

# 二重偏波データを利用した 速報版降水短時間予報の開発

令和6年3月

気象庁 大気海洋部 業務課 気象技術開発室

気象技術開発室では、速報版降水短時間予報の初期値作成において、二重偏波情報のうちKdp(水平偏波と垂直偏波の位相差の変化率)を利用するための開発を行ってきました。その結果、予測精度の向上が確認できたため、2023年10月26日にルーチン化されました。

本資料では、Kdpの利用方法、及び、予測結果の概要について、紹介します。

# 目次

- 概要
- 初期値作成手法と初期値の精度検証
- 事例検証
- 統計検証
- まとめと今後



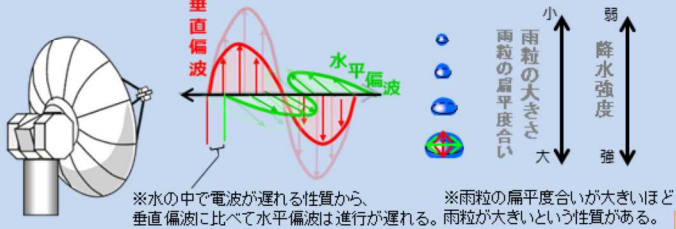
# 概要

# 解析雨量等への二重偏波情報を利用した降水強度推定の導入

## 二重偏波レーダーの仕組み

偏波間の位相差

偏波間の振幅の比



二重偏波レーダーへの更新により、反射強度の情報に加え、以下の新たな観測情報が利用可能となる。

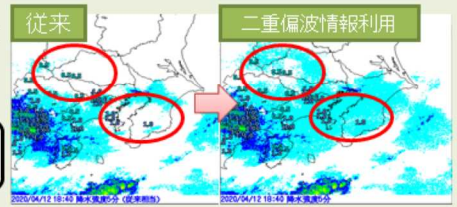
- ✓ 偏波間の振幅の比の情報  
→ 振幅の比から雨粒や非降水性粒子の形状がわかることを利用した品質管理
- ✓ 偏波間の位相差情報  
→ 電波の経路上で生じる位相差を活用して反射強度の減衰量を推定  
→ レーダーからの距離ごとの位相差の変化量から強い降水をより高精度で推定
- ✓ 位相・振幅の比の変動情報  
→ ノイズや地形等からの散乱波は位相・振幅が安定せず変動する性質を利用して品質管理

解析雨量に導入

## 降水強度を正確に推定

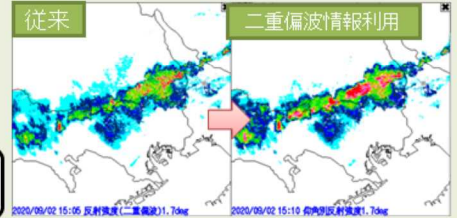
① 品質管理能力が大幅に向上しノイズと区別した弱い雨の情報を抽出

レーダー更新時に適用済み



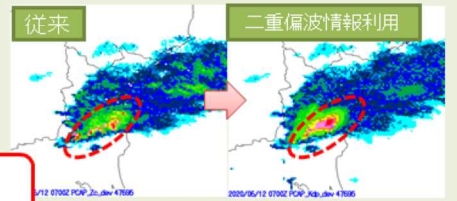
② 雨による電波の反射強度の減衰の影響(過少評価)を補正した降水強度分布を作成

レーダー更新時に適用済み



③ 雨粒の大きさではなく雨の量を測ることによりより高い精度で強雨域の降水強度推定

**R5.5.23 10サイトについて速報版解析雨量に導入**



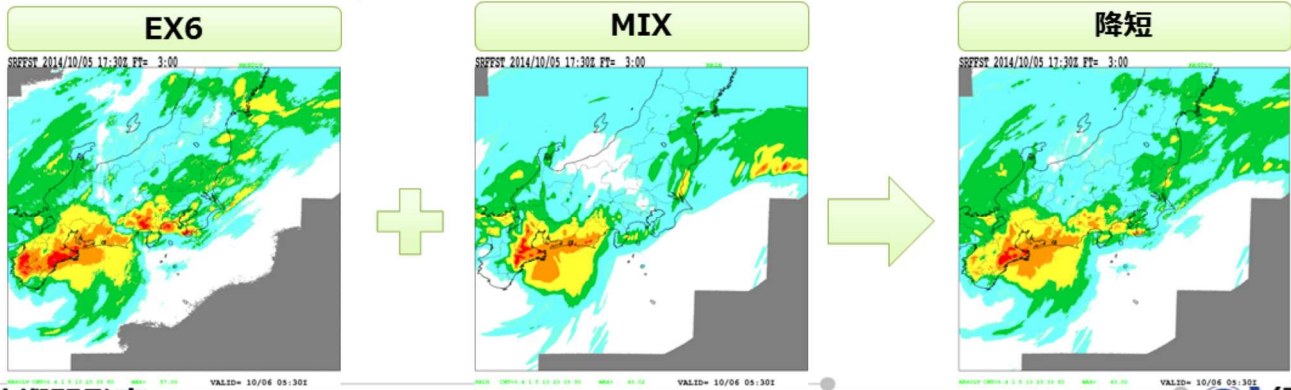
このスライドは、二重偏波レーダーの仕組み、及び、二重偏波を利用することによるメリットです。二重偏波情報を利用することにより、品質管理が強化されるだけでなく(右側の①及び②)、強雨域の降水強度の推定精度が向上します(右側③)。

