リアルタイムハザードマップで強雨から鉄道を守る

いわゆるゲリラ豪雨のような局地的短時間強雨などの大雨によってもたらされる災害に対しては，降雨の予測値を用いて数十分先の線路上に発生する災害の危険性をリアルタイムに解析し，その結果により対応を取ることが被災リスクを回避するために有効な方法の一つと考えられます。このようなことから鉄道総研では降雨予測値を用いて数十分先の災害の危険性を求める「リアルタイムハザードマップシステム」を開発しました。ここでは，その概要を示すとともに，連続稼働試験で得られたリアルタイム性の評価と浸水・氾濫の事例解析の結果を紹介します。

川越　健
Takeshi Kawagoe
防災技術研究部
地質研究室長

渡邉　諭
Satoshi Watanabe
防災技術研究部
地盤防災研究室
主任研究員

奥田　大樹
Daiki Okuda
信号・情報技術研究部
交通計画研究室
主任研究員

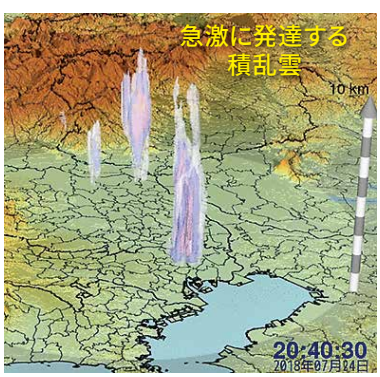
馬目　凌
Ryo Manome
前 防災技術研究部
地盤防災研究室
研究員

浦越　拓野
Takuya Urakoshi
防災技術研究部
地質研究室
主任研究員

はじめに

鉄道における降雨災害への対策の一つとして，降雨時の運転規制があります。これは鉄道沿線に十数キロ間隔で設置された雨量計の観測値が一定以上の値に達した場合に，徐行や運転中止などを行うものです。これにより降雨災害に対して列車の安全が確保されています。また，近年，前線や台風による強雨に対しては，数日前の予報に基づいた計画運休などの方法で混乱の最小化が図られています。一方，いわゆるゲリラ豪雨のような局地的短時間強雨は，それをもたらす積乱雲が幅数キロの範囲で急激に発達するため，先に述べた運転規制などでは災害の危険性（ハザード）を事前に回避することが難しい事象の一つと考えられます。このような局地的短時間強雨は，地球規模の温暖化により将来増加することがさまざまなデータから予測されています。

積乱雲の急激な発達にともなう局所的短時間強雨の発生場所を事前に特定することは現状では困難です。そこで，強雨をもたらす積乱雲を発生直後にとらえて，数十分先の線路上のハザードをリアルタイムに解析し，その結果から対応をとることが被災のリスクを回避するために有効な方法の一つと考えられます（**図1**）。局地的短時間強雨などにより生じる災害として，短時間に降水が集まる集水面積が相対的に狭い



（（国研）防災科学技術研究所提供）

積乱雲の急激な発達にともなう強雨
（ゲリラ豪雨，局所的な大雨）
↓
● 発生場所の事前特定は困難
● 沿線全てへの対策は困難
↓
● 強雨をもたらす積乱雲の発生を早期に捉え，数十分～数時間先の降雨を予測
↓
● 生じるハザードとその変化を予測
↓
● 列車の停止位置，お客様の避難などの対応判断をリアルタイムに支援
● 早期の施設の点検によるダウンタイムの縮減

