

リアルタイム高潮・高波浸水予測情報 提供による防災行動DXについて



河川政策グループ
副総括（研究主幹）
岡安 徹也



河川政策グループ
主席研究員
有村 盾一

1 高潮・高波予測の現状と課題

平成 30 年 9 月に西日本を中心に甚大な被害をもたらした台風 21 号¹⁾は、大阪湾における第二室戸台風の観測記録を超える最高潮位を発生させた。また令和元年台風 19 号²⁾は、広範囲の豪雨、暴風に伴う高波・高潮により甚大な被害をもたらした。

令和元年台風 19 号等による災害を踏まえ、令和 3 年 5 月に災害対策基本法が改定されたことを受け、「避難情報に関するガイドライン（内閣府）」³⁾が改訂された。このガイドラインは、市町村が避難情報の発令基準等を検討・修正等する際の参考として頂くことを目的としており、高潮と洪水の避難判断と避難に関する情報の設定例が示されている（表 1 参照）。

高潮避難は、気象庁が発表する高潮注意報や高潮警報、台風の進路予測や暴風域などを判断し対応しているのが現状である。警報等は、「我が事」と感じる「いつ、どこで、どの程度」という時間・空間の定量的情報を提供するものではなく、避難や災害対応のためのリードタイムの確保が困難な現状にある。

高潮と洪水の予測情報活用の現状を整理した表 2 に示すとおり、高潮は洪水と比較して、避難や防災行動の意思決定に資するリアルタイムの予測情報の提供が不十分な状況にある。

2 アンサンブル予測について

「アンサンブル」とは「調和」や「合唱」という言葉に訳され、「複数の物がある規則に従って行動する」という概念を表現している。

気象の数値予測は、地球を取り巻く大気の状態や変化（気温、気圧、風向・風速等）をある規則（運動方程式や熱力学方程式等）によって数値的に予測する手法である。この予測は初期状態から未来に向かって外挿するため、気象要素の初期状態が詳

表 1 高潮と洪水の避難情報の発令判断の設定例

警戒レベル	行動を促す情報（避難情報）	住民がとるべき行動	高潮の場合の発令の判断指標	洪水の場合の発令の判断指標
5	緊急安全確保	命の危険 直ちに安全確保	潮位が危険潮位を超え、浸水が発生したと推測される場合 高潮氾濫発生情報が発表された場合 災害発生を確認	氾濫危険水位に到達が予測される場合 水害リスクライン（赤）
4	避難指示	危険な場所から 全員避難	高潮警報又は高潮特別警報が発表	氾濫開始相当水位に到達が予測される場合 水害リスクライン（紫）
3	高齢者等避難	危険な場所から 高齢者等は避難	高潮注意報が発表 台風情報で、台風の暴風域が市町村にかかると予想される又は見込まれる場合	氾濫開始相当水位に到達した場合 水害リスクライン（黒） 災害発生を確認

出展：避難情報に関するガイドライン（令和 3 年 5 月）内閣府より抜粋

表 2 洪水と高潮の予測情報活用の現状

	降雨予測情報	河川水位予測情報	浸水予測情報
洪水	降水ナウキャスト（雨雲の動き） 高解像度降水ナウキャスト 降水短時間予報	洪水キキクル 水害リスクライン 指定河川洪水予報	未提供（オープン情報）
	主なユーザー（利用実績あり） ・自治体（危機管理室） ・自治体（危機管理部局） ・自治体（一般部局） ・エンドユーザー（事業者等） ・エンドユーザー（住民等）	主なユーザー（利用実績あり） ・自治体（危機管理室） ・自治体（危機管理部局） ・自治体（一般部局） ・エンドユーザー（事業者等） ・エンドユーザー（住民等）	主なユーザー（利用実績なし） ・なし
高潮	高潮・高波予測情報	越波・越流予測情報	浸水予測情報
	未提供（オープン情報） 主なユーザー（利用実績限定） ・予報業務許可を得た気象予測事業者が特定の者に提供	未提供（オープン情報） 左同	未提供（オープン情報） 主なユーザー（利用実績なし） ・なし

補足）高潮及び波浪の数値予測（数値資料）は、気象庁がオープン情報として配信
https://www.data.jma.go.jp/add/suishin/shiyou/

細かつ正確にわかっていないと、時間が進めば進むほど誤差が増大し、間違った予測になる。しかし、気象の初期状態は限られた観測点の情報しかわからず、正確にわかっている訳ではない。また気象数値モデルも予測結果にモデルの誤差を含んでいる。そのため一つの予測値には多くの誤差が含まれている。

