

2020年9月台風10号を対象にした 長時間アンサンブル広域洪水予測： 予測と検証結果のまとめ

京都大学防災研究所
佐山敬洋・山田真史

• 9月4日 (金)

- 気象庁：『非常に強い台風第10号は、4日9時現在、日本の南にあって西北西に進んでいる。今後、次第に北よりに進路を変えて、特別警報級の勢力まで発達し、5日夜から6日午前中にかけて沖縄地方に接近する見込み。その後も特別警報級の勢力を維持したまま北上を続け、6日から7日にかけて奄美地方から九州に接近または上陸するおそれ』、6日9時には915 hPaにまで発達し、大東島地方鵜や奄美地方に接近の予報。国管理河川のような大河川でも氾濫するおそれがある。

- 14:00 国交省水局よりSIPプロジェクト関係者を通じて全国版RRIモデル(JRRI)による予測の情報提供可能性について打診
- 14:30 予測計算の方針決定 (16:00 予測を開始する旨国交省に報告)

対象地域：九州・四国・中国とする。

モデルパラメータ：球磨川洪水で同定したパラメータを使う (RRI: prm27番)

断面は矩形断面：山田ら(2020)の矩形断面推定式 ($a = 1.2$) を採用。

解析雨量を逐次入力してJRRIの初期条件を作成する。

JRRIにメソアンサンブル数値予報(MEPS)の予測結果 (21メンバー) を入力して39時間先まで予測。

MEPSに併せて6時間更新を目指す。

計算機は京大の大型計算機を利用する (6ノード×36コア)

出力は、水深、流量、流出高 (= 流量 / 集水面積)、水深比 (= 水深 / 矩形断面の最大水深) とする。

21メンバー中、第1位 (最大)、第5位 (25%)、第11位 (中央値)、アンサンブル平均に着目する (主に第5位を送付)

- 18:30 第一報 MEPSの予測雨量状況報告 (予報期間：9/4 9:00-9/6 0:00)

• 9月5日 (土)

- 7:40 第二報 MEPSの予測雨量状況更新 (予報期間：9/5 3:00 - 9/6 18:00)
- 15:40 第三報 MEPS+RRIの予測結果報告 (予報期間：9/5 3:00 - 9/6 18:00)
- 18:30 第四報 MEPS+RRIの予測結果更新 (予報期間：9/5 9:00 - 9/7 0:00)
- 18:30 国交省水局から大淀川、小丸川、五ヶ瀬川、肝属川、川内川、球磨川の流量を出力するよう要請あり

• 9月6日 (日)

- 9:10 第四報 MEPS+RRIの予測結果更新 (予報期間：9/5 15:00 - 9/7 6:00)
- 11:30 第五報 MEPS+RRIの予測結果更新 (予報期間：9/5 21:00 - 9/7 12:00)
- 17:20 第六報用計算完了 (予報期間：9/6 3:00 - 9/7 18:00、6:40 MEPS配信、8:00-16:00 JRRI計算、16:00-17:00後処理)
- 19:20 第六報 (最終版) MEPS+RRIの最終版予測結果更新 (予報期間：9/6 3:00 - 9/7 18:00)
- 6日夜から翌朝にかけて各河川で水位がピークに達する。五ヶ瀬川等で一部氾濫危険水位を超過。

(補足資料) 全国版RRIモデル(JRRI)について

高解像度の全国水文地形データ

+

降雨(Rainfall) – 流出(Runoff) – 氾濫(Inundation) → RRIモデル



東大生研・山崎

<http://hydro.iis.u-tokyo.ac.jp/~yamada/JapanDir/>

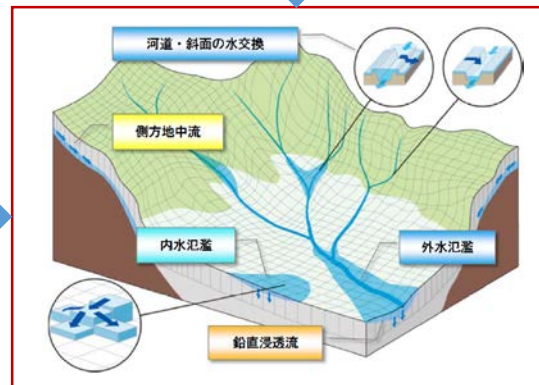
入力情報

降雨分布

標高

土地利用

河道断面



出力情報

河川流量

河川水位

浸水深

Sayama et al., HSJ, 2012

http://www.icharm.pwri.go.jp/research/rri/rri_top.html

全国版RRIモデル(JRRI)の特徴

- 空間解像度: 5 sec (約150 m)
- 14地域に分割して全国をカバー
- 全国すべての河川(集水面積 1km²以上の中小河川を含む)をモデルで反映
- 降雨を入力して、河川流量と水位を出力。
- 任意の河道断面、矩形断面の両方を反映可能。

今後の課題

- リアルタイムシステムの実装
- 全国を対象とした直轄区間の断面反映は準備中。
- 全国を対象としたダムモデルの反映は今後の課題。
- 全国を対象とした浸水深の一体予測

新しい洪水予測の方向性: 二つのアプローチ

A: 長時間広域アンサンブル予測

- 台風襲来前に洪水の状況を広域で予測する。
- 予測のリードタイムを半日から1日程度確保する。
- アンサンブルによる予測の不確実性を反映する。

B: 広域高分解能予測

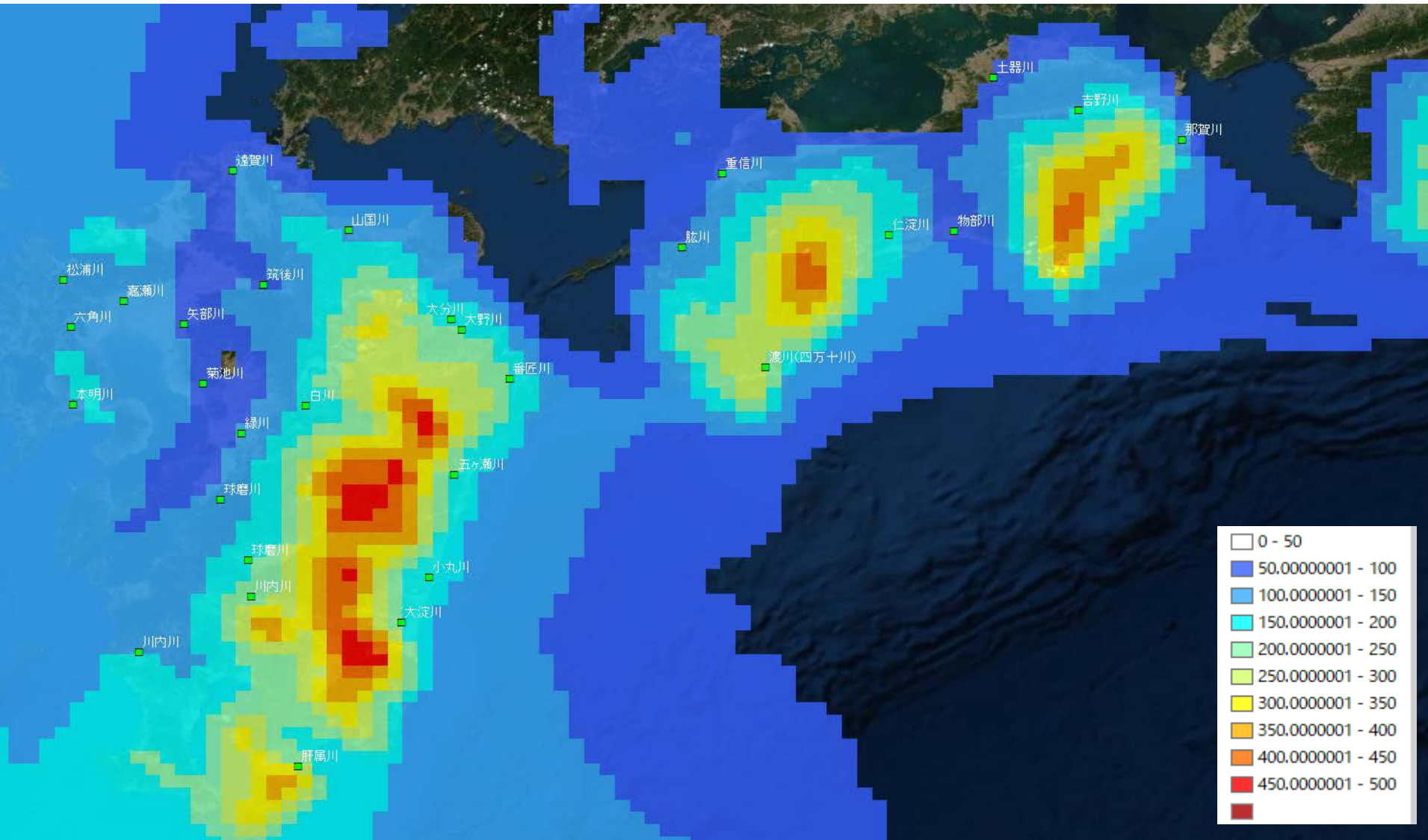
- 観測情報の存在しない中小河川も予測の対象に含む。
- 予測のリードタイムを6時間程度確保する。

JRRIモデルを用いた今後の洪水予測のイメージ

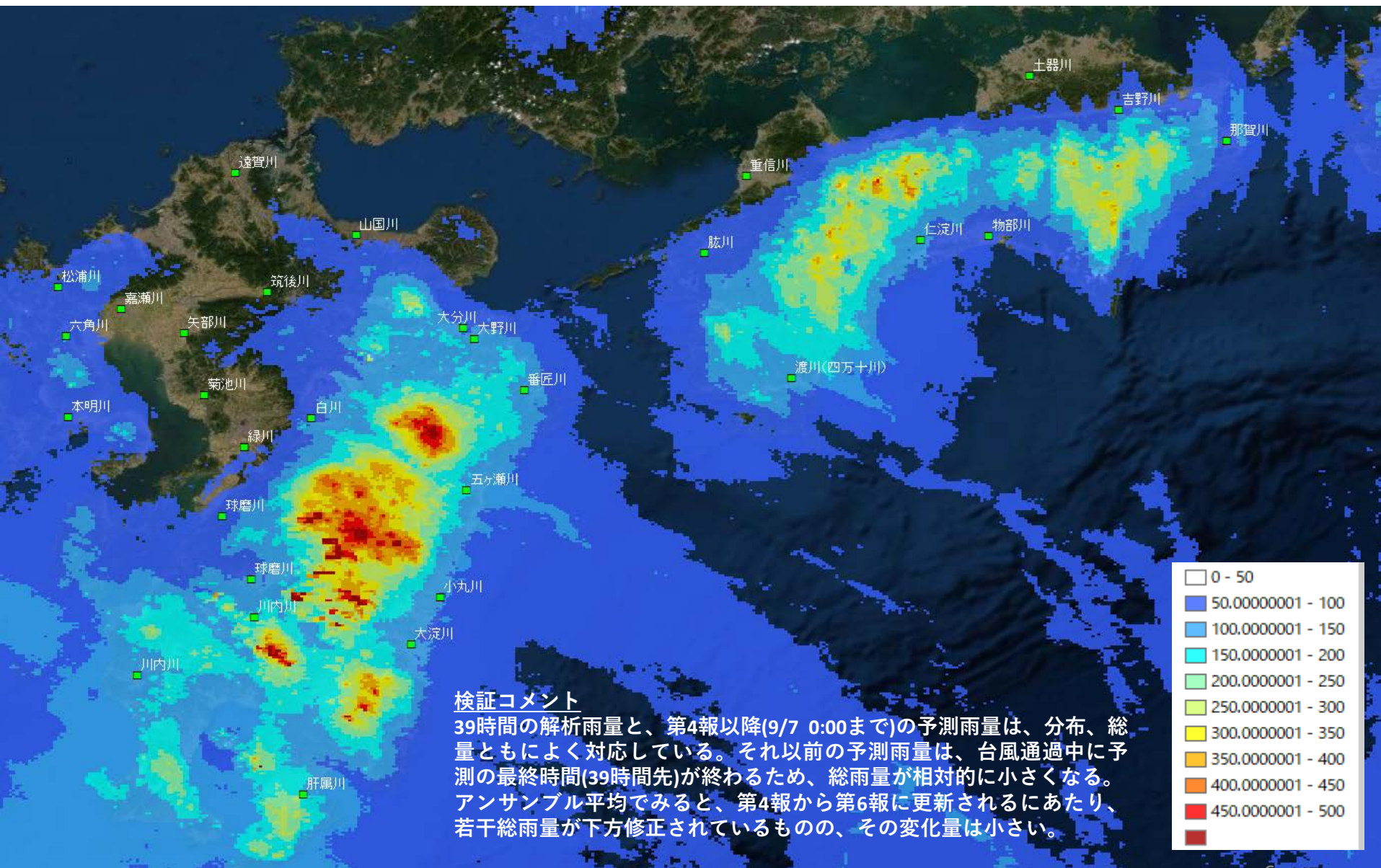
- 上記の二つのアプローチをシームレスに両立させる。
(台風襲来前はAに重点を、出水が始まればBに重点を置く。)
- 代表河川では水害リスクラインなど不定流モデルと連結する。
- 洪水の予測や実況を俯瞰的に確認する。

MEPSによる39時間先までの予測結果：(2020/9/5 9:00 – 2020/9/7 0:00)

39時間総雨量（アンサンブル平均）

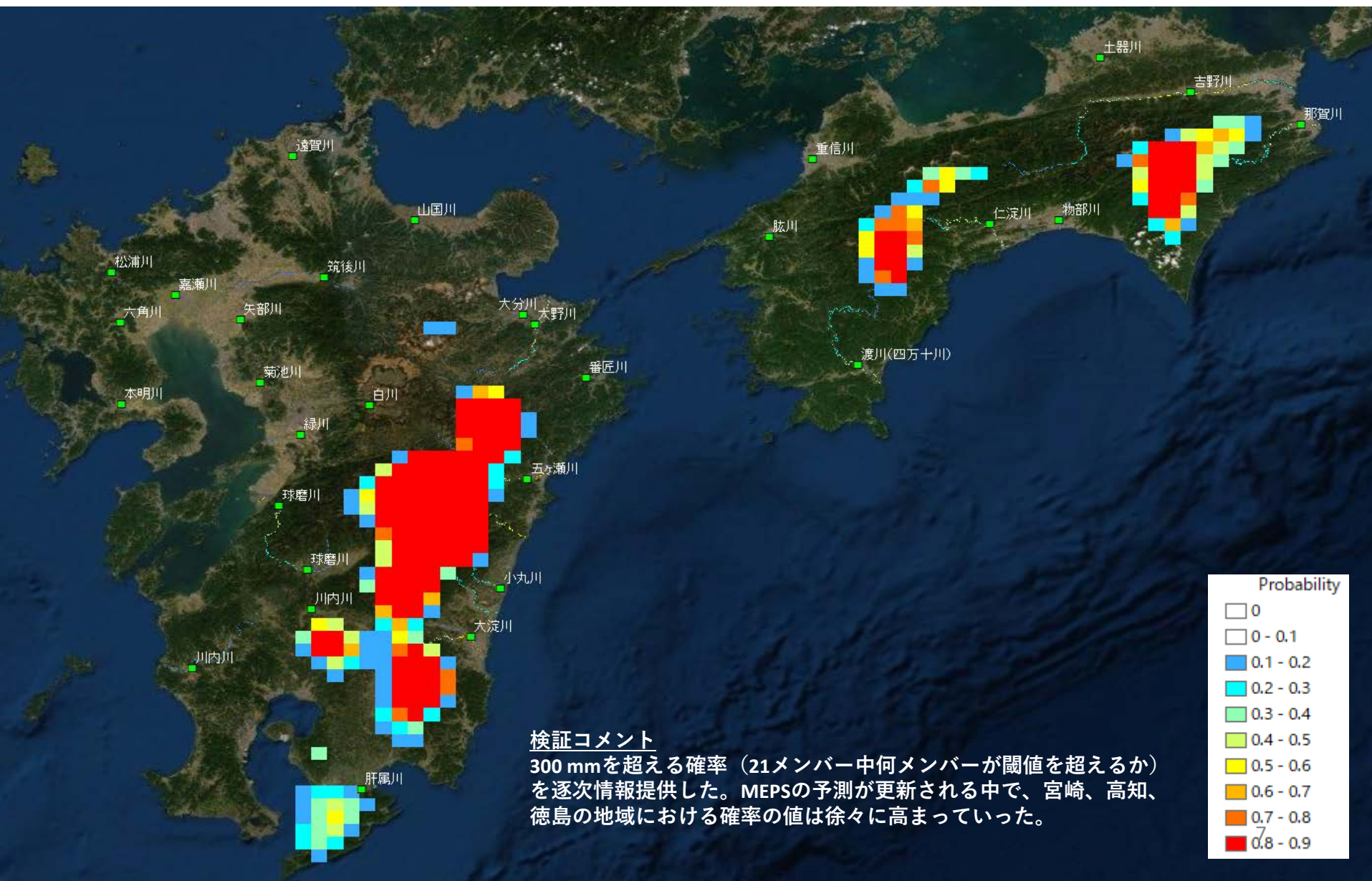


気象庁解析雨量による39時間の総雨量：(2020/9/6 3:00 – 2020/9/7 18:00)



