

令和 6 年 6 月 25 日現在

機関番号：82706

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2020～2023

課題番号：20K04142

研究課題名(和文) 時定数1万秒以下の非地震性滑りの網羅的探索(小笠原海溝・南海トラフ・日本海溝)

研究課題名(英文) Search for aseismic slip with a characteristic time less than 10000 s at the Bonin Trench, Nankai Trough and Japan Trench

研究代表者

深尾 良夫 (Fukao, Yoshio)

国立研究開発法人海洋研究開発機構・海域地震火山部門(地震発生帯研究センター)・特任上席研究員

研究者番号：10022708

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,300,000円

研究成果の概要(和文)：海底水圧計に基づくスロースリップ検出の最大の困難は、測器のドリフト及び気圧変化や海洋潮汐の影響の除去である。これら雑音から信号を抽出する独自の手法を開発し、伊豆小笠原海溝におけるスロースリップの始まり最盛期そして終局に到るまでの詳細を得つつある。台風中心が海底水圧計アレーを通過する際に大気気圧最低が海底の水圧最低に数日先行する事実を発見し、そのメカニズムを海洋物理学的に明らかにした。2022年トンガ噴火の際に励起された大気Lamb波の海底水圧記録を解析し、周期300秒付近でそれが熱圏重力波と共鳴増幅している事実を発見し、Lamb波の励起源として60-70km高度での空中爆発説を提案した。

研究成果の学術的意義や社会的意義

海底は海洋と固体地球の境目であり、海洋あるいは固体のどちらかに閉じているだけでは理解できない現象が発生している場所である。また、どちらか一方の目的で設置した測器でも記録は両方の側で役立てられる。しかし、それは固体地球側にとっては従来気が付かなかった海洋現象がノイズとして入り込むということでもある。本研究の意義は第1に、海底から固体地球を診るにしても逆の場合でも必要なノイズ除去について独自の手法を提案する所にある。第2に、上記視点から海底水圧計記録を解析し、伊豆小笠原海溝のプレート滑り詳細をあきらかにしつつあること、及びトンガ噴火に伴う大気擾乱や台風に伴う海洋擾乱について新たな知見を得た所にある。

研究成果の概要(英文)：・The greatest challenge in retrieving any signal of long-term slow slip by using ocean bottom pressure gauges is how to remove the impacts of instrumental drifts, atmospheric pressure changes and oceanic tides. I obtained a unique method of removing these noises to retrieve the signals of long-term slow slip showing the stages of slip initiation, culmination and gentle termination.

・We found that when the center of a typhoon passes through the ocean bottom pressure gauge array, the ocean bottom pressure minimum is about two days preceded by the atmospheric pressure minimum. We reported this finding and explained the physics involved in this time lag.

・We analyzed the ocean bottom pressure gauge network records for the Lamb waves joined by the meteo-tsunamis generated by the 2022 Tonga eruption. We found that the Lamb waves are amplified at periods around 300s in resonance with the thermospheric gravity waves excited by an explosive source at an altitude 60-70km.

研究分野：固体地球

キーワード：伊豆小笠原 海溝 海底水圧計 音響波

1. 研究開始当初の背景

伊豆小笠原・マリアナ海溝は環太平洋における最大級のプレート沈み込み帯でありながら巨大地震が発生せず、ここでのプレート沈み込みの実態はわからないままであった。一方、巨大地震発生帯において地震よりもはるかに遅い所謂スロースリップ現象が続々と報告され、これが伊豆小笠原・マリアナ海溝における滑りの実態ではないかとの指摘もある。しかしスロースリップと呼ばれる現象には地震計でしか捉えられていない深部低周波地震・超低周波地震と地殻変動測器でしか捉えられていない短期的スロースリップ・長期的スロースリップの2種類があり、両者の継続時間には1分以下と1日以上といった大きなギャップがあり、両者が本当に繋がるのかは未解決のままである。

