

# 津波の減衰予測に向けて

気象庁 地震火山部 地震津波監視課  
気象研究所 地震津波研究部

## 謝辞

本調査では、国土交通省港湾局及び気象庁地球環境・海洋部の沿岸潮位観測データを使用させていただきました。記して感謝いたします。

# 背景とねらい（近地津波についての統計的な減衰予測手法）

## 林・他 (2011, 海岸工学論文集)

- ・ 2003年十勝沖地震(Mw8.3)等の日本周辺で発生した近地津波について，沿岸潮位観測点での津波の減衰過程<sup>※1</sup>は，べき関数( $1/t$ ,  $t=0$ は震源時)で概ね近似できそう

## 気象庁 (2019) (前回の勉強会)

- ・ 東北地方太平洋沖地震(Mw9.0)に伴う津波の沿岸潮位観測データに対して，林・他 (2010, 海岸工学論文集)の手法<sup>※2</sup>を適用すると，実際に減衰する時刻よりも非常に遅い減衰見込み時刻になる場合がある<sup>※3</sup>
- ・ これを改善するための手法を提案  
(2段階のべき関数により減衰過程をモデル化し，最大値の起時以降におけるMRMS振幅の減衰速度の低下を自動検出．検出後は2段階目のべき関数 $1/t$ で予測)

前回の提案手法では，減衰予測精度が，べき関数を1段階目から2段階目に切り替えるタイミングを決めるパラメータの設定に強く依存するおそれがある

2段階のべき関数による予測よりも，より簡便で予測値も安定しうる統計的な減衰予測手法を考える

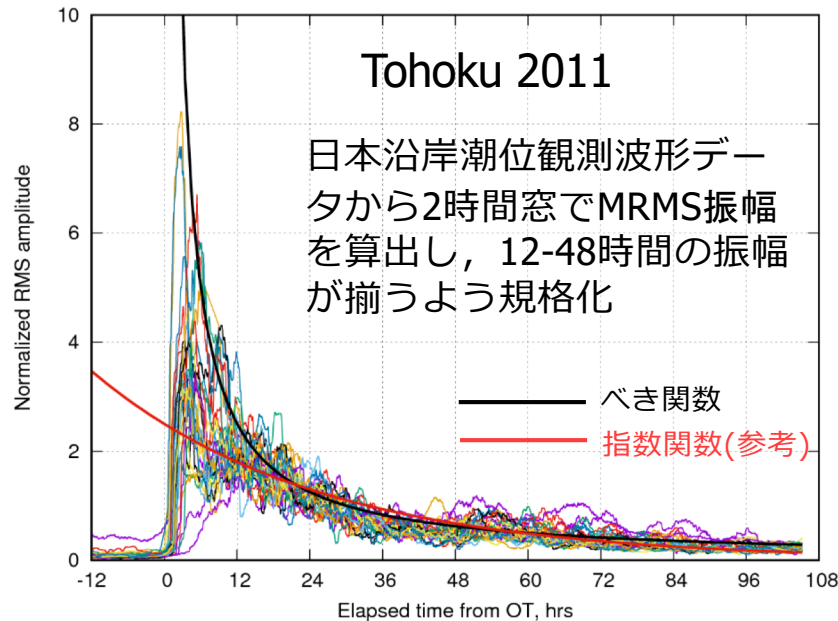
※1 沿岸潮位観測データの移動自乗平均振幅(MRMS振幅)の最大値が出現した後の時間推移

※2 MRMS振幅の最大値の3倍を起点とする，べき関数 $1/t$ によって，その後の時間推移を予測する

※3 最大値の発現後に急速に減衰し，その後は緩やかに減衰するような観測点等

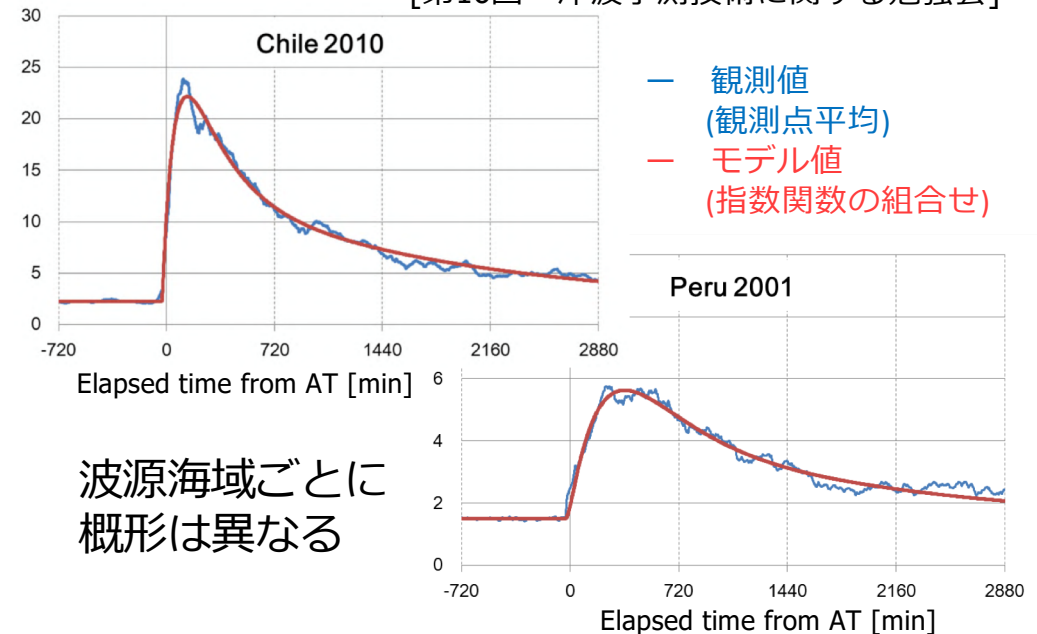
# 開発方針の検討: 観測データを改めて観察

## 近地津波



## 遠地津波

[第16回 津波予測技術に関する勉強会]



