

2011年3月11日に発生した東北地方太平洋沖地震(東日本大震災)による学校建築の被害調査および余震観測を直後から8月末頃まで実施した。学校建築に関しては、文教施設本委員会に設けられた耐震性能等小委員会(主査:壁谷澤寿海)を通して文科省から委託を受けている被災度判定と復旧支援活動と一体化して組織的な被害調査が実施された。調査対象は、RC造校舎だけでなく、S造屋内体育館、社会教育施設(公民館、文化会館、公営体育館等)も含めて約700棟以上であり、被害事例の詳細調査結果、建物の設計、耐震診断結果などが詳細なデータが収集された。調査対象は、岩手県、宮城県、福島県、茨城県、栃木県、埼玉県、千葉県などの設置者所有者から調査判定の依頼があった建物で、学校では避難区域以外では小破程度以上の被害があった建物は概ね含まれているが、依頼の範囲にない被害事例もある可能性はある。また、地域によっては全数の調査結果も含まれる。これらの調査事例のうち、被害の大きい代表的な個別事例は日本建築学会の速報等で報告したが、さらに、被害統計の整理、被害の分類や原因の分析、余震観測結果の解析などを実施している。2012年には被害率や天井落下に関する追加調査を実施した。

#### (6) 袖壁付き柱を有する鉄筋コンクリート建物の耐震性能評価法に関する研究

2007年度より2011年3月まで複数年計画で袖壁付き柱を有する鉄筋コンクリート建物を対象にして、1)袖壁付き柱部材の強度と靱性、残存軸耐力、損傷と変形の関係を実験的に明らかにすること、2)袖壁付き柱の復元力特性、とくに最耐力以降の耐力低下を評価しうる解析モデルの有効性を検証すること、3)袖壁付き柱の強度と靱性、残存軸耐力、損傷の実用的な評価法を提案すること、4)袖壁付き柱を含む構造物の耐震性能評価手法、耐震診断法の妥当性を解析的に確認すること、を目的にして実験的研究および解析的研究を行った。実験結果および曲げ理論およびASFIモデルによる解析結果にもとづいて、強度および靱性の実用評価法を提案した。研究成果は耐震診断基準の改訂、部材ランクの評価手法等に反映される見込みである。

### 3.4.5 災害科学系研究部門研究会の開催

本研究部門では2-3ヵ月に1度、災害科学系研究部門研究会を開催し、災害に関係する所内外の関係者、大学・研究機関のみならず、行政機関・民間企業等の理工学研究者、防災担当者などとの交流を図る機会を設けている。

## 3.5 地震予知研究センター

教授	平田直(センター長)、佐藤比呂志、岩崎貴哉(兼任)、篠原雅尚(兼任)、高波鐵夫(客員教授)
准教授	上嶋誠、望月公廣、飯高隆(兼任)、加藤尚之(兼任)、酒井慎一(兼任)
助教	五十嵐俊博、石山達也、蔵下英司、山田知朗、加藤愛太郎(兼任)、田中愛幸(兼任)、福田淳一(兼任)
特任研究員	加藤直子、中山俊雄、橋間昭徳、長谷英彰、PANAYOTOPOULOS Yannis (John)、山谷祐介
学術支援専門職員	川北優子
外来研究員	市原寛、笠原敬司
大学院生	悪原岳(M2)、北村重浩(M2)、中山貴隆(M2)、仲谷幸浩(M1)

### 3.5.1 陸域機動地震観測

#### (1) 内陸地震発生域における不均質構造と応力の蓄積・集中過程の解明

内陸地震の発生は、日本列島域周囲の海洋プレートの沈み込みなど、プレート運動に伴って生ずる歪が島弧地殻内部に蓄積し、それに伴い特定の断層への応力集中がおこり破壊に至るという一連のプロセスから成ると考えられる。地震予知研究センターは、濃尾地震の断層域、紀伊半島などで、その物理メカニズムを理解するために、島弧地殻内の不均質構造を解明するとともに、プレート境界から加わる歪・応力がその不均質構造や内部変形によって局在化していく過程を明らかにする研究を進めている。

