

□2004年12月インド洋大津波の数値

シミュレーションと早期津波被害

把握に向けての技術展望

東北大学大学院工学研究科災害制御研究センター

助教授 越村 俊一

1. はじめに

2004年12月26日00:58(UTC)、インドネシア・スマトラ島の西方沖を震源とする巨大地震が発生した。地震のマグニチュードは、米国ハーバード大学の発表によると $M_w=9.0$ で、1900年以降に世界で発生したすべての地震のうち第4番目となる巨大なものであった。この地震により発生した津波はインド洋全体に伝播し、史上最悪となる甚大な被害を及ぼした。

インド洋沿岸の数多くの地域で津波が目撃され、その来襲の様子がマスコミを通じて報じられたものの、インド洋全体に波及した津波の全貌把握は、甚大な被害を受けた被災地からの情報が断片的であったこともあり、難航した。一般に、巨大災害の発生直後は、激甚な被災地内の情報が欠落する。この情報空白期を如何にして乗り切るか、広域津波災害発生直後の被害概略を把握するための有効な手段として、数値シミュレーション技術が注目されている。

本稿では、未曾有の大災害となったインド洋大津波の特性を、筆者が実施した数値シミュレーション結果に基づき概説する。

また、巨大津波災害による被害リスクの早期把握技術の新たな展開として、数値シミュレーション技術とリモートセンシング/GIS技術の融合について、今後の展望を述べる。

2. 2004年インド洋大津波の数値シミュレーション

図1に、12月26日の本震の震源(図中の星印:米国地質調査所、ハーバード大学発表のもの)と余震分布を示す。図中の実線はプレート境界である。スダ海溝ではインド・オーストラリアプレートが、スマトラ島を挟んで、ユーラシアプレートの下に北北東方向に、 $40\text{--}50\text{mm/year}$ の速度で沈み込んでおり、その沈み込み帯において本震が発生したと考えてよい。2004年12月26日の本震後の余震は、スマトラ島北西部からアンダマン・ニコバル諸島にかけてのスダ海溝に沿って、 $1,300\text{km}$ 以上の広い範囲で発生し、本震の断層面もこれに近いスケールを持ったものであると考えられる。

厳密には、地震時に発生する海底地盤変

動の時間スケール(断層面の破壊伝播速度や断層滑りの立ち上がり時間)が影響するが、ここでは数 100km にわたる海底地盤の変動が瞬時に海水を押し上げ、津波の初期水位を形成すると仮定する。図 2 は筆者が

推定した海底地盤変動量分布(津波初期水位分布)である。断層は、余震分布に整合するように、北側と南側の2断層(セグメント)に分割した。地震のモーメントマグニチュードから換算し、断層の滑り量は 11m とし

