

遠地津波予測の改善について

平成24年6月12日

気象庁地震火山部地震津波監視課

遠地津波予測について

津波のタイプ		警報・注意報発表までの作業	予測の不確定性
近地津波		震源、Mをもとに津波DBで予測 → 警報・注意報発表	大
遠地津波	日本に近い場合	震源、Mをもとに津波DBで予測 → 警報・注意報発表	小
	日本から遠い場合	震源、Mをもとに津波DBで予測 → { ・断層メカニズム算出 ・津波シミュレーション実施 ・沖合観測による補正 → 警報・注意報発表	

遠地津波予測においては、

○ 津波が日本へ到達するまで**時間がある場合**は、**断層メカニズムや津波シミュレーション等**により、波源推定の不確定性を減じて警報・注意報を発表することが可能。

○ 震源が日本に近く、津波が日本へ到達するまで**時間がない場合**は、**津波データベースを活用**して迅速に警報・注意報を発表。

遠地津波予測の主な改善点

○想定地震数の増加

260地震 → 1488地震

(前回資料1280地震)

○詳細な海底地形データ

5分メッシュ → 1.5分メッシュ

(日本近海に関しては30秒メッシュ)

○シミュレーション計算結果と実際の観測値を比較できる観測点を増加

国内19点 → 239点(前回資料187点)

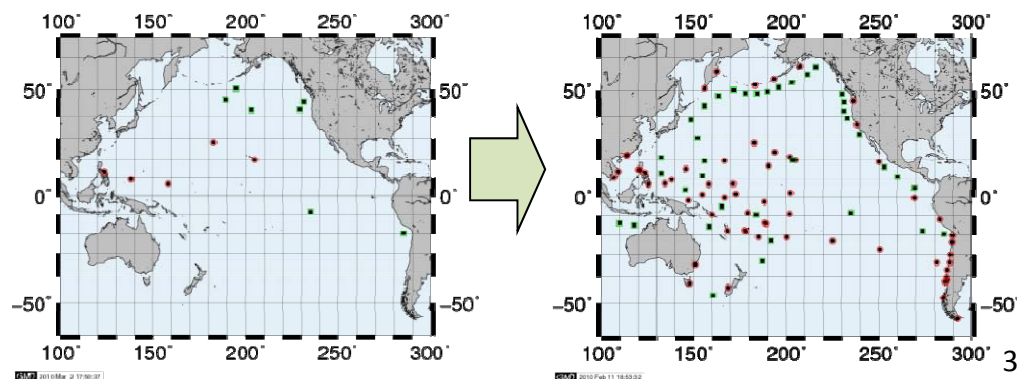
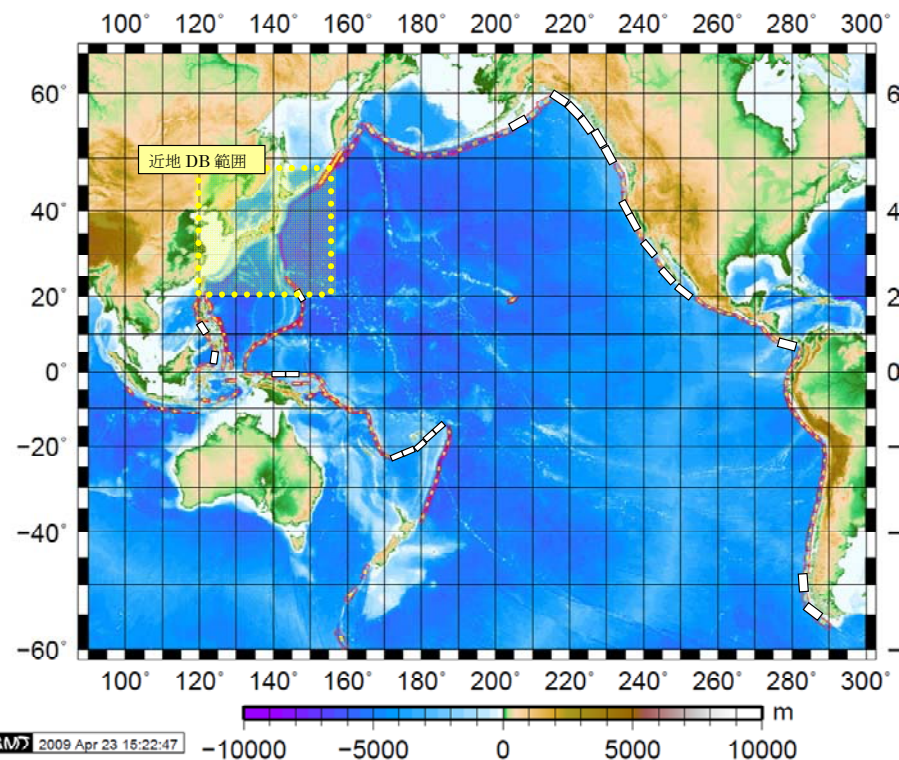
海外12点 → 152点(前回資料99点)

○並列化

プログラムを並列化し、処理を高速化

⇒リアルタイムシミュレーション用装置を導入し、1.5分メッシュ36時間積分を2~3時間で計算

(前回資料約5時間)



＜参考：前回までの報告＞ 近年の事例による比較

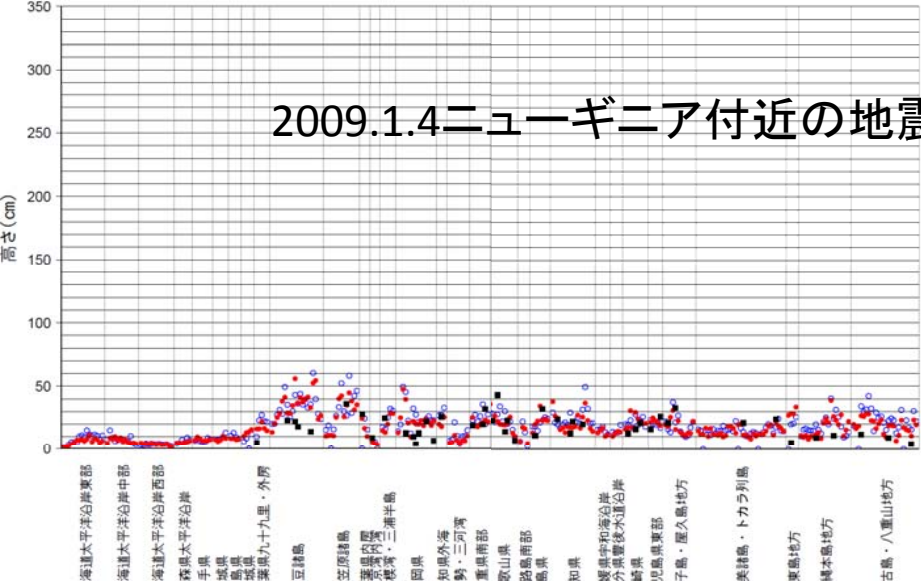
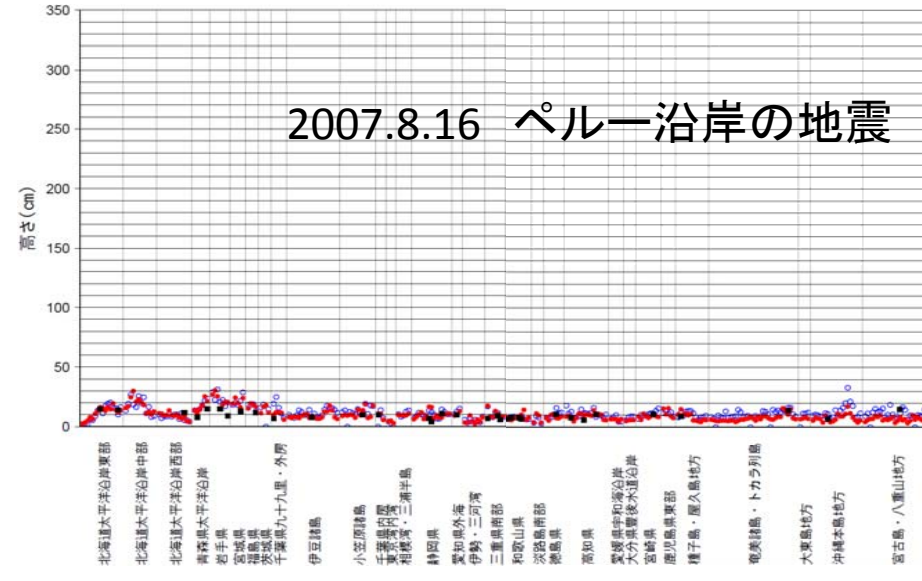
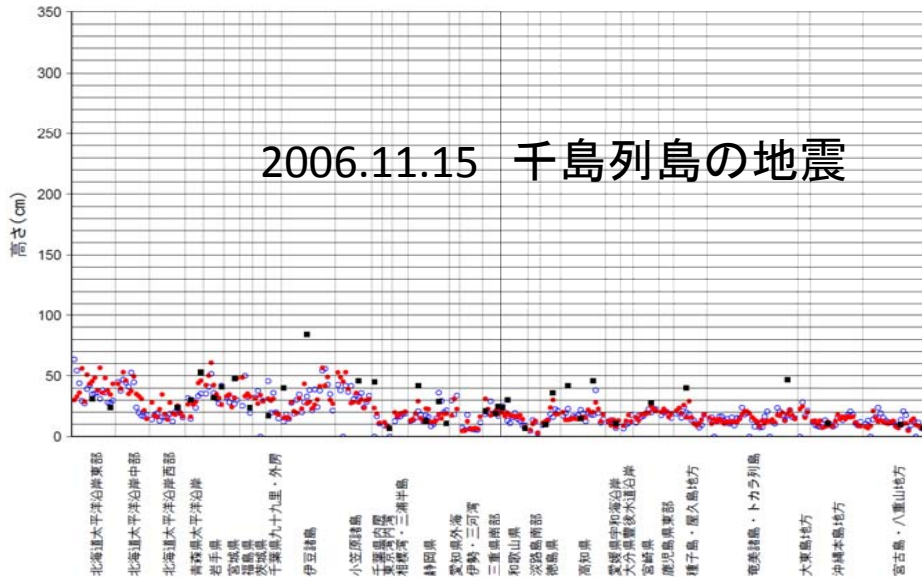
1. 5分メッシュと5分メッシュで、以下の事例により比較した。

