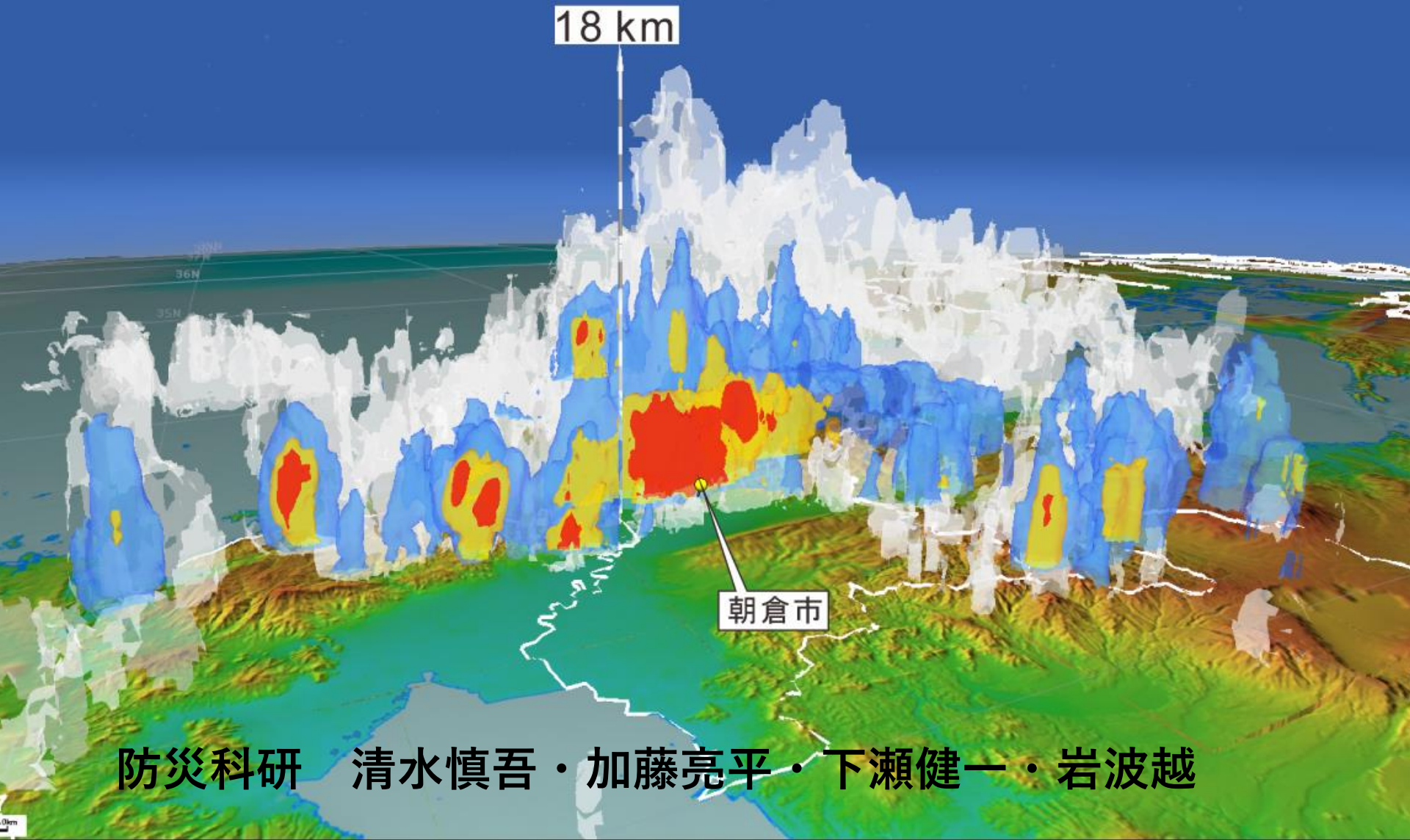


豪雨の予測精度向上に資する先端的研究の紹介



防災科研 清水慎吾・加藤亮平・下瀬健一・岩波越

今後10年程度を展望した数値予測モデルの開発の考え方

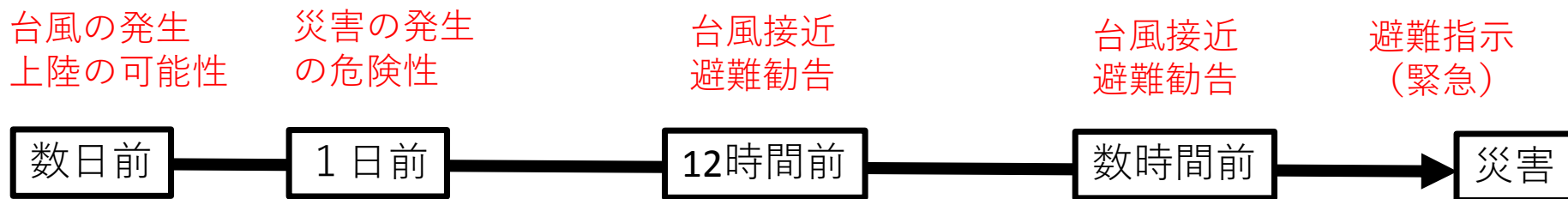
- ・ 力学フレーム、物理スキーム等の高度化
- ・ 有効な**観測データの取得とそのデータ同化手法の開発**
- ・ アンサンブル予測などの確率予報の有効活用
- ・ **ユーザーニーズに応じた予測情報の提供**

自治体等の公的機関のニーズ

タイムライン（防災行動計画）における意思決定プロセスに資する防災情報の提供

SIP「豪雨竜巻予測技術の研究開発」で、国交省関東地整との連携

荒川下流タイムラインにおいて、台風を想定した5日前から2時間前までの防災行動計画に対して、直前の雨量情報の提供



民間企業のニーズ

これまでに無い防災情報、
加工することで独自性が出せる元データ

文科省DIAS-FS 2016
環境管理2018年5月号

豪雨の予測精度向上に資する最新の研究紹介

高解像度ナウキャストの精度評価と位置ズレ許容に関する研究

1. Predictability of meso- γ -scale, localized, extreme heavy rainfall during the warm season in Japan using high-resolution precipitation nowcasts, QJRM

R. Kato, S. Shimizu, K. Shimose, T. Maesaka, K. Iwanami, and H. Nakagaki, 2017

高解像度ナウキャストと短時間数値予測の比較：ブレンディング

2. Very short time range forecasting using CReSS-3DVAR for a meso- γ -scale, localized, extremely S. heavy rainfall event: comparison with an Extrapolation-based nowcast, Journal of Disaster Research (JDR), 2017.

R. Kato, S. Shimizu, K. Shimose, and K. Iwanami

高頻度ボリュームスキャンを用いた熱力学リトリバルを用いた同化予測

3. Assimilation impact of high-temporal-resolution volume scan on QPF in a severe storm: Evidence from nudging DA with thermodynamical retrieval method.

Submitted to QJRM, In Revision; S. Shimizu et al., 2018

高頻度更新の風速場客観解析システムを用いた地上風解析

4. Analysis of the 6 September 2015 tornadic storm around the Tokyo metropolitan area using Coupled 3DVAR and Incremental Analysis Updates, JDR, 2017.

K. Shimose, S. Shimizu, R. Kato, and K. Iwanami

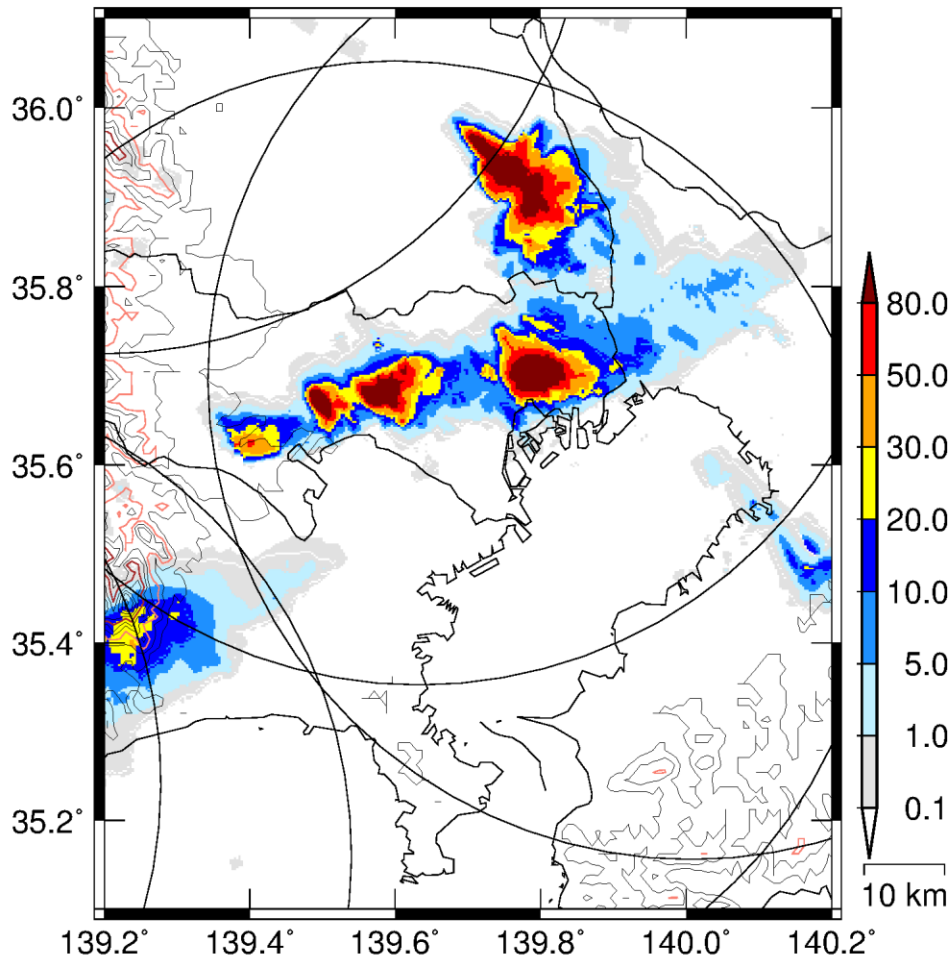
ナウキャスト予測の精度が良い予測の例

気象庁高解像度降水ナウキャスト 降水強度 (mm/h)

2014/09/10 17:00JST-18:00JST (1時間分)

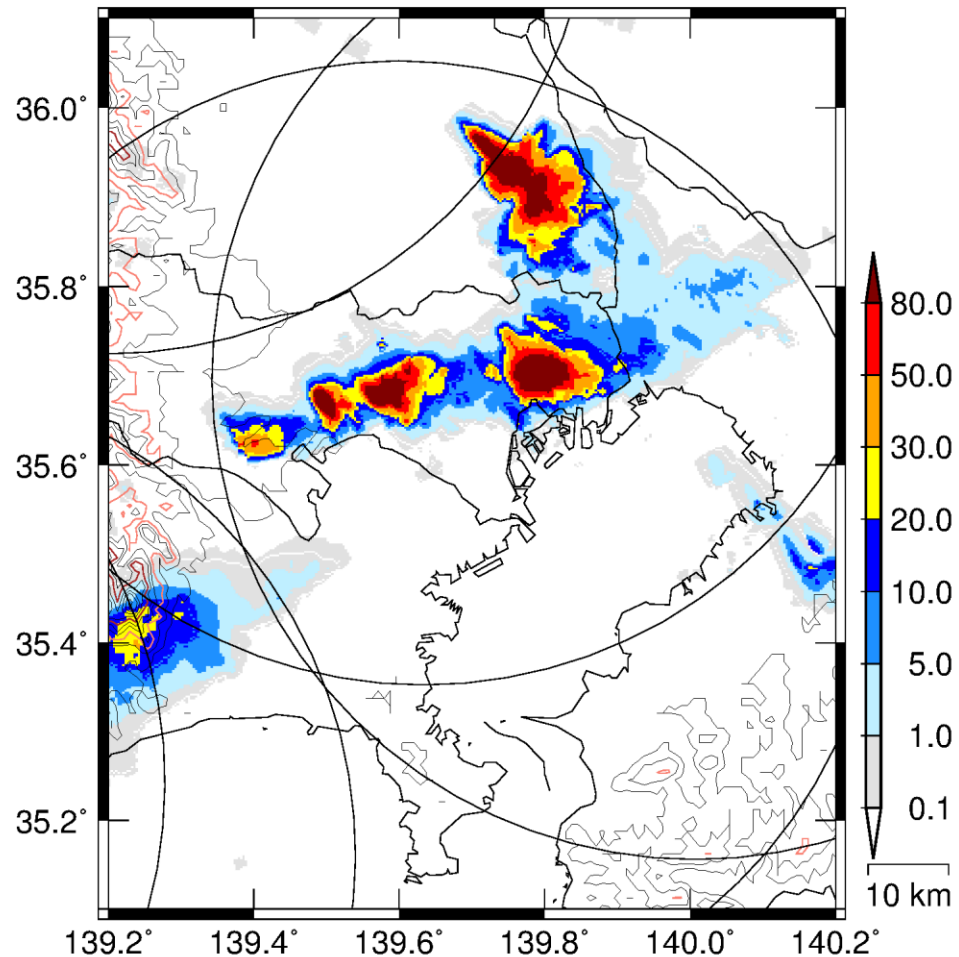
実況

JMA HRPNC Rainfall rate (max=197.0mm/h)
2014/09/10 17:00 (JST) FT00



予測 (17:00JST初期値)

