

## 1 ( 1 ) 地震・火山現象のモニタリングシステムの高度化

「地震・火山現象のモニタリングシステムの高度化」計画推進部会長 渡辺俊樹  
(名古屋大学大学院環境学研究科)

地震現象と火山噴火現象の理解を深めるとともに、それらの予測精度を向上させるため、これまで日本列島全域に稠密な地震・地殻変動等の観測網、および全国の主な火山に地震・地殻変動・重力・全磁力等の火山活動観測網が整備されてきた。本計画においても、これら既存の観測網を着実に維持・更新し、得られたデータを活用した地震活動・地殻変動および火山活動のモニターが進められている。さらに、諸観測網の高密度化および多項目化といった整備・強化、新たな観測手法・解析手法の導入、観測データの実時間処理システムの開発と整備などのモニタリングシステムの高度化を図る研究が進められている。数値シミュレーションに基づく地殻活動の予測、および噴火シナリオに基づく火山現象の予測に向けた、モニタリングシステムの出力の高度化の検討も開始された。

各種観測によって得られた成果は、随時、地震調査委員会や地震予知連絡会、火山噴火予知連絡会などに提供され、会報にまとめられているほか、各機関のウェブ等で公開されている。特に顕著な地震や火山活動があった場合には集中的な観測が行われる。平成 23 年 1 月からの霧島火山新燃岳の噴火活動の活発化に対応して集中的に観測が行われ、結果が迅速に公開された。

### ア．日本列島域

#### (地震観測による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稠密な基盤的地震観測網の整備が継続的に進められた(防災科研[課題番号:3001])。気象庁により一元的な震源決定処理が行われており、震源決定精度、特に地震多発時の自動決定精度の向上、地震活動異常を定量的に評価するシステムの構築、CMT 解や遠地実体波を用いた震源過程解析の高精度化が図られた(気象庁[課題番号:7002,7003,7004,7005])。

地震データ流通システムについては、高速広域ネットワークである JDXnet 上のデータ相互交換システムの改良および多項目観測化について検討を進め、地震観測データのチャンネル情報管理システム(CIMS)の改良、地殻変動連続観測等データの流通試験、公衆パケット通信網と連携した機動的な地殻変動観測システムの構築を行った。WIN システムの 64 ビット環境対応を進め、近年一般的になってきた高性能・大容量メモリの 64 ビット環境のコンピュータ上での使用が可能になった。(東京大学[課題番号:1401])。

グリッド・モーメントテンソル解析およびアレイ解析に基づく超低周波地震(VLFE)活動モニタリングを継続して実施し、VLFE 自動検知システムの安定稼働を実現した。既知の VLFE 記録と過去の連続波形記録との相互相関関数解析から未知イベントを検出し、その相互相関関数の観測点間の位相差から相対的な震央位置を推定する手法を開発し、震央位置の推定精度が約 30 km から約 10 km に向上した。西南日本で繰り返し発生している短期的ゆっくり滑り自動検出システムの運用を継続するとともに高度化し、より安定した検出を可能とした準リアルタイムモニタリングシステムの試験運転を開始した(図 1)。気象庁震源カタログを精査し、東海地震、東南海地震想定震源域とともに、昭和東南海地震発生後に地震活動パターンの相関係数が一旦低下し、無相関状態が 20 年程度継続した後、再び相関係数が上昇する傾向を見いだした(防災科研[課題番号:3001])。

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るため、連続波形データ、あ

るいはイベント波形データに様々な処理を施し、その結果を随時ウェブで閲覧可能とする地殻活動の現況モニタリングシステムを構築した。地震や火山の長周期波動場のモニタリングのために、地震の検出・震源・メカニズム（モーメントテンソル）解を完全自動で決定する GRiD MT の改良を進めた（東京大学 [ 課題番号：1401 ]）。

新しいモニタリング手法として、地震波干渉法に基づき、地震波形の連続データを用いて地下構造のモニタリングを行うシステムを構築した。この手法により、2000 年三宅島噴火の前後で最大約 2% の地震波速度変化を、2008 年岩手宮城内陸地震の震源域周辺において、本震震央の南側で 0.1 ~ 0.3% 程度の地震波速度低下を検出した（図 2）（東北大学 [ 課題番号：1201 ]）。

#### （地殻変動観測などによるモニタリングシステムの高度化）

全国の GPS 連続観測網(GEONET)による地殻変動連続観測、水準測量、高度地域基準点測量、絶対重力観測および地磁気連続観測を実施した（国土地理院 [ 課題番号：6001, 6002, 6003, 6004, 6005, 6006 ] 気象庁 [ 課題番号：7007 ] 海上保安庁 [ 課題番号：8002 ]）。潮位連続観測を実施した（気象庁 [ 課題番号：7001 ] 国土地理院 [ 課題番号：6005 ] 海上保安庁 [ 課題番号：8001 ]）。

電子基準点の次世代 GNSS への対応を考慮し、GPS に加え GLONASS、Galileo、準天頂衛星を受信可能な受信機への更新（80 点）およびファームウェア更新（320 点）を実施した。GEONET による地殻変動連続観測を実施し、日本列島全域の地殻変動・火山活動のモニタリングを着実に行った。豊後水道周辺で 2009 年秋頃から非定常的な地殻変動が始まり、2010 年秋頃まで継続したことが捉えられた。この非定常地殻変動は 1997 年、2003 ~ 2004 年と同様にプレート境界面上でのゆっくり滑りによると考えられ、すべりの時間変化の推定を通じてプレート境界面での滑りの理解の進展に寄与した（国土地理院 [ 課題番号：6001 ]）。

霧島山においては、2009 年 12 月頃から 2011 年 1 月の新燃岳の噴火直前までの山体の膨張、1 月 26 日の噴火直後からの急速な収縮が捉えられ（図 3）、噴火の発生過程の解明に貢献した（国土地理院 [ 課題番号：6001 ]）。

衛星搭載 SAR（合成開口レーダー）データを使用した干渉解析により、地震による地殻変動の面的分布の把握および活火山地域における定常的な高精度地盤変動測量を実施した。平成 23 年 2 月 1 日と 7 日に活動が活発化した霧島山（新燃岳）の緊急観測を行い、噴煙下の火口内の詳細な地形を明らかにするとともに、数値標高モデルを作成し、2 月 1 日時点で火口内の新たな溶岩等堆積物の量が約 1,800 万立方メートルであると推定した（図 4）（国土地理院 [ 課題番号：6006 ]）。

#### （火山におけるモニタリング）

全国の活火山について、従来から地震計、空振計、GPS 等による連続的な監視観測を行っているが、平成 22 年度は火山噴火予知連絡会で中長期的に観測体制の充実が必要とされた 47 火山（うち 13 火山は従来連続監視を行っていなかった火山）において地震計・傾斜計等の観測施設の整備を行った。霧島山（新燃岳）では、地震計、傾斜計、GPS、遠望観測装置、降灰計を設置し観測施設の強化を図った（気象庁 [ 課題番号：7006 ]）。

活動的な火山地域について SAR 干渉解析を行い、有珠山、吾妻山、三宅島、硫黄島、九重連山（星生山）霧島山（新燃岳）等の火山性地殻変動や局所的な火口の収縮・膨張を捉えた（国土地理院 [ 課題番号：6006 ]）。噴火の危険がある火山について ASTER を用いた緊急火山観測計画を立案し、観測を依頼した。火山衛星画像データベースの正式運用を再開した（産総研 [ 課題番号：5001 ]）。南方諸島及び南西諸島の海域火山の定期巡回監視を実施し、地磁気および重力異常を報告した（海

上保安庁 [ 課題番号 : 8003 ] )。

火山におけるモニタリングを促進するために、大学、研究機関の地震計・傾斜計・空振計等の観測データの共有化・流通を開始した。

#### イ．地震発生・火山噴火の可能性の高い地域

(宮城県沖及び周辺地域)