図1　局地的短時間強雨への対応のイメージ

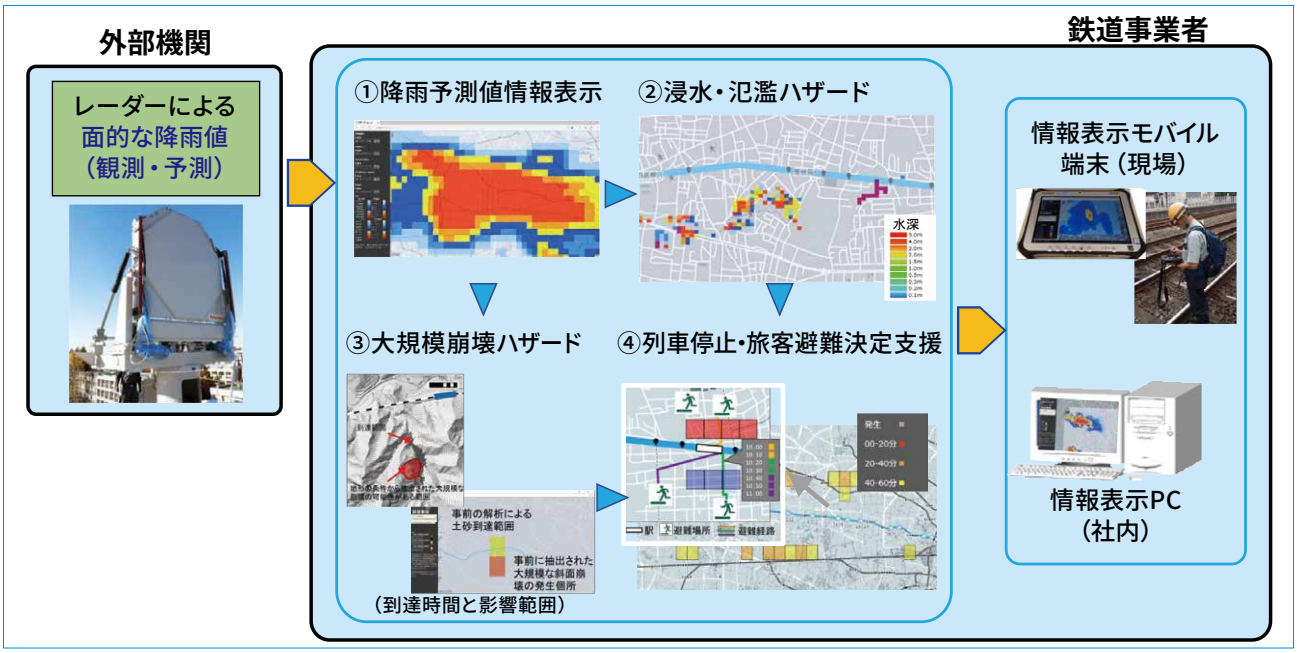


図2　リアルタイムハザードマップシステムの概要

流域（以後，小流域）での浸水・氾濫による線路や駅施設，地上設備の冠水，また線路から離れた場所で発生した大規模な斜面崩壊により流下した土砂による線路や施設への被害が考えられます。鉄道総研では，外部機関から配信される1時間から数時間先の降雨の予測値を用いて，先に述べた災害について，時々刻々と変化する線路上でのハザードを逐次解析し，その結果に基づいて列車を停止させる最適な位置の選定や，お客様の避難誘導に活用できる「リアルタイムハザードマップシステム」を開発しました[1)]。

システムの概要

「リアルタイムハザードマップシステム」は，おもに次に示す解析システムなどから構成されます（**図2**）。

①降雨予測値情報表示

この降雨予測値情報表示は，気象情報サービス会社などの外部機関から配信される降雨データを基に，時刻ごとの降雨予測値の面的な分布，メッシュごとの雨量指標の予測値の経時変化などを地図上に可視化する機能です。この機能では解析開始時刻より前は観測値を，解析開始時刻より後は予測値を表示します。また，この表示機能では，仮に災害などが発生した場合，現地における降雨量を発生時の速報値として確認できるように一定時間さかのぼった表示が可能です。

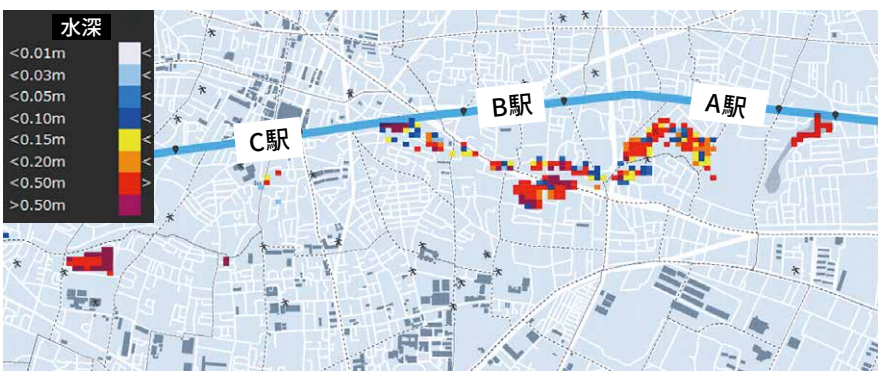


図3　浸水・氾濫解析結果の画面イメージ

②浸水・氾濫ハザード

浸水・氾濫ハザードは，流域に降る降雨が河川に流れ込むのを解析する流域解析，河川へ流入した降雨により河川の水位の上昇と越流を解析する流出解析，および河川から流出した氾濫水の広がりを解析する氾濫解析から求めます。この解析では，降雨に対する河川水の越流，浸水範囲の水位の上昇や低下を任意のメッシュごとに水深として示します（**図3**）。これにより，時間によって変動する浸水域の拡大や縮小を確認できます。

