九州大学学術情報リポジトリ
Kyushu University Institutional Repository

海溝型地震の津波シミュレーション

藤井, 雄士郎
独立行政法人建築研究所国際地震工学センター

https://doi.org/10.15017/1467691

出版情報：九州大学情報基盤センター広報 : 全国共同利用版. 6 (3), pp.191-195, 2007-03. Computing and Communications Center Kyushu University
バージョン：
権利関係：

海溝型地震の津波シミュレーション

藤井雄士郎[1]

海溝型地震の発生場所や規模，メカニズムの推定は最近の研究により可能になってきた．断層パラメータ（断層の位置や大きさ，震源メカニズム，すべり分布など）が分かれば，適切な海底及び陸上の地形データを利用した津波シミュレーションにより，沿岸部での津波到達時刻や津波波高，浸水域の予測が可能である．逆に，観測された津波の記録を使って，インバージョンにより津波波源域を推定することもできる．

2004 年スマトラーアンダマン地震は，グローバルな観測網が整備されてから初めて発生した海溝型巨大地震である．その津波波源域を明らかにすることは，海溝型巨大地震と巨大津波の発生様式を解明し，将来の発生予測と防災対策を講じる上で重要である．以上のような観点から本稿では，同地震の津波シミュレーションとインバージョンで推定した津波波源モデルについて報告する．

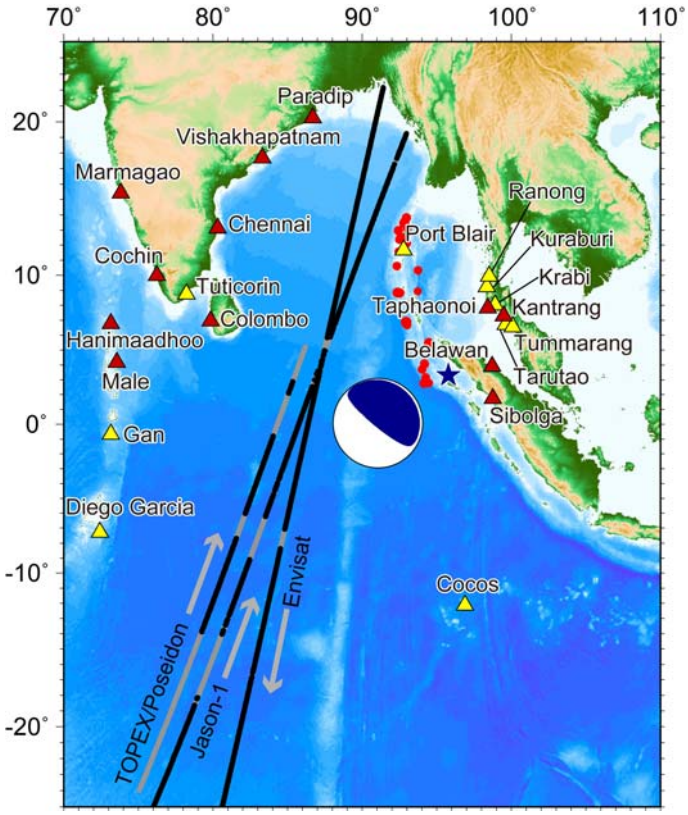

図 1 インド洋沿岸における検潮所の位置（赤及び黄色の三角形）と津波発生時の海面高度を記録した人工衛星の軌道（実線）．赤丸は本震発生後 1 日の間に発生した余震分布を示す．インバージョンでは赤色の三角形で示した検潮所の記録を使用した．

