

浸水リスク評価プロダクトの比較に基づく実用的な浸水リスク評価手法に関する研究

1. はじめに

- 大規模水害の頻発、産業のグローバル化、TCFD等の世界基準の進展を背景に、気候変動を考慮した統一的な浸水リスク評価手法の確立が急務。
- 企業・個人等ユーザーが浸水対策を講じる上では、高頻度・小規模な浸水リスク把握が求められる。
 - 浸水リスクを算定する洪水氾濫解析モデルは種々多様な入力条件・計算手法で構築されており、その違いは計算結果に影響し得る。
 - 水防災の主流化が国際的な課題となる中、その評価手法の標準化・規格化が求められている。

- 3つの浸水リスク評価プロダクトの特性を、**入力条件の違いも含めて実績再現性から比較**した。
- 浸水リスク評価手順と適用プロダクトの在り方を検討し、**浸水リスク評価手法の整理と国際標準化に向けた利活用の指針の提案**を目的とする。

2. 浸水リスク評価プロダクトの特徴と検証方針

(1) 比較対象とする浸水リスク評価プロダクト
本研究では、下記に示すプロダクトを対象とした。

グローバルプロダクト: 全球スケールの広域浸水リスク評価

- **CaMa-Flood**: TCFD等を通じて活用が進んでいる。単位集水域の地形を河道貯水槽と氾濫原貯水槽の2つのサブグリッド地形に近似し、貯水槽間の流量交換により、**河道流下と氾濫原浸水を同時に効率よく計算**。

ローカルプロダクト: 流域や市町村単位での浸水リスク評価

- **構造格子モデル**: 浸水想定や事業評価で活用。国土交通省のマニュアルに基づき、河道の水位・流量を一次元不定流計算、氾濫流の挙動を平面二次元不定流計算。**河道の水位・流量の縦断的变化、溢水・越水氾濫、氾濫流の拡散や河道への戻り**を考慮

- **地形適合格子モデル**: 安田らが考案。道路等の線状構造物を基準とした非構造格子(任意多角形)で構成。道路等による拡散の阻害、氾濫流速の低減を少ない格子数で表現。さらに局所慣性方程式を採用し、**精度確保とアンサンブル計算に適用しうる高速計算の両立**を実現している。

(2) 浸水リスク評価プロダクトの評価方法

- 国内の一般的なマニュアルでは、解析結果の検証方法そのものは明示されていない。
 - 海外では、その検証では数式の実装精度やアルゴリズムの動作確認が重視され、実洪水による検証は限定的である。
- 浸水リスク評価においては、実地形・実スケールにおける氾濫流の流下過程や貯留現象(浸水深等)の再現精度が求められる。
- ⇒ **堤防決壊により大規模な浸水が生じた事例**を対象として、再現精度による比較評価を実施。

3. 実洪水に基づく各プロダクトの特性比較

- 平成27年9月関東・東北豪雨を対象に、各プロダクトの再現性を検証。
- 本洪水は、近年の我が国における広域の浸水で、浸水状況に関する詳細なアンケート調査結果が得られた事例である。
 - 境界条件は、実用を想定して各プロダクトに合わせて設定している(表-1)。

