

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 30 年 9 月 6 日現在

機関番号：82102

研究種目：若手研究(B)

研究期間：2015～2017

課題番号：15K17752

研究課題名(和文) 巨大地震による津波の発生と浸水：弾性体-流体相互作用と非線形現象

研究課題名(英文) Earthquake tsunami generation and inundation: elastic-fluid dynamics and nonlinear wave

研究代表者

齊藤 竜彦 (Saito, Tatsuhiko)

国立研究開発法人防災科学技術研究所・地震津波防災研究部門・主任研究員

研究者番号：30550933

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 2,000,000円

研究成果の概要(和文)：津波発生場から浸水までを取り扱う理論基盤を構築した。まず、流体-弾性体の相互作用を考慮し、津波発生場において、津波発生時に海底に加わる圧力変化を導くとともに、重力・弾性力・慣性力の役割を明らかにした。この理論を基に、津波発生から沿岸浸水までを計算する新しい手法を考案することで、弾性波の影響を考慮した津波発生と高解像度(最小~6 m)の浸水計算を実現した。南海トラフで発生する可能性のある巨大地震の破壊シナリオに関して、海底水圧計・海面変位計記録と都市部への浸水を理論合成し、津波モニタリング能力測定のためのブラインドテスト問題を作成した。

研究成果の概要(英文)：A theoretical foundation was constructed for tsunami generation, propagation, and inundation. By taking the interaction between fluid and elastic medium into account, we theoretically calculated the pressure change caused by the earthquake and tsunami generation. The contributions of gravity, elasticity, and inertia force during the generation were quantitatively investigated. Moreover, based on this theoretical consequence, we proposed a new numerical method that can simulate more realistic tsunami generation in an elastic medium and the nonlinear inundation with high-resolution (~6 m) bathymetry/topography data. We synthesized the records of ocean-bottom pressure change and ocean-surface displacement together with the inundation into a city area with an anticipated huge earthquake dynamic rupture scenario in the Nankai Trough. These synthesized records are available for the measurement of the performance of our tsunami monitoring and predicting ability.

研究分野：地震学

キーワード：地震 津波 固体 流体

1. 研究開始当初の背景

東北地方太平洋沖地震では、陸上で得られる地震波形解析に頼って津波規模を推定したために、その規模を大きく見誤り、沿岸に襲来する津波を過小に評価してしまった。この問題を克服するために、東日本太平洋沖において、海底地震津波観測網(S-net)の設置が行われた。S-netでは、海底水圧計を使って津波を直接計測することで、津波の規模を正確に推定する狙いがある。海底水圧計による津波の計測は、従来の検潮記録による津波計測に比べて、沖合で精密に津波波高を計測できるため (~5 mm の津波波高を検知可能)、現代の津波観測の主流であり、震源から比較的離れた地域の津波を対象とした太平洋津波予測システムでも採用されている (Titov et al. 2005)。日本においても海底水圧計による津波観測を想定した津波予測システムの開発が精力的に進められている。

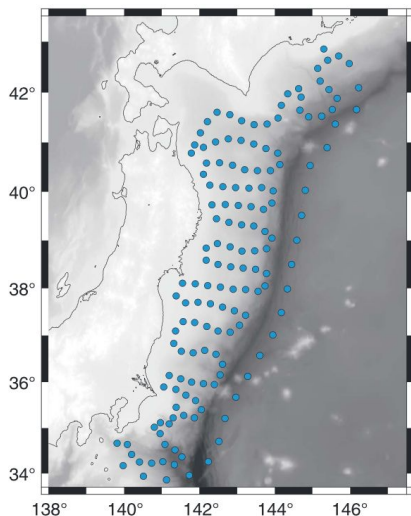


図1. 海底地震津波観測網 (S-net) (Cited from Saito and Tsushima 2016 J. Geophys. Res.)

