

A会場 | 一般セッション：S08. 地震発生の物理

2019年9月17日(火) 13:30 ~ 15:00 | A会場 百周年記念ホール

[S08]PM-1

座長:北 佐枝子(建築研究所)、矢部 優(産業技術総合研究所)

13:30 ~ 13:45

[S08-06] Enhanced dynamic triggering of a shallow slow slip event in the Nankai subduction zone due to the overlying sedimentary wedge*片上 智史¹、Kaneko Yoshihiro²、伊藤 喜宏¹ (1. 京都大学防災研究所、2. GNS Science, NZ)

13:45 ~ 14:00

[S08-07] 南海トラフ浅部低周波微動のScaled energy推定*矢部 優¹、利根川 貴志²、中野 優² (1. 産業技術総合研究所、2. 海洋研究開発機構)

14:00 ~ 14:15

[S08-08] 脈動帯域におけるスロー地震信号*増田 滉己¹、井出 哲¹、太田 和晃²、松澤 孝紀³ (1. 東京大学大学院理学系研究科地球惑星科学専攻、2. 京都大学防災研究所、3. 国立研究開発法人防災科学技術研究所)

14:15 ~ 14:30

[S08-09] 内陸における浅部低周波地震の検出とその時空間分布*中島 淳一¹、長谷川 昭² (1. 東京工業大学理学院地球惑星科学系、2. 東北大学大学院理学研究科地震・噴火予知研究観測センター)

14:30 ~ 14:45

[S08-10] 蔵王・岩手山・肘折で発生する深部低周波地震のメカニズム*及川 元己¹、麻生 尚文¹、中島 淳一¹ (1. 東京工業大学)

14:45 ~ 15:00

[S08-11] Interactions between the intraslab earthquakes and episodic slow slips beneath Kii Peninsula controlled by fluid migration*北 佐枝子¹、Houston Heidi²、田中 佐千子³、浅野 陽一³、澁谷 拓郎⁴、須田 直樹⁵ (1. 建築研究所、2. 南カリフォルニア大学、3. 防災科学技術研究所、4. 京都大学防災研究所、5. 広島大学)

Enhanced dynamic triggering of a shallow slow slip event in the Nankai subduction zone due to the overlying sedimentary wedge

*片上 智史¹、Kaneko Yoshihiro²、伊藤 喜宏¹

*Satoshi Katakami¹, Yoshihiro Kaneko², Yoshihiro Kaneko¹

1. 京都大学防災研究所、2. GNS Science, NZ

1. DPRI, Kyoto Univ., 2. GNS Science, NZ

The dynamic triggering of slow slip events (SSEs) is rarely observed, even though regional earthquakes often trigger tectonic tremors and very low-frequency earthquakes. Shallow SSEs have been inferred from temporal changes in borehole pressure across the DONET network (offshore of Kii Peninsula, Japan) that immediately followed the 2011 Tohoku-Oki (~700 km hypocentral distance), 2016 Mieken Nanto-Oki (occurred beneath the borehole network), and 2016 Kumamoto (~600 km hypocentral distance) earthquakes and lasted for up to two weeks in the shallow part of the Nankai subduction zone. Here we identify the shallow SSEs that may have been dynamically triggered by regional earthquakes. We identify a possible shallow SSE in 2004 that was triggered by the Kii-hanto Nanto-Oki earthquake using tectonic tremor and very low-frequency earthquakes, as the borehole network was not yet installed. We quantify the dynamic Coulomb stress changes due to causal events in the Philippine Sea Plate that could be distributed shallow SSE source faults. The passing seismic waves from the Tohoku-Oki, Mie-ken-Oki, and Kumamoto earthquakes induced calculated Coulomb stress changes of >100, 50, and 20 kPa, respectively. Furthermore, the clear causal earthquakes (Kii-hanto Nanto-Oki, Tohoku-Oki, and Mieken Nanto-Oki earthquakes) that triggered shallow SSEs induced large, long-duration Coulomb stress perturbations (>10 kPa for ~30 sec), which suggests that a shallow SSE may be triggered under these conditions. Shallow SSEs are therefore more likely to be dynamically triggered than their deep counterparts due to enhanced stress perturbations induced by the sedimentary wedge.

