

3 新たな観測技術の開発

「新たな観測技術の開発」計画推進部会長 藤本博己
(東北大学大学院理学研究科)

「新たな観測技術の開発」研究では、地震・火山噴火予知研究の推進のために、これまでとらえることが困難、または不可能であった地震及び火山噴火現象を見るための「道具」を開発することを目指している。観測・実験技術の開発研究は、地震や火山噴火の現象解明の研究や予測のための研究と共同で実施されることが多く、この部会と関連の深いものであっても、他の研究計画の中で実施されている技術開発は別に報告されている。ここでは、他部会で報告されない研究課題の成果を中心にまとめる。

(1) 海底における観測技術の開発と高度化

日本列島は海に囲まれており、プレートの沈み込みに伴う巨大地震は海域で発生する。また、プレートの沈み込みに伴い、伊豆諸島をはじめ多くの島嶼部にも活動的な火山が存在する。そのため、既に高密度・高精度な観測が行われている陸域の観測網に近い品質（観測精度と時空間分解能）で、海域においてもデータを取得する必要がある。つまり、陸域と同様に地殻変動の低周波数から地震動の高周波数までの広い周波数帯域で、高ダイナミックレンジの観測を高密度かつ高い時間分解能で実施する必要がある。特に、巨大地震発生の予測を目指した研究を行うためには、日本周辺のプレート境界における地震活動及びその固着状態を準リアルタイムで知ることが重要であり、そのためには、海域における地震活動及び地殻変動の実時間観測が不可欠である。上記のような研究上の需要があるにもかかわらず、海域の観測に必要な測器は、陸上の測器のように商業ベースでは開発されていない。地震及び火山噴火予知研究の推進のためには、海域での観測機器の開発から始める必要がある。

ア. 海底地殻変動観測技術

観測船やブイを用いた海底地殻変動観測を実施するとともに、観測精度向上に関する研究を進めた。宮城県沖地震に備えて観測を継続していたおかげで、この海域の海底地殻変動観測は、2011年東北地方太平洋沖地震の滑り分布に決定的な制約を与える重要な成果をあげた。図1は、海上におけるGPS（汎地球衛星測位システム）測位と海中の音響測位を結合して海底の精密測位を繰り返す海底GPSと呼ばれる手法により観測が行われていた点を示すが、宮城県沖の海溝軸陸側約50 kmの観測点GJT3で、地震前後の変位として、東へ 29.5 ± 0.5 m、南へ 11 ± 0.5 m、隆起 3.9 ± 1 mの変位、その陸側のGJT4で約15 mの水平変位を捉えた(Kido et al., 2011; 東北大学[課題番号:1217])。海上保安庁[課題番号:8006]は、宮城県沖と岩手県沖の4観測点で24 mにおよぶ大きな地殻変動があったが、福島県沖ではその値が小さいことを捉えた(Sato et al., 2011; 海上保安庁[課題番号:8006])。東北大学では、GJT3におけるその後の観測で、東方向の大きな余効変動も捉えている(Osada et al., 2011)。

図2に示す宮城県沖の8つの観測点で海底圧力の連続観測データが得られ、この巨大地震の前震・本震時の変位と余効変動を時系列として捉えることに成功した(Hino et al., 2011; Inazu et al., 2011; 東北大学[課題番号:1217])。図2のTJT1の観測点は海溝軸近くにあり、地震時に約5.1 mの隆起を捉えており、海溝軸付近で数10 mの滑りがあったことを示唆している(Ito et al., 2011)。

海底GPSは測位精度の向上が重要な課題であり、海中音速の水平勾配が時間変化すると測位誤差が生じるという問題である。そこで地震学で利用されている既存の方法を応用し、音速の空間分布と推定

された走時残差を比較し、海中音速構造の不均質性及び時間変化がある程度検出可能であることを示した(図3; Eto et al., 2011)。また海底ベンチマーク形状を固定してその重心位置の移動のみを求めるアルゴリズムを適用し、過去の全データを用いて再解析することにより、水平変位速度を5~10 mm/yr で得られることを示した(Tadokoro et al., 2011;名古屋大学[課題番号:1706])。海上保安庁[課題番号:8006]は、同様な手法により南海トラフ沿いの6点で水平変位速度を求めている。

機動的な海底地殻変動観測を行うために、広帯域海底地震計(BBOBS)に絶対圧センサーを付加するシステム(BBOBS+AGP)を開発し、実海域観測を進めている。海底での傾斜変動を計測するため、レーザー光源の小型傾斜計の開発を進めるとともに、次世代型広帯域海底地震計(BBOBS-NX)の広帯域地震センサーのマスポジション出力から傾斜変動を検出するシステム(BBOBST)を開発した(東京大学地震研究所[課題番号:1431, 1432])。

イ. 海底地震観測技術

水深6000m以深の超深海域での海底地震観測を可能にするために、超深海用海底地震計(UDOBS)の試作を行った。鋸山地殻変動観測所の観測壕内において水晶発振式加速度センサーの試験観測を行い、ノイズレベルがこれまでのサーボ式加速度計よりも、約10倍低いことが確認された。このセンサーを用いることにより、微小地震を対象とした高感度観測、加速度計の特性を活かした広帯域観測が行えることとなる(東京大学地震研究所[課題番号:1432])。

ウ. 海底実時間システム

東南海地震に備えて、熊野灘における地震・津波観測監視システム(DONET)の観測点の構築を完了し、その観測データを用いた各種のモニタリングの研究を開始するとともに、南海地震の震源域の和歌山県西方沖に展開する新たな地震津波観測監視システム(DONET2)の構築に向けた調査等を開始した(海洋研究開発機構[課題番号:4005])。昨年度、「ひずみ集中帯」委託研究により新潟県粟島の南方の日本海に設置したインライン式の次世代ケーブル式海底観測システムについて、その安定した運用を確認するとともに、データ伝送に関する技術開発研究を行った(Kanazawa et al., 2011)。また、高精度水圧計を観測ノードに実装するための検討を行った(東京大学地震研究所[課題番号:1433])。

(2) 宇宙技術等の利用の高度化

GPSや衛星搭載合成開口レーダー(SAR)等の人工衛星を利用した観測技術は、地震及び火山活動の観測手段として重要な役割を果たしてきており、その解析技術の一層の高度化を図ることにより、様々な地震や火山活動をより高い精度で把握することが可能になる。その他の衛星や航空機を利用したりモートセンシング技術の高度化を含めて、以下のような研究を進めた。

ア. 宇宙測地技術

GEONETのGPS測位ルーチン解析において、桜島周辺、新燃岳周辺等に見られている特徴的な誤差は、地形に起因する気象擾乱(山岳波)の影響によって生じており、高分解能数値気象モデルを用いることにより、その誤差を再現できることがわかった(石本ほか, 2011)。またGPS統合解析技術に関して、昨年度に試作した電離層遅延補正モデルの推定手法を見直し、グリッド内挿を用いた推定手法を構築した(畑中ほか, 2011)。各機関のGPS観測点のデータにGPS統合解析手法を適用することにより、GEONETのルーチン解との整合性の高い座標解が得られることがわかった(図4, 国土地理院[課題番号:6017])。

平成22年度に開発を進めたリアルタイムGPS時系列データから永久変位を自動的に検出する手法を、2011年東北地方太平洋沖地震時の国土地理院GEONET 1秒サンプリングGPSデータに対して適用し、精度評価を行った。その結果、日座標値との比較から水平成分において10cm程度の精度で変位量が推定できており、推定日座標値による変位には余効変動や余震等による地震時変動が別途含まれていることを考慮すると、リアルタイム処理で推定された変位量はほぼ正確に地震時変動を捉えていると考えられる。更に推定された地震時変動場を説明する断層面を逐次(20秒毎)推定し、地震規模を迅速に把握する手法を開発し、地震発生後から275秒でMwが8.7に到達することを把握可能なことが分かった(図5, Ohta et al., 2011)。また本震だけではなく、本震発生後の余震(茨城県沖地震, Mw. 7.7)についても変位量を自動推定することに成功した(東北大学[課題番号: 1218])。

