

2014 年度・河川技術に関するシンポジウム

OS: 「降雨・洪水予測技術の現状・展望と防災対策への応用」記録

2014 年 6 月 6 日 13:30~16:00

オーガナイザー: 椿涼太 (広島大学), 内藤正彦 (国土交通省)

OS「降雨・洪水予測技術の現状・展望と防災対策への応用」では、セッション企画の概要説明の後に、セッション前半では、気象・豪雨予測の観点から 3 名、リアルタイム洪水予測や避難支援を取り扱った投稿論文を材料に 2 名の発表者による話題提供が行われた。セッション後半では、前半の話題提供者に 1 名がパネラーとして加わって総合討論を行った。以下に、それぞれの発表・議論の概要を示す。

【OS 趣旨説明】(国土交通省 内藤正彦)

前回 (2013 年) の河川技術に関するシンポジウムでは、特定課題として「危機管理の実務に供する洪水技術」をテーマに議論を行った。特に、洪水の流出・流下過程に着目して、主に大河川のリアルタイム洪水予測技術の現状と課題、そして今後の方向性などについて議論を進めた。

2014 年 4 月に改定された「避難勧告等の判断・伝達マニュアル作成ガイドライン (案)」において、避難・防災行動の行動原則が確認された。河川技術者 (国・都道府県の行政, 河川管理者等) の役割は、洪水、氾濫、浸水等実況、予測情報、その他住民避難や防災活動に役立つ情報を、より早く、より高い精度で伝達することであり、これらの情報により避難勧告をするかしないかは市町村長、避難をするかしないかは住民個人が判断することが求められている。ガイドラインでは、洪水の避難勧告は従来どおり河川の実況水位をもとに洪水の予警報を行うことになっているが、前回の OS で議論したように、洪水 (水位) や氾濫の予測情報を加える必要があるだろう。また、避難行動の開始ややりかたを判断するためには、時間の確保が重要であり、洪水予測のリードタイムを考慮することも重要な視点である。

そこで、今回の OS では、「降雨・洪水予測技術の現状・展望と防災対策への応用」をテーマに議論を行う。中小河川では、流出・流下過程の予測のみでは数十分から 1 時間程度のリードタイムを稼ぐのが限界で、様々な取り組みの隘路となっている。これに数十分から 1 時間を超える降雨予測を組み合わせることができれば、避難・防災行動またはその判断のための時間の確保が現実のものとなる可能性がある。

そこでまず、降雨過程の予測の現状・動向について情報共有し、河川の洪水予測や浸水予測 (内水氾濫を含む) などどのような変化 (展望) をもたらすのかを議論したい。また、大河川での降雨、流出・流下、氾濫の過程を順次予測するのに対して、中小河川や内水氾濫ではそれぞれの過程やそれらを統合した過程の予測から避難・防災行動を支援する情報を発することで時間を稼ぐ方法もあり得る。そこで後半では、避難・防災行動の支援に関する技術を取り上げ、リアルタイム予測をベースにしたプロセス全体の議論を進めていく。

【投稿論文の整理】(流域減災 WG 椿)

今回の河川技術論文集に投稿されたものの中から特定課題に関係するものを降雨・流出・氾濫・避難

等の行動という軸に沿って整理したものを図-1 に示す。降雨観測技術のめざましい発達と普及，計算能力向上や気候変動モデリングなどに付随する気象現象の理解の深化なども踏まえ，降雨予測技術が発達しつつある。「降雨・洪水予測技術の高度化に向けたレーダ雨量情報の高度化と活用の動向」では，国土交通省における洪水予測技術の高度化に向けた取り組みとしてレーダ雨量情報の高度化の現状と，これを活用した降雨・洪水予測技術の動向を総括し，実務に資する洪水予測技術の確立に向けての課題が示されている。台風や低気圧性集中豪雨など多量の降水が予想される場合，より長時間先までの降雨予測を行うことは，今後の洪水予測や危機管理の向上にとって重要な課題となっている。「2011 年台風 12 号・15 号を対象としたアンサンブル降雨流出予測実験」ではアンサンブルによる降水予測を流出モデルに組み合わせた流出予測の可能性が議論され，「降雨分布のスケール分離に基づいた短時間降雨予測情報の予測誤差推定手法に関する研究」では，予測降雨の確からしさを推定する手法について紹介している。また，「XRAIN を用いた流出予測精度向上に係る手法の研究」では，XRAIN の電波消散対策として C バンドレーダと合成した雨量を用いることにより，分布型洪水予測モデルの予測精度を向上させる取り組みが行われている。

