

## チリ中部沿岸の地震による津波における津波警報作業等

## I. 作業等の時系列

2月27日(土)

- 15時34分 **地震発生**
- 16時00分 遠地地震に関する情報 第1号  
・M8.5、日本への津波の有無については現在調査中
- 17時32分 遠地地震に関する情報 第2号  
・震源要素の修正 (M8.6)  
・日本への津波の有無については現在調査中  
・海外津波観測値
- 19時00分 記者会見 (第1回)  
・28日13時ころより日本の太平洋沿岸に津波警報～注意報を想定  
28日朝の情報に留意をお願いする旨を呼び掛け
- 21時00分 遠地地震に関する情報 第3号  
・海外津波観測値追加

2月28日(日)

- 0時08分～7時49分 遠地地震に関する情報 第4～7号
- 8時30分 記者会見 (第2回)  
・ハワイ諸島での観測結果の説明  
・青森県から宮城県の太平洋沿岸に「大津波」発表予定  
・大潮・満潮時刻との重なり、早めの厳重な警戒呼びかけ
- 9時33分 **津波警報・注意報発表**  
・「大津波」：青森県太平洋沿岸、岩手県、宮城県  
「津波」：北海道太平洋沿岸から沖縄県地方等
- 9時35分 津波到達予想時刻・予想される津波の高さに関する情報  
・青森県太平洋沿岸、岩手県、宮城県 予想津波高さ3m  
・北海道太平洋沿岸東部、伊豆諸島 津波到達予想時刻13:00  
発表
- 9時37分 各地の満潮時刻・津波到達予想時刻に関する情報  
・北海道太平洋沿岸～沖縄県地方にて28日14時～19時に満潮時刻
- 13時02分 津波観測に関する情報  
・南鳥島で津波観測 (12時43分、最大波0.1m)
- 14時07分 津波観測に関する情報  
・根室市花咲で津波観測 (13時47分、最大波0.3m)
- 14時20分 津波観測に関する情報  
・GPS波浪計にて、最初の津波観測 (気仙沼広田湾沖14時00分、  
最大波0.1m、対応する沿岸では、14時05分～14時20分に0.5m  
程度と推定)

<以降、各地で津波を観測>

- 16時50分 記者会見（第3回）  
・日本沿岸での津波観測状況について説明
- 19時01分 津波警報・注意報切替（津波警報（大津波）の解除）

<以降、順次、津波警報を津波注意報、津波予報へ>

- 21時45分 記者会見（第4回）  
・東日本方面の切替（津波警報から津波注意報）について説明  
・津波警報の解除について、津波観測値を見ながら深夜帯にも随時解除の対処をする旨を言及

### 3月1日（月）

- 3時06分 津波警報・注意報切替（津波警報（津波）の解除）
- 10時00分 記者会見（第5回）  
・警報をすべて解除、注意報解除についての見通し  
・海面変動が日単位で継続することについての注意喚起
- 10時15分 津波注意報の解除

2 / 27 (土)		2 / 28 (日)		3月1日 (月)			
12:00	18:00	0:00	6:00	12:00	18:00		
<p>遠地地震に関する情報 第3号 (21:00)</p> <p><b>記者会見 (第1回) (19:00)</b></p> <p>USGS W-Phase 震源の入手 (18:00頃)</p> <p>遠地地震に関する情報 第2号 (17:32)</p> <p>遠地地震に関する情報 第1号 (16:00)</p> <p><b>地震発生(15:34)</b></p>		<p>遠地地震に関する情報 第4～7号</p> <p><b>記者会見 (第2回) (8:30)</b></p> <p><b>津波警報・注意報発表 (9:33)</b></p> <p>各地の満潮時刻・津波到達予想時刻に関する情報 (9:37)</p> <p>津波到達予想時刻・予想される津波の高さに関する情報 (9:35)</p>		<p>津波観測に関する情報 (根室市花咲で津波観測 13:47' 最大波 0.3m) (14:20)</p> <p>津波観測に関する情報 (南島島で津波観測 12:43' 最大波 0.1m) (13:02)</p> <p><b>記者会見 (第3回) (16:50)</b></p> <p><b>記者会見 (第4回) (21:45)</b></p> <p>津波警報・注意報切替 (津波警報 (大津波) の解除) (19:01)</p>		<p>津波警報・注意報切替 (津波警報 (津波) の解除) (3:06)</p> <p><b>記者会見 (第5回) (10:00)</b></p> <p>津波注意報の解除 (10:15)</p>	
		<p>USGSの震源情報入手、津波シミュレーションの実施、分析等</p>					
		<p>津波の観測</p>					
		<p>順次、津波警報を注意報、予報へ</p>					

## II. 遠地津波用量的津波データベース及び津波シミュレーションを用いた津波予測について

- 地震発生後、気象庁では、当庁で求めた震源等により遠地津波用量的津波データベース（以下、「遠地津波データベース」という）を用いて我が国への津波の影響を見積もった（→p4）。
- その後、米国地質調査所（USGS）より入手した断層パラメータ等の詳細な震源情報をもとに、津波シミュレーションを実施し、遠地津波データベースの結果とも照合しつつ、日本沿岸の津波高さ予測分布を推定した（→p4～23）。
- 併せて、海外潮位データの監視を行い、津波シミュレーションにより得られた津波波形との比較を行った。（→p24～29）
- 海外潮位データと津波シミュレーションとで、振幅に大きな違いが見られなかったことから、当初推定した津波高さ予測分布により、津波警報等を作成・発表した。（→p30）

### 1. 遠地津波用量的津波データベースによる津波の予測

地震のマグニチュードを当初 M8.6 と推定（当庁による震源決定及び PTWC からの情報（第2報）による）し、この震源要素をもとに、遠地津波データベースを用いて日本への津波の影響を見積もったところ、津波警報～注意報程度の可能性があることが見込まれた。

### 2. 津波シミュレーションによる津波の予測

米国地質調査所（USGS）の W-Phase 解析による震源要素（M8.8）を入手、この震源要素をもとに、津波シミュレーションを実施した。

#### (1) 津波シミュレーションの計算モデル

シミュレーションの計算モデルは、遠地津波データベース構築に用いているものと同じものを使用した。主な計算条件は以下の通り。

計 算 領 域：	東経 90 度－西経 65 度、南緯 60 度－北緯 65 度
計 算 格 子：	外洋 5 分、日本付近 1 分（一部の検潮所付近は 20 秒）
計 算 時 間 間 隔：	4 秒
積 分 時 間：	36 時間
境 界 条 件：	陸側は反射、沖側は透過
支 配 方 程 式：	沖合では線形長波、沿岸付近（水深 100m 以下）では非線形長波（移流項、海底摩擦項）。球面座標系でのコリオリ力を含む
差 分 ス キ ー ム：	スタグガードリーブフログ差分

#### (2) USGS の震源要素による断層パラメータ

- ・ Mw8.8 ( $M_0=2.0 \times 10^{22}$ Nm)
  - ・ 断層中心位置：南緯 38.83 度、西経 72.67 度
- } (USGS W-phase 解析より)

- ・ 走向=16度、傾斜=14度、すべり角=104度
- ・ 断層長さ=316km、断層幅=158km、すべり量=15m  
(宇津(1984)のスケーリング則  $L=0.5M-1.9$ 、 $W=L/2$  を仮定)
- ・ 断層深さ：10km (断層上端)

地殻変動計算結果

- ・ 断層中心位置 : 南緯 35.83 度、西経 72.65 度
- ・ 断層上端左隅位置 : 南緯 37.01 度、西経 73.97 度
- ・ 走向=16度、傾斜角=14度、すべり角=104度
- ・ 断層長さ=316.2km、断層幅=158.1km、すべり量=15.80m
- ・ 断層上端深さ：10km、断層中心深さ：29km
- ・ シミュレーション格子サイズ=5.00分
- ・ 地殻変動量：Max=682.121cm, Min=-275.397cm

