

## [共同研究成果]

# 超低周波地震の活動に基づくプレート間固着の推定

## - Characteristics of shallower slow earthquakes occurring near the trench -

有吉 慶介<sup>\*1</sup>・松澤 暢<sup>\*2</sup>・日野 亮太<sup>\*2</sup>・長谷川 昭<sup>\*2</sup>  
堀 高峰<sup>\*1</sup>・中田 令子<sup>\*1</sup>・金田 義行<sup>\*1</sup>

<sup>\*1</sup> 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

<sup>\*2</sup> 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

浅部超低周波地震は、これまで西南日本や十勝沖でしか捉えられてこなかったが、東北地方太平洋沖地震後の詳細な解析により、東北沖でも発生していることが確かめられた。そこで本研究では、数値シミュレーションに基づいて、浅部超低周波地震の活動とプレート間固着との関係を調べ、その結果を東北地方太平洋沖地震へ適用することを試みた。

### 1. はじめに

南海トラフ沿いで発生する”ゆっくり地震”的一種である超低周波地震 [1] は、30km の等深線上にほぼ分布しているだけでなく、海溝付近でも発生していることが、最近の海底観測から明らかとなった [2]。そこで、有吉・他 [3] では、近い将来起きるとされる東南海地震の前後で、超低周波地震の活動への影響を調べた結果、深部より浅部の方が、活動の変化が大きくなることを指摘した。

しかし、ここで想定した海溝型巨大地震は、約 100 年に 1 回の頻度で発生し、プレート間の平均固着率も 4 割程度となっており、東北地方太平洋沖地震で海溝付近に巨大すべりをもたらした、海溝付近まで突き抜けた地震性すべりが再現出来ていない（図 1）。

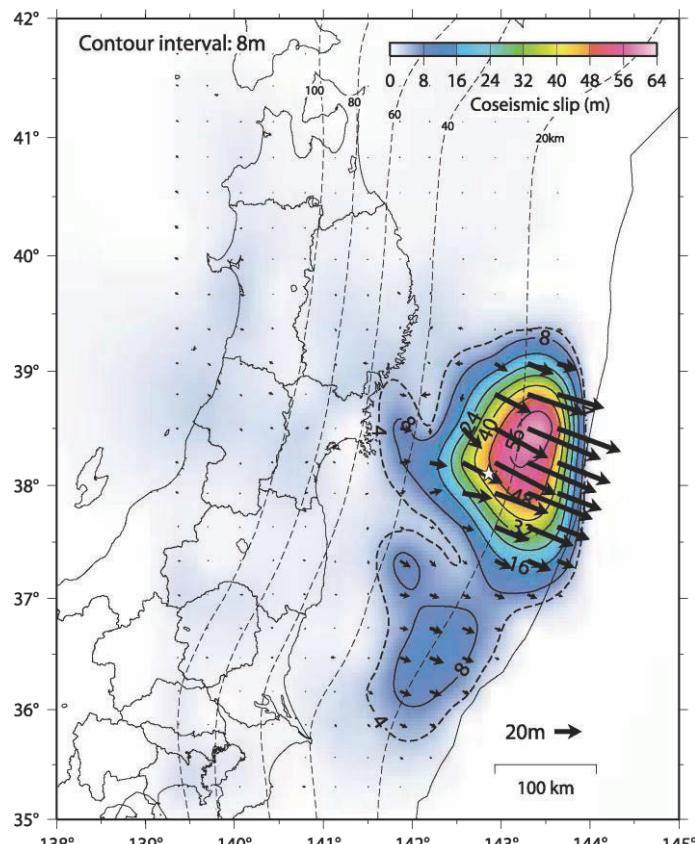


図 1. 東北地方太平洋沖地震における地震時すべり分布の推定結果の一例 [4]。

そこで本研究では、海溝まで地震性すべりが突き抜けるほど強く固着する場合と地震性すべりが海溝まで突き抜けない弱い固着の場合について、大規模な数値シミュレーションの計算結果を比較し、浅部超低周波地震の活動変化の特徴についての抽出を試みる。

## 2. 海溝型巨大地震のモデル化

プレート間固着の効果を比較するため、計算手法や想定パラメター値は、前回 [3] と共にした。本研究では、速度・状態依存摩擦構成則のうち、ゆっくり地震の発生現象を再現し易い slowness-law を適用した [5]。摩擦安定性の空間分布を図 2 に示す。ここでは巨大アスペリティの摩擦特性 ( $b$  値) を変えることによって、固着強度が異なる 2 つのモデルを構築した。この 2 つのモデルについて、本研究では、strong coupling model, weak coupling model と呼ぶことにする。