	緯経度、断層中の位置	深さ、断層中の位置	長さ	幅	すべり量	走向	傾斜角	すべり角	M	備考
2006.11.15千島	155.0E,47.3N 左上	14.3km 上端	200km	60km	5.83m	220度	25度	96度	8.2	山中解
2007.1.13千島	155.7E, 47.0N 左上	0.2km 上端	140km	50km	4m	220度	40度	-109度	8.1	気象庁CMT
2009.8.16ペルー	76.97W, 13.76S 中央	19km 上端	126km	63km	6.3m	324度	27度	64度	8.0	Global CMT
2009.1.4ニューギニア	132.80E, 0.35S 中央	15km 上端	80km	30km	4m	112度	36度	77度	7.6	東北大学2009, Global CMT (1回目の地震のもの)
2009.9.29サモア	172.237W, 15.542S 中央	13km 上端	114km	28km	8.6m	352度	48度	-41度	7.9	Nature09292 Vol466/19 Aug.2010
	172.718W, 15.940S 中央	18km 上端	109km	90km	4.1m	175度	16度	85度	8.0	
2010.2.27チリ	72.67W, 35.83S 中央	10km 上端	316.2km	158.1km	15.8m	16度	14度	104度	8.8	USGS W-phase

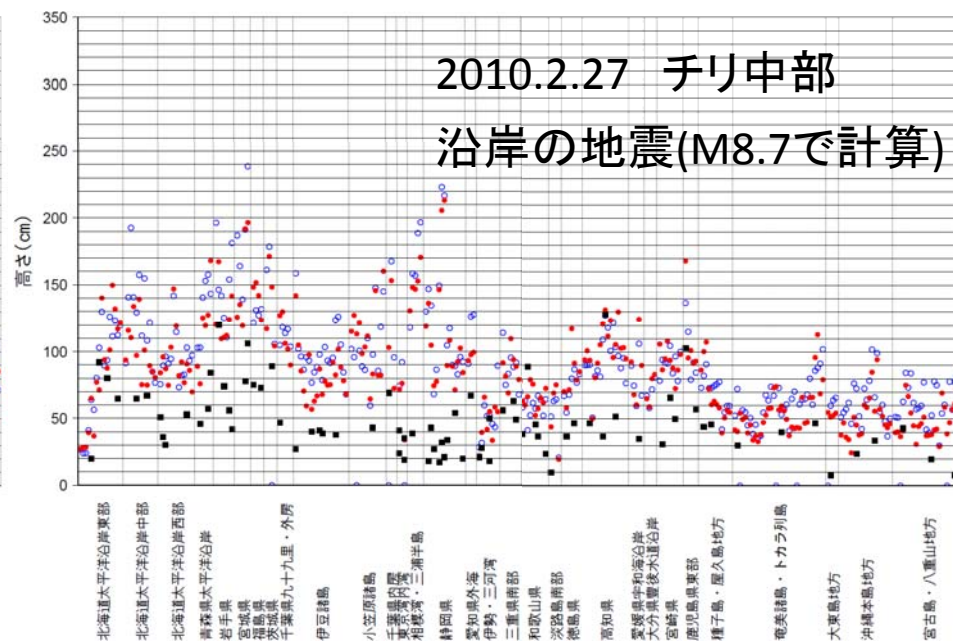
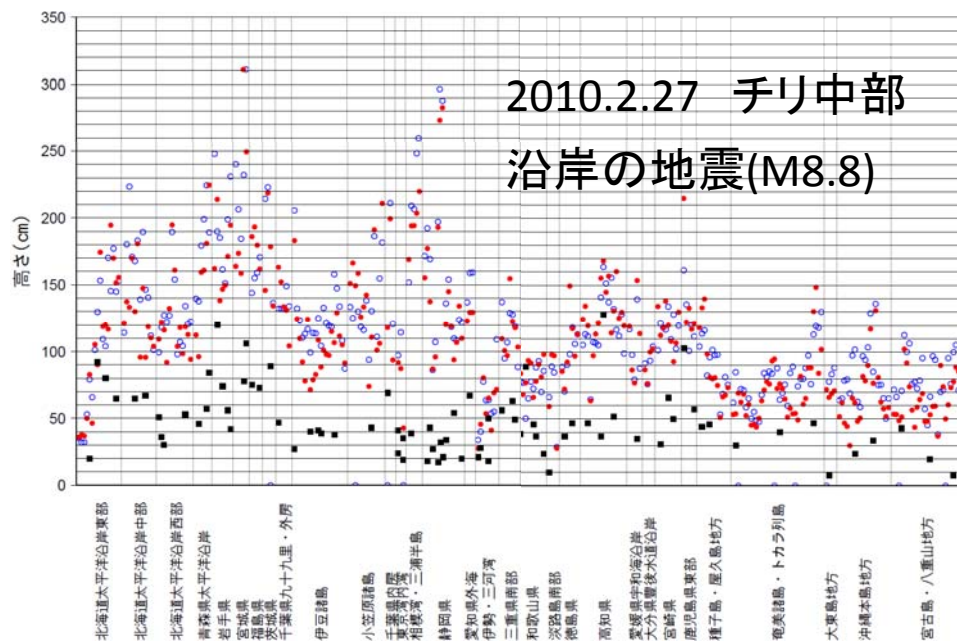
2010年チリの地震については M8.8とM8.7の二通りで計算した

＜参考：前回までの報告＞ 比較結果（津波の高さ）①

- 観測値
- 予測ポイントでの津波の高さ(5分メッシュ)
- 予測ポイントでの津波の高さ(1.5分メッシュ)



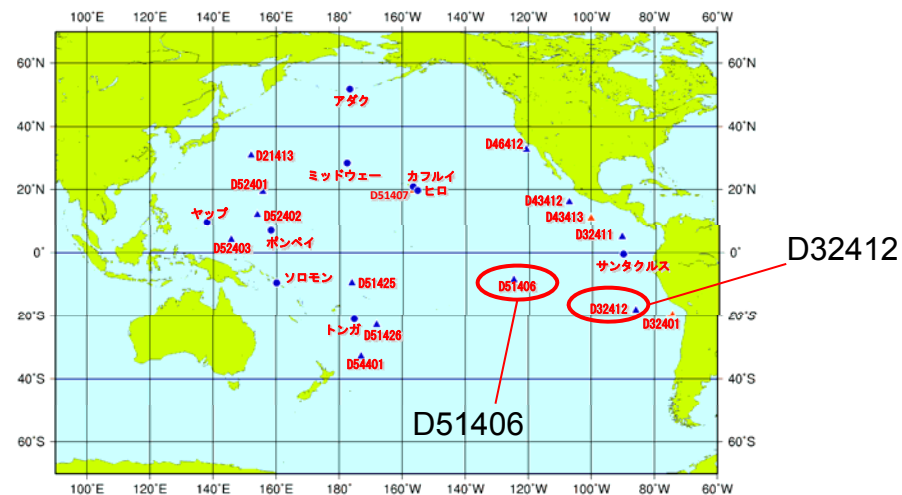
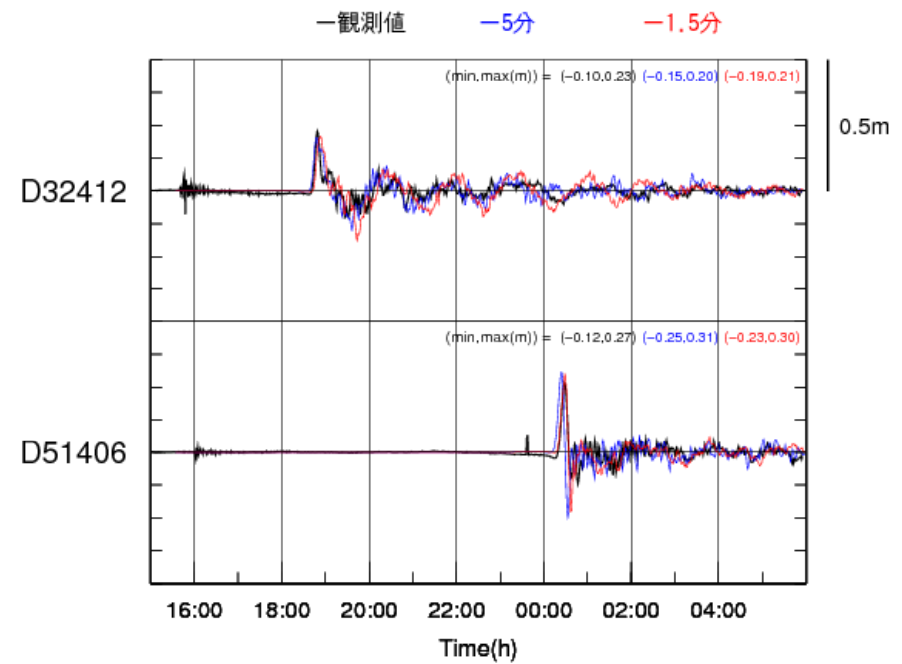
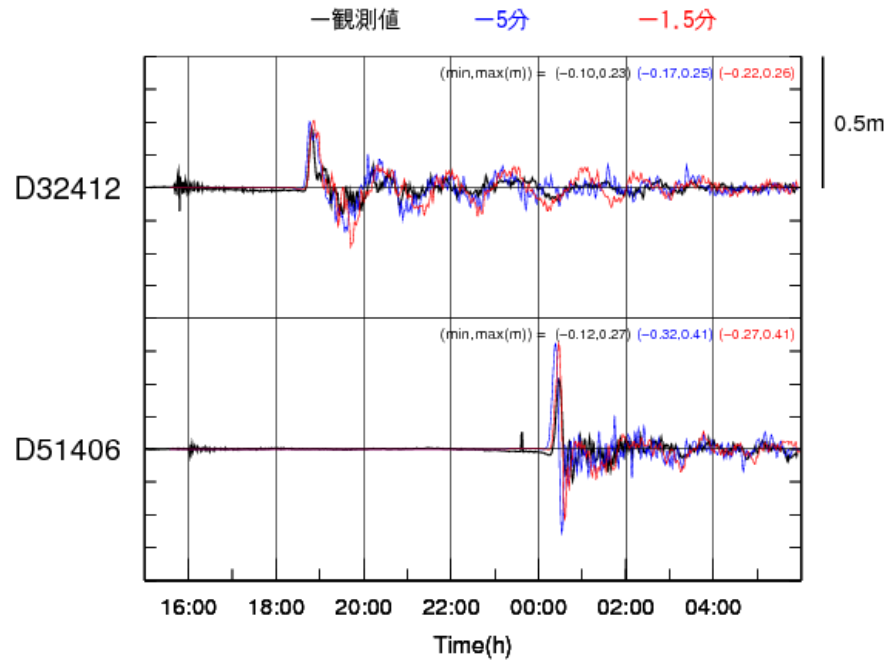
＜参考：前回までの報告＞ 比較結果（津波の高さ）②



<参考: 前回までの報告> 比較結果 (DARTの波形)

2010.2.27 チリ中部沿岸の地震(M8.8)

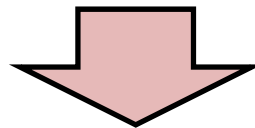
2010.2.27 チリ中部沿岸の地震(M8.7で計算)



