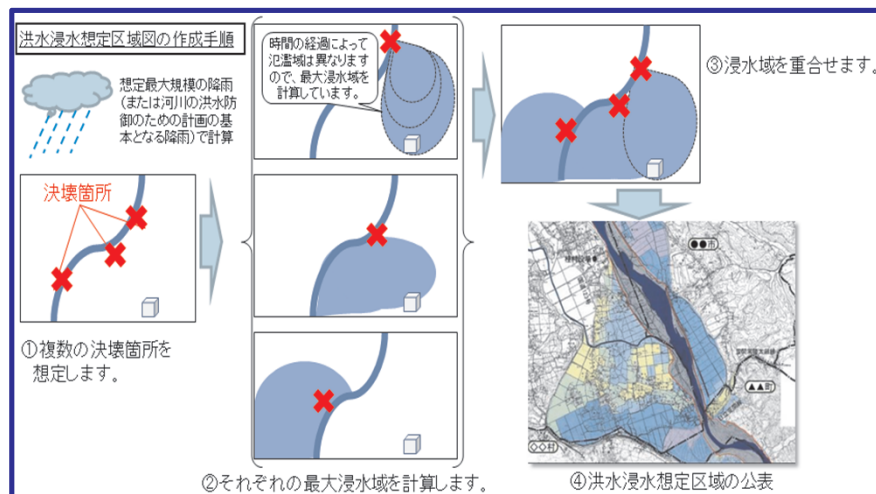


TCFD物理的リスク評価に向けた 洪水モデルの応用可能性について

京都大学防災研究所 社会防災研究部門

佐山敬洋

TCFD物理的リスク評価に向けた『浸水想定区域図』の応用



国土交通省：浸水想定区域図の作成手順

浸水想定区域図：ハザードマップの基礎となる情報。約100～200 m間隔で決壊箇所を想定し、浸水解析。2015年の水防法改定以降は、計画規模の洪水のほか、想定最大外力に基づく浸水想定区域図も作成。5 mの地形情報を用いて25 mの空間分解能で作成。浸水ナビで各破堤点の浸水解析結果も確認可能。

「浸水想定区域図」を使う場合の課題：

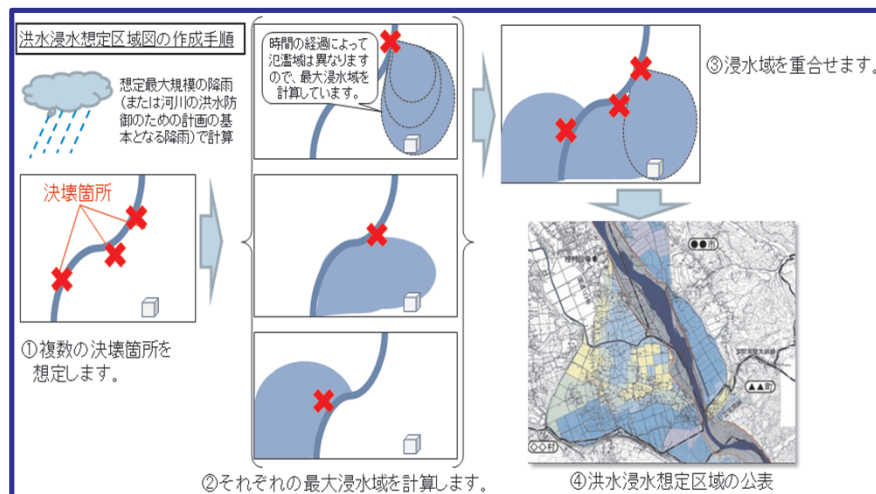
- 1) 発生確率の異なる洪水をいかに想定するか？
- 2) 気候変動の影響をいかに想定するか？
- 3) 中小河川の洪水をいかに想定するか？

取り得るオプションは3つ

- A) 「浸水想定区域図」の浸水深を調節する
- B) 「リスクマップ」など他の情報を用いる
- C) 「洪水モデル」を使って独自に推定する

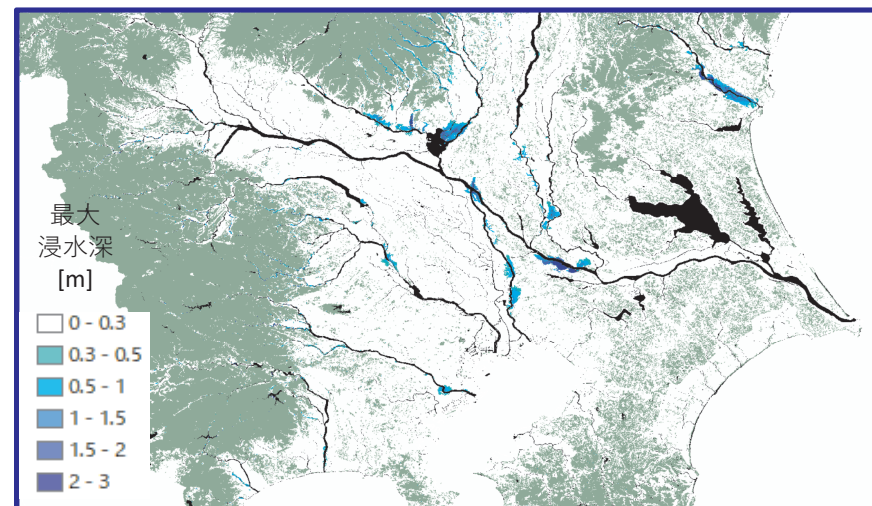
いずれのオプションでもTCFDでは各企業に及ぼす**被害の想定**と対策の検討が大切

