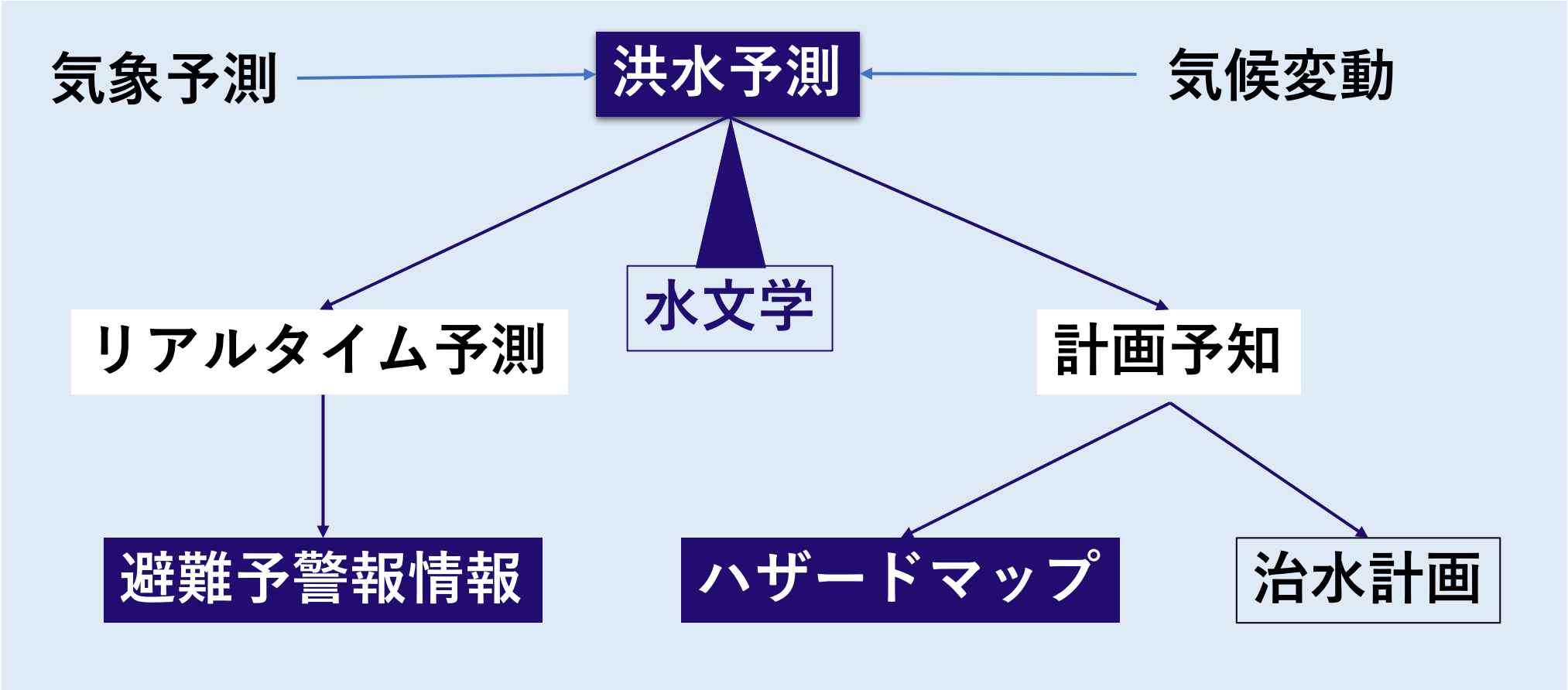
日本全国の中小河川を対象とする洪水予測システムの開発

京都大学防災研究所 社会防災研究部門

佐山敬洋

本日の発表内容



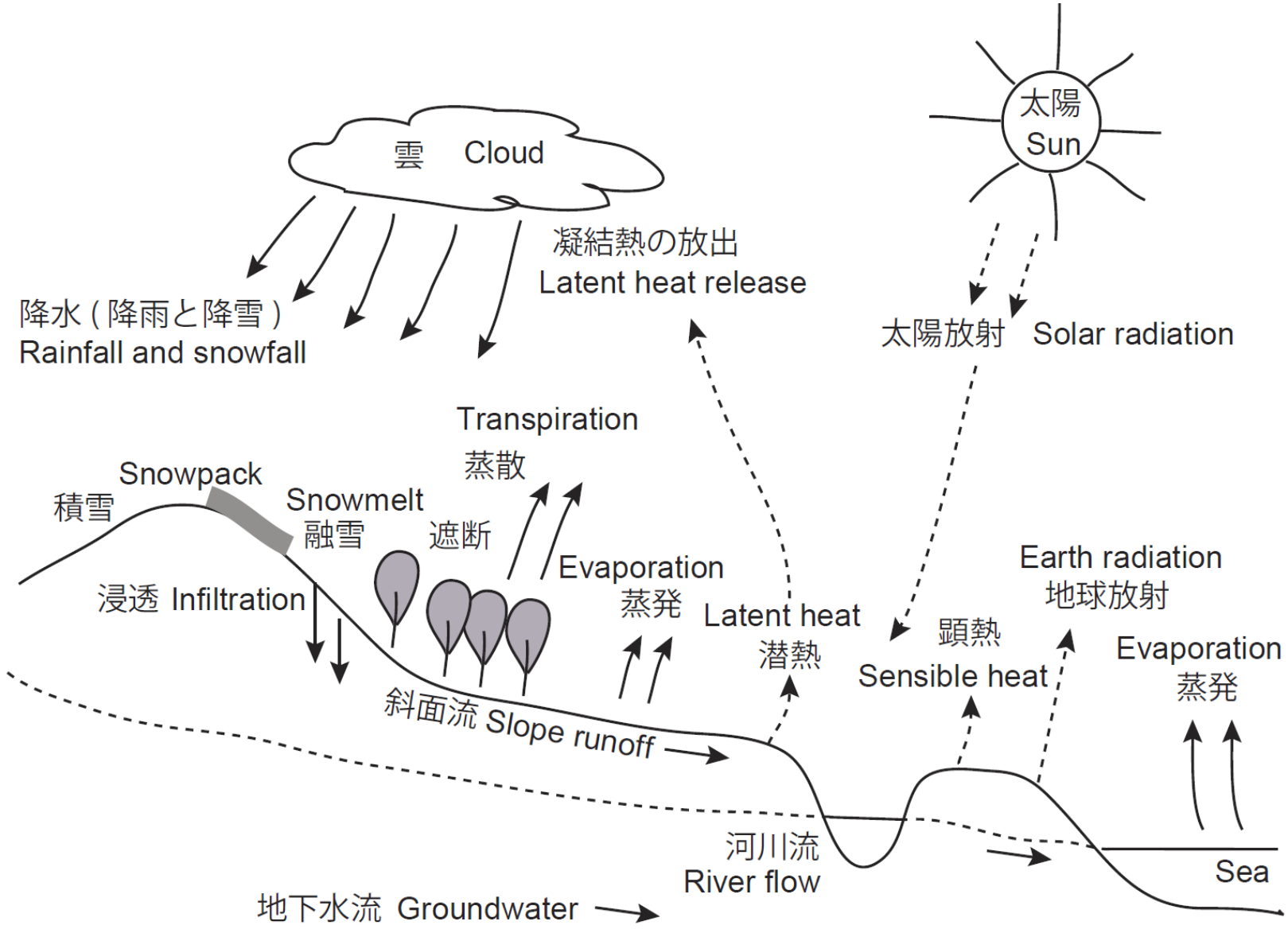
中小河川
↓
身近な

日本全国
↓
科学的
普遍的

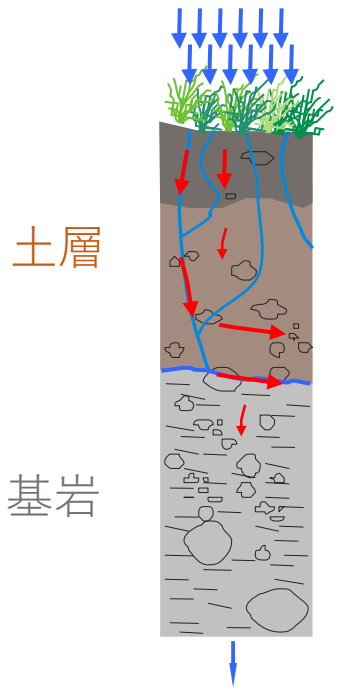
現状 → 5年・10年後の技術政策

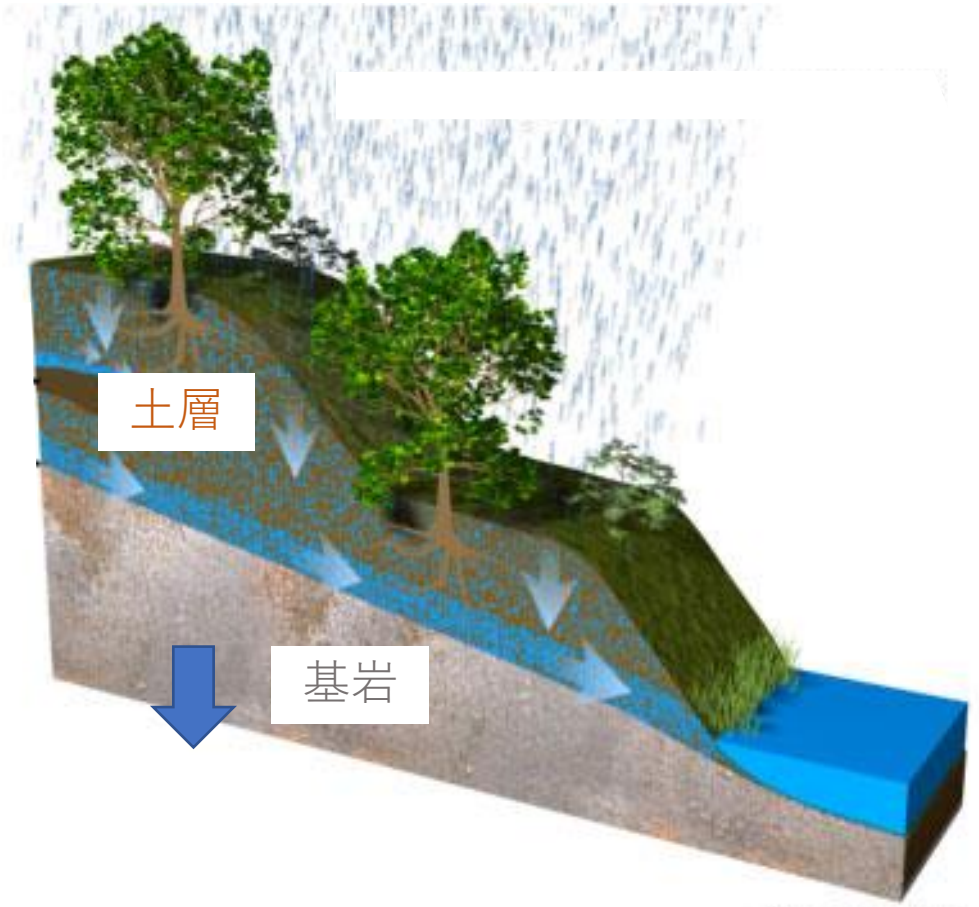
防災研究

洪水予測の基礎は水文学



日本の森林流域における典型的な降雨流出プロセス



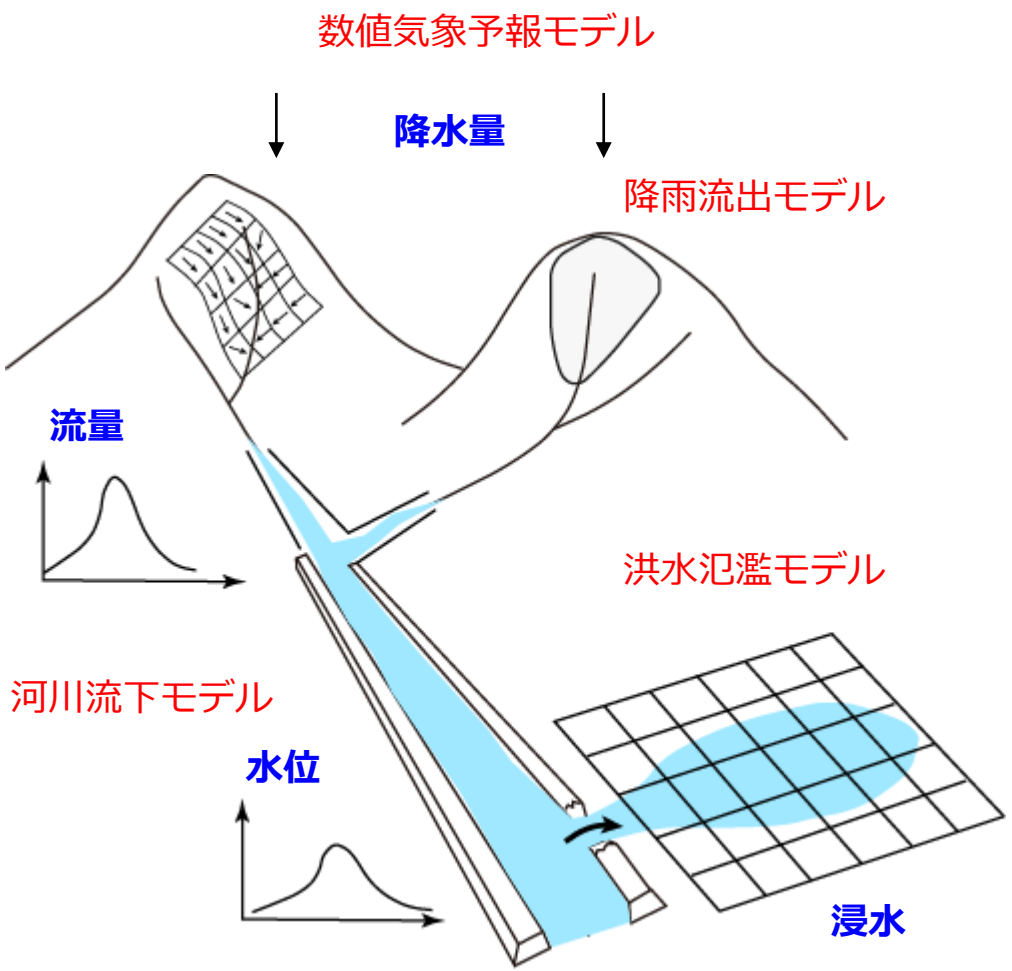


©The COMET Program

- ✓ 山地の基岩と土層の境界に流れが発生して洪水流出となる。
- ✓ 都市化が進むと雨が土層に浸透しにくくなる。
- ✓ 地質によっては土層から基岩への浸透も無視できない。

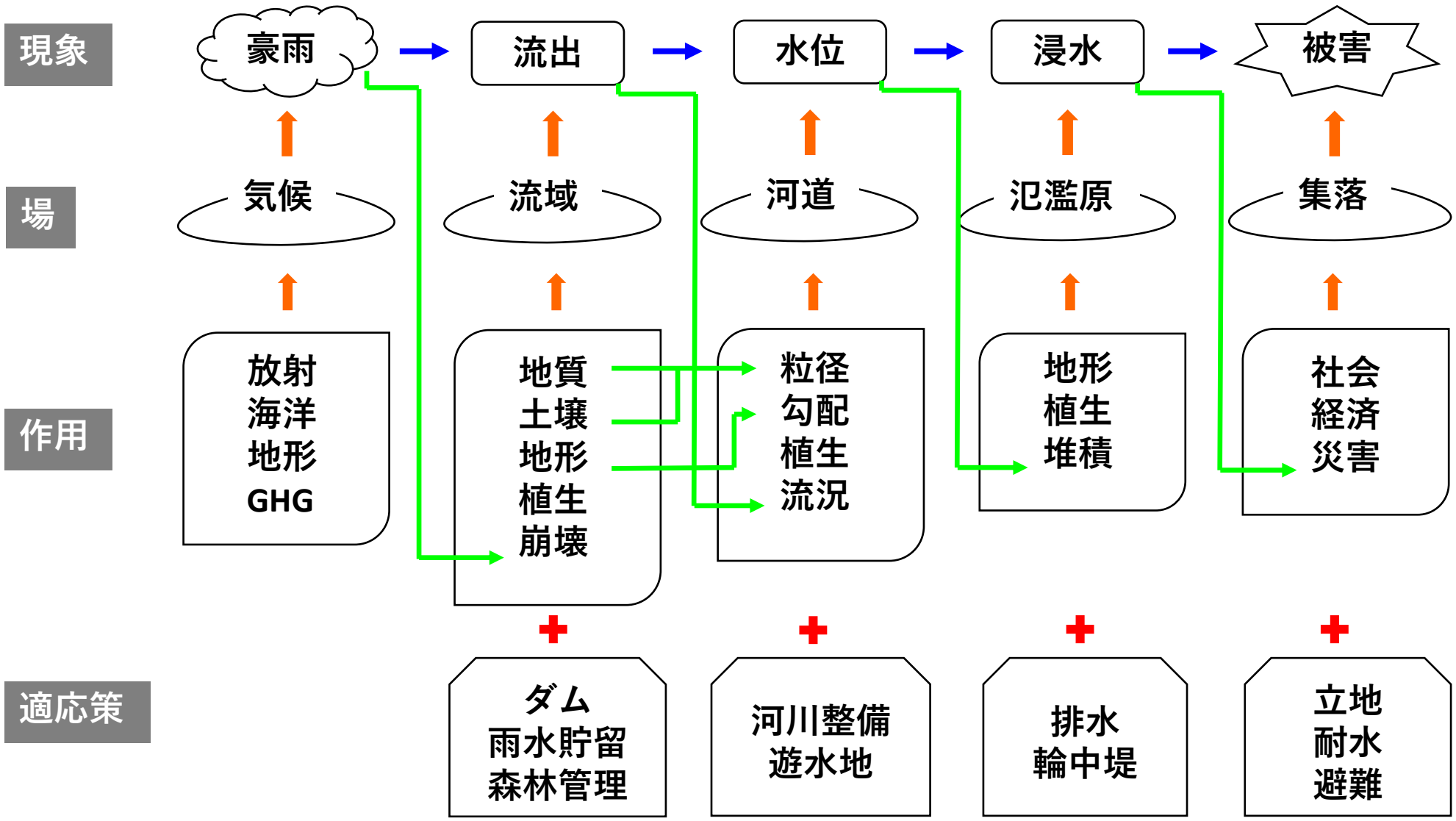
COMET and MetEd Program by UCAR
https://www.meted.ucar.edu/index.php に一部加筆

洪水予測に関する4要素とモデル



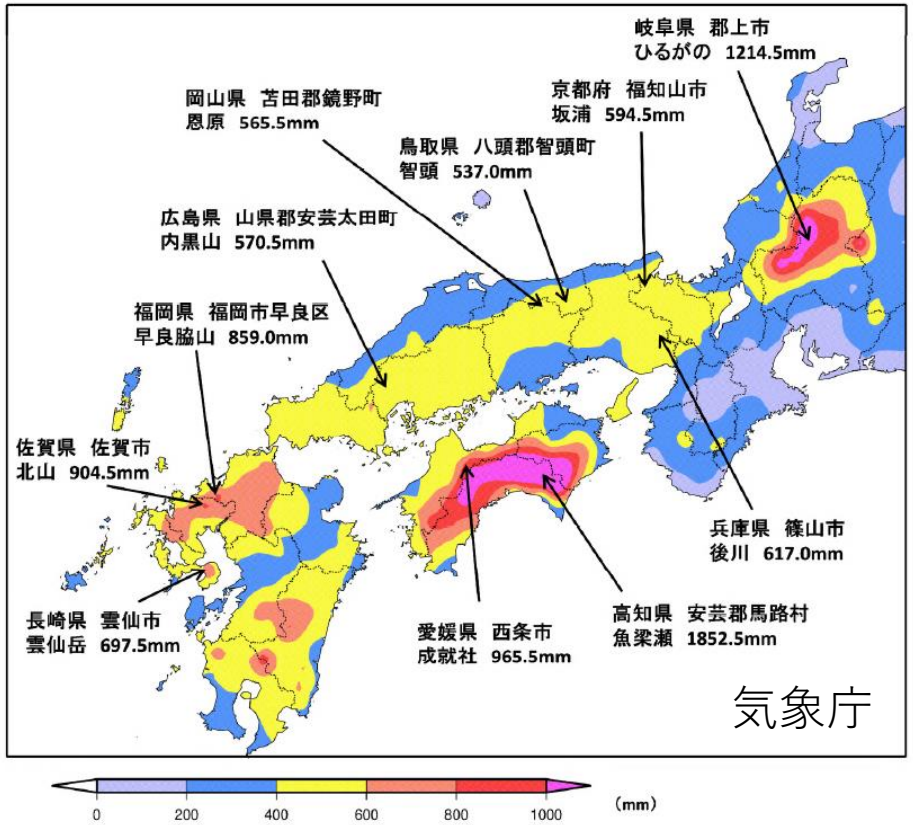
- **数値気象予測モデル(Numerical Weather Prediction Model):** 降水量の定量的予測
- **降雨流出モデル(Rainfall-Runoff Model):** 降雨から河川流量の予測
- **河川流下モデル(River Routing Model):** 上流の河川流量を境界条件にした洪水の伝播・河川水位の予測
- **洪水氾濫モデル(Flood Inundation Model):** 決壊地点からの越流量を境界条件とした浸水域・浸水深の予測

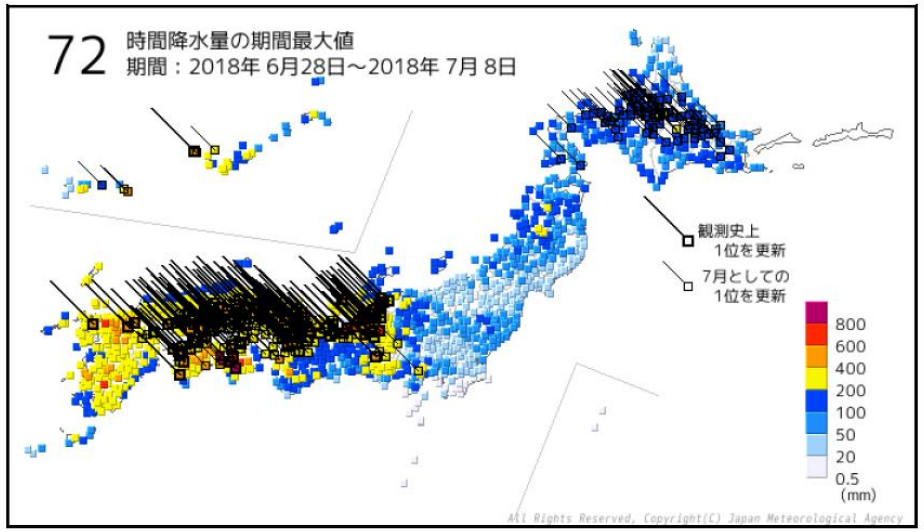
洪水災害予測に関わる現象と環境場



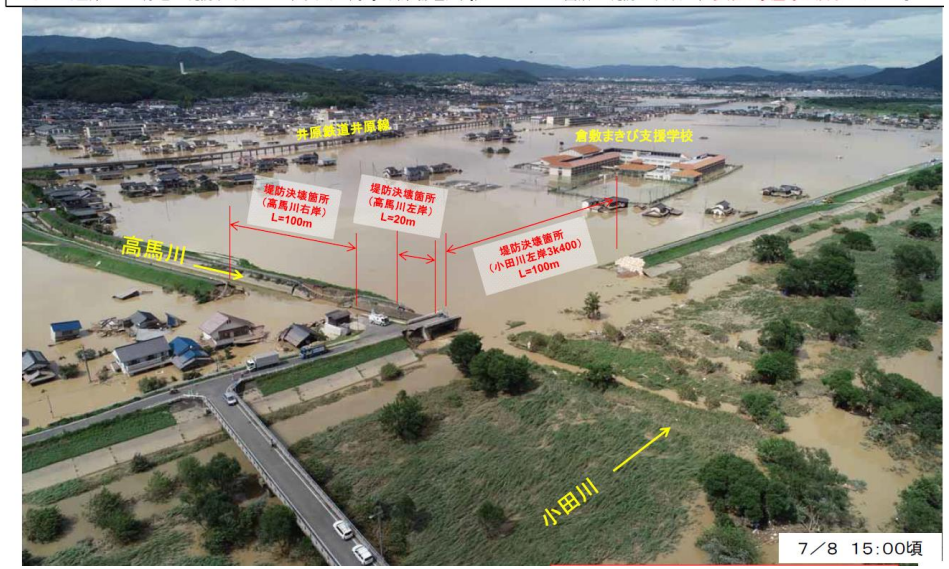
1.　近年の水害と防災気象情報

平成30年7月豪雨（通称：西日本豪雨）





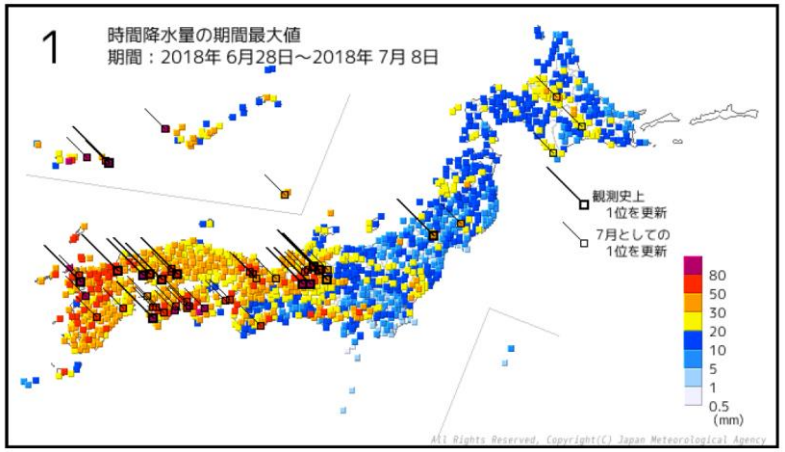
■小田川左岸3k400付近の堤防決壊のほか、支川の高馬川(県管理区間)においても2箇所で堤防が決壊し、多数の家屋等が浸水しました。

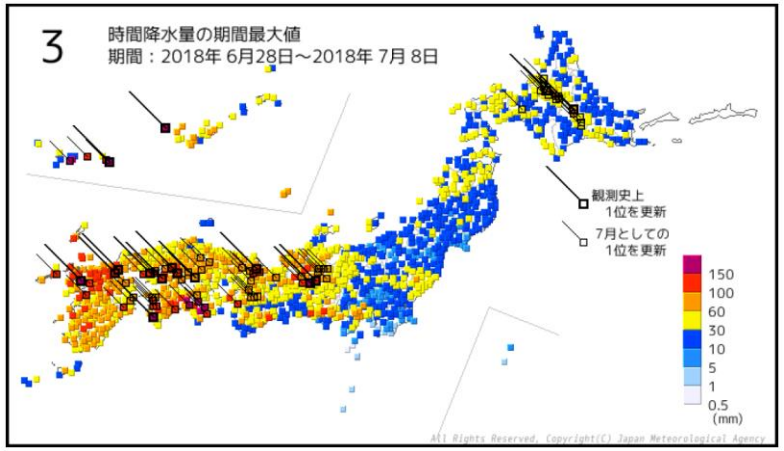


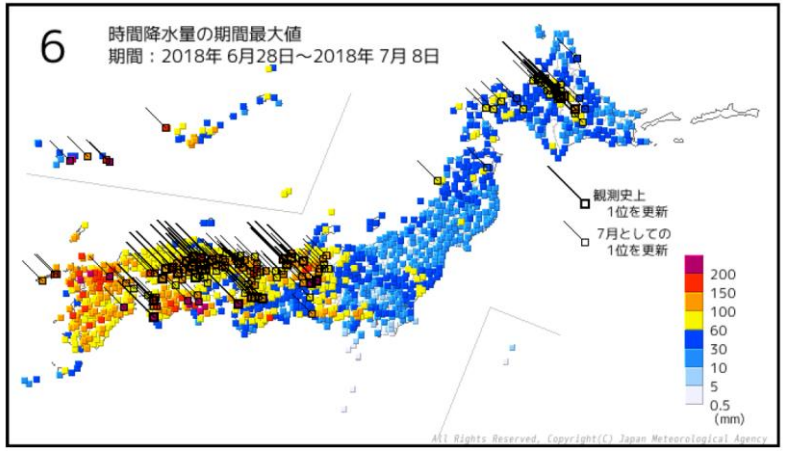
237名の死者、8名の行方不明者
全壊家屋：6,767, 半壊家屋：11,243, 一部損壊：3,991
床上浸水：7,137, 床下浸水：21,296
（内閣府調べ、2019/1/9現在）

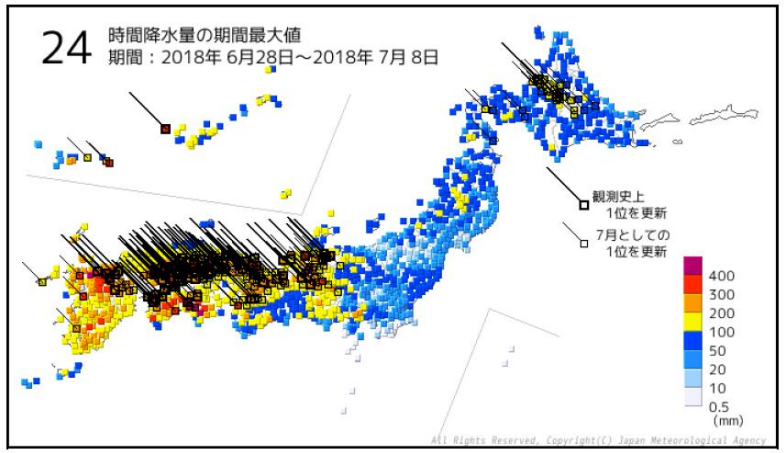
Upper: 気象庁：災害をもたらした気象事例：平成30年7月豪雨
Lower right: 国土交通省中国地方整備局