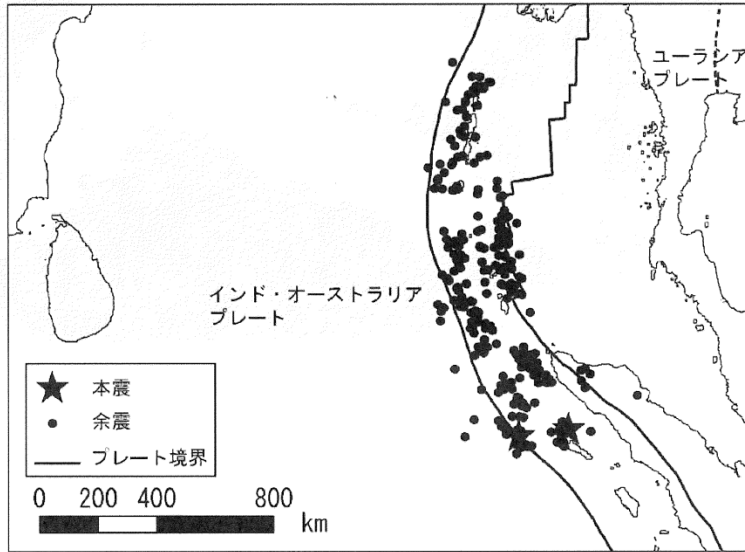


図 1 12月26日の本震の震源と余震分布

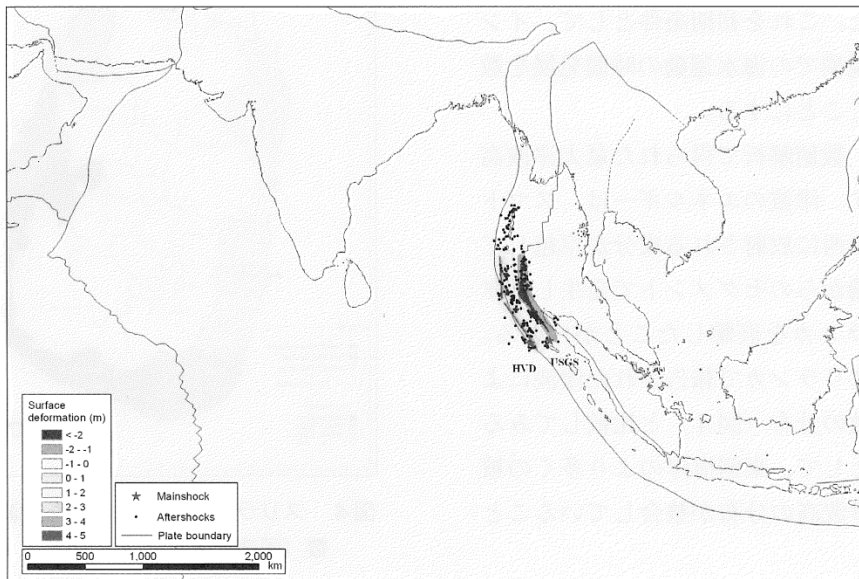


図 2 2004年スマトラ島沖地震による推定地盤変動

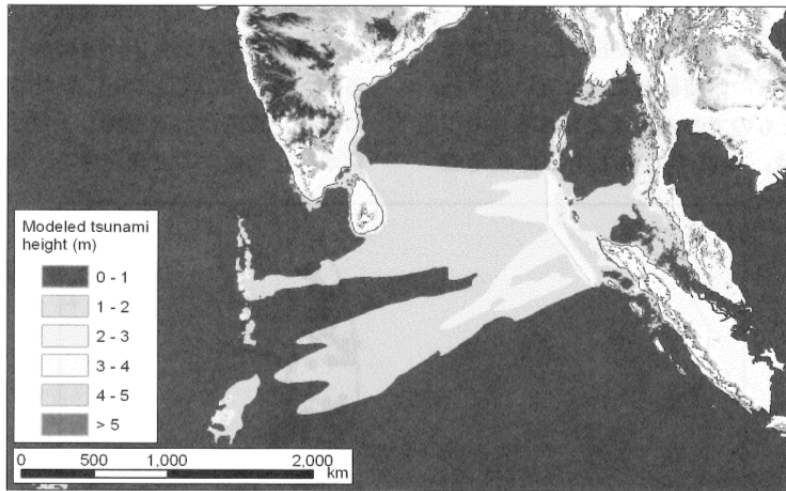


図3 数値シミュレーションにより得られた推定津波高さ

た。これを初期条件として、インド洋全体規模での海水運動の時間発展を数値的に解くことにする。

図3に、数値解析で得られた最大津波高分布を示す。津波のエネルギーは、スマトラ島から東西に放射される成分が卓越しており、北側からのセグメントで発生した津波がスリランカを直撃したことが分かる。

実際に、スリランカで報告された津波による被害者数の分布(図4)と比較してみると、結果として、東側海岸のより多くの被害者数と津波高の分布が整合していることが分かる。