南海トラフ浅部低周波微動のScaled energy推定

Scaled energy estimation for shallow slow earthquakes in the Nankai trough

*矢部 優¹、利根川 貴志²、中野 優²

*Suguru Yabe¹, Takashi Tonegawa², Masaru Nakano²

1. 産業技術総合研究所、2. 海洋研究開発機構

1. AIST, 2. JAMSTEC

南海トラフでは地震・津波観測システム（DONET）が整備され海域観測が発展したことにより、スロー地震の地震波シグナルである浅部低周波微動や浅部超低周波地震が観測され、海溝近傍のプレート境界浅部で浅部スロー地震が発生していることが明らかになった。南海トラフの深部スロー地震は深さ30-40kmで発生しているのに対して、浅部スロー地震は深さ数kmで発生しており、両者の地震発生環境は大きく異なる。地震発生環境の違いは、地震活動の特徴に反映される可能性がある。南海トラフのスロー地震は、巨大地震の固着域から安定滑り領域にプレート境界の特性が変化する脆性塑性遷移領域で発生していると考えることができ、塑性的な振る舞いを支配する岩石の流動則は温度や圧力といった地震発生環境に依存するため、深部と浅部のスロー地震の間にはその挙動に違いがある可能性がある。

Yabe et al. (2019, JGR) では、熊野沖に展開されるDONET1のデータを用いて、浅部スロー地震のScaled Energyの推定を試みた。浅部低周波微動から地震波エネルギーを、浅部超低周波地震から地震モーメントを推定した。両者の比であるScaled energyを計算したところ、 10^{-9} - 10^{-8} 程度と、深部スロー地震の値とほぼ同程度か若干高い値となった。本研究では、Yabe et al. (2019, JGR) の手法を四国沖に展開するDONET2のデータに適用することで、四国沖の浅部スロー地震に対してScaled energyの推定を行った。浅部スロー地震に対するScaled energyのデータ数を増やすことで、深部スロー地震よりも若干高いと推定された熊野沖浅部スロー地震のScaled energyが普遍的なものであるのか、空間的なばらつきの範囲内であるのかを検証した。その結果、DONET2の室戸沖（Gノード）付近のクラスターではScaled energyが 10^{-9} - 10^{-8} 程度と熊野沖浅部スロー地震のScaled energyに近い値が求めたのに対して、紀伊水道沖（Fノード付近）のクラスターではScaled energyが 10^{-10} - 10^{-9} 程度と深部スロー地震の値に近い値が求めた。このことから浅部スロー地震のScaled energyには震源クラスターごとにばらつきがあり、その範囲内で深部スロー地震と同程度の値を持つと考えられる。

脈動帯域におけるスロー地震信号

Slow earthquake signals in the microseism frequency band (0.1–1.0 Hz)

*増田 滉己¹、井出 哲¹、太田 和晃²、松澤 孝紀³

*Koki Masuda¹, Satoshi Ide¹, Kazuaki Ohta², Takanori Matsuzawa³

1. 東京大学大学院理学系研究科地球惑星科学専攻、2. 京都大学防災研究所、3. 国立研究開発法人防災科学技術研究所
1. Department of Earth and Planetary Science, The University of Tokyo, 2. Disaster Prevention Research Institute, Kyoto University, 3. National Research Institute for Earth Science and Disaster Resilience

スロー地震は大地震の発生領域に隣接した領域で発生する、プレート境界の応力変化に敏感といった性質を持っており、この約20年間精力的に調べられてきた。スロー地震はその特徴的な時定数で微動と低周波地震（2-8 Hz）、超低周波地震（10-100秒）、スロースリップイベント（>1日）に分けられる。低周波地震と超低周波地震の間の周波数帯域は脈動ノイズが卓越しており、スロー地震の信号を検出するのは難しい。我々が脈動帯域と呼ぶこの帯域では、例外的に、沈み込み帯浅部での海底地震計による近地観測、ノイズの偶然小さいタイミング、という状況で低周波地震と超低周波地震に伴う信号が検出された例が報告されている（Kaneko et al., 2018）、深部スロー地震のこの周波数帯域における信号の特徴は全く明らかになっていない。

