

(1) 実施機関名：

(独) 防災科学技術研究所

(2) 研究課題(または観測項目)名：

プレート境界すべり及び内陸地震活動評価に関する研究

(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

(2) 地震・火山噴火に至る準備過程

(2-1) 地震準備過程

イ．非地震性滑りの時空間変化とアスペリティの相互作用

(4) その他関連する建議の項目：

1. 地震・火山現象予測のための観測研究の推進

(1) 地震・火山現象のモニタリングシステムの高度化

ア．日本列島域

イ．地震発生・火山噴火の可能性の高い地域

ウ．東海・東南海・南海地域

2. 地震・火山現象解明のための観測研究の推進

(2) 地震・火山噴火に至る準備過程

(2-1) 地震準備過程

ア．アスペリティの実体

ウ．ひずみ集中帯の成因と内陸地震発生の準備過程

(5) 本課題の 5 か年の到達目標：

プレート境界の巨大地震発生領域の周囲では、過渡的・準静的滑りを反映する現象が相次いで発見されている。西南日本のフィリピン海プレート沈み込み境界の固着域深部では、数か月ごとに短期的スロースリップイベント、深部超低周波地震及び深部低周波微動が同期して発生し、活動期には移動現象を伴うほか、時には隣接するセグメントに連動することがある。南海トラフ近傍の付加体内及び襟裳海山付近のプレート境界では浅部超低周波地震が発生し、後者については 2003 年十勝沖地震による余効滑りとの関連が指摘されている。また、相似地震活動は発生域周辺のプレート間準静的滑りを反映するだけでなく、その周囲の比較的大きな地震の発生前後で滑り速度が変化するなどの地震発生準備過程を反映する場合もある。以上のように、これらの現象はプレート間の結合状態や摩擦特性の空間的違いを反映したプレート間滑りであり、これらの発生源とプレート境界の幾何学的形状との位置関係、地下不均質構造や流体等との関係を明らかにして、これらの現象の発生メカニズムや構成則を解明することを到達目標とする。また、内陸においては特定の震源断層に応力が集中する過程を明らかにするため、活断層の幾何形状を反映する震源分布等の高精度震源決定、及び断層周辺の詳細な

地震学的及び電磁気学的構造や応力分布を明らかにし、地殻変動観測とあわせて弾性変形と非弾性変形を分離するなど、応力蓄積の状況を把握することを目標とする。

(6) 本課題の 5 か年計画の概要 :

(6 - 1) プレート境界深部滑り現象の解明

短期的スローリップイベント、深部超低周波地震及び深部低周波微動の発生状況モニタリング結果に基づいて、断層モデルやメカニズム解、震源分布を明らかにするとともに、それらの解析手法の改良・開発に基づいて、より高精度の震源パラメータを得、外的擾乱によるトリガー作用などを考慮して、これらの現象の相互作用及び発生メカニズムを明らかにする。さらに、自然地震解析や人工震源探査によって得られるプレート形状、境界面とその周辺の不均質地下構造、または電磁気学的調査等による流体分布等に基づき、空間的相互関係を明らかにする。

(6 - 2) 浅部超低周波地震の解明

浅部超低周波地震のモニタリング結果に基づいて震源分布及び発震機構解を明らかにし、プレート形状や周辺の地下不均質構造、及び相似地震解析や地殻変動解析に基づくプレート間滑りモニタリング結果と合わせて、超低周波地震の発生モデルを構築する。

(6 - 3) 相似地震構成則の解明

日本列島全域における相似地震活動モニタリング結果に基づき、プレート間準静的滑りの分布を明らかにするとともに、プレート内で発生する相似地震活動状況を明らかにする。特に、太平洋プレート及びフィリピン海プレートの上面境界に発生する相似地震活動について着目し、プレート形状や進行方向などを考慮して、地域や深さごとに相似地震の構成則を構築する。

(6 - 4) 内陸地震活動の解明と活断層評価

内陸活断層周辺で発生する地震の高精度震源・発震機構決定、応力テンソルインバージョンなどに基づき、自然・人工地震探査や電磁気学的調査等による地下不均質構造に関する情報と合わせて、既知の活断層や伏在する活断層の深部構造などの幾何的特徴の抽出や断層内外の構造を明らかにするとともに、地殻変動観測とあわせて弾性変形と非弾性変形を分離するなど、応力蓄積の状況を把握する。

(7) 計画期間中(平成 21 年度~25 年度)の成果の概要 :