宮城県沖において海底地震計による観測を実施した(東京大学 [ 課題番号 : 1402 ]、気象庁 [ 課題番号 : 7008 ]、東北大学 [ 課題番号 : 1202 ] )。気象庁と東北大学のデータを併合し、地震波検測と震源計算を実施した。一元化処理データに海域の観測データを加え、海底浅部構造の補正や観測点補正値を検討することにより、より精度の高い震源を得ることができた。また、陸上観測点で捉えられなかった地震が多数検出され、宮城県沖地震の震源域での詳細な地震活動データが得られた(気象庁 [ 課題番号 : 7008 ] )。長期観測型海底地震計を用いて 2002 年から 2009 年まで実施した繰り返し観測の記録の整理および震源決定を行い、宮城県沖地震の震源域周辺のより正確な微小地震活動の分布が得られた(東京大学 [ 課題番号 : 1402 ] )。2005 年宮城県沖地震の発生前後にその震源域の周囲で発生した中小地震の発震機構解から応力場の推定を行い、震源域周辺の応力場の空間変化が小さいことを明らかにした。また、2 年間の海底圧力変動のデータから、顕著な年周変化と 0.9 hPa/y の経年変化(増圧)を見いだした。この経年変化は、陸上 GPS 観測データの逆解析から求められたプレート間固着モデルから期待される海底鉛直変動(沈降)とよい一致を示した(東北大学 [ 課題番号 : 1202 ] )。

GPS 観測で得られる変位速度場から、プレート収束方向に平行な成分の水平変位速度、上下変位速度の空間勾配を算出した(図 5)。2005 年宮城県沖地震(M7.2)、2003 年十勝沖地震(M8.0)の余効すべりの発生を捉えるとともに、福島県沖から茨城県沖にかけて 2008 年末ころから固着の弱化もしくは準静的すべりが発生していたことが示唆された。これは、小繰り返し地震の解析から報告された同地域での海溝軸周辺でのすべりの加速に対応している(東北大学 [ 課題番号 : 1202 ] )。

水位・水温観測の 2 孔井、ラドン・CO<sub>2</sub> 濃度観測の 3 孔井の体制で「深層地下水変動観測システム」を連続稼働させた。観測の分解能と観測限界を明らかにした。(東北大学 [ 課題番号 : 1202 ] )。

(伊豆)

伊豆半島東部地域において NTT 電話回線を用いた長基線地電位差連続観測とプロトン磁力計を用いた全磁力連続観測を行った。2009 年の群発地震の震央の北の ARI(新井)と南の YOB(与望島)の観測点で、地震活動の静穏化に伴って全磁力のそれぞれ 5 nT 程度の急減と漸増の停止とが見られた。熱供給の停止に伴う冷却や応力解放などの終了などの過程が深さ 2 km 程度で生じた結果と考えられる(東京大学 [ 課題番号 : 1402 ] )。

(火山)

活動的な火山において多項目観測によるモニタリングを継続しつつ強化した。樽前山、有珠山、北海道駒ヶ岳、伊豆大島、富士山、伊豆東部、浅間山、霧島山において、GPS 火山変動観測装置(REGMOS)による連続観測、伊豆大島において APS 観測を継続実施した。有珠山周辺の長さ 130 km の路線において水準測量を実施した(国土院 [ 課題番号 : 6007 ] )。雌阿寒岳、十勝岳、吾妻山、草津白根山、三宅島、伊豆大島、阿蘇山において全磁力連続観測および繰り返し観測を実施し、火口地下の熱活動の経過を分析した(気象庁 [ 課題番号 : 7009 ] )。有珠山(観測点数 : 1)、岩手山

(1)、浅間山(2)、阿蘇山(2)、霧島山(2)に、孔井式地震計、傾斜計、広帯域地震計、GPS 観測装置を備えた基盤的火山観測施設を整備し、観測を開始した。特に火山活動が活発化した霧島山においては、噴火活動に伴う地殻変動や地震活動が観測され、同火山の活動評価に活用された(防災科研[課題番号:3002])。

阿蘇山において、TDM 比抵抗観測システム ACTIVE による比抵抗繰り返し観測を実施した。20時間の連続観測の結果、中岳火口周辺では深夜4時間程度の観測で比較的良好なデータ取得が期待できること、電流送信の影響で火口近傍に設置された地震計にノイズが乗るため、関係機関との調整が必要であることがわかった(京都大学[課題番号:1901])。

#### ウ．東海・東南海・南海地域

この地域においては、基盤的な地震観測網、地殻変動観測網が特に密に配置されていることに加え、各機関の定常・臨時の観測網が整備され、重点的に観測が実施されている。レーザー式変位計、多成分ひずみ計、体積ひずみ計(気象庁[課題番号:7011])、地下水等総合観測(産総研[課題番号:5002])、海底地殻変動観測(名古屋大学[課題番号:1701])、精密制御震源(名古屋大学[課題番号:1701])、気象庁[課題番号:7011])、海底地震計(東京大学[課題番号:1403])、気象庁[課題番号:7010])、地磁気、絶対および相対重力観測(東京大学[課題番号:1404])、海底地形調査(海上保安庁[課題番号:8004])など多項目の観測が実施されている。

地下水等総合観測施設による前兆的地下水位変化検出システムを引き続き東海地方で運用した。2010年4月~12月に紀伊半島~東海のプレート境界において規模の大きい深部低周波微動活動が4回発生し、それらすべてに対してひずみ変化を検出し短期的ゆっくり滑りの断層モデルを推定した。産総研のひずみ等観測データと防災科研の傾斜等観測データを共有して解析する共同研究を開始し、データ共有システムが完成した。ひずみデータと傾斜データとの同時解析による短期的ゆっくり滑り検出手法を開発し、検出能力の事前評価を行なったところ、東海~四国の広い範囲で M5.5以上の短期的ゆっくり滑りが検出できることがわかった(図6)(産総研[課題番号:5002])。

伊豆諸島の銭州岩礁における GPS キャンペーン観測を実施した。周辺の変位速度ベクトルと特にかげ離れた値は得られず、南伊豆との間に顕著な変形は見られなかった。駿河湾および熊野灘において海底地殻変動計測を実施した。移動速度ベクトルの誤差は熊野灘では0.5~3 cm/年、駿河湾では0.3~1.1 cm/年程度で、陸から離れると誤差が大きくなる傾向が見られた(名古屋大学[課題番号:1701])。御前崎、切山、館山でひずみ計・水晶管伸縮計・水管傾斜計等の地殻変動連続観測を実施した(国土地理院[課題番号:6008])。御前崎における絶対重力測定を実施し、沈降速度から期待される重力増加の半分以下の重力変化しか生じていないことを再確認した。また、豊橋と菊川における絶対重力測定を実施した。これらの観測結果を説明するためのモデルの改良に着手した(東京大学[課題番号:1404])。

GPS 観測データによる東海地域のひずみ解析において、解析に用いる観測点を前年度より30点近く増やした結果、スローイベント発生中と終了後でひずみの空間分布が明らかに異なることが明らかになった。逆解析で推定したアスペリティ分布は、想定されているアスペリティ分布とは異なり一様の固着を示した。今後より詳細な検討が必要と考えられる(東京大学[課題番号:1404])。

東海地域における電磁気観測点の全磁力差の日別平均値の時間変化を求めた。SHN・FJM(篠坂・富士宮)を含む東部の観測点では2005年以降系統的な増加傾向が継続する一方、OKY(奥山)を含む西部の観測点では増加傾向は見られない。また、2010年にはHRN(春野)で、それまで停滞ないし漸減傾向にあった全磁力差変化が顕著な増加傾向を示した。定性的には流体移動による流動

電位起源と考えることができるが、質量移動による重力異常の時間変化のモデルとの対比が課題である（東京大学 [ 課題番号：1404 ]）。

精密制御震源装置によるモニタリングにおいては、豊橋の震源から 30 km 圏内の Hi-net 観測点への P 波および S 波の走時の時間変化を調べた（図 7）。変化量と距離との間に正の相関があり、圧縮応力の増加の効果と推測される P 波と S 波の速度増加を検出した。また、東海長期的ゆっくり滑りの監視に向けて、Hi-net 観測点 10 点を用いると現実的な時間窓のデータでプレート境界面の反射係数変化の監視が可能であることがわかった（名古屋大学 [ 課題番号：1701 ]）。森町の震源と Hi-net 森観測点間の伝達関数の走時の時間変化と、気圧・気温・降水量など気象要素との相関を調べ、変動要因分析を行った結果、降水量の影響が最も大きく、4 段のタンクモデルで説明できることがわかった。リアルタイム能動的監視に向けて、自動解析・図示プログラムを開発した（図 8）（気象庁 [ 課題番号：7011 ]）。愛知県新城市において地震計アレイを 2008 年 9 月より現在まで継続して実施した。2009 年 2 月の深部低周波イベント（DLFE）のアレイ解析を実施し、到来方向と見かけ速度を安定して推定することができた（名古屋大学 [ 課題番号：1701 ]）。

