

## リアルタイム津波予測の活用に関する研究



真船 奨\*



外狩 麻子\*



友利 方彦\*



鈴木 博人\*

東北地方太平洋沖地震では、想定を超える大きな津波が発生した。この津波により、東日本旅客鉄道株式会社では鉄道構造物や車両が被害を受けたものの、列車内や駅において津波被害を受けた旅客はいなかった。従来の津波対策は自治体が作成する津波ハザードマップに基づいて行われてきたが、最近では津波による浸水範囲を地震が発生してから沿岸に津波が到達するまでに得られる情報を用いて予測する方法の研究が進んでいる。そこで、この方法の鉄道の津波対策としての利用可能性について評価した。

●キーワード：津波、浸水範囲、津波ハザードマップ、リアルタイム津波予測

### 1. はじめに

津波は、発生頻度は低いものの、一度発生すると大きな被害を引き起こすことがある。2011年3月11日の東北地方太平洋沖地震により発生した津波は、従来の想定を大きく上回り、東北地方の沿岸において甚大な被害が発生した。東日本旅客鉄道株式会社（以降、JR東日本とする）では、鉄道構造物や車両が津波被害を受けたものの、列車内や駅で津波被害を受けた旅客はいなかった。

JR東日本では、津波対策として、自治体が作成したハザードマップにより津波要注意区間を定めた津波対応マニュアルを作成してきた。しかし、津波ハザードマップは想定した地震を基に津波の浸水範囲を予測するため、想定とは異なる地震が発生した場合には実際の津波浸水範囲とハザードマップの津波浸水想定範囲の間に乖離が生じることになる。

一方、最近では、地震が発生してから沿岸に津波が到達するまでに得られる情報を用いて、津波の浸水範囲を予測するリアルタイム津波予測<sup>1)</sup>に関する研究が進んでいる。リアルタイム津波予測が地震の発生後に迅速かつ正確に津波浸水範囲を予測できるのであれば、鉄道の津波対策として利用価値が高いと考えられる。そこで、本論文ではリアルタイム津波予測による津波浸水範囲の予測方法とその精度の評価、および鉄道で活用するにあたっての今後の展望について紹介する。

波による橋りょう下部工への影響を調べるために、橋桁が流出した橋脚153基について被災後の状況を調査した。その結果、被害が発生したものは、折損と傾斜が37基、転倒が4基であった。

盛土の被害状況の例を図2 (b) に示す。藤原ら<sup>3)</sup> は津波による甚大な被害が確認された八戸線、山田線、大船渡線、

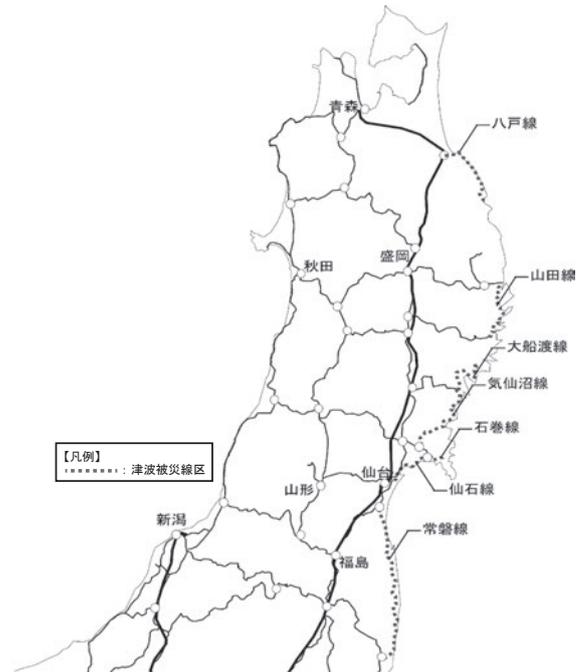


図1 津波被災線区

### 2. 東北地方太平洋沖地震による鉄道の被害

JR東日本では、東北地方太平洋沖地震による津波によって、東北地方の太平洋沿岸に位置する7線区（八戸線、山田線、大船渡線、気仙沼線、石巻線、仙石線、常磐線）の鉄道構造物が大きな被害を受けた。図1に津波被災線区を、表1に津波で被災した7線区の延長と主な被害<sup>2)</sup>を示す。

