

## 2015 年チリ・イヤペル沖津波での緊急時対応の記録と課題の整理

久松 明史<sup>[1]</sup>・林 晃大<sup>[2]</sup>・Anawat Supparsi<sup>[2]</sup>・今村 文彦<sup>[2]</sup>

### 1. はじめに

津波工学研究室では、気象庁が津波警報(あるいは大津波警報)、または米国津波警報センター (NTWC) が Warning を発表した場合に、緊急時対応として職員と学生が情報収集および津波数値計算を行いホームページなどで公開している。各地での被害や対応の情報収集と公開は政府機関(例えば、気象庁や消防庁)や各報道機関が行っており、津波数値計算の実施と公開の対応は、災害科学国際研究所広域被害把握研究分野や東京大学地震研究所、NTWC などが行っているが、これらの情報をまとめて公開している機関はまれである。津波の現象とそれによる被害あるいは対応は密接に関係し合っているため、それらを一つにまとめることで、各津波での経験知が整理され、次の津波発生に備えるための課題が明らかになると考える。

本書には、日本時間 2015 年 9 月 17 日午前 7 時 54 分に発生したチリ・イヤペル沖津波に関して収集された情報および数値計算結果を記録する。第 2 章では、津波工学研究室の緊急時対応について簡単に説明する。第 3 章では、収集された情報を地震、津波、被害および対応の 4 項目に分類して記述する。第 4 章では、当時の地震情報を用いて行った津波数値計算の結果と実測値を比較し、津波数値計算の速報値の妥当性について議論する。最後に第 5 章では、次に津波が発生した時の参考となるよう、本イベントでの社会的な対応の課題と津波工学研究室としての対応の課題をまとめる。

### 2. 津波工学研究室の緊急時対応

#### 2.1 緊急時対応の目的

緊急時対応の目的は、研究機関としての目的と教育機関としての目的を考えている。研究機関としては、津波警報発表後 24 時間以内に最大水位分布などの津波数値計算結果の速報値を公開することであり、迅速性と明快な説明が求められる。教育機関としては、所属する学生が津波に関する基礎知識を得るとともに、実践の場で研究室の活動の一翼を担ったという経験を得ることであり、地震・津波に関する情報を発信している機関やその内容を理解するための科学的な知識と、津波数値計算やその結果を可視化するための技術的な知識を得ることが求められる。

#### 2.2 2015 年チリ・イヤペル沖津波での緊急時対応

地震発生からの緊急時対応の流れを図-1 に示す。第 1 回ミーティング後、情報収集および数値計算は 3 チームに分かれて行われた。情報収集チームは津波工学研究室に關係する災害科学国際研究所職員と研究員および学生 4 名、数値計算チームは学生 3 名、観測波形収集チームは学生 2 名で構成された。対応に加わったメンバーの所属と役職・学年(当時)を表-1 に示す。

本書執筆にあたり、全体のとりまとめ(ミーティングの議事録作成とメール内容の記録など)を行っていた著者らが情報を整理し、学生 3 名で数値計算を再度行った。再度数値計算を行った目的は、速報での数値計算より計算時間を長くするため、余震分布を考慮した断層パラメータと考慮しない断層パラメータの波形を比較するため、そして波形の出力地点を変更するためである。

[1] 東北大学大学院工学研究科土木工学専攻

[2] 東北大学災害科学国際研究所

表-1 緊急時対応メンバー (所属と役職・学年は当時)。

所属	役職・学年	氏名
東北大学災害科学国際研究所 災害リスク研究部門 津波工学研究分野	教授	今村 文彦
	准教授	Anawat Suppasri
	研究員	Panon Latcharote
	研究員	山下 啓
同上 情報管理・社会連携部門 災害アーカイブ研究分野	助教	佐藤 翔輔
同上 地震津波リスク評価 (東京海上日動) 寄附研究部門	助手	安倍 祥
	助手	林 晃大
東北大学大学院工学研究科 土木工学専攻 津波工学研究室	博士学生	David Nguyen
	博士学生	久松 明史
	修士学生	田野邊 睦
	修士学生	牧野嶋文泰
	修士学生	渡部 真史
	修士学生	大平 浩之
	修士学生	平川 雄太
	学士学生	戸川 直希
	学士学生	長谷川夏来

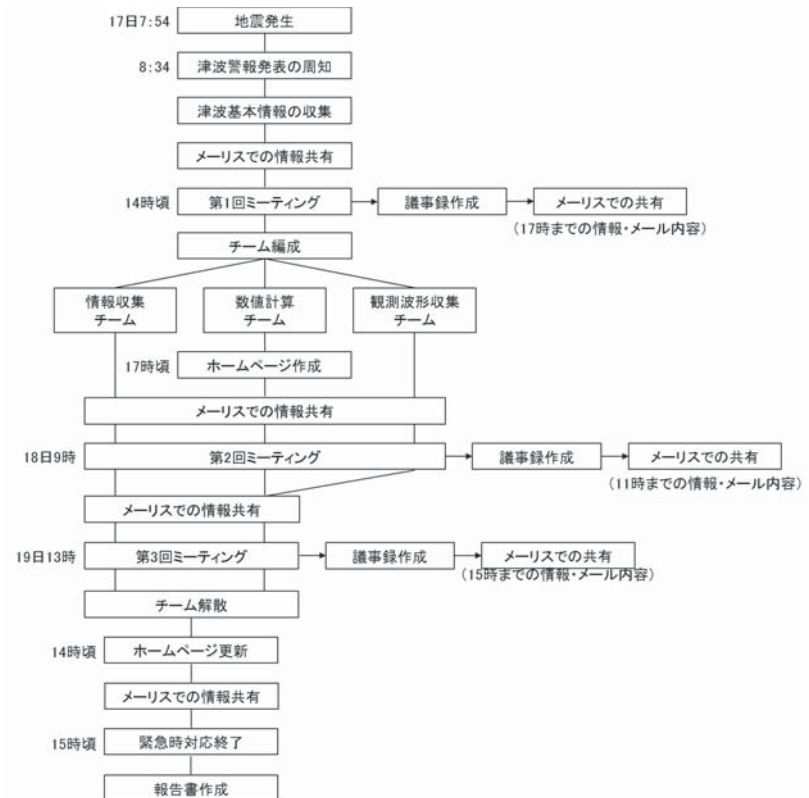


図-1 2015年チリ・イヤペル沖津波での緊急時対応の流れ。

### 3. 収集された情報

#### 3.1 地震

地震の発生時刻は日本時間で9月17日7時54分、協定世界時(UTC)で9月16日22時54分であった。チリ現地時間では9月16日19時54分で、夜間の地震発生であった。マグニチュードは8.3(南緯31.570度, 西経71.654度)の逆断層型で, 典型的には断層長さ230 km, 断層幅100 kmと推定された(USGS, オンラインa; b)。震源の深さは25 kmであった(USGS, オンラインb)。経験即に従えば, すべり量は3.4 mと推定される(Papazachos et al., 2004)。断層運動は低角逆断層型のNP1と高角逆断層型のNP2の2通りが考えられる(表-2)(USGS, オンラインc)。

最大震度は6弱程度であったと考えられる。現地情報に基づく最大メルカリ震度は8~9程度であり(図-2)(USGS, オンラインd), これを気象庁震度に変換した(功刀, 2000)。英国紙ガーディアンの現地特派員の報告によると, 少なくとも2分間は揺れが続いた(The Guardian, 2015/09/17)。また, 今回の地震はチリ史上6番目の強さを記録し, 翌朝未明まで余震が続いた(AFP BB NEWS, 2015/09/18)。

過去の地震を見ると, 1906年(M8.2), 1943年(M8.1)および1971年(M7.1)に同域で地震が発生した(図-3)(USGS, オンラインa)。それらから44~109年が経過している。プレートの沈み込み速度は海溝軸に対してほぼ垂直に73~74 mm/年であり(図-3)(USGS, オンラインa), 推定されるすべり量3.4 mは46~47年かけて蓄積される量に相当する。前回の地震からの経過年と矛盾しないといえる。2010年の地震(M8.8)は, 今回の断層破壊域の南部に位置する地震履歴の空白域で発生したのに対し, 今回の地震は過去の地震記録がある地域で発生した(図-3)(USGS, オンラインa)。今回の断層破壊域の北部では, 1918年(M7.8), 1922年(M8.3), 1943年(M8.1)および1995年

表-2 断層パラメータ(速報値)。

パラメータ	NP1	NP2
すべり量	3.4 m	3.4 m
断層長さ	228.9 km	228.9 km
断層幅	85.8 km	85.8 km
震源の深さ	25.5 km	25.5 km
走向	353°	180°
傾斜角	19°	71°
すべり角	83°	92°



図-2 震源地付近の震度分布(USGS, オンラインd)。

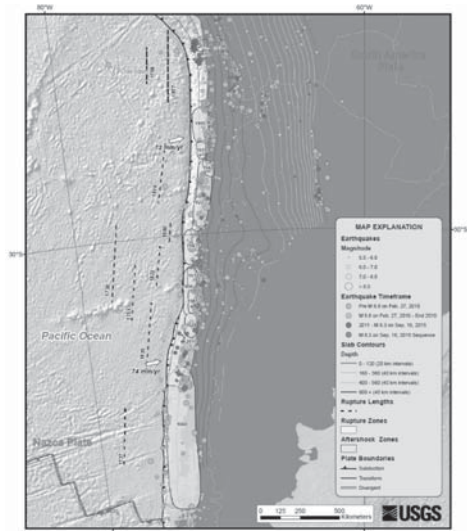


図-3 過去の地震とプレートの沈み込み速度(USGS, オンラインa)。

(M8.0) に地震の記録があり (図-3) (USGS, オンライン a), 20 ~ 97 年が経過していることから, 警戒が必要である。

### 3.2 津波

地震発生から約 20 分後に震源北部の Coquinbo (コキンボ) と震源南部の Quintero (キンテロ) の検潮所で津波の第 1 波が観測された (IOC, オンライン)。太平洋津波警報センター (PTWC) の報告によると, 観測された最大波高はチリのコキンボで地震発生から 1 時間 31 分後に 4.75 m (周期 20 分), ニューゼーランドの Chatham (チャタム) 島で 13 時間 15 分後に 0.35 m (周期 14 分), ハワイの Hilo (ヒロ) で 14 時間 53 分後に 0.70 m (周期 16 分), そして日本の父島で 23 時間 54 分後に 0.13 m (周期 14 分) であった (PTWC, オンライン a)。

