

鉄道防災技術とは何か? どうあるべきか

A retrospective and prospective view on the technologies safeguarding railway trains against natural hazards

国立研究開発法人 防災科学技術研究所 気象災害軽減イノベーションセンター センター長
島村 誠

1. 防災概念の変化

「防災」といえば、寺田寅彦によるものとして人口に膾炙している「天災は忘れた頃にやってくる」という名言を思い浮かべる人も多いでしょう。この言葉そのものは寺田が遺した文献には見当たらず、おそらく防災に関する寺田の有名な随筆「天災と国防」(1934年)の言説を雪氷学研究で有名な弟子の中谷宇吉郎が要約したものだとも言われています。最近の自然災害の頻発を目の当たりにすると、「天災は忘れぬうちにやってくる」ではないか、と言いたくなりますが、それはさておき、意外なことにこの随筆の中に「防災」という言葉は一回も出てこないのです。

「防災」が今日のように日常用語として広く用いられるようになったのは、おそらく1959年に伊勢湾台風が史上まれにみる被害をもたらしたことを契機として、翌1960年に「防災の日」が制定され、さらにその翌年に災害対策基本法が公布されて以降のことではないかと思えます。

従来「防災」の英語訳にはdisaster preventionという用語があてられることが多かったのですが、この言葉はどちらかというと、腕力で自然に対抗し、災害の発生を阻止し、あるいはその襲来の直前までに対応策を完了しようとする「防御」のニュアンスです。preventionの動詞形であるpreventは、ラテン語の前置詞prae(前に)が接頭辞となったものと動詞veniō(来る、現れる)との合成動詞です。つまり「先行する」から「妨げる」への意味へ転じたものと考えられます。「歩む人の前に来る」ものは、しばしば、その人の邪魔になりがちだからです。

災害対策基本法の制定からの約30年間は、我が国の経済が順調に成長するとともに、自然災害の発生の少ない静穏期でもあったため(図1)、積極的な公共事業投資や地震予知研究に代表される「防御」の防災を推進することが可能であり、かつそれが十分な成果を挙げつつあるように感じられた時代でありました。ところが、そこに冷水を浴びせたのが、1995年の阪神淡路大震災であり、加えて2011年の東日本大震災がさらに大きな衝撃を与えました。それ以降も2013年の伊豆大島および翌2014年の広島市における土石流、同じく2014年の山梨県など寡雪地域での大雪、2015年の鬼怒川水害、2016年の熊本地震や一連の台風災害など、



Profile

略歴

1978年 東京大学農学部林学科卒業・日本国有鉄道入社
2006年 JR東日本研究開発センター 防災研究所 所長
2013年 東京大学大学院工学系研究科社会基盤学専攻特任教授
(JR東日本寄付講座)
2016年 国立研究開発法人防災科学技術研究所
気象災害軽減イノベーションセンター センター長(現職)

予期しないような災害が毎年のように発生し、大きな被害を与えています。このように、阪神淡路大震災以降、突如天地動乱の活動期に入ったかのような自然災害の頻発、激化とそれに曝される社会が堤防やダムのようなハードの防災に頼ることでむしろ脆弱化してしまうという反省を踏まえて、レジリエンス(被害を最小限にとどめるとともに被害からいち早く立ち直り元の生活に戻らせる、つまり災害に「適応」する能力の強化)の重要性が近年とみに認識されるようになりました。

このような防災概念の変化は、防災に関する国の行政や研究開発の考え方に端的に反映しています。たとえば筆者が現在勤務している国立研究開発法人防災科学技術研究所(防災科研)は、1963年に旧科学技術庁が所管する国立試験研究機関として設立されて以来、防災科学技術の研究開発に関する総合的中枢機関たることを標榜していますが、今年度からその英語名称として長く使われてきたNational Research Institute for Earth Science and Disaster Preventionの最後の一語をResilienceに変更するとともに、従来の災害営力のメカニズム解明主体の基礎研究からICT(情報通信技術)を用いたリアルタイム災害情報の共有によって国民一人ひとりの災害への適応力を向上させることをめざした研究開発や多様なステークホルダーとの連携に