気象庁のメソスケールGPV気象モデルを用いて、関東地方及び東海・伊豆地域のGEONET観測点を、1日以内に準リアルタイムで大気伝播遅延補正を行った場合について、測位精度の評価を行った(防災科学技術研究所[課題番号: 3019])。

SARの解析については、東北地方太平洋沖地震に関して、GPSデータとの統合解析手法を適用することにより、精度が低い速報的な軌道情報(RARR)を用いたSAR干渉処理においても、正確かつ迅速に地殻変動を検出した。SARデータのみの解析では不正確な軌道情報を起因とする長波長ノイズが重畳しているが、GPSデータを組み込んだ統合解析により長波長成分が補正されて地震に伴う地殻変動を適切に抽出することができている(Kobayashi et al., 2011)。数値気象モデルを用いた大気位相遅延誤差の低減処理を霧島山(新燃岳)の地殻変動解析に適用しその有効性を示した(Tobita et al., 2010; 国土地理院[課題番号: 6018])。

通常の解析モードと比べて広範囲を撮像できるScanSARモードのSAR画像を用いた干渉解析に成功し、2010年ハイチ地震にともなう地殻変動を、ALOS衛星からのScanSAR画像を用いて高い空間分解能で抽出するのに成功した(Hashimoto et al., 2011)。また、ピクセルオフセット法を用いて、干渉解析では不可能な大変形の抽出に関する研究も引き続き進展した(Furuya and Yasuda, 2011; Liu et al., 2012; 東京大学地震研究所[課題番号: 1434])。

東北地方太平洋沖地震に関するSAR解析において、火山帯の付近でおおよそ20km以下の空間波長の局所的な沈降が見られた。火山下に存在するマグマだまりのような柔らかい物質が、周りの岩石と比べてより大きく伸長したためにこの沈降が生じたと解釈すると、観測結果と調和的な地殻変動分布を再現できる。新燃岳・霧島山の火山活動に関して、SAR解析により2011年3月以降の地殻変動を調査し、新燃岳周辺の浅い領域に収縮源が存在していることを示唆する結果が得られた(防災科学技術研究所[課題番号: 3017])。

イ. リモートセンシング技術

火山噴火の際には、火口近傍での観測は重要であるが、観測者の安全確保のため実施は困難であった。この問題を解決する目的で、産業用小型無人ヘリコプターを用いて観測装置の設置作業を行うシステムの高度化とそれを用いた観測を進めている(Kaneko et al., 2011)。平成23年度は、無人ヘリコプターを用いて、5月に霧島・新燃岳において地震計・GPS観測装置の設置、11月に桜島及び霧島山(新燃岳)において再設置を行った。なお、観測装置が台風などの強風で吹き倒される事例が相次いだため、風に強い形状の観測機器を再開発した。5月及び11月に霧島山(新燃岳)にて空中磁気測量を行い、ドーム形成に伴う磁化変化をとらえることに成功した(東京大学地震研究所[課題番号: 1435])。

MODISとMTSATの衛星赤外画像を用いて東アジアの主要147活火山の準リアルタイム観測を行って

いるが、今後の主要テーマの1つは、2015年度にJAXAが打ち上げを予定している気候変動観測衛星 GCOM-C1 を用いた衛星観測システムの高度化である。本年度は、これに搭載予定の250m 分解能の赤外チャンネルを用いた噴火状況の解析について、模擬データ解析等の検討を進め、火砕流の有無を識別できる可能性があることを確認した（東京大学地震研究所[課題番号：1436]）。

航空機搭載型放射伝達スペクトルスキヤナ（ARTS）による火山活動のリモートセンシングを進めており、観測データの解析とともに、マグマの物性に関連するSiO₂ 含量の推定技術の開発、及び観測機会を拡大するためにARTS を小型化する技術開発に着手した（防災科学技術研究所[課題番号:3018]）。

気象レーダーによる新燃岳の爆発的噴火時の噴煙エコー頂高度の解析結果は、ひまわり7号（MTSAT-2）で撮られた火山灰雲の流向とよく対応することがわかった。新燃岳の降灰予報全39事例について、降灰分布との比較検証を行い、降灰予測に用いている初期値（噴煙柱モデル）で火山灰の粒度分布や拡散比率を適切に設定することに加え、気象レーダーの噴煙エコー頂高度の解析結果を適用することにより、予想降灰量の再現性が向上することを確認した（気象庁[課題番号：7022]）。

(3) 観測技術の継続的高度化

地震及び火山観測においては、地下の状態を把握する新たな観測技術を開発して、研究の推進に役立てることと同時に、従来の観測手法の継続的な高度化も必要である。特に、これまで電源や通信事情が悪くて観測ができなかった、山間地・離島・火口近傍等の場所でデータを効率よく取得する技術の開発も必要である。このような課題に対して、以下のような研究を進めた。

ア. 地下状態モニタリング技術

宇宙空間から地上に降りそそぐ高エネルギー粒子ミュオンによる火山体内部の観測を進めている（Tanaka et al., 2011; Okubo et al., 2012）。今年度は、従来よりも大きなサイズの物体をより短い時間で透視するためにカロリメータ方式センサーを開発し、有珠山（明治新山）にて試験観測を実施した（図7）。新方式ではミュオン検出器を2層から4層に増やすことにより、バックグラウンド・ノイズの大幅な低減を実現し、密度画像を得るまでの観測時間が大幅に短縮された。明治新山の仰角110 ± 55 mrad（70 % confidence level）の角度領域において、観測時間を12時間、24時間及び10日間と変えた場合の観測結果を図8に示す。同じ精度を得るのに要する時間は、従来の約1/3に短縮されている。なお、本測定では本来2.35平米に設計されている検出器をスペックダウンして1.21平米で行っているため、約60%の性能しか出ていない。本来の仕様で密度測定を行えば、同じ精度が従来方式の6倍速で達成できる見込みである（東京大学地震研究所[課題番号：1438]）。

微弱なプレート境界からの反射信号の長期監視を目的とする地震計アレイによる豊橋アクロスの観測データ解析手法の高度化に向けて、中部地方のHi-net等の定常観測網約150点の連続地震波形データの収集を開始し、自動で前処理するシステムの開発を進めている。火山を対象とした噴火準備過程の能動的モニタリングを来年度から開始するために、予備の震源装置等を桜島火山へ移設する作業を行った（名古屋大学[課題番号：1707]）。

イ. 地震活動や噴火活動の活発な地域における観測技術

高精度を保ちつつ、可搬性にも重点を置いた小型絶対重力計の開発を進めている。東北地方太平洋沖地震に伴う重力変化を観測するため、江刺観測施設の絶対重力値を継続的に測定した。地殻変動では地震時に沈降が観測されているが、重力値は地震後に約12マイクロガル低下し、その後回復傾向にある。余震による地面振動が大きいデータを除去することにより、1μgal以下の分解能で重力値を決定

できている（図9，東京大学地震研究所[課題番号：1439]）。

火山地域などの悪条件下においての各種観測データの伝送方式の開発を目指して，平成22年度に引き続き，携帯電話カードの定額料金プランを用いた地震データ転送，プリペイド式携帯電話端末を用いたGPS 観測網のテレメータ化，低消費電力の小型小電力無線機を用いた無線LAN 装置の開発などのデータ伝送実験を行った。携帯電話データ通信サービスエリア内であれば3ch 100Hz の地震データの他GPS や傾斜計などの低サンプリングデータを観測拠点に簡便にリアルタイム伝送をすることができるようになり，現在霧島新燃岳噴火に伴う観測や東日本地区各地で非常に順調に動作している。東日本大震災の経験から，携帯基地局が停止しない限り，大災害が起きても，形態電話の回線輻輳によるデータ欠落は実際の運用ではほとんど問題にならないが，今後，スマートフォンの増加による回線容量不足には注意する必要がある（九州大学[課題番号：2207]）。

