

## 平成 24 年度年次報告

課題番号：1419

**(1) 実施機関名：**

東京大学地震研究所

**(2) 研究課題（または観測項目）名：**

大地震サイクルと関連した地震活動変化の詳細な解明

**(3) 最も関連の深い建議の項目：**

2. 地震・火山現象解明のための観測研究の推進

(3) 地震発生先行・破壊過程と火山噴火過程

(3-1) 地震発生先行過程

ア. 観測データによる先行現象の評価

**(4) その他関連する建議の項目：**

2. 地震・火山現象解明のための観測研究の推進

(3) 地震発生先行・破壊過程と火山噴火過程

(3-1) 地震発生先行過程

イ. 先行現象の発生機構の解明

**(5) 本課題の 5か年の到達目標：**

本研究では、大地震断層の予測シミュレーションモデルの正確な状態更新を行うための観測データの有力候補である、中小の地震活動データの詳細な解析を行い、地震サイクルに関連する地殻の状態に関する情報を抽出することを目標とする。過去に地震サイクルとの関連が指摘された地震活動の特徴として、静穏化/活発化、潮汐との同期度、クラスタリングなどがあげられるが、活動変化と地震サイクル進行の関係は一意的ではなく、大地震発生場の性質によって大きなバリエーションがあるようだ。そこで、本研究では、地震活動の良質なデータが存在する事例について、データの精度をよく検証して活動を再解析するとともに、物理解釈をよりよく拘束するために断層面解等の追加情報を得、さらに、プレート境界や内陸断層といった、異った大地震発生帯による地震活動のバリエーションを把握することを目指す。

**(6) 本課題の 5か年計画の概要：**

平成 21 年度は、中小の地震には大地震の断層の一部を破壊するタイプのものと、それ以外の部分の地殻を破壊するものの両者があり、それらが地震サイクルの状態に関してあたえる情報は、まったく異なると考えられる。そこで、解析に適した事例を同定し、データを収集・整理する準備期間と位置づける。個々の中小地震の精密な震源位置と断層面解がわかれればその区別がかなりの程度可能であるので、そのために波形データを収集し、内陸断層、プレート境界の両者から解析に適した事例をとりあげる。日本周辺の地震活動の静穏化/活発化あるいは地球潮汐との同期などの事例については、まずその解析に耐えうる地震カタログの利用が不可欠となる。そのために地震カタログのコンプリートマグニチュードの調査やクラスタリング手法については静穏化/活発化および地球潮汐との同期度に最適なパラメータ等の調査を実施する。

平成 22 年度は、収集した波形データから、断層面解等を決定する。静穏化/活発化および地球潮汐との同期度などの具体的な解析を開始する。

平成 23 年度は、大地震サイクルとの関連性に着目し、地震活動変化を調査する。

平成 24 年度は、大地震サイクルと地震活動変化との関連性から地殻に関する情報を抽出する研究を進める。

平成 25 年度は、全体の成果を取りまとめる。

#### (7) 平成 24 年度成果の概要 :

##### (1) 東北地方太平洋沖地震後の関東地方における地震活動変化

関東地方で発生した地震のメカニズム解を受け手側の断層メカニズムとして、2011 年東北地方太平洋沖地震による静的クーロン応力変化 ( $\Delta \text{CFF}$ ) を計算し、本震前後の地震活動変化と比較した。その結果、東北沖地震後の関東地方における地震活動度変化は概ね、東北沖地震による  $\Delta \text{CFF}$  で説明が可能であるが、動的  $\Delta \text{CFF}$ 、流体の寄与や余効滑りといった別の要因も可能性として考えられることが分かった。

南関東は太平洋プレートとフィリピン海プレートが陸のプレートの下に沈みこむ複雑なテクトニクス下にあり、様々な型の地震が発生している。このような領域に対して、受け手側の断層メカニズムを仮定して  $\Delta \text{CFF}$  を計算すると大きな誤差を生じる恐れがある。そこで本研究では、本震前後に発生した地震のメカニズム解（関東・東海地震観測網定常処理初動メカニズム解；1979 年 7 月 1 日～2003 年 7 月 1 日）を受け手側の断層メカニズム解として、2011 年東北地方太平洋沖地震による  $\Delta \text{CFF}$  を計算した。

