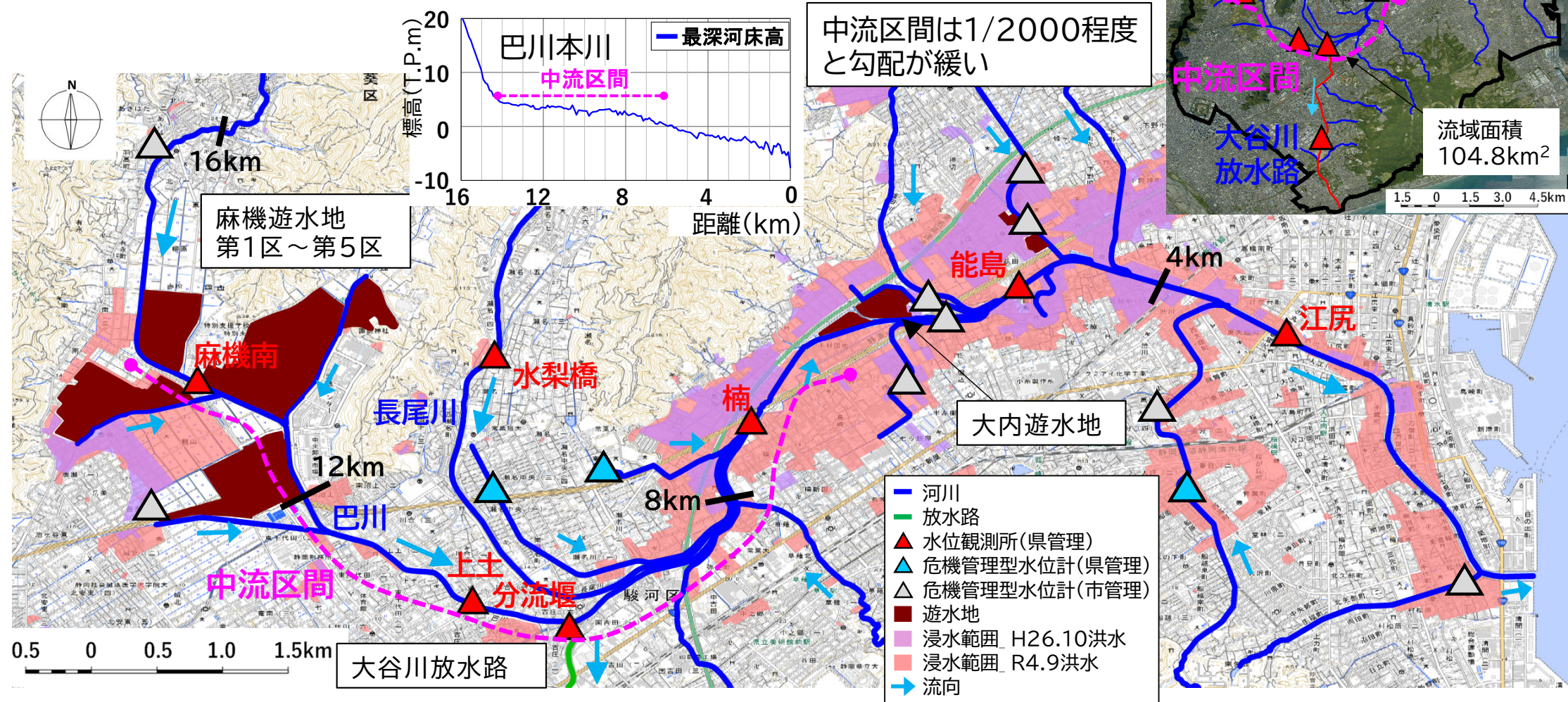


複雑な洪水・氾濫現象を表現でき自治体の
防災力強化や住民の早期避難などに資する
リアルタイム水位・氾濫域予測システムの開発

(株)建設技術研究所 武田英祐・辻倉裕喜・矢神卓也・蟹江盛仁・
金子拓史・酒井紀誓・樽林利晃・佐藤康晴・劉銘環・古田島樹
静岡市 建設局 土木部 河川課 海野彰・田中昇・八木亮輔

巴川の流域・河道特性や浸水被害の特徴

- 静岡市内を流れる特定都市河川である二級水系巴川では、河川整備が進んだ近年でも浸水被害が頻発
- 巴川中下流区間は、低平地で勾配が緩く、内水氾濫が発生しやすい地域
- 令和4年台風15号では、本川水位の上昇やこれに伴うバックウォーター現象、下水道の排水不良など、様々な浸水要因が複合的に発生



巴川水位・氾濫域予測システムの開発目的

- 令和4年台風15号後の住民意見では、情報不足により、避難行動に遅れや支障が生じたという声が多数
- 気象業務法・水防法の一部を改正する法律が施行され、河川水位や氾濫域の予測情報を特定の住民に周知できるようになる等、洪水予測情報公開に関する制約条件が緩和
- 洪水発生時に時々刻々(リアルタイム)の浸水状況を正確に把握し、避難や災害対応に必要な時間を考慮した予測情報を効果的に活用できるようにするために、巴川水位・氾濫域予測システムを開発・運用

令和4年台風15号後の住民意見

住民意見

- ・自宅周辺の浸水状況が分からず、避難に支障が出る
- ・停電によりテレビから情報を得ることが難しかった
- ・防災無線が雨の音で聞こえなかった
- ・水害が頻発するような土地であることを知らなかった
- ・前もって危険な場所、安全な場所の情報が欲しい
- ・浸水しないように車を避難させる場所の情報が欲しい