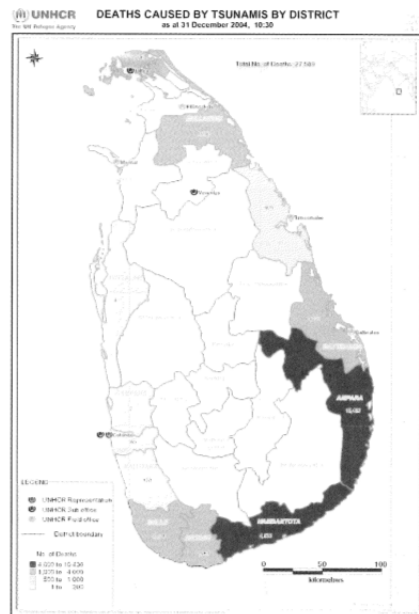


図4 スリランカで報告された津波被害者数(国連発表)

3. 伝播途上の津波をとらえた Jason-1

津波発生直後に、数多くの人工衛星が被災地をとらえたのは記憶に新しい。多くの衝撃的な被災地画像がインターネット上にあふれた。これらの衛星画像のすべては、津波来襲後に地球を周回していた人工衛星により撮影されたものであり、車一台の判別が可能なほどの高い解像度で、被災地の様子を伝えていた。

一方、地震発生からおよそ2時間後、インド洋上空を一基の人工衛星が周回していた。ちょうど、津波第1波がスリランカ東海岸を襲った直後のことであった。その人工衛星は、Jason-1 と呼ばれ、NASA/FrenchSpaceAgency の共同ミッションとして打ち上げられ、レーザー海面高度計を搭載していた。図5に Jason-1 の周回軌

道と観測された海面高度を示す。これまで人工衛星に搭載された海面高度計が伝播途上の津波を捕らえたのは、1例しか存在しなかった。現在の津波解析技術は、発生時の初期水位変動分布が既知であれば誤差 10% 以内で沿岸部の津波高さの予測が可能である。津波予測精度向上のもっとも困難な壁は、津波発生機構の解明、すなわち如何に津波発生時の水位を面的にかつ正確にとらえるかである。局地的な地形効果を含んだ津波打ち上げ高さや、不確定要素の強い水理フィルタを通した検潮儀の記録からだけでは、津波予測結果の詳細な検証は限界があった。その意味で、津波発生直後の沖合を伝播する津波をとらえた Jason-1 の功績は大きい。図5に示すのは、筆者による数値シミュレーション結果(地震発生から2時

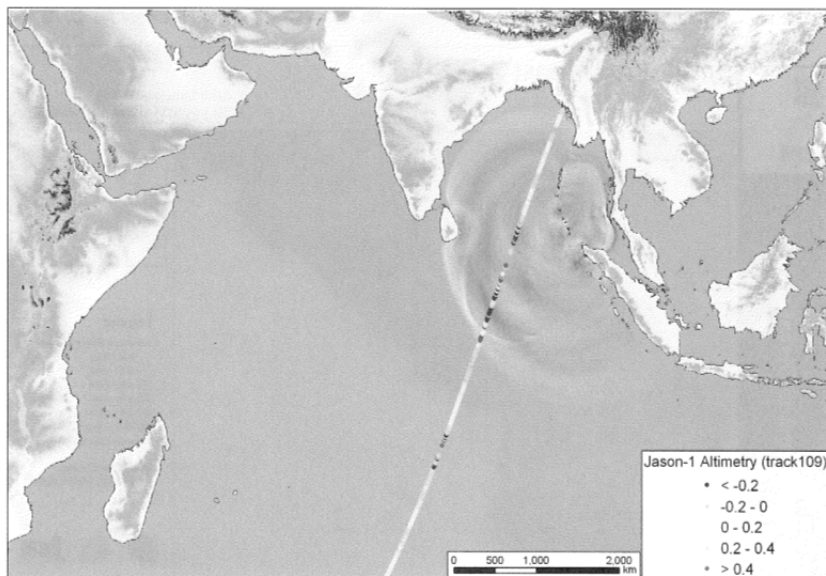


図5 地震発生から2時間後に津波をとらえた衛星 Jason-1 の軌道 (図には津波シミュレーションにより得られた伝播の様子も示してある)

