

気象災害に対する安全性向上



太田 岳洋
Takehiro Ohta

防災技術研究部 部長
[専門分野] 応用地質学, 斜面・トンネルの地質評価

いろいろな気象条件で発生する気象災害に対して、危険箇所をより正確に抽出して効果的な防災投資を行うためには、ひとつの線区に対して各種災害の危険性を一元的に把握する必要があります。ここでは、気象災害の危険箇所をより正確に抽出するための気象状況の面的な推定手法、新しい技術を用いた各種災害の危険度評価手法、そして各種災害に対する素因、外力評価、危険度評価を一元的に表示するハザードマッピングシステムについて紹介します。

はじめに

日本は世界でも有数の地質学的な変動帯に位置します。そのため、地形は非常に急しゅんで、地震や火山活動も活発であり、世界的に見ても新しく、ぜい弱な地質から成り立っています。一方、日本の大部分は温暖湿潤気候に属し、夏季には台風が襲われ、冬季には北西の季節風と豪雪に見舞われます。このような地象・気象の特徴のため、日本ではこれまでも暴風、豪雪、豪雨や土砂崩壊、土石流、地震、津波、噴火などの多様な自然災害が発生し、人的、経済的被害を被ってきました。

このような国土においても、鉄道は安全かつ安定した輸送の提供が求められるため、被災の経験に基づきさまざまな防災対策の努力を続け、近年では鉄道における災害発生件数は減少しています¹⁾。鉄道における防災対策には、災害の可能性のある箇所を抽出して防災設備などを設置するハード的な対策と、災害の原因となる現象を観測して発生の危険性が高まった時に列車の運行を中止する運転規制といったソフト的な対策があります。

これまでの気象観測は雨量計や風速計などの点の観測であったため、災害が発生した時のその場所での気象状況は正確に把握できているわけではありませんでした。災害発生時の気象状況を面的に推定できれば、どのような気象状況で災害が発生するかを正確に把握することができます。また、面的に気象状況を推定することにより、災害が発生する条件になりやすい場所を把握することができます。このように把握された各種の気象災害に対する弱点箇所を地理情報システム (GIS) (☞参照)

上で一元的に表示することで、防災対策を効率的に行うことが期待できます。

ここでは、鉄道総研が開発した気象現象を面的に推定する手法とその結果に基づいた各種の気象災害に関する評価手法、さらにこれらの結果をGISに表示するハザードマッピングシステムについて紹介します。

気象状況の面的推定

どの程度の期間でどの程度の強さの気象状況 (雨や風など) が発生する可能性があるかを面的に推定するために、

☞ 地理情報システム (Geographical Information System;GIS)

地理情報システムとは「位置」に関するさまざまな情報を有するデータを作成、管理し、これらのデータを解析、表示するためのシステムやソフトウェアを指します。地理情報システムの利点は位置情報をもとにさまざまなデータを一元管理することができる点にあります。この利点を活かして都市計画やマーケティングの分野では早くから用いられてきましたが、最近ではガス、電気などのインフラ事業や林業、農業などの一次産業、情報サービス業など幅広い分野、もちろん防災分野でも利用されるようになってきました。

☞ 気象シミュレーションモデル

気象シミュレーションモデルは、大気 (風速など)、海洋 (海水温など)、陸面 (土壌水分など) の状態の時間的な変化を計算する方程式をプログラミングしたものです。ここで用いられる方程式は「運動量保存則」や「熱力学の法則」のような基本的な物理法則に基づいています。

