

## 1. プロジェクトの概要

### 1. プロジェクトの概要

#### 1. 1. 東南海・南海地震に関する調査研究

「新世紀重点研究創生プラン～RR2002～」の防災分野におけるプログラムの一つとして、文部科学省が平成 15 年度から開始する、「東南海・南海地震に関する調査研究 ―予測精度向上のための観測研究―」を、国立大学法人東京大学地震研究所、国立大学法人九州大学並びに独立行政法人海洋研究開発機構の 3 機関が体制を構築し研究を実施する。

#### (1) 研究内容

「東南海・南海地震を対象とした調査観測の強化に関する計画（第一次報告）」（平成 15 年 6 月、地震調査研究推進本部政策委員会調査観測計画部会）に基づき、地震（津波）発生可能性の長期評価、強震動（揺れ）や津波の予測を高精度で行うことを目的として、プレートの形状・動きや強震動・津波発生領域を詳細に推定するため、気象庁等関係機関と連携して以下の観測研究を行う。

#### (a) 東南海・南海地震の想定震源域におけるプレート形状等を把握するための地殻構造調査研究

想定震源域の境界領域、想定されるアスペリティ及びその周辺域を対象として、既存の調査測線を考慮し、海陸を統合した広角反射・屈折法調査を実施し、プレートの巨視的な形状などの大構造や想定震源域と陸域間の地震波速度構造を明らかにする。

また、想定震源域の面的な情報が得られるよう稠密な反射法調査を実施し、分岐断層の分布とその形状、海山などの浅部のプレート境界の形状や地震波の反射強度分布を把握する。

#### (b) 東南海・南海地震の想定震源域および周辺におけるより正確な地震活動を把握するための海底地震観測研究

想定震源域の境界領域、想定されるアスペリティ及びその周辺域、地震活動度が相対的に高い領域などの注目すべき領域について、自己浮上式海底地震計により、ある程度長期の観測（20 km 間隔で数年程度）を実施し、より正確な地震活動の把握、詳細なプレート境界の形状の把握や地殻構造と地震活動との対比などを行う。

(b) 1) より正確な地震活動を把握するための海底地震観測研究

(b) 2) 想定震源域および周辺における地殻構造と地震活動の対比等に関する研究

## 1. プロジェクトの概要

### (2) 研究体制

国立大学法人東京大学地震研究所、国立大学法人九州大学並びに独立行政法人海洋研究開発機構の3機関で体制を構築し、関係する研究機関(者)の参加・協力を得て研究を実施する。研究代表機関は、国立大学法人東京大学地震研究所とする。

研究を効果的に推進するため、上記3機関に加え関係する研究機関(者)等により構成する「東南海・南海地震等海溝型地震調査研究運営委員会(事務局は国立大学法人東京大学地震研究所)」を設置する。また、研究成果を東南海・南海地震の長期評価、強震動評価等の予測精度向上に効果的に繋げるため、研究の実施に際し地震調査研究推進本部との連携を十分に図る。

#### (a) 東南海・南海地震の想定震源域におけるプレート形状等を把握するための地殻構造調査研究

独立行政法人海洋研究開発機構が担当する。加えて、必要に応じ関係する研究機関(者)の参加・協力を得る。

#### (b) 東南海・南海地震の想定震源域および周辺におけるより正確な地震活動を把握するための海底地震観測研究

国立大学法人東京大学地震研究所が担当する。また、平成17年度より国立大学法人九州大学がサブ課題を新規に担当する。加えて、必要に応じ関係する研究機関(者)の参加・協力を得る。

##### (b)1) より正確な地震活動を把握するための海底地震観測研究

国立大学法人東京大学地震研究所が担当する。

##### (b)2) 想定震源域および周辺における地殻構造と地震活動の対比等に関する研究

国立大学法人九州大学が担当する。

## 1. プロジェクトの概要

### (3) 平成 19 年度までの成果の概要

#### (a) 東南海・南海地震の想定震源域におけるプレート形状等を把握するための地殻構造調査研究

平成 15 年度に紀伊半島沖において独立行政法人海洋研究開発機構海洋調査船「かいよう」と OBS100 台を用いて実施した広角反射・屈折法調査では、フィリピン海プレートの沈み込み前後のプレート形状の変化と想定震源域の境界を規定する構造要因を抽出するため南海トラフ軸に平行な 3 測線で地殻構造データを取得した。その結果、境界付近で沈み込んだ海洋性地殻の厚さが 5km から 8km 以上に急変していること、その直下の最上部マントルの速度が異常に低速度であること、1946 年南海道地震震源近傍では海洋性地殻が激しく変形・破壊していること、が分かった。

また、平成 15 年度末から 16 年度初めにかけて実施した 30 台による機動的地震観測は、1946 年南海地震の際に滑り量が少ないあるいはほとんど無かったとされる高知沖の地震活動の詳細を明らかにした。足摺岬沖の DSR (Deep Strong Reflector) 周辺と室戸岬沖では比較的活発な地震活動の存在が確認された一方、四国沖中央部では地震活動があまり活発でないことが分かった。

