

流域治水に資する研究開発 ～河川研究部の最近の研究より～

令和3年1月18日

国土技術政策総合研究所
河川研究部長
佐々木 隆



講演内容

1. 「流域治水」について
2. 河川研究部での研究事例
（「流域治水」推進に関連する研究）
3. 個別研究の紹介
 - 3-1 越水時に決壊しにくい河川堤防の構造
 - 3-2 ダムの洪水調節機能強化（運用高度化）
 - 3-3 洪水危険度の見える化技術
 - 3-4 氾濫危険情報提供

1. 流域治水について

<「流域治水」の施策のイメージ>

- 気候変動の影響や社会状況の変化などを踏まえ、河川の流域のあらゆる関係者が協働して流域全体で行う治水対策、「流域治水」へ転換。
- 治水計画を「気候変動による降雨量の増加などを考慮したもの」に見直し、集水域と河川区域のみならず、氾濫域も含めて一つの流域として捉え、地域の特性に応じ、①氾濫をできるだけ防ぐ・減らす対策、②被害対象を減少させるための対策、③被害の軽減、早期復旧・復興のための対策をハード・ソフト一体で多層的に進める。

① 氾濫をできるだけ防ぐ・減らすための対策

雨水貯留機能の拡大

[県・市・企業・住民]

雨水貯留浸透施設の整備、
ため池等の治水利用

集水域

流水の貯留

[国・県・市・利水者]

治水ダムの建設・再生、
利水ダム等において貯留水を
事前に放流し洪水調節に活用

[国・県・市]

土地利用と一体となった遊水
機能の向上

河川区域

持続可能な河道の流下能力の
維持・向上

[国・県・市]

河床掘削、引堤、砂防堰堤、
雨水排水施設等の整備

氾濫水を減らす

[国・県]

「粘り強い堤防」を目指した
堤防強化等

② 被害対象を減少させるための対策

リスクの低いエリアへ誘導／

住まい方の工夫

[県・市・企業・住民]

土地利用規制、誘導、移転促進、
不動産取引時の水害リスク情報提供、
金融による誘導の検討

氾濫域

浸水範囲を減らす

[国・県・市]

二線堤の整備、
自然堤防の保全



③ 被害の軽減、早期復旧・復興のための対策

土地のリスク情報の充実

[国・県]

水害リスク情報の空白地帯解消、
多段型水害リスク情報を発信

氾濫域

避難体制を強化する

[国・県・市]

長期予測の技術開発、
リアルタイム浸水・決壊把握

経済被害の最小化

[企業・住民]

工場や建築物の浸水対策、
BCPの策定

住まい方の工夫

[企業・住民]

不動産取引時の水害リスク情報
提供、金融商品を通じた浸水対
策の促進

被災自治体の支援体制充実

[国・企業]

官民連携によるTEC-FORCEの
体制強化

氾濫水を早く排除する

[国・県・市等]

排水門等の整備、排水強化

2. 河川研究部での研究事例(「流域治水」推進に関連する研究)

① 氾濫をできるだけ防ぐための対策(氾濫を防ぐ堤防等の治水施設や流域の貯留施設等整備)

河道・堤防の整備、ダムの整備(新設)に関する基本的な研究に加え、

- ✓ 気候変動を踏まえた降雨特性に関する研究
- ✓ 越水時に決壊しにくい河川堤防の構造に関する研究
- ✓ ダムの洪水調節機能強化(運用高度化)に関する研究
- ✓ ダム再生の推進技術
- ✓ 水害リスク評価手法に関する研究【関連:「水害リスク評価の手引き(案)」】
- ✓ 高波に対して粘り強い海岸堤防に関する研究
- ✓ 海面上昇へ対応した海浜変形予測手法および海岸保全施設強化策に関する研究

② 被害対象を減少させるための対策

(氾濫した場合を想定して、被害を回避するためのまちづくりや住まい方の工夫等)

- ✓ 水害リスク評価手法に関する研究【関連:「水害リスク評価の手引き(案)」】再掲
- ✓ 氾濫推定情報に関する研究【関連:「小規模河川の氾濫推定図作成の手引き」など】
- ✓ 高潮浸水想定区域図作成の手引き検討

③ 被害の軽減・早期復旧・復興のための対策

(氾濫の発生に際し、確実な避難や経済被害軽減、早期の復旧・復興のための対策)

- ✓ 氾濫推定情報に関する研究【関連:「小規模河川の氾濫推定図作成の手引き」など】再掲
- ✓ レーダー雨量計による豪雨監視に関する研究【開発技術:XRRAIN】
- ✓ 洪水危険度見える化技術に関する研究【開発技術:水害リスクライン】
- ✓ 氾濫危険情報提供に関する研究【開発技術:リアルタイム浸水予測システム(試行中)】
- ✓ 海岸うちあげ高予測システムの開発
- ✓ 水防活動の支援に関する研究

2. 河川研究部での研究事例(「流域治水」推進に関連する研究)

① 氾濫をできるだけ防ぐための対策(氾濫を防ぐ堤防等の治水施設や流域の貯留施設等整備)

河道・堤防の整備、ダム of 整備(新設)に関する基本的な研究に加え、

- ✓ 気候変動を踏まえた降雨特性に関する研究
- ✓ 越水時に決壊しにくい河川堤防の構造に関する研究
- ✓ ダムの洪水調節機能強化(運用高度化)に関する研究
- ✓ ダム再生の推進技術
- ✓ 水害リスク評価手法に関する研究【関連:「水害リスク評価の手引き(案)」】
- ✓ 高波に対して粘り強い海岸堤防に関する研究
- ✓ 海面上昇へ対応した海浜変形予測手法および海岸保全施設強化策に関する研究

2. 河川研究部での研究事例(「流域治水」推進に関連する研究)

②被害対象を減少させるための対策

(氾濫した場合を想定して、被害を回避するためのまちづくりや住まい方の工夫等)

- ✓ 水害リスク評価手法に関する研究【関連:「水害リスク評価の手引き(案)」】再掲
- ✓ 氾濫推定情報に関する研究【関連:「小規模河川の氾濫推定図作成の手引き」など】
- ✓ 高潮浸水想定区域図作成の手引き検討

2. 河川研究部での研究事例(「流域治水」推進に関連する研究)

③被害の軽減・早期復旧・復興のための対策

(氾濫の発生に際し、確実な避難や経済被害軽減、早期の復旧・復興のための対策)