河川水位を対象とした洪水予測精度に関する投稿論文として，「未経験の洪水に対するニューラルネットワーク洪水予測の精度向上に関する研究」，Unscented Kalman Filter(UKF)を用いた洪水予測の妥当性を旨とした「中小河川の水位予測モデルにおける非線形フィルタリング手法の適用性評価」，急激な水位変動に対する予測水位の確度検討を行った「河口砂州崩壊の影響をうける河道区間の水位予測手法の開発」，さらに，観測データと不定流計算モデルを組み合わせた「粒子フィルタと洪水追跡モデルを用いた水位流量曲線の作成および補正手法の開発」がある。

降雨・洪水予測から避難行動のインターフェースとして，投稿論文「中小河川群における内外水氾濫過程を踏まえた地区別の避難判断・行動に関する研究」「都市域浸水予測・避難支援統合パッケージシステムの実用化に関する研究」は共に，小流域の市街地を対象としているが，前者は降雨予測と観測水位を組み合わせた判断を支援する情報の検討を，後者はリアルタイム予測による情報提供を指向している。

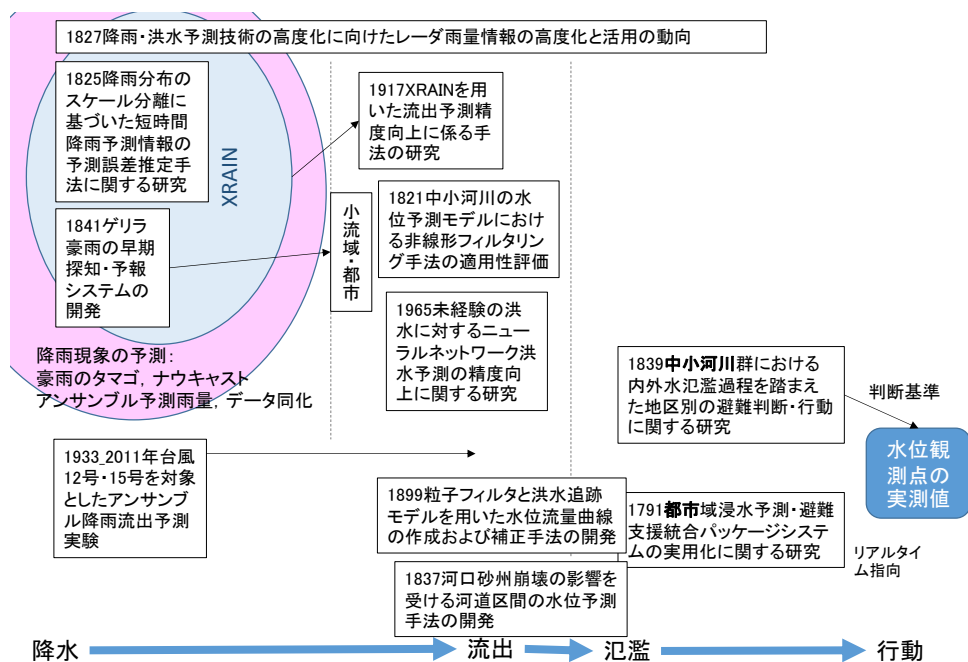


図-1 降雨・流出・氾濫・避難等の行動という軸に沿った投稿論文の整理

【話題提供・前半】

○「河川管理から見た降雨予測の最新動向ーゲリラ豪雨の早期探知・危険性予測とアンサンブル予測ー」
 京都大学 防災研究所 中北英一

河川管理から見た豪雨の監視と予測は、災害をもたらす豪雨のスケールにより、表-1のようにまとめることができる。台風や集中豪雨の規模の降雨予測では、レーダ雨量と大気モデルを用いたデータ同化技術による精度向上、複数の時系列をアンサンブル予測が行われるようになってきている。ゲリラ豪雨をもたらす積乱雲の寿命は30分～1時間程度であり、XRAINやフェーズドアレイレーダーによる豪雨の監視が行われているが、これに伴う都市域の小河川や下水道での鉄砲水による災害を防ぐには、ゲリラ豪雨の早期探知と危険予測が重要となっている。

