

鉄道における津波対策に関する調査研究 — 2010 年チリ地震及び 2011 年東北地方太平洋 沖地震の経験も踏まえ —

藤崎 耕一¹・梶谷 俊夫²・横田 茂³・森田 泰智⁴・奥山 忠裕⁵・室井 寿明⁶・堀 宗
朗⁷

¹正会員 前（財）運輸政策研究機構 運輸政策研究所（〒105-0001 東京都港区虎ノ門 3-18-19）

E-mail: fujisakiyk@gmail.com

²正会員（財）運輸政策研究機構 運輸政策研究所（〒105-0001 東京都港区虎ノ門 3-18-19）

E-mail: kajitani@jterc.or.jp

³非会員（財）運輸政策研究機構 運輸政策研究所（〒105-0001 東京都港区虎ノ門 3-18-19）

E-mail: s-yokota@jterc.or.jp

⁴正会員（財）運輸政策研究機構 運輸政策研究所（〒105-0001 東京都港区虎ノ門 3-18-19）

E-mail: y-morita@jterc.or.jp

⁵正会員 長崎県立大学講師 経済学部（〒858-8580 長崎県佐世保市川下町 123）

E-mail: okuyama@sun.ac.jp

⁶正会員（財）運輸政策研究機構 調査室（〒105-0001 東京都港区虎ノ門 3-18-19）

E-mail: muroi@jterc.or.jp

⁷正会員 東京大学教授 地震研究所（〒113-8654 東京都文京区本郷 7-3-1）

E-mail: hori@eri.u-tokyo.ac.jp

安全性と社会生活を支える公共交通サービスの維持の両方の視点で、津波への対策を準備することは旅客鉄道にとって重要である。その対策の有効性と限界を把握するため、先ず歴史上の津波並びに遠地津波である 2010 年チリ地震津波及び近地津波である 2011 年東北地方太平洋沖地震津波による鉄道の被害の実例と対応を調査し、次に複雑な関係制度を整理し、その上で国及び自治体の対応を含めた鉄道における津波対策全体の詳細な実態について、直近の両地震津波での実際を含め、鉄道事業者からのヒアリング及びアンケートを通じ調査した。その結果、浸水予測、乗客の避難、津波情報入手環境と通信手段、運行休止再開の判断等に関し危惧される点があることが判明した。最後に東海・東南海・南海地震に備えるため、今後の施策と技術の課題を抽出した。

Key Words: tsunami, disaster prevention measure, public transport, railway

1. はじめに

2010 年チリ地震津波と 2011 年東北地方太平洋沖地震津波は、少なくとも次の点で対照的であった。すなわち、鉄道等の交通機関については、津波警報発令から津波到達予想時刻まで 3 時間以上（地震発生からは半日以上）あったチリ地震では、津波到達前の直前対応に時間をかけることができた。一方、東北地方太平洋沖地震津波では、強震動による被害を受けた地点を含め、地域によっては津波到達前の

直前対応に時間的余裕があまり無かった可能性がある。地震動の被害が一切無かったチリ地震津波では、また、東北地方太平洋沖地震津波においても地震動が弱かった地域では、津波への対応に集中できたはずであることに着眼できる。地震動への対応と切離して、津波だけへの対応実態を確認することができるからである。

今世紀中に東海地震、東南海・南海地震が発生し、これら地震による津波（以下便宜的に「特定津波」）が太平洋岸に到達することが懸念されている。地震

表-1 国内鉄道における津波被害

1933年昭和三陸地震	国鉄八戸線	津波のため鉄道線路に若干の決壊を生じ一時運行不能となった。
1944年東南海地震	国鉄紀勢本線	鉄道線路が海と反対側に押し流された。決壊箇所では20m。
	国鉄東海道線	盛土の落下、橋脚の損傷、ホームの沈下等の被害。
1946年南海地震	国鉄紀勢本線	道床が1kmにわたって押し流された。
	国鉄土讃線	須崎・多ノ郷間でレールの彎曲、船の線路上乗上げ。
1960年チリ地震	函館駅	路盤浸水・構内冠水などの被害が発生。
	大船渡・気仙沼線	駅舎浸水。路盤・枕木・道床の流出。
	国鉄土讃線	須崎・多ノ郷間で道床の流出。須崎駅構内の浸水。
1983年日本海中部地震	国鉄奥羽本線・五能線	3線区693箇所で路盤陥没・橋上変状・軌道狂い・電柱傾斜・架線垂下・信号機・踏切警報機傾斜等の被害。
	津軽・秋田臨海鉄道	路盤沈下が発生。

表-2 海外鉄道における津波被害

1946年アリューシャン列島地震津波	ハワイ島ヒロにおける軌道被害。
2004年インドネシア・スマトラ島沖地震津波	第2波による列車転覆と1,000人の犠牲に。近代型信号システムが使用不可能。信号設備とパラスト軌道の被害。

表-3 2010年チリ地震津波への対応

日付・時刻	対応主体	対応項目
2/27(土) 15:34頃		チリ中部沿岸でM8.6の地震発生
2/28(日) 09:33	気象庁	津波警報・注意報発表 「大津波」:青森県,岩手県,宮城県 「津波」:北海道太平洋沿岸～沖縄県地方
	国土交通本省	非常体制
09:35	気象庁	津波到達予想時刻・予想高さ情報 北海道太平洋沿岸東部,伊豆諸島 13:00 青森県,岩手県,宮城県 3m 等
10:51 ～15:30	各鉄道事業者 (JR旅客各社、三陸鉄道、仙台空港鉄道、小田急、江ノ電、伊豆急、静岡鉄道、岳南鉄道、名鉄、近鉄、土佐くま川鉄道)	運転抑止開始 (津波の到達予想時刻を考慮し、太平洋沿岸等の一定の路線で)
19:01～ 翌03:06	気象庁	津波警報・注意報切替(大津波警報の解除) 順次、全ての津波警報を解除
3/1(月)	各鉄道事業者	始発から運転再開(一部28日(日)夕刻から)

資料:国土交通省、気象庁

動とは別に、津波が大きい場合は、沿岸部や低地の鉄道等交通網に被害が生じる可能性がある。逆に、それほど大きな津波とならない場合は、一旦抑止された運行サービスを速やかに再開する余地とそれへの期待が大きい可能性がある。2010年と2011年の津波発生後の対応実態を含め、鉄道における津波への対応全般を分析し、その有効性と限界を検証することで、次の津波への備えを図ることは重要な課題である。

本研究では、安全性の確保と社会生活を支える公共交通サービスの維持（運行を抑止する場合も必要最小限に留め、迅速に再開させる）の両方の視点で、鉄道に焦点を当てて津波対策を調査する。本稿の構成は以下のとおりである。最初に、文献、公官庁の公表資料等から、鉄道における津波の被害事例、津波対応の実例及び津波対策に関する法制度を整理する。これを基に、複数の主要鉄道事業者等へのヒアリングを踏まえて設計を行ったアンケート調査を東南海・南海地震防災対策関係地域の約20の鉄道事業者を対象に行い、その結果を整理する。鉄道におけ

る津波対策全般の実態を詳細に分析し、国、自治体、鉄道事業者及び利用者を問わず、有効と考えられる対応の事例と懸念される事例を抽出し、これを基に現在実施されていて引続き行うべき対応と今後の検討が望まれる施策と技術の課題を議論する。

