

12 - 4 スロー地震の地質学的実像 Geological fingerprints of slow earthquakes

筑波大学
University of Tsukuba

プレート沈み込み帯におけるスロー地震の発見から約 20 年経過して、スロー地震の普遍性・多様性に関する理解が格段に進んだ。一方、スロー地震を引き起こす地質学的環境条件、構造、変形メカニズムについては未解明・未検討であった。しかし、ここ 5 年の間にスロー地震を対象とした地質学的研究が急速に進展し、続々と新知見・新見解が得られている。陸域に露出する付加体や低温高压型変成岩には過去のプレート境界域（メランジュ：プレート境界に沿ったせん断変形により岩石が混在したもの）が含まれており、スロー地震の痕跡を探るうえで格好の研究対象である。また、深海掘削では、スロー地震発生域に持ち込まれる物質を直接採取して調べることができる。これらスロー地震発生域の陸域アナログ研究と深海掘削で浮かびあがってきたスロー地震の地質学的実像を大きく 3 つにまとめると以下ようになる。

1. 微動の地質モデル

メランジュには石英充填せん断脈と伸長脈の濃集帯が、厚さ数 10 m、長さ 100 m 以上に渡って発達しており、低角逆断層滑り、静岩圧に近い流体圧、 10^1 MPa オーダーの非常に低いせん断強度、kPa オーダーの非常に小さな応力降下量、変位量 0.1–0.2 mm の脆性破壊が数十から数百回繰り返されたことを記録している¹⁾。このうちせん断脈は、地球物理学的検討で明らかとなった低周波地震の特性²⁾の多くを説明することができる。この知見に加え、引張破壊時のシグナルが微動のノイズ的シグナルと類似するという岩石実験結果³⁾もあわせて考えると、微動のシグナルのうち、低周波地震に関連したシグナルはせん断脈に見られるマルチプルな脆性せん断破壊に対応し、それ以外のノイズ的シグナルは伸長脈に見られるマルチプルな引張破壊に対応しており、これらがリンクした群発現象が微動の実体であるという新たな地質モデルが提案されている。

2. ETS (Episodic tremor and slip) の地質学的実体

ETS は微動とスロースリップが同期して発生することで特徴づけられる。プレート境界域を構成するメランジュは、硬いブロックが柔らかいマトリックスに取り囲まれたいわゆる block-in-matrix 構造を持つことで特徴づけられる。この block-in-matrix 構造を持つメランジュにおける不均質な変形が、ETS をもたらす可能性が指摘されている^{4),5)}。つまり微動は硬い block における脆性破壊、スロースリップは柔らかいマトリックスにおける粘性流動によるものであるという考え方である。深海掘削では、浅部微動やスロースリップ発生域に持ち込まれる物質は、不均質な物性を持つ多様な岩石で構成されていることが明らかとなった⁶⁾。このように地質学的にみて不均質性は、微動とスロースリップの発生にとって重要な条件と言えそうである。

3. スロー地震発生域で高流体圧をもたらし流体の起源

地球物理学的研究により、スロー地震発生域は高流体圧下にあることが数多く指摘されてきたが、地質学的にみてもスロー地震発生域は高流体圧下であることが明らかになってきた。高流体圧をも

たらず流体の起源として、沈み込みの進行に伴う海洋地殻（玄武岩）中の含水鉱物からの脱水⁷⁾、メランジュで岩石が混在化する際の化学反応（交代作用）による脱水⁸⁾、外部（例えば蛇紋岩化したマントル）からの流体の流入⁹⁾の3つがあげられている。

氏家恒太郎
UJIE Kohtaro

参考文献

- 1) Ujiie, K., Saishu, H., Fagereng, Å., Nishiyama, N., Otsubo, M., Masuyama, H., and Kagi, H. (2018), An explanation of episodic tremor and slow slip constrained by crack-seal veins and viscous shear in subduction mélange. *Geophysical Research Letters*, **45**, 5371–5379.
<https://doi.org/10.1029/2018GL078374>
- 2) Behr, W. M., and Bürgmann, R. (2021), What' s down there? The structures, materials and environment of deep-seated slow slip and tremor. *Philosophical Transactions of the Royal Society A*, 379, 20200218.
<https://doi.org/10.1098/rsta.2020.0218>
- 3) Burlini, L., Di Toro, G., and Meredith, P. (2009), Seismic tremor in subduction zones: Rock physics evidence. *Geophysical Research Letters*, **36**, L08305. <https://doi.org/10.1029/2009GL037735>
- 4) Fagereng, Å., Hillary, G. W. B., and Diener, J. F. A. (2014), Brittle-viscous deformation, slow slip, and tremor. *Geophysical Research Letters*, **41**, 4159–4167. <https://doi.org/10.1002/2014GL060433>
- 5) Behr, W. M., Kotowski, A. J., and Ashley, K. T. (2018), Dehydration-induced rheological heterogeneity and the deep tremor source in warm subduction zones. *Geology*, **45**, 475–478.
<https://doi.org/10.1130/G40105.1>
- 6) Barnes, P. M. et al. (2020), Slow slip source characterized by lithological and geometric heterogeneity. *Science Advances*, **6**, eaay3314, <https://doi.org/10.1126/sciadv.aay3314>
- 7) Condit, C. B., Guevara, V. E., Delph, J. R., and French, M. E. (2020), Slab dehydration in warm subduction zones at depths of episodic slip and tremor. *Earth and Planetary Science Letters*, **552**, 116601.
<https://doi.org/10.1016/j.epsl.2020.116601>
- 8) Tarling, M. S., Smith, S. A. F., and Scott, J. M. (2019), Fluid overpressure from chemical reactions in serpentinite within the source region of deep episodic tremor. *Nature Geoscience*, **12**, 1034–1042.
<https://doi.org/10.1038/s41561-019-0470-z>
- 9) Nishiyama, N., Sumino, H., and Ujiie, K. (2020), Fluid overpressure in subduction plate boundary caused by mantle-derived fluids. *Earth and Planetary Science Letters*, **538**, 116199.
<https://doi.org/10.1016/j.epsl.2020.116199>