

中小河川を対象とした 安価・簡便な水位予測技術の開発

国立研究開発法人 土木研究所

水災害・リスクマネジメント国際センター (ICHARM)

主任研究員 田中 陽三



土研新技術ショーケース in 東京 2023年9月27日

© 2023 PWRI, Japan. All Rights Reserved.

豪雨災害の頻発化

研究背景

◆ 近年、記録的な豪雨により、毎年のように各地の中小河川で氾濫が発生。



H28.9.3東北地方整備局撮影

2017年 九州北部豪雨



(出典)国土交通省資料

2018年 西日本豪雨



(出典)国土交通省資料

2019年 東日本台風



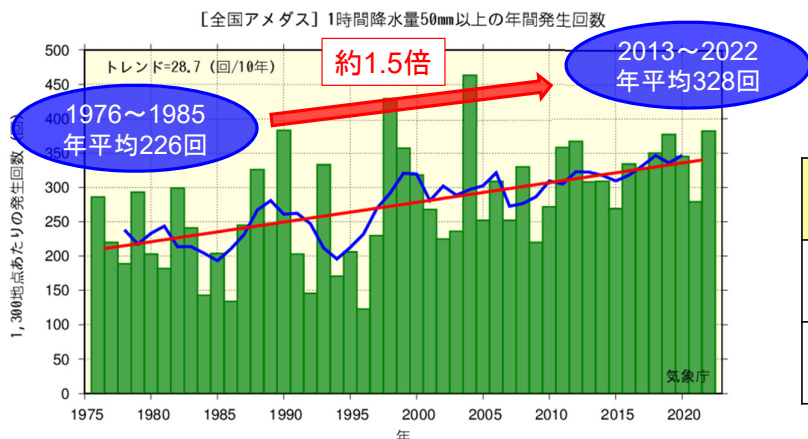
江の川水系江の川(左岸24.0k)の浸水状況(出典)国土交通省資料

2020年 7月豪雨

© 2023 PWRI, Japan. All Rights Reserved.

研究背景

- ◆ 洪水をもたらすような時間雨量50mm以上の大雨の発生頻度は、37年前と比較して**約1.5倍に増加**。
 - ◆ 地球温暖化に伴う気候変動により**洪水の発生頻度が2倍～4倍程度に増加**することが予測。
- **激甚化・頻発化する水害への対応は、今後ますます重要な課題。**



全国の1時間降水量50mm以上の年間発生回数の経年変化(1976～2022年)

降雨量変化倍率を基に算出した
流量変化倍率と洪水発生頻度の変化

気候変動シナリオ	降雨量	流量	洪水発生頻度
2℃上昇 (RCP2.6)	約1.1倍	約1.2倍	約2倍
4℃上昇 (RCP8.5)	約1.3倍	約1.4倍	約4倍

(出典)気候変動を踏まえた治水計画のあり方 提言 改訂版【概要】
(気候変動を踏まえた治水計画に係る技術検討会)

© 2023 PWRI, Japan. All Rights Reserved. 2

中小河川特有の洪水災害

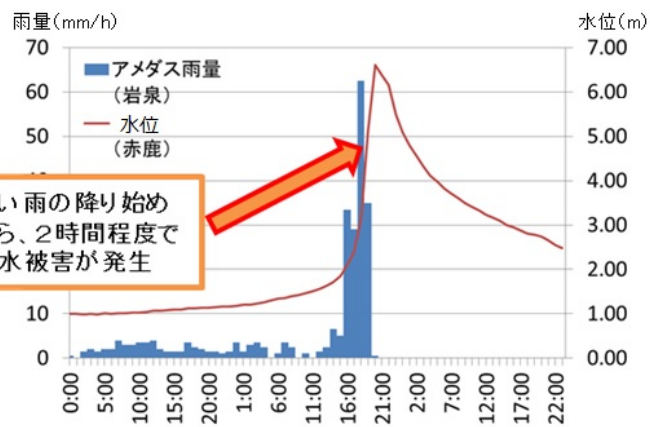
研究背景

- ◆ 2016年台風10号の際には、岩手県岩泉町を流れる小本川の水位が急激に上昇し、避難勧告が発令される前に洪水が発生。
- **急激な水位上昇による中小河川特有の洪水災害が顕在化。**



