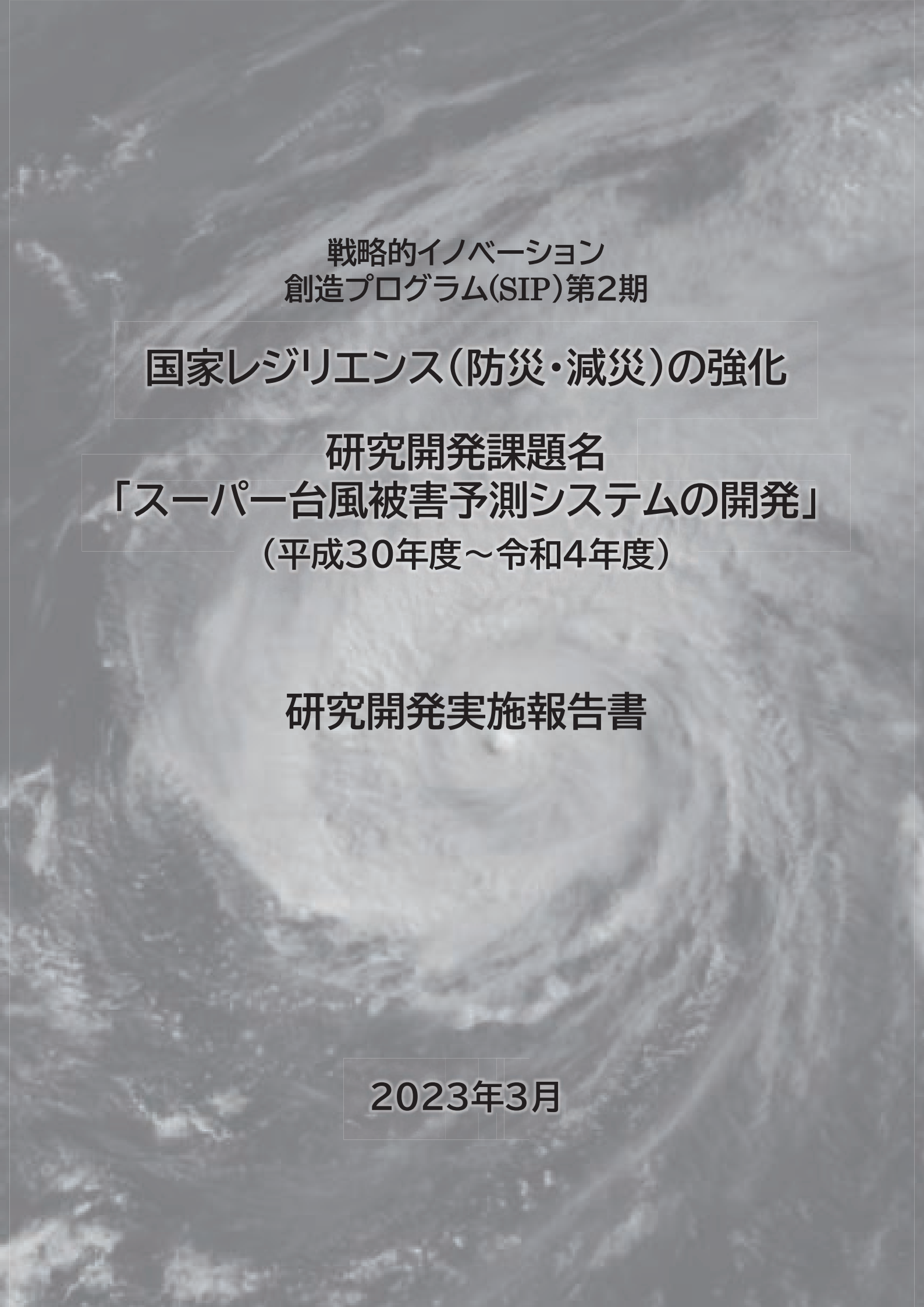


A grayscale satellite image of a typhoon serves as the background for the entire page. The typhoon's eye and spiral cloud bands are clearly visible, creating a sense of scale and urgency.

戦略的イノベーション
創造プログラム(SIP)第2期

国家レジリエンス(防災・減災)の強化

研究開発課題名
「スーパー台風被害予測システムの開発」
(平成30年度～令和4年度)

研究開発実施報告書

2023年3月

戦略的イノベーション創造プログラム(SIP)

研究開発実施報告書

課題名「国家レジリエンス(防災・減災)の強化」

研究開発課題名「スーパー台風被害予測システムの開発」

2023 年 3 月

<報告書目次>

1. 研究開発課題実施の概要.....	1-1
1.1. 研究開発課題目標.....	1-1
1.2. 実施項目・内容.....	1-3
1.3. 主な結果.....	1-6
2. 開発研究の全体像.....	2-1
2.1. 研究開発の背景・目標.....	2-1
2.2. 研究開発の達成状況・主な成果.....	2-2
2.3. 開発研究のマネジメント概要.....	2-4
2.4. SIP 第2期終了後のロードマップ.....	2-5
3. 高潮・高波ハザード予測システムの開発.....	3-1
3.1. 研究開発の背景.....	3-1
3.2. 研究開発目標.....	3-5
3.3. 技術開発.....	3-8
3.4. 社会実装.....	3-16
3.5. 国際競争力.....	3-24
3.6. 社会実装を実現するためのマネジメント体制.....	3-24
4. 河川・ダムの長時間洪水予測・防災支援システムの開発.....	4-1
4.1. 研究開発の概要（河川・ダム）.....	4-1
4.2. 長時間/広域洪水予測システムの開発.....	4-2
4.2.1. 研究開発の背景.....	4-2
4.2.2. 研究開発目標.....	4-3
4.2.3. 技術開発.....	4-4
4.2.4. 社会実装.....	4-15
4.3. 統合ダム防災支援システムの開発.....	4-19
4.3.1. 研究開発目標.....	4-19
4.3.2. 技術開発.....	4-20
4.3.3. 社会実装.....	4-35
4.3.4. ダム群連携最適操作シミュレータおよび連携モデルの開発（荒川）.....	4-40
5. 危機管理型水門管理システムの開発.....	5-1
5.1. 研究開発の目的.....	5-1

5.2. 技術開発目標	5-2
5.3. 技術開発	5-3
5.4. 社会実装	5-7
6. 研究体制	6-1

1. 研究開発課題実施の概要

1.1. 研究開発課題目標

■技術目標

サブテーマ	5年間
1. 高潮・高波ハザード予測システムの開発	波浪のうちあげ高簡易観測機器プロトタイプの現地適用試験と観測精度の検証、高潮浸水危険度予測情報の提供仕様の検討、潮位・波浪のピンポイント予測システムの予測提供頻度、アンサンブルメンバーの増強及び三大湾への実装（迷走台風対応）とシステム検証、高潮の河川遡上も考慮した「リアルタイム浸水予測システム」を開発 社会実装ロードマップのフェーズⅠ（技術確立段階） プロトタイプの実証実験先（三大湾）の実台風を対象としたリアルタイム試行運用の継続とシステム検証
2. 河川・ダムの長時間洪水予測・防災支援システムの開発	アンサンブル予測降雨を用いて長時間先までの河川水位を予測し、情報提供ができる「長時間洪水予測システム」、並びに予測情報が提供されていない全国の支川・派川を含む「広域洪水予測システム」を開発 長時間アンサンブル降雨予測を活用した最適事前放流予測モデルによる「統合ダム防災支援システム」を開発 気象予測情報に応じて膨大な組合せの中からダム群の機能を最大に有効活用できる最適操作を導き出し、ダムの治水効果を最適かつ限界まで発揮しうるダム連携操作を支援する「ダム群連携最適操作シミュレータ」を開発
3. 危機管理型水門管理システムの開発	商用電源喪失・交通途絶という極限的状況下での LPWA による水門等の危機管理統一通信フォーマットによる水門等開閉状況の一元監視の実現、衛星 LPWA 通信による情報一元監視技術の開発、無動力遠隔自重閉鎖システム追加手法、水門開閉状況等を画像認識する技術を開発

■社会実装目標

サブテーマ	5年間
1. 高潮・高波ハザード予測システムの開発	(技術確立後のフェーズⅡ) 三大湾におけるプロトタイプシステムの実装とリアルタイム試行運用による活用実績の蓄積、社会実装先からフィードバック (フォローアップ段階) フェーズⅢ (社会実装段階) に向けた活用実績の蓄積とともに、予測情報の活用リテラシーの向上策の検討、法制度改正等の必要性の検討、システム導入に向けた「高潮・高波ハザード予測システム技術仕様書」策定
2. 河川・ダム of 長時間洪水予測・防災支援システムの開発	大河川を対象とした「長時間洪水予測システム」の代表河川における本格的運用と全国展開、並びに全国の中小河川を対象にした「広域洪水予測システム」の実運用に向けたロードマップを策定 「統合ダム防災支援システム」の標準仕様やガイドラインを策定、本研究成果をダム管理者等が積極的に導入する体制を推進し、ダム管理者から受注する形で民間企業からの積極的な参画を促す。個別にカスタマイズしながら低コストで迅速に本システムの導入を促進することにより社会実装の具現化を図る 発電ダムの運用高度化は、電力会社のマッチングファンドと合わせて実施し、得られた成果については、水力発電価値の最大化と防災効果の最大化を実現する手法として、可能な限り広く社会で共有
3. 危機管理型水門管理システムの開発	LPWA による水門等一元監視システムのための統一通信フォーマットの標準規格策定と衛星 LPWA 通信のための技術資料の作成 無動力遠隔自重閉鎖システムの導入ガイドライン (案) の策定、水門開閉状況等に用いる画像認識技術等の技術資料の作成を行うとともに、国のガイドライン等へ反映 全国普及のロードマップを作成

1.2. 実施項目・内容

■技術目標のための実施項目と内容

サブテーマ	実施項目	内 容
1. 高潮・高波ハザード予測システムの開発	・ うちあげ高簡易観測機器の開発 ・ うちあげ高予測手法の開発 ・ 高潮浸水危険度予測技術の開発 ・ アンサンブル予報値を基にした台風経路を求める手法の開発 ・ 潮位・波浪のピンポイント予測システムの開発 ・ 実測値を活用した高潮・高波の予測値を高精度化する手法（データ同化）の開発 ・ 高潮の河川遡上と越波量の不確実性を考慮したリアルタイム高波高潮浸水予測システムの高度化 ・ ANNを活用した沿岸域ハザードの早期予測技術の開発	・ Webカメラのモニタリング継続実施 ・ 社会実装先へのリアルタイム予測情報の提供や図上訓練を通じた高潮・高波情報のニーズ把握と分かりやすい提供情報仕様の検討 ・ リアルタイム予測の先理・実現（1日4回）、アンサンブルメンバー（51メンバー）、迷走台風対応（広領域の拡大と伊勢湾・三河湾追加） ・ 実台風を対象としたプロトタイプ予測システムの動作検証、自動化処理の導入、高速化検討 ・ 分散処理高潮高波浸水計算モデルの改良および洪水・高潮の河川遡上を考慮した浸水予測モデルの開発 ・ 開発した確率台風モデルの実装対象地点への適用
2. 河川・ダムの高時間洪水予測・防災支援システムの開発	・ 長時間洪水予測システムの開発 ・ 日本全国の中小河川を含む広域洪水予測システムの精度向上	・ 全球アンサンブル(GEPS)の全51メンバーによる120時間先までの河川水位予測を実施し、オンラインで結果を提供する長時間洪水予測システムを開発 ・ GEPS及びメソアンサンブル(MEPS)の全メンバーによる河川水位予測結果の表示・提供について、最大やそのばらつきが認識し易いよう視認性を改良 ・ オンラインで長時間洪水予測を実施・情報提供できるシステムの適用確認 ・ 150m分解能の全国版RRIモデルに約26,000の河道断面情報を反映させるとともに、土壌マップに対応したパラメータの地域統合化手法を開発・適応 ・ 711地点(2734出水)でモデルを検証し、観測情報の存在しない河川の再現性を検証 ・ 1時間ごとに6時間先までを予測するリアルタイム広域洪水予測システムを開発。台風時のみMEPSを入力して長時間アンサンブルの洪水予測を実現するシステムをクラウド上で開発

	<u>統合ダム防災支援システム</u> ・ ①長時間アンサンブル降雨予測システムの開発 ・ ②ダム最適事前放流予測モデルの構築 ・ ③ダム群連携最適操作シミュレータの開発 ・ ④発電ダムの運用高度化モデルの開発	・ ①長時間アンサンブル降雨予測システムは、システムの改善、予測精度に関する検証を実施。 ・ ②最適事前放流予測モデルは、上下流ダムの連携操作を考慮して、防災操作と再エネ運用についてシミュレーションを行い検証 ・ ③ダム群連携操作シミュレータは、リアルタイムデータ連携による全体最適を目指すシステム検討 ・ ④事前放流による水位低下時の発電エネルギー利用の最大化と、平常時の水力発電計画における水力発電価値の最大化と防災効果の最大化を実現する手法の検討
3. 危機管理型水門管理システムの開発	・ LPWAによる水門の危機管理統一通信フォーマットの実証 ・ 画像認識技術の試行 ・ 無動力遠隔自重閉鎖システムの実証実験	・ LPWA通信による水門等開閉情報収集及び遠隔操作機能の実証実験 ・ 流向解析ソフトの試作と検証 ・ 小形水門における無動力遠隔自重閉鎖プロトタイプの実証実験継続と大形水門改造技術の検討 ・ 衛星利用を想定したデバイスの宇宙環境試験にもとづいたシステムコンポーネントの設計開発

■社会実装目標のための実施項目と内容

サブテーマ	実施項目	内 容
1. 高潮・高波ハザード予測システムの開発	・ プロトタイプシステム実装先への実台風を対象としたリアルタイム事前予測情報の活用実績の蓄積 ・ 東京湾（川崎市）を対象とした水害図上訓練による予測情報の活用リテラシー向上とニーズ把握 ・ システム導入に向けた「高潮・高波ハザード予測システム技術仕様書」策定	・ プロトタイプシステム試行先である大阪湾（大阪府・兵庫県）、東京湾（川崎市）、伊勢湾・三河湾（愛知県）、国交省静岡国道事務所への継続的なヒアリングを実施するとともに、東京湾（川崎市）を対象とした水害図上訓練の運営補助を通じた自治体のユーザー階層（災対本部、各局等）に応じた予測情報のニーズ把握 ・ 大阪湾（大阪府・兵庫県）、東京湾（川崎市）、伊勢湾・三河湾（愛知県）へリアルタイムアンサンブル事前予測情報の提供を通じた予測情報の理解度の把握や潜在的ニーズの掘り起こし ・ システム導入に向けた「高潮・

		高波ハザード予測システム技術仕様書」策定 ・ TUNAMI-surge システムの完全自動化・パッケージ化およびユーザーニーズに応じた入出力インターフェースの整備と実運用に向けた試験予測 ・ ノートPCへの実装とマニュアルの作成
2. 河川・ダム の長時間洪水予測・防災支援システムの開発	・ 長時間洪水予測モデルの汎用化と視認性の改良 ・ 長時間洪水予測の結果をオンラインで情報提供するシステムを本格的に運用する。 ・ 活用を想定している自治体等との調整 ・ 広域洪水予測システムの実践的応用とSIP他チームとの連携	・ 内水域から河川への排水条件等を洪水予測対象河川の流域の状況に応じて変更ができるようにするなど、計算プログラムの汎用化を図るとともに、洪水予測結果の表示を利用者が使いやすいように改良 ・ オンラインで洪水予測結果が確認できるようシステムの安定性を図り、荒川水系にて本格的運用を図る ・ 自治体等に対して2種類のアンサンプル予測降雨を活用した長時間洪水予測システムについて説明するなど実装に向けた調整を実施 ・ 熊本県人吉医療センターとの共同による広域洪水予測システムを活用したタイムライン策定と防災訓練の実施 ・ SIPテーマ1, 6 との連携による、SIP4DとIDR4Mに対する広域洪水予測システムの出力提供
	<u>統合ダム防災支援システム</u> ・ 活用リテラシー向上策の実行 ・ 関係機関による社会のための実証プログラム実施 ・ 国交省・都県と自治体の連携活用 ・ 長時間洪水予測システムと広域洪水予測システムとの連携推進	<u>統合ダム防災支援システム</u> ・ 開発したシステムの効果検証等のフィードバックを実施 ・ 社会実装を深めるためのルール実装プロセスを共有と関係者調整 ・ 荒川流域の上流から河口までデータ連携し課題を共有
3. 危機管理型水門管理システムの開発	・ 実現場施設でのプロトタイプの実証試験 ・ システム導入ガイドラインの作成	・ 川崎市・愛知県・香川県・宮崎県等での実証試験の実施 ・ 無動力遠隔自重閉鎖システムの導入のための改造設計ガイドライン(素案)の作成

1.3. 主な結果

■技術目標の達成状況

サブテーマ	技術目標の達成状況
1. 高潮・高波ハザード予測システムの開発	・うちあげ高の簡易観測技術は、兵庫県西宮市の動画カメラに加えて、新たに川崎市港湾局管内に現地適用試験を目的とした動画カメラを設置 ・うちあげ高予測は、現場ニーズに応じた複数のモニタリングシステムの提案も念頭に、令和元年台風19号の越波動画素材を対象とし、既存の簡易的な手法を用いた越波検知解析を行い、検知率を検証するとともに課題等を整理 ・高潮浸水危険度予測技術は、実台風を対象としたアンサンブル事前予測情報提供の整理、川崎市水害図上訓練等を通じた社会実装先のニーズ等の整理を踏まえ、沿岸の越波危険度を可視化した表示システムを構築 ・アンサンブル予測値を用いた気象予測情報の作成については、予測回数やメンバー数の増強を図るとともに、現地実証実験を実施し、その結果を踏まえた手法の改良を実施 ・高潮・高波予測については、簡易計算の範囲拡大、伊勢湾・三河湾の追加及びメンバー数と予測回数の増強を行い、プロトタイプシステムを改修した。また、プロトタイプシステムを用いて2021年に日本に接近した8台風（5,8,9,10,12,14,16,20号）を対象にリアルタイムの現地実証実験を行い、その結果を踏まえた問題点の改良及び情報の提供方法の検討 ・実測値による高潮・高波予測の高度化については、データ同化後天文潮位を用いた現地実証実験を行った。また、新規追加海域（伊勢湾・三河湾）の高潮予測について、2020年度までに検討した手法の適用性を検討 ・リアルタイム浸水予測システムTUNAMI-surgeについては、2021年度は高潮の河川遡上を考慮した高度化として、河口部の開口方向を考慮した造波ソースと河川堤防の決壊・水門の開閉を考慮した浸水計算機能を実装し、その動作確認を実施 ・また、越波量の不確実性を考慮した高度化として、越波量アンサンブルデータの生成とこれを用いた確率的浸水域・浸水深予測結果の生成機能の実装 ・これらの高度化と同時に、予測システムのさらなる最適化・高速化を実施した。その結果、スパコンによる高並列計算では、川崎市臨海部を対象とした物理時間12時間の予測を、10分程度で完了できる計算速度を達成 ・ANNを活用した沿岸域ハザード予測は、任意の予報値を組み込むことのできる確率台風モデルと、ニューラルネットワークによる高速高潮推定モデルを構築し、大阪湾および東京湾奥部における確率別ハザードの高速予測モデルを前年度までに構築 ・2021年度は同モデルを川崎港における確率別高潮ハザード予測に適用するため、物理モデルに基づく学習データを生成し、ニューラルネットワーク(LSTM)に基づく川崎港での高潮推定モデルを構築
2. 河川・ダムの高潮時の洪水予測・防災支援システムの開発	・120時間先までGEPS全51メンバーにて河川水位を予測できる長時間洪水予測システムを構築 ・あわせて、下流部の水位予測精度を向上させるため、天文潮位に偏差を考慮した潮位を120時間先まで入力できるように改良 ・また、GEPSやMEPSのデータ配信から計算開始までの時間ロスをなくし洪水予測計算に要する時間を短縮する改善を図るとともに、

サブテーマ	技術目標の達成状況
	洪水予測計算が継続的に実施され予測結果が確実に更新されるようシステムの高速化と安定化を実現 ・ 4年次に開発したweb表示系について、5年次はアンサンブル全メンバーによる洪水予測結果を利用者が活用する際に不確実性や可能性を認識しやすいよう、予測結果の最大・最小やばらつきを色分けして幅表示する機能を追加して視認性の高い表示方法に改良 ・ あわせて、洪水予測に用いた予測降雨が、どのような時空間分布となっているのかがわかるようにシステムを改良 ・ 観測情報の存在しない中小河川でも一定の精度で流量や水位を、日本全国で予測できる広域洪水予測システムを開発 ・ 土壌分布に応じてパラメータの空間分布を設定する手法を開発するとともに、全国約26,000の河道断面情報を反映させることにより流量と水位の精度を向上 ・ また、711地点（2734出水）でモデルを検証し観測情報の存在しない河川の再現性を検証 ・ 開発した広域洪水予測システムはリアルタイムで1時間ごとに6時間先までを予測するシステムであり、加えて台風襲来時にはメソアンサンブル予報システム(MEPS)を入力してアンサンブルの洪水予測を実現するクラウドシステムを構築 ・ <u>統合ダム防災支援システム</u> ・ 長時間アンサンブル降雨予測システムは、高梁川水系および荒川水系、発電ダムなどでプロトタイプの試行運用を継続するとともにシステムの改善、予測精度に関する検証を実施 ・ 最適事前放流予測モデルは、プロトタイプを構築している高梁川水系新成羽川ダム、猪名川水系一庫ダム等について引き続き試行運用を行い、モデル改良を進める。アンサンブル降雨予測を考慮した利水ダム（発電ダム）の高度運用手法の検討 ・ さらに、河川に縦断に設置される上下流ダム（治水・利水ダム）の連携操作を考慮して、防災操作（治水協力）と再エネ運用（水力価値向上）についてシミュレーションを行い検証し、長時間アンサンブル予測を用いた多目的ダムの洪水調節後の後期放流についても検討 ・ ダム群連携操作シミュレータは、木津川ダム群・荒川上流ダム群でのプロトタイプの試行・改良を進めるとともに、荒川水系におけるリアルタイムデータ連携による全体最適を目指すシステム検討 ・ 長時間アンサンブル降雨予測情報をダムの防災効果に適用するため、リスクと責任論を整理した上での、洪水の一气通貫の放流操作ルールを検討 ・ 電力会社等民間企業のマッチングファンドも活用して、事前放流による水位低下時の発電エネルギー利用の最大化のための早期かつ段階的な事前放流手法を検討するとともに、1週間程度先までの洪水の発生の有無を見通した上で、平常時の水力発電計画における水力発電価値の最大化と防災効果の最大化を実現する手法の検討を行い、発電ダムの利水と治水のシームレスな結合の検証を実施
3. 危機管型水門管理システムの開発	・ 遠隔監視・操作の通信技術としてLPWA（LoRaWAN）通信技術を採用したシステム構築について検討するとともに、管理者が異なる水門等の開閉状況を統一通信フォーマットにより一元監視するプロトタイプシステムを構築

サブテーマ	技術目標の達成状況
	・ 実現場施設でのプロトタイプの実証実験(LPWA通信による水門等開閉情報収集及び遠隔操作機能の実証試験)を継続し、一元監視及び遠隔操作機能を検証 ・ また、システム導入ガイドラインについて管理者等にヒアリングし課題の把握 ・ 衛星利用を想定して、市場に流通する民生LPWA通信デバイスの宇宙環境試験結果に基づいて、衛星搭載受信機の実証用ボード、並びに衛星向け中継地上局の実証用ボードを製作し、実証試験の準備を整えた ・ ワイヤロープウィンチ式の大形水門に無動力遠隔自重閉鎖機能を追加する検討を行い、試設計を実施 ・ 水門作動状況を監視するための動体認識ソフトの試作と適用性の調査を行い、水門の開閉判別が可能であることや人検知技術の選定評価手法の知見等を得た。また、水門操作時の情報である流向の解析ソフトの試作と適用性を検証

■社会実装目標の達成状況

テーマ	社会実装目標の達成状況
1. 高潮・高波ハザード予測システムの開発	・アンサンブル予測を用いた高潮・高波・越波量予測システムとリアルタイム高潮高波浸水予測システムの一連予測システムは、プロトタイプシステムの実証実験先である東京湾（川崎市）にて、2022年に日本に接近した台風1,4,5,6,8,11,12,14,15,18号を対象にリアルタイムの現地実証実験を行い、社会実装先へのアンサンブル予測情報の試行提供 ・システム導入に向けた「高潮・高波ハザード予測システム技術仕様書」を策定 ・入力データの更新検知とダウンロード、解析実行、計算結果のSIP4Dへのアップロードまでの完全自動化を完了し、システムの堅牢性を高めるための各種機能の開発を実施 ・訓練や実運用時のシステム操作・監視のため、完全自動化されたTUNAMI-surgeシステムを遠隔から操作できるコンソールアプリを開発するとともに、異なるプラットフォームでの試運用と負荷試験を実施し、システムの頑健性を確認 ・川崎市用に構築した「ANNを活用した沿岸域ハザードの早期予測技術システム」をノートPC一台に実装し、利用マニュアルを整備
2. 河川・ダムの高時間洪水予測・防災支援システムの開発	・長時間洪水予測の結果を利用が想定される関係者のニーズに応え、視認性の高い表示に改良するとともに、表示できるコンテンツを追加 ・オンラインにて洪水予測結果が速やかに確認できるように国土交通省に対して長時間洪水予測システムの本格的な運用を開始 ・長時間洪水予測結果を参考に広域避難の検討や判断を行うことが想定される江東5区広域避難推進協議会に対して、長時間洪水位予測システムについての説明と意見交換を行い、具体のオペレーションにどう活かすのか検討 ・国土交通省が手掛ける先端的な洪水予測システム（水害リスクライン）の構築において、降雨・流出・氾濫を解析するモデルとしてRRIモデルが採用されることになり、広域洪水予測システムの基礎技術（地形データの整備、リアルタイム運用のための技術、河道断面情報の反映方法、パラメータの設定方法など）が活用された ・兵庫県と京都府においても、中小河川を含めた河川水位と浸水の一体型の予測システムが開発されることになり、上記の基礎技術が活用された ・広域洪水予測システムで開発した全国版RRIモデル（及びその一部）は、気象ビジネス、保険リスク評価、建設コンサルタント各社でも活用されるようになった ・熊本県人吉医療センター、清水建設、京都大学防災研究所の共同研究により、広域洪水予測システムを活用した水害タイムラインの策定を進め、実践的な防災訓練を実施 ・広域洪水予測システムの結果をSIP4DやIDR4M等でも活用できるようテーマ1, 2, 6にもリアルタイムで共有 <u>統合ダム防災支援システム</u> ・活用リテラシー向上策の実行として、開発した技術の運用を継続しつつ、システム等を導入した関係者へ効果検証等のフィードバックを実施 ・関係機関による社会のための実証プログラムとして、社会実装を深めるためのルール実装プロセスを共有し、ダム操作ワーキングを定期的に行う。また、関係機関とコミュニケーションを図りながら、

テーマ	社会実装目標の達成状況
	社会実装に必要なダムの防災操作実施要領案を提出 ・長時間洪水予測システムと広域洪水予測システムとの連携推進については、荒川流域の上流から河口までデータ連携し、効果を確認するとともに、今後の社会実装に向けての課題を確認
3. 危機管理型水門管理システムの開発	・管理者が異なる水門等の開閉状況を統一通信フォーマットにより一元監視するプロトタイプシステムを構築し、社会実装に向け、愛知県、川崎市、大阪府等において対象施設を拡大し実証実験を実施 ・社会実装に向けた標準化戦略として、LPWAに関して国内規格開発しJSA規格として公開 ・運用中の樋門に構築・実装した、LPWA（LoRaWAN）を利用した開閉情報収集及び遠隔自重閉鎖システムの実証実験を継続し、安定性と確実性を確認した。 ・無動力遠隔自重閉鎖システムの社会実装を促進するため、危機管理型水門遠隔監視・操作システム導入ガイドライン（案）を策定し、国のガイドライン等にも参考資料として掲載される予定。 ・「津波・高潮対策における水門・陸閘等管理システムガイドライン」等へ反映を予定 ・衛星を介したLPWA通信用機器の開発を行い、実証実験の準備を行った。また、衛星による長距離LPWA通信の社会実装に向けて異分野展開（農業）や国際展開（東南アジア）でのニーズ調査を実施

■描いた出口戦略と達成状況

サブテーマ	描いた出口戦略と達成状況
1. 高潮・高波ハザード予測システムの開発	・「観測・予測手法の標準仕様・ガイドラインの制定」 ・予測情報のオープン情報として活用に向けて、水防法と気象業務法との共管など検討を国土交通省水管理・国土保全局と協議を開始、継続中
2. 河川・ダムの長時間洪水予測・防災支援システムの開発	・「予測手法の標準仕様・ガイドラインへの反映」 ・国土交通省が運用する既存洪水予測モデルの全国長時間化が予定されている。このモデルをベースとしたアンサンブル化への拡張に向けて協議・調整を開始、継続中 ・内閣府の有する「SIP4D」やテーマⅦ「市町村災害対応統合システム開発」における市区町村向けの避難支援システムなどを活用して、情報の提供・共有を実現 ・全国を対象にした広域洪水予測システムの基礎技術を中小河川を含む広域の洪水予測に応用できるよう、国土交通省や地方自治体と協議を進めた ・「アンサンブル降雨予測及びダム群連携最適操作の標準仕様・ガイドラインの制定」 ・国土交通省・水資源機構、自治体のダム管理者を導入者とし、本研究で開発したシステムを活用するために必要な施設の操作規則の改定、防災体制や防災計画の変更することを検討、具体的には、システム導入者のニーズ・導入条件の把握を行い、実装に向けて国土交通省やダム管理者等と協議した。また、令和4年度より事前放流に係るルール策定等の検討に当たってワーキンググループを立ち上げることを決定
3. 危機管理型水門管理システムの開発	・「危機管理対応の水門の標準仕様・ガイドラインの制定」 ・河川（国土交通省直轄・各自治体）、港湾、農業、水産の水門管理者を導入者とし、危機管理型水門の具体的ビジョンを示すとともに、水門の設計基準や本研究で開発したシステムを活用するために必要なガイドライン等の改定を行う検討を継続実施 ・異なる管理者の水門等の一元監視を可能とすることを目的に、「津波・高潮対策における水門・陸閘等管理システムガイドライン」へのデータ伝送フォーマット追加案を作成し、関係省庁に提案

2. 開発研究の全体像

2.1. 研究開発の背景・目標

2018 年台風 21 号は大阪湾で過去最高の潮位を記録し、越波による浸水により関西国際空港が浸水して機能を失った。2019 年台風 19 号では関東甲信地方、東北地方に記録的な大雨をもたらし、治水整備レベルを上回る洪水氾濫が広域で同時に発生した。また、2020 年台風 10 号は、過去最大クラスの台風に発展する可能性があるとして気象庁は早くから情報を発信した。こうしたスーパー台風の襲来に対して「逃げ遅れゼロ」、「社会経済被害最小化」を実現するために、国や市町村の意思決定を支援する予測情報システム開発し、実用化することが本課題の目的である（図 2.1-1、図 2.1-2）。

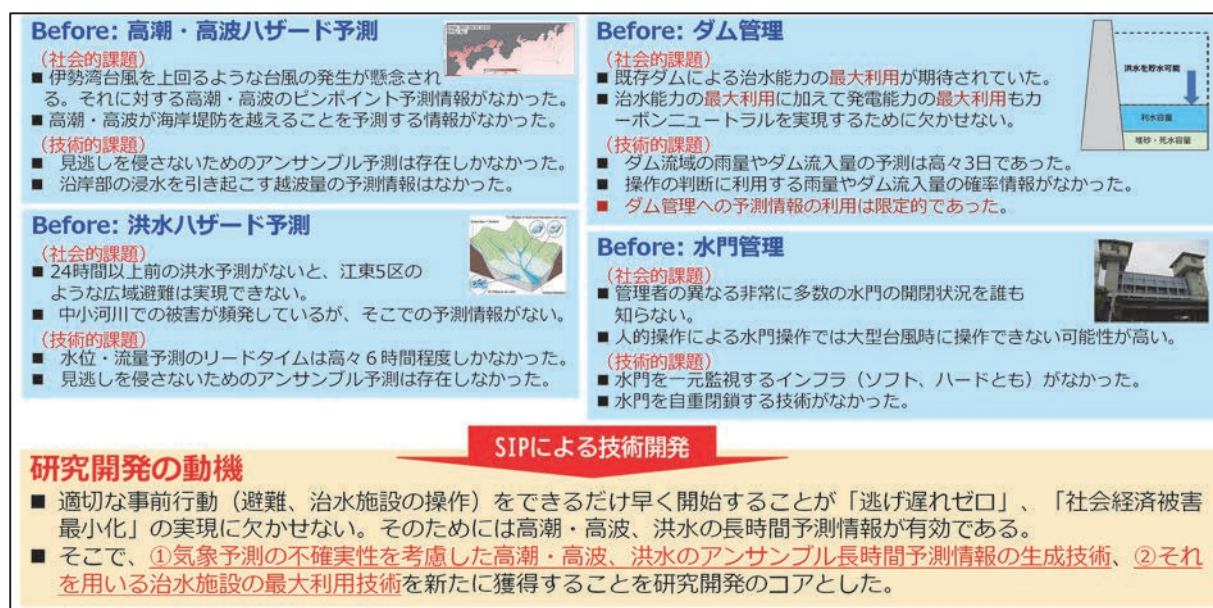


図 2.1-1 SIP 第 2 期開始時の状況・課題と研究開発の動機



図 2.1-2 SIP 第 2 期開始時の達成目標の設定

2.2. 研究開発の達成状況・主な成果

研究開発の目的を達成するために、高潮・高波、河川水位・流量を対象とし、予測の長時間化（120 時間先）に加えて週間アンサンブル予測降雨を活用することにより、見落としを抑え、潮位・波高・河川水位を分かり易く伝える洪水予測システムを開発した。また、これまで予測情報が存在しない中小河川を含む日本全国の河川水位・流量予測を 150m 分解能で提供する全国河川洪水予測システムも開発した。

さらに、主に施設管理者をターゲットに、最大 15 日間の長時間アンサンブル降雨予測情報をダム放流操作に活用し、「1～3 日程度前からの事前放流ガイドライン」をさらに前進させ、「数日～1 週間程度前からの事前放流を実現して洪水貯留機能の拡大（治水 WIN）と水力発電増大（発電 WIN）を実現すること」を目標とした統合ダム防災支援システムを開発した。

また、大規模停電時に備え、低電力で動作する LPWA 通信技術を活用した水門等開閉状況の一元監視や、水門の無動力遠隔自重降下技術による確実な水門閉鎖を実現する危機管理型水門管理システムを開発した（図 2.2-1）。

長時間アンサンブル降雨予測情報は、国等が管理する多目的ダムや都道府県ダム、電力ダム等全国 80 ダム以上に情報が配信され、社会に実装されている。また、開発した予測システムの社会実装を加速する社会実験プロジェクトが進みつつある（図 2.2-2）。

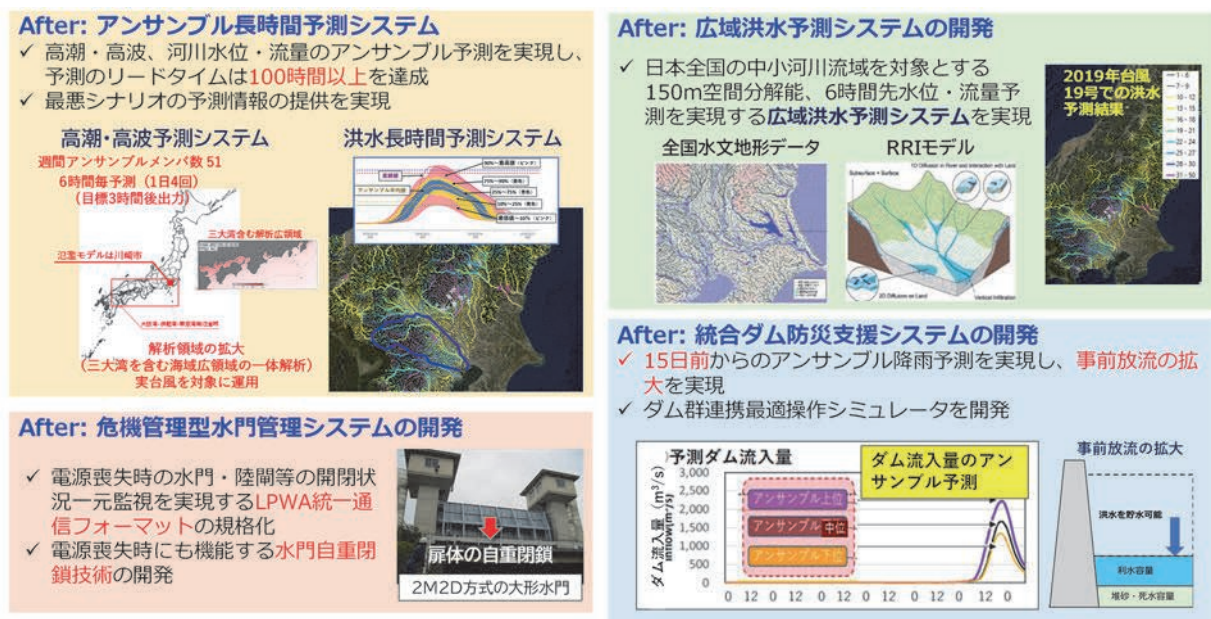


図 2.2-1 第5年次終了までの技術目標の達成（まとめ）

高潮・高波予測ハザードシステムの社会実装

- 川崎市図上訓練を通じて、活用場面に応じた**予測情報の確度と意思決定**の粒度の関係を明らかにした
- 予測情報の役割と提供範囲（場面と者）の関係を整理し、国へのシステム移転と運用を実現するために、国土交通省とともに**社会実験プロジェクト**を計画、令和4年度より実施開始

長時間洪水予測システムの社会実装

- 国土交通省では、SIPが荒川で開発した長時間アンサンブル水位予測システムと同様のシステムを、**今後全国で構築・運用**予定としており、SIPで開発したプログラム等が今後活かされる予定