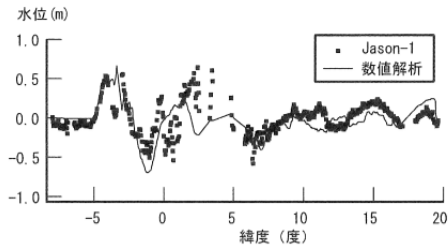


図6 Jason-1による海面高度計データと数値解析結果の比較

間後の海面変動)とJason-1による海面高度を比較したものである。南北方向に伝播する津波第1波については、十分な精度で予測可能であることが確認された。より詳細な検証により、津波発生機構の解明が進むことを期待したい。

4. 津波被災地の推定と地域の脆弱性の評価

沿岸部における津波被災規模は、単に来襲する津波の高さだけでは決まらない。津波被害の全体像を把握することは、すなわ

ち、津波高さの推計・把握に加え、その津波に曝される社会的条件を考慮することが、津波被災地推定の要件となる。津波来襲地域についての情報が不十分な中、筆者らがまず行ったのは、津波の数値シミュレーション結果と米国の気象衛星 DMSP

(Defense Meteorological Satellite Program)により得られた夜間光データとの統合であった。図7にその例を示す。ハザード情報としての津波高さに加え、夜間光の強度に反映される社会活動の有無を統合表示することにより、より正確な被災地の特定が可能となる。

また、津波災害が社会に与える影響度や地域の津波災害に対する脆弱性を直接的に評価する指標として、たとえば、米国 OrkRidge National Laboratory が公開している人口統計データ (LandScan2003)を利用した手法もある。図8は、インド洋沿岸部地域に來襲する津波の高さ毎に、津波に曝さ

