

(4) マグマ破壊の脆性度

流動するマグマの破壊の脆性度を定量化するパラメータを理論的考察に基づいて提案し、マグマ破碎のモデル実験 (Kameda, Kuribara, Ichihara, JGR, 2008) の結果に適用し、その有用性を示した (Ichihara and Rubin, JGR, 2010). また、大変形過程において、固体と流体を連続的に矛盾無くつなぐ物質モデルは非常に複雑であるが、剛性率が大きく、弾性歪みがあまり大きくなれないというマグマの特徴を考慮して近似を行い、その精度を評価した (Rubin and Ichihara, JGR, 2010).

(5) 衛星技術を活用した火山活動の把握

火山センターは、生産技術研究所、ロンドン大学キングスカレッジと協力し、Terra/Aqua MODIS および MTSAT の衛星データを利用した準リアルタイム観測システムを開発し、東アジアの 147 の活火山のモニタリングを行っている。MTSAT については受信設備を地震研究所内に設置し、データの直接受信と処理を行っている。観測結果は、ホームページを通じて広く一般に公開している (<http://vrsserv.eri.u-tokyo.ac.jp/REALVOLC>)。米国テラ・アクア衛星搭載の MODIS、我が国の MTSAT による東アジア活火山のリアルタイム観測を継続して行っており、カムチャッカ半島、インドネシア、パプアニューギニア等で多くの噴火を観測することができた。ジャワ島中部のメラピ火山の 10 月に始まった噴火では、噴火規模の割に熱異常が小さかったことがわかった。一方 JAXA と共同で、2014 年度打ち上げ予定の GCOM-C1 衛星の火山観測への応用について、研究を進めている。

さらに、ALOS 衛星によって撮影された SAR 画像を解析し、2006 年から 2009 年までの三宅島の地殻変動を時系列解析により求めた。この期間の地殻変動は、2000 年噴火により形成された陥没カルデラおよびその周辺に集中している。変動は時間的に定常的であり、時間と共に変動速度は減速している。変形は鉛直成分に卓越しており、その速度は陥没カルデラ内部で最大 150 mm/yr に及ぶ。観測された変動場は、球形圧力源の減圧では説明できず、海面下 500 メートル付近の水平のシル状の圧力源の減圧により、よりよく説明できる。物理的には、2000 年噴火にともない落下し破碎された火道の圧密過程を見ていると考えられる。また、アイスランド Eyjafjallajokull 火山 2010 年 3 月に約 180 年ぶりに噴火し、それに先行する地殻変動が ALOS 衛星により観測された。噴火に先行する地殻変動は、視線距離変化にして最大 500mm に及ぶ。他の SAR 衛星でも同様の変動は観測されたが、観測された地域は ALOS ほど広くない。観測された地殻変動は海面下 5km 付近に貫入したシルにより説明できる。1994 年および 1999 年の貫入イベントも同様なシルにより説明できることから、2010 年の噴火にともなうマグマ供給スタイルは過去の貫入と類似していることを示唆する。ただ、2010 年噴火にともない貫入したマグマの量は約 50 万 m³ と 1994 年および 1999 年貫入イベントの 2 倍から 3 倍であり、そのためにシルの過剰圧がより大きくなり噴火に至ったと考えられる。

3.7 海半球観測研究センター

| | |
|------------|---|
| 教授 | 川勝均 (センター長), 歌田久司 |
| 准教授 | 清水久芳, 塩原肇, 竹内希, 山野誠 |
| 助教 | 馬場聖至, 一瀬建日, 西田 究, 綿田辰吾 |
| 客員教員 | 吉澤 和範 |
| 学術振興会特別研究員 | 石瀬素子 |
| 特任研究員 | GERASKIN Alexey, 堀 久美子, 川田佳史, 張 羅磊 (ZHANG Luolei) |
| 技術支援員 | 横山景一 |
| 外来研究員 | 濱元栄起, 川村喜一郎, 多田訓子 |
| 大学院生 | 入谷良平 (D3), 竹尾明子 (D2), 梁 朋飛 (LIANG Pengfei)(M1) |

3.7.1 地球の内部構造と内部過程の解明

(1) 海底機動観測による地球内部構造の解明 (ふつうの海洋マントル計画)