2. 鉄道における津波被害と対応の実例

(1) 鉄道における歴史上の津波による被害の実例

過去の津波による交通障害の種類については、1997年に首藤¹⁾が整理している。ここには、鉄道等構造物の被災による交通障害として、例えば、押波・引波の越流による鉄道堤の流出、水流集中による洗掘、漂流物衝突による橋梁破壊又は線路移動が挙げられている。公官庁の公表資料等^{2)～9)}から抽出された、首藤以前の具体的な被害事例を表-1に示す。なお、この表は、地震動による被害と津波による被害を明瞭に区分できないものも含んでいる可能性があることには、注意が必要である。

海外鉄道における津波被害についても文献調査^{10),11)}を行った。識者へのヒアリング¹²⁾を含め、出典が明らかなものを表-2に示す。国内を含め、鉄道における津波の被害事例を整理した調査研究は、著者らの調べた限りでは他に見当たらない。

(2) 2010年チリ地震の対応

2010年2月27日15:34頃チリ沿岸で地震が発生し、気象庁は、翌28(日)9:33に津波警報等を発表し、ついで9:35に津波情報として、津波の到達予想時刻と予想高さを発表した。到達予想時刻については、早い地域では北海道太平洋沿岸東部に13:00、予想高さについては、例えば青森県等では3m、という

表-4 2011 年東北地方太平洋沖地震津波への対応

日付・時刻	対応主体	対応項目
3/11(金) 14:46頃		三陸沖でM9.0(暫定値)の地震発生
14:46	国土交通本省 東北・首都圏の鉄道	非常体制 運転抑止
14:49	気象庁	津波警報発表(第一報) 
14:50	気象庁	津波到達予想時刻・予想高さ 発表 岩手 既に到達と推測 3m 宮城 15:00頃 6m 福島 15:10頃 3m 等
16:37以降	首都圏の鉄道	一部を除き順次運転再開
3/13(日)17:58	気象庁	全ての津波警報、注意報の解除
3/14(月)	東北の鉄道	一部を除き、運転休止中

資料：国土交通省、気象庁

内容である。10:51 から 15:30 の間に、鉄道事業者は、太平洋沿岸等の一部の路線で、気象庁が発表した津波到達予想時刻に間に合うように運転抑止を開始した。翌 3 月 1 日（月）3:06 までに順次津波警報が解除され、一部を除き同日始発から、運転が再開された。すなわち、関係鉄道事業者は、津波対応として、運行の休止と再開を行った。なお、バス事業者は、津波警報発令区域で運休等を行ったが、1 日 11:00 時点で全て運行を再開していた^{13), 14)}（表-3）。ただ、多くの予報区で予測高さより低い津波が到達した¹⁵⁾。

(3) 2011 年東北地方太平洋沖地震の対応と被害

2011 年 3 月 11 日 14:46 頃三陸沖で地震が発生した。気象庁は、14:49 に第一報の津波警報を発表し、14:50 に津波情報を発表した。岩手県は 3m の津波が既に到達と推測、宮城県は 15:00 頃に 6m、福島県は 15:10 頃に 3m との予測であった。なお、13 日 17:58 には全ての津波警報が解除された。

14:46、東北と首都圏の鉄道は運転休止を行った。震度の大きさのために、直に運転休止したと推測される。被害を受けていない路線は、津波警報の解除を受けて、点検による安全確認の後、電力供給等の支障が無い限り、運転再開を行ったと推測されるが、14 日現在、東北の鉄道は、地震自体又は津波による被害またはその点検確認のためと推測されるが、一部を除き、運転休止中であった¹⁶⁾（表-4）。国土交通省による速報等により、三陸沿岸の 8 路線、仙台空港線及び JR 常磐線で、津波による橋梁、駅舎等鉄道施設の流出等甚大な被害が生じたことが判明した。脱線した列車から乗客等が避難し、救出された旨の報道もされた。津波に備えるためには適切な浸水区域の想定が必要であるが、列車が脱線した JR 気仙沼線最知駅～松岩駅間や列車が山側に流された JR 仙石線野蒜駅～東名駅間には、自治体が作成した津波



図-1 仙台空港駅周辺の津波ハザードマップと標高図

ハザードマップの浸水予想区域に含まれていない区間があった。1 階部分が浸水した仙台空港駅（図-1）も JR 貨物の貨車が流出した常磐線浜吉田駅～山下駅間も、自治体の津波ハザードマップ上は浸水予想区域外にあった。なお、津波の被害を受けた路線において、鉄道事業者は、運行休止、駅・列車からの乗客の避難案内を基本的に行ったと推測されるが、その際の地震・津波情報の入手から現場での避難までの経過については、有効に機能した点や課題を含め、津波対策への示唆を得るために別途確認することが必要と考えられる。

3. 鉄道における津波対策に関する制度

(1) 鉄道施設の配置及び構造

昭和三陸地震後に策定された文部省¹⁷⁾及び内務省¹⁸⁾の提案に内容が一部関係しているが、1998 年に関係省庁が策定した「地域防災計画における津波対策強化の手引き」¹⁹⁾（図-2）において、津波防災の観点からのまちづくりの一環として、鉄道を含む交通施設について、「危険性の高い地区を通過しないことが望ましい」「危険性の高い地区を通過する部分については破損を受けないように強化しなければならない」「鉄道橋等に見られるように、橋梁上部工が軽い場合は、漂流物の衝突によって破壊された事例も多いため、津波防災を考慮した構造が必要という点等から、配置及び構造について配慮することを自治体の地域防災計画中の津波防災計画で位置づける」旨が推奨されている。この仕組みにより津波被害を実効的に防止する上では、発生する可能性のある地震津波を想定した的確な浸水予測を行うことが前提になると考えられる。

なお、この手引きは、自治体からの鉄道事業者へのアプローチを期待したものであり、鉄道事業者を

表-5 調査対象の概要

ヒアリング	
	件数
鉄道事業者	6
自治体等	3

アンケート	
	件数
大手	8 (100%)
中小	11 (92%)

()内は回収率

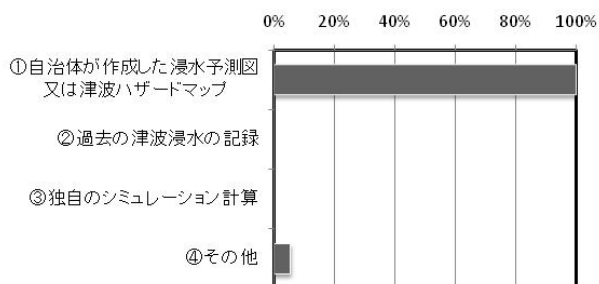


図-5 浸水危険区間の設定の基礎

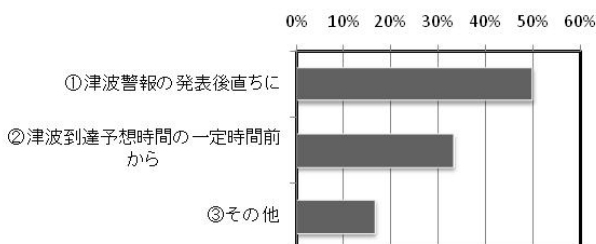


図-7 津波対応のための運行休止の開始時間

南海地震に係る地震防災対策の推進に関する特別措置法は津波対策の推進地域を定めており、JR以外の関係鉄道事業者は、中央防災会議の定める対策推進基本計画²⁰⁾、²¹⁾及び自治体の定める推進計画等に整合をとって、対策計画を策定し、知事に届出る義務があるが、対策計画に定めるべき事項を前述の実施基準で定めたときは、対策計画と見做されることになっており、事業法である鉄道営業法と防災法体系の両方の規制を受ける鉄道事業者の手続き負担の軽減が図られている。指定公共機関であるJR各社は、推進計画を定めて、災害対策基本法上策定すべき防災業務計画に含め、要旨を公表しなければならない。

