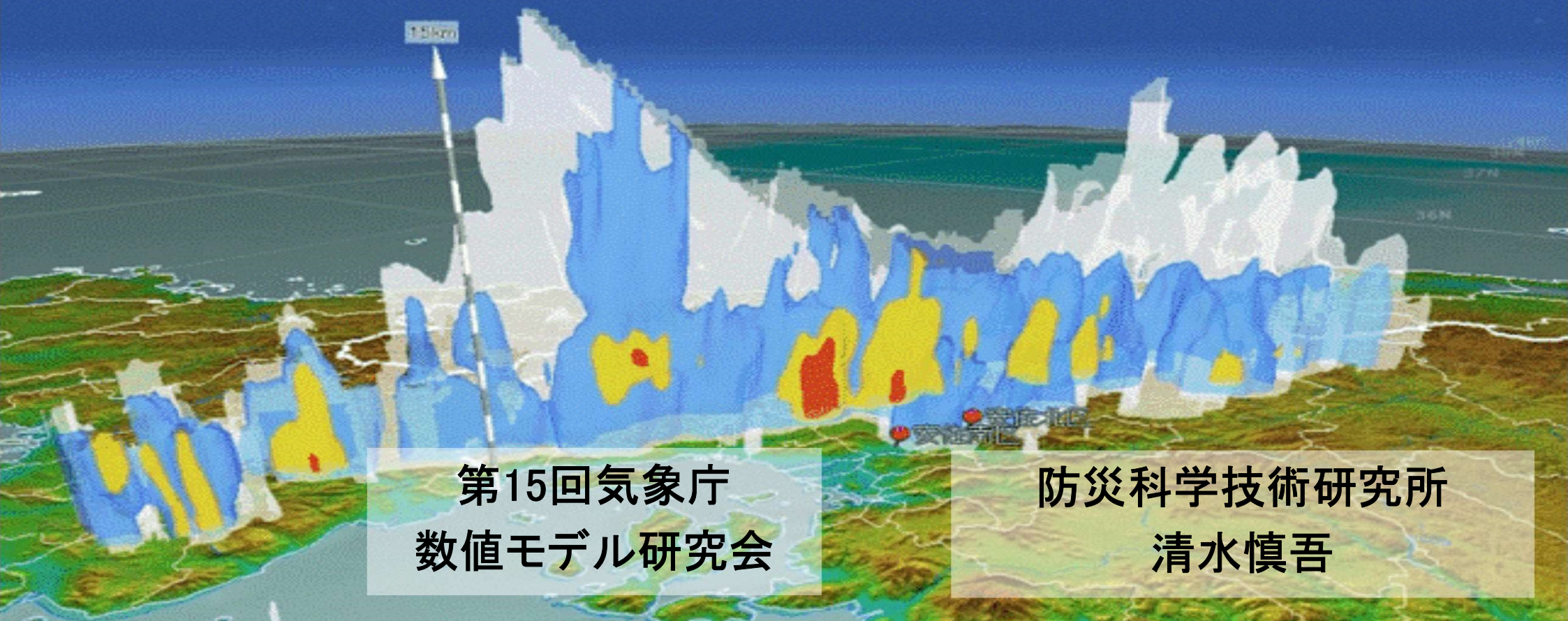


二重偏波ドップラーレーダや水蒸気観測を用いた積乱雲および線状降水帯の予測研究



第15回気象庁
数値モデル研究会

防災科学技術研究所
清水慎吾

発表内容

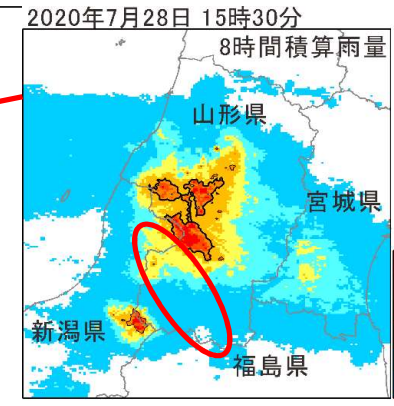
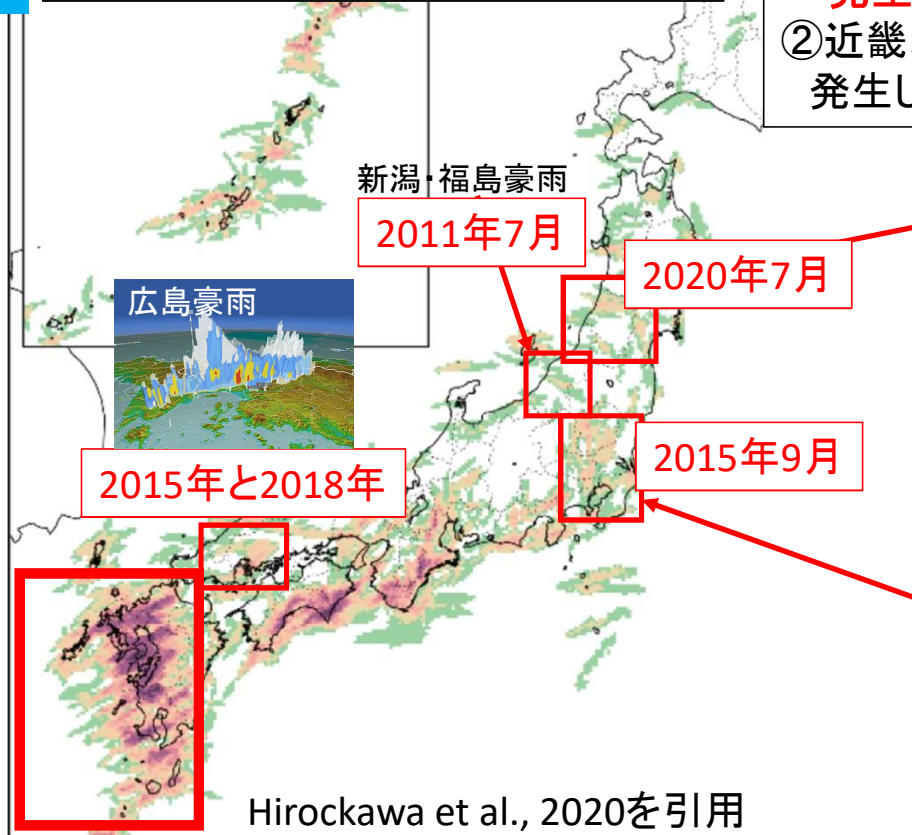
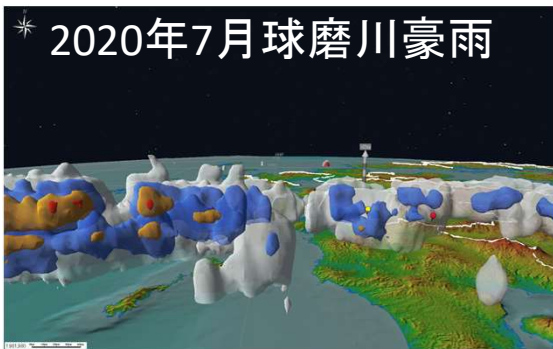
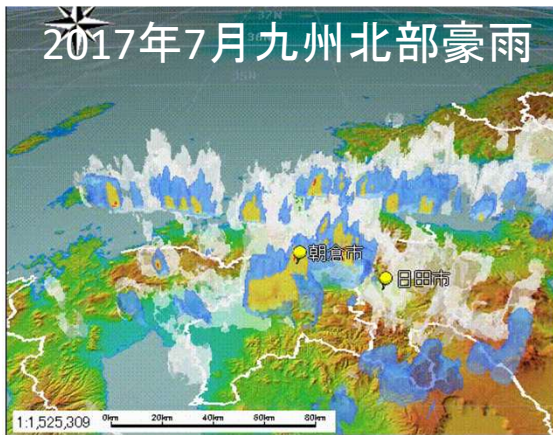
1. 内閣府第2期SIP線状降水帯の観測・予測実証実験のまとめ
水蒸気ライダー同化および最大値フィルターによる
 線状降水帯の予測精度について
2. 内閣府BRIDGEによる雷予測実証実験のまとめ
二重偏波レーダネットワーク(XRAIN)を活用した積乱雲の移動予想
3. 気象庁と防災科研の共同研究
 「二重偏波気象ドップラーレーダーを用いた動径風の品質管理法と
 観測誤差推定法の開発」に関する進捗

頻発する線状降水帯による大規模水害

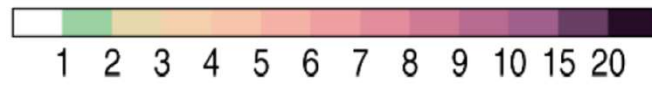
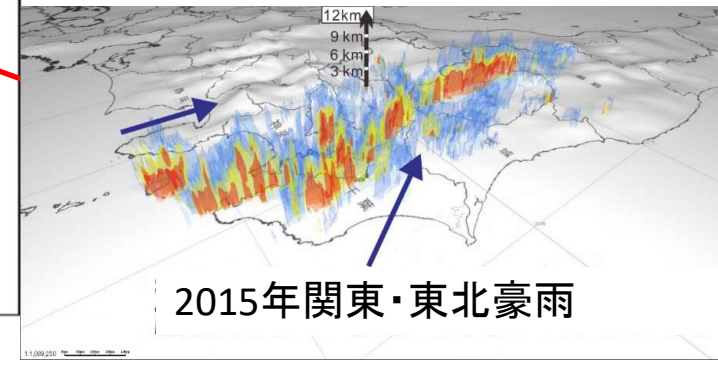
線状降水帯の発生傾向

