

鉄道車両の避難判断支援のための 簡易な河川氾濫予測方法の開発

佐藤大輔・中渕遥平・大西瑞紀

1. はじめに

2019年10月の令和元年台風19号（以下「台風19号」という。）の大雨により、千曲川が決壊し、長野新幹線車両センターに留置中の北陸新幹線車両10編成120両が浸水した（写真-1）。このような車両の被害を防ぐ方法として、車両を浸水の恐れのない場所に事前に避難させることが考えられる。このためには河川氾濫の発生を早期に予測して、車両の避難に必要な余裕時間を確保する必要がある。車両の避難には、車両の移動のほかに運転ダイヤの作成や乗務員手配、車両点検などの準備作業が必要である。また、広範囲にわたる運休を伴うことも想定され、その事前の告知も必要である。このため、約1日先の河川氾濫の予測情報が得られることが望ましい。現在、国土交通省と気象庁が河川氾濫の予測情報を配信しているものの、両者とも数時間先までの予測情報であり、車両の避難が完了するまでの余裕時間が十分とはいえない。

そこで筆者らは、気象庁の39時間先までの予測降水量を用いた約1日先の河川氾濫の危険性を予測する方法を開発した。本方法はシステム化され、車両避難の判断を支援するシステムとして2020年3月より運用を開始している。本稿では、開発した方法の概要と有効性の評価、構築したシステムについて報告する。

2. 流域平均雨量による河川氾濫の予測方法

2.1 河川氾濫の危険性の評価基準

本方法は、河川の流域平均雨量の予測値を算出し、その値が河川の計画降雨量を超過した場合に河川氾濫が発生する可能性があるとして評価するものである¹⁾。

図-1に河川の構造と流域を模式的に示す。ある河川について、降った雨がその河川に流下する範囲を流域という（図-1の赤線内）。河川の流域に



写真-1 長野新幹線車両センターの浸水状況

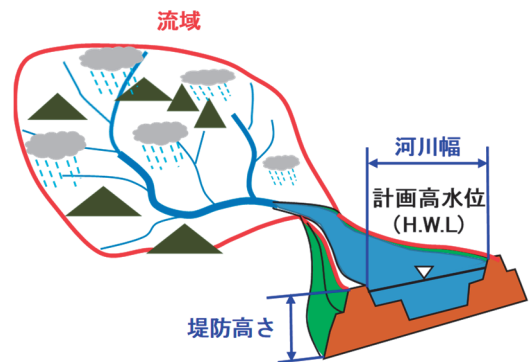


図-1 流域と河川構造の模式図

降る雨量の面積平均を流域平均雨量と言い、流域平均雨量は河川の水位上昇に影響する。河川には数十年から200年に一度の洪水の発生を想定した雨量が計画降雨量として設定されており、河川の地点ごとに一定の継続時間（一般的に1日から3日）における流域平均雨量が計画降雨量として用いられる。堤防などの河川管理施設は、計画降雨量発生時の河川水位（計画高水位）までは安全に流下できるように整備される。言い換えると、計画降雨量を超える大雨の場合は、河川の水位が計画高水位を超過し、越水等が発生する可能性がある。そこで、河川の流域平均雨量が計画降雨量を超過する場合に河川氾濫が発生する危険性が高いと評価することとした。

2.2 流域平均雨量の予測値の算出方法

ある時刻における流域平均雨量の予測値は、そ

の時刻までに観測された流域平均雨量の実況値に、その後の流域平均雨量の予測値を加えることで算出する。実況値には気象庁が配信する解析雨量を用いた。解析雨量は、気象レーダーの観測値を雨量計の観測値で補正した1kmメッシュの降水量である。予測値には、気象庁から配信されるメソ数値予報モデルガイダンス（以下「MSMg」という。）の予測降水量を用いた。MSMgは数値予報モデルの一つで、5kmメッシュで3時間ごとに39時間先までの3時間降水量の予測値が配信される。

図-2に、河川の流域と車両基地等、解析雨量およびMSMgのメッシュの関係を模式的に示す。MSMgは5kmメッシュで予測降水量が算出されるが、流域に含まれる解析雨量の1kmメッシュの領域に相当する予測降水量のみを流域平均雨量の算出に用いている。河川氾濫時に浸水の恐れのある車両留置箇所について、車両留置箇所の最寄りの水位観測所における流域平均雨量の予測値を算出した。

2.3 計画降雨量超過の判断方法

流域平均雨量の予測値が計画降雨量を超えるか否かを判断する際には、2.1で述べた計画降雨量の継続時間における積算雨量で判断する必要がある。そこで図-3に示すように、予測時刻を含む計画降雨量の継続時間長における流域平均雨量の実測値と予測値の積算値を、任意の開始時刻についてすべて算出し、その最大値を計画降雨量超過の判断に用いた。この最大値を「期間最大流域平均雨量の予測値」と呼ぶこととした。

