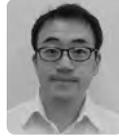


河川氾濫に対する鉄道車両の避難判断方法の開発



中瀬 遥平*¹



大西 瑞紀*¹



佐藤 大輔*²



田中 淳一*³



鈴木 博人*⁴

A Development of the judgement method of railway vehicles evacuation against river floods

Yohei NAKABUCHI*¹, Mizuki ONISHI*¹, Daisuke SATO*², Junnichi TANAKA*³ and Hiroto SUZUKI*⁴

*¹ Researcher, Disaster Prevention Research Laboratory of Research and Development Center of JR EAST Group

*² Sub-chief Researcher, Disaster Prevention Research Laboratory of Research and Development Center of JR EAST Group

*³ Principal Chief Researcher, Disaster Research Laboratory, Research and Development Center of JR East Group (General Manager, Facility Department, Tokyo Branch Office)

*⁴ Director (Disaster Prevention Research), Research and Development Center of JR EAST Group

Abstract

In order to make evacuation judgement of railway vehicles against river floods, we developed a predicting method about 1 day ahead of river floods real-timely with basin-averaged rainfall. We estimated prediction accuracy of this method by simulating the case of typhoon No.19 in 2019 and some rainfall events at 12 points in 2015-2019. As a result, it was found that a risk of river floods can be predicted with a certain degree of accuracy by this method.

●**Keywords:** River flood, Prediction method, Basin-averaged rainfall, Railway vehicles evacuation

*¹JR東日本研究開発センター 防災研究所 研究員 *²JR東日本研究開発センター 防災研究所 副主幹研究員

*³JR東日本研究開発センター 防災研究所 上席研究員 (現:東京支社 施設部 担当部長) *⁴JR東日本研究開発センター 担当部長 (防災)

1. 緒言

2019年台風19号(以下、台風19号と呼ぶ)の大雨により、同年10月13日に千曲川が決壊し、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両が冠水した。これにより、車両を損失しただけでなく、運転再開後の安定輸送が大きく阻害された。このような事象を防ぐためには、車両留置箇所で浸水が発生する前に、車両を浸水の恐れのない場所に避難させる必要があり、このためには車両の避難に必要なリードタイムを確保した上で河川氾濫の発生を予測する必要がある。

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、車両避難の実施時には広範囲にわたる運休を伴うことが想定され、その事前の告知も必要である。このため、1日程度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、前述したリードタイムが十分ではない。

そこで筆者らは、1日程度先の河川氾濫の発生を予測できる手法を開発した。本手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、開発した手法の概要と有効性の評価結果について報告する。

2. 流域平均雨量を用いた河川氾濫の予測手法

2・1 流域平均雨量の概要と河川氾濫の可能性の評価基準

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言う(図1の太線で囲われた外周)。流域に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に影響する。一方、河川の計画高水位(High Water Level)は、河川水を安全に流下させることができる水位で、計画降雨量を基に設定される。計画降雨量は、河川や河川の地点ごとに定められた降雨継続時間(一般的に1日から3日の期間)における100年から200年に一度の確率で発生する雨量を基に算出した流域平均雨量である。以上から、河川水位が計画高水位を超過すると河川氾濫が発生する可能性が高いと考えられることから、河川の流域平均雨量が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する。

具体的には、車両留置箇所へ浸水をもたらす可能性のある河川について、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求めて、その値が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こととした。

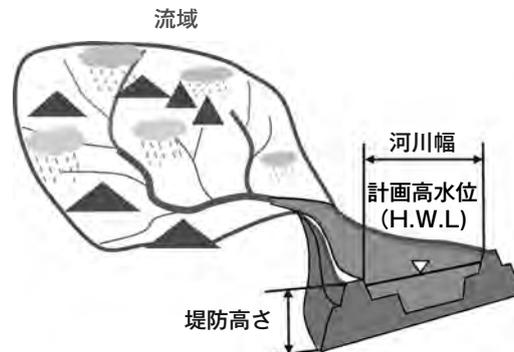


図1 河川構造と流域の概要

2・2 流域平均雨量の予測値の算出方法

流域平均雨量の予測値は、現在までの降水量の実況値と、今後予測される降水量から算出することができる。降水量の実況値には、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較正した1kmメッシュの降水量の推定値である。降水量の予測値には、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と呼ぶ）の予測降水量を用いた。MSMgは数値予報モデルの一つで、物理法則に基づいて将来の大気状態を定量的に予測する。MSMgの予測降水量は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、解析雨量の1kmメッシュおよびMSMgの5kmメッシュの関係を模式的に示す。流域平均雨量の予測値の算出にあたって、解析雨量は図2の小さなメッシュのように1kmメッシュの中心の緯度経度が流域に含まれるメッシュの降水量を用いた。一方、MSMgのメッシュは5kmで、図2の大きなメッシュのように流域を含むメッシュを用いるが、流域に含まれる解析雨量の1kmメッシュに相当する領域の降雨量のみを流域平均雨量の算出に用いた。

