

中小河川の洪水予測システムの開発

(官民研究開発投資拡大プログラム)

2021年5月17日

東京大学大学院工学系研究科 教授 (社会基盤学専攻)
東京大学地球観測データ統融合連携研究機構 機構長
博士(工学)、技術士(総合技術監理部門、建設部門)

池内幸司

中小河川における洪水予測の必要性

- 2016年の岩手県小本川の洪水では、水位が急上昇し、グループホームの入居者全員（9人）が逃げ遅れて亡くなった。
- 2017年九州北部豪雨、2019年東日本台風でも中小河川の洪水によって多くの犠牲者。
- 全国の約21,000河川のうち、避難勧告等の重要な判断要素となる水位予測が行われているのは大河川を中心とする約400河川のみ。残りの大部分の中小河川では水位予測は行われていない。

入居者全員が亡くなった
グループホーム

2016年小本川洪水(岩手県岩泉町)



(写真: 池内幸司)



H28.9.3東北地方整備局撮影



隣接する老人保健施設

小本川氾濫による被害

H28.9.3東北地方整備局撮影

2017年九州北部豪雨災害(福岡県朝倉市)



赤谷川氾濫による被害

2019年東日本台風災害(宮城県丸森町)



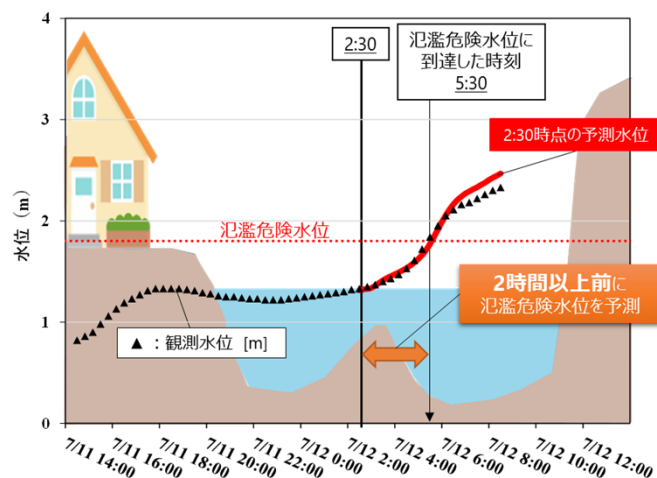
宮城県丸森町における浸水

中小河川でも適用可能な安価・簡便なシステムの開発

課題

- 中小河川では、雨が降ってから洪水が発生するまでの時間が短いことから、洪水予測を行うためには、**短時間の計算**で的確に水位予測を行う必要があり、**高度な技術力**を要する。また、**システムの構築には、多額の費用が必要**。
- 都道府県が管理する多くの中小河川においては、洪水時の水位予測が実施できていない。

実施内容



5:30に氾濫危険水位に到達した洪水イベントにおいて3時間前の2:30時点で氾濫危険水位を予測した事例。

近年設置が進められている**危機管理型水位計**のデータも活用し、避難指示の判断等のために必要な「**住民避難が必要な河川水位(氾濫危険水位)にいつ到達するか**」ということを、少なくとも**約2時間前までに予測**できるシステムの開発を行う。