関係鉄道事業者は、対策計画に、津波からの円滑な避難の確保として、津波警報等の旅客等への伝達、運行等に関する措置（走行路線に津波の来襲により危険度が高いと予想される区間がある場合における運行停止その他運行上の措置）、避難対策（避難場所、避難経路その他円滑な避難のために必要な対策等）、年1回以上防災訓練を実施すること、従業員等に対

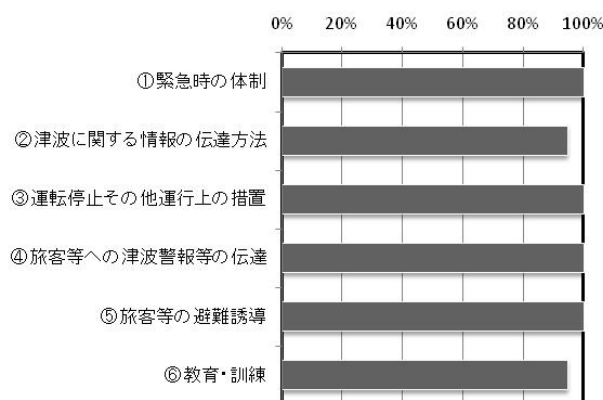


図-4 津波対策としてマニュアル等で定めている事項

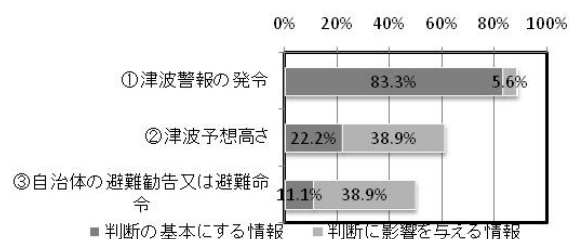


図-6 津波対応のための運行休止開始の判断基準

する教育及び広報の実施内容、方法等を明示することになっている²²⁾。

東南海・南海地震に関し、関係14府県の地域防災計画のうち、対策推進基本計画に沿った、津波対策のための鉄道の運行等に関する措置を明定しているのは、11府県に留まっており、府県の姿勢の違いの一端を示している。なお、兵庫県の地域防災計画には、神戸市交通局地下鉄海岸線について駅出入口の止水板及び防水扉の作動等措置を求める記述がある。

JR以外の関係鉄道事業者に関して2004年に消防庁が都道府県を通じて実施した調査によれば、東南海・南海地震に係る地震防災対策の推進に関する特別措置法等に基づく対策計画等の届出率は100%である²³⁾。しかし、各鉄道事業者がこれら計画に沿って講じている措置について、明らかにされたものは見当たらないことから、次章で紹介するヒアリング及びアンケート調査で把握して分析する必要がある。

4. 鉄道における津波対策の取組状況についての調査の結果

前々章及び前章の結果を踏まえ、国、自治体、鉄道事業者、産業界等鉄道防災の各主体の課題を抽出する基にするため、津波の対応に関する調査項目を、

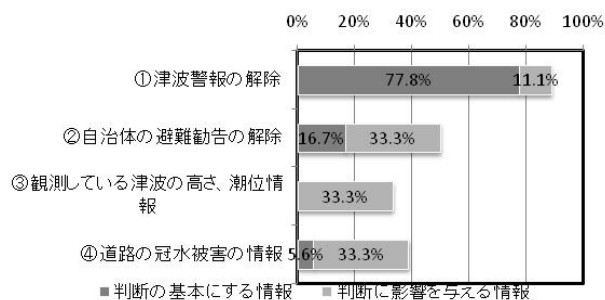


図-8 津波対応後の運行再開の判断基準

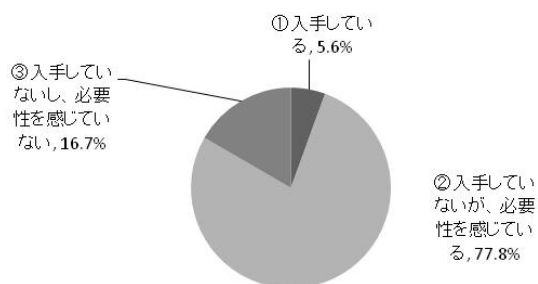


図-10 津波の河川遡上に関する河川管理者からの情報の入手状況及び入手の必要性

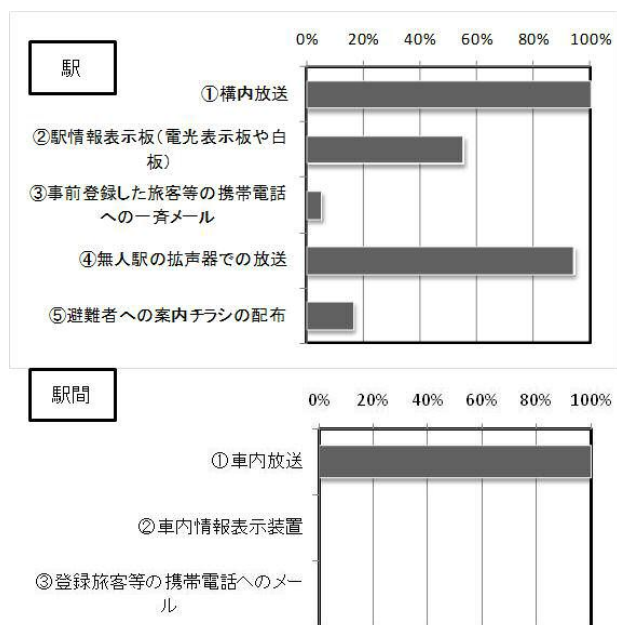


図-12 発災時の旅客等への避難案内の伝達方法

防災法体系において鉄道事業者が東南海・南海地震津波に備えて対策推進基本計画（中央防災会議策定）、推進計画（自治体策定）等に沿って対策計画等に明定して実施することが期待される主な対応、すなわち、津波対応のための運行停止・再開等運行上の措置、駅・列車からの旅客の避難のための支援、これら両方のために必要な津波関係情報の入手・伝達の3つに分けることとした。2010年チリ地震の後、複数の主要鉄道事業者及び自治体等の防災担当者に

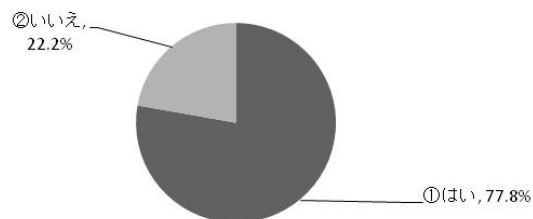


図-9 東日本地震津波を踏まえ、津波の河川遡上を考慮した鉄道橋付近の浸水予測図見直しの必要性

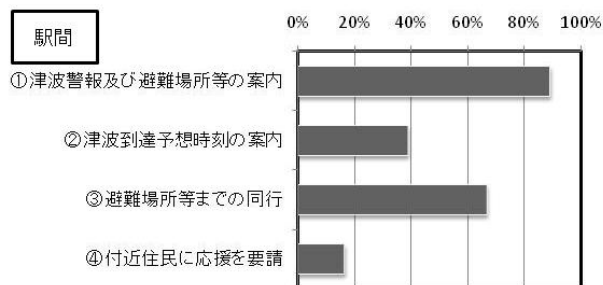
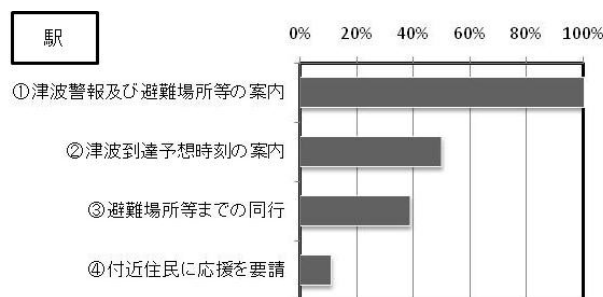


