

(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で、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) 計画期間中(平成 21 年度～25 年度)の成果の概要：

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ゲーテンベルグ・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高率事象であり、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大地震の予測は困難である。一方、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、比較的周期性をもっ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。そこで地震調査研究推進本部によって長期評価が行われている主要活断層周辺ならびに南海・東南海地震の震源域における地震を対象として、その規模別頻度分布について調査した。

主要活断層帯の周辺において近年に発生した微小地震の活動度と、地形・地質学的に推定されている最大規模の地震の発生頻度を比較した。その結果、ほとんどの主要活断層帯において、最大規模の地震の発生頻度が近年の微小地震活動度から G-R 則を用いて計算される頻度より大きいことが明らかとなった (Ishibe et al., 2012, BSSA)。つまり、近年の微小地震活動からそのまま G-R 則を用いて外挿する手法は、その活断層で発生する大地震の発生確率を過小評価する可能性がある。G-R 則からの乖離度は、平均変位速度が大きい断層あるいは平均再来間隔が短い断層ほど、大きくなる傾向にあり、このことは活断層が活動累積によって成熟、発達していく過程で、その地震発生様式が変化する可能性を示唆する。

また別の事例として、南海・東南海地震の震源域における地震活動を調査した。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) 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わかった (図 1)。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に基づき HASH (Hardebeck and Shearer, 2002) により推定すると横ずれ型であることがわかった。震源の不確定性を考慮してもフィリピン海プレート上で発生する低角逆断層型とは異なり、プレート境界深度付近に震源を仮定すると横ずれ型になる。1923 年 12 月 5 日の地震に対する記録はほぼ残されておらず、そのため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では、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。

大地震と地震活動変化の関連性として、2011 年東北地方太平洋沖地震による関東地方、ならびに主要活断層帯周辺における地震活動変化と東北沖地震による静的クーロン応力変化 (CFF) の関連性を調査した。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 CFF を計算すると大きな誤差を生じる恐れがある．そこで本震前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 CFF を計算した．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 CFF で説明が可能であるが、動的 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わかった（石辺・他、2011、予知連会報）．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、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．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伊豆や箱根、丹沢領域を含む静岡県東部から神奈川県西部であった．一方、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．これらの領域において地震活動は、本震後に顕著に活発化し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．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．

また東北沖地震前後における主要活動断層帯周辺の地震活動度変化の調査およびそれらの領域における微小地震の活動度と地形・地質学的に推定されている最大規模の地震の発生頻度の調査を実施した（石辺・他、2012、予知連会報）．東北地方や中部日本に分布する主要活断層帯の周辺、特に、境峠・神谷断層帯主部、北伊豆断層帯、真昼山地東縁断層帯、長町 利府線断層帯、横手盆地東縁断層帯北部、牛伏寺断層、十日町断層帯西部、六日町断層帯南部、長井盆地西縁断層帯、高田平野東縁断層帯、猪之鼻断層帯の周辺（活断層帯から 5 km 以内）では、本震前に比べて地震発生率が 10 倍以上増加していることがわかった．このうち、境峠・神谷断層帯主部、北伊豆断層帯、牛伏寺断層帯では、断層近傍で明瞭な活発化が認められ、東北地方太平洋沖地震による CFF（地震調査委員会、2011 による）の増加と調和的であった．一方、真昼山地東縁断層帯、横手盆地東縁断層帯北部、猪之鼻断層帯における活発化は、その活断層帯の断層パラメータを仮定した CFF では説明が困難であった．本震後に活発化した領域は、本震前の逆断層型の地震が活発であった領域とは異なり、またそのメカニズムもほとんどが横ずれ型であった．このことは、地殻内の応力分布が空間的に不均質で、もともと横ずれ場であった領域が選択的に活発化したものとして解釈される．大地震後の地震活動変化を適切に予測する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）が必須である．

そこで、国立大学観測網地震カタログ（JUNEC）の P 波初動ならびに HASH（Hardebeck and Shearer, 2002）に修正を加えたプログラムを用いて、1985年7月から1998年12月までに日本で発生した約 14,000 個の地震のメカニズム解を推定し、カタログ化した（Ishibe et al., 2014, BSSA；図 2）．東京大学地震研究所・地震予知情報センター（現在は、地震火山情報センター）は、1985年7月から1998年12月まで、国立大学により運営されてきた地震予知観測情報ネットワークで得られた検測データを統合処理し、JUNEC を公開してきた．その地震数は約 190,000 個である．JUNEC メカニズム解カタログは多数のマグニチュード 2 以上の微小地震を含んでおり、様々な解析への活用が期待される．ただし、推定されたメカニズム解の分布は時間・空間的に不均質であり、観測点分布とそれぞれの観測点における初動報告率（初動報告数/検測数）を顕著に反映することに注意を要する．他機関によって同一の地震に対して決定されたメカニズム解（防災科学技術研究所で決定されたモーメントテンソル解や関東・東海地震観測網による初動解、気象庁による初動解）と大局的には調和的であることも確認したが、顕著に異なる地震も若干見られた．

- (8) 平成 25 年度の成果に関連の深いもので、平成 25 年度に公表された主な成果物（論文・報告書等）：
Ishibe, T., H. Tsuruoka, K. Satake, and M. Nakatani, 2014, A Focal Mechanism Solution Catalog of Earthquakes ($M \geq 2.0$) in and around the Japanese Islands for 1985-1998, Bull. Seism. Soc. Am., 104, doi: 10.1785/0120130278 (in press).

