

#### 4. 全体成果概要

平成 28 年熊本地震を踏まえ、同地震発生域を含む布田川断層帯および日奈久断層帯において、平成 28 年度は、「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」、「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」、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」を実施して、平成 28 年熊本地震の地表地震断層や地下の震源断層などの同地震発生の諸特徴や背景をまとめるとともに、布田川断層帯および日奈久断層帯の断層の位置・形状や活動度、地下構造などに関して知見が得られた。また、「関係自治体との連携による調査成果の普及と活用の実践的研究」を実施して、関係自治体と密接に連携しながら、本調査研究を関係自治体に周知するとともに、本調査研究を関係自治体や地域住民の防災・減災に役立てるための啓発活動に取り組んだ。

平成 29 年度は、平成 28 年度に引き続き、「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」、「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」、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」を実施して、平成 28 年熊本地震の地表地震断層や地下の震源断層などの分布・形状の推定精度を向上させるとともに、布田川断層帯および日奈久断層帯の断層の位置・形状や活動度、地下構造などに関する情報や知見の蓄積が進んだ。また、「関係自治体との連携による調査成果の普及と活用の実践的研究」を実施して、関係自治体と密接に連携しながらヒアリング調査を実施して関係自治体の要望を調査し、本調査研究を関係自治体や地域住民の防災・減災に役立てるための方策について検討した。

平成 30 年度も引き続き、「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」、「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」、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、それぞれのサブテーマの調査結果の高度化をはかるとともに、本研究グループ全体で布田川・日奈久断層帯の想定震源断層モデルを検討して作成し、「断層帯周辺における強震動予測の高度化のための研究」において震源断層モデルを用いたシミュレーションを実施して、断層帯の周辺地域における強震動を評価した。さらに、「関係自治体との連携による調査成果の普及と活用の実践的研究」では、熊本地震に関するデータベース・ポータルサイトを構築して本調査研究の成果をアーカイブするとともに、断層トレンチの剥ぎ取り標本や教材を作成して、関係自治体の防災行政や教育行政の啓発に貢献した。

以下では、サブテーマ毎に本調査研究の成果の概要を述べる。

「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」に関しては、まず「布田川断層帯及び日奈久断層帯に関する既往研究の整理」を行った。その結果、布田川断層帯について、布田川区間の平均変位速度（右横ずれ成分：0.2 m/千年程度、上下成分：0.1-0.3 m/千年程度）と活動履歴（約 23000～28000 年前以降、2 回のイベント）、および宇土区間の平均変位速度（上

下成分：0.2～0.5 m/千年程度）が確認された。一方、日奈久断層帯については、高野-白旗区間の活動履歴（最新活動時期：約 1600-1200 年前）と日奈久区間の活動履歴（最新活動時期：8400-2000 年前、活動間隔：11000-3600 年、3 回のイベント）がそれぞれ確認された。さらに、八代海区間では 4 地点のボーリングから、過去約 7300 年間に 2 回のイベントと平均変位速度（上下成分：最大で 0.5 m/千年）が推定された。しかし、これらの調査結果は、活動間隔や最新活動時期の年代に大きな誤差が含まれていると考えられることから、これら既往の研究結果を踏まえて陸域の調査と海域の調査を実施した。

陸域調査に関しては、「平成 28 年熊本地震に伴う地表変状情報の統合」および「布田川・日奈久断層帯におけるトレンチ調査」が実施された。熊本地震に伴う地表変状情報を統合した結果、平成 28 年熊本地震の主要な地震断層は、総延長約 31～33 km、幅 2～3 km の断層帯を形成しており、布田川断層帯では右横ずれ 2.5m 程度、南東側隆起 2m 程度、水平伸長 1.5m 程度の変動が生じたことを明らかにした。また、日奈久断層帯の高野-白旗区間では横ずれ 0.7m、北西側隆起 0.2m、水平伸長 0.3m の変位が生じたことを明らかにした。また、主要な地震断層の周辺には、変位量が 0.2m 以下の副次的な地震断層がおおよそ 35km 四方の範囲に生じたことを確認した。一方、阿蘇谷西部の黒川沿いの低地に出現した幅狭い地溝を伴う断裂群は地震断層ではなく、大規模な側方流動に伴うものと判断した。

