

観測値に基づく 津波の減衰予測

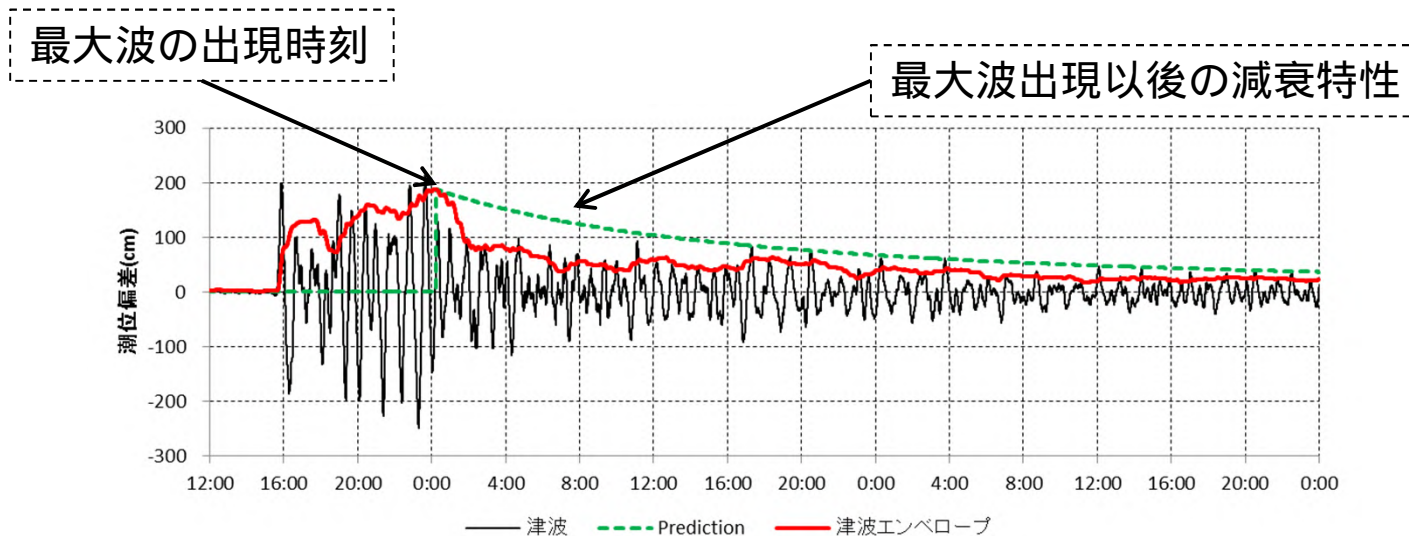
(1)近地津波

気象庁 地震火山部 地震津波監視課

津波の減衰を予測する目的

- 津波の継続時間、津波警報等の解除の見込みを提供し、防災対応に資する。
- 特に長時間にわたって津波警報等が発表される巨大地震や遠地地震では、必要とされる
 - 平成23年3月11日東北地方太平洋沖地震
 - 発表 3月11日 14時49分 全解除 3月13日 17時58分
 - 平成22年2月27日チリ中部沿岸の地震
 - 発表 2月28日 09時33分 全解除 3月1日 10時15分

減衰予測に必要な要素



移動自乗平均、津波コーダ、津波エンベロープの定義 (林・他(2009))より

計算・観測値の平滑化

津波エンベロープとして、窓幅2時間の移動自乗平均の $\sqrt{2}$ 倍を使う。

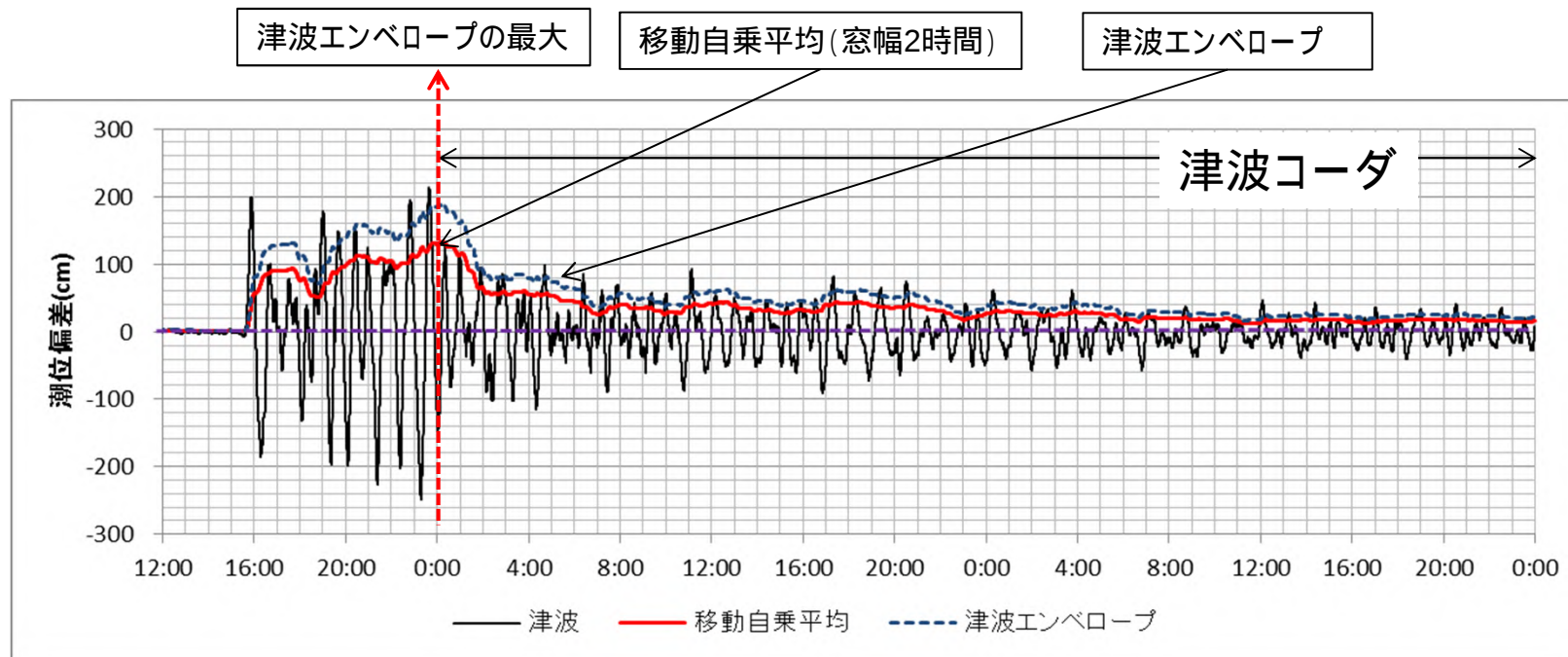
$$M(t) \equiv \sqrt{\frac{1}{w} \int_{t-\frac{w}{2}}^{t+\frac{w}{2}} h(x)^2 dx}$$

