

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 30 年 6 月 15 日現在

機関番号：12601

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2014～2017

課題番号：26400448

研究課題名(和文) 大気-海洋-固体地球系常時振動現象の解明

研究課題名(英文) Ambient seismic wavefield: Atmosphere-Ocean-Solid Earth Coupling

研究代表者

西田 究 (Nishida, Kiwamu)

東京大学・地震研究所・准教授

研究者番号：10345176

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,200,000円

研究成果の概要(和文)：全世界に展開されている広帯域地震計約700台の地動記録を用い、常時地球自由振動の励起の特徴を解析した。周期10秒から200秒の帯域では、海洋外部重力波が海底地形の凸凹を通し固体の振動(主に表面波)を励起していることが分かってきた。一方周期200秒より長周期帯域では圧力擾乱の寄与も重要であり、大気擾乱・海洋重力波の非線形効果が励起に寄与していることを示唆している。周期10秒より短周期の帯域では実体波を解析し、その詳細な励起源分布を推定した。これら脈動・常時自由振動の解析結果をまとめ、その励起メカニズムを統一的に議論する枠組みを構築した。

研究成果の概要(英文)：We analyzed globally distributed 700 broad band seismometers, and revealed the source characteristics of seismic hum. In a period from 10 to 200 s, seismic hum was excited through a topographic coupling between external ocean wave and seismic waves, whereas in a period longer than 200 s, atmospheric and/or ocean disturbances could also contribute the excitation. Moreover we inferred source distribution by analyzing body-wave microseisms with period shorter than 10 s. Based on all the observations, we showed the excitation mechanisms comprehensively.

研究分野：地震学

キーワード：常時地球自由振動 海洋波浪 海洋外部重力波 脈動

1. 研究開始当初の背景

いくつかのグループは、大きな地震が起きていない期間も伸び縮み基本モードが常に励起されている現象(常時地球自由振動)を発見した[3]。励起源は大陸地域ではなく、海洋地域に広く面的に分布しており、北半球の冬には北西太平洋での励起が強く、南半球の冬には南極付近の海域での励起が強い(e.g. Rhie and Romanowicz, 2004; Nishida and Fukao, 2007)。この結果は海洋外部重力波(物理的には津波と同じ波動現象)が励起源であることを強く示唆している。固体地球側から見ると海洋重力波は圧力擾乱と見なせるため(e.g. Webb 2007)、捻れモード(Love 波)は励起されていないと予想されていた。しかし Nishida et al. [2008] は、5 mHz より高周波数側では、むしろ捻れモード(Love 波)の励起振幅の方が大きい事を発見した。この観測結果は、常時地球自由振動の励起メカニズムを理解する上で重要な発見である。観測された Love 波は Rayleigh 波同様に海洋地域で特に陸海境界付近で強く励起され、大陸での励起は非常に弱い事が分かった。観測された Love 波と Rayleigh 波の振幅(5-20 mHz)は、海底面に分布する random shear traction で説明が可能である。一見すると海洋外部重力波による励起が shear traction で表現出来るとは考えづらい。しかし、これまで考慮されてこなかった、海洋外部重力波と Rayleigh 波・Love 波との海底地形カップリングを考える事で、Rayleigh 波・Love 波の励起振幅を定量的に説明出来る事が明らかとなった。

2. 研究の目的

近年地震・大気・海洋観測網の発展にともない、大気・海洋擾乱起源の常時振動現象が注目されている。これらの現象を統一的に理解するためには、地震学を固体地球に閉じた枠組みではなく、大気・海洋・固体地球を 1 つの系として取り扱う視点が重要である。本研究では 1-10 mHz の周波数帯の固体・大気・海洋の波動現象(常時地球自由振動、常時 Lamb 波、常時海洋外部重力波)に注目し、(i) 地震計データと気圧データの解析から励起源の時空間分布を推定する、(ii) 海底観測データの解析から海洋外部重力波の励起メカニズムを解明する、(iii) 大気・海洋・固体の常時振動現象の励起メカニズムの統一的描像を構築する事を目的とする。

