

近地津波へのリアルタイム津波シミュレーションの活用

気象庁 地震火山部 地震津波監視課

謝辞

本調査では、国土交通省港湾局、港湾空港技術研究所、海上保安庁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。

本調査の概要

調査の目的

リアルタイム津波シミュレーションを近地津波の警報更新に活用するには、迅速さと再現精度が必要である。数値計算を短時間に完了させつつ、沿岸での津波の挙動の再現精度を保つには、どのくらいの地形分解能が必要であるかを把握する。

前回の勉強会

2016年福島県沖の地震(Mw 6.9)について、沿岸津波観測点の津波観測データを再現するのに必要な地形モデル分解能を調べた

→最大津波高の再現には450 m程度、最大波までの波形の再現には150 m程度は必要

今回 より規模の大きい地震津波の再現に必要な地形分解能を調べた。

- ・ 2003年(平成15年)十勝沖地震 (Mw 8.3)
- ・ 2011年(平成23年)東北地方太平洋沖地震 (Mw 9.0)

調査の進め方

前回の調査対象である2016年福島県沖の地震はS-net水圧計データにより波源を精度良く推定できたが、それ以前は現時点に比べて沖合観測網が少なく、同地震ほど精度のよい波源を得ることは難しいと考えられる。

本調査では、地形分解能50 mで津波数値計算した津波波形を基準として、それとの合致度により、津波の再現精度の地形分解能依存性を調べた。

(観測波形との比較は参考)

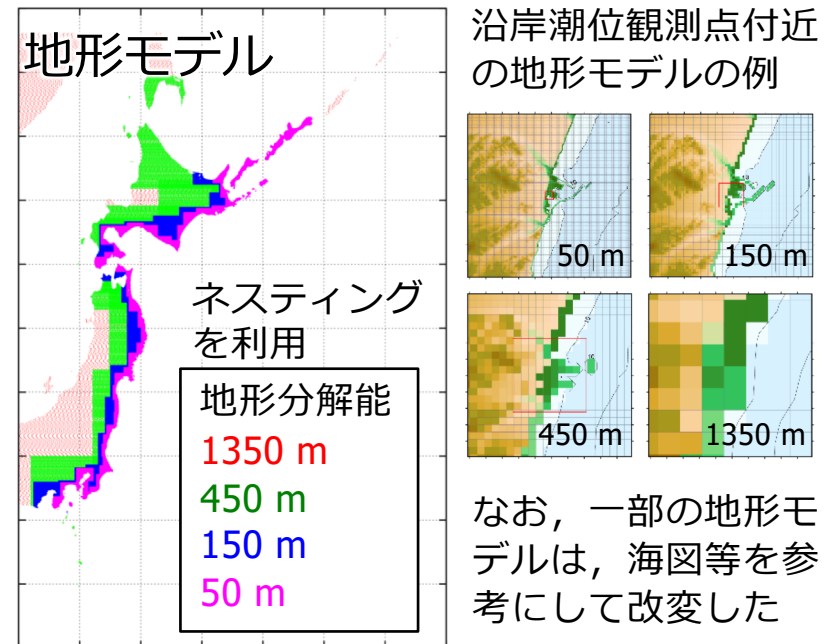
津波シミュレーションの諸元

初期水位分布の計算

	2003年十勝沖地震(Mw 8.3)	2011年東北地方太平洋沖地震(Mw 9.0)
断層モデル	谷岡・他 [2004, 地震]	Satake et al. [2013, BSSA]
地殻変動の計算	Okada [1985, BSSA]	Okada [1985, BSSA]
斜面水平変位に伴う上下変位	非考慮 (原論文に準拠)	考慮 (原論文に準拠)
水深フィルタ	非考慮 (原論文に準拠)	考慮 (原論文では非考慮だが, 影響が大きい可能性を鑑みて考慮)

津波伝播の計算

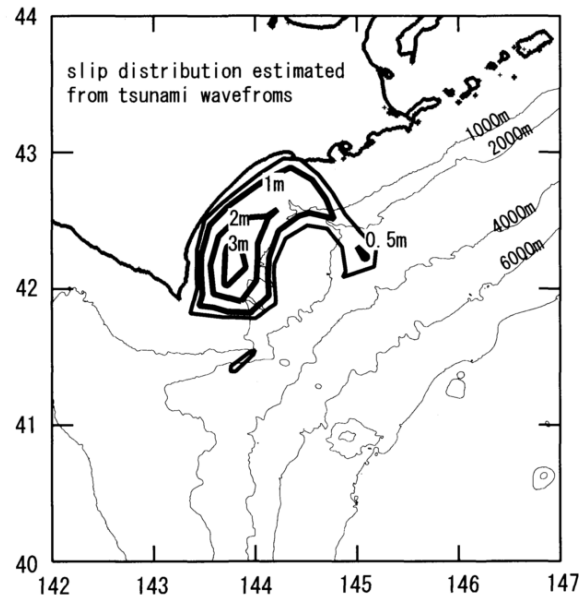
電子計算機	NAPS (気象庁のスパコン)
計算コード	JAGURS [Baba et al. 2015]
支配方程式	平面座標系*の非線形長波式
境界条件	海陸は遡上, 沖側は減衰
地形モデル	中央防災会議 [2003]
海岸構造物	最小分解能の地形へ追加
粗度係数	0.025 (マニングの粗度係数)
時間ステップ (最小地形分解能)	0.2秒 (50m), 0.5秒 (150 m) 1.0秒 (450 m), 1.0秒 (1350 m)
積分時間	15時間



