

### 3. 16 活断層評価の高度化・効率化の検討

(a) 業務題目 活断層評価の高度化・効率化の検討

(b) 担当者

所属機関	役職	氏名
国立研究開発法人 産業技術総合研究所	研究グループ長	丸山 正
国立研究開発法人 産業技術総合研究所	主任研究員	近藤久雄

(c) 業務の目的

3年間の成果を総合して、活断層評価におけるドローン・浅海底レーザ測量や数値標高モデルなどの最新の地形解析技術や宇宙線生成核種年代測定、海上ボーリングなどの新しい調査手法の有効性及び実用性を検証し、評価手法の高度化を検討する。また、こうした新しい調査手法の実用性を検証するため、従来手法による調査を実施し、結果を比較する。さらに、断層評価の効率化のため、既往データの積極的な活用の有効性やずれの種類・地域性を考慮した調査・解析手法の提案を行う。

(d) 3カ年の年次実施業務の要約

1) 令和元年度：

なし

2) 令和2年度：

なし

3) 令和3年度：

本プロジェクトで採用したドローン・浅海底レーザ測量や数値標高モデルなどの最新の地形解析技術や宇宙線生成核種年代測定、海上ボーリングなどの新しい調査手法の活断層評価における有効性及び実用性を検証し、評価手法の高度化を検討した。また、横手盆地東縁断層帯（南部）を対象として、新しい調査手法の実用性を検証するため、従来手法による調査を実施し、結果を比較した。さらに、断層評価の効率化のため、既往データの積極的な活用の有効性やずれの種類・地域性を考慮した調査・解析手法を検討した。

#### (2) 令和3年度の成果

(3)に記載。

#### (3) 令和元年度～令和3年度の成果

(a) 業務の要約

本プロジェクトでは、新しい調査手法として数値地形解析（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を実施した（表1）。それらの有効性と課題を検討した。また、従来の調査手法として反射法地震探査・音波探査、ボーリング（ピット・採泥）調査及びトレンチ調査を実施し、それらの有効性

を検討した（表1）。横手盆地東縁断層帯（南部）においては、新しい調査手法の実用性を検証するため、従来手法による調査を実施し、結果を比較した。さらに、断層評価の効率化のため、既往データの積極的な活用の有効性やずれの種類・地域性を考慮した調査・解析手法を検討した。

表1 本業務で実施した調査項目

番号	断層名	新しい調査手法				従来の調査手法		
		数値地形解析	宇宙線生成核種年代測定	浅海底レーザ計測	海上ボーリング	反射法地震探査・音波探査	ボーリング（ピット・採泥）調査	トレンチ調査
1	標津断層帯	◎					◎	◎
2	津軽山地西縁断層帯（南部）	○		—	—	◎	◎	
3	雫石盆地西縁—真昼山地東縁断層帯（雫石盆地西縁断層帯）	○		—	—		◎	
4	横手盆地東縁断層帯（南部）	◎		—	—	◎	◎	◎
5	濃尾断層帯（温見断層/南東部）	○	◎	—	—		◎	◎
6	野坂・集福寺断層帯（集福寺断層）	◎	◎	—	—		◎	
7	山田断層帯（主部）	○	◎	—	—		◎	
8	岩国—五日市断層帯（五日市断層区間）	○		—	—			
9	筒賀断層	○	◎	—	—			
10	地福断層	○		—	—			
11	大原湖断層	○		—	—			
12	菊川断層帯（南部区間）	○		◎		◎	◎	◎
13	西山断層帯（西山区間）	○		◎				
14	雲仙断層群（北部）	○					◎	
15	雲仙断層群（南東部）	○			◎	○		