③大規模崩壊ハザード

大規模な斜面崩壊にともなう土砂流出が鉄道へ及ぼす影響を判定するには，崩壊が発生する可能性のある斜面を抽出し，崩壊土砂量を推定した上で，その崩壊土砂が線路へ到達する可能性を評価する必要があります。そこで，過去の大規模崩壊の事例分析などからこれらを推定する手法を構築しました。また，土砂の到達範囲を土砂の流動解析により別途求めておきます。これらを事前にデータベースに蓄積しておきます。過去の大規模崩壊発生時の降雨値を基に決めたしきい値を超える降雨が予測された時点で，データベースに

登録されている土砂の到達範囲にハザードを表示します（**図4**）。

④列車停止・旅客避難決定支援

浸水・氾濫ならびに大規模崩壊による土砂到達のハザードが発生することが予測された際に，走行中の列車がそのハザードを回避するうえでもっとも望ましい停止位置を，数理最適化手法（☞参照）を用いて算出します。また，停止した列車から旅客の車外避難が必要となるような場合を想定し，被害リスクがある区間に停止した列車については，停止位置から沿線の避難場所まで到達できる経路を画面上に表示することができます（**図5**）。このシステムでは鉄道路線の信号保安に関する設備上の制約を考慮しており，より実態に即した計算を可能としています。

