪雨)

# 局地的大雨



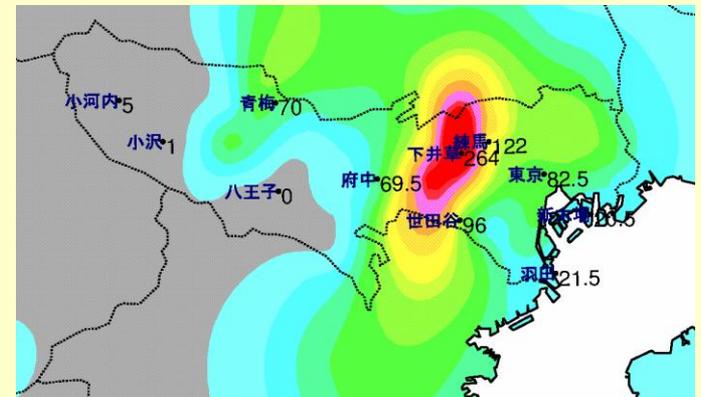
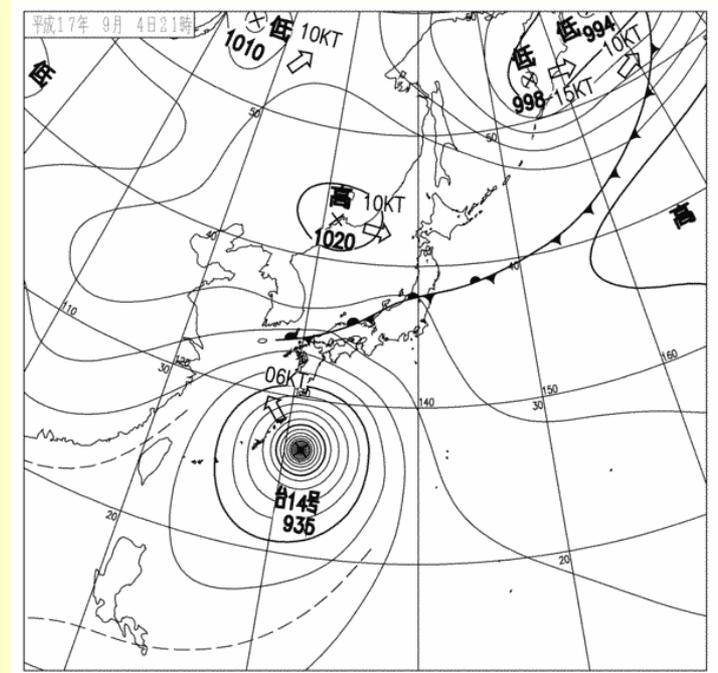
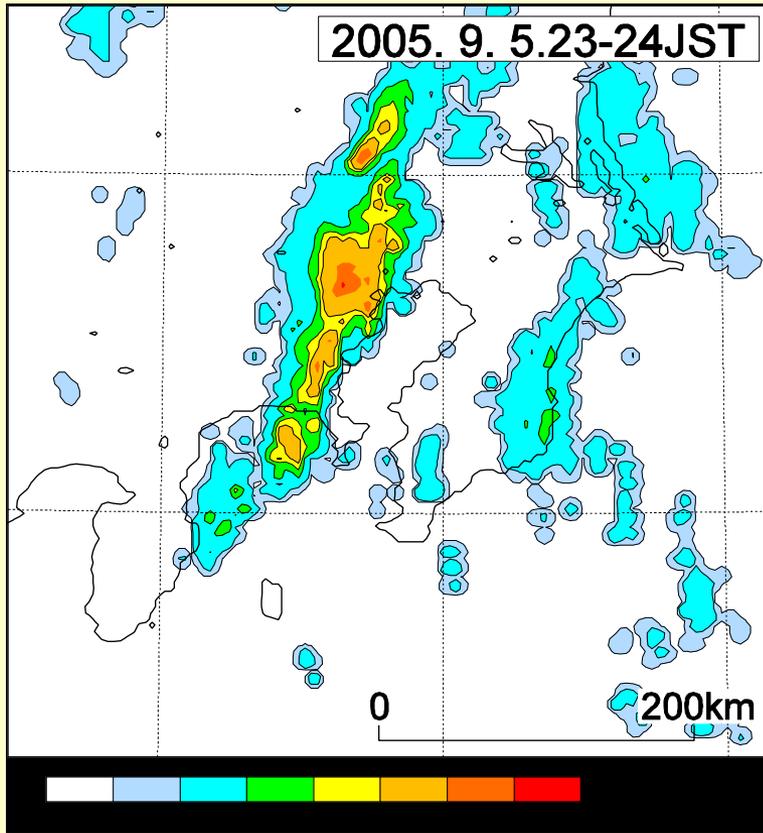
- あまり組織化しない少数の積乱雲で引き起こされる
- 集中豪雨よりさらに空間的・時間的スケールが小さい。
- 総雨量は集中豪雨より小さいが、雨の強度は劣らない
- 僅かな条件の違いで結果が大きく変わる

現時点では発生前の予測は非常に困難

(「ゲリラ豪雨」などと呼ばれることもあるが、気象庁では使わない)

# 局地的大雨の例

## 2005年9月4日杉並豪雨



2005年9月4日深夜、東京杉並区を中心に1時間100mmを超える豪雨。神田川、妙正寺川、善福寺川などが氾濫し、中野区と杉並区で3200棟が床上、床下浸水

# 数値モデルによる大気現象の予測

- ・物理法則に基づいて、大気の状態の時間変化を定量的に求めることにより、将来の大気の状態を予測する**初期値問題**

## 時間発展式

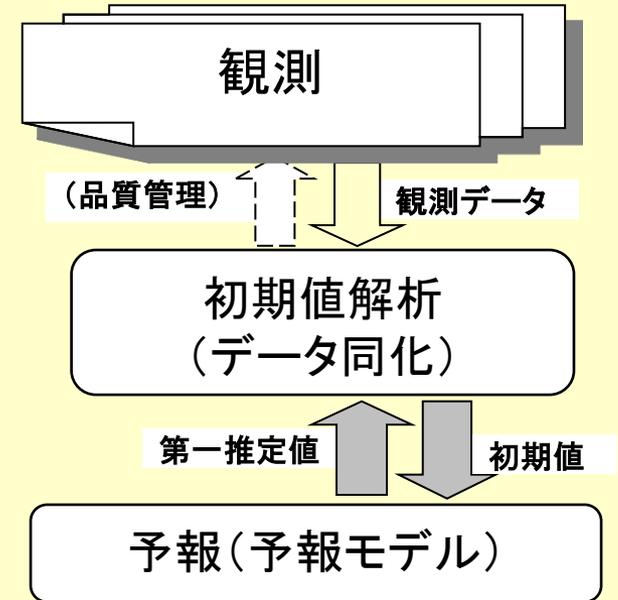
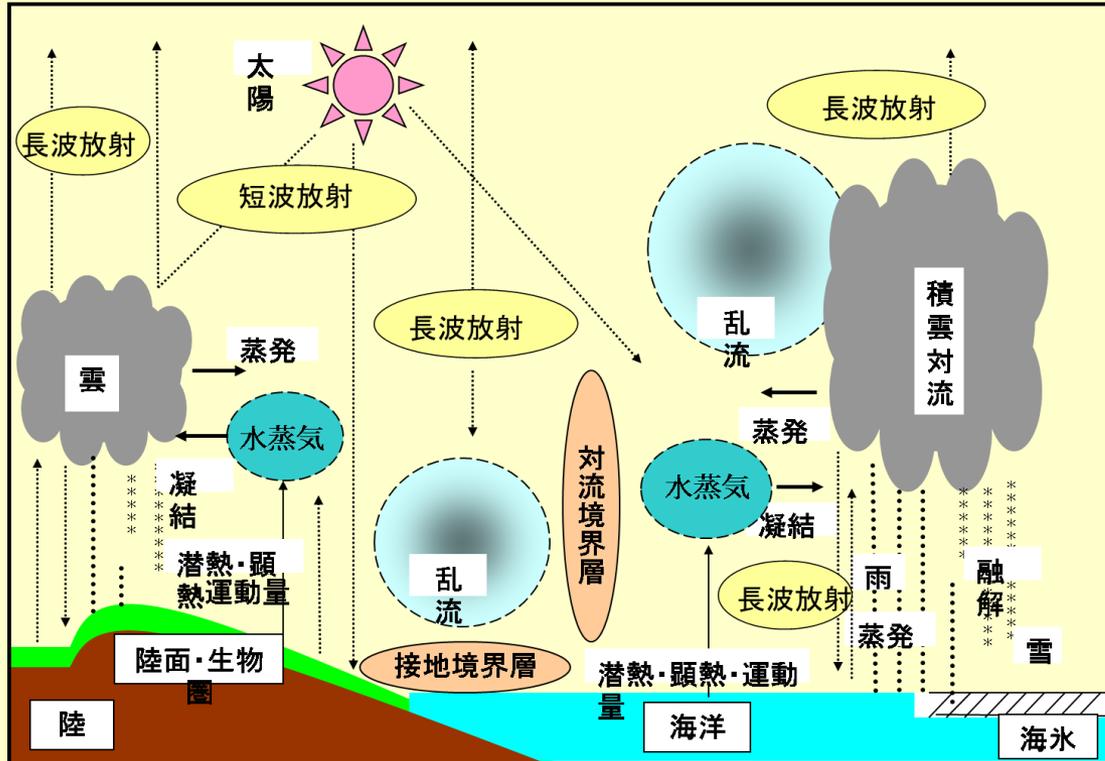
- ・ 運動方程式(3方向)  $\frac{d\vec{V}}{dt} = (-2\vec{\Omega} \times \vec{V}) - \frac{1}{\rho} \nabla p + \vec{g} + \vec{F},$
- ・ 連続の式  $\frac{\partial \rho}{\partial t} + \frac{\partial \rho u}{\partial x} + \frac{\partial \rho v}{\partial y} + \frac{\partial \rho w}{\partial z} = 0$
- ・ 熱力学第一法則  $\frac{d\theta}{dt} = \frac{Q}{C_p \pi}$

## 診断式

- ・ 状態方程式  $p = \rho RT$ 
  - ・ 湿潤大気では水の保存則と相変化の考慮が必要
  - ・ 放射と潜熱による加熱Qの取扱い、乱流拡散がモデルを複雑に

# 予測の精度を決める要素

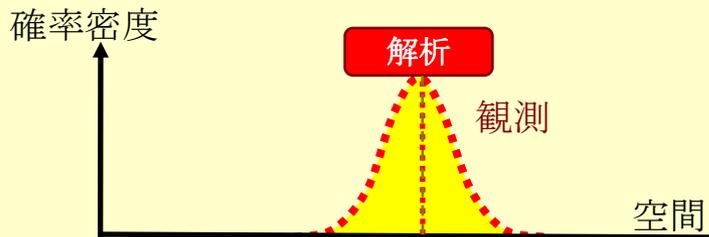
- モデル (領域、分解能、力学過程、物理過程)
- 初期条件 (データ、解析手法)
- 境界条件



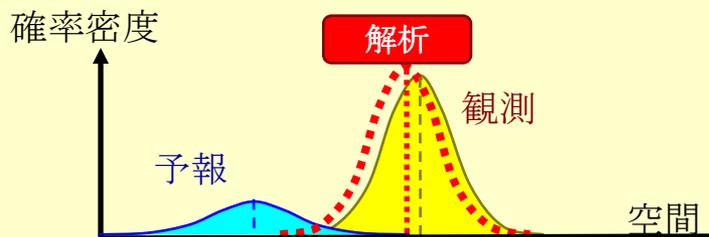
斉藤・岡本 (2008)

天気予報は初期値問題であるため、モデルとともに初期値の精度が大変重要で、現在の短期予報では初期値の作成に計算資源の半分以上が投入される (気候予測と大きく異なる点)

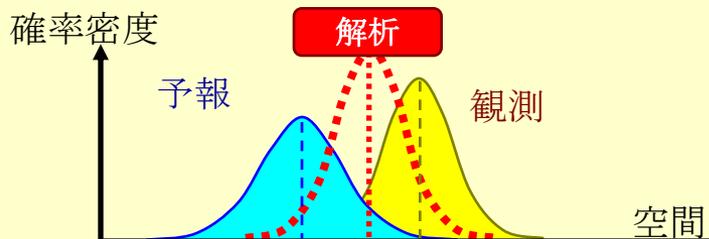
# 解析手法による予報・観測と解析の関係



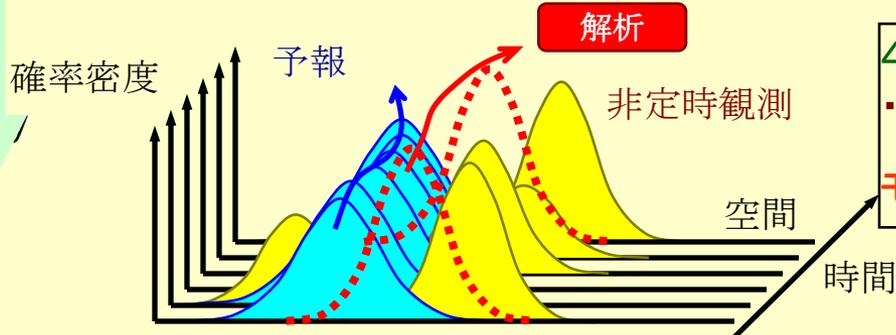
- 関数あてはめ法など
- ・観測データのみを用いる
  - ・第一推定値は利用しない



- 修正法など
- ・解析時刻の観測データ
  - ・第一推定値を考慮



- 最適内挿法／3次元変分法
- ・解析時刻の観測データ
  - ・解析時刻におけるモデル予報による第一推定値



- 4次元変分法
- ・観測時刻の観測データ
  - ・観測時刻におけるモデル予報による第一推定値
  - ・モデルの時間発展の一状態としての解析値

# 4次元変分法

評価関数 :  $J = J_b + J_o + J_c$

$$= \frac{1}{2}(x_0 - x_0^b)^T B^{-1}(x_0 - x_0^b) + \frac{1}{2}(HMx_0 - y^o)^T R^{-1}(HMx_0 - y^o) + J_c$$

