

---

# SIP国家レジリエンスの強化

## テーマⅥ. スーパー台風被害予測システムの開発

---

令和元年12月12日

研究責任者 立川 康人

# スーパー台風被害予測システムの開発

-新たなハザード予測システムと治水施設の最大利用技術の開発-



# 逃げ遅れゼロ、社会経済被害最小化のための戦略

新たなハザード予測システムと治水施設の最大活用技術の開発

## 新技術への挑戦

### 新たなハザード予測システムの開発

高潮・高波ハザード予測システム

長時間洪水予測システム

- アンサンブル気象予測を利用する高潮・高波、流量水位ハザード予測システム
- 30m分解能水文地形データ
- 日本全国の150m空間分解能の河川流量予測モデル
- 沿岸都市域の3m空間分解能の浸水予測モデル

### 新たなハザード予測情報の提供

適切な避難勧告・避難指示を実現するための予測情報の提供

治水施設の機能を最大限活用する予測情報の提供

- 72時間前のピンポイントの高潮・高波予測、水位・流量、深水位の確率予測
- 最悪シナリオ予測
- 15日先までの1km分解能の降水予測とダム流入量予測
- 日本全国の150m空間分解能の河川流量予測

テーマVIIへ

### 治水施設の最大活用技術の開発

危機管理型水門管理システム

統合ダム管理システム

- ダム貯水池の事前放流による治水容量確保技術
- ダム貯水池の統合操作技術
- 遠隔からの無動力水門閉鎖技術
- LPWAを用いた水門開閉状況の一元監視技術

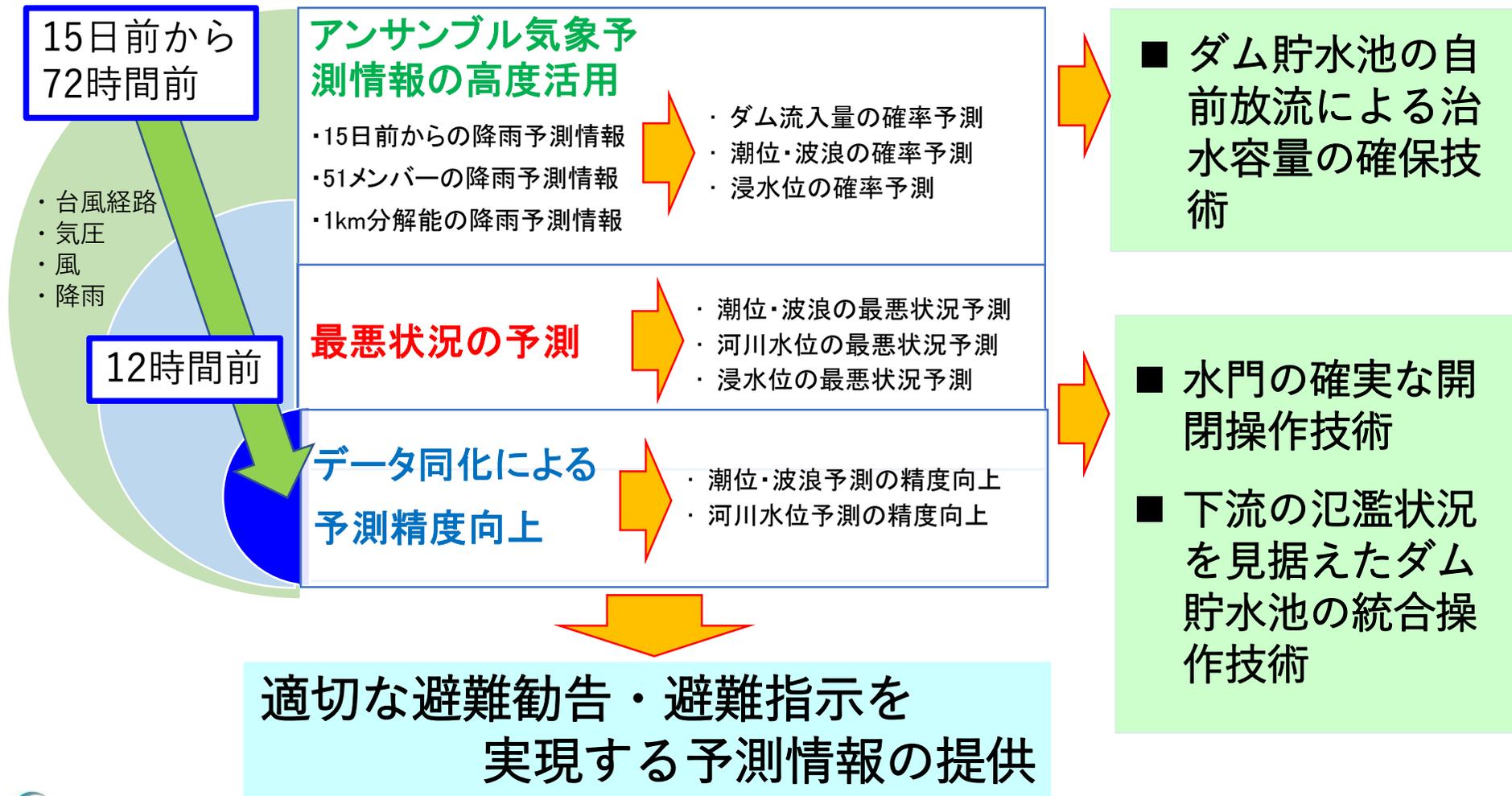
# 新たなハザード予測情報の創出と治水施設の最大利用技術

## 台風予報円のハザード予測幅への翻訳

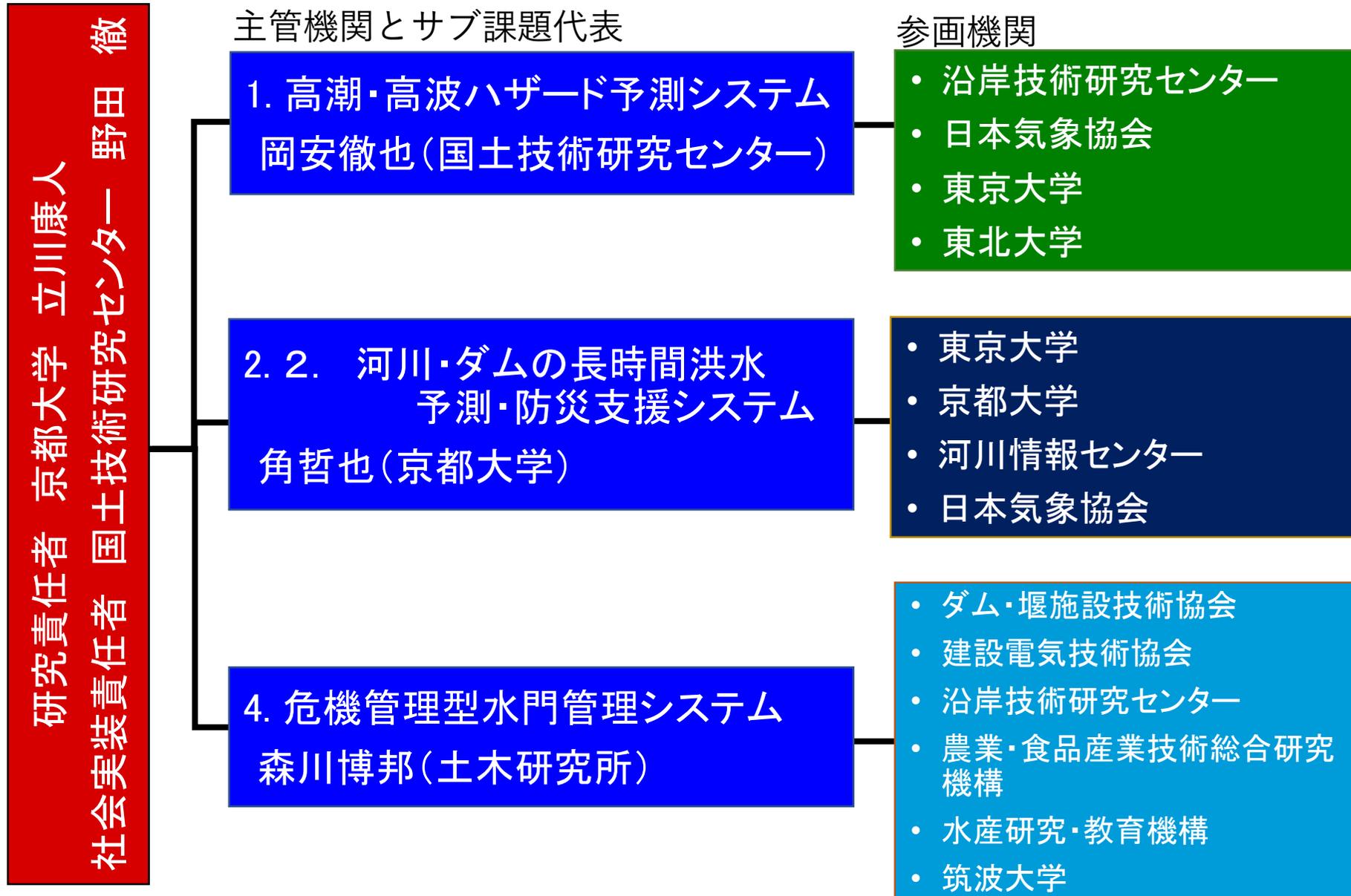
## 治水施設の高度利用

- 高潮・高波ハザード予測システムの開発
- 長時間洪水予測システムの開発

- 統合ダム管理システム
- 危機管理型水門管理システム



# 研究開発の実施体制





## 4つのサブテーマの研究成果

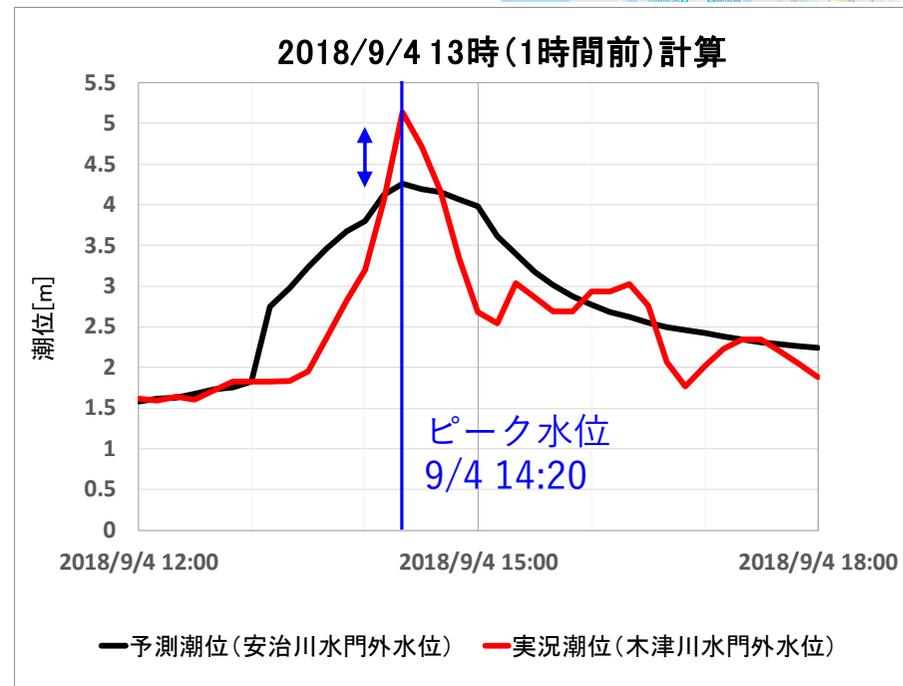
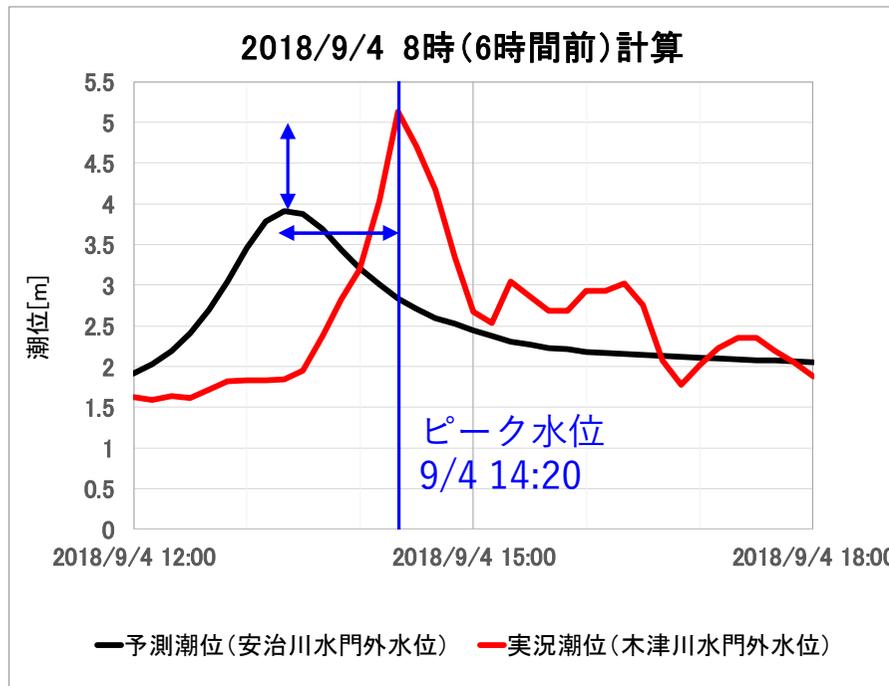
---