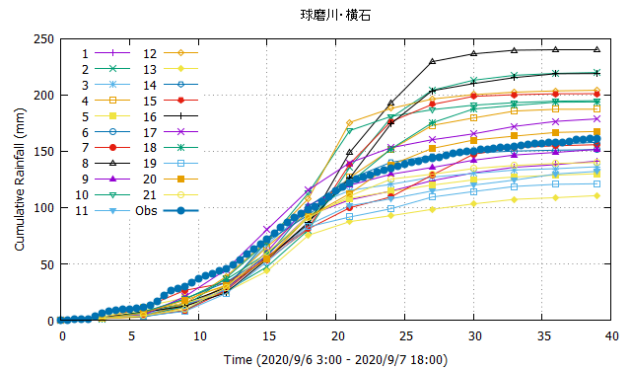
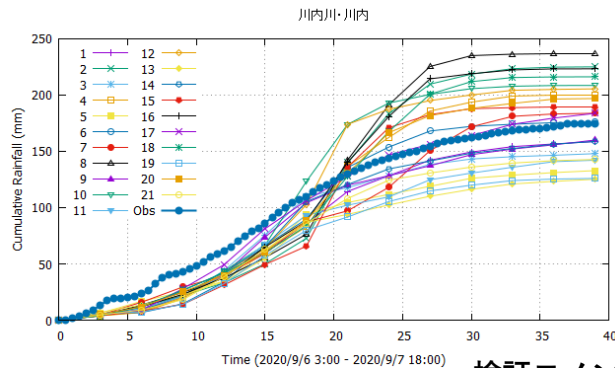
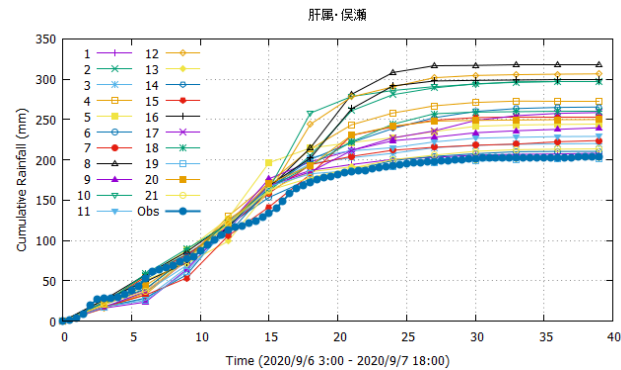
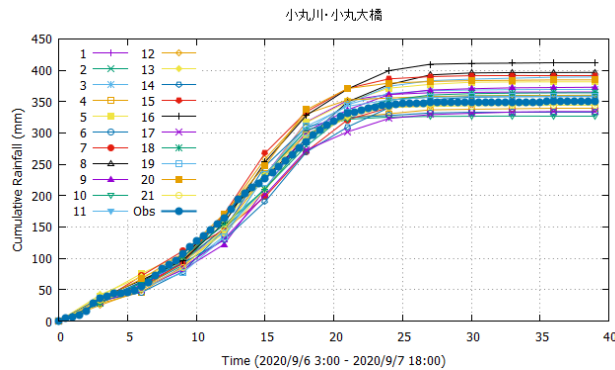
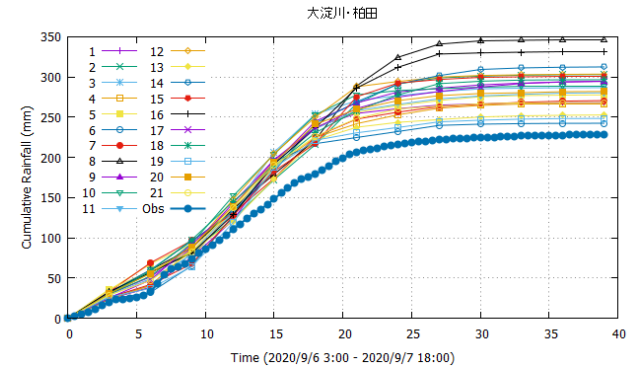
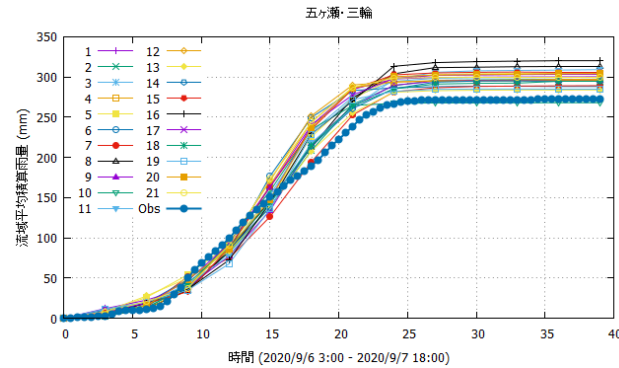
MEPSによる39時間先までの予測結果：(2020/9/6 3:00 – 2020/9/7 18:00)

総雨量が300 mmを超える確率



MEPSによる39時間先までの予測結果：(2020/9/6 3:00 – 2020/9/7 18:00)

流域平均積算雨量の予測値（九州 6 流域）

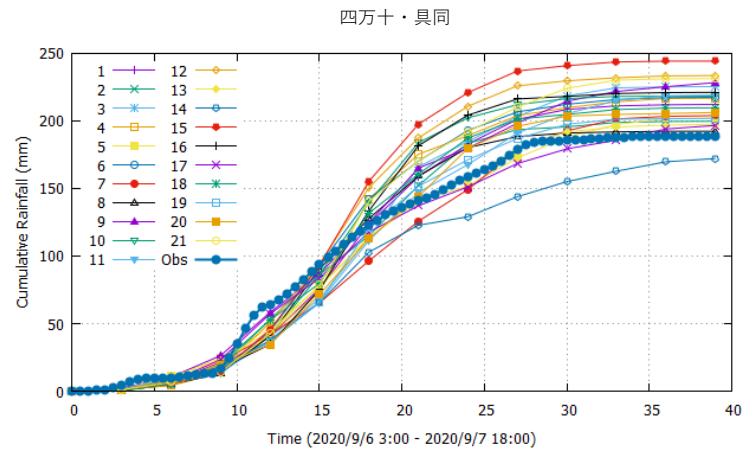
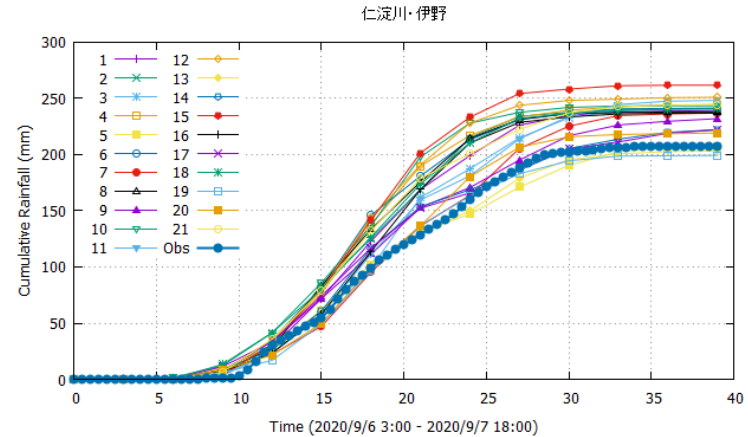
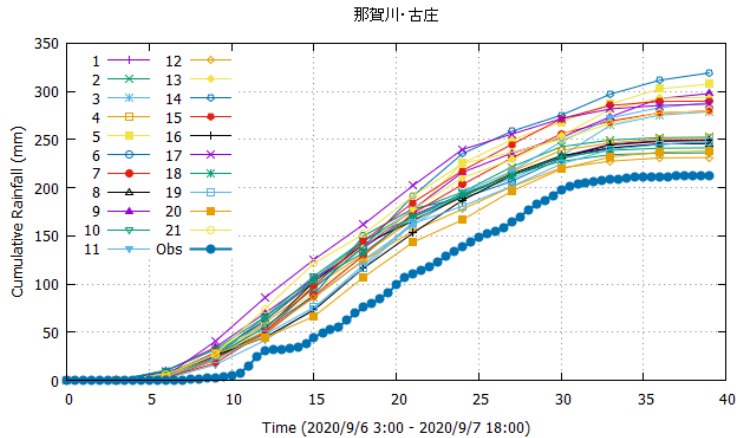


検証コメント

一級河川の基準点上流域における流域平均雨量の積算：21メンバーの予測値と事後検証として解析雨量を比較している。今回は、概ねアンサンブルの中央値よりも下位で収まった。

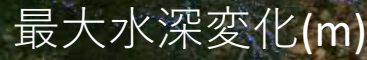
MEPSによる39時間先までの予測結果：(2020/9/6 3:00 – 2020/9/7 18:00)

流域平均積算雨量の予測値（四国3流域）



検証コメント
各河道セルにおけるピーク水深までの変化量を示す。
各セルで21メンバーの予測結果があるが、今回は21メンバー中5位の結果(アンサンブル平均よりは大き目の予測)を図示した。

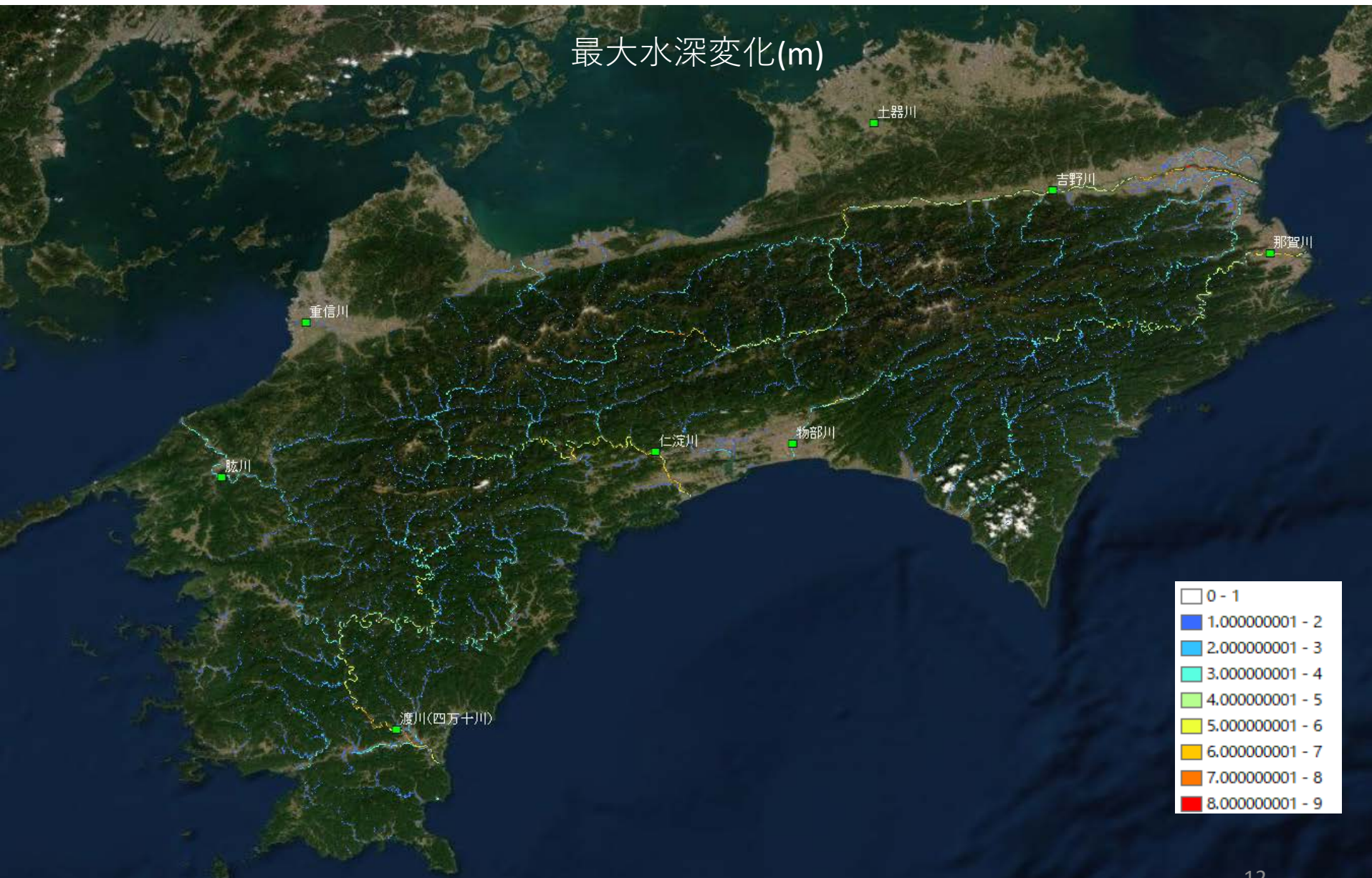
予測結果は、各セルで21メンバー中5位の結果を出力。



五ヶ瀬川、小丸川、大淀川など、太平洋に流出する宮崎県の河川で水位の増加が予測されている。水位の上昇量は流域面積に応じて増加するので結果の解釈には注意が必要である。

予測結果は、各セルで21メンバー中5位の結果を出力。

MEPS+RRIによる39時間先までの予測結果：(2020/9/6 3:00 – 2020/9/7 18:00)



MEPS+RRIによる39時間先までの予測結果：(2020/9/6 3:00 – 2020/9/7 18:00)

最大水深比*





MEPS+RRIによる39時間先までの予測結果：(2020/9/6 3:00 – 2020/9/7 18:00)

最大水深比*



予測結果は、各セルで21メンバー中5位の結果を出力。

MEPS+RRIによる39時間先までの予測結果(2020/9/6 3:00 – 2020/9/7 18:00)