前回の結果及びそれを踏まえた調査・確認

前回までに分かったこと

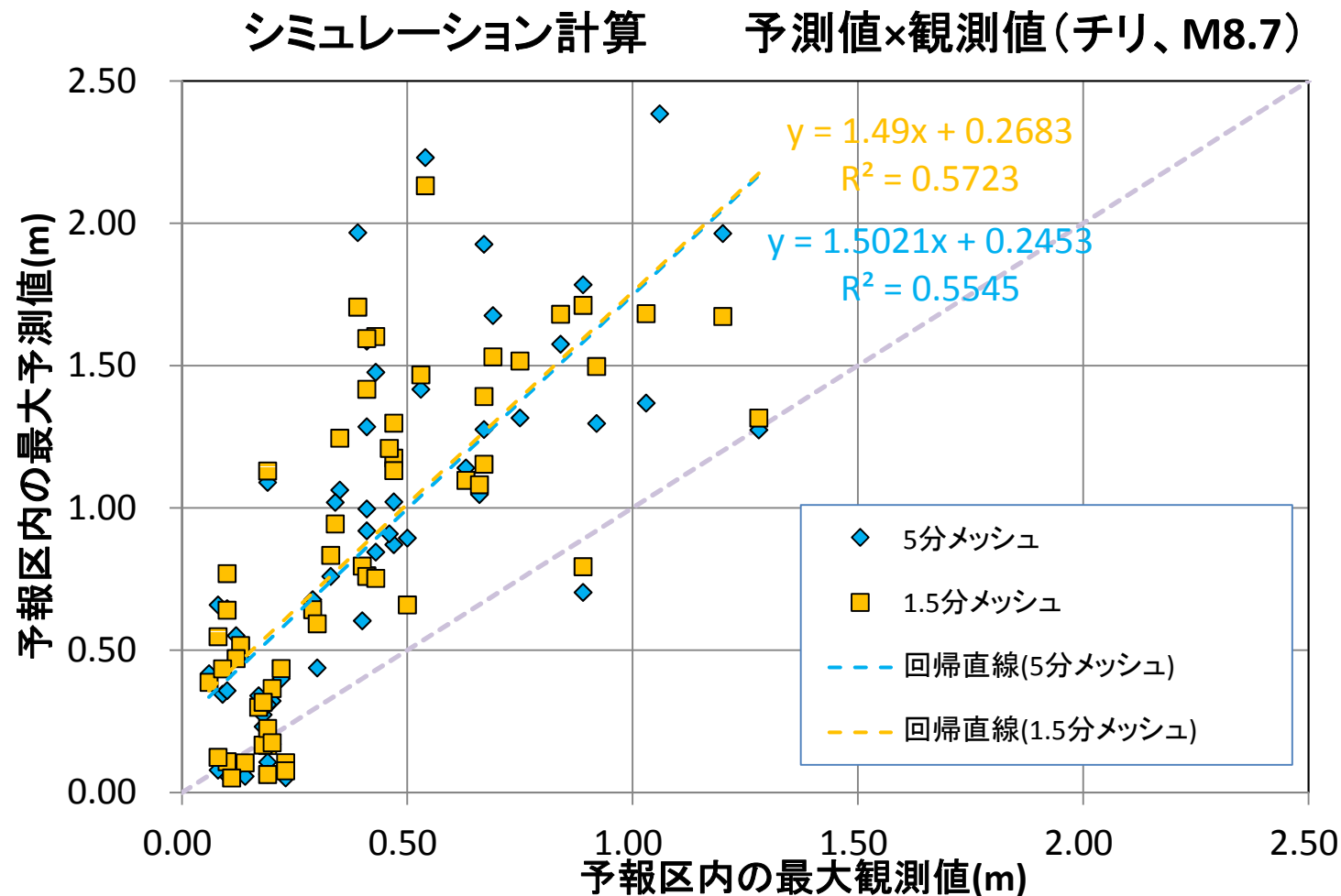
- 津波の高さの予測結果は、チリ地震津波については、沿岸の津波予測ポイントで比較した場合、5分メッシュに比べ1.5分メッシュのほうが小さく、観測値に近づいている傾向が見られる（他の事例では大きな相違は見られない）。
- 2010年チリ地震津波については、1.5分メッシュシミュレーションによりM8.7を想定した場合、DARTの振幅はよく合い、日本沿岸の津波高さの予測も、観測値に近づいている。



M8.7を想定した予測としたうえで、沿岸の津波の高さの予測が、予報区別に見たときに、5分メッシュから1.5分メッシュにした場合、精度が向上しているかどうかを確認した。

予測高さと観測値との比較(予報区別)

前回の結果を受け、5分メッシュと1.5分メッシュのシミュレーション結果を、予報区別に観測値と比較した。 → **ほとんど差は見られなかった。**

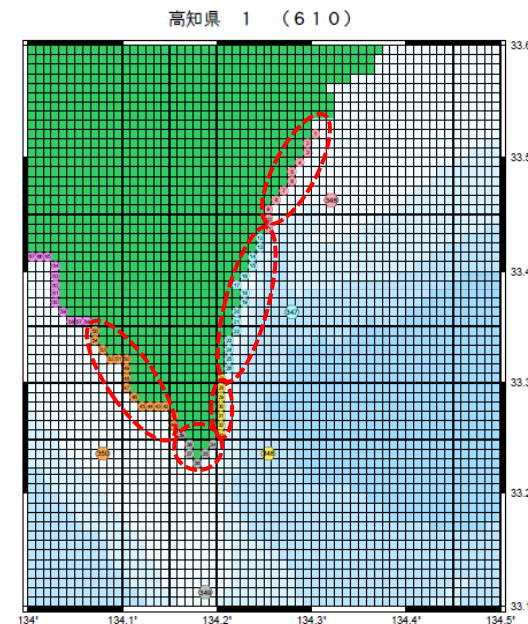
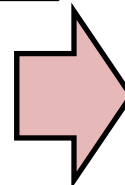
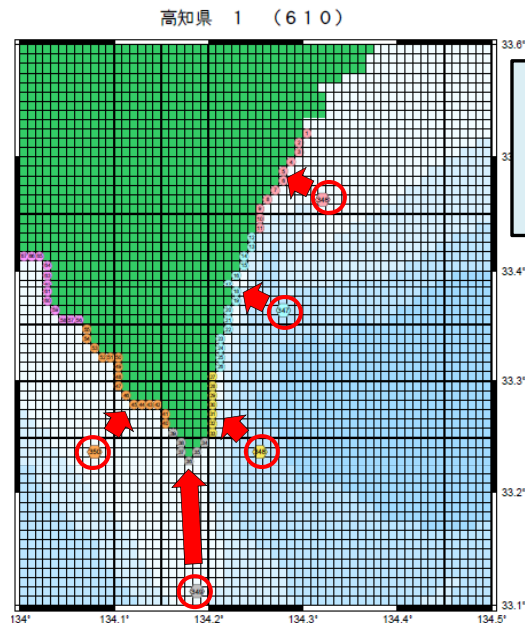


1.5分と5分メッシュの違い

- 1.5分メッシュでは、日本近海の領域を30秒メッシュで表現しているため、沿岸地形による津波の高さの違いがある程度、表現できるようになっていると考えられる。(例えば、周期20分の津波は水深10mで波長約12kmであり、30秒メッシュでは、13~14メッシュ分)

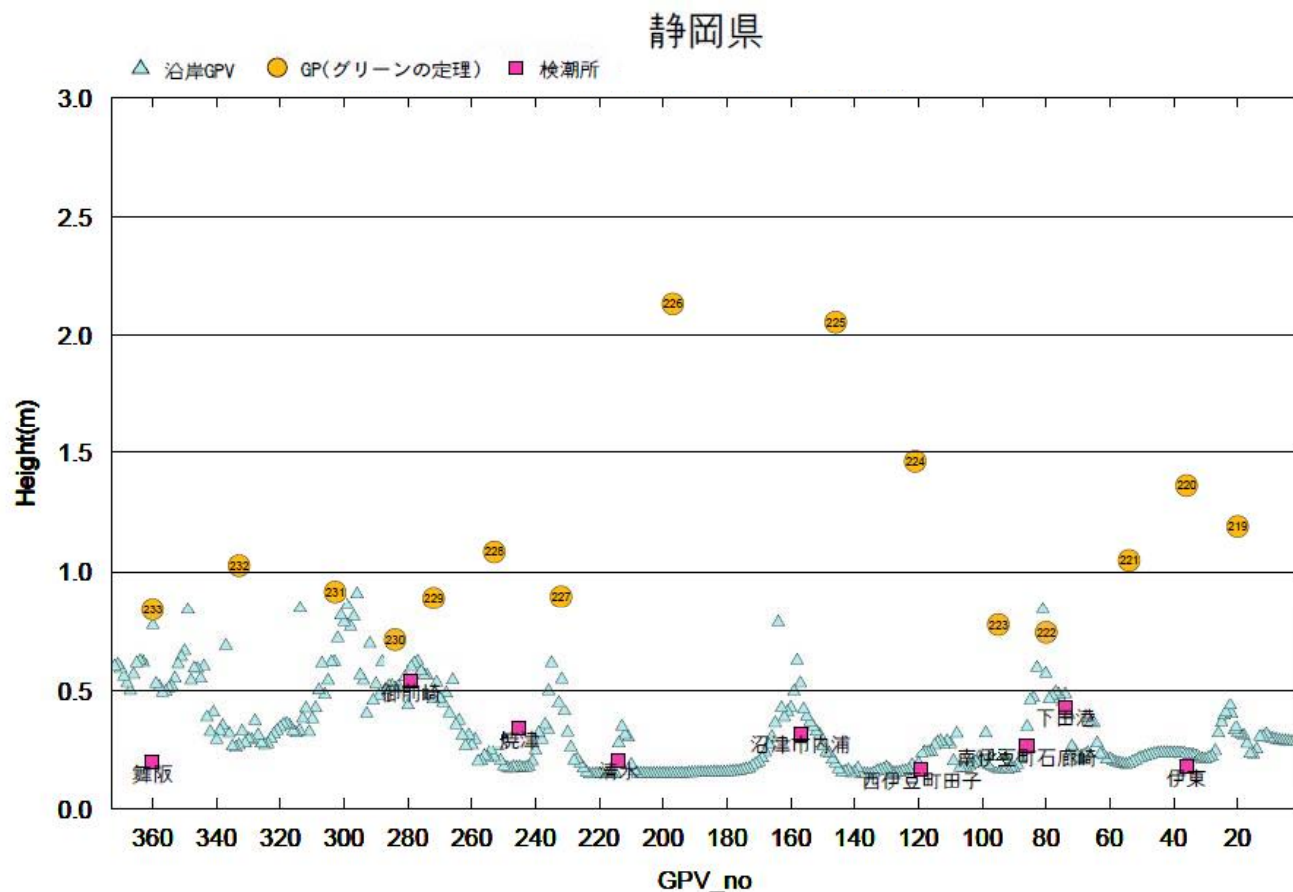


- 沿岸の津波の高さの予測方法として、現在は、沖合のグリッドポイントでの津波の高さから沿岸の高さをグリーンの法則で推定する方法をとっているが、沿岸のグリッドを直接利用する方法について検討してみた。



