

#### 4. 全体成果概要

本プロジェクトでは、2011年東北地方太平洋沖地震の発生を受け、千島海溝から日本海溝沿い（根室沖から房総沖まで）の海域において、地震・津波の調査観測を行い、本海域で今後発生する地震・津波の規模や発生確率等の評価の高度化に資することを目的としている。そのために、本プロジェクトでは、4つのサブテーマ①海底自然地震観測等、②地殻構造調査等、③海底堆積物調査等、④海底地形調査等を設定し、調査観測を実施する。平成24年度は、本プロジェクトの2年度目にあたり、それぞれのサブテーマの連携をはかりつつ、かつ、これまでに行われた研究成果を受ける形で、研究を実施した。以下に各サブテーマの研究成果の概要を示す。

##### ① 海底自然地震観測等

2011年東北地方太平洋沖地震では、海底地震観測によるデータと陸上観測網のデータとあわせて解析することにより余震分布を高精度で決定し、震源断層の位置、形状を明らかにする必要から、地震発生直後から、自己浮上式海底地震計を用いた緊急余震観測が実施された。その結果、宮城県沖のプレート境界で余震活動が低いこと、陸側プレート内の余震活動が活発なこと、発震機構が本震後に変化したこと、茨城県沖の太平洋プレートとフィリピン海プレートが接触している領域で、本震の破壊が停止したことなどが明らかになった。東北地方太平洋沖地震はその規模の大きさ（ $M=9.0$ ）から、震源域はもとより、その周辺に大きな影響を及ぼしている。そのため地震発生後に、長期観測型自己浮上式海底地震計による地震観測を行い、地震発生後の正確な地震活動を明らかにすることは重要である。さらに、巨大地震と低周波イベント等の関連性を調べ、その結果を現在南海トラフで観測されている低周波イベントと比較することにより、巨大地震と低周波イベント等の関連性の検討を行うためには、広帯域地震計を用いた海底観測を行う必要がある。本年度は、平成24年4月に茨城・房総半島沖に設置した海底地震計40台を用いた地震観測を継続し、平成24年11月に用船により全観測点を回収して観測を終了した。回収した海底長期観測データの処理を行い、茨城から房総半島沖の領域における地震活動の正確な把握に努めた。また、平成24年度計画の観測として、平成23年度計画で海底地震観測を実施した海域に隣接する福島沖の海域で32台の長期観測型海底地震計と8台の広帯域地震計を用いた地震観測を平成24年11月に開始した。8台の広帯域地震計のうち4台には高精度水圧計を搭載した。

今回の地震の震源域のさらに南方沖では、地震発生の確率が増している可能性が指摘されている。東北地方太平洋沖地震が震源域南側隣接海域である房総沖海底下にどのような影響を及ぼし地震活動がどのように推移しているかを知ることは今後の地震・津波予測の高度化のために重要である。房総沖海域に短周期長期型海底地震計15台を追加設置し、全29台による海底地震観測を実施した。また、宮城沖の海溝外側を中心とした海域に新たに開発した超深海型を含む短周期短期型海底地震計46台を設置し、約3ヶ月の地震観測を実施したのちに回収した。平成24年12月7日に発生した宮城県沖地震（ $M7.3$ ）の予察的な余震分布を求めた。

宮城県沖では、東北地方太平洋沖地震の発生前後でプレート境界近傍における中小地震活動の活動度が大きく変化していることが知られている。この付近での地震時すべりが非常に大きかったことを考えると、この現象の理解は超巨大地震の発生過程を理解する上で重要な手がかりを与えるものと期待される。気象庁地震火山部及び仙台管区気象台の協力を得て、気象庁観測船「凌風丸」の観測航海（5月、6月、10月）により、宮城県沖の20地点においてOBS設置を行なった。うち15地点は先行調査観測による観測点を継承したものである。残りの5地点は、東北地方太平洋沖地震で日本海溝側で大きなすべりがあったことを踏まえて、既存観測網より海溝側とした。同じ航海でOBPの設置も行なった。先行調査観測での10観測点に加えて、その海溝側及び南北側の10観測点を増設することで、OBP観測網を拡大した。