本研究では、南海トラフ沈み込み帯に属する四国西部の領域について、高周波数帯域の信号を用いて大規模な波形重合を行い、脈動帯域におけるスロー地震の信号の解析を行う。まず、合成テンプレート波形を作成し、マッチドフィルタ解析を行うことで四国西部の領域での低周波地震の検出を行った（Ohta & Ide, 2017）。GPUを利用することで計算の高速化を達成し、Hi-netの9観測点における2005年から2015年までの速度計データから約70万の波形を検出した。これらの時間分布から低周波地震はエピソード的な現象であること、空間分布からイベントが発生しやすいパッチ上の領域が断層面上に存在することが分かり、このことは既往研究と整合的である。次に、この検出結果を用いてHi-netの観測点と同じ場所に設置されている高感度加速度計の波形を重合する。重合した波形に0.25秒から0.5秒、0.5秒から1秒、1秒から2秒、2秒から4秒、4秒から8秒、8秒から16秒、16秒から32秒、32秒から64秒の8種類のバンドパスフィルタを適用したところ、全ての帯域で位相のそろった波形が確認できた。これはスロー地震が0.25秒から64秒までの広い周期帯で信号を持っていることを示している。さらに、バンドパスフィルタを適用する前の重合波形に対する各帯域の相対振幅の周波数帯域依存性は ω^2 -モデルに従う合成波形と異なっており、スロー地震が普通の地震と異なる物理を持っていることを示唆する。

内陸における浅部低周波地震の検出とその時空間分布

Detection of shallow low-frequency earthquakes beneath the Japanese Islands

*中島 淳一¹、長谷川 昭²

*Junichi Nakajima¹, Akira Hasegawa²

1. 東京工業大学理学院地球惑星科学系、2. 東北大学大学院理学研究科地震・噴火予知研究観測センター

1. Earth and Planetary Sciences, School of Science, Tokyo Institute of Technology, 2. Research Center for Prediction of Earthquakes and Volcanic Eruptions, Graduate School of Science, Tohoku University

内陸で発生する深部低周波地震は、卓越周波数が約2～5 Hzで、一般にP波が不明瞭でS波の励起が大きいという特徴がある（鶴川・小原, 1993; Hasegawa & Yamamoto, 1994）。1990年代までは、深部低周波地震は主に火山周辺で発生すると考えられてきたが、近年では大阪湾から琵琶湖にかけての領域や島根県東部など、火山から遠く離れた領域でも深部低周波地震が数多く発生していることがわかってきた。深部低周波地震の多くはモホ面近傍（深さ25–35 km）で発生していることから、地殻深部のメルトまたはメルトの固化により生じた流体の移動が深く関係していると考えられてきた。

一方で、データが蓄積されるにつれて上部地殻でも低周波地震が発生し、深さ10–50 kmの広い深さ範囲で発生していることがわかってきた（例えば、小菅, 2016）。また、2008年岩手・宮城内陸地震や2016年熊本地震の余震の中に低周波成分に富む地震があることが報告されている（例えば、防災科学技術研究所, 2008; 小菅・他, 2010; 木村・鶴川, 2018）。さらに、函館市周辺の活動では、低周波地震と通常の地震がほぼ同じ場所で発生していることもわかってきた（野口・他, 2018; 吉田・他, 2019）。このように、低周波地震は必ずしも「深部」で発生するわけではなく、地殻浅部の発生例も多く報告されている。そこで本研究では、日本列島の内陸で発生した地震の波形解析から、気象庁が低周波地震と認定していない地震を新たに検出し、その時空間分布の特徴を明らかにしたので報告する。