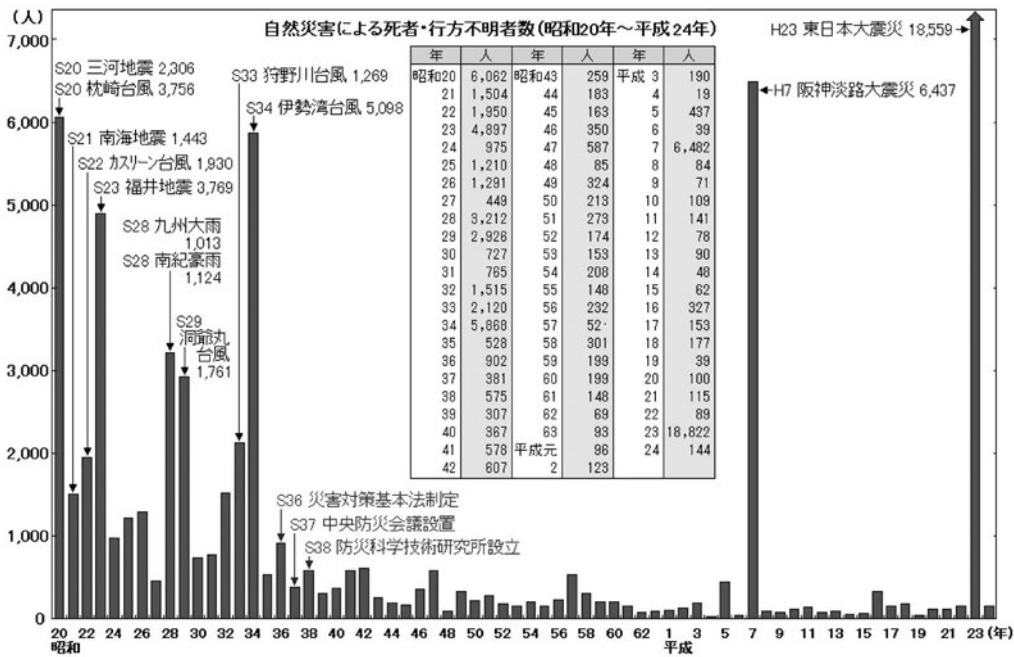


図1 自然災害による死者・行方不明者数の推移(防災白書¹⁾に加筆)

よって社会にとって価値のある防災サービスを創発するハブとしての機能の強化などへ活動の軸足を移しています。

2. 鉄道における防災技術の特徴と変遷

ひるがえって鉄道防災について考えてみると、その技術的要素を大雑把に次のような3類型に分けて考えることができるでしょう。

- i) 災害を受けにくいところに線路を建設する
- ii) 災害に対する線路の耐力を強化し、維持する
- iii) 危険を検知あるいは予測して列車を止める

災害の危険性の高い地域での居住や開発を抑制することは社会一般の防災における基本中の基本とでもいうべき原則ですが、鉄道においてこれに対応するのがi)の路線選定であり、現代でも新線建設にあたって極めて重要な判断事項です。しかし、明治から昭和の初期にかけて現在のJR在来線のネットワークがほぼ完成するまでの、今ほど国が豊かでなく技術も未熟な時代にあつては、路線選定の制約条件は現在に比べてはるかに大きかったのです。二点を結ぶために最短・最速な経路は直線ですが、それができない最大の理由は、長大トンネルを避けなければならない(技術的に建設で

きなかっただけでなく、蒸気機関車の時代には、万が一長大トンネルの中で列車が立ち往生すれば乗客・乗員が窒息してしまう危険があった)ことでした。

たとえば、東海道本線根府川駅構内の白糸川橋りょう(図2)は、山が海に迫る地形の海岸線近くに位置し、赤い塗装が背景の海と空に映える列車撮影の名所として鉄道マニアにも人気がありますが、そもそも線路を長大トンネルによって内陸部に通すことができなかつたのがこの橋りょうがこの場所に架けられた最大の理由なのです。建設当時としては最善の路線選定であったと考えられますが、1923年の関東地震によって震度7相当の激震に襲われ、白糸川上流の山腹崩壊によって山津波となって谷を駆け下った大量の土砂により橋脚が切断され、押し流された橋桁は海中に埋まっていました。また、根府川駅は地すべりで駅構内すべてが海へと崩れ、まさにその瞬間やってきた列車は崖下の海へ転落、多くの乗客が死亡または行方不明となる大惨事となりました。

