

令和 4 年 5 月 30 日現在

機関番号：12601

研究種目：基盤研究(B) (一般)

研究期間：2017～2020

課題番号：17H02950

研究課題名(和文) 脈動実体波を用いた嵐直下の地球深部構造推定

研究課題名(英文) Seismic exploration of Earth's deep structure beneath storms using teleseismic body wave microseisms

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) 11,500,000円

研究成果の概要(和文)：地球深部構造の推定を目指し、遠地で発生した脈動 P 波を継続時間の長いイベントとして取り扱うことを提案した。そのために、日本全国に展開されているHi-net地震計データを2004年-2020年の期間解析し、0.1-0.25Hzの周波数帯域P波脈動の震源カタログを作成した。カタログ値と海洋波浪モデルを定量的に比較したところ大局的には整合的であった。

カタログを用いて日本列島直下の遷移層でのP-s変換波の検出を試みた。まずアレー解析を用い入射P波の震源時間関数を推定し、水平動記録からその影響を取り除いた。その結果観測点下の410 km・660 km不連続面でのP-s変換波の検出に成功した。

研究成果の学術的意義や社会的意義

地震学的手法を用いて地球深部構造の推定する場合には、通常大地震のデータを解析に用いる。本研究課題では、代わりに海洋波浪起源の地震波による探査を提案している。これまでとは独立な情報を用いることによって、地球の深部構造を調べる新たな眼を手に入れるための第一歩といえる研究課題である。また、提案している地球内部構造探査のためには海洋波浪の理解が不可欠である。長期的には、海洋物理学と地震学の橋渡しの役割も担うと考えている。

研究成果の概要(英文)：In order to estimate the deep Earth structure, we proposed to treat teleseismic P-wave microseisms as spatially localized events with a long time duration. For this purpose, we analyzed Hi-net data in Japan from 2004 to 2020 and compiled the centroid single force catalog of P-wave microseisms in the frequency band of 0.1-0.25 Hz. The catalog values were quantitatively compared with ocean wave action models and found to be consistent in most regions. We attempted to detect P-s converted waves in the transition layer just below the Japanese Islands using the catalog. First, we estimated the source time function of incident P waves using array analysis and removed its effect from the horizontal records. As a result, we succeeded in detecting P-s waves at the 410 km and 660 km discontinuities below the stations.

研究分野：地震学

キーワード：地動の脈動 地球内部構造推定

## 1. 研究開始当初の背景

### 地震活動に縛られない地球深部構造の推定を目指して:

地震を用いた構造探査手法は、全地球スケール地球内部構造を知る上で大きな役割を果たしてきた。その解像度は地震分布の偏りに大きく制約される。この問題点を解決すべく、近年海洋波浪によって励起されたランダムな表面波を使い、観測点間の構造を抽出する手法(地震波干渉法)が発展してきた。実際に多くの地域で、地殻構造・上部マントル構造が推定されるようになってきた [e.g. Shapiro *et al.*, 2005]。より深部の構造を調べるため、地震波干渉法を用いた実体波の解析が注目され始めている [e.g., Poli *et al.*, 2012]。しかし大きな問題点が2つある。(i) 観測点を仮想的な震源とみなす手法のため地震の分布には縛られないが、依然として観測点の分布には縛られている点である。海洋での観測は未だ不足しているため、海域での構造推定に関しては大きな制約となっている。(ii) 地震波干渉法解析をするためには、種々の地震波に対してエネルギーが等分配されているということが要請されるが、この仮定は多くの場合厳密には成り立たない点である。

Nishida and Takagi [2016] は、大西洋の爆弾低気圧 (2014/12/9-10) が遠地 P 波(周期約 7 秒)を励起している事が明らかにした。さらに、日本列島の Hi-net データ (地震計 1Hz 計 3 成分 約 800 点)から逆伝播法により震源位置を点震源として時々刻々と推定でき、その特徴は、(i) 震源位置 (ii) 震源の強さはシングル・フォースで記述出来ることを明らかにした。同様の脈動実体波は台風・ハリケーン [e.g., Gerstoft *et al.*, 2008] などの局所化された強い海洋波浪活動によって励起されているとの報告がある。これらを合わせて考えると、脈動実体波を起こすような嵐は頻繁に起きており、地震波形データからカタログ化可能な事を示唆している。