### 1. 高潮・高波ハザード予測システム開発

# 高潮・高波・浸水予測の現状

## ■2018年9月4日 台風21号における高潮予測の現状

- 発生タイミングは、天文潮と台風経路に左右される
- 発生規模は、台風経路・気圧・風速に左右される
- リアルタイムの浸水想定は実施されていない



### 安治川水門の予測値と木津川水門の観測値の比較 (大阪府提供)

※安治川水門の観測値はピーク時は欠測、木津川水門は予測値が現状ではない  
 ※このため、約4kmほど離れた2つの水門の観測値と予測値を比較した

# 研究開発により実現したい目標

## 【目標】

### ① 《見逃し0（ゼロ）》

台風アンサンブル予報を用いて27通りの台風コースの高潮・高波・浸水を予測計算し、住民や施設管理者等に対して、最悪の高潮・高波を含む「幅のある浸水予測」情報を提供することにより、情報利用者が高潮・高波の防災リスクを正しく認識することを可能とする、「リスクの見逃し」をゼロを実現

### ② 《我が事に感じるリスク情報をいち早く提供》

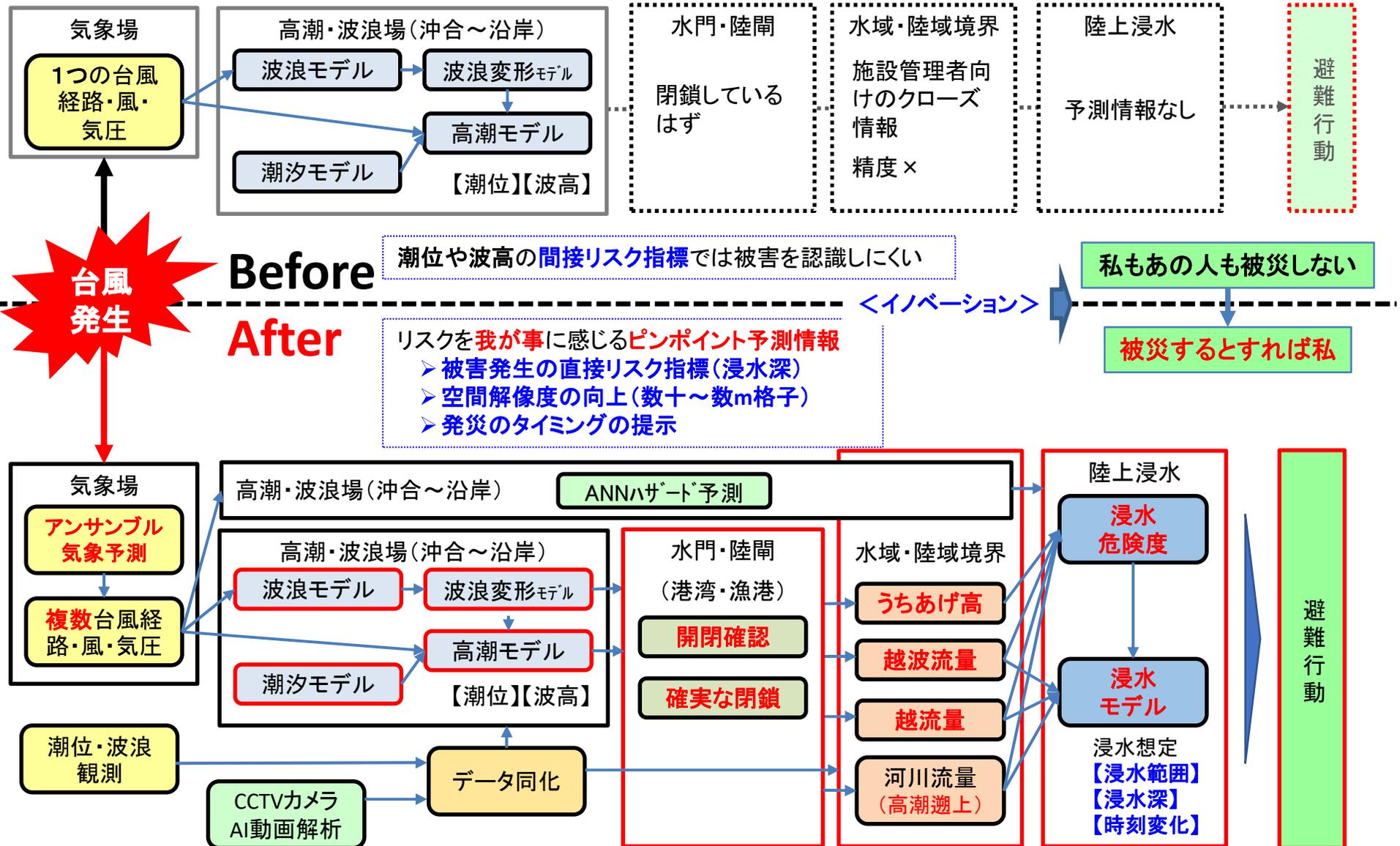
住民や施設管理者、店舗・イベント業者等に対して、台風接近時に、自分の居る場所に関する高解像度の高潮・高波・浸水の情報を、台風位置情報の発表後1時間以内に逐次更新提供することにより、情報利用者が適切な防災対応を取ることができ、被災者や施設の被災を軽減

### ③ 《リードタイムの確保》

72時間先の予測情報を提供し、避難や施設操作のリードタイムを確保、6時間毎に更新されるアンアンブル台風予報や観測データのデータ同化により、長時間先の予測精度の向上を図り、実用に耐えうる予測情報を提供

# 高潮・高波・浸水予測モデルと新たな予測情報の全体像

○アンサンブル予報を活用した**これまでにない予測情報の創出**



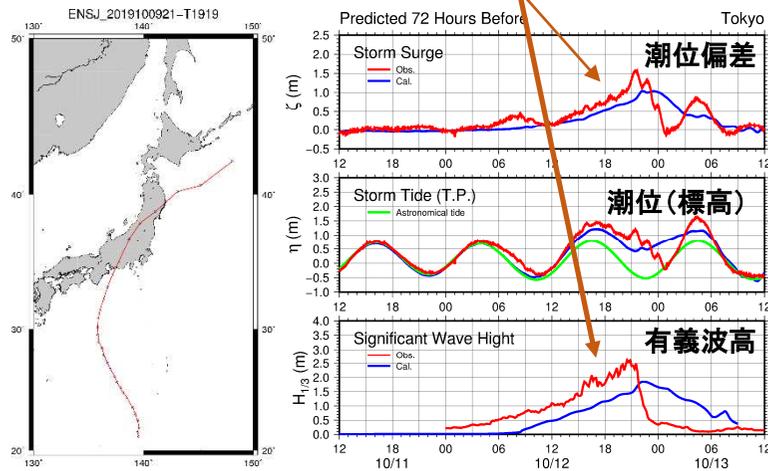
(長時間予測: 5日前・3日前・1日前・12時間前)