◎：新規データ取得

○：既往データ使用

—：該当しない

空欄は本業務で実施しなかった手法

- (b) 令和元年度の業務の成果  
なし
- (c) 令和2年度の業務の成果  
なし
- (d) 令和3年度の業務の成果

本プロジェクトで採用したドローン・浅海底レーザ測量や数値標高モデルなどの最新の地形解析技術や宇宙線生成核種年代測定、海上ボーリングなどの新しい調査手法の活断層評価における有効性及び実用性を検証し、評価手法の高度化を検討した。また、横手盆地東縁断層帯（南部）を対象として、新しい調査手法の実用性を検証するため、従来手法による調査を実施し、結果を比較した。さらに、断層評価の効率化のため、既往データの積極的な活用の有効性やずれの種類・地域性を考慮した調査・解析手法を検討した。なお、横手盆地東縁断層の成果については、「3. 4 横手盆地東縁断層帯（南部）の調査」で報告した。

#### 1) 新しい調査手法の有効性と課題

##### a) 数値地形解析（航空レーザ計測）

本プロジェクトでは、調査対象とした全ての断層において、数値地形データを用いた地形判読あるいは地形解析を実施した（表1）。地形判読あるいは地形解析に際しては、まず調査対象断層沿いの既存データ取得状況を確認し、データが取得されている場合には、データ取得・管理機関から無償での利用承諾を得て、費用の面で効率化に務めた。既存データが存在しない断層については、新規にデータを取得した。

このようにして取得した詳細デジタル地形データを用いて、各種地形表現図や地形断面図などを作成し、断層マッピングや変位量計測の高度化に資する断層の正確な分布の把握や、断層活動による地形面の変位量の計測を行った。

例えば、断層分布範囲の大部分が立ち入りや調査に制限のある国有林野のため、現地調査が困難な雲仙断層群（北部）では、これまでの調査では、断層変位を受けた地形面の上下変位量を計測する際に、断層両側で十分な長さの測線を展開することができないため、実際の上下変位を反映した鉛直隔離を計測することができず、計測が崖高（崖の比高）に限られていた。そのため、（逆向き低断層崖で特徴付けられる同断層の）上下変位量が過小評価される結果となっていた。今回、航空レーザ計測データに基づく地形断面図の作成にあたり、断層の両側で十分に長い測線を設定することで上下変位量（地形面の鉛直隔離）を正確に計測することに成功した。

また、濃尾断層帯（温見断層南東部）では、既存オリジナルデータを吟味して0.25～0.5 m解像度のDEMを再作成し、赤色立体地図ステレオペアによる実体視地形判読をした結果、従来の地形判読では検出されなかった非常に新鮮な断層変位地形の検出に成功した。また、それに基づいて適切なトレンチ調査地点を選定し、1891年濃尾地震による活動の可能性を示す最新活動を含む同断層の完新世の活動に関する具体的なデータの取得に初めて成功した。

一方、本手法はデータ整備が進んでいない地域（断層帯沿い）では新規に計測する必要性があり、その場合多額の費用が生じる点は、効率化の観点からは大きな課題である。

#### b) 数値地形解析（ドローンレーザ計測）

ドローンレーザ計測は、航空レーザ計測よりも低高度で飛行するため、航空レーザ計測よりも計測範囲は狭いものの、より細密なデジタル地形データの取得が可能である。本手法は、横手盆地東縁断層帯（南部）に適用され（表1）、沖積面に形成された幅広い撓曲変形や逆断層上盤の隆起した段丘面などごく新期の変位地形を検出するとともに、最新活動による変位量の計測や適切な調査地点の選定など、活断層評価に有効な手法であることが確認された。特に、横手市睦成地区においては、トレンチ掘削で断層が露出した周辺でドローンレーザ計測を実施し、森林で覆われ視認できなかった段丘面の逆傾斜や隆起した開析谷などを新たに検出した。その結果、逆断層上盤に形成された段丘面の年代と隆起イベントとの関係から、直接的な平均活動間隔を新たに求めることが可能となった。ただし、この間隔は他の調査地点や断層帯北部の推定値に比して半分程度短いものであり、同手法による活動間隔の推定をさらに検証・改良する必要があるようになった。

