

# リアルタイムハザードマップを活用した防災システム

防災技術研究部長  
太田 直之



## 1. はじめに

2018年10月に発表されたIPCC（気候変動に関する政府間パネル）の特別報告書<sup>1)</sup>では、温室効果ガスの現状の排出ペースが今後も維持されれば、2030年～2052年までに気温が1.5度上昇する可能性が高いことが明らかにされた。また同報告書では、この気候の変化により豪雨や干ばつなどの異常気象のリスクが高まることが言及されている。また同年2月に、政府の地震調査研究推進本部は、マグニチュードM8～M9と推定されている南海トラフによる地震発生の可能性について、30年以内の発生確率を70%～80%に引き上げた<sup>2)</sup>。

このように、我が国をとりまく自然災害のリスクは高まりをみせていると捉えることができ、これに対応する防災技術の開発が喫緊の課題であると考えている。本発表では、上記の課題に対応する技術のひとつとして開発に取り組んでいる「リアルタイムハザードマップ」について紹介する。

## 2. 最近の災害事例が示す防災上の課題

### 2.1 平成30年7月豪雨

平成30年7月豪雨では西日本を中心に広い範囲で記録的な大雨となった。

この雨では、最大72時間降水量を更新した観測地



図1 平成30年7月豪雨での被災事例

点は122地点にのぼり、長時間にわたり強い雨が降り続くというタイプの豪雨であったといえる。

この一連の降雨によって、中国地方を中心に30を超える線区で盛土崩壊（図1）や土石流などの土砂災害が発生したほか、河川の増水による橋りょうの洗掘や倒壊の被害が発生した。また、鉄道のみならず幹線道路でも被害が多数発生したこともあり、被害の全容把握に非常に長い時間を要した。被災状況の把握はその後の復旧計画に大きく影響を及ぼす。この事例によって、広範囲に及ぶ災害の状況をいかに迅速に捉え復旧までの時間を短縮するかが課題のひとつとして浮き彫りになったといえる。

### 2.2 2017年度冬期の大雪

2018年1月から2月にかけては、強い冬型の気圧配置により日本海側で大雪に見舞われたほか、同時期に発生した南岸低気圧の影響により関東甲信地方や東北地方の太平洋側の平野部でも大雪が観測された。この大雪により、鉄道の運休をはじめ、ライフラインに大きな影響が及んだ。図2は2017年度に観測された最深積雪深の平年比を示している。中国、北陸地方の日本海沿岸地域で平年の2.5倍程度の積雪があったことがわかる。また、東京をはじめ関東平野でも記録的な積雪であったことがわかる。

大雪時の積雪は、時として脱線などの事故に繋がることもあるが、輸送障害として影響が表れることが多

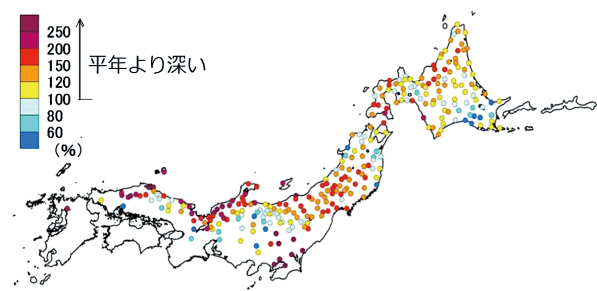


図2 2017年度冬期の最深積雪の平年比<sup>3)</sup>

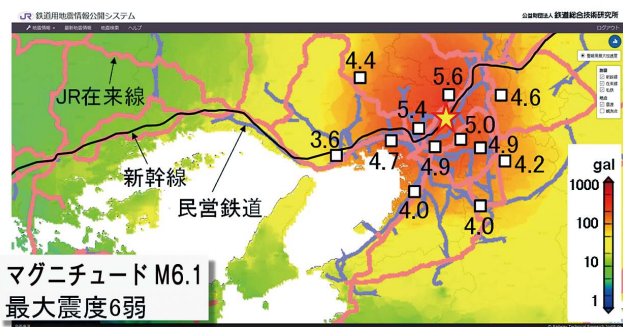


図3 大阪北部地震による加速度および震度分布

い。特に都市部での積雪は影響が顕著であり、降雪分布の予測精度の向上とこれに基づく措置が課題として挙げられる。

### 2.3 大阪北部地震

2018年6月18日に大阪北部で発生した最大震度6弱の地震(図3)では、近畿地方を走る新幹線や在来線で点検のために運転を見合わせる事態となった。構造物をはじめ鉄道施設にこの地震の揺れによる被害はなかったが、鉄道網が密集する大都市圏で大きな揺れを観測したことから点検に相当の時間を要することとなった。