そこで考えられたのが「アンサンブル予報」で、気象要素を少しずつ変えた初期状態をたくさん用意し、それぞれについて、未来の気象の状態を気象数値モデルによって予測し、予測がどの程度の信頼性を持っているのかを判断する手法である。

気象庁が提供しているアンサンブル予報は、予測先機関と予測の空間解像度の異なる全球（週間）、メソ、台風の3種のアンサンブルがあり、目的に応じて適切なものを選ぶことになる。

図1は、2019年10月に東京湾に襲来した台風19号の襲来3日前の全球アンサンブル予報から台風の予想進路を計算した例である。このように多くの予想進路の可能性があり、この時点では関東地方から近畿地方の広い範囲に台風襲来の可能性があったことを示している。

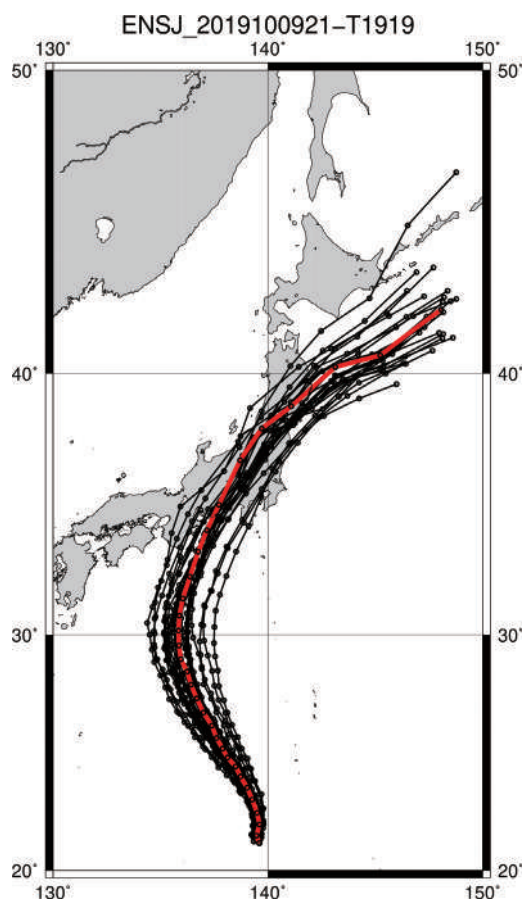


図1 週間アンサンブル予報による台風進路予測の例
(令和元年台風19号)

踏まえ、第Ⅱ期 SIP の研究では、リアルタイム高潮・高波浸水予測システムの研究開発を、平成30年度から令和4年度までの5か年で実施中である。本論は、第Ⅱ期 SIP の4年次（H30～R2）までの研究開発を報告するものである。

なお、SIP とは、科学技術イノベーション総合戦略及び日本再興戦略（平成25年6月閣議決定）に基づいて創設された「戦略的イノベーション創造プログラム」であり、府省・分野の枠を超えて基礎研究から出口（実用化・事業化）まで見据えた取組を推進する研究プログラムである。SIP の特徴として、技術開発だけでなく、出口戦略として開発した技術の社会実装を5か年の研究期間で達成することが要求されている。

JICE は、第Ⅱ期 SIP の「スーパー台風被害予測システムの研究開発」（研究開発責任者：立川康人教授・京都大学）の研究開発事務局として管理・運営を担当し、サブテーマ「リアルタイム高潮・高波浸水予測システム」について（一財）日本気象協会、（一財）沿岸技術研究センター、東北大学とともに共同研究している。詳細は、JICE HP（https://www.jice.or.jp/sip#sip_01）を参照ください。

3.1 研究開発の目標

リアルタイム高潮・高波浸水予測システム（以下、「高潮予測システム」と呼ぶ）は、主に市町村を対象に事前の避難行動や防災対応の事前準備に活用して頂くことを目的に、次の3つの技術目標を設定し研究開発を実施している。

(1) 最悪リスクを考慮したアンサンブル予測による「見逃しゼロ」

気象庁から提供されるアンサンブル予報（最大51通り）の台風コースの高潮・高波・浸水を予測計算し、市町村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・高波の災害リスクを正しく認識することを可能とする、「リスクの見逃しゼロ」を実現する。また、アンサンブル予報の時空間内挿、観測値によるデータ同化により、予測精度の向上を図る。

