

# 津波予測と波動伝播シミュレーション 研究から次期海底ケーブル観測 システムに期待すること

前田拓人

東京大学地震研究所

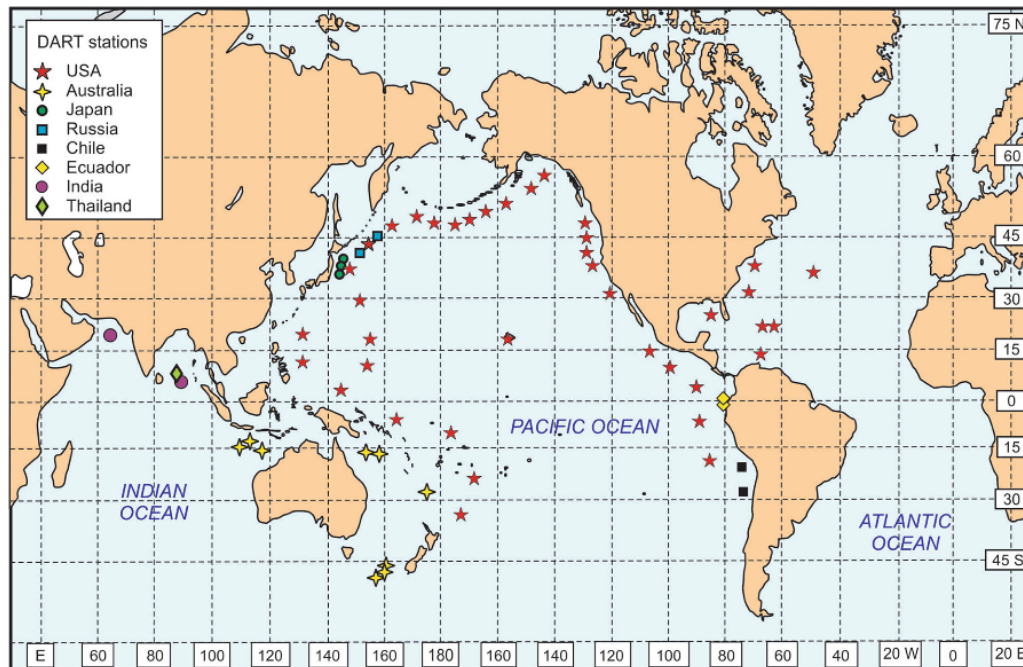
謝辞：本発表の準備にあたり，気象庁気象研究所の対馬弘晃氏との議論は大変有益でした。記して感謝します。



# 事務局からの依頼事項

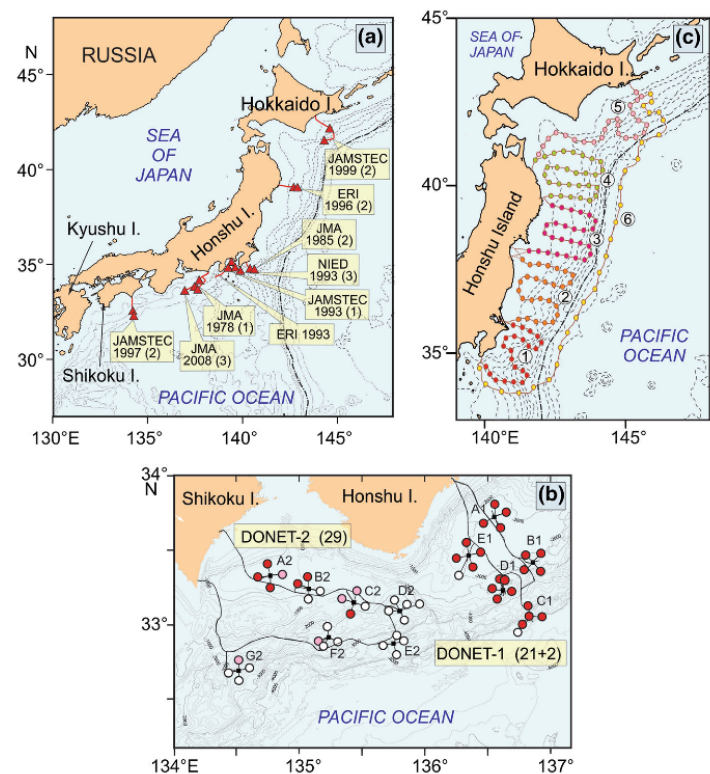
- データ利活用の実績
- 次期ケーブル式海底地震・津波観測システムへの要望、期待すること
- 次期ケーブル式海底地震・津波観測システムの観測データによって見込まれる成果（南海トラフの西側に観測網を整備すると、津波の早期検知にどれくらい効果があるか、シミュレーションの精度向上にどれくらい貢献するか）
- その他必要と思われること→津波予測手法の概観

