

12 - 15 深部低周波微動の深さ依存性

Depth-dependent behavior of non-volcanic tremor in southwest Japan

東京大学地震研究所 小原一成

Kazushige Obara, Earthquake Research Institute, the University of Tokyo

1. はじめに

フィリピン海プレートの沈み込みによって、西南日本のプレート境界では約 100 ~ 150 年間隔で巨大地震が発生するが、その巨大地震発生領域のさらに深部側では、深部低周波微動がプレートの走向に沿って長さ約 600km の帯状領域に発生しており¹⁾、活発な微動活動に伴って短期的スロースリップイベント²⁾や深部超低周波地震³⁾が同期する。また、東海地方と豊後水道の2つの地域では、微動域のすぐ浅部側で、年オーダーの時定数を有する長期的スロースリップイベントが数年間隔で発生する^{4) 5)}。これらの低速すべりで特徴づけられる現象を総称してスロー地震と呼ぶ。スロー地震の中では深部低周波微動が最も検知されやすく、その発生域におけるプレート境界すべりのモニタリングツールとして考えることができる⁶⁾。最近、観測・解析手法の高度化に伴い、その詳細像が明らかにされてきた。本報告では、新たに構築された微動カタログに基づき、特に深さに対する活動特性の違いについて述べる。

2. 微動カタログ構築

深部低周波微動は、1 ~ 10Hz 程度に卓越し長時間継続する微弱振動で、P、S波の初動検出は非常に困難であり、そのため微動振幅の時間的变化、つまりエンベロープ形状に基づいた微動源決定法（エンベロープ相関法：ECM）が開発された^{1) 6)}。一方、微動波群の中には複数観測点で検出可能なやや孤立的な位相を含む場合があり、気象庁ではこの位相検測に基づいて震源決定を行ない、低周波地震というフラグを付与して一元化震源カタログに掲載している⁷⁾が、振幅が微弱で孤立的パルスを含まない微動の検出は困難である。そこで、ECM法に振幅情報を加えたハイブリッド法⁸⁾、さらに1時間毎に近接した微動群の重心を推定することで微動以外の活動を取り除くクラスタリング処理により、西南日本全域における均質でかつ高精度な微動カタログを構築した。その結果、プレート走向方向におけるセグメント構造がより明瞭になるとともに、プレート沈み込み方向における分布パターンが初めて明らかになった（図1）⁹⁾。

3. 微動活動の深さ依存性

四国西部では遷移領域を規定するように、浅部と深部に2つの微動活動列が、その両者の間に空白域を挟んで存在する。なお、このカタログでは微動の深さをプレート境界に固定しているため、微動の深さ分布は前弧側で浅く、背弧側で深い。また、その2列分布を繋ぐように、プレート間すべり方向に平行な微動配列が随所に存在する。四国東部では深部側に孤立したクラスターがいくつか存在する。微動の時空間分布を見ると（図2）、いくつかの地域では一定間隔で活発な微動エピソードが発生しているが、それらのエピソード間にもごく小規模な微動活動が存在する。そこで、継続時間が12時間以内のエピソードに含まれる微動のみを抽出すると、このような小規模な微動活動は深部側に集中する（図3）。この分布パターンは、Cascadiaでも同様に見られ、ETS（Episodic Tremor and Slip）以外の微動活動がETSの際の微動分布よりも深部側に集中する¹⁰⁾。

また、四国西部における深部側と浅部側の微動活動の積算変化を見ると（図4上）、浅部側の活動が一定周期でエピソードに発生するのに対して、深部側はより定常的に生じている。四国中部の微動クラスターは浅部から深部まで連続的に微動が分布するが、深さに分けて微動活動の積算変化を調べると、活動の再来間隔は浅部から深部に向かうに従って次第に短くなる。このような活動間隔の深さ依存性は、Cascadiaの場合と非常に調和的である。微動活動の移動パターンについても、深部側から始まることが多い。

