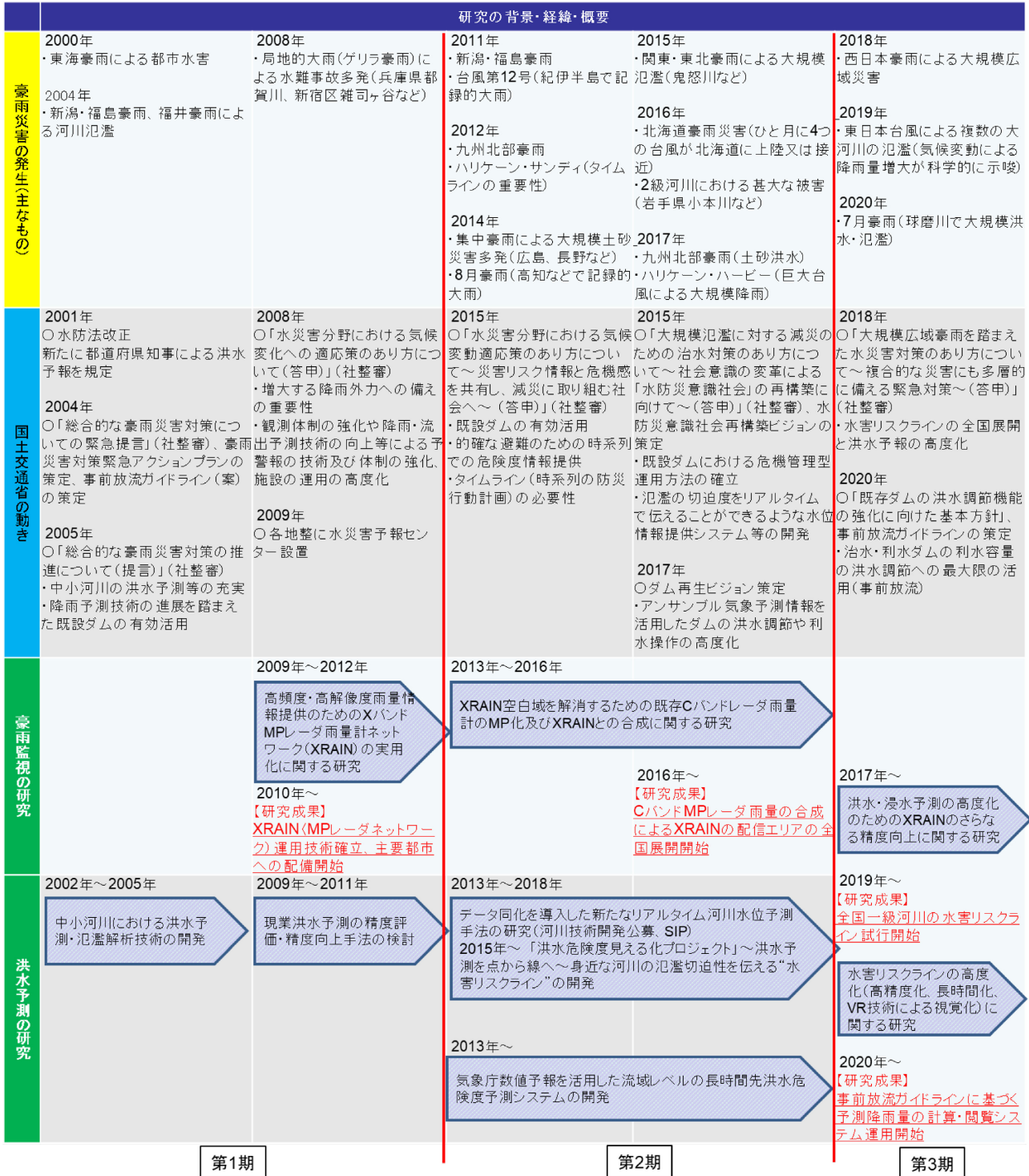


# 洪水の把握・予測手法の高度化

## 1. 研究・活動のアウトライン

1. 強

国土技術政策を支える研究開発



### ◆第1期：相次ぐ中小河川の氾濫に対応するための豪雨監視「XRAIN」の実用化に関する研究・技術開発に着手

【背景と課題】2000年の東海豪雨、2004年の新潟・福島豪雨や福井豪雨をはじめ、各地で中小河川の氾濫が頻発した。特に2008年には、局地的大雨（いわゆるゲリラ豪雨）に起因する洪水により石川県金沢市浅野川、兵庫県神戸市都賀川において氾濫や水難事故が発生し、この年は、現代用語の基礎知識選『ユーキャン新語・流行語大賞』のトップ10に「ゲリラ豪雨」が選出されるなど、局地的大雨とそれに伴う被害が大きく注目された。この状況を踏まえ、国土交通省では、中小河川における局地的大雨による水難事故防止対策の検討が実施され、局地的大雨の監視を強化するため、従来のCバンドレーダ雨量計より時空間解像度の高いXバンドMPレーダ雨量計を整備していくこととなった。2年後の2010年には、三大都市圏等（関東、北陸、中部、近畿地域）を観測エリアとする11台のXバンドMPレーダ雨量計により、高解像度（250mメッシュ）、高頻度更新（1分間隔）、リアルタイム（2～3分遅れ）の面的雨量分布情報が、インターネットを通じて一般配信された<sup>1)</sup>。XバンドMPレーダ雨量計は2012年までに27台体制となり、このレーダ雨量計ネットワークは「XRAIN」と名付けられた。

なお、XRAINはその後も主に都市部を対象に観測エリアの拡大が進められ、2014年には38台体制となったが、この年に発生した長野県南木曾町の土石流災害がXRAINの非観測エリアであったことから、XRAINの全国カバーの要望が高まり始めた。そこで、既に26台体制で全国をカバーしていたCバンドレーダ雨量計を、機器更新にあわせてMP化し、その観測ネットワークを活用することが考えられた。2016年には、一部のMP化されたCバンドレーダ雨量計とXバンドMPレーダ雨量計を併せてネットワーク化することでXRAINの観測エリアの大幅な拡大が図られた。Cバンドレーダ雨量計はその後も順次MP化、XRAINへの組み込みが進められ、令和2年にはXRAINがほぼ全国をカバーするに至っている。