2. 研究の目的

かつて伊豆小笠原海溝で起きている筈の非地震性プレート間滑りを、滑りが起きている直上の海底で捉えることを目的として、海溝に近い陸側の深海平坦面(水深約5千メートル)に10台の高感度水圧計を展開し、1年間分の記録を得た(科研費基盤A 25247074、「海底圧力計アレー観測による海洋/固体地球システム現象の解明」(2013年~2016年))。この記録にはアレー直下で起こったM6のプレート間地震が含まれる。更にその直後及び数日後には従来報告例よりも時定数が1桁短い非地震性滑りイベントを検出した。これらの成果をまとめて論文にするのが本研究の直近の目的である。しかし記録をよく見ると、これらイベントを含む約1カ月間は様々な時定数のスロースリップイベントが繰り返し起こり、全体として大きな滑りが形成された時期のように見える。これこそが伊豆小笠原海溝で起きている筈の非地震性プレート間滑りの実態ではないかと考えるに到り、その実態を明らかにすることを第2の且つ究極的な目的とした。解析を進めるにつれて、着目する海底水圧変動周辺において意外な大気現象や海洋現象がからみ、それらの補正が無視できないことが明らかになった。これらは現象自体が興味深いものなので、それらを理解することをも目的に加えて急激な気圧変化や海洋潮汐の影響の補正法を考案することを第3の目的とした。

3. 研究の方法

海洋潮汐の影響を補正して海底地殻変動信号を抽出する手法はいろいろ提案されているが、特に優れた補正法が存在するわけではない。海洋潮汐の実際とモデル潮汐とのズレが信号の大きさと同程度であるため、信号の抽出は本質的に難しいのである。本研究では試行錯誤の結果、以下の方法を採用することにした。解析対象はMay2015-May2016に得られた鳥島はるか沖での1年間の観測記録であるが、そのわずか数日前までの1年間(May2014-May2015)に青ヶ島沖(水深2千メートル)で行った同じ水圧計によるアレー観測記録がある。本研究では先ずこの記録を用いて、有意なドリフトを起こす水圧計を同定する。次に、同じ記録を用いて安定な海底における観測点間の傾斜運動を定量化する。更に、研究ターゲットである鳥島はるか沖では、これをはるかに超える有意な傾斜運動が整合的・系統的に起こっていることを示す(図1)。その上で細かな変動は無視して長周期の変動の実態を明らかにする。

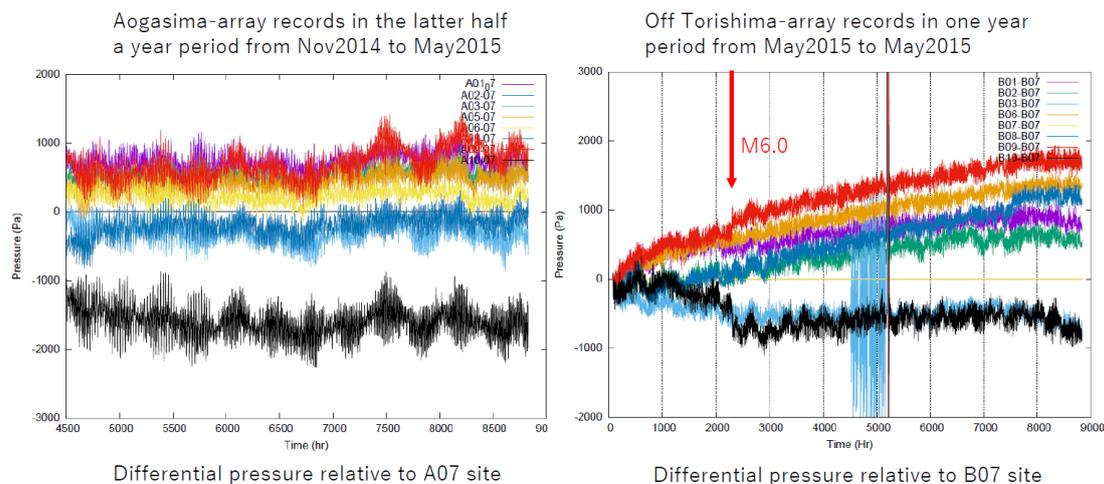
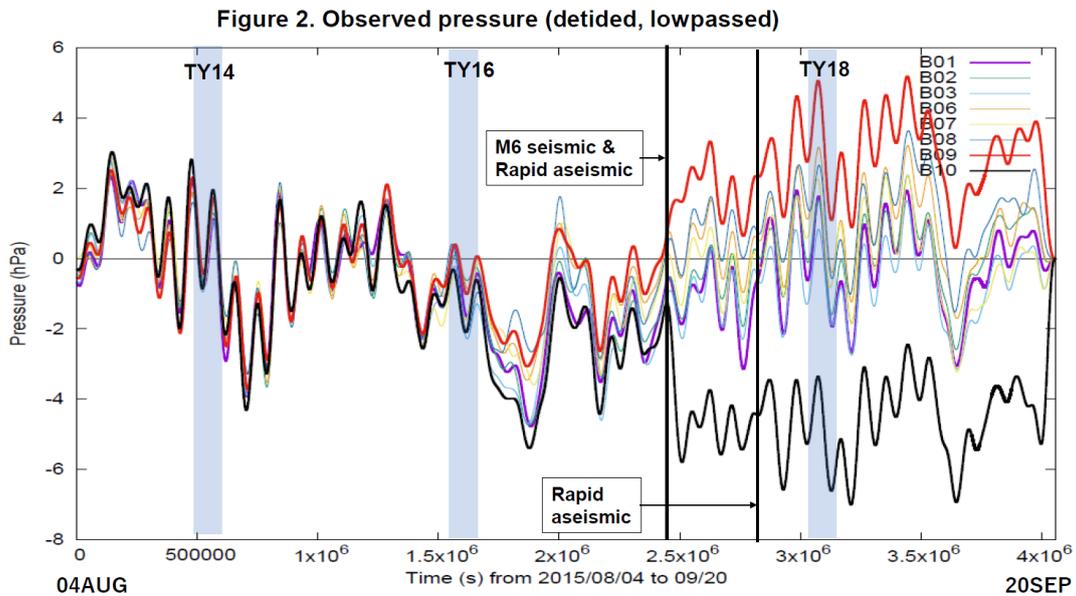


