

11 - 10 北海道・東北沖の地震サイズ分布 (b 値) の時空間変化 Spatial and temporal changes in the Gutenberg-Richter size-frequency distribution (b value) of earthquakes off the coast of Hokkaido and Tohoku districts

静岡県立大学
University of Shizuoka

第 221 回地震予知連絡会 (予知連) の重点検討課題において「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」と題した報告があり¹⁾, 学会や論文で発表された解析結果^{2,4)}を見直して、「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に相当する変化が起きている」という指摘がなされた。報告後約 5 年経過した現在 (2023 年 11 月), b 値の時空間変化に注目して再検討する。

地震の規模別頻度分布はグーテンベルグ・リヒター則 $\text{Log}N=a-bM$ により特徴づけられる。ここで, M はマグニチュード, N は M 以上のマグニチュードの地震数, a と b は定数である。 b は 1 付近の値をとるが, 時間や場所によってばらつき, また, 大地震の発生に伴って変動する⁵⁾。そのため, b 値は大地震のメカニズムや予測と関係すると論じられてきた⁶⁾。

2011 年東北地方太平洋沖地震 (東北沖地震) の震源域付近の b 値は地震前に減少し^{7,8)} (第 1a 図), 現在高い値を維持している (第 1b 図)。 b 値は差応力と逆相関があると考えられるので^{7,8)}, 震源域付近で大きかった差応力が東北沖地震により解放され, 未だ地震前の状態に戻っていないと考えられる (第 1c 図)。2014 年までのデータを用いた先行研究では⁸⁾, 東北沖地震直後に増加した b 値が減少に転じており, 別の大地震が起きやすくなりつつあるという指摘があった。しかしながら, 2023 年 10 月末までのデータを用いた本研究は, 先行研究の指摘は当たらない事を示す。

2003 年十勝沖地震の震源域の東側で b 値は減少中で, 東北沖地震前に観測された値に近づきつつあり, 応力が高まりつつあると示唆される (第 2a,c 図)。第 221 回予知連^{1,3)}で指摘された状況が今も継続していると考えられる。また, この領域はスロー地震関連現象¹¹⁾の起きる場所と隣接しているが重なりはほとんどない (第 2b 図)。東北沖地震, 十勝沖地震の震源域^{12,13)}と, 同現象の起きる場所との関係に類似している。

北海道東方沖において相対的地震活動度の静穏化¹⁴⁾が 2008 年 10 月に開始し約 7 年間継続後, 2015 年後半から回復期に入った可能性が高いとの報告がある¹⁵⁾。根室半島以東の地域では静穏化は回復したが (第 3b 図), 以西の地域では回復が遅れている (第 3a 図)。 b 値が減少中の領域は, 静穏化が継続中の後者の地域に含まれる。また, b 値が減少中の領域は, 十勝沖地震の前よりもプレート間の固着が強くなったと考えられる地域¹⁴⁾に含まれることも分かった。

