

2 (1) 日本列島及び周辺域の長期・広域の地震・火山現象

「日本列島及び周辺域の長期・広域の地震・火山現象」計画推進部会長 松澤暢
(東北大学大学院理学研究科)

地震・火山現象に関する予測システムを構築するためには、まず何よりも枠組みを明確にしなければならない。日本で地震や火山噴火が発生するのは、日本列島がプレート沈み込み帯に位置しているためであるが、プレートの沈み込みによって地震・火山噴火が生じる機構は完全には解明されていない。その基本的な仕組みを解明し、長期的に見たときに日本列島はどのような場にあるのかを明らかにすることが、本研究計画の目標である。

具体的には、日本列島及びその周辺域で、長期的なプレート運動とそれに伴う応力場を明らかにし、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・上昇機構を明らかにして、これらの流体と地震発生との関係を解明することが重要である。このためには、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明らかにし、また、地震活動と火山活動の相互作用に関する研究を推進する必要がある。さらに、地震現象の予測精度向上に不可欠な地震発生サイクルに関する理解を深めるために、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明らかにすると同時に、長期的な内陸の地殻歪の時空間分布を解明する必要がある。

このような観点から、本研究計画においては、下記の5項目について観測研究が実施された。

- ア. 列島及び周辺域のプレート運動、広域応力場
- イ. 上部マントルのマグマの発生場
- ウ. 広域の地殻構造と地殻流体の分布
- エ. 地震活動と火山活動の相互作用
- オ. 地震発生サイクルと長期地殻ひずみ

以下では、これらの項目順に従って、平成25年度(2013年度)の成果の概略と今後の展望について述べる。

ア. 列島及び周辺域のプレート運動、広域応力場

日本列島およびその周辺域のプレート運動を理解するために、VLBI (Very long Baseline Interferometer; 超長基線電波干渉計) の国際・国内観測とアジア・太平洋地域での GNSS (Global Navigation Satellite System; 衛星測位システム) 連続観測 (国土地理院 [課題番号: 6013])、および SLR (Satellite Laser Ranging; 衛星レーザー測距) 国際共同観測 (海上保安庁 [課題番号: 8005]、海上保安庁、2011) を実施した。VLBI 観測により得られたデータを解析することで得られた日本列島及び周辺地域のプレート運動を図1に、アジア・太平洋地域での GNSS 連続観測によって得られた2013年1年間の地殻変動(水平成分)を図2に示す(鈴木・他, 2013; 国土地理院 [課題番号: 6013])。このアジア・太平洋地域での結果を、Web サイト

(<http://vldb.gsi.go.jp/sokuchi/pasia/>) で公開した。また、SLR 観測により求められた下里の1997~2013年の期間の座標変化を図3に示す(海上保安庁 [課題番号: 8005])。

この結果から、2011年東北地方太平洋沖地震により下里が東北東に約3cm移動したことがわかる。

四国での臨時観測データを加えたメカニズム解の精査により推定された応力場が活断層に働いたとして、断層がどれくらい滑りやすいか検討した。その結果、西部の岩国では正断層型、東部の江畑と鮎喰川では逆断層型の応力場となっており、かつこれらの応力場でそれぞれの活断層が滑りやすいと判定できることがわかった。この結果は、四国前弧域ブロックの回転による Transpression/Transexension モデル (Ikeda et al., 2009) に整合的と言え、微小地震の示す応力場と活断層の滑りは統合的に理解できる可能性がある (高知大学 [課題番号: 2102])。

モンゴルに設置した3か所のGNSS連続観測点やその他の周辺のGNSS観測点資料を用いて、ユーラシアプレートに対するアムールプレートのオイラー極を推定してきたが、残念ながら今のところ安定してその極を推定することはできていない。図4に最近の推定事例を示す。推定されたオイラー極は南極付近に推定されている。他の研究によるオイラー極と比較すると、使用するデータセットによって大きく異なる場所にオイラー極が推定されていることがわかる。また、これらのデータに基づき、アムールプレートのユーラシアプレートとの境界を推定した (図5)。特に西側の境界についてはGNSSの変位速度ベクトルの急変が見られるので、ある程度精度よく推定することが可能であるが、南側境界はさらに調査が必要と考えられる (東京大学地震研究所 [課題番号: 1410])。

イ. 上部マントルとマグマの発生場

北海道東部における稍深発地震を日高山脈西部の観測点で観測したときに見られる後続波を、沈み込む海洋性地殻内のトラップ波であると解釈し、その走時を用いて北海道東部下の海洋性地殻の地震波速度を推定したところ、深さ50-100km程度の範囲において6.8-7.7 km/sのP波速度を得た。特に深さ100km以浅では得られたP波速度が海洋性地殻を構成する含水鉱物の速度よりも小さい。これらの結果は、北海道東部下の海洋性地殻内部に流体の水が含水鉱物と共存していることを示唆している (東北大学 [課題番号: 1203])。

定常観測網のデータに、大学による合同観測記録をも併合処理することにより、高い空間分解能で北海道のP波減衰構造を推定することに成功した。日高地域で過去に発生した被害地震は高減衰域から低減衰域へと急変する場所に位置し、M7クラスの内陸地震の断層面は地質構造線の深部延長上に対応することが明らかとなった。また、北海道東部および南部下のマントルウェッジの上昇流と考えられる高減衰域がイメージされた (防災科学技術研究所 [課題番号: 3009])。

東北地方のP波減衰構造を詳細に検討した結果、このマントルウェッジ内の上昇流に相当する斜めの高減衰異常は温度だけでは説明できず、メルトによる減衰が寄与している可能性が高いことが明らかになった。深さ120km付近で太平洋スラブからマントルウェッジに伸びる高減衰域が存在しており、これはスラブからの水の上昇経路をあらわしている可能性が高い (図6; Nakajima et al., 2013; 東北大学 [課題番号: 1203])。

沈み込み帯スケールでの水循環のモデルに、レオロジーや溶融を組み込んだモデルの構築を進め、スラブ流体の発生と移動を統合的に解くことに成功した。前弧領域下における蛇紋岩化作用とその空間的広がり、及びその結果としての温度構造・溶融領域を実

際の地殻熱流量分布・火山帯の位置と比較することにより、蛇紋石のレオロジーや広がりについての制約も得られた。さらに沈み込み帯スケールでの水循環のモデルに微量元素や同位体輸送を組み込むことに成功し、地球物理学的な制約と、地球化学的な制約を具体的に結び付けることが可能となりつつある（図 7；Ikemoto and Iwamori, 2014；東京工業大学 [課題番号：1603]）。

マリアナ弧の海底で採取された枕状溶岩を分析したところ、この溶岩は、沈み込み帯において生成された初生マグマが組成を保った状態で溶岩流として噴出したものであること、また、メルト成分に富んだ初生マグマと、水分に富んだ初生マグマの 2 種類のマグマが、ほぼ同時期に、隣接した場所で噴出していることが明らかになった。この現象を説明するために、火山フロントの直下、およそ 100 キロの深度にあるスラブからは subduction components と呼ばれる流体がマントルウエッジに付加され、その結果、マントルが部分融解して初生マグマが発生するが、この流体は、水に富んだ炭酸塩メルトと水に富んだ珪酸塩メルトであり、それらはお互いに溶け合わない（イミッシブル）ため、2 種の初生マグマが生成されるという新しい仮説を提示した（Tamura et al., 2014；海洋研究開発機構 [課題番号：4002]）。

ウ. 広域の地殻構造と地殻流体の分布

東北地方の下部地殻において、火山地域とその周辺で高減衰域がイメージングされ、その空間分布は第四紀火山の分布とほぼ一致することがわかった（図 8；Nakajima et al., 2013）。高減衰の原因は高温と火山性の流体であると考えられる。一方、地殻熱流量の低い関東平野下でも下部地殻に高減衰が見られた（Nakajima et al., 2014）。温度が低いことから、低温のスラブ流体が高減衰の原因であると考えられる。これらの成果は、内部減衰は温度だけではなく、流体の分布にも敏感な物理量であることを強く示唆している（東北大学 [課題番号：1204]）。

秋田県内の詳細な比抵抗構造を推定した結果、地震は比抵抗の急変部や高比抵抗部に集中し、日本海沿岸部浅部では低比抵抗となっていることが明らかになった。また、地震波速度構造では、高比抵抗領域と高速度域、低比抵抗領域と低速度域という対応が認められる（秋田大学 [課題番号：1301]）。

宮城県南部において実施された広帯域 MT 観測データを解析した結果、長町利府断層の深部延長に低比抵抗ブロックがあり、その北西縁の高比抵抗部で東北地方太平洋沖地震以降の誘発地震が多発していることがわかった。地殻内流体の移動が誘発地震をトリガーしたと推定される。また、双葉断層の直下の深度 5 km 以深に鉛直状の地殻内流体を低比抵抗異常として検出した。一方、火山フロント付近では深度 20 km で島弧方向につながった低比抵抗異常が連続する。蔵王火山や船形山火山直下では局所的に鉛直状の低比抵抗異常がそれぞれ深度 5 km と 10 km 以深に存在しており、蔵王火山では、その低比抵抗異常は、さらに西側に続くことが明らかになった（東京工業大学 [課題番号：1601]）。