プレート境界深部滑り現象の解明

エンベロープ形状の相関に基づく観測点間の波群到達時刻差の評価に加えて振幅の空間分布を考慮したハイブリッド法 (Maeda and Obara, 2009) , および 1 時間毎の重心位置を抽出するクラスタリング処理によるカタログ再構築 (Obara et al., 2009) によって、深部低周波微動の分布パターンが明瞭になった。この高精度なカタログによって微動活動が伝播するフロントを追っていくと、活動の分布とはほぼ無関係に同心円状に広がっていることが分かった。これは微動活動を規定する何らかの現象の発生を示唆しており、短期的スローリップイベント (SSE) が、微動活動の無い場所でも一定速度で広がっていくことで、微動活動を引き起こしている可能性が考えられる。

2011 年 12 月から 2012 年 1 月に豊後水道から四国中部で発生した短期的 SSE については、詳細な滑り過程を調べるとともに、深部低周波微動および超低周波地震活動との比較を行った。その結果、滑りの増加に伴って微動や超低周波地震活動が活発化する領域がある一方で、微動活動は活発化するが短期的 SSE の滑りが小さく、超低周波地震も発生していない領域があることが明らかとなった。このようにスロー地震の発生様式にプレートの走向方向に沿った不均質性があることが分かった。

2003 年と 2010 年に豊後水道では発生した長期的 SSE については、この SSE の期間に SSE 領域と重なる場所での微動と、それから 100 km 以上南に離れた足摺岬沖で発生する浅部超低周波地震とが、同時に活動していることが明らかになった。

房総半島沖では SSE が 2011 年 10 月から 11 月にかけて発生した。前回の発生からの時間間隔は 50 か月であり、過去約 30 年間で最短であった。一方、最長の時間間隔は 1990 年の SSE までの 91 ヶ月であった。期間内に前者は平成 23 年 (2011 年) 東北地方太平洋沖地震 (M9.0) が、後者は 1987 年千葉

県東方沖の地震 (M6.7) がそれぞれ発生した。これらの地震による応力変化を調べたところ、それぞれ約 0.1MPa の増加および約 0.2MPa の減少と推定され、これらの応力変化が SSE の発生時間間隔に影響を及ぼした可能性があることが分かった。

浅部超低周波地震の解明

十勝沖で発生する浅部超低周波地震については、防災科研 F-net の記録によるセントロイド・モーメントテンソル解析が行われた。得られた解から、この地域の浅部超低周波地震は千島海溝 - 日本海溝会合部付近の海陸プレート境界近傍で発生し、低角逆断層型の発震機構解を持つことが分かった。すなわち、プレート境界型の地震である可能性が高い。また、波形相関解析による震央位置推定の結果、浅部超低周波地震が活発な状態が継続する一連の活動期間中に、発生位置の移動、いわゆるマイグレーションが見られることがわかった。さらに、東北大学の記録によって、F-net 整備以前の 1994 年に遡ってこの地域の超低周波地震活動を調べたところ、平成 15 年 (2003 年) 十勝沖地震を境にマイグレーションの方向が変化したことが分かった。

2010 年 1 月から 3 月には、日向灘から足摺岬沖で浅部超低周波地震活動が発生した。この活動についてもマイグレーションが見られることが明らかとなり、浅部超低周波地震発生を支配する SSE の存在を示唆する。

東北地方太平洋沖においても超低周波地震が発生していることも、F-net 記録による波形相関解析から明らかにした。超低周波地震のクラスターは、岩手県沖、宮城県沖、および福島県・茨城県沖の 3 つの領域でみられる。これらのうち、岩手県沖および福島県・茨城県沖の活動は平成 23 年 (2011 年) 東北地方太平洋沖地震後に活発化したのに対して、宮城県沖については地震後には活動が検出されていない。これは、大地震の滑りによる応力集中や開放、あるいは余効滑りの影響を反映していると考えられる。

平成 25 年度においては、広帯域地震計に加えて、Hi-net に併設された高感度加速度計の記録も用いた波形相関解析を福島県・茨城県沖の領域について行った。その結果、F-net 記録のみの結果に比べて、南北方向の震央位置のばらつきが 50km 程度と約半分となり、精度良く震央位置の推定が可能となった。この結果、上述の活動域は 3 つのクラスターから構成されていることが明らかになり、通常の地震と発生位置が棲み分けられている傾向も確認された。

また、平成 25 年度には、南西諸島海溝に沿った浅部超低周波地震活動についても調査した。その結果、浅部超低周波地震が繰り返し発生する活動域が、奄美大島や沖縄本島の沖などに見いだされた。特に奄美大島沖については、2009 年 10 月 30 日に発生した奄美大島北東沖の地震 (M6.8) の後に海溝側で超低周波地震活動が活発化する様子が捉えられた。これは、M6.8 のプレート間地震後に発生したゆっくりとした滑りの進展によって励起された活動と考えられる。

相似地震構成則の解明

房総半島域の深部反射法構造探査の結果と相似地震を、相対比較を積み重ねて詳細に比較したところ、相似地震はフィリピン海プレート最上部に分布する火山性砕屑物・火山岩層 (VCR 層) の下面に沿って分布することが明らかになった。これは、現在の活動的なプレート境界が VCR 層の下面に位置することを示しており、深部底付け作用に相当する。