時間降水量の記録更新





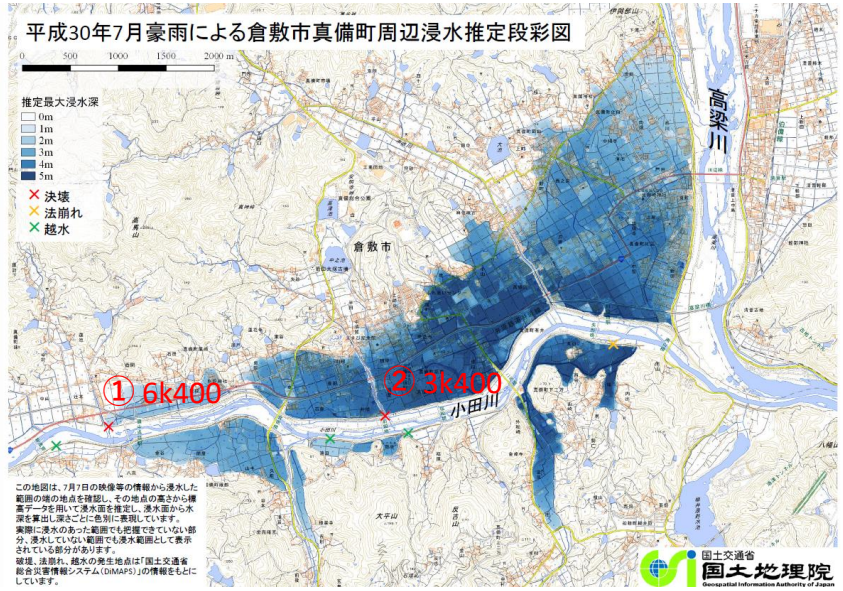




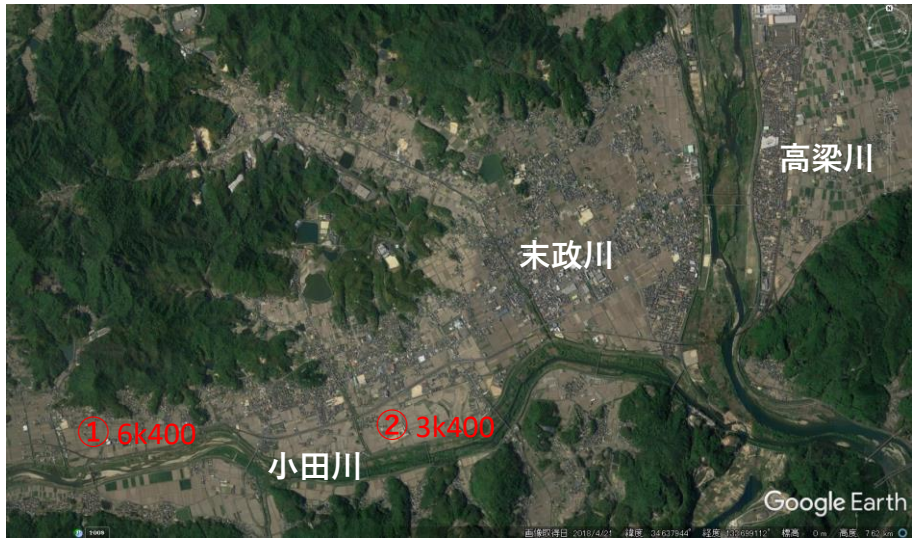
Japan Meteorological Agency (JMA)

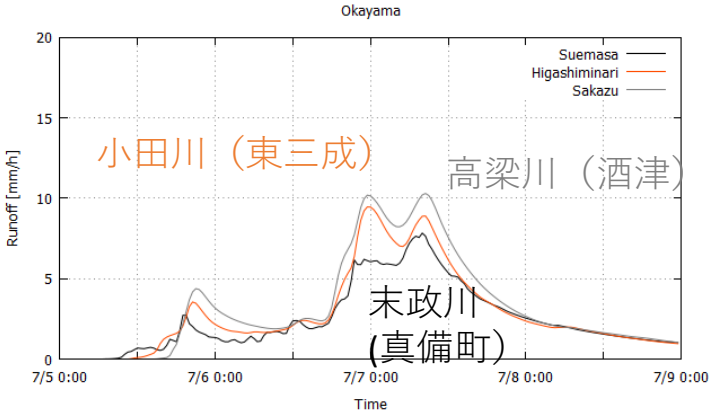
「広域・長時間」と「集中・短時間」の両者の特徴を併せた降雨パターン

高梁川水系小田川の堤防決壊



小田川左岸破堤(3k400)

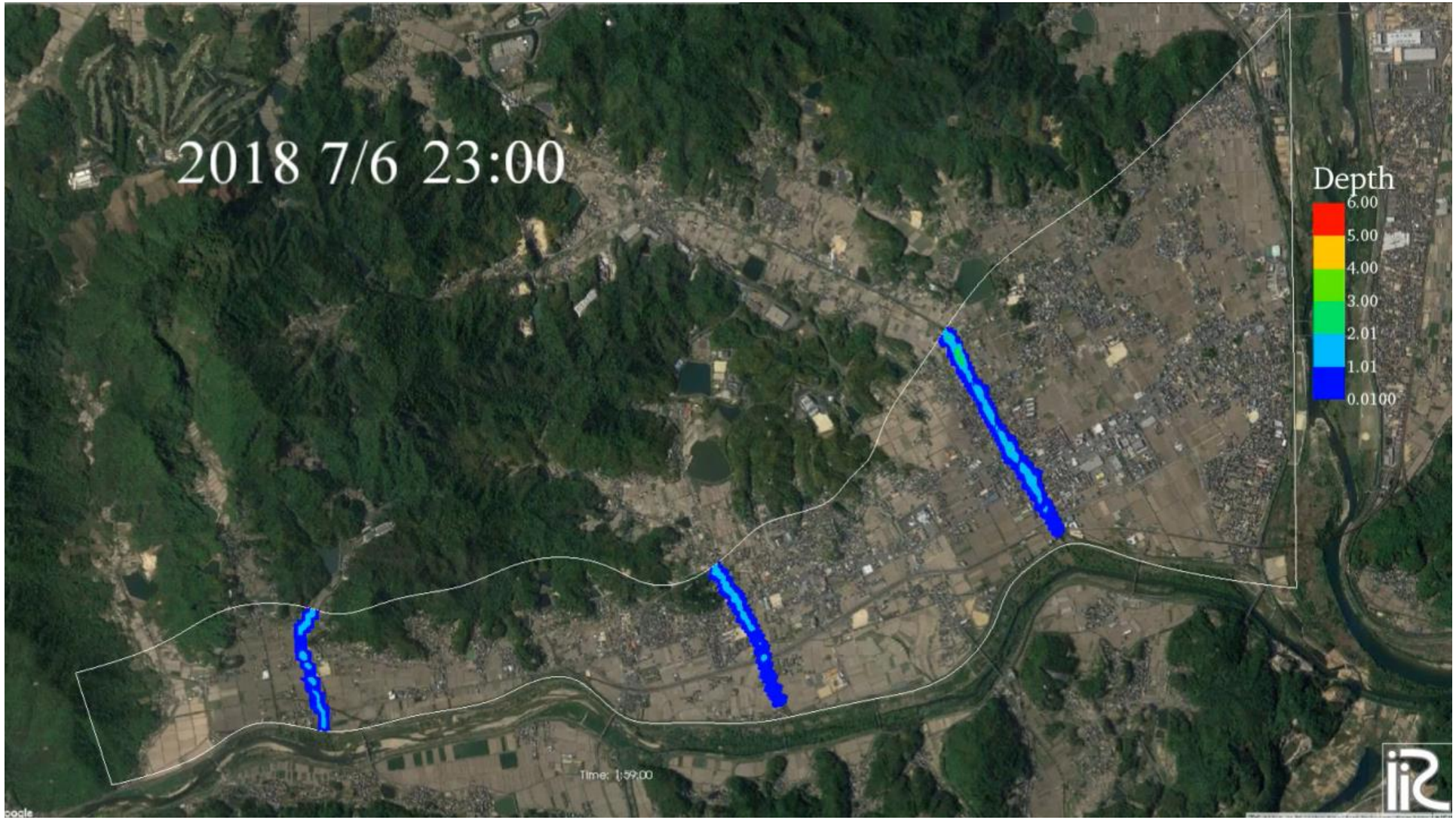




岡山県の平均と比較して、極端に小田川や高梁川の比流量が大きい訳ではない。ただし、特に7/7午前中の出水では、高梁川も高い状態で、末政川、小田川の流量が増加している。

高梁川水系小田川の堤防決壊

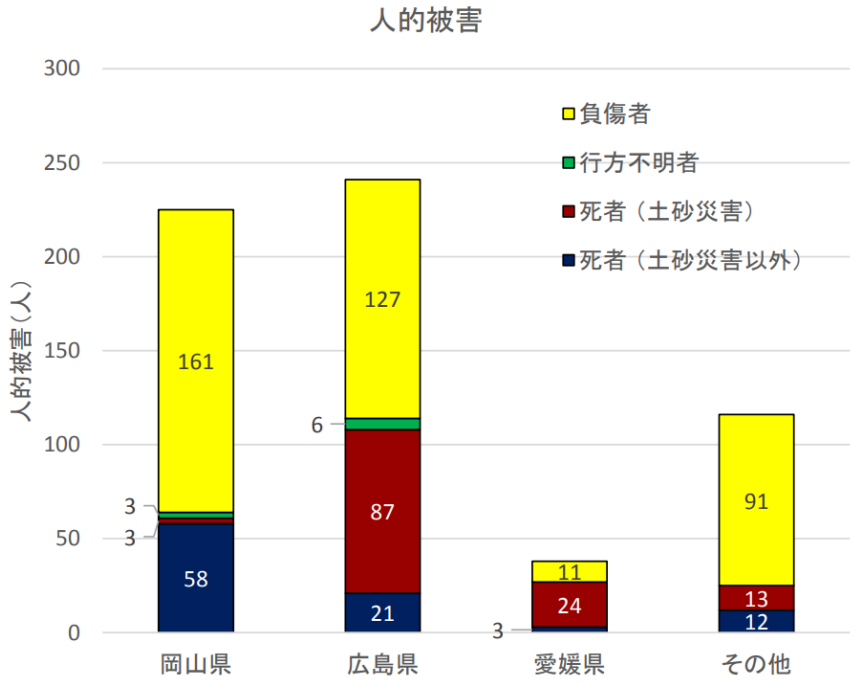
氾濫解析結果



東京理科大学 二瓶泰雄教授よりご提供：真備町地区の氾濫解析結果

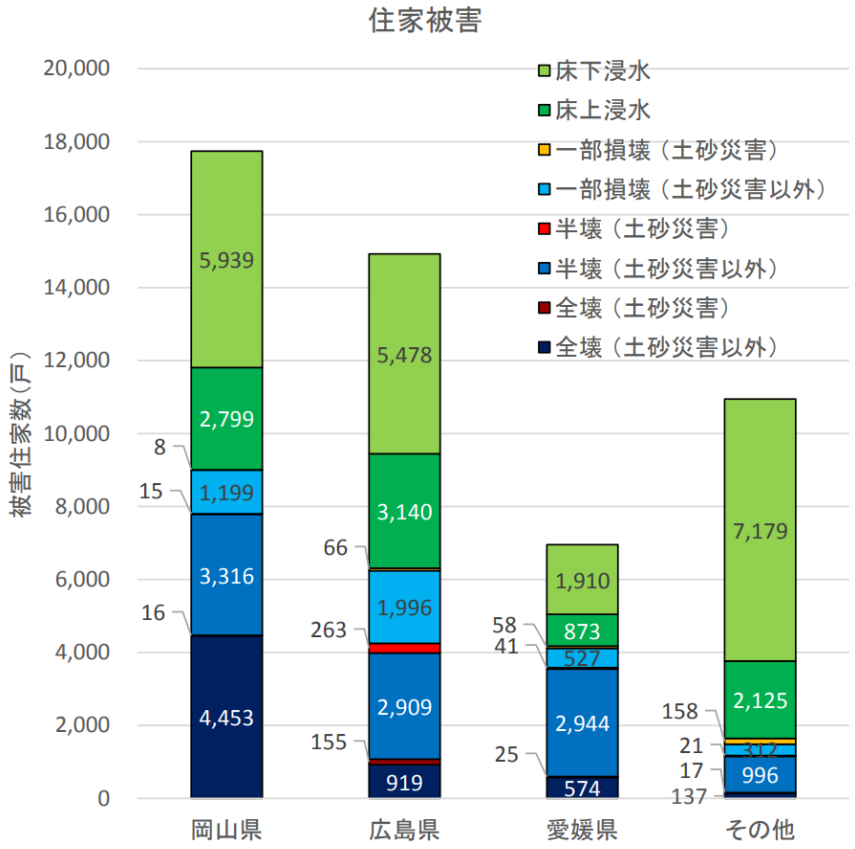
平成30年7月豪雨 一般被害の特徴（国土交通省）

○ 岡山県、広島県、愛媛県を中心に、広範囲な地域が被災。
○ 人的被害では、広島県で死者・行方不明者が最も多く発生。広島県と愛媛県では負傷者数に対する死者・行方不明者数の比率と死者に占める土砂災害によるものの割合が高い。
○ 住家被害では、岡山県で損壊戸数・浸水戸数とも多く、損壊戸数に占める全壊の割合が高い。



その他の人的被害の発生：18府県
うち死者の発生：11府県
（岐阜1、滋賀1、京都5、兵庫2、奈良1、山口3、高知3、福岡4、佐賀2、宮崎1、鹿児島2）

死者数の多い市町村：倉敷市52、呉市24、広島市23（20人以上）



平成30年7月豪雨による被害状況等について（内閣府） 平成30年9月5日資料より作成
※死者数及び家屋損壊数は、全数は消防庁発表、土砂災害によるものは国交省発表。土砂災害以外によるものは全数と土砂災害によるものの差

6

国土交通省、平成30年7月豪雨における被害等の概要、http://www.mlit.go.jp/common/001256692.pdf

平成30年7月豪雨 浸水被害の発生状況（国土交通省）

○ 堤防の決壊や越水等の河川氾濫により、西日本の各地で被害が発生した。

高梁川水系小田川（岡山県倉敷市）

- 左岸及び複数の支川の決壊、右岸の越水により、多数の家屋等浸水（約1,200ha、約4,100戸）(7/7)
- 排水作業により浸水は概ね解消(7/11)
- **決壊2箇所及び法崩れ1箇所にて緊急復旧を実施。7月15日に堤防締切盛土の施工が完了。**

○ 国管理河川の主な浸水被害地域

No.	水系	主な河川	主な市町村
❶	由良川	由良川	京都府福知山市
❷	江の川	江の川	島根県江津市
❸	江の川	馬洗川	広島県三次市
❹	高梁川	小田川	岡山県倉敷市
❺	芦田川	芦田川	広島県福山市、府中市
❻	太田川	三篠川	広島県広島市
❼	肱川	肱川	愛媛県大洲市
❽	遠賀川	遠賀川	福岡県飯塚市
❾	筑後川	巨瀬川	福岡県久留米市
❿	六角川	武雄川	佐賀県武雄市

肱川水系肱川（愛媛県大洲市）

- 全ての暫定堤防箇所や、東大洲地区の二線堤からの越水等により、大洲市全域で浸水家屋数3,114棟（床上2,296棟、床下818棟）の被害が発生（8月30日 19時現在 大洲市調べ）。
- 7月8日までに浸水は解消

○ 府県管理河川の主な浸水被害地域

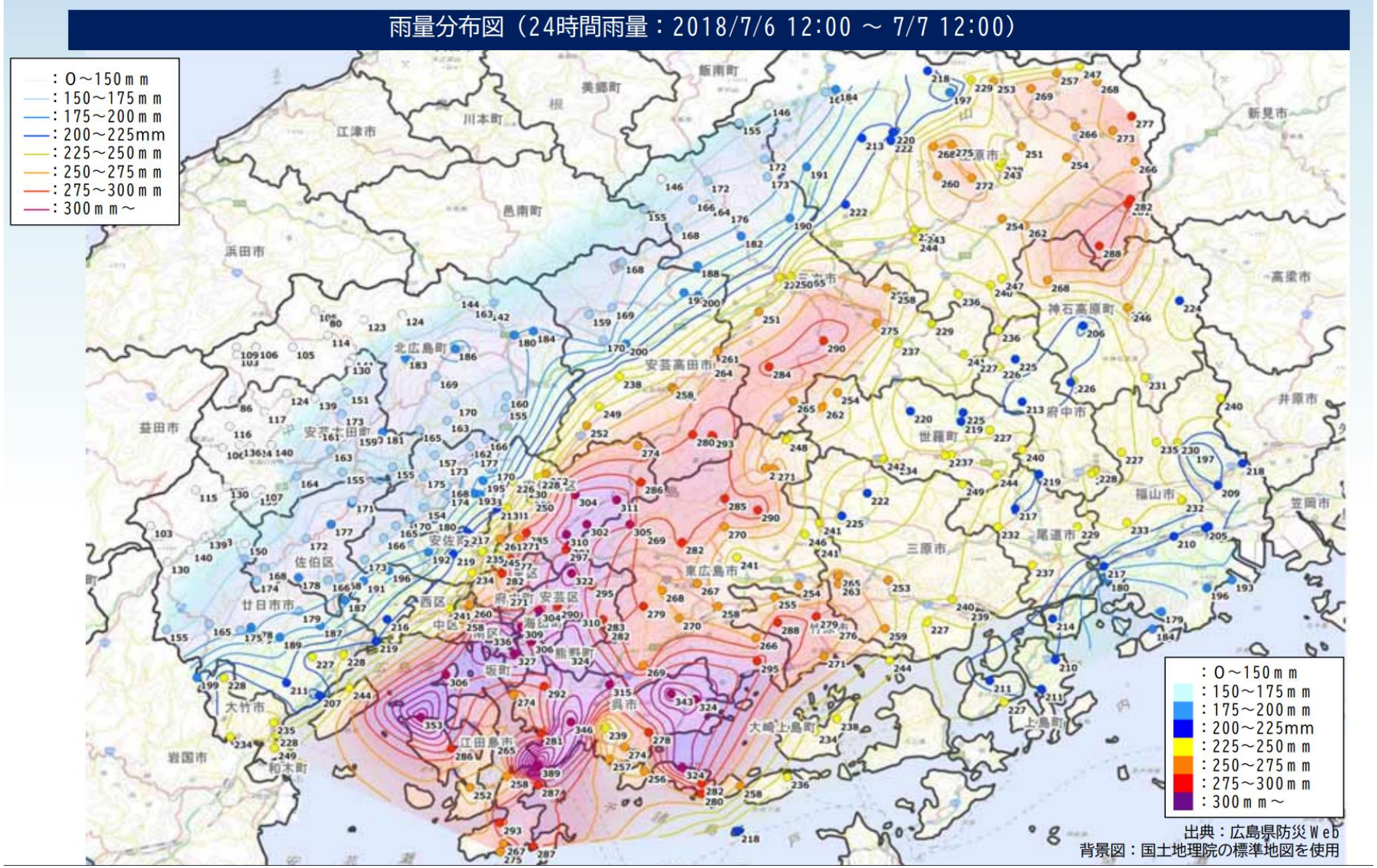
No.	水系	主な河川	主な市町村
①	木曽川	津保川	岐阜県関市
②	由良川	犀川	京都府綾部市
③	高野川	高野川	京都府舞鶴市
④	旭川	旭川	岡山県岡山市
	旭川	砂川	岡山県岡山市
⑤	旭川	宇甘川	岡山県岡山市
⑥	旭川	備中川	岡山県真庭市
⑦	高梁川	高梁川	岡山県総社市
⑧	高梁川	小田川	岡山県矢掛町
⑨	芦田川	福川	広島県福山市
	芦田川	天王前川	広島県福山市
	芦田川	瀬戸川	広島県福山市
	手城川	手城川	広島県福山市
⑩	芦田川	御調川	広島県府中市
⑪	太田川	矢口川	広島県広島市
	太田川	奥迫川	広島県広島市
⑫	太田川	府中大川	広島県広島市
	太田川	榎川	広島県府中町
	総頭川	総頭川	広島県坂町
	瀬野川	瀬野川	広島県広島市
	矢野川	矢野川	広島県広島市
⑬	西野川	西野川	広島県三原市
	沼田川	沼田川	広島県三原市
⑭	野呂川	野呂川	広島県呉市
⑮	島田川	島田川	山口県周南市、光市
⑯	肱川	肱川	愛媛県大洲市、西予市
⑰	渡川	広見川	愛媛県松野町、鬼北町
⑱	安芸川	安芸川	高知県安芸市
⑲	松田川	松田川	高知県宿毛市
⑳	筑後川	山ノ井川	福岡県久留米市
	筑後川	池町川	福岡県久留米市
	筑後川	不動川	福岡県久留米市
㉑	筑後川	築地川	福岡県小郡市
	筑後川	下弓削川	福岡県久留米市
	筑後川	大刀洗川	福岡県大刀洗町
	筑後川	陣屋川	福岡県大刀洗町
㉒	相割川	相割川	福岡県北九州市
㉓	御笠川	高尾川	福岡県筑紫野市

広島県管理河川浸水被害（15か所）

19

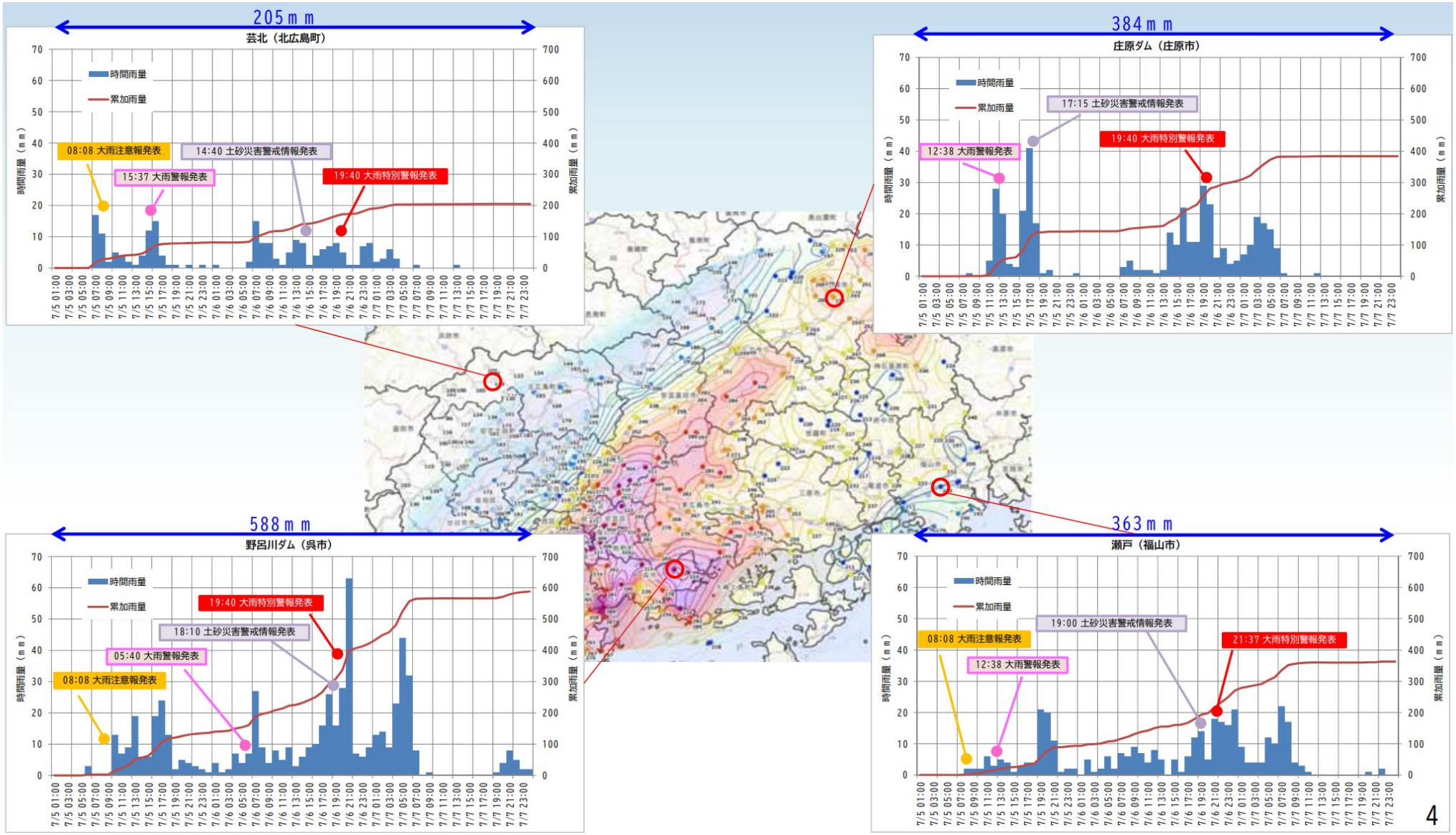
国土交通省、平成30年7月豪雨における被害等の概要、http://www.mlit.go.jp/common/001256692.pdf

2018年7月6日 12:00～ 24時間雨量 in 広島県



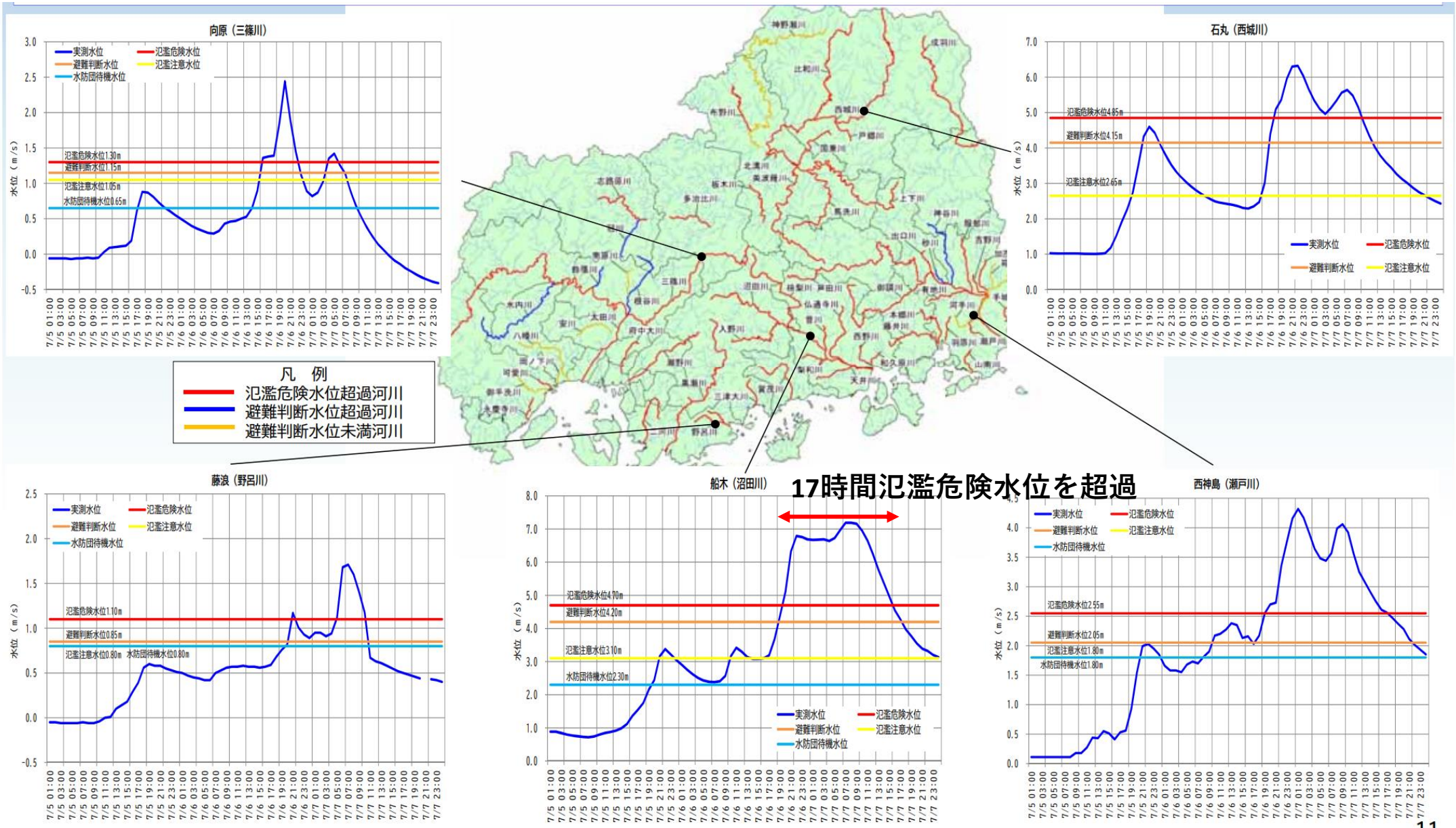
広島県：「平成30年７月豪雨災害を踏まえた今後の水害・土砂災害対策のあり方検討会」第１回資料より

平成30年7月豪雨　広島県地点別雨量時系列



広島県：「平成30年７月豪雨災害を踏まえた今後の水害・土砂災害対策のあり方検討会」第１回資料より

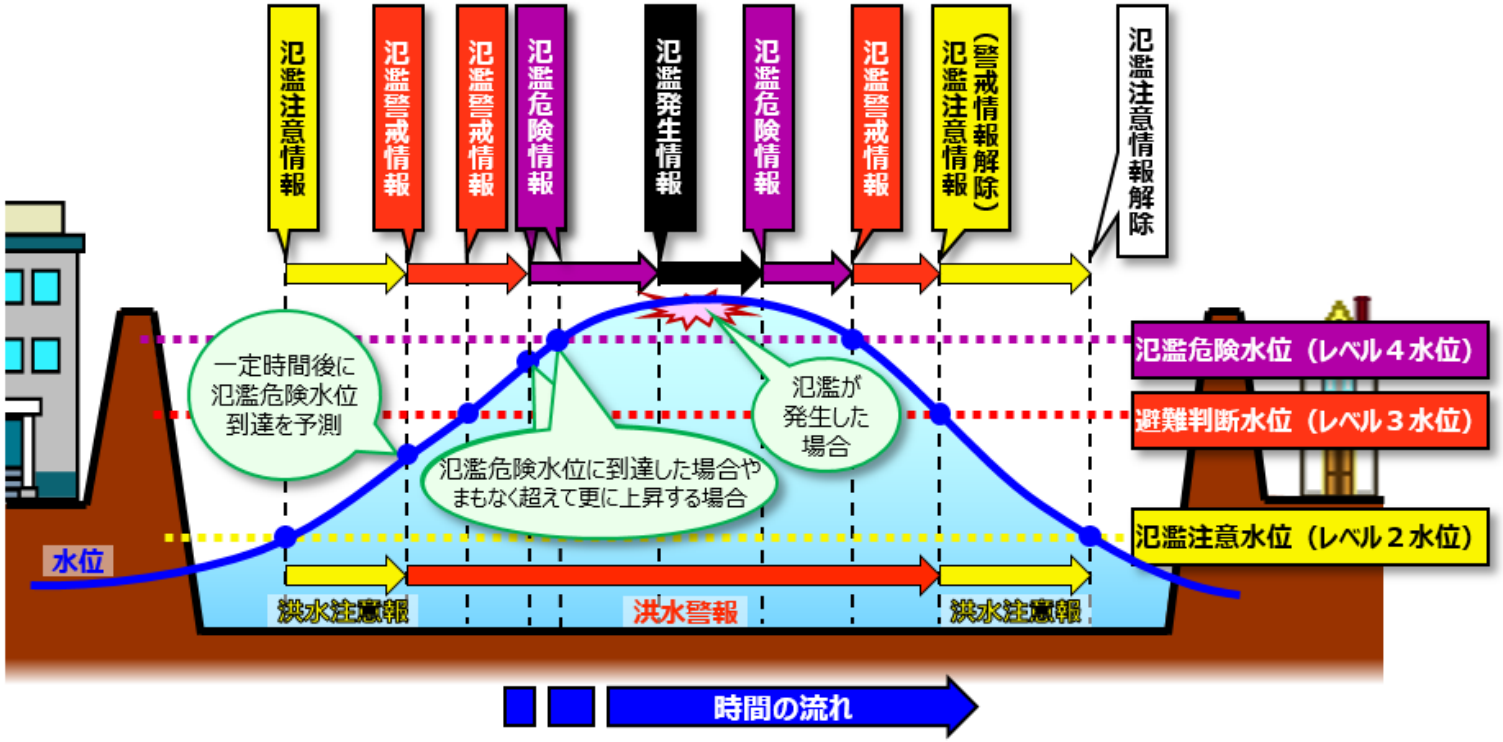
平成30年7月豪雨　広島県における河川水位



広島県：「平成30年７月豪雨災害を踏まえた今後の水害・土砂災害対策のあり方検討会」第１回資料より

指定河川洪水予報

洪水予報の標題（種類）	発表基準	市町村･住民に求める行動の段階
○○川氾濫発生情報 （洪水警報）	氾濫の発生 （氾濫水の予報）	氾濫水への警戒を求める段階 【警戒レベル５相当】
○○川氾濫危険情報 （洪水警報）	急激な水位上昇によりまもなく氾濫危険水位を超え、さらに水位の上昇が見込まれる場合、あるいは氾濫危険水位に到達した場合	いつ氾濫してもおかしくない状態 避難等の氾濫発生に対する対応を求める段階 【警戒レベル４相当】
○○川氾濫警戒情報 （洪水警報）	一定時間後に氾濫危険水位に到達が見込まれる場合、あるいは避難判断水位に到達し、さらに水位の上昇が見込まれる場合	避難準備などの氾濫発生に対する警戒を求める段階 【警戒レベル３相当】
○○川氾濫注意情報 （洪水注意報）	氾濫注意水位に到達し、さらに水位の上昇が見込まれる場合	氾濫の発生に対する注意を求める段階 【警戒レベル２相当】