気象庁の報告によると, 日本で観測された最大波高は岩手県の久慈港で地震発生から 25 時間 44 分後の 9 時 38 分に 0.8 m, 北海道のえりも町庶野で 10 時 8 分に 0.5 m, 茨城県大洗 (10 時 59 分) と神栖市鹿島港 (14 時 43 分) で 0.4 m であった (気象庁, 2015g)。また, 北海道十勝港, 青森県八戸港, 岩手県大船渡港と釜石, 宮城県石巻市鮎川と仙台港, 福島県相馬, 東京都八丈島八重根と父島二見および和歌山県串本町袋港でそれぞれ最大高さ 0.3 m の津波を観測した (気象庁, 2015g)。

米国津波警報センター (NTWC) による日本への津波到達予想時間は, 北海道の東部で地震発生からおおよそ 5 時間 30 分後の 18 日午前 5 時 30 分頃, 東北地方や小笠原諸島でおおよそ 6 時間後の午前 6 時頃であった (図-4) (NTWC, オンライン a)。海上保安庁のリアルタイム験潮データを見ると, 岩手県の釜石では 18 日の 8 時頃, 10 時頃そして 12 時頃の 3 回ピークが見られた後は波高が減衰しているのに対し (図-5), 北海道東部の花咲では 19 日 8 時頃まで減衰しないことが観察される (図-6) (海上保安庁, オンライン a; b)。また, 小笠原諸島の父島では 12 時頃に波高が減衰するものの, 13 時から 14 時に

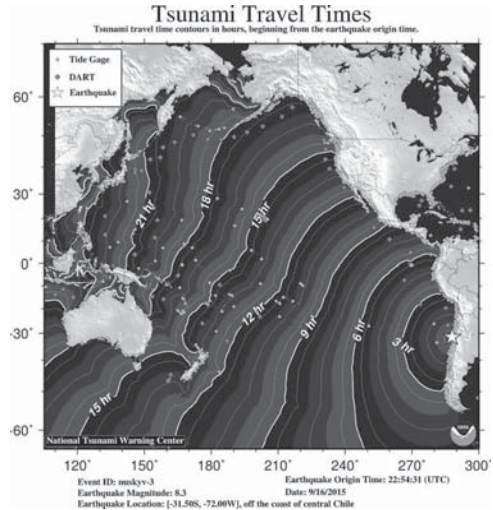


図-4 津波到達予想時間の速報 (NTWC, オンライン a)。

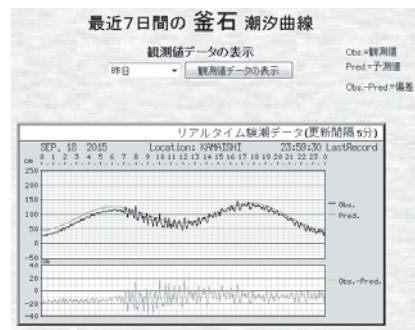


図-5 岩手県の釜石におけるリアルタイム験潮データ (海上保安庁, オンライン a)。

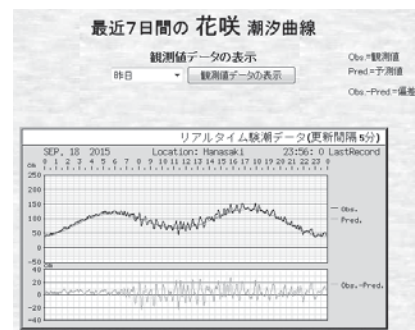


図-6 北海道東部の花咲におけるリアルタイム験潮データ (海上保安庁, オンライン b)。

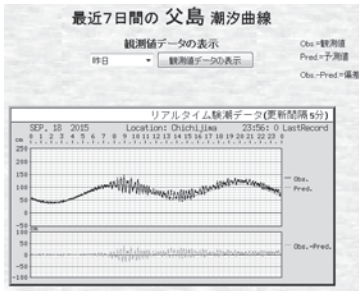


図-7 小笠原諸島の父島におけるリアルタイム観潮データ（海上保安庁，オンラインc）。

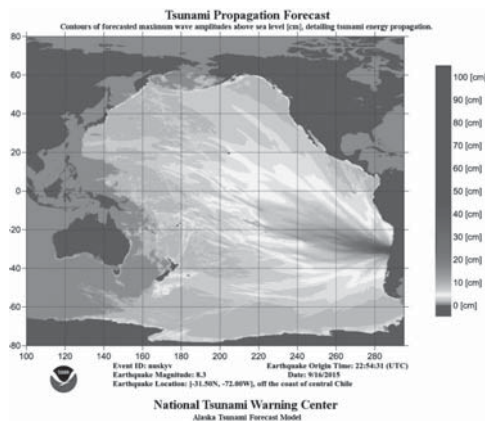


図-8 津波波高分布の速報（NTWC，オンラインb）。

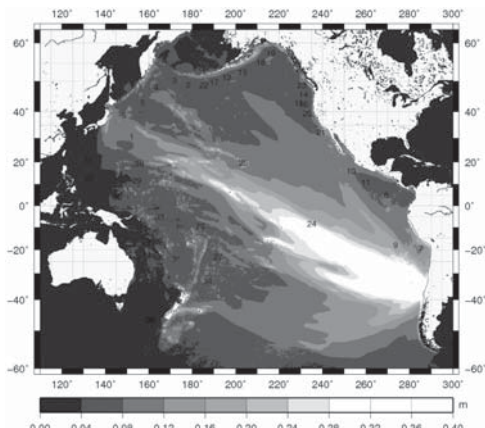


図-9 2010年チリ津波の津波波高分布の速報（CEA，オンライン）。

かけて再び増幅することが観察される（図-7）（海上保安庁，オンラインc）。

NTWCが発表した数値計算に基づく津波波高分布の速報によると（図-8）（NTWC，オンラインb），津波の向きは2010年のチリ津波とほぼ同じであった（図-9）（CEA，オンライン）。2014年のチリ津波（地震の規模はM8.1）では断層の向きが異なったため、津波の向きは南向きでニュージーランドの方向であった（図-10）（ITIC，オンライン）。

2010年のチリ津波ではチリのタルカワノで2.3 m，久慈港，須崎港で1.2 mの津波が観測された（気象庁，2010）。また，2014年のチリ津波ではチリのイキケで2.1 m，久慈港で0.55 mの津波が観測された（気象庁，2014）。チリでの最大波高は震源の近くで高くなるのがわかる（図-11）。今回の津波でのコキンボにおける最大波高が2010年のチリ津波でのタルカワノにおける最大波高より大きかった原因は，コキンボの潮位観測所が内湾に位置し波高が増幅したのに対して，タルカワノの潮位観測所も内湾に位置するが，湾口が閉塞していて波高増幅が抑制されたためであると推測される。このように，地震の発生場所が異なることや潮位観測所周辺の地形が異なるため，最大波高と地震の規模を単

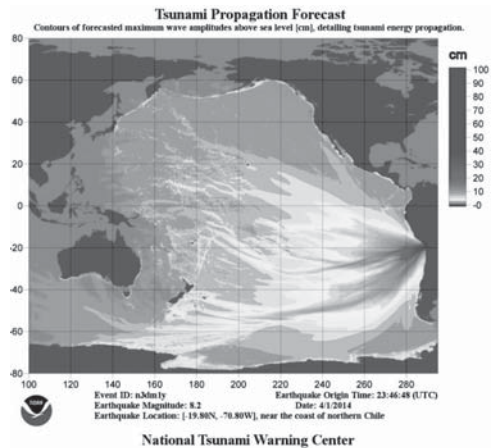


図-10 2014年チリ津波の津波波高分布の速報（ITIC，オンライン）。

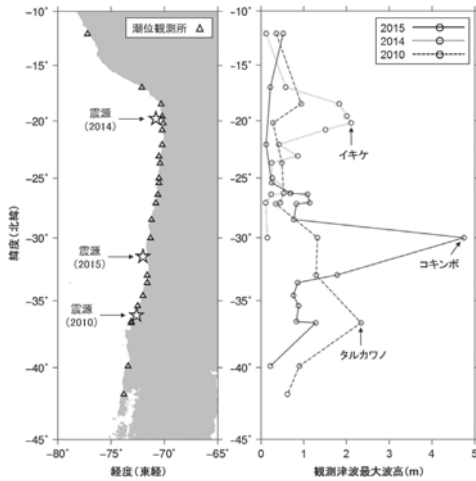


図-11 2015年、2014年および2010年のチリ津波の震源と観測津波最大波高分布の比較 (PTWC, オンラインa;b;cを基に作成)。

純に比較することはできないが、久慈港での最大波高は地震の規模と同じ大小関係にある(表-3)。

### 3.3. 被害

#### 3.3.1. チリでの被害

18日夜の時点で死者13人、行方不明6人であった (AFP BB NEWS, 2015/09/19)。死亡の原因は倒壊した建物の下敷きになるなどで、少なくとも9人が負傷した (レスキューナウ, 2015/09/18)。太平洋沿岸地域には津波警報が発令されて一時100万人が避難したとされる (レスキューナウ, 2015/09/18)。住宅損壊は震源に近いコキンボ州を中心に526軒で13万世帯以上が停電した (レスキューナウ, 2015/09/18)。沿岸部の複数の都市が津波により浸水し、多数の建物被害が確認されたほか、多数の船が陸上に乗り上げているのが確認された (レスキューナウ, 2015/09/18)。コキンボ当局は海水が市の中心部にまで入ったと発表した (レスキューナウ, 2015/09/18)。17日にはチリ国内の銅炭鉱2か所が操業を停止したが、18日には大半の炭鉱が深刻な被害を免れ操業を再開する予定であると報告された (レスキューナウ, 2015/09/18)。19

日15時26分の情報によると、被災地では90%の地区で電気や水道などのライフラインが復旧したということだが、コキンボ州などでは住宅が倒壊したり津波で流されたりして約1500人が被災したとされている (NHK NEWS WEB, 2015/09/19)。

2010年の地震での死者は約500人 (AFP, 2015/09/19) (一部メディアによると711人 (Nacional, 2010/03/01)) であった。一方、2014年の地震での死者は6人 (2人はがれきなどの下敷き, 4人は心臓発作) であった (CNN, 2014/04/03)。今回も津波警報を迅速に発令することで死傷者を大幅に減少させたほか、地震による建物被害は軽量構造や木造建物に留まるなど、被害額は、2010年時の被害 (300億ドル) のときほど及ばないだろうとの見方がある (AFP BB NEWS, 2015/09/19)。2014年と同様に被害が少なかった理由として、津波警報が迅速に発令されたことで津波による被害が抑えられたことに加え、2010年の地震以降に建築基準が徹底されていたことで地震による被害も抑えられたからであると考えられる (CNN, 2014/04/03)。

#### 3.3.2. 日本での被害

日本では、津波による直接被害は報告されていない。しかし、千葉県で大雨との複合災害としての被害が報告されている。津波注意報を受けて午前3時頃に川の水門が閉められた後に、6時頃から雨が強まったため増水し、7時頃には水があふれて千葉市中央区で14棟が浸水した (8棟で床上, 6棟で床下が浸水) (NHK NEWS WEB, 2015/09/18b)。

