

津波シミュレーション結果の分析

I. 津波予報区毎の津波高さの観測結果

今回の津波における津波予報区毎の最大波の高さは以下のとおり。

表1 予報区毎の最大波の高さ

津波予報区	津波警報・注意報	観測された津波の高さ(予報区内の最大)(m)	地点	最大波の高さ(m)
青森県太平洋沿岸	大津波の津波警報	0.84	八戸	0.84
			むつ市関根浜	0.46
			むつ小川原港	0.57
			青森八戸沖*	0.29
岩手県	大津波の津波警報	1.20	宮古	0.74
			大船渡	0.42
			釜石	0.56
			久慈港	1.20
			岩手釜石沖*	0.24
岩手宮古沖*	0.16		岩手宮古沖*	0.16
宮城県	大津波の津波警報	1.06	石巻市鮎川	0.78
			仙台港	1.06
			宮城金華山沖*	0.23
			気仙沼広田湾沖*	0.21
北海道太平洋沿岸東部	津波の津波警報	0.92	釧路	0.65
			根室市花咲	0.92
			根室港	0.20
			浜中町霧多布港	0.80
北海道太平洋沿岸中部	津波の津波警報	0.67	浦河	0.67
			十勝港	0.65
北海道太平洋沿岸西部	津波の津波警報	0.53	函館	0.53
			苫小牧西港	0.36
			苫小牧東港	0.51
			白老港	0.30
青森県日本海沿岸	津波の津波警報	0.19	竜飛	0.19
			深浦	0.11
福島県	津波の津波警報	0.75	いわき市小名浜	0.73
			相馬	0.75
茨城県	津波の津波警報	0.89	神栖市鹿島港	0.89
千葉県九十九里・外房	津波の津波警報	0.47	銚子	0.47
千葉県内房	津波の津波警報	0.69	館山市布良	0.69
東京湾内湾	津波の津波警報	0.41	東京晴海	0.35
			横須賀	0.24
			千葉	0.19
			横浜	0.41
伊豆諸島	津波の津波警報	0.41	伊豆大島岡田	0.27
			三宅島坪田	0.41
			神津島神津島港	0.40
			三宅島阿古	0.39
			八丈島神湊	0.38
小笠原諸島	津波の津波警報	0.43	父島二見	0.43
			南島島	0.11
相模湾・三浦半島	津波の津波警報	0.39	三浦市油壺	0.39

静岡県	津波の津波警報	0.54	沼津市内浦	0.32
			清水	0.21
			南伊豆町石廊崎	0.27
			御前崎	0.54
			舞阪	0.20
			下田港	0.43
			伊東	0.18
			西伊豆町田子	0.17
			焼津	0.34
愛知県外海	津波の津波警報	0.67	田原市赤羽根	0.67
伊勢・三河湾	津波の津波警報	0.50	名古屋	0.50
			半田市衣浦	0.28
			四日市	0.18
			豊橋市三河港	0.21
三重県南部	津波の津波警報	0.63	鳥羽	0.56
			尾鷲	0.63
			熊野市遊木	0.49
			三重尾鷲沖*	0.24
淡路島南部	津波の津波警報	0.10	洲本	0.10
和歌山県	津波の津波警報	0.89	那智勝浦町浦神	0.39
			串本町袋港	0.89
			和歌山	0.24
			御坊市祓井戸	0.37
			白浜町堅田	0.46
			和歌山白浜沖*	0.11
岡山県	津波の津波警報	0.06	玉野市宇野	0.06
徳島県	津波の津波警報	0.47	小松島	0.37
			徳島由岐	0.47
愛媛県宇和海沿岸	津波の津波警報	0.35	宇和島	0.35
高知県	津波の津波警報	1.28	室戸市室戸岬	0.47
			高知	0.37
			土佐清水	0.52
			須崎港	1.28
			高知足摺岬沖*	0.16
有明・八代海	津波の津波警報	0.33	三角	0.06
			八代港	0.13
			天草市本渡港	0.33
			熊本港	0.11
			大牟田市三池	0.09
			太良町大浦野崎	0.06
大分県瀬戸内海沿岸	津波の津波警報	0.41	大分	0.30
			別府港	0.41
大分県豊後水道沿岸	津波の津波警報	検潮所なし	-	
宮崎県	津波の津波警報	0.66	日向市細島	0.31
			日南市油津	0.50
			宮崎港	0.66
鹿児島県東部	津波の津波警報	1.03	南大隅町大泊	0.57
			志布志港	1.03
種子島・屋久島地方	津波の津波警報	0.46	種子島西之表	0.44
			種子島熊野	0.46
奄美諸島・トカラ列島	津波の津波警報	0.47	中之島	0.30
			奄美市小湊	0.47
			奄美市名瀬	0.40
鹿児島県西部	津波の津波警報	0.41	鹿児島	0.13
			枕崎	0.41
			阿久根	0.24
沖縄本島地方	津波の津波警報	0.34	那覇	0.24
			南城市安座真	0.34
大東島地方	津波の津波警報	0.08	南大東漁港	0.08
宮古島・八重山地方	津波の津波警報	0.43	与那国島久部良	0.08
			石垣島石垣港	0.20
			宮古島平良	0.43

北海道日本海沿岸南部	津波注意報	0.17	江差	0.10
			奥尻島松江	0.04
			奥尻島奥尻港	0.10
			瀬棚港	0.16
			岩内港	0.17
オホーツク海沿岸	津波注意報	0.20	網走	0.16
			枝幸港	0.20
陸奥湾	津波注意報	0.29	青森	0.29
大阪府	津波注意報	0.30	大阪天保山	0.30
			岬町淡輪	0.12
兵庫県瀬戸内海沿岸	津波注意報	0.13	神戸	0.13
			姫路	0.08
広島県	津波注意報	0.12	広島	0.06
			呉	0.12
香川県	津波注意報	0.09	高松	0.09
			坂出市与島港	-
愛媛県瀬戸内海沿岸	津波注意報	0.10	松山	0.10
山口県瀬戸内海沿岸	津波注意報	0.22	下関市彦島弟子待	0.20
			徳山	0.13
			三田尻中関港	0.13
			下関港長府	0.22
			宇部港	0.08
福岡県瀬戸内海沿岸	津波注意報	0.18	北九州市門司	0.16
			北九州港青浜	0.18
			苅田港	0.09
福岡県日本海沿岸	津波注意報	0.19	北九州港日明	-
			福岡市博多	0.19
長崎県西方	津波注意報	0.40	長崎	0.40
			口之津	0.12
			福江島福江港	0.12
			佐世保	0.33
			長崎港皇后	0.22
			平戸市田平港	0.16
熊本県天草灘沿岸	津波注意報	検潮所なし	-	-
北海道日本海沿岸北部	津波予報	0.19	稚内	0.11
			小樽	0.14
			小樽市忍路	0.12
			石狩湾新港	0.19
			利尻島沓形港	0.12
山口県日本海沿岸	津波予報	0.18	下関市南風泊港	0.18
佐賀県北部	津波予報	0.20	唐津港	0.20
山形県		0.27	酒田	0.27
			飛島	0.05
			鶴岡市鼠ヶ関	0.16
新潟県上中下越		0.14	新潟	0.14
			粟島	0.12
			柏崎市鯨波	0.12
佐渡		0.10	佐渡市鷲崎	0.10
富山県		0.08	富山	0.08
石川県能登		0.23	珠洲市長橋	0.19
			輪島港	0.23
京都府		0.23	舞鶴	0.23
鳥取県		0.19	境港市境	0.15
			岩美町田後	0.19
隠岐		0.11	隠岐西郷	0.11

0.7m 以上
 0.2m~0.7m
 0.2m 未満

II. 津波予測と観測値の比較

津波シミュレーションと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）の結果を、振幅と津波到達時刻について、観測値と比較した。

1. 津波予測の手法

(1) 津波シミュレーション

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aggerドリーブフログ差分

(支配方程式)

$$\frac{\partial V_x}{\partial t} + V_x \frac{\partial V_x}{\partial x} + V_y \frac{\partial V_x}{\partial y} = -fV_y - g \frac{\partial h}{\partial x} - C_f \frac{V_x \sqrt{V_x^2 + V_y^2}}{d+h}$$

$$\frac{\partial V_y}{\partial t} + V_x \frac{\partial V_y}{\partial x} + V_y \frac{\partial V_y}{\partial y} = fV_x - g \frac{\partial h}{\partial y} - C_f \frac{V_y \sqrt{V_x^2 + V_y^2}}{d+h}$$

$$\frac{\partial h}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial x} \{V_x(h+d)\} + \frac{\partial}{\partial y} \{V_y(h+d)\} = 0$$

② USGS の震源要素による断層パラメータ

- ・ Mw8.8 (Mo=2.0×10²²Nm)
 - ・ 断層中心位置：南緯 38.83 度、西経 72.67 度
 - ・ 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
- } (USGS W-phase 解析より)
- (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)

(2) 遠地津波データベース

- ・当庁の地震情報における震源位置（南緯 36.1 度、西経 72.6 度）による震源に最も近い断層による予測を用いた。
- ・M8.8、深さは 0km 固定。ただし、データベース上には M8.5、M7.5 の断層しかないため、これらの震源断層による津波の高さの対数値に対して線形外挿することにより、M8.8 の場合の津波の高さを求めている。
 （なお、M8.5 の断層は 300km×100km、すべり量 7.0m、M7.5 の断層は 70km×35km、すべり量 2.7m。）

