

令和 3 年 6 月 14 日現在

機関番号：12608

研究種目：基盤研究(C)（一般）

研究期間：2017～2020

課題番号：17K05626

研究課題名（和文）スラブ内地震の発生メカニズムの包括的検証～上部マントルから遷移層まで～

研究課題名（英文）Study on the genesis of intraslab earthquakes

研究代表者

中島 淳一（Nakajima, Junichi）

東京工業大学・理学院・教授

研究者番号：30361067

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 3,400,000 円

研究成果の概要（和文）：日本列島周辺の太平洋スラブおよびフィリピン海スラブで発生している地震を解析対象とし、スラブ内地震の発生メカニズムを包括的に検討した。太平洋スラブ上面の地震クラスターについては震源決定、メカニズム解推定、九州のスラブ内地震についてはさらに応力テンソルインバージョンを行った。また、中部日本下の深発地震については、波形の相似性を利用したスペクトル解析により、応力降下量および地震波放射エネルギー効率を高精度で推定した。得られた結果は、スラブ内地震の発生位置および震源パラメータの多様性を示している。

研究成果の学術的意義や社会的意義

一般にスラブ内地震の震源は深いため、浅い地震に比べ被害が生じることは少ない。しかしながら、スラブ内地震でも1987年千葉県東方沖地震のように犠牲者がでる場合もあり、また高周波の揺れが励起されることで木造家屋への被害が生じることもある。本研究では発生メカニズムの理解が遅れているスラブ内地震に焦点を当て研究を行った。得られた結果は、スラブ内地震はこれまで考えられてきた以上に震源パラメータ（地震の特性）が多様であり、一律的な理解では限界があることを示している。大地震の発生が危惧されている首都直下などいくつかの領域においてさらに調査を進めることで、地震発生メカニズムの理解が進むと期待される。

研究成果の概要（英文）：We investigated the genesis of intraslab earthquakes beneath the Japanese Islands using high-quality waveform data recorded at a dense seismograph network. The analysis included the earthquake relocations, determination of focal mechanism solutions, and estimates of stress drop and earthquake radiation energy of deep-similar earthquakes. The wide range of source parameters estimated for deep similar earthquakes in a common slab environment suggests that source parameters can be significantly affected by small-scale heterogeneities along the fault. A dual process which includes seismic rupture assisted by both fluid-related embrittlement and thermal shear instability may explain the wide range of source parameters estimated in this study. Beneath Kyushu, the genesis of intraslab earthquakes is locally affected by the subduction of the ridge subduction and regionally governed by the along arc variation in the formation age of the incoming plate.

研究分野：地震学

キーワード：深発地震 脱水

様式 C-19、F-19-1、Z-19 (共通)

1. 研究開始当初の背景

沈み込む海洋性プレート（スラブ）内の地震数は深さ 300 km までは単調に減少するが、マントル遷移層の深さ 500–600 km で再び増えるという特徴がある。これまでの研究によれば、深さ 60–200 km で発生する地震は、含水鉱物の脱水分解反応により生じた高間隙圧水により、せん断破壊強度が低下して発生するという脱水脆性化説で説明できるとする論文が多い。しかしながら、マントル遷移層で発生する地震は破壊継続時間が特に短く、地震発生メカニズムが上部マントルの地震と異なるとの指摘がある。マントル遷移層での地震を脱水脆性化説で説明できるとする研究もあるが、相転移断層説や熱的不安定説に原因を求める研究も多い。

このようにスラブ内地震の発生メカニズムについては、深さによって異なるというモデルが提唱されているのが現状である。同じ「地震」と見えている現象は、深さによって異なるのだろうか。本研究では、地震波観測データを用いた地震の網羅的解析により、この未解明の問題に対してアプローチする。

2. 研究の目的

これまでの研究は、複数の沈み込み帯で発生した地震をコンパイルし、震源パラメータの深さ方向の変化を議論しているものが多い。しかしながら、そのような比較では、地震発生メカニズムが深さにより真に異なるのか、それとも深さ変化は調査したスラブの物性（温度など）の違いに起因するみかけの変化なのかの分離が困難である。そこで本研究では、日本列島周辺で発生した太平洋スラブ内およびフィリピン海スラブ内の地震について、震源位置の高精度決定、発震機構解の推定、応力降下量および地震波エネルギー放射効率を推定し、系統的な深さ変化の有無を検証する。日本列島に展開されている高感度地震観測網のデータを最大限に利用することが本研究のメリットの一つである。