### 3.4. 対応

#### 3.4.1. 海外の対応

##### 3.4.1.1. アメリカ

カリフォルニア州オレンジカウンティではすべての砂浜と港が閉鎖されたが、6時には再開された (The Orange County Register, 2015/09/18)。

ハワイ州では3時から7時まで海に入ら

表-3 2010年、2014年および2015年チリ津波の気象庁による報道発表資料の比較。

地震発生年	2010年	2014年	2015年
地震発生日	2月27日	4月2日	9月17日
地震発生時刻	15:34	8:46	7:54
マグニチュード	8.8	8.1	8.3
震源の深さ	60 km	10 km	25.5 km
チリでの最大波高 (観測地点)	2.3 m (タルカワノ)	2.1 m (イキケ)	4.8 m (コキンボ)
日本での最大波高 (観測地点)	1.2 m (久慈港, 須崎港)	0.55 m (久慈港)	0.8 m (久慈港)
第1報発表時刻 (地震からの経過時間)	19:00 (3:26')	11:00 (2:14')	11:00 (3:06')
第2報発表時刻 (地震からの経過時間)	翌 8:30 (16:56')	17:00 (8:14')	16:30 (8:36')
第3報発表時刻 (地震からの経過時間)	翌 16:50 (25:16')	翌 3:30 (18:44')	翌 1:00 (17:06')
第4報発表時刻 (地震からの経過時間)	翌 21:45 (30:11')	翌 11:00 (26:14')	翌 3:30 (19:36')
第5報発表時刻 (地震からの経過時間)	翌々 10:00 (42:26')	翌 18:10 (33:24')	翌 10:00 (26:06')
第6報発表時刻 (地震からの経過時間)	なし	なし (30:06')	翌 14:00
第7報発表時刻 (地震からの経過時間)	なし	なし (33:06')	翌 17:00
津波注意報発表時刻 (地震からの経過時間)	翌 9:33 (17:59')	翌 3:00 (18:14')	翌 3:00 (19:06')
津波警報発表時刻 (地震からの経過時間)	翌 9:33 (17:59')	なし	なし
解除時刻 (地震からの経過時間)	順次*	翌 18:00 (33:14')	翌 16:40 (32:46')

\*2010年津波警報・注意報の発表状況

2月28日

09:33 警報【大津波, 津波】, 津波注意報発表

19:01 警報【大津波】から警報【津波】へ全て切替え

21:13 警報【津波】から注意報へ一部切替え, 及び警報・注意報一部解除

23:36 警報【津波】から注意報へ一部切替え, 及び警報・注意報一部解除

3月1日

01:07 警報【津波】から注意報へ一部切替え

03:06 警報【津波】から注意報へ全て切替え, 及び注意報一部解除

08:40 注意報一部解除

10:15 (地震発生から44時間41分) 注意報すべて解除

ないよう発表があった (Hawaii Emergency Management Agency, 2015/9/16)。

#### 3.4.1.2. ニュージーランド

現地時間 9 月 17 日 1 時 38 分 (日本時間 17 日 23 時 40 分) に津波が到達。津波の最大高さはチャタム列島で 0.5 m であった (Ministry of Civil Defence & Emergency Management, 2015/09/17)。

ニュージーランドの Ministry of Civil Defence & Emergency Management によると、チャタム列島の市民と東海岸のニュージーランドの住人に対し、海や川、砂浜、そして海岸付近に近づかないよう命令があった。また、船の出港も禁止するよう命令があった。日本時間 18 日 9 時時点までチャタム列島の何人かの住人が避難していたことが確認されている (Ministry of Civil Defence & Emergency Management, 2015/09/17)。

#### 3.4.2. 日本の対応

##### 3.4.2.1. 政府・自治体などの対応

気象庁は地震発生から約 3 時間後の 17 日 11 時に報道発表資料 (第 1 報) を公開した後、16 時 30 分に第 2 報、18 日 1 時に第 3 報を公開した。第 3 報では津波注意報を 3 時ごろに発表する予定であることが示された (気象庁, 2015c)。そして、18 日 3 時に津波注意報を発表し、3 時 30 分に報道した (気象庁, 2015d)。

宮城県気仙沼市、北海道登別市および岩手県宮古市は、気象庁の津波注意報が発表される前に対応の動きがあった。気仙沼市では、17 日 17 時 17 分に避難準備情報を沿岸の 8557 世帯 2 万 2363 人に出し、小学校や公民館など 10 ヶ所の公共施設に避難所を開設した。気仙沼漁協は津波注意報が出た場合に備え、安全確保のために 18 日朝の水揚げ作業と入札を中止し、フォークリフト 42 台などを屋上の駐車場へ避難させた (朝日新聞デジタル, 2015/09/18b)。登別市は 17 日 19 時 30 分に避難準備情報を JR 室蘭本線から海側の地域 (富浦地区は全域) に出し、小学校や

公民館など 3 ヶ所の公共施設に避難所を開設した (登別市, 2015/09/17)。宮古市では宮古漁協が 100 隻の小型漁船を津波に備えて漁船を陸にあげる作業を実施した (NHK NEWS WEB, 2015/09/17)。

津波注意報が発表されたことを受けて 15 都道県で避難情報が出された (消防庁応急対策室, 2015)。避難指示が 27 の自治体 (8694 世帯, 19982 人)、避難勧告が 23 の自治体 (55546 世帯, 133444 人) (消防庁応急対策室, 2015)、避難準備情報が 7 の自治体に発令された (Yahoo! JAPAN, オンライン)。

北海道では、小学校など 10 校が臨時休校した (北海道新聞 どうしん ウェブ, 2015/09/18)。青森県では、高校 1 校と中学校 2 校、小学校 1 校が休校を決めた (朝日新聞デジタル, 2015/09/18a)。東北では、JR 八戸線や大船渡線 BRT、三陸鉄道南北リアス線が始発から運転を見合わせた (朝日新聞デジタル, 2015/09/18a)。大船渡市内の小中学校 20 校はすべて休校。愛媛県では、登校が津波の到達予想時刻に重なる恐れがあったため、沿岸部の小・中学校 2 校の始業を通常より 1 時間遅らせて午前 9 時にした (朝日新聞デジタル, 2015/09/18a)。三重県道は一部通行止めになり、伊勢湾フェリーは始発から二便の運航を見合わせた。また、三重県内の小中高校の 41 校が休校の措置を取ったほか、小中校と特別支援学校の 50 校が始業時間を繰り下げた (中日新聞 CHUNICHI Web, 2015/09/19)。沖縄県内では、一部の学校が終日休校にしたり、登校時間をずらしたりする対応がとられ、船便は少なくとも 3 便が欠航、2 便が遅延した (沖縄タイムス, 2015/09/19)。

##### 3.4.2.2. 住民の避難

インターネット上のニュース記事から得られた情報を合計すると 8 道県で 826 人が避難した。北海道北斗市の 9 か所の避難所には 18 日 7 時の時点で計 23 人が避難 (北海道新聞 どうしん ウェブ, 2015/09/18)。青森県では日本海側を含む 5 市町村で少なくとも 243 人が避難 (朝日)。岩手県でも 11 市町村



で最大315人が避難した（朝日新聞デジタル、2015/09/18a）。宮城県では、東松島市で18日6時まで避難所2か所に5人（毎日新聞、2015/09/18）、七ヶ浜町代ヶ崎浜の避難所には一時、26人（河北新報 ONLINE NEWS、2015/09/18）、気仙沼市はピーク時で5か所に計18人が避難した（河北新報 ONLINE NEWS、2015/09/18）。福島県では、福島第一原発構内の作業員84人が高台に避難した（朝日新聞デジタル、2015/09/18a）。静岡県沼津市では、のべ20人が小学校の体育館などに避難（朝日新聞デジタル、2015/09/18a）。三重県志摩市では18日9時時点で63世帯89人が避難（中日新聞 CHUNICHI Web、2015/09/19）。徳島県阿南市では堤防の海側を対象に避難指示を出して6か所に避難所を設け、一時3人が自主避難した（朝日新聞デジタル、2015/09/18a）。

#### 3.4.2.3. その他の対応

岩手県では18日11時38分時点で大船渡を含む沿岸南部に大雨洪水警報が出された。また、大船渡市、釜石市には土砂災害警戒情報が出された（MBS Mainichi Broadcasting System、2015/09/18）。宮城県石巻市では18日5時31分に大雨・洪水警報が出され、5時49分には工業港タクシー前で道路が冠水したことから全面通行止め、5時47分には土砂災害警戒情報が発表された。大船渡市防災管理室によると、津波避難時に土砂災害警戒情報が出るほどの大雨が重なったのは初めてであった（河北新報 ONLINE NEWS、2015/09/19）。

#### 3.4.2.4. 津波注意報の解除に関する情報

ここでは気象庁報道発表資料を整理する（表-3）。第1報は11時（地震発生から約3時間後）に発表された。震央付近で過去に発生した地震による津波が整理され、日本への津波の影響については現在調査中であることが示された（気象庁、2015a）。第2報は16時30分（地震発生から約8.5時間後）

に発表された。日本への津波の影響についてはハワイでの津波の観測状況を基に判断すること、ハワイでの津波の観測状況が判明するのは17日24時頃となる見込みであることが示された（気象庁、2015b）。第3報は翌1時（地震発生から約17時間後）に発表された。津波注意報を18日3時頃に発表する予定であることが示された（気象庁、2015c）。第4報は翌3時30分（地震発生から約19.5時間後）に発表された。18日3時に津波注意報を発表したと海外の主な津波の観測状況（18日0時35分時点）が示された（気象庁、2015c）。その後、翌10時に第5報、翌14時に第6報、そして翌17時に第7報が出された。気象庁による18日14時からの記者会見では、日本各地での津波観測の解析から2014年チリ津波と同じパターンであるとみて、16時ごろまで監視したうえで津波注意報の解除について判断すると述べられた（NHK NEWS WEB、2015/09/18b）。そして、16時40分にすべての津波注意報が解除された。

2010年、2014年および2015年のチリ津波における気象庁の報道発表資料を比較すると、2010年と2014年は第5報までであったのに対し、今回は第7報まで発表された（表-3）。注意報の発表や解除の予告を含む説明がこれまでより多くなされた。注意報の発表はこれまでより1時間遅かったが、解除は2014年より30分早くなった（表-3）。解説では、「今後1日程度は海面変動が継続すると考えられますが、そのことを十分認識した上で行動頂ければ、津波による災害のおそれはないと見られることから津波注意報を解除しました。」という留意事項が示された（気象庁、2015g）。

