

GNSS データを用いた内陸地震長期発生確率の試算  
Trial calculation of long-term probability for crustal earthquakes using GNSS data

○西村卓也

○Takuya NISHIMURA

We constructed a preliminary model for the long-term probability of crustal earthquakes based on strain rate distribution estimated from GNSS data in southwest Japan. We first removed elastic deformation due to interplate coupling along the Nankai Trough and converted strain rates to seismic moment rates in each  $0.2^\circ \times 0.2^\circ$  cell. The converted moment rate distribution is concordant with that calculated from the past crustal earthquakes. By assuming the Poisson process, the maximum probability of  $M \geq 6$  earthquakes is estimated to be between 0.2 and 5.1 % in the next 30 years. This probability is roughly comparable to that of the long-term forecast model of the Earthquake Evaluation Committee.

## 1. はじめに

我が国では地震の長期的な確率予測として地震調査委員会による長期評価が行われている ([https://www.jishin.go.jp/evaluation/long\\_term\\_evaluation/](https://www.jishin.go.jp/evaluation/long_term_evaluation/)) が、内陸地震（以下、海域も含めて地殻内で発生する地震を内陸地震と呼ぶ）に関しては地形・地質学的手法による活断層に基づく評価が行われていて測地データは用いられていない。一方、諸外国の地震長期予測モデル（例えば、Field et al., 2017）には、GNSS 等に基づく測地データが用いられていることが一般的である。日本列島においては、稠密な GNSS 観測網が整備されているので、測地データを用いて地震の長期予測を試算し、既存のモデルと比較することは、より信頼性の高い地震の確率予測モデルを構築するために有益であると考えられる。そのため本研究では、西南日本の GNSS データを用いて内陸地震の長期確率予測モデルを試算し、実際の地震活動や地震調査委員会の地域評価との比較を行った。

## 2. 地震長期確率モデルの計算方法

本研究では、最も単純な地震発生予測モデルとして、内陸地震の発生はポアソン過程に従うと仮定し、地震の発生率はその地域の地震モーメント速度と規模別発生頻度から計算した。地震の規模別頻度分布は、切断ゲーテンベルグ・リヒター則に従うものとし、対象地域一律に最大地震のマグニチュードを 7.5、 $b$  値は 0.9 と仮定した。

地震モーメント速度は、以下の通り測地データ

から計算した。用いたデータは、比較的大地震の発生が少なかった 2005 年 4 月から 2009 年 12 月までの GNSS 観測点における日座標値データである。まず、観測点毎の平均水平速度を推定し、南海トラフ沿いのプレート間固着による弾性変形を Nishimura et al. (2018) のモデルを用いて除去した。プレート間固着による弾性変形を除去した理由は、この弾性変形はプレート間地震（いわゆる南海トラフ巨大地震）の発生によって解消されるものであり、内陸地震の発生の原動力となる長期的に蓄積される変形ではないと考えたからである。次に、補正を行った速度場から、Shen et al. (1996) の手法によって、 $0.2$  度グリッド毎のひずみ速度を計算した。ひずみ速度から地震モーメント速度への換算式として、水平方向の 2 つの主ひずみ速度の絶対値及び面積ひずみ速度の絶対値の最大値 (Savage and Simpson, 1997) を用いる式を採用し、地震発生層の厚さ、剛性率は全領域で 12km、30GPa とした。

GNSS によって観測される測地学的ひずみ速度は、過去の地震活動から推定されるひずみ速度に比べて数倍から 1 桁程度大きいことが指摘されており（例えば、Shen-Tu et al., 1993）、測地学的ひずみ速度は海溝型地震によって解放されるひずみ速度を含むことや内陸域での非弾性ひずみを含むことが原因であると考えられてきた。本研究では前者のひずみ速度は前処理で除去したが、内陸の非弾性変形がどの程度生じているかは内陸地震として解放されるモーメント速度に大きく影響す

る。そのため、ここで測地データから換算した地震モーメント速度と過去の地震によって解放されたモーメント速度を比較し、両者の割合を推定した。1919年以降は気象庁一元化カタログ、それ以前は宇津（1990, 2004, 2004）によるカタログを用いて、カタログの全期間（西暦590-2019年）と天正地震以降の期間（西暦1586-2019年）でM6以上の内陸域での浅発地震による地震モーメントを積算して1年あたりのモーメント速度を比較すると、西日本全域では、測地データから換算したモーメントの6%と16%なのに対し、中部・近畿・中国地方を中心とする領域では、それぞれ10%と24%であった。これらの結果は、測地学的ひずみ速度が地震学的ひずみ速度よりも1桁大きいという先行研究の結果を支持するものであるが、領域・期間によって割合が異なることは、弾性ひずみの割合の地域性や記録に残っていない歴史地震があるためだと考えられる。ここでは、1586年以降の地震モーメント速度は、地震のもれがないと思われる1919年以降の地震モーメント速度とほぼ等しいことから、西日本全体の16%を測地学的に計算されたモーメント速度と内陸地震のモーメントの割合であるとして確率の計算を行った。