※今回は使用する地形モデルにあわせて平面座標系を採用した。将来的には球面座標系を使用予定(全国への津波予報が目的であるため)

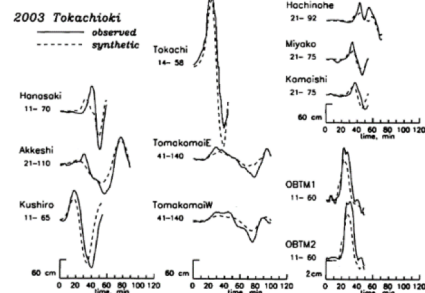
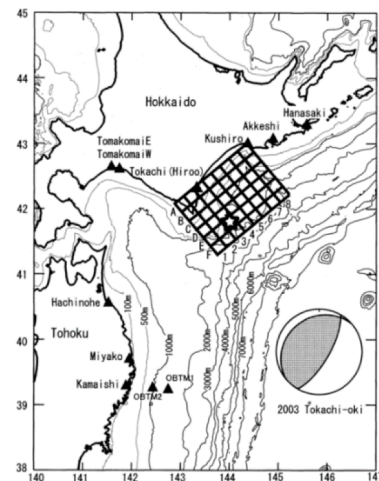
2003年十勝沖地震 -- 観測波形と計算波形(50 m分解能)の比較

地震時すべり分布



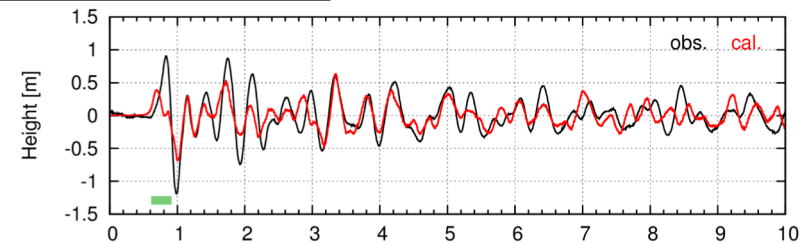
谷岡・他
[2004, 地震]

