

日本活断層学会 2023 年度秋季学術大会

一般研究発表

講演予稿集

2023 年 11 月 10 日(金) 13:10～18:00

2023 年 11 月 11 日(土) 9:00～12:00

会場:九州大学西新プラザ

主催:一般社団法人日本活断層学会

後援:福岡市

11月10日（金）午後

一般研究発表（口頭）

座長：近藤久雄

- 13:10 O-1 日本の主要活断層帯のコミュニティ断層モデルの構築
○吾妻 崇・安藤亮輔・コミュニティ断層モデル有志グループ
- 13:30 O-2 カルデラ境界断層のテクトニックな再活動：活断層研究とカルデラ研究の統合的視点
○三條竜平・須貝俊彦
- 13:50 O-3 第四紀層を切る割れ目の検出，考え方
吉村辰朗
- 14:10 O-4 島根県内で確認されている断層のスリップテンデンスに基づく現世応力場での活動性評価
○島田昌弥・向吉秀樹

休憩（14:30-14:50）

座長：吾妻 崇

- 14:50 O-5 高速増殖原型炉もんじゅ敷地内破碎帯に関する外部有識者会合の評価書の問題点
○中田 高・渡辺満久
- 15:10 O-6 熊本地震の地表地震断層上における余効すべりの7年5ヶ月間の経時変化とその特徴—日奈久断層高野—白旗区間を対象に—
○岩佐佳哉・熊原康博・住谷侑也・田渕雄一郎・坂本文隆
- 15:30 O-7 2023年トルコ、カフラマンマラシュ地震における断層幾何形状から得られた破壊伝播確率
○原 勇貴・遠田晋次
- 15:50 O-8 東アナトリア断層系における2023年Mw7.8地震とカルタル地点のトレンチ調査
○近藤久雄・セリム オザルプ・ハサン エルマジ・タメール ドウマン

11月10日（金）午後

一般研究発表（ポスター）

16:30-18:00 コアタイム

- P-1 研究機関と学会の協働による若手育成（その5）：「第5回 活断層の学校 in つくば “国土地理院、産総研、防災科研で学ぶ活断層研究”」の開催報告
○山口 勝・中埜貴元・吾妻 崇・藤原広行・
中島秀敏・宮下由香里・宇根 寛
- P-2 ボーリングデータと微動 H/V スペクトルから推察される長町ー利府線断層帯の活構造分布
○中村朋暉・遠田晋次
- P-3 秋田県男鹿半島東部の断層変位地形と活動性
○田力正好・越後智雄
- P-4 活断層近傍の山地流域で見出される斜面変動の履歴：巨摩山地・楡形山の周辺を例に
○太田凌嘉・渡辺 樹
- P-5 令和5年奥能登地震で発生した地殻変動に伴う海岸隆起
○飯田健太・小俣雅志・山田千尋・宮本 樹・
杉本 惇・足達健人・橋本裕紀・西田圭吾
- P-6 飛騨高原北部に位置する稲越断層の活動履歴調査
○中村耕佑・安江健一
- P-7 長野県北部、野尻湖西方における向新田断層の約3万年前以降の活動履歴
○竹下欣宏・花岡邦明・近藤洋一・関めぐみ・宮下 忠・
中川知津子・廣内大助・野尻湖地質グループ
- P-8 宇宙線生成核種 ^{10}Be を用いた深度断面法による活断層の平均変位速度推定ー根尾谷断層，能郷地区中位段丘面を例としてー
○小倉祐弥・金田平太郎・太田凌嘉・松四雄騎・松崎浩之
- P-9 UAV レーザ測量による阿寺断層中部の微地形調査（その1）
○安江健一・土井駿仁・細矢卓志・中瀬千遥・後藤 慧
- P-10 UAV レーザ測量による阿寺断層中部の微地形調査（その2）
○細矢卓志・中瀬千遥・後藤 慧・安江健一・土井駿仁
- P-11 森林内における活断層に係る微地形の把握：阿寺断層帯の例
○土井駿仁・安江健一・島田耕史

- P-12 阿寺断層帯中部におけるピット調査と放射性炭素年代測定
安江健一・○原田隼輔・國分（齋藤）陽子・廣内大助
- P-13 ボーリングデータベースに基づく上町断層帯の浅部変形構造
○川嶋渉造・堤 浩之
- P-14 高速増殖原型炉「もんじゅ」敷地に達する白木一丹生断層の断層変位地形
○中田 高・渡辺満久
- P-15 福井県三方郡美浜町新庄地区における敦賀断層の第四紀後期の活動性
○瀬能正太郎・立石 良・島田耕史・岩森暁如・小川昌也
- P-16 広島平野周辺の山地域に分布する活断層－ALSに基づく高精細ステレオ地形
画像の作成と判読－
○後藤秀昭・牧田智大・山中 蛍
- P-17 熊本市周辺（水前寺断層および立田山断層東方）における反射法地震探査
○吉見雅行・丸山 正・山田浩二・秋永康彦
- P-18 2016年熊本地震の地表地震断層における地中レーダ探査
○谷口 薫・渋谷典幸・小俣雅志・渡邊和輝
- P-19 布田川断層田中地区における熊本地震前トレンチの再掘削：熊本地震による
壁面変化について
○山根悠輝・原 勇貴・鳥井真之・遠田晋次・
石村大輔・高橋直也・奥野 充・福田泰英
- P-20 熊本地震の主断層トレースから離れた位置で生じた微小変位箇所近傍におけ
るトレンチ調査結果－平川馬場トレンチ－
○渋谷典幸・小俣雅志・渡邊和輝・谷口 薫・杉本 惇・足達健人
- P-21 2016年熊本地震の地表地震断層周辺における地表変形特性の分析
○山下日和・鈴木康弘・向山 栄・室井翔太・山下久美子・
福場俊和・村木昌弘・杉本 惇・小俣雅志
- P-22 出ノ口断層の東方延長上に発達する「小段」のピット調査とドローンレーザー
測量，および阿蘇カルデラ西壁の地質
○辛島康大・辻 智大・岡村文義
- P-23 2023年モロッコ地震における InSAR を用いた変位分布の把握
○橋本裕紀・杉本 惇・小俣雅志
- P-24 土砂運搬作用を考慮した数値シミュレーションによる断層変位地形の再現
○佐藤大河・安江健一・谷川晋一・
三箇智二・野原 壯・島田耕史

P-25 ETAS 地震発生シミュレーションによる背景地震の規模別頻度分布評価

○野上風馬・野口 朗・隈元 崇

P-26 縦ずれ断層の進展過程に鉄道構造物基礎が与える影響に関する検討

○山田雅紘・谷山 尚・日野篤志

11月11日（土）午前

一般研究発表（口頭）

座長：石辺岳男

- 9:00 O-9 3-D Fault Geometrical Effect on the 2023, Kahramanmaras and Ekinozu, Turkiye, Earthquake Sequence Revealed by Dynamic Rupture Simulation
○Ryosuke Ando, Ali Pinar, Doğan Kalafat, Haluk Ozener, Esref Yalcinkaya and Yojiro Yamamoto
- 9:20 O-10 S波反射法地震探査（横黒第1測線・第2測線）からみた中央構造線断層帯川上断層における浅部地下構造
○木村治夫・近藤久雄・黒澤英樹
- 9:40 O-11 立田山断層周辺における地盤振動特性
○鈴木晴彦・松山尚典
- 10:00 O-12 布田川断層田中地区における熊本地震前トレンチの再掘削調査
○遠田晋次・鳥井真之・山根悠輝・原 勇貴・石村大輔・高橋直也・奥野 充・福田泰英

休憩（10:20-10:40）

座長：木村治夫

- 10:40 O-13 知多半島の活断層－地理院活断層図「師崎」の新知見
○鈴木康弘・石山達也・岡田篤正・安江健一・五味雅宏
- 11:00 O-14 小鳴門海峡周辺域における最終間氷期以降の地殻変動
○加藤茂弘・生野賢司
- 11:20 O-15 主要活断層帯を対象とした広域三次元応力場ならびに Wallace-Bott 仮説を用いた断層すべり角推定～断層形状の不確定性が推定に及ぼす影響について～
○石辺岳男・寺川寿子・橋間昭徳・Thystere Matondo Bantidi・望月将志・松浦律子
- 11:40 O-16 活断層の長期評価と地震動予測を社会にどう伝えるべきか（その2）
○鷺谷 威・橋富彰吾

12:00-12:20 表彰式

昼食

O-1

日本の主要活断層帯のコミュニティ断層モデルの構築

○吾妻 崇(産総研), 安藤亮輔(東京大学), コミュニティ断層モデル有志グループ

Development of the Community Fault Model for major active faults in Japan

○Takashi Azuma (AIST), Ryosuke Ando (Univ. Tokyo) and CFM Group

1. はじめに

地震防災において、活断層の地表トレースを図示した活断層図が地表地震断層の出現位置と地表変位形態の予測に役立つのに対し、活断層の地下形状を反映させた断層モデルは活断層から発生する地震動の評価を含む様々な震源像の予測に貢献する。ニュージーランドや米国のカリフォルニア州では、地表トレースと統合的な断層モデルの構築が進んでいる (Seebeck et al., 2023 など)。国内においては、地震調査研究推進本部が行なっている強震動評価において全国の主要活断層帯の震源断層モデル (J-SHIS モデル) が日本のナショナル断層モデルとして構築・公開されているが、これらは単純な矩形モデルであるため、断層面と上端の位置が活断層の地表トレースと大きくずれている事例が多く見受けられる。2016年熊本地震では、地表地震断層の近傍に建物被害が集中していることから、断層トレースと整合させた断層モデルの構築が急がれている。本研究では、発表者らが「災害の軽減に貢献するための地震火山観測研究計画 (第2次)」の拠点間連携課題の取り組みとして実施している、Seebeck et al. (2023) の手法を参照としたコミュニティ断層モデルの構築の現状を報告する。

2. 対象活断層帯の選定

今回の作業では、平均変位速度が高い値を示す約 50 の活断層帯を対象とした。選定にあたっては、産業技術総合研究所が公開している「活断層データベース」の断層パラメータを参照した。北海道から九州まで全国各地の活断層が含まれるように配慮したとともに、活断層のずれのタイプにも大きな偏りがないように留意した。

3. 地表トレースの編集と断層モデルの構築

断層モデルの構築に用いる活断層の地表における位置形状については、活断層の実際の地表トレースを単純化したものを作成した。地表トレースの編集作業においては、「活断層データベース」で用いられている断層トレースのデータを GIS 上で連結やスムージングをかけるなどの機械的な作業のほか、地形情報を活用して副次的な活断層 (逆向き低断層崖など) を排除したり、近接して並走する断層トレースを集約するといった作業者の判断に基づく編集を行なった。

断層モデルの地下形状については、CAD ソフトの「LeapFrog」を使用し、地表トレースから一定の傾斜角を仮定して非平面の三次元形状を与えた。断層面の傾斜角などのデータについては、J-SHIS モデルで採用されている断層パラメータを基本とし、断層モデルの下端深さなど

の情報については地震調査研究推進本部の強震動評価で用いられているパラメータを参照した。構築した三次元形状モデルは、利用が容易な共通フォーマットによるメッシュデータなどとして公開する予定である。本予稿を投稿する 2023 年 9 月末時点で、地表トレースの単純化を終えて地下形状の作成に着手したところである。

4. 今後に向けて

本研究で実施した地表トレースの編集や地下形状を構築する際の判断については、研究者によって異なることが想定されるため、今後も繰り返し議論を重ねて改善していくものであると認識している。来年には、ワークショップ形式などで、試作モデルの評価と修正を広くコミュニティに公開して行うことを検討している。今回作成している断層モデルは正にその議論のためのたたき台であり、今後、この分野に関わる多くの研究者のコミュニティからの協力を得ながら、より精度と信頼性が高い断層モデルが構築されることを期待する。

謝 辞

ニュージーランド GNS の Hannu Seebeck 氏と Andrew Howell 氏には、LeapFrog を用いた断層モデル構築に関して貴重な助言を頂いた。GIS を用いた断層トレースの編集作業及び LeapFrog を用いた断層モデル構築作業については、東京大学大学院の青山都和子氏、東京大学の前原誠司氏ならびに綿貫元起氏に協力して頂いた。以上の方々に御礼申し上げます。

文 献

Seebeck et al., 2023, The New Zealand Community Fault Model – version 1.0: an improved geological foundation for seismic hazard modelling, *New Zealand Journal of Geology and Geophysics*.

O-2

カルデラ境界断層のテクトニックな再活動：
活断層研究とカルデラ研究の統合的視点

○三條竜平（東京大学）・須貝俊彦（東京大学）

Tectonic-induced reactivation of caldera boundary faults:

Integration of active fault and caldera researches

○Ryuhei Sanjo (University of Tokyo), Toshihiko Sugai (University of Tokyo)

1. 緒言

カルデラはマグマ溜まりの収縮あるいは減圧に伴い、マグマ溜まりの天井が沈降することで生じる陥没地形である（第1図）。カルデラの縁辺に存在する境界断層は、カルデラ陥没時に局地的にはたらくノンテクトニックな応力により形成される¹⁾。このようなノンテクトニックなカルデラ境界断層は、地殻中の弱面として存在し続けるため広域応力場を受けてテクトニックに再活動し得る^{2, 3, 4)}。しかしカルデラ境界断層のテクトニックな再活動は、活断層研究およびカルデラ研究のいずれにおいても関心が低く研究事例に乏しい。そこで本発表ではアナログ砂箱実験と最新のフィールド調査の結果⁴⁾をまじえ、初生的なカルデラ構造とその形成過程、およびテクトニックな再活動を論じる。そして活断層研究とカルデラ研究の統合的視点とその意義を示したい。

2. 手法

カルデラは大規模な地殻構造物かつ形成頻度が低いため、3次元構造とその形成過程を直接観察することは困難である。そこで本発表では自然界の現象を物理学的な相似則に従って縮小再現する、アナログ砂箱実験を採用する。ここでは底面にマグマ溜まりを模擬した直径10 cmの発泡スチロール柱（マグマ溜まりアナログ）を設置した、幅×奥行×高さ=30 cm×22 cm×25 cmの砂箱を用いる。この砂箱に脆性的な地殻を模擬した珪砂・小麦粉混合物（地殻アナログ）を任意の厚さで敷き詰める。そしてマグマ溜まりアナログを引き下げることで地殻アナログのカルデラ陥没を再現する。砂箱の側方と頂部に設置したビデオカメラで実験の過程を動画撮影し、これを粒子画像流速測定法に供することで地殻アナログの運動を3次元的に解析する。以上の実験結果を基に、カルデラの3次元構造とその形成過程を議論する。

カルデラ境界断層のテクトニックな再活動は、宮城県の鬼首カルデラ^{2, 3)}と北海道の赤井川カルデラ⁴⁾で指摘されている。ここで挙げた事例はいずれも広域的な圧縮応力が原因と推定されている。したがって前述のアナログ砂箱実験の結果を基に各カルデラの3次元構造を推定し、その中における再活動した断層（面）の位置付け、および圧縮応力による再活動の可能性をそれぞれ検討する。

3. アナログ砂箱実験結果

アナログ砂箱実験の時系列解析により、第1図に示したようなカルデラ構造は沈降の進行に伴って順をなして形成されることが分かった。すなわち、①はじめにマグマ溜まりアナログ沈降開始直後は地殻アナログの緩やかなたわみ下がり（ダウンサグ変形）が生じ、その変形域の縁辺に引張構造が発達する。②次いでマグマ溜まりアナログの天井から地表へ向かって伸びる、カルデラの外側へ傾斜する逆断層（outward-dipping reverse fault; ODRF）が発達する。ODRFは地形的には環状あるいは弧状の逆断層として現れる。③さらに沈降が進むと、ODRFの上盤側にカルデラの内側に向かって傾斜する高角の正断層（inward-dipping reverse fault; IDNF）が生じる。IDNFは地形的には環状あるいは弧状の正断層として現れる。

以上のようにカルデラ境界断層（ODRFおよびIDNF）の形成は沈降量に依存するため、あるカルデラにおいて必ずしもODRFとIDNFの両方が存在するとは限らない。またカルデラの特定の領域で沈降量が大きくなるような非対称な陥没（トラップドア陥没）の場合、結果

として生じるカルデラ構造も非対称となる。アナログ実験結果を自然界のカルデラと対比する際には、以上の2点に注意する必要がある。

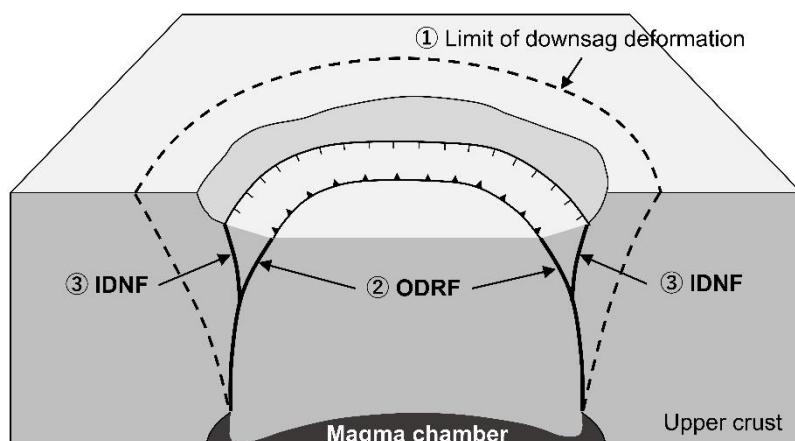
4. カルデラ境界断層の再活動事例

ここでは手法の節で取り上げた鬼首カルデラと赤井川カルデラにおける境界断層再活動事例を検討する。鬼首カルデラの沈降量は600~1000m程度であり^[5]、IDNFが形成されるには充分である。鬼首カルデラの北西縁で1996年8月11日に発生したM5.7の地震は、NE-SW走向かつ鉛直~80°SEで傾斜した断層面が想定されている^[2,3]。これは存在が推定されるIDNFの位置や傾斜と矛盾しない。さらにメカニズム解のP軸と広域圧縮応力の軸は概ね平行である^[2]。したがって鬼首カルデラのIDNFが広域応力により再活動したと言える。

鬼首カルデラの事例は断層面に対応した変位地形が認められず、地形発達過程における位置付けが難しい。そこで発表者らはカルデラ内に断層変位地形が分布する赤井川カルデラにおいて変動地形的調査を行い、境界断層再活動が地形発達に及ぼす影響を考察した^[3]。赤井川カルデラは1.6Maに形成され^[6]、北西縁に円弧状の赤井川断層が分布する。1.6Maのカルデラ陥没はトラップドア型であり、その結果西縁ではODRFが、東縁ではIDNFが形成されたと考えられる。赤井川断層の位置や走向などを考慮すると、当断層は赤井川カルデラのODRFの一部をなしていると考えられる。そして当断層の最新の活動時期は変位基準となる扇状地面の年代から46ka以降と断定でき、明らかにカルデラ形成より新しい。さらに赤井川断層の走向は広域圧縮応力の方位と概ね垂直である。以上より赤井川カルデラでは広域圧縮応力によりODRFが再活動し、カルデラの内側を低下させ続けてきたと結論付けられる。

5. 本研究の意義

カルデラ境界断層はノンテクトニックであり、また主要活断層帯と比べて短小であることから活断層研究の中では関心が低かった。しかしカルデラ境界断層はテクトニックに再活動し得るものであり、断層近傍では局地的に強い地震動や大きな地表変位、場合によっては津波が生じるケースもある^[2,7]。したがって災害リスク評価上では決して無視できない現象である。さらに境界断層の再活動がテクトニックな作用か、ノンテクトニックな作用(マグマ活動)かを識別することは、火山噴火ポテンシャルのより正確な評価にもつながる。以上を踏まえるとカルデラ境界断層の再活動についての研究は、活断層研究とカルデラ研究の双方に新しい知見をもたらす有意義なものであると言えよう。



第1図 カルデラ模式図
ODRF, outward-dipping reverse fault; IDNF, inward-dipping normal fault.

簡単のためカルデラ充填堆積物は描写していない。

沈降の累積に伴い、

① ダウンサグ変形
→② ODRF→③ IDNF

の順で構造が形成される。

文 献

- [1] Holohan et al. (2013), *Solid Earth*, 118, 1778–1794. [2] 海野ほか (1998), *地震*, 2, 51, 253–264. [3] Takada and Furuya (2010), *EPSSL*, 290, 302–310. [4] Sanjo and Sugai (2023), *Geomorphology*, 440, 108866. [5] Yamada (1988), *Rept. Geol. Surv. Japan*, 286, 61–190. [6] 横山ほか (2003), *岩石鉱物科学*, 32, 80–95. [7] Sandanbata et al. (2022), *Solid Earth*, 127, e2022JB024213.

第四紀層を切る割れ目の検出, 考え方

吉村辰朗 (第一復建株式会社)

Detection of fractures cutting Quaternary layers, concept

Tatsuro YOSHIMURA (Daiichi Fukken Co. Ltd.)

1. はじめに

近年, 様々な災害 (地震災害, 土砂災害, 河川災害等) が発生し, これによる社会的損失は計り知れない. 災害被災地を調査すると, 第四紀層を切る割れ目 (以後, 第四紀断裂と称す) が原因となっている場合が多い. 地震災害を引き起こす「震源断層」の検出は, 活断層研究の主要課題であり, これによって「被災場所の予測」が可能となり減災に寄与する. 震源断層は, 地震の際にずれ動いて地震波を発生させ, 地殻変動を引き起こす. その影響で地表の断層も動き, その結果地表に地震断層が現れる. それが累積して活断層として認識されている. 震源断層の実態は地震が発達した後に観測を行わない限り特定できないが, 地表地震断層は震源断層が地表に露出したものとされ, 断層の長さを直接計測し活断層評価の指標とされている. 2016年4月14日1時25分に発生した熊本地震 (Mj7.3) 時に, 阿蘇外輪山北西部に分布する石的石牧場 I 断層 (B 級活断層) では「お付き合い変位」が干渉 SAR 解析によって検出された (宇根ほか, 2018). 今回は, 干渉 SAR 解析によって地表地震断層が推定された由布院断層 (中埜ほか, 2022) を対象に, 第四紀断裂の検出と考え方について考察した.

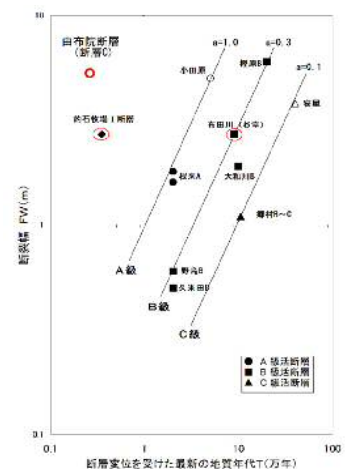
2. 由布院断層の検出

熊本地震 (Mj7.3) の 32 秒後に, 大分県中部で Mj5.7 の地震が発生し, 熊本より北東約 80km の別府市や由布市では震度 6 弱が観測された. Mj5.7 の地震の余震分布域には活断層である由布院断層が分布する. 第 1 図に, 地形判読による活断層の検出図, 第 2 図に γ 線探査による由布院断層付近の断層検出図, 第 3 図に干渉 SAR 解析による地表地震断層 (由布院断層) を示した. この 3 図より, 下記の事象が認められる.

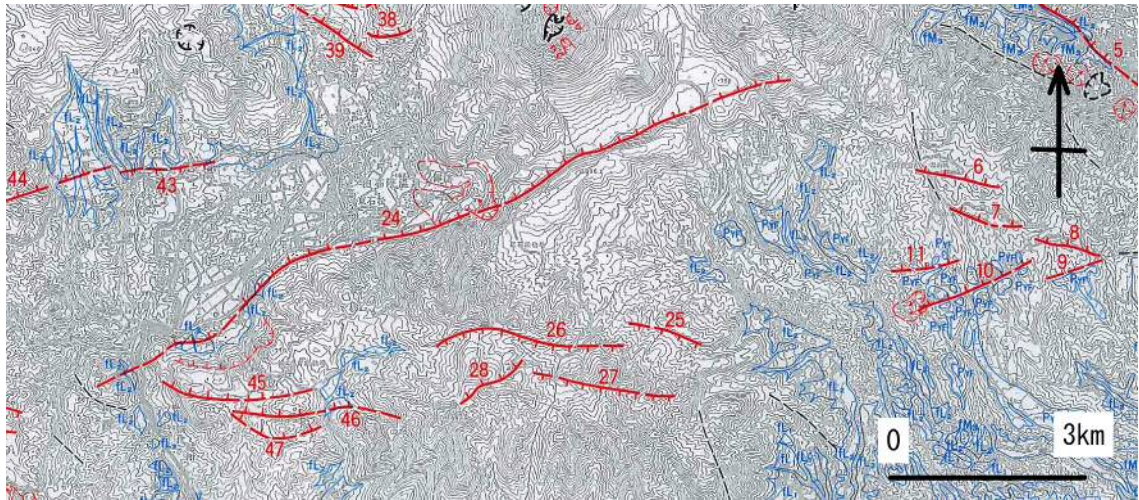
- ① 干渉 SAR 解析で推定された断層西南西部の地表地震断層 (第 3 図) は, 第 2 図では断層 A に該当するが, 第 1 図には記載されていない.
- ② 干渉 SAR 解析で推定された断層東北東部の地表地震断層 (第 3 図) は, 第 1 図には記載されており, 第 2 図では断層 C に該当する.

3. 第四紀層を切る割れ目の考え方

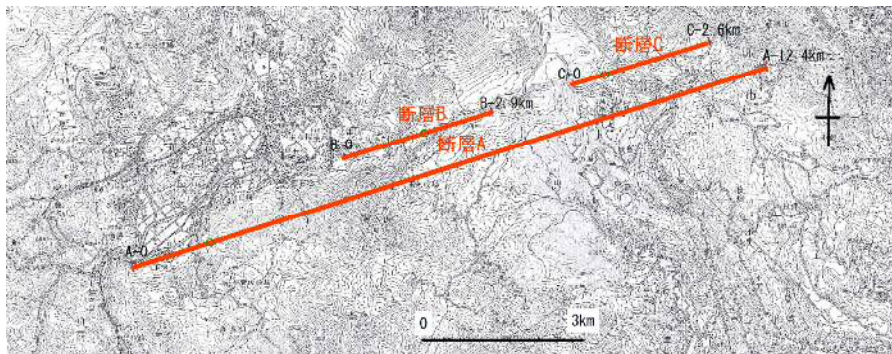
地形判読による活断層検出は, 新しい時代に形成された変位基準 (地形面) を対象に行われる. 断層 A が切る地質は, 倉木山安山岩 (91 万年) と古いため, 第 1 図の活断層図には記載されなかったと考えられる. 断層 C が切る地質は, 黒ボク (0.25 万年) で断裂幅は 5.5m である. 平均断裂幅拡張速度 a (吉村, 2020) は 22 (m/万年) となり, 「お付き合い変位」が生じた石的石牧場 I ($a=7.7$) と同様に断層 C は「お付き合い変位」を生じた断層と考えられる (左図参照). 河川災害 (パイピング, 堤防決壊) の原因となる第四紀断裂の断裂幅は 0.4m~0.5m と小規模なものである (吉村・森山, 2021). 沖積層上で検出される活断層の断裂幅は 1m~3m と推定されるため, この小規模断裂は地震時に「お付き合い変位」が生じた第四紀断裂と推定される.



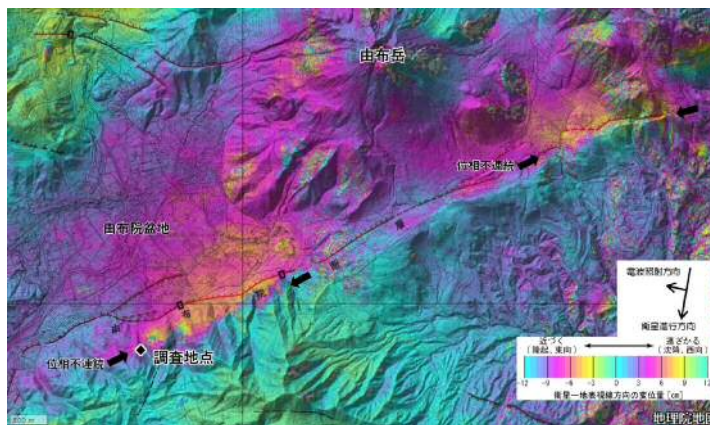
活断層階級別の断裂幅の累積性 (吉村, 2020)



第1図 由布院断層周辺の活断層図（九州活構造研究会，1989）24：由布院断層



第2図 γ 線探査による由布院断層付近の断層検出図



第3図 2016年熊本地震時の由布院断層周辺のSAR干渉画像（中埜ほか，2022）

[引用文献] 九州活構造研究会 (1989) 九州の活構造，東京大学出版会，562p；中埜ほか (2022) 日本活断層学会 2022 年秋季学術大会 P-15；宇根ほか (2018) 日本活断層学会 2018 年秋季学術大会 O-5；吉村 (2020) 活断層研究，52, 25-39；吉村・森山 (2021) 地盤工学会誌，65，5，2021。

O-4

島根県内で確認されている断層の スリップテンデンスーに基づく現世応力場での活動性評価

○島田昌弥（島根大学）・向吉秀樹（島根大学）

Evaluation of the activity of faults in modern stress fields based on slip tendency identified in Shimane Prefecture, SW Japan

○Masaya SHIMADA (Shimane Univ.), Hideki MUKOYOSHI (Shimane Univ.)

1. はじめに

断層の活動性評価に関しては、第四紀堆積物や変動地形を指標に活断層の抽出や活動度の評価が広く行われている。しかし活動時期を把握するための堆積物が欠如する場合や低活動性の断層を対象とする場合、地形的な評価が難しい場合がある(大坪, 2016)。

島根県には主要活断層帯として宍道断層、弥栄断層の存在が報告されている。しかし島根県内で発生している内陸地震の多くは、これら主要活断層帯を含め、活断層の報告が無い場所で発生している。このことは、断層地形判読のみでは抽出することができていない活断層が複数存在する可能性が高く、地質断層とされている断層の中に、地形的に見落とされるが、実際は活動的な断層が存在している可能性を示している。そこで、本研究では地質断層の中に見落とされている活動性の高い断層が、どの程度存在しているか確認することを目的とし、島根県内に存在する断層に対して「力学的な断層活動性評価手法」である slip tendency (以下 ST とする) (Morris et al., 1996) を用いて活動性の評価を行った。地質図で確認された断層 96 条に対して評価を行った結果、48 条の断層において ST の値が 0.7 以上と高い ST の値を示す断層が多く存在することが明らかになったので報告する。

2. スリップテンデンスー (ST) について

ST は断層に作用する応力下において断層の姿勢に対する動きやすさを表す。断層面に働く剪断応力 τ と垂直応力 σ の比で計算され、主応力軸の方向と応力比から計算することができ、 $0 \leq ST < 1$ で規格化されることがある (大坪, 2016)。

3. 手法

ST の計算には解析ソフト MATLAB Coulomb 3.3(Toda et al., 2011)を用いた。計算には、断層姿勢と主応力軸の方向と応力比のパラメータが必要となる。断層姿勢については産業技術総合研究所 地質調査総合センターの発行している地質図(20 万分の 1 または 5 万分の 1 地質図幅)、および今泉ほか編 (2018)「活断層詳細デジタルマップ 新編」を参考に、また主応力軸の方向と応力比については産業技術総合研究所が公開している地殻応力場データベースを参考に情報を得た。

4. 結果

計算の結果、地質図で確認された断層 96 条のうち $0.7 \leq ST$ が 48 条、 $0.8 \leq ST$ が 37 条、 $0.9 \leq ST$ が 20 条であり、地質断層とされている島根県内の多くの断層において活動性が高い可能性を

持つことが示唆された。また活断層とされる宍道断層帯、弥栄・地福断層帯においても ST が 0.7 以上と高い値を示した。

5. 考察

地質断層において ST が高いという結果は、地学的時間スケールでは最近の活動は確認されていないが、力学的に高い活動性を示す断層が存在することを示す。このことは既存断層が、力学的に活動的な断層から活動を開始していくモデルで説明が可能である。すなわち、ST の高い地質断層が多く存在する地域では、断層活動場が未成熟な状態であり、今後成長していく過程であると考えられる。(宮川・大坪, 2015)。また山陰地域は発現時期の若い活断層が分布する場所であると指摘されている(岡田, 2002)ことや、山口-出雲地震帯沿いに新たに活断層が発見される可能性が指摘される(相山・金折, 2019) ように島根県内に存在する断層は活動的な傾向にあると考えられる。また本研究において、島根県内の地質断層の中に ST の高い断層が多く存在し、これらの断層は活断層と似た姿勢を示しているものが多いことも明らかになった。以上のことから島根県内の地質断層の中には既に活動を始めているものが存在している可能性があると考えられる。

6. まとめと今後の課題

島根県に存在する断層に対して ST による活動性の評価を行った。結果、活断層だけでなく地質断層においても活動性が高い断層が多く存在する結果が得られた。

ST の評価には、高間隙水圧の存在が考慮されていないことや、応力の不確実性を反映するなどの課題がある。今後、ST の高い断層を中心に実際に露頭調査を行い、地形的な観点と合わせて断層の評価を行いたいと考えている。

謝辞

産業技術総合研究所の大坪 誠氏、宮川 歩夢氏には、ST に関する議論及び情報を提供して頂いた。ここに記して感謝の意を表します。

参考文献

- 今泉俊文, 宮内崇裕, 堤浩之, 中田高, 2018, 活断層詳細デジタルマップ 新編, 東京大学出版会, 154 p.
- 大坪誠, 2016, 長期の断層活動性を評価する手法の開発を目指して: 手法の紹介とその適用事例, GSJ 地質ニュース, 5, 235-239.
- Toda, S., Stein, R.S., Sevilgen, V., and Lin, J., (2011), Coulomb 3.3 Graphic-rich deformation and stress-change software for earthquake, tectonic, and volcano research and teaching—user guide, U.S. Geological Survey Open-File Report 2011-1060, 63 p.
- 宮川歩夢, 大坪誠, 2015, , 第四紀以降の日本列島における地殻構造の発達過程: 断層の力学的活動性による検討. 日本地質学会第 122 年学術大会講演要旨.
- 岡田篤正, 2002, 山陰地方の活断層の諸特徴, 活断層研究, 22, 17-32.
- Morris, A., Ferrill, D. A., & Henderson, D. B (1996), Slip-tendency analysis and fault reactivation, *Geology*, 24, 275-278.
- 相山光太郎・金折裕司, 2019, 山口-出雲地震帯西部に沿って新たに発見された活断層系, 地質学雑誌, 第 125 巻, 125, 555-570.

O-5

高速増殖原型炉もんじゅ敷地内破碎帯に関する外部有識者会合の評価書の問題点

○中田 高(広島大・名)・渡辺満久(東洋大)

Issue on the Evaluation Report of the External Expert Meeting of On-site Fracture Zone at Prototype Fast Breeder Reactor Monju

○Takashi NAKATA (Prof. Emeritus, Hiroshima Univ.) and Matsuhisa WATANABE (Toyo Univ.)

1. はじめに

原子力施設内の活断層評価は、国民の生命と安全に関わる間違いがあってはならない重要な問題である。原子力規制委員会の「高速増殖原型炉「もんじゅ」敷地内破碎帯に関する外部有識者会合（以下、有識者会合）」は「評価書」(<https://www.da.nra.go.jp/file/NR000038709/000182111.pdf>)をまとめ、敷地内破碎帯は少なくとも後期更新世には活動しておらず、活断層ではないと結論した。しかし、白木一丹生断層が「もんじゅ」南西の海岸に沿って北東に連続し「もんじゅ」の敷地に達することは、明瞭な低断層崖や顕著な谷屈曲の存在から変動地形学的に確認され、断層露頭やボーリング結果から地質学的にも追認される。本発表では、上記の「評価書」や右の有識者会合の配布資料・議事録の分析に加え、大縮尺空中写真・1mグリッドの詳細DEMから作成したアナグリフ画像の判読及び短時間の現地調査の結果をもとに、「評価書」の瑕疵を指摘する。



有識者会合に関する資料

2. 評価の概要に見られる瑕疵（下線部は「評価書」の直接引用）

「評価書」の(1)原子炉建物付近の破碎帯の活動性については、原子炉建物の基礎岩盤で確認された破碎帯のうち最長で連続性が良いa破碎帯を対象に検討を行っている。a破碎帯は北北東-南南西走向で東に65-80度傾斜する最大幅80cmの顕著な破碎帯であるが、現在は原子炉建屋に覆われており観察できない。このため、a破碎帯北方延長で確認された破碎帯のうち、最も活動が新しい α -3破碎帯及び α -3a1破碎帯の性状を検討し、変位は玄武岩貫入時(約19Ma)のものとしている。しかし、a破碎帯と北方延長で新たに確認された破碎帯とは規模が全く異なり走向も違うことから、連続性が不確かな離れた場所の破碎帯から採取された限られた試料の年代に基づいた結論は受け入れ難い。また、「a破碎帯の南方延長では、連続的な変位地形は認められず、AT降灰(約2.6~2.9万年前)以降に形成されたと考える低位段丘面にも変位地形は認められない。」とし、「a破碎帯及びその他の破碎帯は、少なくとも後期更新世以降の活動はないと判断する。」と結論している。ところが、「もんじゅ」建設前の空中写真判読からは、原子炉建屋の位置に河成段丘面を変位させる断層崖と考えられる北北東-南南西走向の低崖が認められる。「もんじゅ」建設前後の等高線図をもとにa破碎帯と低断層崖との位置を比較したところ、掘削された基盤に認められるa破碎帯は低断層崖より僅かに東に位置しており両者は連続する一枚の断層である可能性が高い。このような状況下で、「少なくとも後期更新世以降の活動はない」と結論することはあまりにも強引としか言えない。

3. 白木一丹生断層の基本認識に見られる瑕疵

以下に述べるように、「評価書」の瑕疵の最大の原因は、有識者会合における白木一丹生断層の位置・

形状の基本認識の誤りにある。この誤りは、有識者会合における陸域の変動地形の検討不足によるものと推測される。評価書の③白木-丹生断層と敷地内破碎帯との地質構造上の関連性のまとめでは、「白木-丹生断層の活動の影響が、同断層の東側（断層上盤側）に、一定の範囲（0.2～0.3km）まで及んでいることは確かと判断する。したがって、白木-丹生断層の活動による変形の影響範囲は、もんじゅ敷地内には及んでおらず、現時点では、白木-丹生断層の活動の影響が、もんじゅ敷地内に及んで、敷地内破碎帯が後期更新世以降に活動したと考える証拠は、認められないと判断する。」としている。これは、評価会合において、白木-丹生断層が白木東方から北の海域だけに延長することを前提とし評価が行われたことを示している（図1）。

4. B 露頭の解釈に見られる瑕疵

「評価書」では「(3) 白木-丹生断層と敷地内破碎帯との地質構造上の関連性の①陸域の評価では、もんじゅの南西方約 1km に位置する Loc.8 のボーリング結果から、白木-丹生断層の活動による上盤側の変形が、東側（上 4 盤側）に及ぶことは確かではあるが、その実態や範囲は現時点では明確でないと考える。もんじゅの敷地内 f 破碎帯の南西延長にあり、白木-丹生断層の東方 0.2～0.3km 程度に位置する B 露頭では、凸状の破碎部と堆積物の境界にせん断構造は認められず、またその破碎帯を覆う AT 降灰（約 2.6～2.9 万年前）後に堆積した礫層中にも、せん断構造は認められないこと等から、B 露頭の破碎帯は約 3 万年前以降の活動はないと判断する。」としている。Loc.8 のボーリングから明らかになった活断層が北東に延長することや B 露頭が谷屈曲点近傍に位置することを認識していなかったため、このような結論に至ったと推測される。また、有識者会合においては B 露頭について様々な疑問が提示され、初期には「断層の動きが新しい時代にあったという可能性を否定できない。」としていた。その後、事業者が「差別侵食でも形成される可能性がある。」としたものを、最終的には「侵食及び堆積によるものである可能性が高い。」と断層構造を積極的に否定している。しかし、有識者会合がこのような理不尽な「報告書」を作成するに至ったのか、その経緯を議事録からは確認することはできない。また、上記の B 露頭の延長にあるとされる f 破碎帯については有識者会合では全く議論されておらず、a 破碎帯と B 露頭との連続性を否定するための印象操作に利用されたとも言える。

5. おわりに

廃炉作業が進行中の「もんじゅ」に関わる活断層について、なぜ議論を蒸し返すのかという批判もあろう。しかし、「もんじゅ」の廃炉作業は 2047 年まで継続する計画で、530 本もの燃料棒は原子炉直近のプールに保管中である。燃料棒を相対的に安全な乾式キャスクに移すには数年以上要するため、一刻も早く安全な場所に移動させる必要がある。また、「もんじゅ」敷地近傍には新たな研究用原子炉の設置計画が進んでおり、適切な活断層評価に基づいて耐震性を十分に備えた施設を建設する必要がある。

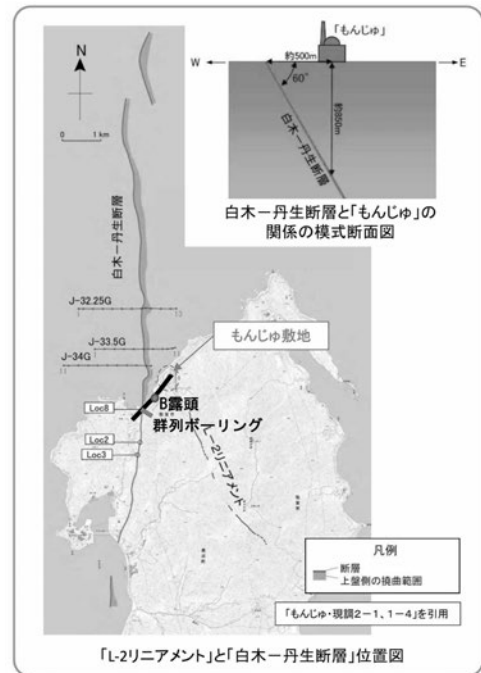


図1 有識者会合の白木-丹生断層に関する基本認識(以下の情報を追加)
 黒太実線：白木-丹生断層の北東延長
 群列ボーリングと B 露頭の位置
 「評価書」より引用

O-6

熊本地震の地表地震断層上における余効すべりの7年5ヶ月間の経時変化と その特徴

— 日奈久断層高野—白旗区間を対象に —

°岩佐佳哉 (大分大)・熊原康博・(広島大)・住谷侑也 (元広島大・院)・田淵雄一郎 (広島大・院)・坂本文隆 (元益城町教育委員会)

Temporal changes and characteristics of afterslip on the southern part of the surface rupture associated with the 2016 Kumamoto earthquake during 7 years and 5 months.

