

4. 全体成果概要

標津断層帯は、北海道北東部の目梨郡羅臼町から標津郡中標津町にかけて北東－南西方向に延びる長さ約 52 km 以上の逆断層である。この断層帯の平均変位速度（上下成分）を明らかにするため、地形解析（主に令和 2 年度に実施）と地形面の形成年代推定（令和 3 年度に実施）を実施した。令和 2 年度には、この断層帯に関する既往研究の整理を行なうとともに、断層帯の中央部に位置する開陽断層において、UAV（ドローン）で取得された地形データに基づく詳細デジタル標高モデルの作成と、空中写真図化による地形断面図の作成を実施し、同断層による上下変位量を明らかにした。令和 3 年度には、令和 2 年度に作成した地形断面 4 測線に加えて、6 測線について地形断面図を作成した。これら 10 測線のうち 5 測線について、地形面の形成年代を明らかにするためにボーリング調査を実施した。また、活断層の位置と活動時期を確認するため、1 地点でトレンチ調査を実施した。ボーリングコアやトレンチ壁面から採取した炭素試料や火山灰試料について分析を行い、それらの年代を明らかにした。得られた年代データと前年度に明らかにして変位量データに基づき、標津断層帯の平均変位速度（上下成分）を約 0.3 m/千年（0.33～0.25 m/千年）と算出した。

津軽山地西縁断層帯（南部）（以下、津軽山地西縁断層帯南部と呼ぶ）は、青森市西部から平川市北西部にかけて南北方向に分布している長さが約 23 km で、断層の東側が相対的に隆起する断層である。同断層帯南部の傾斜やずれの向き及び活動性を明らかにするため、令和 3 年度に低位段丘面に変形が認められる断層中部の黒石市高館地区、同市竹鼻地区及び青森市本郷地区を対象として以下の調査を実施した。断層を横断する測線を設定して、P 波及び S 波を震源とする反射法地震探査を行い、それぞれ深度 1.5 km 以浅及び深度 250 m 以浅の地下構造を推定した。断層の低下側の反射法地震探査測線上において掘削深度 80 m のボーリングを 1 孔掘削し、地層の分布を把握した。断層の隆起側及び低下側でボーリング・ピット・露頭調査を実施し、地層の分布及び変形を確認した。これらの結果に基づいて、断層の地下形状を推定し、変位基準の落差を推定した。その結果、津軽山地西縁断層帯南部の主断層は東に 60°程度で傾斜する東側隆起の逆断層であり、浅部ではバックスラストを伴う幅広い撓曲変形を呈する可能性が高いことがわかった。十和田大不動火砕流堆積物の落差と噴出時期から、主断層の平均変位速度（上下成分）として約 0.3～0.4 m/千年（0.6 m/千年以下）の値が見積もられた。

雫石盆地西縁－真昼山地東縁断層帯（雫石盆地西縁断層帯）（以下雫石盆地西縁断層帯と呼ぶ）は、岩手県岩手郡雫石町玄武洞付近から同町鶯宿付近に至る長さが約 17 km で北北東－南南西に延びる、断層の西側が相対的に隆起する逆断層である。雫石盆地西縁断層帯の活動性を明らかにするため、令和 2 年度に以下の調査を実施した。対象地域の既往成果を整理した上で、断層が一条に収斂し、また複数の変位基準が存在する断層帯北部の葛根田川左岸地域を対象として、1) 空中写真及び既存の航空レーザ計測詳細デジタル地形データを用いた地形面区分及び地形面の落差の計測、2) 断層の両側での詳細な地質踏査と合わせて実施した測量による露頭位置の座標及び地層（堆積物・岩石）境界の標高の正確な計測、3) 断層低下側（下盤側）でのボーリング調査（1 孔：掘削深度 80 m）による断層下盤側の地層の分布の把握、4) 露頭踏査及びボーリング調査により作成した地質断面図に基づく変位基準の落差の推定、5) 断層変位を受けた地層の形成年代を明らか

にするため、各種分析（火砕流堆積物のフィッシュン・トラック年代測定、溶岩の K-Ar 年代測定、堆積物の火山灰分析）。その結果、最も信頼度の高い年代値が得られた篠ヶ森火砕流堆積物の上面（堆積原面）の落差と噴出時期から、雫石盆地西縁断層帯を構成する西根従属断層について、 0.4 ± 0.2 m/千年の上下方向の平均変位速度が見積もられた。篠ヶ森火砕流堆積物の年代について、同堆積物と同時異相とされる雪浦軽石から報告されている年代を採用した場合、上下方向の平均変位速度は 0.4 ± 0.1 m/千年に絞られる。篠ヶ森火砕流堆積物に比べて年代値に幅がある玄武温泉礫層（新称）上面及び高倉火山噴出物上面の落差と形成時期から推定された上下方向の平均変位速度は、篠ヶ森火砕流堆積物上面のそれらから見積もられた速度と矛盾しない結果が得られた。