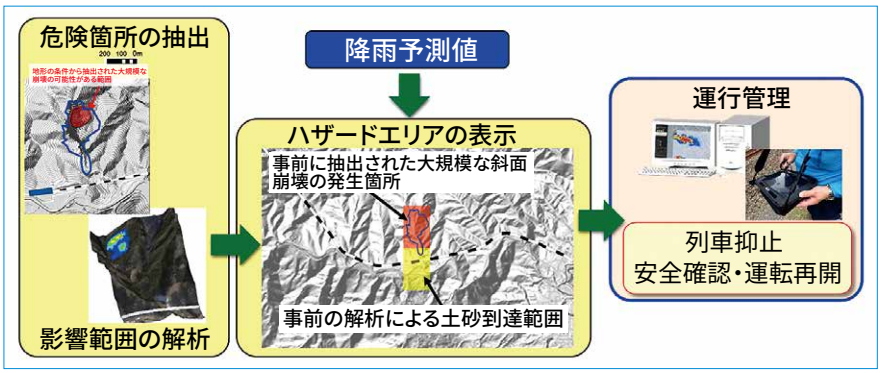


図4　大規模崩壊に伴う土砂の到達範囲にハザード表示の概要

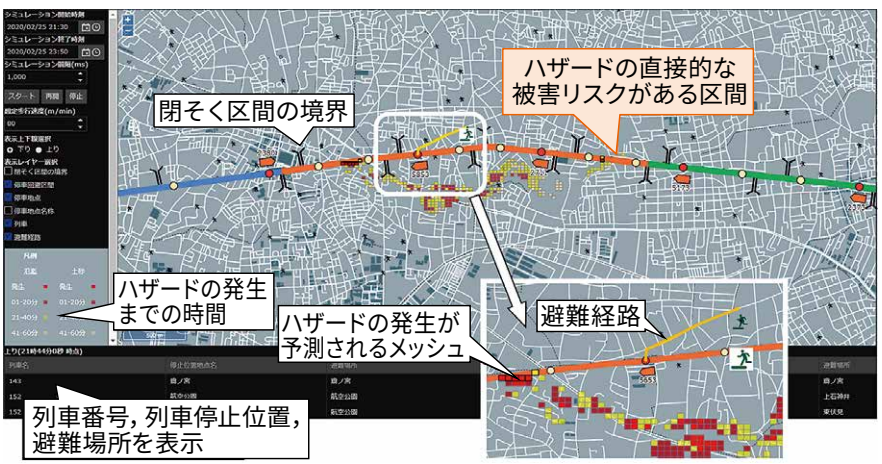


図5　列車停止・旅客避難決定支援システムの画面イメージ

連続稼働試験

鉄道事業者の協力を得て，システムの連続稼働試験を2つの小流域で実施し，システムの稼働状況やリアルタイム性の確認，またハザードの解析結果の検証を進めています。

一つは，都市圏の市街化された小流域に位置する線区で，2017年から現在まで，**図2**で示したシステム全体の連続稼働試験を実施しています。もう一つは，地表が主として林地や水田からなる小流域に位置する線区で，おもに**図2**で示した①降雨予測値情報表示，②浸水・氾濫ハザードを対象として2019年7月から連続稼働試験を行っています。いずれの連続稼働試験でも，降雨予測値は気象情報サービス会社などから約10分間隔で配信される700mのメッシュサイズで，2時間先までを1分間隔で予測した雨量データを用いています。また，浸水，氾濫を対象とした検討では，流域の地形モデルはDEM（☞参照）を用いた25mメッシュの精度で表現しています。

連続稼働試験の結果として，システムのリアルタイム性についての検討結果の例を示します。2018年9月4日～9月18日に，都市圏の市街化された小流域において解析上で浸水・氾濫が生じた16事例の所要時間を求めた結果，鉄道総研が外部機関から配信された降雨予測値を取得してから情報の表示まで，おおむね10分以内で列車停止位置などの表示ができました（**図6**）。この結果から，突発的に発生し，刻々と変化するハザードに対して，おおむねリアルタイムに結果を表示できることが確認できました。開発したシステムは，短時間強雨時の列車の緊急的な運行管理に利用できる即時性が確保できていると考えられます。

次に，浸水・氾濫解析の結果についての検証事例を示します。ここでは，2019年10月の低気圧にともなう大雨により，地表が主として林地や水田からなる小流域の広い範囲が浸水した事例について検証した結果を示します[2)]。対象とした箇所は，線路と河川がほぼ

☞ **数理最適化手法**

数理最適化手法とは，さまざまな制約条件が存在する中で，評価対象について数ある答えの中からもっともよいもの（最適解）を見つける手法のことです。「数理」という言葉のとおり，評価対象や制約条件をすべて数式に変換して計算します。実社会においても，例えば，物流計画，工場での生産計画，勤務のシフトスケジューリングなど，さまざまな場面で活用されています。

☞ **DEM**

数値標高モデル（Digital Elevation Model）の略。航空機などに搭載したレーザーにより地表を測量し，それから建物や樹木などを取り除いた地表面の高さを，等間隔の正方形のメッシュの中心点に標高として値を持たせたデータです。これにより地形を立体的に表現することができます。

