

流域平均雨量を用いた河川氾濫予測の 予測先時間の長時間化に向けた検討

大西 瑞紀* 中渕 遥平 佐藤 大輔 (東日本旅客鉄道株式会社)

道広 有理 (一般財団法人日本気象協会) 鈴木 博人 (政策研究大学院大学)

Examination for prolonging the forecast time of river flood forecast using average basin rainfall

Mizuki Onishi, Yohei Nakabuchi, Daisuke Sato (East Japan Railway Company)

Yuri Michihiro, (Japan Weather Association) Hiroto Suzuki, (National Graduate Institute for Policy Studies)

The authors have developed a method of predicting flooding about a day in advance from the predicted value of average rainfall in the basin, in order to use it to decide whether to evacuate railway vehicles before flooding occurs. In this study, we evaluated the feasibility of using this method with 84-hour forecast precipitation to predict flooding earlier. As a result of this verification, it was found that the 84-hour ahead forecast is as accurate as the current 39-hour ahead forecast, and it is possible to predict the risk of flooding from about three days in advance on average.

キーワード：鉄道車両、避難、河川氾濫、流域平均雨量、長時間予測
(railway vehicle, refuge, river flood, basin-average rainfall, long-term forecast)

1. はじめに

令和元年(2019年)台風第19号の大雨で千曲川が氾濫したことで、長野新幹線車両センターに留置中の北陸新幹線車両に浸水被害が発生した(図1参照)。このような事象を防ぐためには、浸水が発生する前に車両を避難させる必要がある。そこで著者ら⁽¹⁾は、39時間先までの予測降水量を用いて計算される流域平均雨量の予測値から、1日程度先の河川氾濫の危険性を予測する方法を開発した。この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月に運用を開始した⁽¹⁾。なお、車両避難の実施時には計画運休⁽²⁾が想定され、その事前告知を行うためには、より早い段階で河川氾濫を予測できることが望ましい。この方法に、より予測先時間の長い予測降水量を利用することができれば、河川氾濫に対して現行より長いリードタイムを確保できると考えられる。そこで本研究では、この方法に84時間先までの予測降水量を用いた場合の予測性能の評価を行った。この評価は著者ら⁽¹⁾の評価と同様に、河川氾濫の捕捉割合、空振り割合、および河川氾濫予測のリードタイムを用いて評価した。その上で、現行の39時間先までの予測降水量を用いた場合における予測性能と比較し、84時間先までの予測降水量の河川氾濫予測への利用可能性を評価した。



図1 2019年台風19号による長野新幹線車両センターの浸水状況

2. 流域平均雨量を用いた河川氾濫予測

〈2.1〉河川氾濫の予測方法 著者ら⁽¹⁾が開発した河川氾濫予測方法は、車両基地等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の危険があると評価する方法である。流域平均雨量とは、河川の流域に降る雨量の面積平均である。計画降雨量とは、河川管理者が設定した数十年から200年に一度の洪水を想定して設定された雨量であり、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。

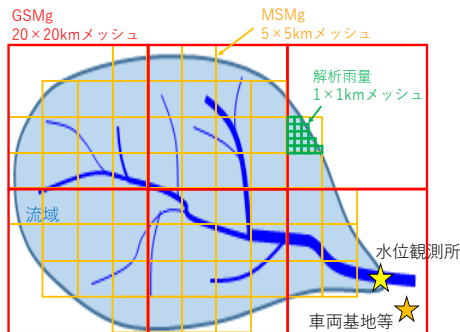


図2 流域と解析雨量の1kmメッシュ、MSMgの5kmメッシュ、およびGSMgの20kmメッシュの関係

〈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、その時刻までに観測された流域平均雨量の実況値に予測値を加えることで算出する。実況値には解析雨量を用いる。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約1kmメッシュの降水量である⁽⁴⁾。予測値にはメソ数値予報モデルガイダンス（以下、MSMgとする）の予測降水量を用いる。MSMgは約5kmメッシュの格子形式ガイダンスであり、気象庁から3時間ごとに39時間先までの3時間降水量が配信される⁽⁵⁾。本研究ではこのMSMgに加え、全球数値予報モデルガイダンス（以下、GSMgとする）による予測値を用いる。GSMgは約20kmメッシュの格子形式ガイダンスであり、気象庁から6時間ごとに84時間先までの3時間降水量の予測値が配信される⁽⁵⁾。

