

タイムの影響を強く受けるため、結果として、ひとつの素過程を仮定した場合に比べ、高速すべりの後に大きな固着遅れが生じることがわかった。

(6) 地震サイクルシミュレーション

地震の破壊開始点における破壊エネルギーは、地震発生や震源核の規模を支配する重要な物理パラメータである。沈み込み域の地震サイクルシミュレーションを行うことにより、プレート境界地震の破壊開始点の破壊エネルギーを推定した。プレート境界の固着域の端では周囲の非地震性すべりにより応力集中が生じている。応力集中の大きさは非地震性すべり量に比例し、応力集中とともに増大するエネルギー解放率が固着域での破壊エネルギーに等しくなったときに固着域が破壊される。非地震性すべり量はプレート相対運動速度と時間の積から得られるため、プレート相対運動速度と地震の再来周期から破壊開始点の破壊エネルギーが推定できる。この理論の妥当性をシミュレーションで検証し、破壊エネルギーを推定するための関係式を導いた。この関係を使い、南海トラフのM8級地震と2011年東北地方太平洋沖地震の発生を支配していた高強度領域の破壊エネルギーを推定したところ、それぞれ、 $0.1-1\text{MJ/m}^2$ 、 $約10\text{MJ/m}^2$ の値を得た。

(7) 内陸地震合同観測研究

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、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において地球物理的総合観測を実施した。今年度は、その総合観測の一環として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280kmの測線において地殻構造探査をおこなった。これまでの内陸地震の研究から、内陸地震の発生に関しては地表近傍の構造だけでなく、地殻下部(深さ約15km以深)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。また、現在実施している総合観測によって、濃尾地震の断層域近傍でも、断層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。構造探査の結果、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、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期待される。

(8) 霧島山(新燃岳)噴火

霧島山(新燃岳)で2011年に発生したマグマ噴火は新燃岳としては300年ぶりのものであった。1月26,27日の準プリニー式噴火に引き続き、火口に溶岩が蓄積しブルカノ式噴火を繰り返した。噴火活動は同年9月まで続いた。この噴火に代表されるような、長い休止期間を持つ火山の噴火予測技術を向上するためには、このマグマ噴火の総合的な観測研究が不可欠であった。すなわち、過去の噴火観測の経験がない火山において、今回の噴火の総合的な観測調査から、マグマ噴火の開始と推移、および、終息の仕方についてどのように理解し、噴火シナリオを作成して、噴火に備えるかが重要である。この噴火については、2010～2011年度の科学研究費「特別研究促進費」に基づいて、地震火山噴火予知研究協議会の下、全国火山研究者の連携によって総合的な観測研究が実施された。なお、この観測研究は2012年度以降も継続している。

この噴火の前兆現象は、水蒸気爆発の繰り返し、地殻変動や周辺地震活動の高まりにとして捉えられ、本格的噴火の前に火山体地下へのマグマ蓄積が進行していたことが、約1年前から明らかになっていた。より明確なマグマ噴火の開始予測は、1月26、27日の最盛期噴火に1週間先行した小噴出の噴出物中に軽石が認められたことであった。噴火の推移については、地震、地殻変動、電磁気、重力、火山ガスなどの総合観測研究の結果から、噴火前後のマグマの蓄積位置、噴火の進行に伴うマグマ溜まりの膨張・収縮や消磁現象の進行・停滞、噴火時のマグマの移動による微動発生源位置や絶対重力値の変化、噴火直前の火道閉塞による火山ガス放出停止などが明らかになった。特に、地下のマグマ溜まりの変動(マグマの出入り)が地上での噴火現象を直接左右していることがこの噴火では明確になった。また、噴火活動が停止に向かうプロセスも今回の観測から明確に把握され、今後、もし活動再活発化が起これば、現在の観測網から予測可能であることが示唆された。

噴出物の岩石学的研究からは、噴火前に複数回にわたってマグマ混合が発生していたことや、混合したマグマの蓄積深度や混合過程についてのモデルが提案された。さらに、この噴火中に新燃岳の噴火シナリオが作成、改定され、浅間山や外国のブルカノ式噴火・プリニー式噴火を繰り返す火山についての基本的な噴火シナリオが試作された。以上の研究成果はEarth, Planets and Spaceの新燃岳特集号として2013年に掲載が予定されている。

3.11 観測開発基盤センター

教授 岩崎貴哉(センター長)、加藤照之(兼任)、額額一起(兼任)、森田裕一(兼任)、中井俊一(兼任)、小原一成、篠原雅尚、歌田久司(兼任)

| | |
|-------|--|
| 准教授 | 新谷昌人, 望月公廣 (兼任), 大湊隆雄, 酒井慎一, 鶴岡弘 (兼任), 卜部卓 |
| 助教 | 青木陽介 (兼任), 蔵下英司 (兼任), 前田拓人, 中川茂樹 (兼任), 小河勉, 高森昭光 (兼任), 山田知朗 (兼任) |
| 特任研究員 | 金沢敏彦, 町田祐弥, 中東和夫, 眞保敬 |
| 技術補佐員 | 阿部恵子, 原田寧子, 藤田園美, 大川理恵, 園部晴美, 渡邊美実 |
| 外来研究員 | 堀輝人, 大橋正健, 高橋弘毅 |
| 大学院生 | 出口雄大 (M2), 小寺祐貴 (M2), 酒井浩考 (M2) |

観測開発基盤センターは平成22年4月の地震研究所改組に伴って設立され、地震火山観測機器及び分析装置の維持・管理・活用等の研究支援、観測機器・技術開発支援及び地震火山観測研究・技術開発研究を推進することを目的としている。本センターでは、観測所等の観測拠点とテレメータ観測網を維持・活用するとともにデータ伝送・流通システムの研究開発を図り、地震・地殻変動・火山・電磁気現象に関する広範な観測研究を進めている。これらの観測研究には、新たな観測システムの開発が不可欠である。このような技術開発を観測研究とともに推進していることが本センターの大きな特徴である。

3.11.1 陸域地震・地殻変動観測研究

(1) 陸域における地震観測

(1-1) 広域的地震観測

関東・甲信越、紀伊半島、瀬戸内海内帯西部に展開している高感度地震計による広域的地震観測網による観測、および伊東沖と三陸沖に設置している光ケーブル式海底地震・津波観測システムによる海陸境界域の観測を継続し、地震活動と不均質構造の研究を進めてきた。3.10.7節で詳しく述べるように、本センターでは全国の国立大学や研究機関等(北海道大学・弘前大学・東北大学・名古屋大学・京都大学・高知大学・九州大学・鹿児島大学や気象庁・防災科学技術研究所・海洋研究開発機構・産業総合研究所・東京都・神奈川県など)によって観測されている地震波形データを収集し、本センターのデータと統合処理している。さらに、これらのデータは、日本列島周辺で発生する様々な地震に対する臨時観測のデータと併せることにより、より高密度な観測網が構築され、さまざまな地震活動の詳細が明らかになりつつある。

三陸沖に設置していた光ケーブル式海底地震・津波観測システム陸揚げ局(釜石)は、2011年東北地方太平洋沖地震によって発生した津波によって破壊され、現在データ収録は行われていない。

(1-2) 臨時集中地震観測

2011年3月11日に発生した東北地方太平洋沖地震(以降、太平洋沖地震という)の影響と思われる誘発地震活動が内陸域で継続していることから、他大学・関係機関との共同により、それらの地震活動を把握するための臨時観測が実施された。

特に活発な正断層型浅発地震活動が茨城県北部から福島県浜通りの地域で発生しており、集中的な機動的な地震観測を昨年度より継続して実施した。震源分布や速度構造推定精度向上のため、防災科研の協力を得て、地震活動域を約3-5km間隔で覆うように設置されたオフライン地震計64台の観測維持を行った(地震予知研究センターの章参照)。また、地震活動の即時把握精度向上のため、地震活動域周辺の3ヶ所(福島県いわき市湯ノ岳、埜町片貝、古殿町馬場平)に高感度地震計テレメータ観測点、さらに、関東地方太平洋沖に発生する可能性のある大地震および低周波地震の把握精度向上を目的として、茨城県内5か所(常陸太田、東海村、水戸東、茨城町、行方北)に広帯域地震観測点が昨年度に設置されており、千葉県内に設置されている大大特アレイ(10ヶ所の広帯域地震計を含む)と共に連続観測を行っている。また、地震活動が活発化した日光足尾地域においても、テレメータ観測点の用地選定等を実施した。長野県北部地域でも、M6.7の地震をはじめとした地震活動が続いており、震源域周辺の2ヶ所でテレメータ観測を継続している。その地域の南西20kmで、2012年7月10日12時49分頃にM5.2の地震が発生したため、その翌日に震源域周辺に計3台の地震計を展開し、8月31日までオフライン連続観測を行った。