橋りょうの被害状況の例を図2 (a) に示す。野澤ら<sup>2)</sup> は、津

表1 津波被災線区の被災数量

線名	区間	延長	駅舎		線路	合計
			流失駅数	その他被害駅数		
八戸線	階上-久慈	約37km	0駅	2駅	約20カ所	約20カ所
山田線	宮古-釜石	約55km	4駅	4駅	約70カ所	約80カ所
大船渡線	気仙沼-盛	約44km	6駅	1駅	約60カ所	約70カ所
気仙沼線	前谷地 <sup>※</sup> -気仙沼 <sup>※</sup>	約73km	9駅	3駅	約240カ所	約250カ所
石巻線	前谷地-女川	約32km	1駅	3駅	約70カ所	約70カ所
仙石線	東塩釜-石巻 <sup>※</sup>	約34km	0駅	8駅	約380カ所	約390カ所
常磐線	いわき-亶理 <sup>※※</sup>	約50km	3駅	4駅	約840カ所	約850カ所
合計		約325km	23駅	25駅	約1,680カ所	約1,730カ所

※駅構内除く  
※※木戸・小高間の駅舎8駅（富岡駅を除く）、線路約40km除く。

気仙沼線、仙石線において、津波が盛土を越流したと推定された箇所に対して現地調査を行った。その結果、津波被害のあった盛土は合計40箇所であった。

駅舎の被害状況の例を図2(c)に示す。津波により山田線、大船渡線、気仙沼線、石巻線、常磐線にて合計23駅が流出した<sup>4)</sup>。駅舎によっては津波後に発生した火災によって被害を受けたものがあった。

また、地震が発生した際に、駅間または駅に停車中の27本の列車において乗客の避難誘導を行った。その後、5本の列車が津波により脱線し流されたが、乗務員、駅社員、指令員が連携するとともに、乗客および地域住民の協力により避難誘導したため、列車内や駅で津波被害を受けた旅客はいなかった<sup>5)</sup>。



(a) 橋りょう被害の例



(b) 盛土被害の例



(c) 駅舎被害の例

図2 東北地方太平洋沖地震による鉄道の津波被害

## 3. 津波の浸水範囲の予測

津波による浸水範囲を予測する方法には、予め想定した地震に基づいて津波による浸水範囲を予測して津波ハザードマップを作成しておく方法と、地震が発生してから沿岸に津波が到達するまでに得られる情報を用いて津波による浸水範囲を予測するリアルタイム津波予測がある。

### 3.1 津波ハザードマップ

従来、自治体が作成する津波ハザードマップは、「津波・高潮ハザードマップマニュアル(2004年4月)<sup>6)</sup>」に基づいて作成されていた。このマニュアルでは、「当該地域で過去数百年間に経験してきた地震を基本として、過去に繰り返し発生し、近い将来に発生する可能性が高く切迫性の高いと考えられる地震」を想定地震とし、この地震に基づいて津波の浸水範囲を予測することで津波ハザードマップを作成するとした。