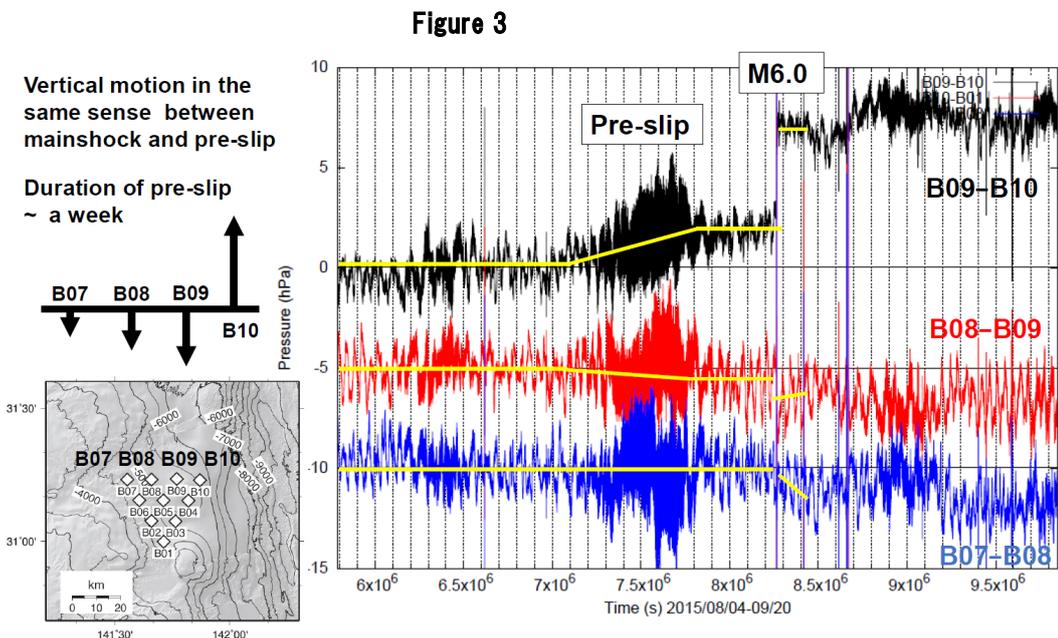
Figure 1. A comparison of differential pressure changes with time between the two arrays

#### 4. 研究成果

青ヶ島沖アレー (2014-2015) 付近の海底は観測期間最後の 140 日間は特に安定で、観測点間の圧力差はほぼ一定値を保った (図 1 左)。一方、鳥島はるか沖アレー (2015-2016) 付近の海底は観測期間を通して不安定で、特に 2015 年の 8 月から 9 月にかけて急速な上下運動があった (図 1 右)。このときの運動のイベント的な現象 (M6 地震及び 2 件の非地震性急速滑り) については、GRL 及び JGR に論文発表済である。しかし、この 2 論文で捉えられたのは現象の重要な要素ではあっても全体像ではない。本研究では特に現象の初期過程と全体像を把握することを目指した。初期過程に関しては、M6 地震に先立って約 1 週間前にスロースリップが発生し、その発生に台風による海底水圧低下が関与している可能性を指摘した (日本地震学会 2023 年度秋季大会)。図 2 は、2015 年 8 月 4 日から 9 月 20 日までの記録で、潮汐の影響はモデルを使って取り除かれている。台風 14, 16, 18 号がアレーを通過または接近した時間帯も示されている。

