

観測値に基づく 津波の減衰予測

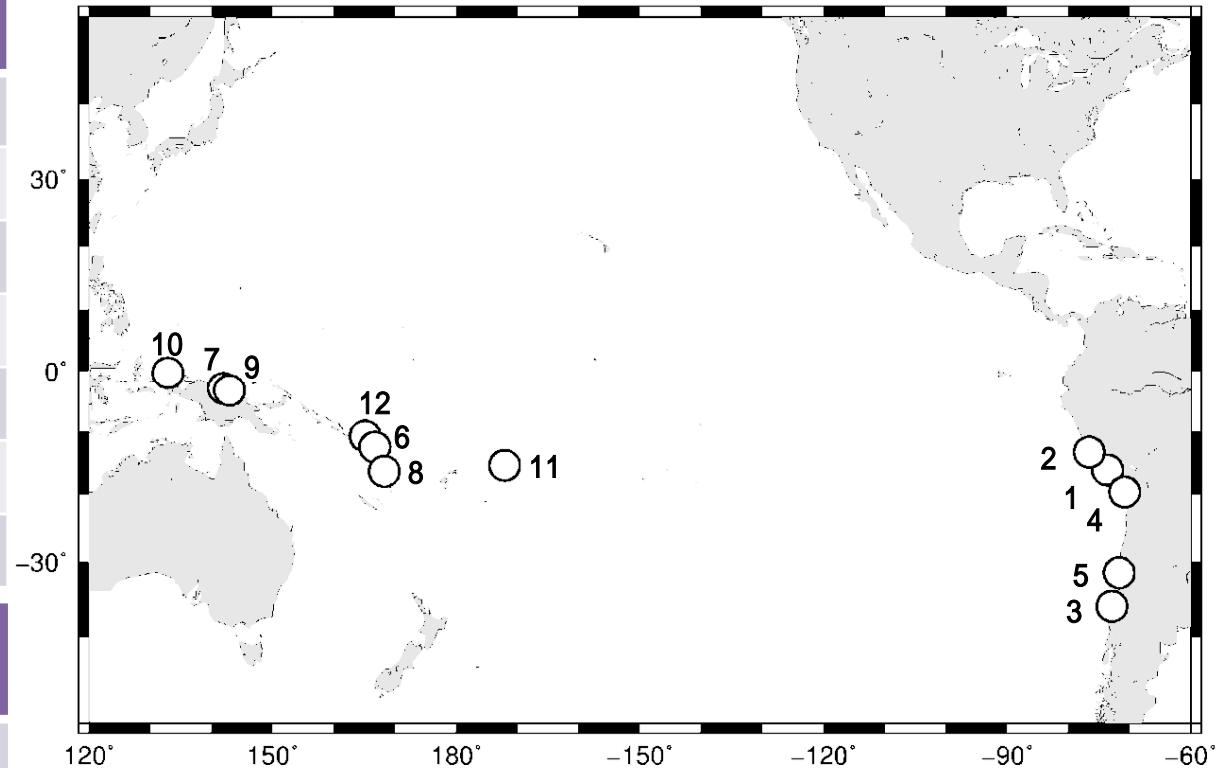
(2) 遠地津波

気象研究所

使用データ(対象とした津波イベント)

	地震発生日時 (GMT)	震央	Mw
1	2001/06/23 20:34	ペルー沿岸	8.4
2	2007/08/15 23:41	ペルー沿岸	8.0
3	2010/02/27 06:35	チリ中部沿岸	8.8
4	2014/04/01 23:47	チリ北部沿岸	8.1
5	2015/09/16 22:55	チリ中部沿岸	8.3
	(参考使用)		
	1960/05/22 19:11	チリ中部沿岸	9.5 [*]

	地震発生日時 (GMT)	震央	Mw
6	1997/04/21 12:03	サンタクルーズ諸島	7.7
7	1998/07/17 08:49	パプアニューギニア	7.0
8	1999/11/26 13:21	バヌアツ	7.4
9	2002/09/08 18:44	パプアニューギニア	7.6
10	2009/01/03 19:44	インドネシアパプア	7.7
11	2009/09/29 17:48	サモア諸島	8.1
12	2013/02/06 01:12	サンタクルーズ諸島	7.9



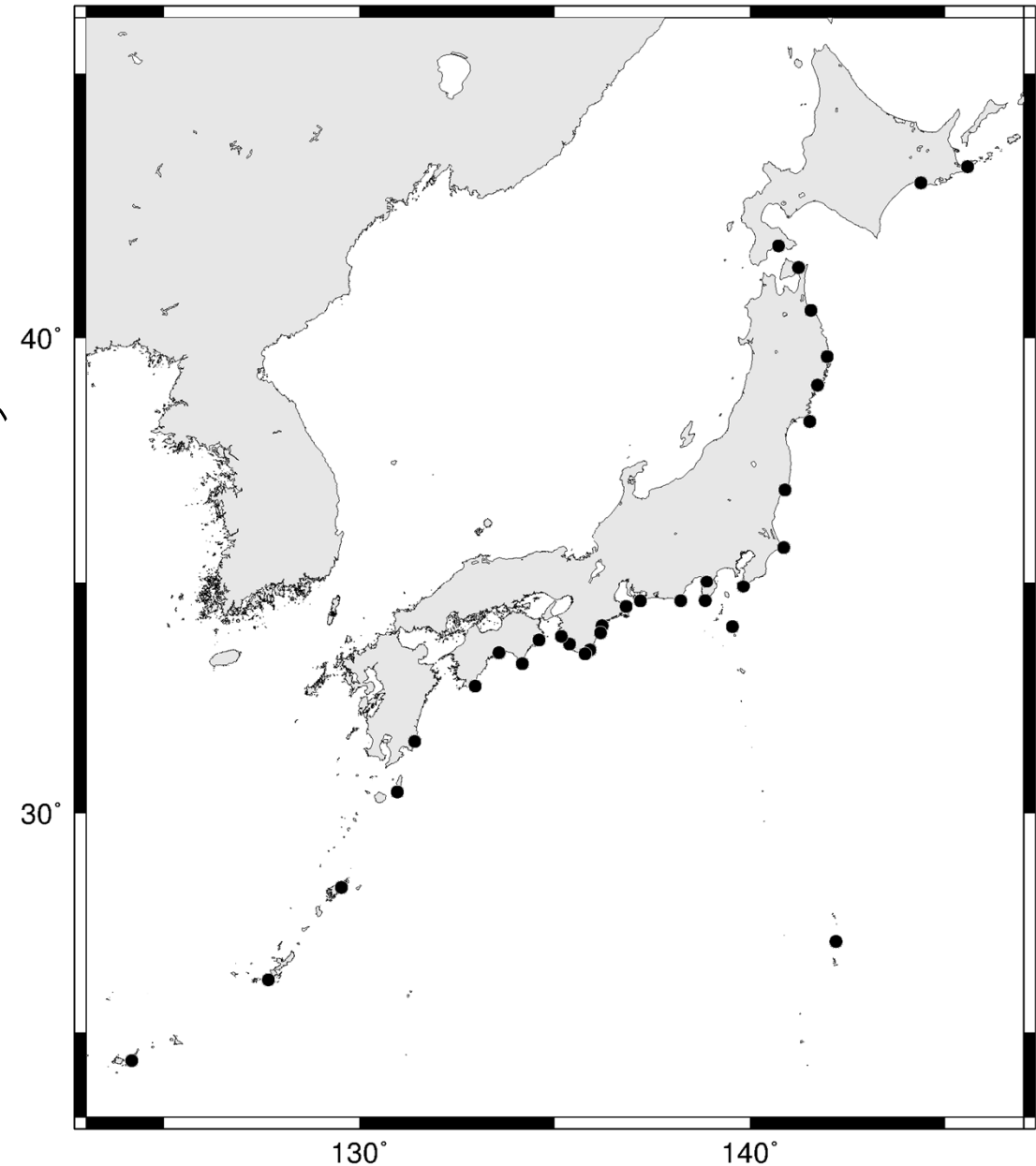
1997年以降、日本沿岸に津波注意報以上が発表され、津波が観測された事例のうち、波源域がまとまっている事例を抽出