予報誤差
数値モデル
観測誤差

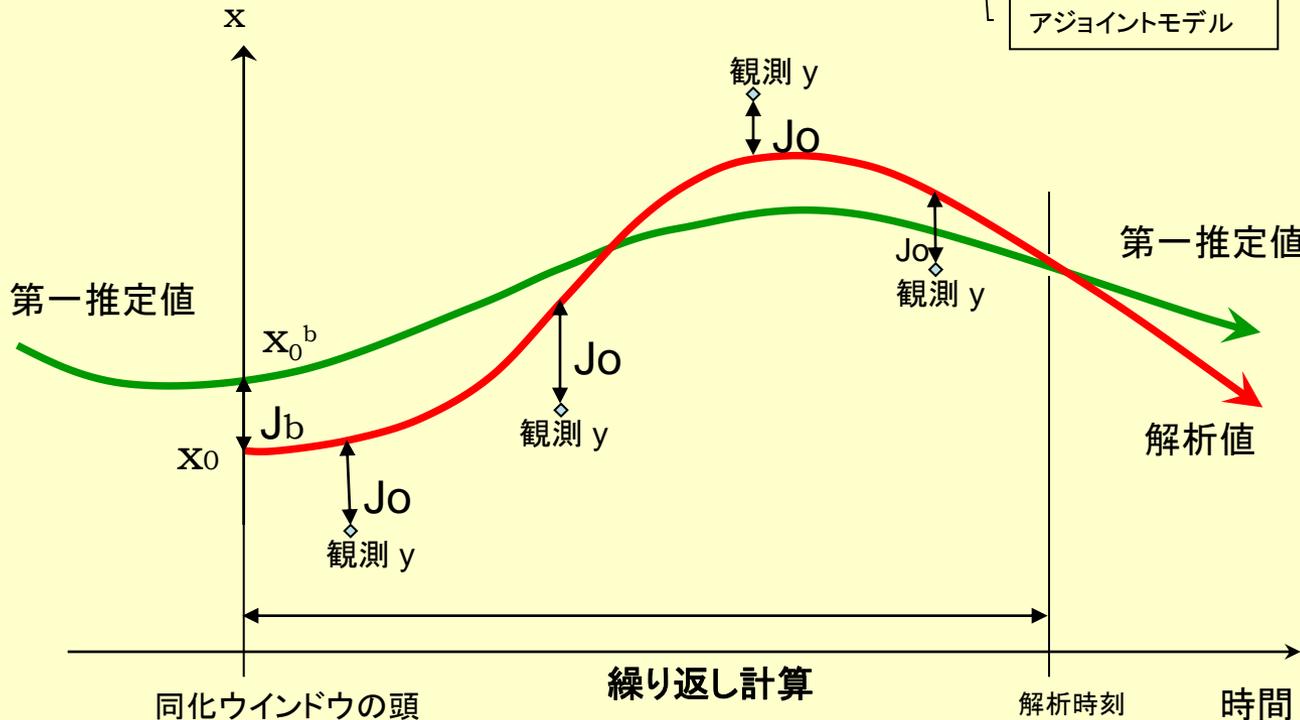
第一推定値からの距離
観測値からの距離

評価関数の勾配 :

$$\nabla_{x_0} J = B^{-1}(x_0 - x_0^b) + M^T H^T R^{-1}(HMx_0 - y^o) + \nabla_{x_0} J_c$$

アジョイントモデル

最小値探索  
共役勾配法など

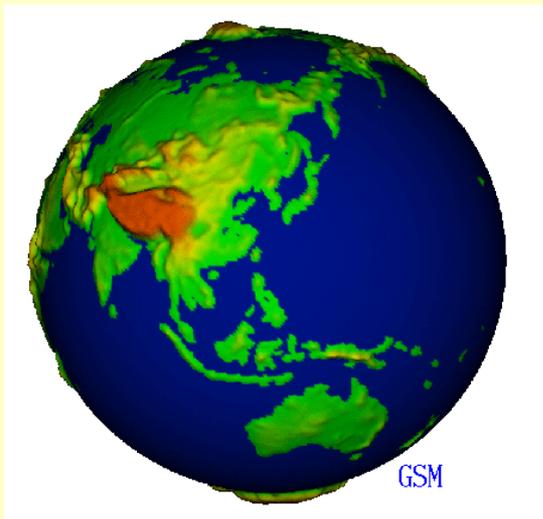


予報モデルの時間積分  
を利用、  
観測時刻の観測値と第  
一推定値の双方からの  
誤差の重みに応じた距離  
(評価関数)が最小となる  
解を繰り返し計算で探し  
て初期値を決める

現業数値予報で利用され  
ているが、**計算量が大き**  
**いため、水平解像度を落**  
**としている**

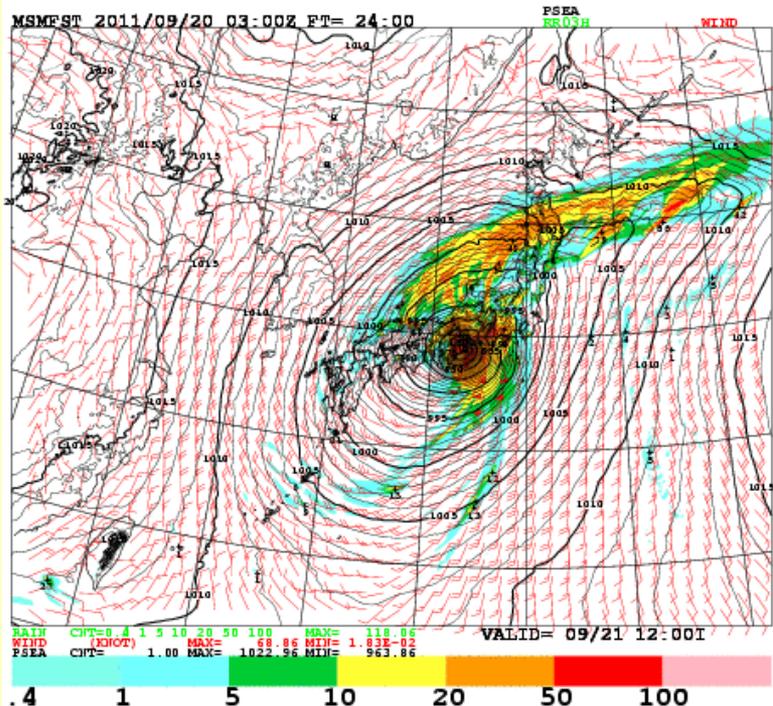
任意の観測時刻のデータをその時刻のデータとして同化する。  
(実際のシステムではタイムスロットを決めておく。メソ解析では1時間おき)

# 現在の主な気象庁現業数値予報モデル



**全球モデル (GSM)**  
**9日予報**  
週間予報、天気予報等  
データ同化 60 km 60層  
予報モデル 20 km 60層

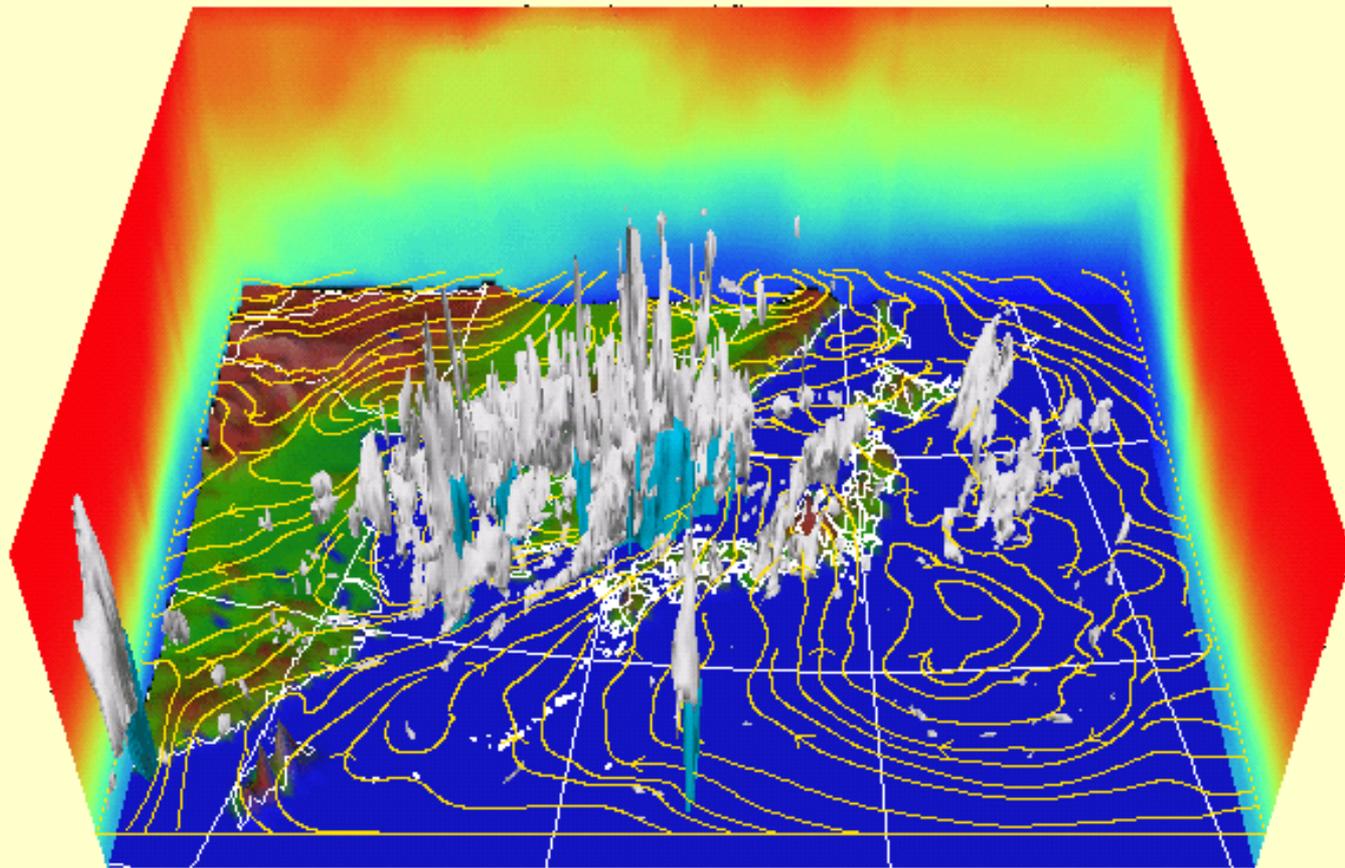
..メソモデルに境界値を提供



**メソモデル(MSM)**  
**33時間予報**  
防災情報、航空予報等  
データ同化 15 km 40層  
予報モデル 5 km 50層

..個々の積乱雲はまだモデルの直接の予報対象にはなっていない

# 気象庁メソモデル(MSM)

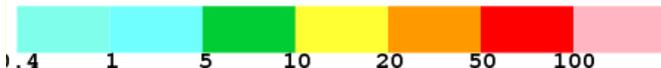
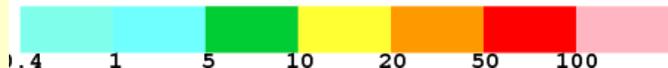
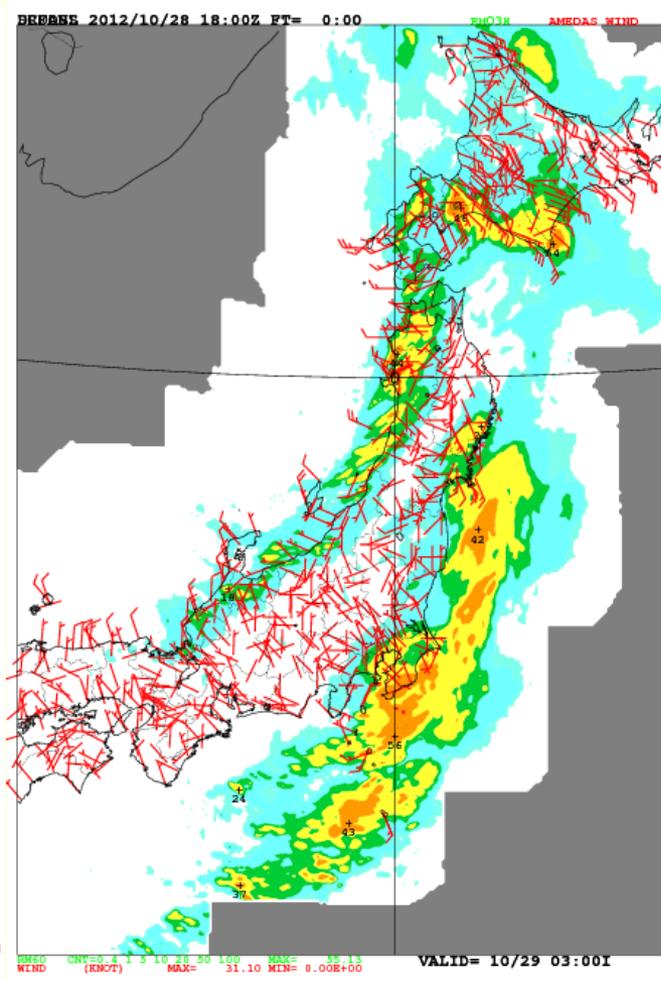
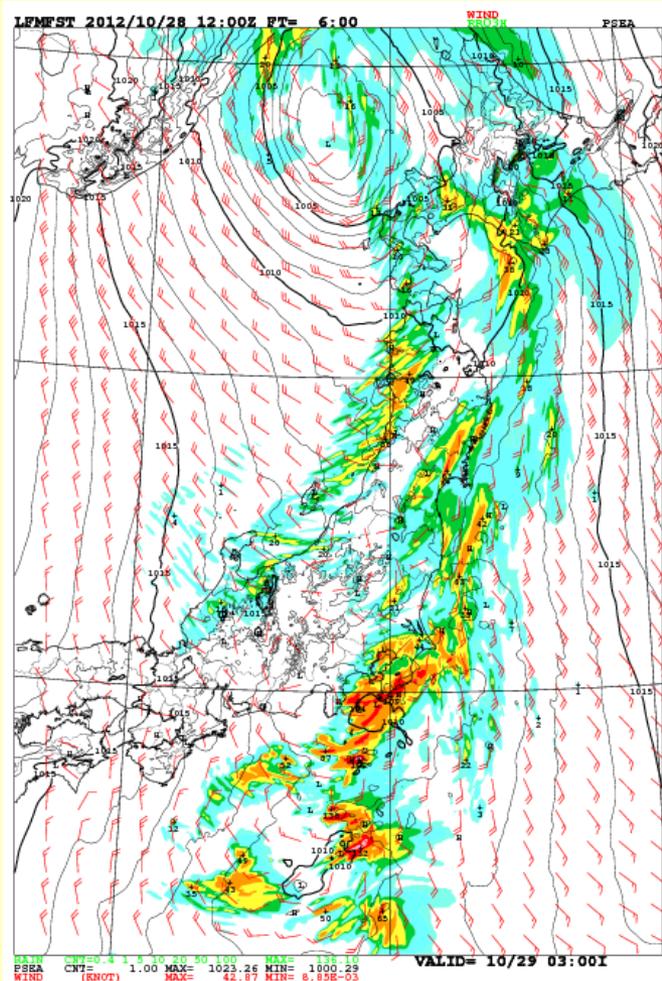