中小河川においても導入しやすい、

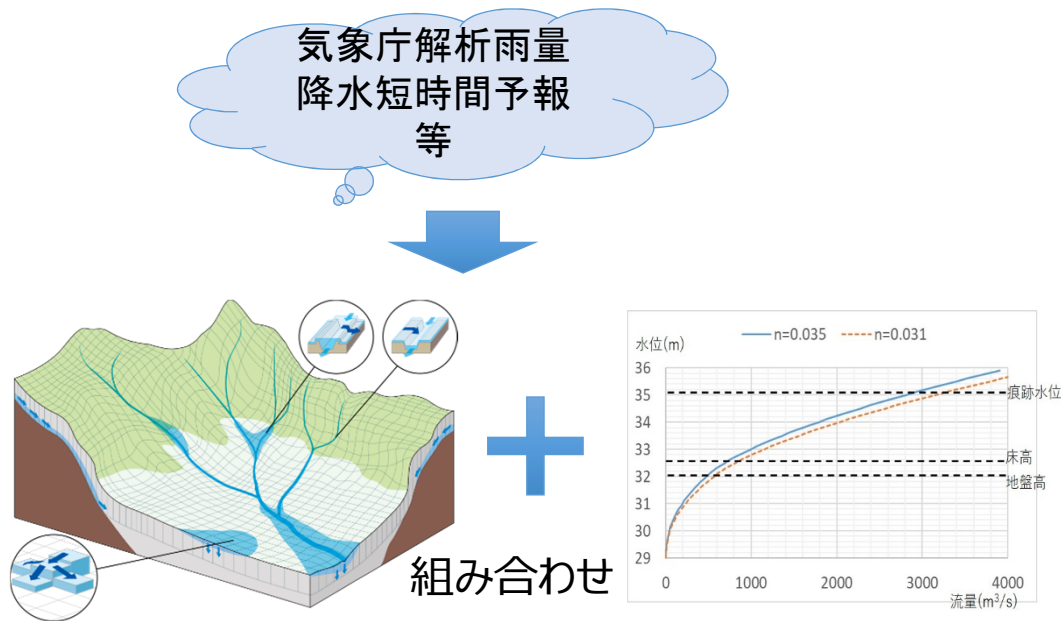
- **「短時間で計算可能な」、**
 - **「安価」、**
 - **「簡便」、**
 - **「必要な精度を有する」、**
- 水位予測システムを開発する。

研究開発目標

洪水予測を行う中小河川を現在の128河川から、洪水により多くの人命が失われる危険性があるにもかかわらず、洪水予測が現在行われていない約1500河川に拡大

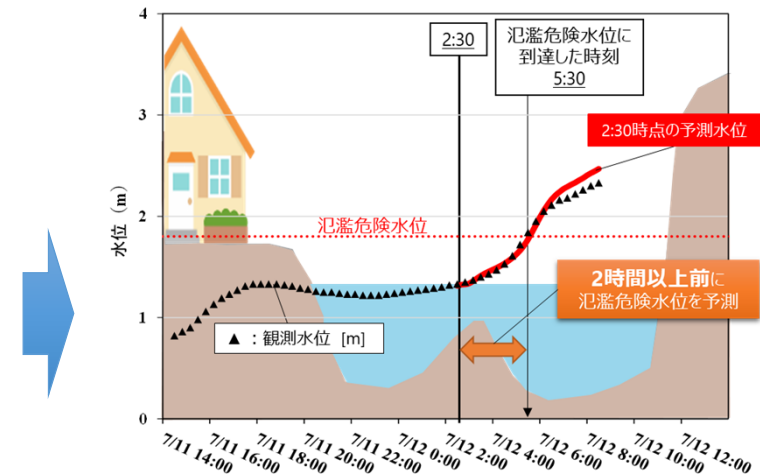
RRIモデルをもとにした水位予測モデルの開発

- 安価・簡便かつ洪水再現能力の高い流出解析モデルとしてRRI(降雨・流出・氾濫解析)モデルを選定するとともに、計算流量から水位・流量換算式(H-Q式)を使用(河床変動に応じてH-Q式を補正)し、水位を短時間で計算する方法を開発。
- 水位予測モデルに観測雨量(解析雨量)と予測雨量(降水短時間予報)等の雨量情報を入力することにより、6時間先までの水位を計算し、河川水位が氾濫危険水位を超過する時刻を予測。



