

[研究成果]

海溝型巨大地震の発生前に期待される、ゆっくり地震の活動変化

- Character of deep low-frequency tremors based on chain reaction model -

#有吉 慶介^{*1}・堀 高峰^{*1}・金田 義行^{*1}Jean-Paul Ampuero^{*2}松澤 暢^{*3}・日野 亮太^{*3}・長谷川 昭^{*3}^{*1} 独立行政法人 海洋研究開発機構 地震津波・防災研究プロジェクト^{*2} カリフォルニア工科大学^{*3} 東北大学大学院理学研究科附属地震・噴火予知研究観測センター

西南日本（図1）をはじめとする世界各地の沈み込みプレート境界面上で発生する深部低周波微動の活動は、小アスペリティ間の連鎖破壊という観点から概ね系統的に説明ができることを前回の報告で述べた [1]. このように、数値シミュレーションによって観測現象の一部が再現できるようになると、今度は数値シミュレーションから未知の現象を予測し、今後の観測計画へとフィードバックすることにつながる。本稿では深部低周波微動が巨大地震前に変化する可能性を、数値シミュレーションから示した研究事例について紹介する。

1. はじめに

図1に示すように、深部低周波微動の震源は東海・東南海・南海地震の直近に存在するため、巨大地震に伴う前駆的な応力変化に対して敏感に活動が変化することが期待される。最近の観測研究事例を挙げると、西南日本で観測される深部低周波微動の変位振幅からプレート境界面上のすべり量へと変換することで、体感できないほどゆっくりしたすべりを（GPS 観測とは独立して）捉える手法が開発されている [3]. また、海溝型プレート境界ではなくトランスフォーム（横ずれ＝阪神大震災と同じタイプ）型プレート境界として世界的に最も有名なサン・アンドレアス断層では、2004 年にパークフィールドで発生した M6 の地震の数週間前から4年以上に渡って、震源域周辺の低周波微動活動が活発になったという報告がある [4].