沖合・沿岸
の津波波形
を用いて,
断層すべりの
空間分布
を逆推定

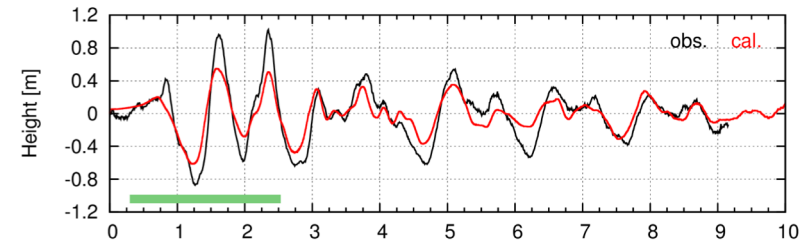


観測 計算(50 m分解能) 第一波到達～最大波観測

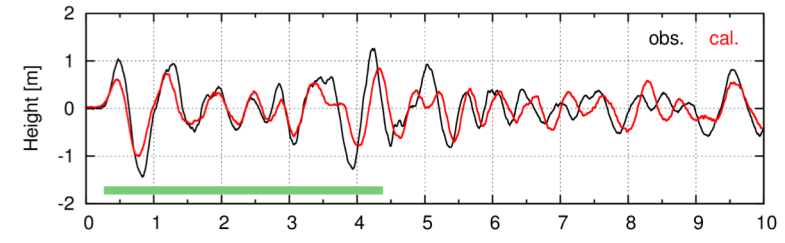
花咲



厚岸

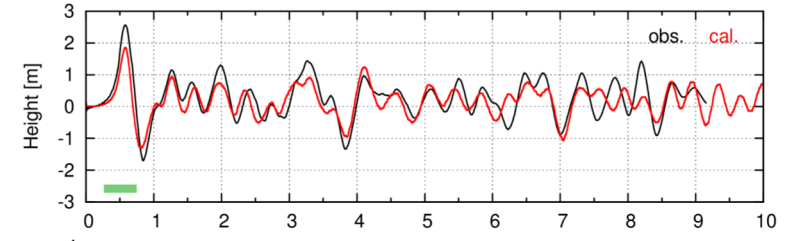


