

1) 科学研究費助成事業

1) - 1 断層レオロジーを考慮した海溝型巨大地震発生モデル構築及び地震動・津波の評価【安全・安心】

Development of Generation Processes of Megathrust Earthquakes Considering Fault Rheology and Evaluation of Ground Motion and Tsunami

(研究開発期間 令和2～4年度)

国際地震工学センター
International Institute of Seismology and
Earthquake Engineering

芝崎 文一郎
SHIBAZAKI
Bunichiro

藤井 雄士郎
FUJII Yushiro

Research on earthquake generation cycle models, dynamic rupture propagation and seismic motion, dynamic rupture models for tsunami earthquakes, and tsunami generation models were developed for giant earthquakes occurring in the Nankai Trough, Kuril Trench, and other subduction zones and plate convergence zones.

[研究開発の目的]

本研究では、最近の断層レオロジー(低～高すべり速度の摩擦)に関する新しい知見に基づく海溝型巨大地震発生の物理モデルを構築し、地震動と津波生成過程を再現し、地震災害現象の予測の高度化を目指す。先ず、低～高すべり速度の摩擦を考慮した地震発生サイクルモデルにより、観測されている固着域を再現するように応力の蓄積過程を再現する。次に高速での動的弱さを考慮した動的破壊伝播シミュレーションを行い、震源から放射される長周期地震動の性質を明らかにする。さらに、海底地殻変動計算を行い、津波生成・伝播シミュレーションを実施する。具体的には、南海トラフや千島海溝における海溝型巨大地震のモデル化を行う。特に、南海トラフ沈み込み帯巨大地震震源域では、スロー地震が発生している。本研究では、これらのスロー地震の発生する領域の場の特性も考慮した動的破壊成長のモデル化を行い、それに基づき地震動や津波の評価を実施する。

[研究開発の内容]

南海トラフ、千島海溝、その他の沈み込み帯やプレート収束帯で発生する巨大地震に対して、地震発生サイクルモデル、動的破壊伝播と地震動モデル、津波地震の動的破壊モデル、津波生成モデルの構築に向けて、以下の研究を実施する。

1) 準動的な地震発生サイクルモデル

千島海溝沈み込み帯における巨大地震のアスペリティ、浅部固着域、低周波地震発生域を考慮した地震発生サイクルモデルにより、十勝沖地震と根室沖地震の連動のシミュレーションを行う。南海トラフを想定したスロースリップと地震発生のサイクルモデルを構築する。

2) 動的破壊モデル

付加体(低剛性率)を考慮した沈み込み帯浅部の津波地震のモデル化を行う。南海トラフ沈み込み帯におけるプレート境界形状を考慮したメッシュを用いて、動的破壊のシミュレーションを行う。地殻変動解析で得られた南海トラフ沈み込み帯の固着域を考慮した動的破壊のモデル化を行う。

3) 津波生成モデル

海溝型地震などを想定して、津波の生成過程を再現する。逆解析によりすべり過程を推定する。

[研究開発の結果]

1) 準動的な地震発生サイクルモデル

千島海溝を対象に、超巨大地震の準動的な地震発生サイクルのモデル化を行った。十勝沖地震、根室沖地震のアスペリティに加え、浅部アスペリティを設定し、アスペリティ内で速度弱さ、それ以外の領域に対して速度強化の摩擦特性を与えた。さらに高速度では、速度強化の領域でも、Thermal pressurizationによる動的弱さが起こる。数値シミュレーションにより、およそ400年間隔で発生する超巨大地震発生を再現した。また、超巨大地震の発生前に浅部アスペリティで固着域が狭まる様子が再現された。東北沖地震の発生サイクルと地殻変動に関するモデル化のレビューを行い、将来の課題を抽出した(Shibazaki, 2023)。

南海トラフにおける地震発生サイクルモデリングでは、スロースリップイベントのセグメントの特徴の再現を試みた。四国などでは大まかなセグメントの再現ができた一方、紀伊半島地域ではセグメントの分割が再現できなかった。紀伊半島地域において、摩擦パラメータの不均

一が存在することが示唆される。セグメント分布について、地震発生サイクルを通じた、系統的な変化はとくにみられなかった。

2) 動的破壊モデル

1896年明治三陸津波地震や2010年インドネシアマクタワイ津波地震を対象に、付加体の影響を考慮した地下構造モデルを用いた断層破壊シミュレーションを行った。津波地震の破壊挙動の特徴を再現できたとともに、観測記録と調和的な地震動の結果が得られた。付加体内では地震波が増幅されるが、その外側では地震波エネルギーの放射は小さくなる。