# アンサンブル予報を用いた高潮・高波推算

## 【Before 従来予報】

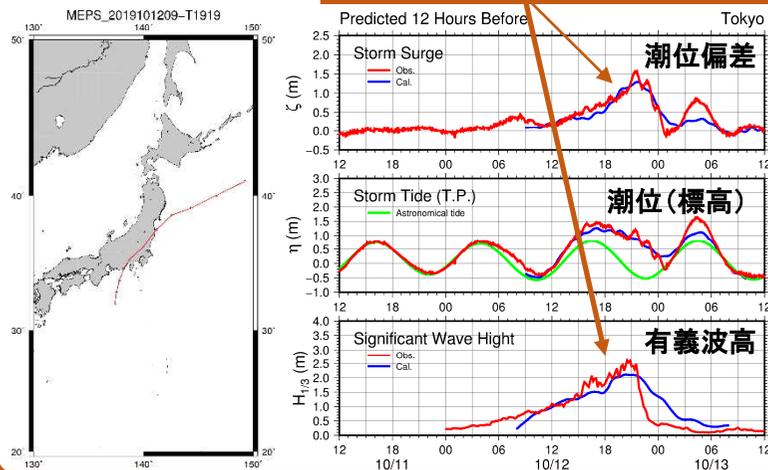
### 《台風来襲 72時間前の予測》

- 予測値は**1つ**
- 来襲72時間前では、予測値は**実測値よりも低く、ピーク時刻も遅い**ため避難等の判断を誤る可能性がある



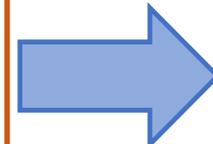
### 《台風来襲 12時間前の予測》

- 予測値は**1つ**
- 来襲12時間前では、ピーク時刻はほぼ予測できているが、**予測値は実測値よりも低く、正しい判断が困難**



## 【After アンサンブル予報を活用】

### 令和元年 台風第19号 の事例

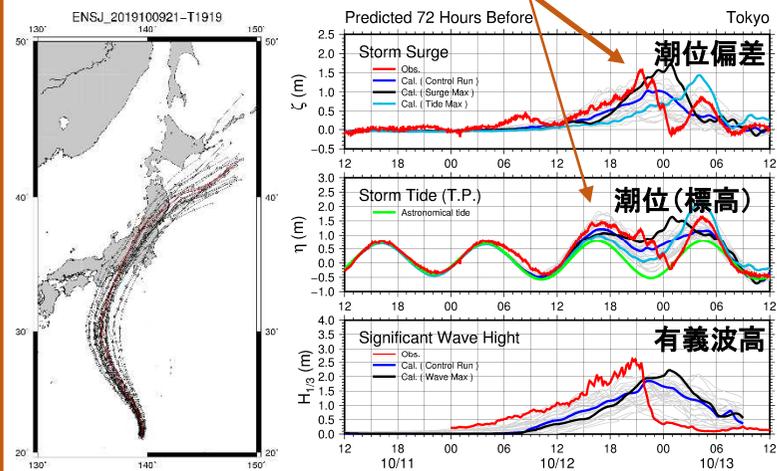


←従来の凡例

- : 観測値
- : 予測値
- : 天文潮位

### 《台風来襲 72時間前の予測》

- 予測値は**複数**
- 来襲72時間前でも、複数の予測値は**実測値を概ねカバーし、避難等の正しい判断が可能**

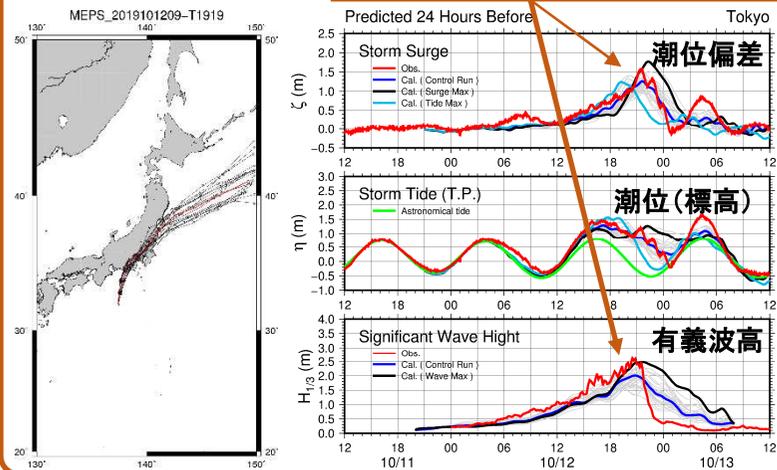


新しい凡例 →

- : 観測値
  - : 予測値
  - : 天文潮位
- コントロール  
ラン
- 潮位偏差の最大  
波高の最大
- 潮位の最大
- その他の予測

### 《台風来襲 12時間前の予測》

- 予測値は**複数**
- 来襲12時間前には予測値の精度が上がり、**実測値を高さも時刻もカバーしており、正しい判断が可能**



# リアルタイム高潮高波浸水予測モデルの開発

## 開発目標

- 高解像度（建物ポリゴンや道路データの最小幅員を反映した3.3m格子を目標）
- 6時間毎のアンサンブル予報の更新に対応したリアルタイム性の確保

## 開発内容

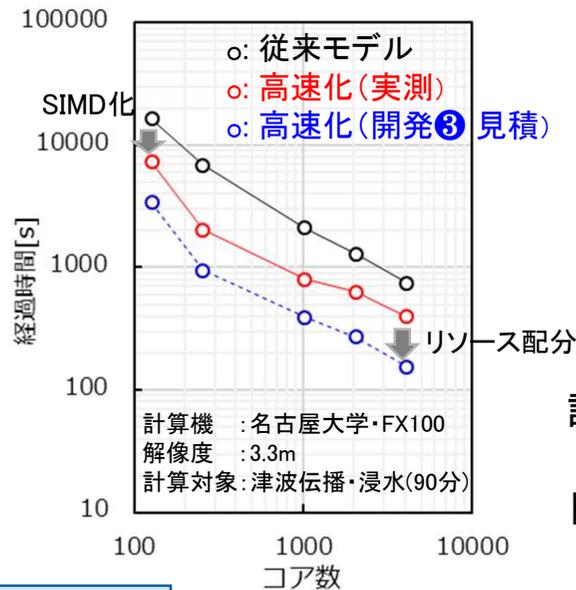
1. 川崎市の**高解像度地形モデル**の整備
2. **東北大 TUNAMI モデル**の性能評価 → 高速化
3. 高潮高波の浸水計算向けに最適化した **TUNAMI-surge モデル**の開発

### 開発①

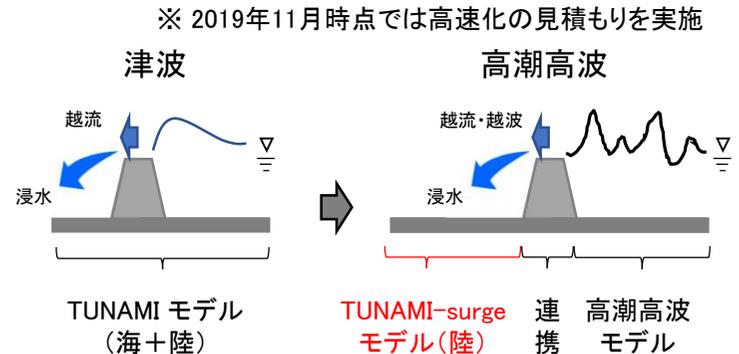


川崎市 3.3m メッシュ

### 開発②



### 開発③



- 課題**
- ①津波モデルの高速化（チューニング）
  - ②陸域限定計算に特化したモデルの改良
- 目標** チューニングと陸域のみの計算への最適化により14.6日[1コア]  
 → 4.5分 [2048コア] 4,700倍  
 ※3.3m解像度の見積

## TUNAMI-surge モデル高速化の工夫点

- ①チューニング : ベクトル演算化促進 ➡ 主要部：SIMD 命令率を30%から60%に向上  
 （さらに、境界入力方法の改善、MPI 袖通信の最適化）
- ②浸水計算への最適化：陸域（+河川）のみの計算に特化させた計算リソース配分(動的分割・配列構造の検討)

従来モデルの計算時間を 1/4700 に短縮し、アンサンブル予報に対応したリアルタイム浸水予測を実現

# AIを活用した画像解析による越波量の推算

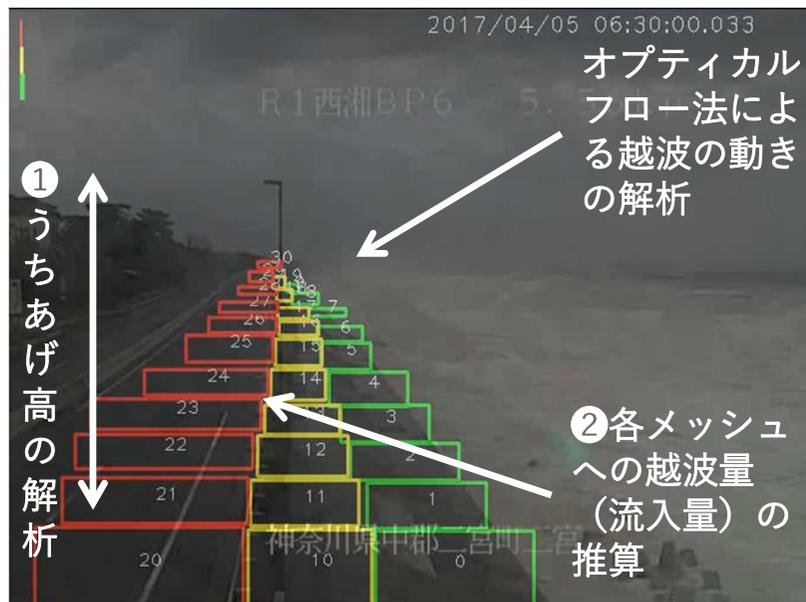
## 目的

- ①うちあげ高や②越波量の予測精度を向上させるために、リアルタイム観測データを用いたデータ同化が必要。
- しかし、現在、①うちあげ高及び②越波量（陸域への流入量）の観測は行われていない。
- このため、動画解析を用いて、①うちあげ高及び②越波量の予測を可能とするモニタリングシステムを構築。

## 実施内容

- Webカメラ等による画像について、AIを活用した画像解析手法を用い、**海岸堤防の長手方向に数十m～数百mの範囲で①うちあげ高や②越波量の推算**を行う。

### AIを活用した越波量の解析画像例



### Webカメラ等による画像



【参考】オプティカルフロー法

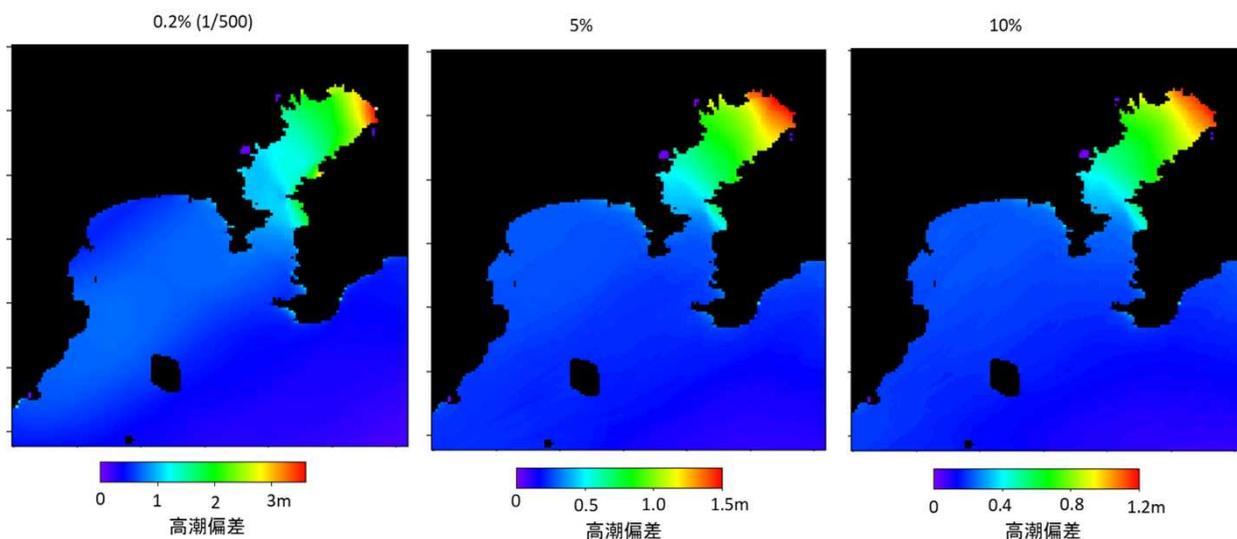
- 画像を用いて、その画像内で共通して写っている部分などをヒントに、写っている部分の動作の推定や全体の動きを推定してベクトル解析を行う手法。

2017年10月23日台風21号

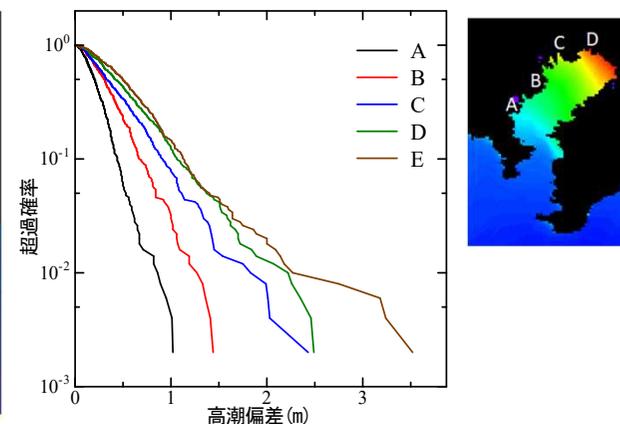
# サブテーマ 1 : ANNハザード予測のイメージ 〔空間別確率予報値の提供〕