緊急地震速報を利用した列車の停止システムはこの地震でも有効に機能し、列車の安全性を保つことが出来た。しかし、その一方で、鉄道の利便性を考慮した場合、震度6弱程度の地震が発生した際に、運転再開までの時間をいかに短くするかが課題となることが明らかになった。

## 3. リアルタイムハザードマップの役割とICT

上述の課題に対応する技術のひとつとしてリアルタイムハザードマップシステムの開発に取り組んでいる。システムを概念を図4に示す。提案するシステムでは、部内外の様々な情報を集約し、これらを用いてハザードの分析や予測を行い、災害をもたらす恐れのある気象状況下での鉄道の運行に影響が発生する前後の措置に役立つ情報として出力する。ここで、気象条件は時々刻々と変化するため、ハザードの評価結果を列車の運行やダウンタイムの短縮に利用する場合にはリアルタイム性が重要となる。図5は豪雨時の鉄道の機能と措置との関係を時系列的に示している。豪雨時には徐行や抑止などの運転規制によって安全を確保するため鉄道の輸送機能は低下する。災害が発生した場合にはさらに機能は低下し、そのレベルの回復は応急復旧まで待たなければならないことになる。防災対策としては、事前対策で可能

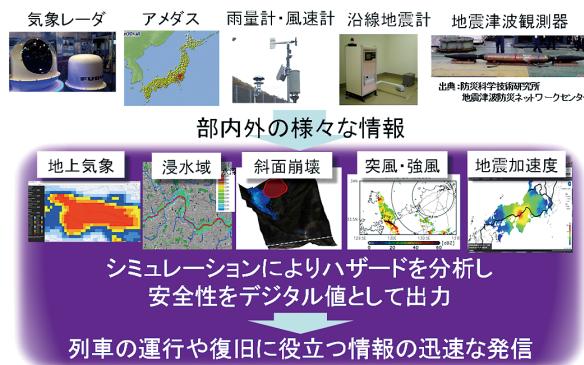


図4 リアルタイムハザードマップシステムの概念

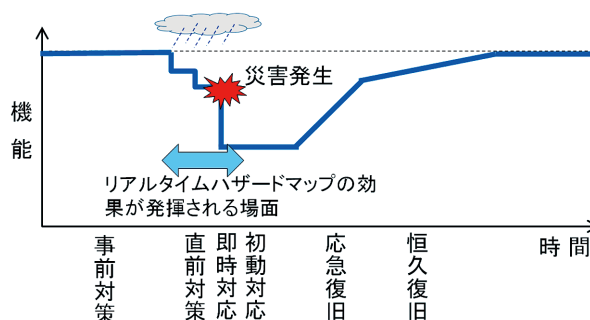


図5 豪雨災害発生時の措置と鉄道の機能レベルとの関係

な限り機能低下を防ぐこと、安全を確保しつつ機能が低下している時間をいかに短縮するかが求められる。図5に示した豪雨災害の事例では、直前対策としての運転規制と災害発生後の状況把握、あるいは、災害が発生せずに降雨が止んだ後の運転再開の判断への利用が期待できる。このため、ハザードの評価結果は数分から十数分間隔での更新が必要になると考えられる。一方、地震災害の場合、揺れから列車の安全を確保するためには数秒という極めて短い時間でのハザード分析が求められる。このように、災害の種類によってハザードの評価結果に求められるリアルタイム性が異なり、災害種別に応じたシステム作りが必要となる。

上述のように、リアルタイムハザードマップは、時々刻々と変化する観測データを逐次取り入れ、短時間でハザードを解析し出力することでその効果が発揮される。大量のデータを短時間で収集・処理しその結果を逐次更新するためにはICTの活用が不可欠である。ICTの進歩がリアルタイムハザードマップシステムの鍵を握っているともいえる。