観測データ: 津波減衰の時間推移の概形はある関数で表現できる可能性

## 今回

津波減衰過程の時間推移の概形はある関数で表現し,  
観測値 (一定の窓幅) からは振幅係数のみを推定する手法を試みる

- ・ 現象としての「規模感」のみを観測データから推定
- ・ 用いる関数 → 近地: べき関数, 遠地: 指数関数

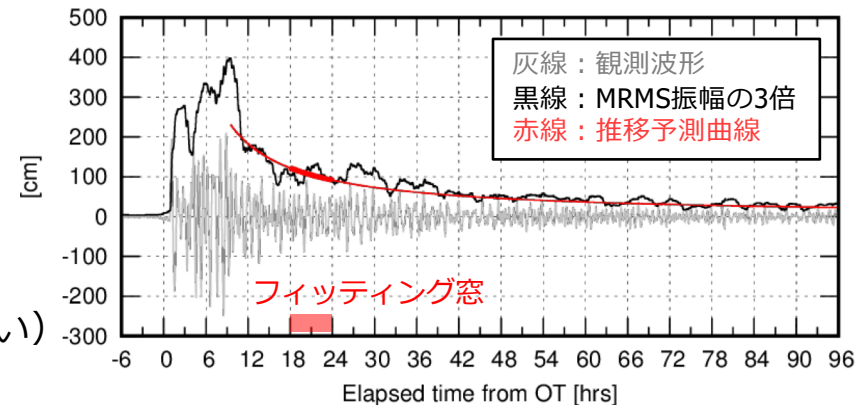
# 近地津波のデータ・予測手法

**データ** : 日本の太平洋沿岸の潮位観測点のデータ

**予測手法**: 1. 2時間の窓幅でMRMS振幅を計算  
2. フィッティング窓で3倍MRMS振幅に $1/t$ を当てはめて振幅係数を推定  
3. 上記2で求めた係数と $1/t$ を用いて推移予測曲線を算出

## 当てはめの方法

- ・  $t$ の乗数は-1で固定
- ・ 振幅係数のみ最小二乗法で推定
- ・ フィッティング窓幅は6時間  
(ただし、地震直後はまだ減衰段階ではないため、  
ここでは9時間以前のデータは当てはめに含めない)



## 提案手法の特徴

- ・ 関数を $1/t$ に固定するため、逆問題の未知数が減り、予測結果が安定しうる
- ・ 時系列に当てはめるため、予測結果がMRMS振幅の短周期変動に影響されにくい

## 提案手法の性能評価

- ・ 観点 1: 減衰の時間推移の全体像を復元できるか (手法の原理的な妥当性の確認)  
2: どの時点でどのくらいの精度で減衰を予測できるか (予測性能の評価)
- ・ 評価指標: 各基準高さの最終観測時刻\*と減衰見込み時刻 (100, 50, 20 cm)