(1-1) 特別推進研究「ふつうの海洋マントル計画」

海半球センターでは、センターの立ち上げ当初から固体地球科学分野の基礎的な重要課題を解明することを目的にした、大型科研費によるプロジェクトを実施するとともに、並行して常に一段質の高い観測データを得るための技術開発を行ってきた。1996-2001年度創成的基礎研究「海半球観測ネットワーク：地球内部を覗く新しい目」(海半球計画)においては、西太平洋域に総合的地球物理観測ネットワークを構築して地球内部をグローバルな視点で見る基盤を整えた。また、地震と電磁気の海底長期機動観測装置を開発して、グローバルな観測網よりも高い解像度を獲得した。引き続き実施した2004-2009年度特定領域研究「スタグナントスラブ：マントルダイナミクスの新展開」(スタグナントスラブ計画)では、太平洋プレートの沈み込みに焦点をあて、これらの観測網と機動観測に高温高圧実験グループと計算機シミュレーショングループを統合して、スラブの滞留と崩落のメカニズムおよびそのマントルダイナミクスあるいは地球史上の意義を明らかにした。一方で、海底機動観測データの質を陸上観測所のレベルにまで向上させることを目標に、自己浮上方式に頼らずに深海無人探査機(ROV)を利用して設置回収するタイプの海底機動観測装置を開発してきた((2-1)「次世代の観測システムの開発」参照)。

これらの成果および技術開発を背景に、科学研究費・特別推進研究「海半球計画の新展開：最先端の海底地球物理観測による海洋マントルの描像」(ふつうの海洋マントル計画)を提案し、2010年度から5カ年計画をスタートさせた。この計画では、新規開発の海底観測装置と従来の海底機動観測装置とを駆使して、海底拡大軸・ホットスポット・プレート収束帯などの影響を受けずにほぼ水平なマントル流があると期待される、「ふつう」の海洋マントルにおいて、(a) リソスフェア・アセノスフェア境界(LAB)の原因および(b) マントル遷移層の水分布という、2つの固体地球科学分野の根本的課題の解明を目指している。具体的な観測実施海域は、北西太平洋のシャツキーライズの北西側(海域A)および南東側(海域B)の2海域に設定した。2010年6月には、海域Aにおいて地震および電磁気の観測点それぞれ5点からなるパイロット観測を開始したのに続いて、2011年11月には、海域Bの8地点での海底地震および電磁気観測装置の設置と海域Aの1カ所での設置回収を行なった。

2012年8月に、A海域における研究船「かいらい」と無人探査機(ROV)「かいこう7000II」による航海を実施した。この航海では、ROVを用いる新型の広帯域海底地震計(BBOBS-NX)を6カ所に、新型の電磁気観測装置(EFOS)を4カ所に設置するとともに、従来型の地震計(BBOBS)および電磁力計(OBEM)をそれぞれ5カ所と8カ所に設置した。これにより、海域AとBにおける本観測を開始することができた。また、2010年に設置したパイロット観測の4観測点から装置を回収した。ほとんどの装置で良好なデータが記録されている事を確認するとともに、2011年11月に回収した1観測点を含む5観測点のデータ解析を開始した。

なお本計画は、観測だけでなく室内実験や計算機シミュレーションなどの手法で研究課題に取り組む所内の他の部門・センターの教員や、(独)海洋研究開発機構の研究者が参加して実施されている。

(1-2) 海底地震観測

本観測での新型のBBOBS(BBOBS-NX)の設置を2012年8月に実施した。当初はシャツキーライズ南東側にも2台のBBOBS-NXを展開する予定であったが航海日程の都合から北東側でのみ、従来型のBBOBSの2台回収と5台設置、およびBBOBS-NXの2台回収と6台設置、を行った。回収した4台のうち、2011年に設置した時点で不具合があった1台を除き、3台共に2010年6月から1年間の良好な観測データが得られていた。従来型のBBOBSでのノイズモデル(平均的ノイズレベル)が過去の多数の記録例から比べても静かな部類であったのに加え、2台のBBOBS-NXでは全3成分がNHNM以下のレベルにノイズモデルが収まっていた。潜航作業時に遭遇した流速が0.5m/s程もある強い底層流の存在を考慮すると、BBOBS-NXの埋設センサー設置方式による水平動記録でのノイズレベル低減の効果が大きかったと判断される。これにより、レシーバー関数解析といった水平動成分の波形を用いる手法が効果的に適用できることが期待される。今回設置した6台のBBOBS-NXは2年間の連続観測後の2014年に回収予定である。