2004年9月から雲や降水の物理を含む非静力学モデルを導入  
解像度は当初10km、2006年3月から5km

# 気象庁局地モデル(LFM)

## ■ 2012年8月現業化

- 2km 60層 但し初期値作成は5km解像度の3次元変分法
- 東日本を対象とする1日8回の限定運用、来年、領域を拡張して毎時予報に

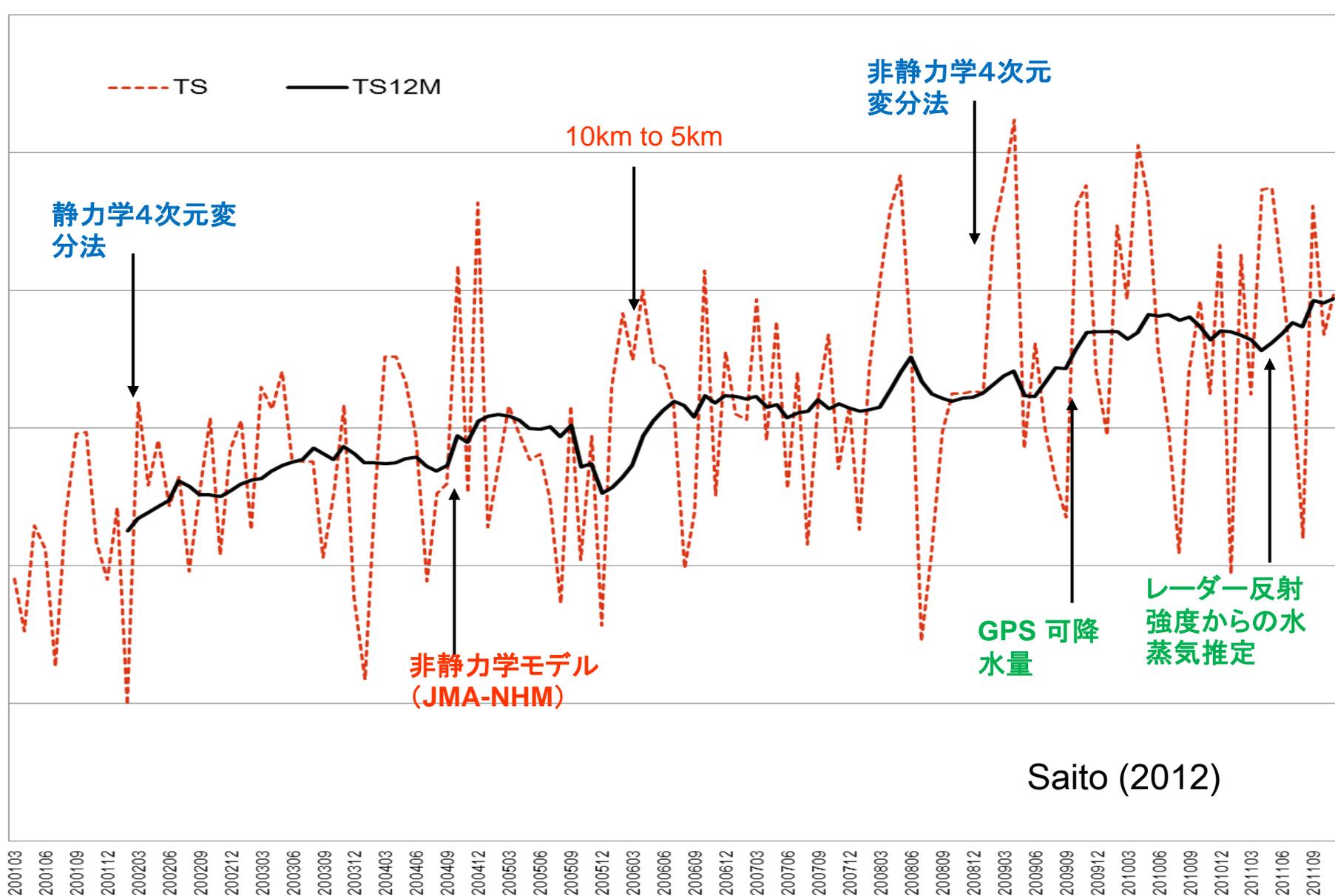


# メソ数値予報の主な変更

2001年3月	メソ数値予報モデル (MSM) 運用開始 10km40層
2001年6月	ウインドプロファイラデータ利用開始
2002年3月	メソ4次元変分法(4DVAR) 導入 20km40層
2002年8月	国内航空機観測データ利用開始
2003年10月	衛星マイクロ波放射計可降水量/降水データ利用開始
2004年7月	QuikSCAT散乱計海上風データ利用開始
2004年9月	非静力学モデル導入、雲物理過程
2005年3月	空港気象ドップラー動径風データ利用開始
2006年3月	5km50層化、8回/日運用
2007年5月	33時間予報(03, 09, 15, 21UTC) 開始と物理過程改良
2007年11月	高解像度GSMの境界値利用開始
2008年12月	物理過程改良
2009年4月	非静力学メソ4次元変分法(JNoVA) 導入 15km40層
2009年10月	GPS可降水量データ利用開始
2010年11月	対流スキーム改良
2010年12月	衛星輝度温度データ直接同化開始
2011年6月	レーダー反射強度による水蒸気推定データ利用開始

# MSMのスレットスコア Mar.2001-Nov.2011 (FT=0-15)

MSM Threat Score 5mm/3h 20km verif. grid



# 天気予報

## 出来ていること、出来ないこと、出来ていないこと

- ・ある程度の精度で出来ていること(全球モデル20km、メソモデル5km)  
地球を取り巻く大循環の数日先までの予報  
1-2日先までの天気(府県単位での降水の有無)、台風進路予報
- ・出来ないこと  
現象の時間スケールを超える決定論的予報  
(2週間以上先の天気予報、半日以上前の個々の積乱雲の予測、乱流渦の数値予報)
- ・出来ていないこと  
精度の良い週間予報、**台風強度の予測**  
**高精度のメソスケール予測**  
(**災害につながる雨の予測、市町村単位の降水や日照、霧の正確な予測**)

# 高精度メソスケール気象予測の重要性

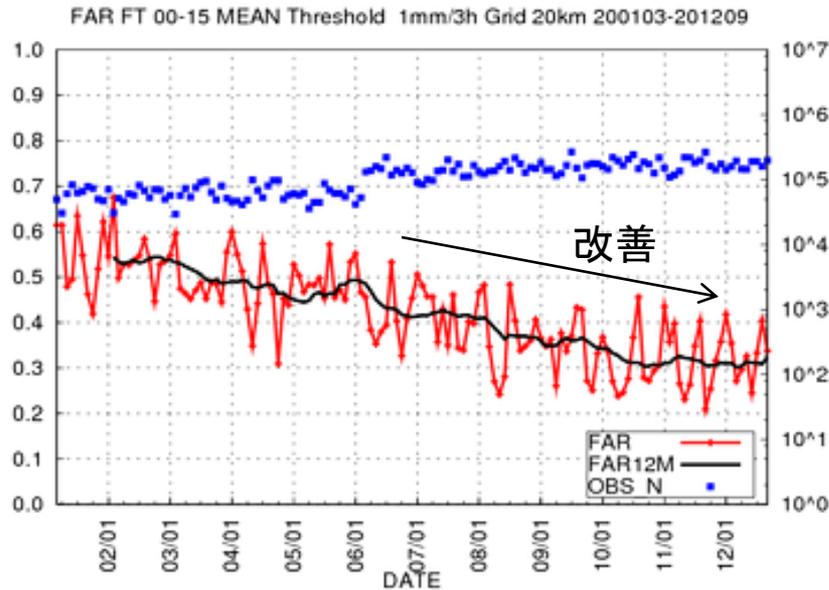
- ・集中豪雨/局地的大雨の予測は防災・減災に直結
- ・風や視程の予測は航空機(や鉄道)の安全運航に不可欠
- ・「でんき予報」に代表される都市の電力需要予測(気温)
- ・再生可能エネルギー(水力、風力、太陽光)の供給予測(降水、風、日照)
- ・火山灰など(や放射性物質)の移流拡散予測(風だけではなく降水の予測が重要)

⇒いずれも精度とともに、予測誤差(信頼度)の正確な評価が、有効な対策(効率的なリスクマネジメント)につながる

# 気象庁メソモデルの予測精度

(2001年3月-2012年9月、20km検証格子、FT=15までの平均))

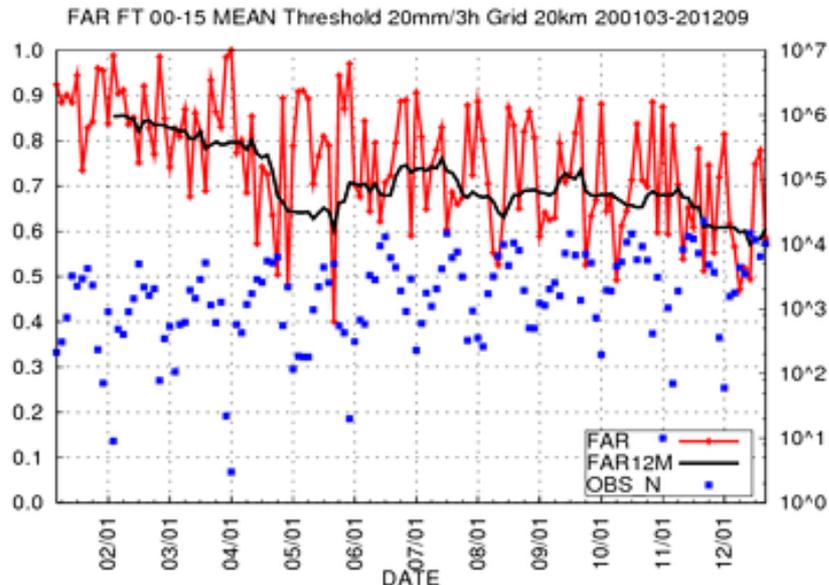
(数値予報課検証による)



空振り率  
弱い雨 (1mm/3hr)

降水の有無については、予測精度は  
年々向上  
当初60%近くが近年は30%前後に

モデルの改良と初期値作成手法の  
高度化、新規データの利用



空振り率  
強い雨 (20mm/3hr)

対流性強雨予測の絶対的な精  
度は、依然不十分

赤線は毎月のスコア、黒線は12カ月平均、青点は観測点の数

# メソスケール気象予測が難しい原因と 予測改善の方向性

1) 数値モデルに取り込む観測データが十分でなく、初期値の精度が現象のスケールに対して十分でない。

⇒現象のスケールに応じた高解像度高頻度で**観測データ**を同化する

2) 不安定な大気状態で発生する現象で、僅かな初期値や計算条件の違いで結果が大きく変わる。

⇒初期値やモデルの不確定に基づく**予報の誤差を評価**する

3) 現象の空間的・時間的スケールが小さく、現在の数値予報では積乱雲を直接的な予測の対象にできていない。

⇒積乱雲の表現には、**雲内の物理を表現できる高解像度モデル**が必要

## HPCI戦略プログラム分野3

# 超高精度メソスケール気象予測の実証

[http://www.jamstec.go.jp/hpci-sp/kisyo/kisyo.html#kisyo\\_2](http://www.jamstec.go.jp/hpci-sp/kisyo/kisyo.html#kisyo_2)

課題責任者 齊藤和雄(気象研究所/海洋研究開発機構)

1) 高解像度高頻度で観測データを同化

### 1). 領域雲解像4次元データ同化技術の開発

サブ課題責任者 露木義(気象研究所)

参加研究機関: 気象研究所、海洋研究開発機構、京都大学防災研究所、防災科学技術研究所、統計数理研究所、気象庁数値予報課

2) 初期値やモデルの不確定に基づく予報の誤差を評価

### 2). 領域雲解像アンサンブル解析予報システムの開発と検証

サブ課題責任者 瀬古弘(気象研究所/海洋研究開発機構)