H28.9.3東北地方整備局撮影

この時、小本川では2時間で水位が約3.5m上昇



2016年台風10号による小本川の雨量・水位変化 (8月29～30日)

© 2023 PWRI, Japan. All Rights Reserved. 3

中小河川における水位予測の現状

研究背景

◆ 全国には、沿川人口が多く、洪水により重大な損害が生じるおそれがあるものの、水位予測を実施できていない中小河川が約1,500河川存在。

➤ 水位予測を活用した住民の確実な避難を実現する必要。

2019年台風19号 宮城県丸森町の被害状況

○決壊河川（県管理）

内川10カ所、新川4カ所、五福谷川4カ所

○人的被害 **いずれも水位予測を行っていない河川**

死者10名、行方不明者1名、ケガ2名

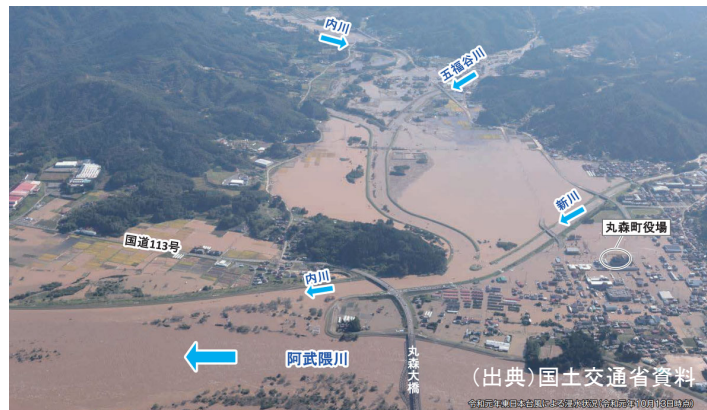
○住家被害

全壊113件、大規模半壊246件、半壊623件、

一部損壊310件、床上浸水866世帯、

床下浸水207世帯

※丸森町HPより



(出典)国土交通省資料

流木・土砂により
被災した家屋



(出典)丸森町資料

2019年東日本台風災害でも、水位予測を行っていない中小河川において人的被害が発生

© 2023 PWRI, Japan. All Rights Reserved. 4

中小河川の水位情報提供システムの開発

目標

(官民研究開発投資拡大プログラム:PRISM 平成30年~令和4年)

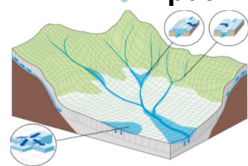
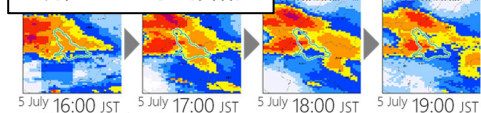
- ◆ 洪水時の住民避難を支援するため、**「住民避難が必要な河川水位にいつ到達するか」に着目した水位予測モデルの開発を行う。**
- ◆ 中小河川においても導入しやすい、汎用性のある**「短時間で計算可能な」、「安価」、「簡便」、「必要な精度」**を有する水位予測システムを開発し体系化する。
- ◆ 上記の水位予測データ等を用いて、住民の避難行動を促す水災害情報を配信するための手法等についても開発する。

河川管理用データシステム



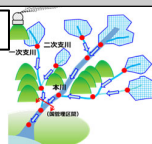
ビッグサーバ

現在および予測降雨

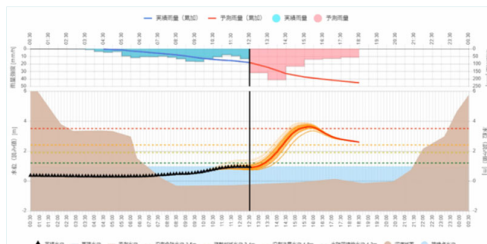
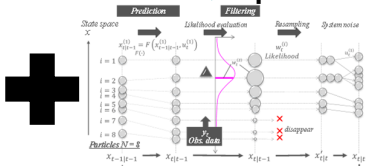


水文モデル(RRI model)

観測水位



データ同化(粒子フィルタ)