※観測波形から当該時刻を読み取る際、所持データの終端付近の時刻を読み取った場合、それ以降に基準高さを上回る可能性があるため、そのような観測点は評価から外した。

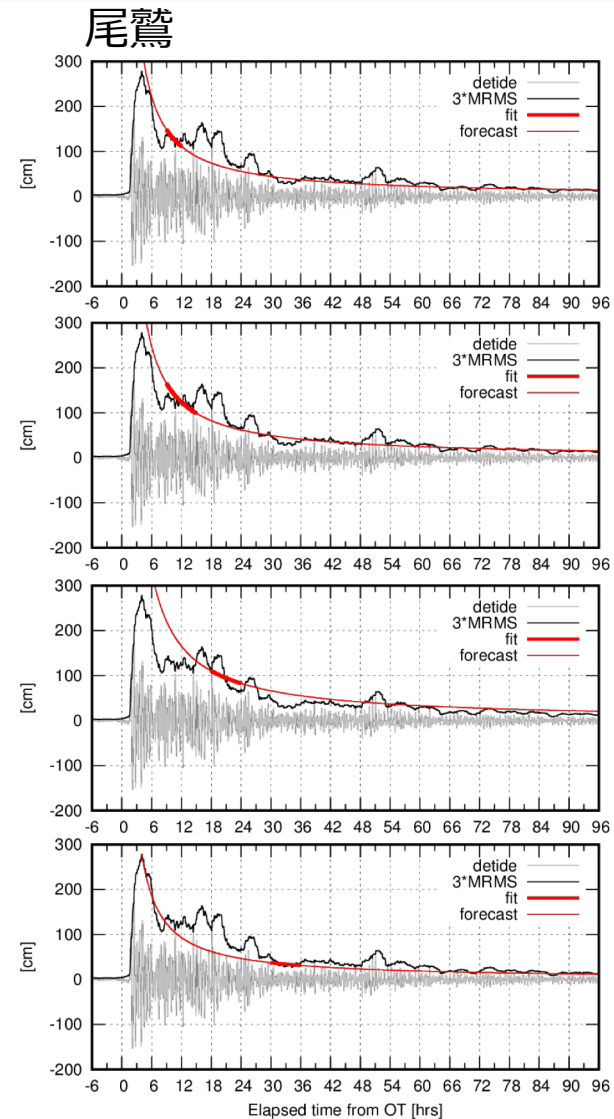
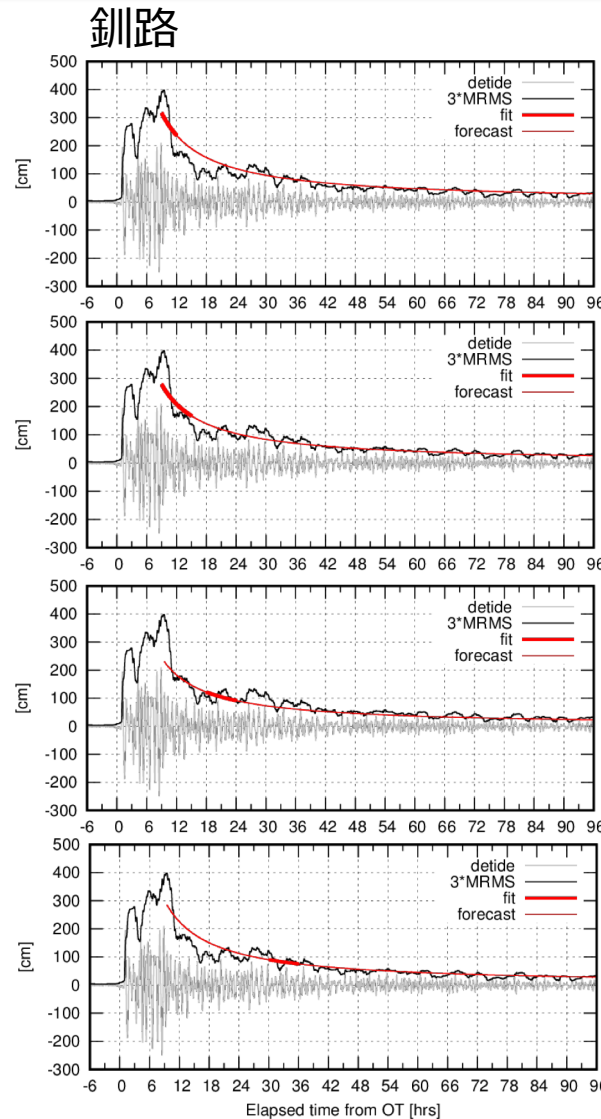
