

## 東北沖地震後の急速な応力回復から示される巨大地震発生の不規則性

### 研究成果のポイント

1. 東北日本に沈み込む太平洋プレート上で起こる地震活動を精査した結果、小地震と大地震の相対的な発生数の比( $b$  値)は、プレート運動に伴う地震発生場と巨大地震前後の応力状態を反映していることがわかった。
2. 2011 年東北沖地震直後に急上昇した  $b$  値(小地震の割合が増加)は、その後2~3年でもとに戻った。日本海溝沿いでは今後いつ再び大~巨大地震が発生しても不思議ではない。
3. 日本海溝沿いのプレート境界では  $b$  値から推定される応力状態の側方不均質は認められないことから、大地震の破壊域をあらかじめ推定できる特徴的な区間は存在しない。
4. 応力回復も速いことから、海溝型地震は規則的に繰り返されるのではなく、マグニチュードも発生間隔も不規則である。

### 研究概要

国立大学法人筑波大学生命環境系のBogdan Enescu(ボグダン エネスク)准教授、スイス連邦工科大学チューリッヒ校のStefan Wiemer教授らの研究グループは、2011年東北沖地震後に見られる応力回復が従来考えられているよりもかなり急速に進んでおり、現在既に同地震前の応力状態に近づいていることを突き止めました。これは、今後いつ再び大地震が発生してもおかしくない状態にあることを示しています。また、同地震震源域周辺との応力状態に空間的な差が見られないことから、今後起きる地震の大きさを予測するのは困難です。すなわち、本研究によって沈み込み帯における巨大地震には特徴的な大きさや繰り返し間隔が存在しない、ということが示唆されます。

巨大地震の大きさや繰り返し間隔を知ることは、将来起こりうる巨大地震に伴う災害の予測及び減災という観点から重要です。しかし、従来は「巨大地震にはその発生領域が決まっており、ゆっくりと長期間にわたって歪みが蓄積し限界に達すると地震が発生する」という仮定のもとで発生確率を計算していました。著者らは、東北地方における沈み込み帯、長さ1000 kmにわたる領域において、1998年から現在までに観測された地震活動をもとに、小地震と大地震の相対比( $b$ 値: 平均的に1で、 $b$ 値が1よりも大きいと小地震の割合が多い)の時空間分布を推定しました。その結果、 $b$ 値の分布はプレート運動に伴う大局的なテクトニクスを反映しているものの、個々の巨大地震の発生領域を特定することは困難であることが明らかになりました。

特に、東北沖地震後の $b$ 値の回復過程とその空間分布から、沈み込み帯で発生する巨大地震は特徴的な発生場所、規模、発生間隔を有しておらず、従来考えられているよりもランダム性を強く持っていることがわかりました。加えて本研究は、 $b$ 値が応力状態に対して敏感であるという仮説を強くサポートしています。

本研究は、 $b$ 値を注意深く監視することが、将来起こりうる巨大地震のハザード評価の向上に役立つ可能性を提示するものです。

本研究の成果は、2015年2月3日(日本時間23時)付でNature出版グループのオンラインジャーナル「Nature Geoscience」で公開される予定です。

\* 本研究はスイス科学財団研究助成金(PMPDP2 134174)および筑波大学が主導しているプロジェクト「巨大地震による複合災害の統合的リスクマネジメント」によって実施されました。

## 研究の背景

H. Reid によって 20 世紀初頭に提唱された弾性反発説は、プレート運動によって断層に蓄積された歪みが瞬間的に解放されるというプロセスで地震を説明する。しかしながら、地震時の応力解放は、地震前に蓄積していた応力のすべてを解放してその後ゆっくりと応力蓄積が再開する間は安全なのか？断層にまだ十分な応力が残っていて、本震後に同程度の地震がすぐに発生する可能性はないのか？といった地震発生の繰り返しに関する根本的な疑問には答えきれていない。こうした疑問を解決する基礎的なアプローチとして、 $b$  値の観測が挙げられる。 $b$  値とは、大きな地震と小さな地震の発生数の比を表すパラメータである。 $b$  値は全世界で平均をとると約1となるが、地域的に異なる値を示すことがわかっている。例えば  $b$  値が 1 よりも小さいと相対的に中～大地震が多く発生しており、 $b$  値が 1 よりも大きいと、小地震が標準よりも多く発生していることを示している。

岩石の破壊実験、数値モデル、実際の地震活動から、 $b$  値は差応力(注 1)と負の相関をもつことが知られている。断層上で高い応力を蓄積している領域(小さな  $b$  値を示す領域)は、大地震の発生領域と重なることが報告されており、 $b$  値の分布が応力状態の不均質な分布を知る指標になりうると考えられている(Schorlemmer et al., 2005)。