## 2. 研究の目的

地震を用いた構造探査手法は、全地球スケール地球内部構造を知る上で大きな役割を果たしてきた。その解像度は地震分布の偏りに大きく制約される。この問題点を解決すべく、近年海洋波浪によって励起されたランダムな地震波動(脈動)から観測点間の構造を抽出する手法(地震波干渉法)が発展してきた。より深部の構造を調べるため、脈動実体波の解析が注目され始めている。しかし依然として観測点の分布により大きな制約を受けている。

この問題を解決すべく、(i) 脈動実体波成分を使って観測点直下・嵐直下の地球内部構造推定する手法を開発し、(ii) 上部マントル構造を推定することを本研究の目的とする。

## 3. 研究の方法

(1) Hi-net, USArray に記録された脈動実体波の情報を使って脈動源の位置・シングルフォースの大きさを推定する手法を開発し、2004年-2020年の震源情報をカタログ化した。カタログ化に際して、これまで脈動の波源を推定する際に、平面波を仮定して到来方向・見かけ速度を推定していた。しかし、この手法では直接波と反射波(例えば P と PP 波)を区別できないという原理的な問題があった。そこで、アレー内を通過する波面の曲率半径を測定し、測定された曲率半径から、波源までの距離を推定する解析手法 (auto-focusing 法: 図 1 参照)を開発した。既存の手法では東南アジアに間違っ

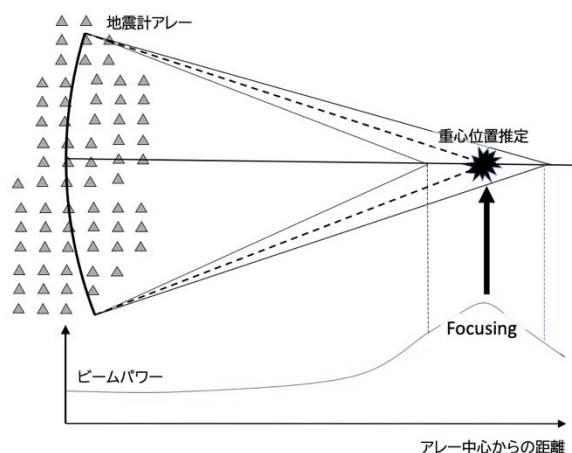


図 1 Autofocusing 法 の概念図

より正確に南半球に決定できるようになった。また、曲率半径を測定することに寄って、見かけ速度の測定精度もあがるのが分かってきた。現在、昨年度構築した Hi-net データ(約 800 点、3 成分、14 年分: 2004-2018 年)に適応し、脈動源の高精度な位置決定と、そのシングルフォースの大きさのカタログ化を行った。フランスの研究チームと脈動励起源のカタログ情報交換

を行い、互いの精度の検証を行った。

(2) 並行して脈動実体波を用いた観測直下の上部マントル構造内の不連続面を検出する手法を開発した。具体的には、(i) カタログの震源位置を仮定し震源時間関数を計算、(ii) 水平動の動径成分から震源時間関数の影響を逆たみ込みによって取り除き  $P$ - $s$  変換波を抽出する、(iii) 変換点を深度変換する、の3つ手順からなる。

(3) 作成したカタログに開発した手法を適用して嵐直下の構造推定を行う。特に波浪活動が高い事が知られる北西太平洋・南極海付近の構造に注目し、解釈を試みた。

#### 4. 研究成果

地球深部構造の推定を目指し、遠地で発生した脈動  $P$  波を継続時間の長いイベントとして取り扱うことを提案した。そのために、日本全国に展開されている Hi-net 地震計データを 2004 年-2020 年の期間解析し、0.1-0.25Hz の周波数帯域  $P$  波脈動の震源カタログを作成した (図 2 参照)。研究成果は国際誌に出版し、併せてカタログデータを公開した [1, 2]。