(2) 地殻変動観測

南関東・東海などにおいて歪・傾斜などの高精度センサーを用いた地殻変動連続観測を行うとともに、GEONET等によるGPS観測結果と比較検討し、地震発生と地殻変動の関係に関する研究を行っている。観測は1970年頃より

長期にわたって継続観測を実施している油壺、鋸山、弥彦及び富士川の各地殻変動観測所における横坑式観測と、伊豆の群発地震発生地域、想定される東海地震、東南海・南海地震発生地域などに設置された深い縦坑を用いたボアホールや横坑での観測によって実施されている。前者においては水管式傾斜計と水晶管伸縮計を中心とした観測方式を採用しており、後者においては、最近開発されたボアホール地殻活動総合観測装置(歪3成分、傾斜2成分、温度、加速度3成分、速度3成分、ジャイロ方位計から構成されている)を用いて観測を継続している。得られた観測データについては、2012年2月に開催された地震予知連絡会において富士川及び弥彦における観測結果を報告し地震予知連会報に投稿した。また、全国の地殻変動研究関係者が中心となってデータの公開を進めており、地震研からは鋸山と富士川の両観測所及び伊東、室戸のデータを提供した。さらに、共同利用の一環として、他部局からの依頼に応じて油壺観測所のデータを提供した。

(3) 内陸地震震源域における歪・応力の蓄積・集中過程解明のための総合観測

本センターは、地震予知研究センター及び地震火山噴火予知研究センターと共同で、内陸地震域への歪・応力集中メカニズムと破壊様式解明のための観測研究を行っている。2009年から、国内最大級の内陸地震を引き起こした濃尾地震の震源域で総合的な観測研究を実施している。本年度は、断層域を取り囲むテレメータ観測網について保守点検を行いつつデータ収集を行った。データは順調に集積しつつあり、断層帯を囲む広域トモグラフィ解析が本格的に開始された。また、濃尾地震の震源域南東延長部に計36点からなる稠密地震計アレイを展開し、2011年7月下旬から2012年3月下旬までの約8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ーザー関数解析の予備的解析をおこなった。更に、11月15日-16日の日程で京都府福知山市から濃尾断層帯を東西に横断し長野県伊那市に至る全長約280kmの測線において地殻構造探査を実施した。後続波を含む明瞭な記録が得られ、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。今後の解析によって、地殻下部の低速度域と震源断層との関係が明らかになっていくものと考えられる(地震予知研究センターの章参照)。

(4) プレート境界域の地震活動と不均質構造解明のための観測研究

西南日本に沈み込むフィリピン海プレートと上盤プレートとの境界で発生する深部低周波微動活動はプレート間すべり現象を反映していることから、プレート間すべりのモニタリングの高精度化を図るため、微動活動特性に関する調査を行った。その結果、微動域の深い側では規模の小さな微動が頻繁に発生するのに対して、浅い側では比較的規模の大きな微動が数カ月間隔で発生する。このことは、深さとともに摩擦強度が変化することを示している。また、微動域全域でプレート進行方向に沿う微動の高速移動現象が見られるのに対して、プレート形状の走向方向に比較的低速で移動する現象が浅部側に集中しており、微動の活動特性が深さとともに変化することを示している。微動の幅が最も広い四国西部において、微動活動の特性及び微動活動の深さ依存性を規定するプレート境界面の性状変化を把握することを目的とし、愛媛県伊方町周辺において短周期地震計12台から構成される稠密アレイ、さらに、このアレイを中心として西側の佐田岬半島、および南側の高知県四万十市に向かう総延長約80kmのL字型地震計アレイ(70台)を構築し、観測を継続した。また、内陸域でも同様の微動活動の有無を調査したところ、遠地で発生した巨大地震による表面波が通過した際に、北海道、関東、九州などのプレート境界以外の場所で、大振幅表面波の位相にあった微動活動を検出した。

(5) 地殻活動モニタリングシステム構築

リアルタイムで流通する高感度地震観測連続データの有効活用を図り、地殻活動の現況のモニタリング、新たな現象発見・研究テーマの創出等、所内研究活動の更なる活性化を目的としたWEB閲覧システムを構築し、観測点毎の連続波形画像、深部低周波微動モニタリング用エンベロープ画像、広帯域マルチトレース、近地震・遠地震波形画像等の作成・閲覧に関する運用を行っている。

(6) ニュージーランド北島ヒクランギ沈み込み帯の海陸統合地殻構造調査

ニュージーランド北島には、南から太平洋プレートが沈み込んでおり、Hikurangi沈み込み帯が形成されている。当センターは、地震予知研究センターと共同で、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。2012年には、その解析が進み、海域部から北島に至る詳細な地殻・上部マントル構造及びプレート沈み込み構造が提出されるとともに、Wellington-Wairarapa地域下の断層構造のmappingが行われた。(地震予知研究センターの章参照)。

3.11.2 海域における観測研究

(1) 平成 23 年 (2011 年) 東北地方太平洋沖地震の海底観測

2011 年 3 月 11 日午後 2 時 46 分頃、東北地方太平洋沖で日本国内観測史上最大の M9.0 の巨大地震が発生し、震度階最大である震度 7 を記録したのをはじめ、北海道から関東地方にかけての広範囲で強い揺れが観測された。この地震に伴い M7 以上の余震が多数発生したほか、日本の太平洋沿岸で高さ 15m を超える津波が観測され、大きな地震動・津波被害をもたらした。この地震は北米プレートとこれに沈み込む太平洋プレートとの間のプレート境界で発生した地震であり、余震域の広がりには南北約 500km にわたる極めて大規模なものである。遠地実体波や津波による解析からは、海溝近くで特に大きな滑りがあったと推定されている。このような巨大地震が日本のように観測網の充実した地域で発生した例がなく、これまで明らかになっていなかった巨大地震の詳細な発生過程を明らかにする必要がある。

今回の巨大地震の震源域はほとんどが海底下であるため、陸上の観測網だけではその全貌を明らかにすることは困難である。これまでに、巨大地震の発生直後に大規模な海底観測が行われたことはない。海底地震観測により余震分布を高精度で決定し、震源断層の位置、形状を求めることは重要である。このような背景から、平成 22 年度および平成 23 年度特別研究促進費により、「2011 年東北地方太平洋沖地震に関する総合調査」が実施され、海底地震観測が実施された。正確な余震の空間分布を求めるため、今回の地震の震源域に、約 25km 間隔で 120 台以上の自己浮上式海底地震計を設置した。震源域の一部では、地震発生時に、50 台程度の海底地震計が設置され観測中であった(東海・東南海・南海地震の連動性評価研究)、および「地震・火山噴火予知研究計画」による観測点)。

本震発生後 4 日目から、計 72 台の海底地震計の震源域への設置を行った。これにより、本震発生以前から震源域直上で観測を行っていた海底地震計と併せて、120 点を超える海底地震観測網が、4 月初めに完成し、観測を開始した。余震観測のために設置した海底地震計は、約 1ヶ月間の観測を行った後、順次回収された。回収時に、ほぼ同一地点に新規の海底地震計を再度設置し、観測を継続すると共に、観測網を広げるために、計 65 台の海底地震計を 5 月初旬までに設置した。この海底地震計も、約 1ヶ月間の観測後、6 月に回収をされた。この観測網により震源域ほぼ全域において、本震後約 3ヶ月間の海底余震観測が行った。6 月からは、宮城県沖の本震震源付近と震源域南部において、より空間密度の高い海底地震観測を約 3ヶ月間行った。2011 年 10 月からは、40 台の長期観測型海底地震計 (LTOBS) を用いた長期の海底観測を震源域全体にわたって実施した。このうち震源域北部に設置した 20 台の LTOBS は、2012 年 8 月 21 日から 24 日にかけて株式会社オフショア・オペレーション「第 7 海工丸」にて回収した。震源域南部の 20 台は、2012 年 10 月 23 日から 29 日にかけて、同じく「第 7 海工丸」にて回収した。これらの観測に使用した海底地震計の種類は多岐にわたるが、すべて音響切り離し方式であり、データはデジタル方式で収録された。