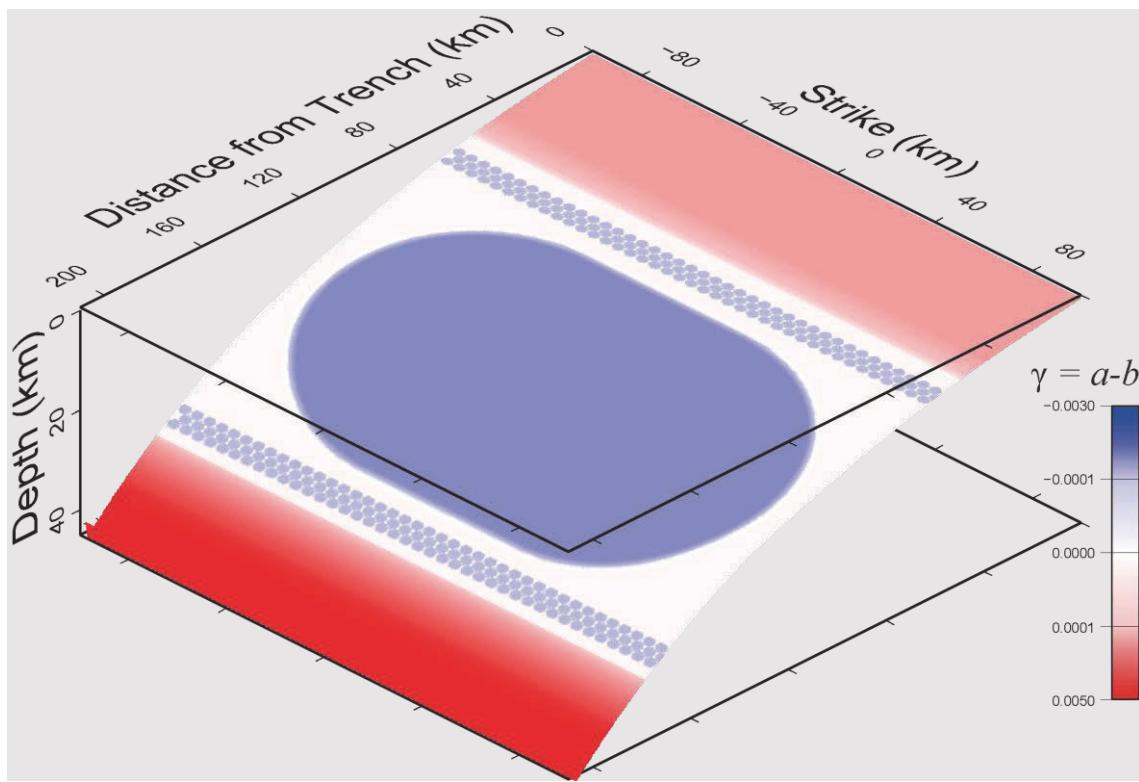


図 2. strong coupling model における摩擦安定性の空間分布図。暖色系は摩擦安定（粘性的なすべり特性）、寒色系は摩擦不安定（固着と地震性すべりの繰り返し）を示す。大きな楕円域内は海溝型巨大地震の震源域に相当し、strong / weak (coupling model) において、 $\gamma$  の値は、 $-3.8 / 9.8 [\times 10^4]$  とした。weak coupling model については、全ての入力パラメターは前回 [3] と全て同一となっている。

### 3. プレート間固着の強弱に基づく地震性すべり分布の比較

本研究の 2 つのモデル (strong / weak coupling model) で再現された海溝型巨大地震の地震性すべり分布と特徴について、それぞれ図 3 と表 1 に示す。

図 3 の strong coupling model では、暖色域において、海洋プレートと陸側プレートがほぼ完全に固着し、海溝型巨大地震の際に、海溝まで 2m 以上のすべりが突き抜けていることが分かる。

一方で weak coupling model では、地震性すべりが海溝まで突き抜けないため、大きな津波が発生しにくい地震であり、1944 年の東南海地震[3] と調和的である。

