

内陸活断層への準周期的な応力擾乱の地震発生時期に対する影響 Effect of semi-periodic stress perturbation on timing of intraplate earthquakes

○野田 博之

○Hiroyuki NODA

Estimation of likelihood of intraplate large earthquakes is crucially important because of short distance between source and human society which makes earthquake early warning difficult. In the present study, effects of semi-periodic stress perturbation due to megathrust earthquakes to an intraplate active fault having a ductile shear zone beneath the seismogenic part are investigated with dynamic earthquake sequence simulation using a spectral boundary integral method. The shape of the time-distribution of modeled earthquakes can be explained by a seismicity model based on Δ CFF, not by a rate-and-state spring-slider model. The result of the parameter study suggests that not only the paleo-seismological data of active faults, but also stress change on it due to recurring megathrust earthquakes or other events may be useful in constraining the likelihood of intraplate earthquakes.

1. はじめに

内陸地震では震源と都市部との距離が近いこと、局所的に振幅の大きい強振動が予想されるにもかかわらず、地震動到達の緊急速報が困難である。故に、近い将来の地震発生可能性の評価は重要な課題である。

地震研究推進本部が毎年発表している全国地震動予測地図では、各断層の地震の再来周期と（可能なら）前回地震の時期を評価し、Brownian Passage Time もしくは Poisson 過程の仮定から地震発生の確率（時間）密度が評価されている。再来周期やそのばらつきが大きい断層に対しては、確率密度は 1000 年程度以上の時定数を持って滑らかに変動する。

一方、宇津 (1974) や Hori and Oike (1996) により、西南日本における歴史地震は南海トラフ地震より -50 ~ +10 年の間に集中する事が指摘されている（内陸活断層の活動期）。この原因は、海溝型地震のサイクルに伴う内陸部における応力擾乱であると考察されている。この説が正しければ、内陸活断層の地震発生時期の確率密度はより短い時間スケール（～海溝型地震の再来周期）で変動している事になる。この評価を目指したい。

海溝型地震の再来周期は南海トラフでは 100 ~ 200 年程度であるが、日本海溝においては津波堆積物の解析から 500 ~ 800 年と見積もられている (Sawai et al., 2015)。また、内陸活断層に対する応力（トラクション）の擾乱は、海溝からの距

離や断層の姿勢に依存する。こういった擾乱のパラメータに対し、内陸地震の発生時期の確率はどのように変化するか？この問題を調べるために本研究では、深部延長に延性剪断帯を持つ内陸活断層のモデルに異なる振幅や周期を持つ応力擾乱を加え、地震の発生時期の分布について調べた。

2. 内陸断層と応力擾乱モデルについて

Shimamoto and Noda (2014) は、速度・状態依存摩擦則 (e.g., Ruina, 1983) と幂乗則の石英の流動則 (Hirth et al., 2001) を組み合わせ、弱い方が断層強度を支配する断層構成則を提案した。大まかには、浅部は摩擦則に、深部は流動則に支配される (図 1 a)。簡単のため厚さ 30 km の弾性

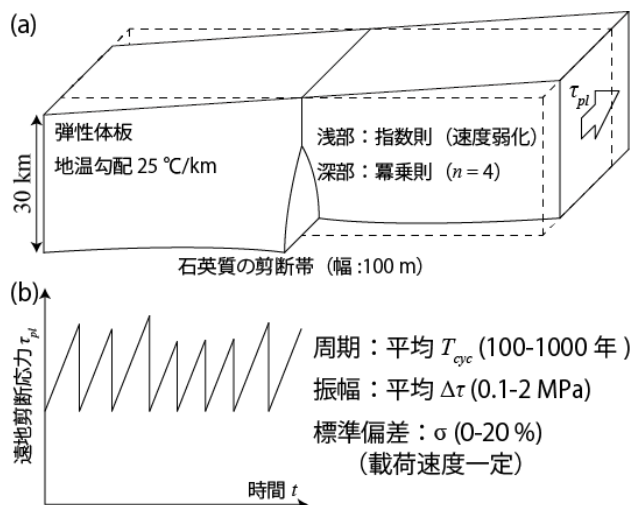


図 1. (a)問題設定の模式図。(b) 準周期的な遠地剪断応力の擾乱。

板に入った横ずれ断層を想定し、動的地震サイクルシミュレーション (Lapusta, 2000) を行った。地下深部に高間隙水圧の存在を想定し、有効垂直応力が 50 MPa で頭打ちとなる状況を考えて。この様なモデルを遠方からの剪断応力 τ_{pl} で駆動し、これを鋸歯状に変動させた (図 1 b)。

τ_{pl} の平均値として定常状態で断層が 10^{-11} m/s で変位する値を選び、擾乱の振幅 $\Delta\tau$ は最大 2 MPa、 T_{cyc} は 100-1000 年の範囲を調べた。2011 年の太平洋東北沖地震による応力擾乱は、東北地方においておよそ 1 MPa であったとの報告を参考にした (Yoshida et al., 2012)。