平成 23 年 (2011 年) 東北地方太平洋沖地震の発生後の相似地震活動を関東地方において調べた。検出された相似地震について、相似地震グループ毎に活動の時間変化を調べたところ、ほぼすべてのグループにおいて地震前後で繰り返し間隔が短くなったことが明らかとなった。これは、東北地方太平洋沖地震によって太平洋プレートと陸側のプレートとの相対運動が関東地方下の広い範囲で加速したこと、また、フィリピン海プレート上面でもプレートとの相対運動が加速したことを示す。

内陸地震活動の解明と活断層評価

濃尾断層帯において微小地震観測と反射法構造探査を実施した。詳細な震源決定の結果、1891 年濃尾地震の震源域南部において西傾斜の震源分布が検出された。これらの多くは東西圧縮の逆断層型の地震であることが分かった。この活動は濃尾地震時の逆断層滑りに伴う余震活動を見ている可能性がある。反射法は根尾谷断層を横切る北測線と、1891 年濃尾地震の震源域南部を横切る南測線の 2 測線

で実施した。北測線については、深さ 8 から 11 km の反射面が根尾谷断層付近で不連続となっている様子が確認できた。また、南測線についても震源分布に対応する反射面が不明瞭ながら確認できた。

ひずみ集中帯に位置する新潟県およびその周辺域においては、多数のオフライン臨時観測点の記録によるトモグラフィー解析を行った。その結果、平成 16 年（2004 年）新潟県中越地震と平成 19 年（2007 年）新潟県中越沖地震の 2 地震の震源域間には厚い堆積層からなる低速度帯が分布し、その中心部に基盤構造が低下している領域（DCT）があることが既往研究によって指摘されている。本研究によって DCT が北東 - 南西方向に広く分布すること、その幅には地域性があることなどが分かった。この地域では、日本海拡大期のリフト構造の発達に伴って形成された古い断層の再活動によって地震が発生していると考えられており、リフト構造と密接な関係がある DCT の詳細な形状は、この地域の断層セグメントを考える上で重要な手がかりとなりうる。

2011 年 3 月 12 日に発生した長野県・新潟県県境付近の地震の震源域における詳細な震源分布と三次元速度構造を調べた。その結果、余震域は異なる傾斜方向の 2 面からなることが分かった。これらうち、本震は北東側ブロック内の南東傾斜の断層面で、最大余震は南西側ブロック内の北西傾斜の断層面で発生したものとみられる。また、速度構造解析の結果、本震震源直下に流体の存在を示唆する高い V_p/V_s かつ低 V_s の領域が分布することも分かった。東北地方太平洋沖地震後に各地の火山で地震活動が活発化し、地下の流体の存在と表面波の通過による動的応力変化がそれらの活動を励起した可能性が指摘されており、長野県・新潟県県境付近の地震も似たメカニズムによって励起された可能性がある。

平成 25 年度においては、地殻微細構造と内陸地震発生との関係を大量のデータから系統的に調べることを目的として、ダブル・ディファレンス法を防災科研高感度地震観測網 Hi-net の記録に適用する「日本全国高分解能再決定震源カタログ作成プロジェクト (JUICE)」を立ち上げた。本年度は関東・東海地域における高精度の震源カタログの作成を完了した。得られた詳細な震源とメカニズム解の分布からは、埼玉県北部に浅発地震のメカニズム解が急変する境界が見いだされ、これが地質構造の境界と空間的に対応することが分かった。この結果は、地質構造の境界が地殻応力場にも影響を及ぼしている可能性を示唆する。

また、上述の震源カタログによる地震発生層の下限の評価を試みた。ここでは、発生した地震発生数を浅い方から数えて 95 % を含む深さ、いわゆる D95 をいう指標を用いた。関東地方における主要活断層帯である関東平野北西縁断層帯と立川断層帯について解析を行った結果、関東平野北西縁断層帯では、北西から南東にかけて下限が 15 km から 20 km まで変化しており、立川断層帯では北西から南東にかけて下限が 18 km から 20 km まで変化していることが分かった。このように新カタログから活断層評価に資する情報を提供できることが示された。

(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）：
該当なし

(9) 実施機関の参加者氏名または部署等名：

独立行政法人防災科学技術研究所 観測・予測研究領域地震・火山防災研究ユニット
他機関との共同研究の有無：有
東京大学地震研究所

(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：防災科学技術研究所 アウトリーチ・国際研究推進センター
電話：029-851-1611
e-mail：toiawase@bosai.go.jp
URL：http://www.bosai.go.jp/index.html

(11) この研究課題 (または観測項目) の連絡担当者

氏名 : 浅野陽一

所属 : 観測・予測研究領域地震・火山防災研究ユニット