平成 16 年度は、東南海地震と南海地震の想定震源域の境界領域である紀伊半島沖において広角反射・屈折法による海陸統合構造調査を実施した。このデータからプレート境界面の巨視的な形状などの大構造の把握や、想定震源域と陸域の間の地震波速度構造の把握を目指した解析を行った。平成 15 年度に四国高知沖南海トラフに設置した短期型自己浮上式海底地震計の回収及び解析を行い、四国沖の南海地震想定震源域における高精度の微小地震分布を求めた。得られた震源分布は、地殻構造の変化を反映してプレート間の相互作用が空間的に変化しており、それによって地震活動の違いが現れていることを示唆している。また、昭和東南海地震の際のアスペリティがあると考えられている紀伊半島沖東部海域において短期型自己浮上式海底地震計による機動的地震観測を開始した。

平成 17 年度は、平成 16 年度に実施した広角反射・屈折法調査データの解析から、南海・東南海地震破壊域境界周辺では沈み込む海洋性地殻内部、および海洋性のモホ面よりさらに下方の最上部マントル内に反射面が存在することが明らかになった。また、デコルマ面の明瞭に見えている部分の上位層、および分岐断層の直上に分岐断層に沿うように、速度勾配の小さいゾーンが存在することがわかった。付加体内部の変形あるいは分岐断層周辺の何らかの物質・物性の違いを反映していると考えられる。志摩半島沖を中心とした紀伊半島沖から東海沖にかけての南海トラフでの機動的地震観測から 1944 年東南海地震の破壊域東縁では、沈み込む海山の周囲でクラスター状の地震活動が発生しており、海山の沈み込みによってプレート間固着度の空間的不均質が生じている可能性が示された。広域 2 次元反射法調査では、地震性横ずれ断層のイメージングに成功したほか、稠密反射法調査では、沈み込むフィリピン海プレートの海洋性地殻や堆積層の 3 次元イメージングに成功した。

平成 18 年度は、1944 年に発生した東南海地震の破壊域を規定する構造要因を明らかにするための広角反射・屈折法調査を実施し、初動走時トモグラフィにより、沈み込み方向の暫定的構造を得た。沈み込む海洋性プレート上面の形状がフラットではない可能性が考

## 1. プロジェクトの概要

えられる。志摩半島沖を中心とした紀伊半島沖から東海沖にかけての南海トラフにおける機動的地震観測の結果、1944年東南海地震の破壊域東縁にある海山から東側では、沈み込む海嶺の影響が顕著であるのに対し、西側ではその影響はあまり見られないことが分かった。沈み込む海底地形の違いにより東西でプレート間固着の空間的不均質が生じていると考えられ、この事が、1944年東南海地震の際の破壊の伝播に影響を及ぼした可能性が考えられる。また、平成17年度実施の高分解能2次元反射法データの詳細解析から、地震性横ずれ断層の高精度イメージングに成功した。その断層付近ではP波速度が顕著に低下しており、地層の断層活動と物性変化が密接に関連することが強く示唆される。さらに、平成17年度実施の稠密反射法調査（擬似3次元反射法調査）データの解析から、南海トラフで沈み込んでいるプレート境界の形状や堆積層の高精度3次元イメージングに成功し、3次元P波速度構造が明らかになった。

平成19年度に1944年東南海地震の震源域において海底地震計とエアガンレイを用いた広角反射・屈折法構造調査を実施した。これらの調査データを過去に海洋研究開発機構が実施してきた調査結果とあわせて解析、解釈することにより、東南海地震の破壊域全体でのプレート境界域の巨視的な構造が把握し、不均質な滑り量分布を規定する構造要因の抽出を目指した。その結果、構造解析の結果、志摩半島沖ではプレート境界面が盛り上がっていること、西部に比べて東部では海洋性プレートの起伏が大きいことなど、震源域全体におけるプレート境界域の巨視的な特徴を明らかにすることができた。東南海地震の滑り量分布と比較すると、滑り量が比較的小さく均質であった西部では海洋性プレートの形状が滑らかである一方で、滑り量分布の不均質性が強かった東部ではプレート境界面形状が起伏に富んでいる。また、志摩半島沖付近でプレート境界面が盛り上がっている場所は、滑り量分布の東西境界となっており、プレート境界面形状が滑り量分布の不均質性に大きな影響を与えているものと考えられる。

(b) 東南海・南海地震の想定震源域および周辺におけるより正確な地震活動を把握するための海底地震観測研究

(b)1) より正確な地震活動を把握するための海底地震観測研究

平成15年度に、長期観測型海底地震計9台を約25km間隔に設置して、陸域における高感度地震観測網（陸域観測網）に接続する形で海底地震観測網を構築し、紀伊半島沖において定点的観測を開始した。紀伊半島沖は東南海地震と南海地震の想定震源域の境界部にあたり、地震活動度の相対的に高い領域である。