JMA HRPNC Rainfall rate (max=197.0mm/h)
2014/09/10 17:00 (JST) FT00



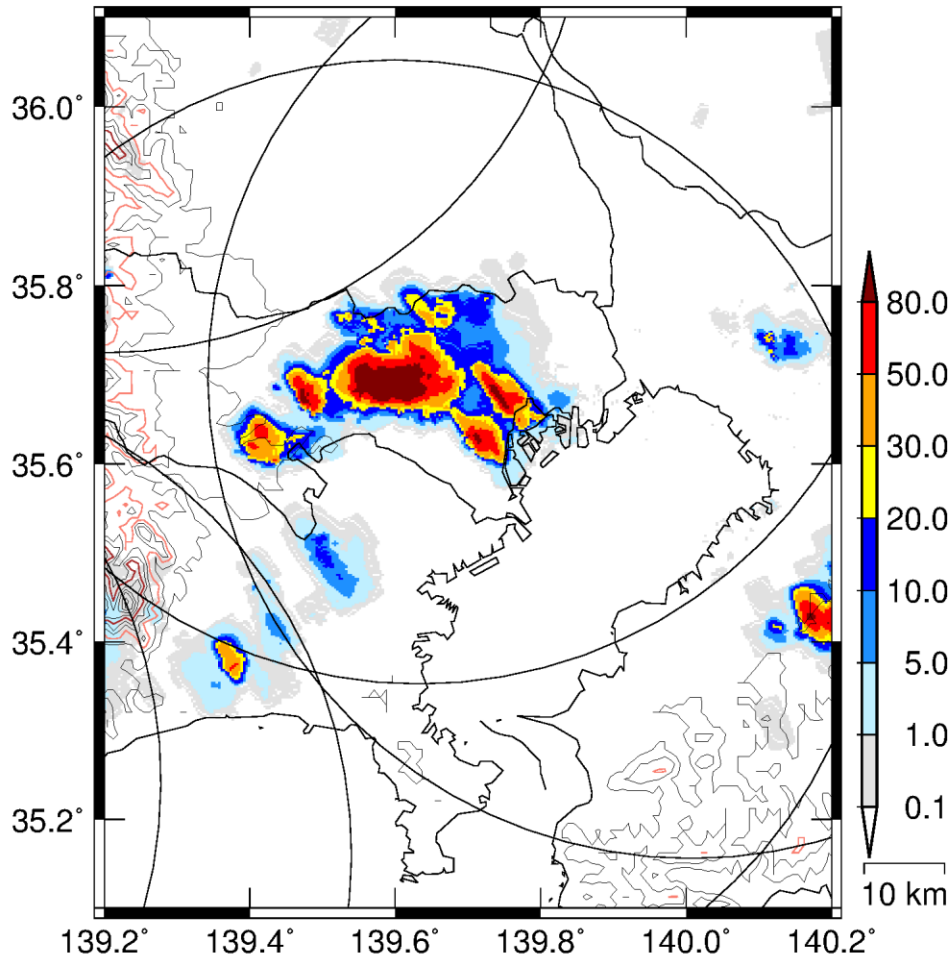
ナウキャスト予測の精度が悪い予測の例

気象庁高解像度降水ナウキャスト 降水強度 (mm/h)

2014/09/10 17:00JST-18:00JST (1時間分)

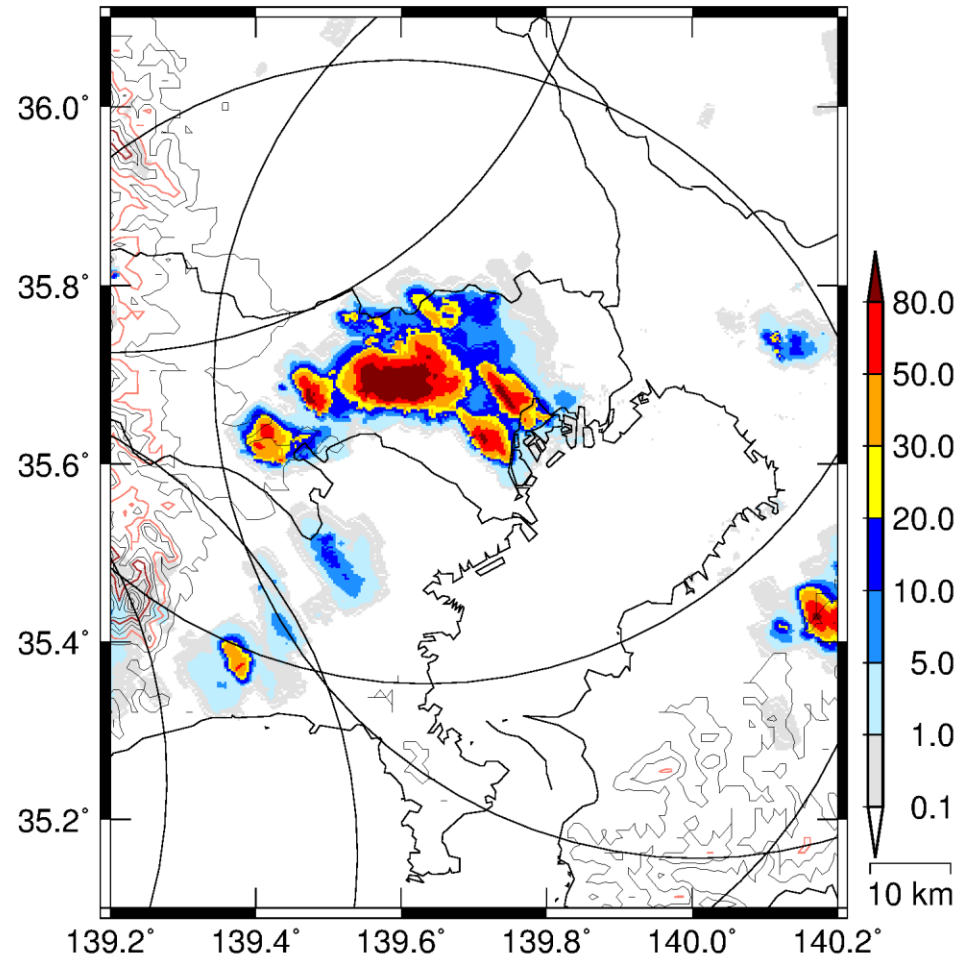
実況

JMA HRPNC Rainfall rate (max=197.0mm/h)
2014/09/10 16:00 (JST) FT00



予測 (16:00JST初期値)

JMA HRPNC Rainfall rate (max=197.0mm/h)
2014/09/10 16:00 (JST) FT00



降水ナウキャストの長所と短所

良い点

計算コストが小さい(⇔ 数値計算)

悪い点

定常性の仮定

適した利用方法

超高頻度更新・短時間予測

適さない利用法

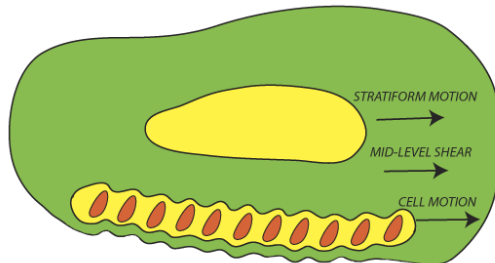
変化の激しい現象の予測

適用できる時間は
予測対象のスケール
に応じて異なる

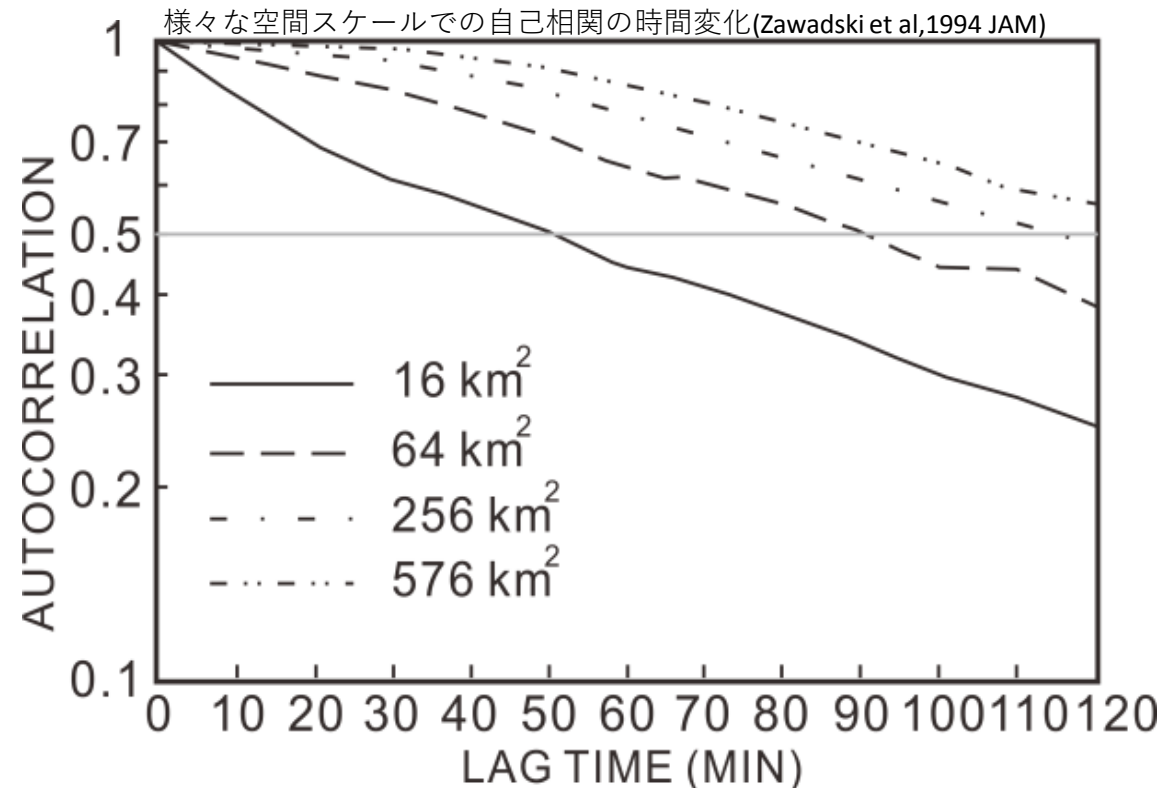


降水システムの場合は、
水平スケールが大きい現象
(低気圧など)において
弱い降水域を含めた全体の
動きは、定常的である。
強い雨(対流域)は変化が
激しいことが多い。

メソ対流系の模式図(対流域と層状域)



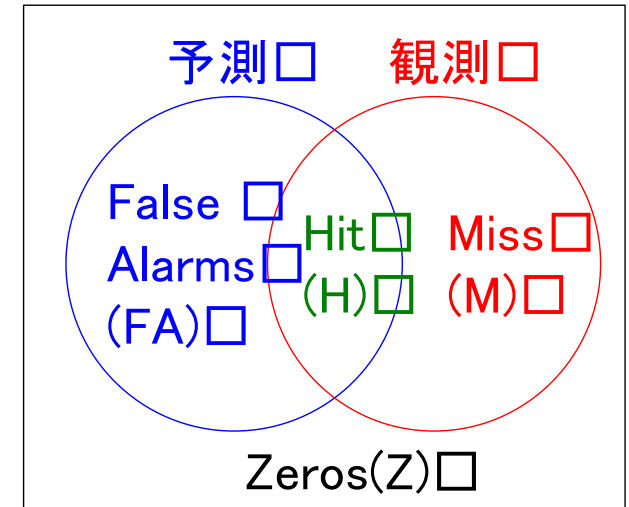
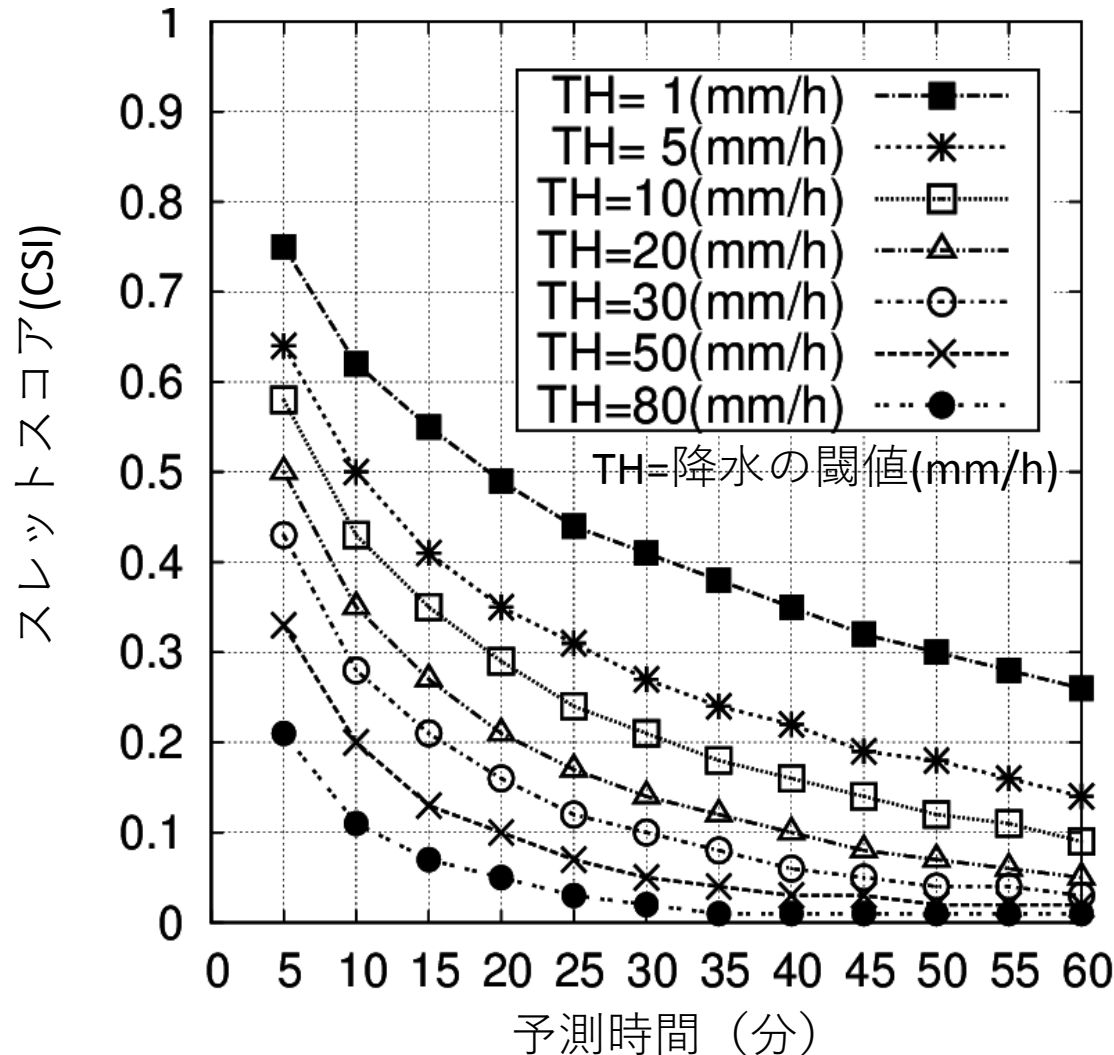
Schumacher and Johnson, 2005 MWR



