

平成24年4月～平成25年1月に発表した津波警報・注意報の評価について

1. 概要

平成24年(2012年)4月1日～平成25年(2013年)1月31日の期間に津波警報・注意報を発表した地震は、平成24年8月31日のフィリピン諸島の地震及び、平成24年12月7日の三陸沖の地震の2つであった。また、平成24年10月28日のカナダ、クイーンシャーロット諸島の地震では、日本沿岸の広い範囲で津波が観測された。そのため、この事例を含めた3つの地震について、津波警報・注意報の評価を行う。地震についての概要を図1.1及び表1.1に、評価のための詳細を2章以降に示す。

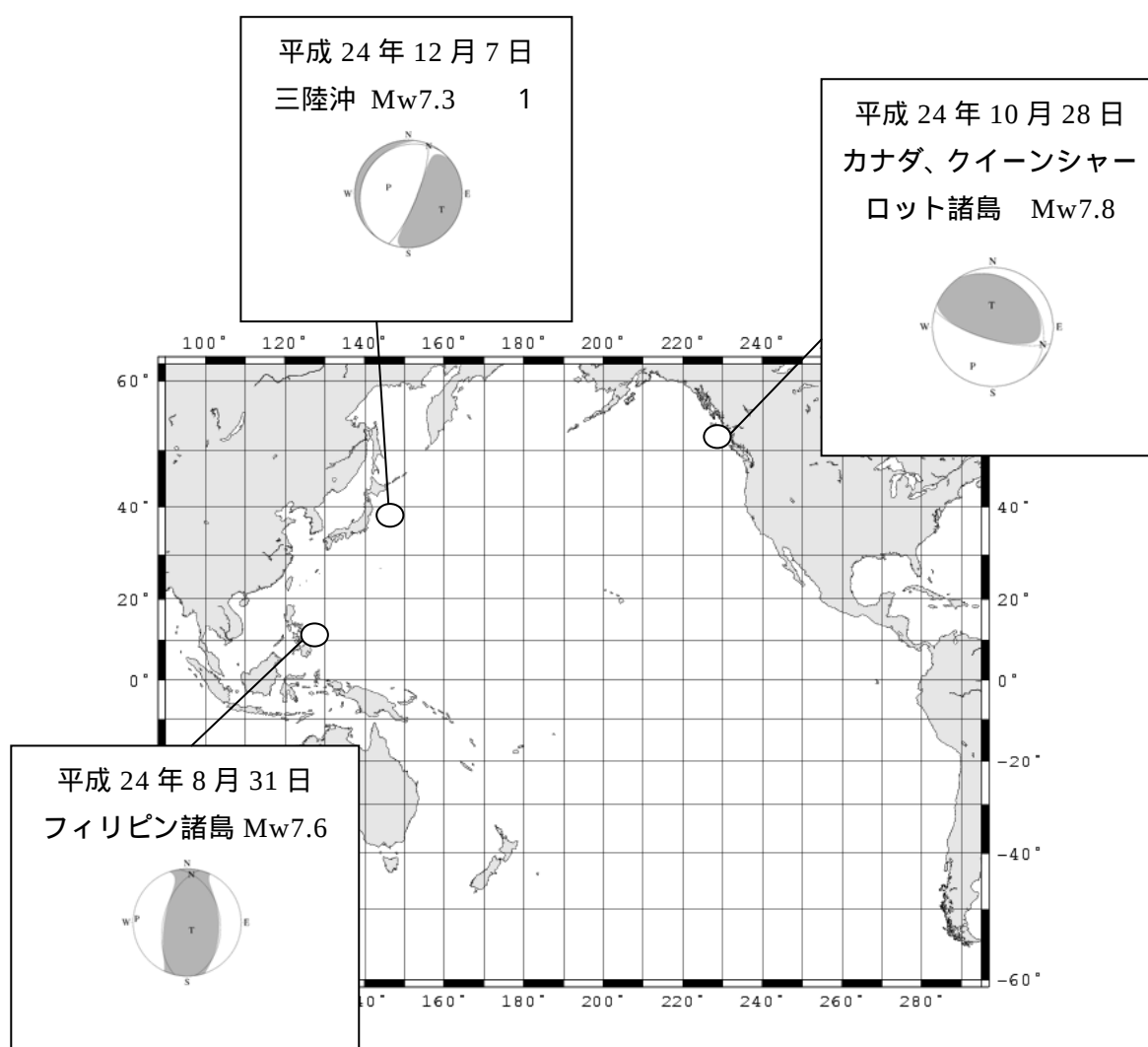


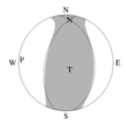
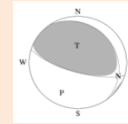
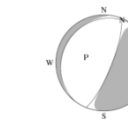
図 1.1 津波警報・注意報 発表した地震及び、平成24年10月28日の地震

(期間：平成24年4月1日～平成25年1月31日)

図には、気象庁で求めたCMT解を示す。 1 平成24年12月7日三陸沖のMw7.3の地震では、この地震の約8秒前にM7クラスと推定される地震が発生していた。

表 1.1 津波警報・注意報 発表した地震及び、平成 24 年 10 月 28 日 の地震

(期間：平成 24 年 (2012 年) 4 月 1 日～平成 25 年 1 月 31 日)

No.		1	2	3
地震発生日時	年	2012年	2012年	2012年
	月日	8月31日	10月28日	12月7日
	時刻 ①	21:47	12:04	17:18
震央地名		フィリピン諸島	カナダ、クイーン シャーロット諸島 (ハイダ・グワイ)	三陸沖 *1
震源	緯度	10度48.7分N	52度46.1分N	38度01.1分N
	経度	126度38.3分E	131度55.6分W	143度52.0分E
	深さ	28km	18km	49km
M		7.6 (Ms)	7.5 (Ms)	7.3 (Mjma)
CMT解	Mw	7.6	7.8	7.3
	発震機構 (メカニズム)	逆断層	逆断層	正断層
				