°Yoshiya Iwasa (Oita Univ.), Yasuhiro Kumahara (Hiroshima Univ.), Yuya Sumitani (Former graduate student of Hiroshima Univ), Yuichiro Tabuchi (Graduate student of Hiroshima Univ) and Fumitaka Sakamoto (Former Mashiki Town Board of Education)

1. はじめに 2016年熊本地震では4月14日に前震 (Mj6.5), 16日に本震 (Mj7.3) が発生した。前震では日奈久断層高野—白旗区間の一部に長さ約6 kmの地表地震断層が生じ (Sugito et al., 2016), 本震では布田川断層および日奈久断層高野—白旗区間の一部に沿って長さ約31 kmの地表地震断層が生じた (Kumahara et al. eds., 2022)。このうち、日奈久断層高野—白旗区間の一部では前震と本震の両方で地表地震断層が生じたことになる。

本震の発生直後から現在まで布田川断層および日奈久断層の周辺では余震活動が継続している。干渉 SAR の解析や GNSS 測量に基づく、九州の広範囲で余効変動が認められ (Pollitz et al., 2017; Himematsu and Furuya, 2020; Hashimoto, 2020), 余効変動の一要因である余効すべりに伴う変状が日奈久断層高野—白旗区間で認められている (遠田ほか, 2021; 住谷ほか, 2022)。

本発表では、2022年12月と2023年9月に実施した現地調査の結果を報告するとともに、住谷ほか (2022) が示した地表余効すべりの計測結果を再解析し、本震時から残る変位基準とあわせて、地表余効すべりの経時変化の特徴を議論する。

2. 方法 地表余効すべりの変位量の経時変化を確認するため、2020年3月から2023年9月にかけて6回の現地調査を行なった。現地調査で明瞭な地表余効すべりによる横ずれ変位が認められた3箇所 (図1の Loc. 1~3) について、地表地震断層を横切る道路の白線や家屋の塀などの直線的な構造物を変位基準として、トータルステーション (Nikon NST-200CN) を用いて横ずれ変位量を計測した。6回の現地調査のうち4回の結果は住谷ほか (2022) で報告済みであるが、2022年12月と2023年9月に新たに計測した結果を加え、地表余効すべりの変位量の経時変化を整理した。また、Loc. 1, Loc. 3には本震前からある、断層を横切る直線的な側溝が残されている。これらは本震時と地表余効すべりを合わ

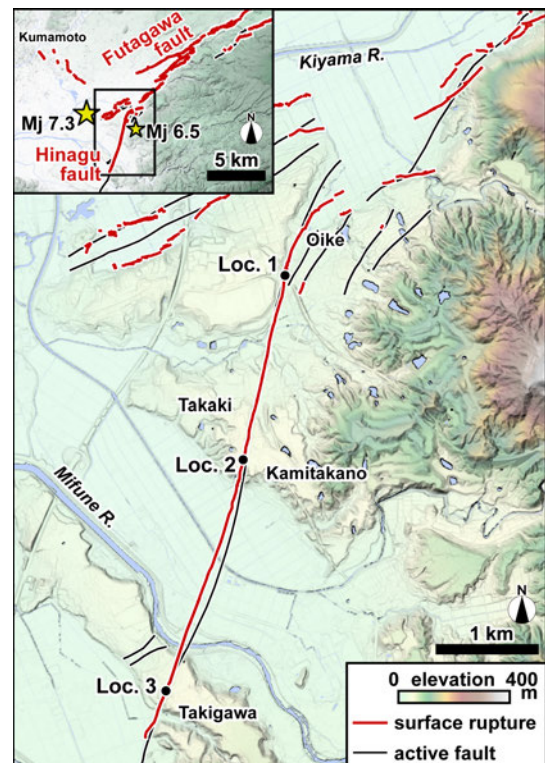


図1 対象地域

せた変位量を記録していると考え、2023年9月に計測した。なお、Loc.2には直線距離で140m離れた位置に、本震前からある民地境界のブロック塀があり、この変位量をLoc.2における本震時と地表余効すべりを合わせた変位量とみなして扱う。

3. 結果 Loc.1では、2017年4月28日に引かれた道路の白線が右横ずれ変位している（本震時の変位量55cm）。変位量は2020年3月には5.9cm、2020年9月には7.3cm、2021年9月には7.5cm、2022年8月には8.8cmであった。なお、2022年8月から12月までの間に白線が引き直されており、その後の経時変化は検討できなかった。2017年4月から2022年8月までの平均変位速度は1.6cm/yrである。本震前からある側溝の右横ずれ変位量は69.9cmであった。

Loc.2では、2017年2月に作られた民地敷地境界のコンクリートブロック塀が右横ずれ変位している（本震時の変位量50~60cm）。変位量は2020年3月には6.8cm、2020年9月には7.5cm、2021年9月には9.4cm、2022年8月には8.4cm、2022年12月には9.4cm、2023年9月には8.9cmであった。2017年2月から2023年12月までの平均変位速度は1.4cm/yrである。Loc.2から140m離れた、本震前からあるブロック塀の右横ずれ変位は91.8cmであった。

Loc.3では、2017年4月に引かれた道路の白線が右横ずれ変位している（本震時の変位量11cm）。変位量は2020年3月には3.8cm、2020年9月には4.8cm、2021年9月には4.9cm、2022年8月には5.4cm、2022年12月には6.1cm、2023年9月には4.8cmであった。2017年4月から2023年9月までの平均変位速度は0.8cm/yrである。本震前からある側溝の右横ずれ変位量は21.2cmであった。

上記の中には変位量が小さくなった期間も見られるが、計測誤差を考慮すると見かけ上のものと考えられる。

4. 地表余効すべりの経時変化とその特徴 6度の測量結果に基づくと、2017年2月もしくは4月から現在にかけて地表余効すべりの変位量の変化は減衰傾向にある（図2）。本震から現在までの地表余効すべりの変位量および変位速度をA：本震~2017年前半（約1年間）、B：2017年前半~2020年3月（約3年間）、C：2020年3月~2023年9月（約3年半）で比較すると、Loc.1では、A：6.1cm（6.1cm/yr）、B：5.9cm（2.0cm/yr）、C：少なくとも2.8cm（0.8cm/yr）である。Loc.2では、A：23~33cm（27.6~39.6cm/yr）、B：5.9cm（2.2cm/yr）、C：1.9cm（0.5cm/yr）である。Loc.3では、A：5.4cm（5.4cm/yr）、B：3.8cm（1.3cm/yr）、C：1.0cm（0.3cm/yr）となり、熊本地震発生から7年5ヶ月における変位量の変化は減衰傾向にある。また、Loc.1からLoc.2にかけては、高野-白旗区間における地震時の横ずれ変位量が大きい区間（50~60cm）にあたり、Loc.3は地表地震断層の末端に近く、その変位量は11cmと小さい区間にあたる。本研究で得られた地表余効すべりの変位量の空間分布は、本震時の変位量の空間分布と同じ傾向をしめす。

文献：Sugito et al. (2016) *EPS* ; Kumahara et al. eds. (2022) Springer ; Pollitz et al. (2017) *GRL* ; Himematsu and Furuya (2020) *ESS* ; Hashimoto (2020) *EPS* ; 遠田ほか (2021) 活断層研究 ; 住谷ほか (2022) 日本活断層学会講演予稿集

謝辞：本研究はJSPS 18H03601, JP20J22288を使用した。

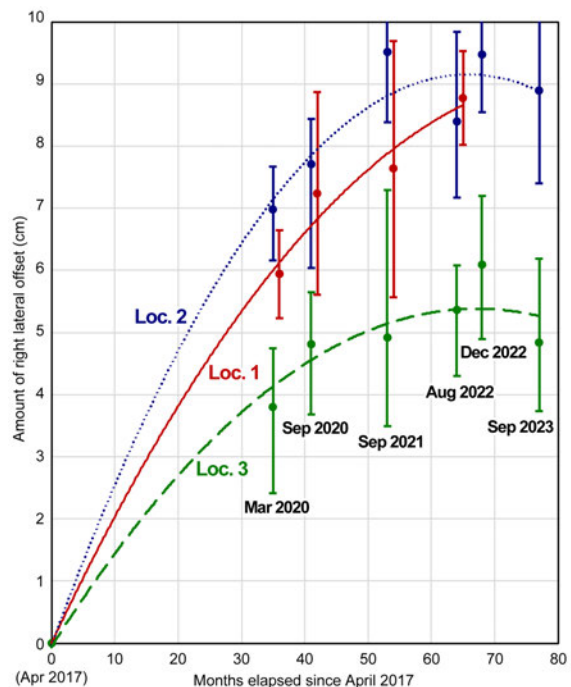


図2 2017年4月から2023年9月までの地表余効すべりの経時変化

O-7

2023年トルコ、カフラマンマラシュ地震における

断層幾何形状から得られた破壊伝播確率

○原 勇貴・遠田 晋次（東北大学）

Rupture propagating probability derived from fault geometry in the 2023 Kahramanmaraş, Türkiye, earthquake

○Yuki Hara, Shinji Toda (Tohoku University)

地震断層の破壊プロセスにおいて、破壊の開始や停止は断層の幾何形状に大きく影響を受ける可能性が指摘されている。特に、屈曲 (bend) 部やステップ (step) 部が破壊伝播の障害として働くと考えられている。Biasi and Wesnousky (2016, 2017, 2021) は世界中の内陸型地震の地震断層を解析し、bend・step の伝播確率を経験則的に求め、地表活断層分布から確率論的に破壊長の予測を行う手法を提案した。本研究では、QGIS を用いて活断層トレースの幾何形状を半自動的に計測する手法を開発し、Biasi and Wesnousky (2021) で提案された破壊伝播確率を導入した。そのうえで、本手法の妥当性を確かめるために、トルコ南部の活断層トレースを対象として、2023年カフラマンマラシュ地震を引き起こした破壊伝播過程について確率論的検討を行った。

2023年2月6日にトルコ南部で発生したカフラマンマラシュ地震 (Mw7.8) は、東アナトリア断層から南へ約 20 km の位置を震央として、分岐断層である Narlı断層から破壊が始まり、東アナトリア断層に伝播した (Melgar et al., 2023)。その後、東アナトリア断層を北東-南西方向にバイラテラルに進行した結果、最終的には Amanos セグメント、Pazarcık セグメント、Erkenek セグメントを含む全長約 350 km にわたって左横ずれ変位を主体とする地震断層が確認された。また、9時間後に発生した地震 (Mw7.5) では、Çardak 断層と Sürgü断層を含む約 160 km にわたり断層変位が確認された (Barbot et al., 2023 など)。

本研究では、Emre et al. (2018) の活断層トレースと、Reitman et al. (2023) の地震断層トレースを用いた。これらの断層トレースを QGIS に取り込み、5 km ごとに取得した点データを結ぶ直線によって幾何形状を近似し、屈曲角度を計測した。また、ステップは連続しない断層トレース間の最短距離とした。

破壊の伝播確率を求めるにあたり、震源時間関数の解析結果 (Melgar et al., 2023) から、Narlı断層と東アナトリア断層のそれぞれに破壊開始点を設定した。Narlı断層では、

カフラマンマラシュ地震で記録された地震断層に相当する活断層トレースがないことから、地震断層にもとづいて破壊の伝播確率を計算すると、約10%の確率で北端に到達する結果となった。これは、Narlı断層が東アナトリア断層の破壊を促進させる確率に相当する可能性が考えられる。一方、東アナトリア断層において開始した破壊の伝播確率は、Pazarcıkセグメントの両端で約1%まで減少し、南西のAmanosセグメントへは約0.3%、北東のErkenekセグメントへは0.01%以下でそれぞれ破壊が伝播する結果となった(図1)。さらに、カフラマンマラシュ地震の地震断層端に相当する位置では 10^{-5} %から 10^{-7} %と、著しく低く非現実的な値となった。これは、カフラマンマラシュ地震のような規模の地震が非常に稀に発生することを示している一方で、実際の発生状況やMw7.8を超える長大な断層の発生頻度(2000年以降全世界で5地震)などを考慮すると、Biasi and Wesnousky(2021)の手法による予測値は過小となる可能性を示唆している。またMw7.5の地震断層の東端部において、活断層トレースで求めた破壊伝播確率では、東アナトリア断層に向けてSürgü断層を進行する確率が最も高いのに対し、実際の地震断層は北東に分岐して破壊が伝播した。これは、Mw7.8の断層変位に伴う応力の変化が破壊伝播に影響を与えた可能性も考えられる。今後、物理探査等から推定される地下の断層位置・形状や古地震履歴調査からの応力の蓄積状況などの情報を手法に反映していく必要がある。

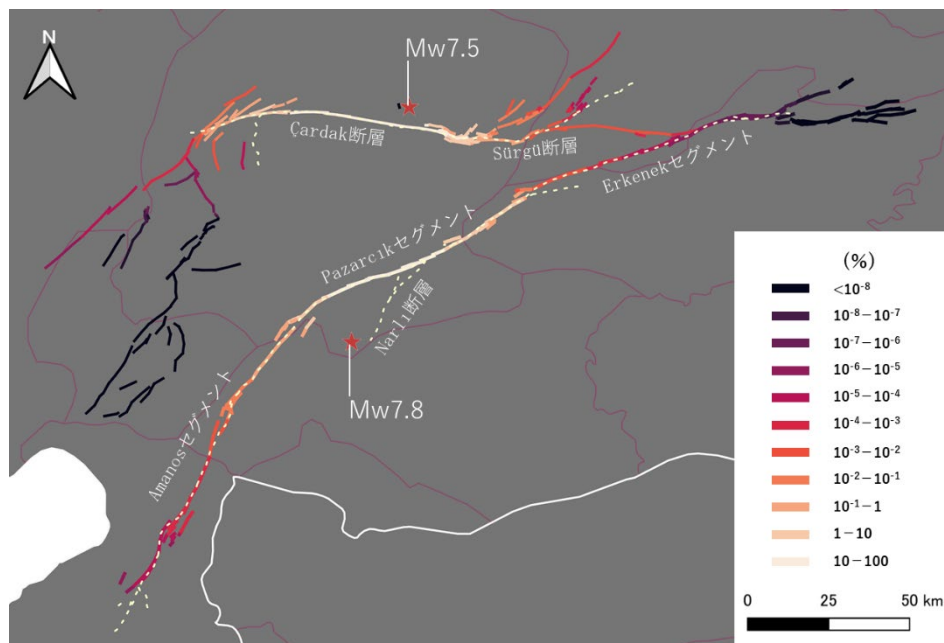


図1 トルコ南部の活断層トレース(Emre et al., 2018)から推定した破壊伝播確率
破線はカフラマンマラシュ地震による地震断層(Reitman et al., 2023)を示す

O-8

東アナトリア断層系における 2023 年 Mw7.8 地震とカルタル地点のトレンチ調査

° 近藤久雄（産業技術総合研究所），セリム・オザルプ，ハサン・エルマジ，
タメール・ドウマン（トルコ鉱物資源開発調査総局）

The 2023 Mw 7.8 earthquake on the East Anatolian fault system and the Kartal trench site excavated in 2014, Turkey

° Hisao Kondo (IEVG, GSJ/AIST), Selim Özalp, Hasan Elmaci, Tamer Duman (MTA)

1. はじめに

東アナトリア断層系 (EAFS) は、アナトリア・マイクロプレートとアラビアプレートの境界をなす、北東-南西走向で延びるトランスフォーム型左横ずれ断層系である。北東端は、北アナトリア断層系の東端付近でユーラシアプレートとの3重会合点にあたるカルリオバ付近に位置し、南西端は地中海沿岸付近にまで至る。最近 MTA が明らかにした活断層の分布 (Emre et al., 2013) からは、EAFS の南西端付近は、トゥルクオール付近で北東-南西から南北方向へ走向が滑らかに変化し、アンタクヤからシリア国境付近で南北走向の死海断層系と大局的には連続する。陸域の EAFS の長さは 600km 以上であり、GPS (McClusky et al., 2000; Reilinger et al., 2006) や InSAR (Walters et al., 2014) および地形地質学的調査 (e.g., Herece, 2008) による左横ずれ変位速度は 10mm/yr 前後とされている。

著者らは、2014 年以降、EAFS を対象として連動型古地震に関する国際共同研究を実施してきた。本発表では、2014 年に実施したカルタル (Kartal) 地点におけるトレンチ調査の結果と 2023 年に実施予定のトレンチ再掘削調査の予察を中心に紹介する。本発表では、地震発生前の古地震学的背景や 2014 年トレンチの状況を含めて、2023 年地震前後の長期予測を比較・検討する。

2. 調査地点と調査の概要

2014 年・カルタルトレンチ調査地点はカフラマンマラシュの東方約 25km に位置し、北東-南西方向の東アナトリア断層系の主トレース上の調査地点である。周辺では直線状に伸びる東アナトリア断層系が南東に傾斜する山地斜面を切断し、南東側隆起を伴うシャッターリッジ、その北西側の閉塞凹地、南東側隆起の低断層崖、河谷の系統的な左屈曲といった明瞭な断層変位地形を形成する。周辺には沈み込み帯を起源とする付加帯のメランジュが断層の両側に広く分布し、リッジ上では蛇紋岩が露岩する。

カルタル地点を含む長さ 90km 前後のパザルジユク区間は、西暦 1513 年の歴史地震が最新活動とみられ、大地震の空白域とする見解があった (例えば, Duman and Emre, 2013; Hubert-Ferrari et al., 2020)。さらに南のアマノス区間は長さ約 110km であり、最新イベントはさらに古い西暦 521 年に相当する可能性も指摘されていた (Duman and Emre, 2013)。2023 年 2 月 6 日に生じた Mw7.8 地震では、少なくとも両区間を含む約 320km 前後が結果として連動し (例えば, Kondo et al., 2023)、2014 年に埋め戻したカルタルトレンチも左横ずれ 4 m 程度を生じた。

2014 年当時のトレンチ調査は、横ずれ量を復元する 3D トレンチ調査の予備的な調査として実施し、断層に直交方向に 2 孔のトレンチを掘削した。それぞれのトレンチは主トレンチの T1 トレンチ、補備的なトレンチの T2 トレンチと呼ぶ。T1 トレンチは、シャッターリッジと閉塞凹地の境界付近を横断して、長さ 20m、幅 5 m、深さ 3 m 程度で掘削した。T2 トレンチは、シャッ

ターリッジを横断し、閉塞凹地から排水する河谷の近傍で掘削し、T1 トレンチよりも細粒な堆積物が存在するかを確認した。

3. 結果

シャッターリッジを構成する蛇紋岩，低下側の凹地を埋積する河川性の細粒堆積物，腐植を含む沼地性堆積物，リッジから供給された斜面堆積物，現世の土壤が露出した。さらに，現世の土壤を除き，それらの地層と基盤岩を明瞭に切断するほぼ鉛直な断層面が複数露出した。

断層と各地層の切断・被覆関係，斜面堆積物の存在や低下側で厚く堆積しアバットする堆積構造，上下変位量や引きずり変形の程度等をもとに，不確かなものを含め5回の古地震イベントを認定した。ただし，放射性炭素同位体年代測定試料が乏しく，これまでに7試料のみ結果が得られている。

最新イベントではトレンチ壁面では明瞭な剪断面がみられず，低側を埋積する細粒なシルト層が古土壤に狭在する堆積構造とから示唆された。1つ前のイベントでは，断層上端が低下側を埋積する腐植質シルト層に覆われ，下位の地層の変形に累積が認められる。さらに古いイベントについても，断層上端が斜面堆積物に覆われる切断・被覆関係や，明瞭な変形程度の累積とイベント毎の差異によって識別された。

4. おわりに

パザルジユク区間の最新イベントは，西暦 1513 年の歴史地震に対応する可能性が指摘されていた（例えば，Duman and Emre, 2013; Hubert-Ferrari et al., 2020）。仮に西暦 1513 年に対比した場合，最近4回の平均再来間隔は 900～1500 年となる。一方，歴史地震の検討と対比では，西暦 1513 年に先行するイベントは西暦 1114 年と推定され，約 400 年の再来間隔が算出されていた（Karabacak et al. 2011 ; Duman and Emre, 2013）。

2回の歴史地震からは 2023 年地震の発生直前の経過率は，経過時間 510 年を再来間隔 400 年で除して 1.3 となり，高い切迫性を示していたことになる。一方，トレンチ調査による4回のイベントの平均再来間隔は 900 年が最小値であり，より長期の記録では再来間隔が長い可能性もあり，今後の検討を要する。

2023 年に再掘削するトレンチ調査では，最近2回の歴史地震との対応を新たな年代試料をもとに再検討する。さらに，2023 年地震前の最新活動やそれ以前の横ずれ量の復元を試み，2023 年地震の連動範囲の予測可能性等について検証していく。

（謝辞）本研究の一部は，GSJ-MTA Joint research project 「Paleoseismological Study on the East Anatolian Fault System, Turkey」の一環として実施し，JST・J-RAPID（課題番号 JPMJ2306）の支援を受けたものである。関係各位に御礼申し上げます。

O-9

3-D Fault Geometrical Effect on the 2023, Kahramanmaras and Ekinozu, Turkiye, Earthquake Sequence Revealed by Dynamic Rupture Simulation
○Ryosuke Ando (U. Tokyo), Ali Pinar, Doğan Kalafat, Haluk Ozener (Bogazici U.), Esref Yalcinkaya (Istanbul U.) and Yojiro Yamamoto (JAMSTEC)

動的破壊シミュレーションにより明らかとなった 2023 年 Kahramanmaras and Ekinozu, Turkiye, 地震系列における 3 次元断層形状の効果
○安藤亮輔(東大・理), Ali Pinar, Doğan Kalafat, Haluk Ozener(ボアジチ大), Esref Yalcinkaya(イスタンブール大), 山本揚二郎(JAMSTEC)

The 2023, M 7.8, Kahramanmaras earthquake (mainshock) occurred on February 6th, mainly along the plate interfaces called the East Anatolia fault ruptured toward NE (accommodating the motion between Anatolia and Arabia) and the Dead Sea Fault Zone ruptured toward SW (between Arabia and Africa). Followed in 9 hours, the M 7.6, Ekinozu earthquake (largest aftershock) was hosted by the subsidiary fault system called the Cardak – Surgu faults. This earthquake sequence presents significant complexity in fault geometry and rupture patterns. The observed hypocenter indicated that the mainshock rupture nucleated away from the East Anatolia fault (EAF) and was probably located on a subsidiary fault called the N-S striking Narli fault. The Narli fault is close to the area called Maras Tripple Junction (MTJ) where Anatolian, Arabian and African plates meet.

In order to understand the physical mechanism underlying this earthquake sequence, we performed a set of stress tensor inversions and dynamic rupture simulations. We used the FDP-BIEM developed by Ando, 2016, for the fully-dynamic rupture simulation. The 3-D fault geometry is built based on the previously compiled surface fault traces with constant dip angles. Based on the stress inversion using the aftershock focal mechanisms ($M > 4$), we find that the maximum horizontal principal stress axis around the Cardak – Surgu faults is slightly rotated clockwise from that around EAF. The Narli fault and EAF are favorably oriented.

With the observationally constrained initial condition, the simulation can reproduce several coseismic features determined by seismic and geodetic observations. Such features include 1) the rupture propagated from the Narli fault to EAF; 2) initially propagated towards the northeast on EAF, and eventually to the southwest; 3) the rupture to the south is posed at a bend (MTJ) before entering into the Dead Sea Fault zone (the Amanos Fault), further delaying the southwest rupture; 4) the possible super-shear on the Amanos Fault; 5) the locations of large slip areas determined by the SAR data. Moreover, the positive dynamic Coulomb stress change ($\sim 2\text{MPa}$) is simulated in the middle of the Cardak Fault, while the Surgu Fault experienced the smaller amplitude. This dynamic stress change comparable to the

earthquake stress drop is few times larger than the static Coulomb stress changes. These characteristics are understandable as the primary effect of the fault geometry.

Acknowledgment: This work used computational resources of Earth Simulator provided by JAMSTEC through the HPCI System Research Project (Project ID: hp220105).

O-10

S波反射法地震探査（横黒第1測線・第2測線）からみた 中央構造線断層帯川上断層における浅部地下構造

○ 木村 治夫（一般財団法人 電力中央研究所 地質・地下環境研究部門）
近藤 久雄（国立研究開発法人 産業技術総合研究所 活断層・火山研究部門）
黒澤 英樹（応用地質株式会社）

Shallow subsurface structure revealed by the Yokoguro-1 and Yokoguro-2 S-wave seismic reflection profiles across the Kawakami fault, the Median Tectonic Line active fault system, southwest Japan

○ Haruo Kimura (Central Research Institute of Electric Power Industry)
Hisao Kondo (Geological Survey of Japan, AIST)
Hideki Kurosawa (OYO Corporation)

【はじめに】 中央構造線断層帯は、近畿地方の金剛山地東縁から、四国を経て、九州の由布院地域へ至る全長約 444 km の国内最大の活断層帯であり、過去の活動時期や断層の形状等の違い、平均的なずれ速度等から、全体が 10 の区間に分けられる（地震調査研究推進本部地震調査委員会, 2017）。このうち四国陸域の区間を対象とした活断層調査・研究プロジェクトが 2020 年度からの 3 ヶ年で実施されている[1, 2]。四国陸域の本活断層帯は、讃岐山脈南縁東部区間、讃岐山脈南縁西部区間、石鎚山脈北縁区間、石鎚山脈北縁西部区間から構成され、いずれの区間も m オーダーの大きな右横ずれの地震時変位量と 1 千年弱から 2 千年程度という比較的短い活動間隔によって特筆される[3]。本プロジェクトにおいて、連動地震イベントの履歴・発生頻度等を検討するため、変位履歴および過去の地震時変位量に関する多種の調査が実施された。本発表ではとくに、石鎚山脈北縁西部区間の北東端付近を構成する川上断層について、その東端付近で実施された S 波反射法地震探査の結果を報告する。

【探査地概説】 本探査地の愛媛県西条市横黒地区は、石鎚山脈から北流する河川群によって形成された西条平野に位置し、川上断層を含む石鎚山脈北縁西部区間の変位成分は右横ずれが主体的である[3]が、探査地および周辺では、北側相対上昇する変位成分も伴い、逆向き低断層崖が分布する[4]。また、本探査地付近の池田ほか[5]による群列ボーリング調査では、約 7,300 年前の鬼界-アカホヤ火山灰降下[例えば, 6]以降の上下変位速度は 0.55 mm/yr と見積もられている。本研究では、活断層の詳細位置の把握と断層の活動に伴う地下浅部の変形構造・変形量を明らかにするために、前述した低崖を横切る S 波反射法地震探査を実施した。

【S 波反射法地震探査】 横黒第 1 測線および横黒第 2 測線ともに、本地点において推定される断層構造とほぼ直交し、測線長はそれぞれ 137 m, 147 m である。震源にはドイツ GEOSYM 社製のポータブルバイブレータ震源「ELViS-III」を使用し、データ収録にあたっては米国

Geometrics 社の GEODE システムを使用して、発震ごとに受振点 72 点分の波形データをサンプリング間隔 0.5 ms で同時収録した。なお、発震点・受振点間隔は共に 1 m である。取得した探査データに対して、共通中間点重合法[例えば、7]による各種のデータ編集・フィルタ処理を施し、最終断面（重合後マイグレーション処理を施した深度変換断面）を得た。

【川上断層による撓曲変形構造と累積上下変位量】横黒第 1 測線・第 2 測線の最終断面ではともに、深度約 30 m 以浅で比較的明瞭で連続性の良い反射面が認められ、断面北端付近から南端付近までほぼ連続した数枚のホライズンを追跡できた。これらの分布深度は、池田ほか[5]の群列ボーリングで観察された最終氷期最盛期以降の堆積物の深度に相当する。本探査測線周辺の堆積物の供給源は北流する河川であると考えられるのに対して、探査断面中の各ホライズンは横黒第 1 測線で約 50 m の範囲で、横黒第 2 測線で約 70 m の範囲で幅広く南方に相対低下する形状を呈しており、断層運動に伴う北側上昇の撓曲変形を示している可能性が高い。これら撓曲変形を示すホライズンは下位のものほど上下変位量が大きくなっており、とくに、最終氷期最盛期の最大海面低下期の堆積物[5]の上面に相当するホライズンでは上下変位量は 10 m 強に達することがわかった。

謝辞： 反射法地震探査には道路管理者・地権者をはじめとする地元の皆様に御協力いただいた。探査の現場作業では、応用地質株式会社および関係する皆様に御協力いただいた。本研究は文部科学省「連動型地震の発生予測のための活断層調査研究」プロジェクトの一部として実施した。広島大学の後藤秀昭准教授および同志社大学の堤浩之教授をはじめとする前記プロジェクトのメンバー及び外部評価委員の皆様には多くの御協力と議論をいただいた。記して謝意を表す。

引用文献

- [1] 文部科学省・産業技術総合研究所（2021）連動型地震の発生予測のための活断層調査研究，令和 2 年度成果報告書。文部科学省・産業技術総合研究所，91p.
- [2] 文部科学省・産業技術総合研究所（2022）連動型地震の発生予測のための活断層調査研究，令和 3 年度成果報告書。文部科学省・産業技術総合研究所，146p.
- [3] 地震調査研究推進本部地震調査委員会（2017）中央構造線断層帯(金剛山地東縁一由布院)の長期評価（第二版）。地震調査研究推進本部，162p.
- [4] 後藤秀昭・中田 高（2000）四国の中央構造線活断層系：詳細断層線分布図と資料，広島大学総合地誌研究資料センター 総合地誌研 研究叢書，35，1-144.
- [5] 池田倫治・他（2015）四国中央部の中央構造線断層帯川上断層東端部における群列ボーリング調査，地質学雑誌，121，403-419.
- [6] 町田 洋・新井房夫（2003）新編 火山灰アトラスー日本列島とその周辺ー，東京大学出版会，336p.
- [7] 物理探査学会 編（2016）物理探査ハンドブック 増補改訂版，物理探査学会，1045p.

O-11

立田山断層周辺における地盤振動特性

° 鈴木晴彦・松山尚典（応用地質）

Ground motion characteristics around the Tatsutayama Fault in Kumamoto City.

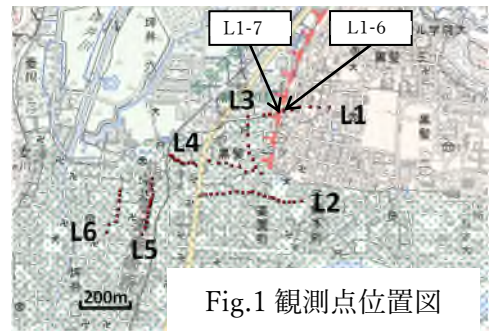
SUZUKI Haruhiko, MATSUYAMA Hisanori (OYO Corp.)

1. はじめに

強震動予測において震源断層の断層面の位置を精度良く推定することは、断層近傍の強震動予測を行う上で重要である。熊本市北部の立田山断層についての熊本市活断層調査（熊本市,2022）では、渡辺(1984)の結果を採用して、熊原ほか（2017）の断層トレースの南端から南西方向へ断層を延長しているが、延長部には変位地形は確認されていない。そこで、本論文では、断層位置の推定のために立田山断層を挟んで微動測定を行い、断層を挟んで地盤振動特性の違いがあるかどうかを検討し、さらに、立田山断層の延長部分について微動測定を実施して、地盤振動特性からみた立田山断層の延長部について考察した。

2. 測定および解析方法

常時微動観測は、断層リニアメントを横断する測線と断層の延長部において実施した。測定には、応用地質製三成分 McSEIS-AT、微動計として固有周期 2Hz のジオフォンを用いた。Fig. 1 に観測点位置図を示す。H/V スペクトルは観測データを 40.96 秒に分割し、4 分の 3 を重複させて分割した。平均二乗振幅の小さい 5 区間のデータを用い、バンド幅 0.3Hz の Parzen Window により平滑化し、水平成分の二乗平均平方根を UD 成分で除して H/V スペクトルを求めた。



3. 解析結果

Fig. 2 に L1 の H/V スペクトルの例を示す。L1 は想定断層を横断するように 9 か所で測定を行った。観測点間隔は約 30m、測線長は 260m である。断層の東側の観測点 L1-1, L1-4 では赤矢印で示した周期 1 秒付近にピークが見られ、周期 0.5 秒以下では明瞭なピークを示していない。一方、断層の西側の観測点 L1-5, L1-7 では周期 1 秒付近と 0.15~0.3 秒程度の 2 つの明瞭なピークが確認できる。Fig.1 に示した国土地理院活断層図(以下、活断層図

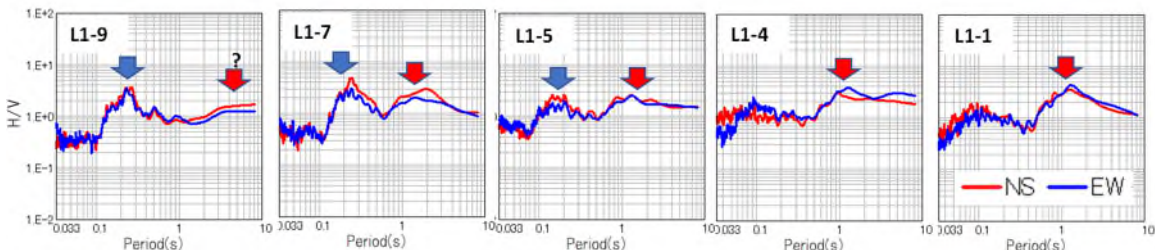


Fig.2 L1 測線における H/V スペクトル

という)では、活断層(位置やや不明確)がL1-6, 7の間に記されているが、微動測定の結果ではやや東側のL1-4と5の間でH/Vスペクトルの形状が変化していることが確認できる。

観測した73地点のH/Vスペクトルについて、機械学習の一つであるMulti-Dimensional Scalingを用いた次元低下を行い、各観測点のデータを分類した(小西他, 2021)。周波数1~20Hzまでを対数軸で等間隔となるように130分割した。周波数131個×73地点のデータで構成される多次元データとみなせる。固有値の大きさ上位3つの固有ベクトルを用いて、K-means法により2つのグループに分類した。Fig3には2つのグループのH/Vスペクトルの重ね書きを示す。グループ1のH/Vスペクトルには周期0.2~0.4秒程度にピークがみられる。また、Fig.4にはK-means法により2つに分類した地点を色分けして示す。H/Vスペクトル形状が変化する地点がL3, L4において活断層図による活断層位置より西側にずれていることが確認できる。最も西側のL6では、明瞭なグループ分けがなされていない。Fig.4にはH/Vスペクトルをコンター表示した図面を示す。L1, L3では明瞭なピーク周期の変化がみられるが、L5, 6ではピーク周期の変化は不明瞭である。

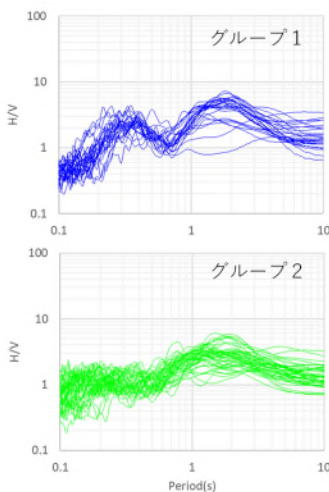


Fig.3 グループごとのH/Vスペクトル

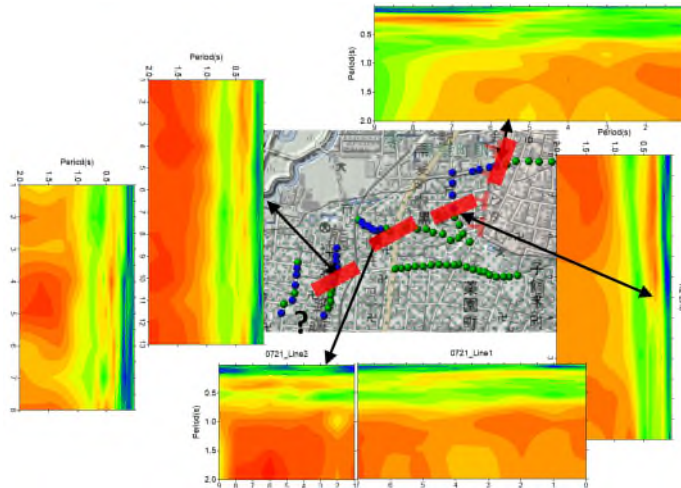


Fig.4H/Vスペクトル分布図

4. まとめ

以下に本論文の結論を示す。

- ✓ 活断層位置を横断するL1では、断層付近で周期0.15~0.3秒程度と1程度のピークに変化が見られた。これは、活断層による地盤構造の変化に対応していると考えられる。L2ではこのような構造は認められず、立田山断層は、この位置には延長していないと推定される。また、H/Vスペクトル形状が変化する地点は、L3, L4において活断層図による活断層位置より西側にずれている。
- ✓ L5, 6では、振動特性からみた明瞭なグループ分けは難しく、立田山断層南部が西方向に伸びているかどうかについては不明である。地震調査研究推進本部(1996)や熊本市(2022)によるリニアメントとの関係を議論するために断層の西側および南側の地点での測定や堆積層のS波速度を推定するための微動アレイ探査などの追加調査を行う予定である。

参考文献：熊本市(2022)：水前寺・立田山断層調査結果。熊原他(2017)：「1:25,000活断層図「熊本(改訂版)」,国土地理院。渡辺(1984)：熊本地学会誌, 76, p9-16。地震本部(1996)：平成7年度布田川断層帯(立田山断層を含む)に関する調査成果報告書。小西ほか(2021)：物理探査学会第144回学術講演会論文集, 114-117。

O-12

布田川断層田中地区における熊本地震前トレンチの再掘削調査

◦遠田晋次(東北大学)・鳥井真之(熊本大学)・山根悠輝(東北大学)・原 勇貴(東北大学)・石村大輔(東京都立大学)・高橋直也(東北大学)・奥野 充(大阪公立大学)・福田泰英(三和地質コンサルタント)

Re-excavation of pre-earthquake paleoseismic trenches across the Futagawa fault after the 2016 Kumamoto earthquake, at Tanaka site, Mashiki-machi, Kumamoto, Japan

◦Shinji Toda (Tohoku University), Masayuki Torii (Kumamoto University), Yuki Yamane (Tokoku University), Yuki Hara (Tohoku University), Daisuke Ishimura (Tokyo Metropolitan University), Naoya Takahashi (Tohoku University), Mitsuru Okuno (Osaka Metropolitan University) and Yasuhide Fukuda (Sanwa Chishitsu Consultant Inc.)