(1-3) 海底電磁気観測

海底電磁気機動観測は、自由落下・自己浮上方式の海底電位磁力計(OBEM)と無人探査機を用いて設置する新規開発の展張型電場測定装置(EFOS)を用いて行っている。パイロット観測では、シャツキーライズ北西側海域において、2010年5月に5観測点にOBEMを、またそのうち1観測点にはEFOSを設置していた。このうち1観測点のOBEMは2011年度に回収したが、残りの4観測点のOBEMとEFOSについては、海況と航海日程の都合で回収を延期していた。2012年度はこれらの機器の回収を最優先に試み、OBEM3台とEFOS1台を回収した。残りのOBEM1台は海底にて耐圧容器が爆縮しており、回収を断念した。パイロット観測で得られたOBEM4点のデータはいずれも良好であった。EFOSは、設置時のケーブル展張が予定の半分までしかできず、電極がドラム内に格納されたまま観測を行ったため、あまり質の良いデータとは言えないが、2年を超える長期間の電位差変動データを

取得するできた。2012年度の航海では、観測海域を西側に広げ、8観測点に新たにOBEMを、3観測点にEFOSを設置した。2013年度の航海において、これらのうちいくつかのOBEMと、2011年度にシャツキーライズの南東側に設置したOBEMの回収、および新たに11台程度のOBEM設置を行う予定である。

(1-4) マントルの高分解能イメージング

IRIS等の他機関が公開しているデータに加えこれまでに行われてきた広帯域海底地震観測で得られたデータや主に西太平洋に展開している海洋島地震観測網で得られたデータを用いて解析をする事で、西太平洋域におけるマントル高分解能イメージングを行っている。表面波解析による地震波速度構造解析ではこれまでの手法を拡張し、高次モードの表面波を用いた鉛直速度異方性構造解析を開始した。本計画のパイロット観測で回収したデータを加えて解析を行った結果、暫定的な結果ではあるが、現在観測中である領域の地震波速度構造には特筆すべき速度異常は見られず、標準的な速度構造に近い事が明らかになった。このことから本計画の観測領域が研究の目的である「ふつうの海洋マントル」を解析するのに適した地域である事が実際に明らかになった。

四国海盆に展開された海底広帯域地震計観測点における連続データに対して地震波干渉法を適用し、Love波基本モード、Rayleigh波基本モードおよび1次モードについて7-29秒の周期帯における位相速度を測定した。地震イベント記録のアレイ解析に基づく長周期(29-117秒)の位相速度と合わせて浅部(リソスフェア)から深部(アセノスフェア)までのS波速度構造および鉛直異方性分布を推定した結果、明瞭なLID(リッド)とLVZ(低速度層)からなる構造が得られ、リソスフェアとアセノスフェアに対応すると考えられる。またその境界領域(リソスフェア-アセノスフェア境界, LAB)の速度勾配は定常的なプレート下の温度構造だけでは説明出来ず、部分熔融・水などの他の要因が必要と考えられる。鉛直異方性についてはSH波が一様に4-5%速いモデルでデータのおおよそは説明可能だが、アセノスフェアのほうがより鉛直異方性が強い可能性もある結果となった。

地球上の多くの沈み込み帯に見られる沈み込むスラブの下側の地震波異方性の性質、いわゆる海溝に平行なスラブ下の(sub-slab trench-parallel)S波の高速方位は、鉛直異方性が方位異方性より強いアセノスフェアの沈み込みで統一的に説明出来ることを明らかにし、海洋下のアセノスフェアの地震学的性質を明らかにし論文として公表した。またアラスカ沈み込み帯におけるより詳細な個別の検証を行った結果、グローバルなアセノスフェアの異方性モデルが、個別の沈み込み帯で、沈み込み角度に依存した異方性の性質として観測されていることが確認できた。またこのようなアセノスフェアの異方性モデルから予想されるアセノスフェアを構成する岩石の選択配向の性質は、これまで一般的に想定されているものとはかなり異なったものとなる事が明らかになった。

(2) 深海底を含む西太平洋地域への地震・電磁気・測地観測網(海半球観測ネットワーク)の展開

(2-1) 次世代の観測システムの開発

地震研究所において共に海域地震観測を行う観測開発基盤センターの海域観測グループと共同し、海底地震観測の技術面からの高度化として複数次元での観測帯域拡大を進めている。現在、広帯域地震観測での機器の高機能化、機動的な海底観測での測地学的帯域への拡大、および水深6000mを越える超深海域での地震観測の実現、を具体的課題として機器開発と試験観測を行っている。