(2) 長時間予測による「リードタイムの確保」

気象庁により、6時間毎に更新される5.5日先の週間アンサンブル予報の活用による高潮等の予測情報、並びに39時間先のメソアンサンブル予報の活用による高潮等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する。

(3) “我が事”に感じるリアルタイムの「ピンポイントのリスク情報の提供」

市町村や施設管理者等に対して、台風接近時に、自分の居る場所に関する高潮・高波による浸水予測情報を、ピンポイント（高空間分解能（3.3m 格子））で、台風位置情報の発表後6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避難・防災対応を取ることができ、被災者や施設の被災を軽減する。

3

リアルタイム高潮・高波浸水予測システムの研究開発

前述の高潮予測情報の現状を鑑み、気象庁では平成29年5月より台風・週間アンサンブル予報の配信を開始した。これを

また、高潮予測システムの社会実装（出口戦略）は、これまで存在しなかった新たな予測情報の使いこなし方を示すこと、すなわち、予測情報の活用リテラシーの向上を目標としている。このため、東京湾・伊勢湾／三河湾・大阪湾にて、予測システムのプロトタイプの実用化を行い、予測情報を川崎市、江戸川区、愛知県、大阪府／大阪市、兵庫県に試行提供し、実台風にて参考情報として活用して頂いている。また、川崎市において、高潮予測システムの予測情報活用を前提とした図上訓練等を通じて、5.5日先のリードタイムに応じたタイムラインにおいて、高潮・高波・浸水の各種の予測情報の活用場面・方法並びに提供仕様や見せ方を検討・整理することにより、新たな予測情報の使いこなし方を検討している（図2）。

3.2 高潮予測システムの全体像と新たな予測情報

高潮予測システムは、解析の入力データとなる気象庁より

提供される台風の週間アンサンブル予報並びにメソアンサンブル予報の3時間毎の台風経路・風・気圧の気象場の情報を、時空間内装技術により1時間毎の情報に内挿した上で（図3）、高潮解析並びに波浪解析を行い、海岸線の堤防・護岸を考慮した越波量解析を経て、建物ポリゴン情報を反映した3.3mの高空間解像度によるリアルタイム浸水予測を行うシステムを構築した（図4）。

高潮予測システムは、6時間毎に更新した台風経路図に加えて、新たな予測情報として、潮位・波浪の平面分布図、ピンポイントの潮位・波高の時系列変化図、浸水深図を提供する（図5）。

3.3 予測システムの開発状況と目標達成状況

高潮予測システムの高潮解析プログラム⁴⁾、波浪解析プログラム⁵⁾は、過去台風の再解析による気象場の再現結果を入力条件とした予測計算を行い、観測値との検証を行い、予測精度