長野県西部地域における微小地震観測データを用いて、地震波速度構造の時間変化と地震活動の対応を調べた。図 9 に、断層走行に平行な断面の、1995-1997、1998-1999、2002-2005 年の 3 つの期間における速度構造を示す。図の中央付近の深さ 2-3 km に特徴的な地震群が見られ、 V_p/V_s の小さな領域とよく対応している。2002-2005 年の結果を見ると、上記の活発な領域では活動が顕著に低下しているが、そこでの速度構造は依然とし

て、 V_p/V_s が非常に小さい特徴がみられる。一方、その右側（東側）では、新たな地震活動が起こっているが、その上方を中心に、これまで見られなかった V_p の高速度の領域（図 9 の A）が推定されており、このような地震活動変化と速度構造変化の同期は、流体の移動を反映している能性がある（京都大学防災研究所 [課題番号：1806]）。

濃尾地震の震源域周辺でネットワーク MT の観測を実施し、その観測データを解析し、それと地震波トモグラフィの結果と比較したところ、濃尾地震震源直下のフィリピン海スラブの上の領域は低地震波速度・低比抵抗となっていることを確認した。この原因は太平洋スラブ起源の流体の可能性が高いと考えられる（東京大学地震研究所 [課題番号：1411]）。

群発地震が活発な和歌山地域において稠密地震計アレイ観測と比抵抗構造探査を実施してきた。GPS データを用いた解析により群発地震発生域の東部に隆起域（隆起速度：約 5 mm/yr）の存在が明らかになっており、地震発生層の下限は上に凸状の形状を示し、また、地震発生域の深部延長部には、顕著な低地震波速度体が存在する。比抵抗構造を参考にすると、この低速度体は地殻内の流体である可能性が高く、この低速度域の中心は、地表で観測された隆起域に概ね一致するため、地震発生域の深部延長部に存在する地殻流体の浮力により、隆起変動が生じていると推察される。これらの結果から、非火山性群発地震の発生域の下部地殻とマントル・ウェッジ内に地殻流体が存在し、地殻流体が群発地震の発生に重要な役割を果たしていると考えられる（東京大学地震研究所 [課題番号：1412]）。

中国・四国地方を横断する測線に関して広帯域 MT データを統合して 2 次元比抵抗構造モデルを推定した。中央構造線周辺を境とした北傾斜の比抵抗構造が得られ、内帯の地殻深部は中部地殻以浅と比べて低比抵抗であることが明らかになった（図 12；鳥取大学 [課題番号：2001]）。

太平洋下で発生している地震で観測される sP-depth phase の読み取りを行い、海底下の地震の震源を精度良く決定した。さらにそれらの地震の走時データを用いて、東北地方の沖合の地震波速度構造の推定を行った結果、東北地方太平洋沖地震の大きなすべり域ではその直上の速度が速いことが明確になった（図 13；Huang and Zhao, 2013；東北大学 [課題番号：1204]）。

西南日本下に沈み込むフィリピン海スラブ内の海洋地殻と海洋マントル内の地震波速度異方性構造をレシーバ関数によって推定した。その結果、海洋地殻では速い軸がスラブ傾斜方向を向く傾向があることが分かった。これはスラブ内地震の北東－南西伸張場と調和的である。四国下の海洋マントルでは東側に傾斜する成分が顕著であるのに対して、紀伊半島南部では速い軸が東西方向に向き、平坦である。この特徴は紀南海山列を起点としたスラブ拡大ならびに紀伊水道周辺でのスラブ形状の急変の影響と考えられる（防災科学技術研究所 [課題番号：3009]）。

エ. 地震活動と火山活動の相互作用

伊豆大島周辺では 2～3 年の間隔で間欠的に山体の収縮と膨張が急激に進み、その圧力源の位置は、伊豆大島カルデラ北部の地下約 5km のほぼ同じ場所に推定される。カルデラ内の地下 1～2km で発生する地震（以下「カルデラ地震」と呼ぶ）に注目して、火山体の歪場の変化と地震活動の変化の関係を調べた。地殻変動データからマグマ蓄積量の

時間変化を推定して震源域における応力変化を求め、この応力変化を速度-状態依存摩擦構成則 (RSF 則) に代入し、モデルに基づく地震活動度 (青線) と観測された地震発生頻度 (赤棒グラフ) を比較したのが図 14 である。RSF 則の $A\sigma$ を 2003 年 11 月～2014 年 1 月までの全期間で 7kPa と一定にした場合 (図 14a) には地震活動度は RSF 則で概ね説明できるものの、2011 年以降はモデルから予想される地震活動度と観測値が大きくなる。そこで、山体の膨張時に揮発性成分が増えて断層面の流体圧が増加し、収縮時には減少するという効果を導入した。また、長期的な山体膨張のトレンドが低下した 2011 年以降は、深部から新たなマグマの供給が少なく、マグマから地下への揮発性成分の供給は少なくなると考え、山体膨張時でも流体圧が増加しないモデルを導入した。このモデル (図 14b) では全期間を通して地震活動度は RSF 則で良く説明できることが明らかになった。このことは、地震活動度をモニタリングすることにより、噴火前に先行物質として上昇してくると考えられている揮発性成分を検知できる可能性があることを示しており、今後起こる火山噴火の規模や噴火様式の予測にも役に立つと期待される (東京大学地震研究所 [課題番号: 1413])。

高角傾斜する不連続面の形状を正しく推定するために、波面法を用いたレシーバ関数 (RF) のイメージング手法を開発し、急角度に傾斜している九州地方のフィリピン海 (PHS) スラブの上面や海洋モホ面の検出、および正確な形状推定のために、その手法を適用した (Abe et al., 2013)。このような解析結果から、図 15 に示したように海洋地殻の脱水深度やマントルウェッジにおける流体分布範囲が、九州地方の北部から南部にかけて変化していることが明らかになった。これらの結果から、九州地方南部ではスラブ脱水流体が前弧側ではなく背弧側へと移動して火山活動を引き起こしていると考えられる。一方、九州地方中部では、スラブ脱水流体は前弧側へと移動してマントルウェッジ前弧側の地震波速度を低下させる。九州地方中部の火山フロント上に火山が存在しないのは、これが原因となっている可能性がある (京都大学防災研究所 [課題番号: 1805])。

レシーバ関数によって推定された九州のモホ面の深度分布を図 16 に示す。大分熊本構造線の南東側で出水清武構造線の北東側に位置する地域では、モホ面の深度が 40km 程度と推定されており、周囲より地殻が厚くなっている。それ以外の広範囲の地域ではモホ面の深さは 30-35km 程度であり、九州地方の北部には広範囲でモホ面が浅くなる領域が存在するが、別府-島原地溝帯に対応するような狭い帯状のモホ面の盛り上がりは認められないことが明らかになった。地震発生層の厚さや歪分布を見ても別府-島原地溝帯全体で異常があるようには見えず、これらの結果は、別府-島原地溝帯がリフトとしては働いていないことを示唆している。ただし、同地溝帯の東部では地震発生層の厚さが薄く、また歪が集中しており、さらなる検討が必要である。(九州大学 [課題番号: 2201])。

大地震と火山噴火の関係を調べるために、2011 年に発生した東北地方太平洋沖地震 (M9.0) と静岡県東部地震 (M6.4) が富士山のマグマ溜まりに及ぼす影響を定量的に見積もった。静的応力変化は、前者は 0.01~0.1MPa、後者は 0.1~1MPa 程度となることを定量的に明らかにした。一方、東北地方太平洋沖地震に対する準静的応力変化としては、マグマだまり直上と直下で 100 年で 7%程度の増加が予測され、また静岡県東部地震に対する動的応力変化は 0.2MPa 程度となると推定された (防災科学技術研究所 [課題番号: 3010])。

オ. 地震発生サイクルと長期地殻ひずみ

東北地方南部から新潟県にかけての日本海東縁は地質学的歪集中帯となっている。この領域での詳細な構造探査とトモグラフィの結果を詳細に検討した結果、この領域は日本海拡大時の伸張リフトとなっており、そこが弱体となつて、東西短縮場となつた 3Ma 以降に歪が集中している可能性が高いことが明らかになった（東京大学地震研究所 [課題番号：1414]）。

高解像度 DEM (Digital Elevation Model; 数値標高モデル) データにより、現地測量と同程度の分解能の地形データが得られることを検証した。これまで植生や建造物のために空中写真では判別が難しかった活断層も、このような高解像度 DEM データを用いれば判別が容易になる場合があり、今後、活断層の再発見につながると期待される。また、小型 UAV (Unmanned Aerial Vehicle; 無人航空機) の空撮画像から DSM (Digital Surface Model; 数値表面モデル) 等を作成することにより、高分解能の地形解析が行えることも検証した。根尾谷断層水鳥地震断層崖付近において小型 UAV で空撮し、SfM (Structure from Motion; 複視点の画像や動画から三次元形状を推定する) ソフトウェアと GIS

(Geographic Information System; 地理情報システム) を用いて作成した地形図と地形断面図の例を図 17 に示す (名古屋大学 [課題番号：1704])。