津波警報・ 注意報発表時刻 ②		22:07	(発表なし)	17:22
地震発生から警報・注意報 の発表までに要した時間 ②－① (時間:分)		0:20		0:04
全解除時刻 ③		9月1日 0:10		19:20
津波警報・注意報の発表から 全解除までの時間 ③－② (時間:分)		2:03		1:58
津波警報の発表 (あり:○、なし:-)		－		○
津波注意報の発表 (あり:○、なし:-)		○		○
津波警報・注意報発表 に用いたM、深さ	M	7.9	－	7.3 (Mjma)
	深さ	－	－	10km
観測された津波の高さ の最大	地点	八丈島八重根 (巨大) *2	八丈島八重根 (巨大) *2	石巻市鮎川
	高さ	1日02時14分 0.5m *3	28日23時35分 0.6m *3	7日18時03分 98cm
津波による被害の有無 (消防庁による)	人的被害	－	－	－
	物的被害	－	－	－

フィリピン諸島の地震とカナダ、クイーンシャーロット諸島の地震の震源、Mは米国地質調査所(USGS)の Preliminary Determination of Epicenters (PDE) による。ただし、CMT 解の Mw と発震機構は気象庁による。

*1 平成 24 年 12 月 7 日三陸沖の Mw7.3 の地震では、この地震の約 8 秒前に M7 クラスと推定される地震が発生していた。

*2 巨大津波観測計で計測したことを示す。(観測単位は 0.1m)

*3 主に、津波によって湾内の副振動が増幅した結果と推測される。

2. 平成24年8月31日 フィリピン諸島の地震で発表した津波注意報の評価

2.1 地震の概要

平成24年(2012年)8月31日21時47分、フィリピン諸島の深さ28kmでM7.6の地震が発生した。発震機構(気象庁CMT解)は東西方向に圧力軸を持つ逆断層型であった。

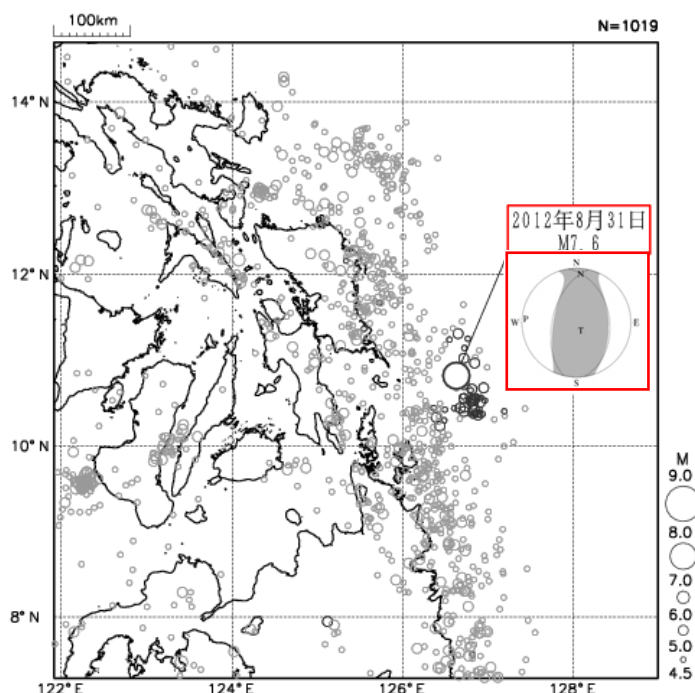


図2.1 今回の地震と周辺の震央位置、発震機構

2001年1月1日～2012年9月4日の期間に発生した、M 4.5、深さ0～100kmの地震を表示している。2012年8月1日以降の地震を濃く表示している。震源要素は米国地質調査所[USGS]による。

2.2 津波注意報の概要

地震発生20分後の22時07分に、津波注意報を発表した。津波注意報発表から2時間3分後の翌9月1日00時10分に津波注意報を解除した。

表2.1 津波注意報の発表状況

発表時刻	概要	発発表予報区
8月31日 22時07分	津波注意報発表	岩手県、宮城県、福島県、茨城県、千葉県九十九里・外房、千葉県内房、伊豆諸島、小笠原諸島、相模湾・三浦半島、静岡県、愛知県外海、三重県南部、和歌山県、徳島県、高知県、宮崎県、鹿児島県東部、種子島・屋久島地方、奄美群島・トカラ列島、沖縄本島地方、大東島地方、宮古島・八重山地方
9月1日 00時10分	津波注意報解除	全ての予報区

2.3 津波の観測と予想との比較

表2.2 各予報区において予測した津波の高さと、観測した津波の高さ

津波予報区	予測(津波の高さ)	予報区内で観測した津波の高さの最大
岩手県	津波注意報(0.5m)	観測されず
宮城県	津波注意報(0.5m)	6cm
福島県	津波注意報(0.5m)	観測されず
茨城県	津波注意報(0.5m)	観測されず
千葉県九十九里・外房	津波注意報(0.5m)	観測されず
千葉県内房	津波注意報(0.5m)	12cm
伊豆諸島	津波注意報(0.5m)	0.5m ※1
小笠原諸島	津波注意報(0.5m)	12cm
相模湾・三浦半島	津波注意報(0.5m)	14cm
静岡県	津波注意報(0.5m)	12cm
愛知県外海	津波注意報(0.5m)	11cm
三重県南部	津波注意報(0.5m)	17cm
和歌山県	津波注意報(0.5m)	19cm
徳島県	津波注意報(0.5m)	13cm
高知県	津波注意報(0.5m)	19cm
宮崎県	津波注意報(0.5m)	9cm
鹿児島県東部	津波注意報(0.5m)	観測されず
種子島・屋久島地方	津波注意報(0.5m)	11cm
奄美群島・トカラ列島	津波注意報(0.5m)	22cm
沖縄本島地方	津波注意報(0.5m)	6cm
大東島地方	津波注意報(0.5m)	観測されず
宮古島・八重山地方	津波注意報(0.5m)	5cm

黄は「津波注意報」のグレードであることを示す。

表中の観測値は後日変更される場合がある。

1 八丈島八重根の巨大津波観測計で観測したことを示す(観測単位は0.1m単位)