現行の浸水想定区域図とRRIモデル出力との違い



国土交通省：浸水想定区域図の作成手順

浸水想定区域図：ハザードマップの基礎となる情報。約100～200 m間隔で決壊箇所を想定し、浸水解析。2015年の水防法改定以降は、計画規模の洪水のほか、想定最大外力に基づく浸水想定区域図も作成。5 mの地形情報を用いて25 mの空間分解能で作成。浸水ナビで各破堤点の浸水解析結果も確認可能。



全国版RRIモデル出力：降雨の時空間分布を入力して、中小河川の流出や氾濫の影響も含めて、空間解像度150 mで河川水位や浸水深分布を推定。

現行モデルでは堤防決壊は考慮していない。大規模洪水を想定した場合には、上流域での氾濫の効果が下流の流出・氾濫の推定にも反映される。

降雨流出氾濫(RRI)モデルとは何か

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

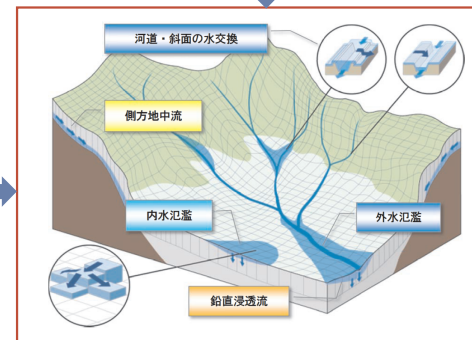
入力情報

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

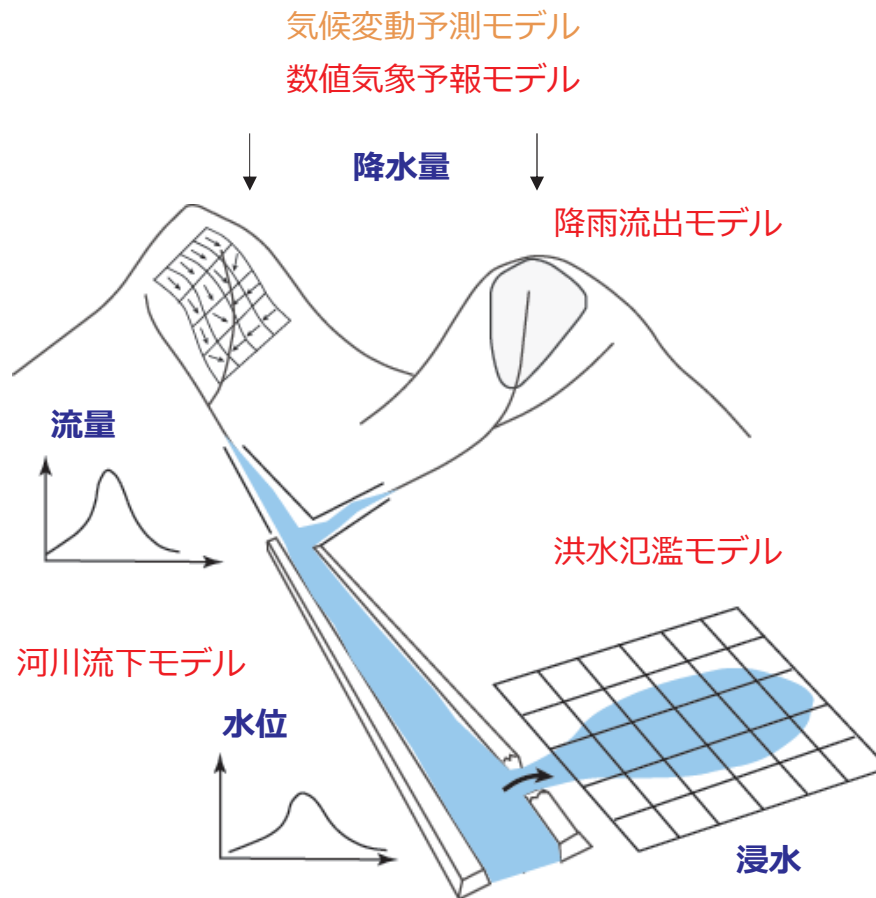
浸 水 深

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

RRIモデルはオープンソース+GUIを備えており、民間企業による利用・改変が可能
流域（地域・全国）スケールで、降雨を入力情報として、中小河川を含めた水位+浸水を推定できる