布田川断層帯における古地震調査は、阿蘇カルデラ内と上益城郡益城町島田の 2 箇所で行った。このうち阿蘇カルデラ内（布田川区間より東方）では、平成 28 年熊本地震にともなって出現した地震断層のうち、濁川左岸に沿って伸びる地溝・亀裂群を対象として、地形地質調査、地中レーダーによる地下構造探査、ボーリング調査、および阿蘇郡南阿蘇村沢津野でトレンチ調査を実施した。トレンチ調査の結果、少なくとも約 3.1 万年前までの地層が確認され、それらが地表地震断層へとつながる正断層によって変形・切断されていることが確認された。詳細な観察と年代測定の結果、1800～1300 年前の最新活動を含め少なくとも 5 回のイベントが確認され、平均活動間隔は 2600～1700 年と見積もられた。これまでの布田川断層帯の活動履歴と比較すると明らかに短く、想定より頻繁に活動していることが明らかになった。益城町島田の調査地点は、布田川断層帯宇土区間（北甘木断層）に対応し、平成 28 年熊本地震に伴い地震断層が出現した。しかしながら、地震断層を横断するトレンチ調査の結果、熊本地震の痕跡の可能性のある開口割れ目が認められたものの明瞭な地層の変形は認められなかった。一方、熊本地震とは異なり地層に明瞭な変形を伴う断層活動イベントが認定され、その時期は約 15760 年前以降で約 2750 年前以前あるいは約 9550 年前以前と推定された。

日奈久断層帯におけるトレンチ調査は、上益城郡甲佐町白旗山出（高野-白旗区間）と宇城市小川町南部田（日奈久区間）、八代市川田町（日奈久区間）の 3 地点で行った。山出で行ったトレンチ調査の結果、最新活動時期は、約 1400～1100 年前であると推定された。また、約 1 万 5 千年前以降、少なくとも 6 回の古地震イベントが生じたことと推定された。平均活動間隔は約 2400～2500 年と見積もられた。1 回の上下変位量は 0.3～0.4 m で、横ずれ量は 0.8～1.1 m と推定した。南部田で行ったトレンチ調査では、最新活動時期は、約 1100～1900 年前であり、約 1 万 8 千年前以降 6 回以上の古地震イベントが生じたことと推定された。平均活動間隔は約 3 千年である。また、日奈久区間の宇城市娑婆神峠付近で、空中写真判読及び現地調査によって段丘面や閉塞地形などの分布を明らかにし、2 測線で群列ボーリング調査を

行い、それによって得られた 10 試料の年代測定と、2 試料の火山灰分析を行った。それらの結果から、横ずれ変位速度は千年で 0.84~2.9 m と推定されるが、過去の推定データなども考慮すると、0.7~0.84 m/kyr 程度である可能性が高いと考えられる。川田町西でのボーリングとトレンチ調査では、約 7300 年前以降、約 1200 年前までの間に 2 回と、それ以前に 1 回の断層活動があったことが明らかになった。本トレンチで得られた活動間隔は、日奈久断層帯の他のトレンチで明らかになった活動間隔より長い。その原因として、トレンチ地点より西の平野側にも活断層が分散して発達している可能性を指摘した。

海域調査に関しては、八代海津奈木沖の断層について、反射データとボーリング試料の解析から、約 18000 年前以降に 5 回の活動があり、最新活動時期がおおよそ 1600 年前であることを明らかにした。最近約 1 万年間に限ると 4 回の活動があることから、活動間隔は 2100 年程度と推定した。

これらの調査の他に、日奈久断層帯の区間分けと地震規模についても検討を行った。日奈久断層帯は、北東-南西方向に伸びる直線的で連続性の良い断層であるが、従来の高野-白旗区間と日奈久区間の境界に加えて、八代市東部と八代海区間の北端付近の約 10~13° の走向の屈曲を構造境界として提案した。それにより、高野-白旗区間（長さ約 16km）、日奈久区間北部（同約 18km）、日奈久区間南部（同約 25km）、八代海区間（同約 24km）の 4 区間に区分した。一方、活動履歴からは、小川町の約 500m の断層右ステップが活動区間になる可能性が推定された。日奈久断層帯の変位速度が 1 m/千年で、地震発生間隔が 2000~3000 年とすると、1 回の変位量は 1~2 m となる。一方、松田式を上記の区間長に適用すると、1 回の地震の変位量は 1.6~2.5 m となり、活断層の活動様式のデータとよく一致して、4 つの活動区間毎に地震が発生する可能性が高いように見える。しかし、日奈久区間では活動区間が長い可能性があり、地震発生間隔や変位速度の推定値には誤差が大きいので、複数の区間が同時に破壊して、より規模の大きい地震が発生する可能性もある。