図-11 発災時に旅客が避難するための支援

対して行ったヒアリングを踏まえ、東南海・南海地震防災対策地域における約20の鉄道事業者に対し、アンケート調査を行った。調査対象の概要を表-5に示す。なお、地下鉄又は路面電車を専ら運行する事業者は、本稿の整理からは除いている。以下では、アンケートにより確認した、東南海・南海地震津波に対する対策を中心に整理する。

殆どの鉄道事業者は、上記の対応を行うため、①緊急時の対応（津波対応のための運行上の措置及び旅客避難の判断を行う組織体制）、②津波に関する情報の社内における伝達方法、③津波対応のための運転停止その他運行上の措置、④旅客等への津波警報等の伝達、⑤旅客等の避難誘導、⑥教育・訓練について、予めマニュアル等で定めている（図-4）。緊急時の対応のための体制については、ヒアリングからは、緊急時に特別の体制を整備する方法と通常時からの体制をそのまま使う方法とがあり、事業者によって異なることがわかっている。なお、東北地方太平洋沖地震津波により甚大な被害を実際に受けた鉄道事業者は、このアンケート調査の対象ではないので、当該鉄道事業者が当時採った対応がそのような被害

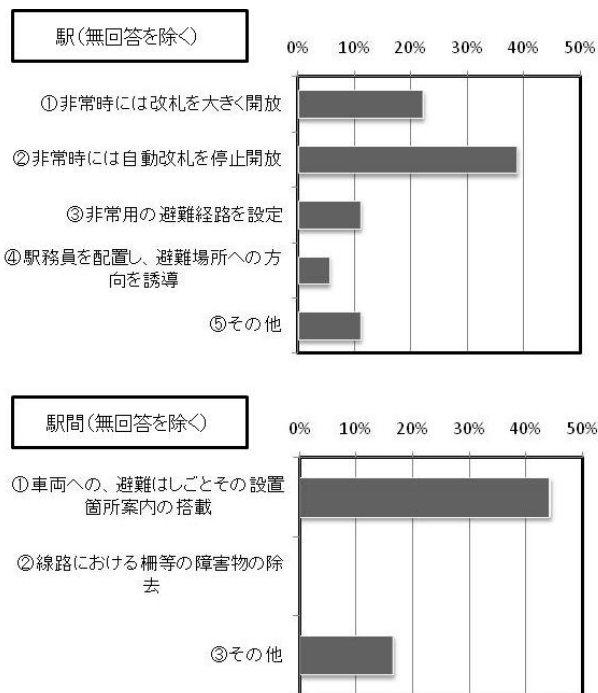


図-13 発災時に旅客の避難を円滑にするための工夫

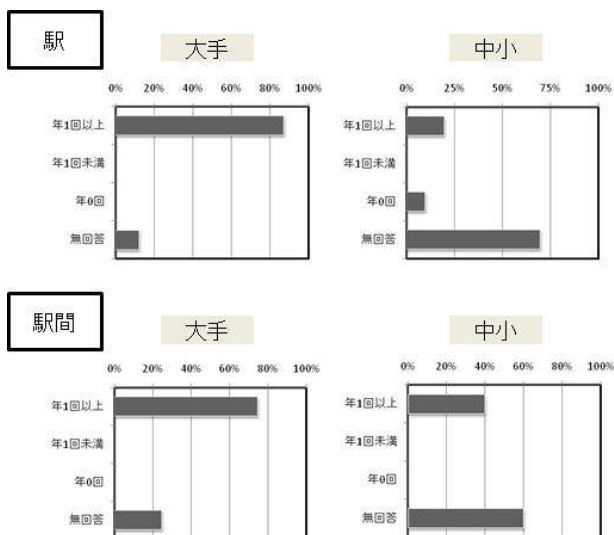


図-15 津波避難訓練の実施回数

地域でもどの程度有効であったかについては、別途調査を行うことが望ましい。

(1) 津波対応のための運行の休止・再開等運行上の措置

鉄道事業者は、津波来襲による危険度が高いと予想される区間における運行停止等を行う必要があるが、鉄道事業者が鉄道施設の浸水危険区間を予め設定する場合は、自治体で作成した浸水予測図又はハザードマップを基礎にしている(図-5)。(地震防災特別措置法第14条及び防災基本計画(中央防災会議策定)により、都道府県は津波を想定した浸水区域図を作成することになっており、市町村では、これ

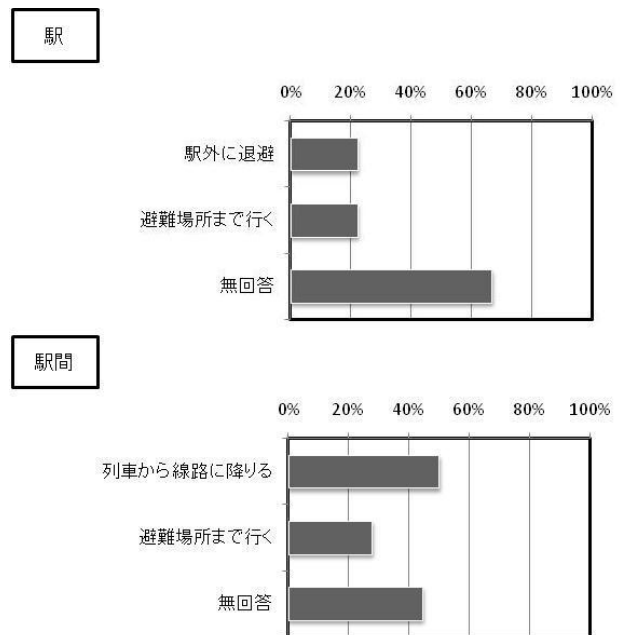


図-14 津波避難訓練の内容

に避難所、避難経路等の情報を加えた津波ハザードマップを作成する取組が進められている^{24), 25)}。2004年に、「津波・高潮ハザードマップマニュアル」が関係省庁により策定され、浸水予測、ハザードマップの作成等の方法、手順等が示されているが、浸水危険区域を想定するための前提となる想定地震、波源モデルや断層パラメータ等も、自治体によって統一されているわけではない。)なお、このアンケート調査の回答では無かったが、ヒアリング調査では、津波ハザードマップに加えて過去の浸水経験も参考にしてしている鉄道事業者が存在することも判明した。

鉄道事業者が津波対応のための運行休止開始を判断する際には、気象庁津波警報又は津波情報中の津波予想高さが基本にされており、運行休止開始時間は、気象庁津波情報における津波到達予想時刻を考慮し、津波が到達する一定時間前に間に合うように設定されている(図-6、図-7)。

また、津波対応を行った後に運行を再開する判断としては、津波警報の解除が主として基本にされている(図-8)。運行の休止及び再開に際し、自治体の避難勧告及び避難勧告の解除も一部使われていることが判明した。

なお、2010年チリ地震及び2011年東北地方太平洋沖地震の際にも、運行休止及び運行再開は、基本的に上記に則って実施されたことが確認された。津波警報は安全側の予測に基いて発令する方針であるため、解除されるまでの時間は長めになる可能性があり、したがって、運行休止時間も長めになる可能性がある。実際、この東北地方太平洋沖地震では、余震も頻発したこともあり、被害を受けていない地