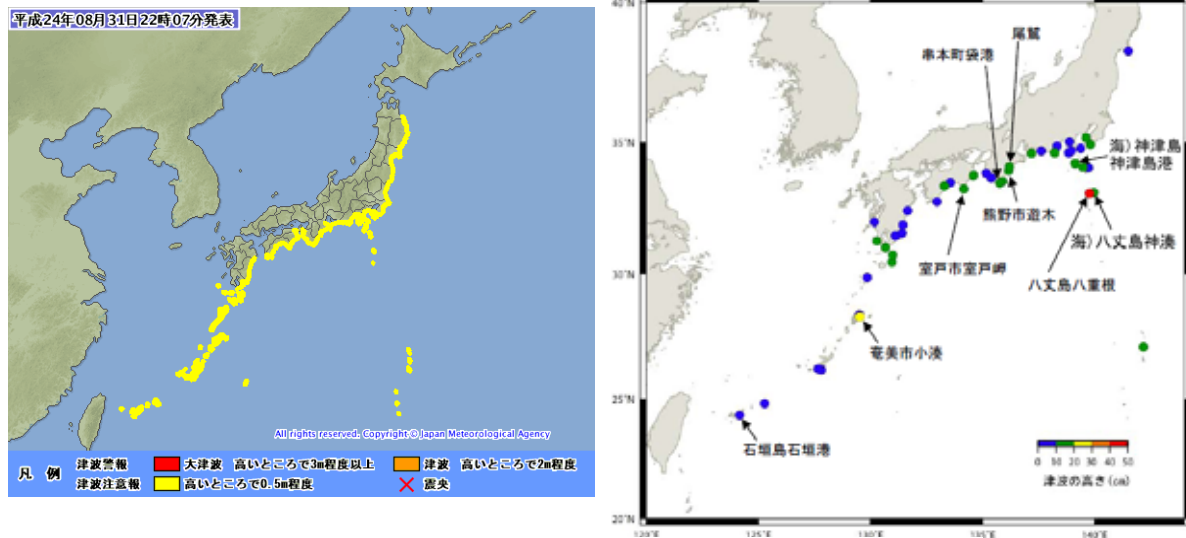


図 2.2 発表した津波注意報（左図）と、沿岸の津波観測点で観測された津波の高さの最大（右図）

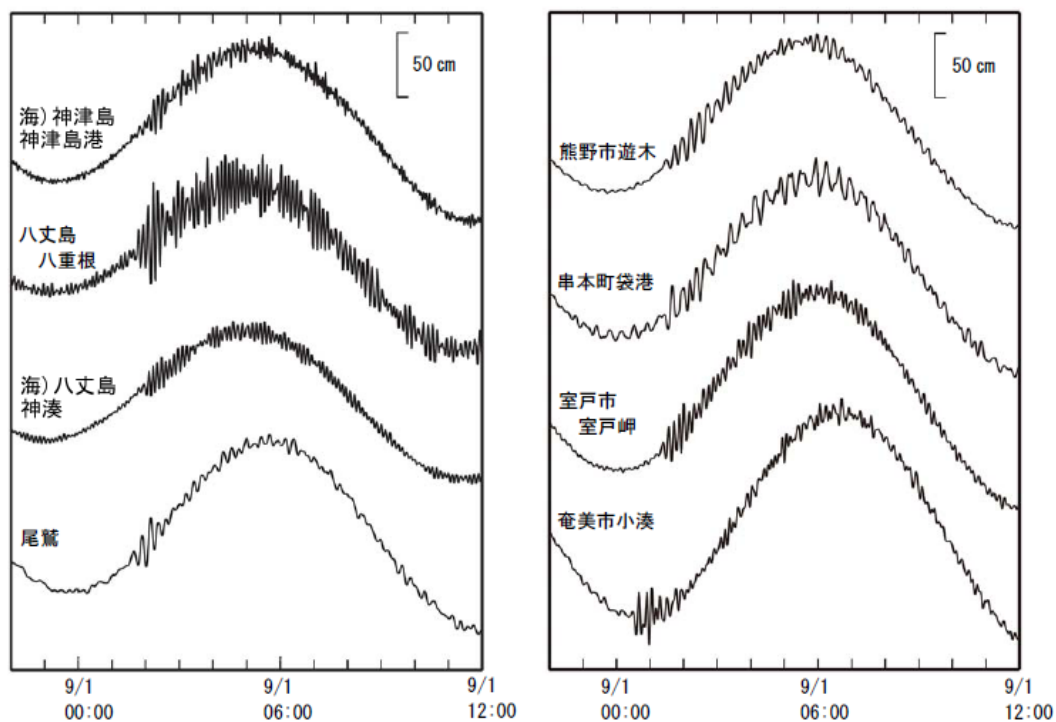


図 2.3 観測された津波の波形 海)は海上保安庁、無印は気象庁の観測点であることを示す。

2.4 津波予測の評価

発表した津波注意報は実際に観測された津波の高さを若干上回るものであったが、概ね妥当な内容であったと言える。以下に津波注意報発表から解除までの経緯を示す。

緊急的に得た震源、M7.9 で遠地地震用の津波予測データベースを検索し、日本沿岸に津波注意報の程度の津波が予測されたため、地震発生 20 分後に津波注意報を発表した。（図

2.2)

その後、地震発生約40分後の22:20頃に得られたCMT解析結果の $M_w7.6$ 及びメカニズムを使用し、津波評価解析装置で津波リアルタイムシミュレーションを実行した。ここで、断層のサイズは M_w からスケーリング則で決定し、一様なすべりを一枚断層で与えた(図2.4、図2.5)。この予測では、最初のデータベース検索で用いた $M7.9$ よりも小さい $M7.6$ を与えたことから全体に予測は小さくなったが、依然、日本沿岸の数地点で津波注意報程度の津波が予測された。この予測結果について、フィリピン沖のDARTブイ52405地点(12.881 N 132.333 E)で観測波形と予測波形を比較したところ、観測の最大高さは、シミュレーションで予想される高さの半分程度であった(図2.6)。そのため、石垣港等の日本沿岸の地点で津波が到達し始めていたが、今後、津波注意報程度の津波は予想されないと判断し、翌日9月1日0時10分に津波注意報を解除した。

図2.7にシミュレーション予測値と実際に観測された津波の高さの比較を示す。予測を半分にしたものも示す(図2.8)。予測を半分としたものと観測が同程度となる。これは、シミュレーションによる予測をDARTの観測値により補正することにより、若干のばらつきはあるものの、日本沿岸の津波がより精度良く求められていることを示している。

