

超高精度メソスケール 気象予測の実証

==豪雨・竜巻の実験結果
防災情報の高度化をめざして==

瀬古 弘・斉藤和雄

(気象庁気象研究所予報研究部／海洋研究開発機構)

国井 勝

(気象庁気象研究所予報研究部)

お話しする内容

- ・ 予報精度向上のために、
どのような取り組みがなされているか？
- ・ アンサンブル予報で期待していること
- ・ 同化手法を取り入れたアンサンブル予報を用いた「2012年九州北部豪雨」の再現結果
- ・ 2012年5月6日に発生した「つくばの竜巻」
の再現結果
- ・ その他の「京」を用いた成果

ここ数年の災害(豪雨)

気象庁ホームページから

www.data.jma.go.jp/obd/stats/data/bosai/report/index.html

ホーム 防災気象情報 気象統計情報 気象等の知識 気象庁について 案内・申請・リンク

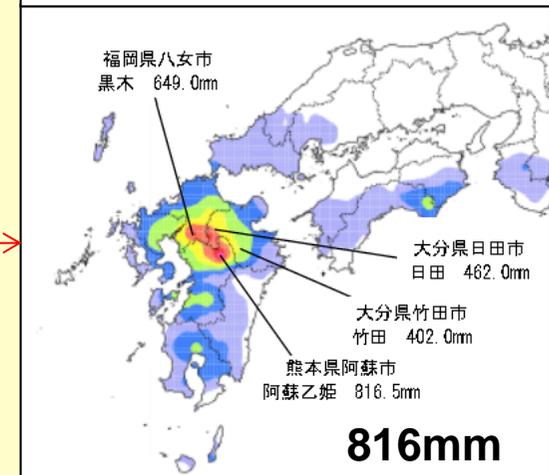
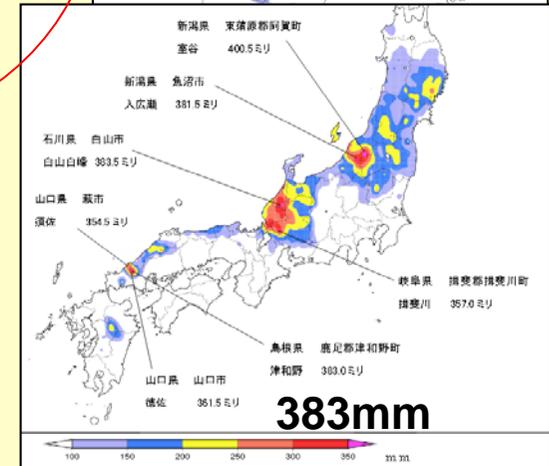
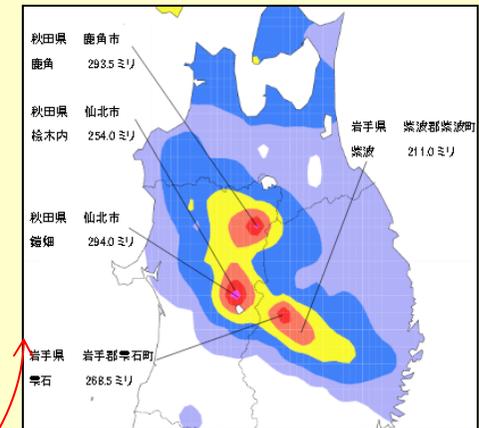
ホーム > 気象等の知識 > 災害をもたらした台風・大雨・地震・火山噴火等の自然現象のとりまとめ資料 > 災害をもたらした気象事例

災害をもたらした気象事例(平成元年～本年)

気象庁が命名した現象を含む事例には「※」を付加しています。命名については「[顕著な災害を起こした自然現象の命名についての考え方](#)」もご参照下さい。
資料の更新があった場合には、最新の資料のみを掲載しています。

- 災害をもたらした気象事例の解説
- 災害をもたらした気象事例(平成元年～本年)
- 災害をもたらした気象事例(昭和20～63年)
- 災害をもたらした気象事例-長期緩慢災害
- 竜巻等の突風データベース

災害をもたらした気象事例	発生期間	概要
台風第18号による大雨 (速報)(PDF:2.1MB)	9月15日～9月16日	四国地方から北海道の広い範囲で大雨。
大気不安定による大雨 (速報)(PDF:1.7MB)	8/9-8/10	秋田県・岩手県を中心に
梅雨前線及び大気不安定による大雨	7/22-8/1	本から北日本の広い範囲で大雨。
平成24年(2012年)		
台風第16号および大気不安定による大雨・暴風・高波・高潮 (速報)(PDF:2.4MB)	9月15日～9月19日	沖縄地方から近畿地方太平洋側にかけて大雨・暴風。沖縄地方、九州地方を中心に高波・高潮。
前線による大雨 (速報)(PDF:2.0MB)	8月13日～8月14日	近畿中部を中心に大雨。
平成24年7月九州北部豪雨	7/11-7/14	九州北部を中心に大雨。
低気圧による暴風・高波 (速報)(PDF:2.3MB)	4月3日～4月5日	西日本から北日本にかけての広い範囲で、記録的な暴風。



ここ数年の災害(豪雨) 気象庁ホームページから

www.data.jma.go.jp/obd/stats/data/bosai/report/index.html

ホーム 防災気象情報 気象統計情報 気象等の知識 気象庁について 案内・申請・リンク

ホーム > 気象等の知識 > 災害をもたらした台風・大雨・地震・火山噴火等の自然現象のとりまとめ資料 > 災害をもたらした気象事例

災害をもたらした気象事例(平成元年～本年)

気象庁が命名した現象を含む事例には「※」を付加しています。命名については「[顕著な災害を起こした自然現象の命名についての考え方](#)」もご参照下さい。
資料の更新があった場合には、最新の資料のみを掲載しています。

- 災害をもたらした気象事例の解説
- 災害をもたらした気象事例(平成元年～本年)
- 災害をもたらした気象事例(昭和20～63年)
- 災害をもたらした気象事例-長期継続災害
- 竜巻等の突風データベース

災害をもたらした気象事例	発生期間	概要
台風第18号による大雨 (速報)(PDF:2.1MB)	9月15日～9月16日	四国地方から北海道の広い範囲で大雨。
梅雨前線及び大気不安定による大雨 (速報)(PDF:1.7MB)	8/9-8/10	秋田県・岩手県を中心に
7/22-8/1	本から北日本の広い範囲で大雨。	
平成24年(2012年)		
台風第16号および大気不安定による大雨・暴風・高波・高潮 (速報)(PDF:2.4MB)	9月15日～9月19日	沖縄地方から近畿地方太平洋側にかけて大雨・暴風。沖縄地方、九州地方を中心に高波・高潮。
前線による大雨 (速報)(PDF:2.0MB)	8月13日～8月14日	近畿中部を中心に大雨。
平成24年7月九州北部豪雨 (速報)(PDF:2.3MB)	7/11-7/14	九州北部を中心に大雨。
低気圧による暴風・高波 (速報)(PDF:2.3MB)	4月3日～4月5日	西日本から北日本にかけての広い範囲で、記録的な暴風。

河川の増水や土砂災害が発生し、**秋田県**で死者4名、行方不明者1名、**岩手県**で死者2名となった。

山口県萩市で2名、**新潟県長岡市**で1名の計**3名**が死亡したほか、**山口県萩市**および**島根県津和野町**で計2名が行方不明となった。

この大雨により、河川のはん濫や土石流が発生し、**熊本県**、**大分県**、**福岡県**で死者**21名**、行方不明者**8名**となったほか、**九州北部**を中心に住家損壊、土砂災害、浸水害等が発生した。

ここ数年の災害(竜巻) 気象庁ホームページから

ホーム 防災気象情報 気象統計情報 気象等の知識 気象庁について 案内・申請・リンク

ホーム > 気象統計情報 > 竜巻等の突風データベース > 最近発生した事例一覧(速報)

最近発生した事例一覧(速報)

2012年7月以降に発生した竜巻等の突風の一覧を掲載しています。

最近発生した事例一覧(速報)

現象区別	発生日時	発生場所	藤田 スケール	被害幅 m	被害 長さKm	主な被害状況				
						死者	負傷者	住家 全壊	住家 半壊	
竜巻	2013/09/04 12:50頃	栃木県 塩谷郡塩谷町	F1	200	11	0	1	0	0	停滞前
竜巻	2013/09/04 12:20頃	栃木県 鹿沼市	F1	300	6	0	2	0	2	停滞前
竜巻	2013/09/04 11:50頃	高知県 安芸市	F0			0	0	0	0	南岸低
竜巻	2013/09/04 06:30頃	高知県 宿毛市	F0			0	0	0	0	台風・停
竜巻	2013/09/03 15:35頃	鹿児島県(海上)	不明	不明						
竜巻	2013/9/2	越谷市	F2	300						

負傷者64
住宅全壊14



現象区別	発生日時	発生場所	藤田 スケール	被害幅 m	被害 長さKm	主な被害状況				
						死者	負傷者	住家 全壊	住家 半壊	
竜巻	2012/06/05 03:20頃	沖縄県 島尻郡南大東村	詳細	F0	100	14	0	0	0	0
竜巻	2012/06/02 15:40頃	奈良県 生駒郡斑鳩町	詳細(D)	F0	80	12	0	0	0	0
竜巻	2012/05/13 16:57	沖縄県(海上)	詳細(D)	不明	不明	不明	0	0	0	0
竜巻	2012/05/13 12:56頃	沖縄県(海上)	詳細(D)	不明	不明					
竜巻	2012/05/11 09:00頃	鹿児島県(海上)	詳細(D)	不明	不明					
竜巻	2012/05/11			850						
竜巻	2012/05/11			500						
竜巻	2012/05/11			600						
竜巻	2012/05/06 11:20頃	福島県 大沼郡会津美里町	詳細(D)	F0	300					
その他(不明を含む)	2012/03/31 12:05	静岡県 浜松市	詳細	F0	50					

2012/5/6 つくば市

死者1
負傷者37
住宅全壊76

天気予報のできるまで

1. 観測



2. 観測データの 利用

スパコン



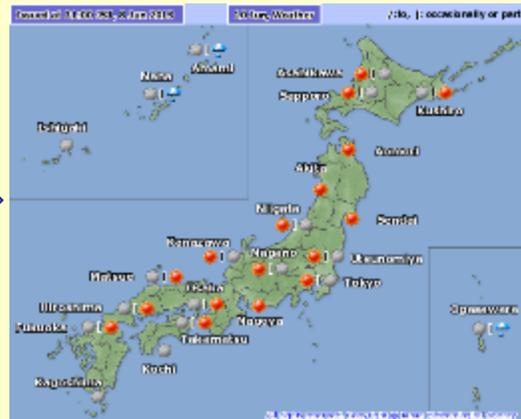
3. 数値モデル

4. 翻訳

予報官

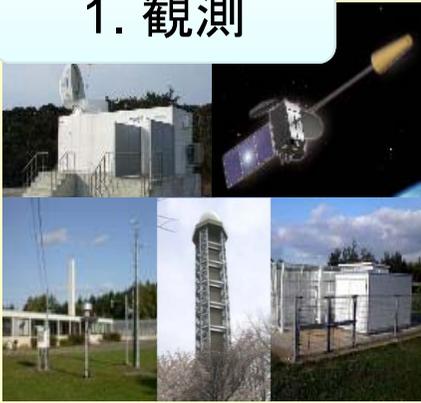


5. 天気予報



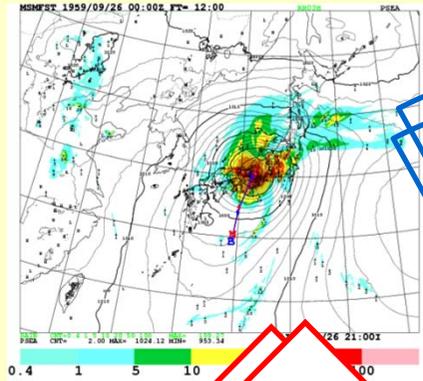
予報精度向上のために

1. 観測

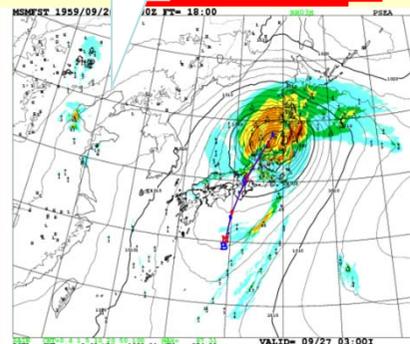


①観測値で
数値モデルの
値を修正。
データ同化

2. 観測 データの 利用



モデルの値
の修正



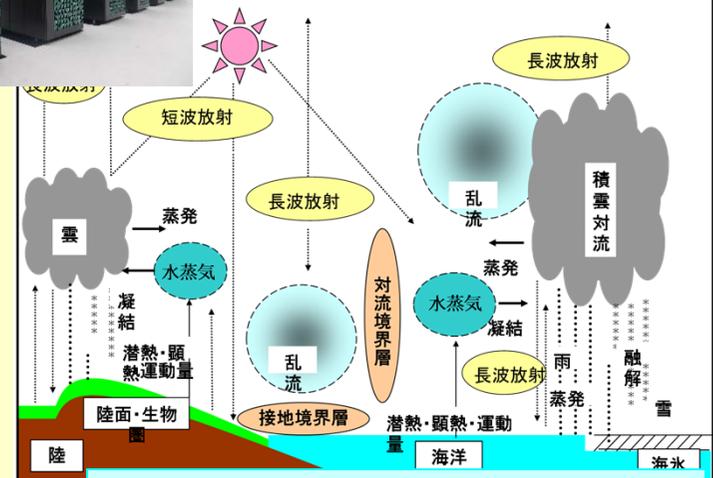
背景場 or 第一推定値

②複数の予報の利用 アンサンブル予報

スパコン



3. 数値モデル



③モデルの 高度化

予報精度向上のために

超高精度メソスケール気象予測の実証では・・・

- 観測値を数値モデルの初期値に反映させる。
結果は解析値と呼ばれる。⇒データ同化。
- 解析誤差を考慮。誤差内の複数の予報を行う。
⇒アンサンブル予報
- 数値モデルの改善。
⇒高解像度化。物理過程等の高度化。

予報精度向上のために 超高精度メソスケール気象予測の実証では・・・

データの
同化

アンサンブル
予報

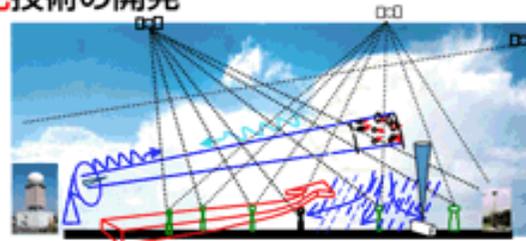
モデル化
の高度化

気象・気候・環境：②超高精度メソスケール気象予測の実証

第1目標：領域雲解像4次元データ同化技術の開発

ドップラーレーダー、GPS等による
高解像度観測データ（水蒸気と風）を
雲解像モデルに同化

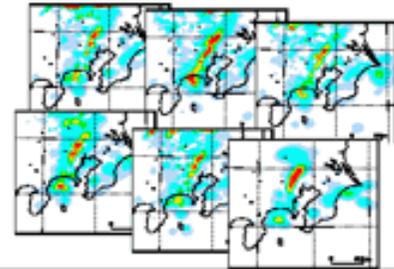
気象研究所・海洋研究開発機構・京都大学防災研究所
防災科学技術研究所・統計数理研究所・気象庁数値予報課



第2目標：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

雲解像アンサンブル予測により、**集中豪雨**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

気象研究所・海洋研究開発機構・東北大学
京都大学防災研究所・気象庁数値予報課

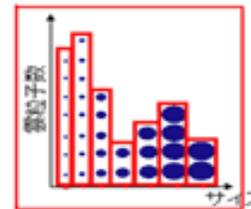


予測信頼度
を、多数例
予測から見
積る

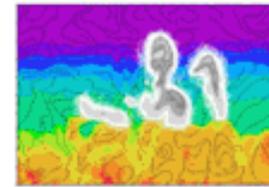
第3目標：高精度領域大気モデルの開発とそれを用いた基礎研究

雲解像モデルの改善と不確定性の除去
雲解像シミュレーションによる台風の
強度予測の改善

海洋研究開発機構・気象研究所
東京大学大気海洋研究所・防衛大学校・東北大学
京都大学防災研究所・気象庁数値予報課
名古屋大学水循環研究センター・筑波大学
計算科学研究機構