防災気象情報

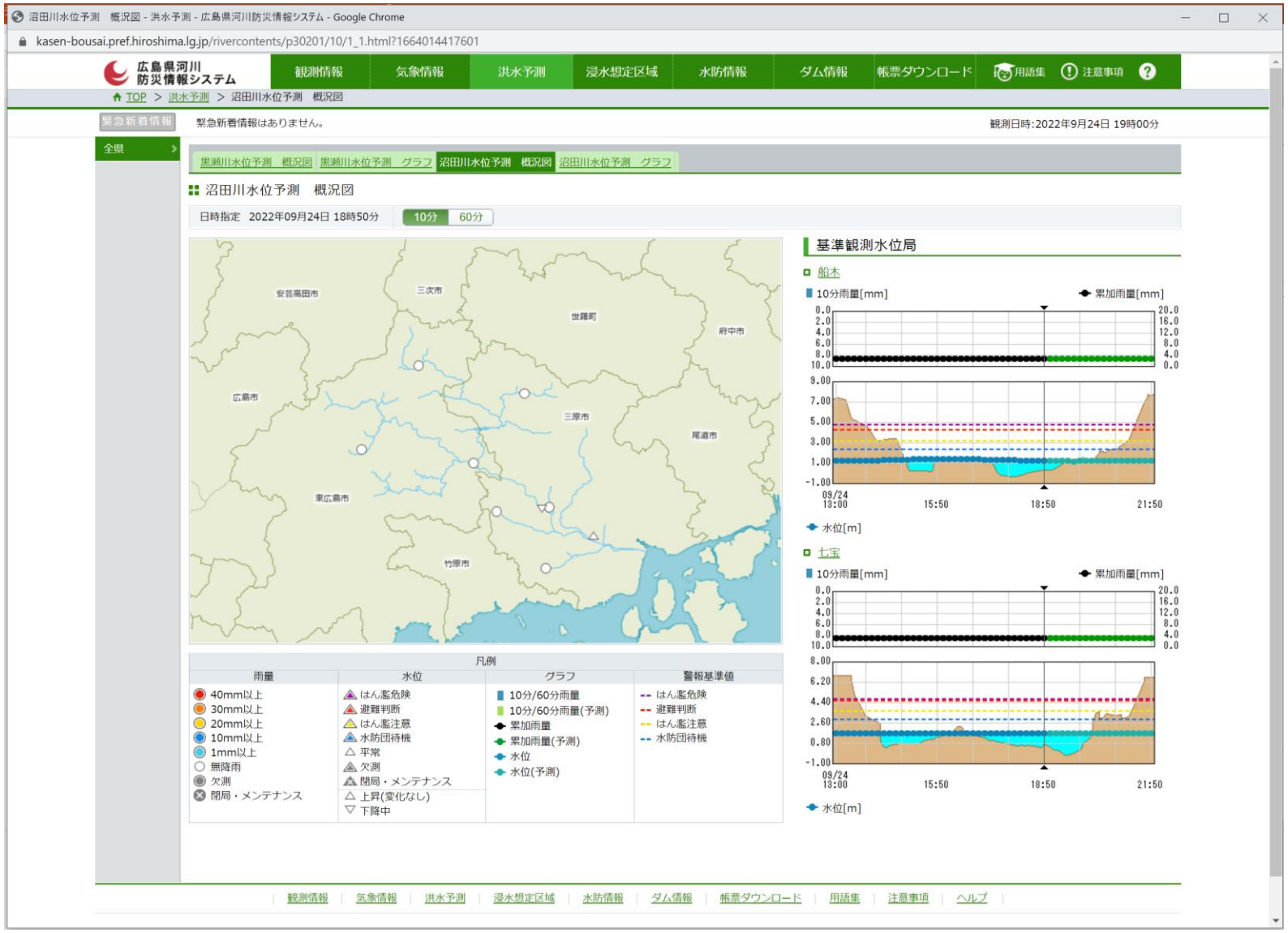
5段階の警戒レベルと防災気象情報

気象状況	気象庁等の情報			キキクル		市町村の対応	住民が取るべき行動	警戒レベル
数十年に一度の大雨	大雨特別警報			災害切迫	氾濫発生情報	緊急安全確保 ※必ず発令される情報ではない	命の危険　直ちに安全確保！ ・すでに安全な避難ができず、命が危険な状況。いまいる場所よりも安全な場所へ直ちに移動等する。	5
	＜警戒レベル４までに必ず避難！＞							
↑	土砂災害警戒情報	高潮警報	高潮特別警報	危険	氾濫危険情報	避難指示 第４次防災体制 （災害対策本部設置）	危険な場所から全員避難 ・台風などにより暴風が予想される場合は、暴風が吹き始める前に避難を完了しておく。	4
大雨の数時間～2時間程度前	※1 大雨警報 洪水警報	高潮警報に切り替える可能性が高い注意報		警戒	氾濫警戒情報	高齢者等避難 第３次防災体制 （避難指示の発令を判断できる体制）	危険な場所から高齢者等は避難 ・高齢者等以外の人も必要に応じ、普段の行動を見合わせ始めたり、避難の準備をしたり、自主的に避難する。	3
↑ 大雨の半日～数時間前	大雨警報に切り替える可能性が高い注意報	高潮注意報		注意	氾濫注意情報	第２次防災体制 （高齢者等避難の発令を判断できる体制） 第１次防災体制 （連絡要員を配置）	自らの避難行動を確認 ・ハザードマップ等により、自宅等の災害リスクを再確認するとともに、避難情報の把握手段を再確認するなど。	2
	大雨注意報 洪水注意報							
↑ 大雨の数日～約１日前	早期注意情報（警報級の可能性）					・心構えを一段高める ・職員の連絡体制を確認	災害への心構えを高める	1

※1 夜間～翌日早朝に大雨警報(土砂災害)に切り替える可能性が高い注意報は、警戒レベル３（高齢者等避難）に相当します。

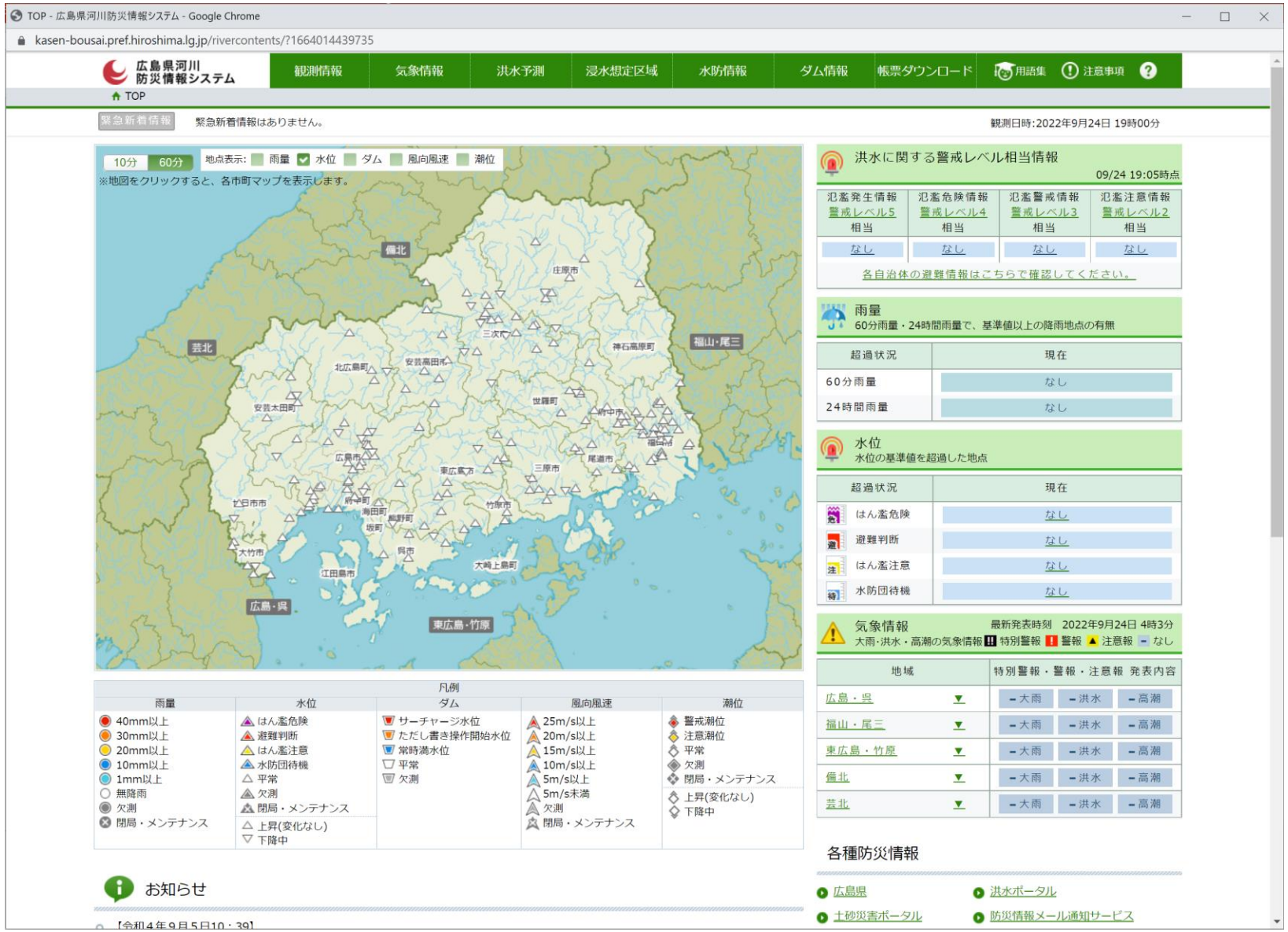
「避難情報に関するガイドライン」（内閣府）に基づき気象庁において作成

広島県河川防災情報システム：洪水予測情報



https://www.kasen-bousai.pref.hiroshima.lg.jp/rivercontents/

広島県河川防災情報システム：河川水位のモニタリング



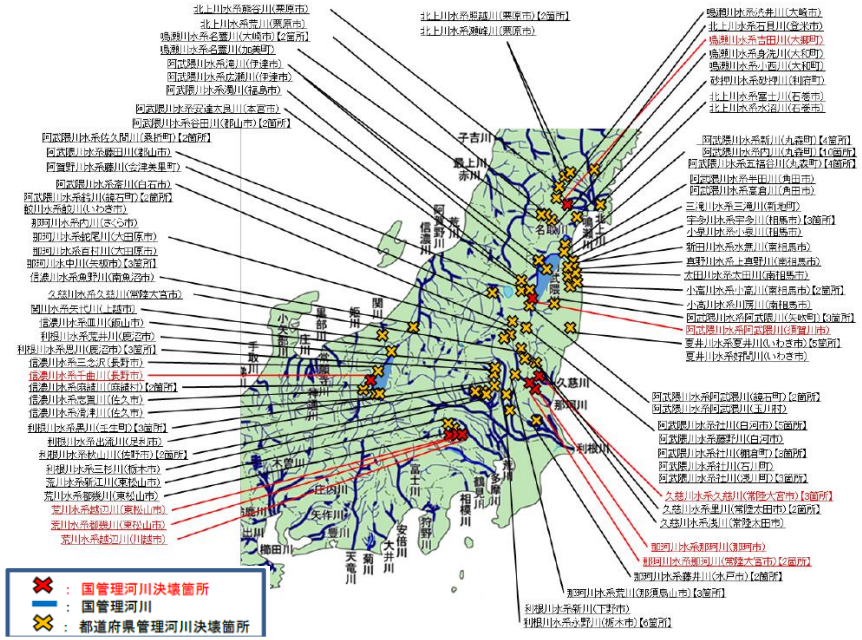
https://www.kasen-bousai.pref.hiroshima.lg.jp/rivercontents/

広域にわたって多数の中小河川で洪水被害が発生

2019年台風19号被害

99名の死者、3名の行方不明者
全壊家屋:3,280, 半壊家屋:29,638, 一部損壊:35,067
床上浸水:7.837, 床下浸水:23,092
(内閣府調べ、2020/2/12現在。10/25の大雨被害を含む)

計140か所（うち直轄12か所）の堤防決壊

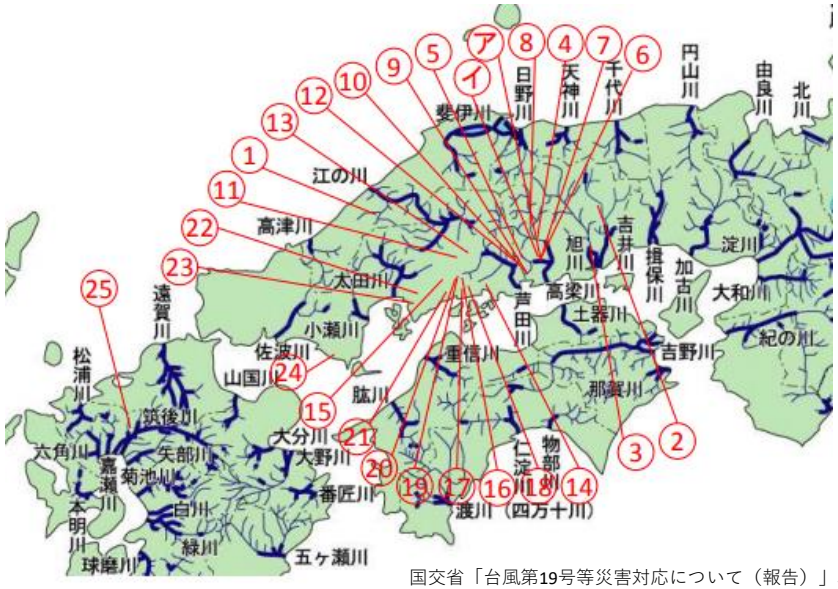


被害額：約2兆1,800億円（統計開始以来最大）

2018年西日本豪雨

237名の死者、8名の行方不明者
全壊家屋：6,767, 半壊家屋：11,243, 一部損壊：3,991
床上浸水：7,137, 床下浸水：21,296
（内閣府調べ、2019/1/9現在）

計37か所（うち直轄2か所）の堤防決壊



国交省「台風第19号等災害対応について（報告）」、「主な河川の被災状況（9/5 12:00）」より抜粋

被害額：約1兆2150億円

広域にわたって多数の中小河川で堤防決壊を含む洪水被害が発生

2.　日本全国の中小河川を対象にした洪水予測モデルの開発と応用研究

河川・ダムの長時間洪水予測・防災支援システムの開発

新たな社会実装（洪水予測の範囲（領域・時間）の拡大

①大河川での長時間の水位・流量予測を実現
②全河川の広域的な水位・流量予測を実現

②広域洪水予測システム（全国の中小河川の予測）

スーパー台風時のアンサンブル予測

①長時間洪水予測システム(主要河川の長時間予測)

現在の洪水予測実施範囲

全国中小河川

一級水系（荒川等）（支派川）（幹川）

15日前　72(39)時間前　24時間前　6 時間前　発災

予測リードタイムの長時間化

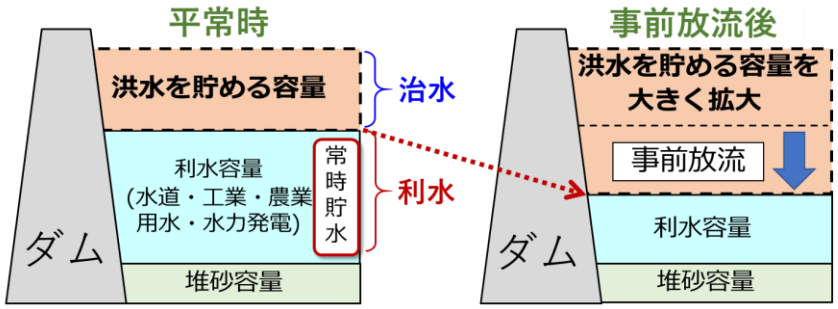
予測領域の拡大と高空間分解能化

長時間予測

長時間予測による事前放流の強化とダムの治水容量の増大化

広域かつ高空間分解能の水位・流量予測

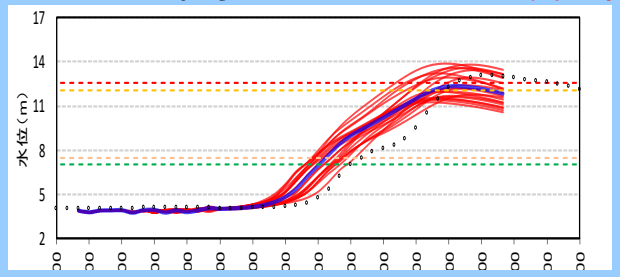
■ 統合ダム防災支援システムを開発
■ ダム群最適放流操作を実現（事前放流、連携操作）



■ 日本全国を覆う150m高空間分解能の広域洪水予測システムの開発
■ これまで流量・水位の予測情報のなかった中小河川の6時間先水位予測を、実装に向けてリアルタイムで実施中！

2019年台風19号での高分解能かつ広域の洪水予測結果の例

荒川流域のアンサンブル長時間洪水予測システムによる水位予測をリアルタイムで実施中



立川、中安、佐山： アンサンブル予測を活用した長時間／広域洪水予測と社会実装、河川、p.86-92, 2021

降雨流出氾濫(RRI)モデル

従来の降雨流出モデル：

降雨から河川流量を予測
（空間分布型のモデルでも氾濫の影響は解けない）

従来の洪水氾濫モデル：

破堤地点での流入量境界条件をもとに氾濫原の浸水を詳細に解析
→ 浸水想定域の計算に利用

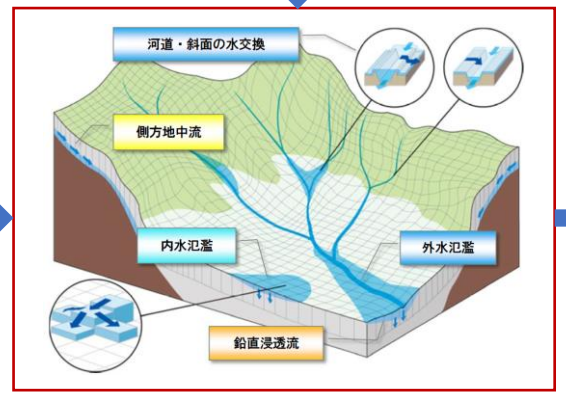
降雨(Rainfall) – 流出 (Runoff) – 氾濫 (Inundation) → RRIモデル

Rainfall-Runoff-Inundation Model (RRIモデル)

降雨流出から洪水氾濫までを流域全体で一体的に解析

土壌への浸透や地中流など、降雨流出モデルの特性も備える

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

土木研究所ICHARMのHPでプログラムを公開
http://www.icharm.pwri.go.jp/research/rri/rri_top.html

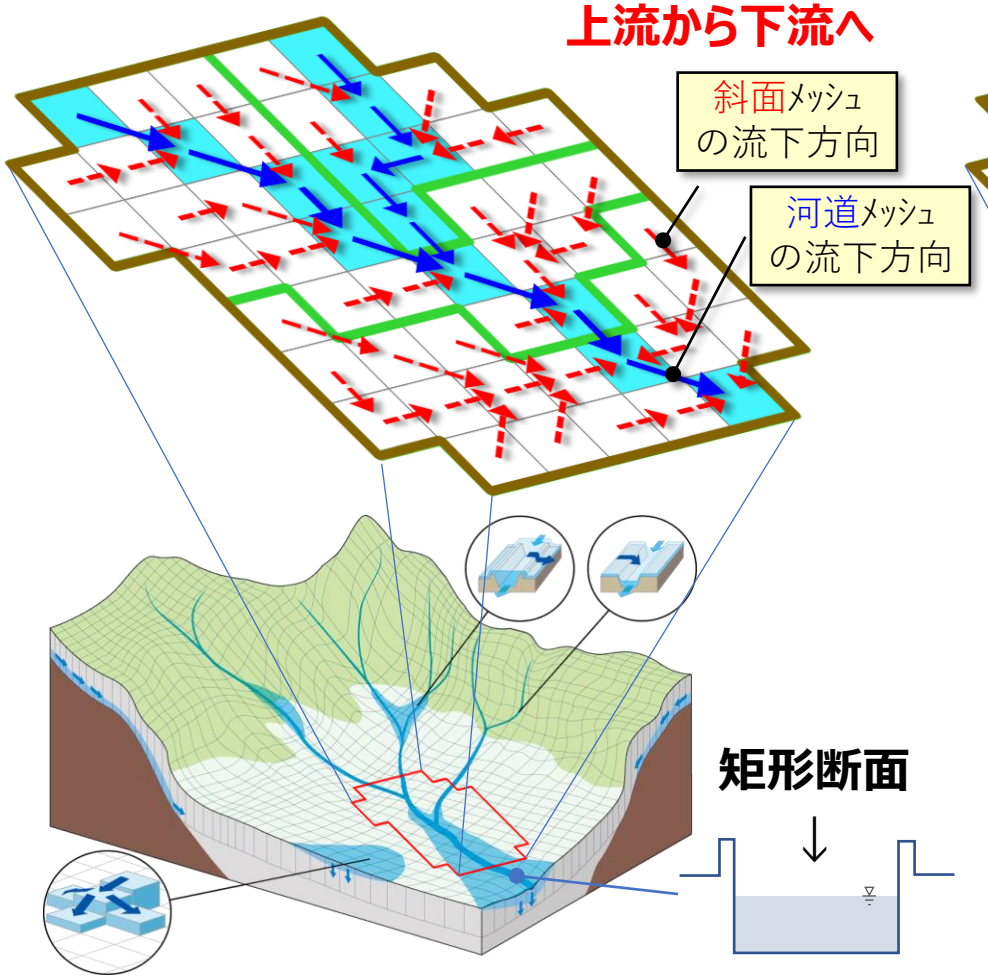
Sayama et al. (2012) Hydrological Sciences Journal

全国版RRIモデルの開発：空間解像度150 m(5秒)で、全国を14地域に分割してカバーする。
集水面積 1km^{2}以上の河川をモデルで取り扱い、任意地点の水位や流量を出力する。
第二期SIP(2018年度～2022年度)で開発中

従来の分布型流出モデルとRRIモデルの違い

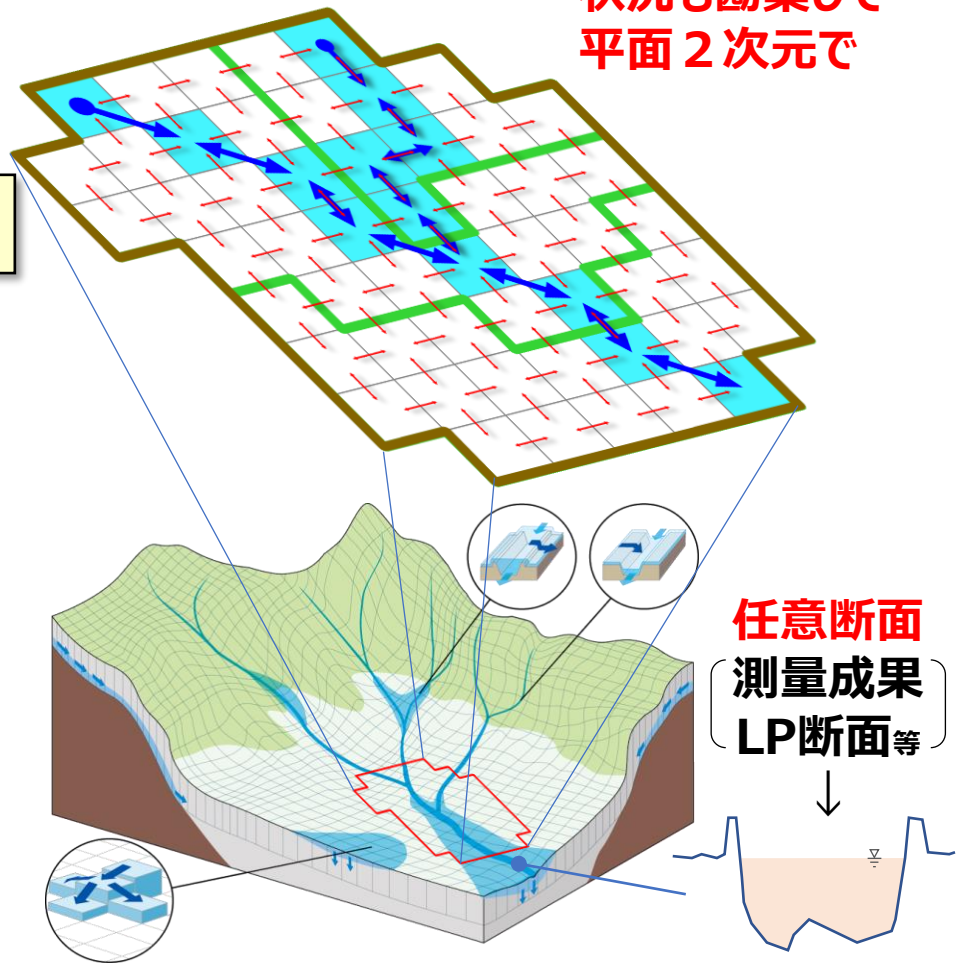
〔従来の分布型流出モデル〕

斜面・河道の解法:
上流から下流へ



〔RRIモデル〕

斜面・河道の解法:
下流の水位の状況も勘案して平面２次元で

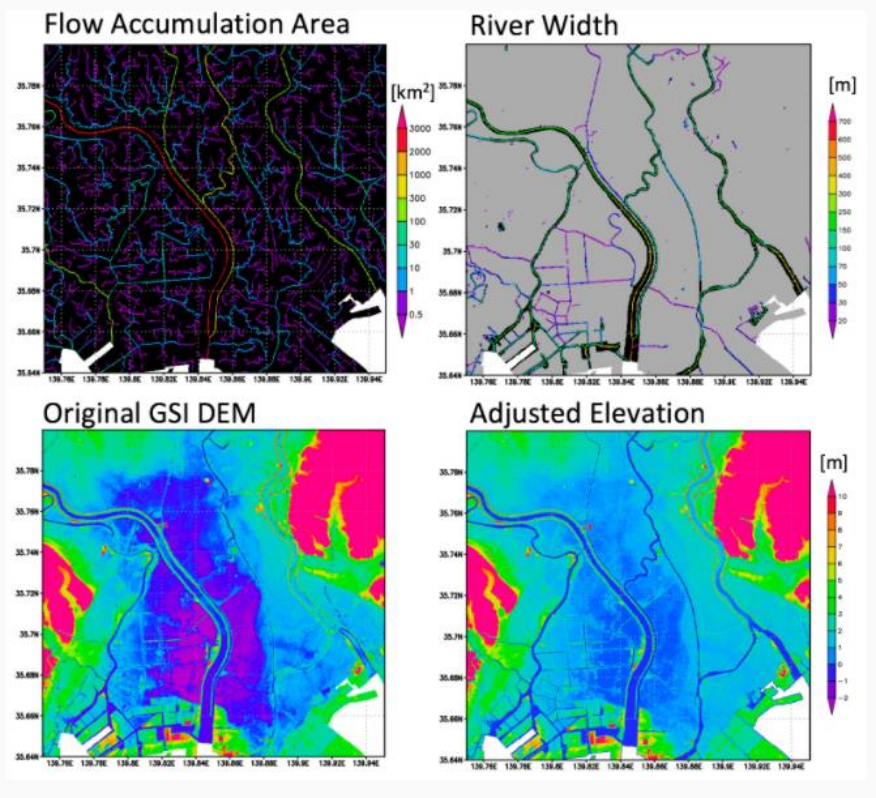


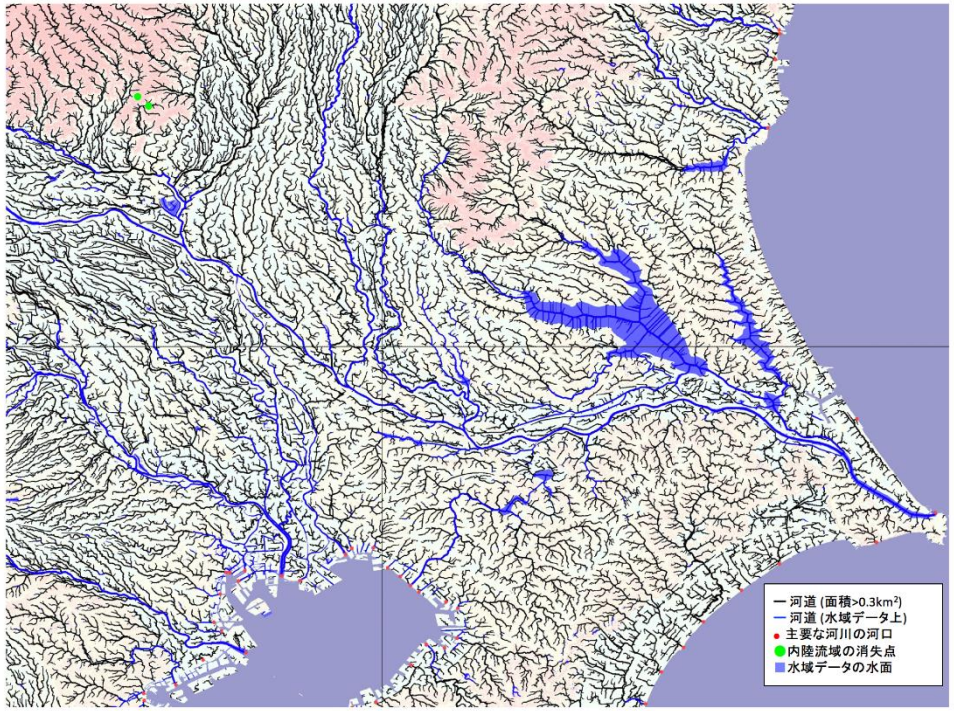
Sayama et al. (2012) Hydrological Sciences Journal

