

逃げ遅れゼロを実現するSIP 「スーパー台風被害予測システム」の開発



京都大学大学院工学研究科 教授 立川 康人

1 はじめに

戦略的イノベーション創造プログラム(SIP)第2期が2018～2022年度の5年間の予定で実施されています。SIP(Cross-ministerial Strategic Innovation Promotion Program)とは、内閣府総合科学技術・イノベーション会議のもとで科学技術イノベーションを実現するために創設されたプログラムであり、基礎研究から出口(実用化・事業化)までを見据え、社会的に不可欠で、日本の経済・産業競争力にとって重要な課題の解決を推進することを目的としています。

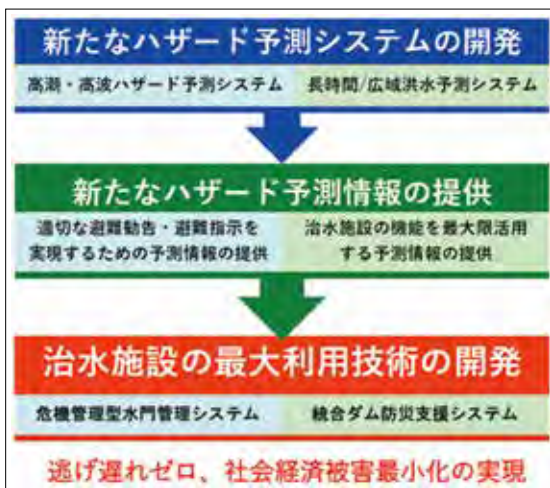
「国家レジリエンス(防災・減災)の強化」(代表:堀 宗朗、海洋研究開発機構)は第2期SIPで実施されている12課題のひとつであり、大規模災害に対して確実な避難と広域経済活動の早期復旧を実現するために、国や市町村の意思決定を支援する情報システムを開発し実用化することを目標としています。7つの研究開発項目が設定されており、その中で「スーパー台風被害予測システムの開発」(研究責任者:立川康人、京都大学)では、スーパー台風のアンサンブル予測を用いて河川水位や高潮・高波さらに浸水エリアを予測し、ダムや水門の連携・一元監視による管理・操作の機能強化や意思決定支援を実現する情報システムを開発しています。以下では、それらの開発状況を紹介します。

2 スーパー台風被害予測システムの開発

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いました。また、2019年台風19号は関東甲信地方、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ました。こうしたスーパー台風の来襲に対して「逃げ遅れゼロ」、「社会経済被害最小化」を実現する防災情報システムを開発し、実用化することが本課題の目的です。

そのために、予測の不確実性を考慮した72時間前からの高潮・高波予測と河川水位・流量予測を実現する新たなハザード予測システムの開発、これらの予測情報を用いてダム貯水池の機能を最大限発揮させる統合ダム防災支援システムの開発、大規模水害時の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の開発を進めています(図1参照)。この研究開発プロジェクトは、(一財)国土技術研究センター、(一財)河川情報センター、(独法)水資源機構、(国研)土木研究所、(一財)沿岸技術センター、(一財)日本気象協会、東



(図1) 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を開発し、治水施設の最大活用技術の開発と実装を実現する。