$M(t)$: 移動自乗平均 (MRMS) 振幅

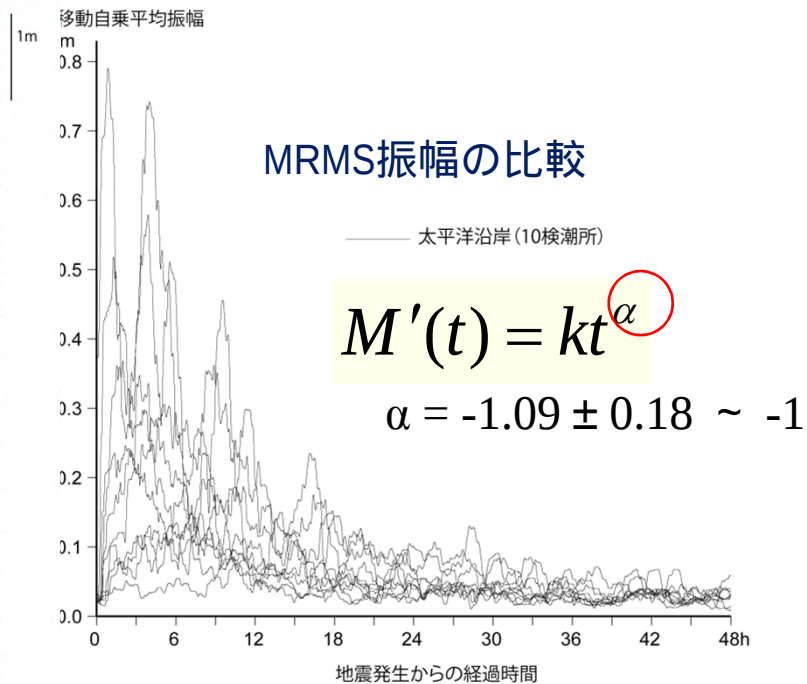
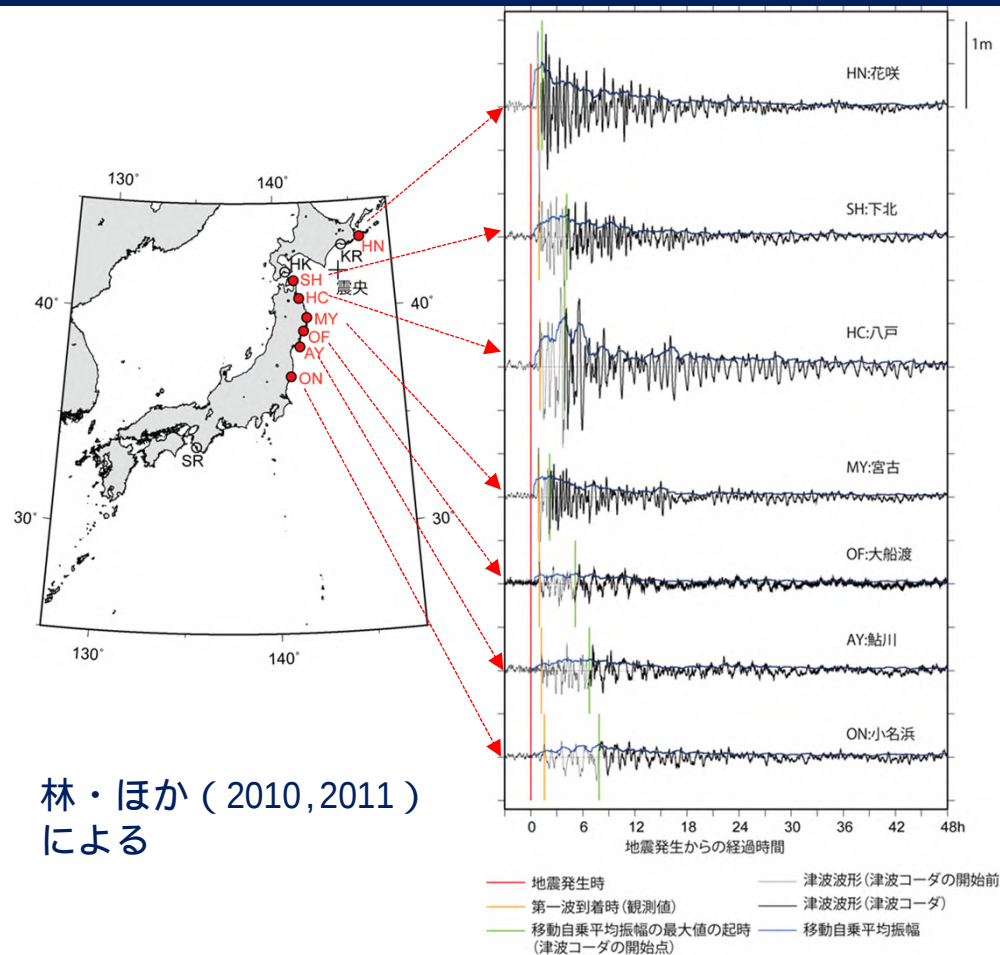
$h(t)$: 津波の時系列

w : 移動平均の窓幅 (今回の検討では2時間)

$$\text{津波エンベロープ} = \sqrt{2}M(t)$$



近地津波のMRMS振幅の例 (2003年十勝沖地震による津波)



他の近地津波の減衰パラメータ

地震発生日	震源	α
2003.9.26	十勝南東沖	-1.09 ± 0.18
2004.9.5 19:07	紀伊半島南東沖	-0.73 ± 0.05
2004.9.5 23:57	紀伊半島南東沖	-1.09 ± 0.39
2007.3.25	能登半島沖	-1.07

近地津波で減衰中のMRMS振幅は、概ね地震からの経過時間に反比例すると近似できそう

遠地津波のMRMS振幅の例

MRMS振幅は時間経過と共に指数関数的に減少

太平洋側：観測点による減衰時定数 τ の違いが小

遠地津波のMRMS振幅の減衰過程は、太平洋側では、共通の時定数の指数関数に近似できそう

$$M'(t) = ke^{-t/\tau}$$

移動自乗平均(MRMS)振幅

$$M(t) \equiv \sqrt{\int_{t-w/2}^{t+w/2} h(x)^2 dx} / w$$

遠地津波の減衰パラメータの例

地震発生日	震源	太平洋側の τ
2001.6.24	ペルー沿岸	22.9 ± 4.8 (h)
2003.11.17	アリューシャン列島	23.8
2006.11.15	千島列島東方沖	20.1 ± 3.3
2007.1.13	千島列島東方沖	19.1 ± 4.0
2007.8.16	ペルー沖	20.4

近地津波のMRMS振幅の例

近地津波で減衰中のMRMS振幅は、概ね地震からの経過時間に反比例すると近似できそう

$$M'(t) = kt^{\alpha}$$

近地津波の減衰パラメータ

地震発生日	震源	α
2003.9.26	十勝南東沖	-1.09 ± 0.18
2004.9.5 19:07	紀伊半島南東沖	-0.73 ± 0.05
2004.9.5 23:57	紀伊半島南東沖	-1.09 ± 0.39
2007.3.25	能登半島沖	-1.07