水位予測結果

© 2023 PWRI, Japan. All Rights Reserved. 5

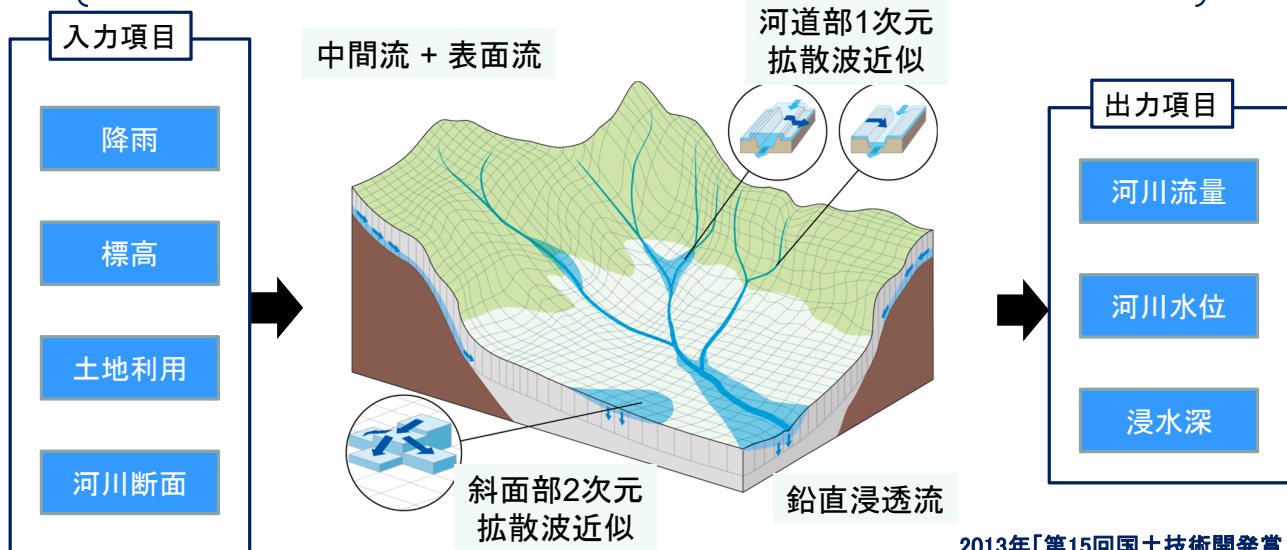
- 1 : RRI_GUIを用いたベースモデルの構築およびデフォルトパラメータによる初期解析
- 2 : SCE-UA法を用いたパラメータ最適化および検証
- 3 : 粒子フィルタによる水位予測
- 4 : データ統合・解析システムDIAS上でのリアルタイム水位予測

© 2023 PWRI , Japan. All Rights Reserved. 6

RRIモデルの概要

降雨(Rainfall)-流出(Runoff)-氾濫(Inundation)解析モデル

〔衛星情報や気象予測情報を活用して、世界各地の洪水氾濫を予測可能な技術〕



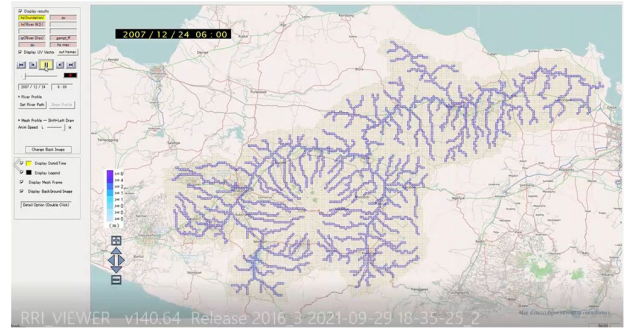
2013年「第15回国土技術開発賞(優秀賞)」
(主催:(一財)国土技術開発センター)