北大学、東京大学、京都大学等が参加し、関連省庁と密接に連携を取りながら開発した防災情報システムの社会実装を図っています。

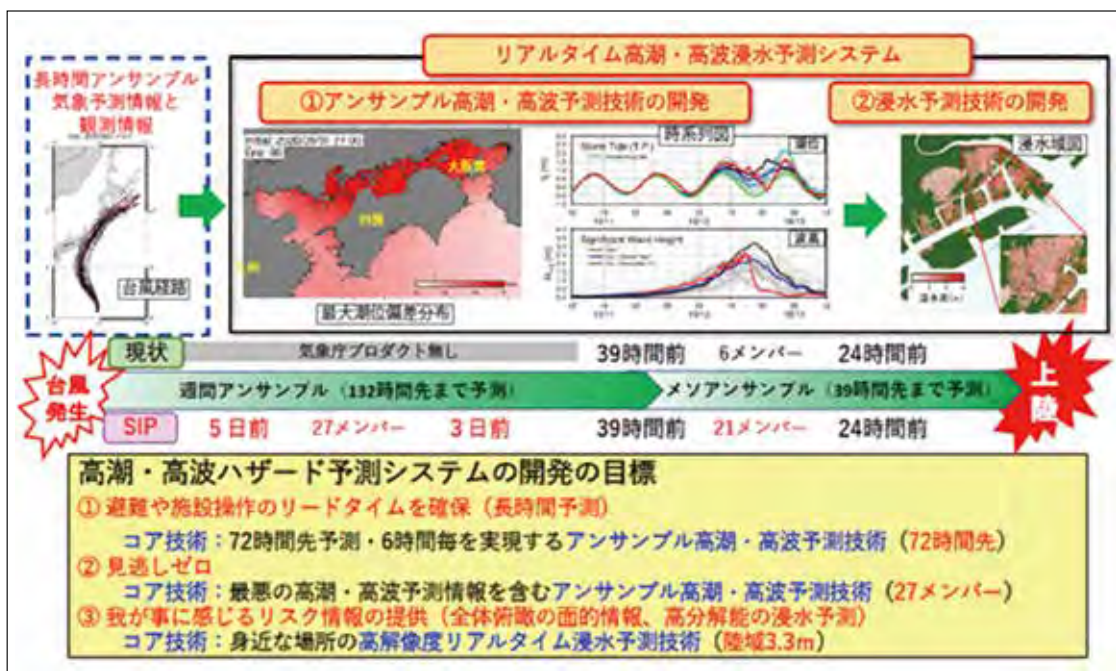
2-1 高潮・高波ハザード予測システムの開発

沿岸域では伊勢湾台風や室戸台風を想定した既往最大クラスの台風を設計外力として高潮海岸堤防が整備され、一定程度の高潮・高波に対する安全度が確保されています。その後、伊勢湾台風規模を超える高潮が発生していないこともあり、幸いにも大規模・激甚な高潮災害は発生していませんが、2018年台風21号では、1961年の第2室戸台風を超える過去最高潮位が大阪湾で記録され、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いました。大阪湾では大阪府三大水門等の適切な操作により浸水被害を免れましたが、気候変動による海面上昇や台風の強大化が指摘されており、海岸堤防の設計外力を超える高潮災害の発生の可能性が高まりつつあります。

沿岸域の広域避難行動や確実な水門操作を実施するためには、長時間かつピンポイント

の高潮・高波予測が必要です。そのためにアンサンブル気象予測を活用し、その地点にとって台風が最悪のコースを取ることも想定して72時間先までの高潮・高波を不確実性ととも予測する高潮・高波ハザード予測システムを開発しています（図2参照）。アンサンブル気象予測とは、可能性のある複数の条件を設定した気象予測計算を実施することであり、その予測計算結果のばらつきによって予測の不確実性を定量的に見積もることができます。2019年に本運用が開始された気象庁のメソアンサンブル予報システム（MEPS）は1日4回39時間先の予測情報について5km空間分解能で21個の異なる予測結果を提供しています。

「逃げ遅れゼロ」を実現するためには、予測時間（予測リードタイム）を伸ばすことが重要です。予測時間が長くなると台風経路の予測範囲も拡大しますので、この予測経路の違いを高潮・高波予測情報に反映させることが予測システム開発の肝となります。そこでアンサンブル気象予測情報を活用し、異なる台風経路の気象予測情報を用いて最悪ケースを



（図2）高潮・高波ハザード予測システムの目指すところ。長時間予測に伴う不確実性を考慮したリアルタイム高潮・高波・浸水予測システムを開発し、最悪ケースを含めて予測幅を持った予測情報を提供して、柔軟かつ適切な避難判断を支援する。