一方、本手法は航空レーザ計測とともに、都市開発や耕地整理等により人工改変が進んでいる地域での適用性に限界があることに注意が必要である。

#### c) 宇宙線生成核種年代測定

宇宙線生成核種年代測定は、濃尾断層帯（温見断層南東部）、野坂・集福寺断層帯（集福寺断層）、山田断層帯（主部）及び筒賀断層で適用した（表1）。測定の結果、地形面の形成年代や流域の長期的な平均侵食速度に関するデータを取得することができ、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。本手法は、広く分布する石英鉱物が分析対象のため、適用範囲が広い。そのため、放射性炭素年代試料となる有機物や火山灰試料に乏しいために活動性に関するデータの取得が困難な地域における活断層の活動性評価を可能にする画期的な手法になることが期待される。一方、本年代測定は、試料採取から前処理を経て分析を行うまでに多大な時間と労力が必要であり、単年度の調査では成果を得ることが困難な点が課題である。

#### d) 浅海底レーザ（グリーンレーザ）計測

浅海底レーザ（グリーンレーザ）計測は、菊川断層帯（南部区間）及び西山断層帯（西山区間）で採用した（表1）。本手法は、測量船の航行が困難な海岸付近での詳細地形データの取得が可能で、音響測深に比べて短期間で広域の計測が可能のため、特にデータの空白域を埋めるという点で活断層分布の解明の高度化が期待される。菊川断層帯では、陸域で報告されている断層トレースの延長浅海域において新期の断層活動の可能性を示唆するリニアメントが認定された。一方、本手法は、計測深度及び計測密度が、対象海域の水質（透明度）や波浪状況（白波）などに大きく依存し、本プロジェクトでも当初計画していた海域での調査が困難となった場合があった。有効なデータの取得には計測時期や海況を十分に見極めた上での計測が必要である。

#### e) 海上ボーリング

海上ボーリングは、雲仙断層群（南東部）の海域区間（布津沖の断層）で実施した（表 1）。その結果、水深 40 m 程度の海域において、長さ約 40 m にわたって高度なコア解析に資する、陸域と遜色のない良質なコア試料の採取に成功した。一方、本手法を用いた調査は、事前に調査実施に必要な手続き（鉱業法、地元漁業関係許可）を考慮すると、単年度での調査で活動性に関する成果を取得することは困難である。

## 2) 従来の調査手法の有効性

### a) 既存データがほとんど得られていない場合

本プロジェクトで調査対象とした活断層のうち、津軽山地西縁断層帯（南部）については、断層の活動性の解明に資する具体的な地形・地質調査や地下構造調査が行われていなかった。一方、断層周辺には十和田や八甲田等の火山が分布しており、調査地域までこれらの火山からもたらされた火砕流堆積物などの火山噴出物が到達している可能性が予想された。さらに、それらが断層の両側に分布していれば、変位基準になる可能性が期待された。従来の調査手法（反射法地震探査、ボーリング調査及びピット調査）を適用した結果（表 1）、津軽山地西縁断層帯（南部）の位置、形状、活動性に関する具体的なデータの取得に成功した。

### b) 年代測定技術の進展

雫石盆地西縁－真昼山地東縁断層帯（雫石盆地西縁断層帯）については、1980 年代の研究により、10 万年前より若いとみられる火砕流堆積物や 100 万年前より若いとみられる溶岩が同断層により変位していることが指摘されていた。しかしながら、当時の年代測定技術などの問題によりこれらの火山噴出物の年代について精度の高い年代測定値は得られていなかった。1990 年代以降、フィッション・トラック（FT）年代、K-Ar 年代の測定技術や分析データの解析手法の進展に伴い、若い年代でも精度の高い年代の測定が可能になった。そうした点を考慮して、本プロジェクトにおいて、火砕流堆積物 FT 年代測定及び溶岩の K-Ar 年代測定を行い、信頼度の高い平均変位速度の見積りに成功した。

