

1. プロジェクトの概要

本プロジェクト（サブプロジェクト①：首都圏でのプレート構造調査、震源断層モデル等の構築等）では、首都圏で発生するマグニチュード7程度の地震の場所、規模、発生頻度、揺れ方などの地震像を解明するために、1. 地震計を用いた自然地震観測によるプレート構造調査、2. 制御震源を用いた地殻構造探査、3. 歴史地震等の記録の収集、整理及び再評価、4. 震源断層モデル等の構築 の4つの項目で調査研究を進めた。本年度は、5カ年計画の2年目で、首都圏に中感度地震観測網の観測装置が、本格的に展開された。最終的には、この観測網からのデータを用いた研究成果が、制御震源による構造探査、歴史地震等の研究、震源断層モデル等の研究の成果と統合される。以下に、今年度の研究の概要を示す。

1 地震計を用いた自然地震観測によるプレート構造調査

1. 1 中感度地震観測によるプレート構造調査

首都圏に設置する中感度地震観測装置 37 式を整備して、室内で性能試験を行い、所期の性能が得られることを確認した。前年度試験された 90 式と、本年度整備する 37 式とを合わせて、首都圏の 127 箇所環境調査等を実施して、開発した地震観測装置を設置した。前年度設置した 45 箇所と、前年度整備・性能試験を行って本年度設置する 90 箇所、さらに本年度整備・試験を行って設置する 37 箇所の合計 172 箇所において自然地震観測を行っている。地震研究所の「データ収集・処理・公開センター」の整備を進めて、データの収集・処理を行っている。また、房総半島に設置されている観測点からのデータを収集して、解析を進めた。

1. 2 統合処理によるプレート構造調査研究及びデータ保管

東京大学地震研究所に集約される中感度稠密地震観測データを防災科学技術研究所地震研究部地震観測データセンターに転送し、基盤的地震観測網データと統合的に処理を行い、本プロジェクトの研究基盤となるデータベースの維持及び保管を行った。また、昨年度の茨城県南西部の地震クラスターの詳細解析や房総沖で発生した群発地震活動の詳細活動の解析に基づき、本年度は房総沖の相似地震やスロースリップイベントの再解析によるプレート形状の推定、プレート内外のサイスモテクトニクスを解明するための高精度相対震源決定法の改良および地震クラスターへの詳細分析、高精度 3 次元地震波速度・減衰構造トモグラフィー手法を用いた予備的解析、首都圏直下の複雑な構造に対応するレーバ関数解析等の地震波形解析に基づくプレート境界性状の予備的解析等、基盤観測網との統合処理によるプレート構造調査に向けた開発・解析を進めた。

1. 3 伊豆衝突帯の地震活動調査によるプレート構造調査研究

業務目的を達成するために、今年度分の適正配置を東京大学地震研究所と再度確認した。次に、平成 20 年度、神奈川県に設置した地域の地震観測環境調査を実施し、温泉地学研究所は中感度地震観測装置を相模原市小中学校 5 箇所に設置した。これら 5 箇所のデータに加え、昨年度から観測を継続している横浜市立小学校の 1 観測点データを地震研究所へ

データ転送をおこなった。これらのデータは地震研究所経由で温泉地学研究所の地震観測処理システムにも転送し、震源分布や発震機構の解析を通して伊豆衝突帯の地震活動およびプレート構造調査を進めた。

2 制御震源を用いた地殻構造探査

2.1 稠密発震反射法地震探査による地殻構造調査研究

首都圏北西部アレイ測線に近接した「大都市圏地殻構造調査」で実施した 2003 年関東山地東縁測線の反射法地震探査データ及び屈折法広角反射法地震探査データについて、地殻上部の詳細な弾性波速度構造と地殻深部の不均質構造の解明を主眼とした屈折法広角反射法の追加解析を実施した。

2.2 自然地震波干渉法による地殻・上部マントル構造調査研究

首都圏北西部アレイの奥多摩周辺約 60 km 区間に、約 1 km 間隔で稠密アレイを構築し、4 ヶ月間の連続自然地震観測を行なった。調査測線は、平成 21 年度に制御震源を用いた地殻構造探査が予定されている関東山地東縁から奥多摩地域を経て甲府盆地に至る測線と同一である。観測された自然地震波形データに対して P 波・S 波の手動検測を行うことで得た走時データを用いて測線近傍の精密震源決定を行うとともに、地震波干渉解析法・レーシーバ関数解析法により、フィリピン海プレートの構造を明らかにするための解析を行なった。

