

鉄道車両の避難判断方法における河川氾濫予測の 予測先時間の長時間化に向けた検討



大西 瑞紀*1



中瀬 遙平*2



佐藤 大輔*3

A Study on Extending the Prediction Time of River Flood Prediction in the Evacuation Decision Method for Railway Vehicles

Mizuki ONISHI*1, Yohei NAKABUCHI*2, and Daisuke SATO*3

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

*2 Assistant Chief Researcher, Disaster Prevention Research Laboratory, Research and Development Center of JR EAST Group

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

Abstract

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, with the aim of predicting floods earlier, we tested whether 84-hour forecast precipitation can be used for the river flood forecasting method developed by the authors. 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. In addition, we evaluated the accuracy of the current 39-hour ahead forecast and the 84-hour ahead forecast combined. As a result, it was found that this method is effective for rivers with a wide catchment area.

●**Keywords:** Railway vehicle, River flood, Refuge, Basin-average rainfall, Long-term forecast

*1 JR東日本研究開発センター 防災研究所 研究員
*2 JR東日本研究開発センター 防災研究所 副主幹研究員
*3 JR東日本研究開発センター 防災研究所 主幹研究員 (現 新潟土木設備技術センター)

1. 緒言

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)。この被害を受けて、著者らは気象庁が配信するメソ数値予報モデルガイダンス(以下、MSMgとする)による39時間先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、車両疎開判断支援システムとして2020年3月に運用を開始している。なお、車両避難と同時に計画運休²⁾を実施することを考慮すると、より早い段階で河川氾濫の危険性を予測できることが望ましい。そこで本研究では、この予測方法に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。この評価には、河川氾濫に対する捕捉割合、空振り割合、および河川氾濫予測のリードタイムを用いた。また、現行の39時間先予測と84時間先予測を併用した場合の予測性能についても評価を実施し、84時間先予測をシステムに適用する方法について具体的な検討を行った。



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(10月13日16時30分頃撮影)

2. 流域平均雨量を用いた河川氾濫予測方法

2・1 予測方法

現在用いている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。

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。実況値には気象庁が配信する解析雨量を用いる。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。予測値にはメソ数値予報モデルガイダンス (MSMg) 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。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）による予測降水量を用いる。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。

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」と呼ぶこととする。

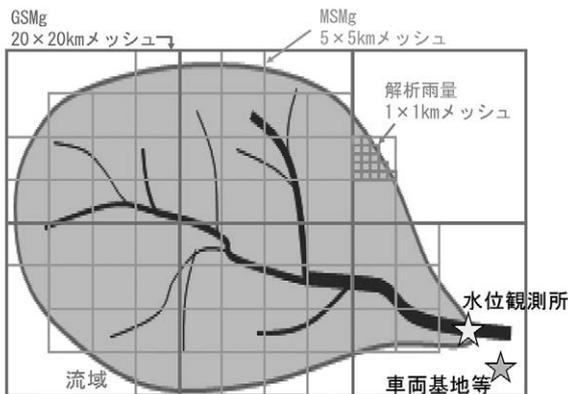


図2 流域と解析雨量の1kmメッシュ、MSMgの5kmメッシュ、およびGSMgの20kmメッシュの関係

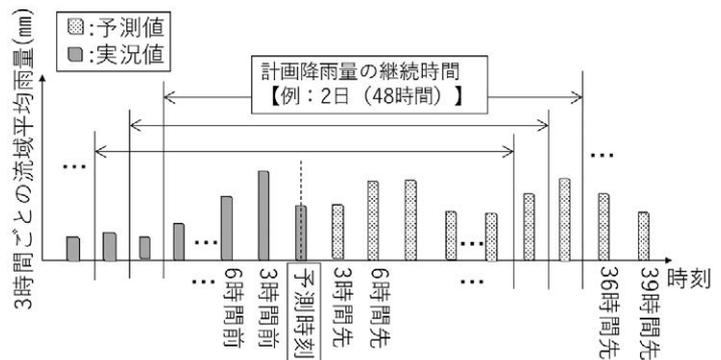


図3 予測時刻における計画降雨量の継続時間

3. 河川氾濫予測の評価方法

3・1 評価方法

本方法における評価には、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。計画高水位とは、河川の整備計画を立てる際の基準水位として設定されたものである。なお、自治体が発令する避難指示は氾濫危険水位、高齢者等避難は避難判断水位の超過有無を基準としている。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計画降雨量を超過すると最初に予測した予測計算時刻の差であり、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。本検証の対象地点は、前述の浸水が想定される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。対象期間は、MSMgと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。