表-1 豪雨スケール別の監視と予測方法

	範囲	継続時間	災害の規模	豪雨の監視	豪雨の予測
台風	1000km	1日から 数日	大河川での洪水 大規模水害、土砂災害	気象衛星 大型気象レーダ群	大気モデル アンサンブル予測
集中豪雨	100km	6時間 から 半日	中小河川での洪水 内水氾濫、土砂災害	大型気象レーダ群	レーダと大気モデル アンサンブル予測
ゲリラ豪雨 (局地的豪雨)	数 km	1時間 程度	小河川や下水道での鉄 砲水、都市内水氾濫	小型レーダ群 (XRAIN, フェーズ ドアレイレーダー)	ゲリラ豪雨の早期探 知と危険予測

2008年都賀川での事例を振り返ってみると、上流での豪雨や河川に横流入する鉄砲水により10分程度で水位が急激に上昇し、約50人が流され幼稚園児3名を含む5名が犠牲となった。当時、降水観測の情報は10分後に伝わるので、鉄砲水が発生した後により早く降雨状況を把握できる状態であった。時間スケールが極端に小さな災害では1分1秒でも早い注意喚起が防災上必要不可欠であり、出来る限り早い時刻でゲリラ豪雨の発生を予測する技術の創出が防災上急務となっている。

これまでのゲリラ豪雨の予測は、地上である程度の強度の降雨が観測された段階で行われるが、ゲリラ豪雨の早期探知では積乱雲の発達段階に生成するゲリラ豪雨のタマゴ（初期の降雨粒子）を捉えることを目指した。都賀川の局地豪雨を気象レーダの立体観測により調べたところ、地上では降水が観測されていない状況で、降雨開始の30分前に豪雨のタマゴを見つけることができた。

国土交通省は、平成21年から全国の都市域を中心に従来のレーダよりも時間・空間ともに高解像度であるXバンドMP（マルチパラメーター）レーダ（XRAIN）を配備し、観測ネットワークを構築し、ゲリラ豪雨災害への観測体制を強化している。従来のレーダ（Cバンド非偏波レーダ）とXRAINを比較すると、10分雨量精度が格段に改善し、個々の積乱雲を識別し追跡することが可能で、積乱雲の寿命内であれば、運動学的手法が適用可能となっている。また、セル追跡法による降雨予測でも、従来手法ではできなかった個々のセルの発達・衰弱を表現できるようになってきている。

またドップラー風速を用いた豪雨のタマゴの危険予測では、タマゴが発達しない事例では雲は回転していないが、タマゴが発達した事例では雲の水平回転を確認しているため、雲の水平回転をドップラー風速の正負成分の混ざり合いとして検出する。ほとんどの豪雨事例でタマゴ探知と同時刻で高い渦度を確認することができ、タマゴ探知、渦発生、降雨強度最大の一連の過程が維持されることが分かっている。

危険性予測システムの2013年8月6日の適用事例について、タマゴを早期探知した時刻および危険と予測された時刻の危険性予測指標の3次元表示と地上降雨強度の分布を示した。システムでは、タマゴが探知された時点で水平分布に赤丸を付している。16時10分時点では、上空のタマゴのみ探知されているが、地上ではまだ降雨強度が探知されていない状況である。そして地上で降雨が開始され始めた頃には危険なセルとして予測がなされている。最終的には、豪雨の危険性予測システムと河川での洪水自動警報を連動させることを目指していきたい。