危険なため人が容易に近づけない活動的な火山火口近傍における機動的観測を行うために，火山フィールドで不整地走行を行い，搭載したセンサーのデータをリアルタイムで基地局に転送する無線操縦ロボット『ほむら』の開発を目指しており，その実用化に向けて，現在までに製作されている試作機の駆動系，特にモーターと電源を高性能化すること，更に実際の火山フィールドでの試験により改良点を明らかにすることを進めている（京都大学[課題番号：2913]）。

富士山のGPS 火山変動リモート観測装置を更新し，リモート監視が可能になり，火山内部の挙動を把握することが可能となった（国土地理院[課題番号：6019]）。

ウ．大深度ボアホール計測技術

高精度で安定であるレーザー技術を利用した大深度ボアホールの高温環境下で使用できるレーザー干渉式広帯域地震計測・傾斜計測法の開発（新谷，2010）を進めている。光ファイバーで高温試験装置の干渉計に光を導入し，常温から300℃の範囲での動作状態を測定し，290℃までは正常に干渉信号が得られ，干渉計部分の高温動作が確認された。鋸山観測所の坑内で既存のSTS1型広帯域地震計と雑音レベルを比較した。その結果ほぼ同等であることが確認された。遠地地震波形や潮汐信号も整合し，広帯域地震計として十分な性能であることが確認された（東京大学地震研究所[課題番号：1440]）。

また，地下深部の高温環境下で安定動作する，地震計，傾斜計，強震計の開発を進めており，23年度は，岩手県八幡平市の試験井において，試作地震計の試験観測を開始した（防災科学技術研究所[課題番号：3020]）。

これまでの課題と今後の展望

地震及び火山噴火現象を見るための「道具」を開発する研究は着実に成果を出しており，海底地殻変動観測や海底実時間システム，宇宙測地技術，リモートセンシング技術，データ伝送技術など，成果の多くは地震・火山噴火予知研究推進のためのモニタリング等に貢献しつつあり，2011年3月の東北地方太平洋沖地震に伴う地震活動や地殻変動の観測，新燃岳の噴火活動のモニタリング等において重要な成果を出した。今後はモニタリング等の観測を行いつつ，観測システムや解析手法の高度化を進めることが重要と思われる。

海底におけるケーブル式の津波観測や海底地殻変動観測の重要性が再認識され，ケーブル式の大規模海底観測プロジェクトや，海底GPS方式と海底圧力観測による地殻変動観測の多点展開が予定されている。画期的なことであり，成果を出して今後の進展に結びつけることが必要である。海底GPS方式の地殻変動観測は，沈み込み帯のプレート境界の固着状態を把握する鍵となる重要な観測になってきた

が、陸上のGPS観測と比べると、繰り返し測位精度が1桁程度低く、観測も年間に1～3回程度であるという問題がある。今後測位精度の向上や連続観測に向けた研究を進めるとともに、計画されている多点観測や将来の海底地殻変動観測網に向けて、観測の効率化とシブタイムの確保が重要な課題である。

GPSによる陸上の地殻変動観測の高度化は着実に進んでおり、今後、リアルタイム解析の進展により、巨大地震の即時解析と津波警報の高度化に貢献すると期待される。SARによる地殻変動観測の高度化も進んでいるが、ScanSARに関する研究と、ALOS-2の運用に向けて準備を進めることが課題であろう。

ミュオンによる火山体内部の観測は新しい観測手法であり、まだ観測できる山体の大きさに限界はあるが期待は大きい。今後観測を進めつつ、重力測定など関連する観測とも合わせて、観測システムの高度化と観測結果の検証を進めることが重要であろう。各種のリモートセンシングや、無線操縦のヘリやロボットと無線通信システムなど、噴火活動のモニタリングに向けた観測システムの高度化が進められており、桜島の噴火活動のモニタリングや将来おきる大きな噴火活動への備えとして重要である。

光技術は高精度の計測システムの開発に重要な技術であり、高温の地下掘削孔内で長期観測できる唯一のシステムとして注目されており、それを応用した絶対重力計、レーザー干渉式広帯域地震計・傾斜計の開発は、長期的にサポートしていくことが必要である。

参考文献

- Eto, S., S. Nagai, and K. Tadokoro, 2011, K, Detection of spatio-temporal change of ocean acoustic velocity for observing seafloor crustal deformation applying seismological methods, AGU Fall Meeting, San Francisco, Calif., 5-9 Dec. 2011.
- Furuya, M., and T. Yasuda, 2011, The 2008 Yutian Normal Faulting Earthquake (Mw7.1), NW Tibet: Non-planar Fault Modeling and Implications for the Karakax Fault, *Tectonophys.*, 511, 125-133, doi:10.1016/j.tecto.2011.09.003.
- 畑中雄樹, 2011, 精密基線解析のための電離層遅延補正モデル生成の一手法, 日本測地学会第116回講演会要旨集, 9-10.
- Hino, R., Y. Ito, K. Suzuki, S. Suzuki, D. Inazu, T. Inuma, Y. Ohta, H. Fujimoto, M. Shinohara, and Y. Kaneda, 2011, Foreshocks and mainshock of the 2011 Tohoku earthquake observed by ocean bottom seismic/geodetic monitoring, Abstr. U51B-0008, 2011 AGU Fall Meeting, San Francisco, Calif., 5-9 Dec. 2011.
- Inazu, D., R. Hino, S. Suzuki, Y. Osada, Y. Ohta, T. Inuma, H. Tsushima, Y. Ito, M. Kido, and H. Fujimoto, 2011, Ocean bottom pressure observations near the source of the 2011 Tohoku earthquake, AGU Fall Meeting, Abstr. G51A-0868, San Francisco, Calif., 5-9 Dec. 2011.
- 石本正芳・宗包浩志, 2011, 数値気象モデルにより再現された測位誤差とその原因について, 測地学会第116回講演会要旨集, 39-40.
- Ito, Y., T. Tsuji, Y. Osada, M. Kido, D. Inazu, Y. Hayashi, H. Tsushima, R. Hino, and H. Fujimoto, 2011, Frontal wedge deformation near the source region of the 2011 Tohoku-Oki earthquake, *Geophys. Res. Lett.*, doi:10.1029/2011GL048355.
- Hashimoto, M., Y. Fukushima, and Y. Fukahata, 2011, Fan-delta uplift and mountain subsidence during the Haiti 2010 earthquake, *Nature Geoscience*, 4, 255-259, doi: 10.1038/ngeo1115.
- Kanazawa, T., M. Shinohara, and T. Yamada, New innovative ocean bottom cabled seismometer system and