なお、津波注意報解除後に八丈島八重根で翌日9月1日2時14分、0.5mの津波を観測した。これは、湾内に入った津波により湾の固有振動の周期と一致した副振動が励起した結果であると推測される。このような津波はシミュレーション予測では再現できなかった。

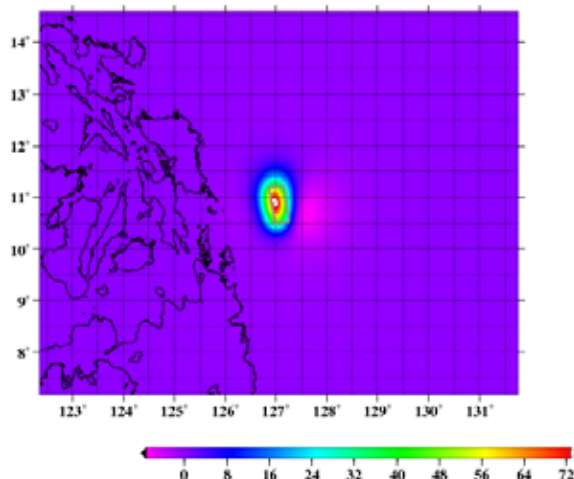


図 2.4 津波の初期水位

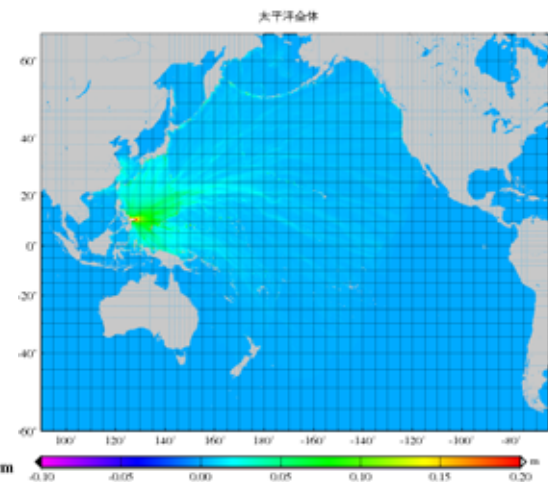


図 2.5 津波の最大高さ分布



図 2.6 比較した DART ブイ 52405 地点の波形 (橙色:シミュレーション予測、赤色:観測)

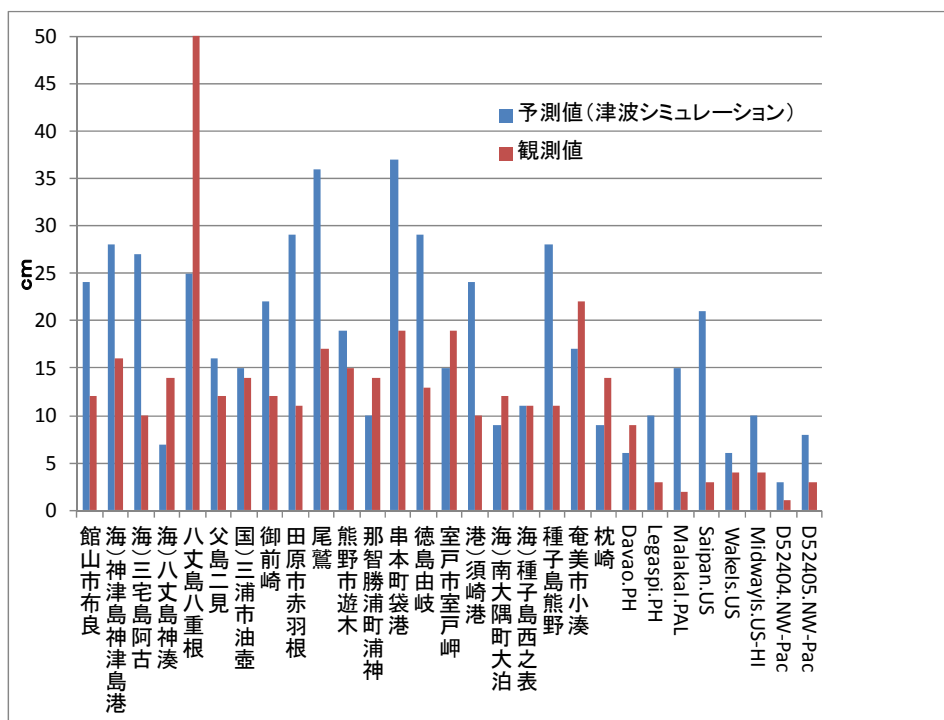


図 2.7 シミュレーション予測値と観測値の比較（観測値 10cm 以上の地点）
 港)は国土交通省港湾局、国)は国土地理院、海)は海上保安庁、無印は気象庁の津波観測点である。