前述の特別推進研究(2-1)で実用的観測を既に開始しているBBOBS-NXであるが、従来型のBBOBSと同様な自由落下設置・自己浮上回収が可能となれば、潜水艇の利用という制限に縛られない自由度の高い観測研究が実現できる。その機能高度化の基礎試験として、特別推進研究でのBBOBS-NX回収時には堆積層に埋まっているセンサー部を引き抜くのに要する力を実測した。また、2012年11月に四国海盆南西端の地点(水深4900m)で開始した試験観測では、自由落下で着底後に自律動作により観測状態へと移行させるシステムとするため、センサー部中央に構造物を置くことによるノイズレベルへの影響を測定中で、2013年2月に回収予定である。

広帯域地震・傾斜同時観測を行うBBOBST-NXは2011年に実海域試験を実施したが、センサー部の耐圧容器での浸水によりデータが得られなかった。再試験として上記BBOBS-NXをBBOBST-NXの内部構成に設定し、両者併せた実地試験を上記の試験観測で行っている。2013年4月には、房総半島東沖の海域での長期試験観測を開始し、この海域で予想されるスロースリップイベントに伴う傾斜変動を捉えうるかを実地検証する予定である。広帯域地震・高精度絶対圧観測システム(BBOBS+P)では、超小型原子時計(CSAC)を搭載したOBS用レコーダーと組み合わせ使用し、圧力ゲージ用の新型データロガーを2012年に実用化した。これにより基準周波数源に起因する計測誤差は事実上無いシステムに出来、またCSACを本データロガーに搭載すれば海底圧力計単体としても使用可能である。加えて、インテリジェント方式の圧力ゲージ専用データロガーの開発も行った。本観測システムによる実海域での圧力観測は、東北沖・房総沖・ニュージーランド北東沖などで現在進行中である。宮城沖で2011年7月10日に起きたMw=7.0の地震では、震源近傍に設置していた1台のBBOBS+Pで-10cm以上の静的変位(沈降)を

発震時に記録しており、周辺の海底圧力観測点での変位や津波波形などの観測記録との整合的解釈を関連する複数研究機関と共に検討している。

ここ 30 年来で開発・実用化されてきた海底地震計 (OBS) は、世界中の海底の殆どを網羅できる水深 6000m を最大使用深度と想定していた。一方で、日本周辺には水深 6000m を越える海域が海溝域に広く存在し、そのような場所での地下構造探査や微小地震活動調査を実現させるべく、これまでも何度かこのような超深海域で使用する OBS の開発試験は行われてきた。しかし、従来の OBS を踏襲する方式ではその機械的構造に起因すると思われる課題を解決できずにいた。そこで、現行の OBS で広く使われている錘切り離し機構を使わない構造を持つ水深 10000m まで使用可能な超深海用 OBS (NUDOBS) を新たに考案し、その機能試験を上記の BBOBS-NX の試験観測と並行し実施中である。この新方式での機器構造は、NUDOBS に限らず BBOBS-NX を自己浮上型に発展させる際にも応用できることを念頭に開発している。NUDOBS も 2013 年 4 月に、BBOBST-NX と同じ航海時に房総半島沖の三重会合点 (水深 9200m) にて長期試験観測を開始する予定である。

(2-2) 海洋島地震観測網

ジャヤプラ (インドネシア)、パラパト (インドネシア)、デジャン (韓国)、ポナペ (ミクロネシア)、マジユロ (ミクロネシア)、犬山 (日本)、石垣 (日本)、パラオ (パラオ)、バギオ (フィリピン)、父島 (日本)、カメンスコエ (ロシア)、サパ (ベトナム)、ハイフォン (ベトナム)、ビン (ベトナム) の 9カ国 14 定常観測点における観測を、海洋研究開発機構と共同で継続した。このうちマジユロ (ミクロネシア)、父島 (日本)、カメンスコエ (ロシア) を除く 11 観測点からはリアルタイムで地震波形データを収集した。