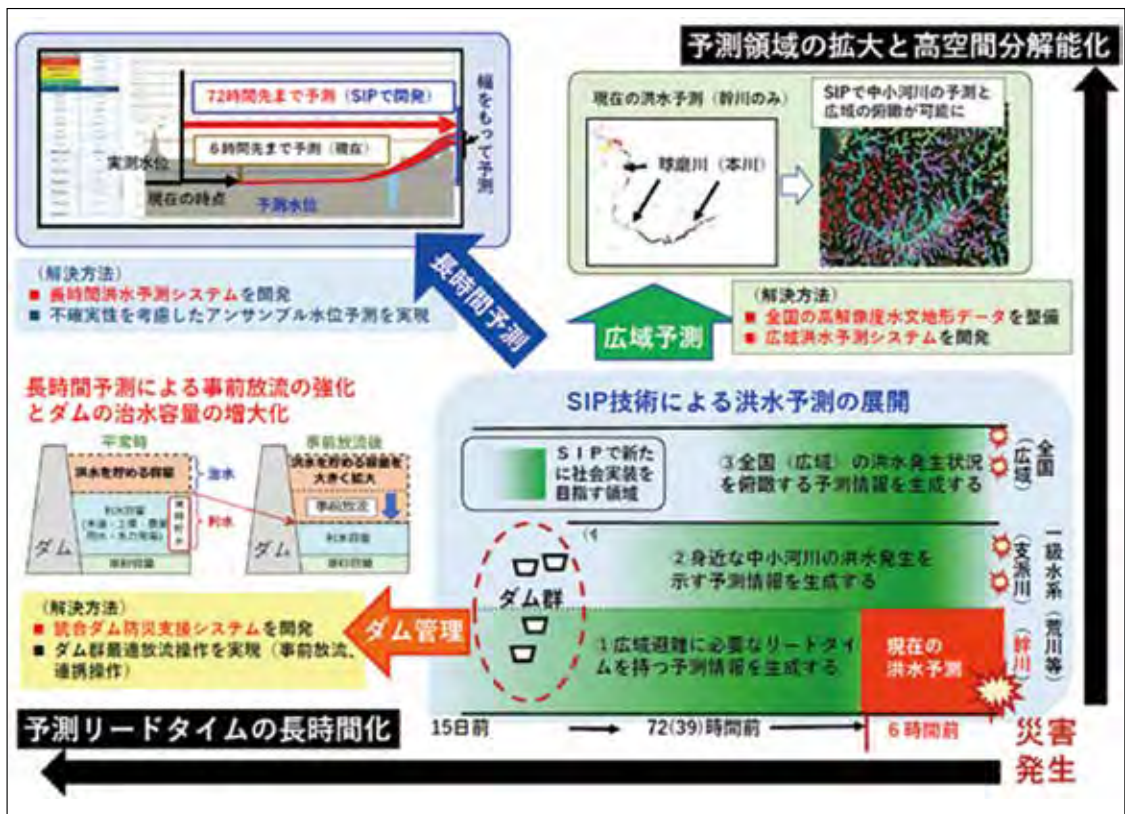
含めて予測幅を持った高潮・高波予測を対象地点ごとに実現します。さらに、越波による浸水の広がりを実時間で予測する浸水予測システムを開発し、我がごとに感じるリスク情報の提供を目指しています。この予測システムを用いることにより、台風の規模を勘案し、予測時間とそれに伴う予測の不確実性を組み合わせることで、柔軟かつ適切な避難判断を支援することができると考えています。

2-2 長時間／広域洪水予測システムの開発

現在、国土交通省で運用されている「水害リスクライン」では、自治体や河川管理者を対象として6時間先までの洪水予測情報を提供しています。この予測時間をさらに伸ばすためにアンサンブル降雨予測を活用し、72時間先までの長時間洪水予測と長時間予測に伴って生じる予測値の幅を合わせて提供する

システム開発を進めています（図3参照）。高潮・高波予測と同様にアンサンブル気象予測情報を用いて予測時間を延ばし、任意の河川地点を対象として、水位・流量の予測値と降雨予測誤差に伴う予測値のばらつきを提供します。

洪水予測システムの長時間化に加えて、広域かつ高分解能化も合わせて進めています。スーパー台風の襲来によって主要河川の氾濫が予見されるとき、河川整備が十分に進んでいない中小河川でも甚大な洪水被害が発生する可能性が高まります。市町村長による避難判断の適切な意思決定を支援するためには、一級河川だけでなく身近な中小河川でも、河川水位・流量といった物理的に解釈できる予測情報を提供することが必要です。また、従来の流域単位の洪水予測手法では、2019年台風19号で発生したような広域の洪水氾濫を同



（図3）河川の長時間／広域洪水予測システム、統合ダム防災支援システムの目指すところ。長時間予測／広域の洪水予測システムを開発するとともに、ダムの治水機能の強化する技術を開発する。

時俯瞰的に把握することが難しく、日本全国の河川を同時に予測対象とする洪水予測手法の開発が必要となります。そこで、150m 空間分解能で中小河川を含めて日本全国を一体的に予測する降雨流出氾濫予測システムの開発を進めています（図3参照）。