ピン法



LES

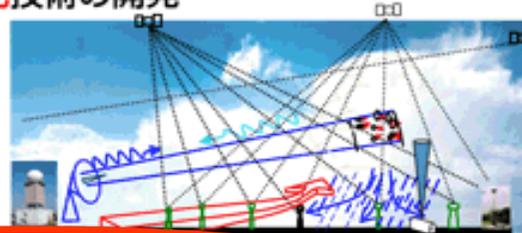
集中豪雨の予測実証

気象・気候・環境：②超高精度メソスケール気象予測の実証

第1目標：領域雲解像4次元データ同化技術の開発

ドップラーレーダー、GPS等による
高解像度観測データ（水蒸気と風）を
雲解像モデルに同化

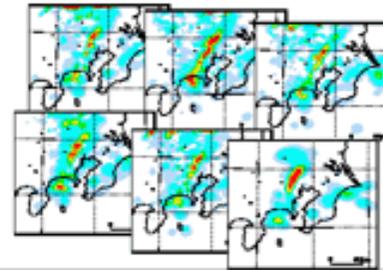
気象研究所・海洋研究開発機構・京都大学防災研究所
防災科学技術研究所・統計数理研究所・気象庁数値予報課



第2目標：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

雲解像アンサンブル予測により、**集中豪雨**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

気象研究所・海洋研究開発機構・東北大学
京都大学防災研究所・気象庁数値予報課

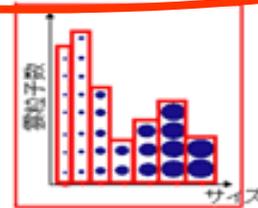


予測信頼度
を、多数例
予測から見
積る

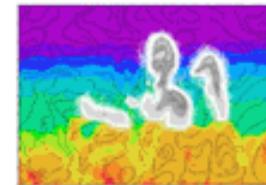
第3目標：高精度領域大気モデルの開発とそれを用いた基礎研究

雲解像モデルの改善と不確定性の除去
雲解像シミュレーションによる台風の
強度予測の改善

海洋研究開発機構・気象研究所
東京大学大気海洋研究所・防衛大学校・東北大学
京都大学防災研究所・気象庁数値予報課
名古屋大学水循環研究センター・筑波大学
計算科学研究機構



ビン法



LES

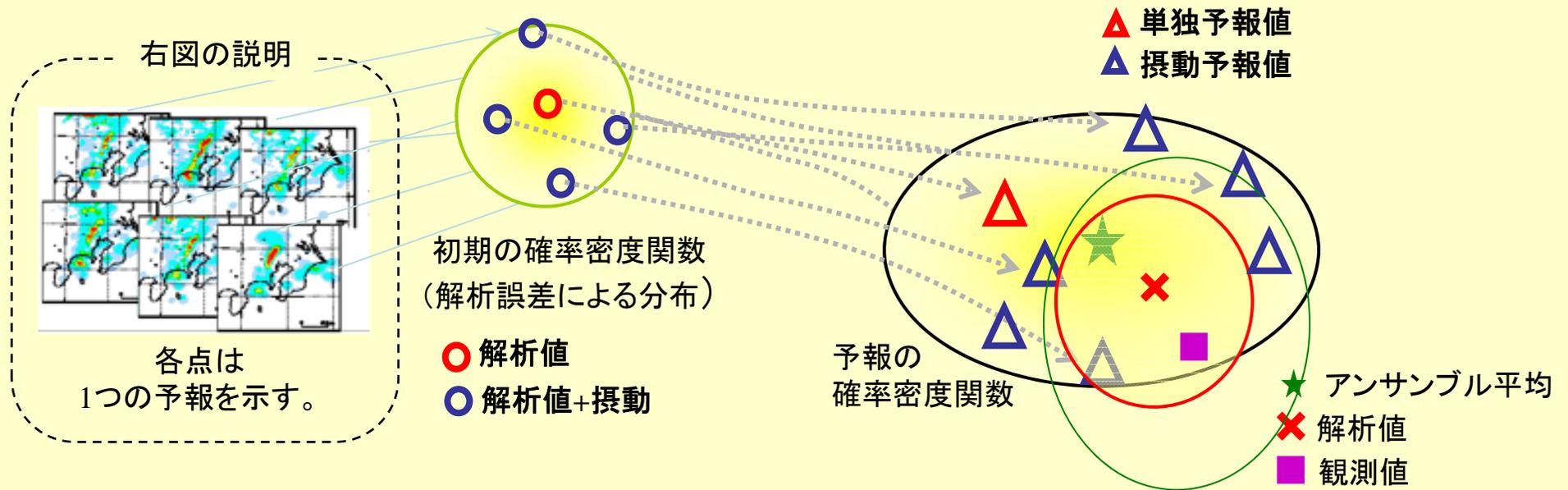
集中豪雨の予測実証

主に、領域雲解像アンサンブル解析予報システムの開発の検証の成果について、報告します。

データ同化を取り入れた アンサンブル予報

観測や解析に誤差はつきもの

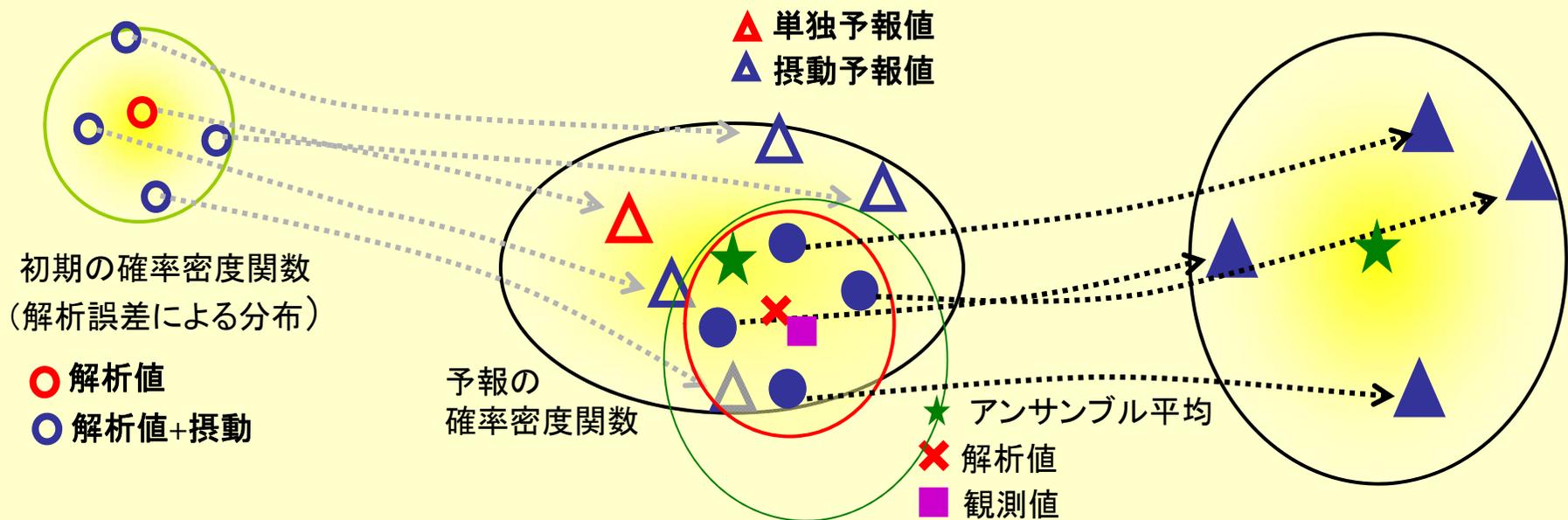
大気の初期状態はある存在確率で把握する方が望ましい。



▲同化前の予報値と×観測
で■解析値を推定。

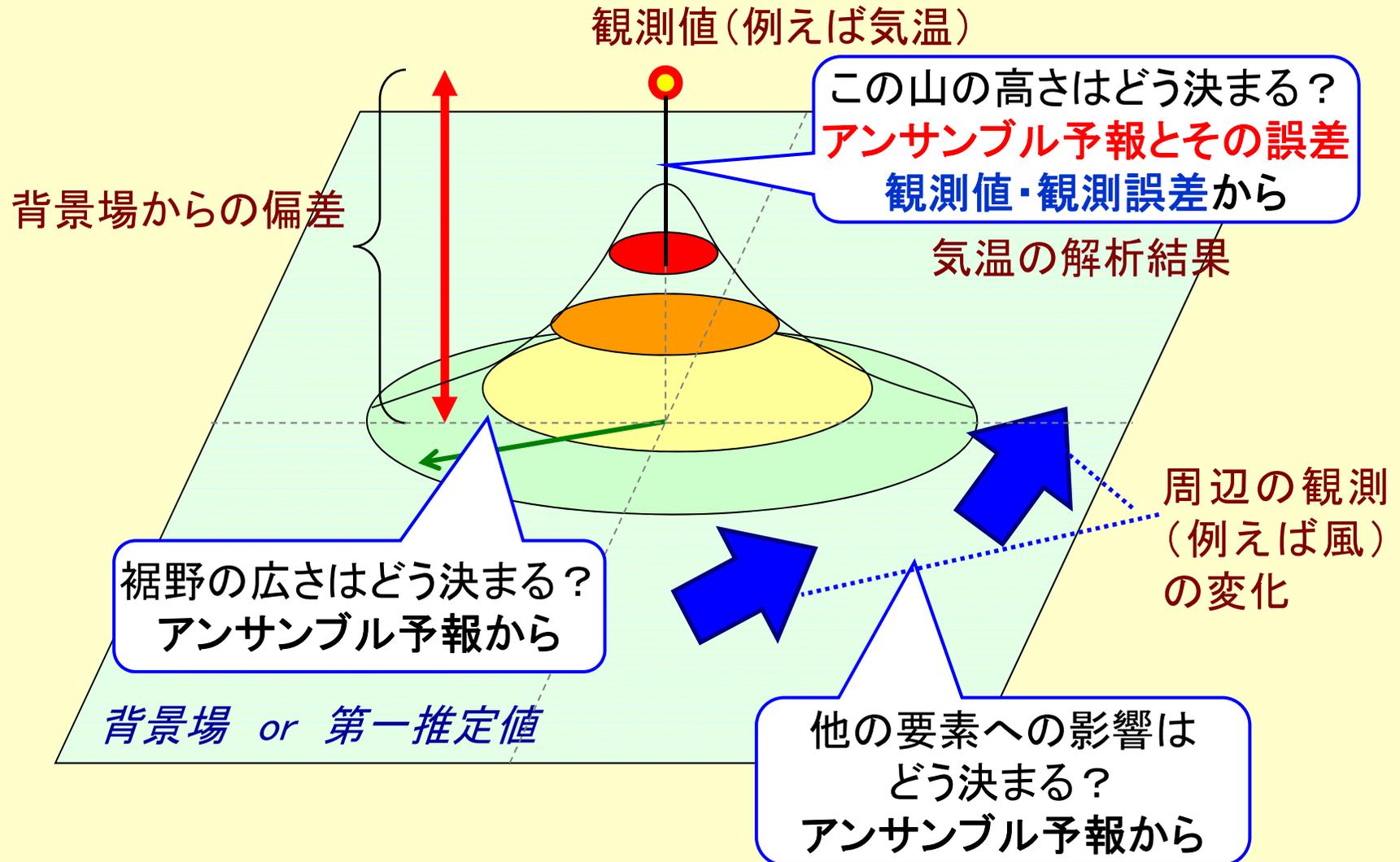
データ同化を取り入れたアンサンブル予報

- 観測や解析に誤差はつきもの
大気の初期状態はある存在確率で把握する方が望ましい。

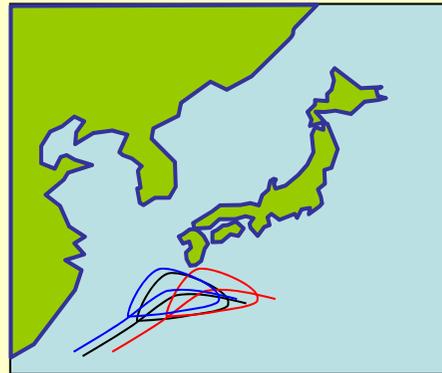


解析誤差範囲内ではらつかせて(●)、再度予報する(▲)。

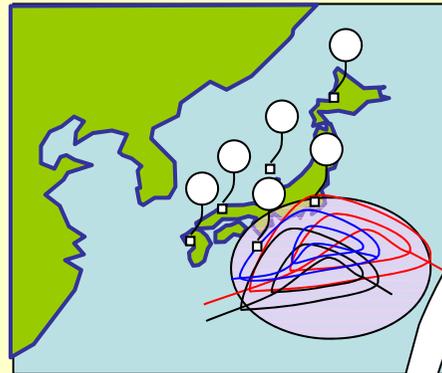
データ同化の考え方



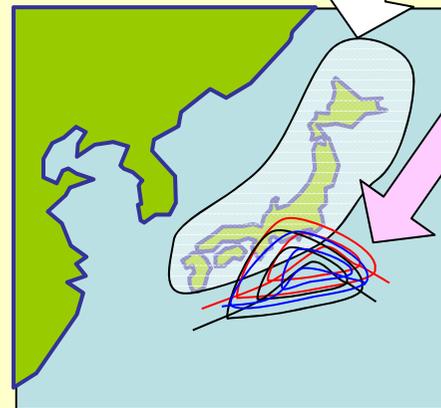
摂動の作成方法



予報

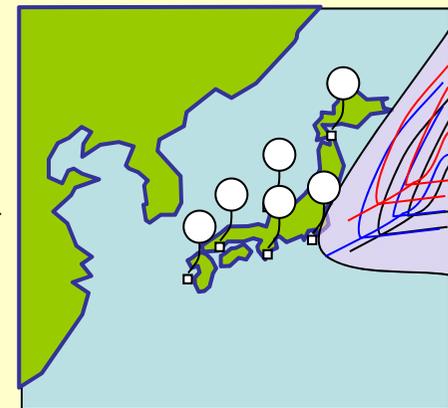


解析



- 陸上では、観測データが多いため、ばらつきは小さくなる。
- 観測データを同化すると、擾乱付近も、観測データで修正される。

予報



- 最初は、適当な初期値から予報する。
- 陸上では、観測データが多い。
- 予報すると、低気圧付近は、メンバー間のばらつきが大きくなる。

この過程を繰り返すと、擾乱の位置や観測データを考慮した ばらつきができる。

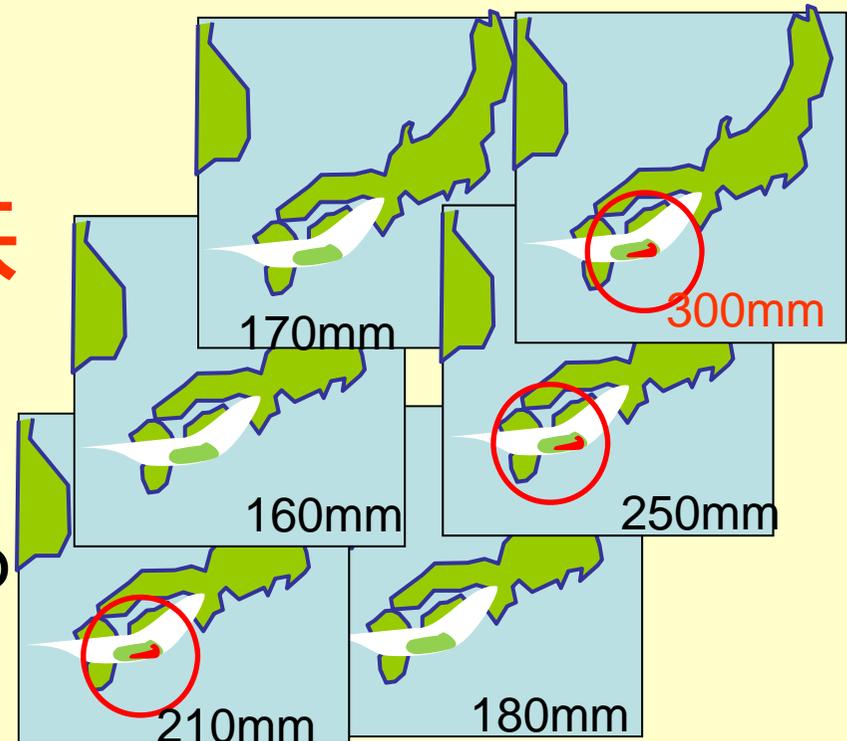
アンサンブル予報で 期待していること

- ・初期値に用いた解析値には誤差がある。
- ・そもそも、モデルは不完全。(物理過程など・・・)

＞確率として捉えるべき!