また、海洋波浪モデル WAVEWATCH III (Ardhuin et al., 2011) から脈動の震源位置と対応するシ

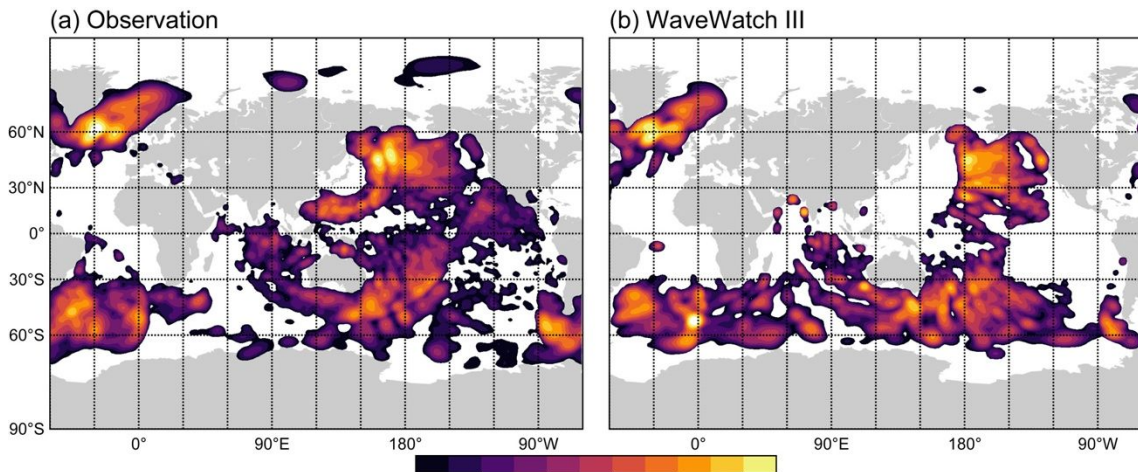


図 2 本研究で決定した脈動  $P$  波の震源分布(左図)と、海洋波浪モデル(右図)との比較。

ングルフォースを計算し、地震波形データから作成したカタログと比較した。重心位置の時空間分布、シングルフォースの大きさの頻度分布とともに、大局的には互いに整合的であることが明らかとなった。一方、オーストラリアのカーペンタリア湾近傍に海洋波浪モデルからは予測されない  $P$  波脈動の存在することも分かった。

脈動実体波を用いて日本列島直下の  $P$ - $s$  変換波を検出し不連続面構造を推定するため、新たな解析手法を開発した。ここで、0.1-0.2 Hz での脈動実体波の励起源が空間的には局在しているが、時間方向には持続的であると仮定した。 $P$ - $s$  変換波の抽出には、レシーバー関数解析を拡張した手法を開発した。まず Hi-net 地震計データ(上下動)のアレー解析によって入射  $P$  波を抽出し、震源時間関数とみなした。震源時間関数の影響を水平動記録の動径成分から取り除き、 $P$ - $s$  変換波の抽出を行った。全観測点のレシーバー関数をアレー解析した結果、観測点下の 410 km 不連続面、660 km 不連続面での  $P$ - $s$  変換波の検出に成功した (図 3 参照)。

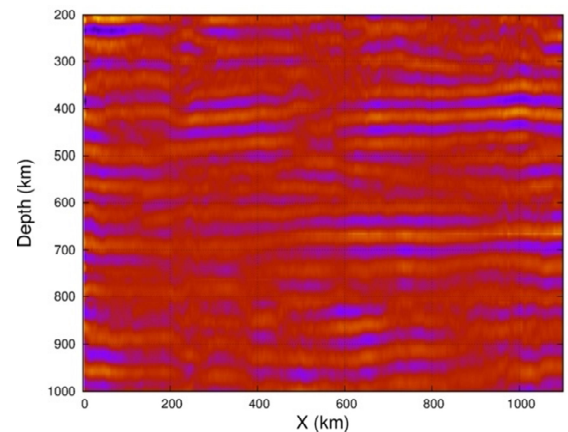


図 3 日本列島直下の  $S$  波の変換深度 (Kato and Nishida, 投稿準備中)。

< 引用文献 >

1. Nishida, K., & Takagi, R. (2022). A global centroid single force catalog of  $P$ -wave microseisms. *Journal of Geophysical Research: Solid Earth*, 127, e2021JB023484. <https://doi.org/10.1029/2021JB023484>
2. Nishida, K. (2022). qnishida/csf\_supplement: Csf\_supplement public v1.0.0. *Zenodo*. <https://doi.org/10.5281/ZENODO.6001638>