2. 予測値と観測値の比較

(1) 振幅について

チリ付近～ハワイの主な観測点における津波の第一波の高さについて、観測値と、津波シミュレーションによる予測値の結果を比較した（図2）。

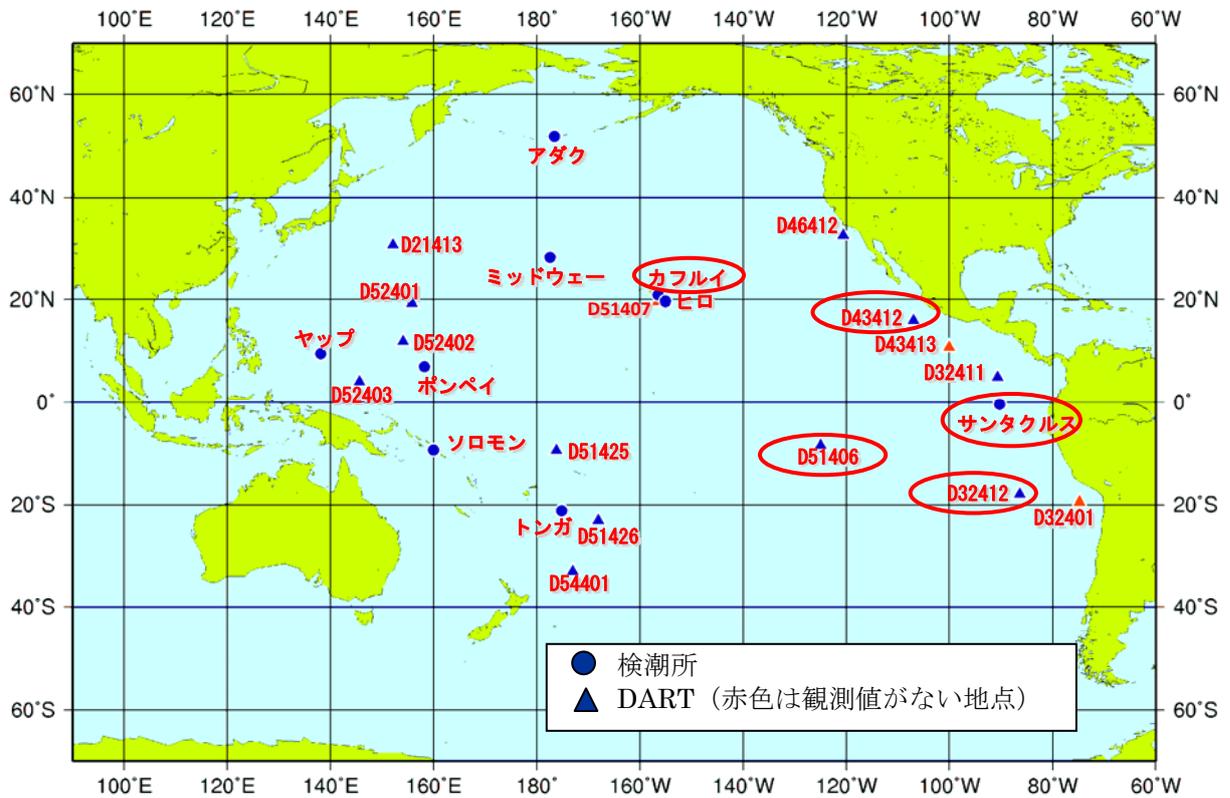


図1 シミュレーション波形との比較を行った海外の潮位観測点

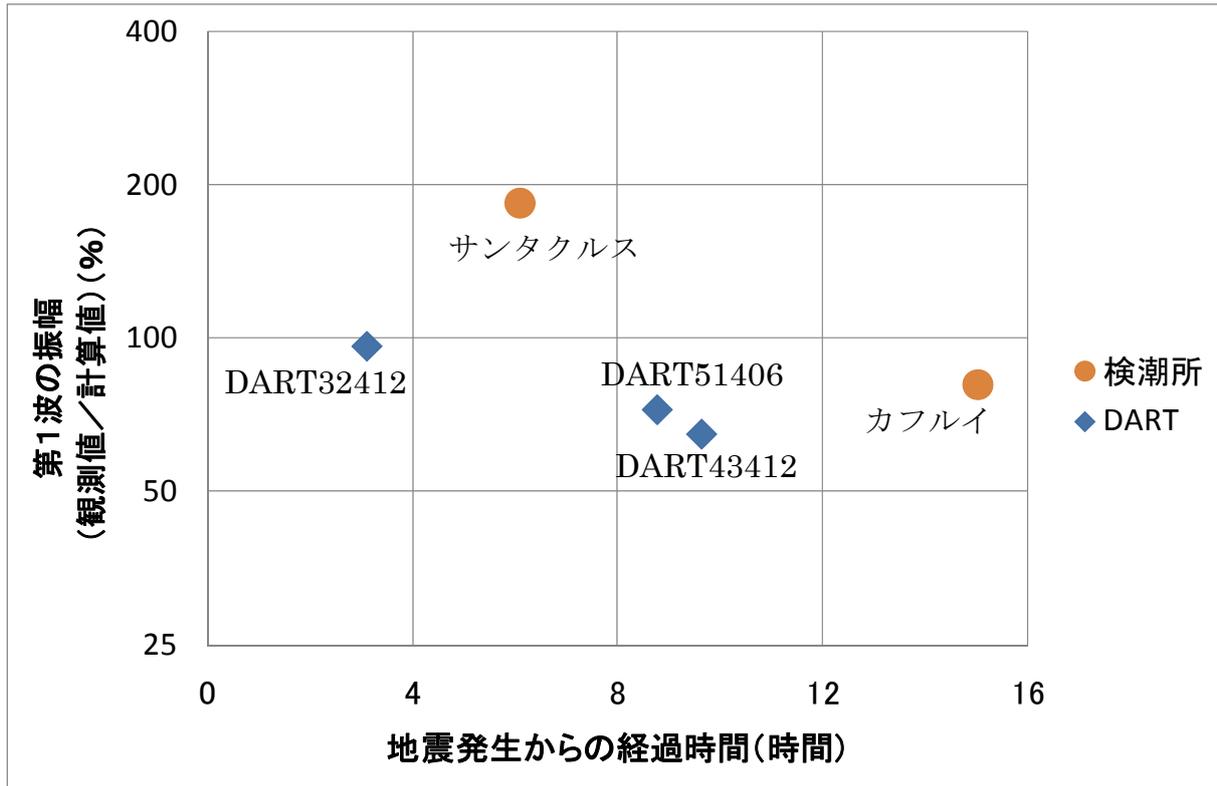


図2 第一波の振幅に関する津波シミュレーションと観測値の比較

第1波の振幅について、全体的には津波シミュレーション結果は観測値よりもやや大きくなっているが、概ね同程度の大きさとなっている。

一方、日本沿岸付近での観測点における津波の高さの最大値（後続波を含む）については、津波警報等で発表した値と観測値を比較すると、全体的に警報で発表した値が大きめとなっている（図3）。

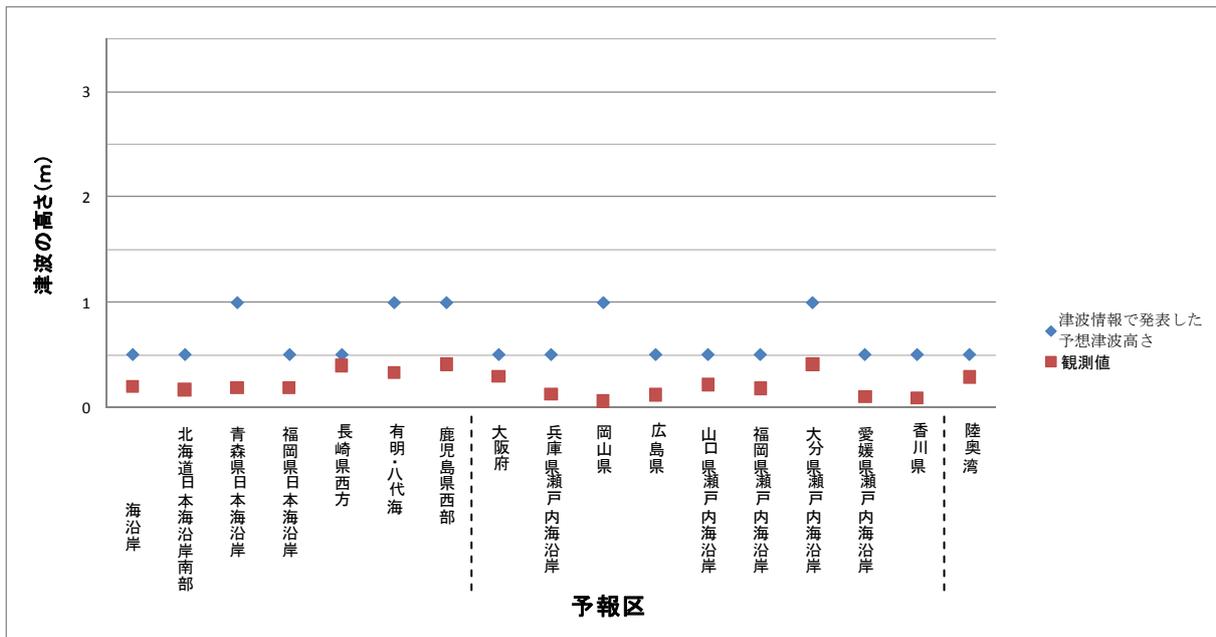
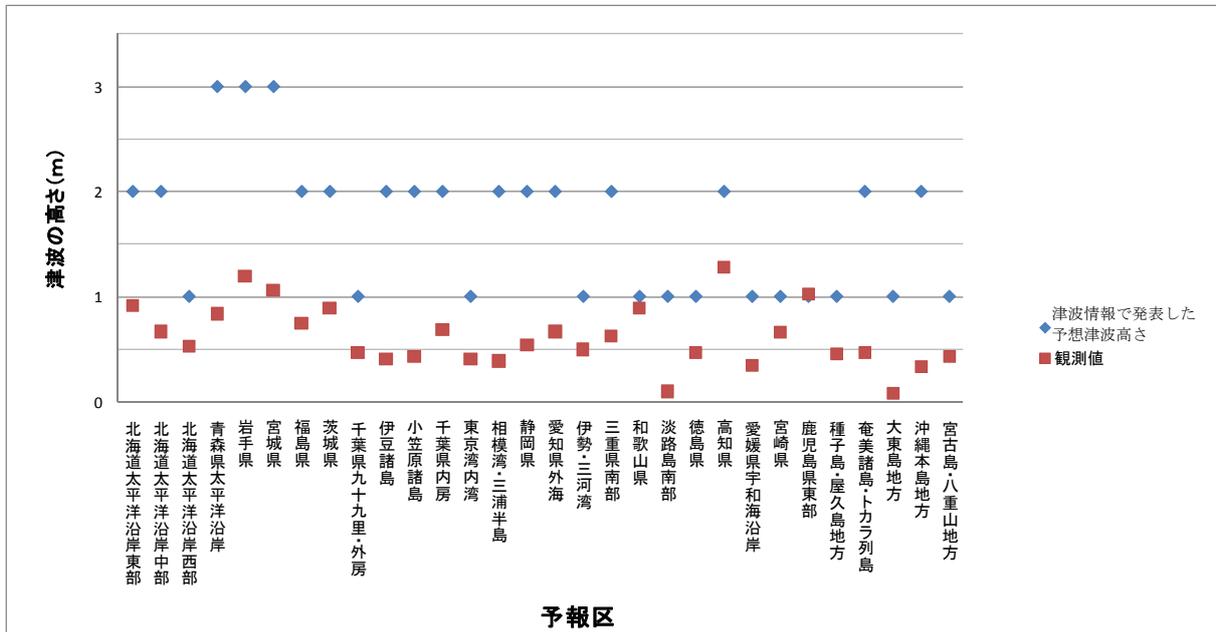
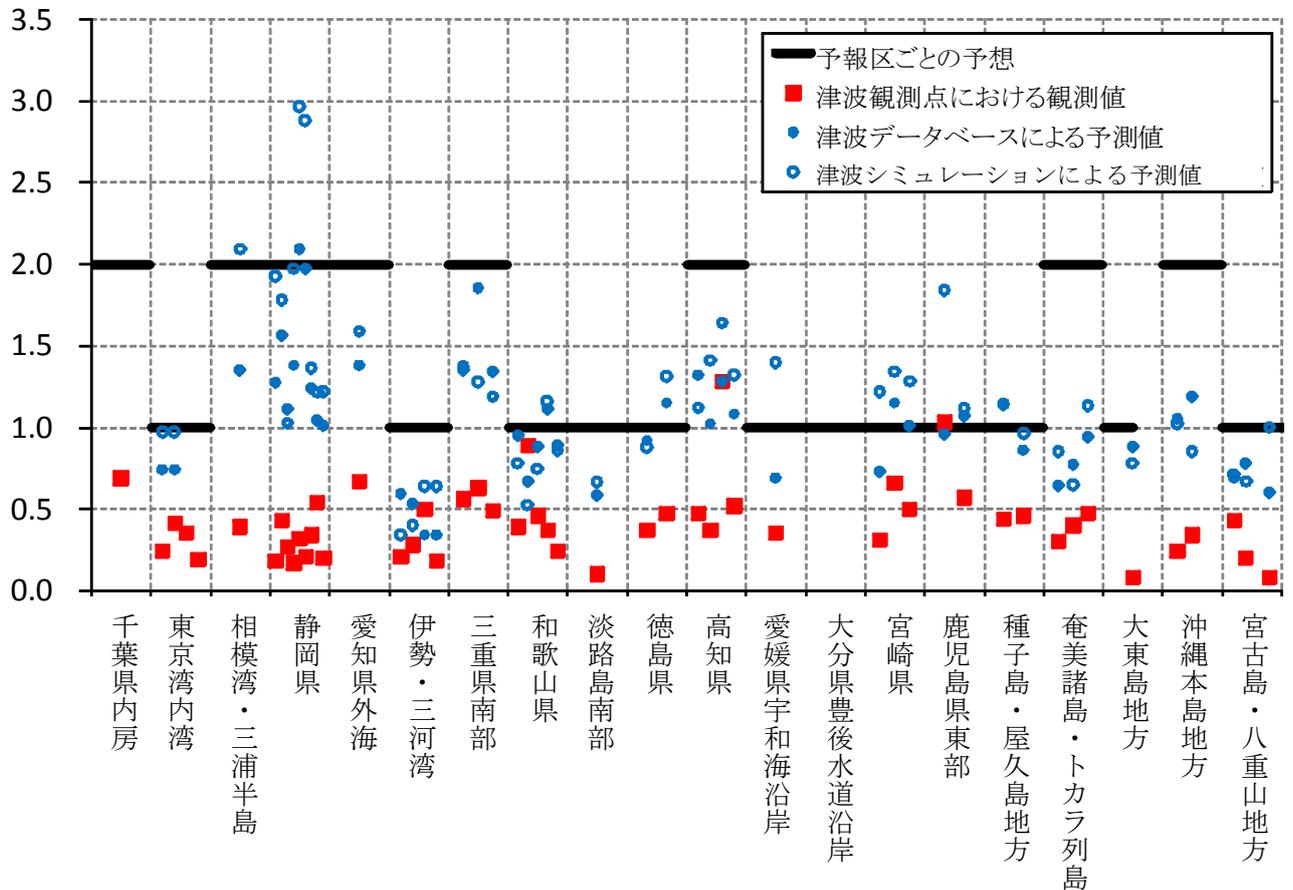
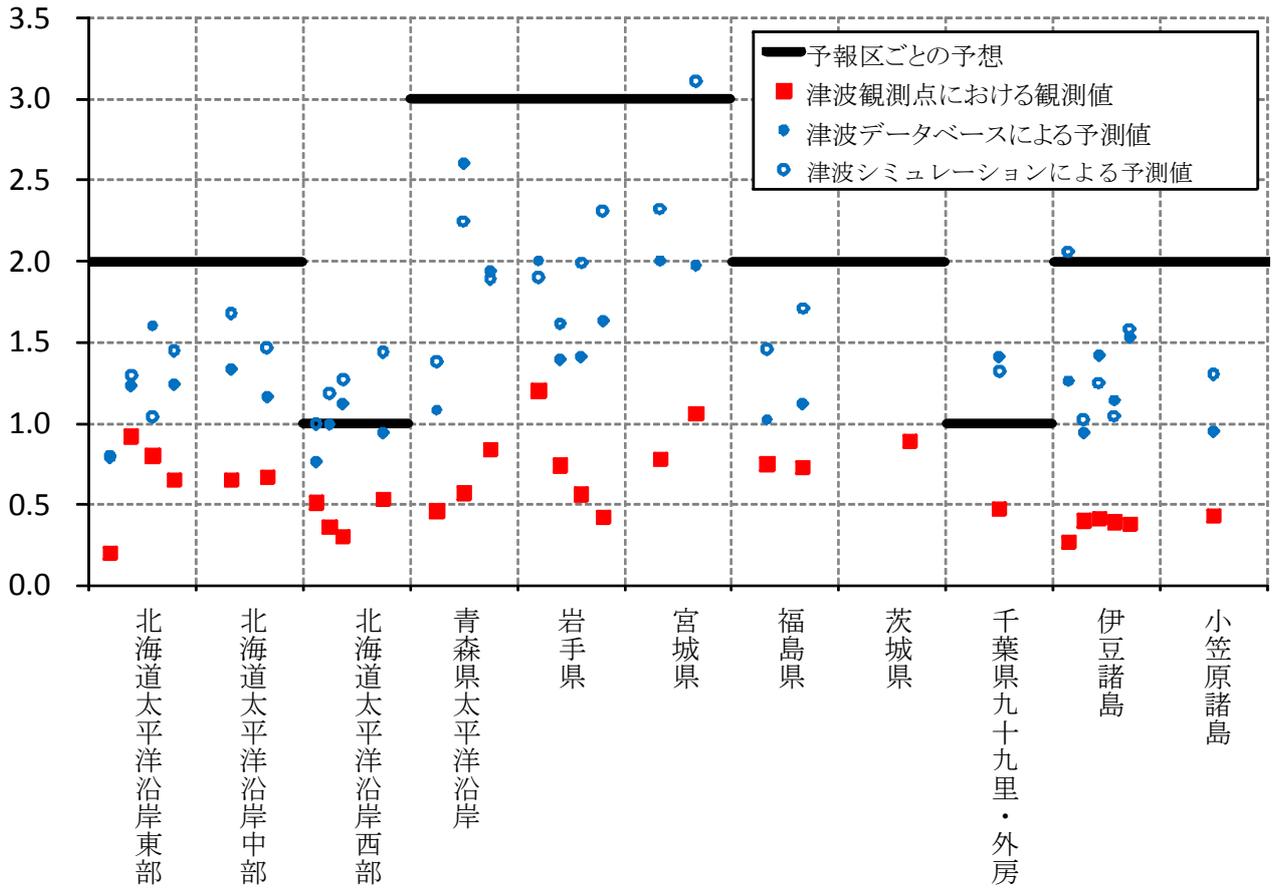