津波コードの減衰予測に関する林(2010)の方法

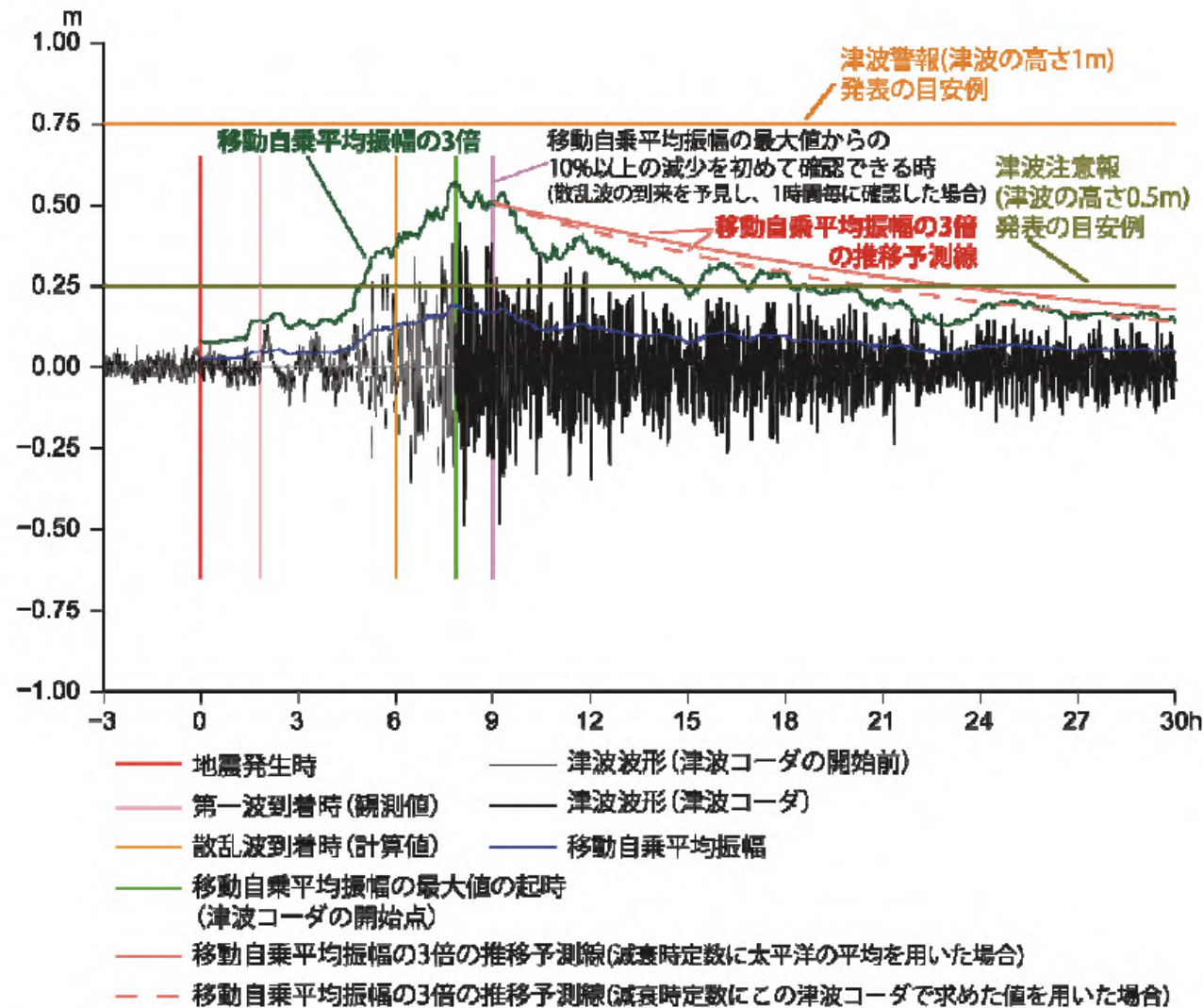
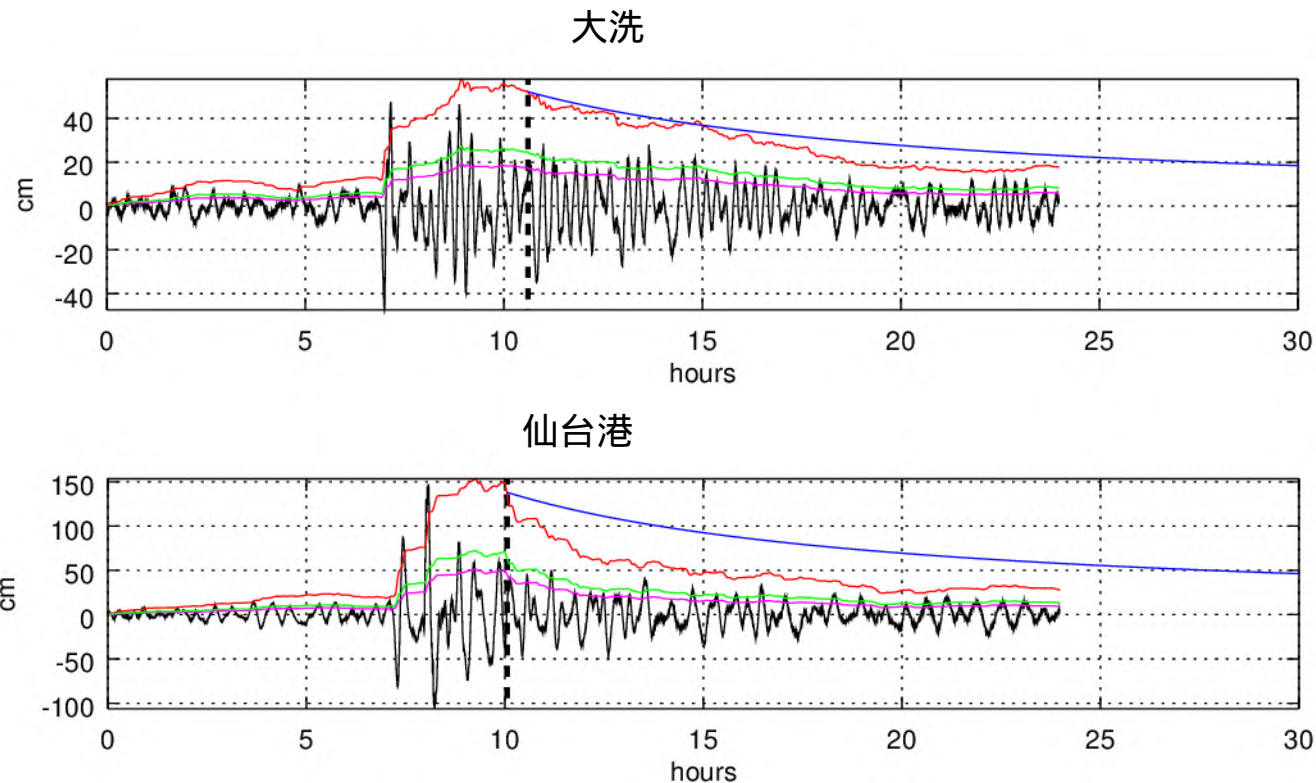


図8 移動自乗平均(MRMS)振幅の近似関数と無次元化津波振幅(NDA)のばらつきを併用した最大津波振幅の推定と津波監視への活用方法例.

林(2010)の方法を福島県沖の地震(2016/11/22)に適用

- $\alpha=-1.0$ として、最大波出現後、最大値の10%減衰したときに減衰曲線を推定。
- 林(2010)では、減衰過程での津波振幅は、移動自乗平均の3倍を超えることは稀である。3倍した曲線から継続時間を推定している。



青: 予測曲線
緑: 津波エンベロープ
赤紫: 移動自乗平均
赤: 移動自乗平均の3倍

林(2010)の方法の課題

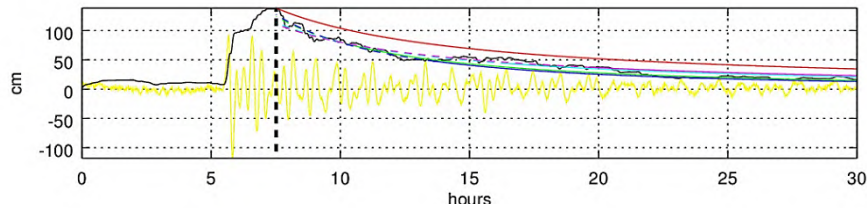
$\alpha=-1.0$ というひとつのパラメータとすると過大傾向となる場合がある。
津波の最大の高さの出現時期を特定することが観測だけでは困難。

課題 あらかじめ決めたひとつのパラメータでは、過大傾向になる

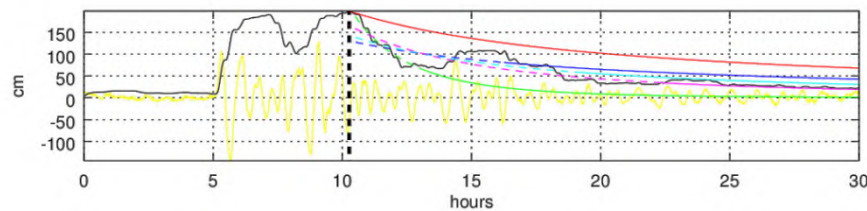
- 減衰のパラメータを実際の観測データから求めることは可能か。
- そのために必要な観測データの長さは何時間か。