図2には河川の流域と、解析雨量およびMSMg、GSMgのメッシュの関係を模式的に示す。MSMgおよびGSMgは解析雨量より大きい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メッシュに相当する領域の予測降水量のみを流域平均雨量の予測値の算出に用いる。

〈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過す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況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⁽¹⁾。

3. 河川氾濫予測の評価方法

〈3・1〉評価方法 本研究における評価は、著者ら⁽¹⁾と同様に、河川氾濫予測に対する捕捉割合、空振り割合およびリードタイムを用いて評価した。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できた割合とした。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とした。ここでは、捕

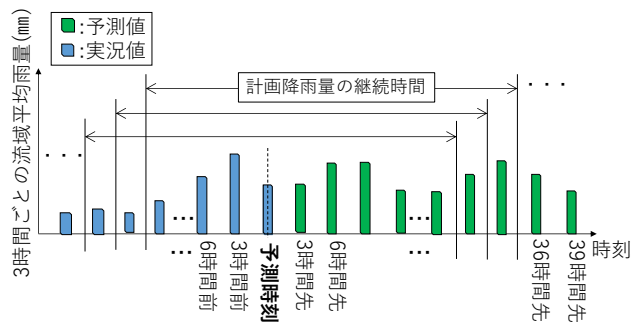


図3 予測時刻における計画降雨量の継続時間

捉割合が高く、空振り割合が低いほど良い指標といえる。リードタイムは、河川水位が計画高水位を超過した時刻と、流域平均雨量の予測値が最初に計画降雨量を超過した時刻の差であり、その時間長で評価した。

〈3・2〉検証の対象地点と事例 車両の避難を実施する車両基地等は、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⁽³⁾。本研究における検証の対象地点は、前述の車両基地等の最寄りの水位観測所のうち、過去の河川水位を入手可能な国土交通省の直轄河川の水位観測所27地点とした。なお、著者ら⁽¹⁾は12地点で評価したが、本研究では地点を増やして検証を実施した。対象期間は、MSMg、GSMgの両者の予測値が存在する2014年から2019年とした。対象事例は、前述した27地点において、対象期間中の河川水位の上昇量が大きい順に4事例を抽出し、計108事例を検証に用いた。

4. 評価結果

〈4・1〉捕捉割合 表1には、河川水位が計画高水位を超過した事例、または流域平均雨量の予測値が計画降雨量を超過した事例の予測結果を示す。表1によると、河川水位が計画高水位を超過した事例は2019年台風19号通過時の6事例である。図4には、この6事例についてGSMgおよびMSMgを用いた場合の期間最大流域平均雨量の予測値を示した。表1および図4によると、河川水位が計画高水位を超過した6事例のうち、GSMgを用いた場合の流域平均雨量の予測値が計画降雨量を超過していたのは6事例全てであった。したがって、GSMgの捕捉割合は6/6(100%)と評価できる。一方、河川水位が計画高水位を超過した6事例のうち、MSMgを用いた場合の流域平均雨量の予測値が計画降雨量を超過していたのは5事例であった。したがって、MSMgの捕捉割合は5/6(83%)と評価できる。

〈4・2〉空振り割合 表1によると、GSMgを用いた場合の流域平均雨量の予測値が計画降雨量を超過した事例は25事例である。このうち、河川水位が計画高水位を超過しなかった事例は19事例であるため、GSMgの空振り割合は19/25(76%)と評価される。一方、MSMgを用いた場合の

表 1 河川水位が計画高水位を超過した事例、または流域平均雨量の予測値が計画降雨量を超過した事例における河川水位の実況値と期間最大流域平均雨量の予測値の基準値超過状況。左が GSMg, 右が MSMg を降水量の予測値に使用した場合

