

12-12 b 値に基づく全地球規模の大地震発生予測のモデル

A global model to forecast large earthquakes based on b value

楠城一嘉(静岡県立大学)

K. Z. Nanjo (University of Shizuoka)

グーテンベルグ・リヒター則の b 値は、地震発生域の差応力の大きさと相関があることが知られている¹⁾。もしこの相関が成り立つならば、地震の発生が近づくにつれて、断層のアスペリティ周辺の b 値は時間と共に小さくなると考えられる。これを支持する結果として、例えば、マグニチュード $M9$ クラスの2004年スマトラ地震や2011年東北地方太平洋沖地震(以下、東北地震)の震源付近で地震発生前に b 値が減少した報告がある²⁾。本講演では、 b 値に基づく予測能力を把握するために開発をはじめたモデルについて報告する。これは、地球上を対象とした毎年警報を出すモデルである。今回、領域として経度 $-180\sim 180^\circ$ 、緯度 $-70\sim 70^\circ$ 、深さ 60km 以浅を設定した。又、1980年以降の $M\geq 8$ の地震29個を予測の対象とする。

Advanced National Seismic Systemの地震カタログを採用し、 b 値の計算に1960年以降の $M\geq 5$ の地震(約6万個)を使用した。領域を構成する $1\times 1^\circ$ の大きさを持った地点の各々について、半径 r の円内の地震をサンプリングし(今回、 $r=250\text{km}$ と設定)、100個の地震の時間窓を徐々にずらしながら逐次 b 値を計算して時系列を作成する。

b 値の減少が観測された場合、次の年から一定期間警報を出す(警報on)。今回、7年間のデータの回帰直線の傾きが -0.025 の場合(10年間で b 値が 0.25 減少する割合に相当)、又は、それより急な傾きの場合、次の年から5年間警報onとした。一方、 b 値の減少が観測されない場合、警報は出さない(警報off)。地震数が不十分の場合は評価外とした。又、 $M\geq 8$ の地震が発生した次の年から5年間は、余震の効果を取り込まないために、評価外とした。

各々の地震の予測ではなく、領域全体の予測を警報分率と予知率、情報利得で評価する。警報分率は、警報onの面積を警報onとoffの面積の和で割った値である。緯度により各地点($1\times 1^\circ$)の面積が異なること、及び、 $M8$ の地震が起きやすい地域とそうでない地域があることを考慮するために、各地点の面積に重みを付けて、警報分率を計算する。予知率は、警報onの地点で起きた地震の数を警報onとoffの地点で起きた地震の総数で割った値である。情報利得は、予知率を警報率で割った値である。

第1図は、2011年東北地震の震源を含む地点の結果を示す。2008年まで警報offだが、2009年から警報onとなり、東北地震が発生した。次の年から5年間は評価外となっている。第2図は、2004年スマトラ地震の結果を示す。2001年から警報onとなり地震発生に至った。2010年チリ地震の場合(第3図)、地震数が少ないため b 値が計算できず、評価外の状態で地震に至った。第4図は、2004年、2010年、2011年の警報地図を示す。