【研究概要と主な成果】国総研では、防災科学技術研究所、京都大学、気象庁等の専門家の協力を得て、2008年のXバンドMPレーダ雨量計の整備開始からその後の運用において、レーダ雨量計ネットワークの設計、データ処理・配信システムの構築、アンテナのスキャンモードの検討、雨量算定パラメータのチューニング、減衰補正や合成手法等のアルゴリズムの高度化の検討等を行い、XRAINによるレーダ雨量観測を実用化するための種々の技術を確立した<sup>2)</sup>。また2012年より、XRAINの全国カバーの実現に向け、XバンドMPレーダ雨量計で培ったノウハウや技術を活用して、MP化されたCバンドレーダ雨量計の雨量算定アルゴリズムの検討、Xバンド及びCバンドMPレーダ雨量の合成アルゴリズムの検討を行い、Cバンドレーダ雨量計のMP化による観測精度向上やXRAINの観測エリアの拡大に貢献した<sup>3)</sup>。

### ◆第2期：気候変動による大河川の氾濫頻発化の懸念を背景とした河川水位予測に関する研究・技術開発に着手

【背景と課題】2007年にとりまとめられたIPCC第4次評価報告書で気候システムの温暖化は疑う余地がなく気候変動に対する適応策が必要とされ、2014年の第5次評価報告書で気候変動により将来極端な降水がより強くより頻繁になる可能性が高いとされた。これと呼応するように、2011年の紀伊半島、2014年の高知で、総雨量1,000mmを上回るような記録的な大雨が発生し、アメリカでも2012年のハリケーン・サンディ、2017年のハリケーン・ハービーといった巨大ハリケーンによる甚大な被害が発生した。

ハリケーン・サンディでは、被災したニューヨークにおける被害軽減の取り組みが注目され、発災から時間を遡って設定する事前防災行動計画「タイムライン」の重要性が認識された。わが国におけるタイムラインの運用のためには、河川氾濫の発生時刻や場所を的確に予測できることが望まれた。

一級河川の河川水位予測については、従来、河川事務所において当該事務所が管理を担当する河川毎に予測システムが構築・運用され、その予測結果が水防法に基づく洪水予報における今後の水位の見通しに関する情報として使用されてきた。初期の河川水位予測手法は主に、河川の整備計画策定の際に計画降雨量を与