平成16年度に、海底地震計を入れ替えると共に、14観測点を新規設置して観測網を東西に拡大し、観測を継続した。また、マグニチュード7.4の2004年紀伊半島南東沖の地震が東南海地震想定震源域のトラフ軸寄り周辺海域で発生したことから、5台の海底地震計による緊急観測を実施した。これらの解析結果から、陸域観測網の南海トラフにおける震源決定能力の限界が明らかとなった。気象庁一元化震源の震央は平均して5kmほどトラフ軸寄りに偏って決定されていること、沖合30km以遠の地震については深さ決定精度が急激に悪くなることが分かった。また、2004年紀伊半島南東沖の地震の余震活動は、陸域観測網から見えていたような深さ40km付近のプレート内部の1群の活動ではなく、深さ10km付近と深さ20km付近に分かれた2群の地震活動であり、プレ

## 1. プロジェクトの概要

ート境界にほぼ平行な面に分布していることが分かった。余震分布からは、発震機構解と整合的な本震断層面を特定するところまでには至っていない。紀伊半島沖の長期観測及び 2004 年紀伊半島南東沖の地震の緊急余震観測から、フィリピン海プレートは地殻と最上部マントルで地震を起こしやすい構造特性を持っていることが分かって来た。プレート境界での地震活動度はきわめて低いことも分かった。

平成 17 年度は、長期観測型海底地震計 23 台の入れ替えを実施して紀伊水道から紀伊半島沖にかけての観測を継続した。これまでに回収した海底地震計の観測期間は平成 15 年 12 月上旬から平成 17 年 7 月までの約 20 ヶ月となった。この期間の地震活動について、気象庁一元化震源リストに基づき海・陸地震データの併合処理による震源決定を行った。さらに、海底地震計の連続記録から気象庁一元化震源リストに含まれないより微小な地震を検出して、多数の震源を決定した。その結果、紀伊半島と南海トラフの間の境界領域および紀伊水道下の南海地震震源域における微小地震活動のイメージングができつつある。南海トラフから紀伊半島の下に沈み込むフィリピン海プレートの形状に沿うように、フィリピン海プレートのマントル内で微小地震が発生している。震源の深さは気象庁一元化震源と比較しておおよそ 20km ほど浅い。また、トラフ軸周辺の地震活動度が高く、今後、トラフ軸周辺での観測も必要であることが分かった。

平成 18 年度は、25 台の長期観測型海底地震計による観測網を新たに展開し、観測域を紀伊半島沖の震源境界域および紀伊水道のトラフ軸近くにまで拡大して観測を継続した。構造の不均質を十分に考慮した震源決定を行い、深さ精度の高い震源を求めた。これらの精度の高い震源位置と周辺の地下構造を対比した結果、プレート境界付近の地震活動度は低く、多くの地震がフィリピン海プレートの地殻とマントルで発生しているという結果を得た。これらの結果は、平成 16 年度の成果である 2004 年紀伊半島南東沖の地震の余震活動が深さ 10 km 付近の地震活動とそれより深い 20 km 付近の地震活動の二群に分かれた活動であったことと、平成 17 年度までに得た本調査研究の結果とも調和的である。南海トラフは、プレート境界付近の地震活動度が低くかつフィリピン海プレート内部で地震が多く発生するという地震発生特性を持っていると考えられる。また、気象庁一元化震源に含まれないより微小な地震は、プレート内部で深さ方向に広く分布して発生していることが新たに明らかとなった。また、このより微小な地震の活動は、東南海地震と南海地震の想定震源域境界域の西側付近を境として、東西で活動パターンが変化していることも明らかとなった。プレート境界のカップリング特性に関係している可能性がある。

平成 19 年度は、長期観測型海底地震計 25 台を入れ替えるとともに海溝軸海側の 2 ヶ所に観測点を新設し、紀伊半島沖の四国海盆北縁まで拡大した観測網で観測を継続した。本年度は「東南海・南海地震に関する調査研究」の最終年度であるため、12 月 3 日までに長期観測型海底地震計 27 台全数を回収した。平成 15 年度に開始した本調査観測の全記録を統合的に解析し、気象庁一元化震源リストに含まれる地震 2305 個について震源再決定を実施した。また海底地震計の連続地震記録から一元化震源リストに記載の無いより微小な地震 20,756 個を抽出して、震源決定を行った。地震活動度が極めて低い東南海・南海地震想定震源域および周辺において、計画 5 年でこれだけ多数の自然地震データを収集できたことは、長期観測型海底地震計を用いた繰り返し地震観測の手法の有

## 1. プロジェクトの概要

効性を明確に示す結果である。また、多数の地震データに基づく地震活動の詳細から、東南海・南海地震想定震源域の境界域における地震活動特性、プレート境界の位置・形状が高い信頼性をもって明らかとなった。東南海地震・南海地震の地震発生予測モデルを構築する際に考慮すべき制約条件を与える成果であり、予測精度向上に資する重要な基礎資料である。