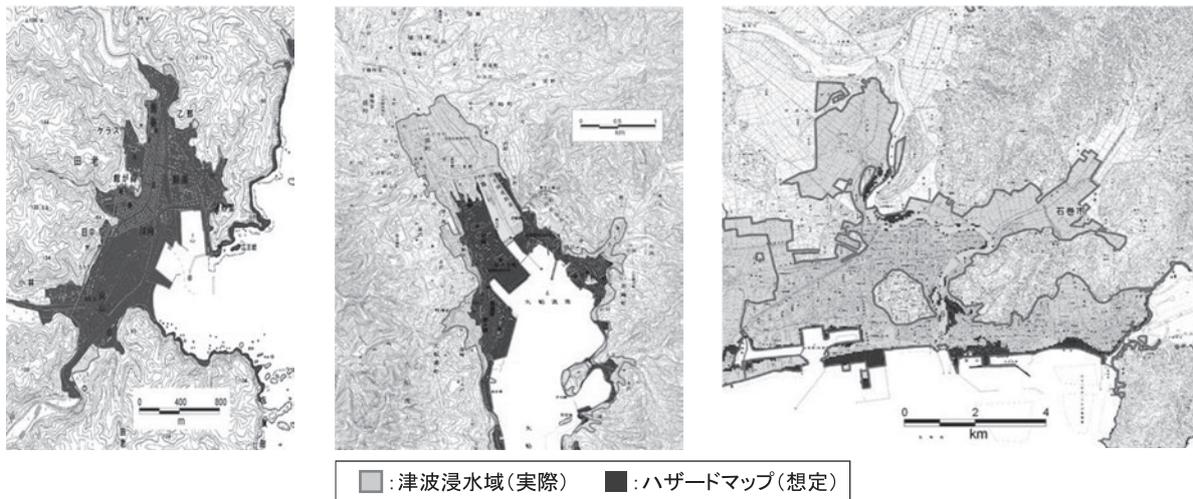
しかし、想定とは異なる地震が発生した場合には、実際の津波浸水範囲とハザードマップの津波浸水想定範囲の間に乖離が生じることになる。図3に、東北地方太平洋沖地震によって発生した津波浸水範囲とハザードマップの津波浸水想定範囲を比較した例を示す<sup>7)</sup>。東北地方太平洋沖地震による津波では、宮古市のように浸水範囲がハザードマップで想定していた浸水範囲とほぼ一致する地域もあったが、石巻市や大船渡市のように多くの地域においてハザードマップで想定していた浸水範囲を大きく上回った。これは、東北地方太平洋沖地震が津波・高潮ハザードマップマニュアルで想定する過去数百年間に経験してきた地震を上回るマグニチュードMw9.0の巨大地震であったためである<sup>8)</sup>。

そこで、2011年9月に内閣府中央防災会議において「今後、地震・津波の想定を行うにあたっては、あらゆる可能性を考慮した最大クラスの巨大な地震・津波を検討していくべきである」とされた<sup>9)</sup>ことから、現在各自治体において最大クラスの巨大地震を想定した津波ハザードマップへの更新が進められている。

なお、JR東日本の津波対応マニュアルにおいては、自治体が作成した津波ハザードマップを基に津波要注意区間等が定められている。そのため、現在自治体において更新されたハザードマップを基に、各支社において津波要注意区間等の見直しを行っている。

### 3.2 リアルタイム津波予測

地震が発生してから沿岸に津波の第一波または最大波が到達するまでに得られる情報を用いて、津波到達前に津波による浸水範囲を予測するのがリアルタイム津波予測である<sup>1)</sup>。日本近海で発生した地震による津波が沿岸に到達するまでの時間は、僅か数分～数10分である。そのため、地震が発生



(a) 宮古市

(b) 大船渡市

(c) 石巻市

(出典)・東北地方太平洋沖地震浸水範囲：国土地理院資料より作図・ハザードマップ：宮古市「宮古市総合防災マップ」大船渡市「いざという時に備えて-命を守る津波避難マップ-」石巻市「石巻市津波ハザードマップ」

図3 東北地方太平洋沖地震による津波浸水範囲と津波ハザードマップの比較

してから津波による浸水範囲の予測計算を開始したのでは間に合わない場合があるし、間に合ったとしても計算時間だけ津波浸水範囲の予測情報の発信が遅れることになる。そこで、リアルタイム津波予測では、事前に予め考える様々な地震で発生する津波の浸水範囲を計算した結果をデータベース化し、地震が発生するとデータベースを検索することで津波浸水範囲を予測する方法が採られている。

日本の気象庁の津波警報システムは、事前に予め考える様々な地震で発生する津波の高さをデータベースとして登録しておくことにより、地震発生後の僅か数分で、日本全国を66に分けた予報区ごとの津波の有無だけでなく、具体的な津波の高さと検潮所がある地域での津波到達時間が予測される世界最先端の警報システムとなっている<sup>9)</sup>。この考え方を発展させて、津波到達前に津波による浸水範囲を予測するのが阿部・今村<sup>1)</sup>によるリアルタイム津波予測である。