洪水予測に関する4要素とモデル



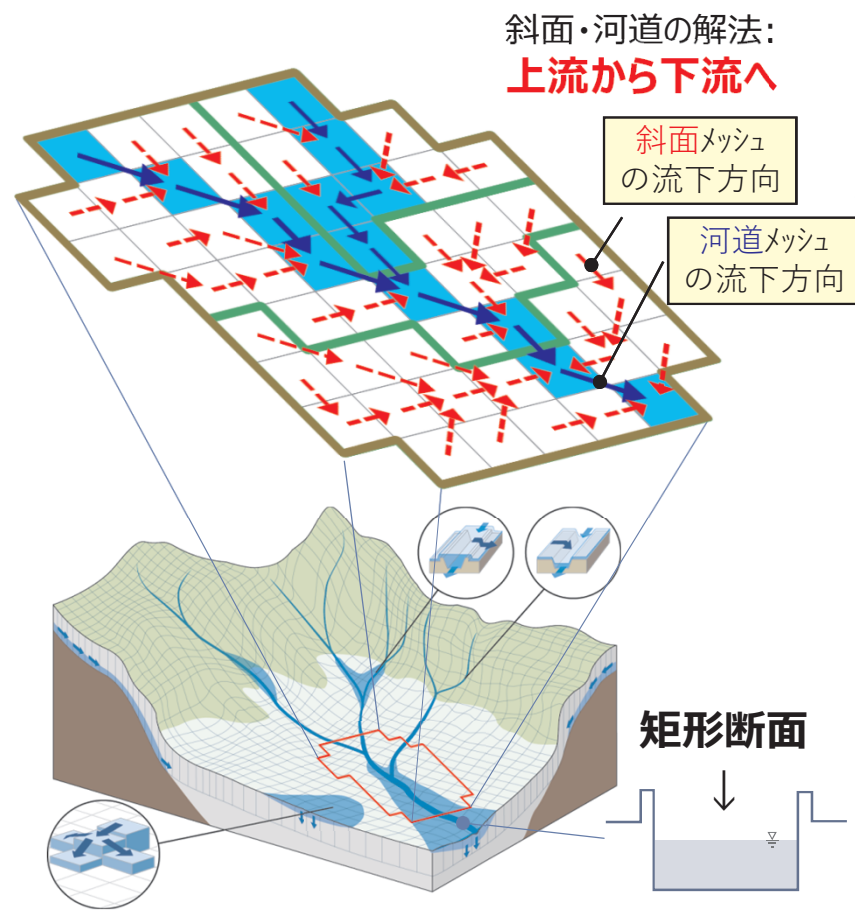
- 気候変動予測モデル：将来の降水や気温の気候予測
- 数値気象予測モデル(Numerical Weather Prediction Model): 降水量の定量的予測
- 降雨流出モデル(Rainfall-Runoff Model): 降雨から河川流量の予測
- 河川流下モデル(River Routing Model): 上流の河川流量を境界条件にした洪水の伝播・河川水位の予測
- 洪水氾濫モデル(Flood Inundation Model): 決壊地点からの越流量を境界条件とした浸水域・浸水深の予測

RRIモデルは（降雨流出モデル＋河川流下モデル＋洪水氾濫モデル）を一体化したモデル

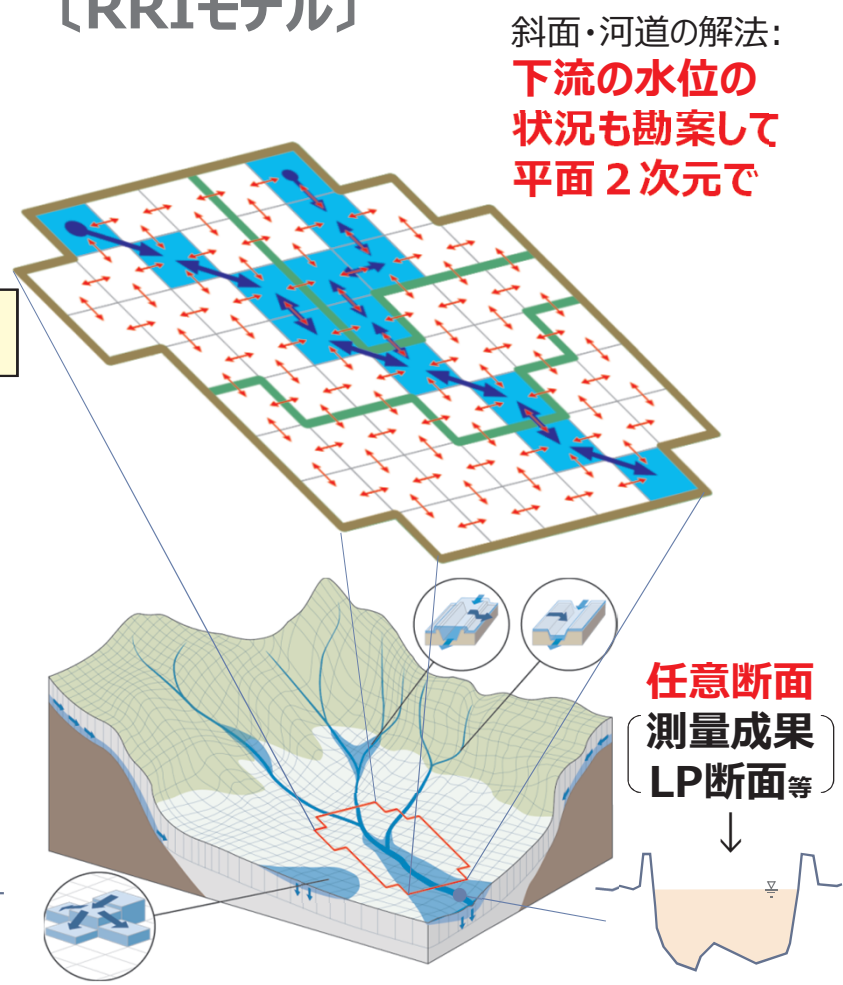
- * 降雨流出モデルに端を発しており、全国の洪水予測では分布型降雨流出モデルとしての応用が進む。
- * 河川流下・洪水氾濫に特化したより詳細なモデルは他にも存在している。