© 2023 PWRI , Japan. All Rights Reserved. 7

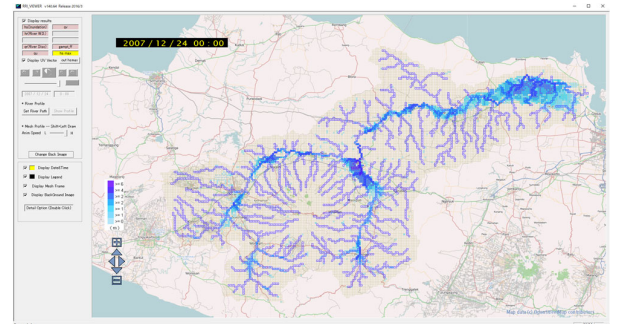
RRIモデル (Rainfall-Runoff-Inundation) の特徴

- 降雨流出モデル、河道追跡モデル、洪水氾濫モデルの**一体化**
- 高速かつ安定的な数値アルゴリズム
- 緊急対応のモデリングを実現するツール群とマニュアル整備
- 複雑な水文過程の反映

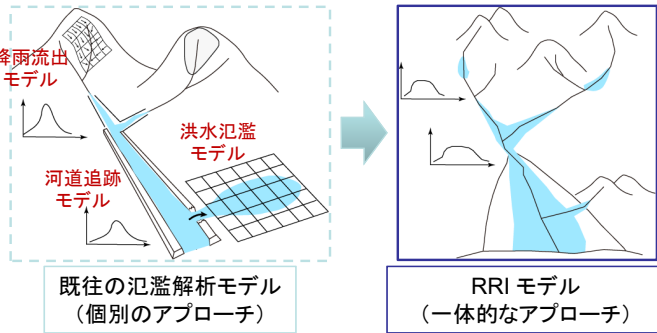
氾濫解析結果【浸水深】



最大浸水深



© 2023 PWRI, Japan. All Rights Reserved. 8



1: RRI_GUIを用いたベースモデルの構築等

- 国内データとの親和性を強化したGUIを開発したことで**簡単にベースモデルの構築、解析入力データの準備をすることが可能**になった。

〔地形データ〕

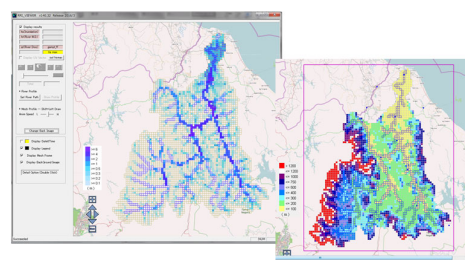
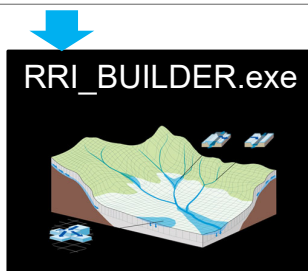
- ・HydroSHEDS (USGS)
- ・日本域表面流向マップv1.0 ただし、5s(約150m)メッシュにスケールアップ

〔降雨データ〕(※気象庁のデータは各自購入する必要あり)

- ・気象庁解析雨量
- ・気象庁降水短時間予報

〔土地利用データ〕

- ・Global Map-Global Land Cover ver2 (15s:450m) (USGS)
- ・国土数値情報 土地利用細分メッシュデータ(100mメッシュ)平成26年度版



© 2023 PWRI, Japan. All Rights Reserved. 9

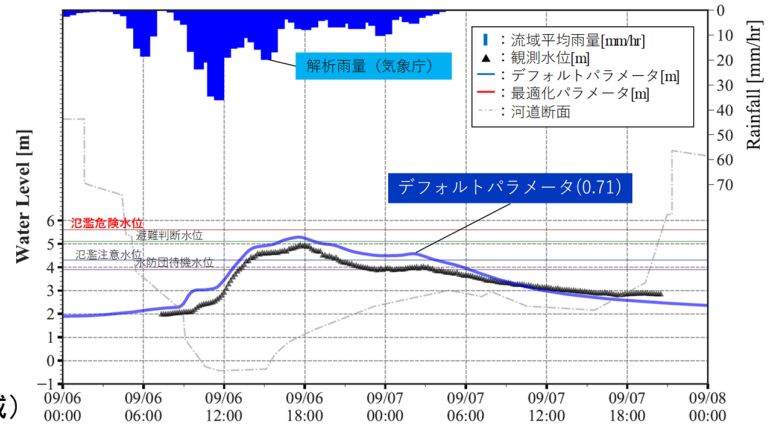
1:RRI_GUIを用いたベースモデルの構築等

- デフォルトパラメータを用いてベースモデルの精度を確認する。
- 具体的には降雨時における平水位の整合性や降雨に対するハイドログラフの応答性、H-Q式の信頼性を確認する。