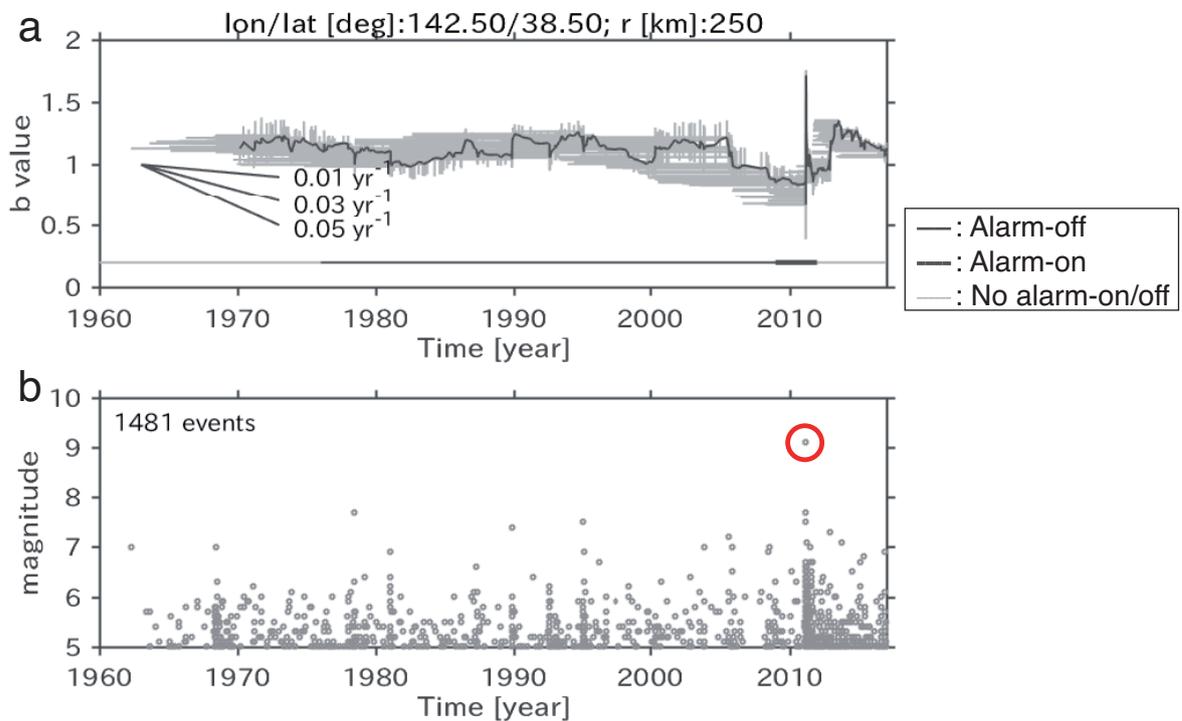
1980年以降29個の地震($M\geq 8$)のうち、9個は警報onの地点で、7個は警報offの地点で起きた。13個の地震は評価外の地点で起きた。警報分率は 0.258 、予知率は 0.563 、情報利得は 2.18 である。有意確率(p 値)は 0.93% となり、一般的な有意水準(5%)より小さい。これは、余震の効果を取り込まない結果であるが、 $M\geq 8$ の地震が発生した次の年から5年間は評価外としない場合についても検討した結果は、警報分率 0.261 、予知率 0.555 、情報利得 2.13 、 p 値 0.75% であった。

このように、 b 値に基づいた予測モデルの開発に着手した段階であるにも関わらず、予測の有

意性を示す結果が出はじめてきたことは注目に値する。今回、事後予測でモデルの性能を評価したが、今後、予測能力の実力を把握するために、事前予測の試行実験が必要である³⁾。

