

メキシコ・ゲレロ地震空白域のスロー地震活動とプレート境界面の形状
 Insights into the Relationship between Seismicity, and Relief
 of the Plate Interface near the Trench at the Guerrero Seismic Gap

○伊藤喜宏・大柳修慧・Raymundo PLATA-MARTINEZ・Ketzallina FLORES,
 Soliman GARCIA

○Yoshihiro ITO, Shukei OHYANAGI, Raymundo PLATA-MARTINEZ, Ketzallina FLORES,
 Soliman GARCIA

Capturing the spatial and temporal distributions of slow and fast earthquakes offshore at subduction zones are fundamental tasks in seismology. Here, we show the relationship between slow and fast seismicity from ocean-bottom seismometer data, and plate boundary relief near the trench at the Guerrero Seismic Gap, Mexico. We compared the detected fast and slow seismicities with the residual gravity and bathymetry anomalies corresponding to heterogeneity in the density structure of the overriding plate or to subducting relief on the incoming plate. Neither small fast, nor slow earthquakes occurred in the peaks of positive and negative anomalies, where the plate boundary relief was convex and concave, respectively. Additionally, the positive peaks near the trench were the areas where a small tsunami earthquake (Mw6.7) occurred in 2002.

1. はじめに

地震発生帯のファスト及びスロー地震活動の時空間的特徴の把握と理解は地震学における基本的な課題である。沈み込み帯における大地震やスロー地震の発生域の多くは海底下にあるため、これらの地殻活動のモニタリングは陸域の活動に比べて依然として困難である。自律型海底地震計(OBS)は、ケーブル式海底地震計と比べて可搬性に優れ、海岸線から離れた海域下で発生するファスト及びスロー地震の両方の地震波形を比較的簡便に観測するのに有用である。本稿では、メキシコゲレロ州沖合に設置されたOBS記録の解析で得られた、ファスト及びスロー地震の特に空間的特徴について、プレート境界面の形状と比較しながら解説する。

2. ゲレロ地震空白域と海底地震観測

太平洋東岸のメキシコ合衆国は、ココスプレートの沈み込み帯に位置し、日本と同様、大地震・津波に伴う災害リスクの高い地域の一つである。特に西経99.2~102.2度の間のゲレロ地域北部では1911年以来、マグニチュード7以上の大地震が発生しておらず、地震空白域(以下、ゲレロ地震空白域)として将来の大地震の発生が危惧されている。我々は、2017年11月から2019年11月ま

での二カ年でメキシコ沖のゲレロ地震空白域の西部に10台のOBSを設置した。観測された地震波形記録には主として微小地震によるファスト地震による地震動とテクトニック微動によるスロー地震の地震動の両方が含まれる(Plata-Martinez et al, 2021)。

3. ファスト地震とスロー地震の検出と震源決定
 ファスト地震のP波及びS波走時の検出と読み取りには、ディープニューラルネットワーク(DNN)を用いた人工知能による地震波検出ソフト「Earthquake Transformer」(Mousavi et al., 2020)を用いた。OBSで得られた連続観測記録に対して、Earthquake Transformerを適用し、各観測点でのP波及びS波の到達時刻を抽出した。すべてのP波とS波の到達時刻と地震イベントとの対応付けを施した後、地震波速度構造として水平成層構造を仮定してHypomh(Hirata and Matsu'ura, 1987)により震源を決定した。

スロー地震、特にテクトニック微動の検出には改良エンベロップ相関法(Mizuno and Ide, 2019)を用いた。ここでは、300秒間の時間窓を150秒毎に時間をずらしながら相互相関関数をそれぞれ求めて、テクトニック微動の検出をおこなった。相互相関関数で得られる観測点間のラグタイムに