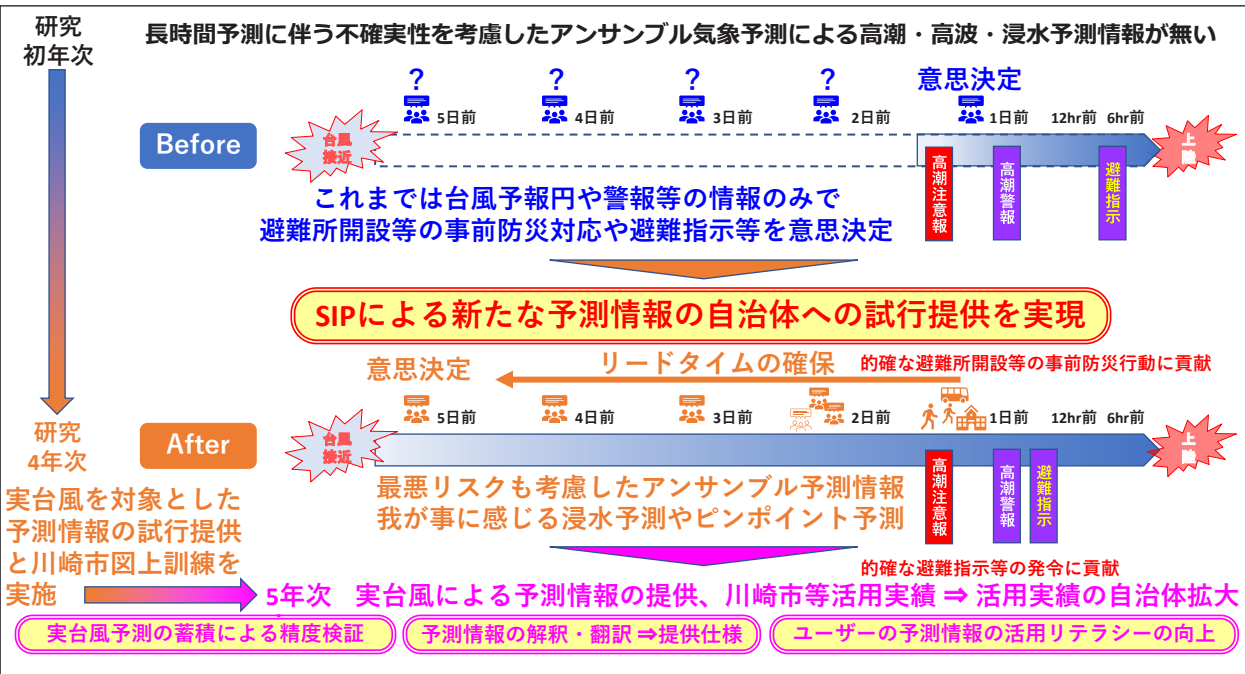


図2 研究開発により実現したい社会実装目標

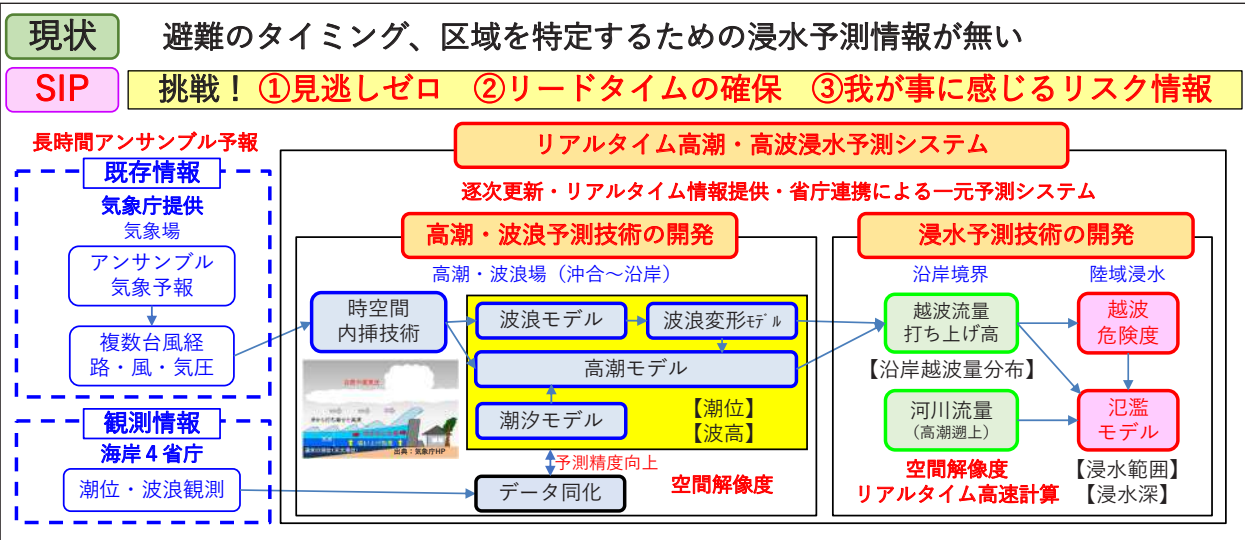


図4 高潮・高波浸水予測システムの全体像

が確保されていることを確認している。浸水解析プログラム⁶⁾は、東日本大震災の津波浸水による事後検証を実施し、予測精度が確保されていることを確認している。

高潮予測システムは、令和2年の台風10号・12号・14号、令和3年の台風5号・8号・10号・14号・16号に対して一連システムの構築を行いながら暫定的な運用を実施し、データ連携の自動化などの課題はあるものの概成している状況にある。

この間、本州に上陸する台風が発生していないため、高波浪時の精度検証を行えていない。平成元年の台風19号の気象予測情報を入力条件とした事後検証では、従来の基本コースでの予測では観測値以下の予測となっているが、アンサンブル予測を用いた予測では、最大予測値は観測値以上となっており、「見逃しゼロ」を確認することができた(図6)。

川崎市総務企画局危機管理室にご協力を頂き実施している社会実装の検討は、川崎市の全部局を対象に、前述の高潮予測システムの予測情報活用した水害図上訓練を実施し、川崎市の関係各部署が、どの場面で予測情報をどのように活用するのか、5日前からのタイムライン(防災行動計画)を策定した。その結果を、表3に示す総括表として整理した。表3は、ステージ毎に、下段のSIP予測