高解像度降水ナウキャストの精度評価（Grid-to-Grid）

Kato et al., 2017 QJRM5 の図5を引用

局所的大雨23事例で平均した予測精度



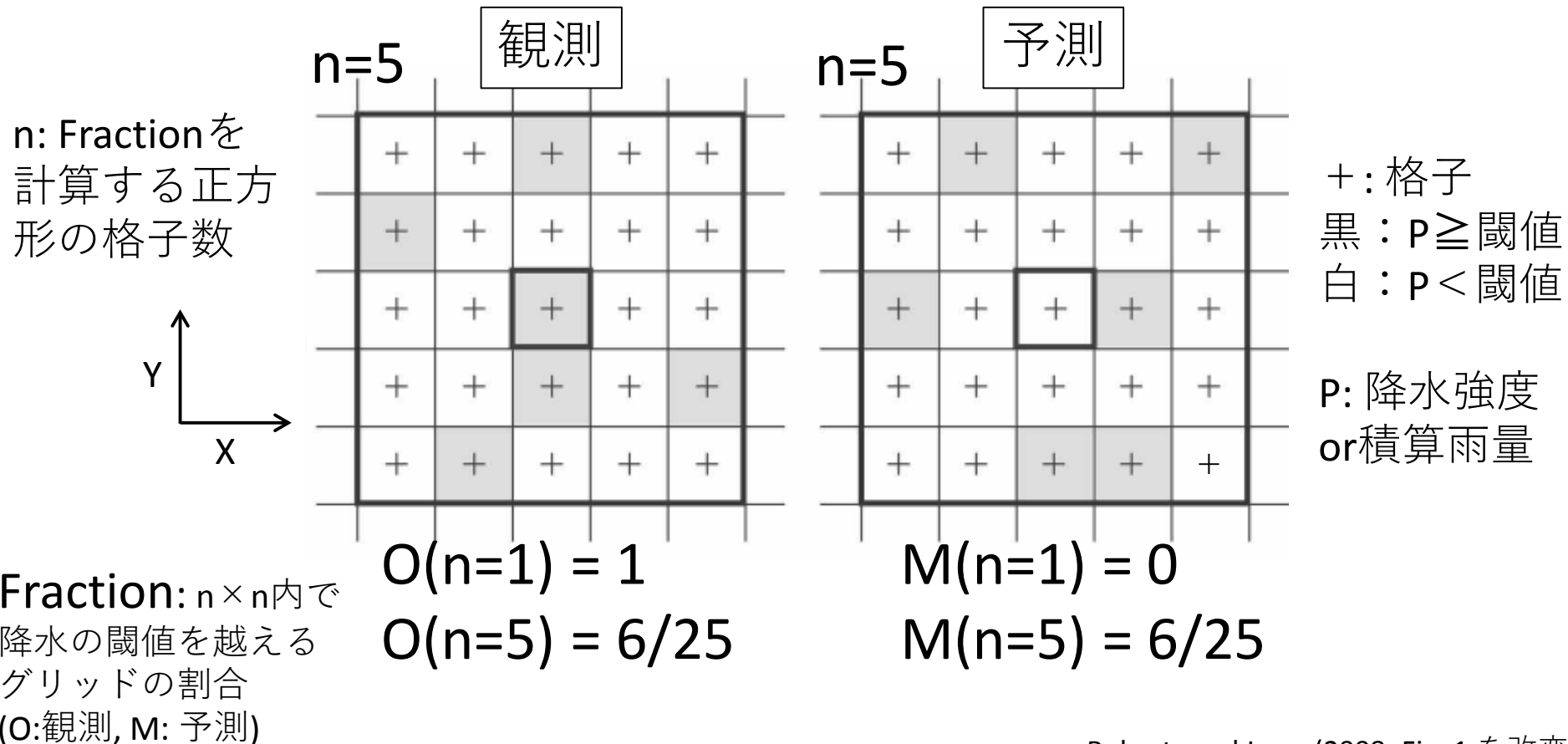
$$CSI = \frac{H}{H + FA + M}$$

強雨域の予測精度は
数10分で急激に低下

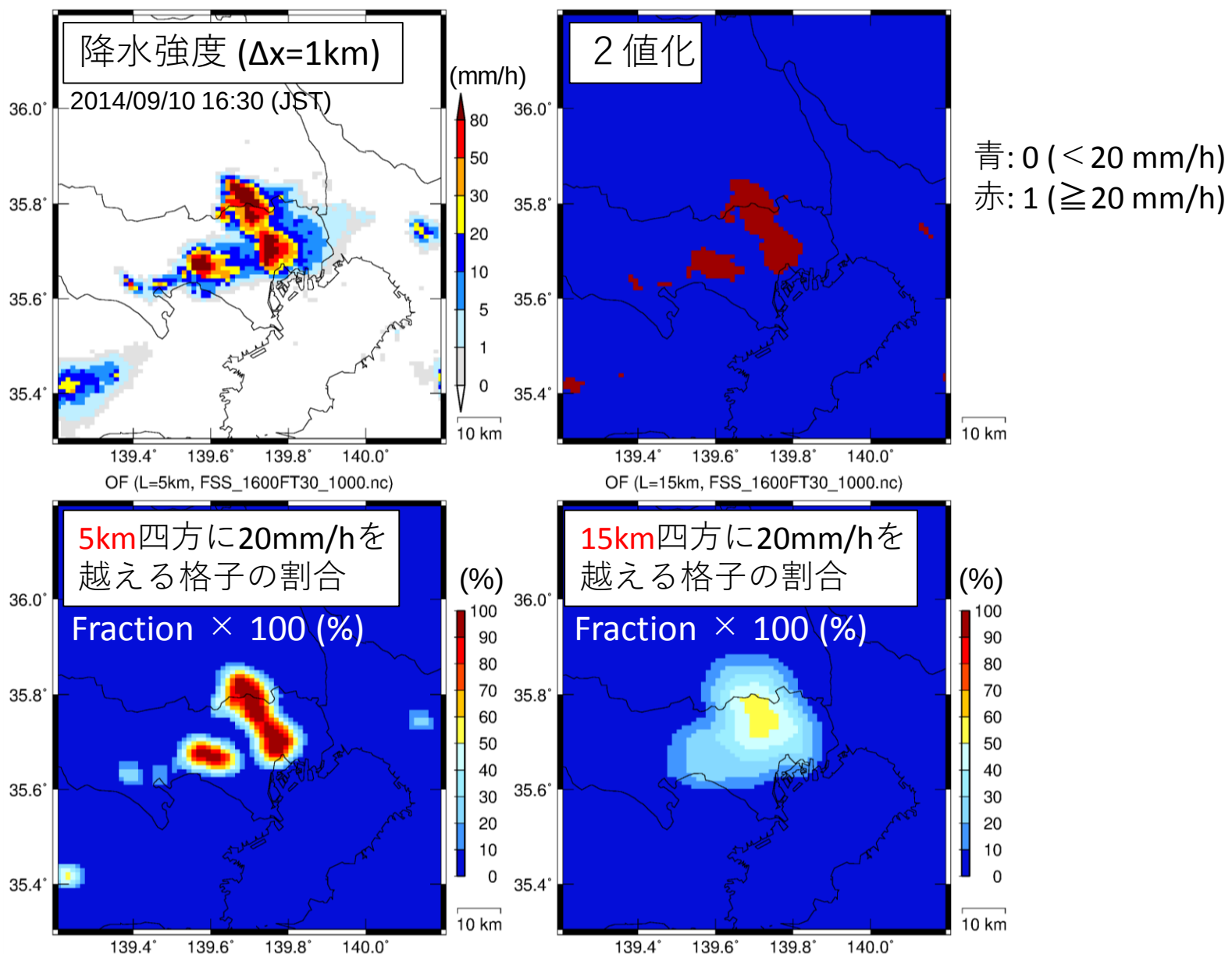
位置ズレ許容評価：Fractions Skill Score (FSS)

- 降水の予測精度指標
- ある面積に対して、閾値を越える格子の割合(Fraction)を基に算出
- 予測精度が有用となる水平スケールがわかる

Roberts and Lean (2008, MWR)