MwはGlobal CMT

使用データ(津波観測点)

気象庁の沿岸津波観測点のうち、太平洋側に位置し、南米沖・南太平洋のそれぞれで3イベント以上、津波が観測された33検潮所(右図の●印)の潮位15秒デジタルデータを使用した。

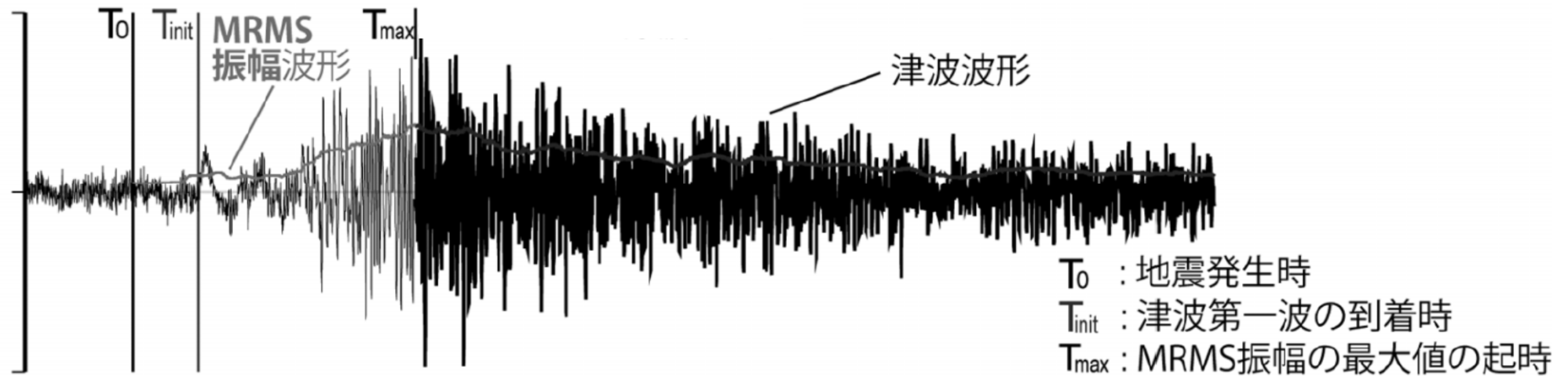
1960年のチリ地震津波については、花咲、宮古、小名浜の3点について、紙記録からの1分読み取り値を使用した。



データ解析方法

- 林ほか(2010)の手順に従ってMRMS(Moving Root Mean Squared)振幅を計算。

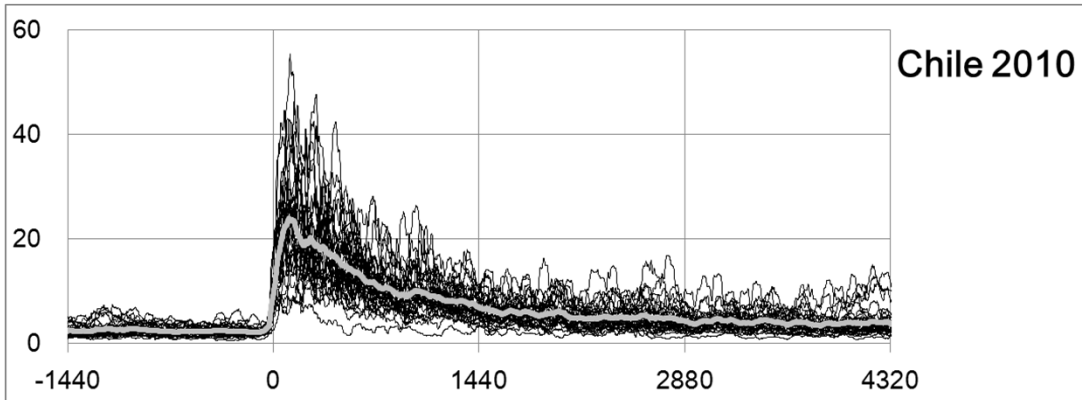
潮汐変化を除いた15秒値データをカットオフ2分のローパスフィルタに通したのち、時間幅64分の二乗和平均の平方根の時間変化(MRMS振幅)を得る。



第1波到達時刻を基にデータを整理するため、第1波到達時刻が不明となっていた観測点については、MRMS振幅の立ち上がりを参考に第1波到達時刻を推定。

- 第1波到達時刻を揃えて、津波イベントごとにMRMS振幅の平均値を計算。
- 平均MRMS振幅の変化を近似する曲線の関数パラメータを推定。
- パラメータと地震のマグニチュードとの関係を検討。

津波イベント・観測点ごとのMRMS振幅(南米沖)