メッシュの高解像度化による効果

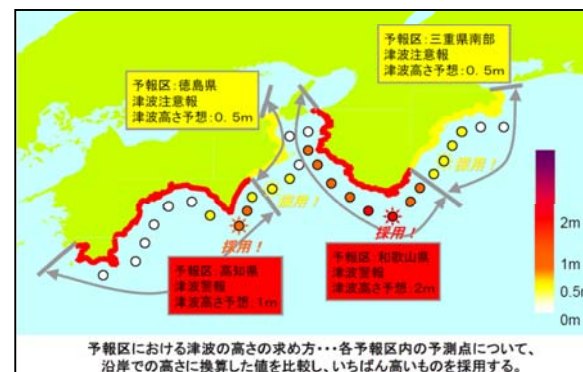
2010年チリ地震津波の1.5分メッシュ(日本沿岸30秒メッシュ)シミュレーション結果における、沿岸での予測値(グリーンの法則から求めたもの、及び沿岸グリッド値)と観測値との比較例



沿岸のグリッドの高さ分布は検潮所の観測値と比較的よく一致している。

沿岸グリッド値から予報区の数値を求める方法の検討

● 現行では、沖合のグリッドポイントを日本周辺に約600点設定し(1予報区あたり平均約8~9点程度)、これらの地点における予想高さにグリーンの法則を用いて、対応する沿岸での津波の高さを推定し、これらの高さのうち予報区内で最大のものを、その予報区の津波高さとしている。



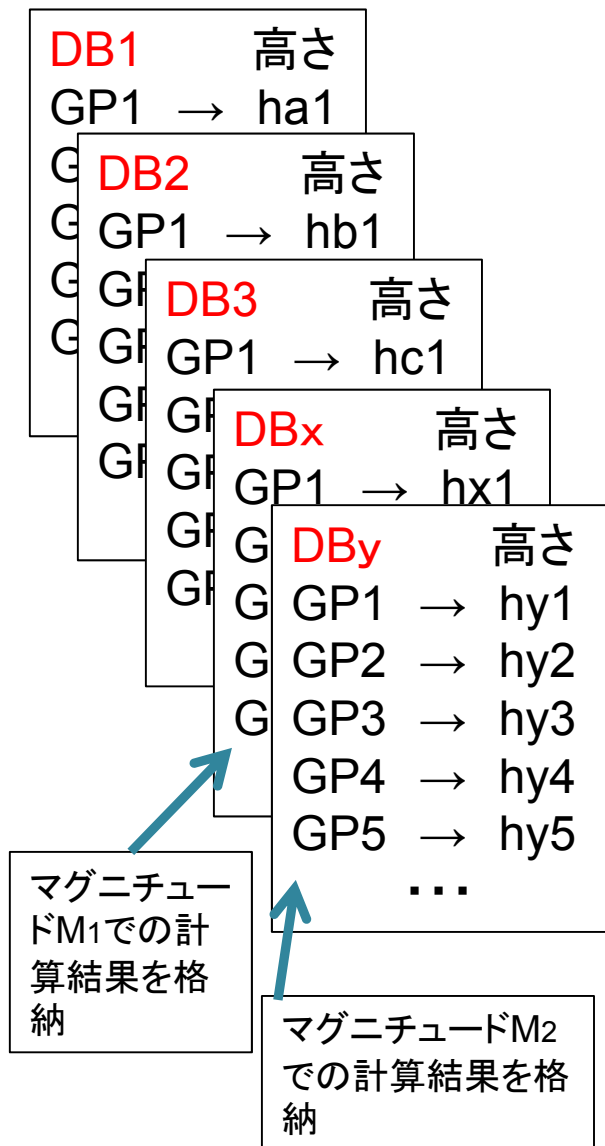
● 一方、津波データベースを用いて任意の震源要素における予想される津波の高さを求めるにあたっては、離散的に設定した位置、深さ、Mの震源要素に対応する沿岸での予想高さをもとに内挿・外挿処理を行っている(遠地DBではマグニチュードの内挿・外挿のみ)。この内挿、外挿の処理は、上記の約600点に対応する、約600の沿岸の小区分について行っている。

● すなわち、適切な内挿、外挿の処理を行うためには、沿岸のグリッドを直接利用する場合であっても、この約600の沿岸の小区分毎に、予想される津波の高さを設定する必要がある。



沿岸の30秒メッシュのグリッド値から約600の小区分の沿岸の高さを代表させる方法を検討した

参考: マグニチュードに応じた内挿、外挿方法



●DB上では震源要素ごとに約600ある沖合グリッドポイントに対応した沿岸での予想高さを格納している。

●DB上ではマグニチュードは離散的であり、格納されているM以外の地震での予想される高さは

M₁での予想される高さ(DBx) hx1 hx2 hx3 ... hxn と

M₂での予想される高さ(DBy) hy1 hy2 hy3 ... hyn を

用い、内挿、外挿処理を用いて、任意のMに対する予想される各GPでの高さ h1 h2 h3 ... hn を求めている。この各GPでの高さ h1 h2 h3 ... hn から各予報区での予想される高さを求めている

沿岸30秒グリッド値の使用方法

沿岸の30秒グリッド値から日本沿岸を約600に区分した沿岸の高さを求める方法について、以下の2通りを行った。

①標準偏差をとり、特異な値を除くために標準偏差の2倍(2σ)以内での最大値を用いる

2 3 3 4 4 5 5 5 6 **6** 8 標準偏差1.61 平均4.64 $2\sigma \Rightarrow 7.86$
採用

②中央値を用いる

2 3 3 4 4 **5** 5 5 6 6 8
採用

近年の事例による比較

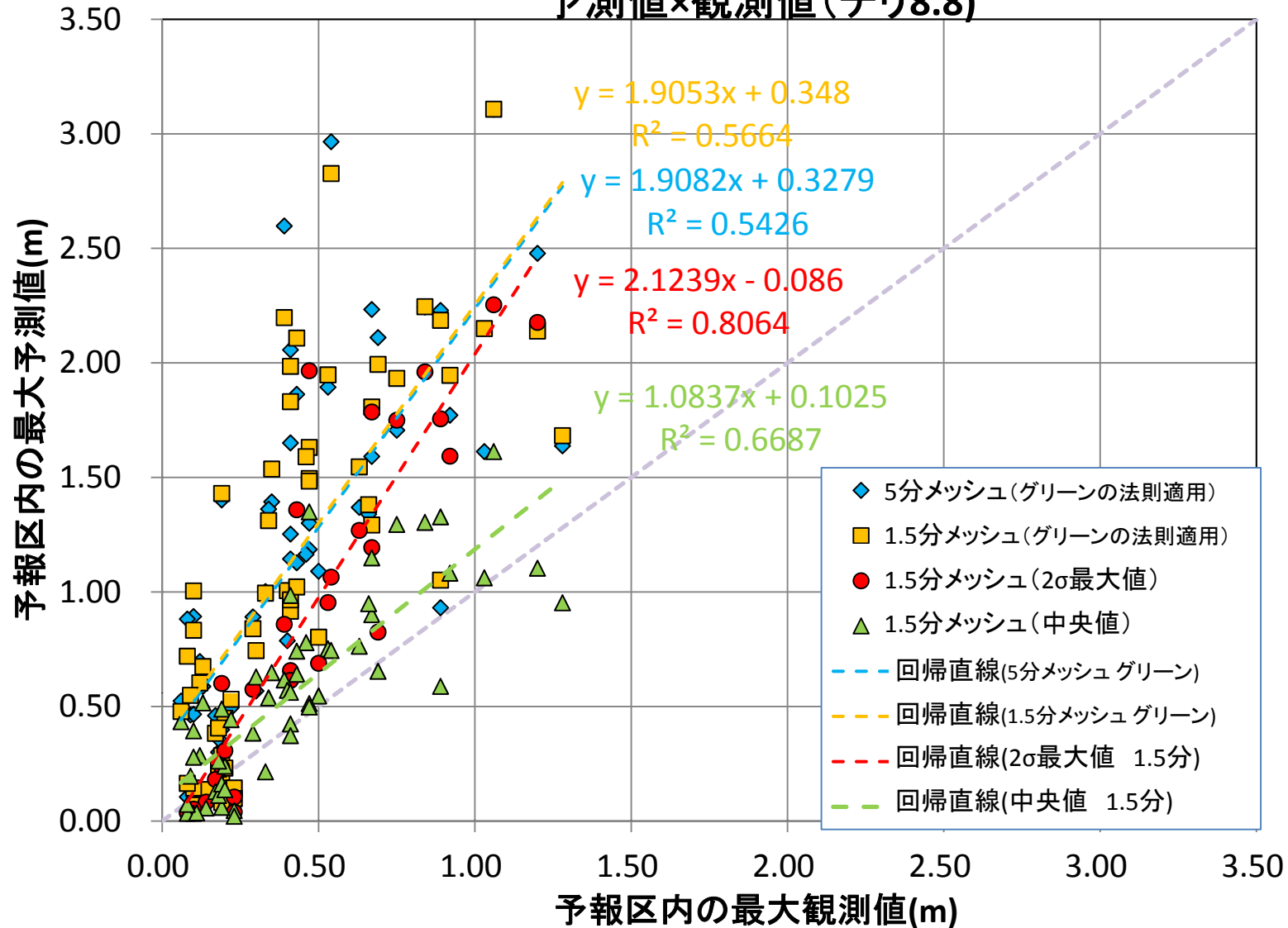
- ・1.5分メッシュ(日本沿岸30秒メッシュ)シミュレーション結果について、 2σ 最大値、中央値、グリーンの法則により沿岸の高さを予測したものを、観測値と比較してみた。
- ・比較は、それぞれの方法で予測した予報区内の最大予測値と、予報区内の観測値の最大値をプロットすることにより行った。

	緯経度、断層中の位置	深さ、断層中の位置	長さ	幅	すべり量	走向	傾斜角	すべり角	M	備考
2006.11.15千島	155.0E,47.3N 左上	14.3km 上端	200km	60km	5.83m	220度	25度	96度	8.2	山中解
2007.1.13千島	155.7E, 47.0N 左上	0.2km 上端	140km	50km	4m	220度	40度	-109度	8.1	気象庁CMT
2009.8.16ペルー	76.97W, 13.76S 中央	19km 上端	126km	63km	6.3m	324度	27度	64度	8.0	Global CMT
2009.1.4ニューギニア	132.80E, 0.35S 中央	15km 上端	80km	30km	4m	112度	36度	77度	7.6	東北大学2009, Global CMT (1回目の地震のもの)
2009.9.29サモア	172.237W, 15.542S 中央	13km 上端	114km	28km	8.6m	352度	48度	-41度	7.9	Nature09292 Vol466/19
	172.718W, 15.940S 中央	18km 上端	109km	90km	4.1m	175度	16度	85度	8.0	Aug.2010
2010.2.27チリ	72.67W, 35.83S 中央	10km 上端	316.2km	158.1km	15.8m	16度	14度	104度	8.8	USGS W-phase

