

活断層地形調査における数値地形データの取得と活用

—高縄山地東縁の川根断層を事例として—

山 中 蛍・後 藤 秀 昭

1. はじめに

活断層は、「最近の地質時代に繰り返し活動し、将来も活動する可能性が高い断層」と定義されている。「最近の地質時代」を過去数十万年間とするのが一般的で、断層運動の痕跡は地形に残されていることが多い。したがって、活断層の位置や特性は、変動地形学的な地形判読や現地での調査研究を通して検討される。

活断層の地形判読は空中写真を用いることが一般的であったが、2000年代からは航空レーザ測量（Airborne-LiDAR）を用いた詳細な数値地形データも併用されるようになった。空中写真の実体視と同様に地形を立体的に判読できるステレオ画像を作成することで、空中写真とは異なる特性を持つ素材として活断層の地形判読に大きな発展をもたらした（後藤・杉戸、2012）。地形の垂直倍率を強調できることのほか、樹木や建物を取り除いた地表形態そのものを観察することができること、さらに、1つの県に相当するような広い範囲を1枚の画像でシームレスに拡大、縮小しながら判読することができる点は特筆すべき特性である。

また、数値地形データは判読素材となるだけでなく、詳細な地形図を作成したり、PC上で計測することも可能であり、現地調査の方法にも革新をもたらした。これまでは現地の土地利用や許諾等の問題から困難であった場所での地形断面計測や変位量計測が可能になった。現地に赴き、計測する手間と労力が不要となり、PCで簡便に繰り返し、計測できるようになった。

このような特性を持つ数値地形データは、国土地理院からは5 m間隔の解像度の数値標高モデル（DEM）として公開されており、変動地形学的研究でも広く利用されている。その一方で、現地調査でのみ読み取れる微小な地形も少なくないため、航空レーザ測量のデータのみでは目的に応じた調査ができない場合がある。そのため、現地に出向いて、より詳細な数値地形データを取得するための複数の手法が検討され、変動地形学的研究にも適用されている。例えば、無人航空機（UAV：いわゆるドローン）やボールカメラによる空撮画像をもとに、SfM-MVS技術を用いたソフトウェアを使用して地形モデルを作成する方法（内山ほか、2014；後藤、2015）や、地上型レーザースキャナを用いて地形計測を行う方法（宍倉ほか、2014）などがある。しかし、トータルステーションなど、これまで広く使われてきた計測手法と、これらの数値地形データ作成手法を系統的に比較した研究は少なく、得られるデータの精度の違いや現場環境の違いによる検討は明確ではない。

そこで本研究では、活断層地形調査において数値地形データを取得する複数の手法について紹介し、結果を比較することを通して、活断層地形を精度よく、効率的に計測する方法を検討することを目的とした。検証場所として高縄山地東縁の活断層を対象とした。この活断層は国土地理院の5 m間隔のDEMによる地形判読によって新たに認定されたものである。断層地形の記載を行い、瀬戸内海の地形発達について議論したい。

2. 地形計測の方法

本研究では、西条市旦之上地区に新たに認定された活断層の小規模な低断層崖を対象に、トータルステーションを用いた測量、PPK-GNSS測位による計測を同一測線上で実施した（図1）。次に、これらとの比較を行うために、UAV-SfM法とレーザースキャナを用いた地形計測を行い、数値地形データを取得して、地形モデルを作成した。レーザースキャナは、地上型レーザースキャナと、レーザースキャナが搭載されているタブレット端末（iPad Pro）の2種類を使用して比較を行なった。以下に、それぞれの計測方法とデータ処理の手順を記述する。

1) トータルステーションによる計測

トータルステーション（TS）は、水平角と伏角を計測するセオドライトに光波測距儀の付いたもので、計測地点のXYZの座標を高精度に計測できる機器である。測量や土木、建築など屋外での測量業務で広く利用されている。地形計測でも1990年代から利用されており、それまでの平板測量によるアナログ情報からPCで扱える数値情報へと地形調査を先導した機器ともいえる。

本研究ではLeica社のTCR 407 Powerを使用し、計測地点にプリズムを設置して計測した。測線長120mに対し、要した時間は約50分であった。

2) PPK-GNSS（全球測位衛星システム）による測位

GNSS（Global Navigation Satellite System）と称される全球測位衛星システムは、米国のGPSに加え、ロシアのGLONASS、欧州連合のGalileo等の衛星測位システムの総称で、専用のアンテナと受信機を使うことで、衛星とアンテナとの距離を計測して地球上の絶対的な位置を求めるシステムである。固定局と移動局の2台の受信機を用いるPPK-GNSSでは、測位データを後処理で補正することで、数cmの精度で計測できるようになっている。近年では数万円と廉価な機器が販売されており、幅広く利用可能な環境になりつつあり、地形調査でも導入が進んでいる。

本研究では、2周波の受信が可能なu-blox社のZED-F9P受信機を使用した。測位データは連続的な点データとして取得され、本研究では1秒間に2点の測位を行った。断面計測では、ポールにアンテナをつけた移動局を垂直に立てて計測した。TSと同じ測線を約7分で計測できた。RTKLIBを用いて後処理を行い、平面直角座標系Ⅳ系のX値、Y値および標高値に変換した（図1）。

