

平成 30 年 6 月 22 日現在

機関番号：14301

研究種目：若手研究(B)

研究期間：2015～2017

課題番号：15K17745

研究課題名(和文) 南海トラフにおける浅部低周波微動活動の履歴と特徴の解明

研究課題名(英文) Elucidation of activity for shallow low-frequency tremor in Nankai Trough

研究代表者

山下 裕亮 (Yamashita, Yusuke)

京都大学・防災研究所・助教

研究者番号：80725052

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 2,300,000円

研究成果の概要(和文)：南海トラフ沿いで発生する浅部低周波微動活動の履歴と特徴を解明するため、陸上観測データから海溝軸近傍で発生するイベントの検出および震源位置を推定する手法の開発を行った。震源決定方法については通常のエンベロープ相関法以上の精度向上には至らなかったが、イベント検出については低周波成分と高周波成分のエンベロープの振幅比およびノイズレベルとの比に閾値を与え、連続データを解析する手法を開発した。この手法は準リアルタイムに処理が可能で、テストとして海底地震計および陸上データに適用した。その結果、日向灘～南西諸島海溝に至る低周波微動活動の時間変化についての知見が得られた。

研究成果の概要(英文)：In order to clarify the characteristics of shallow low-frequency tremor activity occurring along the Nankai Trough, we developed a method to detect events occurring near the trench axis from the land seismic station and estimate the source location. We developed new event detection method for the continuous seismic data although the accuracy of location was not improved beyond the conventional method. This method is continuously judging for the following parameter value: (1) ratio of the envelope amplitude of the low-frequency and high-frequency component, (2) ratio of each envelope amplitude and noise level. This method can be processed in quasi real time. To evaluate the performance, we applied to ocean bottom and land seismic observation data that including shallow tremor activity. As a result, the temporal change of shallow low frequency tremor activity along the Hyuga-nada to Nansei-shoto trench was obtained.

研究分野：観測地震学

キーワード：浅部低周波微動 日向灘 スロー地震 海底地震観測

1. 研究開始当初の背景

南海トラフ沿いのプレート境界の巨大な固着域(将来大きな地震が発生する領域)周辺部では、スロー地震と呼ばれる通常の地震に比べゆっくりとした断層すべり現象が発生している。互いの位置関係から、スロー地震と巨大地震の間には相互的な関係があると考えられており、近年では世界の多くの沈み込み帯において研究が進められている。

スロー地震のうち、プレート境界深部で発生する深部スロー地震は、南海トラフ沿いでは2000年代に研究が進み、活動の周期性や移動特性、大地震による誘発やセグメント境界の有無など様々な特徴が明らかになってきた。

一方で、海溝軸付近のプレート境界浅部で発生する浅部スロー地震は、陸上から遠く離れた海域下で発生するため、その実態は未だ明らかになっていない。2013年に実施した海底地震観測により、南海トラフ西端に位置する日向灘において、浅部低周波微動活動の詳細な震源分布や活動特性が明らかとなった(Yamashita et al., 2015)。しかしながら、2013年の観測結果が日向灘における浅部低周波微動の普遍的な性質なのか、2013年限りの現象だったのかについては疑問が残されたままであった。2011年東北地方太平洋沖地震発生前には、プレート境界の大すべり域内で浅部スロー地震の発生が海底観測から明らかにされており(Ito et al., 2015)、浅部スロー地震が巨大津波を発生させたプレート境界浅部の大すべりの原因を探る重要な現象の1つであると考えられている。

従って、深部に比べ研究が余り進んでいない浅部スロー地震についての知見を深めるため、浅部スロー地震のモニタリングと活動特性の解明がプレート境界浅部の挙動を知るためには必要である。

2. 研究の目的

日向灘は、浅部スロー地震の1つである浅部超低周波地震が活発な領域として知られていたが(Ito and Obara, 2005; Asano et al., 2015など)浅部低周波微動については2013年の海底観測実施まであまり知られていなかった。2013年の観測で浅部低周波微動が観測されたことで、陸上記録を改めて見直したところ、いくつかの海岸沿いの観測点で浅部低周波微動のシグナルが見られることが

わかった。このことは、陸上の観測データを遡ることで、浅部低周波微動の活動履歴を調査できる可能性を示しており、浅部超低周波地震のように広帯域地震計ではなく短周期の地震計でモニタリングシステムの構築が可能である。