# 海底観測網の拡大と津波予測

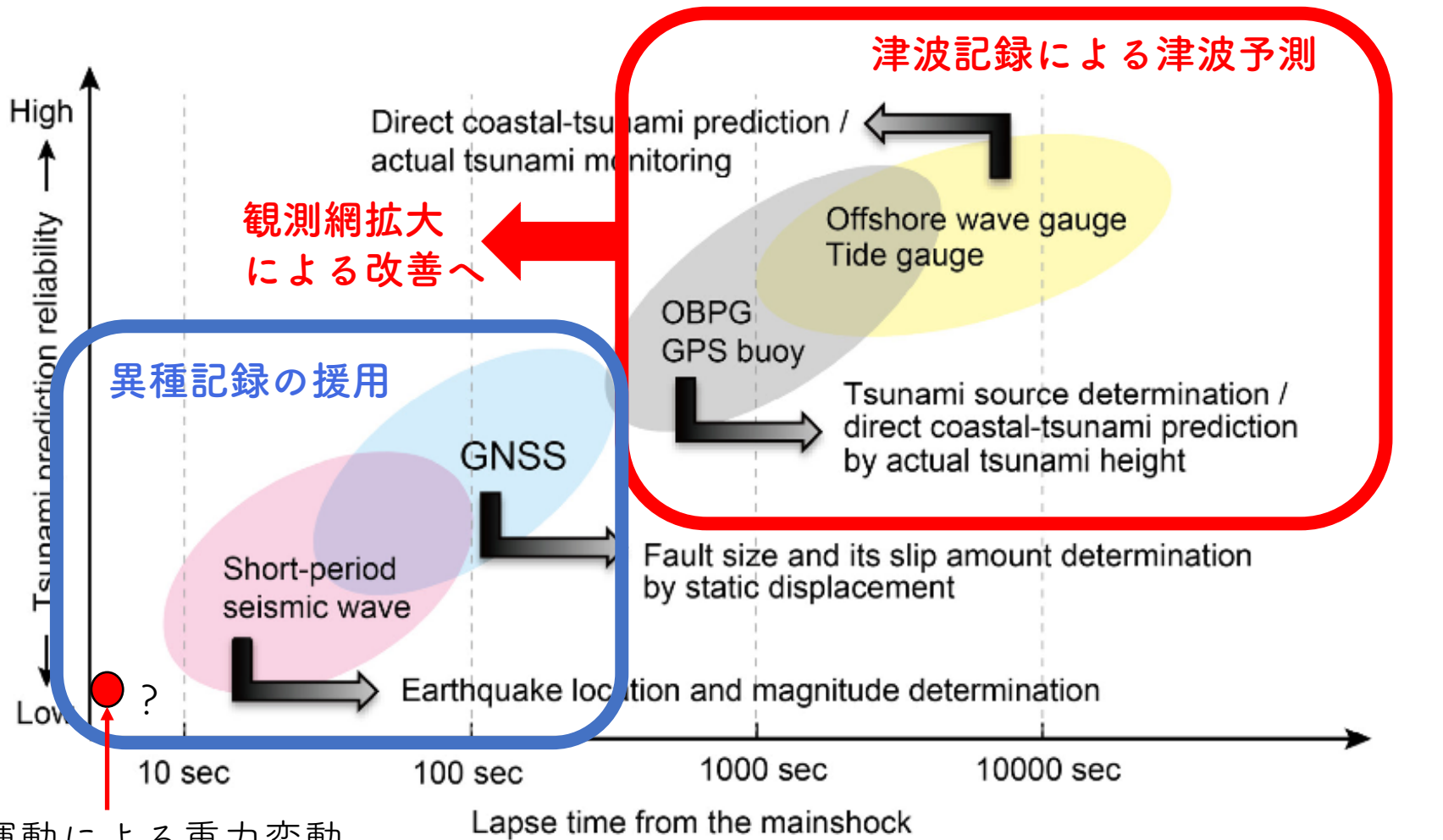


(Rabinovich and Eblé, 2015)