参加研究機関: 海洋研究開発機構、気象研究所、東北大学、京都大学防災研究所、神戸大学、気象庁数値予報課など

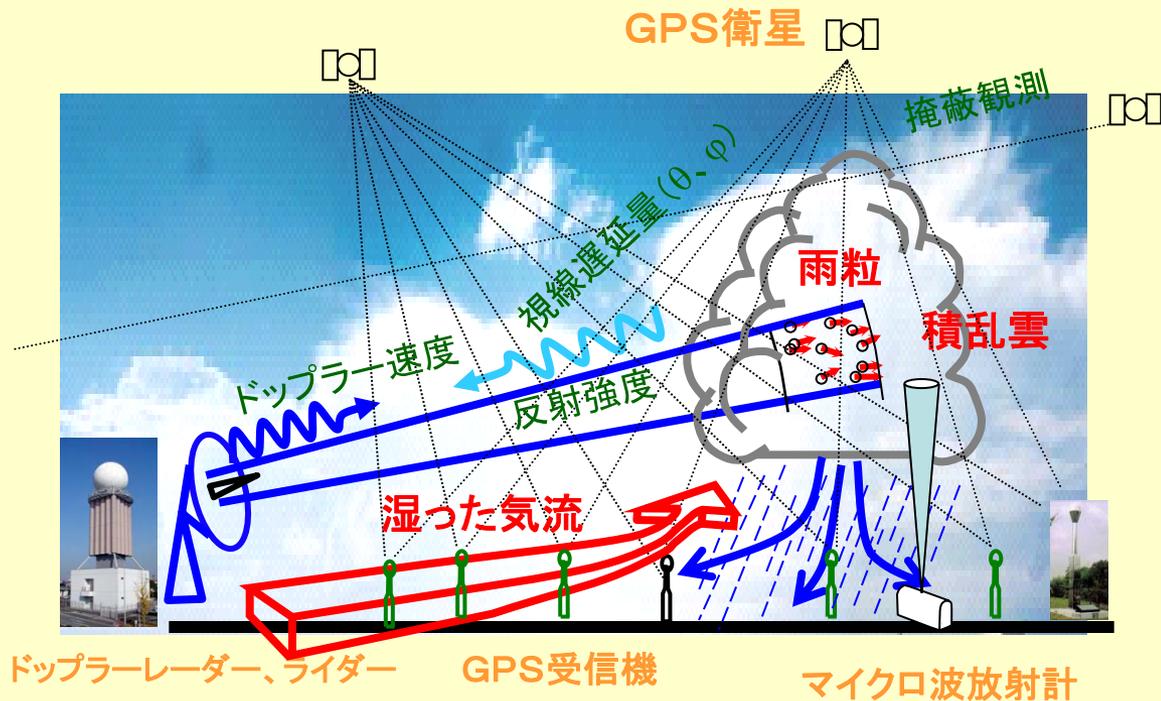
3) 雲内の物理を表現できる高解像度高精度モデル

### 3). 高精度領域大気モデルの開発とそれを用いた基礎研究

サブ課題責任者 木村富士男(海洋研究開発機構)

参加研究機関: 海洋研究開発機構、気象研究所、東大大気海洋研究所、京都大学防災研究所、名古屋大学水循環研究センター、気象庁数値予報課、防衛大学校など

# 目標1) 領域雲解像4次元データ同化技術の開発



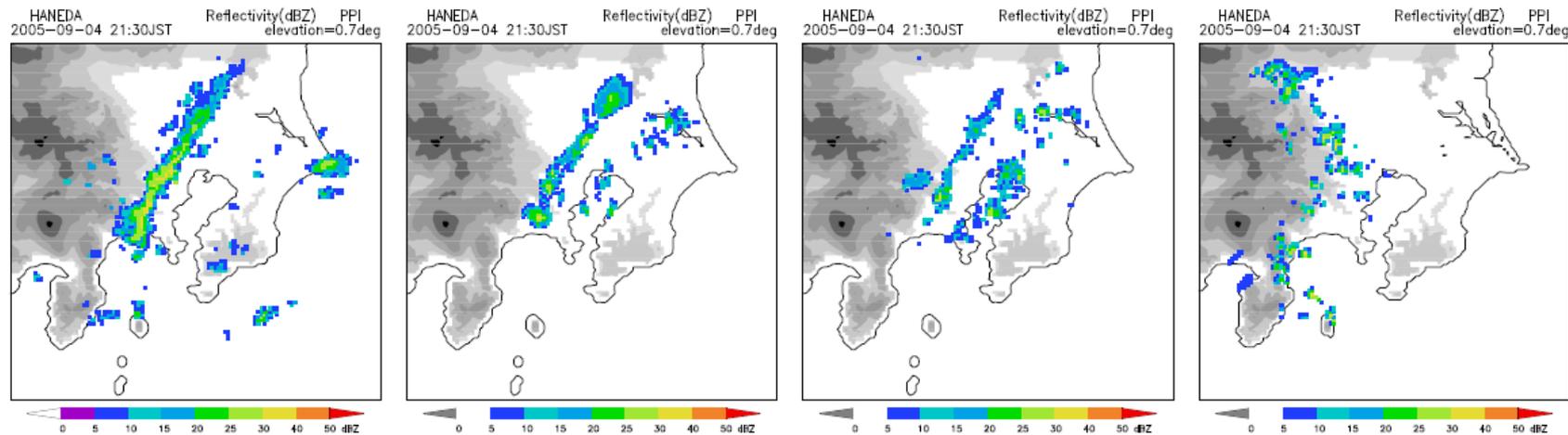
高解像度、高頻度な観測データで、積乱雲周囲の風、温度、水蒸気、水物質の分布を捉え、雲解像(1-2km)モデルに4次元同化、

局地的な豪雨など顕著現象を力学的に直前予測する。

現在の現業同化システム(15km)の約1000倍の計算量が必要

⇒実況監視と結びつけた市町村単位での詳細な予報に向けた研究

# 2005年9月4日杉並豪雨 同化初期値からの予報

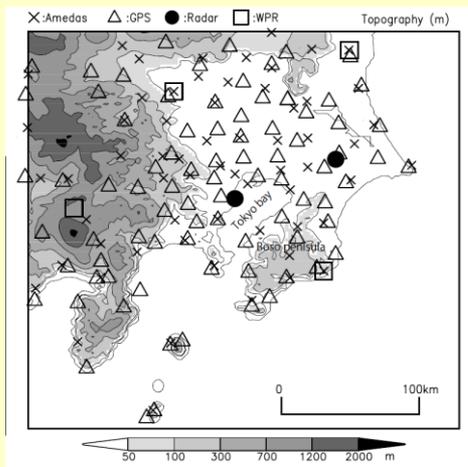


2130JST 観測

2030JSTからの  
1時間予報、レー  
ダ反射率を同化

同左  
レーダ反射率の  
同化なしの場合

同左  
4次元変分同化なし  
の場合



同化したデータ

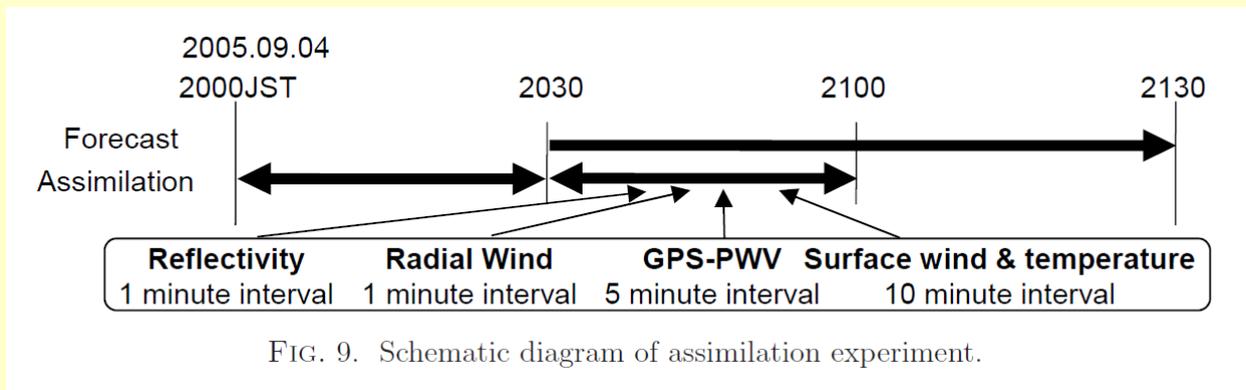
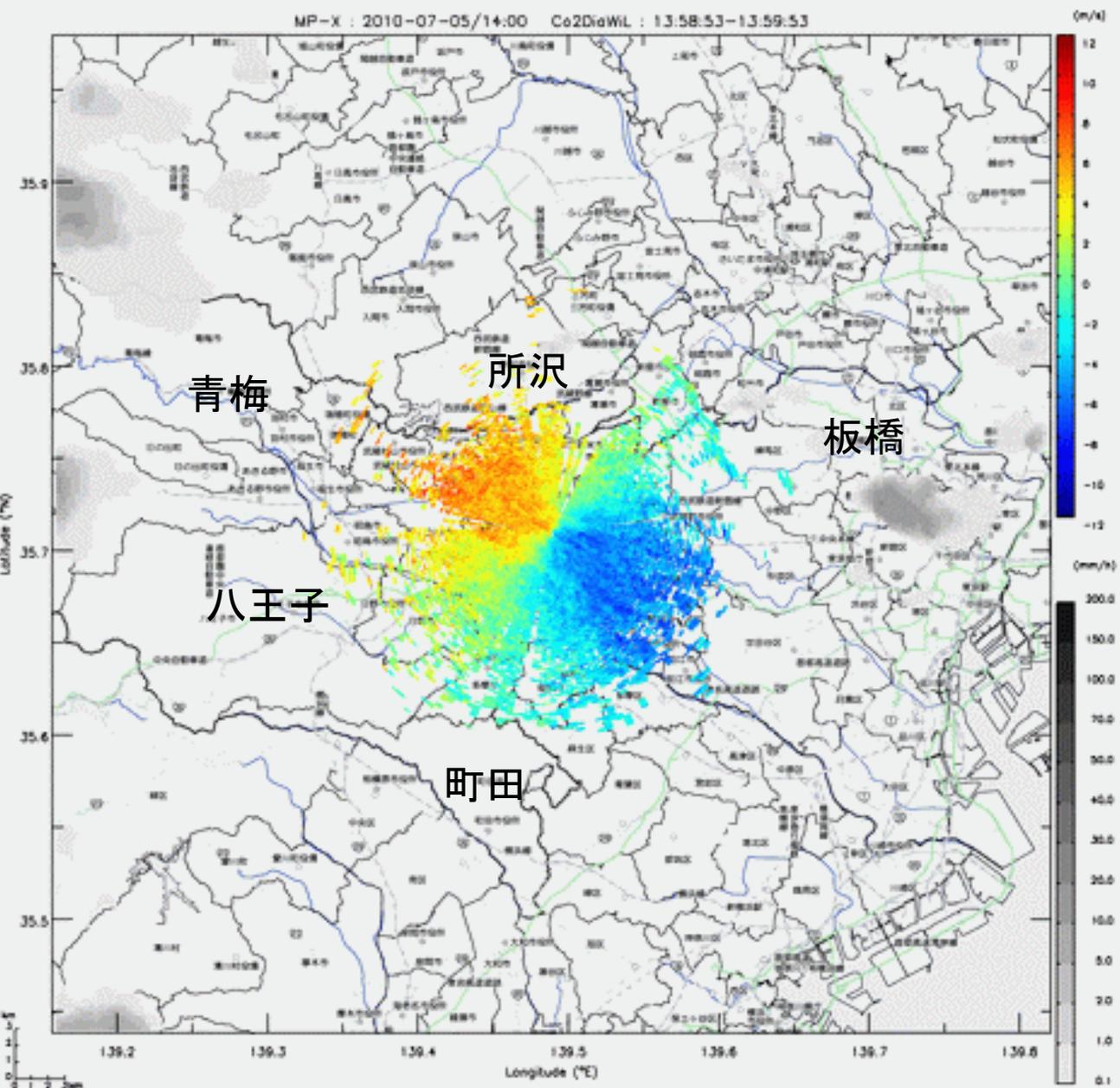


FIG. 9. Schematic diagram of assimilation experiment.