3) UAV-SfMによる地形モデルの作成

SfM（Structure from Motion）-MVS（Multi-View Stereo）は、コンピュータビジョンの技術と写真測量の技術が組み合わせられたもので、多視点から撮影された写真を用いて、撮影位置と姿勢を自動的に標定する技術（SfM）とSfMで推定した複数のステレオペア画像から高密度点群モデルを構築する技術からなる。建物や像など、あらゆる物体に適用可能であるが、地形調査では、UAVから撮影された写真から地表のモデルを作成するのに使われることが多い。

本研究ではUAVにDJI社のMavic miniを使用し、対地高度30mから2秒間隔で写真を撮影した。TSで計測した測線を挟み込む往復2列の飛行を行って撮影し、飛行時間は3分であった。撮影した写真をSfM-MVSソフトウェアであるAgisoft社のMetashape（ver 1.8）を用いて地形モデルとし、既知点の情報にあたるGCP（標定点：Ground Control Point）にはRTK-GNSSで取得した5地点の座標値を用いた（図1）。これらの作業により、平面直角座標系Ⅳ系の地表表層モデル（DSM：Digital Surface Model）を生成することができた。DSMをBlue Marble Geographics社のGlobal Mapperに読み込み、地

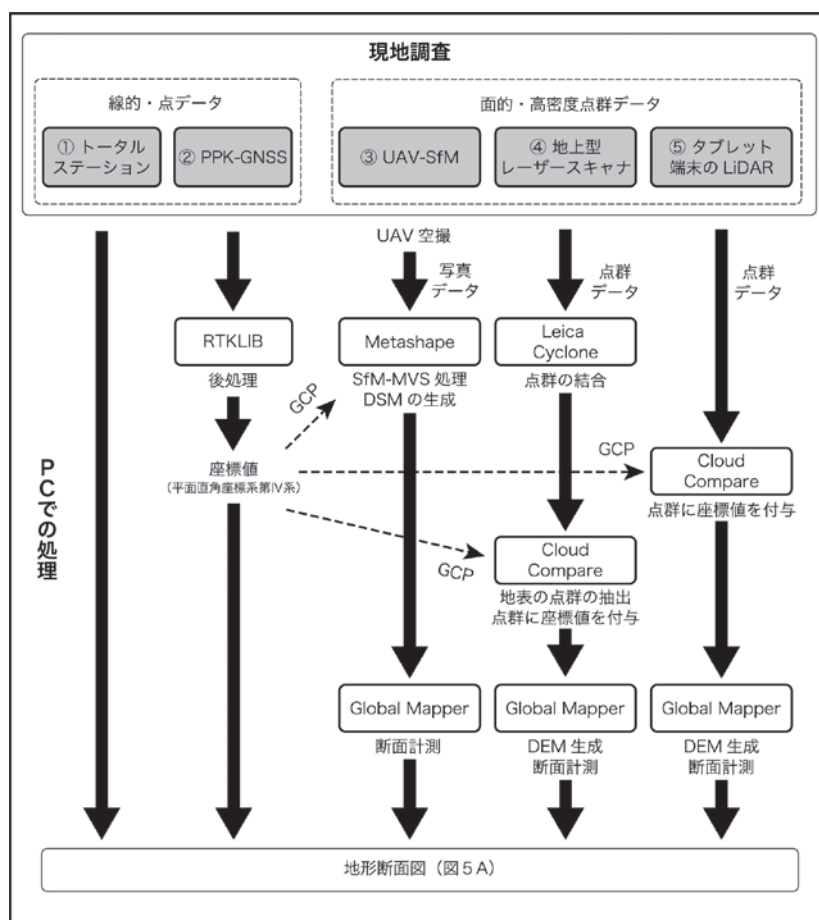


図1 地形計測のフローチャート

上段の「現地調査」にある番号は、本文2章の1)～5)の各方法の番号に対応する。「PCでの処理」に示した四角の枠内は、処理に使用したソフトウェア名を示す。

形断面計測を行った。

4) 地上型レーザースキャナ (Terrestrial LiDAR) による地形モデルの作成

地上型レーザースキャナは、レーザースキャナを三脚などに固定して地上に設置し、周囲にレーザーを照射することで、対象物の位置座標を点群データとして取得する計測方法である。スキャナを移動して複数箇所から計測することで、計測範囲を広げることができる。

本研究では、Leica社のBLK 360イメージングスキャナを使用した。BLK 360は、Wi-Fiを経由してタブレットを通して操作し、計測時間は1地点につき約5分間である。TSで計測した場所と同じ測線上を対象に、約10m間隔で12ヶ所に設置して計測を行った。計測に要した時間は約60分である。計測したデータはPCに取り込み、Leica社の点群処理ソフトウェア (Cyclone) で地点毎の個別の計測データをひとつに結合した。PTS形式で出力した後、点群処理ソフトウェア (Cloud Compare) に読み込み、地表面のみの情報にする処理を行った (図1)。その後、Global Mapperで1 cmメッシュのDEMを生成し、これに基づいて地形の断面計測を行った。