情報を活用した、上段の意思決定事項、中段の予測情報の確からしさとの関係を整理している。

表3の整理により、台風上陸までのリードタイムにおける防災行動の意思決定のタイムラインは、大きく3つのステージで整理することが見えてきた。

また、表4に示すように、令和3年台風14号において、本予測情報を参考情報として活用して頂いた場合でも、3つのステージで予測情報の使い分けがなされていることが事後の川崎市との確認により明らかとなった。

合わせて、表4に示すように、アラート情報としての提供など、予測情報の表示の仕方については、改善要望を頂いたので、次年度の研究開発にて対応し

アンサンブル気象予報の問題点

- 週間アンサンブル(日本域)は北緯30°において格子間隔約55km、3時間おきのデータが264時間先まであり、**時間内挿だけでなく空間内挿が必要**
- メソアンサンブルは格子間隔が約5km、データが39時間先までである。台風の中心位置及び中心気圧については格子点値をそのまま使用しても問題はないが、**データの時間間隔は約3時間と時間内挿が必要**

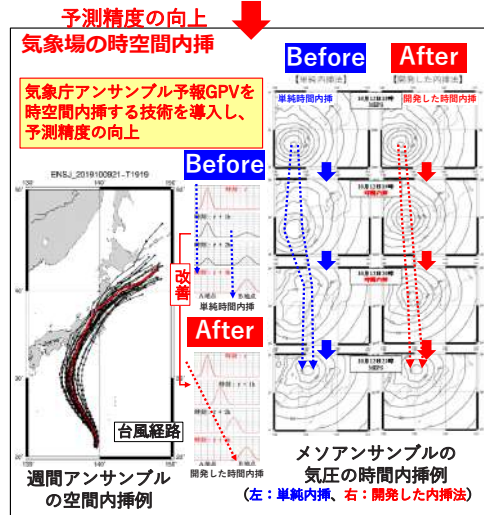


図3 アンサンブル気象予報の気圧場の時空間内挿技術

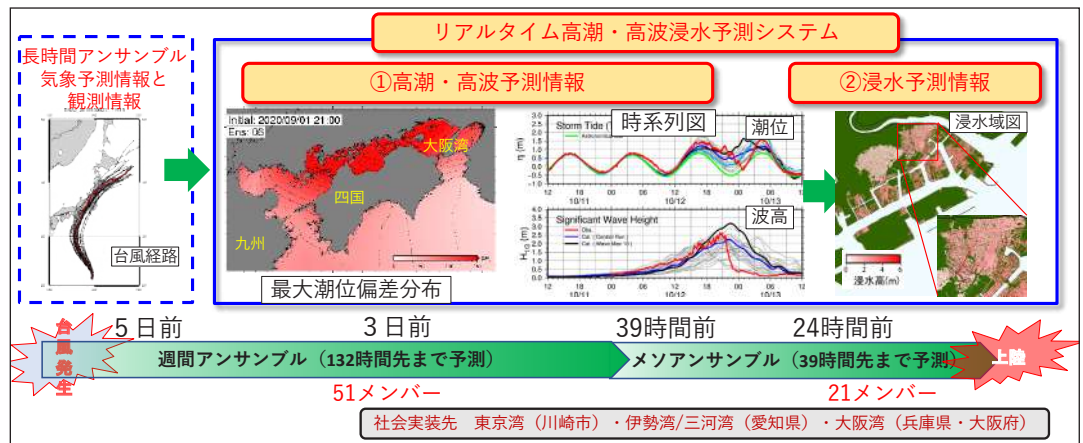


図5 高潮・高波浸水予測システムの予測情報

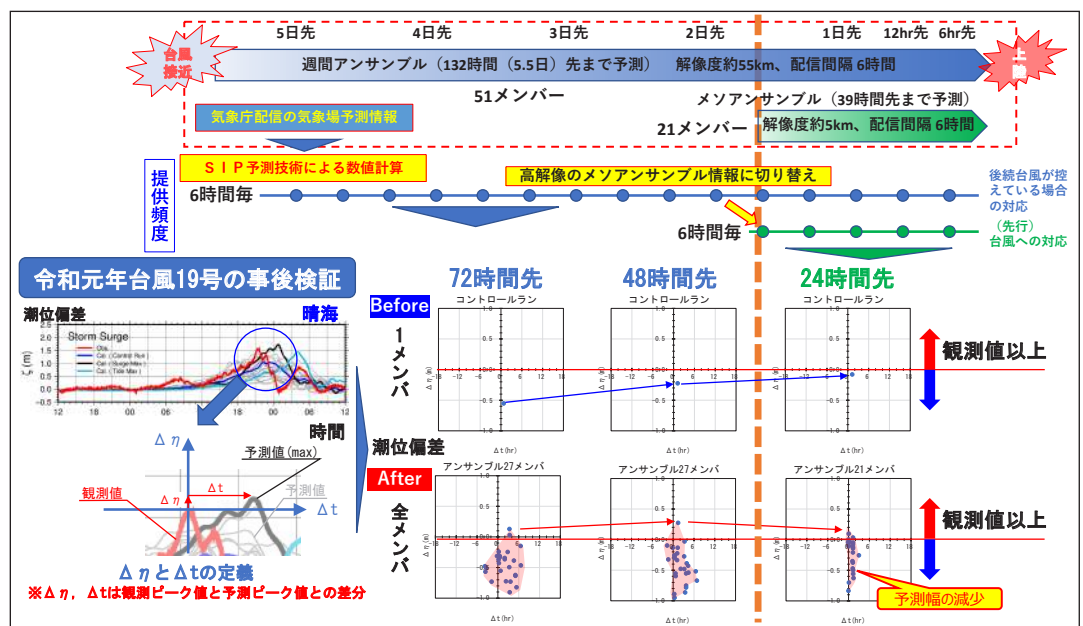


図6 平成元年台風19号事後検証結果

たいと考えている。

現時点の研究開発の現状と今後の研究開発の達成見込みは、表5に示すとおりである。

4 予測情報高度化による防災行動・意思決定の革新（防災行動DX）

前述の水害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図7にて整理した。上段は、予測情報提供のタイムラインを示しており、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。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。

図7は、高潮予測情報活用における、防災行動に関する意思決定の「粒度」と、予測情報の「確からしさ」の関係を、タイムラインに合わせて表記している。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している。

防災行動の意思決定は、台風経路の不確実性なども踏まえると、5日前のリードタイムで全てを決定するのではなく、図7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、予測の確度（確からしさ）が高くなった39時間先の高潮・高波予測情報が得られる段階において、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、水害図上訓練を通じて明らかとなった。