図3 津波警報等で発表した予想津波高さと観測された津波の最大振幅の比較（予報区別）

図3に示した予測値は、津波警報等で発表したものであるが、これは各予報区内におけるシミュレーション結果の最大値としており（注：今回の津波警報等においては、津波シミュレーションと遠地津波データベースの出力結果の両方を参照し、基本的に大きい方を用いた）、またこれをメートル単位（注意報は 50cm）に丸めたものとなっている。

シミュレーション結果と観測結果の対応を更に詳しく見るため、観測点毎に、観測点に最も近い格子点におけるシミュレーション結果、遠地津波データベース出力、観測値の比較を行った。



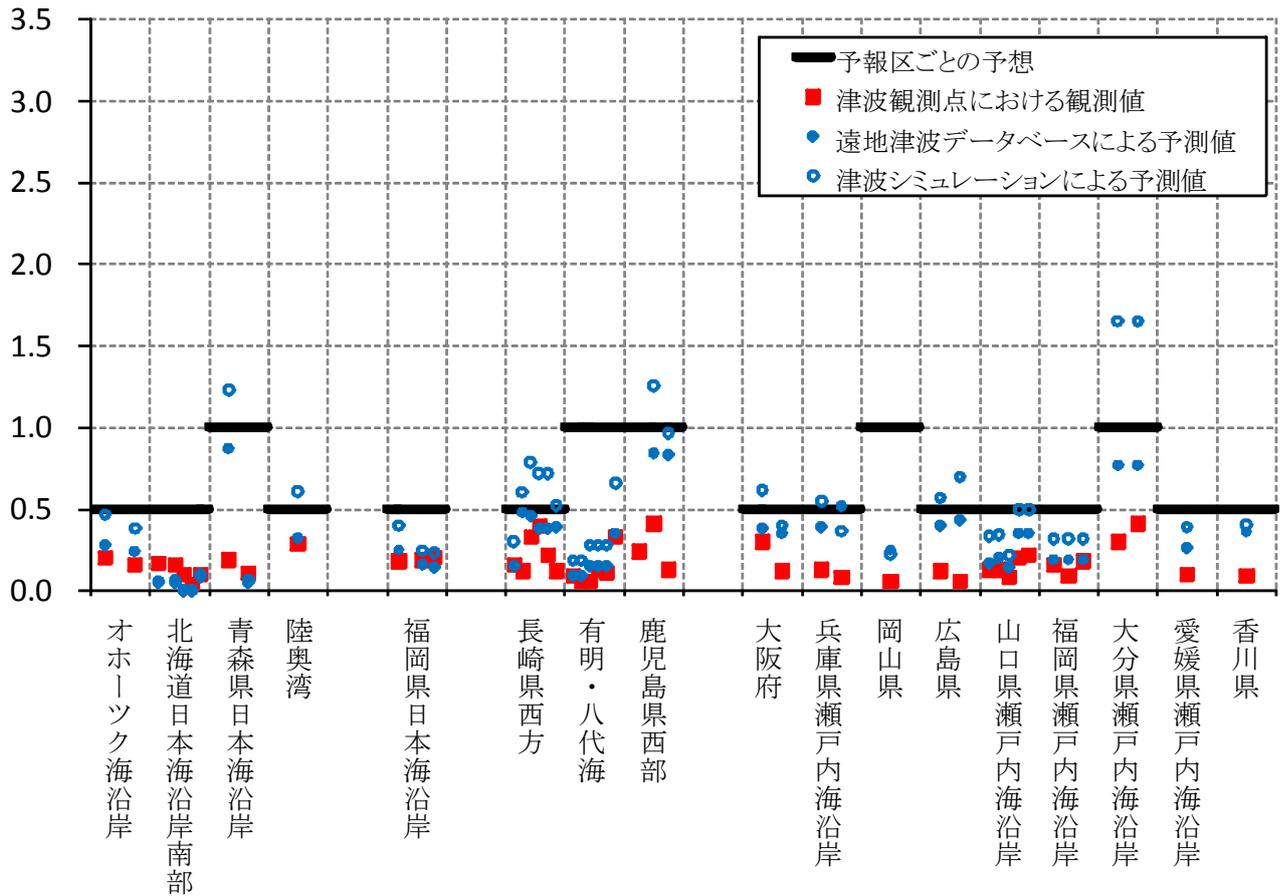


図4 最大波の観測と予測（津波シミュレーション、津波データベース）の比較（観測点別）

観測点毎に見ても、全体的に大きめの予測となっていることが分かる。

なお、津波シミュレーションの実施にあたっては、沿岸の複数の観測点について、20秒メッシュ計算により津波波形の計算を行っている。これらの観測点、及び、GPS波浪計の観測点について、同様に、最大振幅の比較を行った。