## ■ 2019年10月 台風19号 高潮偏差のANN予測計算の試算例

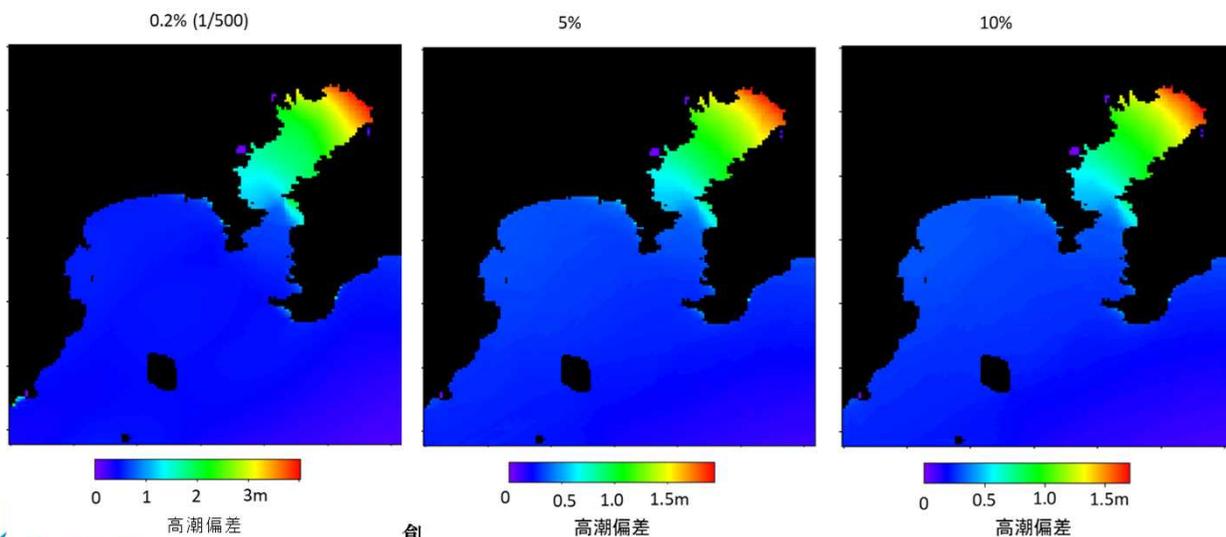
10/10 15:00までの観測データとその後の気象庁の予報円に基づき算定した



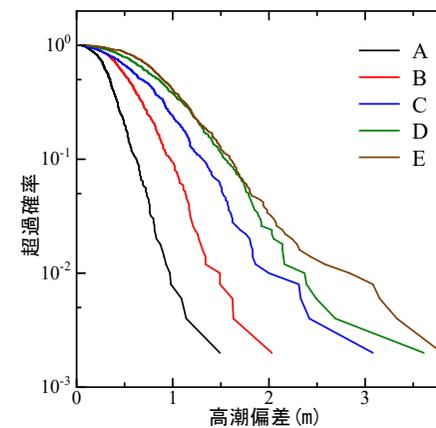
確率規模別の最大潮位偏差分布



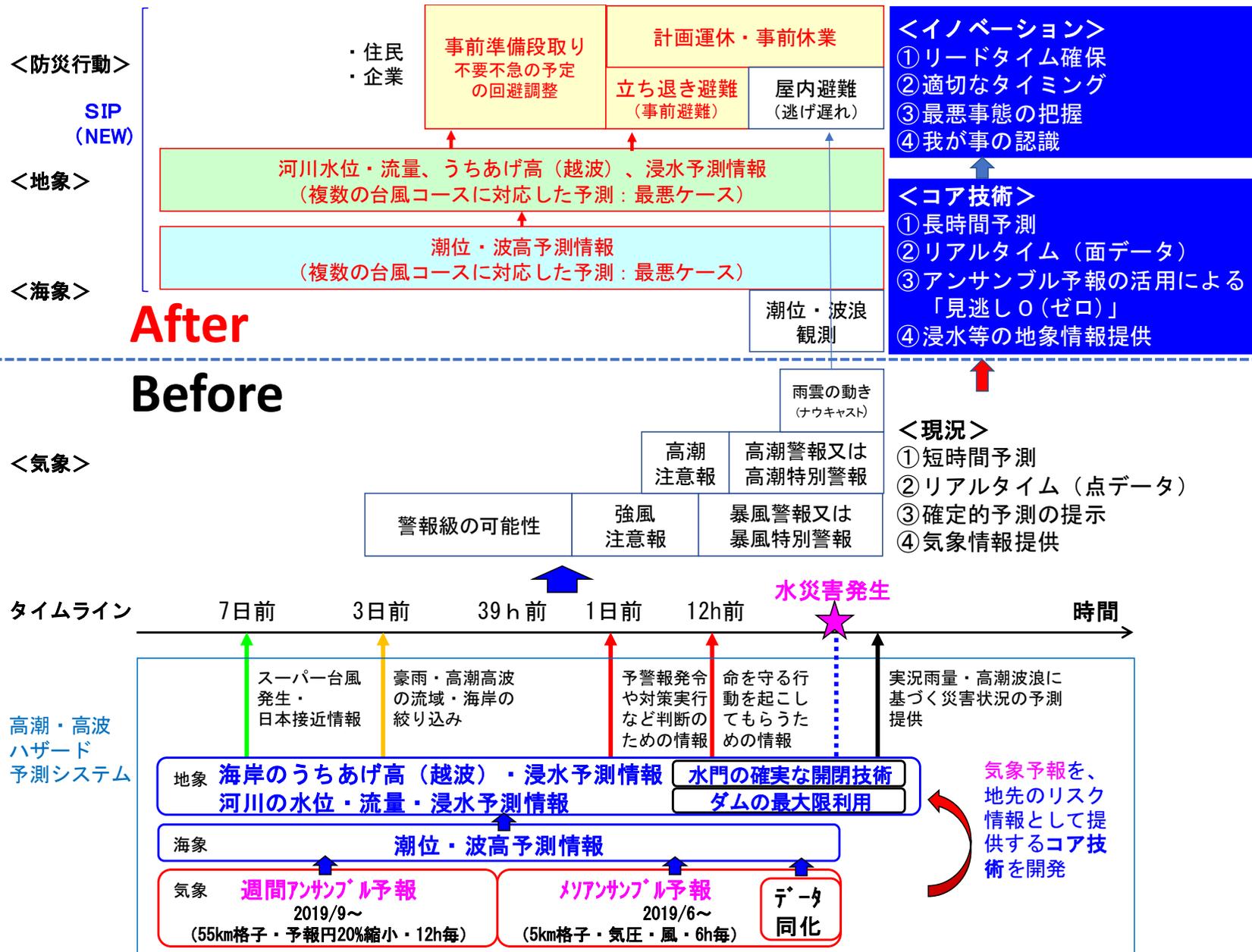
10/11 15:00までの観測データとその後の気象庁の予報円に基づき算定した



確率規模別の最大潮位偏差分布



# サブテーマ 1 : 高潮・高波ハザード予測システムのコア技術・イノベーション







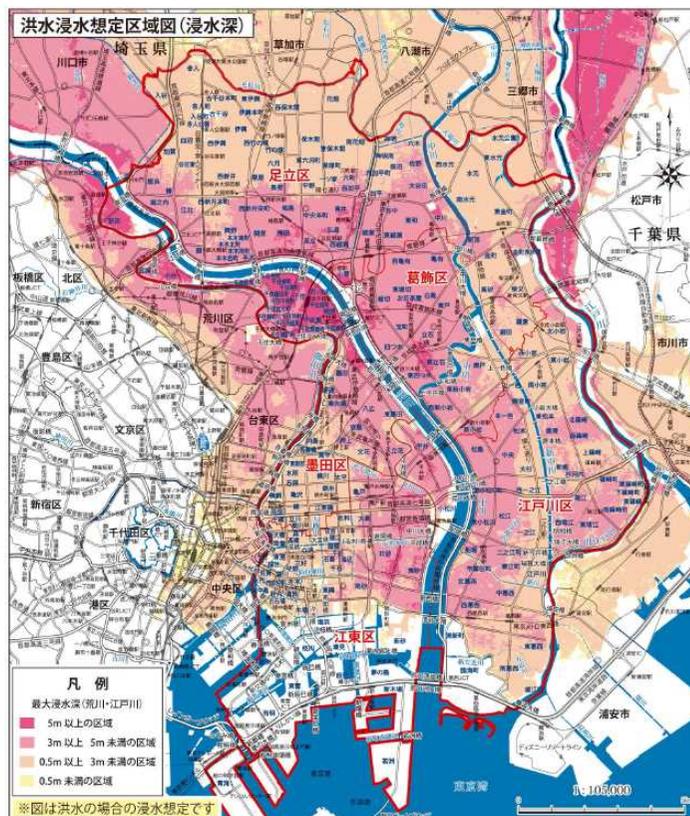
## 4つのサブテーマの研究成果

---

### 2. 長時間洪水予測システム開発

# 長時間洪水予測システムの研究背景

- もし荒川が決壊すれば、江東5区で最大約250万人の居住地が浸水。
- 大都市圏で発生する河川氾濫からの「逃げ遅れゼロ」を実現するには、早い時点から住民に広域の避難行動を促すことが必須。



荒川の想定氾濫区域

**3日前** もしかしたら、今回は…

**72時間前** 例えは 72時間後に猛烈な台風が接近する可能性があるとき

**共同検討開始** 江東5区で共同検討を始めます

避難情報に備えて、すぐに避難できる準備をしておきましょう  
**まずは逃げる準備です**

**2日前** どうやら、可能性が高まってきた…

**48時間前** 例えは 48時間後に猛烈な台風が接近する可能性があるとき

**自主的広域避難情報(広域避難の呼びかけ)** 自主的に江東5区外の安全な場所への避難を呼びかけます

**域外の安全な場所に逃げてください**

**1日前** いよいよそのときが…

**24時間前** 例えは 24時間後に猛烈な台風が接近する可能性があるとき

**広域避難勧告** 大水害の危機が迫っています。ただちに域外へ退去してください

**浸水域内の全員が域内にはいません**

**9時間前** 行き場を失ったら… 急いで近くの高いところへ

**広域避難することができないとき**

**域内垂直避難指示(緊急)** 広域避難をする時間的な余裕がないと判断したときに垂直避難の指示を出します

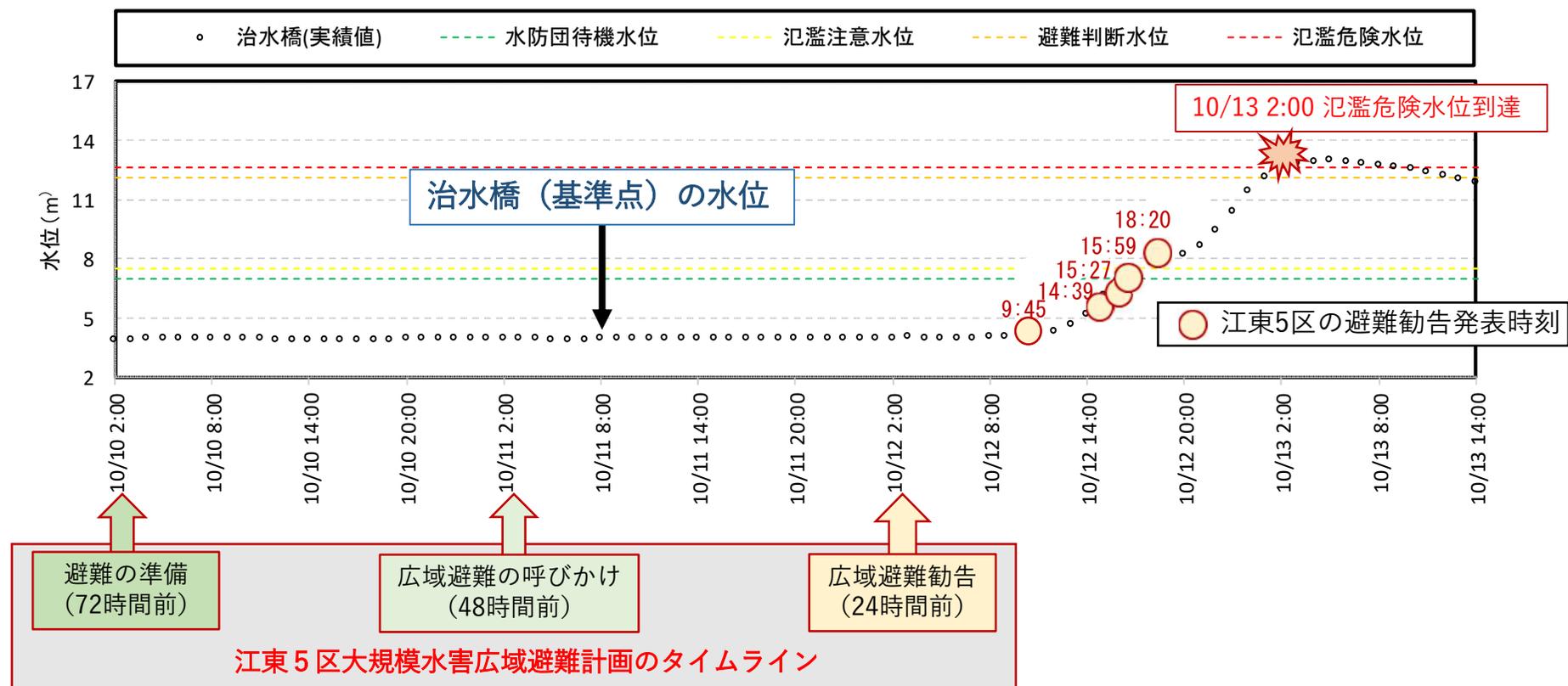
**広域避難を中止し、浸水より高い自宅の居室や最寄りの高い施設へ避難してください**