- 世界的な観測網の拡大
- 津波発生的高速な検知と高精度な予測
  - その間にはトレードオフ



# 予測手法：精度と信頼性のトレードオフ

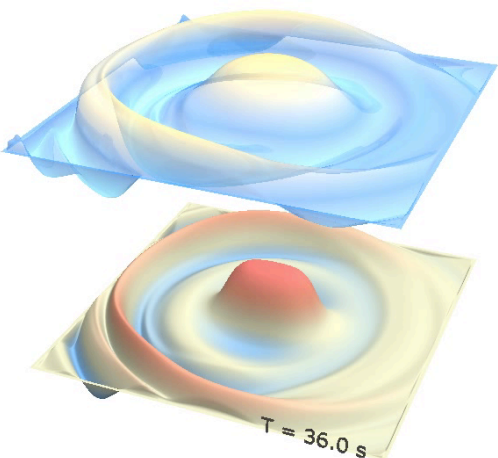


- 津波を使う津波予測は高信頼だが低速
  - 伝播速度の遅さ + 観測網の密度の低さ

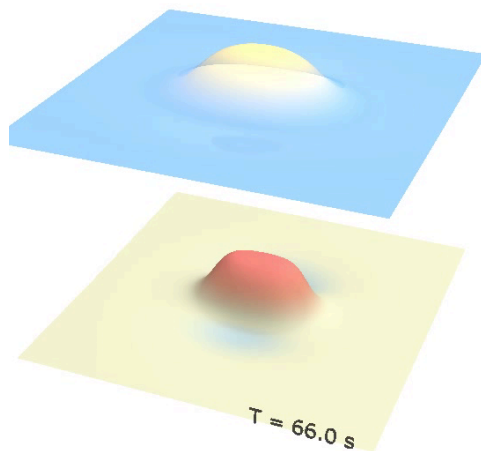


# 津波予測を津波で行うことの重要性

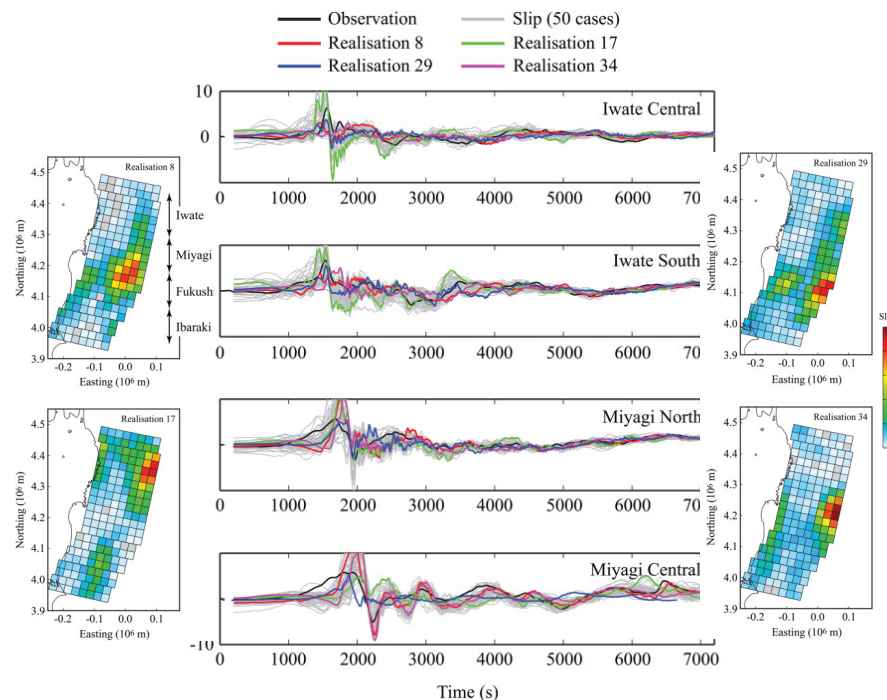
## 通常の断層運動



## 津波地震 (ゆっくりすべり)



## すべり分布による津波のばらつき



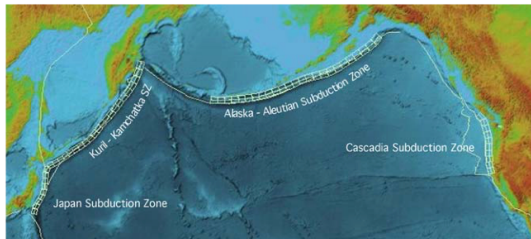
(Maeda & Furumura, 2013)

(Goda et al., 2014)

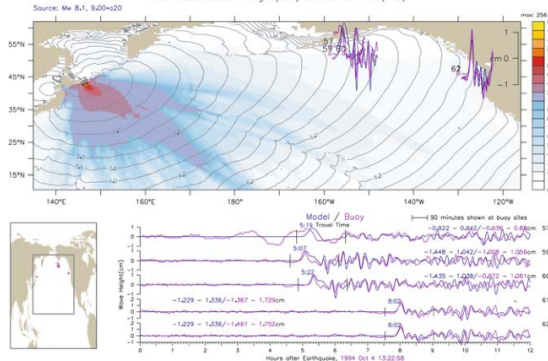
- 断層運動と地震波の生成の仮定そのものが不確実性を生む
  - 地震以外の津波生成：海底火山・地滑り・隕石衝突
- 同じ断層面でもすべり分布によって津波生成が大きく変わる

# 震源断層・初期水位・波動場の3アプローチ

## 断層運動推定



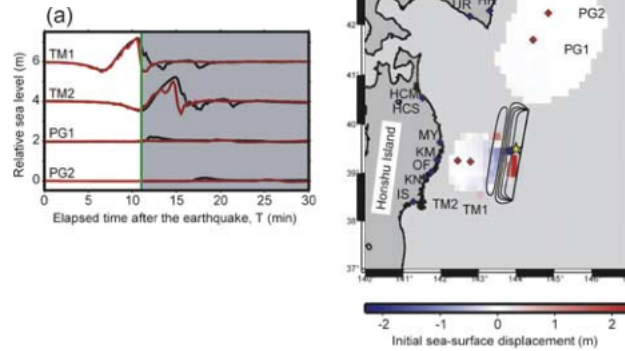
Facility for the Analysis and Comparison of Tsunami Simulations (FACTS): BART Interpretive Aid  
First Wave Crest Height(cm) & Travel Time(hrs)



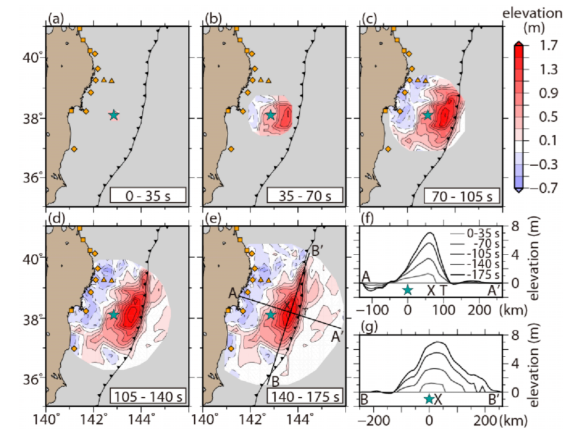
(Titov et al., 2005)