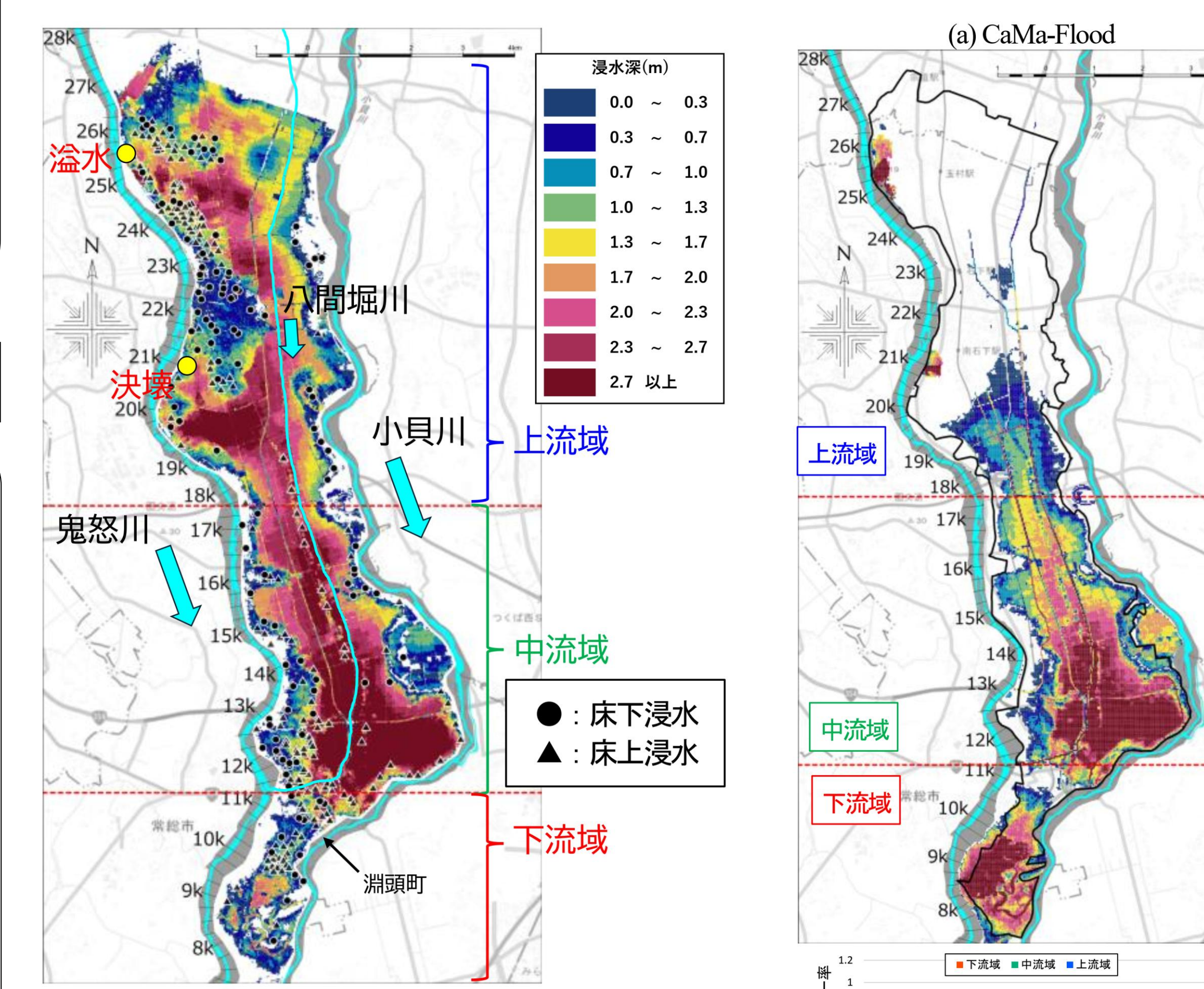


図-1 最大浸水深の実績推定値と浸水状況の調査結果

(2) 浸水面積カバー率の比較

- 中下流域の浸水面積カバー率は3プロダクトともに高く、再現性が良好。
 - 再現性の高い地形適合格子モデルと構造格子モデルに着目すると、上流域の再現性は構造格子モデルの方が高い。
- ⇒ 氾濫流拡散が卓越する地域で、解像度が細かく、移流項の考慮により氾濫流の挙動をより精緻に追跡可能な構造格子モデルが優位。

表-1 各浸水リスク評価プロダクトの計算条件と計算に要した時間

項目	CaMa-Flood	地形適合格子モデル	構造格子モデル
計算手法	局所慣性方程式(河道、氾濫原を一体的)	局所慣性方程式(河道、氾濫原のみ)	浅水流方程式(河道:一次元、氾濫原:二次元で計算)
格子形状	構造格子	非構造格子	構造格子
解像度	1 arcmin (約3 km ²) で計算、1 arcsec (約1,000 m ²) にダウンスケール	1.0~78,334 m ²	25 m×25 m (625 m ²)
格子数	3,240,000 (=1,800×1,800)	4,938	10,080,000 (=2,400×4,200)
地盤高	J-FlwDir: 基礎地図情報DEMを30 mに変換し、水文解析	右記の地盤高を非構造格子において平均処理	※浸水範囲にあわせて最小化LP測量成果(H18) + 整備状況
粗度係数	河川は0.03、氾濫原0.1	土地利用別の平均値	土地利用別の最大値
透過率	設定なし	基礎地図情報(建築物外周線)より建物占有率を算定	同左
河道	対象河川	なし	鬼怒川、小貝川
境界条件	ERA5 Land hourly runoff	なし	雨量観測データを入力した貯留関数法によるハイドログラフ
溢水、堤防決壊条件	河道からの越水・溢水を考慮し、堤防決壊は考慮しない	構造格子モデルの氾濫量を境界条件に設定(図-2参照)	実績の溢水・堤防決壊の時刻・破堤幅・敷高と河川・堤内の計算水位から越流公式で算出
計算時間/計算対象時間	5分/360時間	5分/42.5時間	2.5時間/150時間