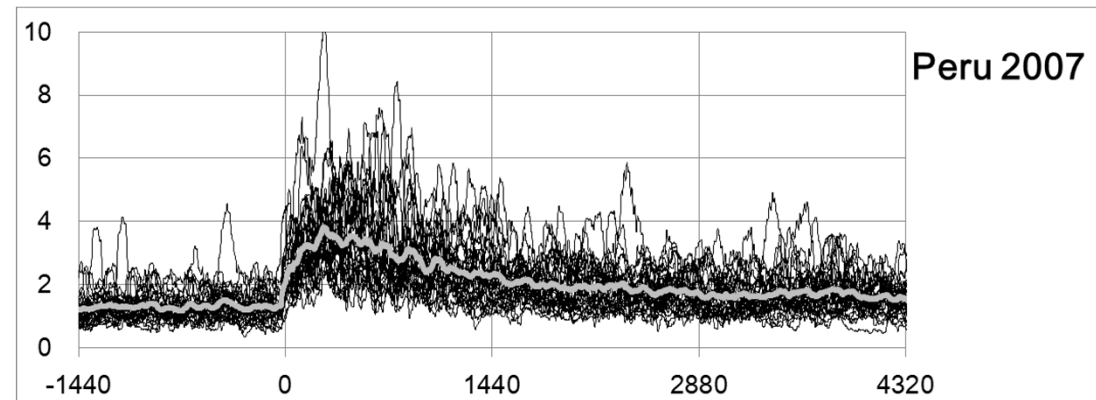
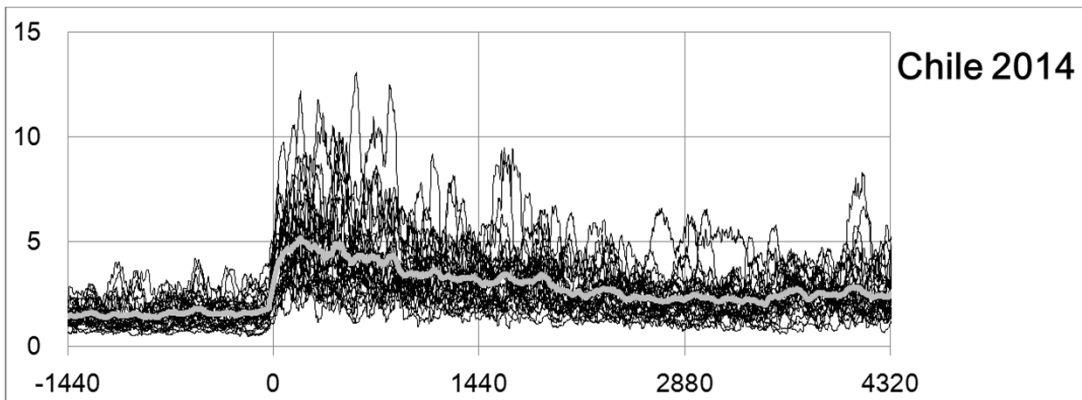
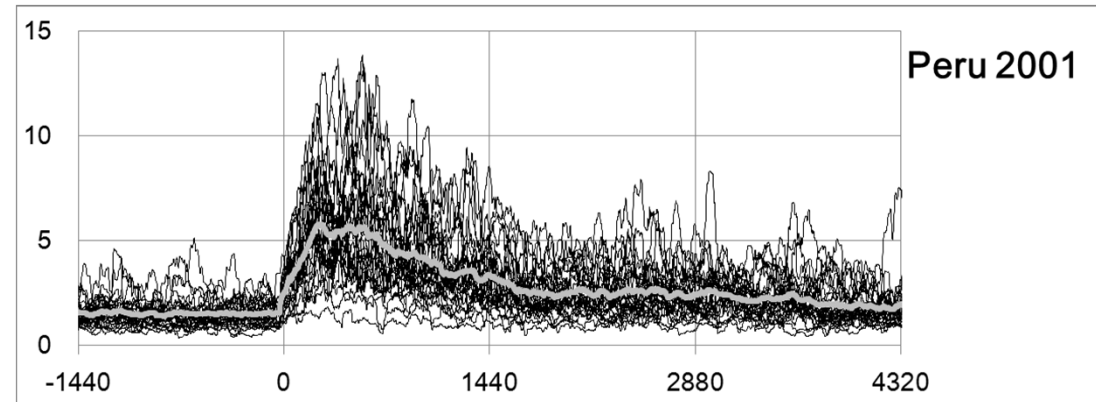
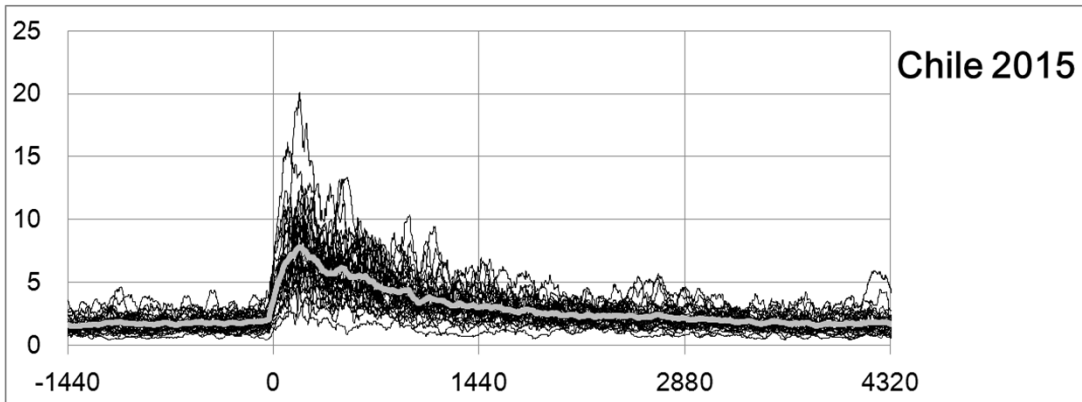
観測点ごとの第1波到達時刻を揃えて
MRMS振幅の時間変化を平均

黒細線: 観測点ごとのMRMS振幅

灰色線: 平均MRMS振幅

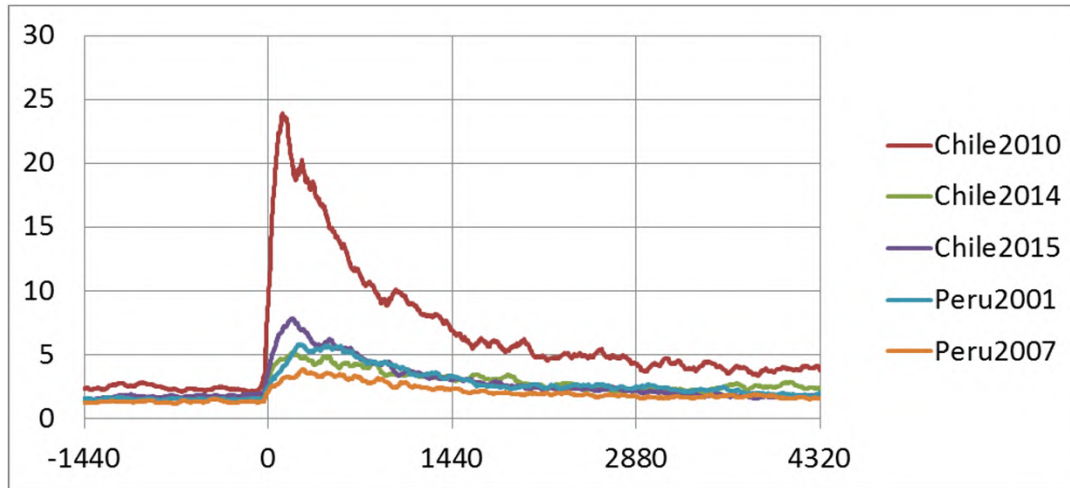
横軸: 第1波到達時刻からの経過時間(分)

縦軸: 振幅(cm)



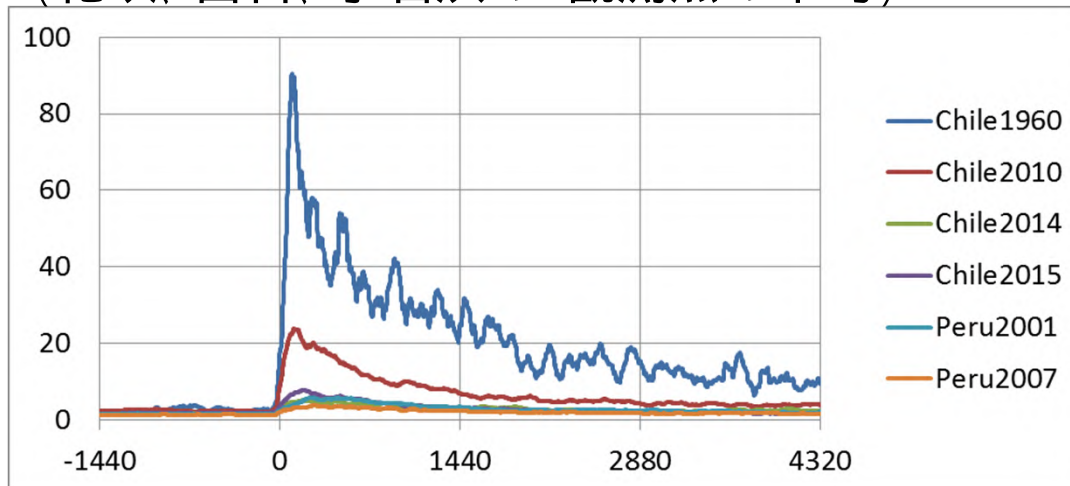
津波イベントごとのMRMS振幅(南米沖)