- ✓ 氾濫推定情報に関する研究【関連:「小規模河川の氾濫推定図作成の手引き」など】再掲
- ✓ レーダー雨量計による豪雨監視に関する研究【開発技術:XRRAIN】
- ✓ 洪水危険度見える化技術に関する研究【開発技術:水害リスクライン】
- ✓ 氾濫危険情報提供に関する研究【開発技術:リアルタイム浸水予測システム(試行中)】
- ✓ 海岸うちあげ高予測システムの開発
- ✓ 水防活動の支援に関する研究

2. 河川研究部での研究事例(「流域治水」推進に関連する研究)

① 氾濫をできるだけ防ぐための対策(氾濫を防ぐ堤防等の治水施設や流域の貯留施設等整備)

河道・堤防の整備、ダムの整備(新設)に関する基本的な研究に加え、

- ✓ 気候変動を踏まえた降雨特性に関する研究
- ✓ 越水時に決壊しにくい河川堤防の構造に関する研究◎
- ✓ ダムの洪水調節機能強化(運用高度化)に関する研究◎
- ✓ ダム再生の推進技術
- ✓ 水害リスク評価手法に関する研究【関連:「水害リスク評価の手引き(案)」】
- ✓ 高波に対して粘り強い海岸堤防に関する研究
- ✓ 海面上昇へ対応した海浜変形予測手法および海岸保全施設強化策に関する研究

② 被害対象を減少させるための対策

(氾濫した場合を想定して、被害を回避するためのまちづくりや住まい方の工夫等)

- ✓ 水害リスク評価手法に関する研究【関連:「水害リスク評価の手引き(案)」】再掲
- ✓ 氾濫推定情報に関する研究【関連:「小規模河川の氾濫推定図作成の手引き」など】
- ✓ 高潮浸水想定区域図作成の手引き検討

③ 被害の軽減・早期復旧・復興のための対策

(氾濫の発生に際し、確実な避難や経済被害軽減、早期の復旧・復興のための対策)

- ✓ 氾濫推定情報に関する研究【関連:「小規模河川の氾濫推定図作成の手引き」など】再掲
- ✓ レーダー雨量計による豪雨監視に関する研究【開発技術:XRAIN】
- ✓ 洪水危険度見える化技術に関する研究【開発技術:水害リスクライン】◎
- ✓ 氾濫危険情報提供に関する研究【開発技術:リアルタイム浸水予測システム(試行中)】◎
- ✓ 海岸うちあげ高予測システムの開発
- ✓ 水防活動の支援に関する研究

※その他、国総研では、下水道関連、都市・住宅関連等の分野で多くの関連する研究が実施されている。

3-1 越水時に決壊しにくい河川堤防の構造 ～危機管理対応の強化策～

- 令和元年東日本台風による洪水では、全国で142箇所[※]の河川堤防が決壊(うち86%は越水が主要因)し、約3万5千haが浸水するなど甚大な被害が発生した。
- 今後も、気候変動により洪水による被害がさらに頻発化・激甚化することが考えられ、それに対し、被害を防止・軽減することが求められている。
- 洪水の被害を防止・軽減するためには、従来から進めてきたように河道の掘削や拡幅、ダム・遊水地等洪水調節施設の整備等を実施することによって洪水時の河川水位を少しでも下げることが大原則である。
- 一方で、治水施設の能力を超える洪水に対しても、浸水による被害をできるだけ減らすための効率的・効果的な対策を進めることの必要性が益々高まっており、越水に対して河川堤防を強化する方策について検討している。
- なお、狭窄部の上流部、橋梁の上流部、支川合流部、湾曲部などの影響を受け、水位が上昇しやすい事象が当面解消されない区間などを対象として検討を進めている。



決壊地点周辺の浸水状況(10月13日13時10分頃)

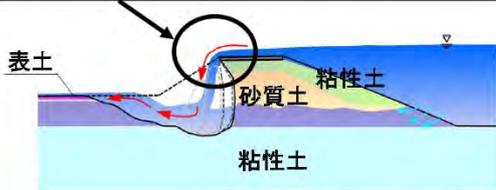
写真: 千曲川堤防
調査委員会資料

3-1 越水時に決壊しにくい河川堤防の構造 ～危機管理対応の強化策～

- 平成27年9月の鬼怒川の堤防決壊を契機に、目標とする規模の洪水を計画高水位以下で安全に流すための河川整備を基本としつつも、決壊を少しでも遅らせることによる被害の軽減、特に人的被害の軽減を主な目的として、**危機管理型ハード対策を実施**している。
- 危機管理型ハード対策の施工箇所のうち1箇所(都幾川左岸6.2k付近)において、令和元年東日本台風時に越水が発生した。堤防の決壊は免れ対策の効果が現れたと考えられる一方で、植生による耐侵食性を活用するという考えからブロック等で被覆されていない裏法面では侵食が生じた。
- このため、このような簡易な対策では、効果に限界があり、**より高い効果を追求する際には、さらに「粘り強い河川堤防」を目指す必要がある。**

堤防天端の保護

- 堤防天端をアスファルト等で保護し、法肩部の崩壊の進行を遅らせることにより、決壊までの時間を少しでも延ばす



堤防裏法尻の補強

- 裏法尻をブロック等で補強し、深掘れの進行を遅らせることにより、決壊までの時間を少しでも延ばす



危機管理型ハード対策の考え方

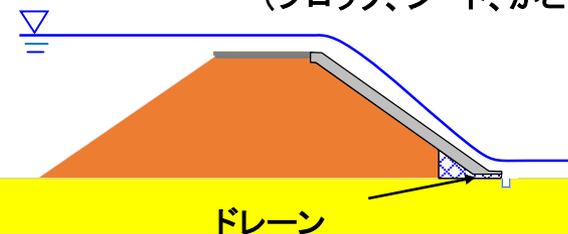


荒川水系都幾川左岸6.2kp付近での被災状況

写真: 荒川水系越辺川・都幾川堤防調査委員会資料

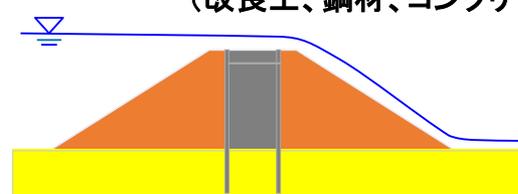
表面被覆型

(ブロック、シート、かご等)



一部自立型

(改良土、鋼材、コンクリート等)