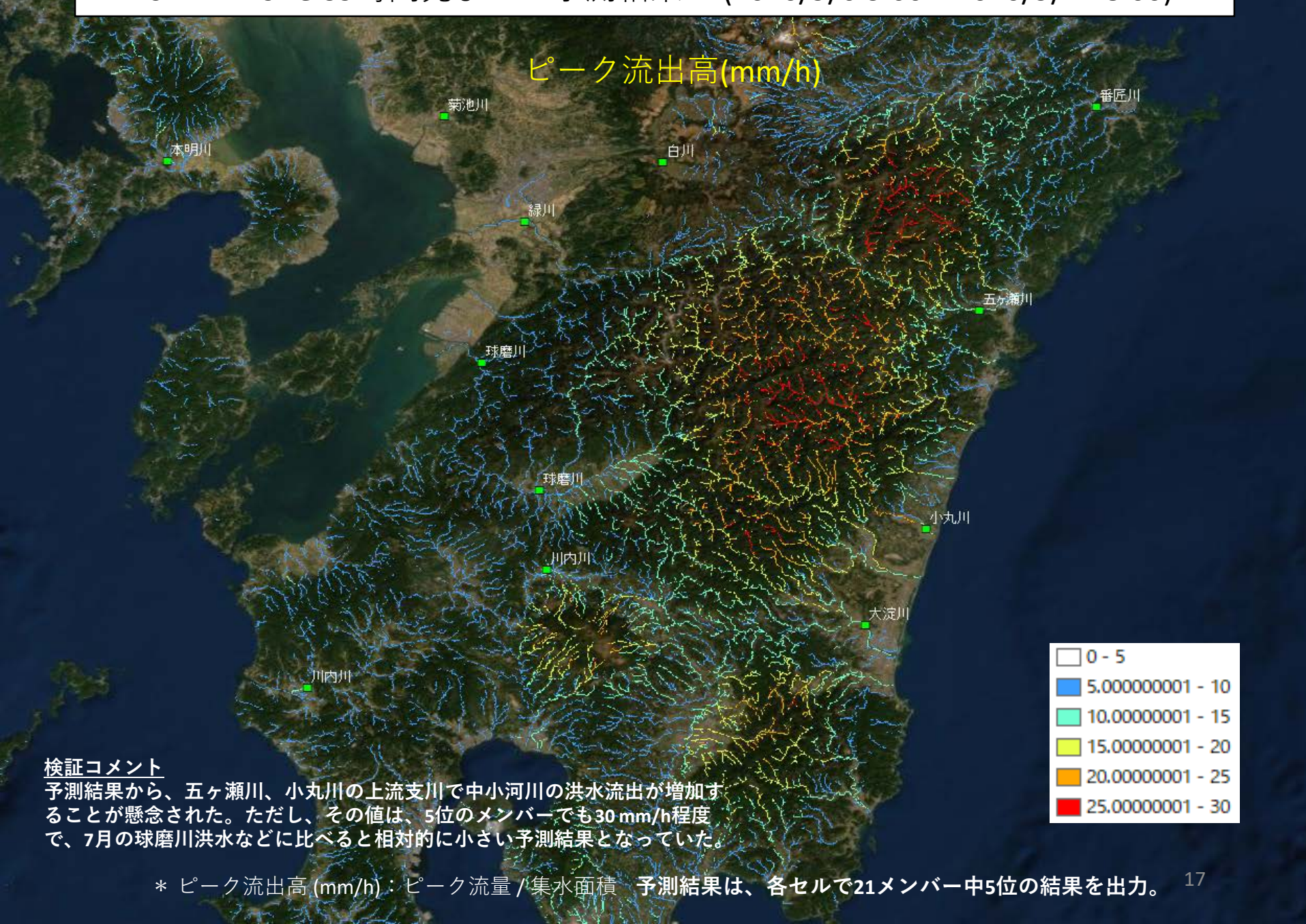
ピーク流出高(mm/h)



検証コメント

予測されたピーク流量を、各グリッドセルの集水面積で除して基準化した値。この値が30 mm/hを超えてくると経験的に中小河川でも越水の可能性が生ずる。ただし、この閾値は地域によっても異なるはずで、今後の情報蓄積が必要。

MEPS+RRIによる39時間先までの予測結果：(2020/9/6 3:00 – 2020/9/7 18:00)

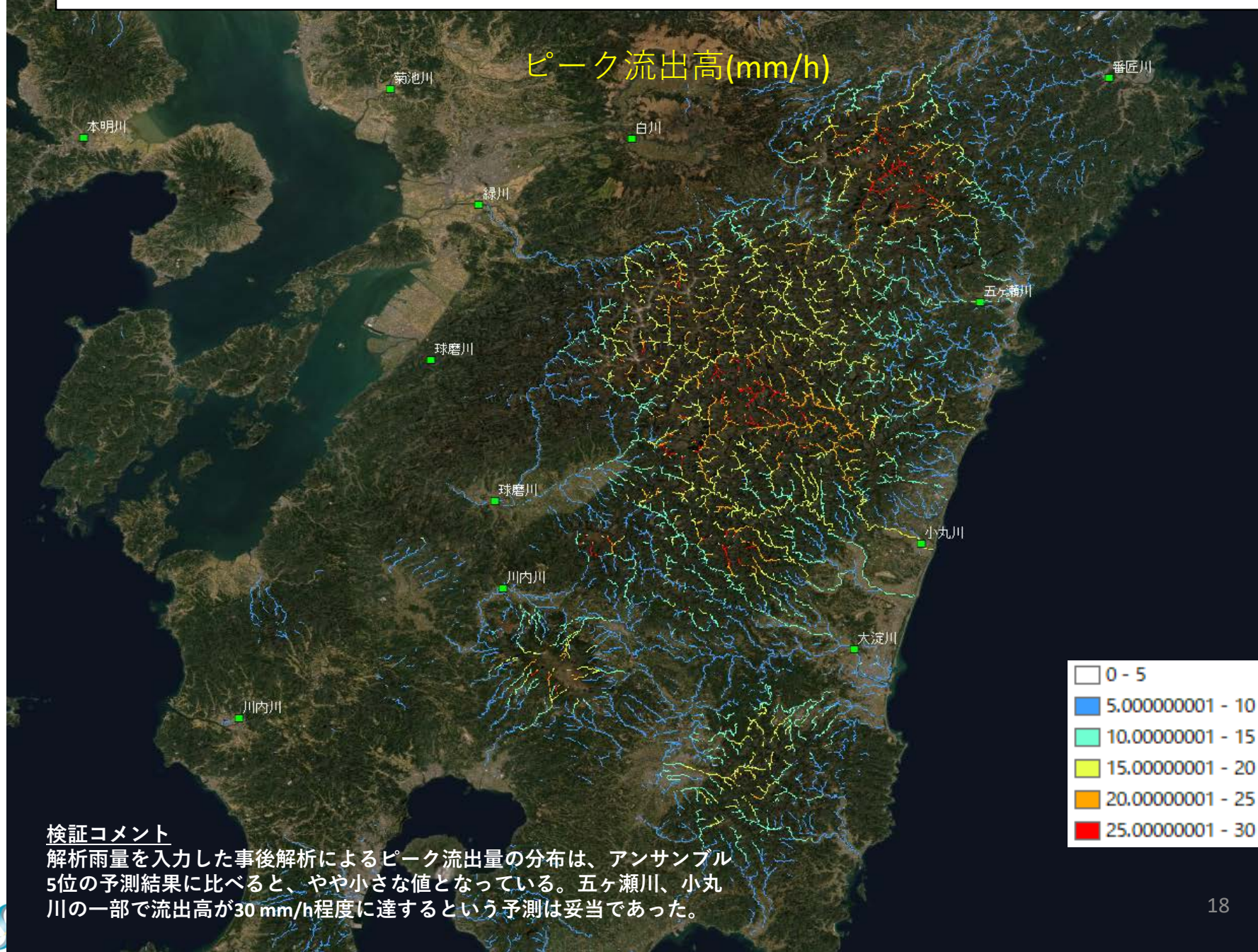


検証コメント

予測結果から、五ヶ瀬川、小丸川の上流支川で中小河川の洪水流出が増加することが懸念された。ただし、その値は、5位のメンバーでも30 mm/h程度で、7月の球磨川洪水などに比べると相対的に小さい予測結果となっていた。

* ピーク流出高 (mm/h)：ピーク流量 / 集水面積 予測結果は、各セルで21メンバー中5位の結果を出力。 17

解析雨量+RRIによる検証結果 (2020/9/6 3:00 – 2020/9/7 18:00)



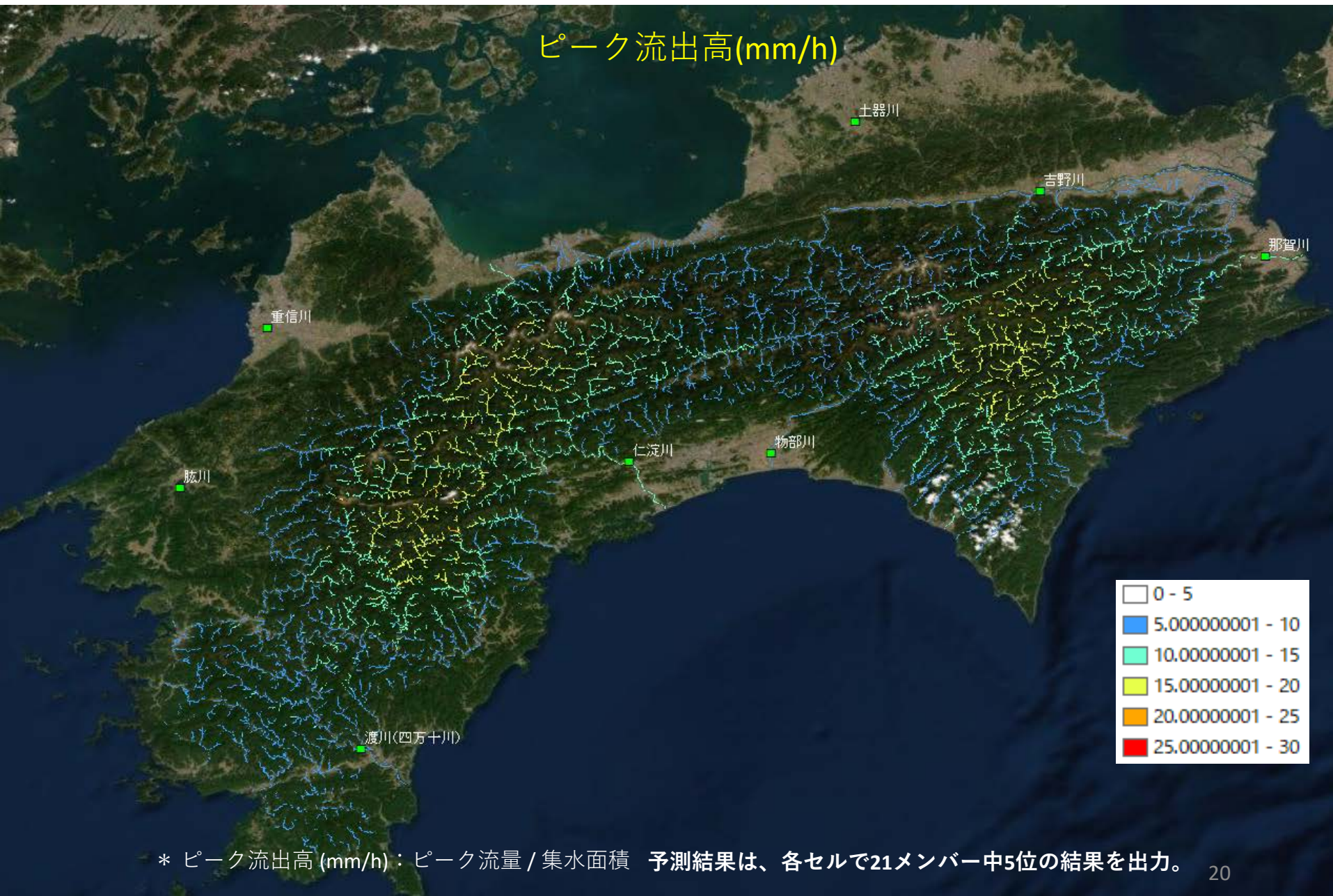
検証コメント

解析雨量を入力した事後解析によるピーク流出量の分布は、アンサンブル5位の予測結果に比べると、やや小さな値となっている。五ヶ瀬川、小丸川の一部で流出高が30 mm/h程度に達するという予測は妥当であった。

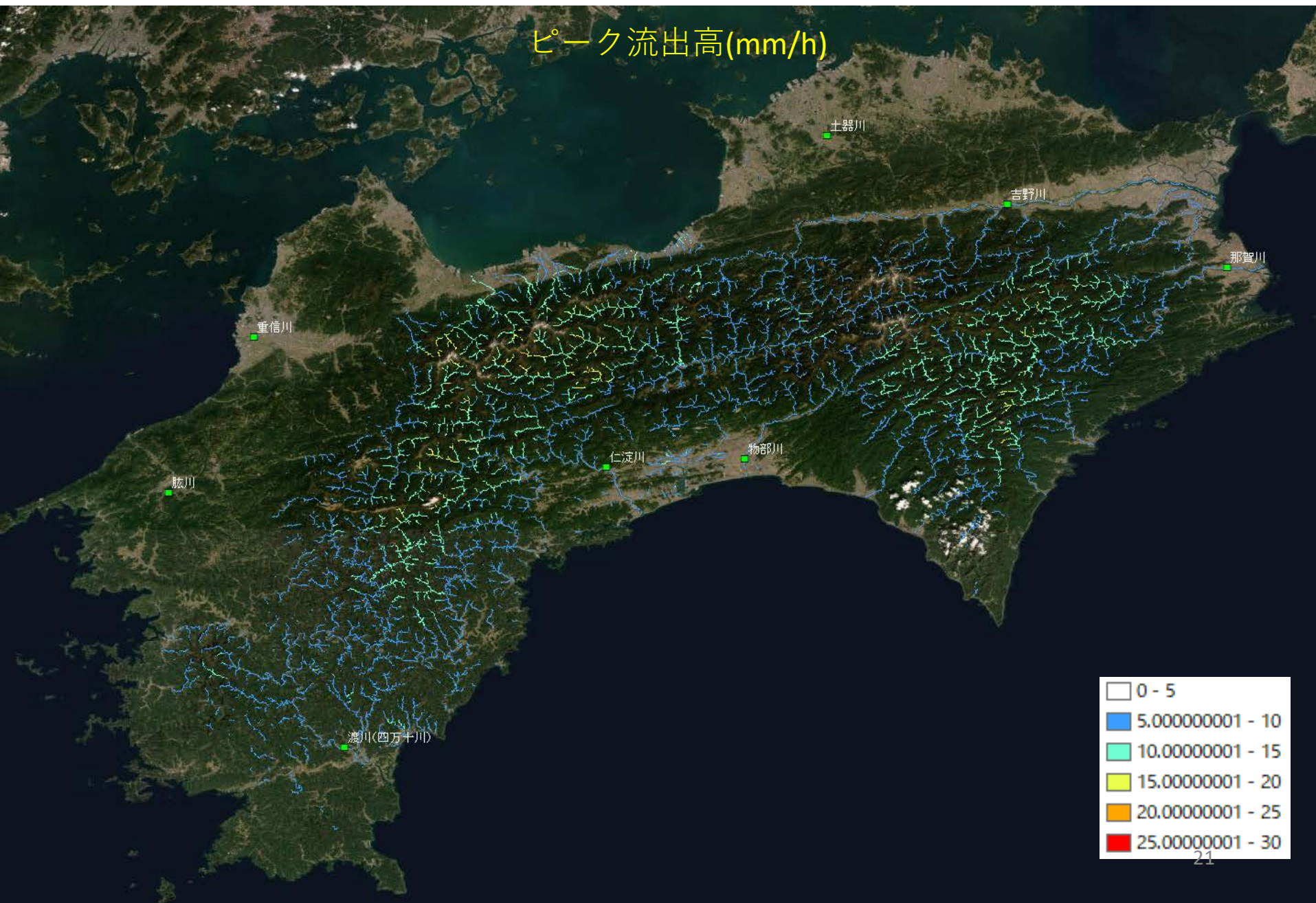
2020/9/7 2:00時点の川の水位情報



MEPS+RRIによる39時間先までの予測結果(2020/9/6 3:00 – 2020/9/7 18:00)



解析雨量+RRIによる検証結果 (2020/9/6 3:00 – 2020/9/7 18:00)



MEPS+RRIによる39時間先までの予測結果(2020/9/6 3:00 – 2020/9/7 18:00)



予測結果は、各セルで21メンバー中5位の結果を出力。

MEPS+RRIによる39時間先までの予測結果：(2020/9/6 3:00 – 2020/9/7 18:00)

第六報予測
+ 事後検証

ピーク流量(m³/s)

数値は21メンバー中
1位、5位、11位
の上期間における
ピーク流量予測結果
と基準点の基本高水
と河道配分流量。
単位は m³/s

検証コメント

予測結果では、黄色(アンサンブル1, 5, 11位)と河オレンジ色(方針：河川整備基本方針・基本高水、河道：河道配分流量)を送付。白色は解析雨量をもとに計算した推定ピーク流量。