5) タブレット端末のLiDAR

2020年以降に販売されたApple社のタブレット端末（iPad ProおよびiPhone Pro）には、LiDARスキャナが搭載されている。LiDARスキャナには、自己位置の推定と周辺環境のマッピングを同時に行うSLAM（Simultaneous Localization and Mapping）技術が用いられており、端末を移動させながら対象物にレーザーを照射することで、その形状を簡単に3Dでスキャンすることができる。スキャン中でも取得状況を画面で確認でき、直感的に作業できる。

本研究では、iPad Pro（11インチ、第3世代）を使用して、断面測線に沿った地形のスキャンを行った。計測に要した時間は約10分である。取得された点群データをCloud Compareに読み込んだ後、GNSS測位に基づくGCPによって平面直角座標系第IV系の座標値に変換した（図1）。その後、Global Mapperに読み込み、1 cmメッシュのDEMを生成し、これに基づいて地形の断面計測を行った。

3. 高縄山地周辺の地形と川根断層の変位地形

1) 高縄山地の概観

高縄半島は四国北西部に位置し、瀬戸内海に突き出した半島である（図2）。東は燧灘、北から西は安芸灘、南西は伊予灘に面し、中央構造線を挟んで南の四国山地と接する。高縄半島の北には本州との間に芸予諸島の島々が分布する。このうち、諸島東部は瀬戸内海中央部の狭窄部をなし、古くから瀬戸内海航路の要衝となってきた。これらの島々は諸島東縁の北東―南西方向の直線状境界を挟んで燧灘と接しており、瀬戸内地方での隆起部と沈降部の境界をなすと考えられている（杉山、1992）。フィリピン海プレートの沈み込みに伴う前弧スリバーの西進により、中央構造線より北側の瀬戸内地方で北東―南西方向の隆起部と沈降部が形成されたと考えられており、その境界のひとつと考えられる（杉山、1992）。

高縄半島は円形の概形をなす高縄山地が骨格を構成しており、その周囲には松山や今治などの市街地が位置する堆積平野が発達する（図2）。平野の大部分は、山地から流出する河川が形成した扇状地からなる。高縄山地は南東部に位置する東三方ヶ森（標高1,233m）を最高点とし、そこから南北に分水界が延びる。結果として、高縄山地の分水界はかなり東に偏って南北に延びており、西流あるいは南西流する河川が長く、東流する河川は短く急傾斜である。

この南に位置する中央構造線では、これに沿って第四紀の活発な断層運動が生じていることが知られ、平均変位速度は数mm/年程度に達し（Okada, 1980 ; Goto, 2017）、日本で最も活動度の高い断層のひとつとされる。中央構造線には高縄半島の付け根に桜樹屈曲と呼ばれる屈曲部があり、岡田（1972）は屈曲によって右ずれ運動の制約が生じることから、その北に位置する高縄山地が西へ傾動したと推定した。また、岡田（1972）は山地の南東縁は直線状の山麓線があることから断層が生じている可能性があるとして、川根断層を推定した。ただし、川根断層に沿って第四紀に活動した地形学的証拠はこれまでに示されていなかった。

本研究では、国土地理院の航空レーザ測量に基づく5 m間隔の数値地形データから作成したステレオ画像を判読し、岡田（1972）が川根断層とした場所の北延長で、高縄山地東縁に沿って最近の地質時代の断層活動を示す断層変位地形を新たに認定した（図2）。本研究では、高縄半島東縁に分布する活断層全体を川根断層と呼び、特に明瞭な地形が認められる西条市旦之上の変位地形を以下に記載する。