2003年十勝沖地震

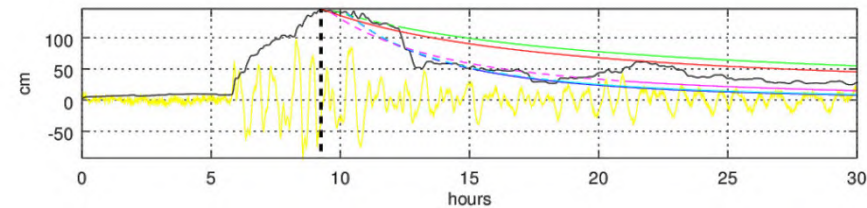
根室花咲



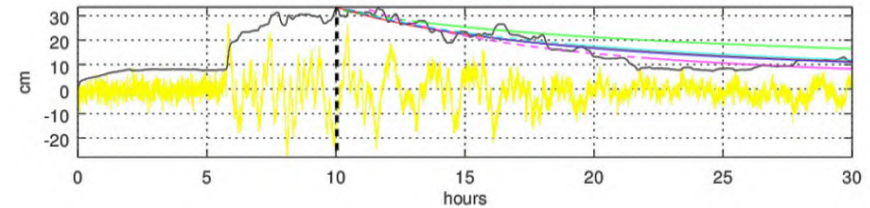
釧路



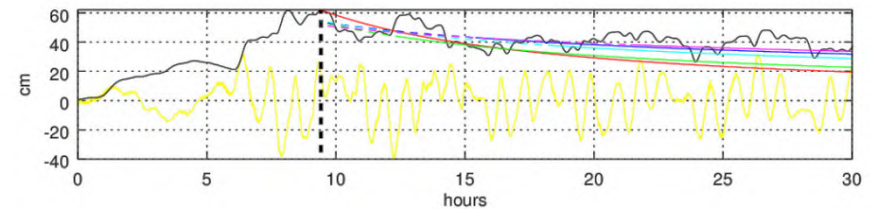
八戸



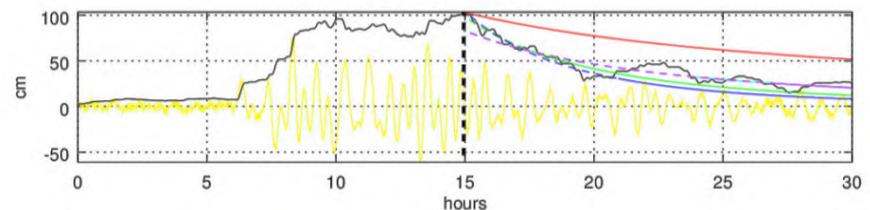
大船渡



室蘭



函館

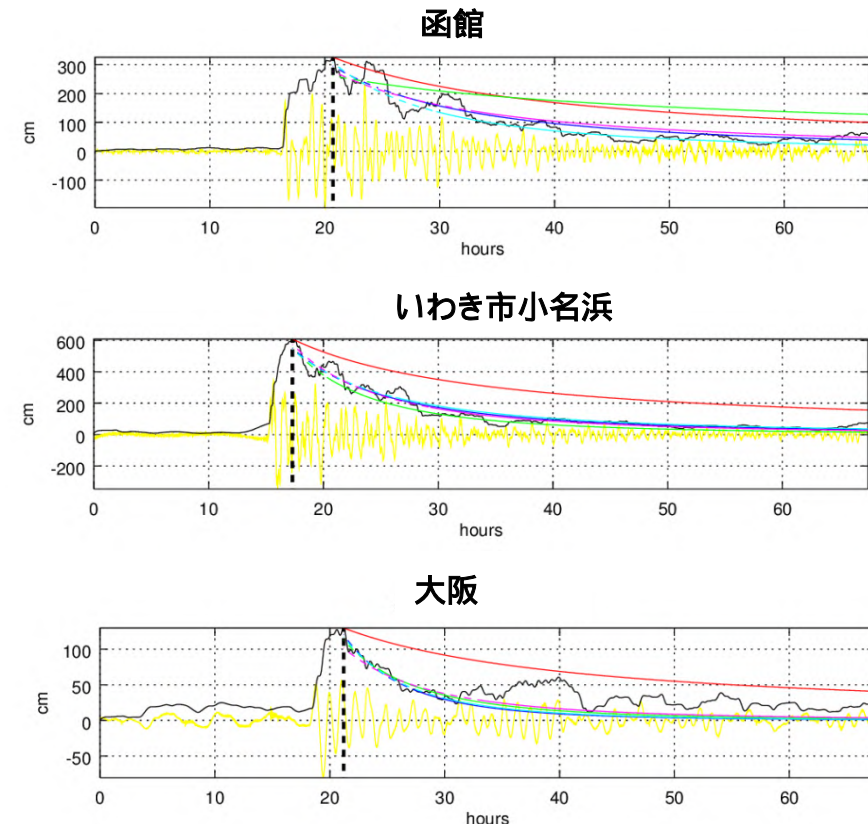
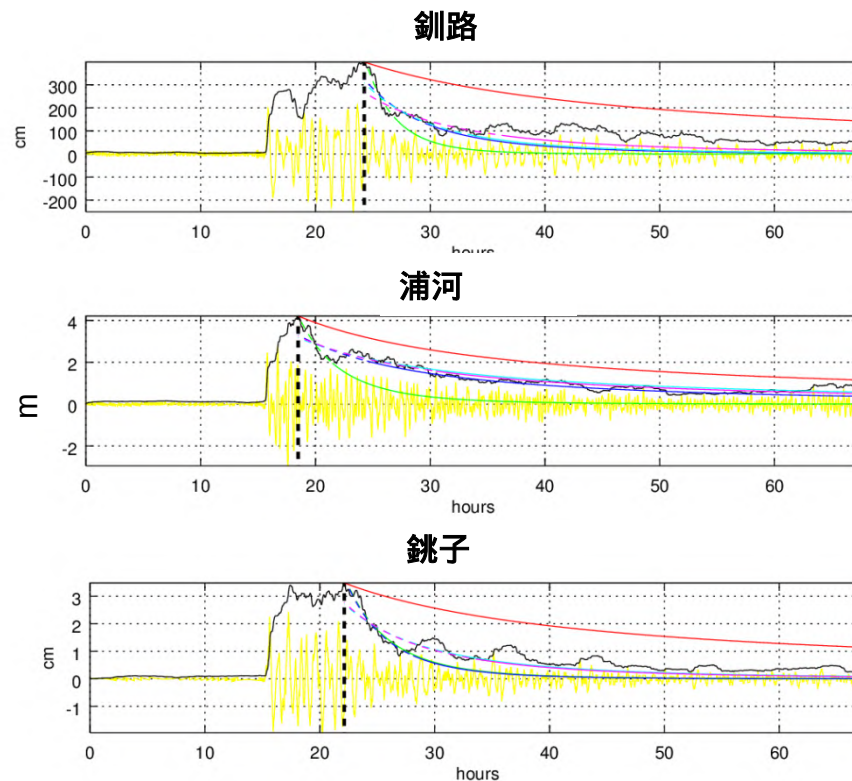


黄: 津波
黒: 移動自乗平均の3倍
赤: 林(2010)の予測曲線

パラメータを求めたデータ長
緑: 3時間
青: 6時間
水色: 9時間
赤紫: 12時間

課題 過去の観測結果に基づいて決めたパラメータでは、過大傾向になる

東北地方太平洋沖地震



- a) 減衰のパラメータを実際の観測データから求めることは可能か。
- b) そのために必要な観測データの長さは何時間か。

減衰のパラメータを実際の観測データから求めることができる場合もあるが、必要な観測データの長さは観測点や津波によって異なる。銚子、大阪のようにすべて過小になる場合がある。