4. 豊後水道長期的スロースリップイベントとの関係

豊後水道では、継続期間が半年から1年程度の長期的スロースリップイベントが約6年ごとに発生し、国土地理院のGPSでも明瞭に観測される。このすべり域は微動発生域よりもやや浅部に位置しており、付近の微動活動を南東側（前弧側）と北西側（背弧側）に分けて長期的スロースリップイベントとの関係を調べたところ、2003年と2010年の長期的スロースリップイベントによるGPS変化が、前弧側の微動活動と非常によく一致している。一方、背弧側の微動活動は特に変化せず、一定レートで推移していた（図4下）。このことは、豊後水道の長期的スロースリップイベント発生域と隣接した微動域でのみ微動が誘発され、その影響範囲は深部側には及ばないことを示す。

5. まとめ

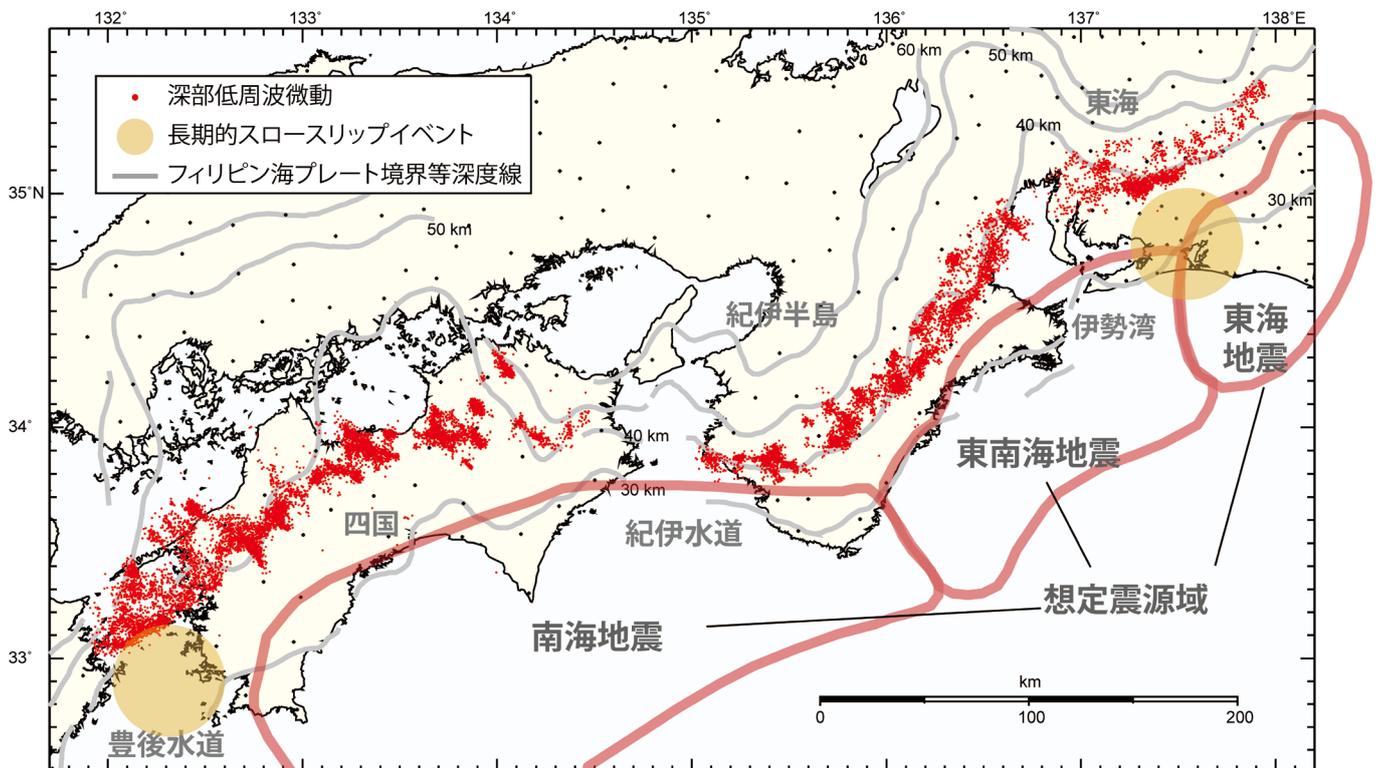
プレート境界には、巨大地震やスロー地震を含めて数種類の発生間隔によって特徴づけられるイベントが存在する。四国・豊後水道域では、浅部側から巨大地震震源域（約100年間隔）、長期的スロースリップイベント域（約6年間隔）、微動発生域（約半年～1-2カ月）と移り変わり、発生間隔は深さとともに短くなる（図5）。その傾向は、微動発生域の狭い範囲の中でも同様に見られ、摩擦パラメータが深さとともに変化する様子を反映していると考えられる。また、豊後水道の長期的スロースリップイベントと微動活動に見られるように、異なるすべり特性を有する領域が隣接している場合には明瞭な相互作用が存在し、これもプレート境界の摩擦特性を解明する上で重要である。