河道モデル	粗度係数[m-1/3/s]	ns_river	0.030
	河川・斜面閾値	riv_thresh	50
	河道幅Cw	width_param_c	*
	河道幅Sw	width_param_s	*
	河道深さCd	depth_param_c	*
	河道深さSd	depth_param_s	*

*河川毎に異なるパラメータを設定

土地利用		水田	畑地	山地	都市	水域	
共通	等価粗度[m-1/3/s]	ns_slope	0.4	0.4	0.6	0.2	0.2
	土層厚[m]	soildepth	1.0	1.0	0.5	-	-
	飽和空隙率	gammaa	0.475	0.463	0.3	-	-
斜面鉛直	鉛直透水係数[m/s]	ksv	1.67d-7	3.67d-6	-	-	-
Green-Ampt	吸水能	faif	0.3163	0.0889	-	-	-
斜面側方	飽和水平透水係数[m/s]	ka	-	-	0.01	-	-
	不飽和空隙率	gammam	-	-	0.12	-	-
	透水係数比	beta	4	4	4	-	-

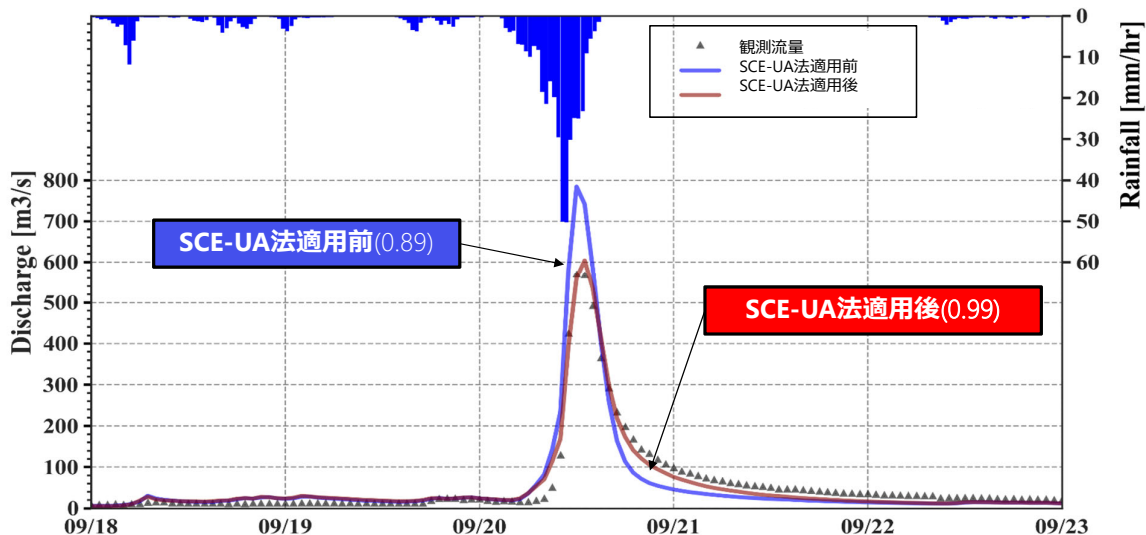


計算結果

デフォルトパラメータは、RRIモデルマニュアルに記載されている一般値や既往のモデル構築経験を参考に、国内における中山間地河川に対して平均的な値を採用。

