

## 科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 26 年 6 月 25 日現在

機関番号：82716

研究種目：若手研究(B)

研究期間：2011～2013

課題番号：23740347

研究課題名(和文)現在の応力状態を用いた新たな活断層リスク評価手法の開発

研究課題名(英文)Development of fault-rupture risk assessment method by using stress state

研究代表者

行竹 洋平 (Yukutake, Yohei)

神奈川県温泉地学研究所・その他部局等・研究員

研究者番号：20435853

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 1,400,000円、(間接経費) 420,000円

研究成果の概要(和文)：活断層の地震発生ポテンシャルの評価に現在の地下の状態を反映させることを目的に、応力場のもとでの活断層の動き易さ(Slip tendency)の推定を行った。その結果、多くの活断層は現在の広域的な応力場のもとで動き易い方向に形成されていることが分かった。Slip tendencyと断層の危険度の指標となる最新の地震からの経過率との間には明瞭な相関が認められず、Slip tendencyのみから断層の危険度評価につなげるのは困難であることが分かったが、地質情報の乏しい断層の活動度の評価や、地質・地形情報等その他の観測値と併せた地震発生のポテンシャル評価に利用できることが示された。

研究成果の概要(英文)：To reflect information about stress state around active faults in fault-rupture risk assessment, we estimated slip tendencies of active faults on the basis of present-day tectonic stress field. We found that that most of the active faults have high slip tendency values for the tectonic stress field. Since a weak correlation between slip tendency and earthquake risk on active faults were observed by comparing slip tendency with quantifiable properties of active faults, such as elapsed time since the most recent event, slip tendency analysis may not be useful for evaluating earthquake risk on active faults. On the other hand, slip tendency may be a better means of evaluating fault activity or be useful for evaluating potential of large earthquake by combining with other information, such as geological data and detailed crustal structure.

研究分野：数物系科学

科研費の分科・細目：地球惑星科学・固体地球惑星物理学

キーワード：活断層 応力場 Slip tendency ポテンシャル評価

### 1. 研究開始当初の背景

内陸域の活断層で発生する大地震は、プレート境界型の大震災と比較して発生時期の推定がきわめて困難である。その原因の一つとして、活断層で発生する大地震の発生間隔が、多くの場合数千年と非常に長いことが挙げられる。現在、国の地震調査研究推進本部で実施されている活断層の長期評価では、地形・地質情報をもとに活断層を検出し、その後トレンチ調査、歴史記録等により平均的な活動間隔を推定する。そして最新の活動時期からの経過時間をもとに適当な確率密度関数をあてはめ、例えば 30 年間に大規模な地震が発生する確率を推定する。しかしながら、活断層の過去の活動履歴には不確実性が多いため、この手法によって得られる発生確率にも大きな誤差が生じる。

### 2. 研究の目的

こうした背景から過去の活動履歴以外に、断層の長期評価やポテンシャル評価に有効な手法について模索することは、長期評価の信頼性を向上させるために非常に重要である。本研究では活断層を評価するためのパラメータとして、その周辺の応力情報に着目した。Morris et al., (Geology, 24, 275-278, 1996)は、断層面上に作用するせん断応力と法線応力との比から断層のポテンシャルの評価を試みた。彼らは、せん断応力と法線応力との比を Slip tendency と定義し、Slip tendency が大きい断層ほど、その応力場のもとで動きやすい(滑りのポテンシャルが高い)と考え断層の評価を行った。Slip tendency は、活断層周辺の応力状態と活断層の形状から求めることができる。

本研究は、Slip tendency が断層を評価する上で有用なパラメータとなりうるかどうかについての検証を行うことを目的に、日本内陸域における応力場と活断層の位置・形状の情報から、各断層の Slip tendency を求め、さらに活断層の平均変位速度との関係について調べた。

### 3. 研究の方法

#### (1)地震メカニズム解の決定

Slip tendency を推定するにあたっては活断層周辺の応力場を高い空間分解能で精度よく決定することが重要となる。応力場を求めるため、本研究では、P 波初動極性と実体波振幅値を用いて、日本内陸域における微小地震のメカニズム解約 8000 個を決定した(図 1)。

#### (2)応力場の推定

地震メカニズム解データから応力インバージョン法を用いて日本内陸域における応力場を推定した。ここでは、Hardebeck and Michael (JGR, 111,2006)によって開発された Damped Inversion 法を用いた。内陸域に緯度・経度方向 0.1 度間隔のグリッドを設定し解析を行った(図 2)。