3. 研究の方法

地震発生メカニズムを解明するために、まず太平洋スラブの上面で密集して発生している地震について起震応力場を推定し、地震発生領域の応力状態を決定する。また、これまでに報告されている正断層と逆断層の両方の地震を含む小さな地震クラスター解析を進め、そのようなペアの応力場が形成されている領域（深さ範囲）を同定する。また、深発相似地震の発生の有無を検証し、さらに波形の類似性から震源パラメータを高精度で決定する。特に、深発地震については、波形解析により、M4 以上の地震の応力降下量や地震波放射エネルギー効率を推定し、その深さ変化を明らかにする。放射エネルギー効率は、断層面に沿うせん断破壊強度、および断層すべり時の摩擦熱の大きさを反映した物理量であり、地震発生メカニズムと深く関係する。放射エネルギー効率の深さ変化から、震源の深さにより断層の摩擦特性に違いがあるか否かを明らかにする。さらに、比較研究として、九州下で発生しているスラブ内地震を系統的に調査し、沈み込むプレートの年代と地震活動の深さ変化を議論する。

4. 研究成果

(成果 1)

2003 年以降に日本列島周辺の太平洋プレート内で発生した中部日本下の太平洋スラブ内で発生した地震について、P 波・S 波を含む 40 秒の時間窓を用いて、波形の相似性が高い 5 つの地震群（相似地震）を抽出した。解析では、波形相関を用いた震源決定、スペクトル比法による応力降下量の推定、および地震波放射エネルギーの見積もりを行った。その結果、相似地震の震源は重ならないこと、つまり繰り返し地震ではないことが確認できた。一方、各グループ内の震源は数キロ程度離れているが、震源メカニズム解から期待される 1 つの面上で発生していることから、1 枚の既存の断層面上にある異なるパッチがすべることで波形の類似性の高い地震が発生したと推測される。それらの地震は数日から数ヶ月の時間差をおいて発生している場合が多い。また、応力降下量は各グループでほぼ同じであるにもかかわらず、地震波放射エネルギーは異なる場合があることが明らかになった（図 1）。これらの結果は、深発地震の発生位置は既存の断層面で規定されるが、地震の動的震源パラ

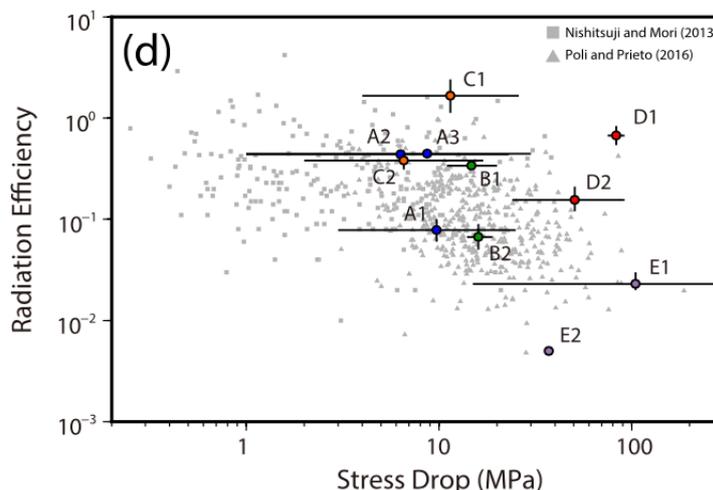


図 1. 中部日本下の深発地震（深さ約 350km）の相似地震の応力降下量と地震波放射エネルギー効率（Tsuchiyama and Nakajima, 2021）.