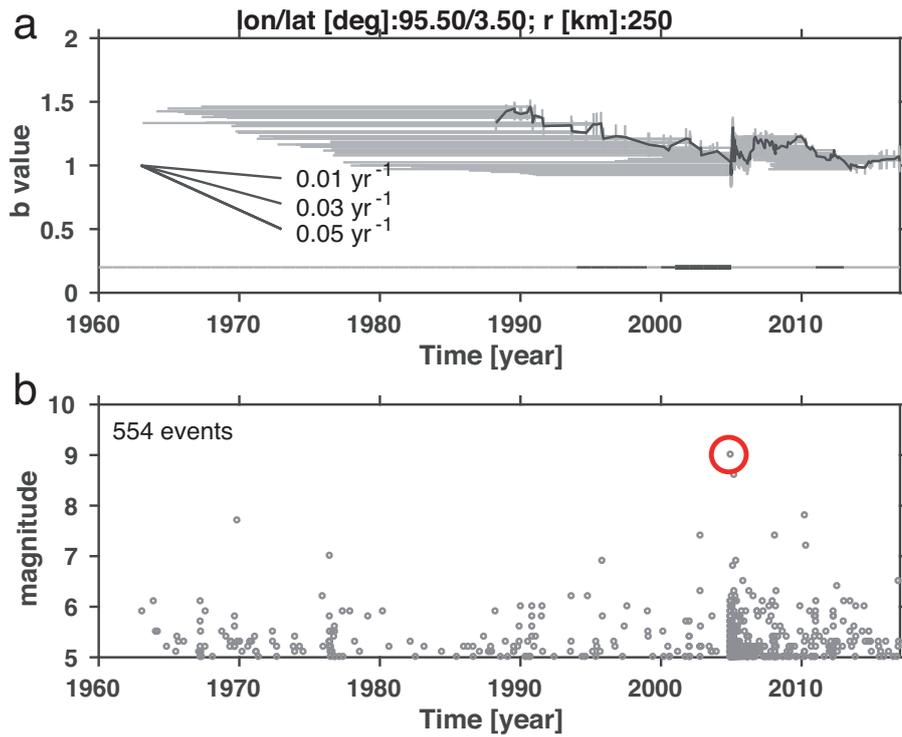
参考文献

- 1) Scholz, *Bull. Seismol. Soc. Am.* 58(1), 399–415 (1968); Scholz, *Geophys. Res. Lett.* 42, 1399-1402 (2015).
- 2) Nanjo et al., *Geophys. Res. Lett.* 39, L20304 (2012).
- 3) Kossobokov et al., *Pure Appl. Geophys.* 149, 219-232 (1997); Kossobokov et al., *Izvestiya* 46, 5-21 (2011).

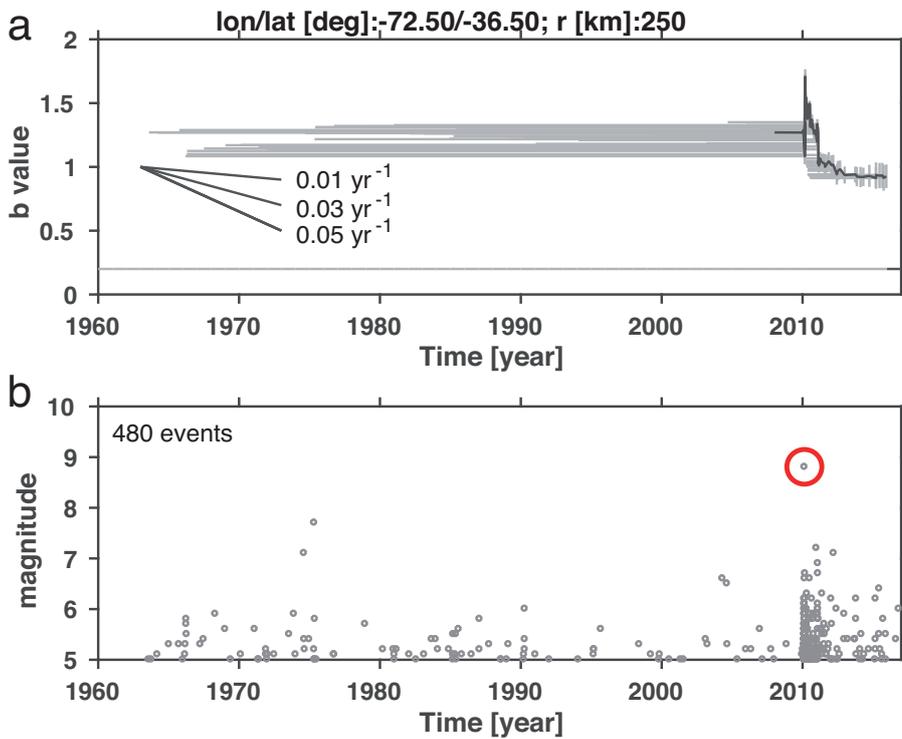


第1図 (a) 2011年東北地震(M9.1)の震源を含む地点の**b**値と警報の時系列。灰色の横バーと縦バーは、それぞれ、100個の地震の時間窓と**b**値の誤差を示す。**b**値は時間窓の最新の時間にプロットされている。図の下段にある線分は、警報onの年(太濃灰色)、警報offの年(細濃灰色)、評価外(細薄灰色)を示す。(b) **b**値の計算に使われた地震のMT図。赤丸は東北地震を示す。