①確率的予測, 信頼度情報の提供

例えば、右の図だと
赤い領域(200mm)を超える
発生確率は50%。



アンサンブル予報で期待していること

①確率的予測，信頼度情報の提供

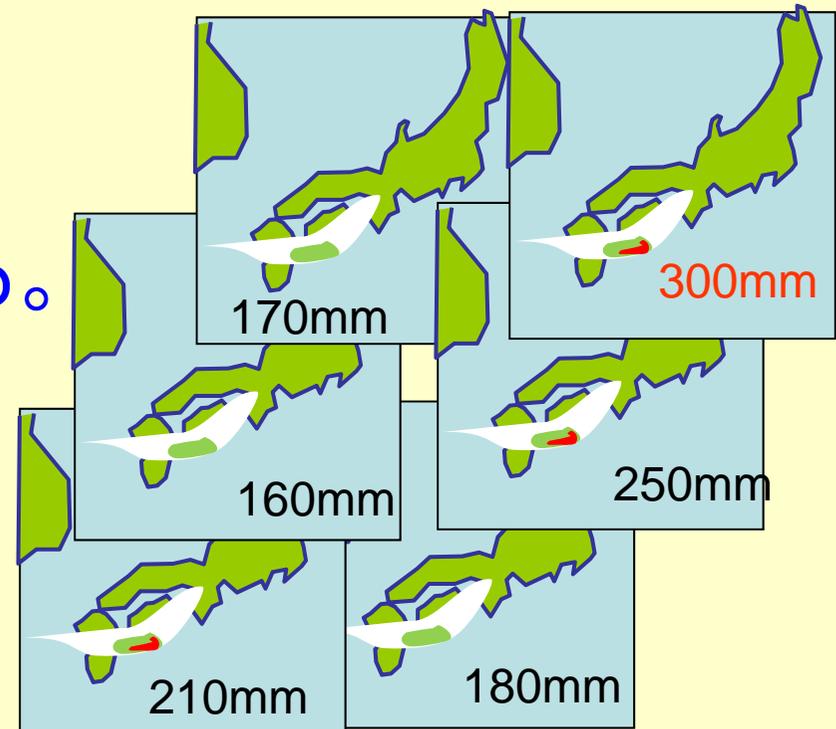
・多数の予報シナリオから、たとえば、降水量はどれほどになり得るか？

という極値の情報にもなる。

＞ 顕著現象を予測し、見逃しを減らすことができる。

②顕著現象の予測

たとえば、右図だと300mmまで降る可能性がある。



アンサンブル予報で期待していること

① 確率的予測，信頼度情報の提供

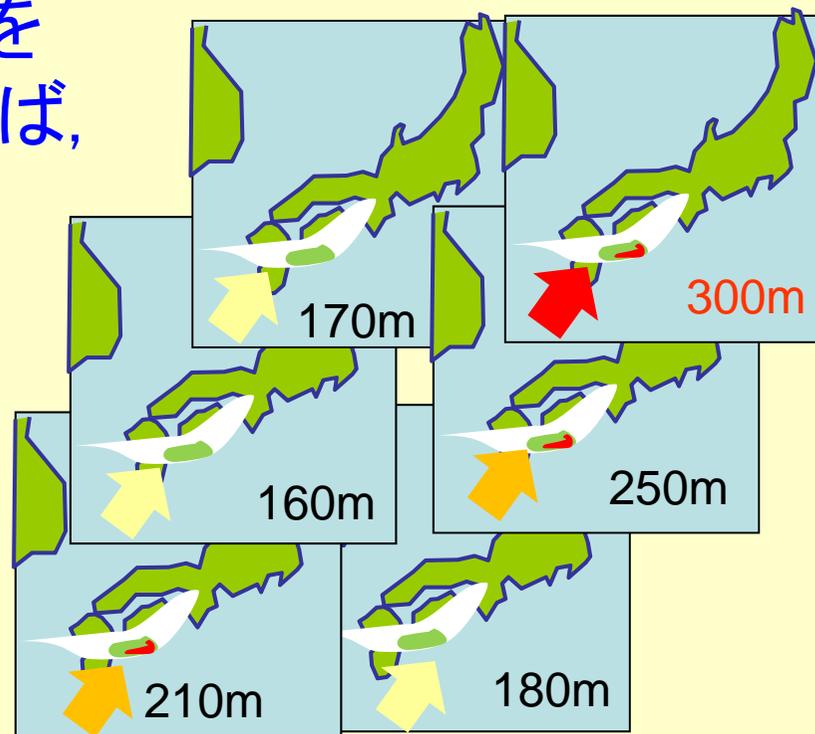
② 顕著現象の予測

・多数の予報シナリオの利用

＞たとえば豪雨の場合、降水量を説明する変数(南風)が見出せれば、その観測値に注目する。

③ 現象の予測・監視
の注目点を提供。

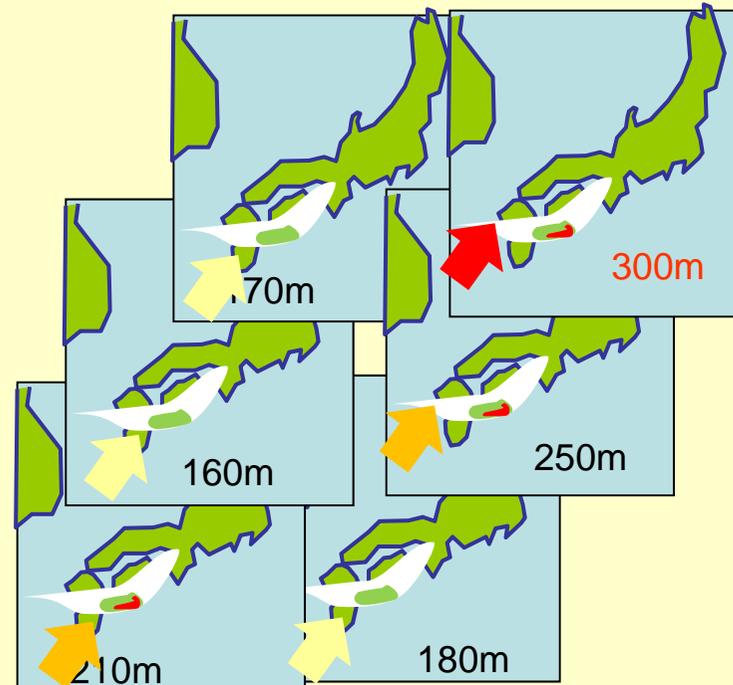
たとえば、降水域に供給される南からの気流など。



アンサンブル予報で 期待していること

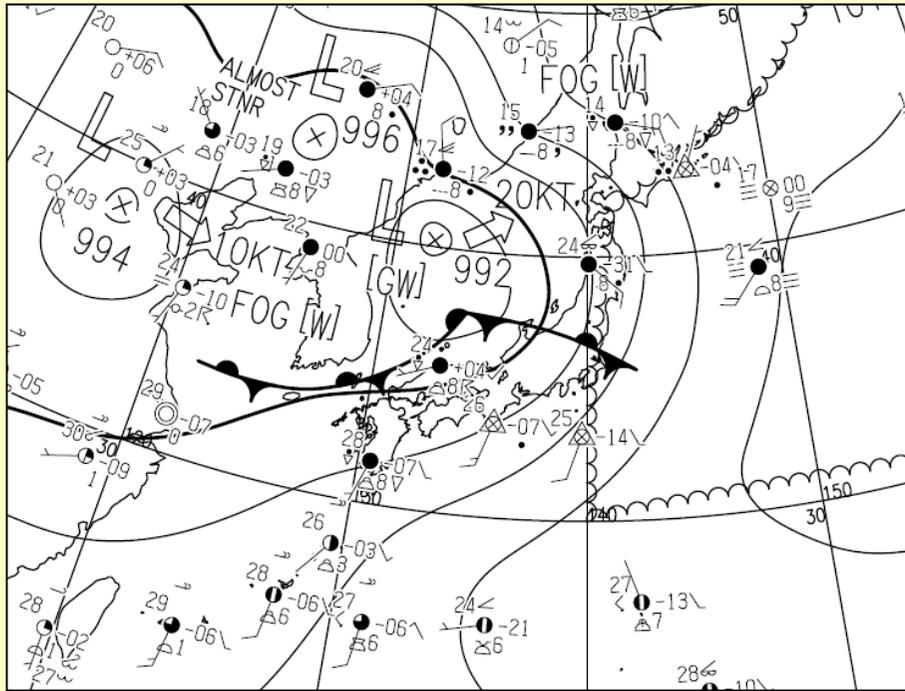
- ① 確率的予測，
信頼度情報の提供。
- ② 顕著現象の予測。
- ③ 現象の予測・監視
の注目点を提供。

実際の事例で
みてみます。



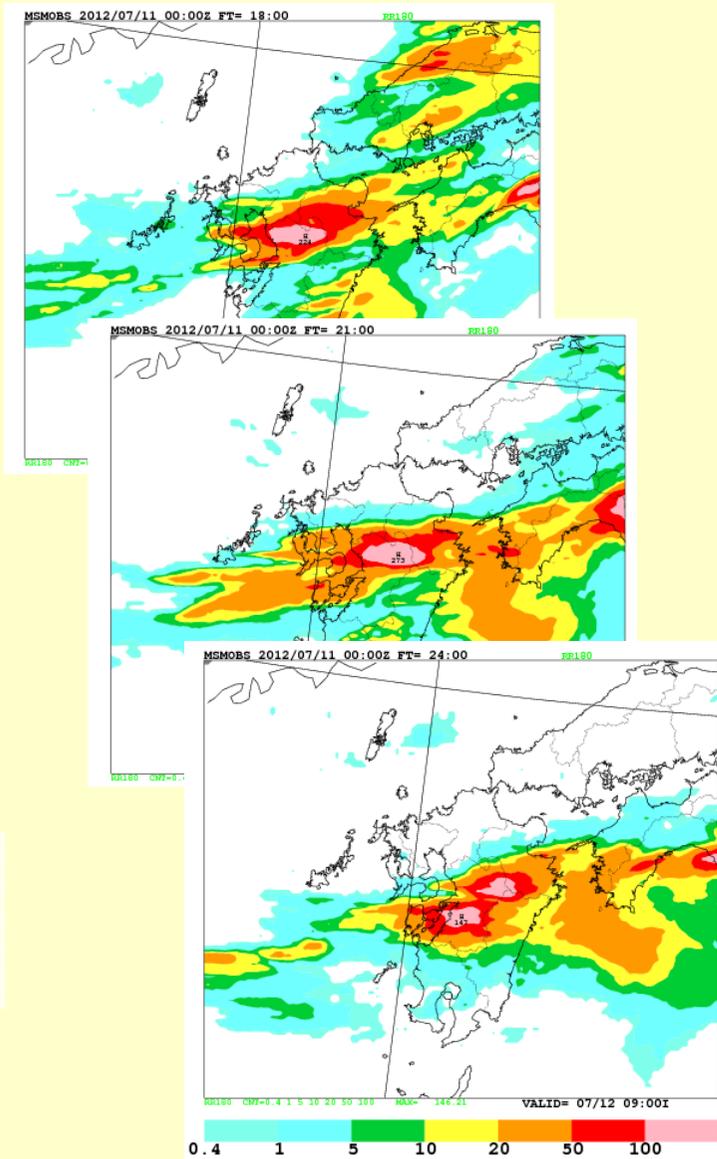
2012年7月の九州北部豪雨

観測された3時間降水量 (国井さん)



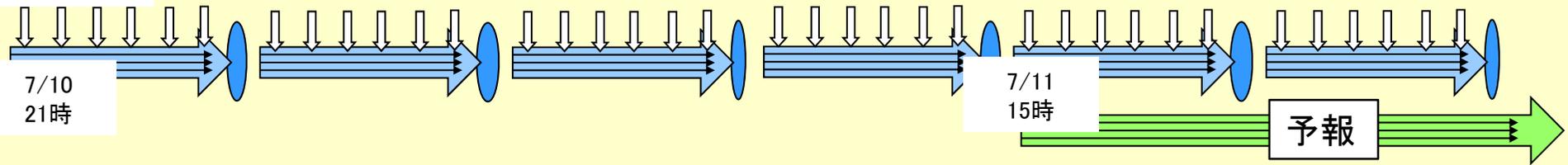
2012年7月11日18UTCの天気図

総降水量は、5日間に500mmに達している。

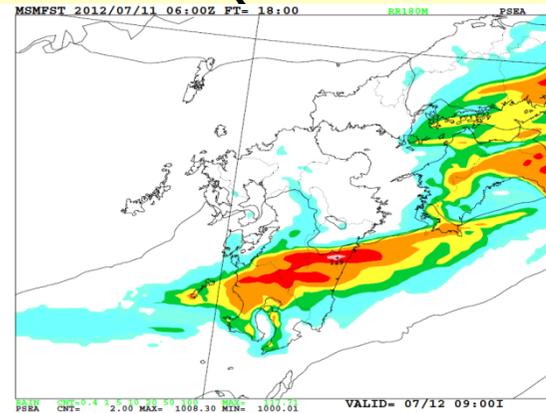


アンサンブル予報の結果

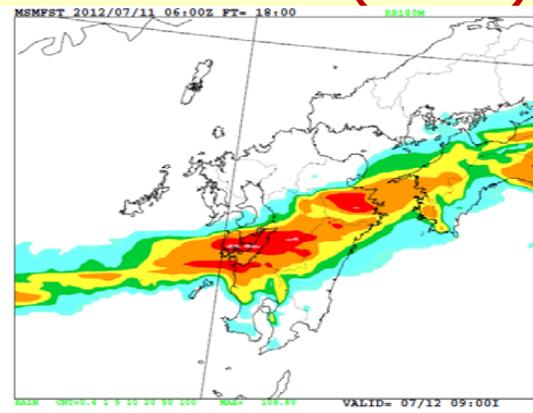
50メンバー
5km格子



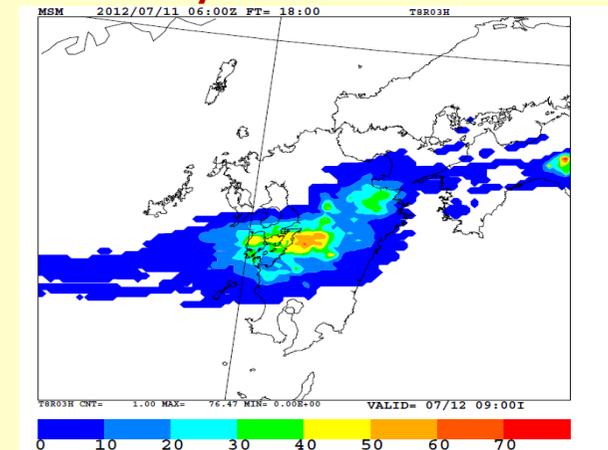
NHMを用いた予報結果 初期値の時刻: 2012年07月11日15時, 予報期間=18
決定論的予報 (JNoVA現業相当) **アンサンブル予報 (LETKF)** **50mm/3hを超える確率**