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		○	-	2017年7月前線	北上川	男山		○	-
	信濃川	大河津		○	-		子吉川	二十六木橋		○	-
	馬淵川	櫛引橋		○	-		雄物川	椿川	△	○	-
	2018年5月前線	関川	高田	□	○	-	信濃川	大河津		○	-
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	馬淵川	櫛引橋		○	-		魚野川	小出	□	○	-
2019年台風19号	信濃川	長岡	△	○	-	2019年台風19号	信濃川	長岡	△	○	-
	鳴瀬川	野田橋	□	○	-		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	櫛引橋		○	-		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

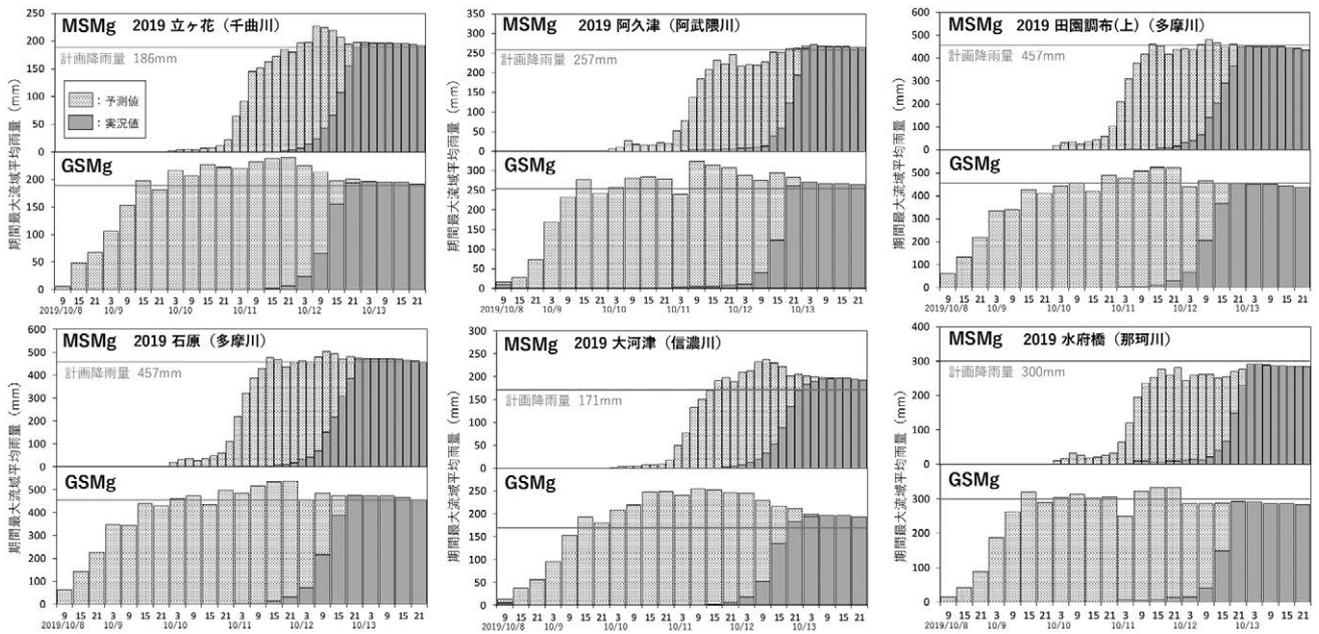


図4 河川水位が計画高水位を超過した事例における期間最大流域平均雨量の予測値と実況値の推移。横軸はGSMgおよびMSMgの予測計算時刻

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。なお、表1によると、GSMgで空振りとなった19事例のうち7事例は、河川水位が計画高水位を超えなかったものの氾濫危険水位または避難判断水位以上の高い水位を記録した事例であると評価した。