交通への影響を考慮すると津波警報・注意報が早く解除されることが求められるが、遠地津波の波高の収束は予測することが難しく、解除のタイミングをどう設定するかは今後も課題となる。2010年や今回のようにハワイを通過する津波であれば、ハワイでの観測データが解除のタイミングを考える指標となりえるが、それ以外の経路から伝播する津波をどう予測するかを検討する必要がある。

## 4. 津波数値計算

### 4.1. 数値計算の目的

一般的に津波数値計算の目的は、陸付近で津波を観測するよりも早く、津波の到達時刻と最大波高を予測することである。高精度かつ高速の数値計算は、第 1 章で挙げた機関が行っている。そのため、津波工学研究室では (1) 震源域の位置の設定による津波の最大波高と第一波到達時刻の変化を調べることに、(2) 地形データの解像度による津波の最大波高と第一波到達時刻の変化を調べることに、そして (3) 数値計算の結果から日本での津波の継続時間 (警報解除のタイミングの指標となる) の予測が可能かどうかを検討することを目的として数値計算を実施した。

### 4.2. 計算条件

#### 4.2.1. 計算結果の評価方法と評価対象

数値計算の結果は最大波高分布と波形で評価した。評価対象は、第 3 章第 2 節で記述した場所のうち、チリ沿岸で最大波高を観測したコキンボとそこから約 300 km 南に位置するキンテロおよび日本の花咲と父島の 4 か所とした。

波形の出力にあたっては、評価地点にある IOC の潮位観測所 4 か所を設定した (図-12, 13)。地形データ上で潮位観測所の座標が陸域となっているものがあったため、表-4 に示す通りに波形出力地点の位置を調整した。潮位観測所の位置と調整した波形出力地点の位置を図-14 ~ 16 に示す。

#### 4.2.2. 断層原点の位置

断層域の位置の設定による津波の最大波高と第一波到達時刻の変化を調べるために、断層原点の位置を変えた 2 通りの数値計算を行った (図-13 右)。Case 1 では震源位置を断層の原点とし (速報値)、Case 2 では震源域の中心の座標が本震から 1 時間以内に発生した余震の座標の平均値となるように設定した。断層原点の位置以外のパラメータは固定

した。すべり量、断層長さおよび断層幅は M8.27 (USGS, オンライン c) と Papazachos et al. (2004) の経験則より算出した (表-5)。震源の深さ、走向、傾斜角およびすべり角は USGS (オンライン c) の速報値のうち、低角逆断層型の NP1 を採用した (表-5)。

#### 4.2.3. 空間格子間隔

地形データの解像度による津波の最大波高と第一波到達時刻の変化を調べるために、空間格子間隔はチリ周辺の計算では 30 秒 (約 1 km) および太平洋全域の計算では空間格子間隔 3 分 (約 6 km) とした。地形データは GEBCO からダウンロードしたものをを用いた。津波伝播計算は、TUNAMI-F1 (線形理論・球面座標系) を使用して、チリ周辺と太平洋全域でそれぞれ行った。

#### 4.2.4. 時間格子間隔と計算時間

数値計算の結果から日本での津波の継続時間の予測が可能かどうかを検討するため、計算時間はチリ周辺では時間格子間隔 0.5 秒で 4 時間分としたのに対し、太平洋全域では時間格子間隔 3 秒で 48 時間分とした。今回の津波での注意報が解除されたのは地震発生から約 33 時間後であったが、2010 年のチリ津波ではすべての津波注意報が解除されたのが地震発生から約 45 時間後であったため、それよりもやや長い 48 時間分の計算を行った。

## 4.3. 計算結果

### 4.3.1. 震源域の位置の設定による津波の到達時刻と最大波高の変化

図-17 と図-21 にコキンボとキンテロでの最大波高分布を示す。また、図-19, 20 と図-23, 24 にコキンボとキンテロの波形出力地点での波形を示し、表-6 に各波形出力地点での観測値と計算値の最大波高を記す。観測値の波形は、潮位観測所で観測された波形から高速フーリエ変換によって周期が 10 ~ 90 分の波だけを抽出し、最大波高は地震発生から 48 時間分のデータの最大値を抽出した。

コキンボでは、地震発生から約 90 分後の

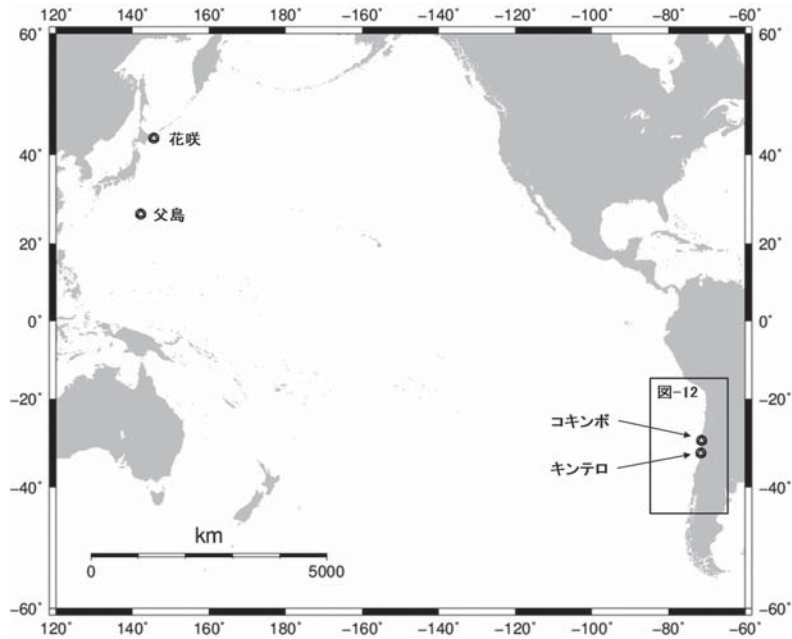


図-12 太平洋全域の津波数値計算領域と潮位観測地点。

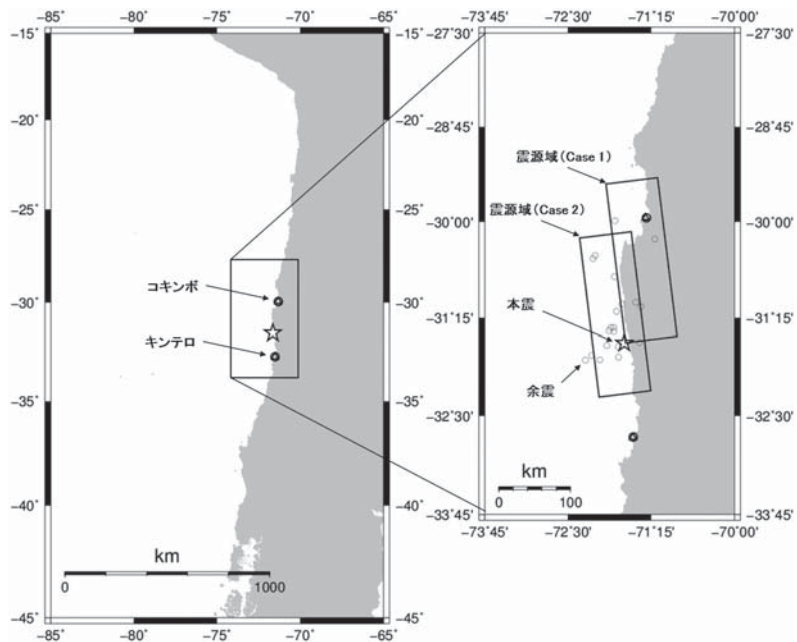


図-13 チリ周辺の津波数値計算領域と潮位観測地点(左図)および震源域周辺の拡大図(右図)。右図における☆は本震で○は本震から1時間以内に発生した余震分布。

表 -4 波形出力地点の調整一覧。

波形出力地点	チリ周辺計算	太平洋全域計算
コキンボ	東へ約 1.5 km 移動	北へ約 3 km 移動
キンテロ	北東へ約 0.7 km 移動	北へ約 6 km 移動
花咲	調整なし	調整なし
父島	調整なし	西へ約 6 km 移動

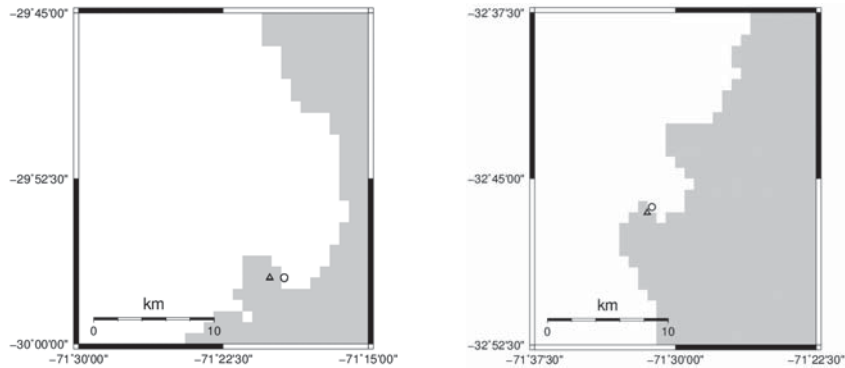


図 -14 チリ周辺（空間格子間隔約 1 km）での津波数値計算における波形出力地点と周辺地形。左図がコキンボで、右図がキンテロ。△が潮位観測所の位置で、○が波形出力地点。

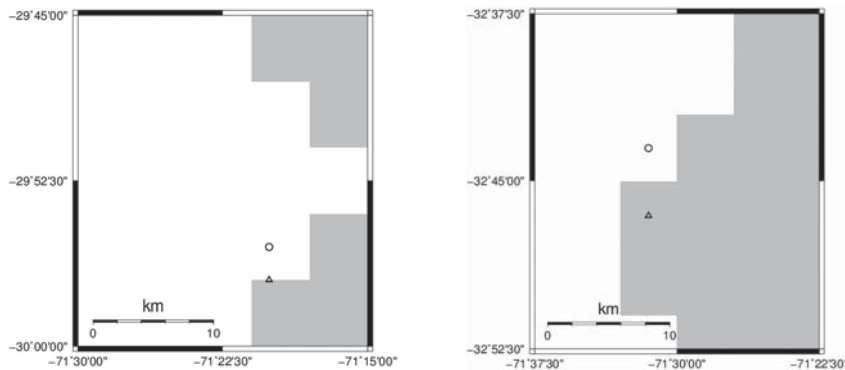


図 -15 太平洋全域（空間格子間隔約 6 km）での津波数値計算における波形出力地点と周辺地形。左図がコキンボで右図がキンテロ。△が潮位観測所の位置で○が波形出力地点。