### (b)2) 想定震源域および周辺における地殻構造と地震活動の対比等に関する研究

本課題は平成 17 年度からの新規課題である。

平成 17 年度は、海底長期観測によって高精度に震源の求まった地震について初動の押し引き分布から発震機構解を求めた結果、紀伊水道におけるプレート境界近傍で発生する地震はプレート境界の等深度線に平行な張力軸を持つことが分かった。紀伊水道付近も四国と同様の応力場であると推定される。一方、紀伊水道から紀伊半島の海岸線にかけての地域の地震の発震機構解が複雑で正断層型の地震と逆断層型の地震が隣接して発生することが明らかになり、応力場が急変している可能性が示唆された。また、プレート境界である想定震源域における応力場の空間分布とプレート間の結合状態を推定するための具体的な手法として、応力テンソルインバージョン法の適用可能性をプレート境界（日向灘）の既存データで確認した。

平成 18 年度の解析によって、より多くのデータからこの地域で発生する地震の発震機構解の多様性が確認された。ただし、ある程度の地域性も認められ、紀伊水道のスラブ内の地震は、南北圧縮・東西伸張の横ずれ断層型の発震機構解が卓越することがわかった。また、応力テンソルインバージョン法を適用して応力場解析に着手した。データの数はまだ少ないものの、次のことが明らかになってきた。紀伊水道の地殻内では東西圧縮場になっており、四国の地殻内地震や兵庫県南部地震などの内陸地震の起震応力場と同じである。一方、スラブ内はほぼ東西方向の張力場になっており、上盤側と下盤側で応力場が急変している。スラブ内の張力軸（最小主応力軸）の分布はスラブの等深度線にほぼ平行になっていることが示された。

平成 19 年度は、海底地震観測に参加し海域データの取得を行った。陸域データの集積も行い、海域データとの統合処理と解析をすすめた。想定震源域および周辺の地震観測データの解析により、三次元速度構造を求めた結果、下盤側（沈み込むフィリピン海プレート）の地震活動は相対的に速度が速い場所で活発であることが分かった。当該地域の個々の地震の発震機構解の多様性が明らかになった。これらの地震データに応力テンソルインバージョン法を適用して当該地域の regional な応力場を推定した結果、上盤側（島弧の地殻）と下盤側（沈み込むフィリピン海プレート）で応力場が異なることが明らかになった。また、応力場が深さ方向に連続的に変化して場所があり、これは上盤と下盤のカップリングが強いことを示唆している。上盤側の地殻内においては東西圧縮・南北張力の応力場であり、四国や本州の地殻の応力場と同様であることが分かった。フィリピン海スラブ上面の応力場については、紀伊水道以西における  $\sigma_3$  軸の方向はほぼ水平であり、また、フィリピン海スラブ上面の深さにより、スラブの等深度線と  $\sigma_3$  軸の方向に変化があることが分かった。これは、フィリピン海スラブはスラブブルの状態であるが、上盤側と固着している浅い部分は、上盤側の応力場の影響を受けているこ

## 1. プロジェクトの概要

とが示唆される。東南海地震と南海地震の震源域境界と考えられている潮岬付近では、応力場が急変していることが分かり、少なくともここではプレート境界面にせん断応力が働いている状態であることが明らかになった。これは、当該領域のプレート間の固着が大きいという事実と整合的である。当該領域におけるフリーエア重力異常は主に地形を反映していると考えられ、日向灘のように地形だけでは説明出来ない重力異常は特に存在しない。つまり、物質の密度差による顕著な浮力はほとんど無いことが示唆される。また、東南海地震と南海地震の震源域境界と考えられている潮岬付近では応力場が急変しており、今後は、震源域の範囲（セグメント）を決める要因や2つの震源域の連動性を解明するうえで、この付近の応力場を詳しく知る事が重要である。さらに、より長期間の観測データを取得することにより、来るべき巨大地震発生に向けてどのように応力場が時間的空間的に変化していくのか知る事が、想定地震の準備過程を明らかにするうえで必要である。

### 1. 2. 日本海溝・千島海溝周辺の海溝型地震に関する調査研究

「新世紀重点研究創生プラン～RR2002～」の防災分野におけるプログラムの一つとして、文部科学省が平成16年度から開始する、「日本海溝・千島海溝周辺の海溝型地震に関する調査研究」を、国立大学法人東京大学地震研究所、国立大学法人北海道大学及び国立大学法人東北大学並びに独立行政法人防災科学技術研究所の4機関が体制を構築し研究を実施する。

#### (1) 研究内容

##### (a) 日本海溝・千島海溝周辺におけるより正確な地震活動を把握するための海底地震観測研究

###### (a)1) より正確な地震活動を把握するための海底地震観測研究

日本海溝・千島海溝周辺を対象として、自己浮上式海底地震計により、ある程度長期の観測（20 km間隔で1年程度）を実施し、より正確な地震活動の把握、より詳細なプレート境界の形状の把握や地殻構造と地震活動との対比などを行う。観測点配置等の観測の詳細については、関係機関（者）との調整を図って、円滑かつ効果的に研究を推進する。