## 研究内容と成果

著者らは、東北日本弧に沈み込む太平洋プレート上で発生する地震活動から、 $b$  値の時空間分布を求めた。その結果、 $b$  値の空間分布は、大局的なプレート運動から推定される空間的な応力場と整合的であることがわかった。一方で、 $b$  値の時間変化は、プレート境界上のアスペリティ(注 2)にかかる応力の蓄積および解放プロセスと対応していることがわかった。

図 1 に示される  $b$  値の空間変化は以下の 3 点の特徴をもつ。(1)火山前線の下に位置する 100 km より深い領域では高い  $b$  値の領域が均質に広がっている。(2)100 km から海溝におよぶ深さの領域では低い  $b$  値を示しており、(3)それよりも浅い、海溝より沖合のアウトャライズの領域では高い  $b$  値を示している。(1)の領域は、プレートの沈み込みに伴ってマグマが発生する領域と一致しており(Wyss et al., 2001)、(2)の領域は、プレート同士が固着し大～巨大地震が頻発する領域と重なっている。ただし、低い  $b$  値の空間分布からは、大地震が起こりうる特徴的な領域を特定することはできない。(3)の領域は、差応力が低く、正断層型の地震を起こす領域として知られている。

一方、 $b$  値の時間変化は、プレート運動に伴う応力の蓄積と解放のプロセスと整合的であることがわかった。図 2 に、2011 年東北沖地震の震源域における  $b$  値の時間変化を示す。地震時に大きなすべりが発生した領域では、地震前には低い  $b$  値を示しており、局所的な応力集中が発生していたことを示唆している(本研究および Nanjo et al., 2012)。その後、本震直後には大すべり領域で  $b$  値は増加しており、地震時に大きな応力解放がなされたことを示している。本研究においてもっとも注目すべき点は、地震直後に高い  $b$  値を示していた領域が、地震発生後 2～3 年で低い  $b$  値に戻った、ということである。これは、従来考えられてい

るよりもはるかに短期間で巨大地震後の応力回復が進んだことを示しており、現在既に再び巨大地震を起こすポテンシャルを有していると考えられる。また、日本海溝沿いの  $b$  値の空間分布に顕著な不均質性が認められないことは、今後発生する巨大地震の破壊域を予測することも困難で、発生する地震サイズにも不規則性があることを示している。

### 今後の展開

2011 年東北沖地震によって、その後に発生した地震のサイズ・頻度分布は大きく変化した。しかし、それは地震直後の数ヶ月間という非常に短い時間スケールで見られる現象であったことがわかった。つまり、巨大地震の発生域における応力状態は、既に地震前の状態に回復していることが示唆され、次の巨大地震がいつ発生してもおかしくはないほどの高い応力レベルにある、といえる。

$b$  値の空間分布からわかる大局的なテクトニクスと、2011 年東北沖地震前後の  $b$  値の時間変化は、沈み込み帯における応力状態を知る重要な指標となるとともに、将来起こりうる巨大地震の発生予測を向上させる可能性を持っている。