なお、これら詳細については、「解析雨量」の項を参照願います。

# 降水短時間予報（降短）とは

- 最新のレーダー雨量を初期値とし、過去の解析雨量から求めた雨域移動速度を用い、地形による雨雲の発達や衰弱を加味して予測した降水量（実況補外予測：EX6）と、LFMとMSMの降水量予測値（ガイダンスまたはGPV）を重み付き平均した降水量予測値（MIX）とを組み合わせることにより、6時間先までの1時間ごとの降水量を1km四方の細かさで予報するもの
- 降水短時間予報は、30分毎に作成
- 速報版降水短時間予報（平成30年3月から運用開始）は、10分毎に作成
- 初期値は雨量計の観測値によって補正を行う

→速報版降水短時間予報において、令和5年10月から、強い雨では雨量計による補正を行わずに、二重偏波レーダーの情報（Kdp）を用いた解析結果の利用を開始。



気象技術開発室

気象庁  
Japan Meteorological Agency

ここでは、降水短時間予報の概要について、紹介します。

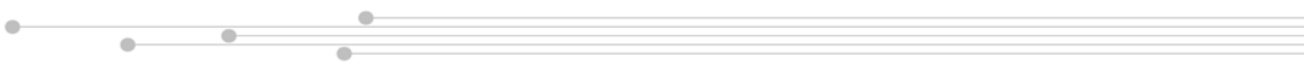
降水短時間予報は、実況補外予測（EX6）と各種数値予報モデルの降水量予報値（MIX）を組み合わせたものであり、6時間先までの1時間ごとの降水量を1kmメッシュで予測したものです。

実況補外予測（EX6）とは、過去の解析雨量から求めた雨域移動速度（移動ベクトル）を用い、地形による降水の発達・衰弱を加味して予測したものです。

各種数値予報モデルの降水量予報値（MIX）とは、LFMとMSMの降水量予報値（ガイダンスを含む）を重み付き平均して作成しております。

なお、降水15時間予報（7時間先から15時間先までの降水短時間予報）はここでは取り上げません。

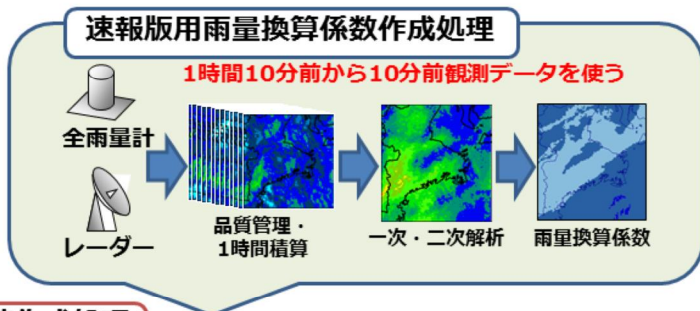
降水短時間予報には、30分ごとに作成される正規版降水短時間予報、10分ごとに作成される速報版降水短時間予報の2つのプロダクトがありますが、二重偏波情報のひとつであるKdpの利用を開始したのは速報版降水短時間予報になります。



# 初期値作成手法と精度検証

# 速報版降短初期値の作成手法

## 速報版雨量換算係数作成処理

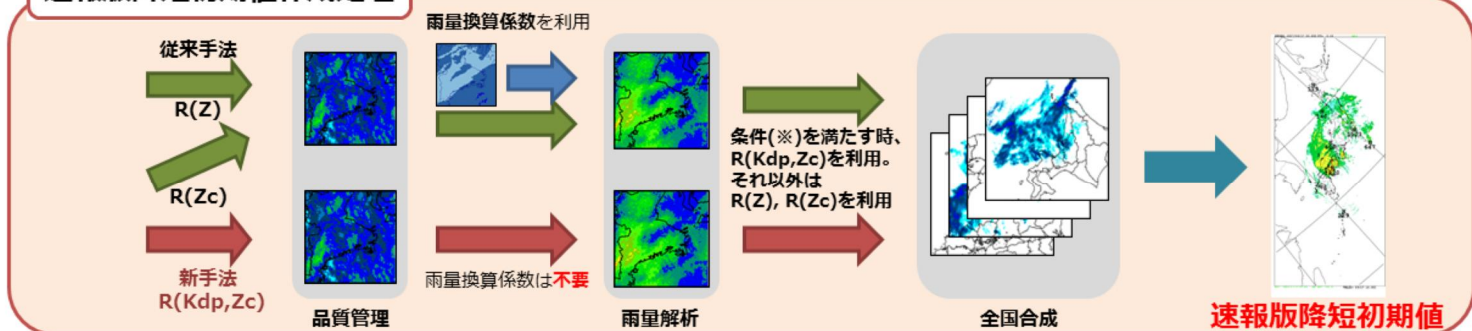


二重偏波情報 Kdp を活用した降水強度  $R(Kdp, Zc)$  は、従来の単偏波による降水強度  $R(Z)$ ,  $R(Zc)$  より、高い精度で強雨域の降水強度が推定できる。

$R(Kdp, Zc)$  を利用する条件 (※)

- ・ 6mm/h以上の降水
- ・  $R(Kdp, Zc)$  が、 $R(Z)$ ,  $R(Zc)$  を補正した解析から大きくはずれた解析とならないように利用する