**氾濫発生** あなた自身の早めの判断が、あなたや家族の命を守ります。気象情報なども積極的に収集し、早めに避難しましょう。

「江東5区大規模水害広域避難計画」より

# 長時間洪水予測システムの研究背景

- 台風19号が来襲した時、首都圏を流れる荒川も、**氾濫が発生しておかしくない高さ（氾濫危険水位）まで水位が上昇。**
- 荒川基準点の水位が実際に上昇しだしたのは、**氾濫危険水位に到達するわずか16時間前。**
- 江東5区は**16～8時間前に（広域ではない）避難勧告を発表。**



## 困っていること、改善すること

### 【Before：現在困っていること】

- ① 現在の6時間先までの予測では、**広域避難を行うにはリードタイムが不足。**
- ② 静的な洪水ハザードマップだけでは「我がまち」の被災リスクを認識する上で**限界**がある。
- ③ 長時間にわたる**予測計算の精度向上**を図ることが必要/洪水予測に関する情報が**中小河川では未提供**。

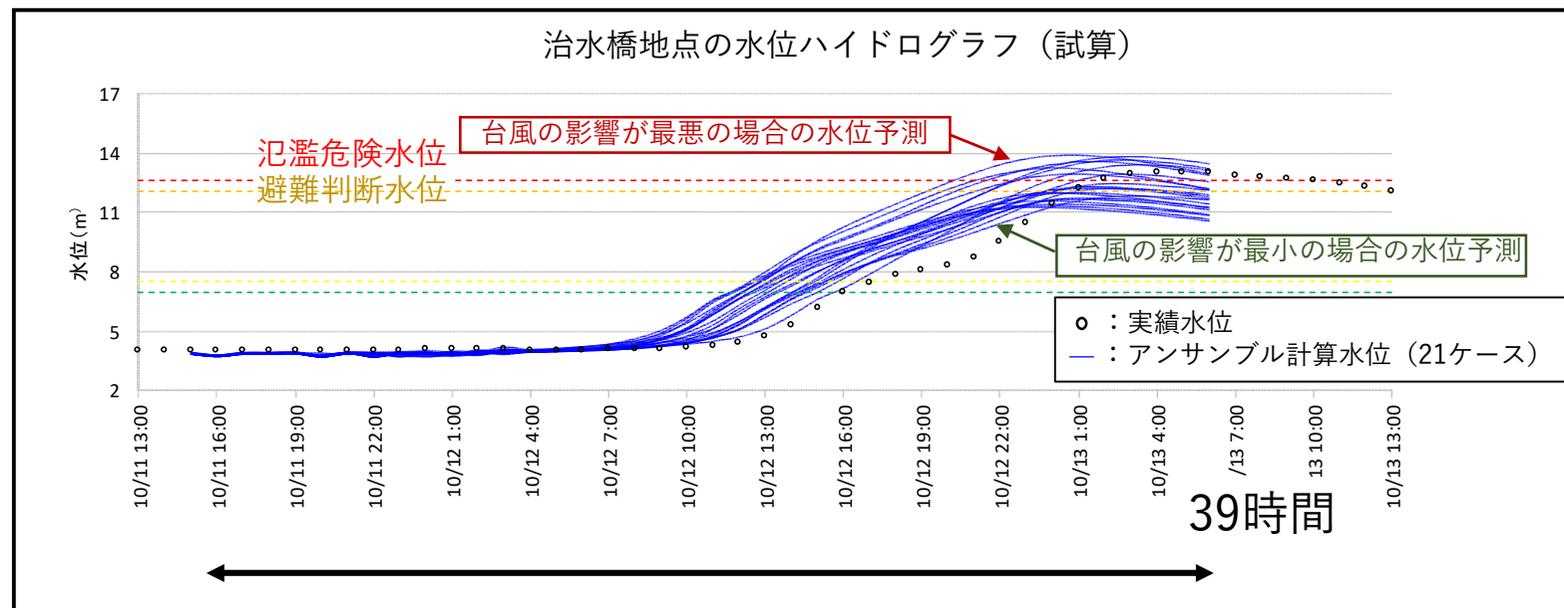
### 【After：改善すること】

- ① アンサンブル予測降雨を活用し、**72時間先までの水位上昇をリアルタイムで確率的に予測するシステムを開発**する。
- ② 住民の「我がまち」感覚に合致した精度で、**氾濫の広がる危険性のあるエリアと浸水深を予測**する。
- ③ 本川への降雨の流出をより高精度で計算し、かつ、**河道などのデータが未整備の支派川でも流量・水位を予測できるモデルを開発**する。

# 長時間洪水予測システムのコア技術・イノベーション

## 【台風19号のアンサンブル降雨を用いた試算】

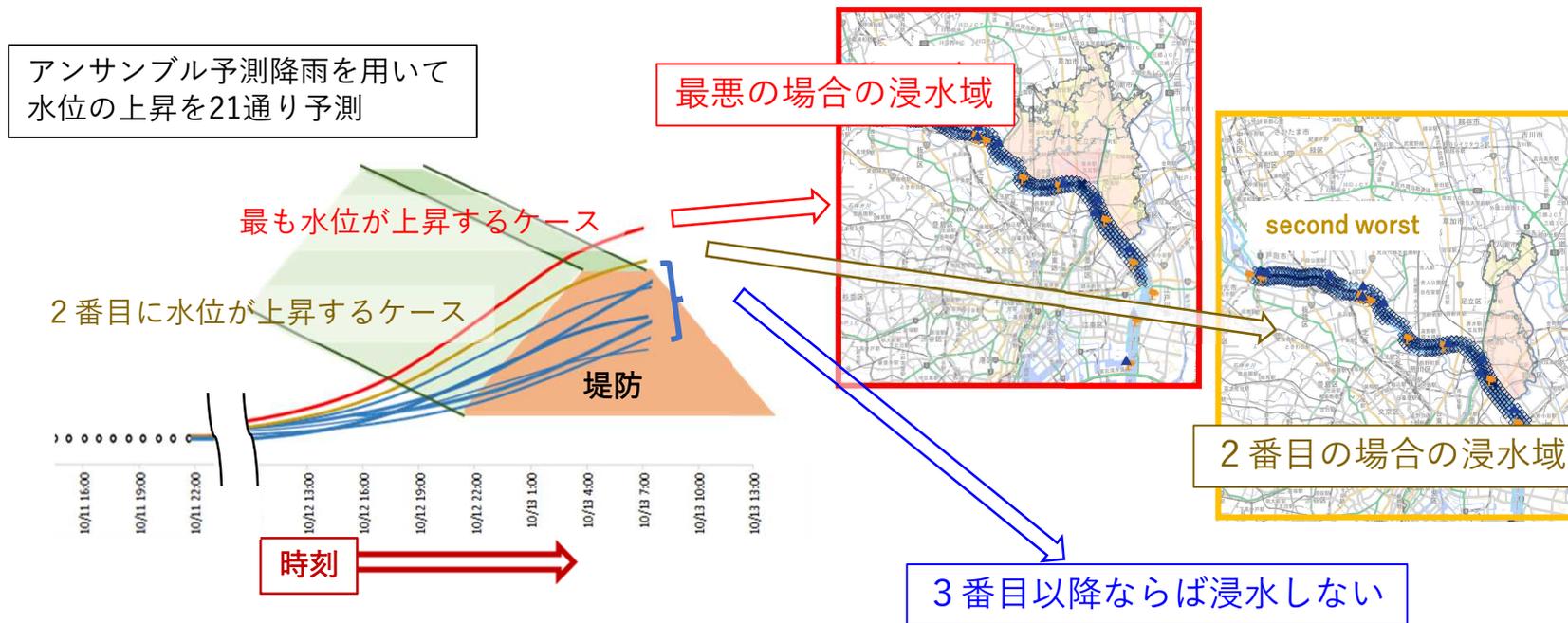
- 39時間先までの21ケースのアンサンブル予測降雨を用いて、荒川基準点（治水橋）の水位上昇を試算。
- 21ケース中6ケース(約30%)で「39時間内に治水橋の水位が氾濫危険水位を超える」と算定。



- アンサンブル予測降雨を用いることで、長時間先の水位予測を一定の精度で行える可能性は高い。

# 長時間洪水予測システムのコア技術・イノベーション

- ② 水位の長時間予測と連動して、住民の「我がまち」感覚に合致した500mメッシュで、氾濫の広がる危険性のあるエリアと浸水深を予測する。



例えば、以下のことが可能となる。

- ・ 72時間後、私の住むまちが浸水してもおかしくないと予測された。  
→ 早い段階で住民が災害を「我がこと」として認識することを促す
- ・ 最悪の場合、今回の台風で浸水する危険性のあるエリアは〇〇地区及び〇〇地区と予測された。  
→ 自治体が避難情報をだす対象地区の決定を支援する

# 長時間洪水予測システムのコア技術・イノベーション

- ③ 降雨の流出をより高精度で計算し、かつ、河道などのデータが未整備の支派川でも流量・水位を予測できるモデルを開発する。

(現在)

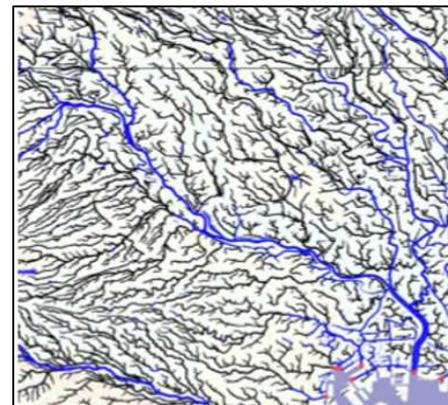
水位・流量計算を行っているのはデータが整備された河川（青色）のみ



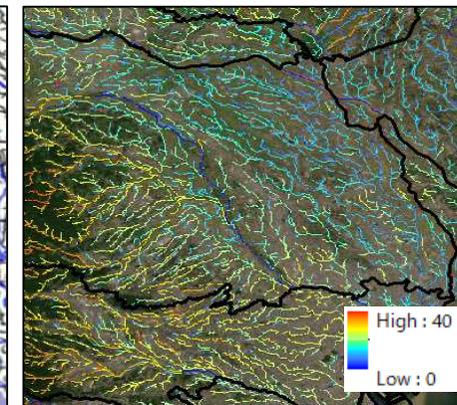
荒川洪水予測モデル（現在）

(コア技術)