# 時間推移予測曲線の例（2011年東北地方太平洋沖地震）

12時間時点で予測  
(9-12時間データを使用)

15時間時点で予測  
(9-15時間データを使用)

24時間時点で予測  
(18-24時間データを使用)

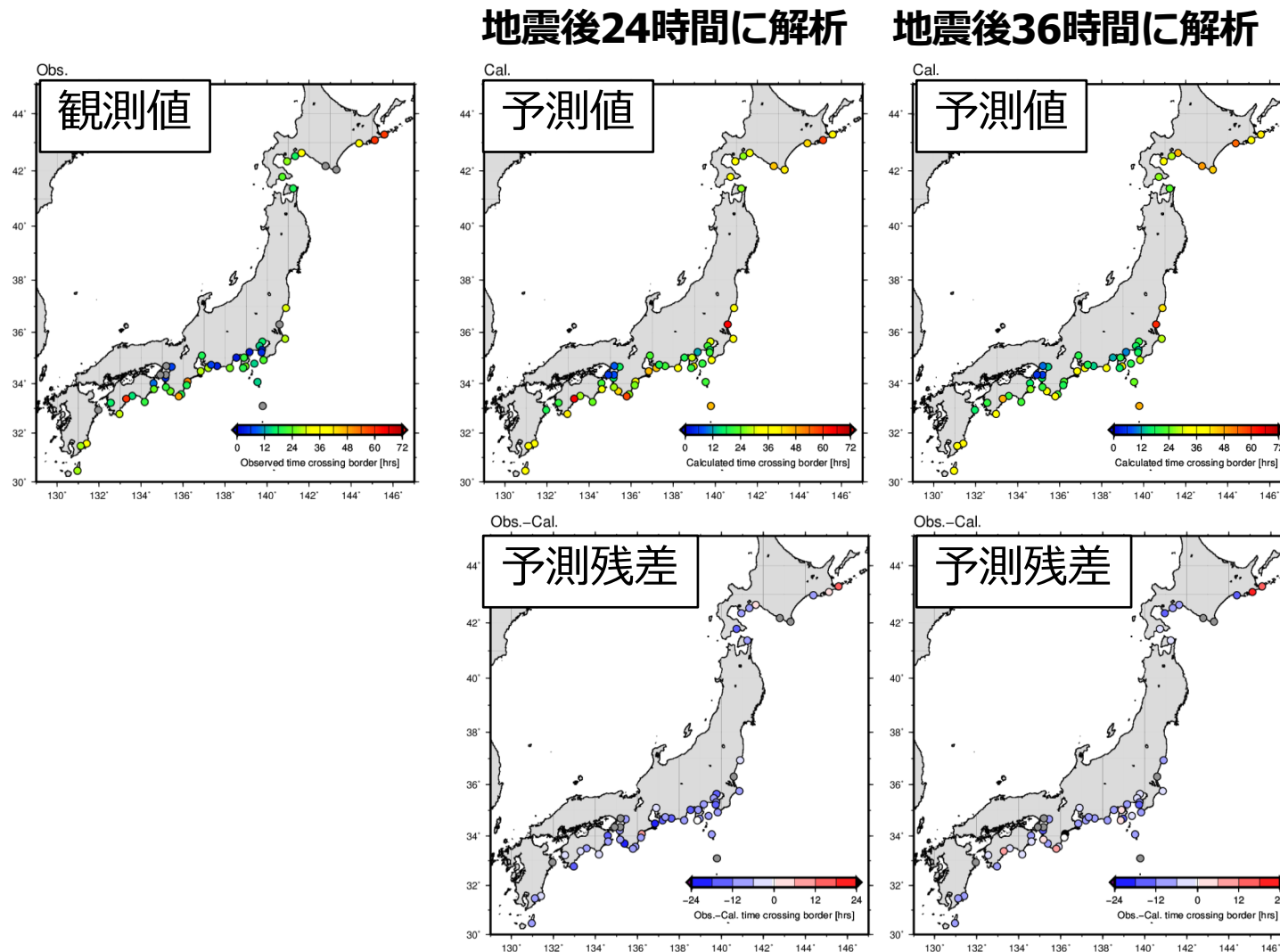
36時間時点で予測  
(30-36時間データを使用)



