

日本活断層学会 2021 年度秋季学術大会

一般研究発表

講演予稿集

2021 年 10 月 22 日(金) 13:00～17:30

2021 年 10 月 23 日(土) 9:00～11:45

会場: 富山大学五福キャンパス黒田講堂

(一社)日本活断層学会

10月22日（金）午後

一般研究発表（口頭）

座長：吾妻 崇

13:00 O-1 活構造・変動地形に反する予想外の大地震

遠田晋次

13:20 O-2 北京周辺の活断層の変動地形学的再検討

○中田 高・後藤秀昭・熊原康博

13:40 O-3 富山県氷見市で発見されたイベント堆積物の珪藻分析・年代測定

○立石 良・河村綾太・卜部厚志

14:00 O-4 様々なスケールで断層に発達する複合面構造とその物理的描像

○宮本 英・廣野哲朗・湯川 諭

休憩（14:20-14:40）

座長：立石 良

14:40 O-5 活断層の長期評価と地震動予測に関する理学系専門家向けアンケート調査－不確実性を有する情報の発信方法改善に向けて－

光井能麻・○鷺谷 威

15:00 O-6 日本のジオパークにおける活断層の分布と活用状況

○道家涼介・山口 勝・吾妻 崇・中埜貴元・  
安江健一・藤原広行・香川敬生・中島秀敏

15:20 O-7 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

○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



一般研究発表（ポスター）

P-1	重力探査による仙台平野南部の伏在活断層の南方延長の推定 ○安保亮汰・岡田真介・岡田知己
P-2	潮間帯化石群体の $^{14}\text{C}$ 年代測定に基づく地殻変動履歴の復元:土佐湾東岸部, 羽根岬の事例 ○塚原柚子・菅野瑞穂・後藤 翠・藤田奈津子・小松哲也・前杢英明
P-3	三河地震の変位情報を利用した特性化震源モデルの高度化に関する測地データに基づいた検証 ○近藤優花・隈元 崇
P-4	地下 30 m まで探査可能な地中レーダ探査機器の導入と活断層調査への適用 ○谷口 薫・石井一徳・木村治夫・川嶋涉造・堤 浩之
P-5	iPad Pro 簡易 LiDAR を用いた効率的な活断層調査とその可能性 ○岩佐佳哉・山中 蛍・後藤秀昭・熊原康博・中田 高
P-6	2020 年 Masbate 島（フィリピン）で発生した地震（M6.6）の地表地震断層 小村慶太郎
P-7	阿蘇外輪山北西部で新たに確認した断層変位地形と 2016 年熊本地震に伴う地表地震断層 ○中埜貴元・宇根 寛・佐藤 浩・小村慶太郎
P-8	仙台南部地域における長町-利府線断層帯の分布とその活動による地形発達への影響 中村朋暉
P-9	高密度ボーリングデータから推定される長町-利府線断層帯の活構造分布 ○高橋直也・遠田晋次
P-10	長町-利府線断層帯における 2 次元微動アレイ探査 ○鈴木晴彦・高橋直也・吉見瑤子・中村朋暉・ 乗松君衣・松山尚典・遠田晋次
P-11	断層ガウジに含まれる交換性陽イオンと全岩化学組成の関係 ○菅野瑞穂・丹羽正和・島田耕史・立石 良

- P-12 断層破碎帯の震動特性 ―中央構造線断層系三野断層―  
○香川敬生・木村一成
- P-13 飛騨高原北部に分布する稲越断層の断層露頭  
○中村耕佑・田村友識・山口弘幸・安江健一
- P-14 長野県北部，野尻湖西方で発見された活断層露頭周辺の地形・地質  
○竹下欣宏・関めぐみ・近藤洋一・花岡邦明・宮下 忠・  
中川知津子・廣内大助・野尻湖地質グループ
- P-15 糸魚川-静岡構造線活断層系白州断層の詳細な活断層分布と三次元変位ベクトルの復元  
○山中 蛭・後藤秀昭
- P-16 令和 3（2021）年度 1：25,000 活断層図の公開  
○星野賢史・小野 康・岡本勝浩・稲澤容代・前島正吉・山中崇希

10月23日（土）午前

一般研究発表（口頭）

座長：中埜貴元

- 9:00 O-8 主断層と副断層の活動の同時性：2016年熊本地震断層上での古地震調査を例にして  
○石村大輔・高橋直也・堤 浩之・遠田晋次
- 9:20 O-9 光学画像相関解析を用いた 2016 年熊本地震に伴う地表地震断層の詳細マッピング  
○杉本 惇・高玉秀之・足達健人・渋谷典幸・小俣雅志
- 9:40 O-10 熊本地震の主断層トレスから離れた位置で生じた微小変位箇所における活断層トレンチ調査結果―大津町下町トレンチ，益城町上陳東トレンチ―  
○渋谷典幸・小俣雅志・渡邊和輝・杉本 惇・足達健人・高玉秀之

休憩（10:00-10:20）

座長：石村大輔

- 10:20 O-11 熊本地震の地表地震断層主要部から離れた位置に分布する微小変位とその特徴  
○小俣雅志・渋谷典幸・杉本 惇・森 良樹
- 10:40 O-12 阿蘇カルデラ西壁に発達する正断層群の断層露頭  
○平尾 匠・佐藤涉里・内田嗣人・大久雅貴・佐野達也・向吉秀樹
- 11:00 O-13 大森―三子山リニアメントの断層露頭と地質学的累積変位量  
○向吉秀樹・松浦良彦・清水亮介・永島晴夫・山内靖喜

11:30-11:45 表彰式

昼食

## 活構造・変動地形に反する予想外の大地震

°遠田 晋次(東北大学)

Recent large earthquakes against our expectations from the viewpoints of active tectonics and tectonic landforms

°Shinji Toda (Tohoku University)

プレート境界や内陸活断層の長期評価の主要課題として、セグメンテーション、グルーピング・連動問題、伏在活断層の見落とし問題、「お付き合い断層」地表変位問題などがある（例えば、岡田, 2008; 島崎, 2008, 遠田・石村, 2020）。本発表では視点を変えて、「主要活構造上で発生した想定外の大地震」を対象に事例を紹介し、原因を分類・検討する。

### 原因 1：プレート・地殻ブロック斜め収束、断層屈曲にともなう歪み解消分離

本年 8 月 M7.2 の地震がハイチの首都の西約 125 km の地点で発生した。2010 年にも今回の東約 100 km で M7.0 の地震が発生し 30 万人を超える死者を出した。この 2 つの断層ともに 6-9mm/年の左横ずれ平均変位速度を持つエンリキロ断層沿いで発生した。しかし、同断層上に地表地震断層は認められず (Prentice et al., 2010), InSAR・GNSS による地殻変動解析から、同断層本体ではなく北傾斜の斜めずれ断層運動によってもたらされたことが明らかになった (Hashimoto et al., 2011)。同様の関係として、サンアンドレアス断層と近傍で発生した 1989 年ロマプリエータ地震 (M6.9) がある。同地震でも右横ずれのサンアンドレアス断層ではなく並走する逆断層が震源となった。両事例とも断層の屈曲や斜め収束成分を原因として、断層直交圧縮応力を逆断層系で解消するという strain partitioning が理由とされる (Schwartz et al., 1990; Calais, 2010)。

### 原因 2：長期変動に反する共役・分岐断層などによる例外活動

震源直上に限らずオフフォルト (off-fault) まで視野を広げると、第四紀後期の変動センスと逆向きの地殻変動が観測された地震が報告されている。国内の例として、1993 年北海道南西沖地震 (M7.8) での奥尻島の上下変動が挙げられる。同地震では奥尻島が西に傾いて沈降した (橋本, 1994)。これは MIS5e 海成面が約 130m に達する顕著な隆起かつ東傾動という長期変動に反する。そのため、同地震の震源断層は例外的動きだったとされている (太田, 1994)。また、音波探査による浅部地質構造から、地震時の奥尻島沈降は主となる東傾斜逆断層ではなく、共役の西傾斜逆断層の活動とわかった (森ほか, 2019)。地殻内逆断層による変動地形に反する動きは、1994 年カリフォルニア州のノースリッジ地震 (M6.7) でも認められた。同地震ではベンチュラ盆地が隆起した (USGS and SCEC, 1994)。震源断層は、1971 年サンフェルナンド地震 (M6.6) と共役系の逆断層と考えられ (Mori et al., 1995)、北海道南西沖地震の状況と類似する。なお、共役関係以外にも分岐断層が予想外の位置で活動した例も複数認められる (例えば、2018 年インドネシアの

パルー地震 M7.5 ; Fang et al., 2019).