これまでの課題と今後の展望

1995 年兵庫県南部地震 (阪神淡路大震災) 発生後に建議された「新たな計画」以後、地質学・地形学・岩石学等との連携は以前よりもはるかに進んだ。実際、津波堆積物の解析により、東北地方を襲った過去の巨大な地震について、2010 年にはかなり明らかになっていた。しかし、これらの地震は M8 クラスと推定されており、2011 年東北地方太平洋沖地震のような M9 の地震が発生しうるとは予想することはできなかった。このことを我々は謙虚に受け止める必要がある。本来、「長期・広域」の研究は、このような稀にしか起こらないような巨大な地震の解明も大きな目標であったはずであり、十分な解明がなされないうちに甚大な災害が生じてしまったことは極めて残念である。

これまで「長期・広域」の研究対象の時間的スケールは、「地震の数サイクル以上」が目安とされ、内陸の地震については 1 万年程度が視野に入っていたが、海域のプレート境界型地震については数百年程度しか視野に入っていなかった。超巨大地震の再来間隔が数百年～千年程度と考えられるため、今後はプレート境界型地震であっても数千年以上の活動履歴を調べる必要があり、これは地質学・変動地形学的調査に頼らざるを得ない。特に海底地形や海底下の地質学的構造についての調査が今後極めて重要となる。

一方、研究対象の空間スケールとしては、プレートの相対運動を理解するために千 km～数千 km 程度を考えていたが、今後は地球規模で考えて、他の沈み込み帯での超巨大地震の観測データと比較することが極めて重要となる。そのような「長期・広域」から「万年・グローバル」への転換が今後必要である。

兵庫県南部地震から 20 年近くが経過し、この間に地震学と測地学、電磁気学の交流は大きく進んだ。これには、観測点密度の向上と計算機環境の進歩により、地震波速度構造、歪レート分布、比抵抗構造等が相互に比較できるようになったことが大きい。しか

し、これらの知見はたかだか 10 年スケールの現象しか見ていないことに注意が必要である。今後は非弾性変形も組み込んだシミュレーションを実施し、地球物理学的データとの整合性はもちろん、地質学的・地形学的データとの整合性も十分に検討しながら研究を進めることが重要である。

また、「長期・広域」では、地震と火山の関係の解明についても重要な課題の一つとして検討してきた。伊東や伊豆大島等においては、地殻変動と地震活動と火山活動が密接に関係していることが知られており、これはマグマの移動がすべての原因にあるからと解釈できる。実際、「エ. 地震活動と火山活動の相互作用」の成果で述べたように、伊豆大島では地殻変動をモニタリングすることにより、地震活動はある程度予測可能であり、しかも、その予測と実際の地震活動のずれから、地下での間隙圧の時間変化も予測可能かもしれないことを今回の結果は示している。このことは、地震と火山噴火の両方の予測の実現性について大きな展望を与えるものであり、今後、スローイベントといったゆっくりとした変形に伴う地震活動の変化の予測等にも応用が期待される。

一方、「新たな計画」以降、予知研究は地震・火山噴火発生場の理解に重点を置いてきたが、それ「だけ」では不十分であることは自明である。「新たな計画」は大きな反省の元に作られた計画であったが、次第に「理解」すること自体が自己目的化し、本来の災害軽減という目的に対してどう貢献するのか、という問題意識が薄れてきてしまっているのではないかと危惧される。平成 26 年度からの計画では「災害軽減に貢献」することが重視されており、これまで以上に研究者の自覚が強く求められている。一方で、M9 のような稀な現象の解明が、数年程度で大きく進むわけもなく、地道な研究の継続の先に、「理解」と「予測」と「減災」の道が開けることも、忘れてはならない。

長期的に持続可能な研究を進めるためには、これらの「理解」と「予測」と「減災」のバランスを取り、どのような方策が 3 者すべてにとって費用対効果が高いのかをよく検討しながら進めることが重要である。たとえば現在設置が進められている海底地震・津波観測網は、緊急地震速報や津波警報をより早く、より高信頼度で発表して災害軽減に貢献するために極めて重要であるのと同時に、海底下の地震・地殻変動について大きな情報を与えてくれるため、地震発生場の理解を深化させ、地震発生予測モデルの構築にも貢献してくれるものと期待される。

このような地震・火山噴火の発生を理解する上で、気をつけるべきことは、これらの発生には常に複数の要因があるということである。一つの観測項目しか見ていなければ、一つのパラメータが決定的に重要に見えるかもしれないが、それだけでは不十分であり、様々な種類・帯域のデータから複眼的に現象を把握し、また、テクトニックな背景も含めた過去の履歴を考慮したモデルを構築することが今後重要となっている。

特に、巨大な地震は稀にしか発生せず、それが海底で発生した場合、痕跡も残りにくい。これまで起こった形跡が認められなくても、絶対に起こらないという保証はない。「起こりにくい」ということと「起こらない」ということには大きな違いがあることを認識して研究を進めることが重要である。

成果リスト

- Abe, Y., T. Ohkura, K. Hirahara and T. Shibutani, 2013, Along-arc variation in water distribution in the uppermost mantle beneath Kyushu, Japan, as derived from receiver function analyses, *J. Geophys. Res.*, 118, 3540-3556, doi:10.1002/jgrb.50257.
- Boonchaisuk, S. W. Siripunvaraporn, and Y. Ogawa, 2013, Evidence for middle Triassic to Miocene dual subduction zones beneath the Shan-Thai terrane, western Thailand from magnetotelluric data, *Gondwana Research*, 23, 1607-1616.
- Doi, I., S. Noda, Y. Iio, S. Horiuchi, and S. Sekiguchi, 2013, Relationship between hypocentral distributions and Vp/Vs ratio structures inferred from dense seismic array data: a case study of the 1984 western Nagano Prefecture earthquake, central Japan, *Geophys. J. Int.*, 195: 1323-1336, doi:10.1093/gji/ggt312.
- Fukahata, Y., Y. Yagi, and L. Rivera, 2014, Theoretical relationship between back-projection imaging and classical linear inverse solutions, *Geophys. J. Int.*, 196, 552-559, doi:10.1093/gji/ggt392.
- Funning, G., Y. Fukahata, Y. Yagi, and B. Parsons, 2014, A method for the joint inversion of geodetic and seismic waveform data using ABIC: application to the 1997 Manyi, Tibet earthquake, *Geophys. J. Int.*, 196, 1564-1579, doi:10.1093/gji/ggt406.
- Hamling, I.J., T.J. Wright, E. Calais, E. Lewi, and Y. Fukahata, 2013, InSAR observations of post-rifting deformation around the Dabbahu rift segment, Afar, Ethiopia, *Geophys. J. Int.*, 197, 33-49, doi:10.1093/gji/ggu003.
- Hanyu, T., L. Dosso, O. Ishizuka, K. Tani, B.B. Hanan, C. Adam, S. Nakai, R. Senda, Q. Chang, and Y. Tatsumi, 2013, Geochemical diversity in submarine HIMU basalts from Austral Islands, French Polynesia, *Contrib. Mineral. Petrol.*, 166, 1285-1304, doi:10.1007/s00410-013-0926-x.
- Hasegawa, A., J. Nakajima, T. Yanada, N. Uchida, T. Okada, D. Zhao, T. Matsuzawa, and N. Umino, 2013, Complex slab structure and arc magmatism beneath the Japanese Islands, *J. Asian Earth Sci.*, 78, 277-290.
- Hashima, A., Y. Fukahata, C. Hashimoto, and M. Matsu'ura, 2014, Quasi-static strain and stress fields due to a moment tensor in elastic-viscoelastic layered half-space, *Pure Apply. Geophys.*, doi:10.1007/s00024-013-0728-0.
- Heise, W., T. G. Caldwell, E. A. Bertrand, G. J. Hill, S. L. Bennie, and Y. Ogawa, 2013, Changes in electrical resistivity track changes in tectonic plate coupling, *Geophys. Res. Lett.*, 40:1-5, doi:10.1002/grl.50959.
- Huang, Z., and D. Zhao, 2013, Mechanism of the 2011 Tohoku-oki earthquake (Mw 9.0) and tsunami: Insight from seismic tomography, *J. Asian Earth Sci.*, 70, 160-168.
- Huang, Z., D. Zhao, A. Hasegawa, N. Umino, J. Park, I. Kang, 2013, Aseismic deep subduction of the Philippine Sea plate and slab window, *J. Asian Earth Sci.*, 75, 82-94.
- Ikemoto, A., and H. Iwamori, 2014, Numerical modeling of trace element transportation in subduction zones: implications for geofluid processes, *Earth Planet Space*, 66:26, doi:10.1186/1880-5981-66-26.
- 加藤愛太郎, 2013, 稠密地震波観測に基づく地震発生と地殻流体, *地球化学*, 46, 191-203.