流域の地形・水文データを高解像度で整備し、小さな支派川も水位・流量の予測計算を行う。



高解像度水文地形データ



荒川支川のピーク比流量 (mm/h)



SIP

以下のことが可能となる

- ・ 支川から本川への流量を精度良く予測する。  
→ 本川の水位予測の精度が向上する
- ・ データ整備が十分でない支派川の水位・流量を予測する。  
→ 支派川沿いに住む住民の円滑な避難行動が促される
- ・ 上流のダム貯水池に流れ込む支川の流量を予測する。  
→ ダム貯水池のより効率的な運用が支援される



## 4つのサブテーマの研究成果

---

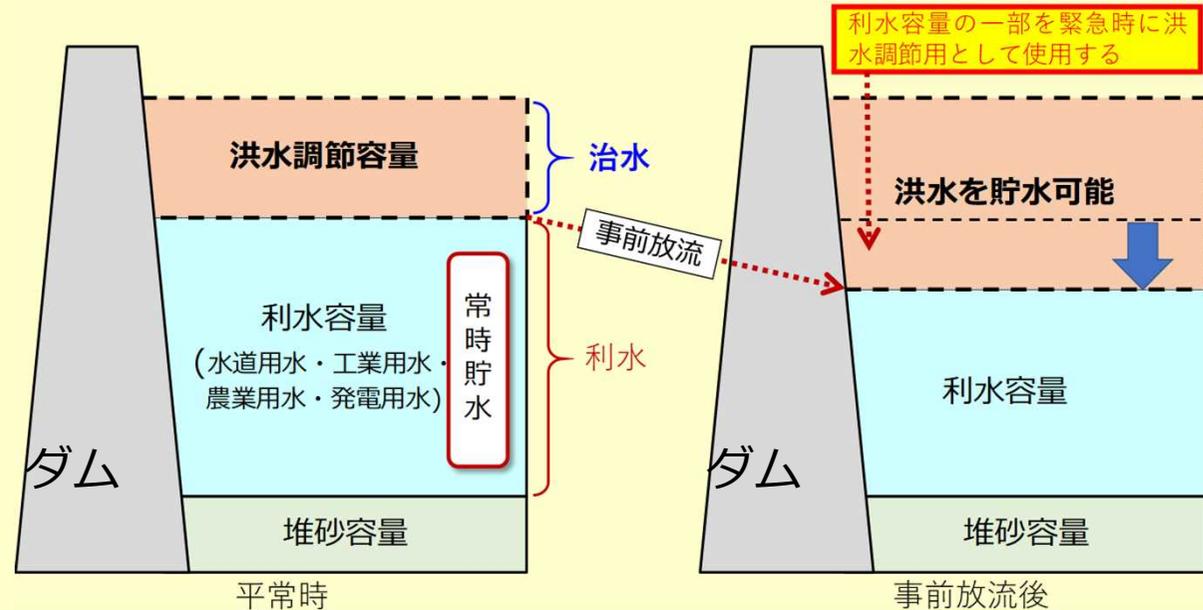
### 3. 統合ダム管理システム開発

# 統合ダム管理システムの研究開発の背景

## 『事前放流』の概念図

- 洪水を貯める部分を一時的に拡張する
- 予想に反して雨が降らない場合、水不足に陥る

予測精度に課題

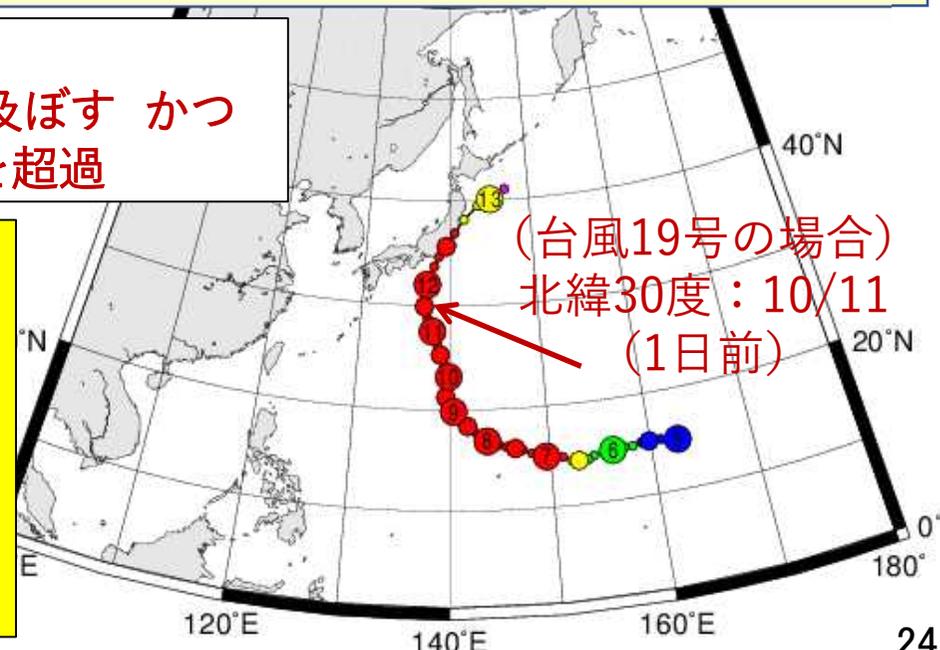


## 〔現状の事前放流開始基準の例〕

- ・ 台風が北緯30度を越えダム流域に影響を及ぼす かつ
- 県北部で24時間予測雨量が○○mmを超過

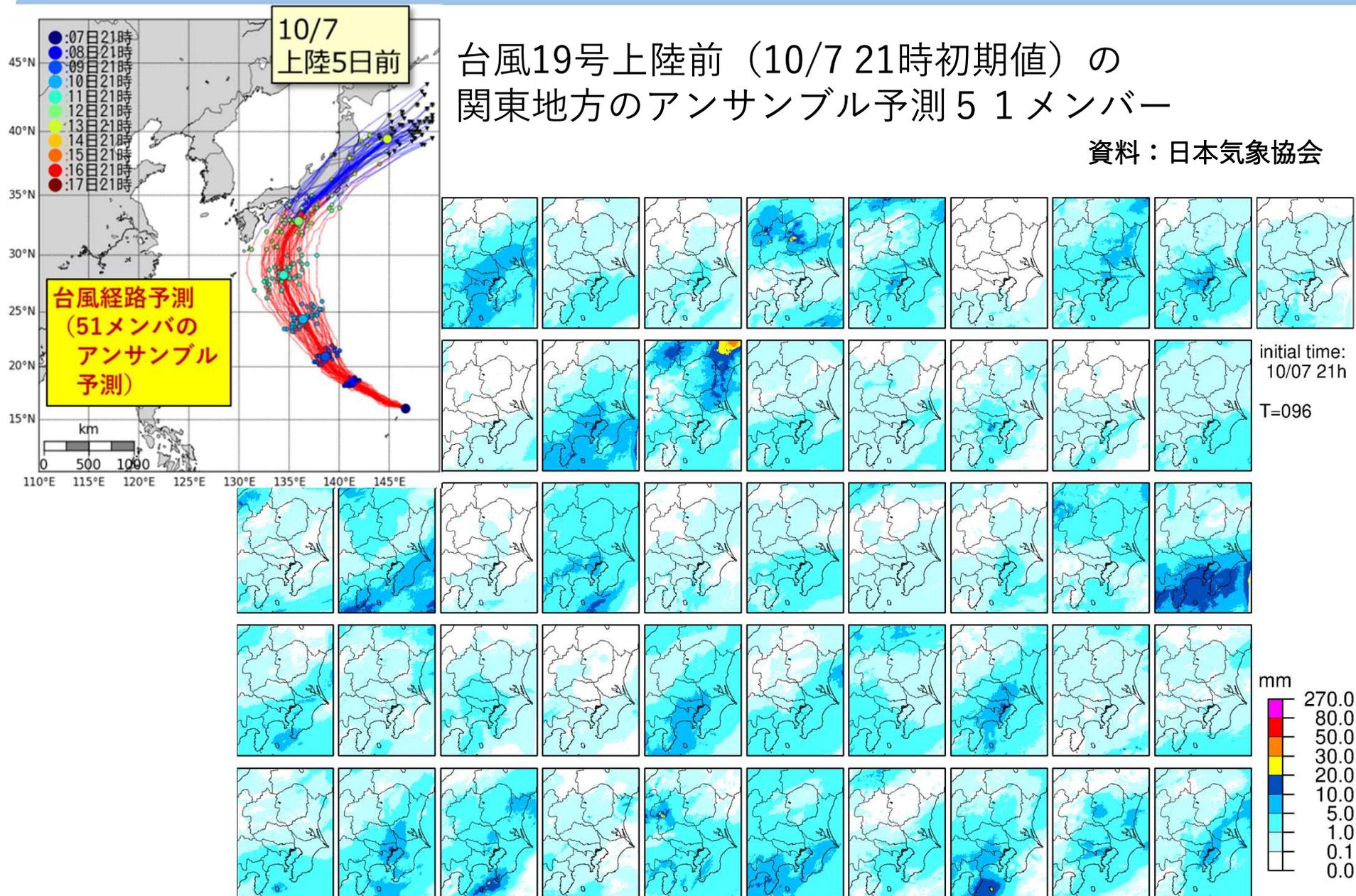
## 【問題点】

- ・ 台風が接近しないと判断できない
- ・ 判断情報が定量的ではない
- ・ 利用している降雨予測 (MSM) は、3時間毎の更新時に予測雨量が大きく変動する場合があることや、事前放流が可能なのは実質半日程度と短いことが課題





# 長時間アンサンブル降雨予測



# 長時間アンサンブル降雨予測

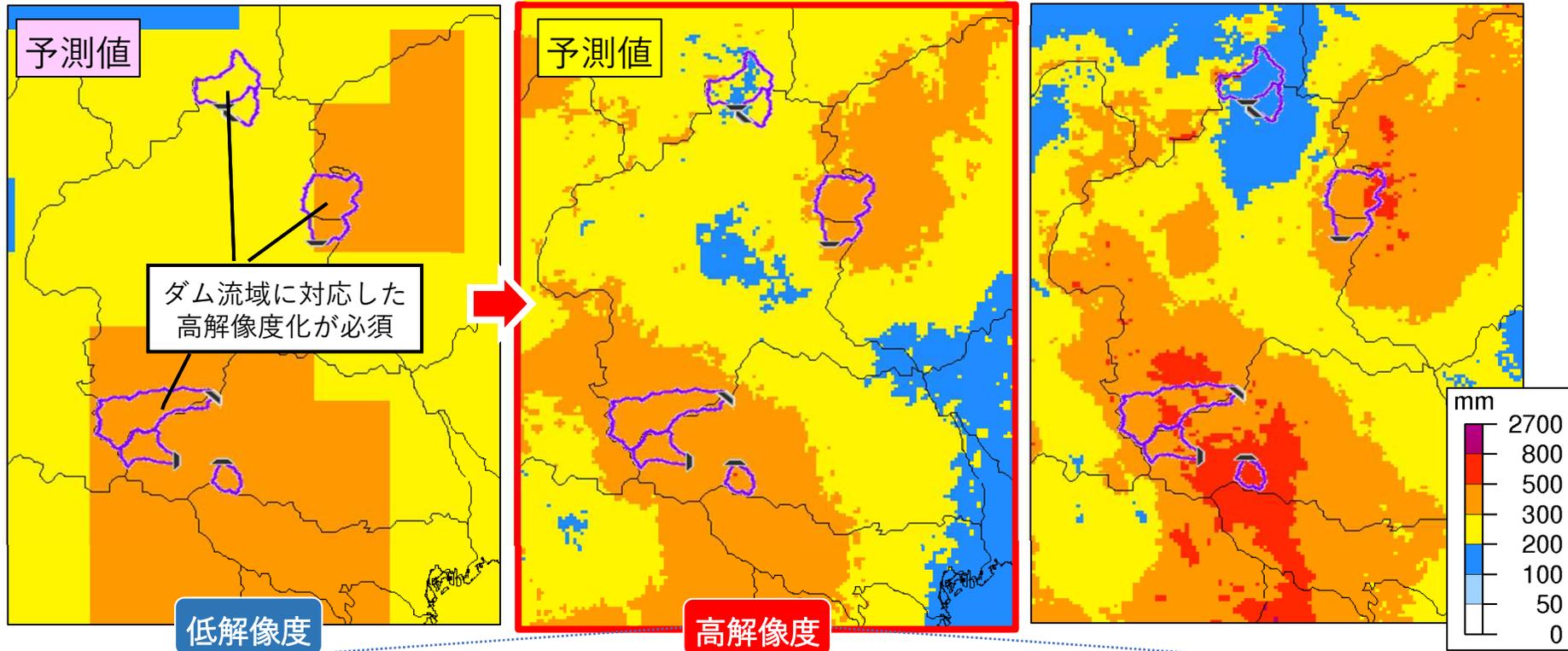
流域平均雨量を精度よく表すための  
**時空間分解能の向上** →  
 ・15日先までの予測データを1時間雨量に変換  
 ・1km格子に高解像度化（ダウンスケーリング）

