

自然災害対策の課題と取り組み

太田 直之*

Assignment and Approach for Developing Natural Disaster Countermeasures

Naoyuki OTA

It is generally said that the climate change is influencing the activity range and intensity of rain. Accordingly, the engineers in charge of disaster prevention must plan various measures in consideration of the future weather condition. This paper shows one of predictions of the future weather based on the Fifth Assessment Report of the IPCC and compares the current maximum hourly rainfall with the predicted value. The comparison between the current and the future weathers confirms that it is necessary for us to develop a disaster prevention technology to be applied to the weather becoming the more intense with the years. Therefore, R.T.R.I. is developing a dynamic hazard mapping system. The evaluation objects of this system are floods, large-scale slope collapse and tornados, and degree of their risk depending on progress of time is displayed on the monitor. Furthermore, it indicates the best stop position of the train based on simulated hazard, and shows some refuge routes for passenger.

キーワード：自然災害，気候変動，短時間集中豪雨，浸水，斜面崩壊，竜巻，ハザードマップ

1. はじめに

日本は、中緯度地域にありモンスーンの影響を強く受ける気候条件にあること、また、4つのプレートの境界部に位置することから、台風や地震あるいは火山噴火といった多種多様な自然災害が発生し得る条件を備えている。このような災害をもたらす要因が近年変化しつつある。そのひとつは気候変動にともなう雨の降り方の変化である。局所的短時間集中豪雨によって、過去に経験したことのない多量の時間雨量の豪雨イベントが増加し、甚大な土砂災害をもたらしている。また、東北地方太平洋沖地震を契機とし、南海地震や首都直下型地震などの近い将来発生することが予想される巨大地震については、想定される被災規模が見直された上で、これまでの設計外力を超えた場合を考慮した都市機能のレジリエンス向上が求められている。

本報告では、降雨や突風対策を中心に、激化する自然外力への対策を検討する際の課題を明らかにするとともに、鉄道総研で進めている取り組みを解説する。

2. 予測される将来の降雨量

様々な土木構造物の設計では、外力を想定してその外力に対して要求される機能が発揮されることを照査・確認する。災害対策の検討もこれと同じであり、将来的に発生し得る自然外力をある程度想定した上で対策の有効性を検討する必要がある。そこで、既往の解析結果を利

* 防災技術研究部 部長

用して21世紀末の降雨量の予測を試みた。

予測には地球環境情報統合プログラム（DIAS）¹⁾に保存されている地域気候モデル（MRI-NHRCM20）の解析結果のうち、温室効果ガスの代表濃度経路シナリオRCP8.5の結果を利用した。ここで、RCP8.5は、気候変動に関する政府間パネル（IPCC）第5次評価報告書²⁾に示されたシナリオのうち、2100年における温室効果ガス排出量の最大排出量に相当するシナリオであり、現在想定されている最も温暖化が進むシナリオと捉えることができる。これらの解析結果を用い、1984年から2004年までの20年間の実観測データによる補正を加え、さらにバイアス補正を加えた上で2080年から2100年までの20年間の降雨量予測値を1km間隔の格子点ごとに求めた。結果の一例として、図1は東京を中心にした100km圏について、現在（1984年～2004年）と将来（2080年～2100年）の各20年間の最大1時間雨量の分布を比較して示している。現在の20年間では最大時間雨量として35mm/hから50mm/h