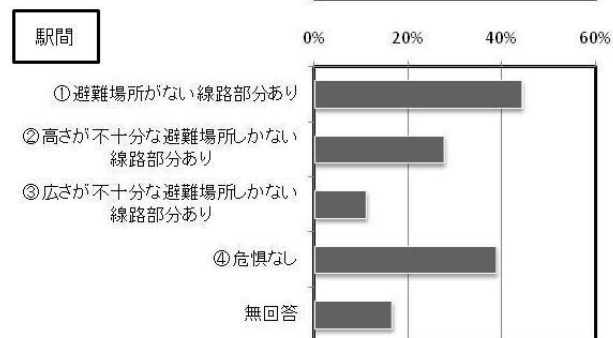
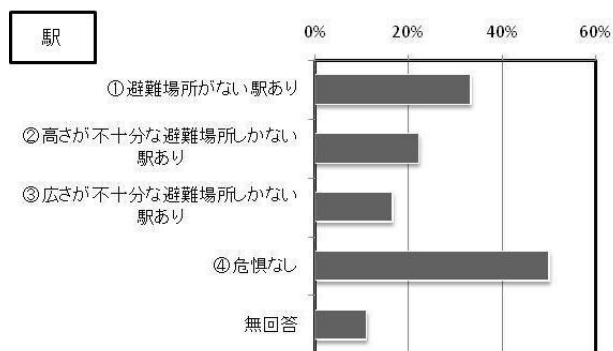


図-16 浸水危険区間からの避難場所の状況

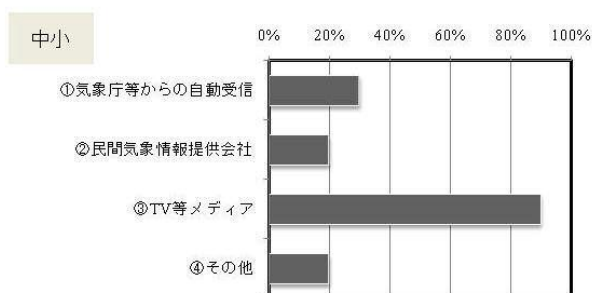
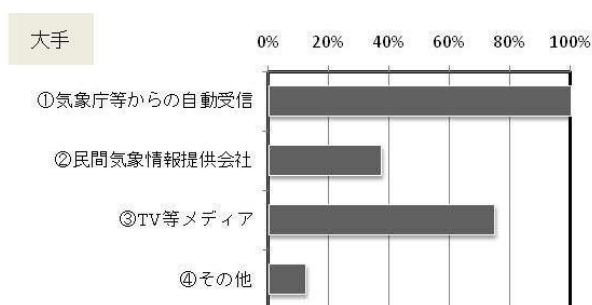


図-18 津波関係情報の入手方法

域でも津波警報の解除に日単位の時間を要した。

東北地方太平洋沖地震津波を踏まえ、津波の河川遡上²⁶⁾を考慮し、鉄道橋付近の浸水予測図²⁷⁾の見直しの必要性を感じているかとの問いには、8割近くが肯定回答をした。また、津波の河川遡上については、河川管理者から情報を入手していないが、鉄道橋における運行規制や安全確認を的確に行えるよう入手の必要性を感じているという回答が8割近くであった(図-9、図-10)。

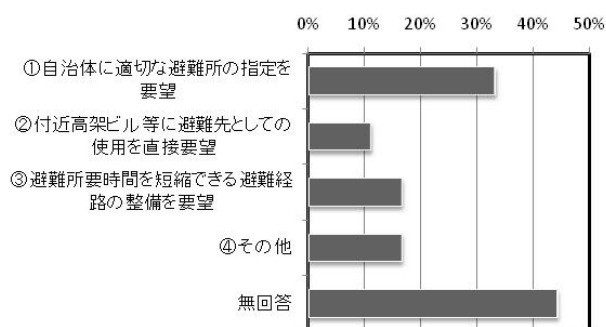


図-17 上記危機に対する実施中又は検討中の改善方策

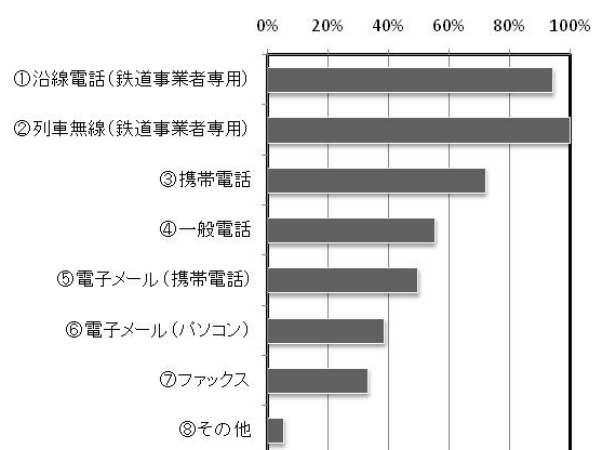


図-19 現場との間で使用する情報伝達網

(2) 駅及び列車からの旅客の避難のための支援

発災時に旅客が避難するための鉄道事業者による支援としては、駅からの避難、駅間に停車した列車からの避難ともに、津波警報等の案内、避難場所等までの同行を選択する回答が一定以上あり、付近住民に応援を要請するという回答も一部あった(図-11)。また、旅客等への避難案内の伝達方法については、駅においては、構内放送、駅情報表示板、無人駅での拡声器での放送が比較的多く、列車においては、車内放送である(図-12)。

また、発災時に旅客の避難を円滑にするための工夫としては、駅からの避難については、非常時には自動改札の停止開放、非常時には改札を大きく開放、非常用の避難経路の設置、駅務員を配置して避難場所への方向を誘導のほか、グループ会社職員の支援を得られるよう周知し、訓練にも参加させているという事例があった。列車からの避難については、車両への避難はしごとその設置箇所案内の搭載、乗客用長椅子を取外し避難用スロープとして使用可にしている、といった工夫が見られた(図-13)。外国人旅行者向けの避難案内方法としては、駅の非常口をピクトグラムで表示する旨の回答しかなかった。

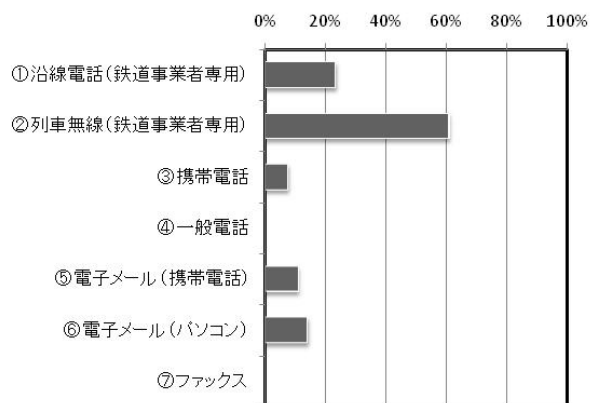


図-20 現場との間で使用する情報伝達網のうち、地震・津波の影響により寸断されないとと思われるもの

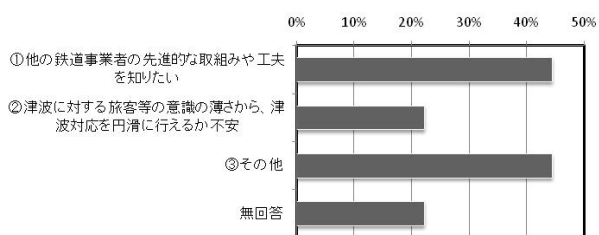


図-22 その他津波対策全般に対する意見、要望等

津波避難訓練に関しては、内容は、駅外への退避又は列車から線路への降車、「避難場所まで行く」を選択する回答も一定数あったが、無回答も多く、また、年間回数については、大手鉄道事業者では年1回以上を回答する割合が多かったが、中小鉄道事業者からの無回答が多かった(図-14、図-15)。