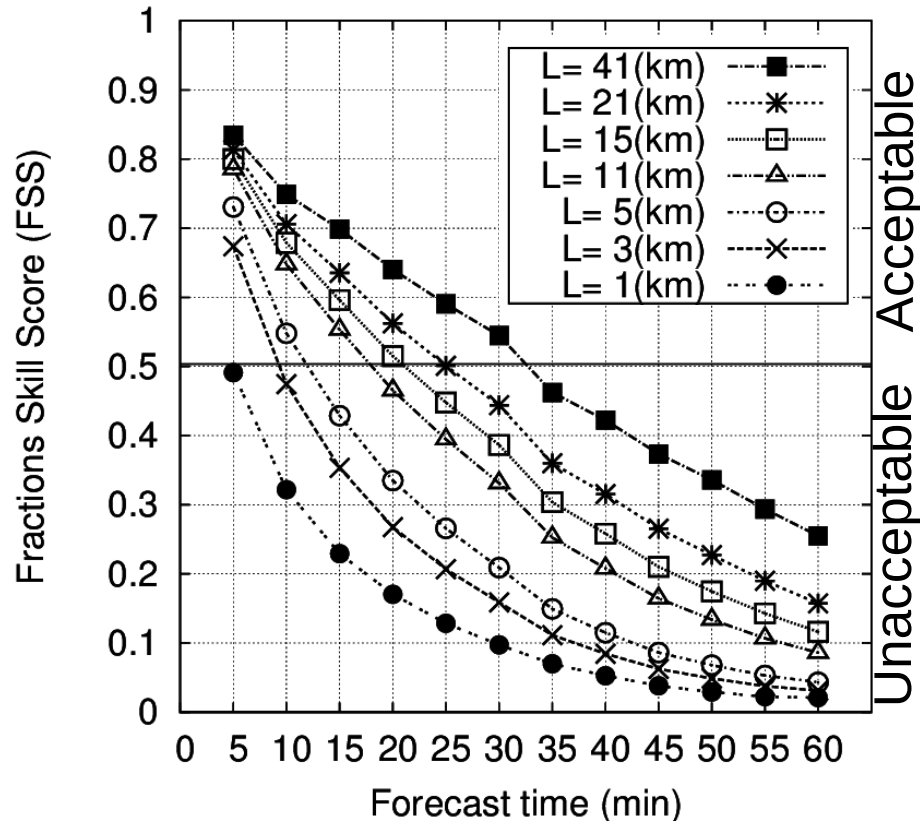
FSSを用いた降水確率予測の例



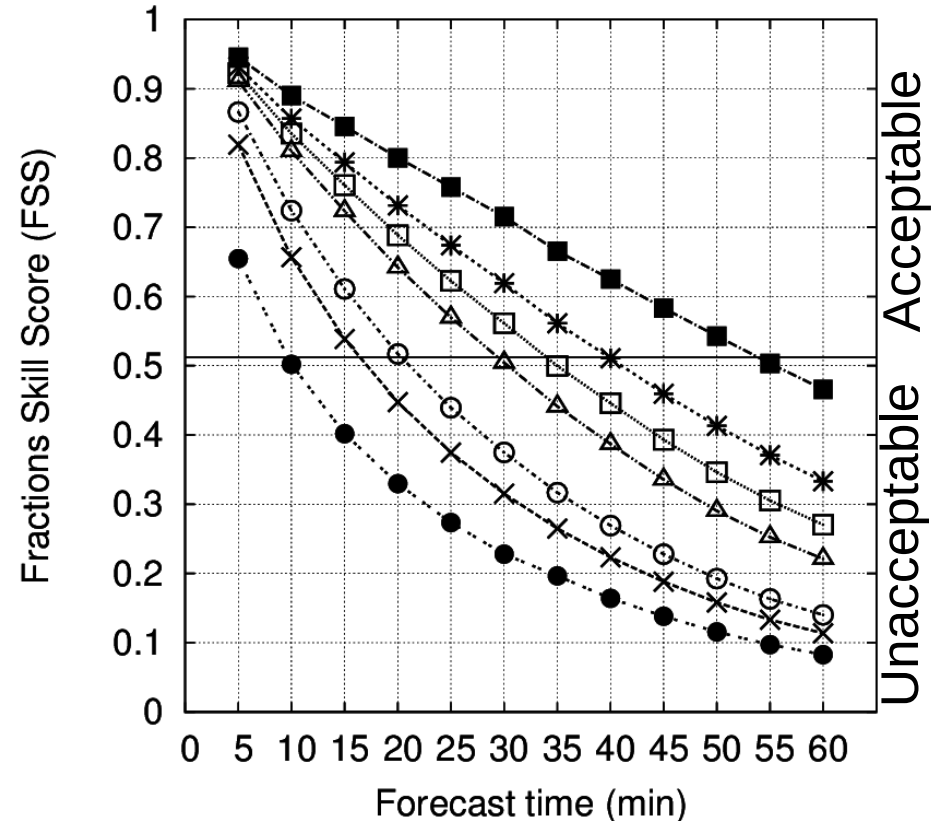
FSSを用いた予測精度評価

Kato et al., 2017 QJRMIS の図9を引用

≥ 50 mm/h



≥ 20 mm/h



強雨域の予測精度は数10分で急激に低下
→grid-to-gridスケールの比較の結果と矛盾しない

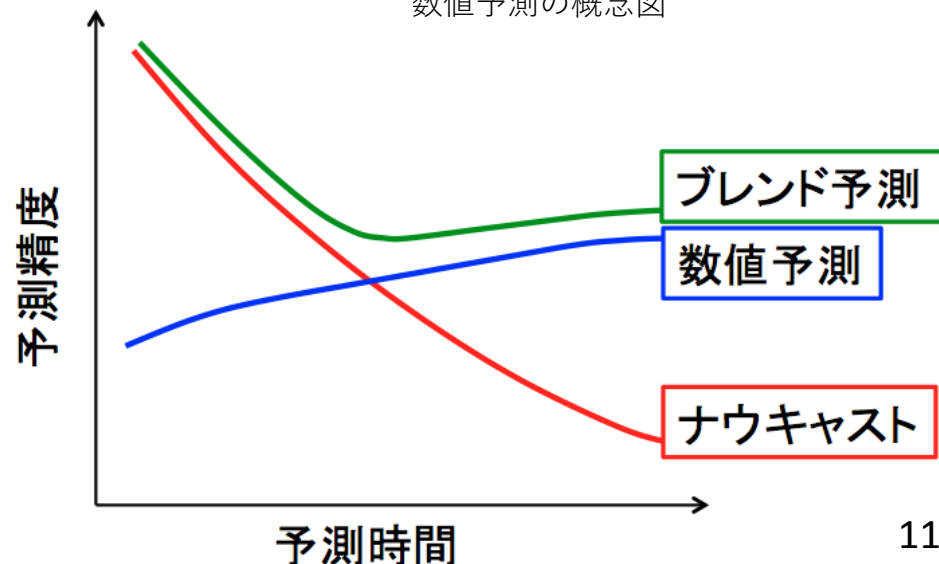
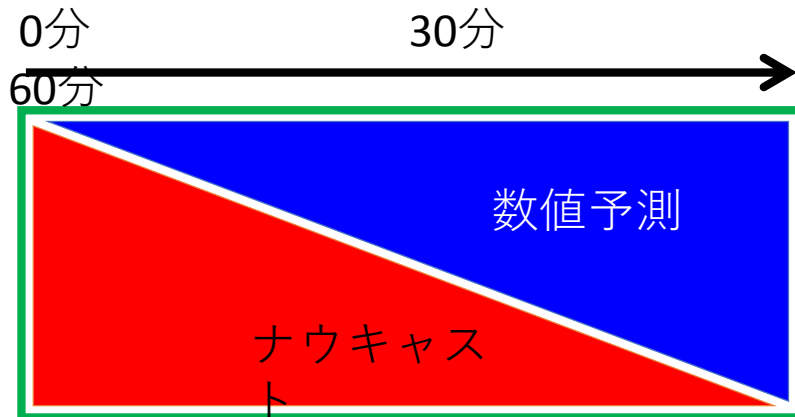
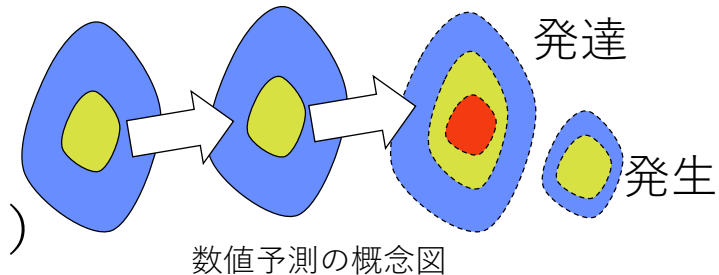
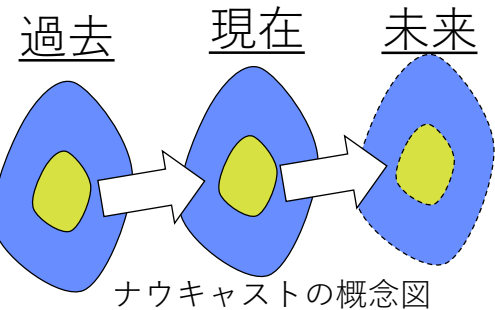
1 時間先までの局地的大雨の予測のために

- **ナウキャスト**： 降雨域の時間外挿
 - ・ 雨雲の発生・発達・衰弱を考慮できないため、短時間で精度が低下。

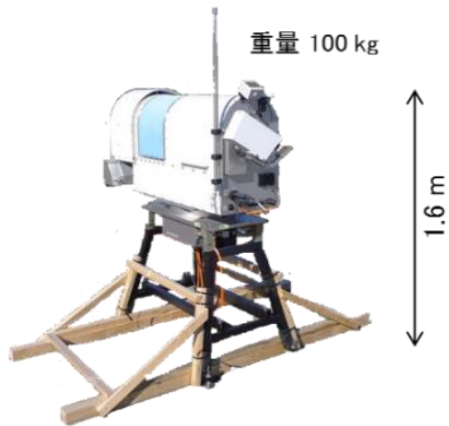


- **数値予測**： 物理学の方程式を時間積分し、降雨等の時間発展を予測
 - ・ 発生や発達が予測可能
 - ・ スピンアップ時間が必要。初期は精度が低い

- **ブレンド予測**： ナウキャスト + 数値予測
(長所を組み合わせる)
 - ・ 予測精度に応じた合成係数



データ同化に用いる観測



マイクロ波放射計（水蒸気）



ドップラーライダー（晴天時の気流）



雲レーダー（降雨前の雲）



MPレーダー（降雨と風速の三次元構造）

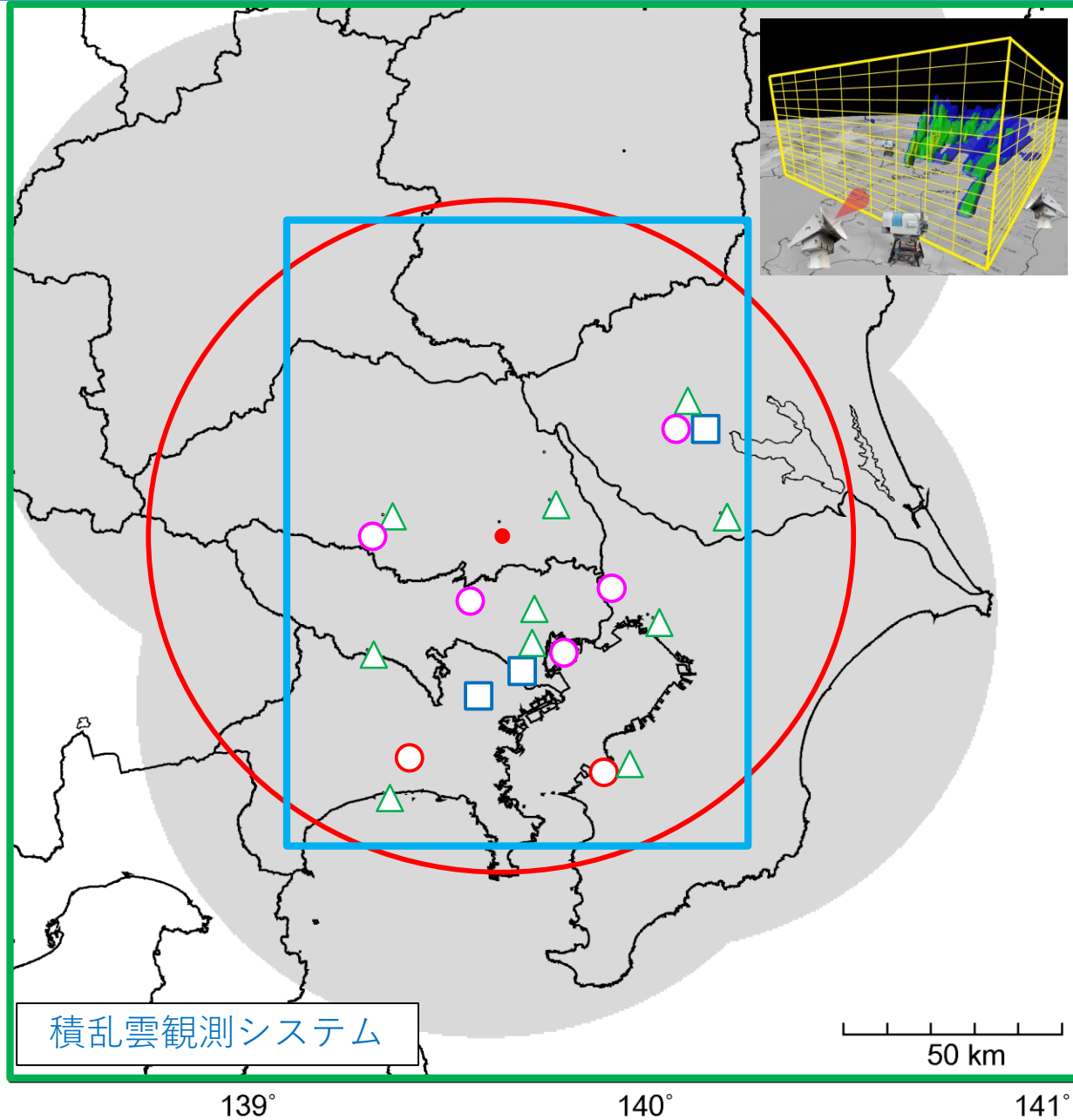


+ 国交省XRAINレーダー

+ 気象庁アメダス10分値
（地上風向・風速）

+ (情報通信研究機構
MP-PAWR (2018年～))

積乱雲観測システムとデータ同化予測システム（数値予測）



- : 国土交通省XRAIN
- : XバンドMPレーダ(2)
- : 雲レーダ(5)
- : ドップラーライダー(3)
- △ : マイクロ波放射計(10)
- : MP-PAWR

↓ データ同化予測システム

気象庁メソモデル
(MSM)

▼
関東広域先行予測

1km格子、3時間更新、7時間先

▼
首都圏短時間予測

700m格子、10分更新、2時間先

+

気象庁 高解像度降水
ナウキャスト

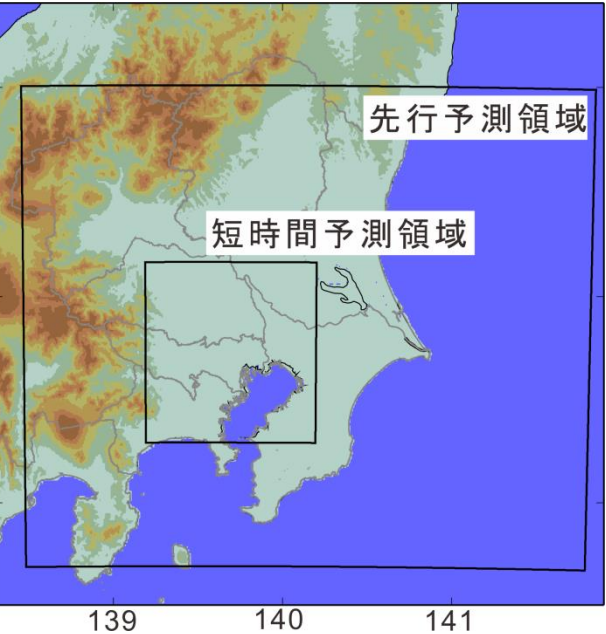
250m格子、5分更新、30分先

▼
1時間先までの雨量の
ブレンド予測

700m格子、10分更新、1時間先

3DVAR-RUSH: 3DVAR- system for Rapid Update of Short-range forecast with High resolution