広域洪水予測システムの社会実装

- 広域洪水予測システムのコア技術であるRRIモデルを活用した洪水予測の高度化等検討業務を、**国土交通省が全国の1級水系を対象に開始**
- 地方自治体（京都府、兵庫県）では、府県全体の河川を対象にした水位・氾濫予測システムの開発が進められており、広域洪水予測システムで開発した技術が活用開始

統合ダム防災支援システムの社会実装

- 長時間アンサンブル降雨予測情報は、本技術を用いた**商用サービス**（日本気象協会）を含めて、**全国50ダム以上に導入**され精度検証を実施中
- 治水ダムに加えて利水ダム（特に発電）への**事前放流拡大と増電の効果検証**が、電力会社（関電、中部電、中国電、九電、電源開発）と実施
- ダム群最適操作モデルを開発し、**水資源機構のダム群で実証実験**を実施
- ダム管理の専門家等で構成される「ダム操作ルール検討WG」により、アンサンブル予測を導入した**ダム操作ルール策定のプロセス検討**が進展
- フィリピンのダム流域への**海外展開**を実現

危機管理型水門管理システムの社会実装

- 「津波・高潮対策における**水門陸閘等管理システムガイドライン**（国交省・農水省）」の改定作業中
- 開閉情報の通信に利用する**LPWA通信フォーマット**は、日本規格協会規格としてR4.12に公表済み
- 水門自重閉鎖システムは、研究成果をシステム導入ガイドラインにとりまとめ公表予定

図 2.2-2 第5年次終了までの社会実装目標の達成（まとめ）

2.3. 開発研究のマネジメント概要

課題マネジメントの概要を図 2.3-1 に示す。

研究開発成果の社会実装を実現するための重要な役割として、社会実装責任者を立てるとともに、特に主な社会実装先となる国土交通省等と協議を進めて現在に至っている。

また、特にダムや水門に関しては、電力会社等民間企業からの積極的なマッチングファンドにより社会実装の観点からも効果的な研究開発を実現した。

さらに、省庁連携の観点から、特に水門のガイドライン改定に向けた調整を具体的に進めた。

- ① **Society5.0の実現**：高潮・高波や洪水、浸水予測情報をリアルタイムで誰もが容易に入手し、避難・減災行動を実施するデジタル社会を実現するために、ハザード予測システムの開発を進めてきた。また、ダムや水門の施設管理においてハザード予測情報を活用し、治水施設の機能を最大限利用する施設操作の実現する技術開発を実施してきた。これらの防災情報と人およびモノ（治水施設）を繋げて事前防災に対するSociety5.0の実現に貢献する。
- ② **社会実装を実現するためのマネジメント体制の構築**：社会実装責任者を配置し、主な社会実装先となる国土交通省と社会実装の課題共有、取組、解決のロードマップ策定について検討し、社会実装の実現に努力している。
- ③ **研究テーマに対する評価とマネジメント**：テーマ全体での定期的な会議で技術目標と社会実装目標の達成度を確認し、進捗状況を確認してきた。特に、社会実装については社会実装責任者が進捗状況と問題点を確認し、実装先担当者との協議を重ねる体制を構築してきた。テーマ全体での打合せの結果をもとに、サブテーマ代表者がサブテーマごとにサブテーマ会議を開催し、目標設定と計画見直しを実施する体制を実行してきた。
- ④ **民間から適切な負担**：アンサンブル降雨予測を用いた電力会社のダム操作システムの開発・改良は、民間企業とのマッチングファンドで実施している。危機管理型水門の開発についても、マッチングファンドにより民間企業が大型水門を自重閉鎖する装置の実用化開発を行っている。
- ⑤ **府省連携が不可欠な分野横断的な取り組みとしての実施状況**：高潮・高波ハザード予測システムの社会実装先となる国土交通省や利用者となる川崎市・愛知県・大阪府・兵庫県と連携しながら、システム開発・社会実装の検討を進めている。長時間アンサンブル降雨予測を用いた治水・利水ダム運用の高度化では、治水および発電の省庁連携テーマとして技術開発を進めている。危機管理型水門管理システムについては海岸関係 4 省庁が連携してガイドライン改定の合意に向けた調整を進めている。
- ⑥ **S I P 第 2 期で実施する他の課題との連携**：広域洪水予測システムの水位情報をSIP4Dに向けて配信しデータ連携を実現している。今年度の追加予算を利用してサブテーマ間のデータ連携（荒川水系を対象とした高潮高波予測システム、長時間洪水予測システム、統合ダム防災支援システムの連携）を行い、洪水予測の高度化を実現した。

図 2.3-1 課題マネジメントの概要

2.4. SIP 第2期終了後のロードマップ

(1) 高潮・高波ハザード予測システム

高潮・高波ハザード予測は、これまで提供されていない予測情報であるとともに、SIP 研究期間中に三大湾に上陸する台風が発生せず、予測精度の検証も十分とは言えないことから、即時の予測情報の公開提供は社会的混乱が生ずることが懸念される。

また、予測情報提供するための気象業務法や水防法・海岸法等における位置づけの整理も必要である。

まずは、避難計画・行動や防災・減災対策・行動における新たな予測情報の使いこなし方の活用リテラシー向上を、SIP 終了後も予測情報を提供・試験活用する社会実験プログラムとして継続する。

社会実験プログラムにおけるユーザーニーズの確認、予測情報の精度検証により、高潮・高波ハザード予測システムの運用体制・方法を確定するとともに、並行して法制度の検討を進め、予測情報提供を実現する。

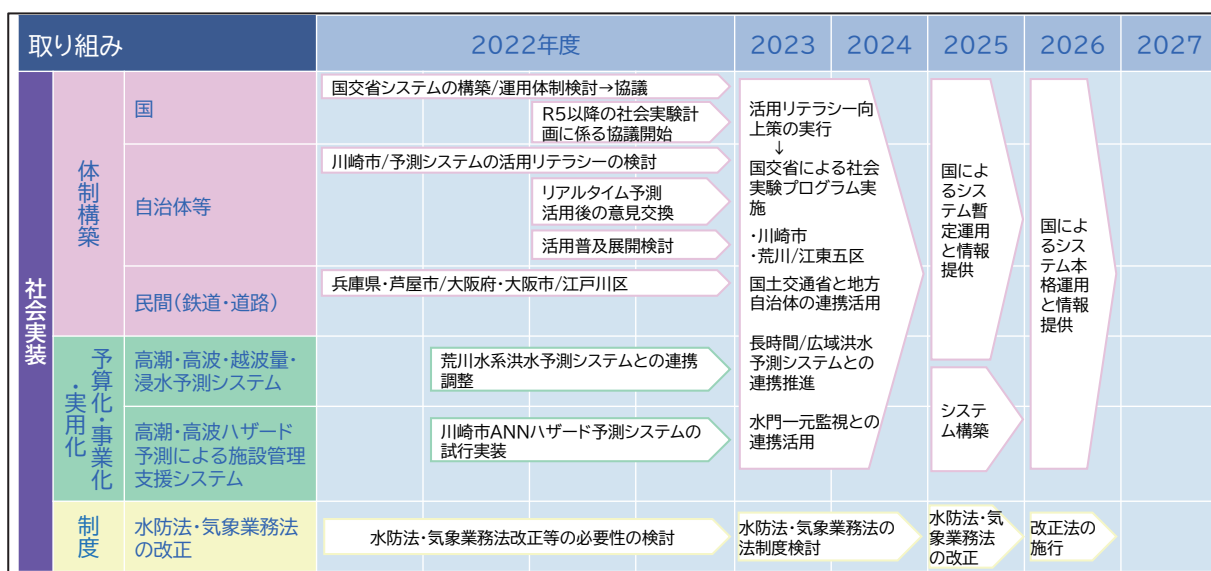


図 2.4-1 高潮・高波ハザード予測システムのロードマップ

(2) 長時間／広域洪水予測システム

120 時間先の洪水予測は、これまで提供されていない予測情報であるとともに、線状降水帯など降雨予測の信頼性が低い気象現象もあることから、即時の予測情報の公開提供は社会的混乱が生ずることが懸念される。

また、予測情報を提供するための気象業務法や水防法等における位置づけの整理も必要である。

まずは、GEPS による予測降雨を活用した 120 時間先までの洪水予測と MEPS による予測降雨を活用した 39 時間先までの洪水予測結果を、120 時間前からつくられた防災・避難行動のタイムラインの中でどのように活用・使いこなすのかなど活用リテラシー向上を、SIP 終了後も予測情報を提供・試験活用する社会実験プログラムとして継続する。

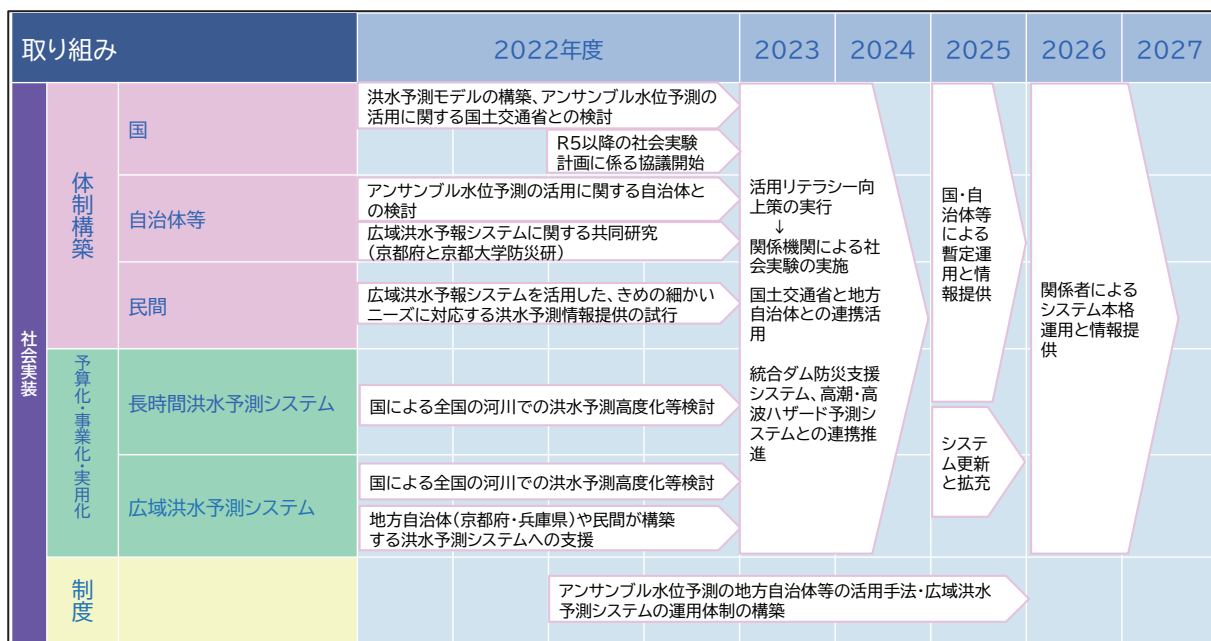


図 2.4-2 長時間/広域洪水予測システムのロードマップ

(3) 総合ダム防災支援システム

総合ダム防災支援システムは、SIP 研究期間中から試行的に活用されている。ただし、より精度の高いダムの防災操作を実現するためには、今後も予測精度の検証及び向上は必要である。また、これらの予測情報を活用するための基本概念は作成しているが、より深く社会実装し、減災効果を向上するために、関係機関と社会制度に根差した適用ルールを新たに作成し、位置づける調整・整理が必要となる。

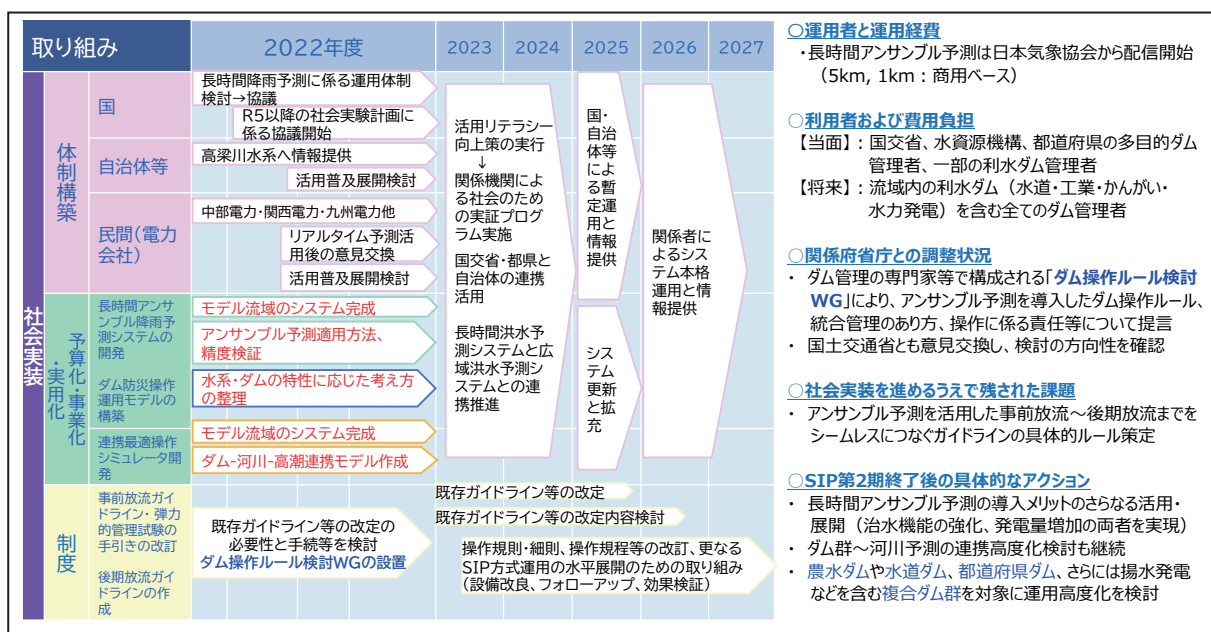


図 2.4-3 総合ダム防災支援システムのロードマップ

(4) 危機管理型水門管理システム

水門等の開閉状況一元監視システムについては、伝送フォーマットを規格化し公表しており（JSA-S1019）、国の作成するガイドラインへの記載も行われる予定である。また、（国研）土木研究所においては、当システムが市場で調達可能となるように民間企業等との共同研究を開始している。今後は、流域治水協議会や水際・防災対策連絡会等の場を活用し、当システムの導入を推進する。

水門等の無動力遠隔自重降下技術については、（一社）ダム・堰施設技術協会において「危機管理型水門遠隔監視・操作システム導入ガイドライン（案）－河川用水門・樋門・樋管ゲート編－」が作成公表されており、今後は実際の現場での検証、国の作成する技術基準等への反映を推進する。

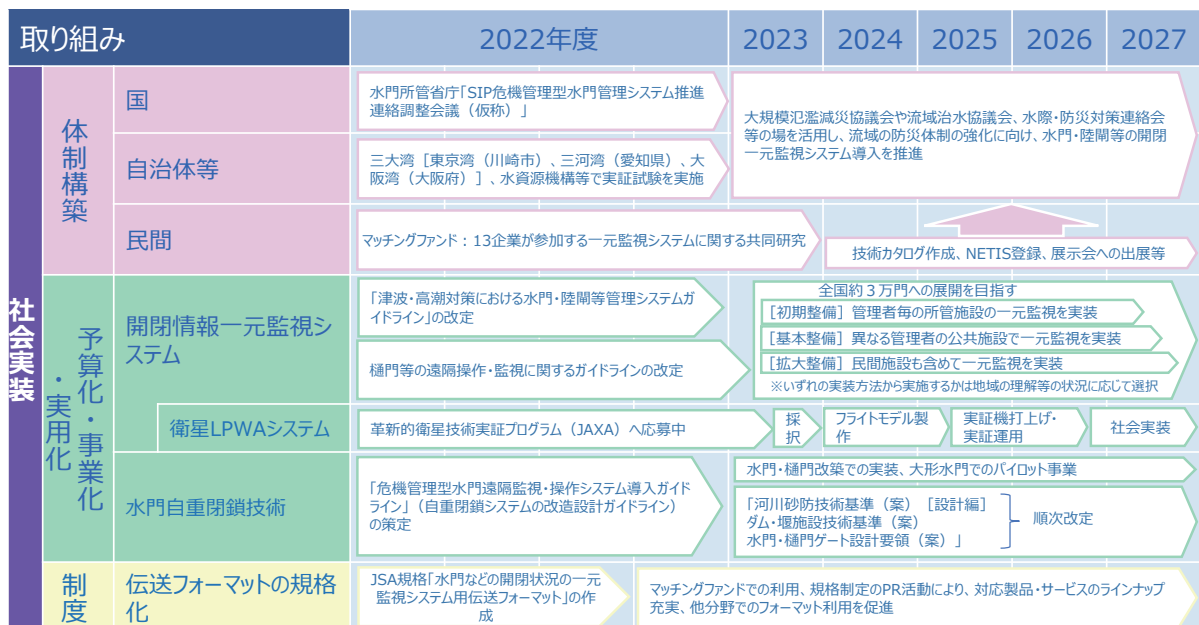


図 2.4-4 危機管理型水門管理システムのロードマップ

3. 高潮・高波ハザード予測システムの開発

3.1. 研究開発の背景

(1) 高潮・高波浸水予測の現状

「スーパー台風被害予測システムの開発」では、ハザード予測システムの高度化による新たな予測情報の提供と治水施設の最大利用による「逃げ遅れゼロ」、「経済早期復旧」を実現するために、「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」を進めた。

図 3.1-1 はハザードの予測情報が必要となる例である、大阪市に設置されている三大水門の一つの木津川水門である。水門は市街地から大阪湾へと流れる河川を横断するように設置されている。普段は開いていて、左側の上流から右側の河口に河川が流れている。

撮影時期は、2018 年、関西国際空港が高潮による氾濫で機能を失った台風 21 号の時の様子である。左側の都市側と右側の大阪湾側とでは、約 3m の水位の違いがあり、この水門によって、大阪市は浸水被害を免れた。水門によって守られた資産は 14 兆円と土木学会により見積もられており、水門の効果が大きく発揮された。

このような水門の操作を確実にを行うためには予測情報が重要である。写真右の図は横軸が時間、縦軸が水位を表している。青線は水門の内側、つまり市街地側の水であり、赤線は水門の外側、大阪湾側の水位である。

高潮により、約一時間で 3m 以上、水位が急上昇することがわかる。水門を早くから閉じてしまうと、市街地側からの河川水による浸水が発生する可能性がある。したがって、高潮による水位上昇を的確に予測して水門を閉鎖し、海側の水位が下がったら、即座に水門を開ける必要がある。

このように、的確な水門の操作には、的確なハザード予測、この場合は高潮の予測が欠かせない。



図 3.1-1 台風 21 号襲来時の木津川水門の閉鎖状況

次に、図 3.1-2 は、2018 年の台風 21 号における高潮予測の現状を示した図である。

図中の時系列は、台風 21 号における、大阪府の 4km ほど離れた、安治川水門の予測値と木津川水門の観測値の比較図である。

図 3.1-2 左図は、ピーク潮位発生時刻 6 時間前の予測と観測値の事後評価である。ピーク時間が 1 時間、ピーク潮位が 1 m ほど過小評価していることが分かる。

図 3.1-2 右図は、1 時間前の予測と観測値の事後評価である。ピーク時間は合っているが、ピーク潮位が 1 m ほど過小評価していることが分かる。

この要因は、ピーク水位の発生タイミングが天文潮と台風経路に左右されることや、水位規模が台風経路・気圧・風速に左右されるためと考えられる。

両水門とも、河川河口部の水門であることから、ギリギリまで水門を空けて、洪水を流しておき、潮位・波浪が高い間だけ閉鎖する施設操作が求められている。

また、両水門とも閉鎖操作に 30 分を要するが、閉鎖判断や関係機関への連絡等を考慮すると 1 時間前の予測値では、ギリギリの施設操作のタイミングであり、長時間先の精度の高い予測が現場の声として求められている。

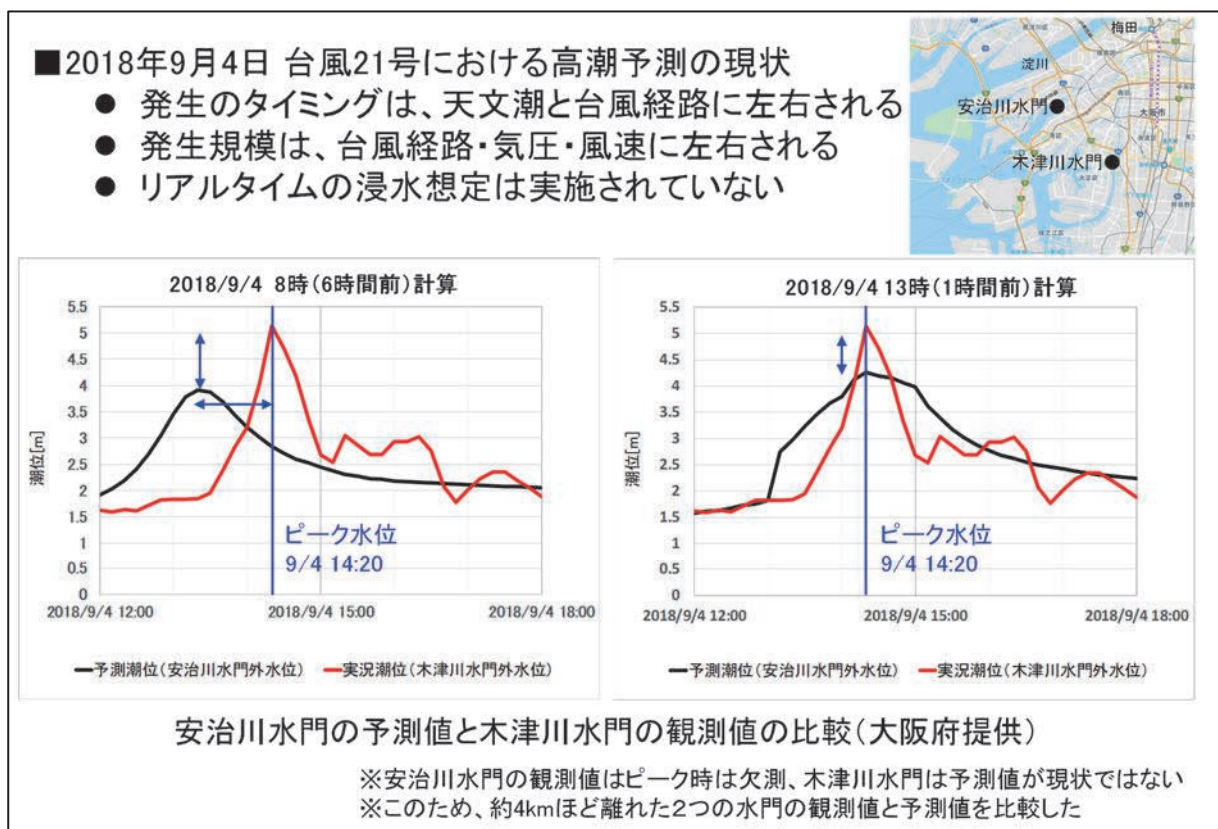


図 3.1-2 高潮・高波浸水予測の現状

(2) 高潮・高波浸水予測の困難性

高潮・高波浸水のリアルタイム予測は、技術的には、①気象、②海象、③地象の3つの事象毎の精度向上を図るコア技術の開発と、社会的には、気象観測・予測者、海象観測・予測者、防災施設管理者、自治体（都市部局・危機管理部局）の情報共有と連携による一気通貫で一体的な予測システムの構築が必要となる。

1. 高潮・高波・浸水は、①気象（気圧・風・台風進路）、②海象（潮位、波浪）、③地象（地形・土地利用）の〔複合現象〕→不確実性が高い
2. 潮位・波浪の観測者は〔多機関〕（気象庁、海上保安庁、港湾局、水管理国土保全局、国土地理院、自治体）、但し、概ね190kmに1箇所の観測で、〔空間解像度が粗い〕
3. 潮位・波浪の予測者は限定的（複数：気象庁、気象予報会社）
4. 高潮・高波によるリアルタイム浸水予測は行われておらず、〔社会に未実装〕
5. 高潮・高波・浸水の予測を行うには、気象観測・予測者、海象観測・予測者、防災施設管理者、自治体（都市部局、危機管理部局）の情報共有と連携が必要〔関係機関の連携体制構築が難しい〕
6. 高潮・高波・浸水の予測精度向上には、①気象（風・台風コース）、②海象（潮位、波浪）、③地象（地形・土地利用）の〔3つの事象毎の精度向上〕と、それらを連携活用した〔一体的予測システムの構築〕が必要

①気象、②海象、③地象の3つの事象毎に精度向上を図るコア技術（技術的課題）と、初めて一気通貫で連携した一体的予測システムの構築（社会的課題）により
「逃げ遅れゼロ」「経済早期復旧」のイノベーションを実現
～ 府省庁を跨ぐ、データ・情報の連携システムを構築 ～

図 3.1-3 高潮・高波浸水予測の困難性

(3) 高潮・高波浸水予測の定義

図 3.1-4 に、参考として、高潮・高波浸水予測に関する用語の定義を示す。

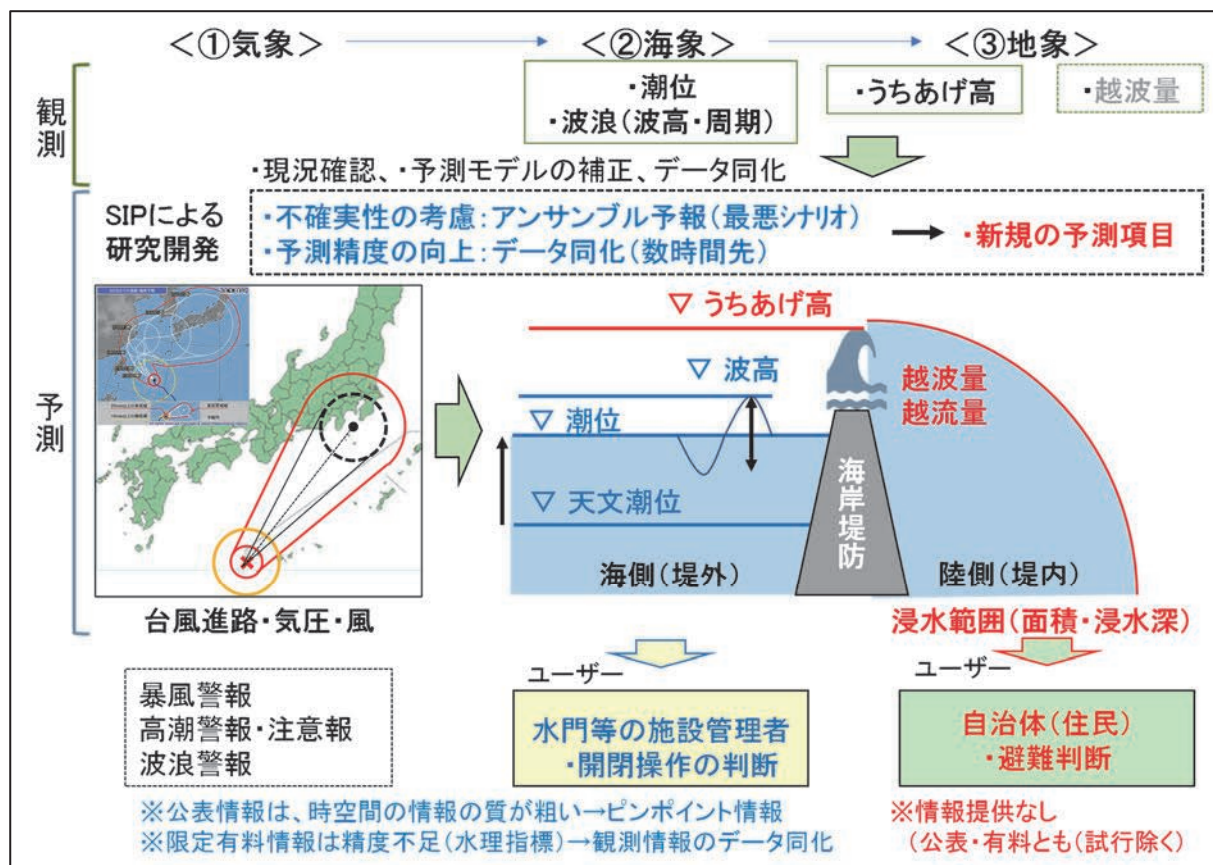


図 3.1-4 高潮・高波浸水の用語の定義

3.2. 研究開発目標

高潮・高波ハザード予測システムの研究開発目標は、図 3.2-1 に示す 3 つである。

- ① アンサンブル予報の活用による、最悪の状況の「見逃しゼロ」の予測提供
 - ② 5.5 日先のアンサンブル予報の活用による、避難や施設操作の「リードタイムを確保」の実現
 - ③ 3.3m 格子の高空間分解能の浸水予測による、「我が事に感じるリスク情報」の提供
- ピンポイントの予測情報の活用により、情報利用者が適確な防災対応を取ることができ、人的損失ゼロや浸水被害軽減を図ることを可能とする。

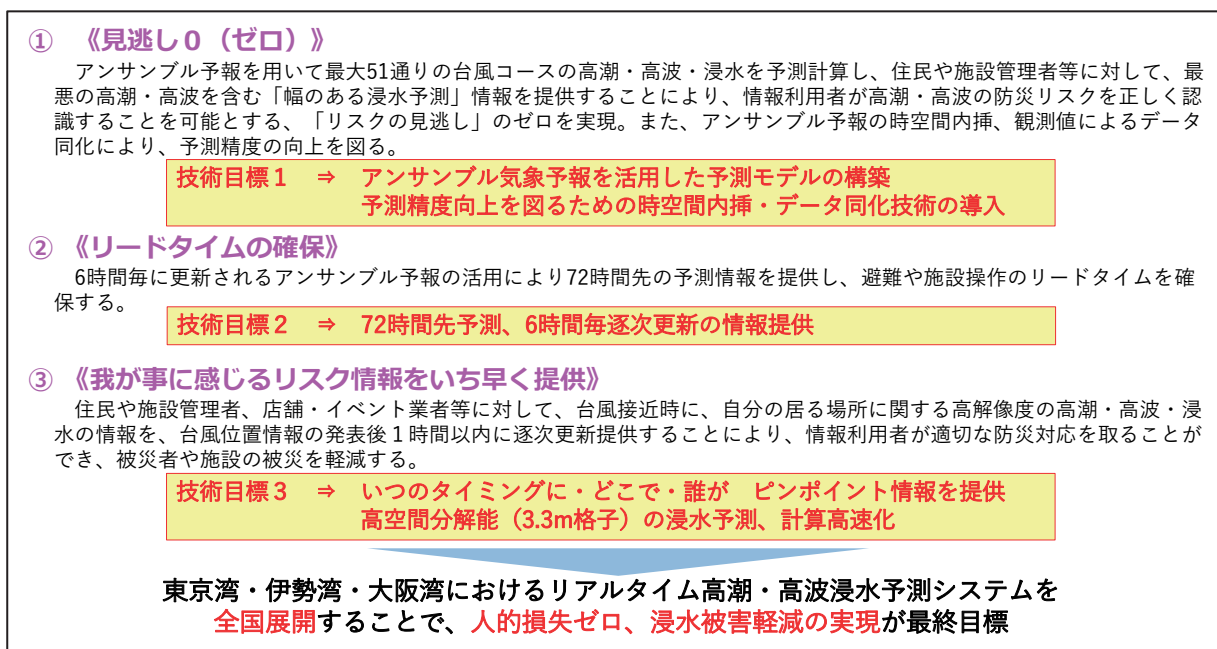


図 3.2-1 研究開発目標

高潮・高波予測の現状は、台風予報円や警報等の情報のみで、避難所開設等の事前防災対応や避難指示等を意思決定している。避難のタイミング、区域を特定するための浸水予測情報の解析・提供は実施されていない。

図 3.2-2 は、高潮・高波・浸水予測モデルの全体像である。

気象庁から提供される台風経路・風・気圧の情報を基に、リアルタイムで、潮位解析、波浪解析、浸水解析を実施した。また、予測精度の向上を図るため、潮位・波浪観測データを活用したデータ同化、高潮の河川遡上による浸水予測をプロトタイプに実装した。予測情報の更新頻度は、入力データとなる気象庁のアンサンブル予報の更新頻度と同じ、1日4回、6時間毎の提供を実現した。

アンサンブル予報を用いた高潮・高波浸水予測によりリードタイムを確保した意思決定が可能となるが、それを実現するためには、実台風予測の蓄積による精度検証、ユーザーである自治体の予測情報活用のリテラシー向上が必要であり、何よりも、自治体の活用実績の拡大によるニーズの掘り起こしが重要となる。

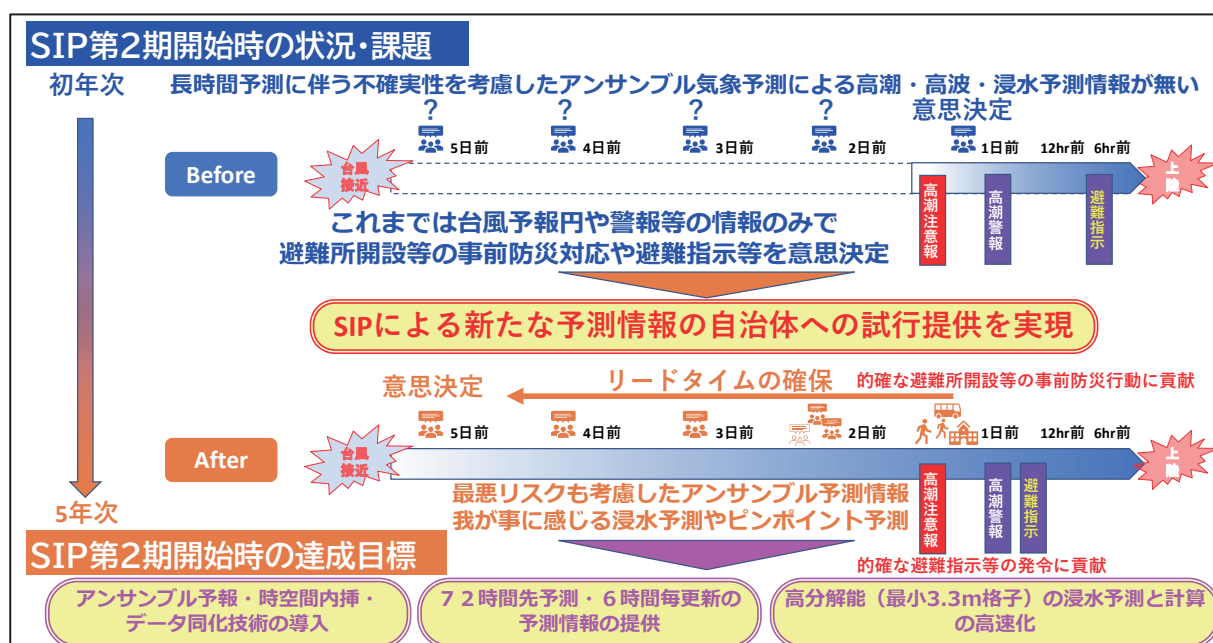
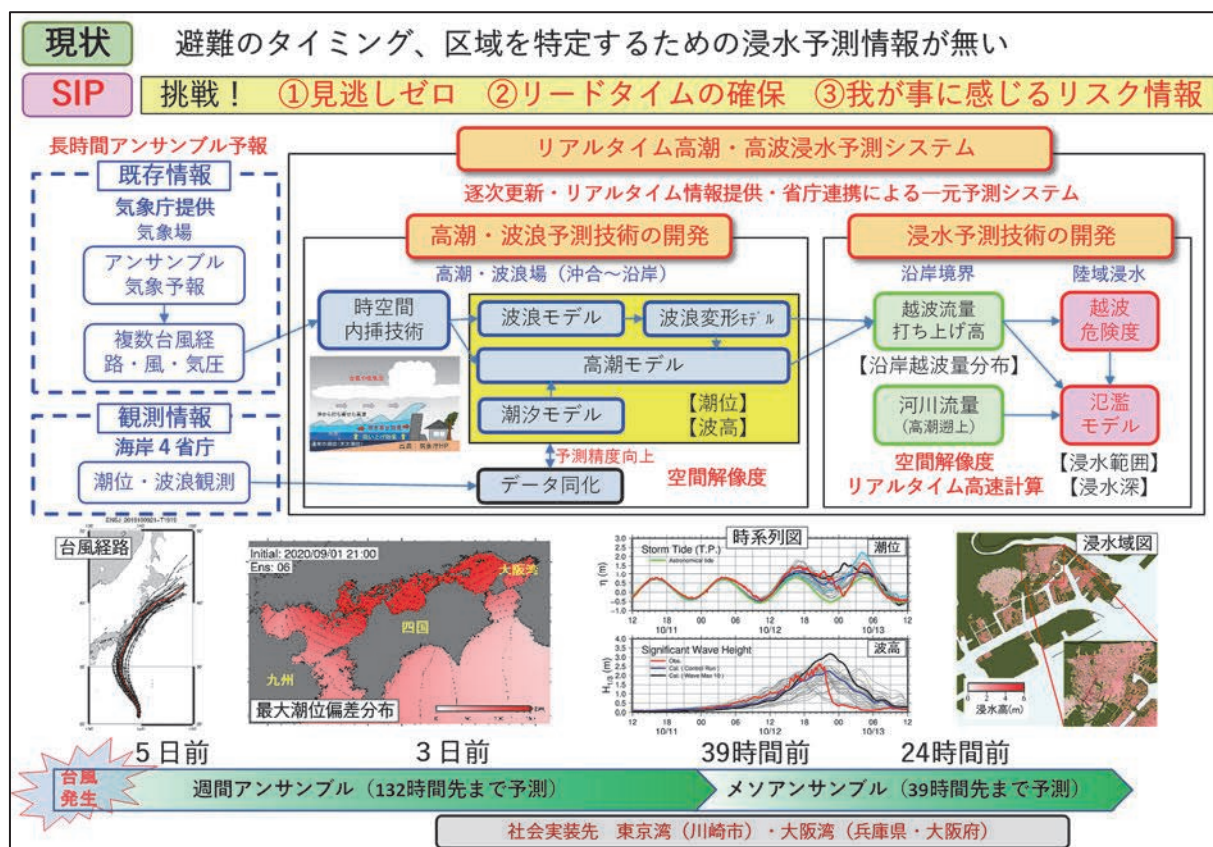


