

宇宙から観測されたスマトラ沖地震津波と地震断層モデル

The Giant Sumatra Earthquake Source Model from Satellite Altimetry

平田 賢治[1]; 佐竹 健治[2]; 谷岡 勇市郎[3]; 倉賀野 連[4]; 長谷川 洋平[5]; 林 豊[6]; 浜田 信生[6]
Kenji Hirata[1]; Kenji Satake[2]; Yuichiro Tanioka[3]; Tsurane Kuragano[4]; Yohei Hasegawa[5]; Yutaka Hayashi[6]; Nobuo HAMADA[6]

[1] 海洋センター; [2] 産総研 活断層研究センター; [3] 北大地震火山センター; [4] 気象庁海洋気象情報室; [5] 気象庁・気象研; [6] 気象研

[1] JAMSTEC; [2] Active Fault Research Center, GSJ/AIST; [3] Hokkaido U; [4] Office of Marine Prediction, JMA; [5] MRI,JMA; [6] MRI-JMA

1. はじめに

人工衛星に搭載された海面高度計がインド洋を伝播するスマトラ沖地震津波を捉えた (JPL/NASA, 2005; Gower, 2005). NASA/French Space Agency の共同ミッション衛星 Jason-1 と TOPEX/POSEIDON の海面高度データを解析し、スマトラ沖地震の第 1 近似的な地震断層モデルを推定した. NOAA の研究者 Titov 博士 (Titov, 2005) がいち早くこの衛星海面高度データのモデリングを行っているが、彼のモデリングでは赤道から北緯 15 度までの Jason-1 海面高度がうまく説明できていない.

2. 地震断層モデルの設定と解析手法

幅 100km, 奥行き 150km の副断層 14 枚 (南から北へ E1, E2, ... E14) を海溝軸に平行に並べた. 信頼のおける震源カタログから震源分布断面を 9 枚作成し、スンダ海溝のプレート境界を推定した結果、その傾斜角は 10 度と見積もられた. 津波は球面座標系上で線形長波 (浅水) 理論を差分法で解いて計算した (Satake, 1995). 計算された 3 次元的な津波場から、人工衛星の緯度、経度、その地点の通過時刻を基に、衛星軌道の直下の海面高度だけをサンプリングし、各副断層に対するグリーン関数とした.

今回は、断層の破壊伝播速度を一定 (各副断層の破壊開始時間を既知とする) とし、破壊速度を様々に変化させた上で副断層上の滑り量のみを推定する、非負の拘束条件付きの線形インバージョン解析を行った.

3. 解析結果と解釈

線形インバージョン解析の結果、破壊伝播速度が異様に遅い地震断層モデルでなければ、観測された衛星海面高度データを説明できないことがわかった. 最適な地震断層モデル (平均的破壊伝播速度 0.7km/sec) から計算された理論値と観測データを比較した. 最適モデルは観測データをとても良く説明している. 観測データと理論値の一致度を表す正規化残差二乗和は 0.28 となった. ちなみに、破壊伝播効果を考慮しない断層モデルの場合 (断層面が無限大の速度で割れた場合) の最も良いモデルでも、正規化残差二乗和は 0.4 程度までしか小さくならない.

また、14 枚の副断層のうち最も北端の副断層は地震によって破壊されていないという結果になった. 0.7km/sec という異様に遅い破壊伝播速度を信じると、全体破壊の継続時間は、全長 1300km / 0.7km/秒 = 1900 秒、約 30 分と推定される. この値は、短周期地震波の継続時間から推定された 180-500 秒 (IRIS, 2005) の約 5 倍から 10 倍も大きい.

断層面上の平均的な剛性率を $3.5 \times 10^{10} \text{N/m}^2$ と仮定すると、地震モーメントは、 $9.86 \times 10^{22} \text{Nm}$ になる. 米国地質調査書 / 国立地震情報センターやハーバード大学の推定値 ($4.0 \times 10^{22} \text{Nm}$) のおよそ 2.5 倍も大きい. モーメントマグニチュードは、今までの推定値 Mw9.0 ではなくて Mw9.3 と大きく見積もられる. 地球自由振動の解析結果 (Stein & Okal, 2005) によれば、自由振動の最も長周期モードの観測値から推定された地震モーメントは、最大で $13 \times 10^{22} \text{Nm}$ で、Mw9.3 となる. 本稿の Mw の見積もりとはほぼ同じ値である.

最も大きく滑った領域は、スマトラ島北西端に最も近接した断層部分であり、その平均的な滑り量は約 30m と推定される. スマトラ島北西端は今回の大津波で最も被害が大きく、1 月になされた現地調査の結果 (日本津波調査団, 2005), 最大で 35m の津波波高が測定された場所である.

4. まとめ

スマトラ沖地震が起きてから 2 時間後に、偶然、インド洋を通過した人工衛星によって歴史上初めて外洋を伝播する津波が捉えられた. その海面高度データを解析した結果、スマトラ沖地震は異様に破壊伝播速度が遅い (約 0.7km/sec) 地震であることがわかった. 津波地震の典型的な破壊伝播速度は 1km/sec がそれ以下である (Pelayo & Wiens, 1992) ので、スマトラ沖地震は超巨大な津波地震に分類される.

震央付近の平均的な滑り量は約 16m と推定され、今回の超巨大地震の全体の大きさに比較すれば小さいとは言え、それでも M8.6 もある. 1800 年代には、スマトラ沖地震の震央に隣接する南側で 2 つの M9 クラスの巨大地震が発生している (Newcomb & MacCann, 1987). すなわち、この南縁領域は巨大地震の発生域である. Stein & Okal (2005) も心配しているように、この南縁領域は今後要注意地域と考えた方がよい.