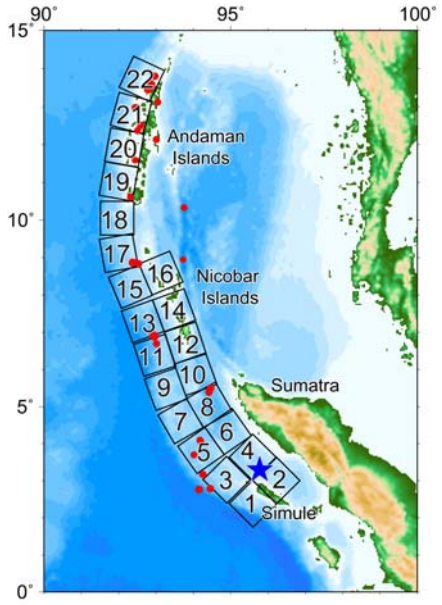

図 2 設定した断層モデル．各小断層の大きさは 100 km × 100 km である．断層破壊は青星（震央）から始まり，北へ進展する．

[1] 独立行政法人 建築研究所 国際地震工学センター fujii@kenken.go.jp

スマトラ島からアンダマン諸島の海溝沿いでは，過去に M8 クラスの地震は発生していた（例えば *Ortiz and Bilham*, 2003）が，M9 を越えるような巨大地震の存在は知られていなかった．余震分布や地殻変動の証拠から推定される 2004 年スマトラーアンダマン地震の震源域はスマトラ島沖からニコバル諸島，アンダマン諸島にかけて 1000 km 以上に渡って分布している（図 1）のに対し，地震波を用いた解析が示す震源域の大きさはそれよりも短く，数百 km である[*Ammon et al.*, 2005]．津波記録から推定される波源域も，以下に示すように少し異なっている．

インバージョンでは，震源域を囲む 12 ヶ所の検潮所（図 1 の赤三角）で得られた津波波形記録と，今回の地震で初めて津波を捕らえた 3 つの人工衛星（Jason-1，TOPEX/Poseidon，Envisat）による海面高度データ（図 1 の実線は人工衛星の軌道を示す）を用いた．断層面上のすべり分布を推定するため，海溝軸に沿った震源域を 22 個の小断層に分割し（図 2），各小断層に単位すべり量を与え，それらを初期条件として津波シミュレーションを行う．観測された津波波形や海面高度は，津波シミュレーションで計算された津波波形（グリーン関数）の重ね合わせであるとして，各小断層の重みを求めたものがすべり量に対応する．ここで，津波伝播の数値計算には，全地球的な地形データである ETOPO2 に沿岸付近の海図をデジタイズしたデータを組み合わせた海底地形データを使用し，シミュレーションの高精度化を図っている．各小断層におけるすべり量とその誤差を見積もるため，インバージョンでは非負条件付の最小二乗法とデリートハーフ・ジャックナイフ法をそれぞれ用いた．津波シミュレーションとインバージョン手法の詳細については[*Fujii and Satake*, 2007]を参照されたい．

表 1 にグリーン関数の計算に用いた計算機環境と計算時間についてまとめる．1 つの小断層について 1 回の計算（1 ケース）が必要で，今回の断層モデルの場合，合計 22 ケースの計算が必要となる．1 ケースあたりの計算時間は 1CPU 使用時に約 50 分で，全てのグリーン関数を用意するのに冗長実行で約 18 時間かかる．断層の位置や深さを変えるなどして，他の断層モデルを検証する場合にはより多くの計算が必要となるが，1 ケース毎の計算で並列計算を行ったり，複数ケースを他の CPU や複数の計算機に分配して並列実行を行うことにより計算時間の短縮が期待されるであろう．

表 1 津波シミュレーションに用いた計算機環境と 1 ケースあたりの計算時間（1CPU 使用）

Computer environment	CPU	Intel(R) Itanium 2 (1.6 GHz) × 4
	Main memory	16 GB
	OS	HP-UX B.11.23 U
	Compiler	HP Fortran Compiler ver. 2.8.4
	Optimization	-Ofast
Calculation for each case	Dimension	1200 (Lon.) × 1500 (Lat.)
	Used memory	333 MB
	Computational time	50 min

