

4. 全体成果概要

別府一万年山断層帯は大分県玖珠町万年山付近から別府湾周辺域まで続く長大な活断層帯である。この断層帯では様々な調査が実施されてきたが、このうち別府一万年山断層帯（大分平野一由布院断層帯東部）は由布院盆地から大分平野に続く断層帯で、この区間が活動した場合、大分市、別府市などの都市や周辺地域に甚大な影響を及ぼす断層帯であることがわかっている。この活断層が活動した場合の社会的インパクトの高さに加えて、地震調査委員会の別府一万年山断層帯の長期評価では、大分平野一由布院断層帯東部で発生する地震の規模はマグニチュード7.2程度で、今後30年以内の地震発生確率は最大4%と評価されている。また、地震後経過率は最大1.0であり、地震発生の可能性が高いと推定されることに加え、全国の活断層帯と比較して、平均変位速度が大きく、平均活動間隔も短いことから、活動度が相対的に高いと考えられる。また、別府一万年山断層帯の東端は、中央構造線断層帯に連続している可能性があることから、両断層帯の関係について検討が必要とされている。

この断層が活動した場合の地震災害の軽減をめざして、断層帯の地表付近の詳細な位置・形状、過去の活動履歴と平均変位速度といった活断層基本情報の高度化と、地下の震源断層の形状評価、及びそれに基づく震源域での強震動評価の高度化を達成するための総合的な調査研究を行う。当該断層帯は別府一万年山断層帯の東部分として調査観測が行われてきたが、陸域・海域・伏在平野にまたがり、断層の分布・形状が複雑であり、また中央構造線断層帯西端部との関係も重要な課題である。本研究では既存の調査結果を基礎として、それらを補完するため、ボーリング調査、トレンチ調査、海域音波探査、自然地震観測、人工地震探査、電磁気探査、重力探査、水位変動観測、アレイ微動観測、等を行う。これらの調査観測の成果に基づいて、活断層の位置や活動履歴、平均変位速度等を断層帯全体で評価することにより、活断層の基本情報の高度化を図る。さらに自然地震探査や電磁気探査によって地震発生層の媒質の不均質性を探り、既往の地下構造観測情報と比較しながら、浅部構造観測調査も含め震源断層形状の高度化を試みる。本対象断層帯に位置し、当該断層が活動した場合に大きな揺れに見舞われる可能性が高い大分平野および別府扇状地等の地下構造モデルの高度化を図るとともに、その地下構造モデルと震源断層モデルに基づいた強震動予測を行うことを課題とした。

これらの課題に取り組むために、1)活断層の活動区間を正確に把握するための詳細位置・形状等の調査及び断層活動履歴や平均変位速度の解明のための調査観測、2)断層帯の三次元的形状・断層帯周辺の地殻構造解明のための調査観測、3)断層帯周辺における強震動予測の高度化のための研究、についての調査観測、研究をすすめた。平成27年度の成果概要は下記のとおりである。

1) 活断層の活動区間を正確に把握するための詳細位置・形状等の調査及び断層活動履歴や平均変位速度の解明のための調査観測：

平成27年度の陸域調査では、平成26年度調査で選定された伽藍岳北断層について、1970年代撮影の縮尺約2万分の1、1948年に米軍が撮影した縮尺約1.5万分の1空中写真を用いて、活断層のトレース及び変位様式を再検討・確認した。それらの情報と現地踏査で確認した地点でピッ

ト調査を実施した。慶長元年(1596)に発生した「慶長豊後地震」に関する、大分県内外の古文書・記録類を収集し地震の発生日に関する基本情報の整理を行った。古文書・記録類のうち、地震発生と同時期あるいは時期を隔てたものではないものでは慶長元年閏7月9日、後世に編纂されたものでは同月12日や13日と様々である。このことは、別府湾沿岸に被害をもたらした地震が、複数回発生したことを示唆する。また、古文書・記録による被害状況の情報整理も実施した。海域調査では海底地形調査および音波探査調査結果を解析した図面作製等を実施した。また、長期間(数千年程度)にわたる地震時イベントの記録を明らかにするために、大分沖や高崎山沖、別府沖の別府湾最深部などで20m~10m級の堆積物採取を行い、各種解析を実施した。その結果、30回程度のイベント砂層が認定された。伏在部の調査では、大分平野において、府内断層の活動履歴を解明するために同断層の沈降側において新たに一本のボーリングコアを掘削して分析を進めた。同コアは上位から人工盛土、デルタプレーン、デルタフロント、プロデルタ、エスチュアリー、網状河川流路の堆積物で構成されていることが明らかになった。

2) 断層帯の三次元的形状・断層帯周辺の地殻構造解明のための調査観測：

(2-1) 深部地殻構造調査：自然地震によるこの地域の調査においては、過去20年余の震源データを再解析し、非弾性ひずみの分布を明らかにした。非弾性ひずみは別府一万年山地域で $10^{-7}/\text{yr}$ のレートを示す。また、変形は活断層と同様な方向で進んでいる。