降雨の時空間分布を反映し、表面流出・中間流出等の流出現象が表現できることに加えて、設定すべきパラメータが比較的少ないRRIモデルを選定。

予測地点において、計算流量から水位を求めるためH-Q式を使用。

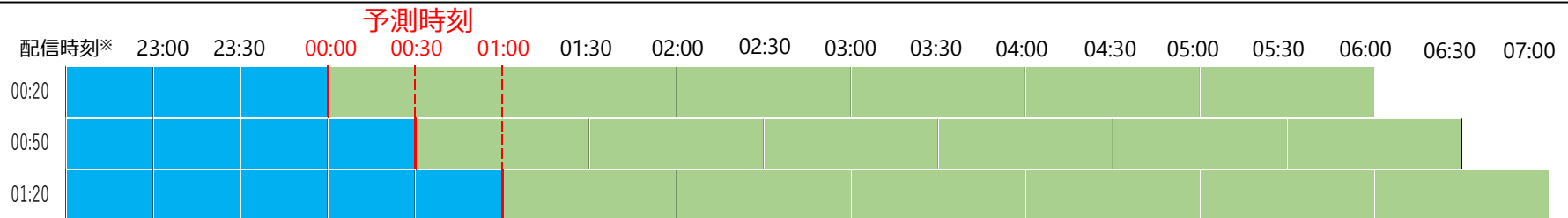


5:30に氾濫危険水位に到達した洪水イベントにおいて3時間前の2:30時点で氾濫危険水位を予測した事例。

洪水時の水位変化を良好に再現

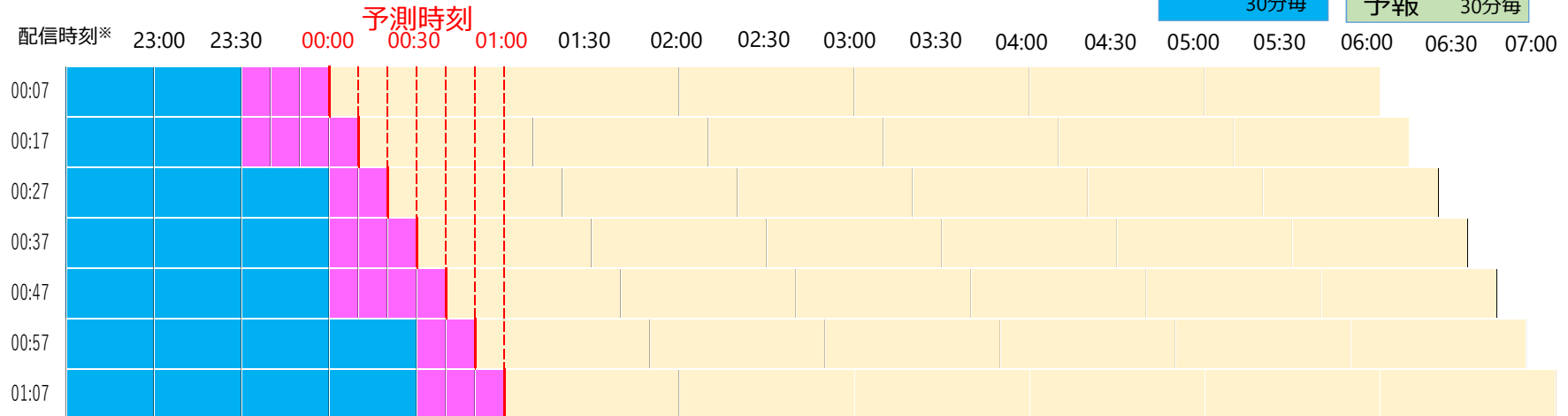
降雨量データの組み合わせ方法の開発

- 解析雨量、速報版解析雨量、降水短時間予報、速報版降水短時間予報の特徴について整理。
- 実績雨量として、精度の高い解析雨量と、配信間隔が短く豪雨が補足できる可能性があり、配信遅延の少ない速報版解析雨量を、効果的に組み合わせる方法を提案。
- 予測雨量として、降水短時間予報のみでなく、配信間隔が短く、配信遅延の少ない速報版降水短時間予報を組み合わせる方法を提案。