(2-3) 海洋島電磁気観測網

ポナペ (ミクロネシア連邦)、アテーレ (トンガ王国)、モンテンルパ (フィリピン)、カンチャナブリ (タイ)、ワンカイヨ (ペルー)、南鳥島の各観測点における地磁気 3 成分と全磁力の観測を継続した。マジユロ (マーシャル諸島) 観測点については、観測復帰に向けて現地協力機関と協議中である。カンチャナブリ観測点と既に観測を停止したクリスマス島観測点について、2009 年までの地磁気三成分確定値を地磁気絶対観測結果を用いて求めた。また、ポナペ、アテーレの両観測点についても、磁場三成分補正のためのベースラインの検討を行った。

(2-4) 海底ケーブルネットワークによる電位差観測

グアム-フィリピン、グアム-二宮、沖縄-グアム、上海 (海底)-荅北間の海底ケーブルについて引き続き電位差観測を継続し、これらの電位差に含まれる長期成分の解析を継続して行った。海底ケーブル電位差の時間 1 階微分に地域的地磁気ジャークに関連すると考えられる急激な変化が存在することを発見した。また、地磁気データとの比較によりマントル最下部不均質の電気伝導度を制約できることを示した。

(3) 海半球観測網を補完する長期アレイ観測

(3-1) 海底地震観測

海洋研究開発機構地球内部ダイナミクス領域 (IFREE) 及びフランス側と共同で仏領ポリネシア・ソサエティホットスポット周辺で海底広帯域地震・電磁気観測 (Tomographic Investigation by seafloor ARray Experiment for Society hotspot 略称 TIARES) を 2009-2010 年に実施した。回収された地震波形記録を解析し、表面波解析手法を用いて最上部マントルにおける地震波速度の方位異方性を推定した。遠地震のアレイ解析 (周期 30-50 秒) および地震波干渉法 (周期 14-37 秒) を適用して Rayleigh 波基本モードを解析した結果、深さ 20-100km に約 2.5% の S 波速度方位異方性が存在すること、速度の速い方向 N50W は海洋底拡大直後 (約 50Ma) から現在までのプレート運動方向とほぼ一致していることが明らかになった。

東北地方太平洋沖地震の余震観測の為に 3 台の BBOBS を 2011 年 3,4 月に設置し半年から 1 年の観測を行った。得られたデータは余震観測のみならず海半球観測網を補完する観測網データとしても利用可能である。

(3-2) 海底電磁気観測

三陸沖日本海溝において、太平洋プレートの沈み込みに伴う変遷と地震発生との関連を電磁気学的手法と熱学的手法で解明することを目的とした共同研究を、2007 年より海洋研究開発機構と共同で進めている。2012 年度は、海洋研究開発機構の OBEM3 台を 5 月に設置、7 月に回収した。また 2010 年に設置し、2011 年の航海で自己浮上による回収ができなかった OBEM1 台を無人潜水艇を用いて無事回収した。観測点は東北日本大地震の震源域であり、構造解明を進める上で重要なデータを提供するものと期待される。2007 年より取得した全データをコンパイルした解析が進んでおり、日本海溝をまたいだ 2 次元な電気伝導度構造モデルが得られつつある。

(3-3) 陸上地震観測 (NECESSArray 計画)

日中米の国際共同観測計画 (NECESSArray 計画) として、中国東北部に 120 点の広帯域地震観測網を 2011 年 8 月まで展開した。全波形データは 2013 年 9 月に全世界に公開される予定である。本年度はデータ解析を進め、その結果について、共同研究者間で議論を行った。

日本・中国・米国のグループにより、P 波速度・S 波速度・異方性構造推定、不連続面のトポグラフィー推定などが実施された。日本のグループは実体波による P 波速度構造推定、表面波による S 波速度・異方性構造推定を主導した。6 月に地震研、9 月に北京大において主要メンバーが一同に会し、お互いの解析結果を持ち寄り、モデルの比較を行うとともに、中国東部のダイナミクス・テクトニクスとの関連について議論を行った。

中国東北部には、海溝から遠くはなれた場所に火山があるが、その成因は良くわかっていない。トモグラフィー解析により、火山の下に、少なくとも深さ 410km まで低速度異常が存在することが検出された。また日本付近ならびに中国東部の下の広い範囲にわたってスラブが横たわっていると考えられていたが、火山の下の地域では、その存在が不明瞭であることが検出された。中国東北部には 660km 不連続面が局所的に浅くなっている地域が存在すること、鉛直流の存在を示唆する顕著な異方性を持つ領域が存在することも示唆された。