- 現在の津波予測は断層パラメタ推定を避ける方向に進化

## 初期水位+地殻変動推定

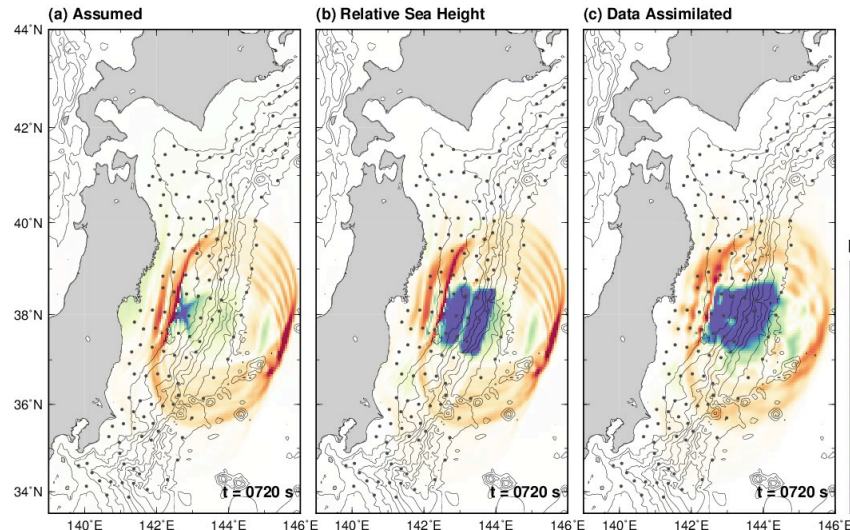


(Tsushima et al., 2009)



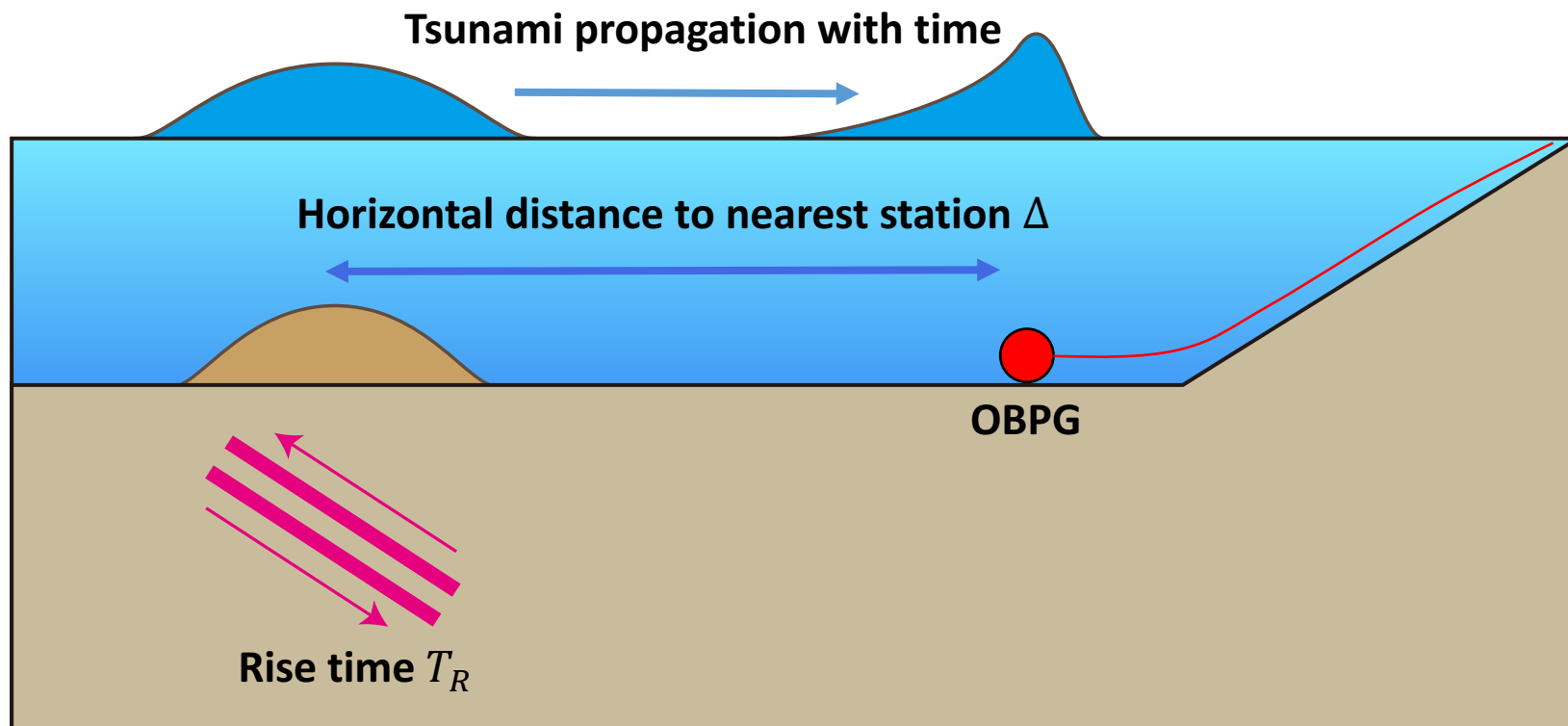
(高川・富田, 2012)

