

西南日本のブロック間断層におけるメガスラスト地震サイクル中のクーロン応力変化
Coulomb stress changes on block boundary faults
during the megathrust earthquake cycle in southwest Japan

○水戸川司・西村卓也

○Tsukasa MITOGAWA, Takuya NISHIMURA

In the subduction zone, megathrust earthquakes may modulate the shallow crustal seismicity in the overriding plate. Historical documents indicate the frequent occurrence of large shallow crustal earthquakes in the overriding continental plate 50 years before and 10 years after the megathrust earthquakes along the Nankai trough in southwest Japan. We construct a model that can reproduce not only the inland seismic activity but also the geodetic observation by using the relative motion between the block fault and the interplate coupling. The apparent friction coefficient may be small considering the historical seismic activity in the San-in area. Our model suggests that long-term elastic strain accumulation on inland faults should be much smaller than that predicted by the relative block motion estimated from recent GNSS observation to explain the modulation of historical earthquake.

1. はじめに

沈み込み帯の内陸地震活動の発生時期は、周期的に発生するメガスラスト地震により、変調されている可能性が指摘されている。このような影響を歴史地震資料が多く残される西南日本において、 ΔCFS （クーロン破壊応力変化）を用いて評価する研究がいくつか行われてきた。しかし、これまでの研究では地震活動にのみ着目しており、GNSSで観測されるような現在の地表地殻変動は再現されていない。本研究では、GNSSデータを再現するブロック断層モデル (Nishimura et al., 2018) によって推定されたブロック相対速度と南海トラフ沿いのプレート間のすべり欠損速度を用いて、粘弾性を考慮したメガスラスト地震サイクル中でのブロック間断層での地震活動期について評価を試みた。

2. 手法

ΔCFS (クーロン破壊応力) は次の式で定義される。

$$\Delta CFS = \Delta \tau + \mu' \Delta \sigma$$

ここで、 $\Delta \tau$, $\Delta \sigma$, μ' は断層のジオメトリー (strike, dip, rake) に対応するせん断応力変化と法線応力変化, 見かけの摩擦係数 (以下、単に摩擦係数と呼ぶ) を示す。摩擦係数は、間隙水圧の変化だけでなく断層帯の物質特性によって変化すると考えられている (Harris, 1998)。

媒質は、弾性—半無限粘弾性水平 2 層構造を仮定し、計算には Fukahata and Matsu'ura (2002) のコードを使用した。メガスラスト断層及びブロック間断層の幾何形状は、Nishimura et al. (2018) の断層モデルとほぼ同様のものを使用し、内陸のブロック間断層は、概ね走行方向に 20–50 km 毎に 1 回の地震で同時に破壊する区間 (セグメント) を設定した。内陸断層の応力源は大きく 2 つ考える。1 つはメガスラスト地震サイクルに伴う外部から受ける応力の摂動で、もう一方は、内陸ブロック間断層での固有の応力载荷である。前者は、南海トラフ沿いで約 100–200 年周期に発生するメガスラスト地震を想定し、後者は内陸断層深部延長の定常すべりによる応力载荷 (e.g., Iio and Kobayashi, 2002) として組み込んだ。

メガスラスト地震サイクルに伴う外部的な応力摂動は、Nishimura et al. (2018) によって推定されたプレート間すべり欠損速度を地震間に適用し、100 年毎にすべり欠損速度に 100 年を乗じたものを地震時すべりとして与え、その粘弾性応答を ΔCFS の時間発展が周期的になるまで計算した。次に、内陸ブロック間断層での内部的な応力载荷は、浅部の固着域 (地震発生域) にすべり欠損速度を与えることにより計算した。各内陸ブロック間断層のすべり欠損速度は、ブロック間の相対運動速度に固着率を乗じたものをバックスリップとして考えることができる。しかし、現在の GNSS 観測

網の密度ではすべてのブロック間断層の固着率を正確に見積もることは難しいため、本発表ではすべての内陸ブロック間断層に同じ固着率を仮定する。各内陸ブロック間断層の浅部固着の影響は他の内陸ブロック間断層にも影響する。各内陸ブロック間断層での応力変化は、断層の中心の値で代表させる。計算に必要なパラメータの中で摩擦係数と内陸ブロック間断層の固着率が未知数であるため、これらの2つに対してパラメータスタディを行う。