津波イベントごとに平均したMRMS振幅

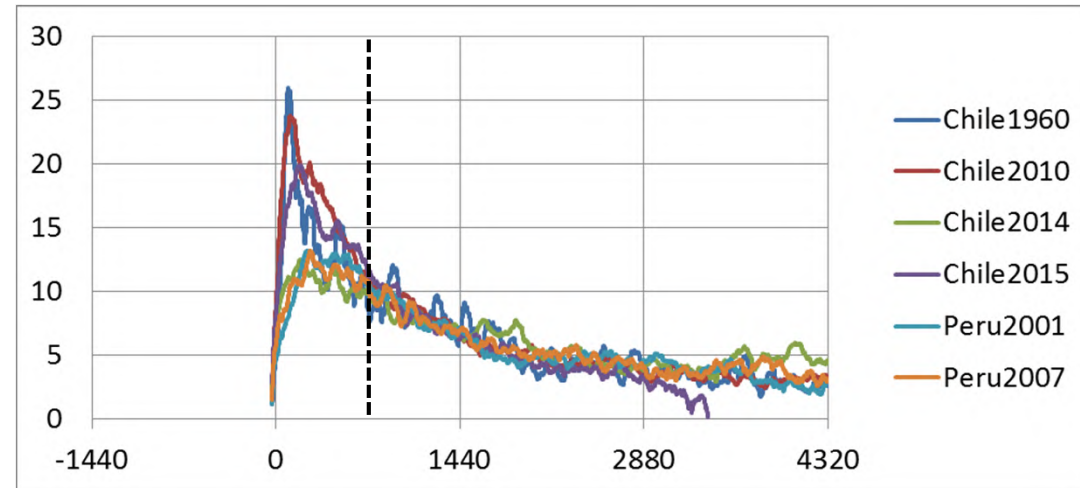


参考として、1960年のチリ地震津波のMRMS振幅を追加

(花咲、宮古、小名浜の3観測点の平均)



第1波到達時刻からの経過時間720～2880分(12～48時間)の期間で振幅が揃うように正規化。



0～720分(0～12時間)の期間における振幅変化の様相は、チリ沖とペルー沖(チリ北部沖含む)の2つに分けられる。

チリ沖：最大値出現後の振幅減少が急

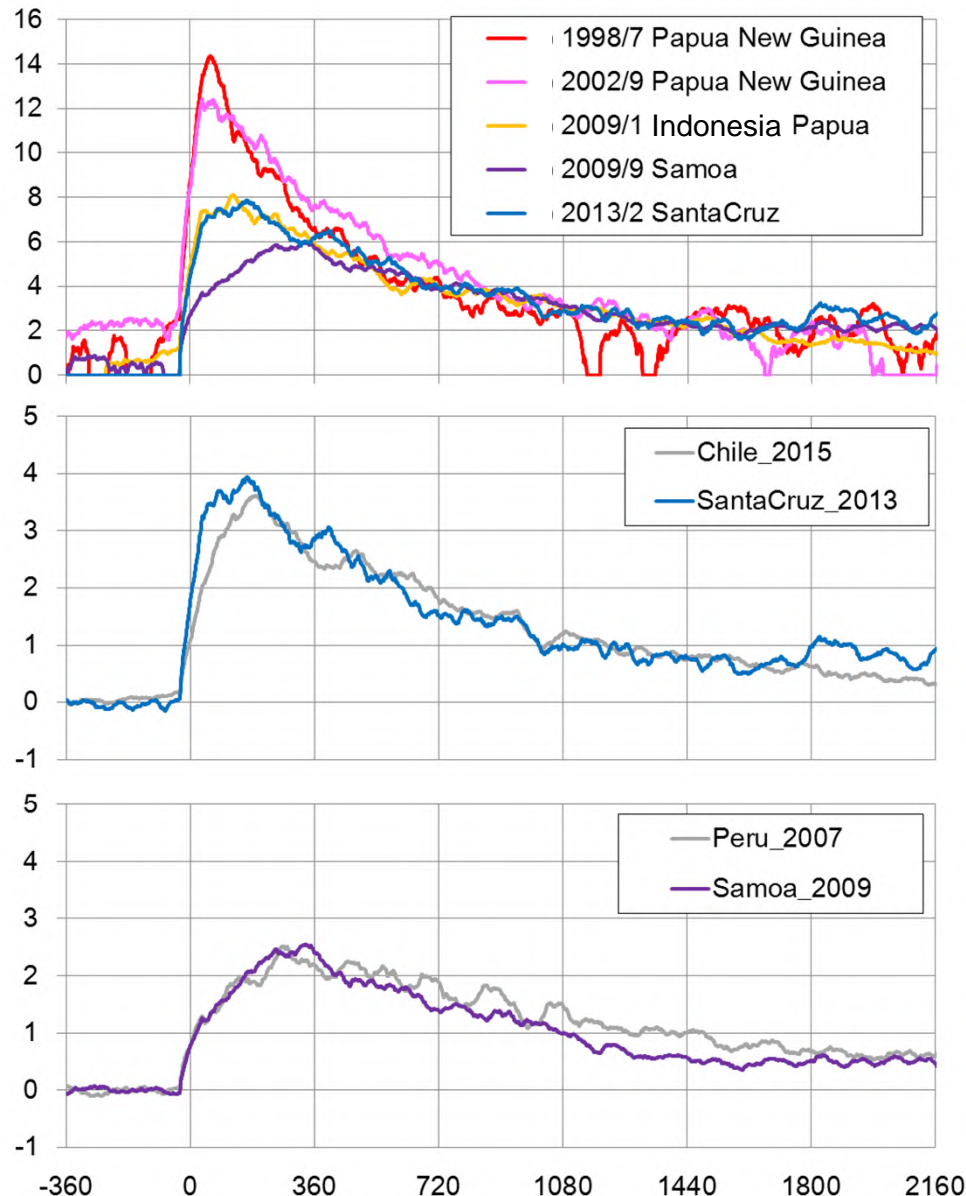
ペルー沖：最大値出現が少し遅れ、
振幅減少は緩やか

横軸：第1波到達時刻からの経過時間(分)

縦軸：MRMS振幅(cm)

津波イベントごとのMRMS振幅(南太平洋)