台風19号による大雨に対する予測： <10月10日21時～10月14日9時までの84時間積算雨量>

従来技術：GSM(20km)

開発技術：ECMWF\*(1km)

実況値(解析雨量)



AIを用いた高解像度化（ダウンスケーリング）技術

- ✓ 深層学習等により、過去の解析雨量（解像度1km格子）を学習
- ✓ 25km格子・3時間雨量・51メンバーのECMWF\*データを、1km格子・1時間雨量・51メンバーに変換

スパコン不要で  
高速計算可能

複数手法の組み  
合わせで高精度化

# ダム最適事前放流予測モデル

## ■ アンサンブル降雨予測から対象ダムの治水・利水リスクの算定イメージ

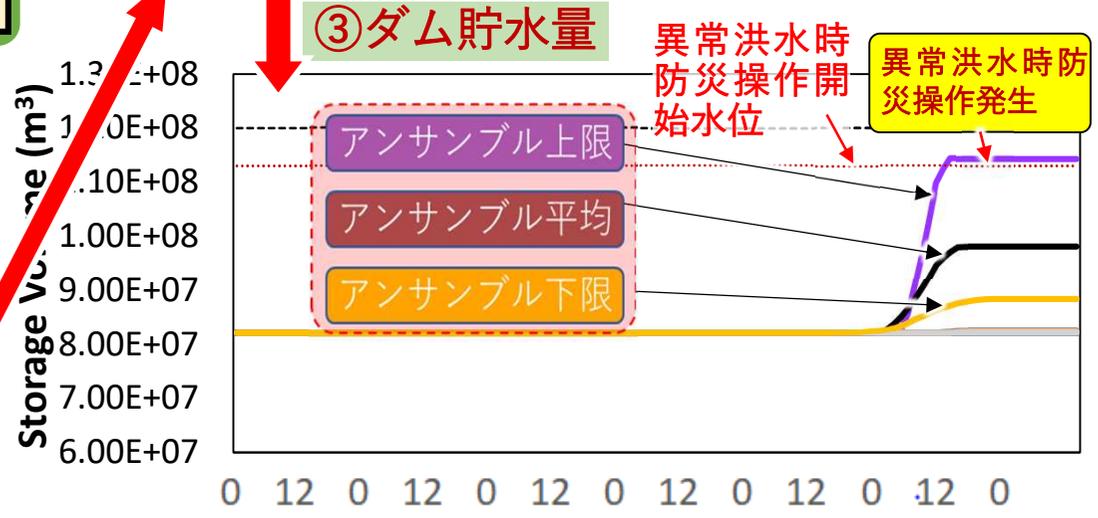
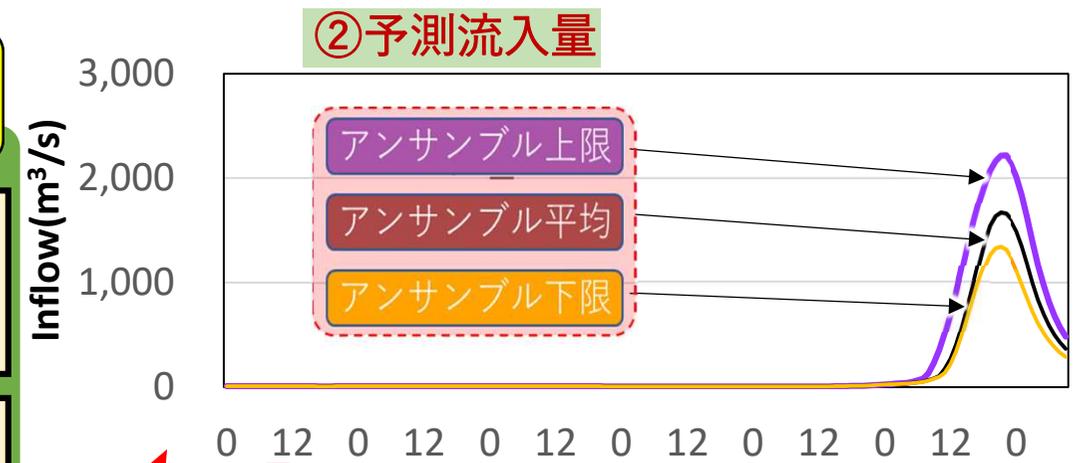
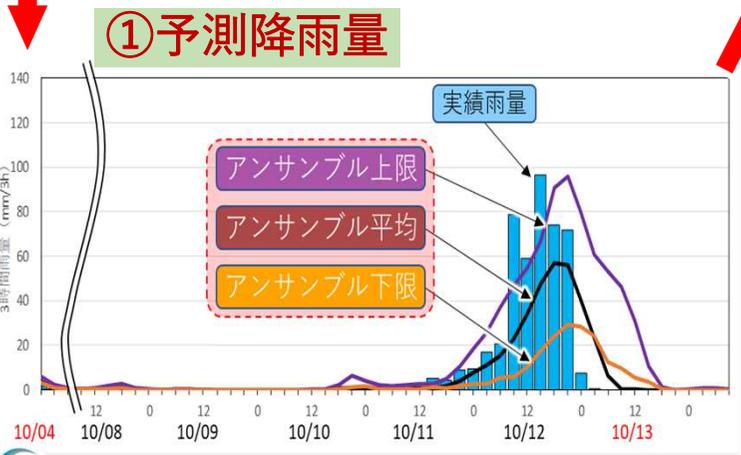
**長時間予測により、早期から放流計画策定や関係者調整可能**

台風到達の15日前から、予測更新毎に、**最適なダム事前放流計画を提示**

いつから    どのくらいの放流量を    いつまで

逐次最適化により、途中で変更・中断・中止することも可能

★★利水リスクを増大させず、治水効果を最大化★★



**上限：異常洪水防災操作の可能性あり ⇒ 事前放流必要**

**下限：貯水量の回復可能量把握 ⇒ この分を事前放流可能**

**最適な事前放流計画を作成**



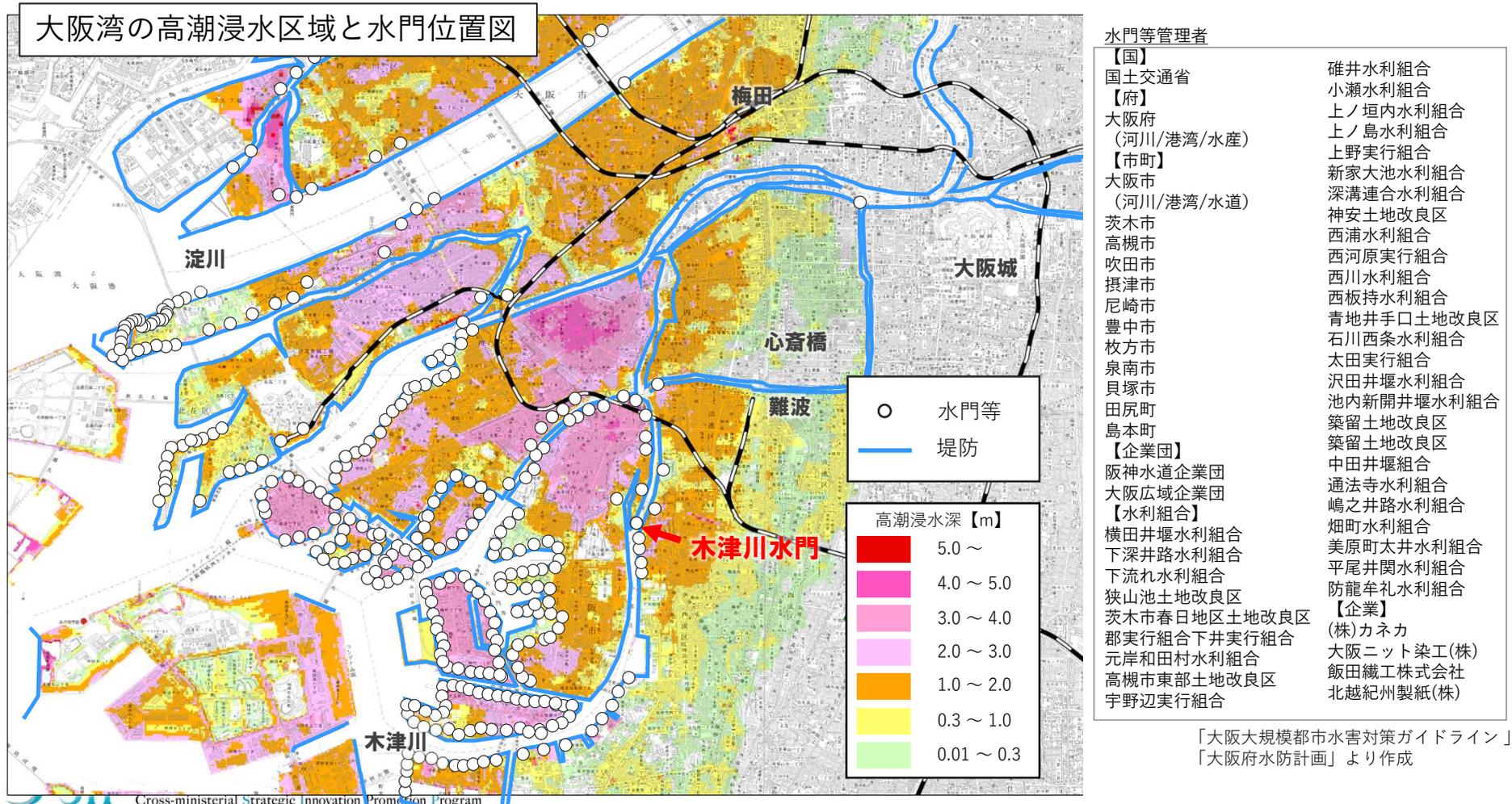
## 4つのサブテーマの研究成果

---

### 4. 危機管理型水門管理システム開発

# スーパー台風を防ぐ水門管理の現状

- スーパー台風による高潮・洪水は堤防という「線」で防ぐが、堤防には水門という人為的な「穴」が全国に2万以上ある。「蟻の一穴」とならないよう非常時には確実に水門を閉じなければならない。水門が閉鎖されなければ地域一体が浸水。
- 例えば大阪府内では、国、府、市、水利組合、企業等50以上の管理者が800以上の重要水門等を管理。



