

## 12-12 北海道東方沖の地震活動の相対的静穏化を受けた他の物理量変化の検討 Examination of observation data other than relative quiescence of seismicity in east off Hokkaido

堀 高峰 (海洋研究開発機構 地震津波海域観測研究開発センター)  
Takane Hori, R&D Center for Earthquake and Tsunami  
Japan Agency for Marine-Earth Science and Technology

前回(220回)の重点検討課題において、松浦律子氏(公益財団法人地震予知総合研究振興会)から、北海道東方沖の相対的地震活動度の静穏化と現状について報告があり、その中で、2011年東北地方太平洋沖地震前に匹敵する $3\sigma$ を超える相対的静穏化が同地域で見られること、この静穏化と対応する地震の規模が大きい可能性が示唆されること、そのため、地殻変動等、この地域に関する戦略的多種調査と解析検討に早急に取り組む必要があるとの指摘があった。地殻変動については別途報告があるが、本報告では東北地方太平洋沖地震前に見られた相対的静穏化以外の様々な先行過程から、以下の項目について、既に学会や論文で発表された解析結果を見直したものを紹介する。

地震活動(別種の静穏化)<sup>1)</sup> : カムチャツカから小笠原に至る海溝沿いでISCのmb5.0以上の地震活動の静穏化からMw7.5以上の地震を予測した。ある半径以内である期間以上地震が発生しない場合にある期間警報をONにする。それらのパラメータを1985-1995年のデータで学習(最適化)した上で、1996年以降を対象に予測したところ、ランダム予測よりも有意に良い結果が得られる。この手法で、今回の対象領域で警報がONになっているかどうかを見ると(第1図)、2008年頃から2015年まで継続して、対象領域の東側半分が静穏化していたことがわかる。松浦氏の相対的静穏化とは別の手法でも、有意な静穏化が見られている。ただし、ISCカタログが出されていないため、その後静穏化がどうなっているかはわからない。

地震活動(b値)<sup>2)</sup> : 2011年東北地方太平洋沖地震前後のb値の変化を調べた研究で、解析領域が今回の対象領域である十勝沖から根室沖を含んでいる(第2図)。2000年から2011年東北地震直前までのb値を見ると、2003年十勝沖地震・その余震や2004年釧路沖地震を含めても低い値(0.6前後)を示している。十勝沖地震の前後で変化の大きかった領域では、地震前0.5程度、地震後2-3年は増加し0.8前後になったが、その後0.6前後で東北地震発生になっている。2011年の後は、前述の静穏化が生じていたこともあり、対象領域ではb値を算出するのに十分な地震活動が起きていない。

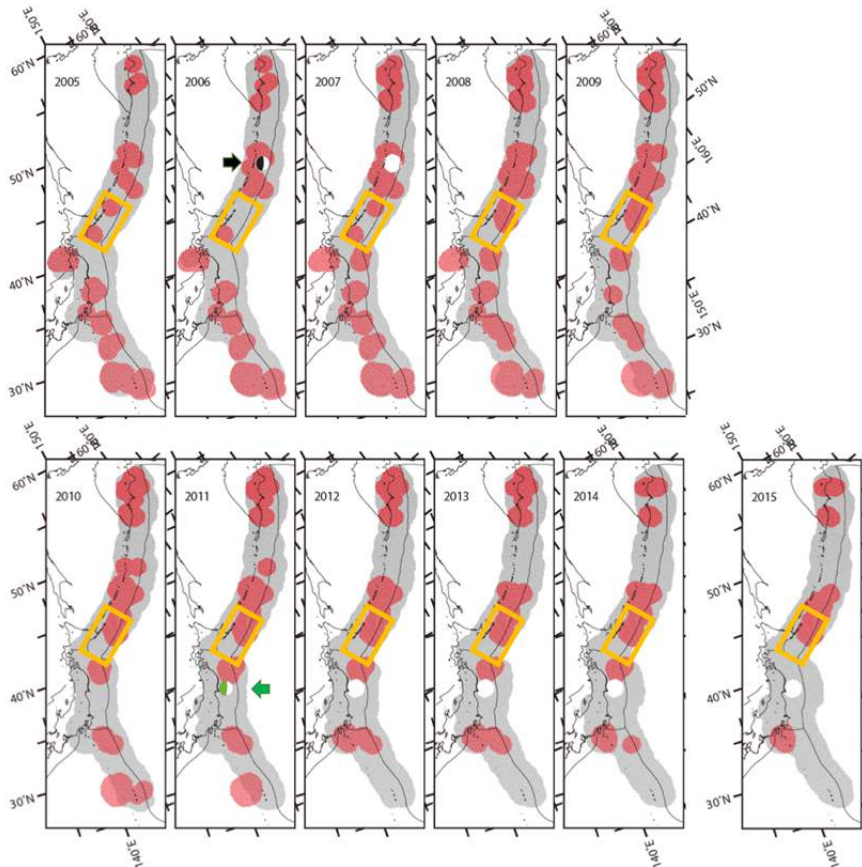
GNSS変位勾配(プレート間固着状態)<sup>3)</sup> : プレート間固着・すべり状態や粘弾性応答による地殻変動を、地表の変位勾配の時空間変化を見ることで、できるだけモデルの仮定を入れずに、状態変化を見出そうとする手法を適用している(第3図)。十勝沖地震の前に変位勾配が周期的に変化しているように見えるのは、固着の剥がれ(スロースリップの一種)が周期的に起きていることを示している。十勝沖地震とその余効すべり・粘弾性応答によって周期的な変化が乱されるが、最近では十勝沖地震前よりも固着したように見える。これが地震活動の静穏化と関係している可能性がある。