図 3.2-2 高潮・高波・浸水予測モデルの全体像

図 3.2-3 に目標の達成状況を示す。

5ヶ年の研究開発により、東京湾、伊勢湾・三河湾、大阪湾を対象に、高潮・高波・うちあげ高のリアルタイム予測、東京湾の川崎市を対象に高潮・高波による浸水のリアルタイム予測システムを構築し、システム開発成果は、技術仕様書としてとりまとめた。

[illegible]

3-7

3.3. 技術開発

(1) 気象場の時空間内挿

アンサンブル気象予報は、3時間間隔でのデータ提供なので、時空間内挿技術が必要になる。単純内挿の場合、台風の中心気圧が不自然な時空間の移動変化となり予測精度に影響を与えるので、円滑な移動変化となるよう内挿技術を開発し実装した。(図 3.3-1 参照)

その結果、2019 年の台風 19 号の事後検証では、最大値の「見逃しゼロ」、予測値が観測値を下回るような予測とならないことを実現した。

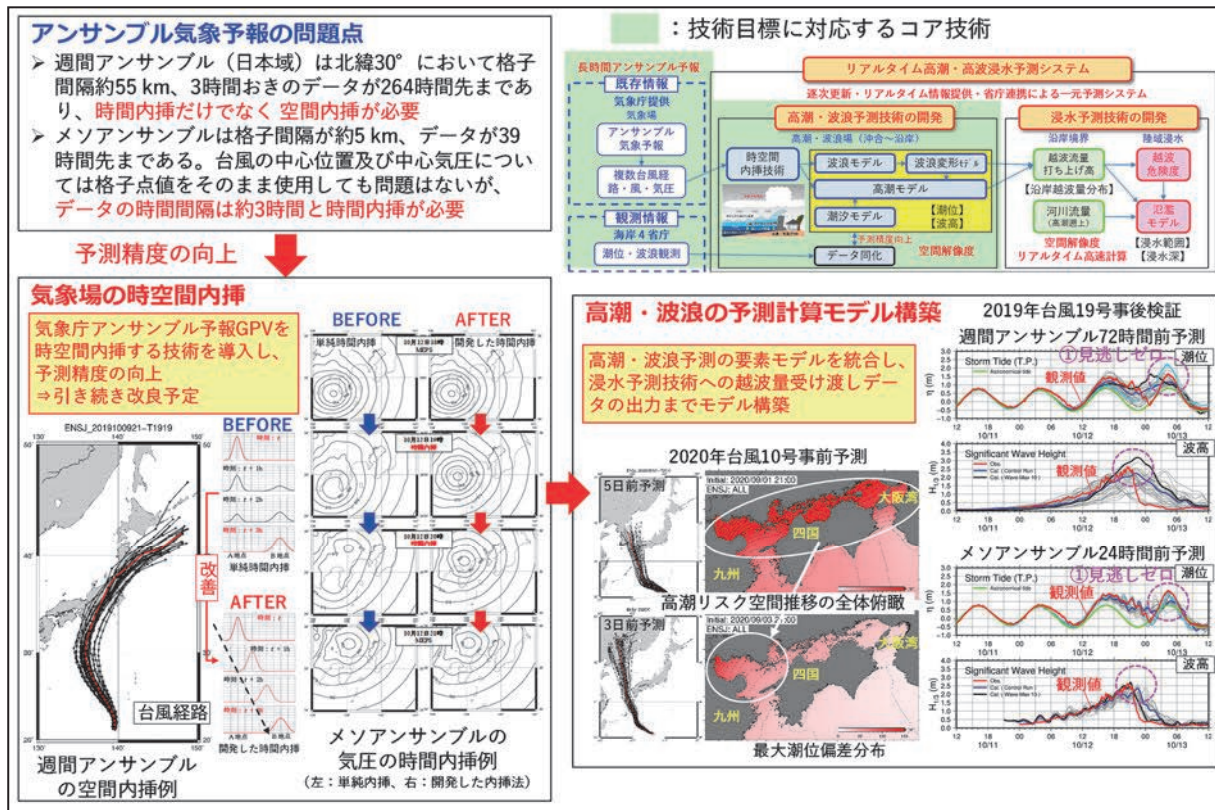


図 3.3-1 アンサンブル気象予報の活用（時空間内挿技術）

(2) 週間アンサンブル高度化への対応

気象庁から提供される 5.5 日先の週間アンサンブル予報の空間解像度が約 60km 格子から約 40km 格子に 2021 年度より高度化されたことにより、高潮・高波予測の入力データとなる気圧と風速の台風中心付近の分布をより詳細に表現できるようになった (図 3.3-2 参照)。

(3) 観測値を用いた予測値の高度化（データ同化）

データ同化機能は、潮位や波浪の観測値によって高潮・高波の予測値を高精度化するものである。

本システムでは、データ同化に必要な観測値を用いて、最適内挿法またはカルマンフィルタを用いて天文潮位と高潮の高精度化を図った (図 3.3-2 参照)。

波浪については、予測対象海象域での観測地点が不足していること、台風ピーク時の観測値の信頼性が低いことからデータ同化は実施しない。

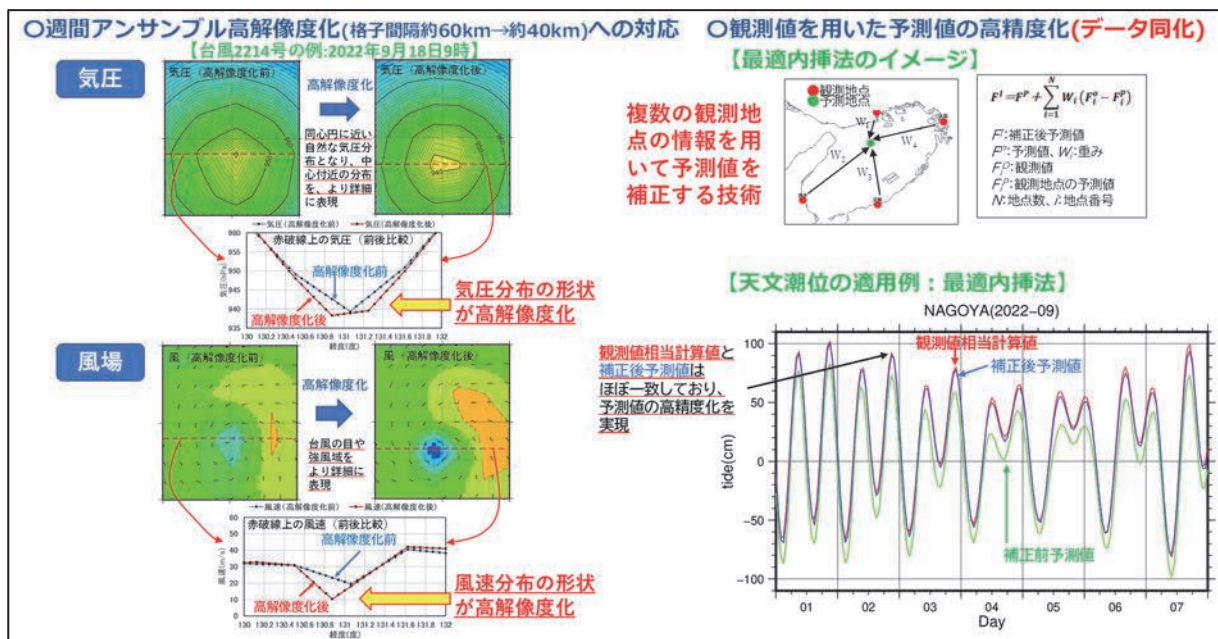


図 3.3-2 週間アンサンブルの高解像化とデータ同化技術の実装

(4) 解析領域の拡大と詳細計算領域の追加

2020年の台風14号の迷走台風の経験を踏まえ、システム運用しやすい三大湾を一括網羅する計算領域に変更開発した。(図 3.3-3 参照)

上段が令和2年度の解析対象領域、下段が令和3年度の解析対象領域を示している。

伊勢湾、三河湾を解析対象に追加した。

外枠の計算格子2,430mの広領域は、東京湾から大阪湾、瀬戸内海まで拡大し、一体で解析を実現した。

台風5号、8号、9号、10号、14号、16号とリアルタイム予測の試行を実施した。

計算領域の拡大効果は、2つの効果がある。一つは、②の2020年の台風14号に示すような迷走台風や変則的な動きをする台風の追跡が容易になった。

二つ目は、①に示すように、2021年の台風9号・10号のように、複数の台風が接近した場合にも、2つの台風の影響を考慮することが可能となった。

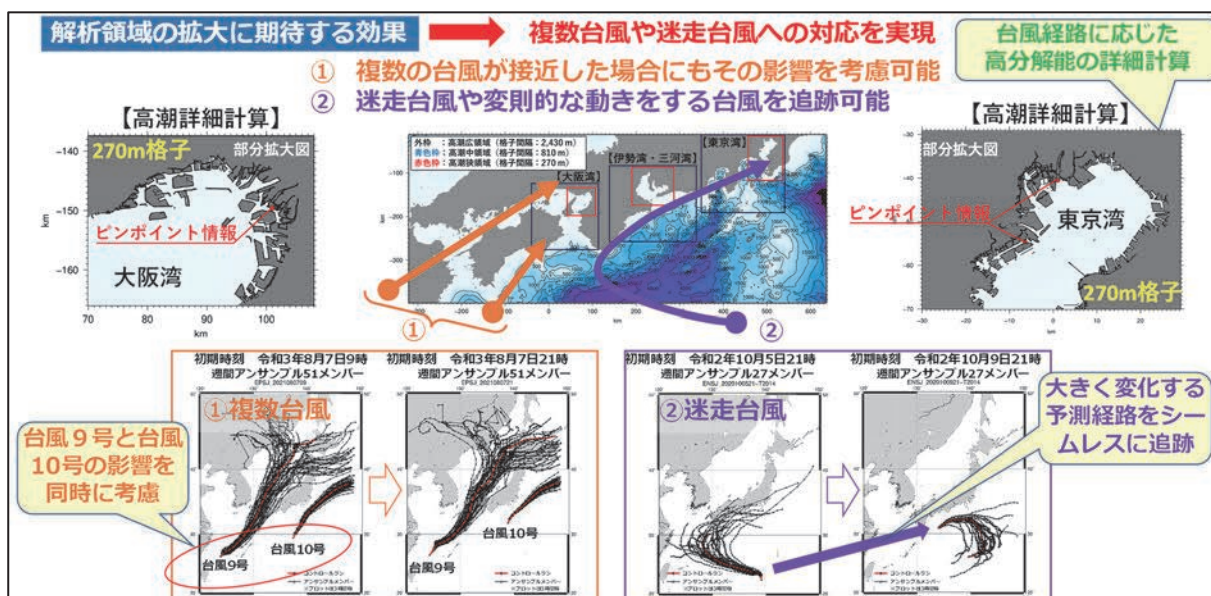
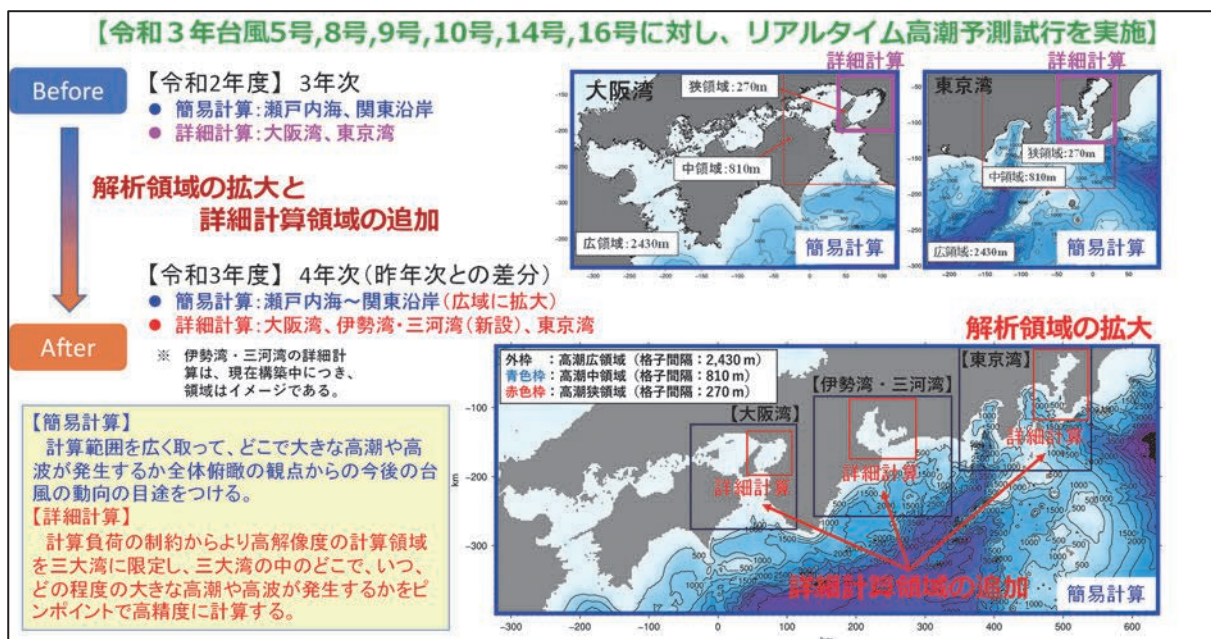


図 3.3-3 解析領域の拡大

(5) 週間アンサンブル予測のメンバー数増強への対応

気象庁から提供される週間アンサンブル予報が、2022 度より 27 メンバーから 51 メンバーに変更されることに伴って、高潮・高波の予測メンバー数も 51 メンバーに増加し、「見逃しゼロ」の確度も向上させた。(図 3.3-4 参照)

なお、気象庁から提供される 39 時間先予測のメソアンサンブルメンバーは、21 メンバーのまま変更無しなので、39 時間先の高潮・高波の予測メンバー数は 21 メンバーのままの予測になる。

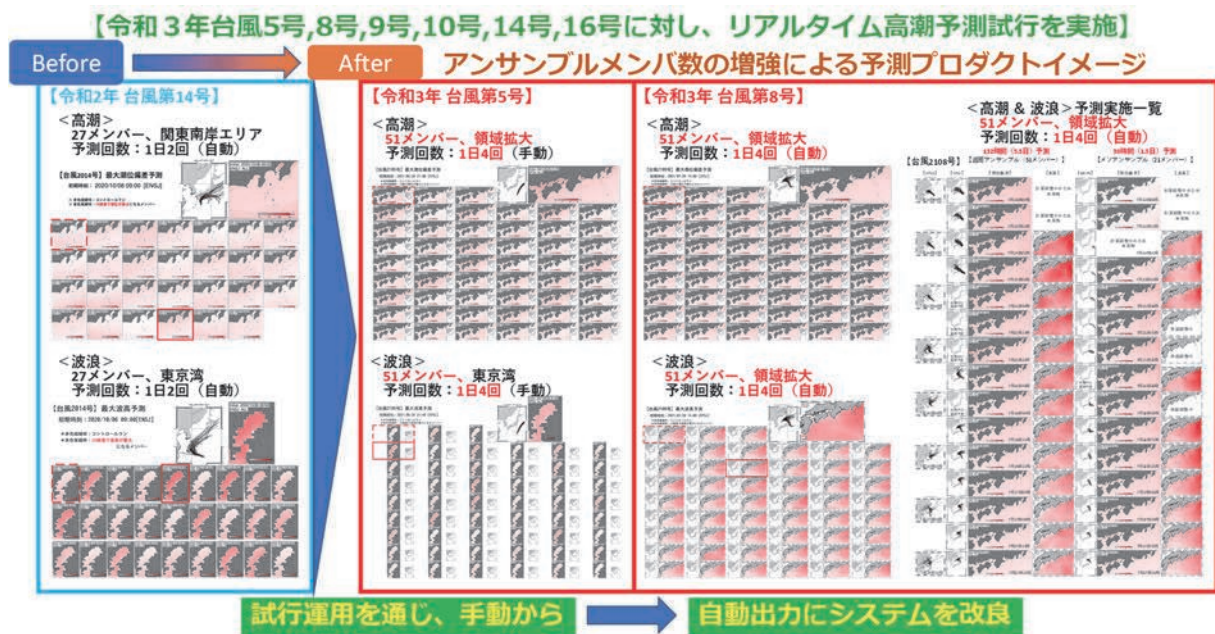


図 3.3-4 週間アンサンブル予測の増強

図 3.3-5 に示すように、高潮・高波ハザード予測システムは、週間アンサンブル予報による 5.5 日先の高潮・高波予測、メソアンサンブル予報による 39 時間先の高潮・高波予測を、各々 1 日 4 回・6 時間毎に更新して提供を実現した。

台風に対する高潮対応では、台風発生から日本への接近過程では週間アンサンブル予報による 5.5 日先の高潮・高波予測を活用し、日本への上陸（最接近）段階ではメソアンサンブル予報による 39 時間先の高潮・高波予測を活用した。

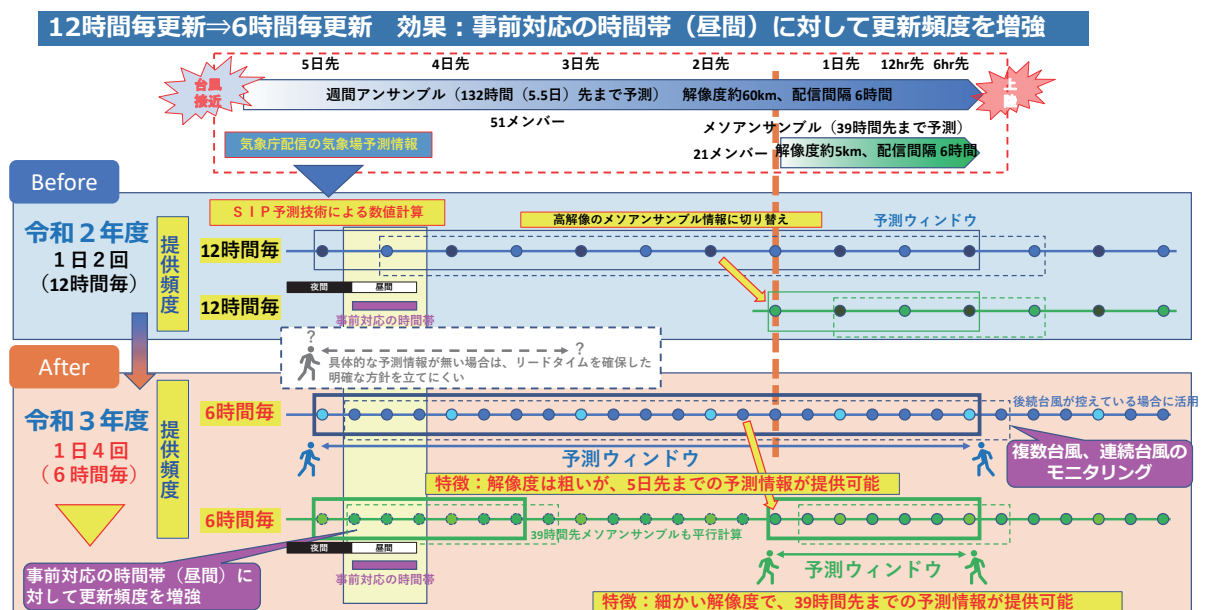


図 3.3-5 5 日先予測・6 時間毎逐次更新の情報提供

図 3.3-6 に示すように高潮・高波ハザード予測システムの予測情報は、閲覧 web システムにより提供する仕組みを構築し、社会実装検討の協力自治体に提供した。

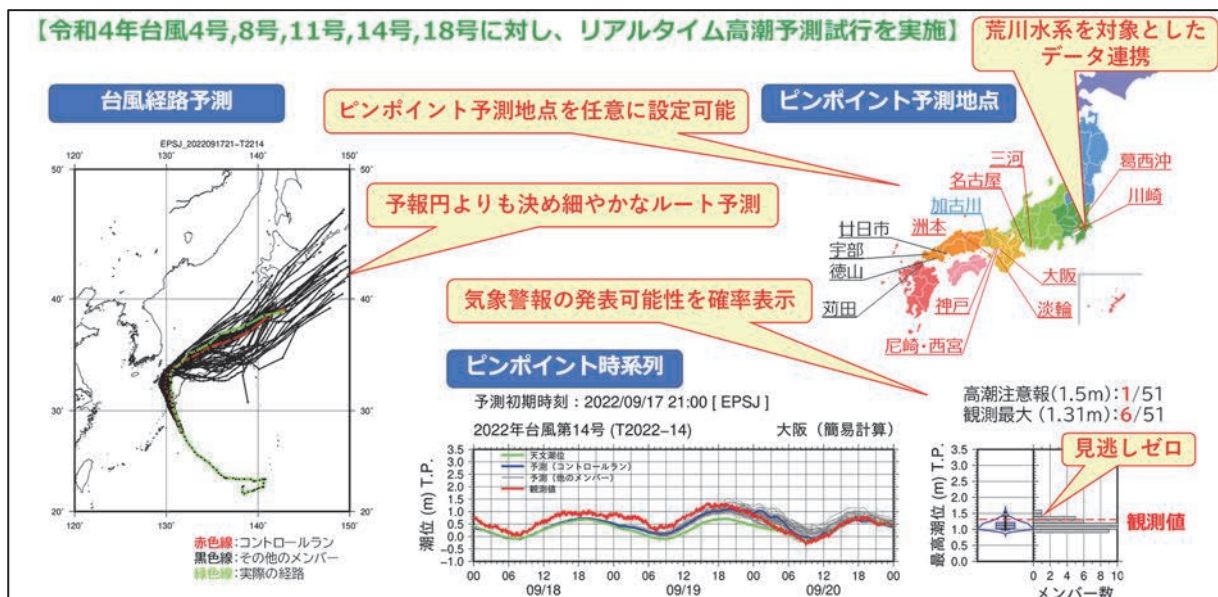


図 3.3-6 閲覧 web システムの表示自動処理化

(6) 高分解能（3.3m）の浸水予測によるピンポイント情報の提供・高速化

リアルタイム浸水予測は、高分解能（3.3m）の地形モデルを用いて、30 分以内のリアルタイム解析を目標とした。

浸水解析は、東北大学の津波浸水モデルを用いた高速化を実現した。

プロトタイプの社会実装先となる川崎市の高解像地形モデルを構築した。

津波モデルの高速化に向けては、一つの命令で複数のデータ処理を行う SIMD 化の命令率の向上、陸域のみの計算リソースへの再最適化などによる計算リソース配分の最適化を行った。

東北大学の津波モデルは海と陸を一体で解析しているが、今回は高潮・高波解析は、沿岸技術センターで検討中の別モデルで解析を行い、その結果を受け取ることから、海域の計算が不要となること、さらには、浸水解析も浸水している格子のみに計算リソースを割り振るなどの計算領域の動的分割のアルゴリズムの導入などにより、高速化を実現した。

リアルタイム浸水予測は、2019 年の 7 月から運用が開始されました名古屋大学情報基盤センターのスパコン「不老」を用いて、リアルタイム性能を検証した。

その結果、5 年次には、3.3m 格子（768 並列処理）で実動 12 時間の浸水解析を約 30 分以内の計算時間、10m 格子（383 並列処理）で実動 12 時間の浸水解析を約 10 分以内の計算時間を実現した。

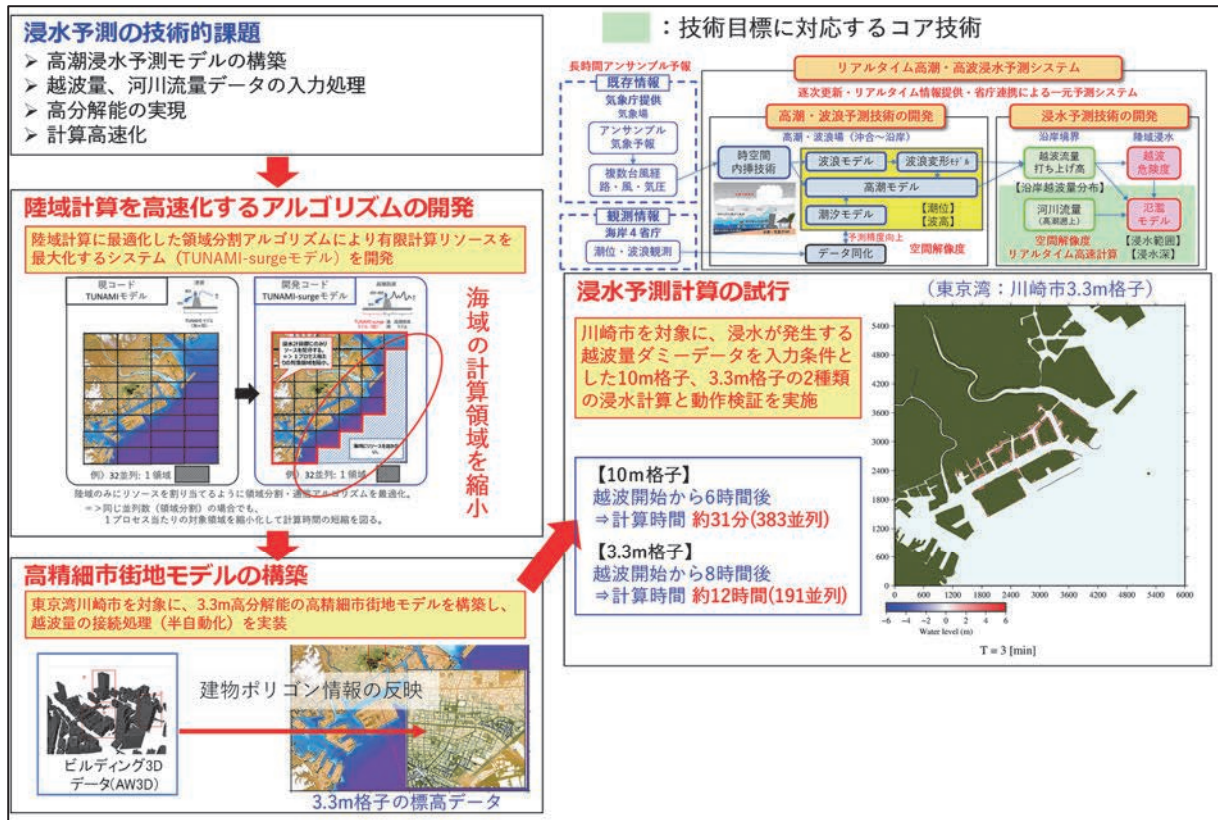


図 3.3-7 高分解能（3.3m）の浸水予測によるピンポイント情報の提供・高速化

(7) 高潮河川遡上モデルの追加

川崎市のリアルタイム浸水予測では、多摩川・鶴見川の計画規模の洪水を一定量与えることで、河道内の高潮河川遡上現象をモデル化し、河川からの越流氾濫を解析できるように改良した。（図 3.3-8 参照）

また、当初の技術開発目標にはなかった、サブテーマの洪水予測と結合して、リアルタイムの洪水とリアルタイム高潮水位による河口出発水位を考慮した浸水予測を荒川流域において実現した。

高潮河川遡上モデルの実装

代表的な河川に一定流量を与えることで河道内の高潮河川遡上現象をモデル化し、高潮と河川流（洪水時）の複合生起現象を考慮可能

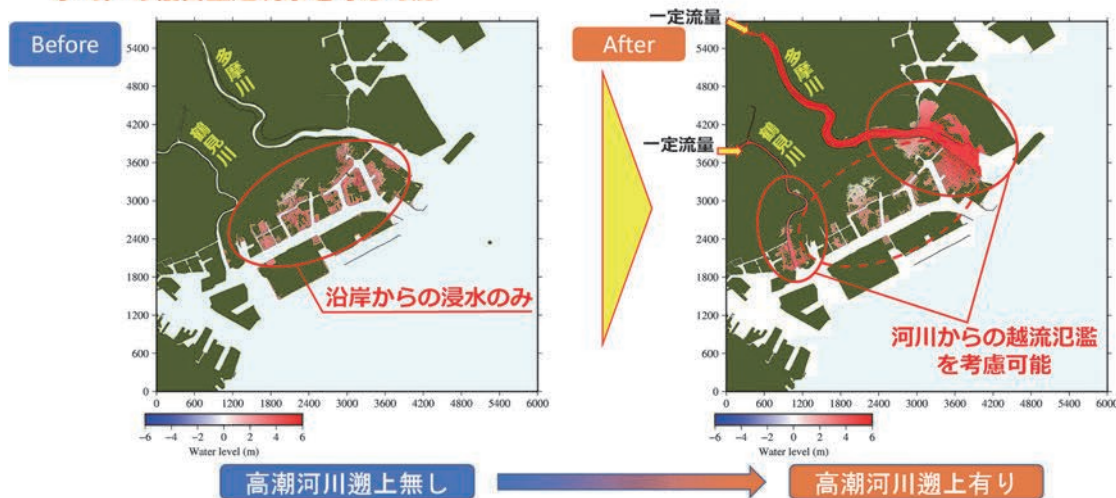


図 3.3-8 高潮遡上モデルの実装

図 3.3-9 は、川崎市の水害対応図上訓練において、新たな活用ニーズが確認された、訓練条件に高潮・高波ハザード予測システムの浸水予測の活用イメージです。

高潮浸水予測に港湾防潮扉の開閉条件・河川堤防の破堤条件機能を追加して、水害対応図上訓練の浸水想定状況や浸水実績として訓練シナリオに活用することが可能となり、リアリティのある訓練の実現を可能とする。

これまでは、浸水想定図を活用したものであるが、実現象と異なるものであり、発生前の訓練には活用できても、発災後の訓練には不向きであり、代替としての活用が期待されている。

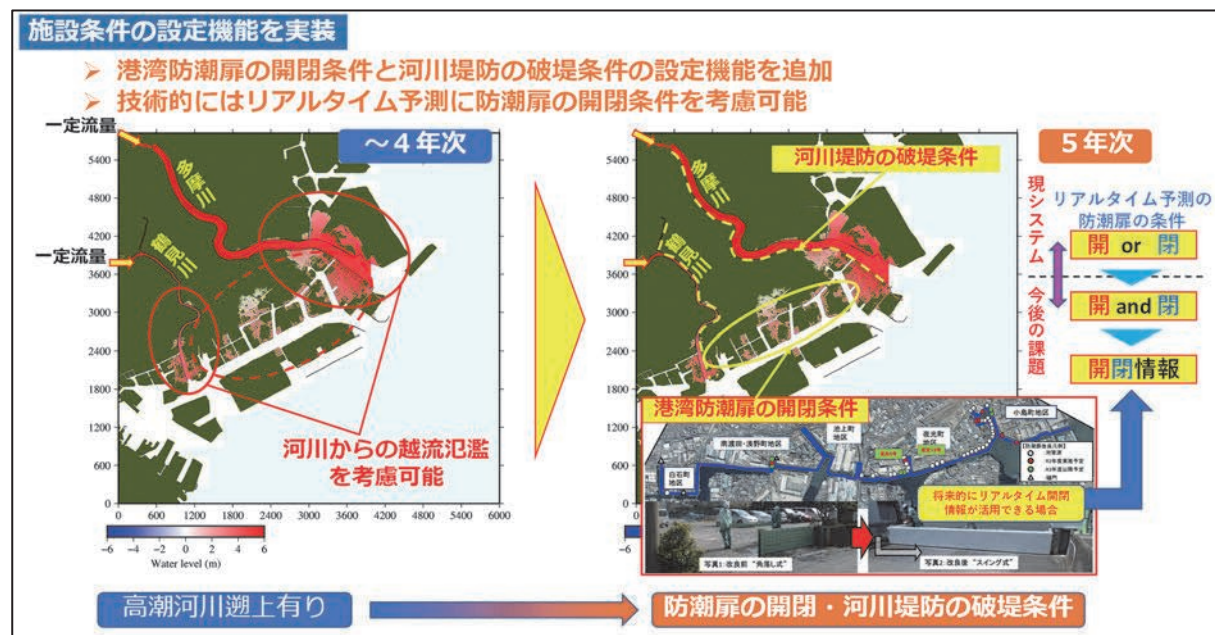


図 3.3-9 高潮浸水予測に港湾防潮扉の開閉条件・河川堤防の破堤条件機能の追加

(8) 技術目標の達成度

技術開発目標の達成度を表 3.3-1に示す。システム開発は、当初の開発目標を達成した。一方で、開発期間中に日本に上陸する台風が発生しなかったことから、予測精度検証は不十分な状況となった。

表 3.3-1 技術目標の達成度

設定目標	技術目標	当初目標	5年次目標	5年終了時の達成状況
①見逃しゼロ	アンサンブル予報の活用(ENS)	●週間ENS：27メンバー※ ●メソENS：21メンバー	●週間ENS：51メンバー※ ●メソENS：21メンバー	●週間ENS：51メンバー 達成 ●メソENS：21メンバー 達成 ●ユーザーニーズに応じた出力仕様
	時空間内挿技術	●実装	●継続的な予測精度の向上	●継続的な予測の精度向上
	データ同化技術	●実装	●継続的な予測精度の向上	●継続的な予測精度の向上
②リードタイムの確保	予測時間目標72時間先予測	●週間ENS：132時間先 ●メソENS：39時間先	●同左	●リードタイム100時間以上達成
	予測頻度目標6時間毎	●海域：6時毎1日4回予測 ●陸域：6時毎1日4回予測	●同左	●1日4回予測達成
③我が事に感じるリスク情報提供	高分解能(3.3m)の浸水予測	●沿岸高潮河川遡上モデルの実装	●継続的なシステム検証	●河川遡上を考慮した浸水予測 ●ユーザーニーズに応じた出力仕様
	高速化	●自動処理 ●海域：所要時間3時間以内 ●陸域：所要時間3時間以内	●完全自動化(統合) ●海域：所要3時間※ ●陸域：3.3m格子(768並列) 実12時間⇒計算約2時間以内	●完全自動化達成 ●海域：所要3時間 ●陸域：10m格子(383並列) 実12時間⇒計算約10分以内 3.3m格子(768並列) 実12時間⇒計算約30分以内
実台風に対する事前予測実績	大阪湾 伊勢湾(4年次追加) 東京湾	●三大湾の実台風を対象とした事前予測	●継続的な試行運用によるシステム検証	●R2年台風10号,12号,14号 ●R3年台風5号,8号,9号,10号,14号,16号 ●R4年台風4号,8号,11号,14号,18号 ●提供先：国交省・川崎市・江戸川区・愛知県・大阪府・兵庫県
データ連携状況	テーマI(SIP4D) テーマVII(IDR4M) テーマVI	●テーマ内、テーマ間連携の実現	●荒川水系を対象としたsub2長時間洪水予測システムとのデータ連携 ●SIP4D⇒IDR4M等具体的な活用方法の検討	●継続的なテーマ間連携
外部システムレビューR3.8.17開催	システム構成・機能・入出力の検証等	●試行閲覧システムの構築	●データ利用者のニーズに応じた入出力仕様を引き続き検討	●技術仕様書 ●データ利用者のニーズに応じた入出力仕様

※ R3.3以降、週間アンサンブル/広領域の気象庁アンサンブルメンバー数を27⇒51に増強

(9) 技術仕様書の作成

高潮・高波ハザード予測システムは、国による予測システムの構築・運用を想定して構築したものである。国が本システムの構築・運用を実施するための技術仕様書を取りまとめた。

- 高潮・高波・浸水リアルタイム予測システム技術仕様書(案)

高潮・高波・浸水リアルタイム予測システム⁴⁾ 技術仕様書(案)⁴⁾ 令和5年2月⁴⁾ SIP²⁾戦略的イノベーション創造プログラム⁴⁾ VI. 国家レジリエンス(防災・減災)の強化⁴⁾ Sub 1. 高潮・高波ハザード予測システム開発⁴⁾ 改ページ 十	高潮・高波・浸水リアルタイム予測システム技術仕様書(案)⁴⁾ 目次⁴⁾ はじめに.....1 1. ⇒本書の利用にあたって.....2 2. ⇒用語説明.....2 3. ⇒SIP II 期における開発内容及び仕様変更履歴.....5 第1編 要求仕様書(外部仕様書).....7 1. ⇒全体概要.....7 2. ⇒気象場作成.....8 3. ⇒高潮予測.....8 4. ⇒高波予測.....8 5. ⇒高波予測.....8 6. ⇒浸水予測.....9 7. ⇒外部との連携.....10 7.1. ⇒自治体への予測情報提供.....10 7.2. ⇒荒川水系におけるテーマ内連携.....11 8. ⇒アンサンブル予報情報の解釈と今後の課題.....12 8.1. ⇒アンサンブル予報情報の説明.....12 8.2. ⇒アンサンブル予報情報の解釈.....18 8.3. ⇒今後の課題.....20 第2編 機能仕様書(内部仕様書).....23 1. ⇒気象場作成.....23 1.1. ⇒週間アンサンブル.....23 1.2. ⇒メソアンサンブル.....30 2. ⇒高潮・高波.....34 2.1. ⇒潮汐.....34 2.2. ⇒高潮.....38 2.3. ⇒高波.....46 2.4. ⇒データ同化.....59 3. ⇒経路推定・うちあげ高.....71 3.1. ⇒経路推定.....71 3.2. ⇒うちあげ高.....71 4. ⇒浸水.....72 4.1. ⇒機能説明.....72 4.2. ⇒システムフロー.....73 4.3. ⇒入出力データ.....74 4.4. ⇒制約事項と利用上の留意点.....75 5. ⇒外部との連携.....76	5.1. ⇒自治体への予測情報提供.....76 5.2. ⇒荒川水系におけるテーマ内連携.....78 6. ⇒システム構成.....79 6.1. ⇒最終年度におけるシステム構成.....79 6.2. ⇒将来のシステム構成(案).....82 第3編 技術仕様書.....85 1. ⇒気象場作成.....85 1.1. ⇒空間内挿方法.....85 1.2. ⇒時間内挿方法.....85 1.3. ⇒台風中心の追跡.....89 1.4. ⇒台風中心の推定.....91 1.5. ⇒台風が複数存在する場合の処理.....92 2. ⇒高潮・高波.....93 2.1. ⇒潮汐.....93 2.2. ⇒高潮.....94 2.3. ⇒高波.....101 2.4. ⇒データ同化.....110 2.5. ⇒利用上の留意点のまとめ.....117 3. ⇒経路推定・うちあげ高.....118 3.1. ⇒経路推定.....118 3.2. ⇒うちあげ高.....121 4. ⇒浸水.....124 4.1. ⇒計算手法と各種条件.....124 4.2. ⇒浸水予測機能の動作確認.....125 4.3. ⇒リアルタイム予測への適用.....129 4.4. ⇒利用上の留意点と今後の課題.....133 5. ⇒対外発表論文.....134 資料編 対外発表論文⁴⁾ セクション区切り(次のページから新しいセクション)
--	---	--