ある時刻における流域平均雨量の予測値は、その時刻までの解析雨量から計算される流域平均雨量の実況値に、MSMgから計算されるその後に降ると予測される流域平均雨量を加えることで算出する。

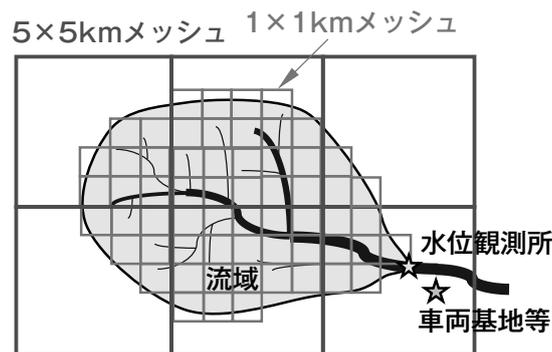


図2 流域と解析雨量1kmメッシュおよびMSMg 5kmメッシュの関係

3. 流域降雨量を用いた河川氾濫予測の有効性の検証

3・1 2019年台風19号における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3に決壊した堤防付近の写真を示す。堤防決壊箇所は同車両センターから約6kmの距離に位置する。また、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の推移を示す。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。この事実から、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の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ける流域平均雨量の実況値の推移を黒線で示す。流域平均雨量の実況値は、12日21時にこの観測所の計画降雨量である186mmを超過した。また図5には、12日12時のMSMgの予測降水量から流域平均雨量を算出して、その時刻の実況値に予測値を加えた流域平均雨量の予測値の推移を点線で示した。図5の右側は、同時刻における流域平均雨量の予測値を棒グラフで示したもので、解析雨量から算出される実況値とMSMgの予測降水量から算出される予測値を示している。これらの合計は219.2mmである。ただし、立ヶ花水位観測所における計画降雨継続時間は2日間であり、図5の右端に示したように12日12時を含む任意の48時間における実況値と予測値の組合せによる流域平均雨量の最大値は219.0mmである。この値が12日12時における流域平均雨量の予測値で、これを「期間最大流域平均雨量の予測値」と呼ぶこととする。

図6に、立ヶ花水位観測所について10月10日0時から13日18時の3時間ごとの予測時刻における期間最大流域平均雨量の予測値を示す。図6より、点線枠で囲った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。前述したように立ヶ花水位観測所において河川水位が計画高水位を超過したのは13日1時頃であることから、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時間前であり、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。



図3 台風19号による千曲川の堤防決壊状況 (2019年10月13日16時30分頃撮影)

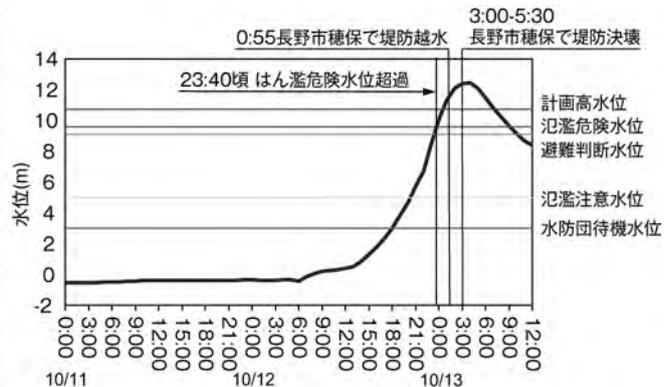


図4 立ヶ花水位観測所における台風19号通過時の千曲川の河川水位の推移

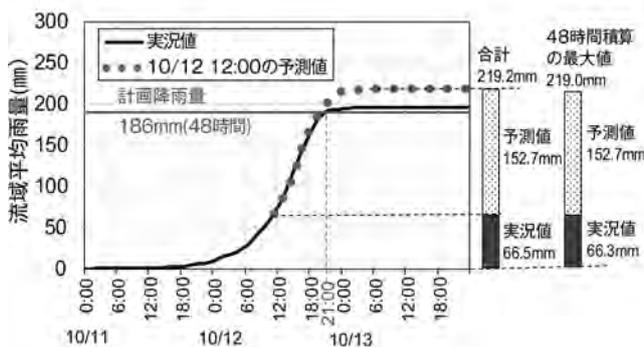


図5 立ヶ花水位観測所における台風19号通過時の流域平均雨量の実況値と予測値の推移。右側は、12日12時時点の流域平均雨量の実況値と予測値の合計、および期間最大流域平均雨量の予測値を示す。