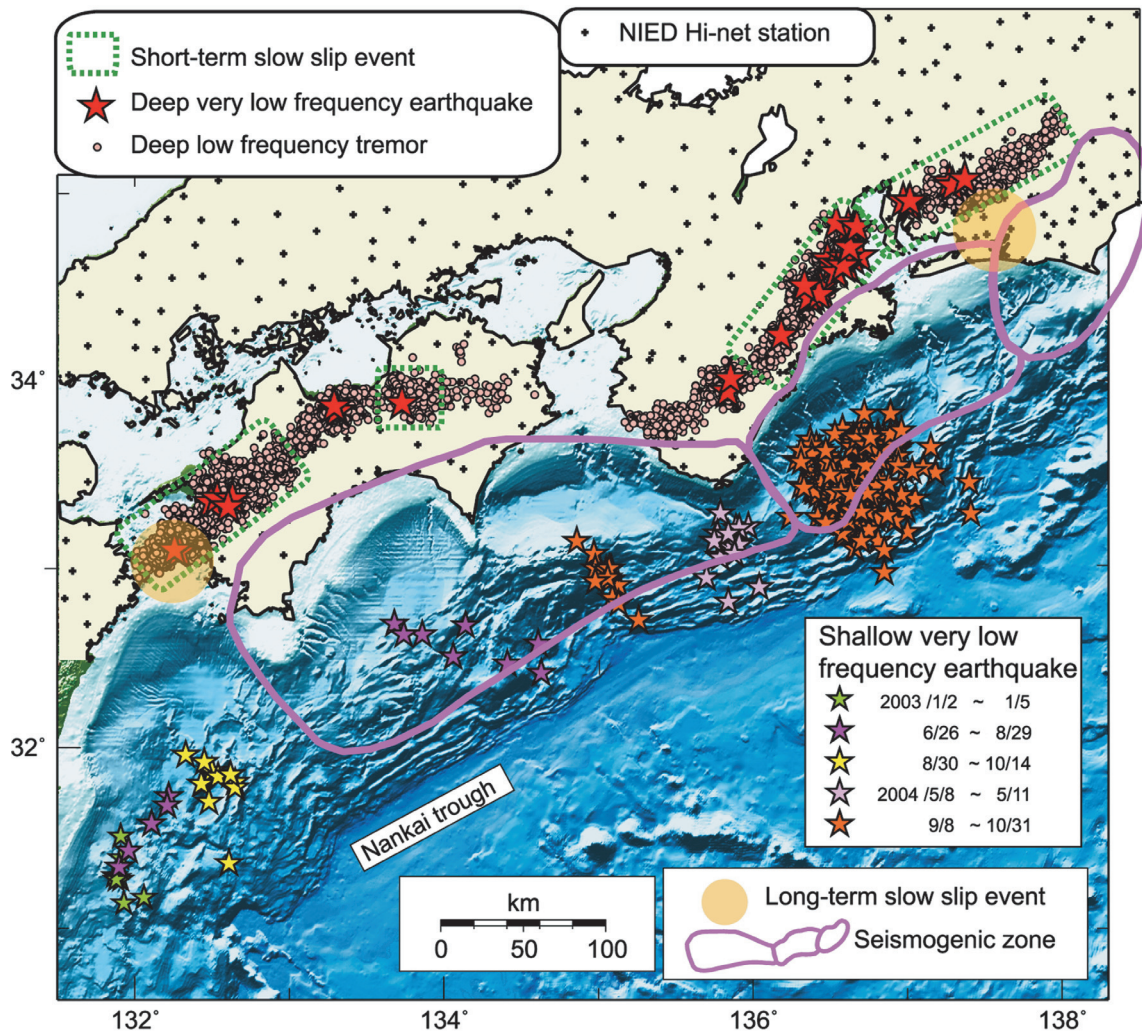


図 1. 西南日本で観測された深部超低周波地震 (★ very low frequency earthquake)と低周波微動 (○ low frequency tremor) [2]. 桃色の線で囲まれた領域は、南海・東南海地震の震源域を示す. 橙色領域として示された Long-term SSE (slow slip event) は、数十 km 以上といった微動より規模の大きな範囲で、体感できない程ゆっくりしたすべり速度で断層がすべる現象のうち、特に長期間 (数カ月以上) 継続するもの. ★が海溝に近い浅部で一時的に活発になっているのは、2004 年 9 月 5 日に発生した紀伊半島南東沖地震 (M7.4) の影響による.

これらの事例は微動の活動そのものに注目しているが、図 2 に示すように、深部低周波微動は一般に連鎖破壊をしながら海溝軸にほぼ平行して水平方向に 2~20 km/day ほどの速さで伝播することを考えると [5], 伝播過程にも変化が生じることが期待される.