得られたデータは現在も解析中であるが、3 月 15 日から 6 月 18 日までの期間において、約 70 台の海底地震計データを解析することによって、1005 個の精度の良い震源が得られた。余震の震源の深さは、全体的に陸に近づくにつれて深くなっていた。震源分布からは、本震時に大きくすべった宮城県沖のプレート境界では余震活動が低いことがわかった。これは、プレート境界に蓄積されたひずみが本震によってほとんど解放されてしまったことが原因と考えられる。一方、本震時にすべり量が小さかった福島県沖～房総半島沖、プレート境界の深い部分では多数の余震が発生していた。上盤の陸側プレート内では余震活動が活発で、正断層型と横ずれ型が卓越していた。本震前の地震の多くは逆断層型だったことから、本震の発生によって応力場が圧縮場から伸張場に変化し、地震活動が活発化したことが示唆される。三陸沖～宮城県沖、茨城県沖では沈み込んだ太平洋プレート内の深い余震も発生していた。太平洋プレート内の余震も多くが正断層型か横ずれ型だった。本震発生前、日本海溝付近の太平洋プレート内では、浅い地震は正断層型、深い地震は逆断層型だったことから、本震の発生によって日本海溝付近の太平洋プレート内では深部まで伸張場になってしまったと考えられる。日本海溝付近の水深が 3000m より深い領域では余震が少なかったが、宮城県沖の日本海溝付近では余震活動が見られた。今後、引き続き、得られた膨大な量のデータ解析を行う。この海底観測研究は、東京大学地震研究所・北海道大学理学研究院・東北大学理学研究科・九州大学理学研究院・鹿児島大学理学部・海洋研究開発機構・気象庁気象研究所の共同研究である。

(2) 地震及び火山噴火予知のための観測研究計画による海底地震観測・地震波構造探査実験

(2-1) 海底地震観測

地震研究所では、LTOBS 及び広帯域海底地震計 (BBOBS) の開発を行い、従来は長くても数ヶ月だった連続観測期間を、1 年以上に延ばすことに成功した。また、観測帯域を 360 秒まで拡大した。これらの海底地震計を用いた長期海底地震観測により、地震活動の把握、内部構造の推定を行っている。

(2-1-1) 房総半島南部における長期海底地震観測

2009 年には、「地震及び火山噴火予知のための観測研究計画の推進について(建議)」に基づく地震予知研究の一環として、房総半島南部沖の相模トラフ周辺海域に、LTOBS 40 台を設置し、長期地震観測を実施した。この観測は、40 台のうち 10 台を日本海溝海側に設置し、相模トラフ周辺だけでなく、沈み込む前の海洋プレートの地殻活動も観測することが特徴である。2010 年には、40 台の LTOBS を回収した。回収には、(株)新日本海事の新潮丸を利用した。回収航海は、2010 年 10 月 11 日横須賀港を出港し、40 台全台的回収に成功し、2010 年 10 月 18 日に横須賀港に入港した。得られたデータからは、銚子沖において、太平洋プレートの二重地震面の上面で逆断層型、下面で正断層型の地震が発生していることがわかった。これは、沈み込み帯における典型的な応力分布と調和的である。なお、この観測研究は、北海道大学、東北大学、九州大学、千葉大学との共同研究である。

(2-1-2) 茨城県沖における長期海底地震観測

茨城県の沖合約 100 キロメートルの海底下では、ほぼ同じ震源域でマグニチュード(M)7 級の大地震が約 20 年の間隔で繰り返し発生してきた。最近では 2008 年 5 月 8 日に M7.0 の地震が発生した。これらの地震の震源域よりさらに沖合の太平洋プレートの海底には、多くの海山が点在しており、この地震の震源域においても海山の存在が予想されていた。そこで、実際に海山が震源域に存在し、アスペリティとなっているのかどうかを詳しく調べるために、海洋研究開発機構の白鳳丸を利用して、2004 年にエアガンと海底地震計による構造調査を行った。この構造調査によって、直径 50km、比高 3,000 メートルの富士山級の海山が深さ 10km まで沈み込んでいることを、初めて明らかにした。海山のある位置は、これまで本海域で繰り返し発生してきた M7 級地震の震源域から南南西に 30km ずれていることが分かり、海山自身がアスペリティとなっているという予想には反する結果となった。また 2005 年には白鳳丸を利用して、海底地震計による自然地震観測を行った。観測された地震について震源を精度良く決定したところ、海山上では地震活動が全く見られず、沈み込む海山の前方の麓付近に集中して発生していることがわかった。これらの調査・観測結果を総合的に判断すると、海山部分のプレート境界では、摩擦が小さいと考えた方が合理的であるということがわかった。2010 年は、この海山周辺でより精密な震源分布を求め、海山が沈み込みに果たす役割を明らかにする目的で、LTOBS 34 台を用いた地震観測を実施した。この観測では、2010 年 10 月の(株)新日本海事の「新潮丸」の航海により、まず 24 台が設置された。2011 年 2 月には海洋研究開発機構の白鳳丸により、さらに 10 台の LTOBS が観測網に追加され、長期観測を行った。今回の観測は、LTOBS の設置間隔が約 7km と、通常海底地震観測よりもはるかに高密度な観測網を構築し、高精度の震源決定を目的としていることが特徴である。また、2011 年 3 月には東北地方太平洋沖地震が発生し、震源南端域ほぼ直上での観測記録を得た。設置した LTOBS 34 台のうち 3 台は、余震活動の緊急解析のために 2011 年 3 月末に回収され、残りは 2011 年 10 月に回収された。現在はこの記録を用いて、東北地方太平洋沖地震本震および 3 月 9 日に発生した前震の精度の高い震源位置、震源域における本震発生前後 6 か月の地震活動の推移、および震源南端域における断層運動の解明に向けて解析を行っているところである。なお、この観測研究は、北海道大学、東北大学、九州大学、千葉大学との共同研究である。

(2-1-3) 日向灘における海底地震観測

日向灘域においては 2002 年から 2010 年にかけて海底地震計を用いた 25 台規模の微小地震観測を実施し、地震発生と速度構造ならびに応力場分布の関係についての知見が得られている。2011 年も、同様な観測を実施の予定であったが、3 月 11 日の東北地方太平洋地震の発生を受け、7 月から LTOBS6 台による約 1 年間の長期観測に計画を変更した。設置は長崎大学水産学部練習船「長崎丸」を利用し、2011 年 7 月 4 日から 8 日にかけて、6 台の LTOBS を設置した。設置した LTOBS は、2012 年 7 月 4 日から 7 日にかけて、同「長崎丸」にて回収した。現在、得られたデータの解析を行っている。本研究は九州大学、鹿児島大学、長崎大学との共同研究である。

(2-2) 地震波構造探査

沈み込み境界における地震発生準備過程の研究のために、海域において、制御震源と海底地震計を用いた構造探査実験を行っている。構造探査実験に用いる海底地震計は、主に短期観測型海底地震計(STOBS)である。これは、プレート境界域の微細構造を求め、大地震の発生準備過程を探るものである。2003 年までは、プレート境界反射面の面的マッピングを行い、微小地震発生の少ない地域では、プレート境界からの P 波反射強度が強いことを明らかにした。2004 年からは、同年に開始された「地震予知のための新たな観測研究計画(第 2 次)」に基づく地震予知研究の一環として、アスペリティの実体解明のための制御震源と海底地震計を用いた構造探査実験を行った。なお、2004 年からは、実験規模が大きくなり、解析にも時間がかかるために、隔年の探査実験実施とした。2004 年は、宮城県沖地震の想定震源域において、2006 年は、福島県沖から茨城県沖にかけての海溝陸側斜面下で、2008 年は房総半島沖において、STOBS とエアガンおよび発破による制御震源を用いた構造探査実験を実施した。これら一連の構造

探査実験からは、島弧側マンツルの不均質と沈み込む海洋プレートの形状が大地震の破壊域を規定している要因の一つと考えられることがわかった。なお、これらの構造探査研究は、北海道大学、東北大学、九州大学、鹿児島大学、千葉大学、海洋研究開発機構などとの共同研究である。

(2-2-1) 伊豆大島火山体の海陸地震波構造探査実験

2009年からは、「地震及び火山噴火予知のための観測研究計画の推進について(建議)」に基づく地震予知研究の一環として、制御震源と海底地震計を用いた構造探査実験を行っている。2009年は、伊豆大島火山の深部構造を求めることを目的として、伊豆半島下田沖から伊豆大島を通り、房総半島沖まで西南西～東北東に並ぶ約60kmの測線において、海陸にまたがる構造探査実験を行った。STOBSは、約2km間隔で39台を設置した。また、伊豆大島島内には約50m間隔で、東西方向に約180台、南北方向に約100台の地震計を配置した。制御震源には、ダイナマイトおよびエアガン発震を用いた。得られたデータを解析した結果、伊豆大島下の深さ12km程度までの構造が明らかとなった。なお、この構造探査研究は、北海道大学、東北大学、九州大学、鹿児島大学、千葉大学との共同研究である。