SIP予測情報の活用は、市町村の防災行動に留まらず、将来的には、各種事業者の防災行動にも活用が期待される。図8は川崎市を想定した場合の事業者の水害BCPから地域BCPへの展開例であり、計画運

休・営業停止等の事業者間の連携オペレーションにより、円滑な避難や被害軽減策の確実な実施が可能となる。

SIPでは、5年次の検討において事業者の活用展開の可能性について検討を行い、予測情報活用の社会実装の道筋について提案していく予定である。

5 高潮予測システムの活用に向けての社会実装の道筋の提案

高潮予測システムによ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

表3 タイムライン（防災行動計画）におけるSIP予測情報の活用

標準フォーマット（詳細）			
51メンバー 週間アンサンブル（132時間（5.5日）先まで予測） 配信間隔 6時間			
21メンバー メソアンサンブル（39時間先まで予測） 配信間隔 6時間			
試験運用による情報リテラシーの継続的向上 シムレスな対応			
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	災害警戒本部等設置可能性の判断 災害時対応、平時業務の災害対応に対する事前準備の必要性 タイムラインの調整	避難所開設・バス車道避難・計画運休・ゴミ収集やイベント中止等判断と新たな波及連鎖の想像及び緊急輸送代替活動の検討 関係部局間の連携と事前調整	防潮扉の開閉 避難所開設 各種浸水対策 事後対応への情報収集と準備
予測情報の確度（確からしさ）	台風経路の振れ幅は中（迷走台風の場合は、さらに大） 移動速度、中心気圧減衰規模も不確定	台風経路の振れ幅は中（相対的に経路は収束） 移動速度、中心気圧減衰傾向も収束傾向	台風経路は絞られる 越波・浸水の可能性の確からしさは相対的に高まる
意思決定に活用したいSIP予測情報	台風経路（直撃の可能性） 直撃コース（最悪コース）の場合の外力の規模感（潮位・波高・浸水） ⇒どの程度、本気で準備を進めるかの判断に活用	最悪コースの外力の規模（潮位・波高・越波・浸水） ⇒最悪を想定した準備（見逃しゼロ対応）と台風コースがずれる場合（空振りを想定対応）の準備	最悪コースの外力の規模（潮位・波高・越波・浸水）：最新情報 ⇒越波・浸水の可能性のあるメンバー数：最新情報 ⇒越波・浸水の可能性をメンバー数で判断 ⇒最悪コースの外力の規模で意思決定（見逃しゼロ対応） ⇒但し、最悪とならない空振りの場合の対応（撤回判断）も合わせて意思決定