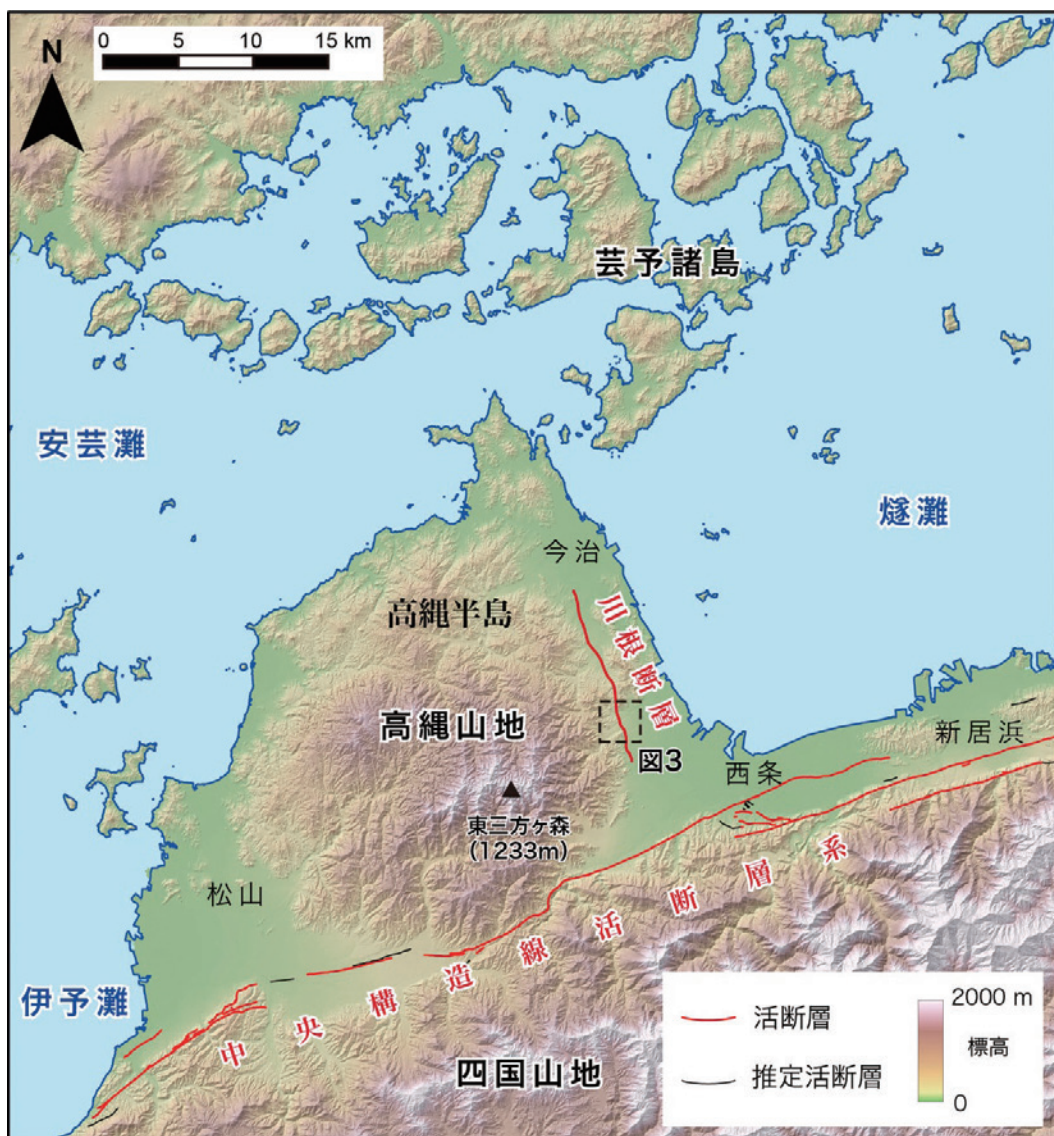


図2 高縄半島周辺の地形と活断層

国土地理院基盤地図情報の数値標高モデル10mメッシュDEMを用いて作成。活断層は中田・今泉編（2002）に川根断層を加筆。

2) 西条市旦之上付近の川根断層の変位地形

西条市旦之上には、高縄山地から東流するなかでは比較的規模の大きい河川である大明神川と周辺の河川が形成した複合扇状地が発達する（図3）。平野部の地形面は3段の段丘面と沖積面、沖積錐に分類される。段丘面は上位からM面、L1面、L2面とした。M面は大明神川の両岸に広く発達し、現河床との比高は15mである。Loc.1では、基盤である花崗岩の風化層の上に厚さ約10mの礫層が堆積してM面を構成していることが観察される。L1面はM面の南側に広く発達し、現河床との比高は10m以下である。沖積錐は北川の北側の高縄山地東麓部に発達し、末端は北川のL2面に連続する。