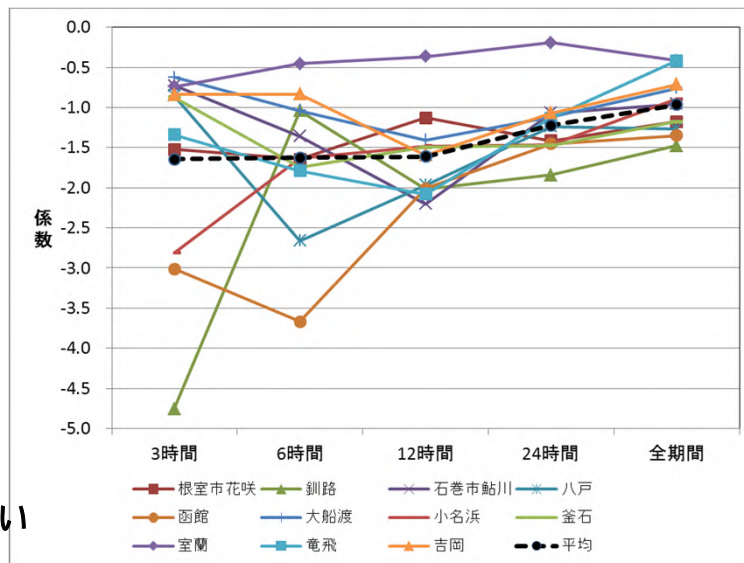
減衰式のパラメータのデータ長の依存性

減衰を予測する式 ($M'(t) = kt^\alpha$) のパラメータ α の値推定のデータ長による α の変化を調べた。

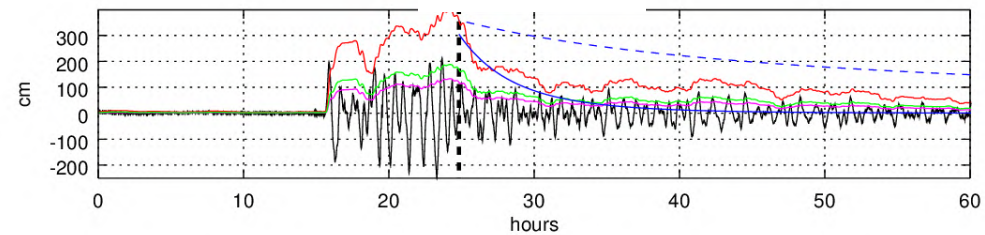
2003年十勝沖地震

減衰遅い

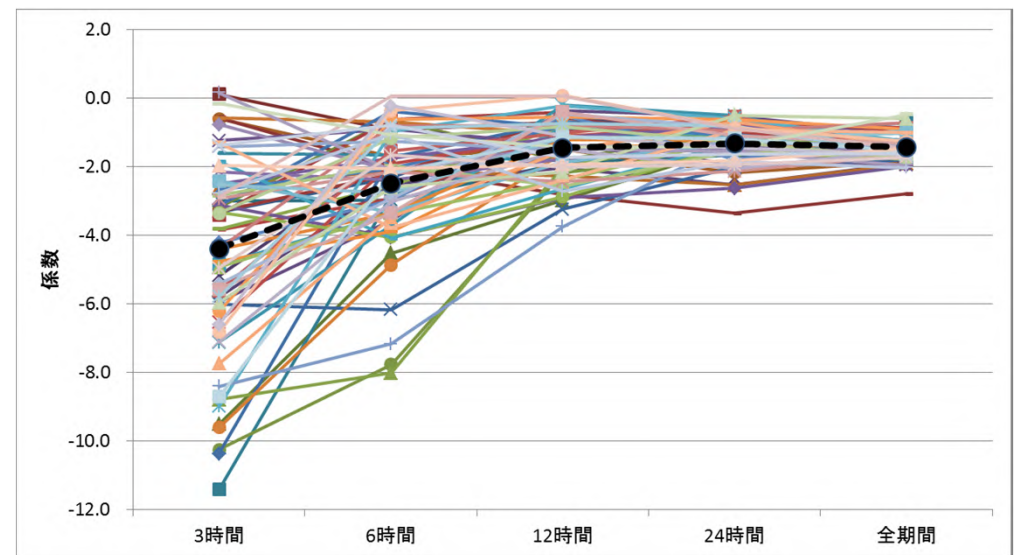
減衰早い



釧路



東北地方太平洋沖地震

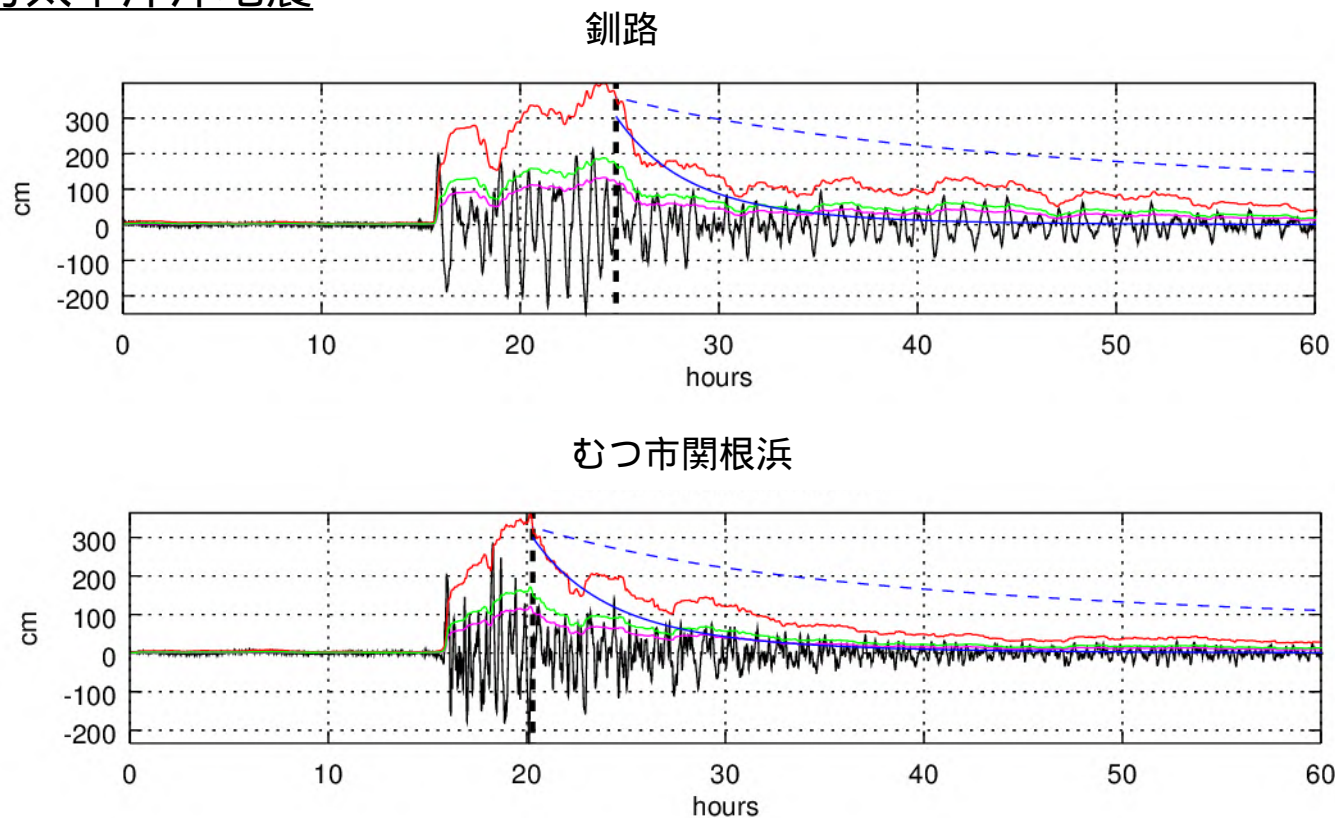


横軸: 係数 α を求めるための最大波出現時刻からの時間
黒点線: 平均値

減衰予測が過大、過小となる理由

- 前半部分の減衰の早い部分と後半の減衰の遅い部分に分かれる。
 - 津波波形全体で決めたパラメータでは、過大予測となる
- 前半部分の減衰の早い部分でパラメータを決めると後半部では過小評価となる。
 - Nyland and Huang(2014)の方法を近地津波にも適用できないかを検討。