Kawabata et al. (2011)

# 2010年7月5日 板橋での局地的大雨とライダーの観測 14:00 – 21:25 JST

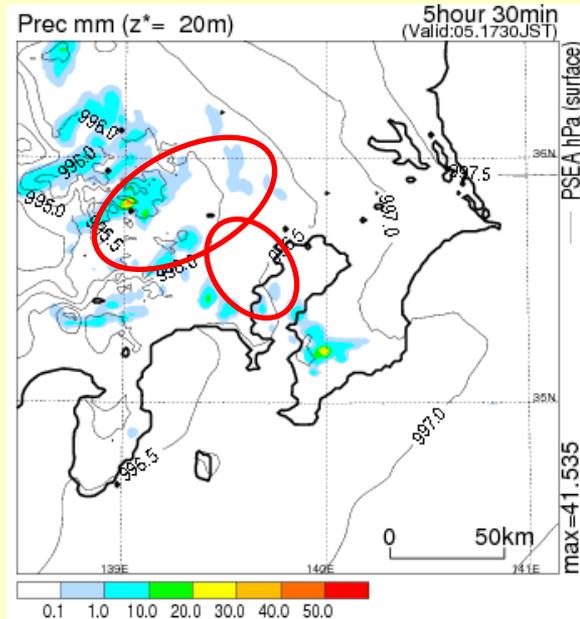


Color : NICT Doppler  
Lidar radial velocity

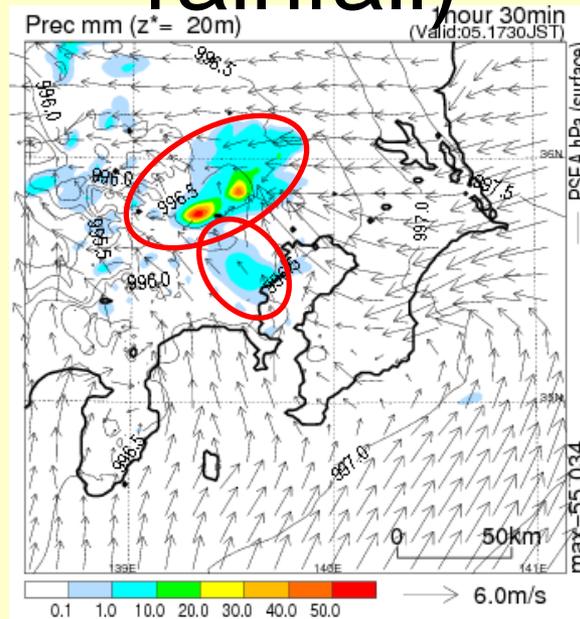
Shade : MILT MP radar  
composited  
precipitation

Iwai et al. (2011)

# Forecast result (1h accumulated rainfall)

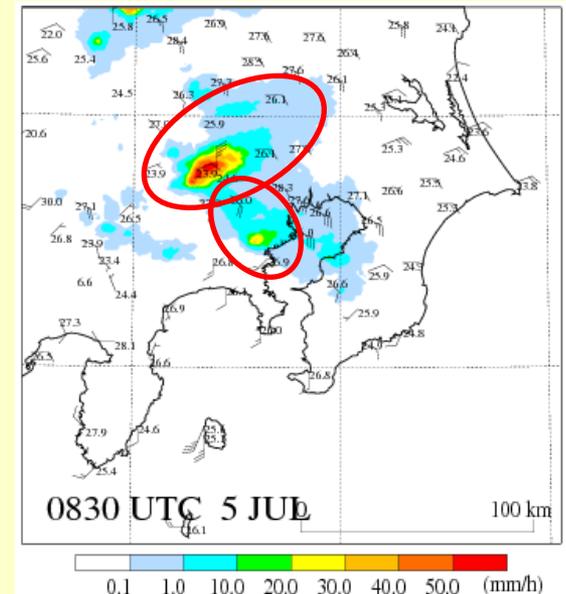


Background

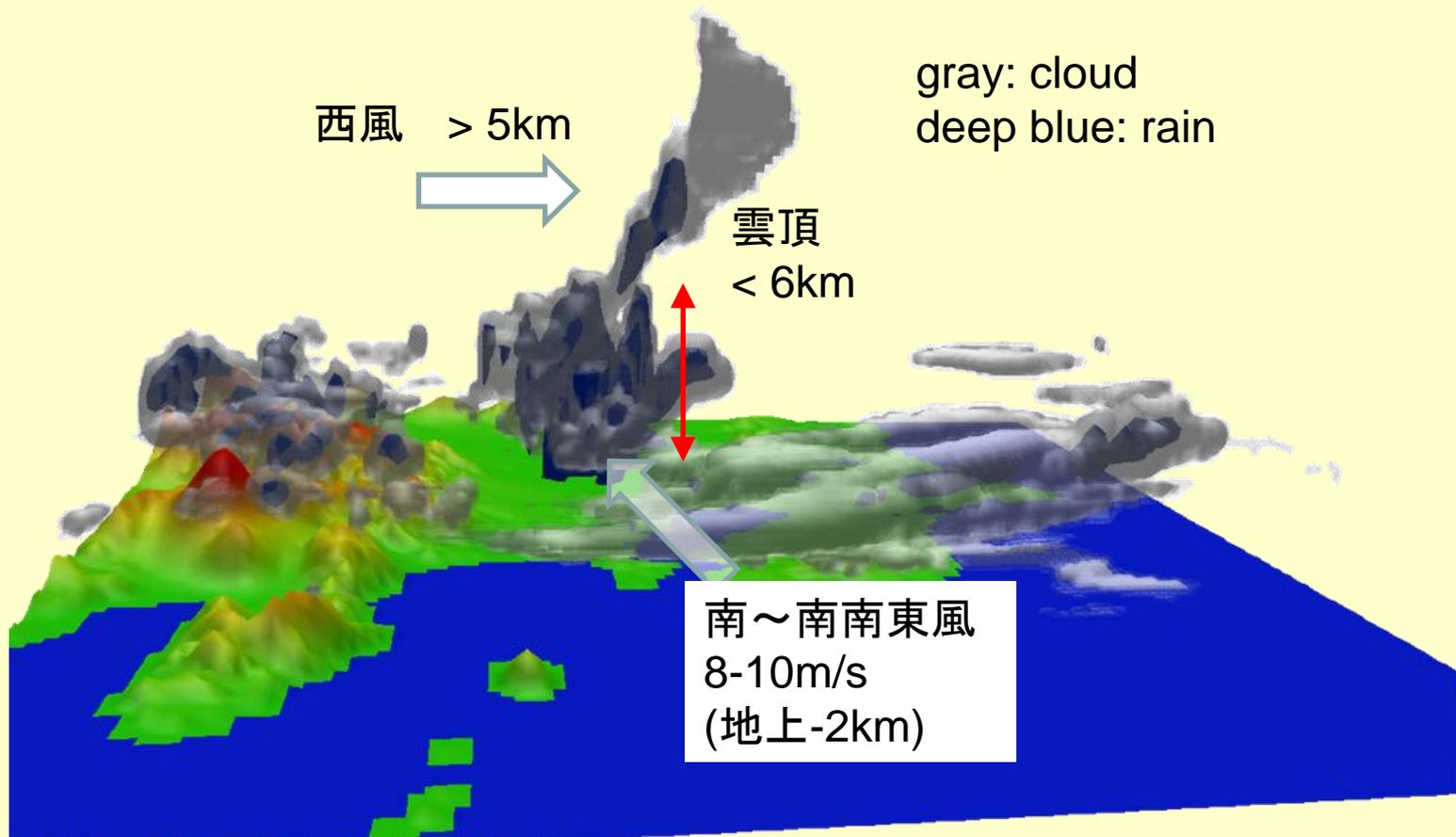


Forecast (FT=1.5h)

1600-1630のライダーを含む観測データを1分おきに同化  
そこからの予報 (1630 - 1730 JST).

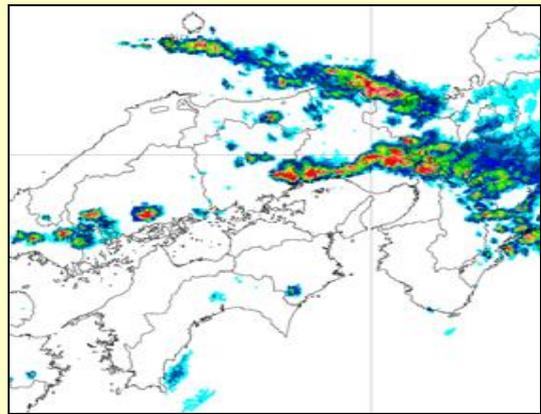


Observation

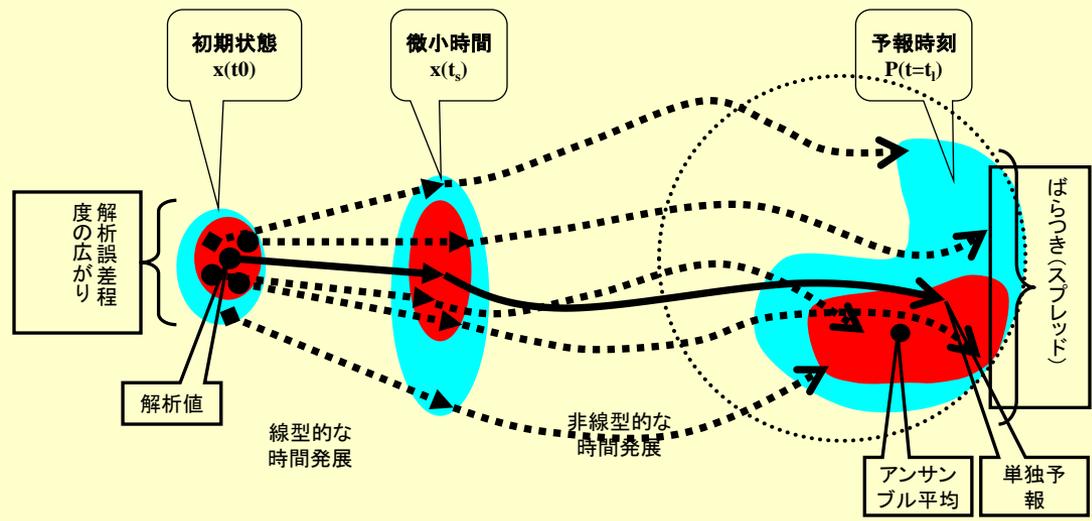


1700JST, 05-July-2010

# 目標2) 雲解像度アンサンブル解析予報システム



2008年7月28日14時のレーダーエコー図



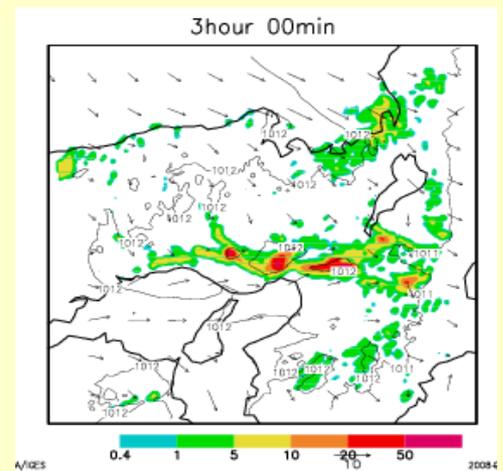
アンサンブル予報で予報誤差を推定し、データ同化にも利用(アンサンブルカルマンフィルタ)

GPS可降水量アンサンブルカルマンフィルタで同化、2008年7月神戸局地豪雨の1.6kmダウンスケール

雲解像4次元データ同化技術と雲解像アンサンブル予測の手法を融合して、集中豪雨や局地的大雨の半日以上前の予測を、時間・場所・強度を特定して確率的に行う

**現業数値予報の約1000倍の計算資源が必要**

⇒確率情報に基づくリスクマネジメント、事前の減災措置を可能にする研究

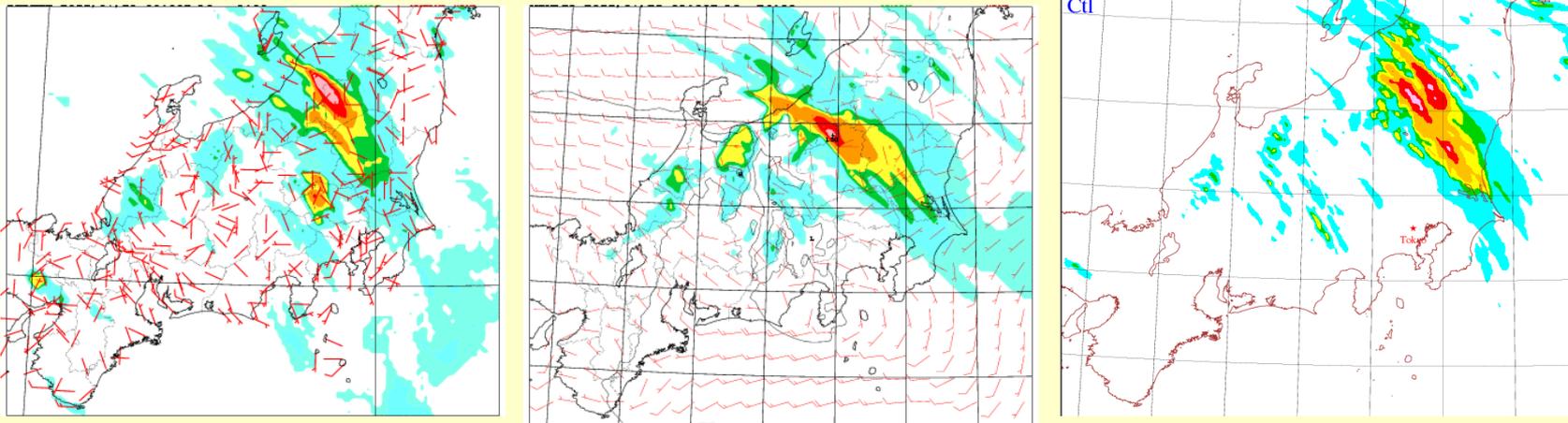


Seko et al. (2011)



# LETKF解析からの2km 延長予報の結果 (京を用いた計算)

Duc et al. (2012)



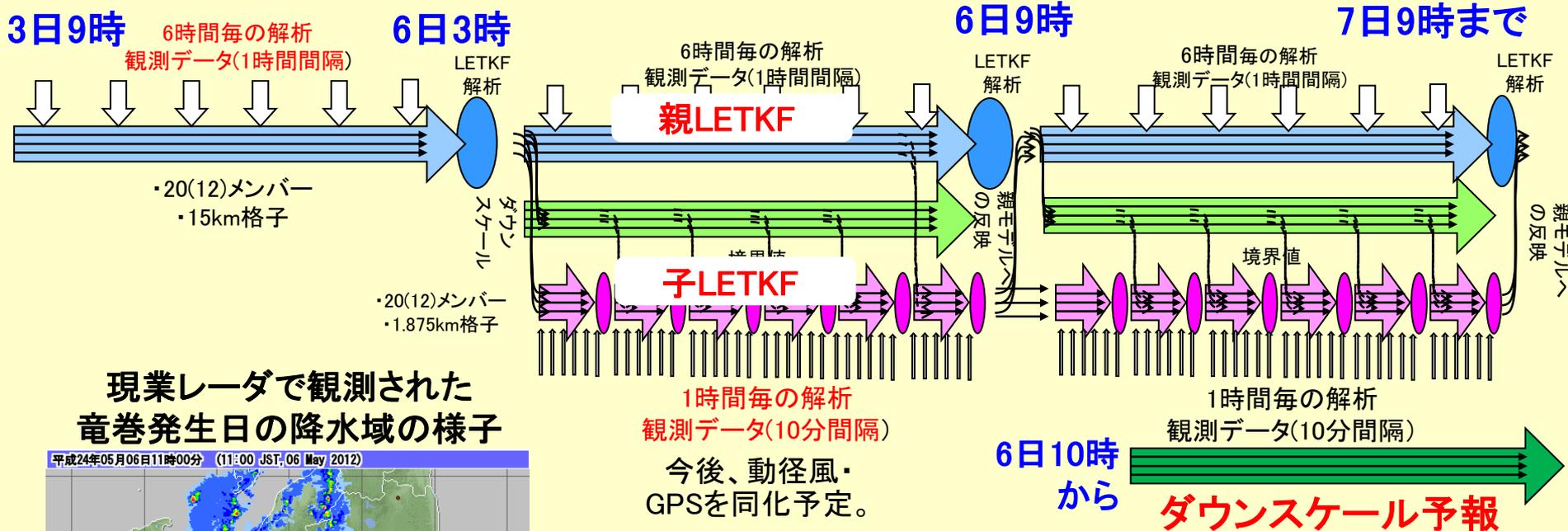
左)平成23年7月新潟・福島豪雨における2011年7月29日15-18時の降水量の実況。