津波イベントごとに平均したMRMS振幅



第1波到達時刻からの経過時間720～2160分(12～36時間)の期間で振幅が揃うように正規化。

0～360分(0～6時間)の期間における振幅変化の様相は、
パプアニューギニア
インドネシアパプアとサンタクルーズ諸島
サモア
の3つに分けられる。

南米沖の事例と比較すると、
はチリ沖と、 はペルー沖とそれぞれ似た型になっている。

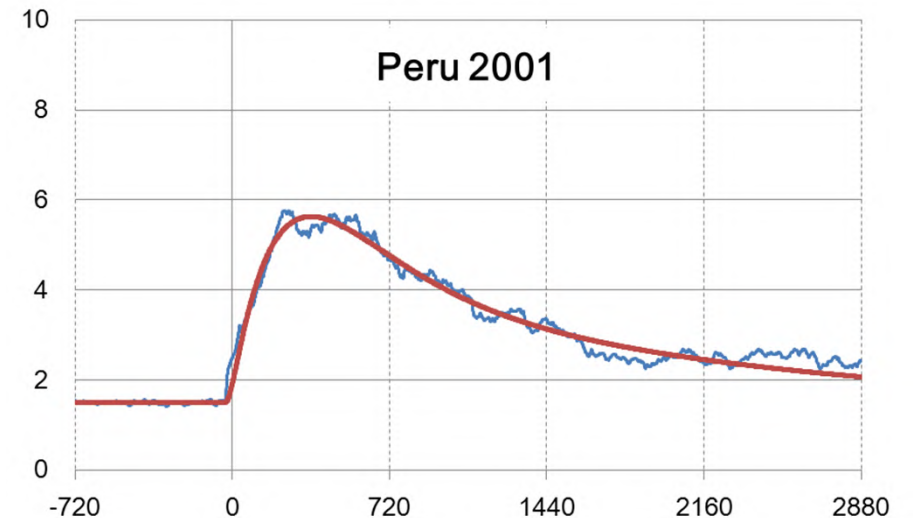
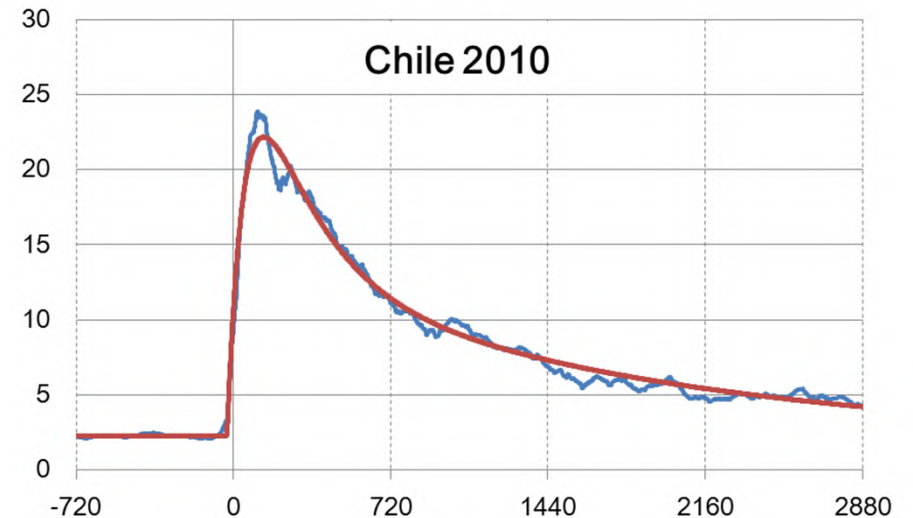
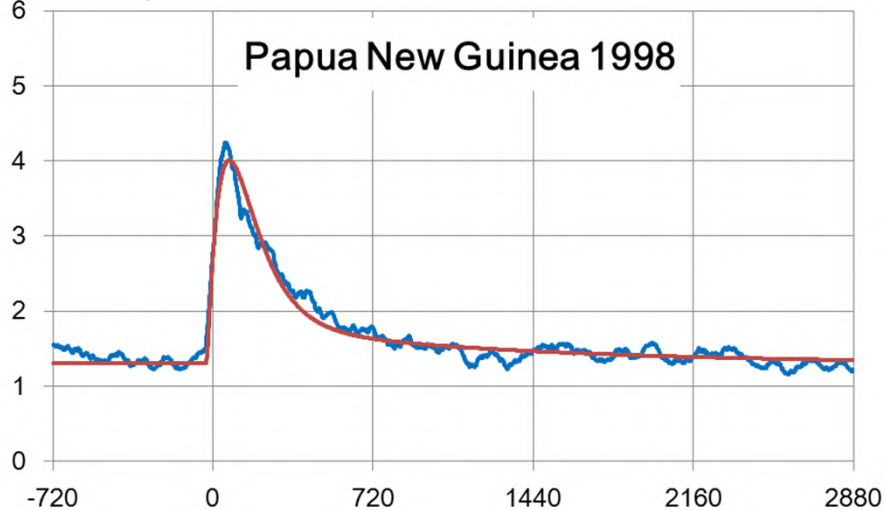
横軸: 第1波到達時刻からの経過時間(分)
縦軸: MRMS振幅(cm) 振幅正規化済み

MRMS振幅変化への関数の近似

第1波到達から最大波到達を経て減衰していく過程を簡単な関数で表現するため、次式のような3つの異なる時定数をもつ指数関数からなる関数で近似する。

$$A_{MRMS} = \underbrace{\left(1 - e^{-\frac{t}{T_0}}\right)}_{\text{立ち上がり}} \underbrace{\left(A_1 e^{-\frac{t}{T_1}} + A_2 e^{-\frac{t}{T_2}}\right)}_{\text{初期の減衰} \quad \text{後期の減衰}}$$

最大値、最大値までの時間



横軸：第1波到達時刻からの経過時間(分)
縦軸：MRMS振幅(cm)

青：MRMS振幅
赤：近似曲線

後期部の減衰過程の特徴

$$A_{MRMS} = \left(1 - e^{-\frac{t}{T_0}}\right) \left(A_1 e^{-\frac{t}{T_1}} + A_2 e^{-\frac{t}{T_2}}\right)$$