ダム管理に必要な降雨予測では、レーダーベースのアンサンブル予測が有効である。地形性降雨を考慮したアンサンブル予測手法では、積算雨量ベースで3時間先までを、ある程度の精度で予測が可能となっている。近い将来、気象庁により2km数値気象モデルによるアンサンブル予測が行われる。現在の大気モデルにおけるアンサンブル予報では、51メンバで216時間の予報がなされているが、メソスケールモデルでは35時間の決定論的予報のみである。短時間メソアンサンブル予報があれば、これを用いた洪水予報が可能である。時間まではレーダのアンサンブル情報、3時間から33時間まではメソスケールモデルによるアンサンブル予測情報を用い、両方ともバイアス補正を行う。これらの統合アンサンブル予測により、30時間先までのハイブリッド洪水予測を行うと、2011年9月の二津野ダム流域では、実績のピーク流量がアンサンブル平均をカバーする結果が得られている。今後は、1時間先までの豪雨のアンサンブル予測と洪水流出予測を組み合わせるなど、洪水予測精度の向上の発展が期待される。

○ XRAIN と雲解像モデルによる局地豪雨の予測

名古屋大学 地球水循環研究センター 坪木和久

積乱雲は大気のおよび揺らぎに起因して分単位で急激に発達し、局地的豪雨をもたらす。そのような局地的豪雨を定量的かつ時空間的に精度よく予測するには、XRAINを雲解像モデル(CReSS)に同化した予測法が有力である。以下ではXRAINの情報を雲解像度モデルに同化し、1~3時間の予測を行う手法について概説する。

高解像度モデルを用いたシミュレーションにおいても、空間スケールの小さい局地豪雨の予測はモデルや初期値の問題点があり難しいので、豪雨の予測精度向上には擾乱の情報を高解像度モデルに与えるためのデータ同化が必要である。データ同化とは、降雨分布や気流の観測データを用いることでモデル値の修正を行うことであり、1から3時間後の降雨を雲解像度モデルにより予測するためには出来るだけ計算コストの小さい同化法を用いることが望ましい。3次元変分法(3D-VAR)は、あらかじめ求められている誤差による重みをもとに、観測値およびモデル値の両者にとって一番バランスのとれた値を推定する。ナッジングは、モデルの計算ステップごとに、観測量をナッジング係数(重み付け)に応じて線形に加算または除算し、観測値に漸近させていく方法である。

XRAIN-CReSSによる短時間量的予測システムは、300~500km四方の領域を正味3時間先までをり

アルタイムで予測するものである。雲解像度は 1km で降水強度、地上風、気温、地上の湿度、地上気圧、降水のタイプ、総水蒸気量、総凝結水量、渦度、発散、大気の安定度の指標となる対流有効位置エネルギーを、10 から 20 分間隔で出力することが可能である。短時間予測システムの実行に必要なデータは、地形データ、土地利用データ、海陸分布、海水分布のほか、予測計算毎に大気の格子点データ、海面温度および XRAIN のデータが必要となる。

2010 年 7 月 15 日岐阜県南部に発生した豪雨(多治見では 1 時間で 83.5mm)を対象に、XRAIN-CReSS による短時間量的予測の状況を比較した。XRAIN によるデータ同化を行わない場合は、局地豪雨が再現されていないが、近畿・東海・北陸のデータを用いて同化を行った場合は 100mm/h 程度の局地豪雨を再現することができた。このようなデータ同化をしない場合、1mm 程度の降雨は再現性に影響はないが、30mm 以上ではほとんど降雨分布を再現することはできない。また、初期値から 1 時間だけ同化した場合でも 3 時間目にその効果が顕著になることを示した。レーダ同化した CReSS の降水を入力値として河川流量予測を試みた 2010 年 7 月 15 日の可見・八百津の豪雨の例においても、レーダ同化した場合に現実に近い河川流量予測が行われることを示した。

○ 高解像度降水ナウキャストによる降水予測

気象庁 予報部 西嶋 信

2014 年度に配信される高解像度降水ナウキャストデータは、降水強度、5 分間降水量および誤差情報を、30 分先までは 250m、35 から 60 分先までは 1km の解像度で 5 分毎に発表する仕様となっている。高解像度降水ナウキャストデータは、観測、解析、予測の 3 ステップで、降水系全体と強雨域とに分けて処理している。観測データとしては、気象庁の C バンドレーダ 20 基、国土交通省の X バンド MP レーダを 35(+3)基、アメダス、国土交通省、自治体など 10000 台以上の雨量観測値およびラジオゾンデやウィンドプロファイラなどの高層気象観測データなどである。