## 現況波動場データ同化



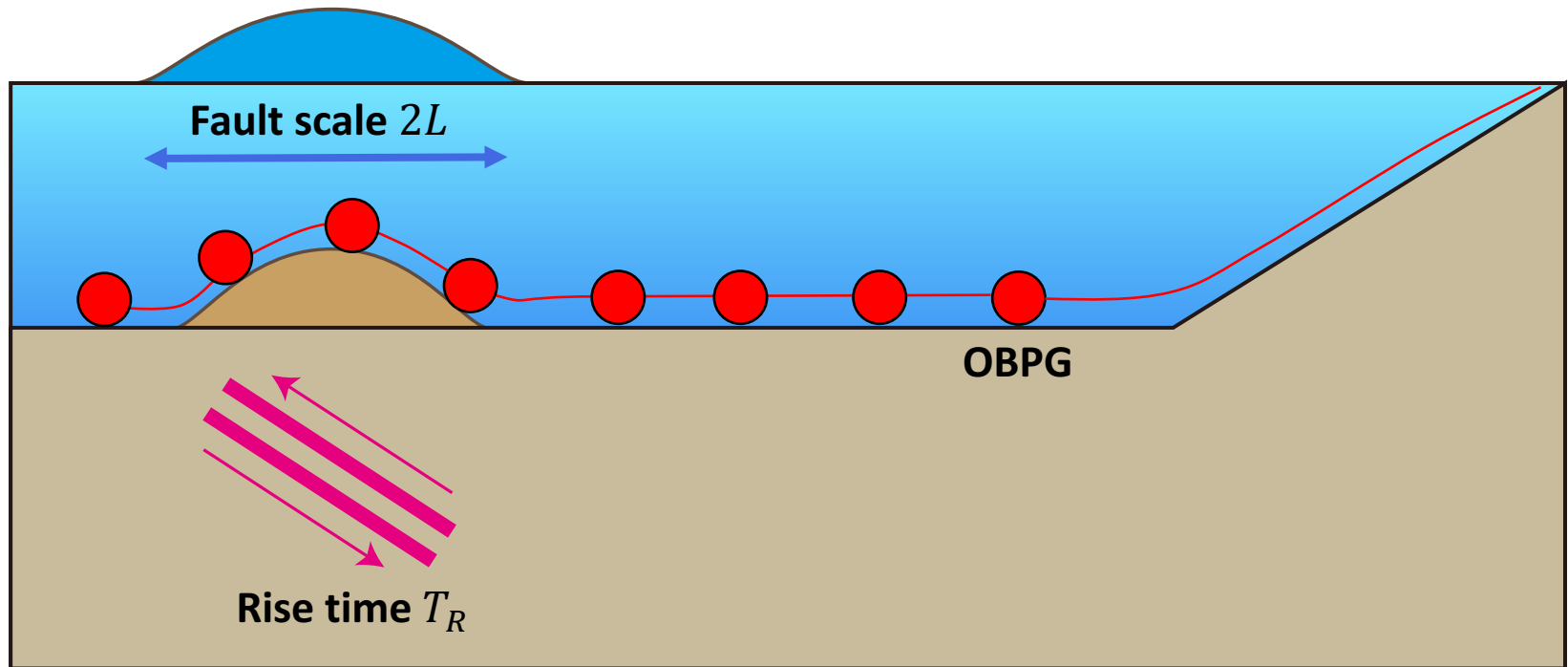
(Maeda et al., 2015)

# 津波推定・予測に必要な時間の整理



- 予測までの時間： $t^{p1} \sim T_R + \Delta/\bar{c} + \alpha$
- $\bar{c}$ は平均津波平均速度（水深2000 mで $\sim 140$  m/s）
- $\alpha$ は予測計算のための計算時間
- 観測網への距離 $\Delta$ が予測時間を決める

# 真上に観測網があれば解決か？：圧力問題



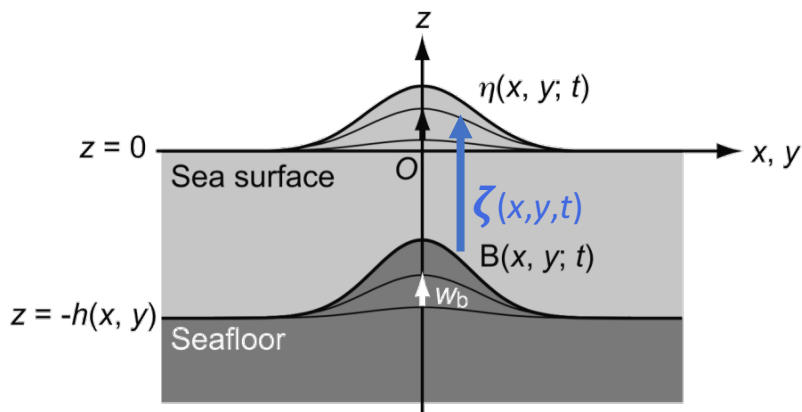
- 予測までの（確実な）時間： $t^{p2} \sim T_R + L/\bar{c} + \alpha$
- 津波が断層直上から離れるまでの時間が必要とされていた
  - これを短くするための研究開発の努力がされている



