

- 鉄道一般
- 車両
- 施設
- 電気
- 運転・輸送
- 防災
- 環境
- 人間科学
- 浮上式鉄道

リアルタイム防災情報に関する最近の研究開発



山本 俊六
Shunroku Yamamoto
鉄道地震工学
研究センター長



太田 直之
Naoyuki Ota
防災技術研究部長

自然災害の激甚化、頻発化、局所化が進み、同時に現場技術者が減少する中、情報を活用して運転規制に関する判断を確実かつ効果的に行うことをなど目的とした、リアルタイム防災に対する関心が高まっています。リアルタイム防災とは、自然災害に対する実況中継的な情報（リアルタイム防災情報）を用いた防災技術です。ここでは、リアルタイム防災の概念、これに関連する最近の研究開発の具体例と動向について紹介します。

はじめに

「リアルタイム」は一般に、「即時の」、「同時進行の」、「実時間の」などと定義されています。この単語は、技術分野で使用されることが多く、たとえば、「リアルタイム情報（＝実況中継的な情報）」や「リアルタイム処理（実時間と同時に進行していく処理）」などの言葉を耳にすることもあるかと思えます。ここでは防災のためのリアルタイム情報が「リアルタイム防災情報」であり、その情報を活用した防災が「リ

アルタイム防災」であると定義づけて、話を進めます。

さて、リアルタイム防災の利点は何でしょうか。単発的に取得できる情報ではなく、実況中継的な情報を用いることにより、いつ発生するかわからない自然事象に対して、より素早いタイミングで対応することができます。また、この情報はリモートで取得できることが多いため、情報取得の労力を最小限に抑えることが可能です。さらに、判断材料となるように加工された情報

であるため、ベテラン以外でもこの情報を用いて対応が容易になるケースがあります。これらの特徴から、自然災害に対し迅速で確実な対応と判断が可能になると考えます。

近年の各種センサー、演算処理装置、通信ネットワークなどの技術的進展には目覚ましいものがあります。これらICTの充実によりはじめてリアルタイム防災実現の条件が整ってきました。もちろん、ハードウェアの発展のみではリアルタイム防災は困難です。取得した多種多様なデータから、目的に応じた情報を抽出し、これらから短時間で適切に分析、評価、判断を行うための根拠や手法が必要です。

ここでは、まず、リアルタイム防災における処理の流れを整理します。次に、それぞれの処理に関する最近の研究開発の具体例と動向についてまとめます。

リアルタイム防災とこれを形成する技術

鉄道では自然災害に対して、事前実施可能なハード対策（自然災害を考慮した設計や補強など）と災害発生時

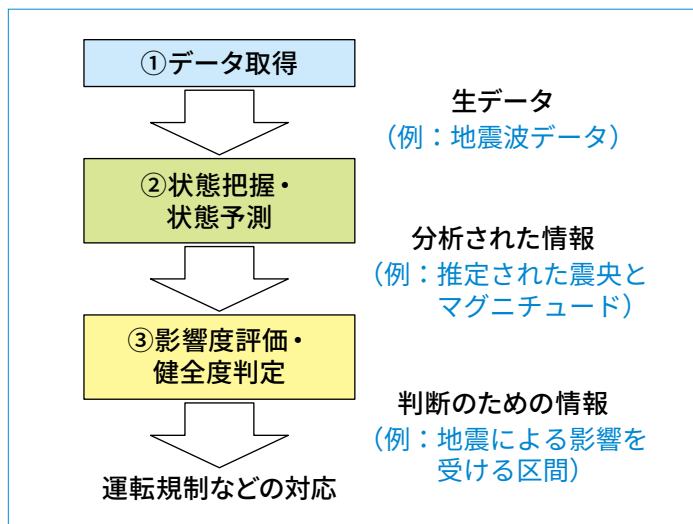


図1 リアルタイム防災における一般的な処理の流れ

に実施するソフト対策(運転規制など)を組み合わせて対応しています。リアルタイム防災は、とくに後者を効果的に行うために有用です。

鉄道のリアルタイム防災における基本的な処理の流れを図1に示します。処理内容は「①データ取得」、「②状態把握・状態予測」、「③影響度評価・健全度判定」に分類されます。

「①データ取得」では、外力や状態の変化などの効果的なセンシング、重要データの抽出、伝達を行います。部外から情報を取得することもあります。

「②状態把握・状態予測」では、外力や状態の変化の把握や将来の状況の予測などを行います。鉄道の路線は線状に広がっているため、センサー位置で計測された“点”のデータから、路線に沿った“線”の情報を推定することもあります。