「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、「地殻構造の解明のための地震、電磁気等による調査観測」と「地殻変動調査観測」が実施された。このうち、「地殻構造の解明のための地震、電磁気等による調査観測」については、平成 28 年熊本地震の活動に関して、その地震学的背景についてまとめ、熊本地震の複雑な活動は起震応力場が一軸伸張に近いことが一因と考えられることを示した。また、熊本地震は過去の地震活動による非弾性ひずみの大きな領域の端付近で発生したことが明らかにされた。

平成 28 年熊本地震の震源断層に関しては、高精度震源決定により、断層構造が推定された。活動域の南西側では、日奈久断層に対応する北西側に傾斜した面に分布する震源が明瞭に認められるが、活動域の北東側では地震活動が低く、布田川断層に対応する面状の震源分布は認識できない。4 月 14 日の前震や 16 日の本震の破壊開始点が位置する布田川断層帯と日奈久断層帯の接合領域では、複数の面状震源分布が混在し、複雑な断層構造をしていることが明らかになった。また、熊本地震発生以前の背景地震活動の深さ分布や起震応力の空間分布から、熊本地震の本震の震源断層の幅（下端）やすべり方向を推定可能であることが示された。日奈久断層帯・高野-白旗区間を横切る測線において実施された GNSS 繰り返し観測からは、震源断層南西端近傍の地殻変動の推移が高い空間分解能で明ら

かになり、熊本地震後の断層すべりは、高野-白旗区間にとどまっていることが示された。MT 法比抵抗探査については、これまでさまざまな機関により蓄積されてきた広帯域 MT データに加え、平成 30 年度に宇土半島、日奈久断層帯周辺および熊本平野において広帯域 MT 調査を実施して、布田川・日奈久断層帯の深部比抵抗構造を明らかにした。その結果、熊本地震の本震の震源域の地下深部(深さ 5~15 km)には低比抵抗領域が存在し、本震の破壊開始点は低比抵抗領域の縁に位置することが示された。また、本震時の大すべり域は、高比抵抗領域に対応していることが明らかになった。これらのことは、地震発生時の破壊開始に流体が強く関与していることを示唆している。また、比抵抗構造から震源断層の破壊開始点や大すべり域をある程度推定できる可能性を示している。さらに、布田川断層帯においては、浅部比抵抗構造探査も実施して、熊本地震による断層変位量と比抵抗構造の関係を調査した。その結果、断層変位量の大きい地点の地下浅部は低比抵抗が顕著であることから、地下水や断層粘土の存在が推定される。

これらの調査に加え、熊本平野において反射法地震探査を実施して、同平野南部に伏在が推定される布田川断層帯宇土区間(宇土断層)の断層位置・形状と深さ 1000m 程度までの地下構造について調査した。その結果、熊本平野の基盤の盆状構造が明らかになり、基盤より上部の堆積層には、複数の正断層が認められた。これらの正断層の位置は、宇土断層が通っていると推定されている地点に近く、それぞれの断層の鉛直変位は、阿蘇火砕流堆積物で数 10m 程度と推定され、宇土断層に対応する可能性があることが示された。

「地殻変動調査観測」については、国立大学法人の GNSS 観測グループが平成 28 年熊本地震直後に設置した GNSS 観測点における観測を継続するとともに、日奈久断層帯南部(八代区間)の地殻変動を観測するため新たに GNSS 連続観測点を設置して観測を実施した。これらの観測データに国土地理院の GEONET のデータを加えて GNSS 解析を行った結果、平成 28 年熊本地震発生後約 3 年を経過した現在も余効変動が継続していることが分かった。余効変動をアフタースリップと粘性緩和と考え、それぞれの緩和時間とアフタースリップの継続時間及び断層上での変位を求めた。また、2004 年 1 月から 2015 年 12 月までの国土地理院 GEONET、九州大学・京都大学・鹿児島大学で設置共同観測を行っている観測点の変位速度のデータから、布田川・日奈久断層帯およびその周辺域のひずみ速度を計算し、ひずみ速度の時間・空間的な特徴を明らかにした。その結果、平成 28 年熊本地震が発生する以前は最大せん断ひずみ速度の方向が活断層の走向に一致していることが明らかになった。このことは、断層への応力載荷と内陸地震の発生過程を解明するうえで重要な知見であると考えられる。