## ② 地殻構造調査等

東北地方太平洋沖地震の広大な震源域のほぼ中央付近に位置する相馬沖の海域は、近代になって地震計による観測が始まって以来、M7を超えるような大地震が発生したことがないこともあって、これまで大規模な地震探査が実施されてこなかった調査の空白域である。そこで、太平洋プレートの沈み込みの様相など地下構造の大局的な特徴を把握することを目指し、平成24年12月から平成25年1月にかけて東西方向の調査測線において屈折法及び反射法地震探査を実施した。本調査測線は同時に展開された陸上の構造調査測線と直線的に繋がっており、海溝軸付近から本州に至るプレート境界型地震発生帯全体を把握するための大規模な海陸統合構造調査の一翼を担っている。海底地震計の記録では、沈み込む海洋プレートの上面付近からの反射波や島弧モホ面付近からの反射波など、構造上の鍵となる特徴的なフェイズが明瞭に確認できる。東北地方太平洋沖地震発生時に巨大な津波の波源となったのは海溝軸付近であると考えられている。したがって、地震時の海溝軸付近の変形構造を把握することは津波発生研究を進める上で極めて重要である。そこで今年度は、もっとも大きな津波の波源になったと考えられている宮城県沖から岩手県南部沖にかけての海溝軸付近の変形構造を抽出するため、稠密で高解像度な反射法地震探査を計画した。本調査は平成25年3月に実施中され、良好なデータが蓄積されつつある。

東北地方太平洋沖地震による大規模な地殻変動は、数10年以上にわたる応力変化を引き起こし、新たな被害地震発生を発生させる。こうした現象を定量的に理解するためには、プレート形状・内陸地震の震源断層などの形状を明らかにすることが重要である。このため、沿岸の長大な活断層である双葉断層や福島盆地西縁断層帯の形状を明らかにするため、相馬-米沢にいたる測線で地殻構造探査を実施した。また、海陸統合探査によって地殻・プレート構造を明らかにするために、同測線において自然地震観測と海洋研究開発機構の海域でのエアガン発震を受振した。深部反射法地震探査と浅部高分解能反射法地震探査の結果、双葉断層は60~45度西に傾斜した断層であり、福島盆地西縁断層帯は、約45度の傾斜を示す。福島盆地西縁・白石断層を横切る約5kmの区間で高分解能反射法地震探査を実施し、地表近傍の活構造と地下深部の断層との関係を明らかにするための基礎資料を収集した。推定された断層構造は、中新世に形成された半地溝やカルデラの構造に規制された、逆断層及びその分岐構造と考えられる。さらに、双葉断層を横切る約12kmの区間で高分解

能反射法地震探査と重力探査を実施し、地表近傍の活構造と地下深部の断層との関係を明らかにするための基礎資料を収集した。この結果、双葉断層は約 60 度の西傾斜を示し、新しい時期の逆断層が高角度の双葉断層の浅部を使用せず、割山隆起帯をショートカットしてその東側に割山隆起帯東縁断層を形成していることが明らかになった。この断層は先端部でウェッジスラストを形成している。

東北地方太平洋岸近傍において発生する可能性のある地殻内地震の痕跡を探りそれらの震源となる活構造のプレート境界型巨大地震サイクルにおける役割を明らかにするために、三陸海岸の垂直変動に関する変動地形学的・地震地質学的調査観測を実施した。海水位変動調査では、30km 間隔で港湾内に水圧計を合計 8 ヶ所設置し験潮記録を取得した。空中写真と 1 m・5 mDEM アナグリフ画像に基づく高精度 DEM 立体地形解析と地質調査を行い、第四紀後期の海成段丘が確認された三陸北部は過去約 100 万年間隆起傾向にある平均隆起速度が、明瞭な海成段丘が確認されない三陸中部から南部は 10 万年スケールでは安定もしくは沈降傾向にあることが推定された。完新世低地でのトレンチ掘削調査・ボーリング調査については、北部・中部・南部の 3 ヶ所において実施し、堆積層の年代決定と環境復元のために火山灰分析・珪藻分析・放射性炭素年代測定を行った。三陸海岸中部は完新世では沈降傾向にあるが、縄文海進ピーク以降に地下水位が高い環境と低い環境が数回繰り返されていることが推定される。それらの環境変化は巨大地震を示すと考えられる津波堆積物を境に認められることから、千～数千年で繰り返す巨大地震に伴う地殻変動に関係している可能性がある。