関東地方で過去に発生した 30,000 個余りの地震のメカニズム解のうち、 $\Delta \text{CFF}$  が 0.1 bar 以上増加した地震数は約 16,000 個であった。一方で、0.1 bar 以上減少した地震数は約 8,000 個であった。 $\Delta \text{CFF}$  が増加した地震の割合が多かった領域は、30 km より浅い地震に対しては静岡県東部から神奈川県西部であった。一方で、深さ 30 100 km の地震に対しては、茨城県南西部と東京湾から銚子に至る領域であった。これらの領域における本震後の地震活動は、本震前の ETAS モデルパラメータから期待される地震活動に比べ顕著に活発化しており、本研究は第一近似的に本震後の地震活動を良く説明する。図 1 は、千葉県北部における、過去の地震のメカニズム解に対して計算された  $\Delta \text{CFF}$  の分布を示す。千葉県北西部ならびに北東部（銚子付近）の太平洋プレート上面に沿って発生する地震で顕著な正の値が見られる。一方で、正断層型の地震の多くは負で、横ずれ型については走向によって正負が混在する。これらの領域では本震後に逆断層型の地震活動が顕著に活発化し、これは東北沖地震による  $\Delta \text{CFF}$  と調和的である（図 2）。

しかしながら、従来地震活動が低調であった茨城県北部から福島県南部の浅部において活発化した正断層型の地震など、過去のメカニズム解を用いる本手法では、大地震前に地震活動が不活発であった領域など予測が困難な領域もある。本手法による予測精度向上には過去地震のメカニズム解の充実（不均質な応力場の理解）が重要である。

##### (2) 南海地震想定震源域内における地震活動から推定される地震の繰り返し挙動

地震の繰り返しを議論する際に、ある震源域における地震活動がグーテンベルグ・リヒター則（G-R 則）に従うか、あるいは特徴的なスケールを持った固有地震的な挙動を示すかは地震発生予測の可能性を探る上で重要な問題であり、これまで様々な分野から議論が行われてきた。シミュレーションや広域的な地震活動にみられる規模別頻度分布がべき乗則に従うことから地震は臨界現象であり、その規模を予測することはできないとする考えがある。一方、主に地質学的な見地から大地震の震源域においてはその全体を破壊する地震（固有地震）が高頻度で発生し、べき乗則には従わないとする固有地震モデルが提案されている。ある震源域を仮定した場合に、その破壊の拡がりが単に確率事象であり、大地震はその確率分布に準じた偶然の産物であるとするならば地震の発生予測は困難である。その一方で、震源域において inter-seismic な期間における地震活動が低調であり、比較的周期性をもつて領域全体を破壊する地震（固有地震）が発生しているとすれば、物理的背景を解明することでその挙動を把握することができると考えられる。また、もしも破壊が及んだ場合に、その内部では破壊が

停止しない一蓮托生の破壊単元が存在し、その特徴的なサイズに準じた固有規模の地震を発生させる領域が存在していれば、その特徴的なサイズと比較可能なスケールで議論した場合に G-R 則が破綻することを意味する。そこで南海・東南海地震の震源域を対象として、大地震の震源域の一部を破壊する地震イベントの有無について調査した。

豊富な歴史資料や津波堆積物調査などから、南海トラフ沿いではおよそ 90 年～150 年の周期で M8 級プレート間地震（南海・東南海・東海地震）が繰り返し発生してきたことが知られており、最新の活動は 1944 年東南海地震と 1946 年南海地震である。また、1923 年以降の震源は気象庁により決定されている。南海地震の想定震源域において発生した中規模 ( $M > 5.0$ ) 以上の地震を、推定されている平均再来間隔で規格化した M-T ダイアグラムからは、前駆的地震活動（1944 年東南海地震の余震の可能性がある）や余震を除くと 2 つしか発生しておらず、顕著に低調であることが分かる（図 3）。

そのうち、1982 年 5 月 11 日の地震の発震機構解を気象庁初動を用いて HASH (Hardebeck and Shearer, 2002) により推定すると横ずれ型であることが分かった。震源の不確定性を考慮しても南海トラフ沿いで発生する低角逆断層型とは異なり、当該領域で推定されているプレート境界深度付近では横ずれ型になる（図 4）。1923 年 12 月 5 日の地震がプレート間地震であった可能性は否定できないが、この結果は南海地震震源域のようなカップリングが強いプレート間大地震の震源域には、全体を破壊するか、破壊しないかの二択に近い単元がある可能性を示唆する。