降水系全体での解析は、レーダ雨量を雨量計で補正することが基本である。また、雨量計観測網で捉えることのできない局地的な強雨は、降水強度と降雨減衰量の関係に着目し、雨域両端の反射強度を 2 つのレーダで比較することにより、雨量補正を行う。強雨域では、気象庁ドップラーレーダと国土交通省 XRAIN を用いて、3 次元降水・風分布を高い解像度で解析する。

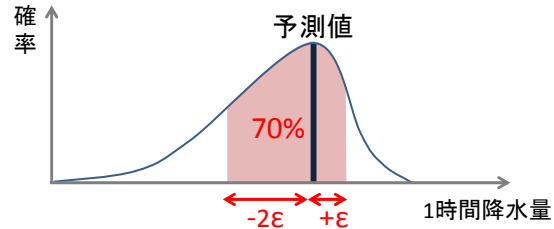
基本的な予測手法は、パターンマッチングによる実況補外であり、強雨域の場合は別途検出して合成する。降水系全体では 10 分、30 分、60 分の移動量を、強雨域では 5 分の移動量を検出する。線状強雨の発生可能性が高い領域では、レーダ雨量積算およびくさび型テンプレートを用いて、線状降水の開始点を検出し、強雨域を停滞させる。強雨域の盛衰は、予測精度と時間を考慮し、ある時間までは 3 次元の実況補外を、それ以降は鉛直 1 次元対流予測モデルを用いている。

強雨域周辺で発生する新たな積乱雲は、地表の風の分布、気温と水蒸気量の時間変化から発生予測域を推定し、そこに降水域を発生させる。また、微弱なレーダーエコーの位置と動きを検出し、微弱エコーが合流する場所に降水域を発生させている。

予測誤差情報は、実況解析値における誤差要因（上空エコー、雹、ブラインドバンド、クラッタなどのフラグ情報）と降水量予測値の誤差幅推定値（図-2 を参照。5 分間降水量予測値を 1 時間分積算した降水量予測値に対して、70%の確率で誤差が $-2\epsilon \sim \epsilon$ の範囲内に入る）の 2 つである。

予測誤差情報#2 降水量予測値の誤差幅推定値(ϵ)

5分間降水量予測値を1時間分積算した降水量予測値に対して、70%の確率で誤差が $-2\epsilon \sim \epsilon$ の範囲内に入る



高解像度降水ナウキャストの予測値は実際の雨量より大きいことが多い
→確率の区間を予測値より少ない側に広く取ることで ϵ の値を小さくできる。

図-2 予測誤差の幅

以上の高解像度降水ナウキャストにより期待される主要な効果を下記に示す。

1. 250m 格子で降雨予測がなされるので都市域中小河川の洪水予報精度が向上
2. 強度および5分積算雨量を5分毎に発表することにより5分毎の洪水予報が可能
3. 予測誤差情報による水位予測の信頼度情報

【質疑・討議】

・現状技術とその少し先を見てきたが、さらに技術が進んでいくと5年程度先、ここでみてきたような局地的な降雨や気象の予測はどこまでいくのか？

・ゲリラ豪雨関連

観測技術では、雲レーダ、境界層を可視化するためのライダーなどの情報とXRAINとの情報を組み合わせると、積乱雲が発生する前の大気の状態を捉えることが可能となるだろう。また、瞬時に雨を捉える気象レーダとして、フェーズドアレイレーダーが実現しており、より詳細な雨の振る舞いが見えてくるようになる。これらを用いれば、定量的なゲリラ豪雨の予測というのが可能になるだろう。

・数値モデルについて

水蒸気を精度よく予測することが重要なテーマとなっている。GPSやXRAINの降雨域から水蒸気を予測することが可能になっている。また将来的には、雲解像モデルにおいて、現在の1kmの解像度を500mあるいは100mのオーダーで解析していきたい。京のようなスーパーコンピュータを用いれば、数100mの解像度で日本全体を計算することが十分可能である。このような計算が可能になれば、台風に伴う局地的豪雨を予測することができる。

雲解像度モデルは公開しているので、河川技術者自らが局地的豪雨の予測を個々の地域で進めていくことが可能である。その降雨予測結果をインプットとして河川流量の予測が行われることが期待される。