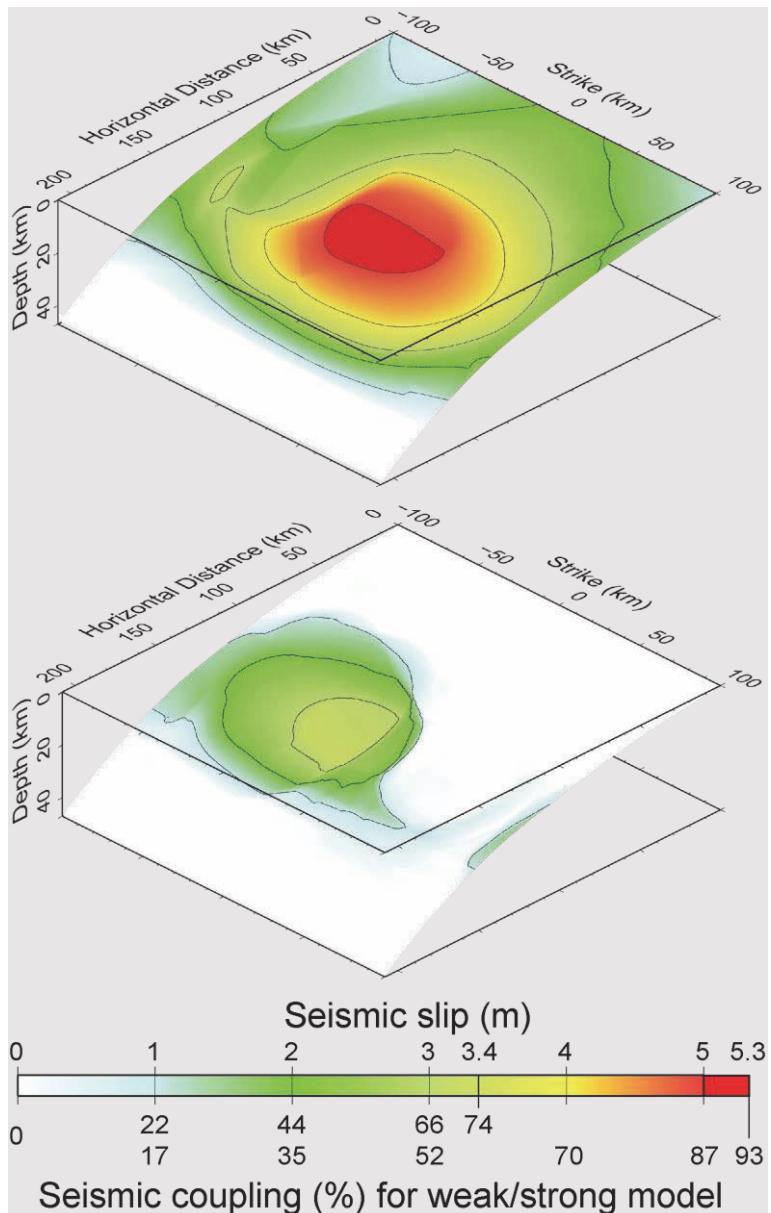


図 3. (上) strong (下) weak coupling model における、地震性すべり ( $D_{\text{seis}}$ ) の空間分布図。ここでは、3cm/sec より高速なすべりと定義した。プレート間カップリング率 ( $C_{\text{seis}}$ ) への換算は、(地震性すべり量) / (1 サイクルの総すべり量) から算出した。

表 1. strong/ weak coupling model での海溝型巨大地震の比較 (※図 3 の注釈を参照。)

| 物理パラメーター / モデル                              | strong coupling model | weak coupling model |
|---|-----------------------|---------------------|
| 再来間隔・規模                                     | 143 年 ; Mw8.3         | 113 年 ; Mw7.9       |
| $D_{\text{seis}}, C_{\text{seis}}$ の最大値 (※) | 5.3m : 93%            | 3.4m : 74%          |
| 破壊域   | 海溝まで突き抜ける             | 巨大アスペリティ域の一部        |

#### 4. 海溝型巨大地震サイクルに伴う超低周波地震の長期変化

図4に、浅部側と深部側の小アスペリティ帯(図2を参照)におけるすべり速度の空間履歴を示す。時間軸(横軸)については海溝型巨大地震の発生時刻を開始時刻としている。この図では、赤い色をした部分がゆっくり地震に相当し、発生時間間隔・伝播速度(黄・橙色の傾きから求める)を視覚的に捉える事ができる。

ここで、weak / strong coupling modelで比べると、深部側は両者に大きな差は見られないが、巨大地震発生直後(時刻が0近辺)での浅部側に注目すると、weak coupling modelでは頻発する様子が診られるが、深部側では暖色系の色が全くない。これはゆっくり地震の静穏化を意味し、特に中央付近(Strike~0)ではその継続時間が長くなる傾向がみられる。