### (1.1) 濃尾地震の断層域における総合観測研究

東京大学地震研究所は、京都大学防災研究所をはじめとする全国の大学・関係機関と共同で、新潟-神戸歪集中帯の中に位置し 1891 年に発生した国内最大規模の内陸地震である濃尾地震の断層域を研究対象として、2009 年から 5 年計画で、地震観測、地球電磁気観測、GPS 観測等による地球物理的総合観測を実施している。地震予知研究センターは、この総合観測研究に中核的組織として参加している。これまでに行ってきた跡津川断層などにおける合同観測の研究から、内陸地震の発生に関しては地表近傍の構造だけでなく、下部地殻の構造や地殻の下に沈み込んでいる海洋プレートから供給される流体の影響が大きいことがわかってきた。濃尾断層域で行っている総合観測の一環である自然地震のテレメータ観測のデータを用いた広域トモグラフィ解析によっても、濃尾断層域下のフィリピン海プレートから上部地殻へとつながる低速度域が検出された。この低速度域は、東西方向においては濃尾地震断層の西側の琵琶湖の下あたりに存在するフィリピン海プレートから下部地殻内部を断層域直下に伸びており、また断層の走向方向においても、1891 年の濃尾地震の断層の北部の下部地殻に存在していることがわかった。今年度は、その低速度域の性質を明らかにすべく、11 月 15 日-16 日の日程で、京都府福知山市から長野県伊那市に至る全長約 280 km の測線において地殻構造探査をおこなった。この構造探査では、測線上に 1793 点の観測点を展開し、ダイナマイトを用いた 8 点 (500 kg-6 点、300 kg-2 点) の発震作業をおこなった。その結果、プレート上面やモホ面と考えられる境界面からの明瞭な反射波の存在が確認された。それらの反射波は低速度域を通過しているため、今後の解析によって、その低速度域の性質が明らかになっていくものと考えられる。また、比抵抗構造研究からも、断層域での顕著な不均質構造が検出された。比抵抗構造研究では、濃尾地震断層を囲む福井県北東部から岐阜県西部に至る 20 交換所エリアで広域的ネットワーク MT 法観測を実施し、初期的な 3 次元解析を行った。その結果、濃尾地震断層に沿う地下浅部に低比抵抗帯が見出されたほか、その断層直下の下部中部地殻はおしなべて高比抵抗領域となっていることがわかった。また、福井-岐阜県境地域の地下深部上部マントルに東西に横たわる低比抵抗領域が見出され、太平洋プレートからの脱水を見ている可能性が示唆された。

### (1.2) 紀伊半島南部の S 波偏向異方性構造

紀伊半島南部の深部低周波微動発生域直上で取得された稠密地震計アレイのデータを用いて、S 波偏向異方性の解析を行った。地殻内とスラブ内の微小地震の波形から異方性構造を推定したところ、沈み込むフィリピン海プレートの等深度線にほぼ平行な速い S 波の振動方向をもつ異方性が観測された。更に、速い S 波と遅い S 波の到達時間差データから、深部低周波微動発生域の上部のマントルウェッジ内に異方性が存在することが示された。マントルウェッジ内に異方性を作り出す一つの候補として、プレートの沈み込み方向に傾斜した蛇紋岩層が挙げられる。

### (1.3) 非火山性地震の発生メカニズムの解明-震源域深部の地殻内流体との相互作用

和歌山地域では、非火山性地震活動が長年にわたり活発に起こっている。この地震活動の駆動源についての理解を深めるために、和歌山地域南部を東西に横断する計 36 点からなる稠密地震計アレイを展開し、2011 年 9 月下旬から 2012 年 3 月下旬までの約 6 ヶ月間にわたって連続波形記録を取得した。これらの波形記録を用いて、自然地震を用いたトモグラフィ解析とレシーバー関数解析の予備的解析をおこなった。

## (2) プレート境界域における不均質構造と地震活動の解明

2012 年度は、2011 年東北地方太平洋沖地震の前震・余震・誘発活動に関連した研究を進めた。更に、フィリピン海プレートの沈み込みに伴う地震波偏向異方性構造の研究と、非火山性地震が活発な和歌山地域での観測研究も継続した。本センターは、地震火山噴火予知推進センター・観測開発基盤センターと共同で、この地域での観測研究を継続的に実施している。

### (2.1) 2011 年東北地方太平洋沖地震の発生前に見られたゆっくり滑りの伝播

2011 年東北地方太平洋沖地震前のおよそ 1 ヶ月間に発生した地震活動を解析した結果、本震の破壊開始点へ向かうゆっくりすべりの伝播が、ほぼ同じ領域で 2 度にわたって起きていたことを明らかにした。これらのゆっくりすべりの伝播が引き起こす力の集中により、本震発生が促進された可能性が考えられる。詳細については、地震火山噴火予知研究推進センターの内容を参照。

### (2.2) 余震活動から描き出された 2011 年東北地方太平洋沖地震の大滑り域

近年、世界で過去に発生した大きな地震後の余震活動は、大きくすべった領域 (大滑り域) を避けてその縁辺

部に集中するという報告が多数なされている。つまり、余震の発生数が少ない領域は、本震時に大きく滑った領域に対応する可能性がある。そこで、余震分布の特徴と大滑り域の相補関係を東北地方太平洋沖地震の余震活動に適用することで、本震発生時の大滑り域の広がりや推定した。新たに定義された大滑り域は、地震波や測地データを基に推定された滑り分布と同様に宮城県沖では広範囲に広がる一方、それらと比べてより複雑な形状を示した。特徴的な点として、南側の福島県沖・茨城県沖まで伸びる細長い大滑り域の存在が明らかになった。大滑り域の外側では、プレート境界面上のほぼ同じ場所で繰り返し発生する、小繰り返し地震も多数分布していた。この地震は、大滑り域から解放された応力による、大滑り域の外側での余効すべりを示唆している。本解析により高空間分解能で推定された大地震の大滑り域は、隣接地域の大地震発生ポテンシャルの評価において重要な知見となり得るであろう。