【話題提供・後半】内水・外水氾濫現象を避難行動につなげるインターフェースという観点から、投稿論文をベースとして現場サイドからのニーズの共有も意図した話題提供を行う。

○ 浸水予測・避難支援システムに対するユーザーニーズと実用化に向けた方向性

株式会社建設技術研究所 藤原 直樹

都市域浸水予測・避難支援パッケージシステムの実用化に関する研究では、XRAIN 等を活用し、都市氾濫を高精度にかつリアルタイムに短時間で予測できるモデルを開発し、水防活動や避難行動に必要な情報を効果的に伝達するパッケージシステムの構築を目的としている。開発した内外水複合氾濫高速予測モデルは、地表面の道路ネットワークおよび下水道ネットワークなど、全ての雨水の流れを1次元不定流ネットワークでモデルによって表現し、リンクモデルの工夫や並列処理による高速化を行い、海外ソフトと同等レベルの演算速度と精度が得られている。神田川桃園川幹線流域では、直径 600mm 以上の下水道管路、幅員 3m以上の道路を対象にモデル化したところ、約 0.4 分で1時間先の浸水予測を計算することができている。国土交通省の各河川事務所に導入されている洪水予測システム用サーバー程度のコンピュータを用いて、100km²程度の流域を対象に1時間先までを5分ピッチで予測し、アラート配信を行う場合、予測データの送受信のために必要な時間が約1分なので、演算に利用することができる時間は4分が限度となっている。この場合、流域面積 100km²当たりの下水道管路のリンク数を48程度とすれば可能で、解析対象となる下水道管路の直径は800mm以上となる。

パッケージシステムには、Xバンドレーダ雨量（実況、予測）等を用いて開発モデルによるリアルタイム予測演算を行い、情報伝達では予測結果を用いて浸水深の表示やアラート配信など、防災担当者が必要となる様々な情報が効率的に統合されている。

構築したシステムを用いて地蔵川、鶴見川および神田川を対象とする実証実験を実施したの中で、地蔵川における事例を以下に紹介する。対象面積は約 20km²で、下水道管渠は 600mm 以上をモデル化した。また、浸水実績範囲付近に水位センサーを設置して一定水位以上でのアラート配信する機能もパッケージシステムに加えた。平成 25 年 9 月 4 日に尾張東部や尾張西部では猛烈な雨が降り、4 日 17 時までの1時間に名古屋市中区および港区の周辺で約 110mm、春日市付近で約 100mm を解析した。浸水予測システムを構築した地蔵川流域においても、床上・床下浸水、道路冠水が発生した。河川水位は、溢水ぎりぎりの所まで上昇するような状況であった。実際には、18：16 に春日市において避難準備情報が出されたが、構築したシステムではそれよりも早い段階でアラートを出すことができていることを確認した。雨の情報としては、16：20 に降雨予測アラートメール、17：01 および 17：21 に浸水予測アラートメール、17：09 に実測の水位センサーからの浸水発生アラートメールが配信された。

実証実験ヒアリングを通じて得られたユーザーニーズとして、管理者が所管する範囲により違いはあるものの、精度の高い3～4時間先までの予測雨量、精度の高い河川水位予測および広範囲の浸水予測が求められている。また、内水地域など小さなエリアで発生している浸水状況の情報は、非常に有用である。自治体によっては、どこに浸水の危険性があるかを早く知りたいというニーズがあることが分かったので、広域を対象とした浸水の瞬時予測に関する研究を進めていきたい。

平成 25 年 9 月 4 日のナウキャスト降雨予測では、広範囲にわたる豪雨を予測しているが、降雨の大きい 17：00 時点の実況降雨（XバンドMPレーダ）と 16：30 時点の30分後の予測雨量（ナウキャスト）を比較すると、地蔵川流域ではやや小さめの予測となっている。このため、ナウキャスト予測雨量を用いた実証実験では、河川水位の立ち上がり部の予測水位は低めであったが、XバンドMPレーダの実況雨量を用いた場合の予測水位は、立ち上がり部の水位波形を精度良く予測することを確認している。河