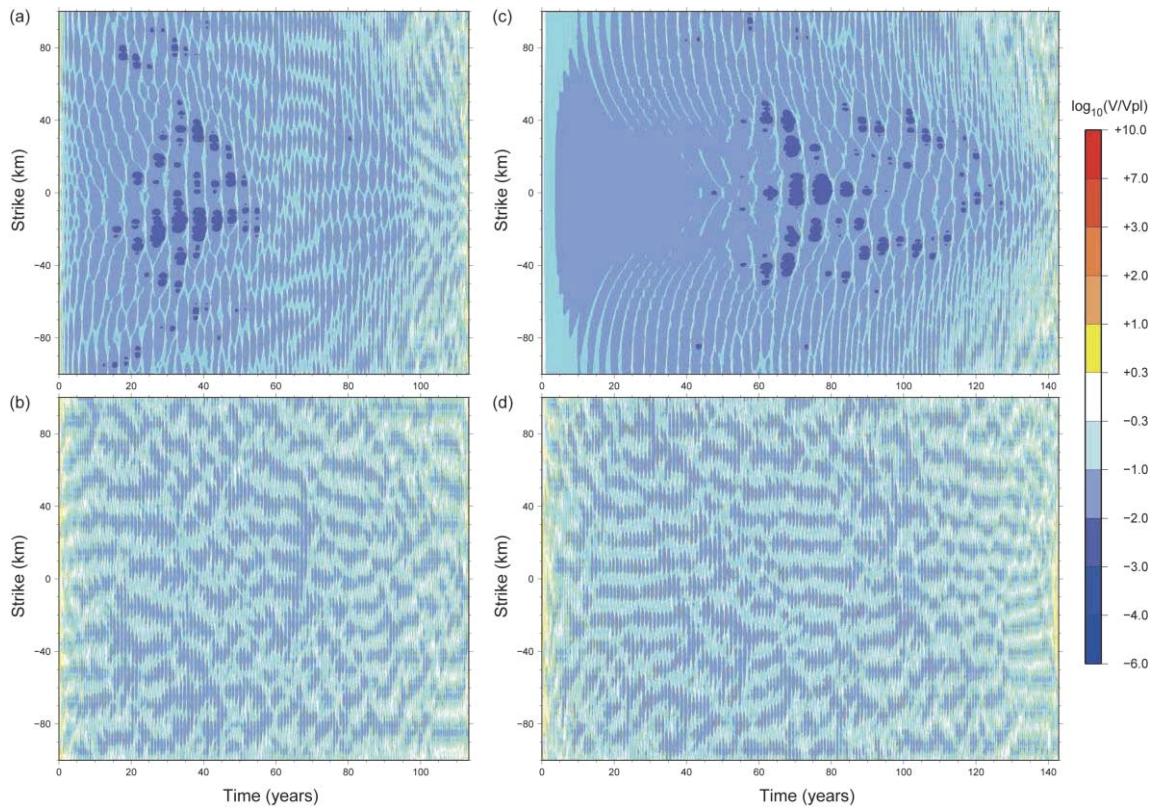


図4. 左がweak coupling model、右がstrong coupling model、上が浅部、下が深部の小アスペリティ帯(図2)でのすべり速度の空間履歴を示す。赤色がゆっくり地震、青色が固着に相当する。横軸の時間は、海溝型巨大地震の発生時刻を原点とし、縦軸の原点は図2と同じ巨大アスペリティの中央に位置する。

本稿では、weak / strong coupling modelの2つを例として示したが、他にも多数の数値シミュレーションを試行した結果、巨大アスペリティ内の摩擦不安定性が大きいほど、静穏化の期間が長く、領域が広くなる傾向がみられた。

## 5. まとめ

4. の結果に基づいて、東北沖周辺での超低周波地震の活動とプレート間固着との関係を図5にまとめた。

東北地方太平洋沖地震発生後において、ゆっくり地震の一一種である超低周波地震の活動について、宮城沖では静穏化がみられ、福島・茨城・岩手沖では活発化した [6]。

この結果を図4に当てはめると、宮城沖付近ではプレート間固着が非常に強く、福島・茨城・岩手沖では、プレート間固着が宮城沖に比べて弱い、外縁部に相当すると考えられる。

また、今後の観測から明らかにされる宮城沖での静穏化の継続期間や、その領域の広がりから、東北地方太平洋沖地震で巨大すべりを発生させた領域について、プレート間固着がどれほど強靭なのかを推定する手掛かりとなろう。