図 3.3-10 技術仕様書の策定

3.4. 社会実装

図 3.4-1 は、高潮・高波ハザード予測システムの提供する予測情報のプロダクトの全体像を示すものである。

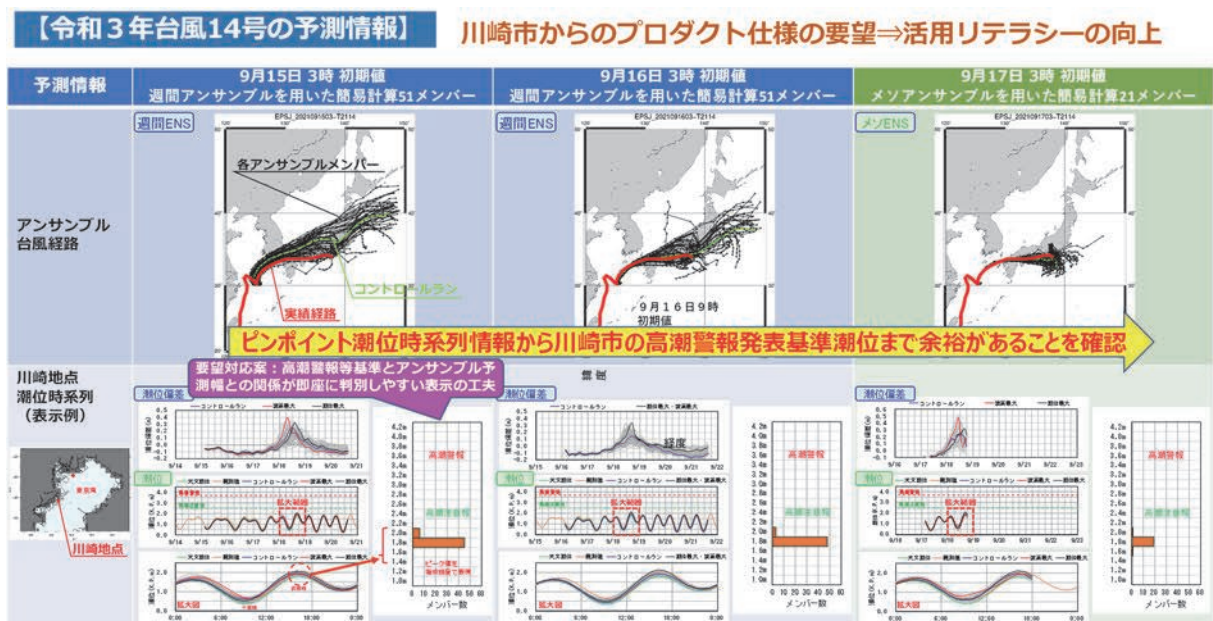
5.5 日先の週間アンサンブル予報並びに 39 時間先のメソアンサンブル予報の気圧・風向・風速・台風経路を入力データとして、高潮解析・波浪解析・うちあげ高算定・浸水解析により、全メンバーの台風経路図、高潮・波浪平面図、ピンポイントの地先の高潮・波浪の時系列予測図と頻度分布図、越波危険度表示図、浸水域図（範囲・浸水深・時系列変化）を出力する。



図 3.4-1 タイムライン（防災行動計画）における SIP 予測情報の活用

図 3.4-2 は、川崎市に提供した 2021 年台風 14 号の高潮・高波の予測情報である。東京湾直撃の上陸台風ではなかったため、予測潮位が低いことから、危機管理室より港湾局に対して高潮の可能性が低いとして翻訳情報にて提供された。

ただし、図 3.4-2 のユーザーコメントに示すように、切迫した状況の中で、予測情報のプロダクトを全て見ることは大変なので、アラート情報と着目すべき危険情報をピックアップした予測情報の表示・提供があると、スピード感を持って市長にも他局にも説明しやすいし、理解もされやすいというご要望を頂き、危険度表示に反映させた。



令和3年台風14号に対する川崎市の活用実績		台風の進路が定まらないことから3日前からの行動	
行動日	9月15日 3日前	9月16日 2日前	9月17日 1日前
項目	ステージⅠ 基本方針	ステージⅡ 部局間の調整	ステージⅢ 防災行動の実行
意思決定の粒度	- 台風進路予測がオホーツクで停滞後、17日に温帯低気圧になり、勢力を維持したまま本州に接近する予報であり、関東には雨よりも風に注意した方が良いとの予報であった。 - 各局区に気象情報を情報共有し、港湾局には、S I P予測の潮位等から翻訳し、高潮発生の可能性は低いと情報提供した。	- 台風進路の予報が変わり、台風のまま関東に接近する予報となったことから雨量が前日より大幅に変わり、雨と風の警戒を各局区に情報提供した。 - S I P予測情報の越波、潮位等を確認し、港湾局に対して高潮の可能性が低いと情報提供した。	- 横浜気象台の台風説明会で、関東に接近し、大雨及び高波に警戒が必要との説明であったため、各区局に気象情報を提供するとともに必要な対応をとるようお願いした。 - S I P予測情報の越波、潮位等から高潮の可能性が低いことを確認した。
SIP予測情報 (主に確認した出力情報)			
自治体ユーザー (災害対応部局) コメント	- 専門的な知識が乏しいため、翻訳しやすいよう予測情報に対してコメントのほか、高潮ハザードエリア等も赤色濃淡の色ではなく別の色での表現であれば視覚的に理解しやすい。 - 危険度(小中大)がわかるようなものであれば、スピード感を持って他局にも説明もしやすく、理解もされやすい →安全アラートみたいなイメージがよいかもしれない - 情報が多く、整理にも専門的な知識と時間がかかるので、コメントや川崎市エリアの切り抜きなどがあれば、必要なものが必要な部局に対して提供できるようになる。 - 潮位、波高等図に警報発令レベル実線があるのは、危険度レベルがわかるのは良い		

図 3.4-2 令和3年台風14号に対する川崎市の活用実績

また、図 3.4-3 は、川崎の水害対応図上訓練により明らかとなった高潮・高波浸水予測の活用場面とニーズをとりまとめたものである。

台風上陸までの予測期間において、大きく3段階のステージにて必要とする予測情報と精度、各ステージにおける意思決定の粒度との関係が明らかとなった。

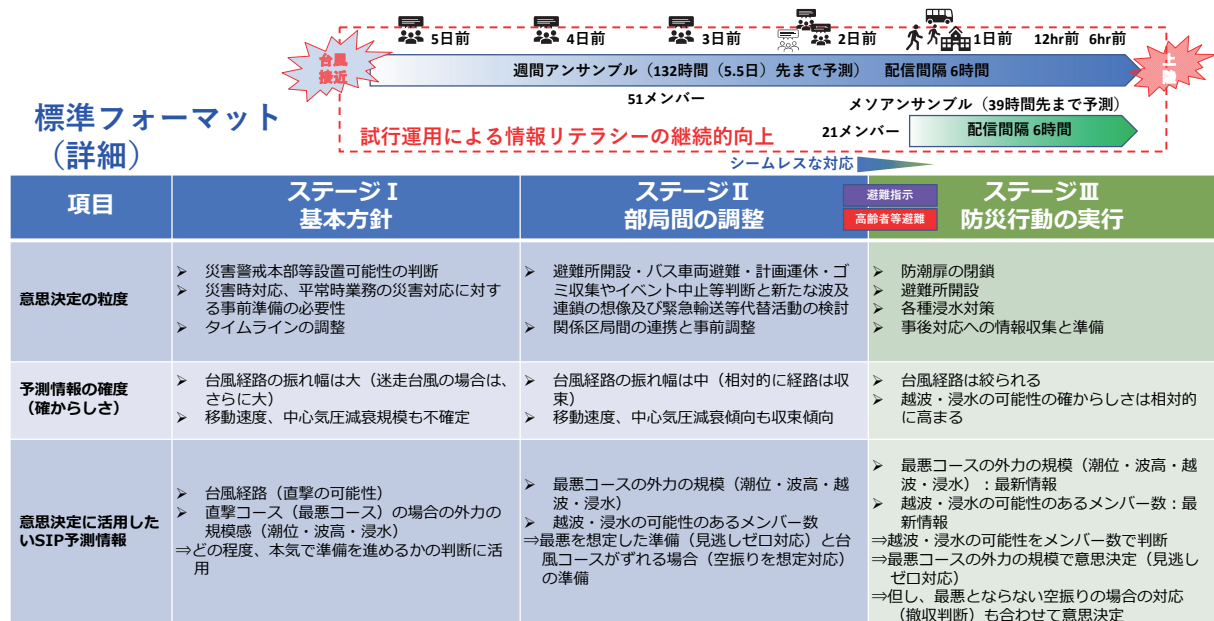


図 3.4-3 水害対応図上訓練により明らかになった高潮・高波浸水予測の活用場面とニーズ

図 3.4-4 は、前述の水害対応図上訓練の整理表を踏まえ、防災行動の意思決定と活用する予測情報との関係を整理したものである。

図の上段は、予測情報提供のタイムラインを示している。

図の下段は、リードタイムに応じて、防災行動の意思決定を3段階のステージで示している。

行動に関する意思決定の「粒度」と、予測情報の「確からしさ」「確度」との関係を、タイムラインに合わせて表記している。ステージⅠは基本方針、ステージⅡは部局間の調整、ステージⅢは防災行動の実行となる。

意思決定の「粒度」とは、新たな造語で、意思決定主体の権限の大きさや決定事項の数と定義する。

台風経路の不確実性なども踏まえると、台風上陸の5日前のリードタイムで全てを意思決定するのではなく、この図に示すように、意思決定の粒度に応じて段階的に順次、決定していくことが、川崎市様との訓練を通じて、市の関係部局から示された。

すなわち、災害対応の現場からは、5日前の時点のステージⅠでは、ある程度の幅を持った予測情報に基づき、様々な状況に対応できる人員・体制を整える意思決定を行い、部局間の調整も必要となるステージⅡを経て、予測の「確からしさ」確度が高くなった39時間先の高潮・高波予測情報において、ステージⅢに相当する、防災行動の実行の意思決定に至ることが、図上訓練を通じて明らかとなった。

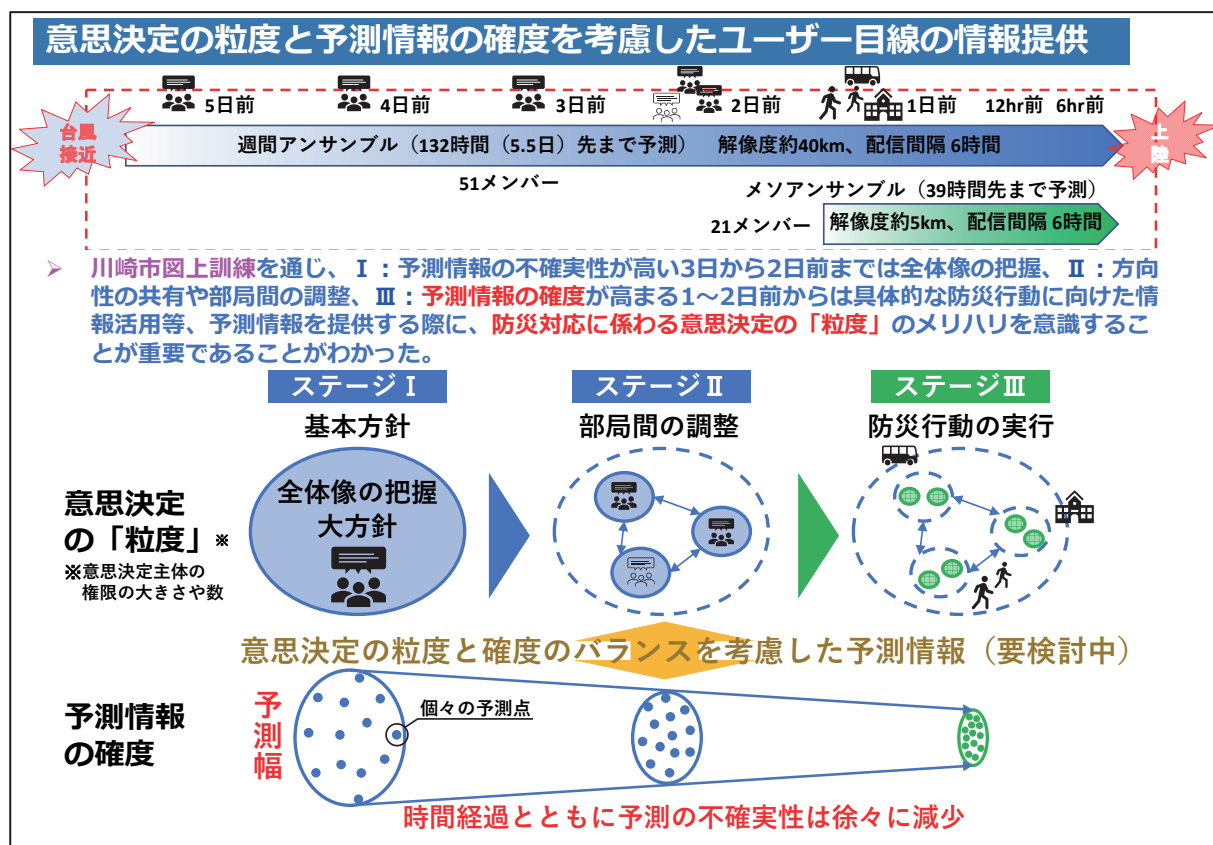


図 3.4-4 SIP 予測情報の活用リテラシー（予測情報の確度に応じた意思決定の粒度）

図 3.4-5 は、横軸が意思決定のタイムラインのステージ、縦軸が SIP 予測情報利用者を示し、SIP 予測情報の活用のリテラシーがどのような状況かを整理したものである。

前段の、訓練のコメントにもある様に、情報提供者である我々も解析結果そのものだけでなく、わかりやすく翻訳する表示が必要ではあるが、それを最初に受け取る危機管理室の方からは、川崎市の他局に、幅のある予測情報をしっかりと理解して伝えていくのは難しいという意見も頂いた。

外部となる陸開開閉の委託事業者やエンドユーザーとなる住民となると、幅のある予測情報の理解・使いこなしは、さらに難しいと考えられる。

すなわち、降雨予測や河川水位予測とは異なり、高潮の予測情報が一部を除き世の中に提供されていないことや、加えて、幅のある予測情報の提供となると、間違ったメッセージになることが危惧されることが社会実装に向けての課題であることが示唆された。

標準フォーマット (詳細)

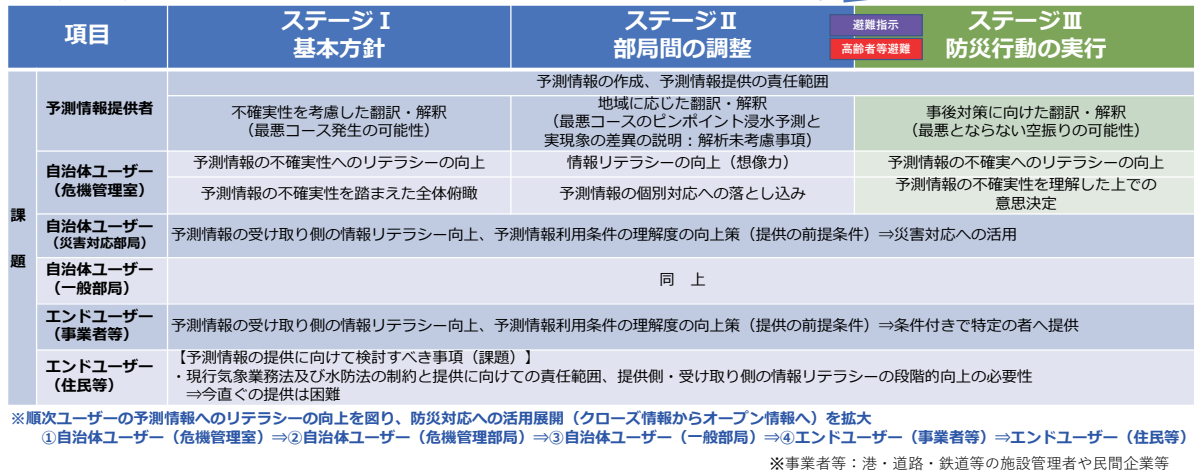


図 3.4-5 SIP 予測情報の活用リテラシー（課題の抽出）

図 3.4-6 は、2021 年台風 14 号に大阪湾の高潮・高波予測情報を提供した場面における大阪府の予測情報の活用イメージである。

高潮注意報発表基準の高潮位を超える可能性が日曜日に想定されることが、週末の金曜日に確認することができたので、リードタイムを活用して高潮注意報発表を前提とした体制を週末の職員の予定も考慮して金曜日に組むことができた。これまでの予測情報では、蓋然性の高まる日曜日になり体制を確定することとなり、体制準備の負担が大きかったので、リードタイムが確保されたアンサンブル予測情報活用の有用性を確認することができた。

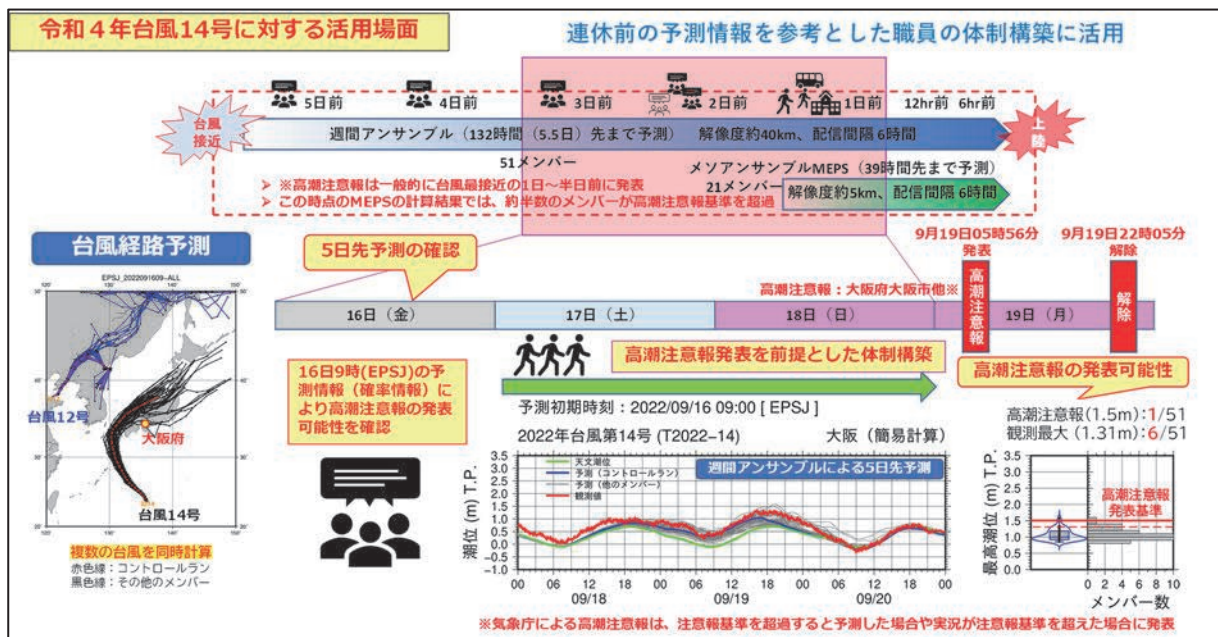


図 3.4-6 タイムライン（防災行動計画）における SIP 予測情報の活用

図 3.4-7 は、高潮・高波浸水予測情報提供による防潮扉の閉鎖判断への活用イメージ図である。

現在の防潮扉の閉鎖判断は、台風経路予測と高潮注意報・警報、潮位の観測値により定性的に判断し、防潮扉の施設管理者・操作員に閉鎖依頼を実施している。しかし、予測の不確実性が高いため直前の判断になることや施設管理者・操作員との閉鎖判断の認識共有が難しいことが課題となっている。

リードタイムを有し、不確実性の幅を示すことができる高潮・高波アンサンブル予測を活用することにより、定量的な情報に基づく判断となり、施設管理者・操作員との閉鎖判断の根拠や閉鎖のタイミングに関する認識共有も容易になる可能性が確認された。



図 3.4-7 高潮・高波浸水予測情報提供による防潮扉の閉鎖判断



図 3.4-8 高潮浸水予測の平時の活用

図 3.4-9 は、高潮・高波ハザード予測システムの今後の社会実装の考え方を示したものである。幅のある予測情報提供の社会実装を進めていくには、①予測精度の検証、②予測情報の活用リテラシー、③法改正等の制度設計の、3つの視点が大事であると考えている。

①予測精度の検証は、アンサンブル予報が令和元年から提供開始となり、日本に上陸し検証対象となる台風が少ないことから、継続対応していく必要がある。

②予測情報の活用リテラシーは、これまでユーザーが活用する情報は、予報円や警報等が主であったが、実台風による事前防災への活用実績を蓄積し、活用リテラシーを醸成させていく必要がある。

③法改正等の制度設計は、予測精度の検証、活用リテラシーの熟度・向上に応じて、考えていく必要があり、ユーザーに混乱を引き起こさないよう、暫定運用のフェーズⅡ、本格運用のフェーズⅢと、段階的に情報提供の社会実装を進めていく必要があると考える。

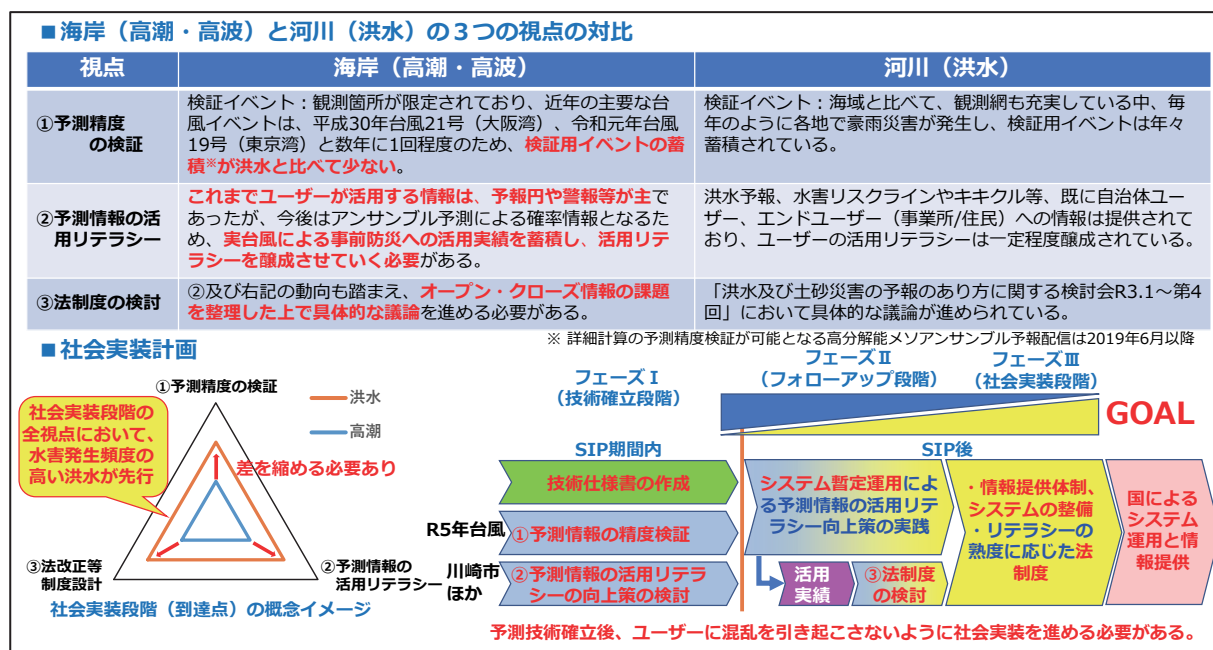


図 3.4-9 3つの視点に基づく社会実装計画（海岸（高潮・高波）と河川（洪水）の対比）

図 3.4-10 は、前述の高潮・高波ハザード予測システムの社会実装の考え方を踏まえ、今後の取組のロードマップを示したものである。

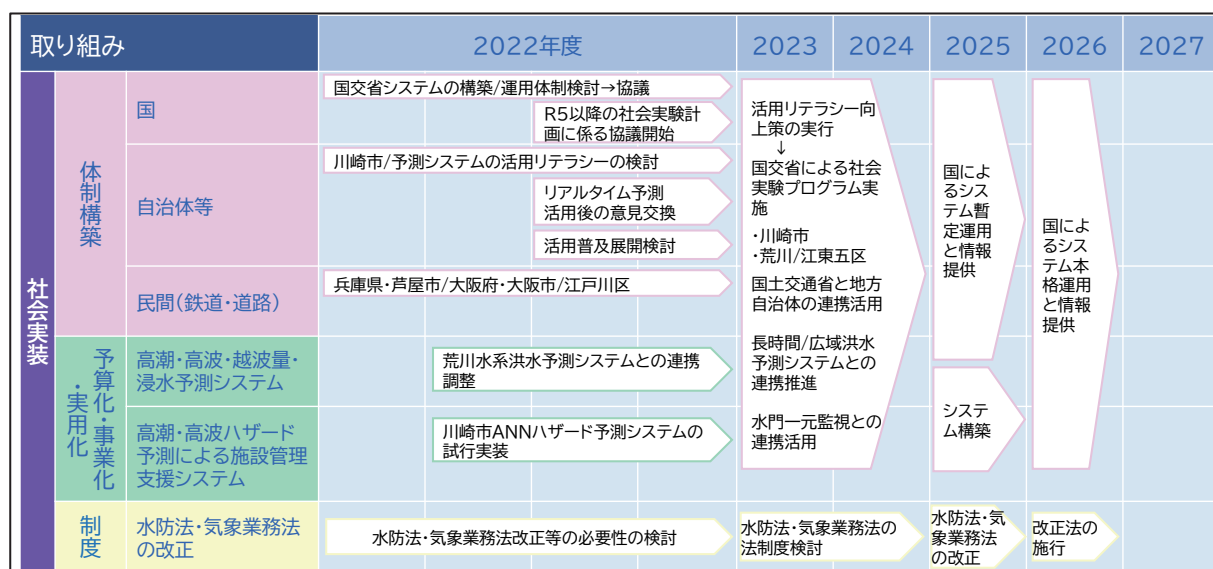


図 3.4-10 高潮・高波ハザード予測システムのロードマップ（再掲）

3.5. 国際競争力

予測情報を波浪・潮位・越波打ち上げ高・陸域氾濫に分類した。

我が事を感じるリスク情報の最小解像度、見逃しゼロのアンサンブルメンバー数、リードタイムの確保の最長予測対象時間を定量指標として設定した。

市町村単位に提供する予測情報として最も重要な要素である最小解像度、台風発生後の防災体制の判断時期やアンサンブル予測幅も勘案した 72 時間先以上の予測時間に主眼を置き、分類別に順位付けした結果、全ての項目で上位となり、開発技術の国際的な優位性を確認した。

表 3.5-1 高潮・高波浸水予測の国際比較表

分類	No	国名	所管	予測情報				我が事を感じるリスク情報		見逃しゼロ	リードタイムの確保		
				波浪	潮位	越波 打上高	陸域 氾濫	最小解像度	アンサンブル メンバー数	最長予測対象時間 時間	日	予測 頻度	
波 浪	1	日本	SIP	●				約2500m⇒270m	51	132時間先	5.5日先	6時間毎	
	2	米国	NOAA (アメリカ海洋大気庁)	●				500m	20	180時間先	7.5日先	6時間毎	
	3	ドイツ	DWD(German Weather Service)	●			30"×50"	約900m	1	78時間先	3.3日先	12時間毎	
	4	スウェーデン	SMHI (スウェーデン気象水門研究所)	●				約1.8km	1	60時間先	2.5日先	24時間毎	
	5	デンマーク	DMI (デンマーク気象研究所)	●				2km	19	51時間先	2.1日先	6時間毎	
	6	英国	Met Office (イギリス気象庁)	●				6km	24	168時間先	7.0日先	6時間毎	
	7	欧州22か国	ECMWF (ヨーロッパ中期予報センター)	●			0.1°×0.1°	約11km	1	240時間先	10.0日先	12時間毎	
	8	オーストラリア	Bureau of Meteorology	●			0.1°×0.1°	約11km	1	168時間先	7.0日先	12時間毎	
	9	欧州22か国	ECMWF (ヨーロッパ中期予報センター)	●			0.25°×0.25°	約28km	51	360時間先	15.0日先	12時間毎	
	10	日本	気象庁	●			0.5°×0.5°	約55km	51	264時間先	11.0日先	12時間毎	
	11	ノルウェー	The Norwegian Coastal Administration	●			—	特定地点	1	60時間先	2.5日先	4時間毎	
	12	カナダ	Government of Canada	●			—	—	1	48時間先	2.0日先	12時間毎	
潮 位	1	米国	OCEAN PREDICTION CENTER		●			200m	1	180時間先	7.5日先	6時間毎	
	2	日本	SIP		●			2430m⇒270m	51	132時間先	5.5日先	6時間毎	
	3	デンマーク	DMI (デンマーク気象研究所)		●		12"×20"	約370m	19	51時間先	2.1日先	6時間毎	
	4	日本	気象庁		●			1km	6	39時間先	1.6日先	3時間毎	
	5	オランダ	KNMI (オランダ王立気象研究所)		●			1.6km	1	48時間先	2.0日先	6時間毎	
	6	スウェーデン	SMHI (スウェーデン気象水門研究所)		●			約1.8km	1	60時間先	2.5日先	24時間毎	
	7	ノルウェー	Norwegian Meteorological Institute		●			4km	51	120時間先	5.0日先	12時間毎	
	8	ドイツ	BSH (ドイツ連邦海運水路局)		●			5km	1	168時間先	7.0日先	6時間毎	
	9	オランダ	KNMI (オランダ王立気象研究所)		●			8km	51	240時間先	10.0日先	6時間毎	
	10	英国	Met Office (イギリス気象庁)		●			12km	24	168時間先	7.0日先	6時間毎	
越 波	1	日本	SIP			●		10m	3	132時間先	5.5日先	6時間毎	
	2	米国	U.S. Geological Survey			●		沿岸代表地点群	1	144時間先	6.0日先	24時間毎	
浸 水	1	日本	SIP				●	3.3m	1	132時間先	5.5日先	6時間毎	
	2	米国	NOAA (アメリカ海洋大気庁)				●	500m～700m	確率台風	80時間先	3.3日先	6時間毎	

3.6. 社会実装を実現するためのマネジメント体制

(1) 社会実装を実現するためのマネジメント体制等

サブグループ内にて社会実装責任者と密に検討を重ね、その結果を、社会実装先となる国土交通省（水管理・国土保全局：海岸室・保全企画室）と社会実装の課題共有、取組・解決のロードマップについて検討を行い、社会実装の実現に努力した。

合わせて、社会実装後のユーザーとなる川崎市長以下、関係各課とも、図上訓練等を通じて様々なニーズの掘り起こし・予測情報活用の課題を把握し、社会実装の検討に反映させた。

(2) 研究テーマに対する評価、マネジメント等

当該研究テーマの社会実装実現に向けたマネジメントとして、SPD や戦略コーディネーターに大局的な観点からの開発と実装の方向性について確認し、検討を進めた。

テーマ全体での打合せの他、サブテーマにおいても適時意見交換や有識者（港湾空港技術研究所、気象研究所）による予測精度検証WGを実施した。波浪・潮位・越波・浸水に関する予測情報の試行閲覧システム活用状況、グローバルベンチマークの更新を行い研究テーマの目標設定・計画変更の必要性がないことを確認し、研究開発を実施した。

4. 河川・ダム の長時間洪水予測・防災支援システムの開発

4.1. 研究開発の概要（河川・ダム）



図 4.1-1 長時間/広域洪水予測システム・統合ダム防災支援システムの開発

河川・ダムの長時間洪水予測・防災支援システムの開発では、予測リードタイムの長時間化と、予測領域の拡大・高空間分解能化の2軸での技術開発に取り組んだ。河川における予測リードタイムの長時間化では、現在は幹川のみ6時間前の予測に留まっていたものを、①長時間洪水予測システムで39時間前から120時間前まで予測できるように拡張した。また、河川における予測領域の拡大では、幹川から、支派川、さらには、全国の中小河川までをカバーする、②広域洪水予測システムを開発した。

一方、ダムについては、従来3日間程度の事前放流に留まっていたものを、最大15日前のリードタイムが得られるように長時間化した、③統合ダム防災支援システムを開発した。また、これらダムと河川のシステムを連携させて、高潮・高波ハザード予測モデルを加えた、④ダム～河道～高潮連携システムの検討も行い、荒川流域を対象にプロトタイプの開発を行った。

4.2. 長時間/広域洪水予測システムの開発

4.2.1. 研究開発の背景

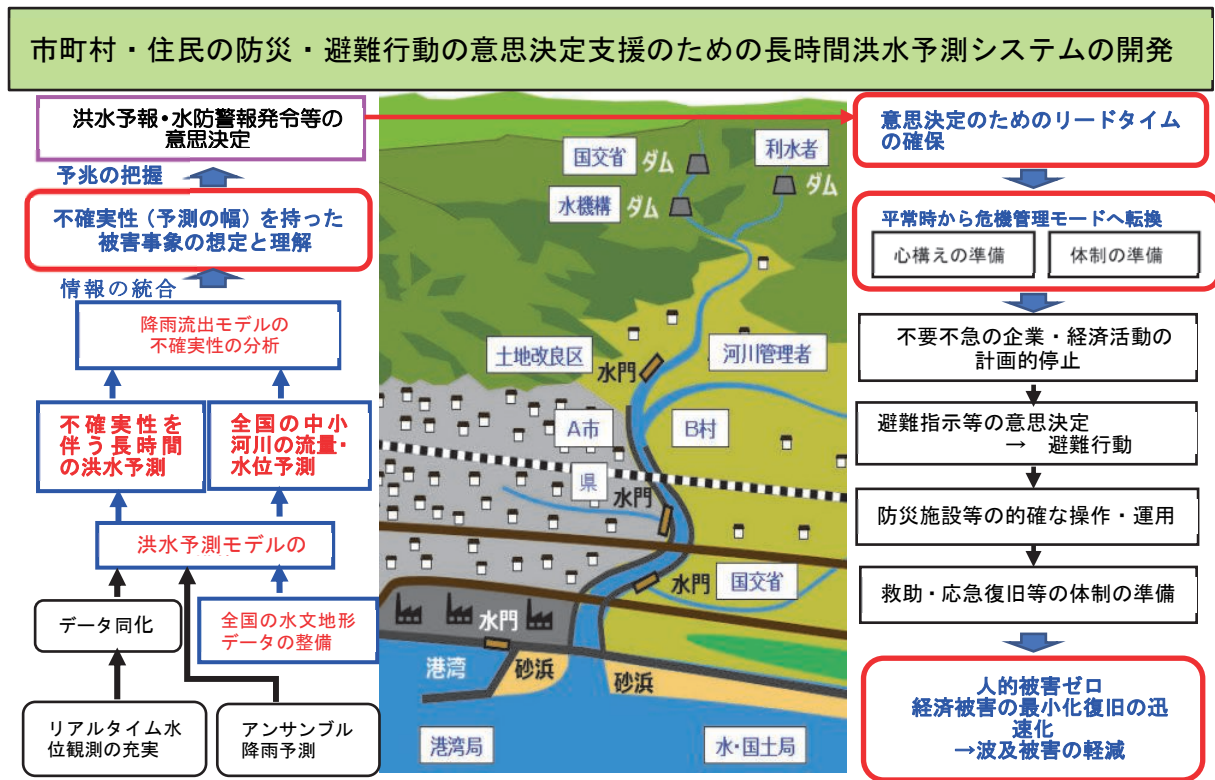


図 4.2-1 市町村・住民の避難の意思決定支援のための長時間洪水予測システムの開発

近年、毎年のように甚大な水災害が発生している。河川の氾濫は、ひとたび発生すると人命にかかわる重大な被害を引き起こしかねない。このため、発災前に的確な防災活動及び避難行動が求められている。

こうした観点から、スーパー台風等による大規模水害に備え広域避難発令等の検討がなされている。現在、広域避難を必要とするような河川からの洪水氾濫の危険性を推測する指標としては、予測降雨量と台風のコースしかなく、十分には推測ができない。このため、氾濫の危険性に直結する河川水位の予測が必要な情報として求められている。しかも、広域避難を判断・実施するには時間を要するため、十分なリードタイムが確保できるよう長時間先の洪水予測が求められている。しかしながら、長時間先になればなるほど、降雨予測の信頼性が低下するため、確定論的な予測は見逃しを助長しかねない。こうしたことから、行政や住民個人が水害発生の数十時間前に意思決定することに資する信頼性情報付き時系列情報としての長時間洪水予測の提供が不可欠である。