情報提供における行政側の課題

行政側の課題

- ・国、静岡県、静岡市において様々な情報提供サイトがあり、情報が集約されておらず、市民に分かりやすい情報発信となっていない
- ・浸水発生状況、予測情報等について、リアルタイムで住民に提供できる情報がない

治水計画における課題

治水計画における課題

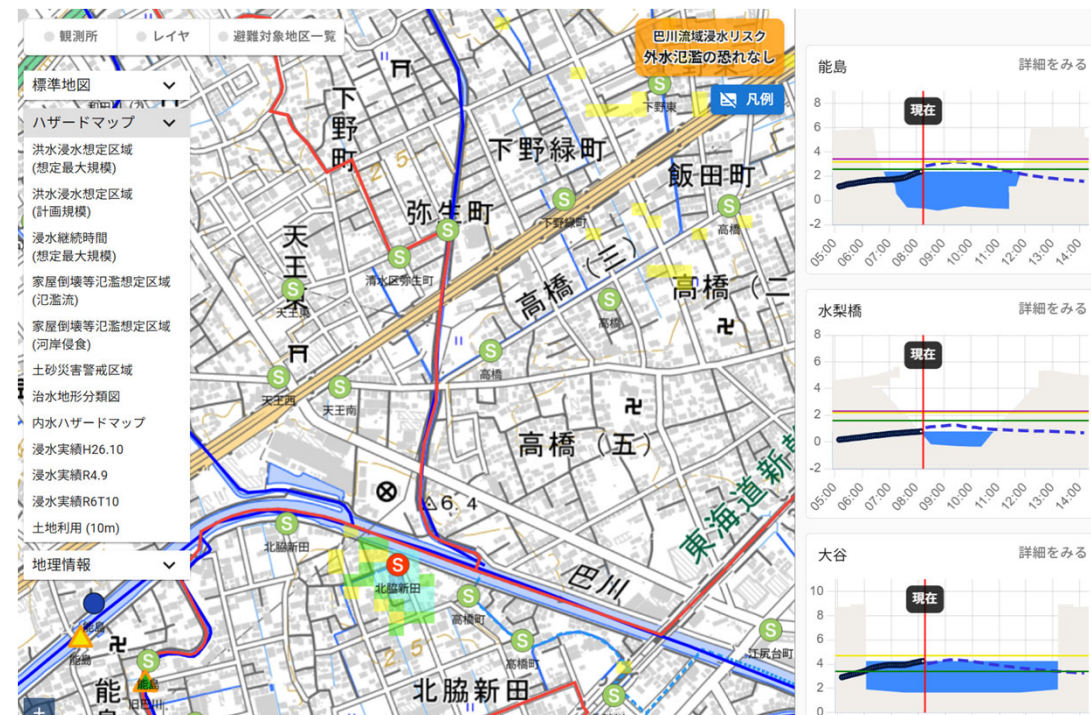
- ・河川整備計画等の法定計画や流域治水プロジェクト等の任意計画を達成しても、平成26年や令和4年の実績の洪水に対して被害は解消できない



ハード対策以外の被害を軽減させる取り組みが必要
その一つとして、水位・氾濫域等の予測情報の提供が有用

巴川水位・氾濫域予測システムを開発・運用

R6.5～試験運用開始、R7.5～現時刻の浸水情報を市民に公開



河川水位・氾濫域等の洪水発生時に
有用な予測情報を迅速に提供

予測モデルの要件および構成

- 巴川流域における河道特性や浸水要因となる事象を考慮した解析に必要な要件を設定
- リアルタイム運用による計算時間の制約があるため、流出計算以外に、氾濫計算においても比較的短時間で解析可能なRRIモデルを採用している事例が多数
- 本検討のように小支川や下水道まで詳細にモデル化することにより精度を確保し、様々な工夫によりリアルタイム運用を実現している事例は全国的に先進的な取り組み

河川水位・氾濫域予測モデルの要件

- 1 溢水を伴いながら下流河川に到達する流量の算定
- 2 河道形状に応じた溢水越水判定や水位・氾濫域の算定
- 3 潮位変動による河川水位・流量変化の考慮
- 4 本川の背水による支川からの内水氾濫の考慮
- 5 排水不良による下水道からの内水氾濫の考慮
- 6 遊水地や放水路等の洪水調節施設の考慮
- 7 家屋浸水や道路冠水等の被害情報の正確な把握
- 8 リアルタイム運用を見据えた高速計算

流出計算部

RRIモデル

+

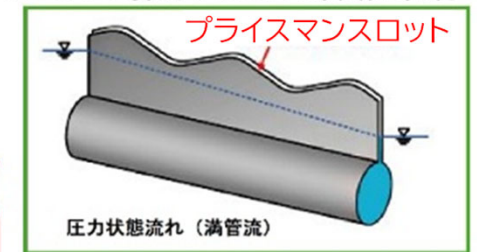
内外水氾濫計算部 外水氾濫モデル

河道モデル(1次元不定流)

+

氾濫原モデル(平面2次元不定流)

下水道モデル: 管路の頂部に仮想的なスロットを採用することで管路を表現



内水氾濫モデル

+ 下水道モデル(1次元不定流)