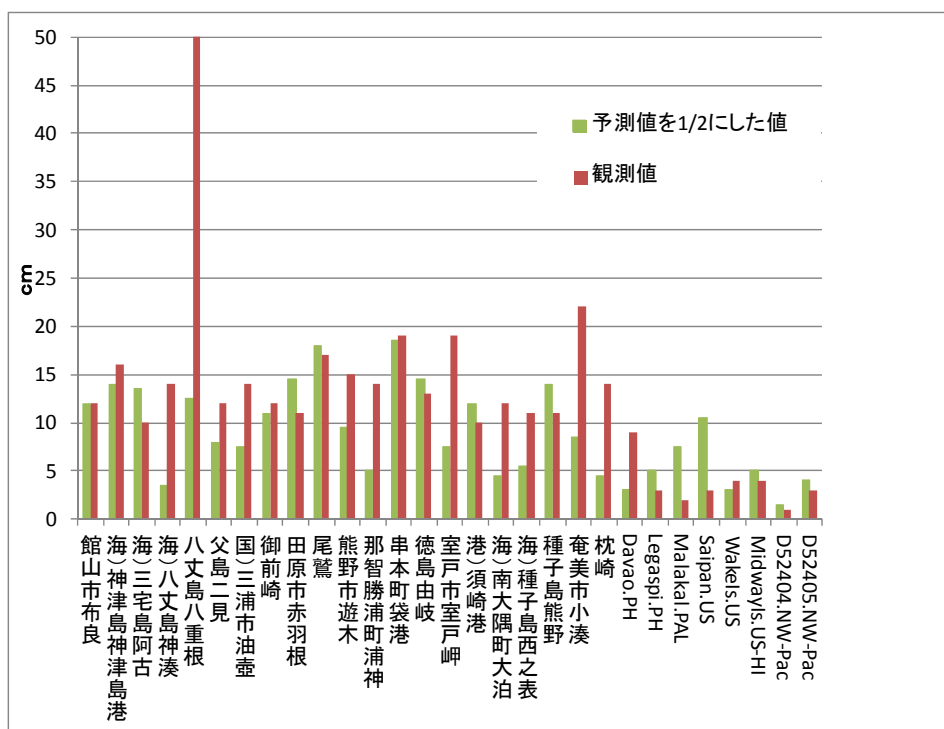


図 2.8 図 2.7 のシミュレーション予測値を 1/2 にした値と観測値の比較

3.平成24年10月28日 カナダ、クイーンシャーロット諸島（ハイダ・グワイ）の地震による津波の評価

3.1 地震の概要

平成24年(2012年)10月28日12時04分、カナダ、クイーンシャーロット諸島の深さ18kmでM7.8の地震が発生した。発震機構（気象庁CMT解）は北北東-南南西方向に圧力軸を持つ逆断層型であった。

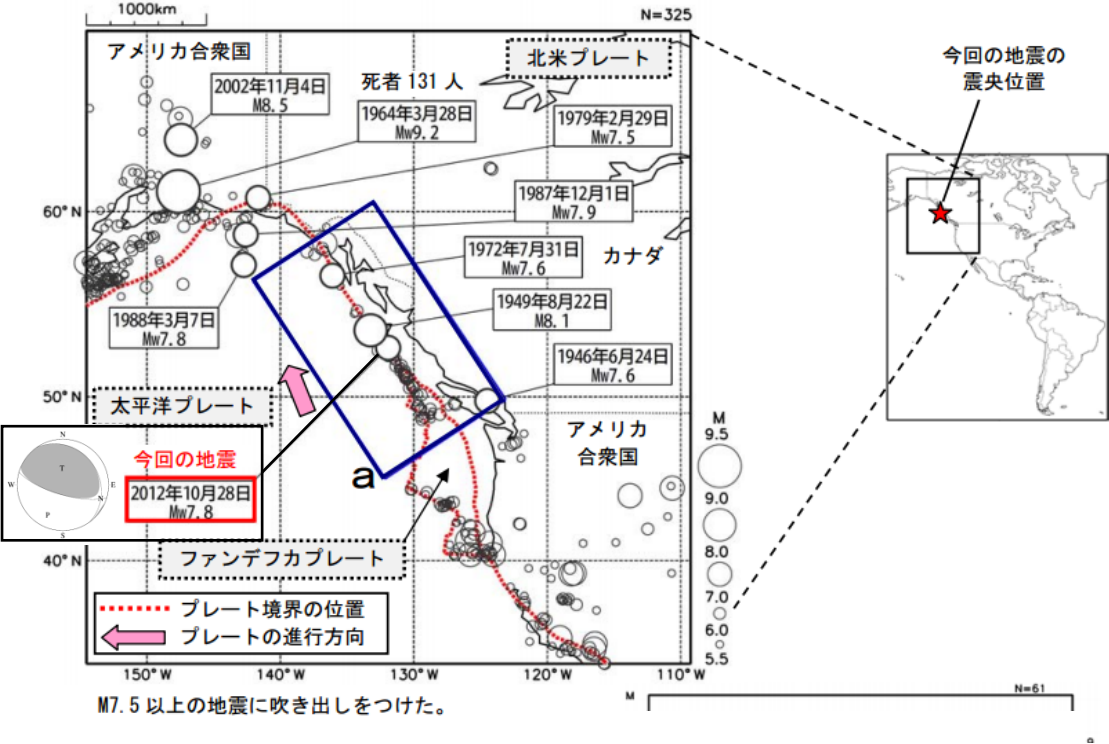


図3.1 今回の地震と周辺の震央位置、発震 1940年1月～2012年10月の期間に発生した、深さ0～100km、M 5.5の地震の震央を示す。Mwは気象庁による、その他の震源要素は米国地質調査所（USGS）による。

3.2 津波の観測と予想との比較

表3.1 各予報区において予測した津波の高さと、観測した津波の高さ

津波予報区	予測(津波の高さ ※リアルタイムシミュレーションの予測値)	予報区内で観測した津波の高さの最大
青森県太平洋沿岸	津波なし(3cm)	12cm
岩手県	津波なし(6cm)	24cm
宮城県	津波なし(4cm)	19cm
福島県	津波なし(5cm)	14cm
茨城県	津波なし(4cm)	12cm
千葉県九十九里・外房	津波なし(9cm)	8cm

千葉県内房	津波なし(4cm)	12cm
伊豆諸島	津波なし(3cm)	0.6m ※1
小笠原諸島	津波なし(3cm)	11cm
相模湾・三浦半島	津波なし(2cm)	8cm
静岡県	津波なし(4cm)	12cm
三重県南部	津波なし(5cm)	7cm
和歌山県	津波なし(4cm)	10cm
徳島県	津波なし(3cm)	8cm
高知県	津波なし(4cm)	11cm
宮崎県	津波なし(4cm)	11cm
鹿児島県東部	津波なし(2cm)	12cm
種子島・屋久島地方	津波なし(4cm)	11cm
奄美群島・トカラ列島	津波なし(2cm)	17cm
沖縄本島地方	津波なし(4cm)	5cm