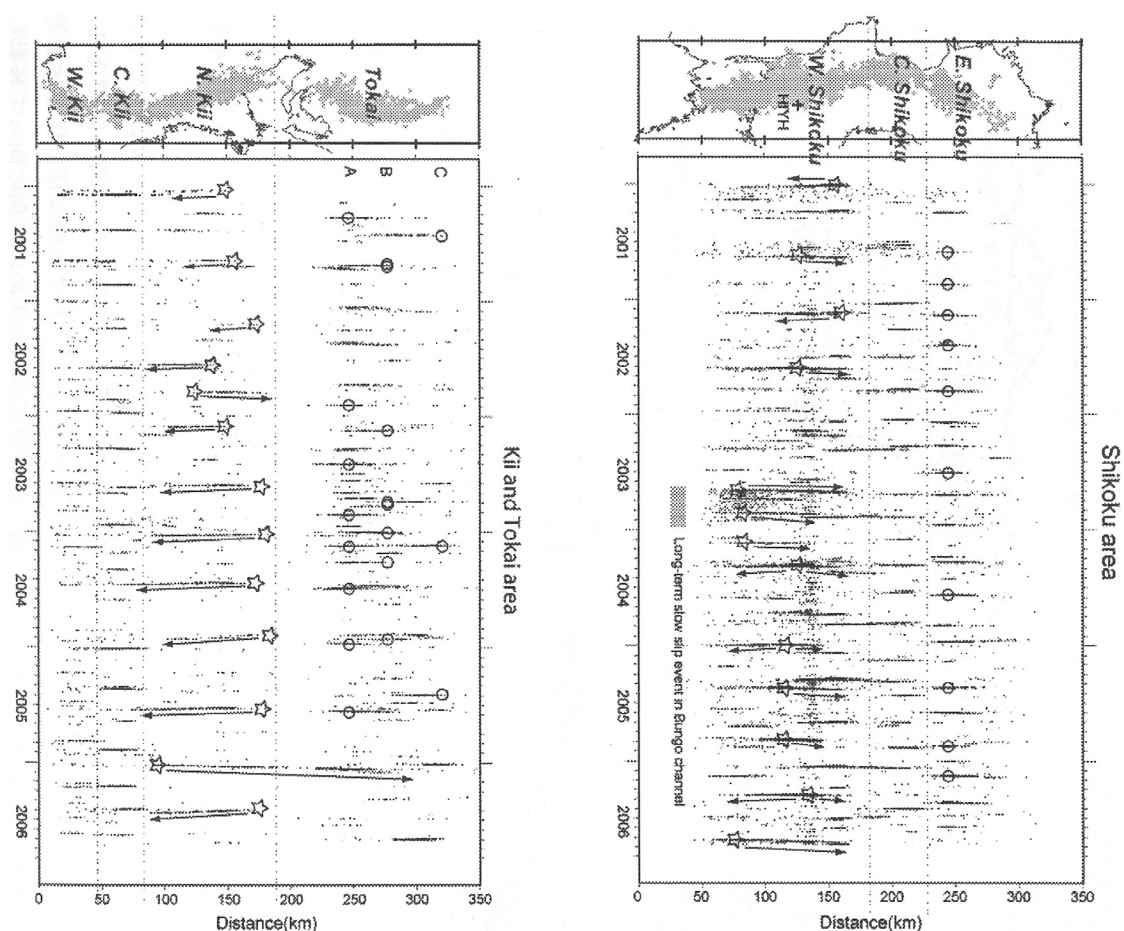


図2. 紀伊半島（左図）・四国（右図）周辺での深部低周波微動の震源分布の時系列 [6]. 震源の連なる傾きから伝播速度を求めることができ、西南日本では約 10 km/day となる. 現在の南海・東南海沖地震の震源域は固着しているため、図2は図4cと対応しており、観測と数値シミュレーションとの比較対象となっている.

そこで本研究では、前回の研究よりもさらに時間・空間分解能を上げた数値シミュレーションを行うことで、巨大地震発生前に生じる応力変化によって、深部低周波微動の伝播過程がどのように変化するのかについて数値シミュレーションから予測を試みた.

2. 3次元沈み込みプレート境界モデル

東海～東南海～南海沖にかけてみられる深部低周波微動の発生現象について、連動破壊によるものと想定したモデルを図3に示す.

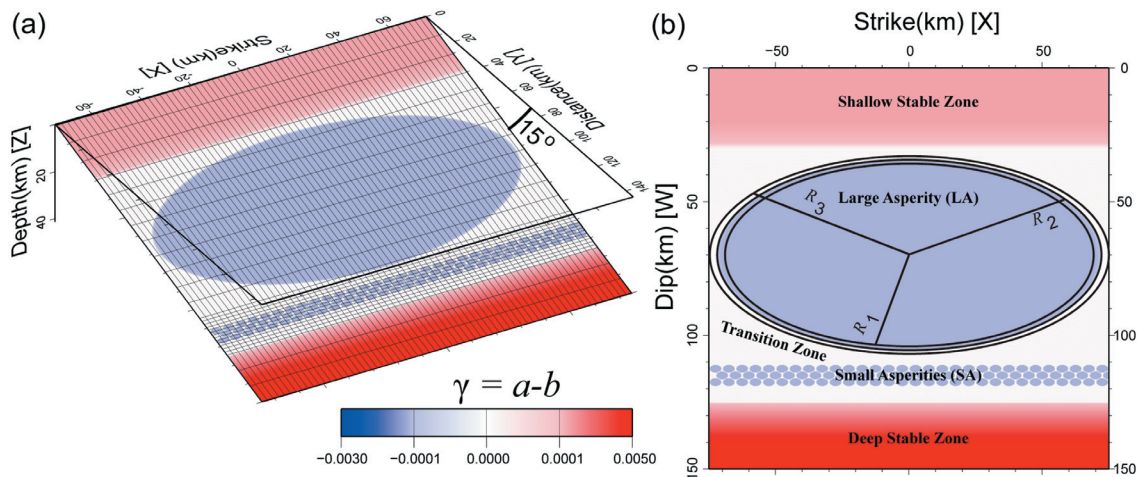


図 3. 沈み込みプレート境界面上の摩擦特性分布図. 赤色系が粘性のように速度増加と共に摩擦力が増大する安定すべり域, 青色系が速度増加 (低下) と共に摩擦力が低下 (増大) する不安定すべり (地震が発生しやすいアスペリティ) 領域を示す. 計算メッシュは 8 倍ほど拡大したもので, 実際には約 31 万個ある. また, 左右で非対象とするために, 左端の半月状のアスペリティを一つ取り除いた. γ の物理的な意味合いについては [1] を参照.