各モデルを連成

降雨流出から河道流下や貯留・分派および外水氾濫や内水氾濫を一体で解析

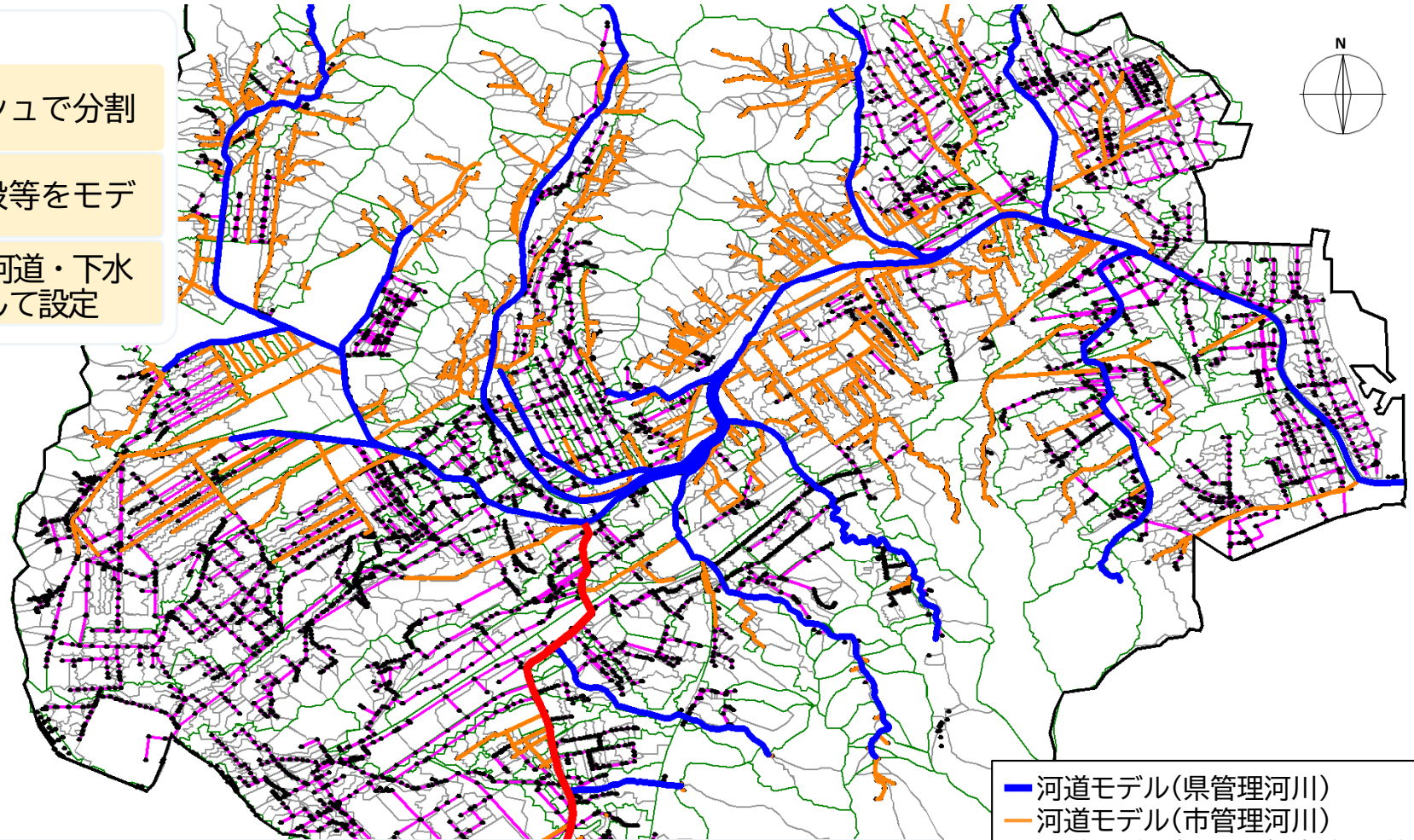
※内水氾濫: バックウォーターによる支川氾濫や排水不良による下水道マンホールからの氾濫

予測モデルの構築

- RRIモデルの各メッシュの流出量を小流域・下水道排水区単位で集約し、河道・下水道モデルの境界条件として設定

■ RRIモデル

- 巴川流域を100mメッシュで分割
- 流域内の雨水貯留施設等をモデ
- 洪水調節後の流出量を河道・下水道モデルの境界条件として設定



RRIモデルの100mメッシュの流出量を小流域・下水道排水区単位で集約
⇒河道モデルの上流端流量・横流入量や、下水道モデルのマンホールへの
流入量として、面積按分し設定

- 河道モデル(県管理河川)
- 河道モデル(市管理河川)
- 河道モデル(大谷川放水路・県管理)
- 下水道モデル
- 下水道の排水区
- RRIモデルの流出量を集約する範囲
- マンホール位置