解析解析雨量（従来データ）のみを用いた運用例

解析雨量 30分毎
降水短時間予報 30分毎



速報版解析雨量と解析解析雨量（従来データ）を組合せた運用例

※ 解析雨量は20分、速報版解析雨量の7分の配信遅延をそれぞれ見込んでいる。

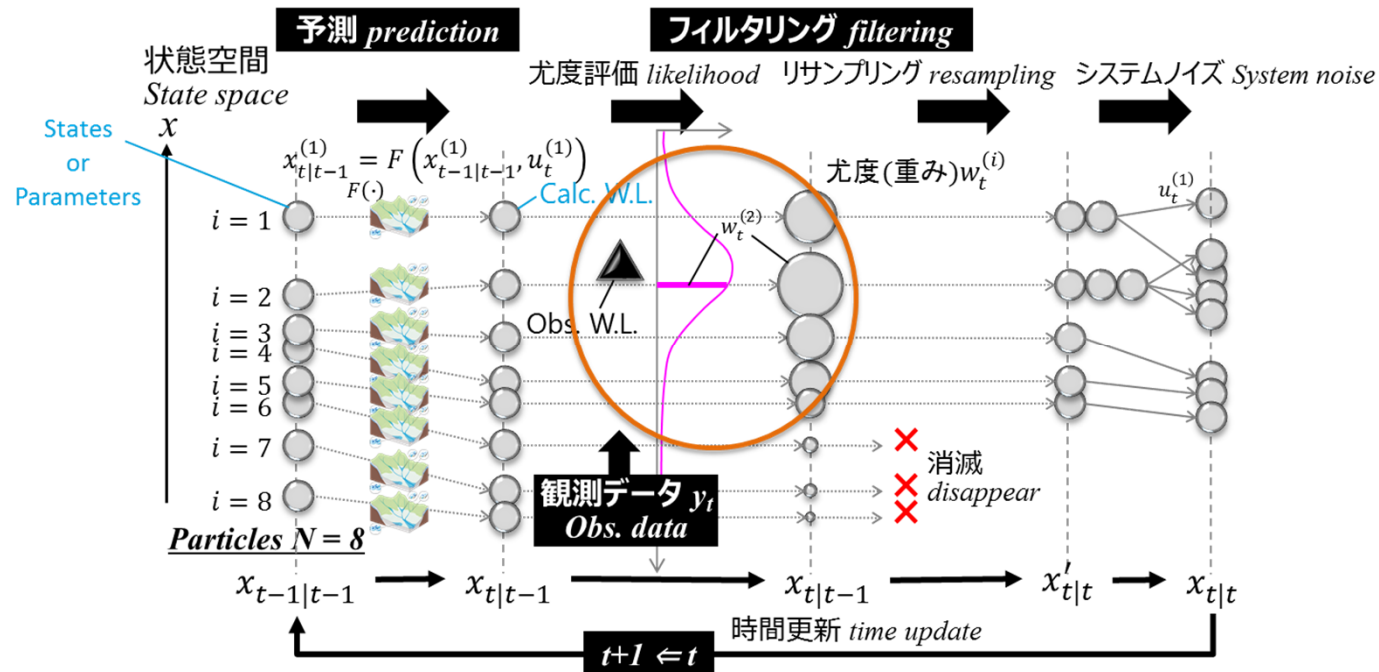
解析雨量 30分毎

速報版解析雨量 10分毎

速報版降水短時間予報 10分毎

粒子フィルターによる水位データ同化技術の開発

- 予測精度向上のため、粒子フィルター法を適用し、**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。
- 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**粒子フィルター法を選定**。
- 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ーを適用するのが最も効果的と評価**。