そこで本研究では、南海トラフ沿いにおける浅部低周波微動活動の履歴を明らかにするため、海底地震観測データがない時期の陸上観測データを用いた解析手法について開発を行い、過去データへの適用とリアルタイムデータへの適用を目指すことを目的として実施した。

3. 研究の方法

浅部低周波微動は、通常の地震にくらべると非常に振幅が小さく、通常の地震のdetection方法として使われるSTA/LTA法の適用が難しい。また、イベントと観測点間の距離および観測点のノイズレベル等の問題から、イベントを観測出来る観測点が限られている。従って、まずモニタリングに適した観測点の選定とリアルタイムモニタリングシステムの構築を行い、それらのデータから自動的に低周波微動と考えられるイベントの検出を行う手法の開発を実施した。

また、浅部低周波微動は海域に震源があるため、震源決定精度が非常に悪く、仮にイベント発生を検知できたとしても発生位置を上手く求めることが出来ない。一方、日向灘では2013年の観測で浅部低周波微動の詳細な震源分布が求められているので、このイベントを基準としたマスターイベント的な方法で震源決定を試みることにした。

4. 研究成果

リアルタイムデータを処理し、浅部低周波微動の陸上モニタリングシステムを構築した。周波数帯域には2-4Hzを選択しており、波形のクリップレベルは 1×10^{-7} m/s程度とした。通常の波形とともに、エンベロープ波形の図も作成している。図1は2015年5月に発生したイベントの例である。これらの処理は、10分毎に自動で実施し、htmlサーバーにアップロードすることで、インターネットを介しモニタリングを出来るようにした。通常の地震のモニタリングにも使えることから、2016年熊本地震の際には一時的に地震

活動モニタリングページとして京都大学防災研究所地震予知研究センターのホームページを通じて公開した。

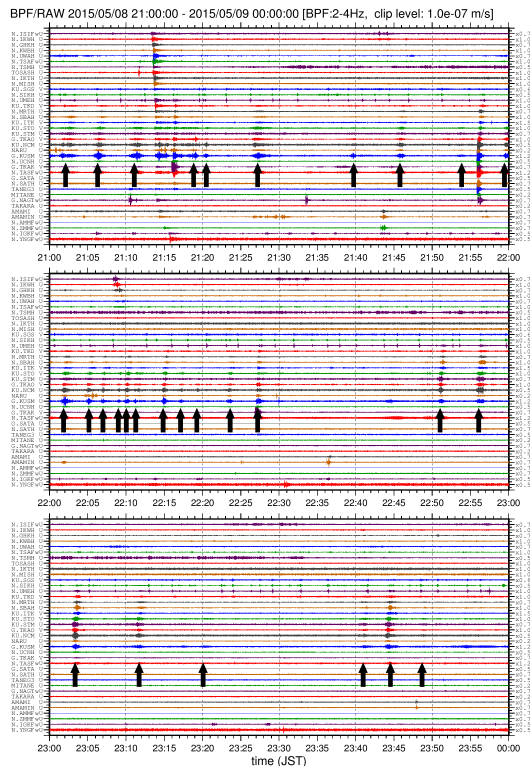


図1:本研究により構築した地震波形モニタリングシステムで記録された日向灘浅部低周波微動のシグナルの例(2015年5月8日21時~23時台)。横軸は1時間で、それぞれの時間に四国から南西諸島の太平洋側の観測点における、2-4Hzのバンドパスフィルタを通した波形が色を変えてプロットされている。図中の矢印が浅部低周波微動イベントである。

低周波微動イベントの detection については、低周波微動がエネルギーを持つ低周波帯域エンベロープと、通常の地震がエネルギーを持つ高周波帯域エンベロープ、及びそれらのノイズレベルに対する比を用いて低周波微動を検出する手法を開発した(図2)。このとき、通常の地震をいかに取り除きつつ、浅部低周波微動シグナルを抽出できるか、様々なパラメータを設定し、試行錯誤的に実データに適用しながら最も効果的かつシンプルなパラメータの組み合わせを調査した。その結果、低周波シグナルと高周波シグナルの比に加え、通常の地震ではシグナルとノイズの比が大きくなるが、低周波微動の場合はあまり大きくなることを利用することが、通常の地震を除去する際に有効であることがわかった。また、低周波微動は一度発生する