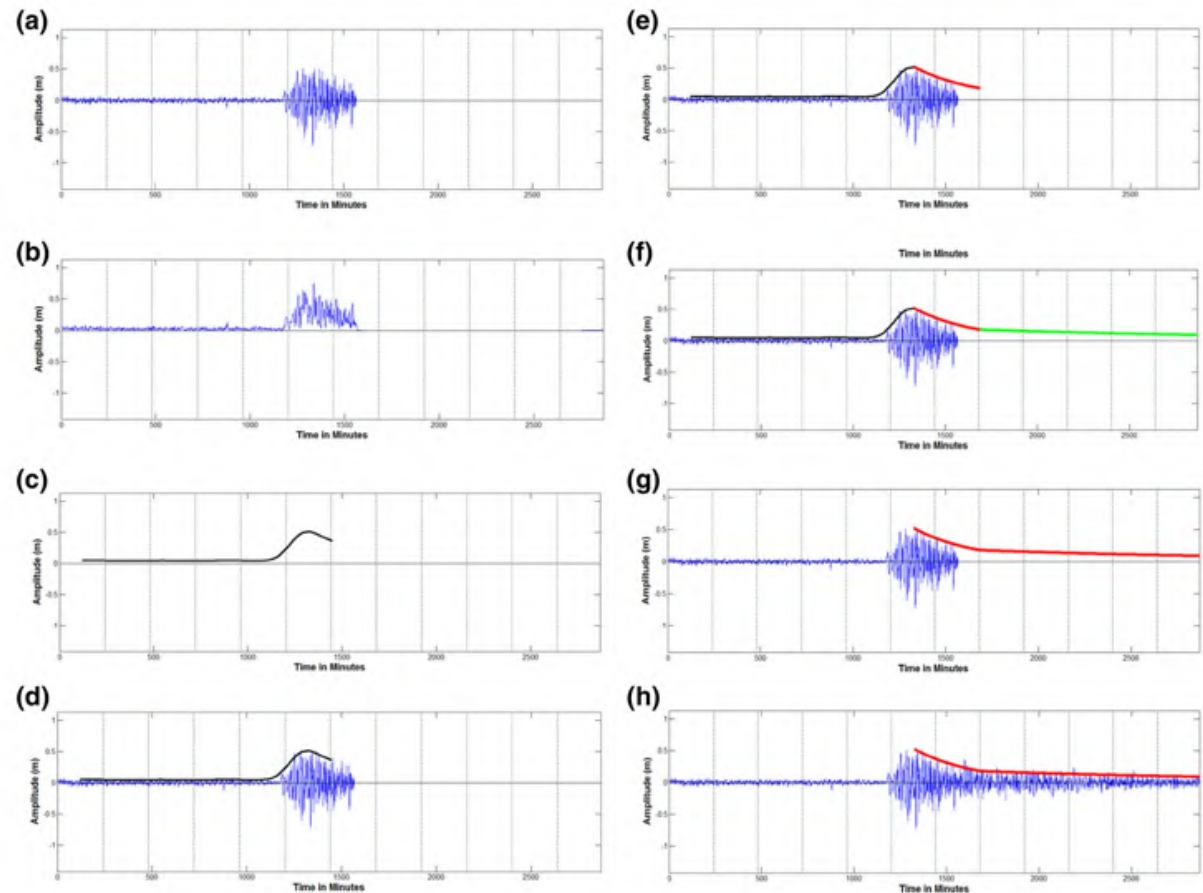
東北地方太平洋沖地震



青: 予測曲線, 青点線: 林(2010)の予測曲線, 緑: 津波エンベロープ, 赤紫: 移動自乗平均, 赤: 移動自乗平均の3倍

Nyland and Huang(2014)の方法の概要

- a. 津波波形
- b. Hilbert変換を用いたエンベロープ
- c. 2時間移動平均エンベロープ
- d. a+c
- e. 最大値から2時間分の観測データから求めた減衰を4時間外挿
- f. その後を既定の減衰定数で外挿
- g. 減衰予測曲線
- h. 減衰予測曲線と実際のデータ



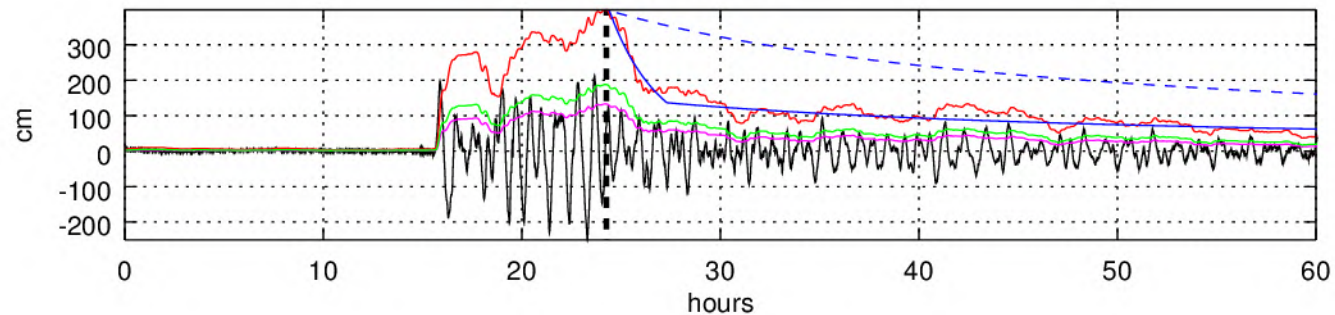
近地津波についても、前半部分は観測データからパラメータを推定し、後半部分は決められたパラメータのべき関数型の2段階で表現することはできないか。

減衰形式を2段階で表現

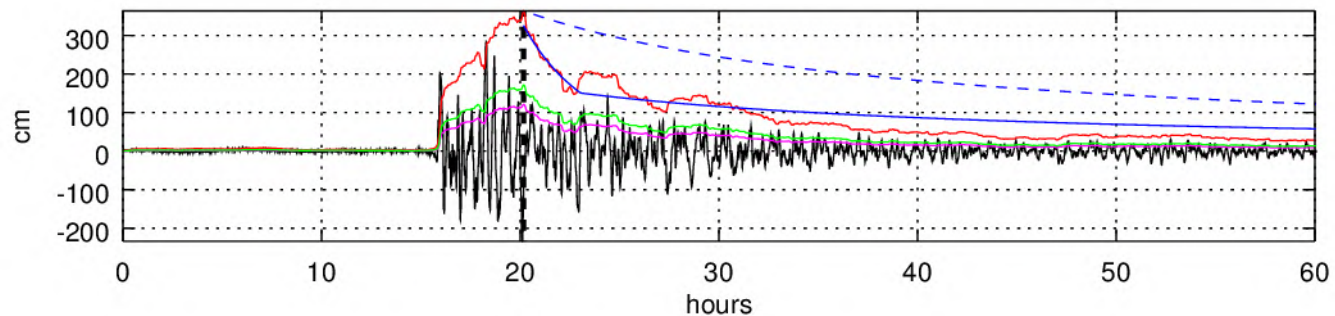
- 近地津波についても前半部分は観測データ(3時間)からパラメータを推定し、後半部分はあらかじめ決めたパラメータのべき関数型($1/t$)の2段階で表現する。
- 前半部分の予測(観測データによる予測: 実線)と移動自乗平均の3倍の曲線(赤実線)との比が0.8を下回ったところから後半部分とする