GSMg						MSMg					
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)	リードタイム	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)	リードタイム
2016年台風10号	鳴瀬川	野田橋		○	-	2015年台風18号	那珂川	水府橋	△	○	-
2017年7月前線+台風3号	信濃川	帝石橋		○	-	阿賀野川	満願寺(左岸)	△	○	-	-
2017年10月前線+台風21号	信濃川	長岡		○	-	2016年台風9号	恩田川	浅山橋		○	-
	千曲川	立ヶ花		○	-	北上川	男山		○	-	-
	信濃川	大河津		○	-	2017年7月前線	子吉川	二十六木橋		○	-
	馬淵川	柳引橋		○	-	雄物川	橋川	△	○	-	-
	関川	高田	△	○	-	信濃川	大河津		○	-	-
2018年5月前線	魚野川	小出	△	○	-	2017年10月前線+台風21号	信濃川	長岡		○	-
2018年8月前線+台風18号	子吉川	二十六木橋		○	-	魚野川	小出	△	○	-	-
2019年台風19号	馬淵川	柳引橋		○	-	信濃川	長岡	△	○	-	-
	信濃川	長岡	△	○	-	鳴瀬川	野田橋	△	○	-	-
	鶴見川	落合橋	△	○	-	鶴見川	落合橋	△	○	-	-
	磐井川	釣山		○	-	磐井川	釣山		○	-	-
	関川	高田	△	○	-	関川	高田	△	○	-	-
	魚野川	小出	△	○	-	魚野川	小出	△	○	-	-
	恩田川	浅山橋		○	-	恩田川	浅山橋		○	-	-
	最上川	下瀬		○	-	千曲川	立ヶ花	△	○	25時間	-
	馬淵川	柳引橋		○	-	阿武隈川	阿久津	△	○	5時間	-
	阿賀野川	満願寺(左岸)	△	○	-	多摩川	田園調布(上)	△	○	34時間	-
	千曲川	立ヶ花	△	○	82時間	多摩川	石原	△	○	31時間	-
	阿武隈川	阿久津	△	○	80時間	信濃川	大河津	△	○	44時間	-
	多摩川	田園調布(上)	△	○	61時間	那珂川	水府橋	△	-	-	-
	多摩川	石原	△	○	64時間						
信濃川	大河津	△	○	92時間							
那珂川	水府橋	△	○	86時間							

△ 河川水位が計画高水位を超過

△ 河川水位が氾濫危険水位を超過

△ 河川水位が避難判断水位を超過

○ 期間最大流域平均雨量の予測値が計画降雨量を超過

空振り割合の評価事例 (25事例)

空振り割合の評価事例 (21事例)

捕捉割合の評価事例 (6事例)

捕捉割合の評価事例 (6事例)