- ・観測波形の上限付近を概ね予測（例：釧路）
- ・後続波で高まる場合に早めの減衰見込み時刻を予測することもある（例：尾鷲）

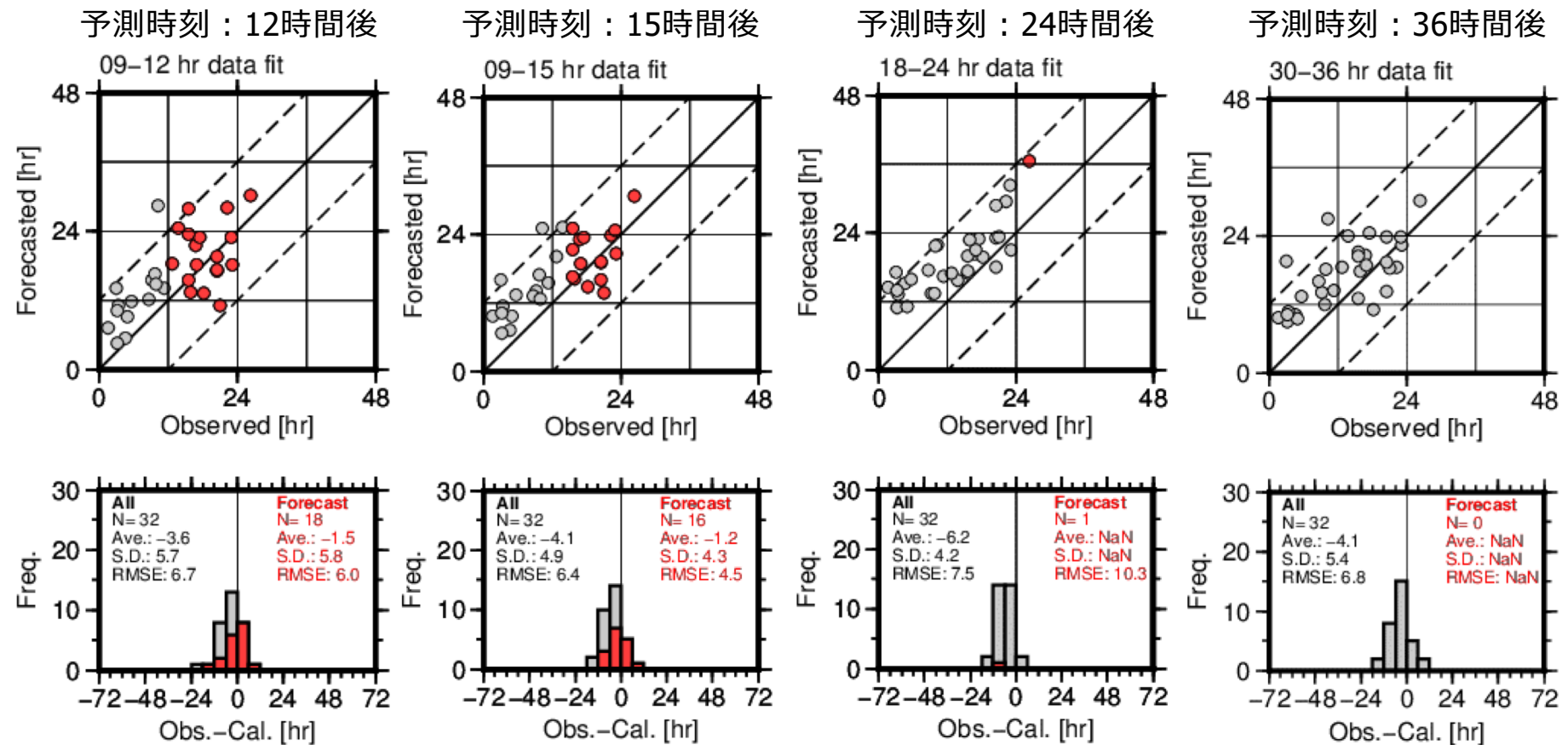
灰線：観測波形  
黒線：MRMS振幅の3倍  
赤線：推移予測曲線

# 最終観測時刻と減衰見込み時刻の空間分布 -- 基準の高さ: 50 cm



目立った地域性はなく、多くの観測点で  
12時間程度の誤差で収まっているように見える

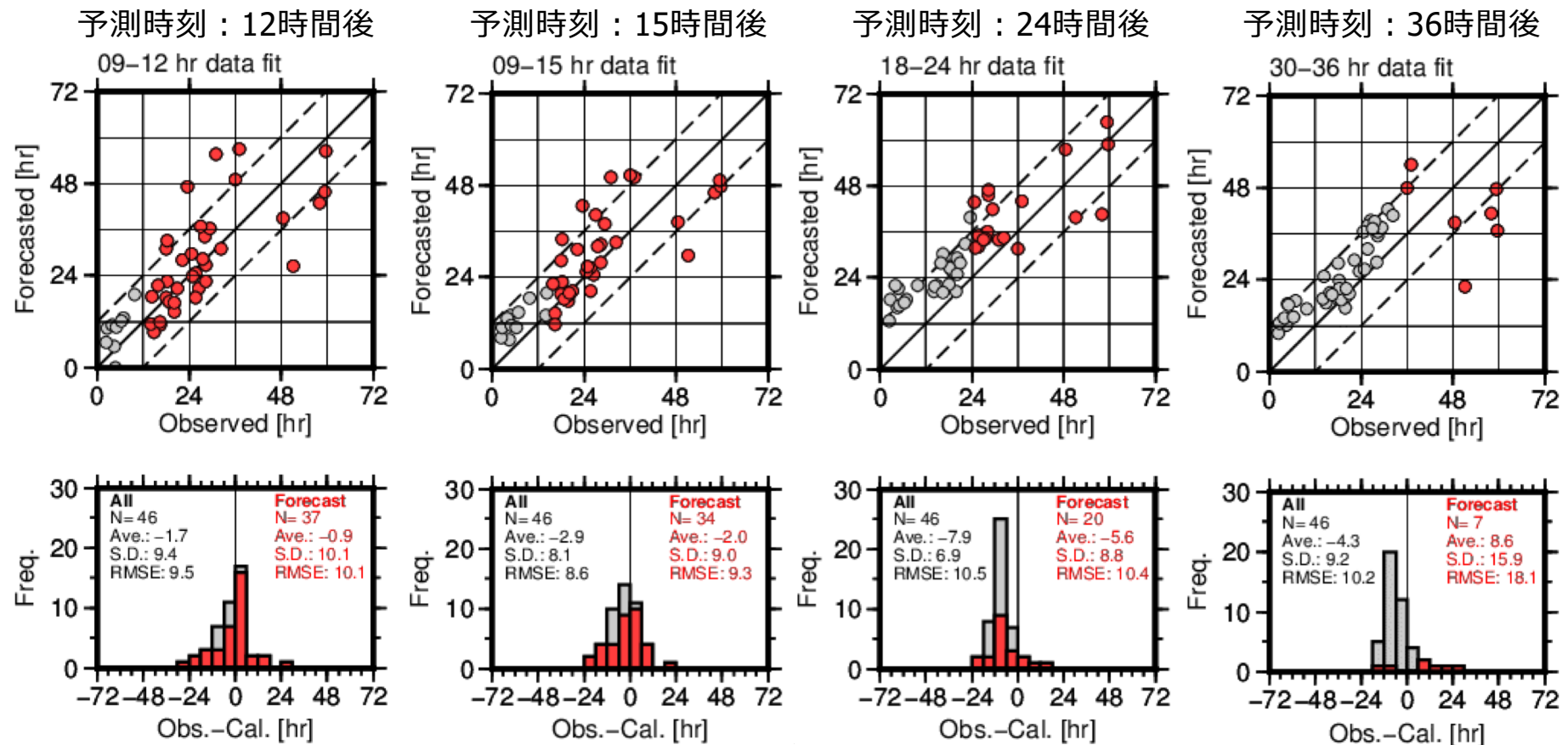
# 最終観測時刻と減衰見込み時刻の比較（基準の高さ: 100 cm）



灰色：予測時刻よりも過去 赤色：予測時刻よりも未来

- 解析に用いるデータ長が長くなると予測精度が向上し(12→15時間時点), 最終観測時刻の±12時間の減衰見込み時刻が得られる
- 大多数の観測点の減衰見込み時刻は, 最終観測時刻よりも遅い時刻で落ち着く.