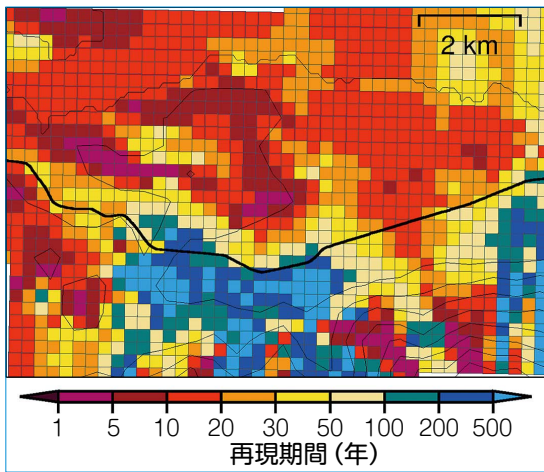


図1 風速40m/s以上の強風が発生する再現期間の計算例

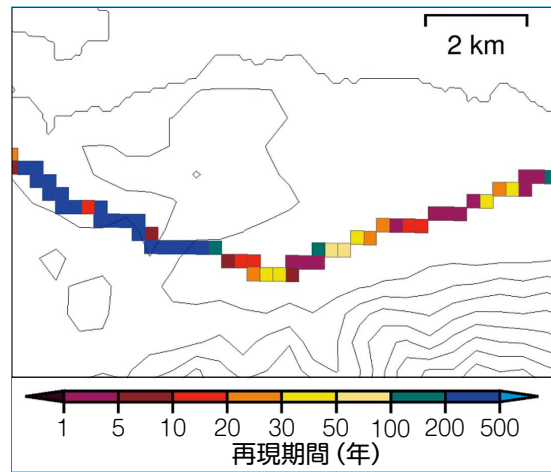


図2 転覆限界風速以上の強風が吹く再現期間の計算例

気象シミュレーションモデル(※参照)²⁾を用いました。ここではある地区における強風の再現期待値を推定した結果を紹介します。再現期待値とは、例えば50年に一度吹くような強風の風速値や100年に一度降るような大雨の降水量などのことをいいます。

強風の再現期待値を求めるためには、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の最大値を求めます。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(ある風速を超える風が吹くのが何年以上に1度かを表す値、**図1**)をメッシュ毎に求めます。この図からは、この地区では北西部で強風が吹きやすく、中南部では吹きにくいことがわかります。

このような手順で、雨や風などの気象状況を面的に推定し、それぞれの再現期待値、再現期間を求めることができます。

強風危険度評価

鉄道沿線で強風が発生した時に最も警戒しなければならないのが、車両の脱線転覆です。鉄道車両が転覆する風

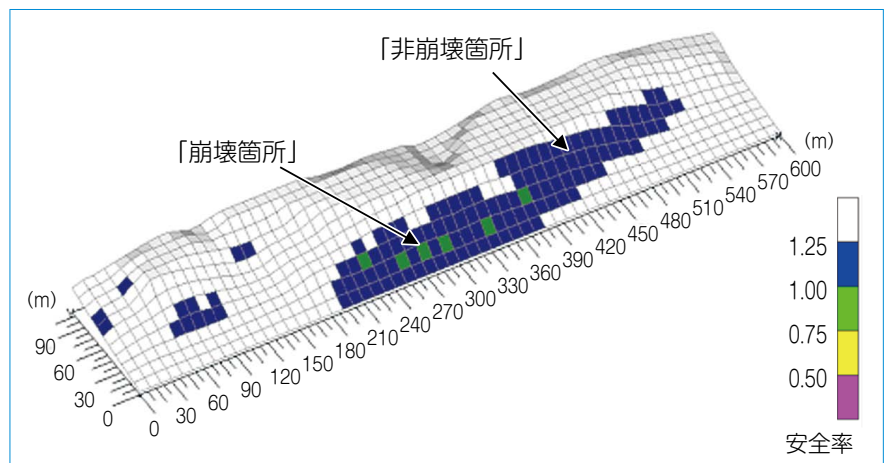


図3 降雨による自然斜面の崩壊の検証結果例

速を転覆限界風速³⁾といいます。この転覆限界風速は、線路の構造物の種類(盛土や高架橋など)やその高さ、車両の形式から決まります。

この転覆限界風速と先に述べた局地気象シミュレーションモデルで計算される強風の再現期間から、転覆限界風速以上の風速の風が吹く再現期間を求めることができます。これを沿線のハザードマップとして表示すると**図2**のようになります。同図の中央から東側の区間で転覆限界風速以上の風が吹きやすいことがわかります。