横手盆地東縁断層帯（南部）は、秋田県仙北（せんぼく）郡田沢湖町南端部から横手市を経て、雄勝（おがち）郡稲川（いなかわ）町にかけて、ほぼ南北に延びる長さ約 56 km の逆断層帯である。南部は、横手市から雄勝郡稲川町に至る約 30 km の区間とされ、大局的には山地／盆地境界の断層と盆地内を延びる断層の 2 条からなる。本事業では、まず令和元年度に航空レーザ計測による 2 m メッシュの数値標高モデル（DEM）を南部区間全体で整備した。これを基に詳細な変位地形の分布を再検討し、南部区間の長さを 37 km と推定した。また、横手市平鹿地区や湯沢市岩崎地区において、ドローン LiDAR に基づく 0.1 mDEM を作成し、微細な変位地形を検討した結果、それぞれ 1～2 m 程度の撓曲崖を検出した。また、湯沢市前森地区において S 波反射法地震探査とボーリング調査を実施し、上下平均変位速度を 1.0～1.2 m/千年、平均活動間隔を 2900～3500 年と推定し、東傾斜約 20° の断層をイメージングした。令和 2 年度は、横手市平鹿地区におけるドローン LiDAR 調査、S 波反射法地震探査とボーリング調査等の結果を総合して、最新活動が約 3700 年前以降に生じ、上下変位量が 1.5 m 以上であった可能性を明らかにした。また、横手市吉沢川沿いに分布する河成段丘面の編年を行い、予察的な上下変位速度を推定した。令和 3 年度は、吉沢川沿いの上下変位速度を精度よく算出し、直接的な活動履歴を推定するため、トレンチ及びドローン LiDAR 調査を実施した。その結果、2 回の古地震イベントを識別し、新しいものは 1896 年陸羽地震に伴う受動的な活動、古いものは 700～900 年前に生じたと推定した。さらに、吉沢川の支流性段丘面群が金沢断層の地震性隆起イベントに伴い離水・形成されたと判断し、不確かなものを含めて 3～4 回のイベントを識別して、直接的な平均活動間隔を約 1600～1900 年と推定した。また、最終氷期極相期の段丘面に基づく上下変位速度を $0.7 \sim 1.0$ m/千年と推定し、間接的な平均活動間隔を 1500～2100 年と推定した。以上の複数地点における平均活動間隔を間接的あるいは直接的な手法毎に比較検討し、本事業で新たな調査手法を取り入れつつ推定した平均活動間隔が概ね妥当であることを確認した。その結果を基に、横手盆地東縁断層帯南部の地震発生確率の試算をおこなった。

温見（ぬくみ）断層は、濃尾断層帯を構成する主要断層のひとつであり、福井県今立郡池田町から大野市南部を経て岐阜県本巣市北部に至る長さ約 36 km の左横ずれ活断層である。本事業では、まず、この断層の南東部をカバーする既存の航空レーザ測量データからさらに高解像度の数値標高モデルを作成し、3 倍解像度の MPI 赤色立体地図ステレオペアを用いることで詳細に断層変位地形を検討した。その結果に基づいて 1 箇所でもトレンチ調査を実施し、過去 5 回の活動時期を初めて明らかにした。最新活動は西暦 1440 年

以降であり、1891年濃尾地震時には温見断層北西部とともに南東部も活動していた可能性が高い。また、2回前・3回前の活動についても、温見断層北西部、南東部および根尾谷断層の活動時期が重なることから、少なくとも過去3回の地震については、これらの断層が連動破壊していた可能性がある。一方、2箇所のサイトにおいて採取した試料の宇宙線生成核種年代測定を実施した結果、これまで不明だった温見断層の左横ずれ平均変位速度が 1.16 ± 0.10 m/千年と決定された。この値は、過去の地震においても濃尾地震時と同程度の変位が生じていたことを示唆し、温見断層と根尾谷断層が一体となって活動を繰り返してきたとする上記の古地震像とも整合する。我が国を含む湿润温暖地域の活断層調査において宇宙線生成核種年代測定法を適用した例は非常に少ないが、適切な試料採取戦略と測定・モデリングによって、こうした地域においても本手法は十分に適用可能であることが示された。

