

海溝型巨大地震を対象とした大規模並列地震波・津波伝播シミュレーション

竹中博士 (岡山大)・岡元太郎 (東工大)・中村武史 (防災科技研)・豊國源知 (東北大)・小松正直 (岡山大)・青木尊之 (東工大)



研究目的

2011年3月11日に発生した東北地方太平洋沖地震は、強い地震動と巨大な津波によって東日本地域に計り知れないほどの地震災害・津波災害をもたらした。そのためこの地震の詳細な断層破壊過程を明らかにし、巨大地震発生に至った過程や強震動・津波の生成メカニズムを考察することが重要な研究課題となっている。さらに、得られた破壊過程モデルによる広域的な観測地震動の再現性も検討すべき課題である。これらは他の海溝型巨大地震(海洋プレート沈み込み帯の巨大地震)による強震動や津波を評価・予測するうえでの基盤ともなる。我々はこのような課題に取り組むために、時間領域差分法(Finite-Difference Time Domain)による大規模地震波・津波伝播シミュレーション手法の開発と応用を進めてきた。

平成29年度には、地震動に大きい影響を持つ境界面形状の改良に関する検討や、南西諸島全域から九州および周辺地域を含む広域3次元構造モデルの構築・検証、地震波・津波統合シミュレーションへの準デカルト座標系の導入などを実施する。

地震波シミュレーションの手法

HOT-FDM: 時間領域差分法

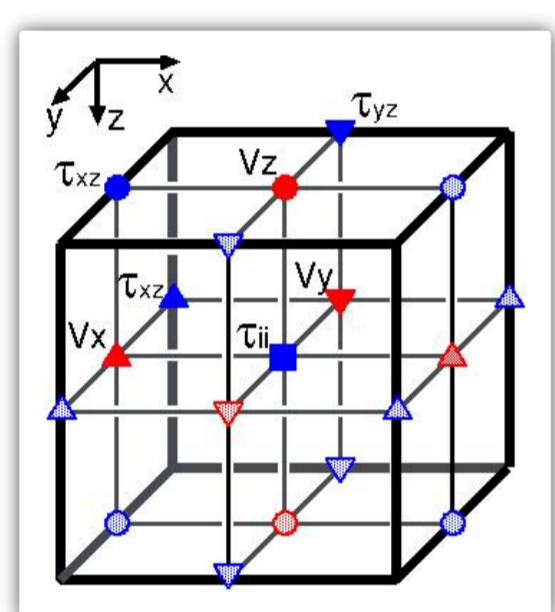


図1 食い違い格子の単位セル

Heterogeneity, Ocean layer, Topography

- 食い違い格子: 空間4次精度・時間2次精度
- 固体・流体境界(陸上地形・海底地形)
岡元・竹中(2005), Takenaka et al. (2009), 中村・他(2011)
- 不均質構造
- 非弾性減衰(メモリ変数) Blanch et al. (1995)
- GPU版: Okamoto et al. (2010; 2013)
- CPU版: Nakamura et al. (2011; 2012)

構造モデル改良手法の検討

フォワード波動場と逆伝播波動場
2つの波の掛け合わせ(図2)