東北地方太平洋沖地震

釧路



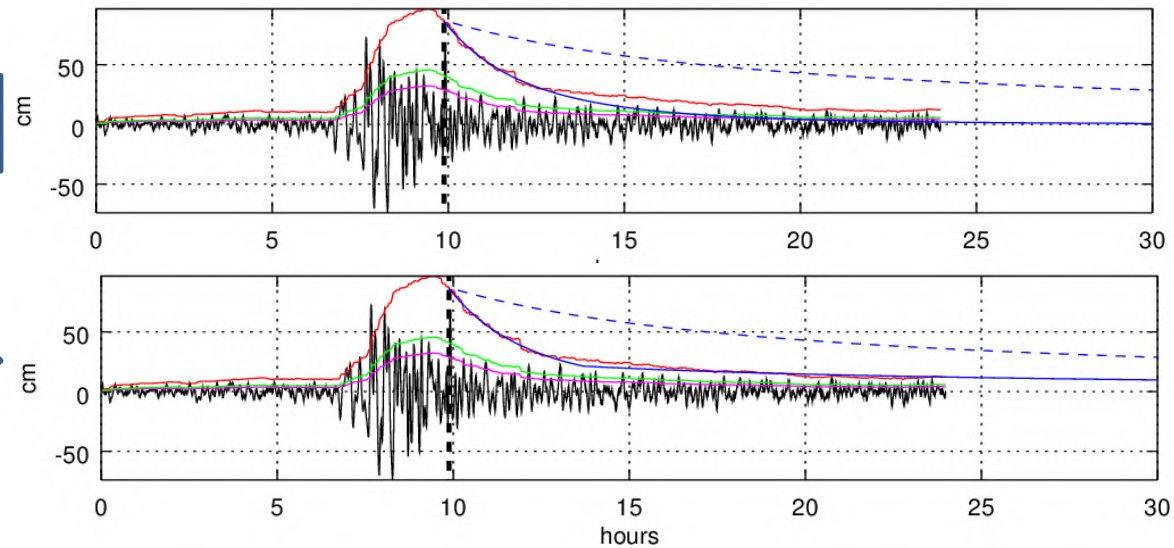
むつ市関根浜



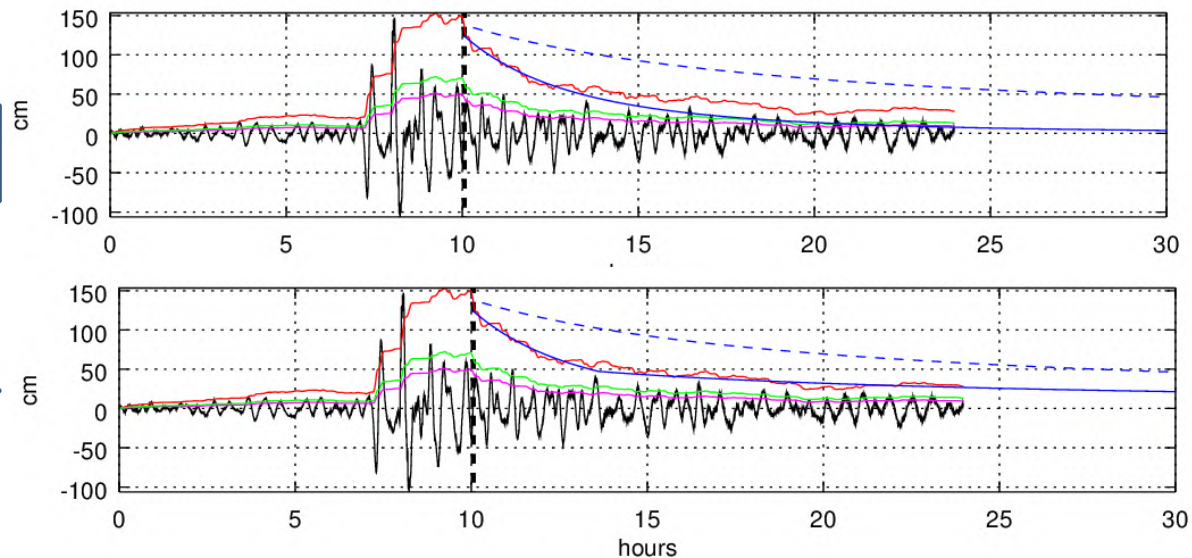
青: 予測曲線, 青点線: 林(2010)の予測曲線, 緑: 津波エンベロープ, 赤紫: 移動自乗平均, 赤: 移動自乗平均の3倍

11月22日 福島県沖の地震

石巻市鮎川



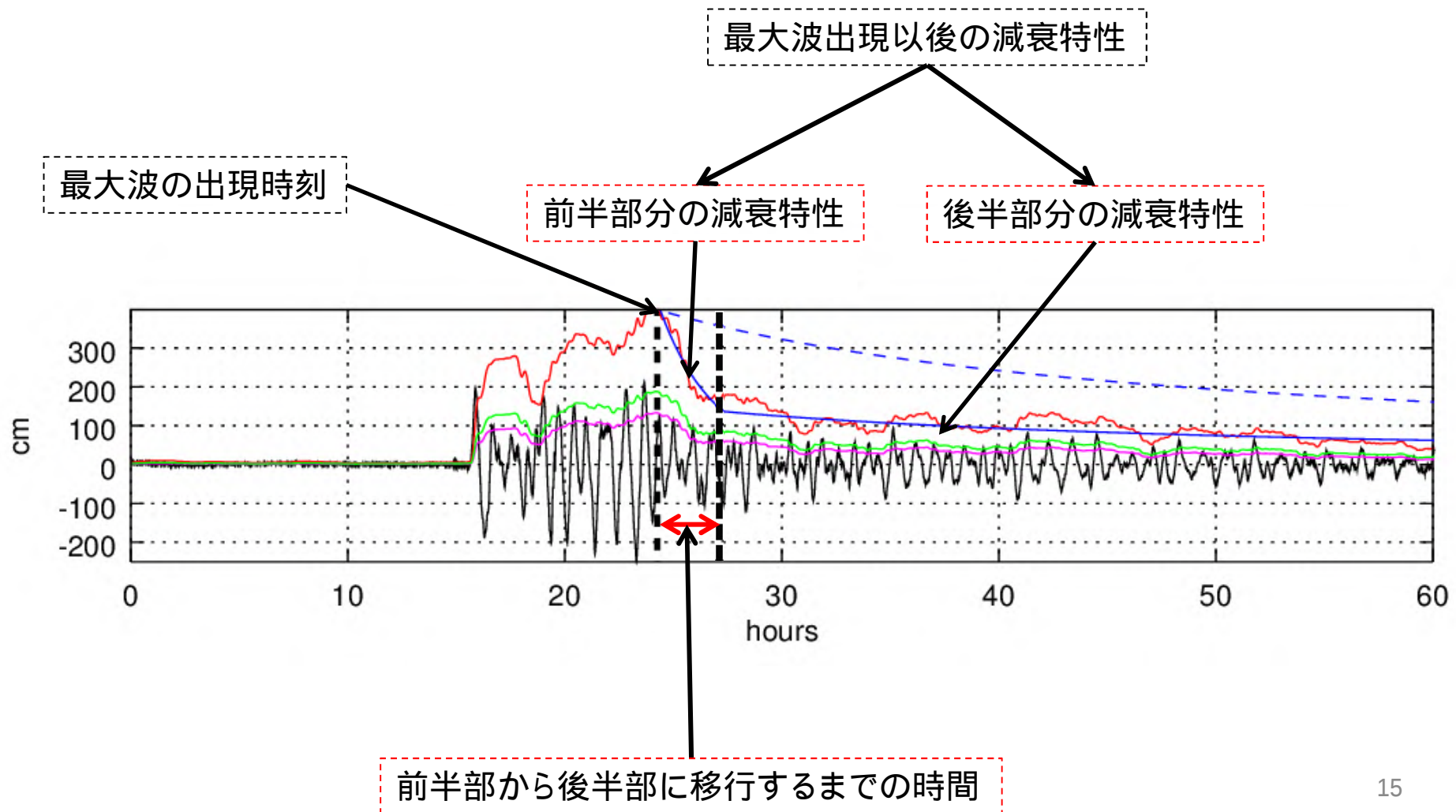
仙台港



青: 予測曲線, 青点線: 林(2010)の予測曲線, 緑: 津波エンベロープ, 赤紫: 移動自乗平均, 赤: 移動自乗平均の3倍

近地津波の減衰予測に必要な要素

- 津波の減衰予測の精度を向上させるためには、以下の赤点線の要素も予測する必要がある。



課題 : 津波の最大の高さの出現時期及び前半部から後半部に移行するまでの時間の特定

—: 震源時 —: 計算 (50 m) —: 計算 (450 m)
—: 観測 —: 計算 (150 m) —: 計算 (1350 m)