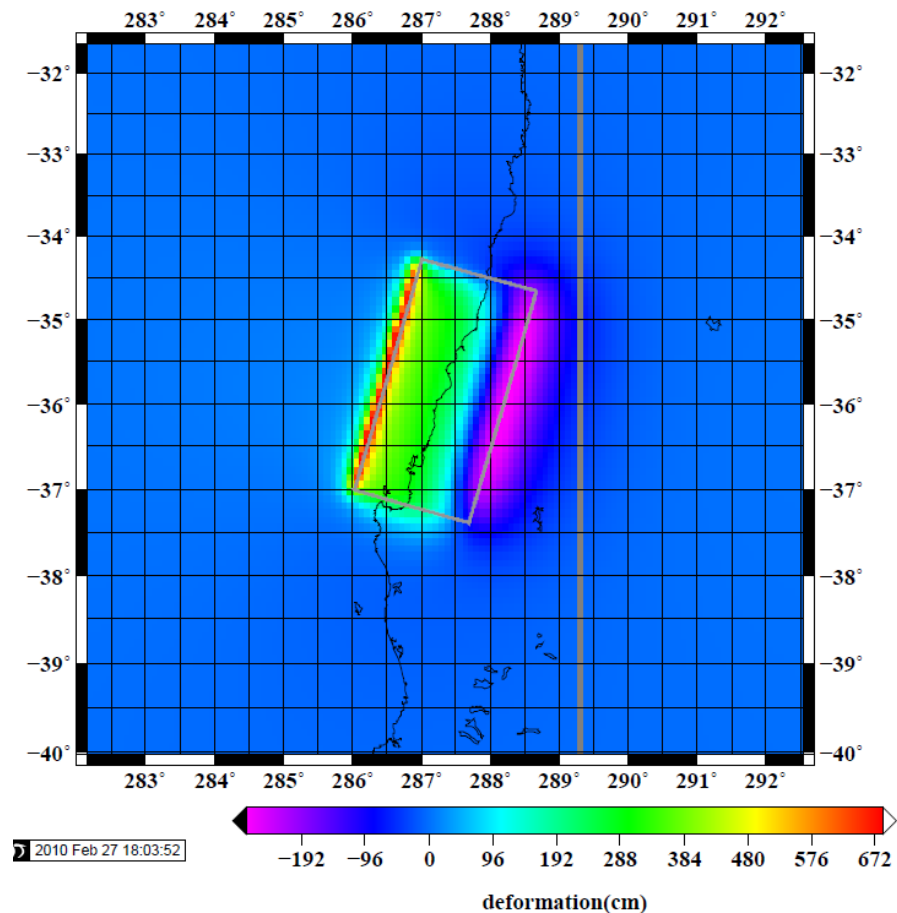


図1 想定断層モデル (M8.8) による地殻変動の大きさ

(3) シミュレーションの結果

図2の各地点及び日本沿岸の計算波形は以下のとおり。

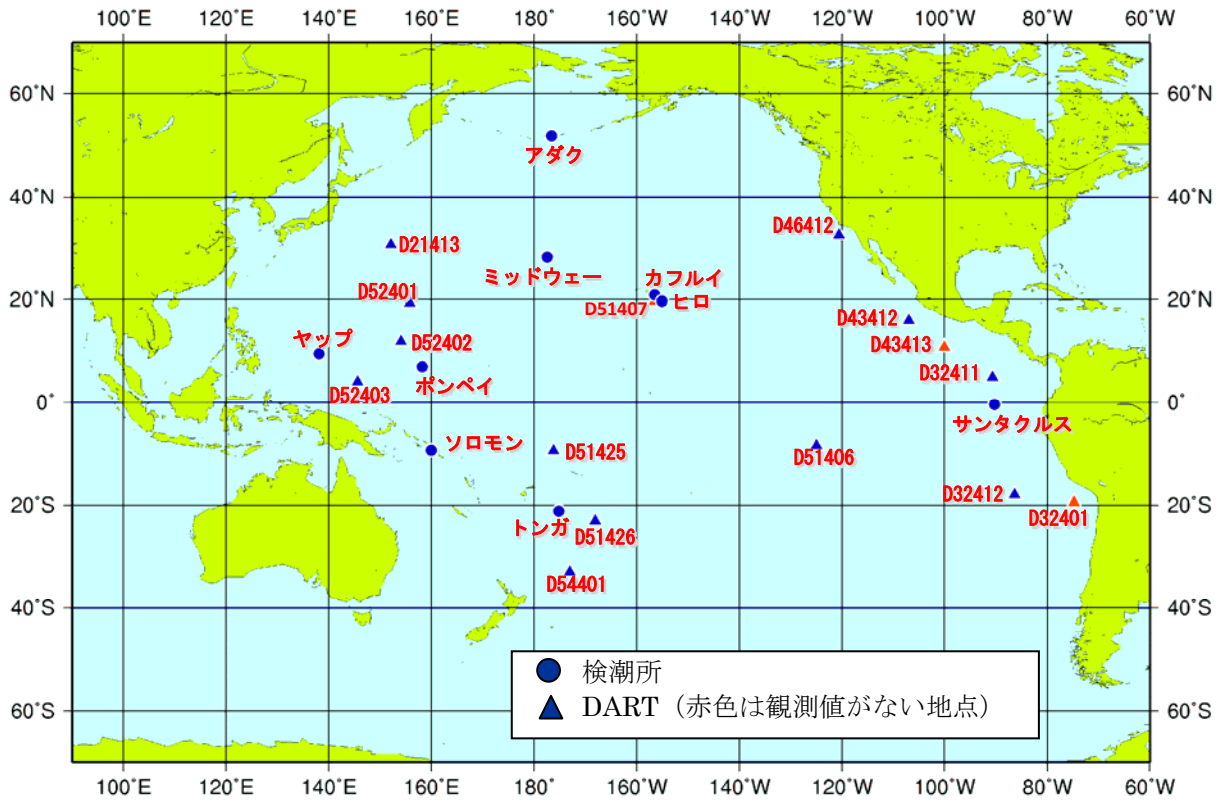


図2 シミュレーション波形を出力した海外の潮位観測点

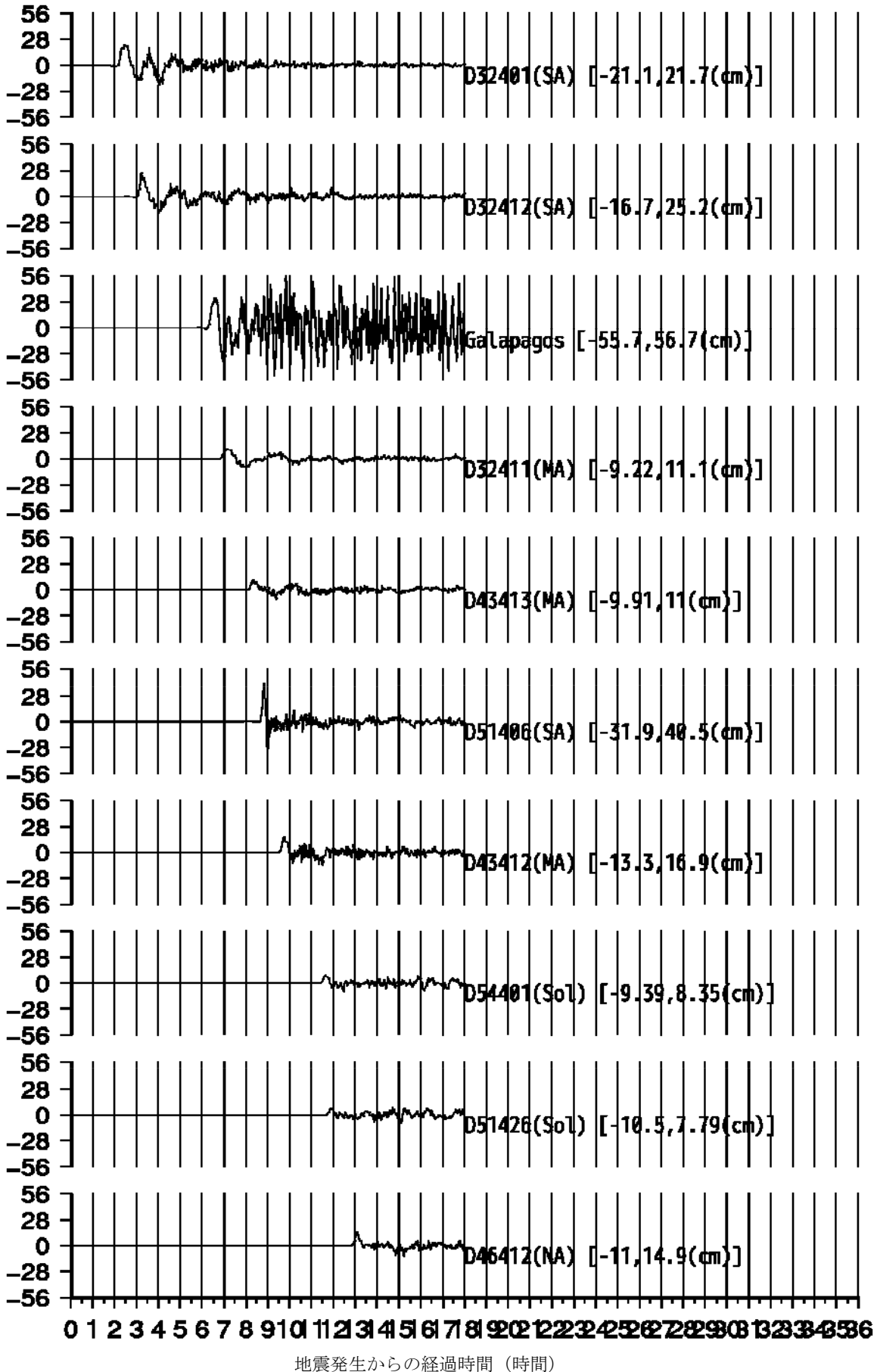


図3 震央から近い場所にある検潮所等における計算津波波形

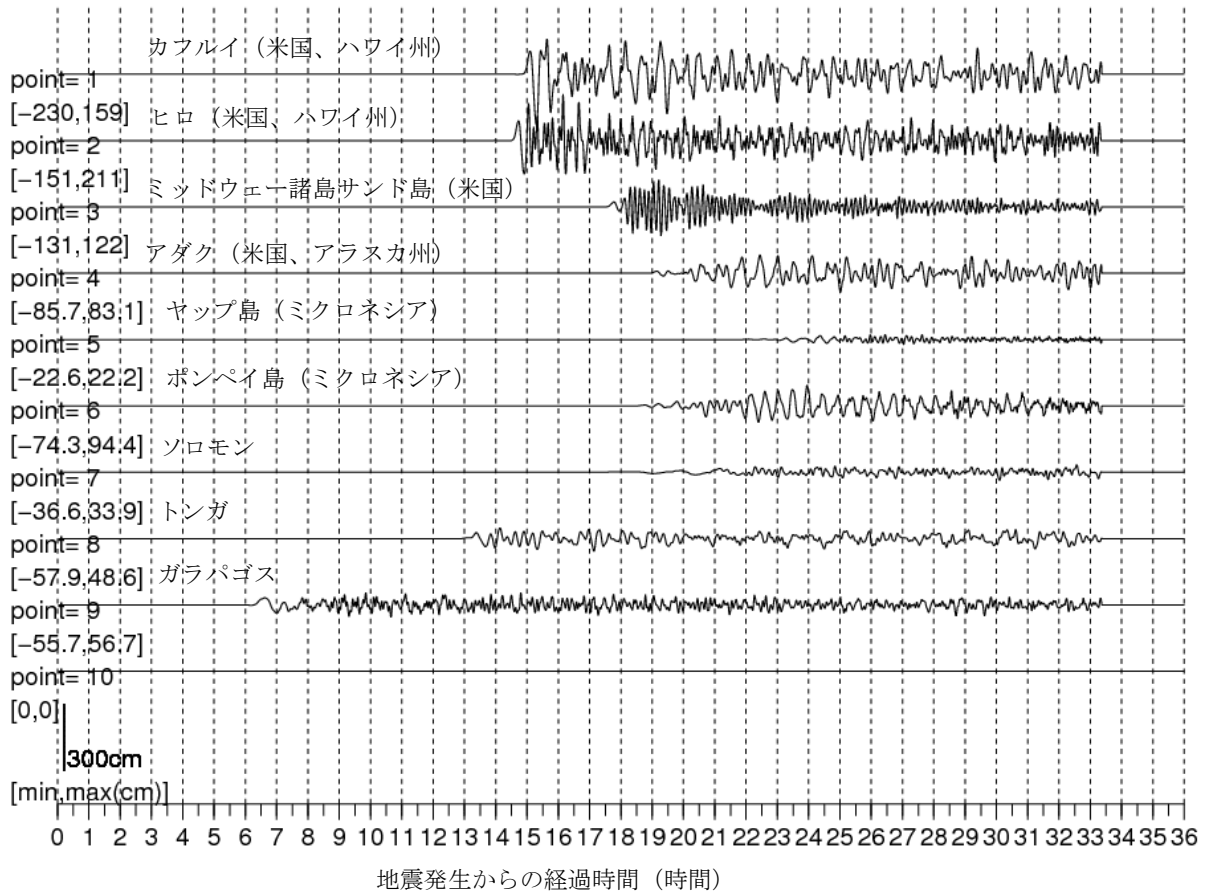


図4 海外検潮所における計算結果

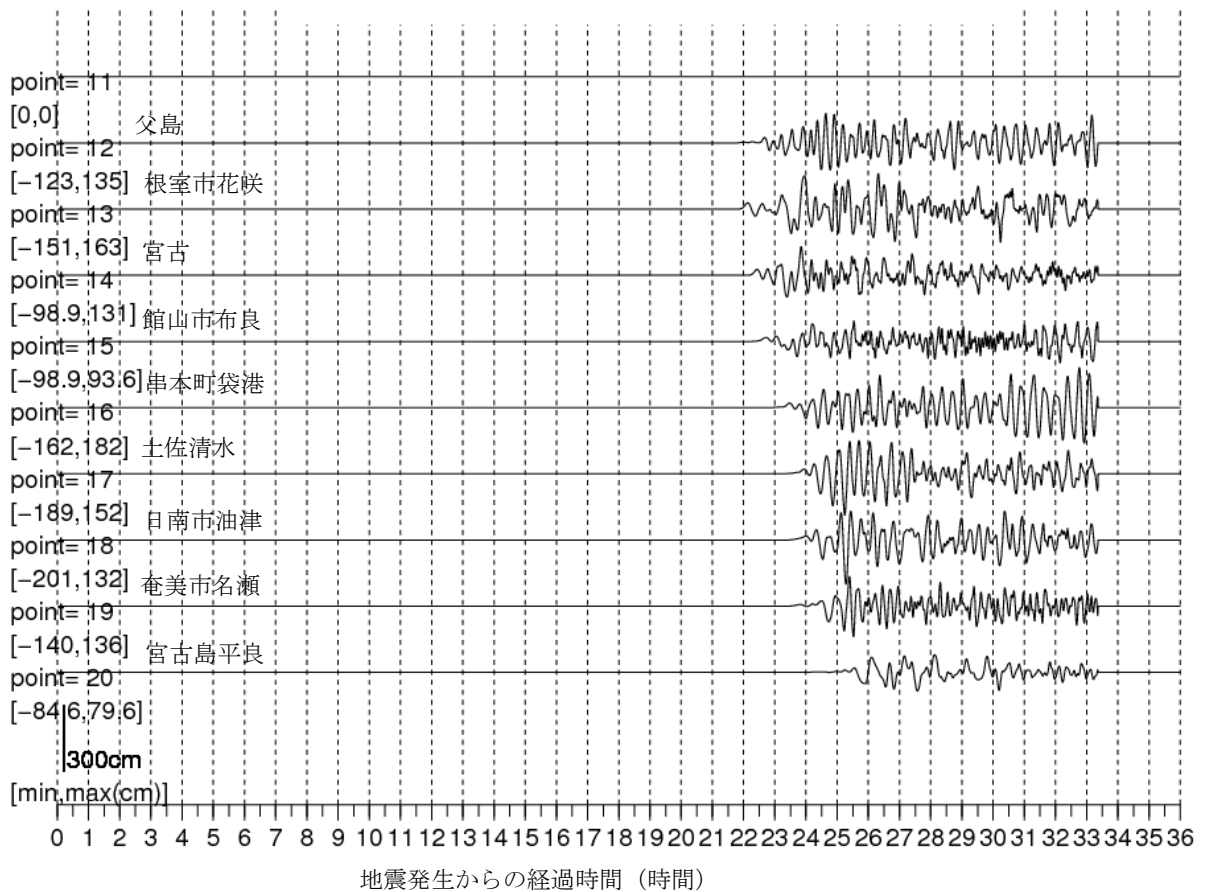


図5 日本の検潮所における計算結果



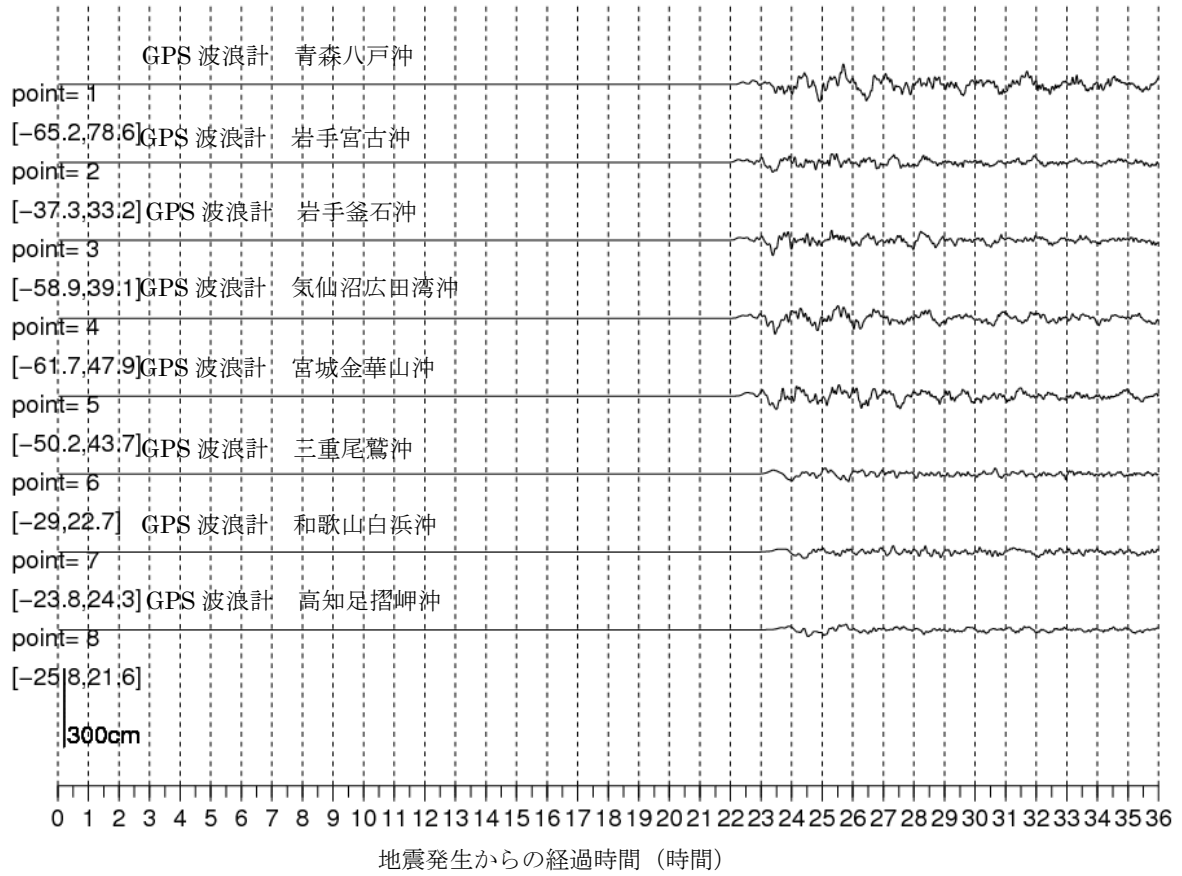


図6 日本の沖合 GPS 波浪計における計算結果

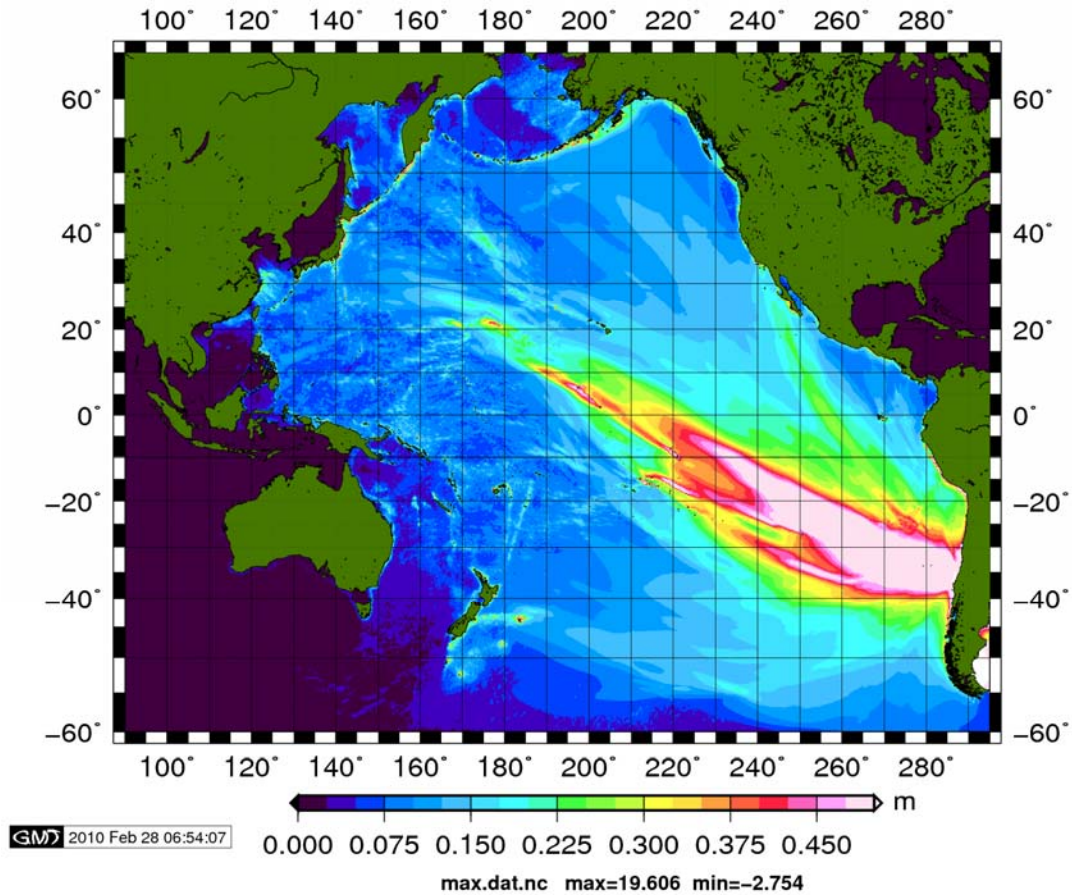


図7 津波の最大高さ分布

(4) シミュレーション結果の妥当性の確認

シミュレーション結果の妥当性の確認のため、日本沿岸における津波高さの予測値について、既に計算結果を確認済みの遠地津波データベースと比較を行った。

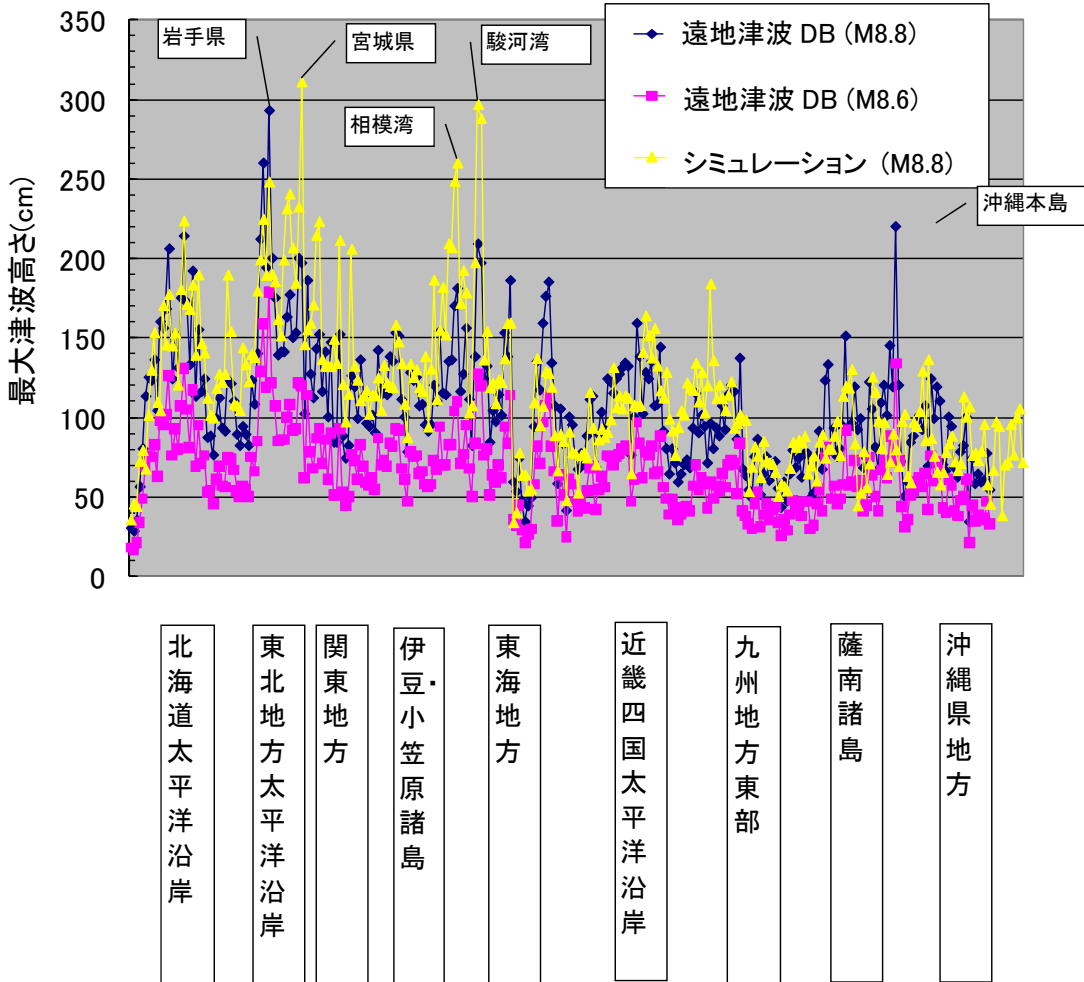


図8 遠地津波データベース・津波シミュレーションによる各予報区の予想津波高さ（太平洋岸のみ）

津波シミュレーションによる予想津波高さ分布は、遠地津波データベースの津波高さ分布と大局的に整合しており、基本的には妥当なものと判断した。

地域別には、北日本（特に東北地方太平洋側）で大きくなる傾向があり、この特徴は、遠地津波データベース、シミュレーション計算結果で共通している。

また、遠地津波データベース（M8.6）の結果によると、最大で180cm程度の「津波」レベルが予想されている。遠地津波データベース（M8.8）、および、津波シミュレーション（M8.8）では、いずれも最大で300cm程度の「大津波」レベルが予想されている。