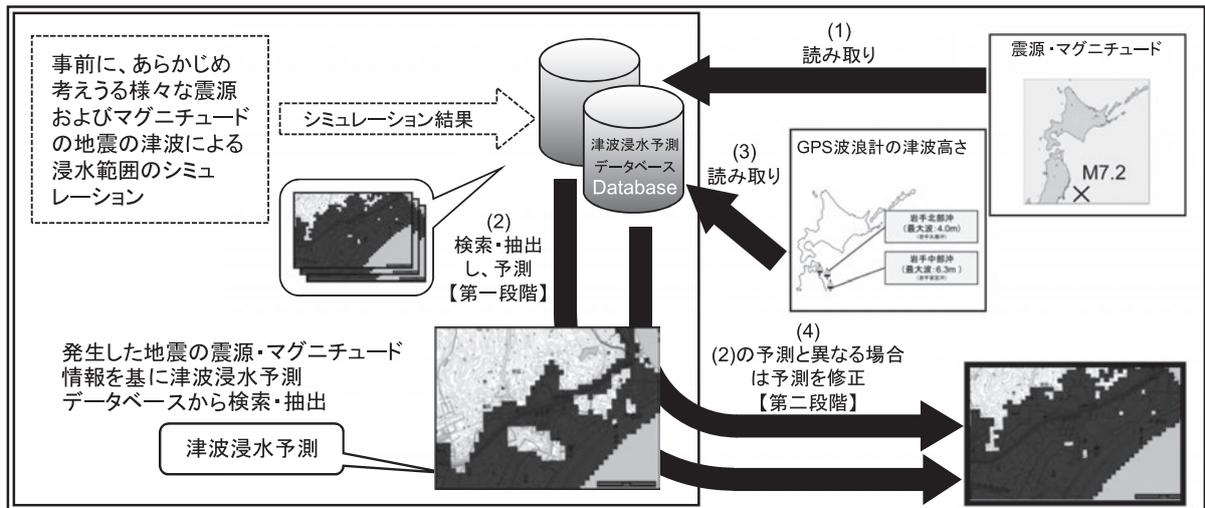
地震が発生してから沿岸に津波が到達する前に得られる情報は、地震の震源情報（位置、深さ、マグニチュード）と沖合での津波観測情報である。リアルタイム津波予測は、これらの震源情報のうち地震の震源位置とマグニチュード、および沖合での津波観測情報を用いて、津波による浸水範囲を予測するものである。

リアルタイム津波予測では、事前に予め考える様々な地震の震源位置とマグニチュード、およびその地震で発生する津波の沖合での津波高さや浸水範囲を計算した結果を津波浸水予測データベースとしてデータベース化する。地震が発生すると、地震発生直後に得られる震源位置とマグニチュード、さらに沖合の波浪計で観測された津波高さから、これらの情報と一致する地震を津波浸水予測データベースから検索することで津波浸水範囲を予測する。図4および以下にリアルタイム津波予測のフローを示す。

- (1) 地震が発生すると、気象庁の緊急地震速報より震源位置・マグニチュードを読み取る。
- (2) 第一段階として、津波浸水予測データベースから(1)の地震情報に近い地震を検索・抽出することで、津波浸水範囲を予測する。
- (3) 沖合における波浪計で観測された津波高さを読み取る。
- (4) 第二段階として、津波浸水予測データベースから地震の震源位置と(3)の沖合における津波高さの観測情報に近い地震を検索・抽出し、(2)で予測した津波浸水範囲と異なる場合は津波浸水範囲を修正する。

### 3.3 津波浸水予測シミュレーション

ここでは、津波ハザードマップやリアルタイム津波予測で津波浸水範囲を求める津波伝播の数値解析方法について、本研究で用いた津波浸水予測シミュレーションの方法を概説する。図5に津波浸水予測シミュレーションのイメージを示す。津波浸水予測シミュレーションでは、地震による津波の浸水範囲は、地震による海底の隆起・沈降によって生じた初期海水位を初期条件として、津波の伝播を長波理論で記述することで求めることができる<sup>10)</sup>。初期海水位は、震源のマグニチュードとの相似則により求められる断層のすべり量、大きさ等のパラメータを利用してMansinha・Smylieの方法<sup>11)</sup>により海底地盤の鉛直変位分布を求めた結果を与えた。外洋の水深50m以上の深海部における津波の伝播は海底摩擦や非線形を無視した線形長波理論で記述し、近海の水深50m以下の浅海部や陸上の遡上における津波の伝播は海底摩擦や非線形を取り入れた非線形長波理論で記述した。また、シミュレーションに用いるメッシュの大きさは、津波の波長が、水深が小さくなるにつれて短くなるため、これに合わせて順次細かい計算メッシュを用いた。



