

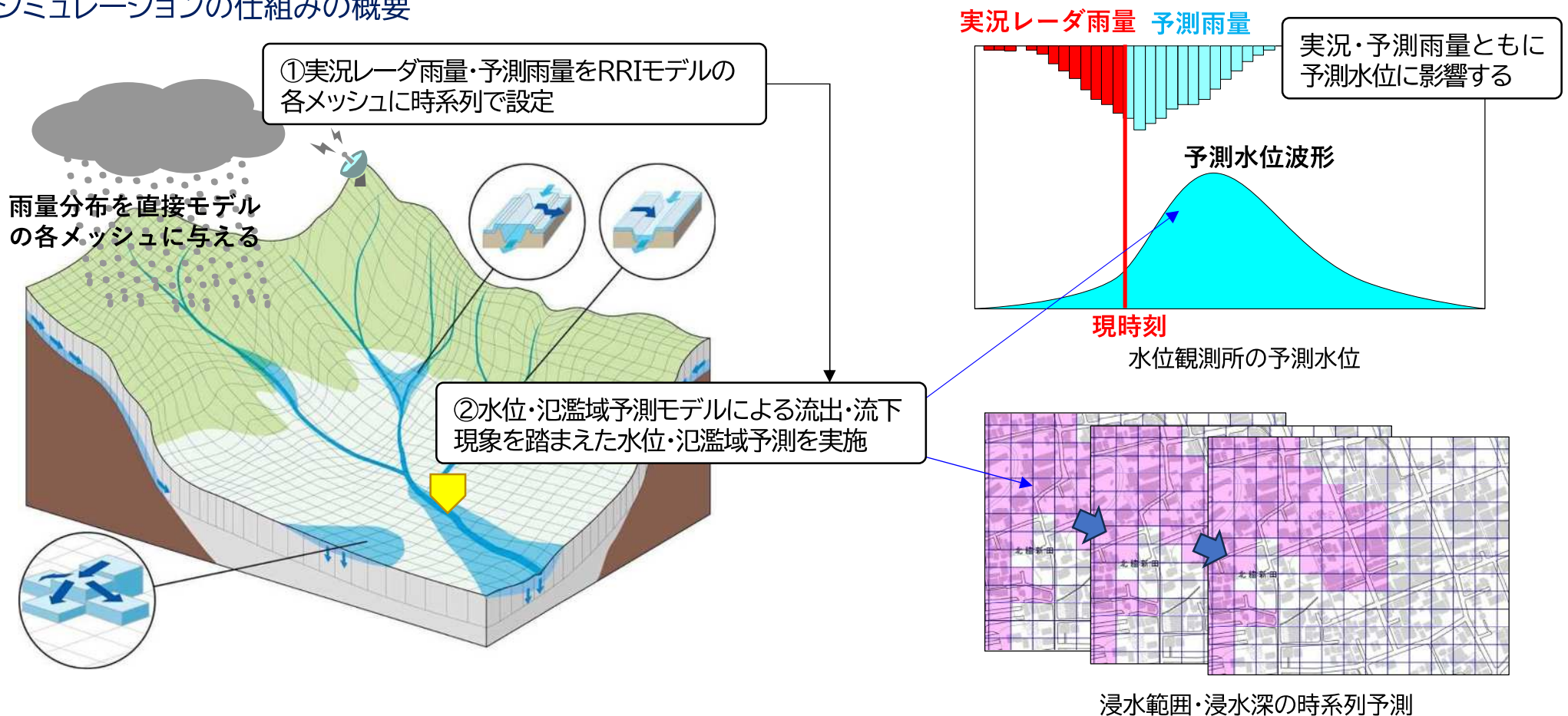
## 2. 実況・予測雨量の精度検証

# 実況レーダ雨量・予測雨量のモデルへの取り込み

- 予測計算においては、予測モデルの入力値(境界条件)として、実況レーダ雨量・予測雨量を与え、将来の水位・氾濫域のシミュレーションを実施
- 水位・氾濫域を高精度に予測(最大15時間先まで※)するため、**精度の高い実況レーダ雨量・予測雨量データをシミュレーションに取り込むことが重要**

※ 15時間先まで予測することで、大雨となる時間帯(翌朝等)や場所の見込みを前日の夕方時点で把握可能

## ■シミュレーションの仕組みの概要

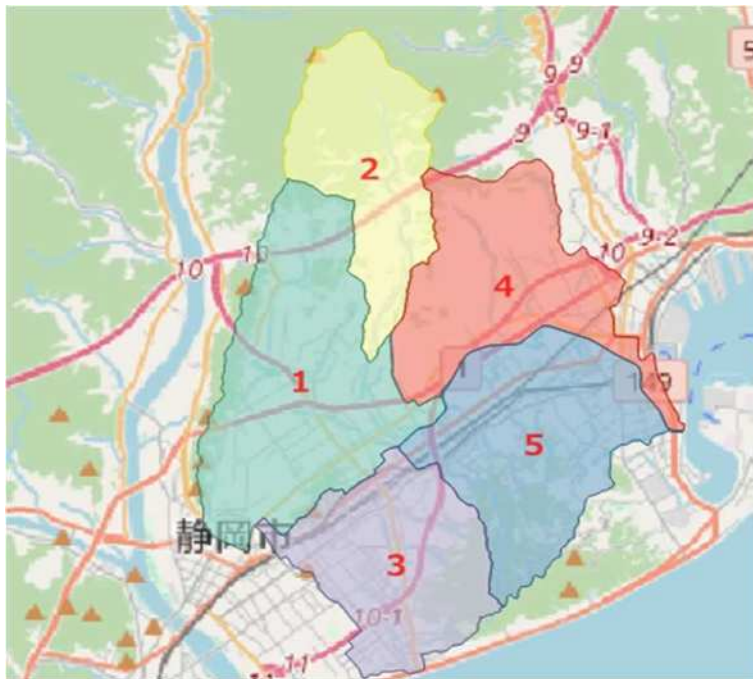


# 実況レーダ雨量・予測雨量の精度評価方法

- 地上雨量で補正された気象庁の解析雨量を真値とし、各種プロダクト(実況レーダ雨量・予測雨量)と比較することで精度を評価
- 上記の精度評価結果や各種プロダクトの特徴をもとに、水位・氾濫域予測モデルに与える最適な降雨データを選定

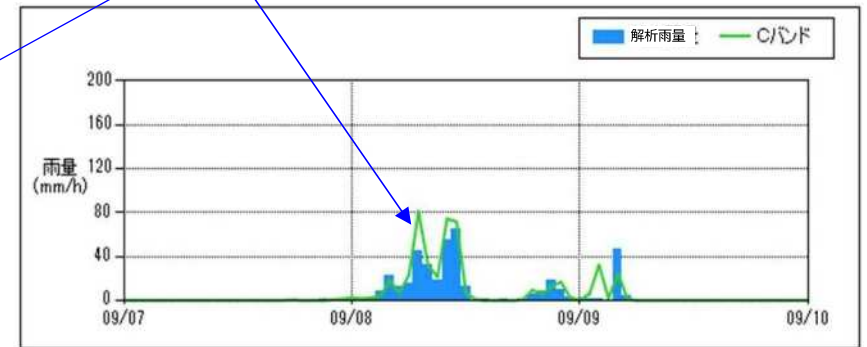
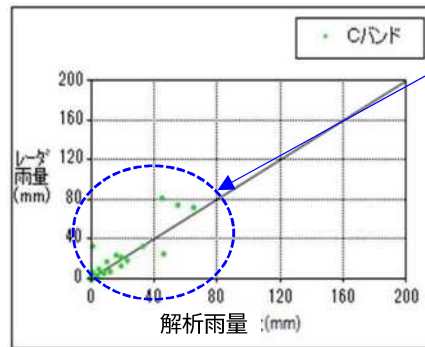
## 精度評価方法

巴川流域を5つの流域に分割し、小流域毎に気象庁解析雨量との相関係数、総雨量比を算定することで、各種プロダクト(実況レーダ雨量・予測雨量)の精度を評価



流域1、2、4:山地からの主要河川毎の流出域  
流域3 :放水路の集水域(市街地がメイン)  
流域5 :緩傾斜丘陵(日本平)からの流出域と低平地

各種プロダクトのバラツキとボリュームを評価



解析雨量と実況レーダ雨量・予測雨量の相関分析・雨量時系列比較(上記はCバンドオンラインの例)

相関係数  $r$  (1.0に近いほど精度が高い)

総雨量比  $s$  (1.0に近いほど精度が高い)

$$r = \frac{\sum_{i=1}^N (y_i - \bar{y})(x_i - \bar{x})}{\sqrt{\sum_{i=1}^N (y_i - \bar{y})^2} \sqrt{\sum_{i=1}^N (x_i - \bar{x})^2}}$$

$x_i$  : 解析雨量  
 $\bar{x}$  : 解析雨量の平均値  
 $y_i$  : レーダ雨量  
 $\bar{y}$  : レーダ雨量の平均値

$$s = \frac{\sum_{i=1}^N y_i}{\sum_{i=1}^N x_i}$$

$x_i$  : 解析雨量  
 $y_i$  : レーダ雨量

# 実況レーダ雨量・予測雨量のモデルへの適用候補

- 一般的に入手可能な各種実況レーダ雨量・予測雨量の配信諸元を整理
- 予測雨量はプロダクト毎に予測先行時間が異なるため、組み合わせて適用する必要あり

区分	降雨データ	メッシュ サイズ	配信頻度	実況	予測先行時間			
					10～50分先	1時間先	2～6時間先	7～15時間先
実況 雨量	解析雨量(気) <sup>※</sup>	1km	30分	○	—	—	—	—
	Cバンドオンライン(国)	1km	5分	○	—	—	—	—
	XRAIN(国)	250m	1分	○	—	—	—	—
	高解像度降水ナウキャスト(気)	250m	5分	○	—	—	—	—
予測 雨量	高解像度降水ナウキャスト(気)	250m	5分	—	○	○	—	—
	降水短時間予報(気)	1km	30分	—	—	○	○	—
	降水15時間予報(気)	5km	1時間	—	—	—	—	○
	速報版降水短時間予報(気)	1km	10分	—	—	○	○	—
	民間予測	1km	1時間	—	—	○	○	○

気:気象庁、 国:国土交通省

※レーダで観測したメッシュ雨量値を地上雨量で補正した精度の高い雨量データ



# 実況レーダ雨量・予測雨量のデータ存在状況

● 各種実況レーダ雨量・予測雨量のデータ存在状況

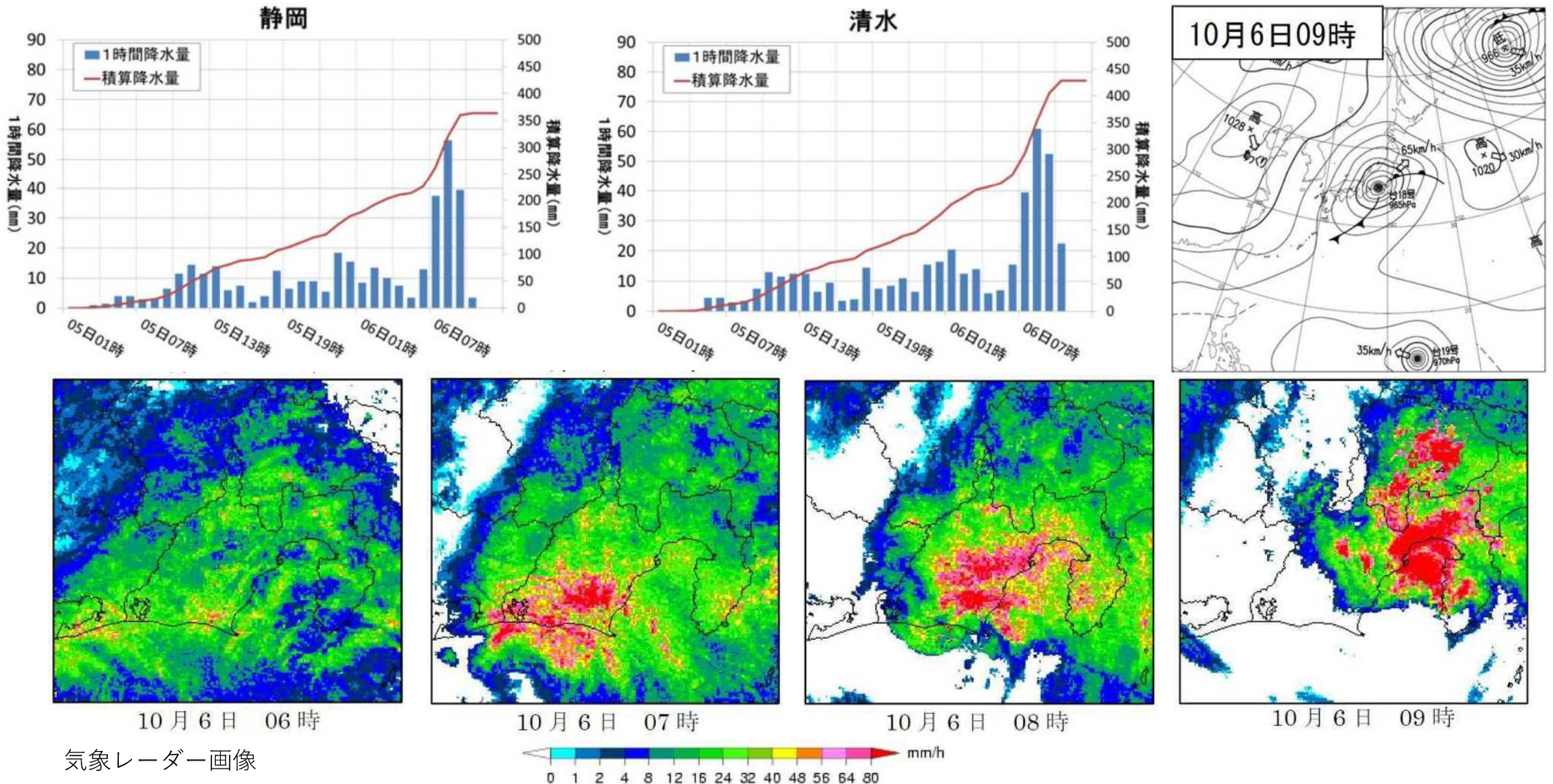
		台風性				前線性	
区分	降雨データ	H26.10.6	R1.10.12	R4.9.23 <sup>※1</sup>	R5.6.2 <sup>※2</sup>	R3.7.2	R4.7.26
	気象庁線状降水帯の発表	(対象外)	(対象外)	あり	あり	なし	なし
	最大時間雨量、最大24時間雨量 (静岡地方气象台)	61[mm/h] 337[mm/24h]	42.5[mm/h] 411[mm/24h]	107[mm/h] 416.5[mm/24h]	46[mm/h] 359[mm/24h]	42[mm/h] 187.5[mm/24h]	33[mm/h] 121[mm/24h]
実況雨量	解析雨量(気)	○	○	○	○	○	○
	Cバンドオンライン(国)	○	○	○	○	○	○
	XRAIN(国)	—	○	○	○	○	○
	高解像度降水ナウキャスト(気)	—	○	○	○	○	○
予測雨量	高解像度降水ナウキャスト(気)	—	○	○	○	○	○
	降水短時間予報(気)	○	○	○	○	○	○
	降水15時間予報(気)	—	○	○	○	○	○
	速報版降水短時間予報(気)	—	○	○	○	○	○
	民間予測	—	—	○	○	—	—

気:気象庁、 国:国土交通省    ○:収集済み、 —:対象期間外・未収集

※1 R4.9.23降雨は、台風接近に伴い、沿岸に沿って発生した局地的な前線で雨雲が発達した影響による  
 ※2 R5.6.2降雨は、梅雨前線に向かって台風からの非常に温かく湿った空気が流れ込んだ影響による

# 近年豪雨(平成26年台風18号)における降雨特性

- 24時間雨量(10月5日9時～6日9時)は、静岡地方気象台にて337mm/24hrを記録
- 停滞前線による前期降雨と台風18号が静岡市の真上を通過したことにより雨雲が発達

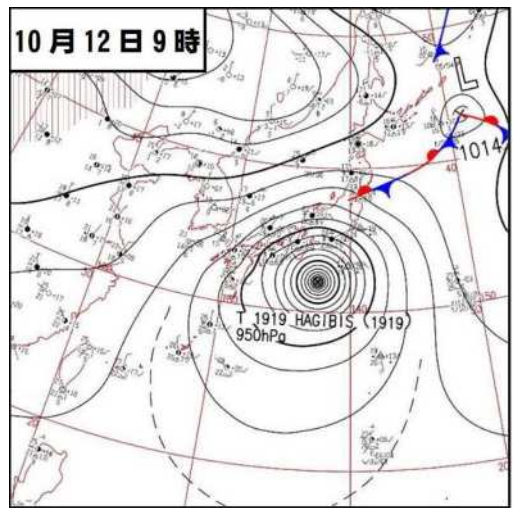
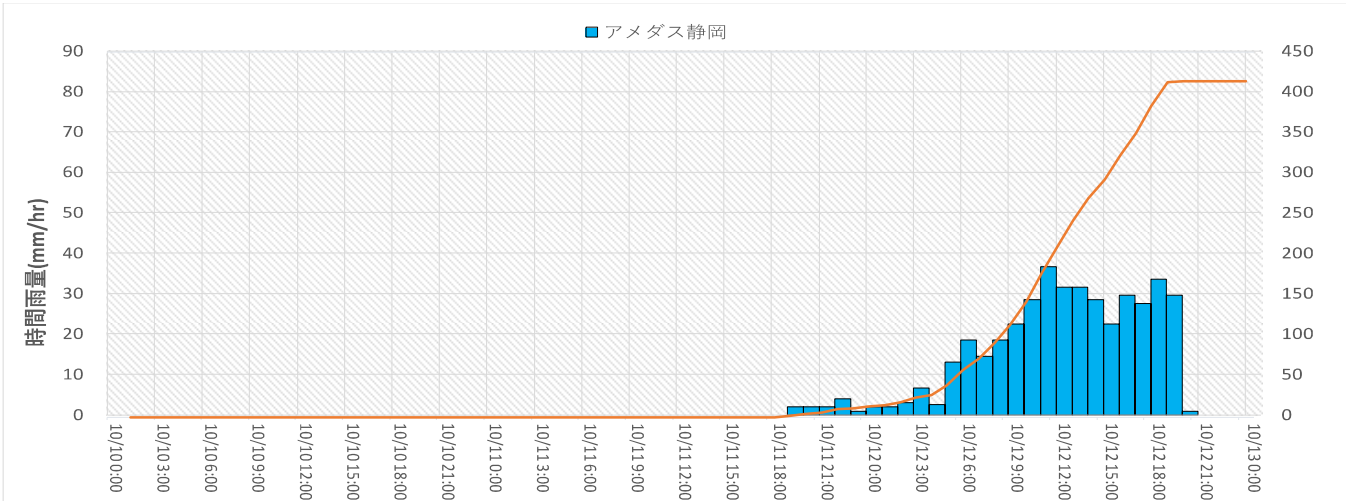


文章・図表の出典:「平成26年台風第18号に関する静岡県気象速報(平成26年10月7日(平成29年11月29日修正)、静岡地方気象台)」



# 近年豪雨(令和元年東日本台風)における降雨特性

- 24時間雨量(10月11日19時～12日19時)は、静岡地方気象台にて411mm/24hを記録
- 台風19号の北東にあった停滞前線による前期降雨と台風本体の雨雲による大雨

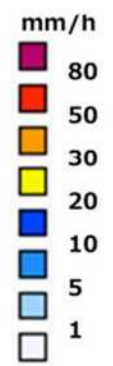
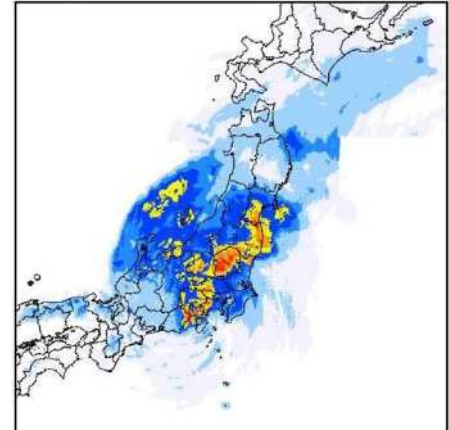
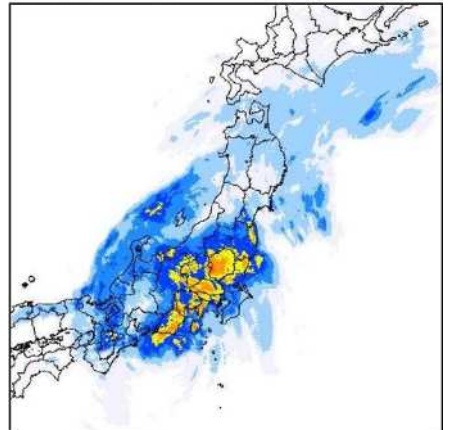
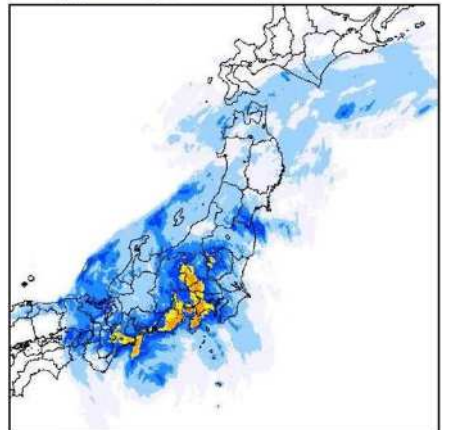
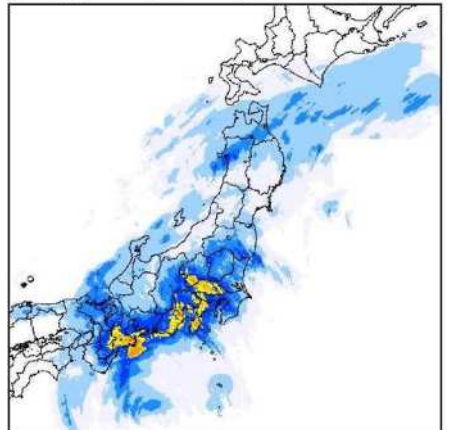


10月12日9時～10時

10月12日12時～13時

10月12日15時～16時

10月12日18時～19時

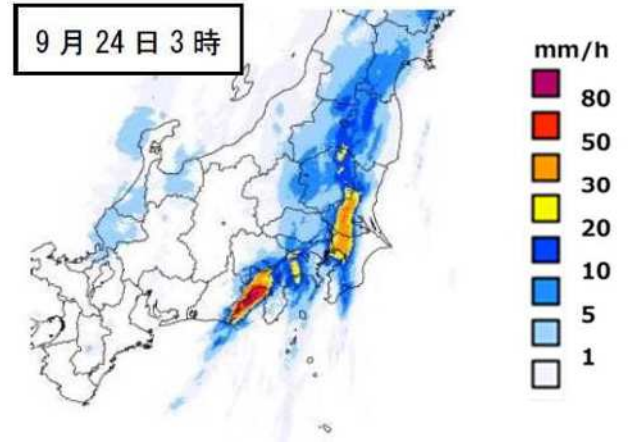
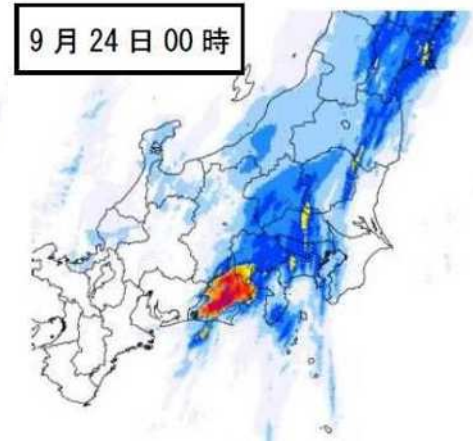
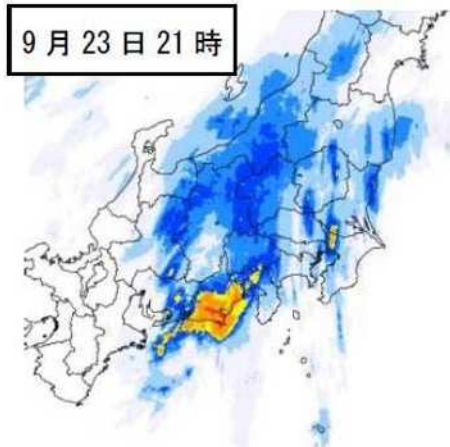
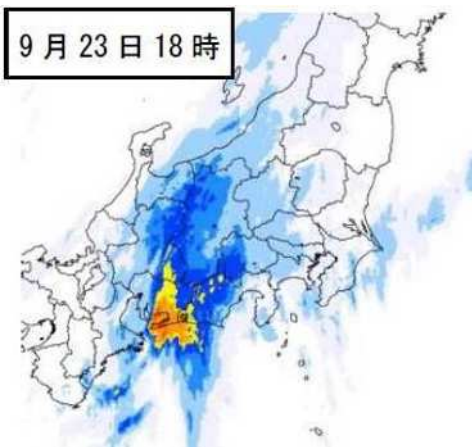
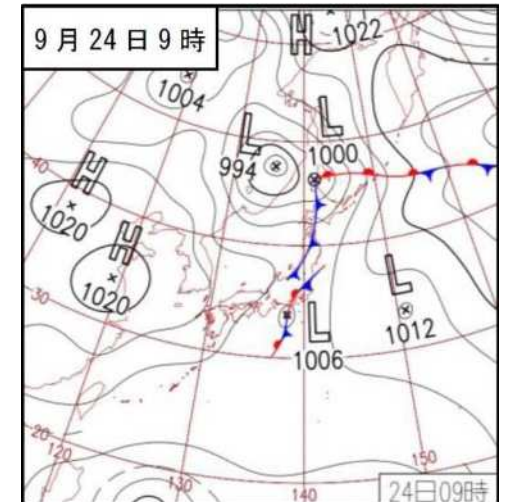
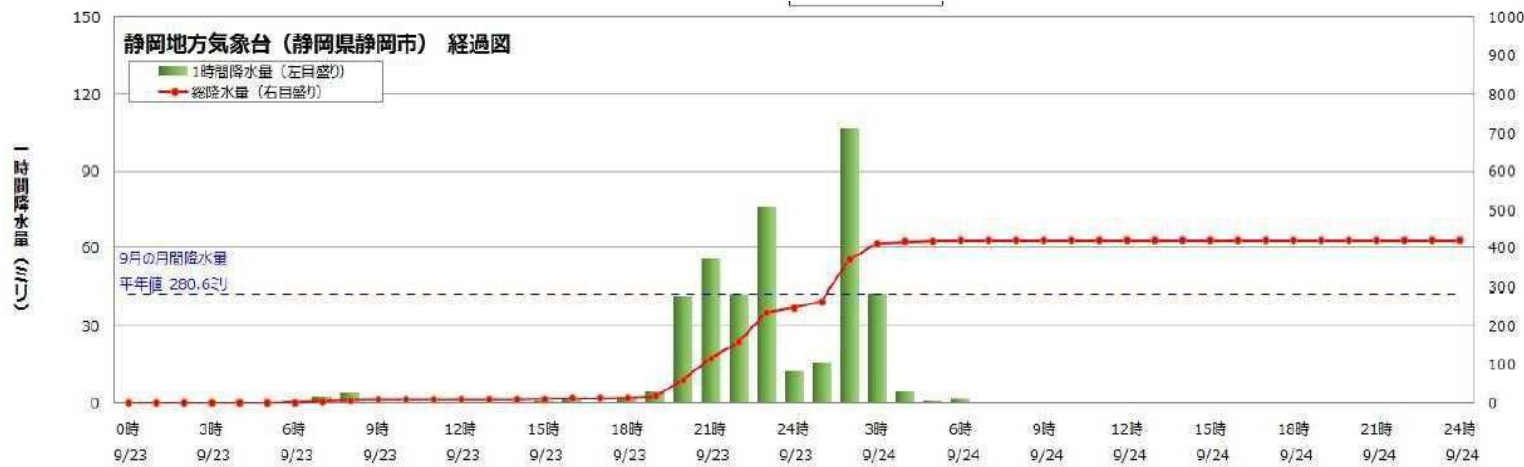


解析雨量 (1時間)

文章・図表の出典:「台風第19号による大雨、暴風等 令和元年(2019年)10月10日～10月13日」  
(災害をもたらした気象事例 令和元年10月15日、気象庁)」

# 近年豪雨(令和4年台風15号)における降雨特性

- 12時間雨量(9月23日18時~24日6時)は、静岡地方気象台にて404mm/12hを記録
- 台風15号の動きがゆっくりだったこと、沿岸に発生した局地前線により雨雲が発達(線状降水帯が発生)