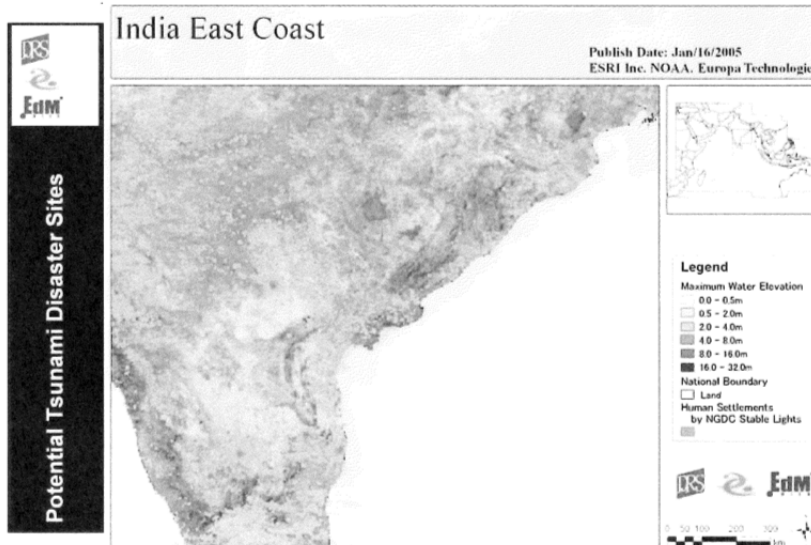


図7 津波数値シミュレーション結果とDMSP画像の統合表示による被災地推定

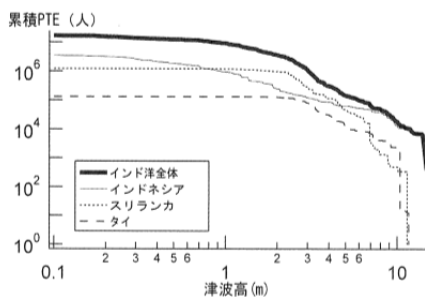


図8 インド洋沿岸各国の津波高さ（予想値）に曝される人口の分布

れる人口を整理して表現したものである（PTE:PotentialTsu.namiExposu.re）。この結果から、沿岸各国の津波に対するぜい弱性を評価することができる。たとえば、CNNが公表している2005年2月現在のインド洋全体の津波死者・行方不明者数は297,046名であり、それと一致する人口に対応した津波高を図8から読み取ると4.09mとなった。すなわち、インド洋全体で考えた場合、4.09m以上の津波に曝された人口が死亡または行方不明になったと解釈できる。同様に、主要被災国の死者・行方不明者数に一致するPTEに対応した津波高を図の値から読み取り、これを地域の津波脆弱性と定義すると、表1のようになる。この値は、ある地域において死者がでる津波高の下限であると統計的に解釈できるから、小さくなるほど想定した津波に対して脆弱であると判定することができる。

2004年のイベントに対してはインドネシアが最も脆弱であり、次いでスリランカ、インド、タイと、死者数に対応していることが分かる。

これらの手法は、津波数値シミュレーションとリモートセンシング技術、GIS(地理情報システム)分析技術の統合により得られたものである。以上の分析を、津波災害発生直後に行うことができれば、迅速な被災地の推定、地域ごとの脆弱性評価が可能となる。災害救援を的確にするためには、どこにどれくらいの人被災者がいるかを知ることなしに、必要な支援を届けることは不可能である。効果的な被災地調査を行うためにも、津波被害が発生する危険性のある地域を迅速に特定することが不可欠である

5. おわりに

本稿では、津波の数値シミュレーション結果に基づくインド洋の津波特性を概説した。また、筆者らが進めている数値シミュレーション技術と、リモートセンシング・GIS(地理情報システム)技術の統合による早期被災地推定技術について、その展望を述べた。

インド洋沿岸12カ国で29万人以上の死者・行方不明者をだしたこの津波災害を契機に、インド洋の津波防災対策推進に向け

表1 スマトラ島沖地震津波における被災各国の脆弱性

	インド洋全体	インドネシア	スリランカ	インド	タイ
死者・行方不明者	297,046名	236,169名	35,672名	16,416名	8,388名
脆弱性	4.09m	2.07m	5.38m	5.86m	5.92m

での国際社会の要請が高まった。これを受けて、我が国の気象庁はインド洋全体を43の予報区に分割して、地震直後の津波発生有無の可能性と予想到達時刻等を伝える警戒システムの運用を開始した。しかし、インド洋における真の津波予警報システムの構築には、2004年の災害事例だけでは不十分であり、過去の事例の整理や津波観測網の整備に加え、将来起こり得る巨大地震のシナリオを網羅した、インド洋全体の津波被害リスクを基礎資料として蓄積する必要がある。そのためには、単に被害リスクを津波高さだけで表現するのは不十分であり、沿岸諸国の社会的条件もできる限り考慮しなければならない。

本稿で紹介した技術は、津波発生直後の被害推計だけでなく、インド洋全体の津波災害ポテンシャルを評価するためにも応用できる。たとえば、スダダ海溝沿いで発生しうるM9クラスの巨大地震を想定し、発生しうる津波に対応したPTE(Potential

TsunamiExposure)を算出することにより、

津波災害が社会に与える影響度や地域の津波災害に対する脆弱性を評価することができる。このような統合技術を整備し実用化することも、津波対策先進国である我が国が果たすべき重要な役割である。

参考資料

2004年12月16日インド洋地震津波災害調査ウェブページ。

<http://www.drs.dpri.kyoto-u.ac.jp/sumatra/index-j.html>

越村俊一、高島正典、鈴木進吾、林春男、今村文彦、河田恵昭、インド洋における巨大地震津波災害ポテンシャルの評価、海岸工学論文集、第52巻、2005、印刷中。

Gower, J., JasonI detectsthe26December2004

Tsunami, EOS, Transactions, AmericanGeophysicalUnion, Vol. 86, No. 4, 37-38, 2005.

OrkRidgeNationalLaboratory:GlobalAmbient

Population2003. <http://www.ornl.gov/sci/gist/landscan/landscan2003/>