全国水文地形データの整備と高度化

河川ごとに洪水予測モデルを構築する既存手法では日本全域に水平展開するのに多大な時間とコストがかかる。

国土地理院の「国土数値情報」「基盤地図情報」を用いて、空間分解能30 mで、各ピクセルにおける表面流の流下方向を示す「表面流向データ」を作成。

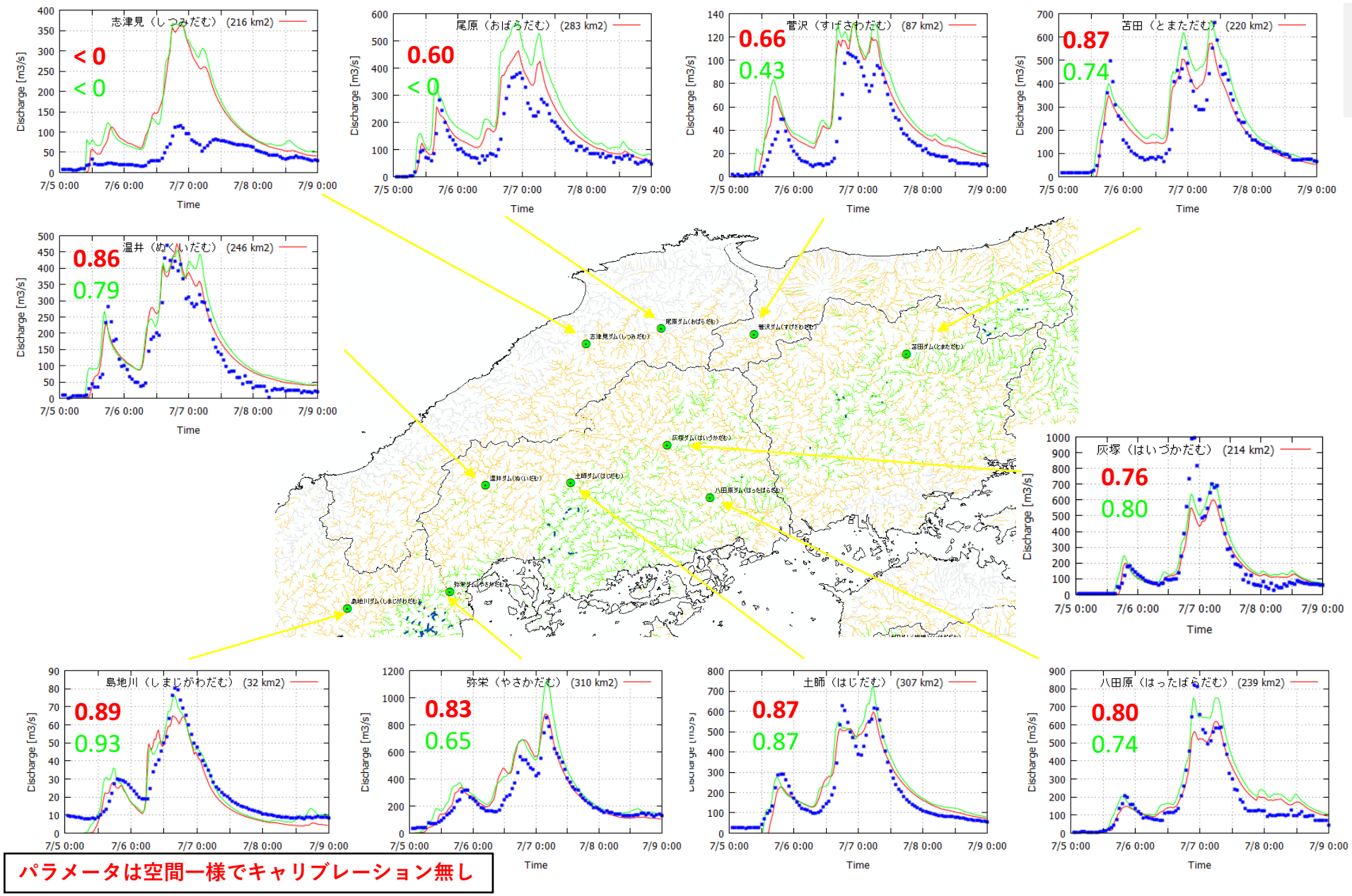




「表面流向データ」に整合の取れた「水文補正標高」、「上流集水面積」のデータが含まれる。直轄区間の河道断面データや航空写真の情報を、川幅を含む断面情報の高度化を進める。

東京大学生産技術研究所：山崎大准教授のHPで公開中
http://hydro.iis.u-tokyo.ac.jp/~yamadai/JapanDir/

平成30年7月豪雨を対象とした広域解析：ダム流入量推定



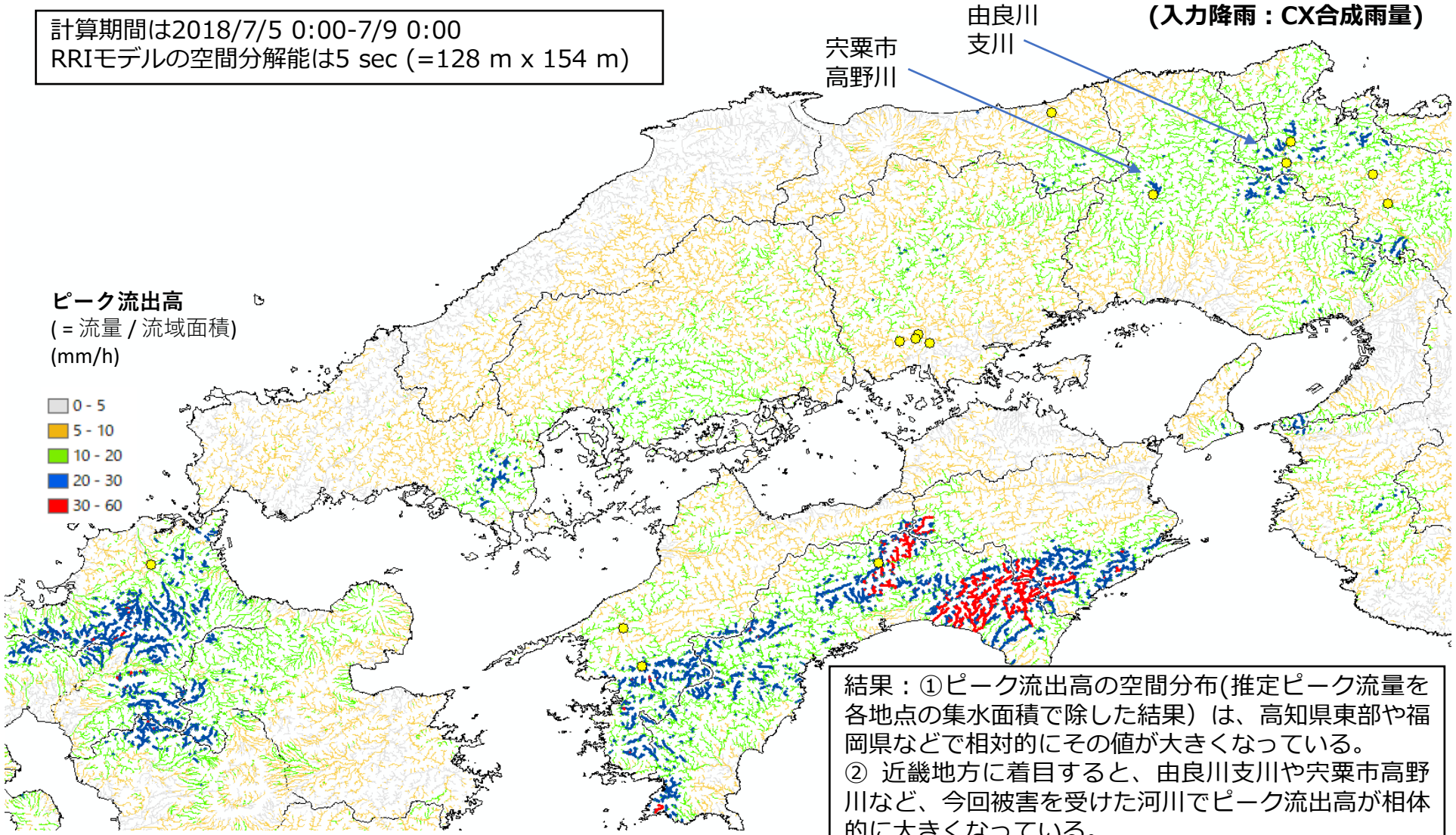
赤：CX合成雨量
緑：レーダ解析雨量
を入力した計算結果
青：観測流量

パラメータは空間一様でキャリブレーション無し

平成30年7月豪雨を対象とした広域解析：ピーク流出高

計算期間は2018/7/5 0:00-7/9 0:00
RRIモデルの空間分解能は5 sec (=128 m x 154 m)

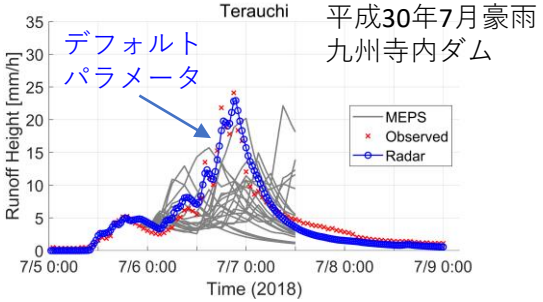
(入力降雨：CX合成雨量)



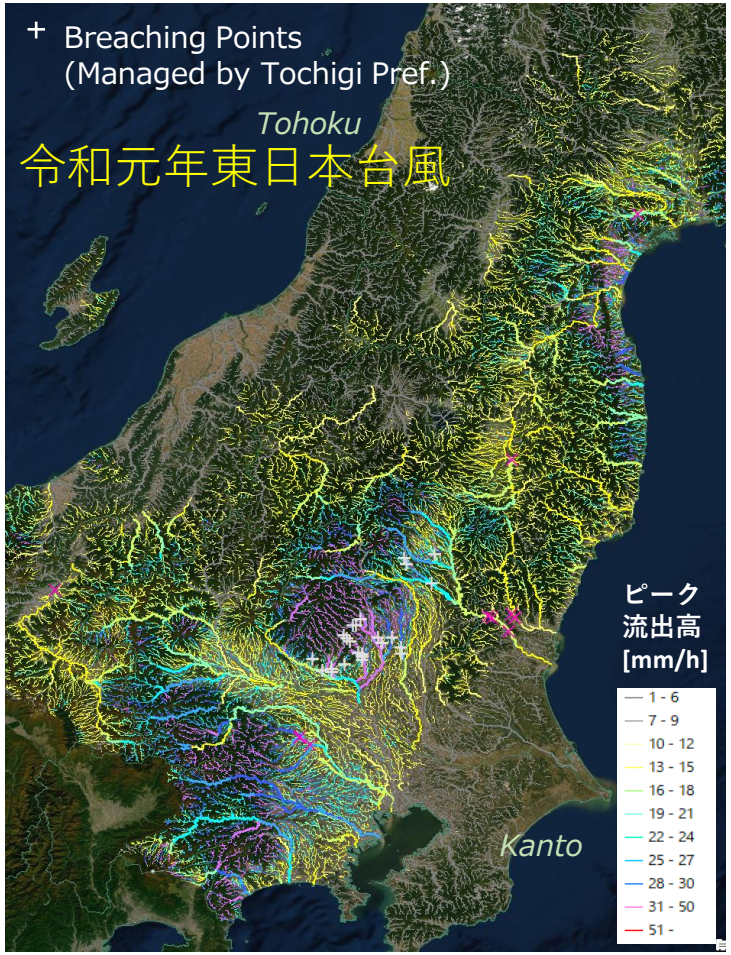
結果：①ピーク流出高の空間分布(推定ピーク流量を各地点の集水面積で除した結果）は、高知県東部や福岡県などで相対的にその値が大きくなっている。
② 近畿地方に着目すると、由良川支川や宍粟市高野川など、今回被害を受けた河川でピーク流出高が相体的に大きくなっている。

③ 空間解像度5秒(約150 m)の分解能で西日本全体の解析ができるようになり、中小河川の流量も推定可能になった。**しかし、河川災害の危険性を俯瞰的に示すためには、降雨流出と河川流下能力の地域特性を反映することが課題（2018年当時）。**

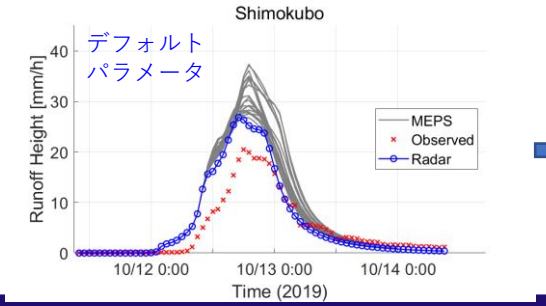
西日本豪雨と東日本台風への適用事例から見えてきた課題

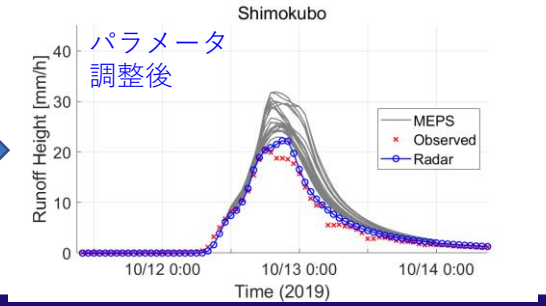


西日本：不飽和部を考慮しないデフォルトパラメータで概ね再現可能。



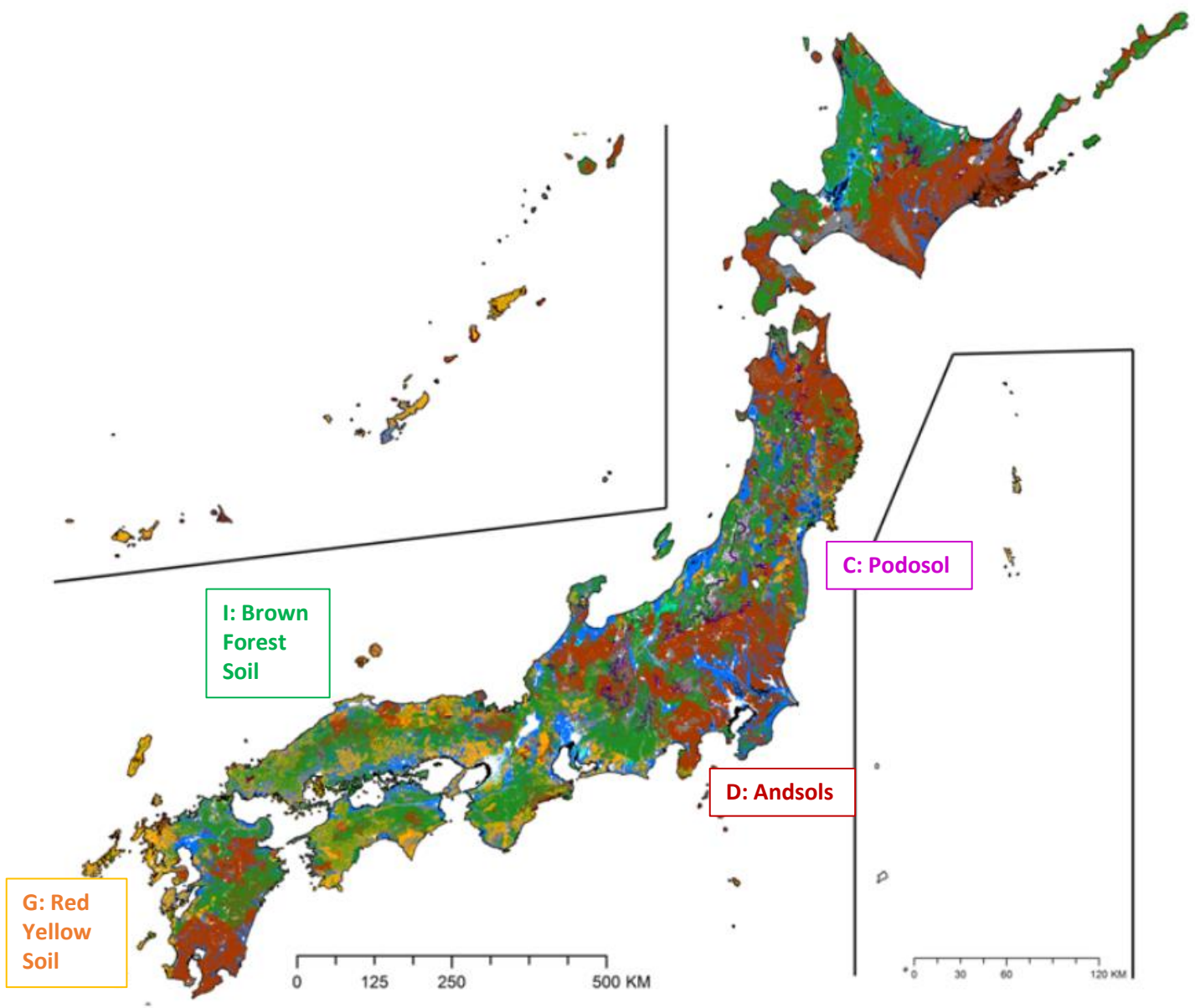
関東：不飽和部を考慮して洪水流出を抑制するパラメータの設定が必要。





Sayama, T., Yamada, M., Sugawara Y., Yamazaki D. (2020) Ensemble flash flood predictions using a high-resolution nationwide distributed rainfall-runoff model, PEPS.

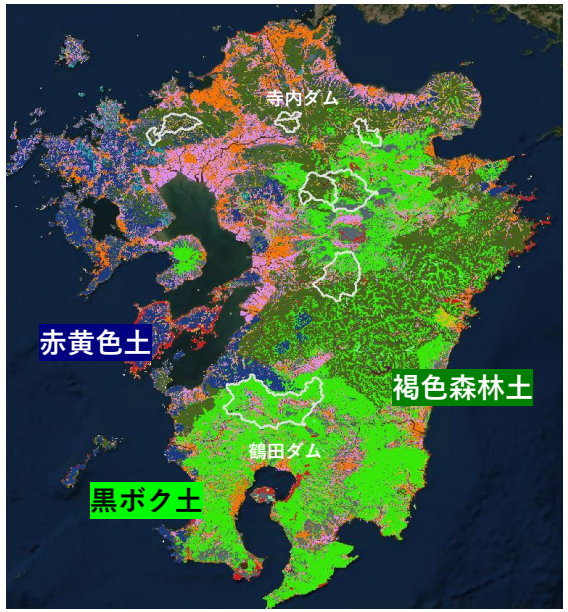
土壌特性の影響？



https://soil-inventory.dc.affrc.go.jp/

全国版RRIモデルのパラメータ地域統合化 （参考資料）

土壌・地質マップを活用して観測情報の無い中小河川流域のモデルパラメータを推定



農研機構：1/20万日本土壌図

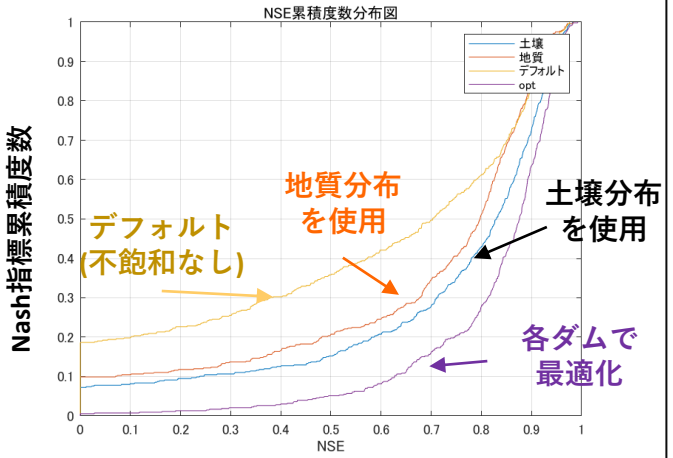
提案手法：条件付確率に基づく推定法

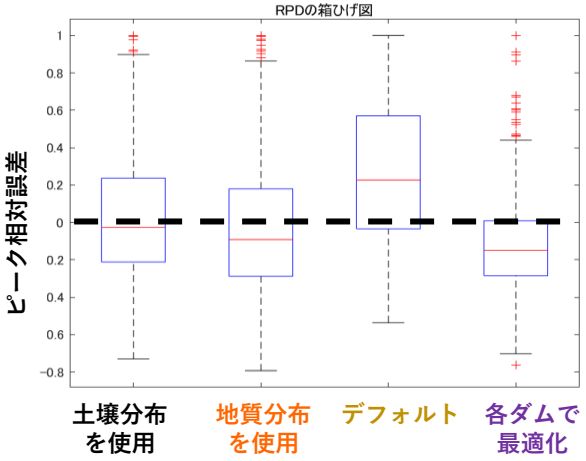
$$p(q_k|s_i) = \sum_{j=1}^{n} p(d_j|s_i)p(q_k|d_j)$$

$$= \sum_{j=1}^{n} \frac{p(s_i|d_j)p(d_j)}{p(s_i)} p(q_k|d_j)$$

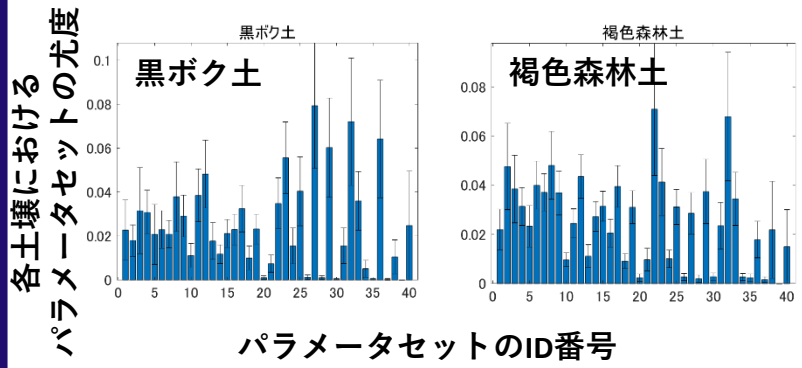
流域毎に求めたパラメータ尤度 $p(q_k|d_j)$ と
各流域の土壌（地質）面積率 $p(s_i|d_j)$ から、
ベイズの定理を用いて、土壌（地質）毎に
適したパラメータセットを選択する方法を考案。
ブートストラップ法による不確実性評価も可能。

**ダム流域を対象にした
地域統合化の検証結果**

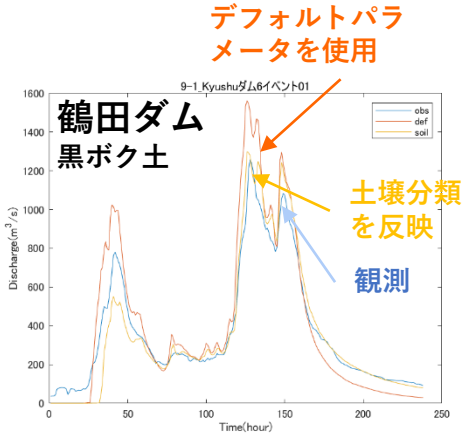




土壌分類を用いた地域統合化により、ピーク相対誤差の四分位値は、±20程度となりバイアスが小さい



土壌分類によって適切なパラメータセットが異なる



鶴田ダムの事例：土壌分類を用いた地域統合化によりデフォルトパラメータの過大評価傾向が改善

まとめ

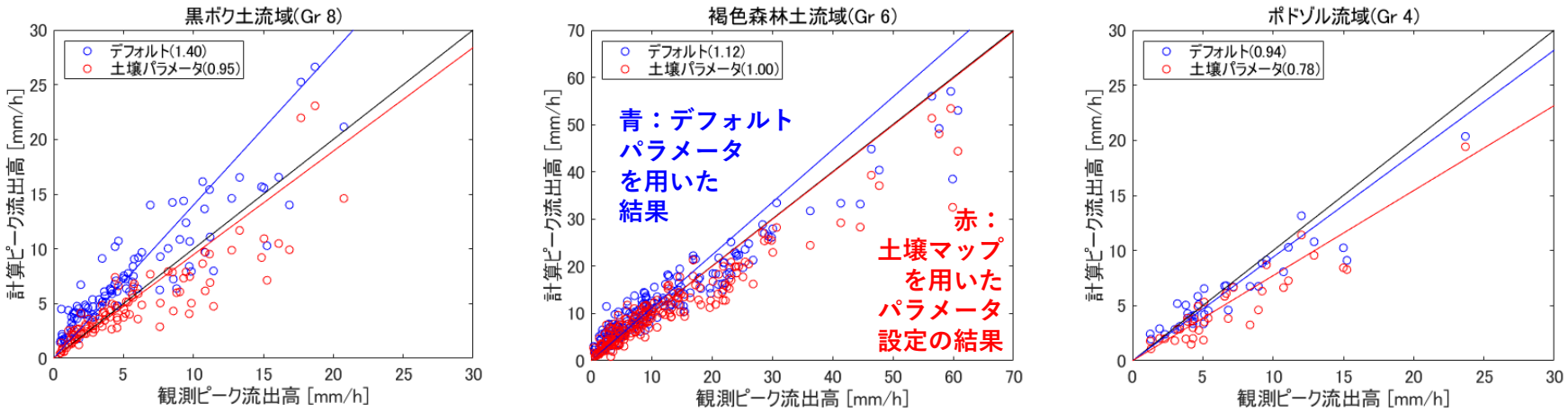
全国120のダム流域・各7出水のデータを用いて、土壌分類・地質分類に対応してパラメータを地域統合化。検証は75ダム・7出水。

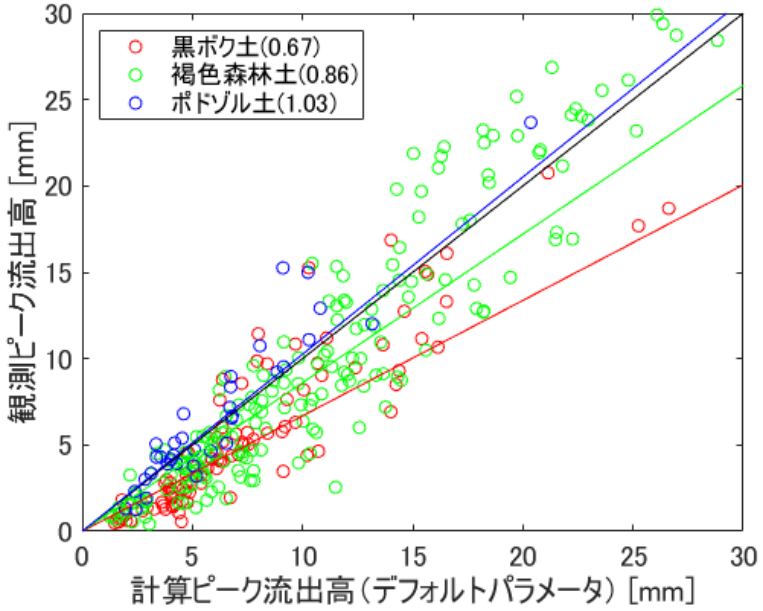
1）土壌分類を使用した地域統合化の結果、Nash 指 標 の 中 央 値 (0.83)は、各ダムで最適化した場合の結果(0.87)に近付いた。

2）不飽和流出を考慮しないデフォルトパラメータで顕著であったピーク相対誤差のバイアスが地域統合化で大幅に改善。

3）今回の事例では、表層モデルのパラメータを対象としたためか、土壌マップを用いた方が地質マップを用いるよりも好成績となった。

流域土壌による洪水流出の違い





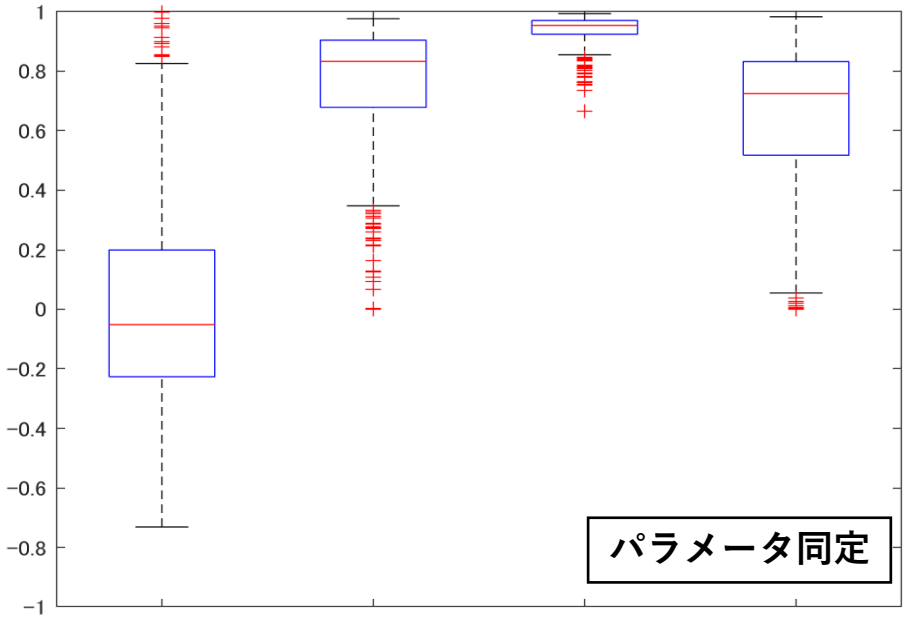
デフォルトパラメータの結果：地形・降雨の時空間分布は反映しつつ、流出機構を単純化した（不飽和の効果を考慮しない）計算結果。それによるピーク流量を１とした場合の、観測ピーク流量の比率、