粘り強い河川堤防の構造イメージ

3-1 越水時に決壊しにくい河川堤防の構造 ～危機管理対応の強化策～

- 現時点では、越水に対する堤防強化技術にはその効果に幅や不確実性が存在する。また、堤防強化工法の構造物の安定性を長期的に維持するための維持管理方法が未確立である。そのため、目指す性能の設定とそれに対する一定の設計が可能な工法の技術開発が必要。
 - ⇒ 大型堤防模型実験による現象の理解、河川砂防技術開発制度(大学等への委託研究)の活用
 - ⇒ 対策工法への新技術導入に向けた関係業界団体等との意見交換の実施
- 越水時の決壊・非決壊を分ける要因としては、堤体の形状や浸潤状況の他にも、堤防の内部構造、堤体土の土質や締固め度、植生の種類や繁茂状況等の法面の不均質性、天端舗装や坂路等の有無、内水の湛水状況などが複雑に関係。
 - ⇒ 越水箇所の堤防形状・土質・越水状況等に関する情報を収集・整理
 - ⇒ 決壊を分けた要因について調査・分析を実施



通水前



通水中



通水後

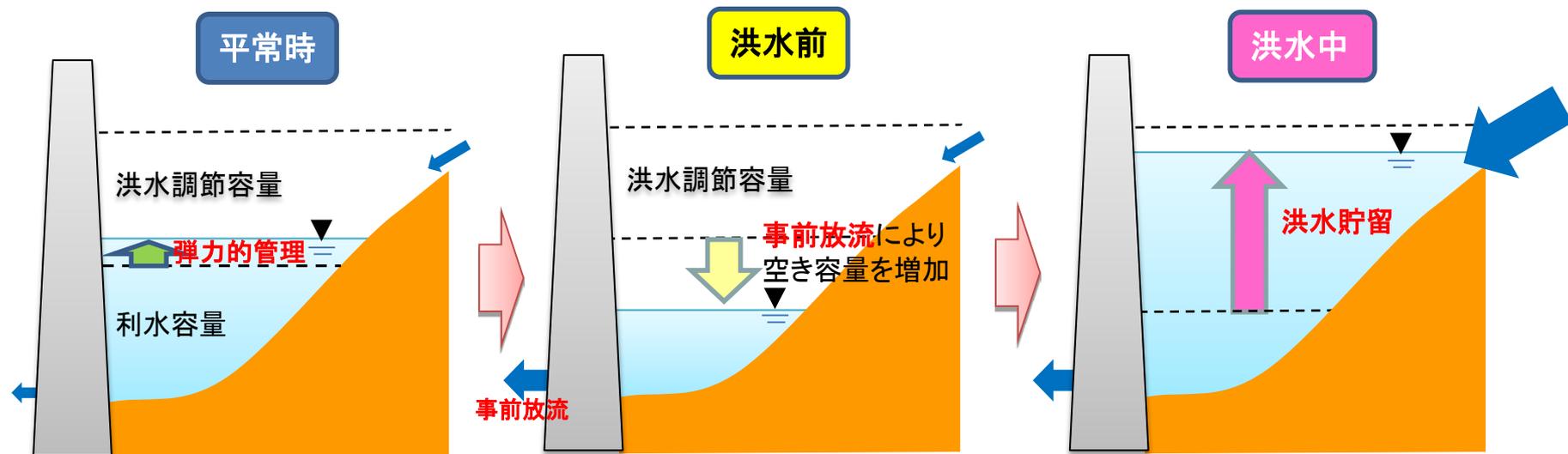
国総研における大型堤防模型実験の実施(表面被覆型の検討事例)

(目的①予期せぬ変状の確認 / 目的②堤防強化技術を支えるための理論を検討する上での検証データの取得)

3-2 ダムの洪水調節機能強化(運用高度化)

・洪水時ダム操作の高度化に向け、不確実性を有する予測情報をダム操作の意思決定に活用する方法を研究。

・時々刻々変化する予測情報をもとに、ダム操作の実務を踏まえてその時点で**実行可能な高度なダム操作方法**を見出し、**ダム管理者の意思決定を支援するシステム**のプロトタイプを開発中。