横石
1位:4773
5位:3930
11位:2369
方針:9900
河道:7800
解析:2201

人吉
1位:3463
5位:2861
11位:1946
方針:7000
河道:4000
解析:1868

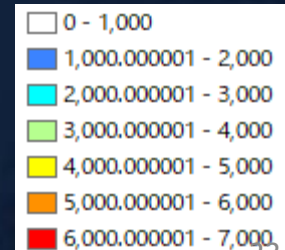
三輪
1位:4364
5位:4253
11位:4080
方針:7200
河道:7200
解析:3335

高城
1位:2291
5位:2224
11位:2101
方針:5700
河道:4700
解析:1903

柏田
1位:6899
5位:6492
11位:6079
方針:11700
河道:9700
解析:4406

俣瀬
1位:1402
5位:1218
11位:912
方針:2500
河道:2500
解析:733

川内
1位:3091
5位:2266
11位:1739
方針:9000
河道:7000
解析:1106



背景図は各セルで21メンバー中5位の結果を出力。

MEPS+RRIによる39時間先までの予測結果：(2020/9/6 3:00 – 2020/9/7 18:00)

ピーク流量(m³/s)

検証コメント

予測結果では、黄色(アンサンブル1, 5, 11位)とオレンジ色(基本方針、河道整備計画)の結果を送付。白色は解析雨量をもとに計算した推定ピーク流量。

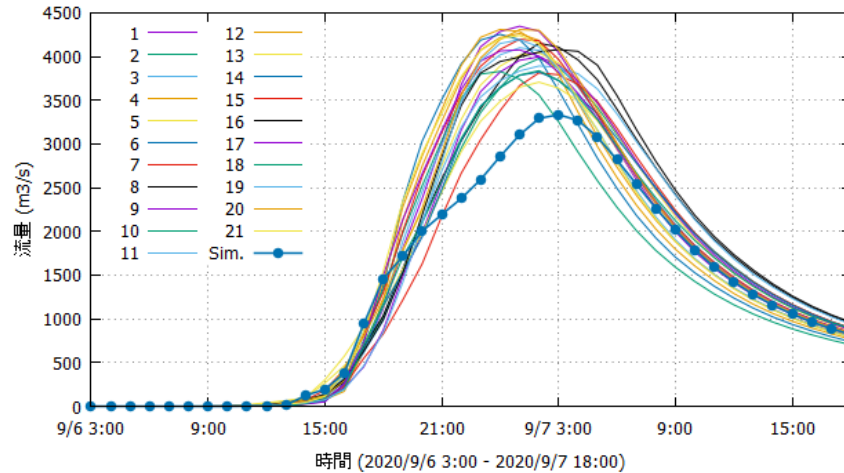
数値は21メンバー中
1位、5位、11位
の上期間における
ピーク流量予測結果
と基準点の計画高水
単位は m³/s



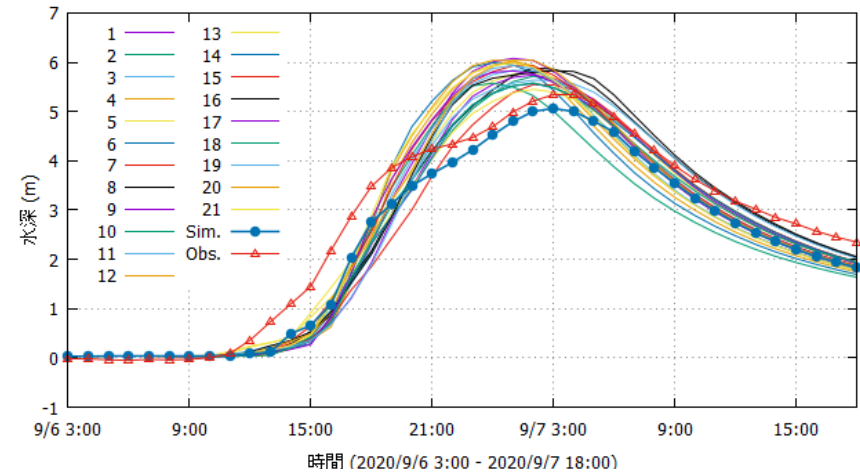
9/6 19:00時点の予測結果に予測 + 検証結果

基準点流量・水位

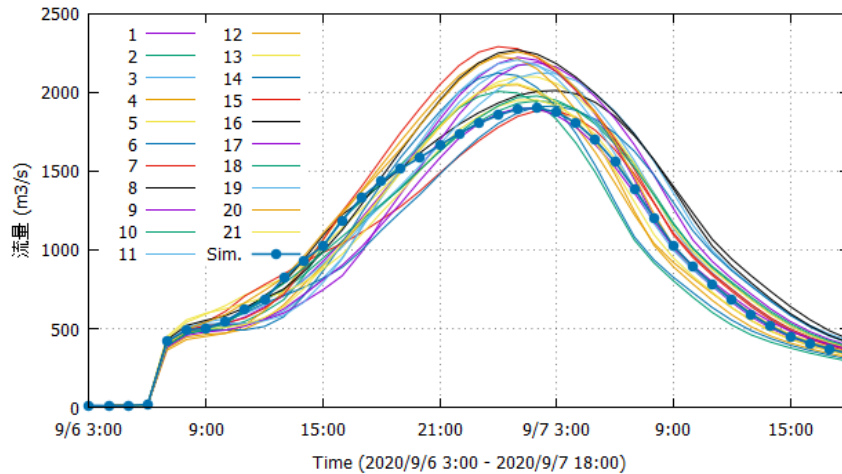
五ヶ瀬・三輪



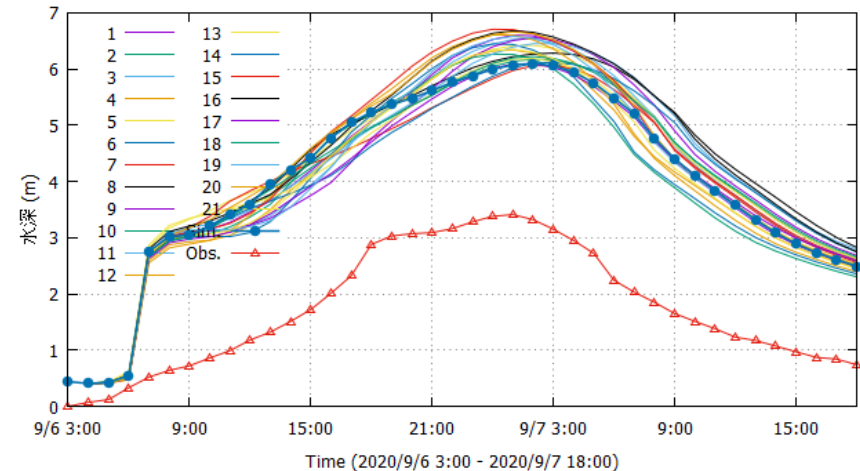
五ヶ瀬・三輪



小丸川・小丸大橋



小丸川・小丸大橋

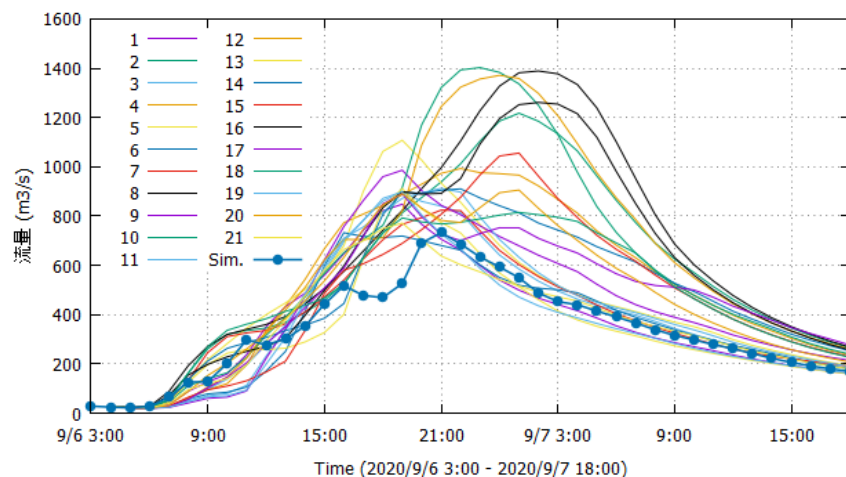


検証コメント

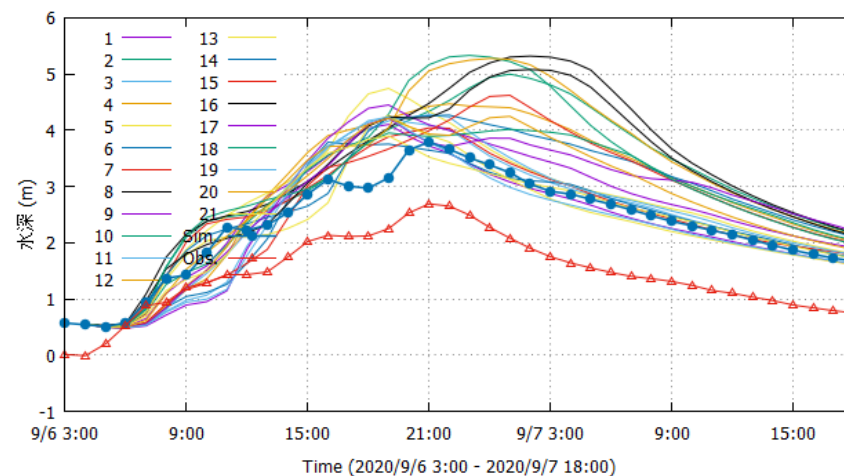
予測結果（第6報）では、基準点における21メンバーの流量予測結果を報告した。青丸線（sim）、赤三角線（obs）は、それぞれ解析雨量を入力した事後解析の結果と観測水位。観測水位は各観測点の水位標ゼロ点高を基準であり、必ずしも河床からの水深と一致しない。観測水位と実績水深の絶対的な誤差は基準点の問題であるため、検証においては水深変化の再現性、予測可能性に着目する。

基準点流量・水位

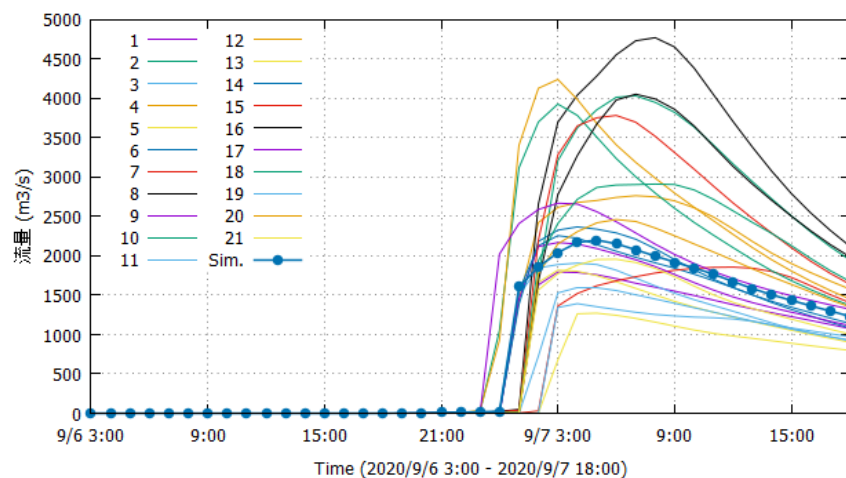
肝属川・俣瀬



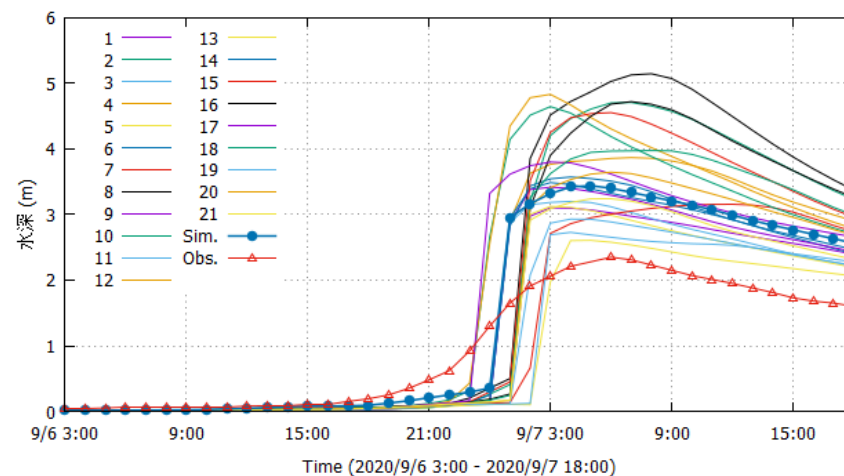
肝属川・俣瀬



球磨川・横石



球磨川・横石



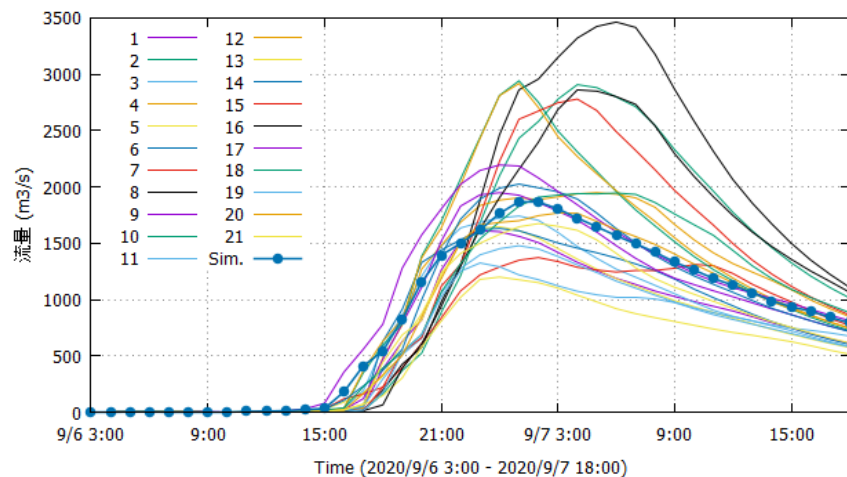
検証コメント

アンサンブルの予測流量は、比較的幅が大きい地点と、そうでない地点がある。全般的に、アンサンブル予測の結果は、解析結果（解析雨量をJRRIに入力して推定した流量）に比べるとやや大きめであった。