- 加藤照之, 2013, GPS : 次の “夢” に向けて～「GPS 大学連合」の視点から～, 測地学会誌, 第 59 巻, 3 号, 87-97.
- Kaya, T., T. Kasaya, S. B. Tank, Y. Ogawa, M. K. Tuncer, N. Oshiman, Y. Honkura, and M. Matsushima, 2013, Electrical characterization of the North Anatolian Fault Zone underneath the Marmara Sea, Turkey by ocean bottom magnetotellurics, *Geophys. J. Int.*, 193, 664-677.
- Li, Y., J. Kimura, S. Machida, T. Ishii, A. Ishiwatari, S. Maruyama, H. Qiu, T. Ishikawa, Y. Kato, S. Haraguchi, N. Takahata, Y. Hirahara, and T. Miyazaki, 2013, High-Mg adakite and low-Ca Boninite from a Bonin fore-arc seamount: Implications for the reaction between slab melts and depleted mantle. *J. Petrology*, 54, 1149-1175, doi:10.1093/petrology/egt008.
- Liu, X., D. Zhao, S. Li, 2013, Seismic heterogeneity and anisotropy of the southern Kuril arc: Insight into megathrust earthquakes. *Geophys. J. Int.* 194, 1069-1090.
- Matsushima, M., Y. Honkura, M. Kuriki, and Y. Ogawa, 2013, Circularly polarised electric fields associated with seismic waves generated by blasting, *Geophys. J. Int.*, 194, 200-211.
- Nakajima, J., S. Hada, E. Hayami, N. Uchida, A. Hasegawa, S. Yoshioka, T. Matsuzawa, and N. Umino, 2013, Seismic attenuation beneath northeastern Japan: Constraints on mantle dynamics and arc magmatism, *J. Geophys. Res.*, 118, 5838-5855, doi:10.1002/20013JB010388.
- Nakajima, J., 2014, Seismic attenuation beneath Kanto, Japan: Evidence for high attenuation in the serpentinized subducting mantle, *Earth Planets Space*, 66:12, doi:10.1186/1880-5981-66-12.
- Noguchi N., A. Abduriyim, I. Shimizu, N. Kamegata, S. Odake, and H. Kagi, 2013, Imaging of internal stress around a mineral inclusion in a sapphire crystal: Application of micro-Raman and photoluminescence spectroscopy, *J. Raman Spectroscopy*, 44, 147-154, doi:10.1002/jrs.4161.
- Ribeiro, J.M., R.J. Stern, F. Martinez, O. Ishizuka, S.G. Merie, K. Kelley, E.Y. Anthony, M. Ren, Y. Ohara, M. Reagan, G. Girard, and S. Bloomer, 2013, Geodynamic evolution of a forearc rift in the southernmost Mariana Arc, *Island Arc*, 22, 453-476, doi:10.1111/iar.12039.
- Saiga, A., A. Kato, E. Kurashimo, T. Iidaka, M. Okubo, N. Tsumura, T. Iwasaki, S. Sakai, and N. Hirata, 2013, Anisotropic structures of oceanic slab and mantle wedge in a deep low-frequency tremor zone beneath the Kii peninsula, SW Japan, *J. Geophys. Res. Solid Earth*, 118, 1091-1097, doi:10.1002/jgrb.50069.
- Shikakura, Y., Y. Fukahata, and K. Hirahara, 2014, Long-term changes in the Coulomb failure function on inland active faults in southwest Japan due to east-west compression and interplate earthquakes, *J. Geophys. Res. Solid Earth*, 119, doi:10.1002/2013JB010156.
- 鈴木啓・吉川忠男・今給黎哲郎・西村卓也, 2013, アジア太平洋地域におけるジャワ島・スマトラ島の地殻変動監視, *国土地理院時報*, 124, 14-21.
- Takahashi, T., Y. Hirahara, T. Miyazaki, R. Senda, Q. Chang, J. Kimura, Y. Tatsumi, 2013,

- Primary magmas at the volcanic front of the NE Japan arc: Coeval eruption of crustal low-K tholeiitic and mantle-derived medium-K calc-alkaline basalts at Azuma volcano, *J. Petrology*, 54, 103-148, doi:10.1093/petrology/egs065.
- Takahashi, T., K. Obana, Y. Yamamoto, A. Nakanishi, S. Kodaira, and Y. Kaneda, 2013, The 3-D distribution of random velocity inhomogeneities in southwestern Japan and the western part of the Nankai subduction zone, *J. Geophys. Res. Solid Earth*, 118, doi:10.1002/jgrb.50200.
- Tamura, Y., C. Busby, and P. Blum, 2013, Izu-Bonin-Mariana Rear Arc: the missing half of the subduction factory, *IODP Sci. Prosp.*, 350, doi:10.2204/iodp.sp.350.2013.
- Tamura, Y., O. Ishizuka, R.J. Stern, A.R.L. Nichols, H Kawabata, Y. Hirahara, Q. Chang, T. Miyazaki, J. Kimura, R.W. Embley, and Y. Tatsumi, 2014, Mission Immiscible: Distinct Subduction Components Generate Two Primary Magmas at Pagan Volcano, Mariana Arc, *J. Petrology*, 55, 63-101, doi:10.1093/petrology/egt061.
- Uno, M., H. Iwamori, H. Nakamura, T. Yokoyama, T. Ishikawa, and M. Tanimizu, 2014, Elemental transport upon hydration of basic schists during regional metamorphism: Geochemical evidence from the Sanbagawa metamorphic belt, Japan, *Geochem. J.*, 48, 29-49.
- Wang, J., and D. Zhao, 2013, P-wave tomography for 3-D radial and azimuthal anisotropy of Tohoku and Kyushu subduction zones. *Geophys. J. Int.* 193, 1166-1181.
- Wei, W., and D. Zhao, 2013, The 2008 Iwate-Miyagi earthquake (M 7.2) and arc volcanism: Insight from irregular-grid tomography, *Earth Science Frontiers*, 20, 155-171.
- Yamazaki, K., 2013, An attempt to correct strain data measured with vault-housed extensometers under variations in temperature, *Tectonophysics*, 599, 89-96.
- Yamazaki, K., M. Teraishi, K. Ishihara, S. Komatsu, and K. Kato, 2013, Subtle changes in strain prior to sub-Plinian eruptions recorded by vault-housed extensometers during the 2011 activity at Shinmoe-dake, Kirishima volcano, Japan, *Earth Planets Space*, 65, 1491-1499.
- Zhao, D., and Y. Tian, 2013, Changbai intraplate volcanism and deep earthquakes in East Asia: A possible link? *Geophys. J. Int.* 195, 706-724.