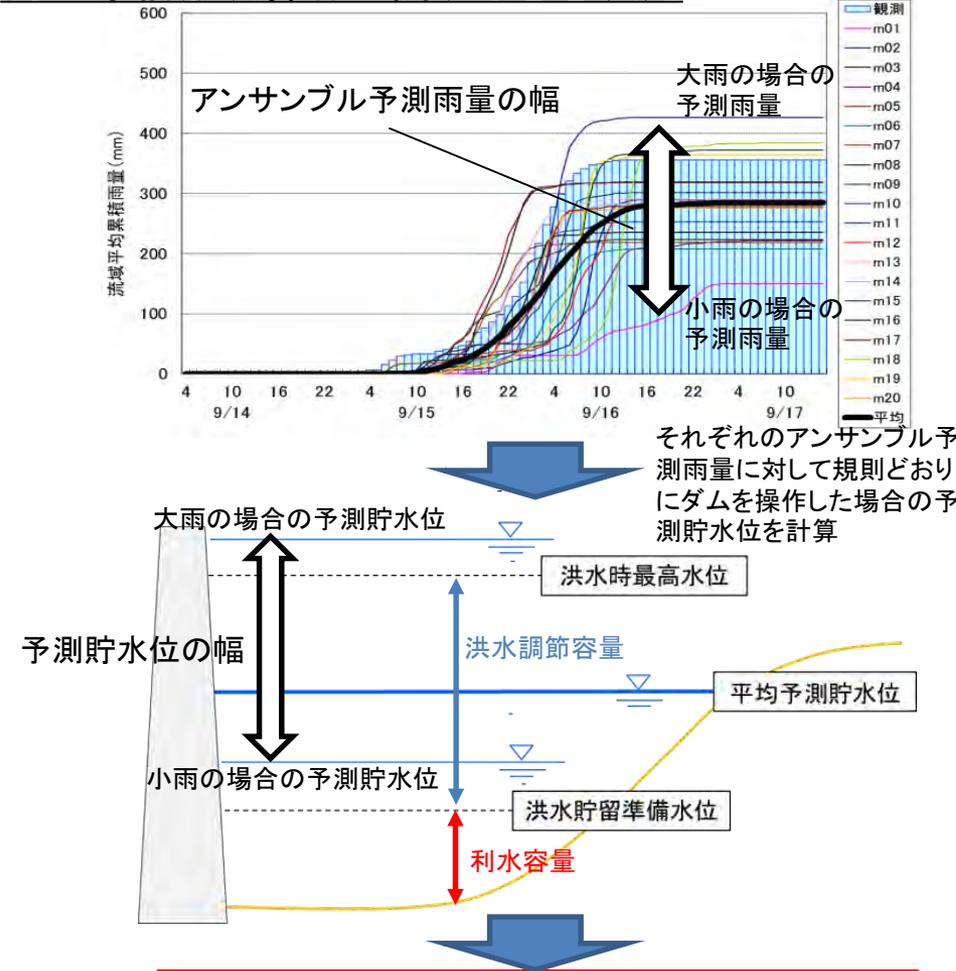
☆洪水調節容量の一部にも貯留する、**弾力的管理**

☆利水容量も活用し、洪水調節に使える容量を一時的に多く確保する、**事前放流**

☆ダム容量を最大限使用し、下流の被害をできる限り軽減する、**洪水調節**

アンサンブル予報の活用

例： 事前放流操作に関する意思決定

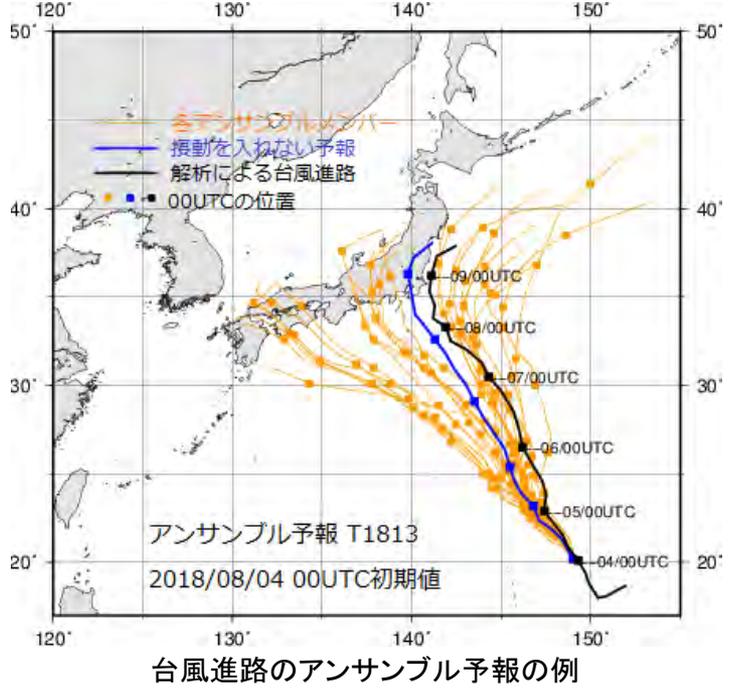


アンサンブル予報

数値予報の処理過程(初期値作成、時間積分など)において生じ得る誤差の要因に対応する、わずかなばらつき(摂動)を加えた複数の予測(アンサンブルメンバー)によって、予測の不確実性を評価する手法。

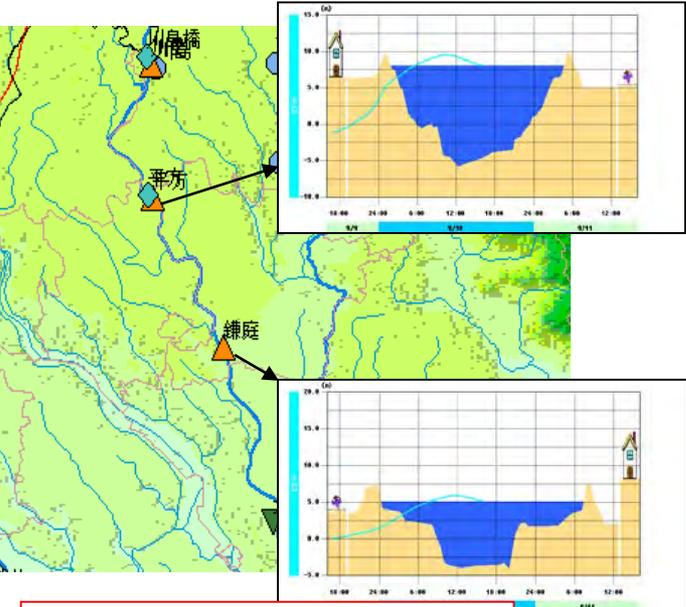
アンサンブル予報の予測結果から、メンバーの統計量を計算することで、予測の信頼度や確率情報などが得られる。

気象庁のアンサンブル予報には、空間解像度5kmで39時間先まで予測するメソアンサンブル予報や、空間解像度40kmで18日先まで予測する全球アンサンブル予報などがある。



※気象庁HP(<https://www.jma.go.jp/jma/kishou/minkan/koushu190313/shiryu2.pdf>)