突出した予想津波高さのうち、①「岩手県」「宮城県」の予想値については、津波伝播図（図9）より、波面が海岸線に平行になった形で東北地方太平洋沿岸に到達すると想定され、また、海岸地形が複雑なため津波が高まりやすいと考えられたことから、妥当な値と考え津波予測に用いることとした。②「相模湾」、「駿河湾」、「沖縄本島」については、該当地点にて津波の高まりが生じる根拠が不明なため、各予想値のうち小さい方の値を予測に用いることとした。

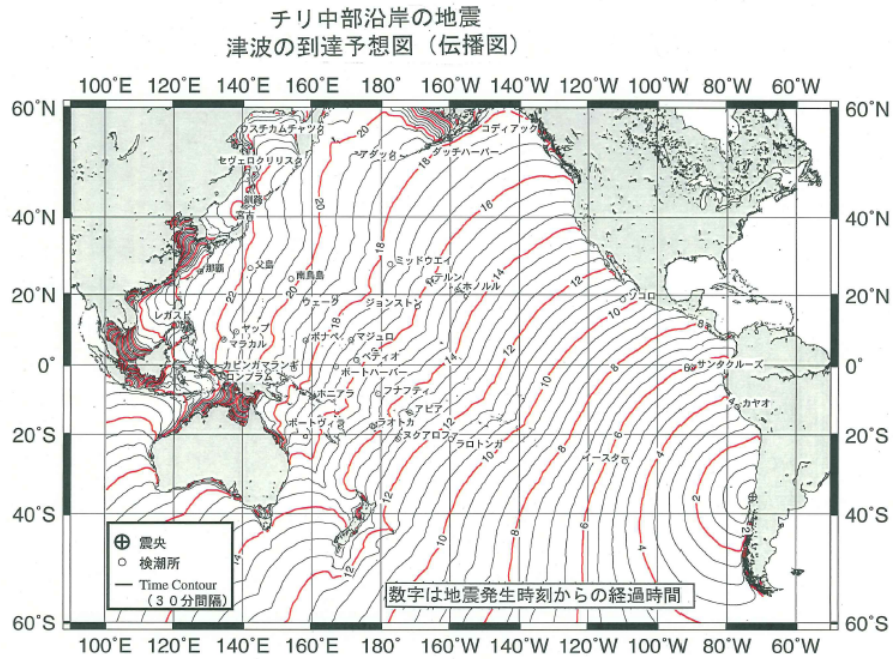


図9 津波の到達予想図 (伝播図)

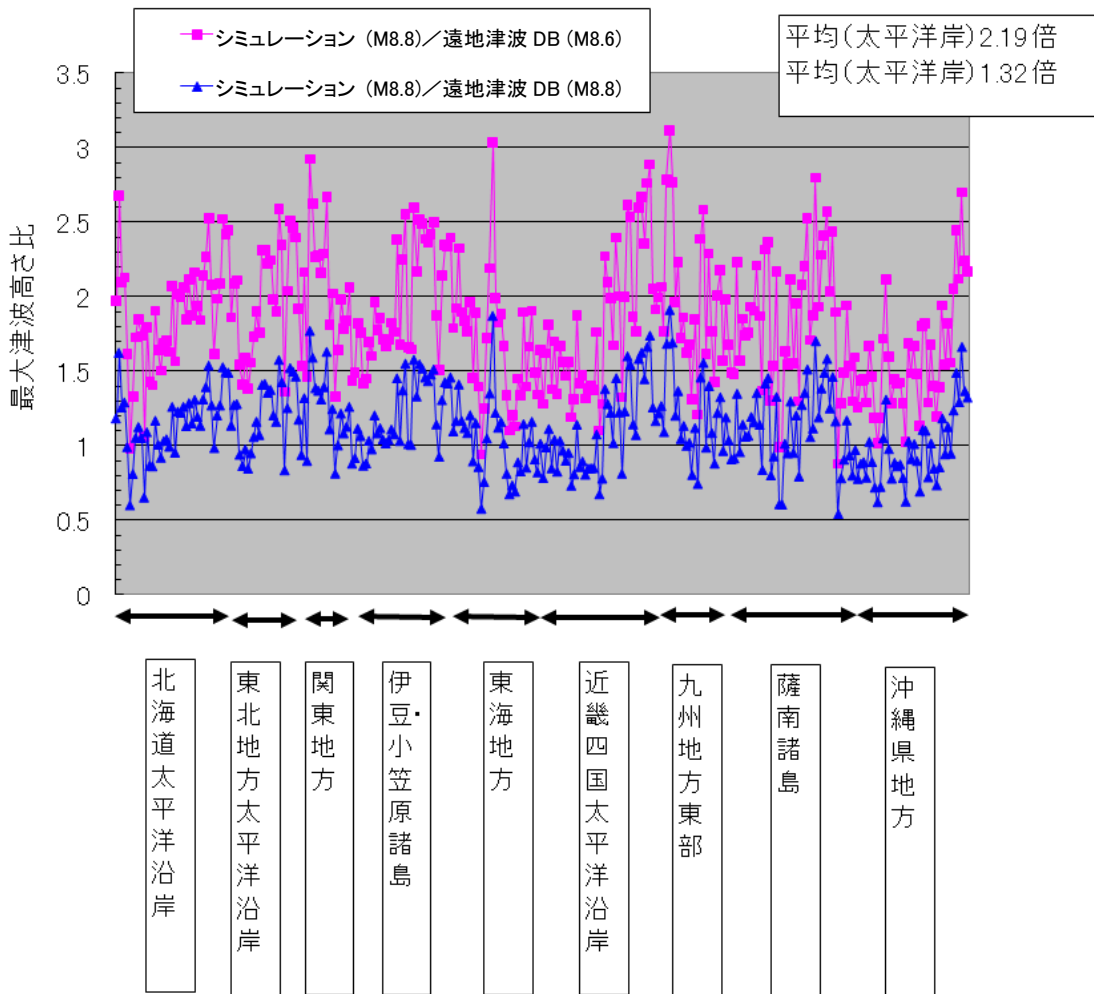


図10 遠地津波データベース・津波シミュレーションによる各予報区の予想津波高さ比 (太平洋岸のみ)

遠地津波データベースと津波シミュレーション (M8.8(USGSWphase)) の予想津波高さの傾向を更に確認するため、これらの比をとった。その分布をみると、全国的に概ね同程度の比率となっており、地域的な偏りは見られない。このことから、以降の作業においては、海外津波観測値を確認しつつ、必要な場合には全国一律に係数をかけて調整することとした。

(5) 断層の走向の差異による日本への津波の影響の違いの確認

各種震源パラメータのうち、断層の走向については、若干の相違があったときに日本への津波の影響に違いが生じることが懸念されたことから、その程度を評価するため、前述の想定断層 (走向 16 度) のシミュレーションに加え、断層の走向を+10 度 (26 度)、-10 度 (6 度) にしたものについてもシミュレーションを行った。

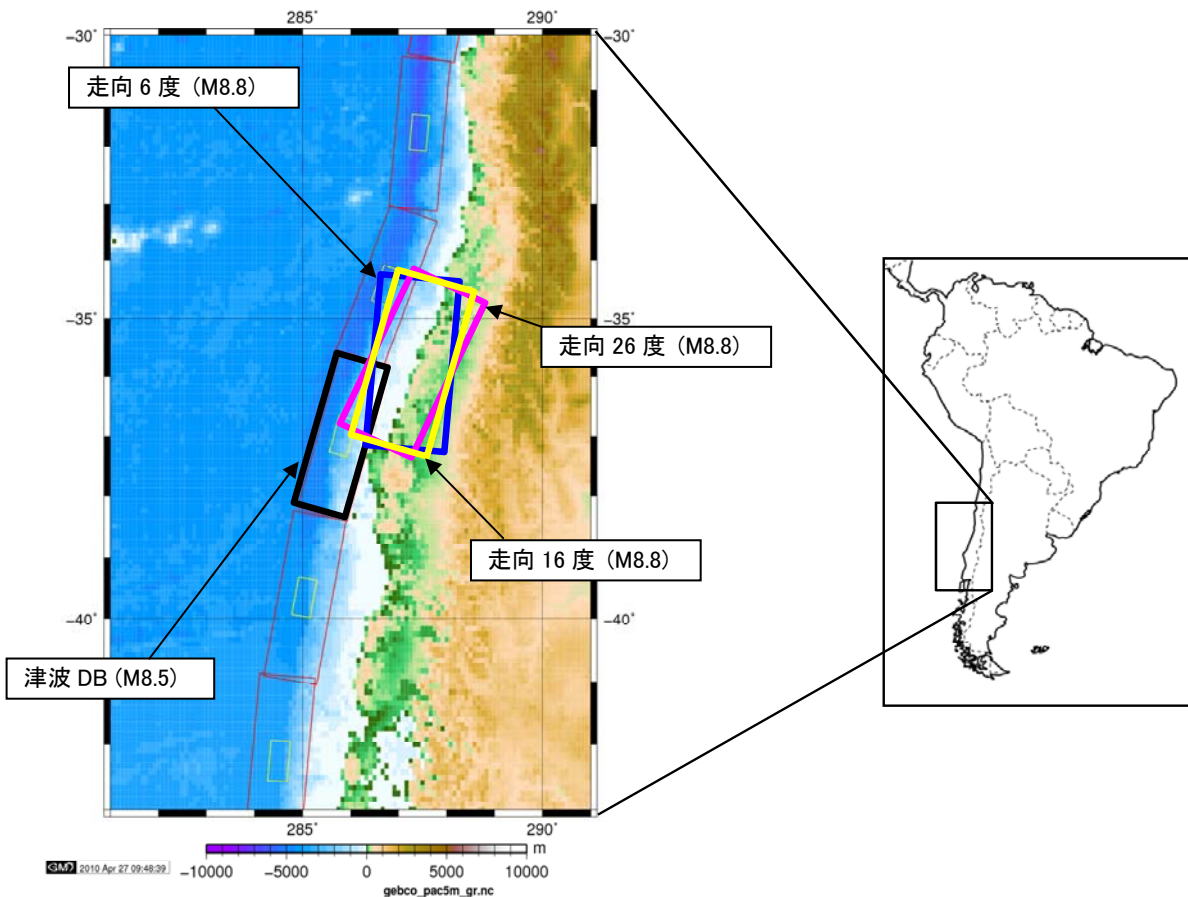


図 1 1 : 地図上に矩形の断層を表示した図 (津波データベース(M8.5)、津波シミュレーション (16 度)、+10 度 (26 度)、-10 度 (6 度))

(注: 遠地 DB の断層は M8.5 または M7.5 のみ。それ以外のマグニチュードによる津波については、内挿または外挿処理を行っている)

(5-1) USGS の断層の走向+10 度 (26 度)

地殻変動計算結果

- ・断層中心位置 : 南緯 35.83 度、西経 72.65 度
- ・断層上端左隅位置 : 南緯 36.81 度、西経 74.20 度
- ・走向=26 度、傾斜角=14 度、すべり角=104 度
- ・断層長さ=316.2km、断層幅=158.1km、すべり量=15.80m
- ・断層上端深さ : 10km、断層中心深さ : 29km
- ・シミュレーション格子サイズ=5.00 分
- ・地殻変動量 : Max=682.103cm, Min=-275.09cm

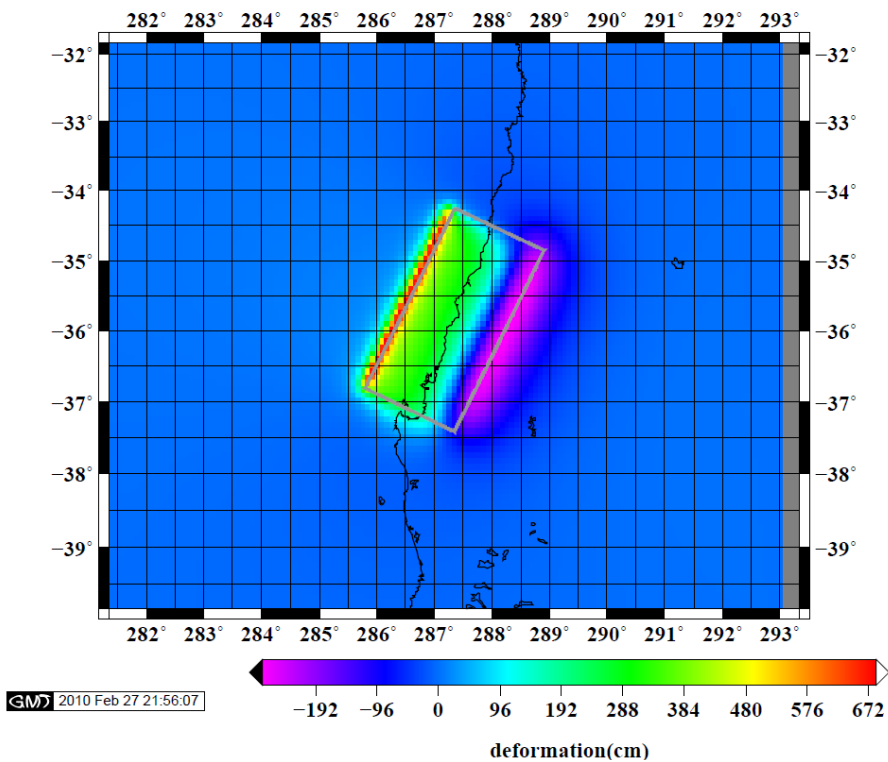
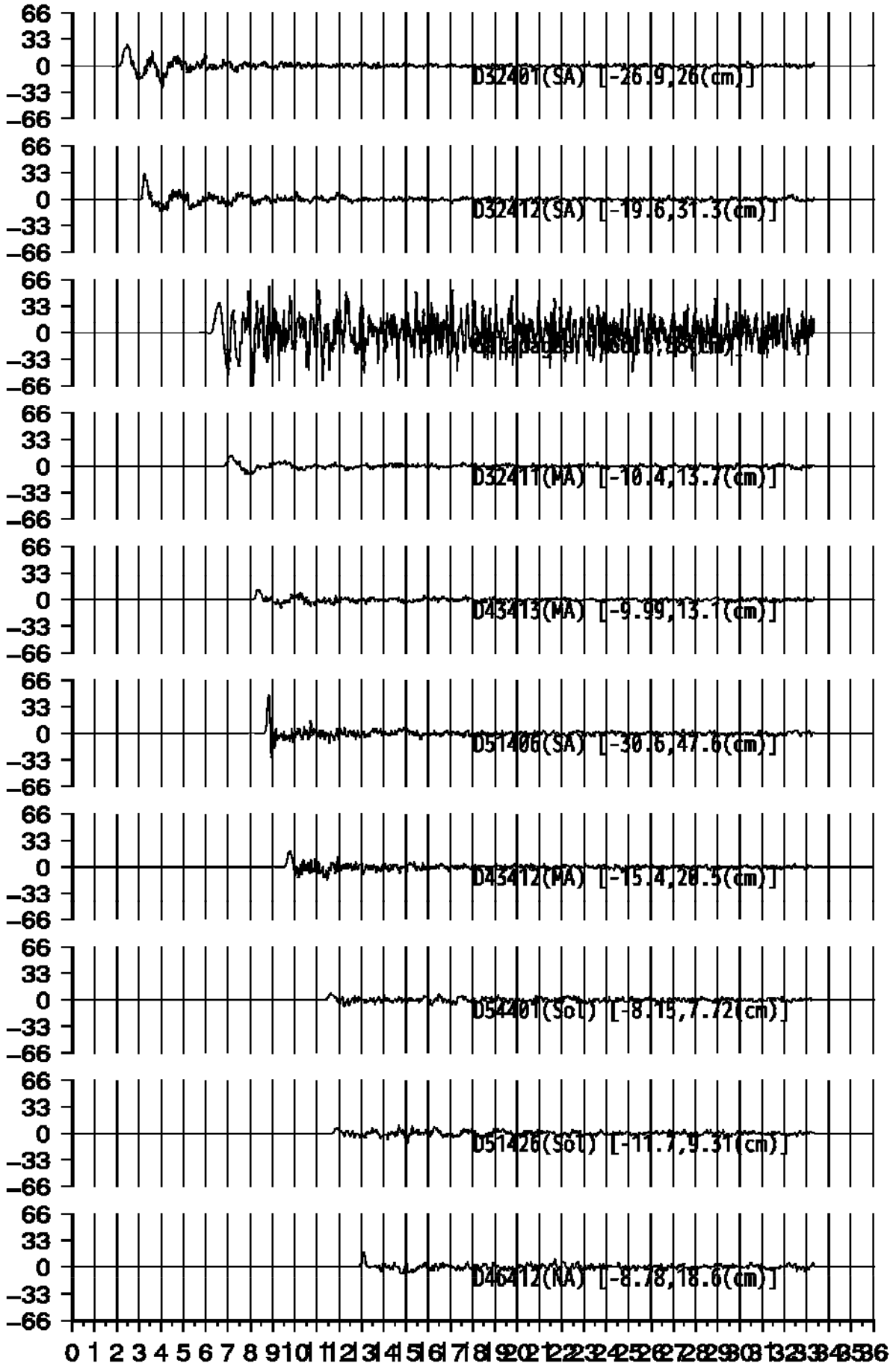