(2-2-2) 房総半島南部における海底地震波構造探査実験

2009年には、房総半島南部沖において、東西方向の測線を設定し、エアガンと海底地震計を用いた構造探査実験を行った。この実験では、実験時に地震観測のために設置されていたLTOBSと構造探査実験期間中に設置したSTOBSを観測点として、用いたことが特徴である。構造探査用STOBSの設置・回収およびエアガンの発震には、海洋研究開発機構の白鳳丸を利用し、2009年7月から8月初めまで実験が行われた。地震観測のためのLTOBSは、2010年10月に回収され、解析に必要なデータを全て回収することができた。1年間の海底地震観測による高精度な震源と、地震波構造の比較が可能になる。現在、データ解析中であるが、得られた距離時間軸断面において明瞭な屈折波が見られる。なお、この構造探査研究は、北海道大学、東北大学、九州大学、千葉大学との共同研究である。

(3) 海域における地震観測研究

(3-1) チリ三重会合点付近における海底長期地震観測

チリ三重会合点付近では、現在の地球上で唯一海嶺沈み込みが起こっている。三重会合点は海底にあり、海域における地震観測による地震活動の把握、沈み込んだ海嶺の地震学的な構造を求めることは、チリ三重会合点のテクトニクスを考える上で、重要である。そこで、チリ三重会合点付近、タイタオ半島沖で、LTOBSを用いた海底地震観測を行った。設置は、2009年3月1日に、海洋研究開発機構海洋地球研究船「みらい」MR08-06レグ1航海にて行われた。観測域は、海嶺が沈み込んでいるタイタオ半島沖のチリ海溝付近である。この地域は、これまでに海底地震観測が行われたことがないために、全体的な地震活動を明らかにすることを目的とし、観測点間隔は、やや長めの約30km弱とした。LTOBSは5台を使用した。設置後の3月4日から7日にかけて、同航海により、各LTOBSを結ぶ測線上で、エアガンの発震を行い、OBSによる広角反射・屈折法地震探査を行うと共に、反射法地震探査を行った。回収は、設置からほぼ1年後の2010年2月12日から13日にかけて行われた。使用した船舶は、チリ海軍の救助サルベージ船「BRS-Slight」であり、全台回収することができた。約1年間の連続地震観測記録から、観測網近傍で発生した地震を検出し、167個の地震の震源を求めた。海側では、活動的な海嶺で見られる地震活動が見られた。これは、海嶺が海洋底拡大しつつ、沈み込んでいることを表していると考えられる。なお、この観測研究は、東京工業大学、海洋研究開発機構、コンセプション大学(チリ)との共同研究である。

(3-2) 南マリアナトラフ背弧海盆における海底地震観測

南マリアナトラフ背弧海盆を横断する測線と拡大軸付近で、2010年にOBS15台を設置し、長期海底地震観測を実施した。南マリアナトラフ背弧海盆は、非対称な拡大をしており、豊富なマグマ供給量を示唆するかまぼこ型の高まりをしている拡大軸部がある。さらに、その拡大軸付近には、異なる熱水が噴出している3つの海底熱水噴出域がわずか5kmの近接した海域に存在している。観測データから、上部マンツル構造、地殻構造、および震源分布を明らかにし、拡大軸と拡大軸付近の海山、島弧へのメルト供給の実態、地殻生産量と形成された地殻の特徴などに着目し、背弧海盆拡大系の総合的な理解することが目的である。設置は、海洋研究開発機構「よこすか」YK10-10航海にて行われた。8台のLTOBSは、海嶺軸を横切る長さ約100kmの測線上に設置し、6台のSTOBSを海嶺軸付近に約10km間隔に2次的に設置した。設置は、2010年8月20日～22日に行われた。回収は、海洋研究開発機構「よこすか」YK10-15航海にて行われた。11月13日～15日には、設置されている9台のOBSを利用して、海嶺軸付近においてエアガンを震源とした屈折法・反射法地震探査を実施した。回収は、11月11日から15日にかけて行われた。P波初動を用いた屈折波解析から、拡大軸下の低速度構造と、拡大軸からオフセットする海山下の高速構造が明らかになった。データは現在も引き続き解析中である。なお、この観測研究は、千葉大学との共同研究である。

(3-3) ニュージーランド北島における海域地震波構造探査

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、沈み込みに伴って発生する地震や津波による被害も発生してきた首都ウェリントンが位置する北島南端付近の海域において、この沈み込み様式を解明するために人工震源を用いた Seismic Array HiKurangi Experiment (SAHKE) 地震探査が行われ、北島南端を挟む総延長 540km に及ぶ測線上でマルチチャンネル地震波反射 (MCS) 記録が得られた。我々はこの MCS 探査のエアガン震源を利用した海底地震計による屈折法・広角反射法地震波構造探査を行った。用いた STOBS は 20 台であり、16 台は海溝側である北島東南方海域に、4 台は背弧となる北島の西方海域に設置した。STOBS の設置間隔は、約 5km である。震源は、総容量 8,000 cu. in. のエアガンアレイであり、約 100m 間隔で発震を行った。STOBS の設置は、2010 年 3 月初めに行われ、エアガン発震後の 4 月に全台回収された。データでは震央距離 100km 以上まで初動を確認することができ、カップリングが強いと考えられているプレート境界を含めた領域での構造解析が進行中である。これまでに、太平洋プレート上のヒクラング海台が非常に低角に北島南端下に沈み込む様子、および海台の地殻がおおよそ 12.5km の厚さを持っていることが明らかとなっている。また海台の地殻下からは、見かけ速度が 9km/s を超える初動の到達が観測され、これまでの研究と合わせて、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から、この異常に速い見かけ速度を持つ物質が存在することがわかった。現在この解釈についても、検討を行っている。2012 年 4 月には、本海域から北東に 250km 離れたスロースリップ発生領域において、絶対精密水圧計搭載 BBOBS(BBOBSP) 2 台および LTOBS 2 台の計 4 台を設置し、地震観測を行っている。なお、この構造探査研究は、GNS Science (ニュージーランド) との共同研究である。

(4) 文部科学省委託事業による海底地震調査観測研究

地震研究所が開発・運用を行っている LTOBS・BBOBS を用いて、海域での正確な地殻活動の把握を行う観測研究が、文部科学省からの委託事業として行われている。さらに、2010 年は、従来の OBS の観測に加え、新規開発ケーブル式海底地震観測システムを、新潟県粟島南方海域に設置した。

(4-1) 東北地方太平洋沖で発生する地震・津波の調査観測

2011 年 3 月 11 日に発生した東北地方太平洋沖地震はこれまでに日本国内で観測された最大の地震であり、現在でも活発な余震活動が継続している。日本海溝・千島海溝周辺域での地震発生可能性の評価、津波の高精度予測など海溝型地震の長期評価の高度化に貢献する為に、長期型の海底地震計や広帯域海底地震計の稠密展開による自然地震、低周波地震・微動及び上下変動のモニタリングを行う計画が、2012 年に日本海溝周辺で開始された。2012 年 4 月に、BBOBS4 台、LTOBS36 台を、房総半島沖に設置し、2012 年 11 月に全台回収した。引き続き、BBOBS8 台、LTOBS32 台を房総半島から茨城沖に設置し、現在観測中である。設置した海底地震計は 2013 年に回収の予定である。なお一部の BBOBS には、精密水圧計を搭載し、広帯域地震計では検知できない、より長周期の変動をとらえる事を目的とし、観測を実施している。2013 年も、2012 年の観測域に隣接する海域で観測を実施する予定である。

