

防災技術に関する最近の研究開発

太田 直之*

Recent Research and Development on Disaster Prevention Technology

Naoyuki OTA

This paper provides an overview of the impact of climate change on Japan's weather and introduces some of the research being conducted by R.T.R.I. in this regard. In line with our research plan "RESEARCH2025", we are working on developing following researches : a high precision operation control system applying observation data, and an evaluation method for the stability of slopes after heavy rain. We will develop technologies to improve the resilience of railways against disasters using a variety of digital information.

キーワード：激甚災害, リアルタイムハザードマップ, 運転規制, 早期復旧

1. はじめに

気候変動に関する政府間パネル (IPCC) の3つの作業部会は、最新の知見を取りまとめた第6次評価報告書¹⁾を2021年8月から順次公表し始めた。現時点で公表されている第1作業部会報告書(自然科学的根拠)には、「将来ありうる気候」としてこれまでよりも一層厳しい予測結果が記述されている。このような地球規模の気候変動は、大雨や強風の激化によるリスクの増加として鉄道に直接的に影響するため、激甚化する気象災害への備えとなる技術開発は喫緊の課題といえる。そこで本報告では、我が国における気候変動の状況を俯瞰した上で、それを背景として鉄道総研で進めている研究開発の概要を紹介するとともに、将来の防災技術を展望する。

2. 我が国における気候変動の影響

現時点(2021年12月時点)で公開されているIPCCの第6次評価報告書は、第1作業部会が取りまとめた気候変動に関する自然科学的根拠に関する報告である。同報告書には、これまでの気象データの分析結果を基に、気候の現状と将来ありうる気候等について様々な知見が述べられている。この中で、将来の気候として、大雨の頻度と強度の増加、強い熱帯低気圧の割合の増加は、温暖化の進行に直接関係して拡大すると述べられている。

この記述に関連するデータとして図1がある。この図は、気象庁が全国約1300のアメダス観測点で1976年から2020年の間に観測した1時間あたり80mm以上の短時間強雨の発生回数の推移²⁾を示している。図が示す通り短時間強雨は明確な増加傾向にあり、この傾向は前述のIPCCの報告書を裏付けている。

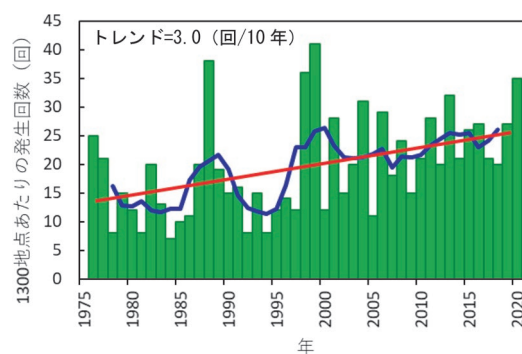


図1 1時間80mm以上の雨発生回数の推移²⁾

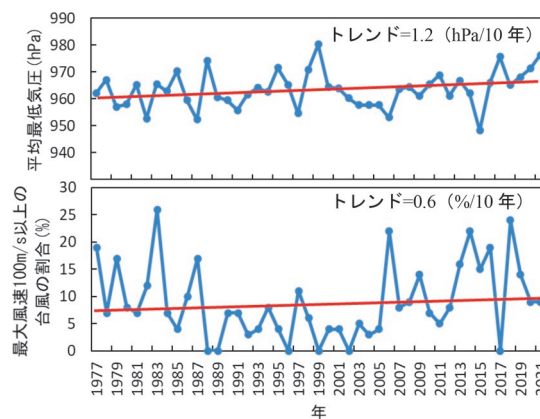


図2 各年に発生した台風の
(上) 最低気圧の平均値
(下) 最大風速100m/s以上の台風の割合

また、図2は、地域特別気象センター(RSMC)の東京センターが公開している台風のベストトラックのデータ(観測データを事後に検討・精査した確定値)を基に、台風の強さの経年変化について整理したグラフである。上側のグラフは、年毎に発生した台風の最低気圧の平均値の推移を示し、また、下側のグラフは、最大風速が