- ①九州西岸、四国南部、紀伊半島に発生が集中している。
- ②近畿、関東、東北でも少なからず発生し、災害が発生している。

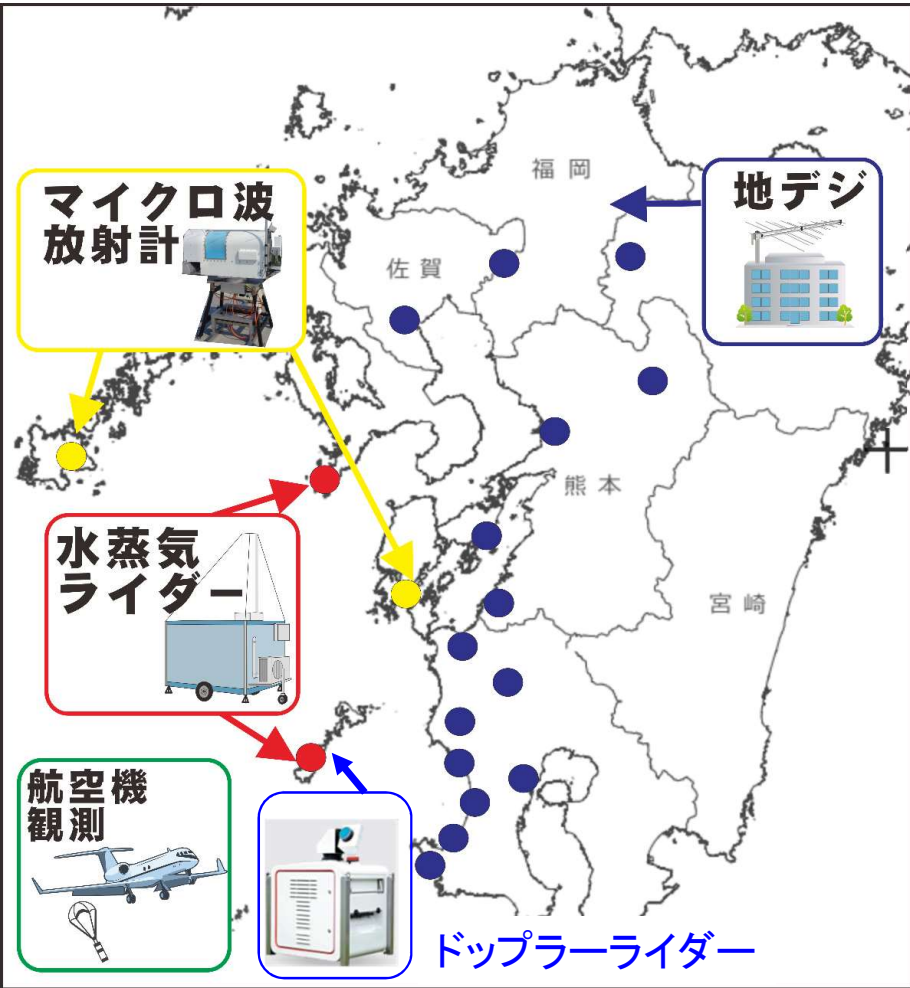
2009年から2018年の暖候期に発生した線状降水帯の発生回数



2020年7月29日
最上川上流に大雨をもたらし、
下流域で氾濫が発生した

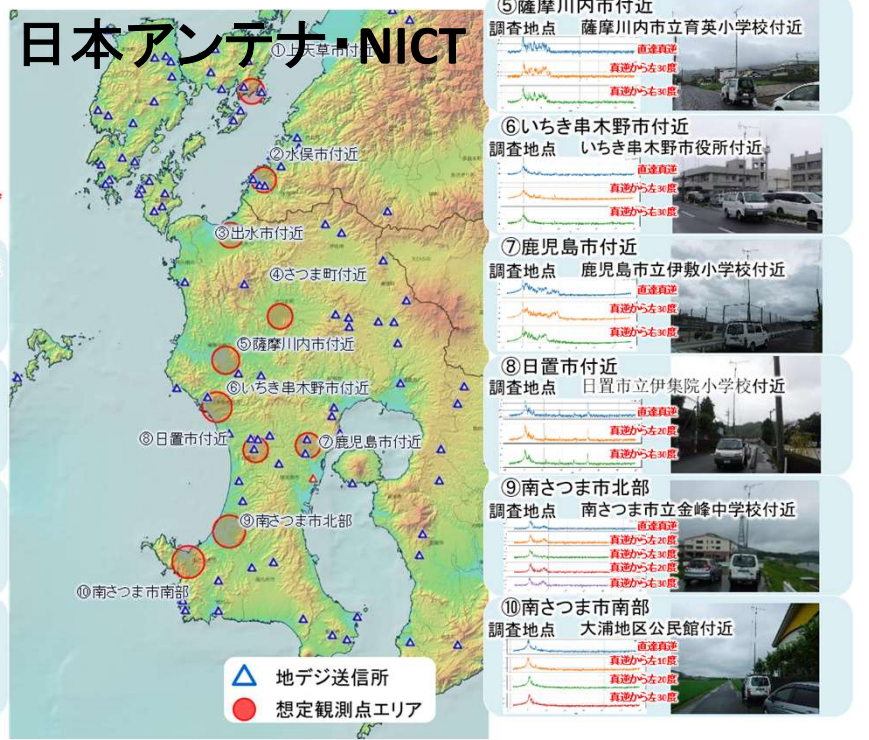


2021年度にSIP観測網が完成



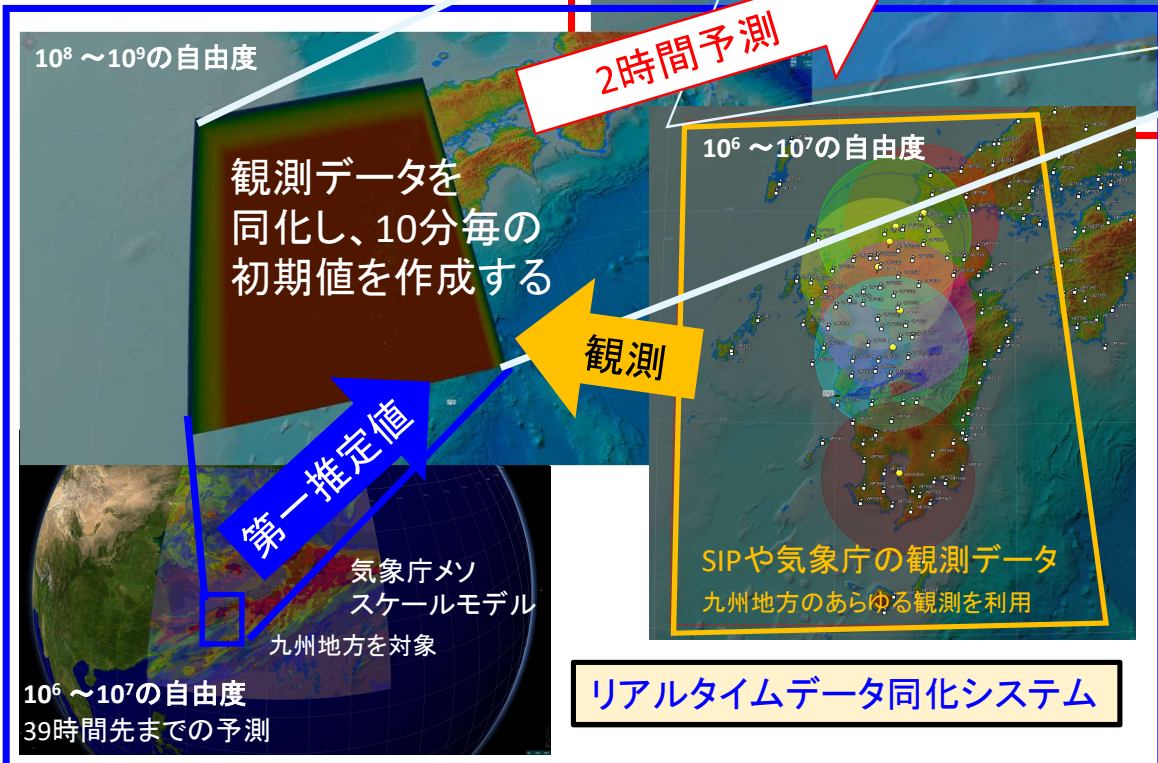
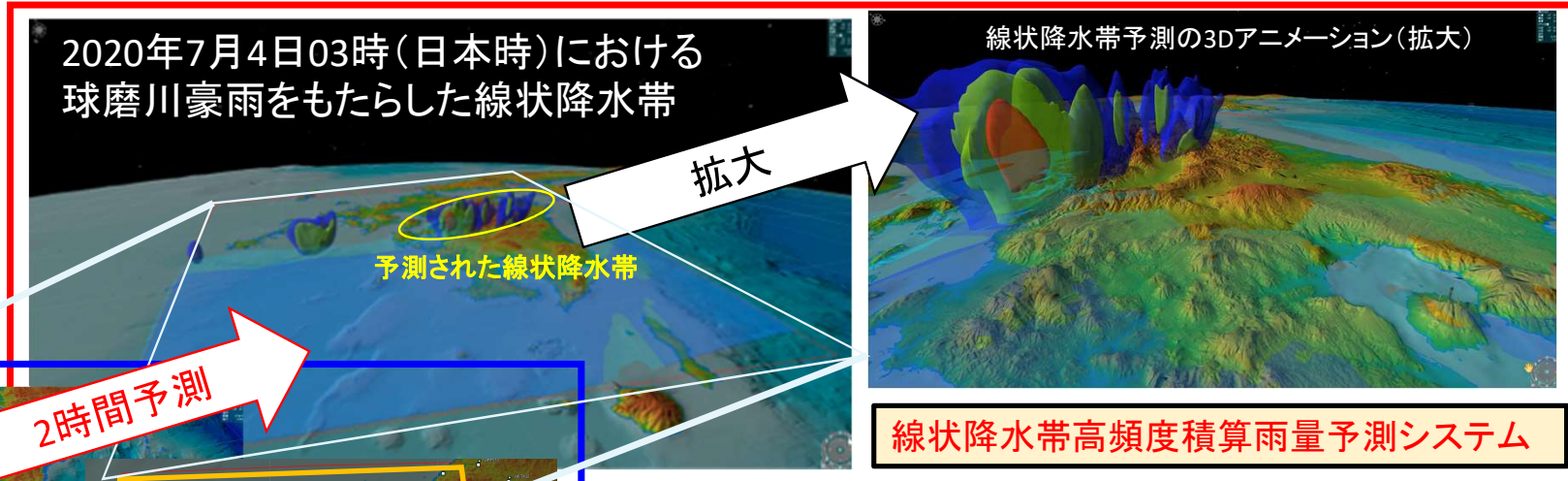
想定観測点エリア概況調査完了
観測点借用交渉着手
観測点仮観測未実施