浸水危険区間からの避難場所の状況については、駅及び駅間ともに、付近に避難場所がない、あっても高さ又は広さが不十分であるという危惧が該当するところが相当あることが判明した(図-16)。

この危惧に対しては、自治体に適切な避難場所の指定を要望、付近高架ビル等の所有者に避難先としての使用を直接要望、避難所要時間を短縮できる避難経路の整備を要望、といった改善方策を実施中又は検討中として挙げた回答が一定数あった(図-17)。

(3) 運行上の措置及び旅客の避難支援の両方を行うための津波関係情報の入手と伝達

津波関係情報の入手方法としては、鉄道事業者のうち、大手は気象庁等からの自動受信を確保しているが、中小はテレビ等メディアに相当依存している現状である(図-18)。

また、緊急時の現場との連絡を確実にするために、多くの事業者では情報伝達手段を複数用意している(図-19)。しかし、現場との間で使用する情報伝達網

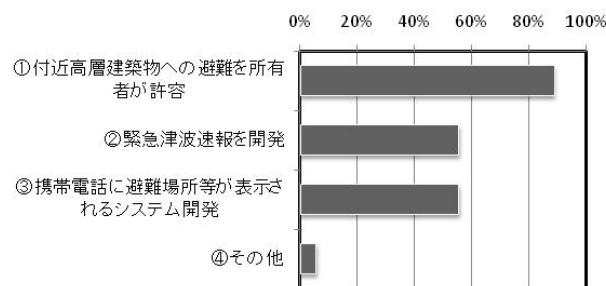


図-21 強震度が発生し、高い津波が数分で到達する場合の有効策

のうち、列車無線を含め、単独でも地震・津波の影響により寸断されないと全ての事業者が確信しているものではなく、地震・津波によって情報伝達網が寸断される可能性が危惧される(図-20)。特に、一般電話のような公共回線を使った通信手段の信頼度は低い。

5. 鉄道における津波対策において今後必要とされる施策と技術

強震度の地震が発生し、高い津波が数分で到達する場合の有効策として選択肢で挙げた事項のうち、「付近の高層建築物へ避難を建築物所有者が許容すること」を9割近くの鉄道事業者が望んでいる。(図-21)。その他津波対策全般に対する意見、要望等としては、「他の鉄道事業者の先進的な取組みや工夫を知りたい」、「津波に対する旅客等の意識の薄さから津波対応を円滑に行えるか不安」、を選択した回答がそれぞれ一定割合あった(図-22)。以上を踏まえ、本章では、前章までの調査分析に基づき、国、地方自治体、鉄道事業者等鉄道防災の各関係主体の役割に着目し、①浸水予測と避難場所整備、②津波予報の仕組み、③津波関係情報の伝達と通信技術、④交通事業者間での工夫の共有、⑤避難の方法周知と外国人旅行者向けの方法、に区分して、鉄道運行における津波対策のために今後必要とされる施策と技術を議論する。

なお、運行の前提となる鉄道施設の配置及び構造については、自治体を名宛人とする「地域防災計画における津波対策強化の手引き」の内容(3.で既述)について、名宛人に鉄道事業者を含めた規範とする必要性の有無について検討の余地がある。ただし、現存施設にそのまま適用するのは、現実的ではない。その際、空港については、2008年に、津波等に対する強度に係る基準が航空法上の設置基準に追加されたが、現存施設等については一定の工事に着手する

場合を除き新規定を適用しない旨の経過措置が施されていることは参考になる。また、鉄道に限定されないが、橋脚等について、漂流物を含めた津波に対する安全性を確保する技術標準を開発する必要がある。

(1) 浸水予測と避難場所等の整備

鉄道事業者は、自治体の作成した津波浸水予測図又は津波ハザードマップを基本にして、浸水危険区間と避難場所等を把握している。このため、浸水予測図については、シミュレーションの前提（震源、津波高さ等）を明確にし、精度を高めて見直すとともに、予測精度の限界も明確にする必要がある。シミュレーションの前提とは異なる地震が発生すれば、実際に到来する津波の高さは想定と一致する保証はないからである。また、特定の津波の高さを前提に作成された場合には、実際に到来する津波の高さがその前提と異なる場合には、そのまま活用することが難しくなる。従って、複数の前提に応じたハザードマップを用意しておくことが望まれている。自治体の境界を跨る路線を運行する鉄道事業者の立場からは、市町村単位ではなく広域のハザードマップの作成への要望があり、ハザードマップの見直し情報を国等が一元的に管理して提供することへの要望もある。浸水予測図については、都道府県の作成に委ねるのではなく、専門能力を持った国の機関が一元的に作成する方法も検討する必要がある。

高さ、広さが十分な避難場所と避難経路の整備が鉄道施設の付近でも進められるとともに、付近の高架ビル等に、緊急避難受入を指示することが望まれている。避難所の指定のための調整に時間を要し避難所の指定が遅れているという事情等により、ハザードマップの作成が遅れている地域がある。

また、地震観測値と津波予想高さに応じて浸水予測の計算とハザードマップ情報の表示を瞬時に行うシステムの開発が待たれる。

(2) 津波予報の仕組み

鉄道事業者は、津波警報が発令されれば（地域によっては津波情報における津波予想高さを考慮し）、津波到達予想時刻に間に合うように、浸水危険区域への列車の進入を抑止する運用にしている。また、気象庁による津波警報が解除されれば、運行を再開する運用が基本パターンとなっている。加えて、津波警報発令前でも強い揺れ又は長時間の揺れを感じた場合にも列車を停止し、避難指示の有無を輸送指令に確認するよう規範化している鉄道事業者がある。このような追加的措置は、安全性の確保の視点

から重要であり、参考になる。しかし、揺れが続いたという感覚に依存することをなるべく避けるためには、津波警報発令前でも避難が必要なことを喚起する速報的な情報の提供サービスを新たに気象庁が開発することが望ましい。

自治体による避難勧告及びその解除も、運行の抑止及び再開の判断に活用されている例もあるが、自治体の避難勧告発令及びその解除については、全国で基準が必ずしも統一されておらず、また、発令基準が策定されていない自治体もある²⁸⁾ことから、運行の再開等の判断の根拠に援用できるかは、吟味が必要と考えられる。なお、同じ情報が発せられている地域でも内湾であれば比較的安全と判断できるかについても具体地形に応じた専門家の吟味が必要と考えられる。

2010年チリ地震の経験に鑑みれば、津波の到達予想時刻及び予想高さに関しては、気象庁津波情報の高度化を行って（付録Ⅱ参照）、地理及び時間の刻みの点でよりきめ細かく正確な即地情報が提供されれば、鉄道事業者としては、列車及び乗務員の手配を含む、運行の抑止及び再開の準備をより効率的に行えると考えられる。その情報提供が公的主体による信頼性の高いサービスであれば、運行の抑止及び再開の判断の拠所としても活用されることもありうる。また、津波警報の解除時刻又は非解除期間（この時間までは警報解除することはないという時間）の見込みが早期にわかるだけでも、運行再開の準備が効率的になる。一方、2011年東北地方太平洋沖地震の経験に鑑みれば、津波予想高さが実際に到達した津波の高さよりも低過ぎた地域がある。すなわち、津波情報の精緻化が求められている。