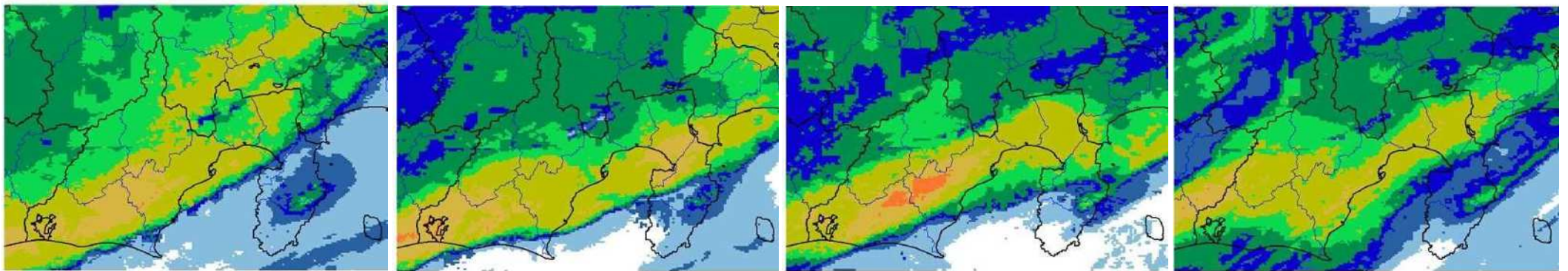
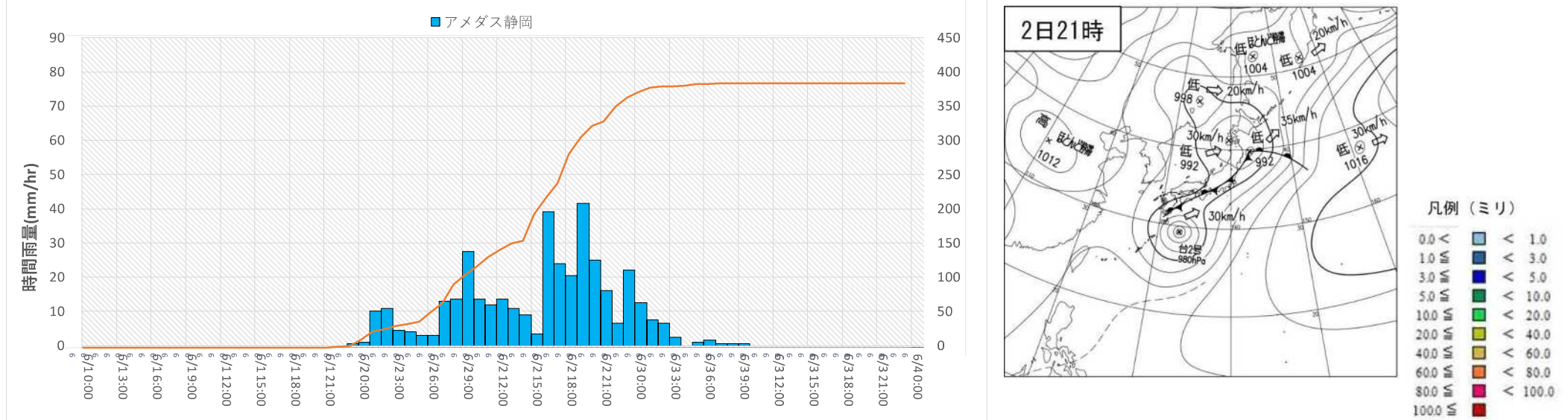


解析雨量(1時間)



# 近年豪雨(令和5年台風2号+梅雨前線)における降雨特性の精度検証

- 24時間雨量(6月2日0時~24時)は、静岡地方気象台にて359mm/24時間を記録
- 梅雨前線に向かって台風2号からの暖湿気流が流れ込み、静岡県の広い範囲で大雨(線状降水帯が発生)



6月2日16時

6月2日17時

6月2日18時

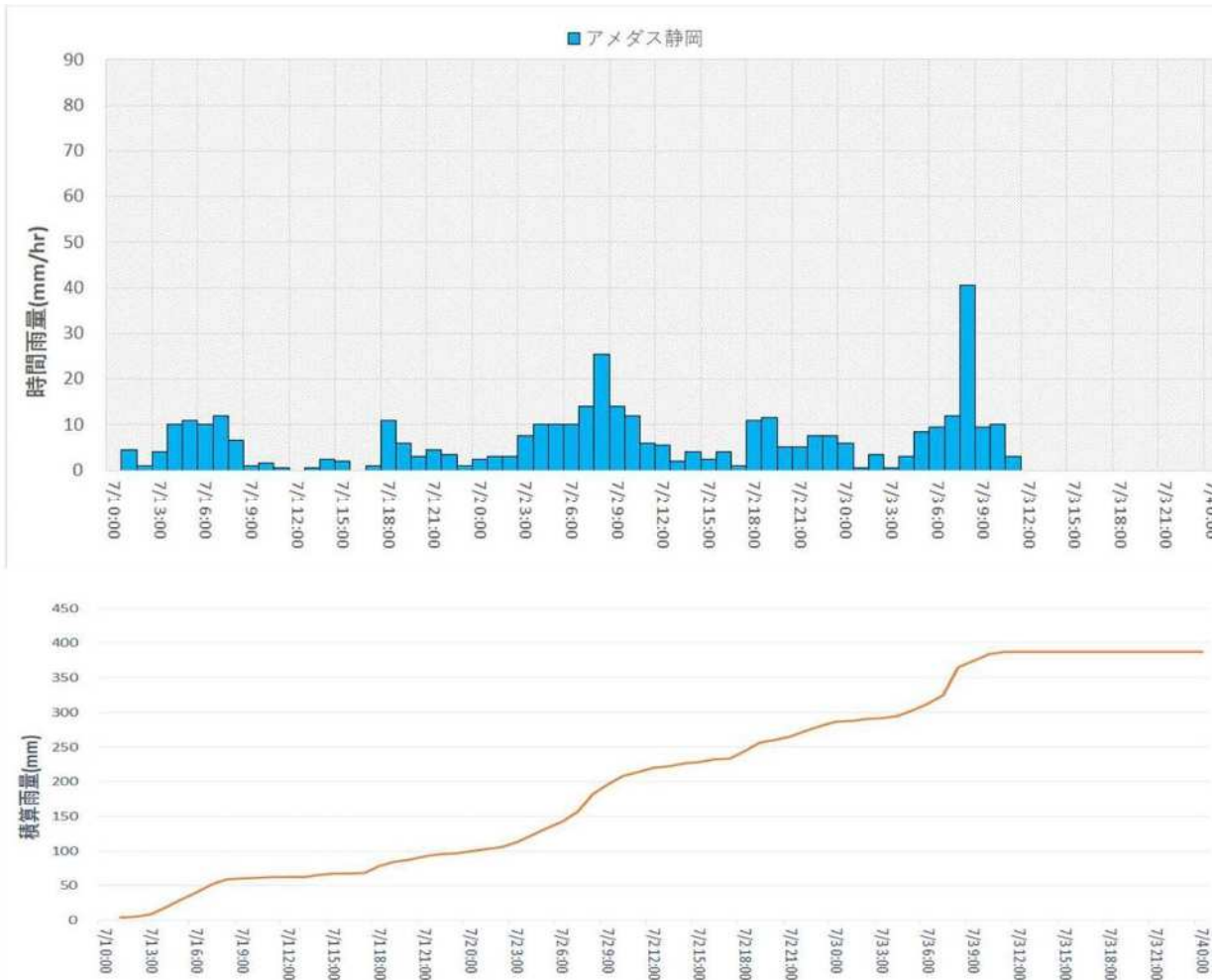
6月2日19時

解析雨量 (1時間)

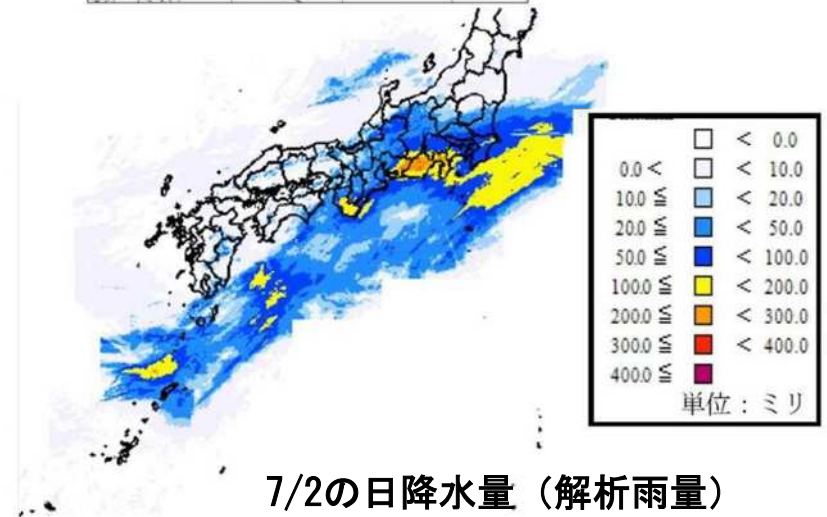
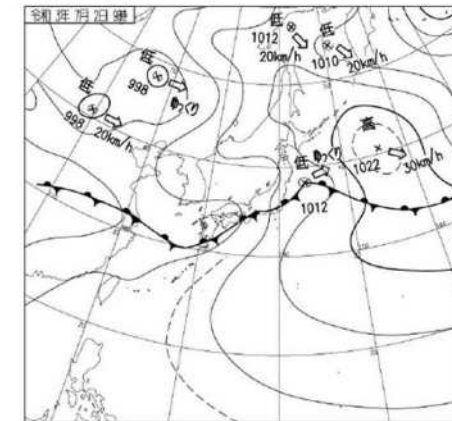
文章・図表の出典:「令和5年台風第2号と前線による6月1日から3日にかけての大雨に関する静岡県気象速報(令和5年6月6日、静岡地方気象台)」

# 近年豪雨(令和3年梅雨前線)における降雨特性

- 72時間雨量(7月1日0時~3日24時)は、静岡地方気象台にて387.5mm/72時間を記録
- 梅雨前線に向かって暖湿気流が流れ込み、紀伊半島、東海、伊豆諸島北部、関東南部の広い範囲で大雨(熱海市で土石流災害が発生)



7月2日 09時

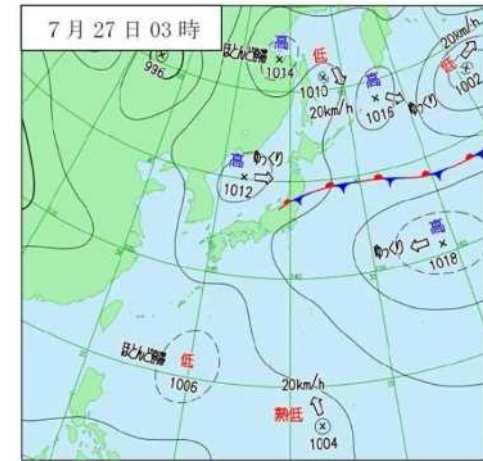
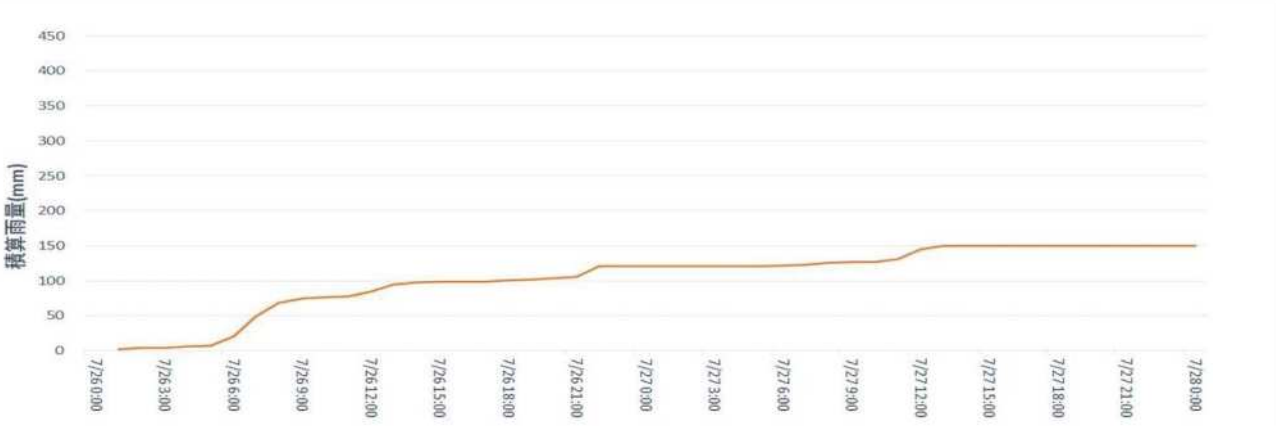
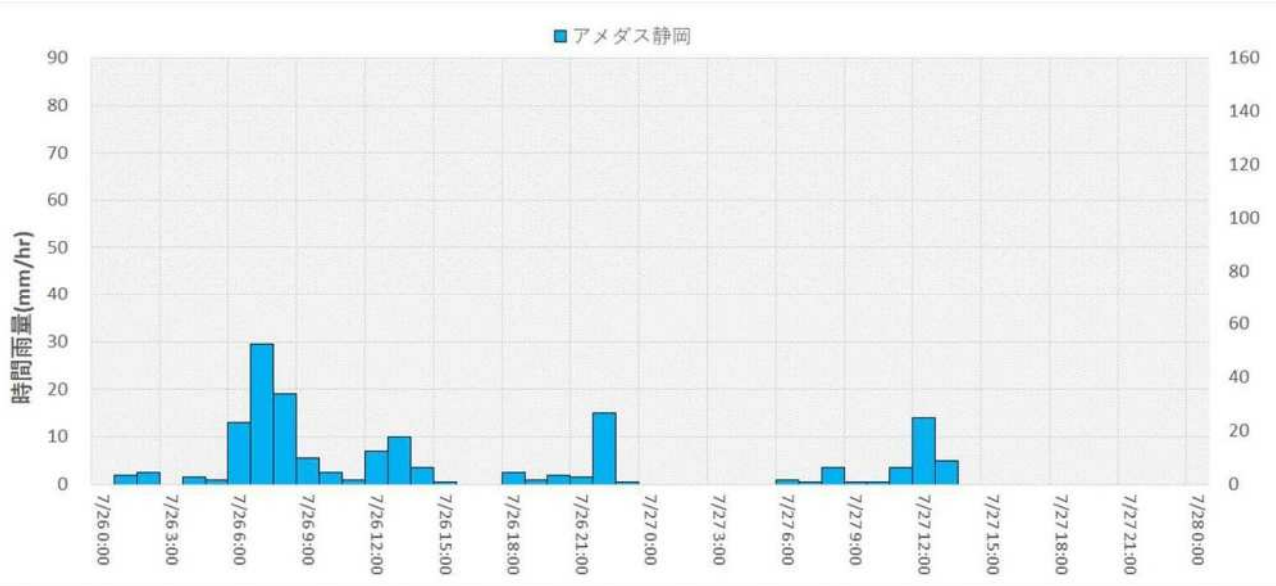


文章・図表の出典:「7月1日から3日の東海地方・関東地方南部を中心とした大雨(災害をもたらした気象事例 令和3年7月8日、気象庁)」

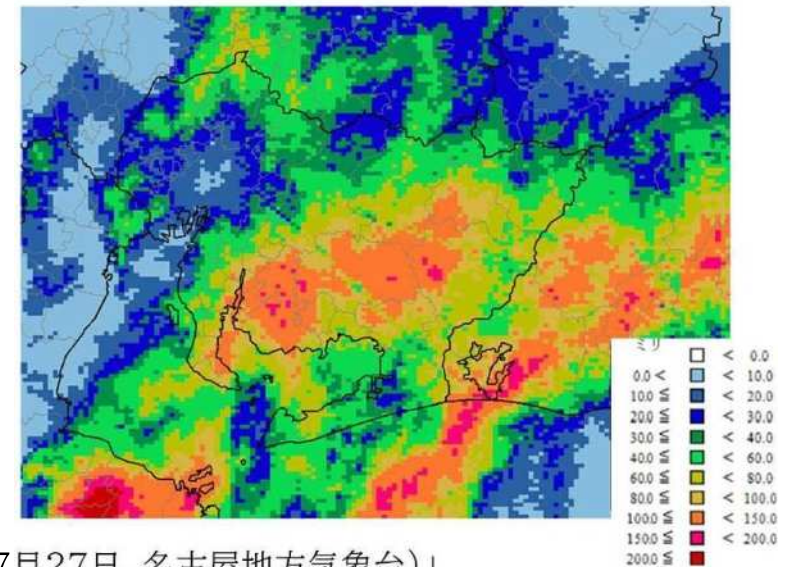


# 近年豪雨(令和4年停滞前線)における降雨特性

- 24時間雨量(7月26日0時~24時)は、静岡地方気象台にて121mm/24時間を記録
- 停滞前線に向かって高気圧の縁を回るの暖湿気流が流れ込み、愛知県、静岡県で大雨



○解析雨量(7月26日02時~27日05時 27時間積算値)

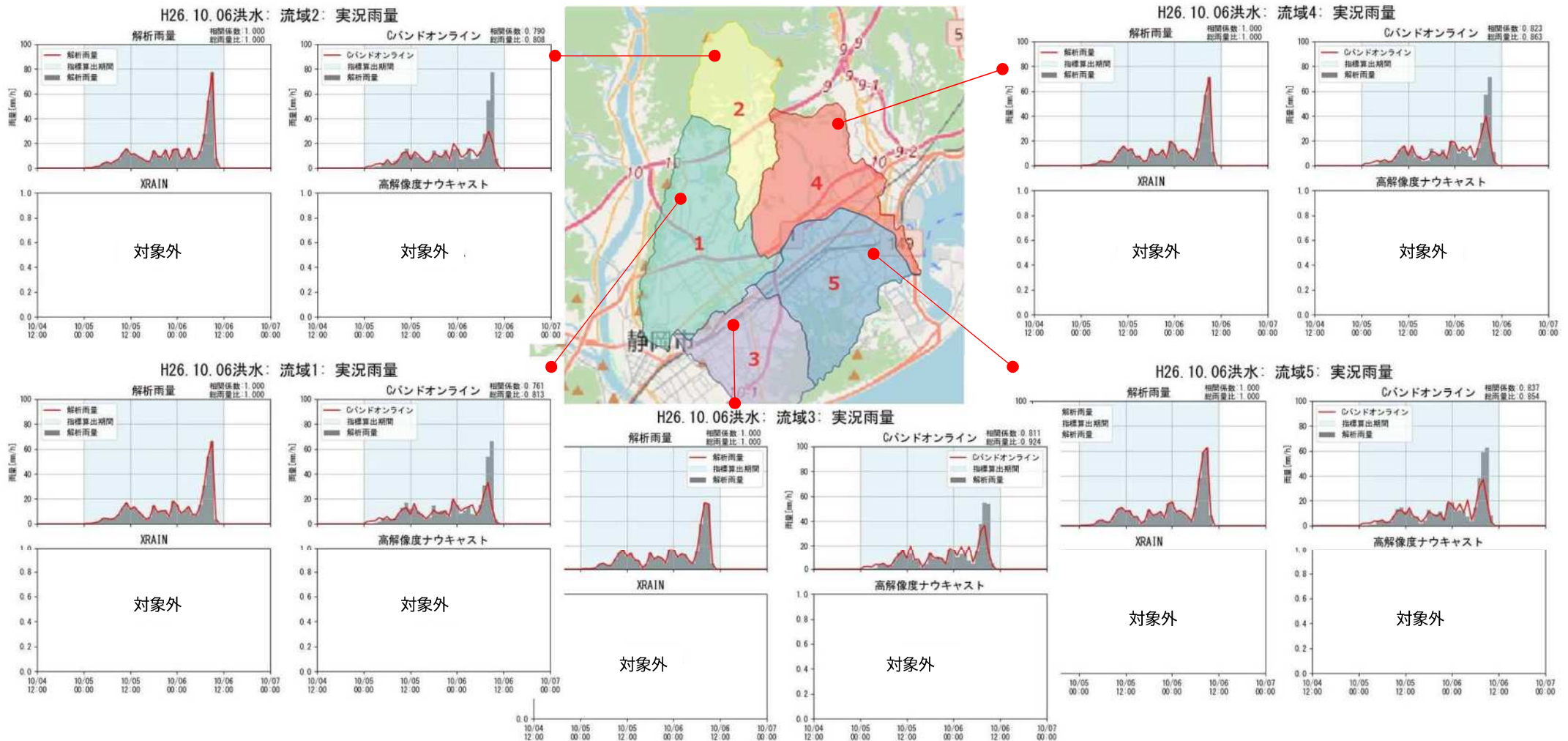


文章・図表の出典:「令和4年7月26日から27日の大雨に関する愛知県気象速報(令和4年7月27日、名古屋地方気象台)」

# 実況レーダ雨量の精度評価(H26.10洪水 台風性)

- 実況レーダ雨量の精度について、気象庁解析雨量を真値として、各プロダクトの比較検証を実施
  - ✓ Cバンドオンラインはピーク付近で解析雨量に対して雨量強度が小さい

## ■実況レーダ雨量の状況(H26.10洪水)

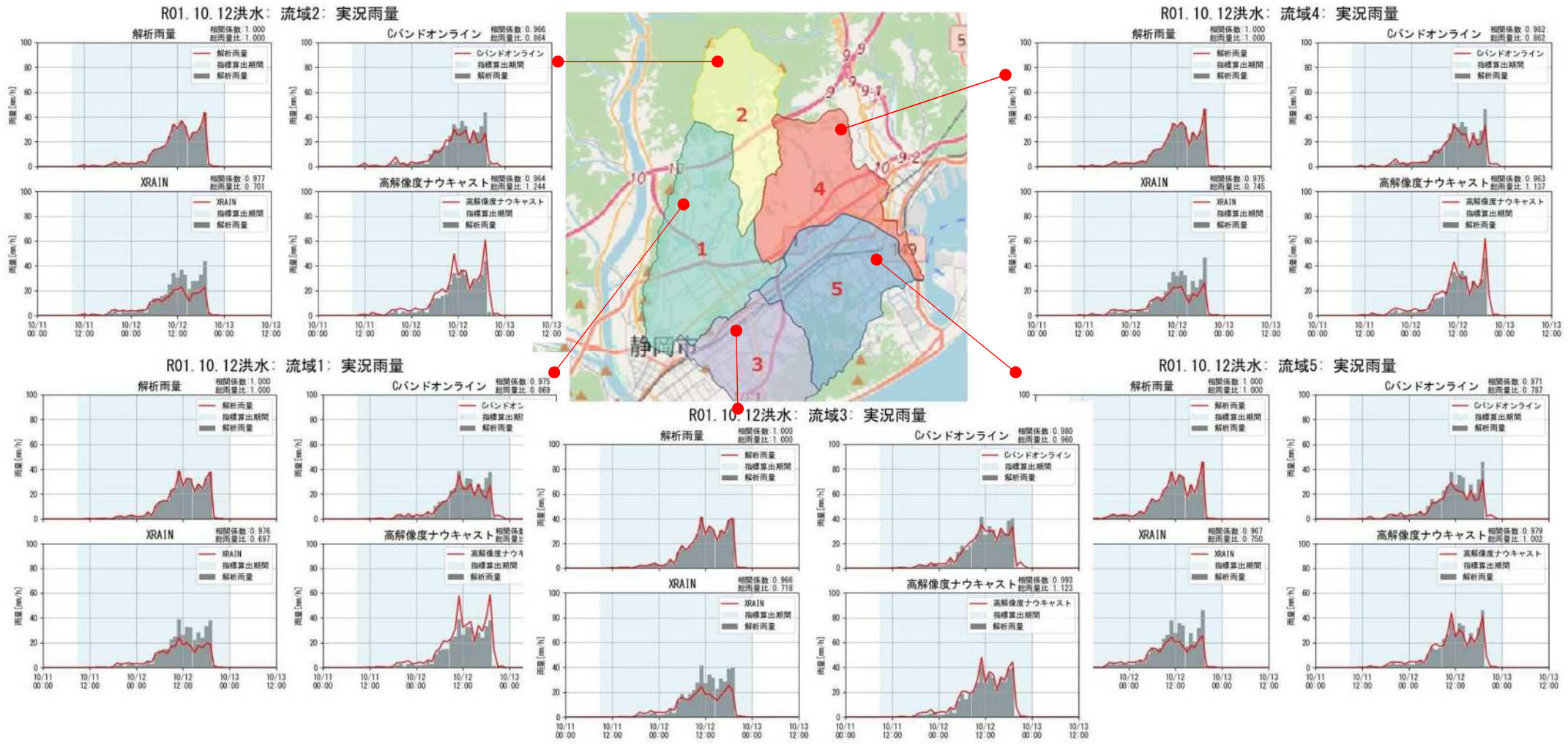




# 実況レーダ雨量の精度評価(R1.10洪水 台風性)

- 実況レーダ雨量の精度について、気象庁解析雨量を真値として、各プロダクトの比較検証を実施
  - ✓ Cバンドオンライン、XRAINは、ピーク付近で解析雨量に対して雨量強度が小さい
  - ✓ 高解像度降水ナウキャストは、ピーク付近の強い雨量も捉えている

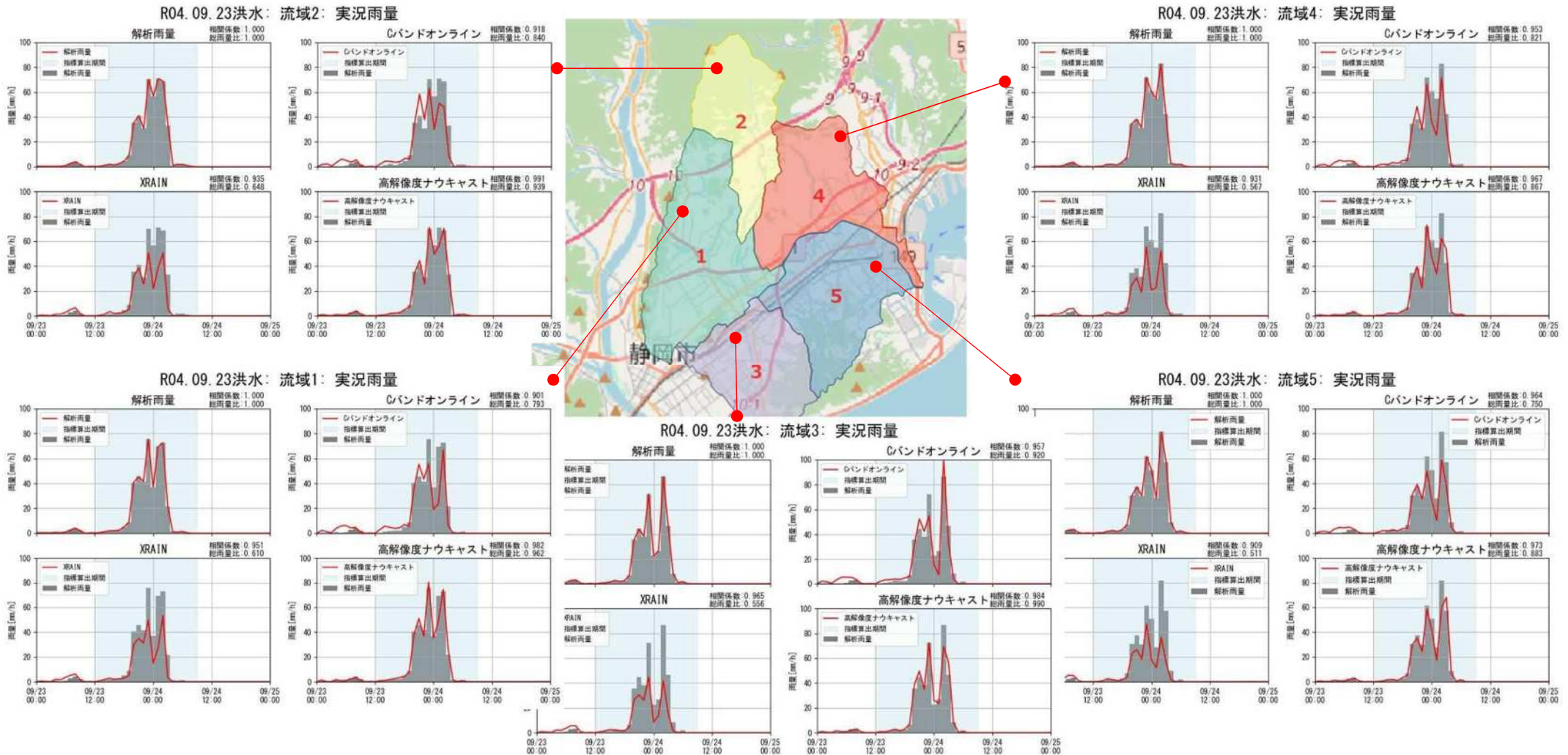
## ■実況レーダ雨量の状況(R1.10洪水)