しかし、水圧計記録解析による津波規模の推定は、地震波解析による推定に比べ、即時性が劣る。例えば、地震発生後 15 分以内においては、津波規模の推定が不安定・不正確になることが報告されている (Tsushima et al. 2011)。その本質的な理由は、津波規模推定に使われている原理が、津波の伝播過程において成り立つ物理法則に基づいているからである。

津波伝播過程になる前の津波発生過程から、津波規模を推定する原理が確立されれば、即時性を格段に向上することが出来る。しかし、「海底の水圧変化は海面変動と比例関係にある」という極端に単純化された現在の考え方は、地震動、海中音波津波が入り交じった状態にある津波発生場を正確に表現できない。地震断層から離れた地点での従来の観測体制では、この問題は顕在化しないが、巨大地震直上での津波観測という前例のない観測では問題となる。S-net がもつ潜在能力

を十分に発揮するために、地震断層-津波発生(波源形成)-沿岸津波浸水を正確に結びつける理論的な枠組みが必要とされていた。

2. 研究の目的

弾性-流体が相互作用する系における津波発生過程の詳細な物理メカニズムを解明する。特に、海底地震動、海中音波、そして、海面変動(津波)が複雑に絡み合う津波発生場における海底水圧記録の理論合成、および、海底水圧記録・地震波形記録からの津波成分抽出方法について検討する。また、得られた知見に基づき、即時津波予測開発のためのブラインドテスト記録、すなわち海底地震波形記録・水圧記録と津波浸水域の合成記録のセットを作成する。

3. 研究の方法

研究は、弾性-流体相互作用を厳密に考慮した津波発生場の再現、海底地震動・海中音波・津波が入り交じった状態での海底水圧変化の理論合成、および、海底水圧・地震波形記録からの津波成分抽出方法の提案、津波発生から沿岸域までの津波伝播を含む理論基盤の構築、固体-液体系における断層運動から津波浸水までを可能にするシミュレーションコードの開発、地震発生物理に基づく地震シナリオに対する地震波・津波合成とブラインドテストの作成、を実施する。理論的な基礎研究が計画の主な部分を占めるが、即時津波予測の高精度化への波及効果を意識し、ブラインドテスト問題を作成する。そのため、応用力のある理論となるように実記録との比較検討を行いながら研究を遂行する。

4. 研究成果

(1) 津波の発生・伝播に関する理論

弾性地球で発生する地震断層運動と圧縮性海水との相互作用を取り入れた数値計算を実施し、海洋音響波と地震波を含む津波発生場を再現した。一様なすべり分布で表されるシンプルな地震断層モデルを仮定した計算を実施し、地震津波発生場シミュレーション結果を可視化した。背景にある物理現象を数式による解析解で表現した。これらの理論的研究の成果の一部を、総合報告(齊藤 2016 地震)で発表した。

非圧縮海水の津波発生場理論の解析解から、津波発生に伴って動的な圧力変化が現れることが予測されていた。弾性地球と圧縮性海水の数値シミュレーションによっても、動的な圧力変化が現れることを確認した。さらに、この動的な圧力変化は、地震断層による海底変位が急峻な変形を含まない場合に限り、従来の単純な関係式で再現出来るが、東北地震で報告されているような、急峻な海底変位を含む場合には Saito (2013 EPS) の解析解によって再現出来ることを確認した (Saito 2017 GJI)。