釧路

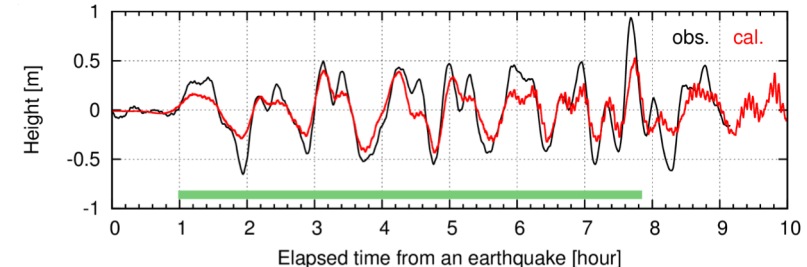


十勝港

計算波形には
地震時沈降に
相当するオフ
セットを加算



苫小牧
西港



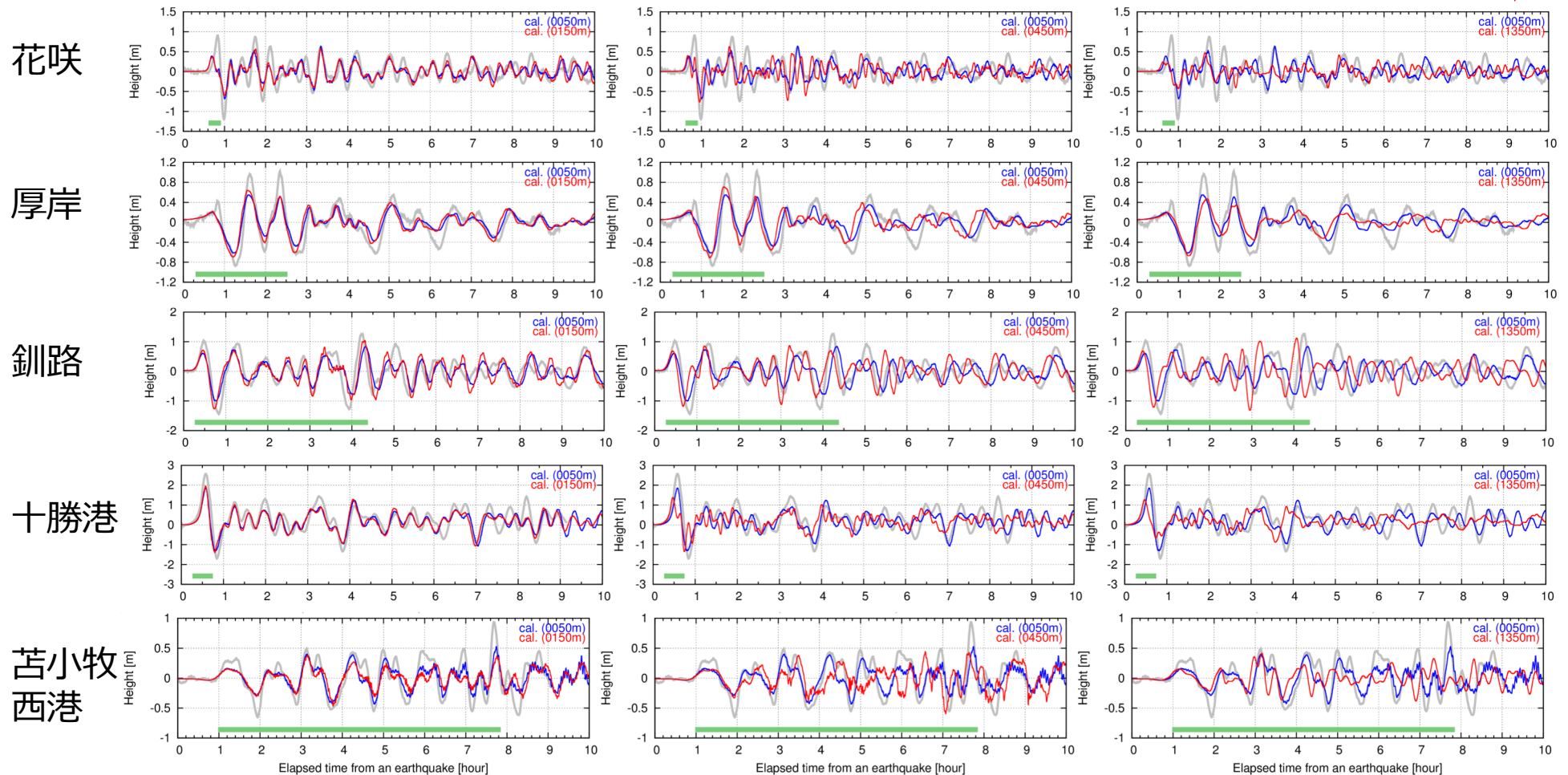
2003年十勝沖地震 (谷岡モデル) -- 沿岸観測点の計算波形の比較

50 m分解能の計算波形 = 正解値

第一波到達～最大波観測

