

強大化する自然災害に対する取り組み

太田 岳洋*

Recent Research on the Prevention Technology against External Natural Disaster

Takehiro OHTA

For the last several decades, the external huge natural disasters, i.e. large earthquakes, extreme meteorological phenomena (short-time heavy rainfall and tornado), volcanic eruptions, have occurred remarkably. Engineers of railway must tackle these external disasters in the future. In this paper, I will show the features and changes of the natural external forces in recent years, and will introduce the recent progress of the study on these external natural disasters. Our new research theme is focused on high developments of disaster prevention and reduction technology for railway of which target is establishment of resilience technology for railway against unknown huge natural disasters. I will indicate the plan of this research theme in this paper.

キーワード：防災，減災，レジリエンス，自然外力

1. はじめに

近年は、地球温暖化にともなう極端な気象現象による甚大な降雨，強風災害や南海トラフでの巨大地震，首都直下地震の発生や各地での火山活動の活発化による大規模な噴火災害の発生が危惧されている。このような近年の自然外力の強大化にともない減災の考え方を徹底することが国の防災施策の中心となった¹⁾。今後，鉄道においても懸念される強大化する外力によって生じる自然災害に対応する取り組みが必要となってくるであろう。

本稿では、まず近年の自然外力の特徴とその変化についての概要を述べ、これらに対する最近の鉄道総研での研究開発について紹介する。最後に、今年度から取り組んでいる鉄道の将来に向けた研究開発（将来指向課題）「鉄道の防災・減災技術の高度化」について、研究計画の概要について紹介する。

2. 自然外力の最近の特徴と変化

近年、地球温暖化にともない、いわゆる「ゲリラ豪雨」といわれるような局地的で短時間に降る強雨や竜巻などの突風現象が増加しているといわれている。また、1995年の兵庫県南部地震以降、日本周辺が地震の活動期に入ったともいわれ、特に2011年の東北地方太平洋沖地震以降は地震が活発化したともいわれ、さらにはそれに伴って火山活動の活発化が顕著になったともいわれている。そこで、本章ではそれぞれの自然外力について、近年の特徴とその変化の傾向について、簡単に述べる。

* 防災技術研究部 部長

2.1 最近の降雨状況の傾向

我が国の大部分は温暖湿潤気候に属するため、世界的に見ても比較的降雨量が多く、毎年梅雨のような長雨や台風などによる大雨が生じる。近年、地球温暖化にともなって降雨状況がこれまでとは異なってきているといわれている。日本の降水量は、例えば1時間降水量が50mm，80mm（図1）以上となったアメダス地点1000地

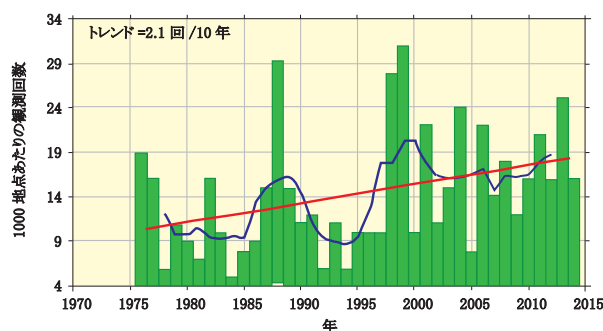


図1 1時間降水量80mm以上の観測回数²⁾
青線：5年移動平均，赤線：期間の変化傾向

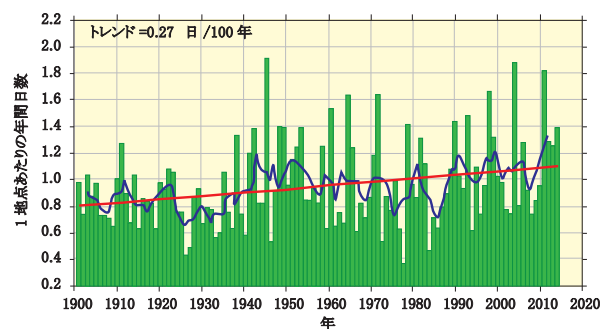


図2 日降水量100mm以上の年間日数の推移²⁾
青線：5年移動平均，赤線：期間の変化傾向

特集：防災技術

点あたりの年間の回数は増加傾向にあり²⁾、さらに日降水量 400mm 以上の年間観測回数も増加している²⁾。国内 51 地点の 1901 年以降の年降水量は 1 時間降水量とは異なり増加傾向は明瞭ではない²⁾。また、国内 51 地点の日降水量 100mm 以上 (図 2)、200mm 以上の年間日数は増加傾向が明瞭だが、日降水量 1.0mm 以上の日数は明らかに減少している²⁾。これらのことから、大雨の頻度は増加しているが、降水の日数自体は減少しているといえる。