# 危機管理型水門管理システムの概要 ～想定外を想定する～

## 現在の水門管理の状況

- 全国の水門の93%は現地で人（消防団・町内会等）が操作。電源喪失、交通途絶下では水門閉鎖ができない。
- 開閉連絡は通常、電話、FAX。多数の水門管理者が存在し、地域の水門の開閉状況を全て把握できている者はいない。何らかのアクシデントで開いたままとなっている水門があっても、防災責任者は「想定どおり閉められているはず」という前提で避難勧告等の意思決定をしている状況。

## 技術開発コンセプト

商用源停止

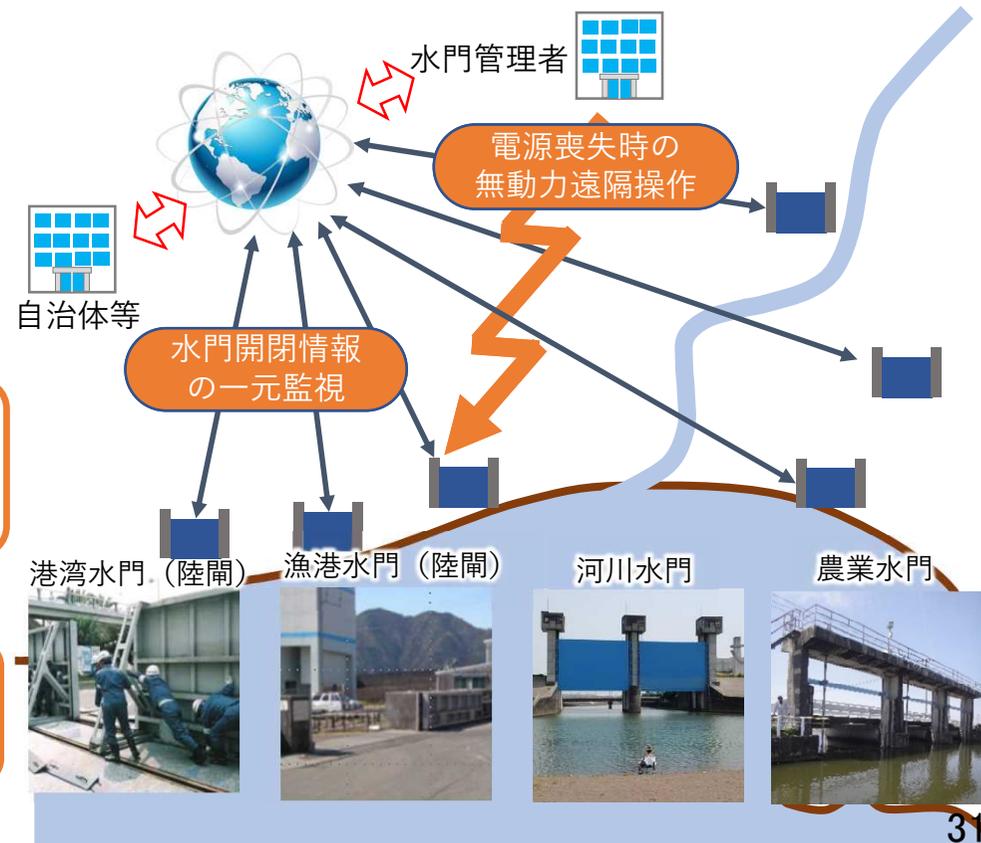
交通途絶

「停電していても・現地に行けなくても  
もなんとか水門を閉める」

必要最小限の信号を送信し無動力での遠隔緊急閉鎖を実現

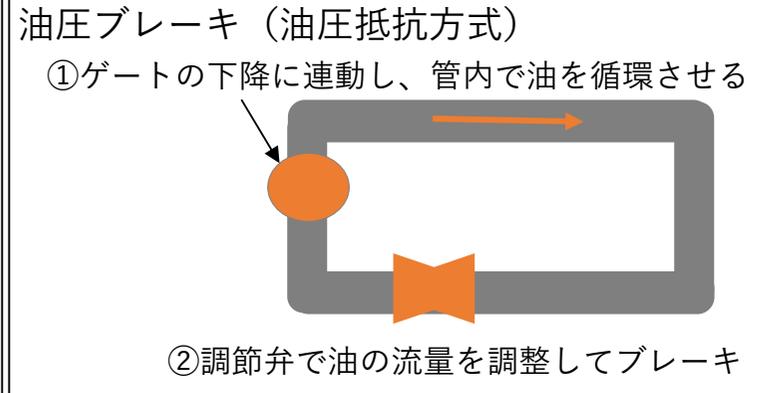
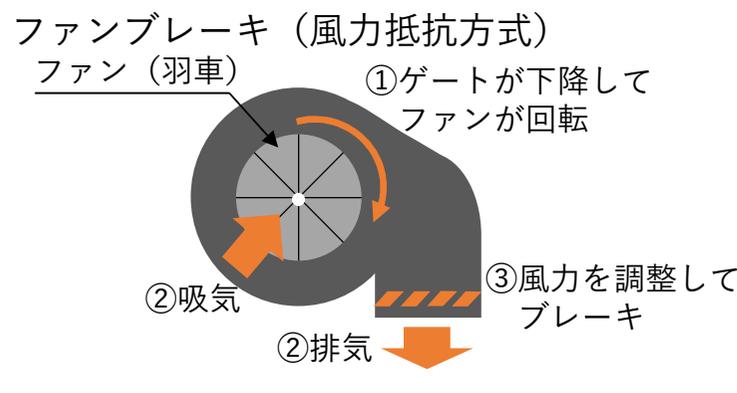
「今、水門は閉まっているのか？」

開閉情報の確実な入手と一元化により  
避難・復旧等の危機管理対応を実現



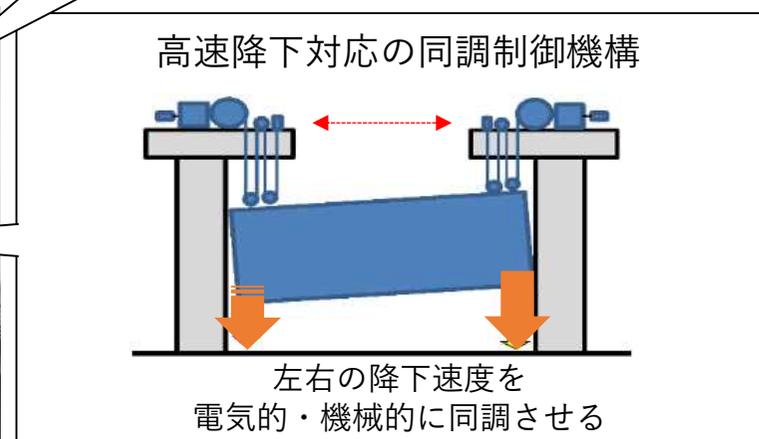
# 研究開発目標①：遠隔からの無動力水門閉鎖

- 水門重量は100トン級を想定。自重降下（落下）の衝撃エネルギーを風力・油圧等で吸収・制御。
- 水門降下時に左右がズレ（数センチ）、ひとたび片吊状態になると自力開閉不能になる。通常時の5倍以上の高速降下に対応できる新たな同調制御機構を開発。
- コストを抑えるために、水門新設ではなく既存水門に機能を付加する技術を開発。
- 今年度、滋賀県の小規模水門で実証試験を実施



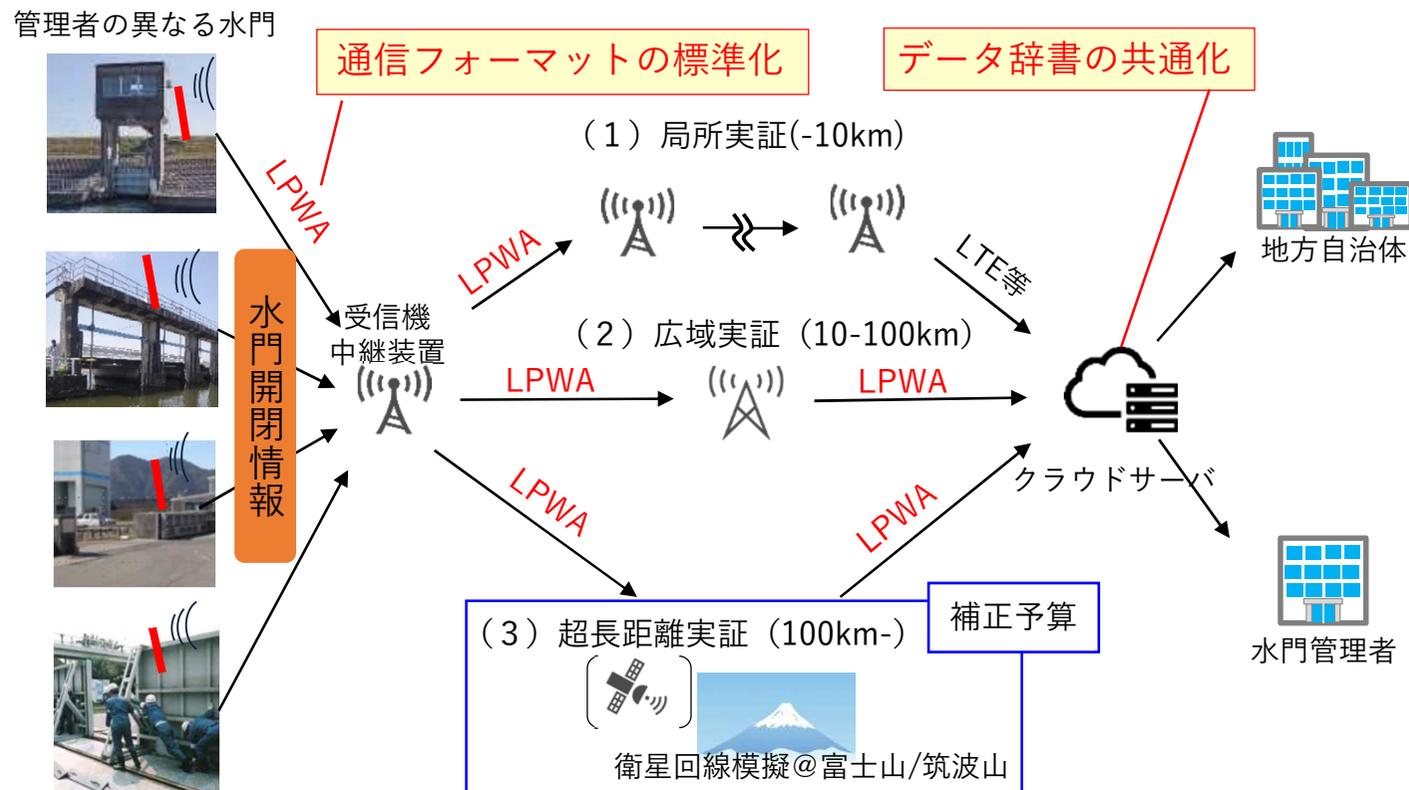
既設水門の機能追加  
改造技術

- 安全監視機能
- LPWA通信機能



## 研究開発目標②：水門一元監視(LPWA通信)

- 電池程度の電力で長期間作動するLPWA通信を採用。関係省庁で統一のLPWA通信フォーマット標準を策定する。
- 大規模停電発生時にも対応可能となるよう100km以上の超長距離LPWA通信技術を確立する。
- 今年度、愛知県管理水門・神戸市管理閘門、富士山/筑波山（超長距離）で実証実験を実施する。



# LPWA通信を用いたインフラ管理への展開

- 今後は、水門開閉情報のみならず、**様々なインフラ管理情報に関してLPWA通信を利用するための通信標準**について検討
- 今年度補正予算では、防災アーキテクチャにおける**農業分野との情報連携を想定し、人工衛星を想定した超長距離LPWAの地上通信実験**を実施予定

