

# 気象災害に対する安全性向上の成果概要と今後の取り組み

防災技術研究部  
部長 太田 岳洋

## 1. はじめに

鉄道における災害発生件数は減少傾向にあるが、近年は地球温暖化の影響とも言われる気象状況そのものの極端化に伴い、新たな形態の災害も見られるようになった。鉄道総研では鉄道の将来に向けた研究開発のひとつとして「気象災害に対する安全性向上」について取り組んできたので、その成果全体について外力、耐力、危険度評価およびハザードマッピングの相互の関係を中心に概要を紹介する。また、平成 27 年度から新たに将来に向けた研究開発として取り組む「鉄道の減災技術の高度化」、特に局所的短時間強雨に対する減災技術の開発について、その必要性和方針を紹介する。

## 2. 「気象災害に対する安全性向上」についての成果の概要

気象災害に対する安全性向上のためには、効率的な防災計画立案や的確な運転規制が必要である。そこでこれらに資することを目的に、自然外力の面的推定精度の向上、危険箇所抽出技術の開発、災害評価のマッピング技術の開発を行った。今回開発したのは、強風、雪氷、降雨等による気象災害に関するハザードを同一図上に展開する災害ハザードマッピングシステムである。風速・風向、降雪量、降雨量等の外力と、これらに対する雪崩発生危険度、土砂災害危険度等の耐力・危険度評価結果に基づく自然災害のハザードマップを地理情報システム(GIS)上で一元的に表示するシステムとなっている(図1)。

### 2.1 局地気象シミュレーションによる外力評価

鉄道沿線の風速計や雨量計から得られる「点」でのデータを補間し、鉄道防災に必要な時間・空間スケールでの面的な気象情報を得るためのツールの作成を目的として、局地気象シミュレーションモデル<sup>1)</sup>を構築し、強風、大雨、大雪の各事例についての再現計算結果と検証データとを比較検証した。その結果、強風事例や大雨事例では実際の現象を概ね再現できることを確認した(図2)。さらに、地上の観測データを本モデルに取り込むなどの方法により時間のズレ等についての精度向上を進めたが、現状では顕著な精度の向上には至っておらず、今後の課題として残っている<sup>2)</sup>。

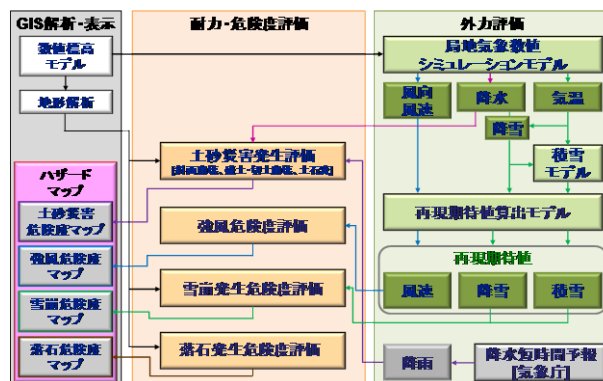


図1 災害ハザードマップの構成

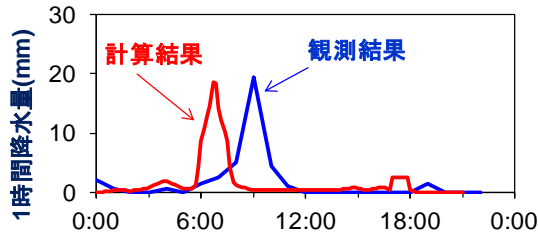
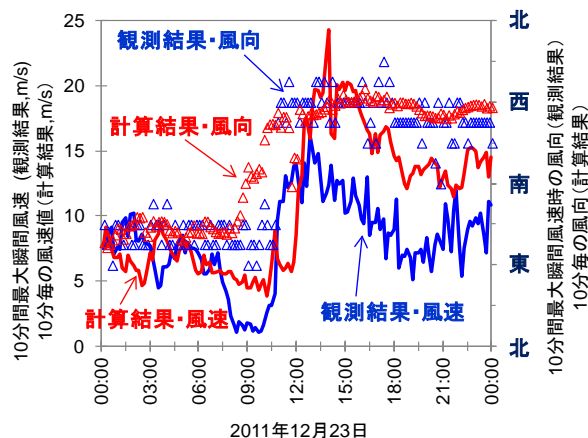