#### （8）平成 24 年度の成果に関連の深いもので、平成 24 年度に公表された主な成果物（論文・報告書等）：

Ishibe, T., K. Shimazaki, K. Satake, and H. Tsuruoka, 2012, Change in seismicity rate after the 2011 off the Pacific coast of Tohoku Earthquake, AOGS-AGU(WPGM) Joint assembly, August 13-17, 2012, Resorts World Convention Centre, Singapore.

石辺岳男・酒井慎一・島崎邦彦・佐竹健治・鶴岡 弘・中川茂樹・平田 直, 2012, 2011 年東北地方太平洋沖地震による関東地方における地震活動度変化, 日本地震学会 2012 年秋季大会, 2012 年 10 月 16-19 日, 函館市民会館・函館市民体育館, 北海道函館市。

石辺岳男・酒井慎一・島崎邦彦・佐竹健治・鶴岡弘, 2012, 2011 年東北地方太平洋沖地震後の南関東における地震活動と歴史地震の震源域への影響, 第 29 回歴史地震研究会, 2012 年 9 月 14 – 16 日, 横浜開港資料館, 神奈川県横浜市中区。

Ishibe, T., S. Sakai, K. Shimazaki, K. Satake, H. Tsuruoka, S. Nakagawa, and N. Hirata, 2012, Correlation between changes in seismicity rate and the Coulomb stress changes imparted by the 2011 Tohoku-oki Earthquake in Tokyo Metropolitan area, International Symposium on Emerging issues after the 2011 Tohoku Earthquake, November 27, 2011, University of Tsukuba, Ibaraki.

Ishibe, T., S. Sakai, K. Shimazaki, K. Satake, H. Tsuruoka, S. Nakagawa, and N. Hirata, 2012, Statistical analysis of seismicity rate change in the Tokyo Metropolitan area due to the 2011 Tohoku Earthquake, AGU fall meeting 2012, December 3-7, 2012, San Francisco, California, USA.

#### （9）平成 25 年度実施計画の概要：

平成 25 年度は、全体の成果を取りまとめる。

#### （10）実施機関の参加者氏名または部署等名：

東京大学地震研究所 鶴岡弘・中谷正生・五十嵐俊博・酒井慎一・石辺岳男

他機関との共同研究の有無：有

北海道大学 勝俣啓

#### （11）公開時にホームページに掲載する問い合わせ先

部署等名：東京大学地震研究所

電話：03-5841-5691

e-mail : tsuru@eri.u-tokyo.ac.jp

URL :

(12) この研究課題（または観測項目）の連絡担当者

氏名：鶴岡弘

所属：東京大学地震研究所

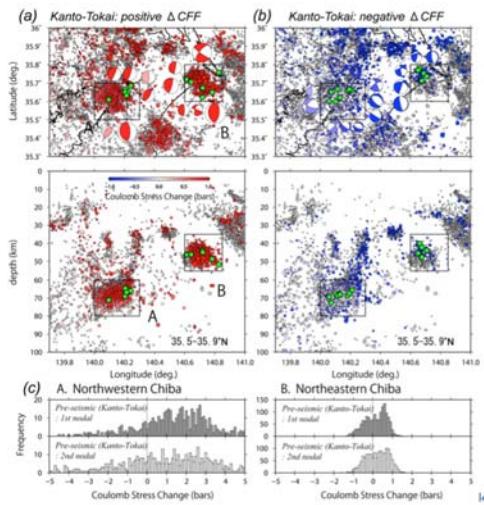


図 1.

(a) 千葉県北部領域において過去地震のメカニズム解（第1節面）に対して計算された $\Delta CFF$ が正となった分布とメカニズム解の例. (b)  $\Delta CFF$ が負となったメカニズム解分布とメカニズム解の例. (c) 千葉県北西部（左図），北東部（右図）において計算された $\Delta CFF$ のヒストグラム. 灰色が第1節面に対する結果，白色が第2節面に対する結果を表す.

