

4. 全体成果概要

平成23年度から平成25年度まで、「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」、「断層帯の三次元的形状・断層帯周辺の地殻構造の解明のための調査観測」、「断層活動履歴や平均変位速度の解明のための調査観測」、および「断層帯周辺における強震動予測の高度化のための研究」を継続して実施した。さらに、最終年度である平成25年度は、これらの調査観測結果を比較検討しながら総合し、断層パラメータや地下構造、強震動予測の高度化などに関して取りまとめを行った。

「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」に関しては、陸域の調査と海域（博多湾）の調査を実施した。陸域については、警固断層帯（南東部）の地表付近での詳細な断層位置と分布形状、及び変位量分布を把握するため、高解像度 DEM の解析、空中写真の判読、および現地踏査を実施した。その結果、警固断層の一般走向は $N45^{\circ} W$ であるが、大野城市上大利付近から南東では $N40^{\circ} W$ 程度となることが確認された。断層のトレースは全体的にはおおそ直線的であるが、那珂川付近で幅 300m 程度の左ステップが、また、春日市春日付近から南東ではトレースの分岐・併走がそれぞれ確認された。警固断層南東延長部については、筑紫野市古賀の九州自動車道筑紫野インターチェンジ付近より南東の地形には変位は認められないことから、警固断層の南東端は筑紫野インターチェンジ付近であると考えられる。警固断層の変位量については、那珂川の南で阿蘇4火砕流からなる段丘面に 1.5 m 程度および 1 m 程度のそれぞれ南西側隆起の上下変位が認められたが、横ずれ変位量については新たな情報は得られなかった。警固断層周辺部の陸域の断層についても、現地調査および空中写真判読が実施され、宇美断層や日向峠-小笠木峠断層帯については、変位や断層露頭等が確認された。さらに、活断層の可能性のある地形についても、同様の調査を実施し、地形面区分とともに活断層の分布を示した地形分類図を作成した。

海域については、平成24年度に博多湾内の2つの区域（A区域、B区域）において、ソノプローブを用いた海上音波探査を実施した。このうち、陸域の警固断層の北西延長部（博多湾警固断層帯）が通過するA区域においては、音響反射記録の詳細調査によって、断層帯の詳細な位置が特定できた。これらの断層の一部には、フラワーストラクチャーが認められ、横ずれ断層の性質を示す。また、断層は特定の地層を变形させるか变形させないかで2パターンに区別され、湾中央で見出された地溝状凹地構造が2パターンの断層の分布境界となっていることが分かった。このことは、博多湾には異なる活動度の活断層が2系統存在し、両者の分布境界が警固断層帯北西部と南東部のセグメント境界である可能性を示唆する。一方、2005年福岡県西方沖の地震の主余震域から東へオフセットした余震（Off-fault の余震）域にあたるB区域でも、音響反射記録から活断層の存在が確認された。その一部は海の中道断層の延長部と考えられる。

「断層帯の三次元的形状・断層帯周辺の地殻構造の解明のための調査観測」に関しては、地震観測、重力調査、表層地盤モデル構築のためのデータベース作成が実施された。このうち、地震観測については、平成23年度に小郡三沢高感度地震観測施設を設置して運用を