図2 局地気象シミュレーションによる強風事例(上)と大雨事例(下)の再現結果

## 2.2 危険度評価

### (1) 強風危険度評価

鉄道沿線における強風災害のうち、最も警戒を要するものとして車両の脱線転覆がある。今回は車両の脱線転覆による災害の危険度評価として、線区内の各地点における転覆限界風速<sup>3)</sup>を超える再現期間を気象シミュレーションにより評価し、その結果を強風危険度として250mメッシュでマッピングする手法を構築した。

本手法では、まず対象線区を含む領域の強風事例について局地気象シミュレーションモデルを用いて最終的に250mメッシュで再現計算を行い、メッシュごとに風速値の最大値を求める。そして、極値統計理論により再現期待値の計算を行い、ある再現期間での風速の再現期待値、ある風速を超える風速値の再現期間(図3)を求めるリストを作成する。次に、線路構造物位置のデータベースより各メッシュに含まれる線路構造物種別を特定し、その種別と車種に応じた各メッシュの転覆限界風速を求める。そして、各メッシュでの転覆限界風速以上の風速値が発生する再現期間を求め、これを強風災害危険度としてハザードマップに表示している(図4)<sup>4)</sup>。

### (2) 土砂災害発生評価

降雨による斜面崩壊は、地盤内の地下水位が上昇することで発生する。そこで、自然・切土斜面表層の崩壊を対象として、降雨時の水の移動現象を考慮して斜面表層の地下水位を求め、この結果から安定性を計算する解析モデルを構築した。さらに、このモデルを利用して土石流や盛土崩壊の評価を可能とした(図5、本日発表)<sup>5)</sup>。

その他に、航空レーザ測量結果から斜面の表層崩壊に関わる素因の評価手法も開発している。ハザードマッピングシステムではこれらの土砂災害に関する評価結果を表示できる。

### (3) 雪崩発生危険度評価

鉄道における雪崩災害については、斜面の傾斜、樹冠密度、確率最大積雪深から発生確率を求め、発生箇所と線路との比高と斜面長から到達確率を求めて、これら両者の積から発生危険度を算出する手法が提案されている<sup>6)</sup>。今回、この手法を航空レーザ測量のデータを用いて行い、その結果をハザードマップに表示する手法を開発した(本日発表)<sup>4)</sup>。

### (4) 落石発生危険度評価

落石については、航空レーザ測量のデータから発生源となる露岩の位置を抽出し<sup>7)</sup>、抽出された露岩位置からの到達確率を落石シミュレーション<sup>8)</sup>で求めて、この結果をハザードマップに表示している<sup>4)</sup>。