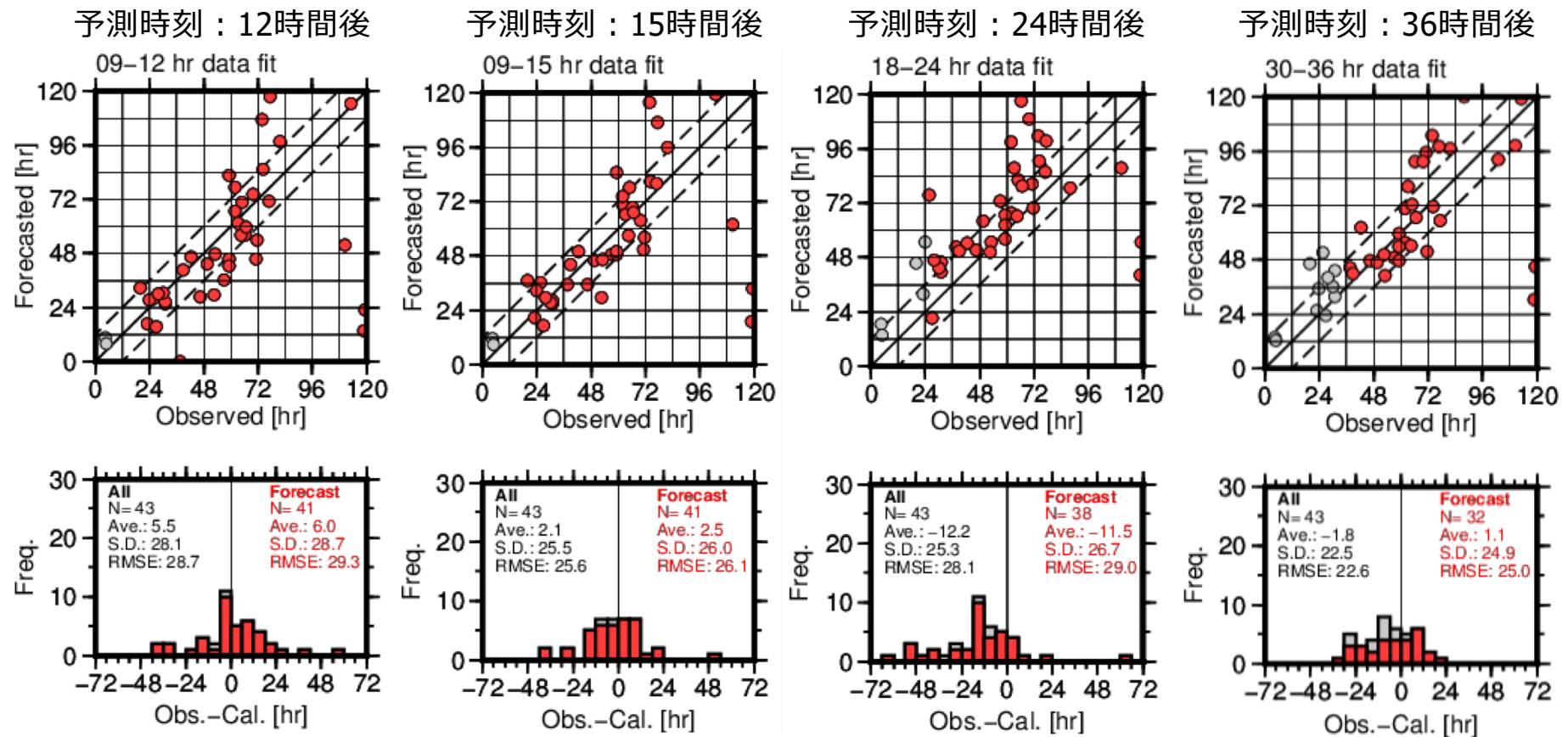
# 最終観測時刻と減衰見込み時刻の比較（基準の高さ: 50 cm）



灰色：予測時刻よりも過去 赤色：予測時刻よりも未来

- ・ 解析に用いるデータ長が長くなると予測精度が向上し(12→15時間時点), 最終観測時刻の±12時間の減衰見込み時刻が得られる
- ・ 大多数の観測点の減衰見込み時刻は, 最終観測時刻よりも遅い時刻で落ち着く.
- ・ 時間経過しても精度改善しない観測点もある

# 最終観測時刻と減衰見込み時刻の比較（基準の高さ: 20 cm）

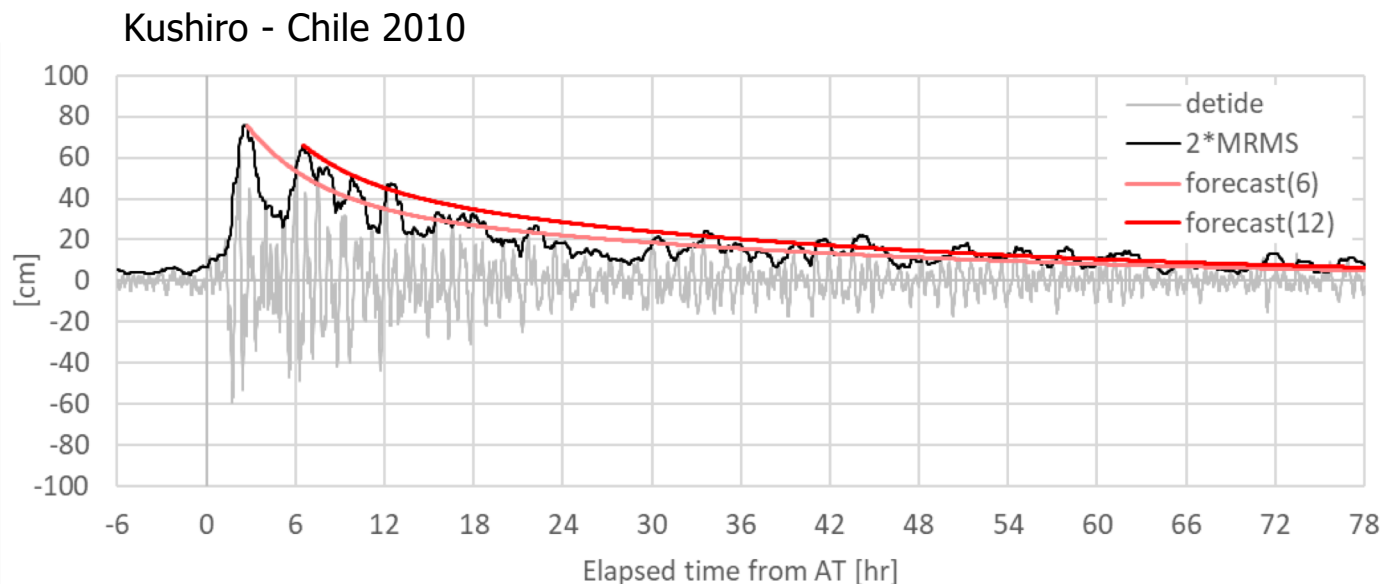


灰色：予測時刻よりも過去 赤色：予測時刻よりも未来

- ・ 解析に用いるデータ長が長くなると予測精度が向上するが(12→15時間時点), 最終観測時刻が遅い観測点の予測精度は改善がみられない。
- ・ 多くの観測点の減衰見込み時刻は, 最終観測時刻よりも遅い時刻で落ち着くが, 最終観測時刻よりも極端に早い観測点や遅い観測点もある。