継続しつつ、地震観測施設が不足している警固断層帯（南東部）周辺に臨時機動地震観測点を設置して観測を行った。また、平成25年度には、人工震源を用いた構造探査を実施した。この人工地震探査では、断層帯浅部の構造を詳細に調べる高分解能反射法地震探査測線と、断層帯深部の構造を明らかにする稠密反射法地震探査測線の2測線を設定した。その結果、高分解能反射法地震探査測線においては、警固断層の地表トレースに対応する断層が地下約1kmまで捉えられた。また、断層の西側が隆起していることが見出され、地形学的に得られていた結果と一致した。一方稠密反射法地震探査測線については、警固断層が鉛直に近い高傾斜であり、地震発生層（～17km）まで達することが反射パターンから推定された。断層の東西では反射強度が異なり、異なった岩層が共存する地域を断層が通っていることが明らかになった。また、下部地殻においては広い範囲で反射強度が強い層が見られ、深さ約32kmまで続いている。この反射層底部がモホ面に対応すると考えられる。また、地震探査に対応して周辺に臨時観測点を展開し、探査の震源を用いて警固断層の走向方向変化を見出す処理を行った。この結果、断層全体において、下部地殻に反射層が見られることが明らかになった。一方、警固断層帯（北西部）の海域や周辺域まで含む広域の地殻構造については、地震波走時を用いたトモグラフィ解析により、広域三次元地震波速度構造が得られた。その結果、警固断層帯（北西部）においては、2005年福岡県西方沖の余震活動域を境として南西側の V_p/V_s が有意に低いこと、断層帯（南東部）では博多湾周辺の上部地殻が低速度異常を示すのに対し、陸域では断層北東側の三郡山地周辺に高速度異常が認められることが明らかになった。また、遠地地震波形を用いたレシーバ関数解析により、警固断層帯（南東部）周辺下のモホ面は深さ34～36km程度で北東方向に緩やかに傾斜していることが明らかになった。さらに、レシーバ関数の特徴から地殻内の地震波速度の方位異方性が推定され、上部地殻に相当する深さでは、異方性の軸が当該地域の活断層の走向に平行となる傾向があるが、下部地殻では当該地域の広域応力場の圧縮軸方向とほぼ一致していることが確認された。これらのことは、警固断層帯およびその周辺地域の地殻構造と地殻応力場が、不均質であることを示している。

重力調査については、警固断層帯陸域を対象として、福岡市、春日市、大野城市、太宰府市、筑紫野市の784地点において高密度測点配置の重力測定を実施した。これに既存の重力測定点のデータを併せて重力異常図を作成した。その結果、福岡市中央区舞鶴から筑紫野市上古賀にかけて約18kmにわたって、北西－南東方向の重力異常の急傾斜が、警固断層帯（南東部）に沿って続いていることが明らかになった。また、重力異常の急傾斜部分は筑紫野市上古賀付近で南南東方向と東方向の2方向に分かれて消滅しており、警固断層南東端を捉えている可能性が高いと考えられる。

表層地盤モデル構築のためのデータベース作成については、警固断層帯周辺の既存のボーリング調査の報告書や地質関連資料及び文献について、公的機関を中心に情報を収集し、データベース化を行った。約17000本のボーリングデータをデータベース化し、これを基に福岡平野と筑後平野の一部を対象に250mメッシュの表層地盤モデルを作成した。

「断層活動履歴や平均変位速度の解明のための調査観測」に関しては、陸域と海域（博多湾）においてそれぞれトレンチ調査やジオスライサー調査等を主とする地形地質学的調査を実施した。このうち、陸域については、既存の地形地質情報および埋蔵文化財発掘調

査資料の収集整理、地表踏査、露頭拡張調査、地中レーダー探査、ボーリング調査、トレンチ調査、試料分析を実施した。地中レーダー探査とボーリング調査は、既存の地形地質情報および地表踏査結果を踏まえて、トレンチ調査地選定のために実施した。空中写真判読などにより推定される断層通過位置において、地中レーダー探査断面からも断層が複数地点において確認された。また、太宰府市向佐野地点では、ボーリング調査により、空中写真判読および地中レーダー探査から推定される断層通過位置の直近基盤岩花崗岩中に断層破碎帯が存在することが明らかとなるなど、これらの手法が、平野部（都市部）におけるトレンチ調査地選定に有効であることを確認した。埋蔵文化財発掘資料の収集・解析では、断層活動および液状化等の強震動イベントの抽出を行ったが、従来推定されている警固断層帯の最新活動時期（約4千年前）以降の、警固断層帯に起因すると考えられる強震動イベントは抽出されなかった。警固断層帯（南東部）の陸上部分におけるトレンチ調査については、主断層上で2地点（筑紫野市塔原西^{とうのはるにし}、春日市九州大学筑紫キャンパス内）、北東側に並走する断層上で1地点（太宰府市向佐野^{むかいざの}）の合計3地点において実施した。その結果、3地点いずれにおいてもトレンチ壁面に断層は露出しなかった。また、春日市九大キャンパス地点および周辺では、トレンチ近傍の既存研究による推定断層トレース上で新たな露頭が造成されたため、露頭拡張と壁面観察を実施した。さらに、隣接する河床露頭の詳細地質調査を実施した。これらの調査から、調査範囲内において、断層が通過しない部分が明らかとなり、断層が通過する可能性のある範囲を限定することができた。また、調査地に分布する地層の層相とその年代、地形面の年代が明らかとなり、今後の調査地選定に有用な情報が得られた。