全国版 RRI モデル（150 m 空間分解能の降雨流出氾濫モデル）を関東甲信・東北地方に適用し、気象庁解析雨量を用いて 2019 年台風 19 号洪水を再現しました（図4参照）。実際に被害が発生した個所と流出高（河川流量をその地点の流域面積で割った単位面積当たりの河川流量）の予測値が 30 mm/h 程度を超えた地点とがよく対応することがわかりました。2018 年の西日本豪雨を対象とした検討でも同様の結果を得ています。また、2020 年 7 月の九州球磨川水害では、全国で設置が進む危機管理型水位計の観測水位と予測水位とがよく対応する結果を得ました。全国の任意の中小河川に適用するために、降雨流出モデルのパラメータの物理的推定や河道断面情報等の高解像度水文地形データの整備を並行して進め



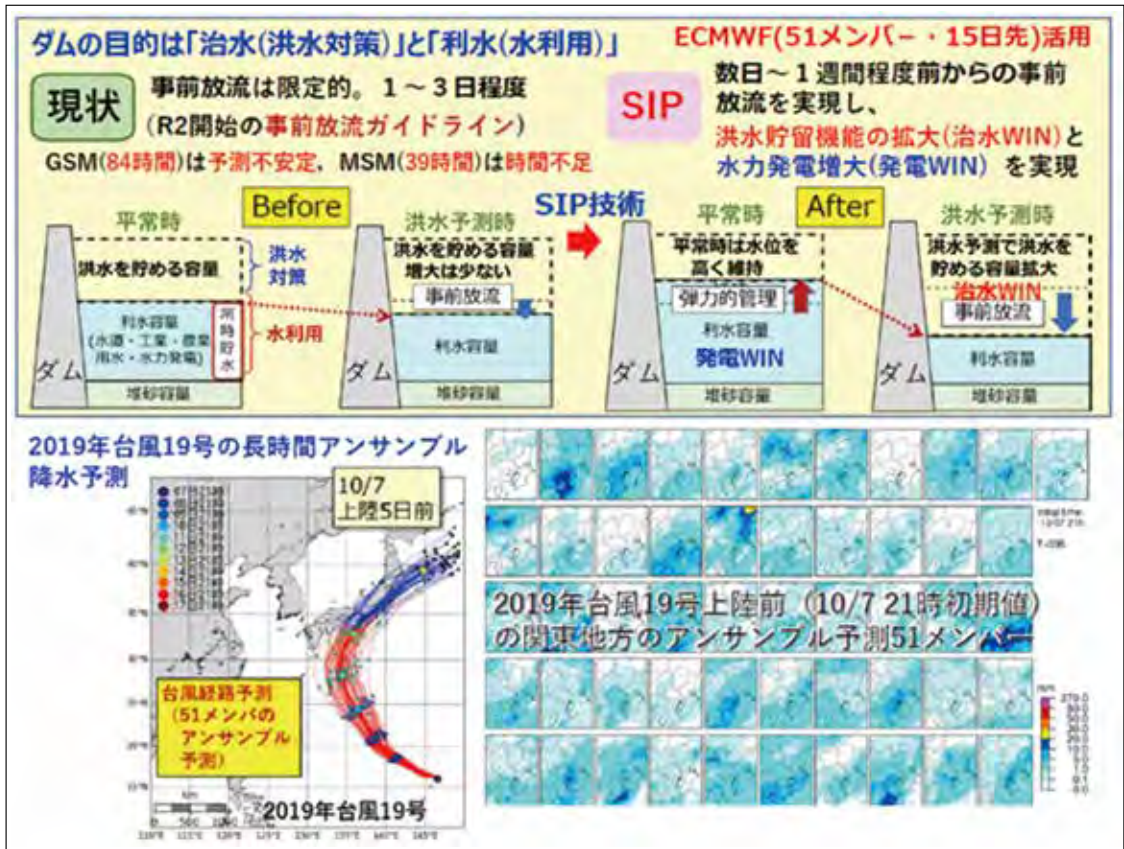
（図4）全国版洪水流出氾濫モデル（RRI モデル）を用いて推定したピーク流出高の空間分布。