1 時間降水量の歴代記録の上位 10 位のほとんどは、台風ではなく低気圧や大気的不安定化が原因とされている³⁾。このような短時間の大雨は積乱雲が発達することによりもたらされる。一方、日降水量の歴代記録の上位 10 位までのうち 8 例が台風を原因としている³⁾。このように台風は大雨の原因のひとつであるが、発生状況の変化をみると、その発生数には明瞭な長期的な変化傾向は認められていない。また、「強い」以上の勢力となった台風 (最大風速 33m/s 以上) の発生数や台風の全発生数に対する「強い」以上の台風の発生数の割合についても目立った変化の傾向はみられない²⁾。

2.2 最近の強風の傾向

近年の鉄道における強風災害は主に突風現象に起因するものが多い。被災事例では竜巻とされた現象が最も多いが、ダウンバーストやガストフロントによる被災事例も報告されている⁴⁾。

図 3 に年別の竜巻の発生確認数を示す⁵⁾。ただし、年別の竜巻の発生確認数については、年によって調査体制が変わっているため、単純に比較できない。日本における 2007 年～2014 年の海上を除いた竜巻発生確認数の年平均は約 25 件である。米国では年間約 1300 件の竜巻が確認されているが、単位面積に換算すると日本での竜巻の確認数は米国の約 3 分の 1 で決して少ない数ではない。

また、これらの突風現象は全国にわたって確認されており、日本中どこでも竜巻などの突風が発生する可能性があるといえる⁶⁾。竜巻は沿岸部で確認されることが多いが、ダウンバーストやガストフロントはそのような発生場所に関する傾向はない。

2.3 最近の降雪の傾向

過去 10 年間の雪害では「平成 18 年豪雪」と命名された 2005 年度に最も死者数が多く、2010 年以降は毎年 100～130 人前後の死者数であり、風水害の年間死者数と比べても、ほぼ同等かそれ以上である⁷⁾。雪害の形態として主なものとして、雪崩と吹雪があげられる。雪崩は毎年のようにスキー場などでも発生し、人的被害が生じることがある。一方吹雪では、2013 年 3 月 2 日に北海道の道東地方で天候の急変により猛烈な吹雪が発生し、9 名の死者が出た災害は記憶に新しい。しかし、2011～