他方、中小河川においても甚大な被害が発生しているにも関わらず、河道情報がないなどの諸事情から洪水予測の検討がほとんどなされていない。

こうしたことから、観測・断面情報等が少ない中小河川でも複数河川同時に一定の精度を有した洪水予測を行える技術開発が期待されている。

4.2.2. 研究開発目標

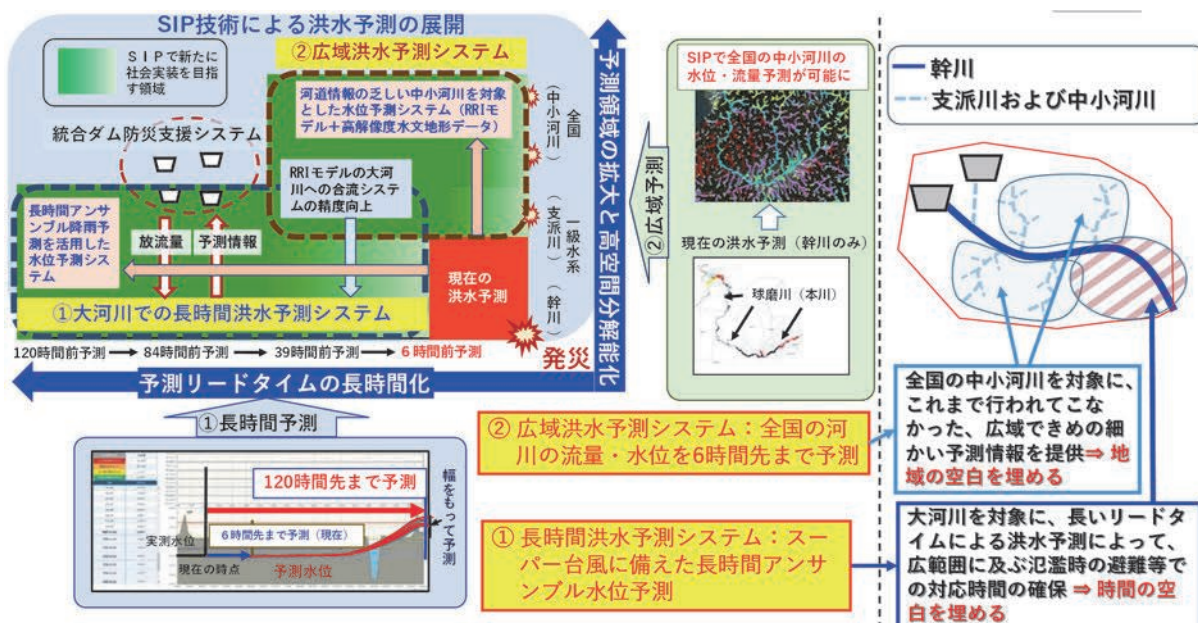


図 4-2-2 長時間/広域洪水予測システムが取り組む課題と目標

予測降雨をもとに河川水位を予測する洪水予測は国の一部の河川で始まったところである。また、予測時間も6時間先までである。

大河川による洪水氾濫はその影響範囲が広く、防災行動や避難行動には時間を要することから、十分なリードタイムが必要であるため、長時間先の洪水予測を行い、情報提供できるシステムを開発した。

また、中小河川では、情報不足等の理由から洪水予測そのものが行えていなかったことから、全国いたるところで一定の精度を有した洪水予測が行えるシステムを開発した。

首都圏の荒川下流域に位置する江東5区では、広域避難を円滑に判断・実施するために、5日前からのタイムラインを作成している。こうした状況を鑑み、長時間洪水予測を5日（120時間）先まで行うことを最終的な目標とした。一般的に予測時間が長くなるのに伴い予測降雨の誤差が増大することから、洪水予測の精度が低下し、見逃しを生む可能性がある。このことから、確定論的な予測降雨ではなく、アンサンブル降雨予測を適切に活用することとした。

4.2.3. 技術開発



図 4.2-3 長時間/広域洪水予測システムの研究達成状況

(1) 長時間洪水システムの構築

長時間洪水予測は、長時間先までの予測降雨をもとに実施する流域からの降雨流出計算と、河川への流入量及び本川支川の合流形態も考慮した河道内の水位計算によって行われる。長時間洪水予測システムは、予測降雨情報を取り入れ、これらの計算をリアルタイムで実施し、洪水予測の結果を分かりやすい形で情報提供するシステムである。

1) 洪水予測モデルの高度化

洪水予測を行う際の流域からの流出モデルは、広域洪水予測で開発した RRI モデルを用いて 150m メッシュで構築した。また、河道内の水位計算は一次元不定流河道モデルにて計算を行った。

現在、全国の国の河川で情報提供されている洪水予測は 6 時間先までである。そして、その際に行われている洪水予測あるいは行われようとしている洪水予測では、RRI モデル（流域・氾濫側）と不定流河道モデル（河道側）の接続について、RRI モデルから不定流河道モデルへ強制流入させることとなっている。この場合、内水域の降水が全量排水されてしまい、有堤区間を広く抱える大河川では、河道水位が高くなる傾向にある。また、長時間先の洪水予測計算においては、同化できる実績水位より 100 時間以上先の河川水位の予測をすることになるため、モデルによる再現性の精度が洪水予測の精度に大きく影響を与えてしまう。

広域避難のような長いリードタイムを確保したい河川は、一般的に大河川であり有堤区間が長いことから中下流域に内水域を抱えている。このため、長時間先の洪水予測を実施する際には流域からの流出量が河川にどのように流入（場合によっては河川からの越水氾濫）するのかを適切に反映する必要がある。

以上より、RRIモデルと不定流河道モデルを相互連携させるプログラムを新たに開発して、これらの課題に対応することとした。(図 4.2-4 参照)

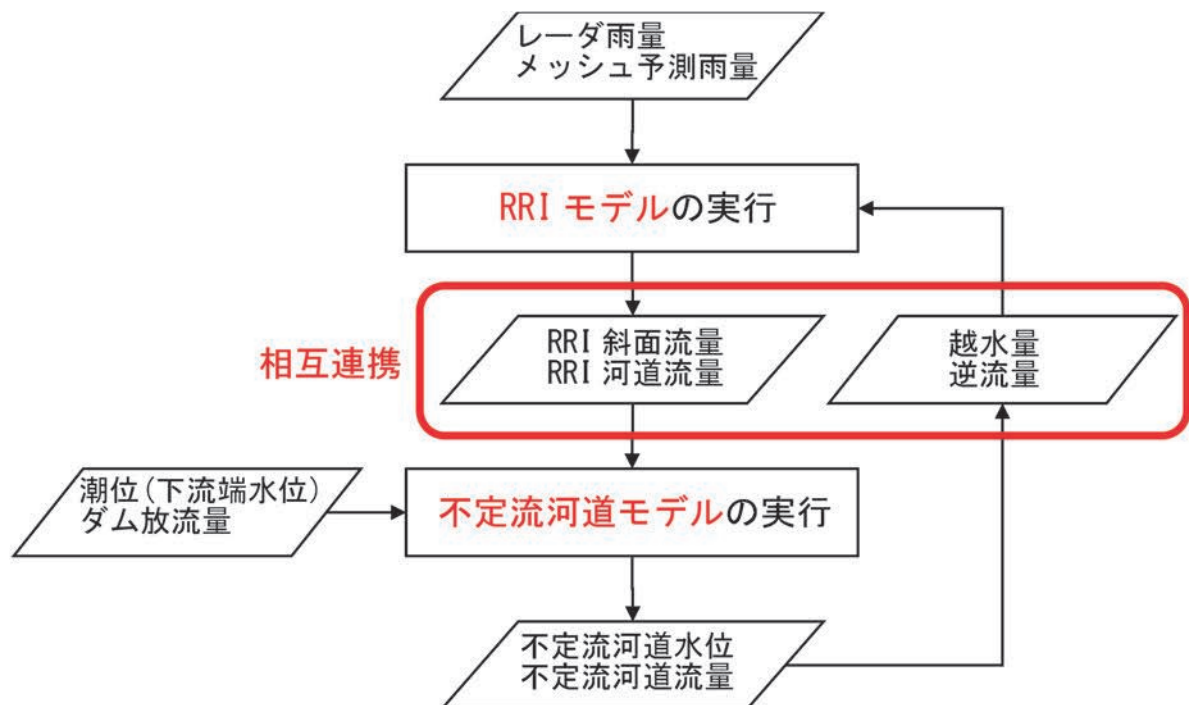


図 4.2-4 RRI モデルと不定流河道モデルを連携したプログラム

具体的には、RRI モデル河道と不定流河道モデル河道の接続を、以下の 3 形態に分類し、プログラムを開発した。(図 4.2-5 参照)

- ① RRI モデルの河道流が、不定流河道モデル上流端に接続
- ② RRI モデルの河道流が、不定流河道モデルへの横流入として接続
- ③ RRI モデルの斜面流が、不定流河道モデルへの横流入として接続

(注：RRI モデルでは流域をセルに分割し、降雨による個々のセルの水位の高低差から水の流れの方向と量を決定し、その流れを RRI 斜面流とする。一定数以上のセルから水が集まるセルでは、河道が形成されるとみなし、その流れを RRI 河道流とする)

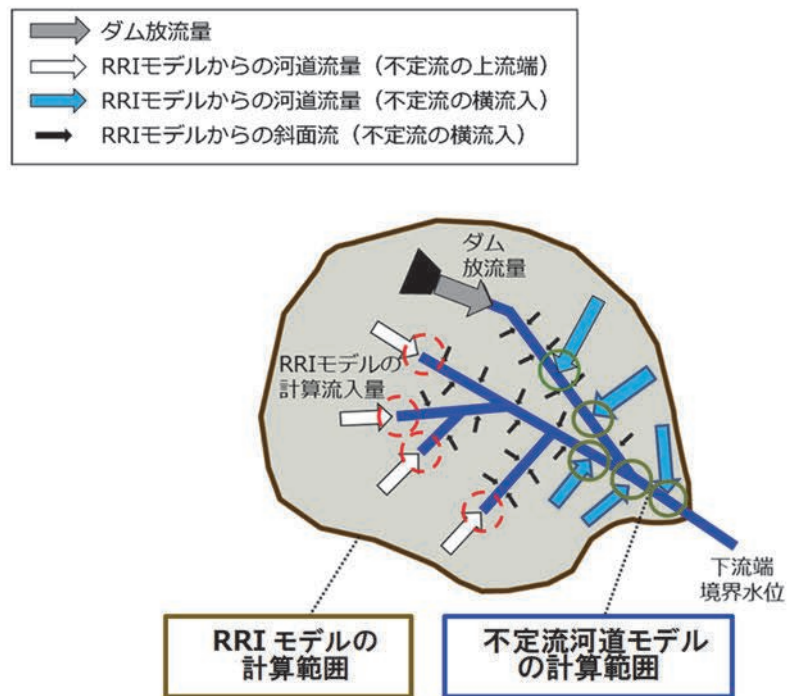


図 4.2-5 RRI モデルと不定流河道モデルの接続

プログラムにおけるそれぞれの処理方法を以下に示す。

① RRI モデルの河道流が、不定流河道モデル上流端に接続

RRI と不定流河道の受け渡し流量は、RRI モデルの不定流への受け渡し地点での RRI モデルの水面勾配に応じて計算するものとし、不定流河道モデルの水位の影響を受けない。

② RRI モデルの河道流が、不定流河道モデルへの横流入として接続

図 4.2-6 のとおり、接続部の RRI モデルと不定流河道モデルの水位、堤防の高さを比較して流れの方向と量を決定する。

③ RRI モデルの斜面流が、不定流河道モデルへの横流入として接続

図 4.2-7 のとおり、RRI モデルの接続部の水位、不定流河道モデルの接続部の水位、堤防の高さを比較して流れの方向と量を決定する。

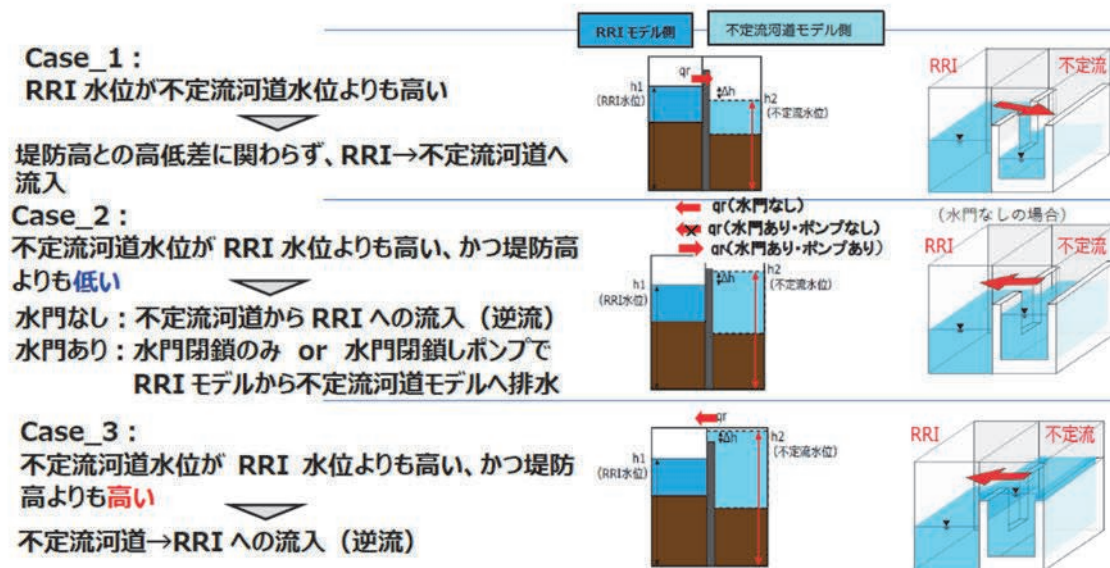


図 4.2-6 RRI モデルの河道流と不定流河道モデルの接続

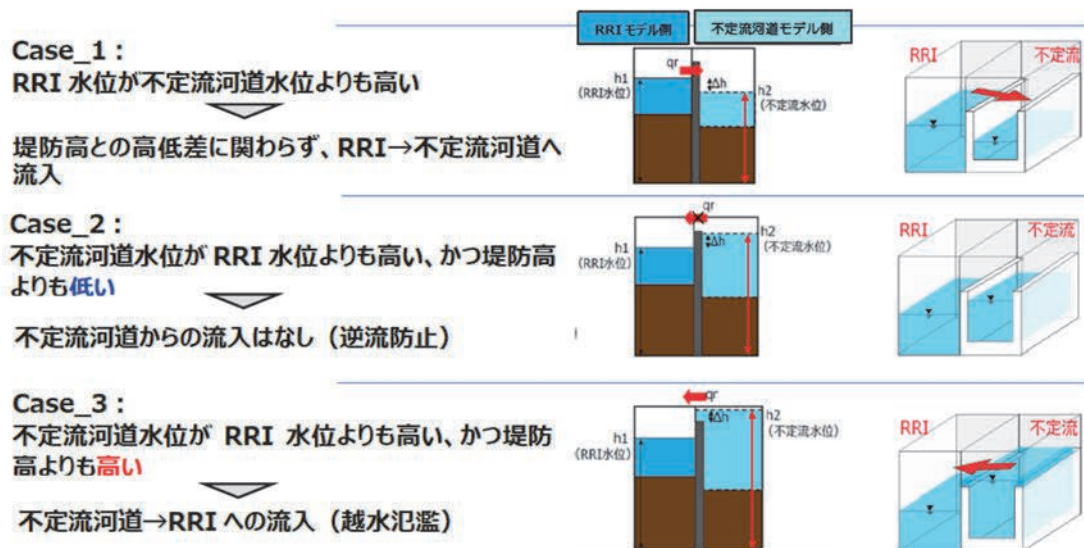


図 4.2-7 RRI モデルの斜面流と不定流河道モデルの接続

この結果、不定流河道モデル区間の河道（本川及び支川）に流入する支川のバックウォーターや堤防からの越水現象等を反映することで、流域での浸水・氾濫状況や洪水予測を適切に評価できるようになった。

2) アンサンブル降雨予測の活用

現在国において提供されている水位予測情報は、6 時間先までの単一の降雨予測（降水ナウキャスト [0～1 時間先] + 降水短時間予報 [1 時間先～6 時間先]）によって行われている。

長時間先の洪水予測は、長時間先の予測降雨をもとに計算を実施するが、降雨の予測時間が長くなると予測の不確実性が増大する。見逃しを減らすとともに予測の不確実性を認識しやすいよう、予測に影響を与える様々な要因を考慮した起こり得る可能性のある複数降雨（アンサンブル降雨予測）を活用して洪水予測を実施した。

具体的には、120 時間先までのアンサンブル予測降雨は、全球アンサンブル予測システム（GEPS:51 メンバー）を活用した。また、39 時間先までは、空間解像度が高いメソアンサンブル予測システム（MEPS:21 メンバー）が提供されていることから併行して活用した。

これらの予測降雨をもとに流域からの流出計算と流域と河道との水のやり取りと河道内の水位計算を行うことで河川の水位予測を実施した。

図 4.2-8 に示すように、各アンサンブルメンバーを用いた水位予測結果を単なる数値ではなくグラフで示すことで、どのような水位がいつごろ発生しうるのかを示すことができた。

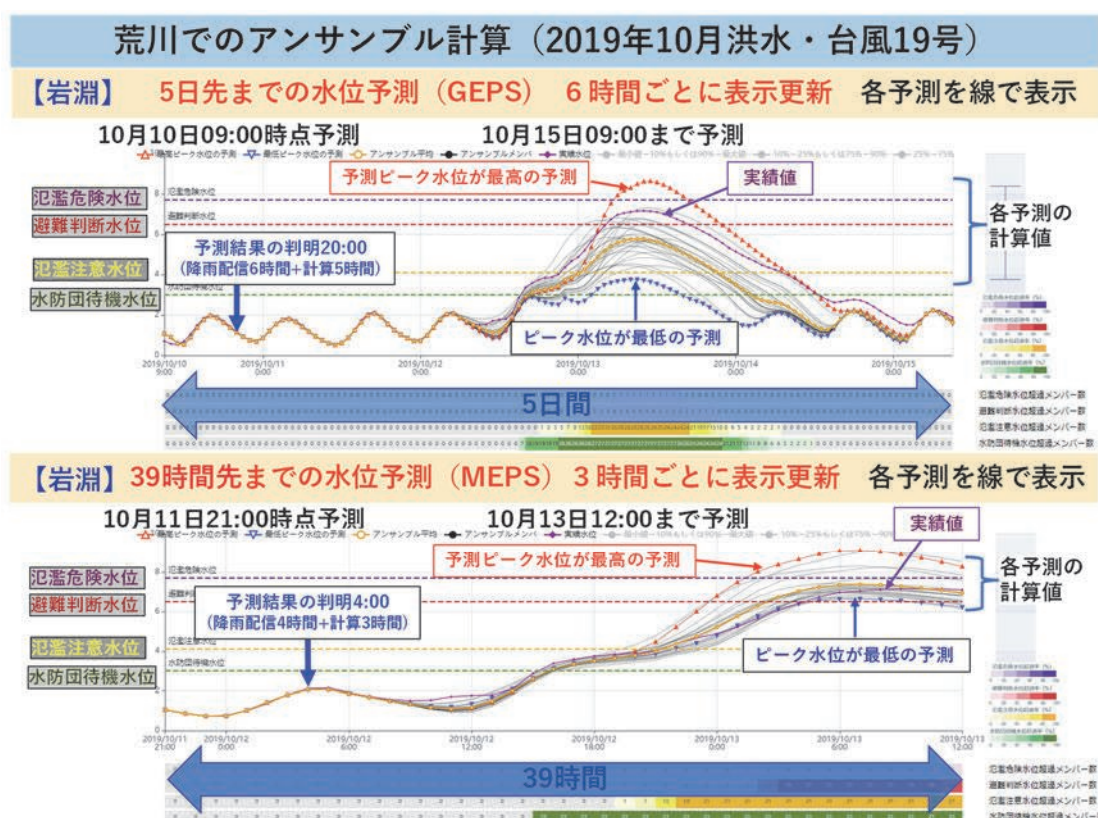


図 4.2-8 アンサンブル予測降雨から算定した洪水予測結果

単に、予測水位の最高値と最低値を認識するだけであれば図 4.2-8 のグラフで充分であるが、GEPS では 51 メンバーあることから水位のグラフが 51 本重なってなっているため、予測された水位のばらつき具合（生起頻度）が一目ではわかりづらい。こうしたことから、予

測された水位について、図 4.2-9 に示すようにパーセンタイル表示で色分けした。このことにより、予測水位の最高と最低だけでなく、予測水位の中央 5 割（25%～75%）がどのよう
なところにあるのか、着色幅を見ることでばらつき程度が一目でわかるようになった。

● 線だけの表示では予測のばらつき具合がわかりづらい



アンサンブル水位予測結果をグループに分けて幅で表示

● 予測の分布状況を 5 グループに分類し幅で表示（彩色例）

- 90%～最高値（ピンク）
- 75%～90%（黄色）
- 25%～75%（青）
- 10%～25%（黄色）
- 最低値～10%（ピンク）

● 実績値とアンサンブル平均値は線で表示

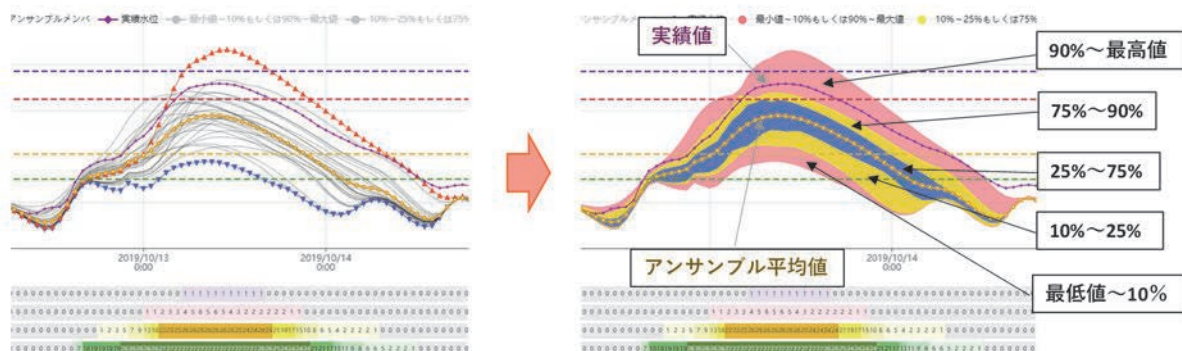


図 4.2-9 アンサンブル水位予測結果の表示

表示の方法を変更したアンサンブル洪水予測の結果を、GEPS については図 4.2-10 に、MEPS については図 4.2-11 に示す。

グラフに表示しているのは、2019 年 10 月の台風 19 号の際に行われたアンサンブル降雨予測をもとに洪水予測計算を実施した結果であり、実際の水位についても表示している。

GEPS を用いた洪水予測では、避難判断水位を超える大きな洪水となり得ることを 4 日以上前に予測できている。そして、時間の経過とともに予測降雨も厳しいケースが増え、実績の河川水位を予測結果が十分予測できていることがわかる。

また、MEPS を用いた洪水予測では、39 時間先の最初の予測結果で氾濫危険水位を超過する大きな洪水になり得ることを予測できている。さらに、時間の経過とともに予測の幅が狭まり、予測の中央 5 割が実績と一致するようになっている。

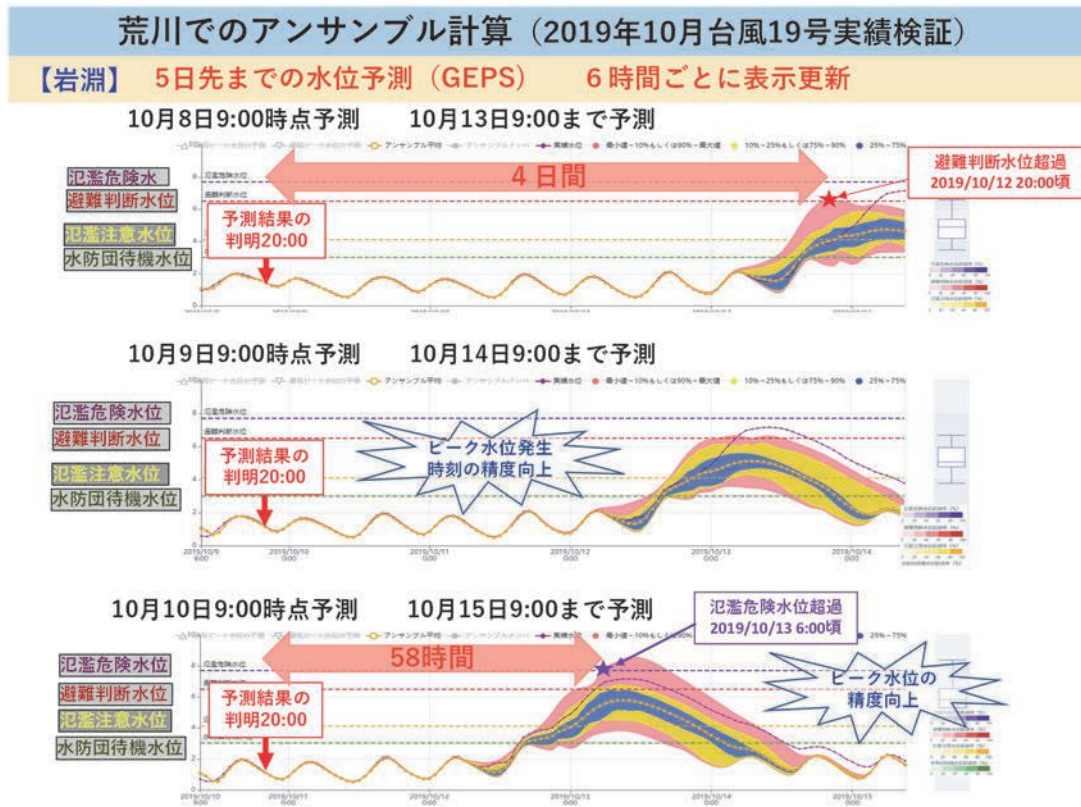


図 4.2-10 GEPS を活用したアンサンブル洪水予測結果

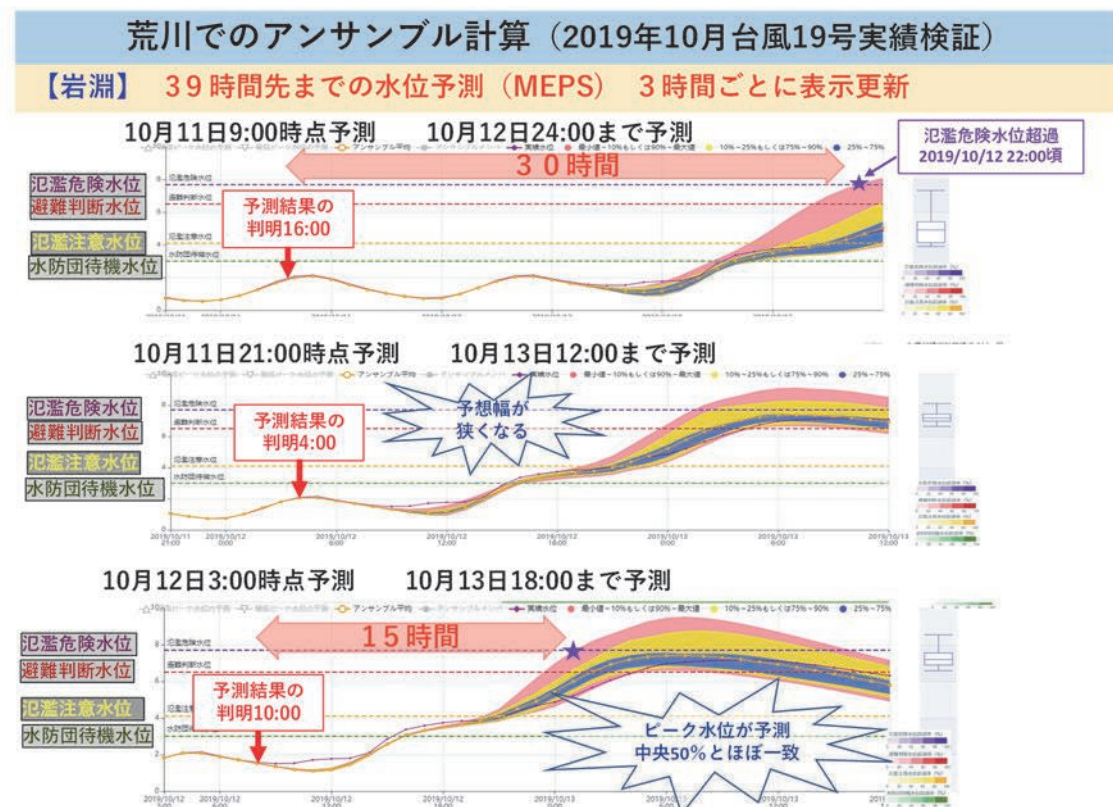


図 4.2-11 MEPS を活用したアンサンブル洪水予測結果 MEPS を活用したアンサンブル洪水予測結果

3) 高潮・高波ハザード予測システムとの連携

長時間洪水予測を必要とするような地域は、大河川の下流域であり人口稠密地域であることが多い。そして、そうした地域では、スーパー台風襲来時に高潮の影響も受けやすい。

河川下流部の潮位の影響を受ける区間の予測精度の向上させるため、河川下流端の水位は39時間先までは高潮ガイダンスによる予測潮位を活用し、それより先の120時間までは天文潮位と潮位偏差から算出している。さらに、長時間洪水予測を行う際に、「高潮・高波ハザード予測システム」による潮位予測結果を活用して行えることも確認した。どちらの予測も、GEPSとMEPSを用いていることから、同一メンバーの予測結果を連携させることで一貫性をもった予測を確保することが可能となる。

4) オンライン表示・提供システムの構築

今回開発した長時間洪水システムでは、過去3時間の実績降雨とGEPS及びMEPSのアンサンブル予測降雨をもとに河川水位の予測を実施している。

こうした入力データを自動で取得し、必要な計算を実施して表示するシステムを構築した。気象要因によって、アンサンブル予測降雨の配信間隔が変動しうるが、台風が接近した場合であれば1日4回の配信がGEPS、MEPSともにある。アンサンブル予測降雨の配信までにGEPSについては約6時間、MEPSについては約4時間要している。このため、予測降雨データが配信されたら即座にデータを読み込み、水位予測計算を開始できるよう時間ロスを削減するとともに、予測精度に影響を与えない範囲で計算時間を短縮できるようプログラムの高速化を図った。また、計算プロセスが長くなっても計算が継続的に実施され予測結果が確実に更新されるようシステムの安定化を図った。こうした結果、MEPSによる洪水予測は河川水位予測計算を3時間で実施することができた。このため、GEPSに関しては6時間ごとに、MEPSに関して3時間ごとに洪水による河川水位の予測結果を更新し表示することとした。

図 4.2-12 に予測した河川水位を表示したい地点を選択したり、GEPS(120時間)とMEPS(39時間)のどちらによる予測情報を表示するのかが選択できるWEB上の画面を示す。

図 4.2-13 に河川水位予測結果とその時の予測降雨の時間分布を一体的に表示したWEB上の画面を示す。



図 4.2-12 表示情報選択画面（平面表示）

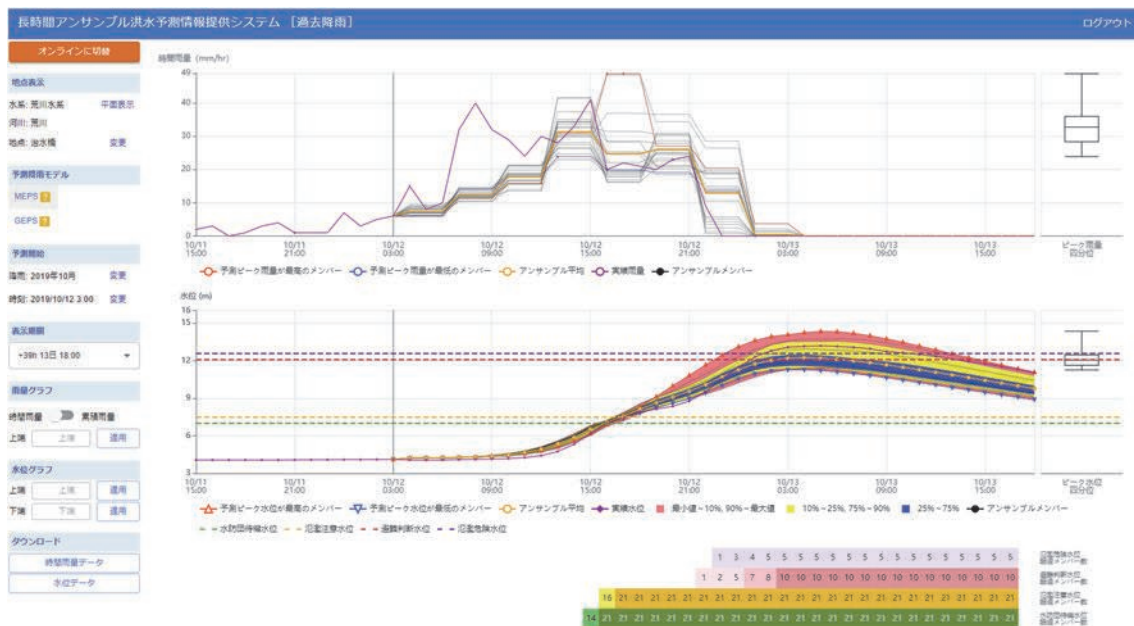


図 4.2-13 河川水位予測結果と予測に活用したアンサンブル予測降雨図

(2) 広域洪水予測システムの構築

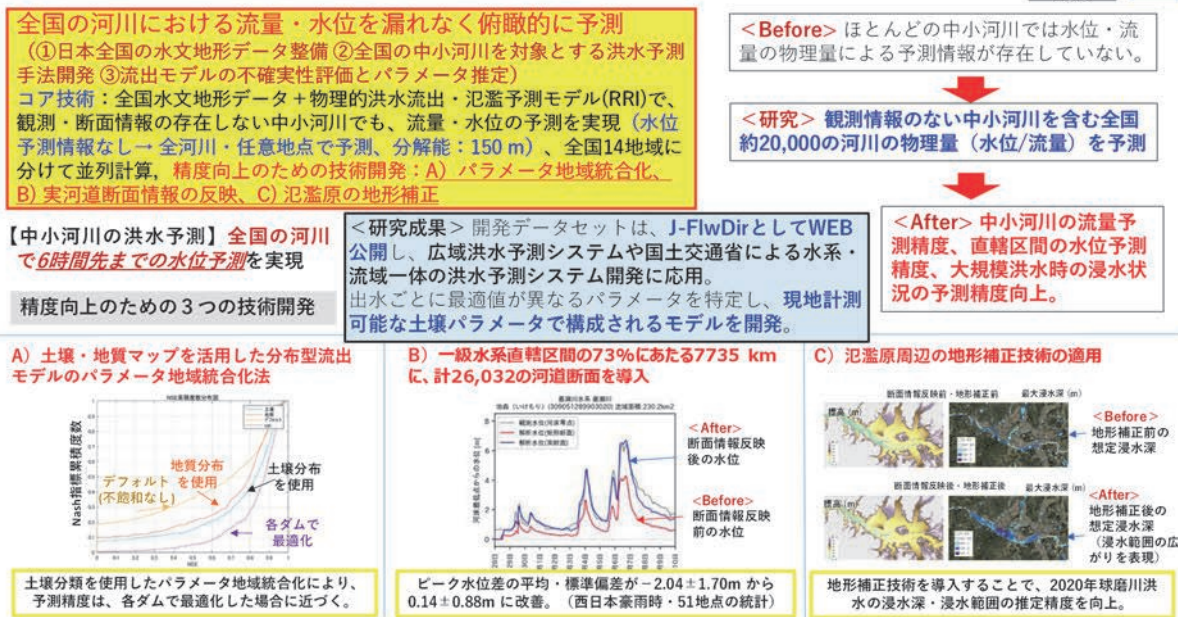


図 4.2-14 広域洪水予測システムの研究達成状況

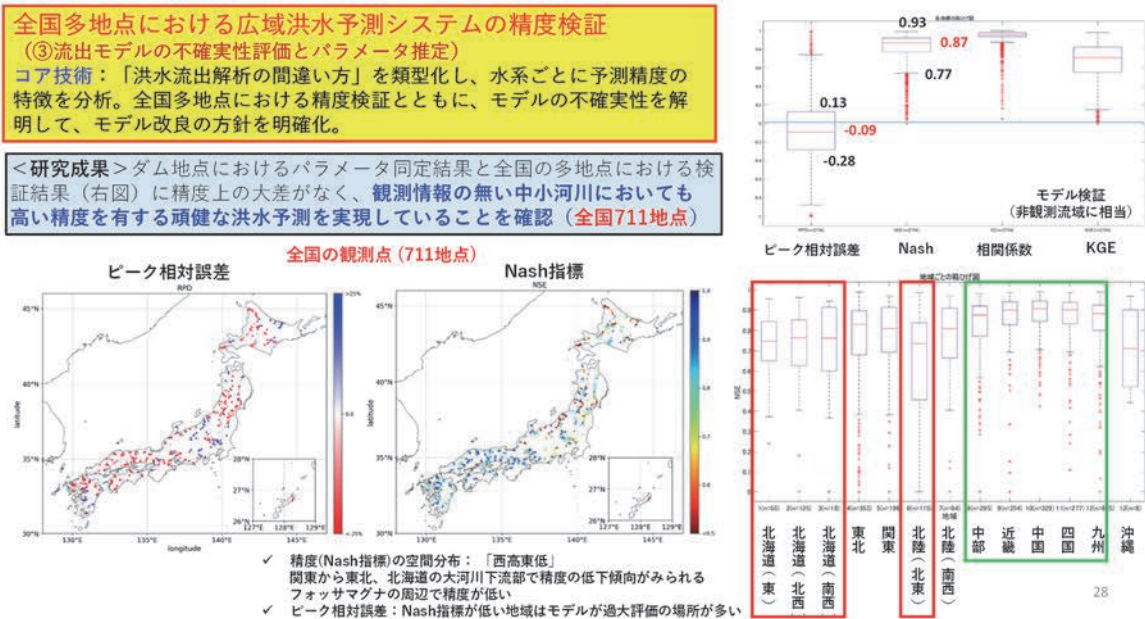


図 4.2-15 広域洪水予測システムの研究達成状況



図 4.2-16 広域洪水予測システムの研究達成状況

1) 広域洪水予測システムの基礎となる全国版 RRI モデルの開発

全国版 RRI モデルをベースとする広域洪水予測システムを開発した。このシステムは、1 時間毎に解析雨量と降水短時間予報を入力して、全ての河川で 6 時間先までの流量と水位を予測するシステムである。

別途開発を進めた可視化システムによって Web ブラウザ上でハイドログラフや流域平均雨量などを確認することができる (アクセス限定) (図-4.2.13)。

5 年次は表示システムを改良し、観測水位と計算水位を直接比較できるよう、計算水位の高さ補正情報を読み込んで調整した。また、水位観測地点においては、洪水の危険度を示す指標 (氾濫危険水位など) を表示できるように改良した。さらに、計算時間を短縮し、6 時間先までの水位予測をなるべく完了させるように計算時間の短縮化を進めた。

具体的には国管理河川の水系毎に予測計算を進めたうえで、結果を統合する方法を採用した。これにより、計算の並列化が効率的に行えるため、予測のリードタイムを長く取ることができるようになった。