断層モデルでは破壊の伝播効果を考慮しており，破壊速度が 1.0 km/s のときに最も良く観測記録を説明するため，本稿ではその時の結果についてまとめる．人工衛星データ（SA）のみを使用したインバージョンの結果（図 3（中）），津波波源域はアンダマン諸島までのび，その長さは 1,400 km に達する．この津波波源モデルから計算されるインド東岸の津波波形は検潮記録に比べて過大評価となる．一方，津波波形記録（TG）のみ（図 3（左）），または津波波形記録と人工衛星データの両方（TG+SA）（図 3（右））を用いたインバージョンの結果では，津波波源域の長さは約 900 km である．後者の場合，最大すべり量はスマトラ島北西部の沖合で 13－25 m に達する．次にすべりの大きな領域はニコバル諸島付近に位置し，そのすべり量は約 7 m である．図 4 に津波波形記録と人工衛星データの両方を用いたインバージョンでの観測記録と理論値の比較を示す．人工衛星データの南緯 3～4° 付近のピークが理論値では再現されていないが，津波波形記録と理論波形の一致は概ね良好である．

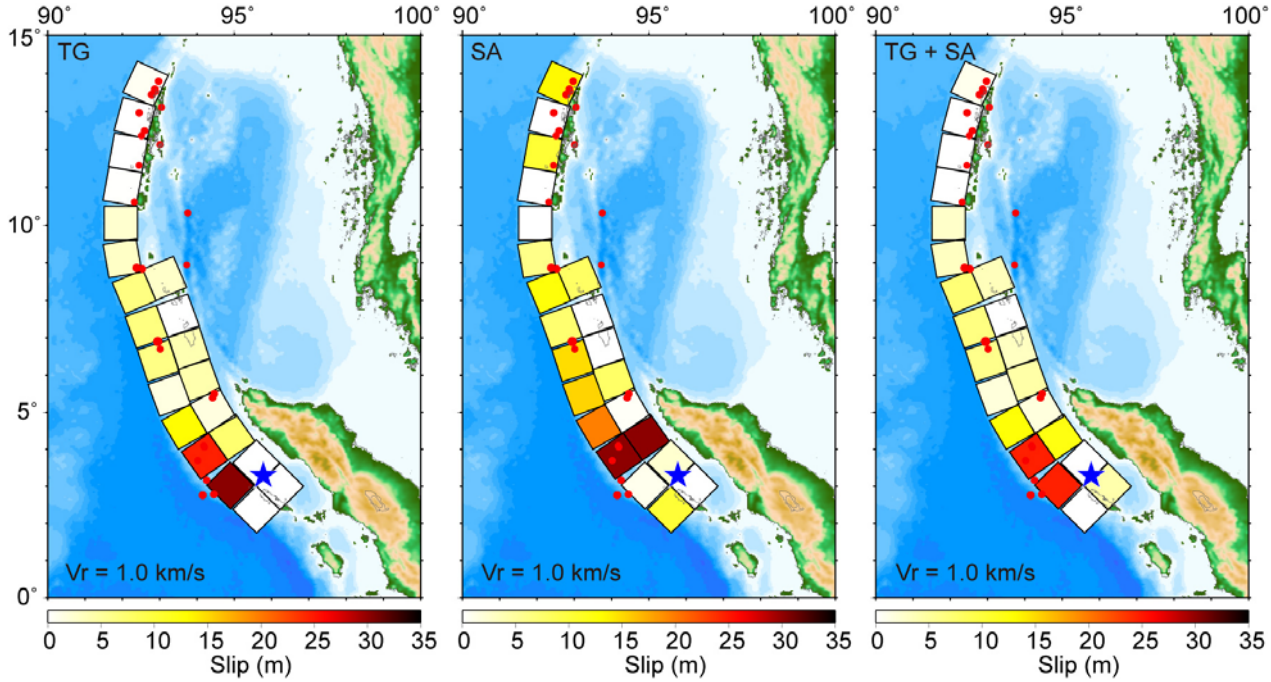

図 3 インバージョンで求めたすべり量分布．（左）津波波形記録のみを用いた場合．（中）人工衛星の海面高度データのみを用いた場合．（右）津波波形記録と人工衛星データの両方を用いた場合．