## 速報版降短初期値作成処理



気象技術開発室

7 気象庁  
Japan Meteorological Agency

ここでは、速報版降水短時間予報の初期値作成手法について、解説します。

降水短時間予報の初期値は、解析雨量をそのまま利用しているのではなく、品質管理済みのレーダー降水強度に雨量換算係数を適用させる(雨量解析)ことにより作成しております。

この雨量換算係数は、解析雨量の処理において雨量計データを用いて作成されるデータになります。速報版降水短時間予報は、プロダクト配信の都合上、10分前までの観測データを利用していることから雨量換算係数に誤差が入ってしまいます。

しかし、Kdpを利用することにより雨量換算係数を利用しなくても強い降水の精度が向上します。

初期値作成処理の流れですが、二重偏波レーダーでは、

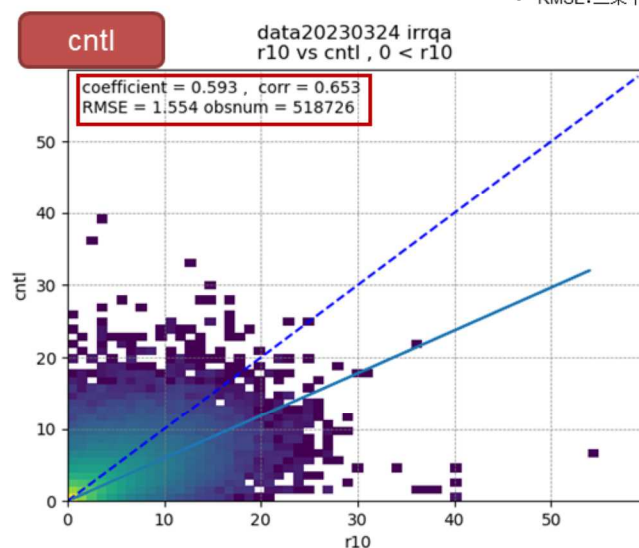
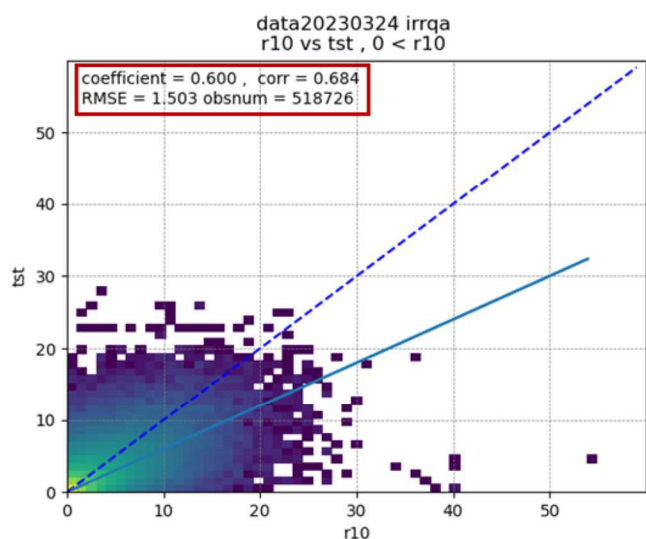
- ①レーダーの反射強度(Z)から推定される降水強度を雨量換算係数で補正した雨量解析値(従来の手法)
  - ②二重偏波情報(Kdp)を用いた雨量解析値
- の2つのデータを作成し、6mm/h以上の降水において②を利用することになります。ただし、①と②で雨量が大きく異なる場合は、プロダクトの性質を考慮して①を利用する場合があります。

# 速報版降短初期値の検証 2022/6, 7, 8

- 合成済み速報版降短初期値(強度)を10分値換算して雨量計10分値と比較
- testで良好

test: Kdpを利用した初期値  
cntl: Kdpを利用しない従来の初期値

- coefficient: 回帰直線の傾き
- corr: 相関係数
- RMSE: 二乗平均平方根誤差



このスライドでは、速報版降水短時間予報の初期値の精度を確認するため、雨量計10分値と比較した結果になります。

左図(test)はKdpを利用した結果、右図(cntl)は従来の結果であり、横軸は雨量計観測、縦軸が速報版降水短時間予報の雨量になります。

testとcntlの統計結果を比較すると、

- 回帰直線の傾き: test = 0.6、cntl = 0.593
- 相関係数: test = 0.684、cntl = 0.653
- RMSE: test = 1.503、cntl = 1.554