# 実況レーダ雨量の精度評価(R4.9洪水 台風性)

- 実況レーダ雨量の精度について、気象庁解析雨量を真値として、各プロダクトの比較検証を実施
  - ✓ いずれのプロダクトもピーク付近で雨量強度がやや過少であるが、XRAINは特に雨量が小さい
  - ✓ Cバンドオンラインは、流域3において、ピーク付近の強い雨量も捉えている

## ■実況レーダ雨量の状況(R4.9洪水)

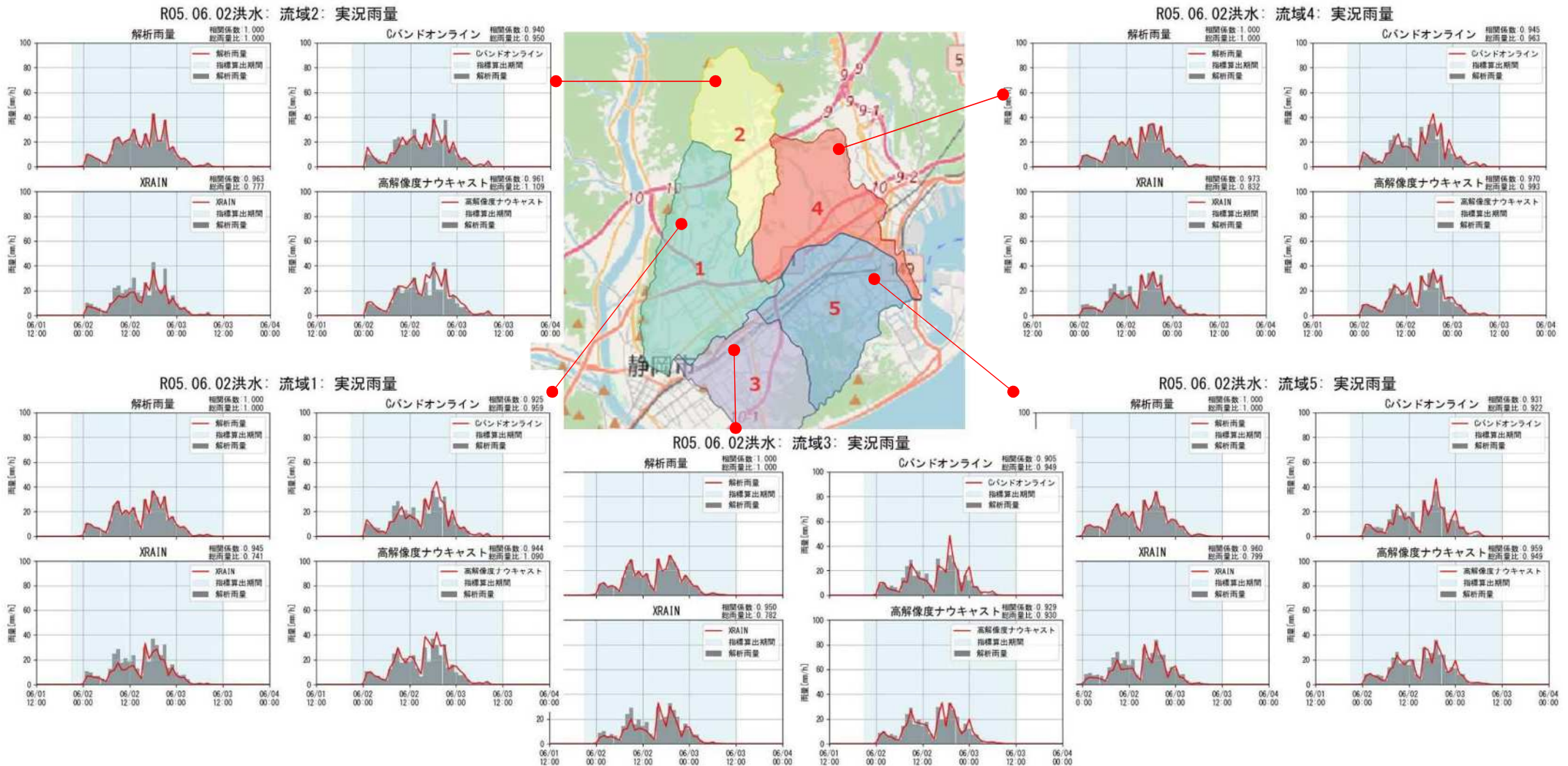




# 実況レーダ雨量の精度評価(R5.6洪水 台風性)

- 実況レーダ雨量の精度について、気象庁解析雨量を真値として、各プロダクトの比較検証を実施
  - ✓ いずれのプロダクトも解析雨量と概ね一致しており精度は良好

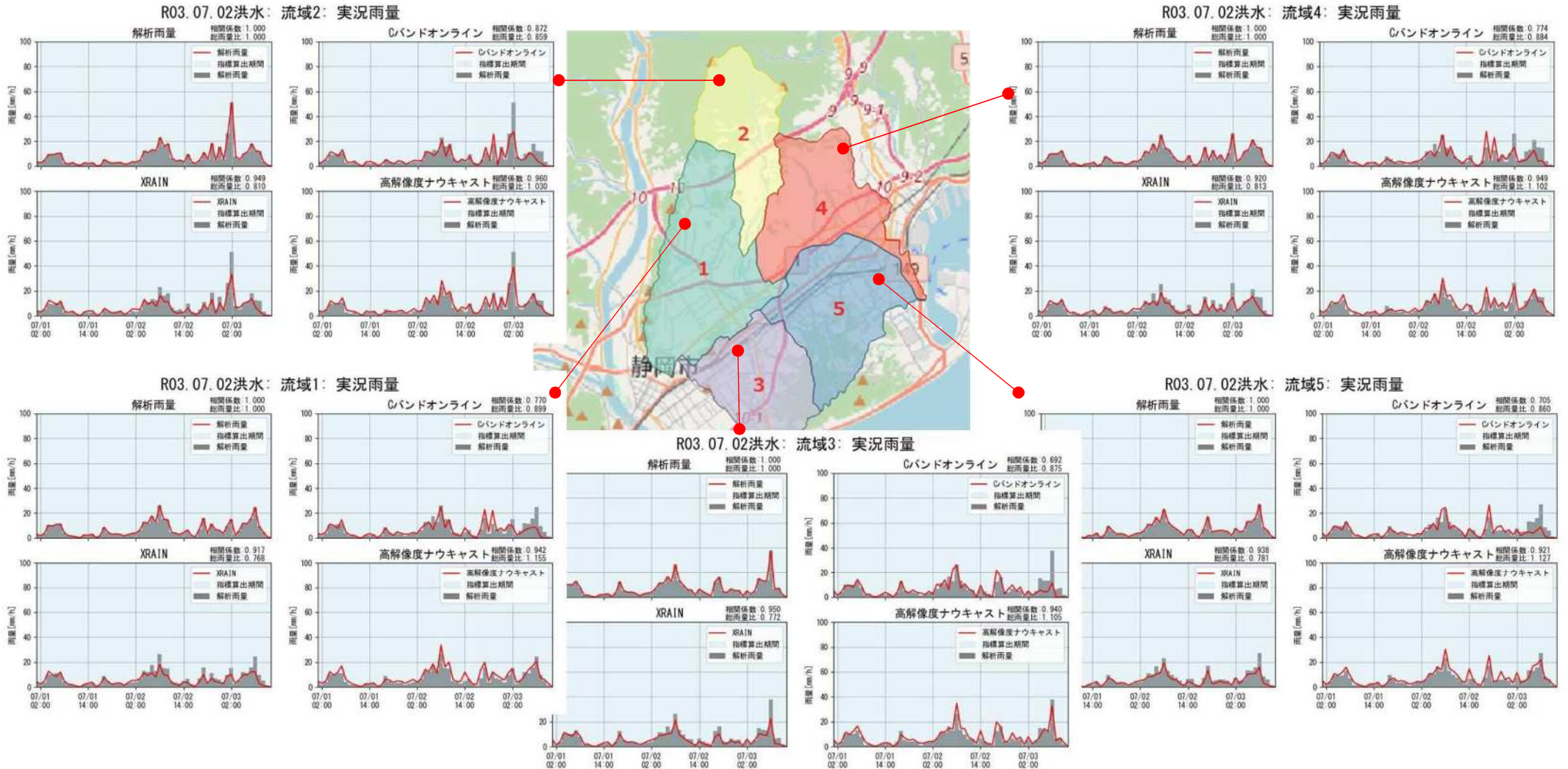
## ■実況レーダ雨量の状況(R5.6洪水)



# 実況レーダ雨量の精度評価(R3.7洪水 前線性)

- 実況レーダ雨量の精度について、気象庁解析雨量を真値として、各プロダクトの比較検証を実施
  - ✓ ピーク時に過小となる傾向はあるが、いずれのプロダクトも解析雨量と概ね一致しており精度は良好

## ■実況レーダ雨量の状況(R3.7洪水)

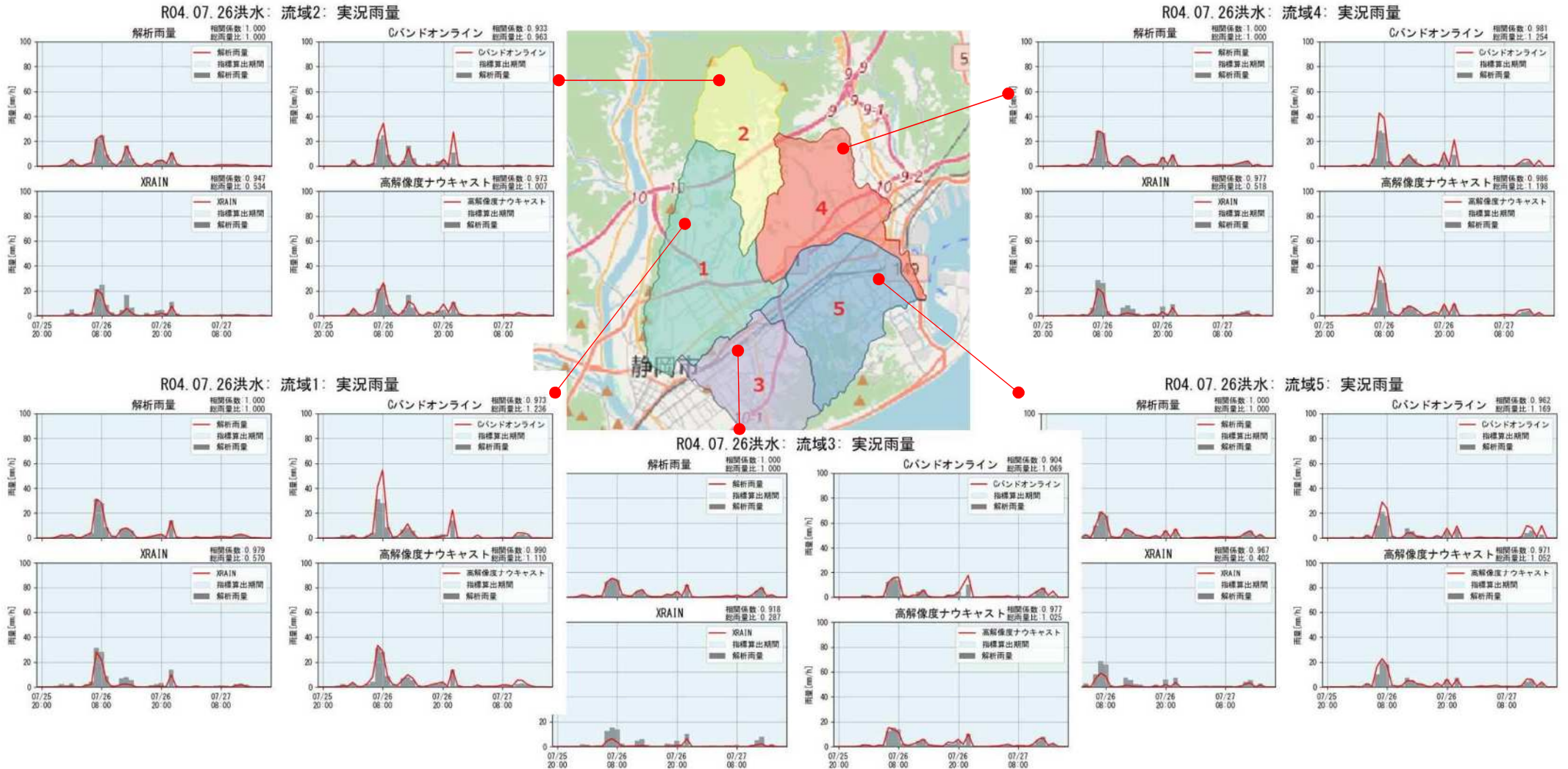




# 実況レーダ雨量の精度評価(R4.7洪水 前線性)

- 実況レーダ雨量の精度について、気象庁解析雨量を真値として、各プロダクトの比較検証を実施
  - ✓ いずれのプロダクトも解析雨量と概ね一致しており精度は良好

## ■実況レーダ雨量の状況(R4.7洪水)



# 実況レーダ雨量の精度評価

- 各実況レーダ雨量プロダクトの精度について、相関係数・総雨量比で評価

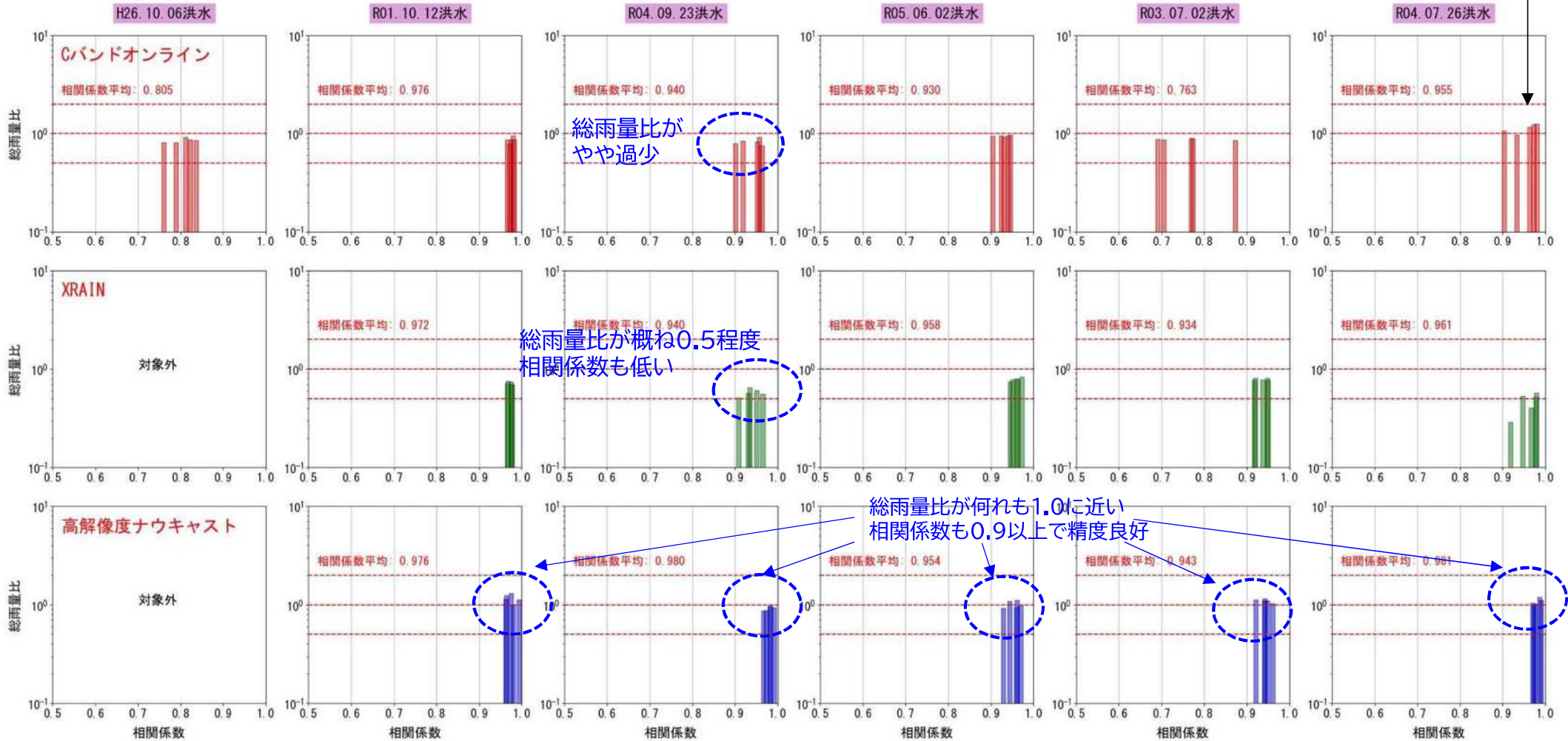
## ■実況レーダ雨量の精度検証

どの降雨に対して、総雨量比、相関係数が良好な「高解像度降水ナウキャスト」の精度が最も高いと判定

凡例  
棒の数:小流域別  
棒の高さ:総雨量比  
棒の横位置:相関係数

### 台風性

### 前線性



# 実況レーダ雨量の選定

- 実況レーダ雨量については、配信頻度、時空間解像度、精度の観点から、「高解像度降水ナウキャスト」を採用
- 「Cバンドオンライン」は、次点候補として取得

## ■実況レーダ雨量の選定

選定基準	評価の視点	解析雨量	Cバンド オンライン	XRAIN	高解像度降水 ナウキャスト
配信頻度	流域面積が小さいため、短期間の降雨変化に反応が早い降雨データを優先する。	× (30分)	○ (5分)	◎ (1分)	○ (5分)
雨量時間単位	時間単位が小さいものを優先する。	△ (1時間雨量)	○ (5分雨量)	◎ (1分雨量)	○ (5分雨量)
空間解像度	空間解像度が高いものを優先する。	○ (1km)	○ (1km)	◎ (250m)	◎ (250m)
雨量精度	解析雨量と比較して、総雨量比と相関係数の精度が高いものを優先する。	◎	○	× (総雨量比が過少)	◎
評価		更新間隔が長く(配信頻度が30分)、時々刻々変化する降雨の状況の反映が遅れるため不採用	高解像度ナウキャストと比較して、空間解像度や雨量精度が劣るが、次点候補として取得	雨量精度は、水位・氾濫域予測の精度に直結するため不採用	採用

◎:適用が望ましい事項    ○:適用しても概ね問題ない事項    △:適用しても大きな問題は生じない事項    ×:適用が望ましくない事項



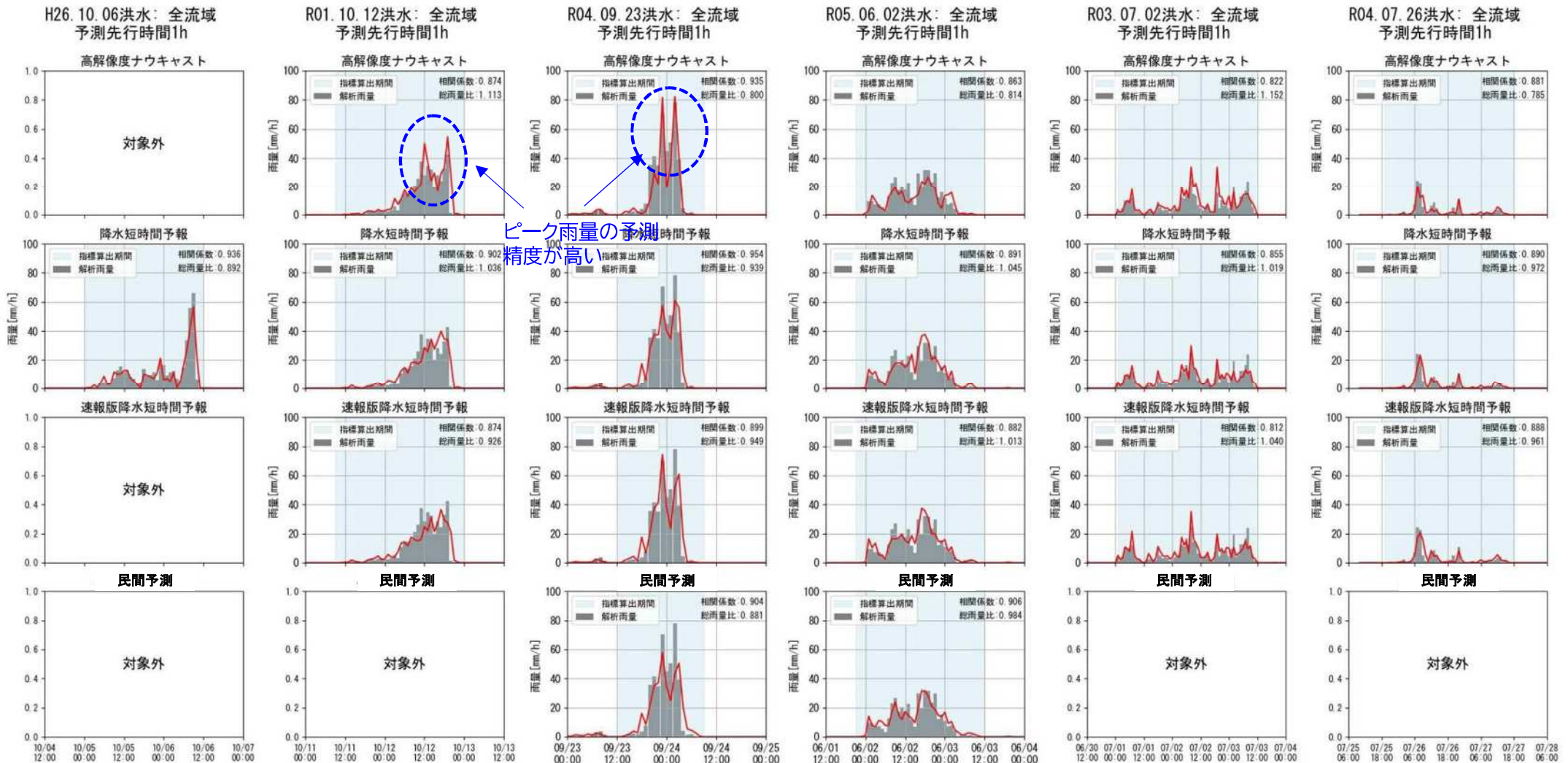
# 予測雨量(先行時間毎)の状況(1時間先)

- 予測雨量と実況レーダ雨量を、予測時間先毎に比較
  - ✓ 1時間先では高解像度降水ナウキャストの精度が高い

## 1時間先の予測雨量の状況

台風性

前線性





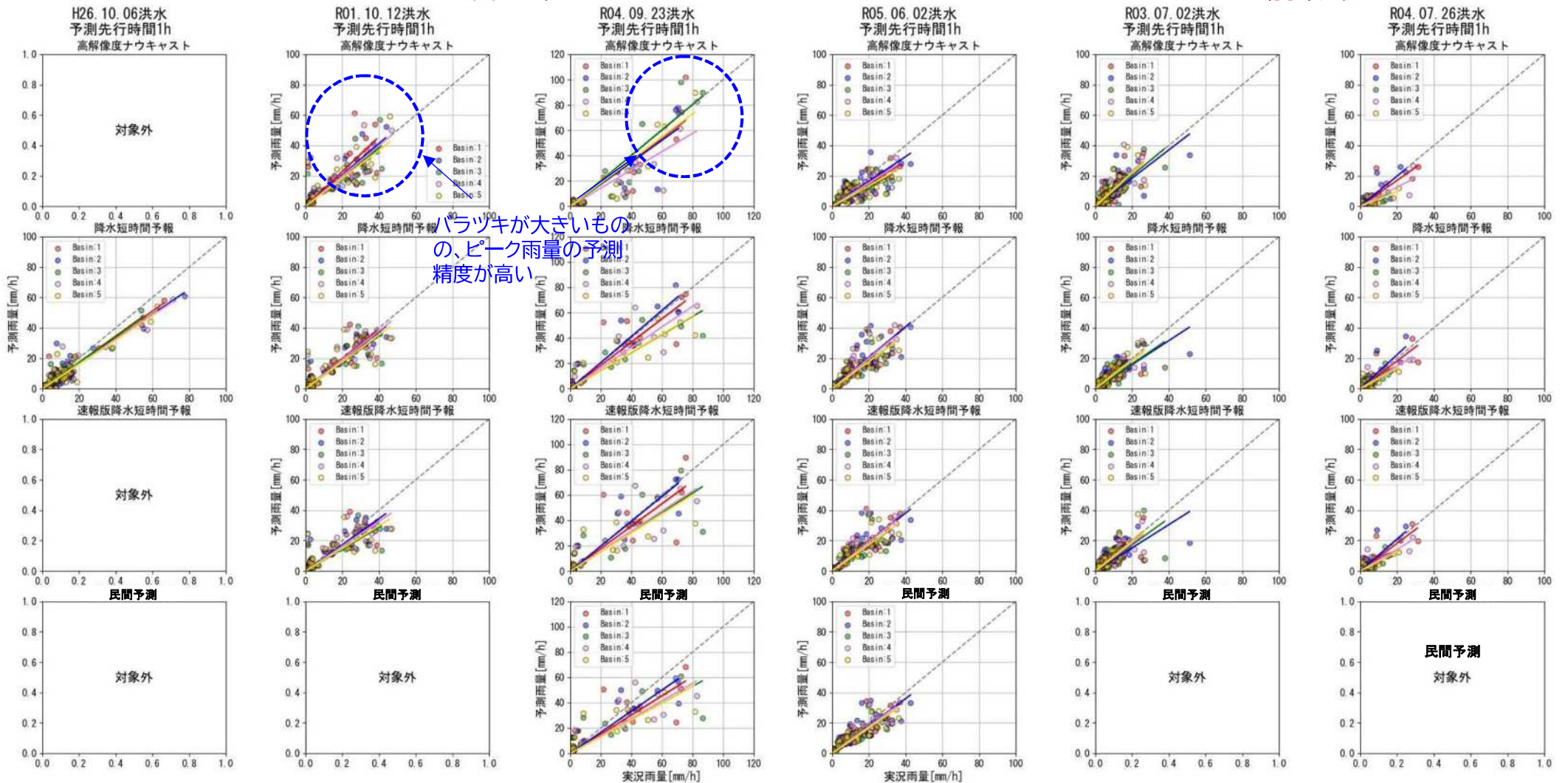
# 予測雨量と実況レーダ雨量の比較(1時間先)