プレートの傾斜角は 15° , 計算領域の外側は, 4cm/year で定常的に沈み込みプレート運動が続いているものとする. また, 海溝軸 (Strike) 方向に沿って, 周期的境界条件を与え, 東海～東南海～南海沖のように巨大アスペリティが続いている場合を想定した. また, 深さ $27\text{--}33\text{km}$ の範囲では, 流体 (主に水) が存在するため有効法線応力が 51MPa と低くなる, 高い間隙水圧が生じているという説 [1] を採用した.

本研究では, 東北大学サイバーサイエンスセンターとの共同研究によって開発された, SX-9 向けに最適化されたプログラムコードを活用することで, 前回のモデルよりも小アスペリティの大きさをさらに縮小させ, 巨大アスペリティと小アスペリティのスケールが 30 倍も異なるモデルを構築することに成功した.

3. 固着期間と地震発生直前にみられる伝播過程の違い

図 4 に計算結果の一例を示す. 図 4 a は巨大アスペリティが固着している時期, 図 4 b は巨大アスペリティの固着が剥がれ始めた巨大地震発生直前 (0.86 年前) における, すべり速度のスナップショットを示す.

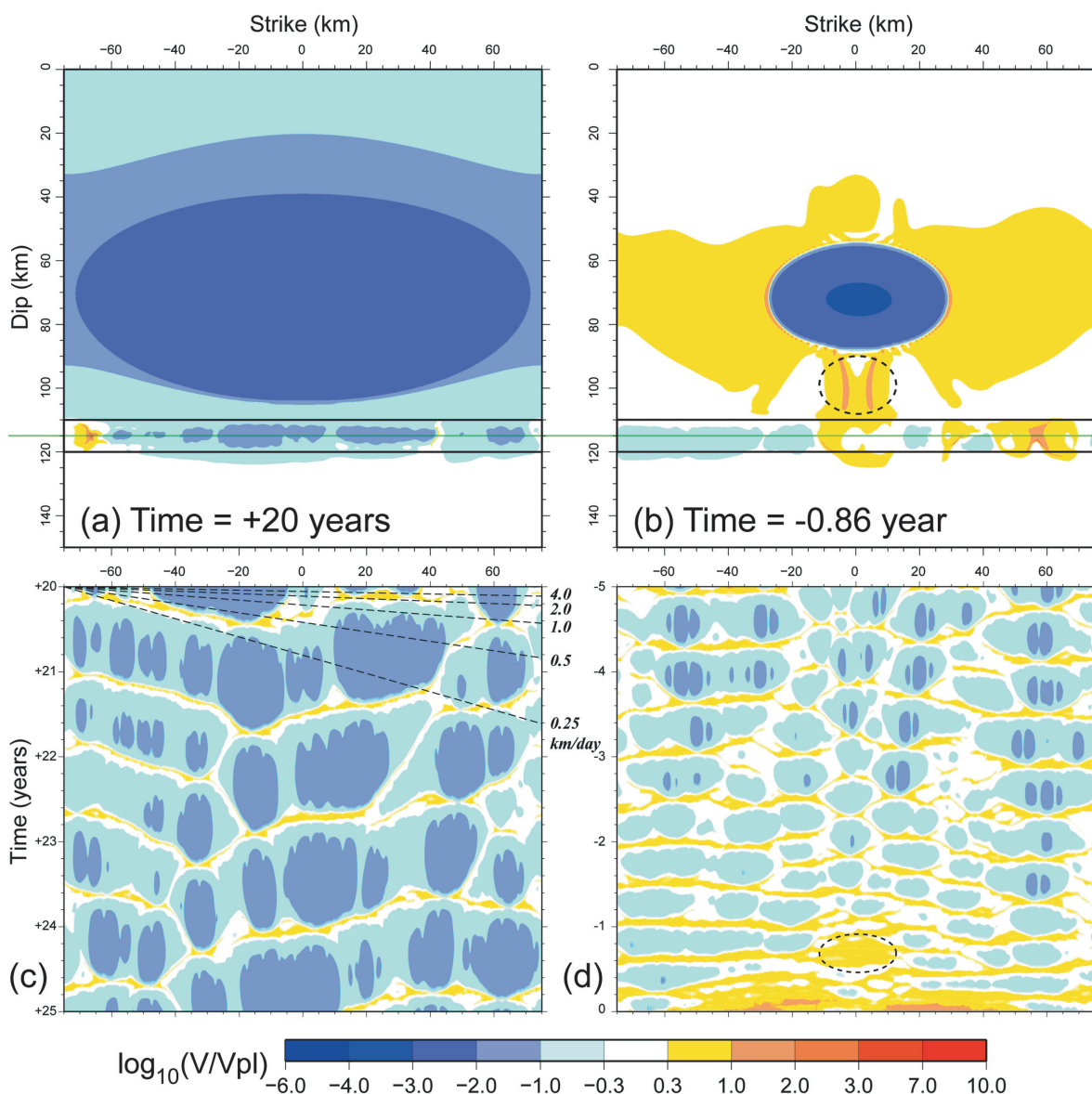


図4. (a)(b)は図3bにおける、すべり速度のスナップショット. (a)(b)の Dip=115km (緑色の直線)に沿った、すべり速度の時空間変化. Time=0 を巨大地震発生時刻としている. 暖色系は地震性(赤)すべり, 寒色系は固着(青), 黄・橙色は深部低周波微動のすべりに相当し, 図2の現象と対応している. (b)(d)の点線で囲まれた楕円は, SSE を示す.

小アスペリティ帯 (黒の長方形で囲んだ領域) に注目すると, 巨大アスペリティのすべり速度場が小アスペリティ周辺にも強く影響を及ぼしていることが分かる. 図4aでは小アスペリティ帯でも固着 (青色) が見られ, 微動の発生・伝播 (黄・橙色) する領域は狭い領域に限られている一方で, 図4bでは固着が弱く (水色), 微動の発生領域も広がっている.

図 4 cd は、微動の発生時間間隔・伝播速度（黄・橙色の傾きから求める）を視覚的に示したもので、巨大アスペリティが固着している期間は発生間隔が長く、伝播速度が遅いが、巨大地震発生が近付くと、次第に発生間隔が短くなり、伝播速度が速まる傾向がみられる。

4. まとめ

深部低周波微動とその伝播過程が観測から捉えられるようになったのは、ここ 7・8 年前からのことで [5]、巨大地震を伴った場合の事例は今のところ存在しない。そのため、事前に数値シミュレーションから現象を予測することは防災上の観点から重要なものとなっているが、定量的にきちんと評価して実際問題へと適用するためには、数値シミュレーションが観測結果をできるだけ忠実に再現することが必要である。