観測

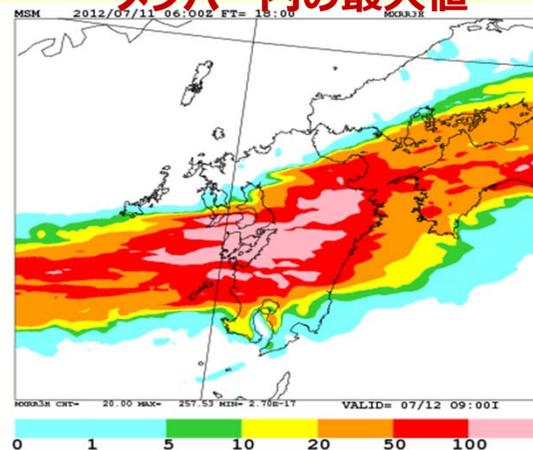
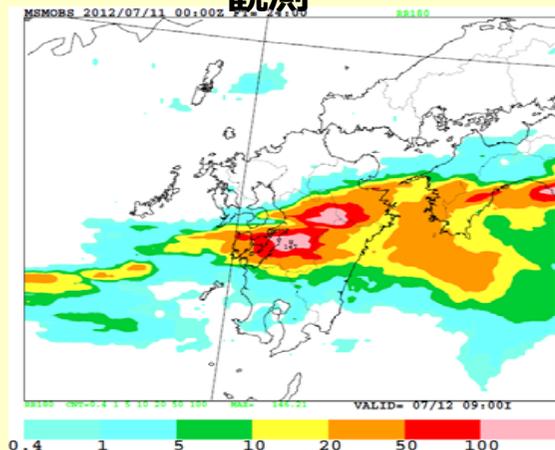


メンバー内の最大値



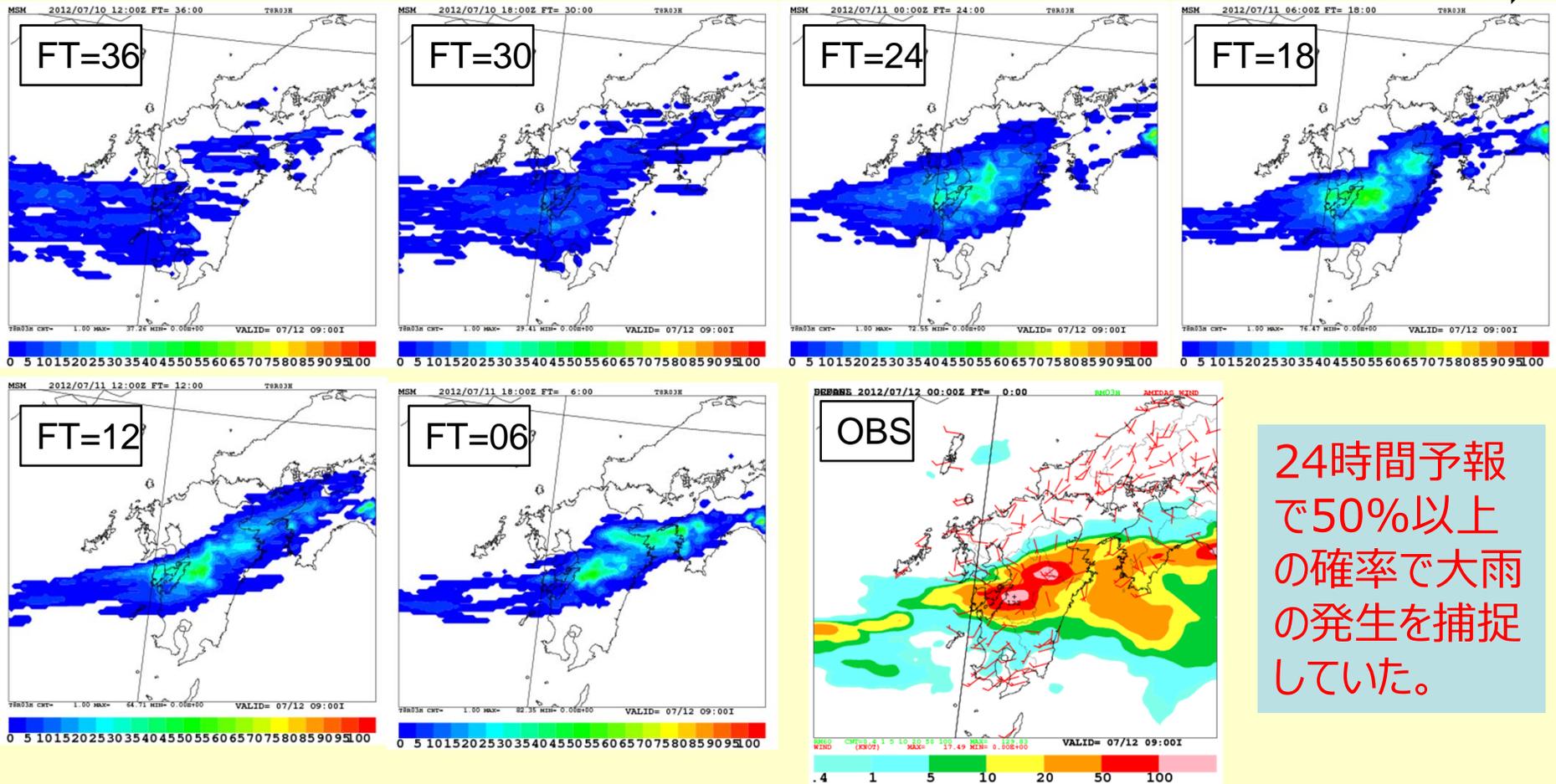
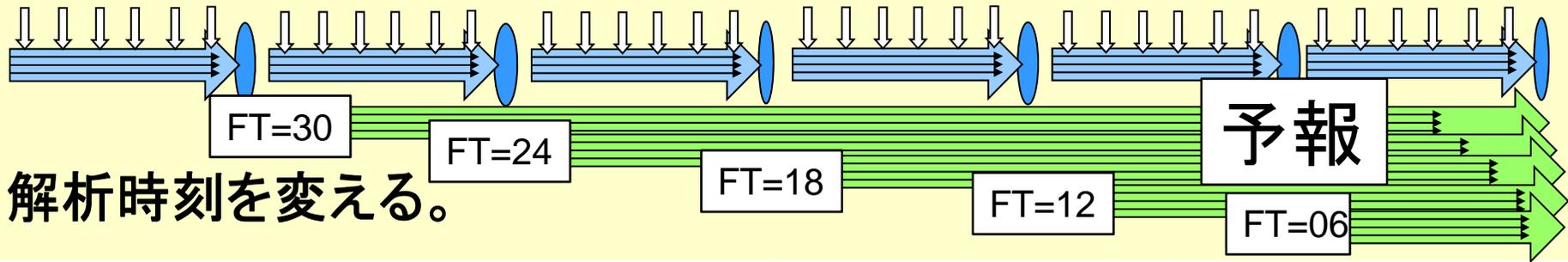
18時間予報で50%以上の確率で大雨の発生を捕捉。

最大値は、防災を検討すべき、範囲を示す。
 最小値は、防災を必ず検討しないといけない範囲になる。



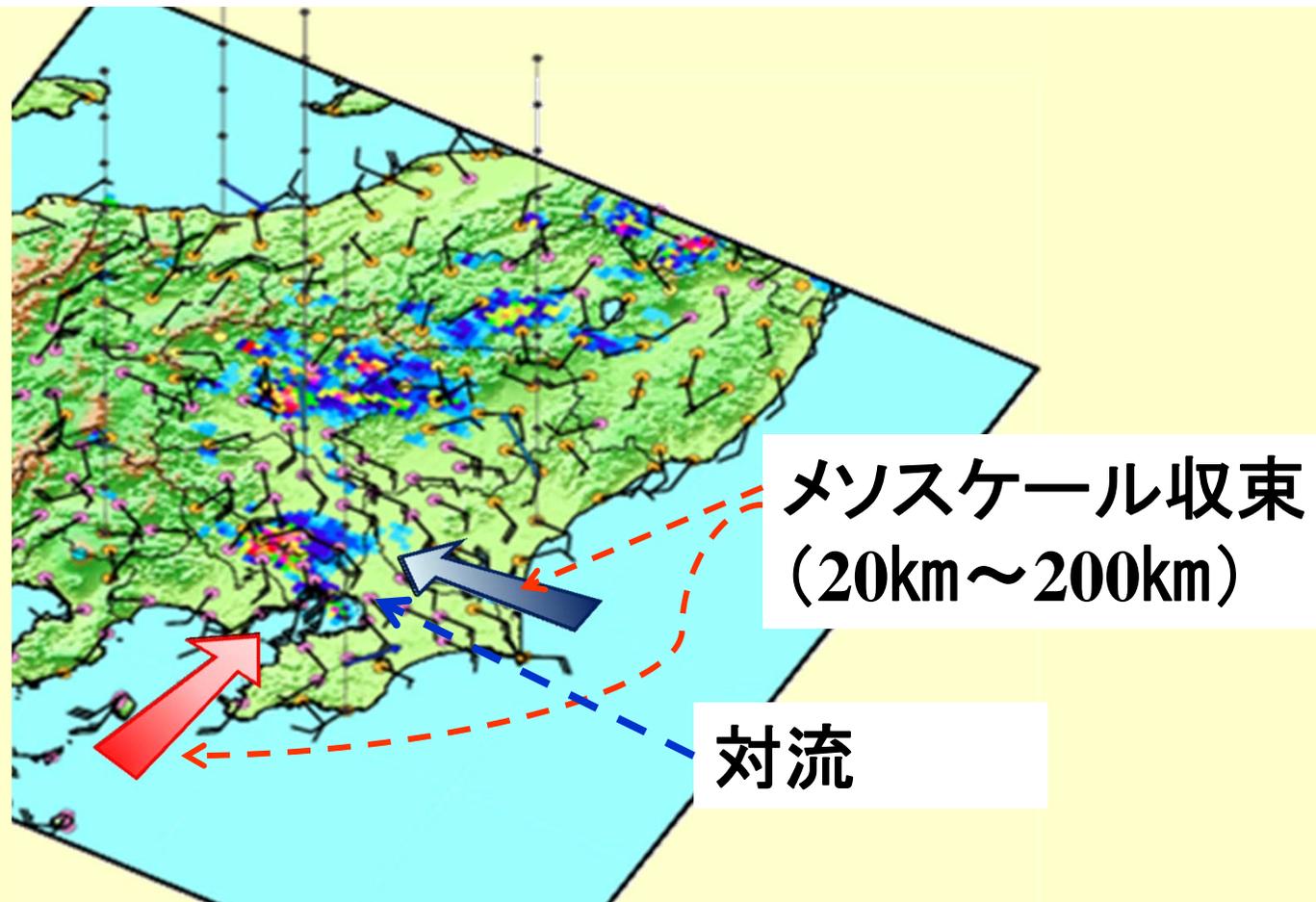
降水確率とリードタイム

豪雨の時刻
で比較

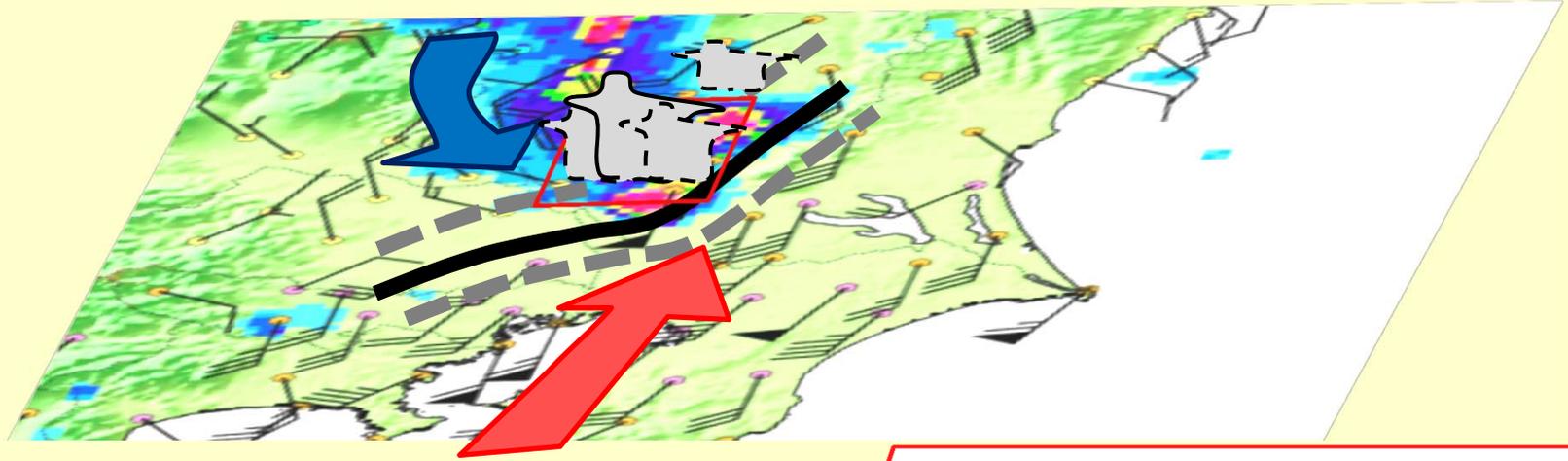


局地豪雨や竜巻の再現・予報のために・・・

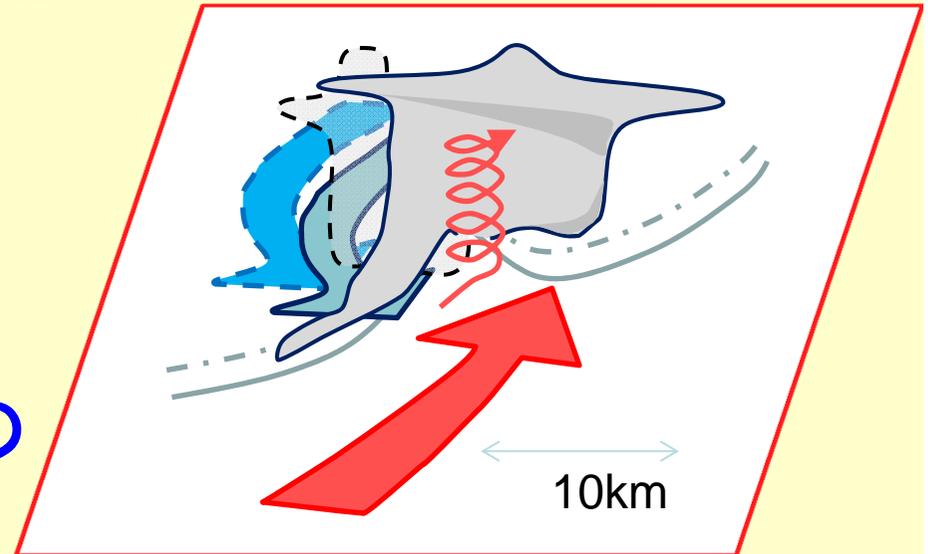
- ・空間スケールの小さい竜巻や局地的豪雨を再現するためには、メソスケール収束や対流を同時に表現する‘ネスト同化システム’が必要。