$$\delta U(\omega) = \int K(x; \omega) \delta \mu(x) dV$$

波形摂動 積分カーネル 構造摂動

TSUBAME-2.5(東工大)による大規模計算

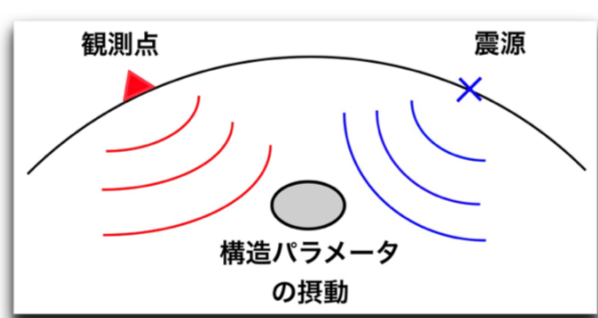
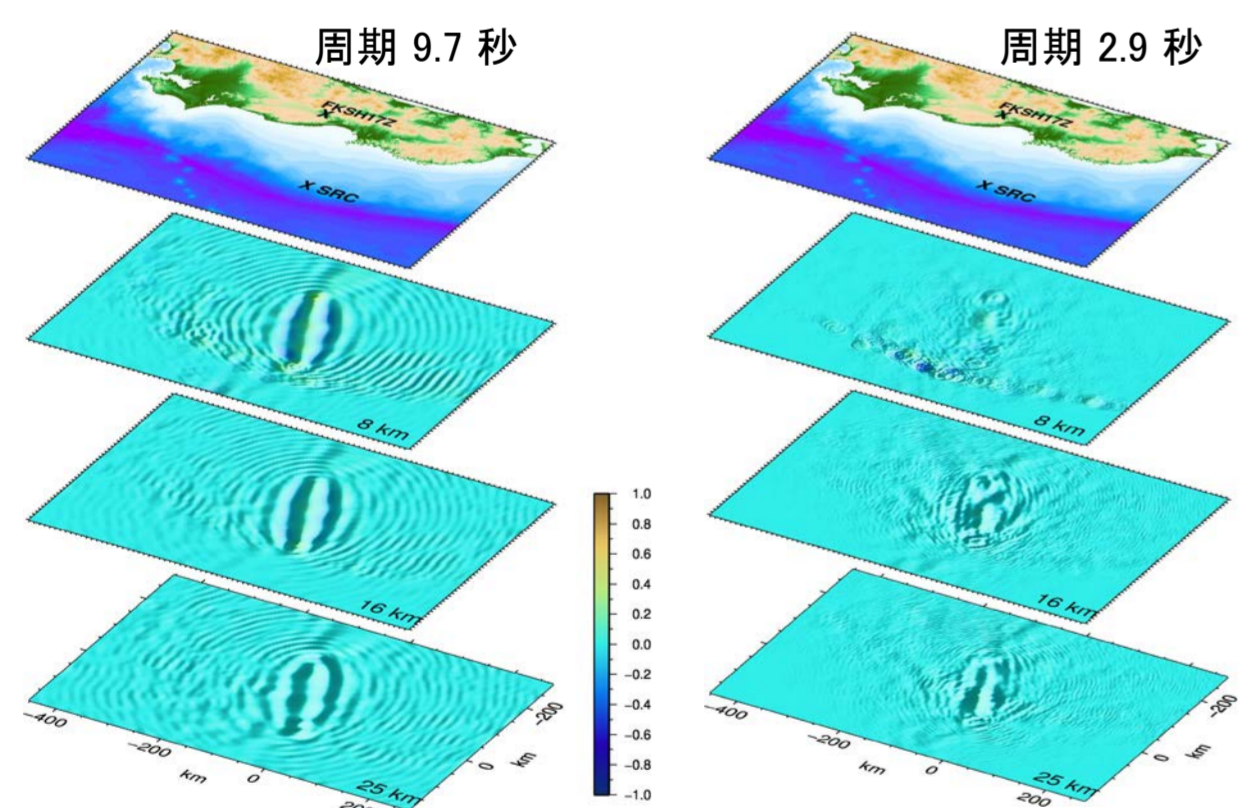


図2 積分カーネル計算の概念図

図3 積分カーネルの例。海溝近くの深さ約11kmの震源とFKSH17観測点のペアに関するカーネル(上下動成分地震動)。振幅は相対値。

- 計算条件
- TSUBAME の 380 GPU を利用
 - 格子間隔 150 m
 - 時間間隔 0.00714 s
 - 構造モデルは海水層を含む

今年度の計画

◆ 計画① 層内物性パラメータを改良する手法の検討

構造パラメータ摂動に関する波形変化量は、摂動カーネルを用いた積分方程式を逆問題として解くことにより推定することができる。この手法について東北沖を対象として、理論波形を観測データとみなすシミュレーションを用いた検討を継続する。

◆ 計画② 境界面形状を改良する手法の検討

境界面摂動カーネルの計算手法(プログラム)を開発し、東北沖を対象とした摂動カーネルの計算を行う。その結果を用いて、境界面摂動に対する波形感度の検討や、理論波形を観測データとみなすシミュレーションによる検討を進める。

謝辞

本研究では強震動波形データ(防災科学技術研究所)、遠地実体波波形データ(IRIS)、深部地盤モデル(防災科学技術研究所)、地殻・プレートモデル(Baba et al 2006; Nakamura et al 2010)、地形モデル(Kisimoto 2000)を利用させていただきました。記して感謝します。