* 防災技術研究部長

100m/s を超える台風の発生個数の各年の台風発生個数に対する割合の変化を示している。両者とも増減を繰り返しながらわずかではあるが増加する傾向を示している。このようなデータには「強い熱帯低気圧の割合の増加」の傾向は顕著には表れていない。一方で、令和元年東日本台風のように、強い勢力を有する台風による被害の大きさを鑑みれば、強い熱帯低気圧に対する警戒を緩めることはできない。

3. 防災に関する技術開発

前章で示したような気象の激化を想定し、防災技術として取り組むべき研究課題について述べる。

大規模な被害の発生が想定される場合に、急な列車の運休による混乱を避けるため、計画運休を実施するケースが近年増えている。計画運休は、混乱を防ぐという目的において、特に大都市圏で大雨や大雪が想定される場合に効果が大きいと考えられる。その一方で、安定輸送に及ぼす影響も大きいいため、過不足のない運休の判断と解除の必要性が高い。

また、激甚な災害の事例に共通する点として広域災害が挙げられる。図3は平成30年7月豪雨でこれまでの最大観測値を更新した地点と、この大雨によって被災したJRの各線区を被災日とともに示している。この災害事例のように、広い範囲にわたり過去に例を見ない大雨が生じた場合、広範囲に多数の災害が短期間に発生する可能性がある。このような場合、状況の把握だけでも多くの時間を要することが考えられる。また、被災状況から必要な措置を検討できる人員は限られており、個々の被害箇所に対する対応を決定するためにさらに多くの時間が必要となることが想定される。したがって、広範囲に発生する多数の被災箇所の状況を短時間で把握して、それぞれの被災状況に適合した措置を迅速に決定することの必要性は高い。

さらに、鉄道のみならず我が国が有する大きな問題として、少子化による労働人口の減少や社会インフラの老

朽化がある。これらの問題の影響を鉄道防災の観点から考えた場合、災害発生等の異常時対応に限らず、常時における検査の効率化が課題として挙げられる。これらの課題に対しては、維持管理と取り替えをいかに効率的に進められるかが重要であり、防災に資するメンテナンスの技術開発の必要性は高いと考えられる。

以上のような課題を解決するためにはデジタル技術の導入が不可欠であり、各種の情報を如何に活かすかが重要な鍵であると考えている

4. 課題解決の取り組み

4.1 降雨時運転規制の高度化

2020年度からスタートした鉄道総研の基本計画 RESEARCH2025では、激甚化する気象災害への対応技術として、強雨および強風時の運転規制の高度化技術の開発に取り組んでいる。両者とも既存のセンシングデータを列車の運行情報としてリアルタイムに活用することで、安全を確保した上でダウンタイムを短縮することを目指している。

降雨時の運転規制については、地形や地質を考慮した斜面の安定度の降雨に伴う変化を反映した高度な運転規制方法の開発を狙っている。この手法では、数値地形情報や概略の地質情報を用いて降雨による地盤内の水分量の変化を逐次計算して斜面の安定度を求める³⁾。ここで、沿線に存在する膨大な数の斜面の全てに対して安定度の逐次計算を実施することは計算リソースの面で限界がある。実用にあたっては、沿線のなかで安定度の変化を監視すべき箇所を絞り込み、選定した箇所について安定度を計算する必要がある。そこで、線区の中で降雨時に安全度を監視すべき箇所を、数値地形情報を用いて選定する手法の開発を進めている。図4には、開発中の手法による集水範囲の表示例を示している。線路際の斜面の集水範囲が線路のどの箇所に影響を及ぼすかが理解でき、このような情報に斜面や線路設備の情報を加えることで、監視すべき箇所を自動的に選定する手法の開発に取り組んでいる。この手法で選定された箇所に対して斜面



図3 平成30年7月豪雨で観測史上1位を更新した地点の分布とJRの被災線区

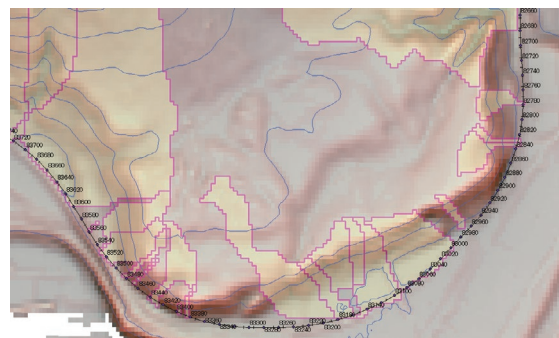


図4 地形解析による評価対象箇所の選定 (薄黄色が集水範囲の表示例)