2016年(平成28年)4月16日に発生した熊本地震(M7.3)では、日奈久断層北端、布田川断層区間沿いから阿蘇カルデラ西縁まで約30 kmにわたって地表地震断層が出現した(Shirahama et al., 2016; Kumahara et al., 2022)。益城町堂園地区で最大右横ずれ変位2.2 mが確認された。その堂園地区から南西約2.5 kmに位置する田中地区では、1996年に熊本県(熊本県, 1998)、2006年に産業技術総合研究所(吉岡ほか, 2006)がそれぞれトレンチ調査をおこない、1.2万年前~2千年前に生じた最新活動やチャネル堆積物の右ずれ平均変位速度0.25 m/千年などを推定した。これらの調査結果は、熊本地震前としては貴重な古地震データとなり、布田川断層の長期評価に反映された(地震調査研究推進本部, 2013)。

今回、著者らは田中地区トレンチ壁面で観察された断層の熊本地震による動きを確認するために、県トレンチおよび産総研トレンチの一部を再掘削した。地震前のトレンチ調査壁面を地震後に再掘削し、前後の断層変位・地層変形の差を検討した事例として、米国アイダホ州の1983年のボラピーク地震(Mw 6.9)で活動したロストリバー断層(Haller et al. 2004)、ニュージーランド南島の2016年カイコウラ地震(Mw 7.8)で変位したケケレング断層(Morris et al., 2021)に続いて、世界で3例目となる。

調査では、まず県トレンチ側の表土約30 cm厚を取り除き、トレンチの輪郭を復元した(図1a)。その結果、県トレンチの東壁面と西壁面追加掘削部分が約40-50 cm右横ずれしていることを確認した。さらに、東側壁面の断層部分を約2.5 mの深さまで掘り進め(図1b)、主断層部分で当時の足場板が20-30 cm右横ずれしていることも確認した。なお、右横ずれ平均変位速度0.2 m/千年の算定根拠となっていたAso-4再堆積物のチャネル堆積物は、チャネ

ルではなく水平成層した礫層で右横ずれの根拠とならないこと、主断層の南側1～2mの位置に地表付近まで延びる断層をあらたに見いだすなど、熊本県(1997)と異なる結果も得た。講演では、産総研田中トレンチAの再掘削結果についても紹介する。

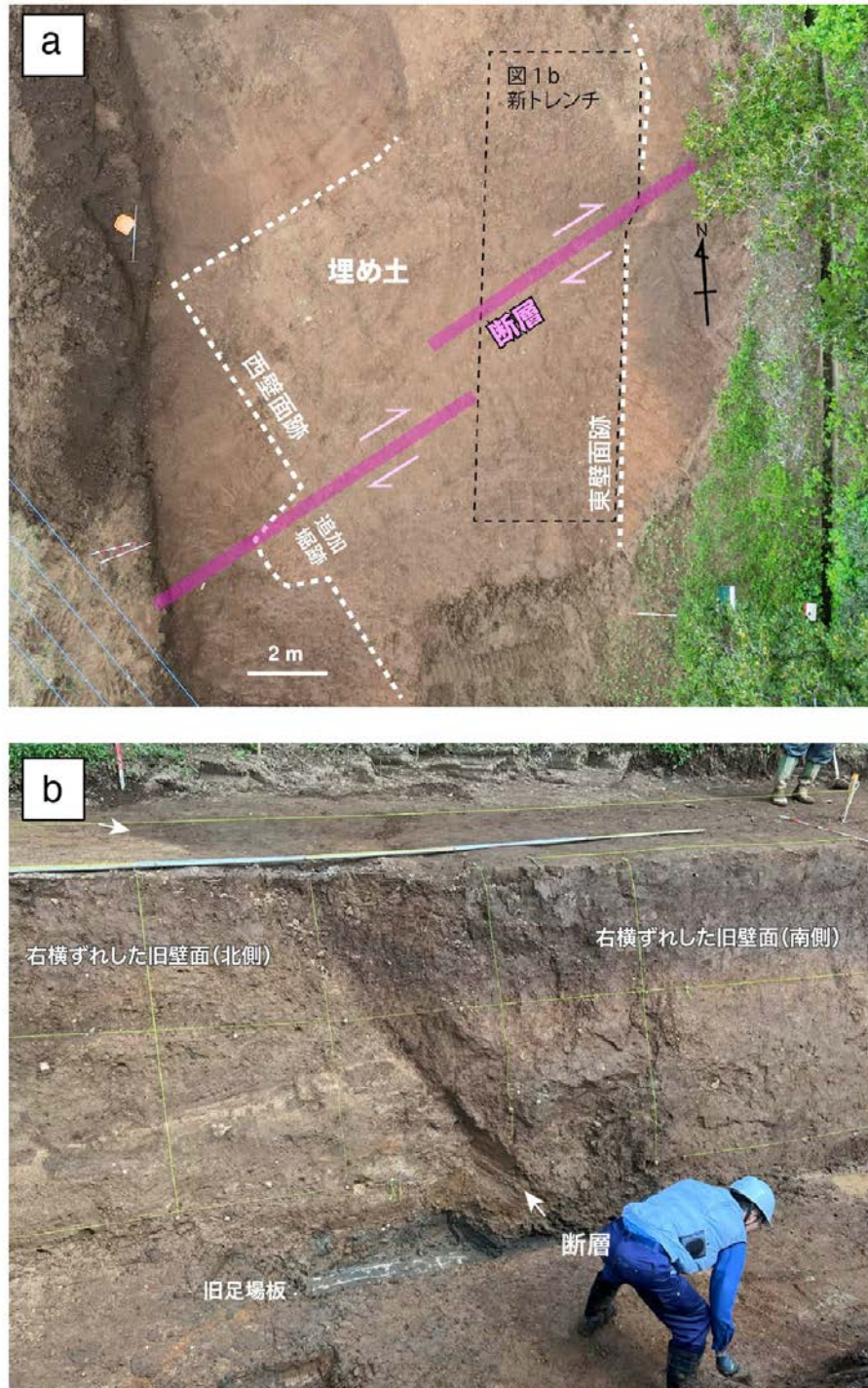


図1 熊本地震前トレンチ壁面の復元. a) 熊本地震によって右横ずれ変位した平成8年熊本県トレンチの壁面輪郭. b) 約50cm右横ずれ変位した熊本県トレンチ東壁面

O-13

知多半島の活断層－地理院活断層図「師崎」の新知見

○鈴木康弘（名古屋大）・石山達也（東京大）・岡田篤正（京都大・名誉）
・安江健一（富山大）・五味雅宏（地域開発コンサルタンツ）

Active Faults on the Chita Peninsula: New Active Fault Map
“Morosaki” Published by Geospatial Information Authority of Japan

○Yasuhiro SUZUKI (Nagoya Univ.), Tatsuya ISHIYAMA (Univ. Tokyo),
Atsumasa OKADA (Kyoto Univ.), Ken-ichi YASUE (Univ. Toyama),
and Masahiro GOMI (Regional Planning Consultation Co.,Ltd.)

1. 概要

1:25,000 活断層図「師崎」（2023年刊行）は、2009年に第2版が刊行されている「半田」図幅の一部とその南部を対象とする。この地域では、従来から活断層研究会1991や愛知県、1997などにより主に地質調査の結果（牧野内1976など）に基づいて活断層の存在が推定されてきたが、「半田」図幅においては、変位地形の連続性が乏しいことから、活断層の連続性が不明瞭であった。今回の「師崎」図幅作成においてはこうした問題を解消するため、詳細標高データを用い、変位地形の詳細な判読と計測を実施した。その結果、知多半島東岸、中央部、および西岸において、それぞれ連続性の良好な活断層が複数条確認された。なお、南部では半島東部を除けば一般に地形面の保存が悪いため、活断層であることを確定することが難しい状況が残っている。

2. 主な新知見

1) 知多半島東岸の半田市～武豊町にかけて、半田－武豊断層（新称；14km以上）ほか数条の活断層が新たに確認された。認定根拠は中位段丘面が5m、沖積面が1～2m程度の西上がりに撓曲していること、およびバックスラストと解釈される変形が存在することである。

2) さらに同東岸の南知多町付近に、豊丘断層（新称；4km以上）が認定された。海成の中位段丘面に10m程度の南上がりの撓曲変形が認められる。

3) 同西岸の常滑市においては、千代が丘撓曲（5km）および広目撓曲（4km）が確認され、一連の可能性も示された。千代が丘撓曲沿いでは高位段丘との段丘崖付近で中位段丘面が東上がりに急傾斜し、広目撓曲においては東側に分布する高位段丘面が著しく東へ（逆）傾斜している。

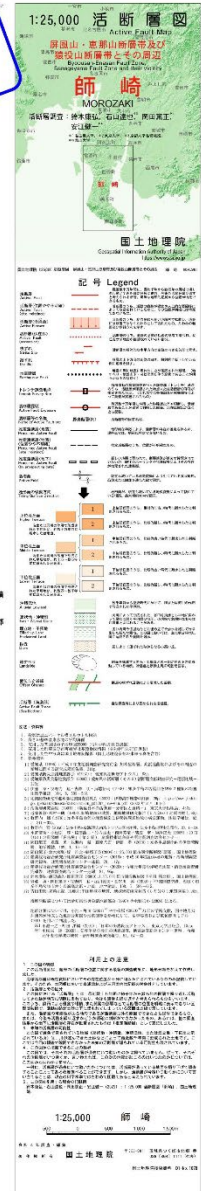
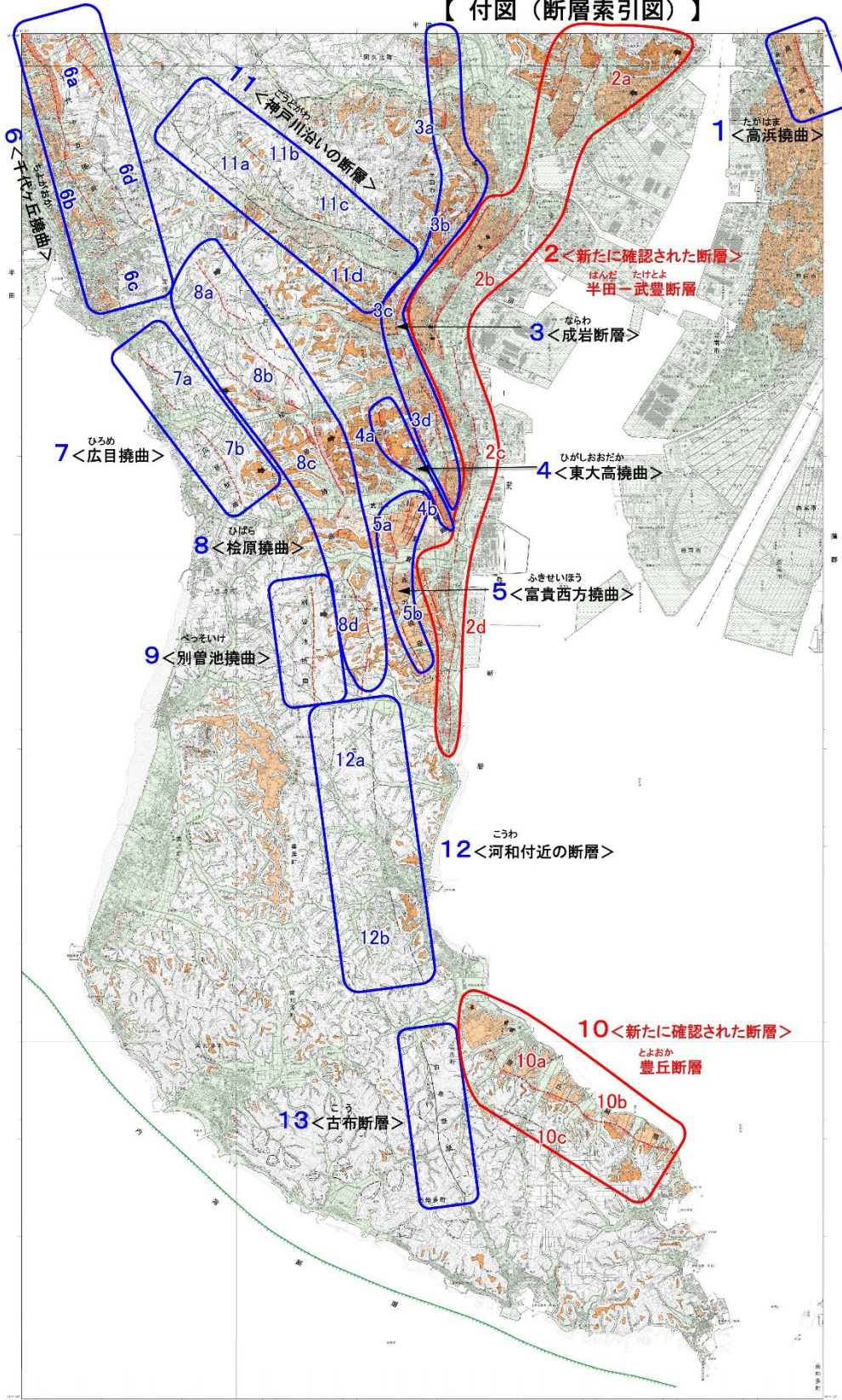
4) 推定活断層として、①神戸川沿いの断層（5km）、②河和付近の断層（5km以上）、③古布断層（3km以上）が認められた。①では、上位段丘面や中位段丘面が撓曲している可能性がある。

3. 新知見の意義

半田－武豊断層は知多半島東岸を限る断層として認識される。衣浦湾内の海底活断層を本図は表示できていない。河和付近では海岸線と一致するため陸上における認定が困難である。その南方にやや走向を変えて豊丘断層が存在する。半田－武豊断層の北方延長は猿投－高浜断層の方向へ伸び、地震本部の「屏風山・恵那山断層帯及び猿投山断層帯」の評価に影響する可能性もある。

（文献：愛知県（1997）：『愛知県活断層アトラス』。活断層研究会編（1991）：『新編日本の活断層』。牧野内 猛（1976）：知多半島南部の地質構造と伊勢湾周辺地域の構造運動。地質雑，82，311-325。）

【 付図 (断層索引図) 】



国土地理院(2023)

O-14

小鳴門海峡周辺域における最終間氷期以降の地殻変動

○加藤茂弘・生野賢司（兵庫県立人と自然の博物館）

Crustal Movement since the Last Interglacial around the Konaruto Strait, Western Japan

○Shigehiro KATOH and Kenji IKUNO

1. はじめに

兵庫県の淡路島と四国の間に位置する鳴門海峡では、顕著な潮位差により世界最大級の渦潮が発生する。鳴門海峡は最終間氷期（MIS5e）以前に成立しており、現在見られる大規模な渦潮の発生は、完新世に大阪湾－播磨灘－紀伊水道を結ぶ海洋循環システムが成立した時期にまで遡ると考えられている（増田，2002；西山ほか，2017など）。

兵庫・徳島「鳴門の渦潮」世界遺産登録推進協議会では「鳴門海峡の渦潮」の世界遺産登録を目指して、その顕著な普遍的価値を科学的に証明するため、2017年度より鳴門の渦潮世界遺産登録学術調査委員会を立ち上げて調査・研究を進めている。2020年度には鳴門海峡周辺域における完新世の相対的海水準変動の解明に向けて、小鳴門海峡西岸の沖積低地において基盤岩まで達するオールコア・ボーリング調査を実施した。2021年度以降には採取コアの層相・層序を記載し、AMS-¹⁴C年代測定、テフラ分析、珪藻分析、および花粉分析を、株式会社パレオ・ラボに委託して進めた。これらの結果、中央構造線断層帯に属する鳴門断層や鳴門南断層の北側（相対的隆起側）において沖積層の下位に最終間氷期（MIS5e）の海成層が確認され、本地域におけるMIS5e以降の地殻変動について新知見が得られたので報告する。

2. 方法

ボーリング掘削は徳島県鳴門市大桑島北（N34° 11′ 9.3632″，E134° 36′ 21.5589″，孔口標高T.P.1.80m）で実施し、基盤の和泉層群に達する63m長のオールコアを採取した。深度59mまでは油圧押込式により、それ以深はロータリー式掘削によりコアを採取した。採取コア（以下、小鳴門コア）を半切・整形した後に層相を記載し、貝殻片や植物片等のAMS-¹⁴C年代測定、コアに挟在するテフラの岩石記載的特徴や火山ガラスの主成分組成の分析とそれらの比較に基づく広域テフラとの対比、および花粉分析の結果に基づいて、コアの堆積年代を決定した。また、高知大学海洋コア国際研究所にて、半切コアを用いたコア連続写真撮影、コア連続CT撮影、帯磁率およびγ線強度測定を実施し、それらの結果に基づいた堆積相解析と珪藻分析および貝化石の種同定に基づいて、堆積環境の変遷や相対的海水準変動を推定した。

3. 結果および考察

テフラ分析により、小鳴門コアの深度30.63～30.74mと深度40.69～40.79mに挟まれる火山灰層が、それぞれ広域テフラであるK-AhとATに対比された。両者間の深度38.54～38.58mおよび深度38.60～38.66mには、泥炭もしくは泥炭質粘土中に軽石混じりの火山灰層が挟在する。本火山灰層は、岩石記載的特徴や火山ガラスの主成分組成、およびその上下層準の泥炭のAMS-¹⁴C年代値に基づいて三瓶浮布下部テフラ（Suk-L；Maruyama et al., 2020）に対比された。これらの火山灰層は、カミングトン閃石の含有量が1.5%程度で少なく、火山ガラスの主成分組成も類似することから、三瓶小田火砕流（Oda-fl；福岡・松井，2002）の遠方相を含む可能性がある。テフラ対比とAMS-¹⁴C年代値から、小鳴門コアでは深度60.53m以深が和泉層群の砂岩であり、深度38.45mまでが完新統、深度38.45～60.53mが中・上部更新統であると判断される。

堆積相解析や貝化石の同定、珪藻分析の結果に基づくと、深度37.46m以浅が海成完新統であり、深度37.3m付近は塩性湿地の堆積環境を示すことが明らかになった。この深度付近の植物片

や貝化石のAMS-¹⁴C年代値によれば、深度37.3mの堆積年代は約1.04万年前であり、当時の相対的海面高度は-35.5m以下であった。堆積環境はその後、塩性湿地から干潟を経て内湾泥底となり、次いで潮汐の影響の強い三角州底置層から前置層を経て、最上部で砂堆（砂嘴または砂州）へと変化した。内湾の拡大から砂堆の形成に至るまでの期間の平均堆積速度は5~7m/kaと大きく、小鳴門海峡西部の埋積が急速に進行したことを示す。ウチノ海が存在で示唆されるように小鳴門海峡東部の埋積は最近まで進んでいないことから、砂堆が形成され始める約4~5千年前までは吉野川の本流もしくは分流がコア採取地点周辺の小鳴門海峡域に流入しており、大量の土砂供給が続いていた（例えば、古田、1996）と考えられる。

ATより下位の深度46.25~53.15mのシルト質粘土~シルト層は、貝化石を含み海生珪藻を多産することから海成層とみなされる。本層に対応する珪藻化石II帯は、外洋性種をほとんど含まず、内湾性種が優占して泥底塩生種および塩生種を伴い、海成完新統最下部の珪藻化石V帯上部~VI帯最下部と類似した特徴を示す。花粉分析では本層下半部の花粉帯IIにおいて、ブナ属とニレ属-ケヤキ属が優占しサルスベリ属を伴う花粉化石組成から、マツ属複維管束亜属が優占しツガ属とブナ属を伴う花粉化石組成へと遷移する。上半部の花粉帯IIIではツガ属、マツ属複維管束亜属に加えてアカガシ亜属が優占し、20~40%を占める。このような特徴から、花粉帯II・IIIはそれぞれ、MIS5eに堆積した大阪平野の上町層の花粉化石帯のP3c帯とP3d帯（Furutani, 1989）に対比可能である。以上より、深度46.25~53.15mの堆積物はMIS5e中・後期に内湾泥底で堆積した海成層で、貝化石から当時の水深は20mより浅かったと推定される。MIS5eの海水準高度を現在と同程度か5~6m高かった（小池・町田編、2001など）とすると、コア採取地点周辺は約12万年前以降に約6~26m沈降したと考えられ、平均的な沈降速度は0.05~0.2m/kaとなる。

鳴門の渦潮を引き起こす顕著な潮位差は、淡路島の東西の紀淡海峡と鳴門海峡の幅が大きく異なり、大阪湾と播磨灘が淡路島の北の明石海峡を通じて結ばれているという地形配列が要因となって生じている。紀淡海峡東岸の泉南地域では大阪層群の海成粘土Ma6層までが堆積するが、それ以降は堆積場が北西もしくは北へと移動している（市川編著、1993）。淡路島南部では高位段丘層に相当する城方層（水野、1987）が、鮮新統の大阪層群油谷層を不整合に覆って堆積している（市川編著、1993など）。鳴門海峡周辺ではMIS5eの海成段丘面は確認されず、小鳴門海峡域においてMIS5eの海成層が沖積層下に伏在し、MIS5e以降には本地域が緩やかに沈降している可能性が示された。上記のような地形配列は、このような中期更新世以降の堆積盆（沈降域）の西方ないし北西への移動と消滅に制約されており、それは近畿三角帯周辺の変動と同様に、フィリピン海プレートの沈み込み様式に影響されている（岡田、1980；加藤ほか、2008）と考えられる。

謝 辞

本研究は高知大学海洋コア国際研究所共同利用・共同研究（22A031）のもとで実施されました。本研究の実施にあたり兵庫県淡路県民局交流渦潮室よりご支援を頂きました。コア掘削地点の選定では徳島大学西山賢一教授に、貝化石の同定では徳島県立博物館の中尾賢一博士に、それぞれご協力頂きました。ここに記して感謝します。

引用文献：増田（2002）『コア精密対比による京阪神地域の地下地質・地下構造の高精度解説』，117-127。西山ほか（2017）阿波学会紀要，61，175-196。Maruyama et al.（2020）*Journal of Geogr.*，129，375-396。福岡・松井（2002）地球科学，56，105-122。古田（1996）立命館地理学，8，61-72。Furutani（1989）*Journal of Geoscience Osaka City Univ.*，32(4)，91-121。小池・町田編（2001）『日本の海成段丘アトラス』，105p。市川編著（1993）『大阪層群』，340p。水野（1987）地質調査所月報，38，171-190。岡田（1980）第四紀研究，19，263-276。加藤ほか（2008）第四紀研究，47，233-246。

O-15

主要活断層帯を対象とした広域三次元応力場ならびにWallace-Bott 仮説を用いた断層す

べり角推定～断層形状の不確定性が推定に及ぼす影響について～

°石辺岳男（地震予知総合研究振興会・統計数理研究所）・寺川寿子（名古屋大学）・
橋間昭徳（東京学芸大学）・Thystere Matondo Bantidi（地震予知総合研究振興会）・
望月将志（防災科学技術研究所）・松浦律子（地震予知総合研究振興会）

Estimating Fault Slip Angles by Using Regional 3D Stress Field According to the Wallace-Bott Hypothesis for the Major Active Fault Zones in Japan ~ Effect of Uncertainties in Fault Geometry on Estimated Rake Angles ~

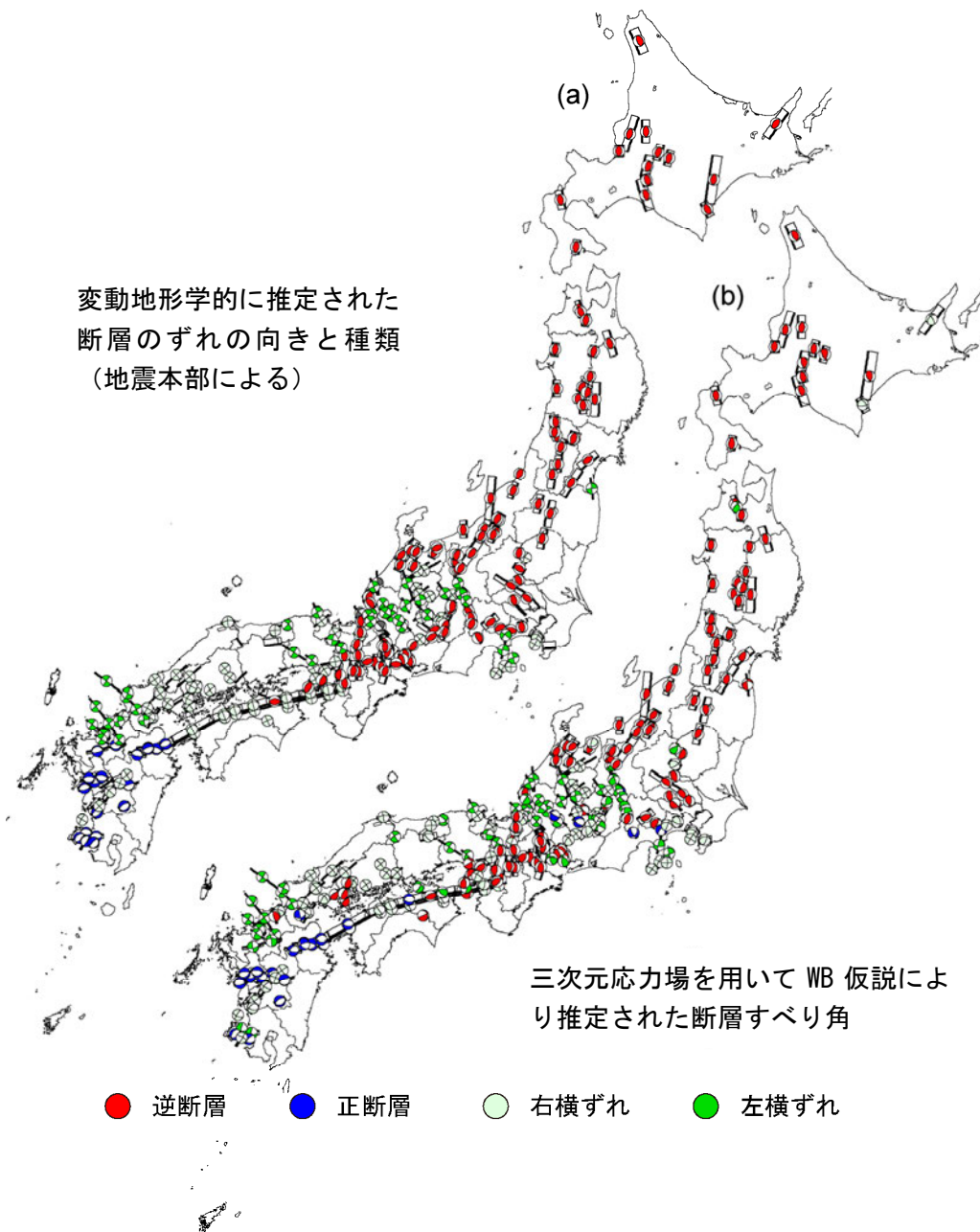
°Takeo Ishibe (ADEP, ISM), Toshiko Terakawa (Nagoya University), Akinori Hashima (Tokyo Gakuji Univ.),
Thystere Matondo Bantidi (ADEP), Masashi Mochizuki (NIED) and Ritsuko S. Matsu'ura (ADEP)

活断層調査に基づき将来発生する地震の現実的な強震動・津波予測には、入力データとなる断層形状や断層すべり角（ずれの向き）、断層すべり量などが実際に発生する地震のそれらと乖離しない事が求められ、その高精度化を目的とした調査研究が進められている。我々はこれまで、広域応力場を用いWallace-Bott (WB) 仮説から断層すべり角を推定する手法（以下、本手法と略記する）の妥当性ならびに精度（誤差）の検証を進めてきており、防災科学技術研究所による F-net メカニズム解ならびに国立大学地震観測網初動メカニズム解カタログ (JUNEC FM²; Ishibe *et al.*, 2014) 等を対象に、2011 年東北地方太平洋沖地震後に東北日本内陸において活発化した群発的活動など一部の地震を除き、上記手法から推定された断層すべり角とメカニズム解の断層すべり角が概ね整合的である事を示した (Ishibe *et al.*, 2023)。また、地震調査研究推進本部（以下、地震本部）によって評価が行われている活断層（帯）を対象に、本手法から推定される断層型と変動地形学的に推定された断層型（地震本部による）が概ね一致することを示した (Ishibe *et al.*, 2020)。これらの結果は、観測期間が限られているものの、地震学的データから推定された三次元広域応力場を長期のテクトニックな応力場のプロキシとして用い、WB 仮説により将来発生する地震の断層すべり角を推定する手法に関して、一定程度の妥当性・有効性を示すと考えられる。

断層の幾何形状、特に深部における傾斜角の推定は必ずしも容易ではなく、その不確定性は、広域応力場の推定誤差とともに断層すべり角・断層型の推定に大きな影響を及ぼす可能性がある。そこで本研究では、地震本部によって評価が行われている活断層（帯）を対象に、本手法から推定される断層型と変動地形学的に推定された断層型の比較について改めて概観するとともに、断層の走向・傾斜角を揺るがせた場合に、どの程度断層すべり角・断層型が変化するか、幾何形状の不確定性に対する断層すべり角・断層型のロバスト性について調査した。これまでと同様に Terakawa and Matsu'ura (2010)による三次元広域応力場ならびに地震ハザードステーション (J-SHIS) による活断層（帯）に対する断層モデルを用い、断層モデルの中央点において断層すべり角を算出した。算出された断層すべり角を気象庁による方法に準拠し、左横ずれ断層 ($-45^{\circ}\sim 45^{\circ}$)、逆断層 ($45^{\circ}\sim 135^{\circ}$)、右横ずれ断層 ($135^{\circ}\sim 180^{\circ}$ または $-180^{\circ}\sim -135^{\circ}$)、正断層 ($-135^{\circ}\sim -45^{\circ}$) に分類した。断層の走向・傾斜角に対する断層すべり角のロバスト性に関しては、断層の走向方向に $\pm 5^{\circ}$ 、傾斜方向に $\pm 15^{\circ}$ （ただし傾斜の向きは変化しないものとする）の範囲で揺るがせ、断層すべり角がどのように変化するか、調査した。

その結果、断層幾何形状の不確定性に対する断層すべり角のロバスト性は、活断層（帯）によって大きく異なった。例えば、東北地方に分布する北上低地西縁断層帯においては、断層の走向ならびに傾斜角を揺るがせたとしても、推定された断層すべり角は殆ど変化しない。一方で中部地方に分布する伊那谷断層帯（南東部）に対しては、特に傾斜角の変化に対して断層すべり角が顕著に変化する結果となっ

変動地形学的に推定された
断層のずれの向きと種類
(地震本部による)



三次元応力場を用いて WB 仮説により推定された断層すべり角

● 逆断層 ● 正断層 ● 右横ずれ ● 左横ずれ

た。断層型の推定に対しては、幾何形状の不確実性が及ぼし得る範囲についても考慮する必要がある。

海域活断層に対する断層すべり角の設定は、特に津波評価に大きく影響する可能性がある。本研究ではその一例として、震源断層が海域に分布し、なおかつ地震本部による断層のずれの向きと種類から乖離した断層すべり角が算出された中国地方の安芸灘断層帯ならびに九州地方の市来断層帯（甬海峡中央区間）を対象に、非線形長波式を用いた津波伝播計算（JAGURS (Baba *et al.*, 2015) を使用)を実施し、異なる断層すべり角が津波高に及ぼす影響について調査した。

断層すべり量の設定は、それぞれの断層帯に対する強震動評価における値を用い、一様すべりを仮定した。安芸灘断層帯に対しては、長期評価では横ずれ断層として評価されており、沿岸域における最大津波高は概ね 0.3m 未満となった。一方で、本手法からは断層すべり角 126.1° （逆断層）と推定され、このすべり角を用いて計算された沿岸域における最大津波高は 2.3m となった。市来断層帯（甬海峡中央区間）に対しては、現行の長期評価ならびに「レシピ」に準拠した場合、正断層としてすべり角 -90° が設定され、沿岸域における最大津波高は 4.1m 程度になる。一方で、本手法から推定された断層すべり角は 173.0° と右横ずれ断層に分類され、このすべり角を用いて計算した沿岸域における最大津波高は 0.6m 程度に留まる。強震動ならびに津波評価において、断層すべり角は断層すべり量などとともに重要なパラメータの一つであり、広域応力場ならびに WB 仮説に基づき推定された断層すべり角を予測に用いる選択肢について、検討する価値があるものと思われる。特に津波予測に対しては断層すべり角の影響が大きい（例えば、Satake *et al.*, 2022）、その適切な設定ならびに不確実性の考慮は重要であろう。

謝辞：本研究では、地震本部による活断層に対する長期評価結果ならびに防災科学技術研究所による地震ハザードステーション（J-SHIS）の断層モデルを用いた。ここに記して関係者に感謝申し上げます。なお本研究は、文部科学省からの委託事業である「地震調査研究推進本部の評価等支援事業」の一部として実施した。

O-16

活断層の長期評価と地震動予測を社会にどう伝えるべきか（その2）

°鷺谷 威・橋富彰吾（名古屋大学）

How should we communicate with society about long-term earthquake forecasts and strong ground motion predictions (Part 2)

°Takeshi Sagiya, Shogo Hashitomi (Nagoya University)

1. はじめに

1995年に阪神淡路大震災を契機として設置された政府の地震調査研究推進本部は、地震に関する調査研究の成果の社会への還元を掲げ、活断層で起きる地震および海溝型地震の長期評価とそれに基づく地震動予測地図を主たる成果として提供してきた。これらは日本列島全体の地震ハザードを概観するデータとして貴重である一方、これらの内容を社会にどのように受け取られ活用されているか、という観点で、その意義は必ずしも明らかにされていない。

我々は、文部科学省の委託事業「屏風山・恵那山断層帯及び猿投山断層帯（恵那山－猿投山北断層帯）における重点的な調査観測」（2020～2022年度）の一環として、「不確定性を有する地震予測情報に関する情報発信のあり方に関する調査研究」を実施した。この課題では、地震調査研究で得られた地震ハザード情報を正しく社会に伝え活用する方法を、専門家や一般市民に対するアンケート調査、自治体の防災担当者への聞き取り等を通じて検討した。2021年には日本地震学会および日本活断層学会を対象としたアンケート調査結果について、2022年は日本地震工学会を対象とした専門家向けアンケートおよび一般住民を対象としたアンケート結果を報告した。今回は、2022年度に実施した地域住民向けアンケート調査の結果に基づいて、地震ハザード情報の表現方法に関する問題を改めて考察する。

2. アンケート調査

屏風山・恵那山断層帯及び猿投山断層帯周辺の住民を対象として、地震ハザードの広報資料に掲載する情報の違いによる伝達効果を検証することを目的に Web アンケートを実施した。実施期間は2023年3月17日～23日、回答者は15～79歳の男女1,550人である。

まず、活断層に関する啓発用のパンフレットを異なる内容で4例試作した（(1)予測震度分布図、(2)断層崖の地形を示す写真、(3)活断層の位置を示す地図、(4)上記の情報を複数含むもの）。これらの中で最も目をひくものはどれか尋ねたところ、最も多い約4割の回答者が(1)と回答した。使用した図の色使いの効果もあるが、住民の関心は活断層そのものよりも地震によって生じる揺れや被害であることを示している。

次に、活断層の地震ハザード情報が提供者の意図通りに伝わるかどうかを確認するための質問を行った。まず、回答者を2つのグループに分け、最初のグループには恵那山・猿投山

北断層帯の活動性の情報（地震規模 M7.7、30 年発生確率ほぼ 0~2%）を示し、別のグループには何も示さない。その上で、この地震と同程度の確率（30 年で 2~4%）を持つ事象（地震、殺人事件、火災、空き巣）を列挙し、これらについて(1)直感的にわかりやすい、(2)危機感を感じる、(3)安心する、(4)自分に起こりそう、(5)対策をしたい、という観点にあてはまるかどうかを尋ねた。この回答を 2 つのグループの回答を比較したところ、恵那山・猿投山北断層帯の情報を知ったグループでは、知らないグループに対して、「危機感を感じる」と答えた割合が 2-5%低下し、「安心する」と答えた割合が複数項目で 2-7%程度増加していた。

また、恵那山・猿投山北断層帯の活動性の表現について「平均活動間隔 7,400-12,000 年、最新活動時期約 7,400 年前以降 5,400 年前以前」とした場合と「30 年以内の地震発生確率ほぼ 0~2%」という二通りの表現を比較してもらったところ、後者の方が直感的にわかり易いという回答が前者の倍程度だったが、いずれの場合でも危機感を感じないという回答が約 6 割を占めた。一方、2016 年熊本地震直前における布田川断層帯の地震発生確率（ほぼ 0~0.9%）を提示すると、危機感を感じるという回答が 15%程度増加した。

3. 考察

アンケート結果から、地震ハザード情報を地域住民が受け取る際の特性について注目すべき点をいくつか挙げるができる。まず、地震ハザードの表現として、住民は平均活動間隔や最新活動時期といった詳細な情報よりも、地震発生確率として集約された情報を好む。これは、降水確率などで日常的に確率を目にしている影響があると推測される。一方、こうした日常的な文脈で確率値を理解する結果、30 年発生確率がほぼ 0~2%という情報が安全情報として伝わってしまうという問題が生じている。日本列島の活断層の地震発生確率は最高でも 30 年間で十数%であり、確率値そのもので住民の危機感を醸成することは困難である。上記のアンケート調査においても、2016 年熊本地震直前の確率値を合わせて示すことで住民の危機感は若干増加した。活断層について防災意識の向上を目指すのであれば、強調すべきは確率値の高低よりも地震による被害の甚大さだと言える。

以上のように、活断層の活動履歴を明らかにすることは科学的にも防災上も大変重要な意義を有しているが、そもそも低確率である活断層の将来予測は意図に反した安全情報として伝わる恐れがあることを十分理解して情報提供を行うことが必要である。

P-1

研究機関と学会の協働による若手育成（その5）：「第5回 活断層の学校 in つくば “国土地理院、産総研、防災科研で学ぶ活断層研究”」の開催報告

○山口 勝（日本放送協会）・中埜貴元（国土地理院）・吾妻 崇（産総研）・藤原広行（防災科研）・中島秀敏（測技協）・宮下由香里（産総研）・宇根 寛（お茶の水女子大学）

Human resource development through collaboration between research institutions and academic society -Report on the 5th “School of Active Fault Studies” in Tsukuba, 3 days of Geospatial Authority of Japan, Geological Survey of Japan/AIST and National Research Institute for Earth Science and Disaster Resilience-

○Yamaguchi, Masaru (NHK), Nakano, Takayuki (GSI), Azuma, Takashi (GSJ/AIST), Fujiwara, Hiroyuki (NIED), Nakajima, Hidetoshi (APA), Miyashita, Yukari (GSJ/AIST) and Une, Hiroshi (Ochanomizu Univ.)

1. はじめに

日本活断層学会では、国土地理院、産業技術総合研究所地質調査総合センター、防災科学技術研究所を共催機関として、「活断層の学校 in つくば “国土地理院、産総研、防災科研で学ぶ活断層研究”」を開催している（山口ほか，2018，2022；吾妻ほか，2019，2021）。今年度（2023年度）は、昨年に引き続き、現地参加とオンライン参加のハイブリッド形式で2023年9月13-15日に開催した。本発表では、今年度の開催状況を紹介するとともに、アンケートの集計結果を紹介する。

2. 行事のねらい

本行事は、活断層調査・研究の現状と魅力を幅広い分野の学生・院生に知ってもらうとともに、この分野に関連したキャリアパスを提示することを主な目的としている。国の地震調査研究推進本部が中心となって実施している活断層調査では、地形判読等によって活断層の位置形状を特定し、地質調査によって活断層の活動履歴が明らかにされる。それらの成果に基づいて活断層から発生する強震動の評価やその発生確率が算出されている。3日間という短い時間ではあるが、これらの全過程を最新の研究成果とともに学ぶことができる点が本行事の大きな魅力である。活断層の調査やそこから発生する地震動の評価について学ぶことができる大学は数が限られており、異なる大学に所属する学生・院生が交流できる機会は限られている。本行事は、活断層に関心を持つ全国の大学生・院生に活断層を学ぶことの意義と楽しさを知る機会を提供するとともに、卒論・修論にかかる現地調査やデータ解析に関わる問題を解決するための情報交換の場としても意義があるものとなっている。

3. 今年度の開催状況

今年度の受講者は、現地参加が15名、オンライン参加が7名の合計22名であった。昨年度と比べると現地参加が12名から15名に増加し、現地での実習等の充実度がコロナ禍以前に戻った感があった。遠方の大学から現地参加してくれた学生もおり、開催前日につくばに

到着して前泊した参加者が3名いた。また、終了後に後泊を希望した参加者も3名いた。現地参加者の講義は、午前と午後の両方に渡って行われたが、実習形式の講義や施設見学などはオンラインでは実施が困難なため、オンライン参加者には半日の講義を受講して頂いた。1日目の夜には「交流会」を開催し、研究機関や活断層調査と関係した企業に就職するための情報提供を行なった。また、2日目の夕方には「活断層のホームルーム」と称して、参加者がそれぞれの研究課題や活断層への関心事項などを紹介する時間を設けた。3日目の講義が終了した後、参加者には修了証（受講証明証）が授与された。

4. アンケートの集計結果

過去4回と同じ内容のアンケートについて、アンケート用紙と Microsoft Forms を併用して、受講者に回答してもらった。この行事をどこで知ったかという質問に対しては、情報源が教員や先輩からが大半であるとともに、TwitterなどのSNS等も一定の効果あることが分かった。各機関での講義に関する質問への回答状況からは、参加者の満足度や理解度は高く、活断層研究への興味・関心は全員高まったという結果が伺えた。自由記述への感想からは、「Web上に用意された各種ツールを知る良い機会となった。」や「違う分野を研究する学生と交流することができ、良い刺激を受けることができた。」のように、この行事が今後の大学での勉強のモチベーション向上につながったと思われる。一方で、「講義数が多く、休憩時間が十分にとることができず、全てを理解することが難しかったため、さらにゆとりのあるスケジュールにすると、講義への理解がより一層深まると思う。」という指摘もあり、今後の運営の参考にしたいと思う。

引用文献

- 吾妻 崇・中埜貴元・藤原広行・中島秀敏・安江健一・道家涼介・香川敬生・山口 勝 (2021) 研究機関と学会の協働による若手育成 (その3): 「第3回活断層の学校 in つくば “国土地理院、産総研、防災科研で学ぶ活断層研究”」の開催報告. 日本活断層学会 2021年度秋季学術大会講演予稿集, 0-7, 13-14.
- 吾妻 崇・山口 勝・中島秀敏・中埜貴元・藤原広行・杉戸信彦 (2019) 研究機関と学会の協働による若手育成 (その2): 「第2回活断層の学校 in つくば “国土地理院、産総研、防災科研で学ぶ活断層研究”」の開催報告. 日本活断層学会 2019年度秋季学術大会講演予稿集, P-2, 36-37.
- 山口 勝・吾妻 崇・宇根 寛・中埜貴元・藤原広行・杉戸信彦 (2018) 研究機関と学会の協働による若手育成: 第一回「活断層の学校 in つくば 国土地理院、産総研、防災科研で学ぶ “活断層研究”」の報告. 日本活断層学会 2018年度秋季学術大会講演予稿集, 0-9, 34-35.
- 山口 勝・吾妻 崇・中埜貴元・藤原広行・中島秀敏・宮下由香里・宇根 寛 (2022) 研究機関と学会の協働による若手育成: 第一回「活断層の学校 in つくば 国土地理院、産総研、防災科研で学ぶ “活断層研究”」の報告. 日本活断層学会 2022年度秋季学術大会講演予稿集, P-1, 27-28.