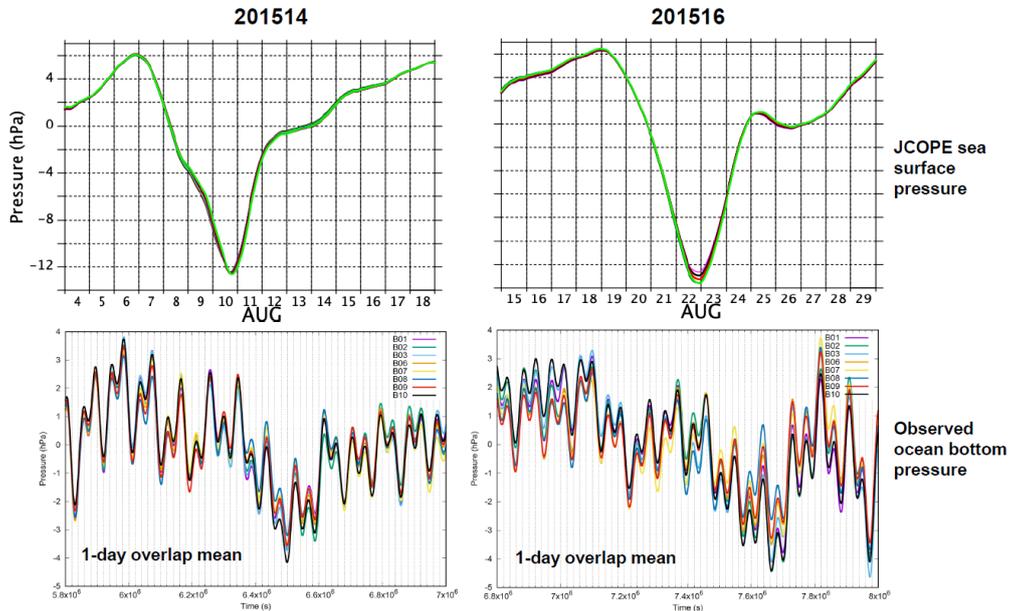


台風 16 号接近まではアレー各観測点一体となって 1 枚に板の如くふるまっていたが、その後は各点が互いに異なる上下変動を始め、沈降最大と隆起最大との差が拡大してゆく。拡大してゆく速度は急速に衰えるが、停止することは無くいつまでもだらだらと続くようにみえる (図 1)。図 2 の台風 16 号通過から M6 地震発生までをスロースリップの初期過程とみなす根拠はこれだけではない。図 3 は、海溝に直交する方向に直線状に並ぶ 4 点の観測点の隣同士の水圧差を示したものである。M6 地震の際に大きな水圧差がこの時間スケールでは瞬間的に生じているが、それに先立って M6 地震と整合的な方向の水圧差変化がゆっくりと成長しているのが明瞭に見取れる。



海底水圧記録は海洋物理学的にも面白い話題を提供した。2015年の台風14号の中心は鳥島はるか沖アレーの頭上を通過した。台風中心の気圧低下は海面上昇によって殆ど補償される筈であるが、記録を見ると深さ5000mの深海底でも水圧は台風通過と共に低下している。不思議なことに海底の水圧最低は海面の気圧最低に2日ほど遅れて起きている(図4)。この遅れが何故生じるのか、そのメカニズムを海洋物理学的に明らかにした論文を発表した(PLOS-Climate, accepted)

Figure 4



### 関連成果

(1) 日本の太平洋側には海底水圧計ネットワークが整備されている。この水圧計記録に2022年トンガ海底火山噴火に伴う気象津波が記録された。この記録をスペクトル解析すると、周期300s付近で振幅が異常に増幅している。ここは大気Lamb波が熱圏重力波と模式的に交差している所なので両方の波が共鳴して大振幅になっていると解釈し、爆発源は熱圏重力波が励起されやすい高度60-70kmであったと推測した(Sci. Adv. 発表済)。

(2) 2024年元旦に能登半島地震が発生し、震央に近い(300km以内)微気圧観測点で超低周波の気圧擾乱が観測された。初動は明瞭で340m/sの見かけ速度を持つが、震央距離が150km前後か300km前後かで波形は大きく異なる。特に震央距離150km付近では波形は安定せず伝播と共に急速に変化するように見える。これは震源域の外へ出た圧力擾乱には、音波モードの成分とLambモードの成分の2種類があり、音波モードの成分は低周波成分から先にどんどん逃げだすため、両者の和である観測波形においては伝播と共に相対的にLamb波モードが卓越していくからだと説明した(以上、論文成果は何れも共著)。