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〕



〔RRIモデル〕



Sayama et al. (2012) Hydrological Sciences Journal

2019年東日本台風を対象とした関東地方全域の流出氾濫解析

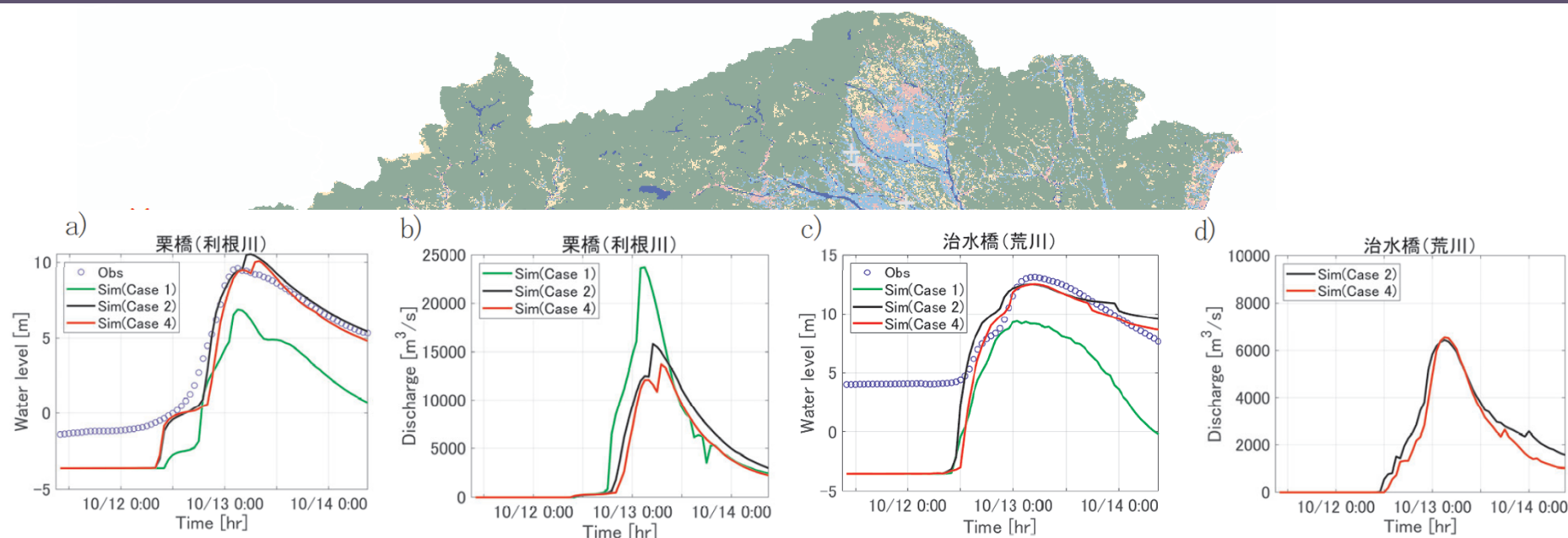
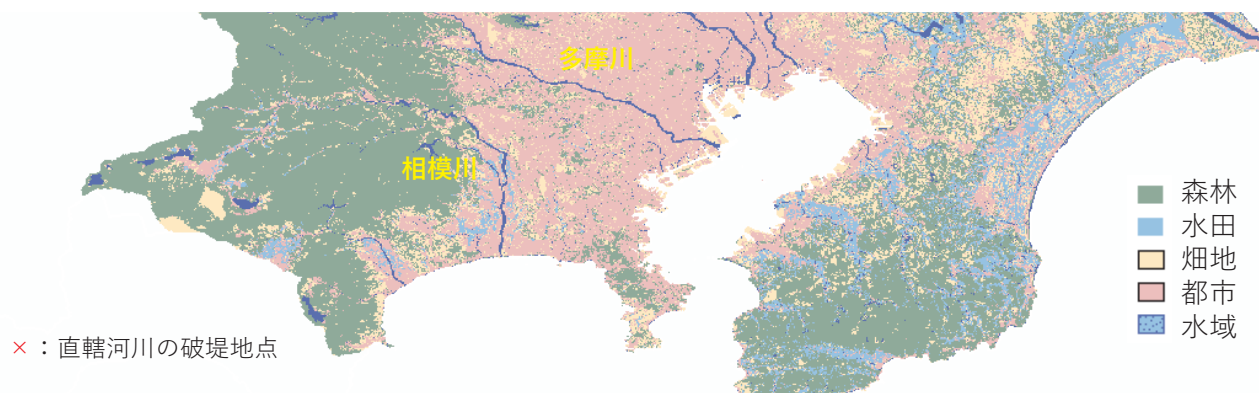