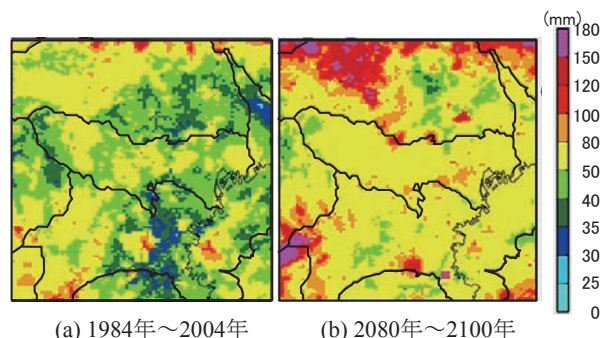


図1 現在気候と将来気候での20年最大時間雨量の比較

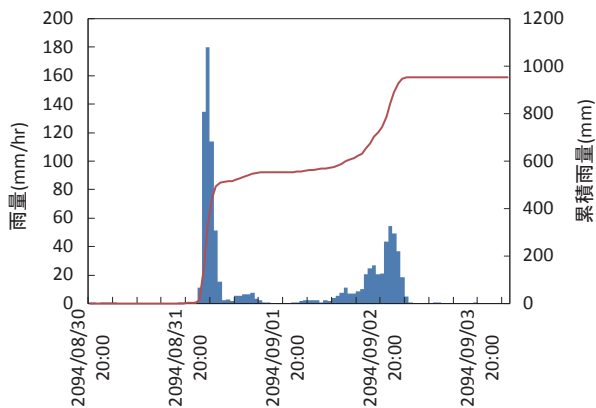


図2 将来気候で予測された降雨の例

h程度の箇所が比較的多いものに対して、将来の20年間では50mm/hから80mm/hの箇所が大半を占めることが分かる。また、将来の20年間では、北部の山沿いに近い地域で100mm/hを超える箇所が拡大していることがわかる。また、図2は図1に示した将来の予測結果の中でも最大の時間雨量が予測された降雨について、その時刻歴を示している。2094年8月31日23時ごろに降り始めた降雨は、9月1日の1時に最大時間雨量180mm/hに達し、2日までの総雨量は953mmとなっている。近年、記録的な短時間豪雨により甚大な被害が発生した例として平成24年九州北部豪雨災害がある。この事例では、最も強い雨が観測された阿蘇乙姫のアメダスデータで、最大時間雨量106mm/h、累積雨量507.5mmが記録されている。すなわち、予測結果は、今世紀末ごろに、短時間雨量および総雨量の両者とも九州北部豪雨災害をもたらした雨量の2倍近い降雨が発生する可能性があることを示している。

前述のとおり、ここで示した解析結果はIPCCが現在想定する最悪のシナリオを再現した結果である。世界的な温暖化対策の取り組みが進むことで、上記のような降雨が生じる可能性は少なからず低下すると予想される。ただし、将来の降雨防災を考えるとき、想定する降雨量の目安のひとつとして位置付けることはできる。

3. 将来の気象状況を踏まえた防災上の課題

上述のような非常に激しい降雨に対して想定し得る被災形態としては、都市部を中心とした河川や水路の氾濫による浸水災害の発生がある。現在の鉄道の排水設備は、過去に観測された雨量の統計値を基に決められており、一般的な排水設備の場合5年確率の雨量を基にその雨量の降雨が10分間継続した場合を想定して設計されている。したがって、図2に示したような激しい豪雨に対しては、排水設備が溢水する可能性が極めて高い。また、道路排水は3年確率の雨量を基に設計されている場合が

多く、鉄道の排水設備と同様将来予測値の豪雨に対しては溢水することが予想される。さらに、降雨の継続時間によっては河川の氾濫も想定される。したがって、鉄道用地外からの氾濫水が鉄道施設に流れ込む可能性が考えられる。

このほかに、短時間集中豪雨がもたらす被災形態として土石流がある。2014年8月に広島で発生した土石流がもたらした甚大な被害は記憶に新しいところである。この災害も線状降水帯がもたらした集中豪雨を原因としており、集中豪雨時に予想される甚大な被災形態のひとつといえる。さらに、これらの豪雨をもたらす気象条件となった場合、雨だけでなく竜巻などの突風が発生することも考えられる。