東海地域の GPS 観測データから短期的ゆっくり滑りを検出するための解析方法を検討した。この解析を 2006 年の観測データに適用したところ、ゆっくり滑りによると考えられる 2~3 mm 程度のステップを 1 月と 8 月の 2 回検出した（図 9）。逆解析を行い推定した滑り領域と、低周波微動発生域とは一致しなかった。GPS データから短期的ゆっくり滑りによる 2mm 程度の変位が確認されたことは特筆に値する（東京大学 [ 課題番号：1404 ]）。

紀伊半島下のフィリピン海プレートの形状と上部マントルの三次元構造を推定する陸域地震観測を継続した。レシーバ関数イメージングの結果、海洋地殻の上面（フィリピン海スラブの上面）、スラブ内の海洋性モホ面、島弧側の大陸性モホ面が明瞭にイメージされた（図 10）。紀伊半島中部～西部では、DLFE 発生域から陸側のマントルウェッジが広範囲に低速度域であり、DLFE 発生域のやや下方で海洋モホ面のイメージが不明瞭、スラブは上に凸に湾曲するという特徴が見られた。東部では低速度域は見られず、海洋モホ面およびスラブ上面も深さ 70 km まで一様に明瞭で直線的であった。この違いは、脱水分解を経た後の海洋地殻内に残留する「水」の量の違いで説明できる（京都大学 [ 課題番号：1801 ]）。

海域においては紀伊半島沖に構築した広帯域海底地震計（3 台）と長期観測型海底地震計（6 台）を用いた海底地震観測網による観測を継続し、平成 23 年 2 月に地震計を回収して観測を終了した。この観測により南海トラフ沿いで発生していると考えられる低周波地震を記録した。同時に精密絶対圧力計による圧力記録も取得した（東京大学 [ 課題番号：1403 ]）。

広域の地殻変動検出手法として SAR 干渉解析を行った。電離層の影響の大きい干渉画像を除いてスタッキングして得られた画像は、GPS 観測変位からの合成干渉画像と四国側において概ね整合したが、岡山側には電離層の影響が残った（図 11）。電離層ノイズを軽減させることができれば、長スパンの干渉画像からプレート沈み込みに伴う変動を検出できると考えられる（京都大学 [ 課題番号：1801 ]）。水準測量の記録を用いて豊後水道における長期的ゆっくり滑りについて解析を進め、GPS 観測が開始される以前も、ほぼ一定間隔で同規模の地殻変動が発生していることを明らかにした（気象庁 [ 課題番号：7011 ]）。

応力場推定のための基礎的なデータ解析である震源メカニズム解決定を 2009 年 9 月から 2010 年 8 月までの期間の地震に対して行った。これまでに蓄積されたメカニズム解と合わせて深さ 20 km までの地殻応力場を推定し、水平最大主軸方位分布を求めた（図 12）。四国周辺の地殻応力場は、島弧の直交方向に圧縮軸方位の曲がりを示す変化が見られ、島弧に沿った方向では、紀伊半島から

四国中央部までは圧縮場、四国西部では伸長場を示すという2つの特徴があることがわかってきた（高知大学 [ 課題番号：2101 ]）。

## 課題と展望

前計画（地震予知のための新たな観測研究計画（第2次）、第7次火山噴火予知計画）から今計画にかけて、地震・火山観測網の着実な維持・更新が図られてきたとともに、予測に用いるためのモニタリング高度化の研究が着実に進められてきた。今計画では、諸観測網の高密度化および多項目化に重点を置くとともに、観測データの（準）実時間処理システムの開発と整備、さらにプレート境界の固着・すべりに関する解析が進められてきた。

産総研 [ 課題番号：5002 ] に示されるように、複数の観測機関の観測網のデータを交換・共有することにより、互いに補完あるいは拡充を行い、モニタリングの検知能力を高めることが可能である。今後、研究機関の連携をさらに進めていくことが、限られた資源を最大限に活用するために必要である。また、一部の課題においては、同一地域を対象として複数の観測項目のデータの総合的解析とモデル化を進める段階に到達しつつあり、今後、さらに研究課題間、研究者間で議論を積極的に進めていく必要がある。これにより、モニタリングシステムの出力の高度化、すなわち、データベースあるいは予測シミュレーションシステムへの提供を意識した、定期的あるいは準リアルタイムでの各種の観測データおよび科学的知見の提供が可能になると考えられる。

2011年3月の東北地方太平洋沖地震の発生により、東日本における地震および地殻変動などの観測点やデータ収集システムに被害が発生した。地震時におけるデータ取得の障害の発生は重要なデータを取り逃がすことにつながる。モニタリングシステムを維持するために、観測点の迅速な復旧や強化、障害への耐性の向上、緊急観測の実施といった観点からも検討していく必要がある。一方で、多くの基盤的観測網は被害に遭いながらもデータを収集・配信し続けることができた。今後、これらのデータも用いて、この巨大地震に先立つ変動から地震後の変動に至るまでの解析を行い、地震の全貌を明らかにするための研究が行われなければならない。アスペリティモデルの再検討、地震先行現象の存在の検証などが行われる必要がある。本稿執筆時点でも、東北地方太平洋沖地震の余震や余効変動が継続しており、誘発地震の発生や火山活動の活発化も見られる。地震や火山噴火の発生が予想される地域において、連続かつ稠密な観測が急務である。特に、東海・東南海・南海地域における南海トラフ巨大地震について、従来のモデルを再検証するためにもモニタリングを強化する必要があると考えられる。

## 参考文献

- Ando, S and H. Ueno, 2010, The Crustal Deformation and Damage area Caused by the M7.0 Earthquake in Haiti detected by ALOS/PALSAR, 8th International Workshop on Remote Sensing for Disaster Management.
- Anggono, T., 2011, Spatio-temporal changes in seismic velocity of Miyakejima volcano associated with the 2000 activity as inferred from ambient seismic noise analysis（雑微動解析による2000年三宅島火山活動にともなう火山体構造の時間変化）、東北大学博士論文。
- 福居大志・澁谷拓郎・中尾節郎・西村和浩・澤田麻沙代・平原和朗, 2010, 紀伊半島の地震波速度構造, 日本地震学会 2010 年秋季大会。
- 橋本学, 2010, 4年間のALOS/PALSAR観測から見た四国の地殻変動, 日本地震学会 2010 年度秋季大会。
- 橋本学, 2010, 4年間のALOS/PALSAR観測から見た四国の地殻変動, 日本測地学会第114回講演会。
- Hashimoto, M., 2010, Secular crustal deformations derived from 4 year long observation of ALOS/PALSAR, The 4th Joint PI Symposium of ALOS Data Nodes for ALOS Science Program in Tokyo.