2) 全国版 RRI モデルのパラメータ同定と検証

国土省・水機構が管理する 121 のダム流域の洪水データを用いて、土壌分布に応じて全国版 RRI モデルのパラメータを設定する方法を考案・適用した。

これにより、黒ぼく土や褐色森林土など、土壌特性の違いによる洪水流出特性の違いを全国版 RRI モデルで反映できるようになった。

モデルの精度は、全国 711 地点 (2734 出水) で検証し、ピークの相対誤差は -0.09 (-0.28~0.13)、Nash 指標は 0.87 (0.77~0.93) となった。検証の対象としている全国の水位観測地点はパラメータ同定に用いた地点とは異なるため、観測情報の存在していない河道区間の推定精度とみなすことができ、全国版 RRI モデルの頑健性と再現性が確認された。

3) 河道断面情報の反映

全国版 RRI モデルの水位予測精度向上を目的として、国が直接管理する河道区間（直轄区間）の河道断面情報を整理し、約 26,000 断面の情報を RRI モデルに反映した。

反映した約 26,000 の断面データを用いて、集水面積と河道断面積との関係を地域毎に分析した。その結果に基づいて、断面の計測情報が存在しない中小河川における河道断面積（及び、その川幅や最大水深）を推定する方法を提案し、全国版 RRI モデルに反映させた。

この方法はクリーガ曲線の計上に基いて集水面積に応じた河積を推定する新たな方法であり、そのパラメータを地域ごとに設定することによって、観測断面の情報が存在しない中小河川の河積（それに応じた川幅と深さ）を推定できるようになった。

また、多数の河道断面情報を広域の降雨流出氾濫モデルに反映させるためのアルゴリズムを整理して論文発表した。

河道断面の的確な反映は広域での浸水推定精度にとっても重要であり、関東地方全体を対象にした 2019 年台風 19 号による洪水解析を通して、その効果を検証した。

4) 広域アンサンブル洪水予測実験のためのシステム開発

リアルタイムで運用する広域洪水予測システムの解析結果を初期値と、気象庁による 21 メンバー、39 時間先のメソアンサンブル予報システム(MEPS)を入力とする、長時間のアンサンブル洪水予測システムを開発した。

このシステムは、マイクロソフト社の Azure というクラウドシステム上で実装し、台風襲来が予見されたときのみ、地域を選択して、アンサンブル洪水予測を実行できる仕組みとなっている。4 年、5 年次は、結果を解析するような大型台風の襲来はなかったものの、同システムが適切に稼働するよういくつかのイベントで洪水予測実験を行った。

具体的には、2020 年 7 月の九州球磨川豪雨を対象にして解析を実施した。その結果、アンサンブル平均では人吉地点の水位を過小評価するものの、21 メンバーのうち最悪シナリオのメンバーについては実際に発生した水位と同等の結果を示すことが分かった。

4.2.4. 社会実装

(1) 長時間洪水予測システム

広域避難等の実施には、実施に至るまでに関係機関との協議を行う必要があり、多くの時間を必要とする。また、これらの協議や判断にはそれらに応じた情報が必要である。図 4.2-17 に示すように、必要とされる時間に必要な情報が提供でき、見逃し防止も可能になっている。

これまで、長時間にわたる予報は、台風の進路と降雨の予報のみであったが、大河川における河川水位の長時間洪水予測によって、どのような洪水リスクが生じるのか、より具体的な情報を提供できるようになり、避難・防災行動に生かすことができると思われる。

前述のように、長時間先の洪水予測の表示・提供をオンラインでできるようになった。このような開発状況と提供できる内容について、広域避難を想定している江東 5 区広域避難推進協議会にて説明を行った。（写真 4.2-1 参照）

江東五区の広域避難では、関係する機関や組織が多岐にわたることから、調整や意思決定には長時間を有する。アンサンブル長時間洪水予測については、時間とともに情報が更新され、

信頼度も一般的には高まっていく。予測時間が長い GEPS と精度の高い MEPS の 2 種類のアンサンブル予測結果と時間とともに変化していく情報を実際の調整・意思決定に実際に用いるには、予測結果の特徴を知ったうえで適切な活用が求められる。現在、こうした情報をオペレーションの中でどのように考えるかなどの整理・検討が始まったところである。

これまでに、120 時間先までの長時間洪水予測や水位予測をアンサンブル予測降雨で実施されたことはない。このため、こうした幅を有し、時間とともに変化・更新されていく予測結果を、自治体等が整理しているタイムラインの中でどのように活かすのかについての経験や蓄積は全くない。こうしたことから、大水害が発生する状況を想定して、長時間アンサンブル洪水予測結果を広域避難実施の協議・判断・実行にどのように活用するのかを検討整理する必要がある。

そして、公共交通機関などの関係機関とも連携した訓練を行い、その結果をフィードバックすることにより、長時間アンサンブル洪水予測システムを活用した適切かつ円滑な広域避難を実施できるよう体制等を構築していくことが望まれる。

また、アンサンブル予測降雨を用いて長時間先までの洪水予測を行っているが、線状降水帯をはじめ降雨の予測精度が低い気象現象もある。洪水予測情報を安心して活用するためには、これらの気象現象と洪水氾濫への発展の可能性についての分析も必要と考える。



図 4.2-17 防災・避難行動と長時間アンサンブル洪水予測結果



写真 4.2-1 江東五区広域避難推進協議会

(2) 広域洪水予測システム

リアルタイム版の広域洪水予測システムの活用事例として、熊本県人吉市にある人吉医療センターおよび清水建設、京都大学防災研究所との共同研究がある。

災害拠点病院が存在する地域が浸水被害を受けた場合、救急患者の受け入れや、医療スタッフの確保など、非常に難しいオペレーションが求められる。そのための準備としてタイムラインの整備と活用が不可欠であり、今回あらたに広域洪水予測システムのローカルな水位予測情報を参照にしたタイムラインを策定し、2度にわたる大規模な防災訓練が実施された。

具体的には、広域洪水予測システムを社会実装に結び付ける具体的な取り組みとして、人吉医療センター、清水建設、京都大学防災研究所が共同し、広域洪水予測システムを活用した水害タイムラインの策定を進め、実践的な防災訓練を実施した。

また、緊急対応する病院職員に対して円滑に洪水予測情報を提供するために、リアルタイムシステムの改良を加え、予測水位が事前に設定した水準にまで達することが予見された場合には自動でメールを配信するシステムを構築した。

図 4.2-18 は、前述の長時間洪水予測システムと広域洪水予測システムの社会実装の考え方を踏まえ、今後の取組のロードマップを示したものである。



図 4.2-18 長時間・広域洪水予測システムのロードマップ（再掲）

1)洪水の広域かつ詳細な予測

2)アンサンブル降雨予測を用いた長時間のアンサンブル洪水予測

SIP終了後

- 予測情報を、**水位／流量・氾濫・危険度**に分類
- 我が国の急峻な地形を反映した**高解像度（150m）の全国水文地形データ**の適用
- **降雨流出の物理過程を適切に表現したRRIモデル**による予測により**優位性は明確**

評価軸		評価対象								
		流域	流域	全国	全国	全球	全球	英国	米国（一部）	豪州
所管		SIP	国土交通省	SIP	気象庁	ECMWF	NASA	EU-CP	US RFC s	BoM
名称（略称）		長時間洪水予測システム	水害リスクライン	広域洪水予測システム（全国版RRI）	流域雨量指数	GloFAS	GFMS	EFAS	MMEFS	SDF
予測機能仕様 (数値・特徴)	予測時間	GEPS120時間・MEPS39時間	6時間	6時間	6時間	45日	4-5日	10日（中期予測）	1-7日	7日
	時間解像度	1時間	1時間	1時間	30分	1日	3時間	6時間	12時間	1日
	空間解像度	150m	200m	150m	1km	10km（氾濫1km）	1km	18km(中期)氾濫：100m	不明	10 km
	アンサンブルメンバ数	MEPS(21) GEPS(51)	1	1	1	51	1	51（中期）	42	51
	摘要	MEPS・GEPS	降水短時間予報	降水短時間予報	降水短時間予報	ECMWF	TMPA & IMERG	ECMWF（中期）	NAEFS	ECMWF
予測情報	水位・流量	○	○（幹川）	○（全河川）	X	△（流量のみ）	△（流量のみ）	△（流量のみ）	○	△（流量のみ）
	氾濫	○	X	○	X	○	○	○（簡易）	X	X
	危険度	○（基準水位超過確率）	○	○（流出高、水深比）	△（流域雨量指数）	△（流量確率年）	△（流量確率年？）	△（流量確率年）	○（基準水位超過確率）	△（流量確率年）

表 4.2-19 グローバルベンチマークの評価

4.3. 統合ダム防災支援システムの開発

4.3.1. 研究開発目標

「統合ダム防災支援システムの開発」では、あらゆる洪水に対して、長時間アンサンブル降雨予測による最適な事前放流とダム群の操作によって、最大限に治水効果を発揮しうるシミュレータを開発することで、スーパー台風などダムの計画規模を超えるような降雨流入時にもダムの容量を限界まで活用することを可能とし、それによりダム下流河川地域の生命・財産を守るとともに、逃げ遅れゼロを実現する技術を開発した。また、併せて水力発電の増大にも貢献できる技術を開発した。

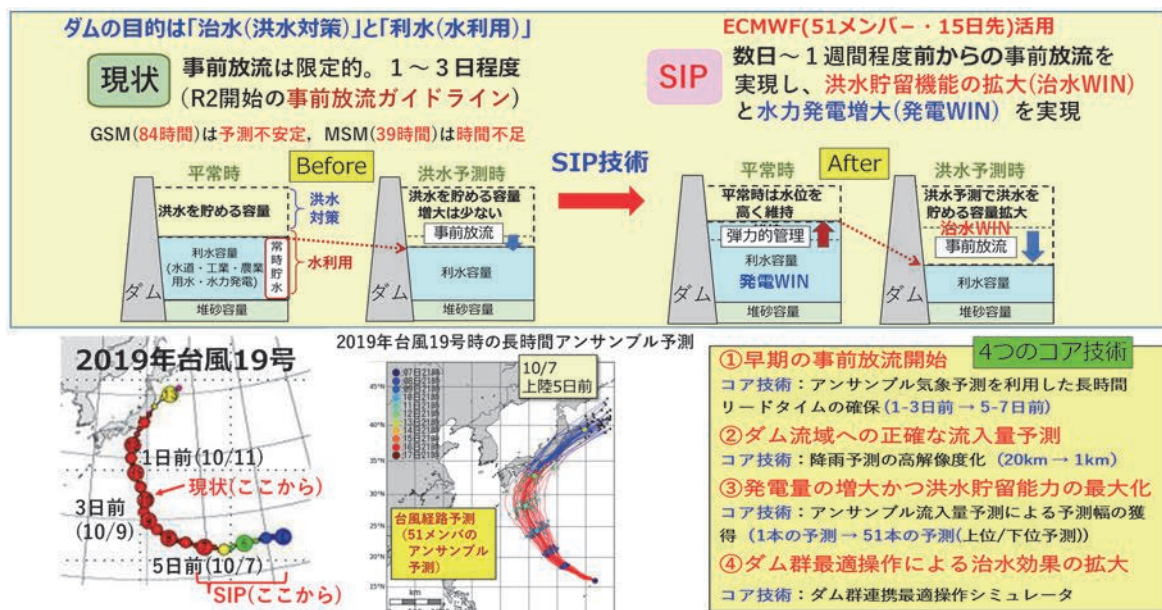


図 4.3-1 統合ダム防災支援システムの目指すところ

図 4.3-1 は、ダムの事前放流にかかる現状を示したものと、4つのコア技術により実現する技術を示す。

左上の図は、現状のダムの事前放流に係る図で、事前放流は事前放流ガイドラインのルールに則り、最大でも3日前から実施している状況にある。降雨の予測技術としては、GMS ガイダンス（84 時間）の予測は不安定であり、MSM ガイダンス（39 時間）予測では対応時間等が不足している。このため事前放流の効果は限定的であり、洪水予測が出た後に洪水を貯めるための容量の増大も効果が少ないという課題がある。

これらの課題を解決するため、今回開発した①早期の事前放流開始、②ダム流域への正確な流入量予測、③発電量の増大かつ洪水貯留能力の最大化、④ダム群最適操作による治水効果を拡大する4つのコア技術を開発した。この技術により、右上の図に示すように、より早くダムの事前放流を開始し、貯水位を下げ、洪水を貯める容量を増加させることで治水上のメリットを増加させることが可能となる。

また、発電事業者にも水力発電増大というメリットというものが生み出せるなど、カーボンニュートラルにも貢献できる技術として、社会実装を進めてきた。

4.3.2. 技術開発

(1) 長時間アンサンブル予測を用いた早期の事前放流

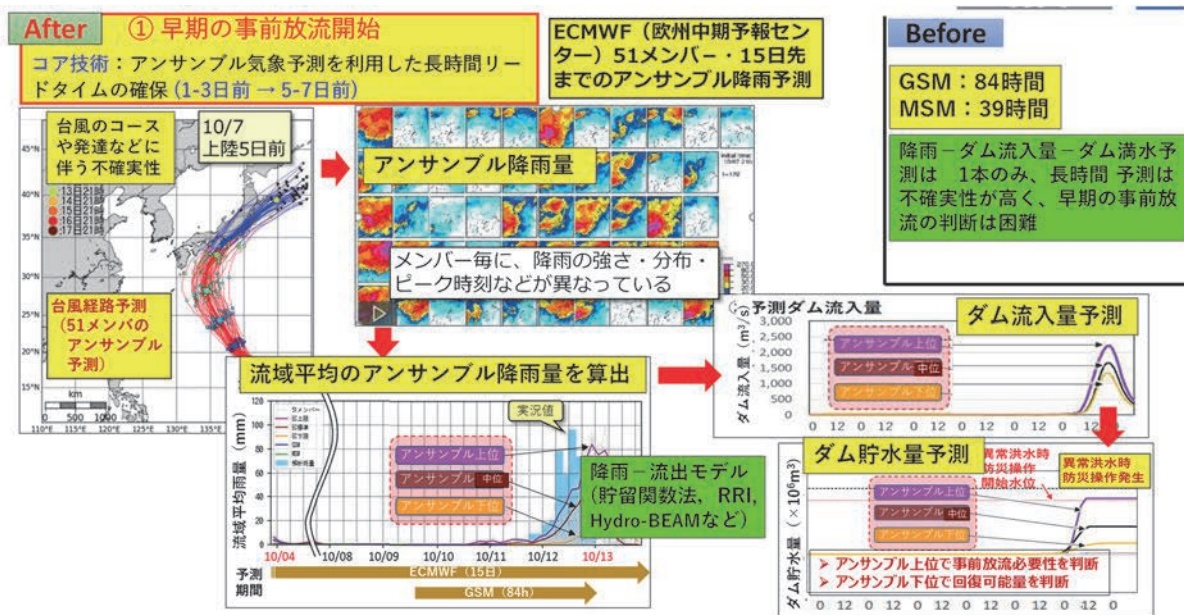


図 4.3-2 長時間アンサンブル予測 (東日本台風の事例)

図 4.3-2 は、早期の事前放流開始のための技術で、アンサンブル降雨予測を利用した長時間リードタイムを実現した技術である。アンサンブル降雨予測は、ECMWF (欧州中期予報センター) を用い最大 15 日先までに 51 メンバーの降雨予測データを得ることができる。

それら 51 メンバーの降雨予測は、降雨の強さや分布、ピーク時刻が異なるため、ダム流域における雨量の予測値と実績値との統計的な関係を明らかにし、アンサンブル降雨予測を高解像度かつ高精度に補正する技術を開発した。

さらに、ダムの事前放流判断に資する上位・中位・下位の雨量シナリオを作成し、防災操作で活用判断を支援する仕組みを開発した。

これらの開発技術は、ダムの事前放流運用モデルと連携することで、ダムの事前放流に係る治水安全度が向上する効果が見込まれる。

(2) ダム流域への正確な流入量予測

降雨高解像度化(東日本台風の事例)

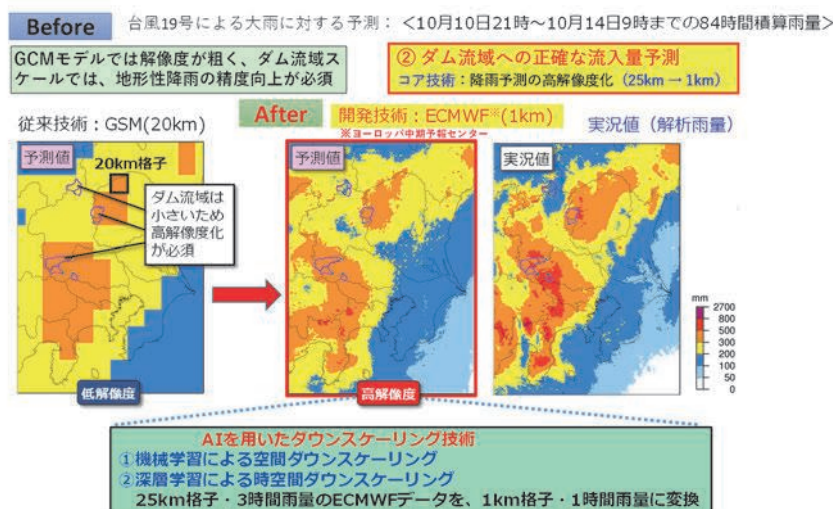


図 4.3-3 AI を用いた降雨予測高解像度化の事例

AIを用いたダウンスケーリング技術

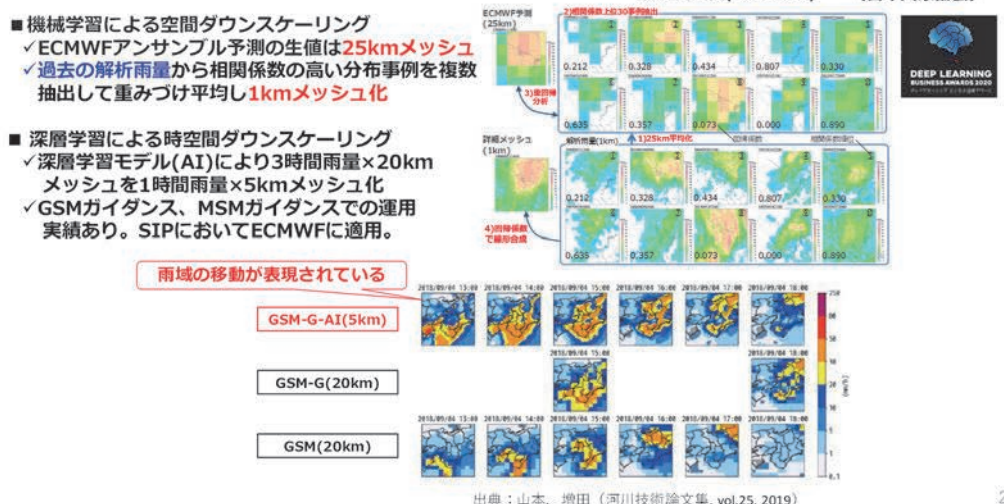


図 4.3-4 AI を用いたダウンスケーリング技術

図 4.3-3 は、ECMWF の降雨予測データにより高解像度化した事例である。84 時間先までの降雨予測モデルである GSM 予測モデルの 20 km メッシュであり、解像度が粗く、ダム流域スケールでは、地形性降雨の精度向上が必須であるため、AI 等を用いたダウンスケーリング技術により、15 日先まで 3 時間雨量×25km メッシュ ECMWF データを 1 時間雨量×1km メッシュに変換できる技術を開発した。これにより、より実況値に近い予測をすることで、ダム流域への正確な流入量予測を実現したものである。

図 4.3-4 は、ダウンスケーリング技術の詳細を示したものであり、機械学習による空間ダウンスケーリングを用いて、25km メッシュを過去雨量から相関係数の高い分布事例を複数抽出して重みづけ平均し 1km メッシュ化を実現している。

また、深層学習による時空間ダウンスケーリングは、深層学習モデルにより 3 時間雨量×20km メッシュを 1 時間雨量×5km メッシュ化する技術を実現している。

長時間アンサンブル予測の必要性（木津川ダム総合管理事務所の実測例）

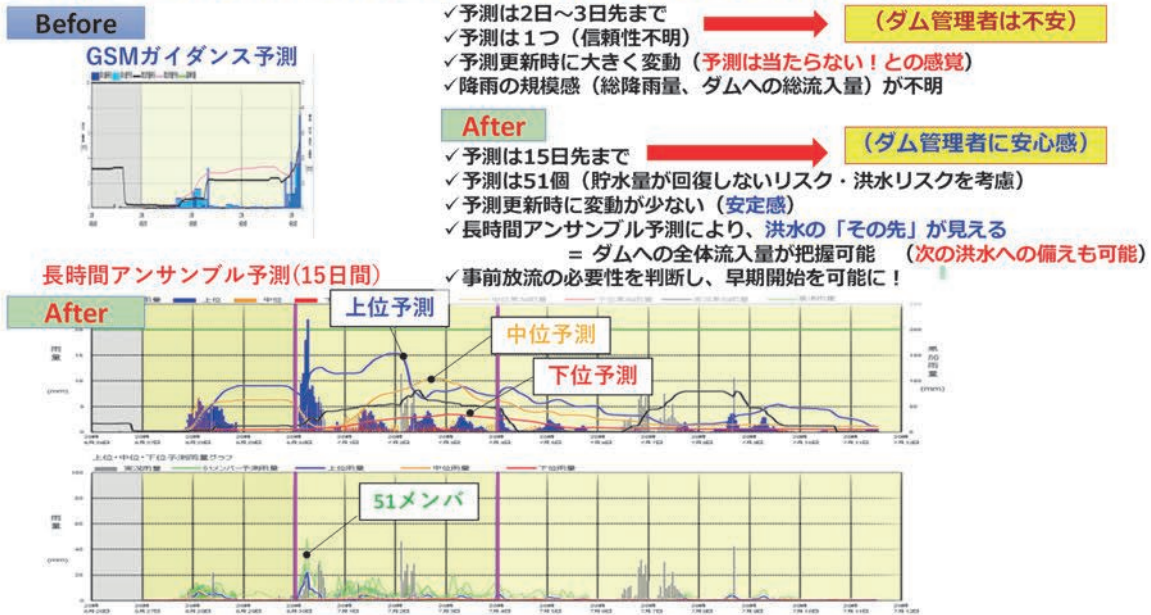


図 4.3-5 長時間アンサンブル予測の必要性（木津川ダム総合管理事務所の実測例）

図 4.3-5 は、開発した長時間アンサンブル降雨予測の重要性を示すものである。従来は、予測は2日～3日先までとなり、予測は1つで予測更新時には大きく変動することがあり、降雨の規模感（総降雨量、ダムへの総流入量）に課題があった。

開発した長時間アンサンブル降雨予測の技術は、15日先まであり、降雨予測は51メンバーで、貯水量が回復しないリスクおよび洪水リスクを考慮しながら、洪水の「その先」が見えることで、ダムへの全体流入量が把握可能となった。

この技術により、事前放流の必要性を判断し、早期開始を実施することが可能となったものである。

(3) 洪水調節能力の最大化かつ発電量の増大

アンサンブル事前放流の提案（東日本台風の事例）

■ ダム事前放流への適用性検証（利根川水系Aダム）

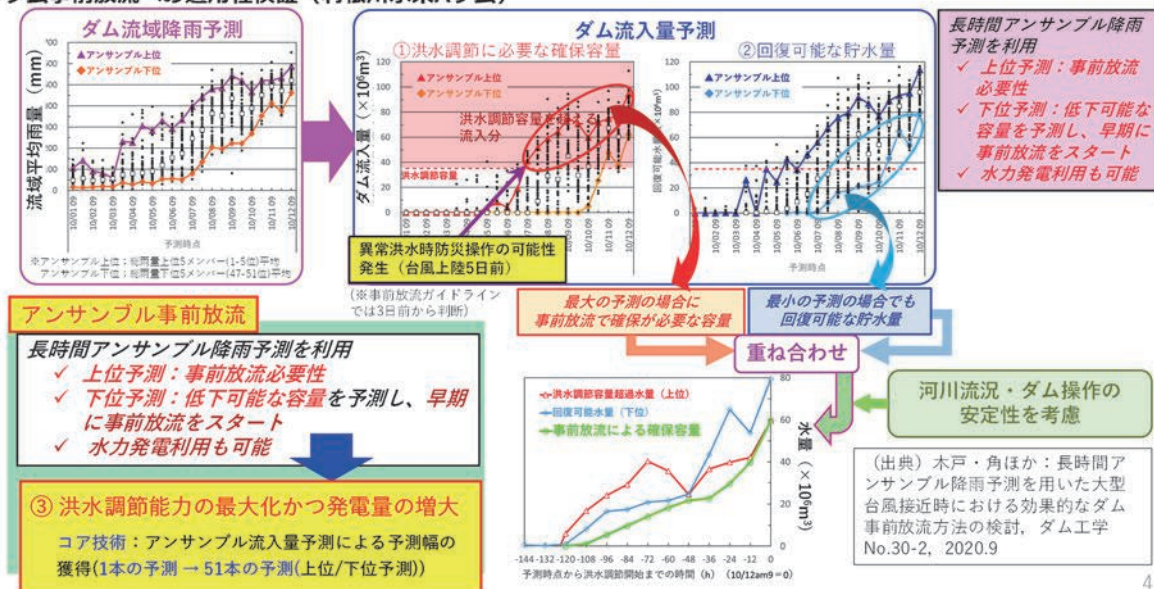


図 4.3-6 洪水調節能力の最大化かつ発電量の増大（令和元年東日本台風の事例）

図 4.3-6 は、令和元年東日本台風を事例にダム事前放流への適用性検証・分析したものである。事前放流ガイドラインでは3日前から判断となるが、長時間アンサンブル降雨予測を活用した場合、台風上陸5日前より、異常洪水時防災操作の発生の可能性を示している。51メンバーの予測を上位・中位・下位に分けることで、上位予測は事前放流で確保が必要な容量を計算しつつ、下位予測では回復可能な貯水量を判断しながら、河川流況を考慮しつつ、ダム防災操作を安定的に実施することができる。

この技術により、早期に事前放流のスタートが可能となり、早期に放流することで、ダムからゆっくりと放流することができるため水力発電の活用も併せて無効放流を減らすことも可能となる。

(4) ダム群最適操作による治水効果の拡大

ダム群連携最適操作シミュレータの開発

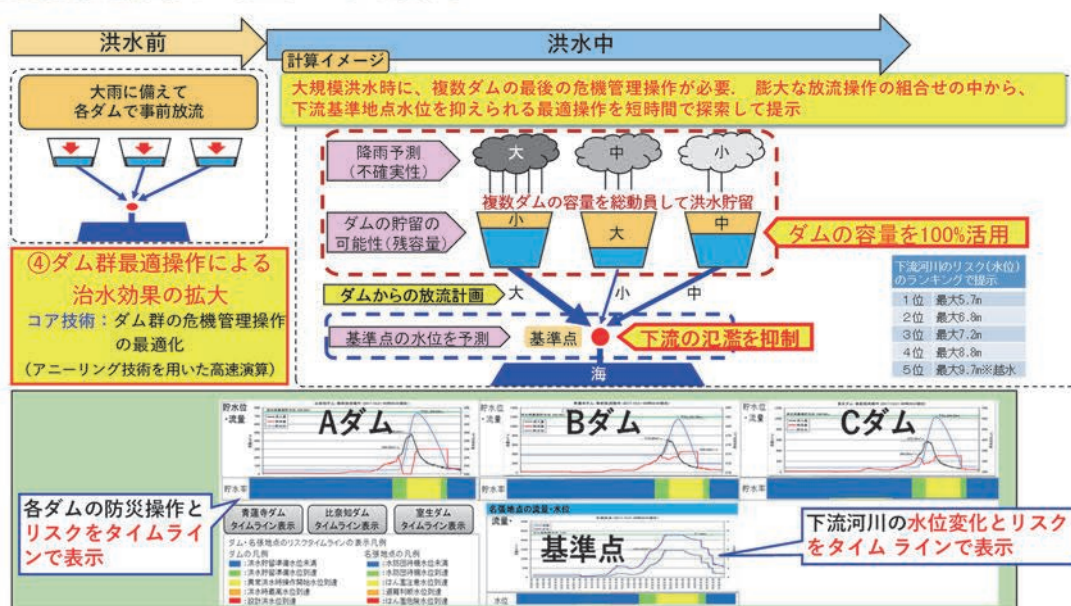


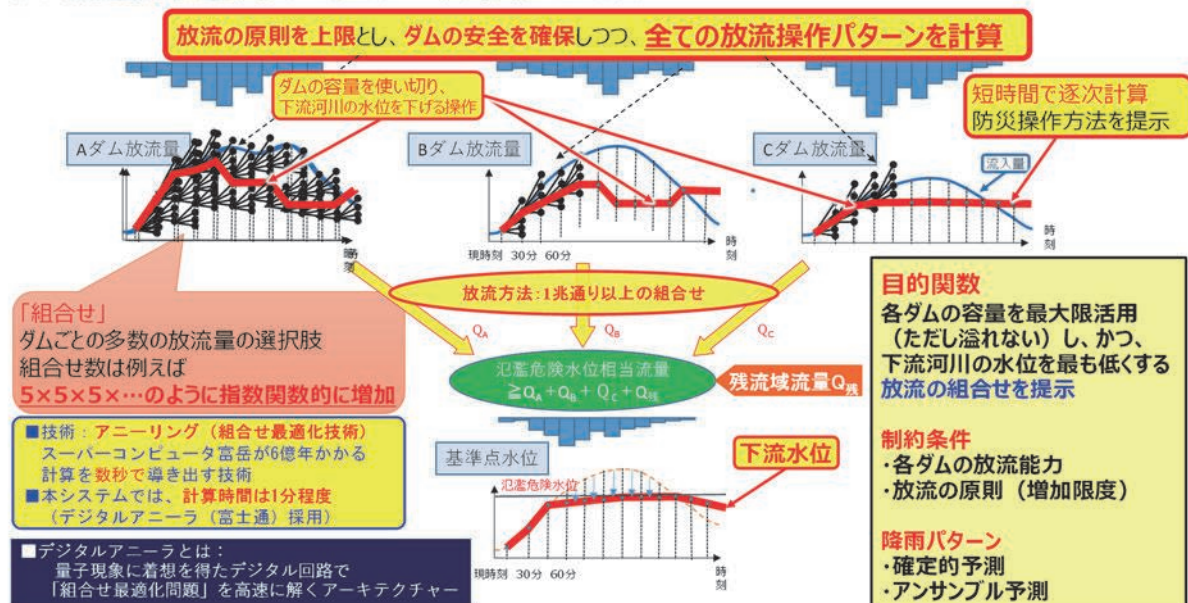
図 4.3-7 ダム群連携最適操作シミュレータの開発

図 4.3-7 は、木津川ダム群と荒川上流ダム群で運用しているダム群最適操作シミュレータの概念を示したものである。このシミュレータは、洪水中に活用することを前提に開発したもので、大規模洪水時に、複数ダムの最後の危機管理操作が必要な場合に、膨大な放流操作の組合せの中から、下流基準地点水位を抑えられる最適操作を数分で探索して具体的な防災操作を提示するものである。

ダム群においては、それぞれのダムの降雨予測の不確実性と、ダム貯水池の残容量を考慮しながら、ダムの貯水池容量を限界まで活用しつつ、ダムからの放流計画を作成し、下流の氾濫を抑制するための水位を予測している。

図 4.3-8 に示す通り、この技術は、量子現象に着想を得たデジタル回路で「組合せ最適化問題」を高速に解くアニーリング技術を用いた高速演算で実現したものである。目的関数としては、各ダムの容量を最大限活用し、かつ、下流河川の水位を最も低くする放流の組合せを提示するもので、制約条件として、各ダムの放流能力、放流の原則、降雨パターン（確定的予測とアンサンブル予測）により、ダムの安全を確保しつつ、天文学的な組み合わせとなる全ての放流操作パターンを計算する。

ダム群連携最適操作シミュレータ計算プロセス



6

図 4.3-8 ダム群連携最適操作シミュレータ計算プロセス

(5) 技術開発の達成度

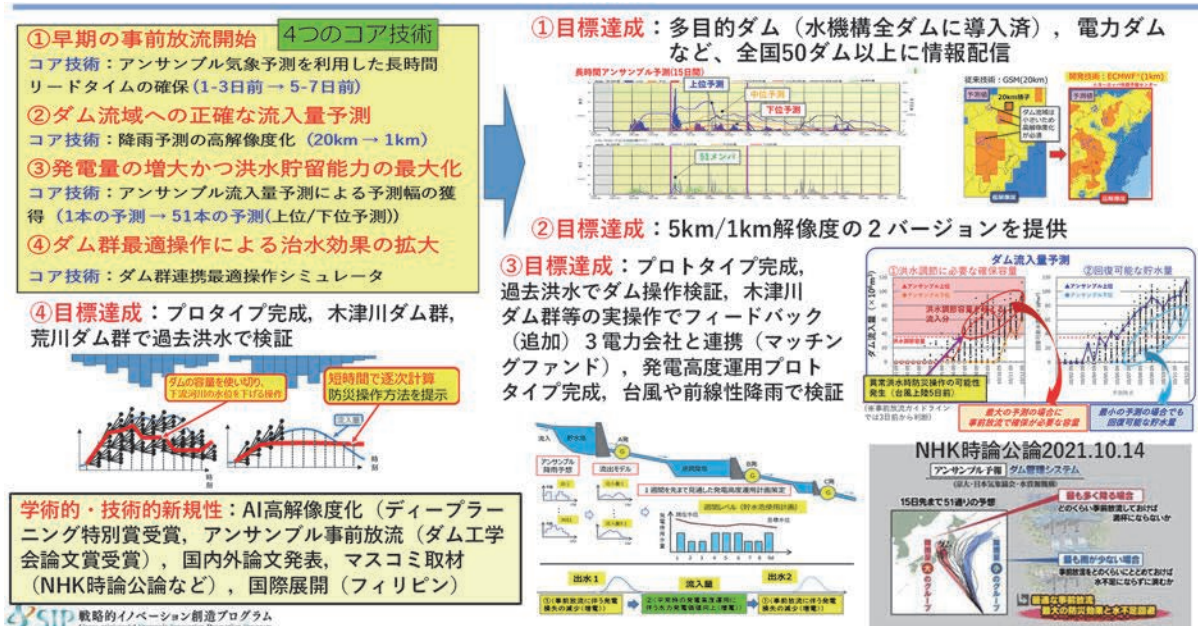


図 4.3-9 統合ダム防災支援システムの研究達成状況

図 4.3-9 は統合ダム防災支援システムの研究達成状況を示したものである。

到達点としては、①早期の事前放流開始のためのアンサンブル降雨予測については、80 ダム以上に活用をいただいている状況にある。さらに、

②ダム流域への正確な流入量予測として ECMWF の提供データである 20 kmメッシュを 1 kmメッシュまでダウンスケーリングできる高度な活用技術も実現している。③発電量の増大かつ洪水貯留能力の最大については①の技術を活用して多目的ダム、発電ダムの運用も高度化するプロトタイプのシステムにより、実証もできている。さらに④ダム群最適操作による治水効果の拡大として、荒川上流ダム群、木津川ダム群の統合管理のためのダム群連携最適操作シミュレータを開発して社会実装に繋げている。

また、技術を開発するだけでなく、このような技術があるということを積極的に広めるため、昨年 10 月にNHKの「時論公論」で取り上げられたのが、この右下の図となる。

(6) 長時間アンサンブル予測の導入ダム

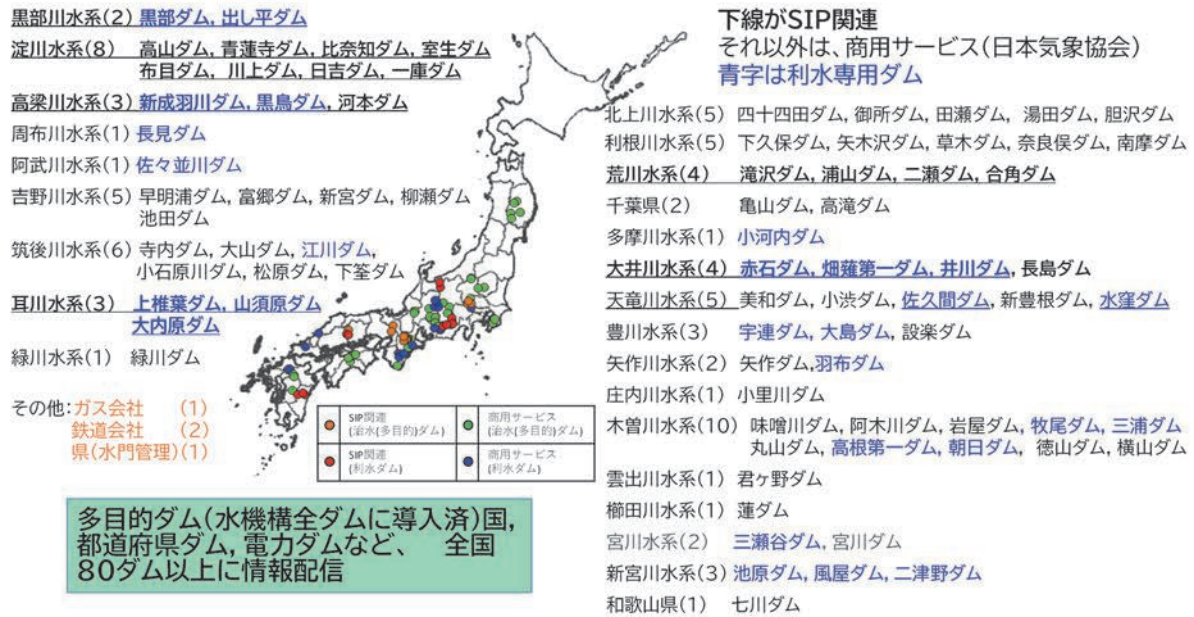


図 4.3-10 長時間アンサンブル予測導入ダム

図 4.3-10 に開発した長時間アンサンブル降雨予測を導入している 80 ダムの名称を示す。

このように全国の水系にデータとして配信されており、太字のものが今回開発した技術を直接的なデータとして配信されているものであり、細字のところは商用サービスという形で、データを使用いただいている。黄色の箇所は以降に具体的な成果を示す。