予測モデルの構築

- 河道・下水道モデルと氾濫原モデルを接続することで、河川・マンホールから堤内地への氾濫や氾濫流のこれらへの戻りを表現可能

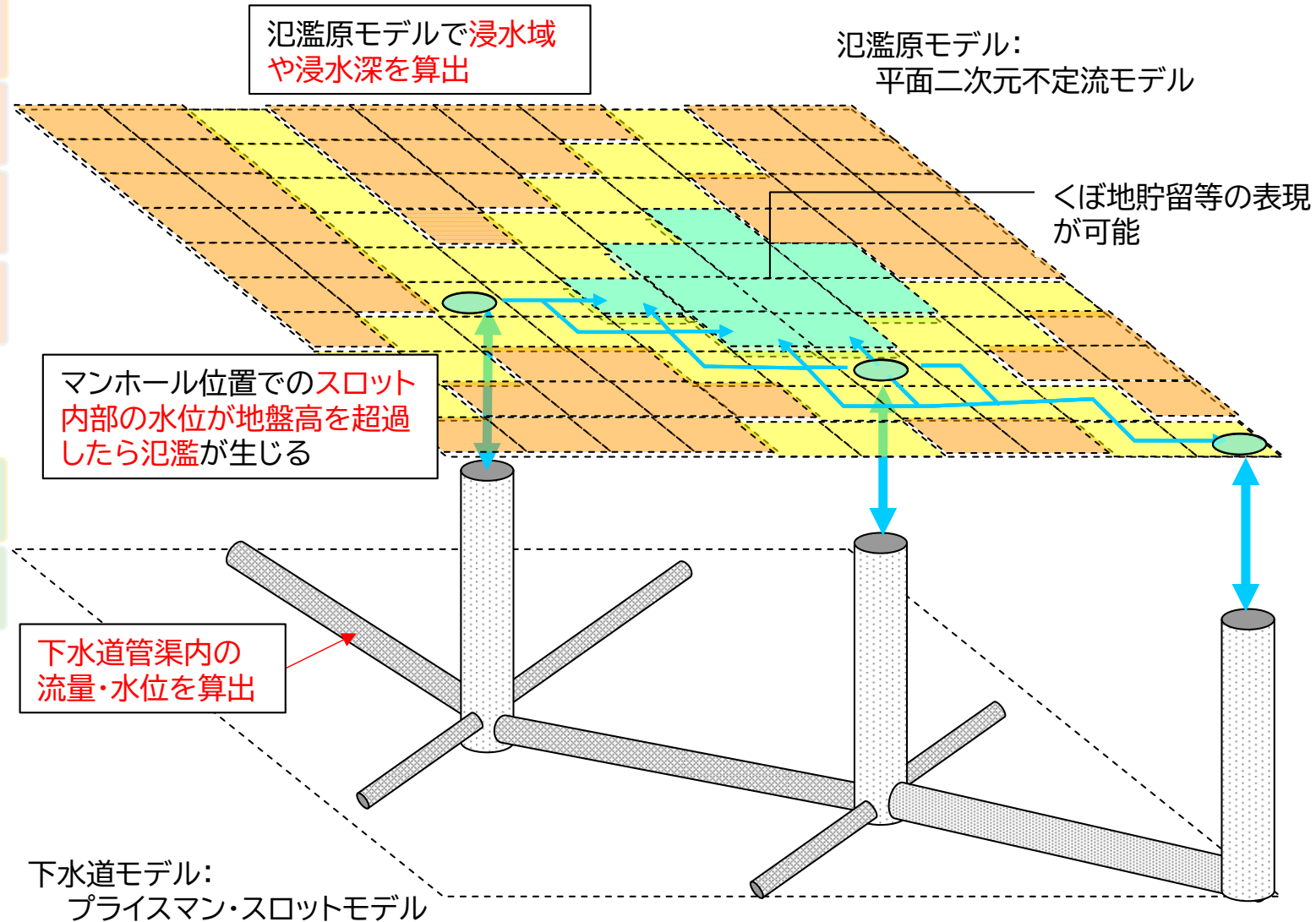
■ 河道・下水道モデル

- 県・市管理河川を対象に概ね25～100m間隔の測量断面を適用
- 遊水地の越流堤や大谷川放水路へ分派する仕組みをモデル化
- 支川合流点の樋門・樋管や排水ポンプをモデル化
- 下水道はプライスマン・スロットモデルを採用