【これまで】水位計地点の水位情報を提供



水位計地点の「点」情報

・河川の洪水危険度を「見える化」し、大規模氾濫からの避難対策を支援するための河川水位予測技術を開発。

・河川水位予測精度の向上、予測先行時間の長時間化ニーズへの対応のため、危機管理型水位計を活用した実測調整手法などを研究中。

『水害リスクライン』
河川水位を見える化し、わかりやすく、きめ細かい情報を提供



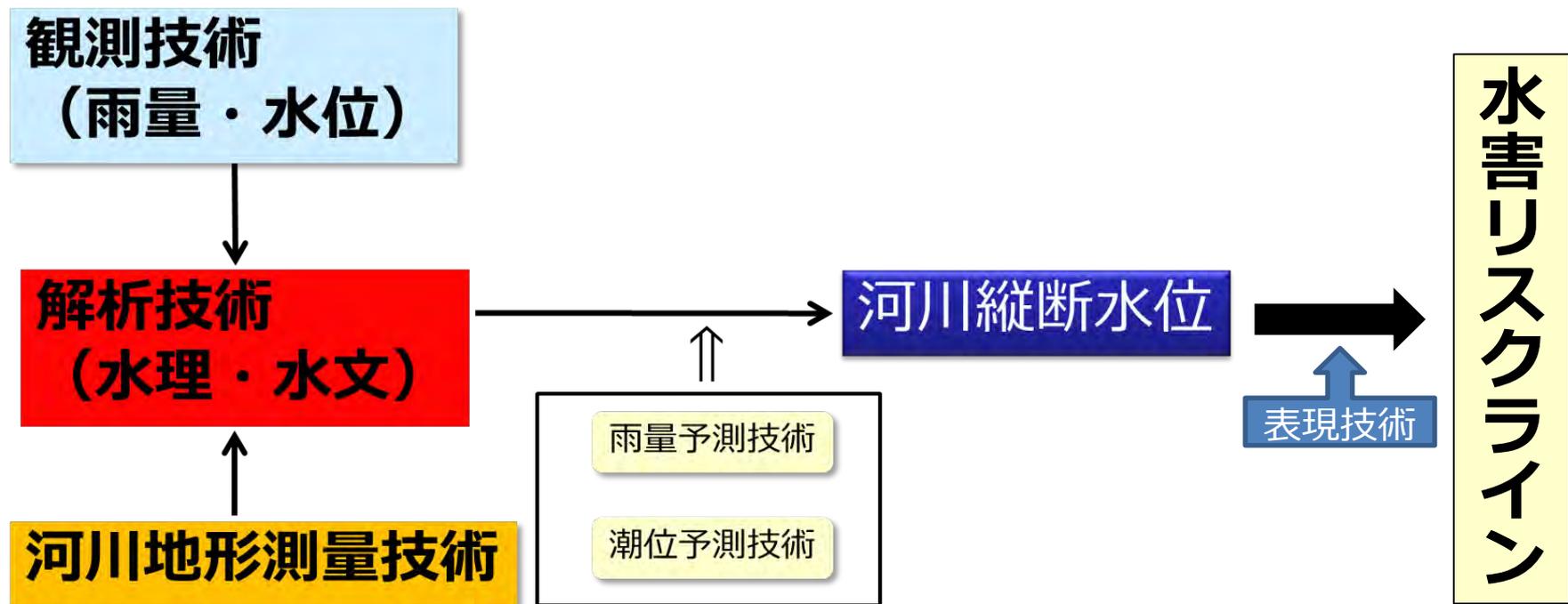
連続した「線」情報として提供

河川の左右岸別に、氾濫の切迫度の段階に応じて色分け表示

『水害リスクライン』

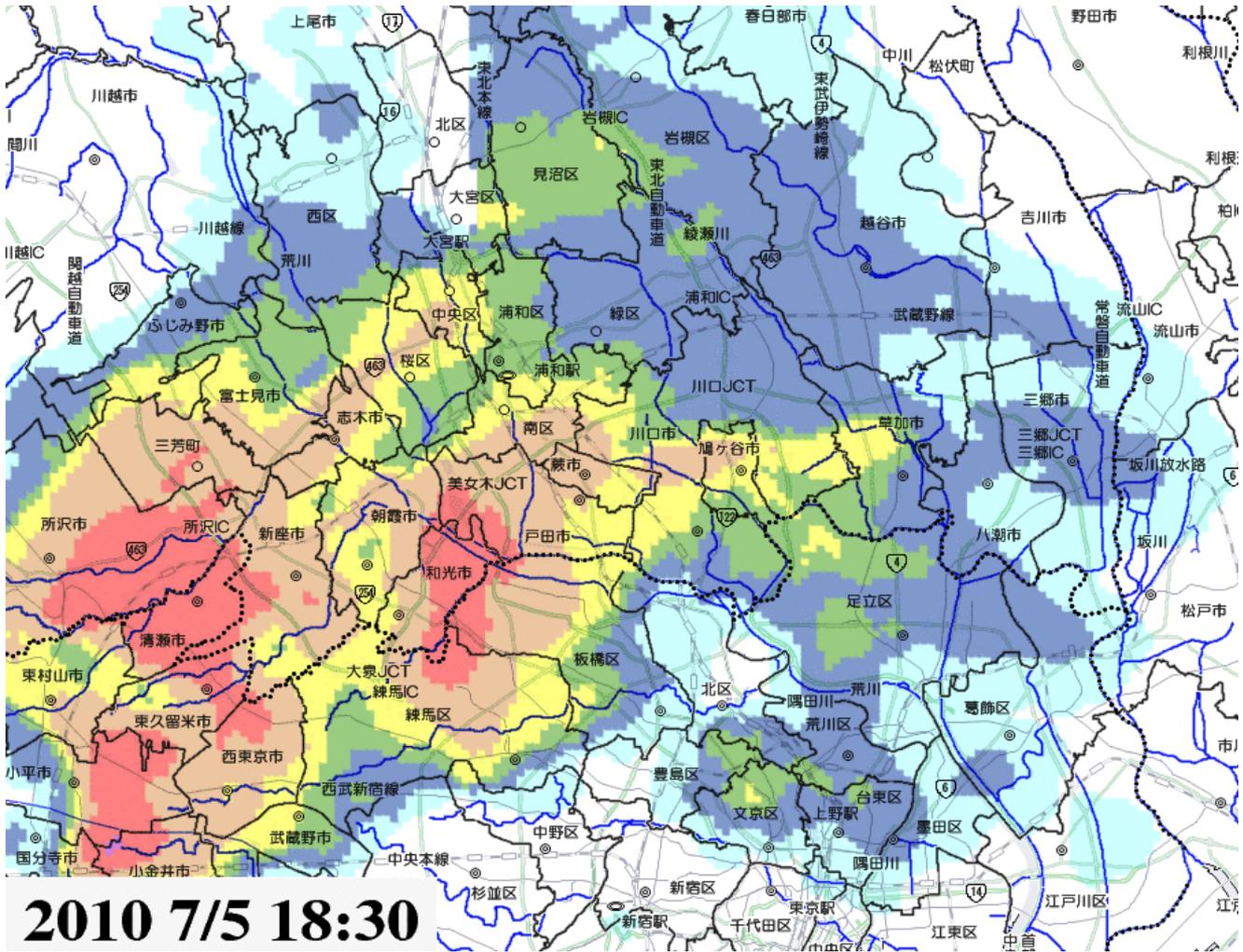
- レーダ雨量計によって観測された面的な雨量観測データを予測計算に反映
- 観測水位データを最大限活用して、上流から下流まで連続した河川水位を予測
- 水位と堤防高等の関係から、区間毎の洪水危険度が見える化
- 令和2年度から一級河川直轄管理区間の現況危険度の情報提供を開始

水害リスクラインを支える各種技術



時々刻々変化する河川縦断水位を精度よく把握・予測するためには、観測・予測雨量等の高精度化、水理・水文解析技術の高度化に加え、河道や河川水位の最新状況を的確かつきめ細かく把握し、予測へ反映することが重要