またこの橋りょうは強風多発地点に位置しているため、今日に至るまで防風柵の設置や一般区間より厳しい運転規制など、強風に対する付加的な対策が必要とされる防災上の弱点箇所となっています。一方、長大トンネルの制約がなくなつ



図2 東海道本線白糸川橋りょう近傍からのドブラー・ライダーによる風観測

て以降に建設された東海道新幹線は、この付近ではほぼ一直線の経路を取っており、白糸川橋りょうの上流側のトンネルとトンネルの間のわずかな区間で地上に顔を出すだけです。

ii)の技術要素には、構造物の計画、設計、施工、維持管理その他が含まれますが、とりわけ大きな効果を上げてきたのは、斜面崩壊、落石、雪崩等に対する防護設備による防災投資です。のり面工、防護柵、防護シェルターなど、個々の対策としては規模が小さく目立たないものが多いのですが、地道な積み重ねにより、国鉄およびJR各社の災害発生件数は1960年代から90年代にかけて劇的に減少しました(図3)。また、1974年に刊行された「土木建造物取替の考え方」(通称、「取替標準」)³⁾に示された、すべての鉄道土木構造物に対する統一的な健全度判定区分や、過去の災害事例等の統計データにもとづいてのり面・斜面の高さ、勾配、土質などの条件から許容雨量を定量的に求め、防護設備の要否を客観的に判定するための「のり面採点表」が広く用いられるようになったことが、これらの防災設備投資を適正かつ効率的に実施する上で大きく貢献しました。

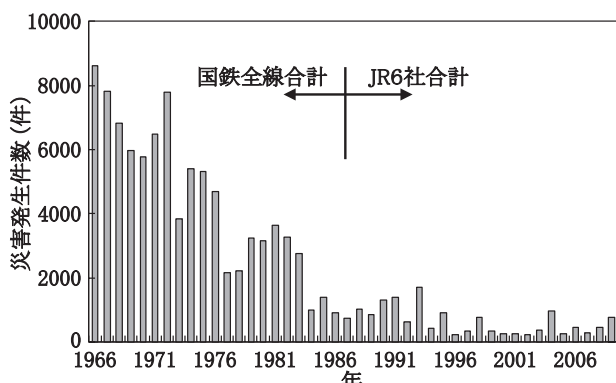


図3 国鉄・JRにおける災害発生件数の推移²⁾

また、地震対策の分野では、1964年新潟地震、1968年十勝沖地震、1978年宮城県沖地震の被害の教訓を踏まえて構造物、特にコンクリート高架橋の設計耐力を順次向上させてきましたが、特に1995年兵庫県南部地震の後では、設計上の想定を超える地震動が作用した際、変形はするものの構造物が一挙に崩壊するせん断先行型の破壊を起こすことなく、粘り地震動に対抗できるように設計仕様が改訂されるとともに、既設高架橋の耐震補強工事が大々的に行われるようになりました。

i)とii)のいわゆるハード対策に対し、iii)はソフト対策と言われるもので、具体的には災害警備や災害時列車運転規制が含まれます。これらのソフト対策は、ii)のハード対策が本格的に実施されるようになる1960年代までは、国鉄が全社的に定める基準はきわめて大雑把なもので、細部の運用は担当者の判断に委ねられる部分が多く、災害営力の観測についても、風杯式風速計こそ比較的早い時期に導入されたものの、地震は体感、雨量は胴切りにした一升瓶で代用した貯留枡といったようにきわめてローテクな手段が用いられ、