の安定度を逐次評価することで、精度の高い降雨時運転規制に繋がると考えている。

4.2 強風時運転規制の高度化

強風時の運転規制については、沿線に離散的に設置されている風速計による運転規制に替えて、密度の高い二次元的な風速分布を逐次評価した上で、その情報を利用した運転規制方法の開発を進めている。開発にあたっては、地形や沿線の建物の情報を考慮した気象解析を実施し、沿線の観測点で測定された気象データをリアルタイムに分析して、観測点間の風速を補間して図5のように風速分布をマップ上に示す手法の作成に取り組んでいる。また、過去の強風災害データを収集・分析して、風の強さと発生しうる被害の種類を関連付けて、マップ上などの範囲でどのような形態の強風被害が発生する可能性があるかを示すシステムの作成を進めている。これらの風速分布に関する高密度かつ動的な情報を利用することで、より精度の高い強風時の運転規制を実施することができ、ダウンタイムの短縮に繋がると考えている。

さらに、強風については吹き止みの判断に関する研究も進めている。雨雲の移動を気象レーダーで追うことでその盛衰をある程度予測できる降雨と異なり、強風の終息を観測値のみから判断することには限界がある。そこで、台風や前線の通過といった気象イベント別に強風の盛衰パターンを分析し、強風の終息を予想する手法の作成を進めている。強風リアルタイムハザードマップと強風終息の予測手法を合わせることで、ダウンタイムの短縮を図りたいと考えている。

この他に、運転規制の閾値の検討に確率論的リスク評価を導入する手法について研究を進めている。これら一連の技術開発を進めることで、精度が高く、かつ、実効性のある運転規制の実現に貢献できると考えている。

4.3 施設の状態評価

運転規制の高度化に関する技術開発と並行して、施設の状態評価に関する研究開発を進めている。ここでは、

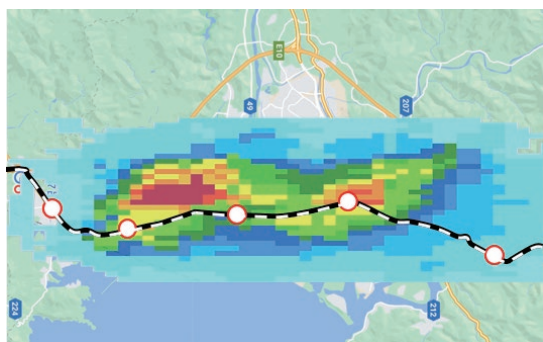


図5 強風リアルタイムハザードマップ（イメージ）
（風速分布をコンターで示す）

降雨によって被災した盛土の状態評価技術と異常増水時の橋脚基礎周辺地盤の洗掘に対する安全性評価技術について紹介する。

4.3.1 被災斜面の性能判断

降雨によって盛土が被災する形態にはいくつかのパターンがあるが、その中でも多く見られる被災形態として盛土のり尻の崩壊がある。その規模は、のり尻からのり肩にかけて大きく崩壊するケースやのり先のみ崩れるケースなど様々である。ここで、列車による荷重を支持できる被災規模を明らかにしておくことで、被災盛土に対する緊急的な列車の運行の可否を、技術的根拠をもって迅速に判断することが可能になる。そこで、被災規模と盛土の安定度との関係性の解明に取り組んでいる。図6は、実物大の模型盛土に降雨を模擬した散水を行い、地下水位の上昇と飽和度の増加により盛土の一部が崩壊した状態を再現し、その上で、列車荷重を作用させて崩壊規模と盛土の残存耐力との関係を明らかにする実験の様子を示している。また、このような模型実験の結果を再現する解析方法を明らかにし、様々な条件での崩壊規模と盛土耐力との関係を解析により明らかにして被災盛土の安定性評価の一般化を目指している。

