

科学研究費助成事業（科学研究費補助金）研究成果報告書

平成25年 6月 7日現在

機関番号：12601

研究種目：挑戦的萌芽研究

研究期間：2010～ 2011

課題番号：22654054

研究課題名（和文） 急変する地球重力場により発生する津波

研究課題名（英文） Tsunami generated by rapidly changing gravity field

研究代表者

綿田 辰吾（WATADA SHINGO）

東京大学・地震研究所・助教

研究者番号：30301112

研究成果の概要（和文）：2010年チリ地震の断層面滑りによる地球内部の質量再分配によるジオイド高変化は震源付近で cm オーダーでありジオイド高変化は巨大津波の発生要因ではなかった。2010年チリ地震や2011年東北沖地震の津波の太平洋横断する時間が20分程度遅延する現象は、海水圧縮性・固体地球の弾性・津波の伝播中の質量移動による重力ポテンシャル変化を考慮にいたした長周期津波の逆分散性で説明できた。また長周期での津波位相速度低下を考慮した遠地津波波形は観測波形と良い一致を示し、到達時刻差の問題は解消された。

研究成果の概要（英文）：Geoid change by the mass re-distribution caused by the fault model of the 2010 Chilean earthquake is a few cm near the epicenter and not the cause of the large tsunamis. 20 min delay of the 2010 Chilean and the 2011 Tohoku-Oki earthquakes tsunami traveltime across the Pacific relative to the predicted time was due to anomalous dispersion of long-period tsunami caused by the compressibility of seawater, the elasticity of the solid earth, and the geo-potential change associated with mass motion during tsunami propagation. The computed tsunami waveform at distant locations taking into account the tsunami velocity reduction at long-period shows good agreement with the observed waveform and the traveltime delay has disappeared.

交付決定額

（金額単位：円）

	直接経費	間接経費	合計
2010年度	1,500,000	0	1,500,000
2011年度	1,100,000	330,000	1,430,000
総計	2,600,000	330,000	2,930,000

研究分野：数物系科学

科研費の分科・細目：地球惑星科学・固体地球惑星物理学

キーワード：地震現象、津波、2011年チリ地震、2012年東北沖地震、伝播遅延、・

1. 研究開始当初の背景

(1) 学術的背景

2004年スマトラ沖巨大地震は人類が経験した1960年チリ地震以来の最大規模の地震であった。このスマトラ地震はこれまで津波被害は発生しないと考えられてきたアンダマン海沿岸やインド洋沿岸の国々に潰滅的な津波被害を与えた。巨大地震による津波の早期警戒システムがインド洋沿岸で運営され

ていなかったため、巨大地震の発生の検知と、迅速な警報伝達の実現されなかった。巨大津波の発生メカニズムを学術的知見から理解することは甚大な被害をもたらす巨大地震に有効な早期警戒システムを構築するために非常に重要である。スマトラ地震の地震断層モデルは地震波解析、GPS地殻変動解析、津波解析からそれぞれ推定されている。Song et al. (2008)は、スマトラ沖巨大地震の地震

断層モデルから計算される津波波高は、観測された津波波高の約3分の1であることを指摘した。観測された津波を説明するため、GPS や地震波の解析結果と相容れない巨大な断層すべりを導入している。通常、津波から推定される断層すべり量は、地震波から推定されるすべり量とほぼ等しく、スマトラ沖巨大地震で津波と地震波解析から求めた断層すべりが大きく異なっている理由は解明されていない。

(2) 学術的な特色と予測される意義

2004年スマトラ沖巨大地震のすべての津波記録と地震波・重力、測地データを統一的に満足する『スマトラ沖地震モデル』は得られていない。津波予測のためには、特に地震波から推定される地震断層モデルを津波発生源とする早期津波警戒システムの運用には、地震波から推定される地震断層モデルと津波から推定される地震断層モデルが一致する必要がある。本研究の革新的な考えは、巨大地震では地球重力場自体が大きく変化し、津波の初期の位置エネルギーの見積りに、これまで看過されてきた影響が含まれていることを提唱したことにある。もし地球重力場の変化による津波発生の寄与が海底地殻変動による津波発生の寄与に匹敵するほど大きければ、巨大地震に対する津波予測を抜本的に変革する必要がある。