流域土壌による洪水ピーク流量の違いは、

黒ボク土：褐色森林土：ポドゾル
＝ 0.7 ： 0.9 ：1.0

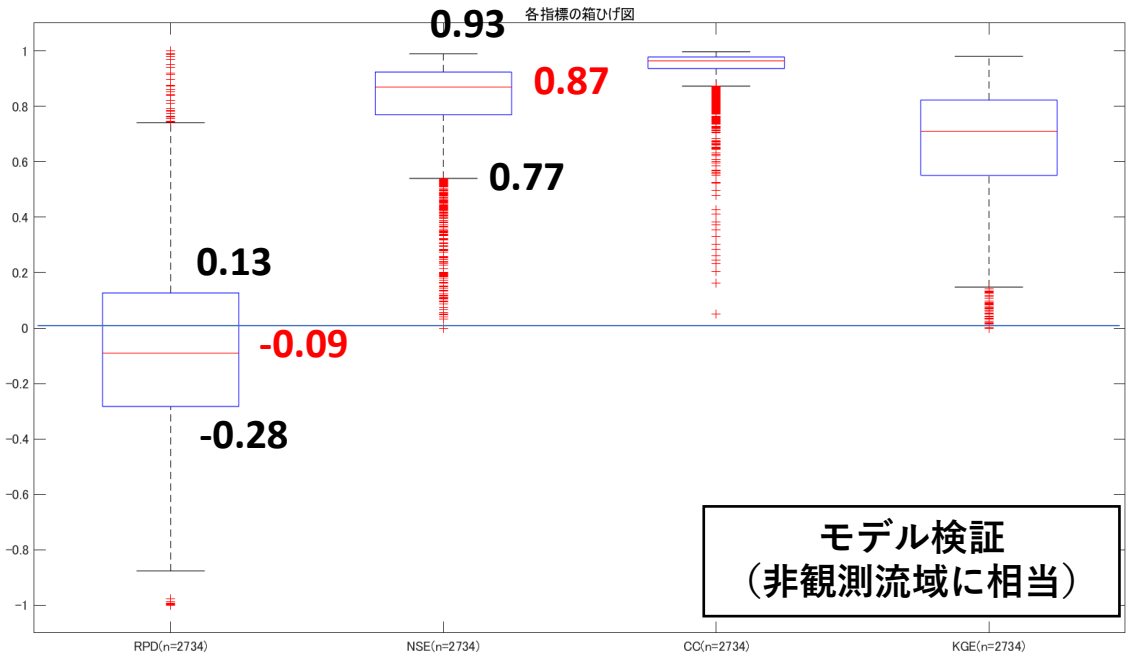
全国モデルによる予測精度の傾向分析

ダム流域（75 ダム、525 イベント）



ピーク相対誤差　Nash　相関係数　KGE

全国の観測点（711地点、2734 イベント）



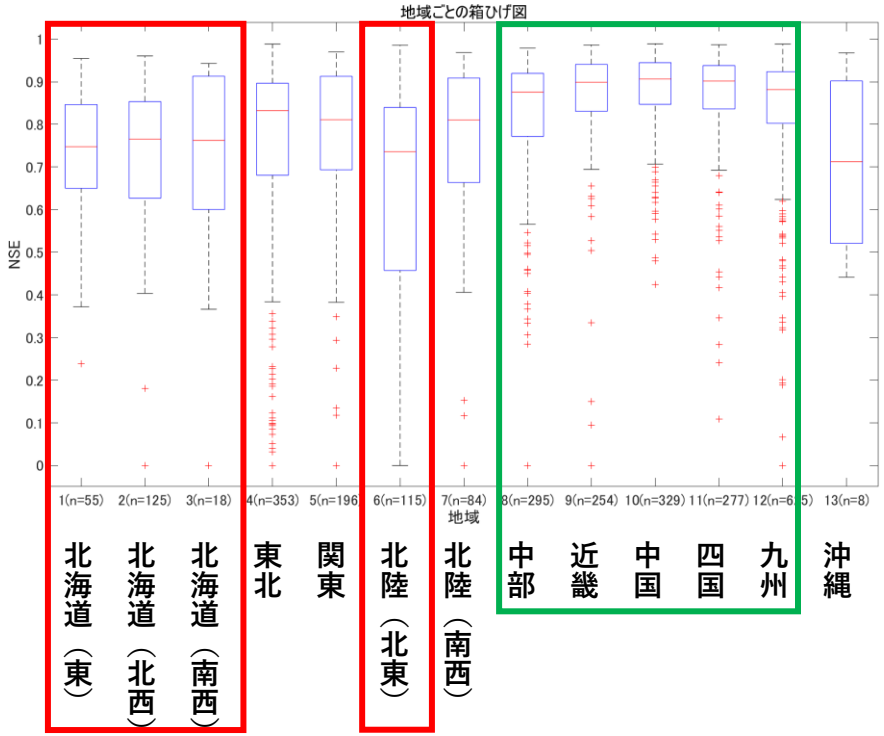
ピーク相対誤差　Nash　相関係数　KGE

- ✓ ダム地点におけるパラメータ同定結果（左）と全国の観測点における検証結果（右）で精度に大差ない
- ✓ パラメータの非同定対象地点（全国の観測点）でも安定した精度を出せることが、RRIのような比較的シンプルな構造を有する物理的モデルの特徴

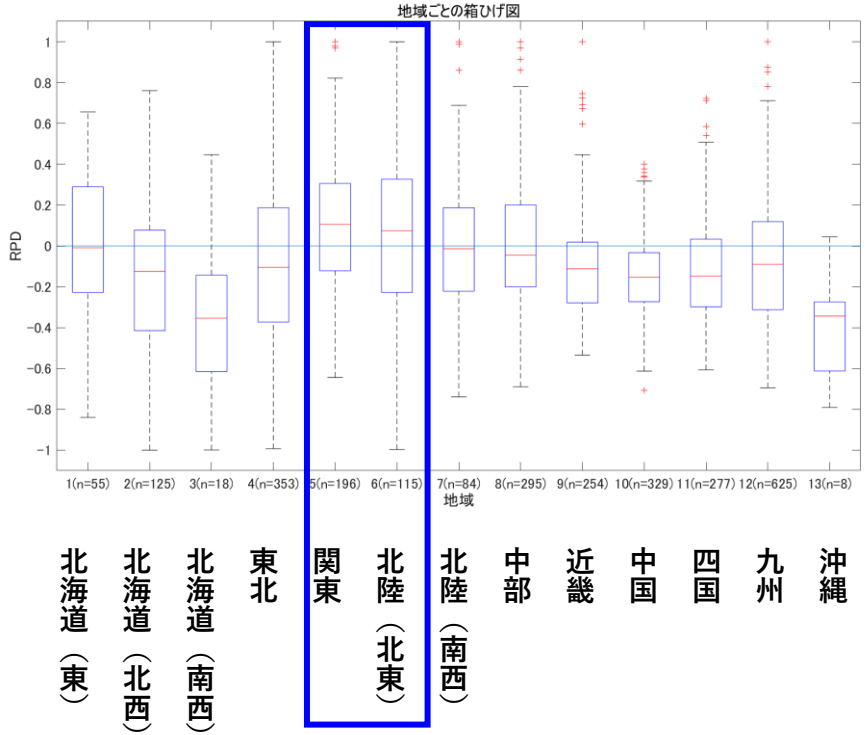
結果① 予測精度の傾向分析：地域区分

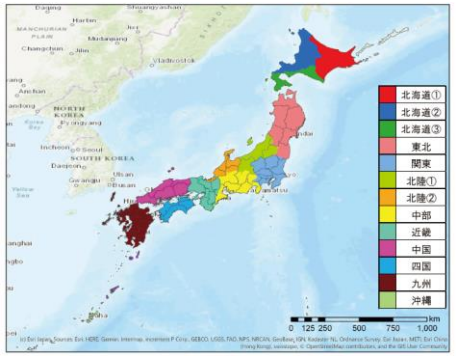
全国の観測点（711地点、2734 イベント）

Nash指標



ピーク相対誤差



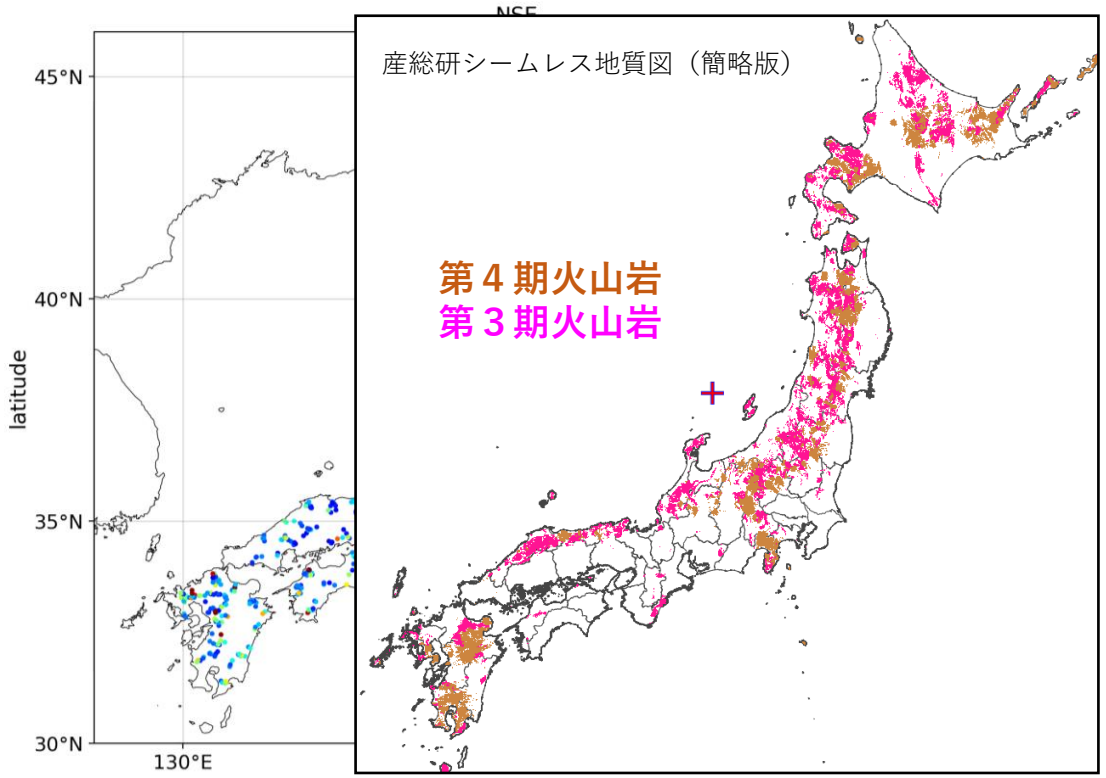


- ✓ 精度(Nash指標)に地域差がある：
  - 相対的に良い：中国、四国、近畿、九州、中部　→　西日本
  - 改善の余地あり：北陸（北東）、北海道
- ✓ ピーク流量を過大推定傾向：関東、北陸（北東）

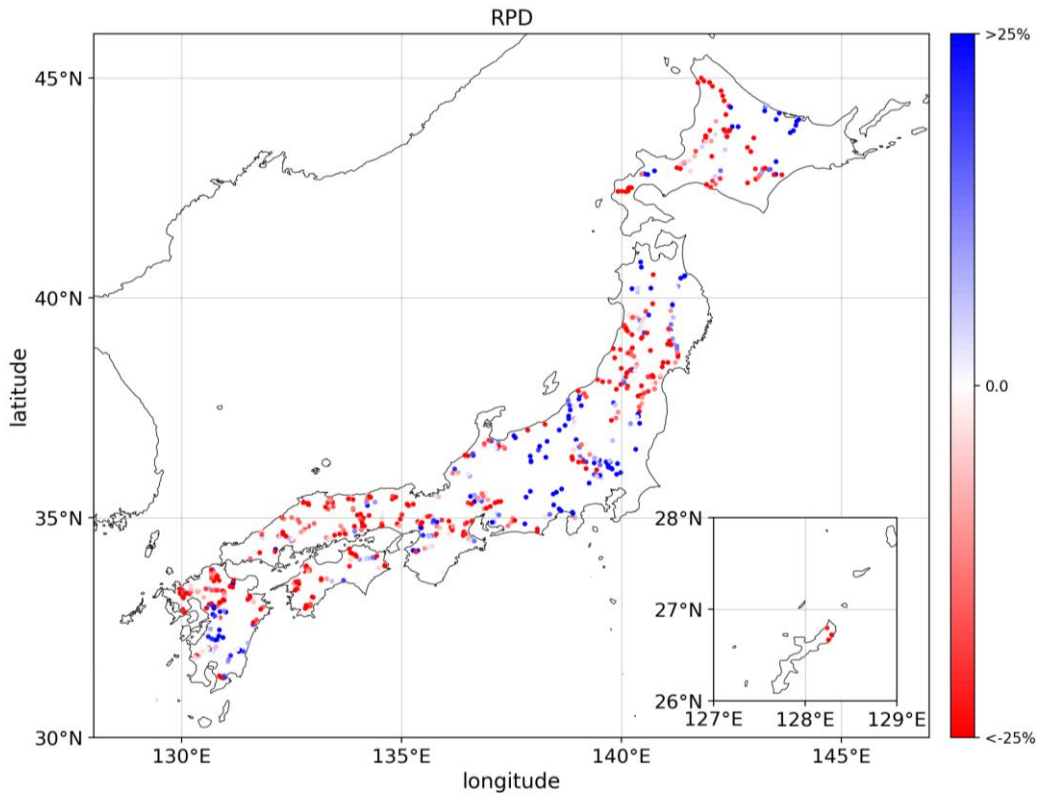
結果① 予測精度の傾向分析：空間分布

全国の観測点（711地点）

Nash指標



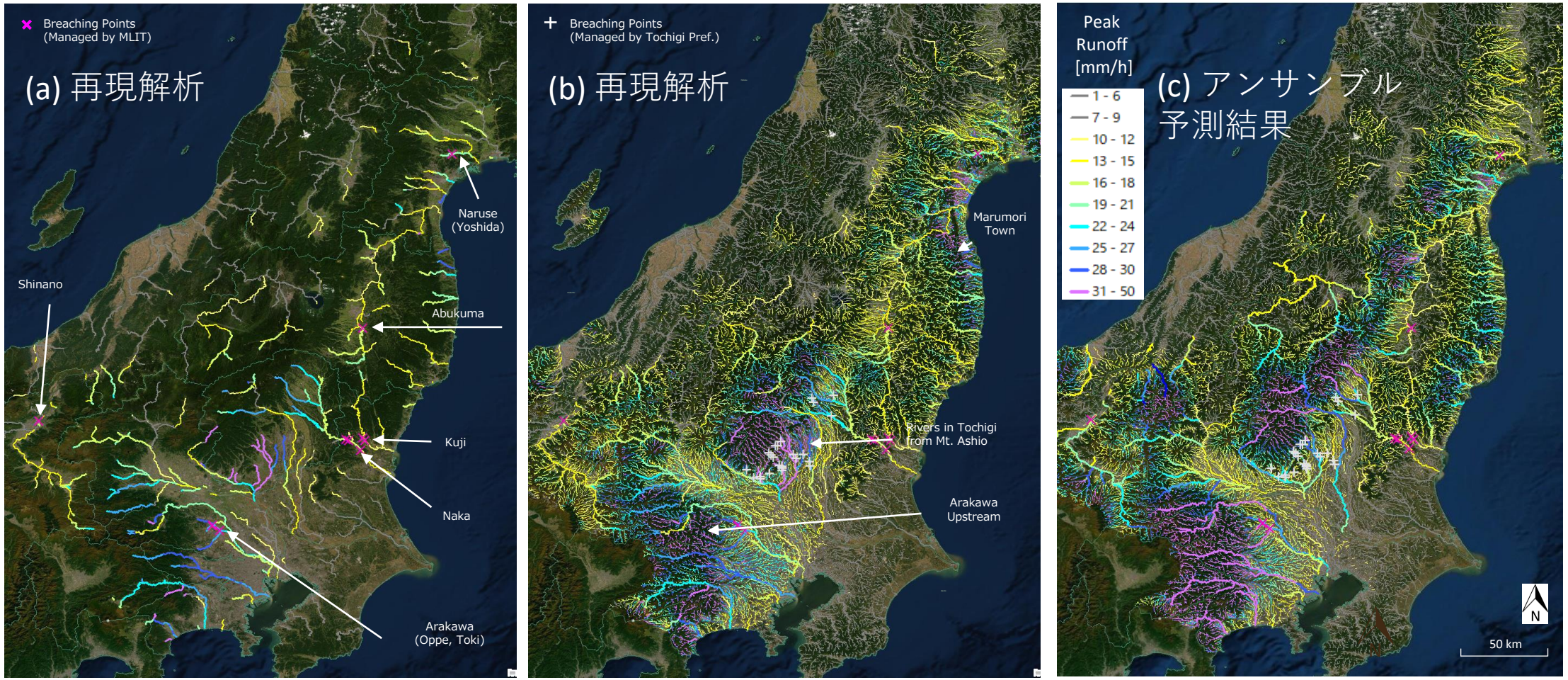
ピーク相対誤差



- ✓ 精度(Nash指標)の空間分布：「西高東低」
  関東から東北、北海道の大河川下流部で精度の低下傾向がみられる
  フォッサマグナの周辺で精度が低い
- ✓ ピーク相対誤差：Nash指標が低い地域はモデルが過大評価の場所が多い

2019年東日本台風を対象にしたアンサンブル予測結果

The model is forced with ensemble precipitation forecasts (21 members, 39-h lead time) by MEPS product by JMA with meso-scale model (5 km res.)



The spatial distributions of the simulated and forecasted (ensemble mean) peak runoff for T19

(a) The simulated result is shown only along the main rivers (upstream contributing area: 100-5,500 km^2).

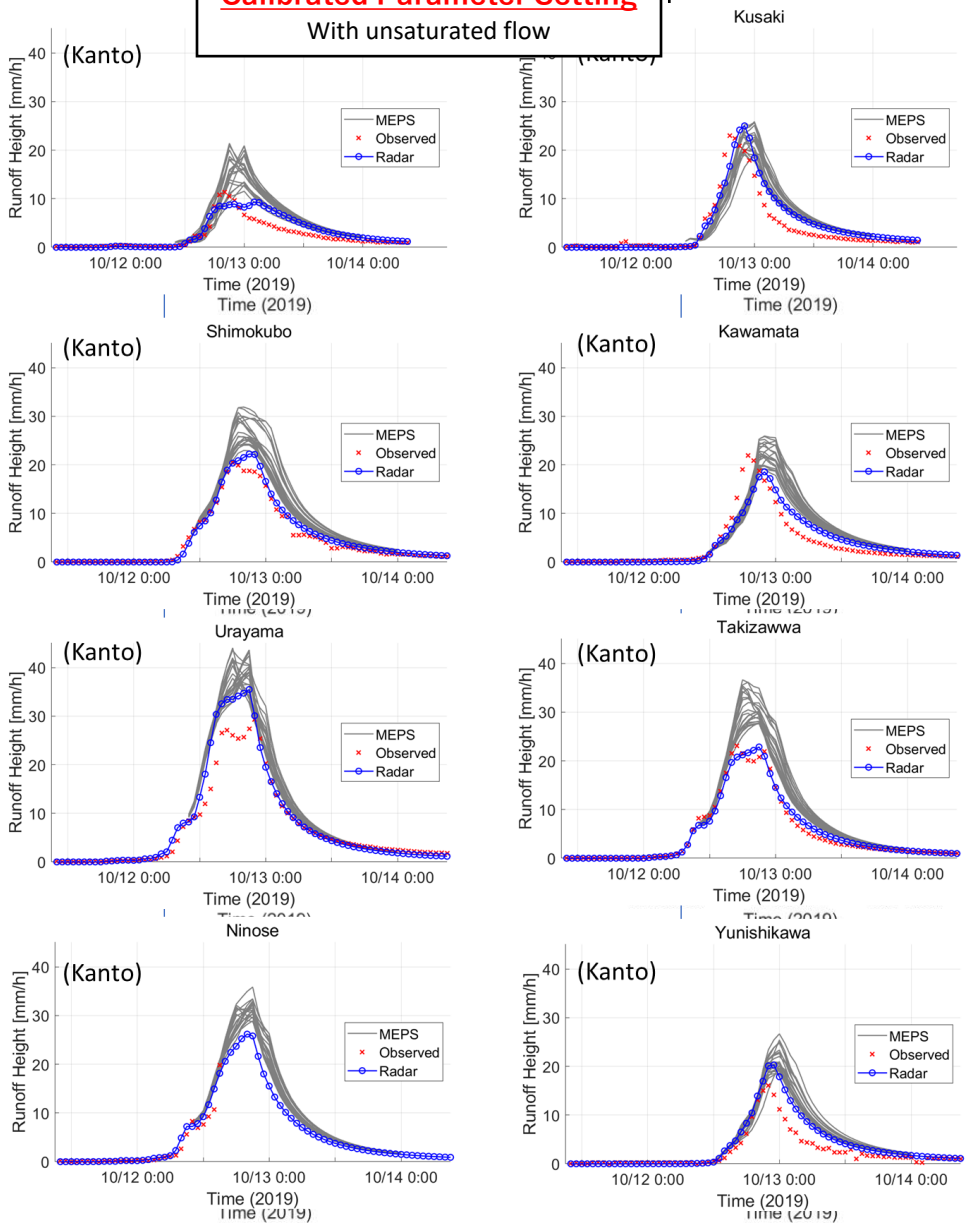
(b) The simulated result for all rivers (upstream contributing area: 1-5,500 km^2).

(c) The forecasted result for all rivers (Ensemble mean) initialized at 9:00 on 12 October 2019.

Sayama et al., Progress in Earth and Planetary Science (PEPS), 2020

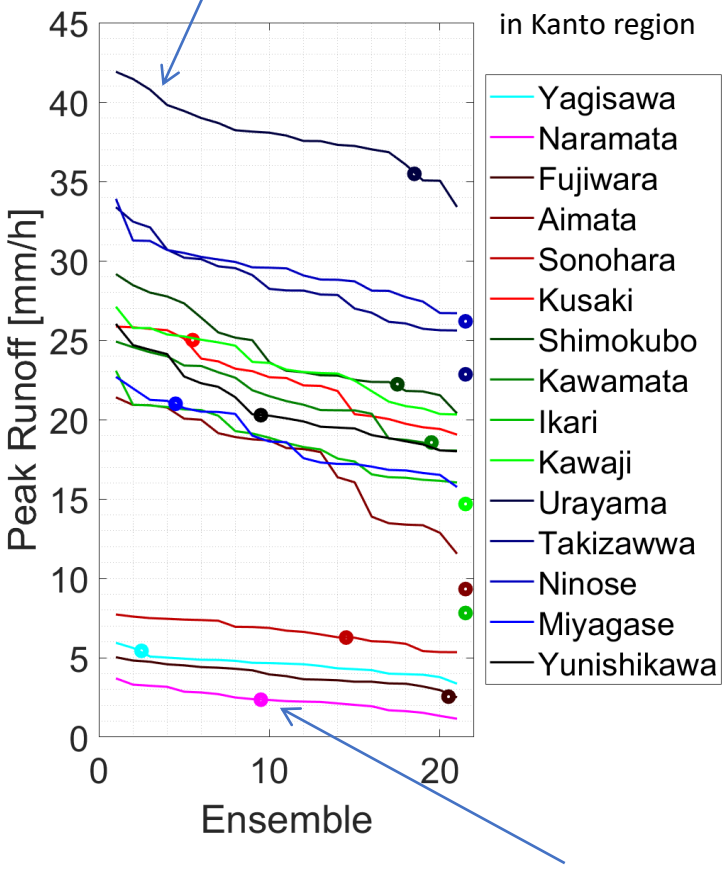
2019年東日本台風を対象にしたアンサンブル予測結果

Calibrated Parameter Setting
With unsaturated flow



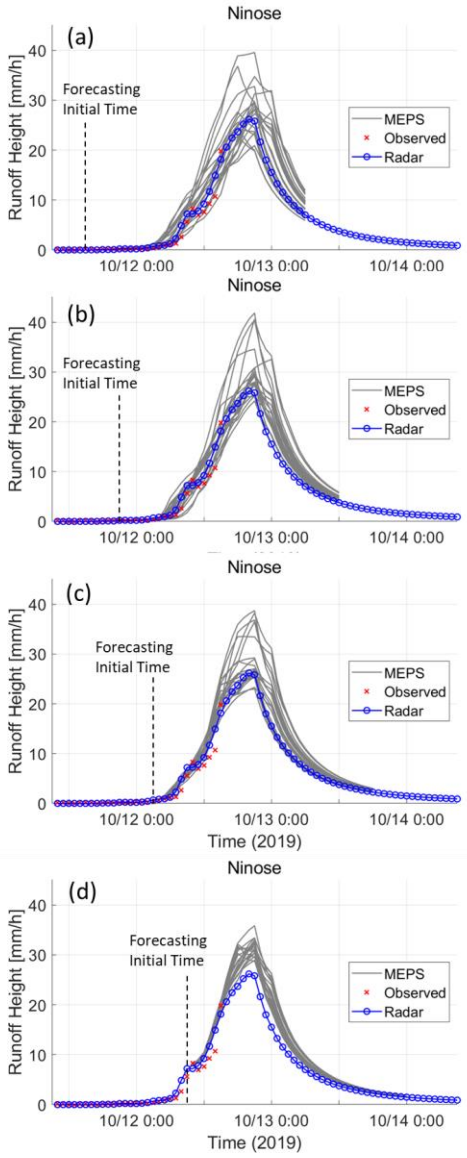
Forecasted peak runoff
by 21 ensemble members
(plotted in descending order)

Dam reservoirs
in Kanto region

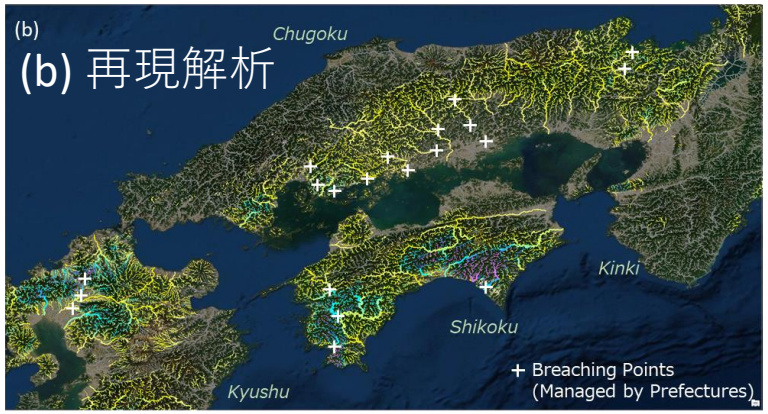


Dots: Simulated peak runoff
with observed rainfall

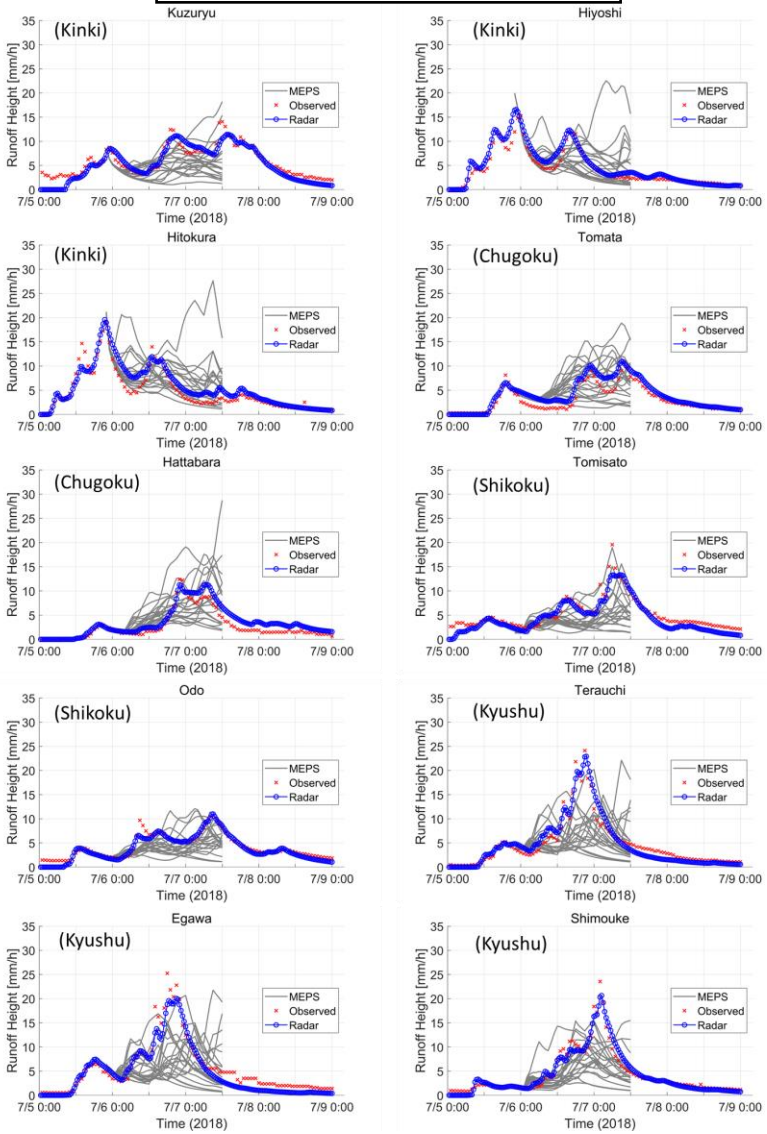
Ensemble forecast with different
initial time.



2018年西日本豪雨を対象にしたアンサンブル予測結果

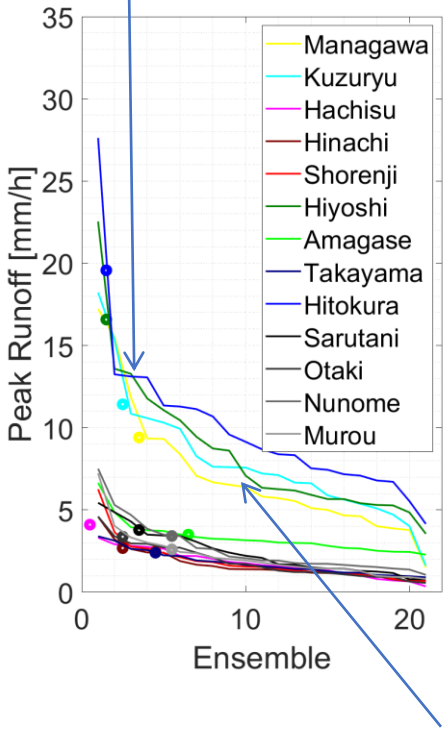


Default Parameter Setting
Only Saturated Subsurface and Surface
(No unsaturated flow or no G.W.)