(1) 最大浸水深の比較

- 全体的に構造格子モデル、地形適合格子モデルの再現性が良好。
- 地形適合格子モデルの境界条件として構造格子モデルの出力(堤防決壊地点・溢水地点の氾濫流量)を使用したため、両プロダクトは一定の関連性を有し、RMSEも同等(図-4)。
- CaMa-Floodの上下流域と中流域のRMSEの違いは他プロダクトに比べて大きい(図-4)。鬼怒川の背水による支川氾濫が主な浸水要因となり、他プロダクトと浸水要因が異なることにより、上流域・下流域のRMSEがより大きくなったと考えられる。

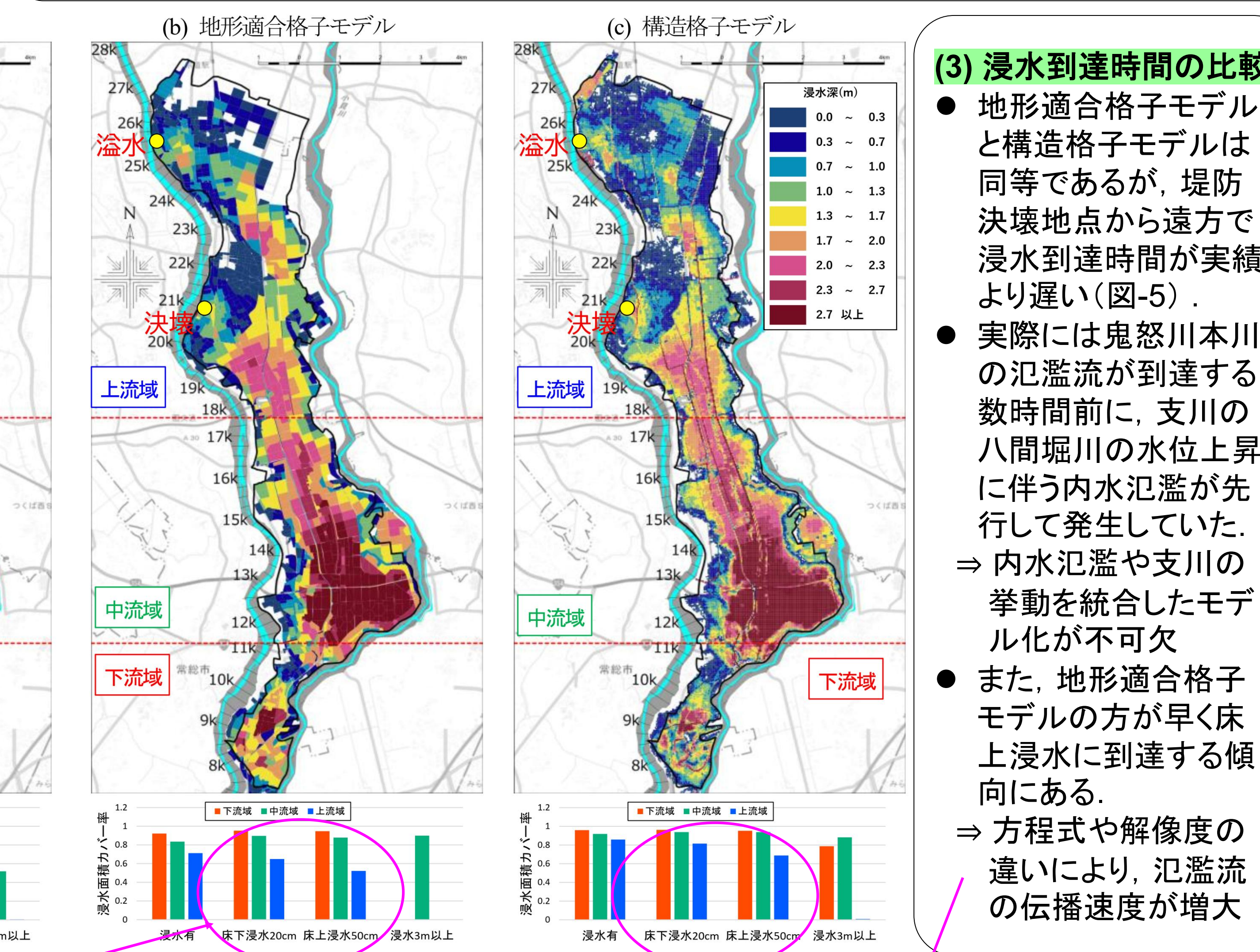


図-2 各浸水リスク評価プロダクトの最大浸水深の分布、カバー率

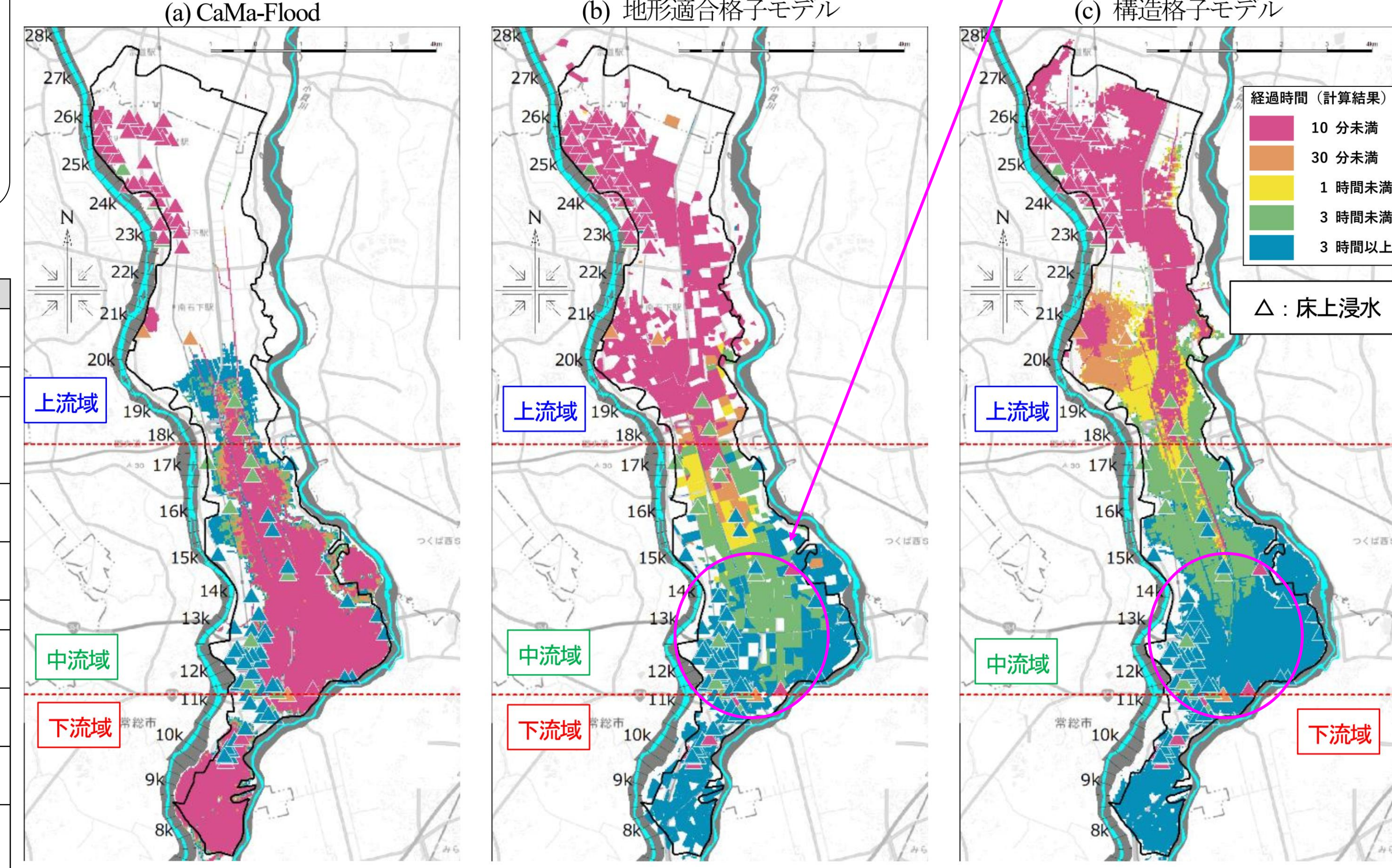


図-3 各浸水リスク評価プロダクトの堤防決壊時刻からの経過時間(床上浸水到達時間)の比較

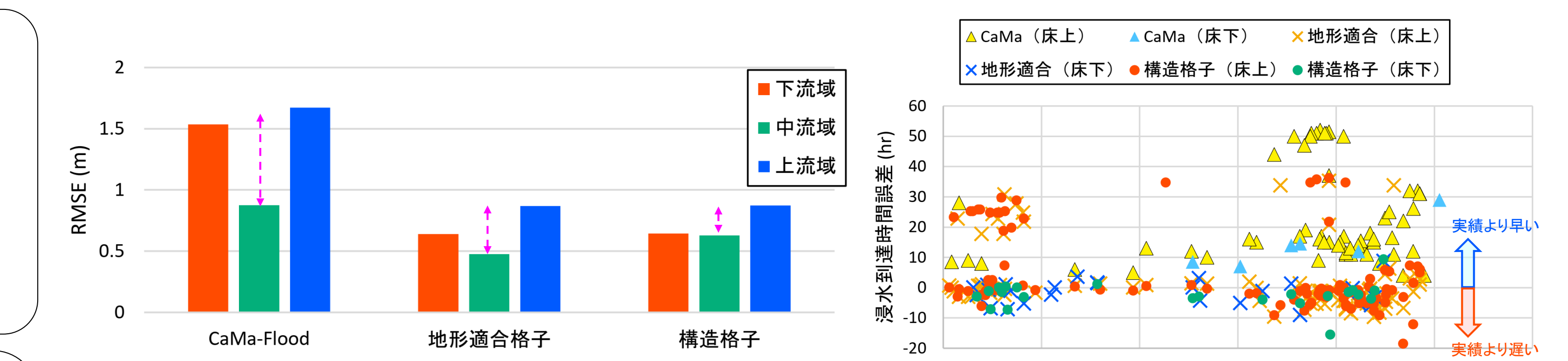


図-4 最大浸水深の実績推定値と計算値のRMSE

4. 浸水リスク評価手順と適用プロダクトの在り方に対する考察