■ 氾濫原モデル

- 対象氾濫原を25mメッシュで分割
- 鉄道等の盛土構造物やアンダーパスをモデル化

■ 氾濫原モデルと下水道モデルの接続のイメージ図



予測モデルの検証

- モデル化対象区間を変更し、過去洪水に対する再現精度と計算時間を確認することで、予測精度を確保しつつ、リアルタイム運用が可能なモデル構成を設定

リアルタイム運用の条件

6 時間先

予測先行時間

10 分以内

予測計算の所要時間目標

モデル構成毎の計算時間

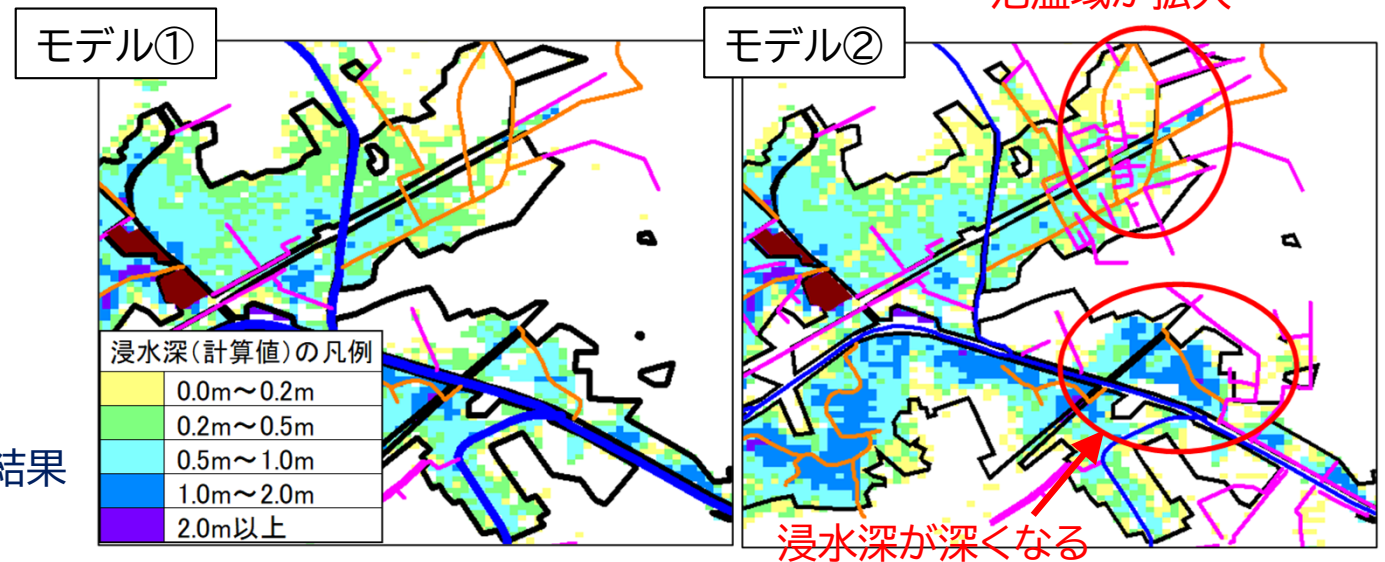
モデル名	河道モデル	下水道モデル	計算時間
モデル①	全河川（県管理河川，市：法・準用・普通河川）	φ600mm以上の全下水道	6hr:30分以上
モデル①	市：準用・普通河川は，川幅1.5m以上の区間に限定	浸水実績箇所位置するφ1000mm以上の全下水道（接続する枝管も含む）	6hr:7分
モデル②	モデル①の再現性が低い箇所に対し、川幅1.5m未満の河川を追加	モデル①の再現性が低い箇所に対し、φ600mm以上の下水道を追加	6hr:8分

※大規模な浸水被害が生じたR4.9洪水を対象に計算時間を計測

下水道モデルの拡張により、
氾濫域の再現精度が向上

モデル②を採用

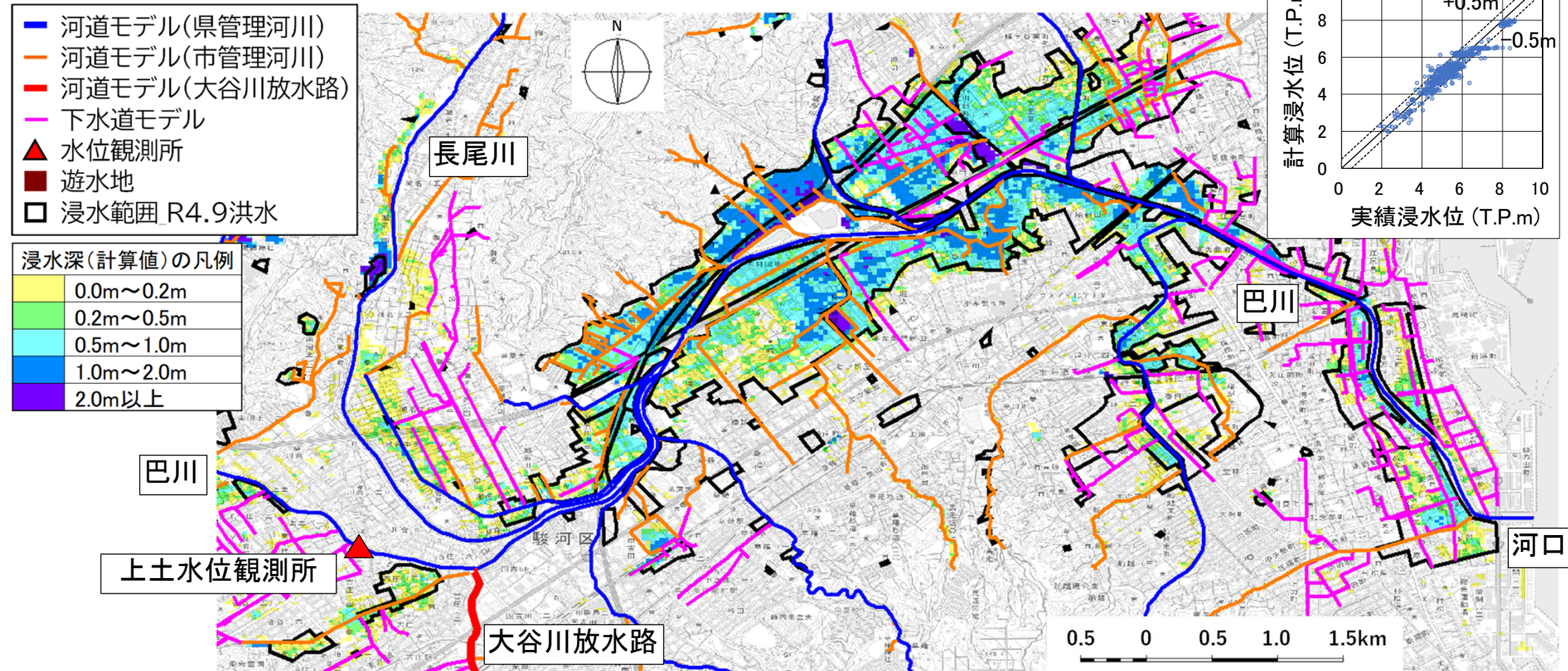
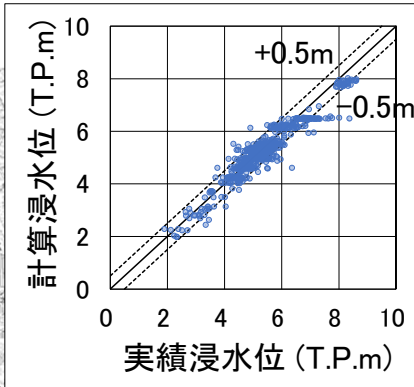
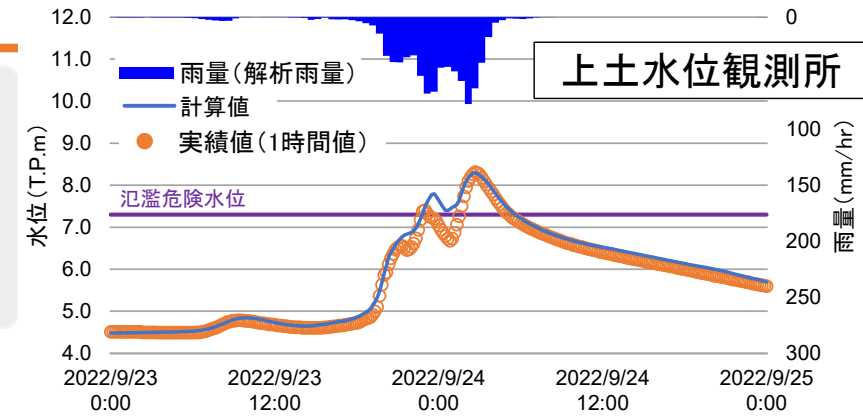
■ モデル①②の再現計算結果
R4.9洪水