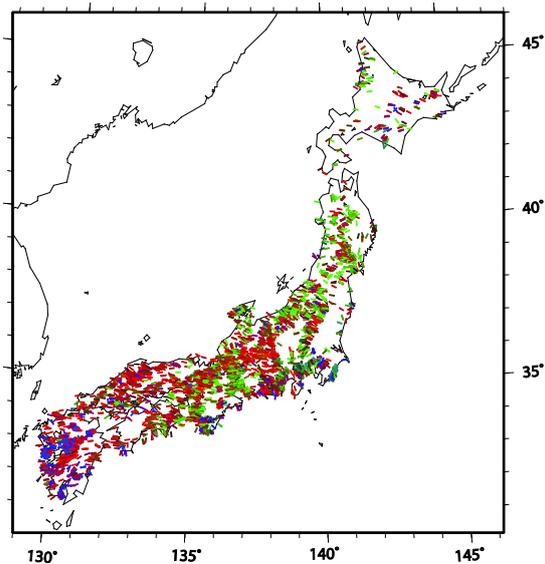


図 1 推定されたメカニズム解の圧力軸分布

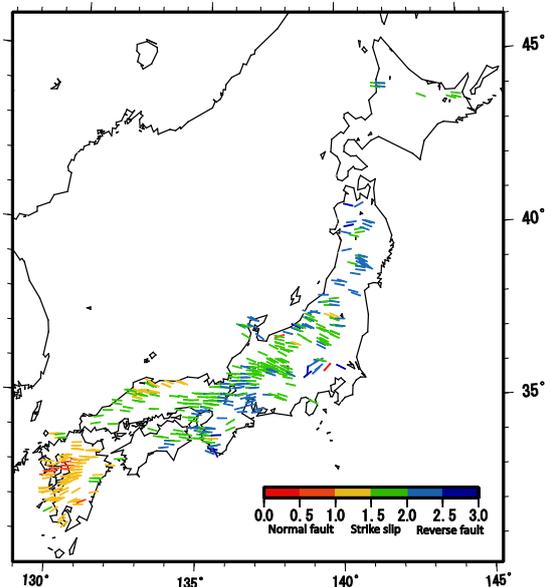


図 2  $\sigma_{hmax}$  軸の空間分布。軸の色は応力場のタイプを示す。

#### (3)活断層データについて

活断層の形状および位置の情報については、独立行政法人産業技術総合研究所の活断層データベース

([https://gbank.gsj.jp/activefault/index\\_gmap.html](https://gbank.gsj.jp/activefault/index_gmap.html)) から取得した。このデータベースでは、日本全国の活断層トレースから長さ 10km 以上の活断層・活断層群を起震断層として抽出し、さらに断層形状との連続性をもとにより小さい単元の活動セグメントとして区分している。活動セグメントとは形状、位置、平均変位速度に連続性がある断層の最少範囲を示したもので、起震断層はいくつかの活動セグメントで連鎖的に地震が起こった場合の最も可能性の高い組み合わせとして定義されている(詳しくは、上記 HP を参照のこと)。本研究では、研究対象領域における 553 本の活動セグメントを解析対象とし

た。このデータベースにはそれぞれの活動セグメントの走向・傾斜の情報が記載されており、これらの情報を Slip tendency の推定に使用した。

#### (4) Slip tendency の求め方

Slip tendency を  $T_s$  と表した場合、 $T_s$  は以下の式で定義される。

$$T_s = |\sigma_s / (\mu * \sigma_n)| \quad (1)$$

$\sigma_s$  は断層上のせん断応力、 $\sigma_n$  は法線応力を表す。 $\mu$  は断層の摩擦係数である。(1)式の分母は断層の摩擦抵抗力を表し、Slip tendency が大きくなることは、断層の摩擦抵抗力に対するせん断応力（断層を滑らせる力）の割合が大きくなることを意味する。したがって、ある応力場のもとで Slip tendency の値が大きいほどその断層は動きやすい（滑りのポテンシャルが高い）と考えられる。

ただし、(1)式から Slip tendency を得るためには応力インバージョンにより推定される主応力軸方向と応力比に加えて、断層摩擦係数、断層帯内の間隙流体圧、最小主応力値、差応力の値が必要となる。本研究では以下の仮定に基づきこれら4つのパラメータの値を得た。

- ① 広域応力場に対して最適な方向を向く断層面は静水圧条件のもとで動く
- ② 最適な断層面の強度は岩石実験で得られる摩擦係数 ( $\mu=0.6$ ) での Coulomb 破壊基準に従う。
- ③ 鉛直方向の応力の大きさは岩盤の上載圧と等しくなる。