- 予測雨量と実況レーダ雨量を、予測時間先毎に比較
  - ✓ 1時間先では高解像度降水ナウキャストの精度が高い

## ■ 予測雨量と実況レーダ雨量の比較

台風性

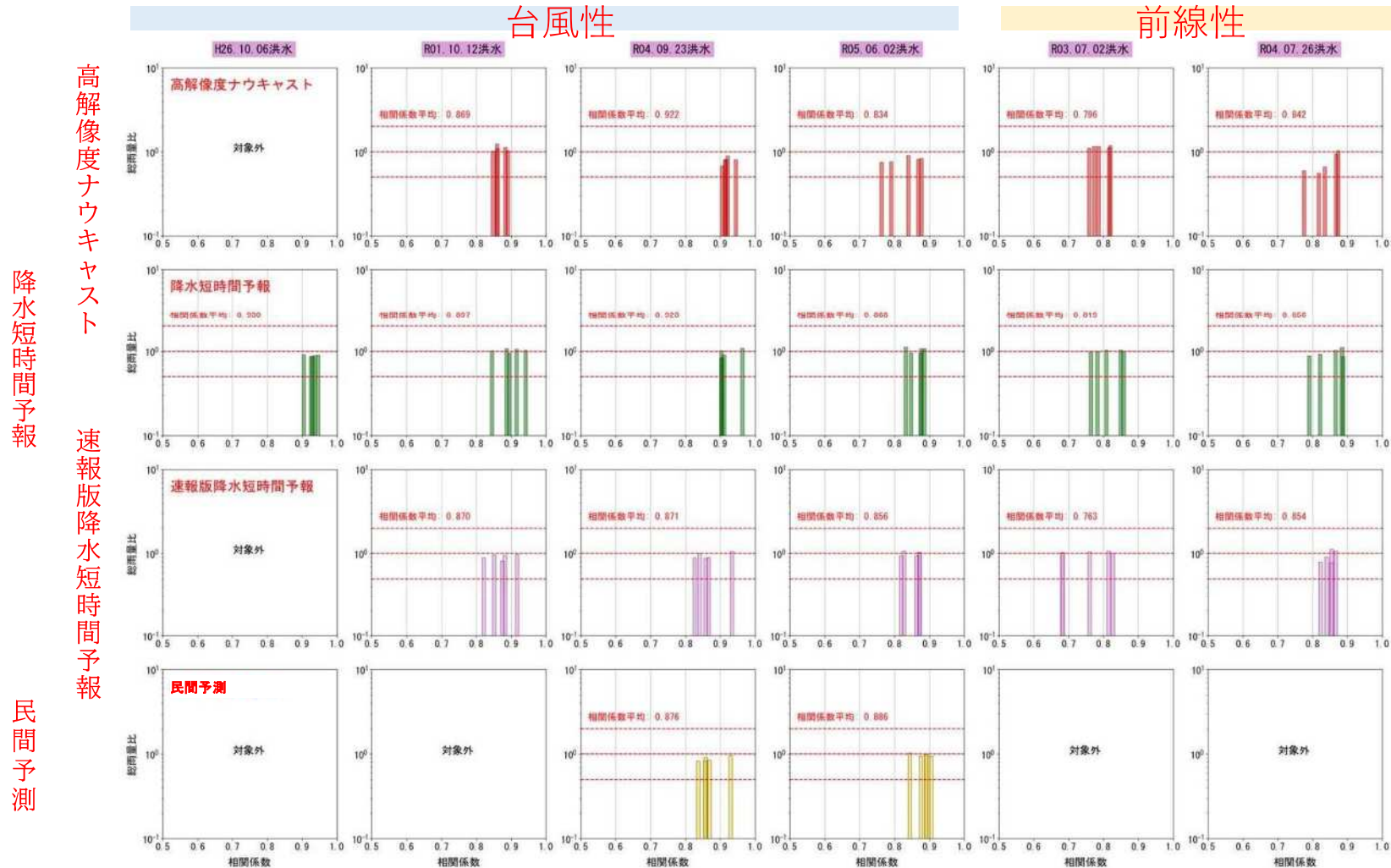
前線性



# 予測雨量の精度評価(1時間先)

- 予測雨量と実況レーダ雨量を、予測時間先毎に比較
  - ✓ 解析雨量との相関係数・総雨量比を確認した結果、高解像度降水ナウキャストと降水短時間予報の精度が比較的良好

## ■ 予測雨量の精度検証



降水短時間予報

民間予測

高解像度ナウキャスト

速報版降水短時間予報



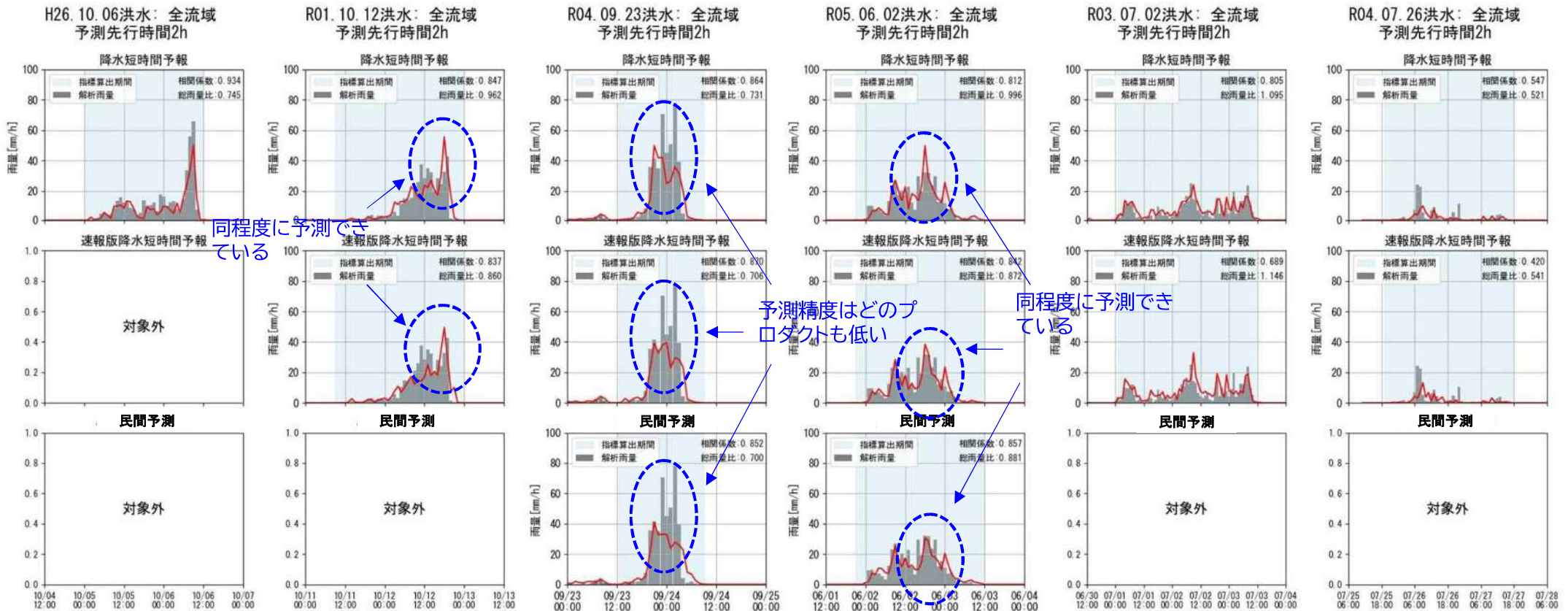
# 予測雨量(先行時間毎)の状況(2時間先)

- 予測雨量と実況レーダ雨量を、予測時間先毎に比較
  - ✓ R4.9洪水では、どのプロダクトもピーク付近で予測精度が低く、プロダクト間での精度の差は小さい

## 2時間先の予測雨量の状況

台風性

前線性



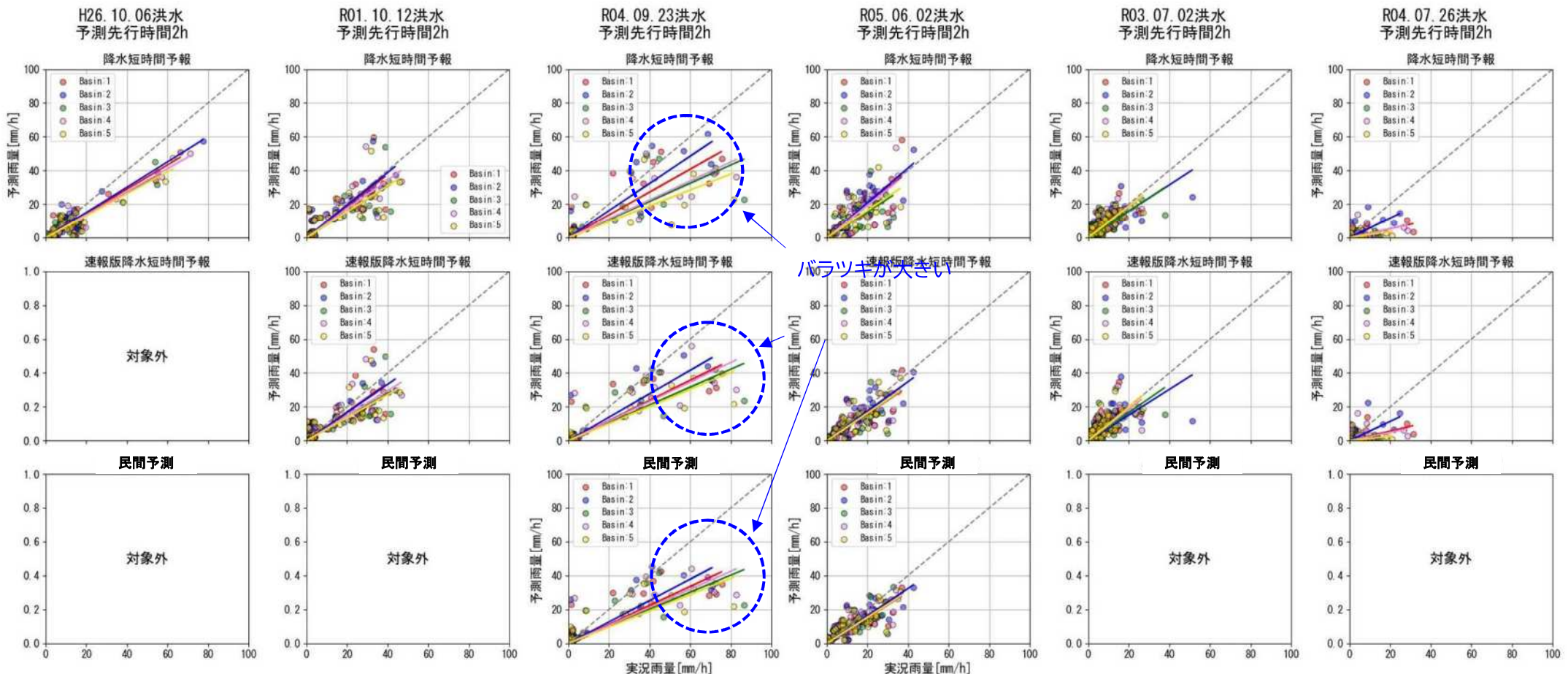
# 予測雨量と実況レーダ雨量の比較(2時間先)

- 予測雨量と実況レーダ雨量を、予測時間先毎に比較
  - ✓ R4.9洪水では、各プロダクトのバラツキが大きく予測精度が低い
  - ✓ 降雨毎に確認しても、プロダクト間で明確な精度の差はみられない

## ■ 予測雨量と実況レーダ雨量の比較

台風性

前線性





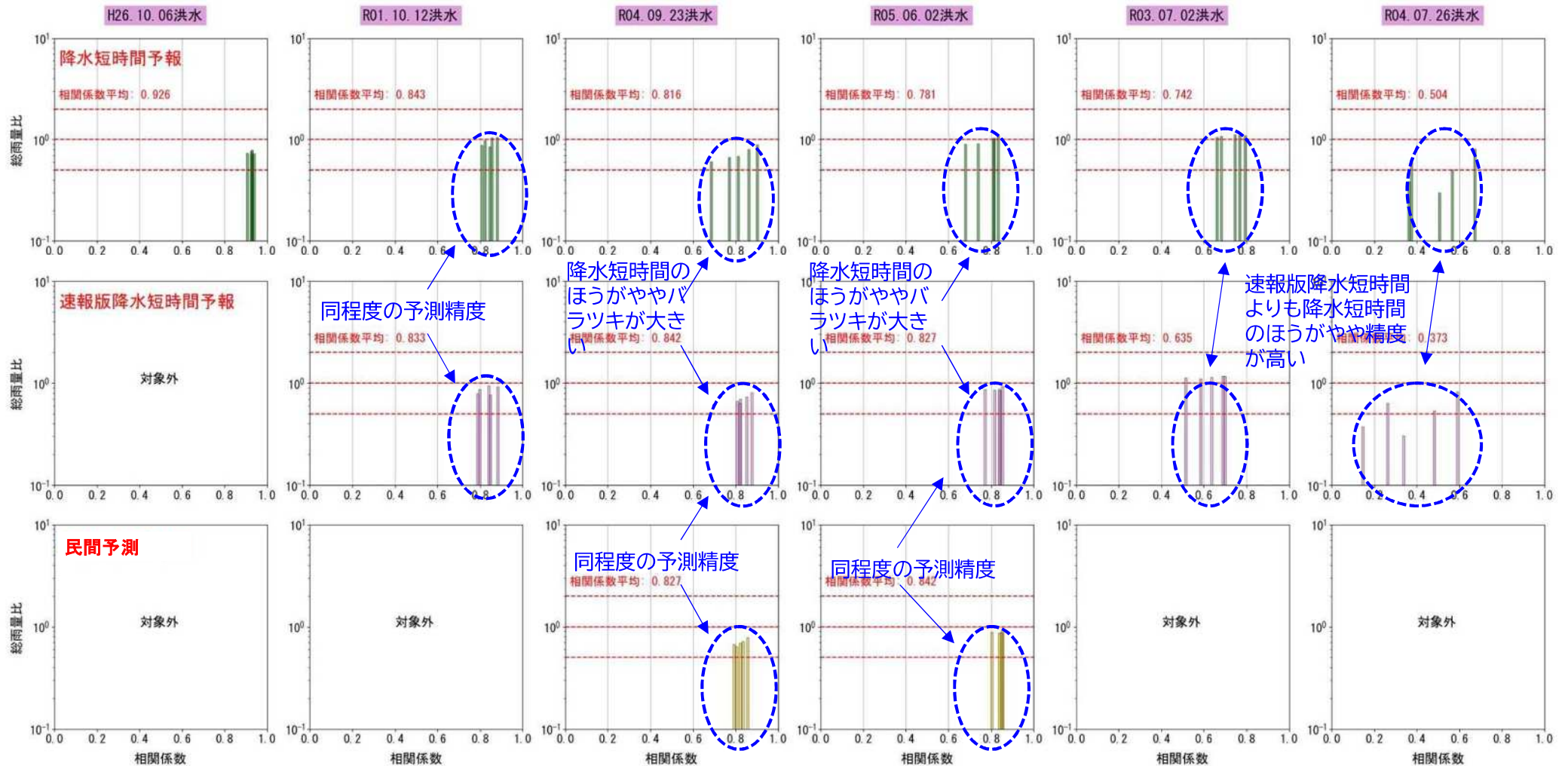
# 予測雨量の精度評価(2時間先)

- 予測雨量と実況レーダ雨量を、予測時間先毎に比較
  - ✓ R4.9、R5.6洪水では降水短時間のバラツキがやや大きい、一方、R3.7、R4.7洪水では速報版降水短時間のほうがバラツキが大きい

## ■ 予測雨量の精度検証

### 台風性

### 前線性



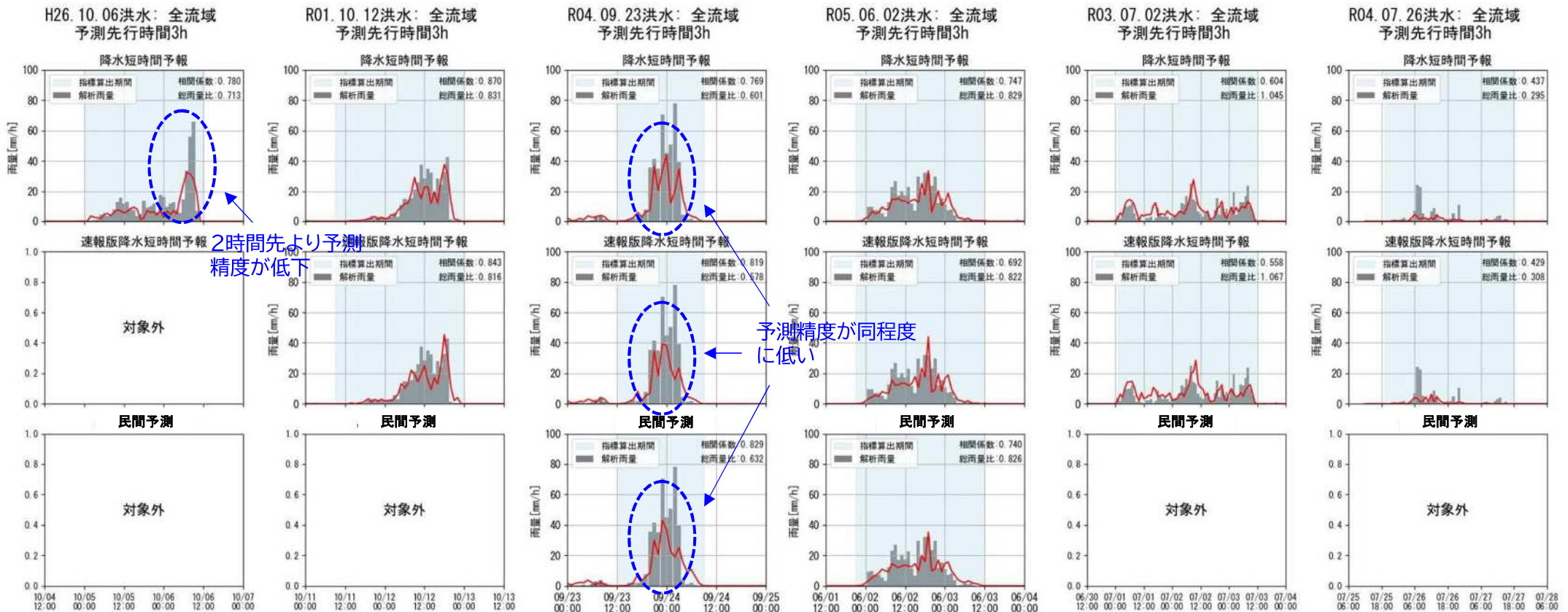
# 予測雨量(先行時間毎)の状況(3時間先)

- 予測雨量と実況レーダ雨量を、予測時間先毎に比較
  - ✓ R4.9洪水、R4.7洪水では、どのプロダクトも特に予測精度が低い
  - ✓ 降雨毎に確認しても、プロダクト間で明確な精度の差はみられない

## 3時間先の予測雨量の状況

台風性

前線性





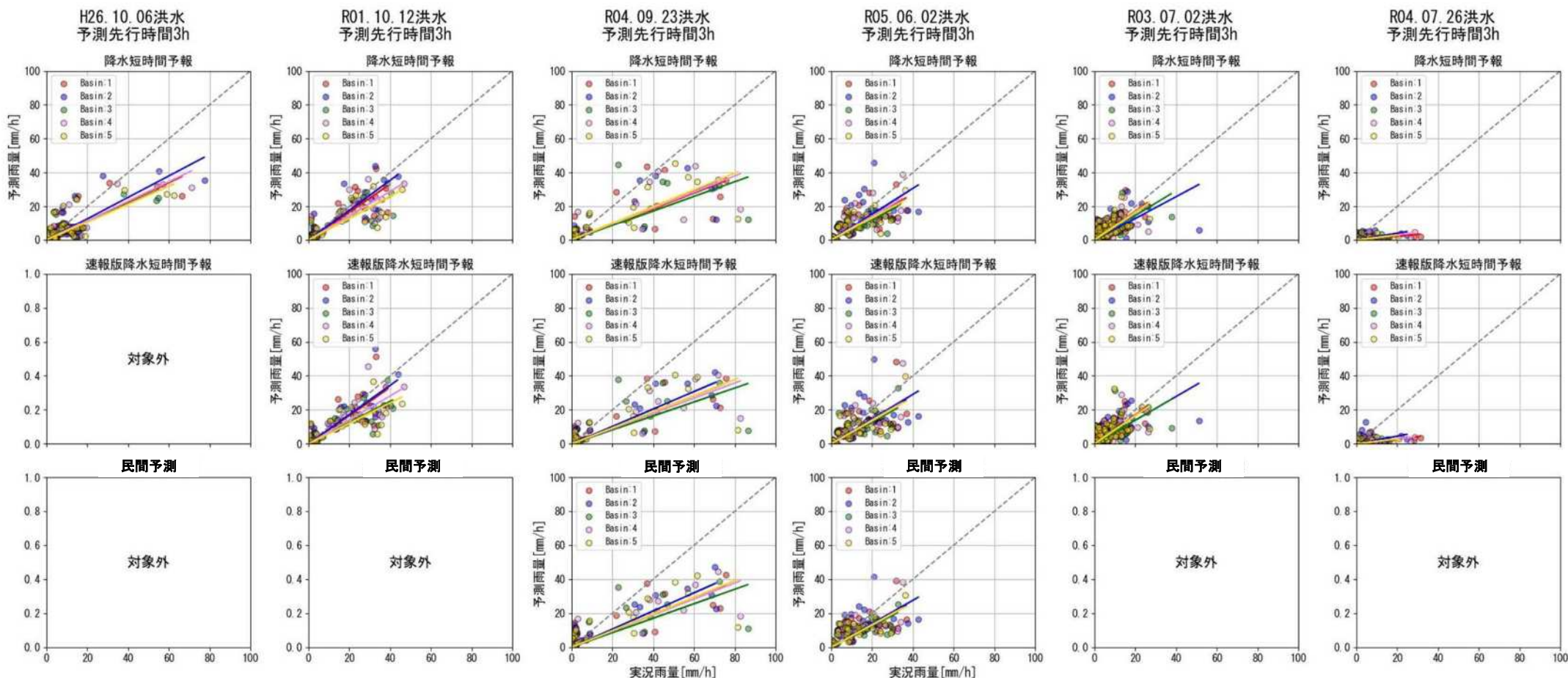
# 予測雨量と実況レーダ雨量の比較(3時間先)

- 予測雨量と実況レーダ雨量を、予測時間先毎に比較
  - ✓ R4.9洪水、R4.7洪水では、どのプロダクトも特に予測精度が低い
  - ✓ 降雨毎に確認しても、プロダクト間で明確な精度の差はみられない

## ■ 予測雨量と実況レーダ雨量の比較

台風性

前線性



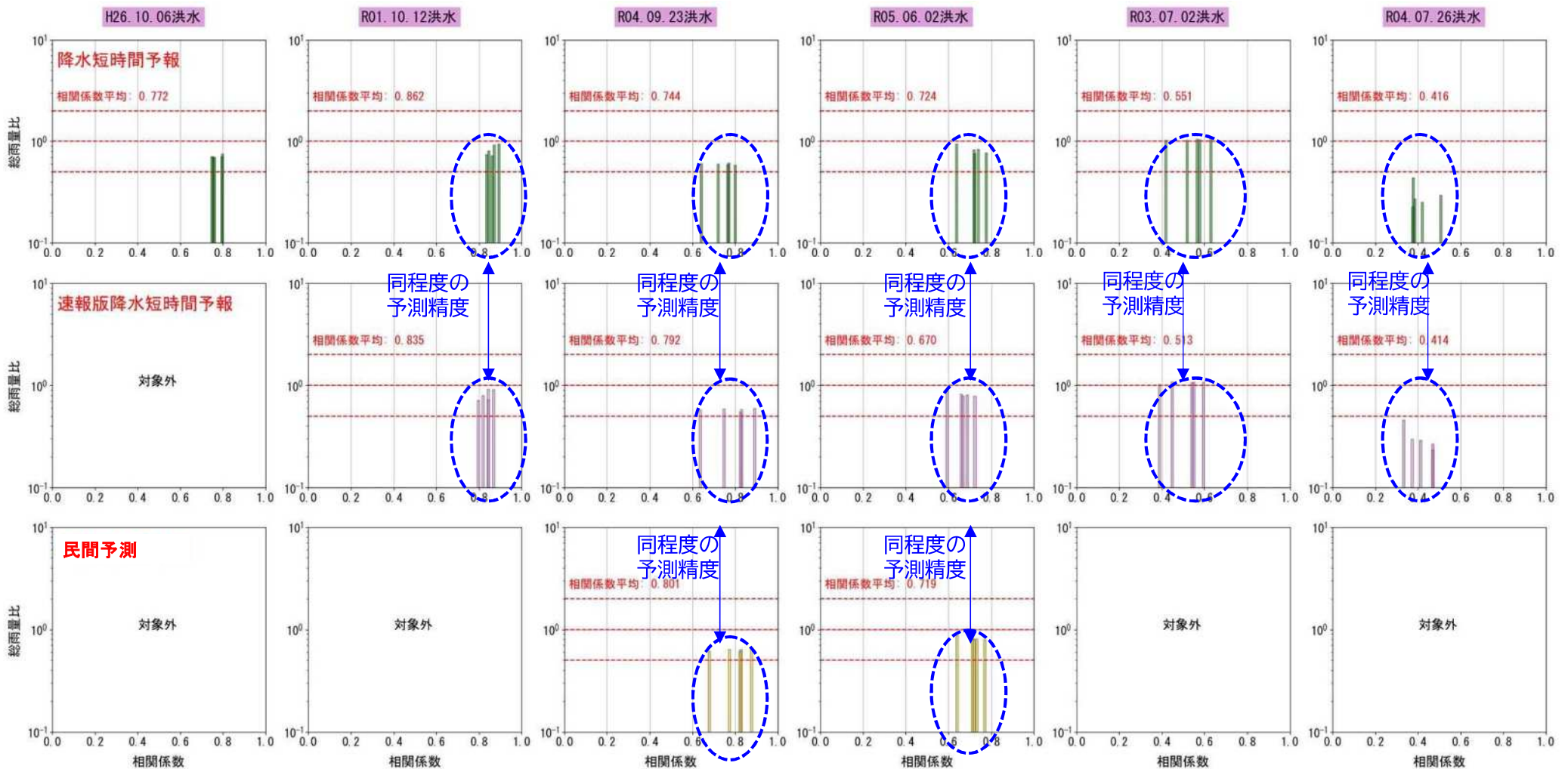
# 予測雨量の精度評価(3時間先)

- 予測雨量と実況レーダ雨量を、予測時間先毎に比較
  - ✓ 降雨毎に確認しても、プロダクト間で明確な精度の差はみられない

## ■ 予測雨量の精度検証

### 台風性

### 前線性





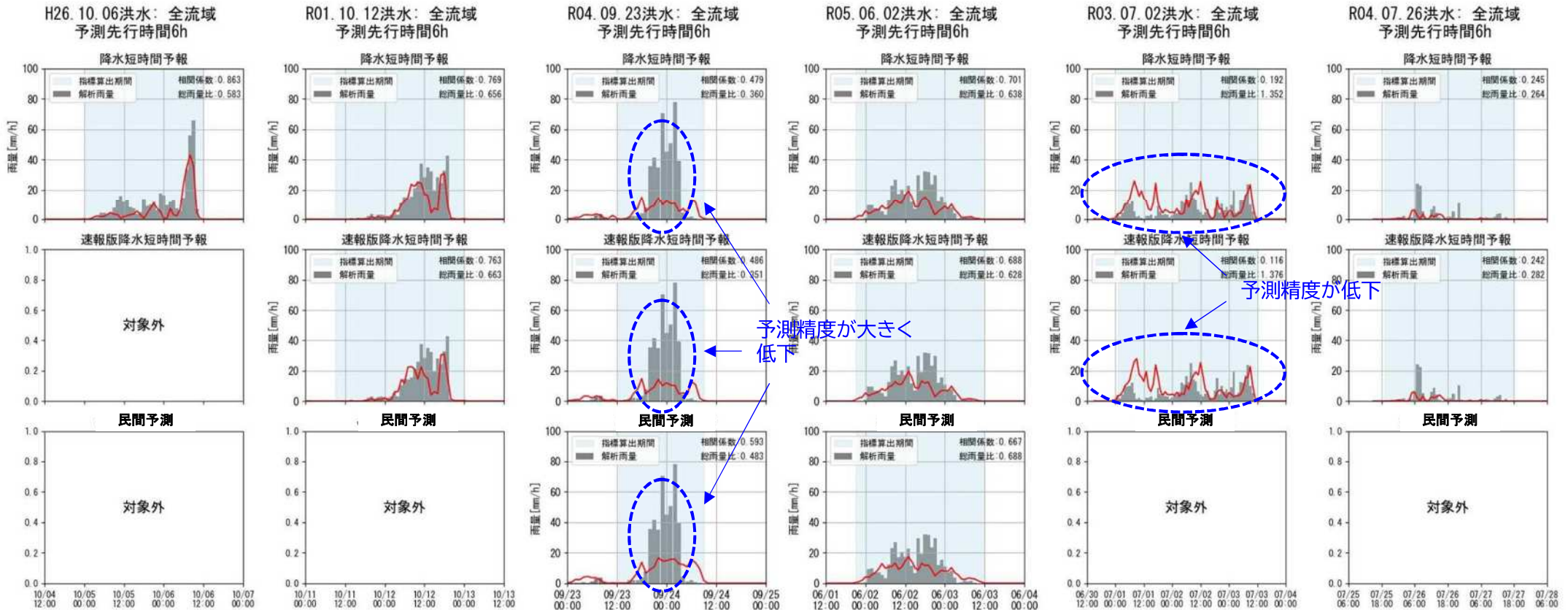
# 予測雨量(先行時間毎)の状況(6時間先)

- 予測雨量と実況レーダ雨量を、予測時間先毎に比較
  - ✓ 6時間先では、どのプロダクトも精度は低く、R4.9洪水はその傾向が顕著
  - ✓ 降雨毎に確認しても、プロダクト間で明確な精度の差はみられない