(4-2) 東海・東南海・南海地震の連動性評価研究

東海・東南海・南海地震の連動性評価に貢献するために、長期型の海底地震計や広帯域海底地震計の稠密展開による自然地震、低周波地震・微動及び上下変動のモニタリングを行う計画が 2008 年に開始された。2008 年 12 月に、BBOBS3 台、LTOBS6 台を、紀伊半島沖に設置し、2009 年 11 月に全台回収した。引き続き、BBOBSP3 台、LTOBS6 台を紀伊水道トラフよりの海域に設置した。なお、2009 年からは、絶対精密水圧計による長周期観測も実施していることが特徴である。2009 年に設置した LTOBS・BBOBSP は、2010 年中観測を行い、2011 年 2 月に、株式会社オフショア・オペレーション「第 12 海工丸」により回収された。その際、観測を継続するために、同一海域に 4 台の BBOBS と 1 台の BBOBSP を設置した。これら 5 台の海底地震計は、2012 年 2 月 24 日から 25 日にかけて全台回収された。引き続き、観測継続するために、同一海域に 2 台の BBOBS と 2 台の BBOBSP を 2012 年 2 月 24 日と 3 月 13 日の 2 日間で設置した。この 4 台の海底地震計は、2013 年 3 月までに回収の予定である。得られたデータには、通常の地震とは異なる低周波まで周波数成分をもつイベントが多数記録されており、低周波イベントの特徴が明らかとなった。また、高精度水圧計には、2011 年 3 月に発生した平成 23 年東北地方太平洋沖地震により発生した地震動や津波による圧力変化が記録された。

(4-3) ひずみ集中帯の重点的調査観測・研究

近年「ひずみ集中帯」と呼ばれる日本海東縁部の褶曲一断層帯において、大きな被害地震が発生している。そこで、「ひずみ集中帯」等において重点的な調査観測・研究を実施し、ひずみ集中帯の活断層及び活褶曲等の活構造の全体

像を明らかにし、震源断層モデルを構築することを目的とし、海域において自然地震観測を行う事業が2008年に開始された。

2008年12月から2009年10月にかけて、中越沖の能登半島と佐渡島に挟まれる海域で、LTOBS10台を用いた海底地震観測を実施した。解析の結果、約10ヶ月の観測期間中に、約2000個の震源を求めることができ、主に上部地殻内で発生していることが明らかとなった。さらに、LTOBSに記録された初動極性を用いて、155個の発震機構解を求めた。このうち、逆断層型の地震が半数以上を占め、この地域が圧縮場であったことを示している。さらに、これらの発震機構解を用いて、応力テンソルインバージョンにより、この地域の応力場が北西-南東圧縮ないし東西圧縮であることを明らかにした。

2010年8月には、ひずみ集中帯の一部と考えられている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、自然地震の観測を開始した。設置海域は、高密度地震観測網がある本州に近い領域であるが、対象域の高精度地震活動の把握には、直上での観測が必要である。また、設置海域は、1964年新潟地震の震源域直上であり、新潟地震の性質の解明をはかることも目的の一つである。今回設置したシステムは、地震計ユニット4台が、一本のケーブルで接続されており、ケーブルの一端を陸揚げした。海底ケーブルの全長は25kmであり、地震計ユニットは約5km間隔に接続されている。設置完了直後から、粟島の陸上局において、データ収録を開始し、同時にVPN回線により地震研究所へのリアルタイムデータ伝送を行っている。地震計ユニットを埋設した効果もあり、良好なデータが蓄積されている。2012年は観測を継続すると共に、陸揚げ部および陸上局の点検・整備を実施した。システムは良好な状態であり、設置後、約2年半経過したが、障害は発生していない。2011年8月には、震源決定精度向上およびケーブル式海底地震観測システムのキャリブレーションのために、観測域において、小型エアガンの発震を行った。その結果、堆積層の速度と厚さ、基盤層の速度が求められた。さらに、エアガンからの信号を利用して、各観測点の地震計センサー3成分の方向を推定した。求められた各観測点直下の構造を元に、観測点補正値を求め、2012年11月までの高精度な震源分布を求めた。その結果、粟島付近の微小地震が深さ5-20kmの範囲で発生していることが明らかとなった。

(4-4) 移動体搭載型重力計システムの高度化と実海域における実証試験観測

文部科学省委託研究「海洋資源の利用促進に向けた基盤ツール開発プログラム」により、「移動体搭載型重力計の開発 ―ハイブリッド式海中重力探査システム―」として、海中移動体(ROV, AUV)に搭載し、0.1mgal程度の重力異常が計測できる移動体搭載型重力計の開発が、2009年から始まった。海中重力センサーは、重力センサー、ジャイロ、ジャイロ信号に基づき重力センサーの鉛直保持をする姿勢制御装置、および加速度計で構成される。2010年は、陸上において用いられる重力計の測定レンジを10倍程度拡大したものを重力センサーと採用した他、剛性を高めるなどの高度化した姿勢制御装置および重力、ジャイロ、および加速度のデータを記録・収集する機能をもつデータ計測装置の開発を行った。2011年には、引き続きこれらの開発を継続し、各装置を組み立てることにより、移動体搭載型重力計を完成させた。完成した移動体搭載型重力計を用いて、陸上における動揺試験を行った。その結果、当初の目的である0.1mgal精度の計測が可能であることが明らかとなった。「移動体搭載型重力計の開発」は、2012年3月で終了したが、引き続き、2012年4月から2カ年の計画で、文部科学省委託研究「海洋資源利用促進技術開発プログラム 海洋鉱物資源探査技術高度化」の課題として、「移動体搭載型重力計システムの高度化と実海域における実証試験観測」が採択された。2012年9月6日から9日にかけて、海洋研究開発機構深海潜水調査船支援母船「よこすか」YK12-14次航海において、開発した移動体搭載型重力計の深海巡航探査機「うらしま」による実海域実証試験を実施した。「うらしま」に、移動体搭載型重力計を搭載し、電力供給を受けると共に、船上との水中通信により重力計システム作動状況を確認しながら計測を行った。海域実証試験は、伊豆半島初島沖の相模湾で行った。海底地形が比較的なだらかな水深約1300mの地域を選定した。計測は、「うらしま」があらかじめ設定した測線上を、一定深度を保ち、一定速度で往復航行することで行った。長さ2マイルの直線と長さ3マイルの直線の2測線において計測を実施し、初めて海中移動体を用いる海中における重力測定に成功した。現在、計測精度と分解能の評価を実施中であるが、良好な結果が得られている。

(5) 海底地震地殻変動観測システム開発

地震の予測のためには、地震発生に至る過程であらわれる地殻現象を観測によって把握することが必要である。しかしながら大地震の発生現場である海域は地震地殻変動観測の空白域である。このため海底における地震地殻変動の観測手法の確立をめざした技術開発を行っている。なお、これらの研究技術開発は、海半球観測研究センター・地震予知研究センターと共同して行っている。

(5-1) 三陸沖光ケーブル式海底地震・津波観測システムの更新システムの開発

地震研究所では、1997年に光ケーブルを利用した海底地震・津波観測システムを三陸沖に設置した。この観測システムは、3台の地震計と2台の津波計を光海底ケーブルで結び、陸上局から電源供給を行い、データを陸上局に伝送するものである。2011年3月には、平成23年東北地方太平洋沖地震の本震観測データを取得するとともに、本震より発生した津波の記録も取得し、震源域および津波波源域の推定、および地震に伴う断層滑り量の推定に大きく貢献した。しかしながら、データ取得後に同地震の津波により、陸上局が流失し、観測が中断した。その後、陸上局跡付近で海底ケーブルの末端が発見され、調査の結果、海底部は大きな損傷を受けておらず、陸上装置の復旧で観測が再開されることが期待されることがわかった。一方で、設置後年数が経過しており、また、海底ケーブル内で光減衰が大きい場所があることもわかり、観測の継続のためには、システムの更新が望まれる。そこで、陸上局舎の再建、既存システム陸上装置の復旧による観測再開が予定されている。さらに、設置後15年以上が経過した観測システムの更新のために、新規ケーブルを設置し、既存ケーブルと新規ケーブル両方を用いた観測の拡大が計画されている。

陸上局舎については、今回の津波と同規模の津波が襲来しても、被害を受けない場所に陸上局舎を移転・再建することは困難であることから、以前とほぼ同じ場所に局舎を再建する必要がある、そのために、局舎の物理的な強度を増強し、かつ、耐水性能を上げることにより、大規模な津波により浸水しても、壊滅的な被害を受けない構造の局舎を建築することとし、局舎の設計を行った。一方、既存ケーブルシステムの陸上装置についても、設計を行った。伝送技術は比較的古いものであるが、海底部の変更が不可能であるために、この部分は当時の技術を用いるが、それ以外では、最新のICTを用いる設計である。