これらの想定される災害は、急激に変化する気象状況によるため発生位置や時刻の予測が困難であり、また、災害をもたらす外力規模が大きくハード対策での対応には限界があるという防災上の大きな二つの問題を有している。すなわち、これらの災害を現在の技術で完全に防ぐことは難しく、可能であったとしても相当のコストを要することになると考えられる。したがって、これらの災害への対処としては、発生した場合に被害規模を如何に抑えるかが重要な課題となる。このような課題解決のための有効な技術としてハザードマップのリアルタイム化に取り組んでいる。

4. ハザードマップのリアルタイム化

上述の課題を克服するためには、急激に変化する気象状況を予測する技術と、これに基づいて被災状況の評価する技術とが必要となる。ここでは氾濫・浸水、大規模土砂崩壊、突風を対象としたリアルタイムの利用を可能とする動的ハザードマップ作成の取り組みについて紹介する。

4.1 氾濫・浸水ハザード

国内の多くの鉄道では、豪雨に対するソフト対策として降雨時運転規制が用いられている。降雨時運転規制では、災害の発生が予想される雨量が観測された場合には列車の運転中止の措置がとられることとなる。一方、上述のような過去に例を見ない雨量の豪雨が急激に生じることを想定した場合、待避場所の適切性が問題となる。駅の冠水などに伴う乗客の緊急的な避難の可能性を考慮して、適切な待避場所へ列車を誘導することが必要になる。このような適切な待避場所の選定には従来の浸水ハザードマップの利用が考えられる。浸水ハザードマップは、都市部を中心に豪雨時のハザードマップとして作成・公開されている事例が多く、一般には、過去の豪雨事例を用いた解析を実施し、得られた最大の浸水域および深さを表示している。このような、いわゆる「静的なハザード

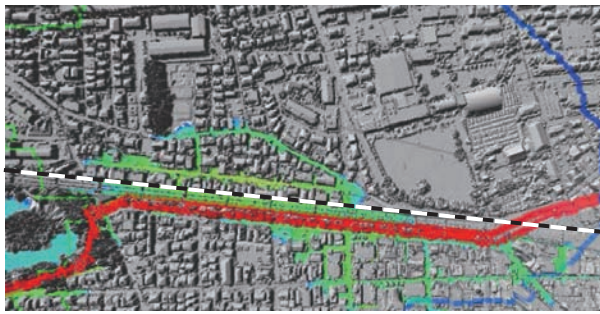


図3 開発中の逐次評価手法による解析結果例

ドマップ」は、想定される豪雨に対して弱点となる箇所を事前に把握して対応策を検討するために有効なツールであるといえる一方で、過去に例のない雨量の急激な雨には対応できないという問題がある。また、従来のハザードマップは開削や高架といった鉄道構造物の条件が考慮されていない。そのため、実際に車両が水没するか否かといった早期復旧に影響を及ぼす事項が判断できない。また、排水設備の有する排水能力が反映されていないため浸水範囲を安全側に評価している可能性があり、安定輸送を考慮した場合、既往のハザードマップをそのまま利用することには課題があるといえる。

そこで、外部の気象予測情報を用いて鉄道沿線の浸水ハザードを精度よく逐次評価する手法の開発を目指した取り組みを行っている。

解析結果の一例を図3に示す。図を左右に横断する赤い直線は水路でありそれと並行して線路が敷設されている。水路から水が溢れて線路や道路が冠水している状況が示されている。この解析結果から浸水範囲と配色により水深を把握することができる。2時間先までの予測降雨を用いて算出した解析結果を10分間隔で表示する解析ツールを作成中であり、そのために必要となる解析メッシュサイズと解析精度との関係を明らかにするなど、最適な解析モデルの作成方法を検討している。

2016年度までに試作システムを作成し、2017年度に評価精度の検証を行うとともに、使用性や機能上の課題抽出を行う予定で進めている。また、共同研究機関が実施中の道路施設の逐次浸水解析方法との連携による精度向上を検討中である。