## 4. 気象災害対策の取り組み

### 4.1 短時間強雨対応システム

近年、いわゆるゲリラ豪雨と呼ばれる短時間強雨の

発生頻度が増えている<sup>4)</sup>。短時間強雨によって水路が溢れ、道路が冠水したりマンホールの蓋が吹き上げられたりといったニュース映像は夏になると毎年のように見られるようになった。短時間強雨による災害に対しては、十数キロ間隔ごとに設置された沿線雨量計の観測値を用いた時間雨量の指標による従来の運転規制では、必ずしも対応できない場合が生じる恐れがある。

このような短時間強雨へ対応するために、防災科学技術研究所などと共同研究を行い、気象予測情報を用いて線路沿線の氾濫・浸水状況や大規模土砂崩壊を予測するシステムの開発を進めてきた<sup>5)</sup>。開発したシステムの概要を図6に示す。外部の気象情報や気象予測情報を取り込み、地上付近の降水分布に補正する。この降雨情報を用いて浸水解析を行い、浸水域を推定する。線路上に浸水域が生じることが予想された場合、その発生時刻に列車が浸水域に入るか否かを解析して列車の停止が必要かを判断する。このような解析結果を1.5時間先まで10分間隔で表示し、列車の運行管理に資する情報として逐次提示することができる。

また、斜面表層崩壊の危険度を逐次解析する計算モデルの開発にも取り組んできた(図7)。このモデルでは、斜面表層を要素に分割し、傾斜の勾配に沿って流れる水が降雨時に要素へ流入および要素から流出する量を計算し、その結果から要素内に形成される地下水位を推定し、これを用いて各要素の滑りに対する安定度の計算を行なう。このような計算アルゴリズムを用いることで斜面の安定度を短時間に解析でき、降雨に伴う斜面の安定度の変化を逐次評価することが出来る。その一方で、このモデルを列車の運行に直接的に導入するためには、地盤の表層の厚さや強度など入力する地盤情報の信頼性を向上させる必要がある。

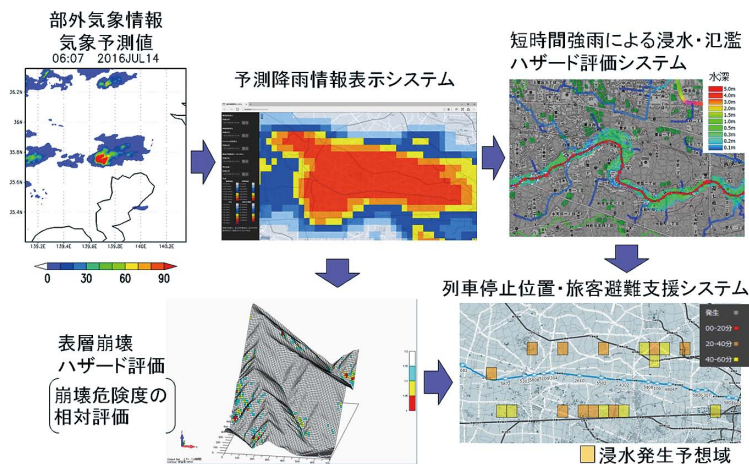


図6 強雨対応リアルタイムハザードマップの概要

## 4.2 突風対応システム

鉄道の強風監視は、沿線に設置された規制用風速計による風観測が主体である。規制用風速計の配置間隔は数km～数10km(平均で20km程度)であるため、それよりも小さな空間スケールで発生する突風(竜巻で110m程度、ダウンバーストで4km～10km)を、現行風速計の「点」的な測定で的確に検知するのは難しい。そこで、気象レーダーの活用による突風検知技術の開発に取り組んでいる<sup>6)</sup>。

気象レーダーでは、雨粒や雪の位置や強さ、動きを観測しており、風の状態を直接観測することはできないが、突風は急速に発達する積乱雲などに付随して発生する傾向がある。そこで、気象レーダーで観測した積乱雲の状態から図8に示すように突風を検知する技術開発を進めている。