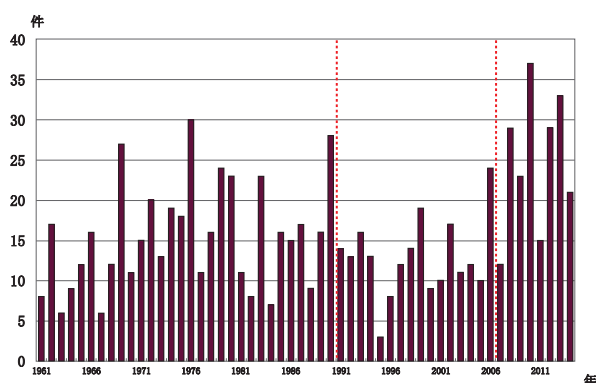


図 3 竜巻の発生確認数の推移⁵⁾
赤点線は観測体制の変更時期を示す

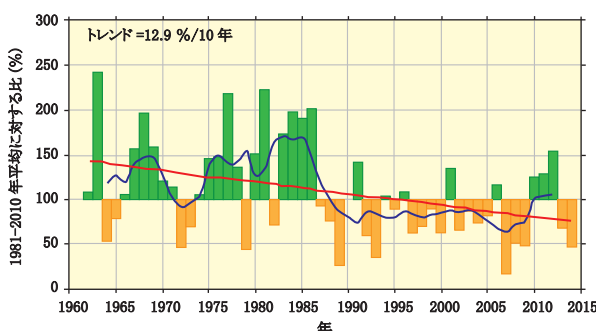


図 4 年最深積雪の経年変化²⁾
青線：5 年移動平均，赤線：期間の変化傾向

2013 年の死者のうち 70～80% が雪下ろしなどの除雪作業中の事故によるものである。また、積雪そのものによる被害もあり、2014 年 2 月 14 日～16 日の関東甲信から東北地方の大雪では、鉄道を始めとする交通障害により山梨県全域が一時孤立するなどの孤立集落が多発し、積雪の重みによる家屋の倒壊など建物被害が多く発生した。

1963 年～2013 年の年最深積雪の経年変化を見ると、東日本の日本海側 (図 4)²⁾、西日本の日本海側では減少傾向が明瞭であり、北日本の日本海側ではほぼ変化がないことがわかる。これらのことは、近年の積雪量の減少にも関わらず雪害による犠牲者が発生していることを示している。

2.4 地震の特徴

地震には、海溝付近で起こる地震と内陸での断層運動により起こる地震がある。日本列島は地震の発生場所となりうる海溝に囲まれ、また今後活動する可能性のある断層 (活断層) が約 2,000 確認されている⁸⁾。海溝付近で起こる地震の多くは、沈み込む海洋プレートにより引きずり込まれた大陸プレートにひずみが蓄積し、そのひずみエネルギーが摩擦力を超えた時に大陸プレートが跳ね上がることで発生する。マグニチュードの大きな地震となることが多く、2011 年の東北地方太平洋沖地震のように津波が発生することもある。一方、内陸で起こる

表1 これまでのM9地震とその後の火山噴火

発生日時 (日本時間)	発生場所	マグニチュード (Mw)	地震後の噴火
1960年5月23日	チリ	9.5	コンドンカウジェ(2日後)他 3火山が1年以内
1964年3月28日	アラスカ湾	9.2	トライデント(3日後), リダ ウト(2年後)
2004年12月26日	インドネシア, スマトラ島北部西方沖	9.1	タラン(4ヶ月後), メラビ(1 年3ヶ月後), ケルト(3年後)
1952年11月5日	カムチャッカ半島	9.0	カルピンスキ(翌日)ほか2 火山が3カ月以内, ペズイミ アニ(3年後, 1,000年の休止後)
2011年3月11日	日本, 三陸沖 (東北地方太平洋沖地震)	9.0	西之島? 桜島? 口永良部?

地震は地殻浅部(15~20km以浅)で発生することが多く、海溝型の地震に比べてマグニチュードは小さいが、1995年の兵庫県南部地震や2004年の新潟県中越地震などのように生活の場である内陸で発生するため被害が大きくなることがある。

特定の活断層(海溝部も含めて)での地震の発生はある程度の周期性があるとされており、その観点から海溝型の地震としてはマグニチュード8以上の南海、東南海地震の発生が、また内陸型の地震としてはマグニチュード7程度の首都直下地震の発生が懸念されている。

2.5 火山活動の特徴

日本列島には世界の約7%にあたる110の活火山が分布し⁸⁾、有史以来甚大な火山災害を繰り返し受けてきた。気象庁では110の活火山のうち火山噴火予知連絡会が選定した47火山について、火山観測施設を整備して監視を行い、噴火の前兆等の把握に努めている⁸⁾。

また、表1に示すように東北地方太平洋沖地震以前に観測されたマグニチュード9以上の地震後には周辺の火山で噴火が発生しているが、東北地方太平洋沖地震後に日本周辺で火山活動が活発化しているようであるが、これらの活動が表1の以前の地震後の火山噴火に相当する活動かどうかは不明である。

3. 鉄道総研における取り組み

2章に述べた強大化する自然外力に対する減災技術について、鉄道総研はこれまでも取り組んでおり、その成果のいくつかを本号の特集論文として紹介している。ここでは、そのほかの成果について簡単に紹介する。