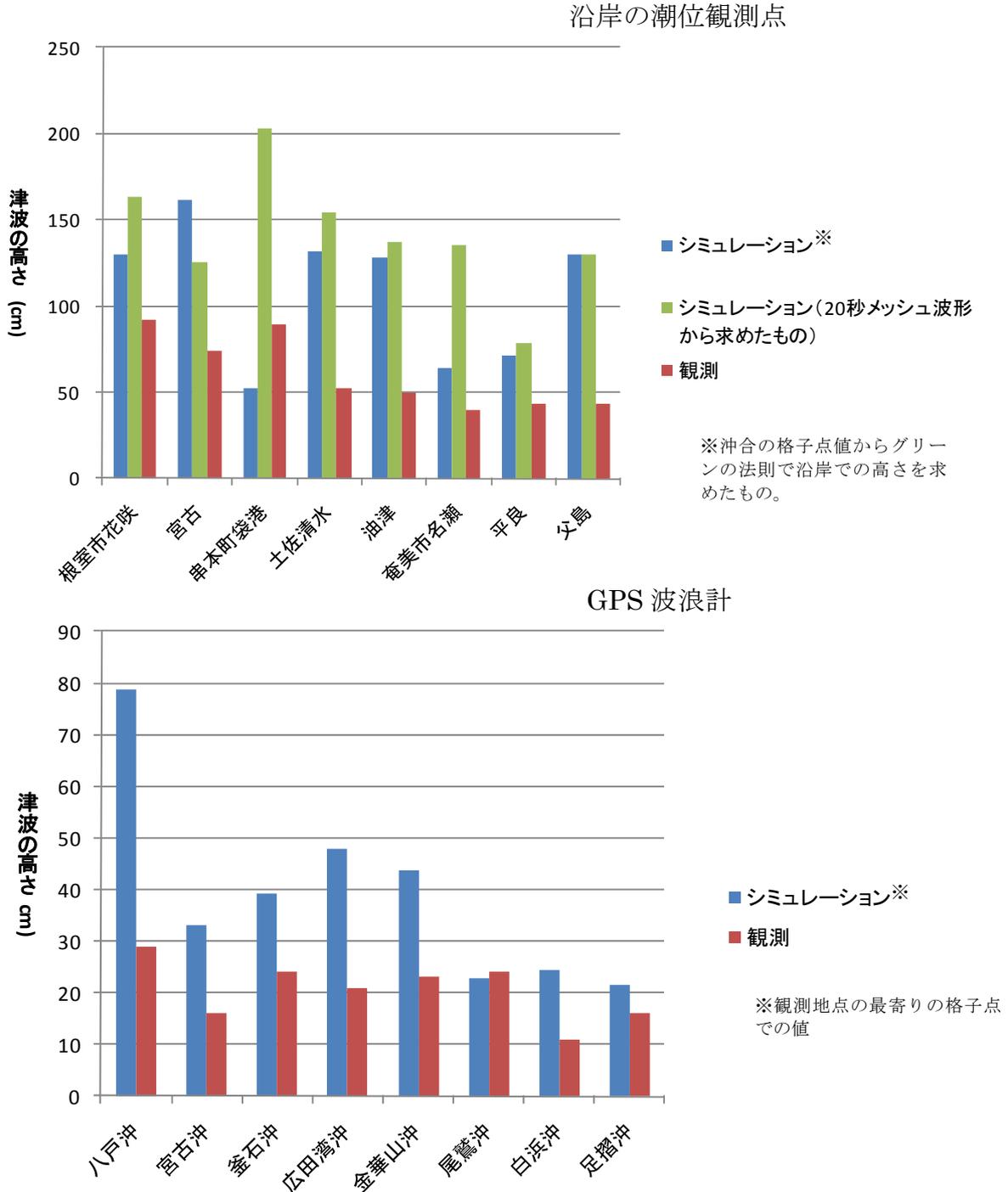


図5 最大波の観測と予測（津波シミュレーション）の比較（観測点別）

この結果を見ても、全体的に大きめの予測となっていることが分かる。

(2) 津波到達時刻について

津波到達時刻について、津波情報で発表した予想時刻と、予報区内で最も早く津波が観測された時刻を比較した。なお、津波到達予想時刻は、基本的に遠地津波データベースを元に求めている。観測値については、当初発表したものから若干修正した精査中のもので、今後変更する可能性がある。

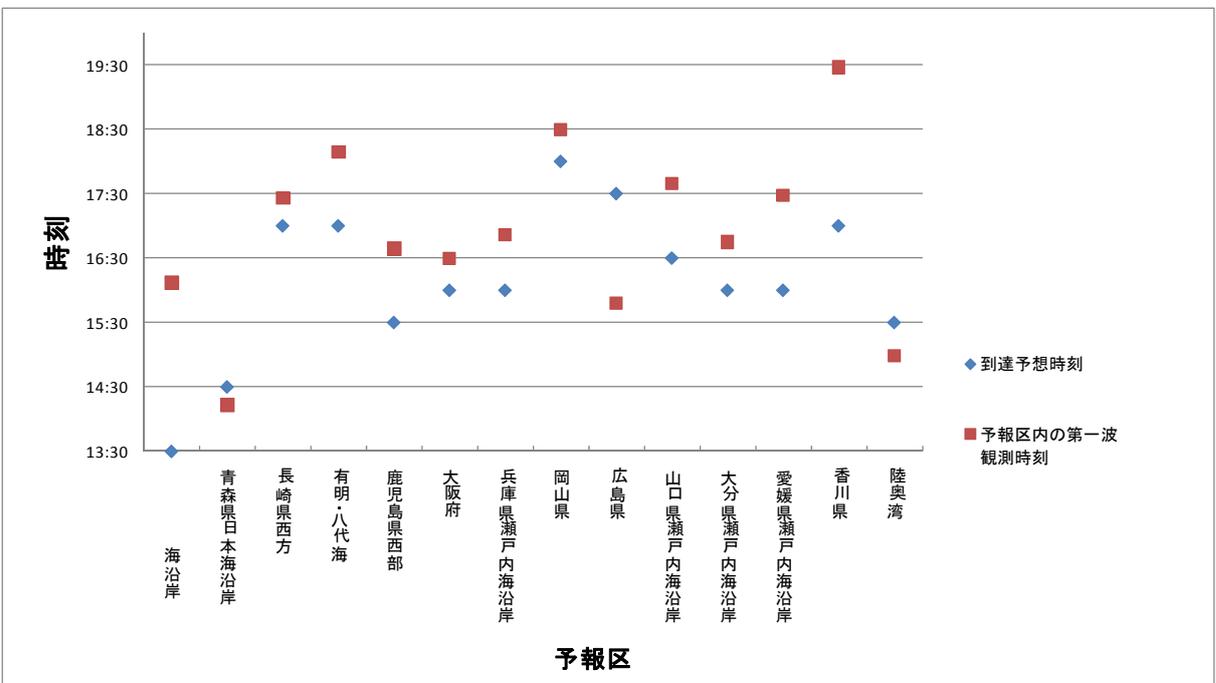
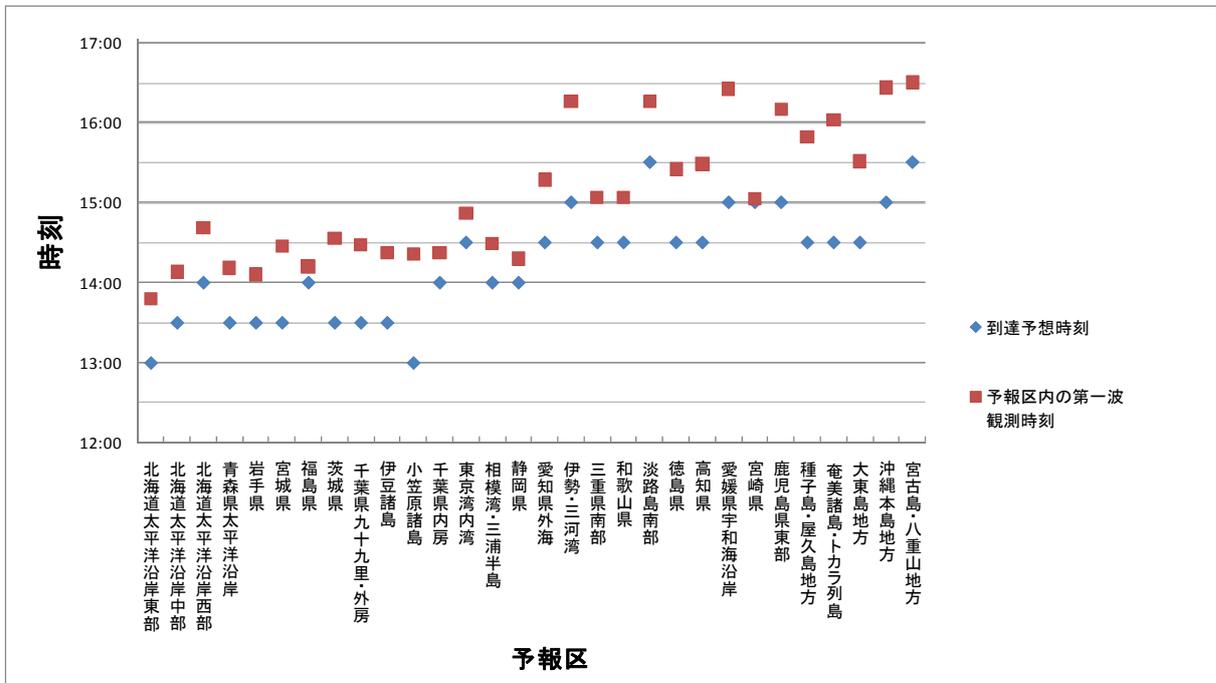
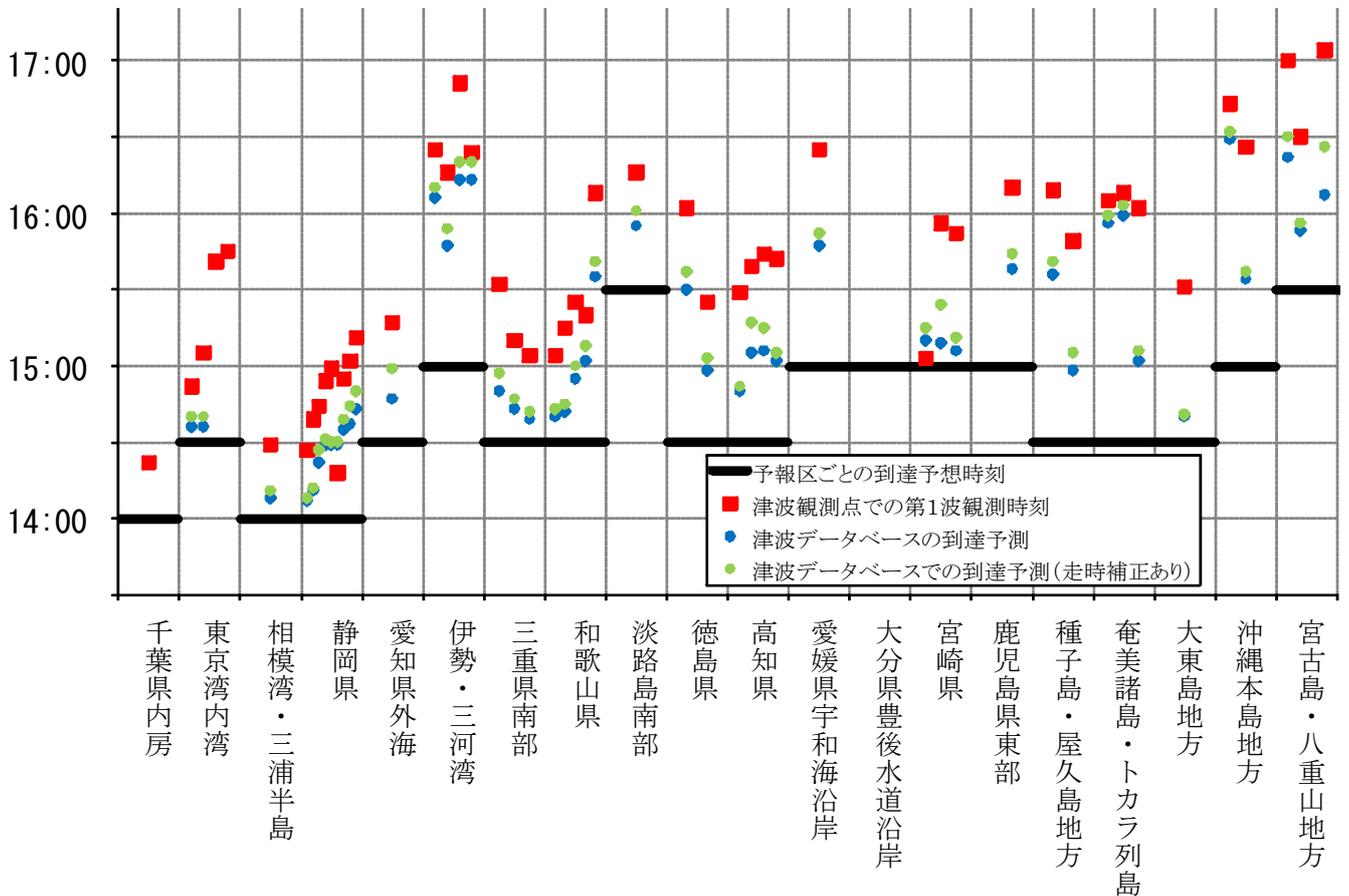
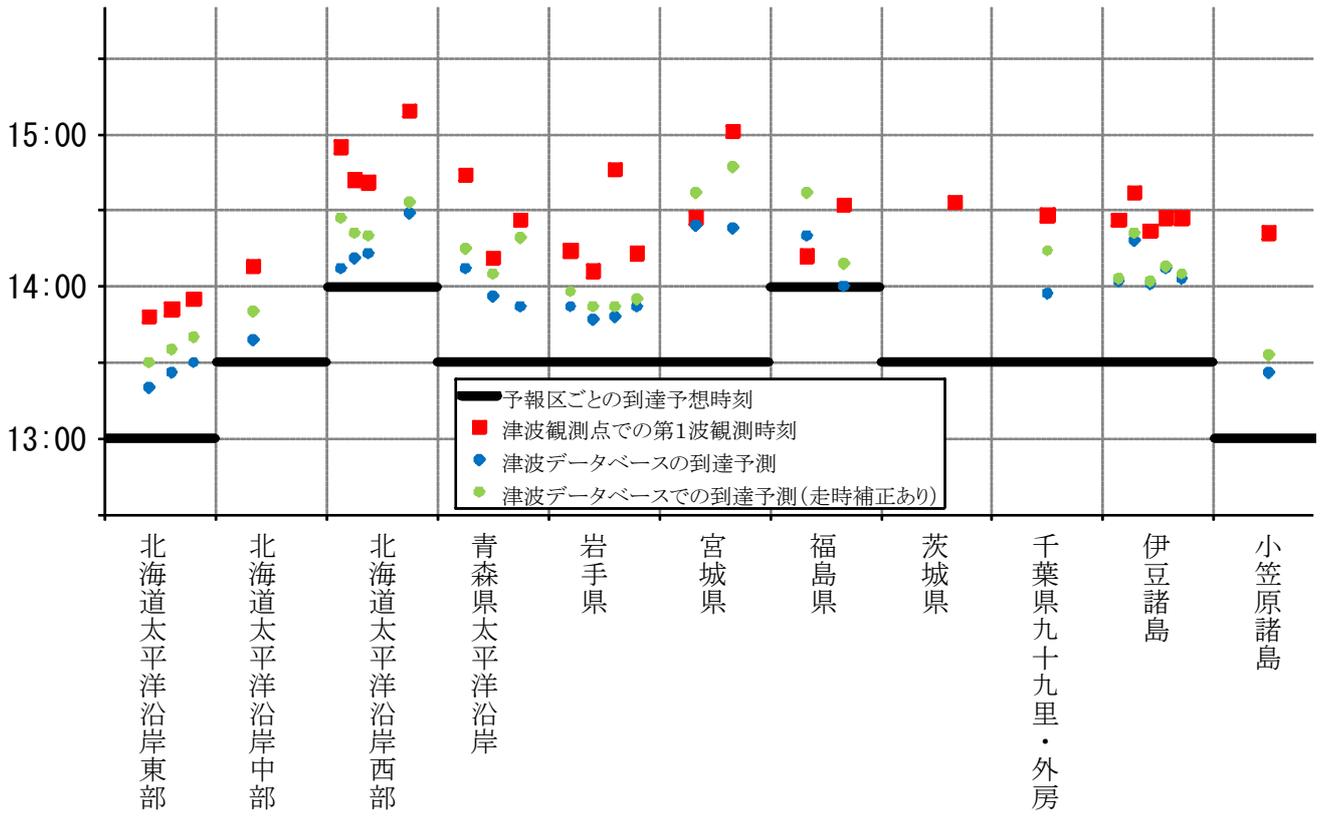