3. 河川氾濫予測方法の有効性の検証

3.1 台風19号時の千曲川でのシミュレーション

長野新幹線車両センター付近では、台風19号による大雨で千曲川の堤防が決壊したことで深さ約4mの浸水が発生した。図-4に同車両センターに最も近い国土交通省立ヶ花水位観測所における台風19号通過時の千曲川の河川水位を示す。この観測所では10月13日1時に計画高水位10.75mを超える11.33mが観測された。また現地では同日0時55分頃に堤防からの越水、その後堤防の決壊が確認されている。以上から、河川水位が計画高水位を超過すると河川氾濫の危険性が高まることが改めて確認できる。

図-5に台風19号通過時の立ヶ花水位観測所にお

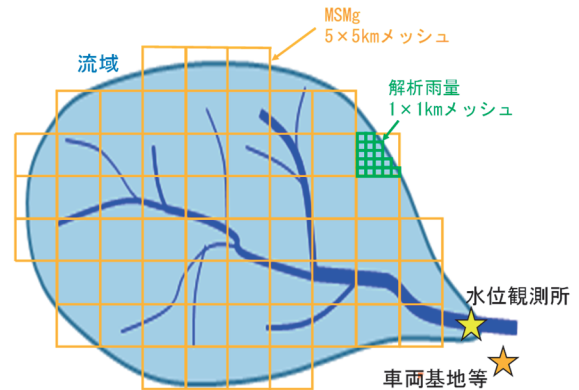


図-2 流域と解析雨量およびMSMgのメッシュの関係

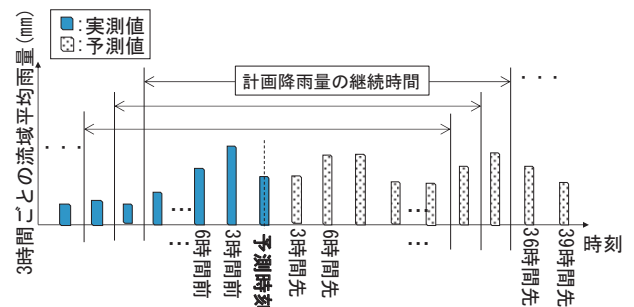


図-3 予測時刻における計画降雨量の継続時間

ける流域平均雨量の実況値の推移を黒線で示す。実況値は、10月12日21時にこの観測所の計画降雨量である186mm（48時間）を超過している。また図-4には、12日12時時点で予測される流域平均雨量の推移を緑色の点線で示した。立ヶ花水位観測所における計画降雨量の継続時間は48時間であり、図-5の右側の棒グラフに示したように12日12時の予測における期間最大流域平均雨量の予測値は219.0mmである。

図-6に立ヶ花水位観測所における10月10日から13日の3時間ごとの期間最大流域平均雨量の予測値を示す。赤矢印で示した12日0時以降で期間最大流域平均雨量の予測値が計画降雨量を超過している。河川水位の実況値が計画高水位を超過したのは13日1時頃であり、期間最大流域平均雨量が計画降雨量を超過すると最初に予測した時刻はその25時間前である。そのためこの事例では、約1日前に河川氾濫の危険性を予測できることになる。

3.2 流域平均雨量による河川氾濫予測の精度評価

流域平均雨量による河川氾濫予測の精度を、複数の地点・降雨事例での予測結果から評価した。評価の対象地点は、東日本旅客鉄道株式会社（以下「JR東日本」という。）の路線で浸水の被害が