また、河川については、河川管理者が水位を観測し、洪水予報等をサイトで最短10分間隔で情報提供し、一部はメールで自動配信を行っているが、水圧や漂流物の威力が大きい津波の河川遡上を含め、津波自体の観測と情報提供を開始し、橋梁等における的確な運行規制と安全確認の取組みに活用させることが望ましい。

(3) 津波関係情報の伝達と通信

津波関係情報については、鉄道事業者のうち、大手は気象庁からの自動受信等を他の手段を併用して入手しているが、中小はメディアに依存している傾向がある。このため、中小事業者についても気象庁等からの迅速かつ確実な入手ができる環境整備を国は検討する必要がある。

鉄道事業者内での現場との伝達手段については、列車無線等多重経路が使われているが、単独で、地

震等の影響で寸断されないと確信できる手段は必ずしも無いと鉄道事業者側でも認識されており、地震又は津波でも確実に連絡がとれる通信手段の確立が必要である。これら発災時に使用する通信手段は、次節で触れる標識を含め、地震等にも耐える設置方法等が要求される。列車が浸水危険区間に近づけば、GPSと連動して警戒音が鳴る運転士支援システムや避難所、避難経路を職員の携帯端末等に表示する安価なシステムが開発されれば実際の避難の際に活用できる手段の選択肢の幅が広がる。なお、国土交通省津波対策検討委員会が2005年にまとめた提言²⁹⁾では、緊急的（概ね5年以内）に対応すべき具体的な目標と対策の一つとして、「道路利用者、運行中の列車、船舶等については、携帯電話等といった情報通信機器、情報提供施設の活用等、多様な手段を用いて情報を提供」を掲げている。ただし、例えば、一般の携帯電話利用は、2011年東北地方太平洋沖地震の際は通じにくい経験したため、災害時の通信機能の確保と併せて提言の意味を確認し、深める必要がある。

現在、運行情報を常時インターネットで表示している事業者もあり、携帯電話に運行状況を配信するサービスもある。このような従来型の情報通信の仕組みを活用しつつ、GPS測位により、津波関係情報、現在位置に応じた避難場所、避難方向等を瞬時に旅客等の携帯端末に表示するシステムの開発も望まれる。

(4) 交通事業者間の工夫の共有

鉄道事業者の中には、職員向けに、津波浸水危険区間と避難場所の視覚的地図情報を予め作成しているところがある。備付け、携行、駅務室での掲示、簡易カード化等により、駅務員及び乗務員に行動規範と共に周知することを基本としつつ、列車の運転操作を行う乗務員等には、浸水危険区間の始末端等に当該区間であることを示す標識や避難所の方向を示す蛍光矢印型の標識を設置する対応を行っている例がある。

旅客向けには、避難経路、避難場所の載った地図が浸水危険区域の駅に掲示されている例がある。常時見やすいところに掲示されていなければ迅速な対応が難しいため、目立つ場所に掲示する必要がある。更に、駅間の線路で列車が停車し、避難する場合に備え、列車内でも掲示、備付け等何らかの方法による情報表示が必要である。

列車又は駅からの避難が必要な場合に備えて、車両への避難用梯子とその設置箇所案内を常備している例、乗客用長椅子を取外して避難用スロープとし

て使用できるようにしている例、非常時の自動改札停止又は改札開放、避難経路の設置、関連会社職員を訓練等に組込んだ支援もなされている例がある。避難場所まで職員が同行する運用の例もある。これらの工夫について、公共交通事業者間で共有していくことが重要である。

運行再開前の安全点検については、目視で浸水の有無等線路の状況等を確認点検し、必要な場合は試験列車を走行させて安全確認する例が見られる。一方、浸水した盛土等や津波を受けた橋脚の安全確認の方法において技術面で開発の余地がないか検討することが望ましい。

中小鉄道事業者については、アンケートのうち、津波避難訓練の項目について無回答が多く、津波避難訓練が通常年1回以上実施されているのか確認できなかったが、仮に実施されていない場合には、大手鉄道事業者の方法も参考にしつつ、津波避難訓練を確実に実施しておくことが必要である。

(5) 避難の方法周知と外国人旅客向け案内方法

鉄道事業者では、浸水危険区間に列車がある場合で、一定強度の地震が発生するとき又は津波到達予想時刻まで当該区間から列車を離脱させる時間的余裕が無いときは、その場で列車を停車させ、乗客を避難場所又は高台へ避難誘導させることが基本パターンの一つとなっている。しかし、旅客は、地震と比較して津波について馴染みがない。実際、駅で避難案内に従わなかった旅客の事例がある。また、運行上、山地の駅で停車するなど、津波対策のために旅客に不便を強いることもありうる。従って、津波警報が出された場合等は、当該区間への進入を避けるために予想外の駅で運行停止することや、地震時や猶予時間がない場合には駅間の線路で列車が停車し、乗務員案内に従って避難することがありうる。3.で触れたとおり、国土交通省防災業務計画は、東南海・南海地震対策に関して、交通機関等で被災した場合の対処要領を一般国民に配布する等に努める旨定めているが、国はこのような周知を実行する必要がある。

また、外国人旅客に限定すれば、その特性に配慮した避難誘導の方法は確立しておらず、国が中心になって検討する必要がある。外国人観光旅客の訪日促進の観点でも、その方法を開発して、円滑に案内できることを広報して、自然災害の多い我が国での旅行への不安を先取りして払拭することが望ましい。

6. おわりに

2010年チリ地震津波では、地震動への対応が切り離され、津波のみの対応が迫られた。アンケート対象とした鉄道事業者のうちの多くは、津波被害はなかったが、マニュアル等により事前に用意していた津波対策を着実に実施したことが示唆される。一方、2011年東北地方太平洋沖地震津波では、これら多くの鉄道事業者は、結果として被害は無かったものの、同様に津波対策を着実に実施したことが示唆されるが、アンケート対象としていない地域では、甚大な被害を受けた駅・列車があり、東海・東南海・南海地震が引起こす津波に備えるためにも、本稿で議論した国・自治体を含めた取組と技術開発での再検討が必要であることがわかった。例えば、気象庁では「東北地方太平洋沖地震による津波を踏まえた津波警報の改善の方向性について」最終とりまとめ案³⁰⁾を9月7日に発表した³⁰⁾が、本稿で提起した課題には必ずしも対応していない。

連動性が指摘されているこの巨大地震は、安全と社会経済にとって脅威であり（付録Ⅱ参照）、極低頻度であることを理由に施策の見直しと技術開発を怠るべきではない。ただし、想定された津波高さと実際の津波高さが大きく異なる可能性があるなど技術開発に内在する限界も同時に認識して、対策を組み合わせるべきである。

鉄道事業者は大小さまざまな規模があり、講じることのできる対策の選択肢の幅は事業者によって異なりうるが、極低頻度災害である津波に対する対策を効率的に進めるためには、他事業者が開発した技術の紹介を含め、事業者間の情報共有を図ることが必要である。本調査研究を論文として公表することが、施策の見直しと必要な技術開発を促すとともに、定常的に情報共有を行う仕組みに繋がることを期待する。

