

(1) 実施機関名：

京都大学防災研究所

(2) 研究課題（または観測項目）名：

日向灘の地震活動と南九州の火山活動の相互作用および応力伝播・物質移動過程のモデル化

(3) 最も関連の深い建議の項目：

2. 地震・火山現象解明のための観測研究の推進

(1) 日本列島及び周辺域の長期・広域の地震・火山現象

エ．地震活動と火山活動の相互作用

(4) その他関連する建議の項目：

(5) 本課題の 5 か年の到達目標：

九州地域にはフィリピン海プレートが沈み込み、日向灘において 20～30 年間隔で大地震が繰り返し発生している。また、隣接する南九州には、桜島などの爆発的火山がある。いずれもプレートの沈み込みに起因する地震・火山活動であり、両者の間の相互作用は大きいと考えられる。特に地震発生に伴う応力擾乱が、火山に及ぼす影響の評価は、短期から長期にわたる火山噴火活動予測において極めて重要である。加えて、1914 年桜島噴火の際に発生した大地震のように、火山噴火に伴う大地震発生の予測も重要な課題である。

上記の観点から、日向灘の地震活動と南九州の火山活動に関連する応力伝播・物質移動過程のモデル化を目指す。この目標に向けて、京都大学防災研究所および関係大学・機関により設置された南九州地方の地震・火山・地殻変動観測網を最大限活用して、地震活動および地殻変動の時間的推移を捉える。並行して、九州南部において、沈み込むフィリピン海プレートおよび陸側モホ面の形状およびマントルウェッジの地震波速度構造を明らかにし、マントルウェッジ内の流体分布とプレート間の固着域の推定を試みる。九州中南部において、広域電気比抵抗モデルを構築するとともに、詳細な火山体深部構造の推定を行う。さらに、これらの探查結果に基づいて数値構造モデルを作成し、シミュレーションを行い、日向灘からの応力伝播過程や火山体下深部からの物質移動過程を解明する。

(6) 本課題の 5 か年計画の概要：

【地震・地殻変動観測】

京大常設地震・地殻変動観測網に Hinet, GEONET 等のデータを統合し、南九州の地震活動、地殻変動の時間的な推移を捉える。PS/SBInSAR 解析を実施し、九州太平洋岸から火山フロントに至る地殻変動の空間パターンを把握する。

このため、既存観測網を用いた地震・地殻変動連続観測および GPS 連続観測を実施するとともに、地震、GPS 連続観測点の新設も試みる。

〔平成 21 年度〕

- ・九州地方南部に地震・GPS 観測点を新設し、高密度地震および地殻変動観測を開始する。
- ・ALOS/PALSAR 画像を収集し、これまでの九州南部の干渉画像を作成し、地殻変動を検出する。

〔平成 22 年度〕

- ・九州南部の高密度地震・地殻変動観測を継続する。

・引き続き ALOS/PALSAR 画像を収集し、干渉処理を行い、地殻変動を検出する。また、予察的な PS/SBI n SAR 解析を試みる。

〔平成 23 年度〕

・九州南部の高密度地震・地殻変動観測を継続する。

・引き続き ALOS/PALSAR 画像を収集し、PS/SBI n SAR 解析を行い、地殻変動の時間変化を検出する。

〔平成 24 年度〕

・九州南部の高密度地震・地殻変動観測を継続する。

・引き続き ALOS/PALSAR 画像を収集し、PS/SBI n SAR 解析を行い、地殻変動の時間変化を検出する。GPS 観測結果との結合を図る。

〔平成 25 年度〕

・九州南部の高密度地震・地殻変動観測を継続する。

・引き続き ALOS/PALSAR 画像を収集し、PS/SBI n SAR 解析を行い、地殻変動の時間変化を検出する。GPS 観測結果と結合し、5 年間の時空間で高分解能の地殻変動を推定する。

【地震波速度構造探査】

フィリピン海プレートの沈み込む方向に海岸部から火山フロント付近までの複数の測線において高密度で地震観測点を展開する。これら臨時観測点のデータに加えて、測線近傍の既存観測点のデータも活用して、レシーバ関数解析等を行う。プレート境界面やモホ面などの地震波速度不連続面の 3 次元構造を明らかにし、プレート境界付近やマントルウェッジ内の流体分布を推定する。

