

(1) 実施機関名：

九州大学

(2) 研究課題(または観測項目)名：

別府 島原地溝帯における地震活動と火山活動の相互作用の研究

(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：

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

ウ．広域の地殻構造と地殻流体の分布

(2) 地震・火山噴火に至る準備過程

(2-1) 地震準備過程

ウ．ひずみ集中帯の成因と内陸地震発生の準備過程

(5) 本課題の 5 か年の到達目標：

九州中部の別府湾と島原半島には南北伸張場による正断層が発達しており、別府と島原を結び九州中部を東北東 西南西に横断する地域は、別府 島原地溝帯と呼ばれている。別府 島原地溝帯には多くの活火山が分布するが、中でも阿蘇山は世界有数のカルデラを有し現在でも活発な状態が続いている。また、この地溝帯に沿った地域は歪速度も大きく、地震活動も活発であり、九州の内陸被害地震の多くもこの地域に集中している。このように、九州中部の活発な内陸地震活動と火山活動は、地溝帯形成という共通のテクトニクスの下で相互に影響を及ぼしあって発生していると考えられる。しかしながら、別府-島原地溝帯については、マントル物質の上昇・湧き出しによる Continental Rift であるという説がある一方、中央構造線の西方延長部の右横ずれ運動にともなう Pull-apart Basin であるという説もあり、その実体と成因は現時点において明らかではない。

そこで本研究では、稠密観測および制御震源地震探査に基づいて九州中部地域の地殻構造を明らかにし、別府-島原地溝帯の実体解明を試みる。さらに、別府-島原地溝帯の地殻構造モデルを用いて有限要素法等によるシミュレーションを実施して地溝帯の歪や起震応力の空間分布を再現し、ローディング機構および地震・火山活動の関連について理解を深めることを 5 か年の到達目標とする。

(6) 本課題の 5 か年計画の概要：

平成 21 年度は、阿蘇山を含み、別府 島原地溝帯を横断する領域において稠密自然地震観測および GPS 観測を開始する。これらの臨時観測は、当該地域の地殻活動状況を見ながら、必要に応じて再配置等をしながら、平成 25 年度まで継続する。解析については、平成 21 年度は既存データの解析を行い、当該地域の地殻水平歪分布と地震活動・起震応力分布を明らかにするとともに、レシーバ関数解

析により、九州地域における地殻・上部マントルの不均質構造、特にモホ面の深度分布を推定する。また、平成 23 年度に予定している制御震源地震探査に向けて、九州地域における過去の構造研究成果や平成 21 年度の解析結果を参照しながら探査計画を検討する。

平成 22 年度は、臨時観測のデータを加えて、地殻水平歪分布、震源分布、起震応力分布、およびレシーバ関数解析によるモホ面深度分布の高精度化をはかる。また、地震波速度トモグラフィーを実施して、当該地域の地殻・上部マントルの分解能 20km 程度の 3 次元速度構造を明らかにする。さらに、平成 23 年度の制御震源地震探査の測線および発破点の現地調査を実施して、探査計画を確定する。

平成 23 年度は、阿蘇山を通り別府-島原地溝帯を横断する測線において制御震源地震探査を実施し、地溝帯および阿蘇カルデラの地殻構造解析を行う。また、GPS 観測データに基づき、当該地域の水平地殻変動のモデル化に着手する。

平成 24 年度は、制御震源地震探査の屈折法および反射法解析を進め、別府-島原地溝帯（含阿蘇カルデラ）を横断する地殻構造を明らかにする。さらに、制御震源地震探査と稠密自然地震観測のデータを用いて地震波トモグラフィーを行い、地溝帯下において分解能 5km 程度の 3 次元速度構造を明らかにする。これらの成果に基づき、当該地域の地殻構造モデルを作る。また、この地殻構造モデルを参照しながら、水平地殻変動のモデル化を行う。

平成 25 年度は、地殻構造モデルと水平地殻変動モデルに基づいて、別府-島原地溝帯の実体を明らかにし、その成因について考察する。また、地殻構造モデルを用いて有限要素法等によるシミュレーションを実施して地溝帯および阿蘇カルデラ周辺の歪や起震応力の空間分布を再現し、地溝帯における内陸地震のローディング機構と地震・火山相互作用に関する理解を深化させる。