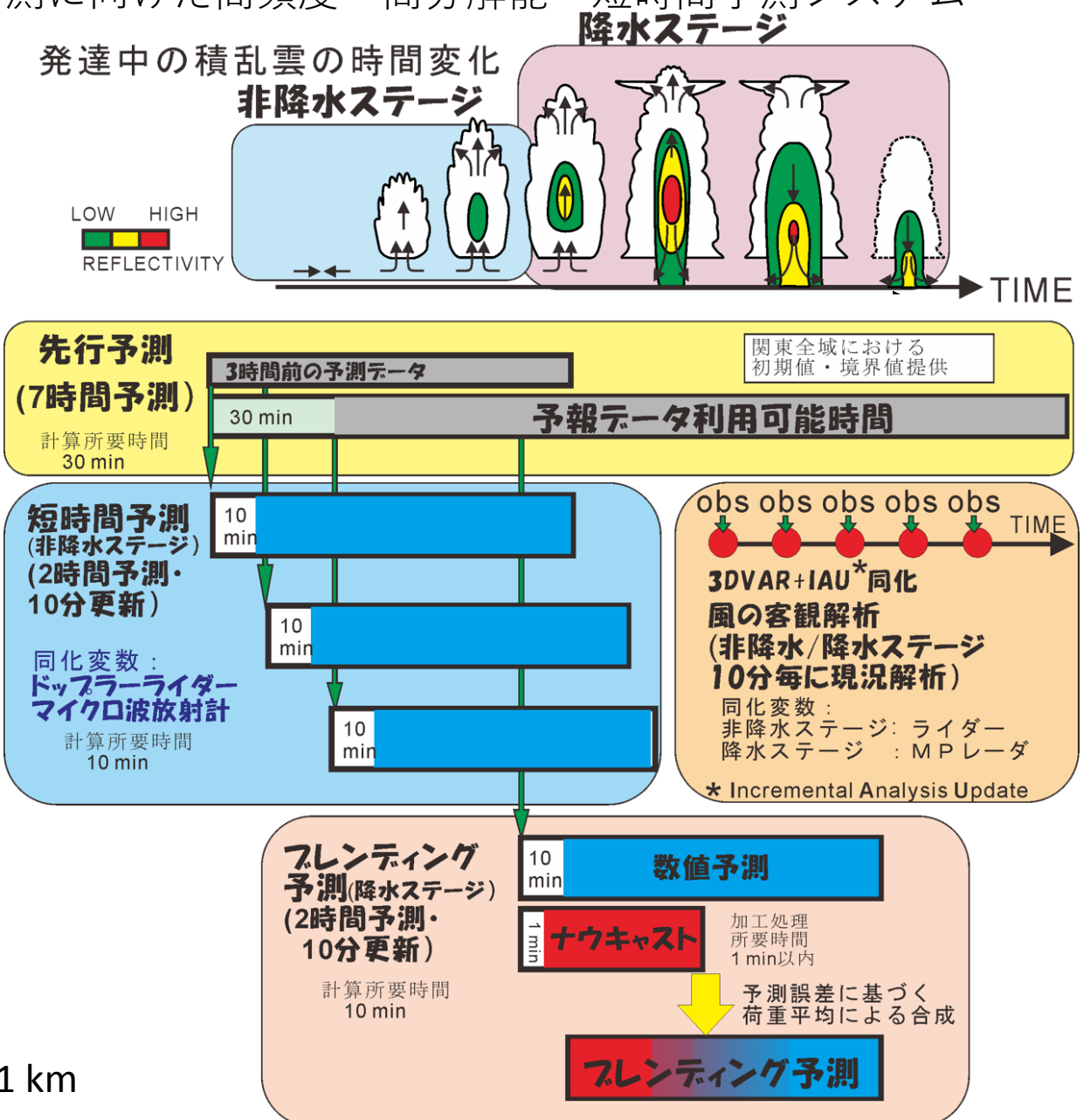
リアルタイム豪雨・強風予測に向けた高頻度・高分解能・短時間予測システム



先行予測：
7時間先まで
水平格子間隔 1 k m

短時間予測・ブレンディング
2時間先まで
水平格子間隔 700m

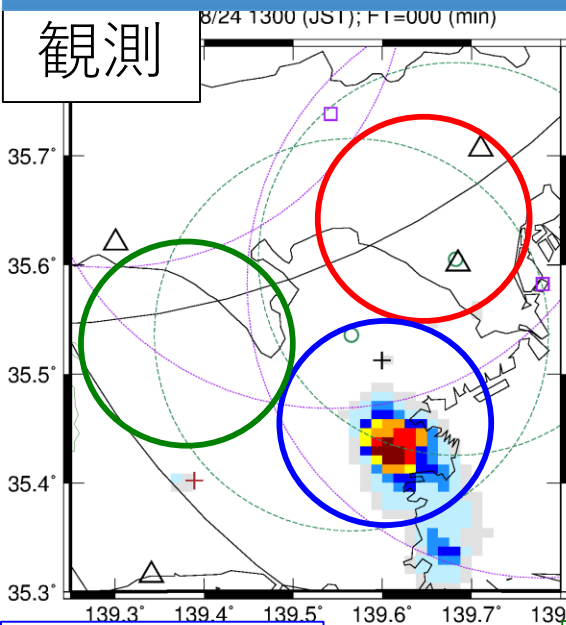
客観解析
現在時刻と同期。格子解像度1 km



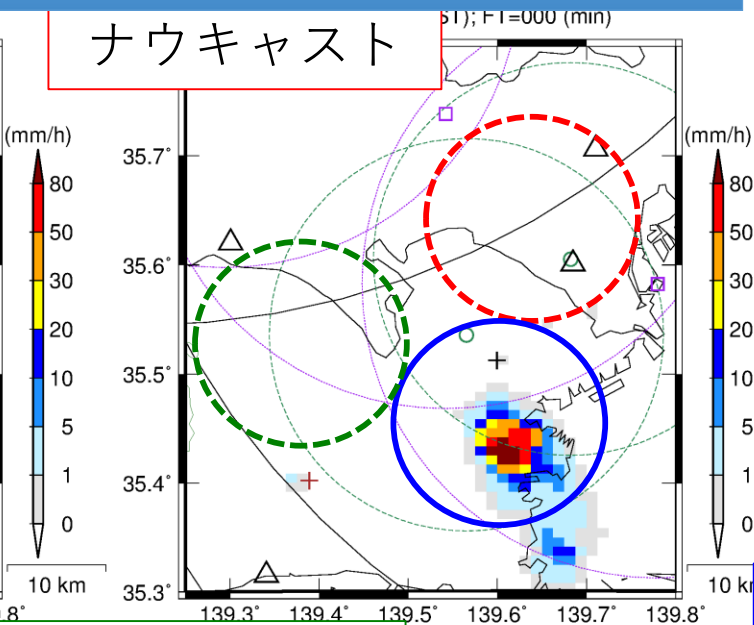
局地的大雨事例へのブレンディング手法の適用 (2016/8/24)

13～14時の降水強度
(mm/h; 5分毎)

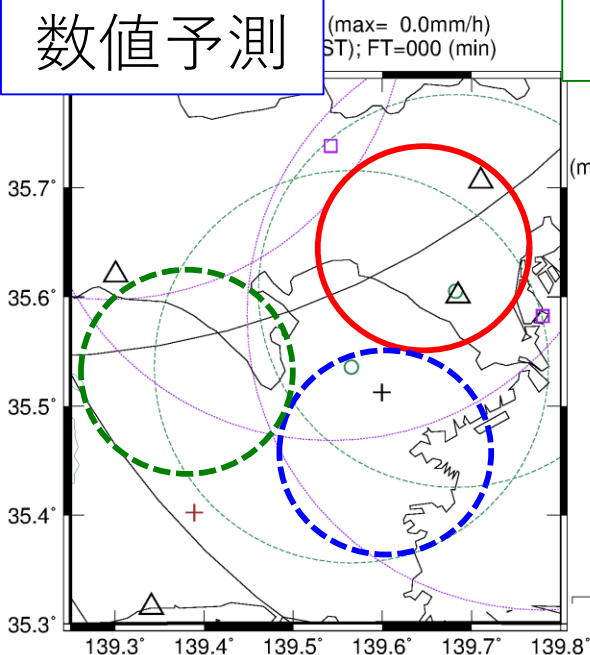
観測



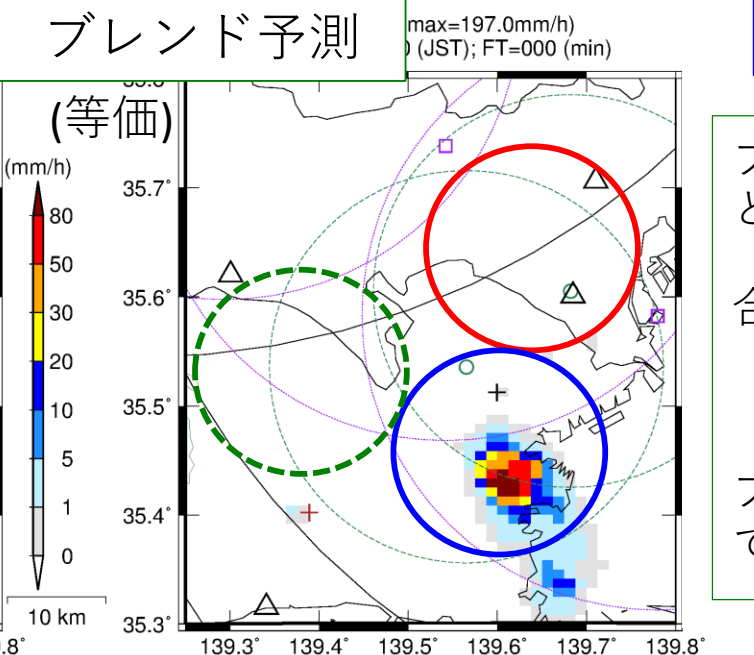
ナウキャスト



数値予測



ブレンド予測



(予測開始時刻13時)

○ 初期に存在した
強雨域 (1) の伝播

○ 強雨域 (2) の
生成

○ 強雨域 (3) の生成

円の破線：強雨域の
予測が失敗した領域

数値予測は動径風 (レーダーとライダー)、可降水量 (マイクロ波放射計)、反射強度 (レーダー) を同化

ブレンド予測はナウキャスト
と数値予測を同じ割合で合成

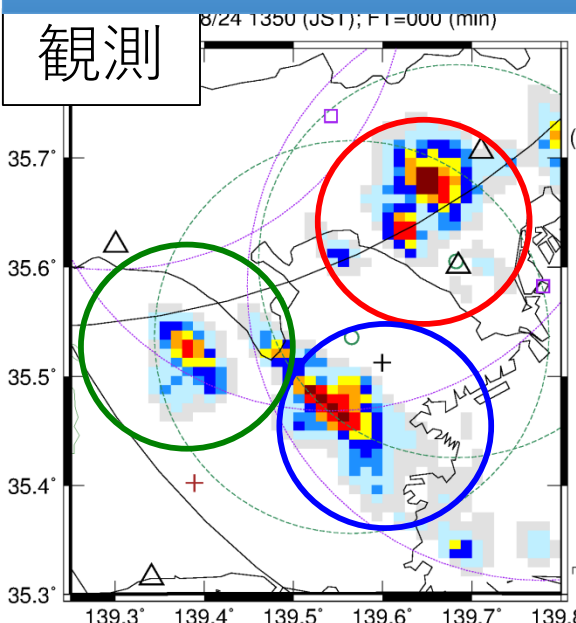
合成手法に関する特許出願
(特願2016-164254)

ブレンドデータはSIPの枠組み
でリアルタイムで提供中

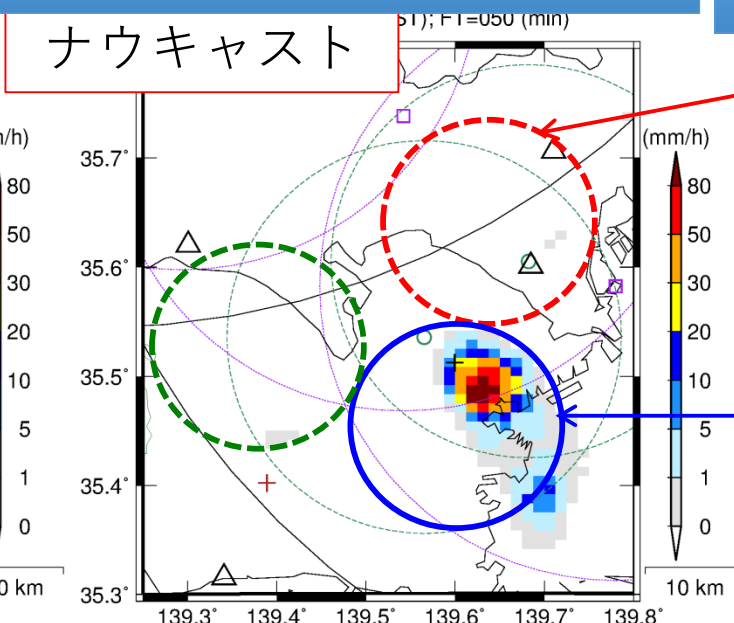
局地的大雨事例へのブレンディング手法の適用 (2016/8/24)

1350JST
(50分後)