- 概況調査、借地交渉
地デジ送信所位置、路上地デジ測定
観測点設置候補、建造物など調査
- 課題
コロナ禍により現地詳細調査実施出来ず

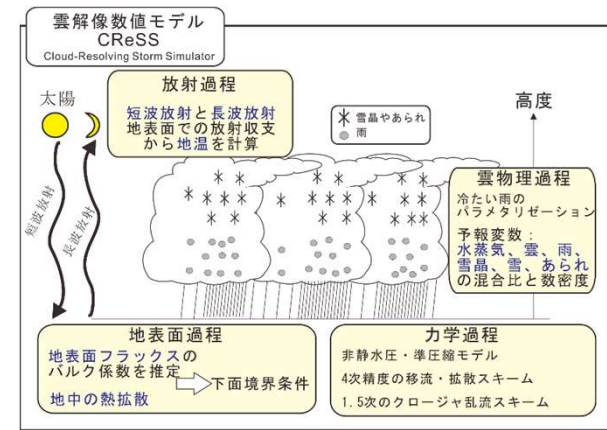


リアルタイム
データ同化システム

リアルタイム
短時間予測システム



- ・雲解像数値モデル(CReSS) 約20万行の巨大プログラム
- ・流体力学・雲物理学から定式化
- ・積乱雲を解像し、雨量を正確に予測する
- ・データ同化による初期値作成
- ・大規模並列計算による高速予測



2時間先予測の方法:位置ズレ許容ブレンディング予測

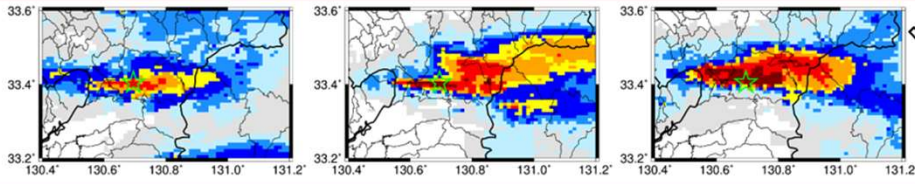
予測法・予測時間に応じて、位置ズレを統計的に評価し、位置ズレの範囲内で最大値を探索し、置換する。

13JST

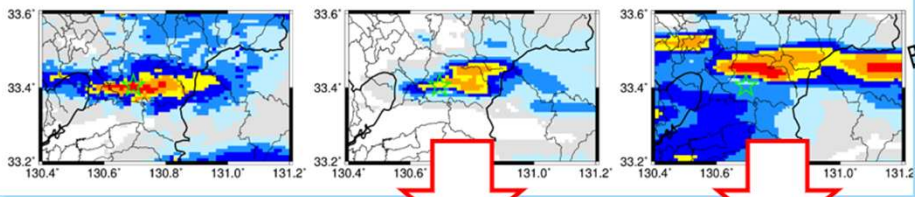
14JST

15JST

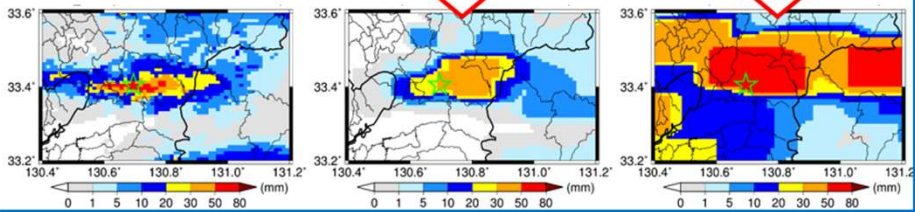
観測



従来法



新手法



12-13JSTの
観測積算雨量

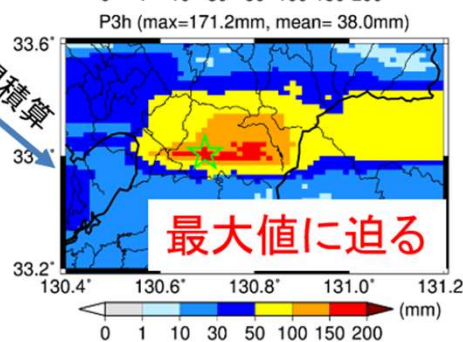
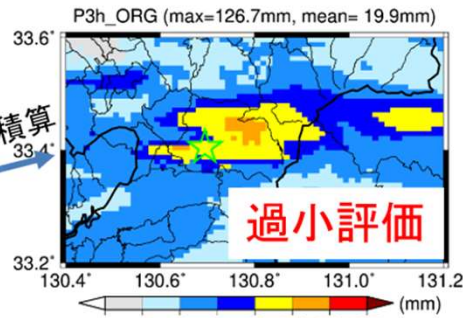
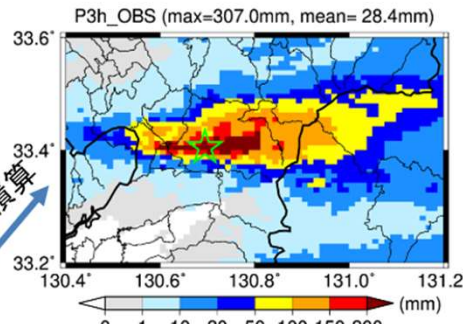
13-14JSTの
予測積算雨量

14-15JSTの
予測積算雨量

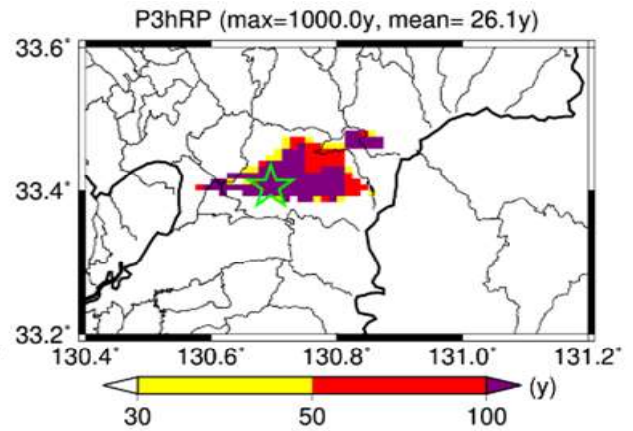
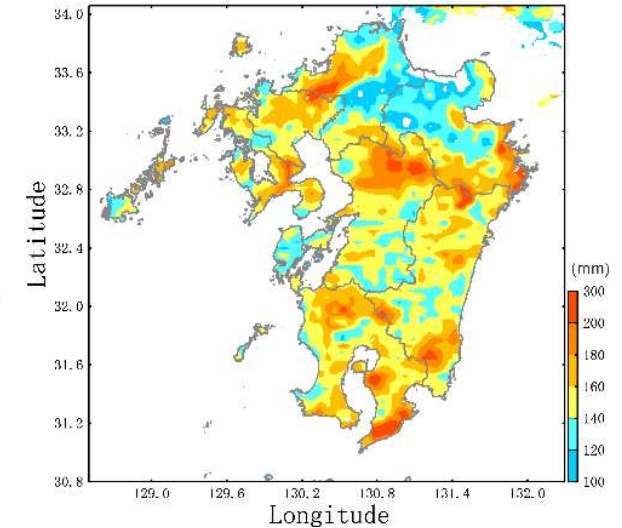
時間積算