## 5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計11件（うち査読付論文 10件 / うち国際共著 2件 / うちオープンアクセス 4件）

1. 著者名 Nishida Kiwamu, Takagi Ryota	4. 巻 127
2. 論文標題 A Global Centroid Single Force Catalog of P Wave Microseisms	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Journal of Geophysical Research: Solid Earth	6. 最初と最後の頁 -
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1029/2021JB023484	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 -
1. 著者名 Takeo Akiko, Nishida Kiwamu, Aoyama Hiroshi, Ishise Motoko, Kai Takeru, Kurihara Ryo, Maeda Takuto, Mizutani Yuta, Nakashima Yuki, Nagahara Shogo, Wang Xiaowen, Ye Lingling, Akuhara Takeshi, Aoki Yosuke	4. 巻 -
2. 論文標題 S-wave modelling of the Showa-Shinzan lava dome in Usu Volcano, Northern Japan, from seismic observations	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Geophysical Journal International	6. 最初と最後の頁 -
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1093/gji/ggac111	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -
1. 著者名 Yamaya Lina, Mochizuki Kimihiro, Akuhara Takeshi, Nishida Kiwamu	4. 巻 126
2. 論文標題 Sedimentary Structure Derived From Multi Mode Ambient Noise Tomography With Dense OBS Network at the Japan Trench	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Journal of Geophysical Research: Solid Earth	6. 最初と最後の頁 -
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1029/2021JB021789	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -
1. 著者名 Spica Zack J., Castellanos Jorge C., Viens Lo?c, Nishida Kiwamu, Akuhara Takeshi, Shinohara Masanao, Yamada Tomoaki	4. 巻 49
2. 論文標題 Subsurface Imaging With Ocean Bottom Distributed Acoustic Sensing and Water Phases Reverberations	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Geophysical Research Letters	6. 最初と最後の頁 -
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1029/2021GL095287	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 該当する

1. 著者名 Takagi Ryota, Uchida Naoki, Nakayama Takashi, Azuma Ryoosuke, Ishigami Akira, Okada Tomomi, Nakamura Takeshi, Shiomi Katsuhiko	4. 巻 90
2. 論文標題 Estimation of the Orientations of the S net Cabled Ocean Bottom Sensors	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Seismological Research Letters	6. 最初と最後の頁 2175 ~ 2187
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1785/0220190093	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 Ikeda Hiroki, Takagi Ryota	4. 巻 71
2. 論文標題 Coseismic changes in subsurface structure associated with the 2018 Hokkaido Eastern Iburu Earthquake detected using autocorrelation analysis of ambient seismic noise	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Earth, Planets and Space	6. 最初と最後の頁 -
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1186/s40623-019-1051-5	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 -

1. 著者名 Takagi Ryota, Nishida Kiwamu, Maeda Takuto, Obara Kazushige	4. 巻 215
2. 論文標題 Ambient seismic noise wavefield in Japan characterized by polarization analysis of Hi-net records	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 Geophysical Journal International	6. 最初と最後の頁 1682 ~ 1699
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1093/gji/ggy334	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 Takeo Akiko, Kawakatsu Hitosh, Isse Takehi, Nishida Kiwamu, Shiobara Hajime, Sugioka Hiroko, Ito Aki, Utada Hisashi	4. 巻 19
2. 論文標題 In Situ Characterization of the Lithosphere-Asthenosphere System beneath NW Pacific Ocean Via Broadband Dispersion Survey With Two OBS Arrays	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 Geochemistry, Geophysics, Geosystems	6. 最初と最後の頁 3529 ~ 3539
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1029/2018GC007588	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 Nishida Kiwamu, Maeda Takuto, Fukao Yoshio	4. 巻 124
2. 論文標題 Seismic Observation of Tsunami at Island Broadband Stations	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Journal of Geophysical Research: Solid Earth	6. 最初と最後の頁 1910 ~ 1928
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1029/2018JB016833	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 N. Nakata, K. Nishida	4. 巻 -
2. 論文標題 Body Wave Exploration	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 In N. Nakata, L. Gualtieri, & A. Fichtner (Eds.), Seismic Ambient Noise	6. 最初と最後の頁 239 ~ 266
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1017/9781108264808.010	査読の有無 無
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 該当する

1. 著者名 NISHIDA Kiwamu	4. 巻 93
2. 論文標題 Ambient seismic wave field	5. 発行年 2017年
3. 雑誌名 Proc Jpn Acad Ser B Phys Biol Sci	6. 最初と最後の頁 423 ~ 448
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.2183/pjab.93.026	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 -