本報告は, 北海道東方沖の丁寧な監視が課題であるとする従来の提案^{1,15)}を改めて支持する。

(楠城 一嘉)
NANJO Kazuyoshi

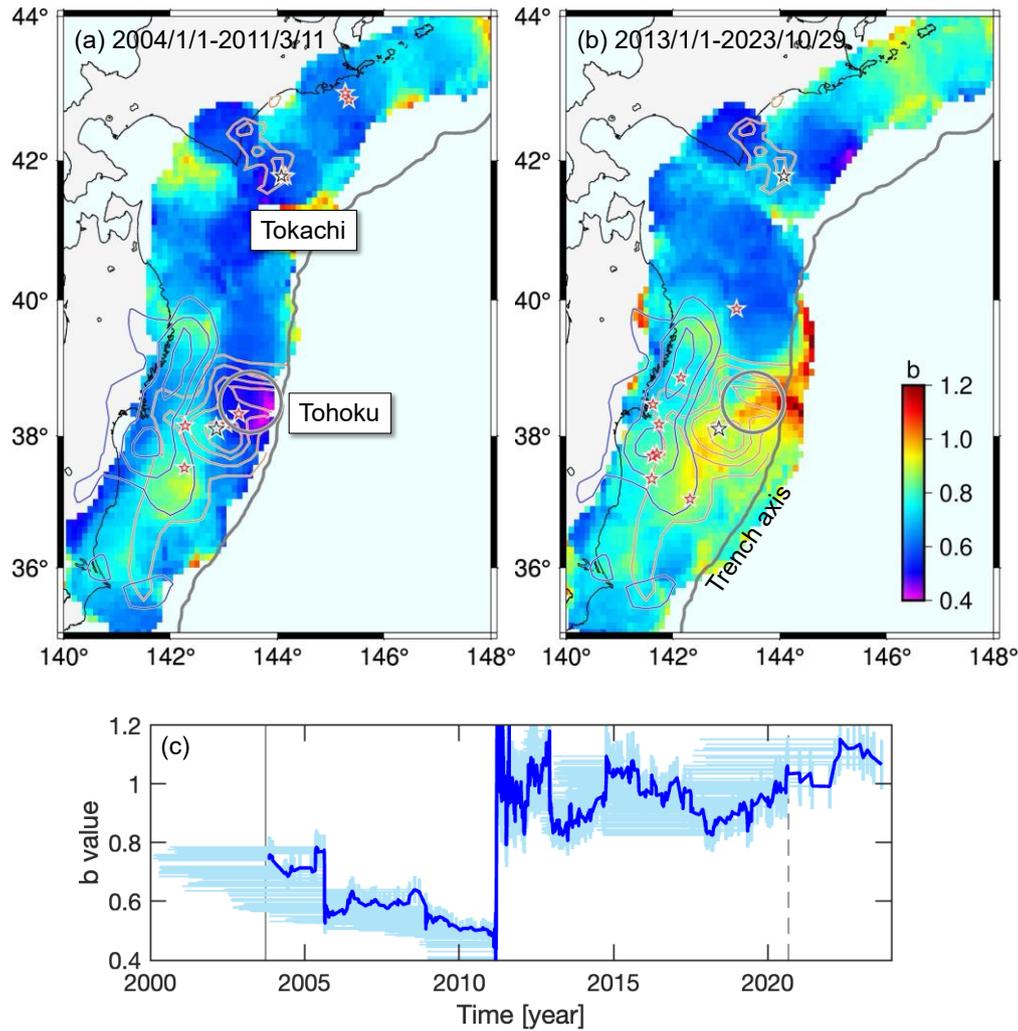
謝辞

本研究では, 気象庁一元化震源カタログとスロー地震関連現象¹¹⁾のカタログを使用し, ZMAP⁵⁾

と XETAS¹⁴⁾ を用いた解析を行なった。本研究の一部は、文部科学省による「災害の軽減に貢献するための地震火山観測研究計画(第2次)」および「情報科学を活用した地震調査研究プロジェクト(STAR-E プロジェクト)」(JPJ010217)、中部電力株式会社「原子力に係る公募研究」の支援を受けて実施した。