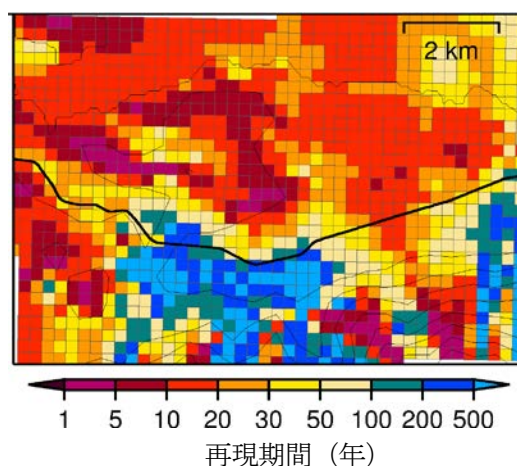


図3 風速40m/s以上の強風が発生する再現期間の計算例

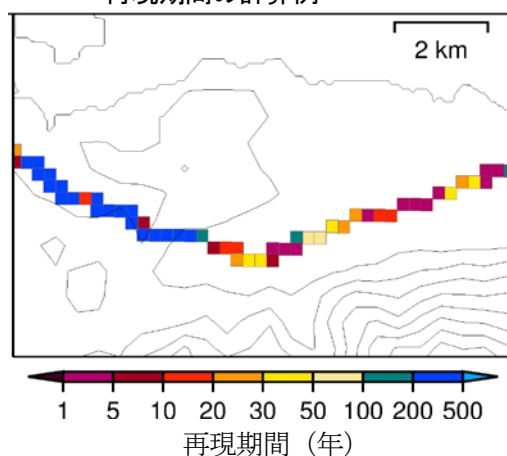


図4 転覆限界風速以上の強風が発生する再現期間の計算例

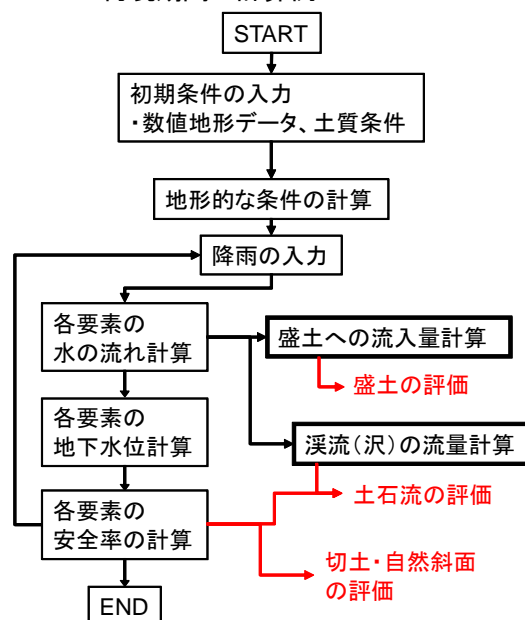


図5 降雨時安定性解析モデルの計算フロー

### 2.3 ハザードマッピング

今回開発したハザードマッピング技術では、土砂災害、強風災害、雪崩災害、落石災害について、素因や外力と発生の可能性の評価結果を地理情報システム (GIS) 上に一元的に表示できる (図 6)。これにより、災害が発生しやすい箇所が可視化されるため、沿線で注意を要する箇所を視覚的に把握することができる。また、異なる種類の災害発生の可能性、災害の素因