Forecasted peak runoff
by 21 ensemble members
(plotted in descending order)

Dam reservoirs
in Kinki Region



Dots: Simulated peak runoff
with observed rainfall

Sayama et al., Progress in Earth and Planetary Science (PEPS), 2020

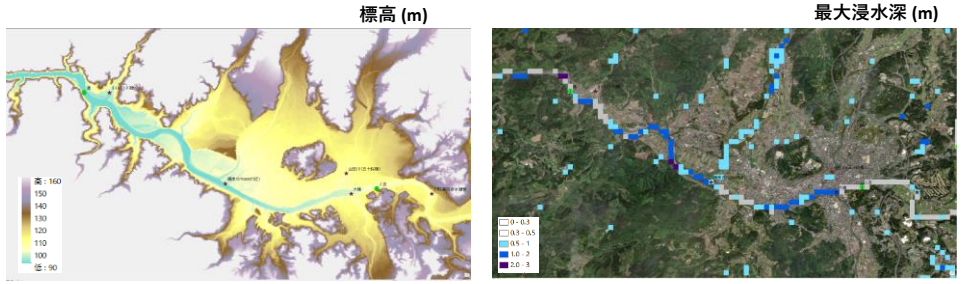
河道断面情報の反映と地形補正による精度向上

水位の予測精度向上をさせるための地形データ補正方法を検討し、多数の実河道断面情報を反映

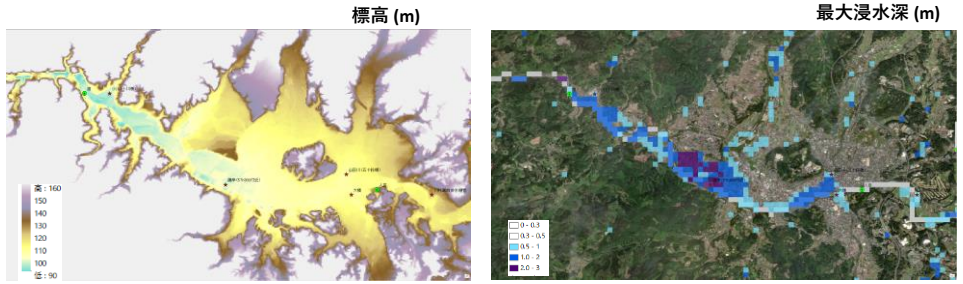
- **河道周辺の地形情報を補正（氾濫原の地形情報から人口構造物や河川の影響を除去）**
- **実河道断面情報を導入することによる水位予測精度向上の効果を多地点で検証。**

- **地形補正技術の導入**
  → 浸水深の推定精度向上

断面情報反映前・地形補正前



断面情報反映後・地形補正後

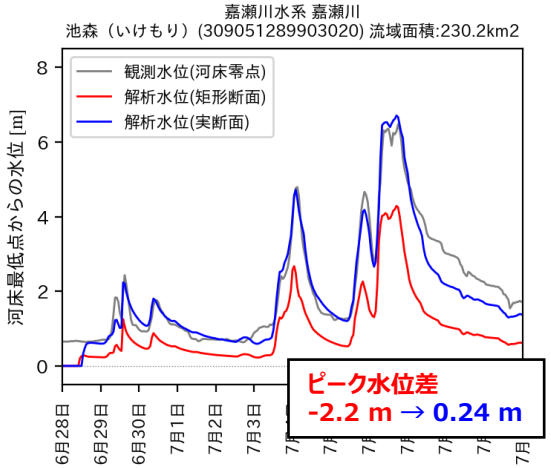


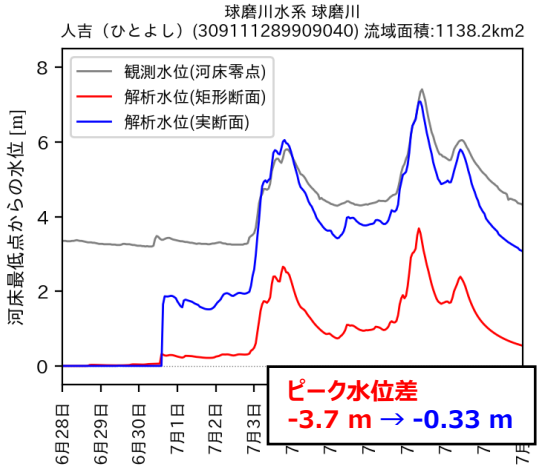
地形補正：三井共同建設コンサルタントとの共同研究より

上図：2020年球磨川洪水を対象に、地形補正の導入あり、無しで、浸水深の空間分布を比較検証した。堤防や河道の地形を除去する補正方法の有効性が明らかになった。

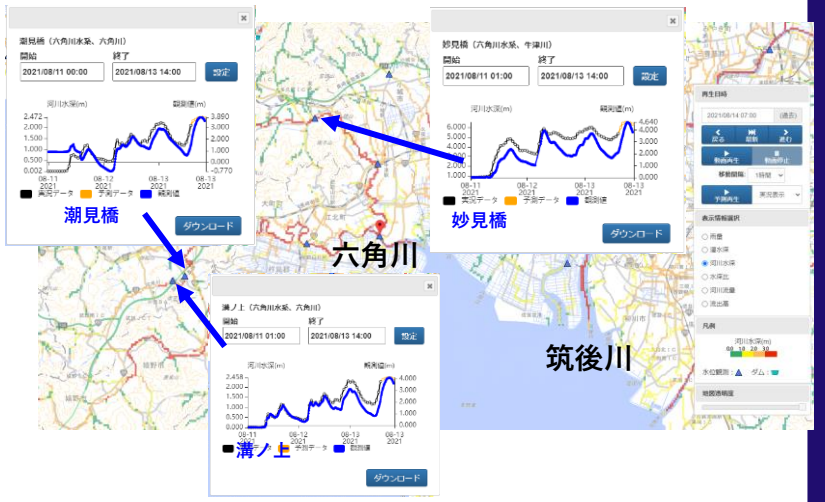
右図：2018年西日本豪雨で増水した**51地点における水位**と流量の推定精度を検証。実断面を導入することで、ピーク水位差の平均・標準偏差が**−2.04±1.70m** から**0.14±0.88m** に改善。右図は嘉瀬川（池森地点）、球磨川（人吉）値地点における西日本豪雨の水位解析事例

- **一級水系直轄区間の73%にあたる7735 kmに、計26,032の河道断面を導入→ 水位の予測精度向上**

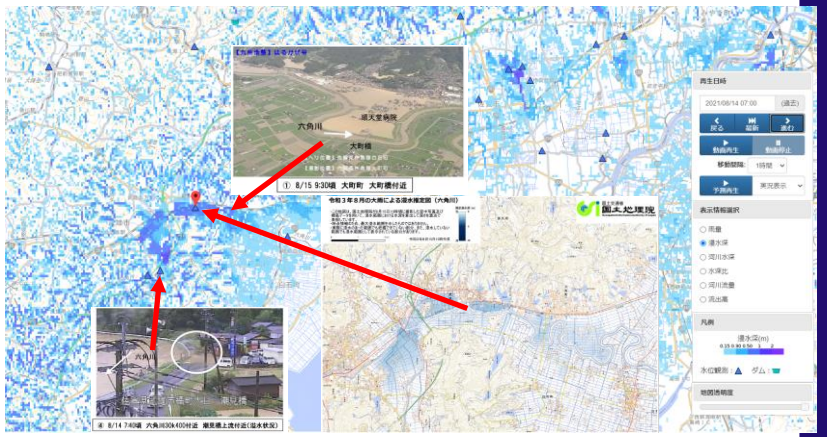




広域洪水予測システムによるリアルタイム現況計算と予測（水深）2021年8月14日（土曜日）7時：六角川



浸水深の予測結果



京都府と京都大学との共同研究（令和３年６月７日）

京都大学
防災研究所
中北英一所長

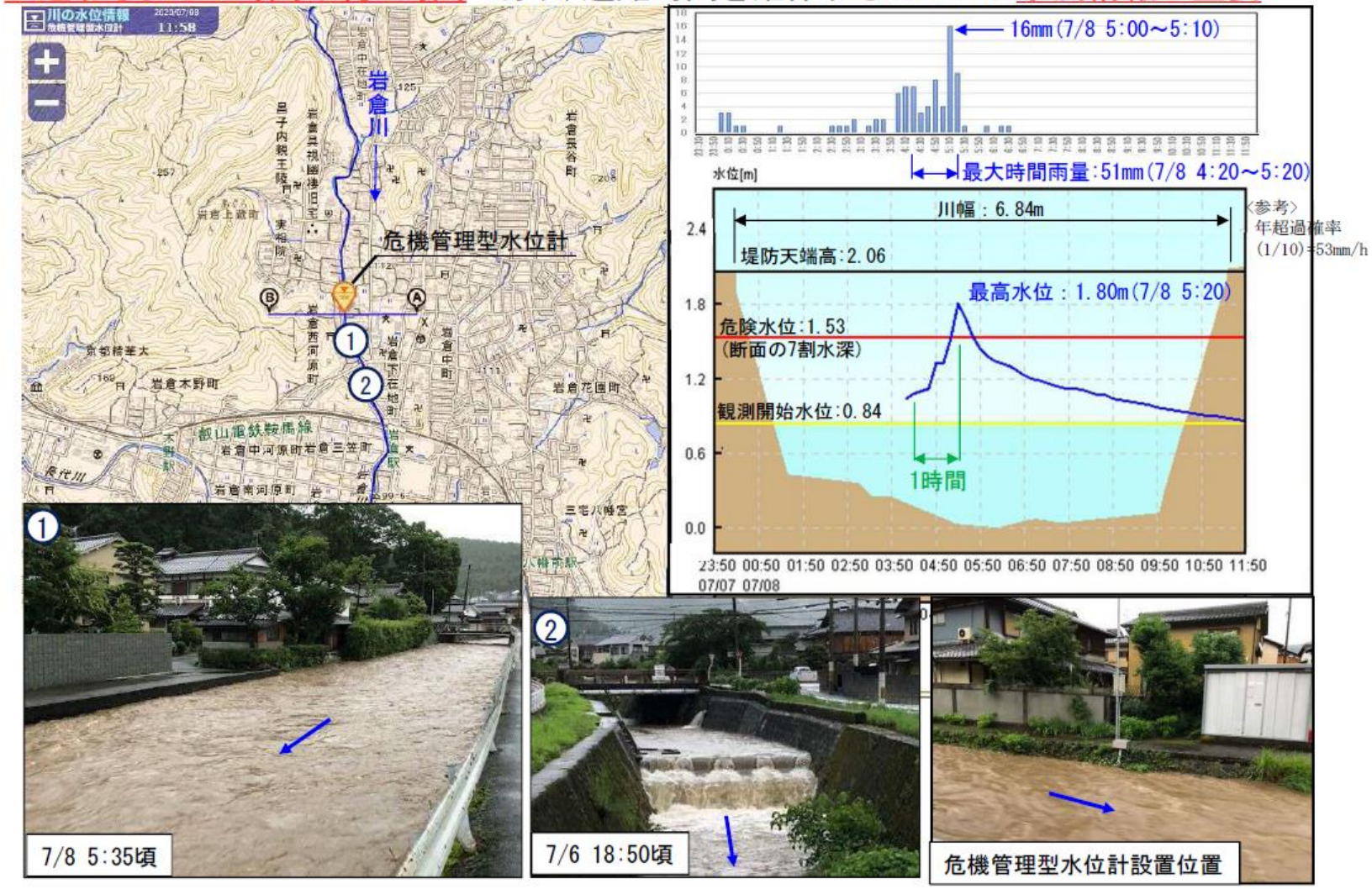
京都府
西脇隆俊知事

京都府全域を対象にした水位・氾濫予測システムの開発

中小河川も含めて全ての府内全域において６時間先までの**河川水位と氾濫時の浸水区域を予測**するシステムを**RRIモデル**を用いて開発中。令和5年度の運用を目指す。

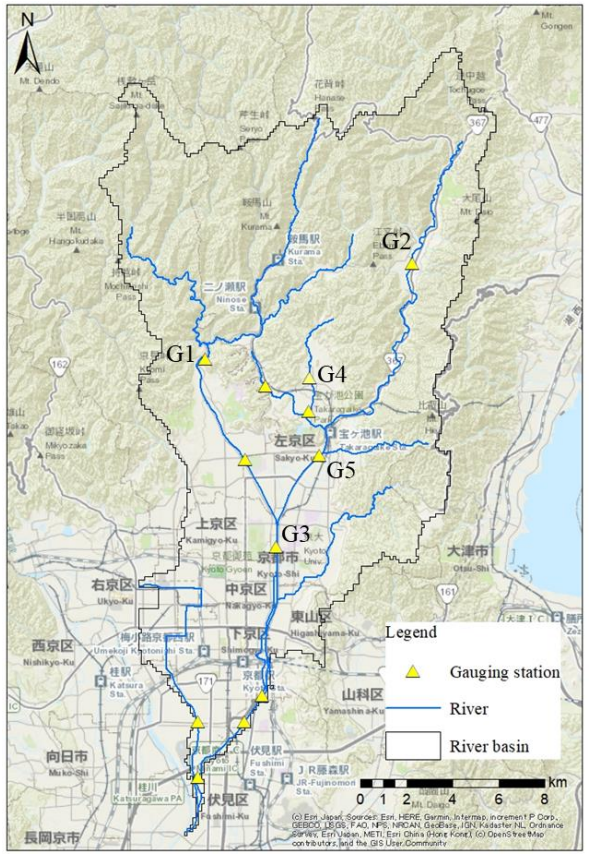
京都府鴨川上流域岩倉川の急激な水位上昇（令和２年７月）

H30に危機管理型水位計を設置した岩倉川では、観測開始から危険水位を超過し最高水位に達するまでの時間は約1時間であり、避難時間を確保するためには予測情報が重要

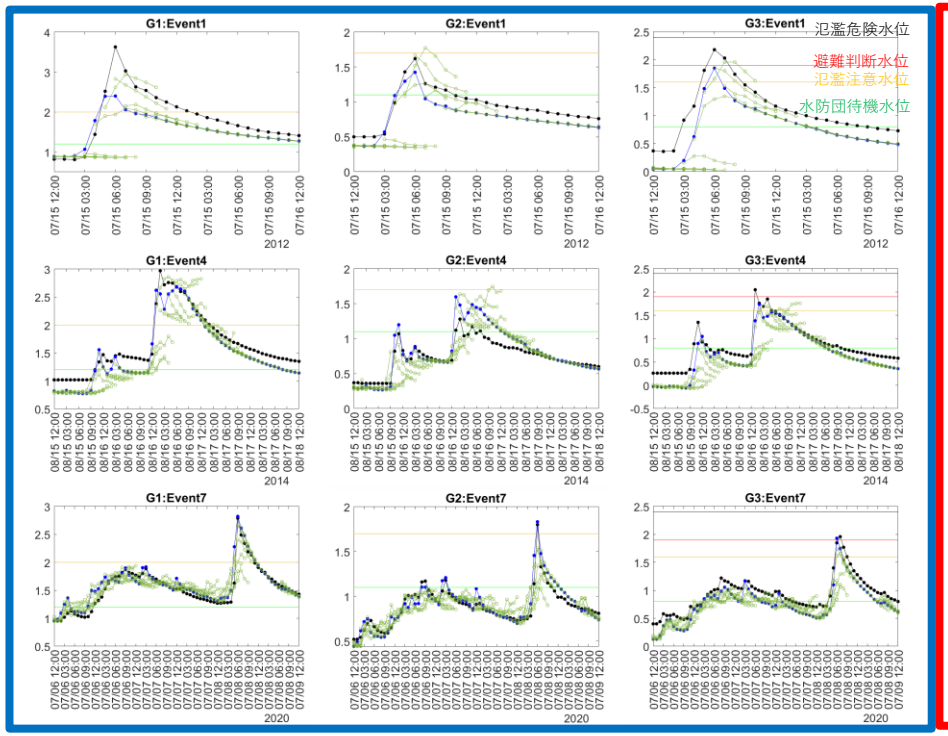


京都府砂防課より

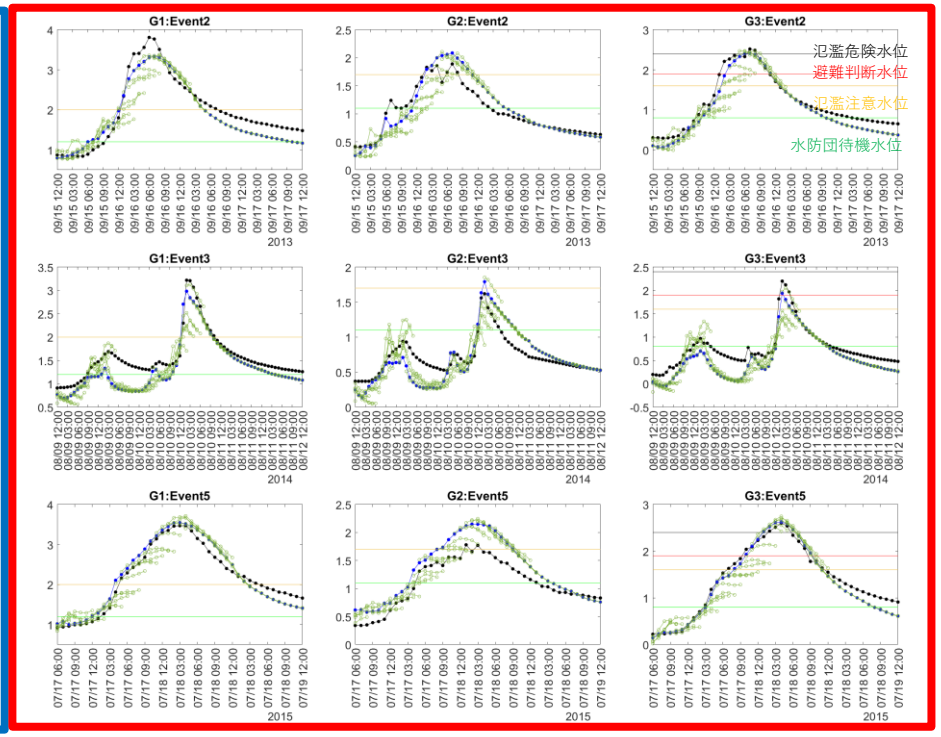
京都府鴨川上流域における精度検証



鴨川流域（210km²）



前線起因の降雨による出水



台風起因の降雨による出水

3.　気候変動の影響を考慮した水害リスク評価

気象庁「日本の気候変動2020」：観測事例

日本国内の大雨及び短時間強雨の発生頻度は有意に増加

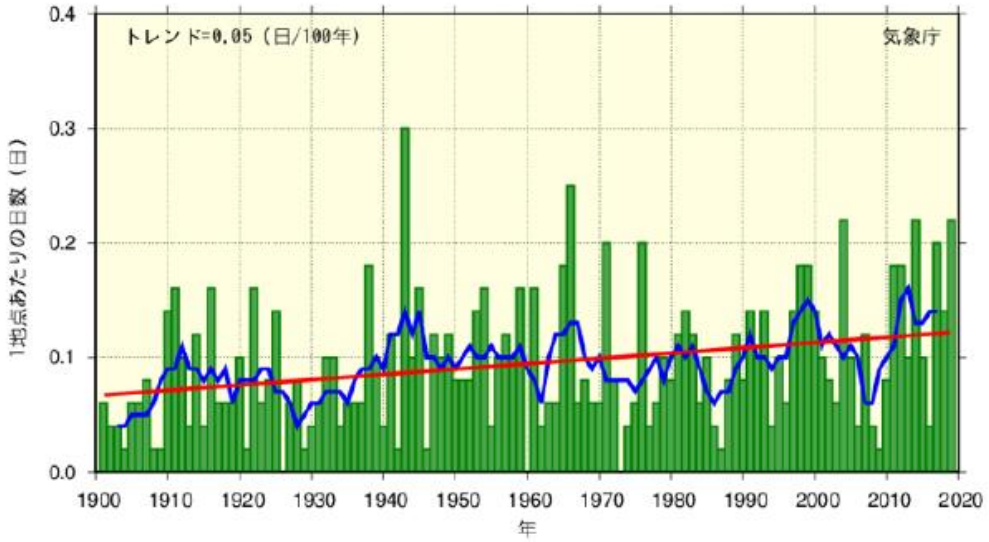


図 4.1　日降水量 200 mm 以上の大雨の年間日数の経年変化（1901～2019 年）

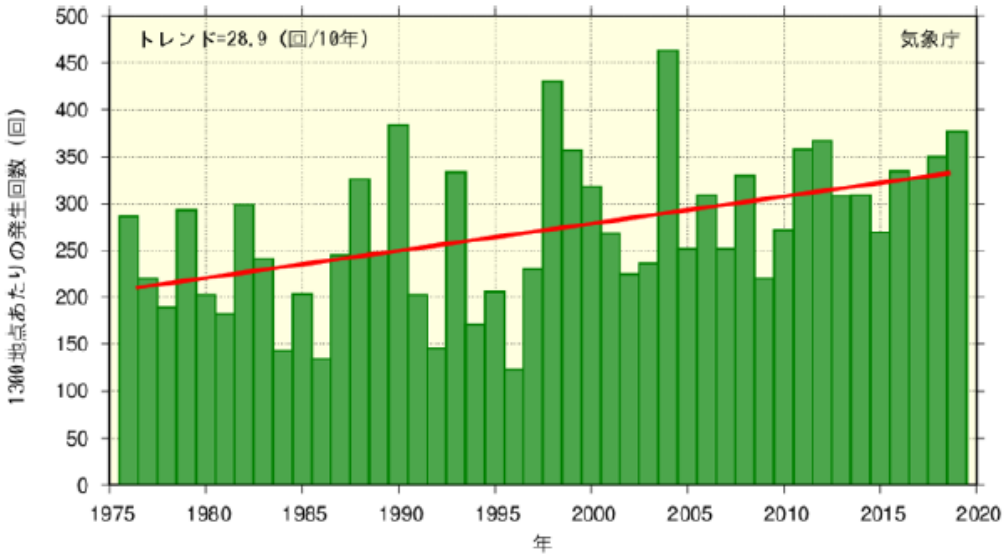


図 4.2　1 時間降水量 50 mm 以上の短時間強雨の年間発生回数の経年変化（1976～2019 年）

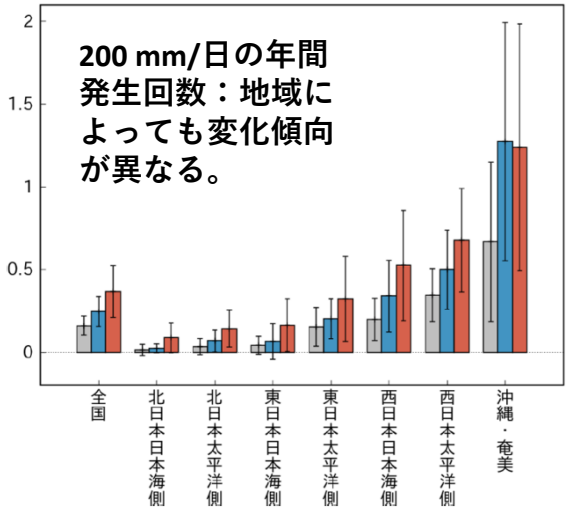
気象庁の全国51観測地点の降水量データ。
統計期間最初の30年(1901-1930)と最近30年(1990-2019)を比べると、200 mm以上の頻度は約1.7倍、100 mm以上は約1.4倍に増加。

全国約1,300地点のアメダス観測データ。
統計期間最初の10年(1976-1985)と最近10年(2010-2019)を比べると、80 mm/h以上の発生回数は約1.7倍、50 mm以上は約1.4倍に増加。

気象庁「日本の気候変動2020 」：将来予測

	RCP2.6 2°C上昇シナリオによる予測 パリ協定の2°C目標が達成された世界	RCP8.5 4°C上昇シナリオによる予測 現時点を超える追加的な緩和策を取らなかった世界
日降水量200 mm以上の年間日数	約1.5倍に増加	約2.3倍に増加
1時間降水量50 mm以上注) の頻度	約1.6倍に増加	約2.3倍に増加
日降水量の年最大値	約12%（約15 mm）増加	約27%（約33 mm）増加
日降水量1.0 mm未満の年間日数	（有意な変化は予測されない）	約8.2日増加

日本の洪水にとっては、ここが肝心。
これがどのような影響を与えるのか？
どのような流域治水が必要となるか？



灰色：20世紀末
青色：2℃上昇 (RCP2.6)
赤色：4℃上昇 (RCP8.5)

「高潮のリスクは増大すると予測される」→　洪水のリスクは？

令和元年東日本台風の非温暖化／擬似温暖化

- 気象庁非静力学モデル(JMA-Nonhydrostatic Model): 5 km分解能

  ・再現解析 (CTL) : 4ケース（初期時刻の違い）

  ・非温暖化 (NAT)：4×5ケース（初期時刻の違い×降温パターン）
  - 工業化前の状況想定

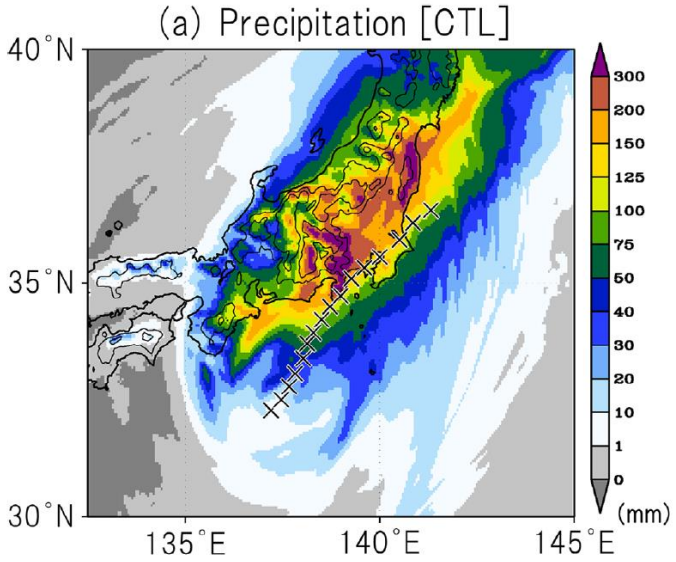
  ・2度上昇 (2K)：4×5ケース（初期時刻の違い×昇温パターン）

  ・4度上昇 (4K)：4×5ケース（初期時刻の違い×昇温パターン）

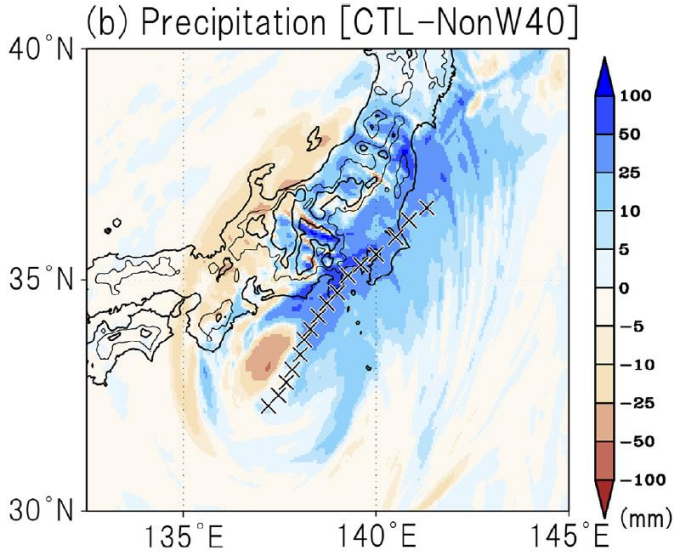
  ・非温暖化 (PCS)：4×5ケース（初期時刻の違い×降温パターン）
  - 1980年以降のSSTおよび気温の昇温トレンドを除去（NonW40）
  ：既に約1度上昇