- Hirose, H. and K. Obara, 2010, Recurrence behavior of short-term slow slip and correlated nonvolcanic tremor episodes in western Shikoku, southwest Japan, *J. Geophys. Res.*, 115, B00A21, doi:201010.1029/2008JB006050.
- Hirose, H., Y. Asano, K. Obara, T. Kimura, T. Matsuzawa, S. Tanaka, and T. Maeda, 2010, Slow earthquakes linked along dip in the Nankai subduction zone, *Science*, 330 (6010), 1502.
- 飯沼卓史・松澤暢・長谷川昭, 2010, 変位勾配から見た東北日本広域のプレート間カップリングの時空間変化, *日本測地学会第 114 回講演会要旨集*, 77-78.
- 伊藤喜宏・稲津大祐・長田幸仁・三浦哲・内田直希・大園真子・木戸元之・太田雄策・三品正明・日野亮太・藤本博己・辻健・芦寿一郎, 2010, 海底観測および陸上観測で捉えた日本海溝のゆっくり地震, *日本測地学会第 114 回講演会要旨集*, 95-96.
- 鹿島雄介・南須原美・中村隆志・山内常生・大槻憲四郎, 2011, 宮城県沖大地震の前兆を捉えるための深層地下水変動研究: 2008 年 2 月~2009 年 12 月の観測結果, *地質学雑誌* (査読中).
- Katsumata, A., T. Yamamoto, A. Kobayashi, N. Hamada, and S. Yoshikawa, 2010, Evaluation of detection level of crustal deformation observation in the time domain through power spectrum analysis —Investigation of a long-baseline laser extensometer—, *J. Geodetic Soc. Japan*, 56, 107-116.
- Kimura, T., K. Obara, H. Kimura, and H. Hirose, 2011, Automated detection of slow slip events within the Nankai subduction zone, *Geophys. Res. Lett.*, 38, L01311, doi:10.1029/2010GL045899.
- 小林昭夫, 2010, 四国西部において 2005 年に発生した小規模な長期的スロースリップ, *地震* 2, 63, 97-100.
- 小泉尚嗣, 2010, 地下水位観測による地殻変動の推定-現状と展望-, *地震ジャーナル*, 50, 89-94.
- 小泉尚嗣・松本則夫・頼文基, 2011, 台湾国立成功大学と産業技術総合研究所との共同研究「台湾における水文学的・地球化学的手法による地震予知研究」について, *地質調査研究報告*, 印刷中.
- 國友孝洋・加藤愛太郎・飯高隆・生田領野・吉田康宏・勝俣啓・岩崎貴哉・酒井慎一・山岡耕春・渡辺俊樹・山崎文人・津村紀子・野崎謙治・高橋福助・大久保慎人・鈴木貞臣・平田直, 2010, 東海臨時測線で観測された土岐送信所からの弾性波アクロス信号, *日本地球惑星科学連合 2010 年大会*.
- Margerin, L., and H. Sato, 2011, Reconstruction of multiply-scattered arrivals from the cross-correlation of waves excited by random noise sources in a heterogeneous dissipative medium, *Wave Motion*, 48, 146-160.
- 松村正三, 2010, 東海および東南海地域における特有な地震活動パタンの再現 (東海地域の地震活動変化: その 6), *地震* 2, 63, 83-95.
- 宮川和也・山下瑠佳・川邊岩夫・伊藤武男, 2010, 春野観測点に於ける地下水付随ガスの地球化学的観測, *日本地球惑星科学連合 2010 年大会*.
- 宮岡一樹・斉藤誠, 2011, 伊豆東部火山群の地震活動予測情報と噴火警戒レベル, *減災*, 5, 77-80.
- Mochizuki, K., K. Nakahigashi, A. Kuwano, T. Yamada, M. Shinohara, S. Sakai, T. Kanazawa, K. Uehira and H. Shimizu, 2010, Seismic characteristics around the fault segment boundary of the historical great earthquakes along the Nankai Trough revealed by repeating long-term OBS observations, *Geophys. Res. Lett.*, 37, doi:10.1029/2010GL042935.
- Nakagawa, Y., Shibutani, T., Abe, Y., Kawakata, H., Doi, I., 2010, Receiver function images beneath Kii Peninsula, southwest Japan with an improved procedure, *AGU Fall meeting*.
- Nakahara, H. and L. Margerin, 2010, A test of the equi-partition hypothesis for S-wave coda using borehole records of local earthquakes, *Abstract of the Meeting of the Americas*, S14A-02, Foz do Iguaçu, Brazil.
- 中東和夫・町田祐弥・一瀬建日・山田知朗・望月公廣・篠原雅尚・塩原肇・金沢敏彦・植平賢司, 2010, 広帯域海底地震計で記録された南海トラフ近傍で発生する超低周波地震, *日本地球惑星科学連合 2010 年大会*, SSS027-04.

- 中東和夫・町田祐弥・一瀬建日・山田知朗・望月公廣・篠原雅尚・塩原肇, 金沢敏彦・植平賢司, 2010, 南海トラフ周辺での広帯域海底地震計を用いた低周波地震観測, 日本地震学会秋季大会, P1-60.
- Nakahigashi, K., Y Machida, T Isse, T Yamada, K Mochizuki, M Shinohara, H. Shiobara, T Kanazawa, K Uehira, 2010, Observation of very low frequency earthquakes near the Nankai Trough by using broadband ocean bottom seismometers, American Geophysical Union Fall Meeting, S23A-2102.
- 南須原美恵・鹿島雄介・中村隆志・山内常生・大槻憲四郎, 2011, 宮城県沖大地震の前兆を捉えるための深層地下水変動研究: 2004年6月~2007年12月の観測結果, 地質学雑誌, 117(2), 63-78.
- Ochi, T., and T. Kato, 2011, The plate coupling in the Tokai district, the Central Japan, inferred from the different data using triangular dislocation elements, Tectonophysics, 497, 15-22.
- Sato, H., 2010, Retrieval of Green's function having coda waves from the cross-correlation function in a scattering medium illuminated by a randomly homogeneous distribution of noise sources on the basis of the first order Born approximation, Geophys. J. Int., 180, 759-764, doi: 10.1111/j.1365-246X.2009.04432.x.
- 澁谷拓郎・中尾節郎・西村和浩・澤田麻沙代, 2010, 紀伊半島でのリニアアレイ地震観測とレシーバ関数イメージング, 日本地球惑星科学連合 2010 年大会.
- 鈴木友理・渡辺俊樹・山岡耕春・國友孝洋・山崎賢志・生田領野, 2010, 東海スロースリップの監視を目指したHi-netによる豊橋ACROSS信号の検出範囲の評価, 日本地震学会 2010 年秋季大会.
- 田所敬一・生田領野・渡部豪・奥田隆・永井悟・江藤周平・藤井昌和, 2010, 熊野海盆における海底地殻変動, 日本地震学会 2010 年秋季大会.
- 高木涼太, 2011, 常時微動の相互相関解析に基づく 2008 年岩手・宮城内陸地震震源域およびその周辺域のレイリー波伝播速度とその時間変化に関する研究, 東北大学修士論文.
- Tanaka, Y., A. Kato, T. Sugano, G. Fu, X., Zhang, M. Furuya, W. Sun, S. Okubo, S. Matsumoto, M. Honda, Y. Sugawara, I. Ueda, M. Kusaka and M. Ishihara, 2011, Gravity changes observed between 2004 and 2009 near the Tokai slow-slip area and prospects for detecting fluid flow during future slow-slip events, Earth Planets Space, 62, 965-913.
- Uchida, N., T. Matsuzawa, J. Nakajima, A. Hasegawa, and N. Umino, 2010, Subduction of a Wedge-shaped Philippine Sea Plate beneath Kanto, Central Japan, and its Effect on Interplate Coupling, 2010 Western Pacific Geophysics Meeting, Taipei, Taipei International Convention Center.
- 上野寛・碓井勇二・福満修一郎・迫田浩司・山内崇彦・安藤忍, 2010, 2010年1月12日(GMT)にハイチで発生した地震の概要と震源過程, 日本地球惑星科学連合 2010 年大会, SSS011-P09.
- 上野寛・瀧山弘明・碓井勇二, 2010, 2010年2月27日のチリ中部地震の震源過程等の解析結果について, 日本地球惑星科学連合 2010 年大会, MIS050-P03.
- Umakoshi, K., N. Itasaka, H. Shimizu, 2010, High-frequency earthquake swarm associated with the May 1991 dome extrusion at Unzen Volcano, Japan, Journal of Volcanology and Geothermal Research (submitted).
- 山口照寛・笠原稔・高橋浩晃・岡山宗夫・高田真秀・一柳昌義, 2010, 地殻変動データベース - 2007 年からの改良, 日本測地学会講演予稿集.
- 山口照寛・笠原稔・高橋浩晃・岡山宗夫・高田真秀・一柳昌義, 2010, 地殻変動データベースシステムの開発, 測地学会誌, 56, 47-58.