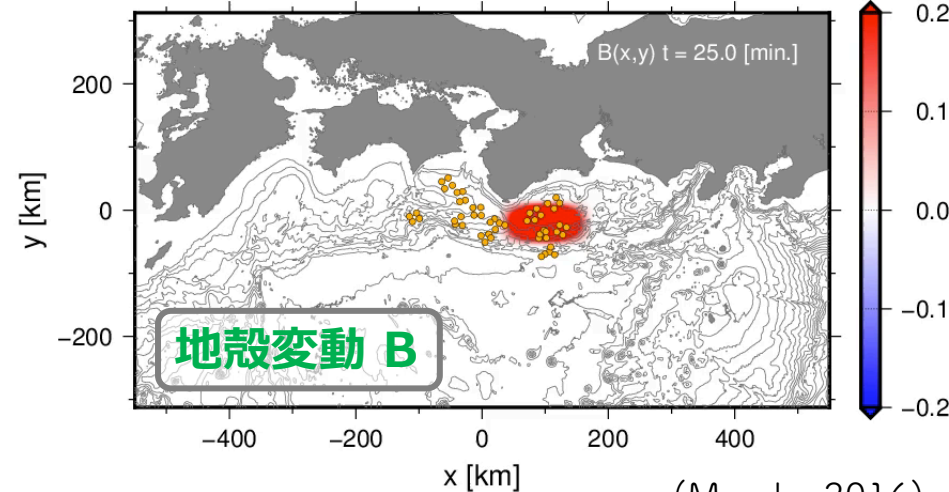
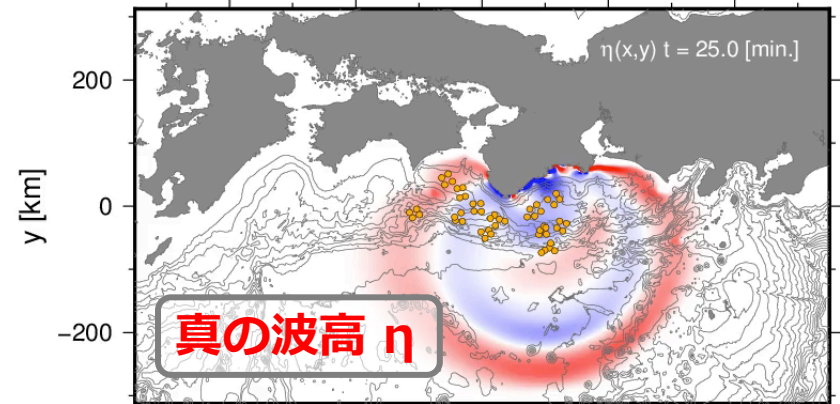
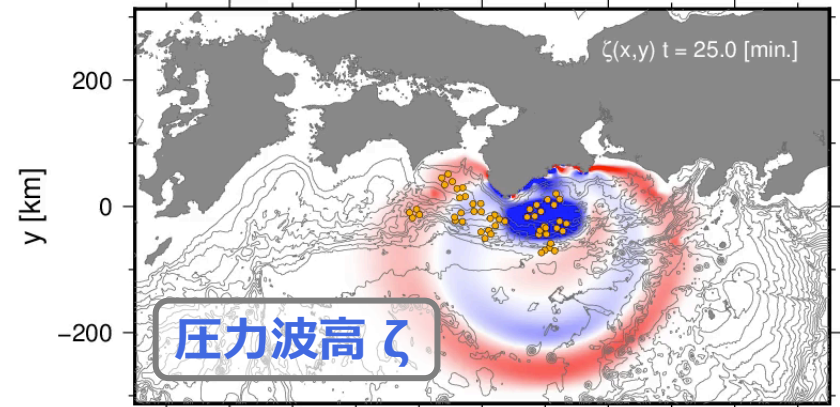
# 圧力計が計測するもの

- 海底面から海面への  
相対距離を測定
- 地震直後は海底と海面  
がほとんど同期
- 大地震ほど顕著
- 地震波 + 慣性力の問題

(Saito and Tsushima, 2016)