### ③ 海底堆積物調査等

東北地方沖で発生する地震に伴って形成される地震性堆積物を海底堆積物中から認定し、その堆積間隔から過去の地震発生履歴を推定するために 2011 年東北地方太平洋沖地震震源域周辺の海底堆積物の解析を行った。「みらい」及び「ゾネ」で震源域近傍の日本海溝域で採取された海底堆積物コア試料には最表層の 2011 年の地震によると考えられるタービダイトを含めて、厚いタービダイト層が 3 層、確認された。コア中に挟在する火山灰層の分析や有機物を用いた放射性炭素年代測定、微化石分析の結果からこれらのタービダイト層が完新世のものであることが確認された。火山灰層の対比結果に基づくと、これらの厚いタービダイト層は仙台平野の津波堆積物の層序と類似する。日本海溝底の堆積物は過去の巨大地震をよく記録している可能性が示唆された。

「みらい」により採取された堆積物コアの解析を実施し、2011 年の地震による海底地すべりや強震動により乱された堆積層が存在するか検討を行った。地震時に地形の変動が最も大きかった海溝軸付近で採取された地層の変形の様子を知るため、帯磁率異方性による堆積物粒子配列の解析を行った。その結果、海溝軸では地震前・地震時に海底地すべりや、強振動により乱された粒子配列は見られず、むしろ堆積物の供給方向を示唆している。一方、海溝陸側斜面ではデブリフローによって形成された堆積層や大きく傾動した堆積層が確認され、その磁気ファブリックの解析では陸側斜面末端では無秩序な配列を示し、より上方の陸側斜面では、海側に向かって地層が傾動した粒子配列のパターンが得られた。これらの粒子配列は、斜面を南東方向へ移動した地滑りを示唆している。しかしこ

これは海溝軸中央まで達していないことから、ここでの海底地すべりの移動は大きくなかったと考えられる。また他の海域で海底地すべりと堆積物の強震動変形が見られるか検討するため、「なつしま」により調査航海を実施し、宮城県-岩手県沖の海域から海底堆積物コアの採取をおこなった。

想定震源に面する下北半島沿岸及び房総半島沿岸などにおいて、地質学的調査から、過去の地震、津波の履歴を解明し、地殻変動、津波浸水域を復元することで、その切迫性や起こりうる規模について評価するために、青森県東通村及び六ヶ所村の海岸低地においてボーリング調査を行った。このうち東通村小田野沢では、低地の地下約3mまで分布する泥炭及び泥層を採取し、最大6層のイベント砂層（上位からS1～S6）を確認した。S1層とS3層は他の3層に比べ内陸まで分布しており、その範囲は現海岸線から内陸約1kmである。S1層は西暦約1500年以降に、S3層は約4900～5400年前にそれぞれ堆積したと推定される。房総半島では、千葉県いすみ市の沖積低地（夷隅川低地）において簡易ボーリング調査を行った。この調査により過去3000年以内における湿地堆積物に挟まったイベント砂層を複数枚検出した。砂層の一部にはよく円摩された海浜砂からなるものや、海生の貝化石を含むものもあり、これらは津波や高潮による堆積物と考えられる。また完新世海岸段丘を構成する地層から旧海面高度を示す前浜堆積物や波蝕台を確認した。

北海道沿岸及び三陸海岸での津波堆積物の検出に努め、北海道から東北地方太平洋岸における広域対比を行うことによって、古津波のサイクルと規模を解明するために、北海道太平洋沿岸、釧路市鶴野の湿地で津波堆積物調査を実施した。2層の津波堆積物を記載した。ひとつは、樽前b火山灰（西暦1667年）の下位数cmに、もう一つは白頭山苦小牧火山灰（約1000年前）の上位数cm～10cmにある。この2層はいずれも層厚1～3mmの薄層だが、海岸から2120m地点（標高5.9m）まで分布する。高精度粒度分析によって地点ごとの対比が可能であり、根室や十勝で記載された津波堆積物に対比される可能性がある。さらに17世紀の巨大地震の断層モデルから計算される津波とも調和的であることが確認された。また、津波堆積物の形成後の変質・保存状況を調べるため、青森県三沢海岸に分布する2011年東北地方太平洋沖地震津波堆積物について、津波発生後1年の時点での層相、層厚、堆積物分布、被覆層の有無について調べた。2012年5月の時点で、遡上限界付近の薄い砂層は、すでに流出したか土壌に取り込まれており、砂層として認められない。いっぽう、海岸砂丘背後に分布する層厚2cmを超える堆積物には顕著な変化は見られなかった。森林内では、津波堆積物は植物遺体層・腐植層に覆われ、侵食・擾乱から保護されている。