# 遠地津波のデータ・予測手法

1. 64分間の窓幅でMRMS振幅を作成
2. 第1波到達から6時間後、及び12時間後の時点で、それまでのMRMS振幅  
極大値から推移予測曲線を算出、そのうち最大予測となる推移予測曲線を選択
3. 評価指標：基準の高さ (50 cm, 20 cm)を最後に下回る時刻



推移予測曲線：平均的なMRMSの増加・減衰過程を近似する3つの指数関数の組のうち、減衰過程を表現する2つの指数関数の組で表現。時定数は近似モデルとして求めた値 (t=275分、t=2200分) を使用

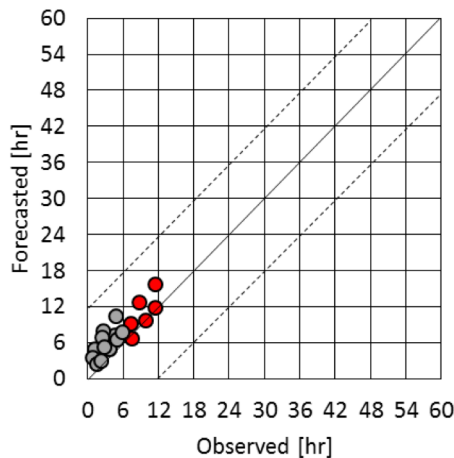
# 遠地津波(1): 2010年チリ中部沿岸の地震津波

## 2つの指数関数の組で減衰過程を表現

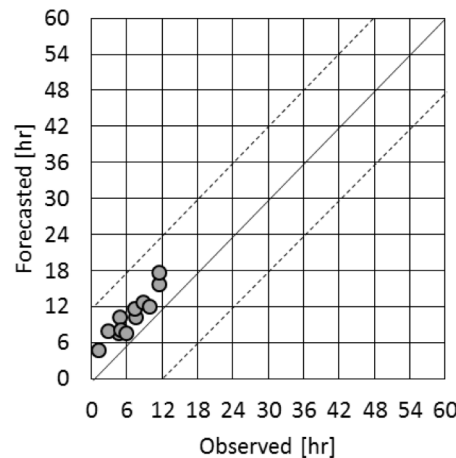
50 cmの津波高さを下回る時刻の予測結果

20 cmの津波高さを下回る時刻の予測結果

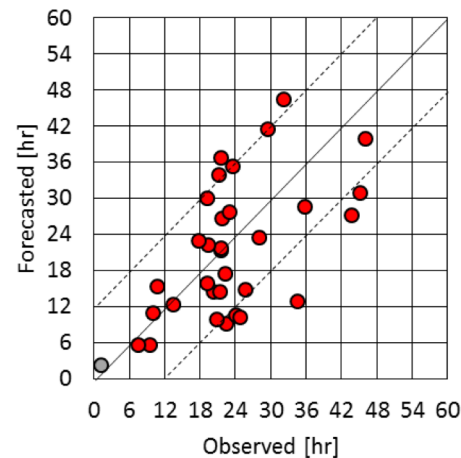
予測時刻：6時間後



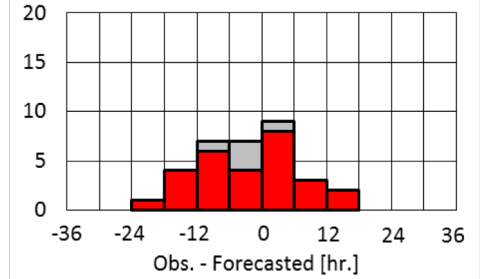
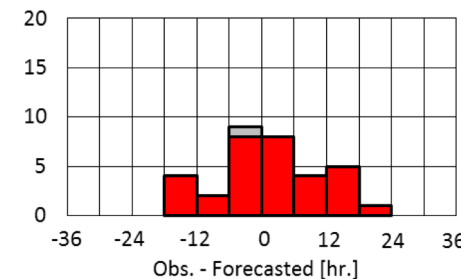
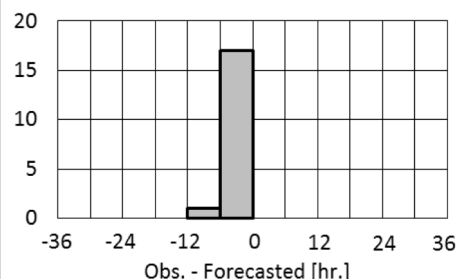
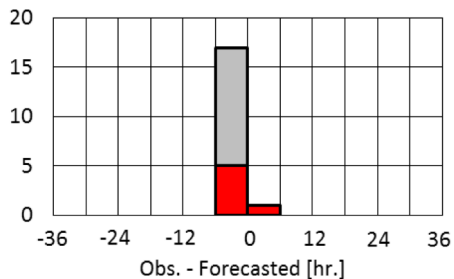
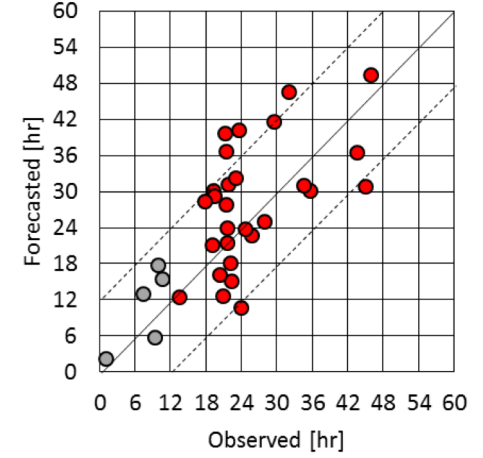
予測時刻：12時間後