2.3 首都圏下のプレート相互作用を考慮した地殻・上部マントル構造解析研究

関東下に沈み込むスラブの運動についての諸問題を整理した。ユーラシア・太平洋・フィリピン海プレートの広域三次元数値モデルを作成し、有限要素法による粘性流体を用いたマントルウェッジの流動とスラブ内応力についての数値実験を行った。数値実験の結果、マントルウェッジ中の粘性と、スラブ内の粘性の比率によって、スラブ内の応力状態が大きく変化することが判明した。実際の地震活動と比較すると相対的に「弱い」スラブモデルが支持された。

2.4 長時間地殻変動からみた首都圏下の地殻構造調査研究

データ班は、当初、房総半島東岸（外房）の浅海域において音波探査（反射法地震探査）を行う予定であったが、同地域における既存データの活用が可能となったことから、対象を内房地域に変更した。探査においては、新期斜面堆積物に潜む地殻変動データを解明することが十分期待できる良質の記録を獲得している。今年度は、来年度における本格的処理の前処理まで終了させた。一方、シミュレーション班は、水準測量のデータと 2005 年に千葉大が行った房総沖の観測から得られたプレート形状を収集した。また、フィリピン海プレート、太平洋プレートの定常的な沈み込み運動による関東地方の長期地殻変動の計算プログラムを開発した。プレート境界面上に分布する力源の離散化をすすめ、十分な精度でかつ効率的な関東地方の上下変動計算が可能となった。

3 歴史地震等の記録の収集、整理及び再評価

3. 1 地震記象の収集と解析による過去地震の調査研究

昨年度に引き続き 1900 年代以降に首都圏で起こった地震の記録を調査し、収集・整理するとともに、地殻変動に関するデータの整理を行った。1931 年西埼玉地震について地殻変動のデータ収集を行い、解析を行った。また、関東周辺で起こった M6.2 以上の地震の強震計データの収集を行い、規模の大きな茨城沖の地震について解析を行った。その結果、同じところで起こったほぼ同規模の地震にもかかわらず、全く様相を異にすることが明らかになった。これまでアスペリティは繰り返しすべり、ほぼ同規模の地震を起こすと考えてきたが、そうではない振る舞いをする場所も見えてきた。このことはプレート境界地震の予測に大きく影響することが考えられる。

3. 2 被害記録による首都圏の歴史地震の調査研究

江戸時代に関東地方で発生した 2 つの被害地震（寛政二年十一月二十七日（1791 年 1 月 1 日）の埼玉県地震ならび天保十四年二月九日（1843 年 3 月 9 日）の神奈川県西部地震）について被害記録を収集し、データベースを作成した。また、得られたデータベースを基に広域・詳細震度分布図を作成し、これら 2 地震の地震像について議論した。

3. 3 液状化痕等による首都圏の古地震の調査研究

神奈川県三浦半島に位置する小網代湾の干潟において 3m 長ハンディジオスライサーを用いた津波堆積物調査を実施した。干潟で実施された調査からは 3 枚の津波堆積物が認定され、上位と中間の津波堆積物はそれぞれ大正、元禄関東地震と対応することが明らかになった。元禄関東地震の一つ前の関東地震によるものと考えられる最下の津波堆積物の年代と、史料による関東地震の候補との対比から、1293 年（永仁元年または正応六年）の地震〔石橋, 1991¹⁾〕が一つ前の関東地震であった可能性を示唆した。また、湾内の 3 カ所においてロングジオスライサーにより、堆積物を採取した。干潟のように津波堆積物は明白ではないが、一地点の深さ 2m までには、4 層のイベント層が認められ、上から 2 番目のイベント層は、元禄地震による津波堆積物の可能性が高い。さらに、上から 3 番目のイベント層は、ハンディジオスライサー調査から得られた最下層の津波堆積物に対応すると考えられ、1293 年関東地震による津波堆積物の可能性が高い。