野坂・集福寺断層帯（集福寺断層）は、北西－南東方向に約10 km延びる左横ずれ断層である。滋賀県長浜市杓掛地区周辺においては、集福寺断層は杓掛面を下刻する小河川に系統的な左横ずれ変位を与えている。本事業では、集福寺断層の左横ずれ変位速度の解明を目的として、杓掛面を対象に活断層調査を実施した。まず、杓掛面や周辺の山岳地形における変動地形を把握するため、断層に沿って長さ4 km、幅1.5 kmの範囲を対象に航空レーザー測量を実施し、数値地形データ（1 mメッシュ）を作成した。地形データを元にした判読の結果、杓掛面を下刻する河川に平均約104 mの系統的な左横ずれ変位が確認された。さらに、杓掛面を構成する杓掛砂礫層及び基盤の花崗岩の分布や変形を把握するため、地質調査を行った。結果、杓掛砂礫層の分布や変形が明らかとなり、杓掛面が離水して以降の変位が蓄積されていることが明らかとなった。宇宙線生成核種（ ^{10}Be ）を用いた分析の結果、杓掛面について160～240 kaの表面照射年代が得られ、横ずれ変位量から0.43～0.65 m/千年の左横ずれ変位速度が得られた。

山田断層帯は京都府宮津市から兵庫県豊岡市但東町にかけておおよそ北東－南西方向に伸びる長さ約33 kmの右横ずれを主体とする活断層である。断層帯西部の西野々地区において、既往の航空レーザー測量によって得られた詳細標高モデル（2 mメッシュ）を用いて地形判読を行った結果、高位段丘面を下刻する河川に20～10 mの右横ずれが確認された。この変位は、高位段丘面離水以降、低段丘面の形成以前からの変位が蓄積していると考えられたため、低段丘面の編年により、横ずれ変位速度の上限を定めた。ボーリング調査によって採取した段丘堆積物の放射性炭素年代測定により、24～18 kaの年代が得られ、上限値は1.1～0.41 m/千年と求められた。さらに、流域地形量と横ずれ変位量による推定をあわせて実施した。集福寺断層、野島断層、山田断層帯について各7流域を選定し、宇宙線生成核種による流域平均削剥速度の推定を行った。合わせて、既往研究結果を参照し、横ずれ量を定めるとともに、種々の流域地形量の計測を行った。横ずれ変位速度のわかっている集福寺断層および野島断層の示す屈曲率から比例定数 k を推定し、それを山田断層帯に適用した結果、平均横ずれ変位速度は0.5～0.1 m/千年と求められた。また、流域平均削剥速度を加味した場合、0.3～0.04 m/千年と求められた。段丘面の編年による手法と屈曲率を用いた手法による結果、既往研究によって得られた平均上下変位速度をあわせて考慮すると、山田断層帯の活動度はB級と評価される。

岩国－五日市断層帯（五日市断層区間）は、広島県南西部の広島市安佐北区から廿日市

市にかけて北東－南西方向に延びる長さ約 27 km（海域を含む）の右横ずれ断層である。この活断層の横ずれ成分の平均変位速度を推定するため、令和元年度に断層を横切る水系の屈曲量と断層よりも上流側の水系の長さ及び流域面積の計測を行なった 13 の水系のうち、上流域が侵食小起伏面に達している 6 水系に限定して屈曲量/上流の長さ（ α ）の関係を確認したところ、 α の値は 0.15～0.06（平均値：0.11）であった。地福断層での既往研究による平均変位速度と α の値との比較結果（ $S = (2\sim 5) \alpha$ ）に基づくと、当断層帯の横ずれ成分の平均変位速度は 0.8～0.1 m/千年となった。一方、野坂・集福寺断層帯（集福寺断層）で実施した結果（ $k = 1.37\sim 4.3$ ）に基づくと、五日市断層の横ずれ成分の平均変位速度は 0.6～0.08 m/千年と算出された。

筒賀断層は、広島県西部の山県郡北広島町から安芸太田町、廿日市市にかけて北東－南西方向に延びる長さ約 58 km の右横ずれ断層である。この活断層の横ずれ成分の平均変位速度を推定するため、令和元年度に断層を横切る水系の屈曲量と断層よりも上流側の水系の長さ及び流域面積の計測を行なった 11 の水系のうち、上流域が侵食小起伏面に達している 5 水系に限定して水系の屈曲量（D）/上流の長さ（L）の関係（ α ）を確認したところ、 α の値は 0.08～0.04（平均値：0.07）であった。地福断層での既往研究による平均変位速度と α の値との比較結果（ $S = (2\sim 5) \alpha$ ）に基づくと、筒賀断層の横ずれ成分の平均変位速度は 0.4～0.08 m/千年となった。一方、野坂・集福寺断層帯（集福寺断層）で実施した結果（ $k = 1.37\sim 4.3$ ）に基づくと、筒賀断層の横ずれ成分の平均変位速度は 0.3～0.05 m/千年と算出された。