「③影響度評価・健全度判定」では、上記で把握された状態や外力に基づき、鉄道が受ける影響度や対象物の健全度などを評価します。

以上は基本的な流れであり、防災対象により異なるケースがあることに留意してください。さて、次章以降、上述の①～③に関連して、近年開発された技術、開発中の技術を具体的に紹介します。

データ取得に関連する技術

(1) 新しいセンシング技術

鉄道の防災に用いられる代表的な計測機器として、雨量計、風速計、地震計などがあげられます。これらは、外力を計測するものですが、近年、構造物の状態や応答を直接計測することを目的としたセンサーが開発されています。本特集号の「橋りょう支承部の地震被害を素早く検知する」および「高架橋柱の地震被害を素早く検知する」で紹介

する支承部の変位センサー、柱の変形検知センサーはそれらの代表的な例です。これらの活用により、より直接的に状態や被害の把握が可能となります。

また、洗掘による橋脚の不安定化を、構造物に変位が生じる前に把握することを目的として開発されたセンシング技術も存在します。これについては本特集号の「橋脚基礎の振動から安定性を評価する」で詳細に紹介します。

(2) 列車振動の識別技術

リアルタイム防災では、データを速やかに処理して運転規制の要否を判定するため、万一データにノイズなどが混入した場合には、誤った判断が行われる可能性があります。このような事態を防ぐための技術が開発されています。

新幹線の早期地震警報システムでは、地震以外の振動による誤動作を避けるためのノイズ識別処理を行っています。図2に近年実用化された地震動の識別技術の概念を示します¹⁾。地震動は多くの人工ノイズに比べゆっくり揺れる

成分が多いため、この性質を利用してリアルタイムで両者の識別を行い、地震以外の振動で警報を出力しないように工夫されています。

(3) 部外データの積極的活用

鉄道の線路は広域に展開されています。雨、風、地震などの自然外力の変化をいち早くとらえるためには、沿線のデータのみならず、日本の国土全体に設置されたさまざまな観測網のデータを積極的に活用することが有効と考えられます。

一例として、天気予報でおなじみのアメダスのデータや、アメダスとレーダーの観測値を組み合わせて作成された解析雨量値など、気象庁が配信する気象データを降雨時の運転規制に利用する取り組みがあげられます。気象情報のうち、国土交通省が全国に配備する気象レーダーの情報網を利用したXRRAINは250m間隔の雨量が入手できるため、地上の雨量計観測網では補足できない狭い範囲の降雨情報を入手することが可能となります。