列車を安全に走らせる(=危ない時には列車を止める)ための防災技術は、多くを人の力に頼っていました。

ソフト対策による防災を初めてきちんと技術的に検討し、システムとして取り入れた東海道新幹線では、開業当初から雨量計、風速計、地震計等の観測機器が線路沿線に配置され、測定データがリアルタイムで指令所に伝送される仕組みを整えていましたが、列車の停止は指令員から乗務員への電話での指示伝達によっており、沿線地震計が一定以上の地震動を観測した場合に変電所のき電停止を行い、これをトリガーとして自動的に列車に緊急ブレーキをかける機能を有する「新幹線対震防護システム」は、東海道新幹線開業のわずか3ヶ月ほど前に起きた1964年新潟地震を受けて急きょ導入の検討が始まり、開業からおよそ1年後の1965年11月から使用開始されました。

一方在来線では、新幹線よりやや遅れて1970年代から雨量計、地震計、風速計等の観測機器の導入が進みました。当初それらは通信回線に接続されないスタンドアロンのものが多かったのですが、JR東日本発足後まもなくネットワーク回線を介して各観測機器のデータをリアルタイムで指令室に表示することができる防災情報システム(「プレダス」)が導入されました。プレダスの導入により、広範囲にわたる災害営力の観測データを高精度かつ迅速に共有することが可能になり、列車の運転中止や速度規制の判断をかつての担当者個人の臨機応変の判断に頼る方法ではなく客観的な観測データにもとづいて行うことが可能になりました。そして、近年における社会一般の安全に対する要求の高まりと自然災害に関連する観測・監視技術の進歩に呼応して、これらの判断手続きを定めた「災害時列車運転規制基準」は運転取扱い上きわめて厳正に遵守すべき規範と見なされるに至りました。

3. 求められるもの—経験工学のスマート化

社会全般の防災概念が「防御」から「適応」へ変化してきたのと同様に、鉄道防災技術も長い時間をかけて路線選定や建設、防災設備の設置、構造物の補強に代表されるハード対策から情報や知識にもとづくソフト対策へと重心を移してきました。この傾向は今後も加速することでしょう。そこでここでは、ソフト対策としての鉄道防災技術の本質は何か、今後のあるべき姿は何なのかについて考えてみたいと思います。

まず、今後活用が期待される核心的な技術として、災害につながる厳しい自然環境とまともに向き合っ列車を安全に走らせるための、各種の先進的な気象・地象観測およびセンシング・モニタリング技術の利用が挙げられます。特に最近社会的な関心が高まっている突風や極端に強い豪雨(いわゆるゲリラ豪雨)などの急激な気象現象は、事前にその接近がわかる台風などと異なり、その空間規模が局地的かつ

その影響をいきなり受ける形になるので、これまでの鉄道における気象観測体制と運転規制ルールでは適切に対応することが困難になる場合が出てくるのが考えられます。こうした極端気象の脅威に対抗するために既に現業運用されている新技術の一例として、防災科研が開発した探知アルゴリズムにもとづく国土交通省のXバンドMPレーダー雨量情報システム(XRAIN)があり、高解像度(250m、1分間隔)で降雨強度や風速を知ることができます。

しかし、XRAINで用いられているXバンドMPレーダーをはじめとする気象レーダーは、雲の中の雨滴に反射した電波の情報から雨滴の大きさと移動速度を推定することで雨の強さや風速の情報を得る仕組みであるため、有効な観測が可能なのは、突風やゲリラ豪雨をもたらす積乱雲が形成された後ということになります。突風やゲリラ豪雨に対する備えは積乱雲ができてからでは遅すぎる場合もあると考えられるため、さらに進んだ方法として、気象ドップラー・ライダーの活用についても研究されています。ドップラー・ライダーは電波の代わりにレーザー光を観測媒体として用いるもので、電波では捉えることのできない、雨滴よりも小さな空気中のエアロゾル(ちり)からの反射情報を使うことで晴天時における大気状態を観測することが可能です。将来、積乱雲を発生させる大気状態を特定し、それをライダーで観測することができれば、突風やゲリラ豪雨を引き起こす積乱雲を発生後ではなくその予兆の段階で捉えることが可能になると期待されています。ちなみに図2は、JR東日本横浜支社が筆者の所属した東京大学の「大規模災害に対する交通インフラのリスク管理学」寄付講座(JR東日本)と共同で取り組んだドップラー・ライダーによる白糸川橋りょうでの風観測試験の実施状況です。