更新海底ケーブル式地震観測システムは、地震研究所が新たに開発し、新潟県粟島近海に設置した海底ケーブル式地震観測システムを基として、さらに高度化したシステムを用いることとし、開発を行った。このシステムは、データ通信の冗長性を備え、より低コストで、小型・軽量のインライン型海底ケーブル式地震観測システムである。センサーには、サーボ型加速度計と高精度絶対圧力計を用いる。地震計のデータは、海底で24ビットAD変換したデータを、光ケーブルにより、陸上に伝送する。ICTを用いて伝送路を冗長化し、各観測ノードの制御には、フリーUNIXであるLINUXを用いた。制御するコンピュータ部だけでなく、イーサネットのスイッチングハブにあたる部分にもFPGAを用いている。そのために従来ハードウェアにより構成され、変更不可能だった部分も設置後に変更可能である。高精度絶対水圧計は、周波数出力であり、観測ノード内で周波数を計測し、その値を伝送する。基準となる時計及び周波数測定用基準信号は、イーサネットに用いるファイバーとは別のファイバーにより、陸上から伝送される。さらに、ITCによる高精度刻時同期機能、および観測ノード内に小型原子時計を組み込んだ。また、高精度絶対水圧計の代わりに、水中着脱コネクタによる拡張ポートを装備できるようにし、将来の拡張性も確保している。観測ノードは、直径が約27cm、長さ約130cmの円筒形であり、長期間の設置を考慮し、溶接封止・貫通接続技術を用いる予定である。2012年は、システムの設計および観測ノード内部装置の試作を行った。今後、更新用のシステムの製作、ケーブルルートの検討を行う予定である。

(5-2) 超深海型海底地震計の開発

機動観測に適する従来の小型自己浮上式海底地震計は、最大耐圧が水深6,000mである。一方、日本周辺を含め、海溝地域は水深6,000mを超える超深海域が広く存在しており、かつ、このような地域で特徴的な地震活動があることが明らかになりつつある。海溝域直下の地震活動および地下構造の詳細を効率的に明らかにするため、従来のシステム同様に機動力を維持したまま、超深海域で観測可能な海底地震計の開発を進めてきた。2012年5月24日、学術研究船「淡青丸」を利用して、水深650mを超える場所で実機を用いた実機試験観測をおこない、データの取得に成功した。この結果をふまえ、2012年8月22日に株式会社オフショア・オペレーション「かいこう」を利用し自由落下により水深7500mを超える地点に再設置した。超深海域に設置2ヶ月後の10月24日、同社「第7海工丸」を用いて自己浮上による回収に成功した。

(5-3) 海底上下変動観測のための精密水圧計を搭載した広帯域海底地震計の開発

現在、海底の水平変動計測に関しては、GPS音響結合方式があり、システム開発及び観測が精力的に行われており、海底での地殻変動が計測可能となりつつある。しかし、海底の上下変動の計測には、GPS音響結合方式よりは、高精度水圧計を海底に設置することが有効であると考えられる。さらに、高精度水圧計は、海底の上下変動を検出するだけでなく、海底津波計としても利用可能である。既存のBBOBSに、高精度水圧計を付加することにより、広範囲な周波数領域における変動を計測することができる。そこで、2009年に、試作1号機を製作し、広帯域地震記録と精密絶対圧力観測が行えるようにした。高精度圧力計は、周波数出力となっており、周波数測定の基準に、海底地震計の刻時用高精度水晶発振器を用いたことが特徴である。この海底地震計は、2009年に紀伊半島南方沖に設置され、2011年2月に回収され、微小津波などが記録されていることが確認された。また、2011年以降、東北地方太

平洋沖地震海底余震観測などで利用し、規模の大きな余震に伴う海底の上下変動を記録することに成功している。2012年には、周波数測定基準に超小型原子時計(CSAC)をした高精度圧力計用データ記録器を開発し、周波数測定基準に由来する誤差はほぼなくなった。デジタル出力式高精度圧力計データ記録器の開発も行った。さらに、多点展開がより簡便な小型の耐圧球を用いた、短周期地震計および高精度圧力計同時搭載の測器(LTOBSP)の試作を行っている。

(5-4) 海底傾斜観測にむけた基礎開発

広帯域海底地震計の発展型として、海半球観測研究センターにより、地震計センサーを海底下に埋設する地震観測システム(BBOBS-NX)が開発された。このシステムは、海底にセンサーユニットを埋設することにより、記録の品質向上を行ったものである。このシステムを利用して、センサーを傾斜計に置き換えることにより、海底で傾斜が測定できるシステムの開発を開始した。まずは、地震研究所鋸山地殻変動観測所において陸上試験観測を行い、BBOBS-NXの広帯域地震計の振り子位置により、地球潮汐を明瞭に記録することができることを確認した。2011年7月に、BBOBS-NXに広帯域地震計振り子位置の記録を付加したシステム(BBOBST-NX)を実海域に海洋研究開発機構の水中探査機により設置し、2012年1月に回収したが、データが得られなかった。再試験観測として、2012年11月に四国海盆に、改良したBBOBST-NXを設置した。BBOBST-NXは、2013年2月に回収予定である。再試験観測結果が良好であれば、2013年4月から、房総半島東沖の海域での長期試験観測を開始する予定である。

3.11.3 活動的火山における多項目観測研究

本センターでは、火山噴火予知研究センターと密接に協力しながら、浅間山・伊豆大島・富士山・霧島山・三宅島の5火山において、地震・地殻変動・全磁力変化・空振観測・熱映像・可視画像等の多項目観測を行っている。また、その他の火山においても、他機関との協力により様々な観測を実施している。ここでは観測作業の詳細を報告し、観測の狙いや成果に関する詳細については火山噴火予知研究センターからの報告に譲る。

(1) 浅間山

広帯域地震、短周期地震、GPS、傾斜、全磁力、空振、熱映像、可視画像の定常/臨時観測を行い、浅間火山観測所と小諸火山観測所を拠点として観測網の維持管理を行っている。観測データは、山頂付近では無線LANの中継あるいは光ファイバーを経て浅間火山観測所に集約され、地震研まで光ファイバーを利用した高速回線を用いて伝送されている。山頂観測点は光ファイバーに直結している。また、観測点の通信状況などに応じてVSATやフレッツ回線、携帯データ通信を利用したデータ転送も行われている。

2011年9月に観測を開始したKMN(釜山北)観測点は、心配された日照不足もなく2012年度を通じて安定した観測を行っている。山頂北側の観測点が稼働したことにより、山頂付近の震源決定精度が向上した。KAW(火口西)観測点は冬季の積雪による電力不足による欠測が目立ったため2011年10月にソーラーパネルを増強したが、増強したパネルにつながる機器が2012年2月5日から20日の間欠測した。日照不足が解消されなかったことが疑われるため別対策を検討している。

2012年度は夏期に山頂付近の雷害が著しく機器の交換修理が相当数に上った。AVOから電力を供給する観測点は軒並み被害を受けた。KAE(火口東)とKME(釜山東)の雷害が著しく、設置機器のほぼ全部を交換した。KMS(釜山南)においても、プロトンセンサーと地震計用ロガーが雷害により破損した。東側のミュオン観測点も雷害を受け、コントロールボードの交換を行った。太陽電池による独立電源の観測点は、雷により機器が一時的にハングアップすることはあったが、交換が必要になるほどの雷害は殆どなかった。YUN2(湯の平)では動物によるアンテナケーブルの食害が発生した。

NARA(奈良原)、IKEN(池の平)観測点の地震計を40秒計から120秒計に交換した。これにより、浅間山周辺の広帯域地震計の周期は全て100秒以上になった。GPS観測点をNUKA(糠地)とSUGA(菅平)の2点に新設し、2012年12月から携帯データ通信によるテレメータを開始した。この2観測点は山体から比較的遠距離に位置し、やや深部のダイク貫入による地殻変動の検出に有効である。

(2) 伊豆大島

29点の地震観測点と14点のGPS観測網による観測を行っている。内4点は広帯域地震観測を行っている。また、全磁力の連続観測に加え、能動的な比抵抗構造探査手法であるACTIVE観測を行っている。来るべき活動に備えて、空振観測網の整備も検討されている。三原山山頂付近では無線LANを通じてデータを伊豆大島観測所に集約

し、その後フレッツ回線を用いて東京まで伝送されている。山麓の観測点の多くはフレッツ回線を通じて直接東京までデータ転送を行っている。

今年度は雷による障害が頻発しロガーや通信機器を多数交換した。MW1では耐雷トランスが2重に入っているが、トランスが破損するほどの雷害を受けた。トランスの2次側に接続された機器全てが修理不能な程度に破損し、3次側の機器も被害を受けた。大島は海に囲まれており、塩害による設備の劣化も徐々に進んでいる。OKB、OSK、KGMなどでアンテナ金具やポールの腐食が目立ち、特にKGM(鏡端)ではアンテナポールが著しく腐食し、建て替え作業のためデータ中継が中断したままである。NTTからの引き込み線の不良も発生しており(OKU)塩害の可能性もある。OSKではセンサが水没し、ロガーも交換が必要であった。