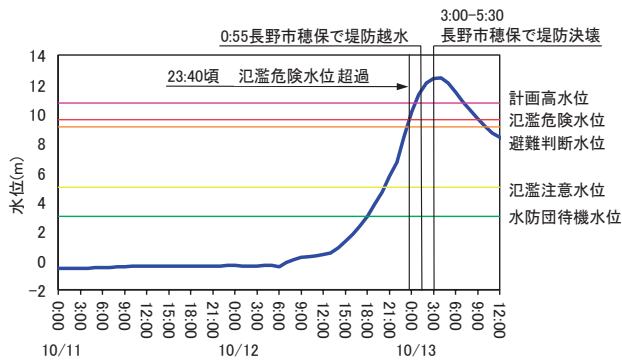


図-4 台風19号通過時の河川水位（立ヶ花水位観測所）

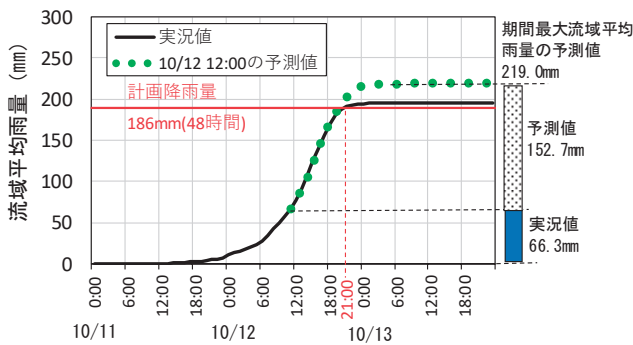


図-5 台風19号通過時の流域平均雨量の実況値と予測値の推移（立ヶ花水位観測所）

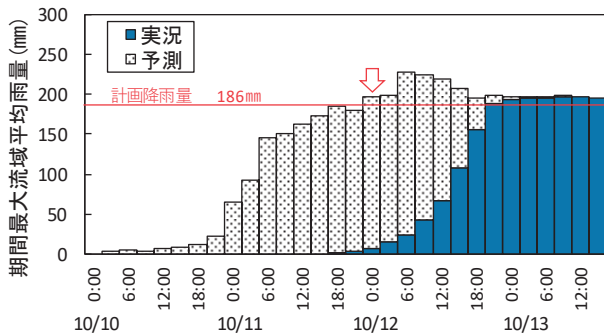


図-6 台風19号通過時の期間最大流域平均雨量の予測値の推移（立ヶ花水位観測所）

想定される車両留置箇所の最寄りの水位観測所地点のうち、過去の水位データが入手可能な27地点とした。対象期間はMSMgのデータが入手可能な2014年以降とした。対象とする降雨イベントは、水位計観測所ごとに対象期間中の水位の上昇量が大きい順に4イベントを抽出し、のべ108イベントを検証に用いた。

河川水位が計画高水位を超過した事例、または期間最大流域平均雨量の予測値の計画降雨量を超過した事例の予測結果を表-1に示す。なお河川水位については、計画高水位だけでなく、河川氾濫の恐れがあるとされる氾濫危険水位および市区町

表-1 河川水位の実況値と期間最大流域平均雨量の予測値基準値超過状況

降雨イベント	河川	水位観測所	河川水位 (実況値)	流域平均雨量 (予測値)	
2015年 台風18号	那珂川	水府橋	超過	超過	空振り割合の評価事例 (21事例)
	阿賀野川	満願寺(左岸)	超過	超過	
2016年台風9号	恩田川	浅山橋	超過	超過	
	北上川	男山	超過	超過	
	子吉川	二十六木橋	超過	超過	
2017年 7月前線	雄物川	椿川	超過	超過	
	信濃川	大河津	超過	超過	
	信濃川	長岡	超過	超過	
2017年 10月前線 +台風21号	魚野川	小出	超過	超過	
	信濃川	長岡	超過	超過	
2019年 台風19号	鳴瀬川	野田橋	超過	超過	捕捉割合の評価事例 (6事例)
	鶴見川	落合橋	超過	超過	
	磐井川	釣山	超過	超過	
	関川	高田	超過	超過	
	魚野川	小出	超過	超過	
	恩田川	浅山橋	超過	超過	
	千曲川	立ヶ花	超過	超過	
	阿武隈川	阿久津	超過	超過	
	多摩川	田園調布(上)	超過	超過	
	多摩川	石原	超過	超過	
	信濃川	大河津	超過	超過	
	那珂川	水府橋	超過	超過	
	信濃川	長岡	超過	超過	

超過	河川水位が計画高水位を超過
超過	河川水位が氾濫危険水位を超過
超過	河川水位が避難判断水位を超過
超過	期間最大流域降雨量の予測値が計画降雨量を超過

村長による高齢者等避難の発令判断の目安である避難判断水位の超過状況も示した。

予測結果を捕捉割合と空振り割合により評価する。捕捉割合は、河川水位が計画高水位を超過した場合に、流域平均雨量が計画降雨量を超過すると予測した割合で評価した。河川水位が計画高水位を超過したのは台風19号通過時の6地点であり、そのうち流域平均雨量の予測値が計画降雨量を超過したのは5地点で捕捉割合は5/6と高い値を示した。なお、捕捉できていた5事例のうち4事例で約1日前から河川氾濫の危険性を予測できていた。

空振り割合は、流域平均雨量が計画降雨量を超過すると予測したが、河川水位が計画高水位を超過しなかった場合の割合で評価した。流域平均雨量の予測値が計画降雨量を超過した21事例のうち、実際に計画高水位を超過したのは5事例で、空振り割合は16/21事例であった。ただし、空振り事例16事例のうち約半数の9事例で、氾濫危険水位や避難判断水位を超えており、河川の管理上氾濫の危険性がある水位に達していた。