気象レーダーの突風検知への適用については、将来的な展開を見据え、XRAINなどの既配備のレーダーが逐次配信するデータの活用を前提としている。ここで既配備の気象レーダーは、上空の雲の状態を観測することを目的としているため、得られる情報は1500m～2000m上空の情報となる。一方、鉄道への適用を考えた場合、地上付近の風の状況を評価する必要であり、レーダーを利用した突風検知システムの精度を向上させるためには、上空と地上の風況の差異を補正する必要がある。そこで、気象シミュレーションによる三次元的な気象場の解析と、可搬型の気象レーダーを用いた突風発生時の気象場の観測により、突風発生時の上空と地上の関係を明らかにする研究に取り組んでいる。

## 4.3 積雪分布推定システム

積雪に対しては、気象庁から配信されているレーダーアメダス解析雨量の情報を基に降雪量を推定し、その状況から列車の運行や除雪

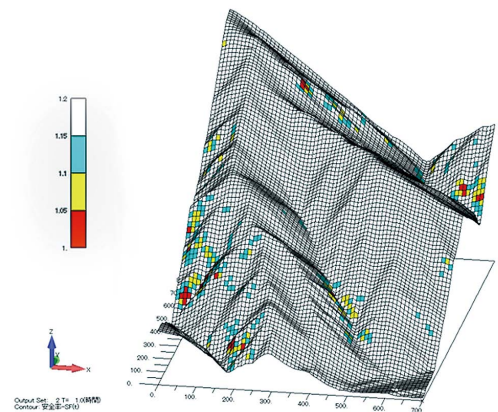


図7 土砂崩壊危険度の逐次解析モデル

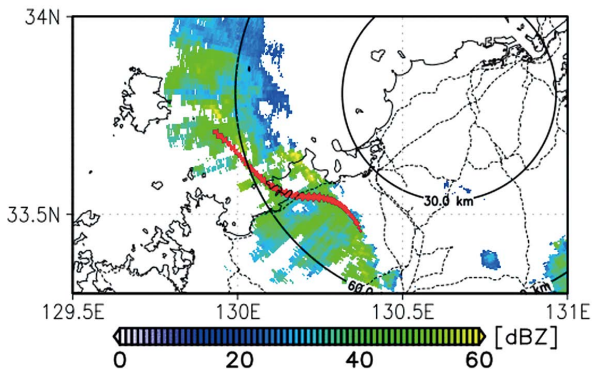


図8 上空のレーダー情報から突風を検出した例 (図中の赤線が風速が急激に増加する境界領域)

作業の着手を判断する機会が多い。このとき、雨と雪の判別は気温や湿度を参考に行われているが、列車の運行を目標とした場合にはさらなる判別精度の向上が必要と考えられる。そこで、気象レーダーを利用した雨雪判別法の研究に取り組んでいる<sup>7)</sup>。現在目標としている手法のイメージを図9に示す。この手法では、気象レーダーを利用して上空で雨雲と雪雲を判別するとともに雪雲の範囲を推定する。また、上空の風況を考慮して地上への降雪量を推定する。さらに吹雪などをもたらす地上付近の風況を基にして地上での積雪の移動を推定した上で積雪分布を推定する。列車の運行や除雪の判断に供することができる精度が得られるよう開発を進めている。

#### 4.4 融雪期土砂災害対応システム

融雪期には雪融け水が斜面に浸透して地盤内の水分が増加するため斜面崩壊が発生することがある。特に豪雪地域で急激に気温が上昇した場合には大量の融雪水が斜面に浸透することになる。そこで、気象データから融雪量を推定し、これを用いて融雪期の斜面崩壊危険度を推定する手法を開発した<sup>8)</sup>。

積雪は、日射や降雨、あるいは雪面に吹き付ける風によって表面が融け始める。提案する手法では、この表面融雪量を気象観測データから推定する。また、この積雪表面融雪水を基にして、地盤面に到達する融雪量を積雪底面融雪量として求める。この地盤面に到達した融雪水は斜面内に浸透して斜面中の水分が増加することで斜面の安定性が低下する。この時の安定度を表す指標として、積雪底面融雪量を用いて半減期を24時間として求めた実効値(実効融雪量)を用いる。