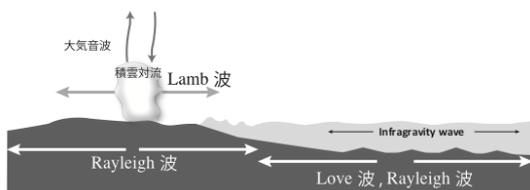


図 1 励起メカニズムの概念図。

3. 研究の方法

本研究では、地震波形記録を解析し、脈動・常時地球自由振動の励起の特徴を調べ、海洋波浪活動と定量的に比較した。具体的には(1) 周期 50 秒より長周期の帯域(常時地球自由振動)では、広帯域地震計の地動 3 成分記録を使い、常時地球自由振動の励起スペクトルを推定する手法を開発した。(2) 周期 50 秒-2 秒の帯域(脈動)では、Hi-net 速度型地震計約 700 点(3 成分)を用いアレー解析を行った。

4. 研究成果

広帯域地震計の地動 3 成分記録を使い、常時地球自由振動の励起スペクトルを推定する手法を開発した。まず、常時地球自由振動は地表に一樣分布するランダムな圧力擾乱と shear traction によって励起されていると仮定し、観測点間の相互相関関数を定式化した。定式化した相互相関数を実データにフィッティングすることにより、励起スペクトル(圧力擾乱+shear traction)を推定した。解析には、全世界に展開されている約 700 台の地動記録を用いた。観測記録間の相互相関関数を計算し、理論値をフィッティングしたところ、5mHz より短周期では shear traction ソースが卓越していることがわかった。これは海洋外部重力波が海底地形の凸凹を通し固体の振動を励起していることを示唆している。一方 5mHz 以下には圧力擾乱の寄与も重要であることもわかった。圧力擾乱は大気擾乱・海洋重力波の非線形効果が励起に寄与していることを示唆している。今後励起メカニズムを解明するためには、励起源の時空間分布を推定することが重要であろう。以上のことをまとめ論文として公表した。

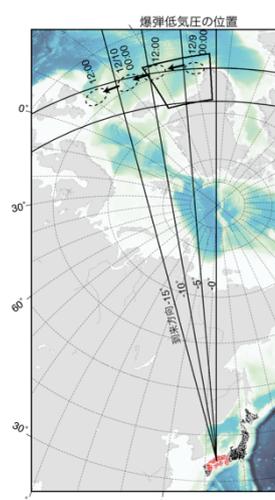


図 2 爆弾低気圧と地震計の位置。

常時地球自由振動には表面波だけではなく、実体波も観測可能な大きさで含まれている事が明らかになってきた。実体波は大部分地球の内部を伝播して行くために、表面波よりも高い解像度で励起源の分布を決定でき可能性がある。励起源の時空間分布の大局的な描像を得るためには表面波の解析が優れ、よりローカライズされた情報を得るためには実体と予想される。本研究は短周期帯域の脈動データ実体波の検出を試みた。解析対象の解析

期間は2014年12月に大西洋で発生した爆弾低気圧とした。まずHi-net速度型地震計約700点(3成分)を用いアレー解析を行った。大西洋で励起されたP波だけではなく、SV波SH波の検出に成功した。正確に励起源の重心位置を推定するためにバックプロジェクション解析をおこなった。励起源の重心位置の絶対位置をより正確に推定するため、アイスランド付近(8/30, 2012)で発生したMw6.8の地震を用い観測点補正を計算した。観測点補正を用いることにより励起源の絶対位置を議論出来るようになった。P波の上下動成分の振幅が圧倒的に大きかったため、バックプロジェクション解析では上下動記録を用いP波励起源の重心位置の推定を行った。その結果、重心位置が数日かけてグリーンランド東方からアイスランドの方向に移動し、さらに途中から南下する様子が明らかとなった。励起源の重心位置の移動は、海洋波浪の観測データと調和的である。以上のことをまとめ論文として発表した。

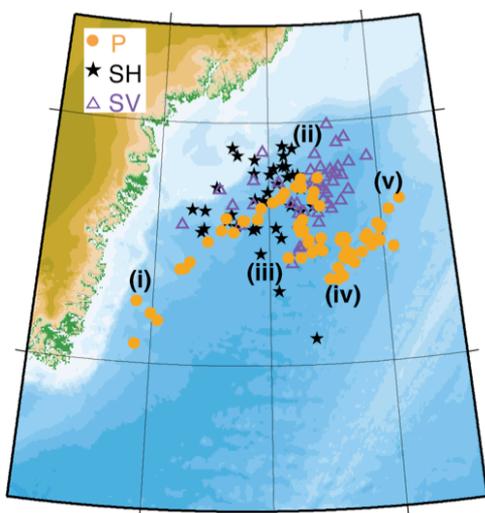


図3 推定されたP波、SH波、SV波の震源位置。(i):12月9日0時(ii)同12時(iii)12月10日0時(iv)同12時(v)12月11日0時でのP波の震源の位置を示している。地図の色は水深を示しており、震源が等深線に沿って移動している様子が見て取れる。