2010年チリの地震については M8.8とM8.7の二通りで計算した

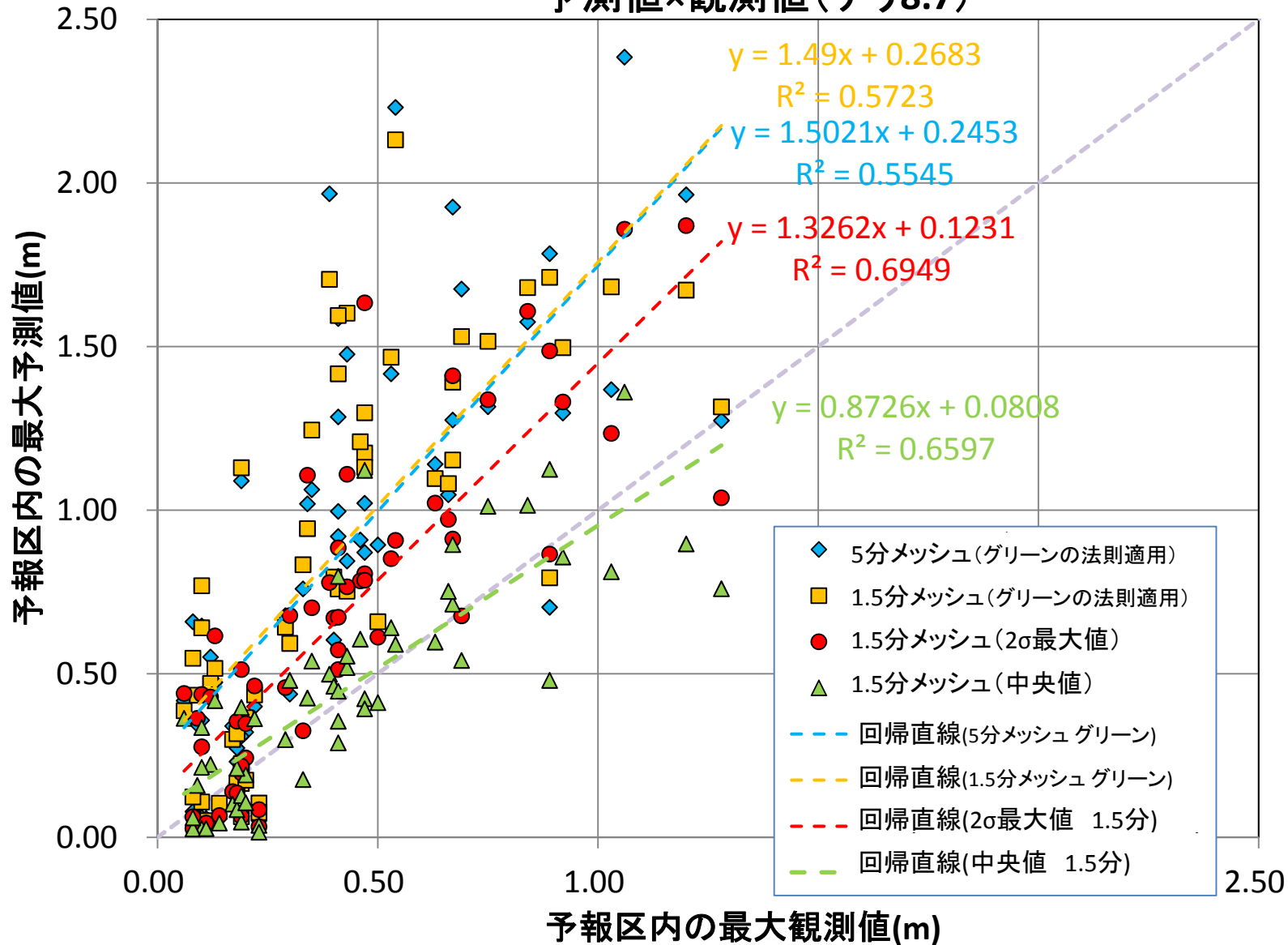
比較結果(予測と実測との差)(1)

シミュレーション計算 予測値×観測値(チリ8.8)



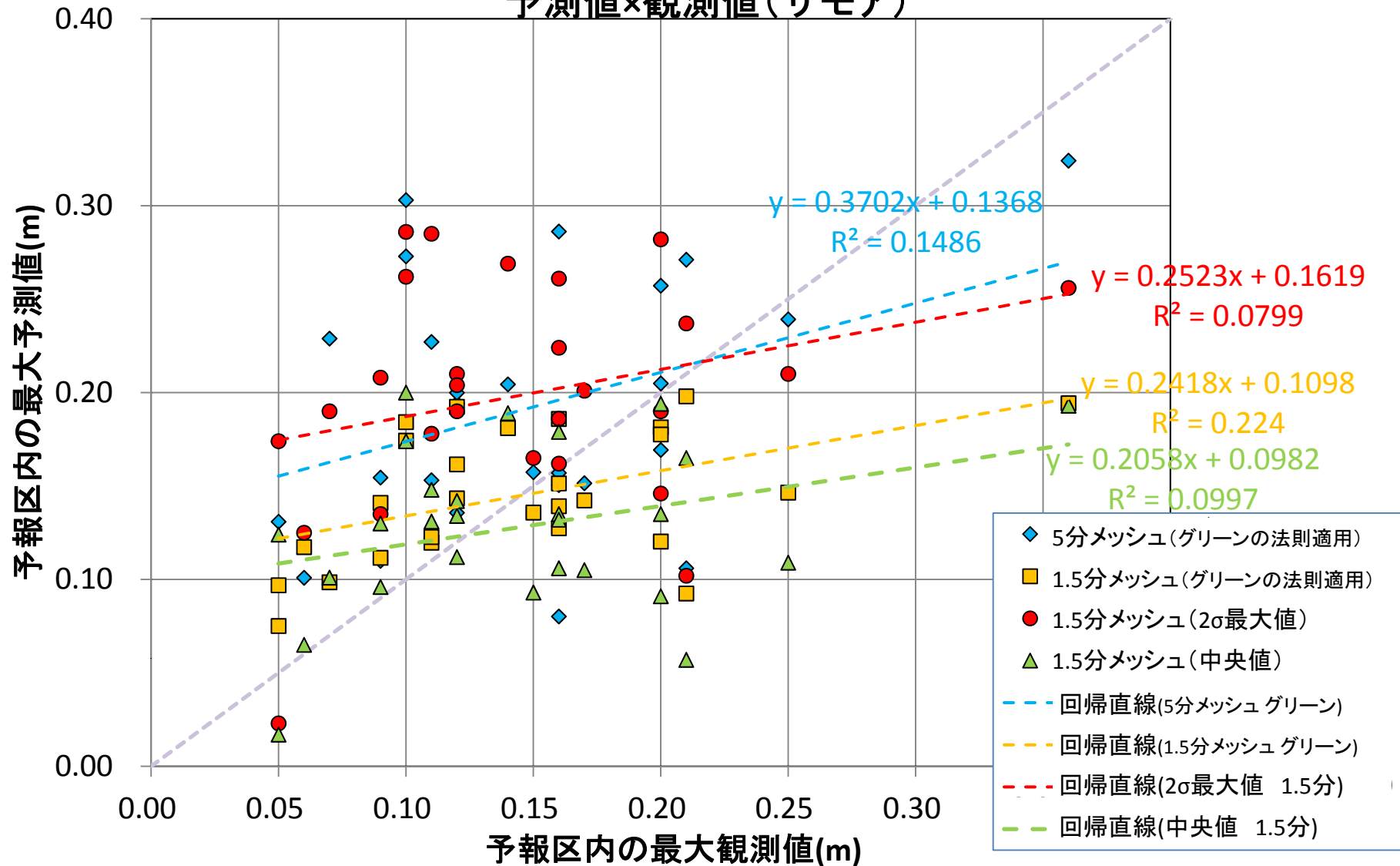
比較結果(予測と実測との差)(2)

シミュレーション計算 予測値×観測値(チリ8.7)



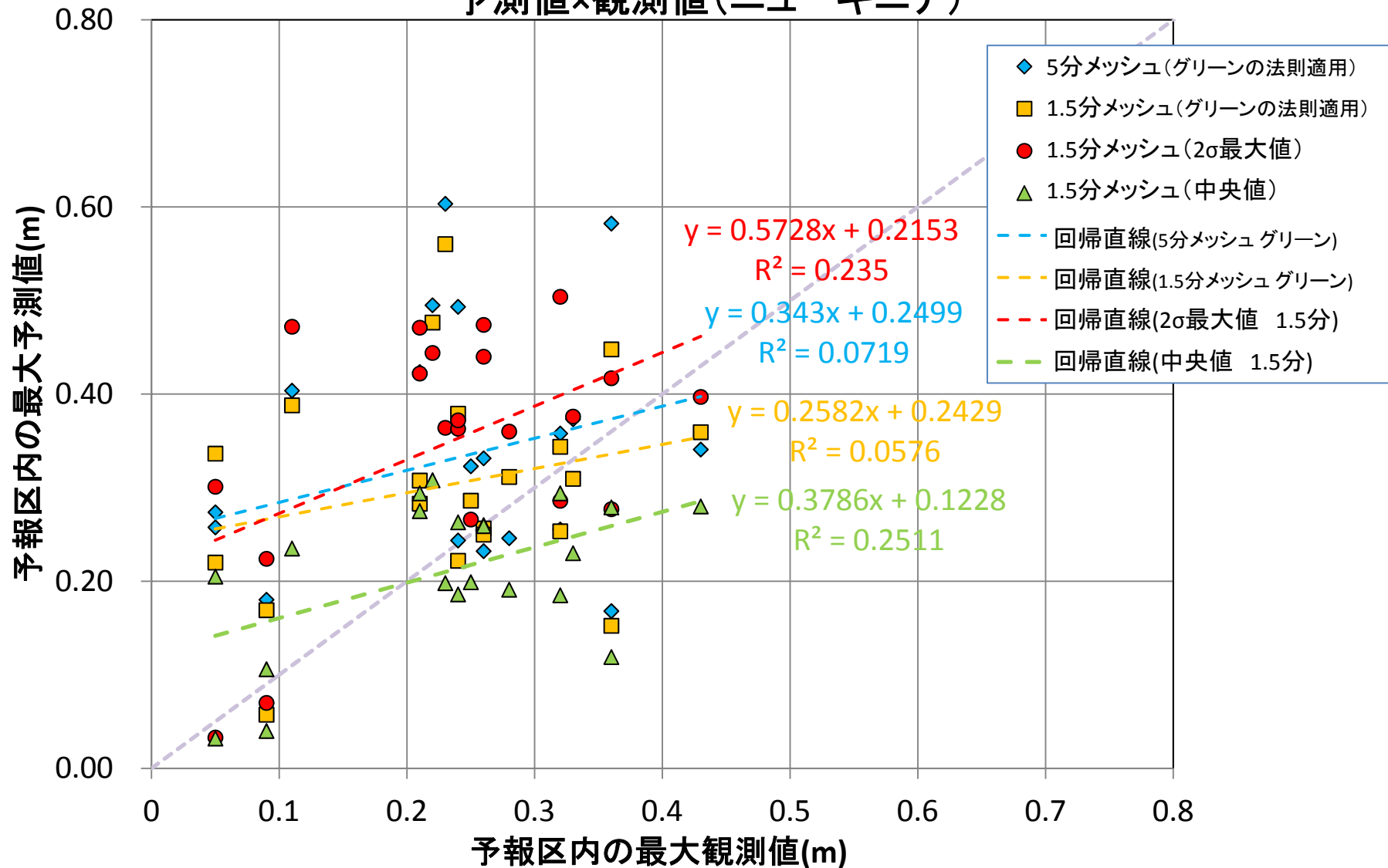
比較結果(予測と実測との差)(3)