###### (a)2) プレート境界及びその周辺域の3次元地殻不均質構造の推定

日本海溝・千島海溝周辺を対象として実施する長期海底地震観測に参加してデータ処理を分担すると共に、プレート間結合特性と比較検討してプレート間結合を規定する要因を探るため、プレート境界及びその周辺域の3次元地殻不均質構造を推定する。また、プレート間結合特性の情報を抽出するため、相似地震解析も合わせて行う。

## 1. プロジェクトの概要

### (a)3) アスペリティ周辺の地震活動の特性に関する研究

日本海溝・千島海溝周辺を対象として実施する長期海底地震観測に参加してデータ処理を分担すると共に、根室半島周辺から房総沖周辺までの太平洋プレート上に想定された震源域でのアスペリティおよびその周辺域を対象として、プレート上面付近およびプレート内部に発生する地震の活動度の時空間分布を ZMAP (Wiemer and Wyss, 1994) 等により把握する。

### (b) 過去の地震活動などの調査

想定震源域及びその境界領域における過去の地震活動の状況を明らかにし、過去に発生していた地震のアスペリティの位置等を把握し、現在の地震活動の状況を正確に把握するために、散逸が懸念される過去（明治時代以降）の地震観測データを体系的に整理し、長期保存可能な状態を実現する手法を開発する。また、観測点情報、データの所在、観測機器の特性などの情報を一元的に得ることができるシステムの開発を目指す。

### (c) 広帯域高ダイナミックレンジ孔井式地震計の開発

海溝型の巨大地震では、その地震動は広帯域かつ大振幅である。また、スロースリップ、プレスリップ、余効変動といった、超長周期の地震波をともなう可能性が高い。これらの現象を高精度観測することができれば、海溝型地震の発生プロセスの解明や、長大構造物に被害をもたらす長周期地震動に関する研究が大きく進展することが期待される。既存の地震計をベースに広帯域・高ダイナミックレンジ化を図りかつ安定運用が可能な新型地震計を開発する。



## 1. プロジェクトの概要

### (2) 研究体制

国立大学法人東京大学地震研究所、国立大学法人北海道大学及び国立大学法人東北大学並びに独立行政法人防災科学技術研究所の4機関で体制を構築し、関係する研究機関(者)の参加・協力を得て研究を実施する。研究代表機関は、国立大学法人東京大学地震研究所とする。

研究を効果的に推進するため、上記4機関に加え関係する研究機関(者)等により構成する「東南海・南海地震等海溝型地震調査研究運営委員会(事務局は国立大学法人東京大学地震研究所)」を設置する。また、研究成果を海溝型地震の長期評価、強震動評価等の予測精度向上に効果的に繋げるため、研究の実施に際し地震調査研究推進本部との連携を十分に図る。

#### (a) 日本海溝・千島海溝周辺におけるより正確な地震活動を把握するための海底地震観測研究

国立大学法人東京大学地震研究所、国立大学法人北海道大学及び国立大学法人東北大学が担当する。加えて、必要に応じ関係する研究機関(者)の参加・協力を得る。

##### (a)1) より正確な地震活動を把握するための海底地震観測研究

国立大学法人東京大学地震研究所が担当する。

##### (a)2) プレート境界及びその周辺域の3次元地殻不均質構造の推定

国立大学法人東北大学が担当する。

##### (a)3) アスペリティ周辺の地震活動の特性に関する研究

国立大学法人北海道大学が担当する。

#### (b) 過去の地震活動などの調査

国立大学法人東北大学が担当する。加えて、必要に応じ関係する研究機関(者)の参加・協力を得る。

#### (c) 広帯域高ダイナミックレンジ孔井式地震計の開発

独立行政法人防災科学技術研究所が担当する。加えて、必要に応じ関係する研究機関(者)の参加・協力を得る。

(3) 平成 19 年度までの成果の概要

(a) 日本海溝・千島海溝周辺におけるより正確な地震活動を把握するための海底地震観測研究

(a)1) より正確な地震活動を把握するための海底地震観測研究

平成 16 年度に、地震調査研究推進本部地震調査委員会による海溝型地震の長期評価を踏まえて、地震発生確率が高い領域から観測を行うという考え方にに基づき、三陸沖北部において長期地震観測を開始した。水深が 1,000 m より深い海底に、陸域の高感度地震観測網の観測点間隔とほぼ同じとなる 20 km から 25 km の間隔で、長期観測型海底地震計を 18 観測点に設置し、観測を平成 17 年度まで継続して実施した。また、海陸データ統合解析のために、観測対象領域および周辺で発生する地震について陸域観測網の地震データの収集を行った。

平成 17 年度は、長期地震観測網を三陸沖北部から根室・釧路沖に移した。三陸沖北部から回収した長期観測型海底地震計 18 台と新規購入の 12 台を使用して 30 観測点による観測を根室・釧路沖で開始し、平成 18 年 9 月頃まで観測を継続した。また、海底地震計直下の速度構造を明らかにするため、三陸沖北部および根室・釧路沖においてエアガン速度構造調査を実施した。三陸沖北部から回収した海底地震計 18 台による約 6 ヶ月間の連続地震記録から、気象庁一元化震源リストに含まれないより微小な地震についても P 波および S 波の到達時刻を読み取ることによって約 3000 個の地震について震源決定を行い 2321 個の高精度震源から、沈み込んでいく海洋プレートの幾何学的形状をイメージングした。