本研究で実施した地震観測データを中心に用い、断層帯下の不均質構造を推定した結果、断層帯南部や火山体近傍に強い散乱を示すことが明らかになった。

広帯域MT調査を行い、断層帯浅部に複数の低比抵抗体が存在していることを明らかにした。また深さ3kmから10kmにかけては、地表断層の東西走向に対応する比抵抗構造は見られず、むしろ北東-南西走行の比抵抗構造が卓越することが明らかになった。

(2-2) 浅部地殻構造調査：既存の地球物理学的資料(反射法地震探査、重力調査など)の収集・整理を進めるとともに、平成26年度実施の既存データの再解析やデジタル化を参照して、大分平野で東西方向の反射法地震探査を実施した。また、断層帯周辺の地震活動や地殻変動の解析を高度化するために増強した、GPSおよび地震観測地点を合わせて、解析システムや収録システムを活用し解析を進めた。さらに、断層帯構造の解明のための稠密重力調査を継続実施した。あわせて、盆地浅部における地盤構造の高度化に必要な地盤モデル構築に向けてボーリングデータベースを作成するため、既存ボーリングの情報収集整理を継続実施した。

(2-3) 水理構造調査：国立大学法人京都大学大学院理学研究科は、別府・由布院・大分平野等に存在する温泉掘削の情報の整理を継続するとともに、水位観測や水質分析を追加して水理学的解析を継続実施した。さらに、フラックスメーターを活用して、平野域での分布調査を開始した。また浅層の比抵抗探査を実施して、浅層地下構造との関連を明らかにする調査を継続実施した。

(2-4) 応力変遷史解析調査：野外探査システム等を活用した小断層解析による応力変化史の解析および地質調査に基づく断層帯形成のプロセスの解明を進めるとともに、地殻内応力

シミュレーション装置を用いた、三次元断層構造形成の解析を継続実施した。

3) 断層帯周辺における強震動予測の高度化のための研究：

(1) 微動アレイ探査による深い速度構造の推定

固有周期 10 秒の 3 成分速度計を用いて別府湾北岸の 3 カ所にて最大半径 1 km 程度の微動アレイ観測を実施し、0.2Hz から 10Hz の範囲で Rayleigh 波の位相速度を得た。平成 26 年度に実施した微動アレイ探査結果とあわせ、速度構造モデルの改良について検討した。

(2) 小半径微動アレイ観測による浅部速度構造の推定

大分平野の浅部速度構造を対象に 109 か所にて小半径の微動アレイ探査を行った。概ね 1Hz から 20Hz の範囲で分散性を有する位相速度を得た。位相速度から簡易変換により速度構造を求め、位相速度および H/V スペクトルのピークを再現する速度構造を得た。大分平野の伏在断層および河川流路に規制された速度構造が確認された。

(3) 連続微動観測記録を用いた地震波干渉法解析および応力場解析

別府湾を取り囲む全 12 点の広帯域地震計から成る連続微動観測網を引き続き運用し、観測データを蓄積した。遠地地震の長周期帯域波形を用いて観測方位の検討を行った。地震波干渉法および遠地地震の解析により、別府湾を跨ぐ観測点ペアでの群速度および別府湾の平均的な位相速度を推定した。また、同観測網で記録された 2015 年 5 月の別府湾東部での地震記録から震源のメカニズム解を求め、震源域周辺の応力場を推定した。

(4) 地震記録の収集・解析

平成 26 年度に引き続き、大分県内の自治体震度計（全 49 点）にて 2014 年 9 月以降に観測された 17 地震の観測記録を収集・整理した。地震記録の主要動部分を用いた H/V スペクトルの算出と、後続波部分を用いた R/V スペクトルの算出を行った。その結果を用いて、既往の速度構造モデルを修正すべき地点について検討した。

(5) 別府湾周辺域の速度構造モデルの作成

別府湾内の深部音波探査データの再解析結果（平成 26 年度実施）に基づいて既往速度構造モデルの層境界深度を変更し、地震動 R/V および微動アレイ探査による観測位相速度との比較を行った。工学的基盤以浅の浅部地盤構造モデルの作成のため、大分平野の既往ボーリングデータおよび PS 検層データの収集・整理を行った。別府湾内の浅部音波探査の反射面データと陸域のボーリングデータを基に陸海域の統合浅部地質モデルを作成した。これらを基に、浅部速度構造の初期モデルを作成した。

(6) 中小地震の波動計算による既往速度構造モデルの検証

大分県周辺で発生した中規模地震を対象に、別府湾周辺の既往速度構造モデルの検証を行った。2015 年 7 月 13 日大分県南部の地震および 2007 年 6 月 6 日大分県北部の浅い地震を対象に、3 次元差分計算を実施し、速度構造モデルを修正すべき個所について検討した。

(7) 強震動シミュレーションの試算

既往速度構造モデルと地震本部の長期評価に基づく震源モデルを用いて、別府湾周辺域の強震動シミュレーションの試算を実施した。

(8) 震源モデルの作成

震源モデルを高度化するため、平成26年度に作成した1km解像度の別府地溝南縁断層の形状モデルを500m解像度に高度化した。これを用いて、境界積分方程式法による動的破壊シミュレーションを実施した。さらに、破壊開始点の違いに注目して、3パターンの地震発生過程のシナリオを試行的に作成した。

引用文献

地震調査研究推進本部，別府－万年山断層帯の長期評価, 2005.