インバージョンで求めたすべり分布から計算した地殻変動（図 5）は，現地調査[*Kayanne et al.*, 2005]や人工衛星画像解析[*Meltzner et al.*, 2006]により推定されたニコバル諸島の沈降域やアンダマン諸島の隆起・沈降域と一致するものの，定量的には過小評価となっている．震源域の北部に位置するアンダマン諸島では，*Kayanne et al.* [2005]が北西側で最大 1.7 m の隆起，南東側で最大 1.0 m の沈降を測定しているが，津波波形記録と人工衛星データの両方（TG+SA）を用いたインバージョン結果による地殻変動量（図 5（右））はほぼゼロである．津波記録から推定した地殻変動量が観測事実をサポートしないとすると，これらの地殻変動の一部は津波の発生よりも長い時間スケールで引き起こされた可能性がある．

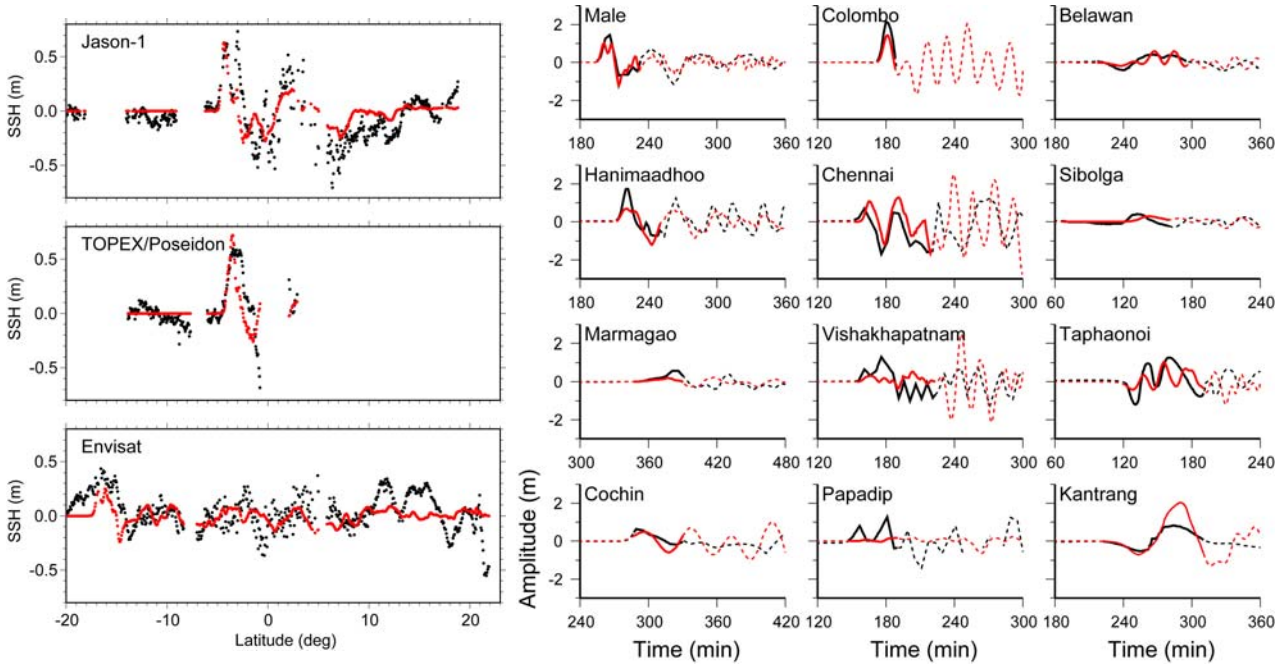

図 4 津波波形記録と人工衛星データの両方を用いたインバージョンでの観測記録（黒）と理論値（赤）の比較．（左）人工衛星データと理論的な海面高度．（右）津波波形記録と理論波形．実線で示した区間はインバージョンで使用した区間を示している．