時間積算

時間積算

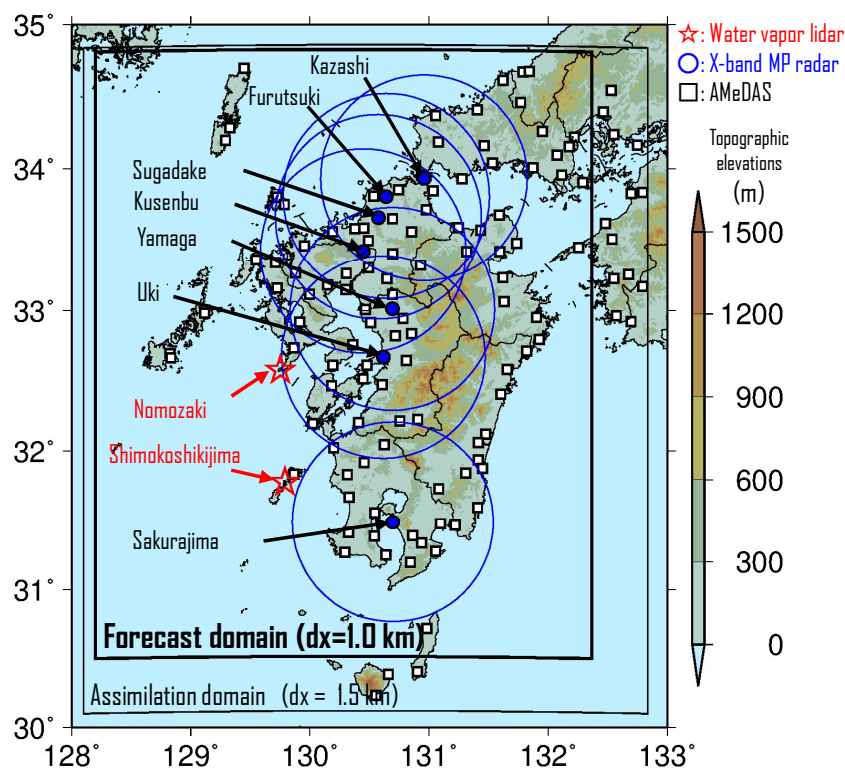


過去雨量統計から
30年に一度の確率雨量を定義



2021年7月10日 線状降水帯事例の水蒸気ライダー同化実験の紹介

Kato et al., 2024 JMSJ

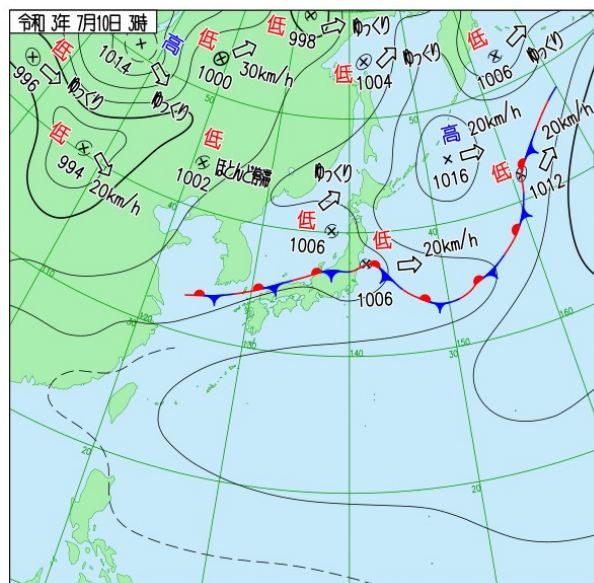


客観解析: 288x352x50, dx=1.5 km
 予測: 464x480x50, dx=1.0 km
 モデルTOPは20.6km

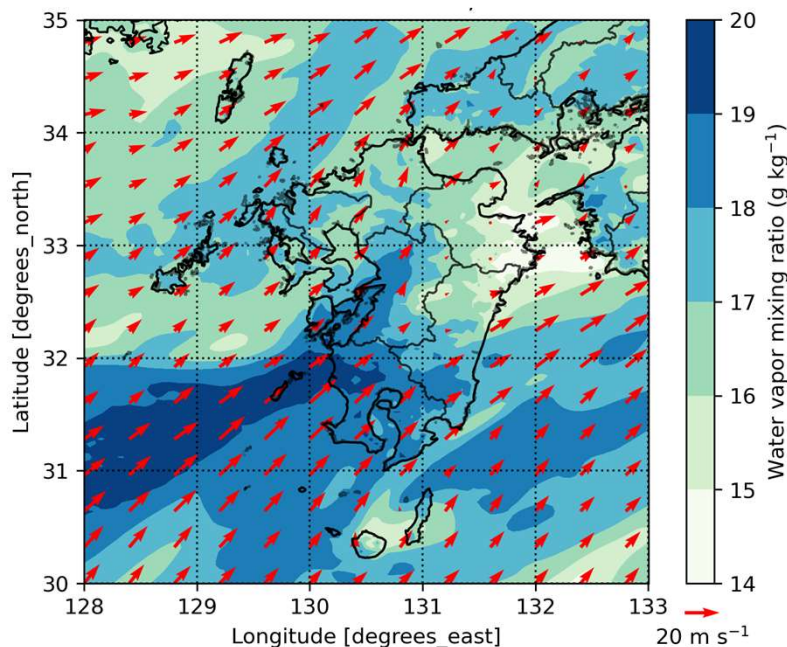
- 数値予測の初期値
 - 3DVAR+IAUの手法を用い、10分毎の高頻度更新でデータ同化を行った客観解析データを用いた(Shimose, et al. 2017, JDR)。
 - 同化に利用する観測データ
 - 国交省XRAINのレーダー動径風
 - アメダスの風向・風速
 - 水蒸気ライダーによる水蒸気の鉛直プロファイル
 - 鹿児島県下甕島と長崎県野母崎の2台
 - 垂直分解能: 75m(<1km)、150m(≥1km)
 - 時間分解能: 15分
- 客観解析データ作成における初期の背景場及び数値予測の境界値: 気象庁局地数値予報モデル(LFM)の予測値
- 予測開始時間: 2021年7月10日01時(日本時間)

2021年7月10日の大雨事例の概要

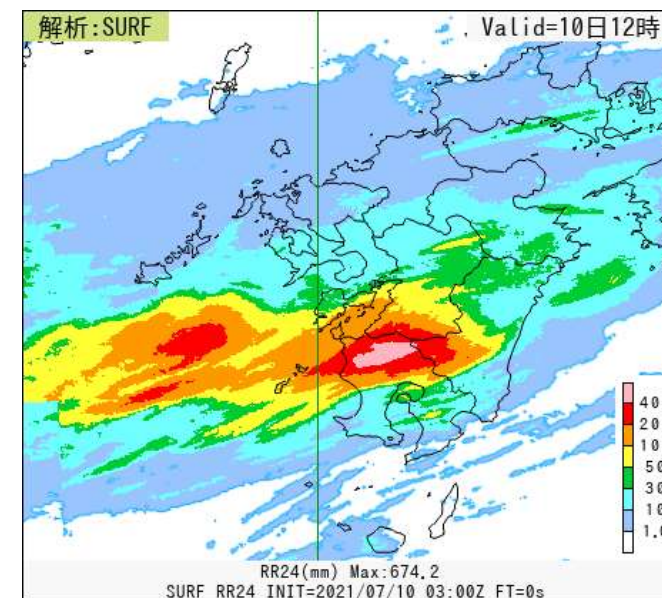
地上天気図
(2021年7月10日03時)



LFM水蒸気混合比と風@950hPa
(2021年7月10日00時)



24時間積算雨量(解析雨量)
(2021年7月10日12時)

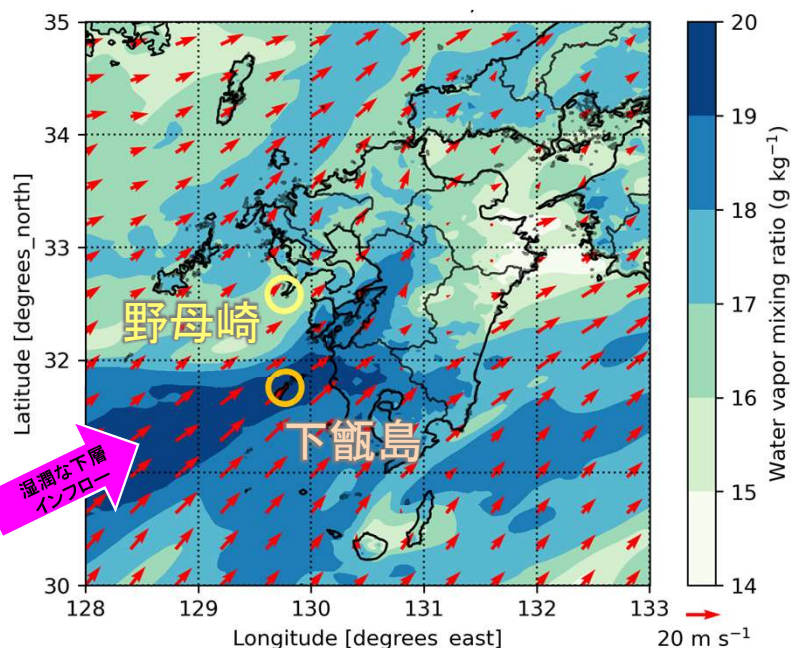


(気象庁)

- 梅雨前線は九州南部から 200~300km 離れた九州北部に位置。
- 南西から暖湿な空気が九州南部に流れ込み、線状降水帯に伴う大雨が発生。
- 鹿児島県に【顕著な大雨に関する情報】や【大雨特別警報】が気象庁より発表され、河川の氾濫などにより鹿児島県を中心に床上浸水等の大きな被害が発生。

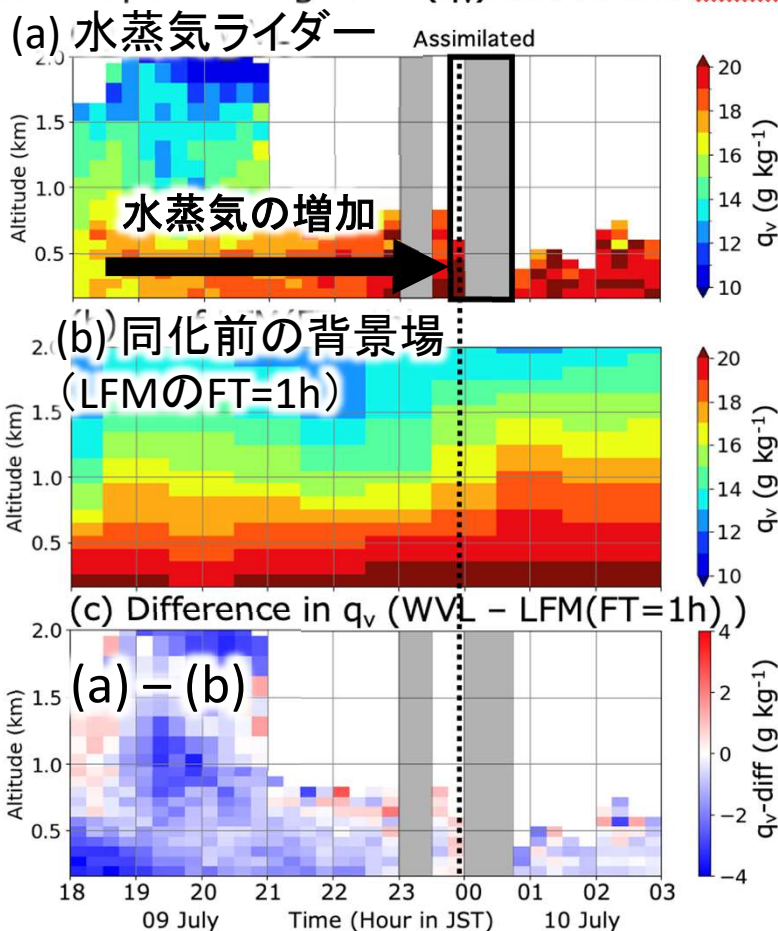
水蒸気分布

気象庁局地解析(LFM)による
水蒸気混合比(カラー)と風(ベクトル)
@950hPa(2021年7月10日00時)