### (2.3) 東北地方太平洋沖地震にともなう北茨城・いわき地域の誘発地震活動

2011年東北地方太平洋沖地震により誘発された北茨城・いわき地方の地震活動には明瞭な時空間発展が観測された。この要因を調べるために、高密度に展開された臨時地震観測網のデータを用いて、震源域の詳細な地震波速度構造と高精度な震源分布を推定した。震源分布は北茨城地方において南西傾斜の明瞭な面上分布を示すが、いわき地方では小さな共役断層系からなる複雑な面上分布を示すことが明らかになった。2011年4月11日に発生した、いわき地震(M7.0)の震源北側の浅部には、顕著な高速度体がイメージングされた。この高速度体はいわき地震時の大滑り域に概ね一致する。更に、この高速度体内の余震活動は低調である。また、いわき地震の震源域の深部には流体の存在を示唆する低速度体がイメージングされた。一部の地震クラスターでは、流体の関与を支持する震源の移動現象が見られた。このような地殻内の不均質な構造が、誘発地震活動の時空間発展を規定していたと考えられる。

## 3.5.2 海域地震観測

平成23年3月11日に、宮城県沖を震源として日本海溝沿い茨城県沖合までを震源域とする東北地方太平洋沖地震が発生した。このような沈み込み帯における地震発生は、沈み込むプレートと上盤側のプレートとの境界面における摩擦によってひずみが蓄積し、地震時に蓄えられたひずみエネルギーが解放される現象である。最近の研究結果からは、プレート境界が固着している地震発生領域より浅部と深部の固着強度遷移領域では、低周波の卓越する境界面の滑りが発生していることがわかっている。一方、東北地方太平洋沖地震では、プレート境界に未固結の物質が存在するために、これまでひずみエネルギーの蓄積が不可能であろうと考えられていた浅部プレート境界までも地震時にすべりが生じたことが明らかとなった。地震発生に関するプレート境界の性質は、境界の形状および温度や水の含有量といった物性によって決定されると考えられている。低周波イベントからプレート境界型巨大地震まで、その発生メカニズムを理解する上で、プレート境界の固着程度の把握、およびその周辺の構造や物性を詳細に理解することは必要不可欠である。さらには、プレートの沈み込みに伴う脱水反応によって生成された水の挙動が、上盤プレート内の内陸地震の発生に関与していることもわかって来た。地震予知研究センターは、観測開発基盤センターと共同で、沈み込み帯の全体構造の把握およびプレートの沈み込みに伴う諸現象の理解を通して地震発生メカニズムの解明をめざし、日本近海・海陸境界域および南アメリカチリ沖、ニュージーランド北島東方沖海域で、地震観測や制御震源構造調査などによる研究をすすめている。ニュージーランド北島東方沖海域については、3.5.8にまとめる。

### (1) 南海トラフ沿い地震活動不連続と、海陸統合地震観測・人工震源構造調査

西南日本沖合に走る南海トラフ沿いでは、フィリピン海プレートが西南日本下に北西方向に $\sim 4$  cm/年で沈み込んでいることに伴い、 $\sim 100$ 年周期でマグニチュード8級の巨大地震が繰り返し発生して来た。これまでの研究から、陸側プレートと海側プレートのカップリングはほぼ100%であることがわかっており、また南海トラフ沿いの通常地震活動は非常に非活発である。紀伊半島沖合には、東南海・南海地震に代表される南海トラフ沿い巨大地震の断層境界が存在すると考えられている。トラフ軸から $\sim 100$  km以上離れている陸上観測網では、震源位置を含め微小地震活動の詳細はわからず、断層境界の形成要因などの解明は困難であった。我々は地震研究所で開発された長期観測型海底地震計を最大27台用いて、四国室戸岬沖から紀伊半島南東沖合の熊野灘までの南海トラフ沿い東南海・南海地震震源境界域で5カ年度にわたって地震観測を行い、フィリピン海プレートの沈み込み構造および微小地震活動と震源メカニズムの解明のための研究を行って来た。その結果、断層境界より東南海側では地震活動がほとん