〔平成 21 年度〕数点で予備観測を行うとともに測線候補地の検討を行う。

〔平成 22 年度〕観測点の展開を行う。データ蓄積を開始する。

〔平成 23 年度〕観測点の拡充を行う。レシーバ関数解析を行い、測線下の速度不連続面のラフなイメージを作成する。

〔平成 24 年度〕観測を継続する。レシーバ関数解析を行い、測線下の速度不連続面のイメージを改善する。

〔平成 25 年度〕沈み込むフィリピン海プレートと陸側モホ面の形状およびマントルウェッジの地震波速度構造を明らかにし、マントルウェッジ内の流体分布とプレート間の固着域の推定を試みる。

【比抵抗構造探査】

九州地域で実施された種々の電磁気探査結果を包括的に再解析し、広域的な 3 次元比抵抗モデルの構築を行う。大局的な構造から、特定火山にクローズアップし、補足的に広帯域・長周期 MT 観測を実施し、その詳細な深部構造の推定につなげ、モデルの高度化を行う。

このため、平成 23 年度までの 3 年間で、九州の電磁気探査データを収集・コンパイルし、広域モデルを構築する。

〔平成 21 年度〕

・九州において、過去に実施された広帯域 MT 観測・ネットワーク MT 観測・長周期 MT 観測データの収集・整理を行う。

・広域比抵抗モデルを構築する初段として、ネットワーク MT 観測データを用いた 3 次元比抵抗モデル推定に着手する。

・電磁気データの面的カバーリングの過不足を検討し、不足している地域において、補充観測のための下見を行う。

〔平成 22 年度〕

・前年度で得られる広域 3 次元比抵抗モデルから、地域を絞りモデルの高度化を計る (九州南部)。

・データ不足域において補充長周期 MT 観測を実施する。

〔平成 23 年度〕

・前年度までの使用データ (NMT) に、広帯域 MT・長周期 MT データを統合し、比抵抗モデルの更なる高精度化を試みる。

・地表における火山活動域とスラブにいたる深部構造の関連性を比抵抗という観点で検討する。

【三次元構造モデルの構築と応力伝播・物質移動過程のモデリング】

上記の構造データおよび地震・地殻変動データを活用し、三次元構造モデルを構築し、粘弾性媒質あるいは粘性流体を仮定して計算を実行し、地震発生および火山噴火に至る応力伝播・物質移動過程のモデリングを行う。

このため、既存データの収集し、これに基づく暫定モデルを作成する。

〔平成 21 年度〕

・モデル構築に必要な構造研究の文献・資料を収集し、予察的数値モデルを作成する。

〔平成 22 年度〕

・引き続き文献・資料を収集するとともに、数値モデルの精密化を図る。また、GPS/SAR データをインバージョンし、プレート間カップリング等の推定を試みる。

〔平成 23 年度〕

・引き続き文献・資料を収集し、モデルの精密化を図るとともに、地殻変動データからカップリング等の推定を行う。

〔平成 24 年度〕

・文献・資料を収集と地震波および比抵抗構造探査結果をコンパイルし、モデルの精密化を図るとともに、地殻変動データからカップリング等の推定を行う。

〔平成 25 年度〕

・4 年間の構造探査等研究成果を統合したモデルにより、地殻変動データからカップリング等の推定を行う。

(7) 平成 22 年度成果の概要：

本研究は、地震・火山の研究グループが結集し、共同観測・研究を通じて日向灘の地震活動と南九州の火山活動を総体的に理解することを目的としている。2010 年度は、2009 年度に開始した各種観測を継続し、データを取得している。また、2011 年度以降の稠密地震観測等のための調査を行った。

【地震・地殻変動観測】

日向灘の地震活動と南九州の火山活動の相互作用および地震発生に伴う応力擾乱が火山に及ぼす影響の評価を行うために、南九州一帯において 2009 年度以降、臨時地震観測を継続している。

臨時地震観測で得られたデータに 2008 年桜島火山構造探査で得られた P 波初動到達時を加えて、始良カルデラ周辺の 3 次元 P 波速度構造の解析を行った。その結果、深さ 8km 断面の始良カルデラ中心部において低速度領域、その東側に高速度領域が見られた。この低速度領域は始良カルデラ下のマグマ溜りと考えられている位置と調和的である。また、始良カルデラで発生する地震の多くは高速度領域内およびその周辺部で発生していることが明らかになった。