(出典)この背景地図等データは、国土地理院の電子国土 Web システムから配信されたものである。

図4 リアルタイム津波予測のフロー

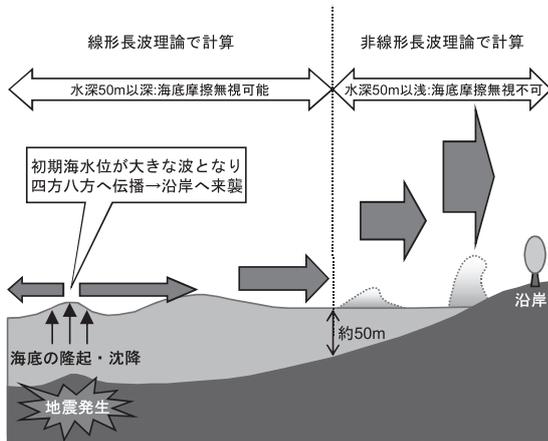


図5 津波浸水予測シミュレーションのイメージ

表2 緊急地震速報の発表状況

発表時刻	震源要素			
	北緯	東経	深さ	マグニチュード
1 14時46分45.6秒	38.2	142.7	10km	4.3
2 14時46分46.7秒	38.2	142.7	10km	5.9
3 14時46分47.7秒	38.2	142.7	10km	6.8
4 14時46分48.8秒	38.2	142.7	10km	7.2
5 14時46分49.8秒	38.2	142.7	10km	6.3
6 14時46分50.9秒	38.2	142.7	10km	6.6
7 14時46分51.2秒	38.2	142.7	10km	6.6
8 14時46分56.1秒	38.1	142.9	10km	7.2
9 14時47分02.4秒	38.1	142.9	10km	7.6
10 14時47分10.2秒	38.1	142.9	10km	7.7
11 14時47分25.2秒	38.1	142.9	10km	7.7
12 14時47分45.3秒	38.1	142.9	10km	7.9
13 14時48分05.2秒	38.1	142.9	10km	8
14 14時48分25.2秒	38.1	142.9	10km	8.1
15 14時48分37.0秒	38.1	142.9	10km	8.1

## 4. リアルタイム津波予測の精度と課題

JR東日本では、前述のように自治体が作成した津波ハザードマップを基に、津波対策を行っている。しかし、津波ハザードマップは想定した地震を基に津波の浸水範囲を予測するため、想定とは異なる地震が発生した場合には実際の津波浸水範囲とハザードマップの津波浸水想定範囲の間に乖離が生じることになる。そのため、リアルタイム津波予測が地震の発生後に迅速かつ正確に津波浸水範囲を予測できるのであれば、鉄道の津波対策として利用価値が高いと考えられる。そこで、リアルタイム津波予測の鉄道への活用の可能性を評価するために、浸水範囲の予測精度と予測情報の発信時間について、東北地方太平洋沖地震による津波を例に検証した。

東北地方太平洋沖地震は、2011年3月11日14時46分18.1秒に三陸沖(牡鹿半島の東南東約130km付近)の北緯38.10度、東経142.86度、深さ24kmを震源とするモーメントマグニチュードMw9.0の巨大地震である<sup>12)</sup>。また、津波の最大波が到達した時刻は、岩手県の大船渡が地震発生から約32分後の15時18分、釜石が約35分後の15時21分、宮古と

宮城県石巻が約40分後の15時26分<sup>12)</sup>、宮城県野蒜付近が約45分後の15時30分頃<sup>13)</sup>である。

### 4.1 第一段階の予測精度

リアルタイム津波予測に地震の震源位置とマグニチュードのみを用いた第一段階における予測精度を検証した。地震発生後に気象庁から発表される地震情報は、緊急地震速報、速報値、暫定値、確定値の4種類である。緊急地震速報と速報値は地震発生直後に得られる情報であるが、暫定値は数時間後、確定値は数ヶ月後の発表にもなることがある。そのため、リアルタイム津波予測に利用できるのは、緊急地震速報と速報値である。東北地方太平洋沖地震では、緊急地震速報が表2のように第15報まで発表されており<sup>14)</sup>、表2のように時間の経過とともにマグニチュードが大きくなる。緊急地震速報では、地震発生の27.5秒後(釜石で地震波が検知された5.4秒後)に出された第1報では気象庁マグニチュードM<sub>j</sub>4.3、127.1秒後に出された第14報では気象庁マグニチュードM<sub>j</sub>8.1と推定された。また、第8報以降は震源の位置が確