P-2

ボーリングデータと微動 H/V スペクトルから推察される 長町ー利府線断層帯の活構造分布

°中村朋暉（日本工営（株））・遠田晋次（東北大学）

Distribution of the Nagamachi-Rifu line fault zone estimated from
existing borehole data and microtremor H/V spectrums

°Tomoki NAKAMURA (Nippon Koei Co., Ltd.), Shinji TODA (Tohoku Univ.)

1. はじめに

政令指定都市の 1 つである仙台市では、北東ー南西方向の長町ー利府線断層帯が市中心部を横切り、幅広い撓曲崖を形成している。そのため、同断層帯の活動時には地震動だけでなく、広範囲の地表変形による甚大な構造物被害が懸念される。したがって、同断層帯のより正確な位置を事前により正確に把握することが地震時の被害軽減に直結する。しかし、同断層帯を構成する断層の多くは地表に未到達であり、市街地周辺は人工改変が著しいため、正確な断層位置が不明瞭な箇所が多い。そのため、同断層帯は活構造分布について更なる検討の余地があるといえる。そこで本研究では、ボーリングデータ解析や微動探査から、より正確な活構造分布の推定を試みた。本報告では、岩盤に到達したボーリングデータが少ない仙台南部における調査・解析結果を中心に報告する。

2. 手法

ボーリングデータ解析は、岩盤変位を調べる目的で高橋・遠田（2022）に倣って実施した。ボーリングデータは、主にみちのく GIDAS、仙台市建設局提供資料、仙台市交通局提供資料のデータを使用した。これらはすべて統一した形式でテキストデータとして保存し、高橋・遠田（2022）のプログラムを改良したものをを用いて整理した。ボーリングデータ解析は、岩切地区、仙台中央部、仙台南部の 3 地域で実施した。このうち、仙台南部は岩盤に到達したボーリングデータが少ないため、ボーリングデータ解析の他に微動探査を実施した。

微動探査では、常時微動の単点測定により得られる水平動／上下動スペクトル比（以降、H/V スペクトル）に着目した。H/V スペクトルは、表層地盤の振動特性を把握する方法として広く適用されているものである。長町ー利府線断層帯では、既に鈴木ほか（2021）によって、断層帯横断方向の 1 測線上で 2 次元微動アレイ探査が実施されている。これにより、断層帯東縁の主断層を境に S 波速度構造の変化と調和的に H/V スペクトルの傾向が大きく変化する（ピーク周波数が低周波側に移動する）ことが確認されている。そこで本研究では、主に断層帯横断方向に設定した複数の測線上で常時微動の単点測定を多数実施し、鈴木ほか（2021）と同様に各測点の H/V スペクトルの解析を行った。測定は、2 台の三成分 McSEIS-AT（応用地質製）、サンプリング周波数を 100Hz に設定した固有周波数 2Hz のジオフォン（応用地質製）を用い、1 地点あたり 10 分間行った。各測点の H/V スペクトルは専用アプリケーション「SeisImager」により算出した。以上により得られたデータから、発表者らが作成したプロ

グラムを用いて各測線沿いの H/V スペクトル分布図を作成し、その変化傾向について検討した。

3. 結果, 考察

微動 H/V スペクトルの測定は、仙台南部の断層帯近傍に設定した 5 測線（東西方向：EW1, EW2, EW3, EW4；南北方向：NS）で主に実施した。その結果、測線 EW2, EW3, EW4 で類似した H/V スペクトル分布を示す区間が存在することが明らかとなった（図 1）。特に主断層トレース南端延長付近でピーク周波数が急減する区間が存在することが明らかとなった。これは、鈴木ほか（2021）で指摘されている同断層帯近傍で確認される H/V スペクトルの変化と類似するものである。また、測線 EW2, EW3 近傍でボーリングデータ解析を実施したところ、H/V スペクトルのピーク周波数の急減が確認された位置付近で、岩盤が少なくとも 10 m 程度東落ちの変位していることが明らかとなった。以上より、本研究で確認された H/V スペクトルのピーク周波数の急減は岩盤の変位を示唆するものであり、同構造が長町ー利府線の南端から名取川右岸以南にかけて連続していることが推察された。

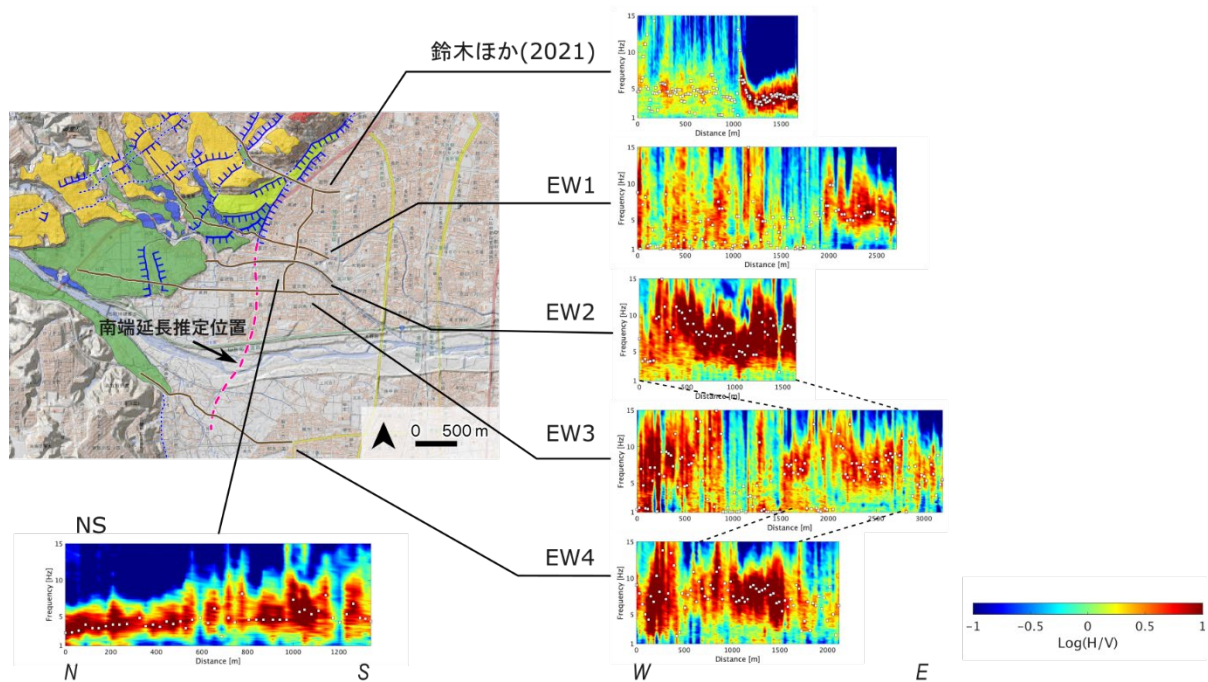


図 1. 断層帯近傍の測線上の H/V スペクトル分布図

謝辞 応用地質（株）の鈴木晴彦氏、松山尚典氏には、常時微動の計測、データ解析方法をご教示いただきとともに、解釈に関しても有益なコメントをいただいた。記して御礼申し上げます。

引用文献

鈴木ほか, 2021, 日本活断層学会 2021 年度秋季学術大会及びシンポジウム講演予稿集, 45-46.

高橋・遠田, 2022, 活断層研究, 56, 1-12.

P-3

秋田県男鹿半島東部の断層変位地形と活動性

○田力正好(地震予知総合研究振興会)・越後智雄(株式会社環境地質)

Tectonic landforms and activities around the eastern part of the Oga Peninsula, Akita Prefecture, Northeastern Japan

○Masayoshi TAJIKARA (ADEP), Tomoo Echigo (Kankyo Chishitsu Co., Ltd)

男鹿半島は秋田県中部の日本海に突き出た半島であり、標高 700 m 以下の急峻な山地からなる(図 1)。山地高度は西岸沿いが最も高く、東方へ低下するような形態を示す。地質は主に新第三紀中新世～鮮新世の堆積岩類からなり、地形と同様、西方へ傾くような構造を示す(大沢・須田, 1978; 鹿野ほか, 2011)。半島東部には非常に新しい(約 2 万年前以降)第四紀火山である寒風山が噴出している(Hasenaka *et al.*, 1993; 鹿野ほか, 2011)。半島の東半部には海成段丘が広く発達し、詳細な編年学的研究が多数行われている(小池・町田編, 2001; Miyauchi, 1988; 宮内, 1988; 潟西層団研グループ, 1983; 白石, 2005; 白石ほか, 2008; 白井・多田, 1997 など)。活断層は、半島西部に男鹿湯本断層、半島の付け根部分に申川断層、の 2 条がこれまで知られていた(今泉ほか編, 2018; 水谷, 2019 など)が、本調査において詳細な空中写真および DEM アナグリフ画像の観察を行った結果、申川断層の東方に同走向の西上がり断層変位地形が新たに発見された(図 1 の申川東断層)。今回の調査では申川断層と申川東断層の現地踏査・地形断面測量を行い、詳細な変位地形の把握、断層変位量の推定を行った。本発表では、調査の結果得られた断層変位地形の分布・特徴と変位量・変位速度について報告し、それらの活構造のテクニクな意義について若干の考察を行う。

○調査地域の地形面

調査地域には、海成段丘面(一部河成段丘面)が広く発達しているが、詳細な空中写真判読により、これらの段丘面を MIS1 面、MIS2 面、MIS5a 面、MIS5c 面、MIS5e 以前の面、の 5 面に分類した。また、調査地域には新旧の砂丘や浜堤が広く発達しており、これらの地形についても、現成海浜砂丘、完新世浜堤 1～3、MIS1 面上の砂丘、MIS5c 面上の砂丘、の 6 面に区分した。本地域はこれまで多数の段丘地形の編年学的研究が行われており(小池・町田編, 2001; Miyauchi, 1988; 宮内, 1988; 潟西層団研グループ, 1983; 白石, 2005; 白石ほか, 2008; 白井・多田, 1997 など)、それらを参考に、調査地域の地形面の形成年代を以下のように推定した。MIS1 面:6 千～1 万年前、MIS2 面:約 2 万年前、MIS5a 面:約 8 万年前、MIS5c 面:約 10 万年前、MIS5e 以前の面、:12.5 万年前以前、完新世浜堤 1～3:6 千～1 万年前、MIS1 面上の砂丘:MIS1 面と同様、MIS5c 面上の砂丘:MIS5c 面と同様。

○申川東断層北部(男鹿市申川～福野付近)の変位地形

本地域には海成段丘(MIS5c 面)が広く発達する。この MIS5c 面上には、ほぼ南北走向の東方へ撓み下がるような非常に緩やかな崖地形が認められる。MIS5c 面は海岸沿いの浜堤列が段丘化したもので、北北東～南南西走向の浜堤列起源の起伏が広く認められるが、この緩やかな崖地形はこれらの初生的な起伏を斜交するように横切って発達しており、断層活動による変動崖である可能性が高いと判断される。海岸付近では海岸砂丘の堆積物が MIS5c 面を厚く覆っており、撓曲地形はやや不明瞭となる。MIS5c 面の撓曲の比高は 13～14 m 程度であり、撓曲の上下変位速度は 0.13～0.14 mm/yr 程度と算出される。日本海の海岸沿いには狭長な MIS1 段丘面が広く発達し、上記の撓曲崖の延長部に 3 m 程度の段丘面高度の食い違いが認められる。この食い違い量から、断層変位速度は 0.3～0.5 mm/yr 程度と算出できるが、この MIS1 面は砂丘堆積物に覆われており変位量・速度の信頼性は低い。

○申川東断層中部(男鹿市角間崎付近)の変位地形

角間崎集落付近には MIS1 面が発達するが、その東縁は南北走向の直線的な形態を示し、東縁付近が

東方へ撓み下がるような形態を示している。一部では人工改変により不明瞭となっているが、多くの地形断面において撓曲崖状の地形は明瞭であり、ここに西上がりの撓曲変位が認定できる。この撓曲崖の比高は 1.3～1.6 m で、上下変位速度は 0.13～0.27 mm/yr 程度と算出できる。

○申川東断層南部(男鹿市脇本付近)の変位地形

秋田湾沿岸の脇本付近では、海岸沿いに浜堤列が広く発達する(完新世浜堤 1～3)。海岸に近い南側の浜堤に比べて内陸側の浜堤では高度が高く、形成年代に差があると考えられる。内陸側の浜堤(完新世浜堤 3)にはその中央部付近を境に高度差が認められる。浜堤列の北側には MIS1 面が発達し、この中央部付近は東へ撓み下がるような緩やかな崖地形が認められ、非常に明瞭な撓曲崖状を呈する。これらの MIS1 面上の撓曲崖、完新世浜堤 3 の高度の食い違いは一連の西上がり断層変位によって形成されたものと考えられる。MIS1 面・浜堤の撓曲崖の比高は 1.5～1.7 m 程度であり、上下変位速度は 0.15～0.28 mm/yr と求められる。海岸沿いの完新世浜堤 1・2 には高度の食い違いは認められず、これらの新しい浜堤の形成以降は断層変位が生じていないと考えられる。

○申川断層(男鹿市五里合付近)の変位地形

五里合低地の東縁は非常に直線的な形態を示し、東方に分布する段丘面(MIS1 面、MIS2 面、MIS5c 面)の西縁付近が明瞭な撓曲崖状の西側へ撓み下がるような形態を示すことから、東上がりの断層変位が認定される。これらの撓曲の比高は、MIS1 面で 0.8～2.3 m、MIS2 面で 5.4 m、MIS5c 面で 12～14 m であることから、撓曲の上下変位速度は 0.08～0.45 mm/yr 程度と求められる。

○男鹿半島周辺の活構造

今回の調査で得られた断層の分布と変位速度、および周辺の活断層、海底断層を図 1 に示す。申川断層と申川東断層は数 km しか離れていないこと、申川断層が東上がりの撓曲、脇本断層が西上がりの撓曲であることから、地下数 km で収斂していると考えられる。両トレースとも変位速度は同程度であり、どちらが主断層であるか判断することは難しいが、本断層が男鹿半島の山地と八郎潟周辺の低地帯との地形境界をなす断層とすると、西上がり変位、すなわち申川東断層が主断層の可能性が高いと考えられる。

申川断層・申川東断層はその北端、南端が日本海、秋田湾に接している。変位速度は南端・北端でも中央部と比較して減少していないため、南北の海底に延長している可能性が高い。男鹿半島南方の秋田湾には飛島一船川隆起帯とそれに関連する断層と褶曲が、北方の日本海にも南北走向の断層と褶曲が知られており、申川断層はこれらの構造に連続する可能性がある。これを検証するためには、さらに沿岸部の断層トレース・地下構造データが必要である。

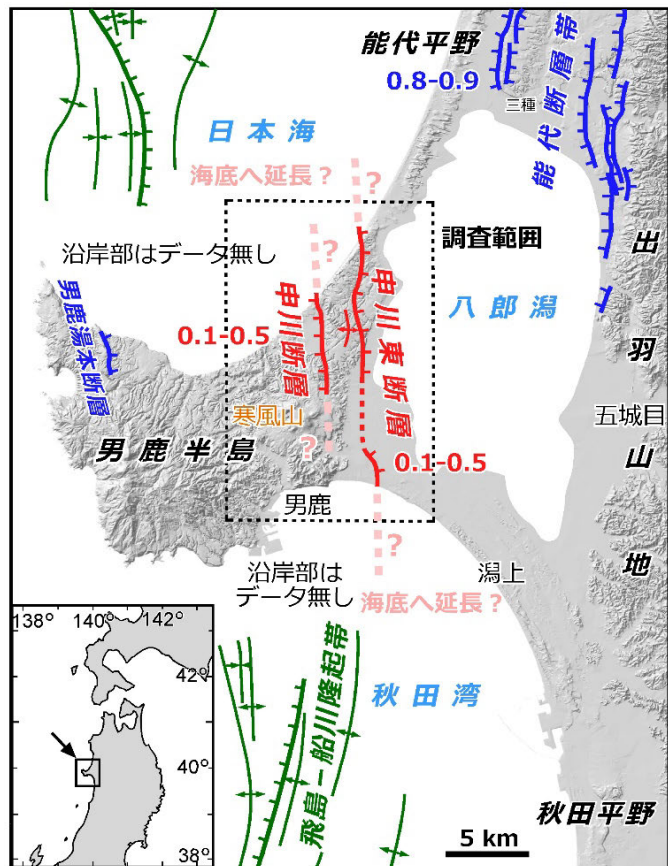


図 1 調査地域周辺の地形と活構造の分布

赤線：本調査による活断層、青線：今泉ほか編(2018)による活断層、緑線：岡村ほか(1996)による海底活断層、青数字は地震調査研究推進本部地震調査委員会(2005)による断層の変位速度、赤数字は本調査による断層の変位速度(mm/yr)。

P-4

活断層近傍の山地流域で見出される斜面変動の履歴： 巨摩山地・櫛形山の周辺を例に

°太田凌嘉（学振PD・中央大）・渡辺樹（学振DC・東京都立大）

History of mass movements in a tectonically active mountainous watershed: A case study in Mt. Kushigata, Koma Mountains, central Japan

°Ryoga Ohta (JSPS PD/Chuo Univ.), Tatsuki Watanabe (JSPS DC/Tokyo Metropolitan Univ.)

1. はじめに

湿潤変動帯の山地では、流水による河川の下刻とマスマーブメントによる斜面の侵食の相互作用によって流域の地形が発達しており、斜面からもたさされた土砂からなる第四系が過去の地表変動を反映して流域内の様々な地点に分布する。活動度の高い断層帯の近傍に位置する山地流域においては、地殻変動、気候変動、斜面変動の履歴を個別に検討するのではなく、それらの関係性を統合的に理解したうえで地震ハザードを評価し、地形発達を論じる必要がある。本研究では、演者らが巨摩山地・櫛形山の周辺で見出した第四系の分布や層序を詳述し、この地域の地形発達過程を議論する。

2. 調査地域・方法

本研究で対象とする山梨県・櫛形山（2052 m）は、甲府盆地西方を南北に連なる巨摩山地の北部に位置し、新第三系（主に巨摩層群の火山岩・泥岩）を基盤とする。山地と盆地の地形境界には、糸魚川－静岡構造線活断層系の市之瀬断層（西傾斜、逆断層）が南北に走り、櫛形山の主稜線付近や山腹斜面には、主として南北走向の線状凹地や弧状低崖列が発達する。巨摩山地と甲府盆地の比高は1.5 kmに達し、櫛形山東面には急斜面が卓越するが、標高950 m以下では階段状にその高度を減ずる。本研究では、まず細密解像度5 mのDTMを基図とした地形解析を実施し、地質記載のための現地踏査と地形編年のための試料分析を櫛形山東面および御勅使川流域を対象に行った。

3. 結果・考察

櫛形山周辺の斜面には地すべり地が卓越しており、例えば、南アルプス市高尾から富士川町岩下にかけて南北に連続する緩斜面は、移動物質が凹地を埋積して形成されている。この範囲では、泥炭やシルトを主とし、御岳第一テフラ（On-Pm1; 95.7 ± 5.3 ka : 青木ほか, 2008）・鬼界葛原テフラ（K-Tz; 94.5 ± 4.8 ka : Albert *et al.*, 2019）・御岳伊那テフラ（On-In; 92.9 ± 6.3 ka : 青木ほか, 2008 ; 笠原ほか, 2010）といったテフラを複数挟在する細粒な堆積物が、不淘汰かつ無層理の角礫からなる新旧の地すべり堆積物に挟まれている。これは、斜面から供給された岩屑が凹地を埋積する過程（90 ka前後）で湛水域が東面山腹に生じていたことを想起させる。

巨摩山東面には、既存研究でも示されているように（e.g., 澤, 1981）、低位・中位・高位の3面に大別される河成段丘が発達する。南アルプス市高尾付近の深沢川沿いでは始良Tnテフラ（AT）を挟む低位段丘構成層が確認された。南アルプス市北伊奈ヶ湖では中位面の、南アルプス市大嵐では高位面の構成層が観察され、両者は被覆層中に挟在するOn-Pm1の層位によって特徴づけられる。

凹地堆積物や河成段丘堆積物は、気候変動による土砂生産様式の変化、河川の下刻や断層の運動に伴う侵食基準面の低下、そして断層活動に伴う強振動と周辺地殻の静的歪みに対する流域斜面の応答をアーカイブしている。この地域で見出された堆積物とテフラとの関係からみて、それらが後期更新世以降の地表変動を反映していることは明らかである。今後は、現地踏査を通じてこの地域における地形の発達過程を追跡するための地質学的な証拠を積みあげてゆくのと並行して、例えば、テクトニックな山地の隆起を外部強制力とし、河川の下刻を内部フィードバックシステムの駆動力とする地形発達モデルを構築することにより、どれほどの時間スケールで、どのように流域地形が開析された結果、現在観察される山容となるのかを検討する。

文献

青木ほか 2008: 第四紀研究 47, 391–407. <https://doi.org/10.4116/jaqua.47.391>

Albert *et al.* *Quaternary Geochronology*, 52, 103–131 <https://doi.org/10.1016/j.quageo.2019.01.005>

笠原ほか 2010: 2010年度日本地理学会秋季学術大会発表要旨集 <https://doi.org/10.14866/ajg.2010f.0.85.0>

澤 1981: 地理学評論, 54, 473–492 <https://doi.org/10.4157/grj.54.473>

P-5

令和 5 年奥能登地震で発生した地殻変動に伴う海岸隆起

○飯田健太・小俣雅志・山田千尋・

宮本樹・杉本惇・足達健人・

橋本裕紀・西田圭吾（株式会社パスコ）

Coastal uplift due to crustal movement
caused by the 2023 Okunoto earthquake

○Kenta Iida, Masashi Omata, Chihiro Yamada,

Tatsuki Miyamoto, Jun Sugimoto, Kento Adachi,

Hiroki Hashimoto, Keigo Nishida (PASCO CORPORATION)

1. はじめに

2023 年 5 月 5 日に石川県能登半島沖の深さ 12km を震源とする M6.5 の「令和 5 年奥能登地震」(石川県, 2023) が発生し、石川県珠洲市で最大深度 6 強を記録した(気象庁, 2023)。この地震の発震機構は北西-南東方向に圧力軸を持つ逆断層型であり、地殻内で発生したものとされている(地震調査研究推進本部, 2023)。

この地震に伴う地殻変動として、国土地理院(2023)は、「だいち 2 号」観測データの SAR 干渉解析により、珠洲市北部で最大約 20cm の隆起と最大約 10cm の西向き変動が生じたと報告している。他にも、宍倉・越後(2023)は、潮間帯生物に着目し、地盤隆起により死滅、白化した部分と地震後も生息している部分の高度差から、この地震に伴う地盤隆起量を最大 24cm と報告している。

本研究では、宍倉・越後(2023)と同様に潮間帯生物の遺骸の分布高度に着目し、石川県珠洲市において、「令和 5 年奥能登地震」により生じた地殻変動に伴う海岸隆起量の把握を目的に現地調査を実施した。以下で、その結果について報告する。

2. 調査方法

筆者らは、現地調査に先立ち、「令和 5 年奥能登地震」を対象に干渉 SAR 解析を実施し、広域変動及び局所変動状況を把握した(図 1; 杉本ほか, 2023)。干渉 SAR 解析の結果、能登半島北部の木ノ浦周辺で最大 15cm 程度の隆起が確認され、木ノ浦から離れるほど隆起量が小さくなることを確認している(図 1)。

調査は、自然海岸の岩礁や港湾海岸に付着する白化した生物遺骸の分布高度と潮位の計測により実施した(写真 1)。対象とした生物遺骸は石灰藻とカキである。潮位は、潮汐による干満の影響を加味した上で算出した調査地の平均海面を基準として整理した。

3. 結果

調査は、図 2 に示した地点で実施した。確認された海岸の最大隆起量は珠洲市川浦町で計測された 33cm であり、海岸隆起量は珠洲市川浦町から離れるに従って減少する傾向であることが明らかとなった。この傾向は、杉本ほか (2023) や国土地理院 (2023) が報告した干渉 SAR 解析による地殻変動量の傾向と調和的である。ただし、本研究で計測、取得した海岸隆起量は、杉本ほか (2023) や国土地理院 (2023) が干渉 SAR 解析により求められた海岸付近の地殻隆起量よりも、最大で 10cm 程度大きな値となった。

【引用文献】

石川県 (2023) : 地震に関する情報 (令和 5 年奥能登地震)、気象庁 (2023) : 報道発表「令和 5 年 5 月 5 日 14 時 42 分頃の石川県能登地方の地震について」、地震調査研究推進本部 (2023) : 石川県能登地方の地震活動の評価、国土地理院 (2023) : 「だいち 2 号」観測データの干渉解析による石川県能登地方の地震 (2023 年 5 月 5 日) に伴う地殻変動 (2023 年 5 月 8 日発表)、宍倉・越後 (2023) : 令和 5 年 (2023 年) 5 月 5 日に石川県能登地方で発生した地震の関連情報、杉本ほか (2023) : 干渉 SAR 解析で捉えた令和 5 年石川県能登地方の地震により発生した地殻変動と地すべり

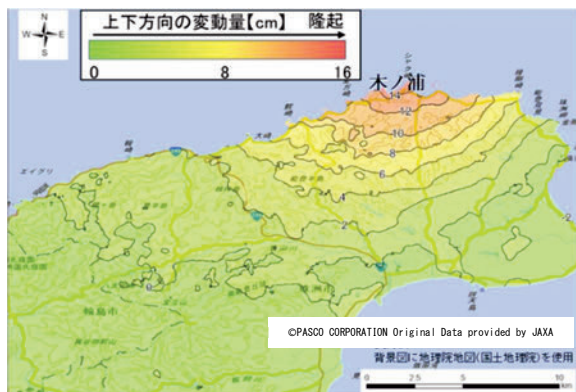


図 1 上下方向変動量図
(杉本ほか (2023) より引用)



写真 1 地盤隆起量の計測状況

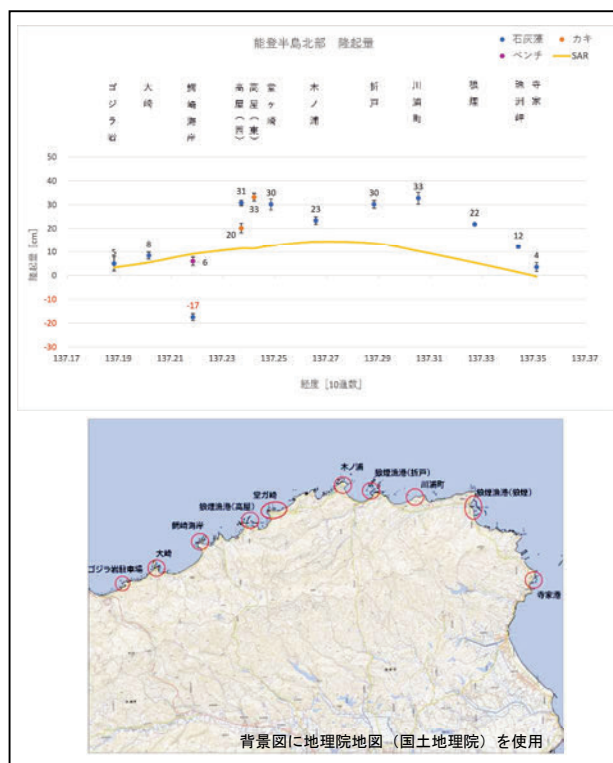


図 2 海岸隆起量 (上) と
隆起量計測地点 (下)

P-6

飛騨高原北部に位置する稲越断層の活動履歴調査

○中村耕佑(現所属：日本工営株式会社, 旧所属：富山大学)・安江健一(富山大学)

Study on paleoseismic history of the Inagoe Fault at the northern part of the Hida Plateau

○Kosuke NAKAMURA(NIPPON KOEI in currency, Univ. Toyama in former)
and Ken-ichi YASUE(Univ. Toyama)

1. はじめに

稲越断層は、飛騨高原北部に位置する走向が東北東—西南西、長さが約 13 km の右横ずれを主体とする活断層であり、直線的な断層谷や明瞭な鞍部地形が連続し、右横ずれを示す明瞭な谷の屈曲が多数見出される。断層北東部では岐阜県活断層研究会(2008)によって活断層を示す露頭が確認されており、断層南西部では田村ほか(2022)によって活断層を示す露頭が確認されているが、断層中部では活断層を示す露頭は確認されていない。本研究では、断層中部に位置する下小鳥ダム地点において、断層露頭の観察、地中レーダ探査、オーガー掘削調査およびピット調査を実施し、活動履歴について考察したので報告する。

2. 調査結果

山地斜面において、頁岩と角礫層が接する断層が観察できる。しかし、この露頭では第四紀堆積物が分布せず、活断層を示す変位が確認できないため、断層の走向方向へ延長した尾根の上で検土杖およびハンドオーガーを用いた掘削調査を行った。断層が通ると考えられる地点を跨ぐように 30 m 内で 11 本のオーガー掘削を行った結果、傾斜変換点付近以外は全て 30~40 cm 程度で礫層にあたり、それ以上掘削することができなかったが、傾斜変換点付近の 4 本のオーガー掘削においては掘削深度が深く、75 cm 以上の厚い黒色土と灰色土の分布を確認した。また、オーガー掘削を実施した尾根で地中レーダ探査を 50 MHz・100 MHz・200 MHz で実施した結果、全ての周波数において傾斜変換点の 3 m 北側で地表に達する断層と考えられる南傾斜の構造を確認した。ピット調査は、黒色土の分布および地表の草木の状況から傾斜変換点付近において実施した。短軸約 1m、長軸約 1.5m、深さ約 1.3m のピットを手掘りで行い、整形・グリッド張り・観察・スケッチ・試料採取を行った。その結果、下位から順に礫層、礫層混じり灰色土、しまりの良い灰色土、礫混じり黒色土、粒度の粗い茶褐色土、粒度の細かい茶褐色土の分布を確認した。また、礫層と底面のしまりの良い灰色土および底面と北側壁面に分布する礫混じりの灰色土の境界に N20° E・70° E の断層を確認した。この断層を覆うように割れ目に沿って、黒色土が堆積しており、黒色土より上位の堆積物に断層による変位は確認できない。傾斜変換点付近の 4 本のオーガー掘削位置は、全てピット調査の内部にあたる。そのうちの 2 本とピット調査の北側壁面および東側壁面において放射性炭素年代測定およびテフラ分析を実施した。

その結果、灰色土最下層（地表から 160cm 付近）に含まれる火山ガラスの屈折率が 1.508-1.515 であり、その上位である黒色土中の 120 cm 付近にも同様の屈折率の火山ガラスが認められる。その火山ガラスの主成分分析の結果は、鬼界アカホヤテフラと類似している。また、

灰色土上部の地表面下 136cm から採取した材から $9,280 \pm 40$ cal yrBP の放射性炭素年代値が得られた。北側壁面の灰色土の年代値は $3,720 \pm 20$ cal yrBP、黒色土の最も古い年代値は東側壁面から採取した $2,450 \pm 40$ cal yrBP であり、北側壁面から採取した断層を覆っている黒色土の年代値は $2,195 \pm 20$ cal yrBP である。

3. 断層中部の活動イベント

掘削調査およびピット調査の位置をふまえると、断層露頭および地中レーダ探査の結果は稲越断層の構造を捉えている。このことから、ピット調査で観察された地質構造は、断層の上盤側に形成された割れ目であると考えられる。ピット調査では、割れ目の中に堆積した灰色土が断層によって切られている様子が確認できるため、割れ目の形成と灰色土の変位という 2 回の断層活動が考えられる。これらのことから、以下のような形成過程を考える。

- ①「断層運動によって礫層中に 1 回目の割れ目を形成」
- ②「その際、礫層の上位に堆積していた灰色土が割れ目に崩落」
- ③「礫を含む灰色土が堆積」
- ④「次の断層運動によって 2 回目の割れ目を形成」
- ⑤「割れ目に沿うように黒色土壌を形成」

これらのことから、下小鳥地点における稲越断層の断層活動は、最新活動が 4,221-4,058 年前～2,382-2,197 年前であり、その 1 つ前の活動が 7,300 年前～4,221-4,058 年前であると考えられる。

4. まとめと今後の課題

稲越断層中部において、過去 2 回の活動に関する情報が得られた。この地点は、1858 年の安政飛越地震の震源断層である跡津川断層と離間距離が約 3.5 km と近接していることから、稲越断層と跡津川断層との連動などを検討する上で重要な地点である。今後、稲越断層の最新活動時期を詳しく明らかにし、跡津川断層の活動との関連を検討することが課題である。また、周辺の活断層の活動履歴を含めて飛騨高原北部の断層運動の時間的・空間的な分布を明らかにすることが課題である。

謝辞

本研究で実施した放射性炭素年代測定及びテフラ分析は、株式会社パレオ・ラボの若手研究者を支援する研究助成(第 18 期)より研究助成金を支給いただき、実施いたしました。また、調査地点の立ち入りや掘削に伴い、飛騨市の危機管理課及び関西電力株式会社 再生可能エネルギー本部 用地グループ(北陸)にご理解・ご協力いただきました。心より御礼申し上げます。

引用文献

岐阜県活断層研究会(2008): ひだ・みの活断層を訪ねて, 岐阜新聞社, 201p.
田村友識・大橋聖和・丸尾渚(2022): 地質学雑誌 第 128 巻, 501-511p.

P-7

長野県北部、野尻湖西方における向新田断層の約3万年前以降の活動履歴

○竹下欣宏¹・花岡邦明・近藤洋一²・関めぐみ²・宮下 忠・

中川知津子³・廣内大助¹・野尻湖地質グループ

¹信州大学・²野尻湖ナウマンゾウ博物館・³飯山高校

Recent surface faulting events of the Mukoshinden fault at the western side of Lake Nojiri-ko, northern part of Nagano Prefecture

○Yoshihiro TAKESHITA¹, Kuniaki HANAOKA, Yoichi KONDO², Megumi SEKI², Tadashi MIYASHITA, Chizuko NAKAGAWA³, Daisuke HIROUCHI¹

and Geological Research Group for Nojiri-ko Excavation

Shinshu Univ.¹, Nojiriko Naumann Elephant Muse.², Iiyama High School³

はじめに

2019年、長野県北部の野尻湖西方において道路工事にもない断層露頭が出現し、露頭周辺の地形・地質調査の結果、北東南西方向に6kmほど変動地形が追跡できたため(廣内・竹下, 2020)、この断層は向新田断層と仮称された(竹下ほか, 2021)。

この露頭では岩屑なだれ堆積物とそれを覆う多数の降下テフラ層が明瞭に切断されている(竹下ほか, 2020)。これらのテフラ層は粒径数mm～数cmと比較的粗い粒子で構成されるので、そのほとんどは露頭の西側と北西側に位置する黒姫火山と妙高火山に由来するものと推定される。しかし、これらの記載岩石学的性質は明らかにされておらず、詳細なテフラ対比も報告されていなかった。この露頭の東側にはナウマンゾウ化石で知られる野尻湖があり、発掘にもなって精緻なテフラ層が構築され(野尻湖地質グループ, 1984など)、それぞれのテフラ層の噴出年代も明らかにされている(長橋・石山, 2009)。したがって、断層露頭で確認できるテフラ層の詳しい対比を明らかにすることは、向新田断層の活動履歴を解明する上できわめて重要な年代軸を提供することになる。そこで本研究では、断層露頭で確認できるテフラ層の記載岩石学的性質を明らかにし、既存のテフラ鍵層との対比を試みた。テフラ対比によって得られた年代軸と詳細な地質構造の観察結果から、向新田断層は約3万年前～1万年前にかけて3回、地表を変位させる活動があったことが明らかになったので報告する。

断層露頭のテフラ層序

断層露頭の地質柱状図と各テフラ層の鉱物組成を図1に示す。これらのテフラ層の中で粗粒なスコリア質火山灰層からなるRG-29は他のテフラ層と異なり、輝石のほかにかんらん石と角閃石が目立つ。このような特異な鉱物組成のテフラ層は、野尻湖周辺では[ドライカレー](野尻湖地質グループ, 1984)の他に知られておらず層相も類似するため、RG-29は確実に[ドライカレー]に対比される。なお、[ドライカレー]は妙高-関山スコリア層の下部層に相当する(早津, 2008)。層相と層序関係および鉱物組成に基づくRG-01～33の対比結果を図1に示す。

さらに、クリプトテフラを検出することを目的に、露頭上部の赤色スコリア層と黒ボク土(柏原黒色火山灰層:野尻湖地質グループ, 1980)間の褐色風化火山灰土(いわゆるローム層)を5cm間隔で連続的に採取した。その結果、バブルウォール型の火山ガラスが濃集する層準が検出され、火山ガラスの主成分化学組成と他のテフラとの層序関係から、このクリプトテフラは約3万年前の広域テフラ層であるAT(Smith et al., 2013)に対比されることがわかった。

また、断層露頭最下位の岩屑なだれ堆積物(図1)は、この堆積物を覆うテフラ層とその分布から石井・野尻湖地質グループ(1997)の池尻川岩屑なだれ堆積物に対比されると考えられる。

向新田断層の活動履歴

断層露頭の地質構造を詳しく観察した結果、向新田断層はATの層準を切断していること、ATおよびその付近の層準が断層によって繰り返すこと、[ブレッチャーゾーン]、[粉アズキ]、[ドライカレー]の層準が断層によって断片化し、2つのブロックになっていること、黒ボク土には断層による変位が認められないことが確認された。これらのことは、向新田断層が約3万年前～約1万年前の間に3回活動したことを示している。

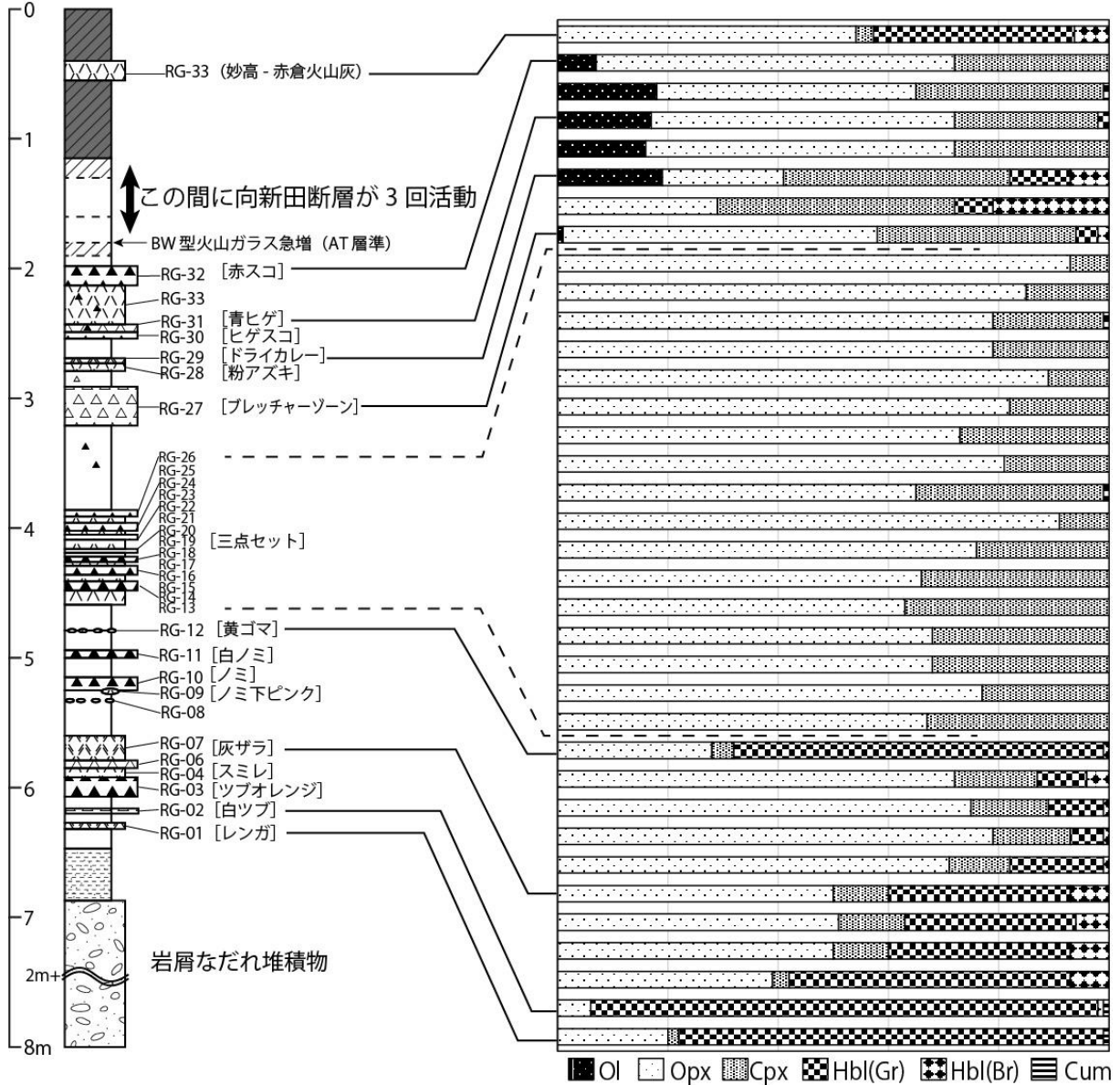


図1 断層露頭の地質柱状図とテフラ層の鉱物組成

[] 内のテフラ層の名称は野尻湖地質グループ (1984) に基づく。

引用文献：石井・野尻湖地質グループ (1997) 野尻湖ナウマンゾウ博物館研究報告, 5, 9-18. 早津 (2008) 妙高火山群, 424p. 廣内・竹下 (2020) 日本活断層学会講演予稿集, 24-25. 野尻湖地質グループ (1980) 地質学論集, 19, 1-31. 野尻湖地質グループ (1984) 地団研専報, 27, 23-44. 長橋・石山 (2009) 野尻湖ナウマンゾウ博物館研究報告, 17, 1-57. Smith et al. (2013) Quat. Sci. Rev. 67,121-137. 竹下ほか (2021) 日本活断層学会講演予稿集, 53-54.