斜面の安定性評価

降雨による斜面崩壊は、地盤内の地

下水位が高くなることで発生します。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ました⁴⁾。さらに、このモデルを利用して土石流や盛土崩壊の評価ができるようにしました⁴⁾。

図3に、実際に起った自然斜面の崩壊による災害を再現した結果⁴⁾を示します。地形は格子点間隔10mの数値標高モデルとし、土質条件は現地の計測結果に基づいて設定しました。降雨の条件は、災害発生時に近傍のアメダス地点で観測されたデータとしました。図から実際の崩壊箇所で計算された安

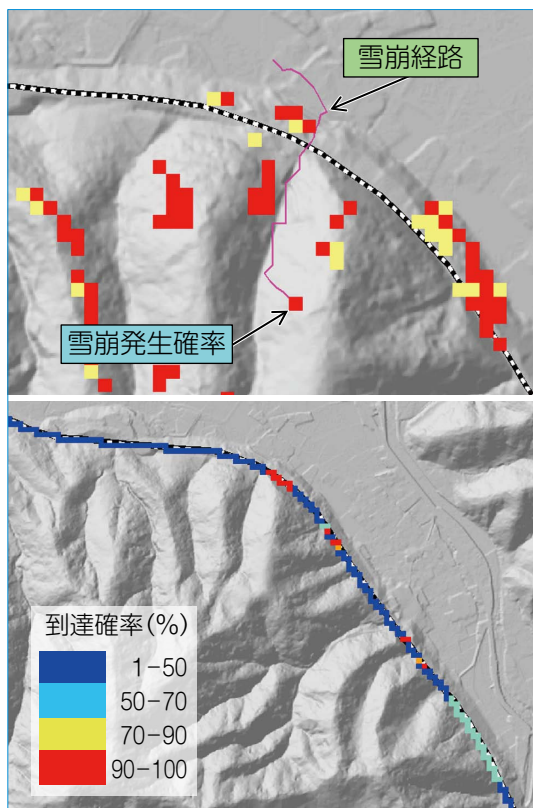


図4 雪崩発生危険度の計算結果の例

全率が低くなっていることがわかります。

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ます⁵⁾。今回，この手法を航空レーザー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ました。

図4に雪崩の発生危険度を計算した結果の例を示します。上の図は斜面における雪崩の発生確率とその確率の高いある箇所からの雪崩の落下経路の推定結果を示しています。下図は斜面で発生した雪崩が線路上に到達する確率を線路上に示しています。