となり、Kdpを利用することにより雨量計との対応が良くなっており、初期値の精度が改善していることが分かります。

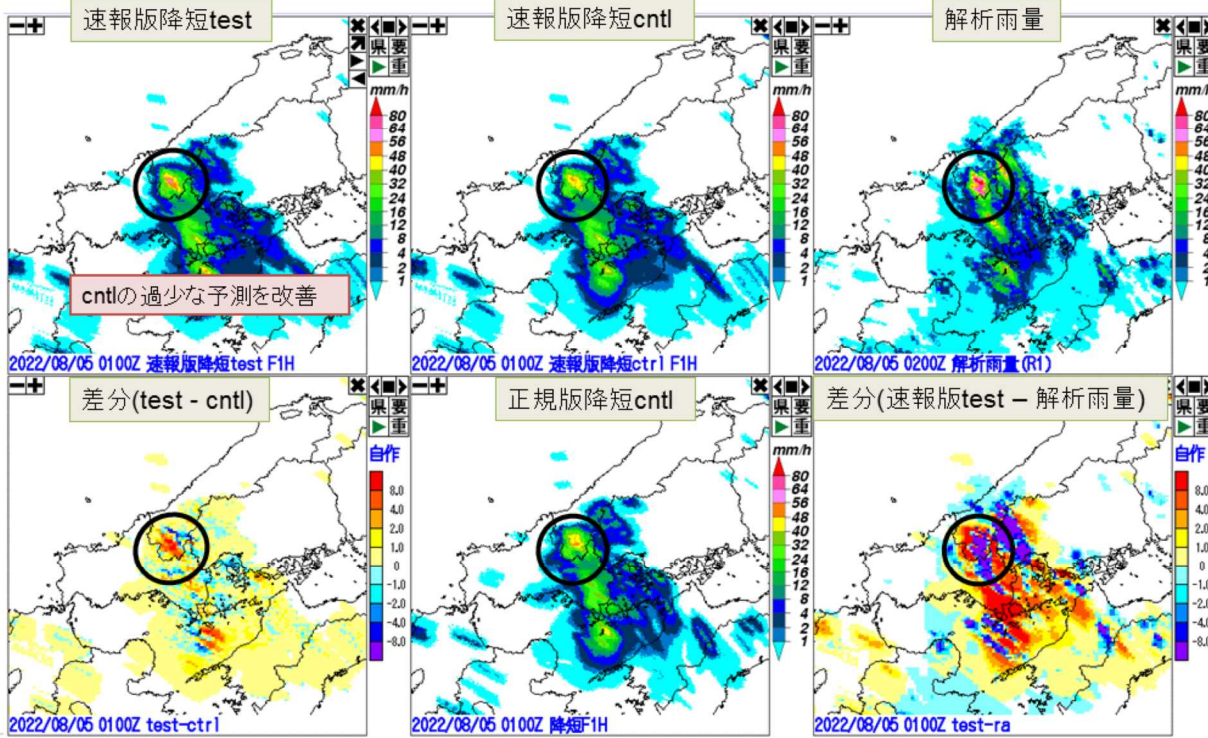


# 事例検証

# 事例

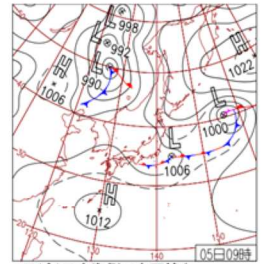
test: 二重偏波情報を利用した予測  
cntl: 二重偏波情報を利用しない予測

8/5 01:00初期値  
FT=1で比較



局地的な降水でcntl予測を改善した事例:

- 降水の時間変化が大きいため、雨量換算係数による補正が追いついていないとみられる初期値の解析を改善。
- このような局地的な降水で改善事例を多く確認。



5日(金)日本海側で大雨続く  
上空寒気や暖かく湿った空気の流入により西日本や北陸で大雨。福井・滋賀・島根県では記録的短時間大雨情報発表が同地域に複数回発表も。福井県今庄74mm/1hなど観測史上1位。