P-8

宇宙線生成核種¹⁰Beを用いた深度断面法による活断層の平均変位速度推定 —根尾谷断層，能郷地区中位段丘面を例として—

°小倉祐弥（中央大・院）・金田平太郎（中央大）・

太田凌嘉（中央大・PD）・松四雄騎（京都大）・松崎浩之（東京大）

Slip-rate estimation of an active fault by using depth profiling of terrestrial cosmogenic ¹⁰Be: a case study on a middle terrace surface at Nogo along the Neodani fault, central Japan

°Yuya Ogura (Graduate student, Chuo Univ.), Heitaro Kaneda (Chuo Univ.),

Ryoga Ohta (JSPS-PD, Chuo Univ.), Yuki Matsushi (Kyoto Univ.), and Hiroyuki Matsuzaki (Univ. of Tokyo)

1. はじめに

活断層の平均変位速度評価を行う上では、断層変位を受けた地形の年代、とくに段丘面の離水年代を高精度・高確度に決めることが必要になる。これまで段丘面の離水年代は、主としてテフラ分析や¹⁴C年代測定から決定されてきたが、テフラの乏しい地域や山岳地域などにおいては、これらの年代指標の有効性が限られる場合も少なくない。そこで本研究では、根尾谷断層を対象として、国内の活断層研究においてほとんど適用されていない宇宙線生成核種¹⁰Beによる年代測定法の適用を試みた。

2. 原理

宇宙線生成核種¹⁰Beは、地表付近の岩石や堆積物中の石英（SiO₂）に宇宙線が照射されることで生成される。¹⁰Beの蓄積量は時間の経過と共に増加するため、基本的には¹⁰Beの濃度 C (atoms/g) とその生成率 P_0 (atoms/g/yr) から、石英を含む岩石や堆積物が地表に露出していた時間（年代） t (yr) が推定できる。ただし、岩石や堆積物には、現在の位置に定着する以前に既に生成されていた¹⁰Be（継承核種）が含まれるため、継承核種濃度 C_0 (atoms/g) を評価した上で C から C_0 を差し引いて t を求める必要がある。本研究では、宇宙線フラックスが深度方向に指数関数的に減衰する特性を利用して t と C_0 を同時に推定する深度断面法（Anderson et al., 1996）を採用し、段丘面が形成された後に風成堆積物が一定の速度で段丘面を被覆するプロセスをこれに加えたモデル（松四, 2023）を適用した。なお、宇宙線フラックスの減衰は物質の密度に依存することから、段丘構成層や風成被覆層の密度を正確に見積もることが必要となる。また、積雪の遮蔽によっても堆積物中の宇宙線生成核種の生成率が減少することから、その場における冬期の積雪量を見積もり、生成率を補正する必要がある。

3. 研究地域概要

1891年濃尾地震時に活動したことで知られる根尾谷断層は、福井県から岐阜県にわたって走る左横ずれ活断層である。この断層の左横ずれ平均変位速度は、主に段丘面における開析谷の横ずれ変位量を段丘面の離水年代で除することで 1.3 ± 0.3 m/kaと推定されている（Kaneda & Okada, 2008）。しかし、段丘面が離水してから開析谷が形成されるまでの間に有意な時間差がある可能性があり、その場合はこの平均変位速度の値は過小評価されていることになる。近年、航空レーザー測量データを用いることにより、根尾谷断層北部の能郷地区において、中位1面（M_H面）と中位2面（M_L面）の間の段丘崖で約170 m、M_L面と低位面（L1面）の間の段丘崖で約120 mの明瞭な左横ずれ変位が発見された（Kaneda & Chiba, 2019, 図1）。本研究では、このうちM_H面-M_L面間の段丘崖の変位を対象とし、M_L面の離水年代を決定することにより確度の高い平均変位速度推定を試みる。なお、M_L面の風成被覆層中には始良Tnテフラ（約30 ka）が認められており、少なくとも30 ka以前に離水していたことは明らかになっていたが、具体的な離水年代はテフラ分析や¹⁴C年代測定では決定できていなかった。

4. 手法

(1) ピット掘削調査

本研究では深度ごとに¹⁰Be濃度測定用試料を採取するため、M_L面上において深さ約2 m、幅約2 m、奥行き約1.2 mのピットを人力で掘削した。段丘構成層全体の密度推定のため、モッコとクレーンスケールを用いてすべての掘削土砂の重量を測定しながら掘削を進めるとともに、体積についてはSfM写真測量によるピットの3Dモデルから算出した。風成被覆層の密度については、100 ml採土管を用いてピット壁面から複数の試料を採取し、実験室にてその値を計測した。また、ピット掘削地点の積雪深を見積もるため、雪尺およびタイムラプスカメラを用いて2022~2023年の冬期の積雪深を観測した。

(2) 試料の前処理および¹⁰Be/⁹Be同位体比の測定

ピット掘削調査で採取した試料から、粉碎、整粒、磁性分離などの物理処理、および酸処理（Kohl & Nishiizumi, 1992）によって石英粒子を抽出した。その後、イオン交換などによってBeを単離し、最

最終的に加速器質量分析によって $^{10}\text{Be}/^9\text{Be}$ の同位体比の測定を行った。試料ごとの ^{10}Be の濃度は、測定した同位体比、溶解した石英の重量、および添加したキャリアに含まれる ^9Be の原子数に基づいて求めた。試料の前処理は中央大学理工学部、東京大学タンデム加速器研究施設および京都大学防災研究所、加速器質量分析は東京大学タンデム加速器研究施設にて実施した。

5. 結果・考察

ピット壁面の柱状図および採取試料の位置を図2(a)に示す。壁面には、厚さ約60 cmの黒褐～黄褐色シルト層（風成被覆層）の下位に径1 m大の巨礫を含む段丘構成礫層が露出した。掘削した礫層の総重量は3501 kg、体積は1.70 m³であり、礫層の密度は2.06 g/cm³となった。風成被覆層の平均密度は1.16 g/cm³と測定された。礫層中の深度70 cmから150 cmまで20 cm間隔の5層準で粒径10 mm程度以下の基質部分を採取し、各試料について粒径0.25～4 mmの粒度帯を前処理および同位体比測定に供した。

ピットの各深度より採取した試料の ^{10}Be 濃度は $1.92 \times 10^5 \sim 0.59 \times 10^5$ atoms/gの値を示し、深度方向に滑らかに減衰した（図2(b)）。各地層の密度や崩壊定数などの定数を松四（2023）によるモデル式に代入し、 ^{10}Be 濃度の測定結果を最も良く説明する t と C_0 を求めた。その際、高緯度海水準の基準 ^{10}Be 生成率としては世界平均値（ 4.06 ± 0.23 atoms/g/yr）、スケーリングスキームとしてはLifton et. al (2014)、古地磁気変化記録としてはLifton (2016)を用い、地形・積雪遮蔽補正を行ったうえで、現地における生成率を求めた。また、 ^{10}Be 生成率の減衰長については、地層の含水率を考慮した補正を行うとともに、負の年代や継承核種濃度をもつことはあり得ないため、 t および C_0 がともに非負数となる制約を与えた。代入値の誤差については、現時点では ^{10}Be 生成率および ^{10}Be 濃度についてのみ与えた。その結果、暫定値として $t = 68.6 + 9.0/-6.9$ ka、 $C_0 = 0$ atoms/gの値が得られた。この年代はMIS 4に相当し、この段丘面がMIS 4の亜氷期からMIS 3の亜間氷期に移行する中で離水したことを示唆する。

宇宙線生成核種 ^{10}Be により推定された離水年代と段丘崖の変位量（ 170 ± 10 m）より、根尾谷断層の左横ずれ平均変位速度（暫定値）は $2.48 + 0.44/-0.41$ m/kaと推定される。今後、他のパラメータの誤差を考慮したモンテカルロシミュレーションによって、 t と C_0 の値とその誤差を再評価する必要があるものの、本研究によって根尾谷断層の平均変位速度が過小評価されていた可能性が指摘できるとともに、本年代測定手法が国内の活断層研究において一定の適用性をもつことが示されたと言える。

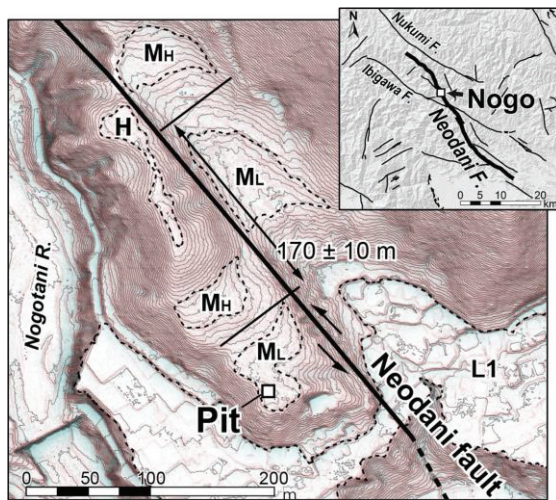


図1 根尾谷断層，能郷地区で確認された段丘崖の明瞭な左横ずれとピット掘削地点

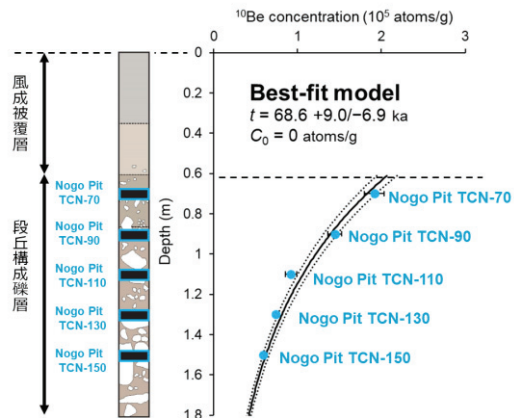


図2 ピット壁面の柱状図(a)，および ^{10}Be 濃度測定結果(b) (深度- ^{10}Be 濃度断面図)

謝辞

ピット掘削調査の際には井上 勉氏、試料の前処理の際には京都大学防災研究所の森川亜紀子氏に大変お世話になった。また、本研究の実施にあたっては、文科省「災害の軽減に貢献するための地震火山観測研究計画（第2次）」の経費（課題番号：NGY_03）および文科省科学研究費（課題番号：23H00728）を使用した。

引用文献

Anderson, R.S., J.L. Repka, and G.S. Dick. (1996), *Geology*, 24, 47–51 ; Kaneda, H. and A. Okada, 2008, *Bull. Seismol. Soc. Am.*, 98, 2170–2190 ; Kaneda, H. and T. Chiba. (2019), *Bull. Seismol. Soc. Am.*, 109, 99–109 ; Kohl, C. P. and K. Nishiizumi, (1992), *Geochimica et Cosmochimica Acta*, 56, 3583–3587 ; Lifton, N., T. Sato, and T.J. Dunai (2014), *Earth Planet. Sci. Lett.*, 386, 149–160 ; Lifton, N.A. (2016), *Earth Planet. Sci. Lett.*, 433, 257–268 ; 松四雄騎 (2023) , *RADIOISOTOPES*, 72-1, 11–19.

P-9

UAVレーザ測量による阿寺断層中部の微地形調査(その1)

○安江健一・土井駿仁(富山大),

細矢卓志・中瀬千遥・後藤 慧(中央開発株式会社)

Investigation of micro-landform by UAV Laser Survey,
in the middle part of the Atera fault, central Japan (Part1)

○Ken-ichi YASUE, Hayato DOI (Univ. Toyama),

Takashi HOSOYA, Chiharu NAKASE, Satoshi GOTO (Chuo Kohatsu Co., Ltd.)

1. はじめに

横ずれ活断層では、変位に伴って主断層に斜交する破断面が地表にあらわれる場合がある。この破断面は、主断層に比べて変位量が小さく、侵食や人工改変により不明瞭になりやすいが、森林内などの侵食や人工改変が進んでいない場所では地形に残っている可能性がある。そのような地形の存在を把握するには、樹木などの植生の高さを取り除くことができる航空レーザ測量のデータが有効である。さらに、より迅速にレーザ測量を行うには、レーザ測量機器を搭載した UAV が有力である。本研究では、この UAV レーザ測量を阿寺断層において実施し、計測データを解析して地表面の形状を表現し、断層運動に関連する地形を判読した。さらに、同じ場所で地形・地質踏査を実施した。本発表では、それらの成果を報告する。

2. 調査地域と調査方法

調査地域は、岐阜県東部に分布する左横ずれ活断層である阿寺断層の中部、横川谷の右岸である(図)。この場所は、針葉樹が生い茂っており、空中写真からでは微細な断層変位地形を認定することが困難である。この場所において、レーザ測量機器を搭載した UAV を用いて地形計測を実施した。UAV は DJI 社製 Matrice 300 RTK、レーザ測量機器は Zenmuse L1 を使用した。できるだけ隙間なくデータを採取するため、測量範囲を折り返しながら連続的に計測を行った。計測は、離陸地点から 80 m の高度で行い、死角を減らして植生下の地形面を取得するため、ジンバルを真下(90°)に向けた計測と斜め(60°)に向けた計測を実施した。計測データから建物や樹木などの地物を取り除いて地表面の形状を表現し、断層運動に関連する地形を判読した。さらに、判読した地形を踏査で確認するとともに、周辺の地質の分布や断層露頭を観察した。

3. 調査結果と考察

計測の結果、オリジナルデータは 86,752,665 点であり、グラウンドデータは 6,154,270 点であった。解析を行い、阿寺断層の走向方向に約 500 m、直交方向に約 300 m の範囲の地表面の形状を可視化した。一部、グラウンドデータ数が少なく粗い表現の部分もあるが、概ね詳細に地形を表現でき、数 m の谷の屈曲などが判別できる図が得られた(図)。これにより、谷の左屈曲と分離丘の連続から活断層の明確な位置を明らかにすることができ、その走向は N50° W である。この断層の走向に対して 10° ~30° 程度斜交するリニアメントが、数 m の

僅かな谷の左屈曲や幅数十 m の小規模な分離丘の分布から判読できる。

主断層やこれらのリニアメント付近の地形・地質踏査を行ったところ、上述した僅かな谷の屈曲や小規模な分離丘を観察するとともに、幅数 m の小規模な湿地を断層沿いに確認した。また、破碎帯が広く分布しており、基盤岩中に粘土を伴う断層面を複数箇所を確認した。その中には、花崗岩と濃飛流紋岩が接している断層露頭や低位段丘堆積物を変位させる断層も分布する。主断層に斜交するリニアメント沿いでは、N78° W などのリニアメントの走向に調和的な断層面を確認することができた。これらのリニアメントは、主断層に低角で斜交して右雁行し、谷が左屈曲していることから、主断層の左横ずれ変位に伴い形成されたリーデル剪断面（R1 面）が地表面に現れたものと考えられる。

4. おわりに

阿寺断層中部において、UAV レーザ測量を実施し、微地形を捉え、活断層の詳細な位置を明らかにした。さらに、主断層の変位に伴って形成されたと考えられるリーデル剪断に対応する破断面の分布を把握した。また、これらの活断層や破断面の存在を裏づける露頭も確認した。このように、UAV レーザ測量を用いることで効率的な活断層調査が可能であり、詳細な地質構造を把握することができる。今後は、断層沿いで掘削調査等を行い、活動履歴を明らかにしていく予定である。

本研究は、JSPS 科研費 JP23K04326 の助成を受けたものである。

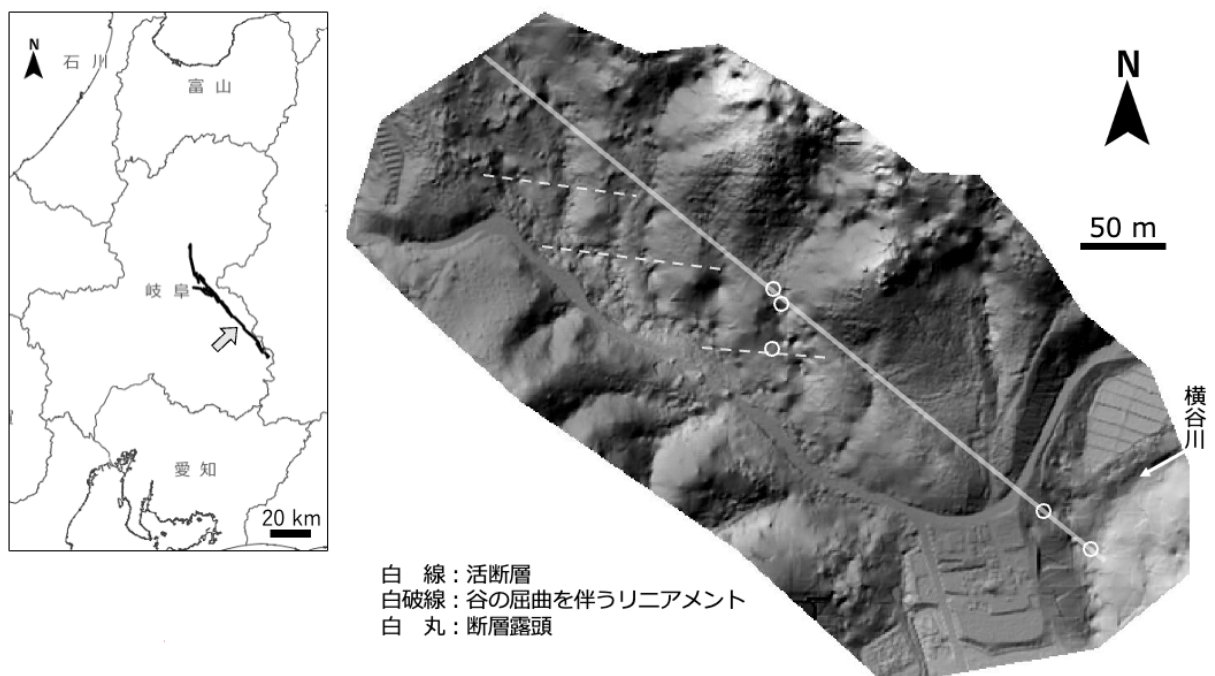


図 阿寺断層中部における UAV レーザ測量のデータから作成した地表面の形状と地形・地質踏査結果.

P-10

UAV レーザ測量による阿寺断層中部の微地形調査(その2)

○細矢卓志・中瀬千遥・後藤 慧(中央開発株式会社)

安江健一・土井駿仁(富山大)

Investigation of micro-landform by UAV Laser Survey,
in the middle part of the Atera fault, central Japan (Part2)

○Takashi HOSOYA, Chiharu NAKASE, Satoshi GOTO (Chuo Kohatsu Co., Ltd.)
Ken-ichi YASUE, Hayato DOI (Univ. Toyama)

1. はじめに

阿寺断層は、横ずれ断層の典型的な地形が発達していることで知られている。また、国内でも主要な断層の一つであり、多くの研究・調査がなされてきた。近年、航空レーザ測量の登場により、今まで抽出できなかった微地形が多く抽出されてきている。但し、航空レーザ測量は飛行機が飛ぶ高度で撮影されており、より詳細な地形を抽出するためには「UAV レーザ」が有効的である。

本研究の調査地は、岐阜県東部に位置する中津川市加子母の白川左岸である(図1)。測定は、レーザ測量機器を搭載した UAV を用いて計測を実施した。UAV は DJI 社製 Matrice 300 RTK、レーザ測量機器は Zenmuse L1 を使用した。

2. 調査結果

測定した UAV レーザデータの解析の結果、都市圏活断層図「下呂」に記載されている活断層線の位置に明瞭な線状構造が認められた他、中央部の段丘面に明瞭な断層崖が認められた。

更に、都市圏活断層図「下呂」で示されている谷の屈曲部の北西側約 100m の断層線上に、新たな左横ずれの河川の屈曲を認めることができた(図2)



図1 都市圏活断層図「下呂」とレーザ測量範囲

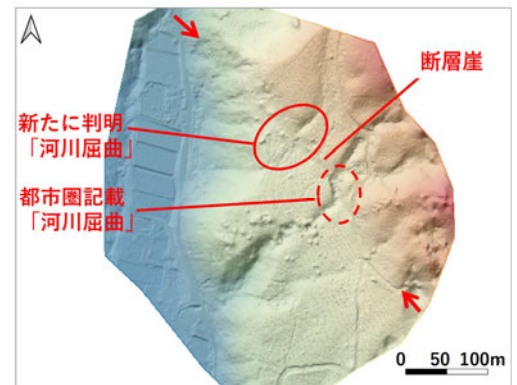


図2 レーザ測量結果

3. おわりに

UAV レーザを使用することで、今まで明らかになっていなかった微地形を明らかにできる可能性がある。阿寺断層沿いには、このような微地形が多く分布する可能性があり、UAV レーザを使用することで効率よく抽出するとともに、踏査や掘削調査の結果も踏まえて阿寺断層の特性を明らかにしたい。本研究は、JSPS 科研費 JP23K04326 の助成を受けたものである。

P-11

森林内における活断層に係る微地形の把握:阿寺断層帯の例

○土井駿仁(富山大学)・安江健一(富山大学)・
島田耕史(日本原子力研究開発機構)

Extraction of micro-landform related to active faults in forests:
a case of the Atera Fault Zone

○Hayato Doi (Univ. Toyama), Ken-ichi Yasue (Univ. Toyama),
and Koji SHIMADA (JAEA)

1. はじめに

断層運動に伴う地形の変化、断層粘土や破砕帯の存在などは、地下水の流れに影響を与えることから、活断層の詳細な位置を把握した上で地形変化の解析や地下水流動の解析を進めていくことが重要となる。近年、航空レーザ測量の登場により、空中写真では抽出できなかった微地形が多く抽出されてきており、森林内など植生が多い地域でも活断層の分布を詳細に把握できるようになってきた。本研究では、多くの部分が森林内を通る阿寺断層帯を事例に、航空レーザ測量データから作成された陰影起伏図と傾斜量図を用いて地形判読を行った。

2. 研究断層と研究手法

阿寺断層帯は、中部地方において活動的な活断層の一つである。本断層帯は、全長約 70 km に及び北北西-南南東～北西-南東走向の数本の活断層によって構成され、変位センスは主に左横ずれである。本断層帯中北部では複数の活断層が並走しており、北部や中南部では連続性の良い一条の活断層が分布する(図 1)。阿寺断層帯全体を対象にした既存の 1:25,000 の活断層図としては、都市圏活断層図阿寺断層とその周辺(岡田ほか, 2006 など)、活断層詳細デジタルマップ(今泉ほか編, 2018)、岐阜県活断層図(鈴木・杉戸編, 2010)、阿寺断層系ストリップマップ(佃ほか, 1993)などがある。

地形判読には、地理院地図の陰影起伏図と傾斜量図を用いた。阿寺断層帯周辺には、航空レーザ測量による数値標高モデル由来のデータがあり、地理院地図において高精度の陰影起伏図と傾斜量図を断層帯のほとんどの部分で見ることができる。地形判読は、既存のトレースとその延長や周辺に着目するとともに、断層変位に伴って周辺に形成される破断面なども意識しながら実施した。判読結果は、GIS を用いて可視化した。

3. 地形判読から推定される断層

地形判読の結果、これまで位置やや不明確や伏在部だった活断層における詳細な位置の把握、並走する活断層を連結するようなリアメント、斜面の小規模な谷や溝状の地形の屈曲などを確認することができた。本報告では、特徴的な地形を確認できた箇所として図 1 の A～D 地点を紹介する。

A 地点は、阿寺断層帯の北部に位置しており、都市圏活断層図「萩原」(池田ほか, 2006)では西側低下の低断層崖が分布しており、一部が伏在部である。この地点において、東へ傾斜する扇状地面に南北の傾斜変換線が認められることから(図 2A)、西側が低下する断層が存在している可能性がある。

B 地点は、阿寺断層帯を構成する下呂断層と湯ヶ峰断層の 2 条の活断層が 250m ほど離れて並走する。この 2 条の断層をつなぐように西北西-東南東走向のリアメントが分布する(図 2B)。リアメント付近は、南向きの斜面の傾斜が緩くなっていることから北側が低下する断

層が存在している可能性がある。

C地点は、阿寺断層帯の中部に位置しており、白川の段丘崖が分布する。段丘崖を流れる複数の小規模な谷が10mほど僅かに左屈曲して連続しており、その北西延長部では低崖を伴う北西-南東走向のリニアメントが分布する(図2C)。低崖は段丘崖の可能性はあるが、南西側低下の左横ずれの活断層の存在が考えられる。

D地点は、阿寺断層帯の中部に位置し、200mほど離れて2条の活断層が分布する。この2条の断層をつなぐように北西-南東走向のリニアメントが分布し、南西向き斜面に北東側が低下する崖が認められ(図2D)、逆向き低断層崖と考えられる。

発表では、その他の地点についても紹介する。

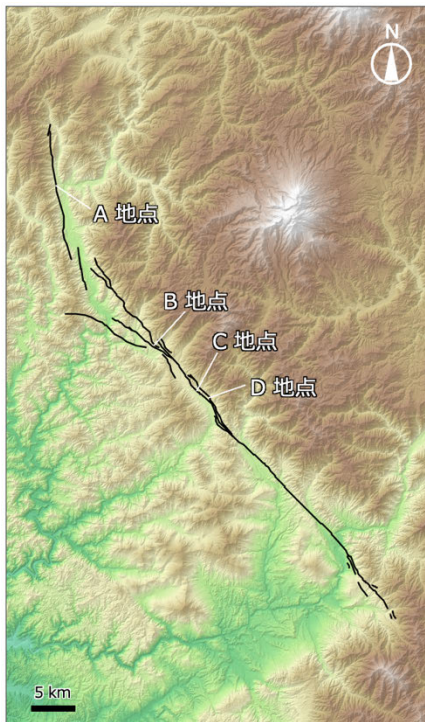


図1 阿寺断層帯の位置図.

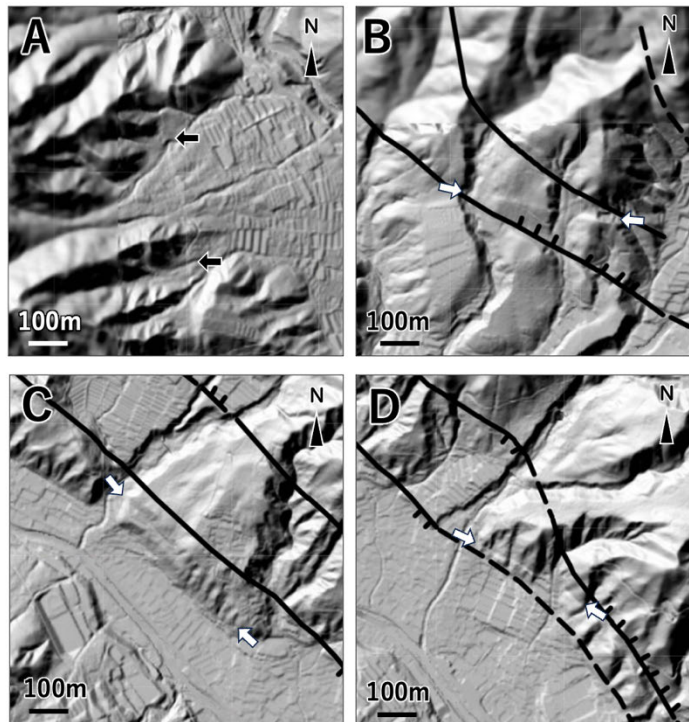


図2 特徴的な地形が確認された地点.

黒矢印：都市圏活断層図で伏在部だった地点

白矢印：本研究で判読したリニアメント

黒太線・破線 (B~D)：都市圏活断層図の活断層

4. 今後の課題

本研究で新たに判読した断層変位に関連すると思われる地形について活断層の運動によるものかどうかを、現地にて確認する必要がある。その際は、微地形の分布だけでなく、変位量や地層の分布、さらには活動履歴などの確認が望まれる。

謝辞：本報告は経済産業省資源エネルギー庁委託事業「令和5年度高レベル放射性廃棄物等の地層処分に関する技術開発事業 (JPJ007597) (地質環境長期安定性総合評価技術開発)」の成果の一部である。

引用文献：池田ほか (2006) 国土地理院技術資料 D・1-No. 458. 今泉ほか編 (2018) 活断層詳細デジタルマップ [新編], 東京大学出版会. 岡田ほか (2006) 国土地理院技術資料 D・1-No. 458. 鈴木・杉戸編 (2010) 1:25,000 岐阜県活断層図, 岐阜県, 138p. 佃ほか (1993) 阿寺断層系ストリップマップ, 地質調査所.

P-12

阿寺断層帯中部におけるピット調査と放射性炭素年代測定

安江健一(富山大)・原田隼輔(富山大・院)・

國分(齋藤)陽子(日本原子力研究開発機構)・廣内大助(信州大学)

Pit excavation and Radiocarbon dating in the middle part of the Atera fault zone

Ken-ichi YASUE (Univ. Toyama), Shunsuke HARADA (Univ. Toyama),

Yoko SAITO-KOKUBU (JAEA), and Daisuke HIROUCHI (Shinshu Univ.)

1. はじめに

阿寺断層帯は、岐阜県南東部において北北西-南南東～北西-南東走向の数本の断層から構成される全長約 70 km の左横ずれ活断層帯である。また、本断層帯では、1980 年代からトレンチ調査が行われており、活動履歴に関する情報が多い。しかし、断層帯全域から均一に活動時期に関する情報が得られているわけではない。また、放射性炭素年代測定（以下、C-14 年代測定）やテフラ分析の技術が現在ほど高くなかった頃は、活動時期の決定は精確ではないことも多い。そこで本研究では、阿寺断層帯の中で活動時期に関する情報が比較的少ない断層帯中部に位置する中津川市加子母二渡地区において実施したピット調査の結果と、そこから採取した黒色土の連続試料の C-14 年代測定の結果について報告する。

2. ピット調査

ピット調査は、廣内ほか（2014）において報告されたトレンチ地点の隣で実施した。森林内に位置しており、樹木を避けるように北東側が低下する逆向き低断層崖を跨いで掘削した。

壁面は、幅約 2 m、高さ約 1.5 m である（図 1）。下位から礫まじり褐色粘土、火山灰層（AT テフラ）、淡黄色礫層、礫まじり黒色土、黄色味がかかった礫まじり黒色土、黒味が強い黒色土、砂まじり黒色土、黒色腐植土である。本露頭では 2 条の断層が観察できる。礫まじり黒色土は断層で淡黄色礫層と接していることから、礫まじり黒色土の堆積以降に活動している。さらに黄色味がかかった礫まじり黒色土や黒味が強い黒色土が断層付近で変形しているようにも見えることから、これらの黒色土の堆積以降に活動している可能性がある。

3. C-14 年代測定

測定試料は、断層を挟んで両側の黒色土から深度方向に 5 cm 程度の間隔で連続に採取した。試料採取においては、壁面全体を整形し、露頭を観察して異なる層相を横断しないように採取地点を選定して、下部から順に採取した。試料調製においては、草木の根や炭などを除去した後、塩酸と水酸化ナトリウムによる処理を行い、アルカリ可溶成分（フミン酸）と不溶解成分（ヒューミン）を測定試料とした。C-14 年代測定は、日本原子力研究開発機構東濃地科学センターの JAEA-AMS-TONO-5MV にて実施した。測定結果は、OxCal 4.4.4 (Bronk Ramsey, 2021) に IntCal20 (Reimer et al., 2020) を用いて暦年較正を行った。

測定結果を図に示す。大局的には下位から上位へ年代値が若くなる。詳細には、上位へ徐々に年代値が若くなる部分、ほぼ同じ年代値が連続する部分、年代値が逆転する部分が見られた。上位へ徐々に年代値が若くなる部分は、時間の経過とともに黒色土が徐々に形成される通常の森林内の状態と考えられる。ほぼ同じ年代値が連続する部分は、急速な堆積が発生したと考えられ、年代値が逆転する部分は、上位に古い黒色土が堆積したと考えられる。これ

らは何らかのイベントの発生を示しており、その時期は5千年前頃と2千年前頃である(図)。イベントとしては、例えば、断層が上下変位した後に上盤から古い黒色土が急激に供給されたことが考えられるが、慎重に検討する必要がある。

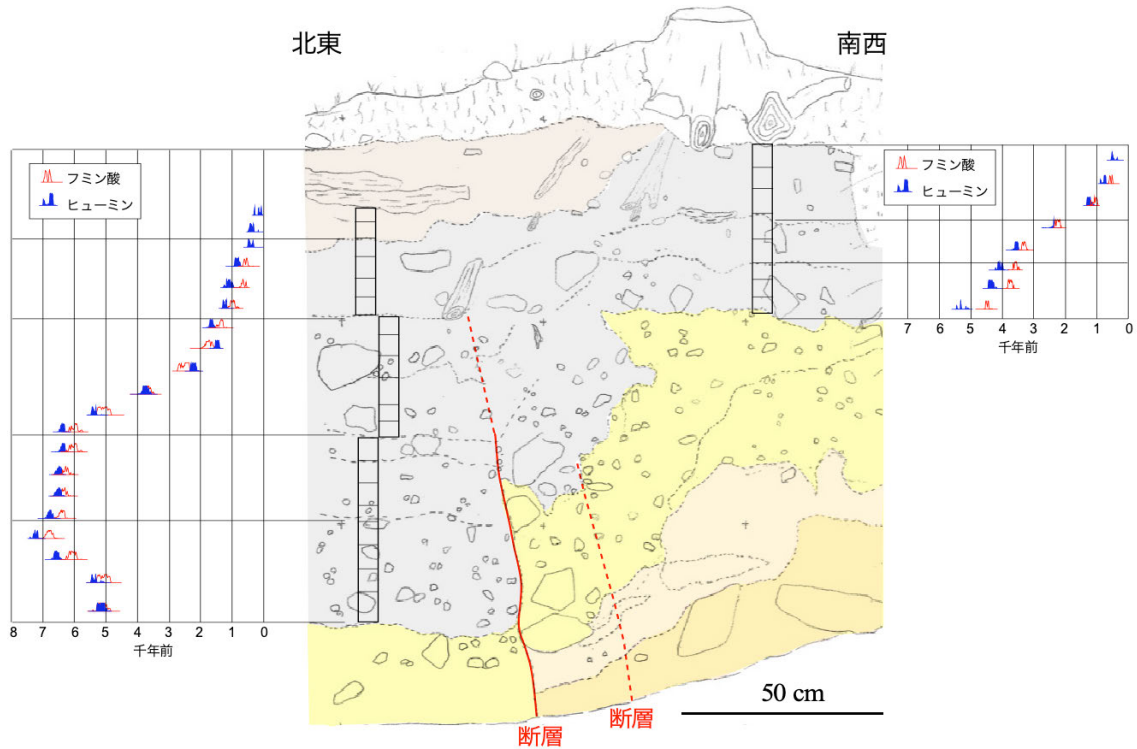


図 ピット壁面のスケッチとC-14年代測定の結果。

4. おわりに

本研究で得られたC-14年代値が黒色土の堆積時期であるかどうかについては、テフラ分析などの別手法の結果とも合わせて検討する必要がある。また、本研究で認定したイベントが断層運動かどうかについては、他地点での結果とも比較しながら検討する必要がある。

本研究を進めるにあたり、日本原子力研究機構東濃地科学センターの皆様にはC-14年代測定において、多くのご協力とご助言をいただいた。現地調査では、道家涼介博士をはじめ多くの研究者にご協力・ご意見をいただいた。ここに感謝いたします。本研究は、JSPS 科研費JP23K04326の助成を受けたものです。

引用文献

廣内ほか (2014) 阿寺断層帯中部における後期更新世以降の断層運動-中津川市加子母二渡地区トレンチ調査-, 日本地質学会学術大会講演要旨.

Reimer, P. et al. (2020) The IntCal20 Northern Hemisphere radiocarbon age calibration curve (0–55 cal kBP), *Radiocarbon*, **62**.

[URL] Bronk Ramsey, C. (2021) OxCal 4.4. Electronic document. <https://c14.arch.ox.ac.uk/oxcal.html>.

P-13

ボーリングデータベースに基づく上町断層帯の浅部変形構造

° 川嶋 涉造(同志社大・院), 堤 浩之(同志社大)

Near-surface deformation structure of the Uemachi fault zone based on a geo-informatics database

°Shozo Kawashima and Hiroyuki Tsutsumi (Doshisha Univ.)

はじめに

上町断層帯は大阪平野の中心部を走り、大阪湾南東岸にかけて北北東－南南西走向に延びる断層帯である(図 a)。神崎川付近の上町断層から久米田池断層に至る長さ約 37 km の上町断層帯主部に加え、文部科学省研究開発局・国立大学法人京都大学防災研究所(2013)や杉戸ほか(2020)によって大津川河口周辺から沿岸部を南西へ約 26 km にわたって延びる活動区間(大阪湾南東岸断層)が推定されている。いずれの区間も断層帯の東側が西側に対して相対的に隆起する逆断層であり、南東岸断層は右横ずれ成分を伴う可能性が指摘されている。

上町断層帯主部は都市部に位置しており、伏在部分が多いことから、反射法地震探査を中心とする物理探査やボーリング調査等の地質調査が多数行われてきた(例えば、大阪市, 1996; Ikebe et al., 1970)。しかし、本断層帯が厚い堆積層に覆われていることや、人工改変が進んでいることから、活断層の評価に関する情報の信頼度が十分でないことが指摘されている。断層の上盤側では、上町台地上の背斜構造や台地東縁を限る東側低下のバックスラストによって変位の一部が解消されていることが推定されるものの、これらの活構造の正確な分布や変位量については十分なデータが得られていない。大阪湾南東岸断層については、物理探査や掘削調査がほとんど行われておらず、その性状や変位量分布は明らかになっていない。そこで、ボーリングデータベースを活用してこれらの活構造の浅部変形構造について調査を行った結果、新たな知見が得られたので報告する。

柱状断面図の作成と解釈

「関西圏地盤情報データベース」(KG-NET・関西圏地盤研究会・関西地質調査業協会, 2022)に収録された上町断層帯周辺の約 6,900 本のボーリングデータを用いて、断層帯を東西に横切る柱状断面図を作成し、浅部変形構造について検討した。「関西圏地盤情報データベース」は関西圏における約 62,000 本のボーリングデータと各種地盤調査データを収集し、パソコン上で閲覧・編集できるようにしたものである。人工改変によって変動地形学的調査が困難な地域を中心に成果を上げており、上町断層帯を対象とした調査も行われている(KG-NET・関西圏地盤研究会, 2007)。作成した柱状断面図について、測線近傍の学術ボーリング等を参考に層相・N 値・地形・堆積環境等を考慮して、岩層境界線を記入した。活構造の解釈に際しては、既存の地形・地質情報や物理探査データも活用した。

上盤側のバックスラストを対象とした調査の結果、東落ちの撓曲変形が大阪市旭区の淀川南岸まで北に延びることが推定された。杉戸ほか(2020)等では大阪市中央区の寝屋川南岸までしか知られていなかったため、北端は少なくとも約 3 km 延長され、上盤側のバックスラス

トにより広範囲に発達していることが分かった。

大阪湾南東岸断層を対象とした調査では、大阪層群とみられる砂・粘土互層が西に約2°傾斜していた(図b, c)。断層運動に伴う単斜構造、またはより広域的な地殻変動に伴う傾動を示す可能性がある。この地点の上盤側の地形面は低位段丘面に区分され(杉戸ほか, 2020)、柱状断面図からは西傾斜した砂・粘土互層の上位を低位段丘礫層が不整合に覆っていると推定された。図(c)中にAで示す粘土層は、大阪層群とみられる粘土層よりN値が有意に小さいことから縄文海進に伴う海成粘土層であり、その下位の砂礫層が低位段丘構成層であると解釈した。低位段丘礫層の堆積年代とは厳密には一致しないものの、低位段丘面の推定年代として24±6 kaの値が得られている(文部科学省研究開発局・国立大学法人京都大学防災研究所, 2013)。礫層も同様の年代と仮定すると、低位段丘礫層に約15 mの上下変位が生じていることから上下変位速度は0.5～0.6 mm/yrと見積もられ、上町断層帯主部とほぼ同じ大きさであった。

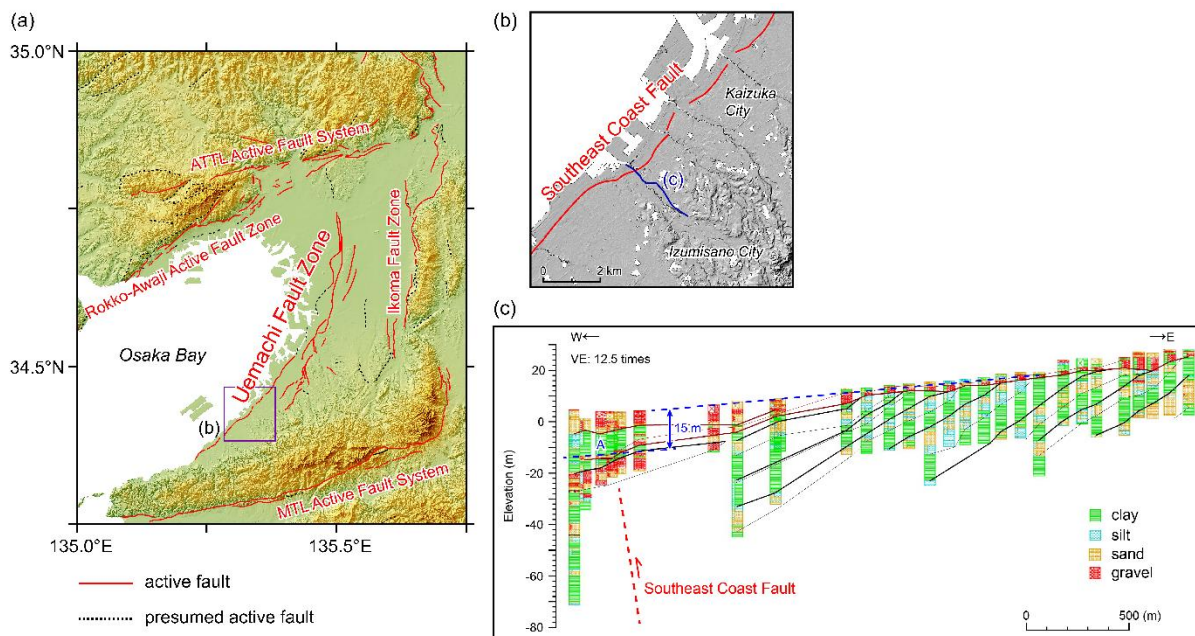


図. (a), (b) 調査地域の位置. (c) 大阪府泉佐野市におけるボーリング柱状断面図. 活断層分布は文部科学省研究開発局・国立大学法人京都大学防災研究所(2013)と中田・今泉編(2002)に基づく。地形データとして国土地理院基盤地図情報数値標高モデルを使用した。ATFL:有馬-高槻構造線, MTL:中央構造線。柱状図中のA層は縄文海進に伴う海成粘土層を示す。

文献

Ikebe, N., Iwatsu, J., and Takenaka, J., 1970 : Quaternary geology of Osaka with special reference to land subsidence. *J. Geosci. Osaka City Univ.*, **13**, 39-98.
 KG-NET・関西圏地盤研究会, 2007, 「新関西地盤-大阪平野から大阪湾」, 354p.
 KG-NET・関西圏地盤研究会・関西地質調査業協会, 2022, 関西圏地盤情報データベース.
 文部科学省研究開発局・国立大学法人京都大学防災研究所, 2013, 上町断層帯における重点的な調査観測 平成 22～24 年度成果報告書, 449p.
 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.
 大阪市, 平成7 年度地震調査研究交付金 上町断層に関する調査成果報告書.
 杉戸信彦・岡田篤正・田力正好・千田 昇, 2020, 1:25,000 活断層図「岸和田(改訂版)」, 国土地理院.