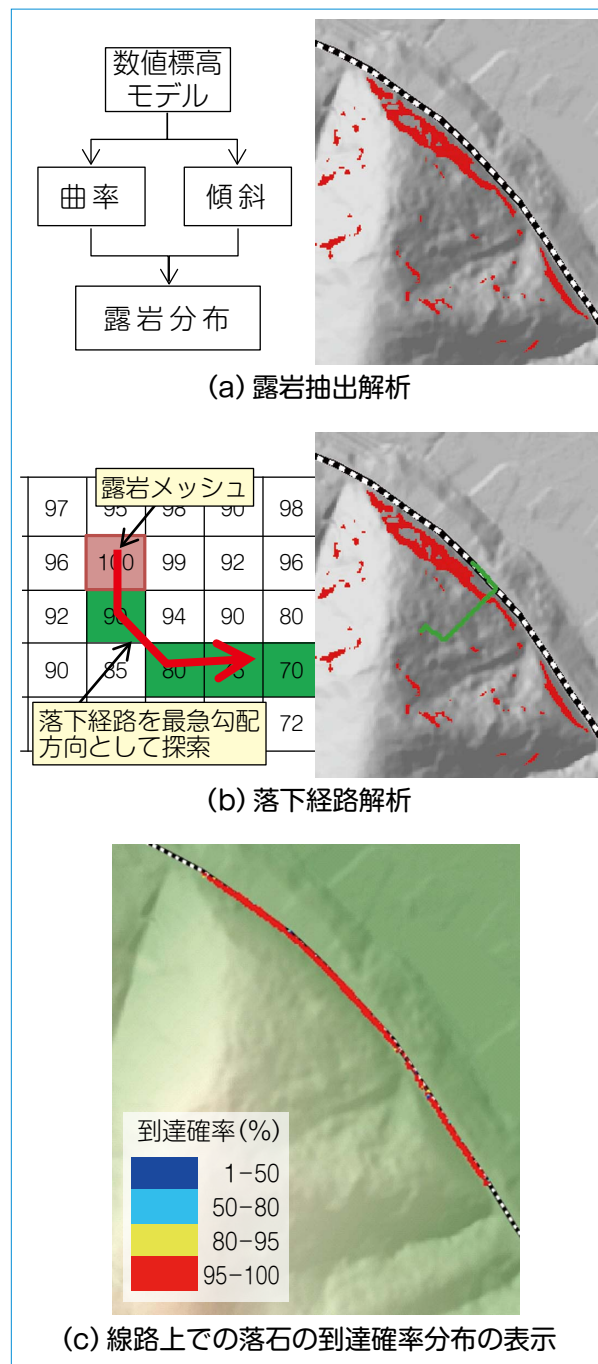


図5 落石発生危険度の計算結果の例

落石危険度評価

落石は，その発生源の状態により転落型落石と剥落型落石に区分されます⁶⁾。転落型落石は，表土に埋まった状態の岩塊が周辺の表土の浸食によって浮き出して落下する形態です。一方，剥落型落石は斜面を形づくっている露岩から岩塊が割れ目などに沿って剥落して落下する落石です。転落型落石の発生

源となる岩塊は表土に埋まっているため，簡単に把握することは困難ですが，剥落型落石は発生源となる露岩を地形の特徴から抽出することができます。

そこで，航空レーザー測量などから得られる数値標高モデルから斜面の傾斜と曲率を算出し，これらの値の組合せから露岩の分布を把握する手法を開発しました(図5(a))⁷⁾。