表4 洪水と高潮の予測情報活用の現状

令和3年台風14号におけ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よいとの予報であった。 各局に気象情報を共有し、港湾局には、SIP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、台風のままだん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に情報提供した。 SIP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。 SIP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表現でき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、波高等図に警戒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		

表5 技術目標の達成状況と今後

設定目標	技術目標	現時点の達成度	4年次見込み	終了時見込み
①見逃しゼロ	アンサンブル予報 の活用(ENS)	●週間ENS：51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 ●メソENS：21メンバー ●ユーザーニーズに応じた出力仕様
	時間内挿技術	●実装済み	(引き続き改良)	●継続的な予測精度の向上
	データ同化技術	●プロトタイプ実装済み	●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	●技術目標達成 ●ユーザーニーズに応じた出力仕様
	予測精度 目標6時間毎	●海城：1日4回予測 ●陸城：動作検証	●海城：6時間毎 ●陸城：6時間毎	●技術目標達成 ●ユーザーニーズに応じた出力仕様
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	●高潮河川上モデルの実装	●継続的なシステム検証	●河川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
	高速度	●半自動処理 ●海城：所要7時間 ●陸城：10m格子（ス（コン）：768並列） 実12時間→計算約10分 3.3m格子（ス（コン）：768並列） 実12時間→計算約30分	●引き続き自動化処理 ●海城：所要3時間 ●陸城：10m格子（WS：128並列） 実12時間→計算約2時間目標 3.3m格子（WS：128並列） 実12時間→計算約24時間目標	●完全自動化（統合） ●海城：所要3時間 ●陸城：10m格子（WS：128並列） 実12時間→計算約1時間目標 3.3m格子（WS：128並列） 実12時間→計算約12時間目標
実台風に対する 事前予測実績	大阪湾 伊勢湾 三河湾（4年次追加） 東京湾	●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 ●提供先：国土省・川崎市・江戸川区・愛知県・大阪府・兵庫県	●システムの安定化、性能向上を目指す、実台風のリアルタイム予測検証を継続的に実施予定	

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提供
開始された令和元年以降、
検証対象となる日本に上
陸す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
用リテラシーを向上さ
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
あると考えている。