気象技術開発室

10 気象庁 Japan Meteorological Agency

ここでは、Kdpを利用することにより改善した速報版降水短時間予報の初期値から予測した結果の事例紹介を行います。

この図は、2022年8月5日01UTC初期値のFT=1の予測結果であり、Kdpを利用した予測結果をtest、従来の予測結果をcntlとします。

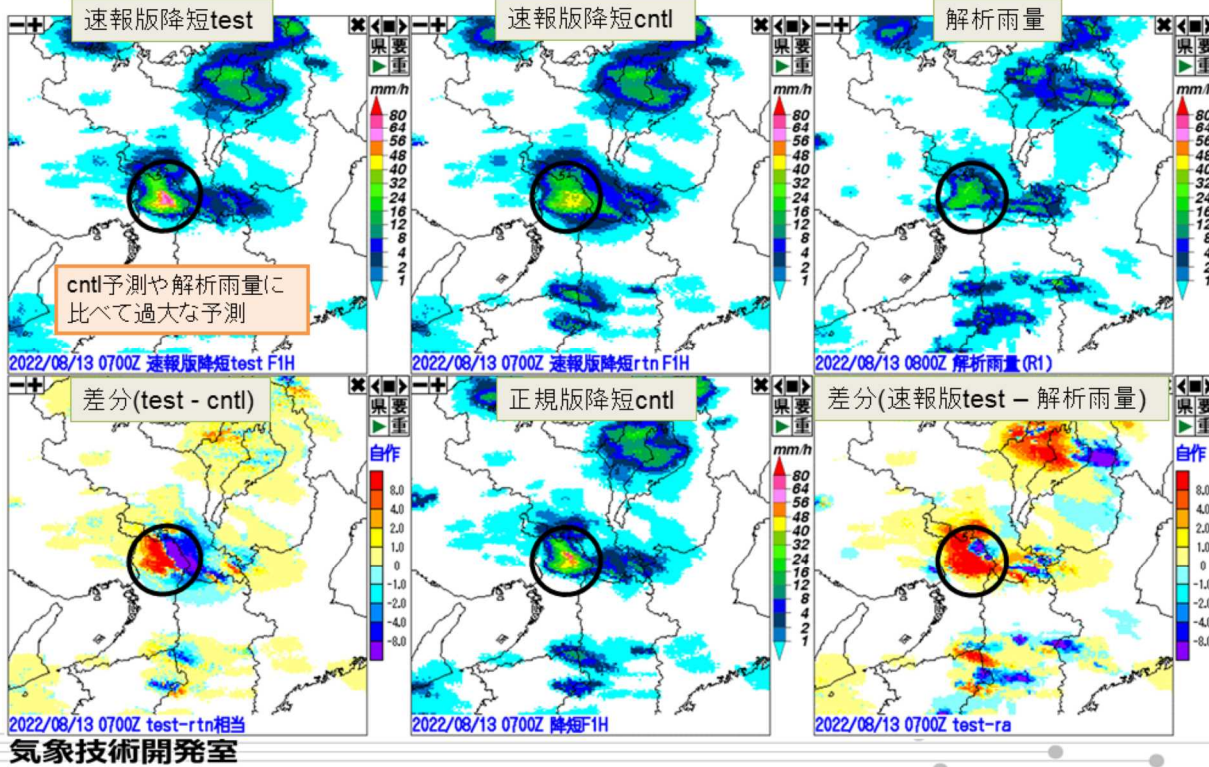
なお、この日は下層暖湿気の影響で大気の状態が不安定であった事例になります。

解析雨量(上段右図)を見ると、黒○に示す山口県・広島県・島根県の県境付近に強い降水があり、testではcntlに比べて強い降水が予測できていることが分かります。

# 事例

test: 二重偏波情報を利用した予測  
cntl: 二重偏波情報を利用しない予測

8/13 07:00初期値  
FT=1で比較



- 局地的な降水でcntl予測と差がある事例:
- testはcntlに比べて強い降水予測。
  - 実況では07~08UTCにかけて降水が弱まったため、過大が目立っている。
  - ただし、正規版降短の予測に近づいており、初期値の解析は精度が高まっていると言える。
  - 初期値の分布が変化したため、移動ベクトルがやや小さくなっているのも予測が強まったことに影響(局地的な降水では移動ベクトルのスピードにより積算雨量は大きく変化)。

この事例は、2022年8月13日07UTC初期値のFT=1の予測結果です。

この日は、台風8号が伊豆半島に上陸した事例で、台風周辺の下層暖湿気の影響で東日本を中心に強い雨となった事例です。

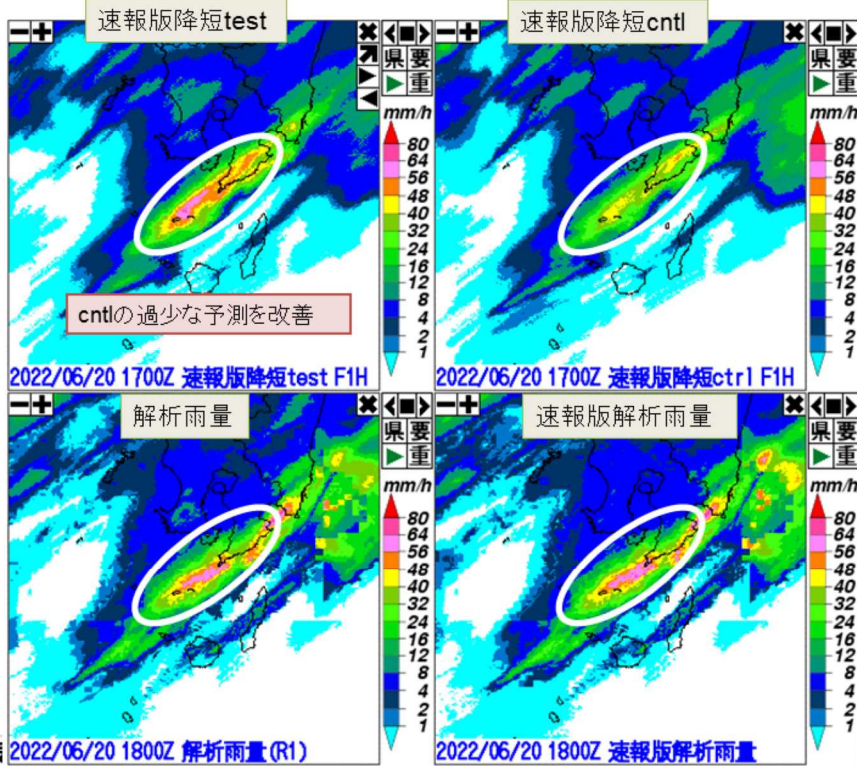
解析雨量(上段右図)を見ると、黒○に示す大阪府の北部において30mm/h程度の降水があり、testはcntlに比べて過大な雨量が予測されています。

初期値(図略)でtestとcntlを比較すると、testの方が強い降水を表現できていること、及び、実況との対応も良いことから、初期値としては精度が改善されております。しかし、解析雨量の推移(図略)を確認すると、この強い降水は1時間後の08UTCで急速に弱まっています。

このように、Kdpを利用することにより初期値の精度は改善されているものの、降水短時間予報では降水の発達・衰弱の表現が不十分であるため、この事例のように急速に降水が強まる・弱まる場合には、これまでと同様の利用方法でお願いいたします。