謝辞

本研究は JST 科学技術イノベーション創出に向けた大学フェロシップ創設事業 JPMJFS2145 の支援を受けたものである。

P-14

高速増殖原型炉「もんじゅ」敷地に達する白木一丹生断層の断層変位地形

中田 高(広島大・名)・渡辺満久(東洋大)

Active Fault Trace of the Shiraki-Nyu Fault extending to the Site of the Prototype Fast Breeder Reactor Monju

T. NAKATA (Prof. Emeritus, Hiroshima Univ.) • M. WATANABE (Toyo Univ.)

1. はじめに

原子力規制委員会の「高速増殖原型炉もんじゅ敷地内破碎帯に関する外部有識者会合」(以下、有識者会合)は「評価書」(<https://www.da.nra.go.jp/file/NR000038709/000182111.pdf>)をまとめ、「もんじゅ」敷地内破碎帯(a破碎帯)は活断層ではないとした。また、「もんじゅ」の近傍に位置する白木一丹生断層は白木から北の海域に延長し、その変位は「もんじゅ」に直接的な影響を及ぼさないとした。しかしながら、「もんじゅ」建設前の大縮尺空中写真や1mグリッドDEMから作成したアナグリフ画像の判読から、白木一丹生断層は白木集落の東から海岸に沿って北東に延長し、「もんじゅ」敷地内に達する可能性が極めて高いことが分かった。本発表では、新たに認定した白木一丹生断層の断層変位地形について、アナグリフ画像などを用いて具体的にその特徴を説明する。

2. 白木一丹生断層に関する既往の研究

敦賀半島北西部には活断層である白木-丹生断層が発達している。本断層は、活断層研究会(1980・1998)において南北走行のリニアメントとして認定され、後に岡田・東郷(2002)や国土地理院活断層図(旧都市圏活断層図)「三方」(岡田ほか:2012)によって南北走向の長さ1.5kmの活断層として記載されている。また、その性状についても解説書(岡田,2012)で詳しく記載されており、「評価書」でもトレンチ調査や群列ボーリングによって、花崗岩類基盤岩が砂後期更新世の礫層に衝上する東傾斜の逆断層性活断層であると認められている。この断層は北方に伸び長さが約10kmの西側低下の海底断層として存在する(海上保安庁水路部,1980)とされている。

3. 「もんじゅ」建設前の敷地の地形と活断層

「もんじゅ」建設前の空中写真からは、敷地周辺に土石流段丘面が発達し水田が広く分布してい

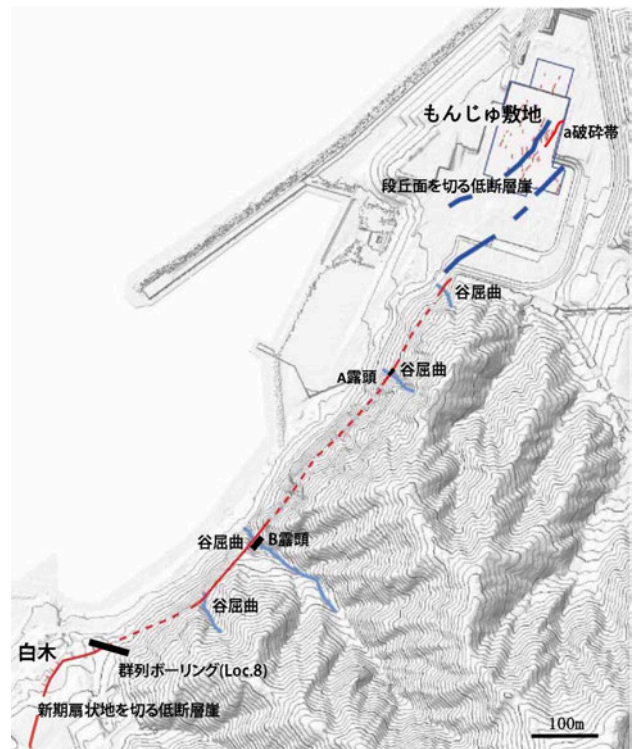


図1 白木-もんじゅ間に認められる活断層

- ・基図は1mグリッドDEMから作成した5m等高線図
- ・敷地の低断層崖は60年代2万分の1空中写真判読による。
- ・白木西の扇状地を変位させる低断層崖は70年代1万分の1カラー空中写真の判読による。
- ・谷屈曲は主として1mDEMアナグリフの判読による。

る。この段丘面を横切る北東-南西走向の低い崖が2-3条認められる。これらの崖は、いずれも谷の流路方向と直交しており断層崖と考えられる。「もんじゅ」建設前後の等高線図をもとに、これらの低断層崖とa破砕帯の位置を比較したところ、北西に位置する低断層崖はかつての地表を約25m掘削した基盤に出現したa破砕帯より僅かに西に位置しており、断層の傾斜を考慮すればa破砕帯は低断層崖に関連する活断層露頭である可能性が高いと考えられる。

4. 「もんじゅ」と白木の間にある谷の右屈曲

「もんじゅ」南西の海岸は北東-走向の直線状の急峻な崖となっており、断層起源の海岸線であることを暗示している。この海岸に沿って白木-丹生断層が北東に延長することは、低断層崖や谷屈曲の存在から変動地形学的に認定される。白木集落と「もんじゅ」の間の南東から流下する谷が右横ずれしていることは空中写真判読によっても可能であるが、1mグリッドDEMから新たに作成したアナグリフ画像では、その断層変位地形はさらに明確である。特に断層破砕帯が確認されたA露頭とB露頭が位置する谷の屈曲は明瞭である。B露頭は谷の屈曲部極近傍に位置しており、有識者会合のメンバーが両者の関係に留意していれば、B露頭の成因を「侵食や堆積による可能性が高い」とする非科学的な露頭解釈にはならなかったと思われる。さらに、群列ボーリングLoc.8とB露頭のある谷の間に位置する小さな谷にも明瞭な右屈曲が認められ、これらの地形を結ぶ活断層の存在が推定される。

5. 白木の東の扇状地を変位させる低断層崖

国土地理院70年代1万分の1空中写真には白木集落の東で新期小扇状地を変位させる東北東-西南西走向の低断層崖が認められる。この低断層崖の存在については有識者会合の中でも指摘されているが、その後、議論されることはなかった。この低断層崖は、人工改変によって原状が失われているが、すぐ東で実施された群列ボーリング(Loc.8)に連続する位置にあり、地質学的にも活断層であることが確認されている。また、地形の人工改変前には、この低断層崖の南西の扇状地面を開析する谷に右横ずれが認められ、白木-丹生断層が右横ずれ変位を伴う逆断層であることを暗示している。一方、群列ボーリングで認められる活断層の地表到達点付近には南北性の崖は認められず、海岸においても白木-丹生断層が北に延長する地形学的・地質学的証拠は見出されていない。

6. おわりに

変動地形学的に認定された白木-丹生断層の北東延長部によって、「もんじゅ」敷地内破砕帯が活断層である可能性が極めて高いことが明らかとなった。これらの活断層は国土地理院70年代1万分の1空中写真の判読によって中田が2012年に予察的に認定していたものが、1mグリッドDEMアナグリフ画像の判読によってこれらの詳細な位置・形状を確認することができた。今後、高密度DEMを用いた活断層判読によって活断層の位置・形状研究が進展することが期待される。

P-15

福井県三方郡美浜町新庄地区における敦賀断層の第四紀後期の活動性

° 瀬能正太郎, 立石 良 (富山大), 島田耕史 (日本原子力研究開発機構), 岩森暁如, 小川
昌也 (関西電力(株))

Late Quaternary activity of the Tsuruga fault in the Mihama Town, Fukui Prefecture, Japan

○ Shotaro Seno, Ryo Tateishi, Koji Shimada, Akiyuki Iwamori, Masaya Ogawa

敦賀断層は、福井県敦賀市^{うそごうち}瀬河内から滋賀県高島市マキノ町^{いしほ}石庭付近まで北北東－南南西方向に分布する全長約 26 km の右横ずれ主体かつ南東隆起の活断層である (今泉ほか編, 2018). この断層は、地震調査研究推進本部 (以下, 地震本部) により, 主要活断層帯である湖北山地断層帯の一部に指定されている (地震本部, 2003). 敦賀断層の活動性について, 杉山ほか (1998) は, 敦賀市^{あまがに}雨谷南方の段丘面の変位と, その構成層の ^{14}C 年代から平均変位速度の鉛直成分を求めた. また, 敦賀市池の谷地域でのトレンチ調査・ピット調査および ^{14}C 年代測定の結果から活動時期の推定を行っている. しかし, これまでのところ, 敦賀断層の累積変位量・単位変位量・平均変位速度の水平成分は明らかになっていない. 近年, Iwamori et al. (2021) や立石ほか (2022) によって, 野坂山地の中央付近に位置する福井県三方郡美浜町新庄地区の折戸谷沿いで, 複数の敦賀断層の露頭が報告された. この地域では, 右横ずれの断層変位を受けたと考えられる系統的な谷・尾根の屈曲や低断層崖が認められ (岡田ほか, 2005), 完新世の小扇状地堆積物が分布する (栗本ほか, 1999). 本研究では, 敦賀断層の活動性を明らかにすることを目的として, この地域で詳細な地形・地質調査を行った.

調査地域は, 北緯 35 度 31 分 48 秒～35 度 32 分 42 秒, 東経 136 度 0 分 36 秒～136 度 1 分 30 秒の範囲にあり, 2 級河川耳川の支流である折戸谷が北東から南西に向かって流れ, 北西－南東方向の小規模な支谷と扇状地が多数形成されている. 折戸谷を挟んで南東側の山地は標高 880 m 程度で南北方向に軸を持ち, 北西側の山地は標高 650 m 程度で北東－南西方向に軸を持つ. この地域の地質は, ジュラ紀の混在岩と白亜紀後期の江若花崗岩, 完新世の小扇状地堆積物からなる (栗本ほか, 1999). 混在岩は砂岩・チャート・緑色岩の岩塊を含む頁岩などからなり, 調査地域の北西部に分布する. 江若花崗岩は中粒黒雲母花崗岩であり, 調査地域の南東部に分布する. 調査地域では, 混在岩と江若花崗岩の境界の一部が敦賀断層で境される (栗本ほか, 1999). 小扇状地堆積物は主として大～巨礫を含む砂礫で構成され, まれに植物遺体や連続性の悪い礫混じりのシルト層などが挟まれる (栗本ほか, 1999). この堆積物は, 敦賀断層をまたぐように南東から北西に向かって分布する.

調査地域で航空レーザ測量による 1mDEM を用いて地形判読を行った結果, 折戸谷の支谷

の系統的な右ずれ屈曲と、断続的な鞍部や高度不連続が認められ、敦賀断層の表層分布位置が特定された。この断層分布位置に沿って地表踏査を行い、断層露頭 Orito-1 から Orito-5 の観察・記載を行った。Orito-1 から Orito-3 は、混在岩と花崗岩の境界をなし、両者を起源とするプロトカタクレーサイトの間に見かけ幅 10 cm 程度の明瞭な断層ガウジが挟まれる。Orito-4 は花崗岩を切断し、見かけ幅 50cm におよぶ断層ガウジが認められる。Orito-5 は混在岩と花崗岩の間に砂礫層が挟まれる形で分布し、混在岩と砂礫層の間に見かけ幅数 cm の断層ガウジが認められる。断層の走向・傾斜は総じて北東-南西走向で、北西あるいは南東方向に高角で傾斜する。条線は Orito-1 を除く露頭で確認され、総じて低角で北東あるいは南東方向を示す。Orito-1, Orito-2 では断層を覆う堆積層が分布し、Orito-1 では断層延長で礫が配列する様子が観察されたが、明瞭な変位は認められなかった。また、Orito-5 では断層に巻き込まれた堆積層が分布する。これらの堆積層はいずれも扇状地性の砂礫層であり、層区分はできなかった。このため、細粒部でテフラ分析用試料を採取した。テフラ分析は(株)古澤地質に依頼し、Orito-1, Orito-2 の試料から鬼界アカホヤ火山灰 (K-Ah) が、Orito-5 の試料から始良 Tn 火山灰 (AT) と K-Ah が検出された。また、Orito-1, Orito-2 の試料からは、天城カワゴ平火山灰 (Kg) の可能性がある火山ガラスが検出された。

Orito-5 で混在岩と花崗岩の間に挟まれる砂礫層は、小谷を挟んで断層露頭の反対側に分布する小扇状地堆積物が、断層運動によって巻き込まれた後、小谷の形成により分断されたものと考えられる。したがって、この砂礫層の断層沿いの水平方向の分布長さ(約 10 m; 地表での観察と DEM 計測による)が、変位量の水平成分の下限值と推定される。この変位量と露頭で観察された条線の角度から鉛直成分と斜め成分を算出したところ、それぞれ 5.3 m, 11.3 m となった。これらを K-Ah の降灰年代 (7.3ka; 町田・新井, 2003) で除した平均変位速度の下限値は、鉛直成分が約 0.7 m/千年、水平成分が約 1.4 m/千年、斜め成分が約 1.5 m/千年である。敦賀断層の鉛直方向の平均変位速度は 0.5 m/千年とされており(杉山ほか, 1998)、本研究との大きな矛盾はない。本研究により初めて、敦賀断層の水平方向および斜め方向の累積変位量と平均変位速度が得られた。

*本研究は、関西電力・富山大学・日本原子力研究開発機構の共同研究の一環で行われた。

引用文献：今泉ほか編, 2018, 「活断層詳査デジタルマップ [新編]」。東京大学出版会, USB メモリ 1 本, 解説書 154p; Iwamori et al., 2021, Quantitative determination of the lowest density domain in major fault zones via medical X-ray computed tomography, *Progress in Earth and Planetary Science*, 8(1), 26. DOI: <https://doi.org/10.1186/s40645-021-00442-7>; 地震調査研究推進本部, 2003, 「湖北山地断層帯の長期評価」, 22p; 栗本ほか, 1999, 敦賀断層の地質, 地域地質研究報告 (5 万分の 1 地質図幅), 地質調査所, 73p; 町田・新井, 2003, 「新編 火山灰アトラス」, 東京大学出版会, 360p; 岡田ほか, 2005, 1:25,000 都市圏活断層図「敦賀」, 国土地理院; 杉山ほか, 1998, 敦賀断層の活動履歴調査, 地質調査所速報, no.EQ/98/1, 101-112; 立石ほか, 2022, 福井県三方郡美浜町で新たに確認された敦賀断層の露頭, 地質学雑誌, 128(1), 63-64.

P-16

広島平野周辺の山地域に分布する活断層 —ALSに基づく高精細ステレオ地形画像の作成と判読—

○ 後藤秀昭（広島大学）・牧田智大（広島大学・学）・
山中蛸（広島大学・院, JSPS 特別研究員）

Fault Geomorphologies in Mountainous Areas around Hiroshima Plain
Identified Using Stereo Images Based on High-resolution Terrain Data
Obtained from Airborne LiDAR Scanning

○ Hideaki GOTO, Tomohiro MAKITA, Tomoru YAMANAKA (Hiroshima University)

1. 航空レーザ測量による高精細地形データの公開

航空レーザ測量（Airborne LiDAR Scanning：ALS）に基づくデータからは、建物や森林などを取り除いて、地表の形態のみの地図を作成することができる。都市部や山地域、果樹栽培地域など、空中写真では容易に観察できなかった地域の地形を詳しく観察でき、活断層の研究でも重要な役割を果たしてきた（後藤・杉戸，2012；Goto et al., 2017, 山中・後藤，2023 など）。国土地理院の基盤地図情報で公開されている主な 5m 間隔の数値標高モデル（DEM）は、ALS で得られた多数の点群データのなかから、最終的に地表に到達したと考えられるラストパルス点を点群として抽出したグラウンドデータ（以下、GD と記す）から生成されている（国土地理院，2006）。ALS の GD は点間の距離が通常、1-2m 程度か、それ以下であることが多く、5mDEM より高精細である。しかし、最近まで GD やそれに近い間隔の地形データを誰でも簡単に利用できる状況になかった。

このような状況のなか、蓄積してきた GD などの高密度な点群データを都県によっては web サイトで公開し始めた。兵庫県が最も早く、2020 年 1 月から県内全域の 1m 間隔の点群データを公開し、静岡県は 2020 年 4 月から 0.5m 間隔のデータを公開した。2023 年 3 月には長崎県、2023 年 9 月からは東京都がデータを公開した。広島県では 2022 年 6 月 28 日から「DoboX」と銘打った web サイトの運用を開始し、広島市などの一部を除く県域の 1m 間隔のデータを公開した。DoboX のデータは随時追加されており、商用、非商用などの用途を問わず無償で利用できる。高精細地形データを手軽に利用できる環境が整いつつある。

2. 高精細地形アナグリフ画像と新たに認定された活断層

本研究では、広島県が公開した地形データを主な資料とし、後藤（2014）に従って高精細地形データによるアナグリフを作成した。広島県の地形データの不足部分については、国土地理院から提供を受けた GD の点群データ、基盤地図情報の DEM を使用した。アナグリフ 1 枚の範囲は、国土基本図の地図情報レベル 50000 の範囲を 4 分割したものを基本とし、南北 21km×東西 28km の広範囲を一度に判読できるものとした。この地形アナグリフを判読することで、活断層の微小な地形を認識でき、新たな活断層も認定することができた。本報告では、作成した地形画像を紹介するとともに、広島平野東の山地域で新たに発見した活断層について馬木断層と畑賀断層と命名し、その地形を報告し、若干の考察を行った。

・**馬木断層 (新称)**：広島市東区馬木付近には、呉娑々宇山付近から北西に流下する府中大川、小河原川の扇状地面が広がる (下図)。高精細地形アナグリフでは、この扇状地の中央付近を北東-南西方向に横切って延びる緩傾斜帯が確認できる。扇状地の傾斜角はこれを挟んでほぼ一様であるが、下流側が相対的に高く、逆向き断層崖と認識できる。扇状地開析谷は断層付近で右に屈曲しており、この北東延長とあわせて約 2.5km の区間で活断層が認定できた。

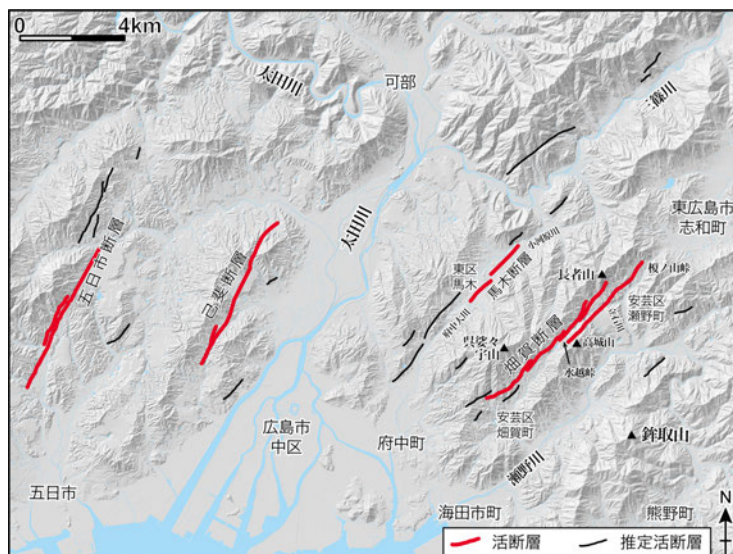
・**畑賀断層 (新称)**：広島市安芸区畑賀町から瀬野町にかけては北東-南西方向の直線状谷に沿って約 8km の区間で新たに右横ずれ断層が認められた (下図)。北東部は水越峠から榎ノ山峠にかけて延びる 2 条のトレースからなる。南東側のトレースは、高城山の北麓に延びる 800m 程の細長い谷に沿っており、この北東延長には北流する複数の小河川に系統的な右横ずれが確認できる。さらに、その北東延長には南流する河川の流れる河谷が上流方向に右に屈曲する。このトレースの北西側に水越峠を通過する場所にも断層を認めることができ、土石流によって形成された地形面を開析する立石川の複数の支流が上流方向に右に湾曲する。一方、水越峠より南西部では、呉娑々宇山の南西麓付近を通過しており、直線状の鞍部列に沿って山地に高度差があり、鞍部間の河谷は右に屈曲を示すものもある。水谷川の左岸には段丘面が分布し、この段丘面上には断層が通過すると考えられる位置に高度の不連続がある。

3. おわりに

広島平野周辺の活断層は山塊の東麓に分布する共通性を有する。また、畑賀断層より東では活断層は乏しい。活断層の分布は西中国山地の隆起に伴う活動を示している可能性がある。

断層地形として小規模な断層崖は山腹斜面などに連続的に認めることはできなかった。中国地方西部での斜面崩壊の間隔は 80~300 年程度の可能性が指摘されている (坂口ほか, 2013)。岩国断層の繰り返し間隔は、それよりも 10 倍以上長いと推定されており (地震調査委員会, 2004)、変位地形が長く保存されるのは難しいことを示しているものとする。

ALS のデータは最近 10 数年に測量されたものであり、人工改変により断層地形は破壊されていることが少なくなかった。森林に覆われた山地域でも人工改変以前に撮影された空中写真を判読することで重要な地形を見いだした。ALS の点群データは革新的ではあるが、アーカイブとしての空中写真の重要性と判読の必要性はこれまで同様に変わらないと考える。



左図は広島平野周辺の活断層図
注) 基図は基盤地図情報を使用した。

謝辞：国土地理院からデータの提供を受け、フリーウェアの Simple DEM Viewer を使用した。また、2022 年度科研費 (18H00766) の一部を使用した。御礼申し上げる。

文献：後藤・杉戸 (2012) E-journal GEO, Goto et al. (2017) Earth, Planets and Space, 山中・後藤 (2023) 地理学評論, 国土地理院 (2006) 国土地理院技術資料, 後藤 (2014) 広島大学大学院文学研究科論集特輯号, 坂口ほか (2013) 地盤工学会誌, 地震調査委員会 (2004) 岩国断層帯の長期評価について

P-17

熊本市周辺（水前寺断層および立田山断層東方）における反射法地震探査
○吉見雅行・丸山 正（産総研）・山田浩二・秋永康彦（阪神コンサルタンツ）
Seismic reflection survey in and around Kumamoto City, Kyushu, Japan
○YOSHIMI Masayuki, MARUAYMA Tadashi (Geological Survey of Japan/AIST),
YAMADA Koji, AKINAGA Yasuhiko (Hanshin Consultants)

熊本市とその周辺地域には、布田川断層帯に加え、水前寺断層（帯）（例えば、Goto *et al.*, 2017, 熊原ほか, 2017）と立田山断層（例えば、渡辺, 1984, 1987）が知られているが、その実体は不明な点が多い。そこで、断層の存否、位置と断層周辺の地下構造の把握を目的として、水前寺断層帯および立田山断層延長部において P 波反射法地震探査を実施した（図 1：水前寺国道 57 号測線（測線長約 3.1 km）および合志―菊陽測線（約 3.5 km））。水前寺国道 57 号測線は、2016 年熊本地震時の複数の小規模な地変の出現範囲（Fujiwara *et al.*, 2020）を可能な限り横断するよう設定した。合志―菊陽測線は、渡辺（1984, 1987）に図示された立田山断層の東端の東方の、複数条の活断層（推定活断層を含む）に直交する道路を選定した。地表付近から深度 1,000 m 程度までを探査対象深度とし、中型バイブレーターを用い、発震点間隔 10 m, 受振点間隔 20 m とした（吉見, 2023）。収録記録のデータ処理及び解析においては、CMP 重合法による時間断面を作成後、f-k マイグレーション処理を施し、反射面の位置を補正した後、深度断面に変換した（図 2, 図 3）。

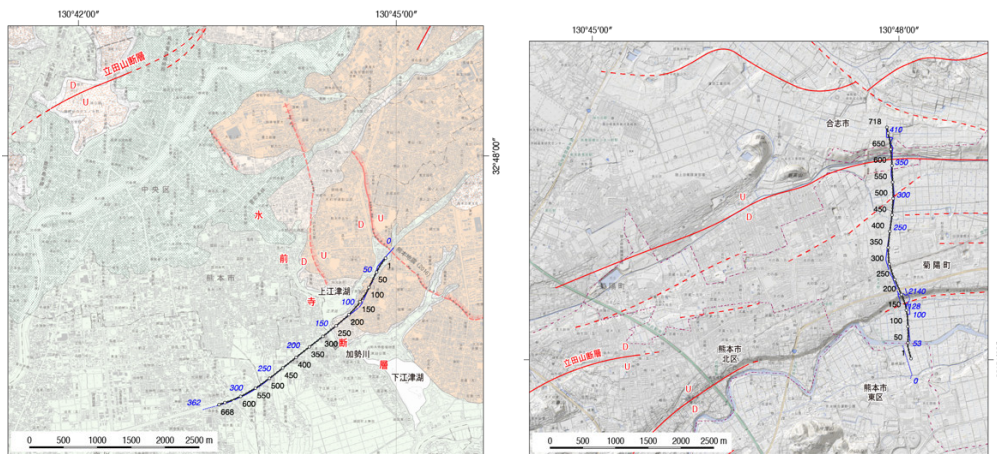


図 1 測線位置図（左：水前寺国道 57 号測線，右：合志―菊陽測線）。活断層トレースは、渡辺（1987）、熊原ほか（2017）に基づく。

水前寺国道 57 号測線では、深さおよそ 800m までの堆積層のイメージが得られた。標高 -300m 以深では、測線中央部の CMP200 から 500 にかけて反射面に細かい不連続がみられ、それ以外では連続性のよい反射面がみられる。標高 -300m 以浅では CMP300 から 540 にかけて反射面に細かい不連続がみられる。特に CMP300 付近の地表から基盤の CMP220 付近にかけて不連続が続くため、何らかの構造が存在すると考えられる。

合志-菊陽測線は、測線全体に亘って発震が深部まで届かない結果となった。速度解析では深さ 100m 以深に $V_p=3000\text{m/s}$ 以上の地層が広域的に存在する。断層を示すような大きな変化はみられない。

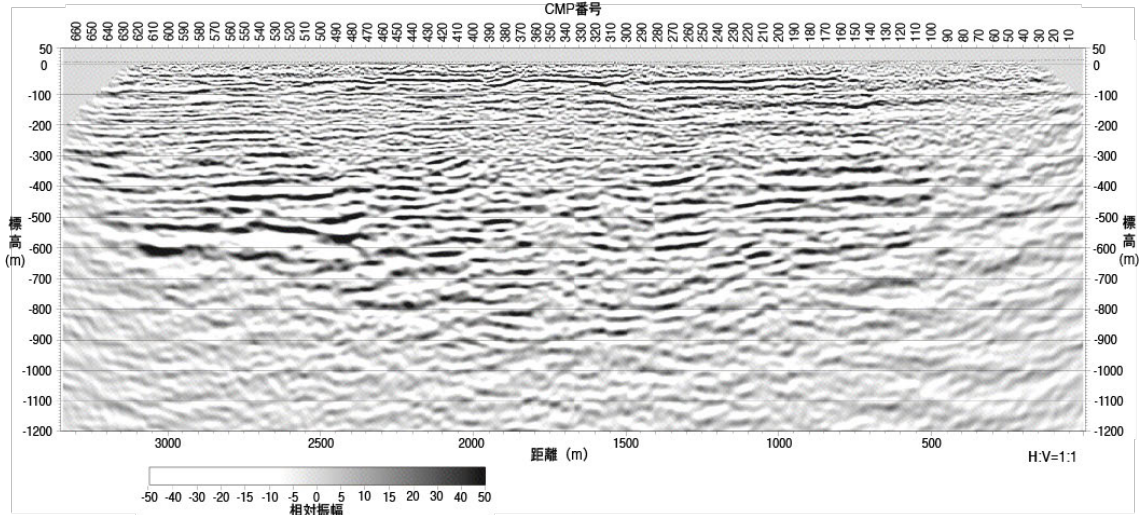


図2 水前寺国道 57 号測線の深度変換断面（鉛直誇張なし）（右が北東）

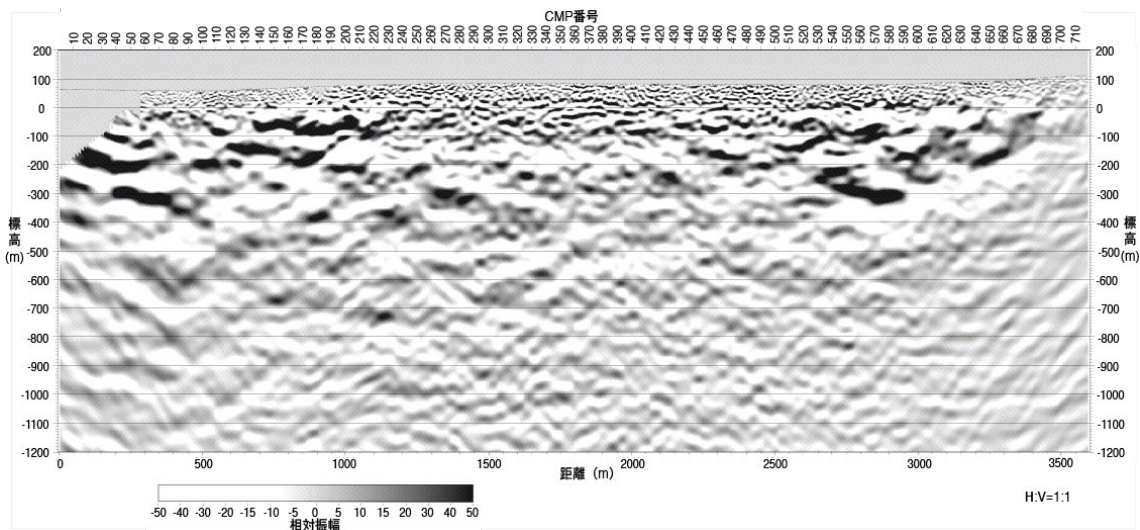


図3 合志-菊陽測線の深度変換断面（鉛直誇張なし）（右が北）

引用文献：Fujiwara et al.(2020), EPS, 72:119. Goto et al.(2017), EPS, 69:26. 熊原ほか (2017)都市圏活断層図「熊本（改訂版）」. 渡辺 (1984) 熊本地学会誌, 76, 9-16. 渡辺 (1987) 熊本地学会誌, 85, 6-13. 吉見 (2023) IEVG news, 9.

謝辞：本調査の実施に際しては、熊本市、国土交通省九州地方整備局熊本河川国道事務所、熊本維持出張所、同阿蘇国道維持出張所、馬場楠堰土地改良区の協力をいただきました。

P-18

2016 年熊本地震の地表地震断層における地中レーダ探査

○ 谷口 薫・渋谷 典幸・小俣 雅志・渡邊 和輝
(株式会社 パスコ)

Ground Penetrating Radar Profiling across Coseismic Ruptures of the 2016 Kumamoto Earthquake

○ Kaoru Taniguchi, Noriyuki Shibuya, Masashi Omata and Kazuki Watanabe
(Pasco Corporation)

1. はじめに

地中レーダ探査 (Ground Penetrating Radar; 以下 GPR と称す) とは, 地中に電磁波を放出し, 電氣的性質の異なる境界面で反射した電磁波のパターンから, 地下の地質構造や埋設物などを探査する探査法である (物理探査学会, 2016 など). GPR 探査は, 非破壊調査のため, 砂防堰堤や道路などの構造物を損傷させることなく地下を探査することが可能な技術であり, 活断層調査への適用も進められている (木村・谷口, 2015 ; 谷口ほか, 2001 など).

2016 年熊本地震では, 布田川断層および日奈久断層北部に沿って明瞭な地表地震断層が出現した (Shirahama *et al.*, 2016 など). 地震前後の干渉 SAR 解析では, これらの地表地震断層以外の範囲においても, 地表変状が報告されている (Fujiwara *et al.*, 2016 ; 小俣ほか, 2017 など).

本発表では, 2016 年熊本地震時の地表地震断層のうち, LC-InSAR で抽出した主断層から離れた位置に微小な変状が出現した熊本県上益城郡益城町の福原 (ふくはら) 地点および阿蘇郡西原村の小園 (おぞの) 地点にて実施した GPR 探査結果について報告する.

2. 探査方法

探査に用いた探査機器は, カナダ Sensors & Software 社製の pulseEKKO PRO システムで, 主に使用したアンテナは, 中心周波数 50 MHz である. 探査記録の取得は, 整地された箇所ではカートに探査機器を搭載し, 不陸のある箇所では手持ちハンドルを用いて人力移動にて探査を実施した. 取得したデータの処理は, Sensors & Software 社製 EKKO_Project V6 を用いた. また, 探査記録を 3 次元表示するために Golden software 社製 3D voxler および Autodesk 社製 AutoCAD 3D を用いた.

3. 調査結果

3.1 福原地点

福原地点では, トレンチ調査が実施されており, 2016 年熊本地震を含めて 4 回の断層活動が確認されている (渋谷ほか, 2018). また, トレンチ掘削範囲より深部の地質構造と横ずれ

変位量を把握すること目的として3箇所ボーリング調査が実施されている。

ここでは、地表変状に直交する方向に測線間隔2mで探査測線を設定し、10測線の探査を実施した。併せて、地表変状に並行する方向に4測線の探査を実施した。それら複数の探査記録を使って、水平スライス断面を作成し、浅部地質構造の把握に努めた。

本地点で取得したいずれの探査記録においても、深度5~7m付近に反射強度の違いを示す境界が連続し、これらは地層境界を示している可能性がある。また、地表変状が確認される範囲の直下には反射の不連続がみられ、地下浅部での断層変位が示唆される。

この結果は、本地点で実施されたトレンチ調査の結果（渋谷ほか，2018）とも整合的である。

3.2 小園地点

小園地点で実施されたトレンチ調査では、2016年熊本地震を含めて少なくとも3回の断層活動が確認されている（渡邊ほか，2023）。

本地点では、想定される地表変状に直交する方向に測線間隔2mで探査測線を設定し、23測線の探査を実施した。それら複数の探査記録を使って、水平スライス断面を作成し、浅部地質構造の把握に努めた。

探査記録には、複数の深度で反射強度の違いを示す明瞭な境界面が確認される。また、探査記録の南東側には凹地状をなす反射形状がみられる。No.18測線上で実施した群列ボーリング調査とあわせて解釈すると、深度3~5mまでは黒色土壌、5~15mまではシルトが分布すること、測線距離10~20m・深度5~18m付近にみられる反射の不連続は断層変位を示している可能性があることが確認された。

調査結果の詳細は当日ポスターにて示す。

謝辞 現地探査は地権者・関係者からの了解を得ることにより実施可能となった。記して謝意を表す。本報告は「平成29年度、令和3年度、令和4年度原子力施設等防災対策等委託費」事業における成果の一部である。

引用文献

物理探査学会（2016）：「物理探査ハンドブック 増補改訂版」。物理探査学会，1045p.

Fujiwara *et al.* (2016): *Earth Planets Space* 68: 160.

木村・谷口（2015）：活断層研究，43，119-132.

小俣ほか（2017）：日本活断層学会2017年秋季学術大会講演予稿集.

渋谷ほか（2018）：日本地質学会第125年学術大会講演要旨集.

Shirahama *et al.* (2016): *Earth Planets Space* 68: 191.

谷口ほか（2021）：日本活断層学会2021年度秋季学術大会講演予稿集.

渡邊ほか（2023）：日本地質学会第130年学術大会講演要旨集.

P-19

布田川断層田中地区における熊本地震前トレンチの再掘削 ：熊本地震による壁面変化について

○山根悠輝¹⁾・原 勇貴²⁾・鳥井真之³⁾・遠田晋次²⁾・
石村大輔⁴⁾・高橋直也²⁾・奥野 充⁵⁾・福田泰英⁶⁾

1) 東北大・院, 2) 東北大, 3) 熊本大, 4) 東京都立大,
5) 大阪公立大, 6) 三和地質コンサルタント株式会社

Re-excavating pre-earthquake paleoseismic trenches across the Futagawa fault at Tanaka, Kumamoto, Central Kyushu, Japan : changes of trench walls by the 2016 Kumamoto Earthquake

○Yuki Yamane, Yuki Hara, Masayuki Torii, Shinji Toda, Daisuke
Ishimura, Naoya Takahashi, Mitsuru Okuno, Yasuhide Fukuda

1. はじめに

2016年4月に発生した、一連の熊本地震 (M_w 6.2・ M_w 7.0) では、御船町高木と益城町田中地区内の2地点で既存トレンチが変位を受けた (Shirahama et al., 2016) . 大地震時に、活断層が既存トレンチを変位させた事例は非常に珍しく、1983年10月にアメリカ・アイダホ州で発生したBorah Peak地震、2016年11月にニュージーランドで発生したKaikōura地震を含めた3例のみが知られている (Crone, 1985; Little et al., 2018; Morris et al., 2021) .