三浦半島の南端に位置する江奈湾の入り江干潟において 1.5m 長ジオスライサーを用いた津波堆積物調査を実施した。得られた試料からは、非常に細粒なシルト層に挟まれて多数の貝殻片や砂を含む淘汰の悪い小礫層が 2 層、明瞭に認められた。

昨年度末に実施された旧江戸川小学校におけるボーリング調査について引き続き整理し、東京低地の都市河川での高分解能音波探査を実施した。その結果、測線によってノイズの多い箇所もあるものの、確認された埋没谷地形の分布は東京低地に広がるゼロメール地帯の分布域と関連していると推察された。

3. 4 過去地震の類型化と長期評価の高度化に関する調査研究

任意の断層運動に伴う静的クーロン応力変化 (ΔCFF) を計算するプログラムを含んだ、様々な地震活動解析を行う FORTRAN プログラム群を構築した。このプログラム群を用いて平成 19 年度に実施した地震に加えて、1900 年以降にはほぼ垂直の横ずれ断層で発生し、震源過程が解析され

ているM6.5以上の地震を対象に、本震によって発生した Δ CFFと近年の地震活動分布との対応を調査した。その結果、現在の微小地震活動と Δ CFFの対応の様相は大きく異なるが、地震によっては適用の可能性があることを明らかにした。首都直下の5地震(長期評価で指摘された、1894年6月20日M7.0、深さ80kmの地震;1895年1月18日M7.2、深さ40-80km;1921年12月8日M7.0、深さ53km、1922年4月26日M6.8、深さ71km;1987年12月17日M6.7、深さ58km)について余震活動の有無を調査した。

4 震源断層モデル等の構築

4.1 強震動予測手法と地下構造モデルに関する調査研究

駿河・南海トラフ沿いで発生する海溝型巨大地震に対する長周期地震動予測地図を作成するために必要な地下構造モデルについて、M7クラス地震の観測波形とシミュレーション波形との比較により検証を行った。その結果、伊豆・駿河湾周辺のモデル修正が必要であることがわかり、レイバ関数などを使って改良を行った。これらにより、長周期地震動の計算に必要な1次地下構造モデルをほぼ完成することができた。このモデルを使い、想定東海地震および東南海地震に対する長周期地震動予測地図を試作した。

また、昨年度導入した、レイリー波の水平/上下振幅比を使った速度構造推定法(HZ法)の改良を行い、水平成層モデルの深度を求めることを可能とした。この手法を首都圏の地震観測記録に対して広範囲に適用し、関東地方の地下構造モデルの高度化を試みた。さらに、歴史地震の震度分布データを利用して震源モデルを推定する手法の開発を開始し、1855年安政江戸地震を対象に予備的解析を行った。

4.2 震源断層モデルの高度化に関する調査研究

平成20年度業務目的に従い2つの業務を行った。ひとつはスラブ内地震の震源モデルを収集し、地震規模に対する断層サイズ、断層面上のすべり分布から地殻内地震やプレート境界地震で行われているすべりの特性化のための基準に従うアスペリティサイズや平均すべり量を求め、それらの値を地殻内地震やプレート境界地震のそれらと比較するとともに、スラブ内地震震源モデルの特性化に利用できる経験式を提案した。もうひとつは、スラブ内地震である2008年7月岩手県沿岸地震の広帯域シミュレーションに基づく震源モデルの提案と、強震波形インバージョンによる震源モデルとの比較を行って特性化震源モデル構築の検討を行った。

4.3 強震観測研究の高度化に関する調査研究

千葉県・茨城県内の自治体観測点において常時微動調査を実施した。調査した結果(微動観測生データ・現場写真・H/Vスペクトル等)について、データの解析等の利活用をスムーズに行うため、データベースに納め整理した。これらのデータに基づき、来年度以降にまとめる、各観測点のデータから面的な地震動分布を推定するために必要な、観測点毎の地盤増幅特性及び、それらを面的に補間する手法研究の基礎部分を作成した。

今までに作成された関東地域の地盤モデルによる、理論H/Vスペクトルの計算を、微動観測地点全点で行い、観測データとの比較を行い、現状の地盤のモデル化の検証を実施した。