各活動セグメント近傍における応力インバージョンの結果と上記の仮定により、Slip tendency の値を求めた。

## 4. 研究成果

### (1) 主な研究成果

上記の研究手法により 553 本の活動セグメントのうち 293 本について Slip tendency の値を得ることができた (図 3)。日本内陸域における Slip tendency の分布をみるとある特定の地域に Slip tendency の高い断層が集中する傾向は見られないことが分かった。同じ断層帯でも、活動セグメントによって断層の動き易さが異なる断層帯も見られた。

本研究によって推定された活断層（活動セグメント）の Slip tendency からその頻度分布を得た (図 4)。その結果ほとんどの活断層は Slip tendency の値が 0.5 以上あり、広域的な応力場に対して動き易い方向に形成されているということが分かった。この傾向は平均変位速度が 1m/1000 年以上の活動度の高い活断層では特に顕著であることが分かった。このことは、活断層は地質時間スケールで形成されてきたが、現在の応力場がその形成に大きく寄与していることを示唆する。

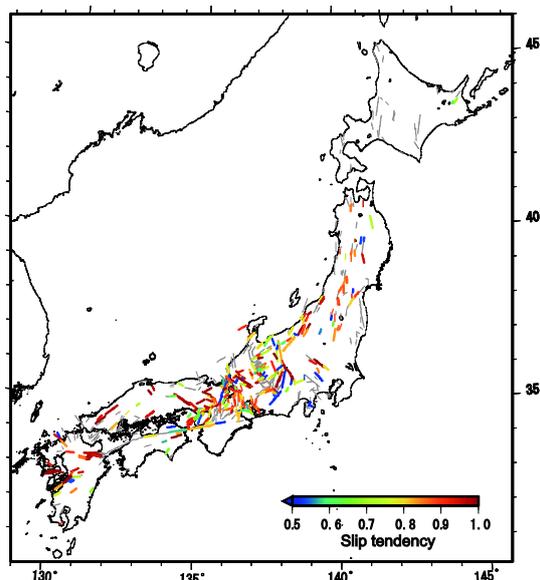


図 3 活断層の Slip tendency。色は Slip tendency の値を示す。灰色の活断層は近傍に応力情報が得られなかったため、Slip tendency の値が得られなかった。

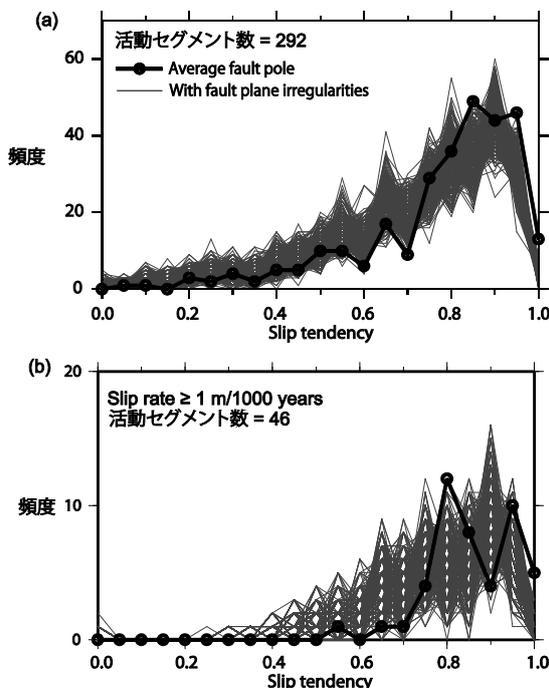


図 4 活断層の Slip tendency の頻度分布 (黒線)。灰色線は断層形状の不均質性を考慮した場合の頻度分布のばらつきを示す。(a) 推定できたすべての活断層、(b) 平均変位速度が 1m/1000 年以上の活断層。

また Slip tendency が推定できた 292 本の活断層（活動セグメント）は多様な経過率（平均活動間隔に対する最新の地震からの経過時間の比率）を持っており、このことから Slip tendency は活断層の危険度にかかわらず大きな値を持ち、時間的に安定したパラメータであることが示唆される。

この結果は、Slip tendency のみからでは活断層の危険度を評価するのは困難であるこ

とを意味している。ただし、Slip tendency 単独ではその評価が難しいが、活断層の経過率などその他の情報と併せることにより、より合理的な地震発生ポテンシャル評価ができる可能性がある。例えば、地震後経過率が高く(0.95以上)、かつ Slip tendency が高い(0.85以上) 活動セグメントを地震発生のポテンシャルの高い断層見なすと、図5に示すような活断層を抽出することができた。さらに、活断層の多くが高い Slip tendency を保持していることから、地質や地形情報が乏しくて活断層かどうかの判断が困難な断層について、Slip tendency の値に基づきその活動度を評価するという応用できる。