また、耐力が不足すると判断される崩壊規模の盛土に対する緊急的な運転再開のための補強対策の開発にも取り組んでいる。これら一連の技術は、平成30年7月豪雨のような広範囲に複数の災害が発生するケースへの活用を想定している。例えば、ドローンを使用して沿線の点検を短時間で行い、集録した画像により把握した被災状況から緊急的な運行再開の可否や必要な補強工の選定を迅速に判断することが可能になると考えられる。点検の省力化や被災後の復旧計画の迅速な作成が可能となり、ダウンタイムの短縮に貢献できる技術と考えている。

4.3.2 増水時の橋脚の洗掘モニタリング

斜面崩壊のほかに強雨によってもたらされる災害として、河川の異常増水による橋梁の損傷・流出が挙げられる。2021年の8月に発生した前線による大雨でも、中部地方や九州地方で複数の橋梁が被害を受けた。このような橋梁の被害としては、大きく分けて桁の高さまで河

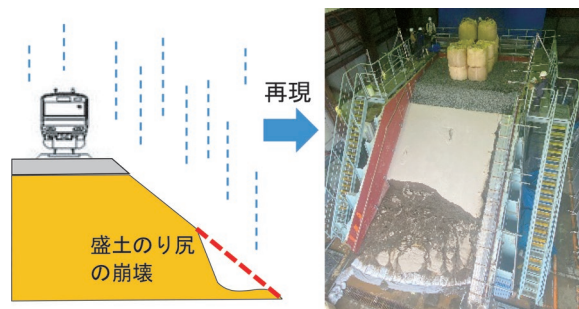


図6 実物大模型盛土を用いた崩壊実験



図7 洗掘モニタリングシステムの検証実験

川水が増水してその水流によって桁が流されるケースと、橋脚の基礎地盤が水流によって流されて橋脚が転倒・倒壊する洗掘被害の二種類がある。このうち後者については、洗掘が発生した場合でも橋脚に傾斜などの顕著な変状が現れていないケースがあり、この場合、列車荷重に対する安定度が維持されているか否かを増水している状態で確認することが困難であった。そこで鉄道総研では、増水時の橋脚の微動から求めた固有振動数の変化によって橋脚の安定度をモニタリングするシステムを開発してきた。図7は、開発したシステムによる固有振動数の同定性能を検証するために実施した模型実験の様子を示している。ここで、橋脚に設置したセンサーにより計測した微動を用いて橋脚の固有振動数を求めるためには、擾乱として計測データに含まれる地盤から伝わる振動の成分を除去して、橋脚そのものの振動を取り出す必要がある。開発したシステムは、図7のように橋脚天端の2箇所での微動を測定し、それらのデータを用いることで地盤の振動を分離する仕組みとなっている。

この洗掘モニタリングシステムを用いることで、常時から異常増水時まで橋脚の安定度を連続的に確認することができ、河川水位の低下を待たずに安全性を評価することで早期運転再開や必要な措置を迅速に判断できると考えている。

5. さらなる安全・安定輸送のための技術開発

激甚化する気象災害に対する鉄道の強靱化に資する技術開発として、運転規制の高度化や施設の状態評価手法に関する研究開発の取り組みについて紹介してきた。いずれの技術開発についてもセンシングデータをどのように鉄道の安全・安定輸送に活用していくかという取り組みとして位置付けることができる。これらのセンシングデータについては、近年の通信技術の進歩により、大容量のデータを高速で得ることができるようになってきている。また、インターネットを介することで、多岐にわたる情報を部外からも容易に入手できるようになってき

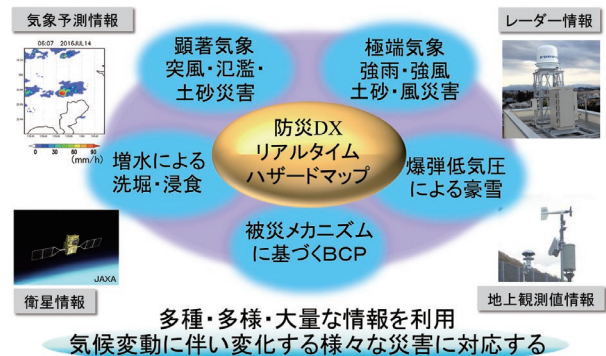


図8 実物大模型盛土を用いた崩壊実験

ている。図8に示す様に、これらの部外の情報と従来から保有する部内の情報とを合わせて活用することで、さらに有効性の高い防災情報システムとしてのリアルタイムハザードマップを作成できると考えている。