## 6時間先の予測雨量の状況

台風性

前線性



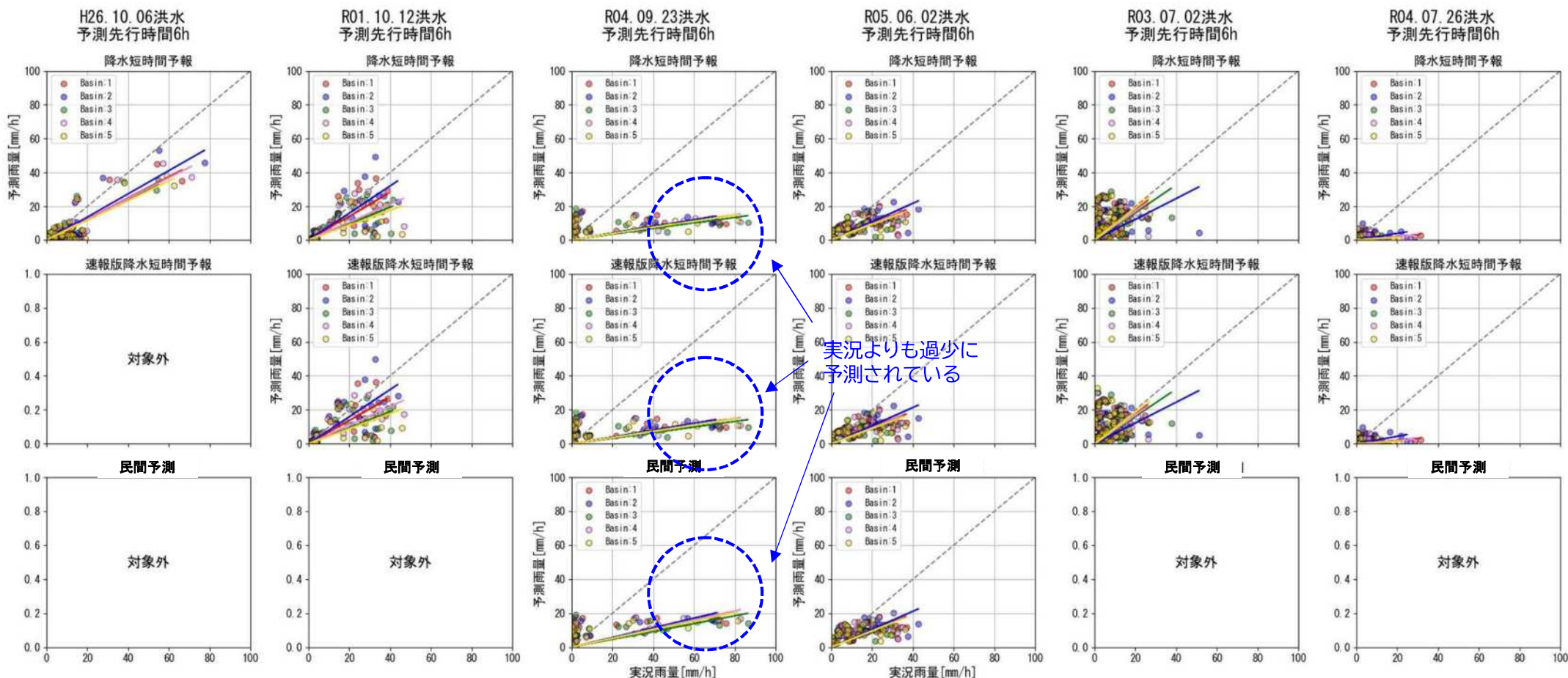
# 予測雨量と実況レーダ雨量の比較(6時間先)

- 予測雨量と実況レーダ雨量を、予測時間先毎に比較
  - ✓ 6時間先では、どのプロダクトも精度は低い、R4.9洪水はその傾向が顕著
  - ✓ 降雨毎に確認しても、プロダクト間で明確な精度の差はみられない

## ■ 予測雨量と実況レーダ雨量の比較

台風性

前線性





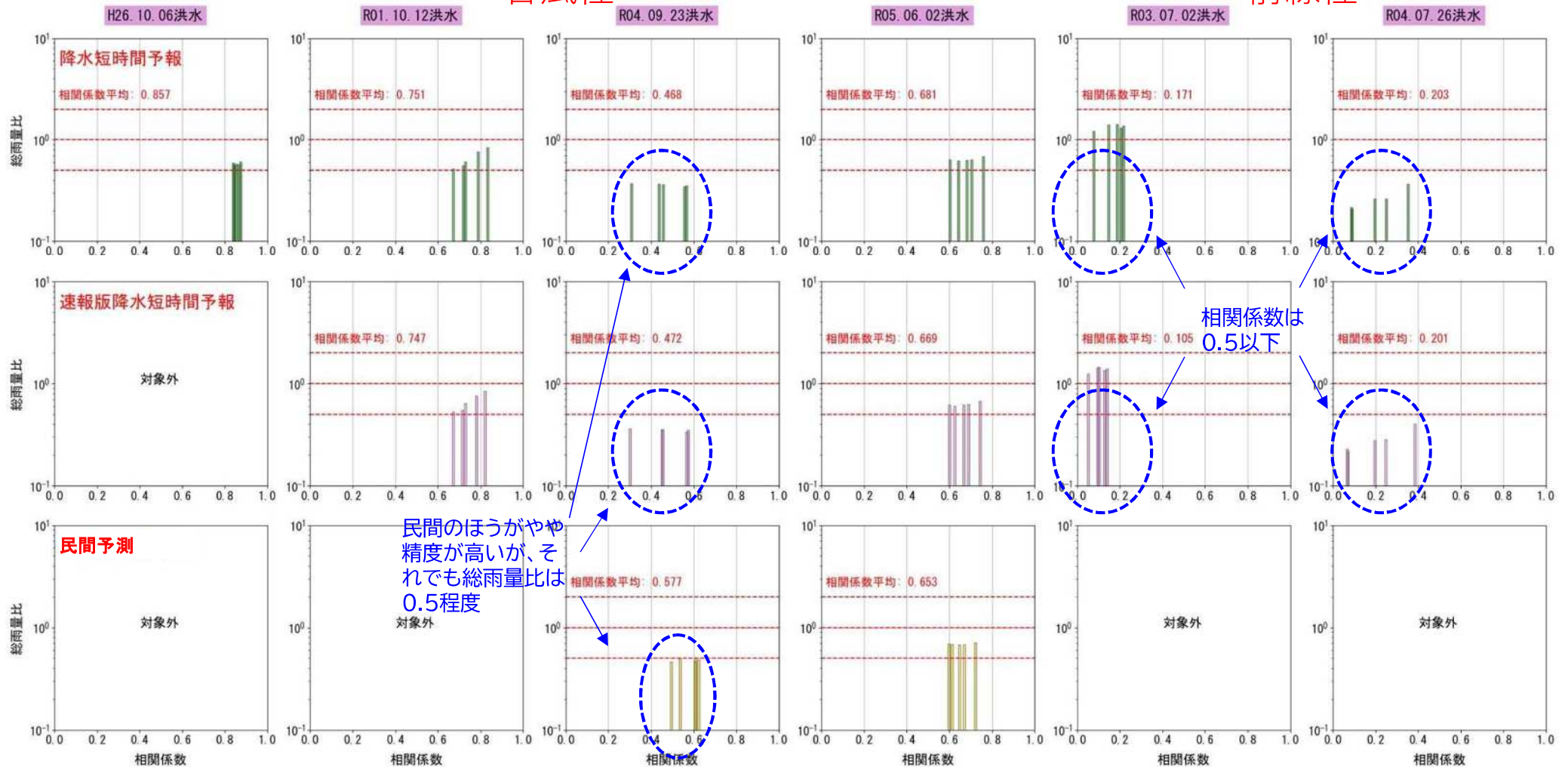
# 予測雨量の精度評価(6時間先)

- 予測雨量と実況レーダ雨量を、予測時間先毎に比較
  - ✓ 6時間先では、R3.7洪水を除いてどのプロダクトも総雨量比が小さい
  - ✓ 降雨毎に確認しても、プロダクト間で明確な精度の差はみられない

## ■ 予測雨量の精度検証

### 台風性

### 前線性



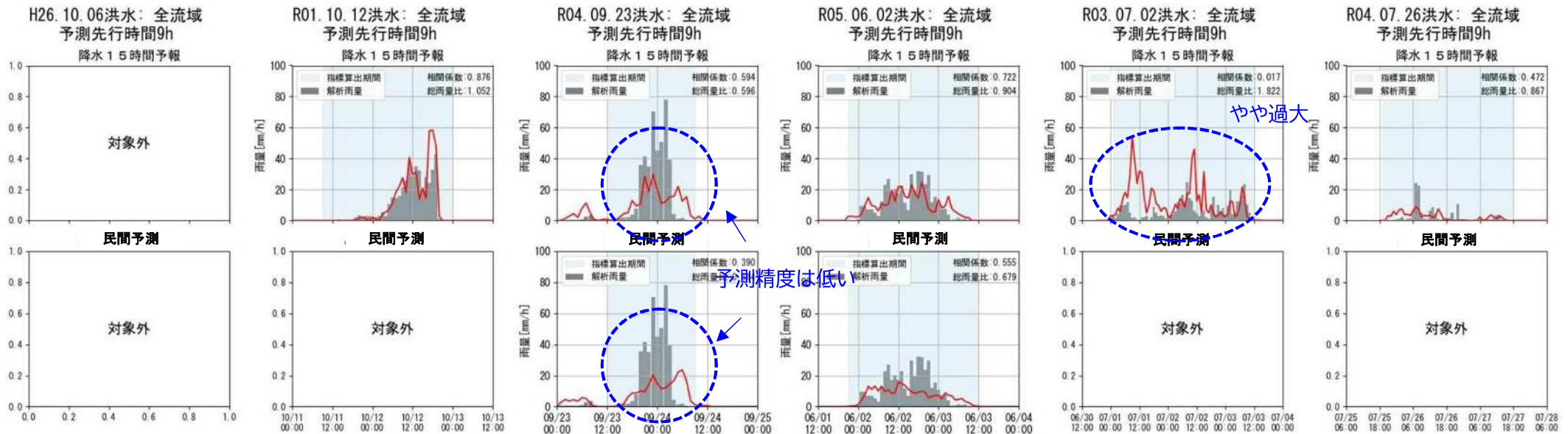
# 予測雨量(先行時間毎)の状況(9時間先)

- 予測雨量と実況レーダ雨量を、予測時間先毎に比較
  - ✓ 民間予測、降水15時間予報ともに精度は低いものの、降水15時間予報の方が雨量がやや多めになる傾向

## 9時間先の予測雨量の状況

台風性

前線性





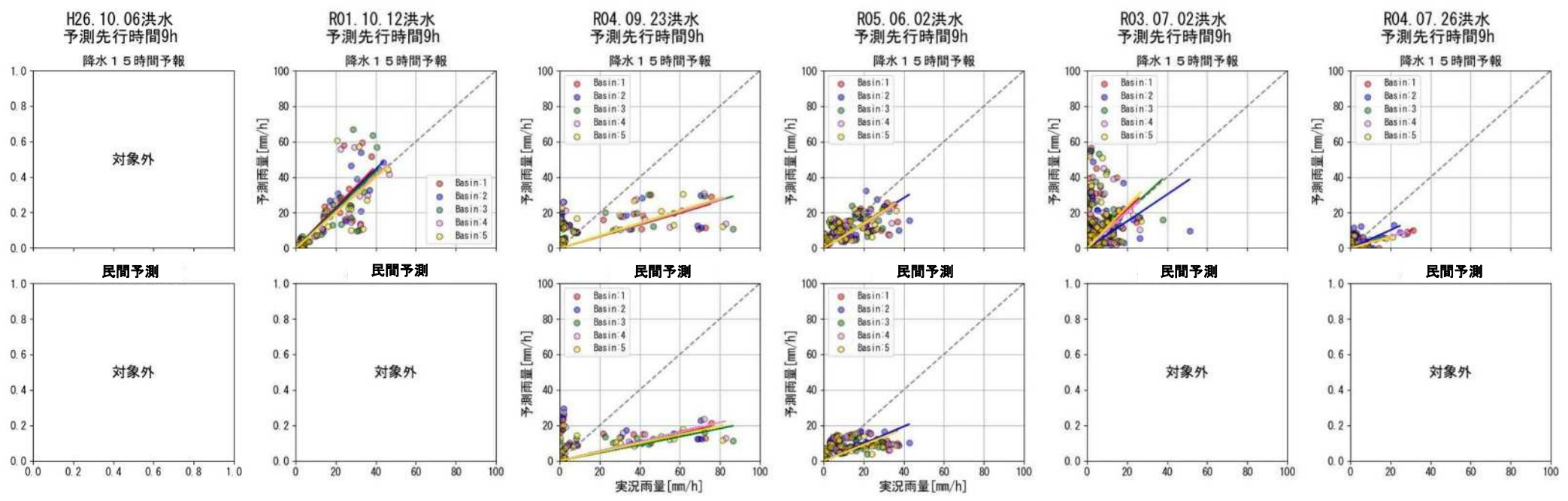
# 予測雨量と実況レーダ雨量の比較(9時間先)

- 予測雨量と実況レーダ雨量を、予測時間先毎に比較
  - ✓ 降水15時間予報、民間予測ともに強雨時間帯で予測精度は低い

## ■予測雨量と実況レーダ雨量の比較

### 台風性

### 前線性



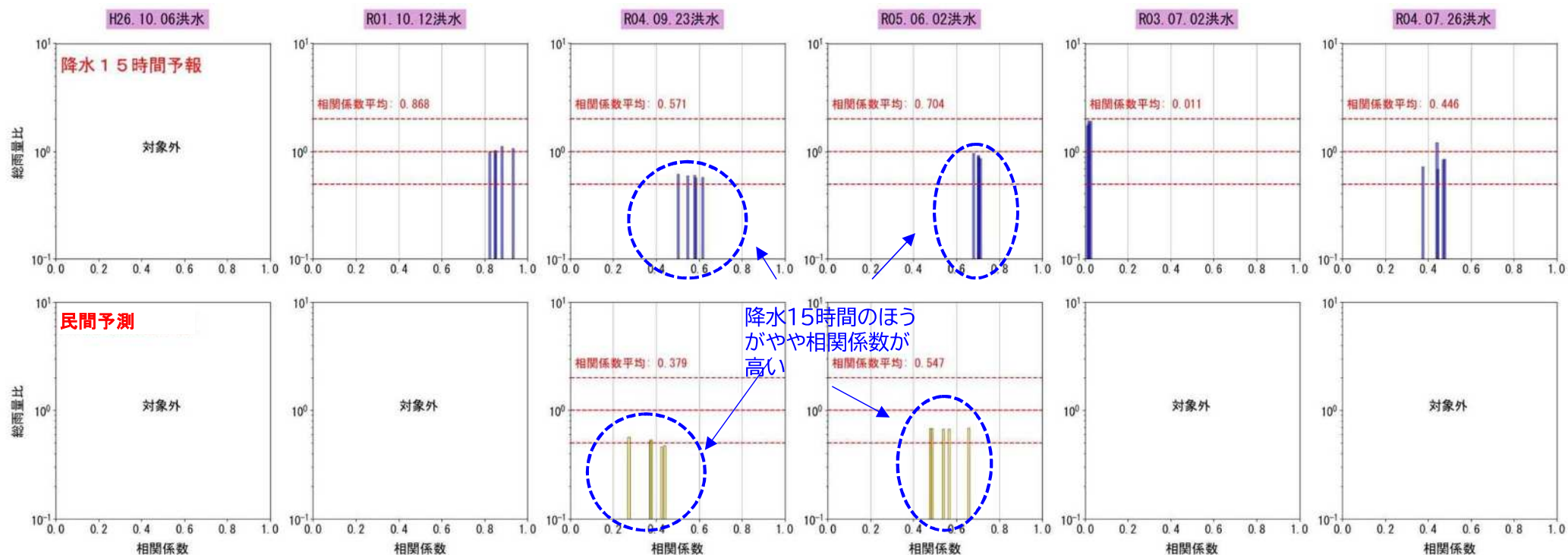
# 予測雨量の精度評価(9時間先)

- 予測雨量と実況レーダ雨量を、予測時間先毎に比較
  - ✓ 民間予測、降水15時間予報ともに精度は低いものの、降水15時間予報の方がやや相関係数は高い

## ■予測雨量の精度検証

### 台風性

### 前線性





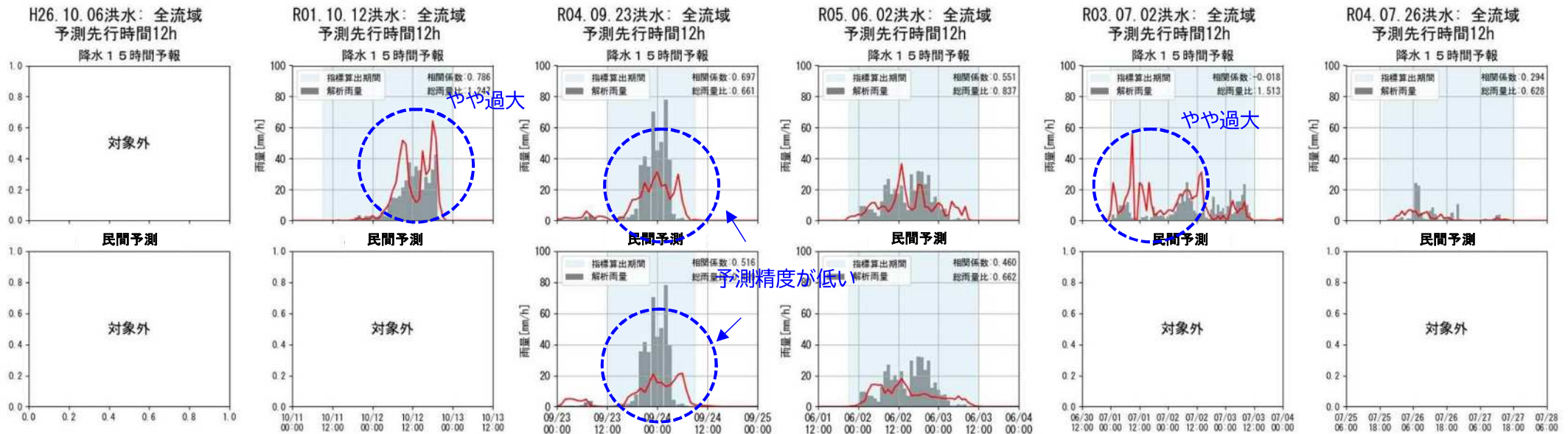
# 予測雨量(先行時間毎)の状況(12時間先)

- 予測雨量と実況レーダ雨量を、予測時間先毎に比較
  - ✓ 民間予測、降水15時間予報ともに精度は低いものの、降水15時間予報の方が雨量がやや多めになる傾向

## 12時間先の予測雨量の状況

### 台風性

### 前線性



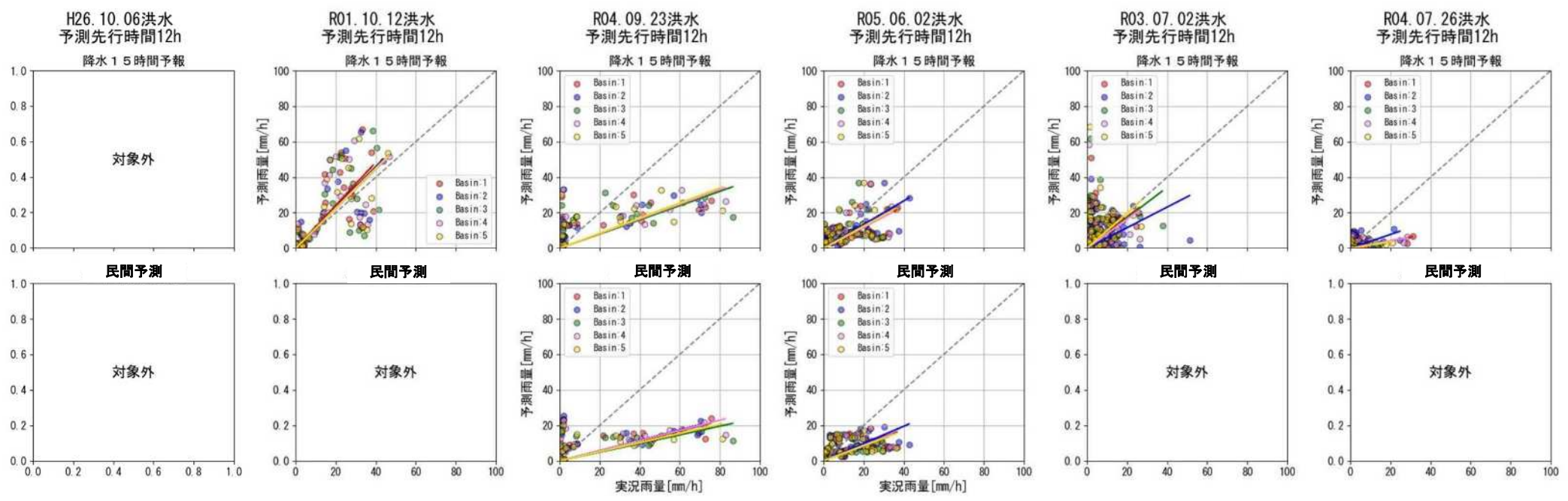
# 予測雨量と実況レーダ雨量の比較(12時間先)

- 予測雨量と実況レーダ雨量を、予測時間先毎に比較
  - ✓ 降水15時間予報、民間予測ともに強雨時間帯で予測精度は低い

## ■予測雨量と実況レーダ雨量の比較

台風性

前線性





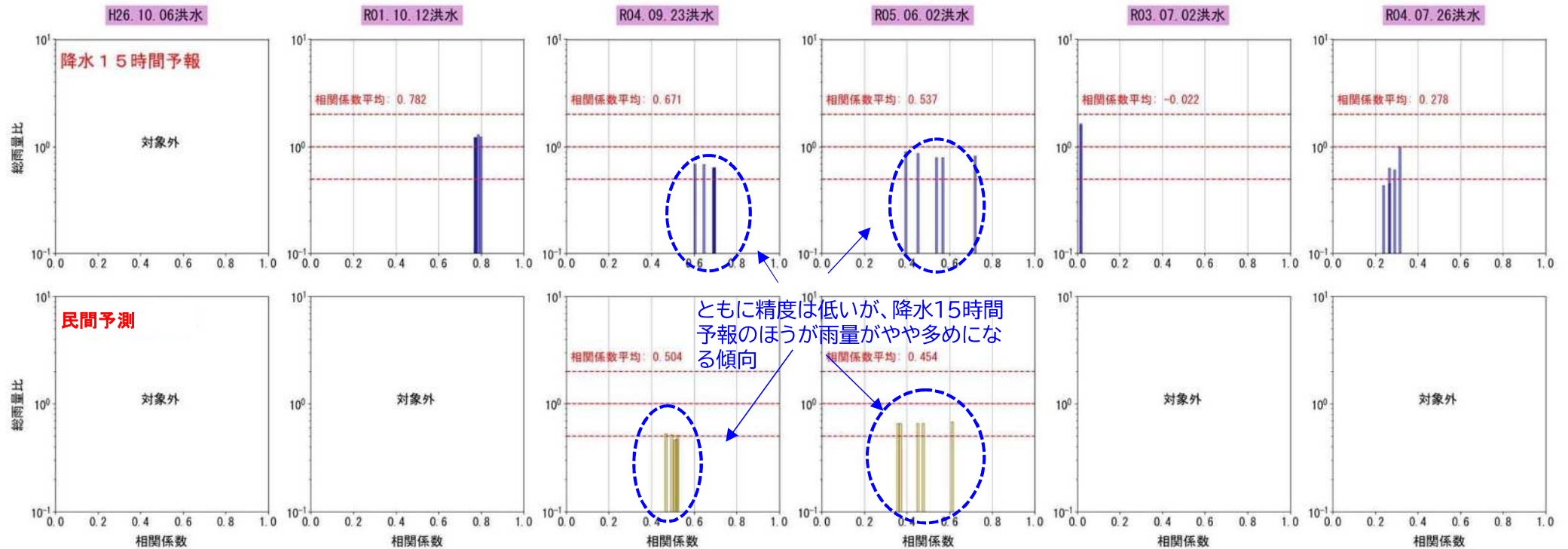
# 予測雨量の精度評価(12時間先)

- 予測雨量と実況レーダ雨量を、予測時間先毎に比較
  - ✓ 民間予測、降水15時間予報ともに精度は低いものの、降水15時間予報の方が雨量がやや多めになる傾向

## ■予測雨量の精度検証

### 台風性

### 前線性



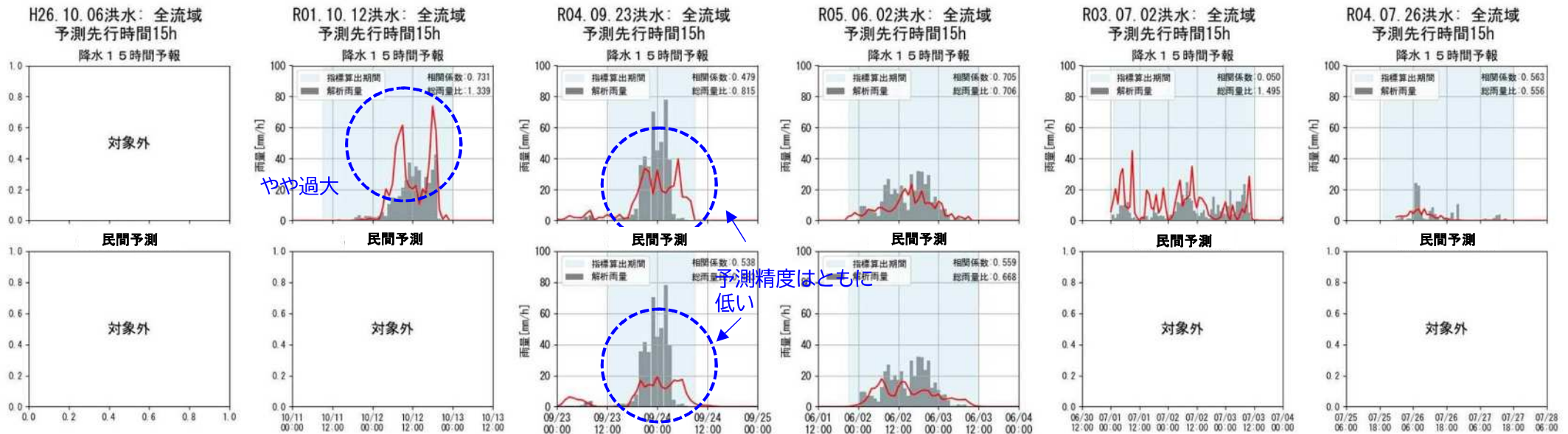
# 予測雨量(先行時間毎)の状況(15時間先)

- 予測雨量と実況レーダ雨量を、予測時間先毎に比較
  - ✓ 民間予測、降水15時間予報ともに精度は低いものの、降水15時間予報の方が雨量がやや多めになる傾向

## 15時間先の予測雨量の状況

台風性

前線性





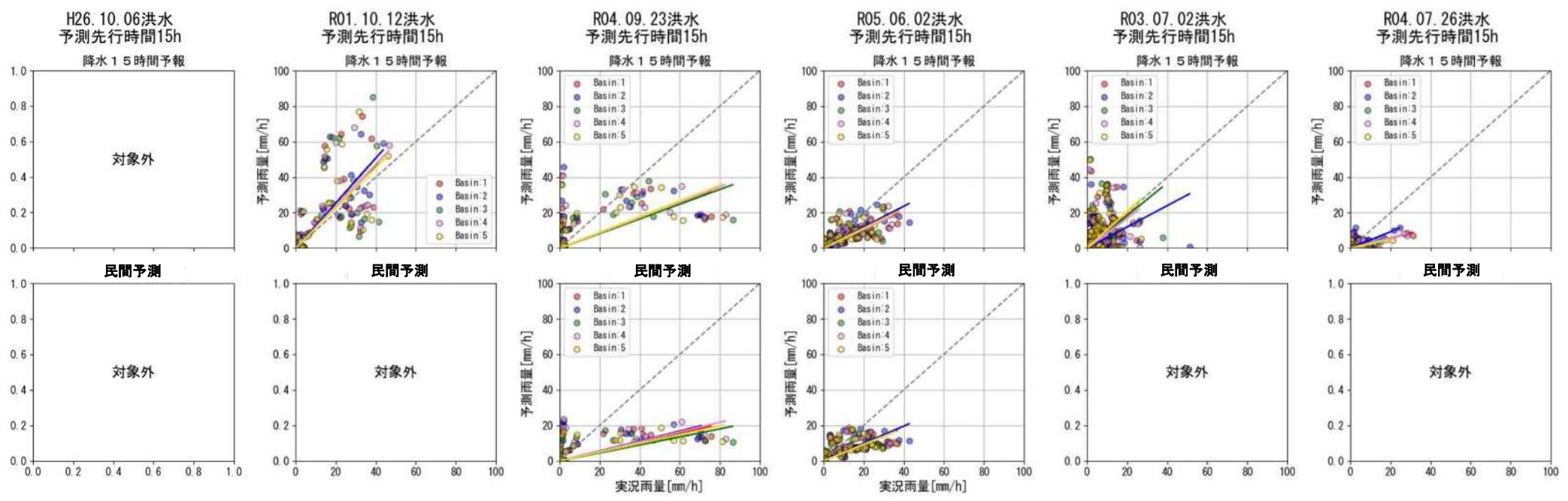
# 予測雨量と実況レーダ雨量の比較(15時間先)