竜巻の予測の難しさ

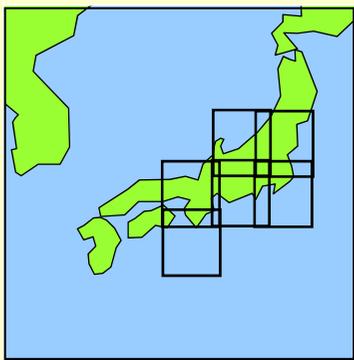
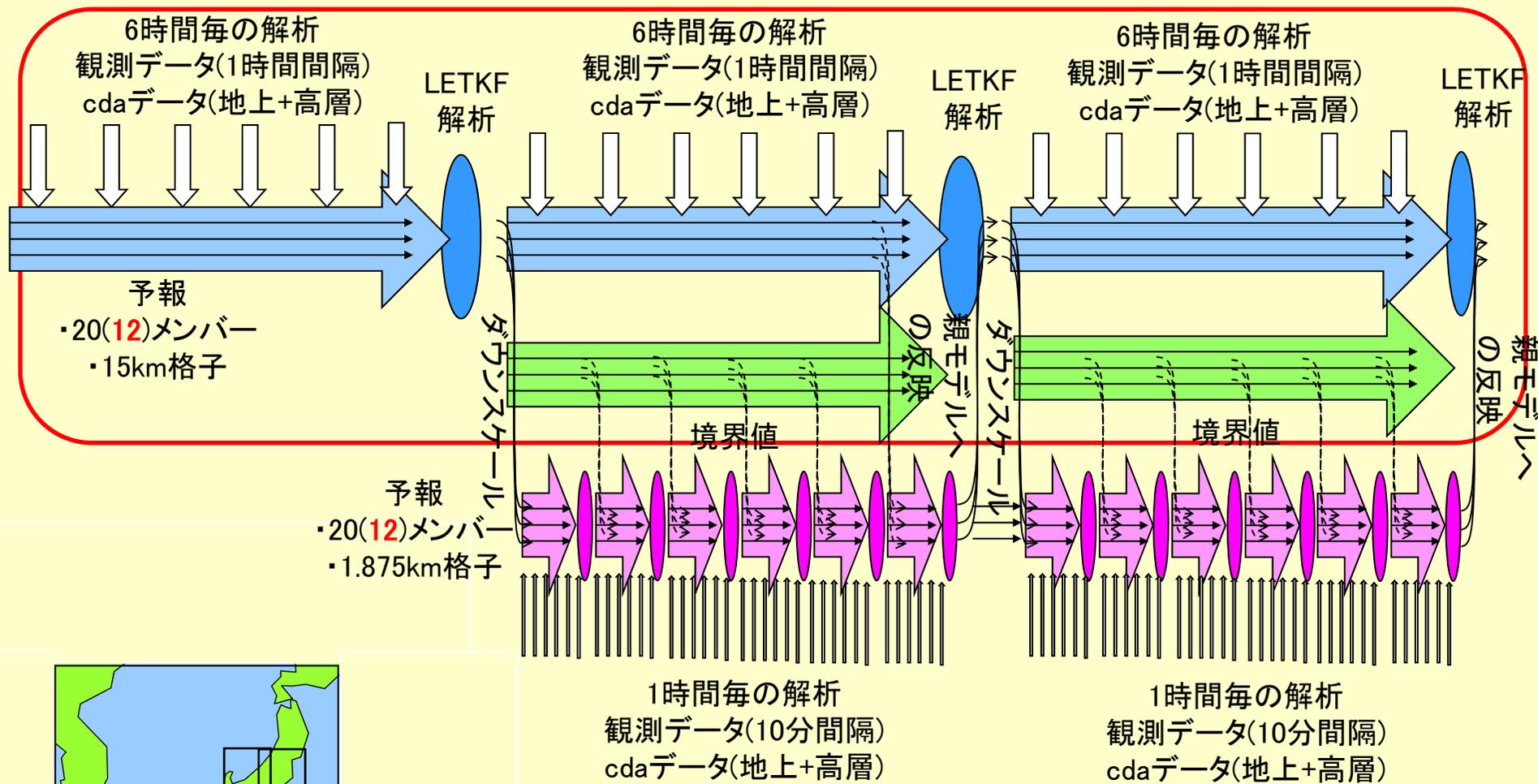


- メソスケールの収束の強さ・位置が少しでも変われば、積乱雲の発生場所や強さが大きく変わる。
- 環境の小さな差が、積乱雲の発達具合を変える。



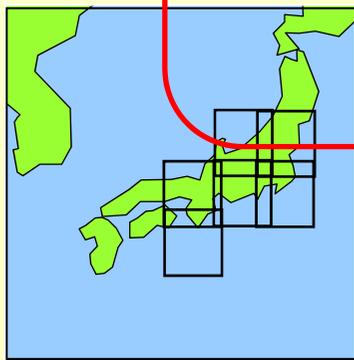
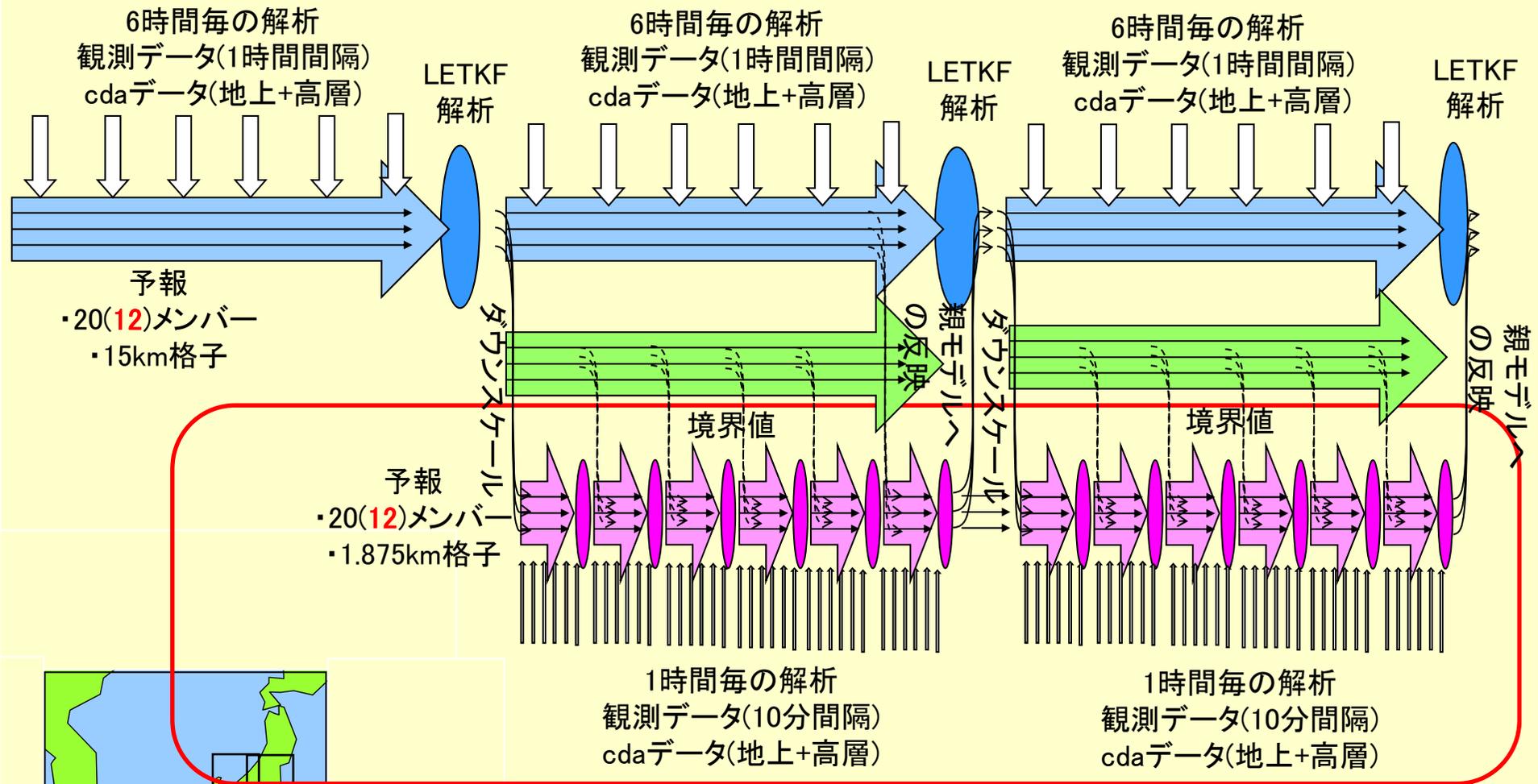
竜巻事例にアンサンブル予報のネストシステムを適用する。

ネストしたシステムの流れ



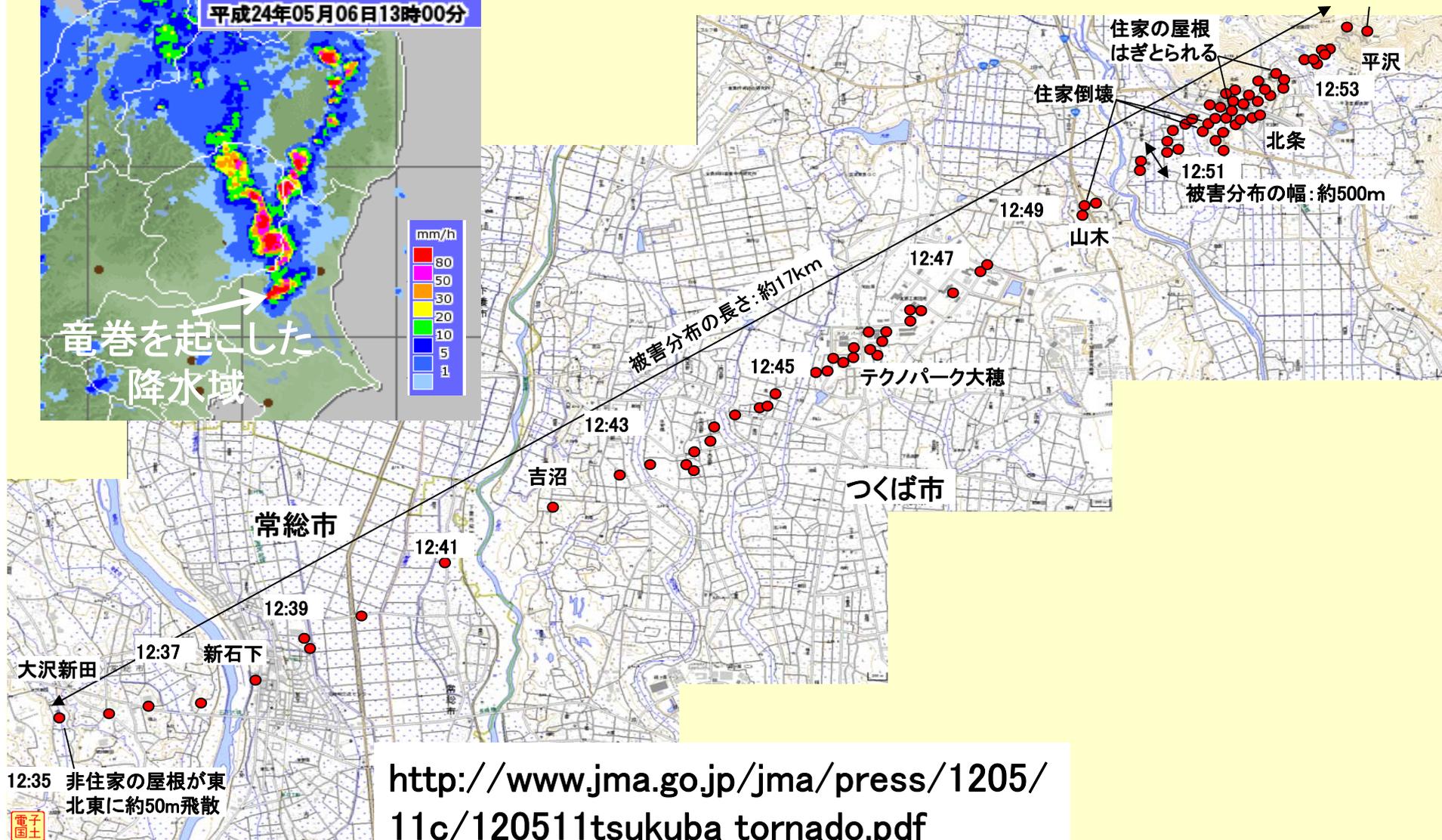
- ・親LETKFの格子間隔は15km。
- ・親LETKFは気象庁の現業データを同化する。
- ・同化ウィンドウは6時間。1時間毎に同化。

ネストしたシステムの流れ



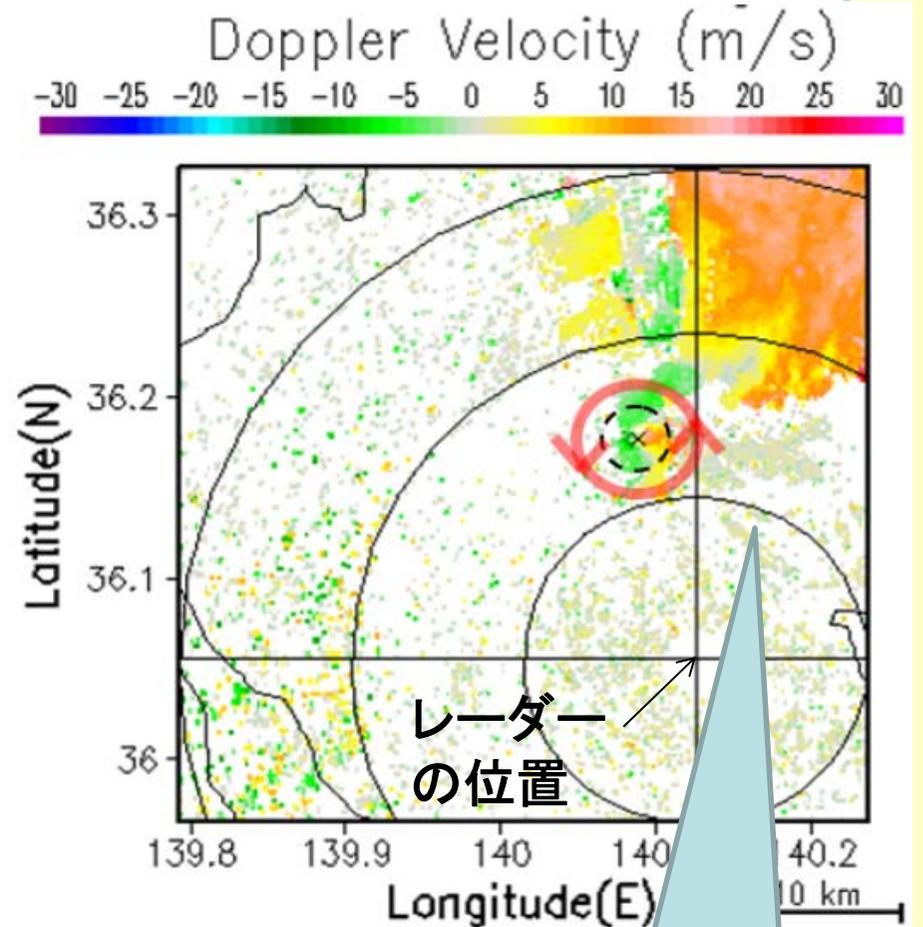
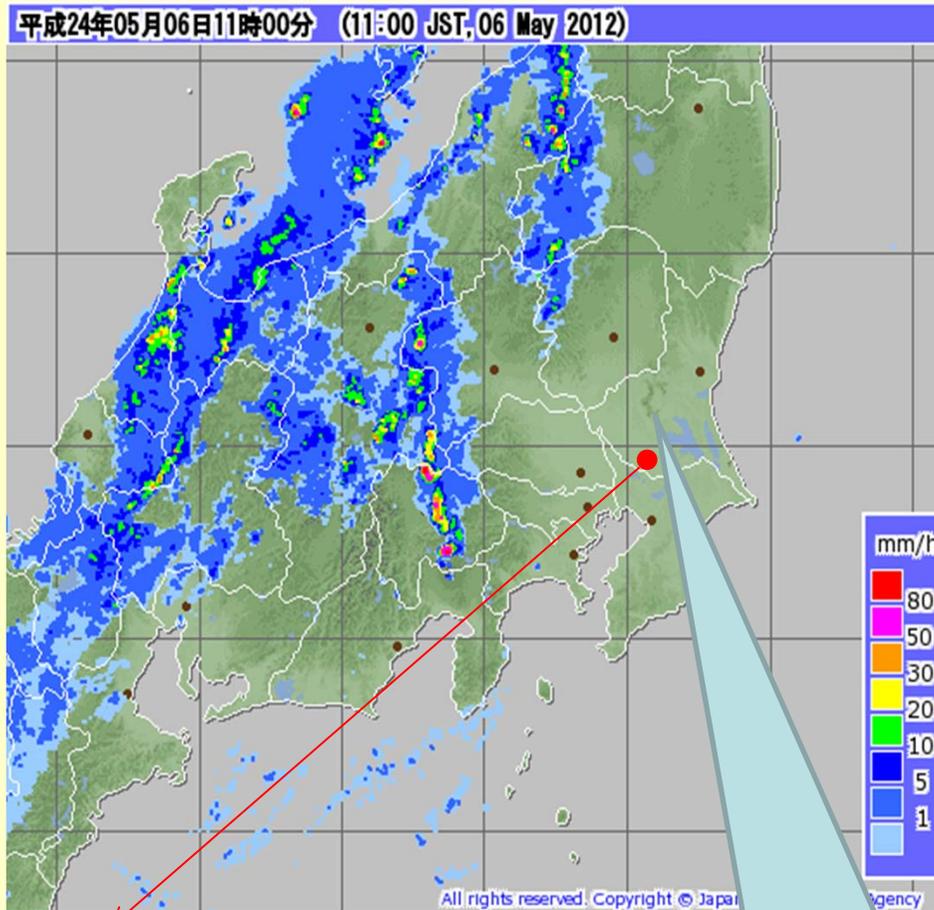
- ・子LETKFの格子間隔は約2km。
- ・子LETKFは現業データに加え、高解像度データを同化する。
- ・子LETKFの同化ウィンドウは1時間。10分毎に同化。