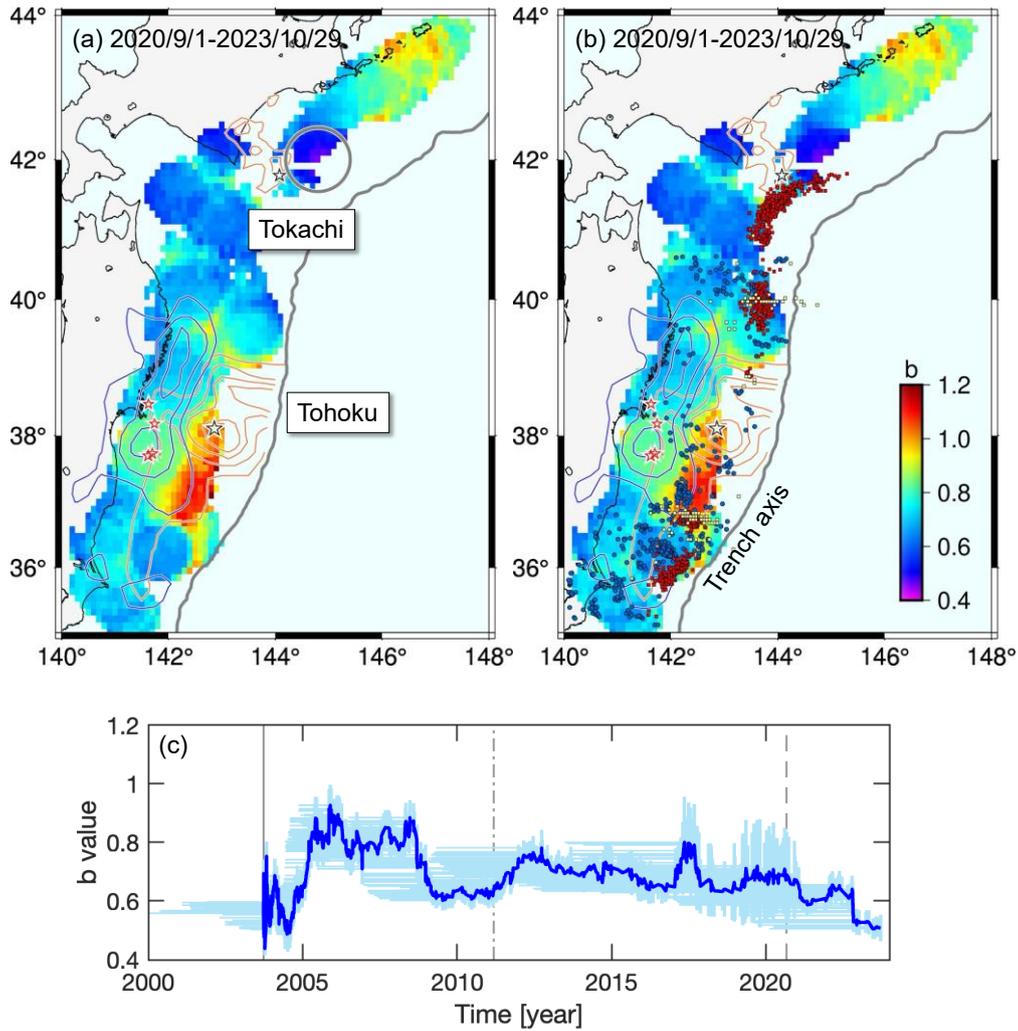
参考文献

- 1) 堀 (2019), *予知連会報*, **101**, 507-510.
- 2) 勝俣・中谷 (2018), *日本地震学会 2018 年度秋季大会*, S23-01.
- 3) 楠城・吉田 (2017), *JpGU-AGU Joint Meeting 2017*, SSS14-02.
- 4) Iinuma (2018), *Geophys. J. Int.*, **213**, 30-47.
- 5) Wiemer (2001), *Seismol. Res. Lett.*, **72(2)**, 373-382.
- 6) Wiemer & Wyss (2002), *Adv. Geophys.*, **45**, 259-302.
- 7) Nanjo et al. (2012), *Geophys. Res. Lett.*, **39**, L20304.
- 8) Tormann et al. (2015), *Nat. Geosci.*, **8**, 152-158.
- 9) Scholz (1968), *Bull. Seismol. Soc. Am.*, **58**, 399-415.
- 10) Scholz (2015), *Geophys. Res. Lett.*, **42**, 1399-1402.
- 11) Nishikawa et al. (2019), *Science*, **365(6455)**, 808-813.
- 12) Ozawa et al. (2012) *J. Geophys. Res.*, **117(B7)**, B07404.
- 13) Yagi (2004) *Earth Planet Space*, **56**, 311-316.
- 14) Ogata & Tsuruoka (2016), *Earth Planets Space*, **68**, 44.
- 15) 松浦 (2019) *予知連会報*, **101**, 475-483.



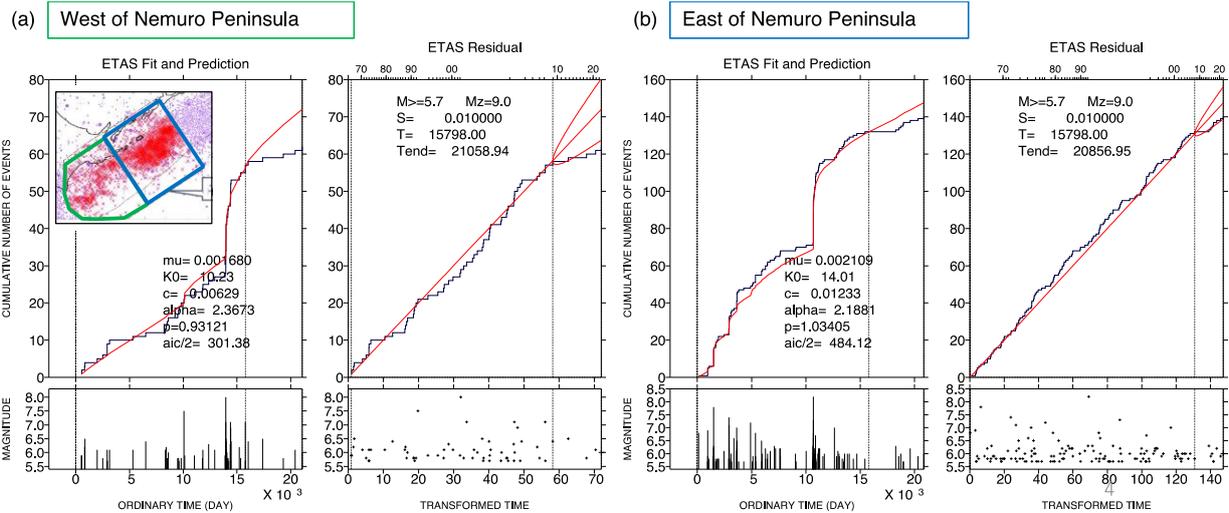
第 1 図 b 値の時空間変化。(a) 2004 年 1 月 1 日から東北沖地震 (2011 年 3 月 11 日 14:46) 直前までの地震データ ($M \geq 2.5$) に基づく。黒色の星は東北沖地震と十勝沖地震の震源を示す。オレンジ色と青色のコンターラインは、それぞれコサイスマックとポストサイスマックの滑り領域を示す (東北沖地震¹²⁾ と十勝沖地震¹³⁾ のデータは文献より入手)。赤色の星は $M \geq 6.8$ の地震を示す。低 b 値の領域を直径 100km の円で囲んだ。円内の地震を使用して (c) を作成。(b) (a) と同じ。ただし、2013 年 1 月 1 日から 2023 年 10 月 29 日までの地震データに基づく。(c) b 値の時系列。ムービングウィンドウ法を使用した。100 個の地震を含む時間窓 (水色の横の線分) に対して b 値を計算し、時間窓を徐々にずらすことで b 値の時系列を作成。 b 値は時間窓の最新の時間にプロットした。水色の縦の線分は b 値の誤差を示す。灰色の実線は十勝沖地震のタイミングを示す。灰色の破線は S-net のデータが気象庁の一元化震源カタログの作成に導入されたタイミングを示す。東北沖地震が発生したタイミングで b 値が大きく変動している。