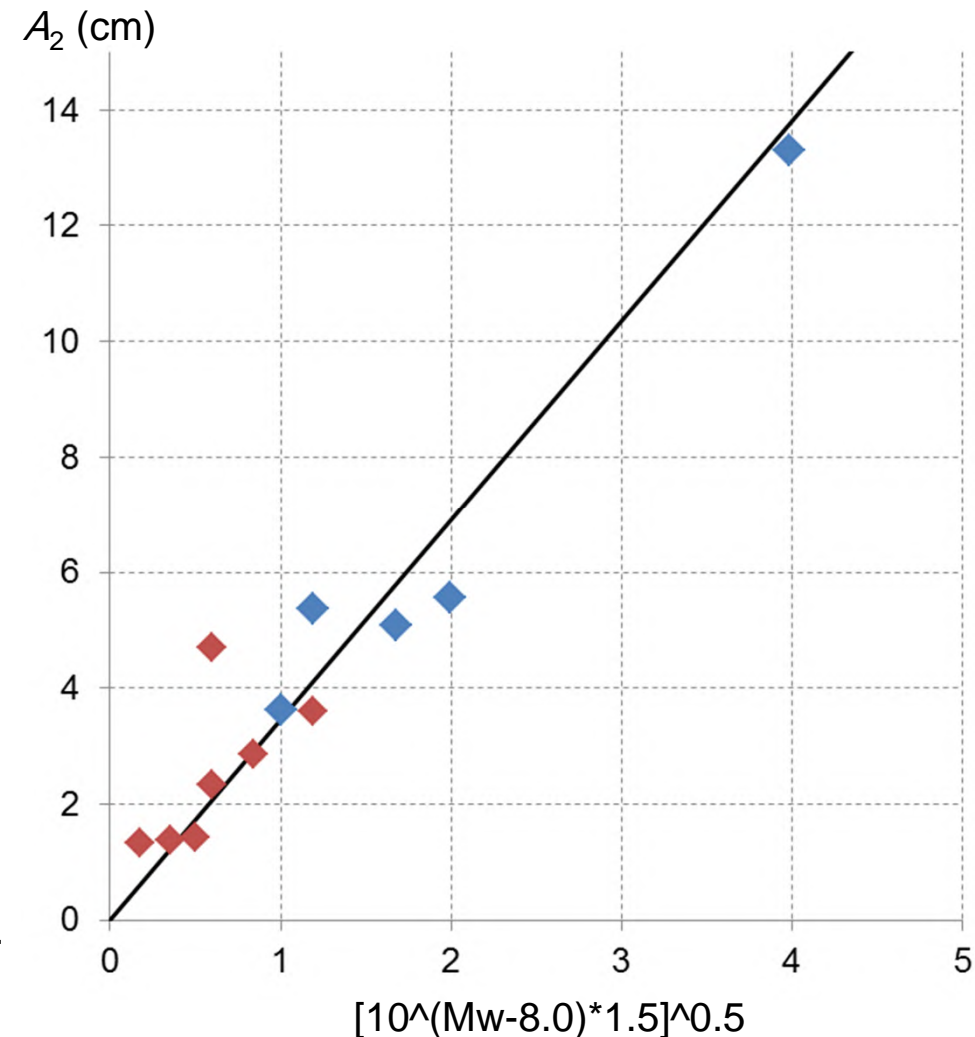
後半部の減衰傾向から得られる振幅係数 A_2 は、地震の規模と相関する。

後期部の減衰過程については、大洋全体に広がる津波を対象にした先行研究があり、係数が比較できる。減衰時定数 T_2 の値は、先行研究の結果と調和的である。

先行研究では振幅の2乗を用いて解析されているため、下表における時定数は振幅の場合に揃えてある。

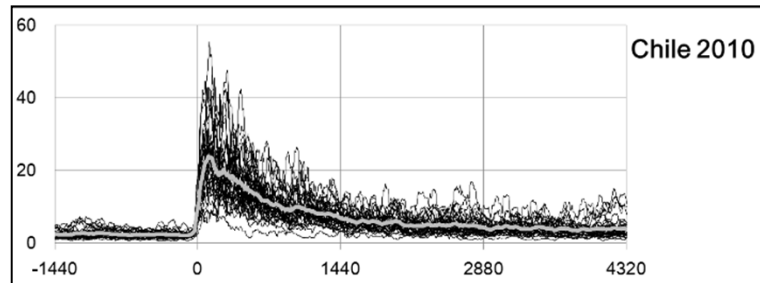
	T_2 (時間)	解析対象
本研究	36.7	
Van Dorn (1984)	44.0	1960チリ, 1964アラスカ等
Rabinovich et al. (2013)	49.2	2010チリ, 2011東北等
Saito et al. (2013)	44.0	2011東北
Nyland & Huang (2014)	31.8	2010チリ, 2011東北等

[右図] 南米沖の事例から得られた結果()と近似直線。南太平洋西部の事例から得られた結果()は1例(2009年1月のインドネシアパプア)を除き南米沖の事例から得られた結果と同じ傾向を示す。

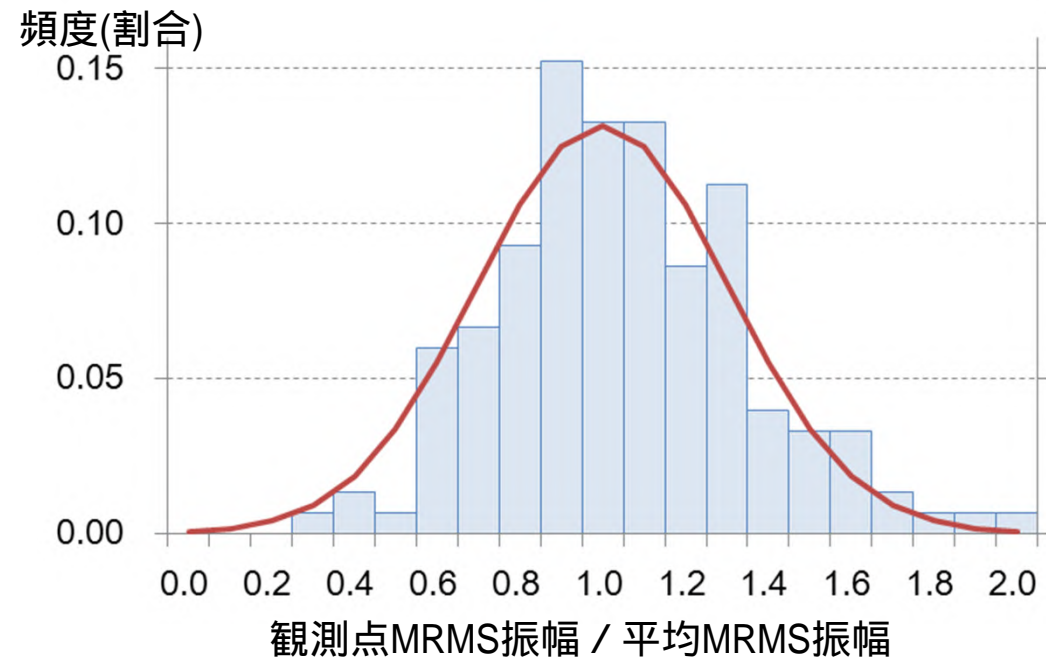


平均MRMS振幅に対する観測点ごとのMRMS振幅の倍率

平均振幅と元の津波波形の実振幅との関係を、平均MRMS振幅 観測点MRMS振幅、観測点MRMS振幅 津波の高さの2段階に分けて調べ、減衰過程において発生しうる津波の高さの最大値の定量評価について検討する。



黒細線：観測点ごとのMRMS振幅
灰色線：平均MRMS振幅



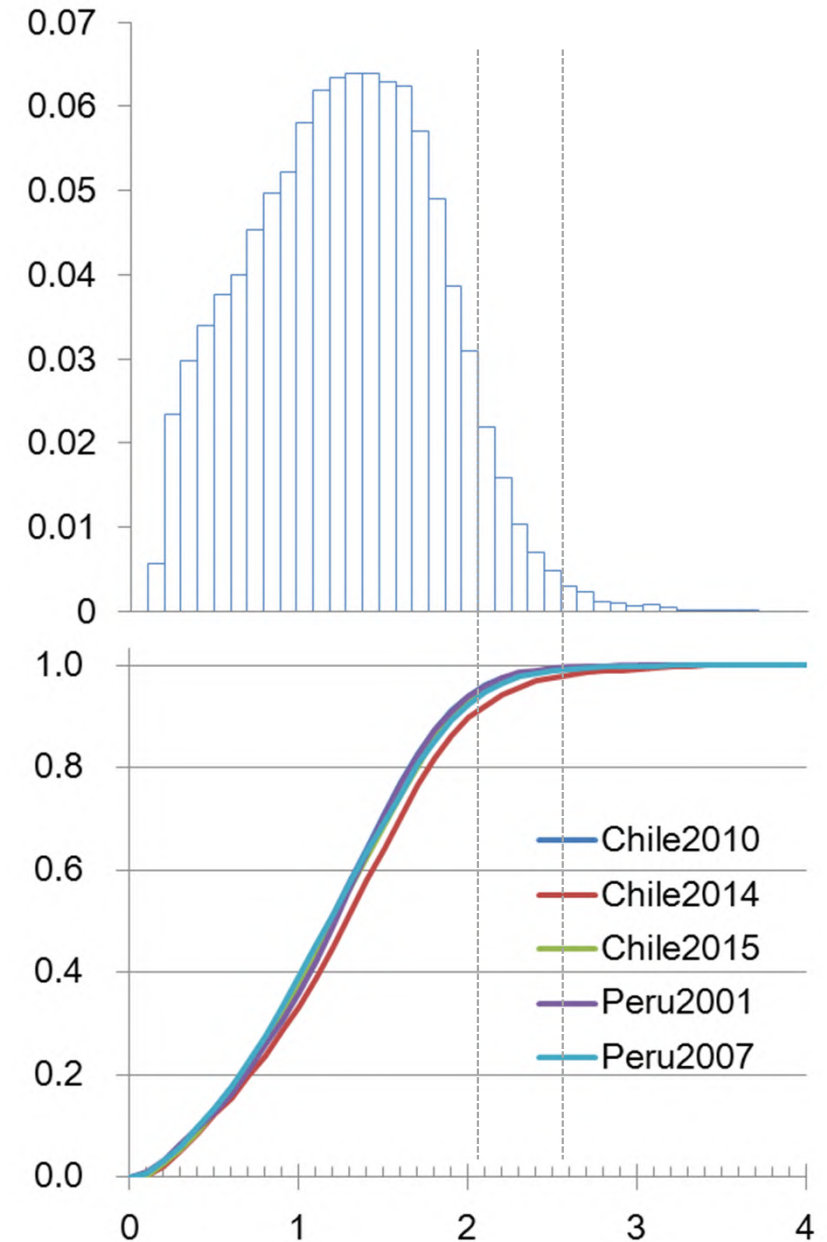
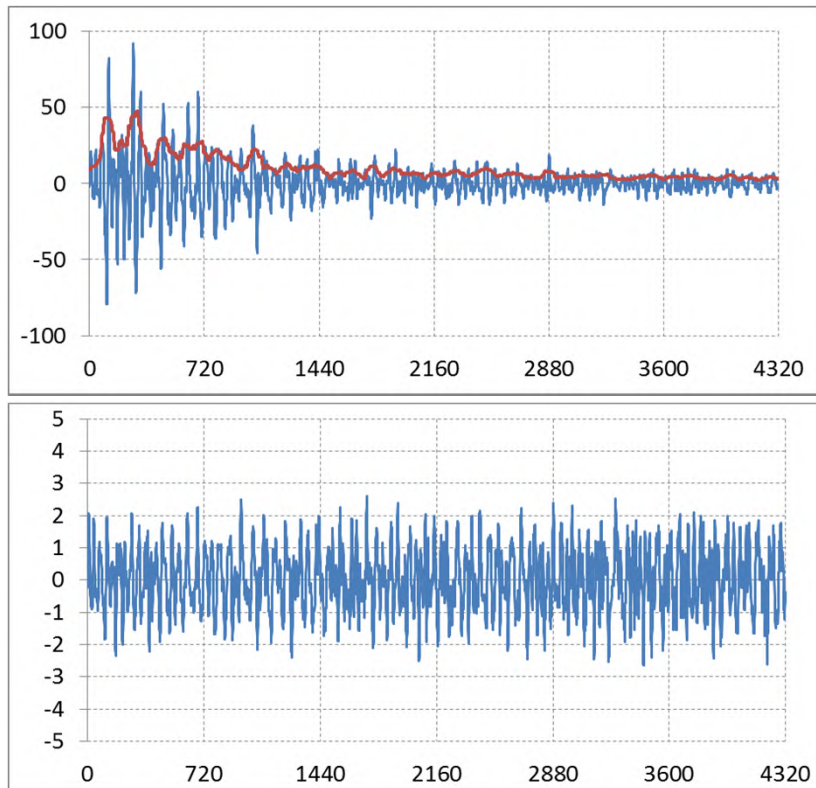
経過時間720～2880分の期間のデータについて、イベントごとの平均MRMS振幅に対する観測点ごとのMRMS振幅の倍率の分布。