えて基本高水等を見積もるために調整された貯留関数法の流出モデルを用い、そのモデルに気象庁等による予測降雨量を与えることで予測地点毎に数時間程度先までの河川流量を予測し、H-Q式により水位に換算することにより行われてきた。その後、流出モデルに土木研究所等で開発された分布型流出モデルを用いる等、各河川事務所において試行錯誤的に様々な手法で河川水位予測の改良が行われてきたが、検討された河川水位予測手法の大半は流出モデルを主体とする手法がとられてきたため、モデルの入力値となる予測降雨量の誤差が河川水位予測の精度向上に対する大きな課題と認識されてきた。他方、2015年の関東・東北豪雨における鬼怒川の氾濫において、堤防決壊までに避難勧告・指示が発令されていない地区が存在したことや、避難の遅れ等により多くの住民が孤立したことから、身近な地先での河川氾濫の危険性や切迫度をリアルタイムで伝える必要性が認識され、これを実現するための河川縦断水位の予測技術の開発が急務となった。

**【研究概要と主な成果】** 国総研では従来から、各河川事務所で開催された河川水位予測システムの予測精度向上に向けた取り組みに対して技術的助言を行う等してきたが、2015年の関東・東北豪雨における鬼怒川の氾濫で認識された課題等の解決を図るため、「洪水危険度見える化プロジェクト」を発足し、予測降雨量の誤差の影響が少なく、河川縦断方向に連続的な水位を予測する手法と、予測水位から地先単位での洪水危険度を評価し表現する手法の開発に着手した<sup>4)</sup>。河川水位予測手法については、これまでに蓄積されてきた流出モデル、河道水理モデルに関する知見と、京都大学において研究が進められた粒子フィルタによるデータ同化手法を組み合わせ、新たな河川縦断水位のリアルタイム予測手法として実用化した<sup>5)</sup>。また、洪水危険度の表現手法については、氾濫がいつ、どこで発生しうるか、河川測量断面毎(200～400m毎)に河川に沿った“線”の情報(後に「水害リスクライン」と名付けられた)として表現する手法を開発した。

水害リスクラインは、2018年に荒川(関東)、山国川、川内川の3水系で試行運用が開始され、2019年に試行河川を順次拡大し<sup>6)</sup>、2020年には全国の一級河川(109水系)の現況危険度情報がインターネットを通じて一般配信されるようになった。この動きと並行して、国総研では、水害リスクラインの高度化(河川水位予測情報の精度向上、長時間化、表現の改良)に関する調査研究を進めているところである。

### ◆第3期：大規模広域氾濫の発生と長時間先洪水危険度予測に関する研究・技術開発に着手

**【背景と課題】** 2018年の西日本豪雨、2019年の東日本台風では、複数の河川で大規模な氾濫が発生するとともに、複数のダムで洪水調節容量を使い果たすおそれから異常洪水時防災操作が実施される事態となった。これを受け、ダムを所管する関係行政機関の参画のもと、既存ダムの洪水調節機能強化に向けた検討会議が設置され、2019年12月に「既存ダムの洪水調節機能の強化に向けた基本方針」が決定された。この基本方針に基づき、洪水貯留に使用しうる空き容量を洪水前により多く確保するための「事前放流」が、従来の治水ダムだけでなく、全国の利水ダムにおいても実施されることになった。2020年4月には「事前放流ガイドライン」(国土交通省水管理・国土保全局)が定められ<sup>7)</sup>、事前放流は、各ダムの上流域平均予測降雨量がダムごとに予め設定された基準降雨量以上であるときに実施するものとされた。各ダムにおいて基準降雨量が設定されるとともに、各ダム管理者が当該ダム上流域の予測降雨量を参照するためのシステムの構築が急ピッチで行われ、2020年出水期より、これらを活用した洪水時におけるダム運用が開始された。

**【研究概要と主な成果】** 国総研では、2013年より、気象庁数値予報データから各河川の流域平均雨量を集計し、予測された流域平均雨量と河川の計画雨量との関係から洪水危険度を評価する長時間先洪水危険度予測システムを試作し、改良を重ねてきた。このノウハウを活用して、ダムの事前放流の実施判断に用いられる予測降雨量の計算・閲覧システムを短期間で構築し、2020年6月より開始された新たなダム運用の実現に寄与した。