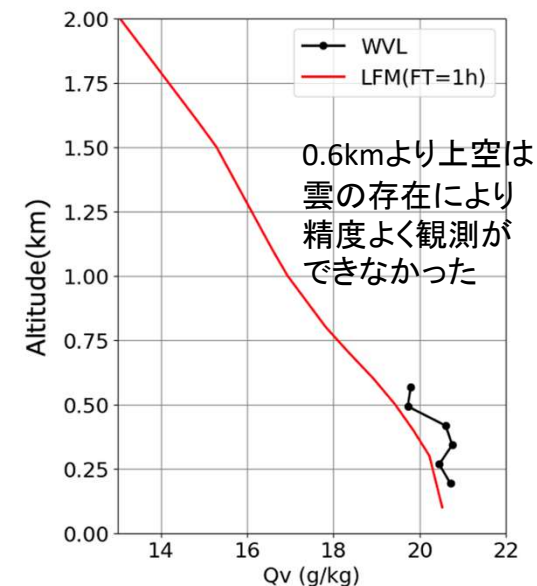


水蒸気ライダーによる観測@下甕島

Water vapor mixing ratio (q_v) above the Shimokoshikishima (Ko) WVL station



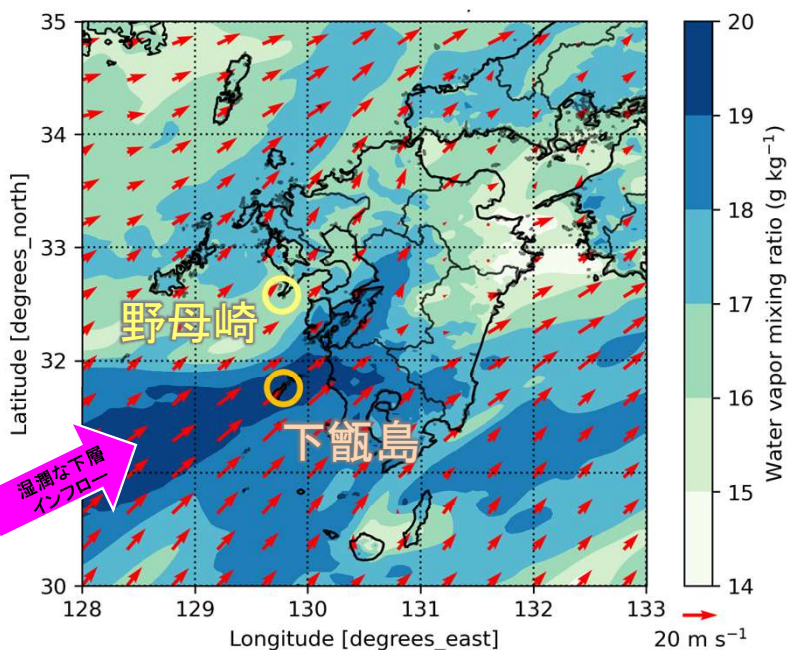
(d) q_v of WVL and LFM(FT=1h) at 0000 JST on 10 July 2021 (dotted line in (a) and (b))



0.6km以下の下層の湿潤な観測データが同化された

水蒸気分布

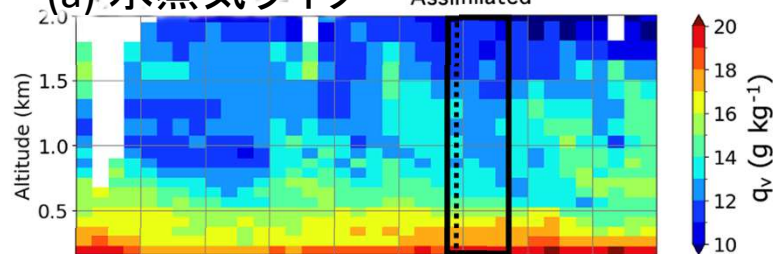
気象庁局地解析(LFM)による
水蒸気混合比(カラー)と風(ベクトル)
@950hPa(2021年7月10日00時)



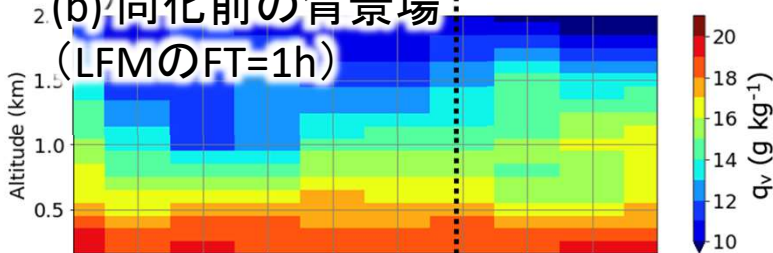
水蒸気ライダーによる観測@野母崎

Water vapor mixing ratio (q_v) above the Nomozaki (Na) WVL station

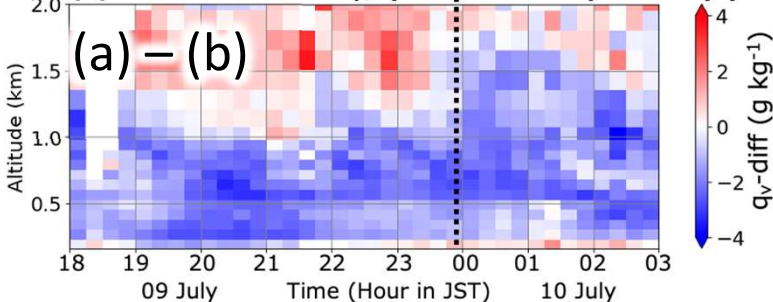
(a) 水蒸気ライダー-Assimilated



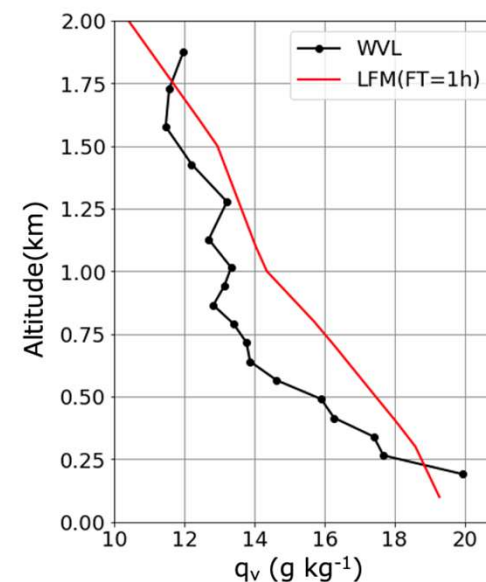
(b) 同化前の背景場
(LFMのFT=1h)



(c) Difference in q_v (WVL - LFM(FT=1h))



(d) q_v of WVL and LFM(FT=1h)
at 0000 JST on 10 July 2021
(dotted line in (a) and (b))



2km以下の下層の乾燥した観測データが同化された

観測

2021年7月10日03時

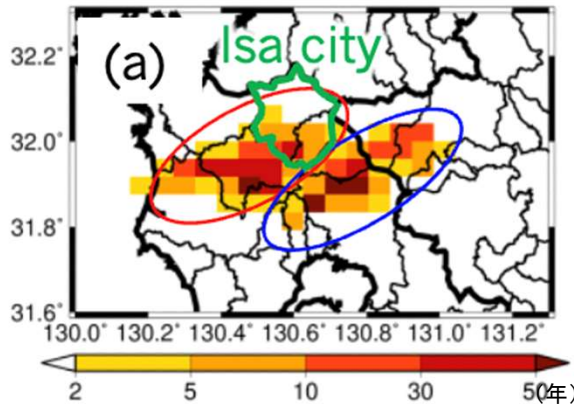
予測

予測初期時刻:2021年7月10日01時
(実時間で10分以内に予測完了)

水蒸気ライダー同化あり

水蒸気ライダー同化なし

鹿児島県伊佐市で1時50分に土砂災害警戒情報が発表され、水害が発生。



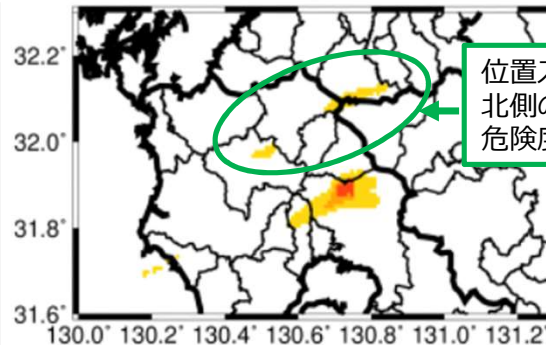
位置ずれ補正あり

SIP予測

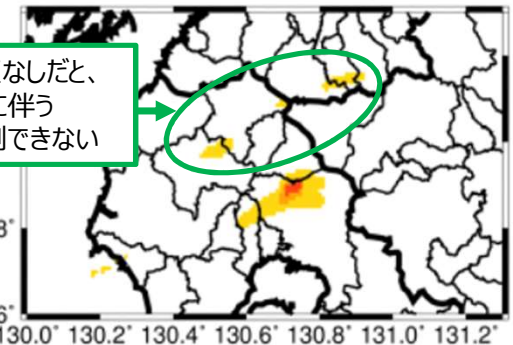
10年に一度の
稀な大雨を予測

南側のラインについては50年に一度の雨を予測

水蒸気ライダーの同化なしでは稀な雨を予測できない



位置ズレ補正なしだと、北側のラインに伴う危険度を予測できない

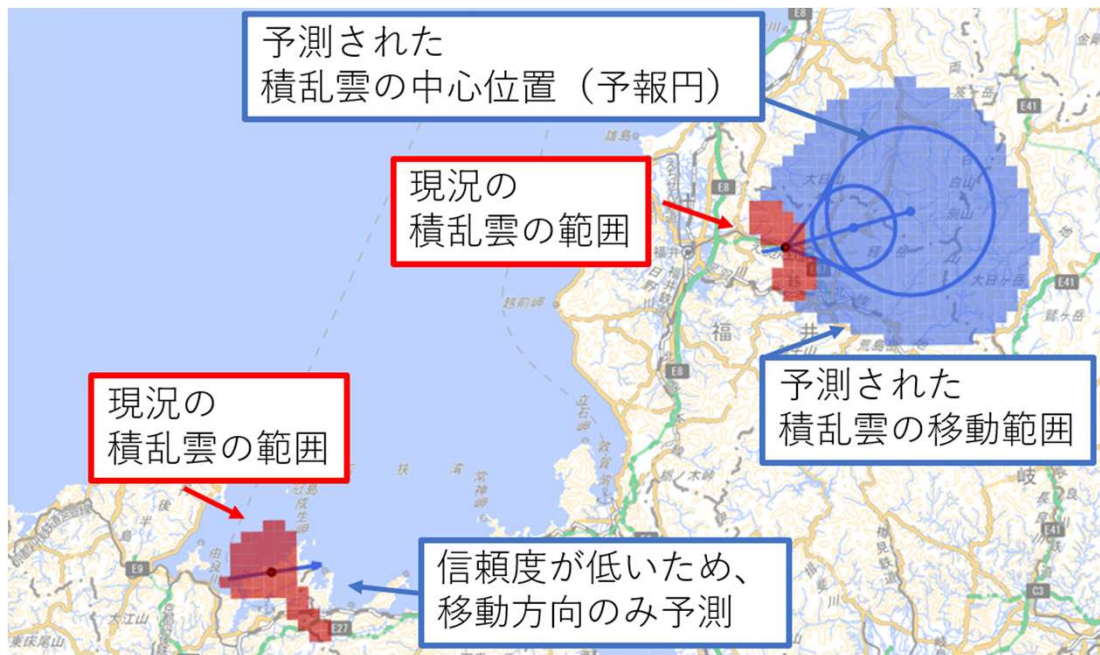
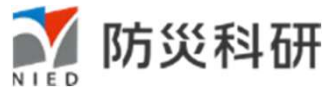