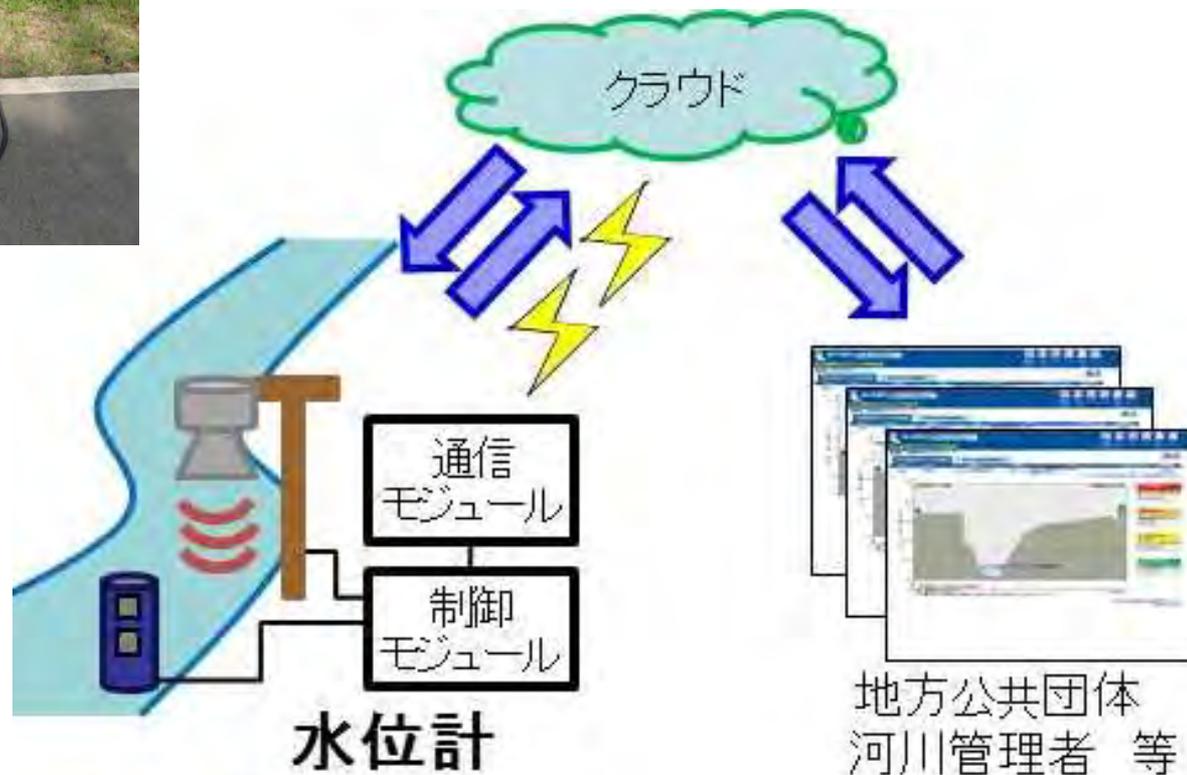
雨量観測技術： レーダ雨量計による面的な雨量観測



2010 7/5 18:30

レーダ雨量計により高時空間解像度で面的な観測雨量を分布型流出モデルに入力して、計算精度を向上

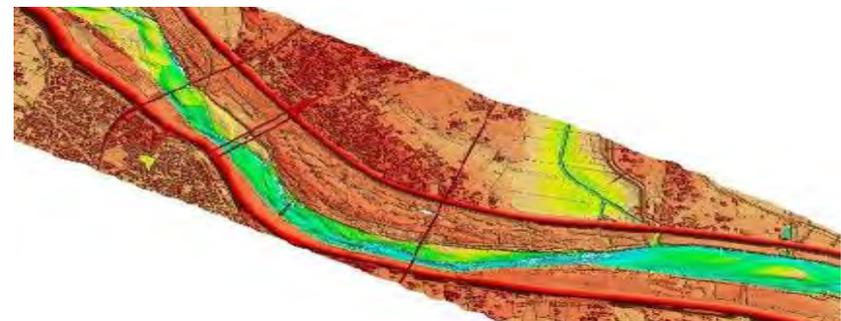
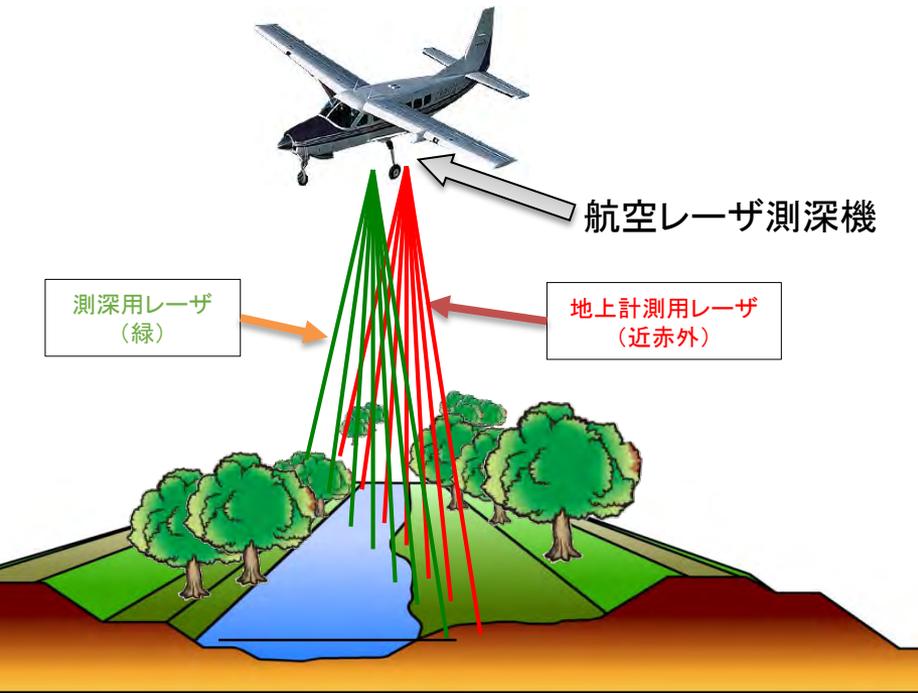
水位観測技術： 多地点での河川水位観測



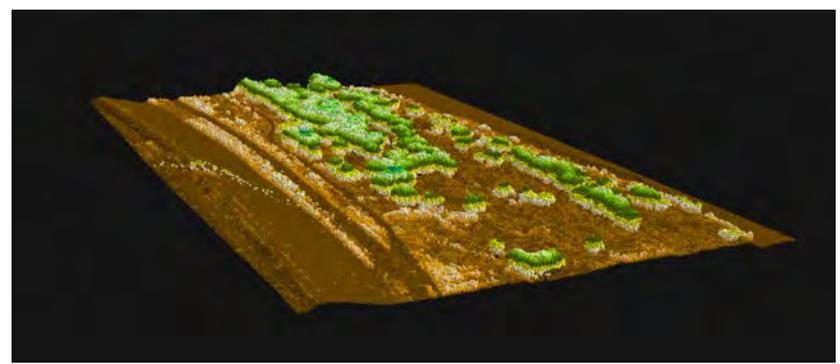
危機管理型水位計やCCTVカメラ画像により、**河川水位を多地点で観測**し、データ同化を介して**水文・水理計算に反映**させ、計算精度を向上