「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、布田川・日奈久断層帯が活動した場合に強い揺れに見舞われる可能性が高い、熊本平野や八代平野およびその周辺域における調査観測と既存の資料収集を重点的に進めた。具体的には、八代平野における反射法地震探査、八代平野における微動アレイ観測、八代平野と熊本平野の接合部での微動観測、熊本県震度情報ネットワーク観測点等における微動アレイ観測、八代平野を中心とした余震・微動アレイ観測、熊本県震度情報ネットワークシステム波形データを用いた観測点サイト特性評価、深井戸ボーリング情報の収集などを実施した。その結果、八代平野における堆積層基盤面までの反射地震断面による構造情報や、堆積層内およ

び基盤における S 波速度に関する基礎情報が得られた。また、八代平野と熊本平野の接合部や天草諸島、葦北地域及び人吉盆地地域についても S 波速度構造及び堆積層厚に関する情報が得られた。これらの情報に加え、八代平野をはじめ断層帯近傍の観測点サイト特性評価や深井戸の地質柱状図などの資料も踏まえ、対象地域の三次元地下速度構造モデルを高度化した。

また、布田川・日奈久断層帯に関する既往情報や、サブテーマ 1、2 の研究等によって得られた布田川断層帯の宇土区間・宇土半島北岸区間および日奈久断層帯に対する調査データや解析結果を用いて震源断層モデルを構築した。震源断層モデルとしては、日奈久断層帯の日奈久区間に対して、鉛直断層面を想定した場合と、傾斜角 50 度で八代平野の下に震源断層が存在するケースを想定した。この震源断層モデルと地下構造モデルを用いて、強震動予測レシピによる強震動予測を行った。その結果、想定した震源断層面に近く、堆積層構造の地域は震度 6 弱以上の揺れに見舞われる可能性が高いことが示された。

「関係自治体との連携による調査成果の普及と活用の実践的研究」に関しては、大規模な被害地震後の活断層の総合的な調査研究を遂行するにあたり、調査段階及び調査終了後において関係自治体とのより密接な連携を行うことで、調査研究の円滑な推進を図るとともに、防災教育や調査研究成果等の多方面への実践的な活用方策を研究・検討した。

平成 28 年度には、八代市に対して防災教育等の取り組み事例を基に説明を行い、協力を依頼した。また、サブテーマ 1、2、3 の成果を利用した防災・減災教育として、甲佐町立白旗小学校の児童 67 名を対象にサブテーマ 1 で掘削されたトレンチ壁面と断層実験・振動実験を併せて 3 時間の授業を構築し実施した。

平成 29 年度は、熊本県の市町村防災担当者の研修プログラム等を活用した本調査研究の周知と連携の強化や、トレンチ壁面観察や地震火山こどもサマースクールの共催などの防災教育に加え、防災行政と教育行政を対象にヒアリング調査を実施して、調査成果の普及と活用について行政のニーズと課題を検討した。熊本県知事公室危機管理防災課へのヒアリング調査から、熊本県庁には熊本地震後活断層に関する問い合わせが住民から多く寄せられていること、これは市町村行政も同様であること、住民向け出前講座の要請や防災教育の要請が多く発生していること、次の防災・減災を実現するために活断層を避けて役場等の公共施設の建設を行うことが必要であること、地域防災計画の策定根拠資料として活断層に関わるデータを一元化する場を求めていることが明らかになった。さらに、熊本地震で被災した教育施設 17 箇所のヒアリング調査から、災害後の学校は校内点検や安否確認などの「緊急時対応」、避難者や支援者・支援物資の受入れなどの「避難所対応」、通学路の確認や教室準備などの「学校再開準備」の 3 つの内容に取り組むこと、学校再開後は、児童・生徒の心のケア、余震による二次災害対策などが大きな課題であること、特に心のケアには地震に対する知識等の不足に起因する恐怖感の払拭が必要であり、その教材が不足していることなどが明らかになった。

これらのヒアリング調査結果を踏まえ、平成 30 年度は、熊本県下の活断層に関わる情報を集約したデータベース・ポータルサイトを構築した。また、住民向け出前講座の要請に対応し、防災塾や防災・減災講座、防災士養成講座、教員研修などを 69 件実施した。また、サブテーマ 1 において実施されるトレンチ調査現場を用いた防災教育の実施など延べ 8 つ

の教育機関で実施し、関連した教材作成も行った。さらに、サブテーマ1が八代市で掘削したトレンチ調査で露出した日奈久断層帯の断層露頭について、剥ぎ取り標本を作成した。この標本は、熊本県博物館ネットワークセンターに保管し、今後の防災教育や研修などに活用される。