平成 18 年度は、根室・釧路沖から海底地震計 30 台を回収した。新規整備の長期観測型海底地震計 12 台も使用して、三陸沖北部から十勝沖にかけての領域に 42 観測点による長期地震観測網を構築した。根室・釧路沖の解析から、海洋プレートが沈み込んでいく様子がイメージングされるとともに、1973 年根室沖地震の地震すべり領域および根室沖地震想定震源域では、海溝寄りの領域で地震活動度が低いことが明らかとなった。三陸沖北部の地震データの詳細解析から、日本海溝・千島海溝会合部のプレート境界位置は、三陸沖と較べて約 10km 程度浅くなっていることがわかった。このプレート境界面の深さ変化がみられる地点は 1968 年十勝沖地震の北側アスペリティ北縁に位置しており、沈み込む海洋プレートの幾何学的形状が、大地震でのすべり領域を制約する条件の一つである可能性を示していると考えられる。また、多くの地震はプレート境界付近で発生していることがわかったが、アスペリティと考えられる領域ではプレート境界における定常的な地震活動度が低いことも明らかとなった。

平成 19 年度は、三陸沖北部から十勝沖にかけての領域の長期観測型海底地震計 42 台を回収した後に、三陸沖において長期観測型海底地震計 49 台による観測を開始した。三陸沖北部から十勝沖にかけての領域から回収した海底地震計の記録を解析し、地震波速度構造と正確な震源分布を求めた。平成 16 年度から平成 17 年度にかけて実施した三陸沖北部の調査観測は西側の隣接する海域での観測であるため、そのデータを統合しまた結果を参照して本年度の解析をすすめた。また、平成 17 年度から平成 18 年度にかけて実施した根室沖における調査観測についてもより詳細な解析をおこなった。これらの

## 1. プロジェクトの概要

解析結果と 2003 年十勝沖地震余震観測の結果も参照して、根室沖から三陸沖北部にかけてのプレート形状を求めた。その結果、日本海溝・千島海溝にかけてのプレート境界面が空間的に複雑に変化している様子、それが大地震発生域の境界と空間的に対応する傾向があるという特徴が明らかになりつつある。

### (a)2) プレート境界及びその周辺域の 3 次元地殻不均質構造の推定

平成 16 年度には、過去に実施した海底地震観測のデータを用いてプレート境界地震発生領域における 3 次元地震波速度構造を推定する手法について検討し、少なくとも 20km 程度の空間分解能の不均質構造を解像することが可能であることを明らかとした。M7 以上の地震のアスペリティに対応する不均質構造が技術的に検出可能となる。さらに、陸上地震観測網により蓄積されたデータを用いた相似地震の解析により、大地震のアスペリティ周辺における準静的すべりの時空間的な変動を捉えることが可能であることが明らかとなった。

平成 17 年度は、過去に実施した海底地震観測のデータを用いてプレート境界地震発生領域における 3 次元地震波速度構造を推定する手法について検討を加えた結果、これまで M6 以上の地震の発生が知られていない岩手県中部の沖合の領域では、顕著な地震波低速度域がプレート境界直上にあることを見いだした。また、GPS 観測データの解析により、2003 年十勝沖地震後の余効すべり域は深さ約 100km まで及んでいることを示した。こうした深部プレート境界は、地震発生前には固着していることが、同様な GPS データの解析から示され、非地震性すべりが深部プレート境界におけるプレート間のすべり過程に重要な役割を果たしていることが分かった。

平成 18 年度は、三陸沖北部の長期海底地震観測データを、過去に実施した海底地震観測のデータと統合して解析に用いることにより、1968 年十勝沖地震の破壊域とその周辺における 3 次元地震波速度構造を推定することに成功した。その結果、プレート境界の上盤側のマントル・ウエッジ内に顕著な地震波速度の不均質があることが判明し、1968 年の本震破壊時に大きなすべり量を示したアスペリティ域の直上は、その周囲に比べて地震波速度が高速度であることがわかった。さらに、陸上地震観測網により蓄積されたデータを用いた相似地震の解析により、2003 年十勝沖地震の震源域近傍におけるプレート間すべりの大きさの時間・空間的な変化を推定し、そうしたすべりが、その周囲のプレート境界面に及ぼす応力変化を見積もった。その結果、2003 年十勝沖地震が発生した後、東側に拡大した余効すべりが、2004 年の釧路沖地震の発生を促した可能性があることを示した。

平成 19 年度は、根室沖において実施した海底地震観測のデータを用いたトモグラフィ解析により、1973 年根室半島沖や 2003 年十勝沖地震震源域における地震波速度不均質構造を推定した。その結果、北海道南東側で発生するプレート間地震の震源域のほとんどで、プレート境界面の上盤側は千島島弧の地殻であることがわかった。さらに、陸上地震観測データに基づく相似地震解析をすすめ、プレート間における非地震性すべりの加速が起こった場合、その影響により、すべり域内で発生する小繰り返し地震のアスペリティの破壊様式が、通常とは変化することが明らかとなった。