実際に融雪期に降雨がない状態で発生した斜面崩壊の事例に実効融雪量を適用した例を図10に示す。こ

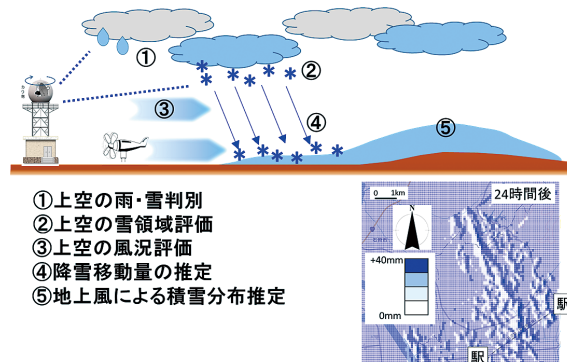


図9 気象レーダーを用いた降雪分布推定手法

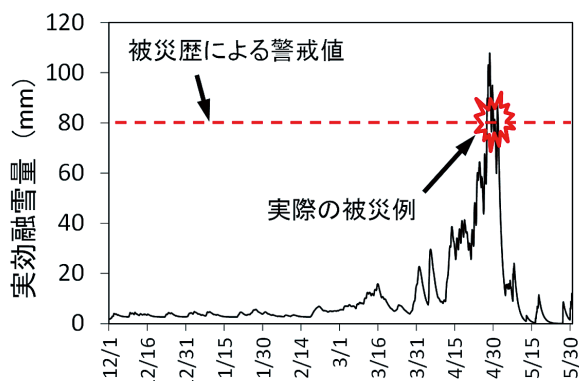


図10 実効融雪量を用いた融雪災害の捕捉事例

この例では、3月の中旬から下旬にかけて徐々に実効融雪量が増加し、4月下旬に急激に増加していることがわかる。図中には付近で過去に発生した融雪期の斜面崩壊事例を基に設定した警戒値を示したが、解析対象とした災害事例はこの警戒値付近で発生しており、半減期を24時間とした実効融雪量が融雪期の斜面の安定度をよく表現していることがわかる。

また、気象観測機器が設置されていない斜面の気象データを最寄りのアメダスの観測値を用いて推定する手法の開発にも取り組んでいる。この手法と上記の実効融雪量による斜面安定度評価手法とを組み合わせることで、任意地点の融雪災害の発生危険度を評価することができる。現在アメダスは1時間ごとに更新されており、1時間ごとの融雪危険度を評価することが出来るシステムを目指している。

## 5. 地震災害対策の取り組み

### 5.1 地震・津波警報システム

2011年東北地方太平洋沖地震では津波への対策が大きな課題として取り上げられた。そのひとつとして陸上に設置された地震計による津波の影響評価の限界が

指摘された。そこで、より正確な地震・津波情報を迅速に得ることを目的として、防災科学技術研究所が北海道沖から房総沖までの海底に地震観測網（日本海溝海底地震津波観測網：S-net）を構築している。図11に示すような地震計と水圧計からなる地震津波観測器を海底ケーブルで繋ぎ、海溝付近で発生する地震とそれによる津波を早期に観測することを可能としている。同様の観測網は、南海トラフの地震への対応を目的として海洋研究開発機構がDONETを構築している。

これらの地震および津波観測網がもたらす情報を利用し、緊急地震速報の警報速度の向上と津波警報システムの開発に取り組んでいる<sup>9)</sup>。津波警報発報までの流れを図12に示す。開発中の手法では、沿岸域での津波による波高を複数パターン想定し、これを入力条件として津波による浸水域を予め計算し、データベースを作成しておく。海域で地震が発生した際に震源に近い観測点の波高情報を入手し、これを基に津波による沿岸域の波高を解析する。予め作成しておいたデータベースから算定された推定波高に合致するパターンを選定し、その浸水域に対して警報を発報する。このような一連の処理を数秒から数分の間で行い、警報として発信できるシステムを目指している。現在、沖合20kmで発生した地震を想定した解析では、沿岸波高の推定誤差は20%、沖合100kmの場合50%の誤差であり、さらなる精度向上に取り組んでいる。