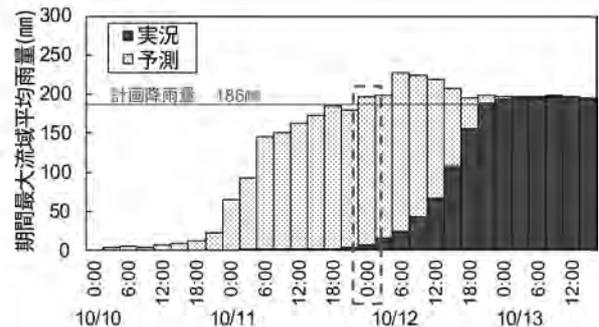


図6 立ヶ花水位観測所における台風19号通過時の期間最大流域平均雨量の予測値の推移

3・2 流域平均雨量による河川氾濫予測の精度評価

本手法の精度について、期待される利益と損失の観点から総合的に評価した。期待利益として、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（捕捉割合）で評価した。また期待損失として、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（空振り割合）で評価した。

車両の避難を実施する車両留置箇所は、自治体が公表するハザードマップにおいて、想定最大規模降雨に伴う河川氾濫により浸水被害が想定される箇所である。本手法の精度評価は、このような箇所の最寄りの水位観測所のうち、表1に示す12地点を対象として行った。これらの地点は、浸水被害を及ぼす河川が国土交通省の直轄河川であり、過去の河川水位を入手可能となって

表1 対象地点における河川水位の計画高水位超過状況と期間最大流域平均雨量の予測値の計画降雨量超過状況

| 河川 | 水位観測所 | 河川水位の計画高水位超過状況 | | | 期間最大流域平均雨量の予測値の計画降雨量超過状況 | | |
|------|---------|----------------|-------------------|----------------|--------------------------|-------------------|----------------|
| | | 2019年 台風19号 | 2017年前線 +台風21号 | 2015年 台風18号 | 2019年 台風19号 | 2017年前線 +台風21号 | 2015年 台風18号 |
| 鳴瀬川 | 野田橋 | | | △ | ○ | | |
| 阿武隈川 | 阿久津 | ● | | | ● | | ○ |
| 那珂川 | 水府橋 | ● | | △ | ● | | ○ |
| 利根川 | 取手 | | | | | | |
| 江戸川 | 野田 | | | | | | |
| 荒川 | 治水橋 | △ | | | | | |
| 荒川 | 岩淵水門(上) | | | | | | |
| 多摩川 | 田圃調布(上) | ● | | | ● | | |
| 阿賀野川 | 満願寺(左岸) | △ | | | | | ○ |
| 信濃川 | 長岡 | △ | | | ○ | ○ | |
| 信濃川 | 大河津 | ● | | | ● | ○ | |
| 千曲川 | 立ヶ花 | ● | | | ● | | |

○ : 計画高水位または計画降雨量を超過
 △ : 氾濫危険水位を超過
 ● : 捕捉事例
 ■ : 見逃し事例
 □ : 空振り事例

いる。評価の対象事例には、気象庁から5kmメッシュのMSMgの予測降水量が配信されるようになった2014年以降において、多くの水位観測点で水位が上昇した2015年台風18号、2017年の前線と台風21号および2019年台風19号の3事例を用いた。

各対象地点における河川水位の計画高水位超過状況と期間最大流域平均雨量の予測値の計画降雨量超過状況を表1に示す。捕捉割合については、評価に用いることができた事例は少ないものの、表1より河川水位が計画高水位を超過した全5事例中、4事例で期間最大流域平均雨量の予測値が計画降雨量を超えており、4/5と高い値を示す。さらに事例毎の予測状況を詳細に確認すると、捕捉できていた4事例のうち3事例で河川氾濫を約1日前に予測できていることがわかった。空振り割合については、期間最大流域平均雨量の予測値が計画降雨量を超過した全11事例中、7事例で河川水位が計画高水位を下回っており、7/11となった。ただし、空振り事例のうち2事例は河川水位が氾濫危険水位を超過しており、河川氾濫の恐れのある水位に達していた。また、事例毎の予測状況を詳細に確認すると、空振りはMSMgの予測降水量が過大となっていたことに起因しており、今後気象庁の降水予報モデルの予測精度が向上することで、本手法の予測精度も向上することが期待できる。以上より、1日程度先の河川氾濫を予測する方法として流域平均雨量の予測値を用いる方法は、車両留置箇所から車両を避難させる判断基準として有効と判断した。なお、各事例の詳細な予測状況は文献(鈴木ほか、2020)の検証結果を参照されたい。

4. 結言

今回、1日程度先の河川氾濫の発生を予測することを目的として流域平均雨量の予測値を用いた車両避難の判断基準の開発を行った。本手法は国土交通省による河川水位の3時間先までの予測や、気象庁による洪水危険度の指標である流域雨量指数の6時間先までの予測と併せてシステム化されている。このシステムは2020年3月の長野新幹線車両センターと長野駅を皮切りに、同年10月までに浸水の可能性のある車両留置箇所78ヶ所すべてに適用されている。今後は気象庁が配信する、より長時間先(84時間先)までの予測降水量を活用することで、より早く河川氾濫の危険性を把握できる手法の開発に取り組む。

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).