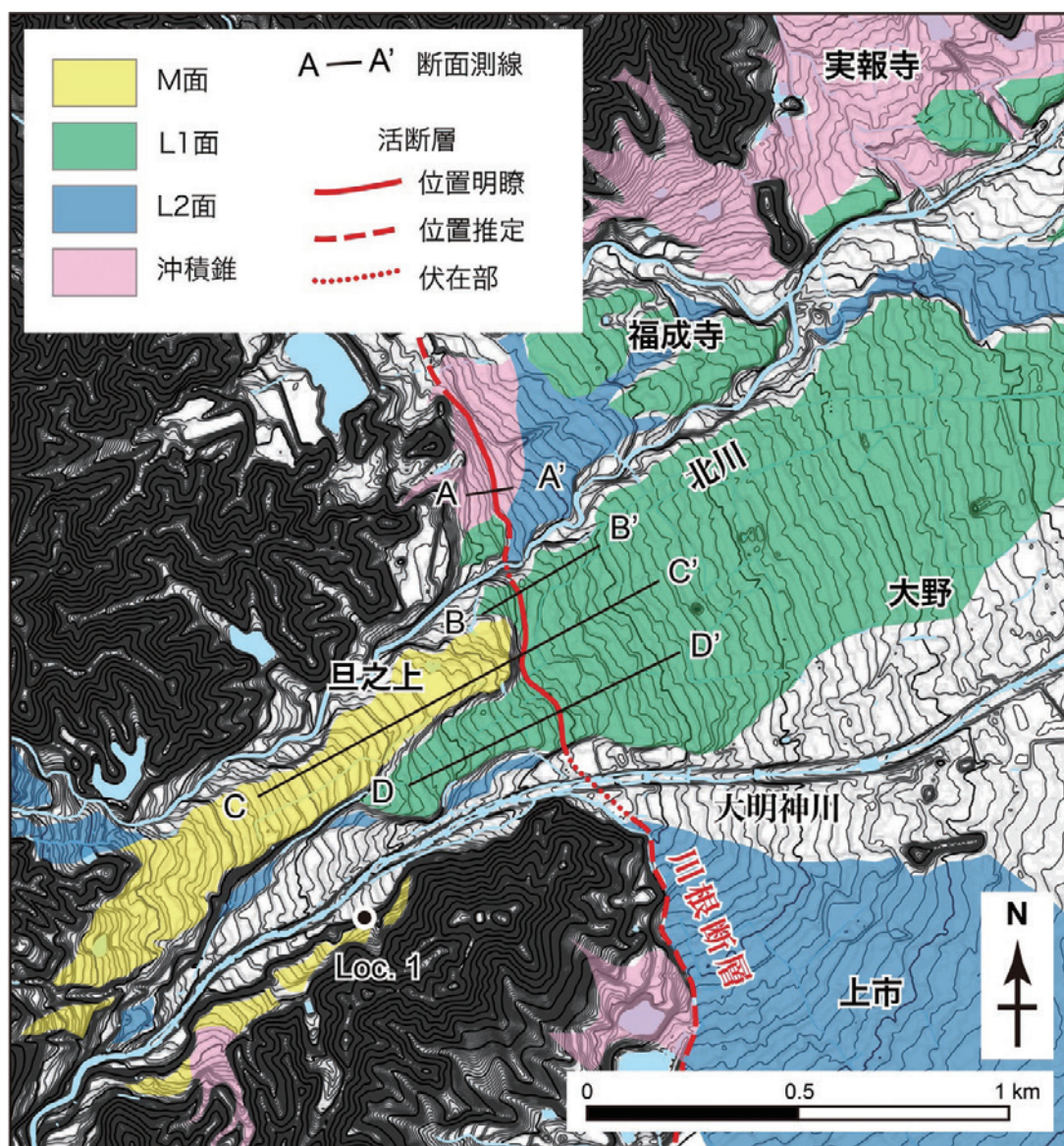


図3 西条市旦之上付近の川根断層の変位地形
等高線間隔は1 m。国土地理院基盤地図情報の数値標高モデル5 mメッシュDEMを用いて作成。

大明神川の南北両岸に延びる北北西—南南東方向に直線状の山麓線の延長で、大明神川の形成したM面およびL2面に山麓線と同じ方向に延びる低断層崖が分布しているのが認められる（図3、図4）。L2面では低断層崖を挟んで西側および東側の地形面も東に傾斜しており、東に流下する大明神川によって地形面が形成された後に活断層によって変位を受けたと考えられる。また、M面は低断層崖より西側にしか分布しない。大明神川によってM面が形成された後に断層変位によって生じた低下側はL2面に埋められたものと考えられる。以上のように、活断層の繰り返し活動を考えると、この地域の地形発達合理的に説明できる。

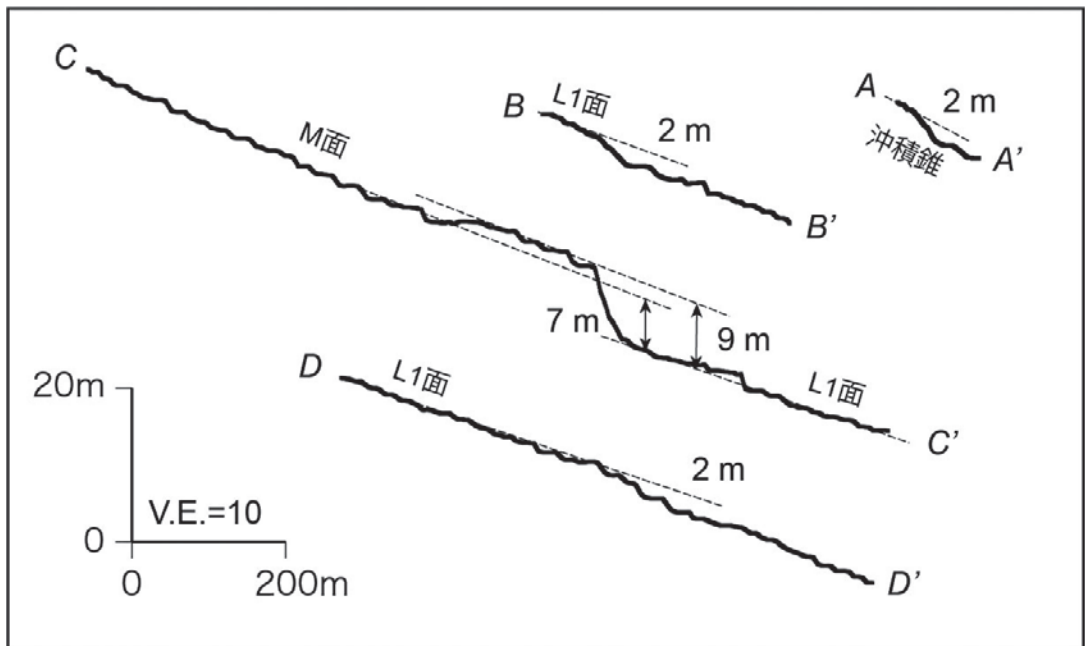


図4 地形断面図

国土地理院基盤地図情報の数値標高モデル5 mメッシュDEMを用いて計測。測線の位置は図3 参照。

M面の上下変位量は7 m以上（図4；C-C'断面）、L1面の上下変位量は2 m（B-B' 断面、D-D' 断面）と変位量は累積的であり、繰り返し活動してきたといえる。また、沖積錐の上下変位量は2 mであり（A-A' 断面）、L2面の変位量と同じである。低断層崖の隆起側近傍で傾斜角が小さくなっているのが確認され、逆断層で一般に知られる地形とよく似た断面形状が確認できる。