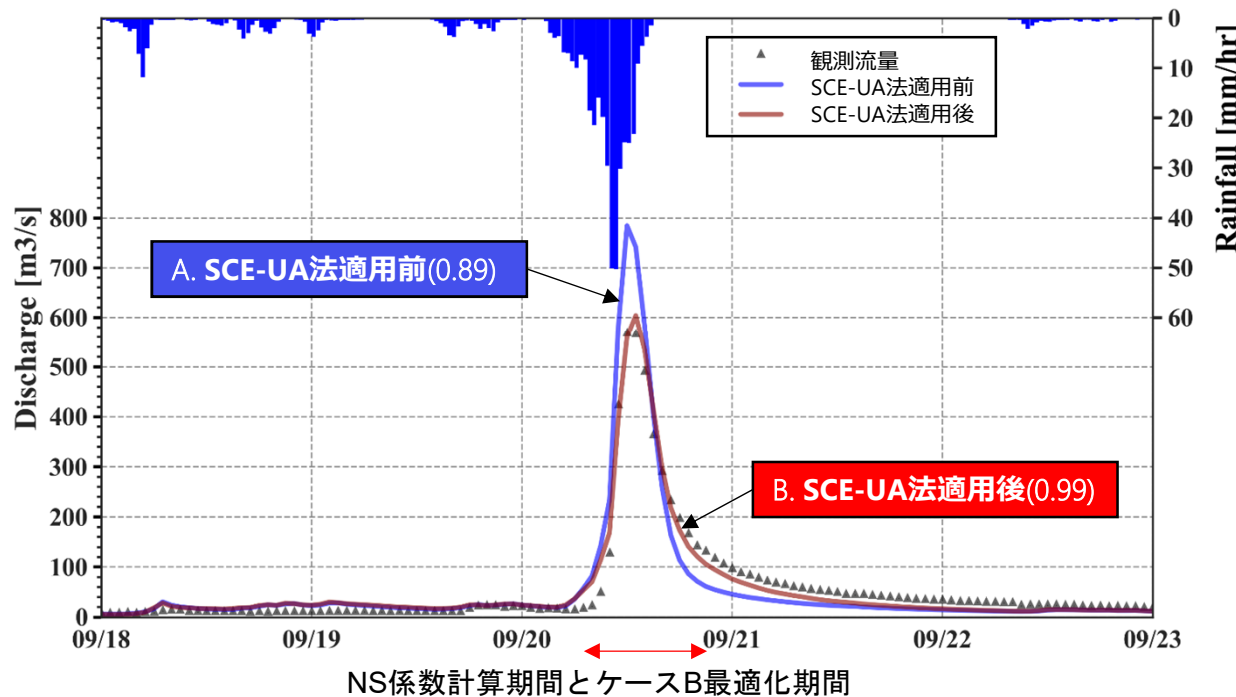


粒子フィルターの概念図 : 観測値に近い粒子 (ある状態量やパラメータによる計算結果) の重みを大きく、離れた粒子を小さく (又は消滅) することで、観測値と整合する状態量やパラメータの設定による予測計算を可能とする。

SCE-UA法によるパラメータ自動調節機能の開発

- 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※1**をRRIモデルに適用。
- 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※2）が**0.89**から**0.99**に改善。最適化アルゴリズムの効果を確認。

※1 SCE-UA法（Shuffled Complex Evolution algorithm developed in University of