# 事例

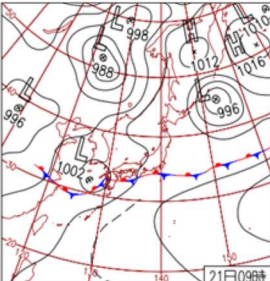
test: 二重偏波情報を利用した予測  
 cntl: 二重偏波情報を利用しない予測



6/20 17:00(UTC)初期値  
 FT=1で比較

海上から陸上に移動する降水の予測を改善した事例:

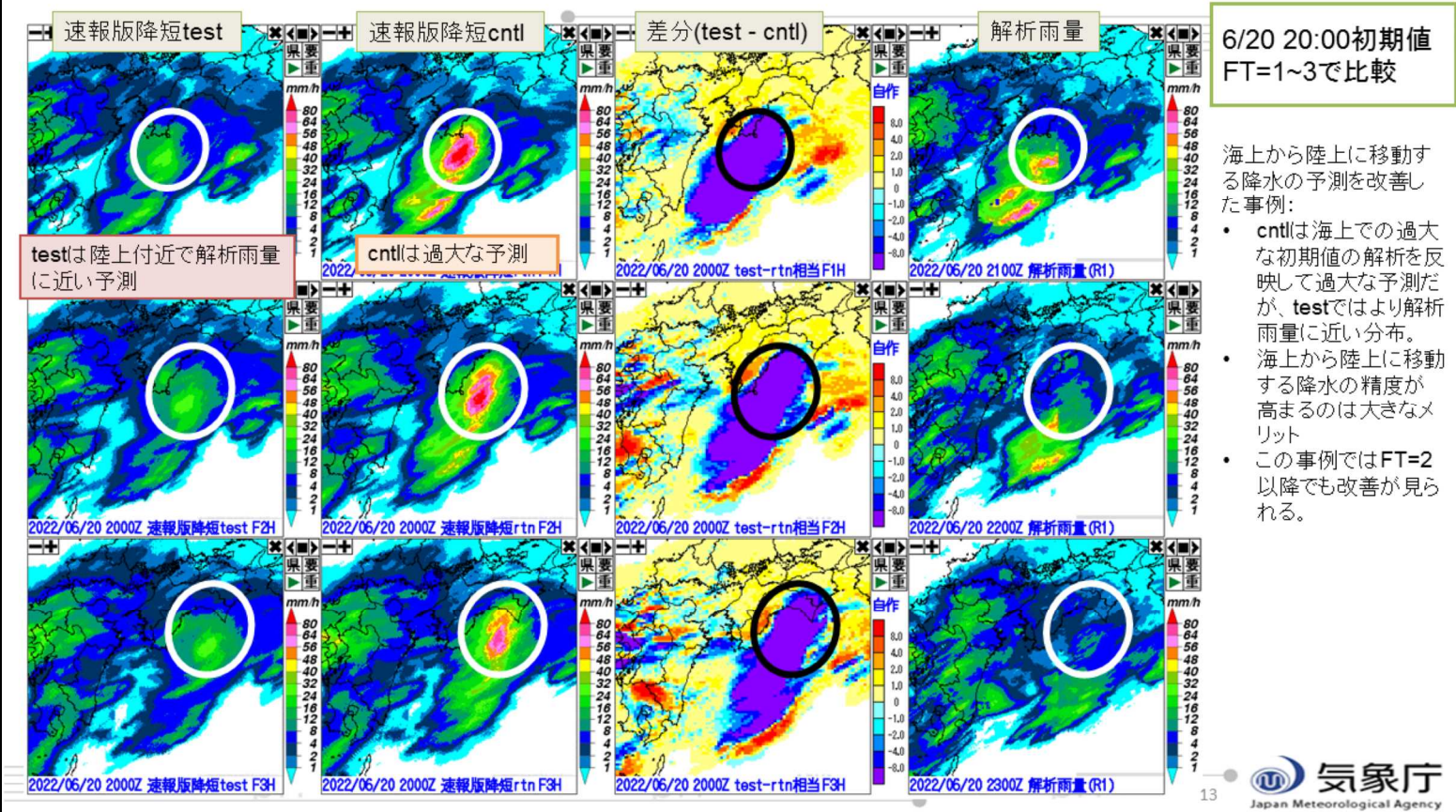
- 降水域が南西の海上から陸上に流入
- testは解析雨量により近い降水量分布
- 雨量計での補正が難しい海上から陸上に移動する降水の精度が高まるのは大きなメリット



21日(火)青ヶ島で記録雨  
 高気圧に覆われた北日本は晴れや曇り。梅雨前線の北上により沖縄・奄美は晴れたが梅雨前線の活動が西から活発となり、西～東日本は広範囲で雨で前線付近は大雨や雷雨の所も。

次に、初期値で海上の雨量精度が改善した結果、陸上に流れ込んでくる雨域の予測精度が改善した事例として、2022年6月20日17UTC初期値のFT=1の事例を紹介します。  
 この日は、九州付近に梅雨前線があり、強い雨が降った事例になります。  
 図は、左上がtestのFT=1、右上がcntlのFT=1、左下が解析雨量、右下が速報版解析雨量になります。

スライド3-5で説明したとおり、Kdpを利用することにより雨量換算係数を利用しなくても精度の高い初期値を作成することが可能になります。  
 このことは、雨量計が無い海上においても初期値の精度が改善し、正のインパクトが期待されます。  
 結果として、testでは初期値において鹿児島島の南海上の降水の表現が改善され、FT=1で大隅半島南部に入ってきた強雨域を降水短時間予報で予測することが可能になりました。