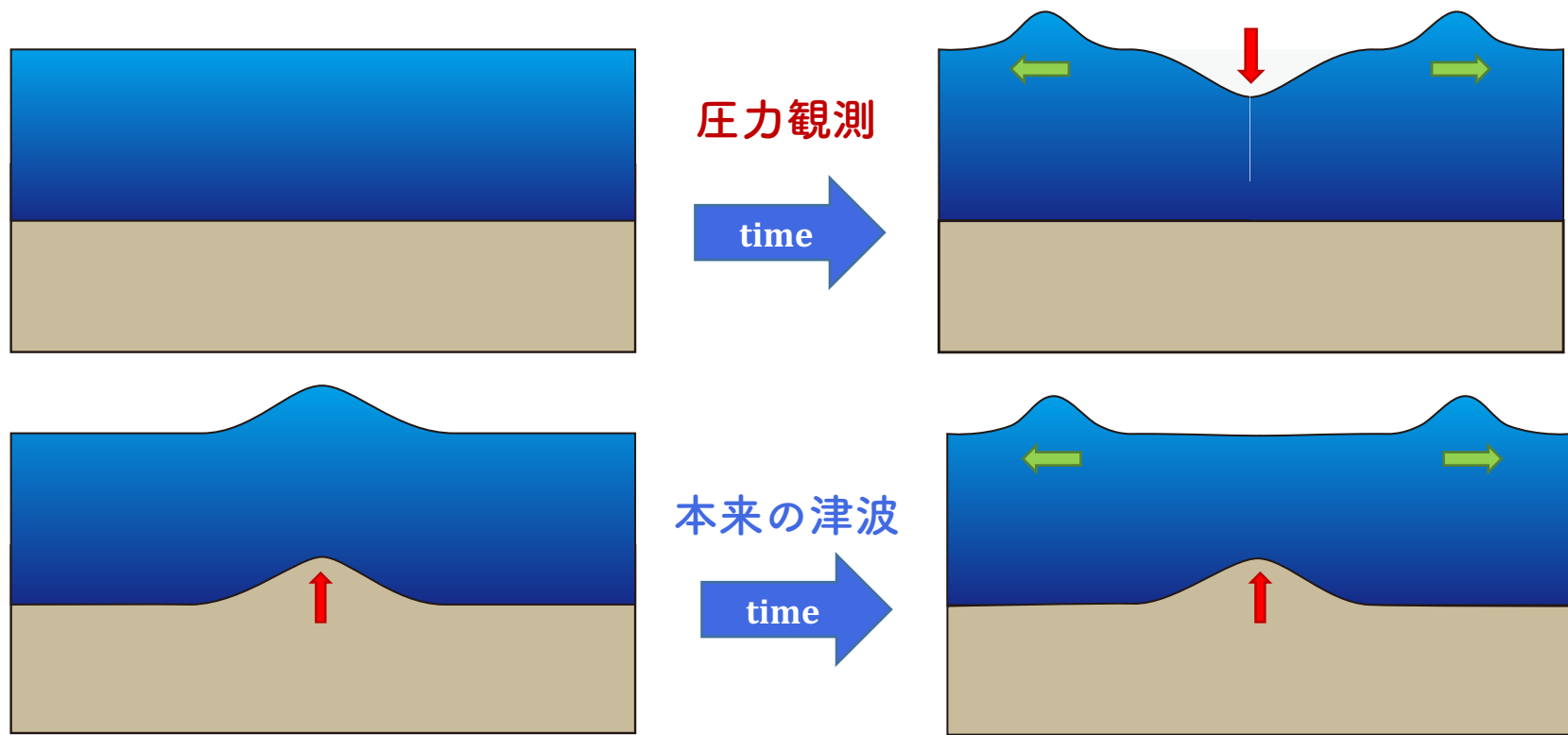


(modified from Tsushima et al., 2012)



(Maeda, 2016)

# 圧力問題の克服への挑戦

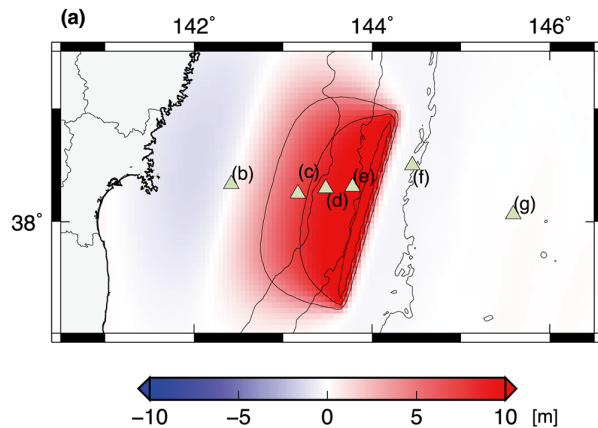


- 「圧力による津波観測が地殻変動の影響を受ける」こと自体を予測モデルに組み込むことで原理的には回避可能 (Tsushima et al., 2012; Tanioka, 2015; Maeda, 2016)
- 高速化のみならず津波予測の精度向上にも寄与

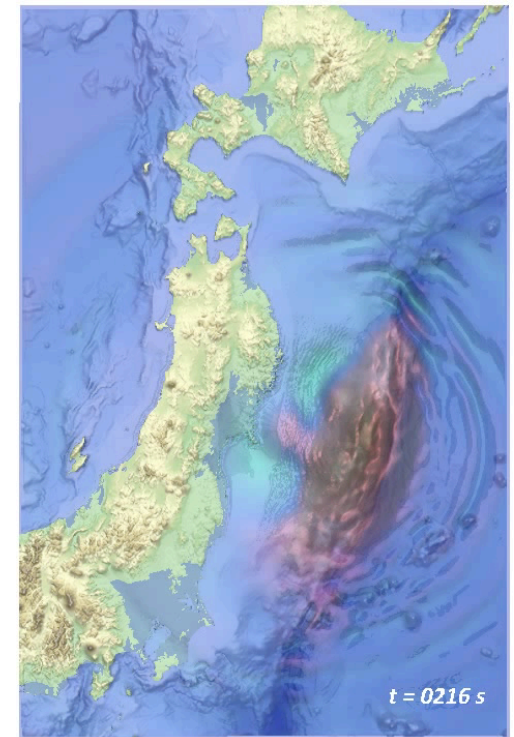
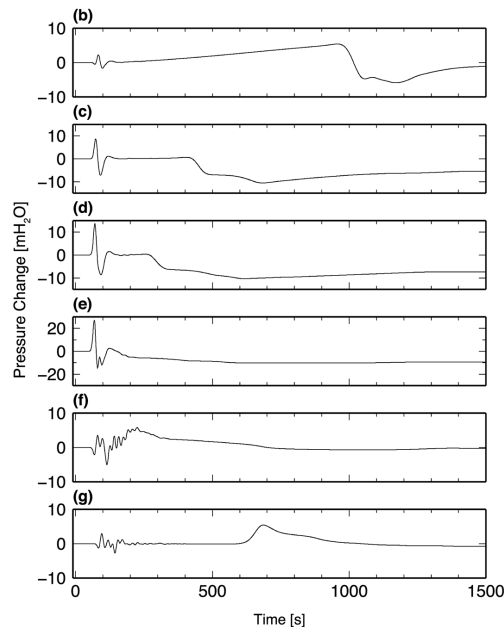