測量技術： 河道地形、樹木分布の詳細計測

- ・地上計測用レーザ(近赤外)
樹木、地物、地盤標高を計測
- ・測深用レーザ(緑)
水面下の地盤高を計測



・地上と水面下の連続的な三次元データを計測



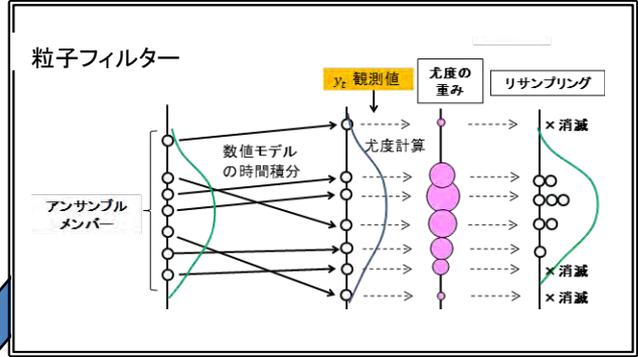
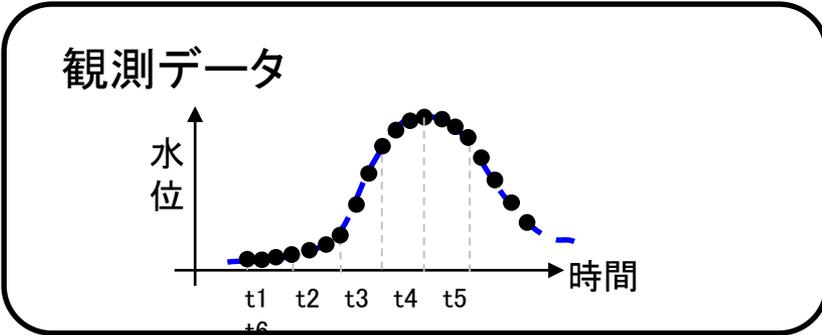
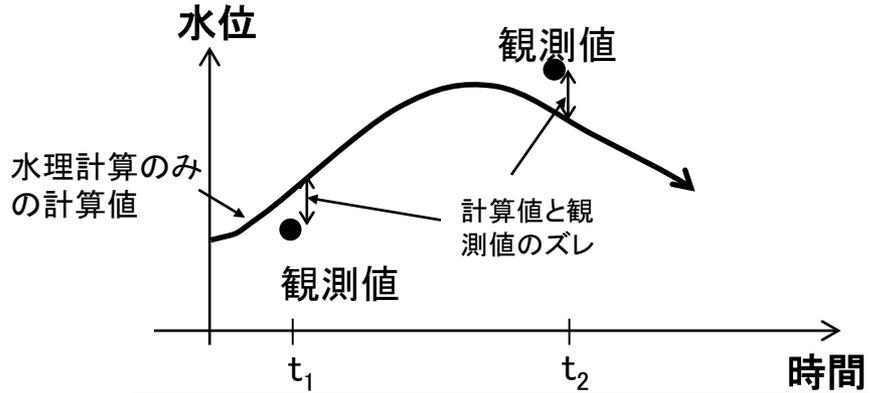
・樹高や枝葉の粗密を計測

航空レーザ測深(ALB)による**詳細な河道地形、樹木の粗密等を水理計算に反映**させることにより、計算精度を向上

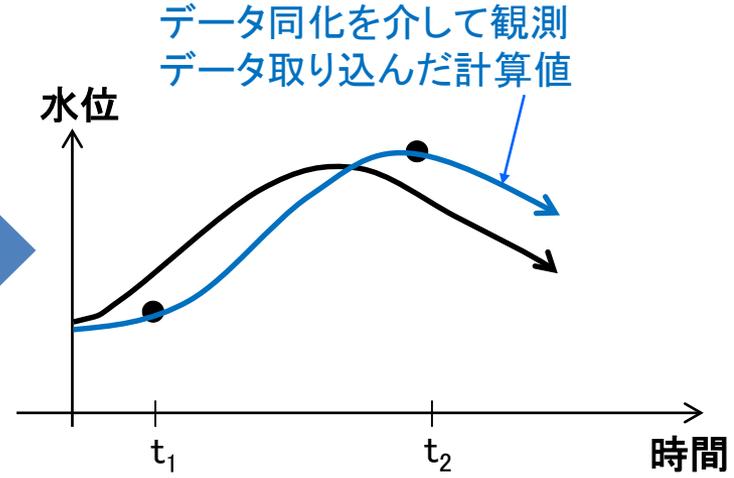
解析技術： データ同化による精度向上

水理計算 河道の物理方程式により上下流連続的な河川水位を計算

$$\frac{\partial h}{\partial t} + \frac{\partial q}{\partial x} = 0$$

$$\frac{\partial q}{\partial t} + \frac{\partial vq}{\partial x} + gh \frac{\partial h}{\partial x} - ghi_0 + \frac{gn^2 q^2}{h^{7/3}} = 0$$


データ同化



水理計算にデータ同化技術を適用し、計算値と観測値のズレが極力小さくなるように計算モデルのパラメータ等を修正して、計算精度を向上

3-3 洪水危険度の見える化技術 水害リスクライン

表現技術： 切迫感が“伝わる”表現方法の検討



水理計算結果、地形データ、周辺構造物・背景の写真などを合成することにより、**洪水のVR動画**を容易に作成可能

■必要性と目的

- ✓ **集中豪雨や局所的な大雨による水災害が頻発**しており、引き続き河川や下水道整備を進めることが重要である
- ✓ **洪水氾濫時のハザード情報図**については洪水浸水想定区域図等として公表されているが、**多くの中小河川において未作成・未公表**（別途、「中小河川におけるリスク情報空白域解消に向けた研究」を実施）
- ✓ 上記施策に加え、ハード・ソフト対策を総動員した水害対策の一環として、最新の**ICT技術を活用した浸水予測情報による被害防止・軽減対策の研究開発**を実施