地福断層は、山口県東部の阿武郡阿東町から山口市の木戸山西方付近にかけて北東－南西方向に延びる長さ約 27 km の右横ずれ断層である。この活断層の横ずれ成分の平均変位速度を推定するため、令和元年度に断層を横切る水系の屈曲量（D）と断層よりも上流側の水系の長さ（L）及び流域面積（A）の計測を行なった 8 水系のうち、上流域が侵食小起伏面に達している 4 水系に限定して屈曲量（D）/上流の長さ（L）の関係（ α ）を確認したところ、 α の値は 0.09～0.05（平均値：0.07）であった。既往研究（山内・白石、2013）による地福断層の平均変位速度は 0.5～0.1 m/千年である。この平均変位速度と本研究で求めた α の値（0.09～0.05）を比較すると、 $S = (2\sim 5) \alpha$ の関係が導かれた。この値は、野坂・集福寺断層帯（集福寺断層）で実施した結果（ $k = 1.37\sim 4.3$ ）と非常に近い値である。

大原湖断層は、島根県鹿足郡吉賀町から山口県山口市にかけて北東－南西方向に延びる長さ約 42 km の右横ずれ断層である。この活断層の横ずれ成分の平均変位速度を推定するため、令和元年度に断層を横切る水系の屈曲量と断層よりも上流側の水系の長さ及び流域面積の計測を行なった 5 の水系のうち、上流域が侵食小起伏面に達している 2 水系に限定して屈曲量/上流の長さ（ α ）の関係を確認したところ、 α の値は 0.04～0.03（平均値：0.03）であった。既往研究による地福断層の平均変位速度と α の値との比較結果（ $S = (2\sim 5) \alpha$ ）に基づくと、大原湖断層の横ずれ成分の平均変位速度は 0.2～0.06 m/千年と算出された。一方、野坂・集福寺断層帯（集福寺断層）で実施した結果（ $k = 1.37\sim 4.3$ ）に基づくと、五日市断層の横ずれ成分の平均変位速度は 0.2～0.04 m/千年と算出された。

菊川断層帯（南部区間）は、響灘沖から山口県西部に分布する長さ約 114 km 以上の左

横ずれを主体とする活断層である。本事業では、陸域から海域に連続する活断層帯において海陸接合部の連続的な地形データを取得し、断層の正確な位置や微細な変動地形等を検出することを目的として、菊川断層帯の沿岸海域部において浅海底レーザ計測を実施した。その結果、おおむね深度 15 m までの海底地形情報を取得し、取得した計測データの解析により沿岸海域での断層変位地形の詳細を把握することができた。また、既存データによって海底地形が詳細に把握されている箇所と新規取得データとの接合を試み、新手法の適応性について検討するとともに、海陸の断層トレースと周辺の地質・重力等の分布との関係について検討した。令和 2 年度は、同断層帯南部区間及び南東延長部の沿岸海域において、総探査長 172 km の音波探査を実施し、断層の位置及び連続性を検討した。その結果、同海域には複数の断層が分布し、主要な断層帯は津布田断層帯の一部であること、宇部南方沖断層に連続する可能性があることと推定された。さらに、これを切る胴切り断層の存在が示唆された。次に、9 地点におけるピストンコアを用いた採泥と、採取したコアについて層相の記載及び年代測定試料の採取を行い、活動性について検討を行った。その結果、最終氷期の侵食面以降の堆積層中に、少なくとも 4 回の古地震イベントを見いだした。令和 3 年度は、同断層帯南部区間の陸域において、正確な断層位置と古地震履歴を明らかにすることを目的として、2 測線における群列ボーリング調査と、1 地点でのトレンチ掘削調査を実施した。トレンチでは、菊川断層帯の一般走向と斜行する北東—南西走向の段丘堆積物を切る断層が露出した。周辺地域の地質構造を含めて考察した結果、胴切り断層の存在を推定した。