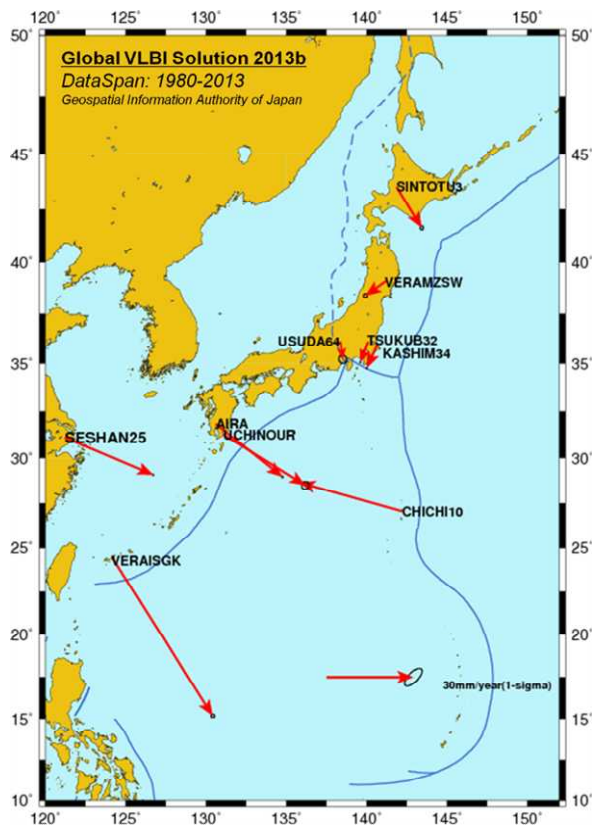


図 1. 1980 年以來の VLBI（超長基線電波干渉計）観測によって得られた日本列島及び周辺地域のプレート運動（国土地理院 [課題番号：6013]）。

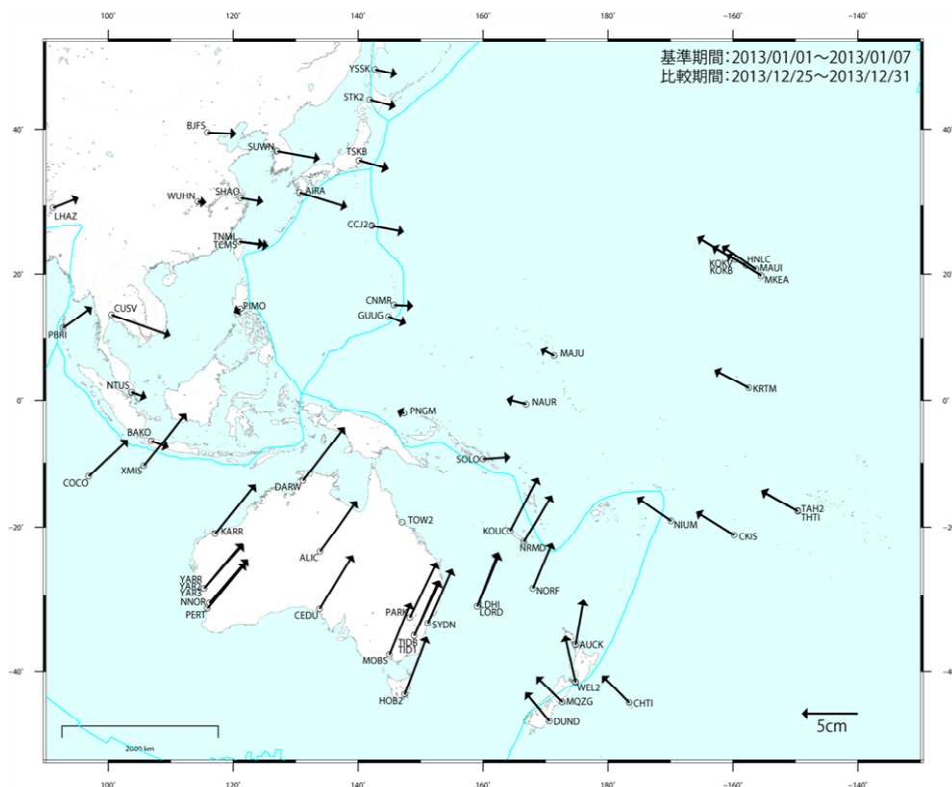


図 2. GNSS（衛星測位システム）観測によって得られたアジア・太平洋地域の 2013 年の水平地殻変動（国土地理院 [課題番号：6013]）。

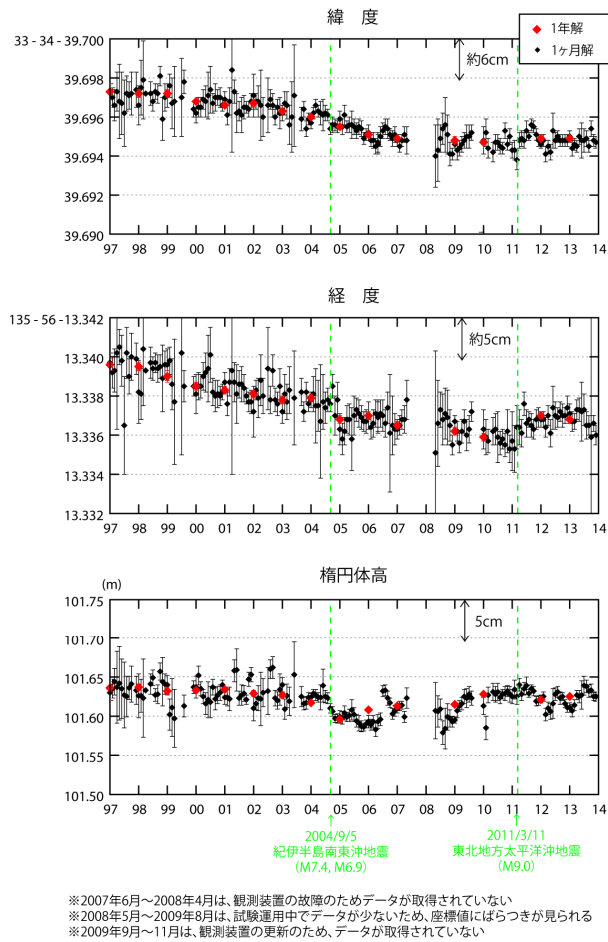


図 3. SLR（衛星レーザー測距）観測によって得られた 1997～2013 年の下里の座標変化（海上保安庁 [課題番号：8005]）。

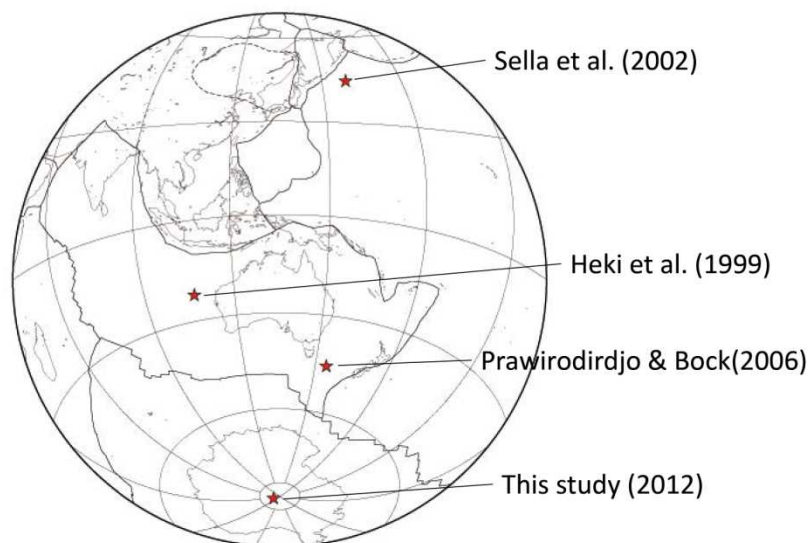


図 4. モンゴルの GNSS 臨時点等から推定された、ユーラシアプレートに対するアムールプレートのオイラー極の位置（東京大学地震研究所 [課題番号：1410]）。

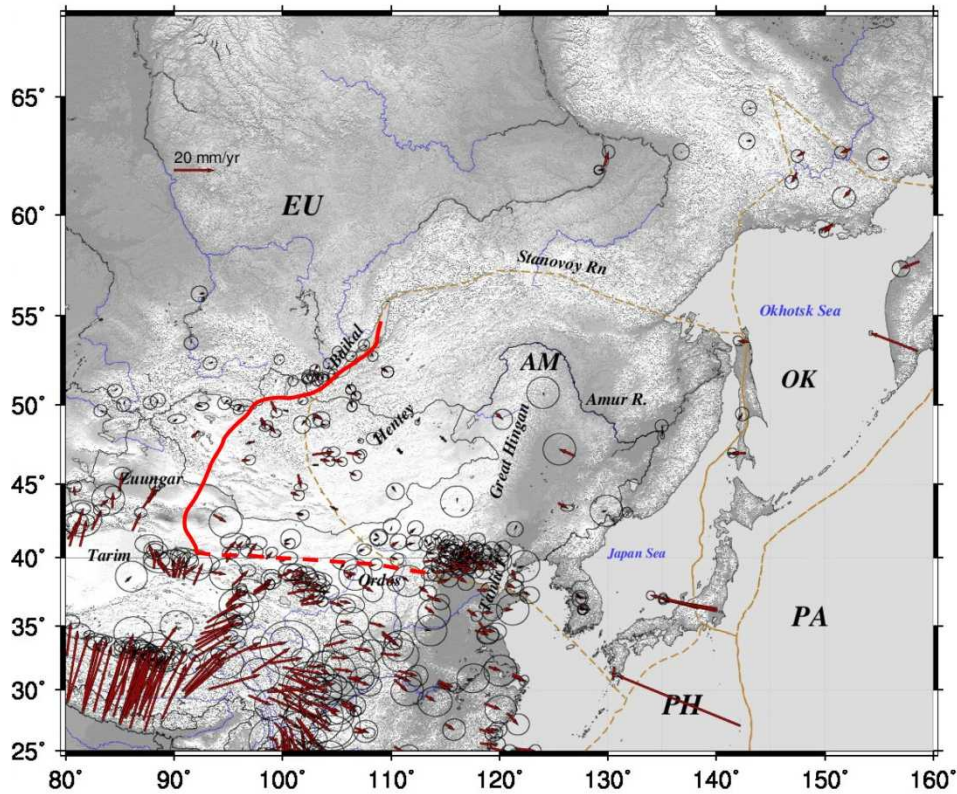


図 5. 北東アジアにおける GNSS 変位速度場と、臨時観測点のデータも加えて推定されたアムールプレートの西側境界（赤色で示す）。茶色の細線は Zonnenshain and Savostin (1981) によるプレート境界（東京大学地震研究所 [課題番号：1410]）。

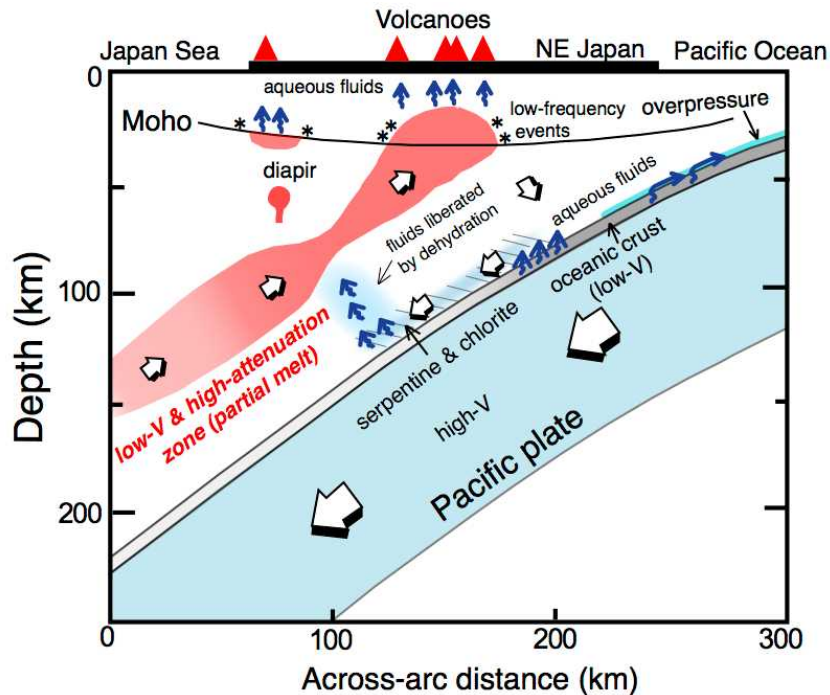


図 6. 東北地方のマグマ生成・上昇モデル (Nakajima et al., 2013)。太平洋スラブの深さ 120km 付近からマンテルウエッジに伸びる地震波高減衰域はマンテルへの水の経路の一つであると考えられる（東北大学 [課題番号；1203]）。