予測モデルの検証

- 4洪水(H26.10洪水・R1.10洪水・R4.9洪水・R5.6洪水)を対象に、10地点の水位データと氾濫実績(2洪水のみ)で検証
- 再現精度は良好であり、巴川流域における様々な要因で発生する浸水被害の予測に有用

河川水位・氾濫域予測モデルの検証(R4.9洪水の例)



予測精度向上や処理の高速化に関する工夫

- リアルタイム誤差補正手法の導入など、様々な工夫により、予測精度を確保しつつ、計算処理の高速化を実現
- 上記の結果、一般的な高スペックサーバ(クロック数3.5GHz、コア数32、メモリ128GB)で、所定時間内での計算処理が完了できることを確認(スパコン不要)

リアルタイム誤差補正手法の導入(予測精度向上)

- データ同化手法(粒子フィルタ)を用いて、粗度係数を最適化する仕組みを実装

浸水センサーによる氾濫域の補正手法の導入(予測精度向上)

- 静岡市では、令和6年度に浸水センサーを市内121箇所(巴川流域83箇所)に設置
- 浸水検知情報と標高データを組み合わせて、浸水センサー設置付近の浸水深を算定⇒予測結果に反映

計算処理の高速化に関する工夫

- OpenMPを活用したプログラム処理の並列化
- 各モデルの計算時間差分間隔の最適化
- 氾濫解析エリアの領域逐次設定機能の導入
- ホットスタート機能の導入

リアルタイム誤差補正手法の実施条件および対象区間

項目	設定内容
同化変量/粒子数	河道モデルの粗度係数/30
同化地点(同化区間)/同化変量の変動範囲	①麻機南, 上土, 分流堰(巴川中流)/0.025-0.046 ②平山, 水梨橋(長尾川)/0.028-0.042 ③大谷(大谷川放水路)/0.027-0.041 ④楠, 能島, 江尻(巴川下流)/0.022-0.034 ※丸数字は同化順序
尤度の算定方法	現時刻の計算水位の誤差から尤度関数(正規分布を仮定)により算定
リサンプリング方式	ドント方式