2012年5月6日につくば市で発生した竜巻について



http://www.jma.go.jp/jma/press/1205/11c/120511tsukuba_tornado.pdf

2012年5月6日のレーダの観測結果



<http://www.jma.go.jp/jma/press/1205/>

(2012)

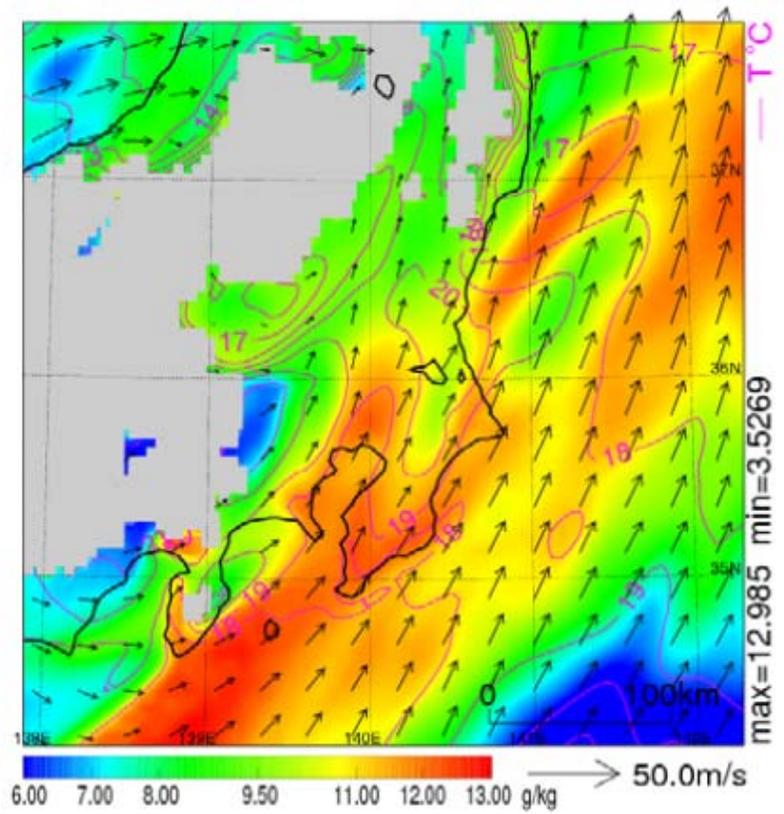
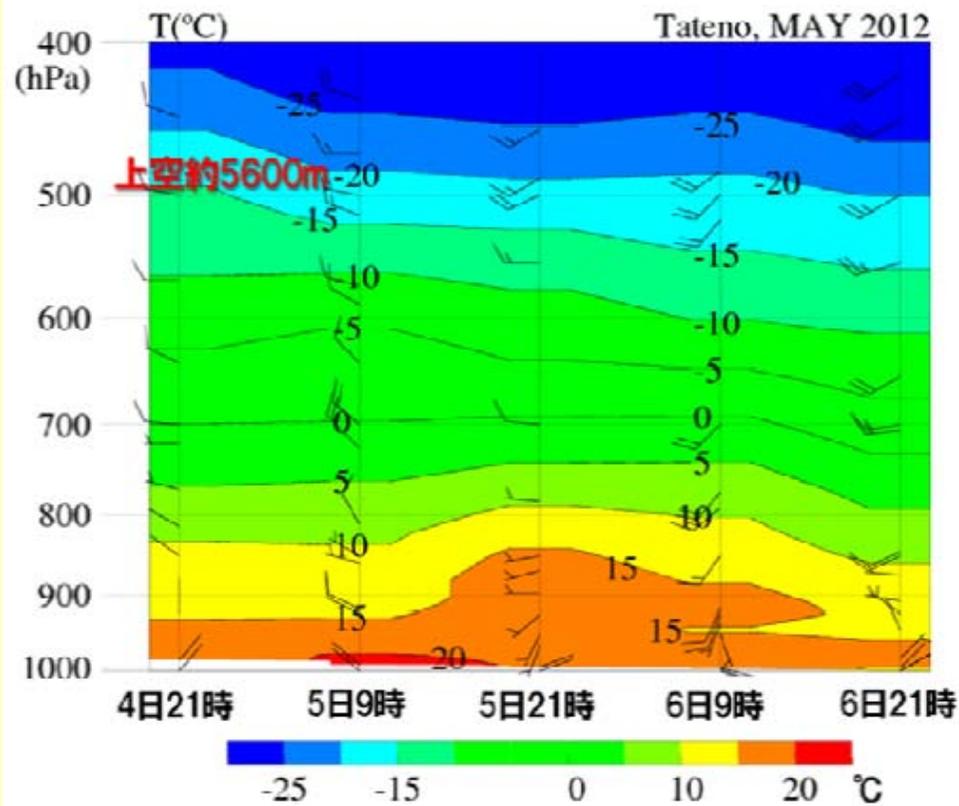


気象研究所

つくばの竜巻は、南北に連なる降水域の南端が発生。

南端の降水域から、細い降水域が南に延び、そこに竜巻が発生。

決定論的なモデル結果

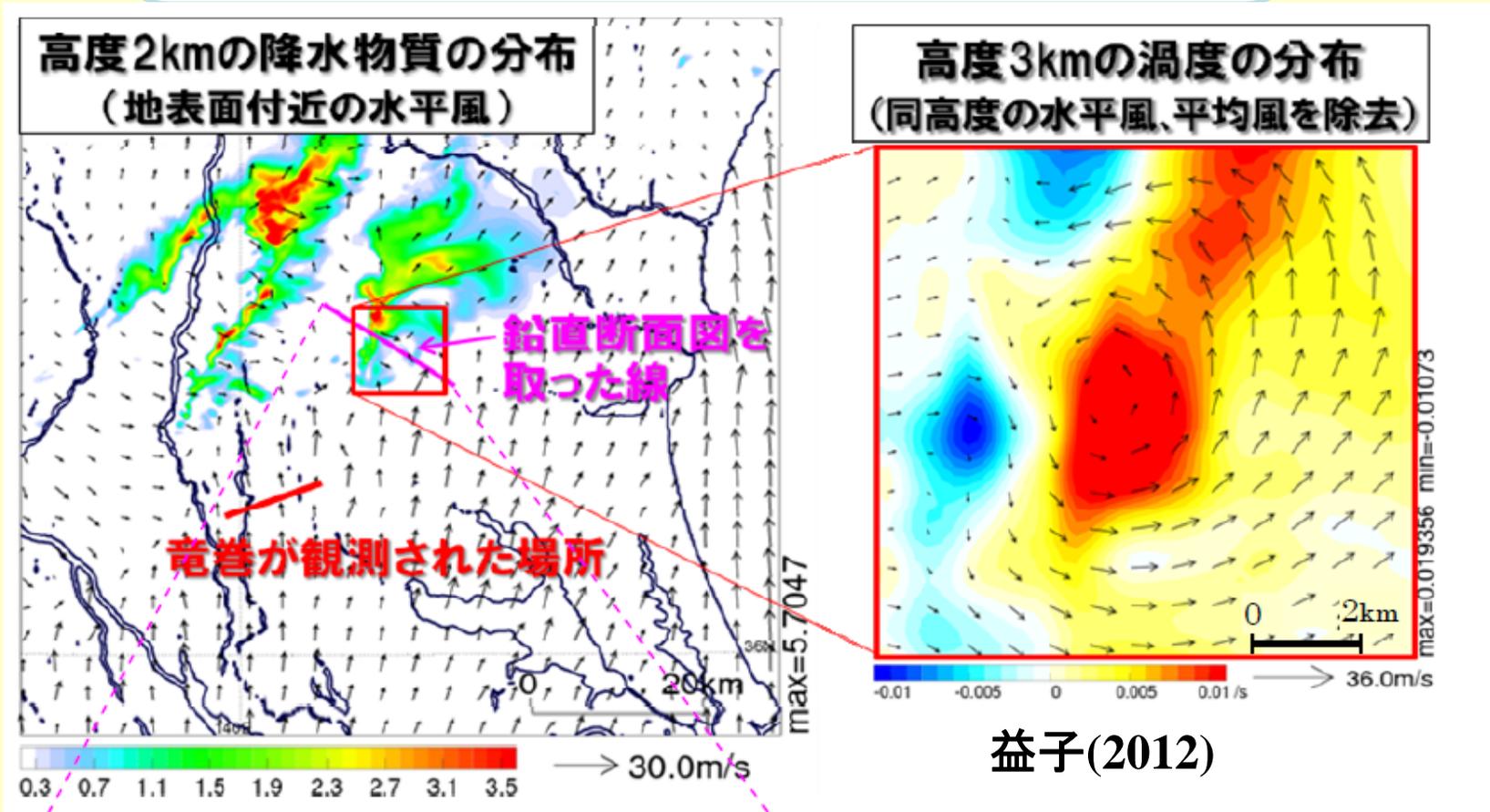


http://www.jma.go.jp/jma/press/1205/11c/120511tsukuba_tornado.pdf

加藤 (2012)

12g/kg 以上の湿った気流が
関東平野に流入していた。

決定論的なモデル結果



http://www.jma.go.jp/jma/press/1205/11c/120511tsukuba_tornado.pdf

竜巻を発生させたスーパーセルが
決定論的な予報で再現された。

2012年5月6日の竜巻

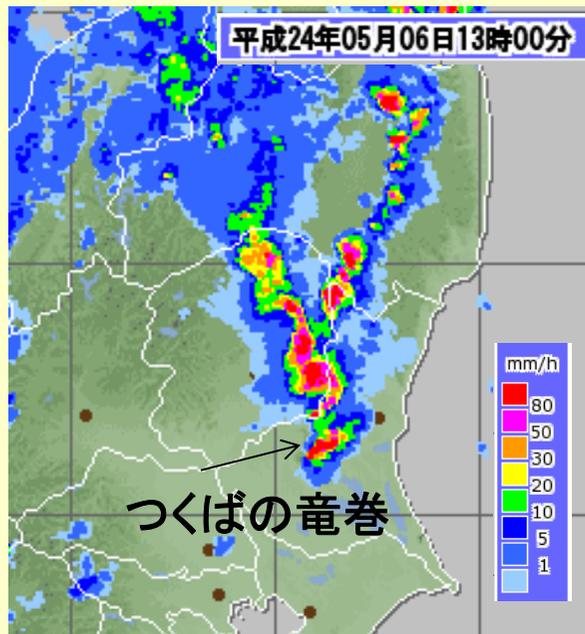
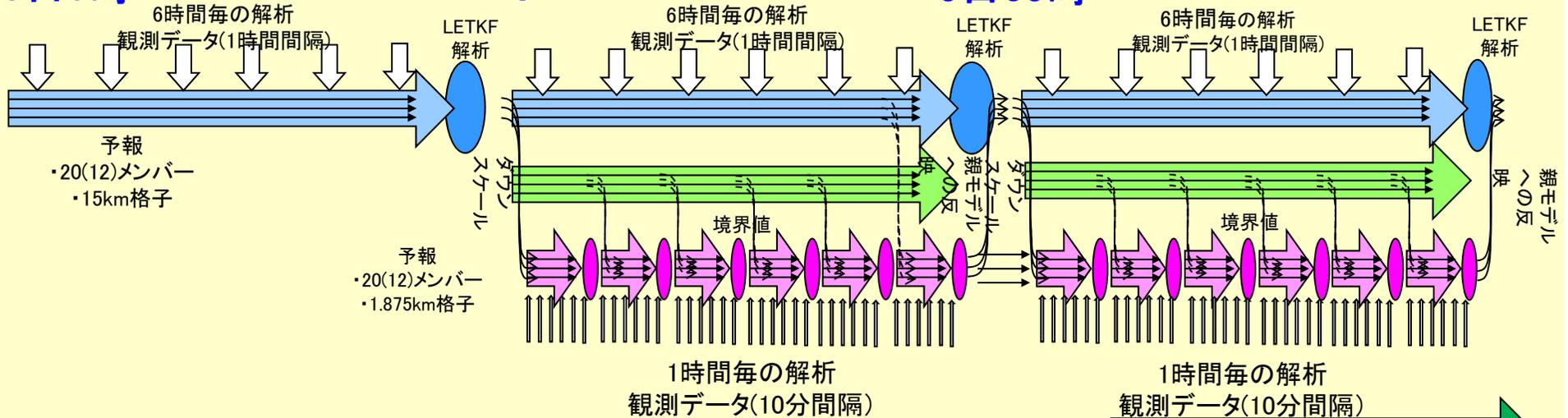
6日15時、21時
7日09時

3日9時

6日03時

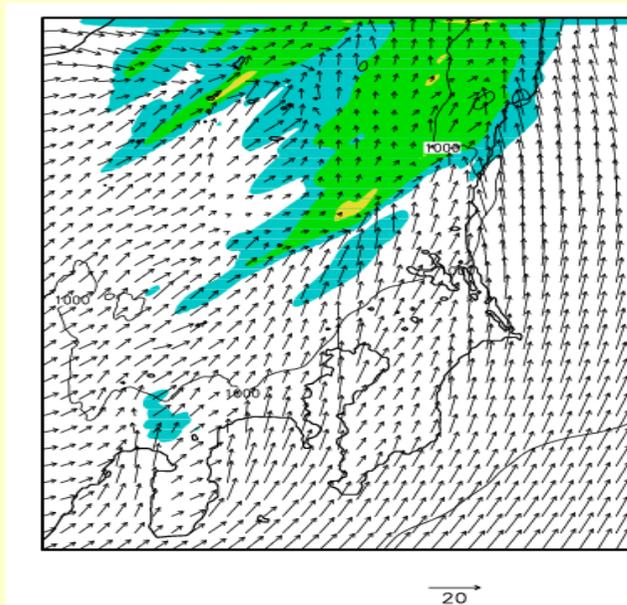
6日09時

7日09時



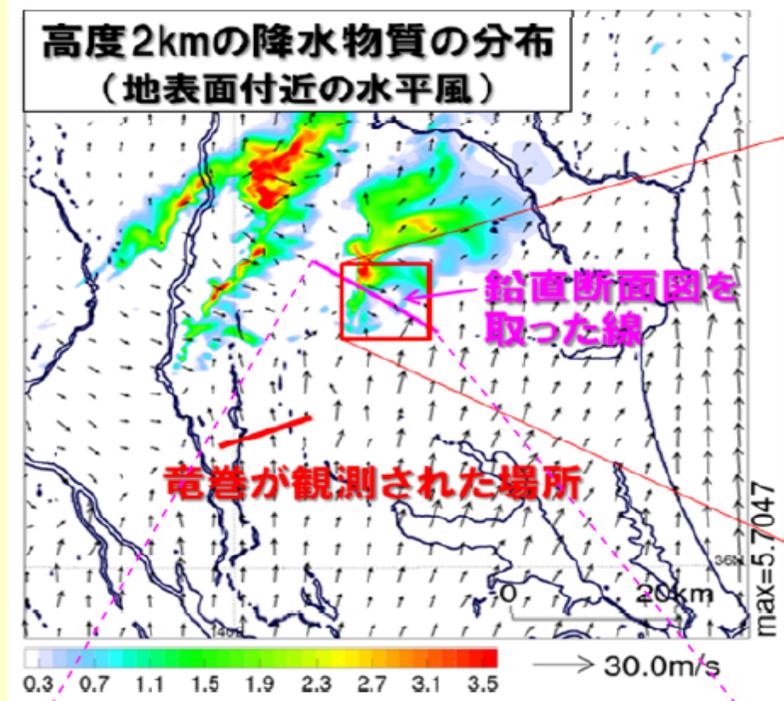
6日10時

ダウンスケール実験
(格子350m、50m)