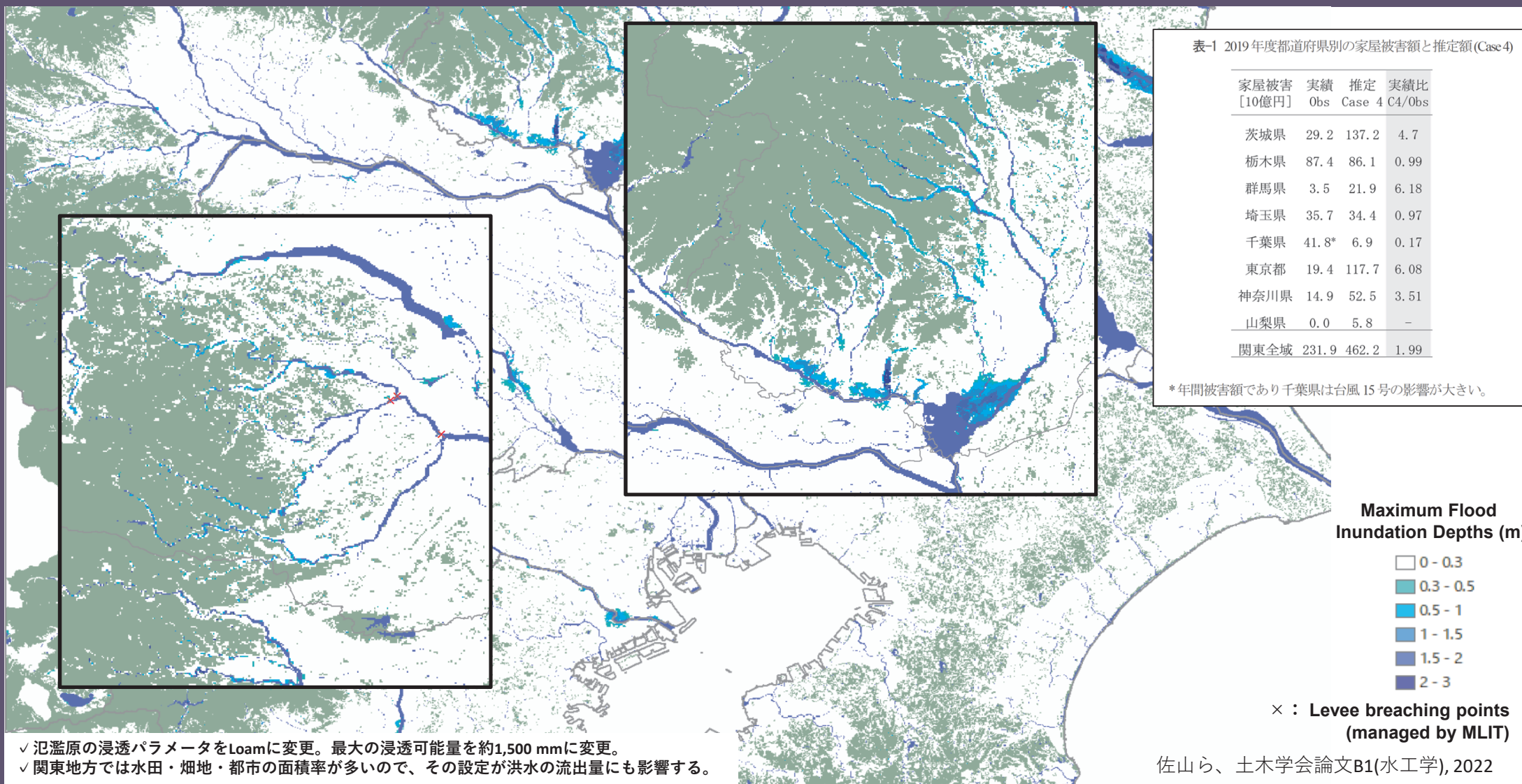
図-6 利根川栗橋地点の a) 水位と b) 流量および荒川治水橋地点の c) 水位と d) 流量の Case 間比較



Case 4は、
・河道断面・堤防
・ダム、水門
などを考慮したケース

佐山ら、土木学会論文B1(水工学), 2022

2019年東日本台風を対象とした関東地方全域の流出氾濫解析



汎用モデル・適用モデル・モデル出力の整理

A) 汎用モデル：モデル構造＋計算アルゴリズム＋プログラム

例：CaMa-Flood、RRI、多数

B) 適用モデル：汎用モデル＋地理・河川データ＋モデル調整・検証

例：全球版CaMa-Flood、全国版RRIモデル(JRRI)