図 1 2 想定断層モデル (M8.8) による地殻変動の大きさ



地震発生からの経過時間 (時間)

図13 震央から近い場所にある検潮所等における計算津波波形

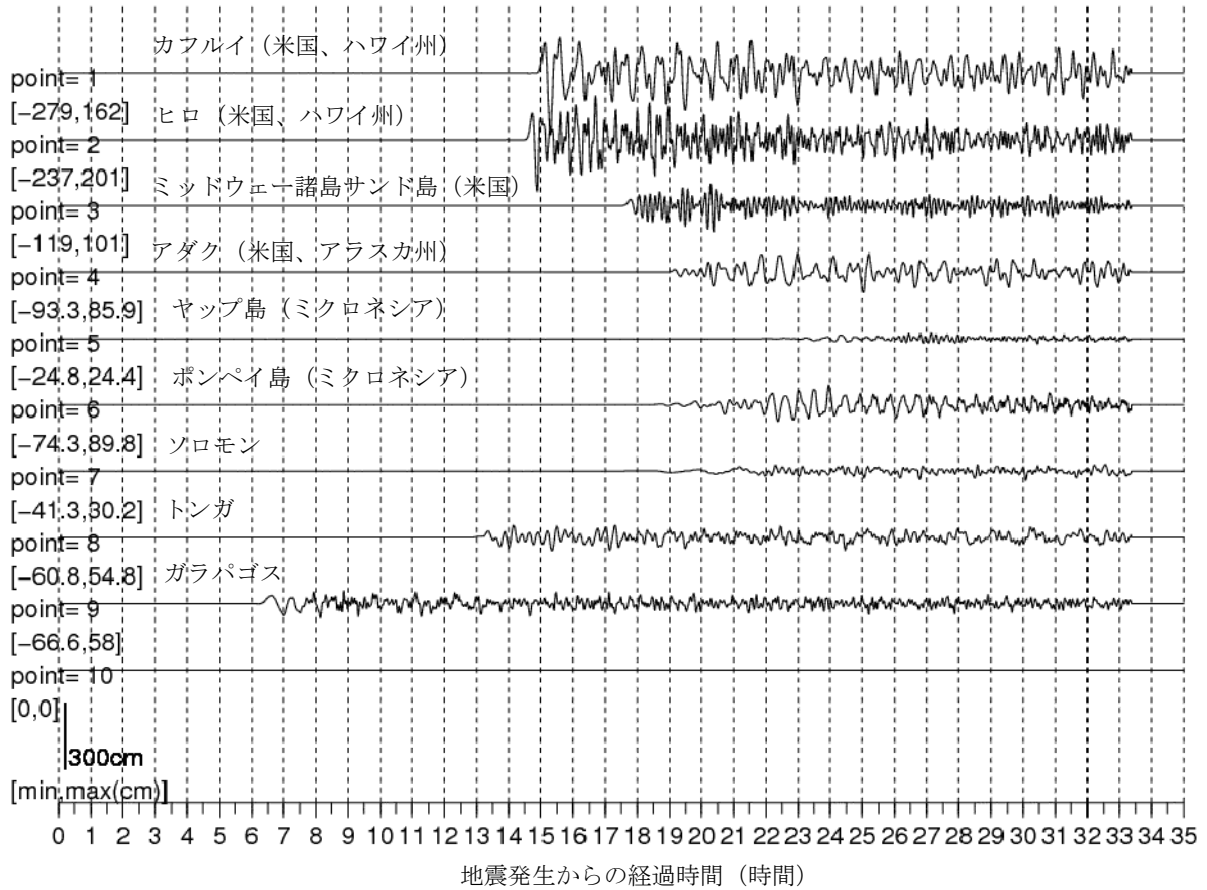


図 1 4 海外検潮所における計算結果

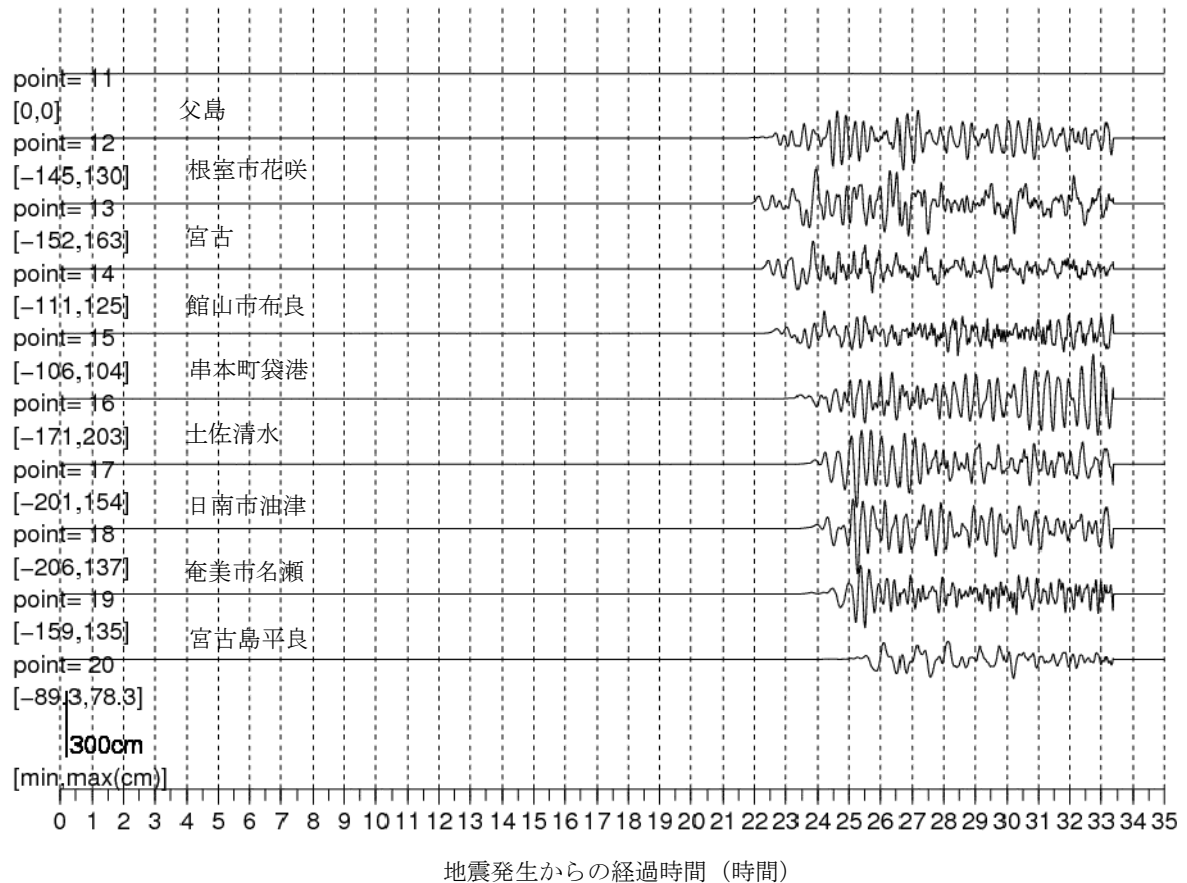


図 1 5 日本の検潮所における計算結果

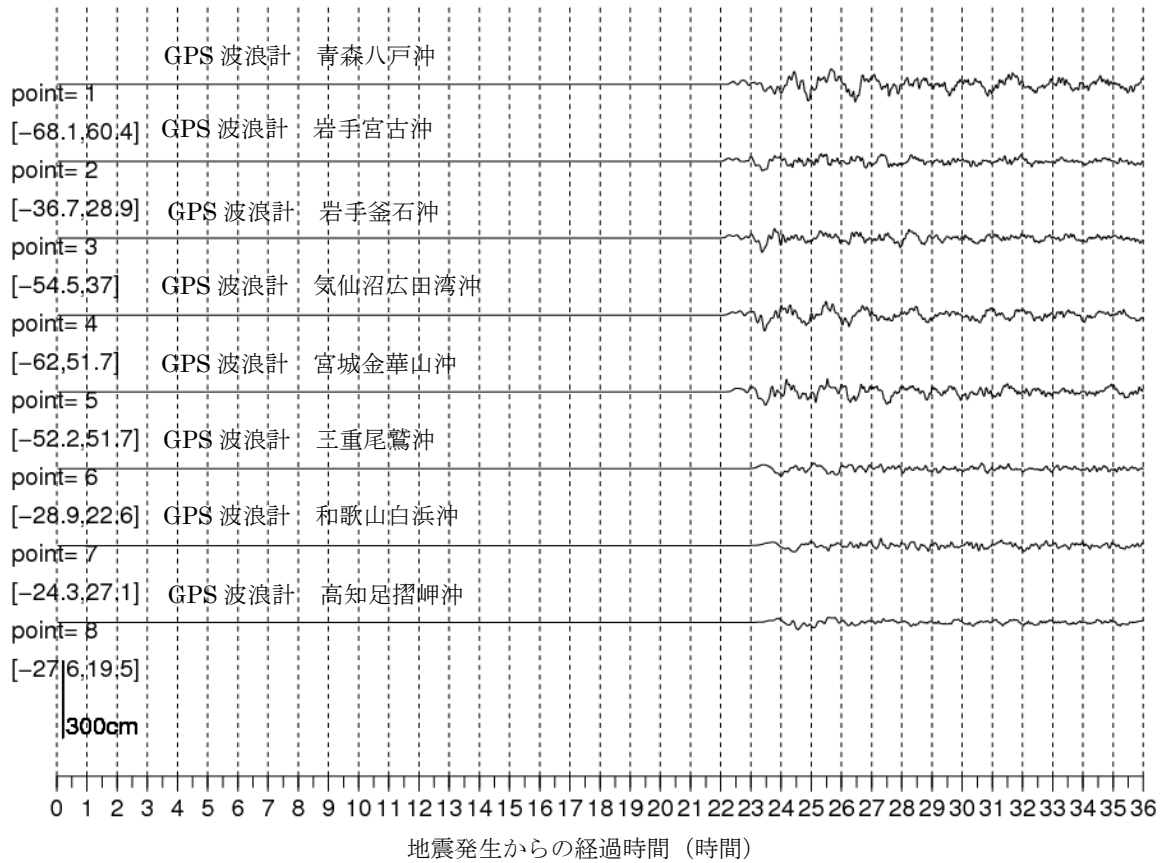


図16 日本の沖合 GPS 波浪計における計算結果

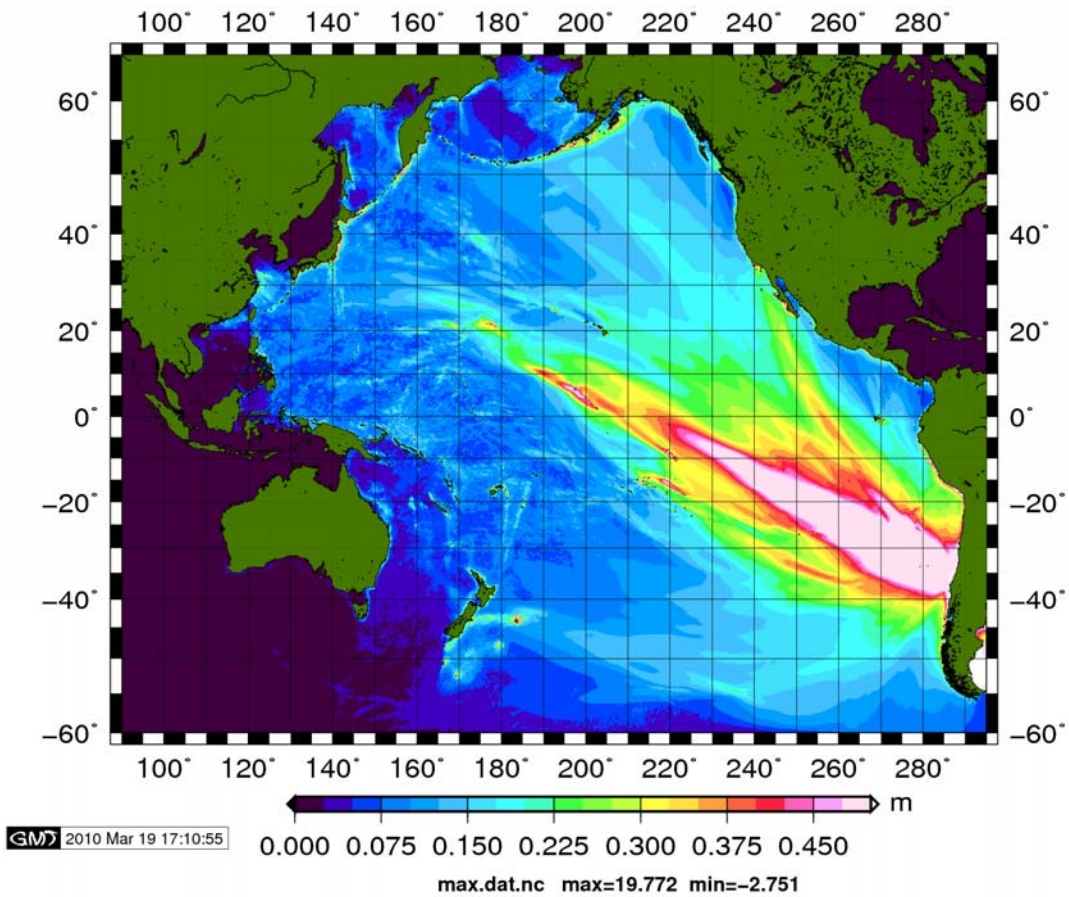


図17 津波の最大高さ分布



(5-2) USGS の断層の走向-10度 (6度)

地殻変動計算結果

- 断層中心位置 : 南緯 35.84 度、西経 72.64 度
- 断層上端左隅位置 : 南緯 37.18 度、西経 73.69 度
- 走向=6 度、傾斜角=14 度、すべり角=104 度
- 断層長さ=316.2km、断層幅=158.1km、すべり量=15.80m
- 断層上端深さ : 10km、断層中心深さ : 29km
- シミュレーション格子サイズ=5.00 分
- 地殻変動量 : Max=682.103cm, Min=-275.09cm