イベントごとの倍率の最大値は1.5～1.9倍となり、**2倍以内に収まる。**

MRMS振幅で規格化した波高の頻度分布

林ほか(2010)により、津波波形にゼロクロス法を適用して切り出される個々の波についての半振幅とMRMS振幅との比、と定義された無次元化津波振幅の頻度分布を利用する。

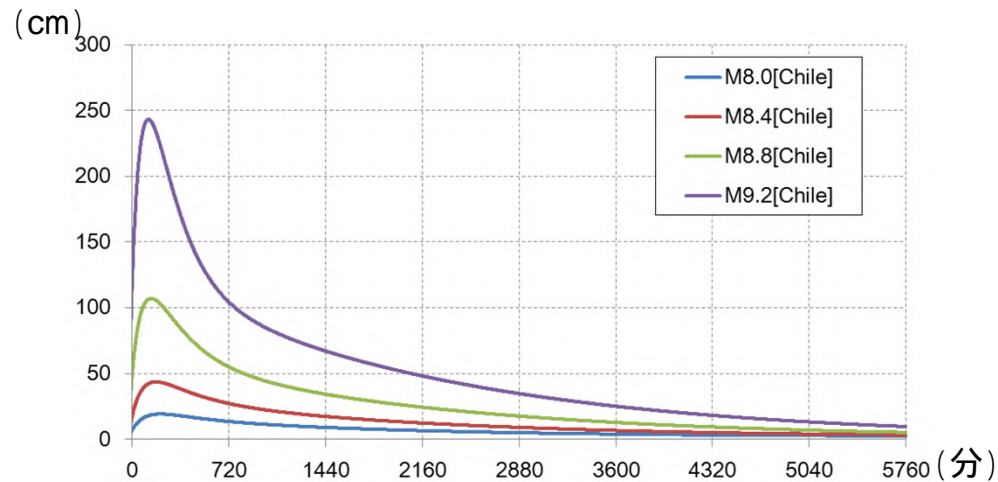
累積頻度分布から、いずれの津波イベントにおいても、半振幅の90%はMRMS振幅の2倍以内に、99%は2.5倍以内に収まることが分かる。



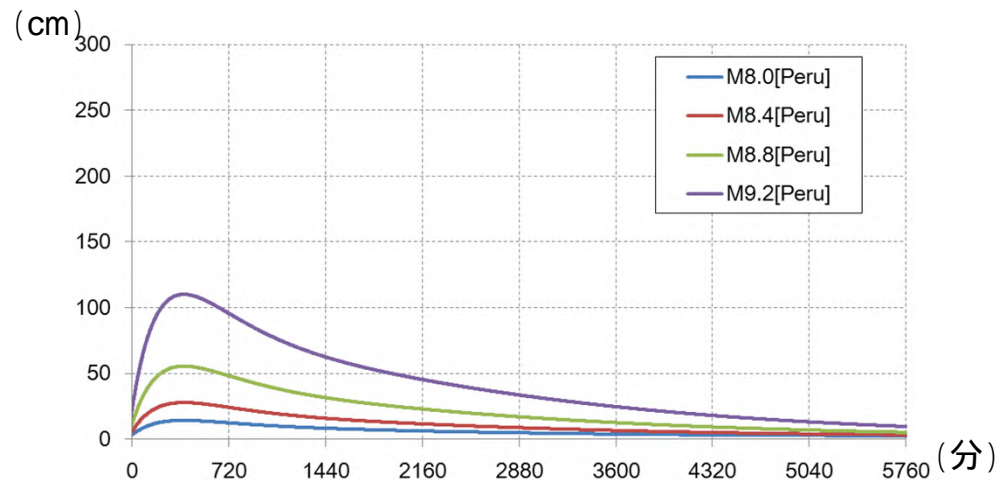
半振幅とMRMS振幅との比

マグニチュードからの減衰・津波継続時間の予測

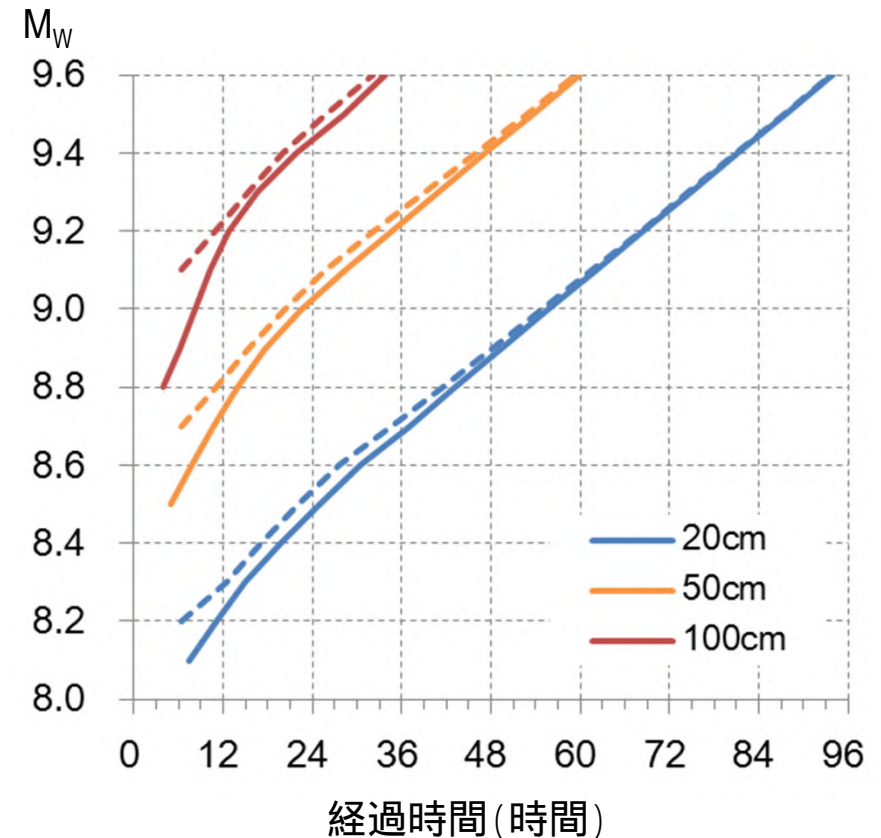
マグニチュードに依存する平均MRMS振幅の近似曲線、平均MRMS振幅と観測点MRMS振幅の比(1.9倍)、観測点MRMS振幅と実波形振幅の比(2.5倍)を総合することで、津波の高さの最大の推移を表現できる。