## 2. 主な研究成果

### ◆「XRAIN」の実用化に関する研究・技術開発（第1期）

XバンドMPレーダ雨量観測の基礎技術は防災科学技術研究所により開発されたものであるが、国総研ではレーダ雨量計の電波が降雨で減衰することによる観測不能領域の発生を抑制するレーダ雨量計ネットワークの設計、膨大なレーダ雨量計データをリアルタイムに処理・配信するシステムの構築、個々のレーダ設置環境に応じた最適な観測設定等、XRAINの整備・運用に関する技術的事項の検討を行い、XRAINの実用化技術を確立した。また、MP化されたCバンドレーダ雨量計とXバンドMPレーダ雨量計の観測データを合成するデータ処理アルゴリズムを開発し、XRAINの観測精度向上、観測エリア拡大が図られた。

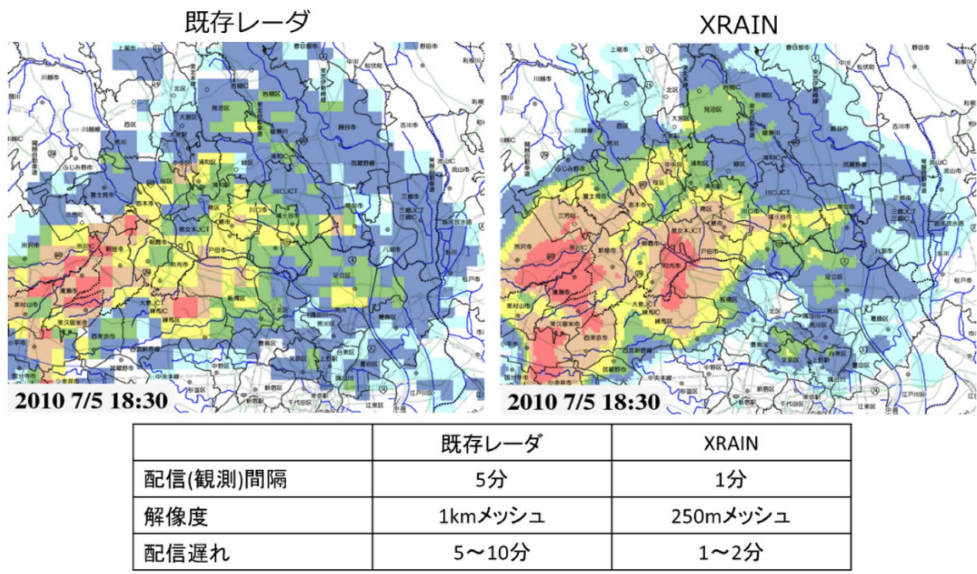


図-1 既存レーダとXRAINの比較

### ◆河川水位予測技術の研究・技術開発（第2期）

河川縦断水位の予測技術として、流出モデルと河道水理モデルで構成される河川水位予測モデルにデータ同化技術を適用した予測手法を開発した。河道水理モデルを導入することで、河川縦断方向の水位分布（水面形）と、それが下流へ伝搬していく過程を物理的に計算することが可能になった。またデータ同化技術により、計算される水面形が多地点の観測水位と整合するように、河川水位予測モデルの状態量、パラメータをリアルタイムで調整することを可能とした。これら技術を用いて①現時刻の水面形を推定、②推定した水面形を物理的に下流へ伝播、という手順で将来の水位を予測する（図-2）<sup>5)</sup>。この手法によって、上流からの水面形の伝播に支配される河川下流の水位予測において特に予測雨量の誤差の影響が少なくなり、精度向上が図られた。