(7) 活用事例（木曽川・岩屋ダム）

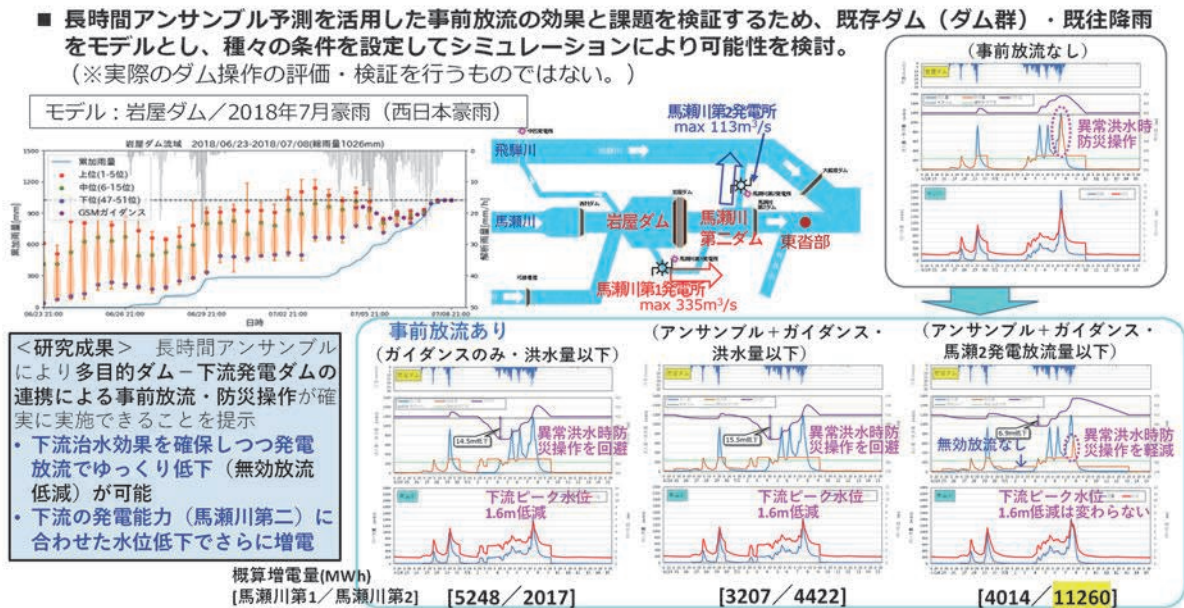


図 4.3-11 長時間アンサンブル予測を用いた事前放流効果の検証（木曽川・岩屋ダム）

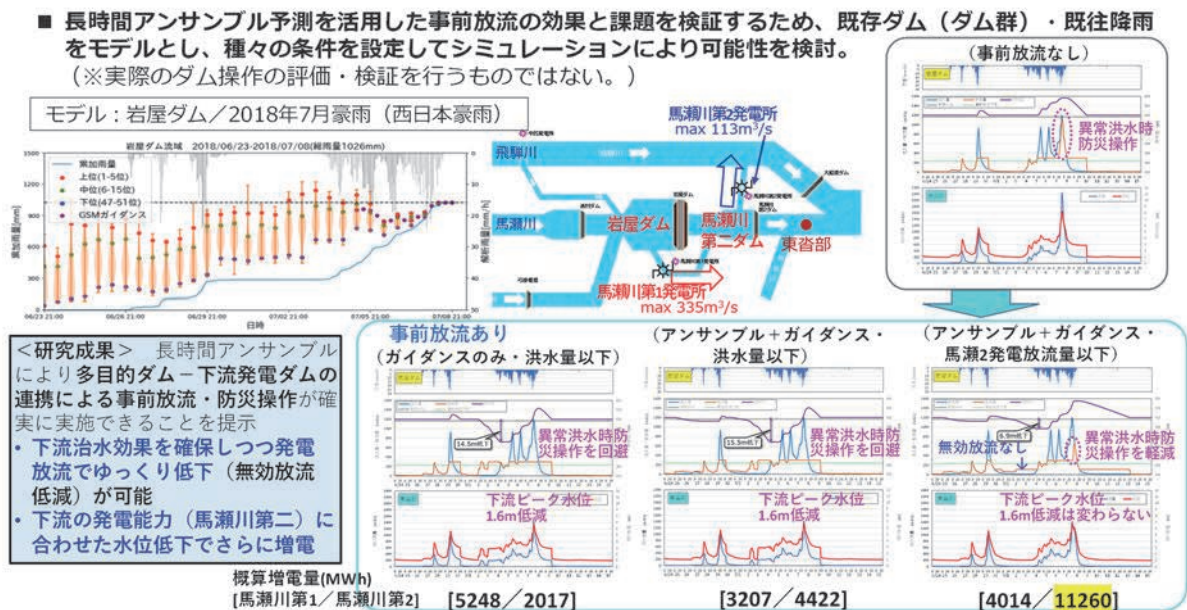


図 4.3-11 は、木曽川の岩屋ダムにおけるダムの発電と治水の面のメリットを確認するため、右下の図に、事前放流しない場合のケース、従来の気象庁のガイダンス予測だけで事前放流を実施するケース、アンサンブル降雨予測を組み合わせる事前放流を実施するケースにおいて、治水と発電上のメリットの差分を算出して比較したものである。

この事例は全国に多数存在するパターンであるが、大きなダムの水位を下げるために、どのような設備を使用するとメリットがあるかを確認するために、検証したものである。効果としては、発電を最大化して使うことが最も良いが、実際には発電施設は上流ダム側の発電の最大

使用水量が下流よりも大きいケースが多数ある。揚水発電している場合などがその事例となる。岩屋ダムの場合も同様であり、岩屋ダムから大きい流量で放流すると、下流の発電では、かなり無効放流が発生する。

そのため、下流では放流量を小出しにしながら、上流側の大きなダムの水位を下げていくということが非常に有効な発電として活用できることが判明した。

岩屋ダムのシミュレーションにおいてアンサンブル降雨予測で事前放流を早期に実施した場合、右下図に示す通り無効放流が発生することなく、下流の発電のメリットが出ていることが明確に示された。

この事実は、電力会社とさまざまな議論をしている中で、共通して大きなメリットがあるといえる部分である。

(8) 発電ダムの高度運用（電力会社との共同研究）

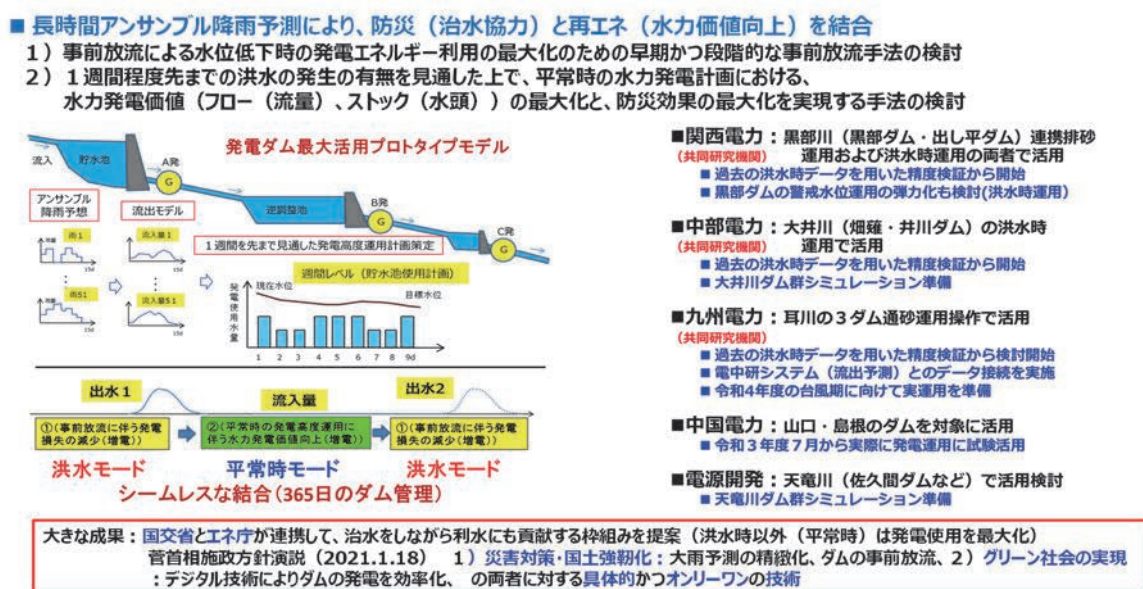


図 4.3-12 発電ダムの高度運用（電力会社との共同研究）

図 4.3-12 は、発電ダムの高度運用のために、長時間アンサンブル降雨予測を活用した防災と水力価値向上をシームレスに結合するために開発した発電ダム最大活用プロトタイプモデルのイメージである。

このモデルでは 1 週間先までの発電高度運用計画を策定し、1 週間単位の貯水池使用計画を策定し、洪水の発生状況を長時間アンサンブル降雨予測で見通しながら、平常時の水力発電計画における、水力発電価値の最大化と、防災効果の最大化の両方を実現する手法の検討を電力会社と共同で実施したものである。

(9) 活用事例（電源開発佐久間ダム）

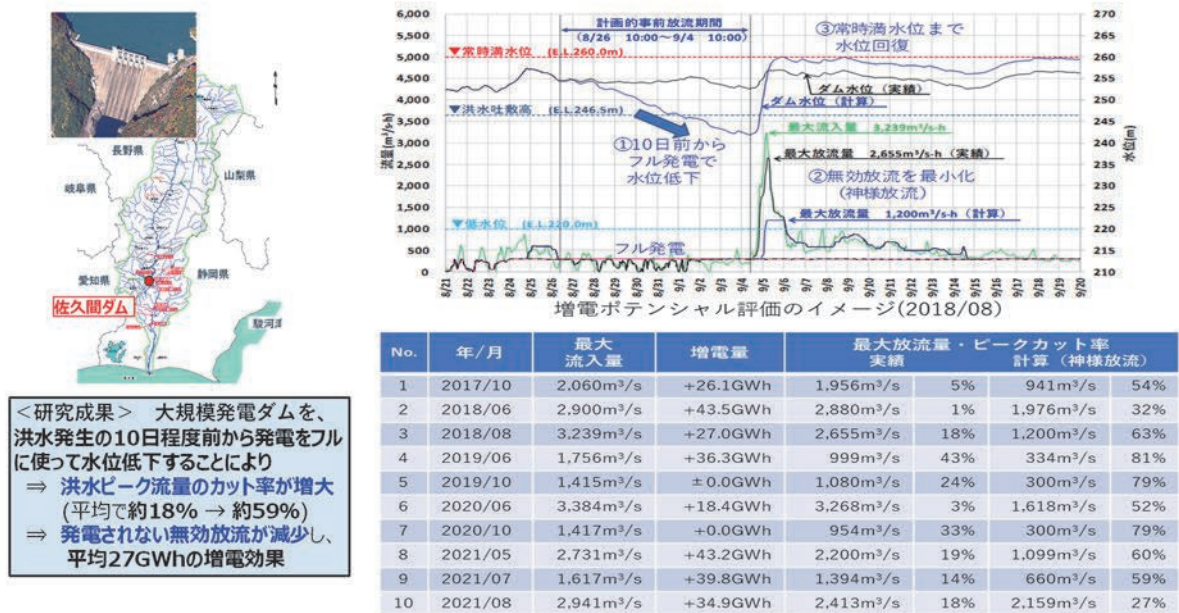


図 4.3-13 佐久間ダムの事前放流による洪水調節効果と増電量（電源開発）

図 4.3-13 は、電源開発の天竜川の佐久間ダムの事例であるが、このような大規模発電ダムにおいては、洪水発生の日10日程度前から発電をフルに使うことで水位低下することにより、洪水ピーク流量のカット率が増大し、発電されない無効放流が減少し、増電効果を得られている。これは、図の右下の表に示すように過去の洪水で検証したものである。

(10) 活用事例（大井川水系）

- 分布型降雨流出氾濫解析（RRI）モデルに事前放流～洪水調節～後期放流を行うダムを縦列に組み

＜研究成果＞ 前期降雨があると大規模縦列ダム（畑薙第一、井川ダム）の事前放流が不完全になり、7日前から発電最大使用水量で事前放流(7-100)すれば大きな貯水量が確保可能であることを示した。

- 3日前からの事前放流(3-100)よりも各ダムでピーク放流量が減少し、長島ダムの異常洪水時防災操作を回避
- 無効放流量も最大10%低減し、下流発電系統を含めて増電に貢献

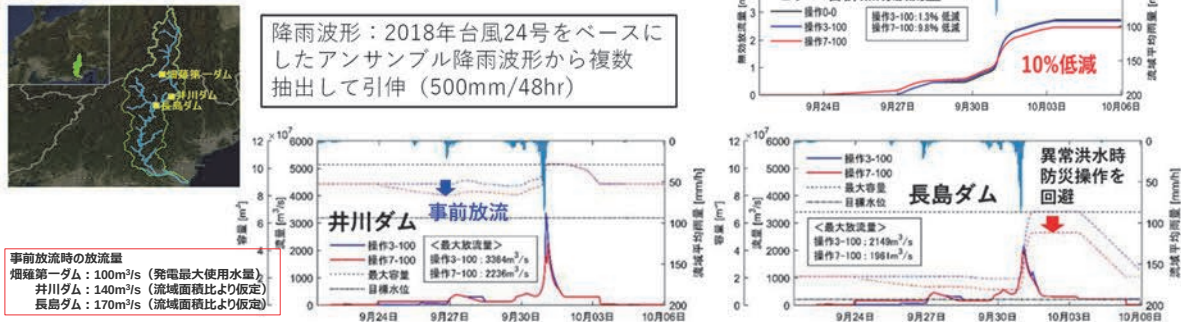


図 4.3-14 大井川水系の縦列ダムの事前放流と洪水調節効果

図 4.3-14 は、大井川水系の縦列ダムの事前放流と洪水調節効果を確認したものである。これは、分布型降雨流出氾濫解析（RRI）モデルに事前放流～洪水調節～後期放流を行うダムを縦列に組み込み、シミュレーションを実施したものである。

事前放流時の放流量は、畑薙第一ダムは最大使用水量（100m³/s）、井川ダム、長島ダムは畑薙第一ダムに対する流域比よりそれぞれ 140m³/s、170m³/s と仮定した。

前期降雨があると大規模縦列ダム（畑薙第一、井川ダム）の事前放流が不完全になり、7日前から発電最大使用水量で事前放流すれば大きな貯水量が確保可能であることを示している。

効果として、3日前からの事前放流よりも各ダムでピーク放流量が減少し、長島ダムの異常洪水時防災操作を回避し、さらに無効放流量を最大 10%低減するなど、下流発電系統を含めて増電に貢献できる可能性を示す結果を得ている。

(11) 活用事例（九州電力耳川におけるダム通砂）

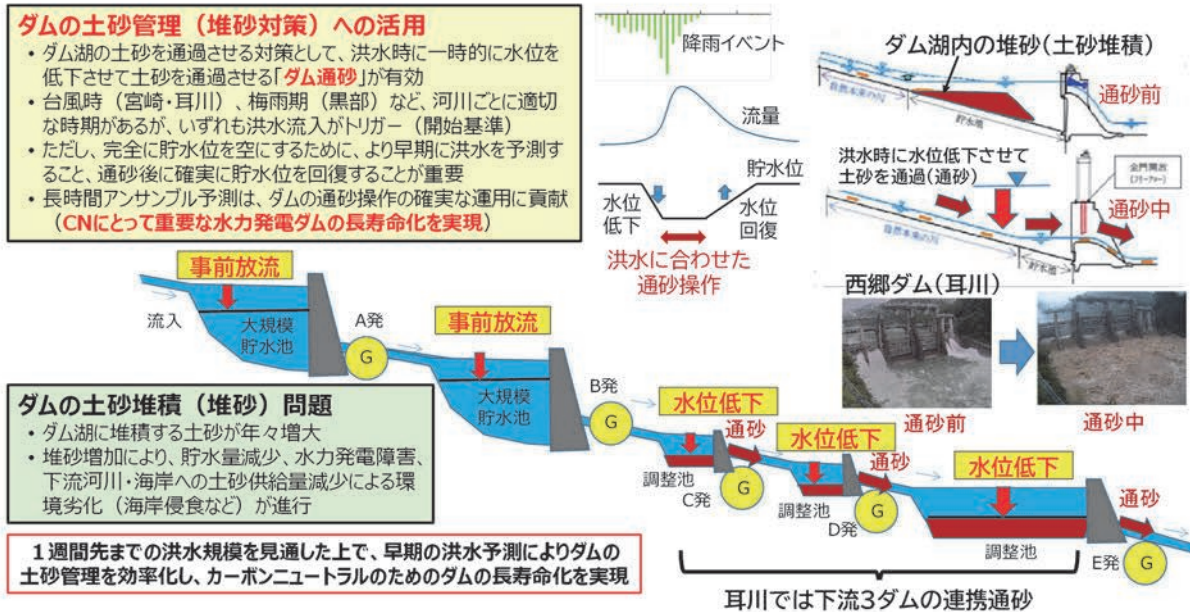


図 4.3-15 ダムの土砂管理（堆砂対策）への活用

図 4.3-15 は、ダムの土砂堆積（堆砂）問題を解決するための長時間アンサンブル降雨予測を活用するための概念を示したものである。ダム湖では堆積する土砂が年々増大し、貯水量減少、水力発電障害、下流河川・海岸への土砂供給量減少による海岸侵食などの環境劣化が進行している。

そのため、上流域におけるダムの堆砂対策としての土砂管理に開発した技術を活用するものである。具体的には、ダム湖の土砂を通過させる対策として、洪水時に一時的に水位を低下させて土砂を通過させる「ダム通砂」が有効であり、台風時、梅雨期など、河川ごとに適切な時期を考慮しつつ、洪水流入を開始基準として通砂を実施する。

ただし、実施にあたっては、完全に貯水位を空にするために、より早期に洪水を予測すること、通砂後に確実に貯水位を回復することが重要であり、長時間アンサンブル降雨予測を用いることにより、ダムの通砂操作の確実な運用に貢献しつつ、重要な水力発電ダムの長寿命化を実現することができる。

このように、1週間先までの洪水規模を見通した上で、早期の洪水予測によりダムの土砂管理を効率化し、カーボンニュートラルのためのダムの長寿命化を実現することも可能となる。

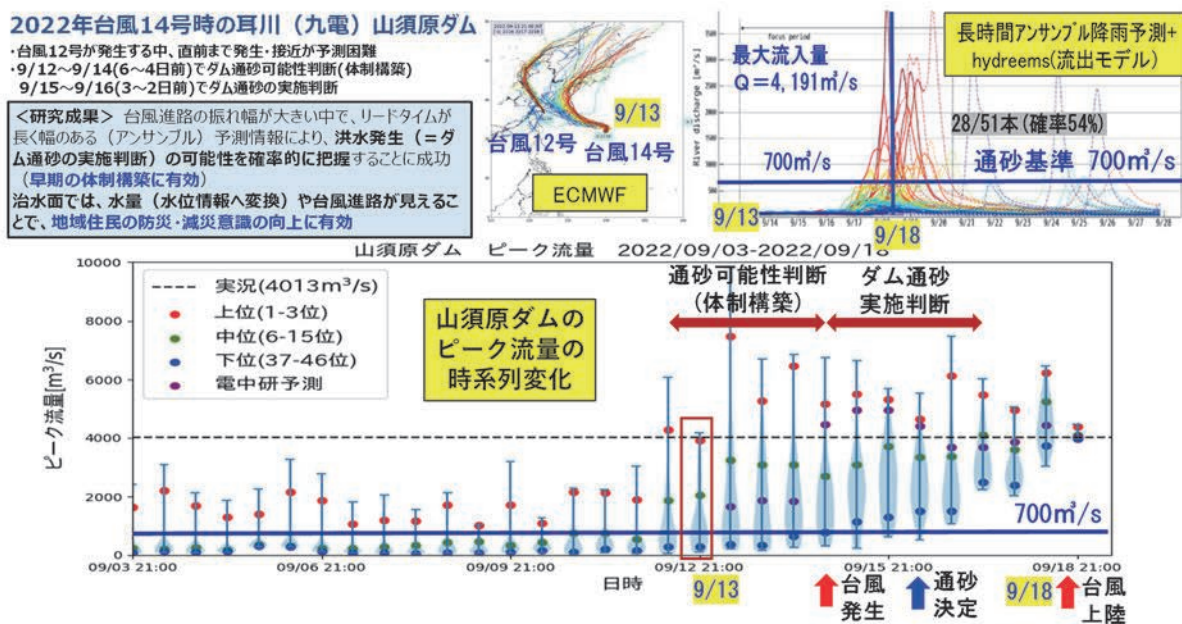


図 4.3-16 2022 年台風 14 号時の耳川（九州電力）山須原ダム活用事例

図 4.3-16 は、耳川（九州電力）山須原ダム活用事例で、2022 年の台風 12 号と 14 号における予測情報の実際の状況であり、台風 12 号に追従するように台風 14 号が来襲し、宮崎県で大雨となったものである。

山須原ダムでは洪水の予測と、水位を下げてダムに溜まった土砂を出すという通砂という特殊な操作を実施している。通砂の基準は $700\text{m}^3/\text{s}$ の流量が実際に流入するかしらないかで判断し、治水面ではどれぐらいの規模の流入量が実際に来るのかという操作上 2 つの縛りがある。

開発した長時間アンサンブル降雨予測では、9 月 18 日から遡ること概ね 5 日前に実際に $700\text{m}^3/\text{s}$ を超えるものが約 50% を超えるというようなデータであった。それから、最大の流入量は実績が $4,000\text{m}^3/\text{s}$ であり、この段階でアンサンブル降雨予測において最大流入量がほぼ $4,000\text{m}^3/\text{s}$ という予測を得ている。

これらのデータは実際に九州電力で使用されていて、洪水の早期察知と、通砂をどれぐらいの確率で実施する必要があるかということの判断に活用され、さらに宮崎県や関係自治体等と情報共有がなされた状況であり、長時間アンサンブル降雨予測を非常に有効に活用できた事例と考えられる。

(12) 活用事例（水資源機構）

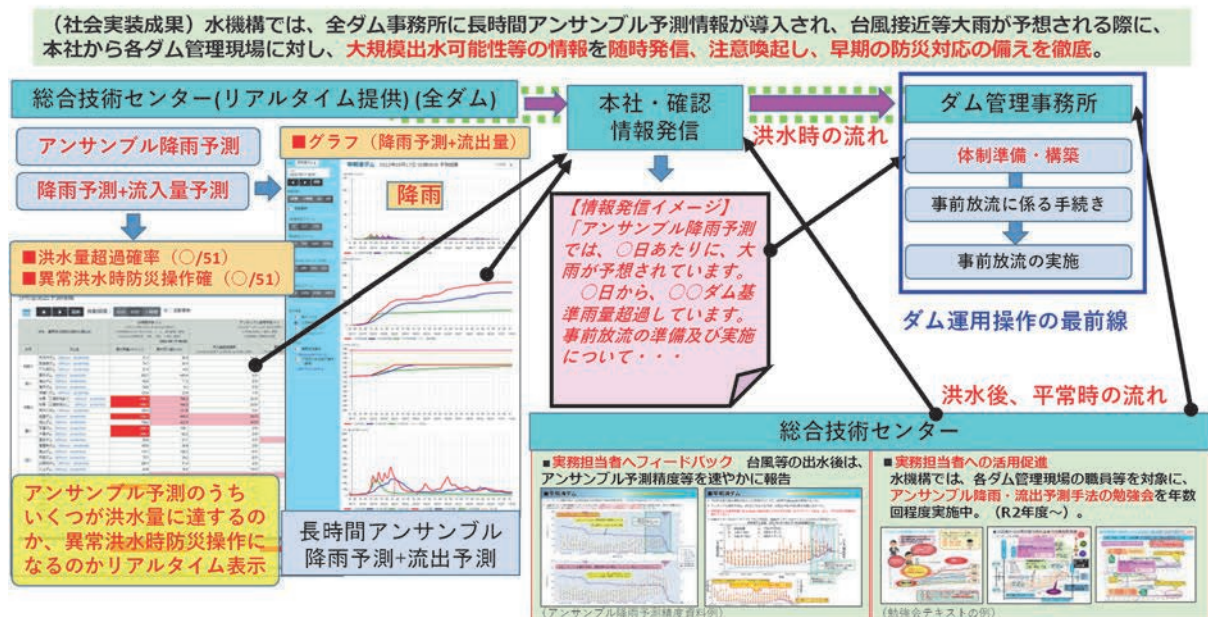


図 4.3-17 長時間アンサンブル予測の活用（水資源機構ダム管理所）

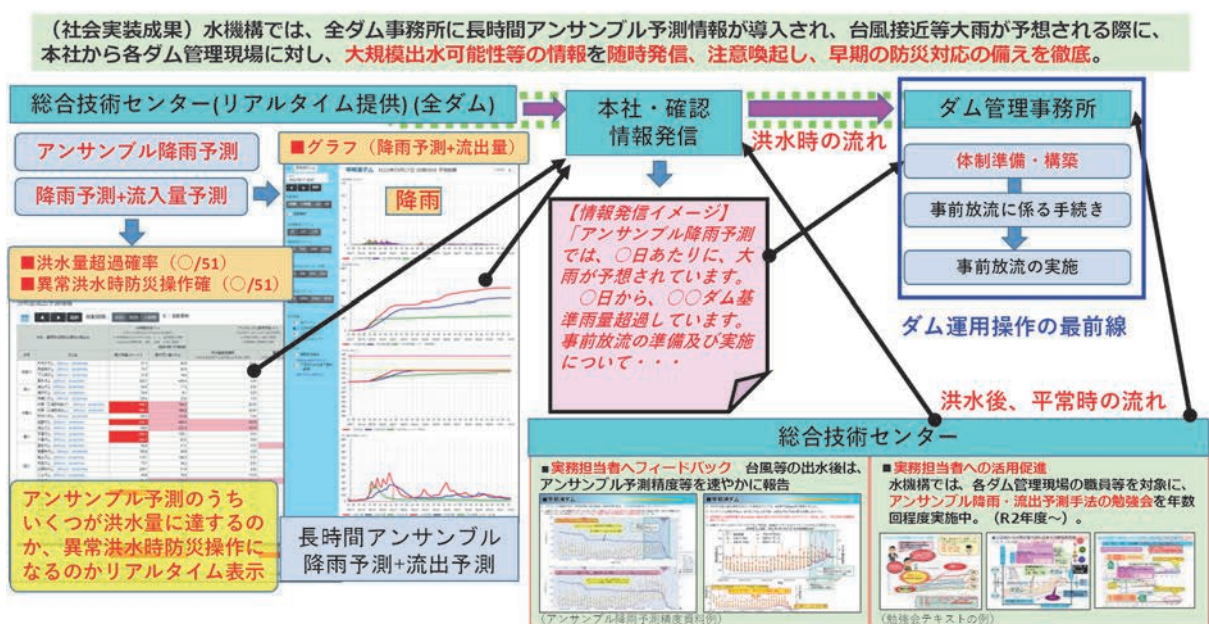


図 4.3-17 は、水資源機構における長時間アンサンブル降雨予測の社会実装状況を示すものである。水資源機構では、全ダムに長時間アンサンブル予測情報が導入され、台風接近等大雨が予想される際に、本社から各ダム管理事務所に対し、大規模出水可能性等の情報を随時発信、注意喚起し、早期の防災対応の備えを徹底している。また、台風等の出水後は、アンサンブル降雨予測精度等を速やかに報告するなど、連携体制が構築されている。

4.3.3. 社会実装

(1) ダムの分類に応じた社会実装の展開



図 4.3-18 ダムの分類に応じた社会実装の展開

図 4.3-18 は全国のダムにおいて、今後どのような情報を提供していくのがよいのかをカテゴリー分けしたものである。なお現在は、ダム流域以外も含む全 72 流域、全国 80 ダム以上に長時間アンサンブル降雨予測を提供しているが、小規模からダム群まで、バランスを取りながら導入を進めてきている。

(2) 社会実装ロードマップ

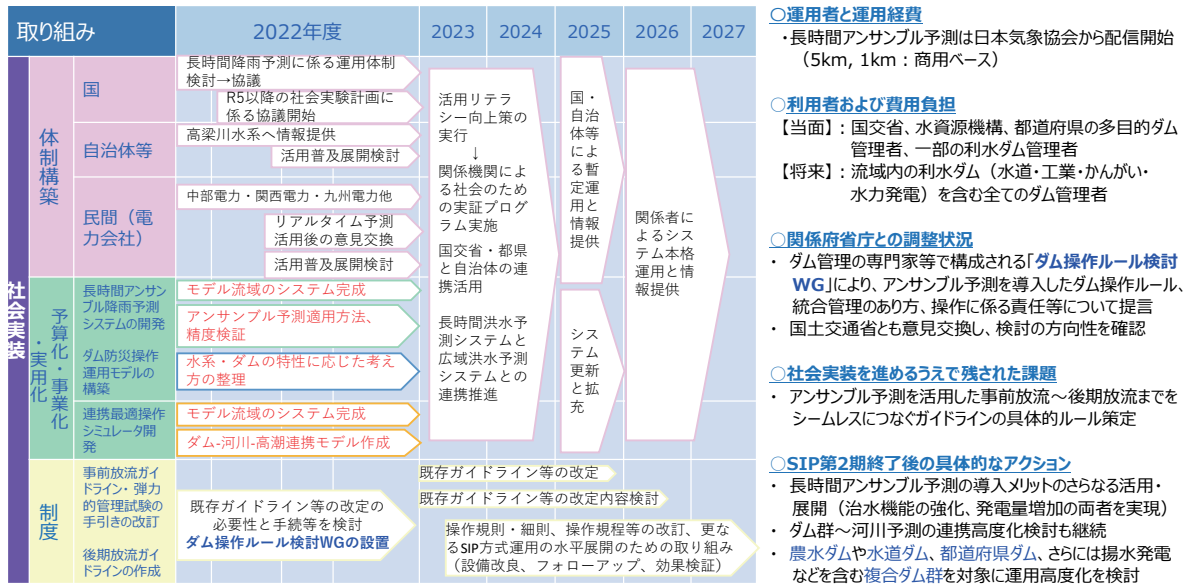


図 4.3-19 統合ダム防災支援システム 社会実装ロードマップ

図 4.3-19 は、社会実装ロードマップを示すものである。社会実装の本格化するためには、多くの課題を解決しながら、具体的なアクションと関係機関との調整が必要である。ダムの操作は大きな責任を伴うため、メリットを最大化することと、それからデメリットあるいはリスクを最小化するという両方のベクトルが極めて重要である。

そのため、ダム操作ルールの検討ワーキングを構築し、議論を尽くしたものである。これらのアクションは関係機関とともに SIP 以降も継続的に実施すべき事項である。

SIPダム操作ルール検討WG（社会実装のための検証とルール策定に向けてのプロセス）

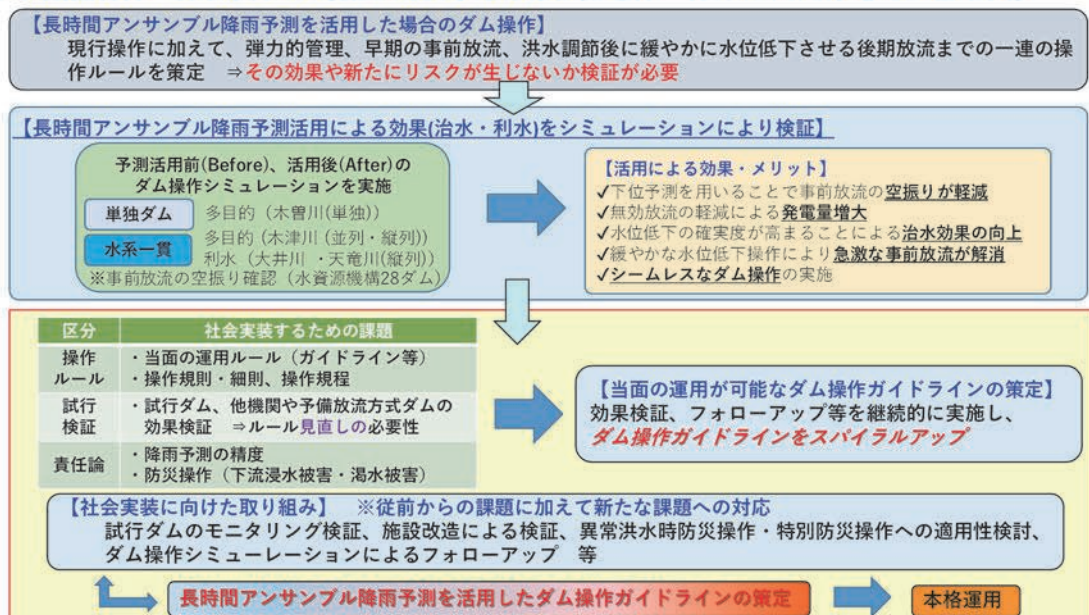


図 4.3-20 社会実装を実現するためのマネジメント体制

図 4.3-20 は検討ワーキングの検討プロセスの概要を示したものであり、これまで示した治水効果や増電効果等にかかる具体的な社会実装に向けてのメリットや課題を整理している。

ダム操作をどう変えるのか【多目的ダム(制限水位方式)】 (Before)

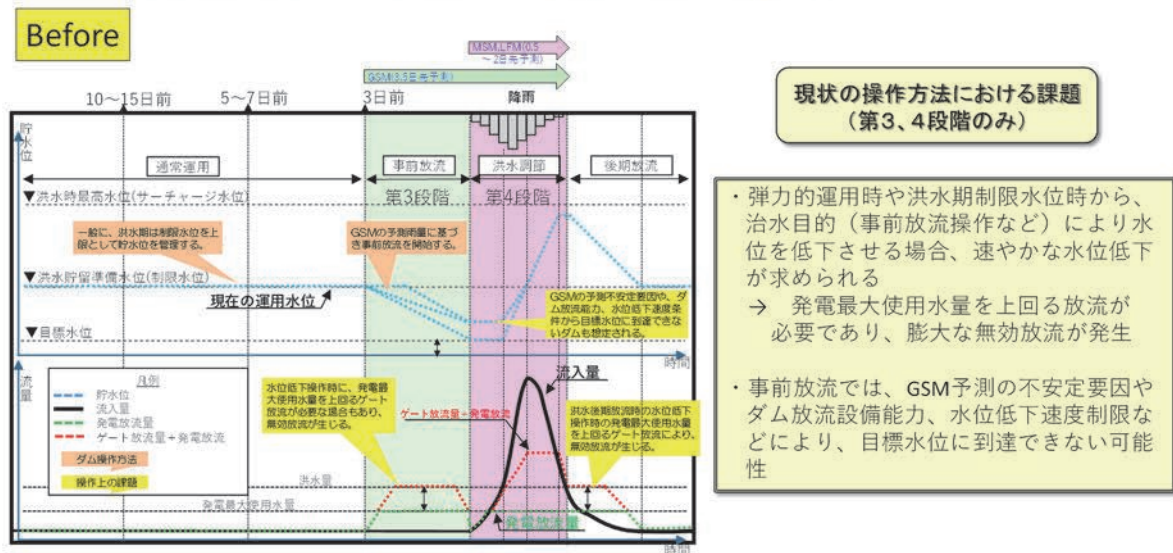


図 4.3-21 多目的ダム(制限水位方式)における現状

ダム操作をどう変えるのか【多目的ダム(制限水位方式)】 (After)

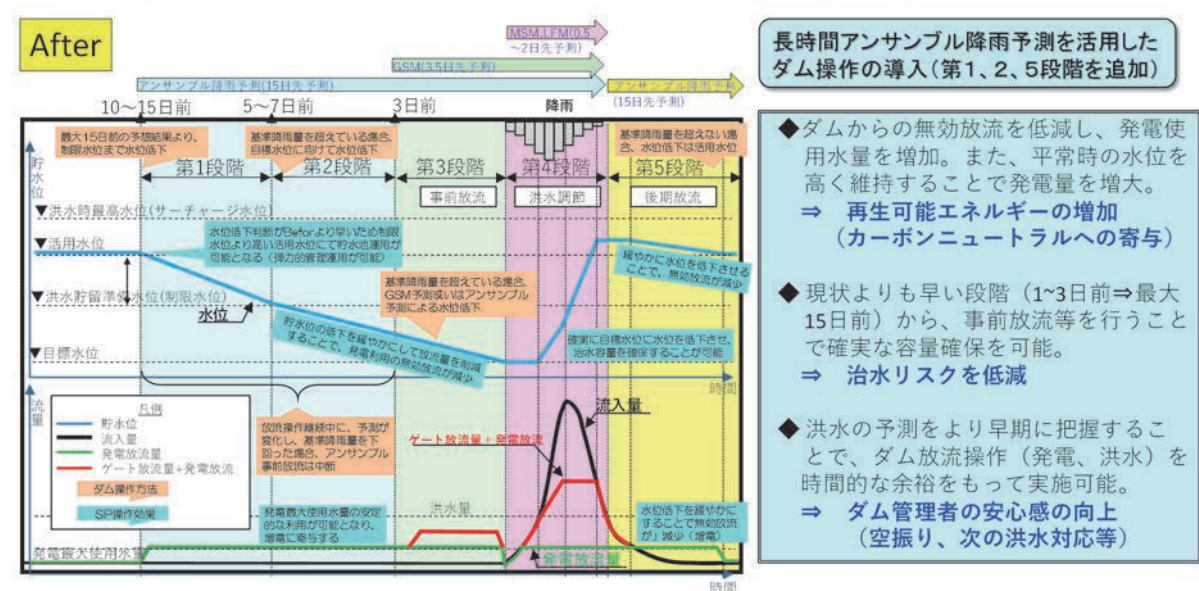


図 4.3-22 多目的ダム(制限水位方式)における今後

図 4.3-21 は、現状の多目的ダムの運用を示したものである。弾力的運用時や洪水期制限水位時から、治水目的（事前放流操作など）により水位を低下させる場合、速やかな水位低下が求められるが、急激な放流は発電最大使用水量を上回る放流が必要であり、膨大な無効放流が