観測



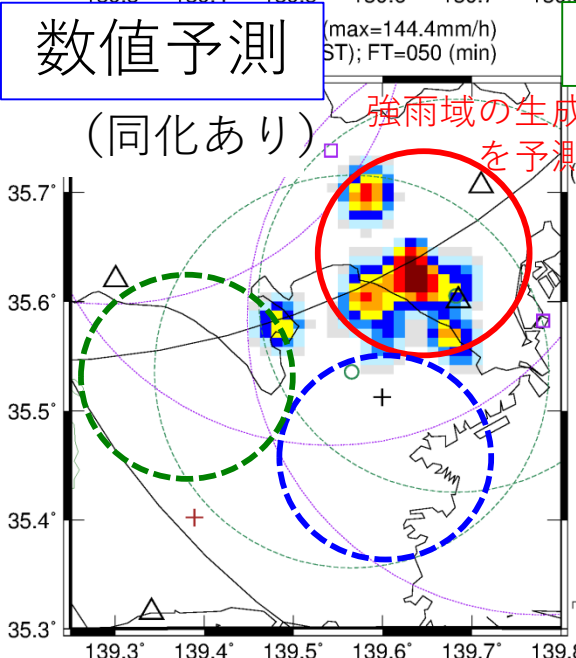
ナウキャスト



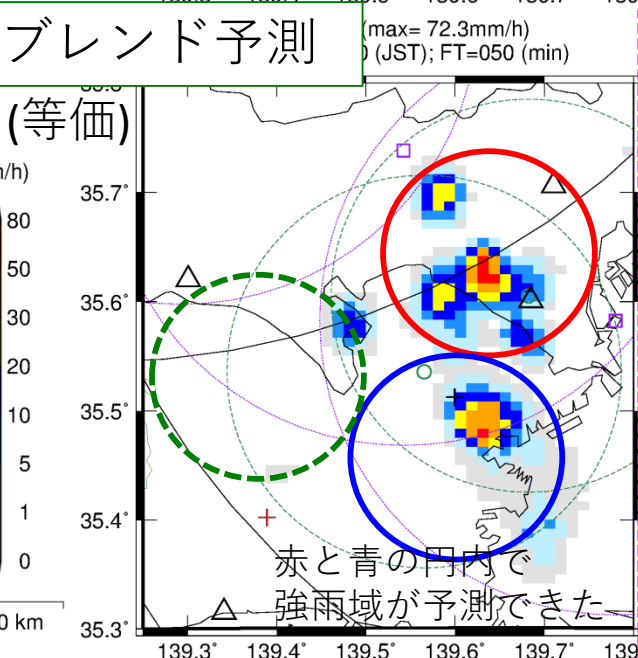
生成された強雨域を予測できていない

初期に存在していた強雨域が移流された

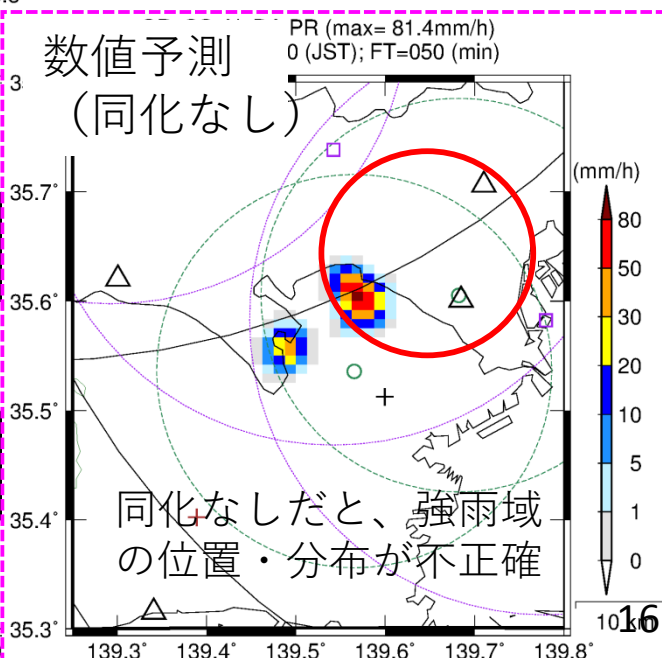
数値予測



ブレンド予測



数値予測



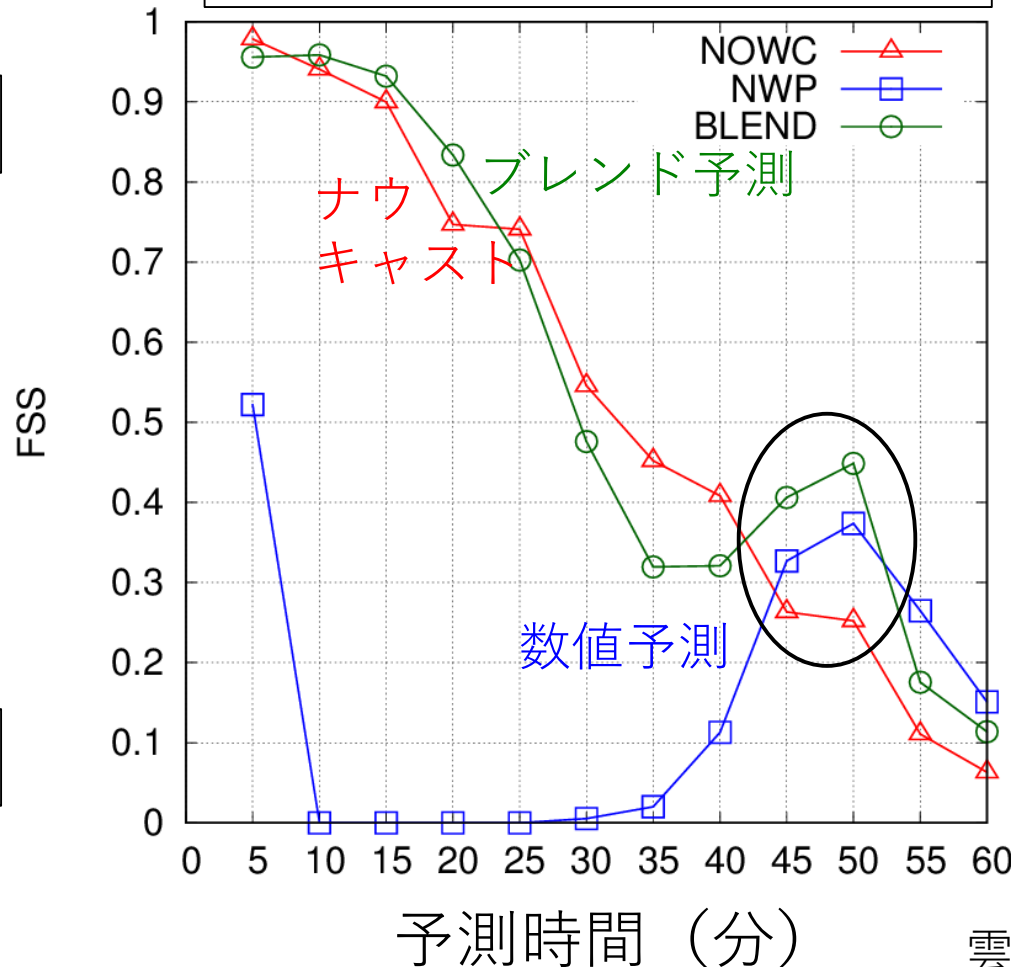
同化なしだと、強雨域の位置・分布が不正確

赤と青の円内で強雨域が予測できた

ブレンディング予測精度の例

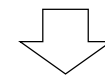
降水強度の閾値20mm/h

(位置ずれ許容のスケール11km)



45分以降の予測精度：
数値予測 > ナウキャスト

ブレンドすることで
ナウキャストの精度が
下がった45分以降の
予測精度が向上

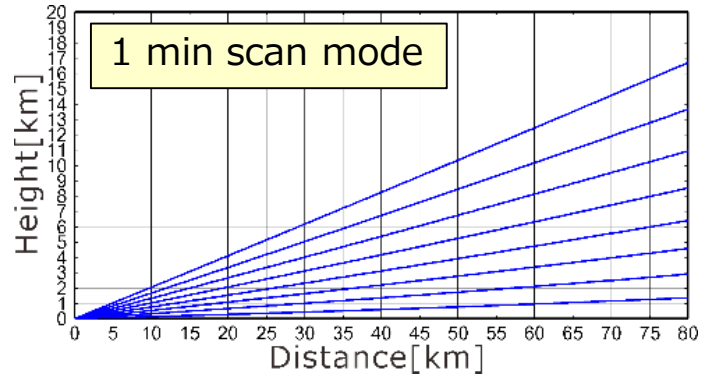
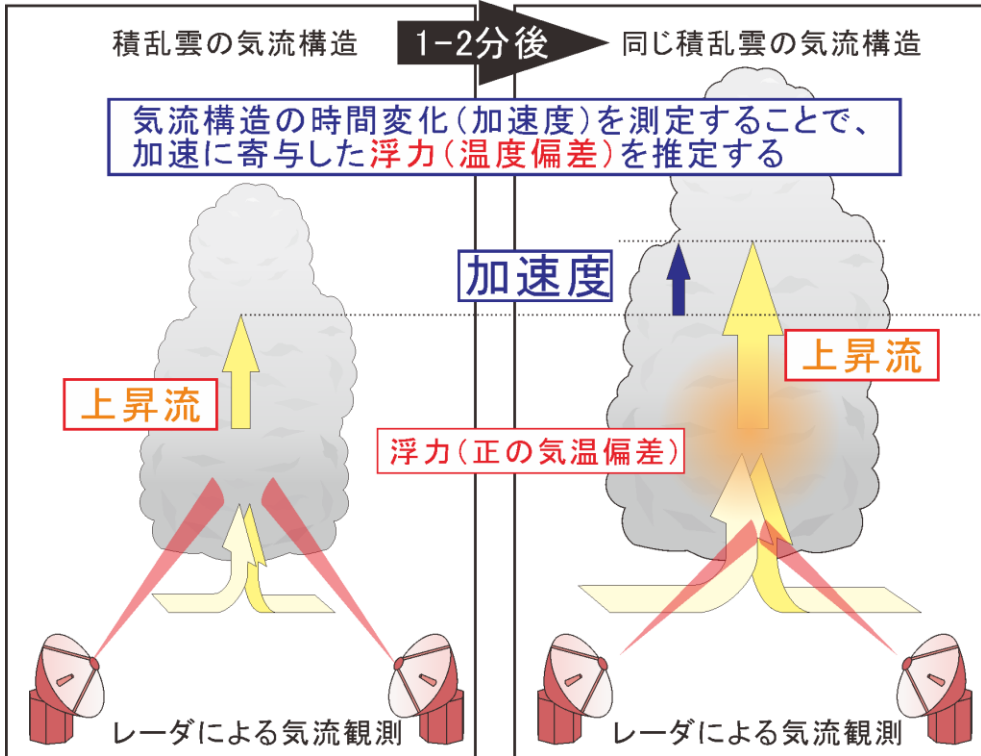
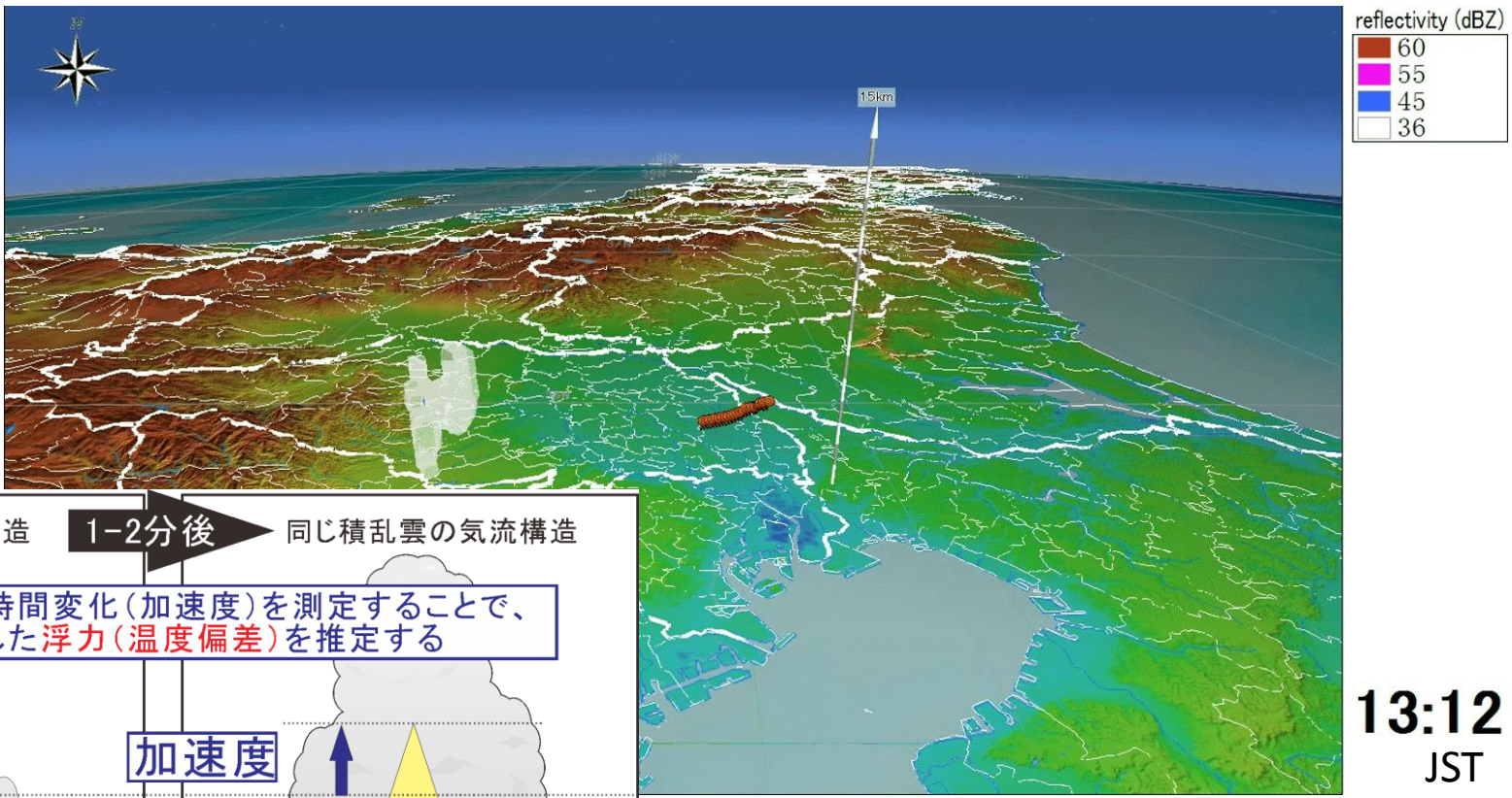