と群発的に発生することが多いことが経験上分かっていたので、イベント detect の時間変化についても検出に用いるパラメータとして組み込んだ。

この手法を、浅部低周波微動活動の頻度が日向灘に比べ相対的に活発な南西諸島海溝における海底観測の実データに適用することとした。この際、使用したパラメータの閾値は次の値に設定した：

- 低周波帯域 / 高周波帯域 2.0
- 低周波帯域 / ノイズレベル 2.0
- 高周波帯域 / ノイズレベル 2.5
- 継続時間 10 秒

以上の基準を適用し、検出された浅部低周波微動イベントの検出状況の例を図2に示す。概ね低周波微動イベントの検知はできており、低周波微動活動の活動度の時間変化をよく反映できている。図に示した期間は低周波微動が発生しているタイミングであるが、なにも発生していないタイミングにおいては検出されないことも確認しており、観測期間を通じて本手法が適用できることがわかった。

南西諸島海溝で実施されている海底地震観測は、観測点間隔が広いと、通常のエンベロープ相関法による震源決定が困難であったが、本手法をそれぞれの観測点に適用し、観測点毎に検知した低周波微動の数の時間変化を比較することで、南北に400km近い領域の大まかな活動特性を明らかにすることができた。解析結果によれば、海底観測を実施した南西諸島海溝の北部~中部域において、北部ほど活動がエピソード的かつパースト的であり、南部ほど定常的な活動を行っているように見られる。ただし、活動期間が短く、この領域の普遍的な活動特性であると結論づけるにはデータ数が圧倒的に足りないため、今後実施される観測データ等と同様の手法で解析する事が必要である。

本手法については、過去の陸上観測データにも適用できることを確認した。ただし、陸上観測点は海底観測点に比べノイズレベルが低く、人間活動によるノイズなども容易に拾ってしまうことから、通常の地震の除去に加え、これらのデータの除去方法については再度検討が必要である。また、観測点によってもノイズレベルが異なり、横穴式の観測点とボアホール式の観測点、地上設置型の観測点で用いるパラメータの閾値を適宜選択する必要がある。現時点で、パラメータの調整は目視で確認できているイベントが検出できるかどうか判断しているが、今後はこれら

の作業を半自動的にできるように改良する必要がある。

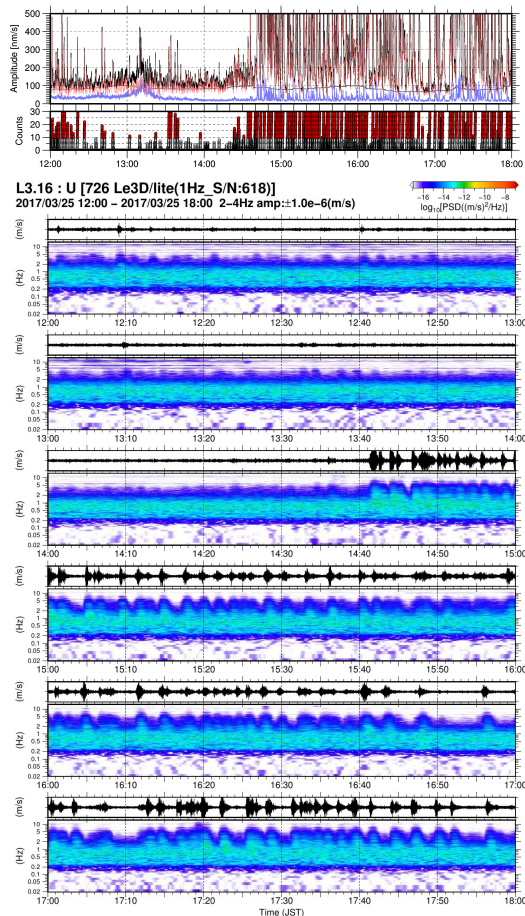


図2: 南西諸島海溝で実施している海底観測データに、本研究で構築した浅部低周波微動イベント detection 手法を適用した例(2017年3月25日12時~17時台)。最上段の図は12時~17時台までのエンベロップ波形で、ピンク色が低周波帯域、青色が高周波帯域、黒が全帯域のエンベロップである。最上段下図は detection 結果で、縦軸は継続時間であり、赤丸は継続時間10秒以上で1イベントと detect したタイミングに対応する。下図は該当する時間のランニングスペクトルで、横軸は1時間である。14:40頃からの低周波微動活動を detect できている。