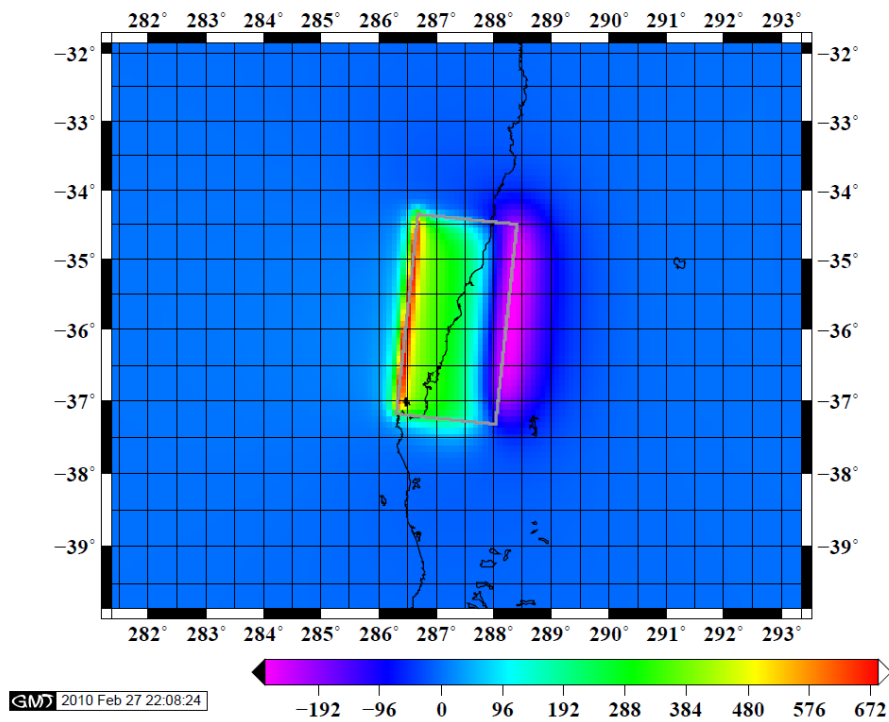


図 18 想定断層モデル (M8.8) による地殻変動の大きさ

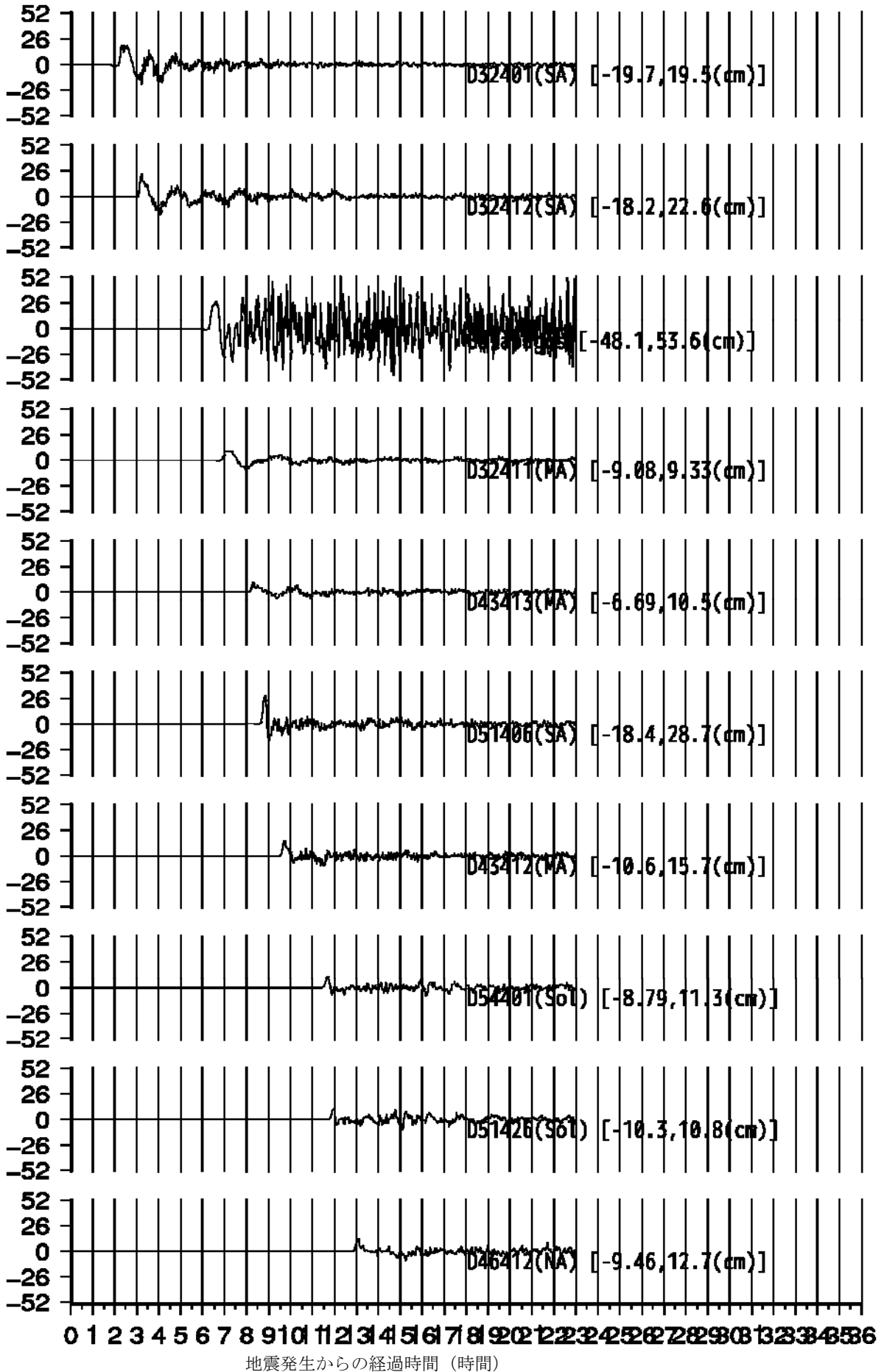


図19 震央から近い場所にある検潮所等における計算津波波形

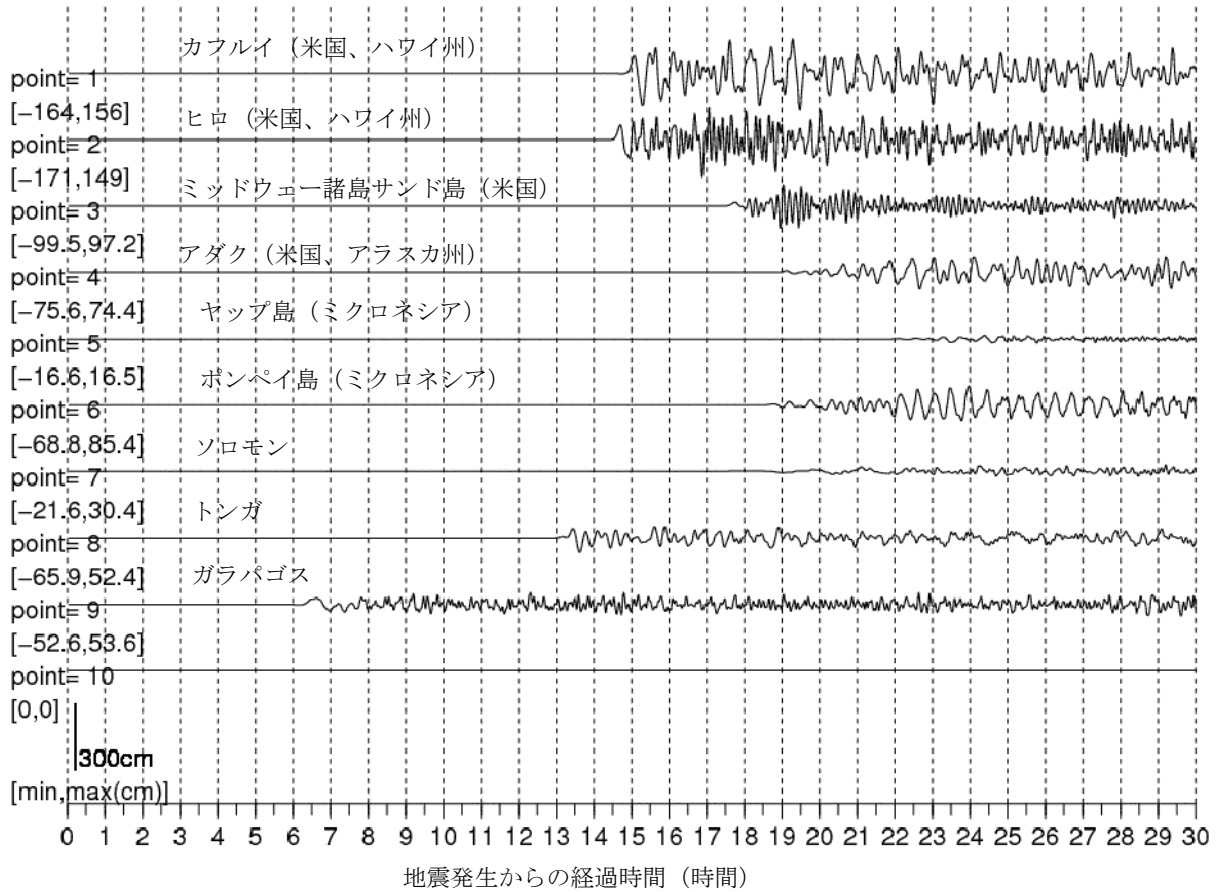


図 2 0 海外検潮所における計算結果

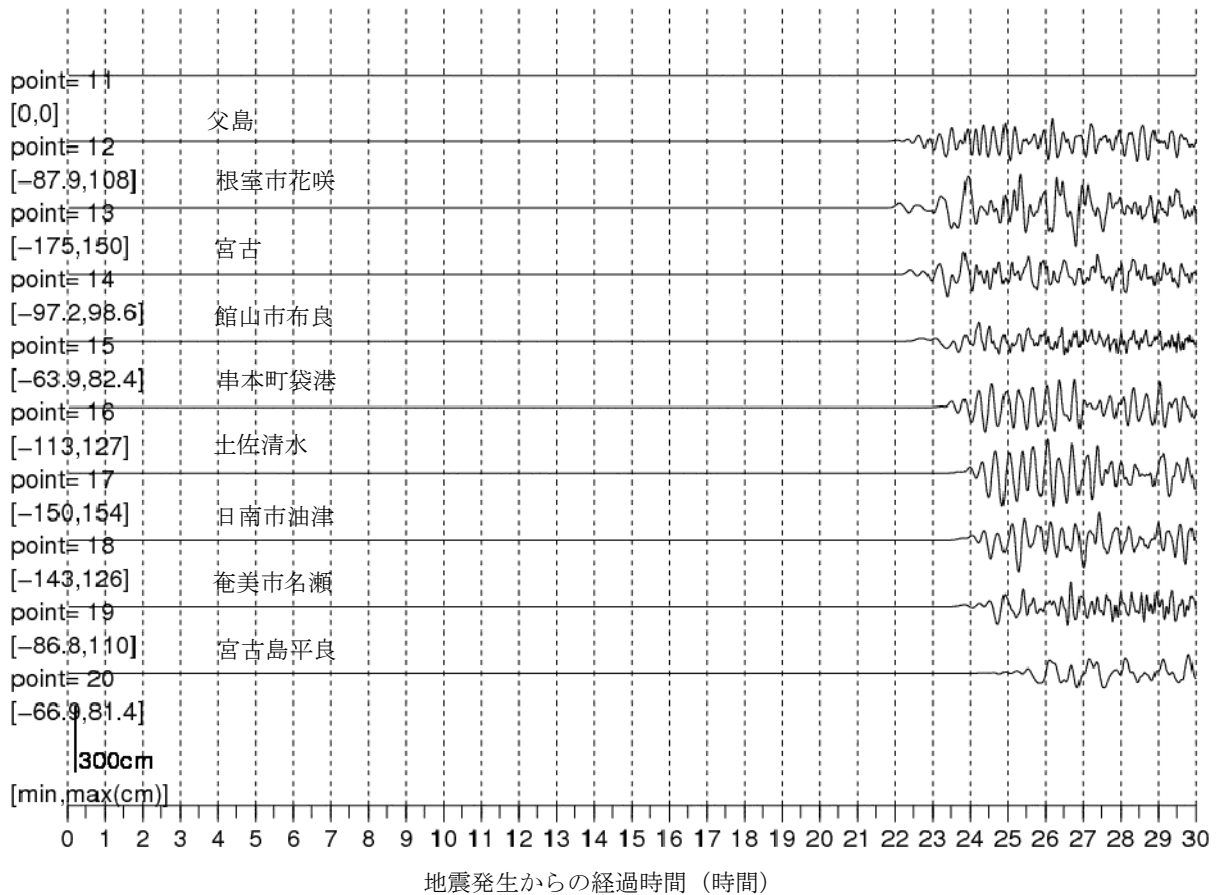
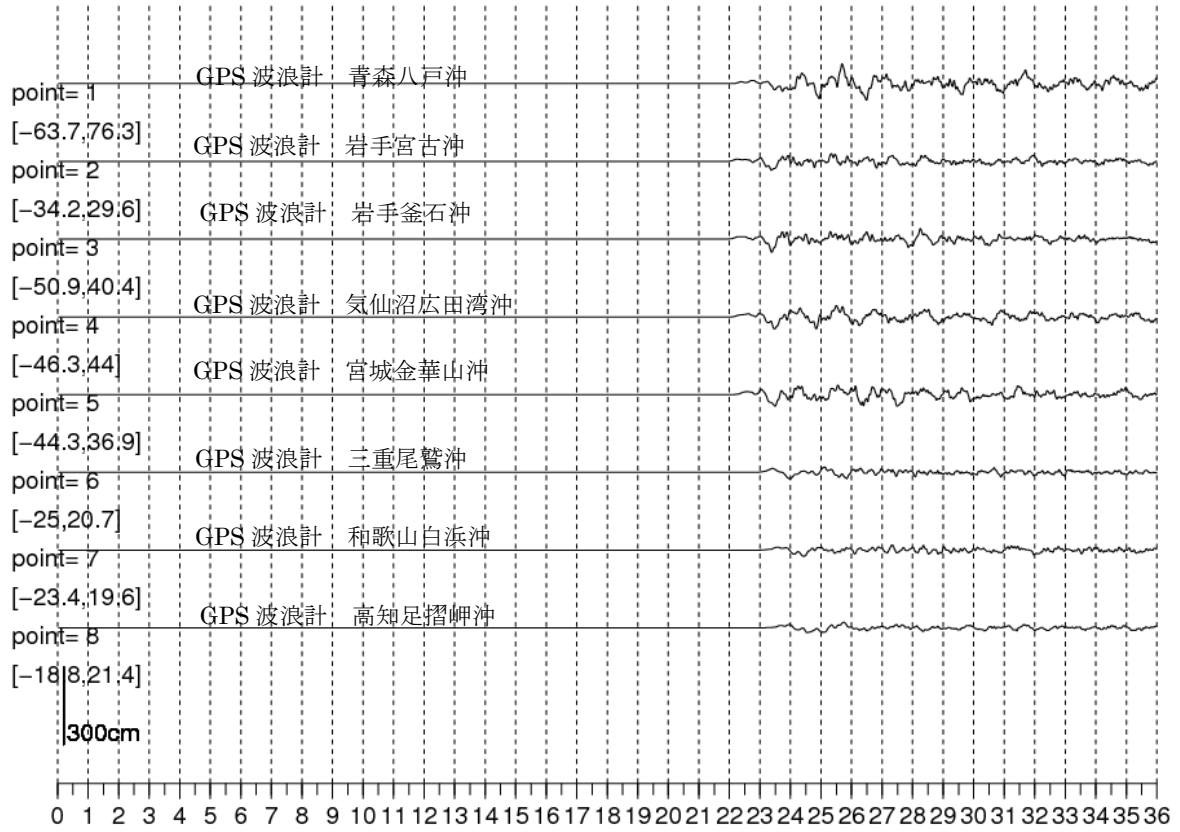