※平成26年度からSIP(第1期) により研究開発を実施

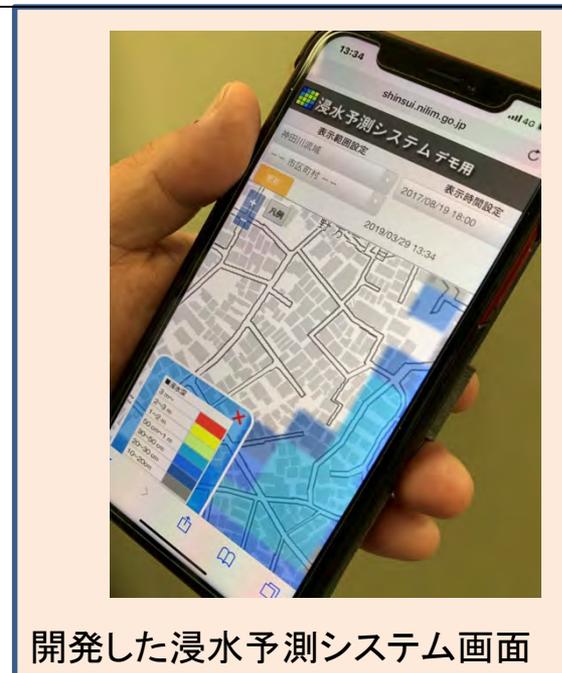


写真：九州地方整備局提供

1999年6月福岡水害→地下街への
氾濫水流入による甚大な被害



地下への洪水流入防止対策
→実施には作業時間必要

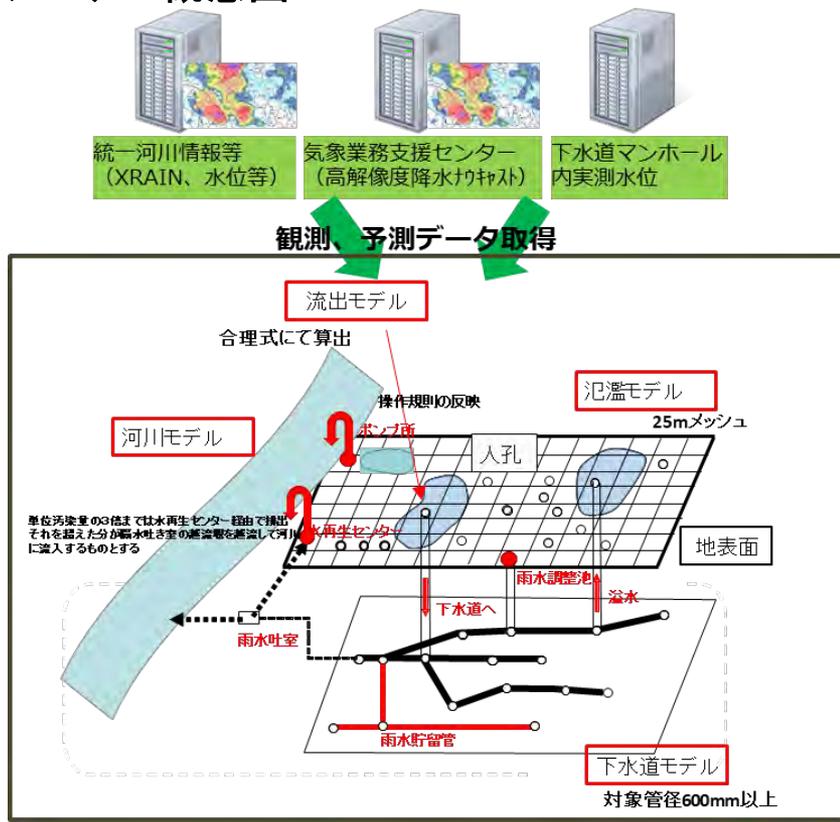


開発した浸水予測システム画面

■技術の要点、技術開発の工夫

- ✓ 他機関の降雨・河川水位データ等を連続的に受信し、受信から10分以内に1時間先までの浸水予測情報を配信できる高速・連続計算機能を開発・実装
- ✓ 水害対策現場の実態を踏まえ浸水予測情報に必要な精度等について検討し、浸水予測計算の精度・速度・安定性の3者を同時に確保できるよう、予測計算対象下水道管を限定するなど工夫
- ✓ 平成28年度より東京都内神田川流域等で試験運用を実施し連続計算機能等を検証

システム概念図



システム表示例



■ 現在進行中の研究内容

- ✓ 令和元年10月の台風19号等により全国で河川氾濫が相次ぎ、自動車での移動中に予期せぬ浸水域・浸水深に遭遇したと考えられる人的被害が多発
- ✓ 事業所等の被害が社会的に大きな影響を及ぼすような被災事例が多発



浸水予測情報を活用することで人的被害、事業所被害等の防止・軽減を図る

技術的課題と研究内容

- ✓ **広大な洪水浸水想定区域において必要とされる浸水予測精度の確保とコストを両立させるための技術・システムの研究開発**
- ✓ **既存浸水センサー等との連携による浸水予測精度の確保**
※浸水センサー：茨城県土浦市などで実用試験中



浸水センサー
(出典：関東地方整備局)

■ 今後の方向性

- ✓ 浸水予測精度を継続的に検証し、浸水予測情報の利用目的に応じた精度向上の検討
- ✓ **地域の水防活動における浸水予測情報の活用の検討（別途、研究を実施中）**
- ✓ 排水ポンプ車等のオペレーションにおける浸水予測情報の活用の検討

河川研究部での研究事例(「流域治水」推進に関連する研究) 【再掲】

① 氾濫をできるだけ防ぐための対策(氾濫を防ぐ堤防等の治水施設や流域の貯留施設等整備)

- 河道・堤防の整備、ダムの整備(新設)に関する基本的な研究に加え、
- ✓ 気候変動を踏まえた降雨特性に関する研究
- ✓ 越水時に決壊しにくい河川堤防の構造に関する研究◎
- ✓ ダムの洪水調節機能強化(運用高度化)に関する研究◎
- ✓ ダム再生の推進技術
- ✓ 水害リスク評価手法に関する研究【関連:「水害リスク評価の手引き(案)」】
- ✓ 高波に対して粘り強い海岸堤防に関する研究
- ✓ 海面上昇へ対応した海浜変形予測手法および海岸保全施設強化策に関する研究

研究成果を技術指針等へ反映、
技術の普及を図っていくとともに、
研究で得られた知見等をもとに、
現場への技術支援を行っていきます。

② 被害対象を減少させるための対策 (氾濫した場合を想定して)

- ✓ 水害リスク評価手法に関する研究
- ✓ 氾濫推定情報に関する研究
- ✓ 高潮浸水想定区域図作成に関する研究

③ 被害の軽減・早期復旧・復興のための対策 (氾濫の発生に際し、確実な避難や経済被害軽減、早期の復旧・復興のための対策)

- ✓ 氾濫推定情報に関する研究【関連:「小規模河川の氾濫推定図作成の手引き」など】再掲
- ✓ レーダー雨量計による豪雨監視に関する研究【開発技術:XRRAIN】
- ✓ 洪水危険度見える化技術に関する研究【開発技術:水害リスクライン】◎
- ✓ 氾濫危険情報提供に関する研究【開発技術:リアルタイム浸水予測システム(試行中)】◎
- ✓ 海岸うちあげ高予測システムの開発
- ✓ 水防活動の支援に関する研究

※その他、国総研では、下水道関連、都市・住宅関連等の分野で多くの関連する研究が実施されている。