北川の左岸の沖積錐では、測線長が短く、5 mメッシュDEMに基づく計測のみからでは地表形態が十分に把握できない（A-A' 断面）。そこで、本研究で先に紹介した方法を用い、地形断面計測および数値地形データの作成を行った。その結果は4章で記述する。

3）川根断層の第四紀後期断層運動とその意義

川根断層は上述のような変位地形の特徴から、西側隆起を主体とした逆断層であると推定される。すなわち、高縄山地を隆起させ、東の平野部を沈降させてきたと考えられる。このような断層運動は現在見られる地形の分布と対応し、高縄山地の西への傾動とも調和的であり、地形の分化や山地の形成に重要な役割を果たしてきた断層の可能性が高い。また、西条市旦之上よりも北にも断層地形が断続的に認められ、今治の平野部付近まで追跡できる。すなわち、芸予諸島の東縁と燧灘を分ける直線状の境界に向かって延長しているように見える。この境界付近では、海底の堆積物が一部で切断しているのが認められており（水野ほか、2002）、境界に沿って海底活断層が延びている可能性がある。したがって、瀬戸内地方で広く認められている北東―南西方向の隆起域と沈降域の形成に、淡路島と大阪湾のように、この地域でも活断層による分断が大きく関与している可能性があると考えられるであろう。芸予諸島および明石海峡は、ともに瀬戸内海航路の要衝となってきた場所であり、活断層によって形成された地形が要衝の形成に重要な役割を担ってきたともいえるであろう。

4. 地形計測結果

西条市旦之上地区を流れる北川の左岸の変位地形を対象に、研究方法で提示した5種類の方法によって、同一測線上での地形計測を実施した。得られた地形断面について、それらの形状や精度を比較した(図5 A)。対象とした場所は、沖積錐が形成する緩斜面上に棚田が広がり、樹林や住宅といった地形計測の障害となるものが少ない開けた環境にある。

TSによる計測は、傾斜の変換点のみ計測しており、平坦面や急斜面など、傾斜がおおむね一定の区間は計測点間を結ぶ直線によって補われる(図5 A)。これと比較して、他の計測手法では、計測点の連続として地形を表現することができており、より細かな傾斜変化や凹凸を識別できる。PPK-GNSS測位で取得された断面は、TS測量の計測点と良く一致する。以下では、UAV-SfM、地上型レーザースキャナ、タブレット端末LiDARの3つによって面的に計測された数値地形データ(図5 B)を、TS計測およびRTK-GNSS測位による地形断面と比較した結果を記載する。