桜島火山を含む南九州地域の ALOS/PALSAR 画像の収集を継続し InSAR 解析を行った。2007 年～2010 年の期間における干涉性のよい画像についてスタッキングと 2.5 次元解析を行い、準上下方向の地盤変動を計算したところ、桜島北部で地盤隆起、桜島東部から南部にかけては地盤沈降が検出された。これらの変動は、同期間に行われた水準測量結果ともよい一致が見られた。桜島北部の地盤隆起は、始良カルデラ地下のマグマ溜りにおける増圧を反映した変動を捉えたものと考えられる。

2007 年 2 月から 2010 年 7 月までの日向灘沿岸に沿った地域の南行軌道から撮像した ALOS/PALSAR 画像を解析し、干涉画像を得た。複数の干涉画像に地形に相関した縞模様や電離層の影響と思われる縞模様が認められる。約 3 年半の期間の画像では、宮崎南部の日南周辺で視線距離が短縮するパターンが見られる（図 1）。画像中に霧島火山が含まれ、同じ期間に視線距離短縮を示唆する変動が見られるが、他の期間では地形に相関した縞模様が顕著であり、詳細な検討が必要である。

宮崎観測所を中心に展開した GPS 観測点 3ヶ所において、本格的に観測を開始した。周辺の GEONET 観測局のデータと合わせ解析し、変動を検出することとしている。宮崎観測所の保有する地殻変動連続観測網において、観測を継続している。これまで、宿毛観測点において 3 回の豊後水道スロースリップに伴う変動が観測されている。その間隔は約 6 年であり、前回の 2003 年に引き続き発生した、2009

年後半からのスロースリップに伴う変動が観測されている。また、2011 年 1 月 26 日に噴火活動が活発になった霧島(新燃岳)火山の北西約 18km の伊佐観測点において、噴火活動の推移に対応した地殻変動が捉えられた(図 2)。

【地震波速度構造探査】

2011 年 1 月下旬に霧島山新燃岳が噴火した。九州中南部地域下におけるマグマの生成に関するモデルを構築するためには、フィリピン海プレートからの脱水やマントルウェッジ内の流体の挙動を解明する必要がある。本研究では、定常観測点および臨時観測点のデータを用いて、レシーバ関数解析や地震波走時トモグラフィなどにより、プレート境界面やモホ面などの地震波速度不連続面を含む詳細な 3 次元速度構造を推定することを目的とする。

臨時観測では、昨年度、九州南東部地域の数か所において開始した地震観測を継続し、データの蓄積を行った。また、宮崎市南部から霧島火山へ延びる測線を設定し、間隔が 5km 程度になるように 7 点の観測点を設置し、2010 年 11 月下旬から観測を開始した。

稠密アレイ観測とそのデータを用いたレシーバ関数解析により、沈み込むフィリピン海プレートをイメージするという研究では、我々はすでに紀伊半島において実績を持っている(澁谷・他、2010)。紀伊半島において培ったノウハウを南九州に適用する際の問題点は、フィリピン海スラブの傾斜と深さが大きいということである。紀伊半島では水平成層構造モデルを用いても問題はなかったが、南九州では傾斜層を考慮したモデルを用いないとスラブ形状を正しく推定できない(安部・他、2010)。そこで我々は、より深部にある急角度の不連続面の形状を正しく推定できるように手法の改良を行った(Abe et al., 2010)。具体的には、傾斜層を有する速度構造モデルに対して波面法(de Kool et al. 2006)を用いた波線追跡を行い、傾斜境界に対してスネルの法則が成り立つような P_s 変換点にレシーバ関数の振幅を投影することにより、イメージングを行った。九州中部の定常観測点のデータを用いた結果について図 3 に示す。図 3(a) は水平成層モデルを用いたイメージングの結果である。この結果から海洋モホ面を緑の実線および破線のように推定することができる。図 3(b) は、(a) で推定された海洋モホ面を組み込んだモデルを用いたイメージングの結果である。このようなイメージの改良プロセスをもう 1 回行うことにより、図 3(c) のようなレシーバ関数イメージが得られた。図 3(d) は、稍深発地震の深さ分布形状をもとに推定した海洋モホ面を組み込んだモデルを用いたイメージングの結果である。図 3(c) と (d) に共通してみられる特徴は、深さ 90km 以深では、稍深発地震沿う部分においては海洋モホ面に対応する赤いイメージがみられなくなるということである。このことは、海洋地殻がもはや低速度でないことを意味し、海洋地殻に含まれていた「水」はこの深さまでにほぼ脱水してしまうことを示唆する。