以上のことから、2015年頃までの静穏化は顕著であり、b値がかなり低い状態が続いており、東北沖地震前に見られた中長期的な先行過程(第4図<sup>4)</sup>、b値や長期的なスロースリップ)に相当す

る変化が起きている。地震活動と潮汐との相関については、地震活動度が低いために統計的解析に必要なデータがない状態である。今後は、静穏化の時期と固着状態の変化との関係を、固着・すべりの逆解析や相似地震からのすべりの推定、相対的静穏化と2003年十勝沖地震による余効変動との関係の検討が必要と言える。また、海底地殻変動やロシアとの共同観測等も対象領域の観測精度向上にとって重要である。さらに、震源域の周辺媒質の物性変化が大地震発生前に起こる可能性があることから、地震波速度変化のモニタリングも重要であろう<sup>5)</sup>。

#### 参考文献

- 1) 勝俣・中谷 (2018) 静穏化による地震の長期予測の試行～学習と検証 S23-01, SSJ.
- 2) 楠城・吉田 (2017) 2011年東北地方太平洋沖地震の震源域の応力は地震前に戻ったか?, SSS14-02, JpGU.
- 3) Iinuma (2018) Monitoring of the spatio-temporal change in the interplate coupling at northeastern Japan subduction zone based on the spatial gradients of surface velocity field, Geophys. J. Int., 213, 30–47.
- 4) 気象研究所, 2012, 予測可能性評価部会資料
- 5) 松浦律子氏私信

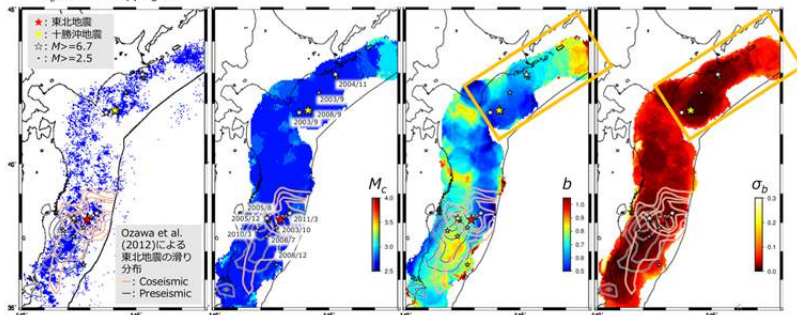


第1図 静穏化域（赤）の時空間変化<sup>1)</sup>。オレンジの矩形領域が今回の対象領域。  
 Fig. 1 Spatio-temporal variation in quiescent area (red)<sup>1)</sup>. Square area indicates the target area in this report.