参 考 文 献

- 1) Obara, K., 2002. Nonvolcanic deep tremor associated with subduction in southwest Japan, *Science*, 296, 1679-1681.
- 2) Obara, K., Hirose, H., Yamamizu, F., Kasahara, K., 2004. Episodic slow slip events accompanied by non-volcanic tremors in southwest Japan subduction zone, *Geophys. Res. Lett.*, 31, L23602, doi:10.1029/2004GL020848.
- 3) Ito, Y., Obara, K., Shiomi, K., Sekine, S. and Hirose, H., 2007, Slow Earthquakes Coincident with Episodic Tremors and Slow Slip Events, *Science*, 315, 503-506.
- 4) Hirose, H., Hirahara, K., Kimata, F., Fujii, N., Miyazaki, S., 1999. A slow thrust slip event following the two 1996 Hyuganada earthquakes beneath the Bungo Channel, southwest Japan, *Geophys. Res. Lett.*, 26, 3237-3240.
- 5) Ozawa, S., Murakami, M., Kaidzu, M., Tada, T., Sagiya, T., Hatanaka, Y., Yagai, H., Nishimura, T., 2002. Detection and monitoring of ongoing aseismic slip in the Tokai region, central Japan, *Science*, 298, 1009-1012.
- 6) Obara, K., 2010, Phenomenology of deep slow earthquake family in southwest Japan—