ど見られないことがわかった。また南海側で見られる地震活動も、地震発生深度がトラフ軸平行方向にステップ状に変化し、紀伊半島南西側の紀伊水道沖合では沈み込むフィリピン海プレートの海洋性マントル内で、それより東側の紀伊半島沖合では海洋性地殻内で地震が発生するといった震源分布のセグメント化が起こっていることを初めて明らかにした。微小地震の断層走行方向も、この断層境界において不連続的に変化していることがわかった。この不連続の延長が、沈み込むフィリピン海プレートの沈み込む角度が大きく変化する場所に当たっており、深部低周波地震の発生領域西縁に一致する。構造と地震活動との関係をさらに詳細に調べることを目的とし、相対的な震源位置の決定精度を向上させるため、地震波形相関を取ることによって走時を正確に求める手法の適用を進めた。この手法を応用したトモグラフィ解析によって、P 波および S 波の速度構造を詳細に求めた。その結果、紀伊半島沖合に沈み込む海洋性地殻内の  $V_p/V_s$  比が低いこと、さらにその低  $V_p/V_s$  比領域と低周波地震のクラスターがよい一致を示していることが明らかとなった。また東南海側のセグメントでは、上盤側地殻の最下部において  $V_p/V_s$  比が高い領域と地磁気調査から求められた低比抵抗領域がよい一致を示しており、その周囲よりも多くの水が存在することが示唆された。この領域に接するプレート境界では、低周波地震が発生していない場所に一致することも明らかとなった。また、この長期地震観測で記録された雑音の相関解析から海底下の構造境界を求める解析も進めており、プレート境界の形状推定のための研究を進めている。この地震活動不連続に関して、トラフ軸から深部低周波地震発生領域までの構造を明らかにするために、2010 年 10 月に海洋研究開発機構、防災科学技術研究所と共同で海陸統合人工震源構造調査を行った。本調査の測線は、トラフ軸から紀伊半島北西部の大阪府阪南市までの、およそ 200 km におよぶ。海域における人工震源発震は海洋研究開発機構の船舶「かいらい」のエアガンを用いて行い、また陸域では地震研究所が阪南市で 300 kg のダイナマイト発震を行った。現在、上述のトモグラフィ解析で得られた 3 次元速度構造を参照することによって、本構造調査のデータから主としてプレート境界の形状を明らかにするための解析を行っている。

## (2) 房総沖地震観測

三浦半島から房総半島沖合にかけては、繰り返し発生している首都圏直下地震の発生領域に当たる。房総半島東方沖では、6～7 年の周期を持ってスロースリップ・イベントが発生しており、首都圏直下地震の断層東縁に接していると考えられている。房総沖での地震活動を把握し、構造との対比から本領域の地震発生メカニズムを解明することを目的として、長期観測型海底地震計 40 台を用いた海域地震観測を行った。海底地震計は 2009 年 8 月に設置し、1 年 2 ヶ月の観測を行った後の 2010 年 10 月に、地震研究所備船により全台回収した。40 台の海底地震計のうち 30 台は、スロースリップ・イベント発生領域を含む陸側斜面に展開し、残りの 10 台は海溝軸海側に配置した。ここで得られたデータは現在千葉大学と共同で速度構造と震源の同時決定インバージョン手法を用いて解析中であるが、海溝海側に配置した海底地震計データから、本海域に沈み込む太平洋プレートは標準的な海洋地殻に準ずる構造であること、および震源が地殻および上部マントルの特定領域に集中的に発生することが明らかとなった。

## (3) 茨城沖の海山の沈み込みと M7 地震アスペリティの関係

茨城県の沖合～100km では、太平洋プレートの沈み込みに伴って、～20 年周期でマグニチュード 7 級の地震が繰り返し発生して来た。太平洋プレート上や陸側斜面の海底地形、および震源域の広がりや震源メカニズムなどから、沈み込んだ海山が地震アスペリティとなっていることが議論されていた。2004 年の海域構造調査、および 2005 年海域地震観測から、実際は海山が地震アスペリティから海側にずれた場所に存在することが明らかとなった。また、1982 年に発生した地震の震源過程解析から、震源は海山前縁部に位置し、そこからの震源の広がりが通常の地震よりも大きく、一方地震時の滑りが 20 年間の沈み込み量よりも小さく見積もられることがわかった。これらの結果から、海山上のプレート境界が M7 級繰り返し地震のアスペリティとなっておらず、固着強度の低い海山の沈み込み前方が震源域となっていることを明らかにした。この海山の沈み込み前縁部ではどのような地震活動が発生しているかを知ることは、地震発生メカニズムを理解する上で重要である。2010 年 10 月には、この海山前縁部周辺に長期観測型海底地震計 24 台を用いて、観測点間隔 6 km という通常の高密度な観測網よりも遥かに高密度なアレイを構築し、およそ 1 年間の地震観測を始めた。2011 年 2 月には、さらに 10 台程度の長期観測型海底地震計を加え、34 台の観測網とした。またこの観測網を通して南北 150 km となる測線上に短期観測型海底地震計を設置して、エアガンを人工震源とした構造調査を行った。本観測網による観測期間中に東北地方太平洋沖地震が発生したため、海山前縁部周辺に設置した計 34 台の地震計のうち 3 台については、その余震発生状況の把握のために 2011 年 3 月 30 日に緊急に回収された。残りの 31 台については、2011 年 9 月に行われた地震研究所備船により回収作業が行われ、このうち 28 台の回収に成功した。現在、東北地方太平洋沖地震本震の発生開始時における断層破壊過程、地震発生前後での震源域における地震活動、および震源南端域における断層運動について詳細な解析を進めている。