メータは各すべり域の局所的な不均質（粒径や断層の成熟度など）を反映している可能性が高いことを示している。本研究は、ほぼ同じ温度・圧力条件で発生するスラブ内地震であっても、その震源パラメータには多様性があることを示した初めての研究である。

(成果 2)

九州下の深さ 30–270 km で発生しているスラブ内地震の震源再決定、メカニズム解の決定を行った。次に得られた震源・メカニズム解の空間変化とこれまでに推定されているスラブモホ面を参考に、スラブ地殻とスラブマンツルの地震に分類した。その結果、地殻内地震は深さ 100 km を越えるとほとんど発生しなくなるのに対し、マンツル地震は深さとともに増加し深さ約 150 km で最も活発になることが明らかになった（図 2）。また地殻内震源の広がりからスラブ地殻の厚さを推定したところ、九州-パラオ海嶺の深部延長上で約 12 km と局所的に厚いことが示唆される（図 2）。年代が 50Ma より古いフィリピン海プレートが沈み込んでいる南九州では、深さ 80–150 km で明瞭な二重深発地震面が形成されており、マンツルの地震はプレート年代が古くなるほど深くまで発生しているという特徴がある。

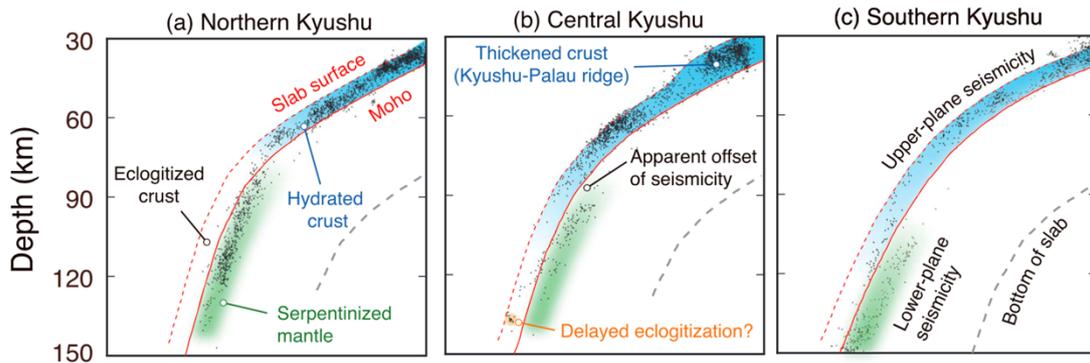


図 2. 九州下におけるスラブ内地震の発生メカニズム (Nakajima, 2019)

(成果 3)

東北地方・北海道下の上面地震帯の深さ 100-130 km で発生する 6 つの地震クラスターについて、波形相関走時差 DD 法による精密震源推定およびメカニズム解を推定した。その結果、どのクラスターも 1-2 km 四方の領域で主に逆断層型の地震活動であることがわかった。5 つのクラスターでは正断層型地震も伴い、逆断層震源より浅い側で多く発生した（図 3）。こうした **downdip compression** 場にもかかわらず発生する正断層地震は、地殻物質のエクロジャイト化による引張場が原因であると解釈した。エクロジャイト化に伴う引張場の形成は極めて局所的であることが示唆される。

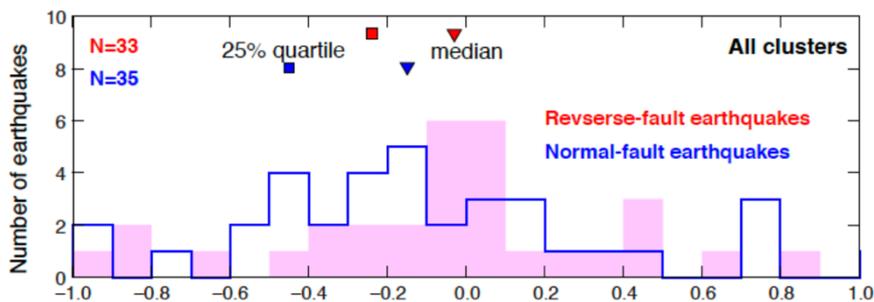


図 3. 北海道・東北地方下のスラブ内地震のメカニズム解の深さ変化

(成果 4)

東京湾北部の太平洋プレート上部境界付近で発生する地震について波形相関を用いた震源決定を行った。その結果、地震活動は 3km 程度の厚みをもって発生していること、一部の地震はスラブ内の高角な面で発生していることなどが明らかになった。この成果は、首都直下に地震の発生領域に関する知見を含んでおり、関東下のスラブ内地震をより系統的に調査することで、首都直下地震の発生モデルの理解に寄与すると考えられる。