### 原因 3 : 巨大地震やマグマ変動などの応力場反転

2011 年東北地方太平洋沖地震 (M9.0) では, 東北日本弧が東西圧縮から東西引張に変化した (Hasegawa et al., 2011). 特に, 陸側プレート先端~前弧側での応力反転は顕著で正断層型の余震活動を促し, 1 ヶ月後の福島県浜通りの地震 (M7.0) では井戸沢断層と湯ノ岳断層が活動した (堤・遠田, 2012). 両断層沿いには正断層型の変動地形が顕著で長期変動と矛盾しないが, M9 震源近傍の断層では逆から正に反転した可能性も指摘されている (Ide et al., 2011). また, 巨大地震震源域であるチリ沿岸では正断層上に逆断層運動の痕跡が認められ, 海溝型地震サイクルの応力変動で変位反転があり得るとされる (Loveless et al., 2010). 中短期的応力場の反転は火山地域のマグマの膨張・収縮過程でも起こる. マグマだまりの変動で逆断層運動と正断層運動の転換があったことが米国イエローストーンで報告されている (Puskas et al., 2007).

### 原因 4 : 下部地殻・上部マントルの粘弾性応答による余効変動・長期変動傾向との差

東北沖地震前後の地殻変動に関しては, 長期地殻変動傾向との違いから, いわゆる「ハルマゲドン地震」説 (池田, 2003) が指摘されていた. 実際の東北沖地震はその通りではなかったものの, 複数回の海溝型地震のうちの 1 つが超巨大となるというスーパーサイクル説などで長期変動と超巨大地震の矛盾点を解決しようとしている (Goldfinger et al., 2013). 一方で, 東北沖地震によって沈降した三陸沿岸域~関東はその後, 余効変動で隆起が継続している (国土地理院, 2021). このような大地震にともなう超長期地殻変動では, 地震時変動を打ち消すだけではなく反転することもあり得る. しかし, 震源断層 (地表地震断層) 上で動きが反転したとか, 地震後に周辺で新たに断層が出現したとする報告はない.

地球上の大半の大地震は第四紀後期の変動場・応力場と調和的であり, ここで取りあげた事例は例外とみても良いだろう. また, 東北沖地震など超巨大地震 (セグメンテーション問題) を除いて多くは M7 以下であり, 主要活構造の評価の範疇に収まる. しかし, 「例外」や「外れ値」であっても, その要因をさぐることで多様な地震発生のメカニズムの理解向上につながる. 不確実性の 1 つとしてハザード評価へ取り入れることもできよう. 特に, 例外事象が許されない原子力発電所などの最重要構造物の安全性向上のためには無視できない研究課題である.

文献 : Calais et al., 2010, Nature Geosci., 3, 794; Fang et al., Remote Sens., 2019, 11, 1330; Goldfinger et al., Seismol. Res. Lett., 2013, 84, 24; Hasegawa, A., 2011, EPS, 63, 35; 橋本ほか, 1994, 月刊海洋号外, 7, 35; Hashimoto et al., 2011, Nature Geosci., 4, 255-; Ide et al., 2011, Science, 332, 1426; 池田, 2003, 月刊地球, 25, 125; 国土地理院, 2021, 地震予知連会報, 105; Loveless et al., 2010, Tectonophysics, 29, TC2001; Mori et al., 1995, Geophys. Res. Lett., 22, 1033; 森ほか, 2019, 地震, 71, 233; 岡田, 2008, 活断層研究, 28, 7; 太田, 1994, 月刊海洋号外, 7, 70; Prentice, 2010, Nature Geosci., 3, 789 ; Puska et al., 2007, J. Geophys. Res., 112, B03401; Schwartz et al., 1990, Geophys. Res. Lett., 17, 1207; Scientists of the USGS and SCEC, Science, 266, 389; 島崎, 2008, 活断層研究, 28, 41-; 堤・遠田, 2012, 地質学雑誌, 118, 559-; 遠田・石村, 2020, 第四紀, 58, 121.

## 北京周辺の活断層の変動地形学的再検討

中田 高・後藤秀昭・熊原康博（広島大学）

### Re-evaluation of the Active faults around Beijing, China by Tectonic Geomorphological Interpretation

Takashi Nakata, Hideaki Goto and Yasuhiro Kumahara (Hiroshima Univ.)

**1. はじめに** 発表者らは、Google Earth 上に ALOS 30 アナグリフ画像を展開して形を判読した後藤（2015）の手法を用いて、「アジアのデジタル活断層図」の作成を行なっている。

中国では、既存の研究成果をもとに作成された全国の活断層分布を示すデジタル活断層図が公開されている（Wu and Zhou, 2008）。この図では、北京周辺の低地に北東-南西および北西-南東走向の伏在活断層が認定されている。これらの断層については首都に重大な被害を及ぼす地震の発生源となる可能性があり、活断層に議論されている。しかし、多くの研究で変動地形学的な見地に基づく詳細な検討が不十分であり、これまでの活断層認定の信頼性が十分に担保されているとは言えない。発表者らは、断層変位地形をもとに北京周辺の活断層の再検討を行い、新たな知見を得たので報告する。

本研究で判読に用いた地形データの解像度は約 30m であり、今後さらに詳細な検討が必要であり、大きな地形改変前の CORONA 衛星画像を用いて地形判読を続ける予定である。

**2. 北京市低地部の活断層** 中国の首都・北京周辺の活断層については、1980 年代から多くの研究があるが、初期の論文の多くが中国語で書かれており、初出を把握することは容易ではない。ここでは、Wu and Zhou（2008）や He and Tsukuda（2003）などを参照して北京周辺の既知の活断層と本研究で認定した活断層の分布とその特徴を述べる。

北京市東部に位置する Xiadian 断層は、北東-南西走向の数本の並走する断層線によって構成され、その位置は第四紀層の厚さが急変する場所にほぼ一致しており、これを境に地下水汲み上げに伴う地盤沈下が続いている（Zhou et al, 2018）。本断層は 1679 年地震の震源断層と考えられており、活動歴の解明が進んでいる（Ma et al. 2018; Yu et al., 2019; Wang Y. et al 2021）。しかし、トレンチで出現した断層はいずれも正断層であり、東西圧縮の応力場のもとで想定される地域の活断層の特徴と整合的ではない。断層変位地形も不明瞭であり、

北京市市街地北部を北西-南東に横切る Nankou-Sunhe 断層も、断層変位地形は極めて不明瞭である。この断層を横切って、トレンチ調査（Jiang et al., 2002）やボーリング調査（Zhang S. et al., 2008; Zhang L. et al., 2014）が行われ、活動履歴が示されている。この断層も第四紀層の厚さが急激に変化する地下の直線線状の崖にそって発達し、顕著な地盤沈下が発生している（Hua L. et al ., 2019）。

北京市西北部を北東-南西に横切る Huangzu-Gaoliying 断層（Xu et al., 1992）に沿っても変動地形学的な証拠が見出せない。Cheng et al.（2015）は、Gaoliying 断層に沿って発生した地表破断を横切ってトレンチ調査を行い、その原因を地下水の汲み上げによる地盤沈下と断層運動の両方に求めた。しかし、地表破断は現在も継続しており（Hua et al., 2019; Wang H. et al., 2019）、テクトニックな現象ではないことは確実である。