2012年3月にACTIVEの送受信機を増設した。しかし、機器の初期不良や設定ミスなどが重なり、12月になってようやく測定が開始された。

(3) 富士山

10点の常設地震観測網を主体とした地震活動観測を行っている。内、5か所は地表設置型広帯域地震計、3点はボアホール型広帯域地震計である。ボアホール観測点には3成分歪計、高感度温度計、傾斜計も設置されている。また全磁力観測も継続している。他の火山同様、富士山に於いても観測点の条件に応じて様々なテレメータ方式が用いられている。

富士山中腹の観測点では2011年度にFM無線によるデータ伝送を、携帯データ通信網によるデータ伝送に切り替えを行い、今年度は通信の安定性を確認した。携帯データ通信を利用する観測点のほとんどで2012年度を通じて安定した通信が行われ、切り替えの成功が確認された。もっとも標高の高いHSO(細尾野)観測点で通信の不安定が起きたが、外部アンテナの調整により改善された。携帯データ通信の安定性が確認できたため、F2012年度は静岡県畜産研究所と青少年自然の家に設置されていたFM無線用中継点を撤去した。

富士山周辺で、唯一VSATによる伝送を行っている観測点NHOW(日本ランド)において、ナノメトリクス社製のVSATから白山工業製のVSATへの交換作業を行った。

OSWA(大沢崩れ)観測点において昨年よりACTプロトコルによるデータ伝送を開始し、今年度はその安定性を確認した。ロガーのバグにより通常のWINパケット伝送に戻した期間があったが、2012年を通じて安定したデータ伝送が確認できた。今後、他の観測点についても、ACTへの切り替えを進める予定である。

FUJ(富士宮)観測点では、周囲の樹木の成長に日照不足により欠測が頻発したが、昨年度にパネルを追加して以降欠測は無い。ただしパネルは仮設置状態であるため、ソーラーパネル架台の新設による抜本的な対策を取る必要がある。

(4) 霧島山

2011年1月の霧島・新燃岳噴火を受けて周辺の観測点が強化された。2012年度も新燃岳の活動は継続しており、観測網の維持を行った。これらの観測は、火山噴火予知研究センター・海半球センター・鹿児島大学などとの協力のもとに進められている。

SMW(新燃西)観測点において、パンザーマストが火山ガスの腐食により倒壊し、通信が途絶えた。簡易ポールを設置し、アンテナを立て直すことにより通信を再開した。

SMN(新燃北)は噴石の直撃により噴火後の観測が途絶えていた。2012年度に入り噴火活動が低下してきたことにより、観測点の保守が可能になったため、2012年8月、9月、11月、12月の4度にわたり現地作業を行い、ソーラーパネル、バッテリー、無線LANアンテナを交換し観測を再開した。火口に最も近い観測点を再開したことにより、山頂付近の震源決定精度が元のレベルに回復した。

TKS(高千穂南)、TKN(高千穂北)観測点において、ナネメトリクス社製VSATから白山工業製VSATに切り替えた。これにより地震研の火山観測に用いられるVSATは全て白山製に切り替えられた。

新燃岳北西約10kmに位置するマグマ供給源付近の震源の精密決定および速度構造推定を目的として、広帯域地震計による臨時観測を継続するため各観測点の保守を昨年に引き続き行った。

火山活動の低下により立ち入り禁止区域が縮小され、中岳付近の観測点まで徒歩での立ち入りが可能になった。気象庁の火山活動モニターにより安全確認をおこないつつ現地に立ち入り、無人ヘリによって設置した観測点のうち、地震観測装置2式とGPS観測装置1式の回収に成功した。

(5) 三宅島

三宅島の多点電磁気観測網の整理を進めている。

(6) その他の火山

桜島は活動が活発化しており、近い将来の大規模噴火発生の可能性もある、要注意火山である。桜島において、無人ヘリを用いて火口近傍に地震計、GPSを設置し、観測を継続している。今年度は、山頂付近の地震計とGPSの回収および再設置を行うとともに、桜島南斜面の安永火口内に初めて空振計を設置し、火口近傍での空振観測に成功した。これらの観測は、火山噴火予知研究センターとの協力の下に実施されている。

桜島では「地震及び火山噴火予知のための観測研究計画の推進について(建議)」に基づく火山噴火予知研究の一環として全国の関係機関の協力による人工地震探査を毎年行なわれており、地震研も毎年参加・協力を行っている。

北海道・樽前火山において、無人ヘリによる空中磁気探査を行った。これは、繰り返し観測により、火山山体の熱構造の変化を検出することを目指している。昨年とのデータと今年度のデータ比較により、山頂溶岩ドーム下での温度変化が検出された。この観測は、北海道大学および火山噴火予知研究センターと協力しつつ、実施している。

3.11.4 電磁氣的観測研究

(1) ハケ岳地球電磁気観測所における基準観測

ハケ岳地球電磁気観測所における基準観測ハケ岳地球電磁気観測所では東海・伊豆地方における地球電磁気連続観測の参照となる基準連続観測を継続した。

毎月の地磁気絶対観測により地磁気3成分測定値の基線値を同定するとともに、毎月2回、絶対観測室磁気儀台上の全磁力の24時間以上の繰り返し連続計測を実施し、観測所全磁力連続観測測定値との全磁力差を同定した。加えて毎月、地磁気絶対観測の際に絶対観測室内の水平48点、鉛直5層の計240点における全磁力値を計測して同室内の全磁力勾配を評価し、全磁力差や基線値の季節変化・経年変化との関連を調査するための基礎資料を作成した。これらの参照資料とするための気温・地温連続測定を継続して実施した。

(2) 東海・伊豆地方における地球電磁気連続観測

東海地方の各観測点で以下の項目の連続観測を継続するとともに、機器の保守を実施した。

- ・ a) 清川観測点：プロトン磁力計による全磁力観測
- ・ b) 河津観測点：プロトン磁力計による全磁力観測，フラックスゲート3成分磁力計による3成分磁場観測
- ・ c) 富士宮観測点：プロトン磁力計による全磁力観測，フラックスゲート3成分磁力計による3成分磁場観測
- ・ d) 奥山観測点：プロトン磁力計による全磁力観測
- ・ e) 俵峰観測点：プロトン磁力計による全磁力観測，フラックスゲート3成分磁力計による3成分磁場観測，電場観測
- ・ f) 相良観測点：プロトン磁力計による全磁力観測，フラックスゲート3成分磁力計による3成分磁場観測，電場観測
- ・ g) 舟ヶ久保観測点：プロトン磁力計による全磁力観測，フラックスゲート3成分磁力計による3成分磁場観測
- ・ h) 春野観測点：プロトン磁力計による全磁力観測
- ・ i) 小浜観測点：プロトン磁力計による全磁力観測

このうち小浜観測点における全磁力観測は2011年12月に、また舟ヶ久保観測点における3成分磁場観測は2012年5月にそれぞれ開始したものである。

また、伊豆半島伊東市周辺におけるプロトン磁力計による全磁力観測では、網代、初島、浮橋、沢口、御石ヶ沢、大崎、湯川、手石島、新井、与望島、岡、川奈、奥野、池、菅引の計15観測点における連続観測を実施した。同じく伊東市周辺における電話回線を用いた長基線地電位差連続観測、伊東市奥野における精密地殻比抵抗の連続観測を実施した。

3.11.5 新たな観測手法の研究 (レーザー干渉計を用いた地震・地殻変動観測機器の開発)

レーザー干渉計は高精度・低ドリフトの変位センサーであり、地震・地殻変動観測機器へ組み込むことにより観測の高精度化や装置の小型化ができる。また光を用いた計測手法は、半導体素子の動作条件等により従来観測が難しかった地下深部・惑星探査などの極限環境での高精度観測を可能にする。