2. 研究の目的

2004年スマトラ沖巨大地震では甚大な津波被害が発生した。地震波やGPS地殻変動観測から推定されたスマトラ沖巨大地震断層モデルから予測される津波波高は、観測された津波波高の30%でその差の発生原因は分かっていない。一方、地球の重力場を人工衛星から測定すると地震発生前後の震源域で大きく変化している。津波は海面と重力等ポテンシャル面の差により生ずる位置エネルギーを励起源としているが、これまで重力場が変化する効果は津波励起問題では看過されていた。断層運動に伴う地球内部質量移動が、地球の等重力ポテンシャル面を変化させ、巨大な津波を発生させている可能性がある。巨大地震に伴う重力場の急変が震源域に過剰な津波を発生するならば、巨大地震津波防災対策の基礎となる津波予測を根本から変革する必要がある。

3. 研究の方法

(1) 2004年スマトラ沖巨大地震の断層モデルから地球の変形量と重力変化量を、(Fu and Sun 2007)の地震に伴う地球変形理論から定量的に見積もる。

(2) 人工衛星重力観測による重力変化量と、理論上のスマトラ沖巨大地震重力変化と比較して理論的計算の妥当性を検出する。(3)

(3) 重力変化による等重力ポテンシャル面(ジオイド高)変化を求め、2004年スマトラ沖巨大地震の前後のジオイド変化を考慮した場合としない場合で、それぞれ津波波高を計算する。

(4) 重力変化が最終的な津波波高にどの程度寄与するか、定量的に評価する。

4. 研究成果

(1) 2004年スマトラ沖巨大地震の被害を契機として、太平洋・インド洋・大西洋の沖合深海底に水圧計測式の津波計測センサーが設置され、データは海上ブイと通信衛星を経由してリアルタイムで陸上津波監視センターに伝送され、これまで困難だった津波が沿岸に到達する前の深海底での津波監視が可能となった。2004年スマトラ沖地震の地震波解析から求めた断層運動モデルと、GPS測地データから求めた断層モデルは、津波から求めた断層モデルと滑り量にして2倍から3倍異なり、津波断層滑り量が過大に見積もられてきた。この原因について重力ポテンシャル変化=ジオイド高変化に伴う津波発生メカニズムを検討した。2010年チリ地震で津波波形から求めた断層面滑り量から計算される地球内部の質量再分配によるジオイド高変化は震源付近でcmオーダーであり、滑り量のmオーダーと二桁異なった。ジオイド高変化は巨大津波の発生要因ではない。

(2) 2010年チリ地震や2011年東北沖地震の津波が太平洋を横断してそれぞれ、日本や南米沿岸の海底津波計により計測された津波は最大20分予測津波到達時刻より遅れる現象が明確になった。この原因について調査したところ、海底摩擦、海流、コリオリ力、地表重力値の地域性、海底水深データの系統的誤差の影響は除外された。これまで津波伝播では考慮にされていなかった、海水圧縮性・固体地球の弾性・津波の伝播中の質量移動による重力ポテンシャル変化を考慮に入れた、固体地球とカップルする海洋中の波動現象として津波を解析したところ観測された津波波形が長周期で逆分散性を示すが説明できた。またこの長周期での津波位相速度低下を考慮に入れて長周期の遠地津波波形を計算すると観測波形と良い一致を示し、到達時刻差の問題は解消された。

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)

- ① Occhipinti, G., L. Rolland, P. Lognonne, S. Watada, From Sumatra 2004 to Tohoku-Oki 2011: the systematic GPS detection of the signature of tsunami related