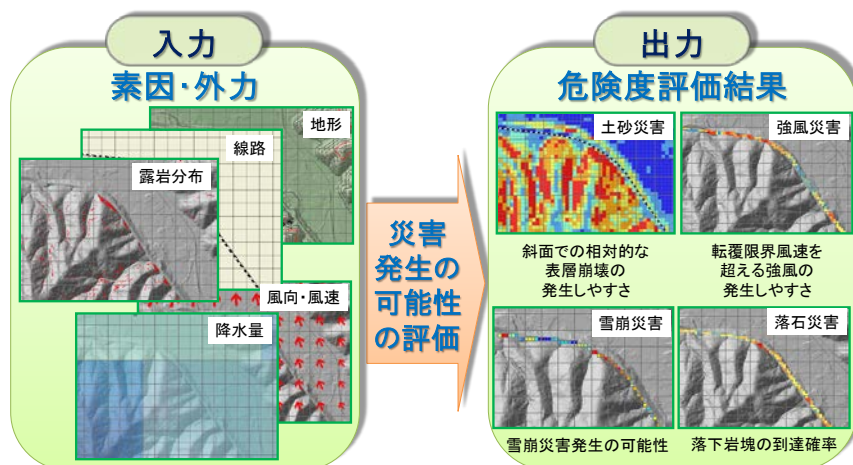


図 6 ハザードマッピング技術の概要と表示例

や外力の大きさを一元的に表示できるので、防災計画の策定にも有効である (本日発表) <sup>4)</sup>。

## 3. 「鉄道の防災・減災技術の高度化」について

### 3.1 「鉄道の防災・減災技術の高度化」の目的

東北地方太平洋沖地震以降、国の防災対策の考え方が減災の徹底にシフトし、外力の強大化により発生する大規模災害への備えの必要性が指摘されている。本課題では、未経験な強大外力による災害に対する鉄道の減災技術を確立し、レジリエンス (破局的状態の回避と全体系機能の早期回復が可能なること) を向上させることを目的として、短時間強雨、竜巻等の顕著気象や大規模地震を対象に、(1) 強大外力の発生・検知技術の開発、(2) 強大外力による災害現象の想定、(3) 強大外力による災害の影響評価の提案、(4) 強大外力による災害に対する減災技術の提案、を実施する。

未経験な強大外力による災害は低頻度ではあるが被害は甚大で広範囲に及び、実施可能な構造物対策の耐力以上の未経験外力が作用することが予想されるため、事前に被害を適確に想定し、それに基づいてレジリエンスを高めるための減災対策の立案が必要である。上記した 4 つの目的を達成させることにより、強大な顕著気象災害に対しては災害による人的損失をゼロにする技術、強大な地震災害に対しては災害後の復旧期間を月単位から週単位にする技術の開発を目指す。

### 3.2 局所的短時間強雨に対する減災技術の開発

前述の減災を徹底するという考えから、国により戦略的イノベーション創造プログラム (SIP) の一つの課題として「レジリエントな防災・減災機能の強化」を設定された <sup>9)</sup>。このプログラムでは、自然災害の激化、東日本大震災を経て芽生えたレジリエンスの考え方を踏まえ、我が国が自然災害を克服するためには、最新科学技術の最大限活用、災害関連情報の官民あがでの共有、国民個々の防災リテラシー (災害対応力) の向上、の必要があるとし、特に最新科学技術の活用により災害情報の共有を基軸に「早い察知 (予測)」、 「予防力限界の事前把握 (予防)」、 「先手必勝 (対応)」を実現するとしている <sup>9)</sup> (図 7)。

鉄道総研では、平成 26 年度からこの SIP 課題に参画し、鉄道の将来に向けた研究開発の課題として、鉄道に適した局地的な気象現象の検知、局地的な気象現

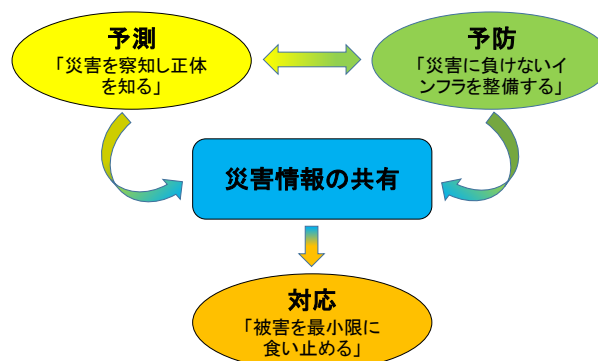


図 7 SIP 課題における自然災害克服の概念

象による自然災害のハザード評価および局地的短時間強雨時の最適な運転規制と旅客の避難誘導に向けた技術開発に取り組んでいる。

これまで鉄道では、気象現象による災害については、事前のハード対策とともに沿線に展開する雨量計や風速計等による観測に基づいた運転規制により安全を担保してきた。しかし、いわゆる「ゲリラ豪雨」等の局地的でかつ極端な気象現象は、沿線の観測システムだけでは検知できない場合がある。また、沿線から離れた箇所での局地的強雨により発生した土石流等により鉄道が被災する事例も生じている。そこで、局地的な気象現象による災害を防止するためには面的、かつ高密度に気象状況を把握する必要がある、これには気象レーダデータの活用等が有効と考えられる。このようなレーダ観測情報の活用は一部の鉄道事業者でも検討が進められている<sup>10)</sup>。