この事例も海上の降水域の表現が改善された事例ですが、一つ前のスライドとは逆にcntlで雨量が過大となっている事例を紹介します。

事例は、2022年6月20日20UTC初期値のFT=1~3の予測結果です(スライド9と同じ日の事例になります)。

図は、1段目がFT=1、2段目がFT=2、3段目がFT=3であり、左からtest、cntl、testとcntlの差、解析雨量になります。

cntlの初期値(図略)では、足摺岬の南側に過大な降水域があり、これがFT=1~3にかけて北東に進む予測になっておりますが、解析雨量にこのような強い降水域は見られません。

一方、testでは、cntlに見られた過大な降水域は見られず、FT=1~3の予測結果においても解析雨量に近い予報になっております。

このように、Kdpを利用することにより、海上においても初期値の精度が改善し、海上から入ってくる雨量についても良い結果となっています。

# 統計検証

- 検証期間: 2022年6月1日01:00~9月1日00:00(UTC) の60分ごとの予測
- 5km平均値
- 対象: 二重偏波情報を利用する10サイトの周辺200km以内の陸上格子
- TS(スレットスコア)、BI(バイアスコア)
- 真値: ルーチン版解析雨量
- 対象
  - 速報版降水短時間予報`cntl` <-二重偏波情報を利用しない予測
  - 速報版降水短時間予報`test` <-二重偏波情報を利用した予測

• スレットスコア: 降水予測的中した割合を示す指標で、最大値の1に近くなるほど予測精度が高いことを意味する。

$$\text{スレットスコア} = \frac{FO}{FO + XO + FX}$$

• バイアスコア: 降水の予測頻度を表す指標で、1のとき予測頻度が実況頻度と一致、1より小さいとき予測頻度が実況頻度より過小、1より大きいとき予測頻度が実況頻度より過大を意味する。

$$\text{バイアスコア} = \frac{FO + FX}{FO + XO}$$

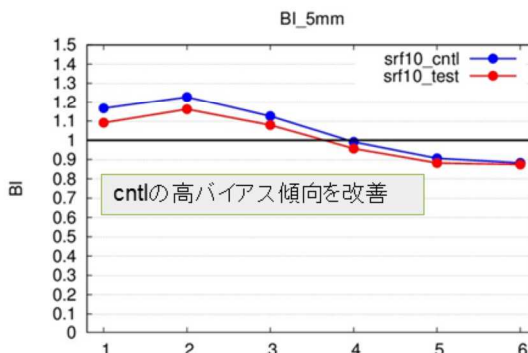
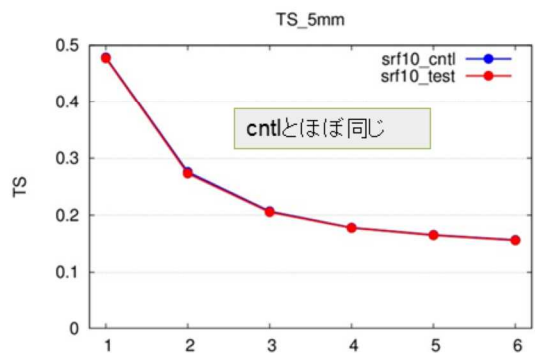
		実況	
		あり	なし
予報	あり	FO	FX
	なし	XO	XX

ここからは、統計検証の結果について、紹介します。  
検証の詳細については、スライドに記載されている通りです。

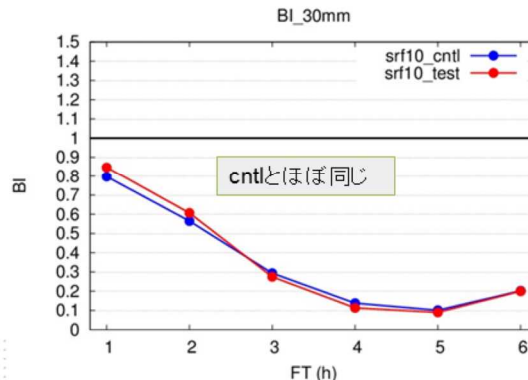
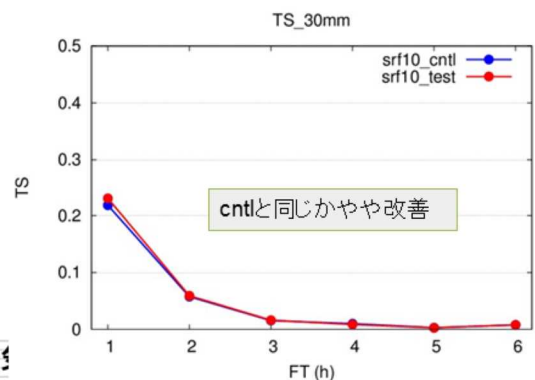
# 統計検証