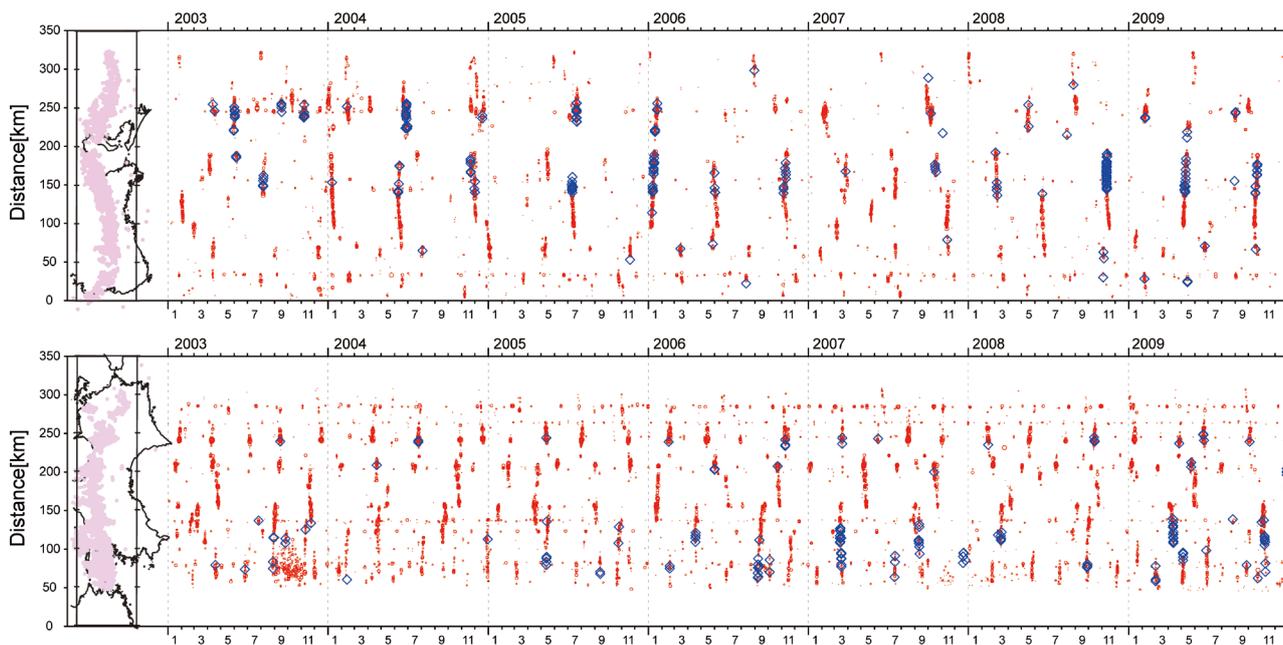
Spatiotemporal characteristics and segmentation—, *Geophys. J. Res.*, 115, B00A25, doi: 10.1029/2008JB006048.

- 7) Katsumata, A., Kamaya, N., 2003. Low-frequency continuous tremor around the Moho discontinuity away from volcanoes in the southwest Japan, *Geophys. Res. Lett.*, 30, 1020, doi:10.1029/2002GL015981.
- 8) Maeda, T., Obara, K., 2009. Spatio-temporal distribution of seismic energy radiation from low-frequency tremor in western Shikoku, Japan, *Geophys. J. Res.*, 114, B00A09, doi:10.1029/2008JB006043.
- 9) Obara, K., Tanaka, S., Maeda, T., Matsuzawa, T., 2010. Depth-dependent activity of non-volcanic tremor in southwest Japan, *Geophys. Res. Lett.*, 37, L13306, doi:10.1029/2010GL043679.
- 10) Wech, A., Creager, K. C., Melbourne, T. I., 2009. Seismic and geodetic constraints on Cascadia slow slip, *J. Geophys. Res.*, 114, B10316, doi:10.1029/2008JB006090.



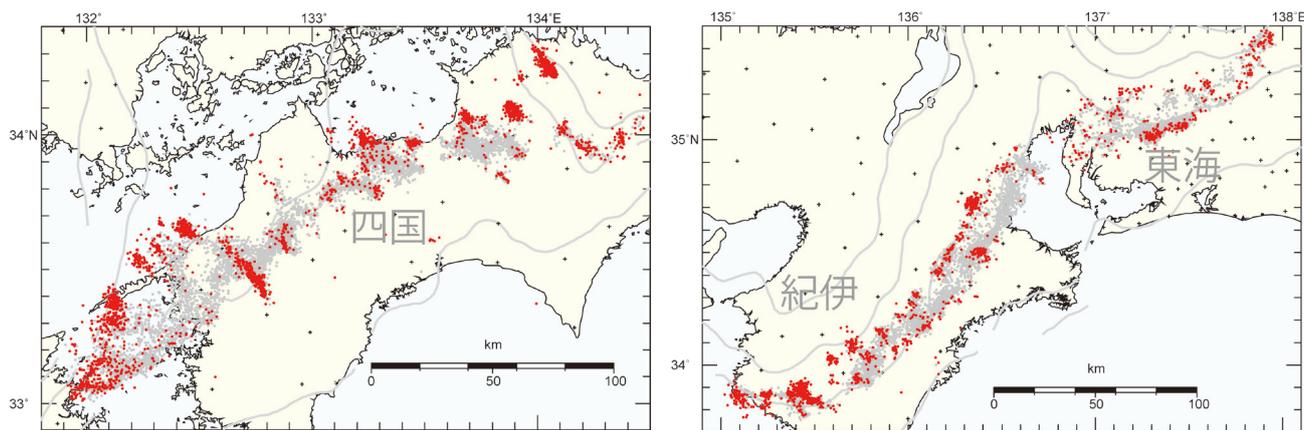
第1図 ハイブリッド法・クラスタリング処理に基づく微動源分布. 赤点は1時間毎に近接した微動分布から得られた重心位置である.