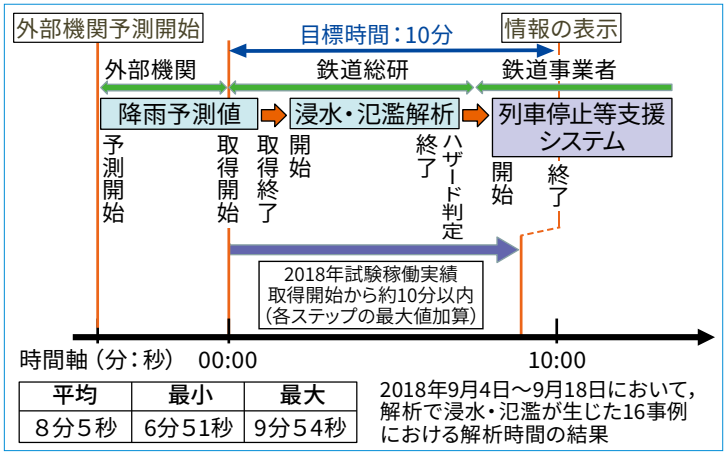


図6　連続稼働試験でのリアルタイム性の検討結果

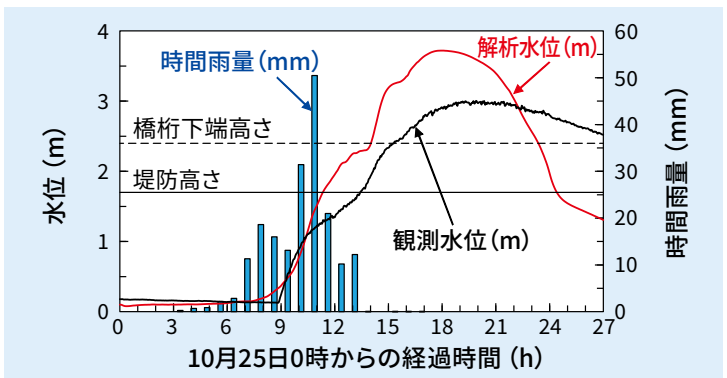


図8　観測水位と解析水位との比較（図7のA点）

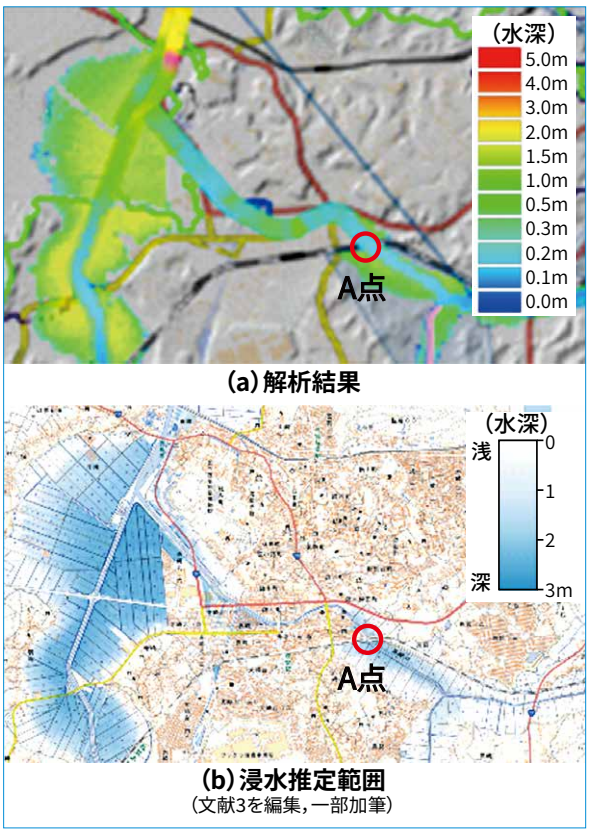


図7　浸水推定範囲と解析結果の比較

直角に交差する箇所（**図7**中の赤丸）です。浸水領域を**図7**に，解析雨量を基に算出した一時間当たりの雨量，水位計により観測した河川水位（以下，観測水位）ならびに解析による河川水位（以下，解析水位）を**図8**に示します。

図7 (a) に示す解析で得られた浸水域を，**同 (b)** で示す国土地理院の速報[3]と比較すると，解析対象とした河川とそこに下流側で合流する河川ともに氾濫した範囲はおおむね一致しているといえます。一方，**図8**に示すように，水位上昇が1m程度までは観測水位と解析水位は同様の傾向を示しますが，1mを超えると両者は時間とともに水位差が発生しています。また，水位のピークは解析水位が観測水位よりもやや早くなっています。この違いは，解析において，下流側の合流部の影響，上流側で氾濫した河川水の再度の河川へ流入などの影響が考えられます。ここで示した事例は，局地的短時間強雨とは異なりますが，今後，このような実際の事例を用いて流域モデルの改良，パラメーターの調整などにより解析精度の向上を図っていく予定です。

おわりに

はじめにでも述べましたが，局地的短時間強雨は，将来増加することがさまざまなデータから予測されています。また，雨の降り方も変化しており，さまざまな降雨に対して防災，減災を進めていく必要があります。また，気象レーダーの進歩によって短時間で高精度に雨雲の状況が把握できるようになり，今後降雨予測値そのものの精度が上がっていくことが期待されます。このような情報を有効に活用していくために，連続稼働試験を通してリアルタイムハザードマップの精度を定量的に示すことで，今後，本システムの利活用方法を具体的に提案していきたいと考えています。

なお，本成果の一部は，内閣府の総合科学技術・イノベーション会議のSIP（戦略的イノベーション創造プログラム）「レジリエントな防災・減災技術の強化」（管理法人：国立研究開発法人科学技術振興機構）（2014年度～2018年度）によるものです。RRR

文　献

1) 浦越拓野，川越健，渡邉諭，尾崎尚也：降水量予測値を用いた豪雨時鉄道減災システム，鉄道総研報告，Vol.32，No.7，pp.23-28，2018
2) 馬目凌，渡邉諭，河村祥一，山口悟史，楠田尚史：再現解析による流出・氾濫解析モデルの精度に関する一考察，令和2年度土木学会全国大会第75回年次学術講演会，Ⅱ-135，2020
3) 国土地理院：令和元年（2019年）10月の低気圧に伴う大雨に関する情報 浸水推定段彩図（速報），https://www1.gsi.go.jp/geowww/saigai/201910oame/shinsui/01_shinsui_sakura.pdf，（入手日:2020年10月29日）