Arizona）とは・・・遺伝的アルゴリズムに類似した競争進化、集団混合の概念を組み合わせた最適化手法であり、複数のパラメータ候補値をグループに分けて各グループ内で最適のパラメータを探すように更新した後、更新結果から新しいグループに分け直して、また新しいグループ内で最適パラメータを探す作業を繰り返す手法である。



※2 Nash-Sutcliffe係数は、流量の誤差の大きさを考慮してモデルの精度を評価する指標で、その値が1に近いほどモデルの精度はよいとされ、0.7以上でモデルの再現性が高い3)とされている。以下にその算出式を示す。

$$\text{NASH} = 1 - \frac{\sum_{i=1}^N (q_i - qc_i)^2}{\sum_{i=1}^N (q_i - qm)^2}$$

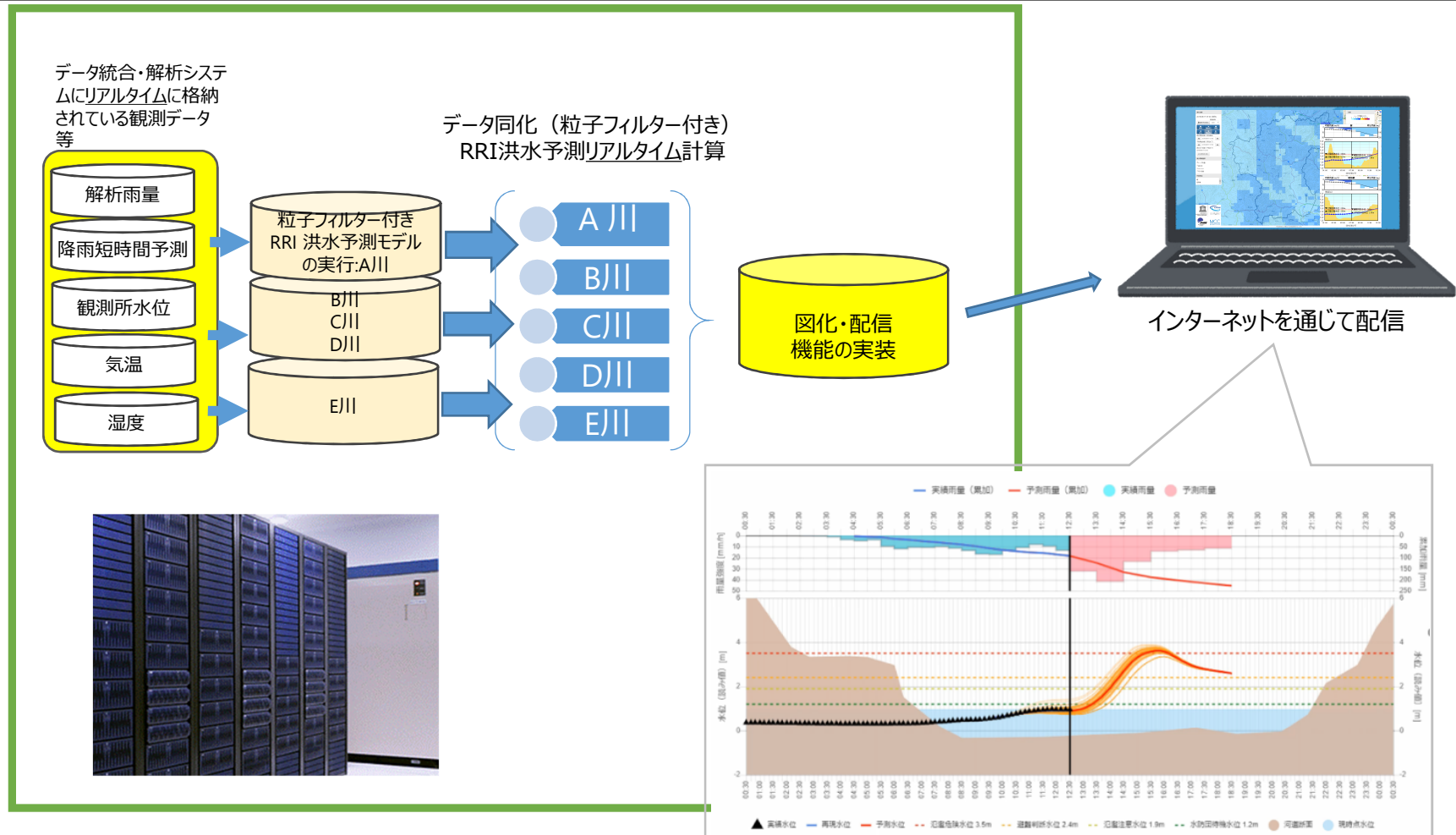
q_i : i 番目の実測流量 qc_i : i 番目のモデル流量
 qm : 実測流量の平均値 N : データ個数