4.2 大規模土砂崩壊ハザード

上述の広島で発生したような大規模土砂崩壊が発生した場合には被災箇所が広範囲に及ぶ恐れがある。したがって浸水災害の場合と同様に、待避場所の適切性が問題となる。そこで、大規模土砂崩壊を対象として、崩壊の発生が懸念される箇所を抽出した上で、崩壊の閾値となる雨量を示し、その閾値を超える雨量が発生した場合に想定される被災範囲を表示するハザードマップの作成

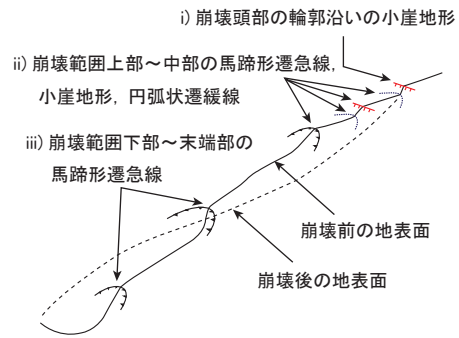


図4 大規模崩壊箇所に見られる特徴的な地形条件の例

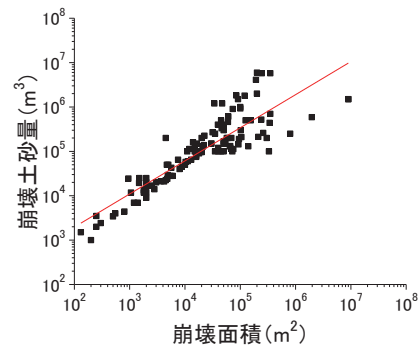


図5 崩壊土砂量と崩壊面積との関係

に取り組んでいる。

発生危険箇所の抽出方法の作成にあたっては、過去の大規模崩壊箇所周辺の地形判読を積み重ね、これに現地踏査により収集した地形および地質の詳細情報を加えることで、大規模崩壊の発生が予測される箇所に共通する地形的条件を選定した。これまでの取り組みで明らかになった危険箇所の抽出に用いる地形的条件の例を図4に示す。数値地形データ等からこれらの条件に合致する箇所を抽出し、崩壊箇所の特定に結びつける。また、過去の大規模崩壊事例を調査し、その崩壊面積と崩壊土砂量との関係整理した結果を図5に示す。地形的特徴から大規模崩壊の範囲を特定し、図5の関係を基にして崩壊面積から土量を推定し、粒子法を用いた土石流解析により崩土の到達範囲を推定し線路に対する危険度を評価する手法を検討している。また、これらの取り組みと同時に、ハザードマップの精度向上を目的として、大規模崩壊の発生メカニズム解明にも取り組んでいる。

4.3 突風ハザード

竜巻などの突風は極めて局地的に発生し、かつ、短時間に急変する気象現象と捉えることができる。このような際立った気象現象は捕捉し難い現象のひとつであり、大きなエネルギーを有する場合には甚大な被害をもたらす可能性が高いハザードでもある。そこで、竜巻などの突風発生の検知と鉄道への影響を評価する技術の開発に取り組んでいる。