Fig. 1 Spatial and temporal variation of b values. (a) We used earthquakes ($M \geq 2.5$) during the period from Jan. 1, 2004 to immediately before the Tohoku earthquake (Mar. 11, 2011, 14:46). Black stars indicate the epicenter of the Tohoku and Tokachi earthquakes. Orange and blue contour lines indicate coseismic and postseismic slips, respectively (data for the Tohoku and Tokachi earthquakes are from Refs^{12,13)}). Red stars indicate earthquakes ($M \geq 6.8$) in the corresponding period. Circle with a diameter of 100 km includes a zone of low b values. Earthquakes falling in the circle were used to create (c). (b) Same as (a) for using earthquakes during the period from Jan. 1, 2013 to Oct. 29, 2023. (c) Timeseries of b values. A moving window approach was used, whereby the window (Light-blue horizontal segment) covered 100 events. b values were plotted at the end of the moving window that they represent. Light-blue vertical segments indicate uncertainties in b . Grey solid line indicates the timing of the Tokachi earthquake. Grey broken line indicates the timing when data observed by the S-net started to be used to create the JMA earthquake catalog. At the timing of the Tohoku earthquake, b values pronouncedly fluctuated.



第 2 図 第 1 図と同じ。ただし、(a,b)では2020年9月1日から2023年10月29日までの地震データ ($M \geq 2.5$) を使用し、(c)では(a)に示す直径100kmの円内で起きた地震を使用した。また、(b)ではスロー地震関連現象¹¹⁾をプロットした。ここで、赤色の四角は微動(継続時間が80秒以上)、黄色の四角は超低周波地震、青色の丸は繰り返し地震を含む群発地震イベントを示す。(c)の一点鎖線は東北沖地震のタイミングを示す。

Fig. 2 Same as Fig. 1, except for that earthquakes ($M \geq 2.5$) during the period from Sep. 1, 2020 to Oct. 29, 2023 were used to create (a,b), and that earthquakes falling in the circle with a diameter of 100 km were used to create (c). In (b), tremors with a duration of 80 s or longer (red squares), very-low-frequency earthquakes (yellow squares), and events of background swarms containing repeaters (blue circles) were plotted¹¹⁾. In (c), dash-dot line indicates the timing of the Tohoku earthquake.



第 3 図 相対的静穏化. 文献¹⁵⁾で定義した領域を根室半島以西の地域(挿入図の緑色)と以東の地域(青色)に分割した。(a)緑色の地域で起きた地震($M \geq 5.7$)を使用して ETAS 解析¹⁴⁾を実施した。左右のパネルはそれぞれ通常的时间, 変換時間を使用した。1965 年 1 月(縦実線)から 2008 年 10 月(縦実線)までの地震に ETAS フィッティングを行い, 2023 年 10 月まで外挿した。ここで, 文献¹⁵⁾と同じフィッティング期間を採用した。右側のパネルの双曲線は 95% 信頼区間を示す。挿入図は文献¹⁵⁾を修正した図。(b)(a)と同じ。ただし, 挿入図で示す青色の地域の結果を示す。

Fig. 3 Relative quiescence. We considered two regions into which the study region defined by Ref¹⁵⁾ was divided: (a) west of Nemuro Peninsula (green region shown in the inset) and (b) east of it (blue region). (a) Results of ETAS analysis conducted by using earthquakes ($M \geq 5.7$) in the green region. Left and right panels were created by using ordinary and transformed times, respectively. These panels show the ETAS fitting in the target interval from Jan. 1965 (vertical solid line) until Oct. 2008 (vertical solid line) and then extrapolated until Oct. 2023, where the target interval is the same as that used by Ref¹⁵⁾. The parabola in the right panel represents the 95% confidence intervals of the extrapolation. Inset was modified from Ref¹⁵⁾. (b) Same as (a) for the blue region shown in the inset.