### 参考図

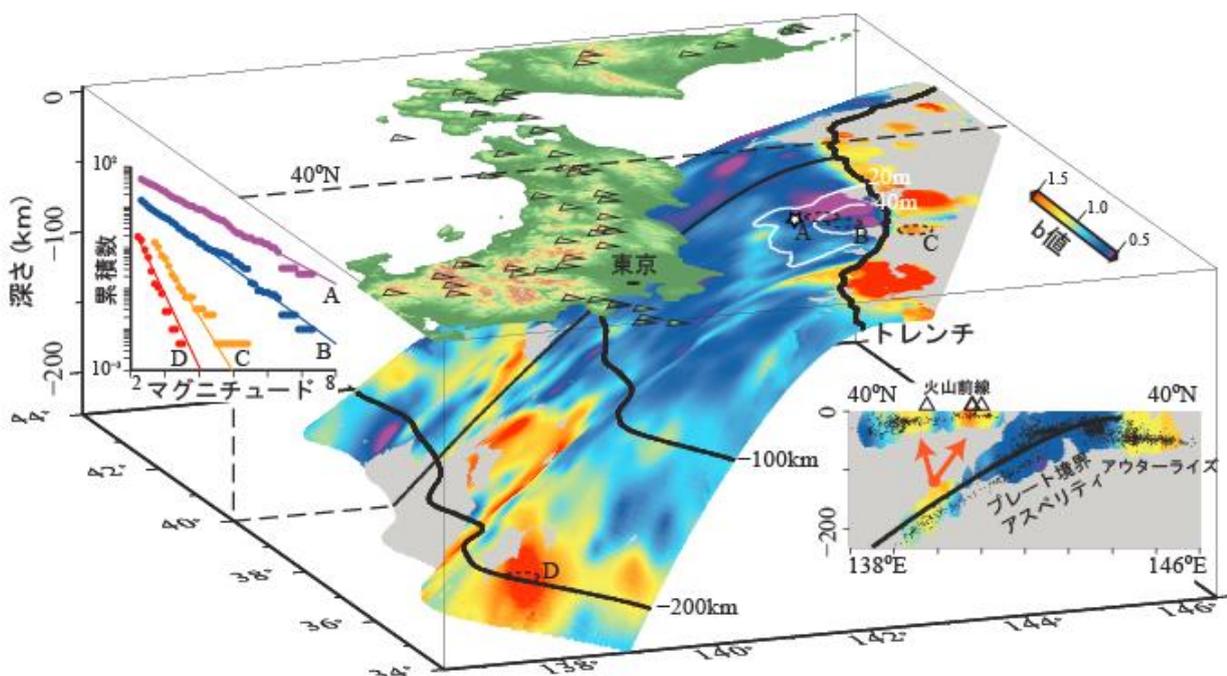


図1:  $b$  値の三次元空間分布。 $b$  値の計算には2003年12月から2011年東北沖地震発生時までのデータを用いた。星印は2011年東北沖地震の震源、白い等高線は地震時のずれの分布 (Yagi and Fukahata, 2011) を示す。左上の挿入図は、地図上のエリアA、B、C、Dにおける地震のマグニチュード・頻度の分布を示している。回帰直線の傾きは  $b$  値を示す ( $b$  値が大きいほど傾きが急)。右下の挿入図は北緯40度における断面図を示す。

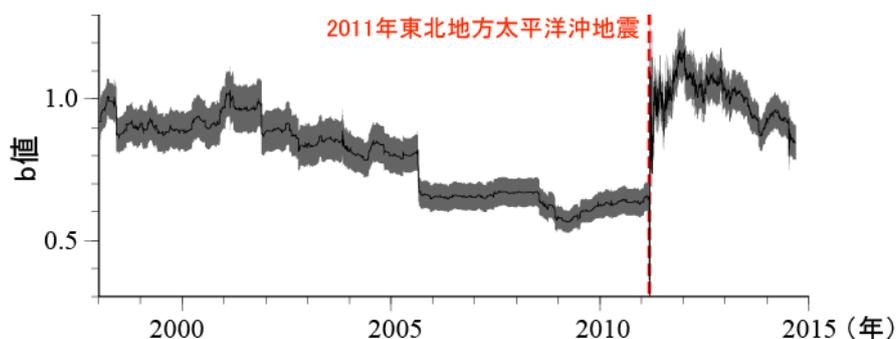


図2: 東北沖地震前後のb値の時間変化(実線)。灰色の領域はb値の不確実性(標準偏差)を示す。本震直後にb値の急上昇があり、その後2-3年程度でもとに戻ったことがわかる。

### 用語解説

注1) 差応力: 最大圧縮応力と最小圧縮応力の差。この値が大きいほど逆断層型の地震を起こしやすい。

注2) アスペリティ: 地震前に固着しており、地震時にすべりが発生する領域

### 参考文献

Nanjo, K. Z., Hirata, N., Obara, K. and Kasahara, K., Decade-scale decrease in b value prior to the M9-class 2011 Tohoku and 2004 Sumatra quakes, *Geophysical Research Letters*, 39, L20304, 2012.

Schorlemmer, D., Wiemer, S. and Wyss, M., Variations in earthquake-size distribution across different stress regimes, *Nature*, 437, 539–542, 2005.

Wyss, M., Hasegawa, A. and Nakajima, J., Source and path of magma for volcanoes in the subduction zone of northeastern Japan, *Geophysical Research Letters*, 28, 1819–1822, 2001.

Yagi, Y. and Fukahata, Y., Rupture process of the 2011 Tohoku-oki earthquake and absolute elastic strain release, *Geophysical Research Letters*, 38, L19307, 2011.

### 掲載論文

【題名】 Randomness of megathrust earthquakes implied by rapid stress recovery after the Japan earthquake (東北沖地震後の急速な応力回復から示される巨大地震発生の不規則性)

【著者名】 Thessa Tormann<sup>1</sup>, Bogdan Enescu<sup>2</sup>, Jochen Woessner<sup>3</sup>, Stefan Wiemer<sup>4</sup>

1 スイス連邦工科大学チューリッヒ校 研究員; 2 筑波大学生命環境系 准教授;

3 スイス連邦工科大学チューリッヒ校 研究員; 4 スイス連邦工科大学チューリッヒ校 教授

### 【掲載誌】

Nature Geoscience

### 【掲載 URL】

<http://dx.doi.org/10.1038/ngeo2343>

### 問合わせ先

Bogdan ENESCU (ボグダン・エネスク) 筑波大学 生命環境系 准教授