このようなデジタルデータの利用に関する先を見据えた取り組みの例として、衛星情報の利用に関するテーマを進めている。今後、多数の小型衛星が打ち上げられ、そのデータの入手が容易になることを想定して、これを鉄道防災に利用するための研究を実施している。

6. まとめ

本稿では、激甚化する気象災害に対する鉄道の強靱化に関して現在進めている研究開発を中心に、その取り組みを紹介した。このほかにも、土石流危険箇所の評価方法、老朽のり面の安全性評価のための調査方法の開発、岩盤の劣化メカニズムの解明、気象レーダーを用いた降雪分布の評価方法、着落雪量の推定手法など、防災に関わる評価技術の開発に幅広く対応している。これらの研究開発をとおして、鉄道のレジリエンス向上に継続的に貢献していきたいと考えている。

本稿で紹介した研究の一部は、国土交通省交通運輸技術開発推進制度により実施した。

文 献

- 1) IPCC : AR6 Climate Change 2021:The Physical Science Basis, <https://www.ipcc.ch/report/ar6/wg1/> (参照日：2021年12月6日)
- 2) 気象庁：大雨や猛暑日など（極端気象）のこれまでの変化 https://www.data.jma.go.jp/cpdinfo/extreme/extreme_p.html (参照日：2021年12月6日)
- 3) 布川修, 杉山友康, 太田直之：地形を考慮した斜面表層部の地下水位変動予測と安定性評価, 鉄道総研報告, Vol.24, No.5, pp.17-22, 2010

■ 2022年4月号（特集：防災技術）の訂正

展望解説の脚注，図中，図のキャプションおよび本文中に誤りがありました。
以下のように訂正させて頂き，お詫び申し上げます。

【脚注表記】

【誤】 防災技術研究部長

【正】 防災技術研究部長（現 京都大学）

【訂正箇所①】

P.1 図2 の下の縦軸と図2 のキャプション

【誤】

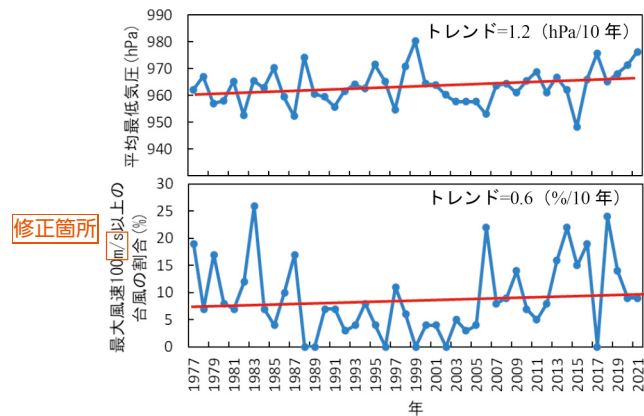


図2 各年に発生した台風の
（上）最低気圧の平均値
（下）最大風速 100m/s 以上の台風の割合
修正箇所

【正】

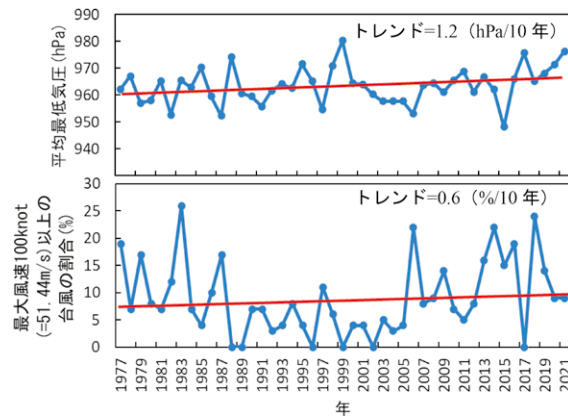


図2 各年に発生した台風の
（上）最低気圧の平均値
（下）最大風速 100knot(=51.44m/s) 以上の台風の割合

【訂正箇所②】

P.2 左段 1 行目

【誤】 100m/s を超える・・・

【正】 100knot (= 51.44m/s) を超える・・・