2:SCE-UA法を用いたパラメータ最適化および検証

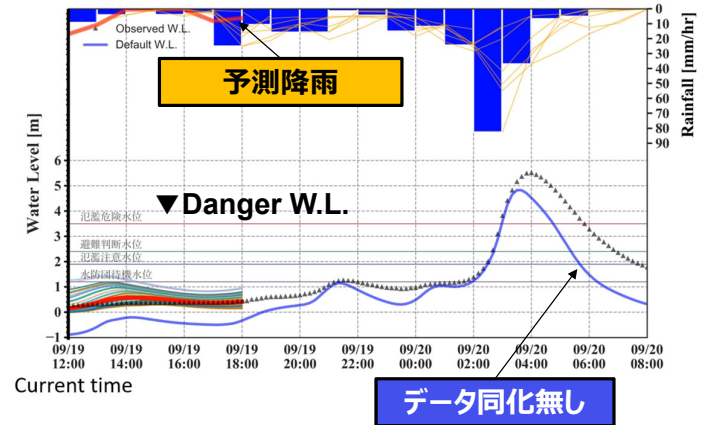
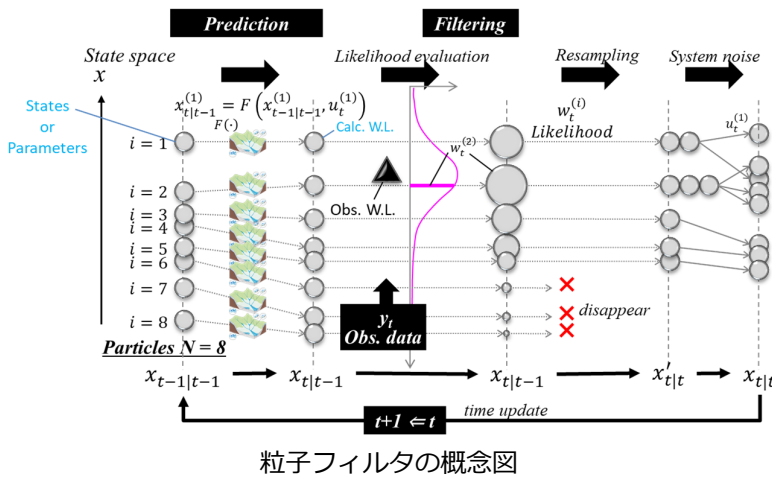
- **モデル構築の労力を軽減するため、パラメータ自動調節機能として、SCE-UA法をRRIモデルに適用した。**
- 標準的なパラメータセットのRRIモデルにSCE-UA法を適用した結果、精度評価指標（Nash-Sutcliffe (NS) 係数）が**0.89**から**0.99**に改善し、最適化アルゴリズムの効果が確認できた。



SCE-UA法適用前後の計算結果

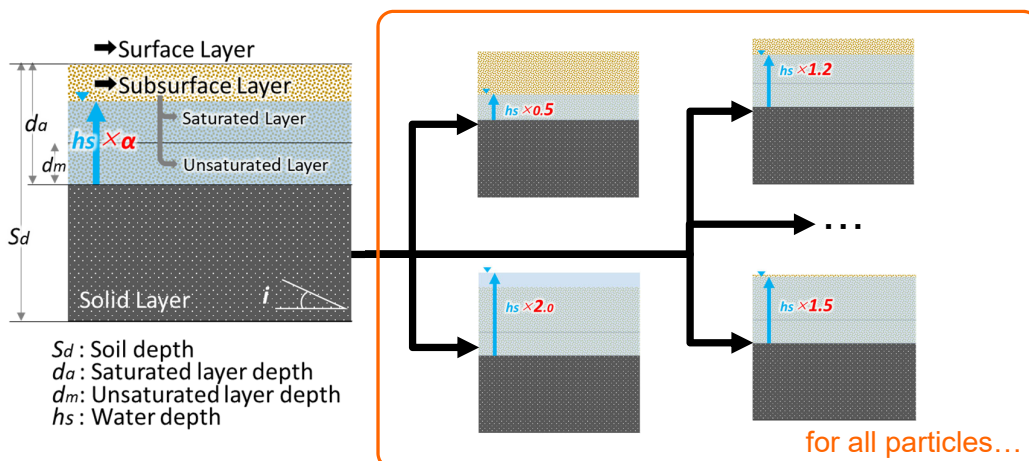
3: 粒子フィルタによる水位予測

- 水位予測モデルの精度向上のため、リアルタイムの水位観測データを用いて水位予測モデルを逐次修正する手法を採用した。
- 流量等の状態量やパラメータへの適用が可能であり、応用性の高い粒子フィルタを選定した。
- RRIモデルの各パラメータ（河道粗度係数、透水係数、不透水層から水深）に適用したところ、不透水層からの水深に対して粒子フィルタを適用するのが最も効果的と評価された。