## 5.2 構造物の被害推定システム

これまで鉄道総研では、地震時の揺れの分布情報を地震発生後の数十分間に配信する取り組みを行ってきた<sup>10)</sup>。このシステムでは、緊急地震速報を受信すると、防災科学技術研究所の強震観測網（K-NET）による地震波データを用いて地盤の揺れの分布を解析する。

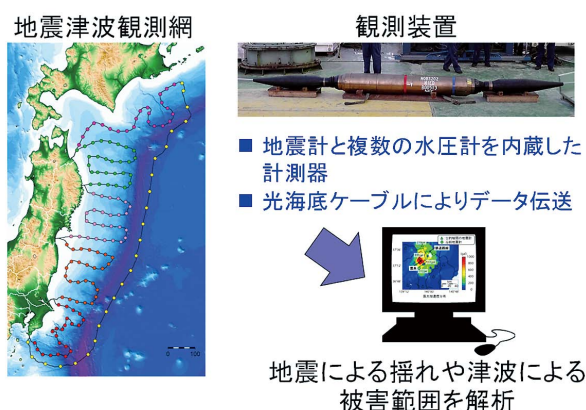


図11 海底地震観測網を利用した地震・津波警報（観測網および観測装置の図は防災科学技術研究所 提供）

地震計による観測値と予め作成している地盤のデータベースを用いることで、精度の高い揺れの分布の推定情報が地震後数分から数十分のうちに得られる。このような情報を利用することで激しく地盤が揺れた箇所を推定できるため、大きな被害が生じている可能性がある箇所を抽出して優先的に点検するなど、復旧計画に寄与する情報を得ることができる。

また、現在、このシステムの機能向上を図っている。図13は新たな表示機能として準備している沿線地盤の揺れの情報である。このような情報を得ることで、沿線のどこがどの程度揺れたかを、より迅速に直感的に把握することが出来る。また、このデータと予め作成した鉄道構造物のデータベースとを組み合わせることで、図14のような被害損傷程度の推定情報を示すことができる。このような情報を利用することで、揺れの大きさだけでなく沿線上のどこで施設が損傷したか、またその損傷はどの程度なのかを把握することができる。これらを地震後の点検作業などに役立てることで、ダウンタイムの短縮に繋がると考えている。

## 6. リアルタイムハザードマップが実現する鉄道防災

災害をもたらす自然外力には、台風のように数日まえからその襲来が予測できるもの、短時間強雨のように数十分前にはある程度予測できるもの、地震のように発生を予測することは困難なものなど、様々なものがある。鉄道の安全性と安定性を確保する上で、災害の発生がある程度予測可能な事象に対しては、施設の補強などの事前対策に加えて運転規制などの直前対策が有効な手段となる。一方、災害の予測が困難な事象に対しては直前対策が不可能なため、検知から列車の緊急停止までの即時対策が重要な機能を担うことになる。災害の種類に応じて対応策に差異はあるものの、

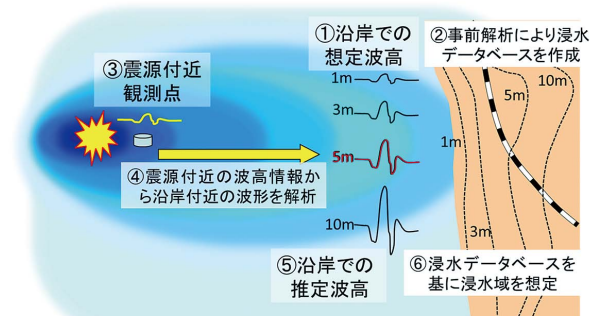


図12 地震津波観測データを利用した津波警報

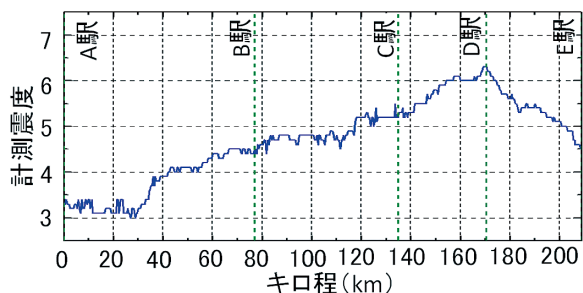


図13 沿線の揺れの情報

いずれの場合も観測機器によって外力の発生や状態を把握し、その情報を基にしてハザードを解析し列車の安全確保に繋げる必要がある。図15に示すように、リアルタイムハザードマップは、ICTの発達を基盤として、様々な情報を集約し、シミュレーションを短時間で行い、予測や評価結果を逐次更新することを目指したシステムである。このシステムを活用することで、安全を確保した上でダウンタイムを短くすることに貢献できると期待している。