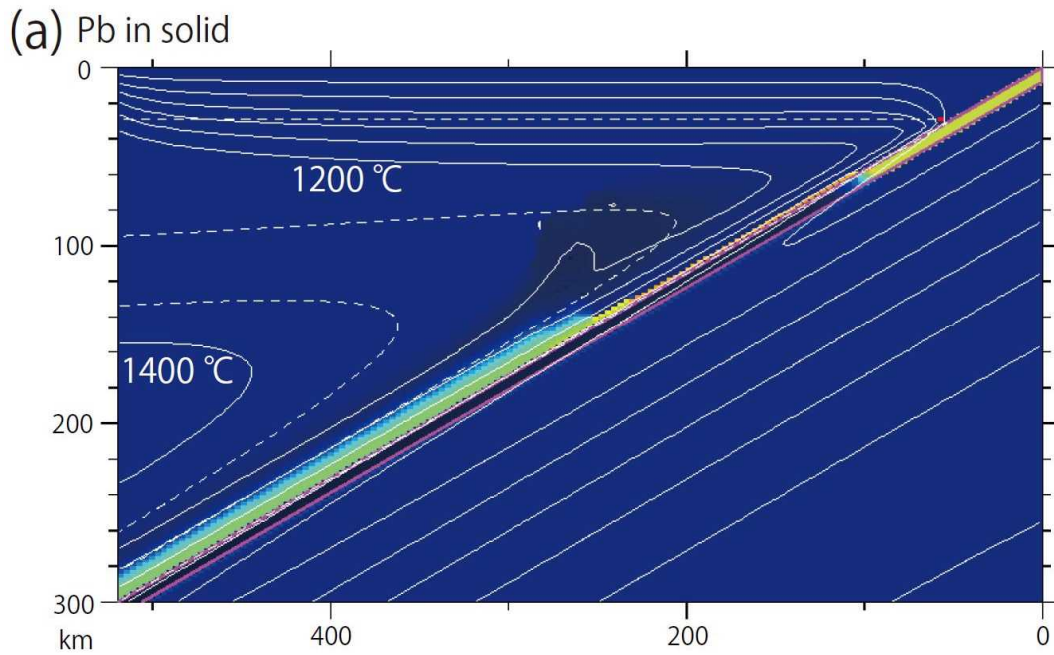


図 7. 沈み込み帯の水循環とそれに伴う Pb の輸送モデル (Ikemoto and Iwamori, 2014)。「化学平衡モデル」では、沈み込んだ Pb のほぼ全量がマントル深部に沈み込んでしまうことが分かった (東京工業大学 [課題番号: 1603])。

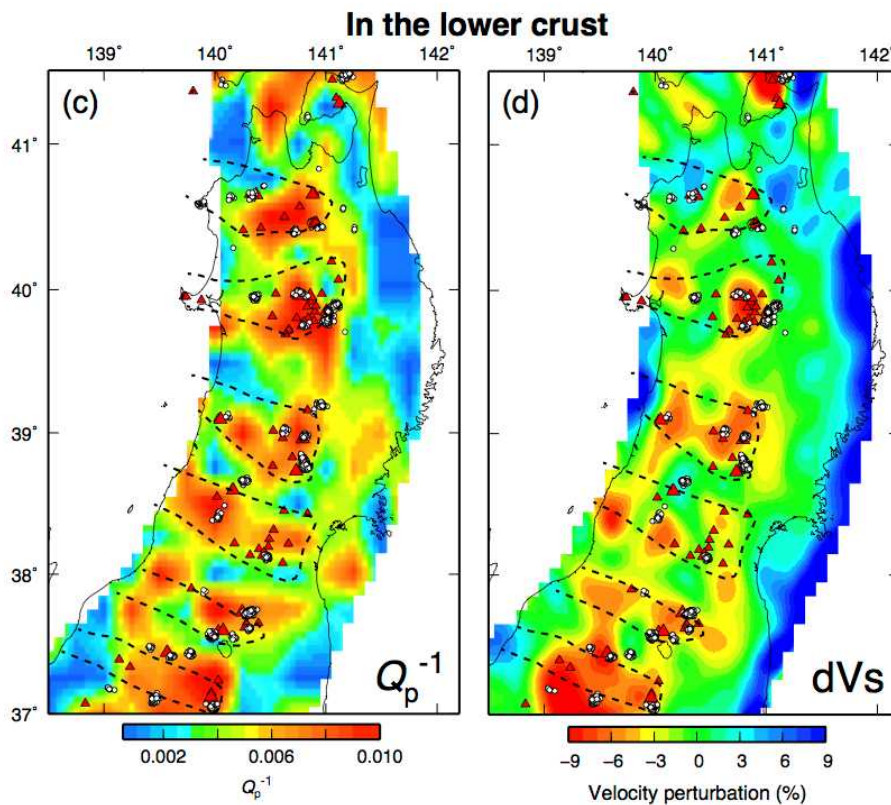


図 8. 東北地方における下部地殻の地震波減衰と速度構造 (Nakajima et al., 2013; 東北大学 [課題番号: 1204])。

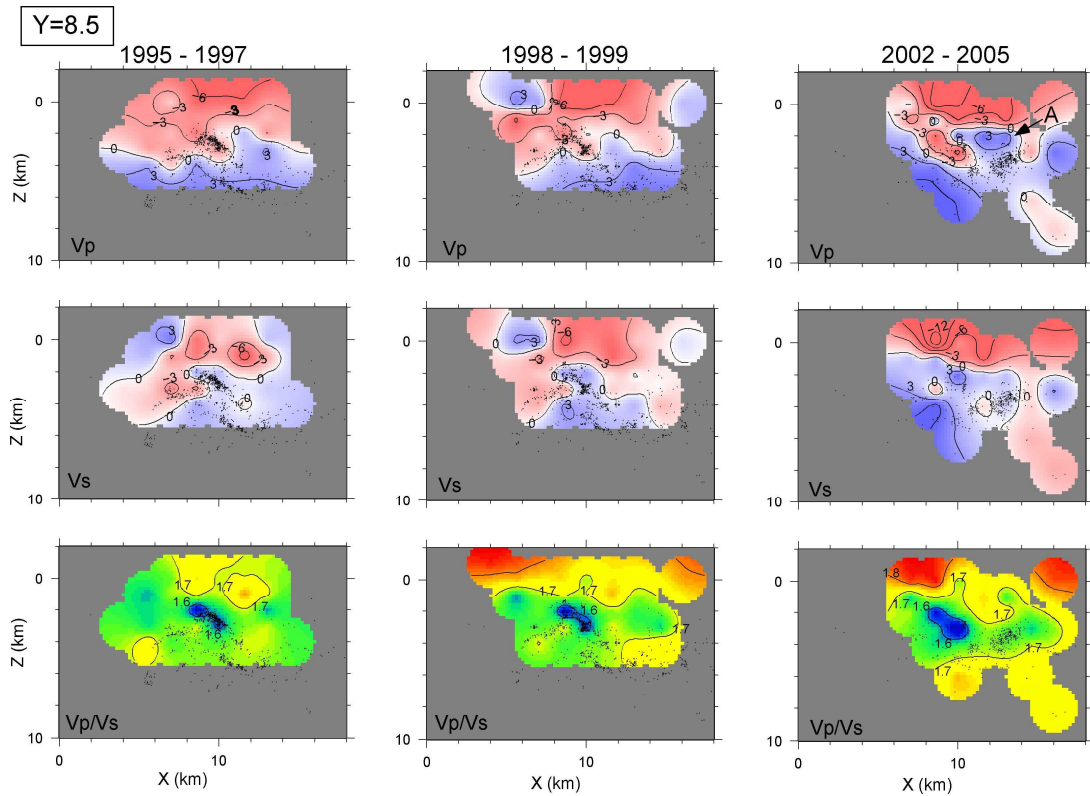


図 9. 長野県西部地域における，断層走行に平行な鉛直断面(Y=8.5)での、1995-1997、1998-1999、2002-2005年の3つの期間の3次元速度構造。X軸の走向はN70°E（京都大学防災研究所 [課題番号：1806]）。