前回の報告 [1] で構築したモデルでは、移動伝播速度が 0.03~3 km/day となっていたが、今回の結果では、0.3~3 km/day となり、観測事実である 2~20 km/day までオーダーレベルでは同じレベルにまで近づけることができた。今後は、さらに分解能を上げることによって、定量的な議論にまで踏み込めるようにし、巨大地震発生前の前兆変化について、深部低周波微動に注目することで、観測から捉えるための指針を数値シミュレーションから示すことが、社会貢献へ向けての大きな課題となっている。

参考文献

- [1] 有吉 慶介・堀 高峰・金田 義行・Jean-Paul Ampuero・松澤 暢・日野 亮太・長谷川 昭, 2009. 連鎖反応モデルから想定される深部低周波微動の特徴, SENAC **42**, 19-25.
- [2] Obara, K., K. Shiomi, 2009. Underground Structural Anomalies and Slow Earthquake Activities Around Seismogenic Megathrust Earthquake Zone as Revealed by Inland Seismic Observations. J. Disast. Res. **4**, 83-93.
- [3] Hiramatsu, Y., T. Watanabe, and K. Obara, 2008. Deep low-frequency tremors as a proxy for slip monitoring at plate interface, Geophys. Res. Lett. **35**, L13304, doi:10.1029/2008GL034342.
- [4] Nadeau, R. M., and A. Guilhem, 2009. Nonvolcanic tremor evolution and the San Simeon and Parkfield, California, Earthquakes, Science **325**, 191-193, doi:10.1126/science.1174155.
- [5] Schwartz, S. Y., and J. M. Rokosky, 2007. Slow slip events and seismic tremor at circum-Pacific subduction zones, Rev. Geophys. **45**, RC3004, doi:10.1029/2006RG000208.
- [6] 小原一成, 2007. スロー地震と水, 地学雑誌 **116**, 114-132.