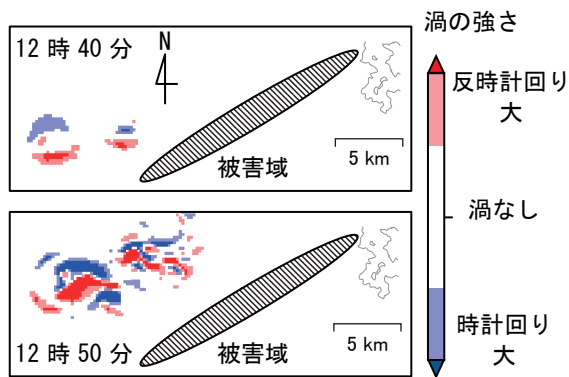


図6 数値解析による竜巻発生時の気象場の再現結果

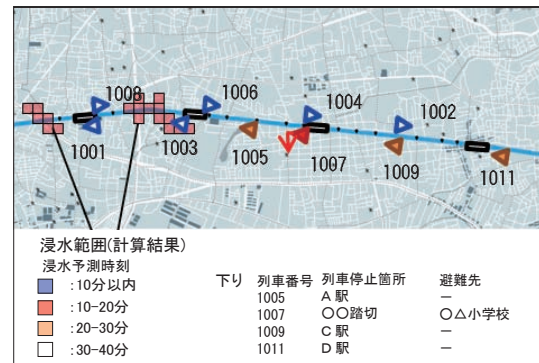


図7 列車の待避誘導システムの表示イメージ

ここで、降雨の状況を把握する方法としては、地上に配置した気象レーダーの活用が近年一般的になりつつある。気象レーダーは、アンテナから発射した電波が雨雲中の水滴に反射して戻ってくるまでの時間と戻ってきた電波の強さから雨雲までの距離と雨の強さを観測する。一方、突風が発生した場合に地上では降雨が観測されないケースが少なからずある。したがって、雨を伴わない突風そのものをレーダーで検知することは困難と考えられるが、その一方で、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にあり、積乱雲をレーダーで検知することは可能と考えられる。したがって、レーダーを利用して地上付近で発生する突風を検知するためには、レーダーで検知可能な上空の気象状況と被害を直接的にもたらす地上付近の気象状況との関係を把握する必要がある。そこで、その関係を明らかにすることを目的とし、数値シミュレーションにより突風が発生する際の気象場の三次元的な把握に取り組んでいる。図6は竜巻の発生事例について、レーダーによる観測高度と地上との中間の高度の気象状況を解析した例である。実際に地上で被害が確認された位置と数 km 離れてはいるが、上空に雲の渦が生じ、その渦は範囲を広げながら移動する状況が示されている。このような解析を進め、最終的にはレーダーによる突風検知手法を作成したいと考えている。

4.4 各ハザード評価に基づく退避・避難手法

上述のような浸水、大規模土砂崩壊、突風の各ハザードの評価結果を各々把握し有効に活用することで、急激な気象の変化に対応した措置をとることができ、被災程度の低減に繋げることが期待される。さらに、これらの評価結果を鉄道に特化して利用するシステムの開発にも取り組んでいる。

開発中のシステムに表示される画面のイメージを図7に示す。図は浸水に対する例を示している。このシステムでは、ハザード時系列データ、線路近傍の避難所やそこまで避難するための道路データを含む地理情報データ、列車の停車可能な場所の情報を含む配線情報、貨物

や回送列車を含む列車ダイヤ等を入力データとして、列車の停止位置や避難経路を決定し、図の様な解析結果を出力する。結果の算出には数理最適化技術を用いる。時刻ごとの列車の位置と進行方向および災害箇所の関係から想定される複数の制約条件の下、各列車の計画ダイヤからの乖離時分の総和の最小化と各列車のハザード位置からの距離の総和の最大化といったふたつの目的関数に対する最適解を算出することを目指す。このようにして求めた最適な待避場所を表示するシステムの作成に取り組んでいる。

5. おわりに

本報告では、将来的な気候変動の影響を背景とし、激化する降雨および突風による防災対策として、各ハザードのリアルタイム化に向けた取り組みについて概要を紹介した。この他に、地震による災害を対象として、その被災規模の最小化と復旧性の向上を目的とした研究開発に取り組んでいる。地震、豪雨、突風による災害に対応した技術を取りまとめて、災害に対する鉄道施設のレジリエンス向上に資する技術として提案することを目指している。今後、開発中の各技術の機能を検証するとともに、実用化に向けた取り組みについても検討を進めていきたいと考えている。

※本報告に記載した内容には、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」(管理人: JST) による取り組みが含まれている。

文 献

- 1) 文部科学省: <http://www.diasjp.net/> (参照日: 2017年1月24日)
- 2) 気象庁: 気候変動 2013 自然科学的根拠, 策決定者向け要約, 2015年12月1日版