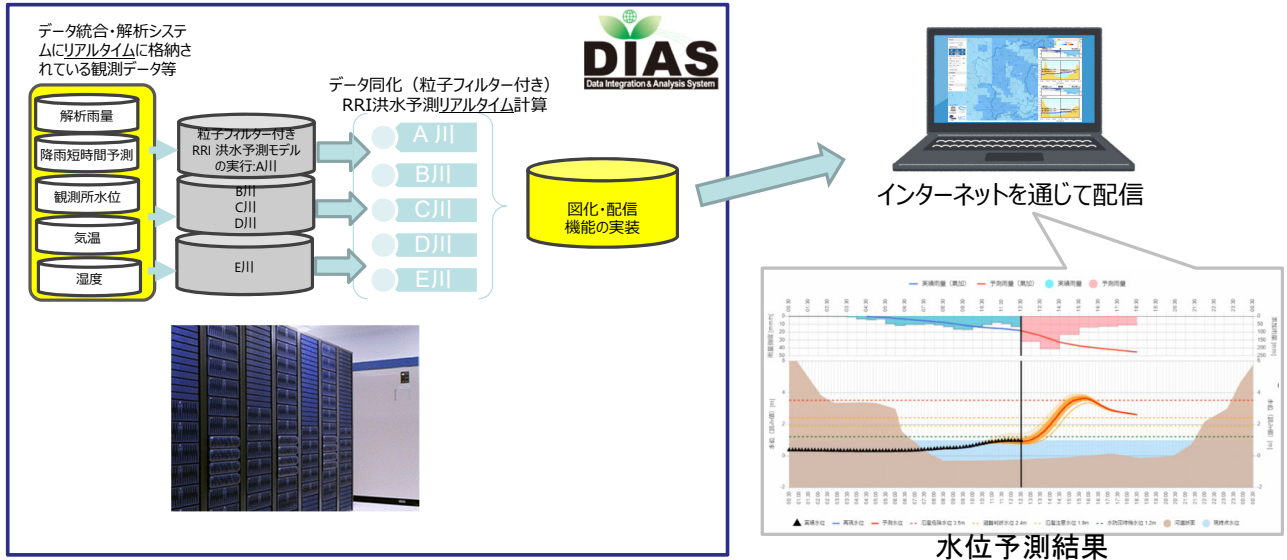
3: 粒子フィルタによる水位予測

- 水位予測モデルの精度向上のため、リアルタイムの水位観測データを用いて水位予測モデルを逐次修正する手法を採用した。
- 流量等の状態量やパラメータへの適用が可能であり、応用性の高い粒子フィルタを選定した。
- RRIモデルの各パラメータ（河道粗度係数、透水係数、不透水層から水深）に適用したところ、不透水層からの水深に対して粒子フィルタを適用するのが最も効果的と評価された。