- observation in the sea of Japan, OCEANS' 11 MTS/IEEE KONA, Abstr. UT11/SSC11-1048, Kona (USA), Sep. 21, 2011.
- Kaneko, T., T. Koyama, A. Yasuda, M. Takeo, T. Yanagisawa, K. Kajiwara, and Y. Honda, 2011, Low-altitude remote sensing of volcanoes using an unmanned autonomous helicopter: an example of aeromagnetic observation at Izu-Oshima volcano, Japan, *Intern. J. Remote Sensing*, 32, 1491-1504.
- Kido, M., Y. Osada, H. Fujimoto, R. Hino, and Y. Ito, 2011, Trench-normal variation in observed seafloor displacements associated with the 2011 Tohoku-Oki earthquake, *Geophys. Res. Lett.*, 38, L24303, doi:10.1029/2011GL050057.
- Kobayashi, T., M. Tobita, T. Nishimura, A. Suzuki, Y. Noguchi, and M. Yamanaka, 2011, Crustal deformation map for the 2011 off the Pacific coast of Tohoku Earthquake, detected by InSAR analysis combined with GEONET data, *Earth Planets Space*, 63, 621-625.
- Liu, L., J. Wahr, I. Howat, S. A. Khan, I. Joughin, and M. Furuya, 2012, Constraining ice mass loss from Jakobshavn Isbrae (Greenland) using InSAR-measured crustal uplift, *Geophys. J. Int.*, doi: 10.1111/j.1365-246X.2011.05317.x.
- Ohta, Y., T. Kobayashi, H. Tsushima, S. Miura, R. Hino, T. Takasu, H. Fujimoto, T. Inuma, K. Tachibana, T. Demachi, T. Sato, M. Ohzono, N. Umino, 2012, Quasi real-time fault model estimation for near-field tsunami forecasting based on RTK-GPS analysis: Application to the 2011 Tohoku-Oki Earthquake (Mw 9.0), *J. Geophys. Res.*, doi:10.1029/2011JB008750.
- Okubo, S. and H.K.M. Tanaka, 2012, Imaging the density profile of a volcano interior with cosmic-ray muon radiography combined with classical gravimetry, *Meas. Sci. Technology*, 23, doi:10.1088/0957-0233/23/4/042001.
- Osada, Y., M. Kido, Y. Ito, Y. Ohta, R. Hino and H. Fujimoto, 2011, Post-seismic deformation observed off Miyagi after the 2011 off the Pacific coast of Tohoku Earthquake (M 9.0) using GPS-acoustic observation system, Abstr. G51A-0866, 2011 AGU Fall Meeting, San Francisco, Calif., 5-9 Dec. 2011.
- Sato, M., T. Ishikawa, N. Ujihara, S. Yoshida, M. Fujita, M. Mochizuki, A. Asada, 2011, *Science*, 332,1395, doi:10.1126/science.1207401.
- Shiobara, H., M. Shinohara and T. Isse, 2011, New step toward geodetic range observations at the sea floor with the BBOBS system, Abstr. S51A-2187, 2011 AGU Fall Meeting, San Francisco, Calif., 5-9 Dec. 2011.
- Tadokoro, K., T. Watanabe, S. Nagai, T. Okuda, R. Ikuta, S. Eto, K. Yasuda, T. Sakata, and K. Sayanagi, 2011, Monitoring of Seafloor Crustal Deformation Along the Suruga-Nankai Trough, Japan, 2011 AGU Fall Meeting, San Francisco, Calif., 5-9 Dec. 2011.
- Takamori, A., A. Bertolini, R. DeSalvo, A. Araya, T. Kanazawa, and M. Shinohara, 2011, Novel compact tiltmeter for ocean bottom and other frontier observations, *Meas. Sci. Technol.*, 22, 11, 115901.
- Tanaka, H.K.M., H. Miyajima, T. Kusagaya, A. Taketa, T. Uchida, and M. Tanaka, 2011, Cosmic muon imaging of hidden seismic fault zones: Rainwater permeation into the mechanical fractured zones in Itoigawa-Shizuoka Tectonic Line, Japan, *Earth Planet. Sci. Lett.*, 306, 156-162.
- Tobita M., T. Nishimura, T. Kobayashi, K. X. Hao, and Y. Shindo, 2011, Estimation of coseismic deformation and a fault model of the 2010 Kyushu earthquake using PALSAR interferometry data, *Earth Planet Sci. Lett.*, 307, 430-438, doi:10.1016/j.epsl.2011.05.017.