Inner LETKFの
12時のアンサンブル平均
1時間降水量

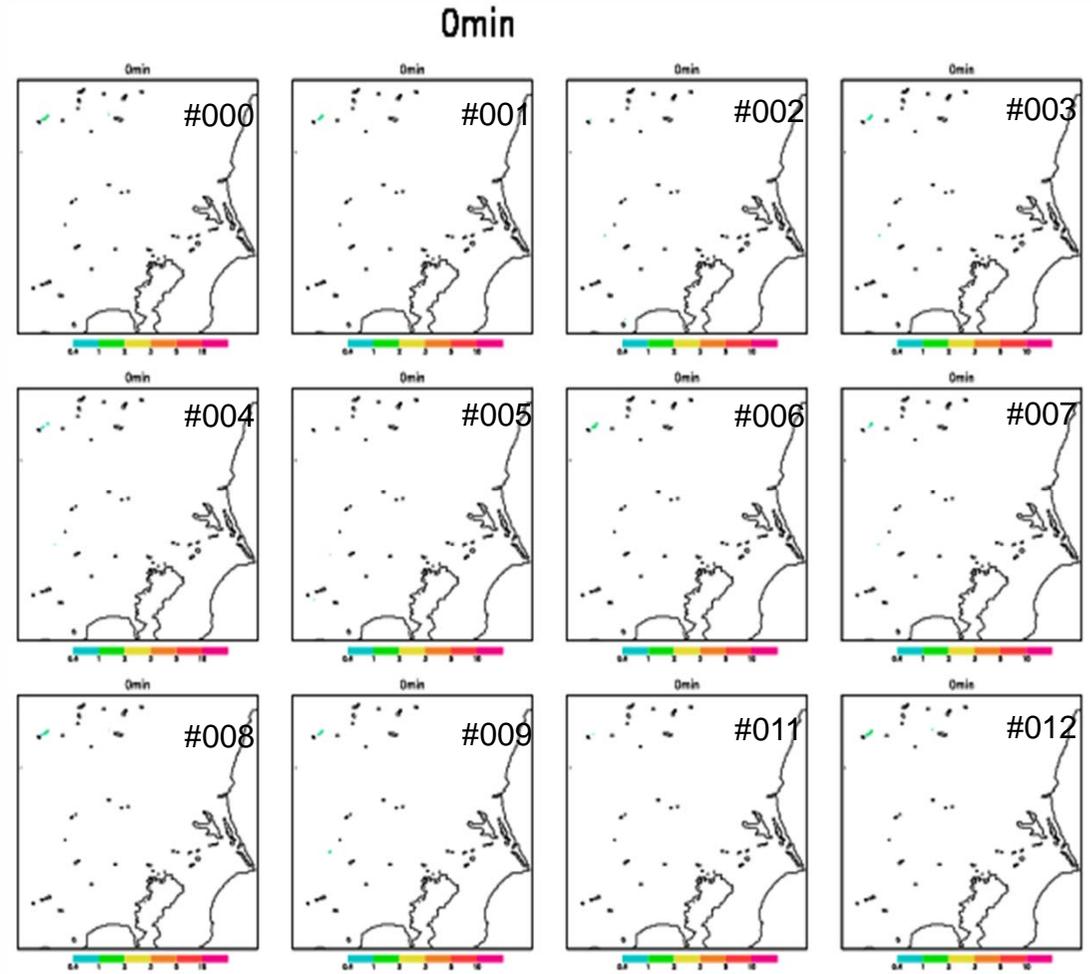
決定論的予報とアンサンブル予報



Mashiko (2012)

http://www.jma.go.jp/jma/press/1205/11c/120511tsukuba_tornado.pdf

決定論的予報(左)



アンサンブル予報(右)

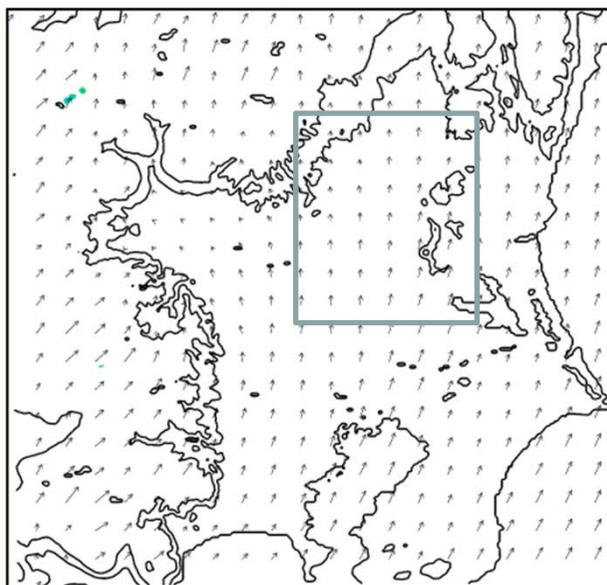
渦の 強い予報と 弱い予報 格子間隔350m

11時30分から
14時30分まで

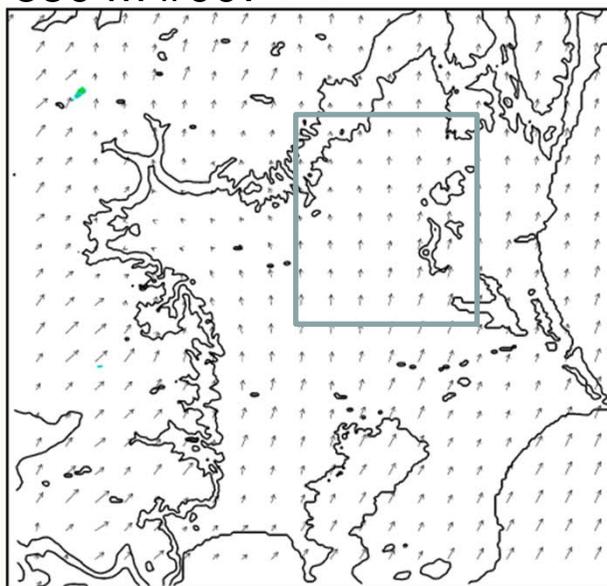
上 (#004)
強い渦が
再現されたもの

下 (#007)
強い渦が再現
されなかったもの

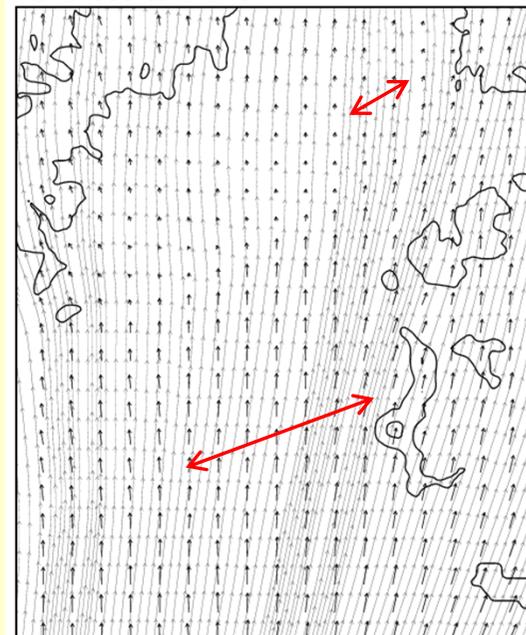
350 m #004 0min



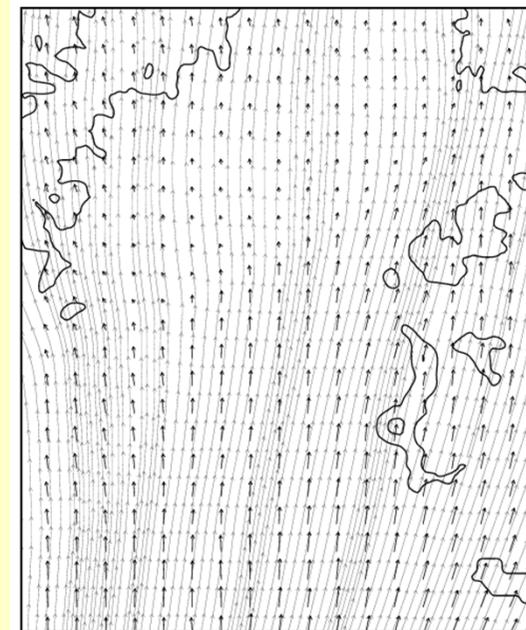
350 m #007 0min



350 m #004 0min

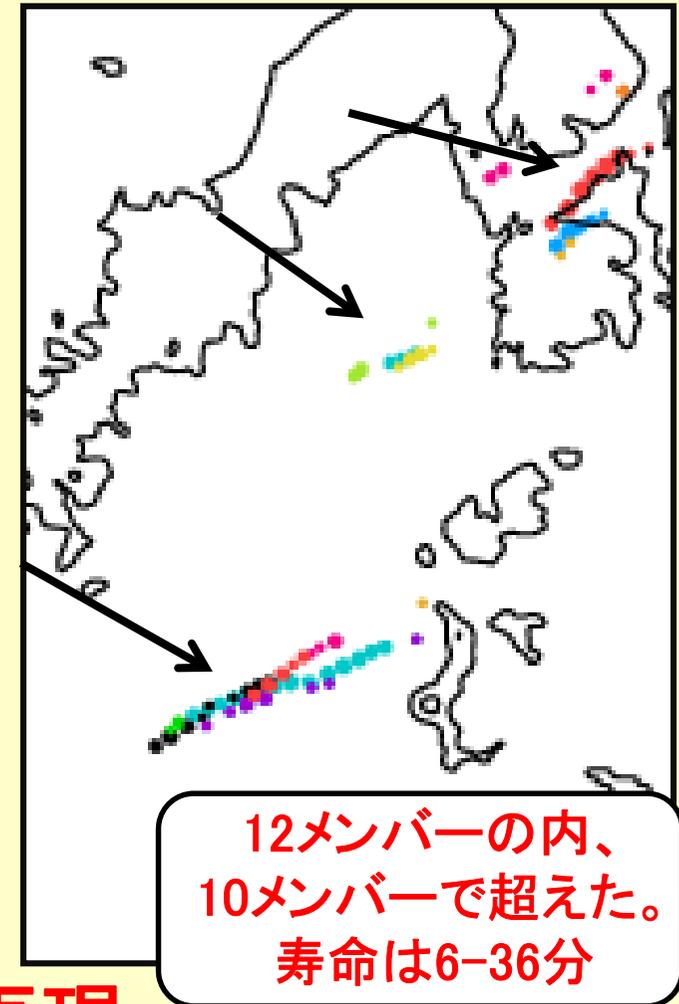
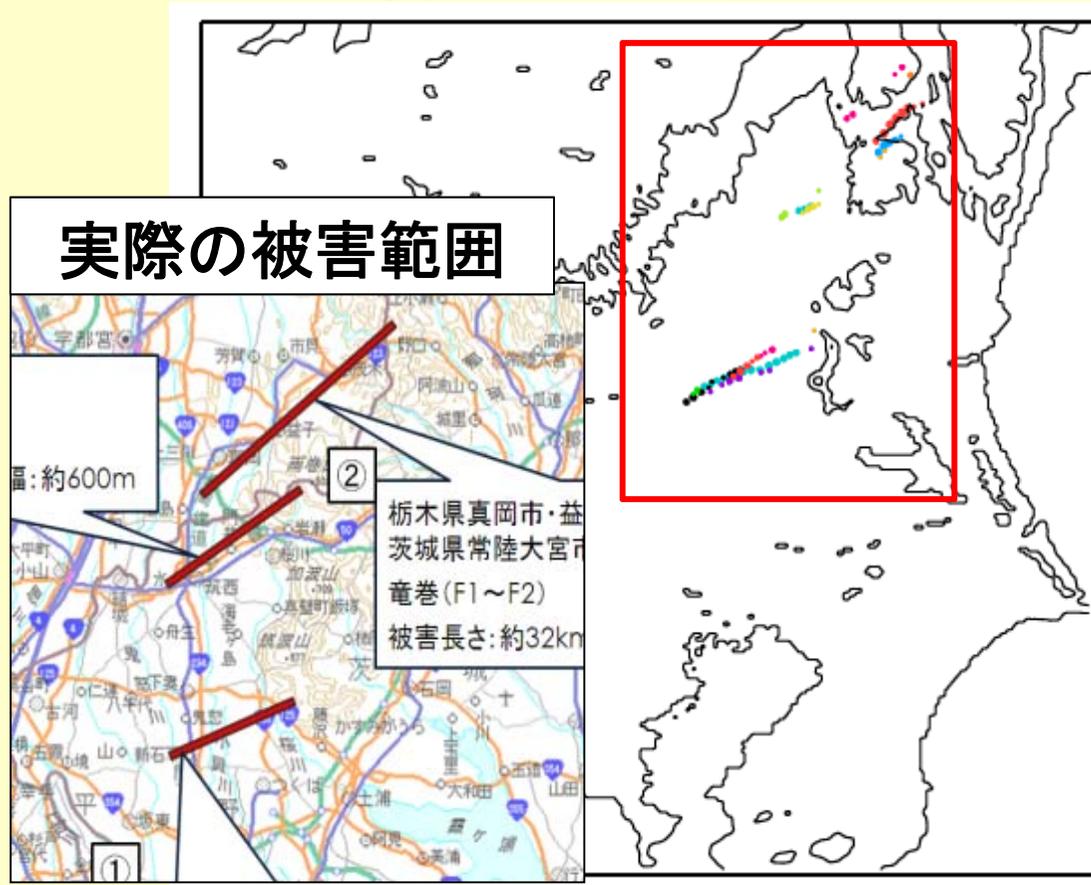