RRIモデルにおける単一メッシュのモデル構造と粒子化する状態量のイメージ図

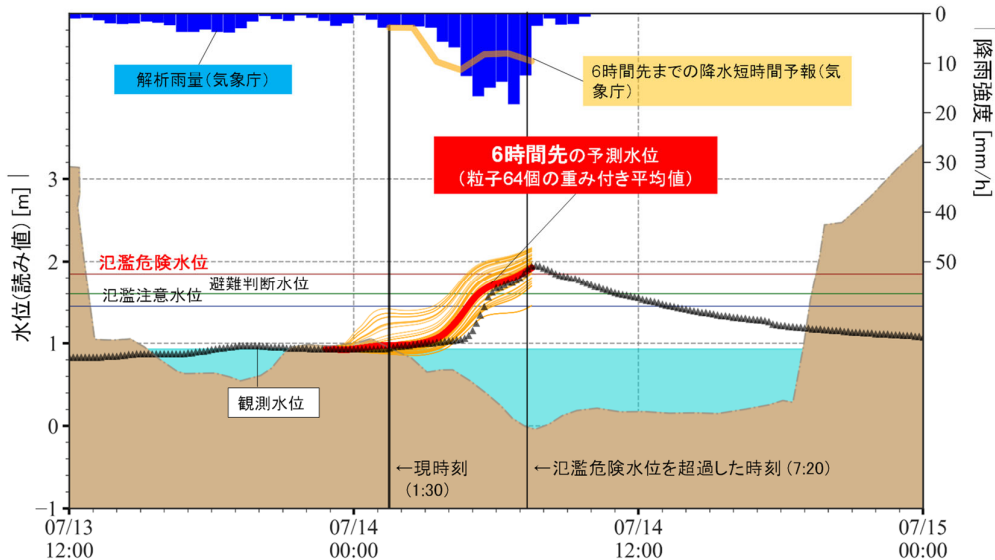
- ▶ 広範囲で大雨になるなど、多数の河川で同時に出水がある場合には、短時間の間に計算負荷が著しく増加し、計算時間がかかることが予想される。
- ▶ そのような状況下においても配信時間に遅れが生じないように、計算負荷が集中する際の計算リソースの配分、適切な更新間隔等、全国展開するにあたってのシステム設計の課題および対応策について整理した。



© 2023 PWRI, Japan. All Rights Reserved. 14

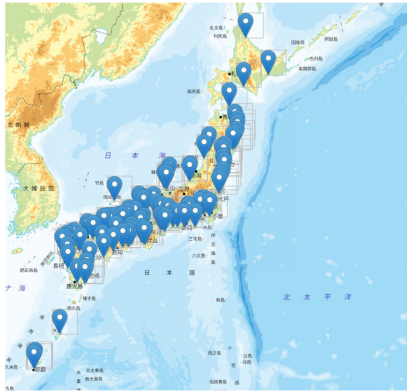
洪水予測の事例

- 流域面積約60km²、流域における山地の割合が7割の中山間地河川において、
- ▶ 令和2年7月14日1:30の時点で、7時頃に氾濫危険水位の超過を予測した。
 - ▶ 実際には、令和2年7月14日7:20で、氾濫危険水位を超過した。
 - ▶ 結果的に、**5時間50分前に氾濫危険水位の超過を予測できた。**

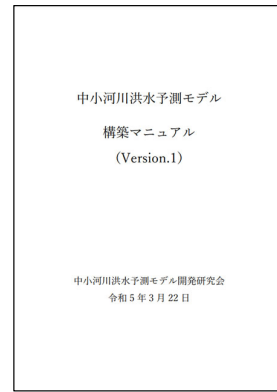


© 2023 PWRI, Japan. All Rights Reserved. 15

- これまでに開発した手法を用いて、**試行的に200河川のモデル構築を実施**し、291イベントについて求められる精度を満たしているかどうかを確認した。
- その結果、±50cmの幅での運用を想定した場合や、小流域に対し洪水到達時間のリードタイムが確保されているか等の条件設定の下、**約9割でリードタイムを確保することが出来ていた**。
- これらの検証および建設コンサルタンツ協会との意見交換会を踏まえ、「中小河川洪水予測モデル構築マニュアル」を作成し、ICHARMのHPより一般公開している。



構築したリアルタイム水位予測200河川
(※試行段階のため実運用はしていない)



中小河川洪水予測モデル構築マニュアル

https://www.pwri.go.jp/icharm/research/articles/project-prism_manual_j.html

問い合わせ先
suimon@pwri.go.jp

© 2023 PWRI, Japan. All Rights Reserved. 16

まとめ

- ◆ 激甚化・頻発化する水災害に対して洪水時の住民避難を支援するため、中小河川においても導入しやすい、汎用性のある「**短時間で計算可能な**」、「**安価**」・「**簡便**」、「**必要な精度**」を有する**水位予測システムを開発**した。
- ◆ 上記の水位予測データ等を用いて、住民の避難行動を促す水災害情報を配信するための手法等についても開発した。
- ◆ 中小河川の河川管理者が容易に水位予測モデルを構築することができるよう**モデル構築の手法を標準化し、マニュアルとして整理・公開**した。

ご清聴ありがとうございました。

© 2023 PWRI, Japan. All Rights Reserved. 17