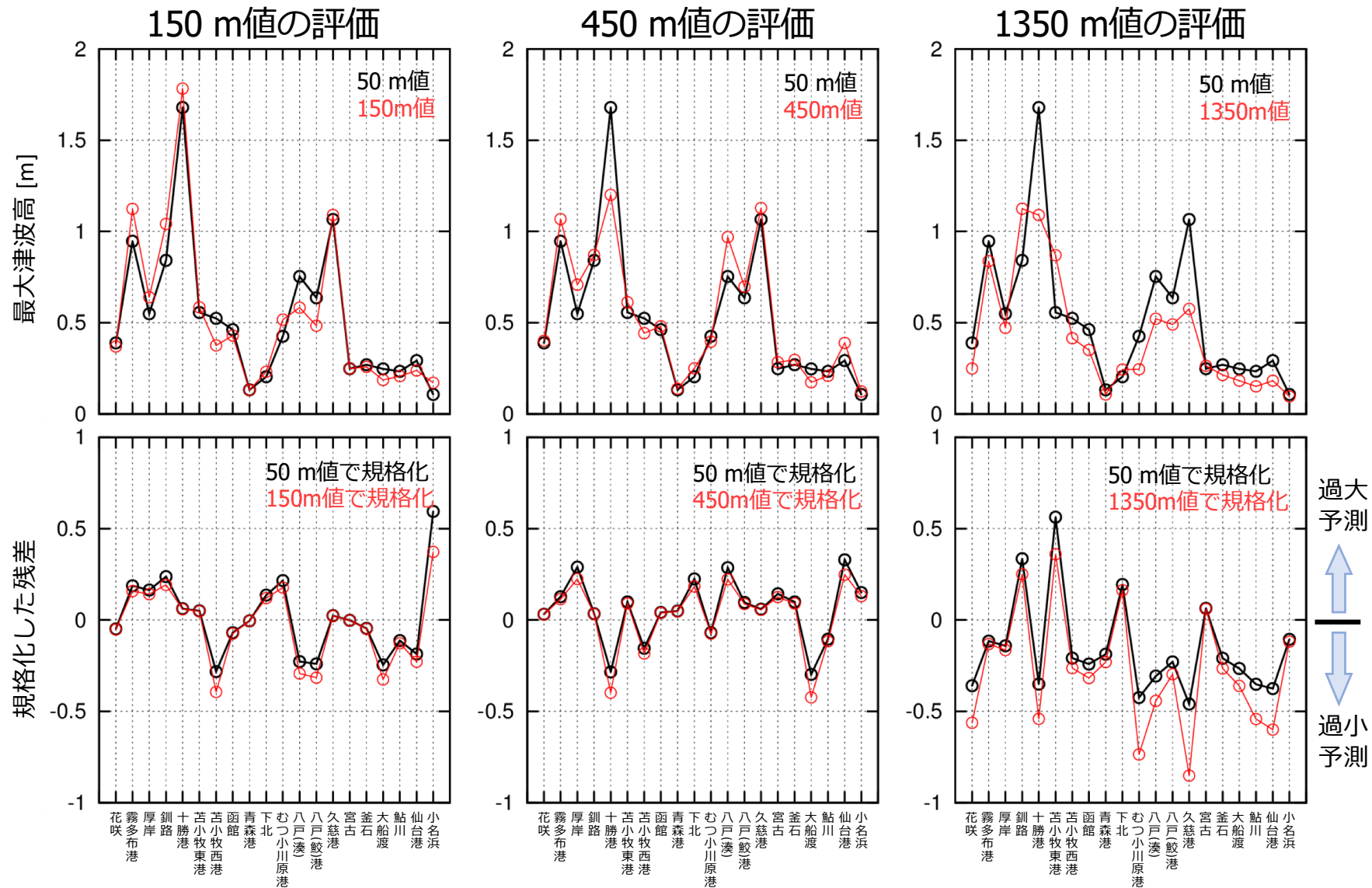
— 50 m値 — 観測値
— 150/450/1350 m値

最小の地形分解能 150 m 450 m 1350 m



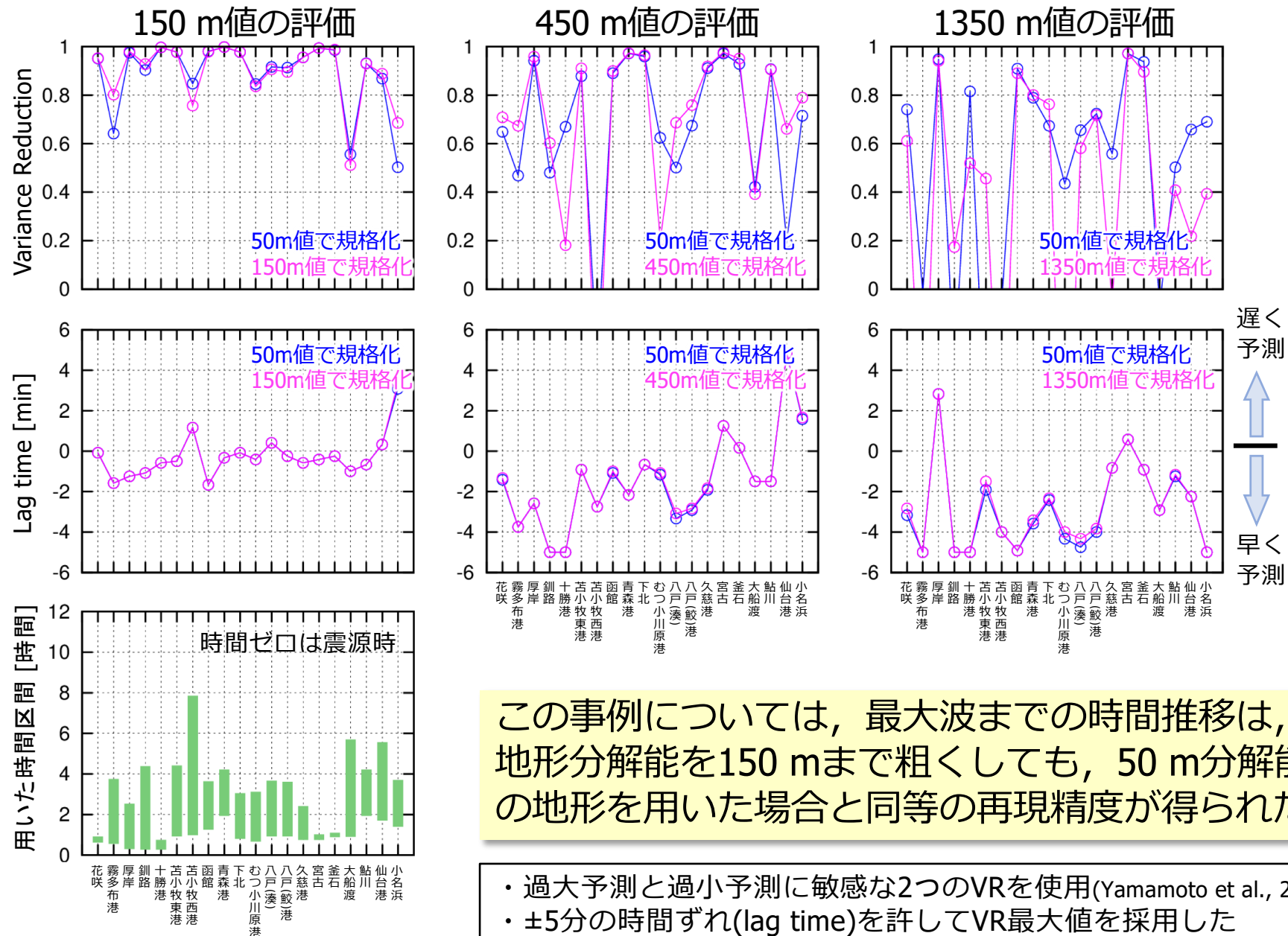
150 m値は50 m値と概ね一致. 450, 1350 m値では波高を過小推定する場合もある