中)同時刻に対する当時の気象庁MSMの予報、前日18時を初期値とする24時間予報。

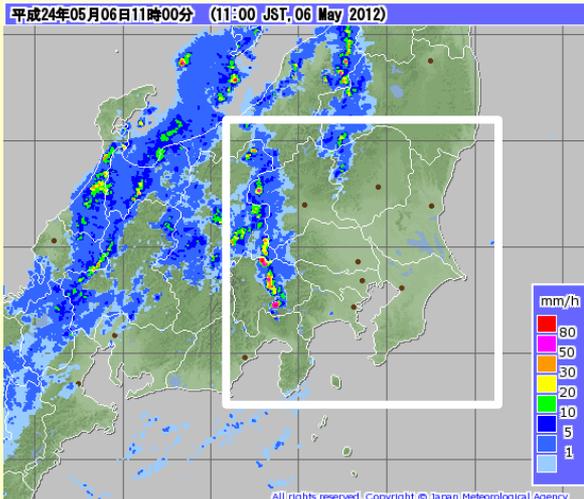
右)前日21時のNHM-LETKF解析を初期値とする2kmNHMの21時間予報。

# LETKFネストシステムを開発、つくばの竜巻事例に適用

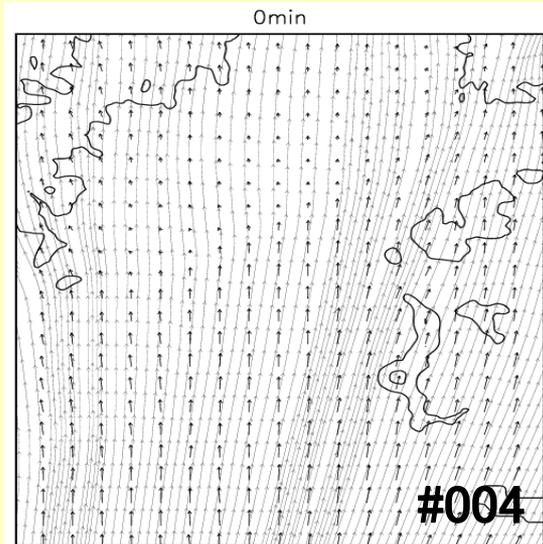
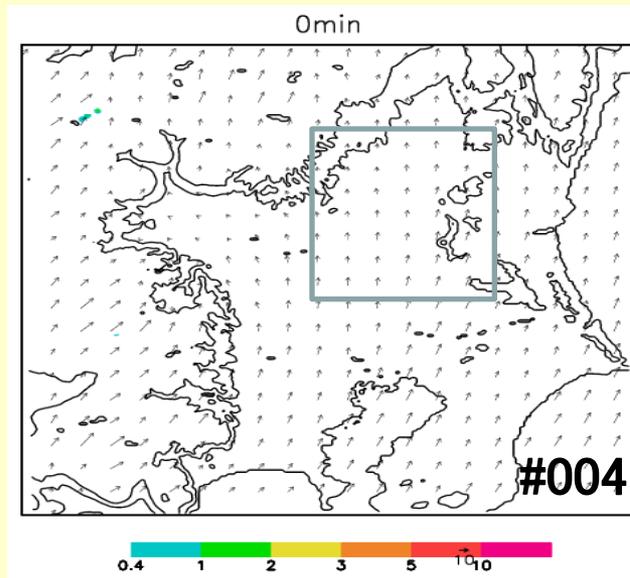
Seko et al. (2012a; 2012b)



## 現業レーダで観測された竜巻発生日の降水域の様子



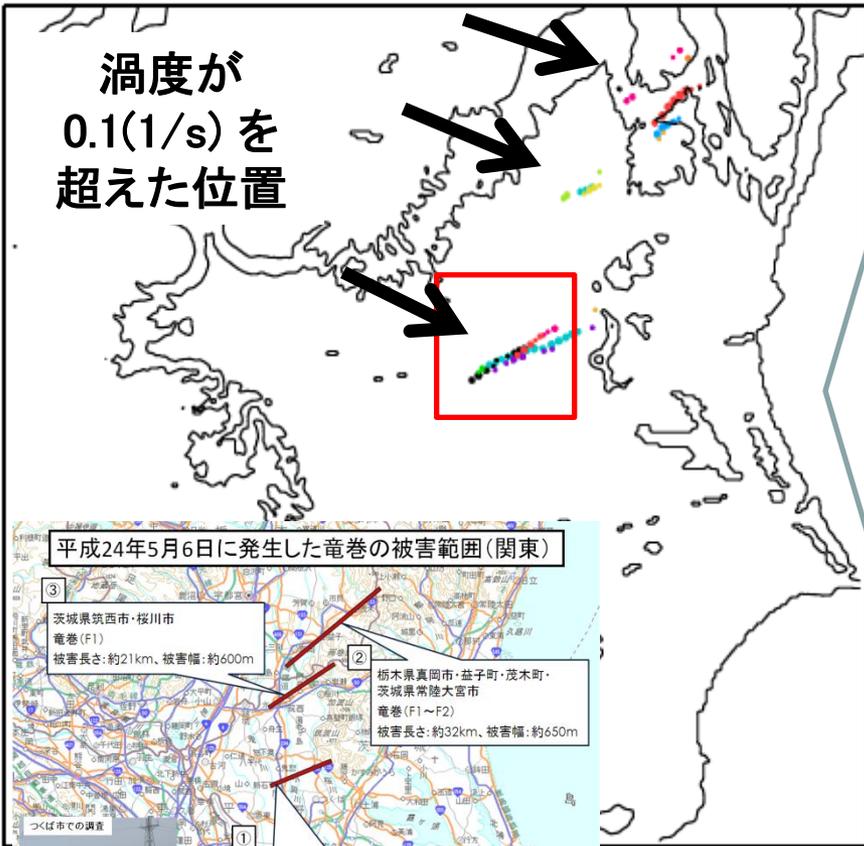
## 子LETKFの解析値からの格子間隔 350m のダウンスケール実験



右図の予報期間は、11時30分から14時30分。色域は、雨水混合比、拡大図で0.1(1/s)以上の渦度の位置を描画。

# 再現された渦の位置と寿命と水蒸気量等との関係

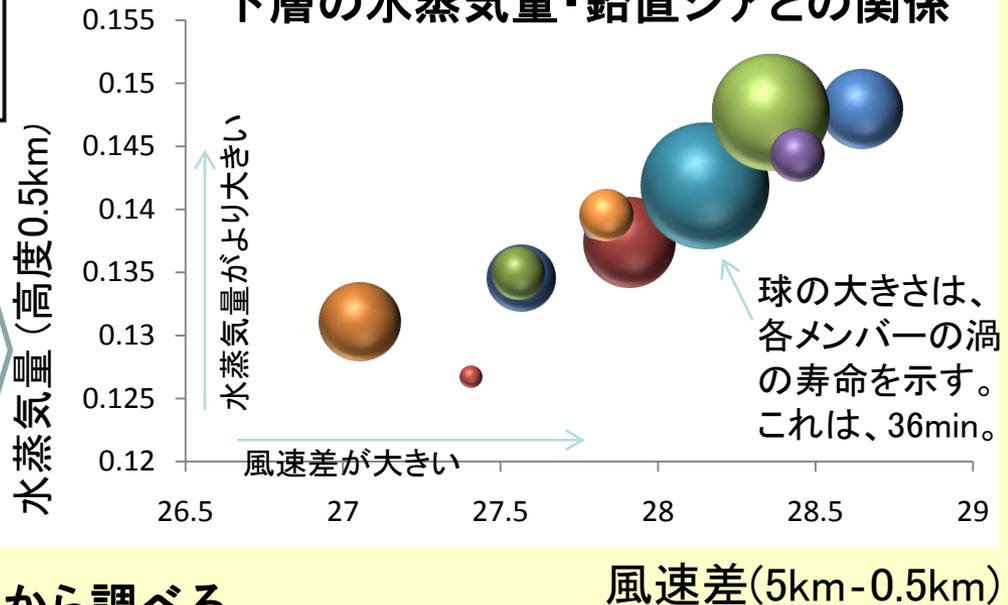
渦度が  
0.1(1/s)を  
超えた位置



- 左図の矢印で示したように、3つの地域で0.1(1/s)以上の渦度が再現された。(位置が北に10km程ずれている。)
- 南の渦は12メンバーの内、10メンバーで発生(80%)していた。



## 渦度が0.1(1/s)を超えた時間と下層の水蒸気量・鉛直シアとの関係



発生時の上図の赤枠内の下層の水蒸気量・水平風の鉛直シアと渦の寿命の関係を見ると、下層の水蒸気量が大きく、シアが大きいと寿命が長い傾向がある。

今後、発生要因を複数のメンバーの予報から調べる。

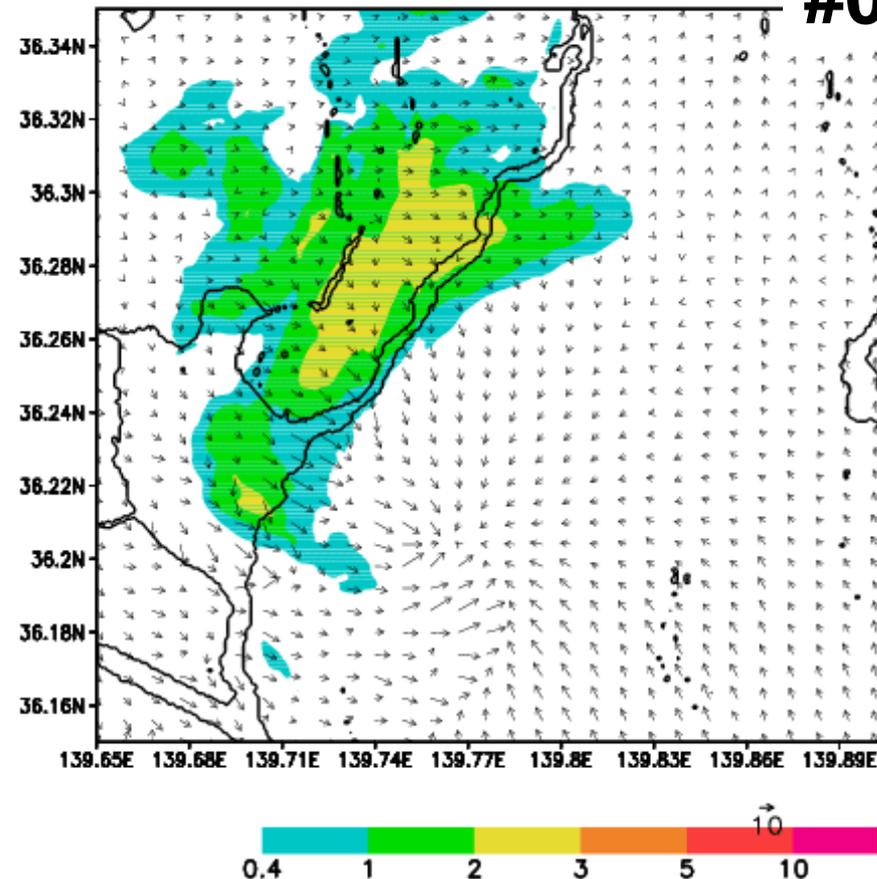
風速差(5km-0.5km)

5min

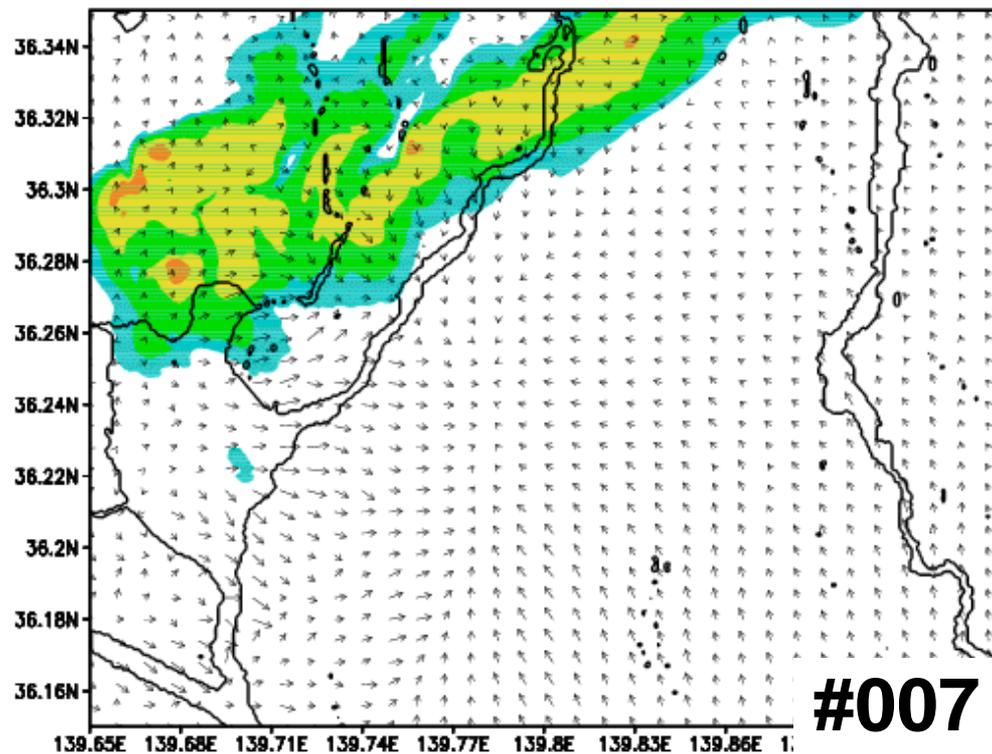
#004

## 格子間隔を50mにした ダウンスケール実験

- 赤点は渦度が 0.4 (1/s)以上の位置。
- ベクトルは高度 600 mの水平風。
- 色は地上付近の雨水量。
- #004は、寿命が長いメンバー、  
#007は、短いメンバー。