図6 津波到達時刻の予測と観測の比較

津波の第一波到達は、全体的に予測よりも遅めとなっている。

一方、津波情報における津波到達予想時刻は、予報区内で最も早い津波到達予想時刻を更に30分単位で切り下げて求めており、また、遠地津波に関しては、津波の高さを予測するにあたりグリーンの法則を適用する前の沖合の場所に到達するまでの時間を、津波到達予想時刻に用いている。これらのことを踏まえ、各観測点毎に、(1)30分切り下げを行わない、分単位の予測値、(2)(1)に更に沿岸到達までの時間を加算した予測値、を求め、観測値と比較した。



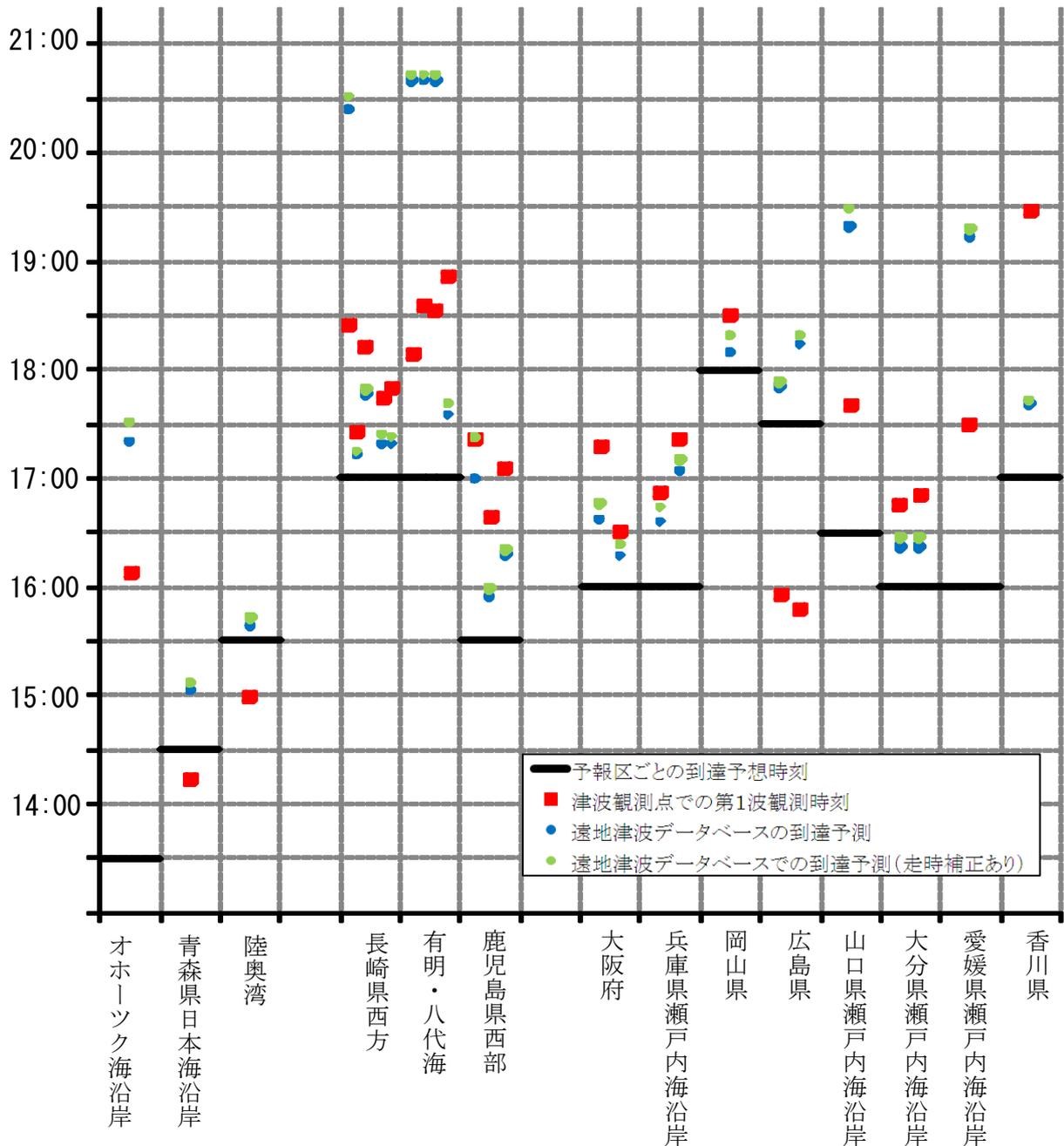


図7 津波の到達時刻の予測値(津波データベースでの予測値及び沿岸付近での補正を行ったもの)と観測値の比較

これを見ると、若干ばらつきはあるものの、必ずしも観測値が大きな遅れとはなっていない。

なお、今回のような遠地津波の場合、我が国への津波の第一波は必ずしも明瞭でないことが多く、第一波が波形からは読み取れない場合もある。また、遠地津波データベースでは、振幅が 5cm を超えた時点をも第一波到達としており、振幅が小さいほど実際の到達時刻とのずれが生じてくる。遠地津波における津波到達予想時刻を観測値と比較する場合、これらのことを考慮する必要がある。

津波が日本に到達するまでの潮位観測点における第一波到達時刻の変化を見るため、海外の潮位観測点も含めて、第一波到達時刻の、観測値とシミュレーションとの比較を行った。

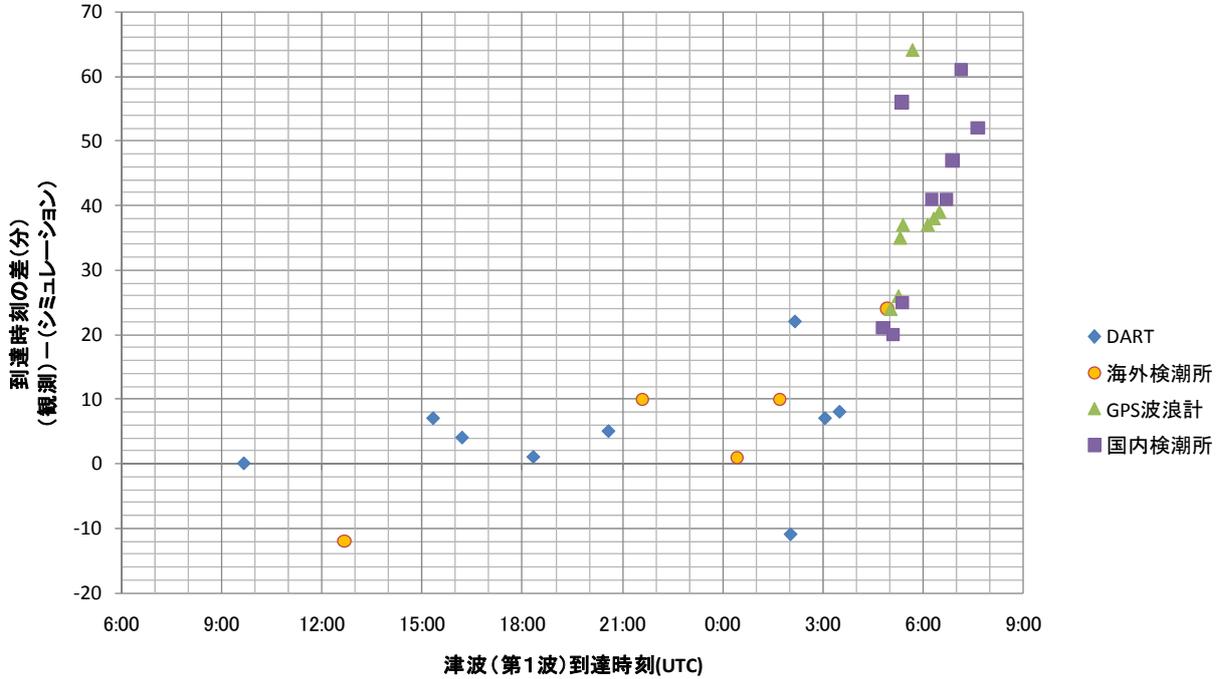


図8 津波の到達時刻の予測値と観測値の比較（到達時間別）

全体的に、震源から遠くなるにつれ、観測と予測の差が徐々に大きくなる（予測が早めになる）傾向がある。国内検潮所やGPS波浪計では差が非常に大きくなっているものがあるが、振幅が小さいために厳密な比較が出来ていない可能性もある。