(7) 平成 23 年度成果の概要：

平成 23 年度は、地殻構造に関しては、九州を縦断する測線における制御震源地震探査（人工地震探査）の実施とレシーバ関数解析の継続、地殻応力場に関しては、稠密地震観測に基づく九州内陸の地殻応力場の推定、ひずみ場に関しては GPS 観測の継続をそれぞれ行った。

これらのうち、人工地震探査は 2011 年 11 月 28 日に実施され、図 1 に示すように、南北総測線長約 152km の測線上に、535 点の観測点と 6 カ所の発破点（S1～S6）を展開した。これらの発破点のほか、各務財団の支援により、S7 を測線上に追加した。参加機関は、北海道大学、秋田大学、東北大学、東京大学地震研究所、東京工業大学、名古屋大学、京都大学、九州大学、鹿児島大学、気象庁福岡管区気象台の全 10 機関である。本格的な解析は平成 24 年度であるが、暫定的な解析から、阿蘇カルデラから北部域の領域と阿蘇カルデラの南部領域では地殻構造が異なることが示唆される。特に、南部域では明瞭な反射波が、北部域では複雑な反射波が観測されており、今後これらの解析を進め、当該地域の地殻構造の特徴を明らかにしていく。

レシーバ関数（RF）解析については、まず、南東方向から到来する地震のみのトランスバース RF を Abe et al. (2011) の方法によりスタッキングし、フィリピン海プレートの海洋性モホ面の形状をもとめた。そして、大陸モホ面、コンラッド面と得られた海洋性モホ面を仮定し、すべての方位の地震のベクトリアルレシーバ関数をスタッキングし、不連続面の形状推定をするとともに、不連続面での速度コントラストを求めた。その結果、別府-島原地溝帯より南東の九州東岸地域のモホ面では、マントルウェッジの S 波速度が地殻より遅いという逆転が生じている可能性のあることが明らかになった。人工地震測線における断面では、阿蘇火山近傍の地殻不均質のほか、九州山地にも地殻の不均質が存在すると推定され（図 2）、人工地震探査の結果と合わせてこれらの実態解明を進める必要がある。このほか、3 次元トモグラフィーを行なうため、レシーバ関数解析で求められた速度不連続面の形状を取り入れた速度モデルの作成をおこなった。

地殻応力場については、微小地震の発震機構解をもちいて応力テンソルインバージョンを行い、九州内陸部における主応力の方向と応力比の分布を明らかにした。また、断層の破壊はクーロン・ナビエの破壊基準によると仮定し、地殻の強度を低下させる間隙水圧の空間分布について検討した。本研究では Terakawa et al. (2010) の方法を用い、ある応力場の中での発震機構解の違いが間隙水圧の変化

であると見なして、間隙水圧を推定した。その結果、平均間隙水圧は、別府-島原地溝帯で小さく、福岡西方沖地震や日奈久断層周辺では大きくなっていることが示された(図3)。このことは、活断層地域では高間隙水圧であることを示唆している。一方、別府-島原地溝帯では、応力比が大きく(すなわち最大主応力が小さく)、断層面に作用する法線応力が小さいため、相対的に強度が低下し、低い間隙水圧で破壊している可能性がある。

ひずみ場については、九州内陸部の水平地殻変動のモデル化に着手する予定であったが、観測データの蓄積が不足しているため、平成23年度は前年度に引き続き臨時GPS観測を実施した。

(8)平成23年度の成果に関連の深いもので、平成23年度に公表された主な成果物(論文・報告書等):
Abe et al, GRL, VOL. 38, L23305, doi:10.1029/2011GL049688, 2011

(9)平成24年度実施計画の概要:

平成24年度は、人工地震探査の屈折法および反射法解析をおこない、別府-島原地溝帯(含阿蘇カルデラ)を横断する地殻構造を明らかにする。さらに、この人工地震探査によって得られる地震波速度構造、および平成23年度までにレシーバ関数解析によって得られた速度不連続面の形状を取り入れた構造モデルを初期値として、地震波トモグラフィを行い、別府-島原地溝帯を含む九州内陸部の地殻3次元速度構造を明らかにする。これらの成果に基づき、当該地域の地殻構造モデルを作る。また、平成23年度に得られた地殻応力場や間隙水圧の空間分布の特徴を地殻構造モデルと比較することにより、当該地域の内陸地震の発生場と発生機構について考察する。さらに、上記の地殻構造モデルを参照しながら、GPS観測データに基づき水平地殻変動のモデル化を試みる。

(10)実施機関の参加者氏名または部署等名:

九州大学大学院理学研究院附属地震火山観測研究センター(清水 洋, 他4名)

他機関との共同研究の有無: 有

京都大学大学院理学研究科(大倉敬宏, 他2名)

鹿児島大学理学部 (宮町宏樹, 他3名)

以上は研究期間を通して常時参加する機関および参加者である。

この他に、平成23年度に予定している制御震源地震探査については、東京大学地震研究所や秋田大学工学資源学部など全国の関係機関の協力のもとに実施(筒井智樹, 他約20名)。

(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:九州大学大学院理学研究院附属地震火山観測研究センター

電話:0957-62-6621

e-mail:hshimizu@kyudai.jp

URL:www.sevo.kyushu-u.ac.jp

(12)この研究課題(または観測項目)の連絡担当者

氏名:清水洋

所属:九州大学大学院理学研究院附属地震火山観測研究センター



図1．人工地震探査測線図

測線は、別府-島原地溝帯（阿蘇カルデラ）を横断する南北約152km。S1-S7は、発破点を示す。

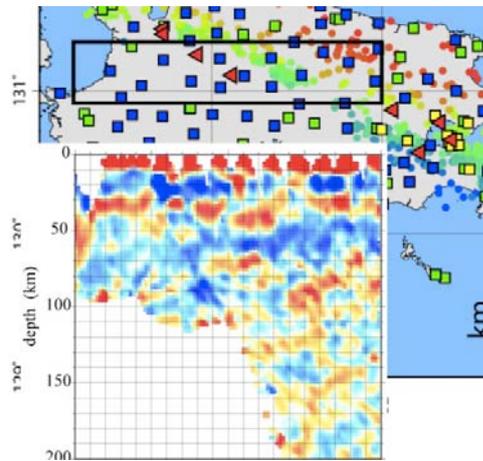


図2．レシーバ関数解析結果（九州の南北断面）

人工地震探査の測線に沿った断面図。九州山地（測線中央部付近）の下でモホ面が深くなっているように見えるのは、観測点直下の地殻の不均質を反映しているものと考えられる。

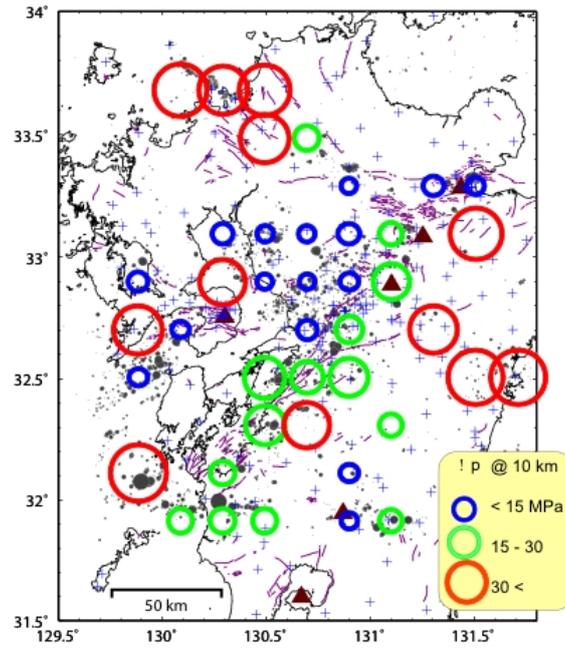


図3．地殻内の間隙水圧の分布

深さ 10km における間隙水圧の推定値。間隙水圧は、グリッド毎の「平均間隙水圧－静水圧」で示す。