地震波・津波統合シミュレーション

島嶼地域は海洋に囲まれていることから技術的な面で強震動予測が立ち遅れている部分がある。本研究では南西諸島域を主な対象として、そのような島嶼地域における地震動の再現性や津波発生・伝播の研究を進めるための手法開発と応用を目的としている。

陸海津波統合FDTDスキーム

- 弾性波: HOT-FDM (左欄) を利用
- 津波: 重力項を導入 (Takenaka et al., ACES 2012)
自己重力のもとでの天体の弾性振動の方程式をもとにして方程式系を導出

FX10(東京大学)による大規模計算

(1) 南西諸島沖での地震波伝播シミュレーション

地震波の3次元減衰構造(Q値)のトモグラフィ結果を構造モデル(P波・S波の非弾性要素)に反映させて、地震波部分に限定した大規模シミュレーションを実施した。

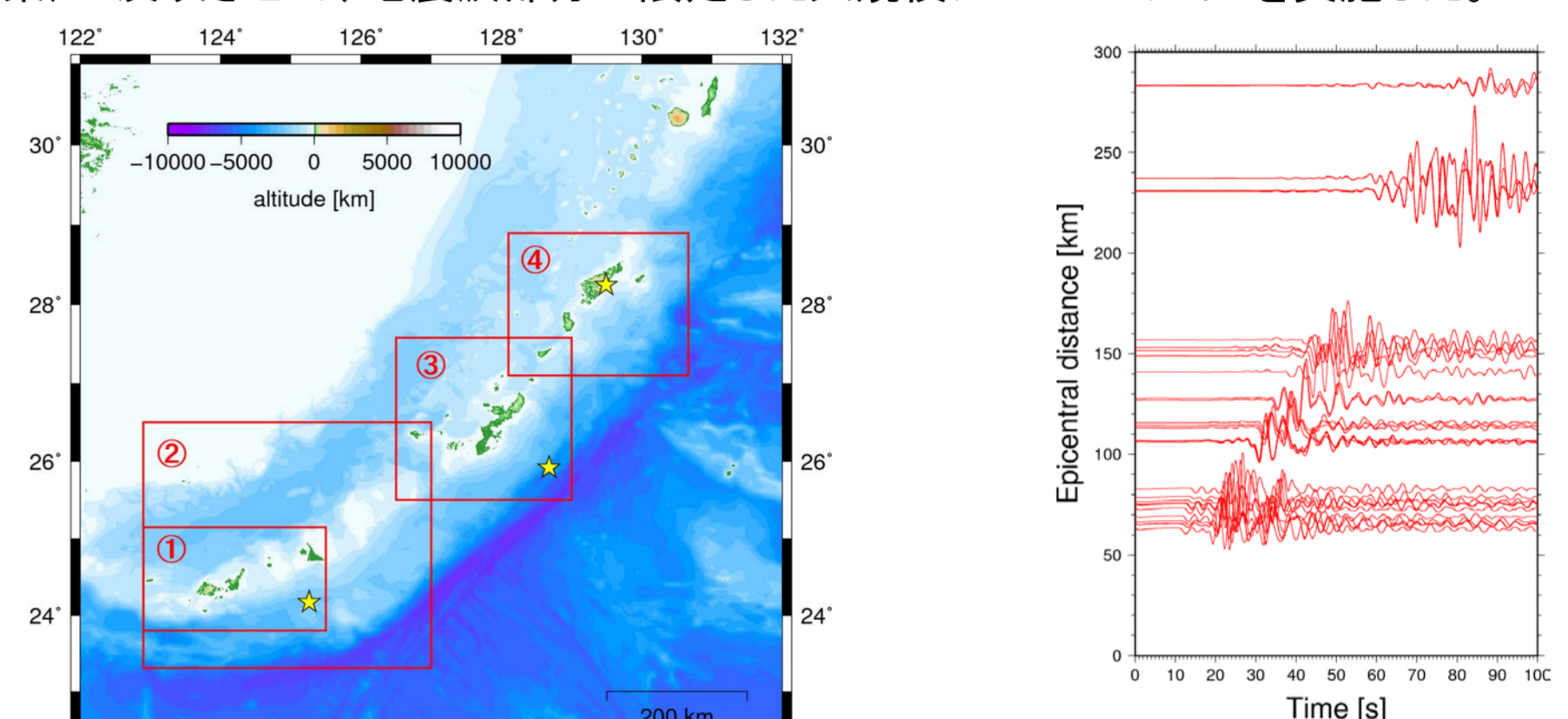


図4 南西諸島域のシミュレーション範囲(赤枠)。