(3) 波形について

DART 観測点、GPS 波浪計、日本沿岸検潮所 9 箇所の観測点について、シミュレーション波形と観測波形を比較した。DART 観測点に比べ、日本付近の GPS 波浪計や検潮所ではシミュレーション波形の振幅がかなり大きくなっていることが分かる。

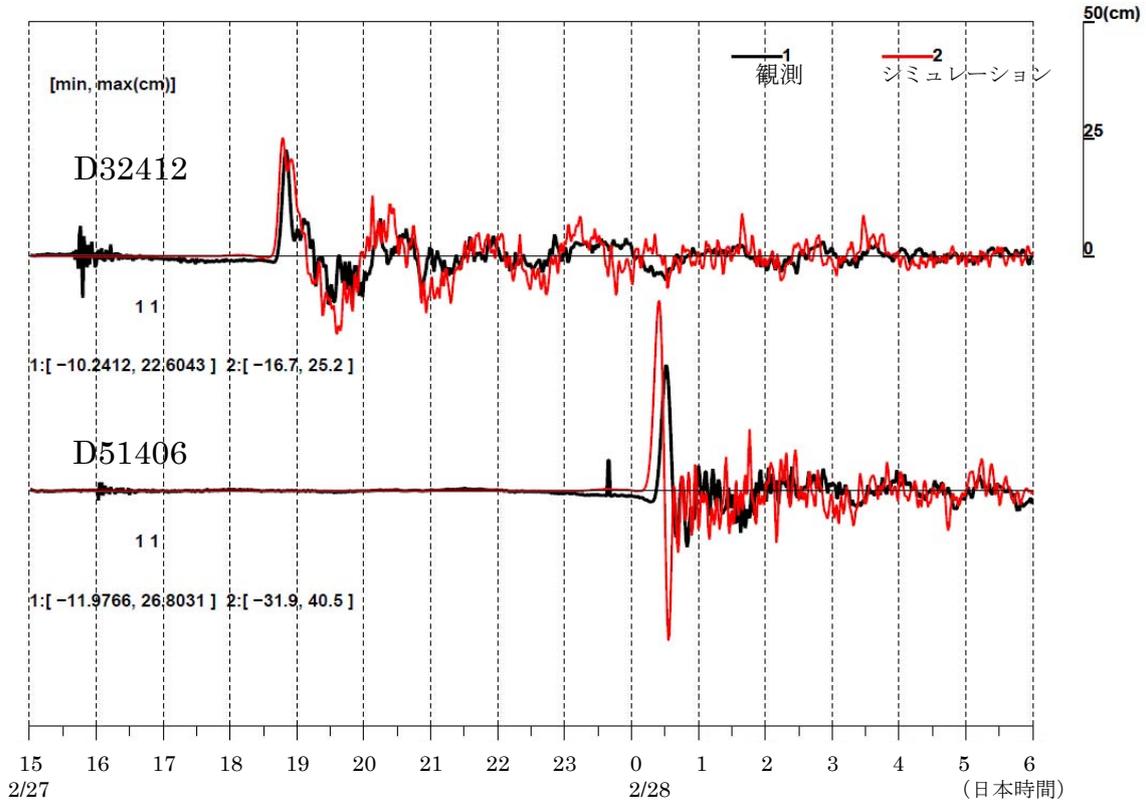


図9-1 波形比較 (津波シミュレーションと観測値、DART(D32412, D51406))

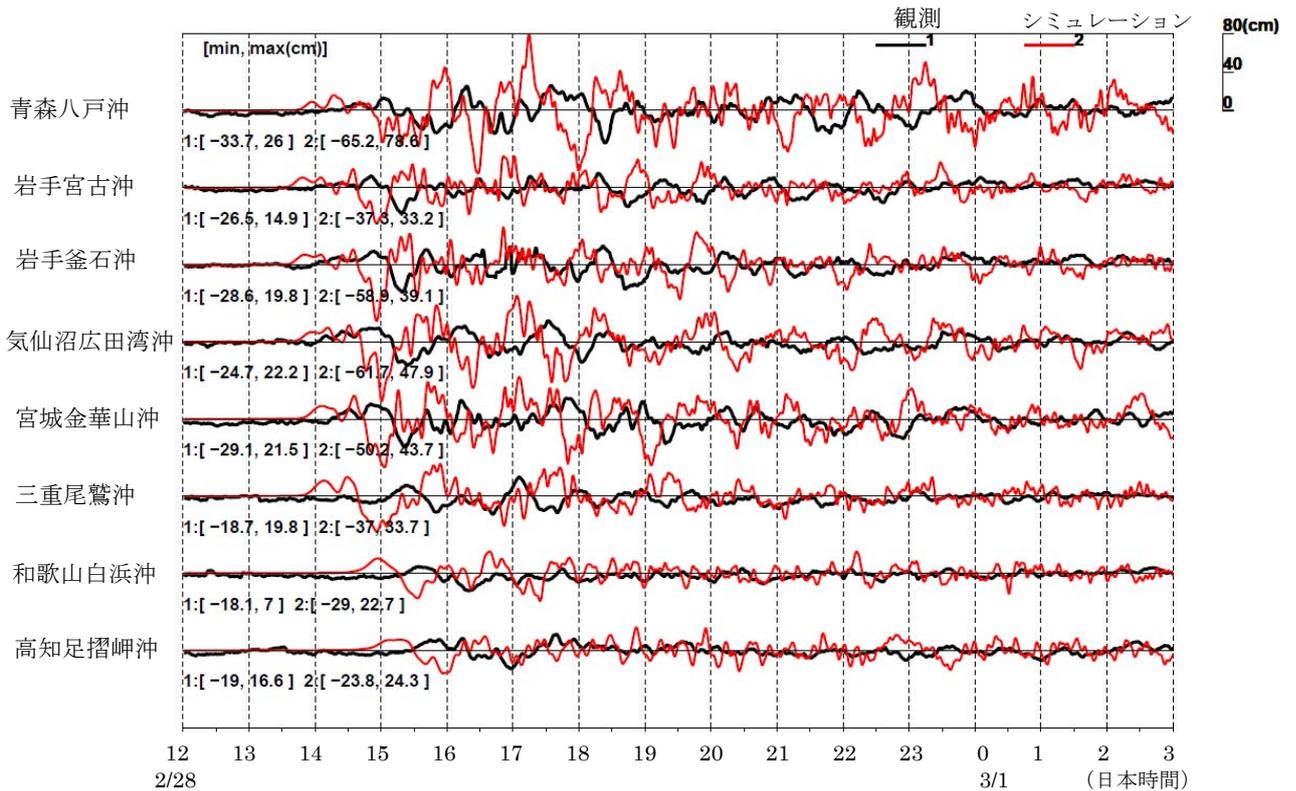


図9-2 波形比較 (津波シミュレーションと観測値、GPS 波浪計)

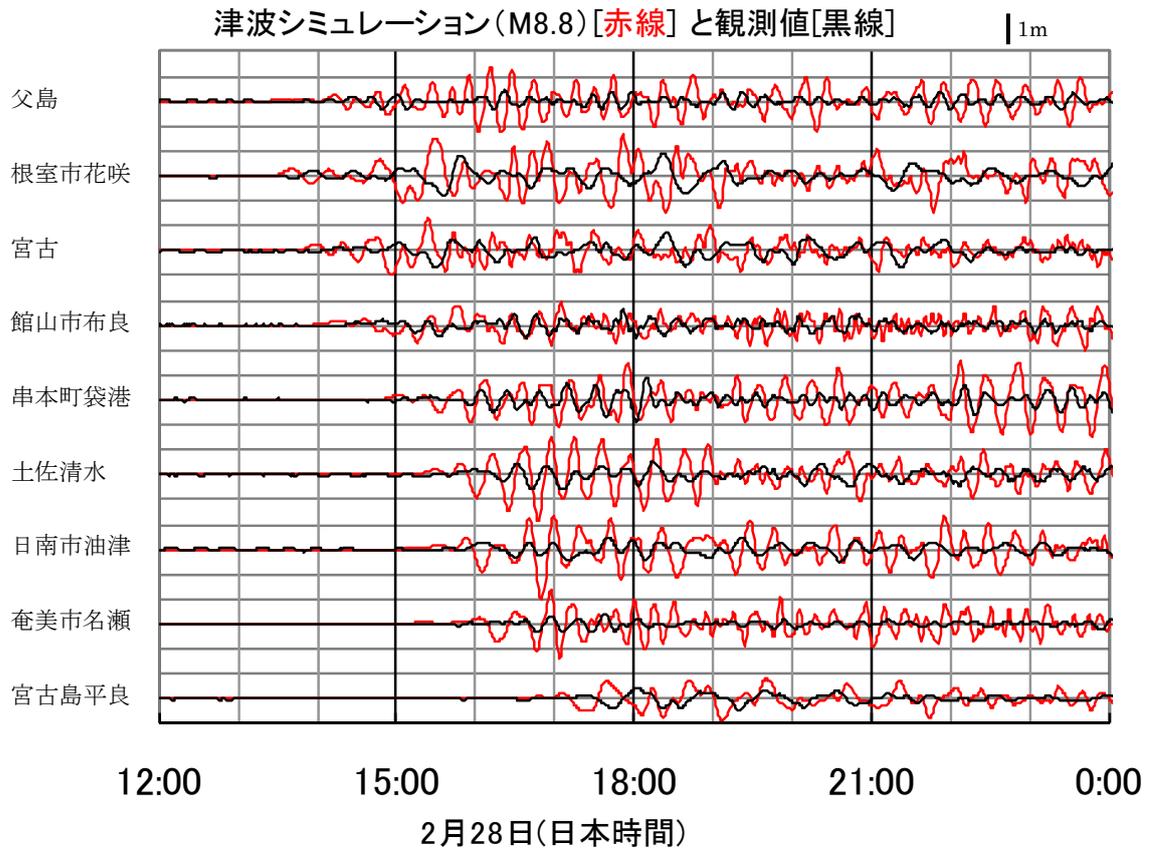


図9-3 波形比較 (津波シミュレーションと観測値、国内検潮所)