4. 4 地盤構造モデルの高度化に関する調査研究

浅部地盤データを補強するため、埼玉県の地震観測点約 100 地点において常時微動一点観測を行い、水平／上下スペクトル比から地盤卓越周期データを得た。深部地盤データを補強するため、深部地盤の情報が少ない計 13 地点において微動アレイ観測を行い、深部地盤の S 波速度構造データを得た。また、深部地盤モデルから浅部地盤モデルまで切れ目のない地盤モデルを構築するための基礎的な検討として、首都圏の地震観測点計約 680 点を対象として、地震観測記録から得られる地盤増幅特性の逆解析によって、地震基盤上面から地表までの地盤モデルを推定した。

4. 5. 震源断層モデル等の構築に関する共同研究

4. 5. 1 地震の破壊成長とスケーリング

マルチスケール断層すべりインバージョンの 2 例目の適用例として 2004 年パークフィールド地震の破壊過程を求め、論文として出版した。南アフリカ金鉱山の地震について、初期破壊と最終サイズの関連を調べ、論文として出版、丁度南アフリカで開催された IASPEI にて成果発表、議論した。不均質を取り入れた地震サイクルシミュレーションを実施し、論文として出版した。その他次年度以降の研究のための動的破壊計算手法の計算コード開発なども行った。

4. 5. 2 スラブ内地震による強震動予測の高度化に関する研究

2006 年 11 月 15 日と 2007 年 1 月 13 日に千島列島シムシル島の東方沖で Mw8 を超える 2 つの大地震が、わずか 2 ヶ月の間にほとんど同じ場所で発生した。前者は、海溝軸の陸側で発生したプレート間地震であるが、後者は、海溝軸の海側で発生した海洋プレート内地震である。最初に、北海道で観測された記録を基にして、これらの地震による短周期地震波の励起特性を比較した。その結果、2007 年海洋プレート内大地震が、2006 年プレート間大地震に比べて約 10 倍強い短周期地震波を励起したことがわかった。次に、同じ地域で発生した規模の異なる 3 つの海洋プレート内地震 (Mw : 6.4、7.4、8.1) による記録を基に、これらの地震による短周期地震波励起特性のスケーリング則について検討した。その結果、Mw7.4 と 8.1 の地震は、既存のスケーリング則に比べて約 2 倍強い短周期地震波を励起したことがわかった。

4. 5. 3 非一様な破壊伝播を考慮した震源モデルの構築とリアルタイム強震動予測へ向けた基礎的研究

前年度開発した P 波のイメージング解析で得られる情報 (初期破壊の存在や主破壊開始時刻など) を事前情報として取り込んだ震源インバージョンを実現し、推定するすべり速度分布の時空間精度の向上を図った。2005 年福岡県西方沖地震の強震波形記録に適用し、時空間的な絶対精度の高い解を得た。

今年度中に発生した 2008 年岩手・宮城内陸地震の地震について P 波イメージング解析を実施し、破壊開始 5 秒間の震源過程の情報を推定した。

4. 5. 4 相模トラフ沿いのアスペリティの解明

平成 19 年度に作成した曲面状の断層面モデルでは、三角形の小断層に分割した。本年度は各小断層に対して、測地データのグリーン関数を計算した。さらに、この断層面モデルに適応させるために、震源過程を推定するインバージョン手法において滑らかさの拘束条件を始め、多くの点でプログラムを改訂した。

5. 「首都直下地震防災・減災特別プロジェクト ①首都圏でのプレート構造調査、震源断層モデル等の構築等」の管理・運営

プロジェクトの効率的な推進を図るために、本計画の代表研究機関である国立大学法人東京大学地震研究所、分担研究機関、関連する研究機関、研究者等より構成される「首都圏でのプレート構造調査、震源断層モデル等の構築等運営委員会」を 2 回開催し、プロジェクトの総括的・効率的な運営を図った。

観測網の設計と、研究の進め方について、シンポジウムを開催して、広く国内外の研究者と議論する機会を設け、最新の研究動向の理解を図るとともに、他のサブプロジェクトとの連携について議論した。さらに、プレート境界に隣接し、大都市が堆積盆地の中に位置するカリフォルニア地域で得られた研究成果と、本研究で得られた成果と比較検討することは、プレート境界近傍における地震像の解明、地震発生の長期予測の高度化、強震動予測の高度化につながるので、地震研究所と学術協力協定を結んでいる南カリフォルニア地震センター（SCEC）との研究協力を進めるため、日米欧の研究者が相互に訪問して情報交換を行った。