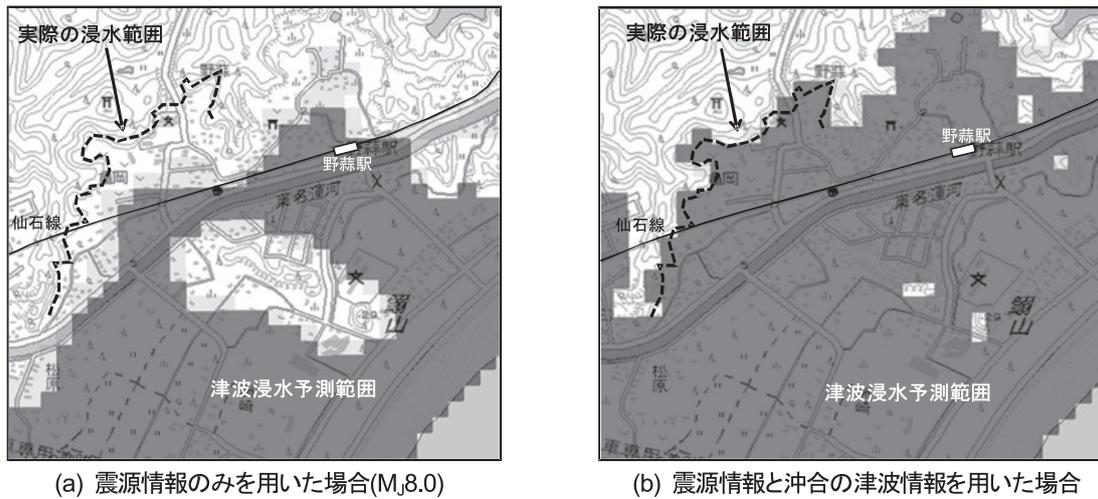


図6 東北地方太平洋沖地震におけるリアルタイム津波予測による仙石線野蒜駅周辺の津波浸水範囲の出力結果

定値と一致する。なお、地震発生の約3分後に出された速報値では気象庁マグニチュードMj7.9と推定された。図6 (a)は、緊急地震速報の第13報の震源位置とマグニチュードを用いて、仙石線野蒜駅周辺の津波浸水範囲を予測した結果を示したものである。これから、野蒜駅周辺では津波浸水予測が実際の浸水範囲を下回ることがわかる。

このように、東北地方太平洋沖地震の津波の例では、緊急地震速報の震源位置とマグニチュードを用いたリアルタイム津波予測は、地震発生から約2分後に発表された震源情報を用いて津波浸水範囲を予測することができる。しかし、予測された浸水範囲は実際の浸水範囲を下回る結果となった。よって、緊急地震速報の震源情報のみを用いたリアルタイム津波予測は、リアルタイム性は高いが、浸水範囲の予測精度に問題があることがわかる。

#### 4.2 第二段階の予測精度

リアルタイム津波予測に地震の震源位置と沖合での津波高さの観測情報を用いた第二段階における予測精度を検証した。沖合での津波観測値には、国土交通省港湾局が沖合10~20kmの位置に設置したGPS波浪計<sup>15)</sup>のデータが利用可能である。東北地方太平洋沖地震において、GPS波浪計で最大の高さの津波が最も早く観測されたのは釜石沖で、地震発生の約25分後の15時11分<sup>12)</sup>である。図6 (b)は、緊急地震速報の震源位置と釜石沖の津波観測情報から、仙石線野蒜駅周辺の津波浸水範囲を予測した結果を示したものである。このことから、野蒜駅周辺では津波浸水予測が実際の浸水範囲と良く一致することがわかる。