### 3. 地震長期確率モデルの試算結果と比較

M6以上の内陸地震について30年間の発生確率を試算した結果を図1に示す。グリッド(0.2度刻み)毎の発生確率の最大値は、九州中部の5.1%で、最小値は紀伊半島の0.2%であった。地震調査委員会の地域評価が実施されている九州、中国、四国地域における30年間のM6.8以上の地震発生確率と

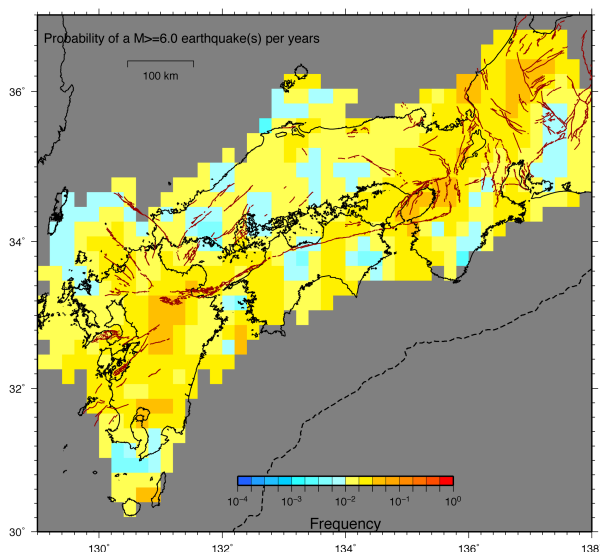


図1 GNSS データから計算した M6 以上の内陸地震の 30 年間の発生確率分布。

比較すると、各地域の発生確率は 0.6-3.9 倍の範囲であり概ね整合的であったが全体的に測地データに基づく発生確率の方が高めであった。

測地データに基づく地震発生確率の分布が過去の歴史地震の分布と整合的であるかを調べるために、Shen et al. (2007)と同じ図を用いて、測地ひずみ速度の大きいグリッドで過去の内陸地震のモーメントがより大きいかどうかを確認した(図2)。この図では、地震が測地ひずみ速度と無関係に発生していれば、グリッド毎の累積地震モーメント曲線が傾き1の直線に近くなり、正の相関があれば左上に偏った曲線となる。過去の地震活動では、測地ひずみ速度が上位25%のグリッドで57%の地震が発生しており、両者がランダムであるとした場合ではほとんど起こらない関係性が図示された。用いた測地データよりも後の2010-2019年の地震活動を用いても同様な関係が得られることから、測地データを用いた内陸地震の長期予測モデルは有効であると考えられる。

謝辞：本研究では、国土地理院、海上保安庁、国際GNSS事業(IGS)のGNSSデータ、気象庁一元化カタログ、世界の被害地震の表(<https://iisee.kenken.go.jp/utsu/>)を利用しました。

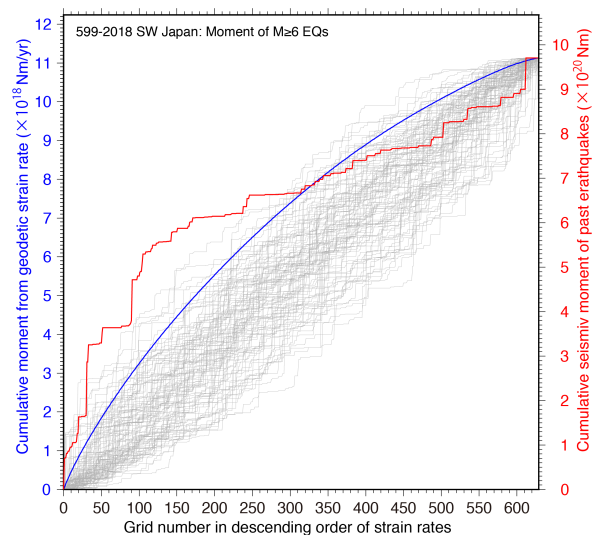


図2 各グリッドにおけるGNSSデータから換算した地震モーメントの積算曲線(青線)と1583年以降に発生した内陸地震の積算モーメント曲線(赤線)の比較。横軸のグリッド番号はGNSSデータから換算した地震モーメントが大きなグリッドから並べている。灰色の線は、グリッド番号をランダムにして、過去の地震に基づくモーメントを積算した曲線(100回の試行)を表す。