完全に周期的な応力擾乱を与えた場合、系が擾乱と完全に同期し、内陸地震の発生はある特定の位相 ϕ (前の海溝型地震が 0、次の海溝型地震が 1) に集中した。この様な挙動は現実的で無いので、応力擾乱の周期・振幅を標準偏差が最大で $\sigma = 20\%$ の正規分布を用いてランダム化した。

3. 結果

モデル挙動の例を図 2 a に示す。破壊は地下 16 km まで達し、深部はクリープする。深部クリープは応力擾乱の影響を受け、滑り速度が多少変動する。示した例では、内陸地震は約 4600 年の周期で繰り返す。これは与えた応力擾乱の周期 $T_{cyc} = 500$ 年より一桁程度大きい。内陸地震の発生時期は、

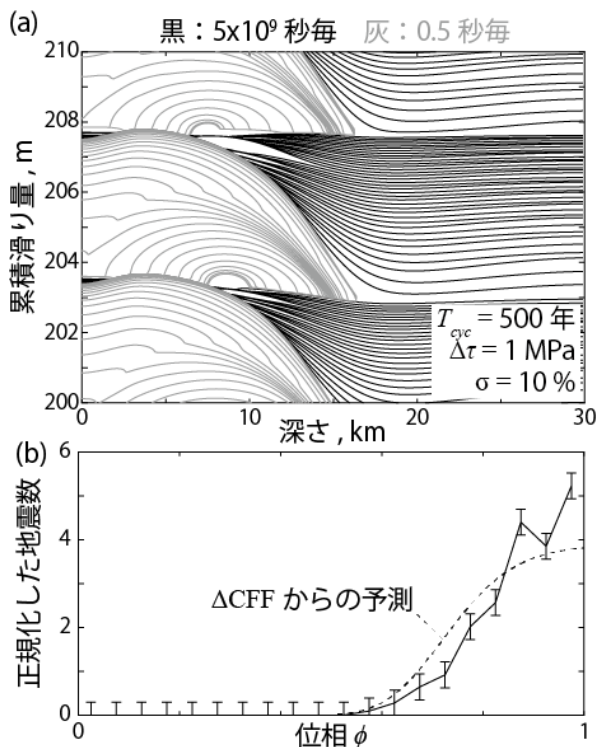


図 2. モデル挙動の例。(a) 累積滑り量分布。(b) 内陸地震発生時期の分布。

海溝型地震サイクルの後半に集中する (図 2 b)。

地震活動に関するモデルは複数存在するが、断層破壊がクーロンの破壊基準で規定されると考えた場合、 ΔCFF の過去最高値の増分が地震発生確率に比例する (e.g., Shikakura et al., 2014)。与えた応力擾乱に加え、シミュレートした内陸断層の長期的滑り速度、および破壊の下限から見積ることのできる ΔCFF の時間変化から予測した内陸地震発生次期の分布は、図 2 b の破線の様になり、連続体モデルの結果と大変よく一致する。応力擾乱のパラメータを変化させた場合の例を図 3 に示すが、地震発生時期の分布の幅 ($\phi = 1$ を中心とした二次モーメントの平方根) が、 ΔCFF からの予想で説明できる。 $\Delta\tau$ のみならず、 T_{cyc} や σ を変化させた場合も (系が完全に擾乱と同期する場合を除き) 同様であった。

4. 考察、まとめ

速度・状態依存摩擦則と流動則を組み合わせた内陸断層のモデルでは、海溝型地震サイクルを模した応力擾乱により地震発生時期が偏在する。内陸地震発生時期の分布は、 ΔCFF の変化による予想で良く説明する事ができる。この事は、歴史地震による ΔCFF の変化と内陸地震の発生の相関を見出した Shikakura et al. (2014) と調和的である。一方、微小振幅の影響を調べた Ader et al., 2014 とは異なり、速度・状態依存摩擦則に基づいた Dieterich (1994) によるモデルでは説明できない。

本研究により、同じ再来周期や前回イベント時期を持つ断層であっても、準周期的な応力擾乱の振幅によって内陸地震の確率密度の変動が異なる事が示唆された。今後、より時間分解能の高い内陸地震の発生確率の推定に繋がれば幸甚である。

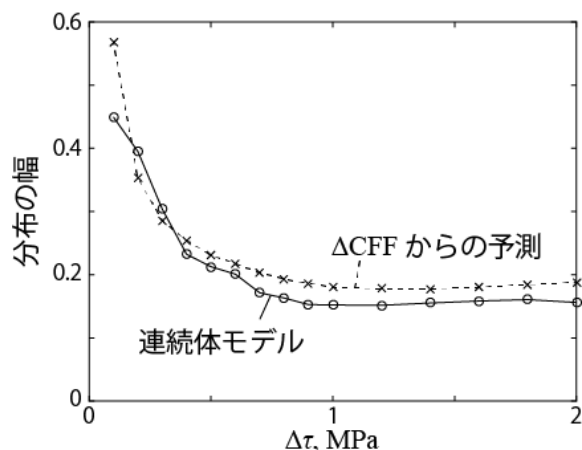


図 3. 応力擾乱を変化させた場合の内陸地震発生時期の分布の幅。 $T_{cyc} = 500$ 年、 $\sigma = 10\%$ 。