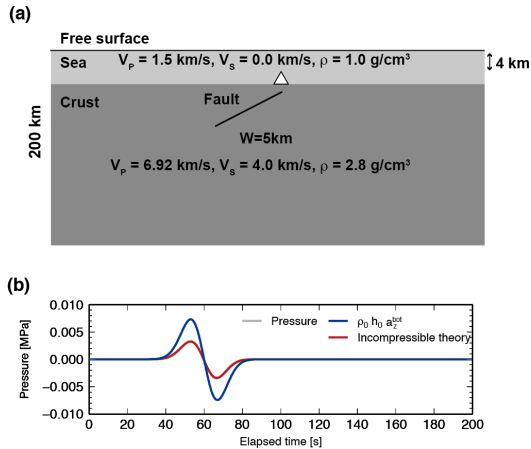


図 (a) 圧縮性の海水層と弾性地殻を仮定した数値シミュレーションの実施.(b) 数値シミュレーションによって得られた地震発生時の海底圧力変化(灰色線・赤線の背後に重なっている)・従来の単純な理論による圧力変化の予測(青線)では、数値シミュレーションを再現できないが、Saito (2013 EPS) で提案した非圧縮津波発生理論に基づく解析解で高精度に再現できる(赤線)(cited from Saito 2017 Geophys. J. Int.) .

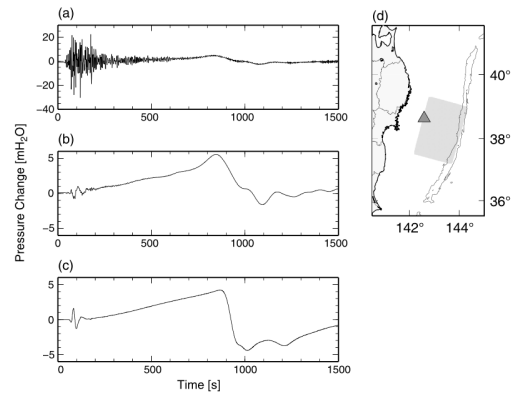
(2) 津波発生理論を用いた応用事例

地震発生時に現れる動的な圧力変化は、およそ海底の鉛直変位加速度に比例する。つまり、通常は津波の計測に用いられる海底水圧計も、その動的圧力変化に注目すれば、実効的には、海底加速度計(地震計)として機能することを意味する。実際に、東北沖に設置された海底水圧計を地震計として解析することで、沖合の地震観測点数を向上させ、地震震源(セントロイド)の位置を、より正確に、高精度に推定できることを、実際の観測記録を解析することで示した(Kubota, Saito et al. 2017 GRL) .

(3) 数値アルゴリズムの開発

津波による静的な圧力変化だけでなく、海底の変位加速度に伴って表れる動的な圧力変化を含め、地震発生時の海底圧力変化を計算するアルゴリズムを開発した。

津波発生理論に基づき、地震波と津波のシミュレーションを統合することで、複雑に時空間変化する断層すべり分布、実際の海底地形データを反映した数値シミュレーションを実現するアルゴリズムを開発した(Saito and Tsushima 2017 JGR) . さらに、海底圧力変化だけではなく、津波と地震波を含む海面変位を合成するための数値シミュレーションのアルゴリズムを開発した(Saito et al. IAG-IASPE 2017) .



図(a)2011年東北地震で得られた海底水圧記録.(b)60秒のローパスフィルタで海洋音響波を除去した海底水圧記録.(c)津波発生理論に基づき、地震波と津波のシミュレーションを統合した新手法で理論合成した海底水圧記録.(c)観測点位置(cited from Saito and Tsushima 2016 J. Geophys. Res.) .

(4) 南海トラフ巨大地震の津波模擬波形記録の作成

津波発生の基礎理論に基づき、海底水圧記録および海面変位記録を合成する数値シミュレーションコードを作成し、これを用いて、南海トラフで発生しえる巨大地震の津波発生・伝播仮定をシミュレートした。複雑な断層運動による津波発生から、河川形状までを正確に考慮した浸水シミュレーションを実現した。特に、観測可能量である海底水圧変化と海面変位に関する模擬波形記録を合成するとともに、高知市への津波浸水域をシミュレートし、津波即時予測に対するブライントテスト問題を作成した。