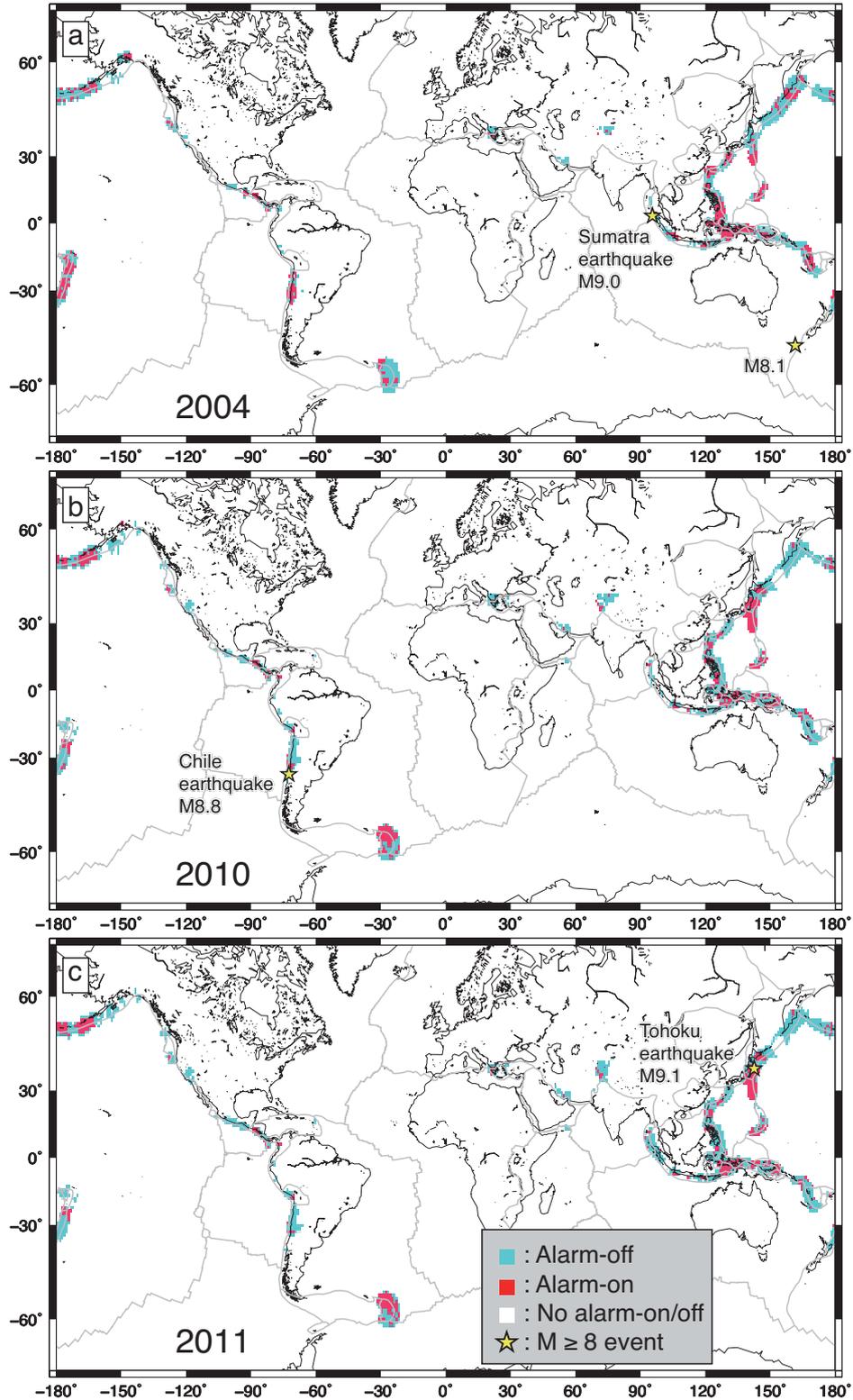
Fig. 1 (a) Timeseries of *b* value for the location including the hypocenter of the 2011 Tohoku earthquake (*M*9.1). Horizontal and vertical bars in grey indicate moving windows that cover 100 earthquakes and bootstrapping errors, respectively. At the most recent time of each window, a *b* value is plotted. Also included at the bottom in this figure are line-segments indicating alarm-off years (thin dark-grey), alarm-on years (thick dark-grey), and no alarm-on/off years (thin light-grey). (b) MT-diagram of earthquakes used to create the *b*-value timeseries in (a). Red circle: the 2011 Tohoku earthquake.



第2図 2004年スマトラ地震($M9.0$)の震源を含む地点の結果(第1図参照).
 Fig. 2 Same as Fig. 1 for the 2004 Sumatra earthquake ($M9.0$).



第3図 2010年チリ地震($M8.8$)の震源を含む地点の結果(第1図参照).
 Fig. 3 Same as Fig. 1 for the 2010 Chile earthquake ($M8.8$).



第4図 (a) 2004年, (b) 2010年, (c) 2011年の警報地図. 青色: 警報off; 赤色: 警報on; 無色: 評価外; 星: $M \geq 8$ の地震の震源位置.

Fig. 4 Alarm map for several years: (a) 2004, (b) 2010, and (c) 2011. Blue and red areas mark alarm-off and -on, respectively. No alarm-on/off was made for white areas. Star: hypocenter of $M \geq 8$ earthquake.