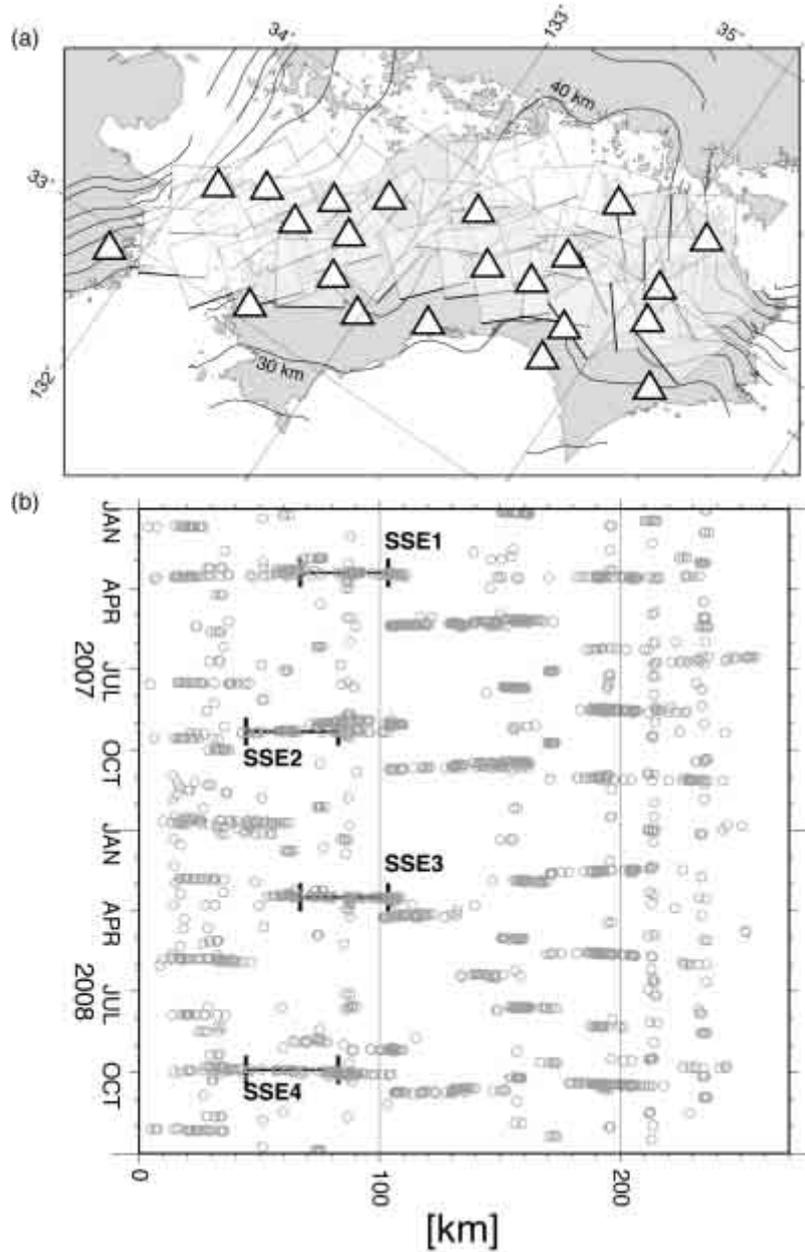


図 1 . 短期的ゆっくり滑り (SSE) 自動検出システムによって検出された西南日本で繰り返し発生している SSE。(a) 自動検出に使用した Hi-net 観測点 (白三角) と SSE の断層モデル (白矩形) の分布。(b) 検出された SSE (黒線) と Obara et al. (2010) による低周波微動活動 (灰丸) の時空間分布 (防災科研 [課題番号: 3001])。

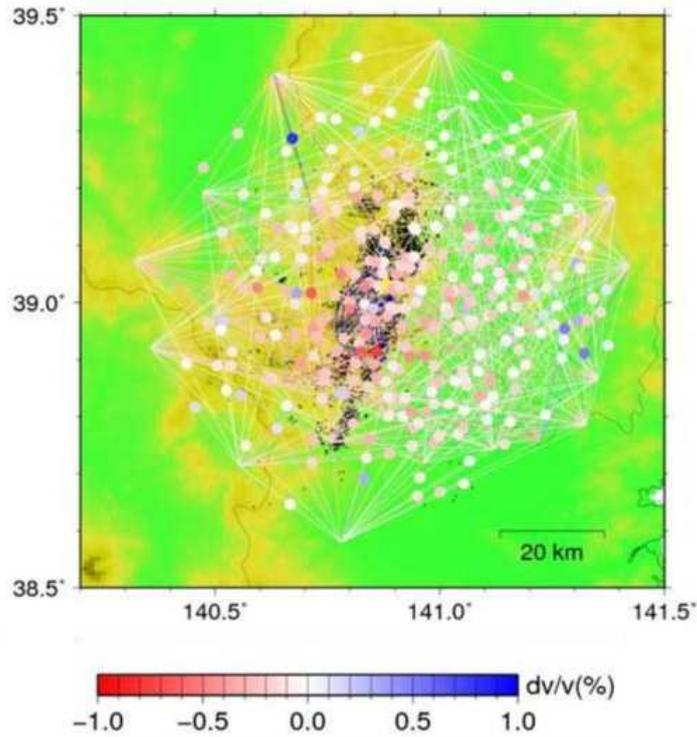


図2. 2008年岩手宮城内陸地震に伴う周期2-4秒の帯域におけるレイリー波速度変化の空間分布(高木, 2011)。観測点間経路の線とその中点においた丸印の色で地震波変化を示す。赤色が地震波速度低下、青色が地震波速度上昇を示す(東北大学[課題番号:1201])。

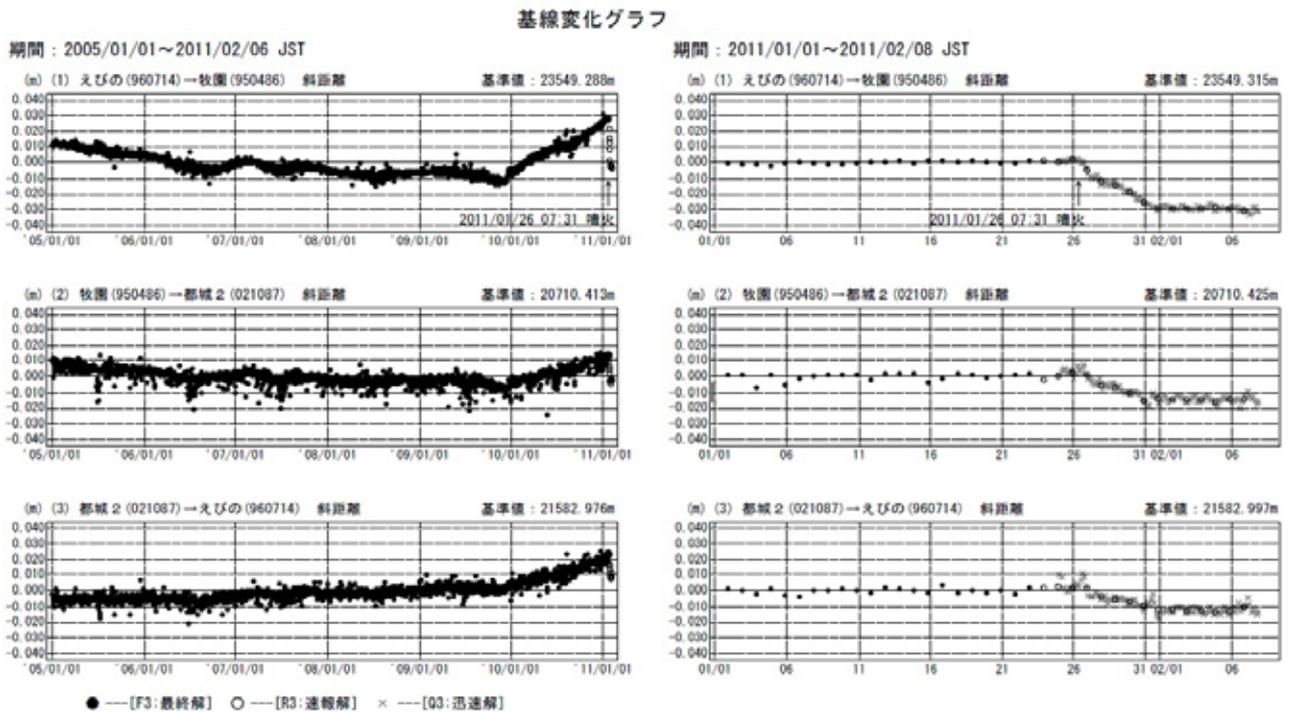


図3. 霧島山周辺における基線長の変化。(左) 2005/01/01~2011/02/06、(右) 2011/01/01~2011/02/08(国土地理院[課題番号:6001])。