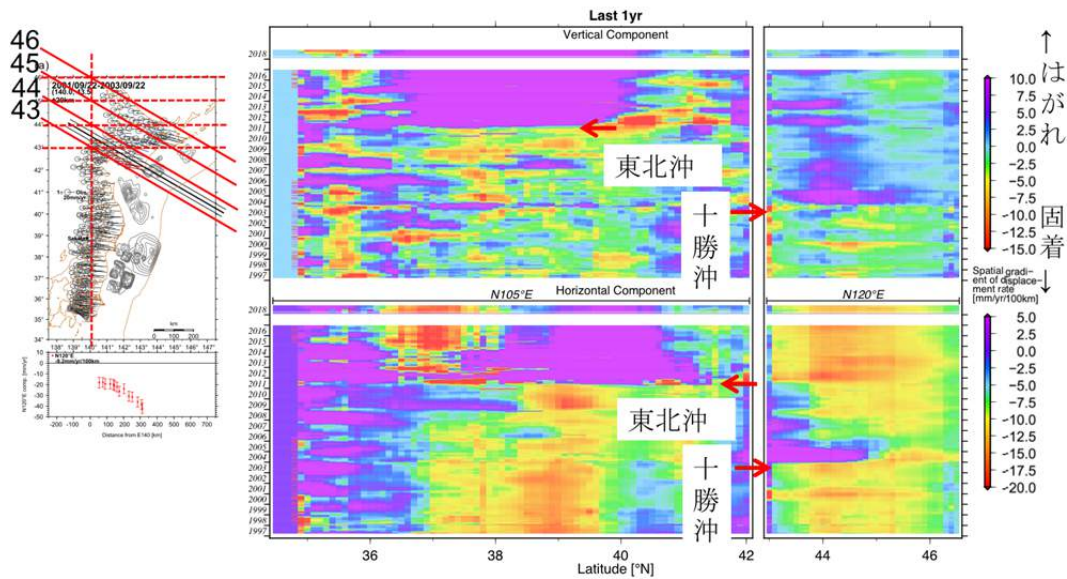
## 東北地震前の状態

空間的にb値は不均質。大滑り域でb値は低め、その南側(preslip域)で高め

- 2000年から東北地震の直前までの地震を用いた解析、プレート境界から上下12.5km内の地震( $M > 2.5$ 、60km以浅)を使用
- グリッドスペース0.05x0.05度。 $M_c$ ,  $b$ ,  $\sigma_D$ は、グリッドから半径50km以内の地震にMaximum curvature法を当てはめて計算
- $\sigma_D$ は、bootstrapping error



第2図 東北地震前までのb値の分布<sup>2)</sup>。オレンジの矩形領域が今回の対象領域。  
 Fig. 2 b-value distribution before 2011 Tohoku earthquake<sup>2)</sup>. Square area indicates the target area in this report.



第3図 変位勾配の時空間変化<sup>3)</sup>. 対象領域は右側の箱. 上は鉛直成分, 下は水平成分.  
 Fig. 3 Spatio-temporal variation in spatial gradients of surface velocity field<sup>3)</sup>. The target area in this report is the right-hand boxes. Above and below boxes show vertical and horizontal components, respectively.