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計6件（うち査読付論文 6件/うち国際共著 0件/うちオープンアクセス 6件）

1. 著者名 Metz, D., Obana, K., and Fukao	4. 巻 179
2. 論文標題 Remote hydroacoustic detection of an airplane crash	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Pure Appl. Geophys	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） 10.1007/s00024-022-03117-6	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 Tonegawa, T., and Fukao	4. 巻 74
2. 論文標題 Wave propagation of meteotsunamis and generation of free tsunamis in the sloping area of the Japan Trench for the 2022 Hunga-Tonga volcanic eruption	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Earth, Planets and Spac	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/s40623-022-01727-x	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 Tonegawa, T., T. Kimura, K. Shiraishi, S. Yabe, Y. Fukao, E. Araki, M. Kinoshita, S. Yoshinori, S. Miura, Y. Nakamura and S. Kodaira	4. 巻 73
2. 論文標題 Weak faults at megathrust boundary respond to tidal stresses	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Earth, Planets and Space	6. 最初と最後の頁 1-17
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1186/s40623-021-01414-3	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 Fukao, Y., Kubota, T., Sugioka, H., Ito, A., Tonegawa, T., Shiobara, H., Yamashita, M., and Saito, T.	4. 巻 126
2. 論文標題 Detection of “rapid” aseismic slip at the Izu-Bonin 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） 10.1029/2021JB022132	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 Kubota, T., Saito, T., Fukao, Y., Sugioka, H., Ito, A., Tonegawa, T., Shiobara, H., and Yamashita, M.	4. 巻 48
2. 論文標題 Earthquake rupture and tsunami generation of the 2015 Mw 5.9 Bonin event revealed by in-situ pressure gauge array observations and integrated seismic and tsunami wave simulation	5. 発行年 2021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) 10.1029/2019GL095915	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 Tonegawa, T., T. Kimura, K. Shiraishi, S. Yabe, Y. Fukao, E. Araki, M. Kinoshita, S. Yoshinori, S. Miura, Y. Nakamura and S. Kodaira	4. 巻 73
2. 論文標題 Weak faults at megathrust boundary respond to tidal stresses	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Earth, Planets and Space	6. 最初と最後の頁 1-17
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1186/s40623-021-01414-3	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7件 (うち招待講演 0件 / うち国際学会 2件)

1. 発表者名 深尾良夫, 久保田達矢, 杉岡裕子, 伊藤亜妃, 利根川貴志, 塩原肇, 山下幹也, 斎藤竜彦
2. 発表標題 地震滑りとスロースリップとを繋ぐ遷移領域滑りの検出
3. 学会等名 American Geophysical Union
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 深尾良夫, 杉岡裕子, 塩原肇, 伊藤亜妃, Kim Taewoon, 古恵 亮
2. 発表標題 深海ボア: 海溝斜面を遡る流速・水温・水圧不連続面
3. 学会等名 日本地震学会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 深尾良夫, 久保田達矢, 杉岡裕子, 伊藤亜妃, 利根川貴志, 塩原肇, 山下幹也, 斎藤竜彦
2. 発表標題 地震滑りとスロースリップとを繋ぐ遷移領域滑りの検出
3. 学会等名 日本地震学会2021秋季大会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 深尾良夫
2. 発表標題 地震アスペリティの階層モデル
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 Y. Fukao, T. Kubota, H. Sugioka, A. Ito, T. Tonegawa, H. Shiobara, M. Yamashita, and T. Saito
2. 発表標題 Strain release by "rapid" aseismic slip at the Izu-Bonin Trench
3. 学会等名 JpGU-AGU Joint Meeting 2020 (国際学会)
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 Y. Fukao, T. Kubota, H. Sugioka, A. Ito, T. Tonegawa, H. Shiobara, M. Yamashita, and T. Saito
2. 発表標題 Detection of "rapid" aseismic slip that bridges a gap between seismic slip and slow slip
3. 学会等名 AGU Fall Meeting 2020 (国際学会)
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 深尾良夫
2. 発表標題 地震アスペリティの階層モデル
3. 学会等名 日本地震学会2020年度秋季大会
4. 発表年 2020年

〔図書〕 計0件

〔産業財産権〕

〔その他〕

-

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
---------------------------	-----------------------	----

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
---------	---------