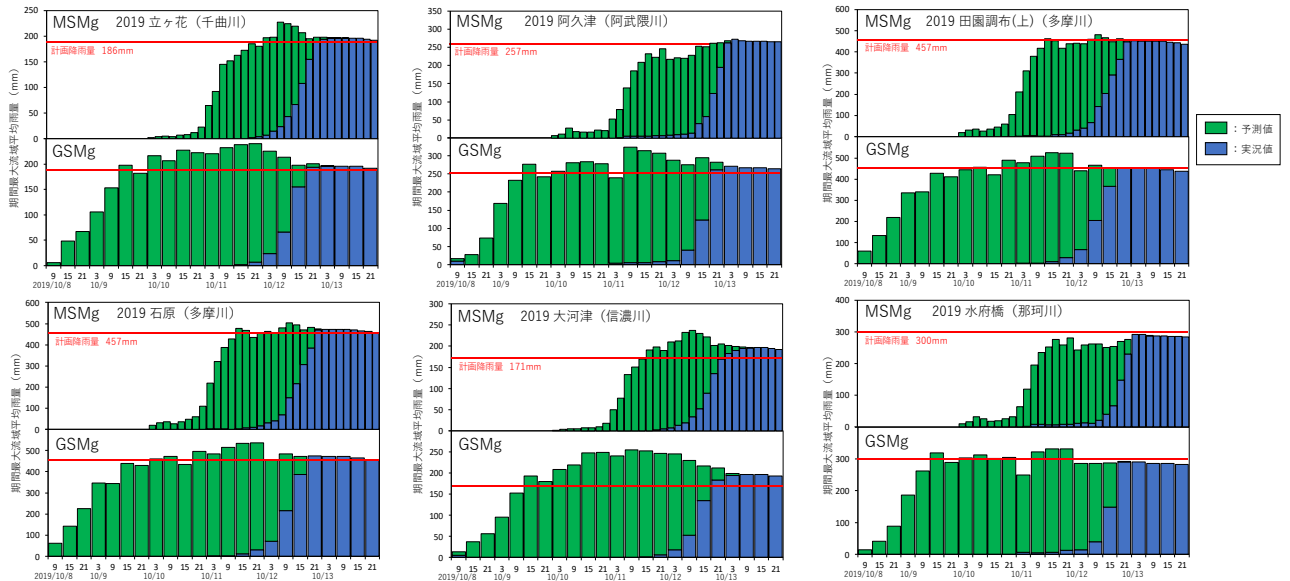


図 4 河川水位が計画高水位を超過した事例における期間最大流域平均雨量の予測値と実況値の推移
横軸は GSMg および MSMg の初期時刻

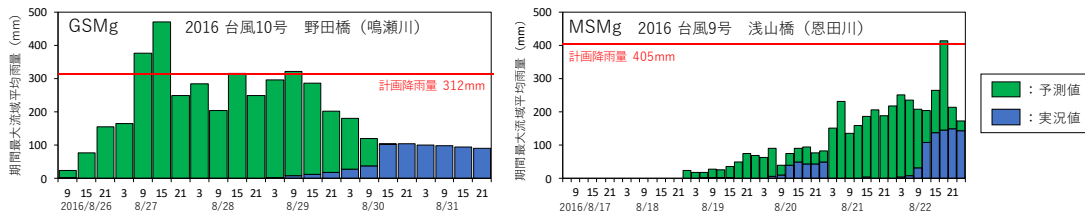


図 5 空振り事例における期間最大流域平均雨量の予測値と実況値の推移
横軸と縦軸の表示は図 4 と同様

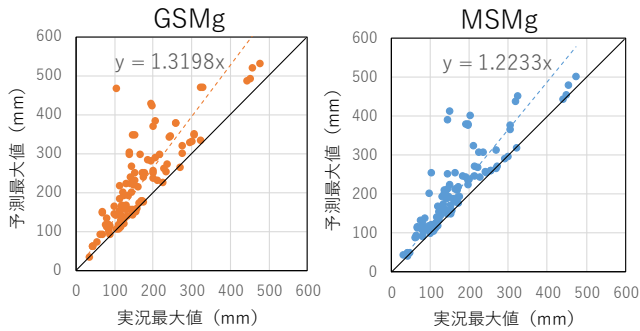


図 6 期間最大流域平均雨量の実況最大値と予測最大値の関係

流域平均雨量の予測値が計画降雨量を超過した事例は 21 事例である。このうち、河川水位が計画高水位を超過しなかった事例は 16 事例であるため、MSMg の空振り割合は 16/21 (76%) と評価される。

図 5 には、空振り事例のうち 2 事例について、期間最大流域平均雨量の予測値を示した。2016 年台風 10 号の野田橋（鳴瀬川）の事例は GSMg を用いた場合の予測値が計画降雨量を超過しており、2016 年台風 9 号の浅山橋（恩田川）の事例は MSMg を用いた場合の予測値が計画降雨量を超過していた。しかし、いずれも河川水位は計画高水位を超過せずに空振りとなった事例である。図 5 によるとこれらの事例では、期間最大流域平均雨量の予測値が実況値に対して非常に大きな値を示している。なお、2016 年台風 10 号の野田橋（鳴瀬川）の事例は、予測値の最大値が実況値の最大値の 4.5 倍であり、空振り事例の中で最も過大予測であった。