5min



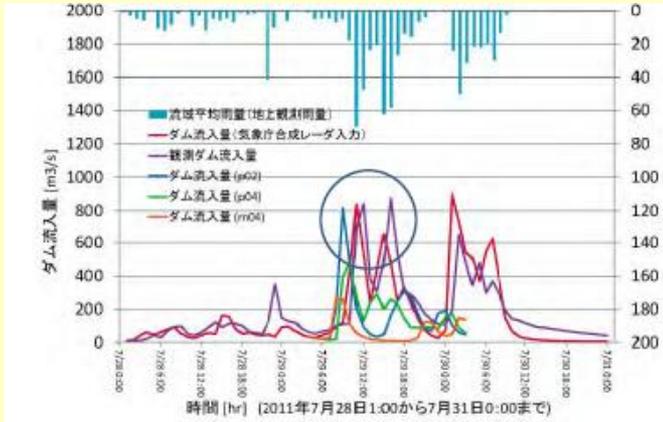
#007

- 表示期間は 12時40分から13時20分
- 位置は北にずれているものの  
渦の強化された時刻(12時50分～  
13時00分)は大きくずれていない。

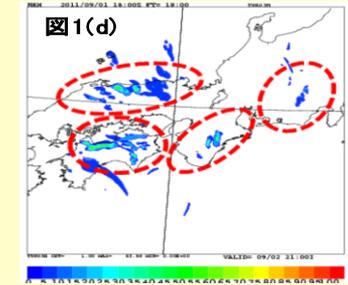
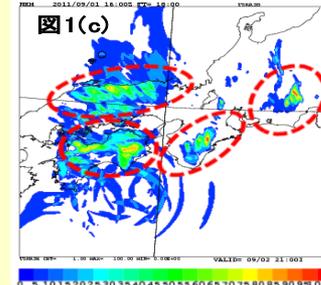
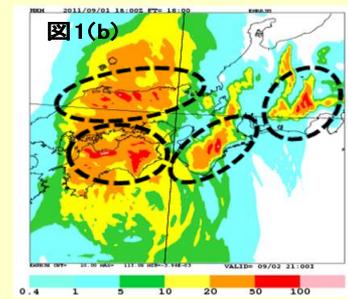
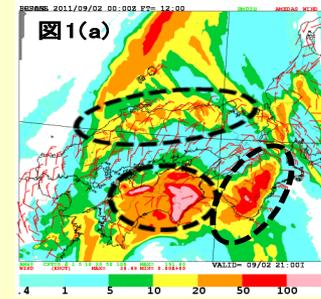
Seko et al. (2012b)

# 雲解像モデルによるアンサンブル予報実験

- 平成23年台風12号や新潟福島豪雨についての雲解像アンサンブル実験と、流出モデルによるダム流入量解析

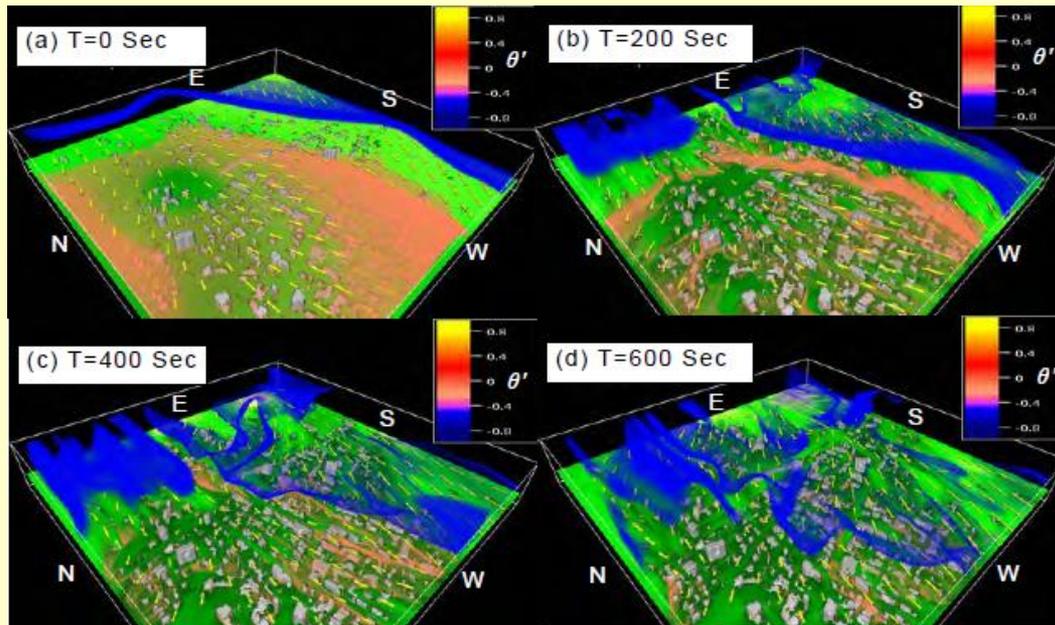


アンサンブル降雨による笠堀ダム流入量解析結果  
(Kobayashi et al., 2012)



平成23年台風12号の事例に対する雲解像アンサンブル予報

(a)解析雨量、(b)アンサンブル予報平均(3h積算降水量)、(c)予報降水強度50mm/3h以上の発生確率、(d)予報降水強度100mm/3h以上の発生確率。(折口ほか, 2012)



格子間隔10mのDS<sup>3</sup>を開発、市街地に侵入する海風に適用、LETKF同化システムにネスト  
(Chen et al., 2012)

# 目標3) 高精度領域大気モデルの開発とそれを用いた基礎研究

## 台風・竜巻

- 雲解像モデルCReSSを京に移植、台風実験を開始

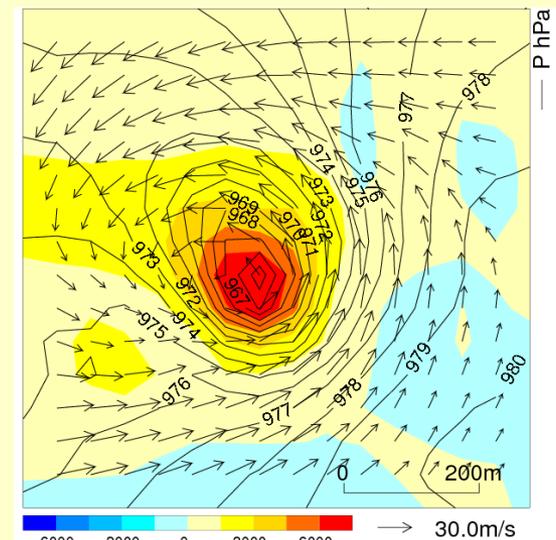
2006年9月17日延岡に発生した竜巻の水平解像度50mの再現

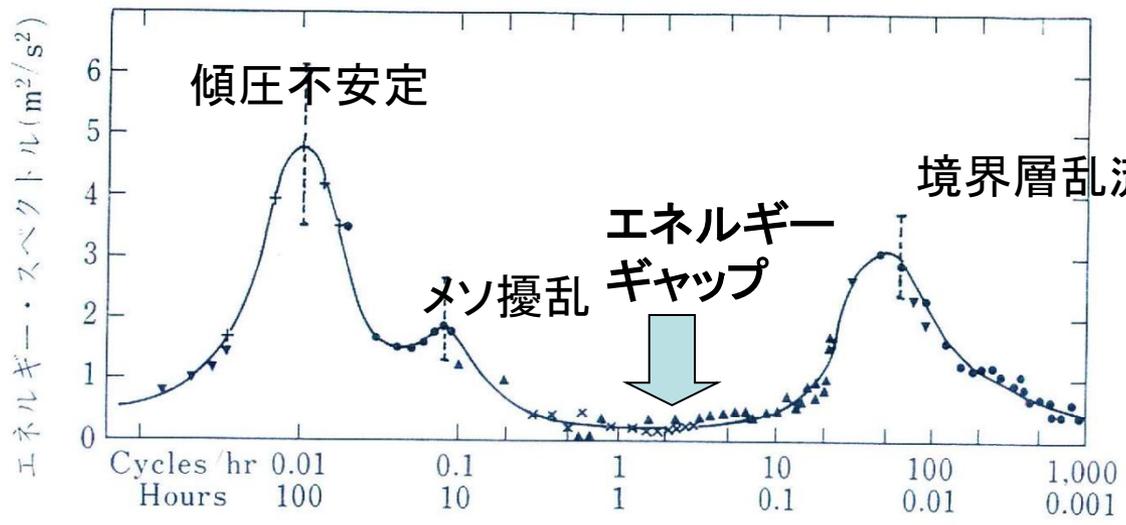
- 実験データセットから1方向ネストして、京による水平解像度~10mの超高解像度実験を準備中



解像度2kmの雲解像モデルCReSSで予測された、温暖化した気候におけるスーパー台風(坪木ら、革新プロ)

2006年9月17日延岡竜巻  
水平解像度50mNHMの再現  
実験(Mashiko et al. 2009)



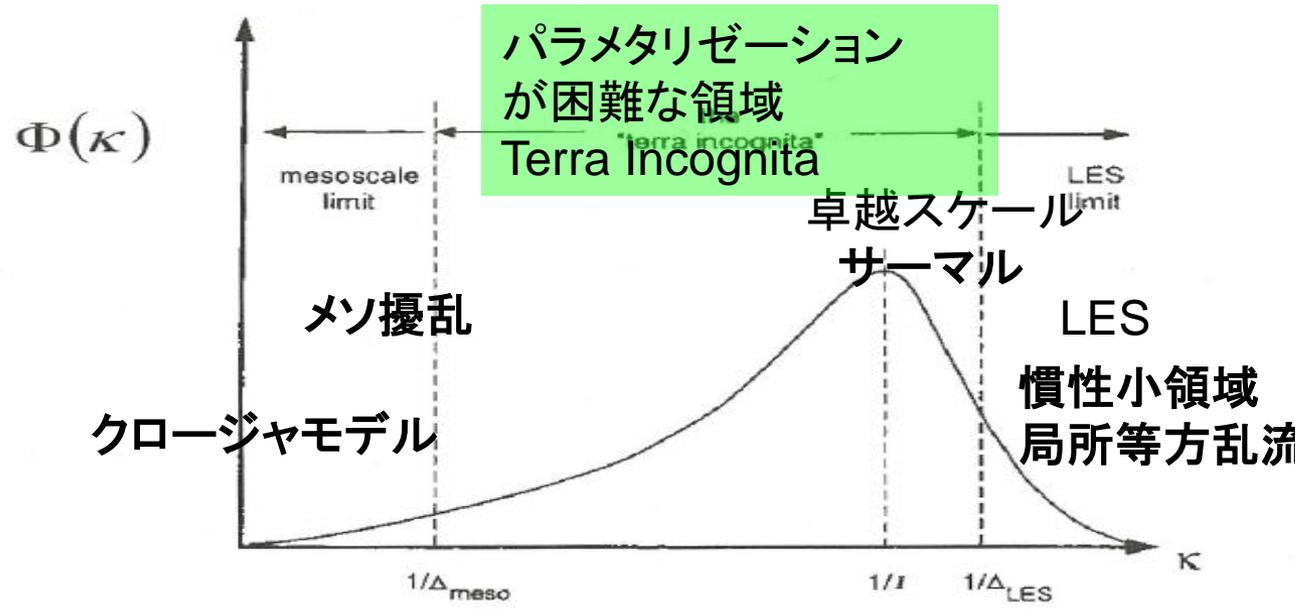


地上風速のエネルギー・スペクトル (Van der Hoven, 1957)

平均流と乱流に分離できる

乱流については  
相似則  
高次相関(クロージャ)モデル

空間平均により  
平均量と乱流を分離



卓越スケールより十分  
小さい格子間隔で  
乱流をパラメライズ

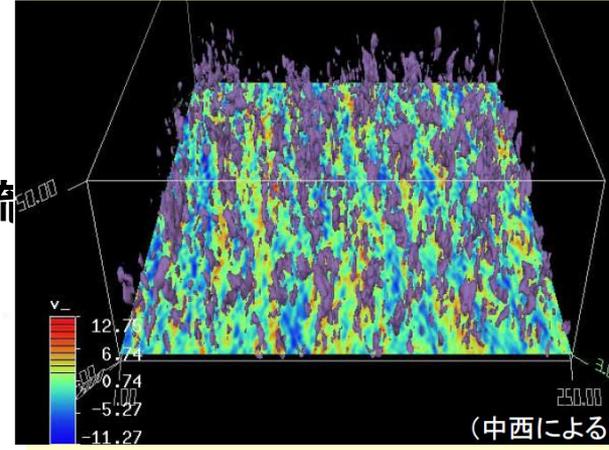
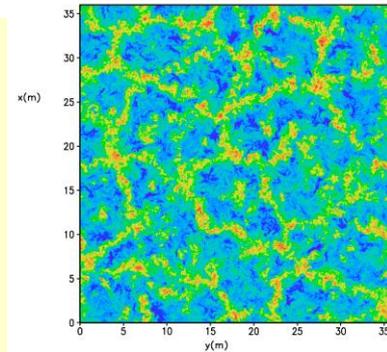