以上より、浅部超低周波地震の活動を監視することで、プレート間固着の時間変化を追うという新たなアプローチを、本研究の数値シミュレーションから見出すことができた。

## 謝辞

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 FFT の計算プログラムコードを使用した。これにより、前回のモデルよりも海溝付近での計算メッシュを細分化し、120万個もの計算メッシュを有する大規模シミュレーションを実施することが可能となり、解像度の高い連続的なすべり過程を再現することができた。

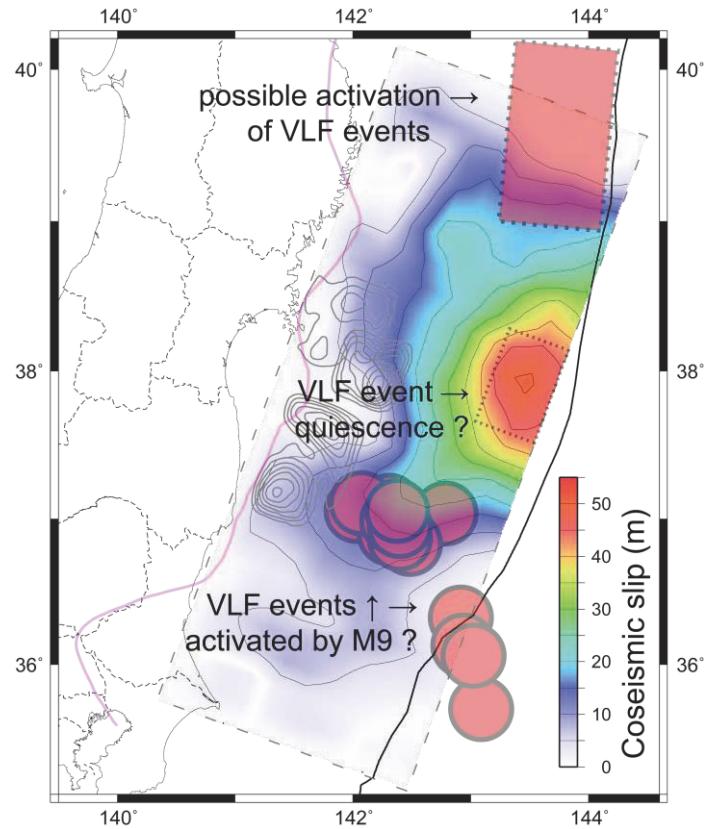


図5. 2011年3月11日の東北地方太平洋沖地震の地震時すべり分布 [7] に、2011年6月1日～11月1日で確認された超低周波地震 (VLF event) の震央分布(赤丸) [8]、地震活動の深部境界線 (桃色線) [9 Igarashi]、本研究の数値シミュレーション結果に基づく解釈 (長方形の点線領域) を重ねたもの。

## 参考文献

- [1] Ide, S., G. C. Beroza, D. R. Shelly, and T. Uchide, 2007. A scaling law for slow earthquakes, *Nature* **447**, 76-79, doi:10.1038/nature05780.
- [2] Sugioka, H., T. Okamoto, T. Nakamura, Y. Ishihara, A. Ito, K. Obama, M. Kinoshita, K. Nakahigashi, M. Shinohara, Y. Fukao, 2012. Tsunamigenic potential of the shallow subduction plate boundary inferred from slow seismic slip, *Nature Geoscience* **5**, 414-418. doi:10.1038/Ngeo1466.
- [3] 有吉 慶介・松澤 暢・日野 亮太・長谷川 昭・堀 高峰・中田 令子・金田 義行, 2011. 海溝付近で発生する浅部ゆっくり地震の特徴, *SENAC* **44(4)**, 33-46.
- [4] 国土地理院, 2011, 東北地方太平洋沖地震の陸域及び海域の地殻変動と滑り分布モデル, <http://www.gsi.go.jp/cais/topic110520-index.html>.
- [5] Ampuero, J.-P. and A. M. Rubin, Earthquake nucleation on rate and state faults – Aging and slip laws, *J. Geophys. Res.* **113**, B01302, doi:10.1029/2007JB005082.
- [6] Matsuzawa, T., Y. Asano, K. Obara, 2012, Shallow very low frequency earthquakes off the Pacific coast of Tohoku, Japan, 2012 Fall Meeting, AGU, **S41D-07**.
- [7] Yagi, Y. and Y. Fukahata, 2011, Rupture process of the 2011 Tohoku - oki earthquake and absolute elastic strain release, *Geophys. Res. Lett.* **38**, L19307, doi:10.1029/2011GL048701.
- [8] 防災科学技術研究所, 2012, 日本周辺における浅部超低周波地震活動 (2011 年 6 月~10 月), *地震予知連絡会会報* **87**, 1-2.