#### (4) 東北地方太平洋沖地震の余震観測

2011年3月11日に発生した東北地方太平洋沖地震の余震分布および余震活動の推移を詳細に把握するために、震源域全体をカバーする領域に海底地震計をおよそ25 km間隔に設置して最大80台規模の海底地震観測を本震直後から、4期(1期:本震-4月下旬, 2期:4月下旬-6月初旬, 3期:6月下旬-9月中旬, 4期:9月中旬以降)に渡って行った。これまでに1期2期の観測期間中に発生した地震1005個について震源決定を行った。その結果、余震活動が主として本震時に大きな滑りが生じた領域の周辺に発生していることが分かった。また余震活動はプレート境界周辺に限らず、上盤内にも分布していることが確認された。本震よりも南側の福島県沖合に設置された観測網を用いてさらに詳しい解析を行ったところ、海溝軸周辺の沈み込む太平洋プレート内において、本震発生前にはほとんどみられなかった地震活動があることが明らかとなった。解析対象の地震数を増やし、またトモグラフィ解析を適用し、震源と構造との関係を明らかにするための研究を進めている。

#### (5) チリ沖での地震観測

南米チリの南方にあるタイタオ半島の沖合では、地球上で唯一海嶺が沈み込んでいる場所である。過去南海トラフがそうであったように、海嶺付近の熱いプレートが沈み込んでおり、こうした場所では多量の熱と水が供給され、広範囲にわたって変成作用および花崗岩の生成が引き起こされることが予想される。こうした海嶺の沈み込みに伴うテクトニクス、水循環と地震発生の関連性を解明するため、2009年3月よりタイタオ半島沖においてLTOBS5台を用いて約1年間の長期海底地震観測を行った。チリの沖合では2010年2月にM8.8の巨大地震が発生しているが、本海域はさらに大きな規模のM9.5となった1960年チリ地震震源域の南限にあたっており、また、低周波イベントが発生している可能性も考えられる。本研究との比較検討により、南海トラフ沈み込み帯における地震活動の理解の向上も期待される。これまでの解析から、海嶺近傍でみられる活発な地震活動の震源を求め、海嶺において海洋底が拡大しつつ沈み込んでいる可能性を明らかにした。本研究は、東京工業大学、筑波大学、海洋研究開発機構との共同研究である。

### 3.5.3 活断層-震源断層システム

内陸地震の長期評価や発生メカニズムを理解するには、地震発生層底部から表層に至る一つのシステムとして活断層-震源断層を理解する必要がある。このため、当センターでは地殻スケールから極浅層に至る反射法地震探査による活断層の地下構造の解明に主眼をおいた研究を、全国の研究者と共同で進めている。2012年度には受託研究「ひずみ集中帯の重点的観測・研究」・「東北太平洋沖重点的調査観測」・「地震および火山噴火予知のための観測研究計画」の一環として、長野盆地西縁断層帯、新潟平野東縁の月岡断層帯、東北地方中部の双葉断層・白石断層について、新潟大学・岩手大学・東北大学などと共同で、高分解能反射法地震探査を実施した。大深度地殻構造探査データと併せて、それぞれの断層の深部形状が明らかになるとともに、それぞれの構造形成のプロセスが明らかになった。北部フォッサマグナの東縁に位置し、善光寺地震を発生させた長野盆地西縁断層帯については、中新統の泥岩中に発達するデタッチメントに規制された断層関連褶曲を伴う、震源断層のシステムが明らかになった。また、双葉断層についてはその北部で、西傾斜の深部形状が明らかになるとともに、日本海形成時の正断層の反転運動の際に、正断層の急傾斜部をショートカットして新しい断層が形成されていることが明らかになった。

2012年度から始まった受託研究「立川断層の重点的調査観測」においても、トレンチ発掘調査と浅部の三次元反射法地震探査を実施し、活断層システムを総合的に明らかにする研究を進めている。

全国規模での日本列島の震源断層のモデル化は、島弧地殻の変形プロセス、内陸地震の長期予測、強震動予測においても重要であり、2010年から全国の研究者と共同で、地質・変動地形・重力や地震活動などの地球物理学データに基づいた総合的な日本列島の震源断層のマッピングプロジェクトを進めている。2012年度では東北日本の震源断層モデルを作成した。

### 3.5.4 比抵抗構造探査と電磁気観測

電気比抵抗は、温度、水・メルトなど間隙高電気伝導度物質の存在とそのつながり方、化学組成(特に鉄の含有量)に敏感な物理量である。これらの岩石の物理的性質は、すべて、その変形・流動特性を規定する重要なファクターであり、比抵抗構造を決定することによってそれらの情報を地震学的研究とは独立に抽出し得る。従って、当