海域については、「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」で実施した博多湾内の音波探査の結果に基づき、ジオスライサー調査を実施した。また、ジオスライサー調査で採取されたコアの放射性炭素年代測定、堆積物コアの粗粒物調査、火山ガラス含有率分析などの分析を行った。その結果、音響基盤上面（約8,900年前）以降の断層活動イベント回数は、博多湾中央部A区域内の北西側の地点（HKA1地点）では少なくとも2回、南東側の地点（HKA2地点）では1回である事が確認された。それらの最新活動イベントの時期は、HKA1地点で約3,800 cal yBPから約5,200 cal yBPの間、HKA2地点で約7,800 cal yBPから約8,200 cal yBPの間であり、隣接する2地点間で活断層の活動性が大きく異なることが明らかになった。音波探査では、前述のようにこの2地点間に地溝状凹地が形成されていることが見出されており、この地溝状凹地が警固断層帯北西部と南東部の2つのセグメントの境界部にあたる可能性が指摘された。また、博多湾東部B区域では音響基盤上面のずれが明瞭であり、警固断層帯南東部と同様に約8,900 cal yBP以降、1回の断層活動イベントを記録していることが明らかになった。

「断層帯周辺における強震動予測の高度化のための研究」に関しては、地下構造モデルの高度化と震源断層モデルの高度化、およびそれらに基づき強震動予測の高度化を行った。このうち、地下構造モデルの高度化については、対象領域である福岡平野と筑紫平野北部で微動アレイ探査を実施して、探査各地点における深部地盤S波速度構造を推定し、さらに平野内の仮想点における1次元深部地盤S波速度構造を推定した。これらによって、得られた1次元S波速度構造情報は、実際の微動アレイ探査で得られた25地点に加え仮想

地点 46 点となった。これらの S 波速度構造情報を基に福岡平野から筑紫平野北部地域において、面的補間関数を用いた地下構造の数値モデル化を行い、三次元深部地盤構造モデルを作成した。また、構造モデルの作成と併行して、構造モデルの高度化に向けた検証を行った。この検証のため、短期微動観測点および長期微動観測点を福岡平野内に設置し、各地点のスペクトル特性および水平上下比から速度構造を推定した。また、これらの速度情報などを元に改良した地盤構造を作成して福岡県西方沖地震の本震の強震動シミュレーションを実施し、地盤構造の妥当性を確認した。さらに、長期微動観測で得られた多数の微小地震の水平上下比を用いて、インバージョン解析により基盤より上の堆積層部分の速度構造モデルを求め、地下構造モデルの高度化を図った。

震源断層モデルの高度化については、平成 25 年度に本プロジェクトの全サブテーマ担当者による研究会を開催し、各サブテーマの調査観測結果を比較しながら断層パラメータの検討を行った。三次元的な震源断層面形状についてはサブテーマ 2 の成果を考慮し、また、断層活動のセグメント構造、分岐形態、断層変位の空間変化についてはサブテーマ 1 と 3 の成果に基づいて、震源断層モデルの高度化を図った。

強震動予測の高度化については、本プロジェクトで作成した三次元地盤構造を用いて、理論的方法と統計的グリーン関数法のハイブリッド法により警固断層帯南東部の想定地震の強震動シミュレーションを実施し、さらにそれを用いた構造物震害シミュレーションを実施してその被害予測を実施した。その結果、震源直上では大きな最大速度・最大加速度が推定され、甚大な被害が想定されることを明らかにした。