2003年十勝沖地震 (谷岡モデル) -- 沿岸観測点の最大津波高



150, 450 m 値は 50 m 値と概ね整合. ただし, この事例で, 450 m 値では津波高が高い観測点の津波高を大幅に過小推定する場合もみられた(十勝港)

2003年十勝沖地震 (谷岡モデル) -- 沿岸観測点の第一波到達～最大波の津波波形

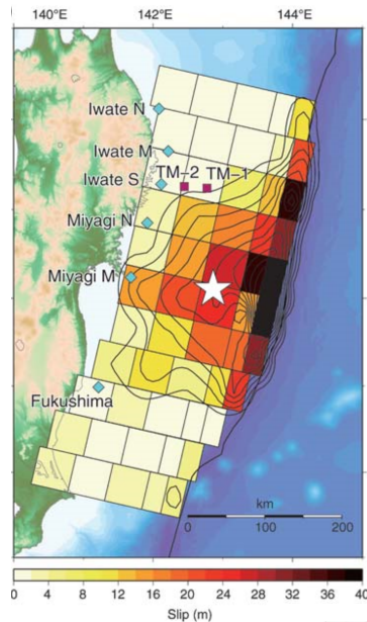


この事例については、最大波までの時間推移は、地形分解能を150 mまで粗くしても、50 m分解能の地形を用いた場合と同等の再現精度が得られた

- ・ 過大予測と過小予測に敏感な2つのVRを使用(Yamamoto et al., 2016, EPS)
- ・ ± 5 分の時間ずれ(lag time)を許してVR最大値を採用した
- ・ 干上がっている間の波形はVR算出から外した

2011年東北地方太平洋沖地震 -- 観測波形と計算波形(50 m分解能)の比較

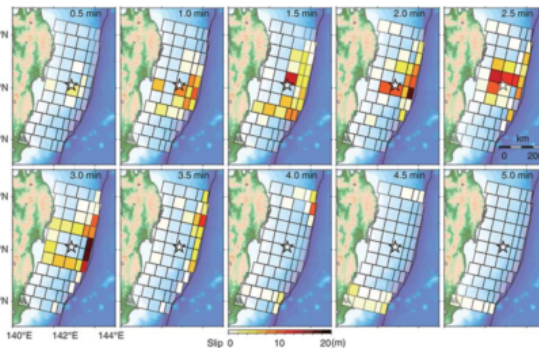
地震時すべり分布



Satake et al.
[2013, BSSA]

沖合・沿岸の津波
波形を用いて、断
層すべりの時空間
発展を逆推定

地震時すべりの
時空間発展
(30秒毎スナッ
プショット)



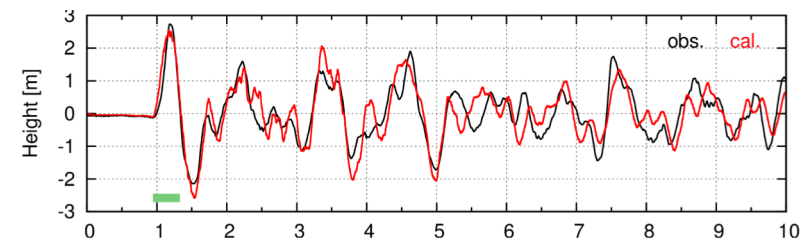
(参考) Tanioka et al. [2019, PEPS]

Fujii et al. [2011, EPS]の波源と30秒分解能
(~900m)の地形モデルを用い、函館等の北海道
沿岸の潮位観測点の津波最大波を精度良く再現

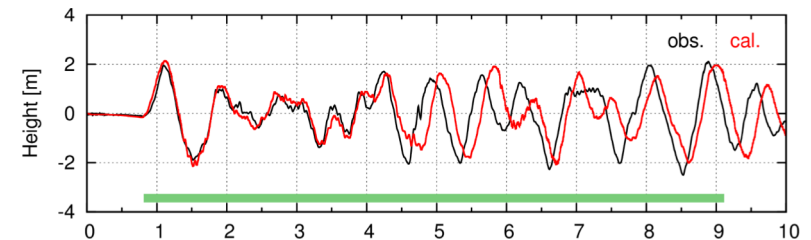
観測 計算(50m分解能)