- internal gravity waves in the ionosphere, *J. Geophys. Res.*, 2013
- ② Arai, N., M. Iwakuni, S. Watada, Y. Imanishi, T. Murayama and M. Nogami, Atmospheric boundary waves excited by the tsunami generation related to the 2011 great Tohoku-Oki earthquake, *Geophys. Res. Lett.*, 38, L00G18, doi:10.1029/2011GL049146, 2011
- ③ T. Mikumo, S. Watada, Acoustic Gravity Waves from Earthquakes, in *Infrasound Monitoring for Atmospheric Studies*, eds A. Le Pichon, E. Blanc, A. Hauchecorne, Springer, 259-275, 2010.
- ④ Watada, S., H. Kanamori, Acoustic Resonant Oscillations Between the Atmosphere and the Solid Earth During the 1991 Mt. Pinatubo Eruption, *J. Geophys. Res.*, 115, B12319, doi:10.1029/2010JB007747, 2010.
- [学会発表] (計 28 件)
- ② 楠本聡・佐竹健治・綿田辰吾, 遠地津波の観測・シミュレーション波形間に生じる走時差の原因, 地球惑星連合大会, 幕張メッセ (千葉市), 5月20日, 2013.
- ③ 高森昭光・綿田辰吾・今西祐一・北島一郎, 光ファイバ変位計を用いた高精度微気圧計の開発, 地球惑星連合大会, 幕張メッセ (千葉市), 5月24日, 2013.
- ④ Jun Oikawa, Yosuke Aoki, Masato Furuya, Masato Iguchi, Shingo Watada, Ground deformation of Suwanose-jima volcano inferred from ALOS/PALSAR InSAR: 2007-2011, AGU fall meeting, San Francisco (USA), December 6, 2012.
- ⑤ Watada, S., S. Kusumoto, K. Satake, Cause of Delayed First Peak and Reversed Initial Phase of Distant Tsunami, AGU fall meeting, San Francisco (USA), December 6, 2012.
- ⑥ Lucie M. Rolland, Jean-Mathieu Nocquet, Pierre Bosser, François Fund, Mathilde Vergnolle, Toshihiro Yahagi, Anthony Sladen, Shingo Watada, Philippe H. Lognonne, Search for a short-term transient deformation prior to the 2011 great Tohoku earthquake using GPS high-resolution positioning, AGU fall meeting, San Francisco (USA), December 6, 2012
- ⑦ Giovanni Occhipinti, Lucie M. ROLLAND, Pierdaveide Coisson, Shingo Watada, Philippe Lognonne, From Sumatra 2004 to Tuhoku-Oki 2011: what we learn about Earthquake & Tsunami detection by ionospheric sounding, AGU fall meeting, San Francisco (USA), December 3, 2012.
- ⑧ 綿田辰吾, 1960年チリ巨大地震自由振動スペクトル再解析, 日本地震学会秋期大会, 函館市民会館, 函館市民体育館 (函館市), 10月18日, 2012.
- ⑨ 楠本聡・綿田辰吾・佐竹健治, 遠地津波の観測波形と弾性-流体地球に基づく理論波形の位相速度の比較, 日本地震学会秋期大会, 函館市民会館, 函館市民体育館 (函館市), 10月17日, 2012.
- ⑩ Shingo Watada, Re-analysis of the normal mode spectra of the 1960 Chile earthquake, AOGS-WPGM Joint Assembly, Resorts World Convention Centre, Singapore, August 15, 2012.
- ⑪ 及川純・青木陽介・古屋正人・井口正人・綿田辰吾, ALOS/PALSAR を用いた干渉 SAR で見た諏訪之瀬島の地殻動:2007-2011年, 地球惑星連合大会, 幕張メッセ (千葉市), 5月24日, 2012
- ⑫ 綿田辰吾・藤井雄士郎・佐竹健治, 遠地津波の反転した初期位相の起源, 地球惑星連合大会, 幕張メッセ (千葉市), 5月21日, 2012.
- ⑬ 岩国真紀子・新井伸夫・今西祐一・綿田辰吾・大井琢磨・村井貴彦・野上麻美, 津波の波源生成にもなって励起された大気境界波 -事例:2004年スマトラ島沖の地震-, 地球惑星連合大会, 幕張メッセ (千葉市), 5月21日, 2012.
- ⑭ Shingo Watada, Hiroo Kanamori, Acoustic resonant oscillations between the atmosphere and the solid Earth during the 1991 Mt. Pinatubo eruption, Japan Geoscience Union, Makuhari (Japan), May 24, 2011.
- ⑮ Nobuo, A., M. Iwakuni, S. Watada, Y. Imanishi, T. Murayama, M. Nogami, Atmospheric boundary waves excited by the tsunami generation related to the 2011 great Tohoku-Oki earthquake, American Geophysical Union fall meeting, San Francisco (USA), Dec. 07, 2011.
- ⑯ Watada, S., K. Satake, Y. Fujii, , Origin of Traveltime anomalies of distant tsunami, American Geophysical Union fall meeting, San Francisco (USA), Dec. 05, 2011.
- ⑰ 綿田辰吾, acoustic resonant