解析に使用したのは、2003年から2016年までに陸域下で発生した約920,000個の地震（M0–2.5, 深さ35 km以浅で太平洋プレートとフィリピン海プレートよりも浅い地震）であり、気象庁一元化のS波読み取り値から3秒の時間窓で速度振幅スペクトルを計算した。そのスペクトルに対して、低周波帯（Al: 2–5 Hz）と高周波帯（Ah: 10–15 Hz）の平均振幅から $FI = \log(Ah/Al)$ で定義されるFI値（Buurman & West, 2010; 小菅・春山, 2018; Hotovec-Ellis et al., 2018）を計算した。低周波成分が卓越するとFI値は負の大きな値となる。また、速度振幅スペクトルのピーク周波数（fp）を計算し、FIとfpの2つの指標で低周波地震の検出を行った。ここでは気象庁一元化震源に含まれる低周波地震のFI値とfpの分布を参考に、FI<-0.75, fp<5 Hzを低周波地震候補とした。選ばれた低周波地震候補は約9200個であり、そのうち約1200個は深さ15 km以浅で発生した地震である。

深さ15 km以浅で発生している低周波地震候補の多くはM6.5以上の内陸地震の余震の中に多く含まれ、本震発生直後に集中して発生しているという特徴がある。この結果は、2016年熊本地震などで報告されているように、余震活動の中に多くの低周波地震が含まれることを示している。また、日高地方と北海道北部においては比較的広い範囲で低周波地震が発生している領域があることも明らかになった。これらの結果は、低周波地震は必ずしも「深部」で発生するわけではなく、上部地殻においても少なからず発生していることを示している。火山地域ではない地殻浅部でも低周波地震が発生しているという事実は、低周波地震の発生にはマグマやメルトの存在や脆性破壊領域よりも高温の条件などは必須ではないことを示唆している。今後は低周波地震候補とされた地震の波形を精査し、誤検出を減らすとともに、内陸地震（本震）と低周波地震発生の時空間関係を定量化するなど、低周波地震の発生条件を明らかにしていく予定である。

謝辞：本解析には気象庁一元化震源及びその読み取り値を使用いたしました。感謝いたします。

蔵王・岩手山・肘折で発生する深部低周波地震のメカニズム

Focal mechanisms of deep-low frequency earthquakes beneath Zao, Iwatesan and Hijiori

*及川 元己¹、麻生 尚文¹、中島 淳一¹

*Genki Oikawa¹, Naofumi Aso¹, Junichi Nakajima¹

1. 東京工業大学

1. Tokyo Institute of Technology

1. 背景

東北日本の活火山周辺では深さ20~40kmといった地殻内部地震よりも深い領域で微小地震が観測されている。この地震は2~8Hzの地震波を励起することから低周波地震(以下LFE)と呼ばれている。そのメカニズムはCLVDや体積変化成分といった非Double-Couple成分を持った多種多様な解が推定されており(例えば Nakamichi et al., 2003)、クラックと断層の相互作用やマグマの冷却などが発生モデルとして考えられている。しかし、LFEは規模が小さいため解析例は少なく、普遍的な発生プロセスの解明には未だ至っていない。そこで、本研究では東北日本でLFE活動が活発な蔵王、岩手山、肘折の3領域についてメカニズムを決定し、火山ごとのメカニズムの比較及び、蔵王や肘折で見られている2011年の東北地方太平洋沖地震前後での活動変化とメカニズムの関連性を調べた。

2. データ・手法

本研究ではHi-net、東北大学、気象庁の100Hzサンプリング地震計によって記録された地震波形を用いた。気象庁のカタログのうち2003年~2017年に発生し、マグニチュード0.5以上のLFEを解析対象とした。震源は気象庁により決定されたデータを用い、射出角や入射角の計算にはJMA2001を使用した。メカニズムの決定にはS波とP波の振幅比を用いた。本研究では、伝搬経路や自由表面の影響を補正するために、最初にメカニズムが既知である通常の地震を使って振幅比を補正し、次にDouble-Couple、Single-Force、CLVD、Tensile-Crackの4つのモデルから期待される理論振幅比と補正された観測振幅比の残差が最小となる解をグリッドサーチにより推定した。最後にモデル間の比較をAIC(赤池情報量基準)によって行い、イベントごとに最適なモデルと震源パラメータを決定した。