Fig. 1 Epicentral distribution of tremor calculated through the hybrid method and clustering process. The red point is the centroid for neighbor tremor within 1 hour.



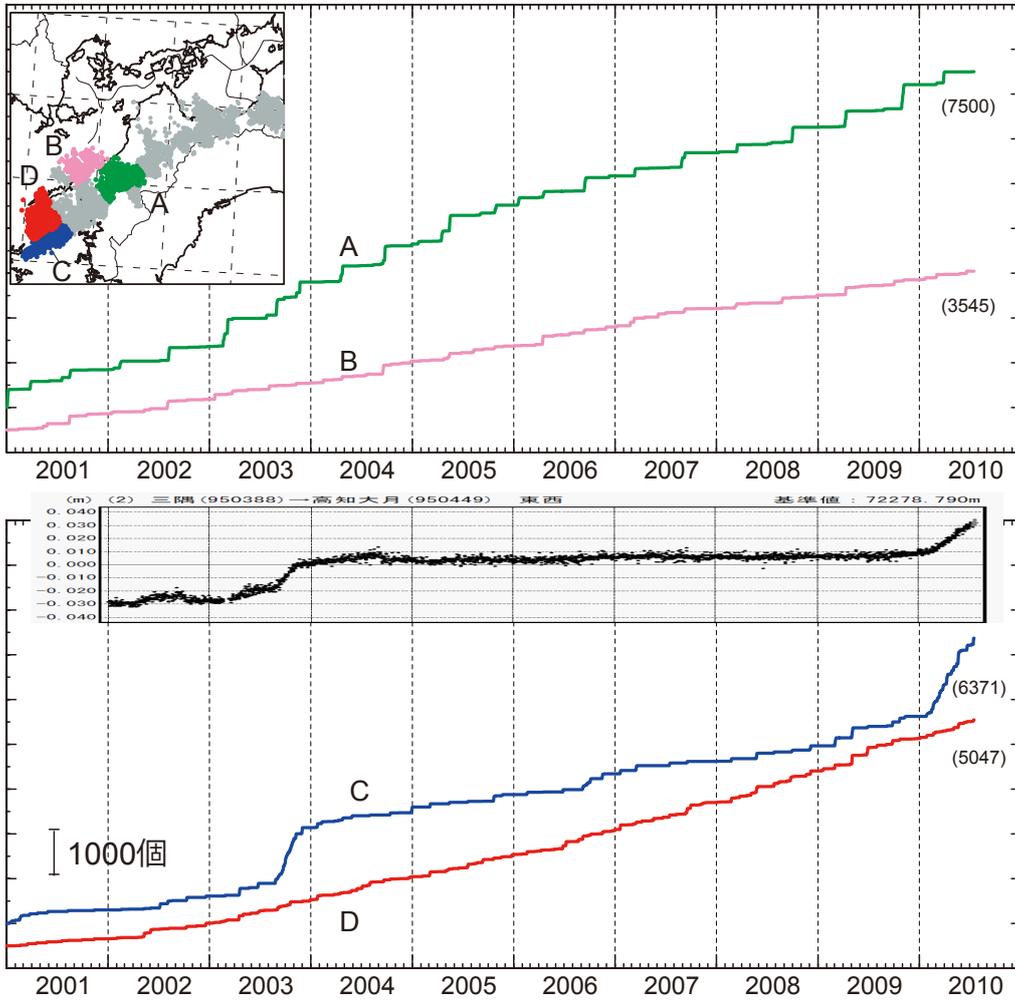
第2図 微動活動の時空間分布. 赤点はハイブリッド法・クラスタリング処理に基づく微動重心であり, 青菱形は深部超低周波地震を表わす.