震源決定については、2013年の海底観測で精度良く震源位置が得られたイベントのうち、陸上観測点で波形が確認できるイベントを用いた相対震源決定を実施するため、マスターとなるイベントの選定を行った。マスターイベントの選定には、2014年以降に日向灘で実施している海底観測で得られた浅部低周波微動イベントも加えて実施した。相対震

源決定を実施するに当たり、当初は波形相関ベースでの実施を考えていたが、波形が非常に複雑であるため、エンベロップ相関法で用いる観測点間の走時差データ分布の空間的な相関を取ることで、震源位置を単純にエンベロップ相関法で決めるよりも精度を上げられないか検討を行った。現時点では、解析結果が安定せず、精度の向上には至っていない。この原因を検討した結果、エンベロップ作成の際のスムージングの度合いや、仮定する速度構造によって結果がばらつくなど、劇的な精度の向上には解決すべき問題がまだ多い。

イベント detection は準リアルタイムで処理が可能であり、発生頻度の比較についてモニタリングは可能となった。また、活動履歴の解明という点では、引き続き解析を進めることで、比較的広い領域に区切って時間変化を追うことができる。ただし、発生場所の情報が議論を進める上で必ず必要になるため、震源決定方法についてよりよい方法を検討する必要がある。

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2件)

Yamashita Y., H. Yakiwara, Y. Asano, H. Shimizu, K. Uchida, S. Hirao, K. Umakoshi, H. Miyamachi, M. Nakamoto, M. Fukui, M. Kamizono, H. Kanehara, T. Yamada, M. Shinohara, and K. Obara, Migrating tremor off southern Kyushu as evidence for slow slip of a shallow subduction interface, *Science*, 査読有, 348 巻, 2015, doi:10.1126/science.aaa4242

Katakami S., Yamashita Y., Yakiwara H., Shimizu H., Ito Y., Ohta K., Tidal Response in Shallow Tectonic Tremors, *Geophysical Research Letters*, 査読有, 44 巻, 2017, 10.1002/2017GL074060

【学会発表】(計17件)

【国際学会】

Yamashita Y., M. Shinohara, Y. Yamada, K. Nakahigashi, H. Shiobara, K. Mochizuki, T. Maeda,

K. Obara, Long-term ocean bottom monitoring for shallow slow earthquakes in the Hyuga-nada, western part of the Nankai Trough, 26th IUGG 2015 General Assembly, 2015, Prague Congress Center, Prague, Czech Republic

Yamashita Y., M. Shinohara, Y. Yamada, K. Nakahigashi, H. Shiobara, K. Mochizuki, T. Maeda, K. Obara, Long-term Ocean Bottom Monitoring for Shallow Slow Earthquakes in the Hyuga-nada, Nankai Subduction Zone, 2015 AGU fall meeting, 2015, Moscone Center, San Francisco, USA

Yamashita Y., M. Shinohara, T. Yamada, K. Nakahigashi, H. Shiobara, K. Mochizuki, T. Maeda, K. Obara, LONG-TERM OCEAN BOTTOM MONITORING OF SLOW EARTHQUAKES ON THE SHALLOW PLATE INTERFACE IN HYUGA-NADA, WESTERN PART OF THE NANKAI TROUGH, the 9th bi-annual workshop on Japan-Kamchatka-Alaska Subduction Processes, 2016, University of Alaska Fairbanks, Fairbanks, USA

Yamashita Y., M. Shinohara, H. Yakiwara, T. Yamada, K. Nakahigashi, H. Shiobara, K. Mochizuki, T. Maeda, K. Obara, Low-frequency tremor activity in the shallow part of Nankai Trough and Ryukyu Trench revealed by long-term ocean bottom observation, IAG-IASPEI 2017, 2017, Kobe International Conference Center, Kobe, Japan

Watanabe S., Y. Yamashita, T. Yamada, M. Shinohara, Shallow tremor activity in the Hyuga-nada region after the 2016 Kumamoto earthquake, Joint Workshop on Slow Earthquakes 2017, HOTEL MYSTAYS Matsuyama, Matsuyama, Japan

Yamashita Y., M. Shinohara, H. Yakiwara, T. Yamada, S. Watanabe, K. Nakahigashi, H. Shiobara, K. Mochizuki, T. Maeda, K. Obara, Shallow slow earthquake activity from the Hyuga-nada to Ryukyu Trench, Joint Workshop on Slow Earthquakes 2017, HOTEL MYSTAYS Matsuyama, Matsuyama, Japan

Watanabe S., Y. Yamashita, T.