これらの結果は、中国東部の火山の成因に、遷移層以深の深部ダイナミクスが深く関与していることを示唆する。下部マントルからのプリュームの影響、横たわるスラブの崩落にともなう流れの影響などが指摘されているが、まだ共同研究者間のコンセンサスは得られていない。2013 年の連合大会において国際セッションを企画し、これらについてより広範な観点から議論を行う予定である。

(3-4) 陸上電磁気観測

1998 年以来、中国地震局地質研究所の協力を得て中国東北部吉林省中部および遼寧省西部・中部においてネットワーク MT 観測を行ってきた。そのデータの解析から、マントル遷移層の深さで電気伝導度が他地域に比べて有意に高くなる傾向が認められた。2007 年より、この異常域の空間的な広がりを調べるために、中国東部を中心とした既存磁場データの解析を始めた。また、その観測点をうめるように新たに中露、中蒙国境付近の 2 地点に 3 成分磁力計を設置し、観測を継続している (地震予知研究センターと協働)。

(4) 海半球ネットワークデータの編集・公開

Boulder Real Time Technologies 社の Antelope というソフトウェアを用い、オーストラリア地質調査所、台湾中央研究院地球化学研究所、及び IRIS とリアルタイムデータ交換を継続した。インドネシアの国内観測点、ADPC の観測点のデータの取得を継続した。超伝導重力計データの公開を継続した。海洋研究開発機構と共同で、広帯域地震データ、GPS データ、電磁気データの公開を継続した。

(5) データ解析に基づく地球の内部構造と内部過程の解明

日本・中国・ヨーロッパ・アフリカ・米国・南米の稠密アレイデータを波形インバージョンにより解析し、内核の速度構造・減衰構造を推定した。またこの結果から、内核の半球構造の詳細な特徴を制約した。低速度 (高速度) の領域では低減衰 (高減衰) であるとともに、減衰の周波数依存性が大きい (小さい) という相関が存在することを見出した。これらの特徴は内核内の結晶成長にともなう粒径の違いにより統一的に説明可能であることを示した。

これまで太平洋及びその周辺の地震・陸上地震観測点・海底広帯域地震観測点で記録された地震記録に表面波構造解析手法を適用し海洋域の上部マントル S 波速度構造を求めてきている。この解析で使用しているデータに中国東北部で展開した NECESSArray のデータと中国国内及び周辺の地震観測点のデータを加え、中国東北部における上部マントルの鉛直異方性構造を求めた結果、中国東部の南部深さ約 240km 以深に鉛直流を示唆する異方性構造が存在する事が明らかになった。

マントルを鉛直方向に何度も往復する S 波を解析することにより、海洋域を含めた日本付近の不連続面トポグラフィーの推定を行った。F-net 及び NECESSArray データを用いることにより、沈み込むスラブが存在する領域では 660km が深くなっている一方で、沈み込むスラブより海側の領域では浅くなっていることを検出した。本データを用いた詳細な不連続面トポグラフィー推定はあまり行われてこなかったが、稠密アレイデータを用いればこれが可能であることが示された。

(6) その他の地域での観測的研究

(6-1) 大西洋トリスタン・ダ・クーニャホットスポット

2011 年度より科学研究費補助金を得て、大西洋トリスタン・ダ・クーニャホットスポットの電気伝導度構造研究を開始した。これは、ドイツ IFM-GEOMAR との共同研究であり、ドイツ側と併せて 26 台の OBEM をホットスポット周辺海域に展開して、マンツルの電気伝導度構造を解明し、ホットスポットの起源がマンツル深部にあるか否か、またアフリカ・南米大陸の分裂にどのように寄与したかを議論することを目的としている。本センターからは 8 台の OBEM を持出して、ドイツの研究船を用いて設置した。2012 年 12 月-2013 年 1 月の航海で回収を試みる。その後 2 年程度をかけてデータ解析を進め、所期の目的を達成する計画である。

3.7.2 固体・流体複合系としての地球惑星物理学の展開

(1) 青い地球の地震学

近年、大気・海洋・電離層等の流体地球と固体地球の共振現象が注目されている。例えば、地震波を通して観測される常時地球自由振動・地動脈動や、GPS 観測網によって観測される地震時の電子密度擾乱などである。また、地動脈動の波動場がランダムである性質を使い、地下構造をモニタリングする手法も注目されている。このように地震学を、多圏相互作用・惑星科学まで広げる可能性をもったフロンティアとして、本研究グループは「青い地球の地震学」を推進している。以下、具体的な研究成果について述べる。