課題 に対して、シミュレーションの活用可能性を検討

2016年11月22日福島県沖の地震による津波に対する様々な格子サイズのシミュレーションによるエンベロップと観測との比較 (資料1-2より抜粋)

最大波以降について、波形ではなくエンベロップなら精度よく予測できるか

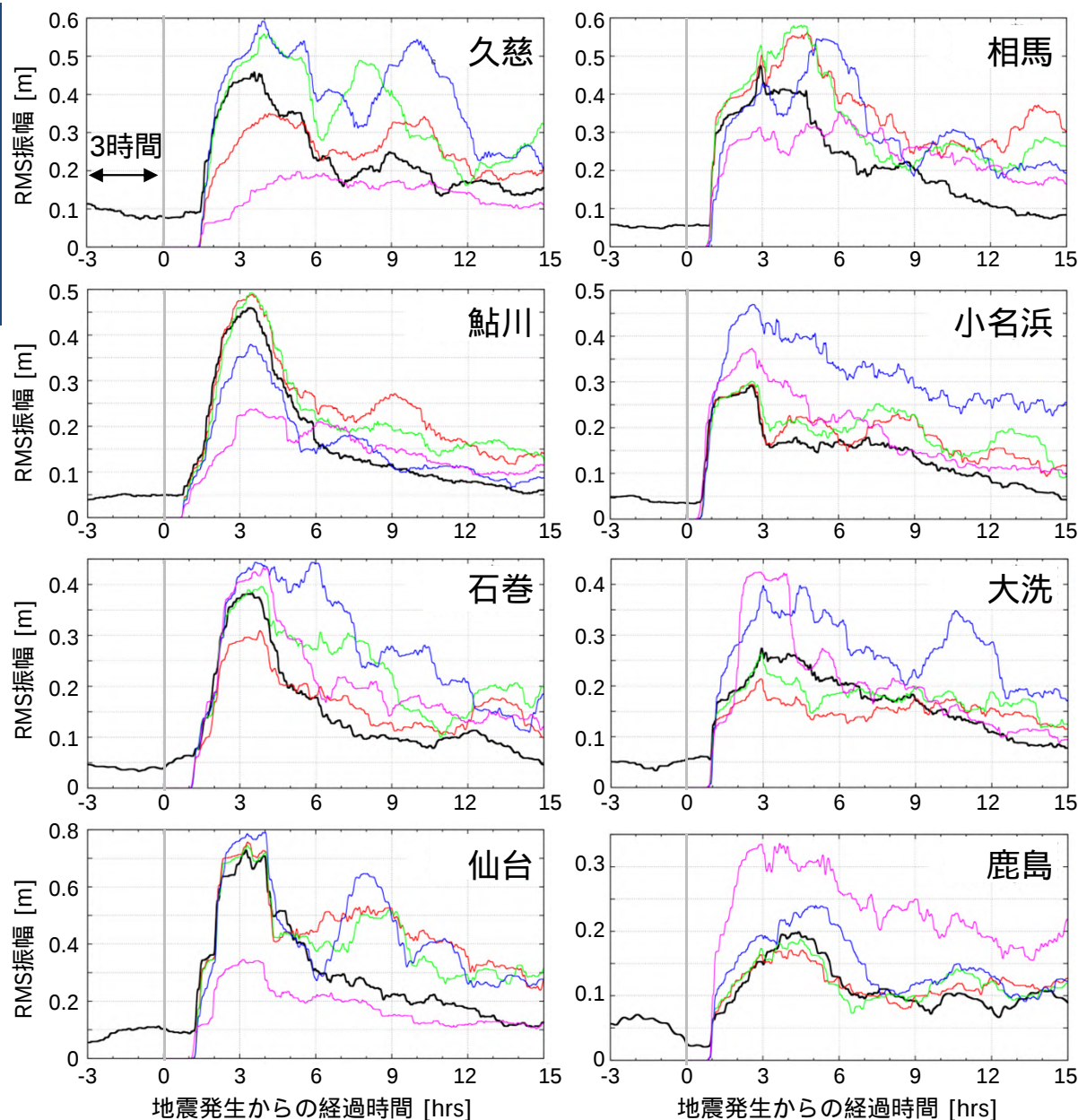


時間窓幅2時間のエンベロップの観測値と計算値を比較



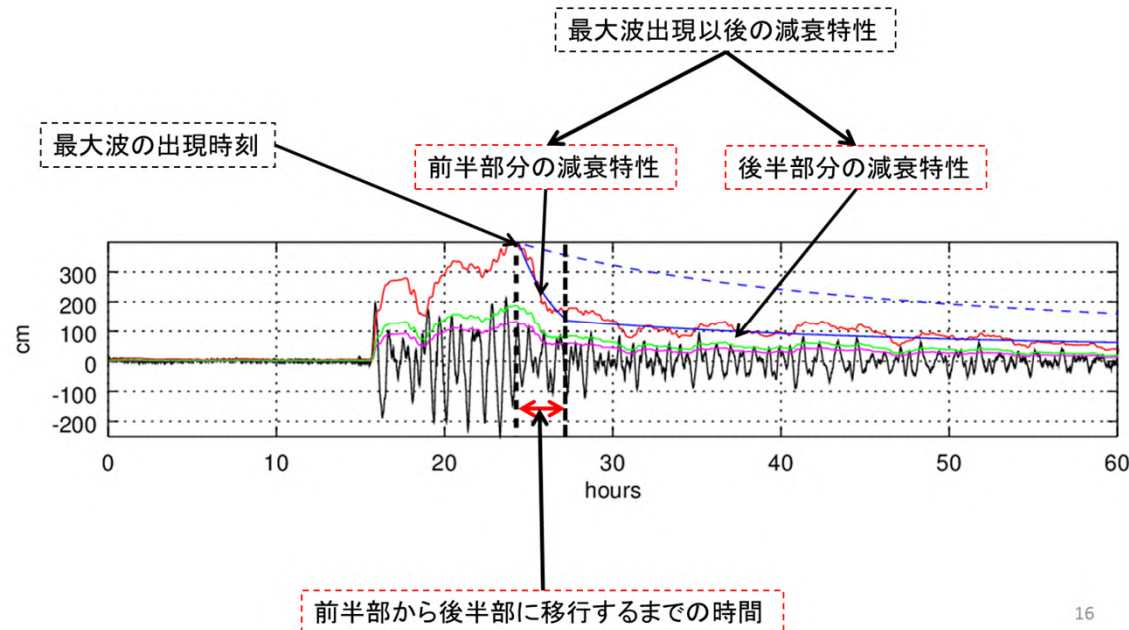
最大波以降のエンベロップ形状の再現は困難

分解能450, 1350 mでは、50, 150 mのエンベロップ形状からの乖離が大きい



まとめ

- 近地津波では、減衰の早い前半部分と減衰の遅い後半部分の2つに分かれる傾向を持つ観測点と分けない観測点がある。
- 最大波の出現時期は、シミュレーションを活用できそうだが、前半部分から後半部分に移行する時間を特定することや減衰を予測することは、シミュレーションでは、難しそうである。
- 最大波の出現以後の津波の減衰はシミュレーションに用いる地形の分解能をあげても困難。
- 後半部分の開始時期がわかれば、林(2010)の手法で減衰予測は可能。パラメータや減衰形式の調査は必要。



今後、調査すべき事項

- 2つの部分を持つのが、観測点固有のものか、津波の波源にも依存するかは調査が必要。
 - 観測点固有の特性なら、林(2010)の方法で、最大波出現以降の減衰予測が可能。
- 前半部から後半部に移行するまでの時間の観測点や津波波源の依存性。