シミュレーション計算 予測値×観測値(サモア)



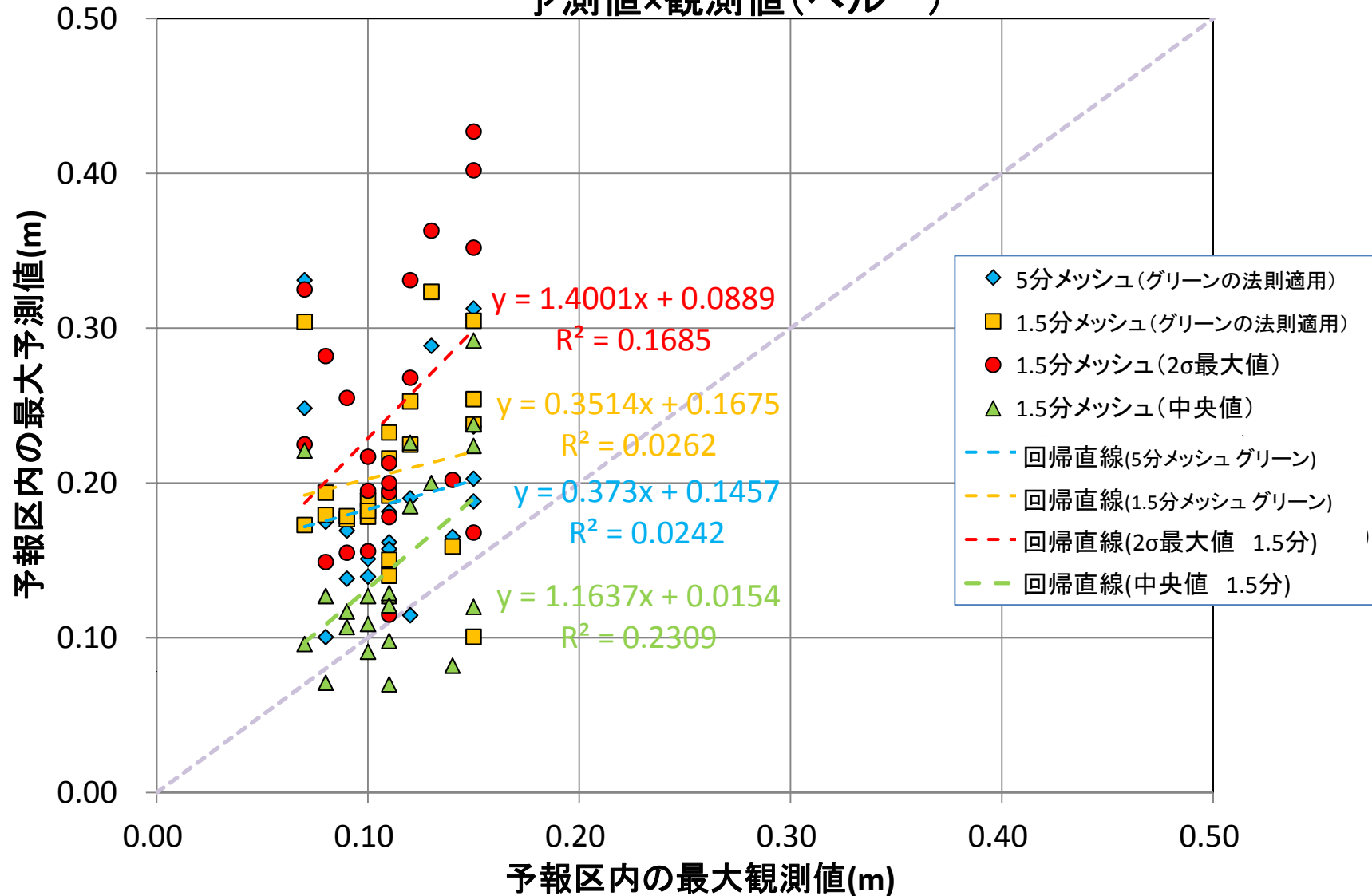
比較結果(予測と実測との差)(4)

シミュレーション計算 予測値×観測値(ニューギニア)



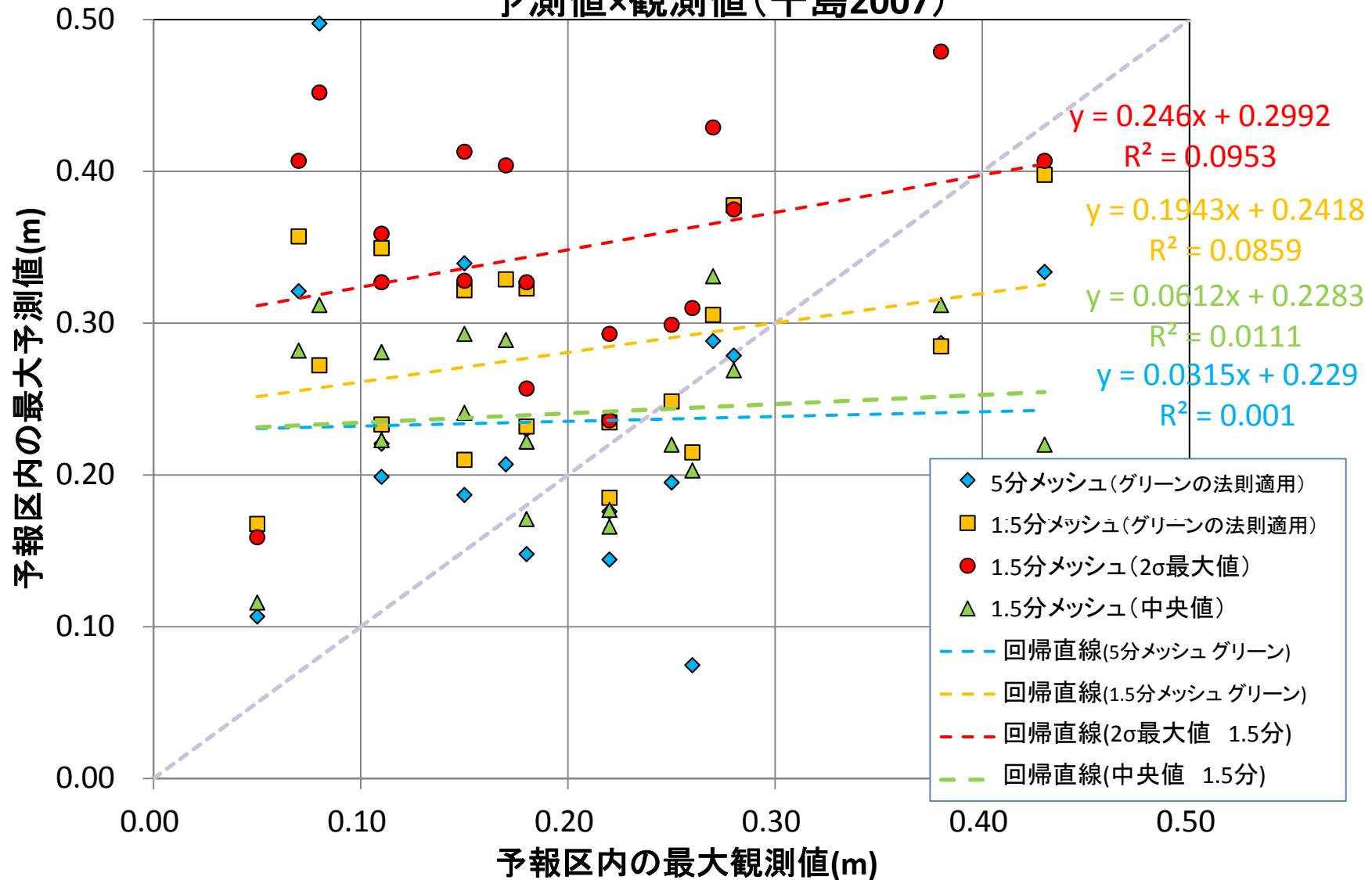
比較結果(予測と実測との差)(5)

シミュレーション計算 予測値×観測値(ペルー)



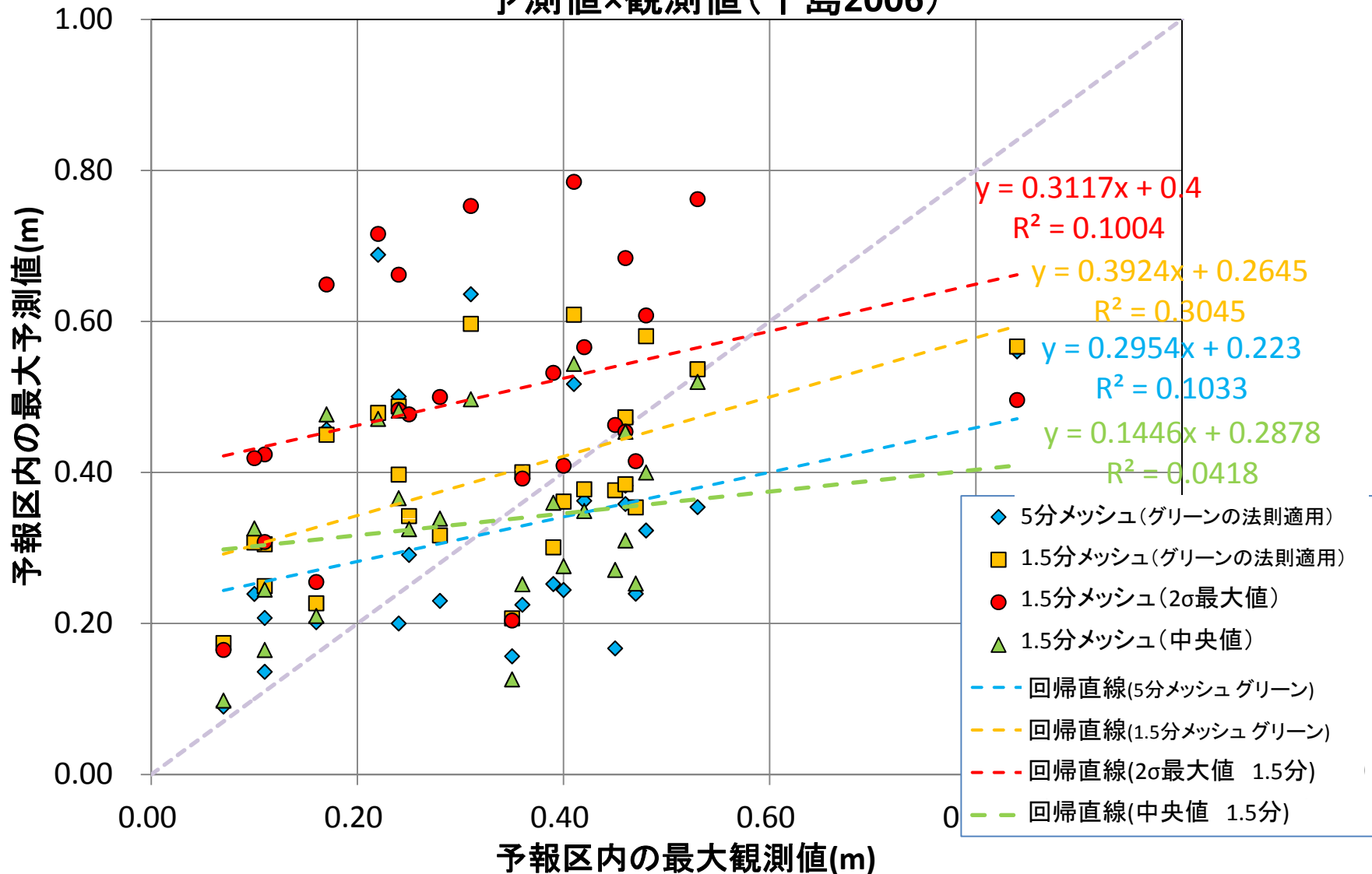
比較結果(予測と実測との差)(6)