したがって、変動地形学的な証拠がほとんど認められない低地部の多く断層は、活断層の可能性が極めて低いと考えられる。



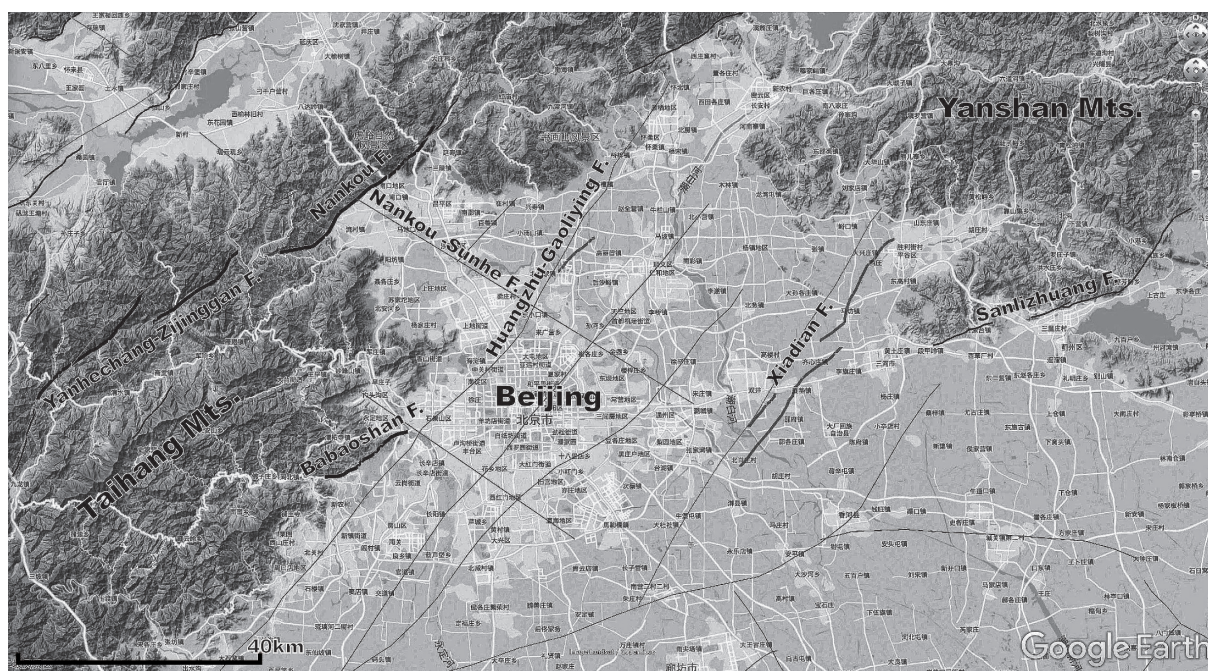


図1 北京周辺の活断層 灰色の直線的な細線はWu and Zhou (2008) による活断層  
黒曲線は変動地形学的に認定された活断層, 太線: 活断層, 細線: 推定活断層  
Xiadian 断層の太線は Wang Y. et al. (2021), Gaoliying 断層の太線は Hua et al. (2019)

**3. 北京市周辺山地部の活断層** 太行山脈 (Taihang Mts.) 北部の山地や平野との境界部には, 明瞭な断層変位地形を伴う活断層が発達する. Yanhechang - Zijingan断層は山地の北部の山地内に発達する北東-南西走向の活断層である. 北部のYanjiataicun周辺では, この断層を横切る谷に系統的な右屈曲が認められ, この断層は右横ずれ断層と認定される.

Nankou断層は北京市の北西の太行山脈と平野の北東-南西に延びる直線的な境界部に発達する正断層と推定された活断層である (Huang et al., 1991; He and Fang, 1995). しかし, この断層の中央部にあたるKanglingcum-Shuiquangouの間では, 断層を横切って流下する谷に系統的な右屈曲が認められることから, 右横ずれ変位を主体とする活断層であると考えられる. 谷の屈曲量は数十mから1kmと異なるが, 上流の長い谷ほど屈曲量が大きい傾向があることから断層変位の累積性が推定される.

Babaoshan断層は北京市市街地の西に隣接する山地と丘陵の境界に位置する東北東-西南西走向の活断層である. この断層を横切る谷にも系統的な右屈曲が認められる. しかし, この断層の北西延長是北京の中心市街地となり, 変動地形学的に解明することは困難である.

北京市の東, Yanshan (燕山) 山地の南麓は, 低地との間に東北東-西南西走向の直線的な地形境界があり, これに沿って Sanlizhuang 断層が発達する. 断層を横切る谷には右屈曲を示すものが多いが, 地形の人工改変が進んでおりその系統性を確認できなかったため, 確実な活断層かどうかを判断するのは困難であった. 一方, この断層の西方延長には低地を挟んで全述の同じ走向の Babaoshan 断層があり, 今後, 両者の関係を解明する必要がある.

**謝辞** 本研究は科学研究費補助金 (基盤研究 B, 18H00766) および中部大学の問題複合体を対象とするデジタルアース共同利用・共同研究 IDEAS202113 の助成を受けた.

## 富山県氷見市で発見されたイベント堆積物の珪藻分析・年代測定

° 立石 良（富山大学）、河村綾太（㈱建設ドットウェブ）、  
ト部 厚志（新潟大学）

### Fossil diatom analysis and radiocarbon dating of event deposits found in Himi city, Toyama prefecture

Ryo TATEISHI, Ayata KAWAMURA, Atsushi URABE

- 1. 研究目的・研究方法** 立石・河村（2020）は、富山県氷見市島尾地区の浜堤背後の低地計 15 地点で打ち込み式サンプラーを用いてコアを採取し、堆積環境の復元とイベント堆積物の識別、 $^{14}\text{C}$  年代測定を行った（図 1）。その結果、調査地域の地層は浜堤の堆積物と、浜堤背後の凹地を埋積した湿地や池、沼の堆積物からなることが分かった（図 2）。またこの凹地の堆積物から、イベント堆積物を A～F の計 6 層抽出し、A 層の直下の  $^{14}\text{C}$  年代が 2,270-2,155 cal BP であることを示した。本研究では、これらのイベント層の成因と形成年代を特定することを目的として、イベント層 A～E の珪藻分析と、各層準の  $^{14}\text{C}$  年代測定を行った。なお、珪藻分析は㈱パレオ・ラボに、年代測定は㈱加速器分析研究所に依頼した。
- 2. 結果** 珪藻分析の結果、イベント層 B、C のみに海水種が含まれること、いずれのイベント堆積物にも骨針化石／有孔虫／放散虫は含まれないことが分かった。 $^{14}\text{C}$  年代測定の結果、イベント層 B、C の年代は約 5600 年前～約 3500 年前、イベント層 D の年代は約 3800 年前～約 2700 年前、イベント層 E の年代は約 900 年前～約 800 年前であった。
- 3. イベント層の成因** 珪藻分析の結果、海水種が検出されたイベント層 B、C は、湿地の堆積物に挟まれる石英粒子に富む中粒砂層として認識され、いずれも下位層との境界が明瞭である（図 3）。これらの特徴は、藤原（2004）や七山・重野（2004）が指摘した津波堆積物の特徴と一致する。また調査地域の北にある浜堤がイベント層堆積時には既に存在していたと考えられることから、イベント層 B、C の成因は津波の可能性がある。
- 4. 既知のイベント堆積物との対比** 日本海地震・津波調査プロジェクト（2013-2020）は、富山湾地域の各地でボーリング調査を行ってイベント堆積物を対比している。この中で、本研究の調査地域に近接する富山県氷見市の十二町潟、富山県射水市の放生津潟、足洗潟で確認された EV-6 の年代は約 4700 年前～約 4500 年前とされている（ト部、2015）。すなわち、イベント層 B、C は EV-6 と対比される可能性がある。