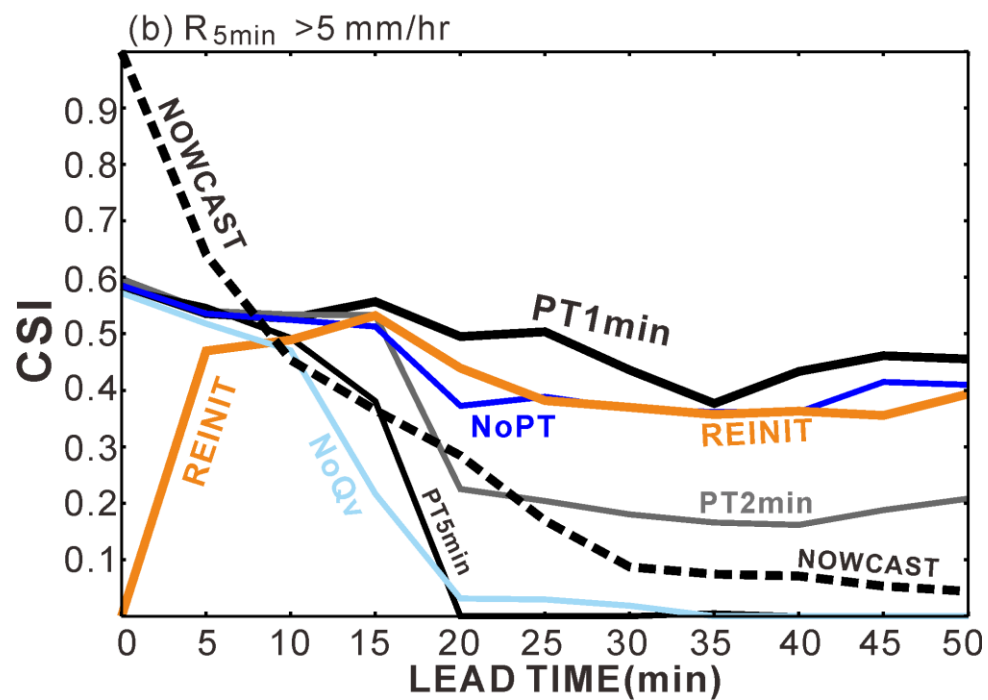
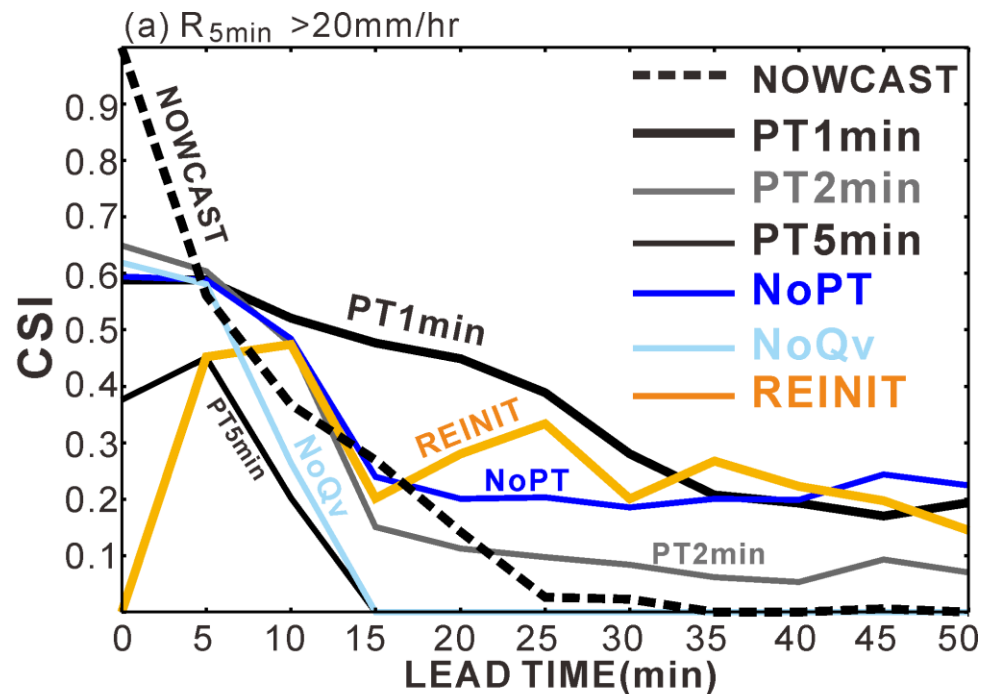
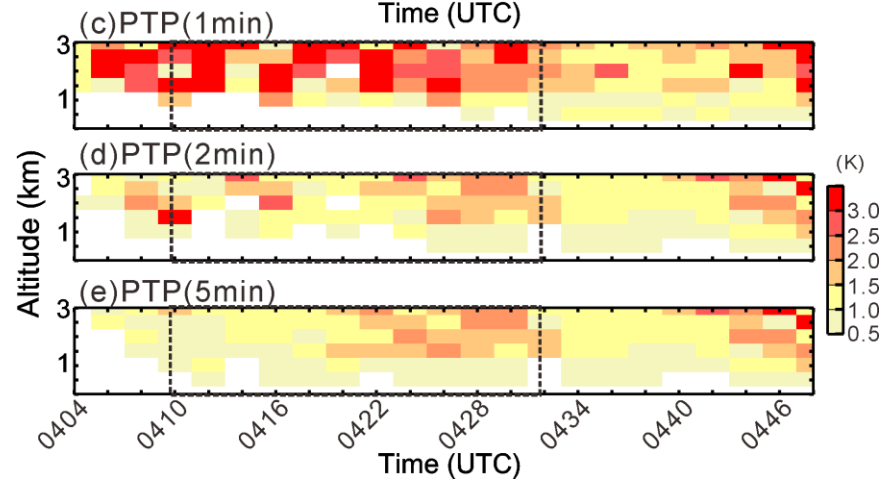
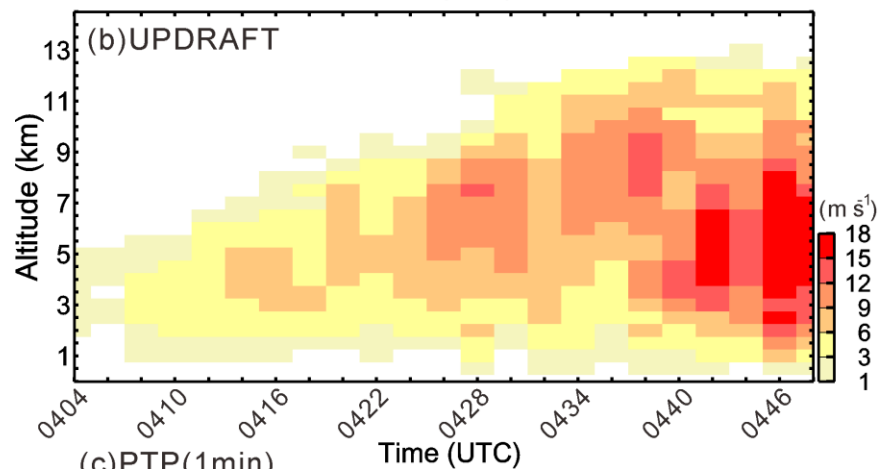
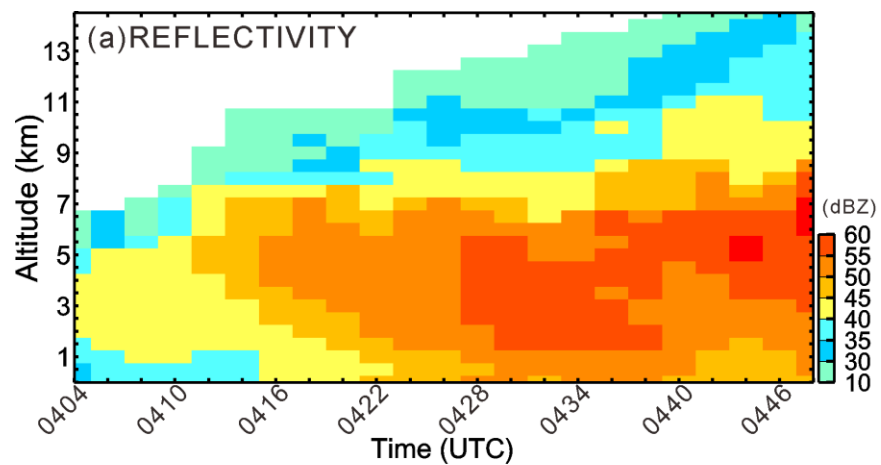
局地的大雨の直前予測に対
するブレンディング
手法の有効性を示唆

雲レーダーデータの同化により
数値予測の精度改善が期待される

2台セクター観測による2分（1分）毎の積乱雲3D構造

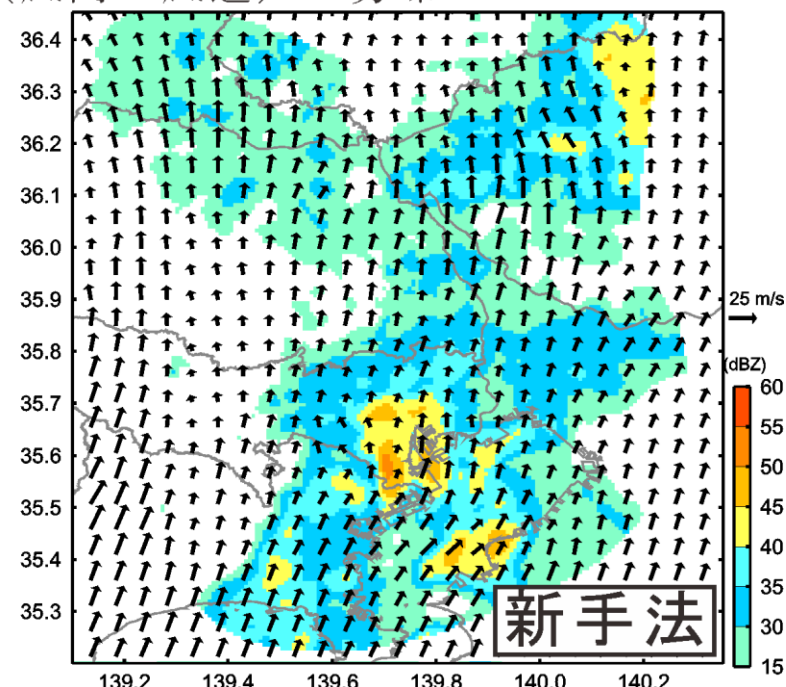
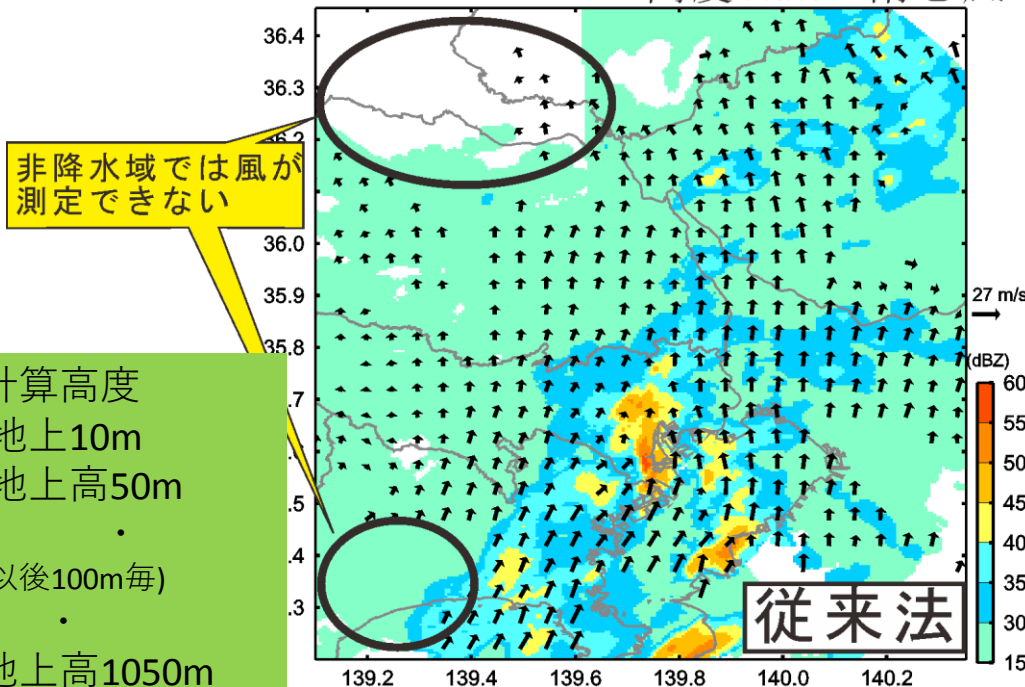
Shimizu et al.,
QJRMS
(in revision)