〔学会発表〕 計17件 (うち招待講演 3件 / うち国際学会 3件)

1. 発表者名 西田 究, 高木 涼太
2. 発表標題 脈動P波の震源カタログ: 波浪モデルWAVEWATCH IIIとの比較
3. 学会等名 日本地震学会秋季大会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 加藤翔太, 西田 究
2. 発表標題 日本列島における脈動実体波のP-s変換波の抽出
3. 学会等名 日本地震学会秋季大会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 高木 涼太、西田 究
2. 発表標題 Ambient noise tomography in the offshore forearc region along the Japan trench using S-net data
3. 学会等名 日本地球惑星科学連合2021年大会（招待講演）
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 加藤 翔太、西田 究
2. 発表標題 Extraction of P-wave reflections of mantle discontinuities from ambient seismic noise beneath Japan
3. 学会等名 日本地球惑星科学連合2021年大会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 西田究, 高木涼太
2. 発表標題 脈動P波の震源カタログ
3. 学会等名 日本地球惑星科学連合2021年大会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 高木 涼太、豊国 源知、山本 希
2. 発表標題 S-netを用いた常時微動相互相関解析
3. 学会等名 JpGU Meeting 2019
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 西田 究、水谷 雄太
2. 発表標題 地震波干渉法から推定された2011年新燃岳噴火に伴う地震波速度構造の時間変化
3. 学会等名 JpGU Meeting 2019
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 西田究
2. 発表標題 地震波干渉法による地震波速度構造モニタリング：拡張カルマンフィルタの適応
3. 学会等名 日本地震学会秋季大会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 高木涼太
2. 発表標題 振動軌跡解析に基づく常時微動波動場の特徴
3. 学会等名 JpGU2018 (招待講演)
4. 発表年 2018年



1. 発表者名 西田 究、前田 拓人、利根川 貴志、深尾 良夫
2. 発表標題 Seismic observation of tsunami at island broadband stations
3. 学会等名 JpGU2018
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Kiwamu Nishida, Takuto Maeda, Yoshio Fukao
2. 発表標題 Seismic observation of tsunami at island broadband stations
3. 学会等名 AGU fall meeting (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 西田 究
2. 発表標題 ランダムな海洋重力波に対する海洋島の弾性応答
3. 学会等名 地震学会秋季大会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 西田 究・高木 涼太
2. 発表標題 Global source locations of P-wave microseisms using Hi-net data from 2005 to 2011
3. 学会等名 日本地球惑星科学連合2017年大会
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 高木 涼太・西田 究
2. 発表標題 Hi-netデータの粒子軌跡解析から推定した脈動レイリー波源
3. 学会等名 日本地球惑星科学連合2017年大会
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 高木 涼太
2. 発表標題 振動軌跡解析に基づく常時微動波動場の特徴
3. 学会等名 日本地球惑星科学連合2019年大会（招待講演）
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Kiwamu Nishida, Ryota Takagi
2. 発表標題 Global source location of P-wave microseisms using Hi-net data from 2005 to 2011
3. 学会等名 IASPEI (国際学会)
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 Ryota Takagi, Kiwamu Nishida
2. 発表標題 Dominant source locations of secondary microseisms in Japan estimated by Hi-net data
3. 学会等名 IASPEI (国際学会)
4. 発表年 2017年

〔図書〕 計0件

〔産業財産権〕

〔その他〕

大西洋の爆弾低気圧によって励起された脈動実体波  
<http://www.eri.u-tokyo.ac.jp/people/knishida/Research/Science2016/Science2016.html>

6. 研究組織

	氏名 (ローマ字氏名) (研究者番号)	所属研究機関・部局・職 (機関番号)	備考
研究分担者	高木 涼太  (Takagi Ryota)  (10735963)	東北大学・理学研究科・助教    (11301)	

	氏名 (ローマ字氏名) (研究者番号)	所属研究機関・部局・職 (機関番号)	備考
連携研究者	前田 拓人  (Maeda Takuto)  (90435579)	弘前大学・大学院理工学研究科・教授    (11101)	
連携研究者	竹尾 明子  (Takeo Akiko)  (90756933)	東京大学・地震研究所・助教    (12601)	

7. 科研費を使用して開催した国際研究集会

〔国際研究集会〕 計0件

8. 本研究に関連して実施した国際共同研究の実施状況

共同研究相手国	相手方研究機関
---------	---------