Yamada, M. Shinohara, Shallow Tremor Activity in the Hyuga-nada Region after the 2016 Kumamoto Earthquake Revealed by Ocean Bottom Seismological Observation, 2017 AGU fall meeting, 2017, New Orleans Ernest N. Morial Convention Center, New Orleans, USA

Yamashita Y., M. Shinohara, H. Yakiwara, T. Yamada, S. Watanabe, K. Nakahigashi, H. Shiobara, K. Mochizuki, T. Maeda, K. Obara, Shallow Slow Earthquake Activity from the Nankai Trough to the Ryukyu Trench Revealed by Long-term Ocean Bottom Seismological Observation, 2017 AGU fall meeting, 2017, New Orleans Ernest N. Morial Convention Center, New Orleans, USA

【国内学会】

山下裕亮, 篠原雅尚, 山田知明, 中東和夫, 塩原肇, 望月公廣, 前田拓人, 小原一成, 日向灘における海底地震計, 圧力計を用いたプレート境界浅部スロー地震の長期モニタリング, 日本地球惑星科学連合 2015 年大会, 2015, 幕張メッセ, 千葉市

山下裕亮, 篠原雅尚, 山田知明, 中東和夫, 塩原肇, 望月公廣, 前田拓人, 小原一成, 日向灘における海底地震計, 圧力計を用いたプレート境界浅部スロー地震の長期モニタリング(2), 日本地震学会 2015 年度秋季大会, 2015, 神戸国際会議場, 神戸市

山下裕亮, 篠原雅尚, 山田知明, 中東和夫, 塩原肇, 望月公廣, 前田拓人, 小原一成, Long-term ocean bottom monitoring for slow earthquakes on the shallow plate interface in the Hyuga-nada region (3), 日本地球惑星科学連合 2016 年大会, 2016, 幕張メッセ, 千葉市

小原一成, 高木涼太, 山下裕亮, 浅野陽一, 松澤孝紀, 田中佐千子, 廣瀬仁, 前田拓人, 豊後水道周辺域におけるスロー地震の相互作用, 日本地球惑星科学連合 2016 年大会 (招待講演), 2016, 幕張メッセ, 千葉市

山下裕亮, 八木原寛, 平野舟一郎, 小林励司, 宮町宏樹, 中尾茂, 後藤和彦, 馬越孝道, 内田和也, 松島健, 清水洋, 中東和夫, 山田知朗, 篠原雅尚, 南西諸島北部の海溝軸付近で発生する浅部低周波微動について, 日本地震学会 2016 年度秋季大会, 2016, 名古屋国際会議場, 名古屋市

近藤健太郎, 清水洋, 山下裕亮, 八木原寛, 馬越孝道, 松島健, 平野舟一郎, 内田和也, 陸上および海底地震観測データの統合解析による日向灘の3次元地震波速度構造の推定, 日本地球惑星科学連合2017年大会, 2017, 幕張メッセ, 千葉市

渡邊早姫, 山下裕亮, 山田知朗, 篠原雅尚, 日向灘における海底地震観測にもとづく2016年熊本地震後の浅部低周波微動活動, 日本地震学会2017年度秋季大会, 2017, 鹿児島県民交流センター, 鹿児島市

利根川貴志, 山下裕亮, 高橋努, 篠原雅尚, 石原靖, 小平秀一, 金田義行, 海底地震記録を用いた日向灘の浅部超低周波地震の震央位置決定, 日本地震学会2017年度秋季大会, 2017, 鹿児島県民交流センター, 鹿児島市

山下裕亮, 篠原雅尚, 八木原寛, 山田知朗, 渡邊早姫, 中東和夫, 塩原肇, 望月公廣, 前田拓人, 小原一成, 長期海底地震観測に基づく日向灘~南西諸島海溝中部域にかけての浅部低周波微動活動の特徴, 日本地震学会2017年度秋季大会, 2017, 鹿児島県民交流センター, 鹿児島市

〔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

6. 研究組織

(1) 研究代表者

山下 裕亮 (YAMASHITA, Yusuke)

京都大学防災研究所・助教

研究者番号: 80725052