しきい値5mm(上段),30mm(下段)のFTごとのスコア

srf10\_cntl 速報版降短cntl  
srf10\_test 速報版降短test



- 速報版降短testとcntlのスコアの差は予報初期ほど大きい。差があるのはFT=3前後まで。



予報時刻毎のスレットスコアとバイアススコアについて示します。

図は、上段が降水しきい値5mm/h、下段が降水しきい値30mm/h、左側がスレットスコア、右側がバイアススコアになります。

また、各図の横軸は予報時刻、縦軸がスコア、赤線がtest、青線がcntlです。

降水しきい値5mm/h(上段)を確認すると、スレットスコアには大きな差は無いものの、バイアススコアでは予報前半を中心に1.0に近づいています。

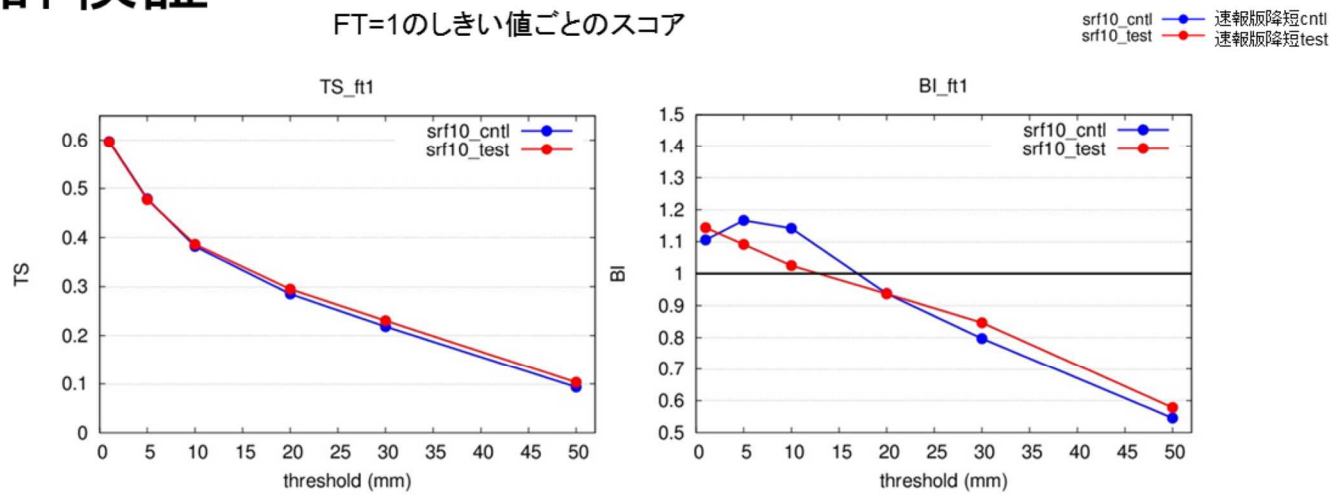
降水しきい値30mm/h(下段)では、バイアススコアの差はほとんど無いものの、スレットスコアではFT=1で僅かに改善しております。

統計検証の結果から、

弱い雨(降水しきい値5mm/h程度)においては予報前半を中心に雨量予測頻度が実況に近づいており、強い雨(降水しきい値30mm/h程度)については、FT=1で若干改善するといった結果になりました。

# 統計検証

FT=1のしきい値ごとのスコア



- スレットスコア
  - ctrlと同じかやや改善
  - 特に強雨のスレットスコアを改善
- バイアスコア
  - ctrlの弱い雨の高バイアス傾向を改善
  - ctrlの強い雨の低バイアス傾向を改善

ここでは、FT=1の予測について、降水しきい値ごとに検証した結果を示します。

左図がスレットスコア、右図がバイアスコア、赤線がtest、青線がctrlです。また、横軸は降水しきい値、縦軸はスコアになります。

前のスライドで述べたとおり、弱い雨(降水しきい値10mm/h程度)ではバイアスコアが1.0に近づき、強い雨(降水しきい値30mm/h程度)ではスレットスコアが改善していることが分かります。



# まとめ

- 速報版降水短時間予報の初期値にKdpを利用する開発を行い、予測精度の向上を確認。
  - 2023年10月26日にルーチン化
- 統計検証では、スコアは現在と同じかやや改善
  - 予報期間初期での強い雨のスレットスコアを改善
  - 予報期間初期での弱い雨の過大傾向を改善
  - 予報期間後半は大きく変わらない
- 局地的な強雨で予測を改善する事例を確認
  - 改善する事例が多いが、一部結果として予測が改悪となる事例もある。
  - 降水強度の解析が異なる他に、降水強度分布が変わることにより、移動ベクトルが変化する場合もある。
- 海上から陸上に移動する降水の精度が高まる事例を確認

速報版降水短時間予報の初期値作成において、二重偏波情報のうちKdpを利用した結果、初期値の精度が改善し、予測結果に以下のインパクトがあることを確認しました。

統計検証では、予報期間初期で強い雨のスレットスコア、及び、弱い雨のバイアスコアが改善しました。なお、予報期間後半は予報特性に大きな変化はありません。

事例検証では、局地的な強雨で予測が改善する事例があり、特に海上から陸上に入っていく降水域の精度に改善がみられました。

しかし、降水の発達・衰弱が1時間で急激に変化する事例で改悪する事例もあり、このような事例における予測精度を向上させるため、今後も継続して開発していきます。

# 今後

- 今年度以降に二重偏波化されるレーダーサイトについても、順次Kdpの利用を開始予定
- 正規版降水短時間予報についても、今後利用開始に向けた開発を進める予定

今後も、二重偏波レーダーに更新されたサイトを随時利用していくとともに、正規版降水短時間予報にも導入していく予定です。