図 2 1 日本の検潮所における計算結果



地震発生からの経過時間 (時間)  
 図 2 2 日本の沖合 GPS 波浪計における計算結果

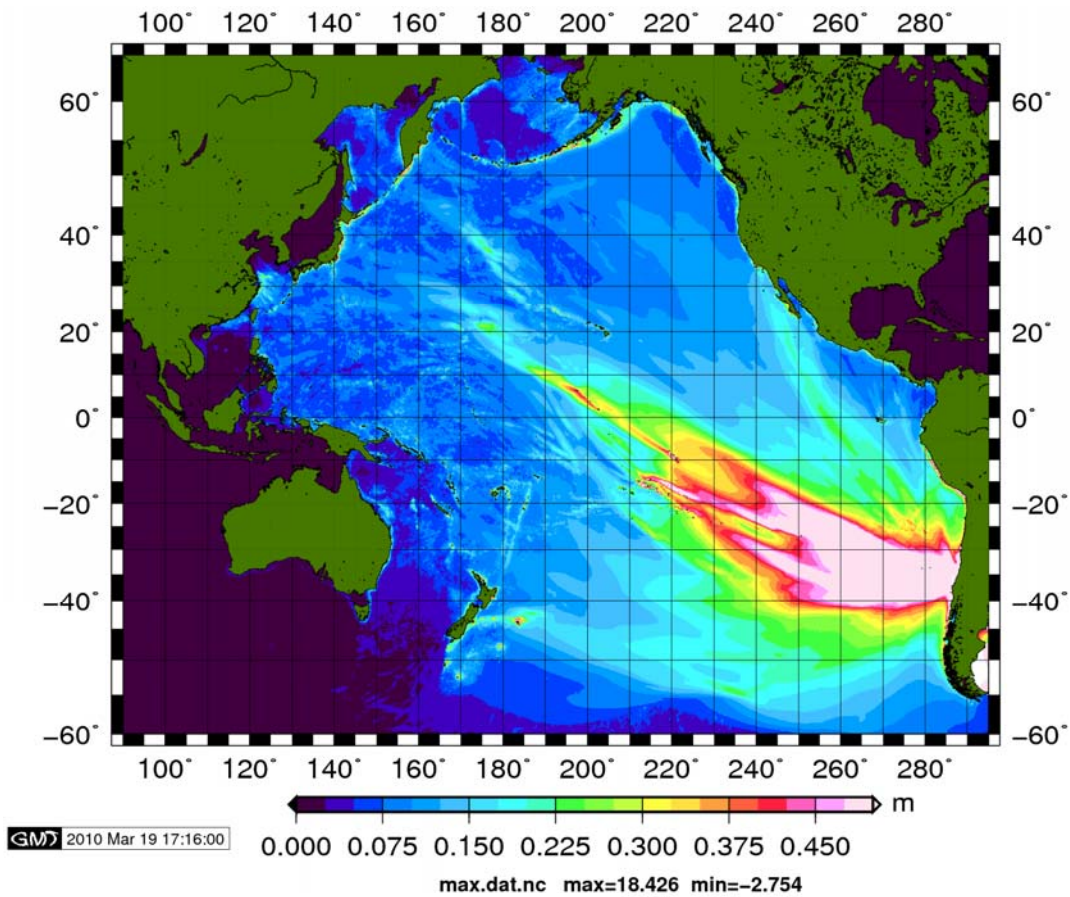


図 2 3 津波の最大高さ分布

(5-3) 断層走向の相違による予想津波高さの違いの確認

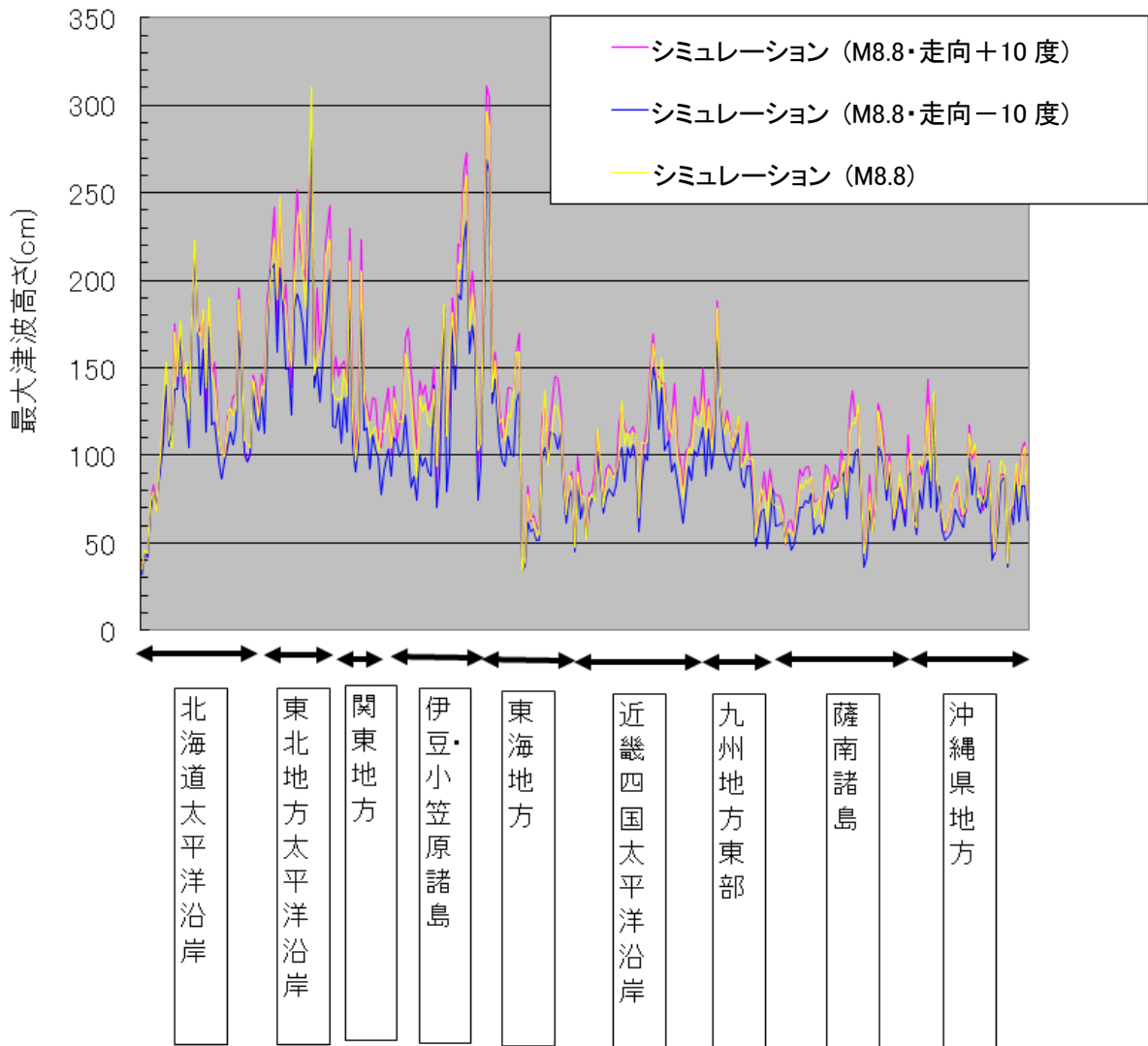


図2 4 津波シミュレーションによる各予報区領域の予想津波高さ (太平洋岸のみ・走向変化)

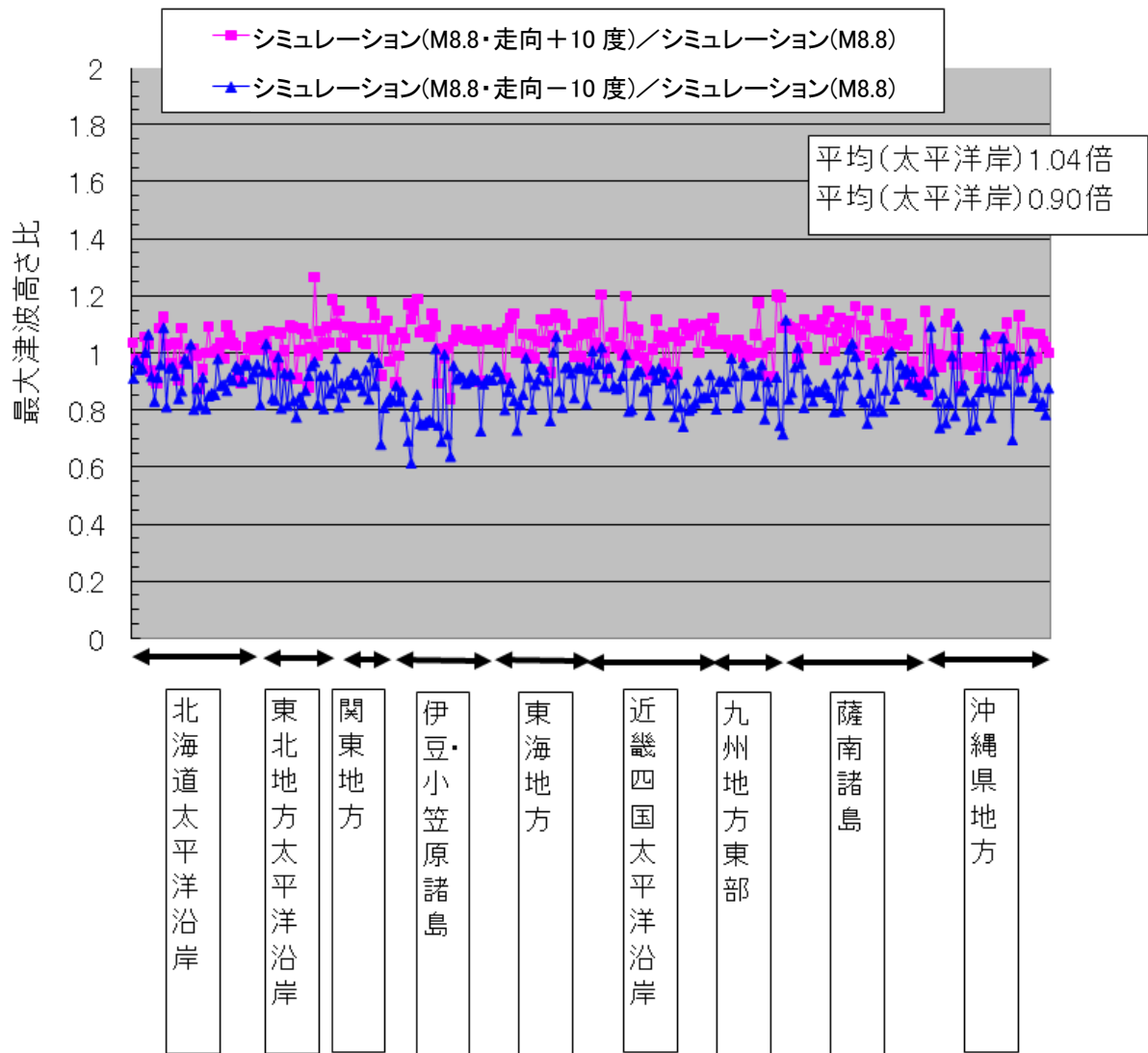


図25 津波シミュレーションによる各予報区の予想津波高さ比（太平洋岸のみ・走向変化）

予想津波高さについて、断層の走向を変化させても、北日本（特に東北地方太平洋側）で大きくなるという特徴に違いは見られず、また、いずれも最大で250～300cm程度を予想しており「大津波」レベルとなっている。

各計算結果の予想高さ分布は、もとの津波シミュレーションによる予想津波高さ分布と良く整合しており、地震断層走向の違いが予想津波高さ分布にもたらす影響はわずかであると判断した。

予想津波高さの比の分布を見ても（図25）、全国的にほぼ一定の比率となっており、また、比率の平均は、走向+10度(26度)/走向変化なし(16度)の比が1.04倍、走向-10度(6度)/走向変化なし(16度)の比が0.90倍程度と、わずかな相違となっている。

これらのことから、地震断層走向の推定誤差が10°程度含まれていたと仮定しても、USGS W-phase解による予想津波高さをそのまま予報に採用しても良く、かつ、この推定誤差のために予測を大きく上回る津波が来襲することは考えにくいと判断した。