以上の結果をまとめると、本方法は河川氾濫の危険性を精度高く予測できる一方で、河川氾濫が発生する可能性があるとして予測したが、実際には河

川氾濫に至らなかった空振り事例の割合も高い。このような特性を考慮して、実運用にあたっては本方法による予測結果と河川管理者や気象庁、自治体の情報等を総合的に判断して車両避難の実施を決定することとした。

4. 車両疎開判断支援システムの構築

流域平均雨量による河川氾濫の危険性の予測方法を鉄道に適用するために、車両疎開判断支援システムとしてシステムの構築を行った。

図-7に車両疎開判断支援システムの概要を示す。このシステムでは、河川の流域平均雨量の予測値が、計画降雨量をもとに余裕を見て低めに設定した値に達すると、車両避難の準備開始が発令される。その後、計画降雨量を超過すると車両避難の警報が発令される。これらが発令されるとブザーが鳴動するとともに、車両避難の準備開始の場合はオレンジ表示、車両避難の警報の場合は赤表示が画面上に点灯する。また、流域平均雨量の他にも河川氾濫の危険性による車両避難の要否の判断に有益な情報を表示することとした。具体的には、国土交通省の河川水位の予測値、気象庁の流域雨量指数の予測値、さらに上流での河川増水情報や河川のライブカメラ映像が表示される。

なお車両避難の判断は、このシステムで確認できる指標の他、河川管理者や自治体への問合せ、気象情報等をもとに支社等の対策本部で総合的に判断して行っている。

このシステムは2020年3月から使用を開始し、順次導入箇所を拡大して同年10月までにJR東日本において浸水の可能性がある車両留置箇所78箇所すべてに適用されている。

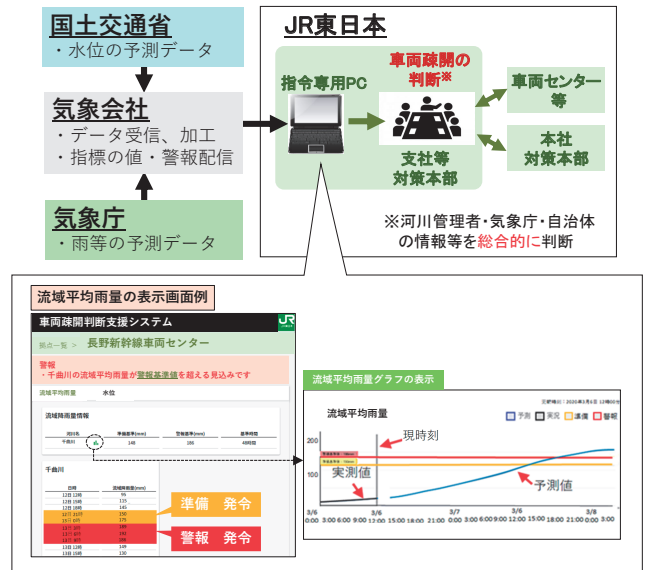


図-7 車両疎開判断支援システムの概要

5. おわりに

本稿では、約1日先の河川氾濫の発生予測を目的とした流域平均雨量の予測値による車両避難の判断方法の開発と車両疎開判断支援システムについて紹介した。流域平均雨量による予測方法は約1日先の河川氾濫の危険性を簡易に予測できると判断し、車両避難の判断に実装している。今後は、気象庁が配信するより長時間先までの予測降水量を活用するなど、より早く河川氾濫の危険性を把握するための検討を進める。一方で、流域平均雨量による本方法は流域の地形や降雨の空間分布等を考慮しているわけではなく、実際の河川水位の挙動や危険な水位となる時刻の予測精度には限界がある。より長時間先までの河川水位予測が社会実装されることを期待しつつ、その活用についても検討を進めていきたい。

参考文献

- 1) 鈴木博人、中瀬遥平、道広有理、大西瑞紀、佐藤大輔、田中淳一：流域平均雨量を用いた河川氾濫のリアルタイム予測、土木学会論文集B1（水工学）、Vol.76、No.2、I_553～I_558、2020。

佐藤大輔



東日本旅客鉄道（株）
JR東日本研究開発センター
防災研究所 主幹研究員
SATO Daisuke

中瀬遥平



東日本旅客鉄道（株）
JR東日本研究開発センター
防災研究所 研究員
NAKABUCHI Yohei

大西瑞紀



東日本旅客鉄道（株）
JR東日本研究開発センター
防災研究所 研究員
ONISHI Mizuki