- 予測雨量と実況レーダ雨量を、予測時間先毎に比較
  - ✓ 降水15時間予報、民間予測ともに強雨時間帯で予測精度は低い

## ■予測雨量と実況レーダ雨量の比較

台風性

前線性



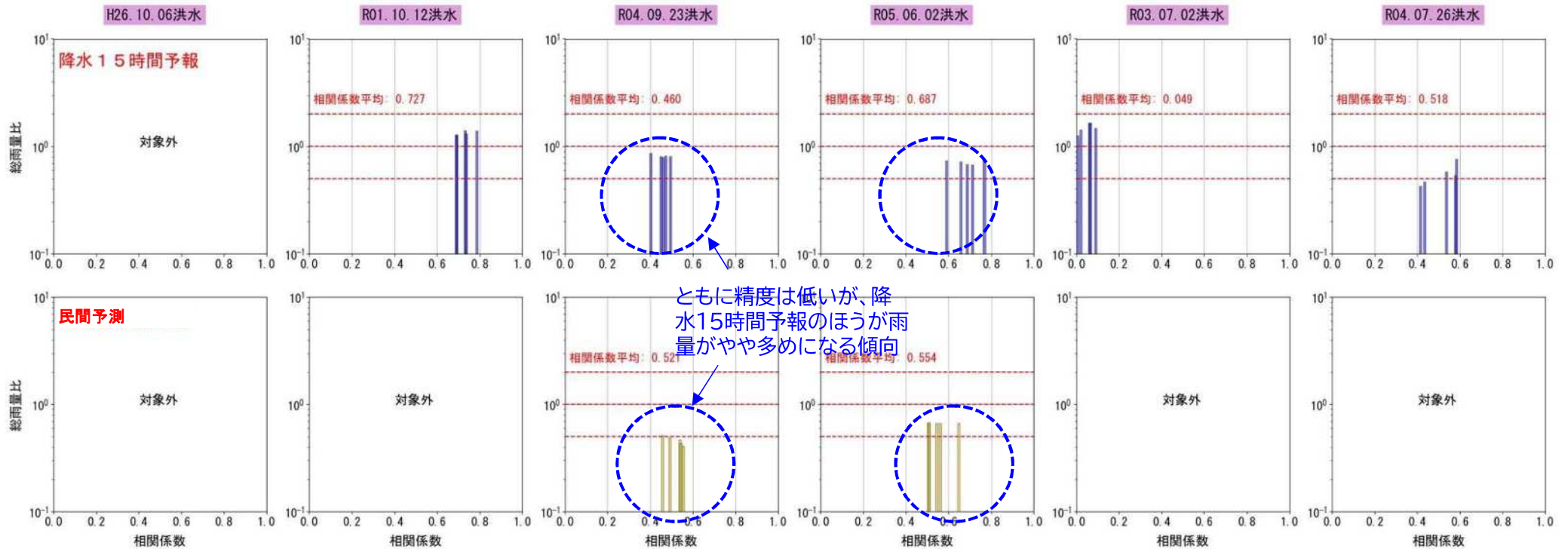
# 予測雨量の精度評価(15時間先)

- 予測雨量と実況レーダ雨量を、予測時間先毎に比較
  - ✓ 民間予測、降水15時間予報ともに精度は低いものの、降水15時間予報の方が雨量がやや多めになる傾向

## ■ 予測雨量の精度検証

### 台風性

### 前線性





# 予測計算に使用する予測雨量の選定

- 配信頻度、時空間解像度、精度等の観点から、予測先行時間毎に採用する予測雨量を選定

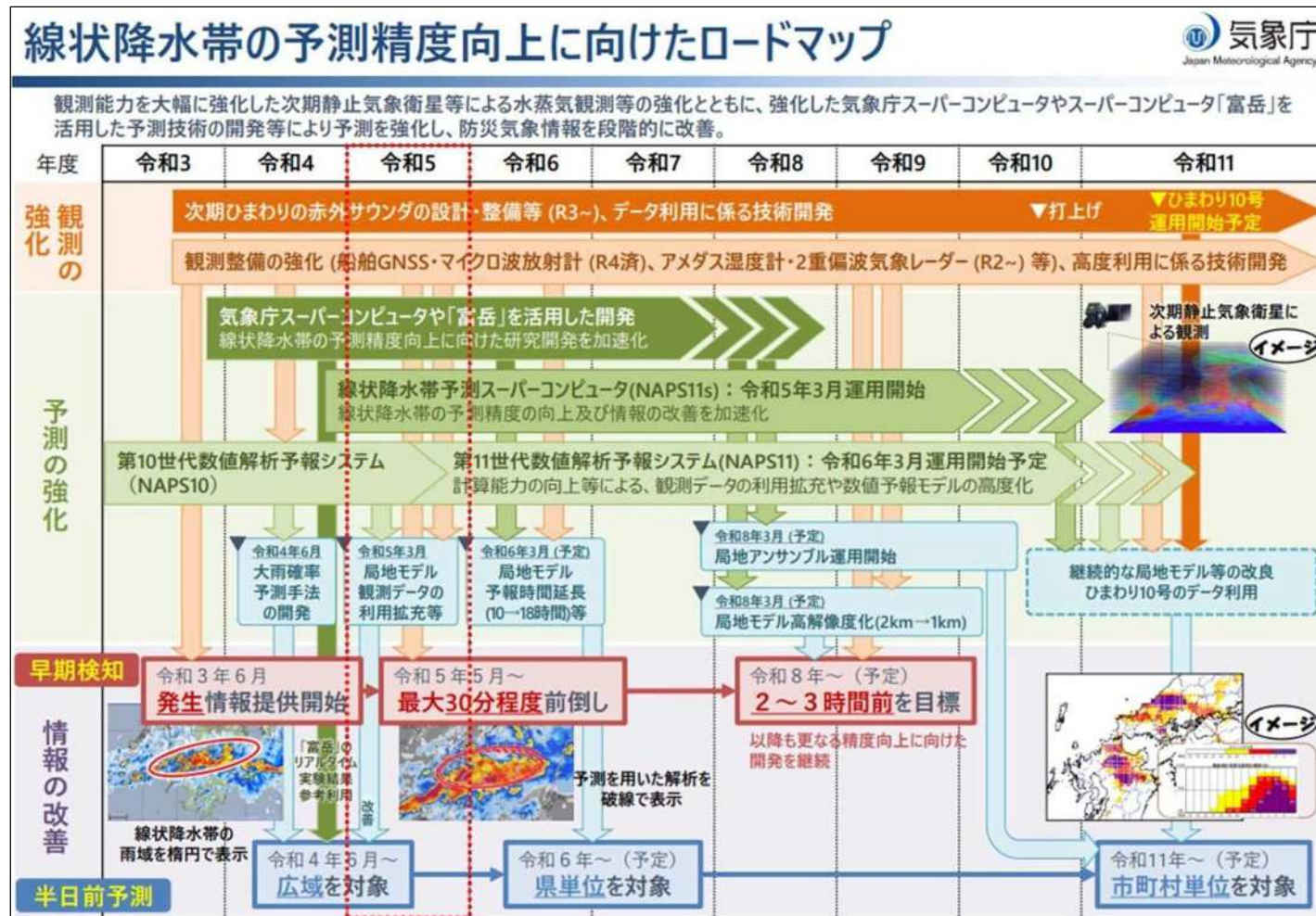
## ■予測雨量の選定

選定基準	評価の視点		高解像度降水 ナウキャスト	降水短時間 予報	速報版降水 短時間予報	降水15時間 予報	民間予測
予測先時間	プロダクト毎に同じ予測先時間があるもので比較		1時間先まで	1～6時間先	1～6時間先	7～15時間先	1～78時間先
配信頻度	予測の更新頻度が早い降雨データを優先する		(5分)	(30分)	(10分)	(1時間)	(1時間)
配信遅れ	配信までのタイムラグが短いものを優先		(5分)	(20分)	(10分)	(20分)	(15分)
雨量時間単位	時間単位が小さいものを優先する		(5分)	(1時間)	(1時間)	(1時間)	(1時間)
空間解像度	空間解像度が高いものを優先する		(250m)	(1km)	(1km)	(5km)	(1km)
予測雨量精度	解析雨量と比較して、総雨量比と相関係数の精度が高いものを優先する	～1時間先	○採用	比較対象	比較対象	比較対象外	比較対象
		2-6時間先	比較対象外	比較対象	○採用	比較対象外	比較対象
		7-15時間先	比較対象外	比較対象外	比較対象外	○採用	比較対象
評価			精度、配信頻度が高い	次点候補として取得予定	降短と同等な精度、配信頻度が高い	7時間先以降で雨量がやや多めで安全側	次点候補として取得予定

※来年度、予測システム(プロトタイプ)運用後に発生する降雨においても、引き続き予測雨量の精度を確認し、採用するプロダクトの妥当性を確認

# 線状降水帯予測向上にむけた気象庁の取り組み

- 令和6年より、県単位で線状降水帯の半日前予測が提供される見込み
- さまざまな観測・予測の強化により、予測の精度は年々改善が見込まれ、令和11年頃より市町村単位での線状降水帯の半日前予測が提供される

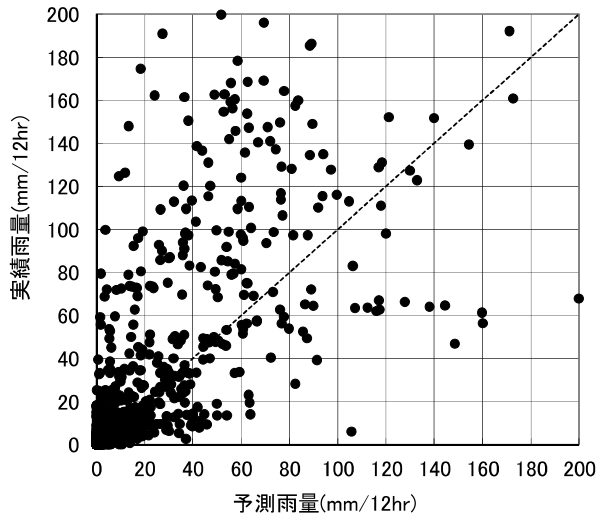




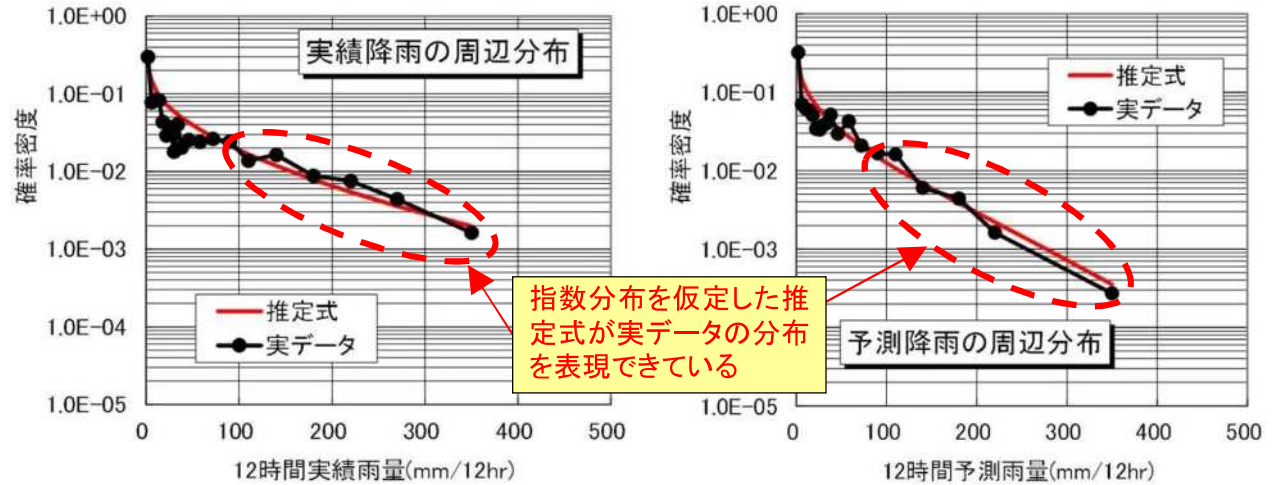
# 予測雨量の誤差に関する検討方法①

- 予測雨量誤差を過去の降雨データから統計的に解析し、リアルタイムの水位・氾濫域予測への適用方法を検討

実績雨量と予測雨量の発生頻度分布を指数分布で近似(12時間累加雨量の例)

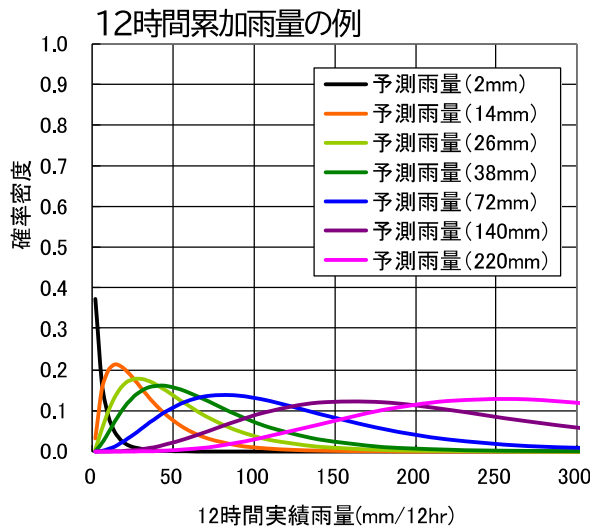


実績雨量と予測雨量の関係



$$f_R(R) = \frac{1}{\sigma_R} \exp\left\{-\frac{R}{\sigma_R}\right\} \quad \text{指数分布(周辺分布)} \quad f_r(r) = \frac{1}{\sigma_r} \exp\left\{-\frac{r}{\sigma_r}\right\}$$

R: 実績雨量、r: 予測雨量、 $\sigma_R$ : 実績雨量の尺度母数、 $\sigma_r$ : 予測雨量の尺度母数



実績雨量と予測雨量の相関係数等から二次元指数分布(条件付き確率分布)を作成

条件付き確率分布

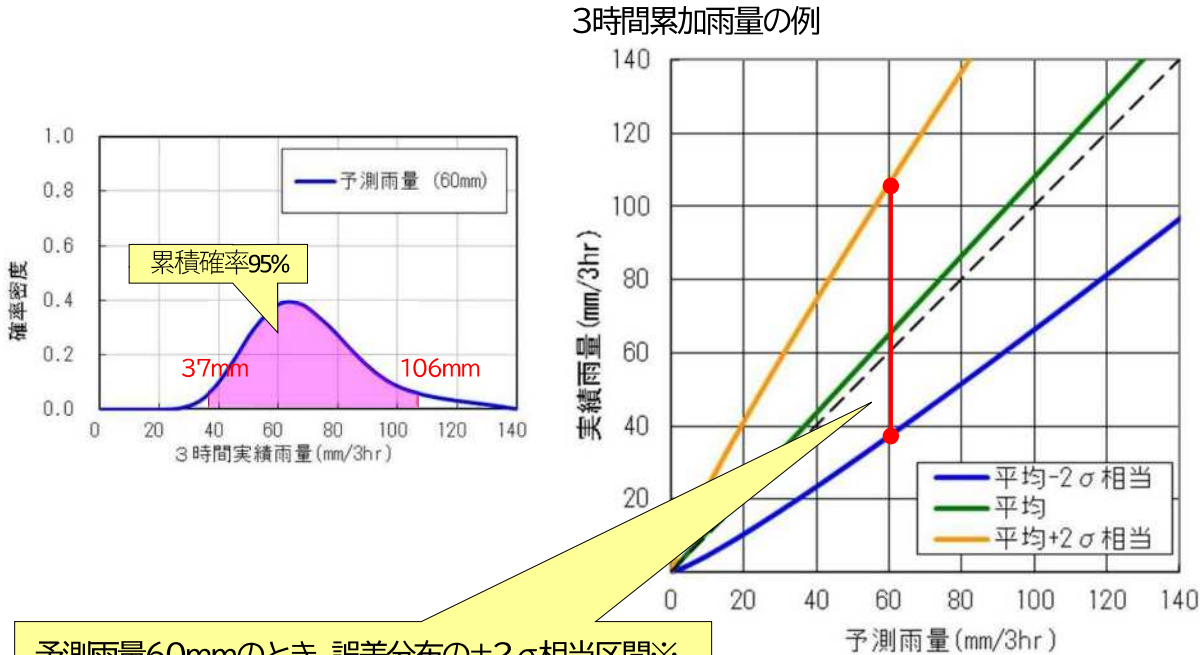
$$f(R | r) = \frac{1}{\sigma_R(1-\rho)} \exp\left\{-\frac{R}{\sigma_R(1-\rho)} - \frac{\rho r}{\sigma_r(1-\rho)}\right\} I_0\left(\frac{2\sqrt{\rho}}{1-\rho} \sqrt{\frac{Rr}{\sigma_R\sigma_r}}\right)$$

R: 実績雨量、r: 予測雨量、 $\sigma_R$ : 実績雨量の尺度母数、 $\sigma_r$ : 予測雨量の尺度母数、 $\rho$ : 相関係数( $0 \leq \rho < 1$ )  
 $I_0(x)$ : 第1種0次の変形ベッセル関数

# 予測雨量の誤差に関する検討方法②

- 予測雨量誤差を過去の降雨データから統計的に解析し、リアルタイムの水位・氾濫域予測への適用方法を検討

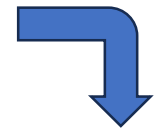
予測累加雨量のレンジ別の実績累加雨量の発生頻度分布、ならびに予測累加雨量の誤差幅を推定



予測雨量60mmのとき、誤差分布の±2σ相当区間※  
【上限値】106mm  
【下限値】37mm  
すなわち、予測雨量60mmのとき、95%の確率で、実績雨量は37mm～106mmの間となる

※±2σ相当区間とは  
本検討では、以下のように定義する。  
「ある予測雨量に対して、実績雨量が約95%(正規分布でいう±2σ)の確率でその値の範囲に収まる上限値、下限値に挟まれる区間」

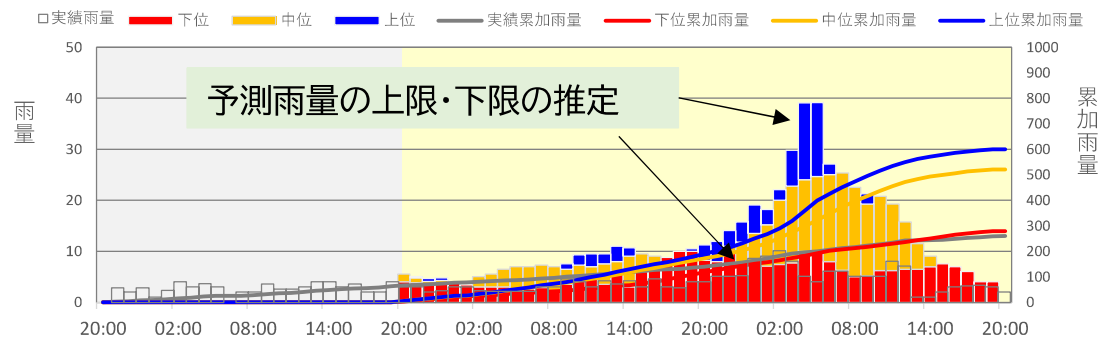
- ✓ 検討では、実績雨量は「解析雨量」、予測雨量は「降水短時間予報」と「降水15時間予報」を使用
- ✓ 水位・氾濫予測システムでは「速報版降水短時間予報」を採用するが、検討では降雨データの多い「降水短時間予報」を使用



統計的に算定された予測雨量の誤差を踏まえて

- ✓ システムでの予測雨量幅の表示
- ✓ 水位・氾濫域予測システムへの適用

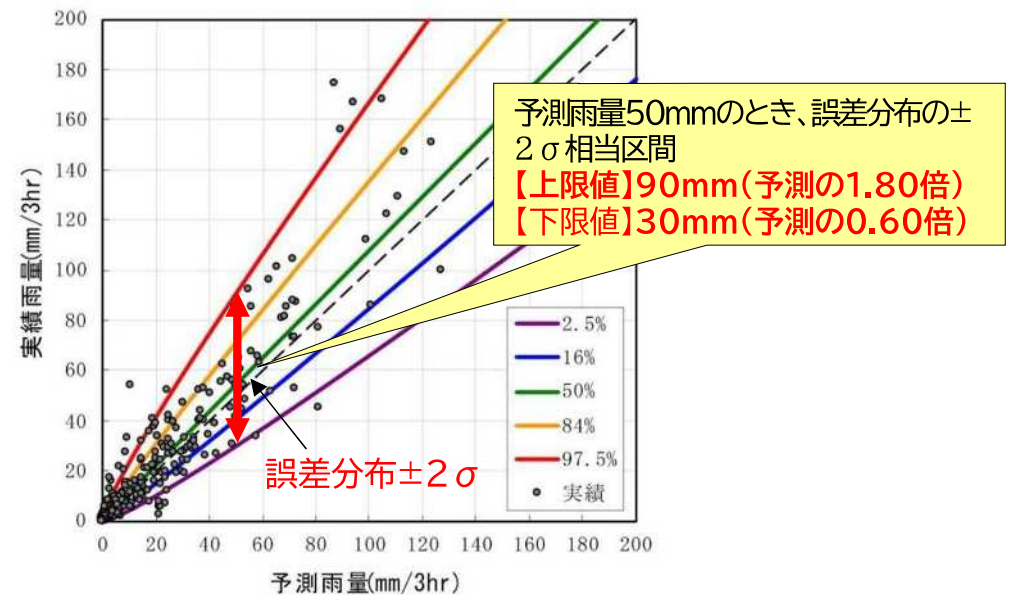
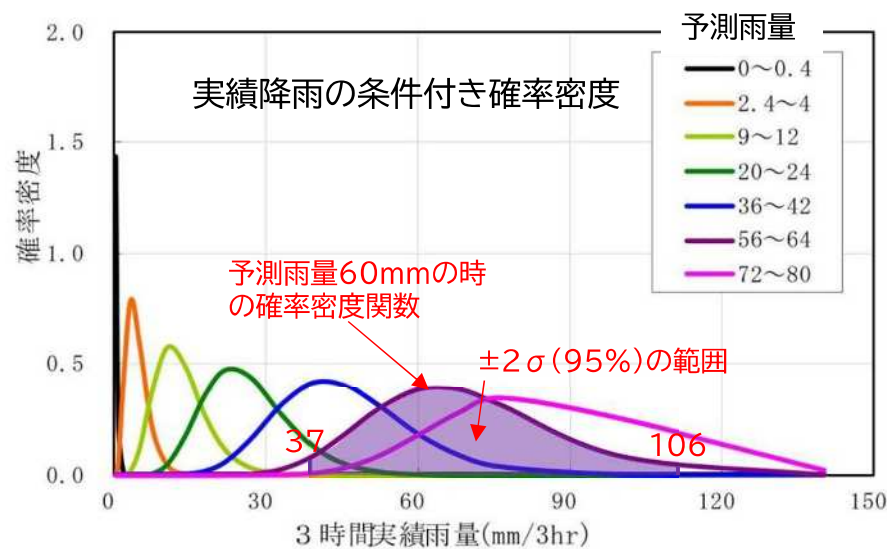
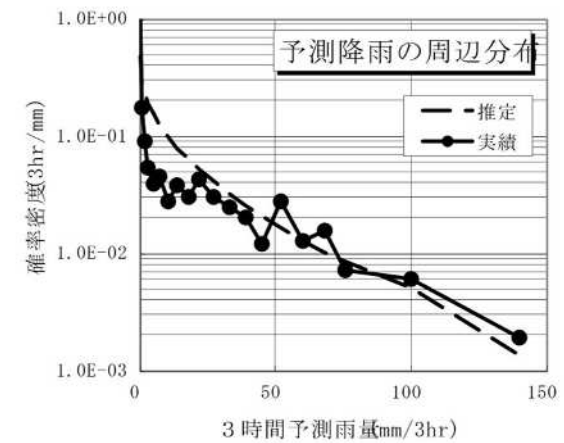
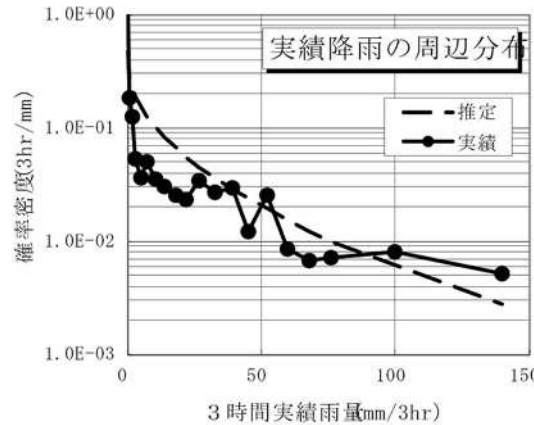
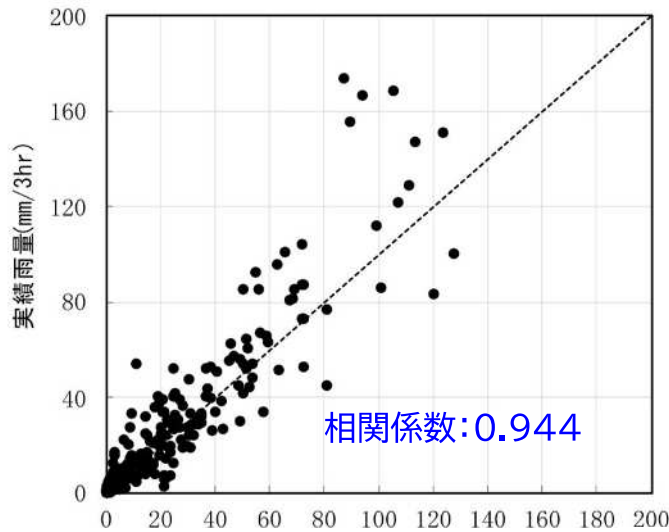
などについて検討を行う。





# 予測雨量の誤差の幅(3時間先累加雨量)

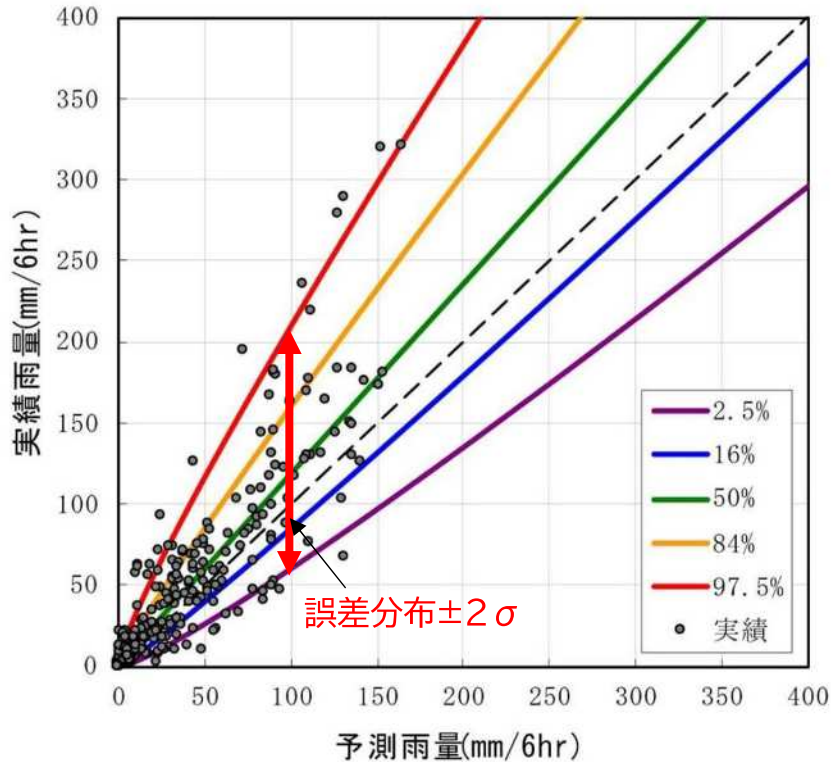
- 予測3時間雨量と実績3時間雨量は良好な相関関係を示している
- 予測雨量に対して、実績雨量の分布は概ね $\pm 2\sigma$ 範囲に含まれる