# 地震波動と慣性力の影響

- 圧力記録はさらに**地震波（海中音波）**と**海底運動による慣性力**を含む
- 現実に現れるであろう複雑な記録をどう扱うか：まだこれからの課題
- 数値実験を行うための手法開発も



(Saito and Tsushima, 2016)



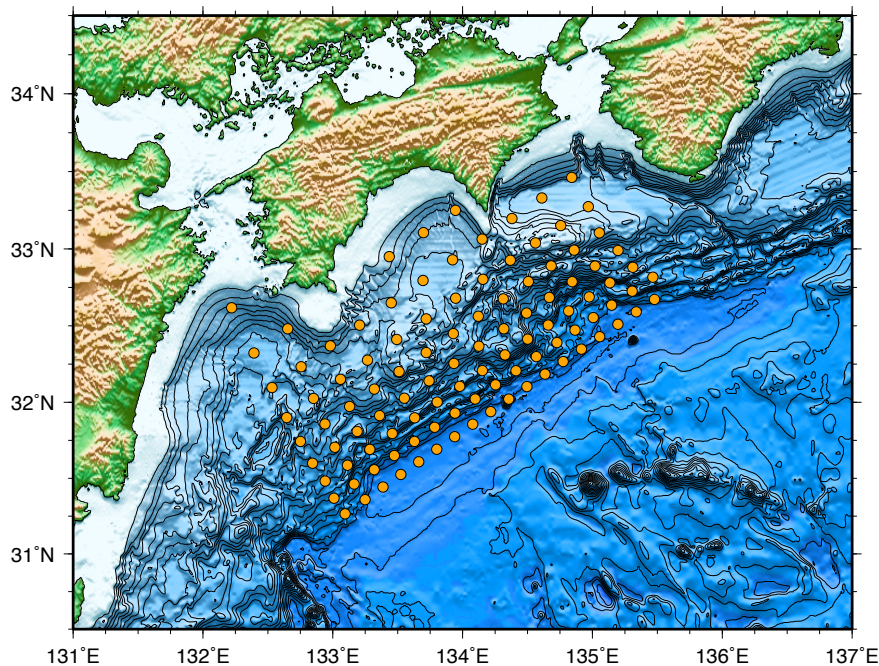
(Maeda et al., 2013)

# 理論から見た理想の観測網：波長と間隔の問題

- 地震発生と津波伝播で異なる

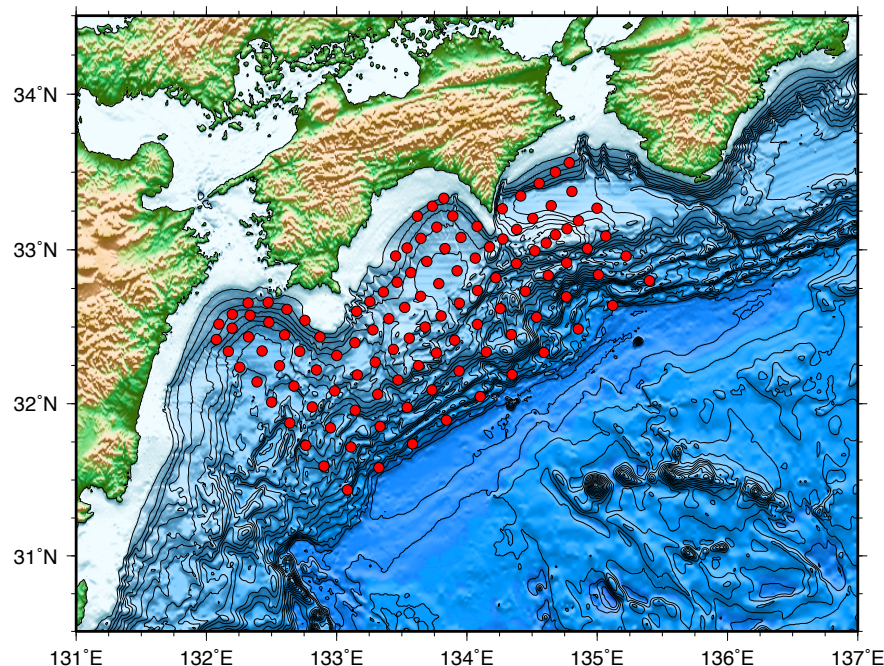
## 地震発生

観測点間隔 $\sim$ (プレート境界深度) $^{-1}$



## 津波伝播

観測点間隔 $\sim$ 津波速度 $\sim$ (水深) $^{1/2}$



- 南海トラフ域の水深は200 $\sim$ 4000 m：波長比は4.5倍
- 浅海部は別種津波観測との融合も必要？ GNSS, レーダー等

# まとめ

- 見込まれる成果：南海トラフを覆う津波観測網によって
  - **予測時間の短縮** ( $\Delta/\bar{c} \rightarrow L/\bar{c}$ ) は少なくとも見込める
  - それ以上の短縮は**現在の研究課題**
    - 津波生成直後のプロセスの理解は**予測の高精度化**（+地震発生帯の理解）にも直結する
    - 既存データ+数値シミュレーションによる予測手法の**数値実験研究**がまだ必要
    - 精度を維持しつつ計算時間 $\alpha$ を減らす努力も
- 将来（と現在）の観測網に期待すること
  - 波長の考慮
  - **オープンデータであること**
    - 特に海底津波計記録の多くが現状では非公開