3. 高解像度 (1.5分メッシュ) モデルによるシミュレーション結果について

気象庁では、今年度、遠地津波データベースを、従来よりも高い空間分解能 (沖合5分メッシュ→沖合1.5分メッシュ) のモデルで計算したものに更新する計画である。

この新たなシミュレーションモデルを用いた場合、津波の予測にどの程度改善が見られるかを調査した。

(1) 波形について

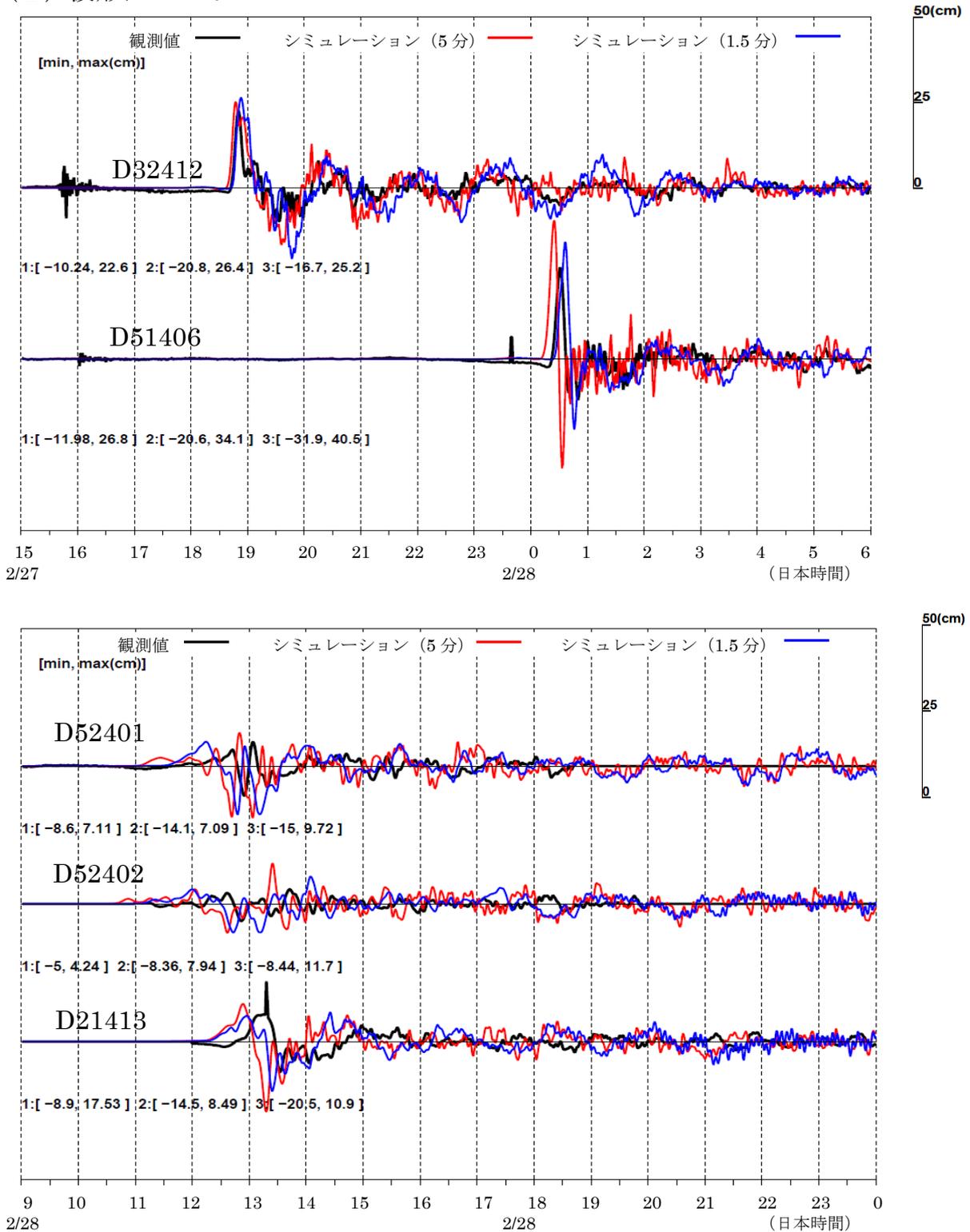


図10-1 波形比較 (津波シミュレーション (5分メッシュ、1.5分メッシュ) と観測値、DART)