シミュレーション計算
予測値×観測値(千島2007)



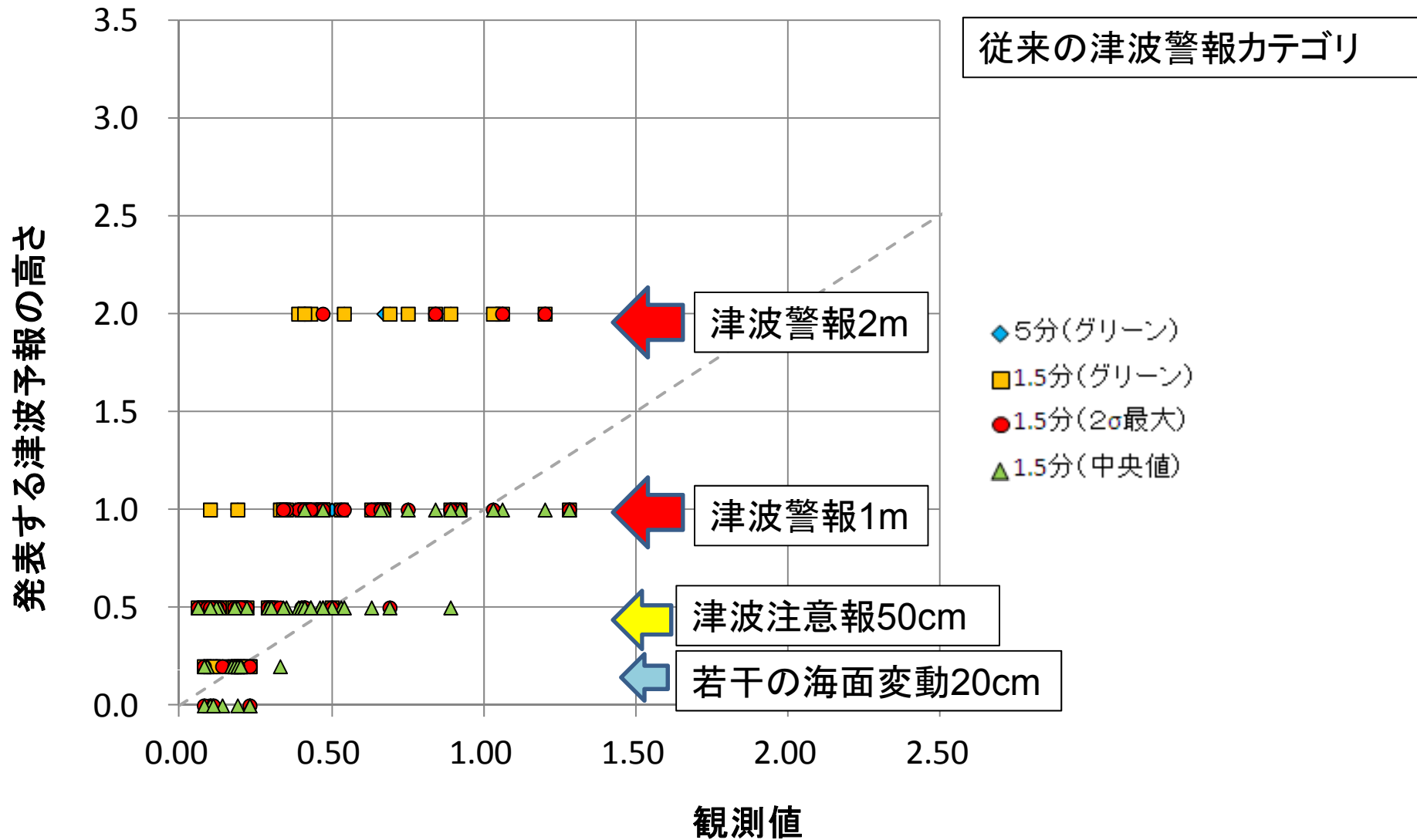
比較結果(予測と実測との差)(7)

シミュレーション計算
予測値×観測値(千島2006)



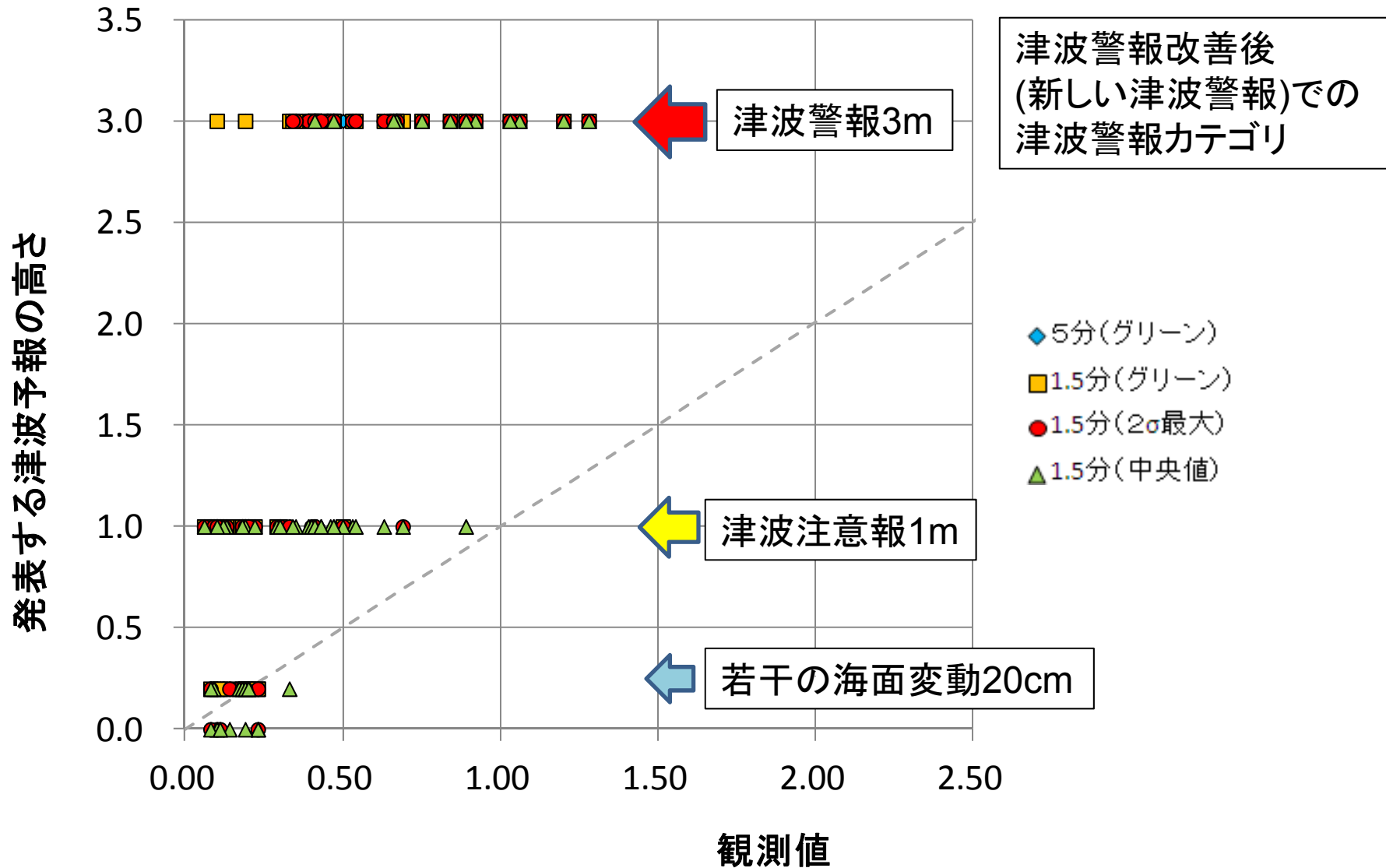
比較結果(予測と実測との差(現行の高さ予想カテゴリーによる比較))

観測値とシミュレーション結果に対応する津波予報カテゴリー(チリ8.7)



比較結果(予測と実測との差(津波警報改善後の高さ予想カテゴリによる比較))

観測値とシミュレーション結果に対応する津波予報カテゴリ(チリ8.7)



現行の高さ予想カテゴリー単位で見た観測と予測の比較(チリM8.7)

	観測が予報を 下回る	同じ	観測が予報を 上回る	計
5分グリーン	44	19	3	66
1.5分グリーン	43	20	3	66
1.5分2 σ 最大	34	30	2	66
1.5分中央値	18	43	5	66

注) ・観測値のグレードは、 $h < 0.2\text{m}$ (海面変動)、 $0.2\text{m} \leq h < 1.0$ (津波注意)、 $1.0\text{m} \leq h < 2.0$ (津波(1m))、 $2.0\text{m} \leq h < 3.0$ (津波(2m))

結果

- 予報区毎の観測値、予測値の最大値の比較からは、グリーンの法則、 2σ 最大値、中央値、の順に精度が高くなっている様子が見られる(2010年チリ地震以外の事例については相関が低い→ 津波の高さ自体が小さいことも影響していると考えられる)。一方、中央値の場合、観測が予測を上回るケースも見られる。
- 実際の注警報の発表にあたっては、予測値にやや幅を持たせて注警報のカテゴリを決定している(例えば、80cmが予測された場合、1mの警報としている)。このことを考慮してカテゴリ単位での予測を比べると、中央値を用いた場合、観測値はほぼ予測と同等となっている。