C) モデル出力：適用モデル＋気象データ（＋モデル実行）

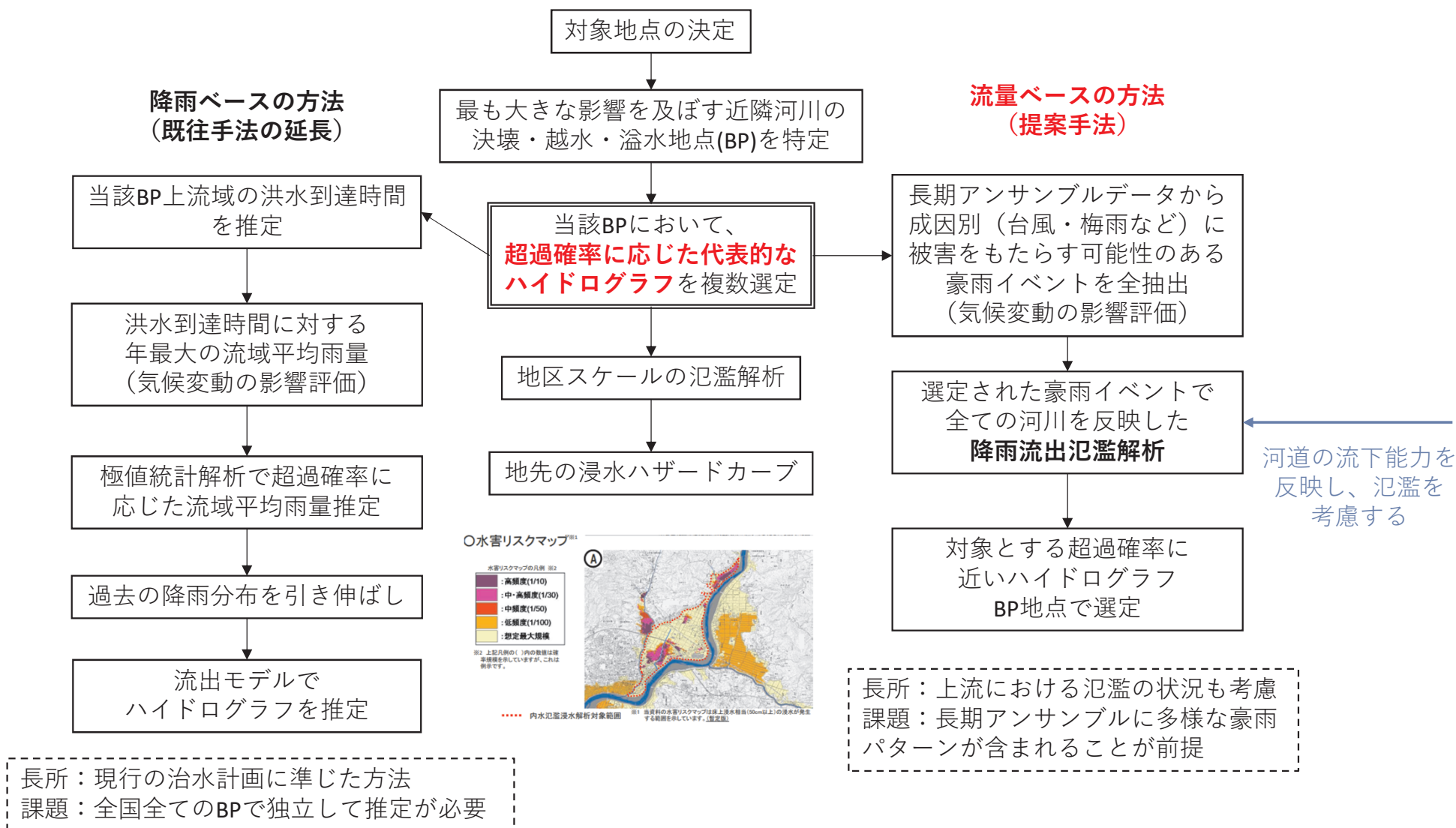
例：水害リスクマップ、CaMaハザードマップ、Aqueduct

世界の潮流：気象や地理データの高度化に伴い、洪水モデルも A) → B) → C) に向かう傾向

全国版RRIモデル(JRRI)とは何か

- 全国を14地域に分割し、約150 m分解能で全国に適用したRRIモデル (= JRRI)
- JRRI自体はWEB公開をしていないが、共同研究ベースで民間企業等でも応用事例あり
- 開発の経緯
 - 東大生研・山崎准教授らと日本域表面流向マップ（J-FlwDir, 2018）を開発
 - 全国主要ダムのモデル化
 - 土壌や地質マップに対応したパラメータの地域統合化（流出予測の精度向上）
 - 全国711地点（2734出水）で総合的な精度検証（流出予測の精度検証）
 - 河道断面反映（直轄区間の73%にあたる7,735 kmに26,032断面を反映）（水位予測の精度向上）
 - 河道周辺の地形補正技術導入による氾濫解析精度の向上（氾濫予測の精度向上）
 - 田んぼダムなど流域貯留効果の反映（流域治水対策の評価・検証：現在検討中）