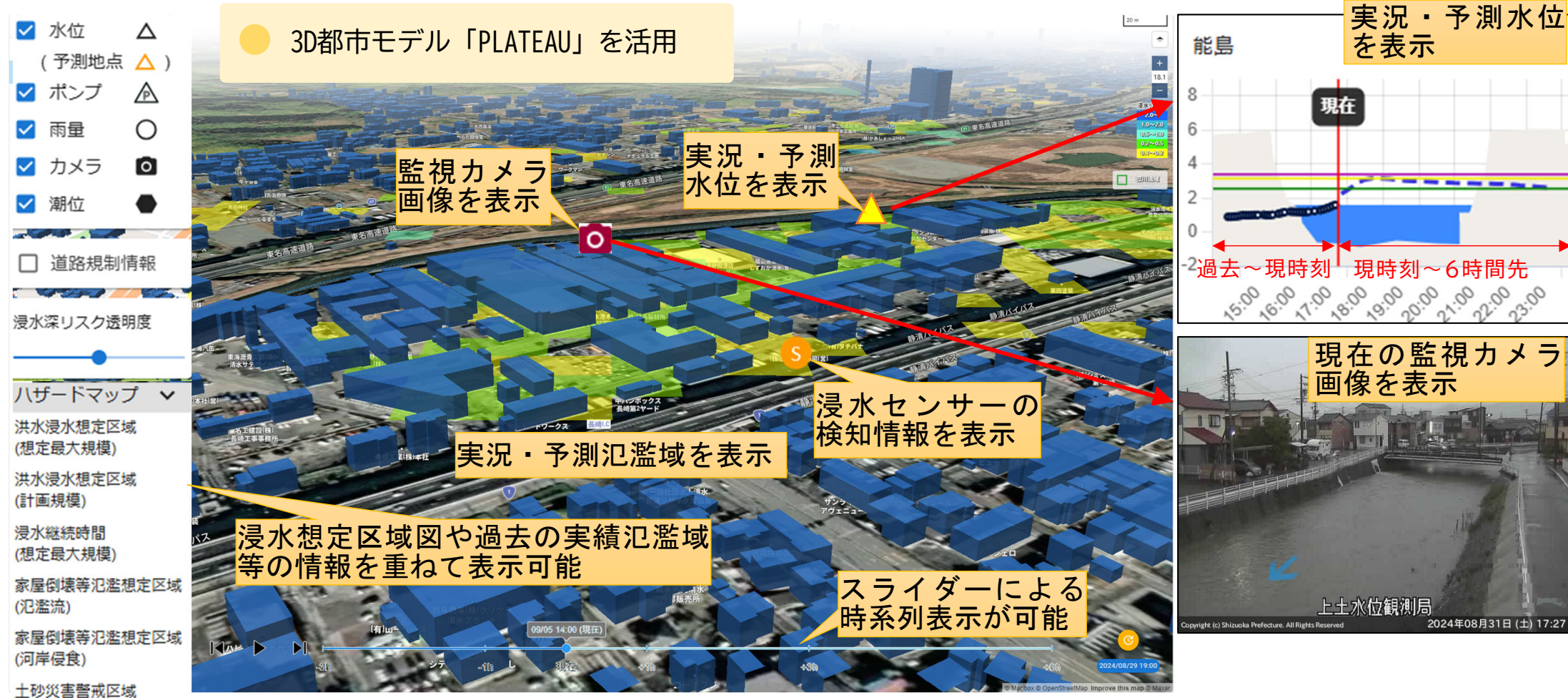
※同化変量の変動範囲:洪水毎の最適粗度係数を網羅した範囲を設定



システム構成や予測情報の提供方法の検討

- 本システムはWEBシステムとし、予測領域の拡張等に備えて、柔軟性が高いクラウドで運用
- 河川水位や氾濫域に加え、浸水センサーの検知情報等、**洪水時に有用な各種情報を表示**

構築した河川水位・氾濫域予測システムの表示画面



河川水位やカメラ画像等の各種情報：SIPOS-RADAR(静岡県土木総合防災情報システム)から取得
 現時刻～6時間先の降雨情報(高解像度降水ナウキャスト・降水短時間予報)：気象業務支援センターから取得

システム構成や予測情報の提供方法の検討

- 浸水センサー設置箇所に対して、3段階(5cm、15cm、45cm)の浸水検知情報を表示

構築した河川水位・氾濫域予測システムの表示画面

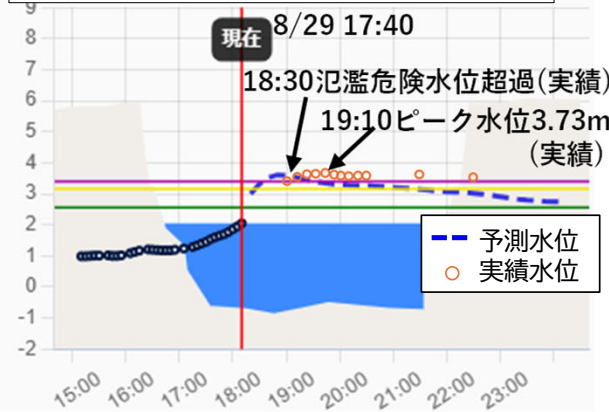


巴川水位・氾濫域予測システムの運用状況の確認

- 試験運用開始以降、継続的に運用状況を確認し、水防体制への移行判断や避難情報の発表への有用性を評価
- R6.8洪水(巴川沿川の各所で浸水被害が発生)では、**氾濫危険水位の超過(能島地点)**や**氾濫発生の有無(鳥坂地区など)**を1時間前から予測可能
- 予測雨量の精度に起因して、予測精度が確保できない事象もあわせて確認

■ 本システム運用後に発生したR6.8洪水を対象とした予測モデルの精度検証結果

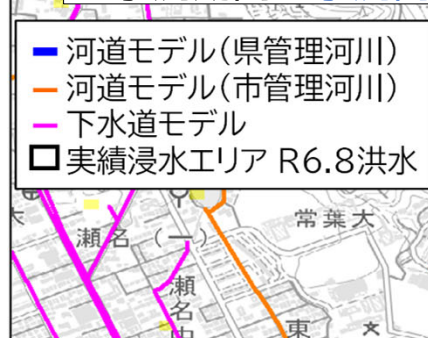
洪水発生時の予測結果(水位)
※予測期間に**予測雨量**を適用



予測時点	氾濫危険水位超過の予測状況	ピーク水位の予測状況
8/29 18:00時点 (氾濫危険水位超過30分前)	8/29 18:10に氾濫危険水位を超過 誤差20分	3.67m 誤差6cm
8/29 17:40時点 (氾濫危険水位超過50分前)	8/29 18:10に氾濫危険水位を超過 誤差20分	3.61m 誤差12cm
8/29 17:30時点 (氾濫危険水位超過60分前)	氾濫危険水位の超過を予測できていない	3.36m 誤差37cm
8/29 17:00時点 (氾濫危険水位超過90分前)	氾濫危険水位の超過を予測できていない	3.27m 誤差46cm
実績	8/29 18:30に氾濫危険水位を超過	3.73m