＊本研究は、新潟大学災害・復興科学研究所共同研究費（2020-8）の助成によって行われた。

〔引用文献〕 藤原 治，2004，地質学論集，58，35-44.，後藤和久・箕浦幸治，2012，堆積学研究，71，105-117.，七山 太，重野聖之，2004，地質学論集，58，19-33.，立石 良・河村綾太，2020，堆積学研究，79，27-36.，ト部，2015，平成 27 年度「日本海地震・津波調査プロジェクト」第 1 回運営委員会配布資料。



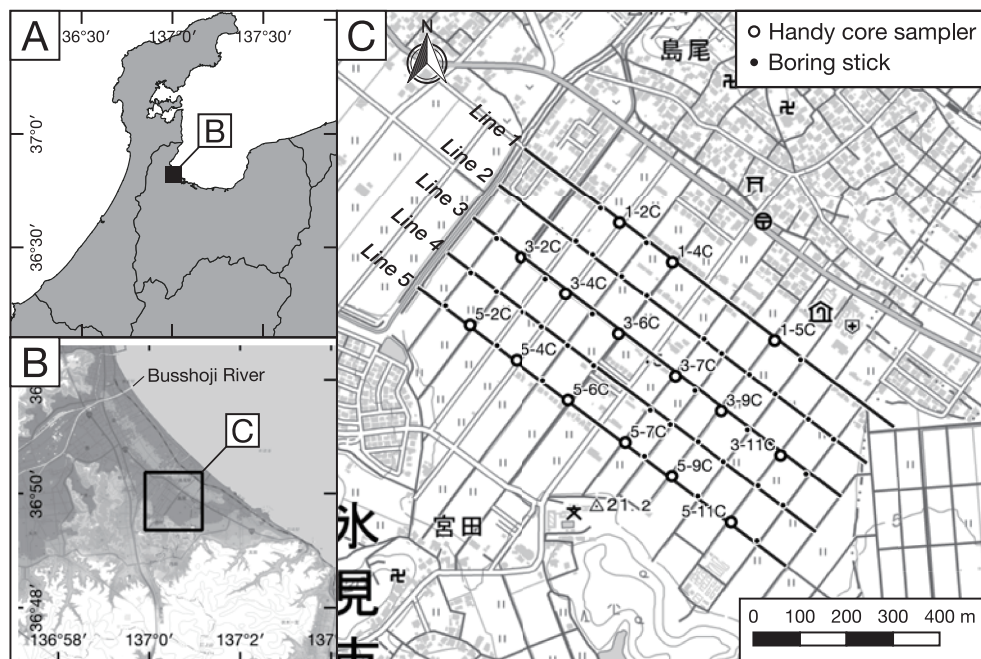


図 1 調査位置図

国土地理院 5m メッシュ DEM および地理院タイルを使用

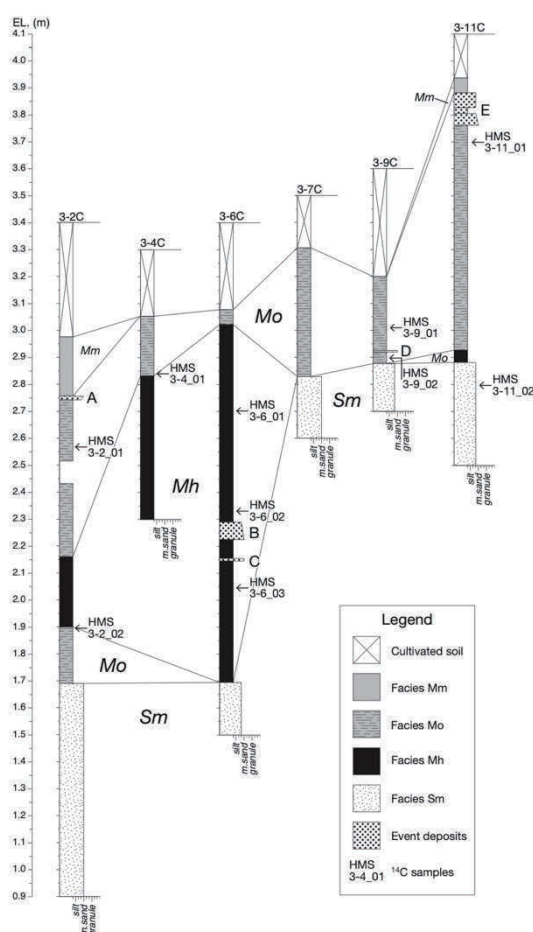


図 2 Line 3 の柱状図

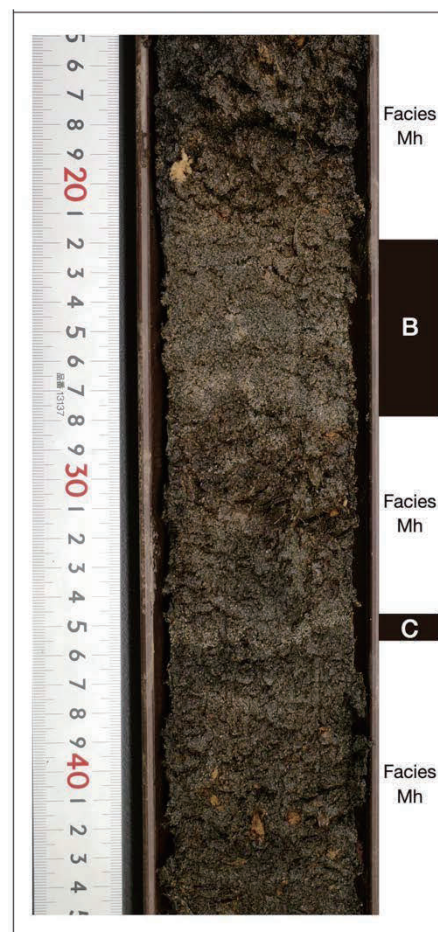


図 3 イベント層 A, D

## 様々なスケールで断層に発達する複合面構造とその物理的描像

○宮本 英, 廣野 哲朗, 湯川 諭 (大阪大学)

### Investigating physical properties of composite planar fabrics developing in fault zones at various scales

○Takeshi Miyamoto, Tetsuro Hirono, Satoshi Yukawa

#### 1. はじめに

複合面構造は、地震時の断層運動のようなせん断作用により形成される変形構造である。複合面構造にはスケール依存性が無く、マッパブルなスケールから露頭での断層や摩擦実験後の模擬断層ガウジの顕微鏡画像スケールにおいてもその発達が確認されている。これまでの主に摩擦実験や数値計算を用いた研究では、複合面構造の発達には変位量 (Marone and Sholz, 1989) や垂直応力 (Gu and Wong, 1994), ガウジの厚さ (Byerlee et al., 1978), 粒径 (Gu and Wong, 1994), 粒径分布 (Morgan and Boettcher, 1999) が影響因子であることが報告されている。しかし、せん断作用の基本的な物理量である速度に対する依存性は未だ統一的に調べられていない。そこで、本研究では幅広い速度での摩擦実験を実施し、実験後試料の薄片を作成・観察する。さらに、数値計算によりせん断を受けている粒子の物理的状態を解析する。

#### 2. 手法

摩擦実験には回転式せん断摩擦試験機を使用し、0.0002–1 m/s と 5 桁にわたる速度を採用した。試料にはミルで粉碎した石英砂を用い、垂直応力と変位量はそれぞれ 2 MPa, 10 m で統一した。実験後試料の薄片を作成し、偏光顕微鏡を用いて模擬断層ガウジ中の変形構造を観察した。数値計算には個別要素法 (Discrete Element Method; DEM) を用い、せん断と慣性力の関係を表す無次元量である Inertial number を実験と同一の値となるように設定した。計算は 3 次元 (x-y-z 座標) で実施し、z 方向に垂直応力をかけ、x および y 方向には周期的境界条件を課すことで、薄片観察の領域に含まれる粒子の状態を再現した。