また、降雨災害に対する運転規制は、これまで観測された雨量値に基づいて行なわれている。雨量の規制値は、これまでの災害発生時の雨量の実績等に基づいて設定されているので、雨量計が受け持つ区間の降雨災害の発生リスクを包含していると考えられる。一方、気象レーダでは面的に降雨量を観測することができるので、個別斜面での降雨量に対する災害発生リスクが明らかになれば、レーダ観測値を用いることにより個別の災害発生危険度による評価が期待できる。そこで、沿線での浸水や土砂災害の発生を降雨量に応じた危険度で評価し、沿線の影響範囲とハード対策の適用限界を考慮した逐次更新型のハザードマップを作成する手法を検討する。さらに、このハザードマップに基づいた運転規制判断、旅客の最適避難経路決定を支援するアルゴリズムを構築する。これらをシステム化することにより、顕著気象の検知から災害発生の評価・予測、列車の運転制御と旅客の避難誘導までを通して行える手法として提案すること目標として研究開発を進める予定である（図8）。

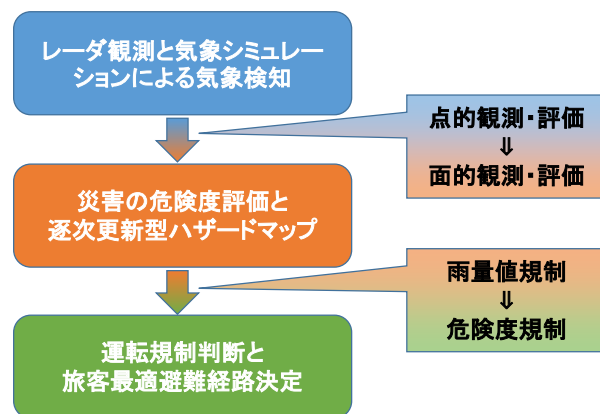


図8 局地的短時間強雨災害への取り組み

#### 4. おわりに

防災技術は過去の経験から学ぶことが多いと言われるが、経験に基づく判断だけでなく、昨今の外力の強大化とそれに伴う被災形態の変化を想定し、レジリエンス向上を目指した研究開発を進める予定である。これらの成果を基に、今後も鉄道の安全輸送と耐災性向上に貢献したいと考えている。

#### 参考文献

- 1) 荒木啓司, 福原隆彰, 島村泰介, 今井俊昭: 数値解析手法を用いた鉄道沿線における強風箇所の抽出方法, 鉄道総研報告, Vol. 24, No. 5, pp. 29-34, 2010
- 2) 福原隆彰: 数値シミュレーションを用いた面的な気象情報の取得方法, 第289回鉄道総研月例発表会要旨
- 3) 日比野有, 石田弘明: 車両の転覆限界風速に関する静的解析法, 鉄道総研報告, Vol. 17, No. 4, pp. 39-44, 2003
- 4) 浦越拓野: 災害ハザードマッピング技術の開発, 第289回鉄道総研月例発表会要旨
- 5) 布川修: 地形情報を用いた斜面の降雨時危険性の評価手法, 第289回鉄道総研月例発表会要旨
- 6) 新山純一, 松田宏, 飯倉茂弘, 河島克久, 藤井俊茂: 東北新幹線盛岡・八戸間のなだれ危険度とその工学的意義, 日本雪工学会誌, Vol. 19, No. 2, pp. 12-23, 2003
- 7) 長谷川淳, 太田岳洋: 斜面災害の要注意箇所を空から見つける, RRR, Vol. 69, No. 11, pp. 4-7, 2012
- 8) 社団法人日本道路協会: 落石対策便覧に関する参考資料-落石シミュレーション手法の調査研究資料-, pp. 5-100, 2002
- 9) 内閣府政策統括官(科学技術・イノベーション担当): 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・減災機能の強化(リアルタイムな災害情報の共有と利活用)研究開発計画, <http://www8.cao.go.jp/cstp/gaiyo/sip/keikaku/8-bousai.pdf>, 2014
- 10) 外狩麻子: レーダー雨量の防災分野への活用に関する一考察, 第10回地盤工学会関東支部発表会 GeoKanto 2013, 2013