日本全国を対象にした地先の水害リスク評価に向けて



四国全域河川流量（確率年＋温暖化影響）（参考：解析途中）

現在気候：100年確率流量マップ

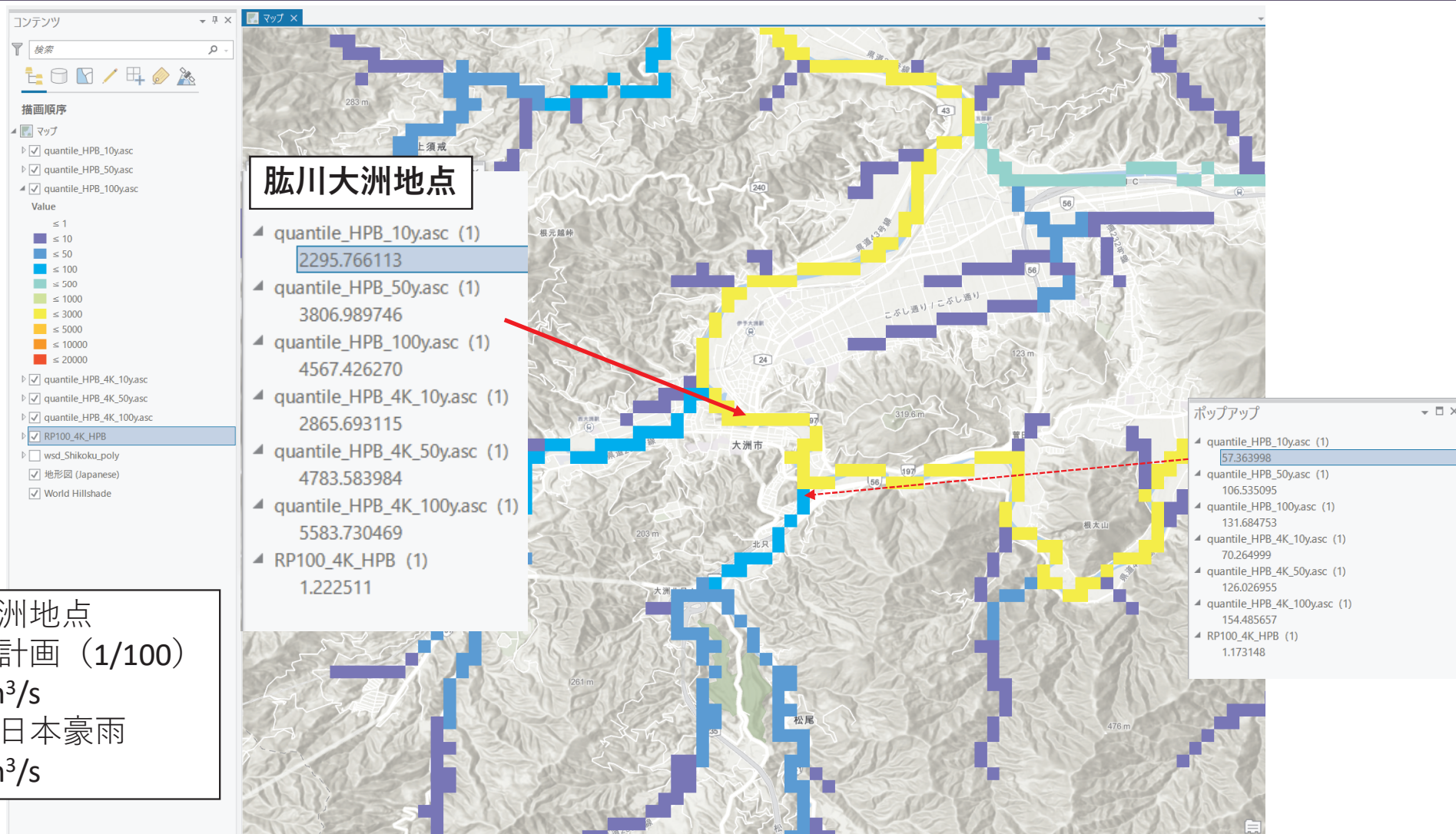


100年確率流量増加比率：4度上昇／現在気候



東京ディールと京大防災研の共同研究の解析結果（安嶋・佐山、土論(水工)、2022）を活用
(SI-CAT d4-PDF 5kmダウンスケーリングをJRR1に入力して、非毎年確率法で推定流量を頻度解析)

四国全域河川流量（確率年＋温暖化影響）（参考：解析途中）



まとめ：TCFDの物理的リスク評価におけるRRIモデルの応用可能性

【現状】

- 既存のハザードマップ・水害リスクマップ等で不足するケース
→ 多段階の洪水リスク、気候変動の影響、中小河川の洪水など
- オプション：RRIモデル：公開、JRRI：共同研究ベースで利用可能
- 水理・水文解析に関するノウハウは必要 ⇒ 建設・保険リスクコンサル・気象会社との連携

【現状の課題】（≡ コストの問題）⇒ 【2，3年後の展開について】

- d4PDFなど大量データを用いた解析
⇒ 最新版のd4PDF-5km (気象研を中心に開発中) とJRRIを活用した、
確率規模別の全国河川洪水流量（及びその代表的ハイドログラフ）プロダクトの開発
- 生産拠点の浸水リスクなど個別企業のニーズに応じた精度の確保（i.e. JRRIでは150 mの分解能）
⇒ より精緻な浸水評価のためには、上記プロダクトを境界条件とした氾濫モデルによるダウンスケーリング