#### 3. 結果と予察

摩擦実験の結果、全ての速度において変位量 10 m で定常状態に達し、摩擦係数はすべり速度 1 m/s ではすべり弱化を示して 0.2 程度、0.1, 0.01 m/s では緩やかな弱化を示して 0.6 程度、低速 0.001, 0.0002 m/s では安定的なすべり挙動を示して 0.8 程度だった。薄片観察の結果、P 面方向と調和的な粒子配列や母岩との境界付近にせん断方向と平行に発達した boundary shear が確認された。数値計算については、現在、進行・解析中であるが、複合面構造の発達の物理的背景には、系の応力分布と粒子間の力の伝播が根本的な素因と考えられる。さらに様々なスケールで確認されることは、地表付近の土壌・岩石を粉粒体と見なした上で Inertial number の物理的概念より説明できるであろう。

## 文献

1. Marone. C., and Sholz, C. H. (1989), J. Struct. Geol., 11, 797-814.
2. Gu, Y. and Wong, T.-f. (1994), PAGEOPH, 143, 387-423.
3. Byerlee. J. et al. (2011), J. Geophys. Res., 116, B08404.
4. Morgan. J. K. and M. S. Boettcher. (1999), J. Geophys. Res., 104, 2703-2719.

活断層の長期評価と地震動予測に関する理学系専門家向けアンケート調査  
 —不確実性を有する情報の発信方法改善に向けて—

光井能麻・<sup>○</sup> 鷲谷威（名古屋大学減災連携研究センター）

Questionnaire survey for experts

on long-term evaluation of active faults and evaluation of ground motion

Noa Mitsui, <sup>○</sup> Takeshi Sagiya

(Disaster Mitigation Research Center, Nagoya University)

活断層で起きる地震に備えるには、ハザード情報の適切な提供が必要である。しかし、活断層の情報は不確実性を有する。例えば、一つの断層帯における震源断層の区間を正確に決定できないという不確実性が、マグニチュードや再来間隔、地震動の大きさの不確実性を生じる。

この問題に対して現在は、活断層地震に関する確率を計算し、公表する方法で対処している。具体的には、各活断層帯において今後 30 年以内に発生する M7.0 以上の活断層地震を確率で表し、確率に応じたランクで発表する方法（主要活断層の長期評価）ならびに、各地域における M6.8 以上の活断層地震の発生確率を発表する方法（活断層の地域評価）が地震調査研究推進本部（以降、地震本部）によって行われている。

確率を用いた対処方法について、活断層の長期評価内容を国民にわかりやすく伝えられるように表現を工夫してきたことを高く評価する声もある（山口、2008）。一方、これらの評価が適切に理解されず、本来の意図とは異なる形で使用される事例が指摘されている。また、別の視点からの批判として、Geller (2011) は、確率論的地震動予測地図で高い発生確率を示す場所が過去約 30 年間の被害地震の発生場所と一致しないことを示している。地球科学的に算出される地震動予測地図と、人間の時間スケールで把握できる被害地震が一致しないということは、地震動予測地図は元々人間が理解しにくい情報である可能性を示す。

これらの状況を考慮して我々は、最初の取り組みとして、現在の活断層情報の伝え方、すなわち、地震本部による公表結果（活断層の長期評価と地震動予測）の適切さを検討する。公表結果の受け止め方に関する調査は、地震本部が一般国民や地方公共団体を対象に行っている（文部科学省、2011-2019）。一方、活断層や地震に関する専門家の意見は、長期評価や地震動予測の作業過程では反映されているが、公表結果の認知度や評価は明らかになっていない。

そこで本研究では、長期評価や地震動予測地図の公表結果について、活断層や地震の専門家へのアンケート調査を実施した。調査対象は、日本活断層学会会員 262 人および日本地震学会代議員 123 人である。調査期間は令和 3 年 2 月 22 日～令和 3 年 3 月 4 日（日本活断層学会は令和 3 年 2 月 24 日～令和 3 年 3 月 4 日）である。インターネット上のセルフアンケートサイト Questant を利用したウェブ調査を行い、各学会のメーリングリストを通じて、回答の協力を依頼した。有効回答数は全体 47 件（うち、回答者の所属学会は、活断層学会のみ 36.2%、地震学会のみ 27.7%、両学会 34.0%）であった。



アンケート結果から、まず、自治体職員には活断層に関する情報を幅広く知っていて欲しい、という期待の高さが読み取れた。

また、改善案の検討で参考にすべき下記の回答傾向が得られた。

1. 科学的妥当性&信頼性を重視
2. 長期評価等の発信方法：改善の余地が多い
3. 他機関との連携の必要性
4. 評価と災害と関係を述べる必要がある
5. 公表結果の活用方法について言及することが必要
6. 外部の知見を取り入れる必要がある

その他、情報提供先の区別や新手法への評価など、意見が分かれる検討課題の存在も明らかになった。例えば、委員経験の有無によって「活断層の地域評価」の認知度の違いや、他機関との連携に関する考え方の違いが見られた。後者について、委員経験のない回答者は「情報を受け取る側（住民や自治体）」の視点に立ち、利便性の改善や知識の理解度を考慮した意見が多かった。一方、委員経験者は「情報の発信側（政府）」の視点に立ち、各省庁の目的の違いや、情報を統一する正当性を考慮した意見がしばしば見られた。このように、専門家間でも一つの問題に対して視点の違いに基づく意見の違いがみられたことは重要である。また、このような意見の違いは、専門家間の議論によって、解決策を示せる可能性が考えられる。

上記の意見を、一般国民ならびに地方公共団体を対象とした調査結果（文部科学省、2011-2019）と比較した。その結果、住民は知識より予測される災害を重視する点、地方公共団体は情報源の信頼性や発信方法の改善を求める点など、専門家と共通する意見が多くみられた。また、これらの比較により、専門家を含めた情報発信側の課題も明らかになった。例えば、知識を得る重要性を含めて住民に伝えるよう工夫する、市区町村の防災が中央防災会議や都道府県の指針に沿って行われていることをふまえて情報提供方法を改善する、などの課題が挙げられる。

上記の意見や検討課題は、多角的な視点から具体的な改善策を検討すべきである。そのため、地震動や災害関連などの専門家や地方公共団体の防災担当者、防災関連団体、地域住民への調査を行い、意見を集約して改善案の提案につなげることが今後の課題である。

謝辞

本調査研究においてアンケート調査にご協力いただいた日本活断層学会ならびに日本地震学会の皆様へ感謝の意を表します。

## 日本のジオパークにおける活断層の分布と活用状況

○道家涼介(温地研)・山口 勝(日本放送協会)・吾妻 崇(産総研)・  
中埜貴元(国土地理院)・安江健一(富山大学)・藤原広行(防災科研)・  
香川敬生(鳥取大学)・中島秀敏(測技協)

## Distribution and Utilization of Active Faults in Geoparks of Japan

○Doke R. (HSRI), Yamaguchi M. (NHK), Azuma T. (AIST),  
Nakano T. (GSI), Yasue K. (Univ. Toyama), Fujiwara H. (NIED),  
Kagawa T. (Tottori Univ.), Nakajima H. (APA)

ジオパークとは、地球科学的に価値のあるサイトや景観を有するエリアにおいて、保護活動、教育活動、ジオツーリズムなどの活動を通して地域の持続可能な開発を行う、ユネスコによるプログラムである。2021年4月現在、日本では43地域が日本ジオパークとして認定されており、このうち9地域がユネスコ世界ジオパークに認定されている。さらに、13地域がジオパークを目指す地域（準会員地域）として活動を行なっている。また、世界には、44ヶ国に169地域のユネスコ世界ジオパークが存在する。