それぞれの方法の特性により、地形断面の形状や精度に細かな違いは見られるものの、約120mの

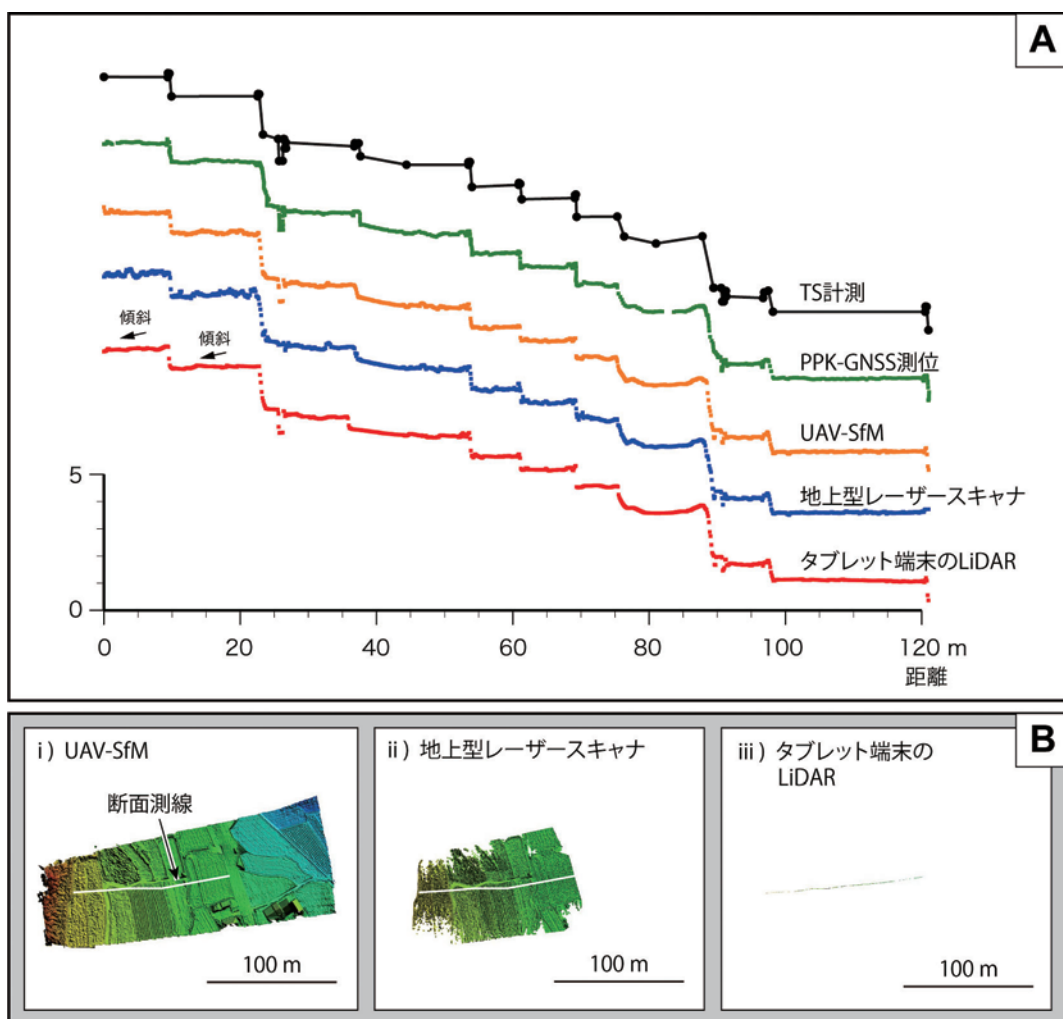


図5 同一測線(A-A')で得られた地形断面の比較(A)と数値地形データ(B)

測線全体では各断面はおおむね同様の形状を示しており、いずれも 5 m メッシュDEMに比較して詳細な地形が表現されている。

UAV-SfMで取得されたDSMの範囲は、断面測線を中心とする長さ220m、幅60～90mの範囲であり、3つの方法で得られた数値地形データ中で最大の広さを持つ（図5 B-i）。このDSMに基づいて計測した地形断面は、TS計測やRTK-GNSS測位で得られた断面と形状はほぼ一致している。しかし、枯れ草が密に茂る最上段2枚の圃場では、PPK-GNSS測位による断面よりも最大20cm程度高い高度を示す。これは、枯れ草の上の高さを計測したためである。今回のUAVによる空撮写真では枯れ草の高度と地表とを識別することが困難なために生じたと見られる。

地上型レーザースキャナによって得られた点群の範囲は、測線を中心に幅60m程度であったが、見通しの良い場所では幅80mに達する区間もあった（図5 B-ii）。点群から家屋や樹木などの地物を取り除く処理をした後に、DEMを生成した。このDEMに基づいて計測された断面は、TS計測やPPK-GNSS測位で得られた形状とほぼ一致する。植生が密な最上段2枚の圃場においても、地面の高度を把握することが可能である。しかし、枯れ草を十分に取り除くことができず、細かな凹凸が生じている。

タブレット端末のLiDARによって得られた点群の範囲は、測線を中心とする幅1.5m以内であり、細長い帯状である（図5 B-iii）。この点群から得られた地形断面では、最上段2枚の圃場の平坦面が上流側へ傾斜する様子が認められる（図5 A）。断面形状がPPK-GNSS測位によるものとよく一致する距離25m～120m区間を基準に断面を重ねると、距離0 m地点では約20cm低い高度を示す。これは、現地での計測時に、距離25m付近の大きな段差を下る際、SLAMが上下の位置関係を正確に推定することができなかったために生じたとみられる。地形の起伏や測定の動作によっては正確に計測することが難しいといえるだろう。

5. 現地調査による数値地形データ取得の可能性

現地地形調査によって取得される数値地形データは、1万点/m²程度の高密度な点群や数cmメッシュのDSM、DEMであり、国土地理院によって一般に公開されている5 mメッシュDEMでは計測できない詳細な地形を計測できる。また、計測方法の比較からは、PPK-GNSS測位は、TS計測と大差のない精度での地形計測が可能であると言える。さらに、UAV-SfMやレーザースキャナは、詳細な地形を面的に計測できる特性がある。すなわち、UAV-SfMやレーザースキャナは、地形をそのまま持ち帰ったような豊富な情報量を持つ数値データであり、詳細な地形図を作成することが可能であるとともに、データをPC上で俯瞰することで、より適切な断面測線を検討することを可能にしている。

UAV-SfMは、広い範囲の表層データを均質に取得でき、現地調査による数値地形データ取得の中で最も効率的な手法である。本研究では、わずか3分の飛行によって、対象となる断面測線を含む広い範囲を撮影し、その後も室内での1時間以内のPCでの作業によって、DSMの生成や地形断面計測を行うことができた。ただし、密集した植生がある場合には、その下の地形を十分に把握できない場合もあることが認められた。また、高精度なDSMを作成するためには、空撮だけでなく、TS計測やPPK-GNSS測位など、GCPを取得する作業を必要とする。GCPの数や計測のための作業時間、機材の準備や運搬もあり、必ずしも効率的な現地作業ではない。また、人口集中地区や空港周辺など、

UAVの飛行制限区域があり、この手法を適用できない場所もある。

地上型レーザースキャナは、上記のような、UAV-SfMが不得意とする場所において、適用できる可能性が高い。設置高度が地上1 m程度と低いほか、GCPを必要とせずに単体で計測が完結することから、樹林下においても高精度な数値地形データの取得が可能である。しかし、スキャナからの距離が離れるほど点群の密度が低下するほか、スキャナ近くの障害物によってその背後の広範囲が計測できない。また、UAV-SfMで計測可能な場合は、同じ範囲で数倍の時間を要する。