第一波到達～最大波観測

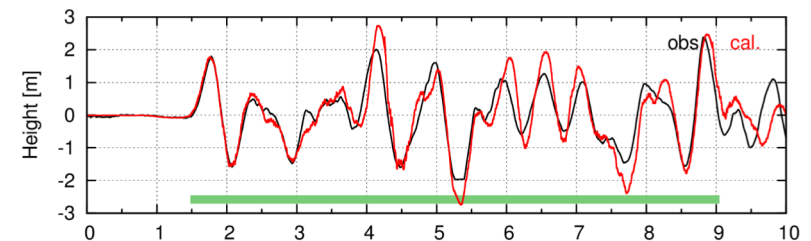
花咲



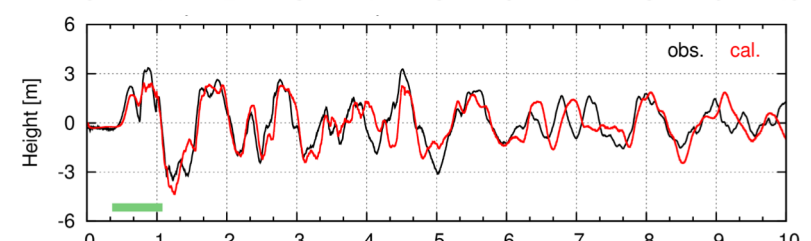
釧路



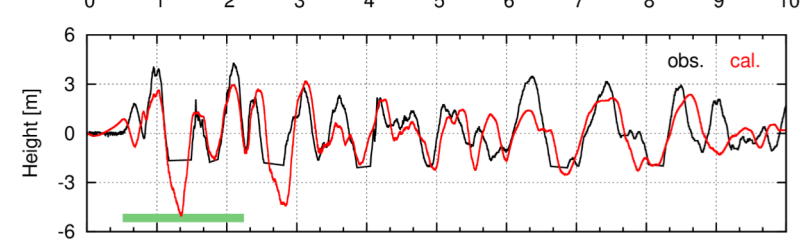
函館



小名浜



大洗



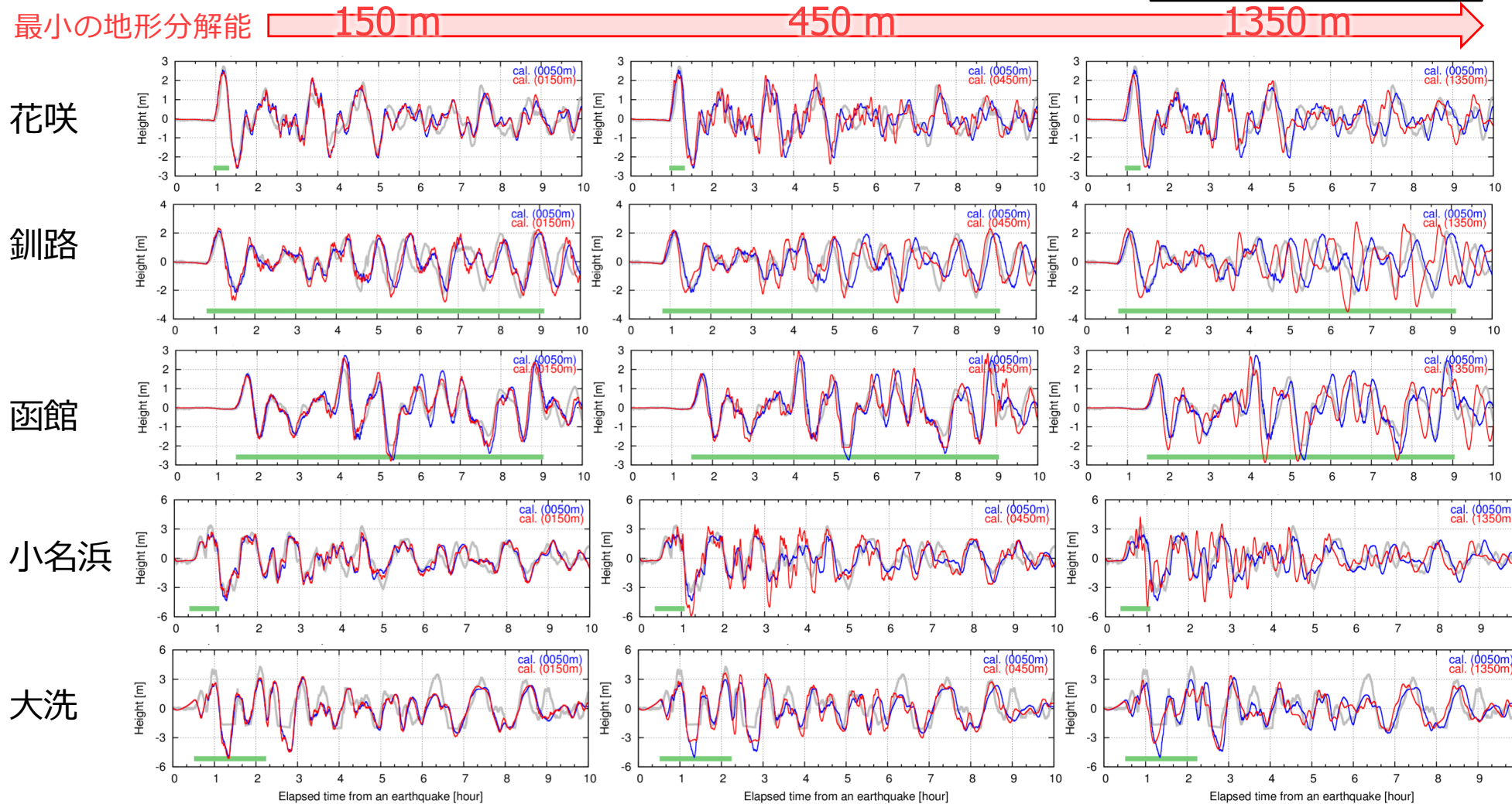
Elapsed time from an earthquake [hour]