東北地方太平洋沖地震の震源域において過去に発生した地震のうち、地震波形・津波波形が記録されているが発生メカニズムの解釈が十分ではない1938年福島県東方沖地震と1927年房総沖の地震に関して、記録の収集と断層モデルの構築を行った。5つのM7クラスの地震（イベント1～5）が群発的に発生した1938年福島県東方沖地震について、海外の観測点で得られた地震波形記録を収集し、波形同士の比較を行った。その結果、これまで同じメカニズムと考えられてきたイベント4、5は、互いにメカニズムの異なる地震であることが分かった。1927年房総沖の地震について、震央と津波波源域が大きく離れていたことから、震央再決定と波源域の再検討を行い、津波波形計算を行った。その結果、震央はこれまでの位置から約100km北西（陸寄り）に移動し、フィリピン海プレートの浅い逆断層

の地震の可能性があったことが分かった。1793年（寛政5年）三陸沖の地震に関する歴史資料について、信頼性の高い史料を選定し、デジタルデータ化を行った。

#### ④ 海底地形調査等

調査地域の活断層・変動地形及び地すべりなどの分布・性状を明らかにするために、これまでの海底地形調査の結果得られた地形及び浅部地下構造などのデータについて、おもに2011年当東北地方太平洋沖地震本震の震央付近において変動地形・構造地質学的な解析を行った。また、今後の海底地形調査の場所選定及び変動地形の構造的な解釈のために、東北地方太平洋沖地震（岩手～福島沖）の震源域周辺の既存反射法地震探査断面の再解析を行った。

海洋研究開発機構の調査船「よこすか」「かいいい」を用い、船舶装備の音響機器、重磁力計を用いてデータ取得を行った。北緯37度30分から39度30分にかけての海域において、昨年度までのデータ取得域を補完するようにデータ取得を行い、良好な海底地形データ、重磁力データを得ることができた。さらに、これまでに取得された地形データ・重磁力のコンパイル作業を実施した。曳航体及び「かいこう」ランチャーに搭載されたサブボトムプロファイラーを用いた高精度の地下構造イメージングを行い、明瞭な断層構造の検出し、ピストンコアリングなどで取得する堆積物サンプルと対比可能な地下構造データを得ることができた。

現状評価の高度化を図るための海底地震観測などについては、海底において、1年程度の長期観測によるデータを得ることが必要であり、平成24年度は震源域及びその周辺での観測を実施した。その結果、本地震観測に先行して行われた余震観測結果とあわせて、時間的な変化が明らかになりつつある。地殻構造調査等は、海域においては、これまで大規模な地震探査が実施されてこなかった調査の空白域での反射法屈折法調査、海溝付近での高分解能構造調査を実施した。その結果、海溝軸付近の変形構造が得られた。一方、陸域での構造調査では、プレート形状・内陸地震の震源断層などの形状を明らかにする探査を実施した。また、地形調査により、過去数十万年にわたる変動を明らかにした。これらの地殻構造調査等は、現状把握だけではなく、過去の発生履歴につながる結果を得ることができた。一方、海底堆積物調査では、今回の地震の震源域内での、サンプル取得が行われ、過去の地震イベントを示す可能性が認められた。陸域における堆積物調査、古記録などからも、同様に過去の地震イベントを示すと思われる結果が得られた。また、海底地形調査においても、現場での調査が開始され、今回の地震に関連していると思われる変動や、過去に発生したと思われるイベントに対応した変動地形が認められた。本研究により、確立された調査手法は、現状評価の高度化及び地震津波の発生履歴の高精度化に寄与することが示された。今後は、本研究で確立された調査手法をさらに高度化することが望まれる。