1 八丈島八重根の巨大津波観測計で観測したことを示す（観測単位は0.1m単位）

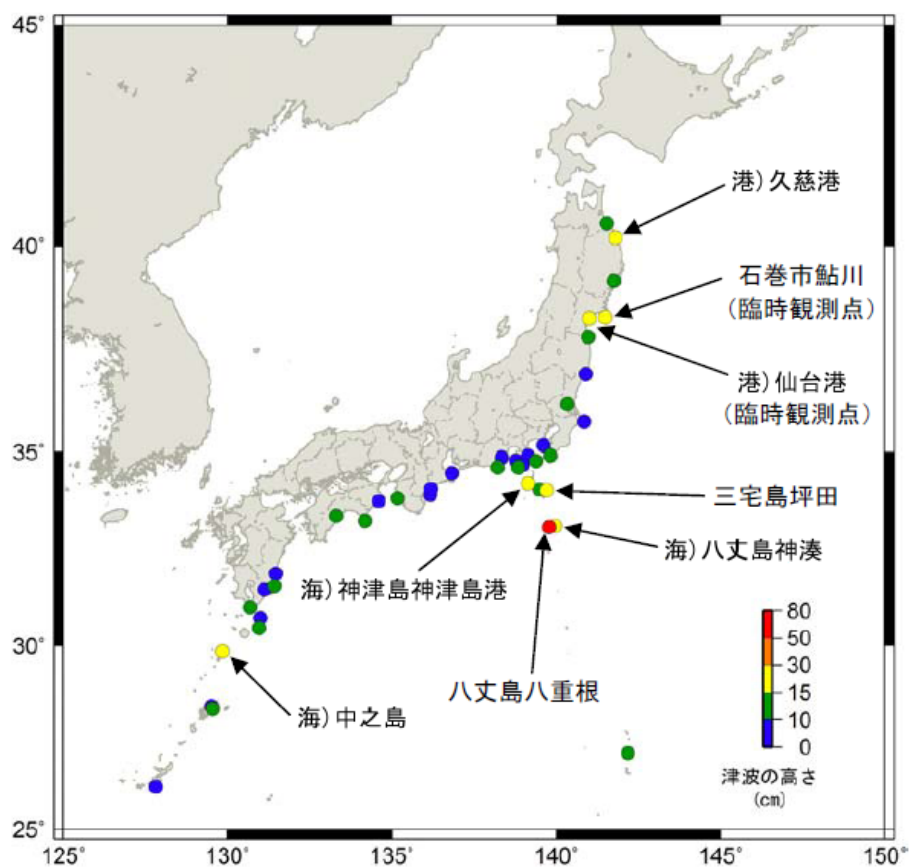


図 3.2 沿岸の津波観測点で観測された津波の高さ 港)は国土交通省港湾局、海)は海上保安庁、無印は気象庁の津波観測点である。

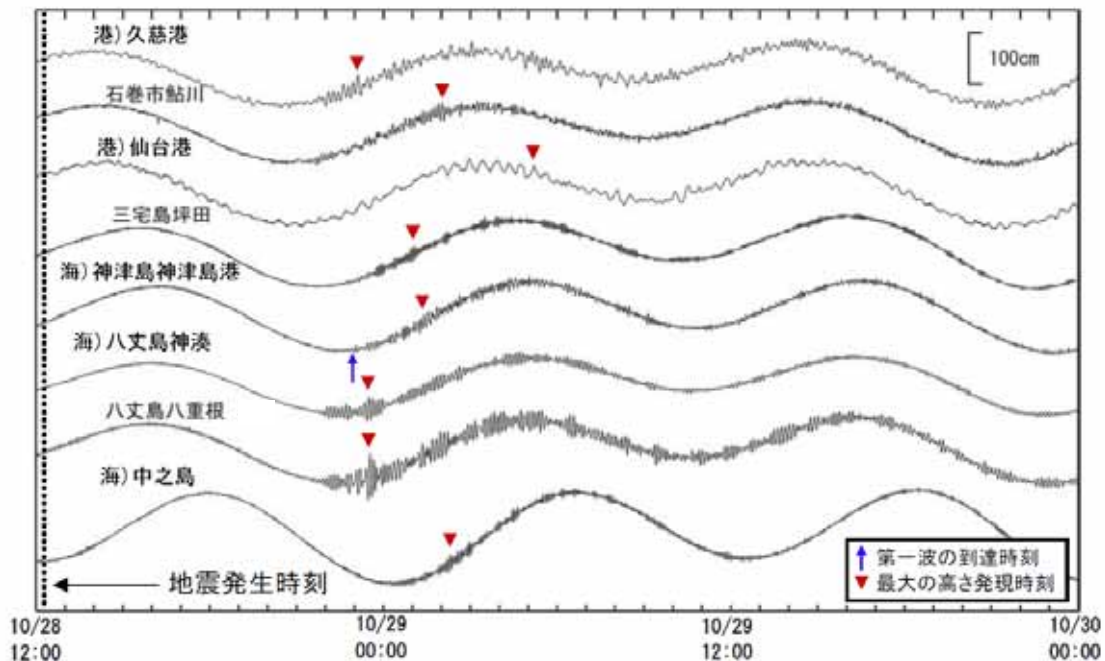


図 3.3 観測された津波の波形 港)は国土交通省港湾局、海)は海上保安庁、無印は気象庁の津波観測点である。

3.3 津波予測の評価

この地震について、地震発生時に緊急的に求めた震源、M7.7 で遠地地震用津波予測データベースを検索したところ、日本沿岸で予想される津波は、数 10cm 程度であった。その後、得られた CMT 解を用いてリアルタイムシミュレーションを実行したところ、日本沿岸で予想される津波は、数 cm 程度であった（表 3.1）。そのため、地震発生 2 時間 31 分後の 28 日 14:35 に遠地地震に関する情報で「日本への津波の影響なし」の発表を行った。

その後、地震発生約 10 時間後の 28 日 22 時頃から、日本沿岸で若干の海面変動（八丈島八重根と久慈港を除いて、最大の高さが 10cm 程度の津波）を記録した。

リアルタイムシミュレーションにおいて若干の海面変動に達しない予報区が多かったことなどから「日本への津波の影響なし」とした。

東北地方の太平洋岸から九州西岸までの津波観測点の各所で、海面変動クラスの津波観測をした地点があった結果から、リアルタイムシミュレーションによる数 cm の予想から「津波なし」の判断に対し、予想誤差を考慮し「若干の海面変動」へグレード上げを選択する判断もあったと考えられるが、被害の心配のない海面変動クラスの津波に対して、海での人の活動等の時期・状況を考慮して、安全安心につながるよう発表の仕方を工夫すべきである。