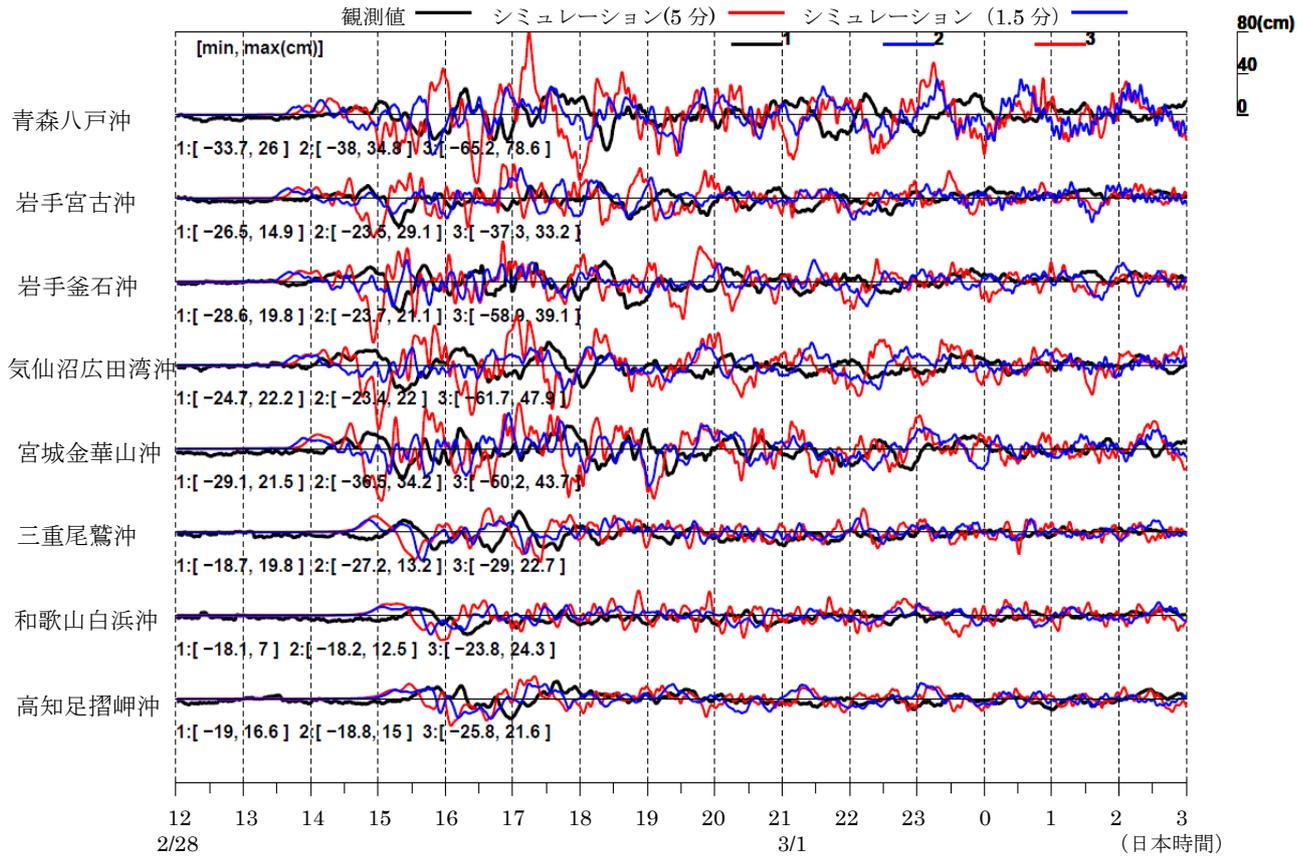


図10-2 波形比較（津波シミュレーション（5分メッシュ、1.5分メッシュ）と観測値、GPS 波浪計）

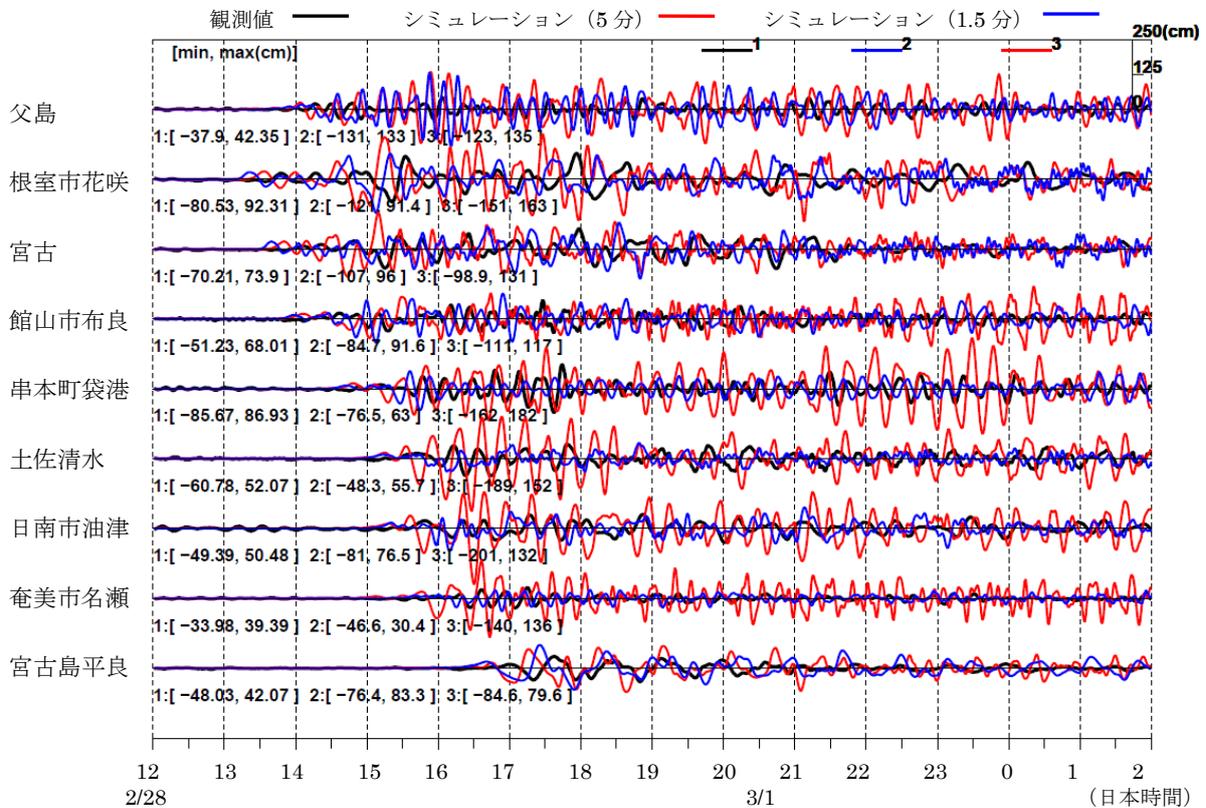
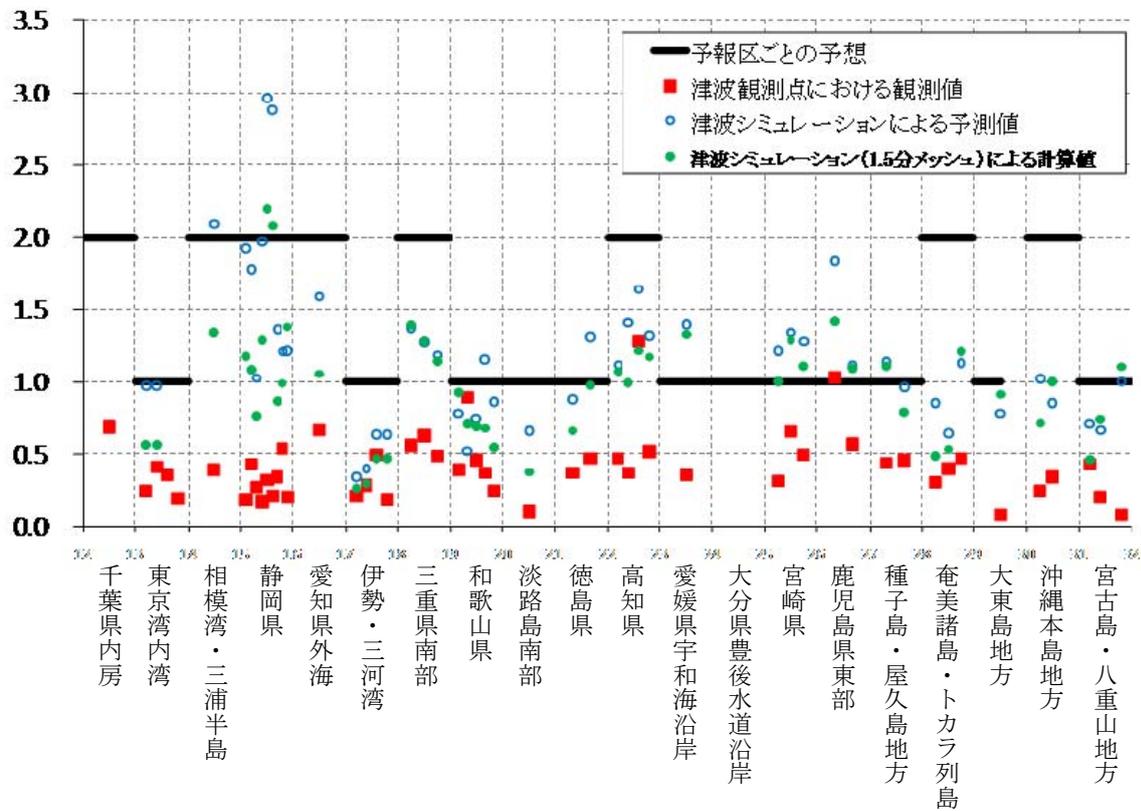
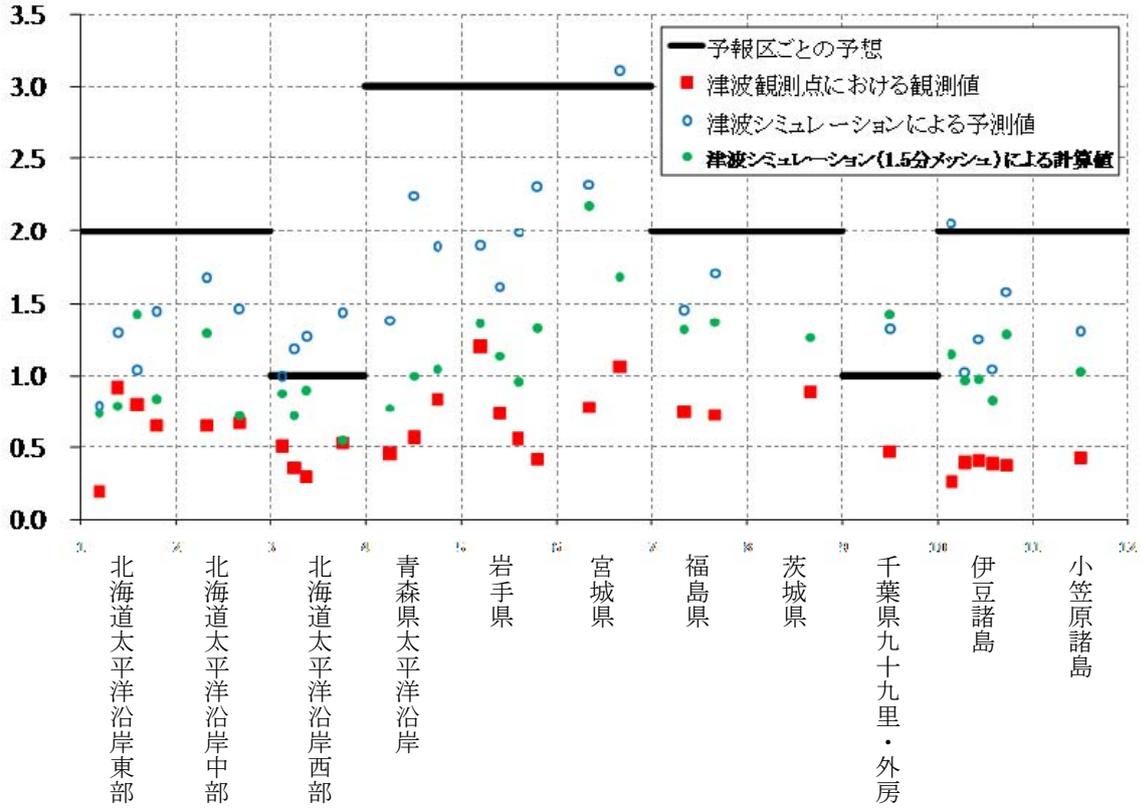


図10-3 波形比較（津波シミュレーション（5分メッシュ、1.5分メッシュ）と観測値、検潮所）

(2) 振幅について



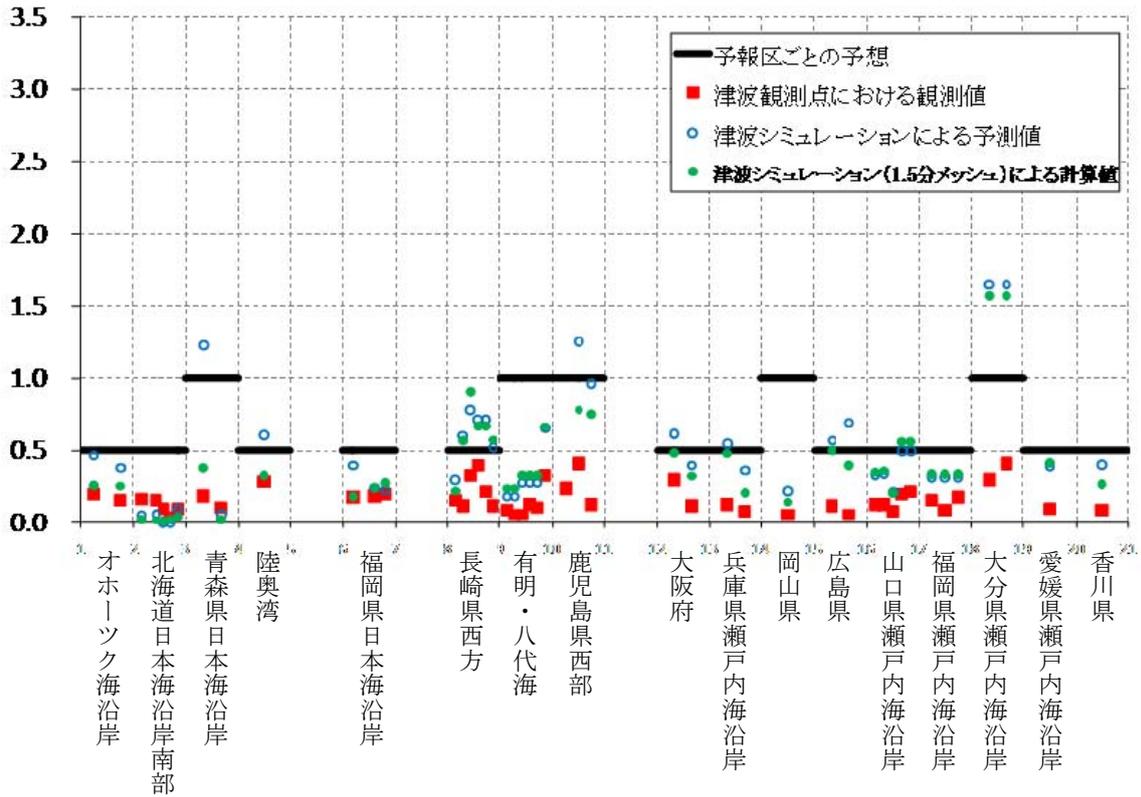


図1.1 最大波の観測と予測（津波シミュレーション（5分）、津波シミュレーション（1.5分））の比較（観測点別）

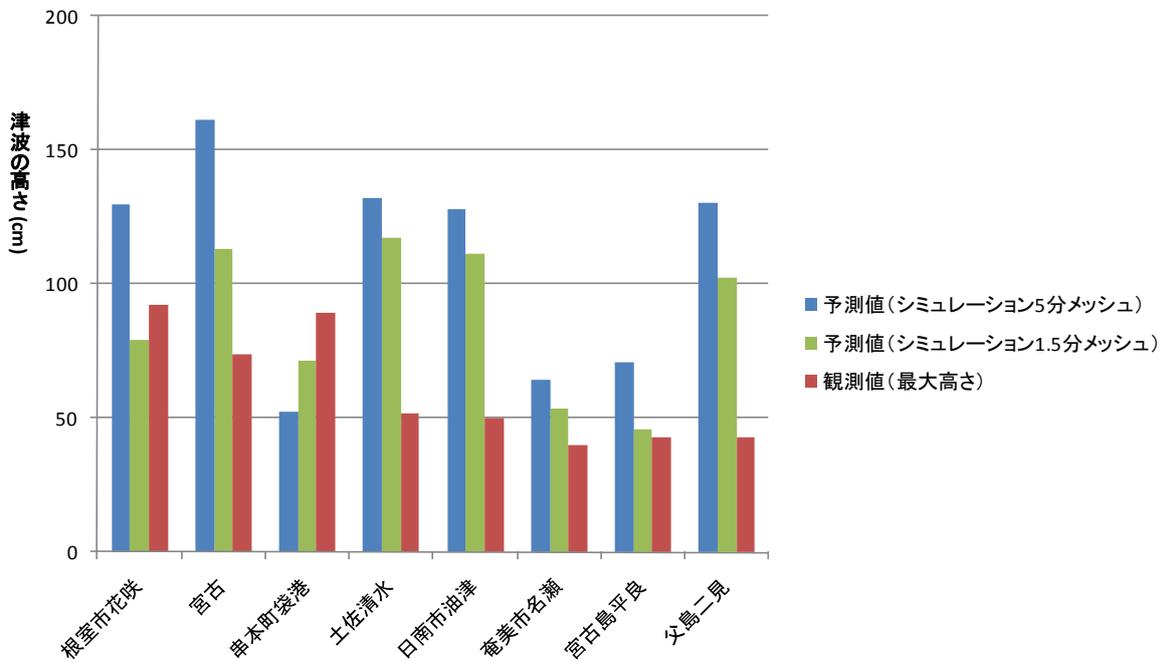


図1.2 最大波の観測と予測（津波シミュレーション（5分）、津波シミュレーション（1.5分））の比較（主な観測点）

波形や振幅を見ると、5分メッシュのシミュレーションに比べ、1.5分メッシュのものの方が、日本沿岸の津波高さをより良く再現している。

また、1.5分メッシュのシミュレーションによる予測値と観測値の振幅を比べると、振幅が小さい地点では観測より予測のほうが小さいものもあるが、基本的には予測が観測を上回っている。

今後、津波の到達予想時間の確認や、誤差の評価、他の事例（ペルー沿岸の地震（平成19年8月）、ニューギニア付近の地震（平成21年1月）、南太平洋の地震（平成21年9月）、等）による同様の検証等を行いつつ、1.5分メッシュによる遠地津波シミュレーションデータベースの整備を進めていく予定である。