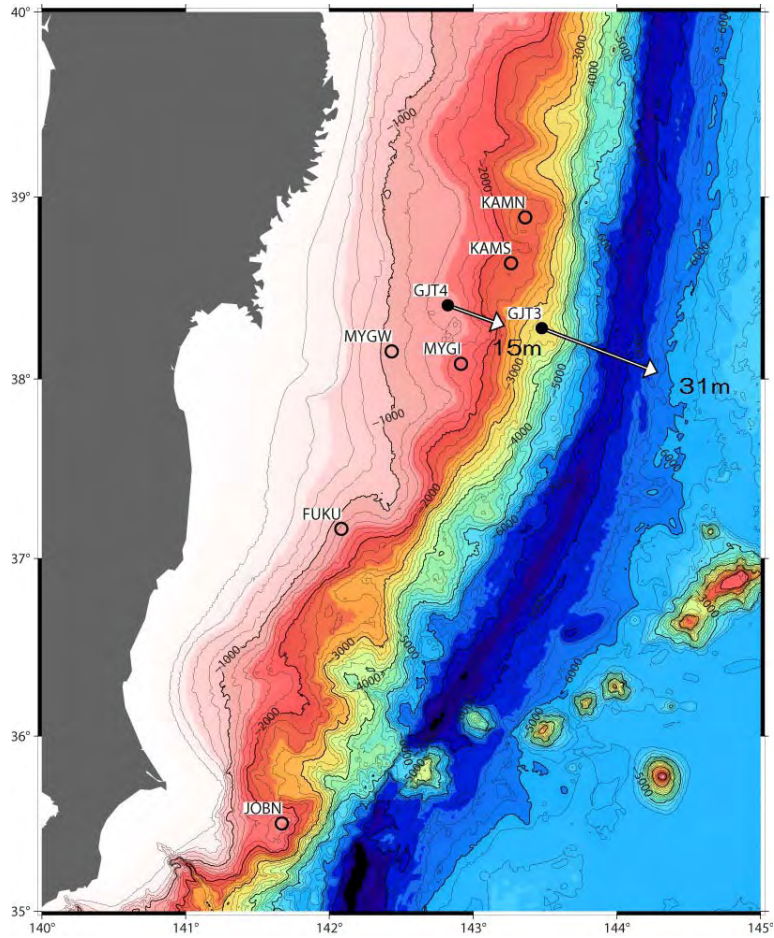


図 1. GJT3 と GJT4 の観測点配置と東北地方太平洋沖地震による変位の観測結果（東北大学[課題番号:1217]）

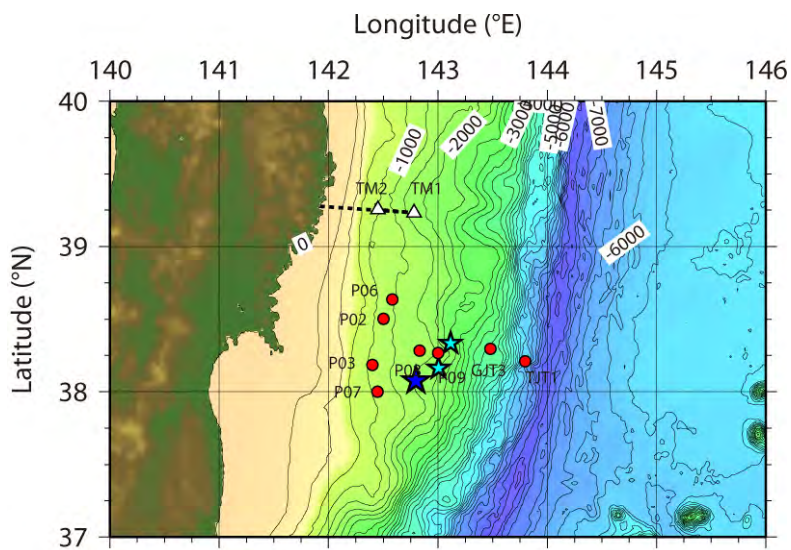


図 2. 回収された圧力計（赤）の分布と前震（水色）及び本震（青）（東北大学[課題番号:1217]）

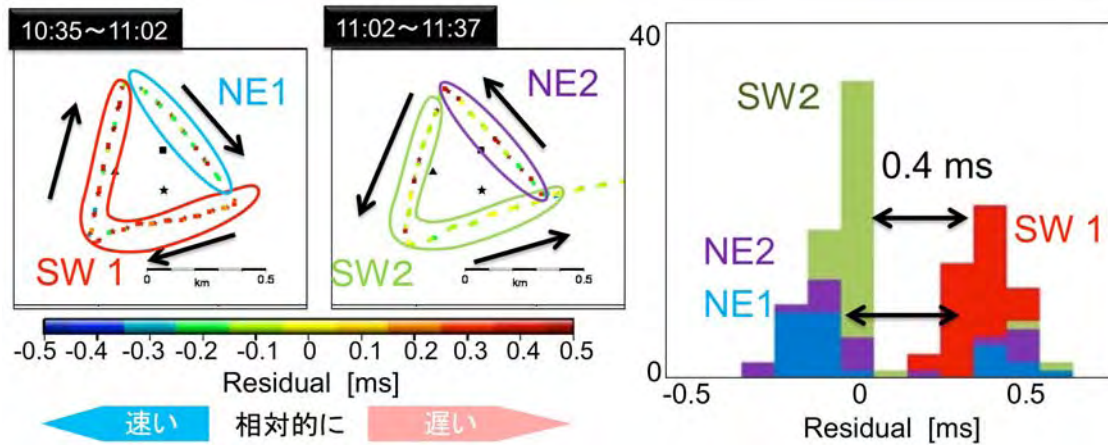


図 3. 海中音速構造の時空間変化を反映した走時残差分布 (名古屋大学[課題番号:1706])

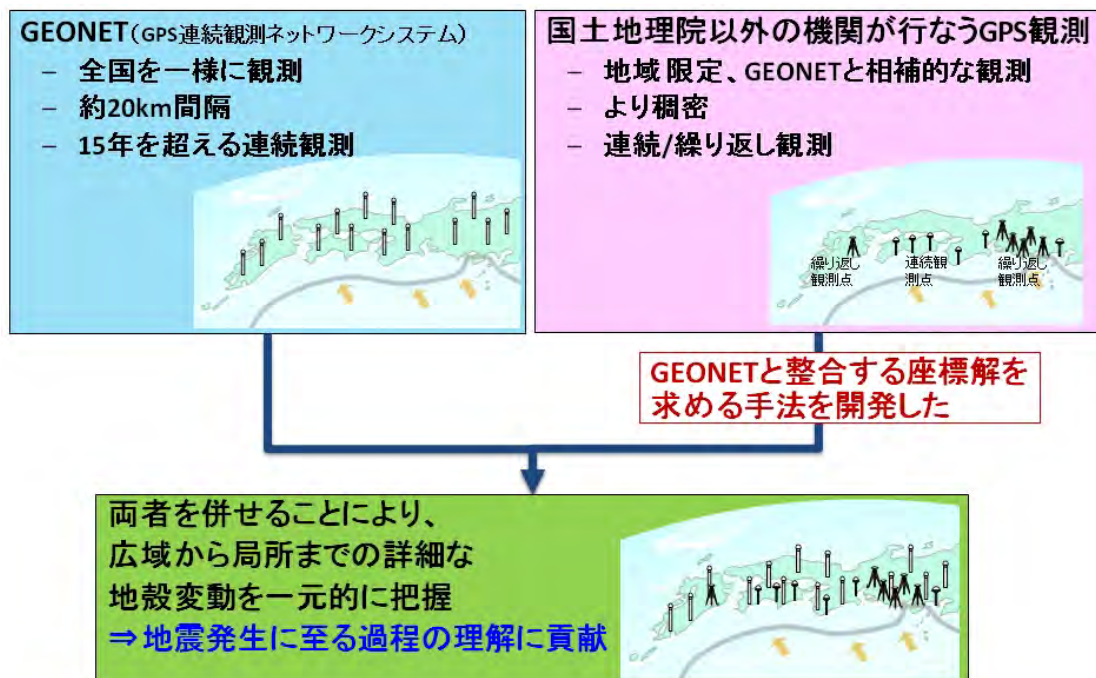


図 4. GPS 統合解析技術の開発に関する背景, 成果, 及び意義 (国土地理院[課題番号:6017])

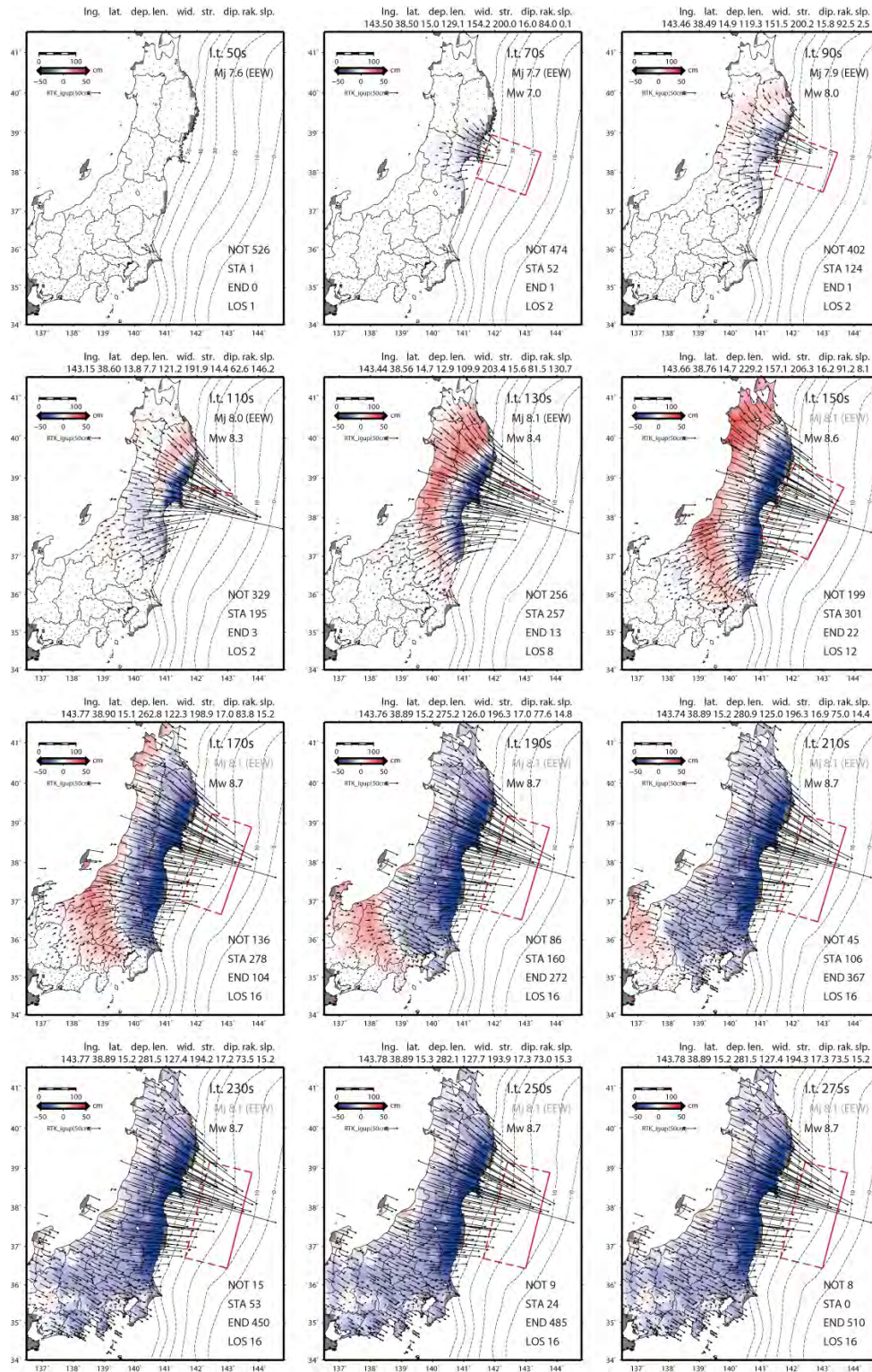


図 5. RTK-GPS 時系列に対してRAPiD アルゴリズムを適用して得られた2011 年東北地方太平洋沖地震の水平(矢印), 上下変動場(赤, 青色)のスナップショット。図中赤矩形が得られた変動場から推定された震源断層モデル(東北大学[課題番号: 1218])