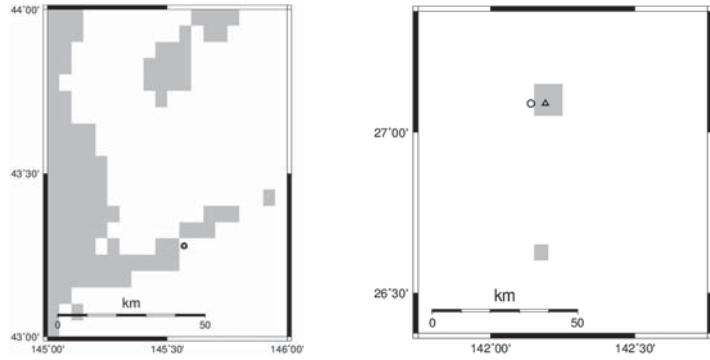


図-16 太平洋全域(空間格子間隔約 6 km)での津波数値計算における波形出力地点と周辺地形。左図が花咲で右図が父島。△が潮位観測所の位置で○が波形出力地点。

表-5 津波数値計算の断層原点の位置。

ケース	Case 1	Case 2
断層原点の位置	31.5700°S, 71.6540°W	31.3312°S, 71.9210°W

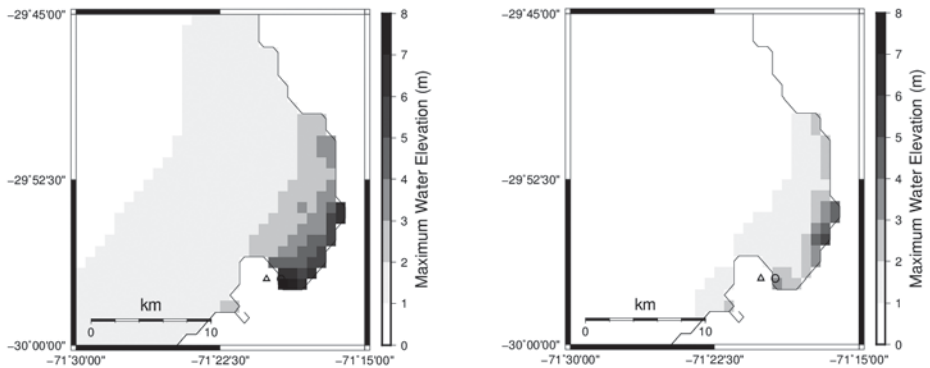


図-17 コキンボにおける最大波高分布(空間格子間隔約 1 km)。左図が Case 1 で右図が Case 2 の計算結果。△が潮位観測所の位置で○が波形出力地点。

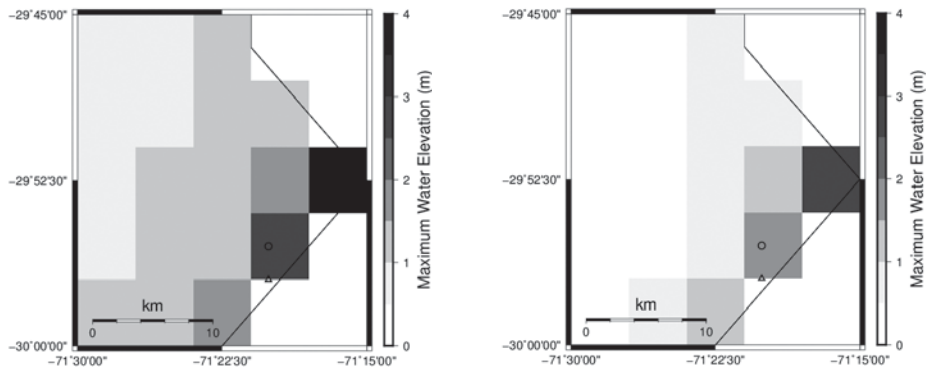


図-18 コキンボにおける最大波高分布(空間格子間隔約 6 km)。左図が Case 1 で右図が Case 2 の計算結果。△が潮位観測所の位置で○が波形出力地点。

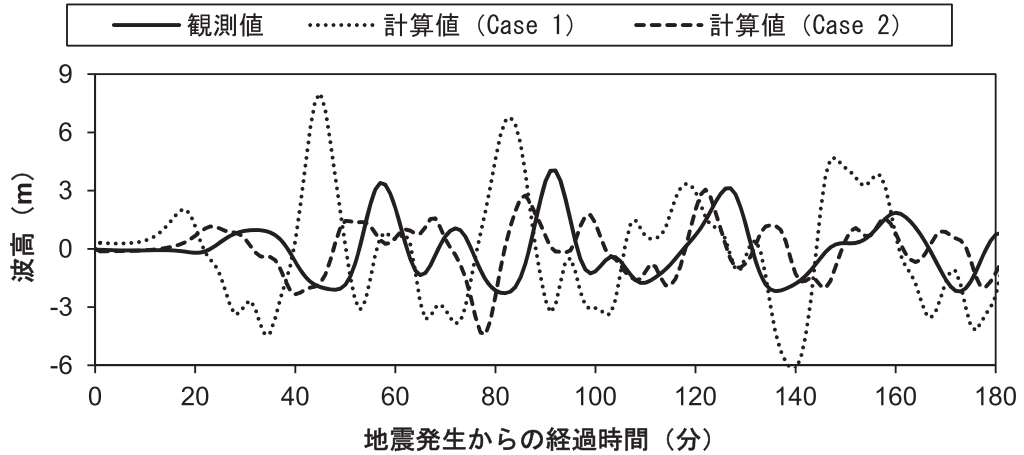


図-19 コキンボにおける観測波形と津波数値計算（空間格子間隔約 1 km）の出力波形。

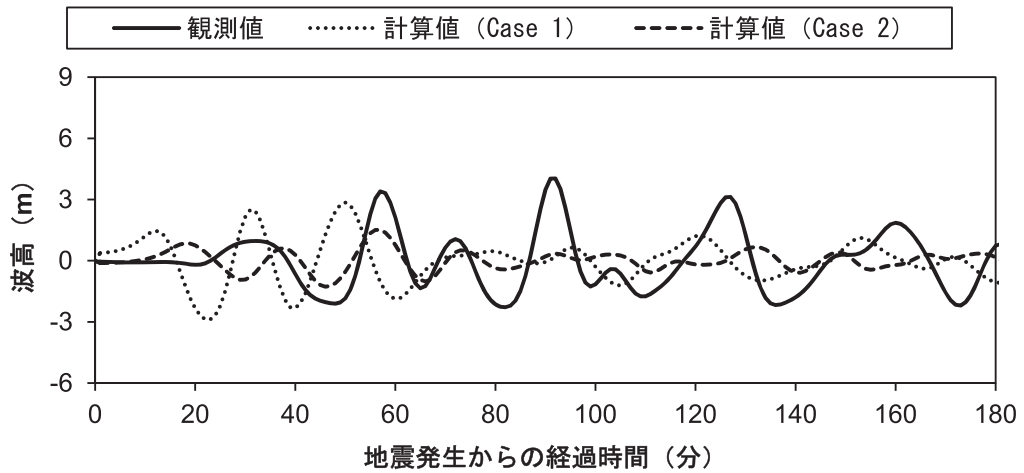


図-20 コキンボにおける観測波形と津波数値計算（空間格子間隔約 6 km）の出力波形。

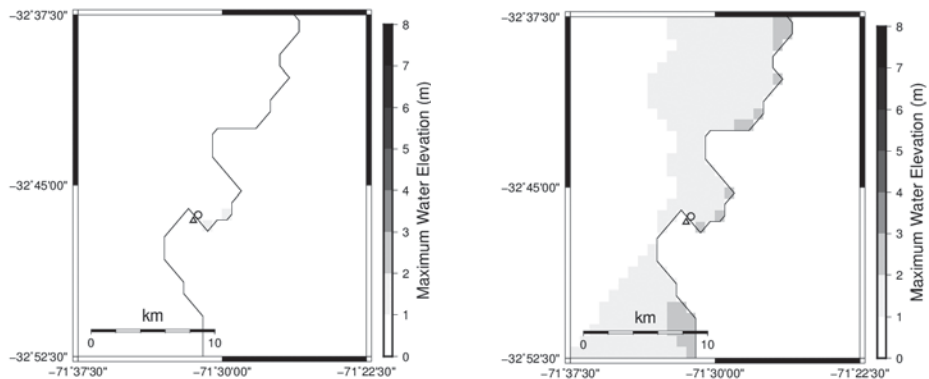


図-21 キンテロにおける最大波高分布（空間格子間隔約 1 km）。左図が Case 1 で右図が Case 2 の計算結果。△が潮位観測所の位置で○が波形出力地点。

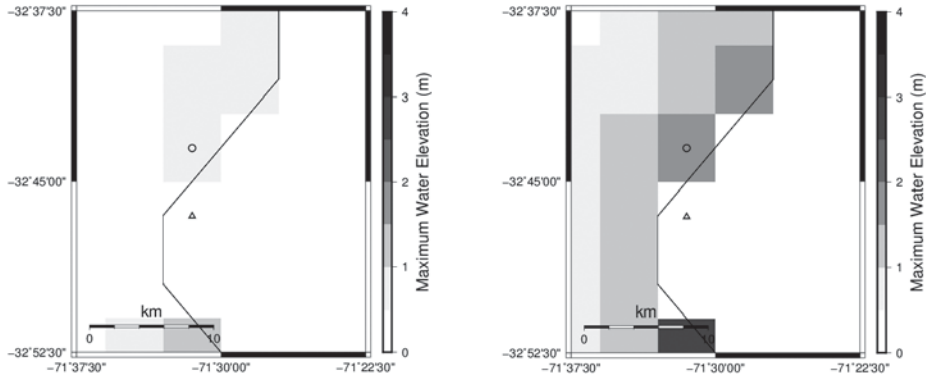


図-22 キンテロにおける最大波高分布（空間格子間隔約 6 km）。左図が Case 1 で右図が Case 2 の計算結果。△が潮位観測所の位置で○が波形出力地点。