### 霧島山(新燃岳)火口の断面図

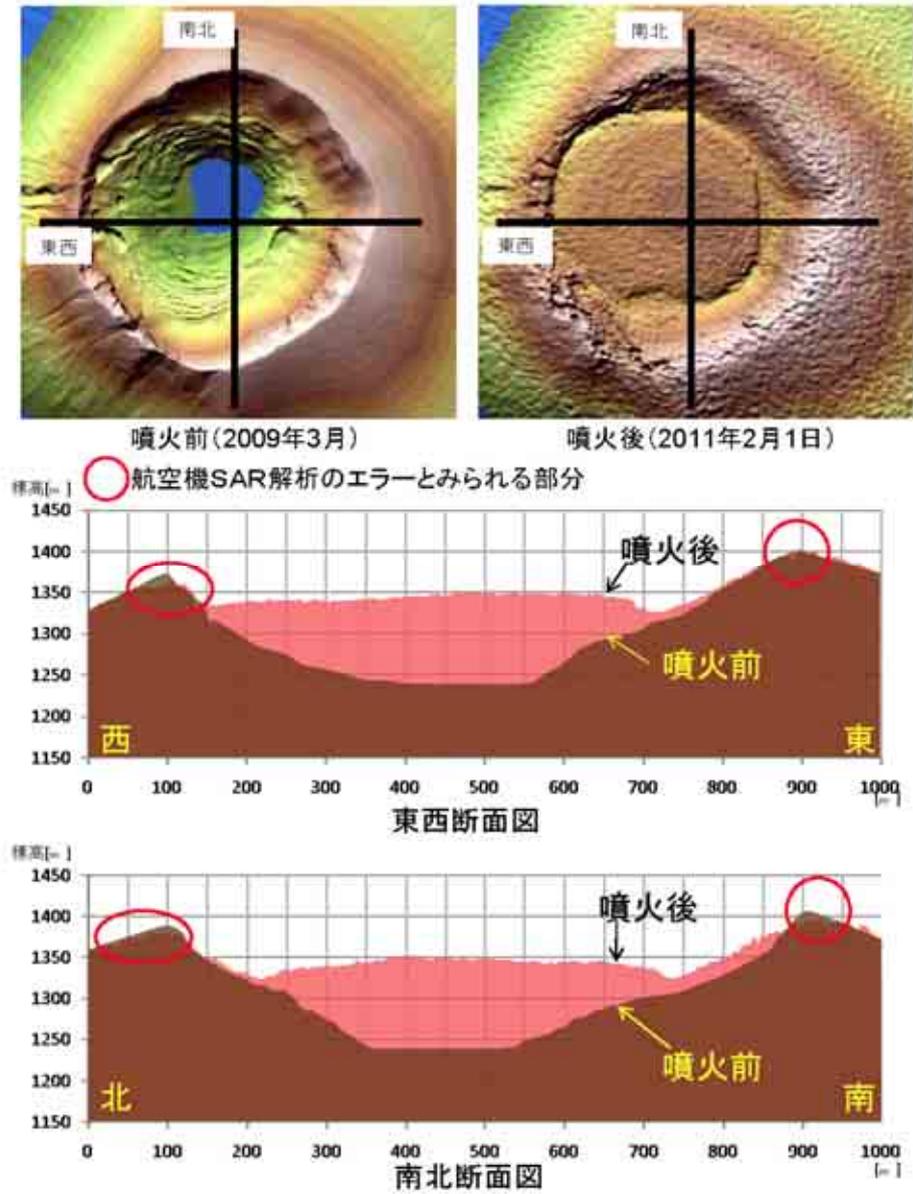


図4. 新燃岳火口の断面図。噴火後の平成23年2月1日の航空機SAR観測から得られた数値標高モデルを使用した(国土地理院[課題番号:6006])。

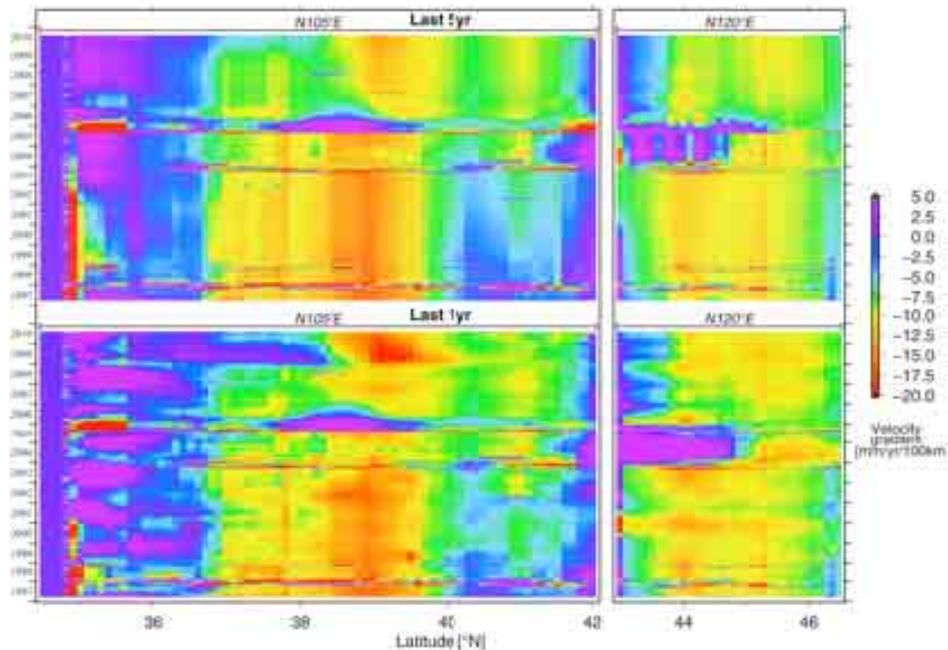


図 5. GEONET観測網における太平洋プレート沈み込み方向の水平変位勾配の時空間変化。横軸は変位勾配を計算するために設定した帯状の各領域(東北日本ではN105°E方向、北海道ではN120°E方向に設定)の中心線と東経140度線との交点の緯度、縦軸は時間を示す。上段は過去5年間の平均変位速度場から、下段は過去1年間の平均変位速度場から、それぞれ変位勾配を計算した結果を示す(東北大学[課題番号:1202])。