3. 津波警報に用いる津波高さ予測分布

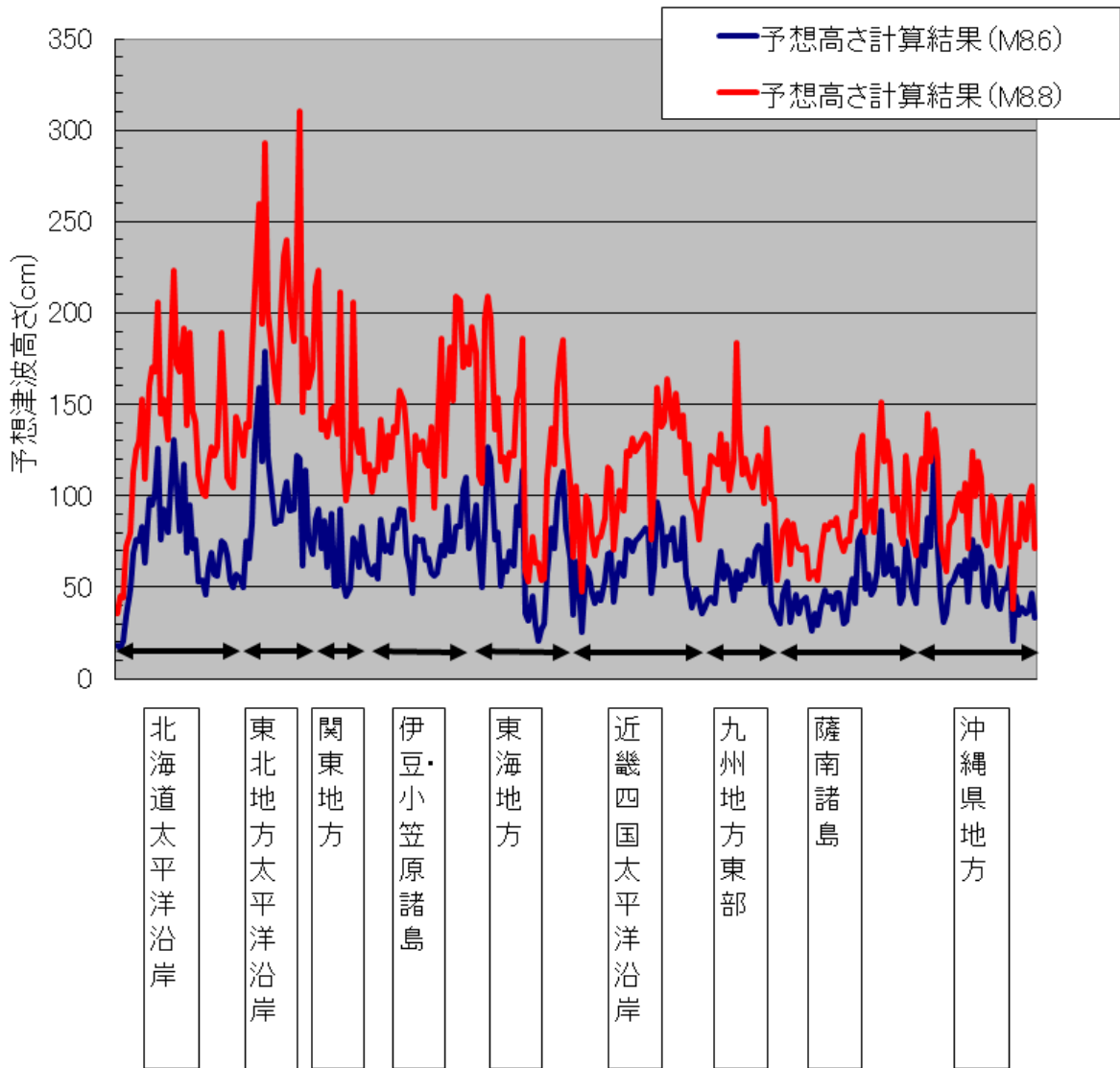


図26 各予報区領域の基本的とした予想津波高さ（赤線）と当初想定した遠地津波データベース（M8.6）による予想津波高さ（青線）（いずれも太平洋側のみ）

以上の結果を踏まえ、（4）に記載の方針により、基本的な予測値を決定した。

この予測値を基本とし、以降入手される海外潮位データとの比較を逐次行って、必要があればこの予測値に一律の係数を掛け、修正することとした。

#### 4. 海外潮位データとの比較

海外潮位データをシミュレーション結果と比較しつつ、3. で求めた津波高さ予測分布をもとに津波警報を組み立ててよいかを検討した。

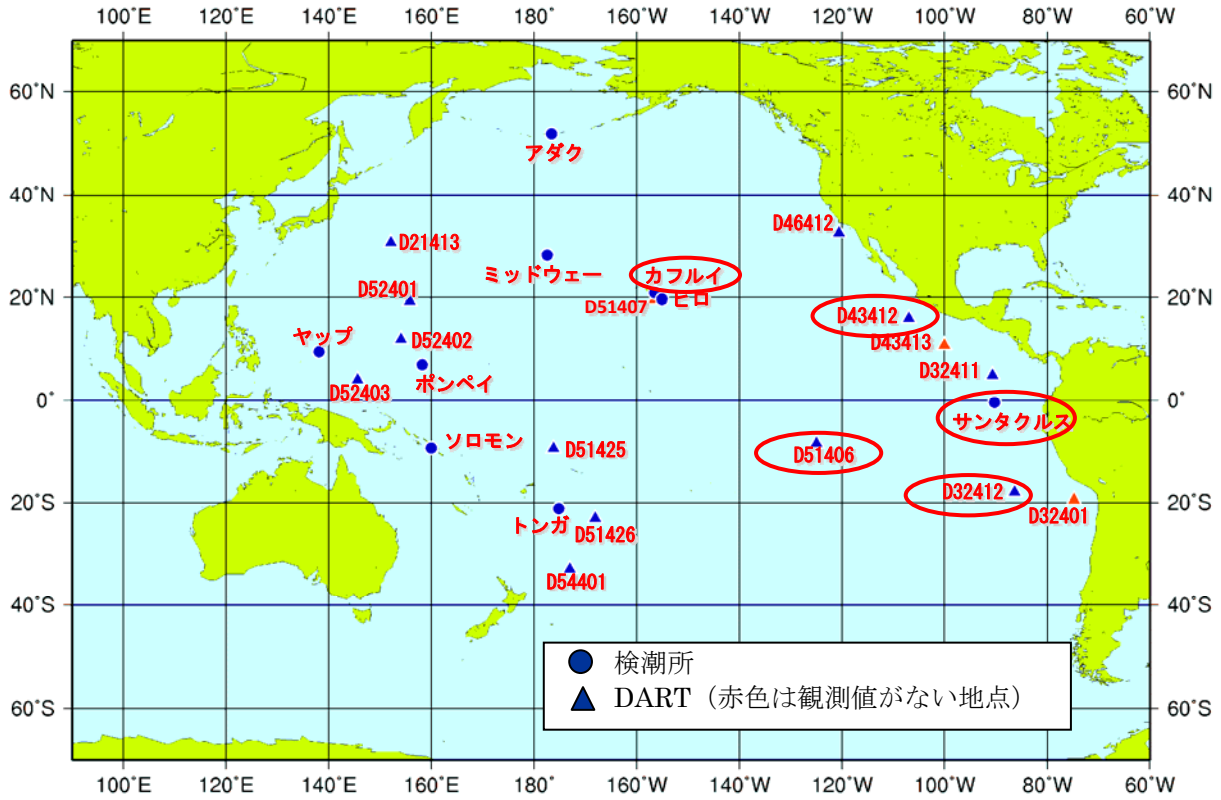


図27 シミュレーション波形との比較を行った海外の潮位観測点



(5-1) DART32412

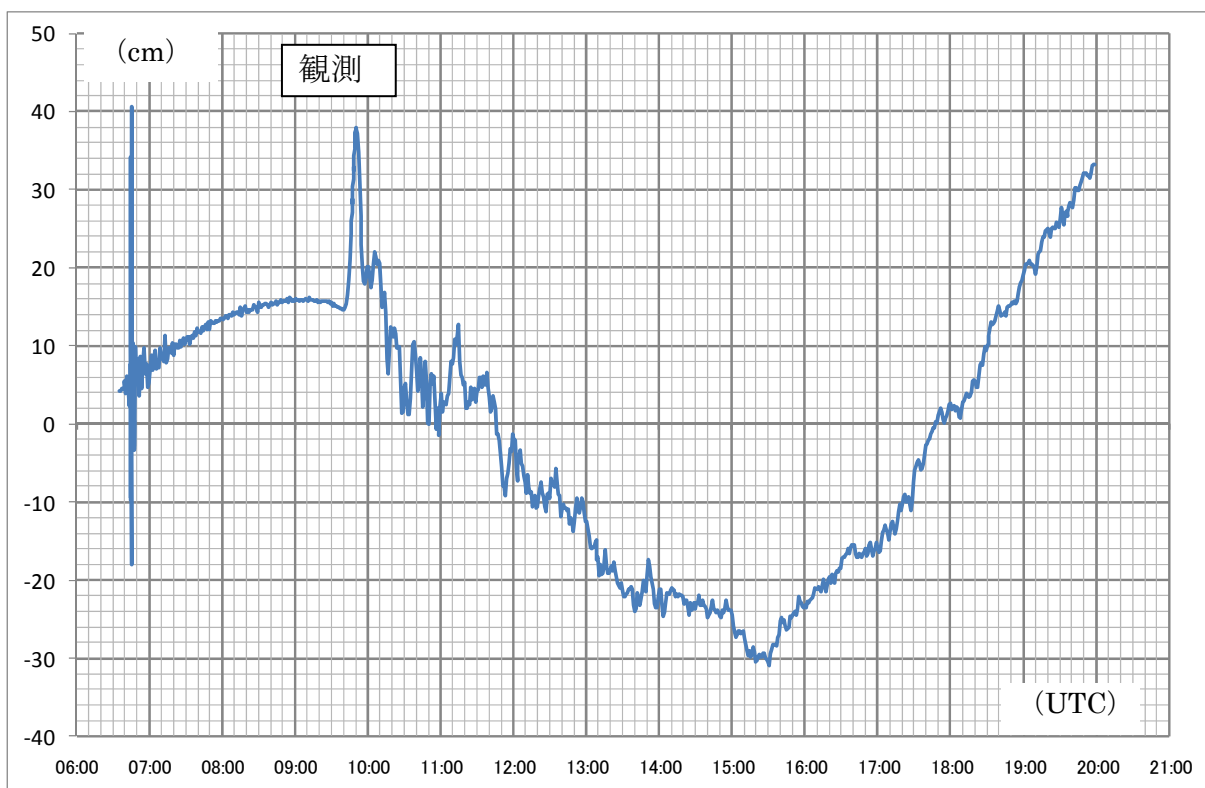
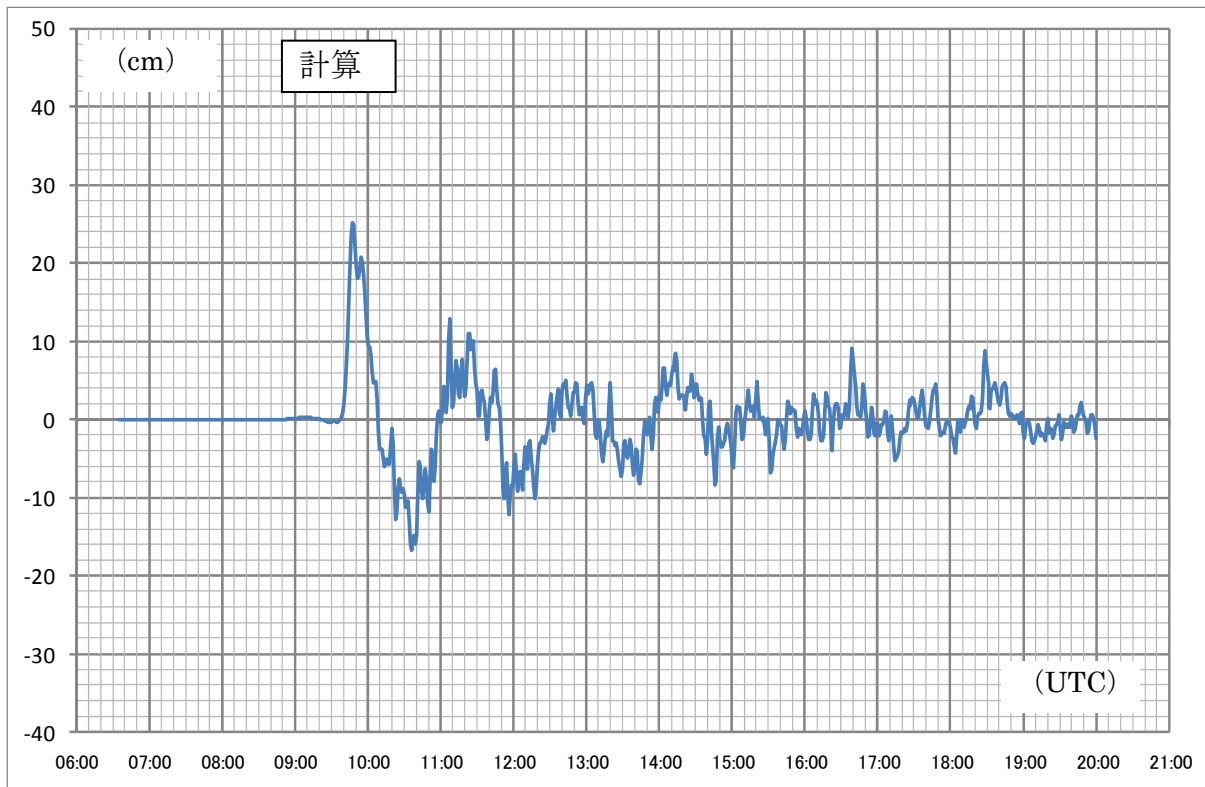


図28 津波シミュレーション結果と観測との比較  
 上図が計算結果、下図が観測。下図は潮汐を除去していない。

(5-2) DART51406

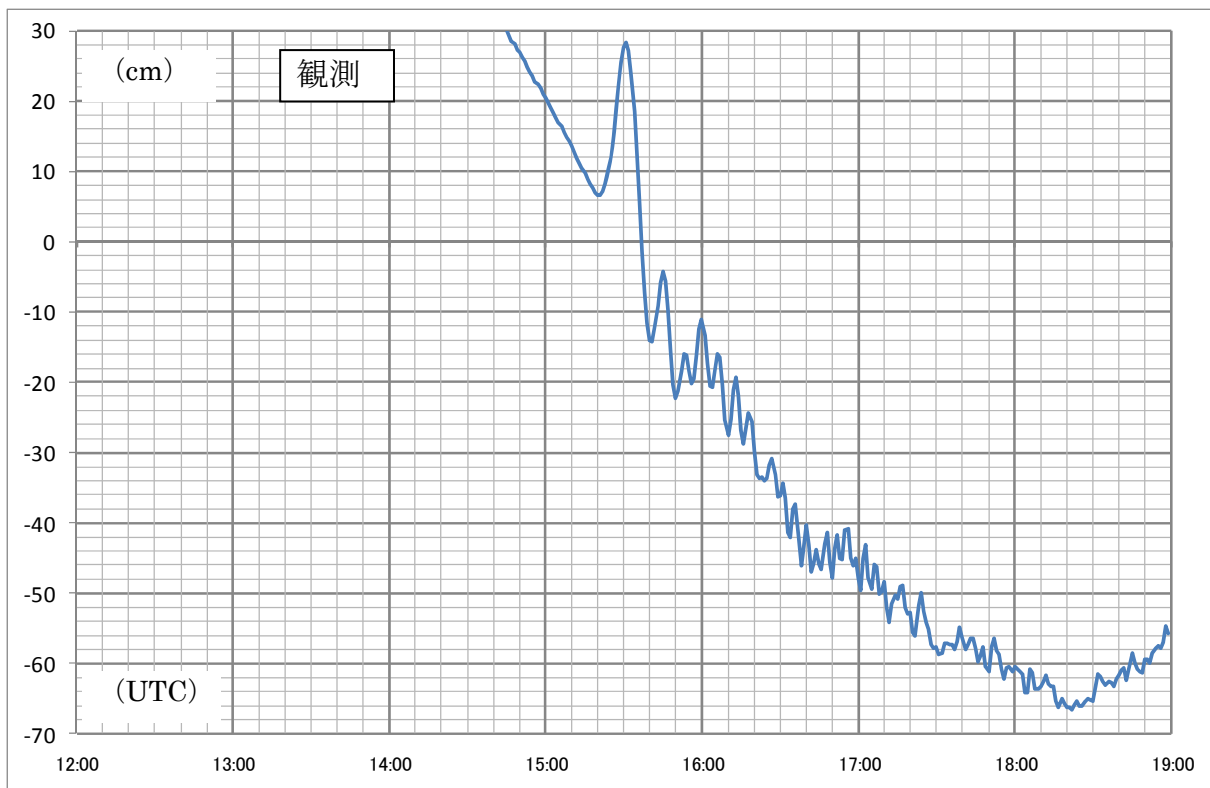
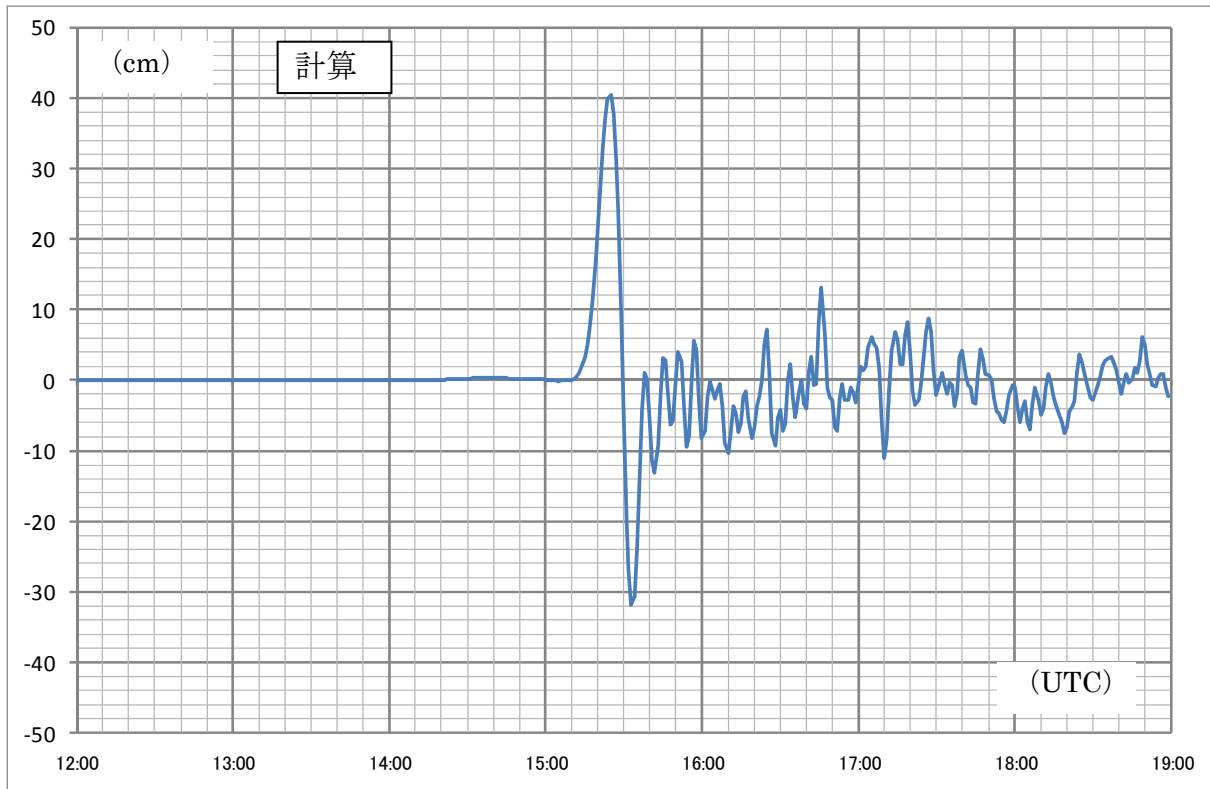


図29 津波シミュレーション結果と観測との比較  
 上図が計算結果、下図が観測。下図は潮汐を除去していない。

(5-3) DART43412

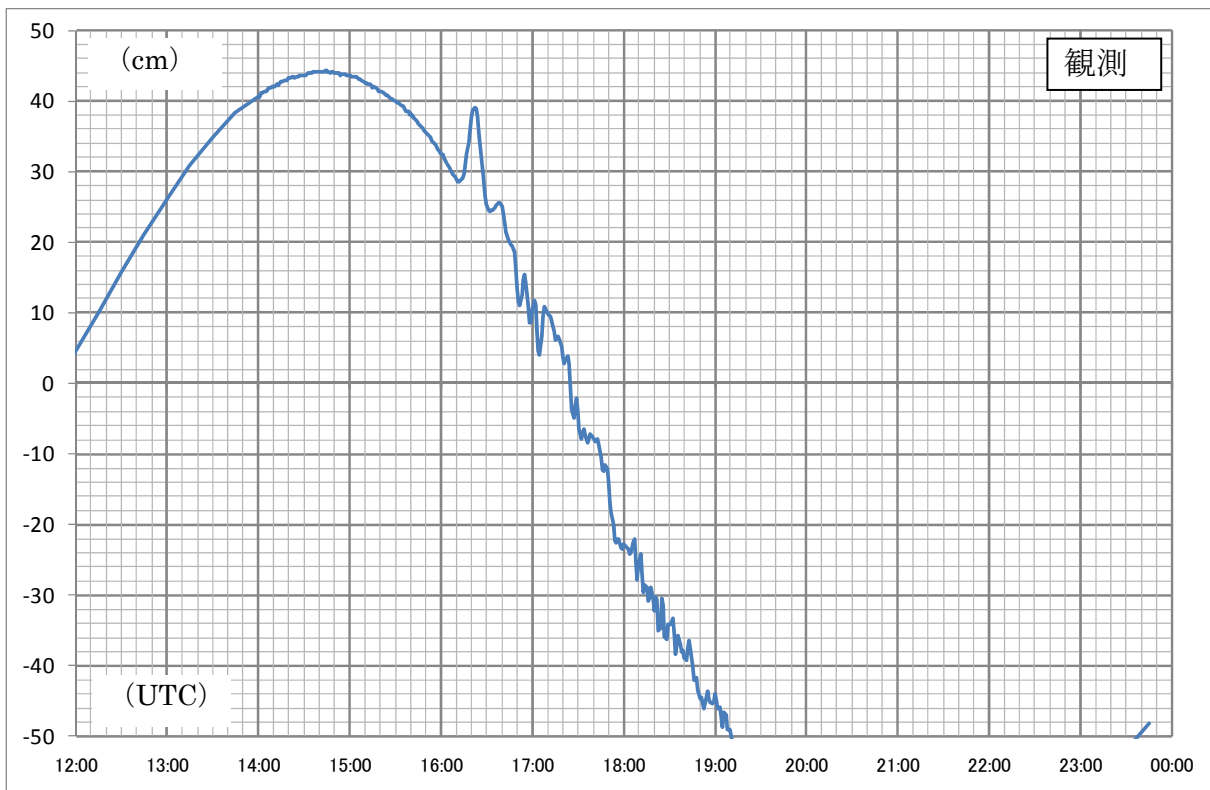
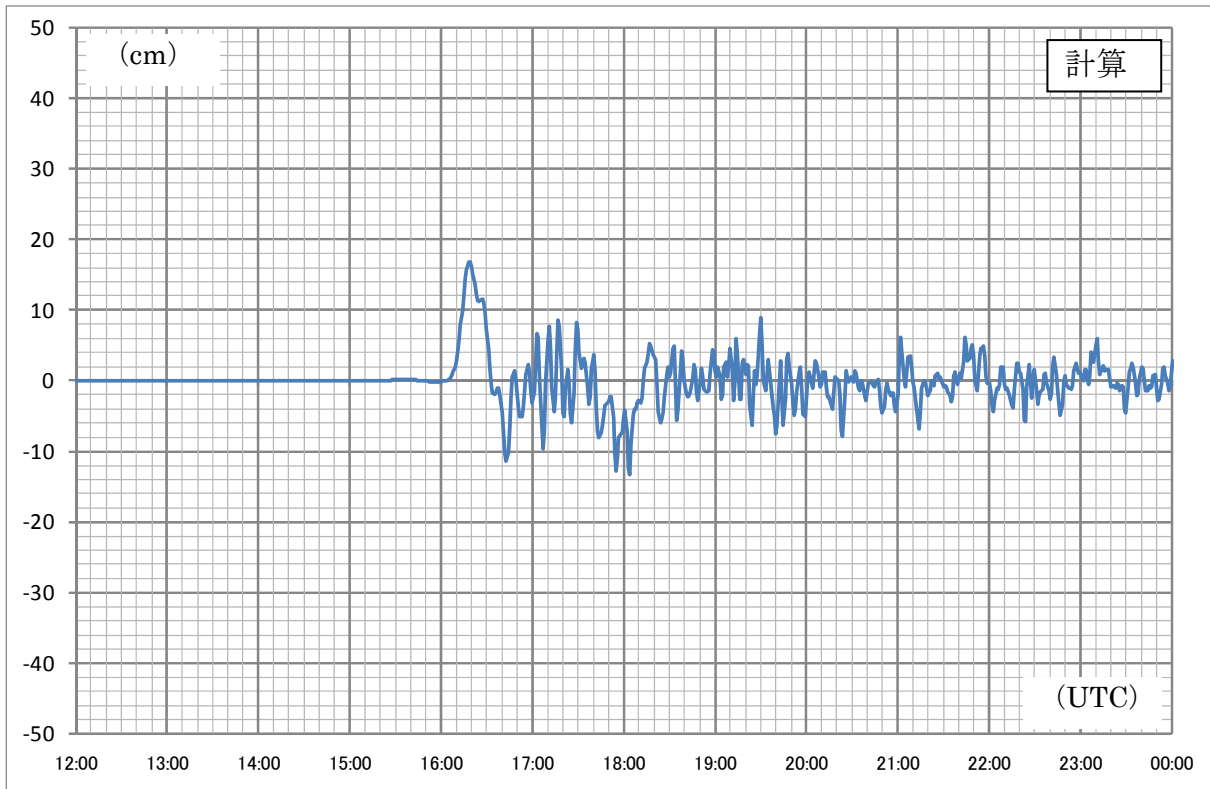