Fig. 2 Spacetime plot of tremor activity. The red dot and blue diamond represent the tremor and deep very-low-frequency earthquake, respectively.



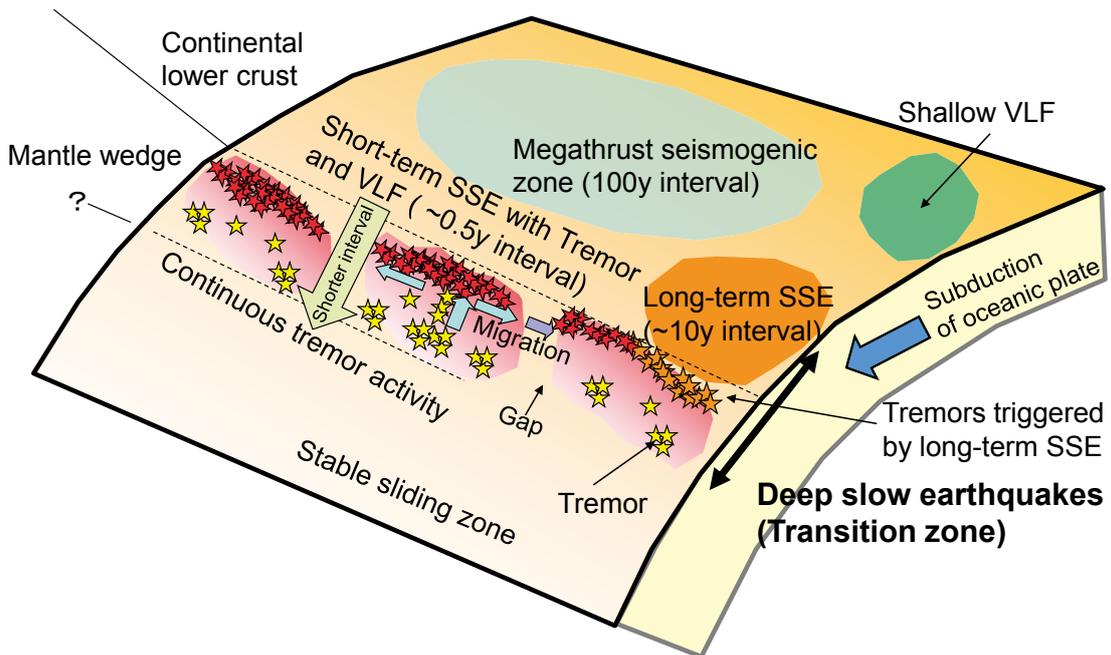
第3図 小規模微動活動分布. 赤点は継続時間12時間以内のエピソードに含まれる微動重心位置であり, 灰色点はすべての微動分布を表わす.

Fig. 3 Epicentral distribution of minor tremor activity. The red dot indicates the tremor included in episodes with duration shorter than 12 hours. The gray dot is tremor for all episodes.



第4図 四国西部・豊後水道域の4グループにおける微動活動積算個数変化. 挿入図は国土地理院のGPS観測点である三隅と高知大月間の東西変位であり, 1次トレンド・年周・半年周成分を除去したものである (2010年8月20日開催の第187回地震予知連絡会国土地理院資料 <http://cais.gsi.go.jp/YOCHIREN/activity/187/187.html> より)

Fig. 4 Cumulative number of tremor activity for four groups in western Shikoku. Insert panel is the EW component of the GPS displacement between Misumi and Ootsuki.



第5図 四国・豊後水道域におけるプレート境界すべり特性モデル

Fig. 5 Schematic model of various slip phenomena on the plate interface.