歴史的に巨大地震が繰り返し発生している南海トラフでは、将来、次の巨大地震が発生すると想定されており、日本社会に甚大な被害をもたらす可能性がある。したがって、地震シナリオの構築は非常に重要である。本研究では、南海トラフ巨大地震を想定した動的破壊シミュレーションに、南海トラフ周辺の現実的なプレート境界面（岩崎，2015）を考慮した3次元スペクトル要素法（Galvez et al., 2014 など）に基づき、すべり弱摩擦則（Ida, 1972）を用いて物理学に基づく動的破壊シミュレーションを行った。応力分布の初期条件は、Noda et al., (2022) によって推定された応力率に基づいている。1944年東南海地震(Mw8.0)などの最新の南海トラフ歴史地震の震源に近い紀伊・熊野セグメントからの地震シナリオの破壊を主に考慮した。数値計算の不安定性を回避するため、海溝近傍では安定すべりを仮定した。より現実的な応力状態、媒質特性、沈み込むプレート形状を考慮したシミュレーション結果の蓄積は、地震シナリオを構築する上で重要な物理的示唆をもたらすとともに、巨大地震時の断層挙動を理解する上で有用な知見をもたらす。

3) 津波シミュレーション

津波シミュレーションに関しては、データ整理、計算機環境整備、津波波源モデルの再検討等を行った。海外の地震ではあるが、2004年スマトラアンダマン地震(M9.2)と2005年ニアス地震(M8.6)について、津波及び地殻変動データ等の再解析を行い、同地震の津波波源モデルを構築した。また、2022年トンガ火山噴火による津波のシミュレーション、2024年能登半島地震の津波波形とGNSSデータのジョイントインバージョン等を行った。南海トラフ及び千島海溝における津波シミュレーションのため、GPGPUによる並列津波伝播計算の更なる高精度・高速化を実施した。

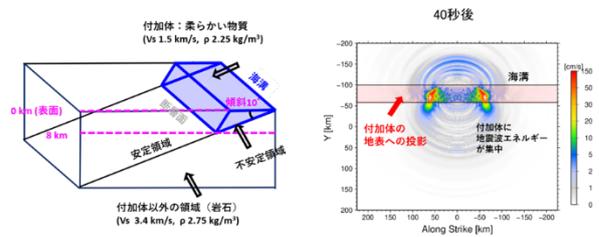


図1 左：モデルに用いた媒質構造。付加体で低剛性率を考慮したモデル化を実施。右：破壊過程のモデル化で得られた地表での地震動。付加体にエネルギーがトラップされ、その外側では振幅が小さくなっている (Tsuda and Shibazaki, 2021)。

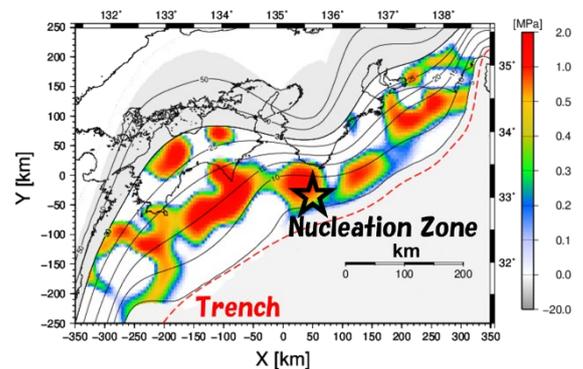


図2 地震発生間隔を100年とした場合の応力降下量の分布 (Tsuda, Shibazaki, and Ampuero, 2023)。

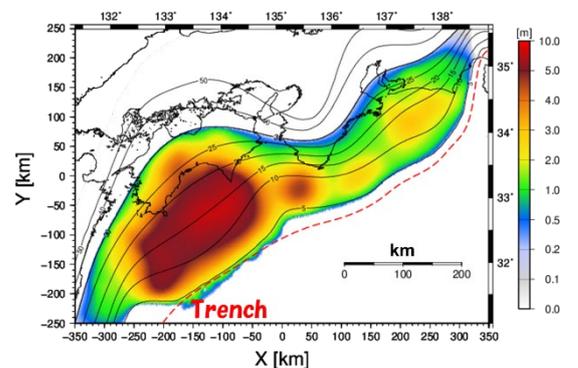


図3 動的破壊のシミュレーション結果。すべり分布 (Tsuda, Shibazaki, and Ampuero, 2023)。

【参考文献】

- 1) Shibazaki, B. (2023). Progress in modeling the Tohoku-oki megathrust earthquake cycle and associated crustal deformation processes. *Progress in Earth and Planetary Science*, 10(1), 1-28.