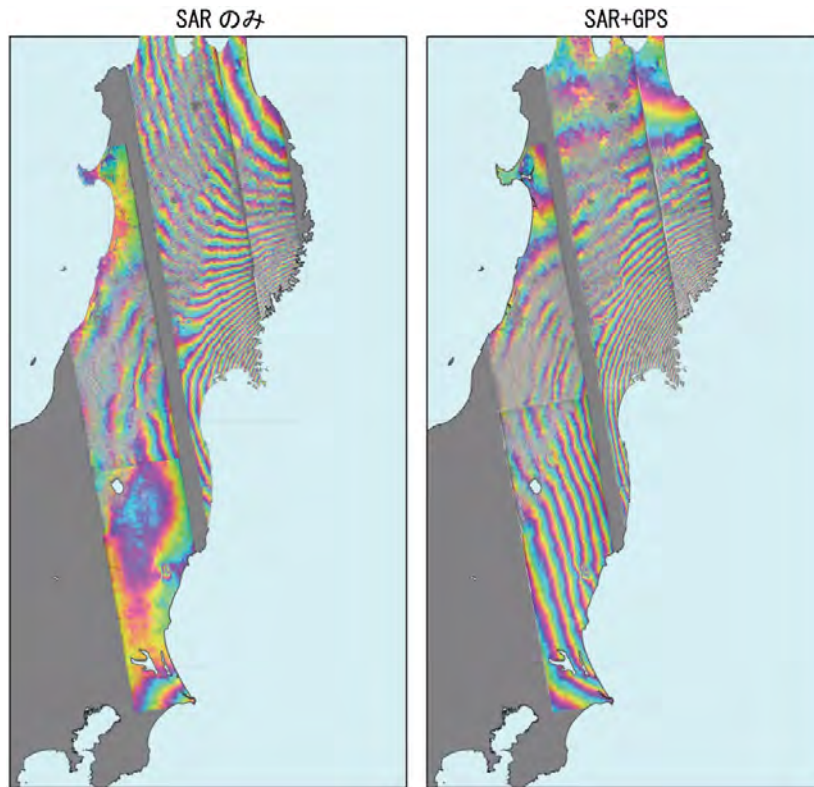


図6. GPS データ統合解析手法の適用効果 (Kobayashi et al. (2011) のFig. 2 を一部改変)。
 左はGPS データを利用しなかった場合、右はGPS データとの統合解析手法を適用した場合の、東北地方太平洋沖地震に伴う地殻変動を示すSAR干渉画像。両者とも精度が低い速報的な軌道情報 (RARR) を用いている。

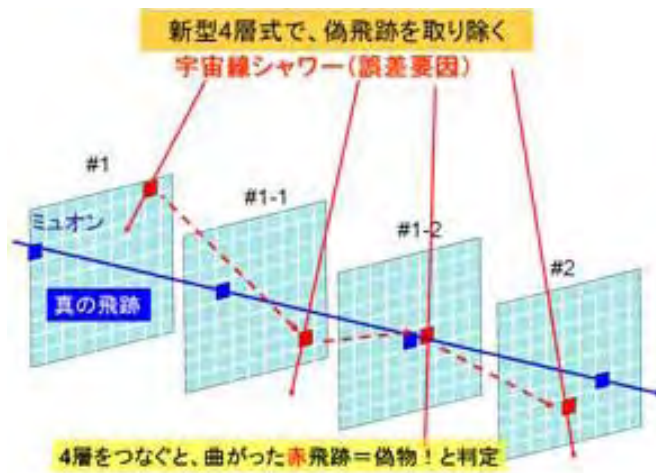


図7. 4層カロリメータ方式のミュオン・ラジオグラフィー装置の原理図。電磁シャワーは、従来の2層式装置 (#1 と#2 を用いる) では、ミュオン飛跡と誤認されることがあり、観測誤差となっていたが、4層式にすることで、それらは赤丸をつなぐ曲がった飛跡として明確に区別できる。

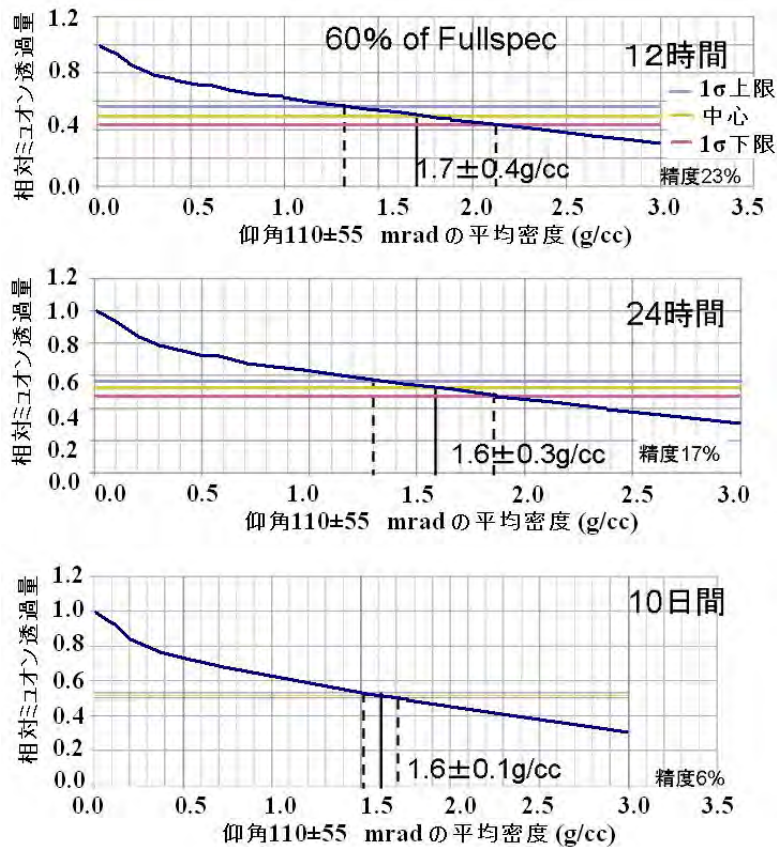


図8. 4層式カロリメータで明治新山方向の仰角110mrad(約6度)方向からのミュオン到来数(相対透過量)。青線は、さまざまな密度に対して、シミュレーション計算して得られた期待値。水平な直線は、観測値(最確値及び±1σの上下限值)。