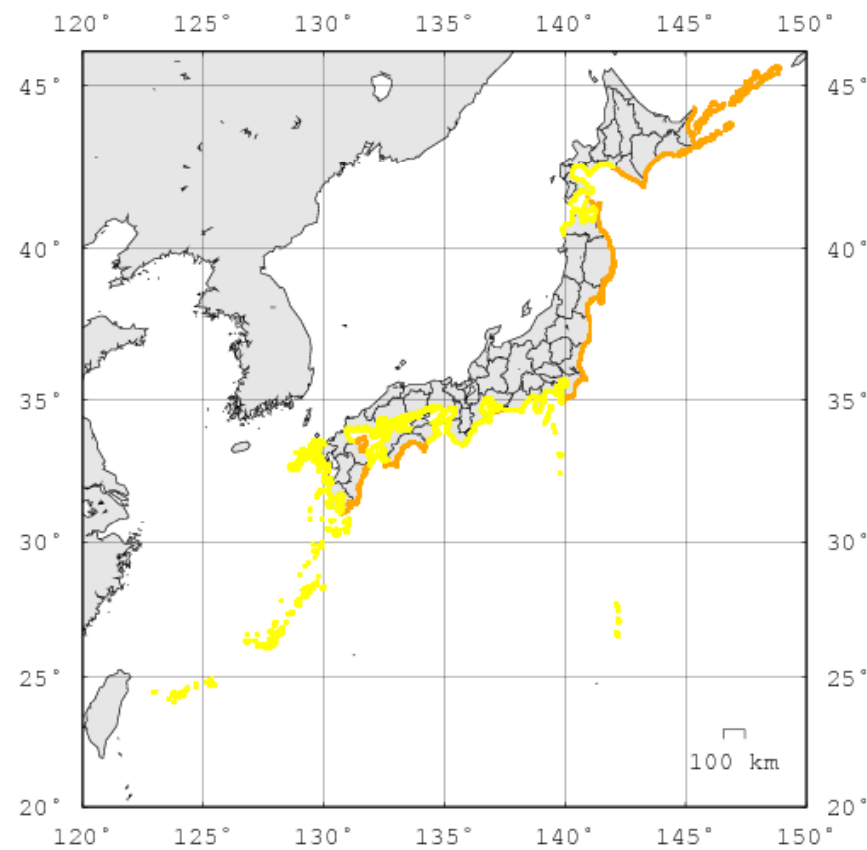
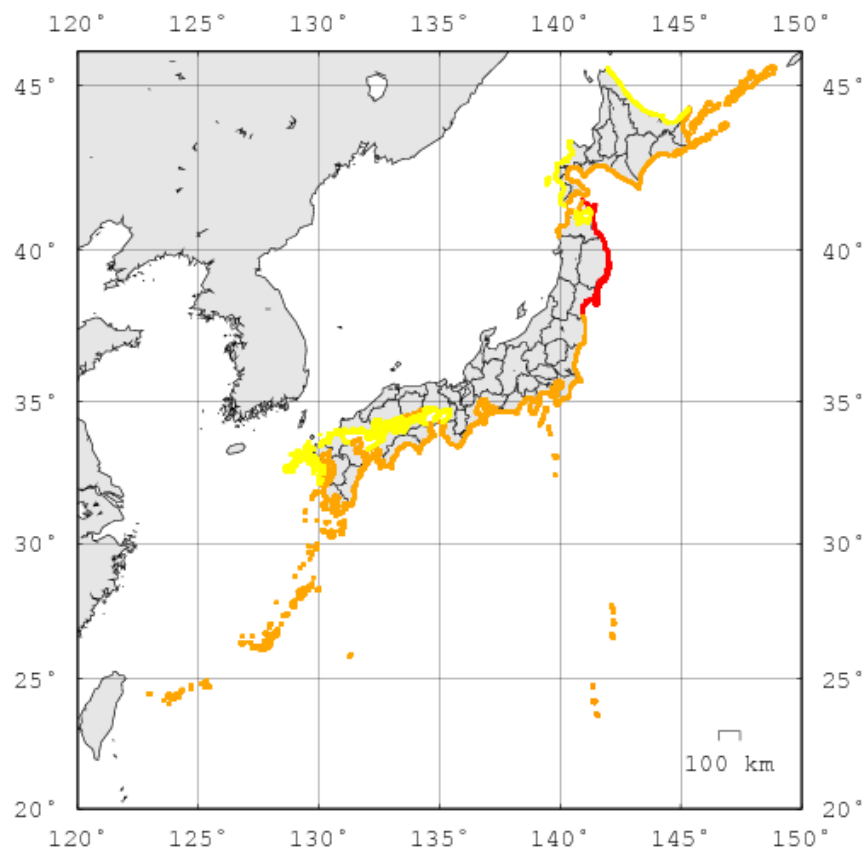


沿岸の30秒グリッド値から、日本沿岸を約600に区分した沿岸の高さを**中央値**により求めることとする。

遠地津波予測改善による津波警報・注意報発表例(1)

2010年チリ中部沿岸の地震において気象庁が発表した津波警報・注意報

遠地津波予測改善後の津波予測による津波警報・注意報



- 津波警報(大津波:高いところで3m程度以上)
- 津波警報(津波:高いところで2m程度)
- 津波注意報(高いところで0.5m程度)

津波警報のカテゴリ分けは比較のため従来のカテゴリとしている。

遠地津波予測改善による津波警報・注意報発表例(2)

2010年チリ中部沿岸の地震による津波予測の例

(警報・注意報(当時気象庁が発表したもの、及び改善後)と観測値との比較)

予報区名	2010年当時 発表した注警報	1.5分中央値 での注警報	観測値		予報区名	2010年当時 発表した注警報	1.5分中央値 での注警報	観測値	
	グレード	グレード	値	グレード		グレード	グレード	値	グレード
北海道太平洋沿岸東部	津波(2m)	津波(1m)	0.92	津波注意	兵庫県北部	なし	なし		
北海道太平洋沿岸中部	津波(2m)	津波(1m)	0.67	津波注意	兵庫県瀬戸内海沿岸	津波注意	津波注意	0.13	海面変動
北海道太平洋沿岸西部	津波(1m)	津波注意	0.53	津波注意	淡路島南部	津波(1m)	津波注意	0.10	海面変動
北海道日本海沿岸北部	海面変動	海面変動	0.19	海面変動	和歌山県	津波(1m)	津波注意	0.89	津波注意
北海道日本海沿岸南部	津波注意	海面変動	0.17	海面変動	鳥取県	なし	なし	0.19	海面変動
オホーツク海沿岸	津波注意	海面変動	0.20	津波注意	島根県出雲・石見	なし	海面変動		
青森県日本海沿岸	津波(1m)	津波注意	0.19	海面変動	隠岐	なし	なし	0.11	海面変動
青森県太平洋沿岸	大津波(3m)	津波(1m)	0.84	津波注意	岡山県	津波(1m)	津波注意	0.06	
陸奥湾	津波注意	津波注意	0.29	津波注意	広島県	津波注意	津波注意	0.12	海面変動
岩手県	大津波(3m)	津波(1m)	1.20	津波(1m)	徳島県	津波(1m)	津波注意	0.47	津波注意
宮城県	大津波(3m)	津波(1m)	1.06	津波(1m)	香川県	津波注意	海面変動	0.09	海面変動
秋田県	なし	海面変動			愛媛県宇和海沿岸	津波(1m)	津波注意	0.35	津波注意
山形県	なし	なし			愛媛県瀬戸内海沿岸	津波注意	津波注意	0.10	海面変動
福島県	津波(2m)	津波(1m)	0.75	津波注意	高知県	津波(2m)	津波(1m)	1.28	津波(1m)
茨城県	津波(2m)	津波(1m)	0.89	津波注意	山口県日本海沿岸	海面変動	海面変動	0.18	海面変動
千葉県九十九里・外房	津波(1m)	津波(1m)	0.47	津波注意	山口県瀬戸内海沿岸	津波注意	津波注意	0.22	津波注意
千葉県内房	津波(2m)	津波注意	0.69	津波注意	福岡県瀬戸内海沿岸	津波注意	津波注意	0.18	海面変動
東京湾内湾	津波(1m)	津波注意	0.41	津波注意	福岡県日本海沿岸	津波注意	海面変動	0.19	海面変動
伊豆諸島	津波(2m)	津波注意	0.41	津波注意	有明・八代海	津波(1m)	海面変動	0.33	津波注意
小笠原諸島	津波(2m)	津波注意	0.43	津波注意	佐賀県北部	海面変動	海面変動	0.20	津波注意
相模湾・三浦半島	津波(2m)	津波注意	0.39	津波注意	長崎県西方	津波注意	津波注意	0.40	津波注意
新潟県上中下越	なし	なし	0.14	海面変動	壱岐・対馬	海面変動	海面変動		
佐渡	なし	なし	0.10	海面変動	熊本県天草灘沿岸	津波注意	津波注意		
富山県	なし	なし	0.08	海面変動	大分県瀬戸内海沿岸	津波(1m)	津波(1m)	0.41	津波注意
石川県能登	なし	なし	0.23	津波注意	大分県豊後水道沿岸	津波(1m)	津波注意		
石川県加賀	なし	なし			宮崎県	津波(1m)	津波(1m)	0.66	津波注意
福井県	なし	なし			鹿児島県東部	津波(1m)	津波(1m)	1.03	津波(1m)
静岡県	津波(2m)	津波注意	0.54	津波注意	種子島・屋久島地方	津波(1m)	津波注意	0.46	津波注意
愛知県外海	津波(2m)	津波(1m)	0.67	津波注意	奄美群島・トカラ列島	津波(2m)	津波注意	0.47	津波注意
伊勢・三河湾	津波(1m)	津波注意	0.50	津波注意	鹿児島県西部	津波(1m)	津波注意	0.41	津波注意
三重県南部	津波(2m)	津波注意	0.63	津波注意	沖縄本島地方	津波(2m)	津波注意	0.34	津波注意
京都府	なし	なし	0.23	津波注意	大東島地方	津波(1m)	海面変動	0.08	海面変動
大阪府	津波注意	津波注意	0.30	津波注意	宮古島・八重山地方	津波(1m)	津波注意	0.43	津波注意

注)・観測値は予報区内の最大値。

・観測値のグレードは、 $h < 0.2\text{m}$ (海面変動)、 $0.2\text{m} \leq h < 1.0$ (津波注意)、 $1.0\text{m} \leq h < 2.0\text{m}$ (津波(1m))、 $2.0\text{m} \leq h < 3.0\text{m}$ (津波(2m))

今後の予定

- 新遠地DB及び1.5分メッシュ津波シミュレーションモデルを活用した遠地津波予測の運用を6月中を目途に開始する。
- 運用にあたっては、新遠地DBやリアルタイムシミュレーションの予測結果を、DART等沖合の観測値により適宜補正しつつ予測することとする。