地震前後のトレンチ壁面を比較することで、断層運動に伴う実際の壁面変化が読み取れる。これにより、地震前に認識された断層が地震時に繰り返し動いているかなど、布田川断層の地下浅部での運動様式の解明やトレンチ調査の妥当性評価に繋がる情報が得られる可能性がある。熊本地震以外の2例では既に既存トレンチが再掘削され、地震前に認識された断層が地震時に実際に活動したことが明らかにされた。本研究では、2016年熊本地震時に変位を受けた田中地区トレンチを再掘削し、地震による壁面変化を明らかにすることを目的とする。トレンチ調査は2023年8/24-9/30の期間で実施し、本発表では暫定的な報告を行う。

2. 地震前後でのトレンチ壁面の比較

田中地区では、地震前に3箇所トレンチが掘削された。熊本県 (1996) では、長さ約30 m、幅約3-15 m、最大深5 mのトレンチ (以下、県トレンチ) が掘削された。また、吉岡ほか (2007) では、県トレンチの約20-30 m西方に長さ約10 m、幅約3 m、最大深約3 mのトレンチが2つ掘られ、東側から田中Aトレンチ、田中Bトレンチと名付けられた。これらのトレンチ掘削地点では、熊本地震時に約60 cmの右横ずれ変位が観測された (Shirahama et al., 2016) . 本研究では、県トレンチ東壁面・西壁面の一部を出すトレンチを各1つずつと、田中Aトレンチの西側掘り増し面を出すトレンチの、計3つのトレンチを掘削した。

・県トレンチ

熊本県 (1996) では、県トレンチ東壁面において、耕作土直下まで伸びる断層が報告された。今回の再掘削では、この断層を境に当時のトレンチ壁面が水平方向に約40-50 cm食い

違っていた。そのため、地震前に認識されていた断層が、2016年に実際に活動したと考えられる。この他にも、約1.5 m南側に断層が認められたが、2016年に活動したかどうかは不明である。

県トレンチ西壁面では、地震前に2条の断層が報告された（熊本県, 1996）。地震後トレンチでは、地震前に認められた南側の断層のほぼ延長線上に断層が推定された。また、耕作表土を剥いだ地表面では、断層が推定された付近で埋め土と地山の境界が変位していた。そのため、2016年熊本地震時には、地震前に確認された断層またはそのごく近傍の断層が動いたと考えられる。

・田中Aトレンチ

吉岡ほか（2007）では、田中Aトレンチ西側掘り増し壁面において、最古で 2180 ± 40 y BPの年代を示す礫層に覆われる断層が見出された。この断層は地震後の壁面にも見られたが、壁面はより南側で右横ずれ変位を受けていた（図1）。壁面のこの横ずれ変位量は約40–70 cmと推定される。壁面に変位を与えた断層は、地震前に見出された断層から、地下約2 mの位置で南側へ分岐する断層であることが確認された。尚、地震前に描かれた掘り増し前の壁面スケッチには、同じく断層が地下約2 mで分岐する様子が記載されていた。その他、これらの断層から約1 m北側にも別の断層が1条確認できたが、2016年に活動した証拠は得られなかった。

3. 考察・まとめ

田中地区の事例では、地震前にトレンチ壁面で見出された断層またはそのごく近傍の断層が、2016年の地震時に活動したことが分かった。これは、トレンチ調査の有用性を支持する。一方で、トレンチ調査で認識された断層が、必ずしも大地震時に活動するとは限らないという点に対しては、地下表層において、布田川断層はある程度の幅の中で繰り返し活動すると考えられる。

謝辞

豊後大野市資料館ジオパーク専門員の吉岡敏和氏と阪神コンサルタント株式会社の宮脇理一郎氏には、地震前トレンチについての資料を頂いた。現地では、多くの有識者の方々に壁面の解釈などについて議論して頂いた。

文献

Crone (1985), U.S. Geological Survey Open-File Report 85-290, B; 熊本県 (1996); Little et al. (2018), Bulletin of the Seismological Society of America, 108:3B, 1556–1572, DOI 10.1785/0120170152; Morris et al. (2021), New Zealand Journal of geology and geophysics, 66:2, 244–262, DOI <https://doi.org/10.1080/00288306.2021.1954958>; Shirahama et al. (2016), Earth, Planets and Space, 68:191, DOI 10.1186/s40623-016-0559-1; 吉岡ほか (2007), 活断層・古地震研究報告, 7, 241–258

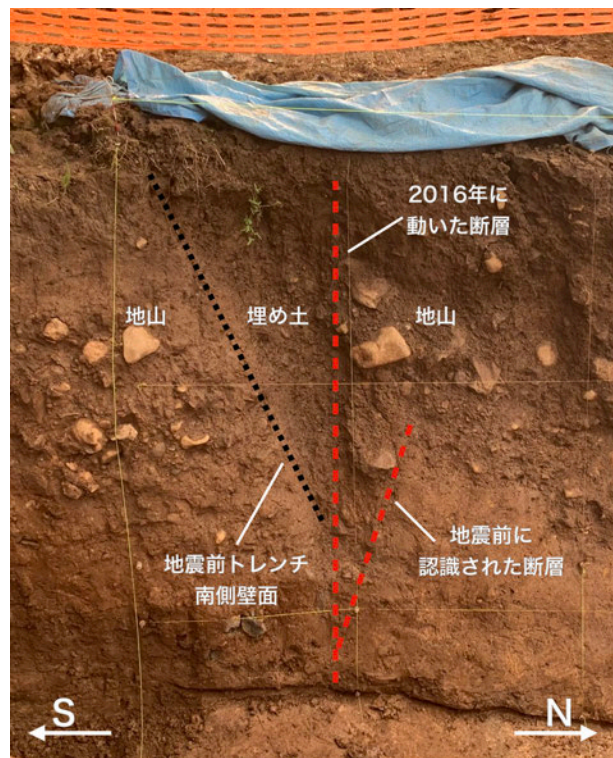


図1. 田中A再掘削トレンチ西側壁面に見られる変位などの簡易的な解釈図。

P-20

熊本地震の主断層トレースから離れた位置で生じた

微小変位箇所近傍におけるトレンチ調査結果－平川馬場トレンチ－

○渋谷典幸・小俣雅志・渡邊和輝・谷口 薫・杉本 惇・足達健人（株式会社パスコ）

Trenches survey near small displacement point in Hirakawababa, Oozu town
which located away from the main fault trace of the 2016 Kumamoto earthquake.

○N.SHIBUYA, M.OMATA, K.WATANABE, K.TANIGUCHI,
J.SUGIMOTO, K.ADACHI (PASCO CORPORATION)

1. はじめに

平成 28 年熊本地震発生直後から多くの機関が現地調査を実施し、地震に伴う地表地震断層の位置が明らかとされてきた。小俣ほか（2017）では干渉 SAR 解析により作成した LC-InSAR 図をもとに“位相不連続ライン”を抽出し、現地調査では確認が難しい微小な地表変状を検出できる可能性を指摘している。また、小俣ほか（2018）では、この検出結果をもとに現地調査を実施し、これまでに地表変状が確認されていなかった場所においても、多くの地点で地震に伴う変状が生じていることを報告している。トレンチ調査は、位相不連続ラインで抽出され、かつ、近傍で微小変位を確認できた地点の延長線上の熊本県菊池郡大津町平川において実施した。

2. 平川馬場トレンチ調査結果

平川馬場トレンチの掘削範囲の層序は、人工地盤（0～9 層）、黒色土壌などを含む 21～41 層、地すべり性の堆積物である 51～59 層、チャンネル充填堆積物である 61～65 層、チャンネル充填堆積物～後背湿地堆積物～自然堤防堆積物からなる 71 層からなる（図 1）。堆積構造の観察結果から、地すべり性の堆積物以外は通常の堆積過程で形成されたものと判断される。トレンチの壁面内では断層運動によって伴って発生した地層の不連続面及び開口クラックは確認できなかった。また、断層運動によって生じる地層の変形も確認できなかった。

3. 考察

熊本地震の主断層トレースから離れた位置で生じた微小変位箇所においてトレンチ調査を実施した。堆積年代は暦年補正（ 2σ ）の年代値で河川堆積物から 4,234～3,996 cal BP、地すべり性の堆積物から 11,389～9,826 cal BP、古土壌から 1,685～1,415 cal BP、人工地盤最下面から 530～496 cal BP の測定値が得られた。地すべりの発生は河川堆積物堆積後、古土壌堆積前に起こったものと考えられる。ベイズ推定を用いた検討の結果、地すべりの発生年代は 4,060～1,550 cal BP（ 2σ ）と推定された。しかし、平川馬場トレンチでは、熊本地震および熊本地震に先行する断層活動イベントについては識別できなかった。断層変

位が識別されなかった理由としては、①断層がトレンチ掘削位置よりも北側の平野部にある可能性、②断層による変位がトレンチ下部に確認された礫層内で分散し目視では識別できない可能性、③断層がトレンチ掘削位置よりも南側の山地部にある可能性の3パターンが考えられる。トレンチ掘削位置を通過する位相不連続ラインの延長線上では、道路アスファルトを横断するようにクラックが生じていることを確認している。また、本震前後の干渉 SAR を用いた 2.5 次元解析結果では、トレンチ調査位置で東西方向に数センチメートルの変位量を確認している。そのため、今後、山側から平野部にかけて複数測線の GPR 探査を追加し、断層が存在する可能性がある位置の絞り込みを行う予定である。

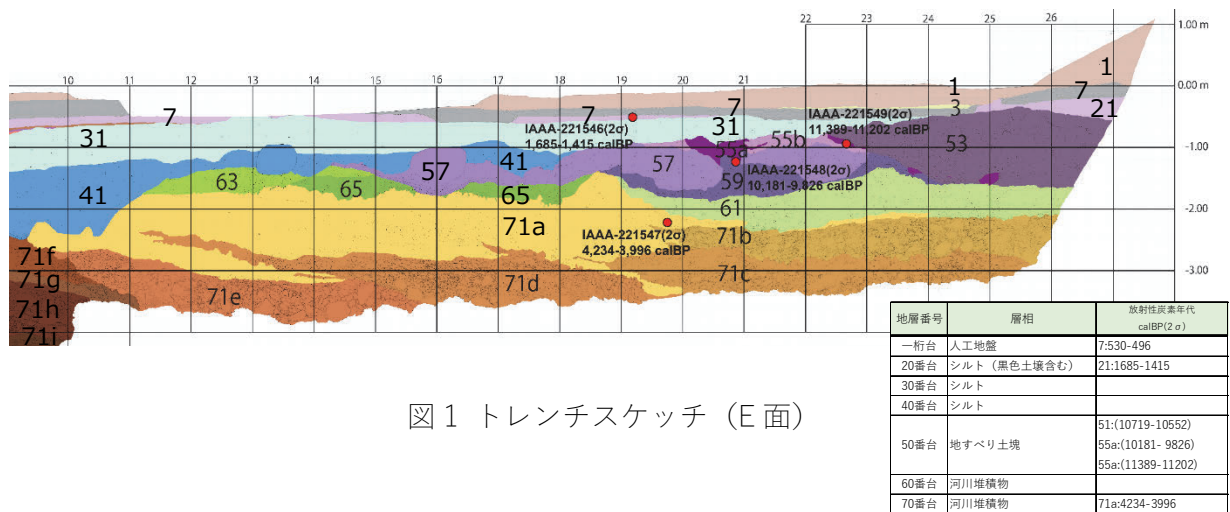


図1 トレンチスケッチ (E面)

引用文献：小俣ほか (2017) 日本活断層学会 2017 年秋季学術大会講演予稿集 P-4, 小俣ほか (2018) 日本地質学会第 125 年学術大会講演要旨 R15-O-11,

本報告は「令和 4 年度原子力施設等防災対策等委託費 (断層変位評価に係る調査)」事業における成果の一部である。本事業を進めるにあたって (一財) GRI 財団の井上直人氏, 北田奈緒子氏および (株) 構造計画研究所の登柳正夫氏, 渡辺高志氏にご議論いただいた。

P-21

2016年熊本地震の地表地震断層周辺における地表変形特性の分析

○ 山下 日和（名古屋大・院）・鈴木 康弘（名古屋大）・向山 栄・室井 翔太・山下 久美子・福場 俊和（国際航業株式会社）・村木 昌弘（国土技術政策総合研究所）・杉本 惇・小俣 雅志（株式会社パスコ）

Analysis of surface deformation characteristics
around surface faults of the 2016 Kumamoto Earthquake

○ Hiyori YAMASHITA (Graduate Student, Nagoya Univ.), Yasuhiro SUZUKI (Nagoya Univ.), Sakae MUKOYAMA, Shota MUROI, Kumiko YAMASHITA, Toshikazu FUKUBA (Kokusai Kogyo Co.), Masahiro MURAKI (National Institute for Land and Infrastructure Management), Jun SUGIMOTO, Masashi OMATA (PASCO CORPORATION)

1. はじめに

2016年熊本地震の地表地震断層は、これまで現地調査により詳細な報告がされてきた（熊原ほか 2016）。ところが、それらは目視による地震断層近傍の観察結果であり、地震断層から離れた範囲を含む地表変形は明らかにされていない。断層の地下構造や断層変位と地震規模との関係等を議論するためには、断層周辺で生じた可能性のある長波長変形（ドラッグおよび撓曲）を含めた変位量の把握が必要である。そこで、本研究は、熊本県益城町および西原村を対象に、地震断層周辺における地表変形の特徴を、地震前後のLiDAR計測データや航空写真の比較から明らかにすることを試みた。

2. 研究手法

本研究は、①2005年と2016年のLiDAR計測データ（2mDEM）から数値地形画像マッチング解析（3D-GIV）で算出された変位量データと、②本震直前直後のオルソ航空写真から光学画像相関解析で得られた変位量データ（杉本ほか 2021）を分析した。3D-GIVとは、DEMから作成した2時期の地形画像をマッチングさせることにより3次元移動量を求める手法（Mukoyama 2011）、光学画像相関解析は、2時期の航空画像のマッチングから水平移動量を求める手法である。変位量データの分析にはESRI社のArcGIS（ver. 10.8.2）を使用し、地震断層に直交する複数の測線およびその周辺において、地震断層に平行する横ずれ変位量や鉛直変位量等を算出した。

対象地域においては、既知の布田川断層に沿う地震断層（main trace とする）とそこから益城町市街地方面へ分岐する地震断層（north trace とする）、main trace の南に並走する地震断層（south trace とする）等が出現した（鈴木ほか 2018）。これらの地震断層ごとあるいは地域ごとに、長波長変形の特徴がどのように異なるかに注目する。

3. 結果

水平方向の長波長変形については、上記3つの地震断層が分布する益城町中部において、main trace および south trace の南側の一部でドラッグがみられた。地震断層が main trace 一条

のみになる益城町東部でも地震断層周辺でドラッグが認められ、単位距離当たりのドラッグ量は益城町中部よりも大きくなる傾向がみられた。西原村では、二条になる main trace のうち北側のトレースおよびその延長で変位不連続がみられ、そのうち地震断層が確認されていない箇所は都市圏活断層図（熊原ほか 2017）記載の活断層と概ね一致していた。また、断層帯北側について、益城町でドラッグが終焉した場所の変位量は地震断層から離れた場所においても一定であったが、西原村では断層から遠ざかるほど変位量が減少する特徴がみられた。

鉛直変位については、3D-GIV データによれば、main trace に沿って 0.4~1.5 m 程度の北上がり撓曲を対象地域全域で確認した。また、益城町東部と西原村西部では、main trace の北側から 1 km 以上の範囲に緩やかな北上がりの撓曲がみられた。

本分析より、測線と交差する地震断層において現地計測された横ずれ変位量（熊原ほか 2016）を合算した値が平均 1.4 m であった益城町中部では、ドラッグを含めた地震断層の総変位量が平均 2.2 m 以上であり、現地計測を 1.5 倍以上上回る可能性があることがわかった。益城町東部では、現地計測変位量の合算値が平均 1.3 m であるのに対して、分析で得られた総変位量の平均は 2.5 m 以上であり、現地計測の 2.0 倍以上になった。また、現地計測変位量の合算値が平均 0.8 m と、益城町と比較して小さかった西原村においても、平均 2.3 m 以上の総変位量がみられる可能性があり、現地計測の 2.8 倍以上となった。これらの結果は、既知の変位量が全変位の一部であり、過小評価であることを示唆している。

4. 留意事項と課題

解析方法の異なる 2 種類の変位量データを比較すると、全体的には概ね類似の結果が得られたが、地震断層近傍においては、異なる変位形態を示す場合があった。

3D-GIV データの利点は、①LiDAR 計測において植生環境下であっても高精度な位置情報が取得でき、②地震断層を境界に解析領域を分割することにより地震断層近傍においても精度の高い値が算出できることである。ただし短所としては、①LiDAR 計測は点密度が低い場所で位置情報が正しく取得できない可能性があること、②今回の解析のように地震前後の LiDAR 計測時期の時間差が大きい場合には経年変化を除去できないことが挙げられる。

一方、光学画像相関解析データは、地震の直前と直後に同じコースで撮影された航空写真を用いて算出されているため、地震時変位の計測に優れている。しかしながら、今回の事例においては、簡易オルソ画像（杉本ほか 2021）を使用していることに留意が必要である。

これらの特性を考慮し、地震断層近傍の変形特性をいかに正しく抽出するかは今後の課題である。

引用文献

熊原ほか 2016, 日本活断層学会 2016 年度秋季学術大会講演予稿集: 76-77. 熊原ほか 2017, 1:25,000 都市圏活断層図 布田川・日奈久断層帯とその周辺「熊本（改訂版）」, 国土地理院. 杉本ほか 2021, 日本活断層学会 2021 年度秋季学術大会講演予稿集: 17-18. 鈴木ほか 2018, 活断層研究 48: 13-34. Mukoyama, S. 2011, *J. Main trace. Sci.* 8(2): 239-245.

P-22

出ノ口断層の東方延長上に発達する「小段」のピット調査とドローンレーザー測量，および阿蘇カルデラ西壁の地質

○辛島康大・辻智大（山口大学）・岡村文義（SMG コンサルタント）

Pit survey and drone laser survey of the "small cliff" developed on the eastern of the Idenokuchi fault, and the geology of the west wall of Aso caldera

○Kohta KARASHIMA, Tomohiro TSUJI (Yamaguchi Univ.),
Fumiyoshi OKAMURA (SMG Consultant Co., Ltd.)

【はじめに】阿蘇カルデラ西方域において，布田川断層の南部約 1~2 km に発達する出ノ口断層は，2016 年熊本地震の発生に伴い，最大 2 m の正断層変位が発達した (Toda et al., 2016)．出ノ口断層の発達には西原村河原から阿蘇カルデラ外輪山の俵山北東部までの約 10 km にわたって認められているが，布田川断層とは異なり阿蘇カルデラ内での発達は確認されていない (Kaneda et al., 2022)．出ノ口断層に関して，Toda et al. (2016) では布田川断層との関係性を slip partitioning としており，藤原ほか (2016) や石村ほか (2019) でもこの解釈は支持されているが，その関係性の詳細は未だ不明である．これは出ノ口断層の地下構造の理解が布田川断層に比べて進んでいないことも遠因として挙げられる．筆者らは，出ノ口断層の東方延長となる阿蘇カルデラ内にて小段を発見した (辛島ほか，2022)．小段が活断層であれば，断層が確認されていない場所での活断層の発達となり，地質や防災的観点で見ると，早急に対応すべき事象である．今回，カルデラ西壁の地質構造と小段のドローンレーザー測量・ピット調査の結果に基づいた，出ノ口断層の延長の可能性について，明らかにすることを目的とする．

【研究手法】出ノ口断層の東限と発見した小段を結ぶようにドローンによるレーザーで NW-SE 方向に約 300 m，SW-NE 方向に約 2300 m の範囲を測量した．小段では最大比高を確認した地点にてピット調査を実施した．また，出ノ口断層の東方延長を中心に阿蘇カルデラ西壁にて地表踏査を行った．

【小段・結果】小段は出ノ口断層東限から北東方向約 1500 m の比較的低地となる標高 400~430 m にて，崖錐堆積物中に発達している．小段は N40~70° E の走向を持ち，傾斜は中角から高角の北傾斜，みかけ北落ちを示している．小段の最大比高は 60 cm ほどであり，撓曲のように標高がなだらかに変化するところが大部分であるが，一部では小段の発達面に内部の新鮮な土壌が露出していることも確認された．またレーザー測量により，地表踏査では確認できなかった地点まで小段が 100 m 以上，おおよそ直線的に続いており，

小段南方の山にも小段に似た地形を示すものが複数発達していることが分かった。小段を切るように掘削したピット西壁面では、最下位に巨礫を含む明褐色粘土層が厚く堆積しており、その上に暗灰褐色粘土層、黒色土層が合わせて 8~30 cm ほどと比較的薄く堆積している。暗灰褐色粘土層と黒色土層には、小段を境に「地層の変位」が 40 cm 以上生じており、変位による上位 2 層と明褐色粘土層の境界は明瞭でシャープな形を成している。ピット西壁面では小段を境にして、層厚の変化はあるが層の欠損は見られず、3 層とも肉眼では小段を境にした層相の変化も見られなかった。

【カルデラ西壁・結果】本地域のカルデラ西壁（標高 520~880 m）は、下位から両輝石安山岩、溶結凝灰岩、両輝石安山岩、安山岩質凝灰岩が分布しており、出ノ口断層の東方延長を境に最下位の両輝石安山岩の岩相は異なっている。断層の東方延長南側地域では溶結凝灰岩上の両輝石安山岩は見かけの層厚 50 m 以上であり、比較的連続的に露頭が発達する。一方、東方延長北側の地域では両輝石安山岩の分布が乏しく、南側地域で見られる安山岩質凝灰岩の露頭は確認されなかった。また、溶結凝灰岩を含む上位の層は断層の東方延長を境にして分布標高に大きな差異は見られなかった。

【考察】小段で確認された暗灰褐色粘土層と黒色土層の「地層の変位」は、切土などの人工改変では説明が難しい。地層の変位が見られる北側上位 2 層と南側明褐色粘土層の境界が明瞭なこともこのことを支持する。小段が比較的低位に 100 m 以上にわたって直線的に発達していることは、斜面崩壊でみられる特徴とは一致しない。以上から、小段が断層によって形成された地形である可能性が高い。カルデラ西壁において、出ノ口断層の東方延長で最下位の両輝石安山岩の岩相が変化していることから、出ノ口断層によって生じたものである可能性がある。以上の結果から、既知の出ノ口断層よりさらに 1500 m ほど東の阿蘇カルデラ内に出ノ口断層が発達する可能性が高い。ただし、断層の認定には変位した同一層を認定する必要があるため、暗灰褐色粘土層を用いて ^{14}C 年代測定を行う予定である。

【謝辞】本研究を進めるにあたり、熊本学園大学の新村太郎博士、山口大学の橋聖和博士には現地にて議論、助言をいただき、南阿蘇村役場にはピット調査の許可をいただいた。また山口大学院生の西川謙吾氏、隅田匠氏にはピット調査の掘削を手伝っていただいた。記して感謝を表します。

【引用文献】藤原ほか（2016）国土地理院時報, No.128., 石村ほか（2019）日本地球惑星科学連合 2019 年大会要旨, Kaneda et al. (2022) Surface Ruptures Associated with the 2016 Kumamoto Earthquake Sequence in Southwest Japan, 151-179., 辛島ほか（2022）日本地質学会第 129 年学術大会要旨, Toda et al. (2016) Earth, Planets and Space, 68:188.

P-23

2023年モロッコ地震におけるInSARを用いた変位分布の把握

○橋本 裕紀・杉本 惇・小俣 雅志(株式会社パスコ)

Mapping surface deformation of the 2023 Morocco earthquake using InSAR

○Hiroki Hashimoto, Jun Sugimoto, Masashi Omata
(PASCOR CORPORATION.)

1. はじめに

2023年9月8日にモロッコ王国のハイアトラス山脈周辺でM6.8の逆断層型の地震が発生した(USGS 2023)。ハイアトラス山脈付近は、北アトラス断層と南アトラス断層に挟まれており、ハイアトラス山脈の中にTizi'N'Test断層(TTN断層)が分布していることが知られている(図1、図2)(Sébrier et al., 2006)。本研究では、Sentinel-1衛星を用いたInSAR解析により、当地震により発生した変位分布の把握を行った。

2. 解析手法

本研究では、地震前後に観測された観測方向が異なる2種類のSentinel-1衛星画像を使用した(表1)。解析方法は、①LC-InSAR図(小俣ほか2017)を用いて地表地震断層の発生位置の把握と、②観測方向の異なる2種類の衛星画像のInSAR解析結果から2.5次元解析(Fujiwara et al., 2000)を用いて地震による隆起量の算出を行った。

表1 使用した衛星画像

No.	軌道方向	シーンID	時期	観測日
1	北行軌道	S1A_IW_SLC__1SDV_20230903T183344_20230903T183412_050167_0609B4_100E	地震前	2023/9/3
2	北行軌道	S1A_IW_SLC__1SDV_20230915T183345_20230915T183413_050342_060F9F_85A4	地震後	2023/9/15
3	南行軌道	S1A_IW_SLC__1SDV_20230830T062919_20230830T062946_050101_06076B_20BE	地震前	2023/8/30
4	南行軌道	S1A_IW_SLC__1SDV_20230911T062920_20230911T062947_050276_060D5E_D10D	地震後	2023/9/11

3. 解析結果

LC-InSAR図を図3に示す。北アトラス断層と南アトラス断層に挟まれたTTN断層周辺において低 coherence 領域が確認できるが、明瞭な線状の“位相不連続ライン”は確認できない。北アトラス断層と南アトラス断層付近にも“位相不連続ライン”は確認できないことから、地表地震断層が出現している可能性は低いと推定される。

2.5次元解析による隆起量図を図4に示す。TTN断層の北側において最大24cm程度の隆起が発生した領域が確認できる。A-A'断面の隆起量(点)をみると、北アトラス断層を境に南側で隆起量が大きくなり、北アトラス断層とTTN断層までの間の隆起量がもっとも大きく最大で24cm程度であった。TTN断層から南に行くほど隆起量は小さくなり、南アトラス断層では隆起量が4cm程度となることが読み取れる。同じ断面において標高値(線)を重ねてみると、ハイアトラス山脈の中央部付近に隆起量の最大値があり、大局的に見れば標高の分布と隆起量の分布は似ている。今回発生したような地震により隆起が繰り返すことによってハイアトラス山脈が形成されている可能性が示唆される。

4. まとめ

モロッコで発生した地震について、Sentinel-1衛星を用いたInSAR解析を実施した。地震に伴う明瞭な地表地震断層は確認されず、ハイアトラス山脈の地形に調和的な隆起が確認された。

引用文献: USGS. 2023, <https://earthquake.usgs.gov/earthquakes/eventpage/us7000kufc/executive>, Sébrier et al. 2006, *Comptes Rendus Geoscience* 338 p. 65–79. 小俣ほか2017, 日本活断層学会2017年大会予稿集. Fujiwara et al. 2000, *Geophysical Research Letters*, 27, 2049–2052.

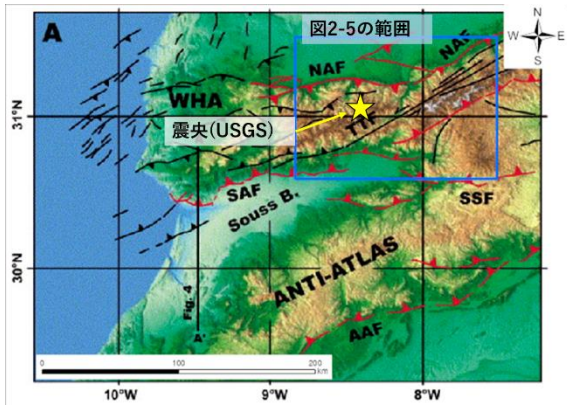


図 1 解析範囲位置図(Sévrier et al., 2006 に加筆)

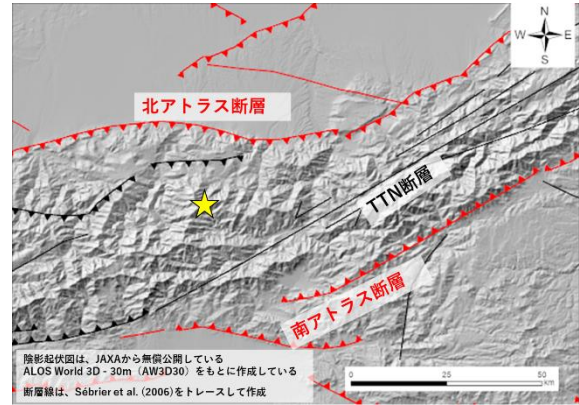


図 2 解析範囲の地形状況 (陰影起伏図)

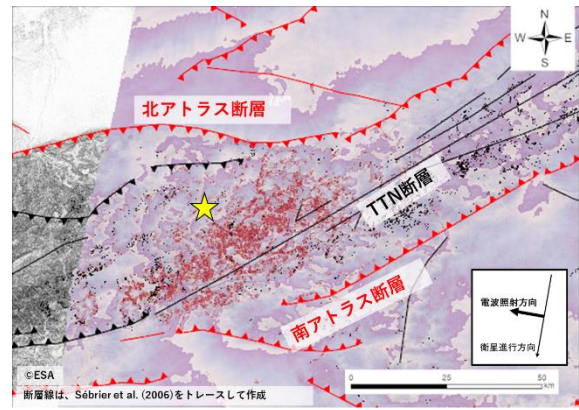
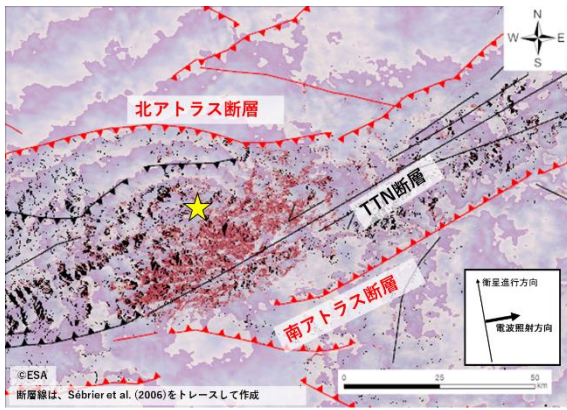


図 3 LC-InSAR 図 (左: 北行軌道右側照射、右: 南行軌道右側照射)

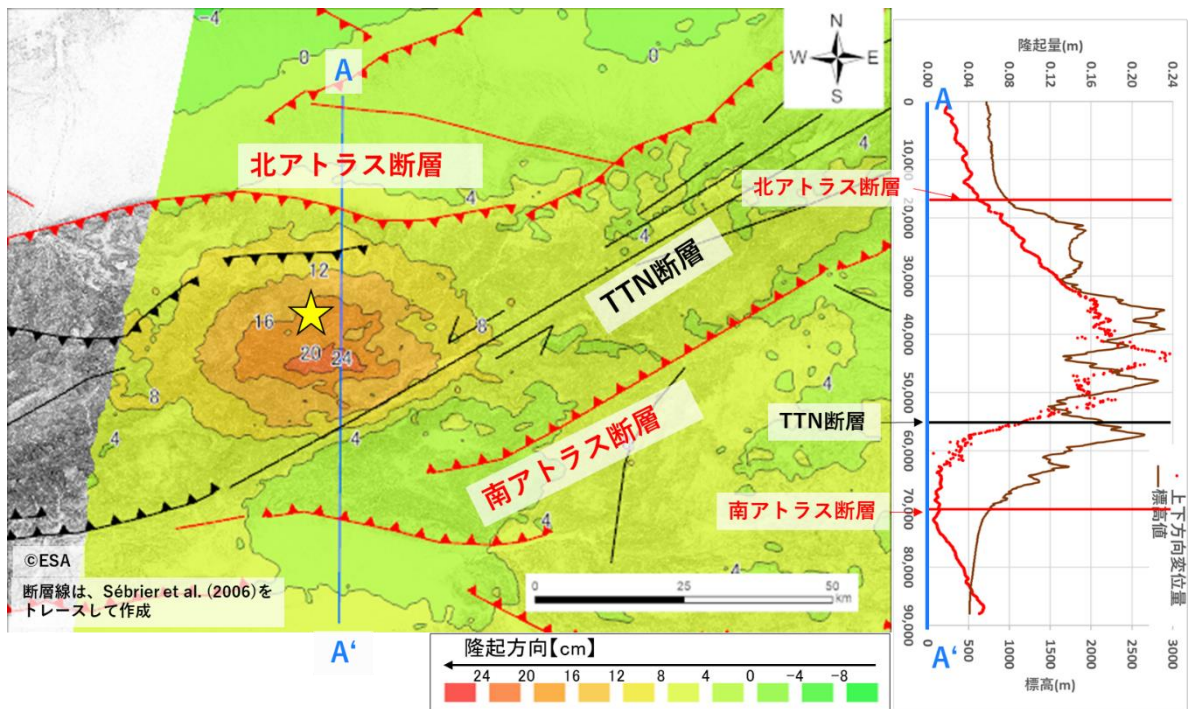


図 4 2.5次元解析結果 (左: 隆起量分布図、右: A-A'断面の隆起量と標高グラフ)

P-24

土砂運搬作用を考慮した数値シミュレーションによる断層変位地形の再現

°佐藤大河(富山大)・安江健一(富山大)・

谷川晋一(JX 金属探開株式会社)・三箇智二(JX 金属探開株式会社)・

野原壯(日本原子力開発機構)・島田耕史(日本原子力開発機構)

Attempt to reproduce tectonic landform using the numerical simulation
considering sediment transportation

°Taiga SATO (Univ. Toyama), Ken-ichi YASUE (Univ. Toyama)

Shin-ichi TANIKAWA (JX Nippon Exploration & Development Co., Ltd.),

Tomoji SANGA (JX Nippon Exploration & Development Co., Ltd.),

Tsuyoshi NOHARA(JAEA), Koji SHIMADA(JAEA)

1. はじめに

地形変化は、時間の経過に伴い、隆起や侵食などの内的営力と外的営力によりもたらされる。また同様の時間が経過した場合でも、岩相などの条件の違いで地形の変化量が異なる。このような地形変化をシミュレーションすることは、過去に発生した地形変化や今後発生するかもしれない地形変化を可視化することを可能にする。活断層沿いの地形変化では、繰り返し起こる断層運動によって、断層崖、撓曲崖、河谷の屈曲、閉塞丘などの変位地形が形成される。侵食に対する抵抗性が弱い断層破碎帯では、直線谷や鞍部などが形成される。場所によっては、河川争奪が発生して風隙が形成される場合もある。本研究では、これら活断層沿いに形成される地形に着目して、既往の地形変化シミュレーション技術を用いて地形変化を可視化することを試みた。

2. 手法

本研究では、河川において侵食された土砂の運搬を下流側へ増大させて堆積させることを考慮して 10 万年程度の侵食・堆積による地形変化を表現できる数値シミュレーション手法（谷川ほか, 2016; 草野ほか, 2011）を用いる。この数値シミュレーション手法では、地殻変動、気候変動などのパラメータを設定することができる。また、地質の違いによる侵食のされやすさの違いを考慮できることから、侵食されやすい範囲として破碎帯を設定することができる。本研究のシミュレーションでは、1000 年毎に侵食量や堆積量を計算し、河川流路の見直しを行った。また、ある期間で断層を境に片側のメッシュ全体を移動させることで横ずれ変位を与えた。

現在の地形の数値標高モデル(DEM)を使ったシミュレーションは可能であるが、現在分布している断層変位地形の形成を再現するためには、過去の地形の DEM が必要である。本研究では、現在の地形から横ずれ変位を戻し、接峰面のように谷を埋めて侵食を戻すことで過去の地形を復元した。さらに、河川争奪のように上述の方法だけでは復元できない部分は DEM を画像として書き出し、イラストソフトで谷を埋めた画像を作成した。その後、画像を GIS 上で標高値に変換することで過去の地形を復元した。

3. 初期地形と断層運動

岐阜県東部に分布する横ずれ活断層である阿寺断層帯の中央部、舞台峠周辺（約 40 km×約 50 km）の地形を事例に、初期地形と各種パラメータを変えながらシミュレーションした。舞台峠は、分布する河床堆積物から、かつて南東流していた小谷の上流側が竹原川の支谷によって争奪され、その後、白川の下刻によって取り残された風隙地形となっていると考えられている(岡田, 1975)。

この舞台峠周辺の DEM を用いて、竹原川が舞台峠を通過し、南東方向に流れるような地

形を復元した。初期地形作成に当たり、断層の水平変位を戻し、接峰面を作成するのみでは河川争奪後の地形となるため、河川争奪前の地形となるよう竹原川上流部から舞台峠にかけて谷を埋め戻した。

シミュレーションでは、断層変位に関するパラメータとして、既存資料に基づき活動間隔2000年、水平変位5m、上下変位0.5mと設定すべきところ、シミュレーションで使用するDEMのセルサイズの都合上、本研究では2万年毎に水平方向50m、上下方向5m変位させることとした。また破碎帯の幅は0~5000mとした。破碎帯中央部の地質の硬さを周囲の3分1となるよう仮定し、破碎帯の端に向かって硬さが増加するようにした。

4. 結果と考察

シミュレーションの結果、万年~十万年スケールの地形変化を表現することができた(図)。活断層沿いでは、直線状の谷、河谷の屈曲、分離丘などを再現でき、河川争奪を生じさせることもできた。侵食量については、山地で侵食して河川沿いで堆積するという大局的な地形変化は表現できたが、断層沿いの局所的な侵食量は実際と異なる結果であった。具体的には、舞台峠周辺では、実際には河川争奪により約5万年前から約2万年前の3万年間に下方へ50~100mと部分的に急速な侵食が生じたと考えられるが、シミュレーションでは河川争奪を表現できたものの急速な侵食は再現できなかった。これは、初期地形や各種パラメータが実際と異なるためと考えられ、侵食基準面となる河床の標高分布、破碎帯の幅と侵食のされやすさなどを検討する必要がある。また今後は、現在の地形の再現だけでなく、今後生じるかもしれない地形変化の可視化を試みる予定である。

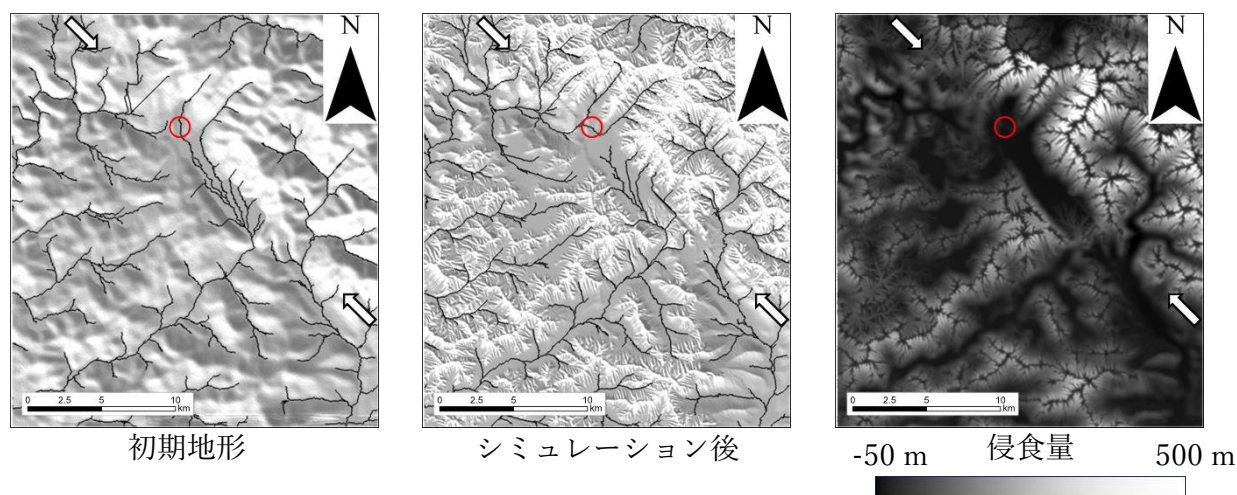


図 活断層沿いの地形変化シミュレーションの結果。

丸印が舞台峠、矢印が阿寺断層を示す

本報告は経済産業省資源エネルギー庁委託事業「令和5年度高レベル放射性廃棄物等の地層処分に係る技術開発事業(JPJ007597)(地質環境長期安定性総合評価技術開発)」の成果の一部である。

参考文献

岡田, 1975, 地理評, **48**, 72-78. 谷川ほか, 2016, 地形, **37(2)**, 189-207. 草野ほか, 2011, JAEA-Research2010-044.

P-25

ETAS 地震発生シミュレーションによる背景地震の規模別頻度分布評価 °野上風馬・野口 朗・隈元 崇 (岡山大学)

Magnitude-Frequency distribution for evaluating background earthquakes by ETAS earthquake occurrence simulation

°Fuuma NOGAMI, Hogara NOGUCHI and Takashi KUMAMOTO
(Okayama Univ.)