川水位予測、浸水予測の精度向上に大きく寄与する予測雨量の精度向上に期待したい。

○ 地域防災計画における避難勧告等の発令基準や地区防災計画での予測数値の活用と期待

株式会社建設技術研究所 田中 耕司

2013年の山口・島根豪雨では、3時間に300mm以上の雨が降るなど、市町村では今までの体制では抗えないような外力が来た場合の対応について悩みを抱えている。あと何時間で河川水位が避難判断水位、危険水位に到達し氾濫するのか、避難所の開設等の準備はいつごろからはじめるのか、地域の危険な個所はどこなのか、どの地区から情報を発信していくかということが重要である。しかし、こういった情報は現在の浸水想定氾濫区域図からは議論することは難しい。

対象とする大野市では、地域防災計画策定にあたり、現実的な避難勧告等の発令方法や、それに伴って判断・行動できる住民の防災意識をどのように行っていくかなどの課題を抱えている。そこで、大野市を浸水リスク別に地域単位で分割し、対象の洪水氾濫リスクを説明する雨量や河川水位と、日常に発信される気象情報（大雨・洪水予警報）とを結びつけ、住民自らがこれらの情報により避難できるような仕組みを作り上げていく試みを行っている。

福井県大野市での氾濫解析の事例では、降雨を治水計画規模（超過確率50年）だけでなく、確率規模別の外力、実績最大（昭和40年9月豪雨）、DAD解析で得られた1時間および24時間雨量から作成したモデル降雨などを設定した。また、浸水想定区域図の作成の前提は外水氾濫ではあるが、地区毎の特性を踏まえると降雨分布と内外水を考慮できる氾濫解析モデルが必要となる。設定降雨に対する氾濫解析により浸水状況の事前予測を行った。様々な外力が流域内で様に降る条件下で評価すれば、本当に危険な地区ならびに安全な地区を推定することが可能である。例えば、避難勧告を考える場合、1階水没、家屋流出の発生する可能性のある地区については避難所への移動が必須だが、最大豪雨でも床下浸水以下であれば、2階以上の家屋で垂直避難も可能かなど、避難の優先順位を把握することができる。また、様々な外力を想定した時系列の浸水状況を考慮して、地区毎に優先順位を設定することも可能である。これらの情報を活用することにより、河川水位が氾濫注意水位となった段階でこれから予測される雨量により氾濫可能性のある地区を特定しながら住民への避難勧告等の発令を行うことが可能であろう。

【パネルディスカッション】

パネラー：中北英一 京都大学 防災研究所
坪木和久 名古屋大学 地球水循環研究センター
西嶋 信 気象庁 予報部
藤原 直樹 株式会社 建設技術研究所
内藤 正彦 国土交通省 水管理・国土保全局
深見 和彦 国土交通省 国土技術政策総合研究所
ファシリテーター： 広島大学 椿 涼太助教

以下、本OSのパネルディスカッションにおける議論を整理して概要を記す

Q：避難・防災行動における河川技術において、高精度の洪水、氾濫、浸水の予測情報を発信するために必要となる気象情報とその課題について

・これまでは、予測降雨の精度が良くないために、これを利用した洪水予測の精度も悪くなっていたが、今後は高精度の予測降雨を利用できる状況が整いつつあるので、より高い精度の洪水予測が求められるだろう。これまでの洪水流出予測においては、降雨を河川流量に、HQにより流量を水位に変換する過程を経ていたので、予測された流量や水位についての妥当性を検討していたが、降雨を含めて誤差の原因について検討していく必要があるだろう。

・昨年度のOSにおいては、大河川の場合においても実況降雨を用いた水位予測の難しさについて報告があった。大河川の場合には、堤防の破堤による浸水予測が重要なので、河川水位の予測が欠かせない。実況降雨を用いた河川水位の予測において、その予測がどの程度の信頼度があるかという予測幅（誤差）の範囲は、研究レベルでは評価されているが、実務ではこれまで示されていなかった。降雨量のアンサンブル予測を用いた流出予測の例のように、水位の予測精度を吟味していく取り組みが必要であろう。