〈4・3〉リードタイム 表 1 によると、GSMg を用いた場合に捕捉した 6 事例におけるリードタイムの平均は 78 時間であった。なお、この 6 事例全てで、河川水位が計画高水位を超過する 2.5 日以上前に、期間最大流域平均雨量が計画降雨量を超過すると予測していた。一方、MSMg を用いた場合のリードタイムの平均は 28 時間であった。

〈4・4〉予測値と実況値の関係 図 6 には、期間最大流域平均雨量の実況値の最大値と予測値の最大値の関係を示す。図 6 によると、GSMg、MSMg ともに、実況値と予測値が一致する傾き 1 の直線の左上の範囲にプロットされる事例が多い。また、回帰直線の傾きは、GSMg は 1.32、MSMg は 1.22 であり、GSMg、MSMg ともに予測値が実況値より大きい傾向であることを示している。

〈4・5〉総合評価 著者ら⁽¹⁾が開発した河川氾濫予測方法の降水量の予測値に GSMg および MSMg を用いた場合の予測性能を評価した結果、両者の捕捉割合および空振り割合は同程度であった。また、リードタイムは MSMg を用いた場合は平均 28 時間であるのに対して GSMg は平均 78 時間であった。以上の結果から、この予測方法に GSMg を用いた場合の予測精度は、MSMg を用いた場合と同程度で、平均 3 日程度前から河川氾濫の危険性を予測可能であること

が分かった。

5. 考察と課題

著者ら⁽¹⁾が開発した河川氾濫予測方法に GSMg および MSMg を用いた場合の空振り割合は、両者ともに大きい値となっている。なお、図 6 によると、GSMg、MSMg ともに予測値が実況値より大きい傾向であることが分かった。このことから空振りの原因は主に、GSMg、MSMg の降水量の予測値が過大であったことに起因していることが考えられる。このように空振りが多いことを考慮すると、車両避難の有無の判断には、現行の対応と同様に、この方法の予測情報に加えて、国土交通省の洪水予報や気象庁の流域雨量指数、さらに上流での増水の情報や、河川カメラ、一般の気象情報も活用して総合的に判断する必要があると考えられる。

なお、GSMg の予測先時間は 84 時間であり、現行より早い段階で河川氾濫の危険性を予測可能である。一方で、予測値の配信間隔は MSMg が 3 時間であるのに対し GSMg は 6 時間と長い。配信間隔が短いほど、流域平均雨量の予測値の更新間隔が短くなり、臨機応変な車両避難の判断が可能となる。したがって、河川氾濫の発生に近い時間帯においては MSMg を利用することが望ましいため、MSMg と GSMg を併用することが有効と考えられる。そのため、今後は両者の流域平均雨量の予測値の整合性の確認を行っていききたい。なお、両者を併用すると現行より空振りが多くなると考えられるため、空振り割合を考慮した具体的な運用方法の検討を行っていききたいと考えている。

6. おわりに

本研究では、著者ら⁽¹⁾が開発した流域平均雨量による河川氾濫の予測方法を用いて、より早い段階で河川氾濫を予測するために、降水量の予測値に GSMg による 84 時間先までの予測値を利用した場合の予測性能を評価した。その結果、GSMg を用いた場合は、現行の MSMg を用いた場合と同程度の予測精度で、平均 3 日程度前から河川氾濫の危険性を予測可能であることが分かった。したがって、この予測方法に GSMg による降水量の予測値を用いる方法は有効であると考えられる。今後は、この河川氾濫予測方法に、MSMg と GSMg を併用する具体的な方法の検討を進めていきたい。

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)
- (2) 中村英夫：「鉄道安全解体新書」, オーム社, pp.197-200 (2021)
- (3) 東日本旅客鉄道株式会社：「鉄道施設等の浸水対策について」, https://www.jreast.co.jp/press/2020/20200527_ho01.pdf (2020)
- (4) 気象庁ホームページ：「解析雨量・速報版解析雨量とは」, <https://www.jma.go.jp/jma/kishou/now/kurashi/kaiseki.html>
- (5) 気象庁予報部：「数値予報課報告・別冊第 64 号 ガイドランスの解説」, pp.94-118 (2018)