(9) 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

(10) 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 :

(11) 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

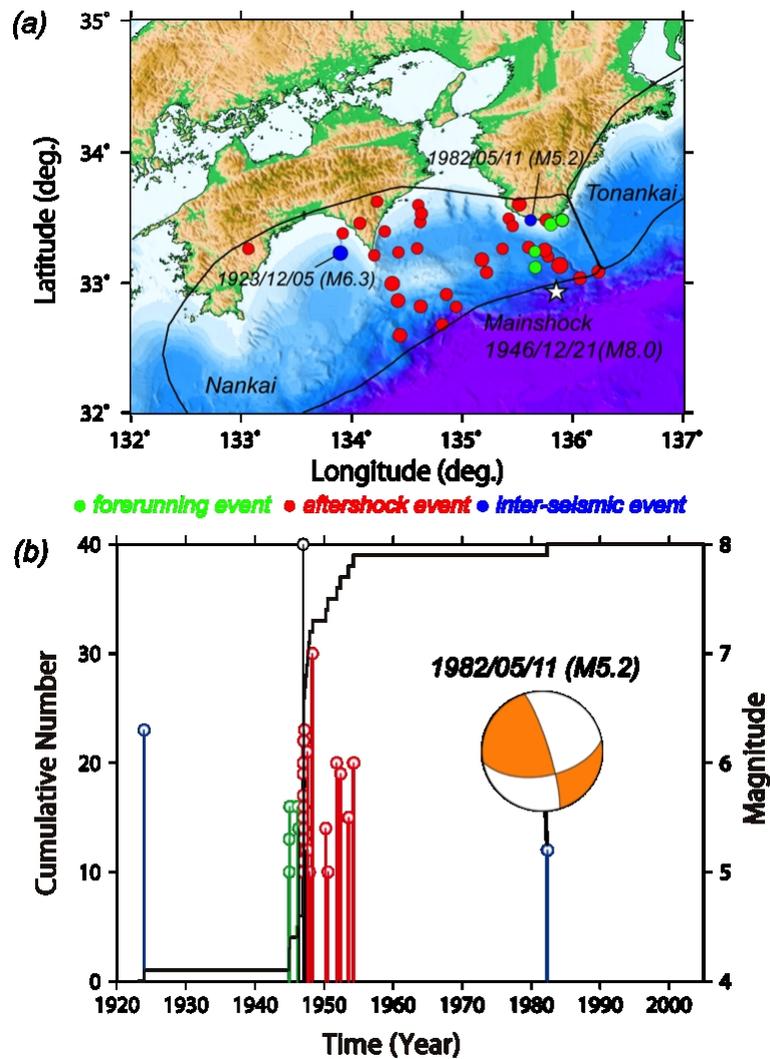


図 1 .

(a) 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り) , 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内において発生した 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 .

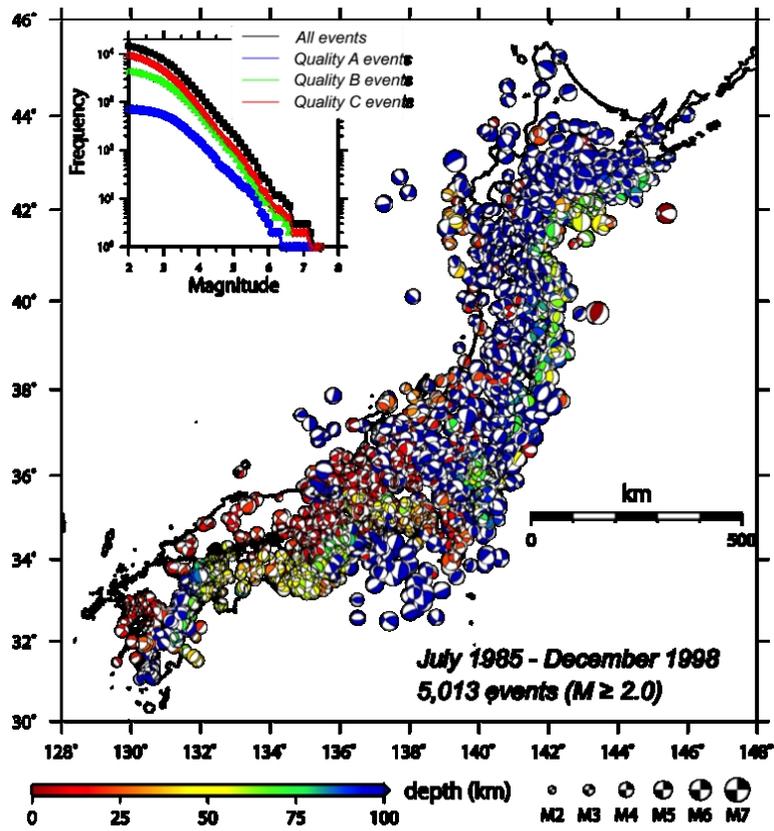


図 2 .

JUNEC 初動に基づき推定されたメカニズム解の分布 (クオリティ A または B のものに限る) . 震源球の色は震源の深さを , 大きさはマグニチュードをそれぞれ表す . 左上は決定されたメカニズム解の規模別頻度分布 .