センターは全国の研究者と協力して日本列島および周辺の比抵抗構造を解明するプロジェクトにおいても中心的な役割を担っている。日本列島全域にわたる広域的かつ深部比抵抗構造を決定するため地震研究所で開発したネットワークMT法の調査を行い、特定の地殻活動域において比抵抗構造を詳細に決定するため広帯域MT法などによる高密度観測を実施している。得られた構造と地殻活動との関連性を探る一方で、これらの観測研究を実施するための構造探査観測装置や測定手法および解析手法の開発を行っている。また、地震、火山活動、広域地殻変動に伴う電磁気現象を観測して、これらの発生機構を解明しようとする研究も行われている。伊豆半島の群発地震と異常隆起、伊豆諸島の火山活動、東海地方の地殻活動を主な研究対象として、プロトン磁力計による全磁力観測や、フラックスゲート磁力計を用いた3成分磁場観測、人工電流法による比抵抗変化の観測、NTT電話回線を用いた長基線地電位差観測を行っている。2012年度には、1) 東北背弧歪集中域(庄内平野、新庄・山形盆地周辺域、村上-相馬測線) 広帯域MT法観測データの2, 3次元解析、2) 東北太平洋沖地震によって顕著な誘発地震活動が起きた、富士山周辺域、いわき周辺域における広帯域MT法観測、3) 濃尾地震断層周辺での広域的ネットワークMT観測、4) 富士、三宅島、浅間などの諸火山地域における広帯域MT法観測、ならびに自然電位観測、5) 中国東北地方における磁場観測、6) 比抵抗構造インバージョン手法の開発、7) 伊豆諸島、桜島、霧島、富士の火山活動に関連する特異な電磁場、比抵抗変化の調査、8) 伊豆半島東部、東海地方における地殻活動に関連する電磁気現象の調査、等の研究を実施した。

これらの研究の主たる成果として、東北太平洋沖地震直後に誘発地震が起こったいわき周辺域では、最初に活動が起こった誘発本震域の西側に低比抵抗域が見出されたほか、村上-相馬測線近傍の蔵王周辺域で沈み込むスラブ直上から地殻につながる低比抵抗域が見出され、誘発地震発生や火山形成に地下深部から供給された流体が関与した可能性が指摘された。また、霧島新燃岳周辺域での全磁力観測データに、2011年新燃岳噴火に1年先行する全磁力変動を見出し、GPS観測により同じく噴火1年前から見出されていた新燃岳の北西の地下深部を中心とする山体膨張に呼応して、新燃岳の西南西ないしは直近の北西側領域浅部で熱消磁が進行していた可能性を指摘した。このほか、データスペースでの3次元ネットワークMT法インバージョンコードを実データに適用して九州地方、濃尾断層周辺域で3次元イメージを明らかにした。また、位相テンソルを逆解析する3次元比抵抗インバージョン手法を確立し、それを基としてスタティックシフトに影響されない観測パラメータである位相テンソルと磁場変換関数をインバージョンする3次元解析手法の開発を開始した。

#### 3.5.5 都市の脆弱性が引き起こす激甚災害軽減化プロジェクト: ① 首都直下地震の地震ハザード・リスク予測のための調査・研究

文部科学省委託研究「都市の脆弱性が引き起こす激甚災害軽減化プロジェクト」が今年度から5カ年計画で始まった。多くの機能が集中高度化し、社会経済活動の中核である首都圏は、災害に対する脆弱性を内在しており、予期せぬ大災害へ発展するおそれがある。そこで、今後予想される首都直下地震や、東海・東南海・南海地震等に対して、都市災害を軽減することを目的に、5カ年の研究開発プロジェクトが実施されている。本プロジェクトは、3つのサブプロジェクトからなり、それぞれが研究・技術分野の境界を越え効果的な連携を図って進めている。地震研究所は、この内サブプロジェクト①「首都直下地震の地震ハザード・リスク予測のための調査・研究」と、プロジェクト全体の統括を担当し、本プロジェクト推進室が地震予知研究センター内におかれ、プロジェクト全体の統括を行っている。プロジェクトの実施には、本センターの他、地震火山情報センター、巨大地震津波災害予測研究センター、観測開発基盤センターが参加している。本プロジェクトの進捗状況と研究の成果は、随時プロジェクトホームページ(<http://www.eri.u-tokyo.ac.jp/project/toshi/>)に掲載されている。サブプロジェクト①では、東北地方太平洋沖地震以降の新たな地震像を解明するとともに、大規模シミュレーション数値解析法を開発し、都市の詳細な地震被害評価技術を開発して災害軽減策の検討に供する。以下の研究、「(1) 南関東の地震像の解明」と「(2) 観測に基づく都市の地震被害評価技術の開発」を開始した。

##### (1) 南関東の地震像の解明

「首都直下地震防災・減災特別プロジェクト(2007-2011)」で設置したMeSO-netの観測データを利用して、首都圏のプレート構造の解明を進め、プレートの詳細な構造と2011年3月11日以降活発化した地震活動の関係を解明し、将来発生が予想される首都直下地震の地震像(地震規模、地震発生頻度、発生場所)を解明する。さらに、首都圏の地盤の揺れの特性を解明する。その為に、以下の4つの課題 a. 首都圏での地震発生過程の解明、b. プレート構造