チリ沖を波源とする津波の高さの最大の推移予測

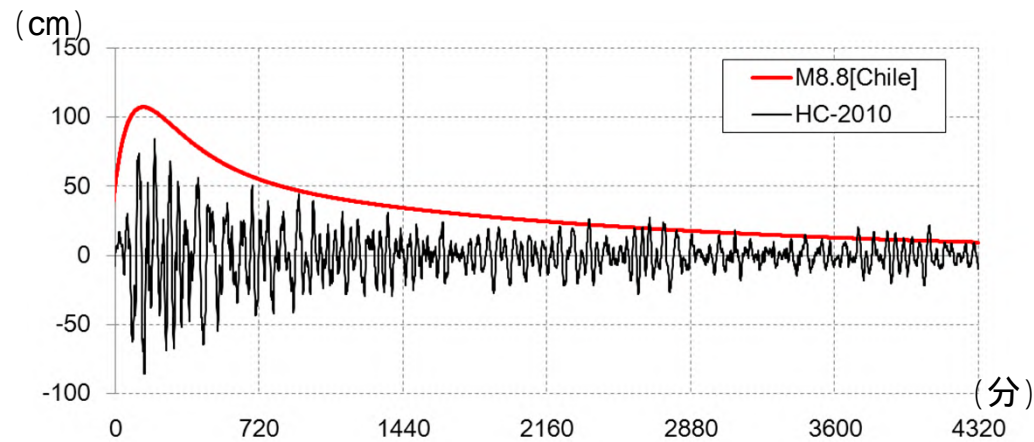


ペルー沖を波源とする津波の高さの最大の推移予測

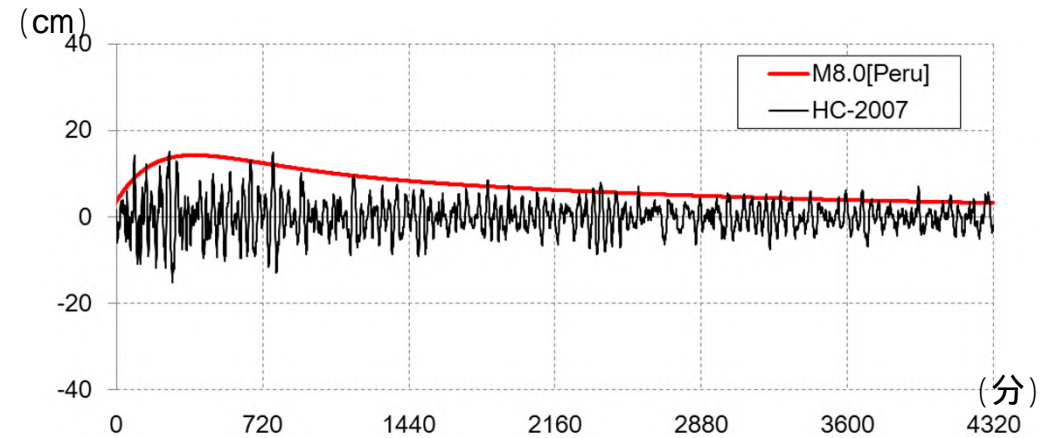


津波の高さがそれぞれの高さを下回る時刻までの第1波到達時刻からの経過時間
実線:チリ沖 破線:ペルー沖

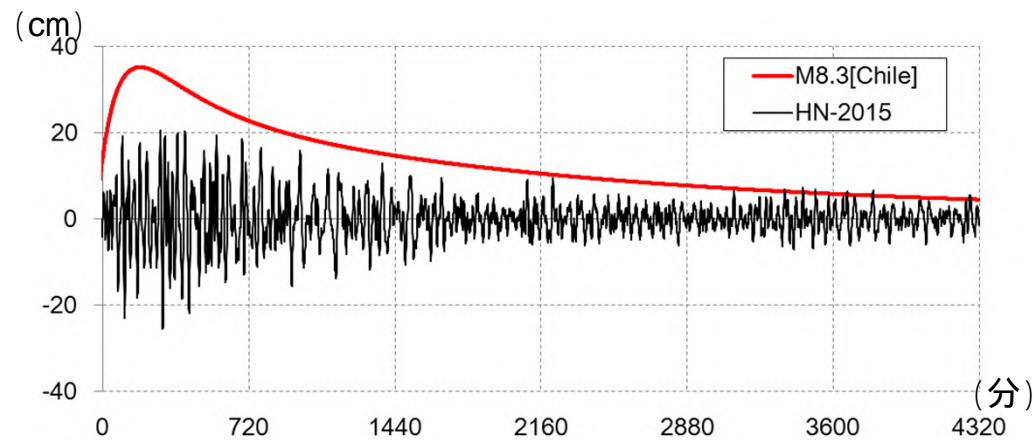
推移予測曲線と津波波形の比較例



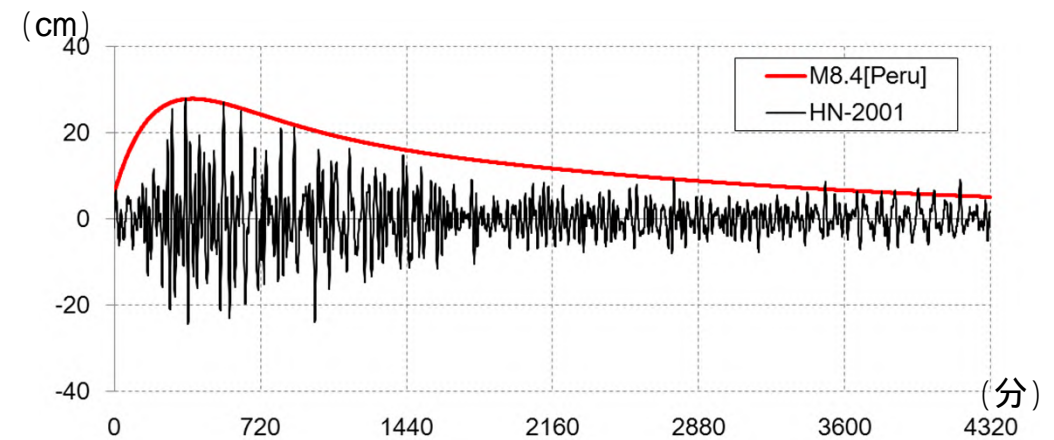
八戸における2010年イベントの津波波形とチリ沖M_W8.8に対する予測曲線



八戸における2007年イベントの津波波形とペルー沖M_W8.0に対する予測曲線



花咲における2015年イベントの津波波形とチリ沖M_W8.3に対する予測曲線



花咲における2001年イベントの津波波形とペルー沖M_W8.4に対する予測曲線