図5 領域②のシミュレーションによる計算波形。横軸を時間、縦軸を震央距離にとり、波形の鉛直成分を並べた。

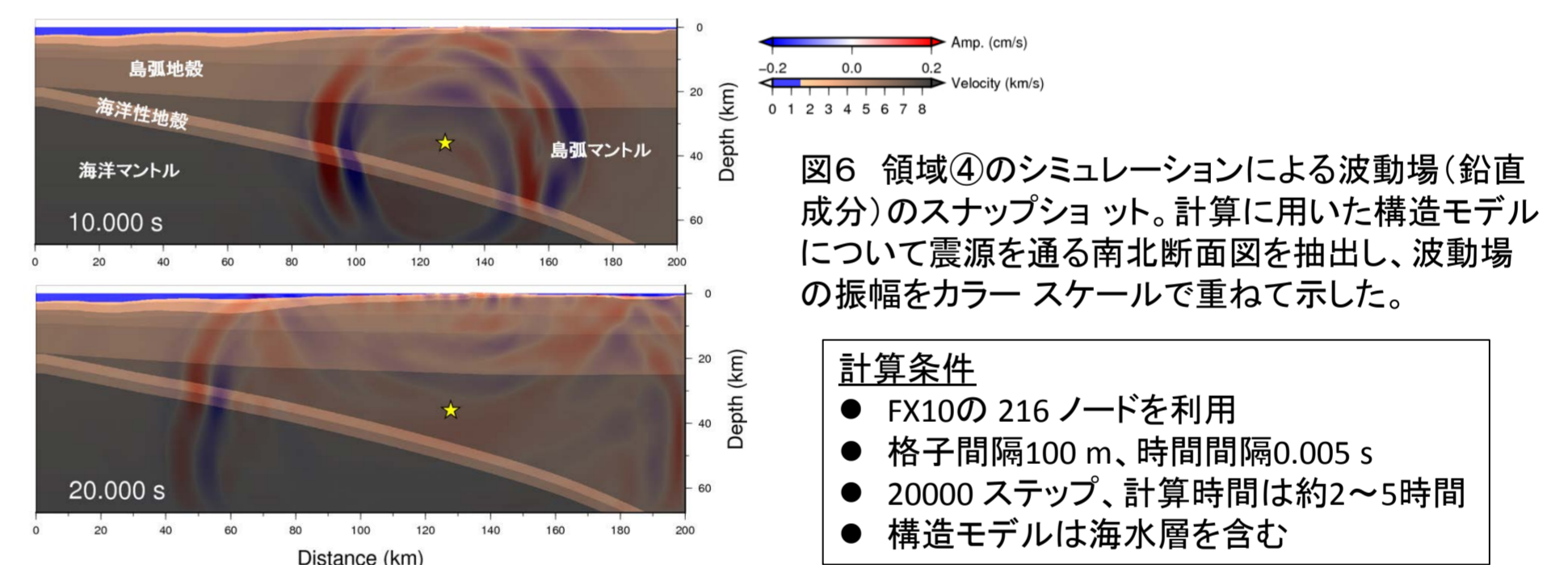


図6 領域④のシミュレーションによる波動場(鉛直成分)のスナップショット。計算に用いた構造モデルについて震源を通る南北断面図を抽出し、波動場の振幅をカラー スケールで重ねて示した。

- 計算条件
- FX10の 216 ノード を利用
 - 格子間隔100 m、時間間隔0.005 s
 - 20000 ステップ、計算時間は約2~5時間
 - 構造モデルは海水層を含む

(2) 地球の曲率を導入する準デカルト座標系スキーム

南西諸島全域のような広域の地震波伝播シミュレーションを実施するためには、地球の曲率を考慮する必要が生じてくる。本研究で提案する準デカルト座標系スキームは、既存のデカルト座標系用のプログラムにわずかな追加を施すことにより曲率を持つ地球の地震波伝播計算を可能にする(Takenaka et al. 2017)。