八丈島八重根で 28 日 23 時 35 分、0.6m の津波を観測したが、8 月 31 日のフィリピン諸

島の地震と同様、湾内に入った津波により湾の固有振動の周期と一致した副振動が励起した結果であると推測される。このような潮位変動は津波シミュレーションで再現できおらず、その予測は難しく、観測によって現象を覚知して対応を判断するようなこととなる。一方、港内に限るような局地的な潮位変動に対する注意喚起のあり方について、当該港湾を含む予報区全体への注意喚起の要否を考慮する必要がある。このため、自治体及び港湾関係者とともに、津波予報と副振動に対する注意喚起の適切な運用を検討していく必要がある。

4．平成24年12月7日 三陸沖の地震で発表した津波警報・注意報の評価

4.1 地震の概要

平成24年(2012年)12月7日17時18分、三陸沖の深さ49kmでM7.3の地震が発生した。発震機構(気象庁CMT解)は西北西-東南東方向に張力軸を持つ正層型であった。この地震の約8秒前にもM7クラスと推定される地震が発生していた。

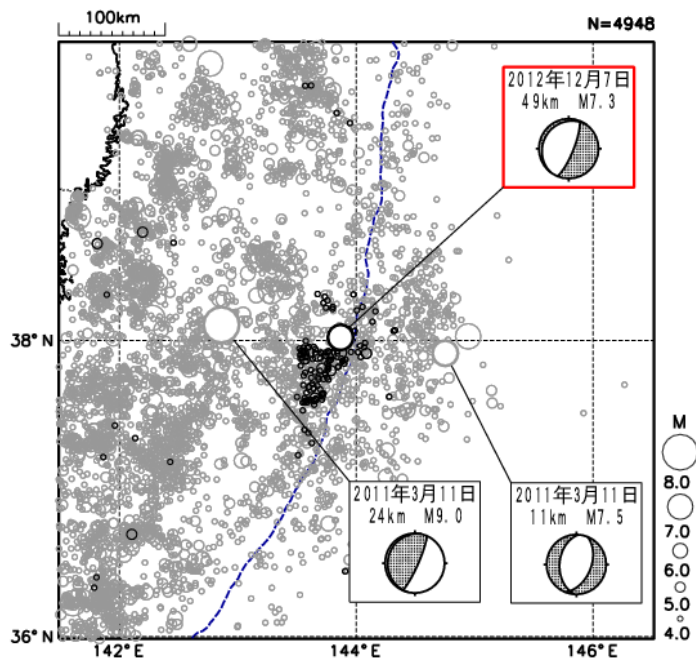


図4.1 今回の地震と周辺の震央位置、発震機構

1997年10月1日～2012年12月31日の期間に発生した、M4.0、深さ0～100kmの地震を表示している。2012年12月7日以降の地震を濃く表示している。発震機構はCMT解。

4.2 津波警報・注意報の概要

地震発生約4分後の17時22分に、津波警報・注意報を発表した。津波警報・注意報発表から1時間58分後の19時20分に津波警報・注意報を解除した。

表 4.1 津波警報・注意報の発表状況

発表時刻	概要	発表予報区
12月7日 17時22分	津波警報・注意報発表	津波警報：宮城県
		津波注意報：青森県太平洋沿岸、岩手県、福島県、茨城県
19時20分	津波警報・注意報解除	全ての予報区

4.3 津波の観測と予想との比較

表 4.2 各予報区において予測した津波の高さと、観測した津波の高さ

津波予報区	予測(津波の高さ)	予報区内で観測した津波の高さの最大
青森県太平洋沿岸	津波注意報(0.5m)	11cm
岩手県	津波注意報(0.5m)	23cm
宮城県	津波警報(1m)	98cm
福島県	津波注意報(0.5m)	31cm
茨城県	津波注意報(0.5m)	観測されず

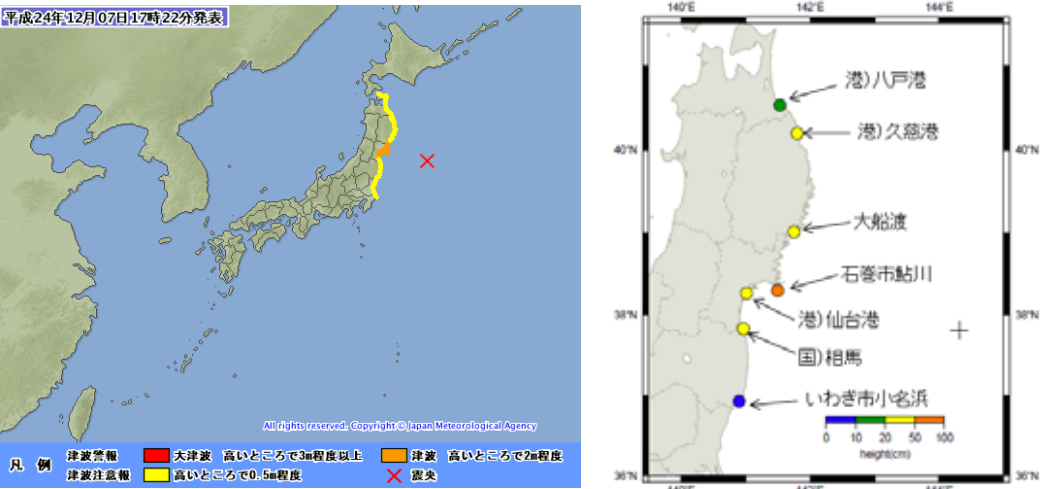


図 4.2 発表した津波警報・注意報（左図）と、津波を観測した沿岸の津波観測点（右図）
港)は国土交通省港湾局、国)は海上保安庁、無印は気象庁の津波観測点である。