図5には、空振り事例のうち2事例について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、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。

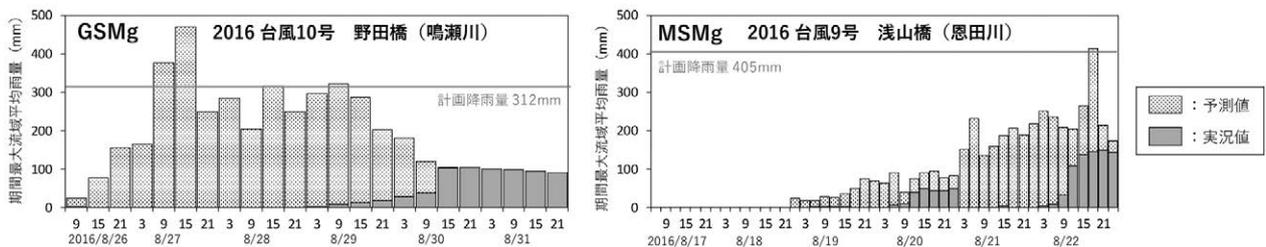


図5 空振り事例における期間最大流域平均雨量の予測値と実況値の推移。横軸と縦軸の表示は図4と同様

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、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 総合評価と考察

流域平均雨量を用い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。なお、一般的に、メッシュが粗いGSMgのほうが精度は悪くなると考えられるが、今回の検討では比較的空間スケールが大きいイベントを対象としたため、GSMgの予測精度はMSMgと同等になったと考えられる。

一方で、GSMgの予測値の配信間隔は6時間であるため、現行より配信間隔が3時間長くなるという課題がある。配信間隔は短いほど、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現行のMSMgを利用することが合理的であるため、MSMgとGSMgを併用することが有効であると考えられる。

5. MSMgとGSMgの併用に向けた検討

5・1 予測値と実況値の関係

流域平均雨量による河川氾濫の予測方法にMSMgとGSMgを併用する方法を検討するにあたり、両者の予測精度を比較した。図6には、流域平均雨量の実況最大値と予測最大値の関係を示す。これによると、回帰直線の傾きは、GSMgは1.32、MSMgは1.22であり、GSMg、MSMgともに予測の最大値が実況の最大値より大きい傾向であること、また、GSMgのほうがMSMgより過大予測傾向であることが分かった。

また、図7には、図6の結果を流域面積で分類した場合を示す。これによると、GSMg、MSMgともに1,000km²以上の流域面積の大きい事例のほうが1,000km²未満の事例より回帰直線の傾きが小さいとともに、相関係数が1に近く、予測と実況の相関が高いことが分かった。この要因として考えられることは、流域面積が大きい方が、より多数のメッシュを使用して流域平均雨量を計算することが可能であるためと考えられる。

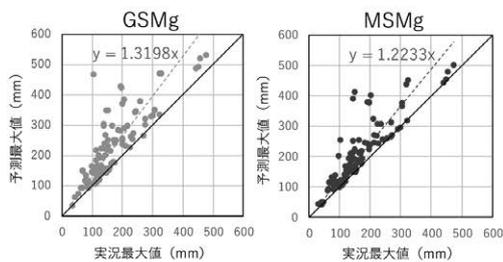


図6 期間最大流域平均雨量の実況最大値と予測最大値の関係

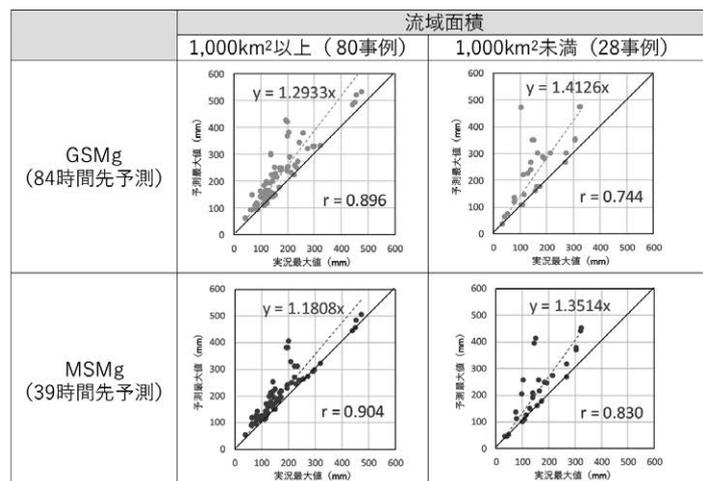


図7 流域面積別の期間最大流域平均雨量の実況最大値と予測最大値の関係。左側が流域面積1,000km²以上の事例、右側が流域面積1,000km²未満の事例。図中のrは相関係数