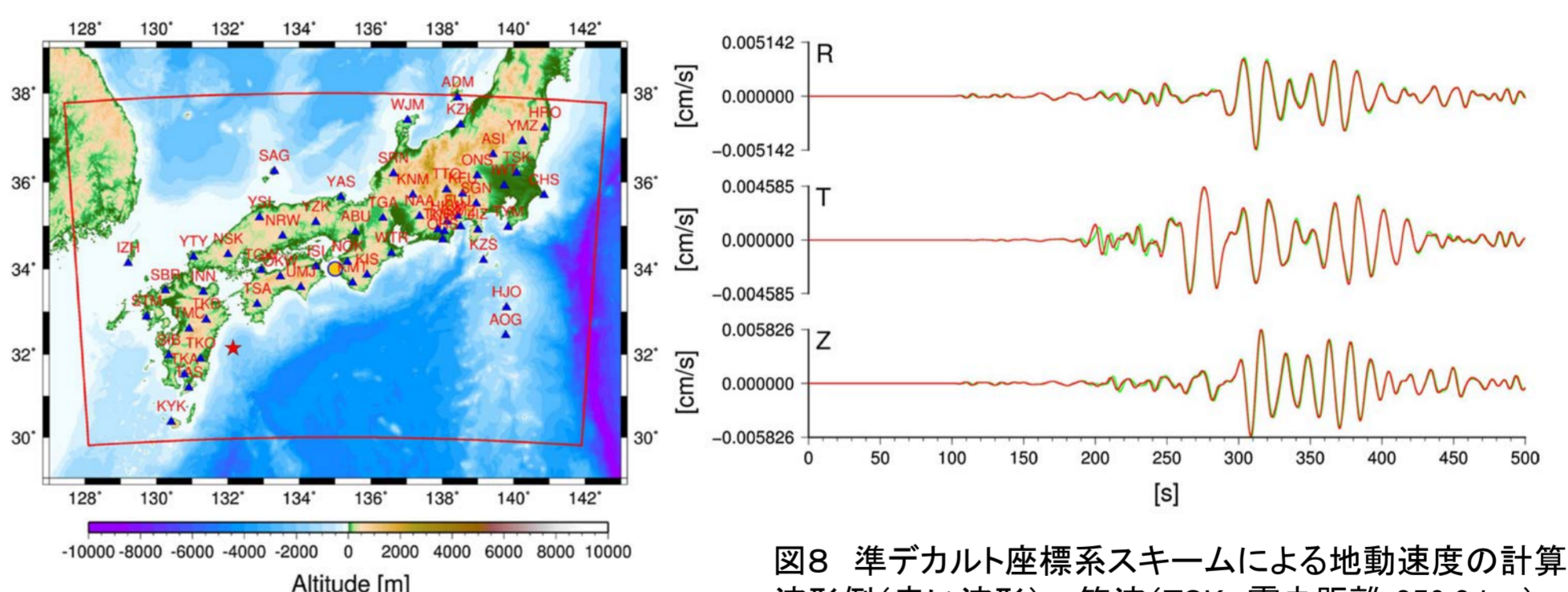


図7 準デカルト座標系スキームによるシミュレーション例の計算領域(赤枠)。赤い星マークは計算に用いた震源の震央、青い三角マークは観測点位置を示す。Takenaka et al. (2017) より引用。

図8 準デカルト座標系スキームによる地動速度の計算波形例(赤い波形)。筑波(TSK、震央距離 859.3 km)における動系方向水平成分(R)、動系に直交する水平成分(T)、上下動成分(Z)。緑の波形はデカルト座標系スキームによる。通過帯域 10-20 s のバンドパスフィルターを適用。Takenaka et al. (2017) より引用。

今年度の計画

◆ 計画① 広域構造モデル構築と試行計算

南西諸島域から九州および周辺を含む広域の構造モデルを構築し、大規模地震波・津波統合シミュレーションを試行して地震波形の再現性や構造モデルの妥当性を検討する。

◆ 計画② 地震波・津波統合計算への準デカルト座標系スキームの導入

地震波計算への導入を先行させた準デカルト座標系の計算スキームを地震波・津波統合計算に導入することについて検討を進める。