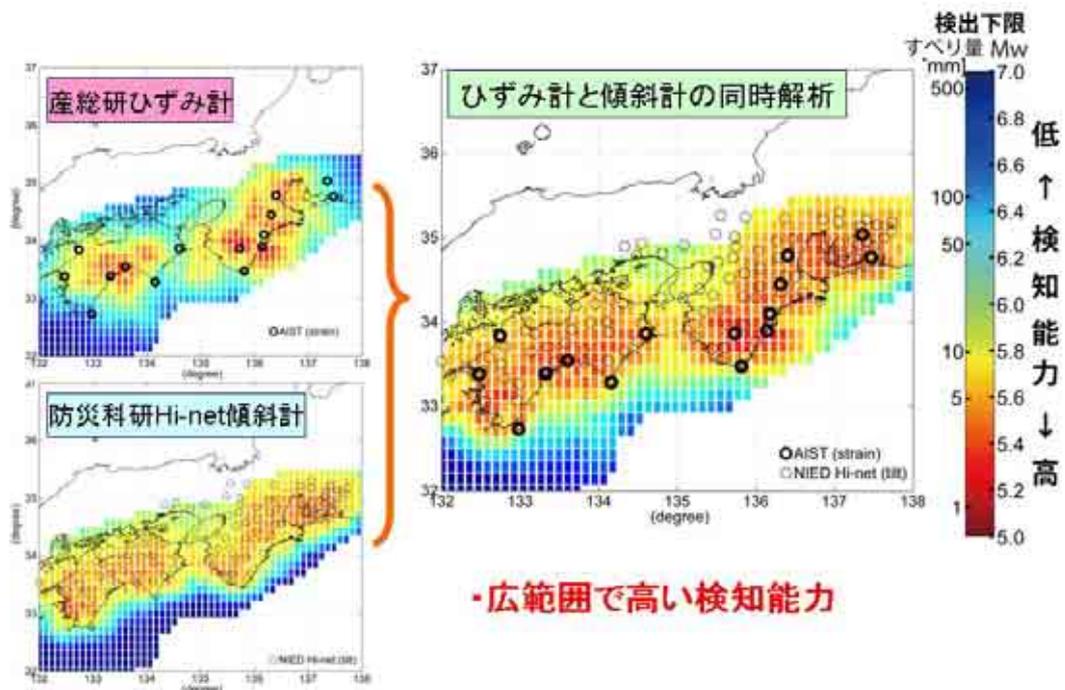


図 6. 産総研のひずみ計と防災科研のHi-net傾斜計を同時解析したときに想定される短期的ゆっくり滑り検知能力(産総研[課題番号:5002])。

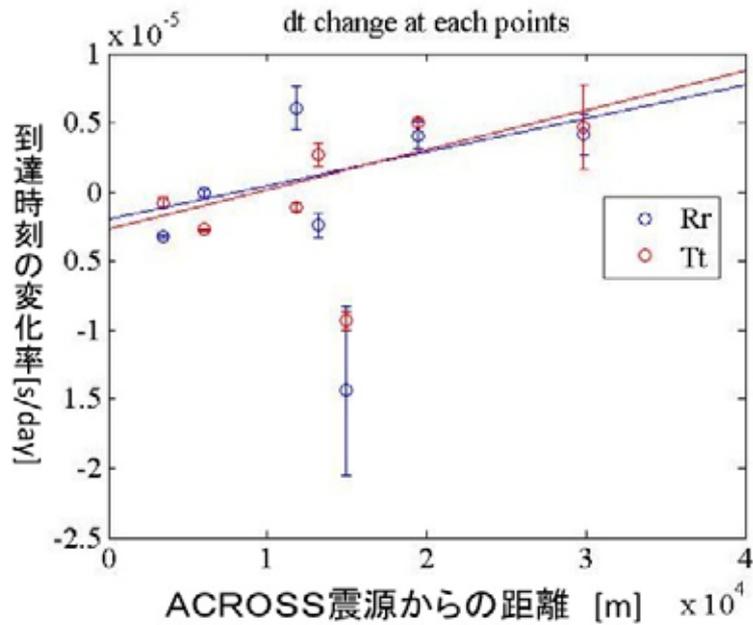


図7. 豊橋アクロス送信点からの信号を周辺のHi-net観測点で受信したP波、S波の走時変化率の距離依存性。Rrはラジアル加振でラジアル受信（主にP波）、Ttはトランスバース加振でトランスバース受信（主にS波）をあらわす。いずれも震源からの距離に従い、変化率が大きくなっていることがわかる（名古屋大学 [ 課題番号 : 1701 ] ）。

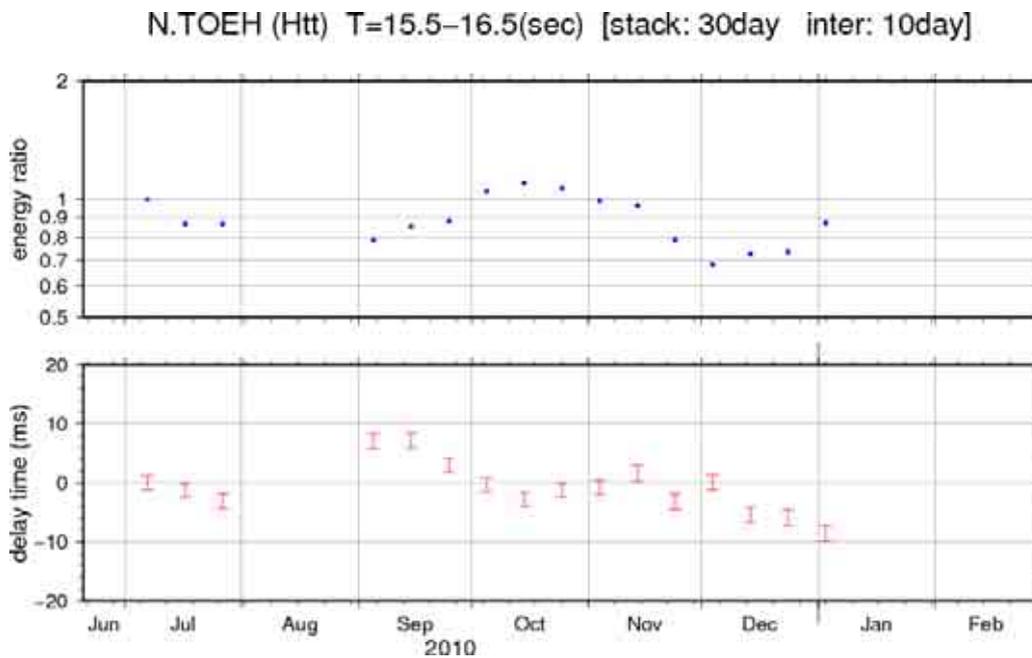


図8. Hi-net東栄観測点における森町アクロス送信点からのアクロス信号の時間変化。フィリピン海プレートからの反射波とみられる波群の振幅変化（上）と走時変化（下）を示している。共に、グラフの左端のデータに対する相対的变化を表している（気象庁 [ 課題番号 : 7011 ] ）。