項目	プロダクトの特性	利活用状況・課題
CaMa-Flood	● 異なる降雨データを入力しているが、特に中流域の浸水面積カバー率や氾濫ボリュームを一定の精度で再現。 ● 同一解像度・手法で広域に対し高速計算可能。	● 全球規模の気候変動予測を踏まえた浸水リスク評価。 ● 「TCFD提言における物理的リスク評価の手引き」での活用。
地形適合格子モデル	● 計算速度と最大浸水深再現精度を両立。	● SIPIにおいて、アンサンブル降雨による浸水リスクDB作成に活用。
構造格子モデル	● 氾濫流の物理的挙動を精緻に追跡し、浸水範囲のリスクに対し高精度に再現。 ● 計算時間が長く、アンサンブル評価への適用性は他モデルより低い。	● 浸水想定、事業評価で広く活用。 ● 実務ベースで構築され、企業・個人が即時に利用できる状態ではない。

- ⇒ 企業・個人が浸水リスクを把握する際には、次に示す**段階的な評価**が有効
- ① 潜在的なリスクの相対評価(立地、移転判断等)【CaMa-Flood】
 - ② アンサンブル計算による浸水頻度・規模(浸水深、時間)の把握【地形適合格子モデル】
 - ③ 浸水対策によるリスク軽減効果の定量評価【構造格子モデル、地形適合格子モデル】

5. おわりに

- まとめ**
- 本研究では、3つの浸水リスク評価プロダクトを対象に、実洪水データを用いて再現性検証を実施し、各プロダクトの特性と適用可能性を比較検討した。
 - 検証した事例として平成27年9月関東・東北豪雨においては、各プロダクトで境界条件が異なるが、降雨が異なるCaMa-Floodにおいても潜在的高リスク箇所の抽出に有用であり、他2プロダクトは実績洪水に対して高い再現性を有することを確認した。
- ⇒ 段階に応じてプロダクトを切り替えることで、全国規模の網羅性と地形特性を反映した詳細評価の両立が可能。
- 今後の方針**
- 実洪水検証の継続的蓄積とPDCAによるモデル改善。
 - 国際的な枠組みとの整合を図りつつ、実洪水に対する再現検証の重要性を発信。
 - 気候変動下における実効的かつ持続可能な浸水リスク評価手法の社会実装と、我が国発の信頼性ある評価枠組みの国際展開。

謝辞: 本研究は内閣府総合科学技術・イノベーション会議の戦略的イノベーション創造プログラム(SIP)「スマート防災ネットワークの構築」の支援を受けて実施された。ここに記して感謝の意を表します。