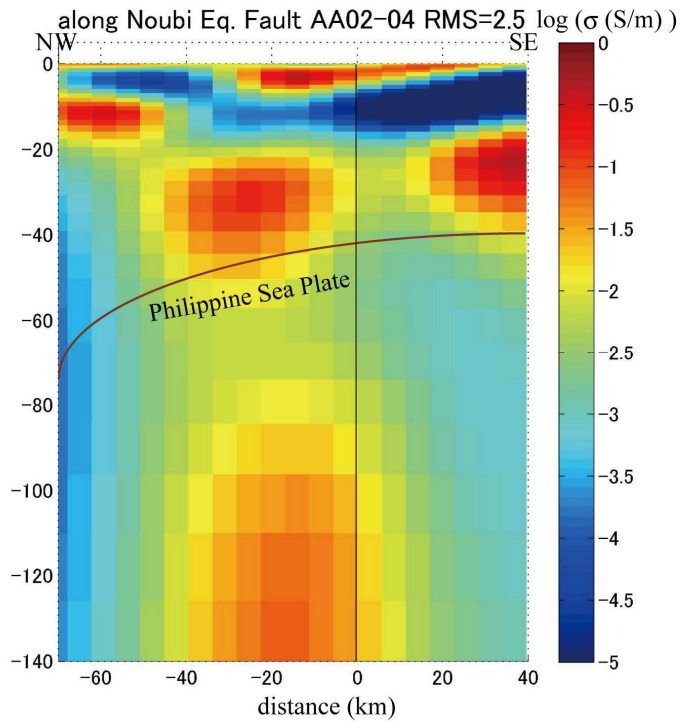


図 10. 濃尾地震断層の延長方向での電気伝導度断面図。暖色系ほど電気が流れやすいことを表す。茶色の曲線はフィリピン海プレートの上面を、横軸の0kmは樽見の位置を示す（東京大学地震研究所 [課題番号：1411]）。

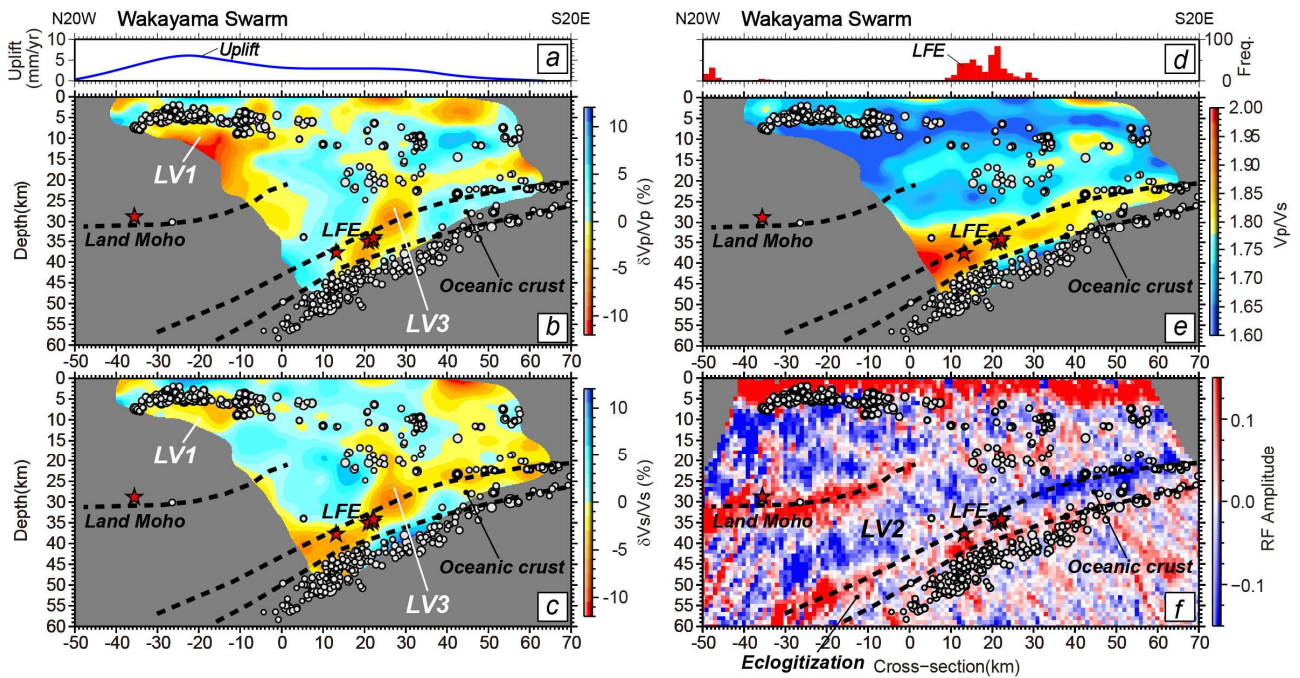


図 11. 稠密地震計アレイデータに基づく地震波速度構造と不連続面構造の深度断面。(a) 測線に沿った方向の隆起速度分布、(b) P波速度偏差、(c) S波速度偏差、(d) 低周波地震（気象庁カタログ）の頻度分布、(e) V_p/V_s 比、(f) レゾナンス関数断面。測線近傍の再決定された地震と低周波地震の震源を灰色丸印と赤色星印で示す。黒色破線は、陸のモホ面と、沈み込む海洋性地殻の上面・下面の位置の解釈線を示す(東京大学地震研究所[課題番号:1412])。

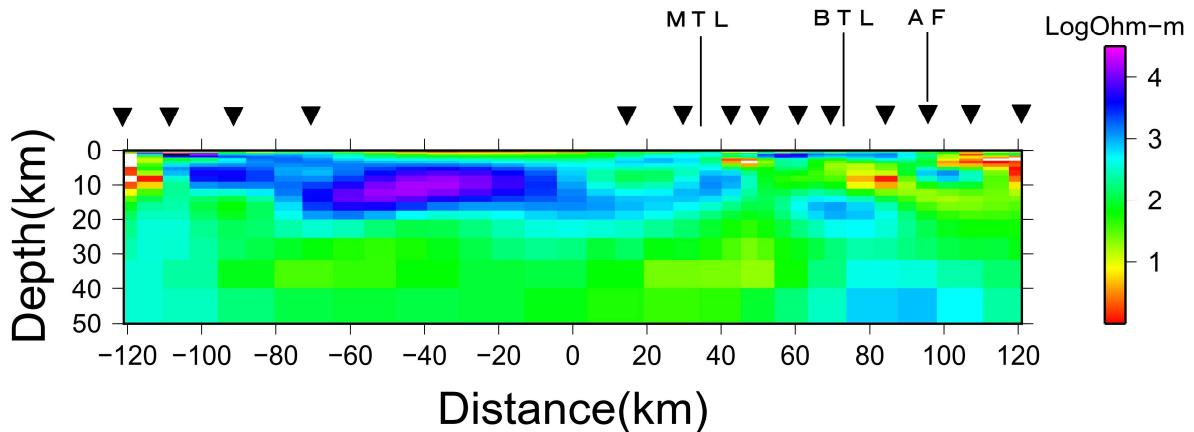


図 12. 鳥取東部-岡山-香川-徳島-室戸測線の二次元比抵抗モデル。▼印は構造解析に使用した観測点の位置を示し、MTL、BTL、AFはそれぞれ中央構造線、仏像構造線、安芸断層（安芸構造線）の位置を示す（鳥取大学 [課題番号:2001]）。

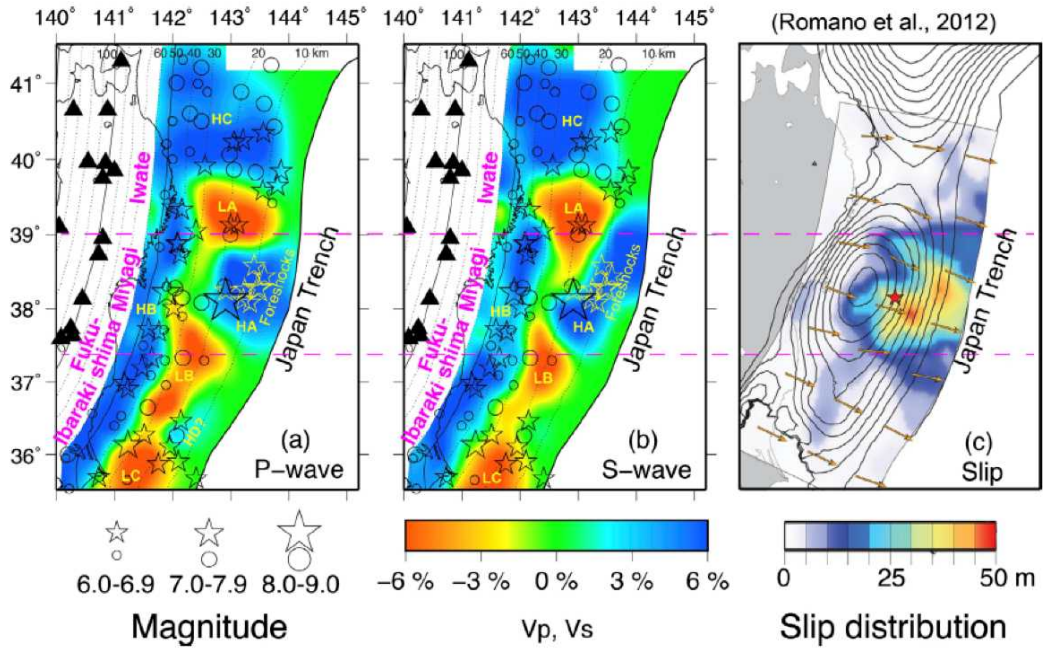


図 13. sP-depth phase を用いた構造解析結果。海底下の構造推定の分解能が向上し、東北地方太平洋沖地震のすべり域とその直上の構造の対応が明らかになった (Huang and Zhao, 2013 ; 東北大学 [課題番号 : 1204])。