## 1. プロジェクトの概要

### (a)3) アスペリティ周辺の地震活動の特性に関する研究

平成 16 年度には、陸域観測網データから均質地震カタログを作成して、千島海溝と日本海溝との会合部付近での地震活動の時空間分布について、ZMAP 法を適用した。その結果、2003 年十勝沖地震 (M8.0) のアスペリティ周辺で地震活動の静穏化現象が確認され、その静穏化が 1998 年後半から始まっていたことが示唆された。また、この大地震発生直前に実施していた海底地震観測のデータを詳細に解析した結果、2003 年十勝沖地震の余震域内で幾つかの微小クラスター地震群を確認した。しかし本震アスペリティ内ではこの種の地震をまったく確認できなかった。これらの地震現象が大地震直前の普遍的現象であるかどうかは明らかでないが、今後の海溝型地震活動調査にとって極めて重要な結果である。

平成 17 年度は、長期海底地震観測を実施した三陸沖北部及び 2003 年十勝沖地震以後注目されている根室沖を対象として ZMAP 法による地震活動の時空間特性を調べた。地震活動の静穏化した地域とその静穏化の開始時期および空間的拡がり、及びクラスターの地震活動度の高い領域とその空間的拡がりが明らかとなり、アスペリティ周辺の地震活動の特性に関連すると思われる地震活動の時空間分布が見えてきた。

平成 18 年度は、三陸沖北部および根室・釧路沖での想定アスペリティ周辺を対象として、ZMAP 法により地震活動の時空間特性を調べた。ZMAP から地震活動が静穏化していると推定される三陸沖北部の北緯 41.8 度、東経 142.5 度を中心とした海域の周辺で、微小クラスター地震が多く発生していることが確認された。また、根室半島沖では、1973 年根室半島沖地震の震源域周辺でクラスター地震が多く発生していたのが確認された。アスペリティ周辺の地震活動の特性に関連すると思われる地震活動の時空間分布が見えてきた。

平成 19 年度は、東京大学地震研究所、東北大学大学院理学研究科とともに、三陸沖において長期観測型海底地震計による観測網を構築し、海底地震観測を実施した。三陸沖北部から十勝沖にかけての長期海底地震観測データと陸域データとの併合処理を実施した。想定アスペリティ周辺を注目した、ZMAP 等を用いた地震活動の時空間変化を把握した。1968 年十勝沖地震のアスペリティ北縁で Z 値が依然として高いことを確認した。根室沖に展開した長期観測型海底地震計の観測記録から気象庁マグニチュードに対応したマグニチュード算出式を確立した。釧路海底の位置と震源の分布状態が大きく変化する場所とよい対応がみられた。

### (b) 過去の地震活動などの調査

平成 16 年度には、全国大学等の関係者および有識者を構成員とする専門委員会を設置して、すす書き記録紙のデジタル化手法について検討した。従来のマイクロフィルムに撮影する手法では光学系の持つ画像ひずみ、撮影時の光量調整など問題点があることが指摘され、大型スキャナーを用いて原記録紙全体を画像化する手法が現時点での最適解であるとの結論を得た。記録紙の保管・整理が整っている旧水沢緯度観測所の 1902 年から 1920 年までの期間に発生した地震のすす書き記録について必要な記録紙を大型スキャナーによ

## 1. プロジェクトの概要

り画像化した。また、国立大学法人東京大学地震研究所筑波地震観測所の1961年から1966年までの期間に発生した地震のフィルム記録の中から必要な記録をフィルムスキャナーにより画像化した。これらの画像ファイルはDVD-Rに保存した。また、全国の大学等にある明治時代以降のすず書き記録紙、フィルム記録の在庫状況を調査した。

平成17年度は、全国大学等の関係者および有識者を構成員とする専門委員会において、デジタル化したすず書き記録およびフィルム記録のデータベースの仕様について検討した。大型スキャナーを用いて、旧水沢緯度観測所の1911年から1919年までの期間に発生した地震のすず書き記録の中から必要な記録紙を選択して、それらの画像化を実施した。また、フィルムスキャナーを用いて、東京大学地震研究所筑波地震観測所の1967年から1972年までの期間に発生した地震のフィルム記録の中から必要な記録を選択し、それらの画像化を実施した。これらの画像ファイルはDVD-Rに保存した。また、全国の大学等にある明治時代以降のすず書き記録紙、フィルム記録の在庫状況を整理した。