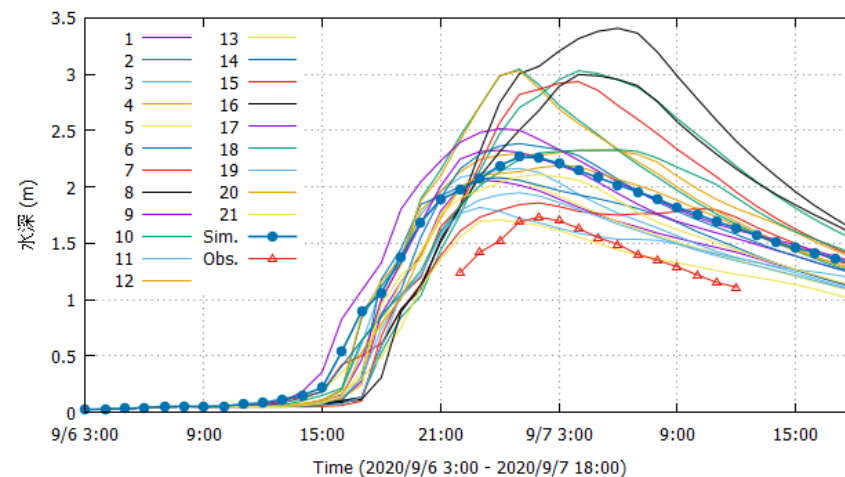
基準点流量・水位

九州

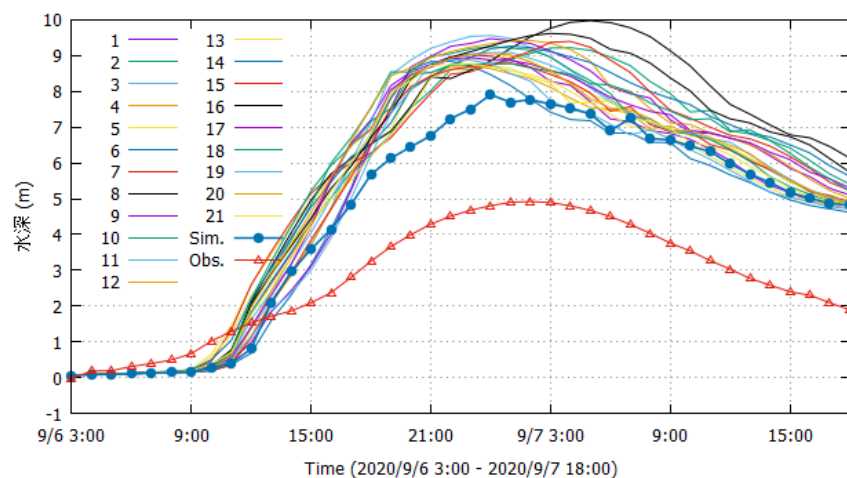
球磨川・人吉



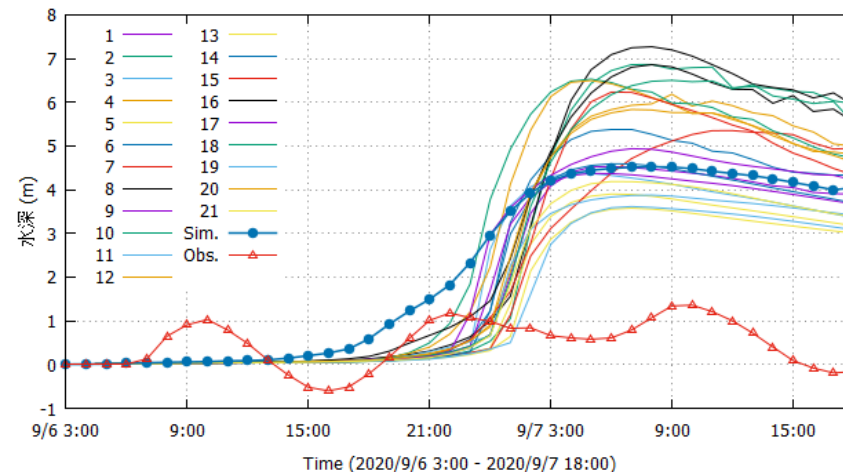
球磨川・人吉



大淀川・柏田



川内川・川内

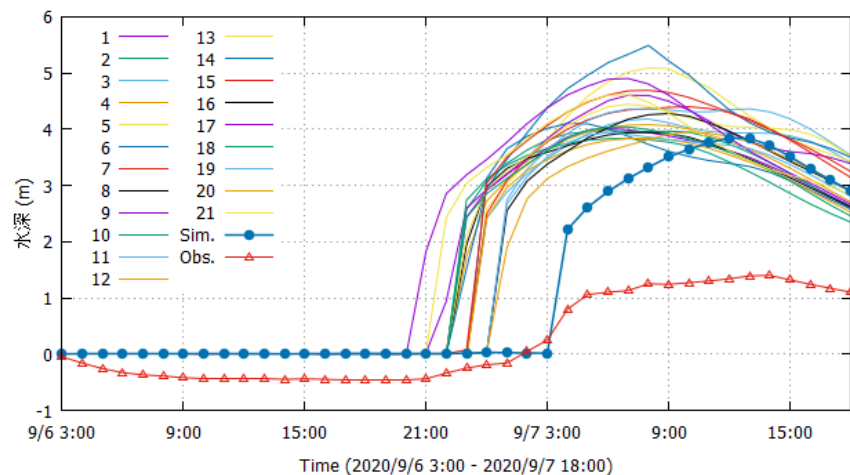


* モデルの問題で予測流量が一部
振動していたため水深情報のみ図示

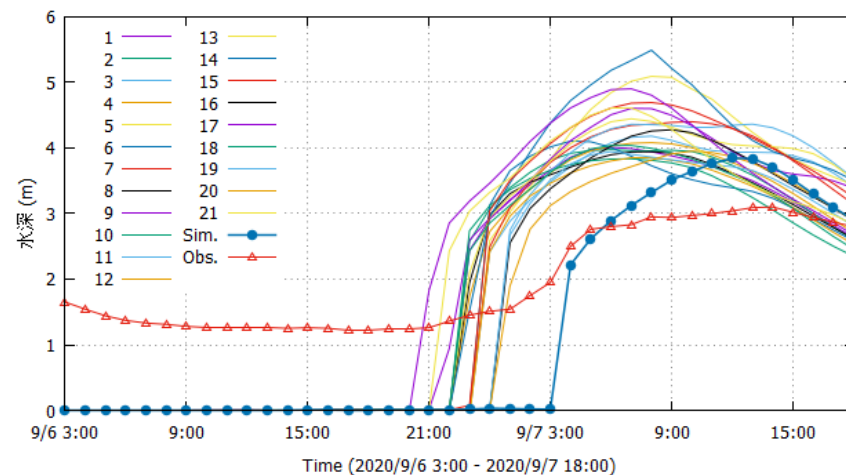
* モデルの問題で予測流量が一部
振動していたため水深情報のみ図示

基準点流量・水位

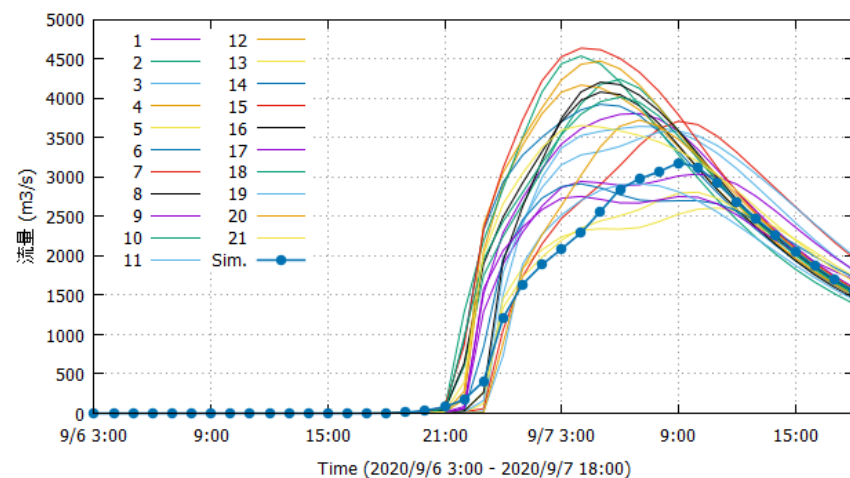
那賀川・古庄



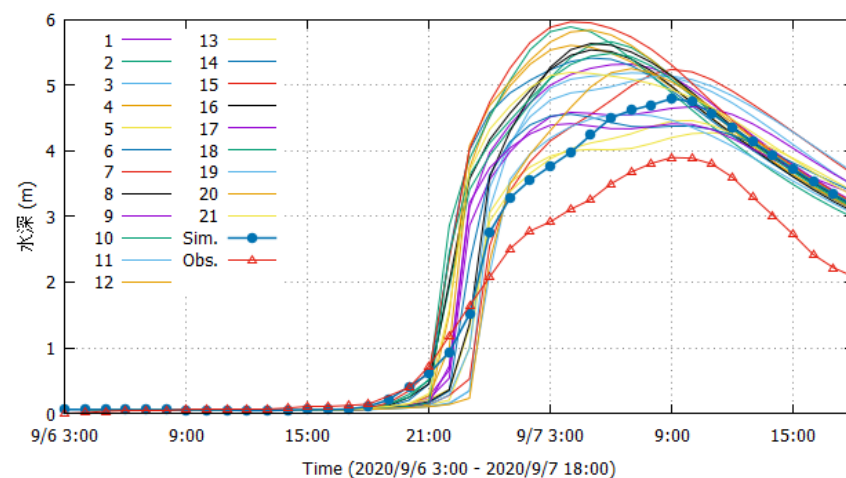
那賀川・古庄



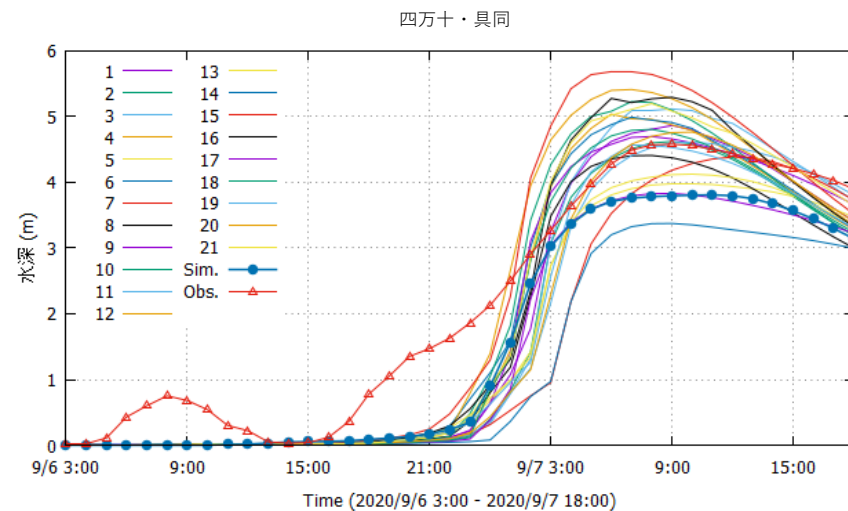
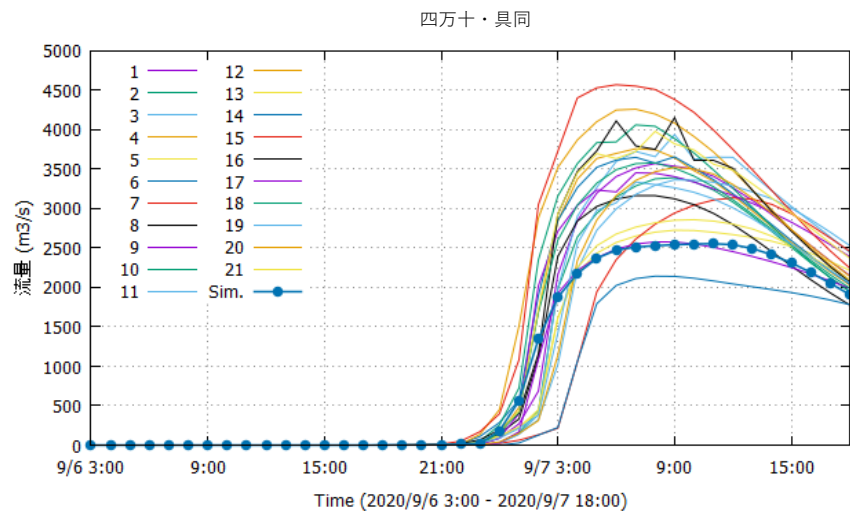
仁淀川・伊野



仁淀川・伊野

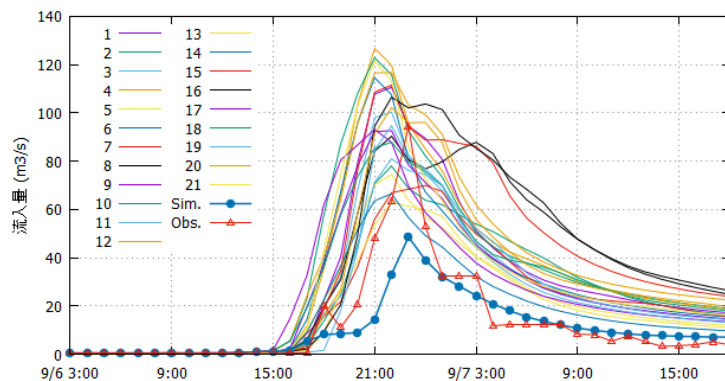


基準点流量・水位

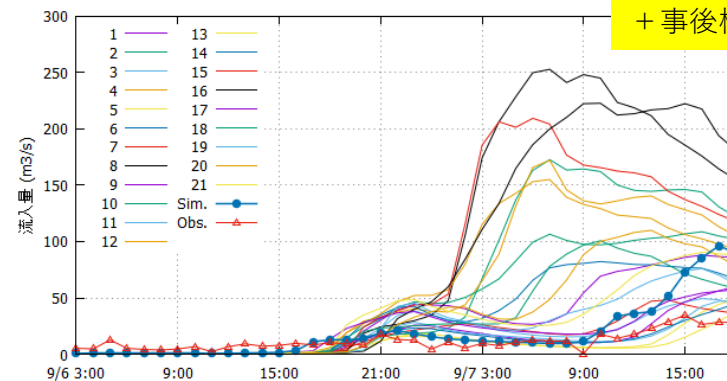


ダム流入量 九州(1/2)