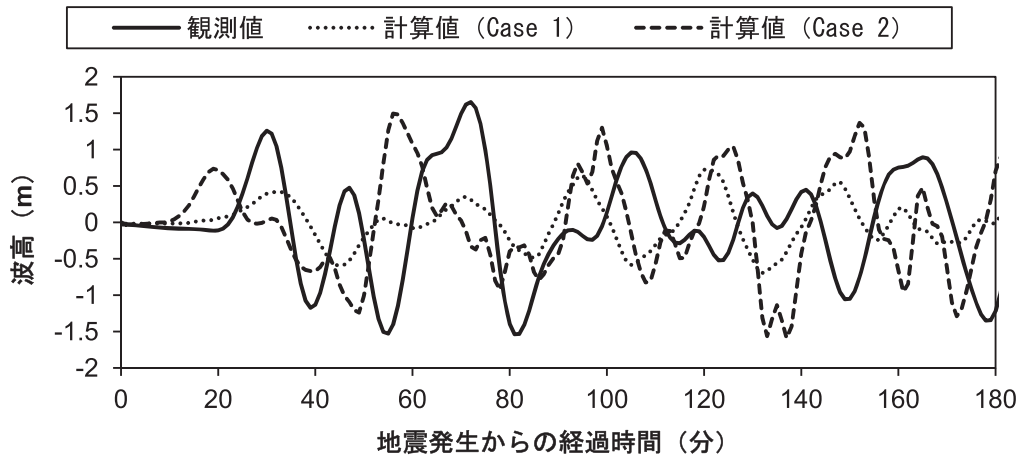


図-23 キンテロにおける観測波形と津波数値計算（空間格子間隔約 1 km）の出力波形。

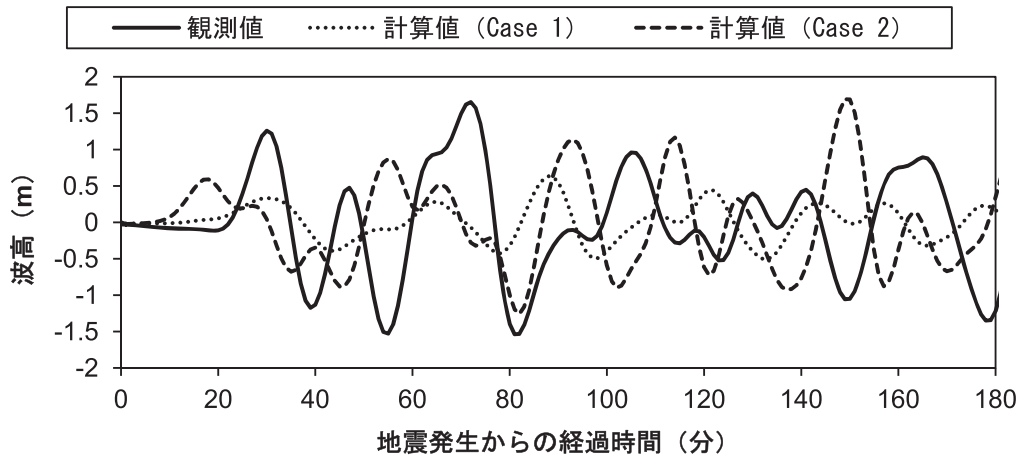


図-24 キンテロにおける観測波形と津波数値計算（空間格子間隔約 6 km）の出力波形。

表 -6 波形出力地点での最大波高一覧。

波形出力地点	観測値 (m)	チリ周辺計算 (m)	太平洋全域計算 (m)
		Case 1 / Case 2	Case 1 / Case 2
コキンボ	4.0	8.0 / 3.1	2.9 / 1.5
キンテロ	1.7	0.8 / 1.5	0.6 / 1.7
花咲	0.20		0.18 / 0.29
父島	0.33		0.04 / 0.05

第四波が最大波高 4.0 m を記録し、第一波到達までの時間は 24 分であった (図 -19)。Case 1 では約 40 分後の波が最大波高を示しており、最大波高は過大評価、第一波到達時間は観測値よりも短い。一方、Case 2 では約 80 分後の波が最大波高を示しており、最大波高は過小評価、第一波到達時間は Case 1 より長く、観測値より短い。

キンテロでは、地震発生から約 70 分後の第三波が最大波高 1.7 m を記録し、第一波到達までの時間は 23 分であった (図 -23)。Case 1 では約 90 分後の波が最大波高を示しており、最大波高は過小評価、第一波到達時間は観測値よりも短い。一方、Case 2 では約 50 分後の波が最大波高を示しており、最大波高は過小評価、第一波到達時間は Case 1 と観測値より短い。

Case 2 は最大波高が両観測所で過小評価であったが、最新情報では地震の規模がマグニチュード 8.3 と推定されていることを考慮すると (USGS, オンライン e), Case 2 の方が妥当であると考え。そのため、断層原点の位置の設定にあたっては、1 時間程度であっても余震分布を考慮した方が良いといえる。ただし、両観測所で第一波到達時間が早いため、実際の震源域は Case 2 よりも沖合であったと推測される。また、図 -17, 21 に示す通り、波形の出力地点が 1 km 違うだけで最大波高が異なる。そのため、妥当性の評価にあたっては、波形出力地点での波形だけでなく、周辺の最大波高分布を含めて総合的に判断する必要があるといえる。

#### 4.3.2. 地形データの解像度による津波の到達時刻と最大波高の変化

図 -17~28 と表 -6 に空間格子間隔 30 秒 (約 1 km) で行ったチリ周辺の数値計算と 6 分 (約 6 km) で行った太平洋全域の数値計算の結果を示す。

太平洋全域計算の各波形出力地点での最大波高は、コキンボでは Case 1, Case 2 ともに観測値より過小評価であり、チリ周辺計算の結果より小さいが、キンテロでは Case 2 が観測値と一致した (表 -6)。しかしながら、Case 2 での最大波は地震発生から約 150 分後である (図 -24)。第一波到達時間は、チリ周辺での数値計算とおよそ一致する。ただし、コキンボへの到達時間は太平洋全域計算の方が短い。これは、コキンボの潮位観測所が内湾に位置するのに対し、約 6 km の空間格子間隔の地形データでは湾地形を再現していないためであると考え (図 -14, 15)。これらの結果から、約 6 km の空間格子間隔の地形データでは再現できない湾内にある観測所の潮位データを用いる場合は、より細かい解像度の地形データを使用する方が良いといえる。

花咲における最大波高は Case 1, Case 2 ともに観測値に近い値を示しているが (表 -6), それらの最大波がいずれも地震発生から約 36 時間後の波であり、観測値とは異なる特徴である (図 -26)。父島における最大波高は Case 1, Case 2 ともに過小評価であった (表 -6)。一方、第一波到達時間は花咲、父島ともに観測値を良く再現している (図 -26, 28)。これらの結果から、約 6 km の空間格子間隔の地形データを用いた津波数値計算では、



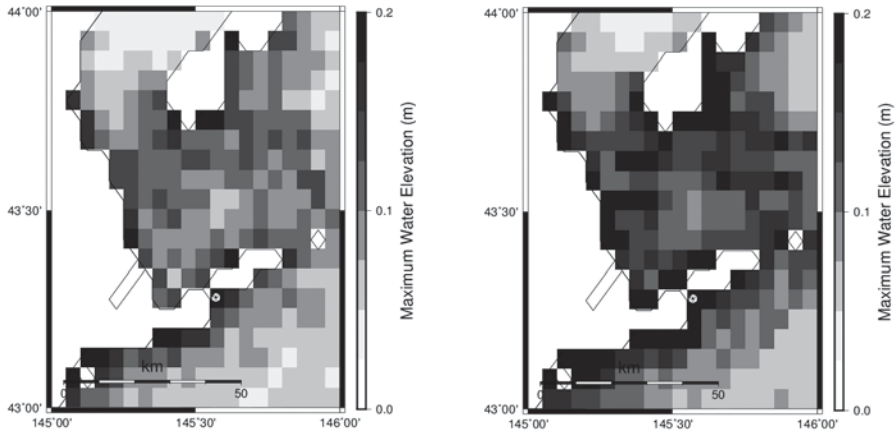


図-25 花咲における最大波高分布（空間格子間隔約 6 km）。左図が Case 1 で右図が Case 2 の計算結果。△が潮位観測所の位置で○が波形出力地点。

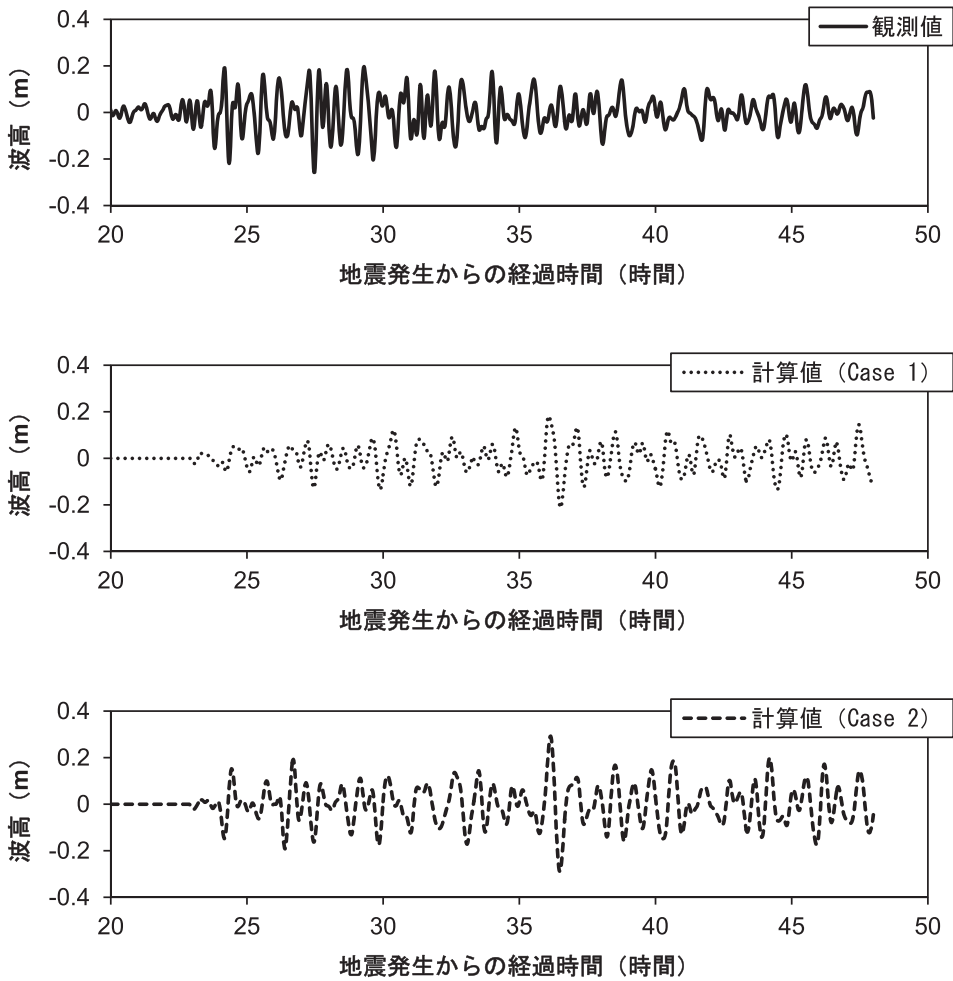


図-26 花咲における観測波形と津波数値計算（空間格子間隔約 6 km）の出力波形。

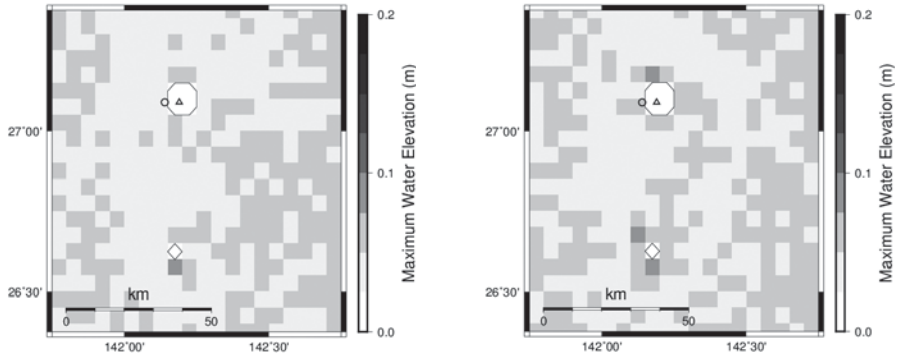


図-27 父島における最大波高分布（空間格子間隔約 6 km）。左図が Case 1 で右図が Case 2 の計算結果。△が潮位観測所の位置で○が波形出力地点。