脈動帯域から常時地球自由振動帯域にかけて、Rayleigh 波の振幅より Love 波の振幅が数倍大きいという特徴がある。これまで考えられてきた励起メカニズムでは、観測された Love 波と Rayleigh 波の振幅比を説明することは難しい。観測された振幅比の説明をするためには、海底地形と海洋表面波との相互作用が重要であることを指摘し、励起振幅を定量的に説明可能であることを示した。しかし周期 200 秒より長周期の帯域では、海底地形と海洋表面波との相互作用だけでない。大気・海洋起源の圧力擾乱を考える必要があることを明らかにした。

Hi-net 高感度加速度計のデータ (2004/6-2006/6) を解析したところ、庄内平野付近での Love 波が卓越する微動活動が明らかとなった。微動活動は主に冬に観測され、一度活動が始まると数日程度続く。脈動活動が活発になった数日後に微動が誘発される。これらの観測事実を考えあわせると、最上川河口付近の堆積層下部に存在する流体の移動が地震波を励起していると考えられる。

2010 年チリ地震や 2011 年東北地方太平洋沖地震では、太平洋を伝わる津波の伝播時間が、長波近似に基づく数値計算による津波伝播時間よりも 1-2% 系統的に遅くなることに加え、津波の初動に初期反転位相が遠地津波記録に共通して見られた。伝播速度低下と初期反転位相は波形の分散効果で共に説明可能で、観測津波波形と長波シミュレーション津波波形の位相速度差は固体地球とカップルする津波によりほぼ完全に説明できることを示した。海水圧縮性、固体地球の弾性、重力ポテンシャル変化の位相速度変化への寄与の大きさは周波数依存性があり、1000 秒以下では海水圧縮性からの寄与が、1000 秒以上では固体地球の弾性からの寄与が、それぞれもっとも大きく、5000 秒以上では重力ポテンシャル変化の寄与が弾性の次に大きくなることがわかった。これらの理解のもとに、観測された津波波形と直接比較できるシミュレーション津波波形の計算手法を確立した。

2011 年東北地震に関連して、ピエゾ磁気・電離層擾乱・津波の誘導などによると思われる磁場の変化が広範囲にわたって観測されたことを、昨年の年報で報告した。さらに 2011 年 11 月および 2012 年 8 月に回収した、「ふつうの海洋マンツル」計画のパイロット観測の 5 台の海底電磁力計 (OBEM) には、津波に誘導された電磁場変動が明瞭に記録されていることが判明した。導体である海水が地球磁場中を流れることによる電磁誘導現象はファラデーの時代から知られているが、流れ場と誘導される電磁場の関連については定性的な議論や、極めて単純化したモデル化しか行なわれてこなかった。そこで、1次元の解析的なアプローチと 3次元の数値的なアプローチにより、両者の関係を定量的に議論できる計算手法を開発した。これらの手法により、従来の津波計などに加えて電磁場の観測データを津波の波源モデルの拘束に用いる道が拓けた。また、津波による電磁場変動を解析することにより、従来の海底 MT 観測では感度が得られなかった海底下の浅い部分の電気伝導度を推定できる可能性があることがわかった。

(2) 活火山における固体・流体複合過程の観測的研究

火山を固液複合現象の実験場としてとらえ、観測研究をおこなっている：これまでのわれわれの研究から火口直下の構造および固液複合系振動システムが解明されつつある阿蘇火山で、将来の噴火に伴う火山性流体の移動をとらえるべく京大・九大・東北大と共同で観測研究を継続的に行っている。(a) 広帯域地震ネットワークによる火山性微動のリアルタイム・モニターシステムを整備・維持し、基本周期 15 秒の長周期微動源 (火口直下の火道系内での熱水活動による) のモニタリングを行った。(b) また本年から新たに散乱波解析による火山体の時間変化検出と変化領域決定の新手法に関する共同研究を東北大・京大と共同で開始した。具体的作業としては、阿蘇火山火口周辺に 10 台程の広帯域地震計を展開し 2012 年 11 月から 1ヶ月間連続観測をおこない、得られたデータの解析を開始した。