耶馬溪ダム・山国川

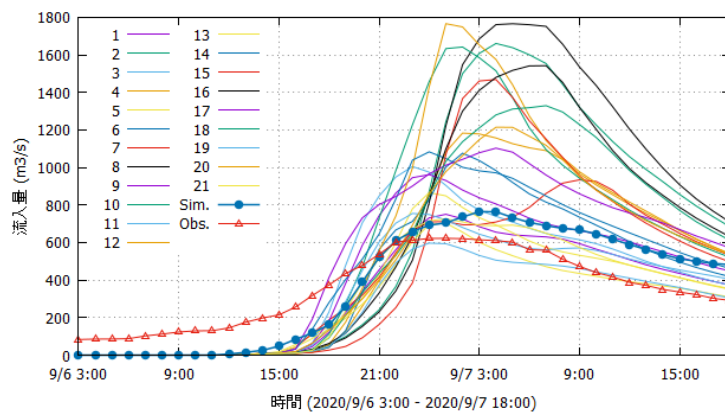


下釜ダム・筑後川

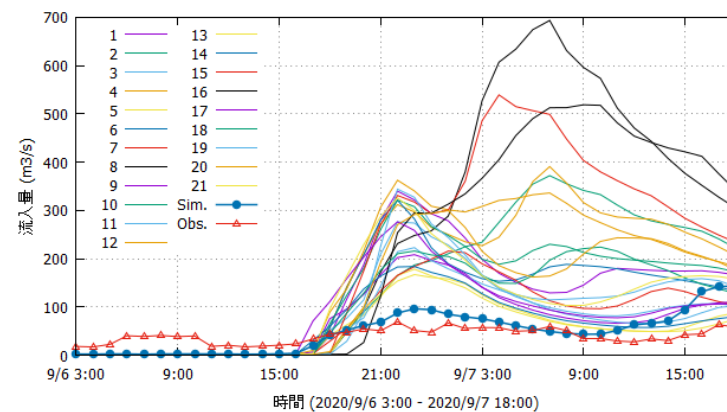


第六報予測
+ 事後検証

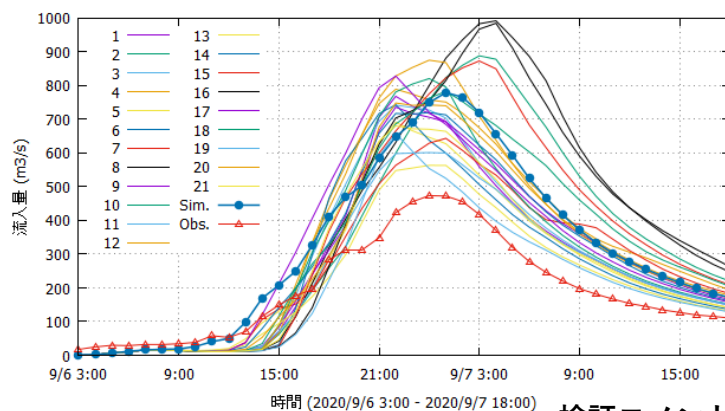
鶴田ダム・川内川



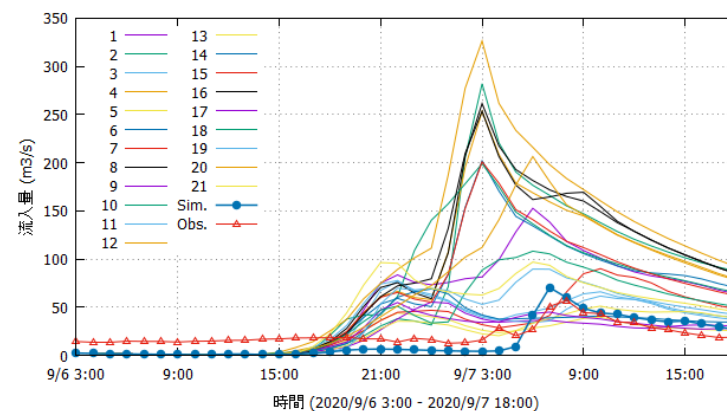
松原ダム・筑後川



緑川ダム・緑川



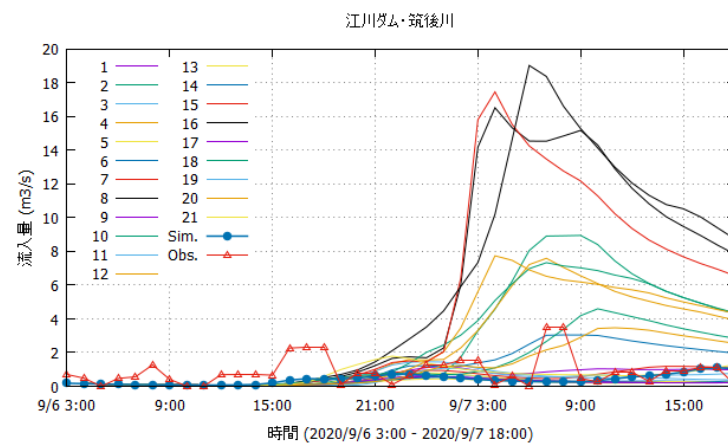
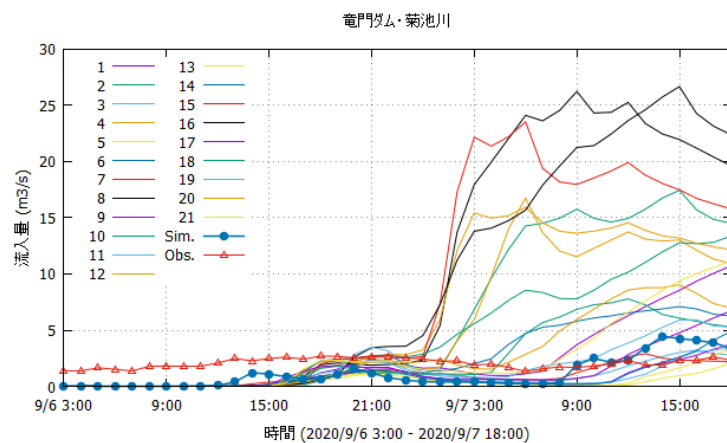
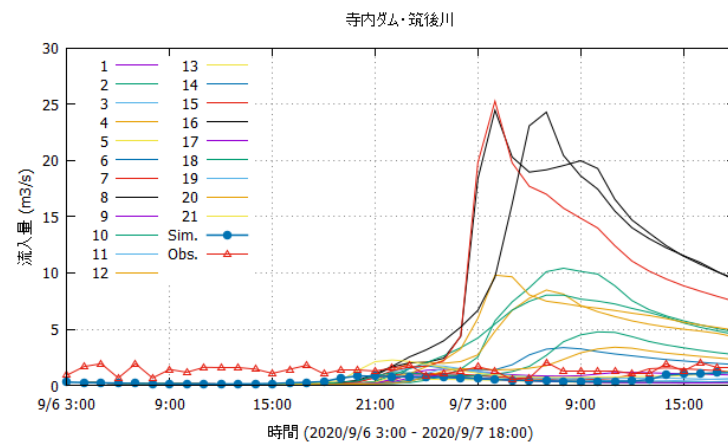
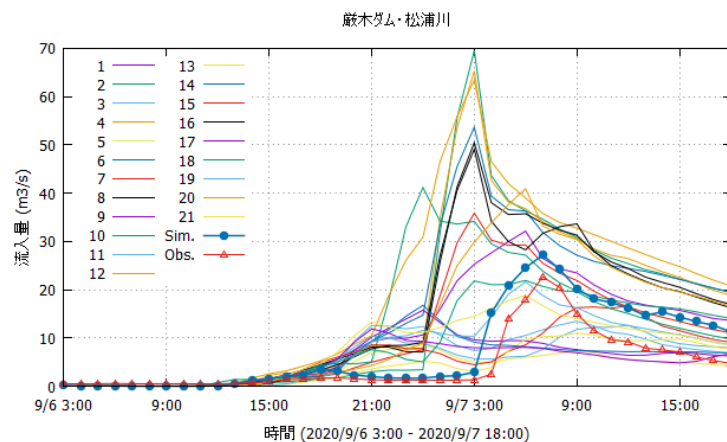
嘉瀬川ダム・嘉瀬川



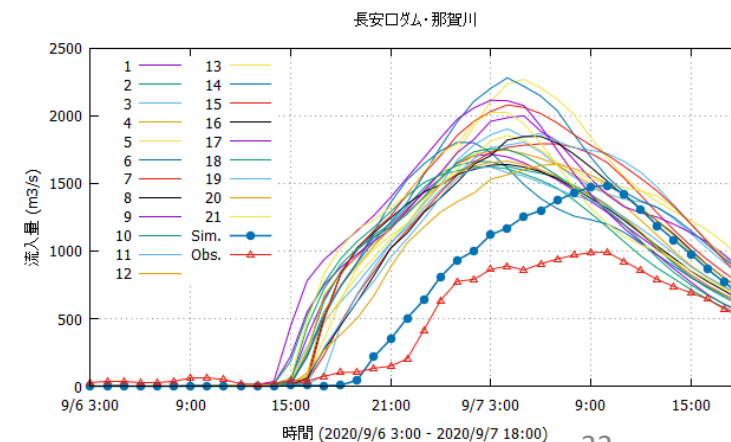
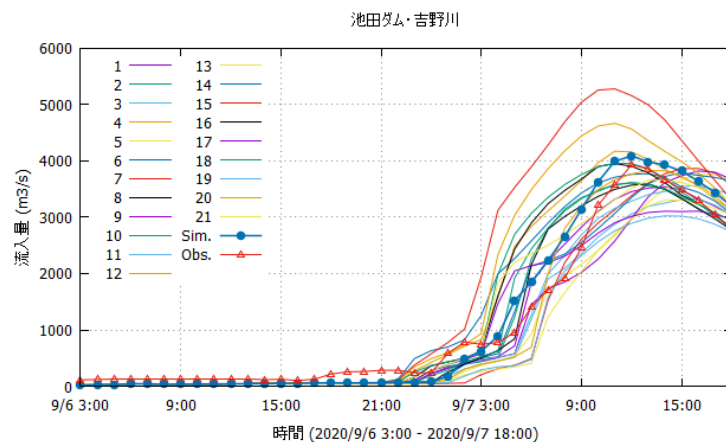
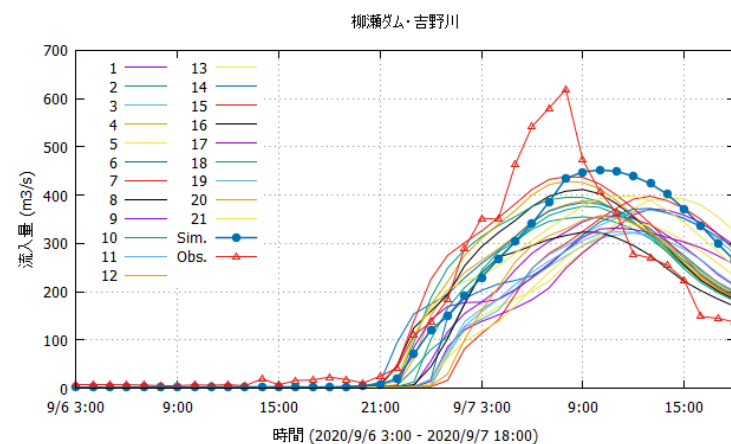
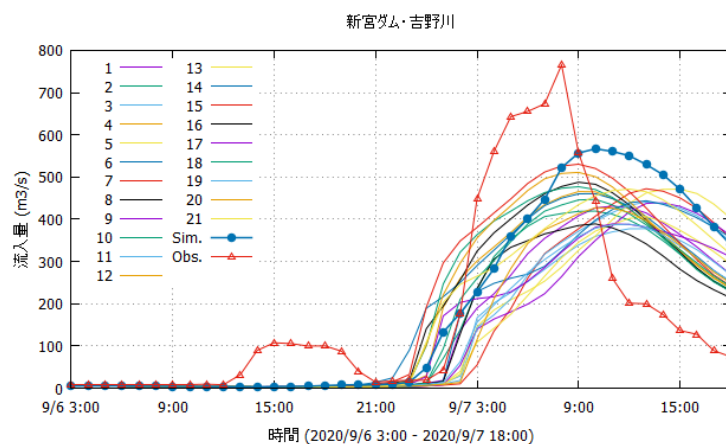
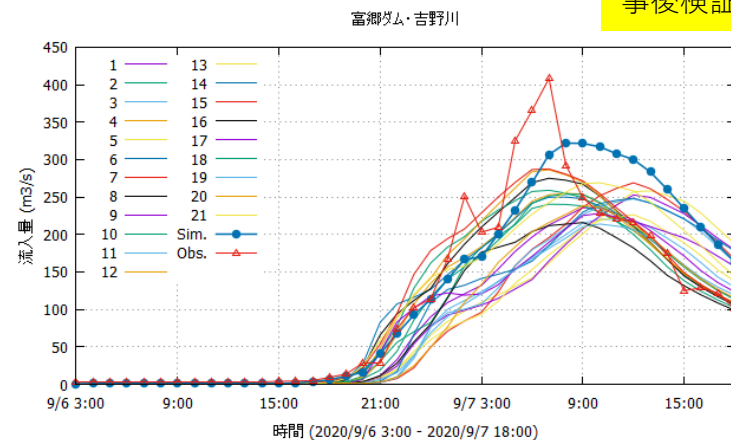
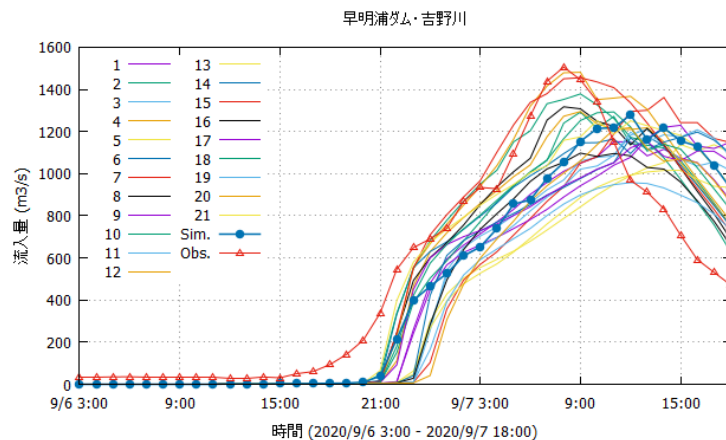
検証コメント

JRRIモデルの流量再現性を検証するため、解析流量(Sim)と観測流入量(Obs)を比較する。緑川ダムでは解析が観測を過大評価している。

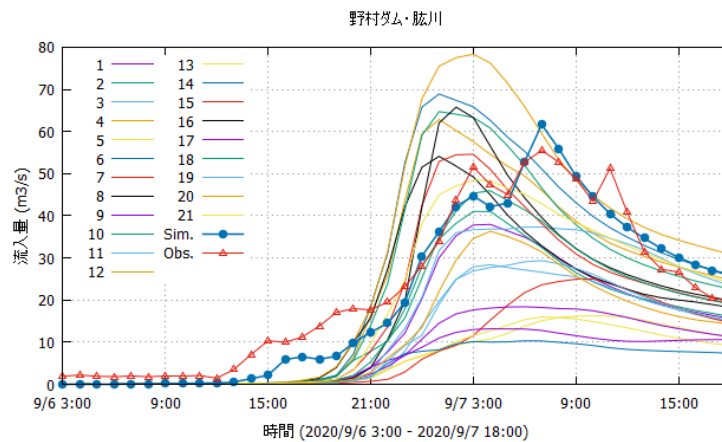
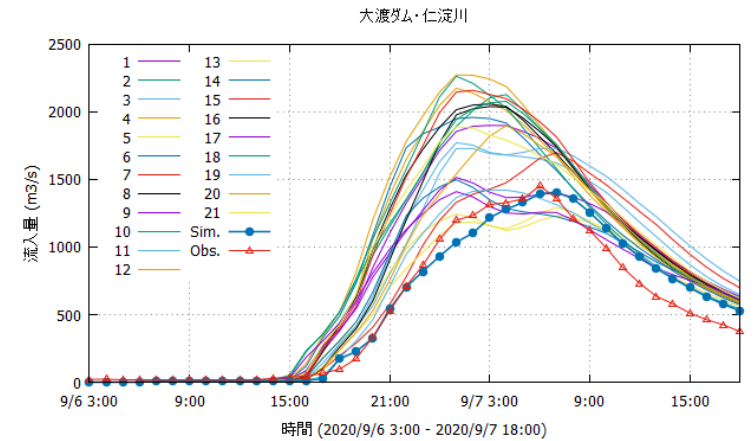
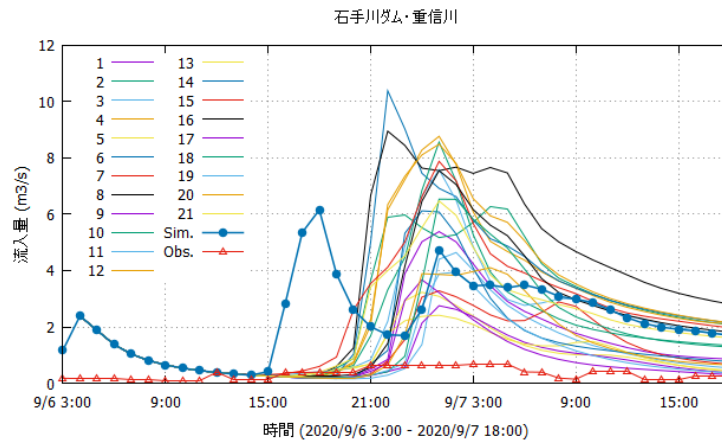
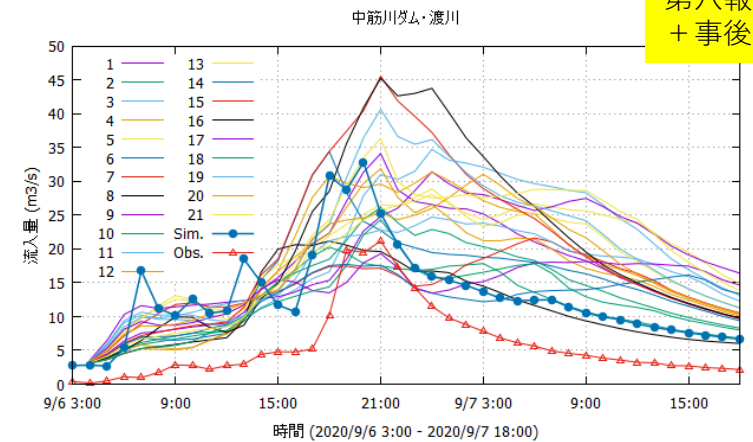
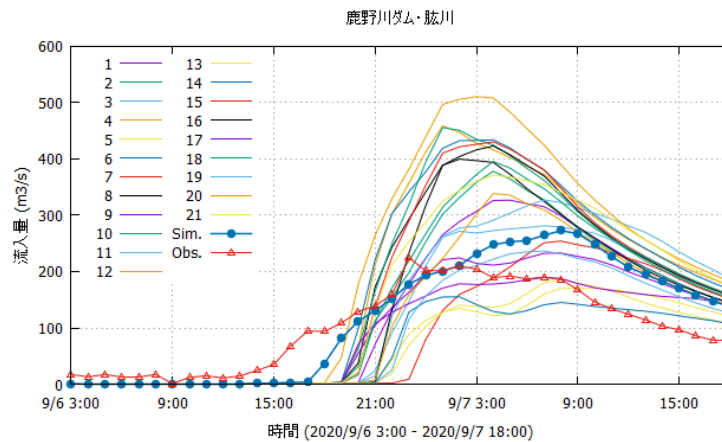
ダム流入量 九州(2/2)