・変形過程と地震発生過程の解明, c. 首都圏での中小地震と大地震の発生過程の関心の解明, d. 首都圏の過去の地震活動に基づく地震活動予測手法の確立, を実施した。

## (2) 観測に基づく都市の地震被害評価技術の開発

MeSO-net で観測したデータと広域都市モデルを使い, 都市の地盤と構造物の揺れを計算する大規模シミュレーション手法を開発し, 観測と計算を融合させた, 都市の地震被害評価技術を開発している。また, サブプロジェクト②と連携して地盤-基礎-建物系の地震動計測データの収集・蓄積を行い, 個別建物シミュレーションの高度化を図る。その成果は, サブプロジェクト③と連携して, 災害対応能力の向上方策の検討に利用される。「地震動・地震応答の大規模数値解析手法の開発」と「大規模数値解析結果の先端可視化技術の開発」の2つの研究課題を実施している。この研究は, 主として巨大地震津波災害予測研究センターが分担して実施した。

### 3.5.6 ひずみ集中帯の重点的観測・研究

2004年中越地震・2007年中越沖地震など, 東北日本の日本海側で多発した被害地震を受けて, 平成20年度から5カ年の予定で開始したプロジェクトである。このプロジェクトでは東北日本の日本海側および日本海東縁部のひずみ集中帯, 震源断層モデルを構築やひずみ集中のメカニズムの解明を目的としている。防災科学技術研究所を中心となり, 地震研究所では反射法・屈折法による地殻構造探査, 海底地震観測, MT法による電磁気探査, 歴史地震などの研究を実施している。地殻構造探査では, 新潟地域の地殻構造や震源断層の形状を明らかにするために, 長大測線での海陸統合地震探査を実施してきた。2012年は5番目の測線として, 北部フォッサマグナ, 飯山-小谷を横切る約60kmの区間で地殻構造探査を行い, 地殻上部の詳細な速度構造と断層・褶曲構造が明らかになった。基本的には日本海拡大時のリフト形成期の正断層が再活動して, 震源断層となり, リフトを充填した堆積物が反転テクトニクスによって褶曲-断層帯を形成している実態が明らかになった。海底地震観測では, 2010年に新潟県岩船郡粟島浦村(粟島)の南方海域に, 地震研究所が開発したケーブル式海底地震観測システムを設置し, 自然地震の海域リアルタイム観測を開始した。2012年も観測を継続し, 良好なデータが蓄積されている。電磁気探査では, 東北地方背弧のひずみ集中と地殻内流体分布との関連性を調べるため, 2010年までに取得した庄内平野-新庄・山形盆地周辺部, 村上-相馬測線でのMTデータの解析を行った。庄内平野-新庄・山形盆地北部においては, 庄内平野東部活断層帯に伴う構造の食い違いや, その東側の出羽丘陵でインヴァージョンテクトニクスを支持する活褶曲構造, さらにその深部に断層から延長する低比抵抗帯がイメージされ, 南部においては, 同じく月山直下から東に傾いた低比抵抗帯がイメージされた。さらにその南に位置する村上-相馬測線では, 背弧部, 脊梁部地下に沈み込むスラブからつながる低比抵抗帯が決定され, 地下深部からの水の供給を示唆した。また, 石狩低地活動帯や庄内平野-新庄・山形盆地周辺部で得られたデータについて3次元インヴァージョン解析を開始した。一方で, ひずみが集中する火山地域での流体の分布や移動を明らかにするため, 2009年から2012年にかけて, 富士, 霧島, 伊豆大島, 三宅島, 浅間山においてMT構造探査を実施し, 富士, 霧島, 桜島において広帯域MT連続観測, 三宅島において自然電位マッピングを実施した。

### 3.5.7 立川断層帯の重点的観測・研究

立川断層帯は首都圏の人口稠密地域に位置する。2011年東北地方太平洋沖地震後, 首都圏の地震活動は活発化しており, 本断層帯を震源とする将来の地震発生についても危惧されている。本断層帯については, 変化する応力状態に対応した地震発生の評価に重要な震源断層の形状については不明な点が多く, また長期評価に重要な活動履歴の信頼性は低いとされ, 過去の活動時期についてさらに精度良く絞り込む必要がある。また, 断層帯の走向から相当程度あると想定される横ずれ成分の平均的なずれの速度は全く不明である。さらに想定震源域が人口稠密地に位置することから, より精度の高い強震動予測が必要になる。こうした背景から, 震源断層の形状の解明, 断層の詳細位置と活動履歴・平均変位速度の解明, 強震動予測高度化を目的とした調査観測が, 2012年度から3ヶ年計画で始まった。この研究には地震研究所の他に, 首都大学東京・地震予知総合研究振興会・東京工業大学が参加している。2012年度は立川断層の三次元形状・三次元的な変位量を明らかにするために, 500m四方の領域で, 受振・発震点の間隔が約10mの高分解能三次元反射法地震探査を行った。また, 断層帯周辺地域において, 30台の高感度地震計からなる臨時観測点を選定し, 観測機器を設置し, 自然地震観測を行った。臨時観測点で得られるデータの