図1.4 乱流スペクトルと水平波数との関係の模式図 (Wyngaard, 2004)

(東大大気海洋研、防衛大学校)

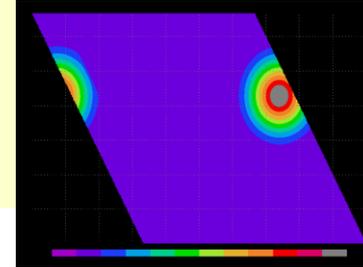
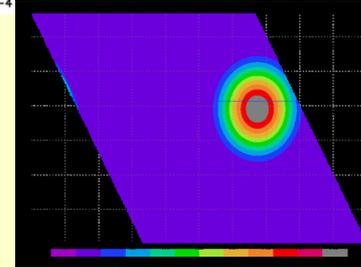
## LESによる領域雲解像モデルの高度化

- LES -- TerraIncognita -- 1次元PBLスケール間の乱流データベースを用いた解析 (Ito et al. 2012)
- LES用平板NICAM、領域版NICAMの開発 (野田ら, 2012)



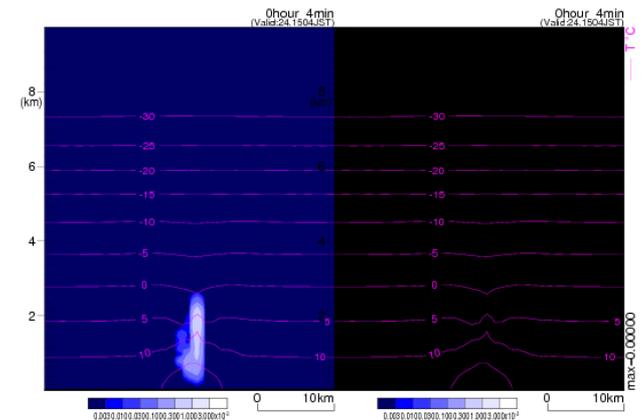
50m解像度LESによる対流混合層の計算結果:  
計算開始20時間後(混合層高さ約3000m)、高度1500mの水平断面の鉛直速度 $w$

平板NICAM移流試験。



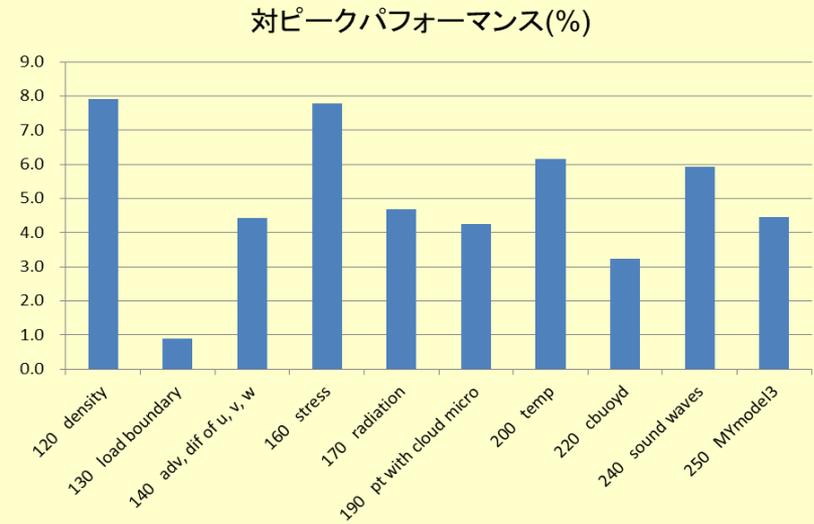
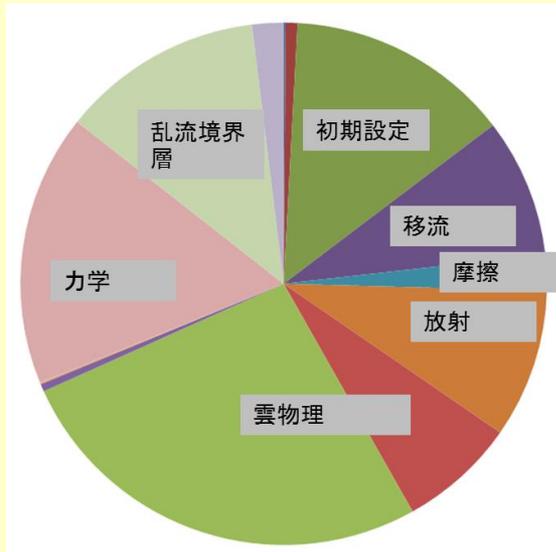
## ビン法雲解像モデルの開発

- 多次元ビン法NHM (Hashimoto et al., 2012)
- CReSS ビン、GCSSバミューダ海貿易風帯積雲の観測相互比較実験のケースについてバルク法との比較実験 (Nakamura et al., 2012)



Multi-Binn NHM(液水と氷)

# 領域非静力学モデル: 京コンピュータでの調整

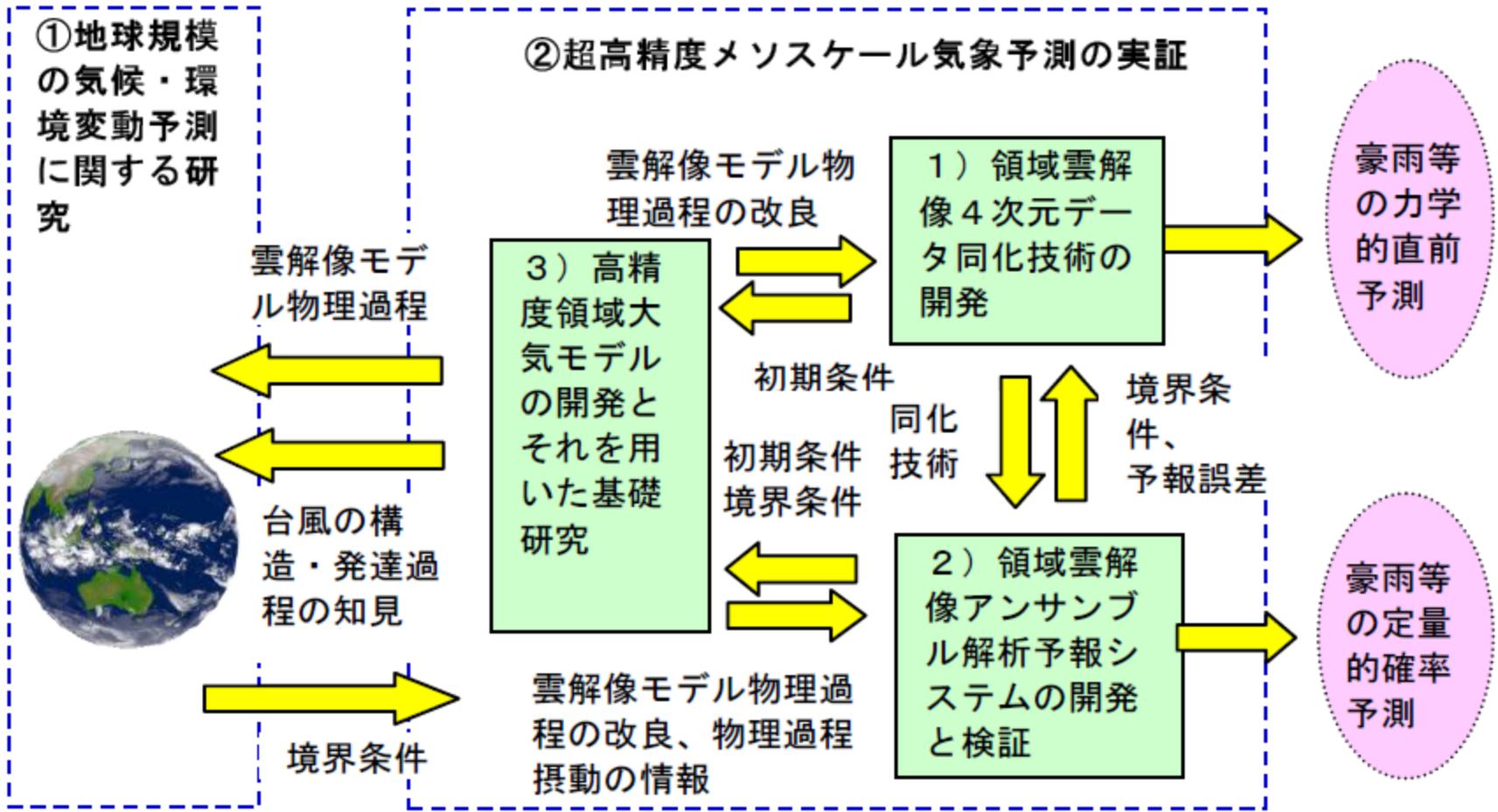


For the case of 72 nodes of K-computer

performance for MSM domain  
(721x577x50)

京の性能を最大限発揮するためには自動スレッド並列を有効利用し、キャッシュミス  
を減らすなど最適化が重要。気象庁非静力学モデル(NHM)について、計算負荷の高  
い上位ループ(全体に対する寄与では約20%)について最適化作業を実施、10-15%  
の高速化を得た。NHMによる18,432ノードの並列計算を京で実行、概ね良好な  
weak scalabilityを得た。最適化作業は継続中。

# 各目標の位置づけ



# 参考文献

- 齊藤和雄・岡本幸三、2008: 数値予報. 気象予報士ハンドブック、オーム社、437-451.
- Saito, K., 2012: The Japan Meteorological Agency nonhydrostatic model and its application to operation and research. InTech, Atmospheric Model Applications, 85-110. doi: 10.5772/35368.
- Kawabata, T., T. Kuroda, H. Seko and K. Saito, 2011: A cloud-resolving 4D-Var assimilation experiment for a local heavy rainfall event in the Tokyo metropolitan area. *Mon. Wea. Rev.*, 139, 1911-1931.
- Iwai, H., Y. Murayama, S. Sekizawa, K. Nakagawa, R. Oda, M. Ishii, K. Mizutani, 2011: Doppler lidar and wind profiler observation of a localized heavy rainfall event on 5 July 2010. presentation, Meeting on the Study of Advanced Data Assimilation and Cloud Resolving Ensemble Technique for Prediction of Local Heavy Rainfall
- Kawabata, T., H. Iwai, Y. Shoji, H. Seko and K. Saito, 2012: Assimilation experiment on a local heavy rainfall event using Doppler lidar observations. *Proceeding, Second International Workshop on Nonhydrostatic Numerical Models*, 54-55.
- Seko, H., T. Miyoshi, Y. Shoji and K. Saito, 2011: A data assimilation experiment of PWV using the LETKF system -Intense rainfall event on 28 July 2008-. *Tellus*, 63A, 402-414.
- Duc, L., K. Saito and T. Fujita, 2012: Data assimilation experiments with LETKF: the case of Niigata -Fukushima heavy rainfall event. *Proceeding, Second International Workshop on Nonhydrostatic Numerical Models*, 56-57.
- Seko, H., T. Tsuyuki, K. Saito and T. Miyoshi, 2012a: Development of a two-way nested LETKF system for cloud resolving model. Springer. (in press)
- Seko, H., T. Tsuyuki, K. Saito, T. Iwasaki and T. Miyoshi, 2012b: Data assimilation experiments using a nested LETKF system. *Proceeding, Second International Workshop on Nonhydrostatic Numerical Models*, 52-53.
- Kobayashi, K., S. Otsuka, Apip, K. Takara, N. Tmai and K. Saito, 2012: An ensemble flood forecasting for a Japanese small dam catchment with high resolution numerical ensemble rainfalls. *J. Hydrology*. (submitted)
- Chen, G., M. Sawada, W. Sha, T. Iwasaki, H. Iwai, H. Seko and K. Saito, 2012: Super-high-resolution modelling based on Down-Scaling Simulation System (DS3): Configuration and verification. *Proceeding, Second International Workshop on Nonhydrostatic Numerical Models*, 31-32.
- 折口征二・齊藤和雄・小林健一郎、2012: 台風第12号のメソアンサンブル予報実験, 気象庁技術報告, 134, 73-83.
- Mashiko, W., H. Niino and T. Kato, 2009: Numerical simulation of tornadogenesis in an outer-rainband minisupercell of typhoon Shanshan on 17 September 2006. *Mon. Wea. Rev.*, **137**, 4238–4260.
- Van der Hoven, 1957: Power spectrum of horizontal wind speed in the frequency range from 0.0007 to 900 cycles per hour. *J. Meteor.*, **14**, 160–164.
- Wyngaard, J. C., 2004: Toward numerical modeling in the “Terra Incognita”. *J. Atmos. Sci.*, **61**, 1816–1826.
- Ito, J. H. Niino and M. Nakanihishi, 2012: Turbulent closure modeling in the Terra Incognita *Proceeding, Second International Workshop on Nonhydrostatic Numerical Models*, 74-75.
- 野田暁・原政之・伊賀晋一・大野知紀・富田浩文・佐藤正樹・中村晃三・木村富士男, 2012: 全球雲解像度モデルNICAMに基づいた領域対応版Diamond NICAMおよびLES対応版NICAMの開発. 「HPCI戦略プログラム」分野3 防災・減災に資する地球変動予測平成23年度成果報告書, 83-86.
- Hashimoto, A., R. Misumi, and M. Murakami, Development of bulk microphysics parameterization based on multi-dimensional bin microphysics model. *Proceeding, Second International Workshop on Nonhydrostatic Numerical Models*, 48-49.
- Nakamura, K., Y. Fujiyoshi, K. Tsuboki, and N. Kuba, 2012: Development of a bulk parameterization scheme of warm rain using results of a bin microphysical model. *Proceeding, Second International Workshop on Nonhydrostatic Numerical Models*, 46-47.