ダム流入量 四国(1/2)



ダム流入量 四国(2/2)



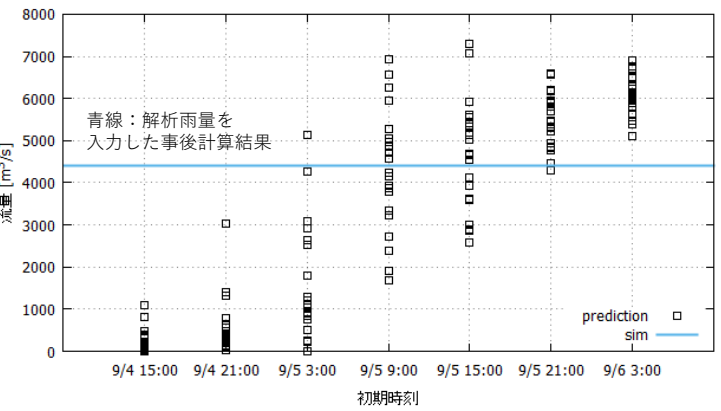
基準点における予測ピーク流量と水位の時間変化（予測の初期時刻による影響）

2020/9/5 9:00

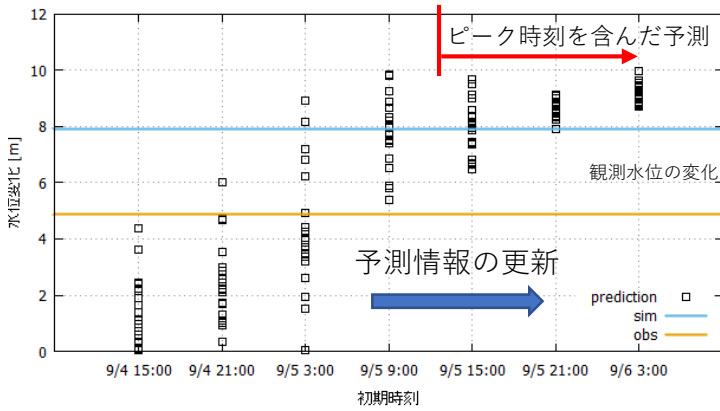
9/5 9:00 を初期時刻にする39時間予測の期間が9/7 0:00なので、それ以降の予測流量に着目する。それ以前の予測は、台風による雨が終わるまでに予測期間が終わるため、流量は過小評価。9/5 9:00以降は、予測が更新されるたびに、多くの場所でアンサンブルのスプレッドが小さくなっていることがわかる。

解析雨量を用いた解析水位、および観測水位のピーク時刻は9/6 21:00 ~ 9/7 6:00であり、初期時刻が9/5 15:00以降の予測にはピーク時刻が含まれる。

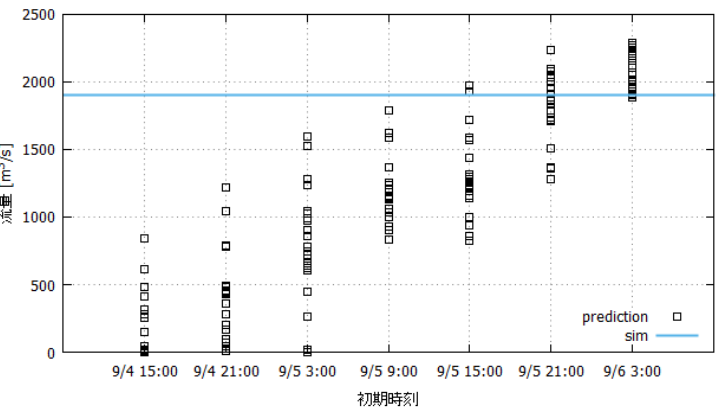
大淀川・柏田



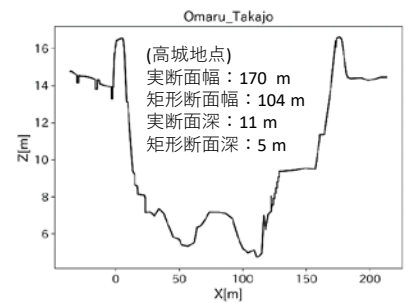
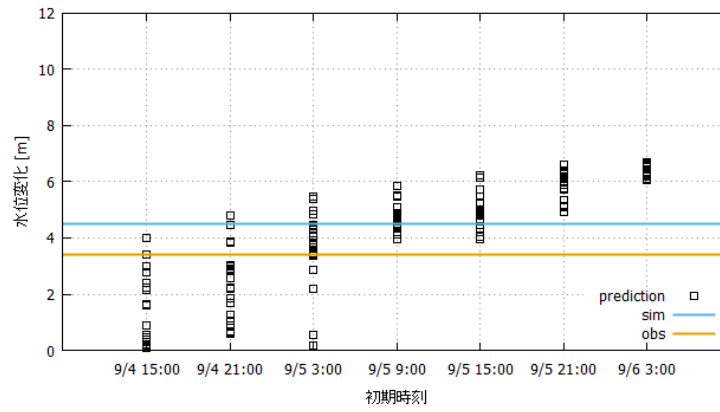
大淀川・柏田



小丸川・小丸大橋

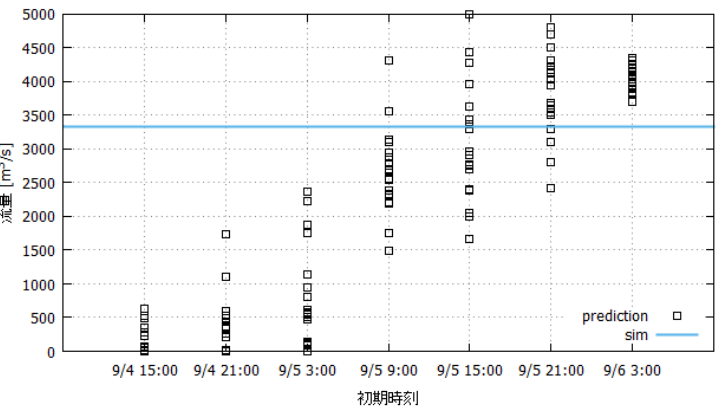


小丸川・小丸大橋

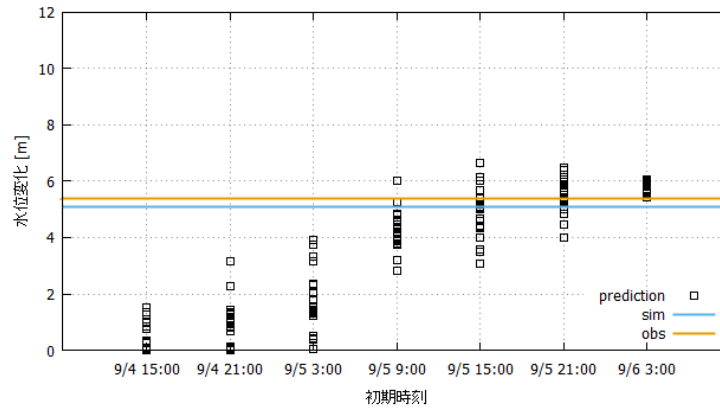


参考までに実断面の形状を示す。JRRIでは、上記の矩形断面幅と深さを当該地点で設定していた。

五ヶ瀬・三輪

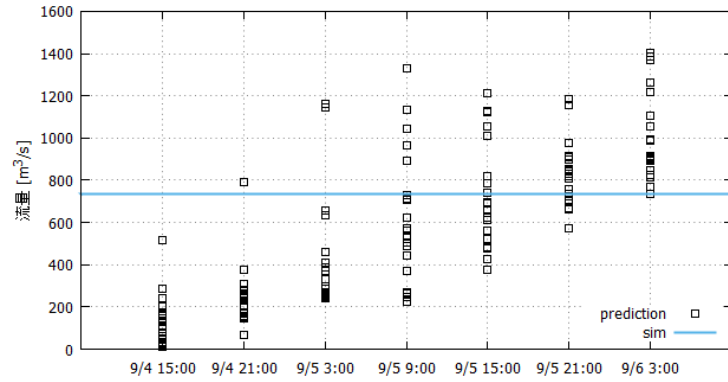


五ヶ瀬・三輪

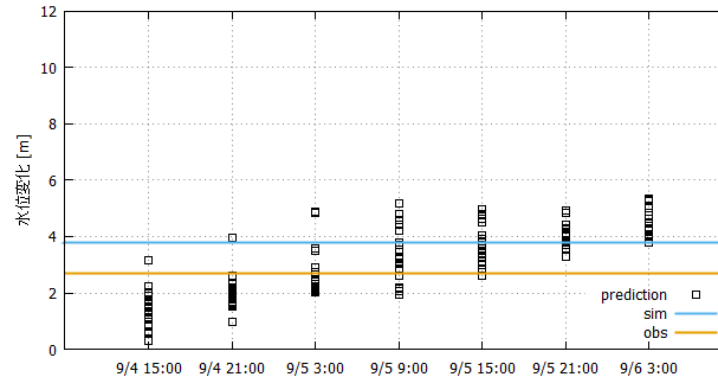


基準点における予測ピーク流量と水位の時間変化（予測の初期時刻による影響）

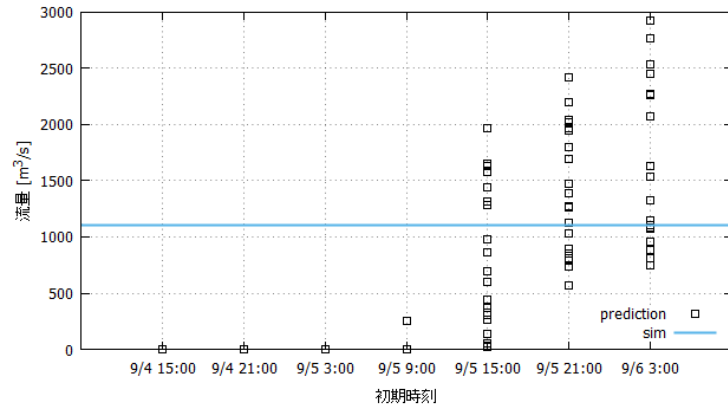
肝臓・保瀬



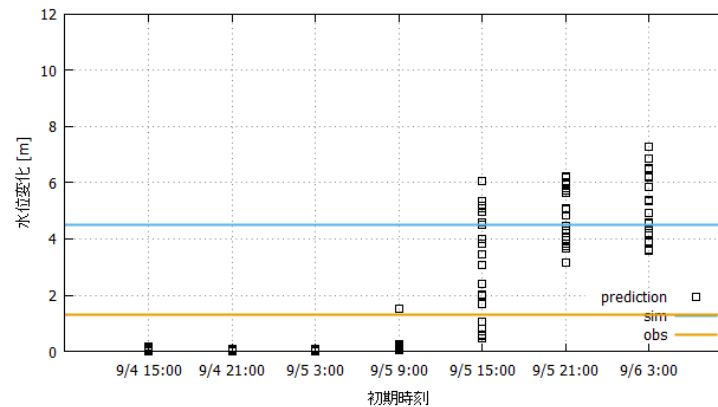
肝臓・保瀬



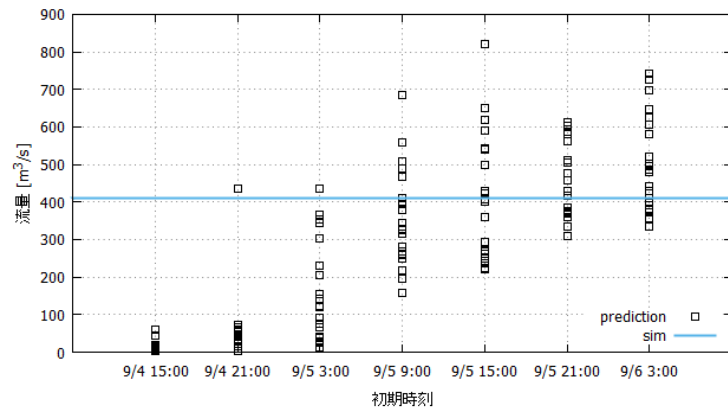
川内川・川内



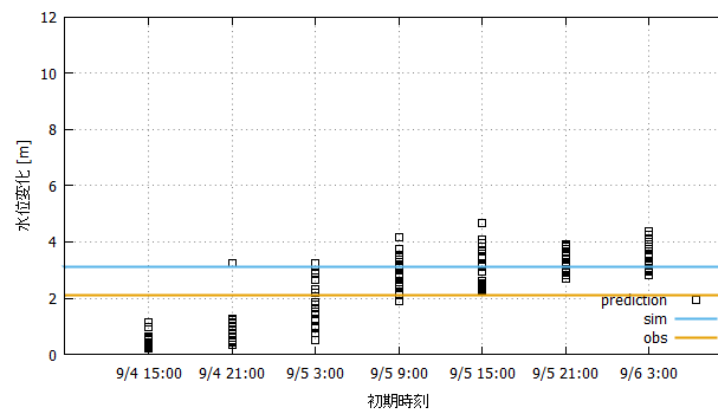
川内川・川内



川内川・上真幸

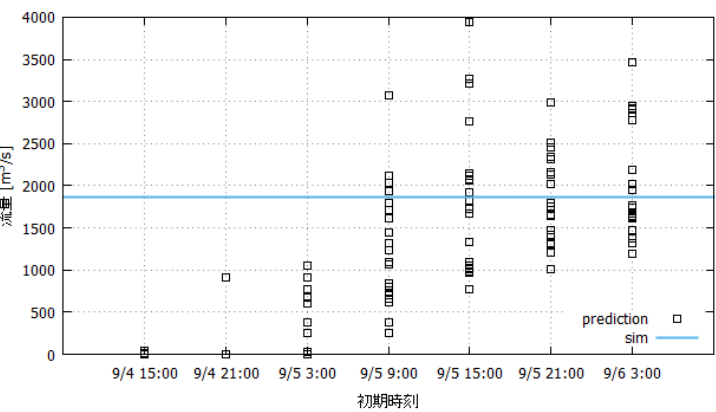


川内川・上真幸

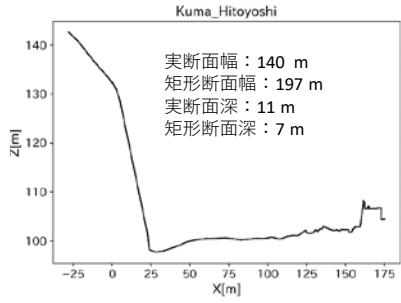
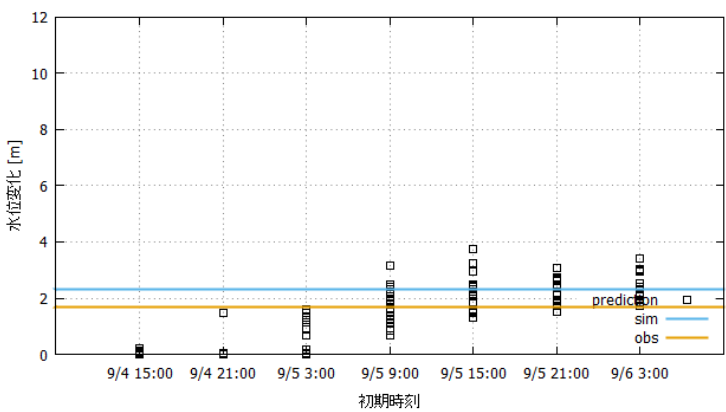