(1) 長基線レーザー伸縮計による広帯域ひずみ観測

波長安定化レーザーを使った伸縮計は地殻変動から数十 Hz の地震波まで広いタイムスケールの地動を観測できる。岐阜県の神岡鉱山 (東大宇宙線研究所神岡宇宙素粒子研究施設) の地下 1000 m のサイトにおいて、独自開発した長さ 100 m のレーザー伸縮計を用いて、世界最高感度のひずみ観測を継続している。これまでに、地球潮汐を使った観測ひずみと regional ひずみ場の関係の定式化、間隙水圧と関連した季節変動ひずみの検出、地球自由振動の観測、などを行った。2011 年 3 月 11 日の東北地方太平洋沖地震の際には大振動とともに 10^{-7} 台の大きいひずみステップを伴う記録が飽和することなく取得され、レーザー干渉計の広帯域・広レンジ計測が実証された。地震学と測地学の両方にまたがるタイムスケールの現象などの解析をすすめている。

(2) 光ファイバーリンク方式の観測装置の開発

レーザー干渉計は光を用いた計測方法であり、光源・受光部等の電気回路部分とセンサー部を光ファイバーでつなぐことによりセンサー部を無電源化することができる。その結果、電気雑音・発熱の回避、光波長を基準とした自己校正、高温環境での観測などセンサー部の性能や耐環境性を高めることができる。この技術にもとづいて、地下深部・惑星探査などの極限環境 (高温・極低温・高放射線環境等) での観測をめざした観測機器の開発を進めている。

鋸山観測所の深さ 80 m の観測孔に設置されたレーザー干渉型振り子式傾斜計は、孔外から光ファイバーでレーザー光を導入することにより孔内装置を無電源化した。同観測所の 42 m 水管傾斜計と同等の精度の信号が得られることが確認されている。さらに海底孔内や地下深部での計測へ向けて実用性を向上させるために半導体レーザーを使った省電力光源を組み込み、長期観測を実施している。

また、小型長周期振子を組み込んだ孔内高温環境／惑星探査用レーザー干渉式広帯域地震計の開発も並行してすすめている。この地震計は振り子の変位検出部にレーザー干渉計を使用し、光ファイバーでレーザー光を導入することにより耐環境性を高めている。試作機の性能評価を行った結果、高性能広帯域地震計 (STS1 型) を上回る検出性能が確認された。干渉計部分は $-50\text{ }^{\circ}\text{C} \sim 290\text{ }^{\circ}\text{C}$ の温度範囲で性能に問題がないことが確認されている。惑星探査については火星の地下深部構造を地震観測により明らかにすることを目指し、火星表面環境で問題となる表層風の地震計に対する影響を風洞試験やコンピュータ・シミュレーションで評価を行った。その結果に基づいた最適な形状の風除けを試作し風洞試験を実施した。

(3) 小型絶対重力計の開発研究

絶対重力計は地殻変動や物質移動 (マグマ上昇・地下水の変動など) を実測する有効な手段である。火山観測など野外で機動的に使用できる小型絶対重力計の開発を行っている。本研究では、短い落下距離で必要な精度が得られるようにレーザー干渉計測の信号取得方法や地面振動ノイズの補正機構を導入した。試作機では従来の 1/2 の落下距離 (約 10cm) で、必要な精度 10^{-8}m/s^2 が得られている。この結果を踏まえたさらに小型の実証機を製作し試験観測を実施した。性能試験で使用している国立天文台江刺地球潮汐観測施設 (岩手県) において、2011 年 3 月 11 日の東北地方太平洋沖地震の前後で重力変化が観測されている。その推移を試作機を用いて継続的に観測している。

(4) 海底探査用重力偏差計の開発

海底鉱床の探査手法として重力異常を検出する方法が検討されている。広い空間スケールをとらえる重力計に加えて、空間微分を測定する重力偏差計を併用することにより狭い範囲に局在化した鉱床のマッピングをすることができる。無定位振り子と光センサーを組み合わせた重力偏差計を試作し、典型的な海底鉱床が検知できるレベルである 7E (エトバス = $[(10^{-9}\text{m/s}^2)/\text{m}]$) の性能を陸上試験で確認した。自律型無人潜水機 (AUV) に重力計とともに搭載し 2012 年 9 月に相模湾にて海中実証試験を実施し、移動体上での動作確認および観測データの取得に成功した。

3.11.6 強震動観測研究

駿河湾・伊豆半島と足柄平野における高密度の強震観測網を中心とした観測研究を、強震計観測センターや地震地殻変動観測センターの時代から継続して行っている。駿河湾・伊豆半島地域の強震観測網は東海地方での大規模

地震発生を想定して計画されたため、観測点は地域を代表する露岩上に設置された。一方、足柄平野の観測網は表層地質による強震動への影響を評価することを主目的として1987年度に設置された。観測点は露岩上と堆積層上に置かれ、2箇所の鉛直アレイも含め国際的なテストサイトとして位置づけられている。これら強震観測網によって、最近の例では2009年駿河湾の地震や2011年東北地方太平洋沖地震の強震動をとらえることに成功した。2010年度からは強震観測網の再編と高度化に着手し、2012年度末の完成をめざしている。

このほか、機動観測用強震計の開発を進め、開発された機器やその後改良された機器を用いて、2000年三宅島噴火に伴う群発地震、2003年宮城県北部の地震・十勝沖地震、2004年新潟県中越地震、2005年福岡県西方沖の地震・宮城県沖の地震、2007年能登半島地震・新潟県中越沖地震、2008年岩手・宮城内陸地震、2011年東北地方太平洋沖地震などの余震強震観測を行った。この機器は微動観測にも対応可能な増幅器を併せ持ち、トルコや台湾などの海外を含む各地の微動探査にも活躍した。また、重点的調査観測などの研究プロジェクトにおける強震観測や、共同利用の枠組みなどを通じた他大学・他機関との共同観測も積極的に推進した。

2009年度より観測された強震動データのアーカイブと公開を行うシステムの開発を進め、そのシステムを用いて2010年度にデータ公開を開始し、以後、引き続き公開を行っている (<http://smsd.eri.u-tokyo.ac.jp/smad/>)。

3.11.7 テレメータ室の活動

(1) テレメータシステムの運用管理

観測開発基盤センターの地震・火山観測網において、地震波形データをはじめとする、各種リアルタイム観測データの伝送および連続収録を行うテレメータシステムの運用管理を継続している。研究者が目的に応じて接続するセンサーの連続データを、途切れなく伝送し収集・提供するとともに、一部イベント収録処理も行う。伝送手段としては衛星通信 (VSAT) や、ISDN・ADSL・光回線・無線 LAN・モバイル通信等、最新の通信技術を取り入れた各種回線を利用している。なかでも衛星通信については、全国の大学の共同利用設備として、2種類の VSAT システムの親局 (ハブ局) を東京本郷と長野県小諸の2か所計4局に設置し、約150局の VSAT 局の維持管理を行い、地上回線の利用が困難な山間僻地や離島での機動的な観測研究に貢献している。2012年度は VSAT について Nanometrics 製から白山製へ、地上テレメータ装置について白山製 LT8500 から同 LF シリーズへ、観測器材の世代交代を進めた。

(2) 全国の大学を含む各機関とのデータ交換システムの運用管理

リアルタイム観測データの全国的な流通のため、各大学や地震火山情報センターと協力して、高速広域網 JGN-X と SINET4 のそれぞれ L2VLAN サービスや、フレッツ系回線等を利用し、全国の大学等を結ぶ JDXnet (Japan Data eXchange network) を構築・運用管理している。また、地震観測に関係する全国の大学を代表して、東京大手町にある TDX (Tokyo Data eXchange) を介した、気象庁・防災科研等他観測機関とのリアルタイムデータ交換の窓口の役割を果たしている。そのために、TDX、衛星通信ハブ局等の拠点間を接続する延長約300kmの光ファイバー通信網を構築・運用管理している。これら的高速広域ネットワークにより、全国の広範な研究者が各機関の全国千数百観測点に上るリアルタイム観測データを研究利用することが可能になっている。

(3) 収集データの利用支援

テレメータシステムやデータ交換システムによって収集されたデータは、所内ネットワークやインターネットを通じて所内外の研究者に提供されるが、それには収録済みデータのオンライン利用やオフライン利用 (テープの再生等) とともに、インターネットや JDXnet を介したリアルタイム配信サービスも含まれる。これら所内外の共同利用ユーザーに対する技術的および手続き的支援を行っている。

(4) 観測機材の全国共同利用への対応

平成20-21年度に整備された新 VSAT システムおよび地上テレメータ装置、データロガー等合計数百台を、地震研共同利用の手続きに従って全国の大学の研究者に提供 (貸し出し) している。

3.12 地震火山情報センター

教授 佐竹健治 (センター長), 鷹野澄 (兼務)
准教授 鶴岡弘