タブレット端末LiDARによる地形計測では、本研究で行った測線長120mの断面計測ではその上下誤差は20cmであったものの、より長い測線を計測する際には、同様の誤差が蓄積されて大きな誤差を生む可能性がある。現時点では、UAV-SfMや地上型レーザースキャナに比べて精度の高い地形データが得られるとは言えず、対象によっては地形調査の使用には不十分であろう。また、水平面が正確に推定されないこともあり、地形断面を計測するためにはGCPによる座標の変換が必要となる。ただし、小型で可搬性がよく、限られた範囲を簡便に3Dモデルとすることができ、狭い範囲の地形や露頭の記録には有効な方法とも言える。特に、写真撮影でHDR技術による色彩の記録に優れており、露頭などでは実際の状態に近い形で、3Dモデルとして記録することができる。

上述のとおり、UAV-SfMや地上型レーザースキャナなどを用することで、多様な環境において詳細な数値地形データを取得できるようになった。航空レーザー測量に基づくDEMで検討できるような広範囲に広がる変位地形だけでなく、一度の断層活動で形成されるような小規模な変位地形を判別したり、記録できるようになったと言える。また、地震断層の出現時や、トレンチ調査の実施時など、数日で消えてしまう貴重な地形や調査現場を詳細なデジタルデータとして保存することも可能になっており、後の検証や議論に資するデータとして役立つことも期待される。調査対象や目的、環境にあわせて、適切な方法を選択して研究を進めることができるようになったと言えるだろう。

謝辞 現地調査では、広島大学学部学生の牧田智大さんにお手伝いいただいた。また、研究にあたっては、低空空撮技術活用研究会のみなさんおよび、岩佐佳哉氏（広島大学大学院人間社会科学研究科院生）、竹内峻氏（当時、広島大学大学院文学研究科院生）にお世話になった。本研究には、広島大学創発的次世代研究者支援・育成プログラムの研究費および、科学研究費補助金（19K21666、16H01829）の一部を使用した。以上、記して御礼申し上げる。

文 献

- 内山庄一郎・中田 高・井上 公・熊原康博・杉田 暁・井筒 潤・後藤秀昭・福井弘道・鈴木比奈子・谷口 薫（2014）：小型UAVとSfMソフトウェアを用いた断層変位地形把握の試みー根尾谷断層水鳥断層崖を例にー、活断層研究、40、35-42。
- 岡田篤正（1972）：四国北西部における中央構造線の第四紀断層運動、愛知県立大学文学部論集一般教育編、23、68-94。
- 後藤秀昭・杉戸信彦（2012）：数値標高モデルのステレオ画像を用いた活断層地形判読、E-journal GEO, 7、197-213。
- 後藤秀昭（2015）：SfM（Structure from Motion）ーMVS（Multi-View Stereo）技術を用いた変位地形の

- 数値表層モデルの作成と変位量の計測－1970年代撮影の空中写真およびボールカメラの写真を用いた検討－. 活断層研究、42、73-83.
- 宋倉正典・行矢佑一・小野尚哉・神田広信 (2014) : 房総半島南部見物海岸における精密地形測量と¹⁴C年代測定. 活断層・古地震研究報告、14、1-38.
- 杉山雄一 (1992) : 西南日本前弧域及び瀬戸内区のネオテクトニクス. 地質学論集、40、219-233.
- 中田 高・今泉俊文編 (2002) : 『活断層詳細デジタルマップ』. 東京大学出版会.
- 水野篤行・横井康孝・島崎哲也 (2002) : 芸予諸島-塩飽諸島海域における海底活断層の概要. 日本地質学会第109年学術大会講演要旨.
- Okada, A. (1980) : Quaternary faulting along the Median Tectonic Line of Southwest Japan. The Memoirs of Geological Society of Japan, 18, 78-109.
- Goto, H. (2018) : Late quaternary slip rates and vectors on the Median Tectonic Line active fault zone in eastern Shikoku, southwest Japan. Quaternary International, 471, 267-277.

Acquisition and Utilization of Digital Topographic Data in Active Fault Topography Survey: Case of Kawane Fault Distributed Along the Eastern Margin of the Takanawa Mountain Range, Southwest Japan

Tomoru YAMANAKA, Hideaki GOTO

This study presents a practical methodology for acquiring digital topographical data and examines its practicality in active fault studies. We measured the fault scarps of the Kawane fault, which is distributed along the eastern margin of the Takanawa Mountain Range, northwest of Shikoku Island, Southwest Japan. The Kawane fault is newly identified by interpreting the anaglyph image produced from the 5 m-mesh digital elevation model of the Geospatial Information Authority of Japan.

The topographical profile measured by the total station, the conventional method is almost identical to PPK-GNSS on the open sky environment. The detailed digital elevation model based on the point cloud data processed from the photographs taken by a drone, UAV-SfM, effectively reveals the topographical feature of the vast area. Conversely, the terrestrial LiDAR is an accurate and appropriate method to survey areas where dense trees are harvested or where drones are restricted due to the urban area. Although the use of SLAM-LiDAR with a tablet device is not practical for measuring the extended topographical profile but it is suitable for acquiring the 3D model in a limited area, such as the fault outcrop.

The topographical survey revealed that the Kawane fault is a reverse fault with the downthrown east side inferred from the feature of fault scarps. This fault may extend to the boundary between the Geiyo-Shoto islands and the Hiuchi-Nada sea, which would play a vital role in topographical development in the Seto inland Sea.