# 予測雨量の誤差の幅(6時間先、9時間先累加雨量)

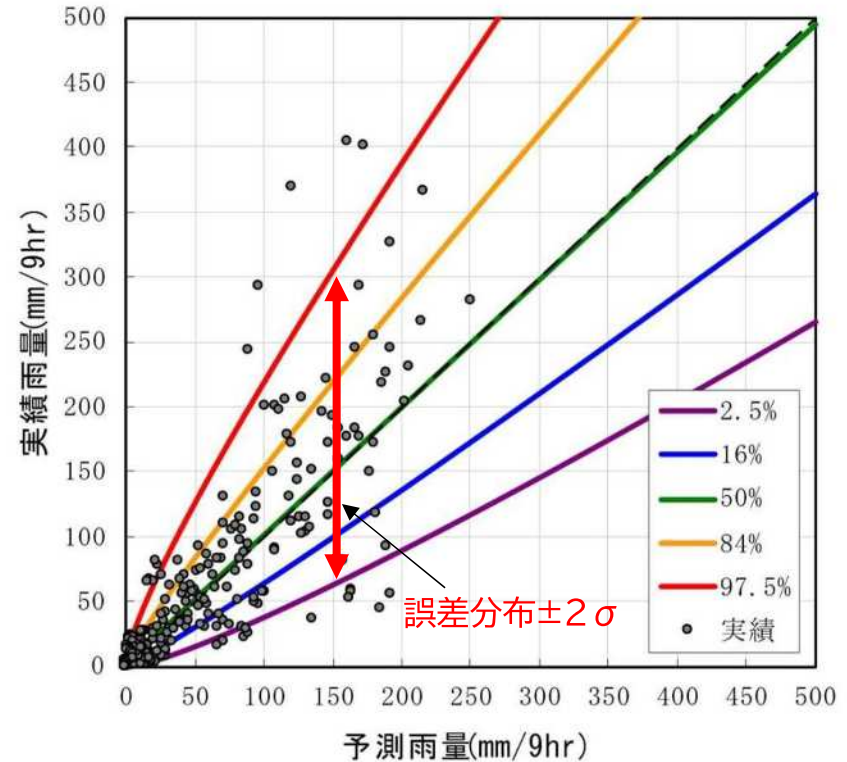
- 6時間先では、予測雨量と実績雨量は概ね良好な相関関係を示しているものの、令和4年9月洪水の影響により、100~150mm程度の予測雨量に対して実績雨量がやや大きくなる傾向
- 9時間先では、誤差幅が拡がり、予測雨量と実績雨量との相関関係が弱くなる

6時間先累加雨量



予測雨量100mmのとき、誤差分布の $\pm 2\sigma$ 相当区間  
**【上限値】209mm (予測の2.09倍)**  
**【下限値】 60mm (予測の0.61倍)**

9時間先累加雨量

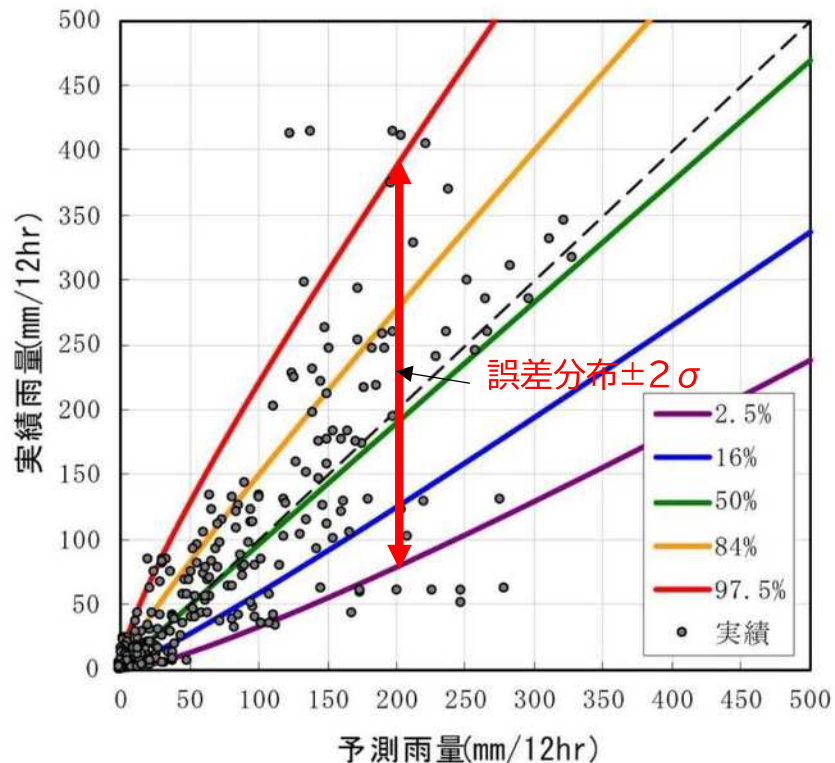


予測雨量150mmのとき、誤差分布の $\pm 2\sigma$ 相当区間  
**【上限値】305mm (予測の2.03倍)**  
**【下限値】 63mm (予測の0.42倍)**

# 予測雨量の誤差の幅(12時間先、15時間先累加雨量)の精度検証

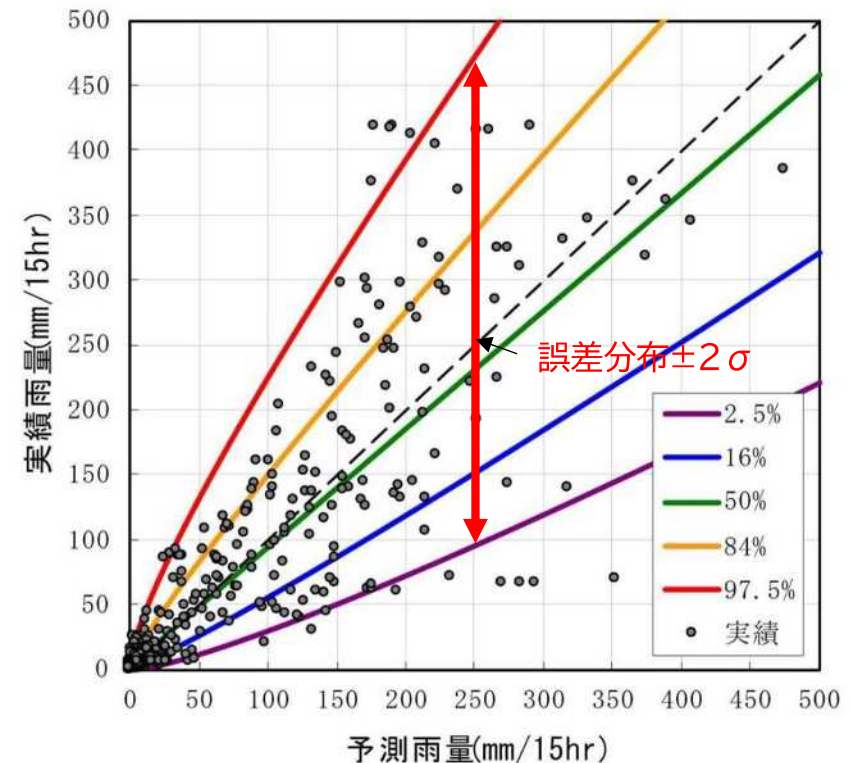
- 12時間先、15時間先では、9時間先と同様に予測雨量と実績雨量との相関関係は弱い

## 12時間先累加雨量



予測雨量200mmのとき、誤差分布の $\pm 2\sigma$ 相当区間  
**【上限値】388mm (予測の1.94倍)**  
**【下限値】 79mm (予測の0.40倍)**

## 15時間先累加雨量

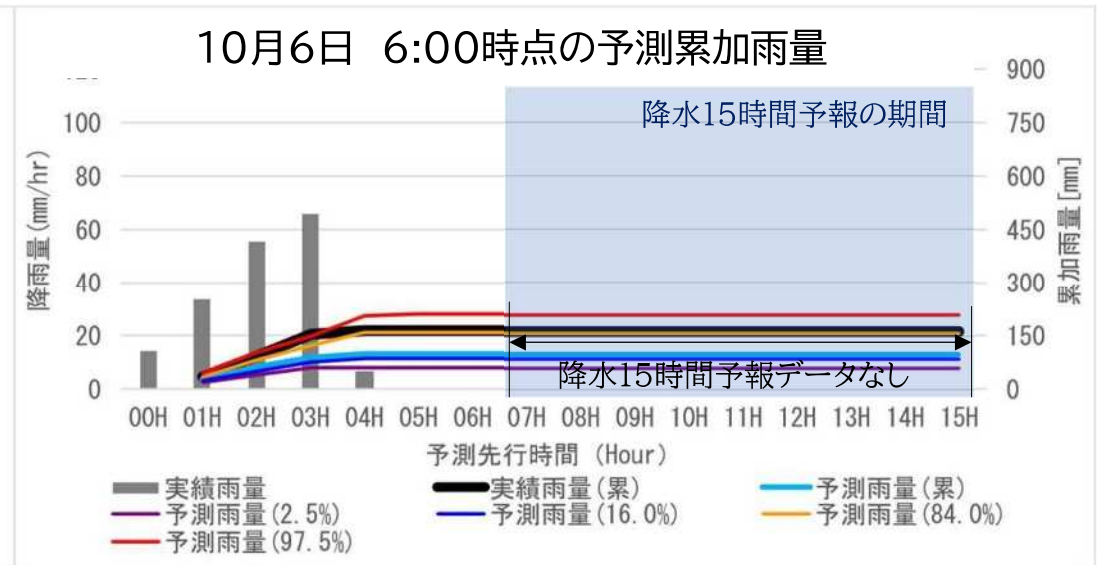
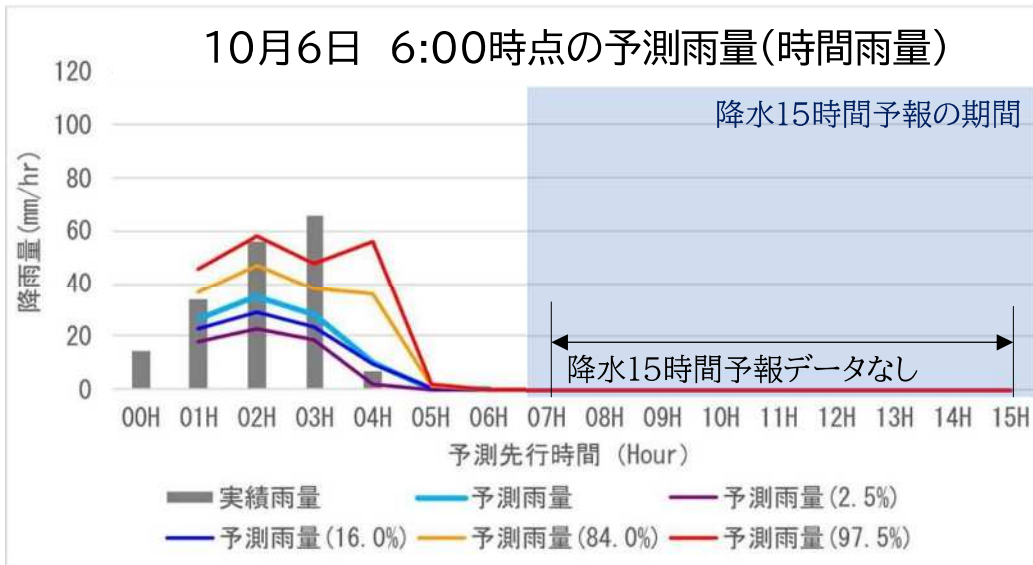
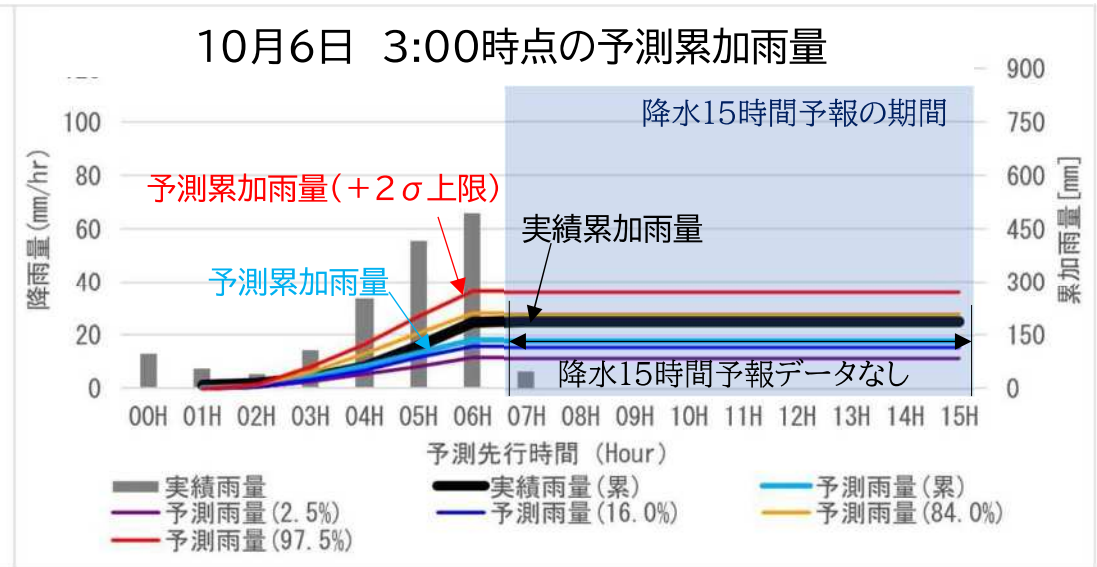
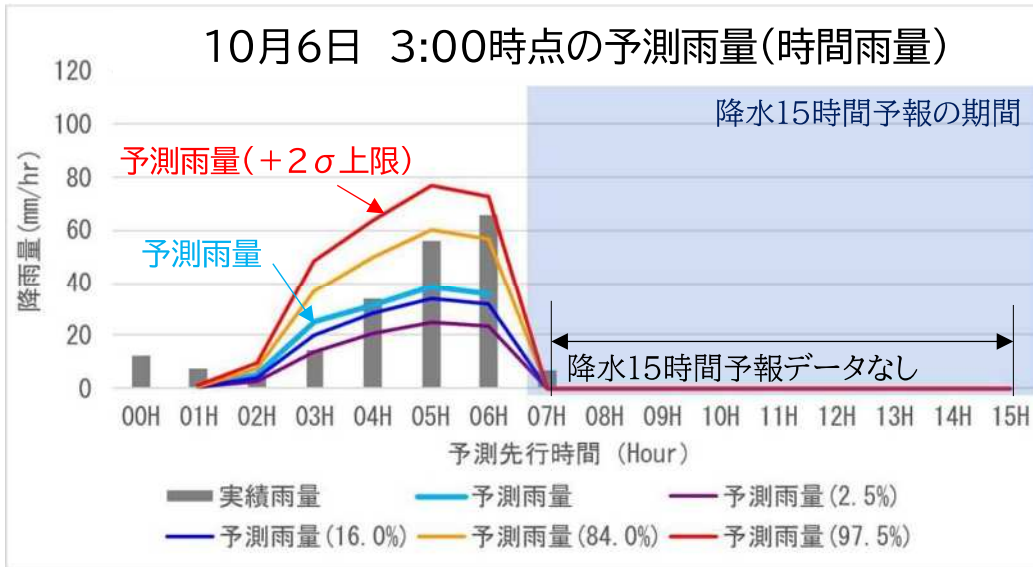


予測雨量250mmのとき、誤差分布の $\pm 2\sigma$ 相当区間  
**【上限値】472mm (予測の1.89倍)**  
**【下限値】 96mm (予測の0.38倍)**



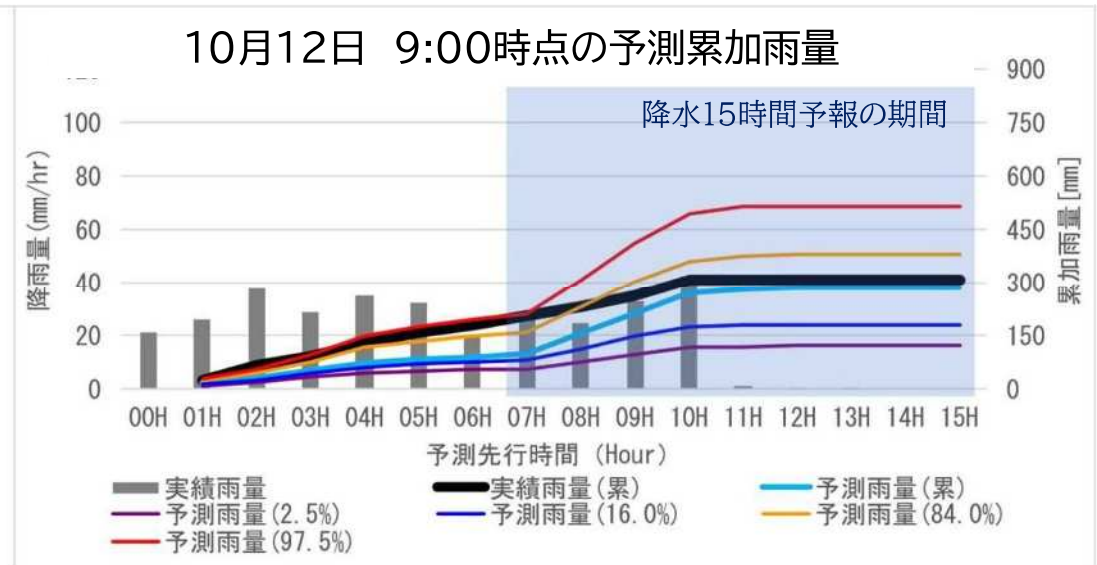
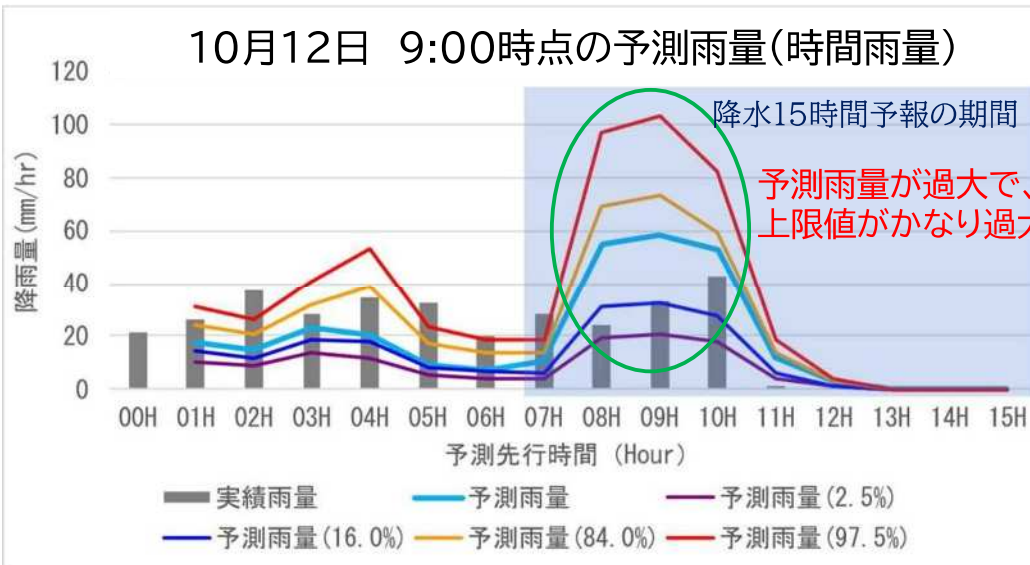
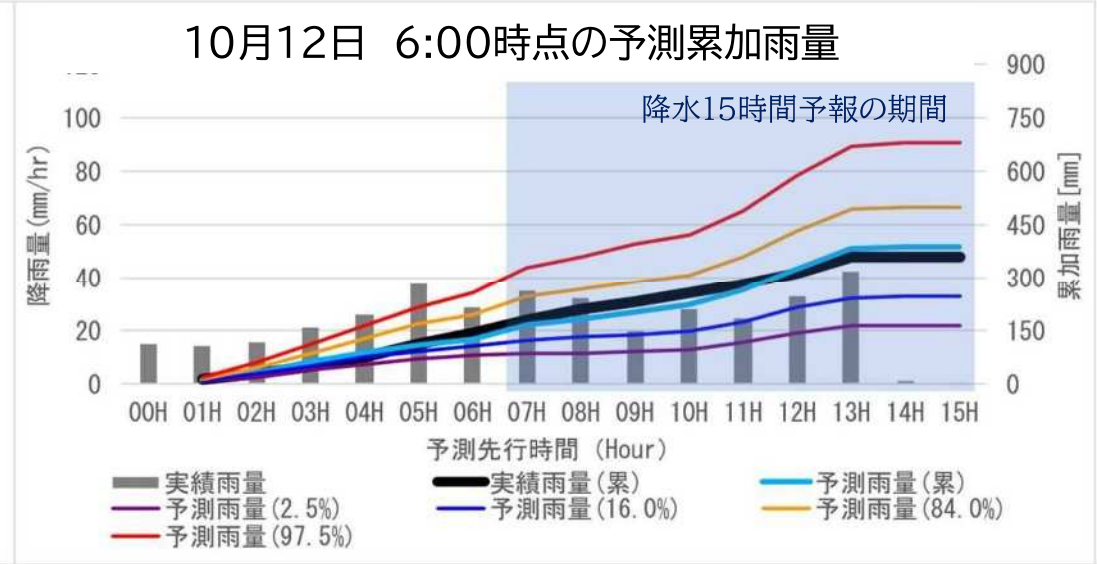
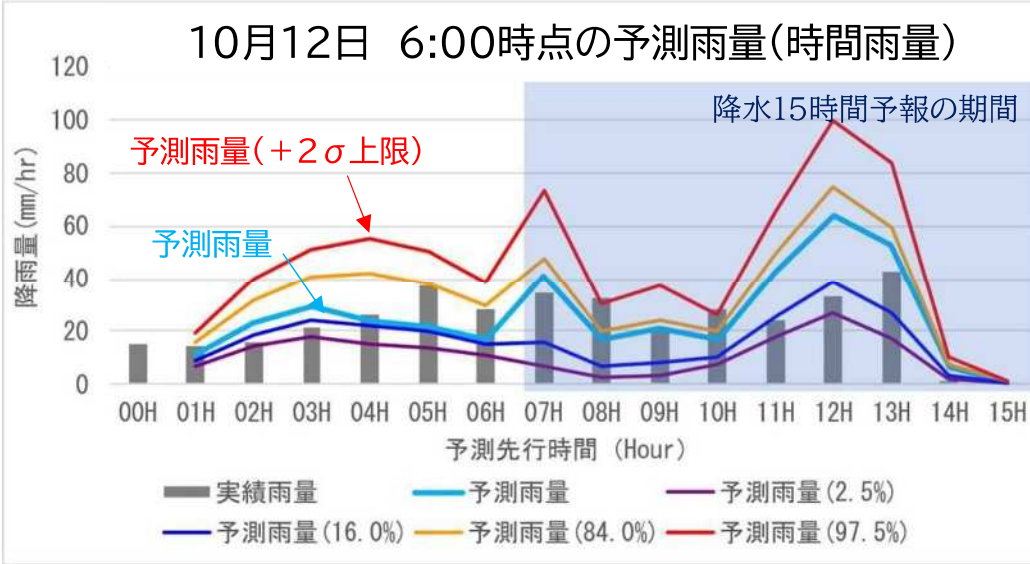
# 予測雨量の幅の検証(H26.10.6 3:00、6:00)

- 予測雨量に対して誤差幅を適用した場合、1～6時間先までの実績雨量の分布は概ね±2σ範囲に含まれる



# 予測雨量の幅の検証(R1.10.12 6:00、9:00)

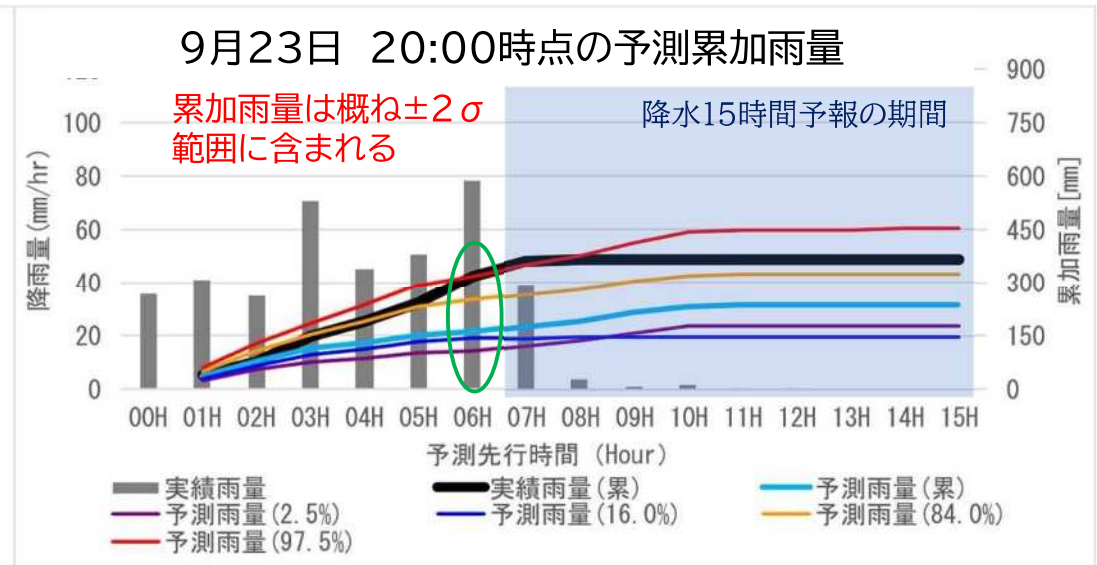
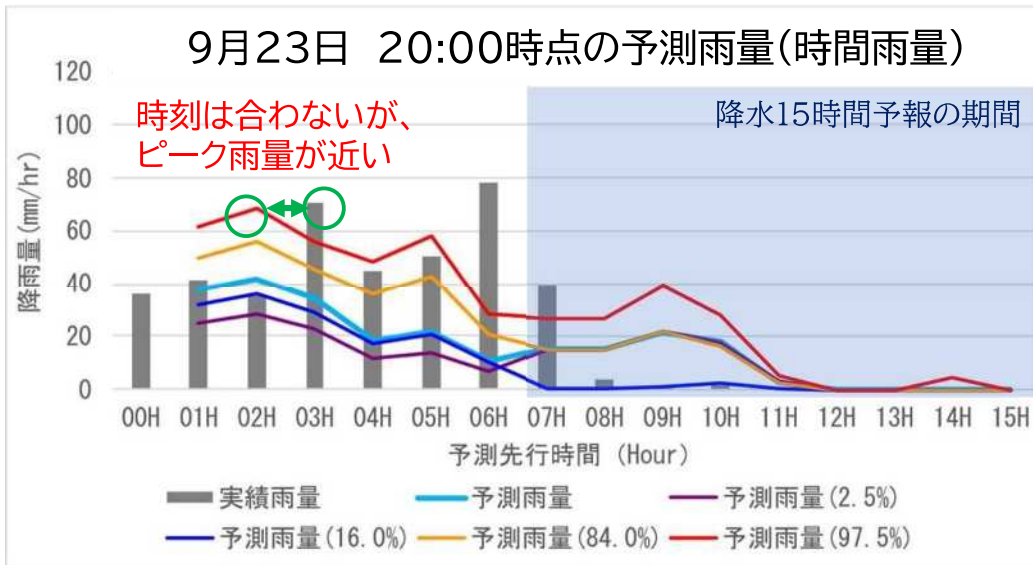
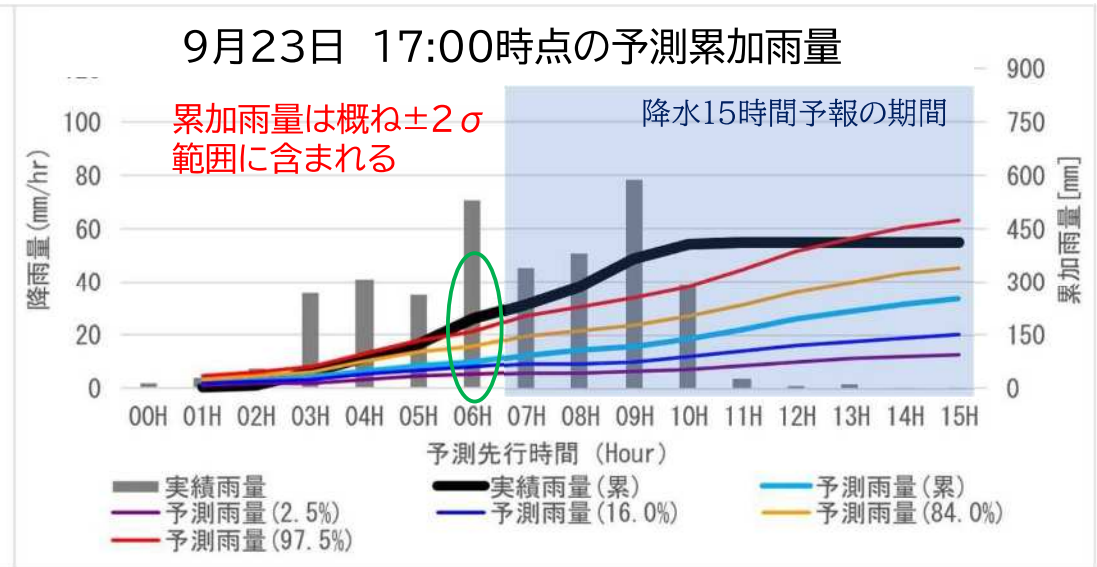
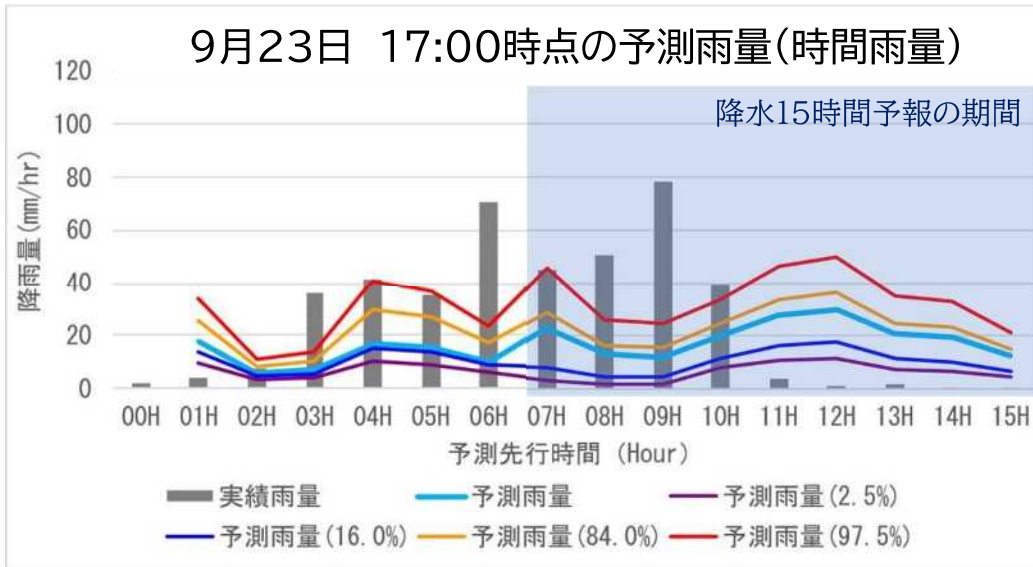
- 1～6時間先において、予測雨量に対して、実績雨量の分布は概ね $\pm 2\sigma$ 範囲に含まれる
- 7時間先以降、もともとの予測雨量が過大の場合、上限がかなり過大となる場合がある