位置ずれ補正なし

水蒸気ライダー同化と位置ずれ補正の両方によって、より適切に災害発生の危険性を予測できた。

土砂災害警戒情報よりも40分早く、災害につながる可能性の高い大雨の発生を予測できた。→既存の警戒情報よりも避難に向けたリードタイムを長く確保できる可能性を示した。

内閣府BRIDGE「積乱雲危険度予測情報の研究開発と 社会実装モデルの展開」： 防災科研 清水慎吾



XRAIN2Dデータ（10分前～現在までの1分毎データ）と、セル追跡アルゴリズムAITCC（Shimizu and Uyeda, 2012）を用いて、積乱雲の検出・追跡を行い、その履歴情報から積乱雲の移動ベクトルおよびその信頼度を求める

積乱雲の重心位置を利用して1時間後の位置を推定
予報円の半径の大きさ2.5 km / 10分の割合で拡大

初期：AITCCの積乱雲判別の際に用いた楕円近似の長径 + 10 km
1時間先：初期の半径 + 15 km

1時間先までの予測精度検証

精度検証

- ・観測値としてLIDENを利用
 - ・予測時間に対して±5分毎のLIDENデータを合算して、観測あり/なしメッシュを作る
- ・XRAINのメッシュをベースに評価
- ・2024年夏季の九州の発雷4事例で捕捉率・空振り率を計算

予測時間	捕捉率	空振り率
10分先	95.17%	96.31%
30分先	87.96%	97.74%
1時間先	83.48%	98.68%

1時間先の捕捉率は約83%と高いが、空振り率も非常に高い(メッシュの設定の影響も)

実証実験結果

- ・2024年8月30日～10月24日に当該工場に通知したメール件数を示す

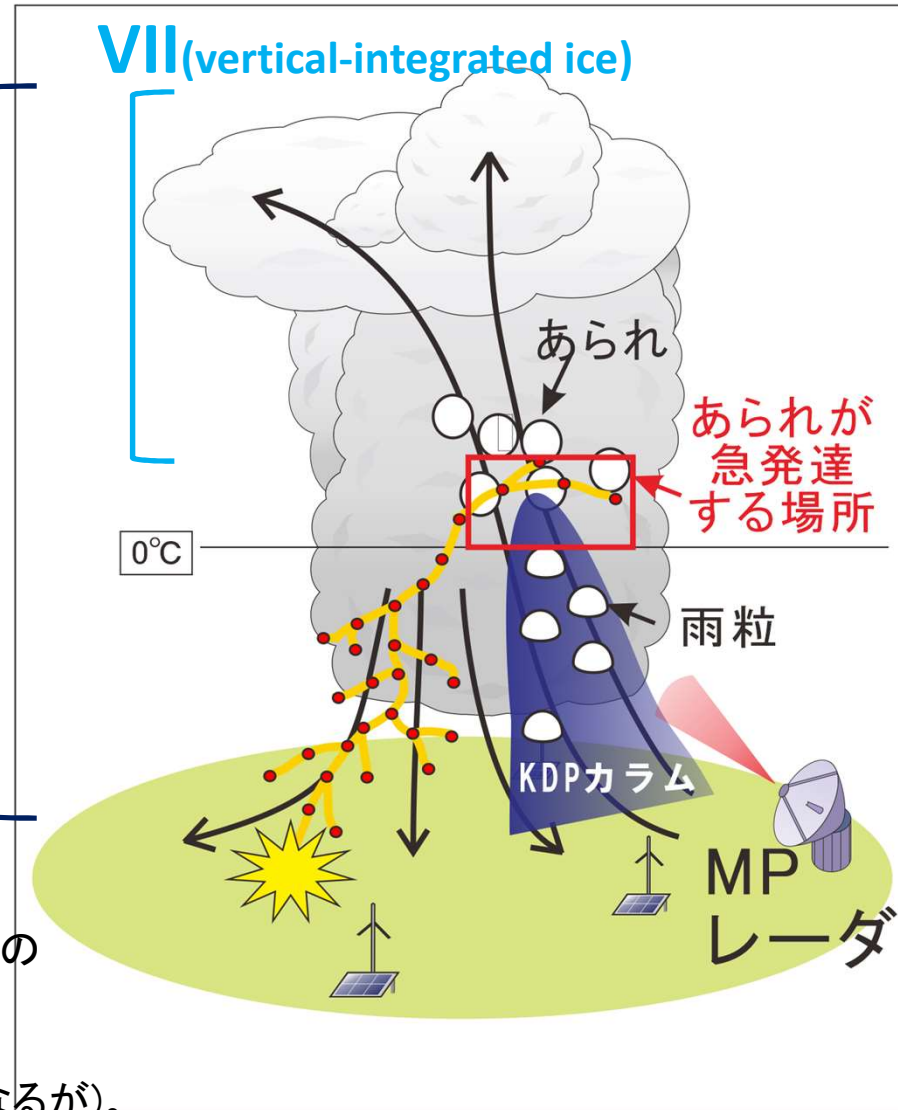
対象	1時間先	発雷
全期間(56日)	638	101
発雷日(11日)	327	101
非発雷日(45日)	311	0

発雷があった日に1時間先通知していないという日はなかったが、発雷通知に対して1時間先通知が6倍ほど多くなっている。発雷日に限ればその比率は3倍程度になっている。1時間先通知の約半分は非発雷日となっていた。

→空振り率を減らす取り組みが必要

落雷をもたらす
危険な積乱雲の判別

VIL
(vertical-integrated
liquid water)



過去5分間にLiden観測があった場合の積乱雲のみとすると、70%に下がり、VII(vertically-integrated ice)を利用すると50%程度になる(見逃しも多くなるが)。

国交省XRAINや
気象庁Cバンドレーダから
雷発生の前兆となる、
上空の個体降水粒子を
定量的に計測し、危険か
どうかを判別。

現在、
空振りを軽減させるために

- 1) VIIの閾値以上の積乱雲のみを追跡する (Moiser et al, 2011)
- 2) KDPカラムの自動検出を開発中。

を進めており、精度検証中

気象庁と防災科研の共同研究

「二重偏波気象ドップラーレーダーを用いた動径風の品質管理法と観測誤差推定法の開発」

気象庁メソ数値予報システムでは気象レーダーを利用。気象庁レーダーは順次二重偏波化を実施中。線状降水帯の予測精度向上には、観測データの更なる高度利用が重要な課題の1つであり、大学や研究機関が有する先端的な知見を活用することで、**観測データの高度利用に係る開発の更なる加速化**をめざす。学官連携の研究成果を速やかに社会実装するため、大学や研究機関及び気象庁が利用可能な共用計算機である**「富岳」**に、気象庁で運用している数値予報の予測計算のプログラムだけでなく、観測データの利用に**必要なプログラムを移植し、これを活用した新たな取組**として共同研究提案を募集。

令和5年からスタート。現在、2年目。

モチベーション「従来の単偏波低レーダーではclutter等の影響を受けたデータを除去するため、弱い風速(5m/s以下)を利用できていない。」

- 二重偏波化によるClutterの判別精度が向上している。
- ClutterMap(StaticなMAP)の整備・利用してclutterノイズの可能性のあるデータを同化しないようにすること等により、弱い風のデータを利用できるようにする。

NIEDのshaktiさんの論文の目的は、部分遮蔽によって弱められた反射強度を部分遮蔽率(BBR)で補正すること

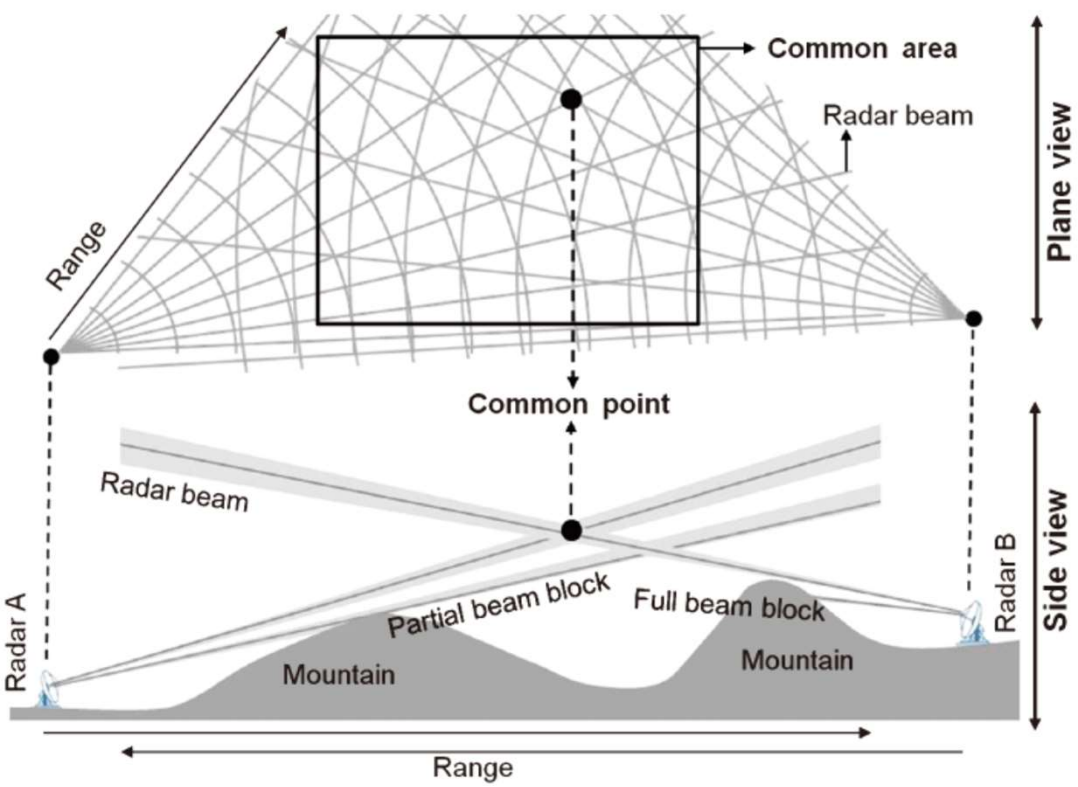


Figure 1. Observation using two radar systems: (top) plan view, (bottom) profile view. Selected common points and the area common to both radars' coverage are shown