3. 結果と議論

蔵王で29個、岩手山で24個、肘折で21個のLFEについてメカニズムを決定した。全体的な特徴としてはDouble-Couple型のLFEが多く、その割合は蔵王で62%、岩手山で75%、肘折で86%であった。特に岩手山ではNakamichi et al., 2003と似たメカニズムを持つイベントも得られた。また蔵王、肘折では2011年東北地方太平洋沖地震の前後でメカニズムや発生位置に変化が見られた。蔵王では地域応力場と整合的であったDouble-Couple型のメカニズムが活動の活発化とともに変化しており、肘折では東北地震前の発生領域より深い場所でDouble-Couple型の規模が大きいイベントが発生しているという特徴が得られた。これらの活動やメカニズムの変化は東北地震によって生じた応力変化の粘弾性的応答や流体の拡散によって発生していると考えられる。一方、岩手山では東北地震前後で明瞭な活動やメカニズムの変化は見られなかったが、発生場所ごとに違いが見られた。岩手山では山体北部、山体直下、山体南部の3箇所でLFEが発生しており、領域毎に見るとメカニズムは多様であったが、同じ領域内では似通っているLFEも存在した。この結果は領域毎に発生プロセスは異なるが、同じ領域では単一の物理過程が発生に寄与していると考えられる。特に山体直下に関しては非Double-CoupleのLFEが多い傾向であった。山体直下のLFEは深さ10km以浅で発生しており、岩手山では浅部における活発なマグマ活動の存在を示しているのかもしれない。

謝辞：本研究では防災科研、気象庁、東北大学地震・噴火予知研究観測センターの波形記録を用いました。ま

た、解析には気象庁の一元化読み取り値を使用しました。記して感謝いたします。

Interactions between the intraslab earthquakes and episodic slow slips beneath Kii Peninsula controlled by fluid migration

*北 佐枝子¹、Houston Heidi²、田中 佐千子³、浅野 陽一³、澁谷 拓郎⁴、須田 直樹⁵

*Saeko Kita¹, Heidi Houston², Sachiko Tanaka³, Youichi Asano³, Takuo Shibutani⁴, Naoki Suda⁵

1. 建築研究所、2. 南カリフォルニア大学、3. 防災科学技術研究所、4. 京都大学防災研究所、5. 広島大学
1. Building Research Institute, 2. USC, 3. NIED, 4. DPRI, Kyoto University, 5. Hiroshima University

Slow slips are thought to be related to geofluids and sometimes occur near the times of intraslab earthquakes. Studies have examined the interaction of slow slip with intraslab earthquakes, showing that even slow deformation on the plate interface has the potential to change the stress field (Warren-Smith et al. 2019) and seismicity (Han et al. 2014) within the subducting slab. However, detailed processes and relationships between intraslab earthquakes, slow slip phenomena and geofluids are not known. In the present study, we found changes in seismicity rates, b-values, and stresses in the Philippine sea slab before and after the times of slow slip episodes beneath Kii peninsula, southwestern Japan. At 1 month before the slow slip times, seismic rate and b-value of intraslab earthquakes become high, which is consistent with the effects of fluid-induced seismicity (Bachmann et al. 2012) and “geofluid injection” seismicity beneath northeastern Japan (Yoshida et al. 2017; 2018). Stress orientations in the upper-plane earthquakes suggest that the plate boundary just beneath the slow slip zone is weakly locked before slow slip times, becoming unlocked afterwards, whereas updip of the zone, it becomes more locked after slow slip. These interpretations of the degree of locking on plate boundary are consistent with results from Cascadia based on LFE recurrence patterns (Sweet et al. 2019) in that the locking on the plate boundary there appears to increase as one goes updip through the ETS zone. Our results suggest that monitoring of intraslab earthquakes may provide a means to evaluate not only slow slip activity but also plate boundary conditions.