平成18年度は、旧水沢緯度観測所の1920年から1935年までの期間に発生した地震のすず書き記録の中から必要な記録紙を選択して、それらの画像化を実施した。また、フィルムスキャナーを用いて、東京大学地震研究所筑波地震観測所の1973年から1978年までの期間に発生した地震のフィルム記録の中から必要な記録を選択し、それらの画像化を実施した。さらに、国立大学法人京都大学防災研究所阿武山観測所の1929年から1956年までの期間に発生した地震のウィーヘルト型地震計のフィルム記録の中から必要な記録を選択し、それらの画像化を実施した。国立大学法人北海道大学浦河観測所のMES型地震計のフィルム記録の中から、1968年十勝沖地震の本震前後の記録をフィルムスキャナーを用いて画像化した。これらの画像ファイルはDVD-Rに保存した。水沢緯度観測所および東北大学向山観測所のすず書き記録紙を調査して、1930年代に発生した宮城県沖地震の震源分布の再検討を実施した結果、想定宮城県沖地震の震源域周辺には、少なくとも3つのアスペリティが存在している可能性が高いことを明らかにした。1978年宮城県沖地震(M7.4)は、これら3つのアスペリティが同時にすべったことによるものであると考えられる。また、これらのアスペリティのうちのひとつが、2005年宮城県沖地震(M7.2)を引き起こした可能性がある。

平成19年度は、全国の大学等の関係者および有識者を構成員とする専門委員会を設置して、デジタル化したすず書き記録およびフィルム記録のデータベースの仕様について検討した。フィルムスキャナーを用いて、東京大学地震研究所筑波観測所の1979年以降に発生した地震のフィルム記録の中から必要な記録を選択し、それらの画像化を実施した。大型スキャナーを用いて、旧水沢緯度観測所の1936年から1951年までの期間に発生した地震のすず書き記録紙の中から必要な記録紙を選択して、それらの画像化を実施した。京都大学阿武山地震観測所ウィーヘルト地震計の1957年から1963年までの期間に発生した地震のフィルム記録の中から必要な記録紙を選択して、それらの画像化を実施した。北海道大学浦河観測所の1973年室半島沖地震の本震および余震のMES式地震計のフィルム記録の中から必要な記録紙を選択して、それらの画像化を実施した。また、東北大学向山観象所の1914年から1930年までの期間に発生した地震のすず書き記録の中から必要な記録を選択し、それらの画像化を実施した。これらの画像ファイルはDVD-Rに保存した。また、1933年三陸地震(M8.1)の余震の再決定を行い、三陸沖の海溝型地震の発生様式に対する

新しい知見を得た。

### (c) 広帯域高ダイナミックレンジ孔井式地震計の開発

平成 16 年度には、基盤地震観測網で用いられている高感度加速度計及び低感度加速度計（強震計）の広帯域・高ダイナミックレンジ化をはかった。短周期で振り切れを押さえる対策をおこなった結果、高感度加速度計は短周期では地震計の出力が地動速度に比例する（速度平坦の特性をもつ）タイプの地震計が実現できた。強震計についても同じ改良を行った。また、温度変化の激しい地表で発生する長周期ノイズ（直流成分ドリフト）を抑制するため、直流成分を安定化させる回路を組み込んだ。本業務において行ったこれらの改良により、期待される特性を持つことを確認した。

平成 17 年度は、短周期帯域での帰還（制動）を強くし振り切れを押さえたうえで高感度化を行うという高ダイナミックレンジ化方式が、実際に動作する地震計として実装可能であることが確認された。実際の観測に使用するには、観測目的に応じた最適性能を得るために、試験観測を重ねて回路定数を決定する作業が必要になるため、より平坦な計測帯域を広げる改良を試みた。また、水平動強震計に関しては、振動台試験により強震時にも動作することを確認した。

平成 18 年度は、平成 17 年度に試作した地震計を基本として、計測の安定性を向上させるための改良を加えた試作地震計を新たに製作した。具体的な改良点としては、高感度加速度計については製作過程において、初期ひずみを取り去ることを狙って、部材に熱処理を加えた。強震計については、速度帯域の感度を落として短周期帯域での制動を強くする試みを行った。温度の安定した横坑である F-net つくば観測施設（茨城県つくば市）において実施した長期観測で、STS 地震計と一致した地震記録を得ることができたことは、短周期帯域での帰還（制動）を強くし振り切れを押さえたうえで高感度化を行うという、本業務で採用した高ダイナミックレンジ化方式の有効性を示すものである。実際の観測に使用するには、観測目的に応じた最適性能を得るために、試験観測を重ねて回路定数を決定する作業が必要になる。

平成 19 年度は、試験観測の結果、平成 18 年度に試作した広帯域地震計が、前年度までに試作したものに比べ DC の安定性に特に優れていることが明らかになったため、最終試作機として、平成 18 年度に製作したモデルを基本としたものを製作した。この試作機には、一時的に電子回路の時定数を短いものに切り替え（100 秒→5 秒程度）、設置調整にかかる時間を短縮するためのフィードバック回路切り替え機能が新たに組み込まれている。また、試験観測の結果、2007 年 3 月能登半島地震（深さ 50km、M7.1）、2007 年 7 月中越沖地震（深さ 10km、M6.6）の地震記録を取得した。これらの記録は数ヶ月の稼働状態の間に収録された記録であり、本試作機が長期安定稼働していることを示す。これらの記録や地動雑音の記録からは、時間領域で見える限りにおいて、試作広帯域地震計と既存の広帯域地震計と遜色がないことが確認された。