【比抵抗構造探査】

平成 21 年度に引き続き、九州地域でのネットワーク MT 観測データの再解析によって求めたレスポンス情報を基に、さまざまな断面を設定し 2 次元構造解析による大規模比抵抗構造の推定を行い、全体として 3 次元的な大規模比抵抗構造の推定・把握を行った。現実の構造が 3 次元であるために生じる 2 次元構造イメージ中のある種のゆがみ等、3 次元構造から生じる効果に関しての、3 次元構造解析を用いた評価もあわせて実施した。その結果、フィリピン海プレートが沈み込む角度の急変する個所以西の深部から活動的火山の直下につながる低比抵抗領域が存在することがほぼ確認できた。

【三次元構造モデルの構築と応力伝播・物質移動過程のモデリング】

本年度は実施せず。

- (8) 平成 22 年度の成果に関連の深いもので、平成 22 年度に公表された主な成果物(論文・報告書等)：
安部祐希, 大倉敬宏, 平原和朗, 澁谷拓郎, 傾斜する不連続面がレシーバ関数に与える影響, 地球惑星科学連合 2010 年大会, 2010 年 5 月, 千葉市

Abe, Y., Ohkura, T., Hirahara, K., Shibutani, T., Development of common conversion point stacking of receiver functions for detecting subducted slabs, 2010 Fall Meeting, AGU, 2010 年 12 月, サンフランシスコ市

(9)平成 23 年度実施計画の概要：

- ・ ALOS/PALSAR 画像の解析を継続し、経年的な地殻変動の空間分布を得る。
- ・ 南九州一帯の臨時地震観測を継続し、3次元速度構造解析の領域を広げる。
- ・ 始良カルデラ周辺で発生する地震の震源メカニズムを調べ、広域応力場と火山周辺部の応力場との関係を明らかにする。
- ・ これまでに展開した九州南東部地域や宮崎市南部から霧島火山へ延びる測線での臨時観測を継続し、レシーバ関数解析のための波形データを蓄積する。宮崎市南部から霧島火山へ延びる測線を北西方向に延長する等の拡充を行う。
- ・ 蓄積されたデータを用いて、レシーバ関数解析を行い、暫定的なイメージを作成する。
- ・ 平成22年度に引き続き3次元構造解析を援用して、さまざまな断面で得られた大規模2次元比抵抗構造イメージの持つ意味に関して精査する。必要に応じて補充観測を実施する。

(10) 実施機関の参加者氏名または部署等名：

橋本学，渋谷拓郎，大谷文夫，福島洋，寺石眞弘（防災研究所地震予知研究センター）

大志万直人，吉村令慧（防災研究所地震防災研究部門）

井口正人，山本圭吾，神田径，為栗健（防災研究所火山活動研究センター）

大倉敬宏，宇津木充，井上寛之（京都大学大学院理学研究科火山研究センター）

平原和朗（京都大学大学院理学研究科） 以上，16名

他機関との共同研究の有無：無

(11) 公開時にホームページに掲載する問い合わせ先

部署等名：

電話：

e-mail :

URL :