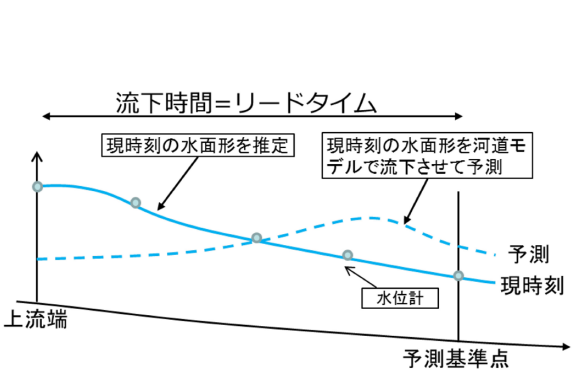


図-2 河川水位予測の考え方

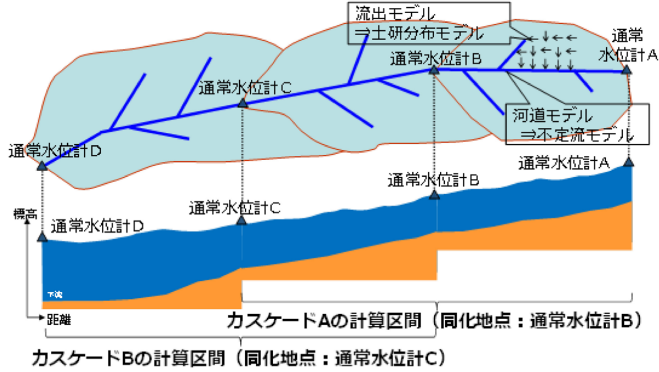


図-3 カスケード区間の設定のイメージ

1. 強

国土技術政策を支える研究開発

河川水位予測モデルに多地点の観測水位データを同化させる手法として、カスケード同化手法を開発した。この手法は、同化地点毎に計算対象の流域・河道区間を分割したカスケード区間を設定し、上流からカスケード区間毎に順次、粒子フィルタにより同化計算を行うものである(図-3)。カスケード同化を適用しない粒子フィルタの場合は、同化地点の観測所数のべき乗に比例する計算量となるが、カスケード同化手法を適用した場合は、同化地点の観測所数に比例する計算量に減らすことができ、これによって多地点の観測水位をデータ同化したリアルタイム河川水位予測計算が実現した。

洪水危険度の表現手法として、各断面における計算水位と危険水位等との関係から危険度を評価し、その危険度を河川に沿って色分けして表示する手法(「水害リスクライン」)を開発した(図-4)。時間の経過に伴って変化する氾濫発生切迫度の高い箇所を俯瞰的かつ地先単位で把握することが可能となった。



図-4「水害リスクライン」の表示例

◆長時間先洪水危険度予測に関する研究・技術開発(第3期)

レーダ雨量、気象庁数値予報データから河川の治水基準点上流の過去72時間～将来81時間先までの流域平均雨量時系列データを作成し、当該河川における計画降雨継続時間の雨量を算出して河川整備の計画降雨量と比較することで洪水危険度を評価する長時間先洪水危険度予測手法について検討している。各河川の治水基準点上流域平均雨量時系列図(図-5)、各河川の整備計画目標洪水の降水量と予測雨量の比を示す洪水危険度マップ(図-6)を自動的に作成する。これによって、全国の一級水系の雨量の見通しや洪水危険度を俯瞰的に把握できるようになることが期待され、今後も改良を重ねていくこととしている。

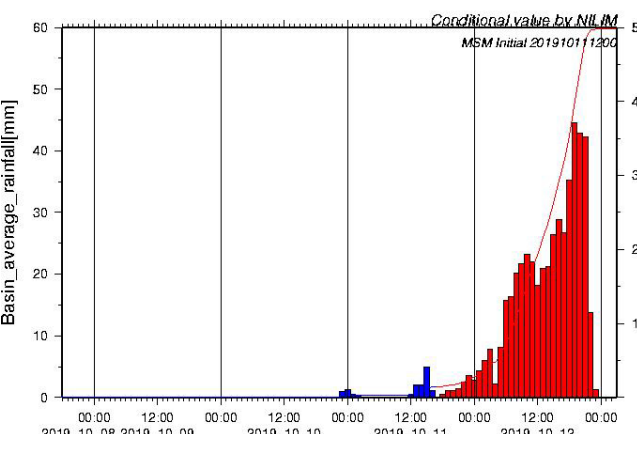


図-5 流域平均雨量時系列図の例

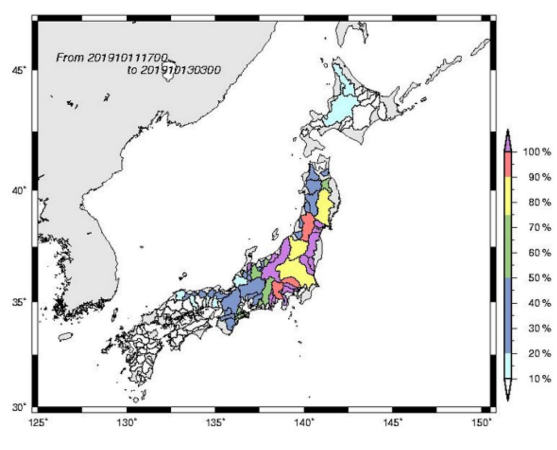


図-6 洪水危険度マップの例



上述の検討で得られたノウハウを活用し、2020年4月に策定された「事前放流ガイドライン」に基づいて、全国の治水・利水ダム管理者等がダムごとの予測降雨量を参照できるようにするための計算・閲覧システムを作成した（図-7）。このシステムは、2020年の出水期から実運用を開始したところである。