また、本調査研究の成果は、他の公共交通機関における津波対策にも参考になると考えられる。

謝辞：制度についての照会に対応頂いた関係省庁、ヒアリングに御協力頂いた自治体の御担当者並びにヒアリング及びアンケートに御協力頂いた鉄道事業者、また、問題の所在について示唆を頂いた政策研究大学院森地茂特別教授（前運輸政策研究所長）、調査研究の位置づけについて示唆を頂いた杉山武彦運輸政策研究所長及び調査項目について示唆を頂いた運輸政策研究所伊東誠企画室長に、この場を借りて御礼申し上げる。運輸政策研究所のこの活動については、日本財団より財政支援を得ている。

付録Ⅰ 津波情報の高度化

発災後の対応をより効果的なものとするためには、津波関係情報の高度化は必須である。鉄道事業者を念頭に、具体的な高度化の項目は次のように整理される。

1. 津波警報等の解除は運行再開の判断の基である。どの時刻で解除されるか、もしくは、どの時刻までは解除されないか、といった解除情報の発信が必要である。

2. 津波到来前により高い精度とより細かい時間・空間分解能で浸水域がわかることは、円滑な旅客避難を進めるためには重要である。

なお、事前の対応の基盤は津波ハザードマップであり、駅職員や車両乗務員にはなじみやすい。発災後の津波情報が津波ハザードマップに表示されるようになると、情報の理解が格段に容易になると思われる。津波情報の高度化には、海域での地震観測を充実させることと、津波伝播・浸水過程の数値シミュレーションを使った予測をすることが必要である。この分野は我が国の独自技術が蓄積されており、観測とシミュレーションを組合せた津波情報の高度化システムは、津波防災の基盤技術となる。大津波が発生した場合、駅・車両からの避難が必須となる。津波情報を加工した緊急津波避難情報を鉄道利用者に発信することで、避難を自主的かつ円滑に進めることが考えられる。緊急津波避難情報は緊急地震速報に倣ったもので、津波到達前に津波発生・津波高さ・浸水域等を携帯電話等を介して利用者に知らせる。駅・車両の最寄りの避難所の位置や経路を知らせることも望ましい。

付録Ⅱ 東海・東南海・南海地震の対応

多くの鉄道事業者は、東海・東南海・南海地震の対応を進めてきたものの、2011年東北地方太平洋沖地震津波の被害を見て、浸水予測を含む対策を楽観視していないことが、アンケート調査の結果から示唆された。想定以上の大津波が広域を襲う場合、人的・物的被害が甚大となることが自明であるからである。

東海・東南海・南海地震では注意が必要である。例えば、東海・東南海地震が発生したものの南海地震が残された場合、津波を伴うような南海地震がいつ発生するかわからない状況となる。この状況では、長期にわたり続発の津波情報は出されないものの津波警報が解除されないこととなり、したがって、

鉄道運行も同じ期間に停止せざるを得ない可能性が考えられる。この可能性を考慮した、何らかの対策を検討することは必要であろう。例えば、高度化された津波情報（付録Ⅰ）を開発し、津波警報の発令中でも安全性を損なうことなく運行を再開する、ということとは具体的な対策の候補となりうる。

参考文献

- 1) 首藤伸夫：津波工学研究報告第14号, pp1-31, 東北大学工学部災害制御研究センター, 1997
- 2) 岩手県：岩手県昭和震災誌, 1934
- 3) 中央気象台：昭和19年12月7日東南海大地震調査概報, 1945
- 4) 中央気象台：昭和21年12月21日南海道大地震調査概報, 1947
- 5) 高知県：南海大震災誌, 1949
- 6) 気象庁：気象庁技術報告第8号, 1961
- 7) 気象庁：気象庁技術報告第106号, 1984
- 8) 高知県須崎消防団：自然災害の記録, 1985
- 9) 岡田義光：最新 日本の地震地図, 東京書籍, 2006
- 10) http://www.pdc.org/iweb/tsunami_history.jsp
- 11) 海洋開発研究機構等：スマトラ島沖大地震及びインド洋津波被害に関する緊急調査研究, 科学技術振興調整費による調査, 2005
- 12) 佐竹健治：私信, 2010
- 13) 国土交通省：チリ地震による津波被害状況等について（第11報）（平成22年3月16日）, 2010
- 14) 気象庁津波予測技術に関する勉強会：第6回「津波予測技術に関する勉強会」資料1, 2010
- 15) 気象庁：長官記者会見要旨（平成22年3月18日）, 2010
- 16) 国土交通省：平成23年東北地方太平洋沖・中越地震（第13報, 第18報）, 2011
- 17) 文部省震災予防評議会：津波予防に関する注意書, 1933
- 18) 内務大臣官房都市計画課：三陸津波に因る被害都町村の復興計画報告書, 1934
- 19) 国土庁, 農林水産省構造改善局, 農林水産省水産庁, 運輸省, 気象庁, 建設省, 消防庁：地域防災計画における津波対策強化の手引き, 1998
- 20) 中央防災会議：東南海・南海地震防災対策推進基本計画, 2004
- 21) 中央防災会議：東海地震の地震防災対策強化地域に係る地震防災基本計画, 2011
- 22) 総務省消防庁：東南海・南海地震防災対策計画及び東南海・南海地震防災規程の作成の手引きについて（2004年3月関係都府県防災主管部長宛消防庁通知）, 2004
- 23) 総務省消防庁：東南海・南海地震に係る地震防災対策計画の作成状況調査・東海地震に係る地震防災応急計画の作成状況調査, 2004
- 24) 国土庁, 気象庁, 消防庁：津波災害予測マニュアル, 1998
- 25) 津波対策推進マニュアル検討委員会：津波対策推進マニュアル検討報告書, 2002
- 26) 財団法人国土技術研究センター：津波の河川遡上解析手法を活用した防災対策検討の進め方, 2009
- 27) 陸前高田市：岩手県津波浸水予測図, 2011
- 28) 総務省消防庁：避難勧告等に係る具体的な発令基準の策定状況調査結果, 2011
- 29) 国土交通省津波対策検討委員会：津波対策検討委員会提言, 2005
- 30) 気象庁：東北地方太平洋沖地震による津波被害を踏まえた津波警報の改善の方向性について, 2011

(2011. 10. 3 受付)

RESEARCH ON THE MEASURES IN PASSENGER RAILWAY TRANSPORT
AGAINST TSUNAMI - TAKING INTO ACCOUNT OF THE EXPERIENCES OF
TSUNAMI CAUSED BY THE 2010 CHILE EARTHQUAKE AS WELL AS THAT
CAUSED BY THE 2011 TOHOKU-PACIFIC OCEAN EARTHQUAKE -

Koichi FUJISAKI, Toshio KAJITANI, Shigeru YOKOTA, Yasutomo MORITA,
Tadahiro OKUYAMA, Toshiaki MUROI and Muneo HORI

It is indispensable for passenger railways to prepare countermeasures against tsunami from the standpoint of both ensuring safety and maintaining public transport service that underpins the social life. In order to grasp the validity and limitation of the current measures, firstly, the examples of damages and responses in the field of railways in the case of some historical tsunamis and the tsunami caused by the 2010 Chile Earthquake as well as that caused by the 2011 Tohoku-Pacific Ocean Earthquake were surveyed. Secondly, elements of the complicated relevant legislations were put in order. Based on those steps, the details in the comprehensive measures against tsunami in the railways with the surrounding measures by the government and the municipalities, including the practices in the latest two tsunamis, were further analyzed by means of hearing as well as questionnaire survey conducted among many railway operators. The result indicated that there were some points to be improved in projection of inundation, passenger evacuation, acquiring tsunami information as well as communication and judgment in halting or restarting the operation of trains. Lastly, the desirable policies and technologies to be developed in the future in order to prepare for the possible East-Sea-Earthquake or Southeast-Sea & South-Sea Earthquake were extracted.