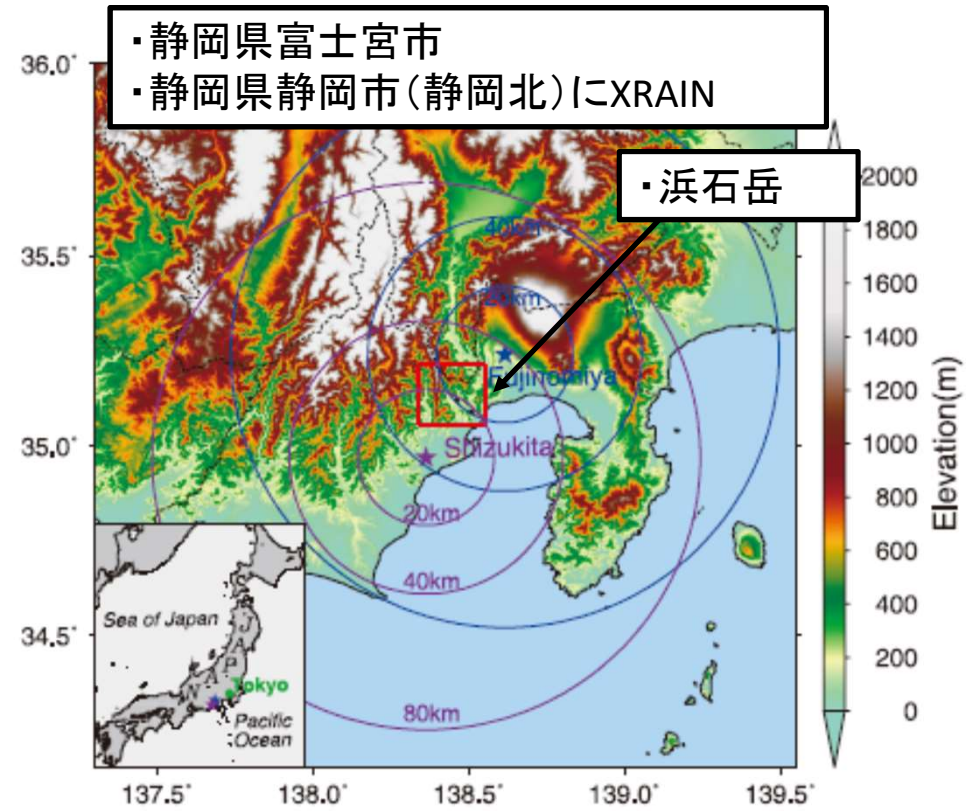


Figure 2. Topographic map of central Japan showing the locations of the Fujinomiya (blue star) and Shizukita (purple star) X-band weather radars and their range coverage profiles. The red rectangle marks the selected common area close to both radars

BBR(Beam Block Rate)は0から1として定義されており、0では全く遮蔽を経験しておらず、途中で遮蔽があると数字が増え、1になると完全に遮蔽されるという量

BBR<1だと一応反射強度が得られる。(図7で示すように過小評価)

反射強度をBBRの関数として補正するアルゴリズムを提案した。地上雨量でも検証を行った(Shakti et al2013)。

複数レーダで、Kdpで減衰補正した反射強度を比較して、同一の反射強度となったものをサンプルとして、補正係数を提案

(Kdpの場合、部分遮蔽(0.3程度)があっても影響が少ない)

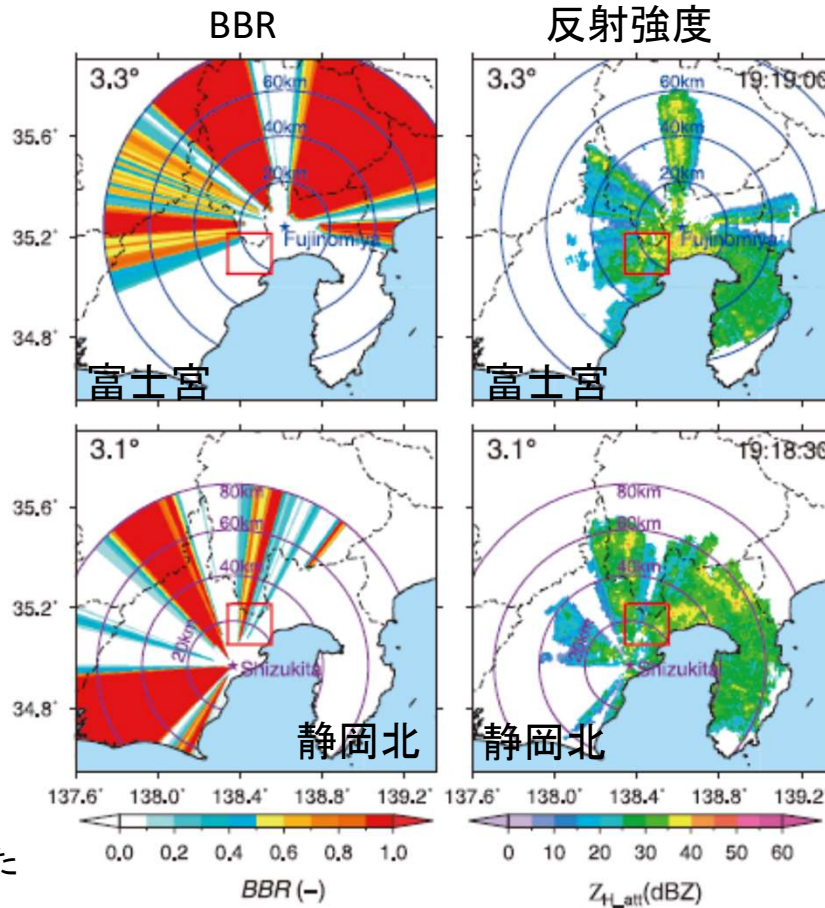
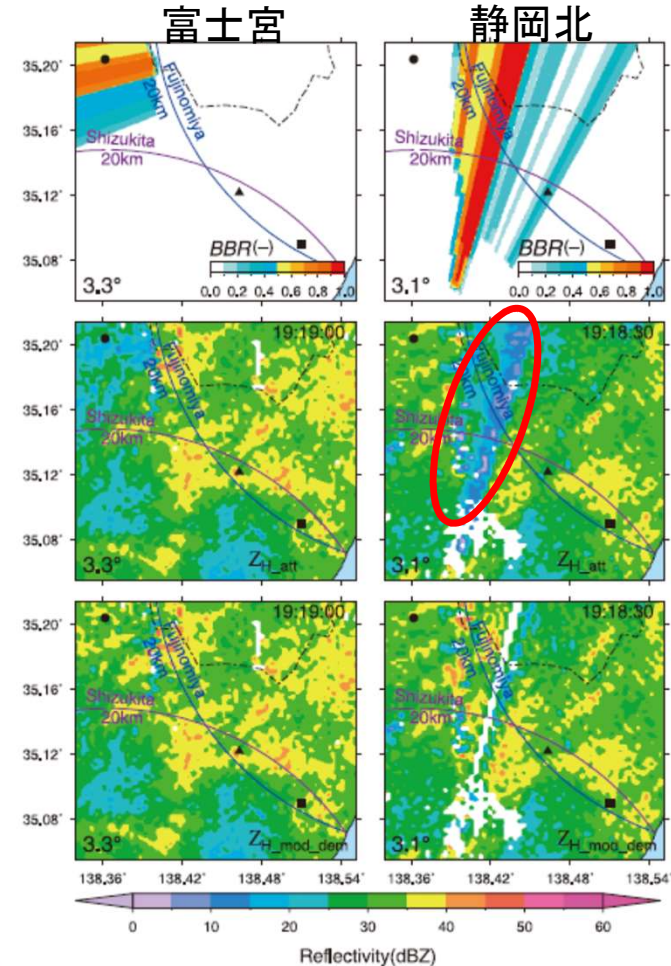