【今後の検討課題】

- 事業者の施設（本社、支社、事業設備、取引先等）が浸水した場合、どのように被害が波及するか？
- 治水経済調査マニュアルに類する方法が適するかどうか？ ⇒ 今後の検討が必要

參考資料

河道断面情報の反映と地形補正による精度向上

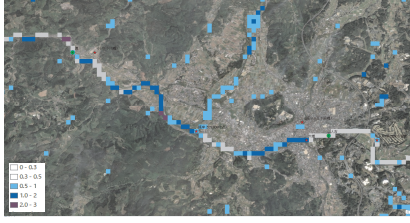
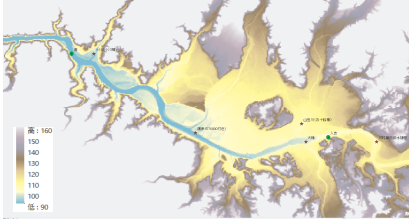
水位の予測精度向上をさせるための地形データ補正方法を検討し、多数の実河道断面情報を反映

- 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

標高 (m)

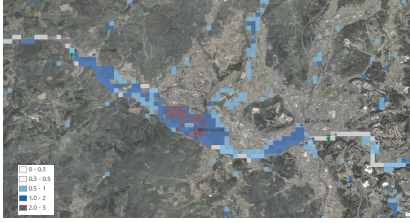
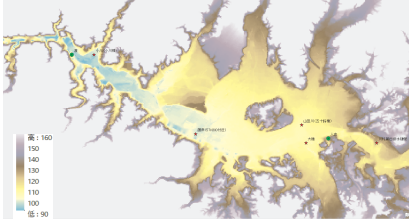
最大浸水深 (m)



断面情報反映後・地形補正後

標高 (m)

最大浸水深 (m)



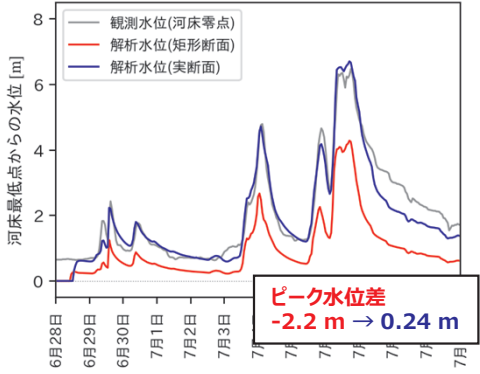
地形補正：三井共同建設コンサルタントとの共同研究より

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。

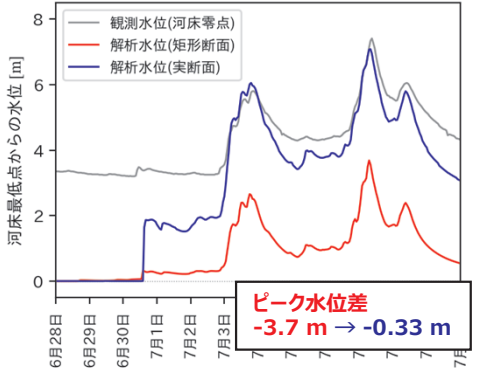
右図：2018年西日本豪雨で増水した51地点における水位と流量の推定精度を検証。実断面を導入することで、ピーク水位差の平均・標準偏差が $-2.04 \pm 1.70m$ から $0.14 \pm 0.88m$ に改善。右図は嘉瀬川（池森地点）、球磨川（人吉）値地点における西日本豪雨の水位解析事例

- 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

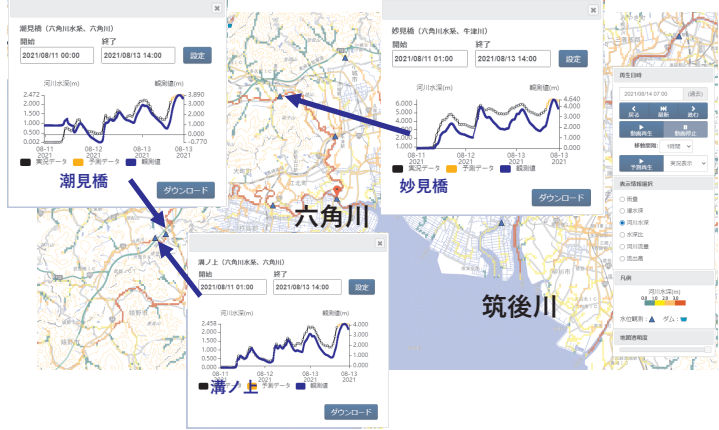
嘉瀬川水系 嘉瀬川
池森（いけもり）(309051289903020) 流域面積:230.2km2



球磨川水系 球磨川
人吉（ひとよし）(309111289909040) 流域面積:1138.2km2



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



2019年台風19号時の解析雨量を入力した広域洪水予測システムによる浸水深分布の推定結果