3.1 融雪期における斜面の安定性評価

前述のように最近では地域によっては積雪は減少傾向を示すものの、冬季の気温の上昇と降雨にともない融雪期に融雪水の影響によると推定される災害が多く生じている。そこで、融雪期の斜面災害の主要因である降雨と融雪の影響を考慮した斜面の安定性評価手法を開発した。

斜面の不安定化と土中水分挙動には密接な関係があるので、斜面に浸透する融雪量をアメダスの気象データから算出できる解析モデルにより求め、その融雪量を土中

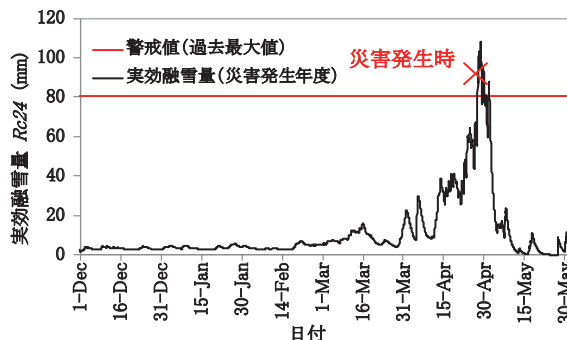


図5 災害発生時の実効融雪量と警戒値

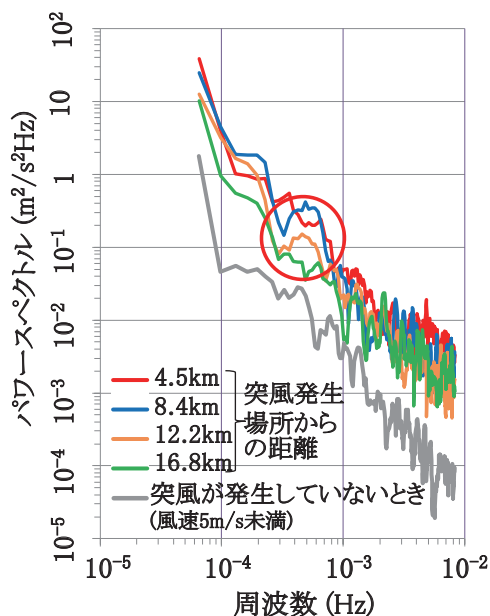


図6 突風状の風速変動の周波数特性

水分挙動と相関性の良い実効雨量指標として逐次計算することで、同指標(実効融雪量と呼ぶ)が警戒値を越えた場合に斜面の不安定化を判断できる手法を考案した。

本評価手法を用いて過去に発生した主な融雪被災事例を検証した結果、災害発生時の実効融雪量は警戒値を越えており(図5)、本手法を用いることによって融雪を主因とした土砂災害を捕捉できることを確認した。

3.2 風速計で観測された突風状の風速変動特性

2.2で述べたような突風現象、特に竜巻は空間的なサイズが小さいため、地上に配置された風速計で直接観測することは困難である場合が多い。そこで、地上の風速計で観測し得る突風状の風速変動特性を解明する目的で、既往の風速計による風観測データを用いて突風が発生した時間帯の風速変動を解析した。

突風に関する風速変動がみられた事例では、突風発生場所から離れるほど、その風速変動のピークがみられた時刻が遅れるとともに、その時の風速値が小さくなる傾向を確認した。また突風が発生した時間帯のパワースペクトルの強度は、図6に示す周波数帯(図中の赤丸内)

特集：防災技術

では突風が発生していないときよりも全体的に強く、さらに突風に関係する風速変動の周波数帯が卓越する傾向があることがわかった。以上から、地上の突風発生場所から離れた場所に設置されている風速計によっても、突風に関係する突風よりも空間的に大きい大気の乱れによる風速変動を検出できる可能性があることが明らかとなった。

3.3 鉄道沿線の河川における氾濫・浸水評価

前章に述べたように短時間の強雨が增加するにしたがい、中山間部の鉄道沿線の中小河川における氾濫による被災事例が報告されるようになった。また、このような短時間強雨の際には都市部線区での浸水災害が懸念されている。

そこで、まずは中山間部の中小河川を対象として、氾濫解析手法とこれに用いる排水設備のモデルを作成し、適用性を明らかにした。さらに、このモデルを発展させて、都市部線区における浸水評価に適用する手法の開発を進めている。