情報や知識の利用という観点から今後の鉄道防災技術への展開が考えられるもうひとつの可能性は、「経験知の糾合」です。今日、IoT(モノのインターネット)、ビッグデータ、AI(人工知能)がイノベーションを論じる上でのキーワード(キャッチフレーズ、流行語)となっていますが、これらの技術は、情報や知識にもとづくソフト対策としての防災技術において大きな可能性を秘めています。AIといえば、最近コンピュータ囲碁プログラムAlphaGoが人間の世界チャンピオンに勝って話題になりましたが、少なくとも今のところAIが解けるのは、囲碁、将棋や音声認識、画像認識のように、どんなに複雑で計算量が膨大であるにせよ解くための規則がアルゴリズムとして記述できる問題だけであり、いわゆる「計算できない」問題は解くことができないと考えられています。鉄道防災における身近な例として、「この駅間では何mmの雨が降ると土砂崩壊が発生するか?」というような問題を考えてみると、これは計算に乗らない問題の典型例で、一見してAIで解けるようには思えませんし、過去の崩壊事例のデータがなければ経験的にも答えることができません。しかしながら「列車を安全に走らせるための防災」という観点で考えてみると、本来解く

べき問題は「何mmまでの雨なら災害が発生しないか?」であることがわかります。そうなる注目すべきなのは、めったに起きない災害や事故の発生事例ではなく、膨大な「非発生」すなわち正常値のデータのほうだということになります。

たとえば、偽札の判別をする場合、新品、使い古し、汚れたもの、部分的にちぎれたものなど、いろいろな状態の本物の札を数多く用意し、それらとどれくらい似ていないかで本物と偽札の判別をすることになります。偽札の種類は無限にあり、ひとつの偽札は判別できてもすぐに新しい偽札が作られるため、いくら偽札の研究をしてもキリがありません。防災の分野においても数少ない異常値のデータを個々に考察するのではなく、まず膨大な正常値データによって張られる空間全体を把握し、そこから外れるデータを危険の予兆の把握に活用するのが、ビッグデータ時代にふさわしいアプローチだといえるでしょう。

ハード優先の時代においては、作るべきモノのあるべき姿というものが先にあり、一般法則や理論を援用し、演繹推論によって問題解決に至るとというのが工学的的方法論の王道でした。この方法論の通用しない防災の分野には、「どうせ経験工学だから」という嘆きとも自虐ともつかない形容が伴うのが常でした。また、学術の主流においても、経験やデータは、理論や法則から外れる誤差や偏見を伴うものであることから一段低く見られていました。

しかし今や時代は変わったのです。法則や理論と称するものは現実の近似値に過ぎず、現実と法則や理論とのズレは、観測者に責任を帰すべき「誤差」ではなく、まさにシステムそのものに内在する「不確実性」に起因するのだという理解が進むことにより、現実データからシステムを駆動するメカニズムを推論する帰納的なアプローチの重要性と有効性が認識されるようになり、それに呼応してAIを始めとするコンピュータを用いてこのアプローチを実行する様々な技術が猛烈なスピードで開発されてきました。これによって、経験やデータを起点として列車を走らせるための防災技術の方法論を革新する時がやってきたと感じています。鉄道システムを今後ますます苛烈化するであろう自然災害から守る鍵は、最新の観測およびセンシング・モニタリング技術だけでなくこれまで培ってきた安全運行によって蓄積されたデータと経験知が握っている、と確信しています。

参考文献

- 1) 防災白書平成25年版、内閣府、2013年
- 2) 杉山友康「自然外力の変化に伴う最近の災害の特徴と今後の研究開発の展望」鉄道総研報告、第25巻、第7号、2011年
- 3) 国鉄施設局土木課「土木建造物取替の考え方」、社団法人日本鉄道施設協会、1974年