SCE-UA法の適用事例（目的関数：Nash-Sutcliffe (NS)係数）

〔最適化パラメータ〕 ①②河道・斜面の粗度係数、③土層厚、④飽和空隙率、⑤不飽和空隙率、⑥飽和透水係数

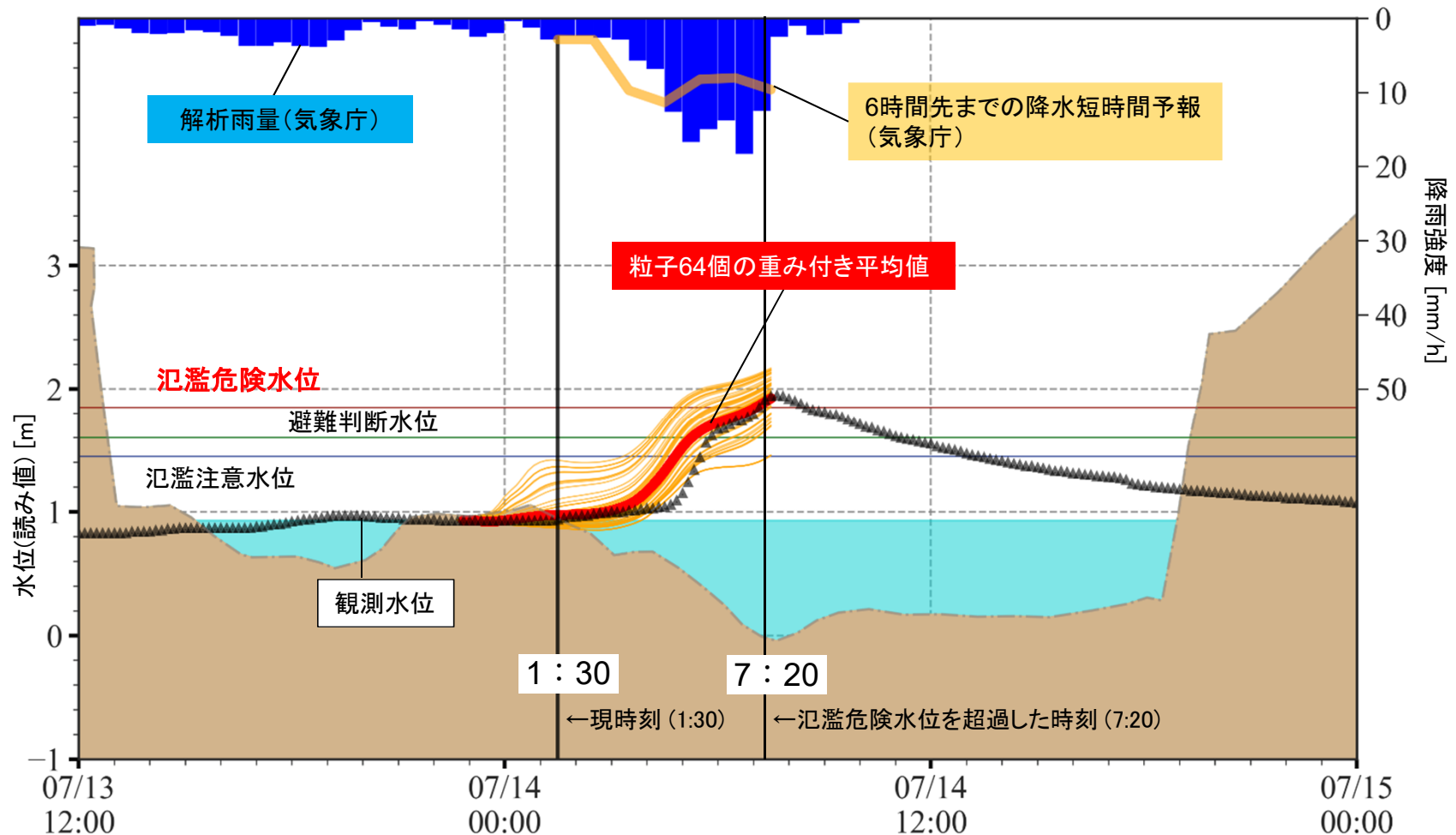
リアルタイム自動配信システムの開発

- 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**。
- 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検討**。



洪水予測の例

- 2020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。
- 実際に、令和2年7月14日7:20で、氾濫危険水位を超過。
- 結果的に、**5時間50分前に氾濫危険水位の超過を予測**できたことを確認。
- 現在までに、95河川でモデル構築、精度検証中。



洪水の予報のあり方について

【中小河川における洪水予測情報を提供する仕組みの構築】

- 中小河川で多くの犠牲者が発生。中小河川では水位上昇速度は早く、水位周知制度だけでは避難のための時間を十分に確保できない場合が多い。中小河川においても洪水予測情報を提供すべき。
- 当研究の実装により、現在、予測水位が提供されていない多くの水位周知河川などで洪水の予測が可能となる。
- 今後は、現行の水防法の規定に関わらず、少なくとも一級水系については水位周知河川やその他河川などについても、国が水系一貫で洪水の予測情報を提供していくべき。
- 一方で、現行の洪水予報河川制度では、法定伝達義務があるが、今後予報対象河川の範囲を広げていくに当たって、予測情報の提供業務のみを行えるような新たな制度が必要ではないか。
- 中小河川の洪水予測のためには、気象庁の短時間の降雨予測の精度向上(量・時間・位置)が不可欠。また、当該予測をアンサンブル予測とすることを期待。

【大河川における洪水予測の改善】

- 大河川において、発電ダム等の利水ダムを洪水調節に有効に活用していくため、事前放流のオペレーション上、できれば72時間先まで(少なくとも36時間先まで)の流域の総雨量の予測精度の向上が必要。ひいては電力ダムにおける発電効率の向上にも繋がる。
- 大河川の洪水予測(水位、流量)は、避難のために必要な時間を考慮すると、少なくとも12時間先、できれば24時間先までの精度の高い洪水予測情報を出せるようにしてほしい。

洪水の予報のあり方について

【民間企業等の予報について】

- 民間企業等が自ら開発した予測モデル等を用いて、**配信先を限定して予測情報を提供し、その利用者がその精度などを十分に理解した上で、当該予測情報を活用することは良いのではないか。**
- また、洪水予測技術開発の進展のためには、洪水予測モデルが様々な形で活用されることは推奨すべき。
- 配信する民間企業等は、例えば、洪水予測に関する技術審査等に合格した者などに限定すべき。
- 住民の避難行動に関わる情報については、引き続き国や地方公共団体等の公的機関が発表すべきと考える。