本研究は、地震調査研究推進本部（以後、地震本部）の「全国地震動予測地図」の中で取り扱われている日本列島内陸の震源をあらかじめ特定しにくい地震の評価の手法の妥当性の検証と手法の高度化を目的とする。そのために、地震地体構造区を評価の単位として、そこに含まれる活断層に対して時間 ETAS モデル(Epidemic Type Aftershock Sequence model ; Ogata, 1988)を適用することで長期間の地震発生シミュレーションを行い、その結果を観測地震カタログの期間と合わせた1年あたりの発生頻度として差分をとることで震源を予め特定しにくい地震の規模別頻度を計算してハザードカーブの計算と手法の検討を行う。

地震本部(2014)は、内陸地殻内を、変動地形調査で明らかとなる活断層の情報で評価する「地表断層を伴うあらかじめ特定できる地震」と、その活断層から発生するものの地震規模が一回り小さな「地表の証拠からは活動の痕跡を認めにくい地震」、さらに、変動地形調査で活断層を認定できない場所で発生する「震源をあらかじめ特定しにくい地震」に大別している。この中で、「震源をあらかじめ特定しにくい地震」は、活断層が見られない場所で地下の伏在断層から M6~7 の被害を生じさせる規模の地震のことであり、例えば、2018 年 6 月に発生した大阪北部地震 (Mjma6.1) は、地表に断層が現れていない伏在断層によって起きた内陸地殻内地震と考えられている。この地震は「背景地震(background earthquake)」とも呼ばれ(以後、背景地震)、特に、人口密集地や原子力発電所などを対象とした地震危険度評価において、その評価手法の高度化は重要である。

地震本部による背景地震の具体的な評価手法は、まず垣見ほか(2003)を参照して設定された地震地体構造区毎に、観測地震のデータから評価に無関係な大地震の余震活動の除去を行い、それ以外を背景地震として、グーテンベルグ・リヒター則(以後、GR 則)に基づいて頻度を計算するという手法と、地震地体構造区分せずに計算対象地点から一定の距離内の地震の頻度から計算する手法を組み合わせている。本研究では、前者についての検証と高度化を対象とする。ここで、余震の除去については建設省土木研究所(1983)を参照して、気象庁一元化震源カタログの 1920 年~2019 年の期間に発生した M6.0 以上の地震を対象にその発生後 90 日以内に、経験式で与えられる震央を中心とした距離内で発生した地震を除去している。その残りの地震を背景地震として、GR 則で $M_c=5.0$ 、 b 値を 0.9 の固定で M6.5 から M7.3 までを背景地震としてその頻度を評価している。ただし、建設省土木研究所(1983)で余震の期間を 90 日としているのは、震災復旧を考慮した研究対象期間の設定であり、余震除去期間が 90 日で十分ということではない。実際、この手法を 2000 年鳥取県西部地震(M7.3)へ適用すると、本震の 90 日以降も震源断層に沿って狭義の余震と考えられる地震が発生している。

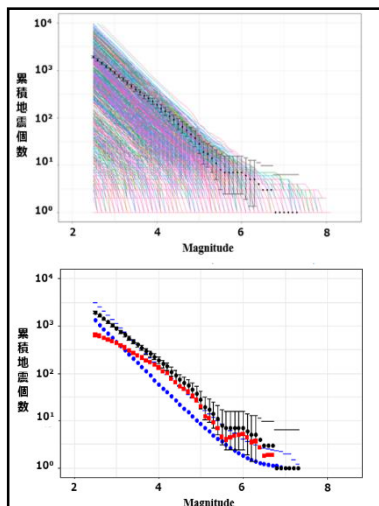
こうした余震除去の不十分さは、背景地震の発生頻度を実際よりも高く見積もることとなる。そこで、本研究では、冒頭に示した考え方で時間 ETAS モデルを用いた地震発生シミュレーションと気象庁の地震カタログとの差分を背景地震の規模別頻度と考える手法を統計的に議論することとした。今回は、地震地体構造区から隣接する近畿三角帯と中国・瀬戸内海の 2 つの地域を研究対象とし、時間 ETAS モデルシミュレーション期間は 10 万年、活断層データは J-SHIS で公開されているものを用いた。

時間 ETAS モデルの地震発生シミュレーションでは、J-SHIS の活断層データにおいて地震発生間隔と最新活動期が記載されている断層は BPT 分布で、最新活動期が記載されていない断層はポアソン分布を用いて、個別の活断層の 10 万年間の本震を模した。次に、それらの本

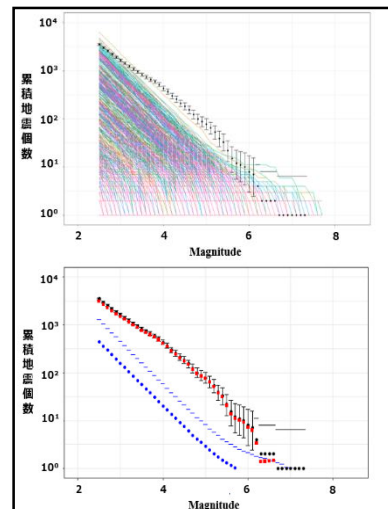
震に対して、時間 ETAS モデルと GR 則を用いて本震に伴う狭義の余震を発生させた。その際には、M2.5 を超える余震についてはその余震も発生させることとした。そうして得られたシミュレーション結果を気象庁一元化震源カタログと比較するために、10 万年のシミュレーション期間をカタログ期間の 100 年毎に区切って 1000 期間の結果とした。それらの規模別頻度分布を地震地体構造区内の活断層から発生する地震の規模別頻度と考へて、気象庁一元化震源カタログの規模別頻度との差分を統計的に考察して、背景地震の規模別頻度を議論した。

実際に隣接する近畿三角帯と中国・瀬戸内海を対象で本研究の手法を適用した結果を第 1 図と第 2 図に示す。上段は気象庁一元化震源カタログ（黒点）に対する 1000 期間のシミュレーション（色線）の結果の比較、下段は気象庁一元化震源カタログ（黒点）からシミュレーション結果の平均（青点）を差し引いた背景地震の規模別頻度分布（赤点）を示している。これらを見ると、中国・瀬戸内海地域では活断層から発生する大地震のその余震だけでは過去 100 年間の観測地震の規模別頻度分布に及ばないが、近畿三角帯では 1995 年兵庫県南部地震を含む過去 100 年間の観測地震を上回る活断層から発生する大地震とその余震のシミュレーション結果も得られている（上段）。気象庁一元化震源カタログ（黒点）からシミュレーションの平均値（青点）を差し引いた残りを背景地震の規模別頻度分布（赤点）と仮定すると、中国・瀬戸内海地域では観測地震とそれほど異ならないが、近畿三角帯では観測地震の M5.0~6.0 の頻度分布の影響で差分も直線的な形状とはなっていない。この点については、気象庁一元化震源カタログと統計的に関連がある区間のみを用いて計算を行うこと、また、活断層から発生する地震規模が一回り小さな「地表の証拠からは活動の痕跡を認めにくい地震」の頻度についても考慮したシミュレーションを行って背景地震の規模別頻度分布のばらつきまでを考慮した検討を継続する。

先に述べた条件での時間 ETAS モデルによるシミュレーションの結果から、近畿三角帯と中国・瀬戸内海の 2 つの地域の背景地震の M6.5 と M7.3 の面積 100km² 当たりの頻度を比較・検討すると、地震本部の手法では、近畿三角帯の規模別頻度は M6.5 と M7.3 で中国・瀬戸内海の 0.92 倍となり大きな差は見られない。しかし、本研究の手法では、近畿三角帯の規模別頻度は M6.5 で中国・瀬戸内海の 4.3 倍、M7.3 では 2.1 倍となった。この結果を M7.3 の 30 年あたりの地震発生確率に当てはめると、地震本部の手法では近畿三角帯では $3.3 \times 10^{-4} \%$ 、中国・瀬戸内海で $3.6 \times 10^{-4} \%$ であるのに対して、本研究の値では近畿三角帯では $1.0 \times 10^{-3} \%$ 、中国・瀬戸内海で $5.0 \times 10^{-4} \%$ となり両地域で差が出る結果となった。



第 1 図 近畿三角帯における地震発生シミュレーションの結果



第 2 図 中国・瀬戸内海における地震発生シミュレーションの結果

P-26

縦ずれ断層の進展過程に鉄道構造物基礎が与える影響に関する検討

◦ 山田 雅紘, 谷山尚 (埼玉大学)

日野篤志 (ジェイアール総研エンジニアリング)

Effect of railway structure foundation on development of dip slip fault

◦ Masahiro Yamada, Hisashi Taniyama, Atsushi Hino

はじめに

内陸活断層による地震では、地表地震断層の変位によって構造物が被害を受けることがある。断層を避けるように構造物を建設することが望ましいが、鉄道構造物のような線状構造物の場合には避けることが難しい場合もある。

これまでに模型実験¹⁾や個別要素法を用いた解析²⁾によって、鉄道構造物に縦ずれ断層変位が作用した際の挙動に関する検討がなされてきているが、その中で地表面に構造物が存在する場合には、構造物を避けるようにせん断帯が発達していく場合があることが示されている。本研究では、表層地盤上に位置する鉄道構造物基礎の幅が縦ずれ断層の進展過程に及ぼす影響を数値解析により検討した。

解析モデル

検討では、地盤上に鉄道橋の橋脚に見立てたフーチング模型を設置した状態で、断層変位を模擬した強制変位を入力した際の地盤の変形について数値解析で調べた。解析には個別要素法を用いた。個別要素法は、解析の対象を粒子の集合体としてモデル化し、個々の粒子の動きを粒子間の接触力に基づき求めていく解析手法で、地盤材料に対して多く用いられてきている。本解析では、過去に行われた模型実験や解析を参考に、図1に示すような解析モデルを用いた。左右を側壁に囲まれた領域に半径0.525cmから0.874cmの球形粒子を落下させて、幅4m、奥行き0.5m、厚さ0.2mの地盤を作り、その上にフーチング模型を構成する粒子を並べた。フーチングの幅は15cm、30cm、60cmとし、モデル左側1mの底面と側壁部の粒子に鉛直上向きの変位を与えることで、傾斜角90度の逆断層変位を解析モデルに加えた。解

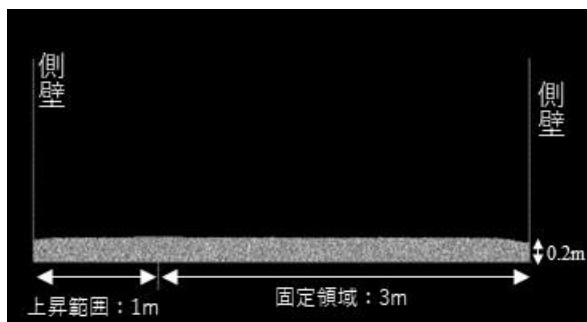


図1 解析モデルの概要

表1 解析パラメーターの値

ばね定数(法線方向)	4.8×10^6 N/m
ばね定数(接線方向)	1.6×10^6 N/m
減衰定数(法線方向)	5.5×10^2 Ns/m
減衰定数(接線方向)	3.2×10^2 Ns/m
摩擦係数	0, 2

析モデルの前面と背面には周期境界を用いている。解析に用いたパラメーターの値を表 1 に示す。

解析結果

図 2 から図 4 に鉛直変位量 5cm 加えた際の解析モデルの変形の様子を示す。図 2 はフーチングの幅が 15cm，図 3 は 30cm，図 4 は 60cm の結果である。フーチング幅 15cm の解析結果では，断層がフーチングの右側に現れており，地盤の主たる変形はフーチングの右側で生じている。そのため，フーチングは地盤の変形に伴って傾いているものの，傾きは小さくなっている。フーチング幅 30cm，60cm の解析結果においては，フーチング幅が広いため断層はフーチングを避けるように進展することはなく，フーチング下部の地盤が変形することによってフーチングが傾く結果となった。ただし，フーチングが存在することで，地盤の変形が拘束されて，狭い範囲に大きな変形が集中せず，フーチング幅に渡って地盤の変形が広がっている様子が見られる。その結果フーチング幅が広い 60cm の方が地盤の変形領域が広範囲に渡ることによって地盤の変形量が小さくなってフーチングの傾き小さくなる結果が得られた。

まとめ

表層地盤上に鉄道構造物が位置している場合の縦ずれ断層の進展過程を個別要素法による数値解析で検討した。その結果構造物基礎の幅が狭いと断層が構造物基礎を避けるように進展する可能性があること，基礎の幅が広くなると避ける可能性が小さくなる一方で地盤の変形が基礎幅に広がって地盤の変形が小さくなる可能性があること示した。

参考文献 1) 押田 直之ほか：鉄道構造物基礎の影響を受ける縦ずれ断層変位に関する模型実験，構造工学論文集 65A 巻 p. 154-163, 2019. 2) 日野篤志ほか：個別要素法による縦ずれ断層変位実験のシミュレーション，土木学会論文集 A1 (構造・地震工学)，Vol. 75, No. 4 (地震工学論文集第 38 巻)



図 2 フーチング幅 15cm の解析結果



図 3 フーチング幅 30cm の解析結果



図 4 フーチング幅 60cm の解析結果

シンポジウム

「九州のテクニクス」

講演予稿集

2023年11月11日(土) 13:20~16:30

会場:九州大学西新プラザ

主催:一般社団法人日本活断層学会
後援:福岡市

11月11日(土)午後

シンポジウム 「九州のテクトニクス」

【趣旨】

九州には、地震調査研究推進本部による「活断層の地域評価」の対象となっている28の断層帯があり、その一部の活動によって2005年福岡県西方沖地震、2016年熊本地震などの被害地震が近年発生しています。また、阿蘇、九重、雲仙、桜島などの活火山も多く、2011年には霧島の新燃岳で大規模な噴火が発生しました。その背景となる広域応力場として、引張成分が卓越する領域が広く分布していることから、九州は日本列島の中で特異な地域とされています。将来発生するジオ・ハザードに備える上でも、その地域のテクトニクスをよりよく知ることは重要です。本シンポジウムでは、地質構造、地殻変動、地震活動、火山活動など、地球科学の様々な観点から九州のテクトニクスについて考えたいと思います。

13:20 趣旨説明

青柳 恭平 (電力中央研究所)

13:30 S-1 九州の地殻活動場

松本 聡 (九州大学)

14:00 S-2 活断層データから見た九州のテクトニクス

堤 浩之 (同志社大学)

14:30 S-3 測地観測に基づく九州の地殻変動と活断層分布

西村 卓也 (京都大学)

(休憩 20分)

15:20 S-4 古応力解析から見た九州中部の第四紀テクトニクス

大橋 聖和 (山口大学)

15:50 S-5 重力異常から見た北部九州の活断層

西島 潤 (九州大学)

(終了 16:30)

S-1

九州の地殻活動場

松本聡（九州大学大学院理学研究院地震火山観測研究センター）

Seismic activity and its background in Kyushu Island

Satoshi Matsumoto (SEVO, Kyushu University)

はじめに

九州地域は日本列島の中で伸張応力場を示す唯一の地域である。その影響で火山活動や地震活動が最も活発な地域の一つとなっている。近年の大規模な地震は2005年福岡県西方沖地震(M7.0)、2016年熊本地震(M7.3)である。これらは地震発生時に大きな被害を及ぼした。さらに、現在まで活発な余震活動が継続している。このような大地震を発生させる背景を考えるためには、地殻にかかる応力、変形特性、媒質特性を求めることが必須である。本講演においては、九州においての様々な特性について概観する。

地震活動:

この地域の地震活動は図に示すように、大規模地震及びその余震以外に背景地震活動ともいえる地震が多数発生している。特に中央部においては活断層が多く分布することと同様に地震活動が活発である。また、熊本地震前後では分布傾向が若干異なっていて、大地震による影響を反映しているものと考えられている。地震は弾性エネルギーを開放して非弾性変形する現象であるが、小さい地震による非弾性変形は場所によっては、活断層の変形レートに近い値を示す。これらは地殻応力の再配分にも寄与していると考えられる。実際、これらの見積もりから地震による非弾性変形が大きい部分の端で熊本地震が発生した。また、天草地域にはブロック状の地震空白域が存在する。ここの特性はいまだ明らかになっていないが、強度が高い地域と考えられる。

応力場:

地震活動から得られた応力場の特徴を見てみると、北部、南部は横ずれ断層応力場を示す。一方、中央部は横ずれ～正断層応力場を示している。張力場は北北西—南南東～北西—南東と場所によって変化している。特に日奈久断層においては横ずれ断層応力場になっており、その南北では正断層応力場に変化している点が興味深い。主応力の向きの回転には外部境界条件のほかに内部での応力緩和(例えば既存断層の静的変形)が必要で、このメカニズムについて説明可能なモデルはまだ構築されていない。

変形場:

GNSS観測によると、九州南部は反時計回りに回転しているように見られる。これはフィリピン海プレートの固着度の空間変化などによるものと解釈されている。さらに、北部の運動ベクトルとの差か

ら九州内部での応力集中や緩和を考えることができる。Yuasa & Matsumoto (2023)によると、これらのデータから下部地殻において非弾性変形の空間不均質を見出した。また、その影響で地震活動が活発化されている可能性が指摘されている。

構造:

地震波速度や比抵抗構造は空間不均質が強く、大地震発生域、大すべり域などその発生と強く関連している。特に大地震をトリガするために流体が関与していることが近年明らかになってきた。一方、その成因については必ずしも明らかではない。

まとめ

九州地域では応力場、変形場、構造が次第に明らかになってきている。伸張が卓越する場においては強度が小さいため、より多様な活動様式を呈すると考えられる。観測された現象を統一的に説明するモデルはいまだできていないが、地質スケールから地震スケールまでの幅広い時間スケールでの変形を考えることが現在の地殻活動の理解、地震発生予測につながる第一歩であるといえるのではないだろうか。

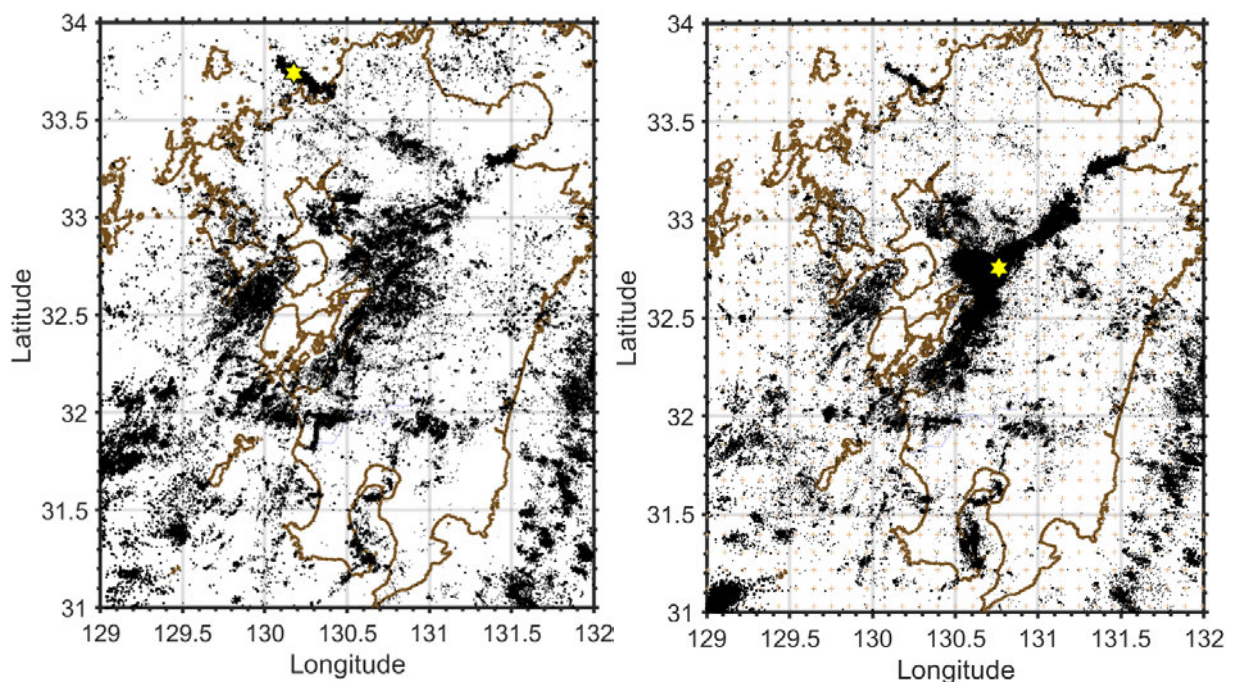


図 九州地域の浅発地震(30 km以浅)の震央分布。左:2000年から熊本地震最大前震(2016年4月14日, M6.5)以前, 右:熊本地震本震(2016年4月16日, M7.3)以降, 2023年3月までを示す。★はM7以上の地震の震央。震源は気象庁による。表示はZMAP7.1(Wiener, 2001)を用いた

S-2

活断層データから見た九州のテクトニクス 堤 浩之 (同志社大学)

Active tectonics of Kyushu in light of active fault data Hiroyuki Tsutsumi (Doshisha Univ.)

2024年度に出版予定の「日本の活断層クラウド詳細デジタルマップ (仮題)」(東京大学出版会)の作成にあたり, 7名の担当者(石村大輔, 熊原康博, 後藤秀昭, 小山拓志, 今野明咲香, 副田宜男, 堤 浩之(班長))が, 立体視可能なアナグリフ画像の判読により九州地方の活断層のマッピングを行った。判読結果はGIS上で図化し(図1), 活断層の解説文や諸元表を作成した。本発表では, その作業結果を基に, 活断層の分布・変位センス・活動度を概観し, 九州のテクトニクスについて考察する。

九州地方は西南日本弧と琉球弧の接合部に位置し, 火山フロントが地質構造と斜交して北北東-南南西方向に延びる。九州において古第三紀までに形成された地質構造は, 基本的には西南日本弧と同様な帯状構造を示す(町田ほか編, 2001; 日本地質学会編, 2010)。九州は, 中部を東西方向に横断する別府-島原地溝帯(松本, 1979)を境に, 北部・中部・南部に分けられ, 活断層の分布・変位センス・活動度などが地域ごとに大きく異なる。以下に, 各地域の地質学的背景や活断層の概略を述べる。

九州北部は, 西南日本内帯の西方延長と考えられる。中生代や古生代の堆積岩(秋吉帯)や変成岩類(三郡帯)およびそれらに貫入した白亜紀の花崗岩類からなる山地と, 古第三紀層で埋積された北西-南東から南北方向の地溝状凹地が特徴的である。九州北部の東部では, 北西-南東方向に延びる左横ずれ活断層が10~20 kmの間隔で分布している。また小倉東断層帯のような北北東-南南西走向の右横ずれ断層もあり, ほぼ東西圧縮の応力場を反映している。これらの横ずれ活断層は, 古第三紀に筑豊型地質構造の形成に寄与した正断層群の一部が, 第四紀に再活動したものと考えられる。小倉東断層帯・福智山断層帯・宇美断層帯は半地溝を限る正断層として形成され, 東西圧縮応力場の下で断層の西側が相対的に隆起する逆断層成分を含む横ずれ断層として再活動している(渡辺, 1989; 千田ほか, 2001; 下山ほか, 2008)。これらの活断層の一部は, 上下変位速度がB級下位からC級であることが判っているが, 横ずれ変位速度は明らかとなっていない。2005年の福岡県西方沖地震は, 警固断層帯の北西部の海底活断層の活動により発生し, 発震機構は東北東-西南西方向に圧力軸を持つ横ずれ断層型であった。

九州中部は, 松山-伊万里構造線の南で, 別府湾から橘湾まで北東-南西方向に延びる別府-島原地溝帯(松本, 1979)と呼ばれる陥没構造を含む地域である。別府-島原地溝帯の南縁は, 大分-熊本構造線にほぼ一致する。2016年熊本地震(M_w 7.0)で破壊した布田川断層は, 大分-熊本構造線の一部と考えられている。また松山-伊万里構造線に沿っては, 佐賀平野北縁断層帯や水縄断層帯などの東西走向の正断層が分布する。九州中部には東西走向の正断層が密に分布しているが, 特に別府湾から万年山に至る地域や雲仙火山地域で分布密度が高い。九州中部の活断層は活動度の高いものが多く, 特に別府湾周辺の日出生断層帯や大分平野-湯布院断層帯についてはA級の変位速度が得られている。布田川断層についても, 右横ずれ変位・縦ずれ変位ともにA級の変位速度が得られている(石村, 2019)。佃(1993)

S-3

測地観測に基づく九州の地殻変動と活断層分布

西村卓也（京都大学防災研究所）

Distribution of crustal deformation based on geodetic observations and active faults

Takuya Nishimura (DPRI, Kyoto Univ.)

1. はじめに

日本列島では、1994年から整備が開始された国土地理院のGNSS(GPS)観測網GEONETにより、全国約1300か所での地殻変動のモニタリングが行われている。また、明治期より始められた三角・三辺測量により約100年間の地殻変動も明らかになっている。これらの測地観測データとより長期の地殻変動を反映している活断層などの変動地形を比較することは、その地域の地震サイクルに伴う地殻変動の時間変化やテクトニクスの変遷を議論する上で重要である。九州における両者の比較は、大橋・他(2020)によって行われているが、本講演では東北地方太平洋沖地震後のGNSSデータも追加して比較を試みる。

2. 九州の測地観測によるひずみ(速度)分布

図1は、三角・三辺測量による1890年代から1990年代までのひずみ分布である。これらのデータの解釈は既に多くの論文に示されているが、別府—島原地溝帯を中心とする南北伸長のひずみが見られ、特に別府、熊本平野、島原半島、八代海などで大きい。また、宮崎県南部でも南北伸長が大きい場所がある。一方、2019年7月から2023年6月までのGNSS観測によるひずみ速度分布(図2)を見ると、南北伸長はそれほど顕著ではなく、東西から西北西—東南東方向の短縮ひずみが卓越する。熊本市から阿蘇山周辺にかけての大きな東西圧縮と南北伸長は、2016年熊本地震の余効変動の影響も含まれるが、これらの地域を除くと、大橋・他(2020)が示した熊本地震前の10年間(2006-2016年)のひずみ速度分布と類似しており、GNSSで観測される地殻変動の特徴が、数年程度の揺らぎによるものではなく、少なくとも十年スケールより長い期間の地殻変動を示していると考えられる。一方、ひずみ速度の大きな地域は、図1と図2で類似しており、図1で南北伸長が大きいと指摘した5地域では、いずれも図2で最大せん断歪速度が大きい。八代海では、図2のGNSSでも西北西—東南東伸長が見られており、測地学的にも活発な背弧拡大が指摘されている沖縄トラフの延長は、主にこの地域に接続しているのかもしれない。一方で、九州中部で全体的に東西短縮が卓越することは、中央構造線断層帯の西側延長の構造が別府から熊本にかけて続いており、西日本の前弧スリバー運動が琉球弧に衝突することによって生じていると解釈できる(大橋・他, 2020)。

GNSS観測により最大せん断歪速度の大きい地域には、主要活断層が存在していることが多く(図2)、長期的な変形と十年程度の変形の集中域が概ね一致していることを表してい

る。GNSS 観測によるひずみの方向と活断層の運動方向も、概ね調和的である。一方、測地学的には、歪速度が大きい宮崎県南部（南九州せん断帯, Takuyama and Yoshida, 2007）において、対応する主要活断層は見られない。この地域では、微小地震もまとまって分布していることから、現在では活発な変形が進行している領域である可能性が高い。よって、この地域は活断層としては未成熟な段階ながら、比較的最近活動を始めたせん断帯である可能性がある。

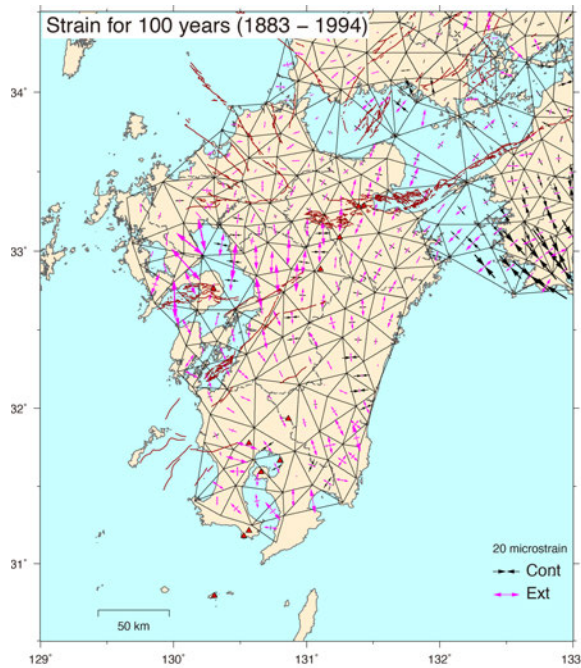


図 1 三角・三辺測量データから推定された約 100 年間のひずみ速度（矢印）（大橋・他, 2020）。元データは国土地理院による。

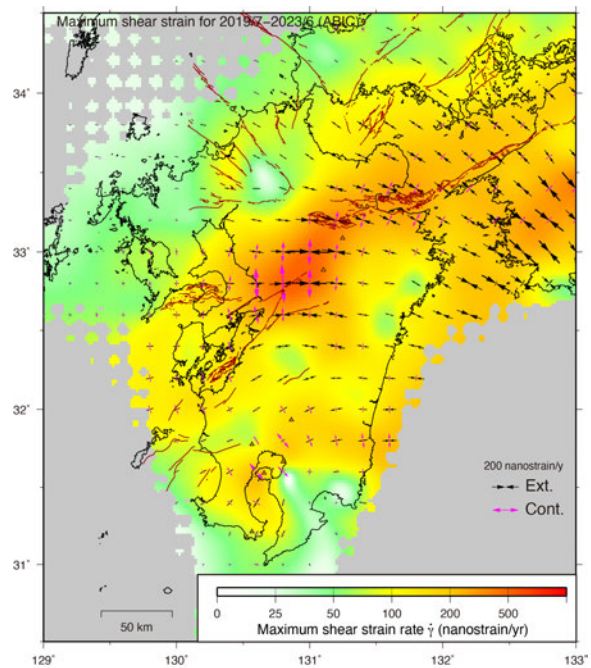


図 2 2019 年 7 月-2023 年 6 月の GNSS データから計算された主ひずみ速度（矢印）と最大剪断ひずみ速度（カラースケール）。ひずみ速度の計算には, Okazaki et al.(2020)の手法を用いた。

参考文献

大橋聖和・他(2020), 九州中部の第四紀テクトニクスと 2016 年熊本地震, *地学雑誌*, 129(4), 565-589.

Okazaki, T., Y. Fukahata, and T. Nishimura (2021), Consistent estimation of strain-rate fields from GNSS velocity data using basis function expansion with ABIC, *Earth, Planets and Space*, 73(1), doi:10.1186/s40623-021-01474-5.

Takayama, H. and A. Yoshida (2007), Crustal deformation in Kyushu derived from GEONET data. *J. Geophys. Res. Solid Earth*, 112, B06413, doi: 10.1029/2006JB004690.

謝辞: GNSS 観測データとして国土地理院 GEONET 及び海上保安庁 GPS 連続観測データ, 活断層データとして地震調査研究推進本部の長期評価のデータを用いました。ここに記して感謝いたします。

S-4

古応力解析から見た九州中部の第四紀テクトニクス

大橋 聖和 (山口大学)

Quaternary tectonics of Central Kyushu revealed by paleo-stress analysis

Kiyokazu Oohashi (Yamaguchi University)

1. はじめに

九州中部には別府から島原にかけて地溝帯（別府-島原地溝，松本，1979，1993）が存在することが知られているが，中新世から現在に至る本地域のテクトニクスは単純ではない．特に，第四紀初頭～現在のテクトニクスについては，別府-島原地溝を挟んで南北伸張の展張場であるという考え方（例えば多田，1993）と，別府-島原地溝は中央構造線（瀬戸内剪断帯）の延長であり，右横ずれとそれに付随するプル・アパートが生じているという考え方（例えば佃，1993；木戸，1993；鎌田，1992）の大きく異なる2つの考えが存在する．大橋ほか（2020）は，測地・地震・地質の各データに基づき，九州中部の第四紀～現在のテクトニクスを横ずれ引張テクトニクスで説明し，中新世から鮮新世まで断続的に起こった南北引張テクトニクスとは区別した．そしてその上で，第四紀の変動場を“中部九州剪断帯”と呼ぶことを提案した．しかし，地質から得られた過去の応力場は時空間的に限定的であり，九州中部（特に中西部）における第四紀の応力・変形史の理解は不十分であった．

2. 九州中西部における鮮新世～更新世湖成層中の小断層を用いた古応力解析

本研究では古応力を求める手法として応力多重逆解法（山路，1999）を用いる．まず露頭で小断層から断層スリップデータ（断層の走向傾斜，条線の方向，変位のセンス）を記載する．得られた断層スリップデータに対して多重逆解法を適用し，応力解を求め，k-means クラスタリング法（Otsubo et al. 2006）を用いて代表的な応力方位を求めた．変位のセンスの判別法として，層理面の隔離を用いる方法と断層面上の微細構造を用いる方法の2つがあるが，前者の方がより確実である．九州中西部には鮮新世から更新世の湖成層が点在することが知られており（長谷・岩内，1993），本研究では筑肥山地に分布する星原部層・相良部層（下部鮮新統），耳納山地に分布する下津江累層（下部鮮新統），日田盆地南方に分布する大山層（中部更新統）を対象に調査を行った．さらに，小断層の形成時期に関する情報を得るため，粉末X線回折法を用いて断層ガウジの粘土鉱物種を同定した．

3. 結果

調査の結果，いずれの地域からも多数の小断層を見出すことができ，星原部層・相良部層からは96条，下津江累層からは46条，大山層からは37条の良質な断層スリップデータを採取した．応力多重逆解析の結果，星原部層・相良部層からは， σ_1 軸が鉛直， σ_3 軸がN-S方

向の正断層型応力と、 σ_1 軸が E-W 方向、 σ_3 軸が N-S 方向の横ずれ断層型応力が得られた。下津江累層からも、これと類似する σ_1 軸がほぼ鉛直、 σ_3 軸が低角な NNW-SSE 方向の正断層型応力と、 σ_1 軸が低角な WSW-ENE 方向、 σ_3 軸が N-S 方向の横ずれ断層型応力が見出された。なお、両応力で形成された断層群は、露頭における産状や粘土鉱物組み合わせに違いはなく、見分けは困難である。また、星原部層・相良部層、下津江累層いずれも、正断層型応力を示す断層が優勢であり、横ずれ断層型応力を示すものは少数である。一方、大山層からは、中角で ESE 方向に沈下する σ_1 軸、低角で N~NW 方向の σ_3 軸の斜めずれ型応力が検出された。

4. 考察

調査を行った筑肥山地、耳納山地、日田盆地南方は主要な活断層や地質断層が認められていない地域であるが、これらの地域に分布する下部鮮新統～中部更新統から多数の小断層が見出された。このような特徴は、新潟-神戸ひずみ集中帯や山陰ひずみ集中帯のような測地学的に速いひずみ速度が検出されている地域の特徴 (Tamura et al., 2020; Uchida et al., 2021) と一致する。検出された応力方位は、下部鮮新統の星原部層・相良部層、下津江累層では共通して南北引張の正断層型応力と東西圧縮・南北引張の横ずれ断層型応力であり、産状に違いが認められないことからほぼ同時期に形成されたと考えられる。下津江累層中で認められた小断層の粘土鉱物組み合わせは、本地域で後期鮮新世～前期更新世に生じた熱水変質作用 (澤井ほか, 1998) と同じ特徴を持つことから、九州中西部において、更新世初頭には横ずれ断層応力が存在していたことを示唆する。一方で、中部更新統の大山層で得られた斜めずれ型応力は、南北に σ_3 軸を持つ正断層型と、東西に σ_1 軸、南北に σ_3 軸を持つ横ずれ断層型応力の合算で説明可能であり、本地域が本質的に横ずれ引張テクトニクスであることを示していると考えられる。

5. まとめ

- (1) 別府-島原地溝の中西部では、主要な活断層や地質断層が認められていない地域でも小断層が密に産し、(過去の) ひずみ集中帯としての地質学的特徴を有している。
- (2) 下部鮮新統を切断する小断層から、南北引張の正断層型応力と東西圧縮・南北引張の横ずれ断層型応力の二つの応力場が求められた。これらは後期鮮新世～前期更新世の応力転換 (正断層型から横ずれ断層型) を記録しているものと考えられる。
- (3) 中部更新統を切断する小断層から、斜めずれ型の応力場が求められた。これは本地域が第四紀以降、横ずれ引張テクトニクスのものであることを示唆する。

【謝辞】

本発表では、川口慶悟氏、佐藤友香氏の修士論文および卒業論文で得られたデータを使用しました。ここに心より感謝申し上げます。

S-5

重力異常から見た北部九州の活断層 西島 潤(九州大学)

Active faults inferred from gravity anomalies
in the northern part of Kyushu
Jun Nishijima (Kyushu university)

1. はじめに

活断層調査において物理探査は地下構造を調査する手法として広く使われている。このうち重力探査については、街中でも測定が可能であることや比較的深部までの地下構造が推定できることなどから活断層のみならず、地表付近の空洞調査、鉱物資源調査、地熱調査など多くの用途で適用されている。従来重力探査のようなポテンシャル測定は測定される重力異常が滑らかに変化することから測定間隔を数 100m から数 km とした概査として用いられてきた。しかし、近年の重力計の精度向上や衛星測位技術の進歩により、マイクロガル (10^{-8} m/s^2) オーダーの測定が可能になった。このような高精度の重力データを測定間隔 数 10~200m 程度で密に測定することによって、従来捉えることができなかった活断層周辺の小規模な構造を反映した重力異常が得られるようになった(例えば文部科学省・九州大学, 2014)。また、活断層周辺の構造が明らかになることによって、活断層に発達する温泉の湧出機構解明にも役立つことが明らかになってきた(例えば Nishijima and Fujimitsu, 2016)。本発表では北部九州の活断層において測定された重力異常から活断層やその周辺に発達する熱水系について紹介する。

2. 重力異常

重力は地球の中心に向かう引力と自転による遠心力の合力を指している。自転による遠心力は地球の自転軸からの距離の影響を受け、極における遠心力は 0、赤道では最大となる。このため、緯度の違いによって遠心力が異なることから、重力も極で最大、赤道で最小となる。また、標高の違いによっても地球の中心からの距離が異なるため、引力に差が生じて重力に影響する。このようにさまざまな要因が重力に影響するため、地表で測定した重力値の大小を単純に比較することはできない。そこで、地球を均質な密度で近似することによる重力値と実測値の差を重力異常として、地表付近の密度の不均質性を表すものとして、さまざまな解釈や重力異常を基に地下構造のモデリングが行われる。重力異常にはいくつかの種類があるが、地下構造推定でよく用いられるのはブーゲー異常である。ブーゲー異常は重力実測値から均質な密度を持った地球による重力を緯度によって決まる成分(正規重力)、標高の違いによる成分(フリーエア補正)、標高 0 m の等ポテンシャル面と地表との間に存在する岩盤による成分(ブーゲー補正)および測定点周辺の地形の凹凸による成分(地形補正)によって計算する。

重力異常は高密度の岩石が地表近くに存在すると高く(高異常)なり、高密度の岩石が深部に存在すると低く(低異常)になる。上下に変位がある断層ではブーゲー異常は高異常から低異常に急

変するため、活断層調査や地熱調査ではブーゲー異常の急変部を探すことになる。上下変異を伴わない横ずれ断層では、上下に変位がある断層ほど大きな重力差は現れないが、プリアートのような構造があれば、密度コントラストが生じるため重力異常にも急変部となって現れる。

3. 重力測定

重力測定には重力測定を行う相対重力計 (Scintrex CG-3, CG-3M, CG-3+, CG-5, CG-6) と測定点の位置 (緯度, 経度, 標高) を測位する GNSS 受信機を用いる。相対重力計はある測定点を基準とした重力差を測定するため、基準となる重力値が必要となる。基準点は国土地理院の重力基準点や九州大学内では絶対重力計 (Micro-g LaCoste FG5, A10) による測定値を用いている。測定に要する時間は相対重力計で 1 分間、GNSS 受信機で数分程度である。位置測位はインターネットを通じて国土地理院の電子基準点データを用いた補正信号を受信する Network Real Time Kinematic 法を用いている。最近では準天頂衛星のセンチメートル補正信号 (CLAS) を受信して単独で数 cm の精度が実現できるようになってきている。

4. 警固断層におけるブーゲー異常

福岡市の中心部で北西-南東方向の走向を持つ警固断層では、福岡県の活断層調査 (福岡県, 1996)、国の重点調査 (文部科学省・九州大学, 2014)、研究室での追加測定などで 3194 点の測定点に既存重力データベース (産総研地質調査総合センター (編), 2013; Shichi and Yamamoto, 2001) の測定点 947 点を加えた 4141 点でブーゲー異常図を作成した。得られたブーゲー異常には活断層に起因する浅部の情報のほかに深部構造を反映した長波長のブーゲー異常も含まれるため、フィルタリング (上方接続残差) を行い、浅部の短波長異常を抽出した。

この結果、警固断層沿いに福岡市中央区西公園付近から筑紫野市上古賀にかけて約 18 km にわたる北西-南東方向のブーゲー異常が続いていることが明らかになった。この急傾斜部の東側には大きく 3 つの低重力異常域が並行して並んでおり、北西から南東に向かうに従い急傾斜部の落差は小さくなる傾向が見られた。このうち一番落差が大きい北西の低重力異常域は北東方向への広がりも大きく、その形状は福岡市地盤図 (向山・福岡地盤図作成グループ, 1981) で指摘されている天神凹地とほぼ一致しており、赤坂～高宮～石城町をつなぐ三角形の凹地に低密度の堆積物が堆積している構造が考えられる。この凹地の南端は南区筑紫丘付近でブーゲー異常は少し高くなり、南東側の 2 番目の低異常域との区切りになっている。2 番目の低異常域は南区井尻付近から春日市須玖付近場で続いている。この低重力異常の北西側には博多温泉が位置しており、活断層に起因した低温熱水系が発達している。本温泉の酸素水素同位体の分析では、脊振山や三郡山などの標高の高い所で降った雨が地下深部に浸透し、温められた水が湧出していることが明らかにされている (篠倉ほか, 2004)。この温められた温泉が警固断層を通じて湧出していることが放射線探査や泉温調査結果との総合解釈で推定された (Nishijima and Fujimitsu, 2016)。このように、重力異常は断層の形状を明らかにするだけでなく、活断層に発達する熱水系の解明にも大きな役割を果たしている。本発表ではこのほかに水縄断層や別府-万年山断層帯などの重力異常についても紹介する。