## 3) 活断層評価の効率化

### a) 音波探査記録の再解析

産総研では、過去に文部科学省委託事業の一環として実施した音波探査データを管理している。本プロジェクトで実施した雲仙断層群（南東部）の海域区間（布津沖の断層）での海上ボーリングの適地を選定するのに際して、同海域で過去に取得した音波探査データを参照した。その際、解析手法や技術の著しい進展を踏まえて、より詳細（正確）な探査断面図の作成が可能な再解析を行い、効率的にボーリング調査地点を選定した。

### b) 航空レーザ計測データ

1) a) 数値地形解析（航空レーザ計測）で効率化について言及した。

### c) 同一の活構造環境下に分布する活断層群の一括した地形解析

本プロジェクトで調査対象とされた断層のうち、中国地域に分布する岩国－五日市断層帯（五日市断層区間）、筒賀断層、地福断層、大原湖断層は、いずれも東北東－西南西～北東－南西走向で右ずれ成分が卓越する右横ずれ断層群である。それらは同一の活構造環境下で第四紀後期以降にも活動している断層と考えられ、いずれも山地内において河川や尾根を系統的に右ずれ変位（屈曲）することで特徴付けられる。こうした類似した地形表現を伴う断層について地形解析をまとめて実施し、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（例えば、屈曲率 $\alpha$ など）を効率的に取得した。そのうち、1つの断層で平均変位速度に関する具体的なデータを取得することができれば、周辺の断層に適用し、平均変位速度を効率的に取得できることが期待され、実際に、本プロジェクト実施中に地福断層において、平均変位速度が報告されたため、その値に基づいて、岩国－五日市断層帯（五日市断層区間）、筒賀断層及び大原湖断層の平均変位速度を推定することができた。

#### d) 同一断層における複数年度かけての調査実施

本プロジェクトは令和元年度から同3年度までの3ヵ年事業であり、また、期待される成果、調査の困難さを考慮して、同一断層で複数年度かけての調査の実施が可能であった。それにより、単年度プロジェクトでの時間的・費用的な調査の困難を打開することができた。例えば、気象（積雪）の影響で11月以降の現地調査が困難となる中部地域の山地地域、北陸、東北及び北海道に分布する断層については、調査期間に制限がある1年目（令和元年度）の調査を避け、大半の調査を2年目（令和2年度）もしくは3年目（令和3年度）に実施することで、余裕を持ったスケジュールで調査を実施することができた（表2）。また、複数年度の調査を実施することで、宇宙線生成核種年代測定や海上ボーリングなどの活断層評価の高度化に資するデータを取得することが可能であるものの、調査やその後の分析に時間と費用を要する調査が実施可能となった。さらに、外部評価委員会を年度ごとに開催し、有識者からご意見を頂くことで、調査内容や調査計画を柔軟に見直すとともに、調査の軌道修正が可能となった。

表2 本プロジェクトで調査対象とした15断層（帯・区間）と調査実施年度

番号	断層名	調査実施年度		
		令和元年 度	令和2年 度	令和3年 度
1	標津断層帯		○	○
2	津軽山地西縁断層帯（南部）			○
3	雫石盆地西縁－真昼山地東縁断層帯（雫石盆地西縁断層帯）		○	
4	横手盆地東縁断層帯（南部）	○	○	○*
5	濃尾断層帯（温見断層/南東部）		○	○
6	野坂・集福寺断層帯（集福寺断層）	○		
7	山田断層帯（主部）		○	
8	岩国－五日市断層帯（五日市断層区間）	○	○	
9	筒賀断層	○	○	
10	地福断層	○	○	
11	大原湖断層	○	○	
12	菊川断層帯（南部区間）	○	○	○
13	西山断層帯（西山区間）	○		
14	雲仙断層群（北部）	○		
15	雲仙断層群（南東部）	○	○	○

※活断層評価の高度化・効率化のための調査の一環として実施

(e) 結論

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、第四紀火山地域において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精度の高い年代測定により、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、既存の調査観測データの有効な活用に努めるとともに、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同一基準でまとめて行うなど、効率化を意識した調査を実施した。結果、地震発生確率算出に資するデータを効率的に取得できることが確認された。