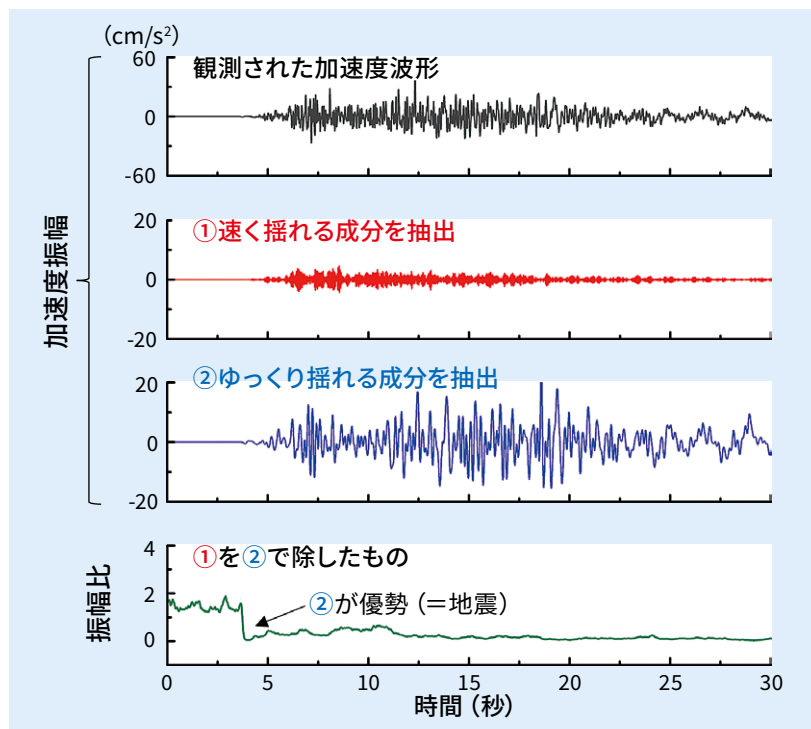


図2 地震動のリアルタイム識別手法の例



図3 台車への着雪

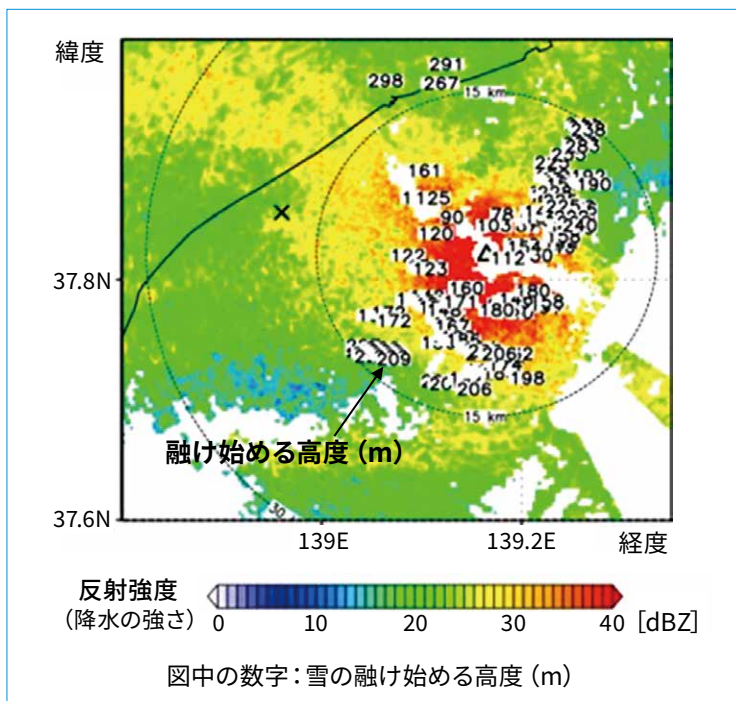


図4 レーダーデータから求めた雪が融け始める高度と降水量の分布

状態把握・状態予測に関する技術

(1) レーダーを利用した雪質評価技術

豪雪地帯の線区では、列車に付着した雪塊(図3)の落下による地上設備の損傷防止のために、徐行措置がとられる場合があります。このような運転規制を効果的に行うためには、その判断に、雨と雪の判別や雪質の評価を導入

することが有効です。

このため、気象レーダーによる観測値から上空の降水粒子の含水率を求める手法を開発しました。この手法を用いることで、雨と雪の判別とその降水量や雪粒子の乾・湿の程度を評価でき(図4)、降雪の予測や着雪の原因となる積雪の舞い上がりの判定が可能となり、着雪対策を目的とした運転規制な

どの高精度化が期待できます。

(2) 地震動の空間補間技術

現在、地震後の点検要否は沿線に5km～数10km間隔で設置された地震計の値により判断されています。この際、揺れの線路に沿った連続的な変化を知ることができれば、さらに効果的な点検が可能となります。

以上を目的に、地震計間の揺れの変化を把握するための技術が開発されました²⁾。500mメッシュの地盤特性に関するデータベースと、地盤の非線形性(強い揺れのときに揺れが伝わりにくくなる現象)を考慮した評価法を組み合わせることで、短時間で精度の高い揺れ分布の予測を可能にしました(図5)。

(3) レール温度予測技術

レール温度の上昇による座屈の予測は鉄道の安全を考えるうえで重要です。しかし、そのためには気象条件や地理条件を正確に把握し予測する必要があります。これらを背景に汎用の地理データや気象データを活用して、今後のレール温度の変化を予測する手法を開発しました。これにより、効率のよい点検や対応を可能とすることが期待されます。詳細は、本特集号の「地形・建物データと気象予報情報からレール温度を予測する」で紹介しています。

影響度評価・健全度判定に関する技術

(1) 構造物のリアルタイム被害推定

従来、地震後の点検要否は、地震動の揺れの強さを基準に判断されてきました。ここで、揺れによる構造物の被害レベルを推定することができれば、より適切な判断が可能となると考えられます。

以上を背景に、限られた構造物データから短時間で線路全線の被害推定を

実施するためのノモグラムを開発しています。現在、橋りょう、高架橋、盛土に関して、これらのノモグラムが用意されています。本特集号の「構造物被害を推定し即時的に情報配信する」では、このうち盛土のノモグラムに関する紹介をしています。

(2) 津波の浸水深の即時推定

気象庁の発表する津波警報・注意報は沿岸での波高に基づき判断されるものです。仮に、津波の遡上域と浸水深が予測できれば、鉄道への影響を速やかに把握でき、津波警報・注意報と併用することで、より適切な避難を実施できる可能性があります。

以上を目的に、海底地震津波観測網のデータを活用して、津波の浸水深をほぼリアルタイムで予測し、鉄道への影響を判断する手法を提案しています(図6)。この手法では震源近くの水圧計のデータからいったん沿岸の波高を求め、事前に用意したデータベースから浸水深を推定します³⁾。