Kawase, et al., SOLA 2020

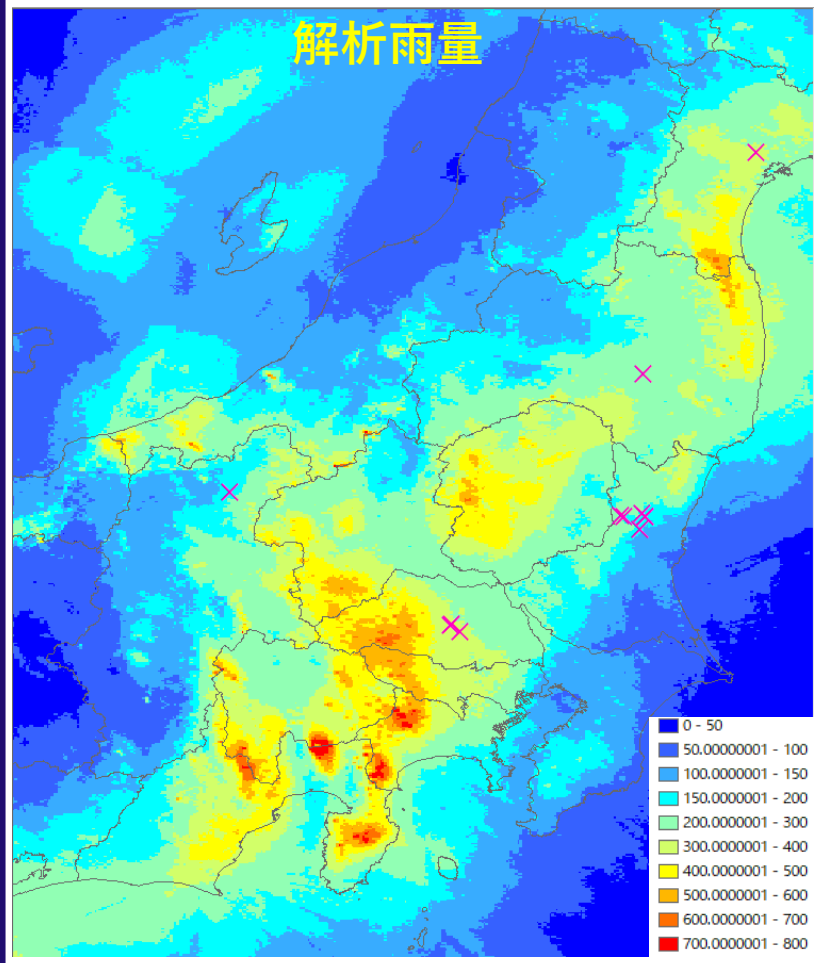
降水量

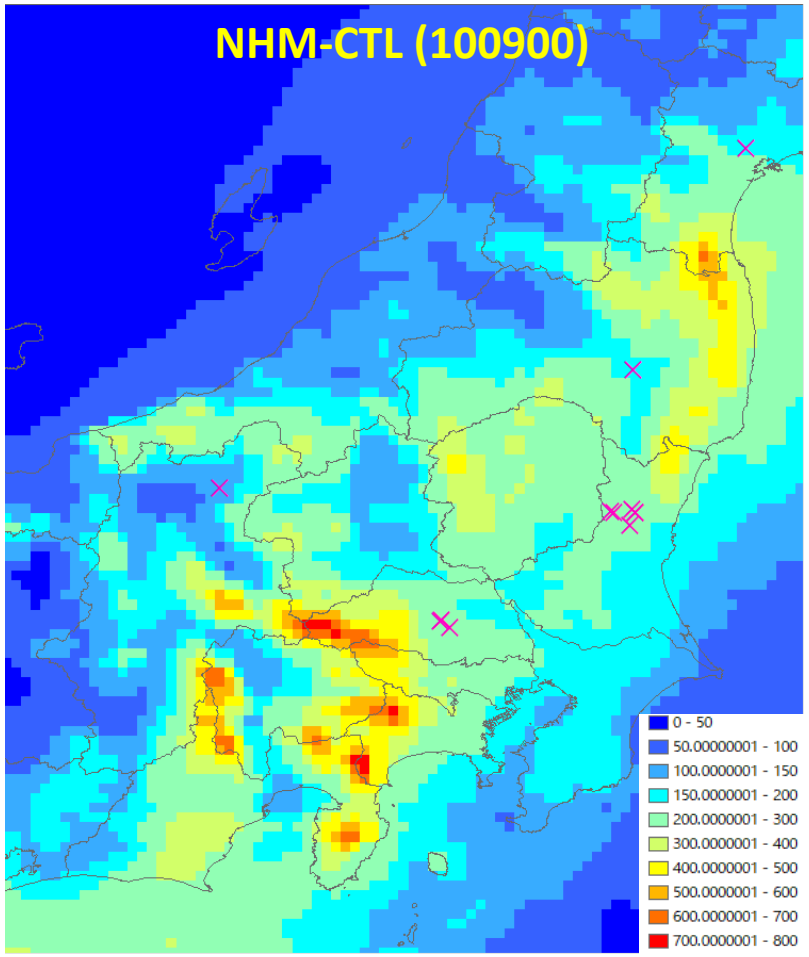


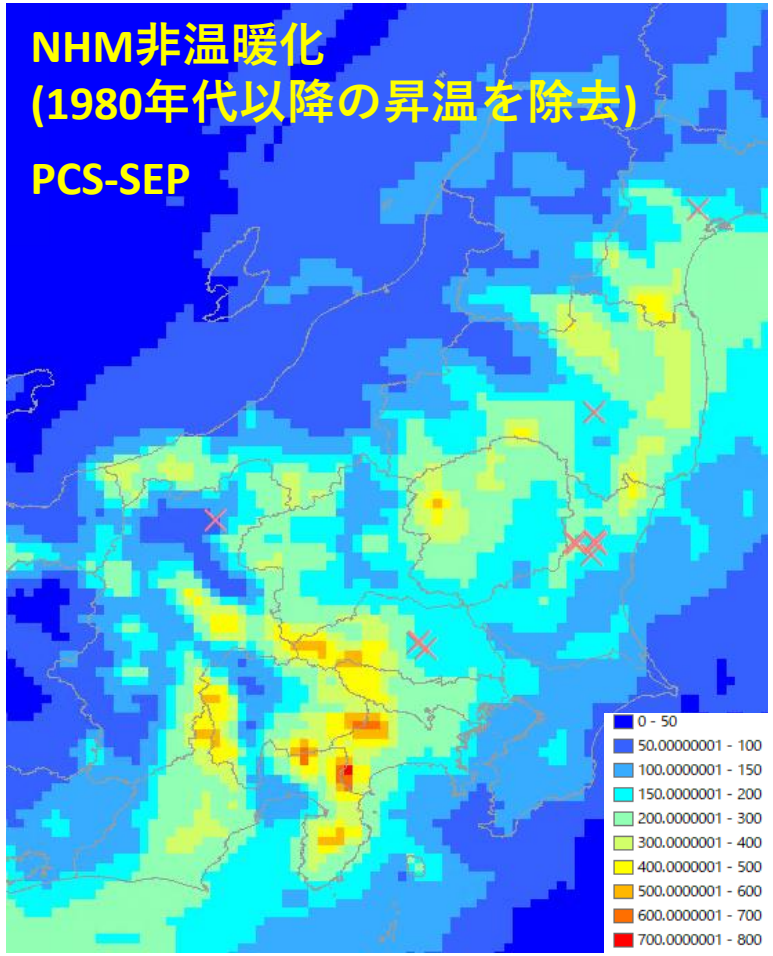
降水量の変化



令和元年東日本台風の非温暖化：累積雨量の空間分布



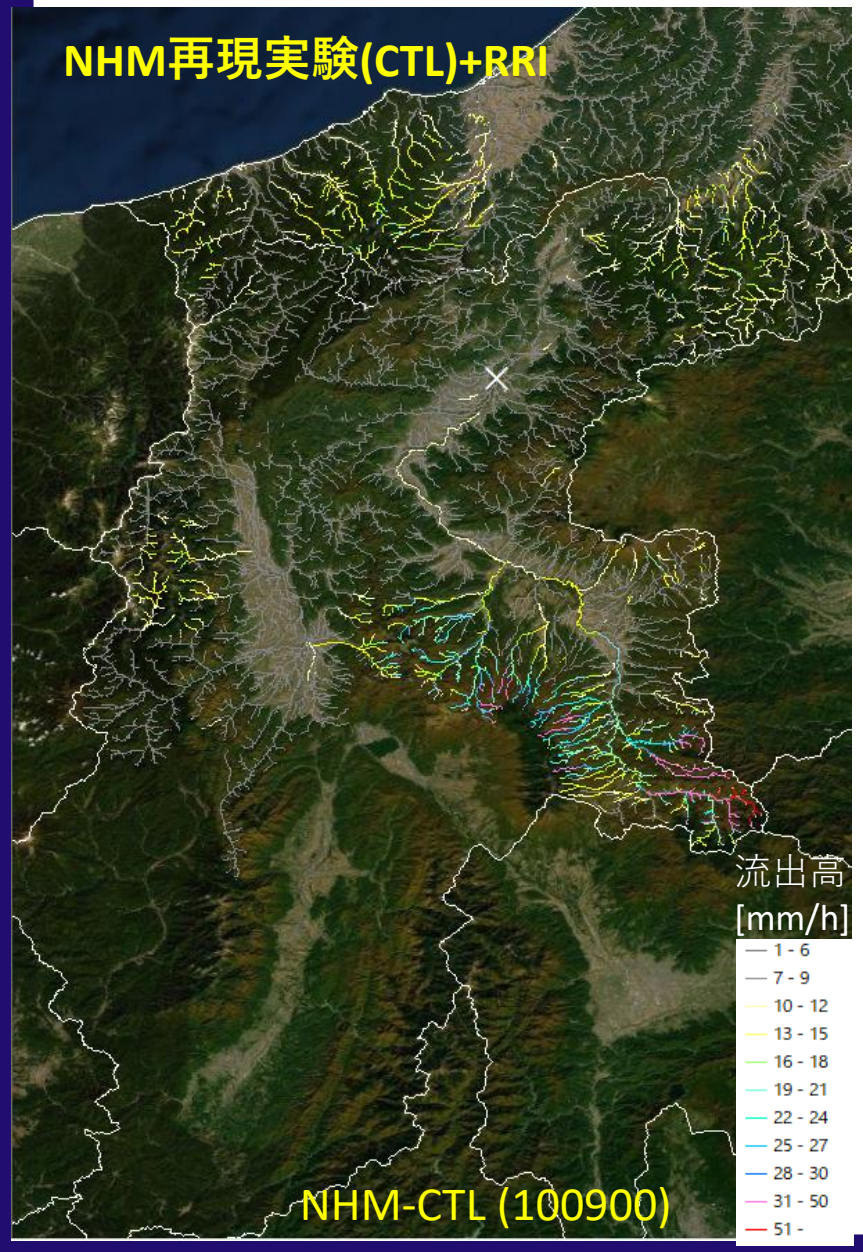


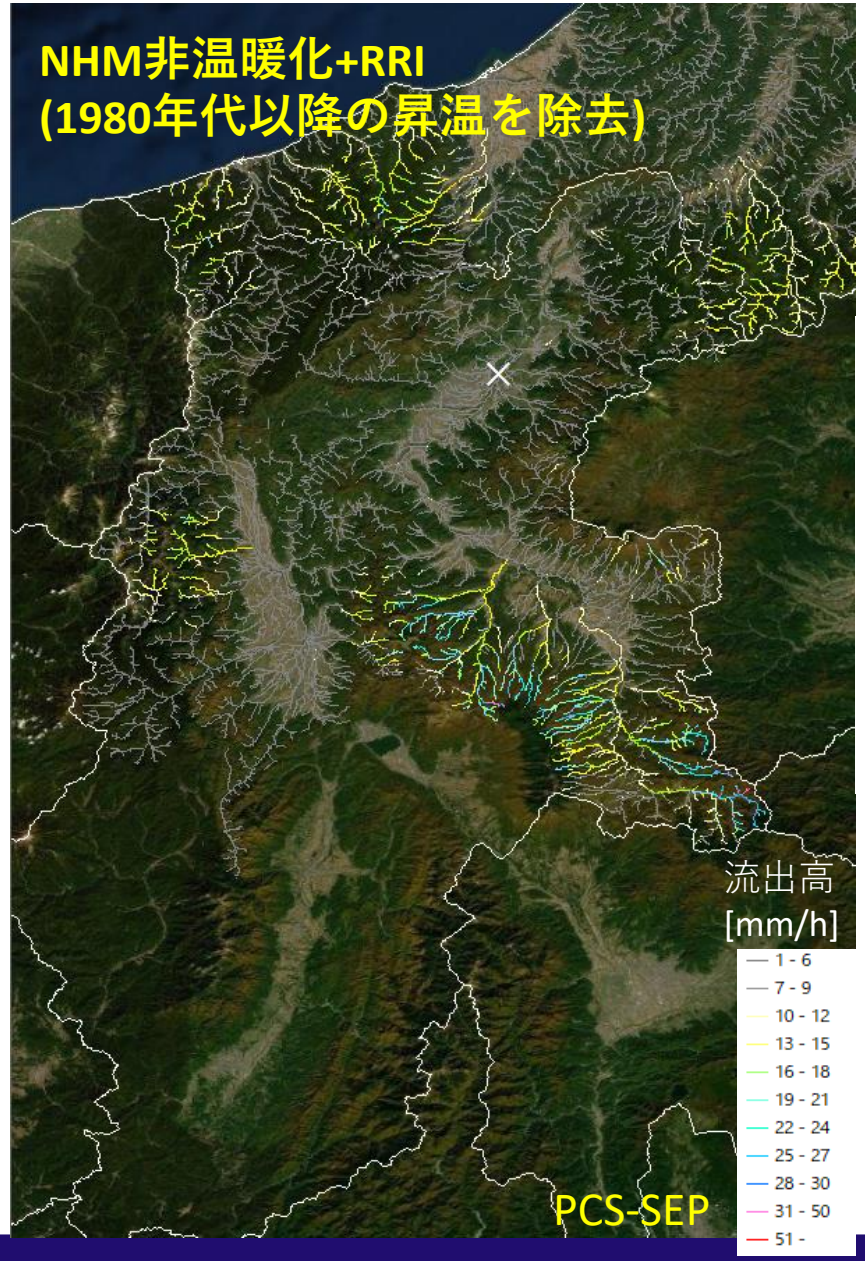


× 国管理河川の破堤位置

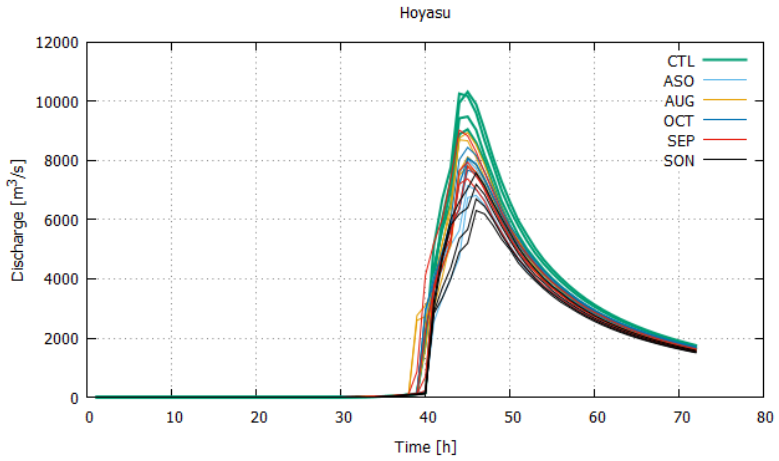
2019/10/11/ 9:00 – 10/14 9:00 累積雨量

令和元年東日本台風の非温暖化：河川流量の推定

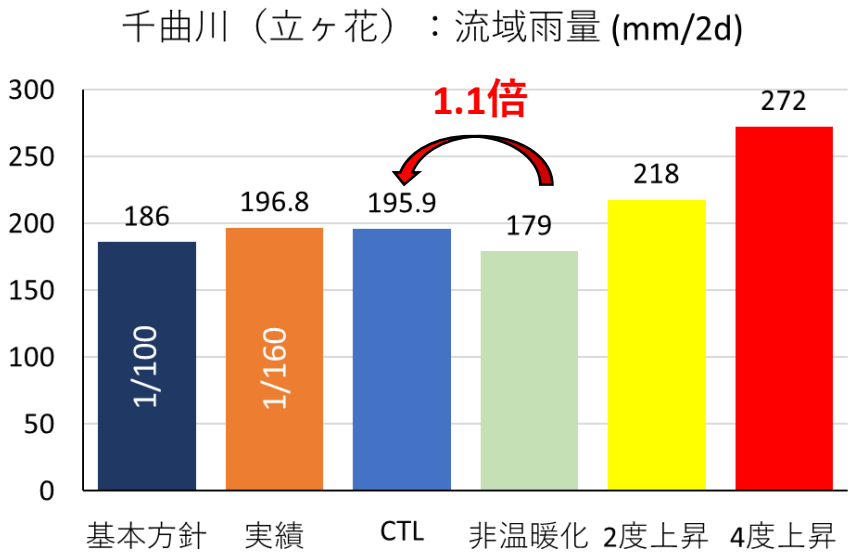


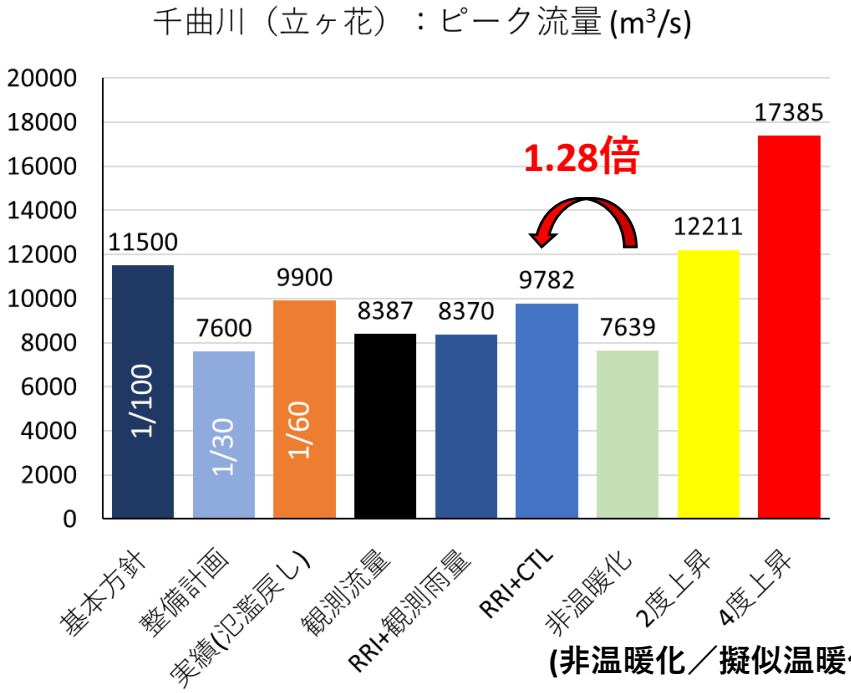


推定流量（穂保）



令和元年東日本台風の非温暖化：千曲川（立ヶ花）



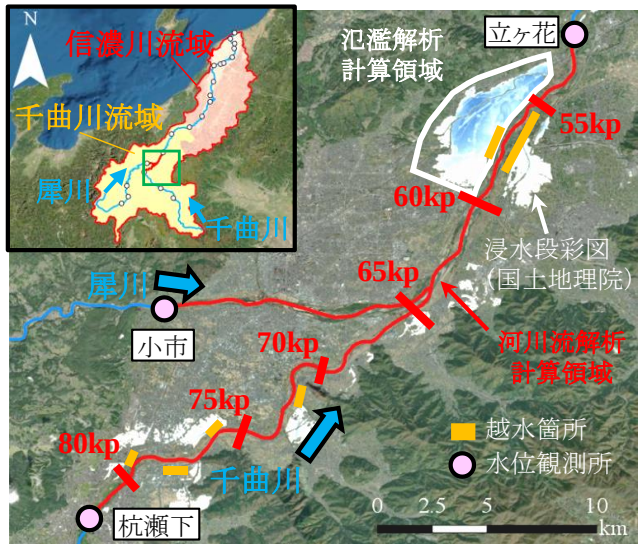


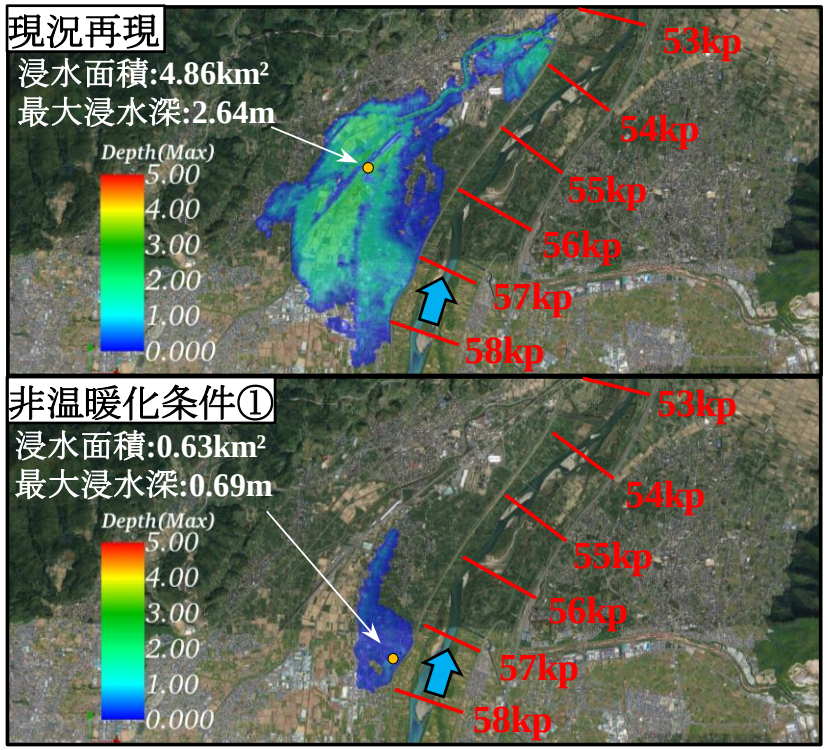
(非温暖化／擬似温暖化は20メンバーの平均値)

千曲川（立ヶ花）のまとめ

- 非温暖化と実績との比較から、過去40年で温暖化の影響が出ていることが分かる（降雨量で1.1倍、流量で1.28倍）
- 1/60の今回の台風が、2℃上昇下で、基本方針（1/160）の水準を超えてしまう
- 4℃上昇下では基本方針(1/160)をはるかに上回る雨量と流量規模になる
- 非温暖化（約7600 m³/s）で越水が生ずるかどうかは、より詳細な水理解析が必要。

東日本台風の非温暖化：水位・氾濫（東京理科大：二瓶先生、太田さん）





ケース	越流水深 [m]	越流区間 [kp]	総越流量 [万m³]	越流時間 [h]
現況再現	0.07	79.0~79.3	3.77	2.3
	0.44	56.7~57.9	307	5.5
非温暖化条件①	0.11	57.3~57.6	5.54	2.3
非温暖化条件②	0.04	57.3~57.5	1.67	1.3

現況再現
気象庁メソ解析値

非温暖化実験
気温トレンドを除去した20ケース

気象解析
モデル：JMA-NHM
（Japan Meteorological Agency Nonhydrostatic Model）
対象：日本全国，　解像度：5kmメッシュ
出力：降水量，気圧，風速，台風進路　ect.

流出解析
モデル：RRI（Rainfall-Runoff-Inundation model）
対象：日本全国の河川，　解像度：5秒（約150m）
パラメータ：千曲川流域の観測流量を参考に同定
出力：河川流量，水位，浸水深

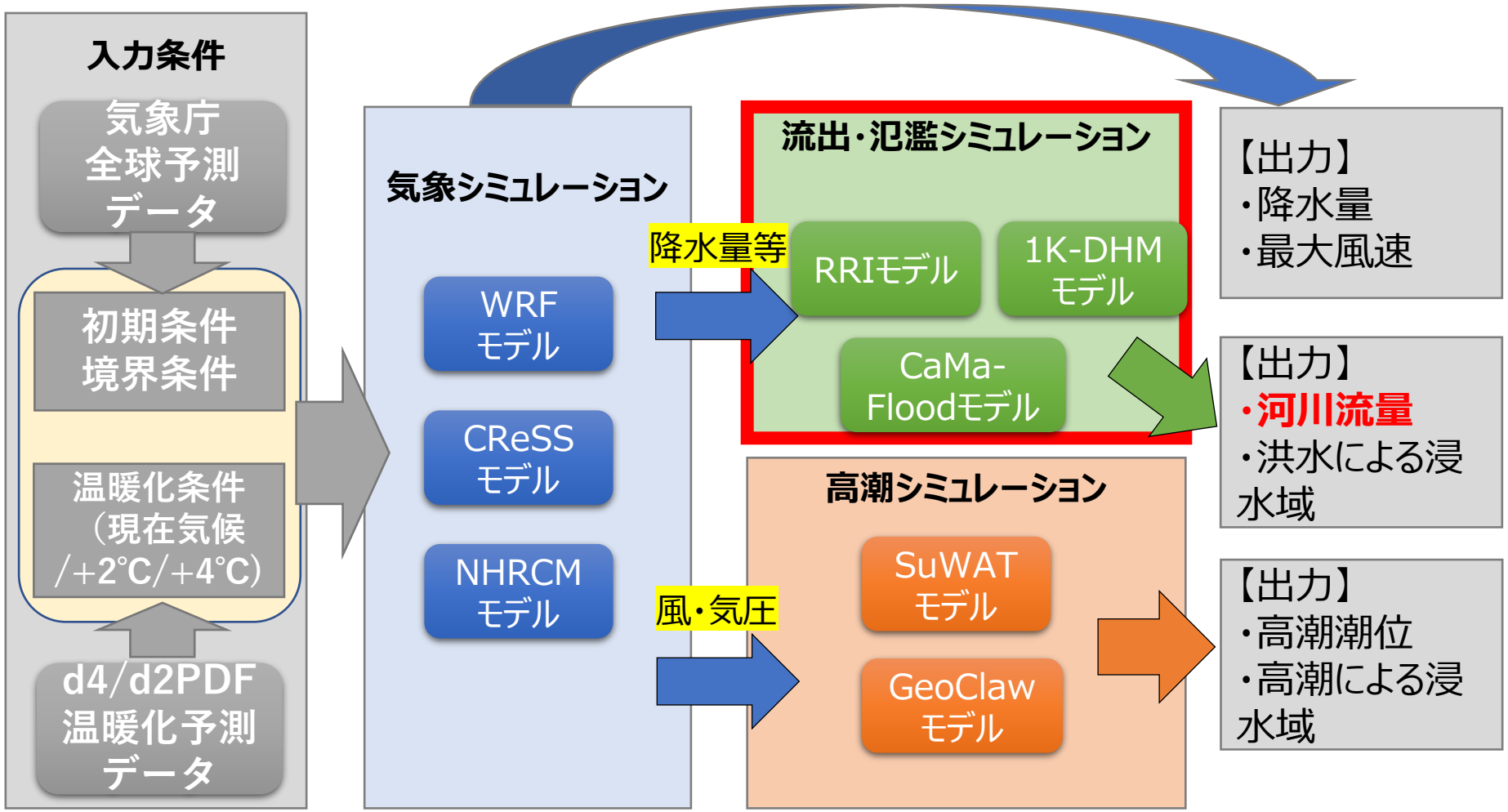
河川流解析
モデル：1次元不定流モデル
対象：千曲川・犀川，　解像度：縦断約100m，横断50分割
パラメータ（粗度）：柏田・二瓶[3]の同化手法により算出
出力：水位縦断分布，越流地点，越流量

氾濫解析
モデル：iRIC Nays2D Flood
対象：千曲川左岸域，　解像度：15mメッシュ
パラメータ(粗度)：0.1m$^{1/3/s}$
出力：浸水深，浸水面積，氾濫水量

- 現況再現では、ピーク水位は計算区間の85.8%でHWLを超過、57.5kp地点で最大の11.3時間にわたり超過した。左岸側で2か所越水。
- 非温暖化条件では、HWL超過区間は全体の59.4～82.3%で、現況再現条件と同じく洪水氾濫の危険性が十分高い。しかし，ピーク水位が現況再現条件よりも0.43～1.19m低く、越水が生じたのは1か所で、全20ケース中2ケースのみ。

太田ら：土木学会全国大会、2021

令和元年東日本台風の擬似温暖化実験：環境省プロジェクト

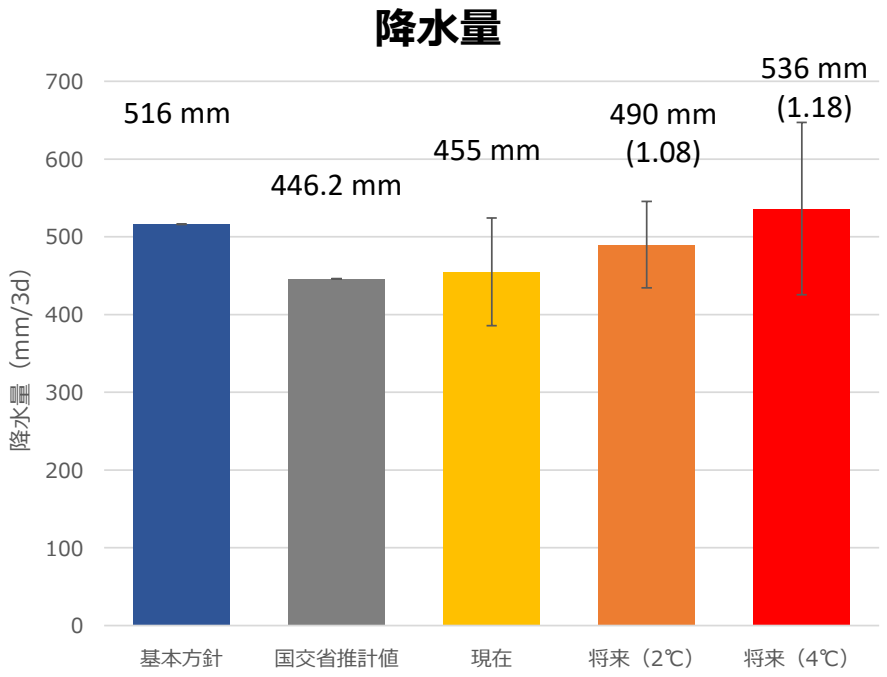


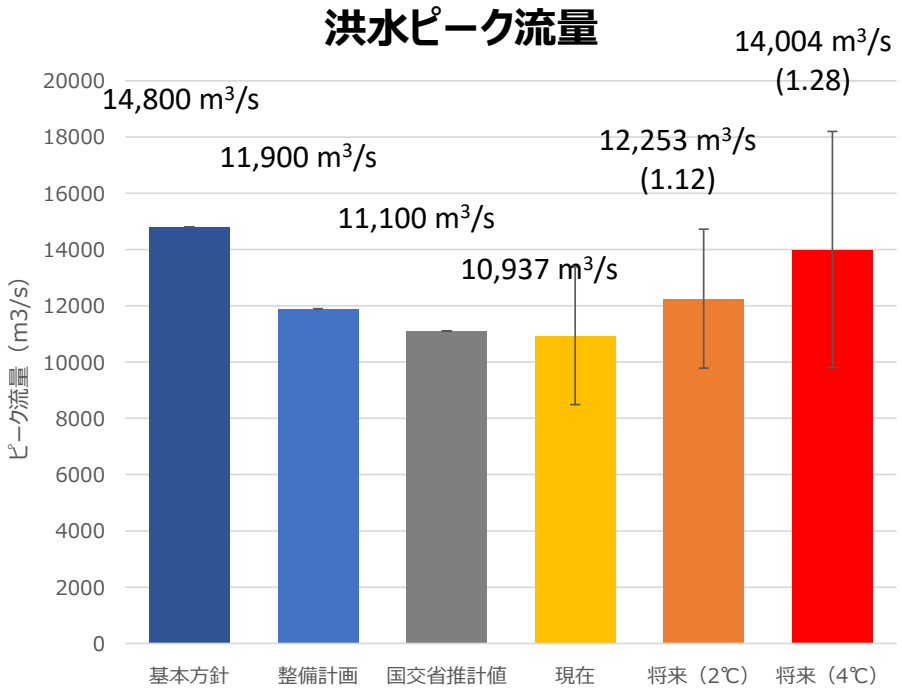
環境省：勢力を増す台風、令和元年度東日本台風の擬似温暖化実験, 2021
http://www.env.go.jp/earth/tekiou/typhoon2020.pdf

令和元年東日本台風の擬似温暖化実験：環境省プロジェクト

- 降水量、洪水ピーク流量は、現在気候では国交省推計値とよく対応している。
- 将来気候は、2℃上昇シナリオで河川整備計画を上回る洪水流量、4℃上昇シナリオでは基本方針の流量に相当する（ケースによっては上回る）流量となる。

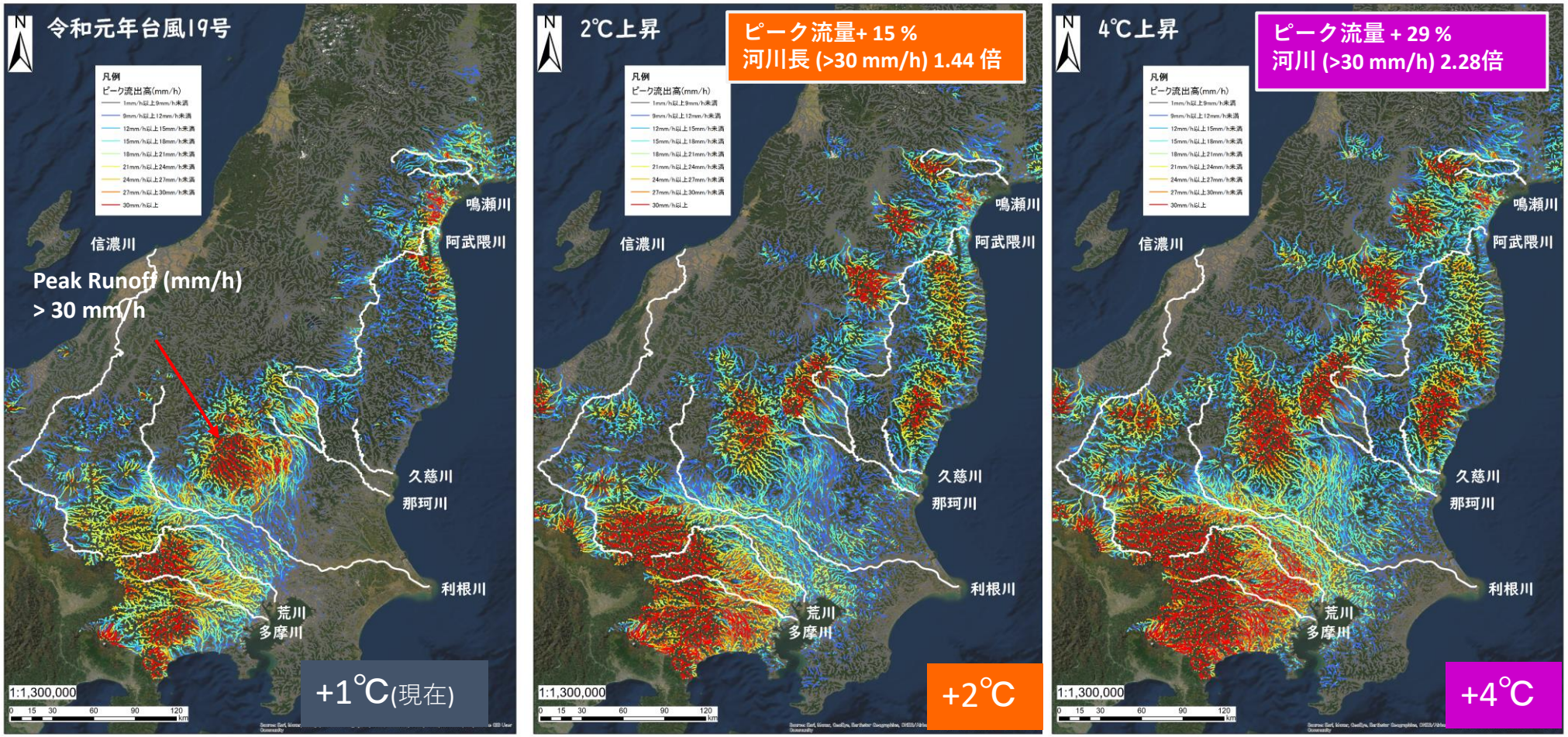
( )内の数字は現在気候を1とした場合の比率を示す





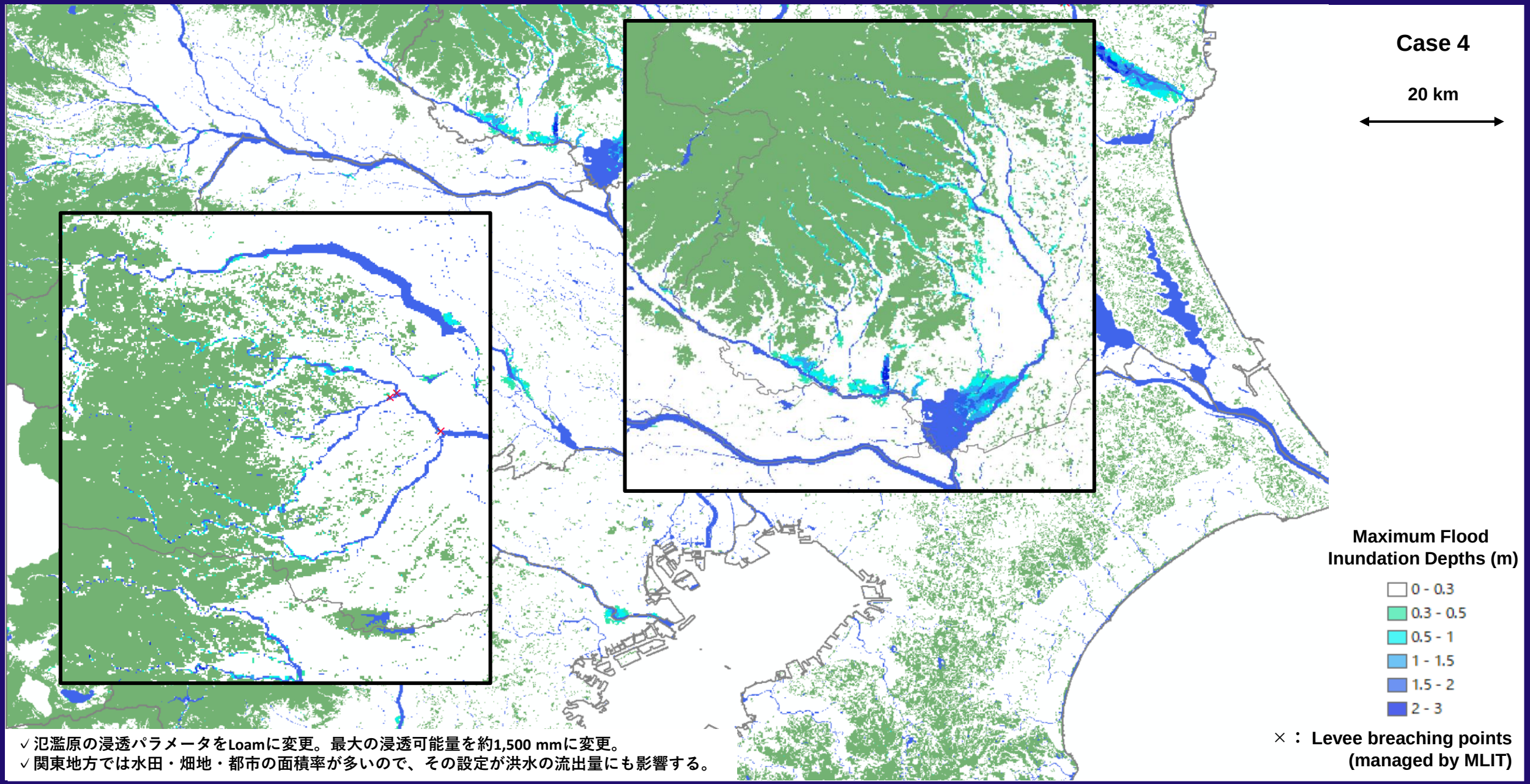
注：国交省推計値は氾濫なし・ダム無しの流量
　　現在・将来は氾濫なし・ダムありの流量