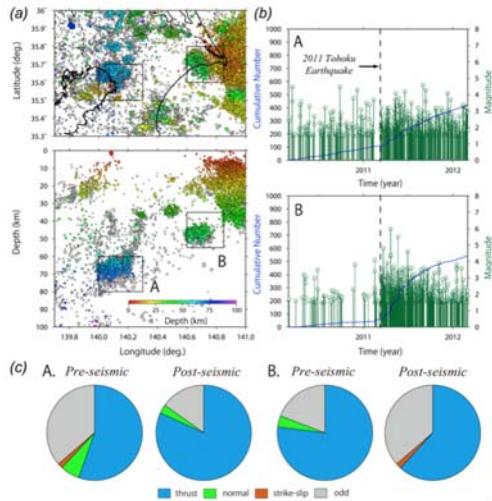


図 2.

(a) 千葉県北部における東北地方太平洋沖地震前（1997年10月1日～2011年3月10日，M 1.5以上），地震後（2011年3月11日～2012年2月28日）の震源分布（気象庁一元化震源による）。（b）千葉県北西部（A），北東部（B）における東北地方太平洋沖地震前後のM-Tダイアグラム（緑）ならびに累積頻度曲線（青）。地震の抽出領域は(a)の矩形内である。縦軸の破線は東北地方太平洋沖地震の発震時。（c）千葉県北西部（A），千葉県北東部（B）における東北地方太平洋沖地震前後のメカニズム解の型の変化。型の分類はFrohlich(1992)に基づく。

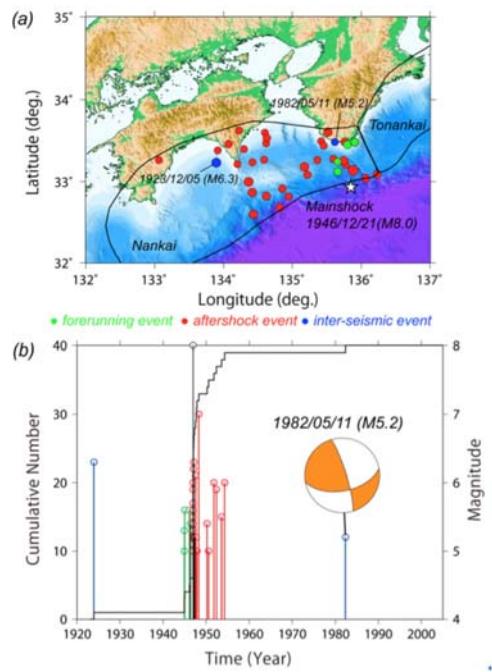


図 3.

(a) 南海地震の想定震源域内において発生した中規模以上（M5以上）の地震の震源分布。星印は1946年南海地震の震源（いずれも気象庁震源による）。緑は南海地震直前の期間に発生した地震（1944年東南海地震の余震の可能性がある），赤は南海地震後10年以内に発生した地震（1944年東南海地震，1946年南海地震の余震と考えられる），青は地震間に発生した地震を表す。黒実線で囲まれた領域は地震調査研究推進本部による南海・東南海地震の想定震源域を表す。（b）南海地震想定震源域において発生したM5以上の地震のM-Tダイアグラムならびに累積頻度曲線と本研究で推定した1982年5月11日の発震機構。

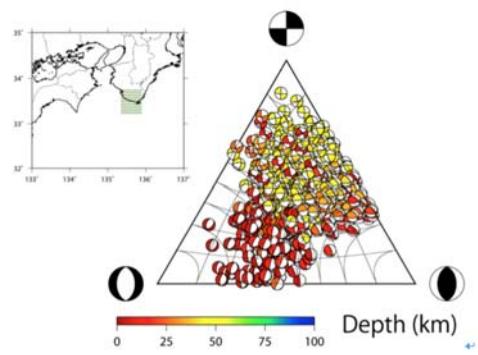


図 4.

震源の不確定性を考慮した 1982 年 5 月 11 日の地震の発震機構の三角ダイアグラム。発震機構解の押し領域の色は仮想的に配置された震源の深さを表す。緯度・経度方向には  $0.05^{\circ}$  刻みで、深さ方向には 0-50 km まで 5 km 刻みで仮想震源を配置した。