2011年東北地方太平洋沖地震前に見られた前兆的現象—地震活動の変化—

前兆の種類	特徴	発現期間	予測の可能性	備考および問題点
静穏化	時間 震害よりまもなく、4~23年前から静穏化がみられる	中・長期 (3~10年)	時期 静穏化領域の長径と相関あり。 場所 本震震源域とは必ずしも一致せず、その周辺	予測時期: 規模は西川 (2011) による。解析者によって静穏化の開始時期や静穏化域はまちまちで、パラメータ選択の任意性に課題が残る。 西川・他 (2011) によると、予知率は太平洋プレート間に限ると(6/9)=67%、陸の地震域内では(1/7)=14%、スラブ内では(2/7)=29%で静穏化あり。過中率は求められていない。
	空間 静穏化領域の西縁や北縁の地、西南日本を含む日本全震域で静穏化が現れた		規模 静穏化領域の長径と相関あり。	
地球潮汐	時間 約10年前から、前震-本震付近での中規模地震の発生に地球潮汐との強い相関あり。	中・長期 (3~10年)	時期 異常であることはわかるが予測が困難。 場所 本震破壊開始地点の近くで低い。 規模 中規模の低下継続期間はM9クラスのストークラフ地震と同程度。	本震は本震前に低下を示し異常であることはわかる。しかしながら、どの時点で下がれば本震が発生するかが不明なため時期の予測は困難。 Mw7.5以上の定断層地震については、6/11=55%(予知率)で低下。過中率は求められていない。
	空間 前震-本震付近で地球潮汐との強い相関あり。			
b値	時間 震くも2005年頃からb値は低下。前震活動で更に低下。	中・長期 (3~10年)	時期 異常であることはわかるが予測が困難。	本震は本震前に低下を示し異常であることはわかる。しかしながら、どの時点で下がれば本震が発生するかが不明なため時期の予測は困難。 予知率、過中率ともに求められていない。
	空間 低b値域と本震で大きく離れた領域の対応がよい。	短期 (〜1週間)	場所 空間的な低b値域とアスペリティの広がりに相関あり。 規模	
前震	時間 前1ヶ月前から前震活動。	短期 (〜1週間)	時期 特定の条件を満たす地震から4日以内の発生を予測。 場所 経度経緯0.5°メッシュ内の発生を予測。 規模 Mw6.0以上または前震の規模以上の本震を予測。	左記の予測はMeads (1990) 他 の予測モデルに基づく。過中率は約30%、予知率は38%。適応できる領域が限られている(地震の継続性が高い岩手沖、宮城沖、茨城沖で特に有効)。尾形 (2011) によると3月5日の最大前震 (M7.3) 発生時には本震発生率は約90%と推定。 明田川・種濃 (2011) によると、一般に前震-本震型は数日で、前震の5日以内に地震で前震、破壊で前震の本震が発生。 震源の移動と本震の発生との関係についてはまだ十分調査されていない。
	空間 本震破壊開始地点の北側で群発的な前震活動が発生。前震活動は徐々に本震方向へ移動した。			

※過中率: 全ての前兆現象のうち本震と関連した前兆の割合。  
 ※予知率: 対象とする全ての本震のうち前兆が見られた本震の割合。  
 ※いずれの指標も地震活動が低頻度の領域では確定的でない。

2011年東北地方太平洋沖地震前に見られた前兆的現象—地震変動の変化—

前兆の種類	特徴	発現期間	予測の可能性	備考および問題点
長期的スロースリップ	時間 2003年頃から本震までMw7.5以上。	中・長期 (4~10年前)	時期 予測は困難。 場所 本震震源域とは必ずしも一致せず、その周辺	スロースリップの発生が必ずしも地震の発生につながるとは限らない。
	空間 本震震源域の南西部。		規模 予測は困難。	
短期的スロースリップ	時間 2008年11月下旬にMw6.8、2011年1月下旬~2月上旬にMw7.0。	中・短期 (数日~1ヶ月)	時期 予測は困難(3日前の前震後必ず加速見られず)。 場所 スロースリップの逆後で本震発生。 規模	スロースリップの発生が必ずしも地震の発生につながるとは限らない。
	空間 本震震源と海溝軸の間。			

2011年東北地方太平洋沖地震前に見られた前兆的現象—その他の変化—

前兆の種類	特徴	発現期間	予測の可能性	備考および問題点
電離層関係	時間 数十分~数日前。 最新の全電子数異常は本震震源域全体、数日前の全電子数異常はインド洋から西太平洋までの広域。2~3日前の全電子数異常は岩手沖、3日前の磁気圏電離層トモグラフィの異常は北緯40~60度(極内帯)。	短期・直前 (1週間~数十分)	時期 予測は困難(異常はあるが確度不明)。 場所 予測は困難(異常現象が震源付近から半地球規模まであり)不明。 規模 地震前数十分の全電子数異常が見られるのはM8後半の地震。	今回の本震前は磁気圏の影響を受けている。地震前兆現象との因果関係不明。
	空間			

第4図 東北地方太平洋沖地震前に見られた先行過程<sup>4)</sup>. 赤い矩形が対象とした現象.  
 Fig. 4 Preseismic processes seen before 2011 Tohoku earthquake<sup>4)</sup>. Red rectangular indicate the target phenomena in this report.