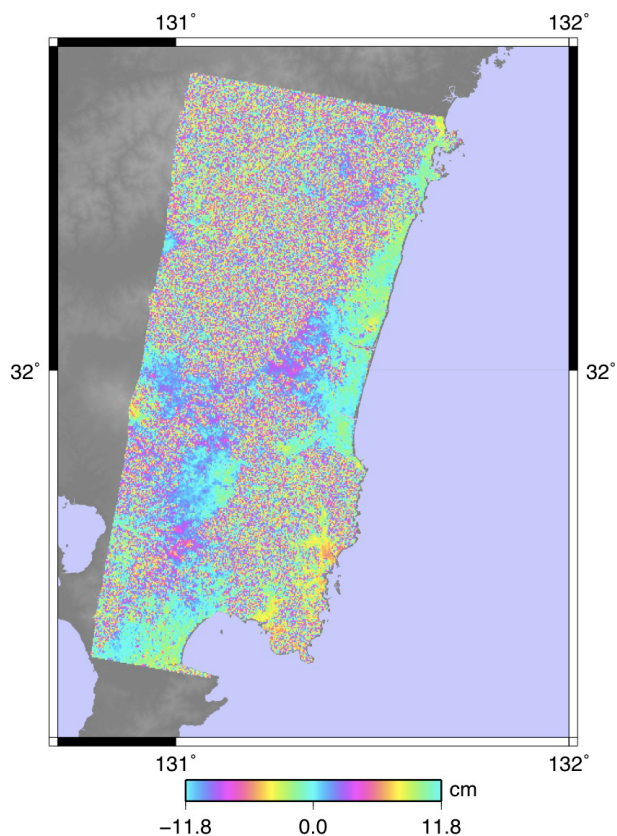


図1．ALOS/PALSAR 干渉画像．

2007年2月5日～2010年7月1日．南行軌道からの観測．軌道間距離(～1600m)が長いので、山岳部でのコヒーレンスが低い．

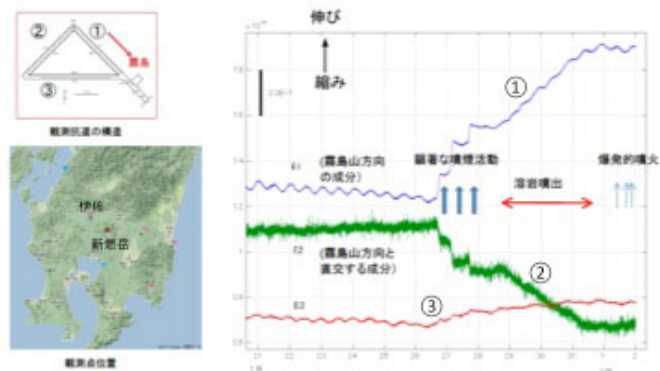


図2．伊佐(吉松)観測点における2011年1月21日から2月2日までのひずみ変化．

(左上)ひずみ計の配置図．(1)がE1,(2)がE2,(3)がE3．1月26日の噴火活動開始以降、霧島山方向(観測点から見て南東方向)に伸び、これに直交する北東-南西方向に縮みが観測された．顕著な噴煙活動に伴ってステップ状の変化が見られる．1月31日以降、変化は停滞している．

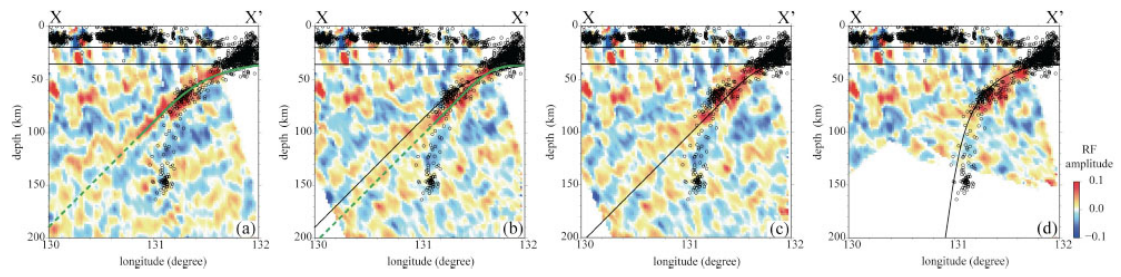


図3 定常観測網のデータを用いた九州中部の東南東 - 西北西の断面におけるレシーバ関数イメージ．
 暖色はレシーバ関数の正の振幅，寒色は負の振幅を表す．黒の実線は仮定した不連続面を，緑の実線と破線は推定された不連続面を示す．丸は地震の深さ分布を表す．(a) 水平成層モデルに対する結果．(b) と (c) それぞれ (a) と (b) で推定された海洋モホ面を組み込んだモデルに対する結果．(d) 稍深発地震の深さ分布から推定された海洋モホ面を組み込んだモデルに対する結果．