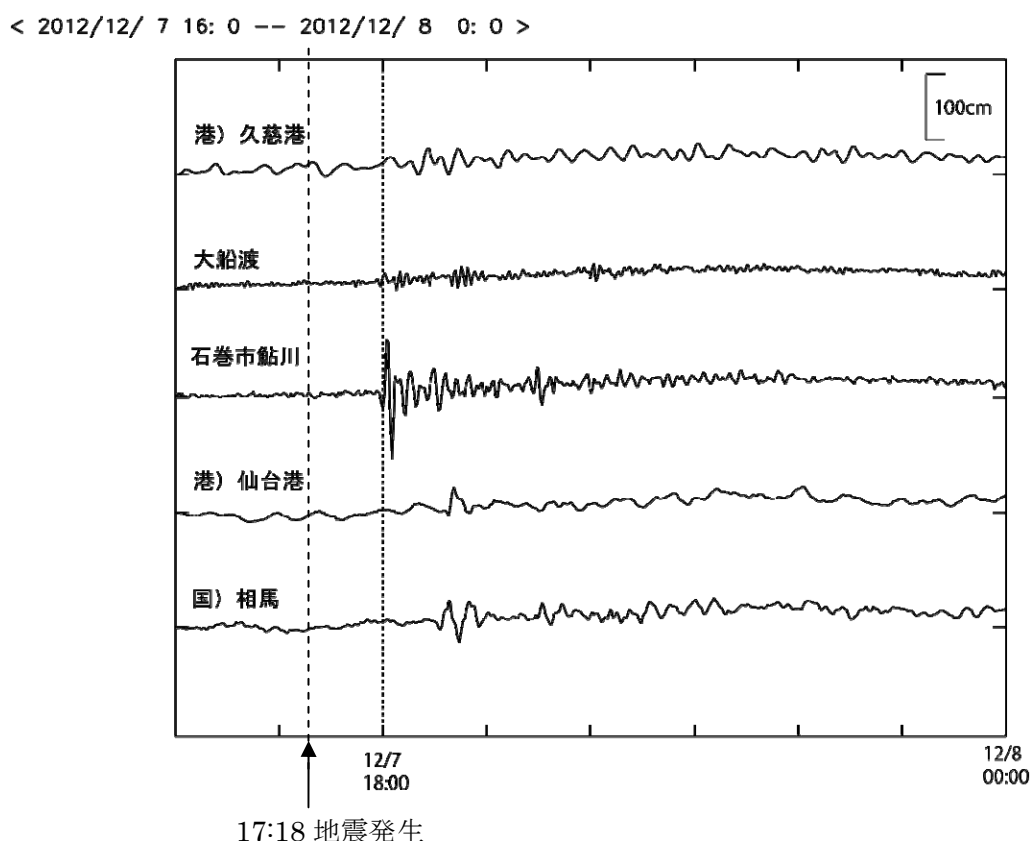


図 4.3 観測された津波の波形 港)は国土交通省港湾局、国)は海上保安庁、無印は気象庁の津波観測点である。

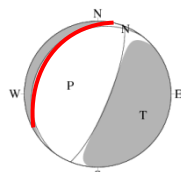
4. 4 津波予測の評価

この地震について、地震発生時に緊急的に求めた震源、M7.3 で近地地震用津波予測データベース検索し、得られた結果を使用して津波警報・注意報を発表した。津波警報を発表した津波予報区の宮城県石巻市鮎川で 98 c m、津波注意報を発表した津波予報区の岩手県の久慈港で 23cm、福島県の相馬で 31cm などが観測された。発表した津波警報・注意報は概ね妥当なものであったと言える。沖合の宮城金華山沖 G P S 波浪計（宮城中部沖）でも 0.1m の津波が観測された。

なお、石巻市鮎川で観測された津波の第一波は引き波であった(図 4.3)。この津波を表現するためには沿岸に最初に到達する領域で沈降の初期水位が必要である。この水位は C M T 解によるメカニズム解では表せないが、震源過程解析で用いた 2 つの断層のメカニズム解では表わせる。(図 4.4、メカニズム解の詳細は国内で発生した顕著な地震の震源過程解析結果 (<http://www.seisvol.kishou.go.jp/eq/sourceprocess/index.html>) を参照)。

後者の震源過程解析の初期水位(図 4.4 右下図)を用いた津波シミュレーションの石巻市鮎川の波形が図 4.5 であり、第一波の引き波が表現されている。ただし、津波の到達時刻や高さについてはさらなる解析が必要である。

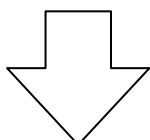
CMT解析によるメカニズム解



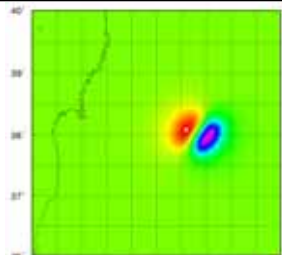
Mw7.3

赤線は用いた節面

(走向, 傾斜, すべり角) = (217°, 14°, -76°)



このメカニズム解を用いて
計算した津波の初期水位

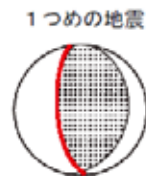


マイナス ← → プラス

震源過程解析解で用いた2つの断層の
メカニズム解(反復はぎとり法による)



Mw7.4 ($\mu=40$)



Mw7.2 ($\mu=70$)

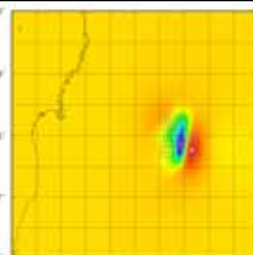
赤線は用いた節面

(走向, 傾斜, すべり角) =
(188°, 44°, -100°) (174°, 61°, 82°)

(Mwは震源過程解析で得られた値)



このメカニズム解で震源過程
解析のすべり量分布を使用し
て計算した津波の初期水位



マイナス ← → プラス

図 4.4 CMT解析によるメカニズム解(左上図)と津波の初期水位(左下図) 及び、反復はぎとり法によるメカニズム解(右上図)と津波の初期水位(右下図)

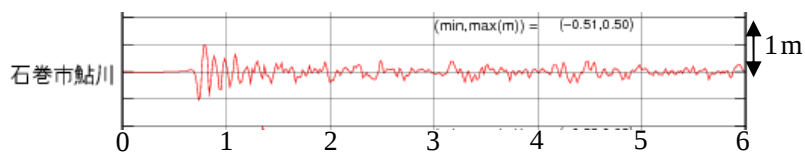


図 4.5 石巻市鮎川の計算波形(縦軸:水位、横軸:地震発生からの経過時間(時間))