概ね1時間前から、氾濫危険水位を超過し、氾濫が生じることを予測可能

洪水発生時の予測結果(氾濫域)
※予測期間に**予測雨量**を適用



検証計算結果(氾濫域)
※予測期間に**実況雨量**を適用



静岡市鳥坂地区を対象に、予測1時間先の氾濫域を包絡

巴川水位・氾濫域予測システムの運用状況の確認

- R7.9洪水(一部の区間で溢水・越水が発生)では、降雨ピーク時の実況レーダ雨量が著しく過少
- 本システムでは、浸水センサーによる氾濫域の補正により、降雨ピーク時の実況レーダ雨量の精度低下をカバー
- 実況レーダの観測精度は高いが、100～150mm/hrといった強烈な豪雨に対しては、局所的に観測精度が確保できない可能性を確認

■ 本システム運用後に発生したR7.9洪水を対象とした予測システムの画面・実況レーダ雨量の精度確認結果

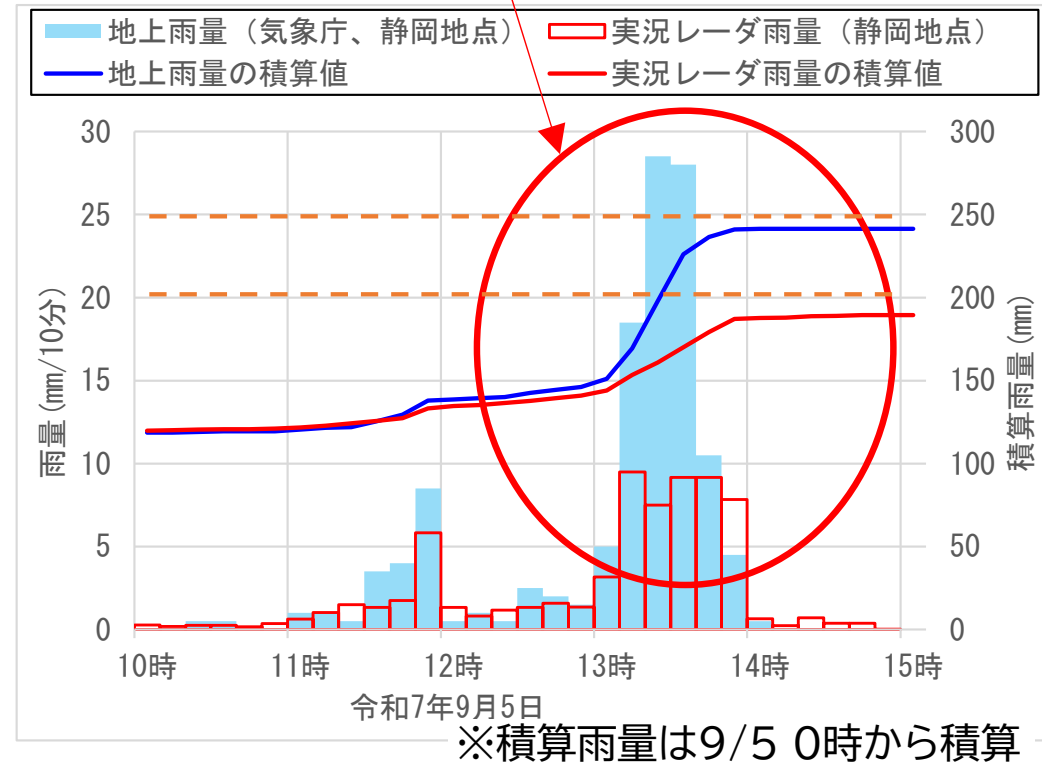
本システムの表示画面

浸水センサーによる補正が無ければ、
浸水が生じることを表示できていない



静岡地点での地上雨量と実況レーダ雨量の比較結果

降雨ピーク時の実況レーダ雨量の精度が大幅に低下



まとめ

■ 本システムを開発したことによる成果

- 主要河川以外に小支川や下水道、各種構造物を実態に即して反映した河川水位・氾濫域モデルを構築し、予測精度向上や計算処理の高速化に寄与できる多くの手法を組み込むことで、リアルタイム運用(10分間隔で6時間先までの河川水位・氾濫域を予測)を実現
- 様々な浸水要因を考慮した巴川の河川水位・氾濫域の予測が可能となり、他の情報と組み合わせることで、水防体制への移行判断や避難情報の発表に有用
- 危険箇所の早期把握が可能となり、静岡市の洪水対応の高度化に貢献

■ 今後の展開

- 実況・予測雨量や解析モデルの精度に起因する予測結果の不確実性に対して、本システムの運用・検証を継続し、解析モデルの精度向上を図ることが必要
- 静岡市では浸水リスクが高いアンダーパスに水位計や監視カメラを設置しており、これらを踏まえて、表示内容を充実させる取り組みも重要

■ 他流域への適用

- 水位・氾濫域予測モデルの構築には一定の労力を要するが、用途や浸水要因に応じて、モデル化対象区間を適切に設定することで労力を必要最小限に抑えられる
- 構築したシステムは、様々な分野で広く用いられている水文データ(気象庁予測雨量等)を使用し、一般的な高スペックサーバでの運用が可能のため、他流域への適用性は高い