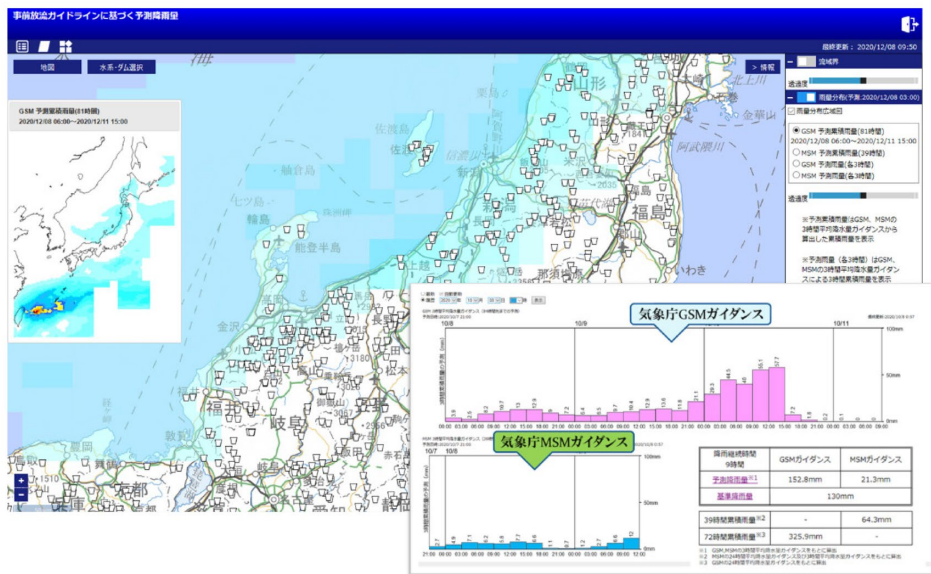


図-7 予測降雨量の計算・閲覧システムの概観

1.  
強

国土技術政策を支える研究開発

### 3. 関係する報告書・技術資料一覧

- 1) XバンドMP（マルチパラメータ）レーダの降雨観測情報（web画像）の一般配信について、記者発表資料、2010。  
[https://www.mlit.go.jp/report/press/river03\\_hh\\_000243.html](https://www.mlit.go.jp/report/press/river03_hh_000243.html)
- 2) XRAIN雨量観測の実用化技術に関する検討資料、国総研資料、No.909、2016  
<http://www.nilim.go.jp/lab/bcg/siryounn/tnn/tnn909.htm>
- 3) 国総研で開発した技術により「XRAIN」の配信エリアが拡大、記者発表資料、2016  
<http://www.nilim.go.jp/lab/bcg/kisya/journal/kisya20160629.pdf>
- 4) 洪水危険度見える化に向けた取組、土木技術資料、Vol.58 No.1 pp.10-13、2016
- 5) データ同化技術を導入した実用的な河川水位予測手法の開発、土木技術資料、Vol.61 No.9 pp.8-11、2019
- 6) 「水害リスクライン」により身近な箇所の危険度が明らかに、記者発表資料、2019  
[https://www.mlit.go.jp/report/press/mizukokudo04\\_hh\\_000108.html](https://www.mlit.go.jp/report/press/mizukokudo04_hh_000108.html)
- 7) 事前放流ガイドラインの策定について、記者発表資料、2020  
[https://www.mlit.go.jp/report/press/mizukokudo04\\_hh\\_000064.html](https://www.mlit.go.jp/report/press/mizukokudo04_hh_000064.html)

### 4. 今後の展望

洪水の把握・予測手法の高度化は、昨今の水災害の態様の変化に対する喫緊の社会的課題に即応する研究開発として実施してきたところであり、今後も気候変動影響の顕在化によりこの分野に対するニーズはさらに拡大、複雑化が進むと考えられる。旧建設省土木研究所水文研究室、水資源開発研究室等の時代から継続して蓄積されてきた水文・水理に関する研究の知見を基に、大学等研究機関における最新の研究成果を取り込んで、新たな技術として実用化し、行政と連携して社会実装していく研究手法は今後も変わるものではないが、急展開するニーズに遅れをとらないよう、異分野を含めた外部研究機関とより一層緊密な連携を図りつつ、既開発技術の高度化、新技術の実装を加速する必要がある。