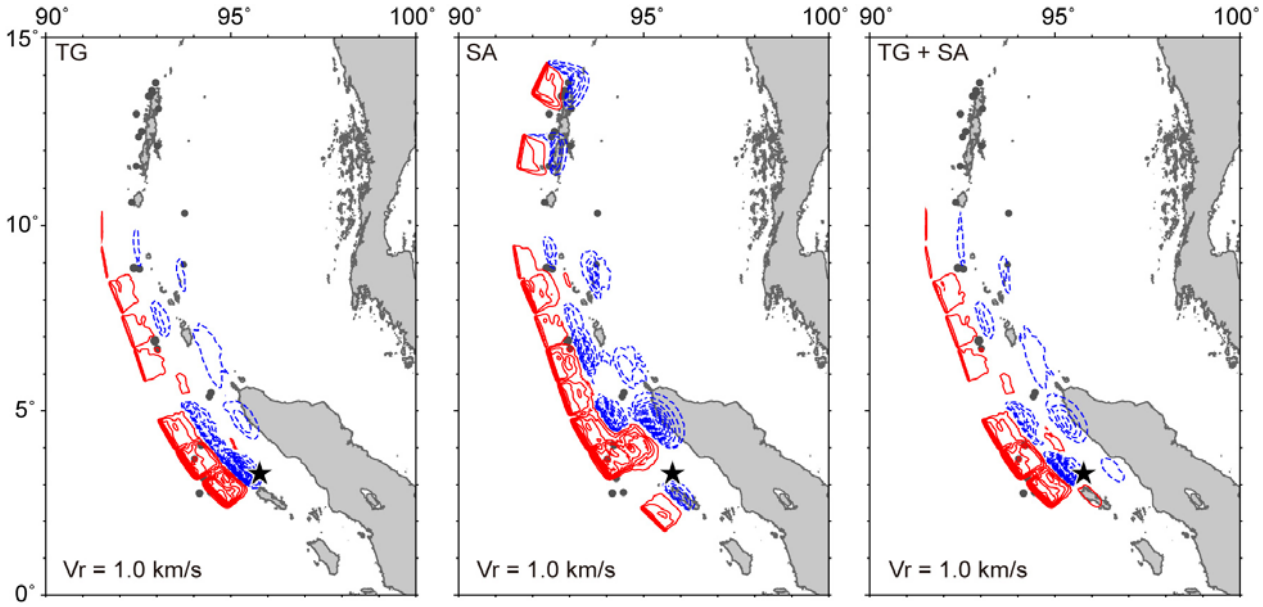

図 5 インバージョン結果を用いて計算した地殻変動量．赤のコンターが隆起，青のコンターが沈降を示す．コンター間隔は隆起が 1.0 m，沈降が 0.5 m．（左）津波波形記録のみ．（中）人工衛星の海面高度データのみ．（右）津波波形記録と人工衛星データの両方を用いた場合．

参考文献

Ammon, C. J., et al. (2005), Rupture process of the 2004 Sumatra-Andaman earthquake, *Science*, *308*, 1133-1139.

Fujii, Y., and K. Satake (2007), Tsunami source of the 2004 Sumatra–Andaman earthquake inferred from tide gauge and satellite data, *Bull. Seism. Soc. Am.*, *97*, S192-207.

Kayanne, H., et al. (2005), Coseismic uplift of the Andaman Islands associated with the Sumatra-Andaman Earthquake of 2004 and the recurrence history of gigantic earthquakes, *Memorial Conference on the 2004 Giant Earthquake and Tsunami in the Indian Ocean, Programs and Abstracts*, P1-2-1-2.

Meltzner, A. J., et al. (2006), Uplift and subsidence associated with the great Aceh-Andaman earthquake of 2004, *JOURNAL OF GEOPHYSICAL RESEARCH*, *111*, doi:10.1029/2005JB003891.

Ortiz, M., and R. Bilham (2003), Source area and rupture parameters of the 31 December 1881 M w = 7.9 Car Nicobar earthquake estimated from tsunamis recorded in the Bay of Bengal, *J. Geophys. Res.*, *108 (B4)*, doi:10.1029/2002JB001941.