他国のジオパークとは異なる日本のジオパークの特徴として、日本列島全体が変動帯に位置し、多くのジオパークにおいて「変動する大地」をテーマにしていることである。日本列島は、地震・津波、火山活動、水害、土砂災害などの多くの自然災害の危険にさらされており、各地のジオパークにおいては、防災教育などの取り組みも積極的に行われている。防災教育やガイドによるジオツアーにおいては、大地を形づくった変動・自然災害だけではなく、それによってもたらされた恩恵も伝える教育普及活動が行われている。

日本活断層学会では、2016年に日本地震学会と阿蘇ユネスコ世界ジオパークなどと共催で、熊本地震住民説明会を開催した（山口、2020）。また、2018～2020年まで、ジオパークの認定に係る日本ジオパーク委員会の委員を推薦・派遣してきた。さらに、2021年7月に新たに発足した日本ジオパーク学術支援連合にも参画している。活断層は、活火山と並び、日本の大地の変動を象徴するものであり、活断層に係る研究者が、ジオパーク活動を支援することには大きな意義がある。一方で、活断層は、「活火山」における「温泉」の様に、「災い」に対する「恵み」の部分が実感しづらいということもあり、地元自治体にとっては負の側面のみが認識されている場合もある。そのため、活断層を地球科学的に価値のある遺産として捉え、各地のジオパーク活動においてどの様に活用していくかという点について、活断層の専門家の協力が不可欠と言える。

日本活断層学会普及教育委員会では、各地のジオパーク活動を支援するため、現状把握として、日本国内のジオパークにどの程度の活断層が分布しており、それらがどの様に活用されているかについての調査に着手した。調査内容は、1) 既存活断層分布図を用いたジオパークエリア内および周辺における活断層の分布実態の把握、2) アンケート調査（現在実施中）に基づく活断層の活用状況の把握、である。

図1は、既存の活断層分布図とジオパークのエリアを重ね合わせたものである。これによれば、約半数近くのジオパークにおいて活断層が分布していることがわかる。活断層をジオサイトなどとして活用している例として、三笠(石狩低地東縁断層)、八峰白神(高野々断層)、鳥海山・飛島(庄内平野東縁断層帯)、磐梯山(川桁断層)、佐渡(国中南断層)、立山黒部(跡津川断層、魚津断層)、白山手取川(森本・富樫断層帯)、南アルプス(中央構造線)、箱根(箱根町断層、夕日の滝断層)、伊豆半島(丹那断層)、山陰海岸(郷村断層、鹿野断層、田結断層)、萩(木戸山西方断層)、島原半島(千々石断層)、阿蘇(布田川断層)などが挙げられる。

(各ジオパークのホームページで確認ができたものを例としてあげている。断層名については、それぞれのジオパークで用いられている表記にしたがった。直接の活断層の地形や露頭だけではなく、土地利用なども含めた広い意味で関連するサイトを含む)。

また、現在実施中のアンケート調査により、活断層に関連するジオサイトの正確な活用状況を把握する予定である。その他に、エリア外の活断層、活断層では無い断層も含め、その活用状況についても調査を行う。学会発表当日は、アンケート調査結果も踏まえて報告を行う予定である。

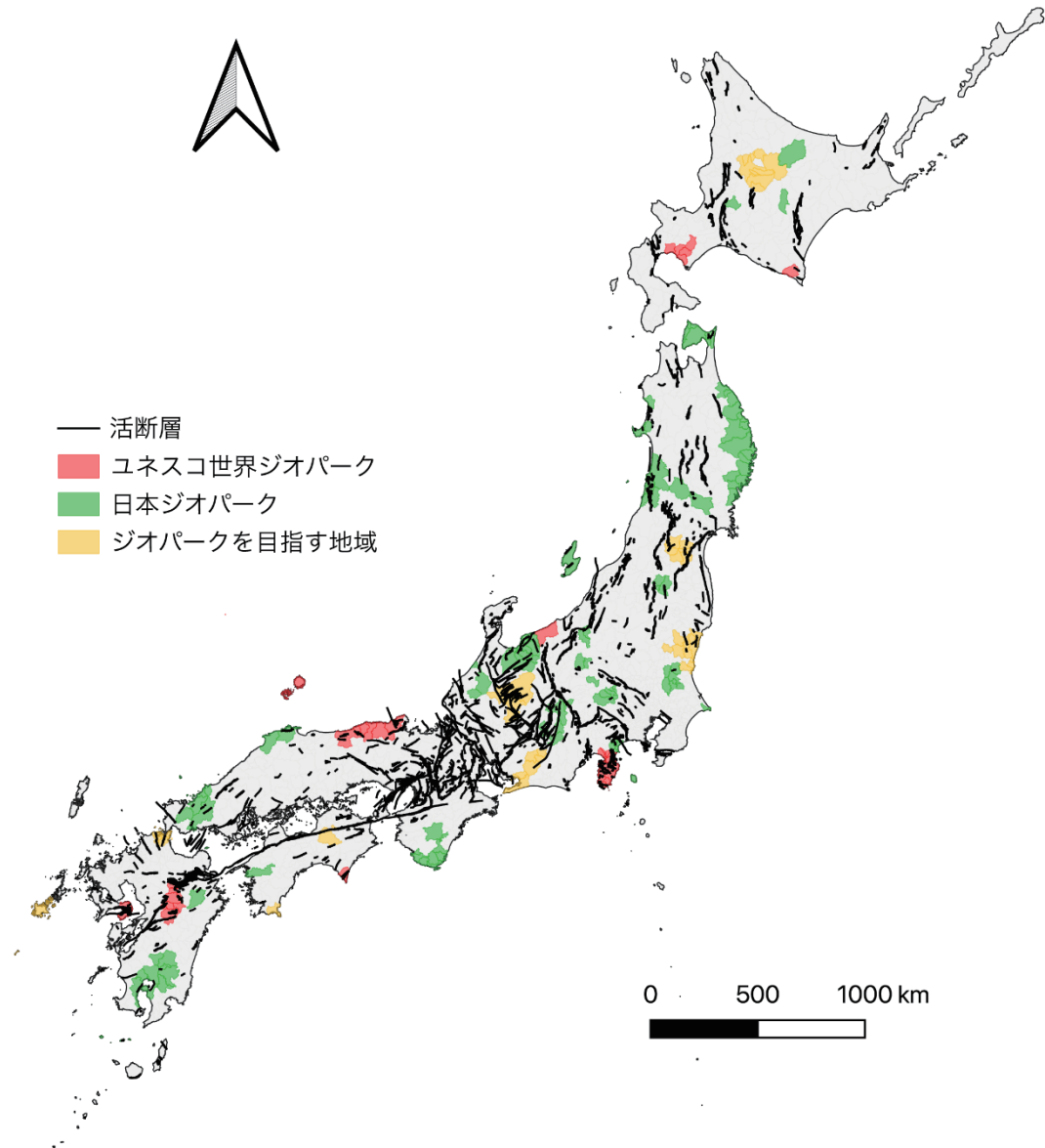


図1 日本列島における活断層の分布とジオパークのエリア

活断層は、中田・今泉編(2002)「活断層詳細デジタルマップ」および産業技術総合研究所の活断層データベースに基づく。ジオパークのエリアは、ジオパークを構成する自治体に基づき着色している。一部、行政界をエリアの境界としていないジオパークがあるため、実際のエリアとの間で差異がある場合がある。

参考文献 山口勝(2020)「活断層」×「ジオパーク」：変動する日本列島を語るコンテンツ  
日本活断層学会 2020 年度秋季学術大会講演予稿集 シンポジウム, S-5, 50-51.