なお、阿部・今村<sup>16)</sup>が東北地方太平洋沖地震の震源情報とGPS波浪計のデータを用いて、本研究と同様の方法で宮城県仙台市および石巻市の津波浸水予測を行った結果によると、GPS波浪計の津波高さ観測情報を反映することで、予測精度を向上できるとしている。

このように、東北地方太平洋沖地震の津波の例では、緊急地震速報の震源位置と沖合の波浪計で観測された津波高さを用いたリアルタイム津波予測は、予測された浸水範囲は実際の浸水範囲と良く一致する。しかし、沖合で最大の高さの津波が最も早く観測されたのは地震発生の約25分後で、それは大船渡に津波の最大波が到達する約7分前であった。よって、緊急地震速報の震源情報と沖合の波浪計の津波観測情報を用いたリアルタイム津波予測は、浸水範囲の予測精度が高いが、リアルタイム性に劣ることがわかった。

### 5. リアルタイム津波予測の今後の展望

鉄道では、列車に乗車中の乗客を避難させるためには、車両から降車して避難誘導する必要がある。日本近海で発生した地震による津波が沿岸に到達するまでの時間は、僅か数分~数十分であるため、地震発生後に可能な限り早く避難の要否を判断する必要がある。そのため、リアルタイム津波予測を鉄道で活用するためには、地震発生後に可能な限り早く、かつ正確に津波浸水範囲を予測する必要がある。本章では、4章で述べた課題を解決するための展望について述べる。

#### 5.1 震源情報の精度向上

東北地方太平洋沖地震では、緊急地震速報の気象庁マグニチュードの最大はMj8.1、速報値はMj7.9と、確定値であるモーメントマグニチュードMw9.0に比べて小さく推定された。そのため、リアルタイム津波予測で予測される津波浸水範囲が実際の浸水範囲を下回る結果となった。気象庁マグニチュードは、地震計で記録した変位データの最大振幅から算出するため、地震発生から数分で計算可能という点で速報性に優れている一方で、一般にマグニチュードM8を大きく超えるような地震についてはマグニチュードが過小評価となるこ

とが知られている(マグニチュードの飽和)<sup>12)</sup>。

本論文におけるリアルタイム津波予測の精度検証は、東北地方太平洋沖地震における仙石線野蒜駅付近の例のみである。そのため、他の地域において同様の検証を行うことで、浸水範囲の予測誤差の統計的な評価を行いたいと考えている。さらに、気象庁の緊急地震速報の震源情報の精度を検証した上で、緊急地震速報の震源情報の誤差が予測される浸水範囲に与える影響の度合いを評価したいと考えている。また、今後、緊急地震速報の震源情報の予測精度が向上すれば、震源情報からのリアルタイム津波予測で予測される浸水範囲の精度が向上すると考えられる。

## 5.2 沖合での津波観測の拡大

リアルタイム津波予測は、沖合で観測された津波観測情報を用いることで、津波浸水範囲をより正確に予測することができ、JR東日本のエリアには、国土交通省港湾局が沖合10~20kmにGPS波浪計を10基設置しているが、東北地方太平洋沖地震において、GPS波浪計で最大の高さの津波が最も早く観測されたのは釜石沖で、地震発生の25分後の15時11分であった。

一方、現在、JR東日本のエリアでは、(独)防災科学技術研究所が関東から東北地方の日本海溝・千島海溝南部に沿ってケーブル式の海底地震計・津波計を高密度に配備する事業を進めている<sup>17)</sup>。この事業では、海底地震計・津波計を沿岸部から沖合数100kmの日本海溝の海溝軸外側にまで整備する予定となっている。これにより、国土交通省港湾局のGPS波浪計よりも震源に近い位置で津波をリアルタイムで観測できるようになる。そのため、この情報を用いることで、リアルタイム津波予測で津波浸水範囲を地震発生後に速やかに精度高く予測し、配信できるようになる可能性がある。また、海底地震計で海域の地震をより震源に近い位置で観測できることから、緊急地震速報の精度向上にも貢献すると考えられる。