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計9件（うち査読付論文 9件/うち国際共著 1件/うちオープンアクセス 4件）

1. 著者名 Nakajima, J.	4. 巻 124
2. 論文標題 Revisiting intraslab earthquakes beneath Kyushu, Japan: Effect of ridge subduction on seismogenesis	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 J. Geophys. Res.	6. 最初と最後の頁 8660-8678
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1029/2019JB017869	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 Oikawa, G., N. Aso, and J. Nakajima	4. 巻 46
2. 論文標題 Focal mechanisms of deep low-frequency earthquakes beneath Zao volcano, northeast Japan, and its relationship to the 2011 Tohoku earthquake	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Geophys. Res. Lett.	6. 最初と最後の頁 7361-7370
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1029/2019GL082577	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 Kashiwagi, H., and J. Nakajima	4. 巻 46
2. 論文標題 Three-dimensional seismic attenuation structure of central Japan and deep sources of arc magmatism	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Geophys. Res. Lett.	6. 最初と最後の頁 7361-7370
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1029/2019GL084793	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 Nakajima Junichi, Uchida Naoki	4. 巻 11
2. 論文標題 Repeated drainage from megathrusts during episodic slow slip	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 Nature Geoscience	6. 最初と最後の頁 351-356
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1038/s41561-018-0090-z	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 Nakajima, J.	4. 巻 70
2. 論文標題 Isolated intermediate-depth seismicity north of the Izu peninsula, Japan: Implications for subduction of the Philippine Sea plate	5. 発行年 2018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/s40623-018-0779-7	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 中島淳一	4. 巻 92
2. 論文標題 東北地方の火山周辺の地震波速度・減衰構造：地殻構造と低周波地震・S波反射面との関係	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 震研彙報	6. 最初と最後の頁 49-62
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) なし	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 Shiina, T., J. Nakajima, T. Matsuzawa	4. 巻 489
2. 論文標題 P-wave attenuation in the Pacific slab beneath northern Japan revealed by the spectral ratio of intraslab earthquakes	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 Earth and Planetary Science Letters	6. 最初と最後の頁 37-48
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.epsl.2018.02.032	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 Tsuchiyama Ayako, Nakajima Junichi	4. 巻 314
2. 論文標題 Diversity of deep earthquakes with waveform similarity	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Physics of the Earth and Planetary Interiors	6. 最初と最後の頁 106695 ~ 106695
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.pepi.2021.106695	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 Uchida Naoki, Nakajima Junichi, Wang Kelin, Takagi Ryota, Yoshida Keisuke, Nakayama Takashi, Hino Ryota, Okada Tomomi, Asano Youichi	4. 巻 11
2. 論文標題 Stagnant forearc mantle wedge inferred from mapping of shear-wave anisotropy using S-net seafloor seismometers	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Nature Communications	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) 10.1038/s41467-020-19541-y	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

[学会発表] 計5件(うち招待講演 2件/うち国際学会 1件)

1. 発表者名 中島淳一
2. 発表標題 日本列島下の地震発生層の厚さと内陸地震
3. 学会等名 JpGU (招待講演)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Nakajima, J.
2. 発表標題 Isolated intermediate-depth seismicity: Implications for local slab hydration
3. 学会等名 JpGU
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Nakajima, J.
2. 発表標題 Overview of seismic imaging of the Japan subduction zone
3. 学会等名 The Asia-Pacific Workshop on Lithosphere and Mantle Dynamics (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 中島淳一・内田直希
2. 発表標題 ゆっくりすべり時の排水に伴う構造変化と誘発地震
3. 学会等名 日本地震学会秋季大会
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 Junichi Nakajima
2. 発表標題 Seismic attenuation beneath Japan: Close links to arc magmatism, seismogenesis and crustal deformation
3. 学会等名 日本地球科学連合
4. 発表年 2017年

〔図書〕 計2件

1. 著者名 中島淳一	4. 発行年 2018年
2. 出版社 講談社	5. 総ページ数 304
3. 書名 日本列島の下では何が起きているのか 列島誕生から地震・火山噴火のメカニズムまで	

1. 著者名 中島淳一	4. 発行年 2021年
2. 出版社 ナツメ社	5. 総ページ数 240
3. 書名 オールカラー図解 日本列島の未来	

〔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
---------	---------