火山活動に伴う大気音波の発生と伝播を固体・大気音響結合系として理解するため、京都大学防災研究所と共同で諏訪之瀬島と桜島にマイクロフォンを設置して継続して観測をおこなった。また、火山噴火予知センターと共同して2011年1月に始まった霧島新燃岳火山噴火を広帯域圧力計を用いて継続して観測をおこなった。伊豆大島島内での広帯域圧力計設置整備を継続した。

(3) 海溝付近における熱輸送過程の観測的研究

海洋プレートが沈み込む場である海溝の周辺地域において、地下からの熱放出量(熱流量)を測定することにより、間隙流体や堆積物の流動による熱輸送、それがプレート境界面の温度構造に与える影響について研究を行っている。

南海トラフ海域では、海溝軸付近(トラフ底)における熱流量が東西方向に大きく変化し、特に四国東部・室戸沖では沈み込むプレートの年齢に比べて異常に高いことが知られている。この異常高熱流量の原因を調べ、巨大地震発生帯の温度構造への影響を明らかにすることを目的とし、紀伊半島南方のトラフ底において詳細な熱流量測定を実施した。その結果、東経136度付近に熱流量分布の明瞭な境界があり、その西では室戸沖と同様の高熱流量を示すことが明らかになった。この境界は沈み込む海洋地殻の構造が変化する境界に近く、構造の違いが地殻内の間隙流体の流れに影響し、温度構造の変化をもたらしている可能性がある。これを検証するために、室戸沖の西側(四国南方)においても熱流量分布を詳細に調べる予定である。また、海洋地殻内の流体流動による熱輸送について、東西方向の構造変化を考慮したモデル計算を進めている。

日本海溝海域では、これまでの調査により、三陸沖の海溝海側斜面からアウターライズにかけて、太平洋プレートの年齢に比べて高い熱流量が観測されることが判明している。高熱流量を示すのは海溝軸から約150kmの範囲であり、異常はプレート沈み込みと密接に関連すると考えられる。この異常の原因としても、海洋地殻内での間隙流体流動による熱輸送が有力であり、数値計算による評価を行った。その結果、沈み込みに伴うプレートの曲がりによって海洋地殻が破碎され、透水性の高い層の厚さが海溝に向かって増していくとすると、観測値が説明できることが示された。今後、このモデルを検証するために海溝近傍で新たな観測調査を行い、熱流量異常と巨大地震震源域の温度構造の関係を解明することを目指している。

3.8 高エネルギー素粒子地球物理学研究センター

| | |
|-------|--|
| 教授 | 相原博昭(兼任), 大久保修平(センター長), Yu Jinhai(客員長期, 中国科学院) |
| 准教授 | 田中宏幸 |
| 助教 | 武多昭道 |
| 特任研究員 | 保科琴代, 宮本成悟 |
| 大学院生 | 西山竜一(D1), 草茅太郎(M2), 仲達大輔(M1) |

本センターの設置目的は、宇宙線ミュオンやニュートリノ等の高エネルギー素粒子を用いて、これまでにない高い分解能(10-100m程度)で断層や火山などの固体地球内部を透視し、地震・火山現象の解明と防災・減災に貢献することである。そのためには素粒子透視技術(ラジオグラフィー)の一層の高度化が必要となる。とくに素粒子検出デバイス開発に対しては、小型・軽量・低消費電力という野外観測からの要求に応えつつ、一方で空間的にも時間的にも高い解像度を確保することが、世界の中でのリーディング・エッジを今後も確保することが欠かせない。また、一方でこれまでは火山に限定されてきた応用分野を、地震断層等にも広げていくことが望まれてきた。これらのことを念頭に、当センターで進めてきた研究活動を以下に述べる。

3.8.1 素粒子検出デバイスの開発研究

(a) 深部のミュオンラジオグラフィーを目指したカロリメータ開発

ミュオンラジオグラフィーの誤差要因の一つに、鉛直方向からの電磁シャワーに起因する偽イベントをミュオンの飛来と誤認することがあげられる。バックグラウンド雑音(BG)と呼ばれるこの現象を軽減するために、4層の位置敏感型ミュオン検出器面からなるカロリメータ方式の検出器を2011年に開発し、北海道明治新山潜在ドームをターゲットにした検証実験を、北海道大学と共同で行ったが、活動的火山のイメージングにはBGの削減率が不足していることも判明した。この問題を克服するために、2012年度は以下の開発項目からなる新型カロリメータを開発した。