風の客観解析-見えない風を見る技術-

高度1kmの雨と風（風向・風速）の分布



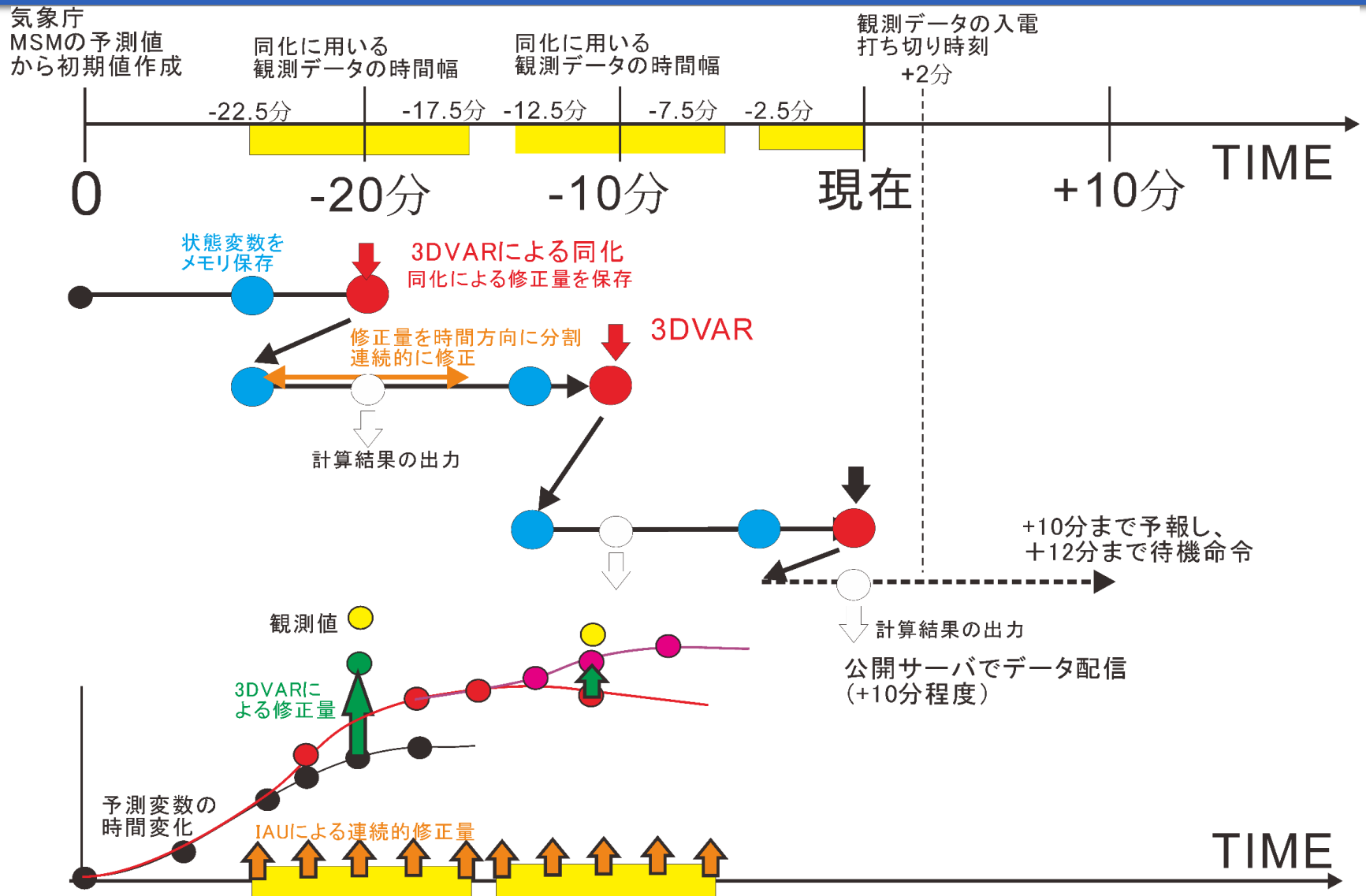
南関東では、国交省のレーダ観測網が充実していることから、2台以上のレーダが降水粒子の動きをとらえることで、**雨域の風向・風速**を求めることが可能である。

防災科研では、さらに風の客観解析によって、**非降水域の風速・風向も推定**することが可能となった。

外部機関に**計算結果をリアルタイム配信**

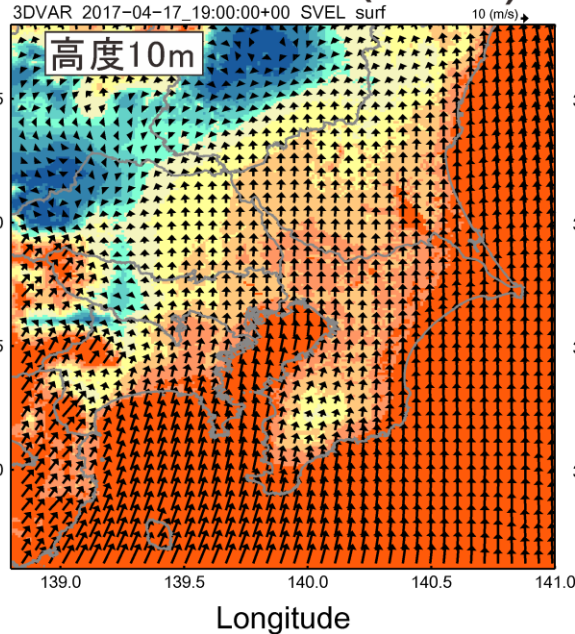
配信高度： **地上高10m, 100m, 150m, 500m, 海拔 1000m**

新しい客観解析の方法

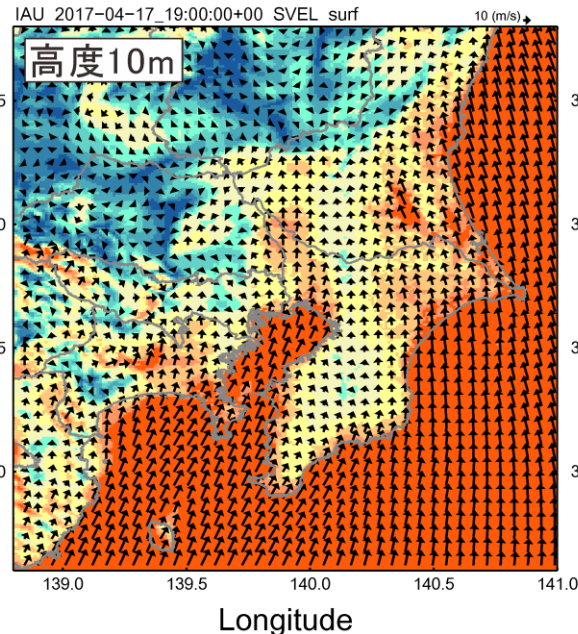


風の客観解析の例ー地上風

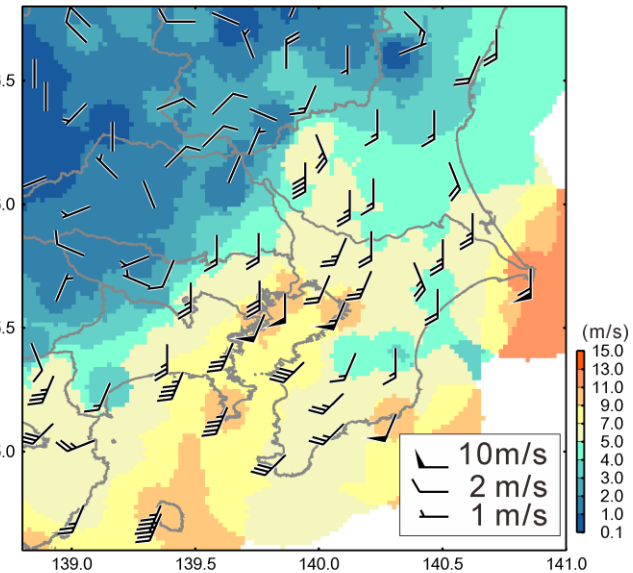
気象庁MSM(風速)



客観解析(風速)

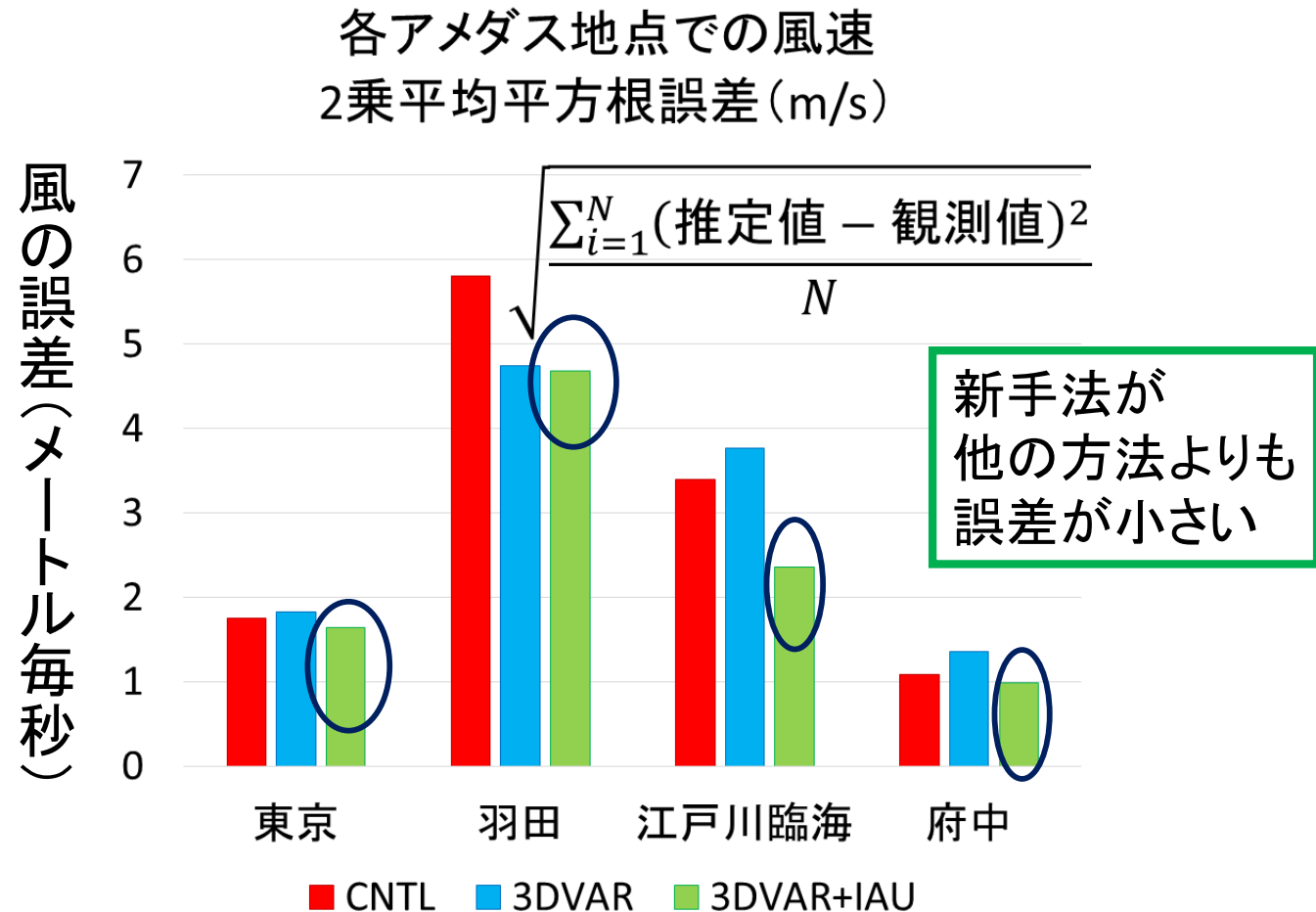


アメダス地上風



- ・ 気象庁MSMでは、風向が一様に南風。千葉県から茨城県にかけて強風を誤推定
- ・ 客観解析では、風向がアメダス観測同様に変化している。東京湾から北にかけて風が弱くなっていく様子を正しく推定した。
- ・ 客観解析では、海陸分布と風速分布が非常によく対応している
- ・ 突風事例（2015年9月6日千葉県突風災害）において、高精度渦度予測が実現（Shimose et al., 2017 JDR）

地上風推定の誤差統計解析 (shimose et al., 2017 JDR)



新手法は、数値予測に比べて地上風を正しく推定できている。

まとめ: 豪雨の予測精度向上に資する先端的研究の紹介

局地的大雨の短時間予測において、1時間先までの予測精度向上を現状の目標とした。

- ・ 時間外挿型ナウキャストの予測可能時間は10-30分と限られている。
(Kato et al 2017 QJRMSS)
- ・ 積乱雲早期検出が可能な観測データのデータ同化による数値予測が
ナウキャストを補完する役割を果たす。2つの予測結果を最適に合成する
ブレンディング予測の開発を進めており、40-50分先の予測精度が向上した。
(Kato et al 2017 JDR)
- ・ 高解像度化すると、位置ズレ問題が顕著となる。許容できる位置ズレを最適に
設定することで、予測のリードタイムの延長が可能となる。
- ・ 1分間デュアル解析による熱力学リトリバーバル同化による50分先までの精度改善
(Shimizu et al 2018 QJRMSS, in revision)

気象レーダ、ドップラーライダー、および、地上観測等のリアルタイム観測を同化可能な、
自動現在時間同期型の気象場客観解析手法を開発した。

- ・ 観測が困難な非降水域や地上付近における風速・風向の推定精度が向上した
(Shimose et al., 2017 JDR)
- ・ 民間気象会社と連携。
建設現場や高所作業用の情報提供もSIPの枠組みで進めている。
建設会社への高所作業の稼働率向上のための情報提供を継続中