## 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

吾妻 崇<sup>○</sup>（産総研）・中埜貴元（国土地理院）・藤原広行（防災科研）・  
中島秀敏（測技協）・安江健一（富山大学）・道家涼介（温地研）・  
香川敬生（鳥取大学）・山口 勝（日本放送協会）

Human resource development through collaboration between research institutions  
and academic society -Report on the 3rd “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-

Azuma, Takashi<sup>○</sup> (GSJ/AIST), Nakano, Takayuki (GSI), Fujiwara, Hiroyuki (NIED)  
Nakajima, Hidetoshi (APA), Yasue, Kenichi (Toyama Univ.), Doke, Ryosuke (HSRI),  
Kagawa, Takao (Tottori Univ.), Yamaguchi, Masaru (NHK),

### 1. はじめに

日本活断層学会では、普及教育事業の1つとして、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と共催し、学生・院生を対象にした「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2018年と2019年に開催してきた（山口ほか，2018；吾妻ほか，2019）。この事業は少なくとも3回は実施する予定で企画していたが、3年目の2020年には新型コロナウイルス感染拡大により、開催の中止を余儀なくされた。感染拡大の状況は2021年に入っても衰える見込みがないため、第3回はオンライン会合の形式で開催することになった。開催期間は2021年9月15-17日である。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等に基づき、これまでに3回に渡って開催した本行事の総括的な報告を行う。

### 2. 行事のねらい

本行事は、幅広い分野の学生・院生に活断層調査・研究の現状と魅力を知ってもらうとともに、若手研究者の育成とこの分野に関連したキャリアパスの提示を主な目的としている。1995年に地震調査研究本部が設置されて以降に実施されている全国主要活断層帯の調査観測は、25年以上が経った現在でも続けられている。事業規模は徐々に小さくなるものの、調査が必要な活断層は現在でも数多く存在し、活断層及びそこから発生する大地震へ関心は今なお高い。一方で、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。これまで2回の開催では、本行事が、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なっていた。また、研究機関の現場を知ることによって活断層を学んだことが活かせるキャリアパスの一つを体験できる機会ともなっている。



### 3. 期待される成果

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。本行事に参加して活断層に関わる調査研究の多彩な面を学んだ人材は、今後の活断層研究分野にとって大きな戦力となるはずである。仮に、参加者が研究者の道に進まないとしても、ここで学んだ情報は将来携わる仕事や日常生活の中における地震防災活動において役に立つことが期待される。

### 4. オンライン開催のメリット/デメリット

今年度の開催にあたって、当初は現地開催の予定で参加者の募集を開始したが、8月中旬になって首都圏を中心に緊急事態宣言が発令される状況であったため、オンライン開催へと変更し、既に参加申込み済みの学生・院生へその旨を周知するとともに、申込期限を延長して参加者を再募集した。結果として過去2回を上回る参加者が集まった。とくに、首都圏以外の大学からの参加申込みが多いことは注目すべき点である。第1回では関東圏以外の大学からの参加者は4割程度（19名中9名）であったが、今回は7割近く（26名中18名）となっている。一方で、一番の問題点は、写真判読のような実習の実施が困難である点である。空中写真を用いた地形判読は活断層調査の根幹的な作業であるが、これをオンラインで実施するのは困難である。アナグリフを用いた実習の実施も検討したが、赤青メガネの事前送付などが生じること、また、オンラインの講義を午前と午後の両方にわたって受けるのは厳しいと思われるので開催を午後だけに限定したこともあり、実習時間が十分に確保できないことから、今回は実際の活断層図を事例とした断層地形判読の解説のみを行うこととした。また、各研究機関に併設されている施設の見学も現地開催ならではの魅力ではあるが、今回は国土地理院において「地図と測量の科学館」の紹介動画の上映と電子基準点のバーチャル見学を、産総研では「地質標本館」のバーチャルツアーをそれぞれ行なった。自由に移動ができるようになった暁には、参加者につくばまで来て頂いて時間をかけて見学して頂けることを期待している。

### 引用文献

- 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.

### 主断層と副断層の活動の同時性：

2016 年熊本地震断層上での古地震調査を例にして

- 石村大輔（東京都立大学）・高橋直也（東北大学）・  
堤 浩之（同志社大学）・遠田晋次（東北大学）

Simultaneity between primary and distributed fault ruptures: Paleoseismic survey on the primary and distributed surface ruptures associated with the 2016 Kumamoto earthquake

Daisuke ISHIMURA, Naoya TAKAHASHI, Hiroyuki TSUTSUMI, Shinji TODA

#### 1. はじめに

2016 年に発生した熊本地震では、布田川断層と日奈久断層北端に加えて、その周辺に広域に渡って地表地震断層（以後、地震断層）が出現した。この地震では、いわゆる主断層と副断層とに単純に分けられないほど多くの地震断層が出現した（Fujiwara et al., 2016）。これらは、両主断層沿いに出現した短い地震断層や分岐・共役断層、地下で布田川断層に収斂すると推定される出ノ口断層沿いの地震断層、一部活断層として認識されていた阿蘇カルデラ外輪山北西部の断層群上の地震断層、阿蘇カルデラ内など活断層が図示されていなかった地域に出現した地震断層（例えば宮地断層）などが挙げられる。当研究グループでは、これら副断層の活動履歴を明らかにするとともに、主断層との活動の同時性を議論するために、計 3 つのトレンチサイトを設定し、古地震調査を行った。1 つは、2016 年以前に活断層が認定されていなかった阿蘇カルデラ内の宮地断層（Ishimura et al., 2021）、2 つ目は布田川断層との構造的な関係が推定されている出ノ口断層、3 つ目は主断層である布田川断層である。

#### 2. 研究方法

いずれのトレンチでも、トレンチ壁面のフォトモザイク作成、壁面記載、サンプリング（放射性炭素年代測定とテフラ分析のため）を行い、必要であればトレンチ底の掘削調査を行った。各トレンチで、断層による切断・変形を指標にイベント層準を認定し、その上下の放射性炭素年代値を用い、OxCal (Bronk Ramsey, 2009) により断層イベント年代を推定した。

#### 3. トレンチ掘削結果

宮地断層に関して、詳細は Ishimura et al. (2021) で報告した。トレンチ壁面には、杵島岳スコリア、往生岳スコリア、N2 スコリアといった阿蘇火山を給源とする完新世のテフラが複数確認された。断層イベントは、このようなテフラと土壌の互層に記録された断層の切断関係と上下方向の累積変位量を指標にして認定された。このトレンチでは、約 4,000 年前以降に 2 回の断層イベントが確認され、最新のイベントが 2016 年、1 回前のイベントが約 2,000 年前であった。

出ノ口断層に関しては、その共役断層である南落ちの地震断層が出現した地点でトレンチ調査を行った。トレンチ壁面には鬼界アカホヤ（K-Ah : 7,300 年前（Smith et al., 2013））テフラを含む約 15,000 年前以降の地層が連続的に露出した。トレンチ壁面には、南落ちを

示す主たる正断層と多様な変位センスを示す副次的な断層が出現した。断層の切断関係と亀裂充填堆積物から、K-Ah テフラ以降に 2016 年イベントを含む最大 4 回の断層イベントが推定された。

布田川断層に関しては、石村（2019）で報告された断層露頭の東延長部でトレンチ調査を行った。トレンチサイトには、右横ずれを示す地震断層と南落ちを示す地震断層が出現した。これら 2 条の断層に対して、断層イベント認定の確実度を上げるために計 5 つのトレンチを掘削した。壁面には、草千里ヶ浜軽石（Kpfa : 32,500 年前（McLean et al., 2020））、始良 Tn（AT : 約 30,000 年前（Smith et al., 2013））テフラと K-Ah テフラが認められ、最近 3 万年間の地層が連続的に露出した。断層の切断関係と累積上下変位量から、3 万年前以降の断層活動が両地震断層で認められた。最近の活動に関しては、K-Ah テフラ以降に 2016 年イベントを含む最大 4 回の断層イベントが推定された。