常時地球自由振動には表面波だけではなく、実体波も観測可能な大きさで含まれている事が明らかになってきた。実体波は大部分地球の内部を伝播してくるために、表面波よりも高い解像度で励起源の分布を決定でき可能性がある。励起源の時空間分布の大局的な描像を得るためには表面波の解析が優れ、より局所的に詳細な情報を得るためには実体波の解析が優れている。本研究では、

Secondary microseisms よりも長周期の primary microseisms の帯域で、実体波の検出を試みた。解析にはHi-net速度型地震計約800点(3成分)を用い、2004-2016年の期間の

データのアレー解析を行った。Secondary microseisms とは異なり、遠地P波の振幅は小さいことが分かった。励起源も局所化されておらず、S波の振幅も比較的大きい事が分かってきた。これらの解析結果は、secondary microseisms とは異なり、海底面上の shear traction で特徴づけられることが分かった。これはより長周期の、常時地球自由振動の励起の特徴とも調和的である。

これら脈動(primary microseisms, secondary microseisms)・常時自由振動の解析結果をまとめ、その励起メカニズムを包括的に議論し、レビュー論文としてまとめ(Nishida, 2017)出版した。

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 5件)

- ① Ambient seismic wave field, Kiwamu Nishida, 2017, *Proceedings of the Japan Academy. Series B, Physical and Biological Sciences*, 93(7), 423-448. doi: 10.2183/pjab.93.026 査読あり
- ② Teleseismic S wave microseisms, Kiwamu Nishida, Ryota Takagi, *Science*, 2016, Vol. 353, 919-921. doi:10.1126/science.aaf7573 査読あり
- ③ Source spectra of seismic hum, Kiwamu Nishida, *Geophys. J. Int.*, 2014, 199, 1, 416-429. doi: 10.1093/gji/ggu272 査読あり
- ④ Background Lamb waves in the Earth's atmosphere, Kiwamu Nishida, Naoki Kobayashi and Yoshio Fukao, *Geophys. J. Int.*, 2014, 196 (1): 312-316. doi: 10.1093/gji/ggt413 査読あり
- ⑤ Source characteristics of ocean infragravity waves in the Philippine Sea: Analysis of 3-year continuous network records of seafloor motion and pressure, Tono, Y. and Nishida, K. and Fukao, Y. and To, A. and Takahashi, N. *Earth, Planets and Space*, 2014, 66, 1. doi: 10.1186/1880-5981-66-99 査読あり

[学会発表] (計 6件)

- ① Hi-net (2005 - 2011) データを用いた脈動実体波成分の系統的な解析 2016, 西田 究, 高木涼太, 日本地震学会秋季大会, 名古屋国際会議場(愛知県・名古屋市), 2016 10/5 - 10/7
- ② 脈動実体波を用いた上部マントル不連続面変換波の検出 2016, 西田 究, 日本地球惑星科学連合大会, 幕張メッセ(千葉県・千葉市), 2016 5/22 - 5/26

- ③ Body wave microseisms from a distant storm revealed by Hi-net data 2015, Kiwamu Nishida, AGU fall meeting, San Francisco, USA, 2015 12/17 - 12/17
- ④ Hi-net データを用いた脈動実体波成分の解析 2015, 西田究, 地震学会秋季大会, 神戸国際会議場・神戸市・兵庫県, 2015 10/27 - 10/27
- ⑤ Hi-net データを用いた脈動実体波成分の解析 2015, 西田究, 地球惑星科学連合大会, 幕張メッセ・千葉市・千葉県, 2015 5/26 - 5/26
- ⑥ Lamb 波と熱圏にトラップされた重力波のカップリング, 西田究・小林直樹、深尾良夫, 地球惑星連合大会, パシフィコ横浜(神奈川県横浜市), 2014 4/28-5/2

[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]

ホームページ等

<http://www.eri.u-tokyo.ac.jp/people/knishida/>

6. 研究組織

(1) 研究代表者

西田 究 (NISHIDA, Kiwamu)

東京大学・地震研究所・准教授

研究者番号：10345176