- oscillations between the atmosphere and the solid earth during the 1991 Mt. Pinatubo eruption, SGEPPS 秋季大会, 神戸大学, Nov. 6, 2011.
- ⑱ Watada S., Acoustic resonant oscillations between the atmosphere and the solid earth during the 1991 Mt. Pinatubo eruption, Today forum, New horizons in the earth science, Imaging and monitoring active subduction zones and volcanoes, Paris (France), 10月18日, 2011.
- ⑲ 綿田辰吾・佐竹健治・藤井雄士郎, 遠地津波走時異常の起源, 日本地震学会秋季大会, 静岡県コンベンションアーツセンター・グランシップ (静岡市), 10月13日, 2011.
- ⑳ Shingo Watada, Hiroo Kanamori, Acoustic resonant oscillations between the atmosphere and the solid Earth during the 1991 Mt. Pinatubo eruption, Japan Geoscience Union, Makuhari (Japan), May 24, 2011.
- 21 Nobuo Arai, Yuichi Imanishi, Shingo Watada, Takuma Oi, Takahiko Murayama, Makiko Iwakuni, Mami Nogami, Dispersion of infrasound signals excited by explosive eruptions of the Sakurajima volcano, American Geophysical Union fall meeting, San Francisco (USA), December 17, 2010.
- 22 Watada. S., N. Arai, T. Murayama, M. Iwakuni, M. Nogami, Y. Imanishi, T. Oi, Y. Kitagawa, Azimuthal Traveltime and Amplitude Anomalies of Tropospheric and Thermospheric Acoustic Waves From the Explosive Eruption of the Sakurajima Volcano in Japan, American Geophysical Union fall meeting, San Francisco (USA), Dec13, 2010.
- 23 綿田辰吾, ハスケル行列法による大気・固体地球結合系のモード計算, 日本地震学会秋期大会, 広島国際会議場 (広島市), 10月29日, 2010.
- 24 Nobuo Arai, Yuichi Imanishi, Shingo Watada, Takuma Oi, Takahiko Murayama, Makiko Iwakuni, Mami Nogami, Dispersion of infrasound signals excited by explosive eruptions of the Sakurajima volcano, Monitoring Research Review on Ground-Based Nuclear Explosion Monitoring Technologies, Orlando, Florida (USA), September 21-23, 2010.
- 25 新井 伸夫, 今西 祐一, 綿田 辰吾, 大井 拓磨, 村山 貴彦, 村田 和則, 岩國 真紀子, 野上 麻美, インフラサウンドの観測 - 桜島の爆発噴火に起因するシグナルの速度分散性 -, 日本音響学会 2010年秋期研究発表会, 関西大学 (吹田市), 9月14日, 2010.
- 26 綿田辰吾, 新井伸夫, 村山貴彦, 岩國真紀子, 野上麻美, 今西祐一, 大井拓磨, 桜島火山の爆発的噴火後に見られる低周波音波の方位に依存した振幅・伝播時間異常, 日本地球惑星科学連合大会, 幕張メッセ国際会議場, 5月24日, 2010.
- 27 綿田辰吾, 横尾亮彦, 今西祐一, 大井拓磨, 中埜彰洋, 安藤秀樹, 佐藤峰司, 寺菌佳高, 低周波マイクロフォン比較実験, 日本地球惑星科学連合大会, 幕張メッセ国際会議場, 5月25日, 2010.
- 28 Shingo Watada, Nobuo Arai, Takahiko Murayama, Makiko Iwakuni, Mami Nogami, Yuichi Imanishi, Takuma Oi, Yuichi Kitagawa, Azimuthal Traveltime and Amplitude Anomalies of Tropospheric and Thermospheric Acoustic Waves From the Explosive Eruption of the Sakurajima Volcano in Japan, European Geosciences Union General Assembly, Vienna (Austria), May 7, 2010.

6. 研究組織

(1) 研究代表者

綿田 辰吾 (WATADA SHINGO)
 東京大学・地震研究所・助教
 研究者番号: 30301112

(2) 研究分担者

なし

(3) 連携研究者

佐竹健治 (SATAKE KENJI)
 東京大学・地震研究所・教授
 研究者番号: 20178685