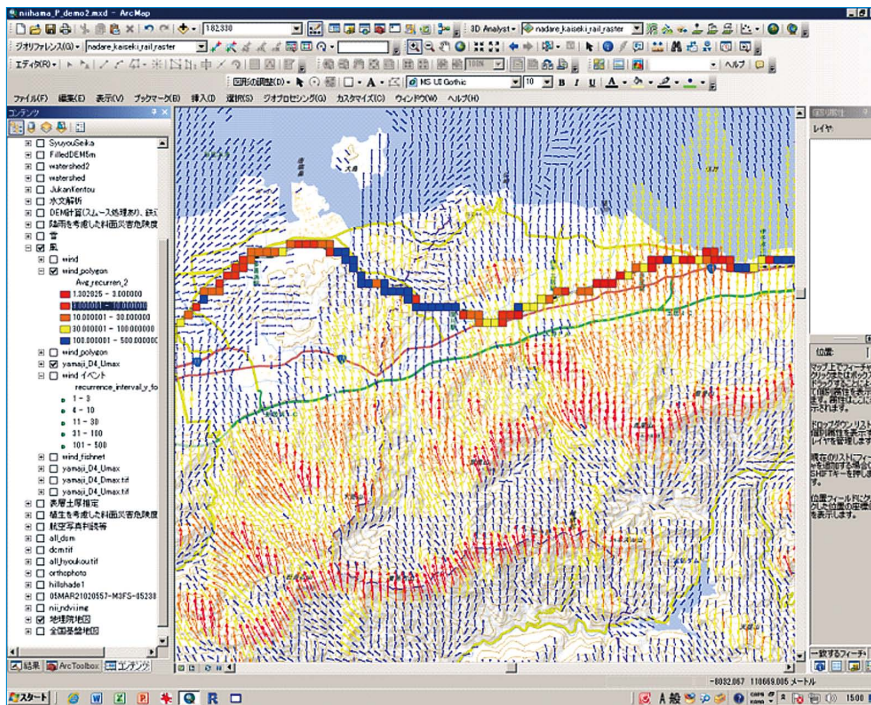


図6 ある日の風速状況と転覆限界風速以上の再現期間の表示例

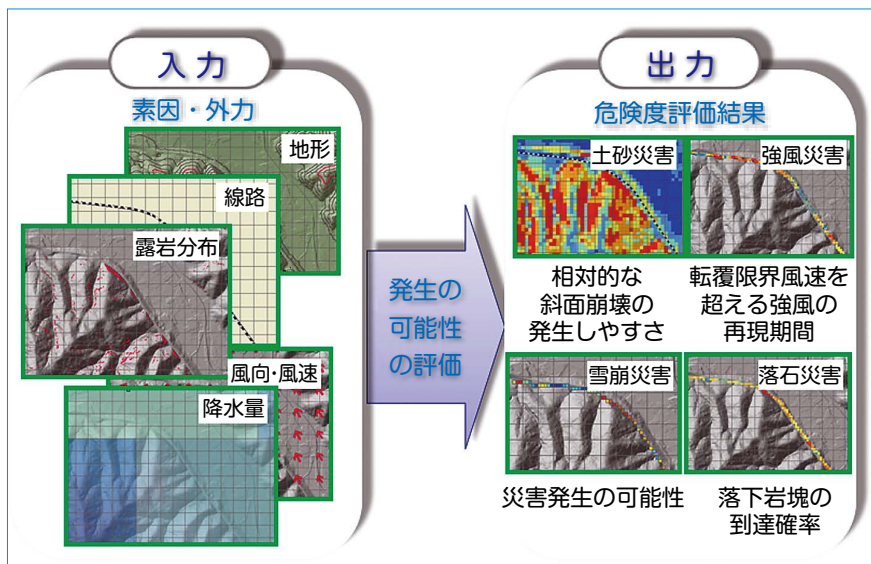


図7 ハザードマッピングシステム全体のイメージ

次に落下する岩塊は斜面の最急勾配方向に落下すると仮定して、抽出された露岩の位置からの岩塊の落下経路を求め(図5 (b)), その落下経路での落下岩塊の到達確率を確率的なシミュレーション手法により計算しました。シミュレーション結果から、線路位置での落下岩塊の到達確率を図示すると図5 (c) のようになります。

ハザードマッピングシステム

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) 上に表示することができます(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

することができるようになります。また、異なる種類の災害発生の可能性について、発生外力の再現期間などの統一的な指標で一元的に表示できる(図7)ので、防災計画の策定にも有効と考えています。

成果の活用

各種自然災害の危険度評価手法とその評価結果を一元的に表示するハザードマッピングシステムについてご紹介しました。今後は本手法を災害に関する詳細調査が必要な箇所の抽出や防災設備の設置位置の選定などに活用していただきながら、評価手法の精度向上とシステムの使いやすさの向上を進めていきたいと考えています。[RRR]

文献

- 1) 太田直之, 杉山友康: 災害の推移と今後の防災, 日本鉄道施設協会誌, Vol.47, No.6, pp.17-19, 2009
- 2) W.C.Skamarock, J.B.Klemp, J.Dudhia, D.O.Gill, D.M.Barker, M.G.Duda, X.-Y.Huang, W.Wang, J.G.Powers: A Description of the Advanced Research WRF Version 3, NCAR Technical Note, Vol.475, 2008
- 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) 浅野嘉文, 川尻峻三, 布川修, 太田直之, 杉山友康, 渡邊諭: 降雨時における斜面表層崩壊を再現する簡易解析モデルの提案, 地盤工学ジャーナル, Vol.8, No.4, pp.579-595, 2013
- 5) 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
- 6) 財団法人鉄道総合技術研究所: 落石対策技術マニュアル, pp.3~5, 1999
- 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