令和元年東日本台風の擬似温暖化実験：環境省プロジェクト



ピーク流出高(mm/h)
- 1mm/h以上9mm/h未満
- 9mm/h以上12mm/h未満
- 12mm/h以上15mm/h未満
- 15mm/h以上18mm/h未満
- 18mm/h以上21mm/h未満
- 21mm/h以上24mm/h未満
- 24mm/h以上27mm/h未満
- 27mm/h以上30mm/h未満
- 30mm/h以上

令和元年東日本台風を対象とした氾濫域再現の試み



✓氾濫原の浸透パラメータをLoamに変更。最大の浸透可能量を約1,500 mmに変更。
✓関東地方では水田・畑地・都市の面積率が多いので、その設定が洪水の流出量にも影響する。

Case 5: 気候変動の影響評価（擬似温暖化実験）

Case 4 (実績雨量)

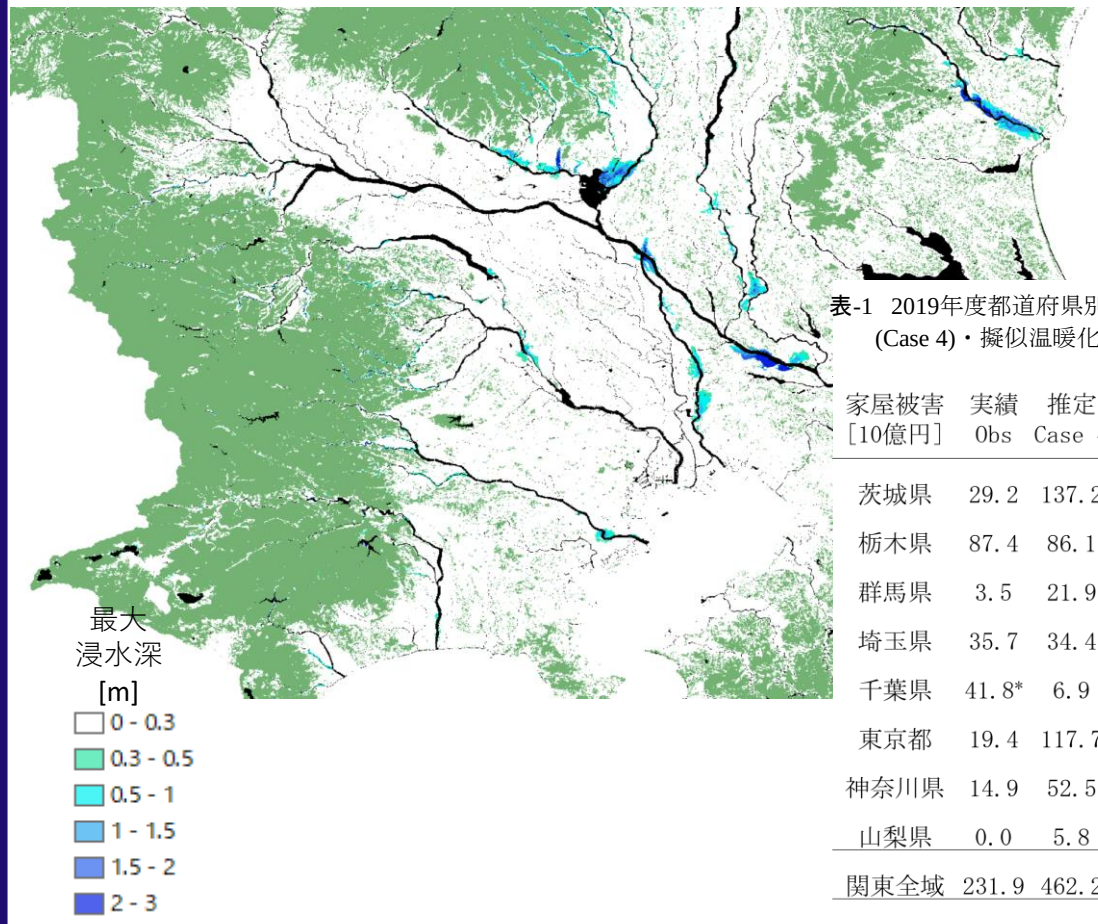
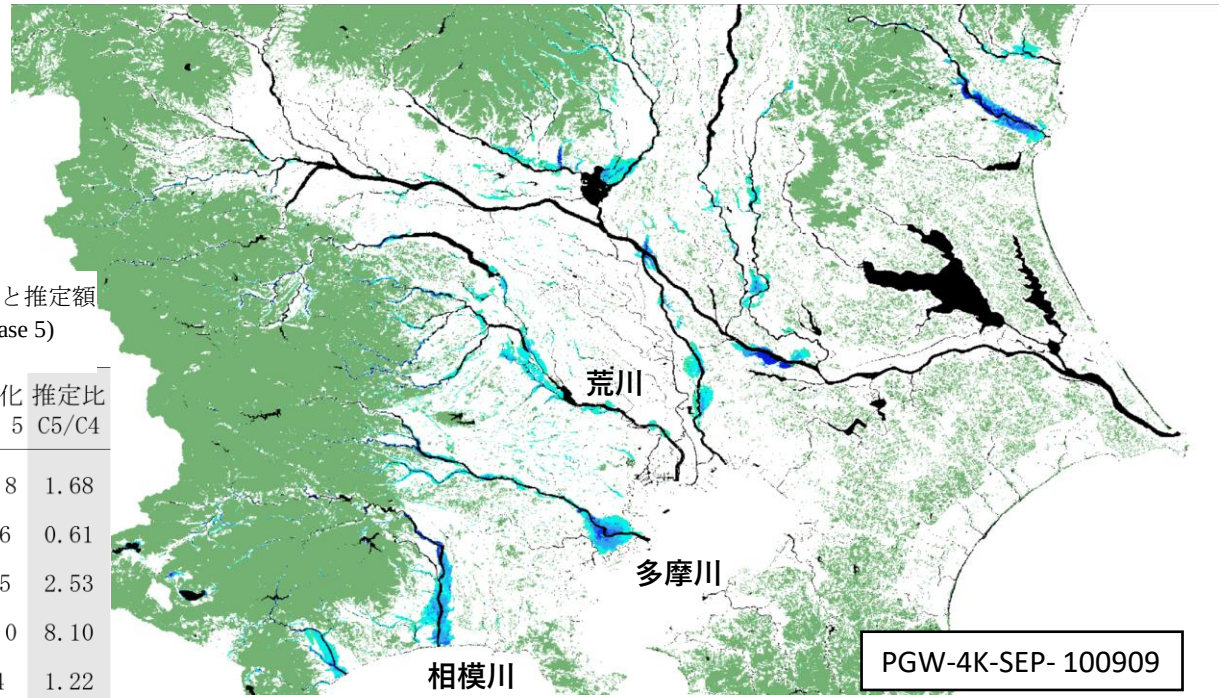


表-1　2019年度都道府県別の家屋被害額と推定額 (Case 4)・擬似温暖化時の推定額 (Case 5)

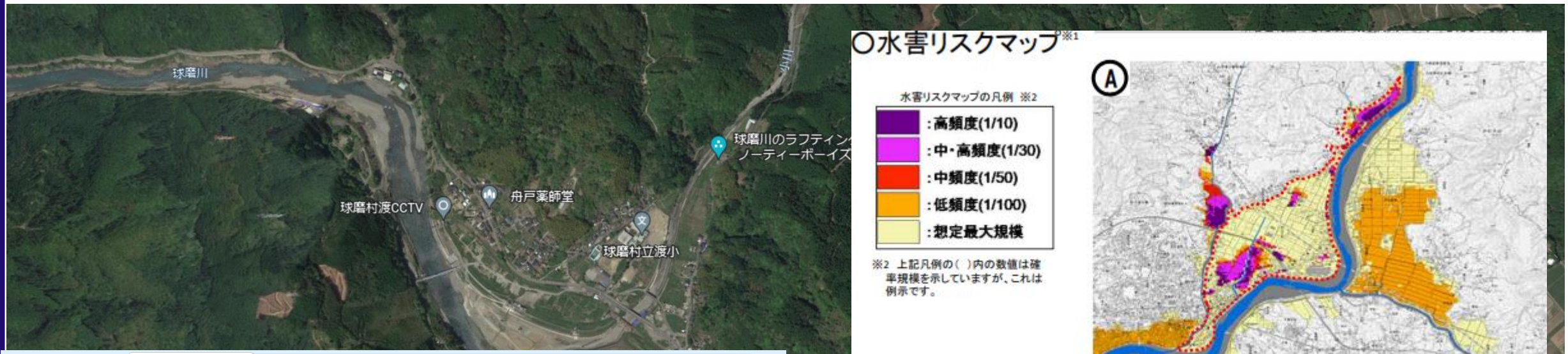
家屋被害［10億円］	実績 Obs	推定 Case 4	実績比 C4/Obs	温暖化 Case 5	推定比 C5/C4
茨城県	29.2	137.2	4.7	229.8	1.68
栃木県	87.4	86.1	0.99	52.6	0.61
群馬県	3.5	21.9	6.18	55.5	2.53
埼玉県	35.7	34.4	0.97	279.0	8.10
千葉県	41.8*	6.9	0.17	8.4	1.22
東京都	19.4	117.7	6.08	1657.9	14.1
神奈川県	14.9	52.5	3.51	1357.3	26.0
山梨県	0.0	5.8	－	67.9	11.6
関東全域	231.9	462.2	1.99	3708.5	8.02

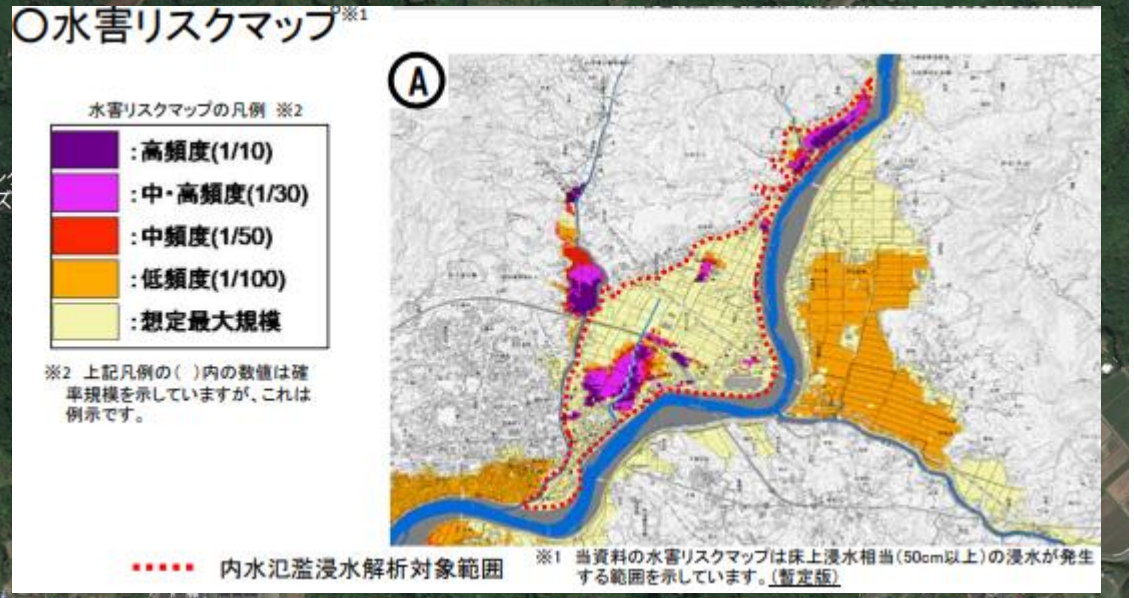
Case 5 (擬似温暖化：4℃上昇)

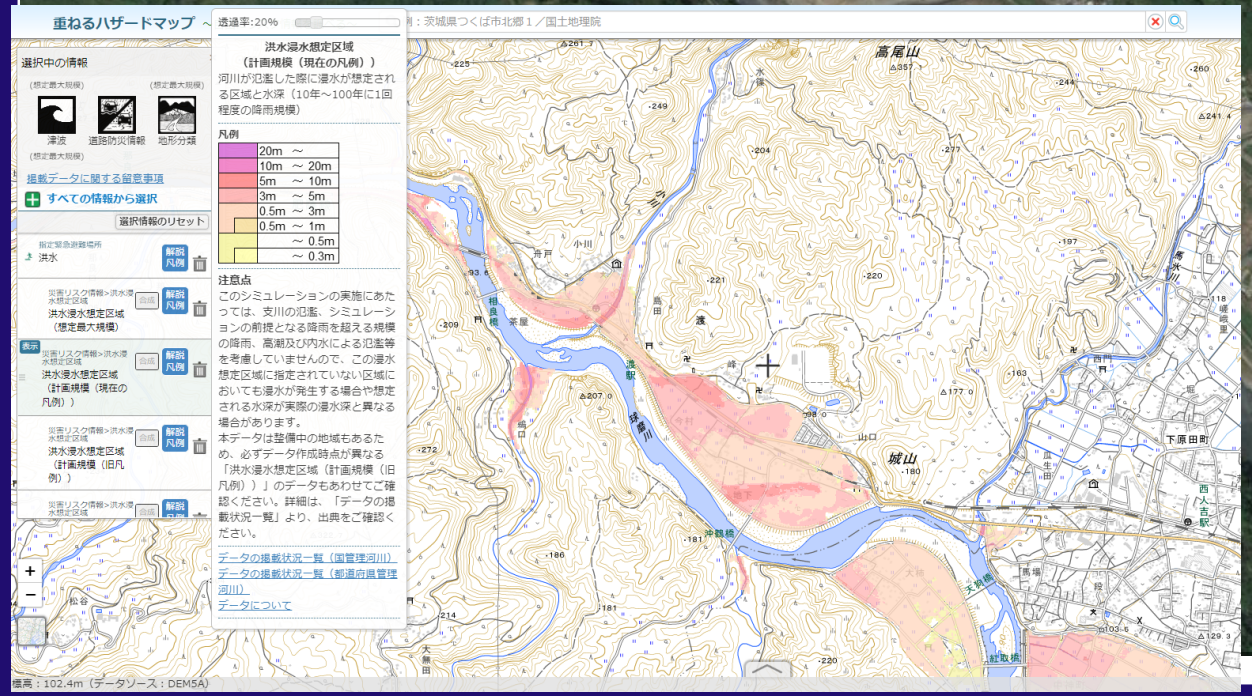


✓ 4 度上昇を仮定した台風19号の擬似温暖化実験の結果は関東地方の主要河川の多くで越流が生ずる結果となる

浸水頻度情報の重要性について







水害リスク情報

水害リスク情報の充実（水害リスクマップ（浸水頻度図）の整備）

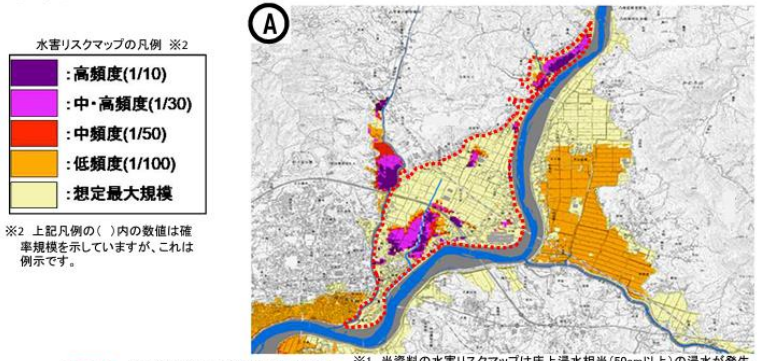
○ 従来、想定最大規模降雨の洪水で想定される浸水深を表示した水害ハザードマップを提供し、洪水時の円滑かつ迅速な避難確保等を促進。

○ 今後は、これに加えて、浸水範囲と浸水頻度の関係をわかりやすく図示した「水害リスクマップ（浸水頻度図）」を新たに整備し、水害リスク情報の充実を図り、防災・減災のための土地利用等を促進。

水害リスク情報の充実

○水害ハザードマップ

○水害リスクマップ※1



※1 当資料の水害リスクマップは床上浸水相当（50cm以上）の浸水が発生する範囲を示しています。（暫定版）

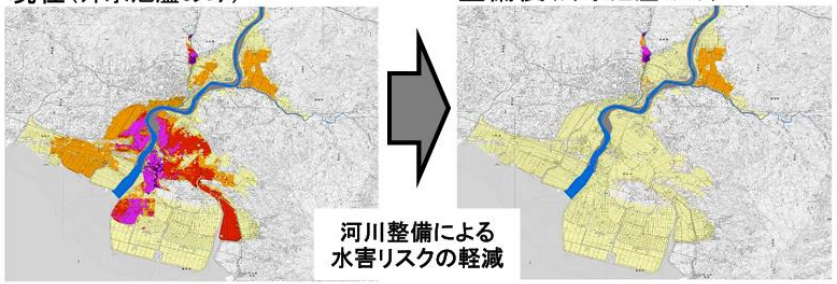
水害リスクマップの活用イメージ

現在の水害リスクと今後実施する河川整備の効果を反映した将来の水害リスクを提示し、以下に取り組む

○住居・企業の立地誘導・立地選択や水害保険への反映等に活用することで、水害リスクを踏まえた土地利用・住まい方の工夫等を促進

○企業BCPへの反映を促進することで、洪水時の事業資産の損害を最小限にとどめることにより、事業の継続・早期復旧を図る

現在（外水氾濫のみ）　　整備後（外水氾濫のみ）



【令和4年度の国土交通省としての取組】

・全国109の一級水系において、外水氾濫を対象とした水害リスクマップの作成を完了させるとともに、先行して、特定都市河川や水災害リスクを踏まえた防災まちづくりに取り組む地区において、内水も考慮した水害リスクマップを作成

（国土交通省）

今後の課題

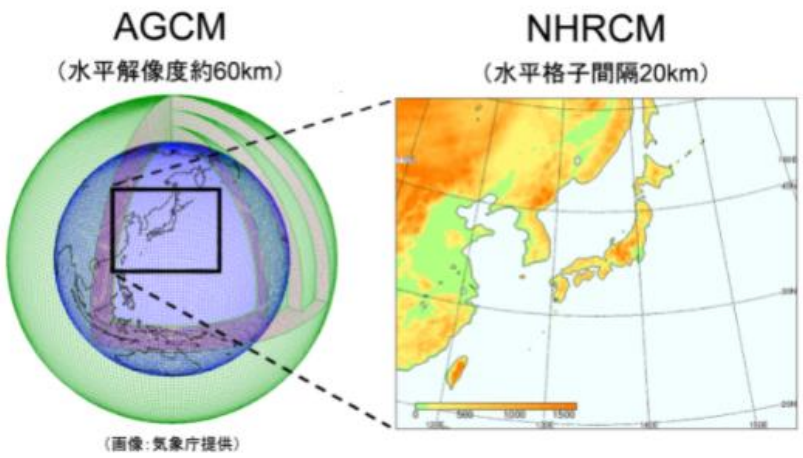
- 気候変動の影響評価
- 日本全国の水害リスク評価
- 一級水系外水以外の河川氾濫
- 幹川・支川の同時氾濫
- 企業BCPなど多様化するニーズへの対応

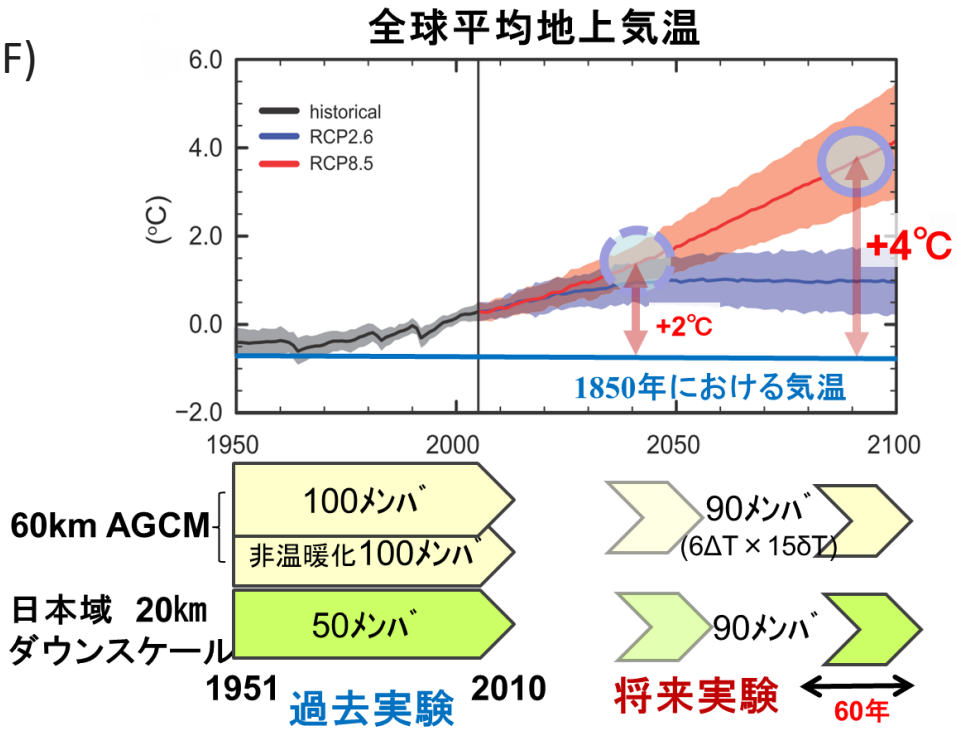
アンサンブル気候予測データベース(d4PDF)

文科省・気候変動リスク情報創生プログラム

地球温暖化対策に資するアンサンブル気候予測データベース

database for Policy Decision making for Future climate change (d4PDF)





全球実験は下記の4種類のアンサンブルに分けられる

- 過去実験　1951年～2011年8月 ×100メンバ　過去3000年分（日本周辺は50メンバ3000年分）
- 非温暖化実験　1951年～2010年×100メンバ
- 2°C上昇実験　2031年～2091年8月×54メンバ　将来3240年分
- 4°C上昇実験　2051年～2111年8月×90メンバ　将来5400年分

日本全国を対象にした地先の水害リスク評価に向けて

対象地点の決定

最も大きな影響を及ぼす近隣河川の決壊・越水・溢水地点(BP)を特定

当該BPにおいて、**超過確率に応じた代表的なハイドログラフ**を複数選定

地区スケールの氾濫解析

地先の浸水ハザードカーブ

降雨ベースの方法（既往手法の延長）

当該BP上流域の洪水到達時間を推定

洪水到達時間に対する年最大の流域平均雨量（気候変動の影響評価）

極値統計解析で超過確率に応じた流域平均雨量推定

過去の降雨分布を引き伸ばし

流出モデルでハイドログラフを推定

長所：現行の治水計画に準じた方法
課題：全国全てのBPで独立して推定が必要

流量ベースの方法（提案手法）

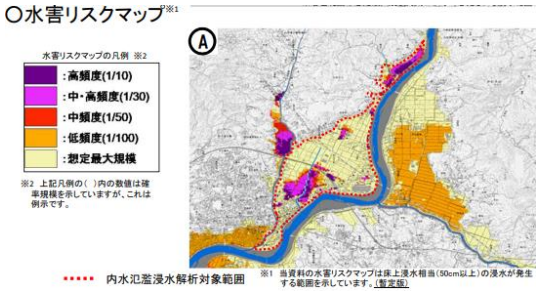
長期アンサンブルデータから成因別（台風・梅雨など）に被害をもたらす可能性のある豪雨イベントを全抽出（気候変動の影響評価）

選定された豪雨イベントで全ての河川を反映した**降雨流出氾濫解析**

河道の流下能力を反映し、氾濫を考慮する

対象とする超過確率に近いハイドログラフBP地点で選定

長所：上流における氾濫の状況も考慮
課題：長期アンサンブルに多様な豪雨パターンが含まれることが前提

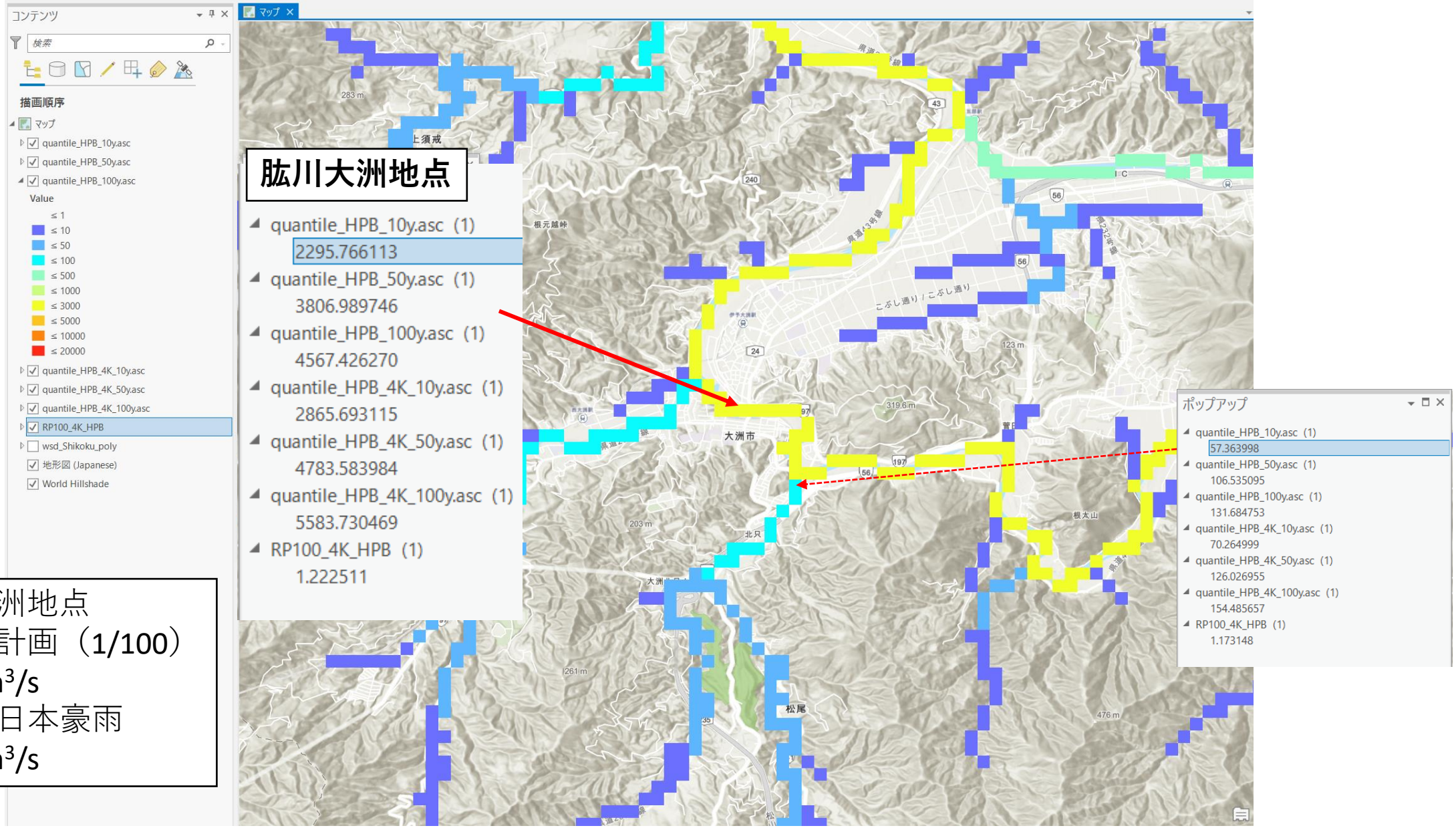


四国全域河川流量（確率年＋温暖化影響）

現在気候：100年確率流量マップ

100年確率流量増加比率： 4 度上昇／現在気候

四国全域河川流量（確率年＋温暖化影響）



参考：大洲地点
河川整備計画（1/100）
：4,700 m^3/s
2018年西日本豪雨
：4,442 m^3/s

まとめ：洪水災害予測の現状と研究課題

リアルタイム洪水予測

- 現状：3～6時間の洪水予測（指定河川洪水予報）
- 研究：全国全ての中小河川で６時間先までの予測を目指す
- アンサンブル情報を活用した長時間の洪水予測情報
- 流量 → 水位 → 浸水精度向上

洪水リスク評価

- 現状：ハザードマップ（洪水予報河川・水位周知河川）
- 研究：気候変動の影響評価
- 日本全国の水害リスク評価
- 幹川・支川の同時氾濫考慮
- 企業BCPなど多様化するニーズへの対応