## 6. おわりに

リアルタイム津波予測は、リアルタイム性の高い震源情報のみによる津波浸水予測では浸水範囲の予測精度が低く、沖合の津波情報を取り入れると津波浸水範囲の予測精度は高くなるがリアルタイム性が低くなる。そのため、現時点では鉄道で利用するのは難しいと考えられる。しかし、将来海底津波計が整備されて、海底津波計の津波情報を取り入れられれば津波浸水範囲を地震発生後に速やかに精度高く予測し、配信できる可能性がある。今後も、関係機関の動向をみながら、リアルタイム津波予測に最新の観測システムの情報を取り入れることで、この方法を将来的には鉄道の安全に活用したいと考えている。

## 謝辞

本研究では東北大学今村教授、常葉大学阿部准教授の多大なご協力を頂戴しました。この場を借りて厚く御礼申し上げます。

## 参考文献

- 1) 阿部郁男・今村文彦：津波浸水予測データベースによるリアルタイム津波浸水予測の精度と評価，土木学会論文集B2(海岸工学)，Vol.B2-66，pp.261-265，2010
- 2) 野澤伸一郎・青木照幸：鉄道における被害と復旧，基礎工，Vol.40，No.4，pp.33-38，2012
- 3) 藤原寅士良・白崎広和・青木貢・奥山昌樹・増井洋介：東北地方太平洋沖地震の津波による浸水盛土の被害分析，STRUCTURAL ENGINEERING DATA，No.39，pp.12-21，2012
- 4) 東日本旅客鉄道株式会社 構造技術センター：特集「東北地方太平洋沖地震と鉄道構造物」，STRUCTURAL ENGINEERING DATA，No.37，pp.198-271，2011
- 5) 東日本旅客鉄道株式会社：安全報告書2013，<http://www.jreast.co.jp/safe/report.html>
- 6) 内閣府・農林水産省・国土交通省：津波・高潮ハザードマップマニュアル.129pp，2004
- 7) 中央防災会議：東北地方太平洋沖地震を教訓とした地震・津波対策に関する専門調査会 報告 参考図表集，<http://www.bousai.go.jp/kaigirep/chousakai/tohokukyokun/pdf/sankou.pdf>，2011
- 8) 中央防災会議：東北地方太平洋沖地震を教訓とした地震・津波対策に関する専門調査会 報告，<http://www.bousai.go.jp/jishin/chubou/higashinohon/houkoku.pdf>，2011
- 9) 館畑秀衛：津波数値計算技術の津波予報への応用，月刊海洋号外総特集「津波研究の最前線」，No.15，pp.23-30，1998
- 10) 首藤伸夫・今村文彦・越村俊一・佐竹健治・松富英夫：津波の事典，350pp，朝倉書店，2007
- 11) Mansinha, L. and Smylie, D. E.; The displacement fields of inclined faults, Bulletin of the Seismological Society of America, Vol.61, No. 5, pp.1433-1440, 1971
- 12) 気象庁：平成23年(2011年)東北地方太平洋沖地震調査報告 第I編，Vol.133，[http://www.jma.go.jp/jma/kishou/books/gizyutu/133/gizyutu\\_133.html](http://www.jma.go.jp/jma/kishou/books/gizyutu/133/gizyutu_133.html)，2012
- 13) 平石哲也・米山望・馬場康之・森信人・東良慶・安田誠宏・間瀬肇：宮城県沿岸における2011東北太平洋沖地震による津波被災について，土木学会論文集B2(海岸工学)，Vol.B2-67，pp.1306-1310，2011
- 14) 気象庁：平成23年3月11日14時46分頃の三陸沖の地震について，<http://www.jma.go.jp/jma/press/1103/11b/kaisetsu201103111600.pdf>，2011
- 15) 国土交通省港湾局：全国港湾海洋波浪観測網 ナウファス，<http://www.mlit.go.jp/kowan/nowphas/index.html>
- 16) 阿部郁男・今村文彦：東北太平洋沖地震におけるGPS波浪計を利用したリアルタイム津波浸水予測の検証，土木学会論文集B2(海岸工学)，Vol. B2-68，pp.376-380，2012
- 17) 防災科学技術研究所：日本海溝海底地震津波観測網の整備事業を開始，[http://www.bosai.go.jp/press/2011/pdf/20120329\\_01.pdf](http://www.bosai.go.jp/press/2011/pdf/20120329_01.pdf)，2012