3. 結果と考察

我々のモデルでの内陸断層における ΔCFS の時間発展は、メガスラスト地震サイクルによる影響のみを考えれば、100年周期で ΔCFS が元に戻るため、一般的にはメガスラスト地震時の ΔCFS が負ならば地震間の100年間で ΔCFS が回復し、メガスラスト地震時の ΔCFS が正ならば地震間の100年で ΔCFS は減少する。ここに内陸断層固有の応力荷荷が一定レートで加わることで、メガスラスト地震時の ΔCFS が正ならばメガスラスト地震後、負ならばメガスラスト地震前に ΔCFS が過去の最大値を更新することができる。断層の破壊強度が時間変化しないとすれば、 ΔCFS が最大値を更新する期間は断層破壊が発生しうる期間となる。我々はこの期間を活発期間と定義した。活発期間が正ならばメガスラスト地震後、負ならば次のメガスラスト地震の前の何年間 ΔCFS が過去の最大値を更新するかを示す。

活発期間を考える上で、内陸ブロック間断層のメガスラスト地震時 ΔCFS の極性は、地震間の内陸地震の活動時期に大きく影響する。本モデルの内陸ブロック間断層のメガスラスト地震時の ΔCFS は見かけの摩擦係数によって極性が変わるものが存在する。例えば、山陰地域のブロック間断層は摩擦係数が0.1以下の時に負となる(図1)。この地域の歴史地震の活動はメガスラスト地震の数10年前に集中しているため、摩擦係数は0.1より小さいと考えられる。室内試験による岩石の摩擦係数は、0.65-0.8の値を示す(Byerlee, 1978)が、多くの断層ガウジは水を含むことによって摩擦係数が20-60%減少することが知られている(Morrow et al., 2000)。一般的に沈み込み帯ではスラブの脱水によって水が豊富であると考えられるので、西南日本の小さい摩擦係数は断層帯の粘土鉱物とスラブの脱水に起因するものである可能性が示唆される。さらに、山陰地域のブロック間断層が ΔCFS

が最大値を更新し始めるのが地震から50年後(活発期間: -50年)だとすると、内陸ブロック間断層の固着率は約3%であると考えられる(図2)。したがって、近年のGNSSデータから推定された山陰地方のブロック間相対運動(6.3 mm/yr)のうち、長期的に弾性ひずみとして蓄えられ断層の応力荷荷に寄与している割合は極めて小さいと考えられる。この時のすべり欠損速度は約0.2 mm/yrであり、再来間隔5000年で1 mのすべりを発生させることができることから、山陰地域の活断層の活動度とある程度一致する。

謝辞：粘弾性応答の計算には地震予知研究センター深畑幸俊准教授に頂いたプログラムを改造して使用しました。記して感謝いたします。

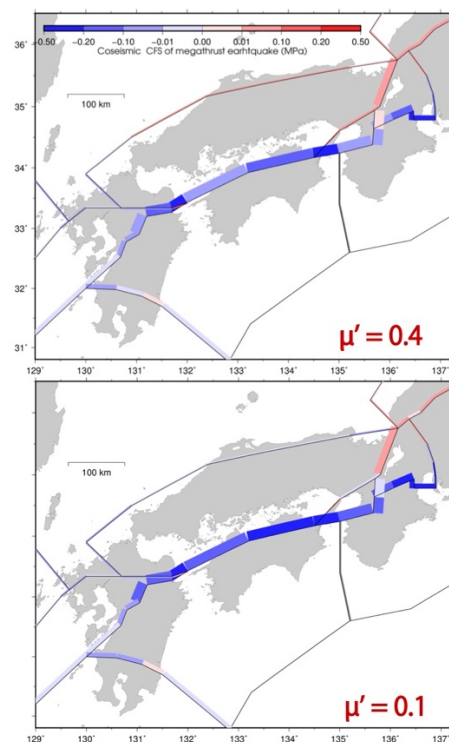


図1. 内陸ブロック間断層におけるメガスラスト地震時の ΔCFS 。

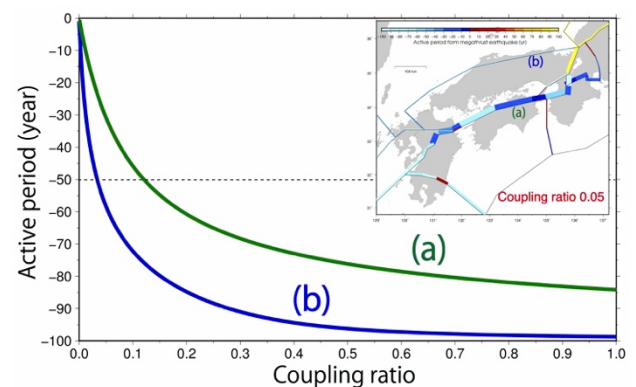


図2. 断層(a)と断層(b)における活発期間と内陸断層の固着率の関係。