発生する。また、事前放流では、GSM 予測の不安定要因やダム放流設備能力、水位低下速度制限などにより、目標水位に到達できない可能性もある。

それらを解決するために、図 4.3-22 に示す通り長時間アンサンブル降雨予測により開発した技術を活用する。この技術により、ダムからの無効放流を低減し、発電使用水量を増加させることができる。また、平常時の水位を高く維持することで発電量の増大につながり、再生可能エネルギーの増加により、カーボンニュートラルにも貢献できる。

治水リスクとしては、これまでよりも早い段階（1～3 日前⇒最大 15 日前）から、事前放流等を行うことで確実な容量確保を可能となり、治水リスクを低減することができる。また、洪水の予測をより早期に把握することで、ダム放流操作（発電、洪水）を時間的な余裕をもって実施可能となり、態勢と関係者との調整も含めダム管理者の安心感の向上につながる。

ダム操作をどう変えるのか【利水ダム（電力）】

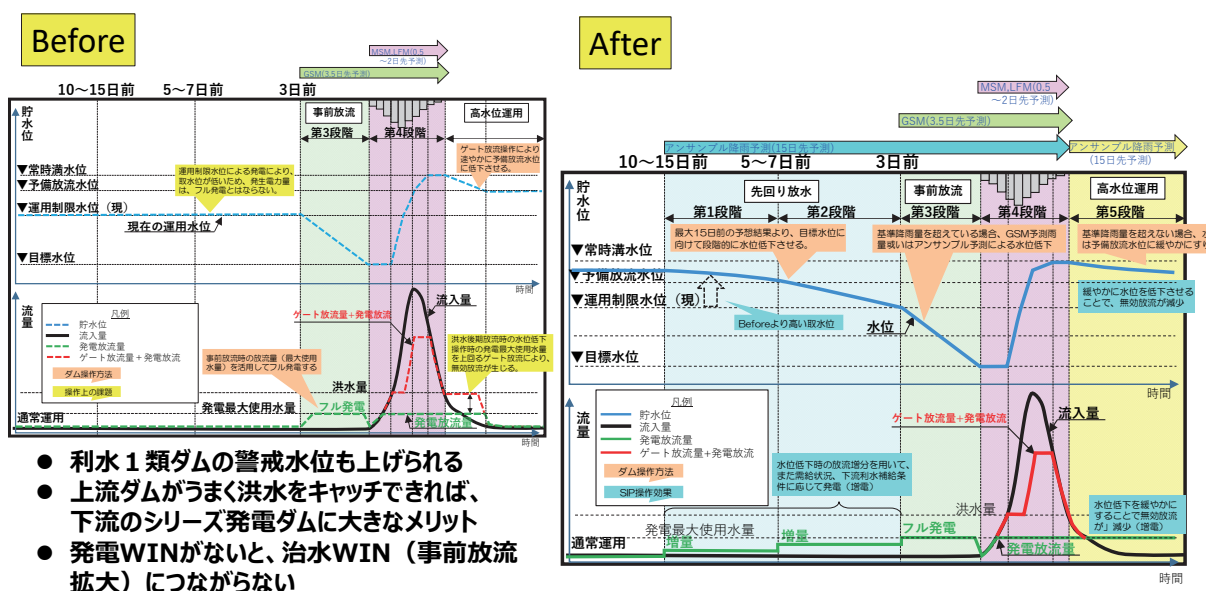


図 4.3-23 利水ダムにおける現状と今後

図 4.3-23 は、利水ダムにおける現状と今後を比較したものである。

現状では、3 日前からの事前放流に対応するため、運用制限水位からの貯水位低下となるが、取水水位が常時低いため、発生電力量に制限がある。また、洪水後期放流時の水位低下操作は、発電最大使用水量を上回るゲート放流により、無効放流となる可能性が大きい。

長時間アンサンブル降雨予測を活用することで、最大 15 日前の予測結果より、目標水位に向かって段階的に水位低下を実施することができ、需給状況、下流利水補給条件に応じて発電放流することで増電につなげることができる。

また、洪水後期放流時には 15 日先の降雨予測が可能となるため、ゆっくりと水位を低下させることで、発電放流を活用することで無効放流を低減することができる。

(3) 国際展開

アンサンブル降水予測の空間的ダウンスケーリングと長時間ダム流入力予測

SIP終了後

- 予測情報を、降雨量・流入量・単独ダム操作最適化・複数ダム統合操作、に分類
- 長時間(15日)、アンサンブル(51メンバー)、時空間高解像度(1時間, 1km)で、複数ダムの統合操作までを目標にしているものは他にはない。
- 日本のダム流域の山岳地形を考慮すれば、時空間高解像度の必要性・優位性は明確。フィリピン、ベトナムなど、ASEAN諸国への国際展開も期待される。

評価軸		評価対象 (実装ベース)										論文ベース	
		アンサンブル事前放流 (SIP)	事前放流が「トライン」 (国土交通省・気象庁)	Met Office (UK)	NWM (US)	COSMO-LEPS (GR, DE, IT, CH)	COSMO-D2-EPS (DE)	MSC (CA)	BoM (AU)	meteoblue (CH) ※Euro, NEMS12	NOAA (US)	Seine river	Anticipatory Water Management
予測機能	予測時間	◎ 15日	△ 3日	○ 5日	○ 8.5日	○ 5.5日	△ 27時間	◎ 16日	○ 7日	○ 7.5日	◎ 35日	○ 9日	◎ 15日
	時間解像度	◎ 1時間	○ 3時間	◎ 1時間	○ 3時間	△ 12時間	○ 3時間	△ 12時間	○ 3時間	△ 12時間	△ 6時間	○ 3時間	○ 3時間
	空間解像度	◎ 1km	△ 20km	○ 2.2km	○ 1km, 250m	○ 7km	○ 2.2km	× 50km	○ 6km	△ 12km	△ 25km	△ 約50km	△ 20km
	アンサンブルメンバー数	◎ 51	× 1	△ 3	△ 6	△ 20	◎ 40	△ 20	◎ 401	◎ オープンデータ統合		◎ 31	◎ 51
予測情報	降雨量	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○
	流入量	○	○	△	○	△	△	△	○	△	△	○	○
	単独ダム最適化	○	○	—	—	—	—	—	—	—	—	○	○
	複数ダム最適化	◎	—	—	—	—	—	—	—	—	—	○	○

図 4.3-24 SIP の国際展開 (グローバルベンチマークの評価)

図 4.3-24 は、SIP での開発技術のグローバルベンチマークを評価したものである。予測情報を、降雨量・流入量・単独ダム操作最適化・複数ダム最適化に分類したものである。

長時間(15 日)、アンサンブル(51 メンバー)、時空間高解像度(1 時間, 1km)の条件において、複数ダム統合操作までを目標にしている事例は海外も含めて存在しない。日本のダム流域の山岳地形を考慮すれば、開発した技術は、国際展開を実施していく上での優位性は明白である。

基本的な考え方

- 長時間アンサンブル予測のデータソースはECMWF (欧州中期予報センター)、全世界配信 (ASEAN諸国含む)
- 台風予測に向いている (フィリピン、ベトナムなどが該当)

ダムの特徴

- ASEAN諸国のダムは、発電/農業ダムなど利水ダム中心
- インドネシアは、公共事業省傘下の多目的ダムあり
- ベトナムは、国が指定した重要ダムは治水操作も実施

これまでのSIPの国際展開

- JASTIP (京大ASEAN拠点) の連携課題で、フィリピン、ベトナムのダムを含む流域管理課題に着手
- 2020年台風Ulyssesを契機に、フィリピンのカガヤン川のダム操作の課題が顕在化
- DOST(フィリピン科技庁)の支援で、イザハラ州立大学が日本気象協会と契約し、長時間アンサンブルを整備
- 長時間アンサンブル降雨予測を用いた共同研究に着手し、台風Ulysses時の予測結果および活用可能性をレビュー

今後の展開

- アジア太平洋水サミットを受けた「熊本水イニシアティブ」で、ダムの高度運用への海外展開が明記
- SIP「長時間アンサンブル予測」を、フィリピン、ベトナムなどに展開
- 国際ダム会議 (ICOLD) などで、情報発信



図 4.3-25 統合ダム防災支援システムの国際展開

図 4.3-25 は、統合ダム防災支援システムの国際展開の現状である。

現在、フィリピンで長時間アンサンブル降雨予測についてリアルタイムでデータを提供している。長時間アンサンブル予測のデータソースは ECMWF（欧州中期予報センター）であり、全世界配信（ASEAN 諸国含む）がなされており、台風予測との親和性が高い。今後は SIP「長時間アンサンブル降雨予測」を、フィリピン、ベトナムなどに展開することを念頭に活動している。

4.3.4. ダム群連携最適操作シミュレータおよび連携モデルの開発（荒川）

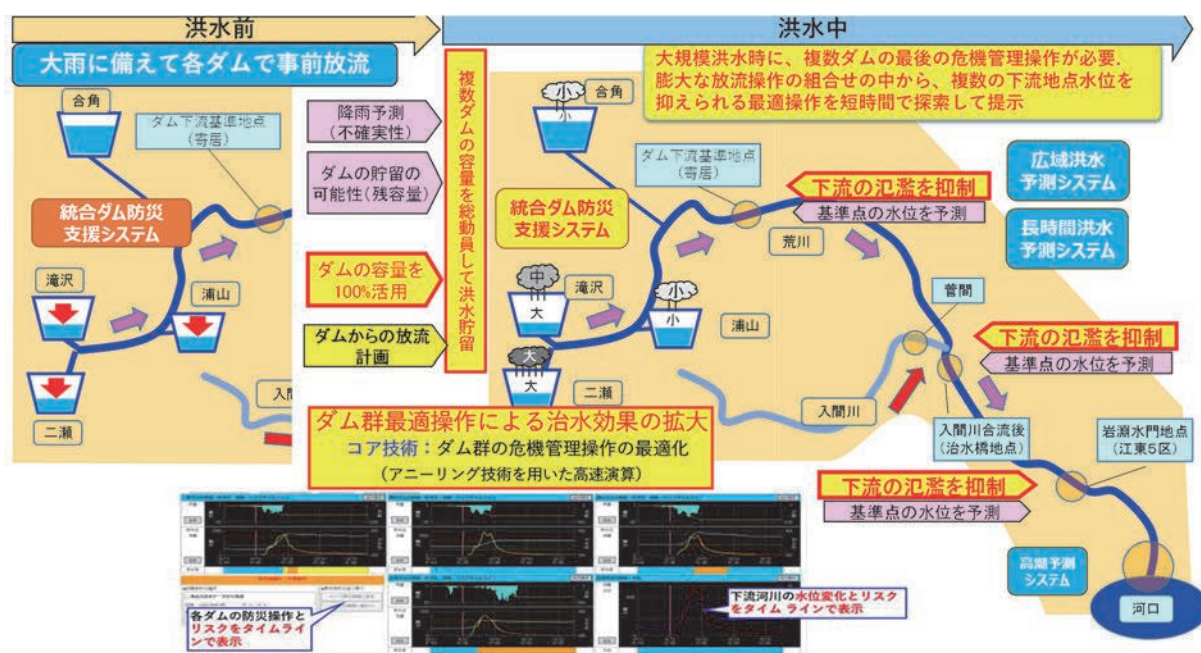


図 4.3-26 ダム群連携最適操作シミュレータの開発（荒川ダム総合管理所で運用中）

図 4.3-26 は、荒川におけるダム群連携最適操作シミュレータの開発状況を示したものである。ダム群直下における河川の氾濫を抑制する操作を支援するシミュレーションを開発し、荒川ダム総合管理所等で試行運用を実施している。この図は、長時間洪水予測システムと連携し、下流河川まで展開する形で開発環境を検証し、技術的な課題について確認したものである。

次頁の図 4.3-27 と図 4.3-28 に、ダム群連携と長時間洪水予測との連携による荒川流域におけるダム～河道～高潮連携システム構築状況の具体的なイメージを示す。左から、個別のダムの操作、中央にダム直下までを考慮したダム群連携操作、右端は、流域全体（複数地点）を考慮して長時間洪水予測と連携した場合の結果である。右端の流域全体を見た防災操作では、入間川との合流点の水位を見て、ダムの特別防災操作を実施しつつ、さらに、降雨予測と下流河川の状況を考慮し、ダムの放流を抑制して、下流河川を守るダム群連携操作を実施している。

また、システム連携により、流域全体を考慮したダム群の最適操作を提示するとともに、流域全体の洪水リスクについて幅を持って示すことができたものである。

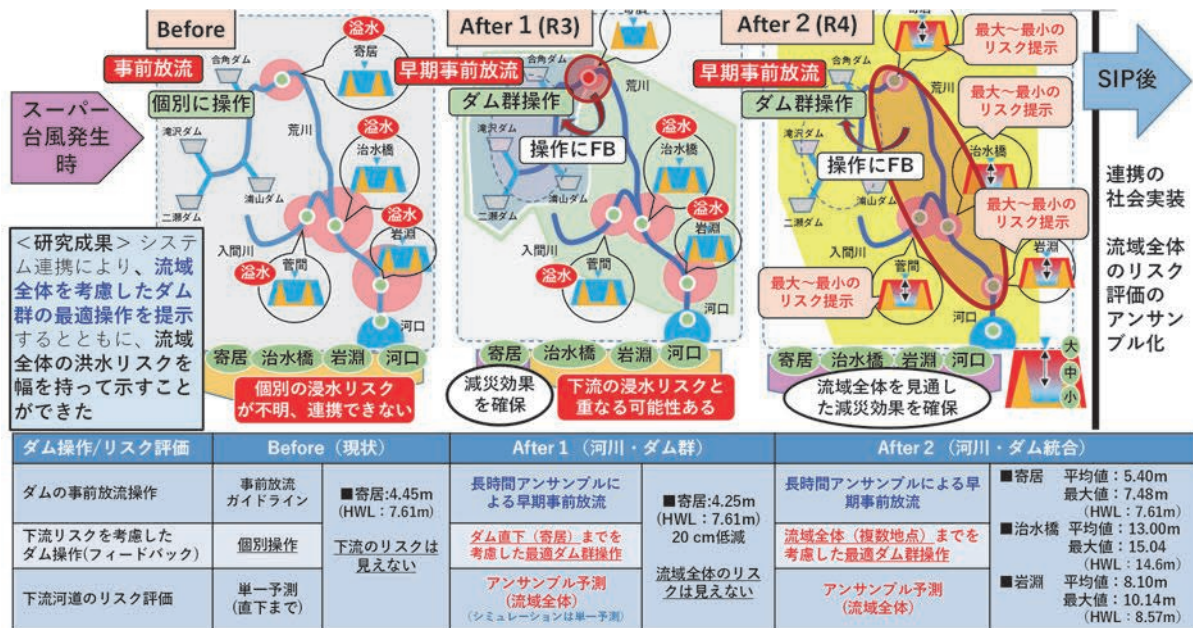


図 4.3-27 ダム～河道～高潮連携システム構築（荒川）

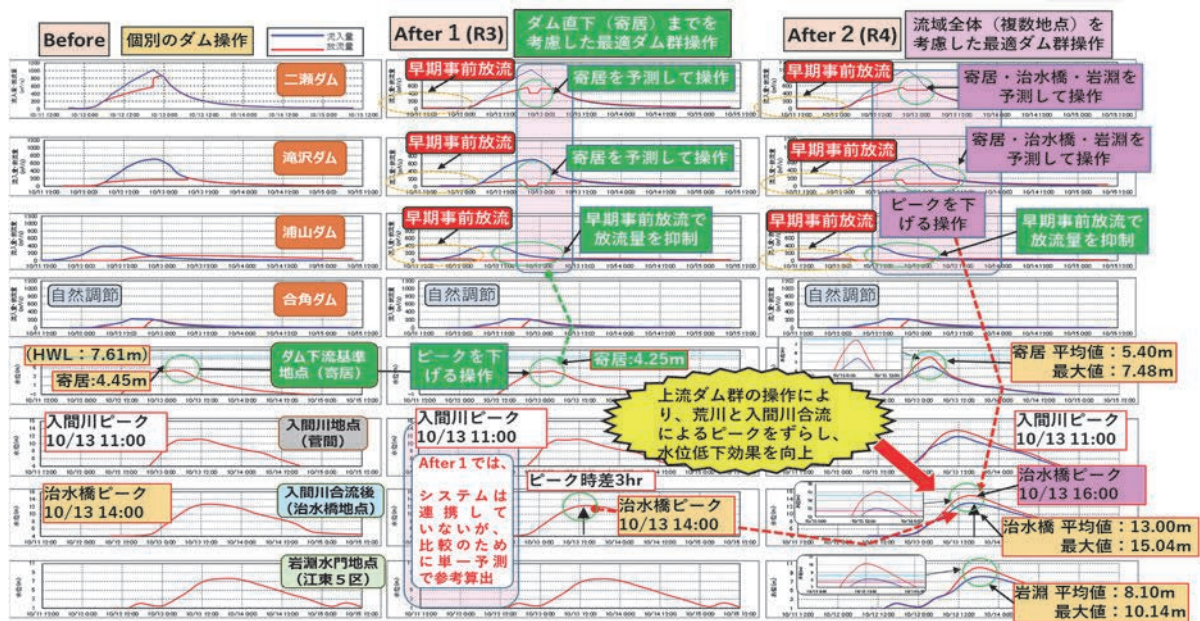


図 4.3-28 ダム～河道～高潮連携システム構築（荒川）

5. 危機管理型水門管理システムの開発

5.1. 研究開発の目的

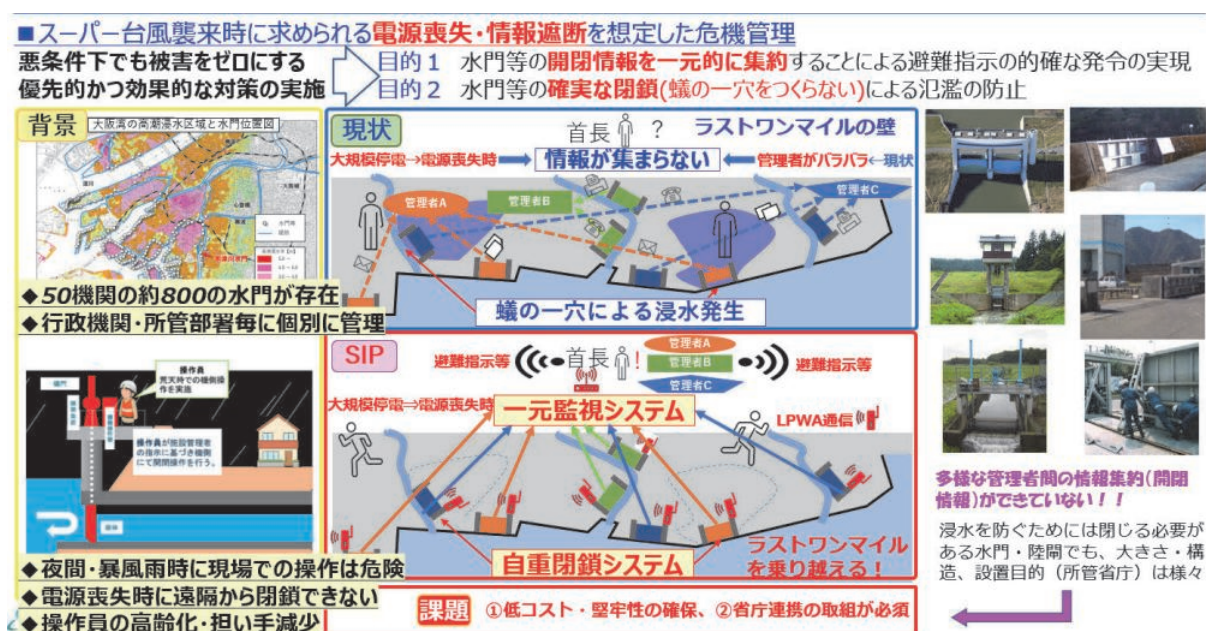


図 5.1-1 危機管理型水門管理システムの開発の目的

危機管理型水門管理システムの開発の目的は、スーパー台風の襲来時に水門等の確実な閉鎖による氾濫の防止を行うこと、避難情報の的確な発令のために水門等の開閉情報を自治体の首長へ一元的に集約することである。

スーパー台風襲来時は停電のリスクが高まるため、商用電源が喪失した場合においても、遠隔から水門を確実に閉鎖できる、自重で降下する仕組みを開発した。

水門等の開閉情報を一元監視する際の課題は、様々なタイプの水門、陸開等があること、様々な主体が施設を管理していること（国、自治体の違いや、河川関係、海岸関係、港湾関係、漁港関係、農水関係という所管の違いによって管理者が異なる。）がある。

開発のポイントは、監視対象の水門等が多数存在するため、低コストで整備することが必要であり、本研究では、LPWA（Low Power Wide Area）という通信方式を採用している。

さらに広域的な停電があった場合など、インターネット網に接続できない場合に備えて、衛星を通じて、被災していない地域まで情報を送信する仕組みを検討した。

5. 2. 技術開発目標

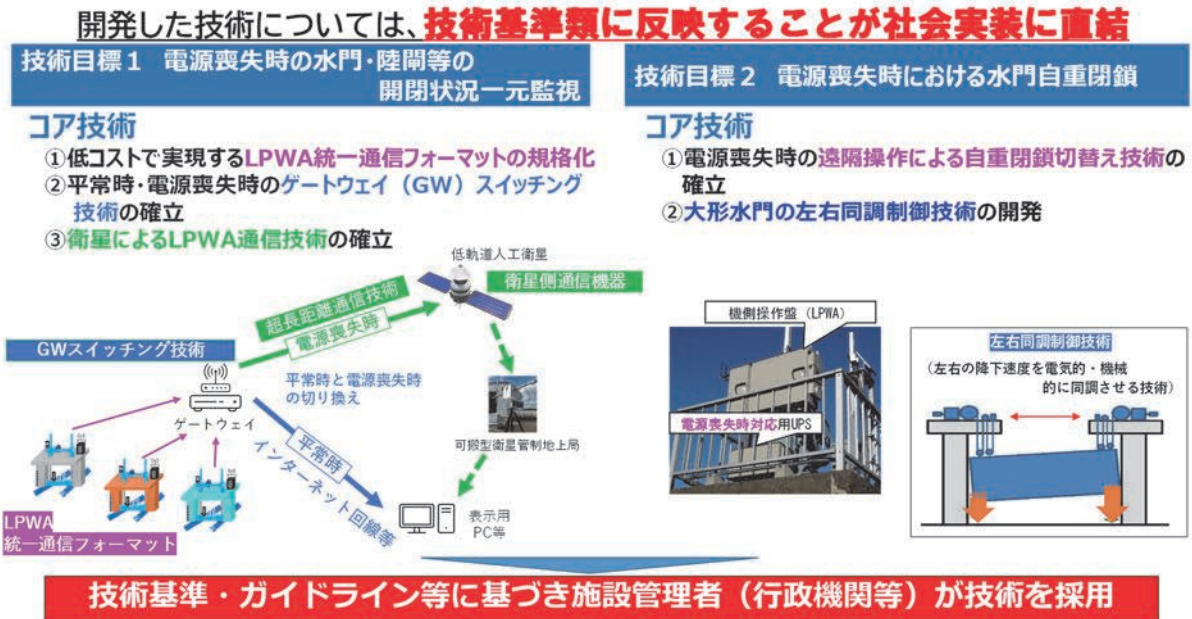


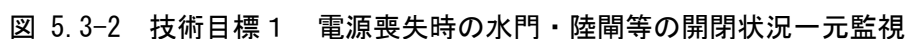
図 5. 2-1 危機管理型水門管理システム 開発目標

技術開発目標の一つ目は、水門等の開閉状況の一元監視システムを開発することである。

具体的には、LPWA を使用した一元監視システムの構築を容易にするための統一通信フォーマットの規格化、電源が喪失した場合に低軌道人工衛星を経由した通信方式に切り替えるスイッチング技術、及び衛星経由で LPWA の通信を行うための技術の確立である。

技術開発目標の二つ目は、水門の自重閉鎖技術を開発することである。具体的には、電源が喪失した場合に自重降下を遠隔で操作できるようにするための切替え技術の確立、及び特に大形の 2 モータ 2 ドラム方式の水門において、降下時に左右のずれが起きないように、左右を同調させて降下させる技術を開発した。

(1) 水門等の開閉施設一元監視システムの開発



実証試験では、統一フォーマットを用いた一元監視システムをクラウド上に構築し、本研究に参加する各研究機関（7機関）で、それぞれ管理者の異なる施設に開閉情報を取得するセンサを設置し、統一フォーマットで通信を行い、水門等一元監視システムについて検証を行った。

衛星 LPWA については、ゲートウェイのスイッチング技術についてプロトタイプモデルを作り、実際に電源が切れたときに通信の方式を変えるということを実証した。

実際の衛星を使った実験は行っていないが、約 400km 上空の衛星を使うことを想定し、富士山と土木研究所（茨城県つくば市）との間、約 140km の距離で通信試験を行い、その減衰の程度から 400km の通信が可能であることを検証した。

通信機器については、衛星に搭載することを想定し、実際に宇宙に打ち上げる際の振動や宇宙での放射線の影響といったものを確かめ、問題がないことを確認した。

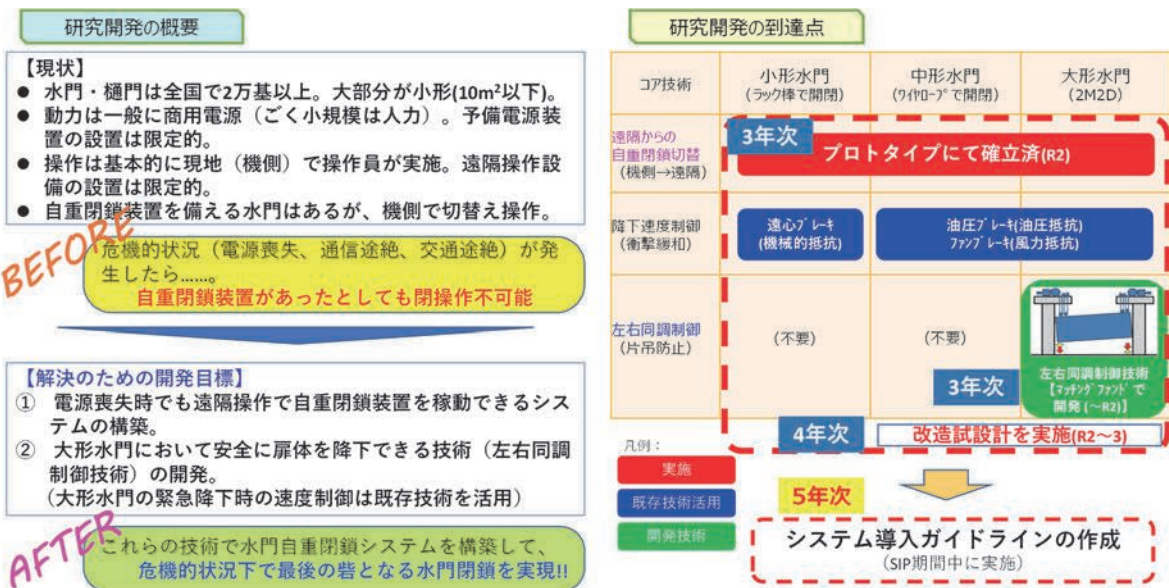


図 5.3-3 技術目標 2 電源喪失時における水門自重閉鎖

(2) 水門の自重閉鎖技術の開発

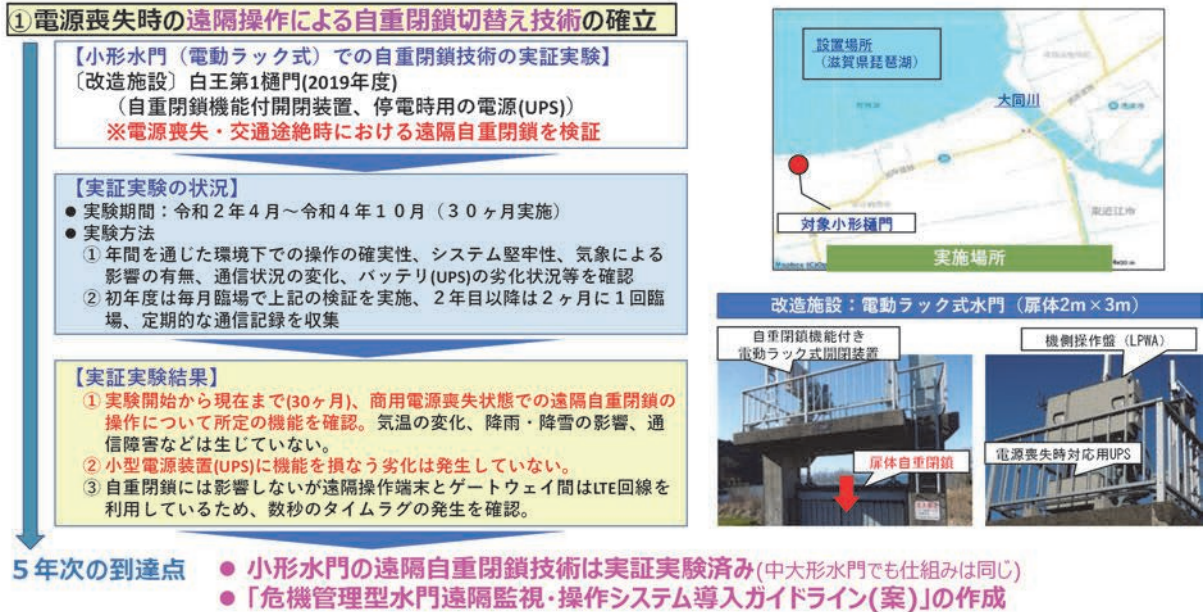


図 5.3-4 技術目標 2 電源喪失時における水門自重閉鎖

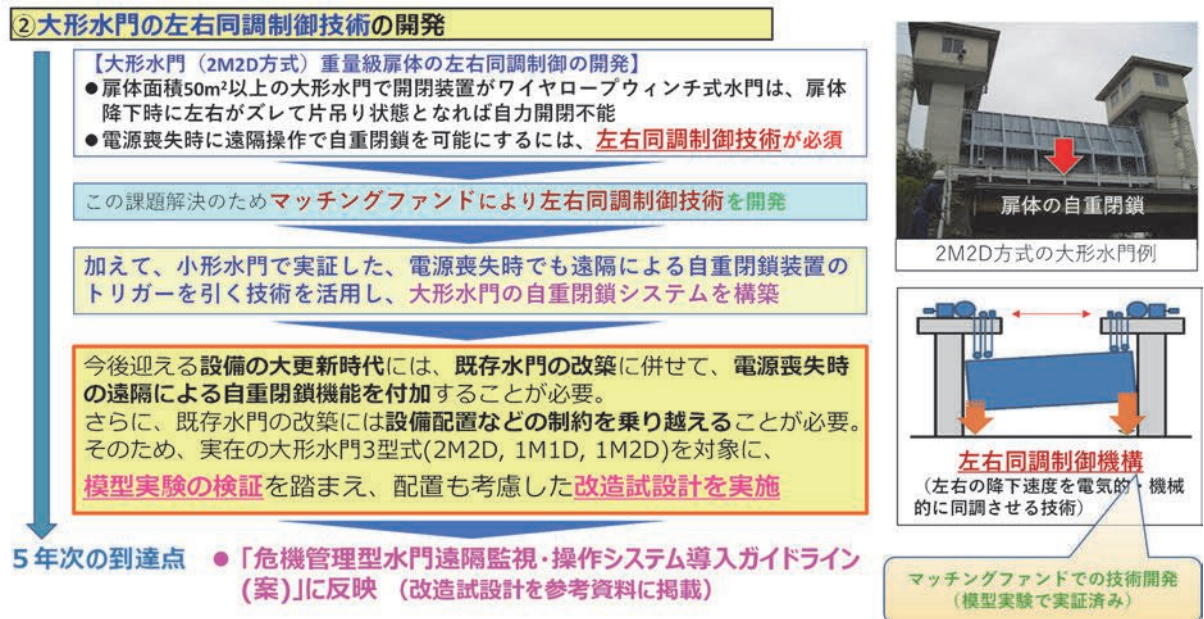


図 5.3-5 技術目標 2 電源喪失時における水門自重閉鎖

小形水門の開閉方式で多いラック式、中形水門の開閉方式で多いワイヤロープウィンチ式の1モータ1ドラム又は1モータ2ドラム方式では、電源が喪失したときに操作方式を切り替えるスイッチング技術ができれば、基本的には自重降下が可能になっており、そのための切替技術の実証を行った。

大形水門の開閉方式で用いるワイヤロープウィンチ式の２モータ２ドラム方式の水門では、電源が喪失したときに操作方式を切り替えるだけではなく、左右のワイヤを同調制御する技術が必要であり、その開発を行った。

電源喪失時の自重閉鎖への切替技術について、琵琶湖の湖畔にある水資源機構管理の実際のラック式小形樋門に、開発した開閉装置や通信装置を取り付け、２年半にわたり確実に動作することを実証した。

２モータ２ドラム方式の大形水門については、マッチングファンドにおいて民間で開発を行い、試作機実験により機能の確認を行った。

5. 4. 社会実装

SIP「危機管理型水門管理システム」の導入のよりどころとなる技術基準類を改定・策定

- 普及を促進するための国のガイドラインの改定 に向けた関係省庁への働きかけ
- 国のガイドラインを補完するガイドライン類の策定・改定と公表

① LPWA一元監視システムに係る技術基準類の策定



図 5. 4-1 技術基準・ガイドライン等の策定による社会実装（LPWA 一元監視システム）

社会実装については、施設管理者等が水門や陸閘等の整備にあたって指針とする国等の技術基準・ガイドライン等への位置付けを進めることで、施設管理者等への普及が進むものと考えており、関係省庁等と調整を進めている。

統一通信フォーマットに関しては、令和 4 年 12 月に JSA 規格「水門などの開閉状況の一元監視システム用伝送フォーマット（JSA-S1019:2022）」として策定・公表している。この規格を使用した製品やサービスが、民間企業から広く提供されることを目的として、土木研究所では令和 4 年度より民間企業との共同研究を開始した。共同研究には 13 の企業が参加しており、これを呼び水にして市場に JSA 規格が広まることを期待している。

衛星 LPWA システムについては、技術的には実際に衛星に搭載できるレベルに達しており、JAXA の革新的衛星技術実証プログラム等へ応募し、宇宙での実証を進めていく。

- 普及を促進するための国の技術基準類（ガイドライン）の改定に向けた関係省庁への働きかけ
- 国の技術基準類（ガイドライン）を補完するガイドライン類の策定・改定と公表

5年次（R4年度）

「危機管理型水門遠隔監視・操作システム導入ガイドライン」（自重閉鎖システムの改造設計ガイドライン）の策定

水門・樋門改築での実装（対象数4,751門）

2M2Dワイロ・ブライン式大形水門は少数（18門）のため、改築案件に対しパイロット事業で試行（左右同調技術の実証）

実績、試行結果から将来反映

令和5年度以降（ポストSIP）

関連技術基準類の改定

「河川砂防技術基準（案）〔設計編〕」（国土交通省）

「ダム・堰施設技術基準（案）」（国土交通省）

「水門・樋門ゲート設計要領（案）」（ダム・堰施設技術協会）

水門自重閉鎖システム導入のための技術基準類の改定箇所の検討・抽出

水門の自重閉鎖技術に係る関連技術基準類の策定・改定については、研究開発機関において令和５年３月に「危機管理型水門 遠隔監視・操作システム導入ガイドライン（案）河川用水門・樋門・樋管ゲート編」を策定した。将来的には国の技術基準の改定につなげたいと考えている。

2モータ2ドラム方式の自重降下技術については、まずはパイロット事業等で実際の現場で実証することが必要と考えており、機会があれば積極的に提案していく。



5-8



実現によるレジリエンスの強化
災害時のSociety 5.0

図 5.4-3 は、前述の危機管理型水門管理システムの社会実装の考え方を踏まえ、今後の取組のロードマップを示したものである。

6. 研究体制

「スーパー台風被害予測システムの開発」の研究体制は下記のとおりである。

研究責任者	立川 康人	京都大学工学研究科 社会基盤工学専攻・教授
社会実装責任者	野田 徹	(一財)国土技術研究センター・理事
連携担当者	岡安 徹也	(一財)国土技術研究センター・情報・企画部長

サブテーマ	共同研究機関	代 表
高潮・高波ハザード予測システムの開発	★(一財)国土技術研究センター 情報・企画部	岡安 徹也 部長
	(一財)日本気象協会 事業本部 防災ソリューション事業部 交通ソリューション課	宇都宮 好博 主任技師
	(一財)沿岸技術研究センター 波浪調査部	鈴木 善光 調査役
	東北大学災害科学国際研究所	菅原 大助 准教授
	東京大学大学院工学研究科	田島 芳満 教授
長時間／広域洪水予測システムの開発	★(一財)河川情報センター	開始～R3.6 中安 正晃 部長 R3.7～R4.9 澤野 久弥 部長 R4.10～R5.3 船橋 昇治 部長
	京都大学大学院工学研究科	立川 康人 教授 市川 温 教授
	京都大学防災研究所	佐山 敬洋 教授
	東京大学生産研究所	山崎 大 准教授
統合ダム防災支援システムの開発	★京都大学防災研究所	角 哲也 教授
	(独法)水資源機構 総合技術センター	高橋 陽一 所長
	(一財)日本気象協会	道広 有理 課長
	関西電力 研究開発室技術研究所土木技術研究室	樋口 良典 主幹
	中部電力 技術開発本部電力技術研究所土木グループ	佐藤 正俊 グループ長
危機管理型水門管理システムの開発	九州電力 耳川水力整備事務所	藤田 浩二 副所長
	★(国研)土木研究所 技術推進本部 先端技術チーム	開始～R2.3 新田 恭士 上席研究員 R2.4～R4.5 森川 博邦 上席研究員 R4.6～R5.3 杉谷 康弘 上席研究員 ※役職は、当時のもの

	(一社)ダム・堰施設技術協会	荒井 猛 技術部長
	(一社)建設電気技術協会 建設電気技術研究所	平城 正隆 所長
	(一財)沿岸技術研究センター	遠藤 敏雄 調査役
	(国研)農業・食品産業技術総合研究所 農村工学研究部門 水利工学研究領域水利制御グループ	島崎 昌彦 グループ長
	(国研)水産研究・教育機構 水産技術研究所 水産工学部 水産基盤グループ	大井 邦昭 主任研究員
	筑波大学システム情報系	亀田 敏弘 准教授