5年次の研究、研究期
間後の高潮予測システ
ムの実用化と活用の社
会実装に向けて、引き
続き検討を進めていく
予定である。

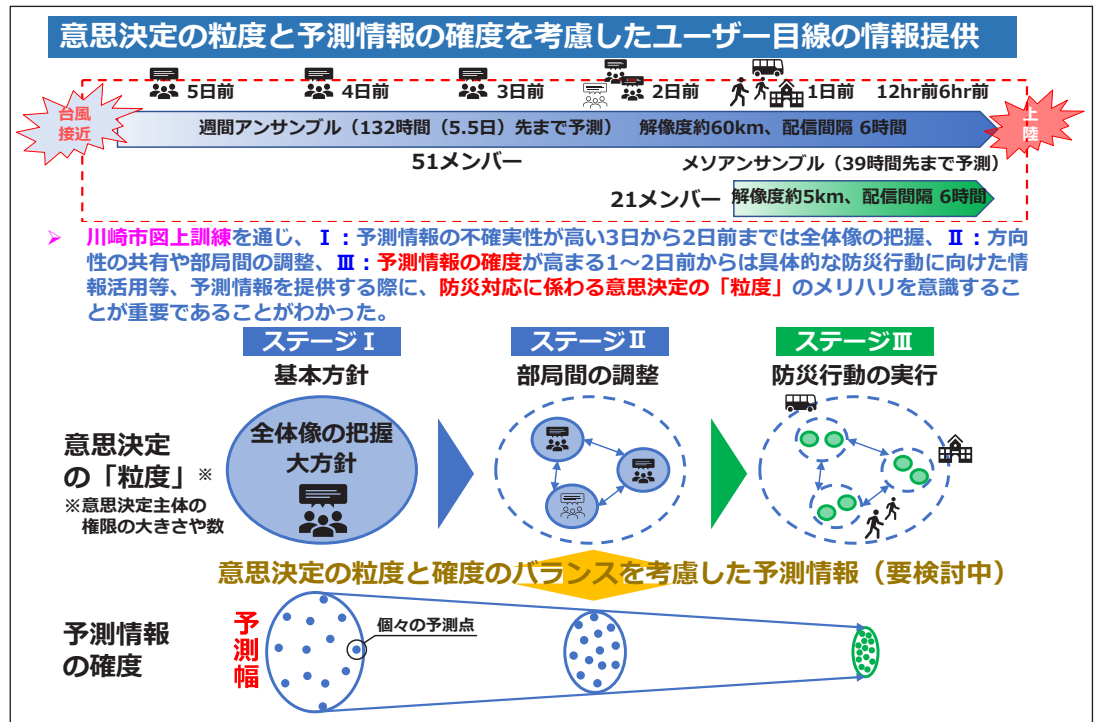


図7 新たな予測情報活用における意思決定の「粒度」と予測情報の「確度」の関係

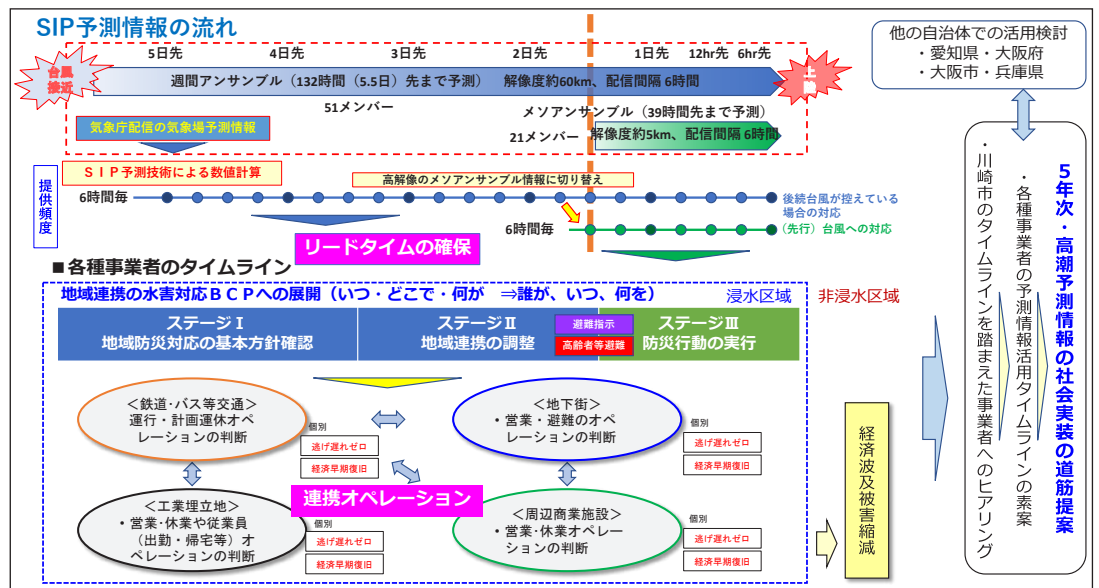


図8 新たな予測情報活用の事業者のBCPへの展開イメージ

【参考文献】

- 1) 気象庁：台風第21号による暴風・高潮等，
<https://www.data.jma.go.jp/obd/stats/data/bosai/report/2018/20180911/20180911.html>
- 2) 気象庁：令和元年東日本台風（台風第19号）による大雨、暴風等，
<https://www.data.jma.go.jp/obd/stats/data/bosai/report/2019/20191012/20191012.html>
- 3) 内閣府（防災担当）：避難情報に関するガイドライン，2021.5，
http://www.bousai.go.jp/oukyu/hinanjouhou/r3_hinanjouhou_guideline/pdf/hinan_guideline.pdf
- 4) 園田彩乃，宇都宮好博，松藤絵理子，鈴木隆宏，内田洋平，鈴木善光，内田裕之：アンサンブル気象予報を用いた高潮予測，土木学会論文集B3（海洋開発），Vol.76，No.2，I_204-I_209，2020。
- 5) 鈴木善光，高山知司，吉永泰祐，岡田弘三，窪田和彦，宇都宮好博，松藤絵理子，君塚政文：WAMとWAVEWATCHⅢによる推算波浪の再現特性，土木学会論文集B3（海洋開発），Vol.72，No.2，I_265-I_270，2016。
- 6) 大石裕介，今村文彦，菅原大助，古村孝志：津波解析における信頼性の高い市街地浸水モデルに関するスパコンを用いた検討，土木学会論文集B2（海岸工学），Vol.72，No.2，I_409-I_414，2016。