基づき、テクトニック微動の震源をファスト地震と同様の地震波速度構造を用いて求めた。

4. ゲレロ地震空白域内とプレート境界面の形状
ゲレロ地震空白域の特に西側では、ファストとスローの両方の地震がほとんど発生しない領域（サイレントゾーン）の存在が既に指摘されている（Plata-Martinez et al, 2021）。サイレントゾーンは、局所的な重力及び地形の特徴を示す残差重力及び残差地形分布の負の異常域に対応する。この負の異常域は沈み込むプレート境界面が周囲と比べて相対的に窪む領域として解釈できる。一方、正の異常域は、沈み込む前の海底地形とそこで得られる残差重力及び地形異常との比較から、沈み込む海山として解釈された。

5. ファスト・スロー地震活動、小津波地震とプレート境界面の形状

2017年から2019年にかけてDNNを用いたファスト地震の機械学習による検出により約4000イベントが検出された。特に2017年11月からの1年間には、これまでの目視による検出数の約5倍の2500イベントが検出された。得られた微小地震の震央の多くは海岸線付近に分布し、ゲレロ地震空白域のサイレントゾーン内にはほとんど分布しない。つまり、ゲレロ地震空白域内の顕著な残留重力及び残差地形の負の異常域から解釈されるプレート境界面上の相対的な窪み域では規模の小さなファスト地震はほとんど発生していない。さらに、ゲレロ地震空白域を含む沖合で発生する微小地震及びテクトニック微動の震央の多くは、残差重力・地形異常が正から負に遷移する領域に多く分布する。つまり、明瞭な正または負の異常域では、微小地震とテクトニック微動のような小さなファスト地震及びスロー地震のいずれも発生していない。

2002年4月18日にサイレントゾーンよりも海側の海溝軸付近でMw6.7のプレート境界型地震が発生した。この地震のScaled Energy（地震波放射エネルギーを地震モーメントで規格化）は、およそ 10^{-6} で通常のプレート境界型地震が示す 10^{-5} と比べて小さく、他の地域で発生した津波地震で得られるScaled Energyと同程度である（Flores, 2018）。この「小津波地震」のすべり分布と残差重力及び残差地形異常を比較すると、小津波地震のすべり域は残差重力・地形の正の異常域、つまり沈み込む海山の位置とよく対応する。さらに、機械学習で検出された微小地震や、改良エンベロー

プ相関法によるテクトニック微動の震央のいずれも、小津波地震の主すべり域内にほとんど分布しないことも確認された。

6. おわりに

本稿では、メキシコ太平洋沿岸部沖合のゲレロ地震空白域で実施された海底地震観測の地震動記録から得られたファスト及びスロー地震の空間的特徴を調べて、残差地形・重力異常から推測されるプレート境界面の形状と比較した。その結果、プレート境界面の形状が凸または凹となる両方の領域では、いずれも規模の小さなファスト地震やスロー地震が発生していないこと、海溝軸付近の凸の領域は小津波地震の発生域であったことが示された。また凹の領域に対応するゲレロ自身空白域内のサイレントゾーンでは、機械学習で新たに検出された微小地震のカタログを用いた結果においても、地震活動が低調な領域に対応することが確認された。

参考文献：

- Flores, K. (2018). *Estudio de la Fuente compleja del sismo 18 de abril del 2002 (MW 6.7), fuera de la costa de Guerrero*. Master thesis, UNAM, 105p.
- Hirata, N., & Matsu'ura, M. (1987). Maximum-likelihood estimation of hypocenter with origin time eliminated using nonlinear inversion technique. *Physics of the Earth and Planetary Interiors*, 47, 50–61. doi:10.1016/0031-9201(87)90066-5.
- Mizuno, N., & Ide, S. (2019). Development of a modified envelope correlation method based on maximum-likelihood method and application to detecting and locating deep tectonic tremors in western Japan. *Earth, Planets and Space*, 71(1). doi:10.1186/s40623-019-1022-x.
- Mousavi, S. M., et al (2020). Earthquake transformer—an attentive deep-learning model for simultaneous earthquake detection and phase picking. *Nat Commun*, 11(1), 3952. doi:10.1038/s41467-020-17591-w.
- Plata-Martinez, R., et al. (2021). Shallow slow earthquakes to decipher future catastrophic earthquakes in the Guerrero seismic gap. *Nature Communications*, 12(1). doi:10.1038/s41467-021-24210-9.