基準点における予測ピーク流量と水位の時間変化（予測の初期時刻による影響）

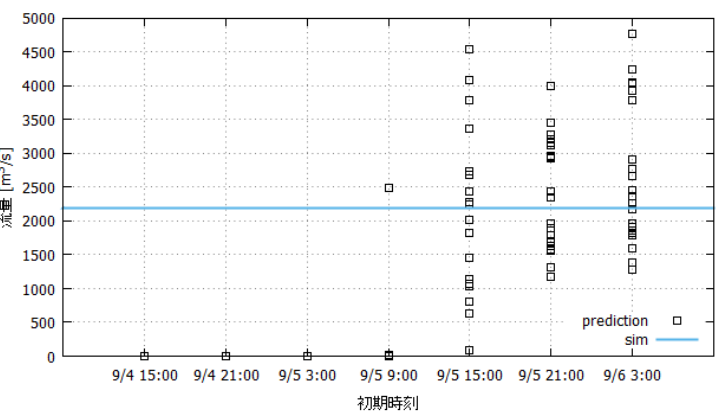
球磨川・人吉



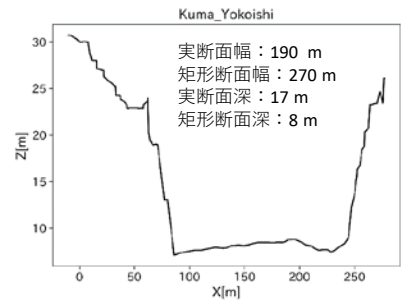
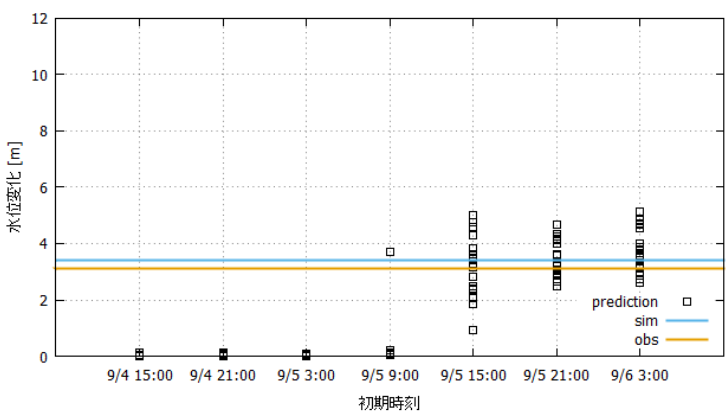
球磨川・人吉



球磨川・横石

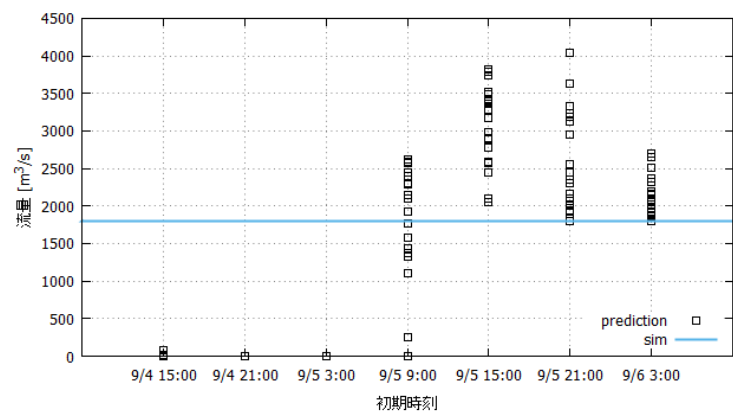


球磨川・横石

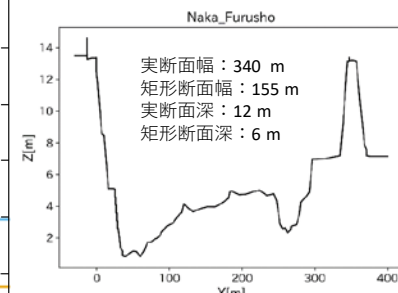
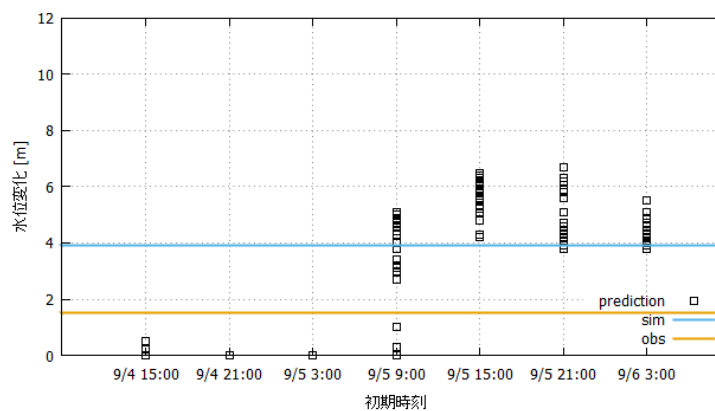


基準点における予測ピーク流量と水位の時間変化（予測の初期時刻による影響）

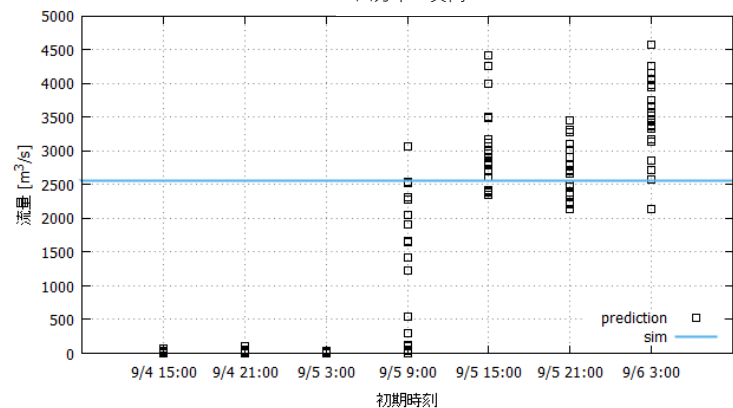
那賀川・古庄



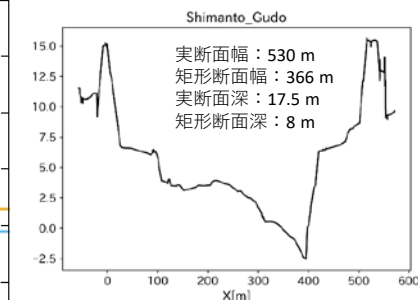
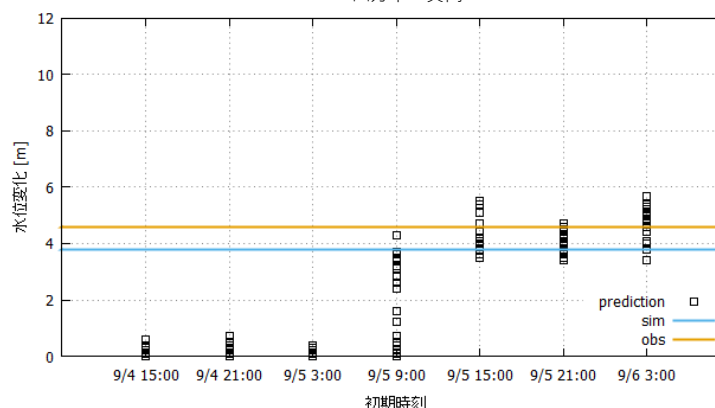
那賀川・古庄



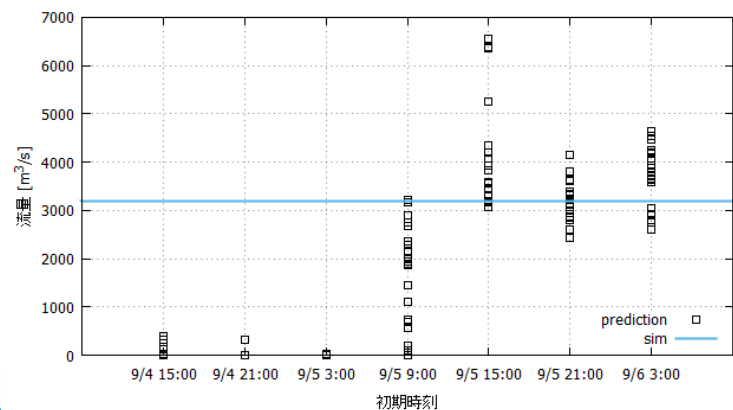
四万十・具同



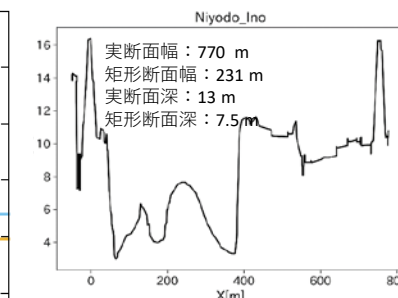
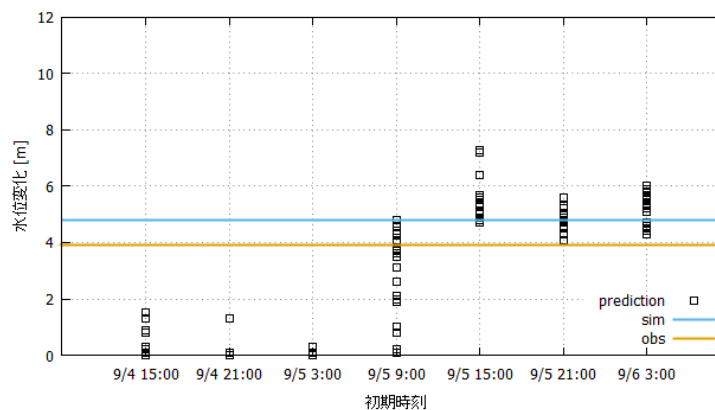
四万十・具同



仁淀川・伊野

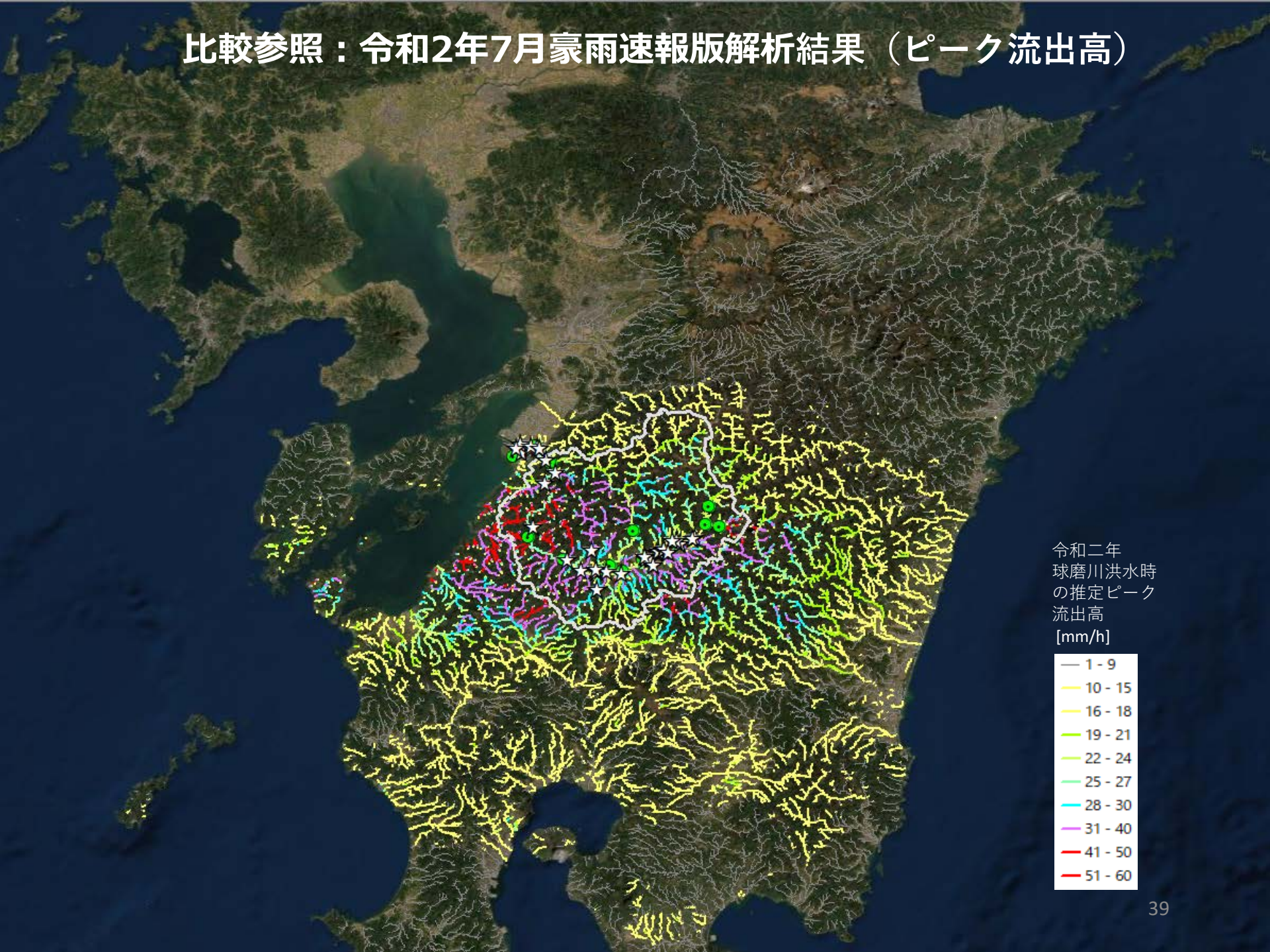


仁淀川・伊野



- ・ 台風が最接近する2日前から準備を始めて、約1日半前から逐次JRRIモデルの予測結果を発信した。
- ・ 九州・四国・中国地方を対象に、150 mの空間分解能、6時間ごと、21アンサンブルメンバーで、39時間先まで予測した。
- ・ 出水が大きくなると計算時間が徐々に長くなり、大学の大型計算機を用いて39時間分の計算を九州地方で最長約8時間要した。
- ・ MEPSの配信、JRRIによる計算等を加味すると、リードタイムの確保は24時間程度であった。
- ・ 全体的な予測の傾向として、MEPSに基づく流量や水位の変化は、解析雨量に基づく事後解析の結果とよく対応していた。本事例では、21アンサンブルメンバー中、中央値かそれより下位の予測が実績と近い状況であることを、流量の比較から確認した。
- ・ 大淀川、小丸川の上流部など、太平洋に流出する宮崎県の河川流域で、流出高が30 mm/h程度に達する支川があり、中小河川の洪水も懸念された。いくつかの河川で氾濫危険水位を超えたものの、大規模な破堤氾濫などは発生しなかった。
- ・ 従来の洪水予測は3時間から6時間後の水位を予測するものであり、水位計のある比較的大きな河川に限られる。一方、本報で示した洪水予測は、すべての中小河川を含めて水位や流量の予測の変数とし、台風襲来前に広域俯瞰的に状況を推察するものであり、従来とは全く異なる概念の洪水予測である。今回は実施しなかったが、台風が接近して以降は、3から6時間程度のリードタイムをもつ、より高頻度更新の洪水予測に切り替え、中小河川を含めた河川の水位変化を予測することも重要である。
- ・ 今回は21メンバー中の第5位を中心に予測結果を発信した。不確実性を有する予測の整理方法についても今後検討が必要。
- ・ MEPSなど最新の長時間アンサンブル気象予測情報を最大限活用し、**広域・高分解能・長時間・アンサンブル・高精度**という洪水予測の5つの目標をうまくバランスさせた新たな技術を開発する必要がある。
- ・ 本手法に限らず、様々な新たな洪水予測の手法が開発されている。今回のように実際に予測を試みて、その精度結果を蓄積することが重要である。その予測結果を、現業の予測結果と比較したうえで、上記5項目の長所短所を明確にすることが大切。

比較参照：令和2年7月豪雨速報版解析結果（ピーク流出高）



令和二年
球磨川洪水時
の推定ピーク
流出高
[mm/h]