図30 津波シミュレーション結果と観測との比較  
 上図が計算結果、下図が観測。下図は潮汐を除去していない。

(5-4) 検潮所：サンタクルス

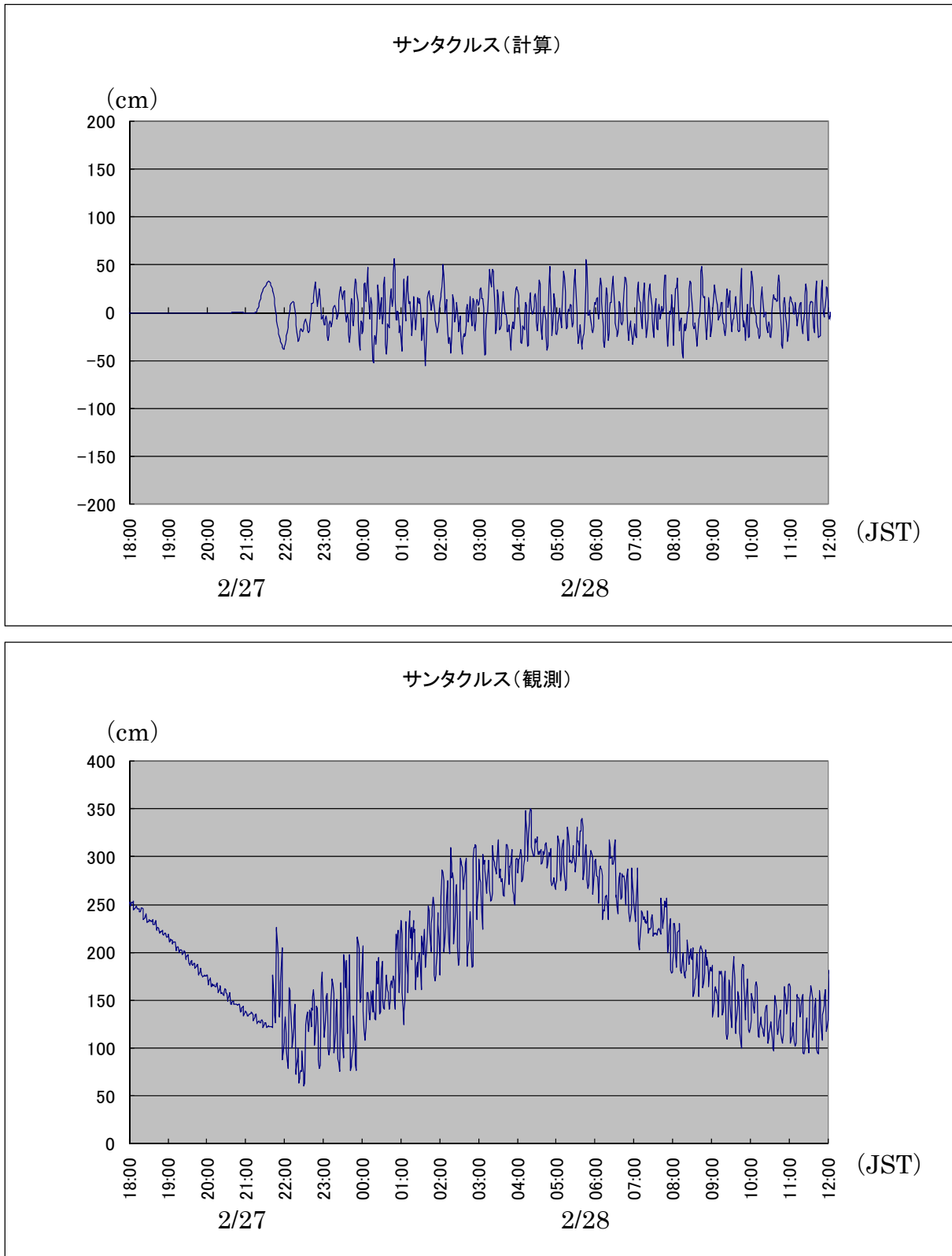


図3-1 津波シミュレーション結果と観測との比較  
 上図が計算結果、下図が観測。下図は潮汐を除去していない。

(5-5) カフルイ

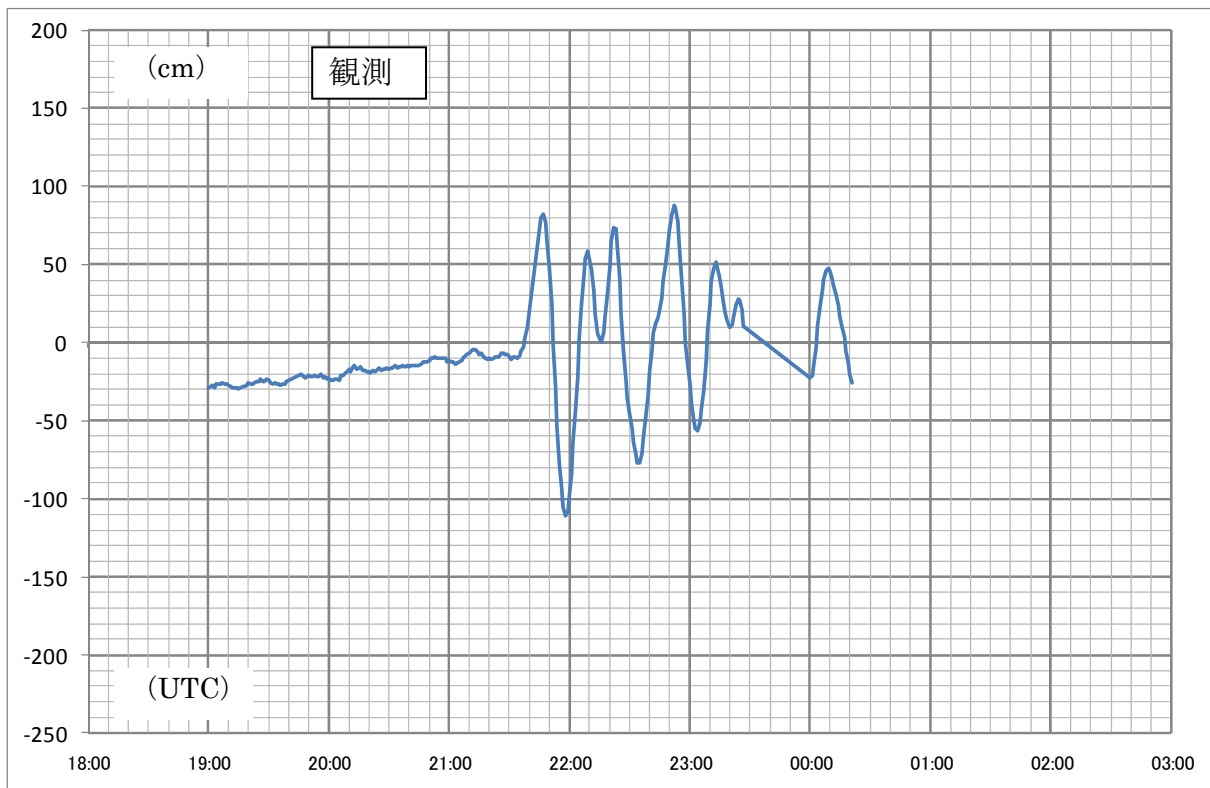
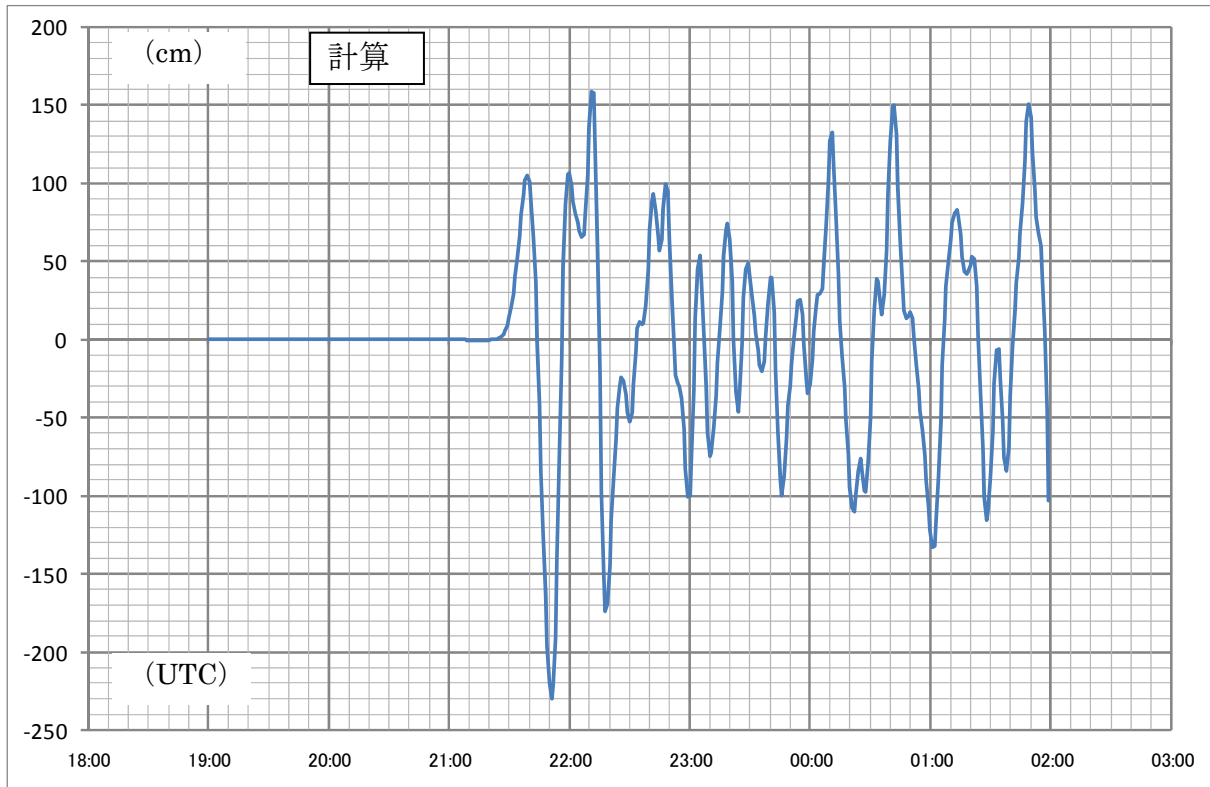


図3-2 津波シミュレーション結果と観測との比較  
 上図が計算結果、下図が観測。下図は潮汐を除去していない。

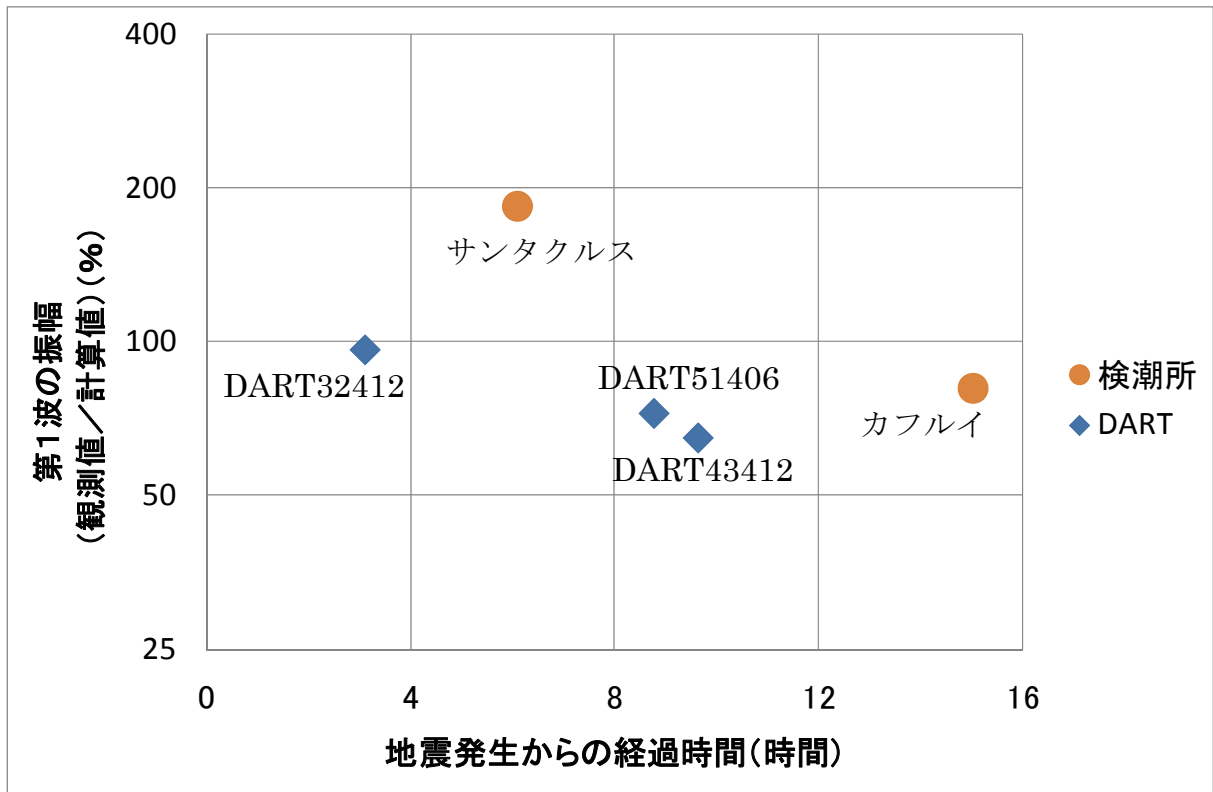


図3.3 第1波の振幅に関する津波シミュレーションと観測値との比較

第1波の振幅について、全体的には観測値は津波シミュレーション結果よりもやや小さいものの、概ねシミュレーション結果と同程度の振幅が観測されたことから、カフルイ（ハワイ）の観測値が得られた段階で、3. に記載の津波高さ予測分布により津波警報を組み立てることとした。

<参考文献>

宇津徳治(1984)：地震学（第2版）、共立出版, 249.