5・2 MSMgとGSMgを併用した場合の予測性能の評価

流域平均雨量による河川氾濫の予測方法にMSMgとGSMgを併用した場合の予測性能の評価をおこなった。この評価には4章と同様に、河川氾濫に対する捕捉割合、空振り割合、およびリードタイムを用いた。なお、この評価に用いる併用方法は図8に示すように、39時間先まではMSMg、それ以降はGSMgの値を使用する方法を用いた。評価結果を表2に示す。これによると捕捉率は、GSMgを併用した場合は100%となり、MSMgのみ使用した場合より上昇する結果となった。空振り率については、

全流域を対象とした場合と、流域面積が1,000km²以上の場合について評価した。その結果、流域面積が大きい事例を用いたほうが空振り率は低くなること、およびGSMgを併用した場合の空振り率は、MSMgのみ使用した場合より上昇するが大きく悪化しないことが分かった。なお、リードタイムは、GSMgを併用した場合はMSMgのみ使用した場合より平均50時間延長できる結果となった。以上の結果よりGSMgを用いた予測については、流域面積が大きい河川や避難に時間を要する車両留置箇所を対象として導入を検討することとした。

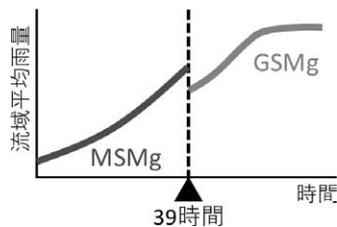


図8 MSMgとGSMgの併用イメージ

表2 流域平均雨量の予測値にMSMgのみ使用した場合、およびGSMgを併用した場合の予測性能評価結果。()内は評価に用いる水位の判定基準を避難判断水位とした場合

	捕捉割合	空振り割合		平均リードタイム
		全流域、108事例	流域面積1,000km ² 以上、80事例	
MSMgのみ使用	83 %	76 % (33 %)	58 % (25 %)	28 時間
GSMgを併用	100 %	80 % (43 %)	67 % (39 %)	78 時間

5・3 課題

流域平均雨量を用いた河川氾濫予測の空振り割合は、GSMgおよびMSMgを用いた場合ともに大きい値となっている。図6によると、GSMg、MSMgともに予測最大値が実況最大値より大きい傾向であることから、空振りの原因は主に、GSMg、MSMgの降水量の予測値が実際より大きく出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、さらに一般の気象情報や、アラート鳴動後に更新される流域平均雨量の予測値の推移等も考慮したうえで、総合的に判断する必要があると考えられる。

6. 納言

本研究では、より早い段階で河川氾濫を予測するために、現在用いている流域平均雨量による河川氾濫予測方法の降水量の予測値に、GSMgによる84時間先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を用いる方法は有効である可能性が示された。また、MSMgとGSMgを併用した場合の予測性能の評価を行った結果、この方法は流域面積が大きい河川に有効であることが分かった。GSMgによる84時間先予測を活用することができれば、計画運休の可能性プレスの基準となる48時間前までに車両避難計画を立てることが可能となり、戦略的な判断支援が実現できると考えられる。今後は、このGSMgを併用する方法を、流域面積が大きい河川近傍の車両留置箇所を対象として、車両疎開判断支援システムへ導入するための検討を進めていく。

参考文献

- 1) 鈴木博人・中渕遥平・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 (2020), I_553-I_558.
- 2) 河原吉秀, 自然災害と鉄道-鉄道における新たな防災・減災対策「計画運休」について-, 国際交通安全学会誌, Vol.45, No.2(2020), pp.6-17.