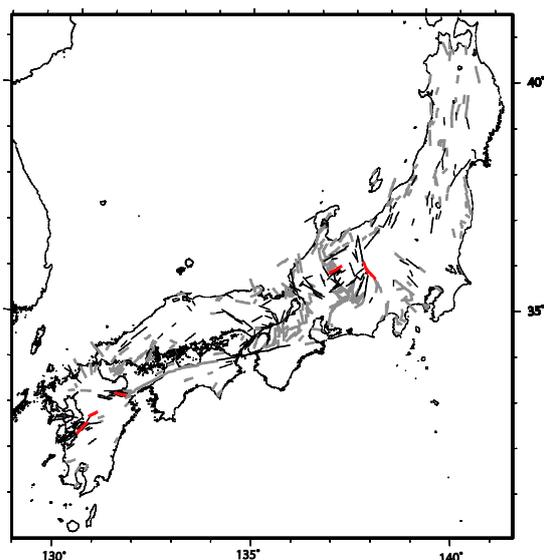


図5 地震後経過率が高くかつ Slip tendency が高い活断層(赤色)の分布。本州以南の領域を拡大して表示。

一方で、必ずしも Slip tendency の高い活断層が選択的に地震を起こすわけではないことも分かった。例えば、1995年兵庫県南部地震を引き起こした活動セグメントでは Slip tendency の値は0.6となり、活断層の中では比較的低い値が得られた。Slip tendency の値が低くても、例えば間隙流体圧が仮定よりも非常に大きかった場合、その断層上で地震によるすべりを起こすことは可能である。実際兵庫県南部地震の震源域では地殻流体の存在を示唆する低速度域の存在がトモグラフィ解析により明らかになっている(Zhao, et al., Science, 274, 1891-1894, 1996)。

## (2)国内外における位置付けとインパクト

活断層と現在の応力場との関係についてはこれまで明らかにされてこなかった。本研究の解析を通してこれらの関係が明らかになったことは、活断層の形成過程や、応力情報をどのように活断層のポテンシャル評価に活用できるかということ議論する上で極めて重要な成果である。また本研究により日本内陸域における広域的な応力場の分布

が詳細になったことは、今後日本列島スケールでの応力場の形成メカニズムを議論する上で非常に貴重な結果である。

## (3)今後の展望

Slip tendency を実際に活断層評価へ活用していくためには以下の点が重要となる。断層近傍では局所的な応力場の不均質性の有無を確かめるため、活断層周辺域に稠密地震観測網を展開し、さらに詳細なメカニズム解分布を及び応力場の推定を行うことが重要となる。また、活断層近傍に地震が発生しない場所では、地殻応力測定により直接応力場を測ることも有用な手段である。断層の形状も Slip tendency に影響を及ぼすパラメータになるので、物理探査やトモグラフィ法により詳細な断層形状を推定することも重要である。こうして得られた精度の高い Slip tendency と、地質学的な調査手法で得られる断層の過去の活動履歴などとあわせて多角的にみることにより、更に信頼性の高い活断層の評価が可能になると思われる。また、Slip tendency が比較的小さい断層であっても、高圧の地殻流体が存在する場合はすべりが起こり得るため、高分解能の速度構造や電気比抵抗構造を明らかにして地殻流体の存在を確認することは、より合理的な評価を行う上で重要であると考えられる。

## 5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

[雑誌論文] (計 2件)

- ①行竹洋平・武田哲也・吉田明夫、応力情報を用いた断層評価の試み、神奈川県温泉地学研究所報告書(査読無)、45、2013、49-62.
- ②行竹洋平・武田哲也・吉田明夫、P波初動極性と実体波振幅値を用いた日本内陸域における微小地震メカニズム解決定、神奈川県温泉地学研究所報告書(査読無)、44、2012、39-46.

[学会発表] (計 3件)

- ①Yohei Yukutake, Tetsuya Takeda and Akio Yoshida, Evaluation of the slip-tendency of active faults in the Japanese islands, 2013 AGU Fall Meeting, 9 December, 2013, San Francisco, America
- ②行竹洋平・武田哲也・吉田明夫、現在の応力場と活断層の活動度との関係、地球惑星科学連合2013年大会、2013年5月19日、千葉県千葉市
- ③行竹洋平・武田哲也・吉田明夫、実体波の振幅データを用いた地殻内微小地震のメカニズム解決定の試み、2012年地震学会秋季大会、2012年10月19日、北海道函館市

6. 研究組織

(1) 研究代表者

行竹洋平 ( Yohei Yukutake)

神奈川県温泉地学研究所・その他部局  
等・研究員

研究者番号：20435853