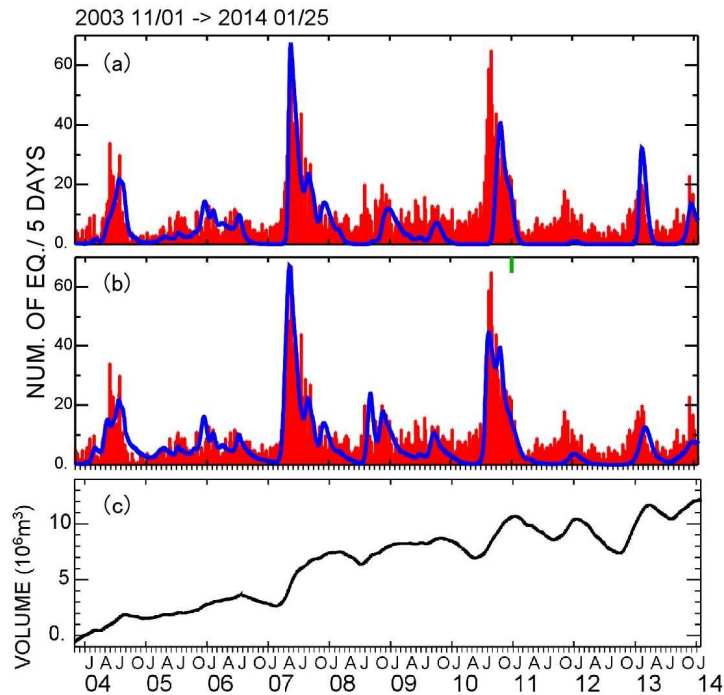


図 14. 伊豆大島のカルデラ内での実際の地震活動と RFS 則で推定された地震活動度。(a) 赤棒グラフ: 伊豆大島カルデラ内浅部で発生している一定の基準で選んだ 5 日毎の地震数。青線: 震源域におけるマグマ蓄積による応力場の変化から RFS 則を用いて推定した地震活動度。ここで $A\sigma = 7\text{kPa}$ とした。(b) (a) と同じであるが、震源域で揮発性成分による影響で、膨張時に $A\sigma$ が 5 kPa、収縮時に 15 kPa と変化するモデルを用いて推定した地震数。(c) 伊豆大島の地下に蓄積するマグマ体積の時間変化 (東京大学地震研究所 [課題番号 : 1413])。

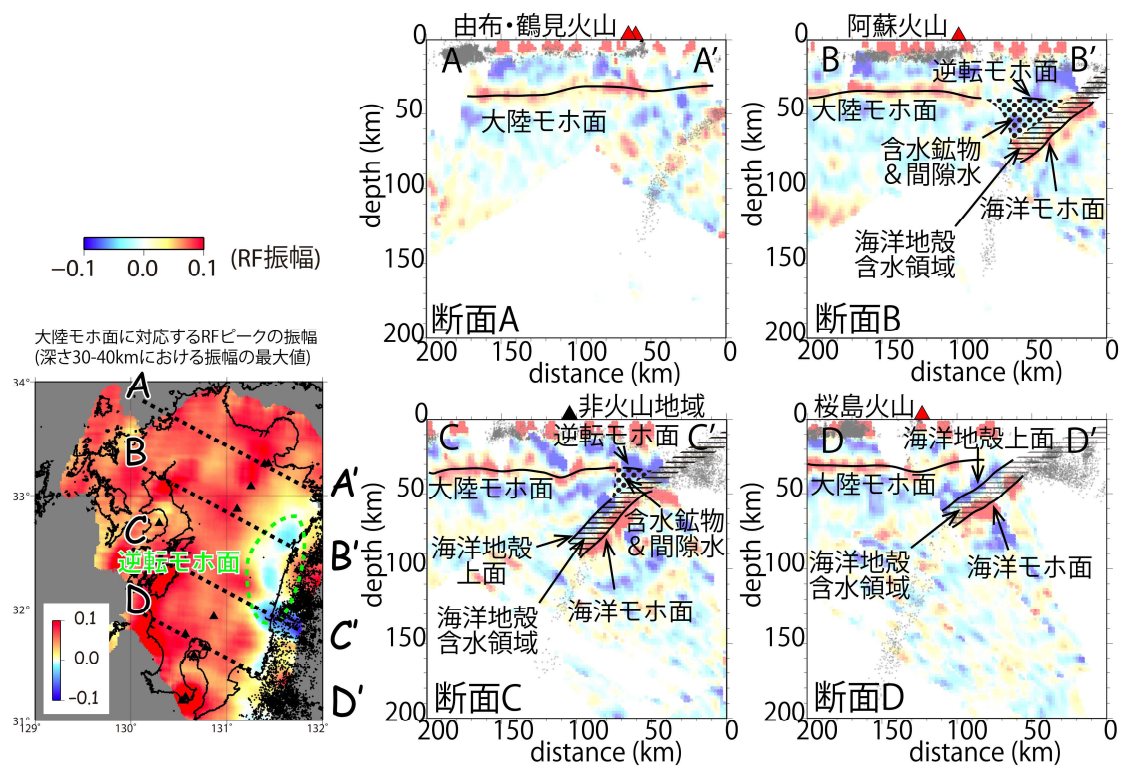


図 15. レシーバ関数 (RF) の平面図 (地図) および断面図。断面 A, B, C, D はそれぞれ、地図中の A-A' , B-B' , C-C' , D-D' に対応する。小さい黒点は、断面内の地震の一元化震源を示す (京都大学防災研究所 [課題番号 : 1805])。

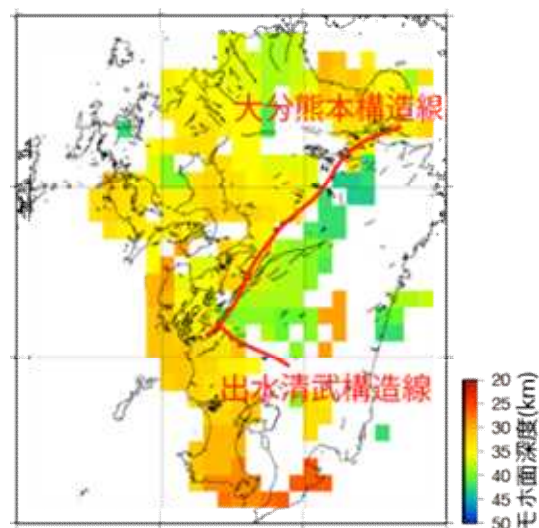


図 16. レシーバ関数によって推定された九州におけるモホ面の深度分布。大分熊本構造線と出水清武構造線の東側の九州山地の下でモホ面が深くなっている (九州大学 [課題番号 : 2201])。

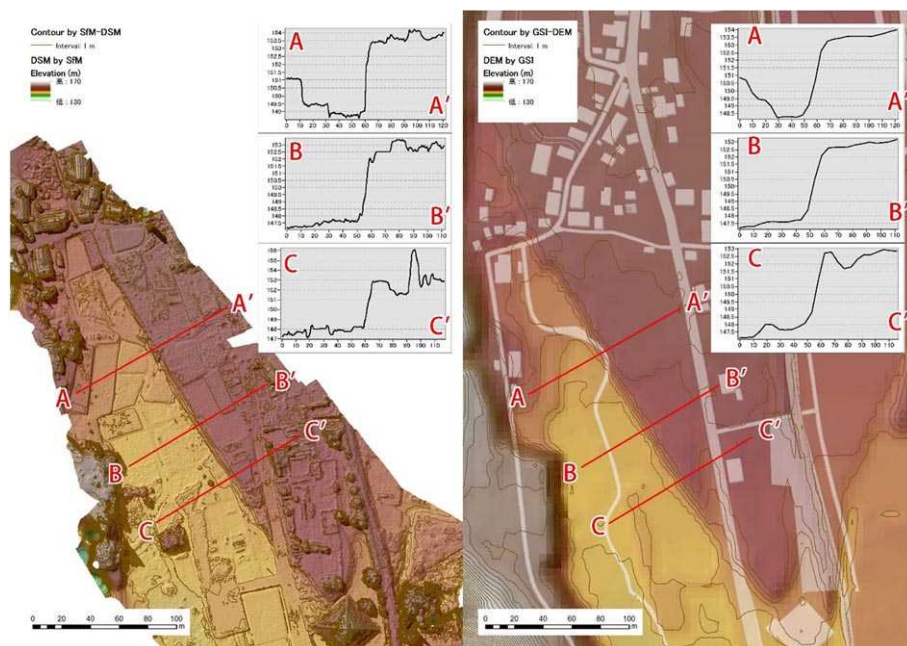


図 17. 根尾谷断層水鳥地震断層崖付近における小型 UAV（無人航空機）による空撮画像から作成した等高線図と水鳥断層崖の地形断面図。左：今回作成の DSM（数値表面モデル）により作図、右：国土地理院 5 m メッシュ DEM（数値標高データ）により作図。等高線間隔はいずれも 1 m。