# 予測雨量の幅の検証(R4.9.23 17:00、20:00)

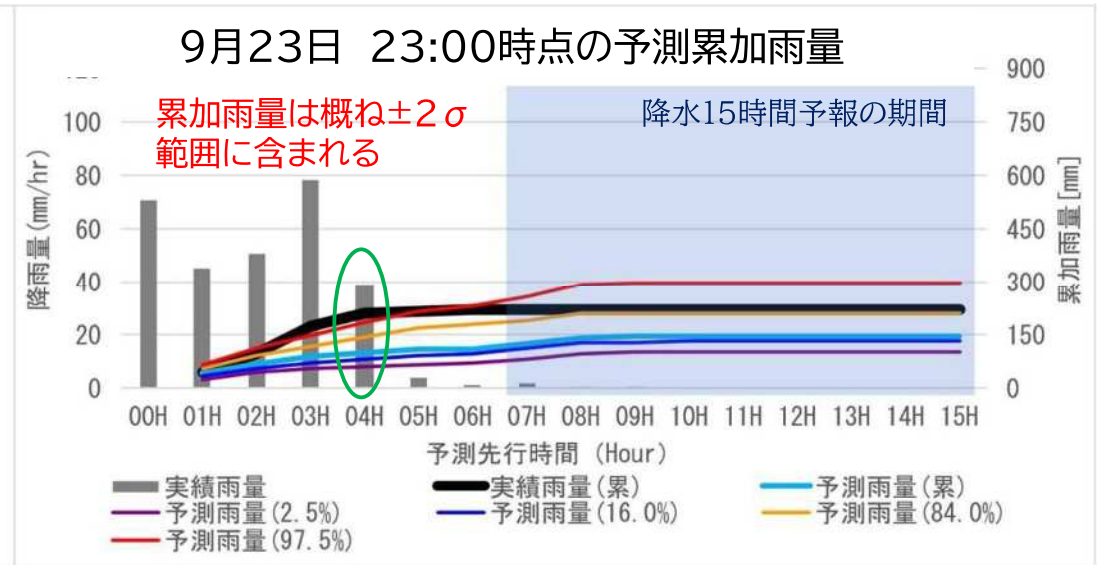
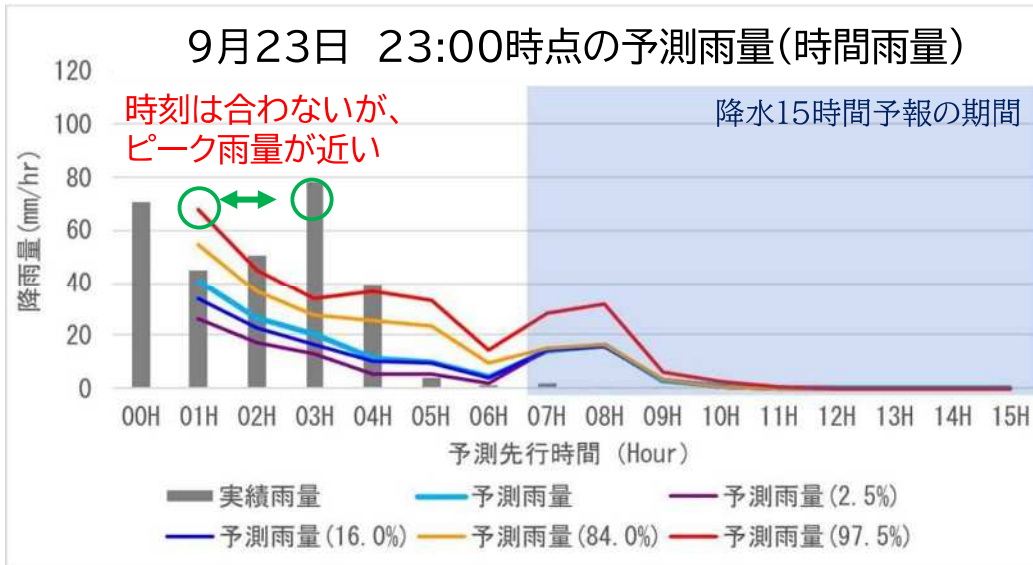
- 1～6時間先において、予測降雨の波形は実績と異なるものの、累加雨量は概ね±2σ範囲に含まれる





# 予測雨量の幅の検証(R4.9.23 23:00)

- 1～6時間先において、予測降雨波形は実績と異なるものの、累加雨量は概ね±2σ範囲に含まれる



# 予測雨量の幅の検証(R5.6.2 12:00、15:00)

- 1～6時間先において、実績雨量は概ね±2σ範囲に含まれる

6月2日 12:00時点の予測雨量(時間雨量)



6月2日 12:00時点の予測累加雨量



6月2日 15:00時点の予測雨量(時間雨量)



6月2日 15:00時点の予測累加雨量



# 予測雨量の幅の検証(R3.7.2 2:00、5:00)

- 1～6時間先において、実績雨量は概ね概ね±2σ範囲に含まれる
- 7時間先以降、もともとの予測雨量が過大となる影響もあり、+2σ上限値はかなり過大に推定される

7月2日 2:00時点の予測雨量(時間雨量)



7月2日 2:00時点の予測累加雨量



7月2日 5:00時点の予測雨量(時間雨量)



7月2日 5:00時点の予測累加雨量





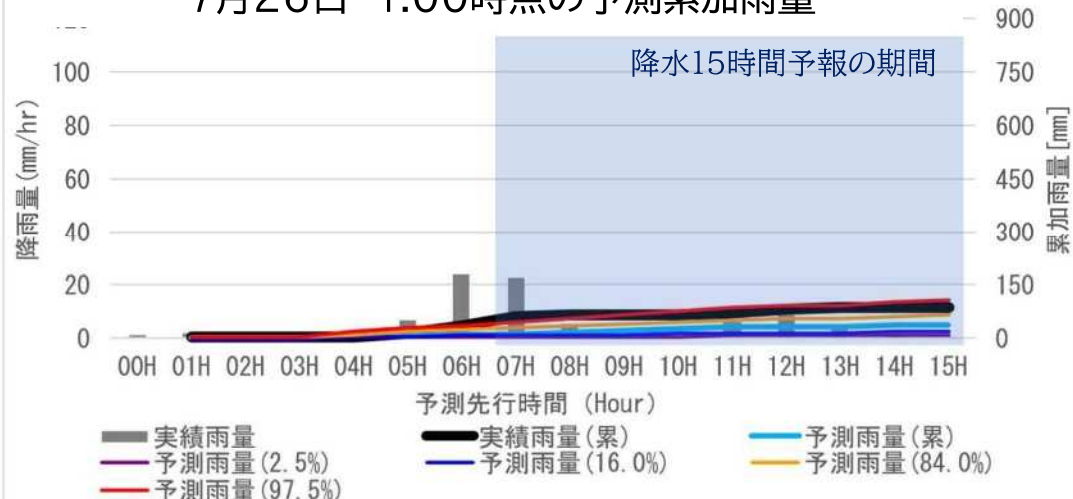
# 予測雨量の幅の検証(R4.7.26 1:00、4:00)

- 1～6時間先において、もともとの予測雨量が過少であるため、+2σ上限値でも過少となる傾向

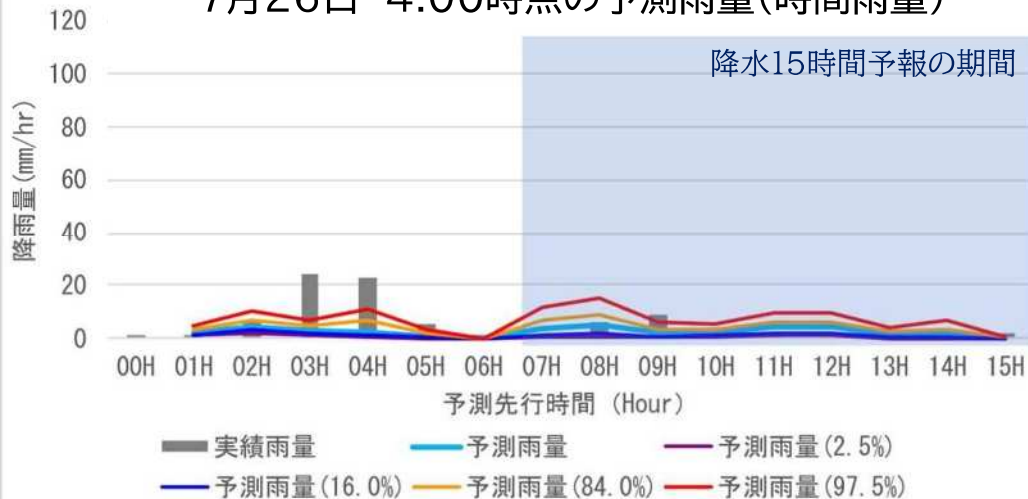
7月26日 1:00時点の予測雨量(時間雨量)



7月26日 1:00時点の予測累加雨量



7月26日 4:00時点の予測雨量(時間雨量)



7月26日 4:00時点の予測累加雨量

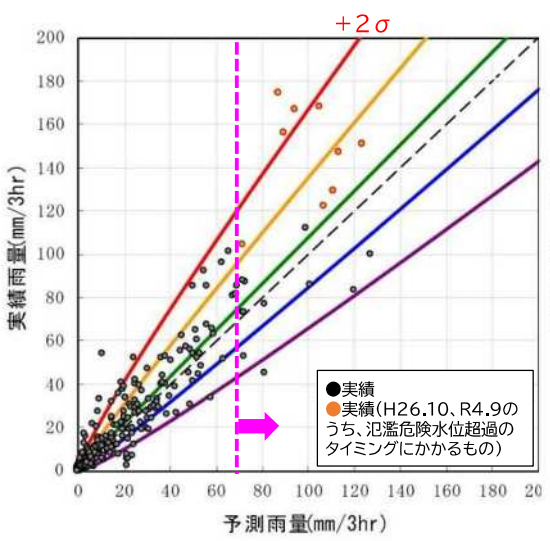


# 予測雨量の幅のシステムへの適用方法

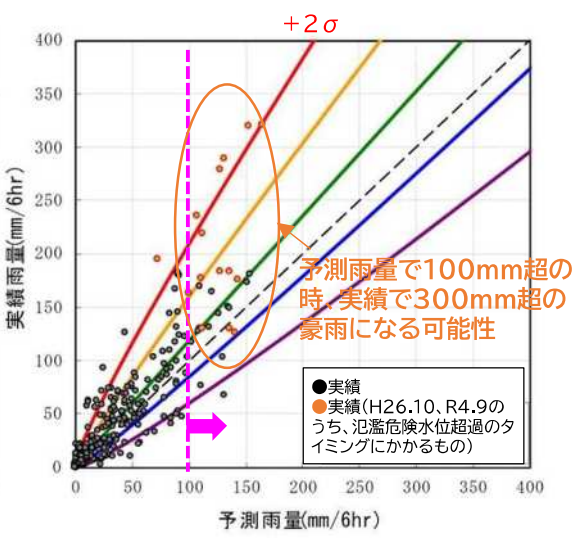
- 1～6時間先において+2σ上限値を設けることで、概ね予測誤差をカバー可能。一方、7時間先以降は、予測誤差幅が大きく実用的に活用することは困難
- 3時間先累加雨量で70mm以上、もしくは、6時間先累加雨量で100mm以上の降雨が予測された場合に限り、6時間先まで雨量予測誤差の上限値を設定

## ■ 予測雨量の幅を算出する閾値の設定

- 近年、実際に浸水被害が発生した豪雨において、H26.10、R4.9洪水では3時間雨量で100mm程度の降雨により、また6時間雨量では120mm程度の降雨により、能島で氾濫危険水位を超過している(下図●プロット)。
- これらの豪雨は、3時間70mm以上、6時間100mm以上の雨が予測された時(下図--ライン右側)にほぼ生じており、このタイミングでは幅を持った予測により、+2σの誤差上限値程度まで雨量予測が上振れする可能性を担保しておくことが望ましい。



3時間先累加雨量

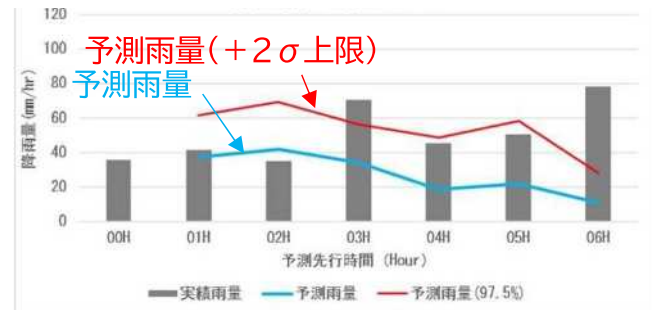


6時間先累加雨量

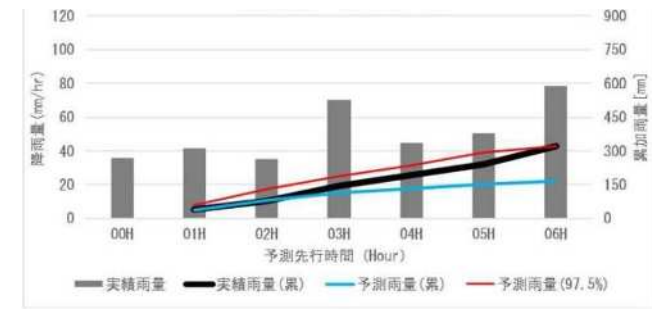
## ■ 予測雨量上限値での雨量波形の設定

- 3時間先累加雨量で70mm以上、もしくは、6時間先累加雨量で100mm以上の降雨の場合、6時間先までの誤差上限値の予測雨量波形を設定する。

9月23日 20:00時点の予測雨量(時間雨量)



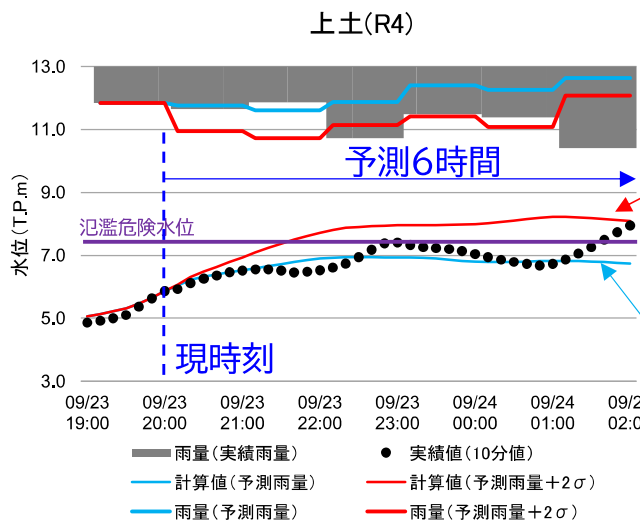
9月23日 20:00時点の予測累加雨量



# 予測雨量上限値の適用による水位予測への効果例

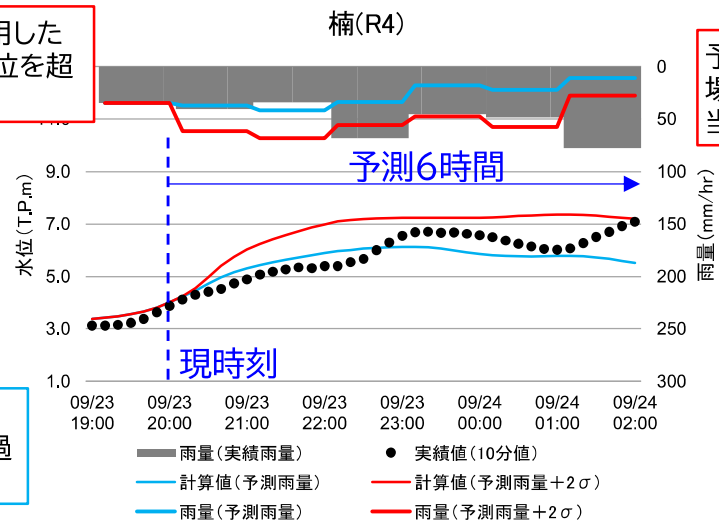
- 予測雨量の上限値を適用することで、「氾濫危険水位の超過」や「その後の水位上昇」を予測できる可能性がある

R4 9/23 20:00時点における6時間先までの予測計算結果(予測水位)

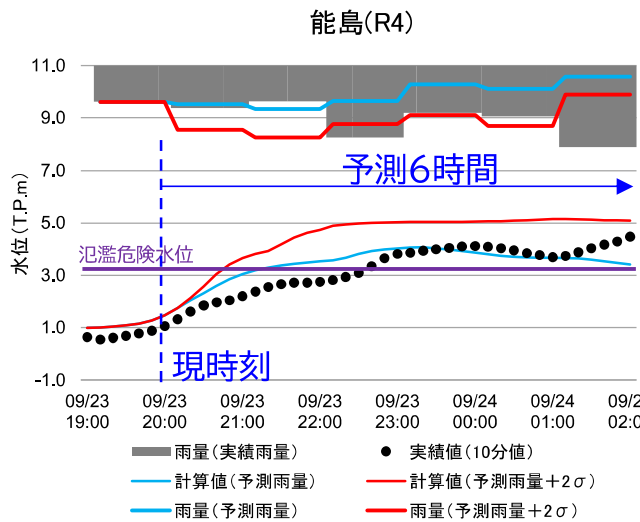


予測雨量の上限値を適用した場合、今後、氾濫危険水位を超過することが予測可能

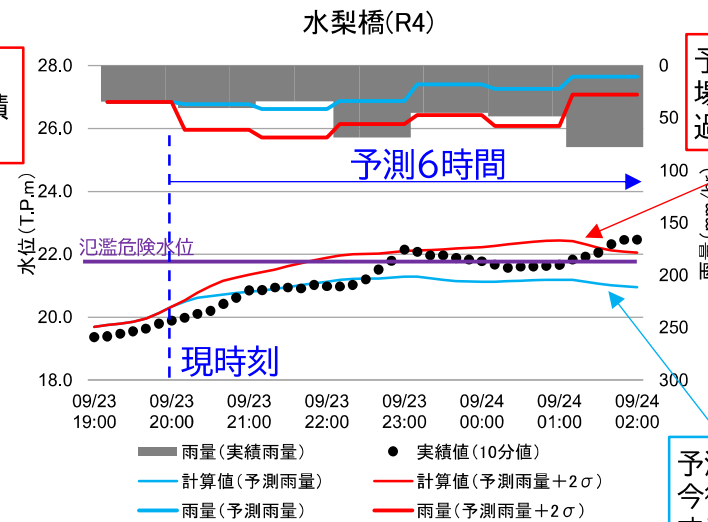
予測雨量を適用した場合、今後、氾濫危険水位を超過することが予測できない



予測雨量の上限値を適用した場合、6時間後の実績水位相当を予測可能



予測雨量の上限値を適用した場合、6時間後の実績水位相当を予測可能



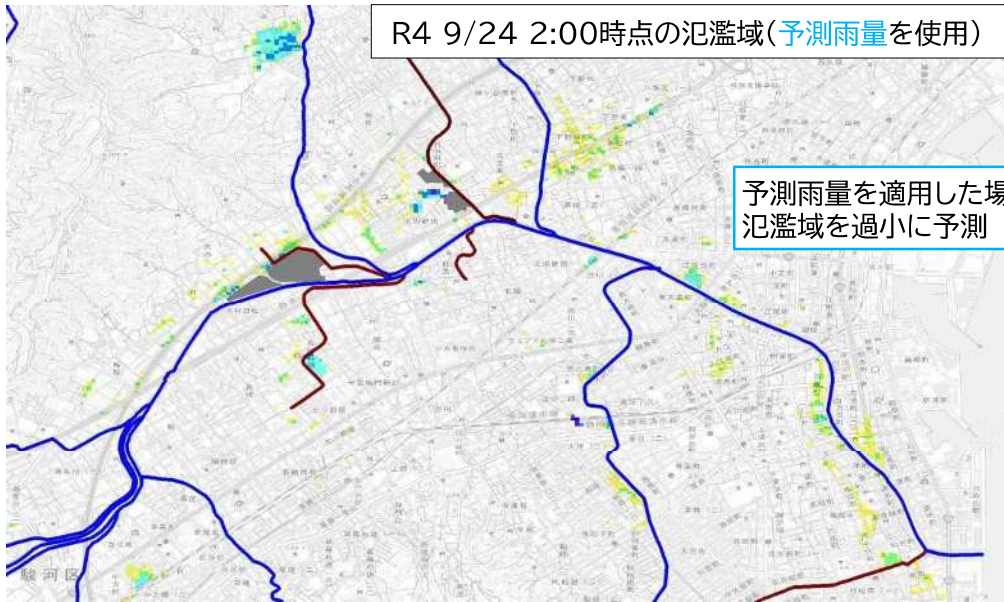
予測雨量の上限値を適用した場合、今後、氾濫危険水位を超過することが予測可能

予測雨量を適用した場合、今後、氾濫危険水位を超過することが予測できない

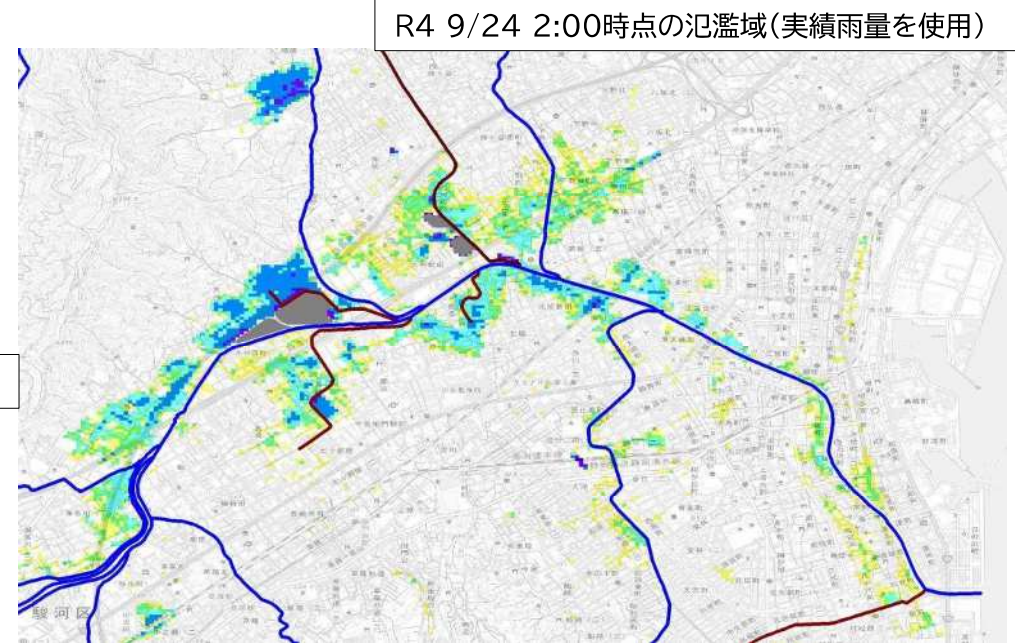
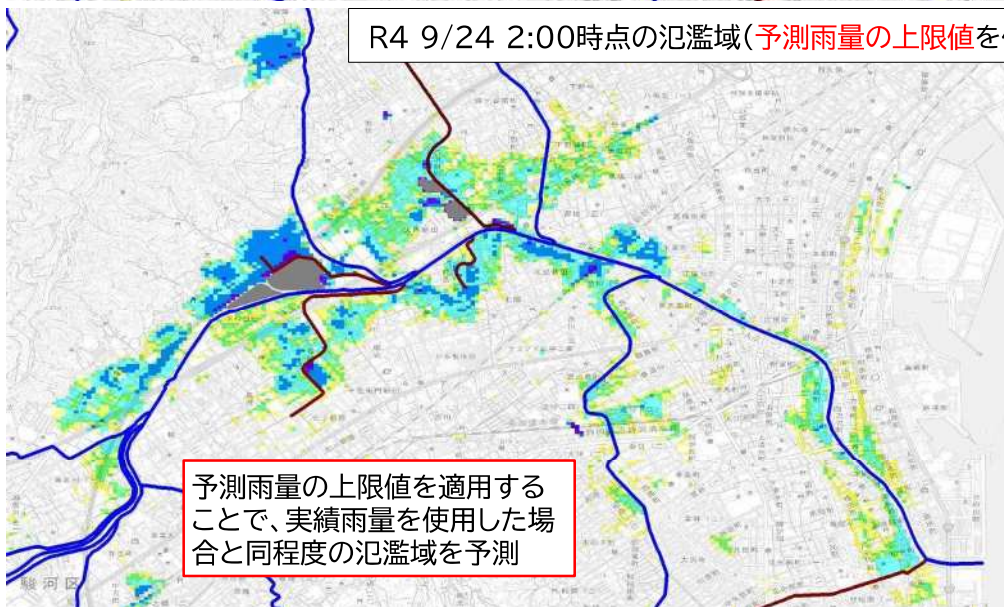


# 予測雨量上限値の適用による氾濫域予測への効果例

- 予測雨量の上限値を適用することで、事前に氾濫域を予測できる可能性がある



R4 9/23 20:00時点における6時間先の  
予測計算結果(予測氾濫域)



浸水深の凡例	
Yellow	0~0.3m
Light Green	0.3~0.5m
Light Blue	0.5m~1.0m
Dark Blue	1.0m~2.0m
Dark Purple	2.0m以上

- 河道モデル(県管理河川)
- 河道モデル(主要な市準用河川)
- 遊水地