3.4 火山噴火による鉄道の被災形態の解明

2.5 で述べたように近年は火山噴火災害が懸念されており、鉄道においても火山噴火による影響について関心が高まっている。そこで、過去の火山噴火が鉄道に与えた影響について、文献調査と事業者のヒアリングを行い整理した。

その結果、降灰による被災事例が最も多く、その影響は各分野におよぶことが明らかとなった。例えば、レール上に火山灰が堆積すると短絡不良が発生し、踏切や信号機が誤動作する可能性があることがわかった。

4. 鉄道の防災・減災技術の高度化

これまでに述べたように近年の自然外力の強化化によって災害が大規模化することが懸念される。このような大規模災害に対しては、減災の考え方が国の施策の基本となった¹⁾。そこで、鉄道総研においても減災技術に

関する研究開発を進めるべく、鉄道の将来に向けた研究開発（将来指向課題）として「鉄道の防災・減災技術の高度化」を今年度から設定し、今年度から5年間で推進する予定である。

本課題の目的は、「未経験な強大な外力による災害に対し、外力の検知から災害ハザード評価、運転規制と旅客の安全確保、災害後の迂回計画・復旧戦略を一連で行う減災技術を確立し、破局的状態の回避と全体系機能の早期回復が可能となるように鉄道のレジリエンスを向上させる」ことである。ここでレジリエンスとは、「破局的状態の回避と全体系機能の早期回復が可能なこと」を意味する。

本課題では、近年外力が特に大きくなっているといわれている「突風・竜巻」「局地的短時間強雨」「未経験地震」の3つの事象を対象にし、それぞれの事象について「予測」「評価」「予防」「対応」のフェーズについて、図7に示すような研究項目を進める予定である。

5. おわりに

今後は鉄道分野においても、自然外力の強化化を見据えてこれまで取り組んでこなかった災害事象を考慮し、レジリエンスの考え方を基本とした減災技術を構築することが必要であると思われる。前述のように鉄道総研でも将来に向けた研究開発として減災技術の高度化に関する研究開発を推進する予定である。

文 献

- 1) 内閣府：平成 25 年度版防災白書, <http://www.bousai.go.jp/kaigirep/hakusho/>, (参照日：2013 年 7 月 11 日)
- 2) 気象庁：気候変動監視レポート 2014, 70p., 2015
- 3) 三隅良平：気象災害を科学する, 271p., ベレ出版, 2014
- 4) 気象庁 HP：竜巻等の突風の顕著な事例（過去の主な事例）, http://www.data.jma.go.jp/obd/stats/data/bosai/tornado/special/special_history.html, (参照日：2015 年 8 月 27 日)
- 5) 気象庁 HP：年別の発生確認数, <http://www.data.jma.go.jp/obd/stats/data/bosai/tornado/stats/annually.html>, (参照日：2015 年 8 月 27 日)
- 6) 気象庁 HP：竜巻分布図, <http://www.data.jma.go.jp/obd/stats/data/bosai/tornado/stats/bunpu/bunpuzu.html>, (参照日：2015 年 8 月 27 日)
- 7) 国土交通省国土政策局：豪雪地帯対策における関連施設等の実施状況と効果について, 第 7 回豪雪地帯対策分科会資料, 2014
- 8) 内閣府：平成 27 年度版防災白書, http://www.bousai.go.jp/kaigirep/hakusho/pdf/H27_honbun_1-5bu.pdf, (参照日：2015 年 8 月 14 日)

予測のフェーズ	顕著気象現象の検知システム		巨大外力により発生する事象の想定
評価のフェーズ	大規模斜面崩壊、増水・氾濫の影響評価手法	鉄道構造物のレジリエンスの評価法	
	局所的短時間強雨時の準リアルタイムハザードマップ	列車の走行空間保持性能の評価法	
予防のフェーズ			地震時における鉄道のレジリエンスの向上
対応のフェーズ	運転規制等判断支援システム		迂回・復旧戦略決定支援システム
	最適旅客避難経路決定支援システム		
	強大外力災害時の減災手法		
突風・竜巻		局地的短時間強雨	未経験地震

図7 鉄道の防災・減災技術の高度化の研究項目