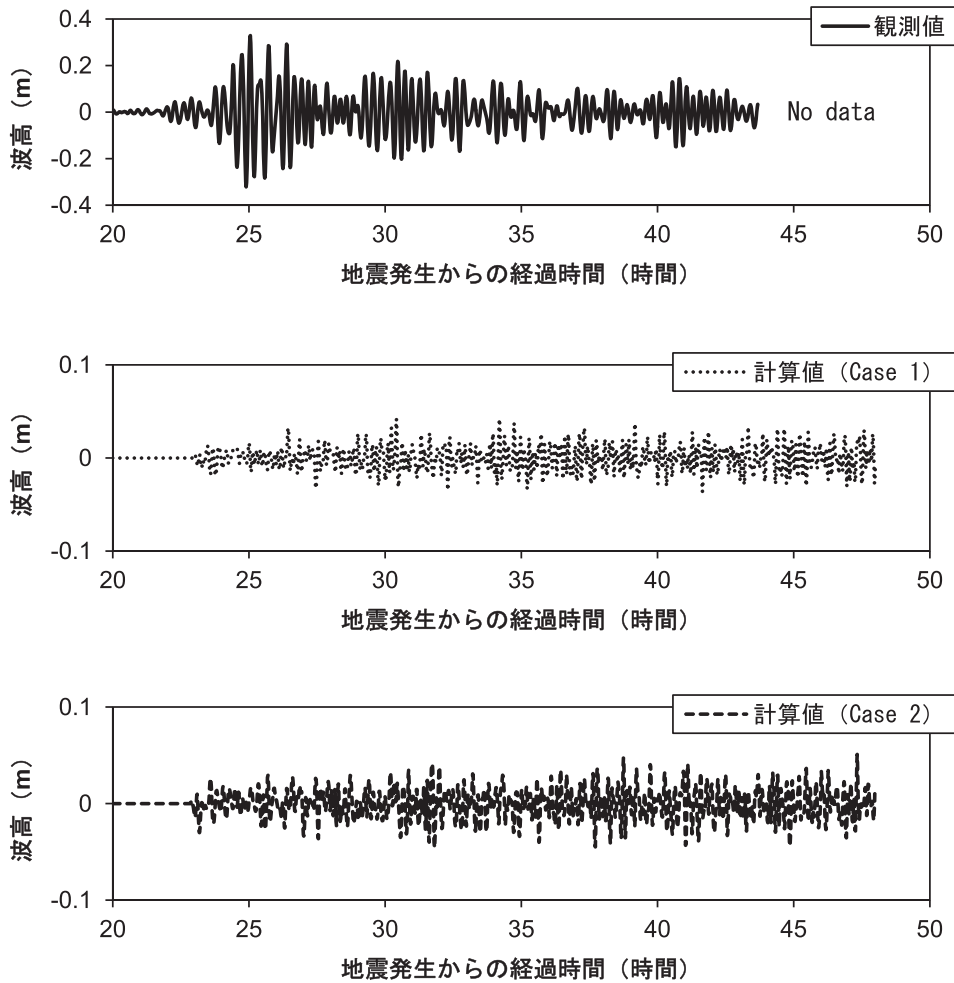


図-28 父島における観測波形と津波数値計算（空間格子間隔約 6 km）の出力波形。

第一波到達時間の予測は可能であるが、最大波高およびその発生時間を予測することは困難であるといえる。

#### 4.3.3. 日本での津波継続時間の予測

チリ周辺と太平洋全域の数値計算に要した時間は、それぞれ約12時間と約25時間であった。本震から1時間以内に発生した余震分布を考慮して断層パラメータを設定し数値計算を行った場合、地震発生から約26時間後には48時間分の津波波形を出力できる。2015年のチリ津波では2010年と2014年に比べて最も早く気象庁の警報・注意報が解除されたが（地震発生から約33時間後、表-2欄外）、それよりも早く結果の出力が可能である。

しかしながら、今回の規模のチリ津波では津波の到達時刻は予測できても、波高が小さいため、波高減衰の過程を再現することができなかった。2010年や1960年程度の規模津波ではどうなるか、またはより細かい解像度の地形データを用いてどこまで再現可能かを解明することは今後の課題である。

#### 4.4. 津波数値計算目的の再考

先述の通り、津波の到達時刻と最大波高を予測することを目的とした高精度かつ高速の数値計算は、様々な機関が行っている。しかしながら、マクロ的な評価だけでは現象を解明できないだけでなく、計算結果を誤って解釈する可能性がある。津波工学研究室としては、よりミクロ的な分析を行うことが求められていると考える。例えば、計算結果の妥当性を評価するために波形を出力しているが、潮位観測所や波形出力地点の位置と周辺の地形などを詳しく分析しなければ、観測値を使って計算値の妥当性を評価することはできない。

## 5. おわりに

今後遠地で津波が発生した時の参考となるよう、本イベントでの社会的な対応の課題と津波工学研究室としての対応の課題をまとめ

る。

まず、社会的な対応の課題について述べる。避難の対応としては、大雨などの複合災害の対応、夜間の避難情報および長時間の警報が具体的な課題として考えられる。複合災害においては、津波対策のために水門を閉鎖したことにより、大雨によって洪水が発生し、浸水被害が出るという事例は初めてであった。また、今回は津波到達予想時刻が早朝であったため、夜間に避難情報を出したが、大雨と夜間の条件下での避難の方法について議論が必要である。遠地津波の場合、津波が収束するまでに長い時間を要するため、長時間の津波警報・津波注意報が今後も予想されるが、今回の気象庁の対応のように頻繁に情報を共有することが、各機関および住民の早めの行動開始と津波に対する理解を促すと期待される。

次に、津波工学研究室としての対応の課題について述べる。課題としては、緊急時対応のマニュアル化、現象の解明および数値計算速報の精度検証が挙げられる。

ひとつめの緊急時対応のマニュアル化について、現状を整理し方針を提案する。現状では、津波数値計算や観測波形の分析の技術を習得している学生が少ないため、ほとんどの学生が情報収集を担当している。しかしながら、情報収集の方法や情報共有の方法が不確定なため、動きに無駄が多い。特に、情報源（ホームページのURLとそのアクセス日）が正確に共有されていない。NHKのオンラインニュースや海上保安庁の過去の潮位観測データは一定時間が経過するとオンライン上から削除されてしまうため、アクセス日を正確に記録しておく必要がある。また、USGSの地震情報も随時更新されるため、いつの時点での情報を使って数値計算を行ったかを説明できるようにアクセス日だけでなく、アクセス時刻も記録しておくことが望ましい。このような作業手順をマニュアル化し災害発生前に覚えることで、作業効率の向上につながると考える。一方で、数値計算や波形の分析を一人で行うことは、ヒューマンエラーにつ

ながる。そのため、学生全員が正確に作業を行い、情報を共有できるような仕組みづくりが必要である。例えば、二人一組で作業にあたりダブルチェックを行うことで、ヒューマンエラーの防止に効果があるだけでなく、上級生から下級生への経験知の継承が可能である。本書は、緊急時対応の実例として参考になるよう工夫した。今後の報告書作成時や緊急時対応のマニュアル作成時において参照されることを期待する。

現象の解明としては、津波波源モデルの推定、2010年のチリ津波との津波遡上高の比較、日本での津波波高が収束するまでの過程の解明が求められる。これらを明らかにすることで、将来再びチリ沖で地震が発生した場合の参考となる。

数値計算速報の精度検証では、日本での津波波高が過小評価となることが現状の課題である。空間格子サイズを小さくすれば精度は高くなるが、計算に要する時間が長くなる。また、過去に発生した津波の記録から、津波到達時間や最大波高はある程度予想が可能である。これらの現状を踏まえて、数値計算速報の結果に何をどの程度の精度で求めるのかを明らかにしておく必要がある。

## 謝辞

緊急時対応での情報収集にあたり、東北大学災害科学国際研究所災害リスク研究部門広域被害把握研究分野の Erick Mas 助教、関西大学社会安全学部水災害研究室の高橋智幸教授および東北大学大学院理学研究科地震・噴火予知研究観測センターの海野徳仁特任教授に共有していただいた情報を利用させていただきました。ここに記して御礼申し上げます。

## 参考資料

朝日新聞デジタル, 2015/09/18a, 岩手・久慈港で 80 cm 津波 15 都県に避難指示・勧告。http://www.asahi.com/articles/ASH9L2CHNH9LUTIL001.html, 2015 年 9

月 18 日アクセス。

朝日新聞デジタル, 2015/09/18b, 太平洋側に津波注意報 最大 1m 以下の津波の恐れ。http://www.asahi.com/articles/ASH9K62K5H9KUTIL04C.html, 2015 年 9 月 18 日アクセス。

沖縄タイムス, 2015/09/19, チリ沖地震の津波影響 沖縄で 4 校休校。https://www.okinawatimes.co.jp/article.php?id=133571, 2015 年 9 月 19 日アクセス。

海上保安庁, オンライン a, リアルタイム 験潮データー海上保安庁 最近 7 日間の釜石潮汐曲線。http://www1.kaiho.mlit.go.jp/KANKYO/TIDE/real\_time\_tide/sel/2102.htm, 2015 年 9 月 18 日アクセス。

海上保安庁, オンライン b, リアルタイム 験潮データー気象庁 最近 7 日間の花咲潮汐曲線。http://www1.kaiho.mlit.go.jp/KANKYO/TIDE/real\_time\_tide/sel/1202.htm, 2015 年 9 月 18 日アクセス。

海上保安庁, オンライン c, リアルタイム 験潮データー気象庁 最近 7 日間の父島潮汐曲線。http://www1.kaiho.mlit.go.jp/KANKYO/TIDE/real\_time\_tide/sel/3206.htm, 2015 年 9 月 18 日アクセス。