おわりに

ここで紹介したように、リアルタイム防災に関連し、現在、さまざまな技術開発が進行中です。一方、この情報を鉄道事業者のみならずが活用する際の課題も存在します。たとえば、推定精度や誤差の取り扱い方は実務を考える際の重要な課題の一つといえます。これらの課題に対する取り組みも始まっています。

リアルタイム防災は、これからの鉄道の安全を支える重要な技術の一つです。鉄道総研は、今後も鉄道事業者のみならずと連携し、研究開発と実務への活用に関する課題解決の両面から、リアルタイム防災の発展に向けて尽力する所存です。[RRR]

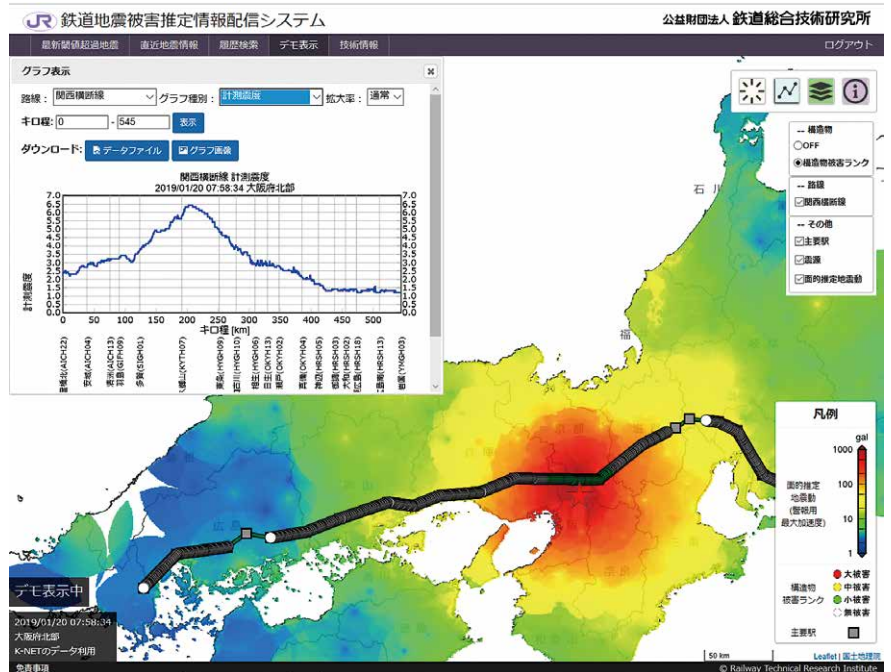


図5 地震動の空間補間技術の適用例(仮想路線)

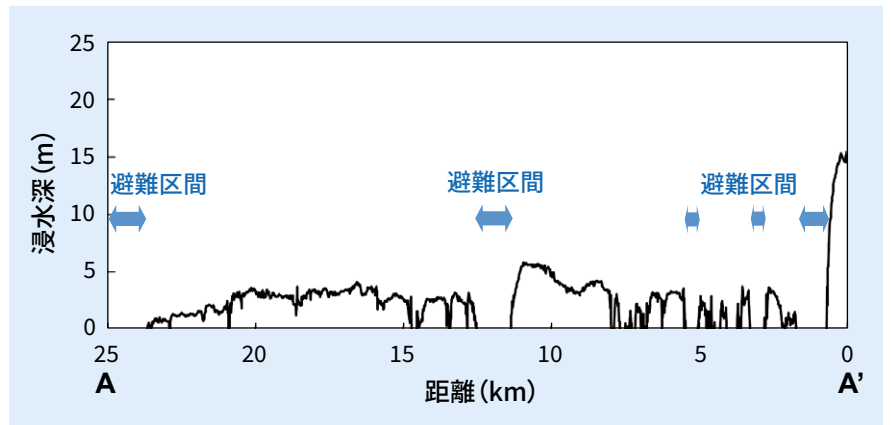


図6 沿線における津波浸水深の予測例

文献

- 1) 岩田直泰, 山本俊六, 是永将宏, 野田俊太: 早期地震防災システムで迅速かつ確実に列車を止める, RRR, Vol.73, No.3, pp.12-15, 2016
- 2) 岩田直泰, 坂井公俊, 山本俊六, 室野剛隆, 青井真: 鉄道地震被害推定情報配信システム (DISER) を利用して素早く運転を再開する, RRR, Vol.77, No.2, pp.12-15, 2020
- 3) 津野靖士: 鉄道沿線への津波を早期に予測する, RRR, Vol.75, No.11, pp.20-23, 2018