東北地方太平洋沖地震 (Satakeモデル) -- 沿岸観測点の計算波形の比較

50 m分解能の計算波形 = 正解値

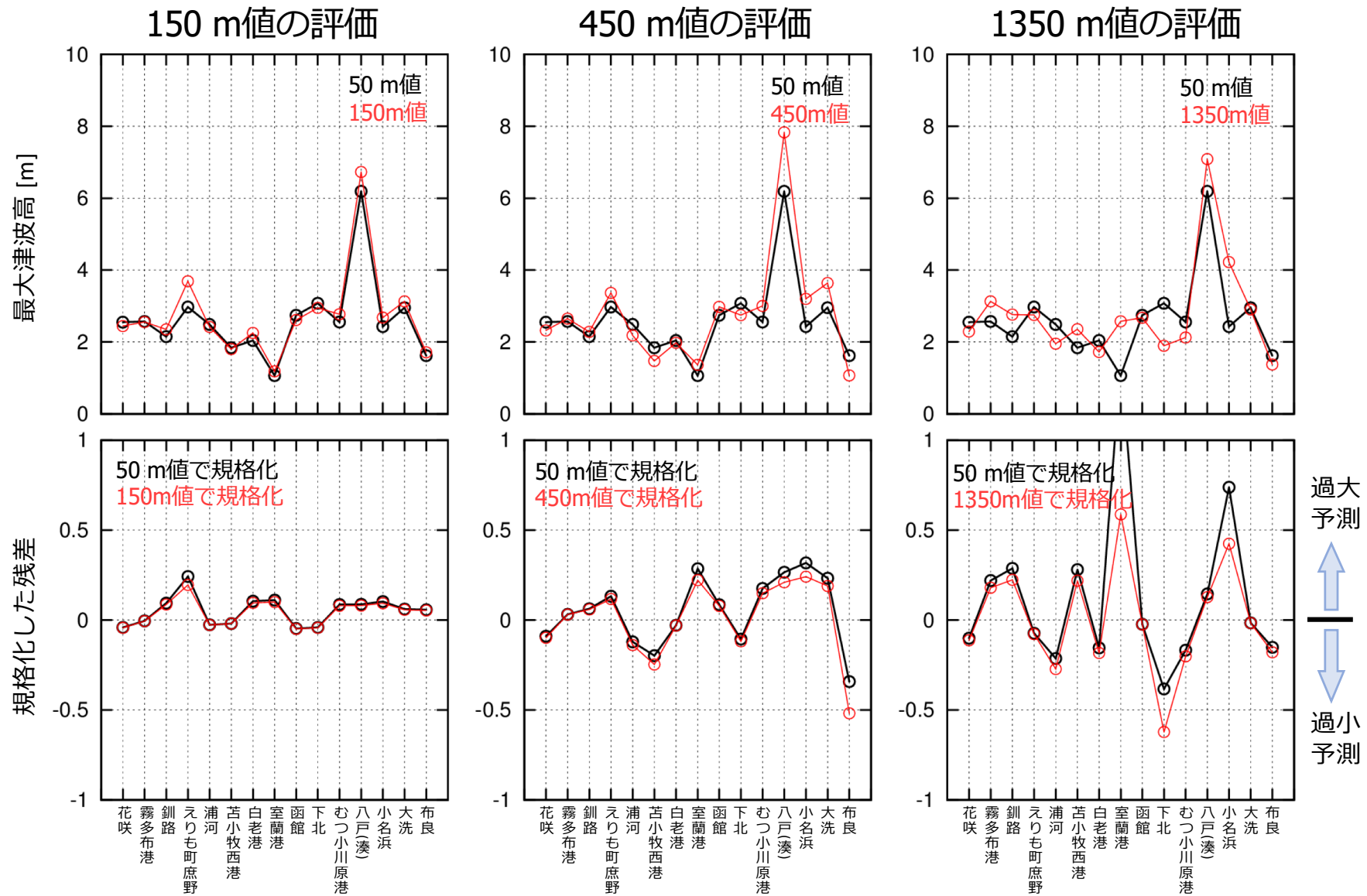
第一波到達～最大波観測

— 50 m値 — 観測値
— 150/450/1350 m値



150 m値は50 m値と概ね一致。分解能を低くすると、特に後続波について、50m 値との合致度が低下するように見える

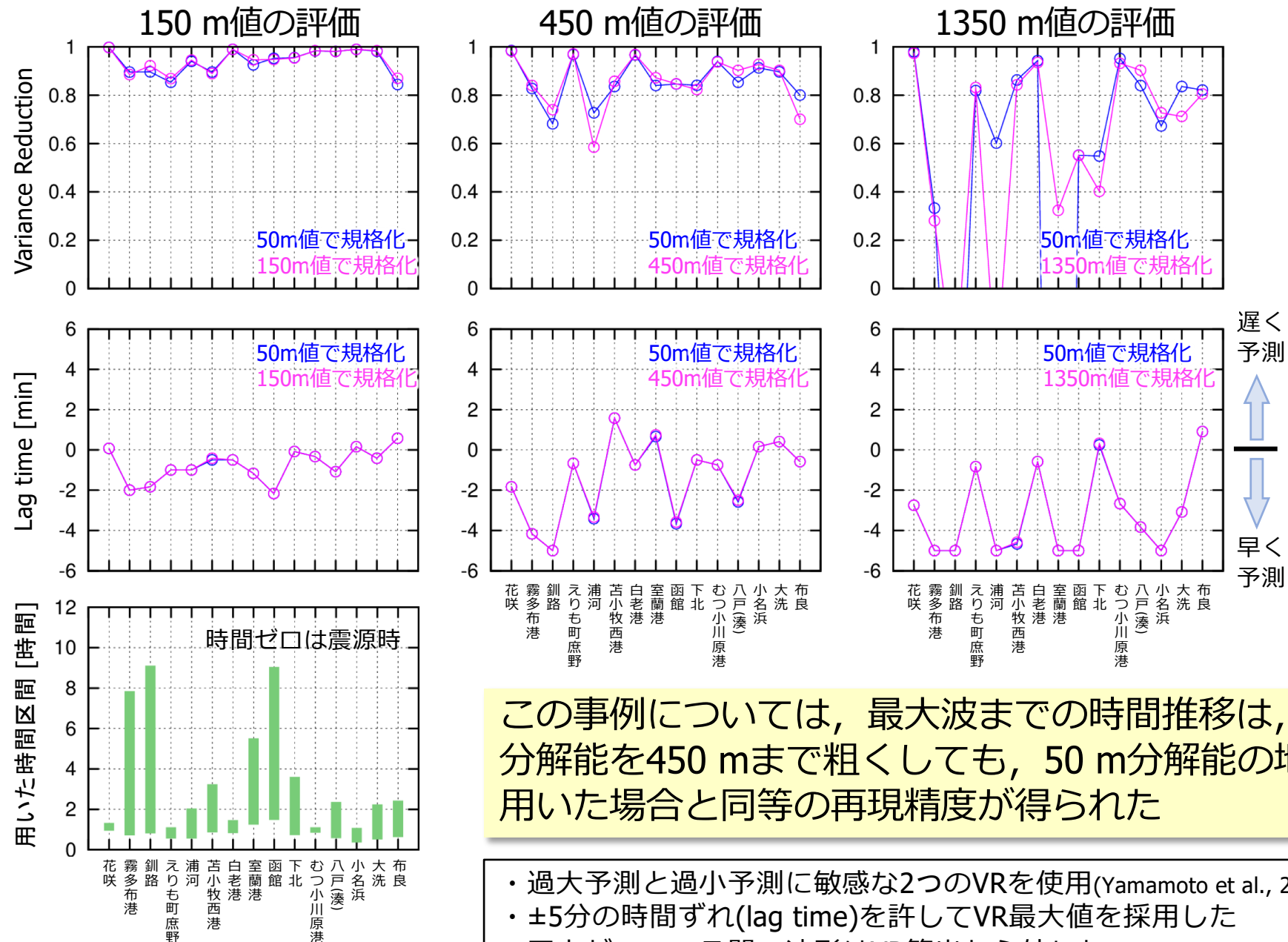
東北地方太平洋沖地震 (Satakeモデル) -- 沿岸観測点の最大津波高



150, 450 m 値は50 m 値と概ね整合.

1350 m 値も, 2003年十勝沖地震の場合よりは50 m 値との合致度が良い.

東北地方太平洋沖地震 (Satakeモデル) -- 沿岸観測点の第一波到達～最大波の津波波形



考察とまとめ

前回・今回の調査結果のまとめ (沿岸の津波の再現に必要な地形分解能)

	Mw	沿岸観測点での 最大津波高	沿岸観測点での 波形の再現精度 (第一波到達～最大波)
2016年福島県沖の地震 S-net水圧データによる波源	6.9	450 m程度	150 m程度
2003年十勝沖地震 谷岡・他 [2004, 地震]	8.3	450 m程度	150 m程度
2011年東北地方太平洋沖地震 Satake et al. [2013, BSSA]	9.0	450 m程度 1350 m値も 一定の精度はある	150 m程度 450 m値も 一定の精度はある

- ・これまでの調査結果によれば，最大波までを精度良く再現するには，150 m程度の地形分解能で津波伝播計算を行うことが望ましい。
- ・巨大地震については，地形分解能を多少は下げられる余地があることを示唆する結果も得られた（卓越周期が長くなるためか）

今後は，今回のようなシミュレーション結果同士を比較する方法で南海トラフ等についても調査を行い，採用する地形分解能を決定する予定。