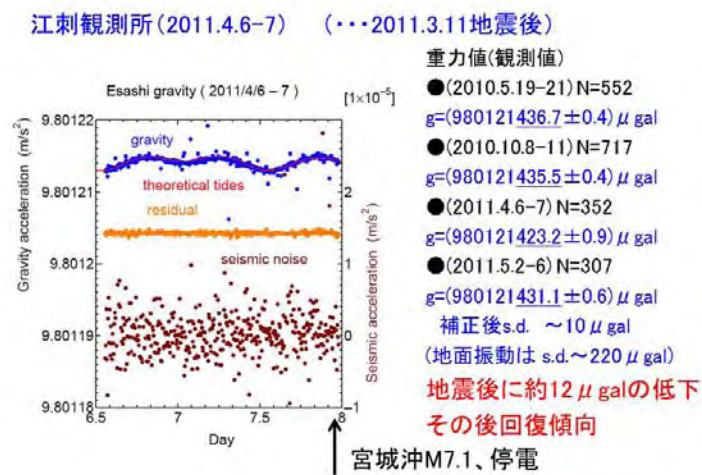


図9. 東北地方太平洋沖地震後に測定された江刺観測施設における絶対重力データ。余震による地面振動が大きいデータを除去することにより、1μgal以下の分解能で重力値を決定できた。

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）の概要

－ 科学技術・学術審議会 －

I 地震・火山噴火予知研究に関するこれまでの成果と今後の展望

1 経緯

- ・ 地震予知研究は昭和 40 年、火山噴火予知研究は昭和 49 年を始まりとして、当時の文部省測地学審議会（現在の科学技術・学術審議会）が建議する計画に沿って、大学や関係機関が協力・連携して、現在も総合的に推進
- ・ 現行の二つの 5 か年計画（地震・火山）が平成 20 年度で終了になることから、平成 19 年に実施状況等レビュー及び外部評価を実施

2 現状への基本的認識

- ・ 我が国は世界有数の地震・火山国であり、これらの災害から国民の生命・財産を守り、安全で安心な社会を実現することは、国の基本的な責務
- ・ 日本列島周辺では、海洋プレートの沈み込みにより、巨大地震が発生し、また、マグマが生成されるなど、地震と火山現象で共通の地球科学的な背景が存在

3 地震予知研究の成果

- ・ 地震発生に至るモデル「アスペリティモデル」の有効性の検証が進展
- ・ プレート境界地震について、東海から西南日本にかけてのフィリピン海プレート深部境界で、短期的ゆっくり滑りと低周波微動の同時発生を発見
- ・ 内陸地震の発生準備過程について、地殻・マン托ルの不均質な粘弾性・^{そせい}塑性変形により広域応力が特定の断層域へ集中していく機構の理解が進展
- ・ 日本列島域の地殻活動予測シミュレーションモデルの原型が完成し、地震発生に至る過去の巨大地震発生サイクルの特徴が再現

4 火山噴火予知研究の成果

- ・ 「2004 年浅間山噴火」では、多項目観測により火山体へのマグマ貫入など、噴火の前駆的な変動把握に成功
- ・ マグマ供給系・熱水系がモデル化された火山では、観測データから噴火に先立つ流体移動の把握が可能
- ・ 活動的火山について、活動度把握に基づく火山活動レベル（現在の噴火警戒レベルに移行）の導入

5 今後の展望

（地震予知・火山噴火予知の統合的研究）

- ・ 地震発生と火山噴火は、海洋プレートが日本列島下に沈み込む際に生じる地殻・上部マン托ルの構造不均質と力学的・化学的不安定が原因
- ・ これら地震と火山噴火現象に共通な場を理解する統合的研究が必要

(地震予知研究)

- 地震予知研究の目標は、地震現象を理解し、モデル化に基づく予測シミュレーションとモニタリングを総合化した「総合予測システム」を構築。「地震がいつ、どこで、どの程度の規模で発生するか」の定量的な予測
- 現在の目標到達度は、プレート境界の大地震の場所と規模の予測については、一定の見通しが得られた段階。時期の予測に関しては、一般に長期予測の段階
- プレート境界地震については、予測シミュレーションモデルに観測データを取り込む（データ同化）研究が重要
- 内陸地震については、予測シミュレーションモデル開発のための物理モデルの構築が必要
- 海洋プレート（スラブ）内地震については、物理モデルの構築のために、プレートの沈み込みに伴って発生する諸過程の統一的な理解が必要

(火山噴火予知研究)

- 火山噴火予知研究の目標は、観測データと噴火の物理化学モデルに基づき、噴火の時期、場所、規模、様式及び推移の予測
- 現在の目標達成度は、適切な観測体制が取られた火山では、噴火時期をある程度予測できる段階。噴火の推移を予測することは現在も困難
- 今後も火山監視観測網の強化及び火山噴火の可能性の高い地域におけるモニタリングの重点的な強化が必要
- 火山活動の現状を評価し、予測される噴火の前兆現象や活動推移を網羅した噴火シナリオの作成が必要
- 基礎研究の推進によって得られるモデルや噴火シナリオにモニタリング結果を統合し、火山活動の定量的評価を行う予測システムの構築が必要

(計画推進のための体制)

- 計画全体を組織的に推進する体制や評価する体制の一層の整備が必要
- 地震・火山現象を理解し、発生を予測するためには、長期にわたる継続的な観測と研究が不可欠。それを実現する観測網の整備、若手研究者の養成・確保が必要
- 大学の観測網については、基盤的観測網との調和を図りつつ、大学が担うべき観測研究への一層の重点化が必要

II. 本計画策定の方針と実施内容

1 計画推進の基本的考え方

- 地震及び火山噴火は、同じ地球科学的背景を持った自然現象であり、測地学的・地震学的手法による共同での観測研究はそれぞれの現象理解に有効
- 世界に類を見ない稠密な地震・地殻変動の観測網などの研究資源を地震現象と火山現象の観測研究に有効活用することにより、効率的で効果的な研究を実施
- 両予知研究の戦略や達成度の違いなど、それぞれの特徴を踏まえ、到達度の評価が可能な具体的目標を設定し、その目標に向けて段階的に計画を推進

- ・ これらの状況を踏まえ、現計画の成果を引き継ぎ、地震予知研究及び火山噴火予知研究を着実に推進するため、二つの計画を発展的に統合し、平成 21 年度から 5 年間を見据えた計画と位置付ける
- ・ 本計画では、「予測システムの開発」をより明瞭に志向した研究に重点を置くこととし、以下の 4 項目を柱として推進
 - (1) モニタリングシステムを更に発展させ、そのデータを用いて地震・火山現象の推移予測を行うための予測システムを開発する「地震・火山現象予測のための観測研究」
 - (2) 予測システムの基礎となる「地震・火山現象解明のための観測研究」
 - (3) 地震・火山噴火予知に資する「新たな観測技術の開発」
 - (4) 計画を一層効果的に推進できる体制の整備及び観測研究プロジェクトを立案・推進するための広く開かれた仕組みの整理を図り、また、成果を社会に効果的に提供するなどの「計画推進のための体制の強化」

2 本計画の基本方針と実施内容

今回策定する計画は、前記の基本的考え方に基づき、以下の基本方針に沿って実施

(1) 地震・火山現象予測のための観測研究の推進

地殻やマントルで進行している諸過程の把握により、予測シミュレーションモデルへのデータ同化に基づく地殻活動の予測、及び噴火シナリオに基づく火山活動の予測

《地震・火山現象のモニタリングシステムの高度化》

- ・ 日本列島全域に整備された観測網により、地震活動・地殻変動及び火山活動を的確にモニターし、予測に有用な情報を収集
- ・ 大地震の発生や火山噴火の可能性の高い地域では、モニタリング観測項目の多項目化、観測点の高密度化や観測データの実時間処理システムを一層整備

《地震・火山現象に関する予測システムの構築》

(地震発生予測システム)

- ・ モニタリングによる観測データを予測シミュレーションモデルに取り込む手法を開発し、データ同化実験により予測を試行
- ・ 時空間的に高分解能な地震活動評価を行う手法を確立するため、地震活動予測手法の開発とその妥当性を評価・検証する枠組みを構築

(火山噴火予測システム)