Q：今回は、短時間の降雨予測が対象であったが、ダム管理では6、12、24時間などより大きなスケールでの予測が必要となる。台風などの場合はアンサンブル予測である程度の精度を確保しているが、前線性や雷雨性の降雨ではまだ課題があるのではないか。データ同化により初期値を設定することで、雷雨性の降雨を予測することは可能なのだろうか。また気象分野では降雨予測の精度が向上しているようであるが、例えば気象庁の場合にはメッシュ単位で10kmから20kmのずれは仕方がないとの共通認識があるようで、洪水予測を行う場合はこのようなずれが問題となることもあるので、気象分野での今後の展望について聞きたい。

・ある程度の流域面積を持つダム流域では、現在の降雨予測幅の流量予測に対する影響はあまりないだろう。台風の場合、そのコースが当たらない場合やその速度が遅い場合に、総降水量に対する影響が大きく課題がある。特に夏場は、太平洋高気圧の分布により台風のコースが影響を受けやすい。重要なのは、対象とする河川流域において予測降雨を入力し、予測精度の幅がどの程度になるかを検証することである。

・気象学の立場からすれば、降雨の予測精度が上がったかどうかは、対象とする降雨現象を特定してから議論する必要がある。すべての降水現象に対して精度を上げるのは難しい。今回の話では、いままで予測できなかった積乱雲スケールの降雨現象が再現できるようになったことを示した。この場合は、おそらく3時間までが限度で、6時間、12時間先を予測するためには、その時間スケールに応じた力学場をモデル化し、それぞれの時間スケールに対して精度評価をする必要があるだろう。

・土砂災害や洪水流出での予測降雨の利用では、気象庁でも降雨がどこで降るかという情報が重要ということ十分に承知している。気象の予測モデルで利用する解像度が5kmの場合、1つの波を予測するには最低でも5つの格子すなわち20kmのスケールが必要となる。このことが、予測雨量がどこに降るかという位置精度に関わっている。

・中小河川では流出まで2時間、大河川では流出まで6時間程度かかっている。現状として直轄河川では6時間（先）の予測ができていないかという点、これまでは3時間を目安にやっていた。今後は、今回紹介された降雨予測情報に加え、洪水流出モデルにおいてもフィルタリングや統計モデルを用いてデータ同化を行い、リードタイムを確保していく検討が重要だろう。

Q: 様々な情報は市町村に入り、そこで市町村長などが会議などで決断されてから市民に情報が伝わるので、この過程に多くのリードタイムが費やされるだろう。この点はどのように考えているか。

・河川技術者は、市町村長が見て即時判断できるような情報を出すことが重要であろう。例えば、台風の進路は予想円を用いて表示されているので、その確からしさを知ることができている。河川においても市民に分かりやすい直観的な情報を出していくことを考えれば、現況水位や予測水位をベースに、その先の破堤のリスクや浸水リスクを示していくことや、中小河川では降雨を入力して浸水区域を即座に出すという方法を用いて、現況と将来予測を示しながら避難等の判断ができるような仕組みを作ることが河川技術者の役割だろう。

・中小の市区町村では、防災情報があまり入ってこないという現状がある。都市域浸水予測・避難支援統合パッケージシステムでは、市区町村の担当者が様々な情報を得ることができる点が非常に有用であることも分かっている。

・東京の中小河川ではこれまで多くの水位観測が行われているので、雨水の流出特性が十分理解されている。このような河川流域を対象に予測（誤差）の幅 α （気象予測誤差 $\times \alpha =$ 洪水予測誤差。図-3 を参照）について検討していくことが必要であろう。また河川管理する立場の側がリードタイムの中でやるべき事があるはずなので、この点についてトレーニングしていくことも重要である。

1. 河川技術側からみた場合、降雨予測の精度・リードタイム・ばらつきはどこまで高まればよいか？

- 危機情報の空振り \leftrightarrow 必要な行動につながらない
- 空振りのない危機情報が出せれば一気に局面が変わる？

- 気象予測精誤差 $\times \alpha =$ 洪水予測誤差
- 気象予測精誤差 $\times \alpha' =$ 内水氾濫予測誤差

- 洪水予測誤差 $\times \beta =$ 浸水予測誤差

図-1 気象予測誤差と洪水や氾濫の予測誤差の関係