350 m #007 0min



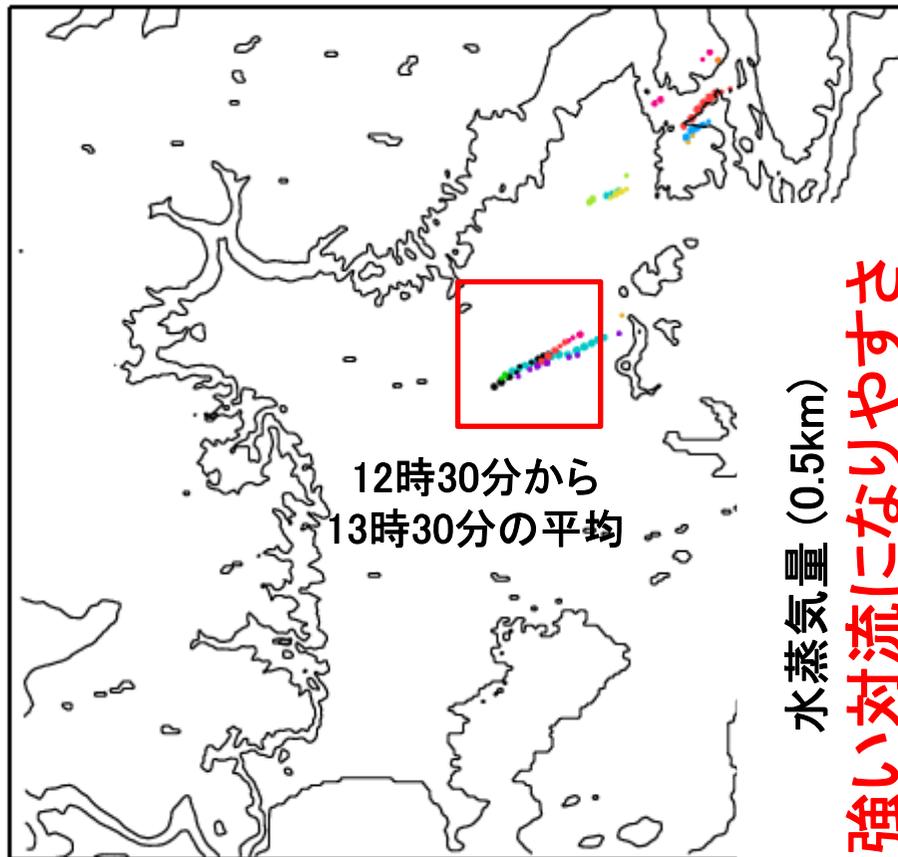
複数の予報で再現した強い渦の位置

渦度が0.1(1/s)を超えた位置

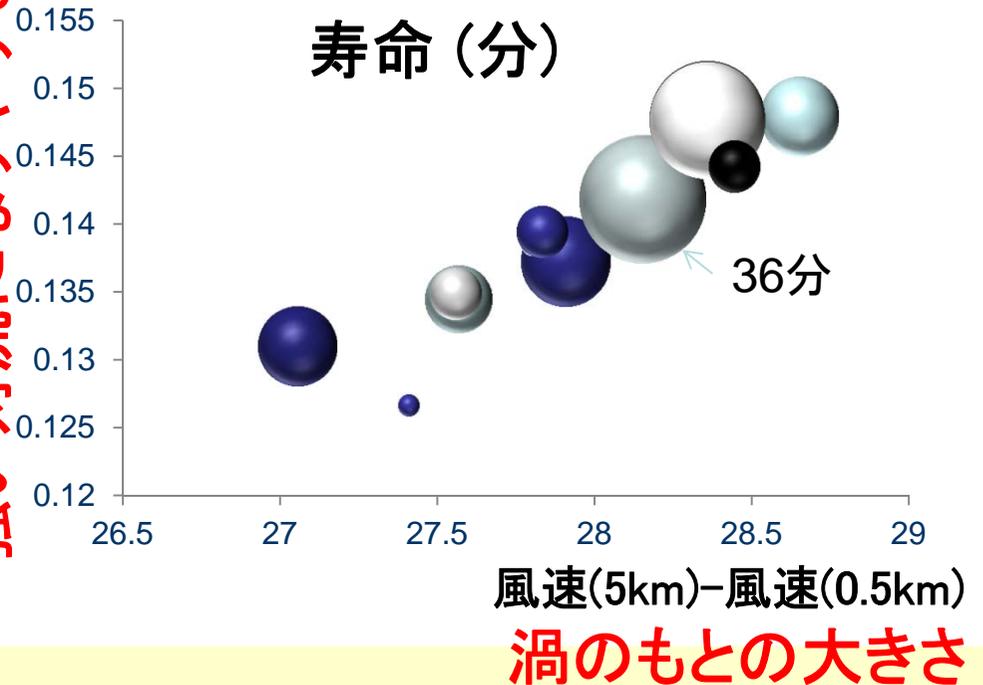


- ・強い渦は、観測と同じ3箇所再現。
(決定論的な予報では、南の竜巻のみが再現)。
- ・多数の予報を使うことで、見逃しが減る。

複数の予報で得た 強い渦の発生要因



水蒸気量 (0.5km)
強い対流になりやすさ

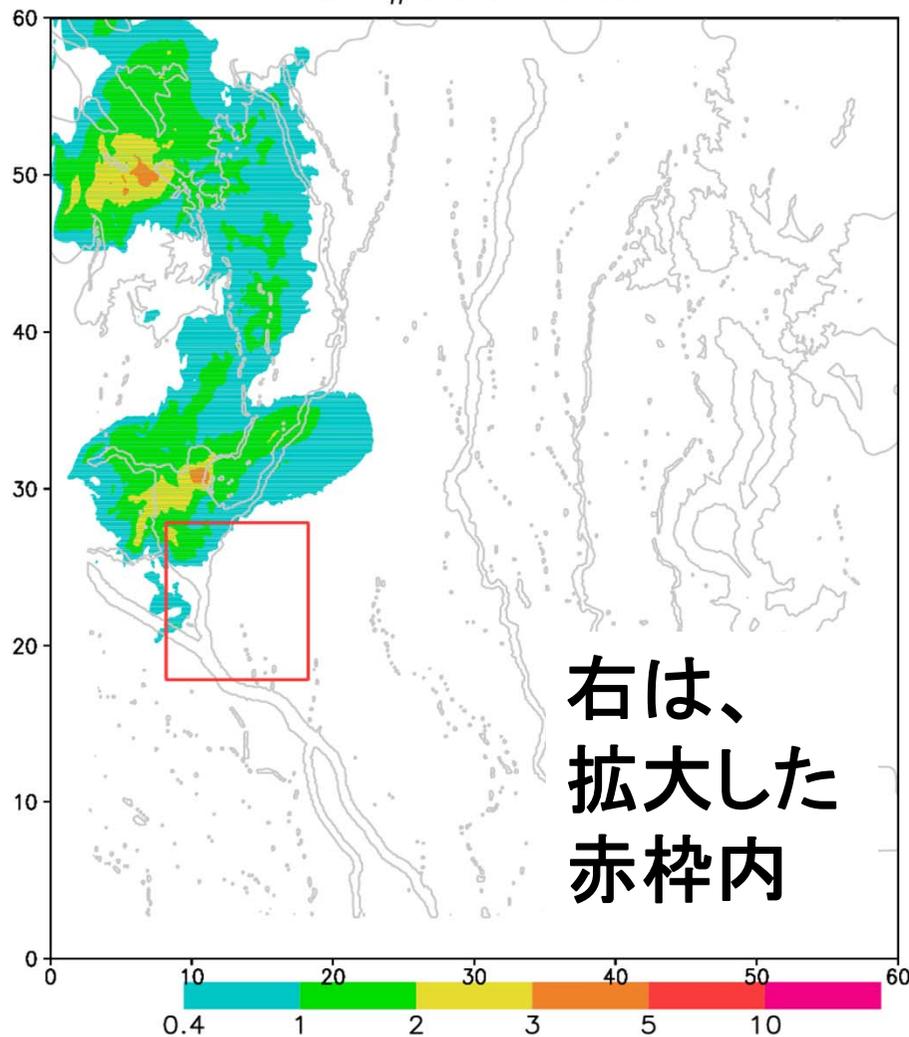


- ・渦の寿命が長いものは、
下層の水蒸気量が大きくて強い対流になりやすく
鉛直方向の風速差が大きくて、渦のもとが大きい。
- ・この情報は、メカニズム解明や予報の視点として利用可。

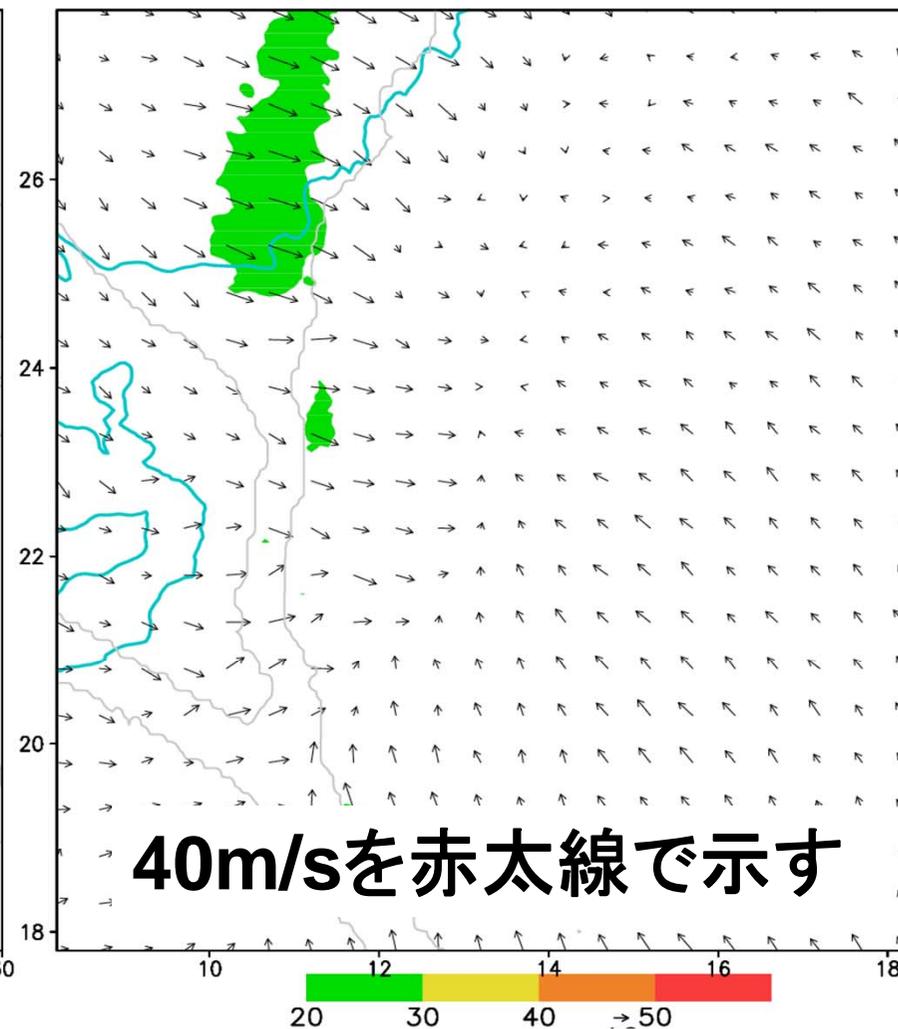
京コンピュータで再現された つくばの竜巻(格子間隔50m)



Qr #004 0min



Vel #004 0min

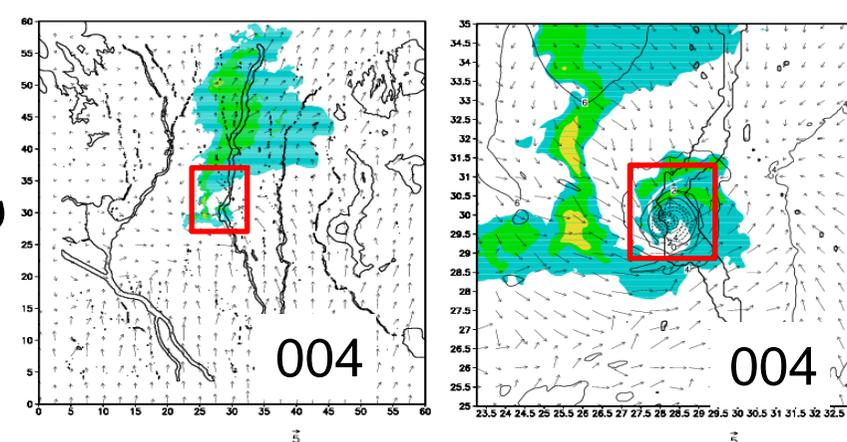
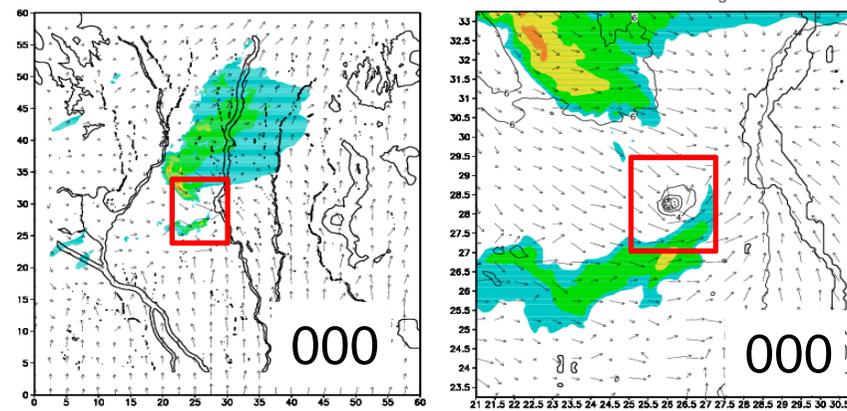
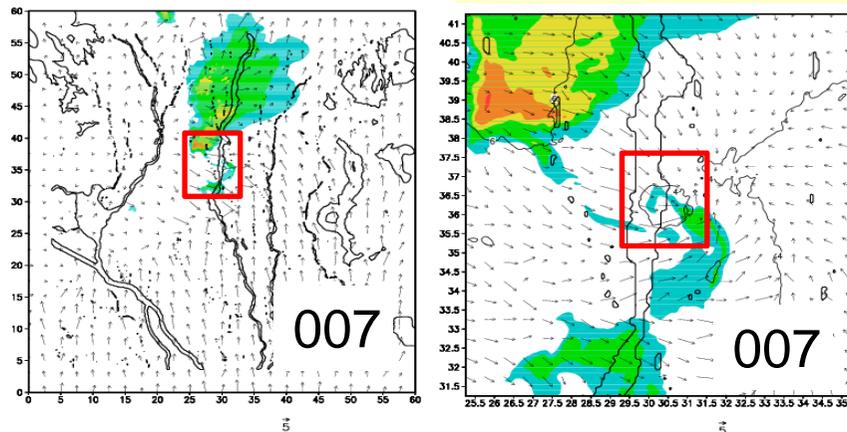


京で再現した
50m格子の
アンサンブル
予報
13時00分

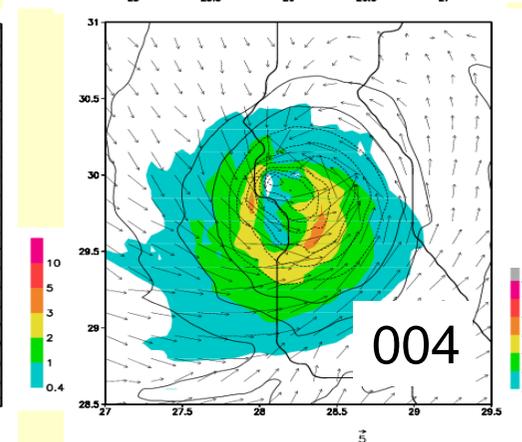
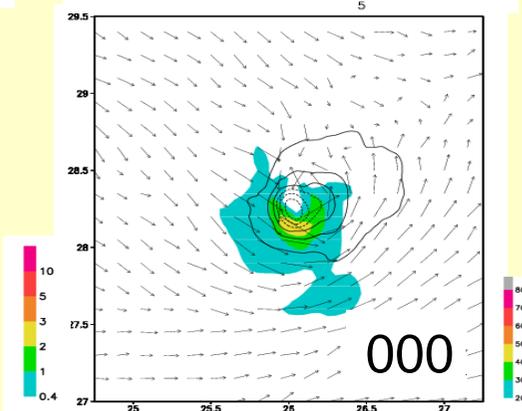
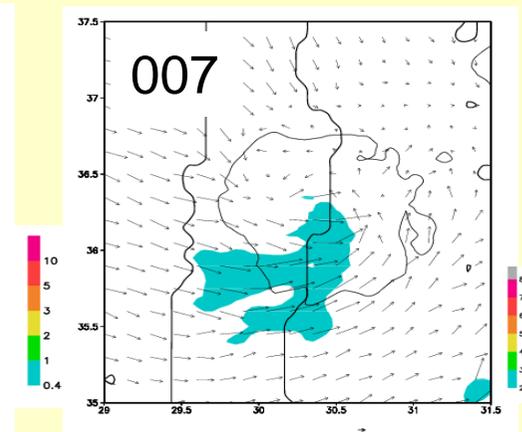


強さ・大きさが、
メンバー毎に
違う。
これらの情報も
発生要因の
抽出に利用。

降水域 + 水平風,
地上気圧



風速
地上気圧



まとめ

1. 九州北部豪雨やつくばの竜巻など、「京」等を用いて、現象の再現に成功し、確率予報などのアンサンブル予報の利点を示しました。
2. 今後、新たな観測データを用いた実験、メンバー数を増やした実験等を行う予定です。