予測時刻：6時間後



予測時刻：12時間後



All  
N=18  
Ave.: -2.4  
S.D.: 1.8  
RMSE: 3.0

Forecast  
N=6  
Ave.: -1.7  
S.D.: 2.0  
RMSE: 2.6

All  
N=18  
Ave.: -3.3  
S.D.: 1.6  
RMSE: 3.7

All  
N=33  
Ave.: 1.7  
S.D.: 9.5  
RMSE: 9.7

Forecast  
N=32  
Ave.: 1.7  
S.D.: 9.7  
RMSE: 9.8

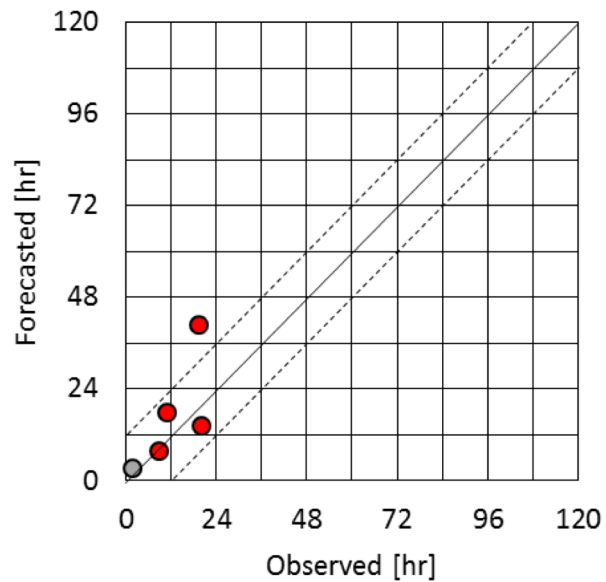
All  
N=33  
Ave.: -2.5  
S.D.: 8.4  
RMSE: 8.8

Forecast  
N=28  
Ave.: -2.4  
S.D.: 9.0  
RMSE: 9.3

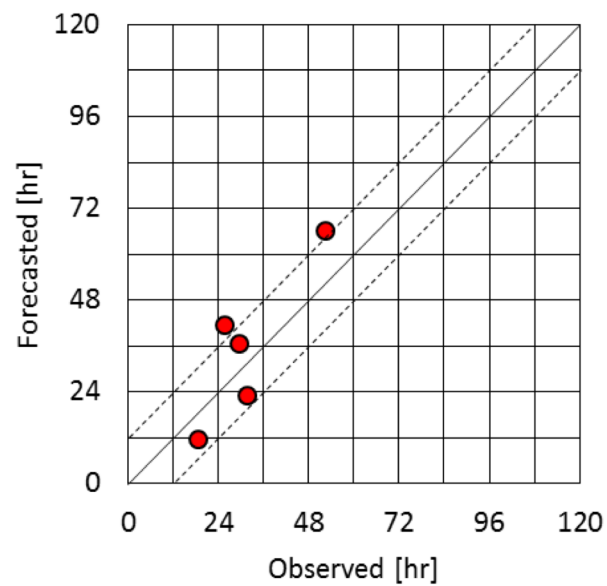
# 遠地津波(2): 1960年チリ沖の地震津波

## 第1波到達から6時間後の予測結果

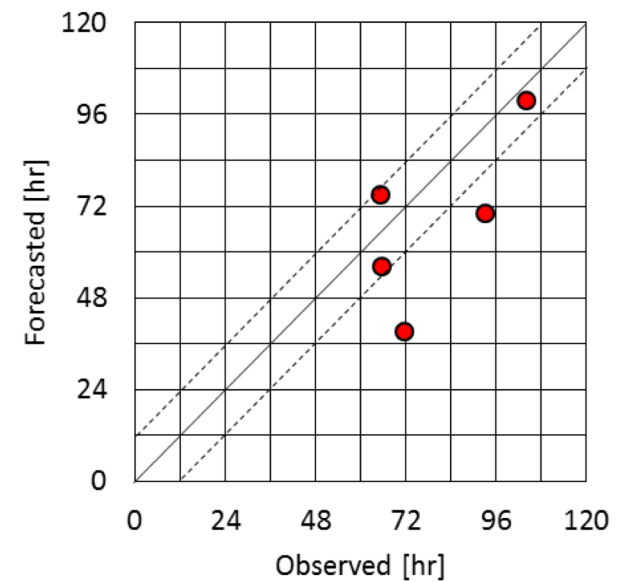
100 cmを下回る時刻の予測結果



50 cmを下回る時刻の予測結果



20 cmを下回る時刻の予測結果



## 考察とまとめ

- ・ 津波の時間推移を予測するための簡便かつ安定した手法として、減衰過程を表現する関数を事前に定めて、倍率のみを観測データから推定する手法を提案した.
- ・ 近地津波 (2011年東北地方太平洋沖地震の事例)
  - 地震発生後の一定時間経過後に、多くの観測点において、津波警報等の基準である高さの最終観測時刻の $\pm 12$ 時間の範囲で、減衰見込み時刻が得られる可能性が示唆された
  - 実際の最終観測時刻よりも減衰見込み時刻が早くなることもある.  
対応策としては、それまでに得た複数の解析（窓幅，解析実施時刻）に基づく減衰見込み時刻のうち最遅のものを予想値として採用する，などが考えられる.
- ・ 遠地津波 (2010年チリ中部沿岸の地震の事例)
  - 日本への津波到達後6時間時点で、6時間程度の範囲で基準高さを下回る時刻を推定できる可能性が示唆された. ただし、これは、この津波の最大波発現時刻が6時間以内となることにも起因しており、異なる海域(ペルー等)で発生する等最大波発現が遅くなるような地震について同等の精度で推定するためには、さらに時間を要することになる.