- ・ 地質調査・解析による噴火履歴の解明等に基づき、噴火シナリオを作成
- ・ モニタリングによる観測データから火山活動の評価を行い、噴火シナリオに基づく火山活動の推移予測を試行

《地震・火山現象に関するデータベースの構築》

- ・ 日本列島及びその周辺域の地震・火山現象の基礎データベースを構築するとともに、データの流通を図り、さらに、情報を統合化して、地殻活動予測シミュレーションに活用

(2) 地震・火山現象解明のための観測研究の推進

地殻やマントルで進行している諸過程の正しい理解とそのモデル化のため、基礎的な観測研究を推進

《日本列島及び周辺域の長期・広域の地震・火山現象》

- ・ 日本列島及びその周辺域における長期的なプレート運動とそれに伴う応力場を解明し、上部マントルにおける水の供給・輸送過程とマグマの生成・上昇機構を解明
- ・ マグマ等の地殻流体の分布を含む広域の地殻・上部マントル構造を解明
- ・ 地震現象と火山現象の共通原因であるプレート運動の影響を正確に評価するため、地震活動と火山活動の相互作用に関する研究を推進
- ・ 地震発生サイクルの理解のため、アスペリティやセグメントの破壊様式についての過去の活動履歴を解明。同時に、長期的な内陸の地殻ひずみの時空間分布を解明

《地震・火山噴火に至る準備過程》

(地震準備過程)

- ・ プレート境界地震に関し、アスペリティ分布の推定精度を向上させ、アスペリティ域に固有な地殻やマントルの性質の研究を推進し、アスペリティモデルを高度化
- ・ プレート境界面上で進行する非地震性滑りの時空間変化を高精度に把握し、アスペリティ間の相互作用について理解を促進
- ・ 内陸地震に関し、ひずみ集中帯の形成・発達と地震発生に至る過程に関する定量的なモデルを構築
- ・ スラブ内の震源分布や地震波速度構造を詳細に明らかにし、流体の地下深部における分布と挙動を解明

(火山噴火準備過程)

- ・ マグマの上昇・蓄積過程を解明するため、多項目の観測や探査を実施し、火山体構造とマグマ供給系及び火山体浅部における火山流体の状態と変動を把握
- ・ 地質調査や岩石学的研究により、高精度の噴火履歴を復元し、噴火の推移及びマグマ供給系の変遷を把握

《地震発生先行・破壊過程と火山噴火過程》

(地震発生先行過程)

- ・ 地震に先行する地殻やマントルの諸過程を地震発生先行過程と位置付け、その発生機構を明らかにし、特定の先行過程が地震準備過程や直前過程のどの段階にあるかを評価

(地震破壊過程と強震動)

- ・ 大地震の断層面の不均質性と動的破壊特性及び強震動・津波の生成過程を理解するため、震源解析及び震源物理に基づく破壊過程の研究を一層推進

(火山噴火過程)

- ・ 火道浅部における噴火過程の詳細を高時空間分解能で解明し、爆発的噴火のモデル化を行うとともに、噴火推移の多様性を支配する要因を理解

《地震発生・火山噴火素過程》

- ・ 地殻・上部マントル構成物質の変形・破壊について、実験・理論的手法により物理的・化学的素過程を解明
- ・ 火山噴火のモデル化のため、マグマの分化・発泡・脱ガス過程を解明し、マグマ上昇の数値モデルを構築

(3) 新たな観測技術の開発

新たな観測技術の開発や既存技術の高度化により、地震・火山現象に関する理解を飛躍的に促進

《海底における観測技術の開発と高度化》

- ・ 地震及び火山噴火予知に有用な観測データを安定的に取得するため、海底における地殻変動観測技術及び地震観測技術の高度化と海底における各種観測データを実時間で利用できるシステムを技術開発

《宇宙技術等の利用の高度化》

- ・ GPS や衛星搭載合成開口レーダー (SAR) 等の宇宙測地技術を利用した解析技術を高度化
- ・ 地震や火山活動をより高精度で面的に把握するリモートセンシング手法を実現

《観測技術の継続的高度化》

- ・ 地下状態をモニタリングする技術、センサー技術や観測ネットワーク技術など、データを量・質的に増大させる技術開発を推進
- ・ 地震活動の高い地域や噴火活動域近傍など、電源・通信事情などの不十分な場所で効率的データ取得のためのセンサー技術やネットワーク技術を高度化
- ・ 気象変化による擾乱^{じょうらん}や人工的なノイズを避け、高品質のデータを取得するため、大深度ボアホールにおける計測技術を開発

(4) 計画推進のための体制の強化

《計画を推進する体制の整備》

- ・ 本計画遂行を担う各大学や関係機関が、それぞれの機能に応じた役割分担と密接な協力・連携の下に、計画全体を組織的に推進する体制の確立及び評価体制の充実
- ・ 本計画の実施内容が、地震本部が策定する新しい総合的かつ基本的な施策に反映されることを期待
- ・ 火山監視観測網の整備と火山観測研究の充実を図るために、火山噴火予知連絡会の機能を強化

《基礎的な観測研究体制の強化》

- ・ 長期にわたる継続的かつ基礎的な観測研究を推進するため、個々の法人の枠を超え全国の国公立大学の研究者が連携し、拠点を形成して観測研究を実施
- ・ 工学・人文社会科学等の他の研究分野との共同研究を促進

《計画を実施するための予算的措置》

- ・ 国、各大学及び関係機関においては、地震予知研究及び火山噴火予知研究が本計画に沿って着実に推進されるよう、予算・人材面での適切な措置が不可欠
- ・ 本計画は長期間を見通しつつ、段階的に予知の実現を目指すため、特に萌芽的^{ほうが}な研究や基礎基盤的な研究等に対しての予算的配慮を期待

《人材の確保、特に若手研究者の養成》

- ・ 地震・火山噴火の予知の実現という最終目標を達成するためには、長期的な観測研究が必要。これらを担う人材の養成と確保が不可欠
- ・ 研究者のキャリアパスの確保と若手研究者支援の方策を検討し、大学院生等の確保に努力

《国際共同研究・国際協力の推進》

- ・ 地震や火山噴火に関する事例を効率的に集積するため、多様な地震・火山活動の比較研究及び緊急時の国際共同調査研究による研究成果・知識の交換が必要
- ・ 国際共同研究の推進、研究者の交流等による研究成果の普及・発信、緊急調査体制の整備、観測データの継続的な交換と技術支援等

《研究成果の社会への還元》

- ・ 研究成果の普及は、防災意識の向上のためにも重要であり、地震火山に関する普及活動を組織的に推進
- ・ 地震、火山噴火による被害軽減に資するため、情報や報道発表内容の質的向上を図り、的確かつ迅速な提供に努力

地震及び火山噴火予知のための観測研究計画 実施機関

総務省	独立行政法人情報通信研究機構
文部科学省	国立大学法人等
	北海道大学大学院理学研究院
	弘前大学理工学部
	東北大学大学院理学研究科
	秋田大学大学院工学資源学研究科
	東京大学大学院理学系研究科
	東京大学地震研究所（共同利用・共同研究拠点）
	東京工業大学大学院理工学研究科
	東京工業大学火山流体研究センター
	名古屋大学大学院環境学研究科
	京都大学大学院理学研究科
	京都大学防災研究所（共同利用・共同研究拠点）
	鳥取大学大学院工学研究科
	高知大学理学部
	九州大学大学院理学研究院
	鹿児島大学大学院理工学研究科
	立命館大学総合理工学研究機構
	東海大学海洋研究所
	独立行政法人防災科学技術研究所
	独立行政法人海洋研究開発機構
経済産業省	独立行政法人産業技術総合研究所地質調査総合センター
国土交通省	国土地理院
	気象庁
	海上保安庁