また、観測機器からの情報のみならず、列車や駅をはじめとする情報をより広範囲に集めることで、異常時における鉄道の機能維持にも貢献できることが期待でき、新しい防災システムとして安全・安心な鉄道の実現に役立つことができると考えられる。

## 7. おわりに

本発表では、リアルタイムハザードマップを活用した防災システムと題して、強雨、突風、大雪、地震を対象とし、リアルタイムハザードマップに繋がる研究開発の現状と今後の取り組みの概要を紹介した。

鉄道総研では、気象、地質、地震、構造物など、防災に関わる技術に加え、輸送、建築、人間工学、情報など、幅広い技術分野が総合して防災・減災プロジェクトに取り組んでおり、さらに安全・安心な鉄道システムの実現に向けて引き続き研究開発を進めていきたい。

なお、本稿に記載した内容の一部には、内閣府戦略的イノベーション創造プログラム (SIP) の「レジリエントな防災・減災技術の強化」による研究が含まれている。また、利用したXRAINデータは、国土交通省より提供されたものである。

## 参考文献

1) INTERGOVERNMENTAL PANEL ON CLIMATE CHANGE : Global Warming of 1.5°C, <http://www.ipcc.ch/report/sr15/>, (参照日 2018年10月13日)

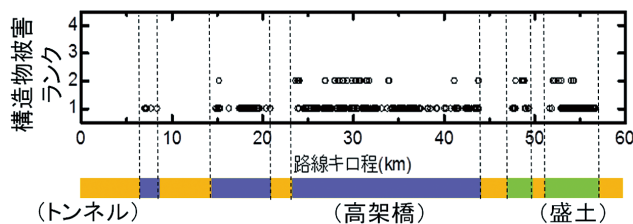


図14 被害損傷程度の推定情報

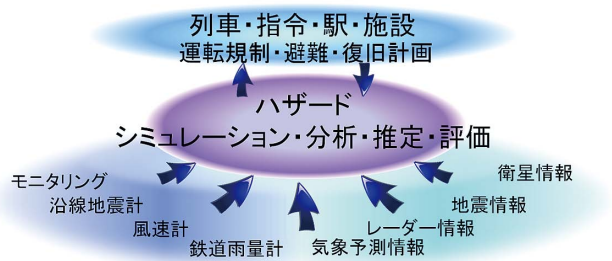


図15 リアルタイムハザードマップの完成イメージ

2) 地震調査研究推進本部：過去の長期評価結果一覧 2018年1月1日での算定, <https://www.jishin.go.jp/main/choukihyoka/ichiran.pdf>, (参照日 2018年10月13日)

3) 気象庁：平成30年冬の天候の特徴とその要因について, <https://www.jma.go.jp/jma/press/1803/05b/h30fuyunotenkou20180305.pdf>

4) 気象庁：気候変動監視レポート2017, 2018年7月

5) 浦越拓野, 川越健, 渡邊諭, 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, 2018

6) 高見和弥, 福原隆彰：地上風速の急激な増加時における上空のウインドシアの検出, 日本気象学会2017年度秋季大会講演予稿集, 2017

7) 穴戸真也, 福原隆彰, 鎌田慈：落下する雪粒子の移動を考慮した降水量の推定手法(その2), 雪氷研究大会講演概要集, 2016

8) 高柳剛, 湯浅友輝, 櫻健典：融雪期の斜面災害に対する管理手法, 鉄道総研報告, Vol.31, No.5, 2017

9) 津野靖士, 藤原了：津波伝播特性を利用した早期津波予測手法の開発, 鉄道総研報告, Vol.30, No.3, 2016

10) 山本俊六, 岩田直泰, 坂井公俊, 岡本京祐：鉄道用地震情報公開システムの開発, 鉄道総研報告, Vol.30, No.5, 2016