品質確認を行った。統合処理を行うため、既存の基盤的地震観測網のデータおよび首都圏地震観測網 (MeSO-net) のデータ収集を行った。加えて、変動地形学的な調査観測に基づき活断層・変動地形の位置・分布・変位様式について検討を行った。また、断層帯の活動履歴と、特に変位様式を明らかにすることを目的とした巨大トレンチ調査を、旧日産自動車村山工場跡地にて実施し、立川礫層を切断するほぼ垂直な断層面を確認した。

### 3.5.8 ニュージーランド北島ヒクランギ沈み込み帯の研究

オーストラリア・プレート上にあるニュージーランド北島の下には、東から太平洋プレートが沈み込むことによって、Hikurangi 沈み込み帯が形成されている。特にこの地域は、関東地方と類似して陸域下での浅い沈み込みが進行し、プレート境界の物理特性と GPS や地震観測によって明らかにされているスラブの挙動との関係を明らかにする上で格好の地域である。

#### (1) 海陸統合地殻構造調査

当センターでは、2009 年度からニュージーランド GNS Science と共同で、北島南端部及びその周辺海域において制御震源地震探査を計画・実施してきた。2010 年に行われた海域部探査においては、地震研究所から 20 台の海底地震計を北島の東西海域に設置し、エアガン人工震源による発震～4000 発の地震波記録を行った。震央距離 100 km 以上まで初動を確認することができ、これの走時解析を行うことによって、北島東側海域下の沈み込み帯上盤側構造及び下に沈み込む厚さ 12.5 km に及ぶ Hikurangi 海台の地震波速度構造の詳細を求めた。その結果、Hikurangi 海台は平均的の海洋性地殻の構造を～1.8 倍厚く、また同時に形成したと考えられている Onton Java 海台をおよそ半分に薄くした構造をしていることが明らかとなった。また Hikurangi 海台の地殻上には隣接する Chatham Rise 上の堆積層が沈み込み方向に薄くなるような楔形上に存在し、海底面から少なくとも 8 km の深さまで Hikurangi 海台とともに沈み込んでいることが分かった。更に、海台下の上部マントルの見かけ速度が～9 km/s と異常に速いことを示唆する結果を得た。このような異常速度は、ニュージーランド北島の陸域南半分で行われた構造調査の南北測線上でも見られる。したがって、沈み込む前から沈み込んだ後までの広い範囲にわたる海台の地殻下に、異常に速い見かけ速度を持つ物質が存在することが分かった。現在、この異常高速度層の解釈について検討を行っている。2011 年には、Wellington-Wairarapa 地域下のプレート沈み込み構造及び断層構造解明のための陸域制御震源地震探査が行われた。日本側から 270 台の観測機材を持ち込み、約 80 km の測線上に合計 872 点の観測点を 50-100 m 間隔に設置し、12 のダイナマイトショットを記録した。得られた記録は良好で、初動は測線全体にわたって確認でき、地殻内及びプレート境界域からの反射波も観測されている。プレート境界域からの反射波は、特にプレート間の固着が弱くなる測線西側で顕著に確認できる。このデータに散乱法解析を適応し、探査測線下の不均質構造のイメージングを試みた。得られた結果からは、Tararua 山脈下の深さ 5-20 km には、Wairarapa 断層に対応すると解釈できる西傾斜の散乱体分布が、深さ 20-25 km には、沈み込む太平洋プレート上面に対応すると解釈できる西傾斜の散乱体分布が、それぞれ明瞭に確認することができる。

#### (2) 長期海底地震・圧力観測

ニュージーランド北島東方沖では、海溝軸近傍から海岸線より数十キロ沖合までの浅いプレート境界における固着強度が高いことが知られている。このプレート境界に沿った固着領域の下部では、およそ 2 年という短い周期を持ってスロースリップも発生していることが、陸上 GPS 観測よりわかっている。しかしながら、スロースリップ発生領域上端が海域に達しているために、その上端がどこに位置しているのか正確に求められていない。そもそも、ニュージーランド東方沖では海底地震観測も行われたことがないため、海域下の地震活動について、その正確な震源の位置もわかっていない。そこで我々は、2012 年 4 月より長期観測型海底地震計 4 台を用いて、およそ 1 年間の地震観測を開始した。このうちの 2 台は、海底の上下変動を観測するための精密海底圧力計を装備した広帯域海底地震計で、スロースリップが発生した場合に、その領域を精度よく決定することを目的として設置した。2012 年 9 月には、本観測域より北側海域で群発地震が発生しており、本観測記録からの解析結果が期待される。この 4 台の海底地震計は、2013 年 3 月に回収される予定である。

## 3.6 火山噴火予知研究センター

教授

武尾実 (センター長), 中田節也, 森田裕一 (兼)