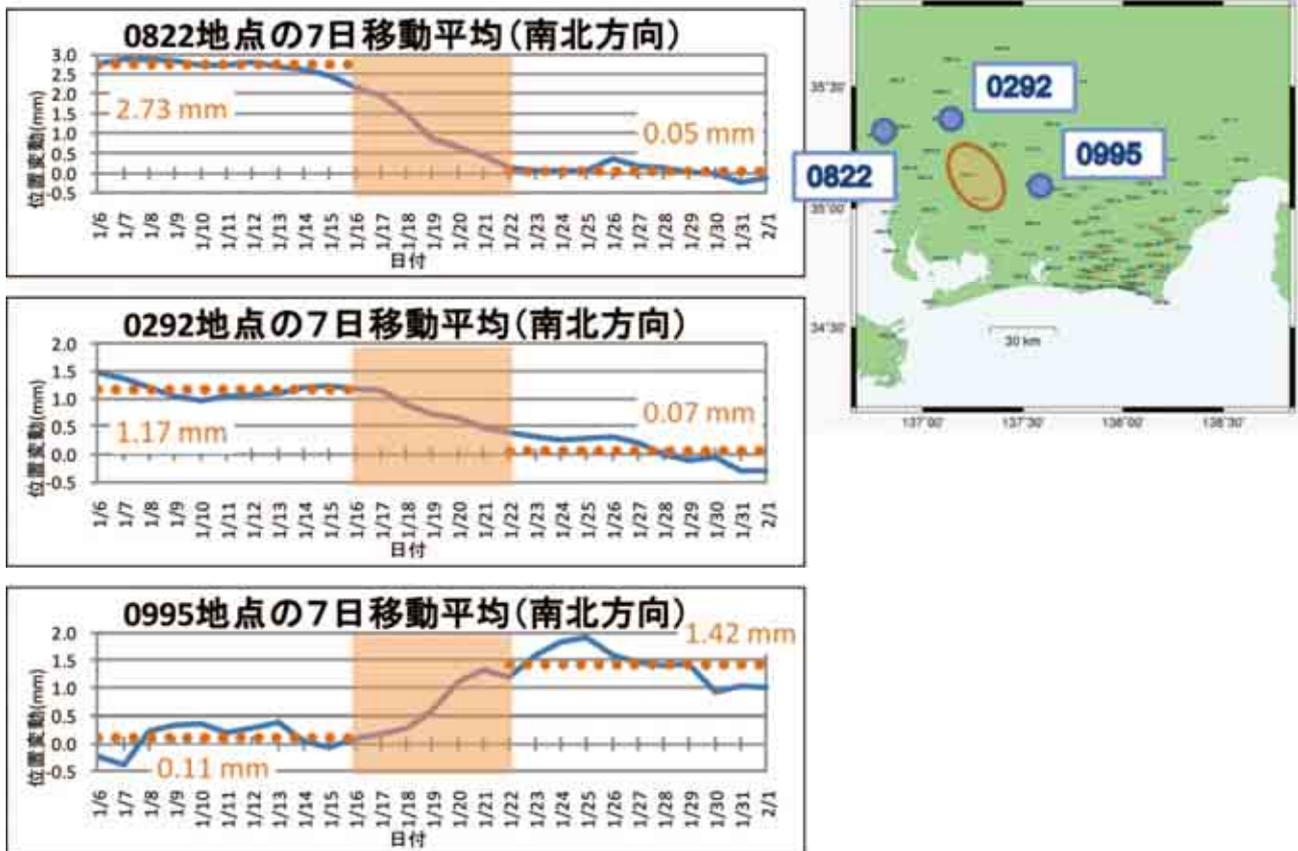


図9. 2006年1月16-22日に発生した短期的ゆっくり滑り前後のGPS時系列(7日移動平均操作後)。オレンジ色で示した部分は低周波微動発生時期。右図は東海地域のGPS観測点分布であり、時系列で示した観測点を青丸で示す。右図中オレンジ色の楕円は低周波微動発生領域を示す(東京大学[課題番号:1404])。

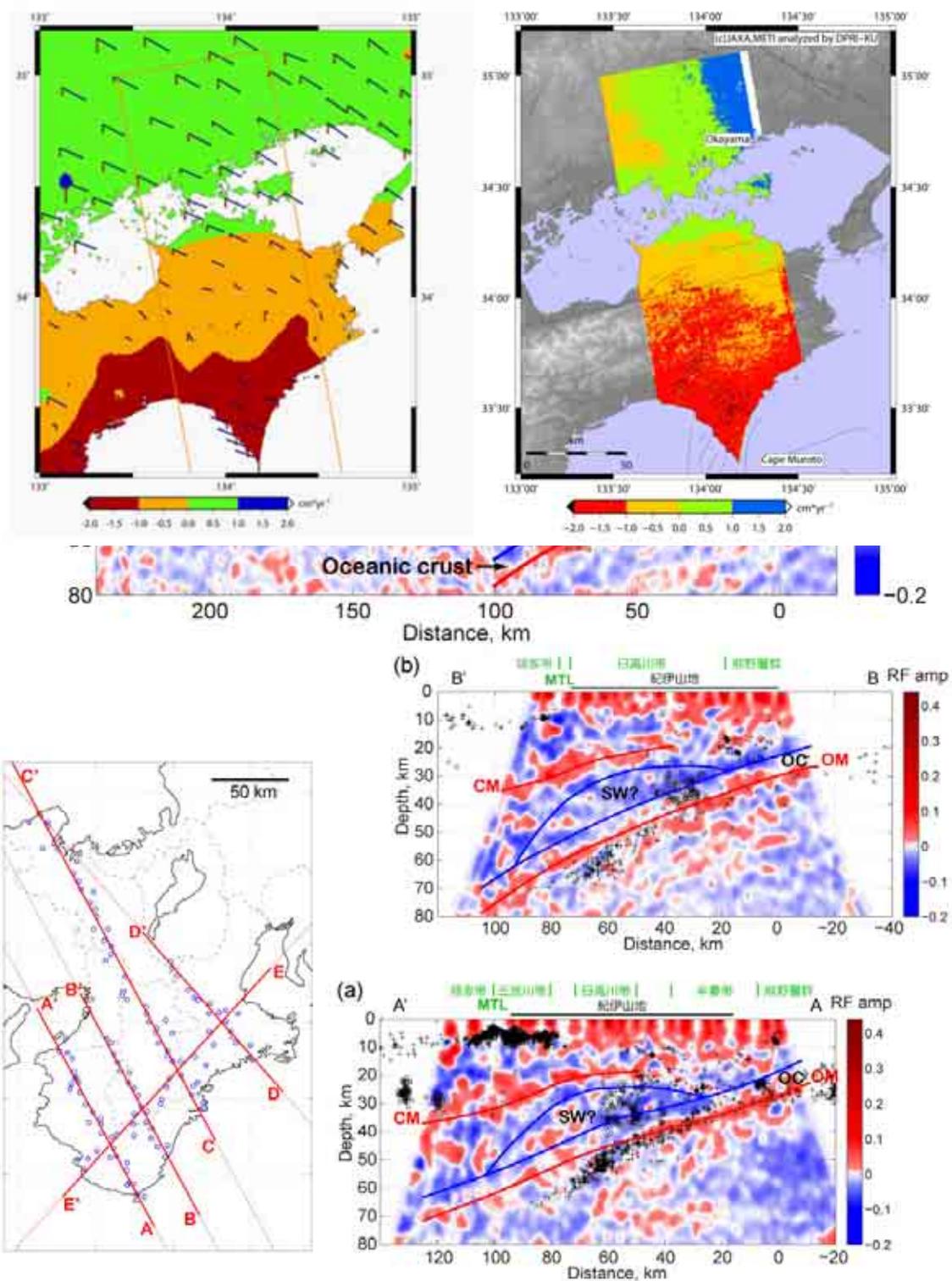


図 10. フィリピン海プレートの沈み込み方向に平行な 4 測線におけるレーザ関数イメージ。赤でレーザ関数の正の振幅を、青で負の振幅を示す。は深部低周波地震、+ は通常の地震の震源であり、どちらも気象庁のカタログに基づく。イメージの解釈において、赤線は高速度層の上面、青線は低速度層の上面を表す。(a)潮岬 - 田尻測線AA、(b)新宮 - 河内長野測線BB、(c)尾鷲 - 京丹後測線CC、(d)南伊勢 - 信楽測線DD。(a)と(b)において、CM: continental Moho、SW: serpentized mantle wedge、OC: oceanic crust、OM: oceanic Moho (京都大学 [課題番号: 1801])。

図 11. SAR衛星「だいち」の4年間のデータから作成した干渉画像のうち、短基線のもの18ペアをスタッキングして得られた平均視線距離変化の分布。(左) GEONETデータによる観測点変位から合成した平均視線距離変化。(右) PALSAR干渉画像から作成したもの。四国北岸がほぼ0 cm/yrとなるように調整している(京都大学[課題番号:1801])。

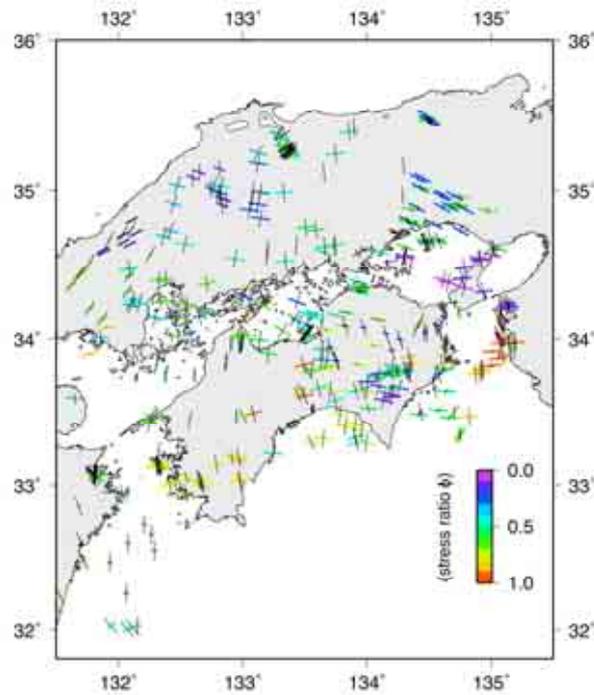


図 12. 震源メカニズム解から推定された応力場のマッピング結果。各領域で数個の応力解を推定し、滑り得る応力場がユニークに決まるケースのみを使って応力場のマッピングを行った。色付きの線は  $\sigma_1$ 、黒線が  $\sigma_3$ 、色は応力比(  $\phi$  )を表す。