河北新報 ONLINE NEWS, 2015/09/18, <チリ地震津波>震災被災地沿岸に緊張。http://www.kahoku.co.jp/tohokunews/201509/20150918\_13054.html, 2015 年 9 月 19 日アクセス。

河北新報 ONLINE NEWS, 2015/09/19, <チリ地震津波>大雨と W パンチ 避難に課題。http://www.kahoku.co.jp/tohokunews/201509/20150919\_13031.html, 2015 年 9 月 19 日アクセス。

気象庁, 2010, 2010 年 2 月 27 日 15 時 34 分頃にチリ中部沿岸で発生した地震について (第 5 報)。報道発表資料, pp. 1-4。

気象庁, 2014, 2014 年 4 月 2 日 8 時 46 分頃にチリ北部沿岸で発生した地震について (第 5 報)。報道発表資料, pp. 1-5。

気象庁, 2015a, 平成 27 年 9 月 17 日 07 時 54 分頃にチリ中部沖で発生した地震につ

- いて。報道発表資料, pp. 1-7.
- 気象庁, 2015b, 平成27年9月17日07時54分頃にチリ中部沖で発生した地震について(第2報)。報道発表資料, pp. 1-8.
- 気象庁, 2015c, 平成27年9月17日07時54分頃にチリ中部沖で発生した地震について(第3報)。報道発表資料, pp. 1-5.
- 気象庁, 2015d, 平成27年9月17日07時54分頃にチリ中部沖で発生した地震について(第4報)。報道発表資料, pp. 1-5.
- 気象庁, 2015e, 平成27年9月17日07時54分頃にチリ中部沖で発生した地震について(第5報)。報道発表資料, pp. 1-5.
- 気象庁, 2015f, 平成27年9月17日07時54分頃にチリ中部沖で発生した地震について(第6報)。報道発表資料, pp. 1-8.
- 気象庁, 2015g, 平成27年9月17日07時54分頃にチリ中部沖で発生した地震について(第7報)。報道発表資料, pp. 1-7.
- 功刀卓, 2000, K-NET強震計記録に基づく気象庁計測震度と計測改正メルカリ震度の関係。地震第2輯, 第53巻, pp. 89-93.
- 消防庁応急対策室, 2015, チリ中部沖を震源とする地震による津波について(最終報)。災害情報詳細, pp. 1-5.
- 中日新聞 CHUNICHI Web, 2015/09/19, 県内でも避難や休校 チリ沖地震で津波観測。http://www.chunichi.co.jp/article/mie/20150919/CK2015091902000007.html, 2015年9月19日アクセス。
- 登別市, 2015/09/17, 津波避難準備に係る自主避難所の開設について。http://www.city.noboribetsu.lg.jp/article/2015091700072/, 2015年9月18日アクセス。
- 北海道新聞 どうしん ウェブ, 2015/09/18, 津波, 北海道内にも避難所 小中高10校休校。http://dd.hokkaido-np.co.jp/news/society/society/1-0181094.html, 2015年9月19日アクセス。
- 毎日新聞, 2015/09/18, 津波: 東北沿岸の住民避難。http://mainichi.jp/select/news/20150918k0000e040189000c.html, 2015年9月19日アクセス。
- レスキューナウ, 2015/09/18, [チリ中部沖 M8.3] チリ沿岸で4m超の津波観測・チリ国内で13人死亡(9/17~)。http://www.rescuenow.net/%E3%83%8B%E3%83%A5%E3%83%BC%E3%82%B9/2345, 2015年9月18日アクセス。
- AFP, 2015/09/19, Lessons from 2010 quake saved lives in Chile: experts. http://www.afp.com/en/news/lessons-2010-quake-saved-lives-chile-experts, 2015年9月19日アクセス。
- AFP BB NEWS, 2015/09/18, チリ地震「悪夢」から一夜, 死者12人 津波で沿岸に大きな被害。http://www.afpb.com/articles/-/3060679, 2015年9月18日アクセス。
- AFP BB NEWS, 2015/09/19, チリ地震, 5年前の教訓が命を救った専門家。http://www.afpb.com/articles/-/3060826?pid=16542693, 2015年9月19日アクセス。
- CEA, オンライン, Scientific Files, Magnitude Mw=8.8 earthquake in Chile (115 km NNE of Concepcion) on 27 February 2010 and Pacific-wide tsunami. http://www-dase.cca.fr/actu/dossiers\_scientifiques/2010-03-01/index\_en.html, 2015年9月19日アクセス。
- CNN, 2014/04/03, チリ地震, 死者6人に建築基準の徹底で被害を抑制。http://www.cnn.co.jp/world/35046033.html, 2015年9月19日アクセス。
- Hawaii Emergency Management Agency, 2015/9/16, TSUNAMI ADVISORY REMAINS IN EFFECT FOR HAWAII. http://www.scd.hawaii.gov/nr/20150916\_ChileEarthquakeNR02.pdf, 2015年9月17日アクセス。
- IOC, オンライン, Sea Level Station Monitoring Facility—Station details. http://www.ioc-sealevelmonitoring.org/station.php?code=coqu2, 2015年9月17日アクセス。
- ITIC, オンライン, M8.2 Earthquake Generates Local Tsunami in Northern Chile, 01 April 2014. http://itic.ioc-unesco.org/images/stories/list\_of\_tsunamis/2014/01apr2014\_

- chile/01apr2014\_energyn3dmly\_ntwc.jpg, 2015年9月19日アクセス。
- MBS Mainichi Broadcasting System, 2015/09/18, 30センチの津波観測 岩手・大船渡では。http://www.mbs.jp/news/society/20150918/00000012.shtml, 2015年9月19日アクセス。
- Ministry of Civil Defence & Emergency Management, 2015/09/17, Chile earthquake - Tsunami warning (Marine and Beach threat). http://www.civildefence.govt.nz/resources/active-emergencies/chile-earthquake-tsunami-warning-marine-and-beach-threat/, 2015年9月18日アクセス。
- Nacional, 2010/03/01, Confirman 711 victimas fatales y FFAA resguarda seguridad en zonas afectadas. http://www.latercera.com/contenido/680\_229638\_9.shtml, 2015年9月19日アクセス。
- NHK NEWS WEB, 2015/09/17, 岩手 宮古の漁港で津波に備え漁船陸あげ。http://www3.nhk.or.jp/news/html/20150918/k10010240441000.html, 2015年9月18日アクセス。
- NHK NEWS WEB, 2015/09/18a, 気象庁「午後4時までデータ監視し解除か判断」。http://www3.nhk.or.jp/news/html/20150918/k10010240441000.html, 2015年9月18日アクセス。
- NHK NEWS WEB, 2015/09/18b, 水門閉鎖後 住宅 14 棟が浸水。http://www3.nhk.or.jp/shutoken-news/20150918/5052882.html, 2015年9月19日アクセス。
- NHK NEWS WEB, 2015/09/19, チリ巨大地震 被災者 1500 人の生活再建急ぐ。http://www3.nhk.or.jp/news/html/20150919/k10010242071000.html, 2015年9月19日アクセス。
- NTWC, オンライン a, Tsunami Travel Time. http://wcatwc.arh.noaa.gov/events/PAAQ/2015/09/16/nuskyv/2/WEAK53/ttvunuskyv-02.jpg, 2015年9月17日アクセス。
- NTWC, オンライン b, Tsunami Propagation Forecast. http://wcatwc.arh.noaa.gov/events/PAAQ/2015/09/16/nuskyv/energynuskyv.jpg, 2015年9月17日アクセス。
- Papazachos B. C., Scordilis E. M., Panagiotopoulos D. G., Papazachos C. B. and Karakaisis G. F., 2004, Global relations between seismic fault parameters and moment magnitude of earthquake, Bulletin of the Geological Society of Greece, Vol. 35, pp. 1482-1489.
- PTWC, オンライン a, Message pacific. TSUPAC.2015.09.17.2306. http://ptwc.weather.gov/text.php?id=pacific.TSUPAC.2015.09.17.2306, 2015年9月18日アクセス。
- PTWC, オンライン b, PTWC Pacific Ocean message archive—pacific. TSUPAC.2014.04.02.0443. http://ptwc.weather.gov/ptwc/text.php?id=pacific.TSUPAC.2014.04.02.0443, 2016年4月27日アクセス。
- PTWC, オンライン c, PTWC Pacific Ocean message archive—pacific.2010.02.28.093706. http://ptwc.weather.gov/ptwc/text.php?id=pacific.2010.02.28.093706, 2016年4月27日アクセス。
- The Guardian, 2015/09/17, Chile earthquake: one million people evacuated after 8.3 magnitude quake ? live updates. http://www.theguardian.com/world/live/2015/sep/17/chile-earthquake-massive-83-magnitude-tremor-strikes-santiago-live-updates#block-55fa1020e4b0b18640539c52, 2015年9月18日アクセス。
- The Orange County Register, 2015/09/17, This one was a dud, but is Orange County ready for a serious tsunami?. http://www.oregister.com/articles/beach-683009-tsunami-waves.html, 2015年9月18日アクセス。
- USGS, オンライン a, General—Summary. http://earthquake.usgs.gov/earthquakes/eventpage/us20003k7a#general\_summary,

- 2015年9月18日アクセス。  
USGS, オンライン b, Scientific—Origin. [http://earthquake.usgs.gov/earthquakes/eventpage/us20003k7a#scientific\\_origin:us\\_us20003k7a](http://earthquake.usgs.gov/earthquakes/eventpage/us20003k7a#scientific_origin:us_us20003k7a), 2015年9月18日アクセス。
- USGS, オンライン c, Scientific—Moment Tensor. [http://earthquake.usgs.gov/earthquakes/eventpage/us20003k7a#scientific\\_tensor:us\\_us\\_20003k7a\\_mww](http://earthquake.usgs.gov/earthquakes/eventpage/us20003k7a#scientific_tensor:us_us_20003k7a_mww), 2015年9月18日アクセス。
- USGS, オンライン d, Impact—Did You Feel It?. [http://earthquake.usgs.gov/earthquakes/eventpage/us20003k7a#impact\\_dyfi](http://earthquake.usgs.gov/earthquakes/eventpage/us20003k7a#impact_dyfi), 2015年9月18日アクセス。
- USGS, オンライン e, Scientific Summary—Moment Tensor. <http://earthquake.usgs.gov/earthquakes/eventpage/us20003k7a#moment-tensor>, 2015年4月22日アクセス。
- Yahoo! JAPAN, オンライン, 天気・災害トップ—避難情報. <http://crisis.yahoo.co.jp/evacuation/?t=0&b=1>, 2015年9月18日アクセス。