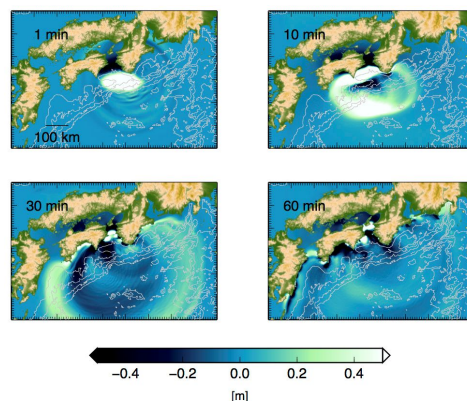


図 南海トラフで発生する可能性のある大地震による津波伝播の様子

5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

[雑誌論文](計 4 件)

Saito, T. (2017), Tsunami generation: validity and limitations of conventional theories. Geophys. J. Inter. (査読有), 210(3), 1888-1900, <https://doi.org/10.1093/gji/ggx275>.

Kubota, T., T.Saito, W. Suzuki, R. Hino (2017), Estimation of seismic centroid moment tensor using ocean bottom pressure gauges as seismometers, Geophys. Res. Lett. 44 (21) <https://doi.org/10.1002/2017GL075386> (査読有)

Saito, T. and H. Tsushima (2016), Synthesizing ocean bottom pressure records including seismic wave and tsunami contributions: Toward realistic tests of monitoring systems, J. Geophys. Res. Solid Earth (査読有), 121, 8175-8195, doi:10.1002/2016JB013195.

齊藤竜彦 (2016). 津波発生の理論. 地震 第 2 輯(査読有), 68(5), 135-145.

[学会発表](計 9 件)

齊藤竜彦 (2015), 海底水圧観測で捉える津波の発生過程: 固液複合シミュレーションの非圧縮性理論による解釈, 日本地球惑星科学連合 2014 年大会予稿集.

Saito, T. (2015), Detecting tsunami inside the source region by ocean-bottom pressure: a theoretical study, 26th IUGG General Assembly 2015.

Saito, T. (2015), Simulating seismic wave, ocean-acoustic wave, and tsunami for the tsunami generation process, 9th the ACES International workshop.

齊藤竜彦 (2015), 海洋音響波・地震波・津波を含む海底水圧記録と浸水域の理論合成方法, 日本地震学会講演予稿集.

齊藤竜彦・福山英一 (2016), 動力学的断層破壊シナリオによる地震波・津波記録の理論合成, 日本地震学会講演予稿集, S17-05.

Saito, T., E. Fukuyama, and S. Kim (2016), Seismic and tsunami waveform simulation based on dynamic rupture scenarios: anticipated Nankai-Tonankai earthquakes, southwest Japan, AGU Fall meeting, NH32B-05.

Saito, T, T. Baba, S. Takemura, and E. Fukuyama (2017), Synthesis of offshore tsunami records and inundation including seismic waves and tsunami: anticipated

Nankai Trough earthquakes, Southwest, Japan, IAG- IASPEI, J04-4-04.

Saito, T, T. Baba, S. Takemura, and E. Fukuyama (2017), Sea-surface displacement and tsunami inundation including seismic waves and tsunami for anticipated Nankai Trough earthquakes, Southwest, Japan, JpGU-AGU Joint Meeting 2017, SSS08-17.

Saito, T and H. Tsushima (2017), Synthesis of tsunami waveforms including dynamic and static pressure change: practical tests of tFISH, JpGU-AGU Joint Meeting 2017, HDS12-03.

[図書](計 0 件)

[産業財産権]

出願状況(計 0 件)

取得状況(計 0 件)

[その他]

6. 研究組織

(1) 研究代表者

齊藤 竜彦 (SAITO, Tatsuhiko)

防災科学技術研究所・地震津波防災研究部門・主任研究員

研究者番号: 30550933

(2) 研究分担者

なし

(3) 連携研究者

なし

(4) 研究協力者

日野亮太 (HINO, Ryota)

福山英一 (FUKUYAMA, Eiichi)