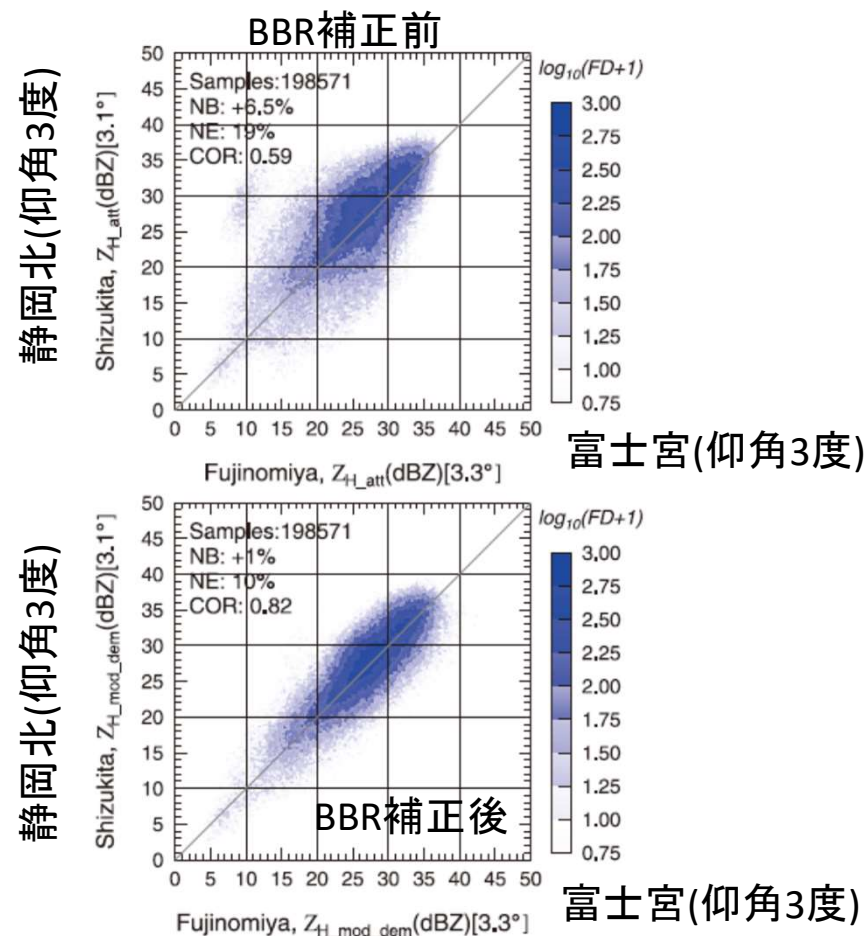
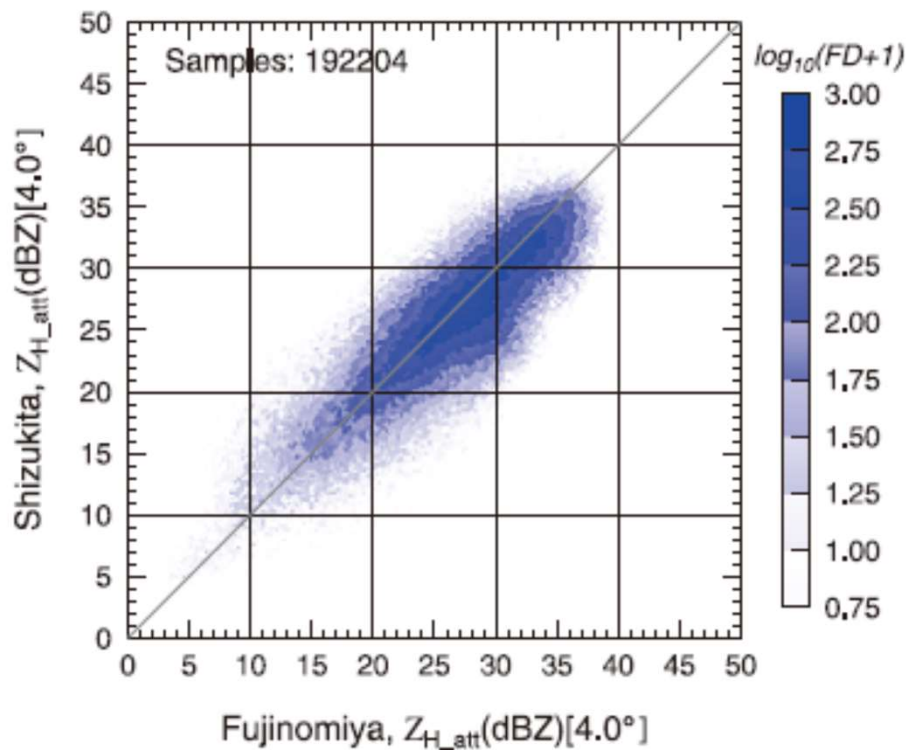
Figure 3. BBR (left) and Z_{H_att} (right) profile of the Fujinomiya and Shizukita radars for elevation angles of 3.3° (top) and 3.1° (bottom). The red rectangle marks the selected area common to both radars



部分遮蔽がある静岡北の反射強度が過小評価

Figure 7. PPI images of BBR, Z_{H_att} , and $Z_{H_mod_dem}$ (from top to bottom) for elevation angles of 3.3° (left) and 3.1° (right) for the Fujinomiya and Shizukita radar observations, respectively, observed on 2 May 2012

仰角4度では2台のレーダの減衰補正済みの反射強度は概ね一致するサンプル



水平分解能50mの標高データがあれば、精度の高い部分遮蔽の分布を日本全国で導出可能である。レーダーのビーム幅、レーダの設置高度、レーダの設置場所のジオイド高度を入力することで、任意の仰角での遮蔽率を計算するプログラム

- ・気象庁のレーダに適用し、部分遮蔽があるような仰角と方位のデータをデータ同化に利用しない
- ・部分遮蔽がない場合、5m/sの速度については、ドップラー速度の同化を行う

O-B平均

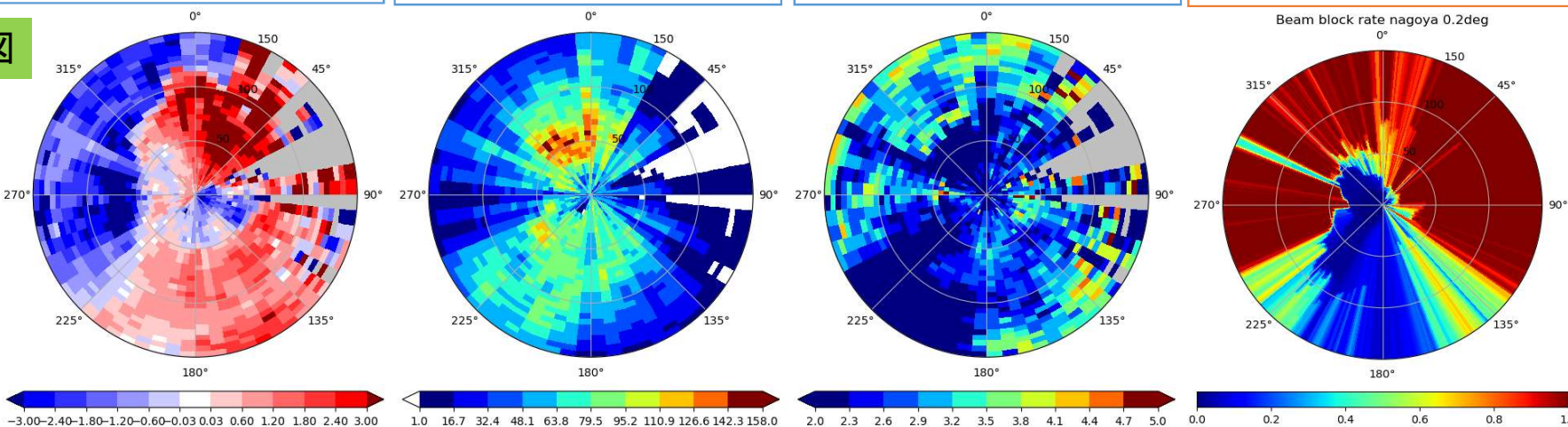
データ数

O-B標準偏差

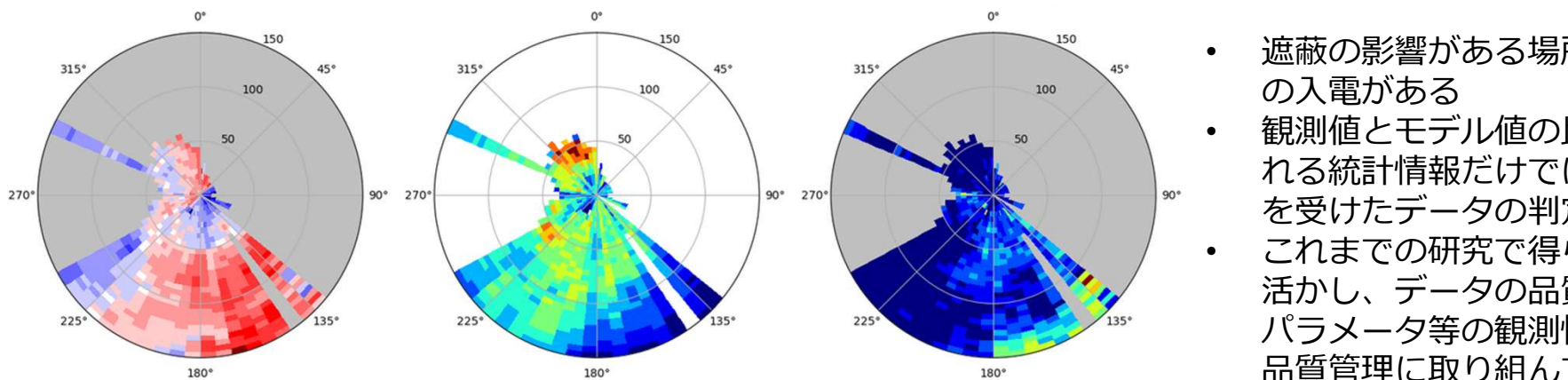
遮蔽率

気象庁作図

遮蔽QC前



遮蔽QC後



- ・遮蔽の影響がある場所でもデータの入電がある
- ・観測値とモデル値の比較から得られる統計情報だけでは遮蔽の影響を受けたデータの判定ができない
- ・これまでの研究で得られた知見を活かし、データの品質調査、偏波パラメータ等の観測情報を使った品質管理に取り組んでいる。

1. 内閣府第2期SIPで整備した水蒸気ライダー同化および最大値フィルターで線状降水帯による数十年に一度の大雨の分布を再現できた。水蒸気観測のみならず、背景誤差共分散行列や最大値フィルターの水平距離の感度が大きく、「観測(+観測誤差相関行列)」+「背景誤差相関行列」+「位置ズレ許容」の3つの要素を同時に検討していく必要がある。(Kato et al., 2024 JMSJ)
2. 内閣府BRIDGEにおいて、二重偏波レーダネットワーク(XRAIN)を活用した積乱雲の移動予想の実証実験を通して、1時間以内の予測を提供した。雷予測の場合、30分先であっても、空振りが大変多く(90%)、反射強度のみでの予測は実用的ではない。過去5分間にLiden観測があった場合の積乱雲のみとすると、70%に下がり、VII(vertically-integrated ice)を利用すると50%程度になるが、見逃しも多くなってくる。
3. 気象庁と防災科研の共同研究 「二重偏波気象ドップラーレーダーを用いた動径風の品質管理法と観測誤差推定法の開発」において、レーダービームの部分遮蔽プログラムを防災科研が気象庁に提供。部分遮蔽が懸念されるデータを同化しない、品質管理へ利用が可能か？
部分遮蔽が懸念されない弱風域を同化した場合の同化インパクトについて、調査を進めている。