ています。2021 年 3 月までに 6 時間先までの予測情報をリアルタイムで提供するプロトタイプモデルを開発する予定です。

長期アンサンブル降雨予測にもと 2-3 づく統合ダム防災支援システム の開発

限られたダム貯水容量を用いてダムの治水・利水機能をより一層強化するためには、上記の長時間／広域洪水予測システムを用いてダム流入量を不確実性ととも予測した上で、最適な洪水調節を実施することが効果的です（図3参照）。2019 年の台風 19 号での被害を受けて国土交通省は「事前放流ガイドライン」を定め、利水ダムを含めて洪水調節機能の強化を図っています。本課題では、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」を目標として、防災操作時の意思決定や操作判断を支援する実務レベルでの技術開発を進めています。

現時点のダム群の事前放流操作と開発を進めている技術を導入した場合の放流操作との違いを図5に示します。ダムによっては事前放流のための十分な放流設備が備わっておらず、数日の事前放流では十分な治水容量を確保できないダムがあります。また、せっかく貯水した水を短時間で無効に放流してしまうのではなく水力発電を行いながら事前放流を実施することは、国策として再生可能エネルギーを増大させる観点からも重要です。これらを考慮すれば、事前放流を行って利水容量を一時的に治水容量に振り向けて洪水調節機能を高めるためには、1～3 日ではなく、数日～1 週間程度前からの長期のダム流入量予測が必須となります。一方で、予測時間が長くなればそれだけ不確実性も高くなります。特に、利水用に貯めている水資源を放流した後でどれくらい貯水位が回復するかの予測が



(図5) 長時間アンサンブル降雨予測の活用によるダムの治水効果拡大技術の開発。

ないと事前放流の実現は容易ではありません。

本課題では、事前放流を実施した後にダム貯水位がどれだけ回復する可能性があるかについて、アンサンブル降雨の予測幅のうち、下位の予測に着目しながら、ダム放流後に確実に貯水位を回復させる事前放流量の算出手法を構築しました。現在、全国の8ダムを対象にアンサンブル降雨予測情報のプロトタイプを提供し、期待できる治水効果と利水リスクをリアルタイムで評価しながら、流域ダムの最適な事前放流の量とタイミングを求める手法の開発を進めています。これにより、事前放流による治水上の効果や利水面でのリスクを定量的に評価することが可能となります。長時間アンサンブル降雨予測情報については、(一財)日本気象協会が「ダムの事前放流判断支援サービス」として令和2年6月から提供を開始しました。社会実装を実現するために、

技術的な開発と並行して、こうしたな操作方法をダムの操作要領等に位置づける方策も検討しています。

2-4 危機管理型水門管理システムの開発

沿岸域には多数の水門や陸閘が設置されています。これらは通常は開いていますが、大型台風襲来時には高潮や洪水の侵入を防止するために、水門や陸閘を確実に閉鎖する必要があります。そのためには水門や陸閘の開閉状況を時々刻々と監視する仕組みがなくてはなりません。しかし、大阪湾を例にとると管理機関の異なる約800基の水門等が設置され、それぞれの機関が個別に管理していて、すべての水門等を一元的に監視する仕組みは存在しません。そのため本課題では、管理者の異なる水門等の開閉状況を一元的に監視し、これらの情報を時々刻々、市町村に提供して避



(図6) 危機管理型水門管理システムの目指すところ。管理者の異なる水門等の閉鎖状況を一元的に監視し、これらの情報を時々刻々、市町村に提供して避難に関する意思決定を支援する危機管理型水門管理システムを開発する。

難に関する意思決定を支援する危機管理型水門管理システムの開発を進めています（図6参照）。

大規模停電時でも低電力で動作する LPWA 通信技術を活用するとともに、水門等の開閉状況を検知するセンサ開発を進めています。併せて水門の自重降下システムを開発しています。全国の水門の93%は、消防団や町内会の方々によって操作されています。これらの水門が電源喪失時にも確実に閉鎖できるように、既存の水門を改良してできるだけ安価に自重降下機能を付加するための技術開発です。現在開発中の LPWA 通信を使った一元監視システムは、長距離通信や衛星通信ネットワークへの展開も視野に入れており、防災分野を中心に下水道管理や道路管理などの幅広い用途に展開できるように、技術開発を進めています。

3 おわりに

気候変動による台風・梅雨前線の強化化に