西山断層帯（西山区間）は、玄界灘から福岡県中央部に分布する長さ約 110 km の左横ずれを主体とする活断層である。本事業では、陸域から海域に連続する活断層帯において海陸接合部の連続的な地形データを取得し、断層の正確な位置や微細な変動地形等を検出することを目的として、西山区間の沿岸海域部において浅海底レーザ計測を実施した。また、取得したデータを図化し、既往成果と重合した。計測の結果、水深約 15 m 程度までの浅海域の詳細な地形を把握することができた。また、既存の海陸地形データを編集し、ALB 計測で取得したデータと統合した図を作成した結果、陸域の西山断層の延長上に谷地形からなるリニアメントが認められた。ALB 計測は、これまで詳細地形を把握するのが困難であった浅海域の地形を把握するのに有効である。

雲仙断層群（北部）は、長崎県島原市から諫早市南方沖の海域に至る長さ 30 km 程度以上で、ほぼ東西方向に延びる正断層である。本プロジェクトでは、同断層群を構成する複数の断層が分布する普賢岳北方地域を調査対象として、各断層の平均変位速度を明らかにすることを目的として、令和元年度に以下の 3 つの調査を実施した。1) 航空レーザ計測詳細デジタル地形データを用いて作成した地形表現図の判読による断層変位地形の認定及び断層を横切る地形断面図の作成による地形面の鉛直隔離の計測。2) 断層変位を受けた地形面の形成年代に関する既存データの整理及び普賢岳北方に広く分布する断層変位を受けた地形面（火山斜面）の構成層の解明、またその年代を推定するためのボーリング調査（九千部南断層の北側（相対的隆起側）で掘削深度 10 m を 1 孔及び南側（相対的沈降側）で 20 m を 1 孔）。3) ボーリングコアから採取した腐植質堆積物 4 試料について放射性炭素年代測定、褐色火山灰質土層 11 試料及び火山灰質シルト 1 試料の計 12 試料について火山灰分析及び凝灰角礫岩の岩塊 6 試料について全岩化学組成分析を実施

し、それらの結果に基づく地形面の形成年代の推定。以上3つの結果から推定される地形面の形成年代とその上下変位量に基づき、約2万5千年前以降における国見岳北断層の上下方向の平均変位速度は約0.2~0.3 m/千年、九千部南断層は約0.7~0.8 m/千年と推定された。

雲仙断層群(南東部)は、長崎県雲仙市小浜町から同県南島原市布津町東方沖にかけて東西方向に分布する、断層の北側が相対的に沈降する正断層を主体とする長さ23 km程度の活断層帯である。本プロジェクトでは、雲仙断層群南東部の上下変位速度および活動履歴を精度良く解明することを目的として、断層を挟む2地点において海上ボーリング調査を実施した。海上ボーリング調査によって、海底面下35~40 mまでの高品質な堆積物コア試料を採取し、海底面下の層序を直接的に明らかにすることができた。また、新しく音波探査を実施する代わりに既存の音波探査記録の再解析を実施し、S/N比の高い高品質な探査記録断面を作成した。これらを用いて、断層近傍の地下構造を詳細に検討した結果、評価対象断層の最終氷期以降における平均上下変位速度が1.56~2.29 m/千年と求められた。また、副次的な断層による地層の累積的な変形を検討することによって、16.5 ka以降に少なくとも3回の断層活動の証拠を見いだした。これらの結果にもとづけば、本断層帯の平均活動間隔は2.6~8.3 ky以下であり、1回の断層活動に伴う上下変位量は4.1~19.0 m以下と見積もられた。

本プロジェクト全体を通して、活断層評価の高度化・効率化における新しい調査手法及び従来の調査手法の有効性と課題を検討した。新しい年代手法や調査手法である数値地形解析(航空レーザ計測・ドローンレーザ計測)、宇宙線生成核種年代測定、浅海底レーザ計測及び海上ボーリングが、活断層評価を行う上での実用性が十分に見込まれることが確認された。しかしながら、宇宙線生成核種年代測定や海上ボーリングは、成果取得に多大な時間と労力が必要なため、単年度の調査では十分な成果を取得することが困難であることも確認された。また、本プロジェクトを通して、具体的な調査・観測が行われていないためにXランクとされている活断層や、第四紀火山地域の火山噴出物の年代測定が行われていないため、Xランクとされている活断層が存在し、それらについては従来の調査手法や火山噴出物に対する精度の高い分析により、地震発生確率の算出に資するデータを取得できることが確認された。さらに、本プロジェクトでは、地震発生確率算出に資するデータを効率的に取得するため、既存の調査観測データの有効な活用に努めた。同一の活構造環境のもとに類似した変位地形の特徴を有する活断層群に対しては、均質のデータを用いて、同一基準で平均変位速度に関するパラメータ取得するための地形解析をまとめて行うなど、効率化を意識した調査を実施した。