#### 4. 3 つのトレンチにおける K-Ah テフラ以降の断層活動の同時性

上記の結果から、K-Ah テフラ以降には、2016 年を含み最大 4 回の断層活動が推定され、いずれのトレンチでも熊本地震に先行する断層活動が約 2000 年前に推定された。また出ノ口断層と布田川断層の 2 回前と 3 回前の断層活動の年代も重なる。放射性炭素年代測定の誤差を考えるとこれらの断層が別々に活動した可能性を否定することはできないが、2016 年熊本地震で起きた現象を鑑みると、本研究でトレンチ調査を行った宮地断層や出ノ口断層は過去にも布田川断層と同時に活動した可能性が高い。また、異なるメカニズムで布田川断層と同時に活動したと考えられる宮地断層と出ノ口断層が過去にも布田川断層と同時に活動していたことは、活断層のグルーピングや変位ハザードを評価する上で重要な情報である。

ただし、このような議論は 2016 年熊本地震による活動の同時性が担保されるために後ろ向き（retrospective）に評価できるものである。したがって、事前（prospective）に断層活動の同時性や主断層と副断層の関係を論ずることは困難である。ただし、熊本地震のように同時活動をもたらした断層の分布形態、変位センス、静的・動的応力変化などを精査し、それらの主断層と副断層を特徴づける項目を抽出することで、他の活断層の評価に適用できる可能性がある。今後は、このような特徴抽出・データ拡充を進めるため、他の副断層上でも古地震調査を実施することも必要であると考えられる。

【謝辞】 トレンチ掘削調査は、多くの学生（東京都立大学、千葉大学、同志社大学、広島大学）の協力なくして成し得なかった。トレンチ掘削に際しては、熊原康博氏（広島大学）、市原季彦氏（堆積環境リサーチ）、高田圭太氏（復建調査設計）、坂本忠夫氏（新宮建設）にはお世話になった。またトレンチ掘削用地の地権者には、快く調査を快諾いただいた。ここに記して感謝の意を表します。

【引用文献】 Bronk Ramsey (2009) Radiocarbon, 51, 337-360. Fujiwara et al. (2016) EPS, 68, 160. Ishimura et al. (2021) EPS, 73, 39. 石村（2019）活断層研究, 50, 33-44. Mclean et al. (2020) Geochemistry, Geophysics, Geosystems, 21, e2019GC008874. Smith et al. (2013) QSR, 67, 121-137.

## 光学画像相関解析を用いた

### 2016 年熊本地震に伴う地表地震断層の詳細マッピング

○杉本 惇・高玉 秀之・足達 健人・渋谷 典幸・小俣 雅志(株式会社パスコ)

Detailed mapping of surface ruptures of  
the 2016 Kumamoto earthquake using optical imagery correlation

○Jun Sugimoto, Kento Adachi, Hideyuki Takadama,  
Noriyuki Shibuya, Masashi Omata (PASCO CORPORATION.)

#### 1. はじめに

平成 28 年熊本地震（以下、熊本地震）では広域に地表地震断層が出現したことが知られている。Shirahama et al. (2016) は布田川断層および日奈久断層の変位を現地調査でマッピングを行った。一方で、現地調査ベースの調査のため面的な変位マッピングは実施されていない。小俣ほか(2017) はレーダ画像を用いた InSAR 解析を行い、微小な変位を把握した。ただし、InSAR 解析は東西方向と鉛直方向の変位を計測することはできるが、南北方向の変位を計測することができない。さらに InSAR 解析はノイズに弱く、単位面積当たりの変位量（変位勾配）が大きい場合や、地表の状態が大きく変化する場合での変位計測が困難となる。このため主断層周辺の変位マッピングは困難であった。水平方向の変位を計測する解析手法には光学画像相関解析がある。光学画像相関解析とは、異なる時期に観測された 2 時期の光学画像を用いて 2 時期間のずれ量を計測する解析手法である（例えば Milliner et al., 2015 等）。本検討では、熊本地震前後に観測された光学衛星画像と空中写真を用いて、それぞれ光学画像相関解析を実施し、地表地震断層の詳細なマッピングを行った。

#### 2. 解析手法

本研究に使用する光学画像は、広域を一度に観測できる SPOT7 号衛星と、広域のデータはないが解像度の良い空中写真とした（表 1）。なお空中写真は 4 月 14 日に発生した前震発生後と、4 月 16 日の本震発生後に株式会社パスコが撮影した画像を使用した。以上の 2 種類の光学画像に対して、それぞれ光学相関解析を実施した。なお解析結果は X 成分（東西方向）と Y 成分（南北方向）で出力される。

表 1 使用した光学画像

光学画像	解像度	観測日時
SPOT7号	1.5m	2016年1月16日
		2017年1月1日
空中写真 (ADS80)	0.2m	2016年4月15日
		2016年4月19日

#### 3. 解析結果

衛星画像と空中写真による光学画像相関解析結果を図 1 に示す。どちらの解析結果でも布田川断層を境に明瞭な変位の境界（赤矢印間）を確認できる。さらに空中写真の解析結果では、衛星画像で抽出することができなかった微小な変位境界も抽出されている。（図 1 右黒矢印間）。SPOT7 号衛星の解析では比較的明瞭な断層の変位境界が把握でき、空中写真の解析結果ではより微小な変位境界を把握できることが示唆された。解析結果の確からしさを検証するため、それぞれの解析結果を、地震前後に測量が行われている「熊本地震に伴う被災地域境界基本調査」の成果を用いて精度検証を実施した。その結果、SPOT7 号では RMSE: 0.55m、空中写真では RMSE: 0.26m であった。次に、より精度の高い空中写真の解析結果から、変位の境界を目視で抽出し、熊本地震に伴う地表地震断層のマッピングを行った（図 2）。活断層図に示されている地表地震断層に加えて、小俣ほか(2017) で抽出された LC-InSAR 位相不連続ラインと同じ位置に微小な変位が抽出された。また LC-InSAR で抽出することができなかった主断層沿いの変位も抽出することができている。

#### 4. おわりに

熊本地震を対象として、異なる 2 種類の光学画像から光学相関解析結果を実施し地表地震断層の詳細なマッピングを試みた。空中写真を用いた解析結果では比較的明瞭な断層変位に加え、より微小な変位も抽出できる。



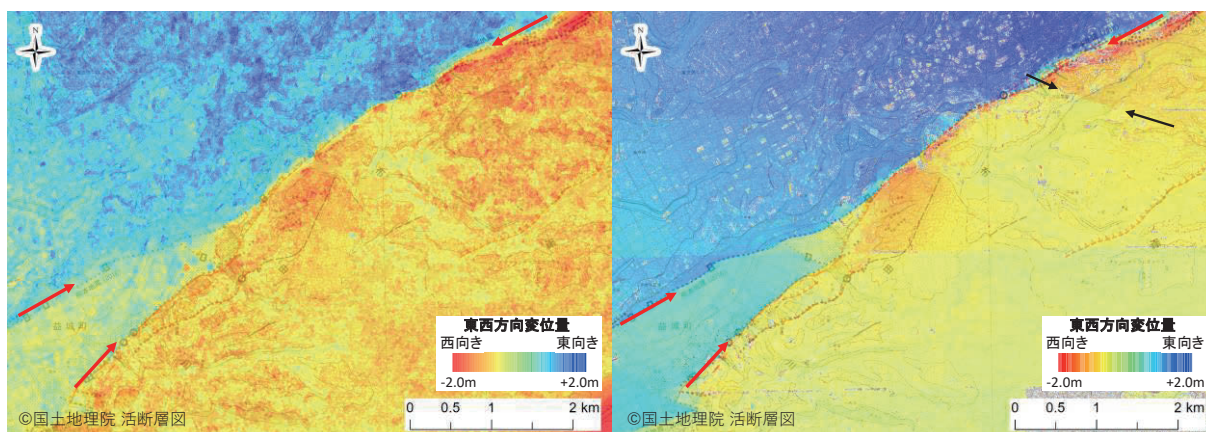


図 1 光学画像相関解析結果（左：SPOT7 号衛星、右：空中写真）

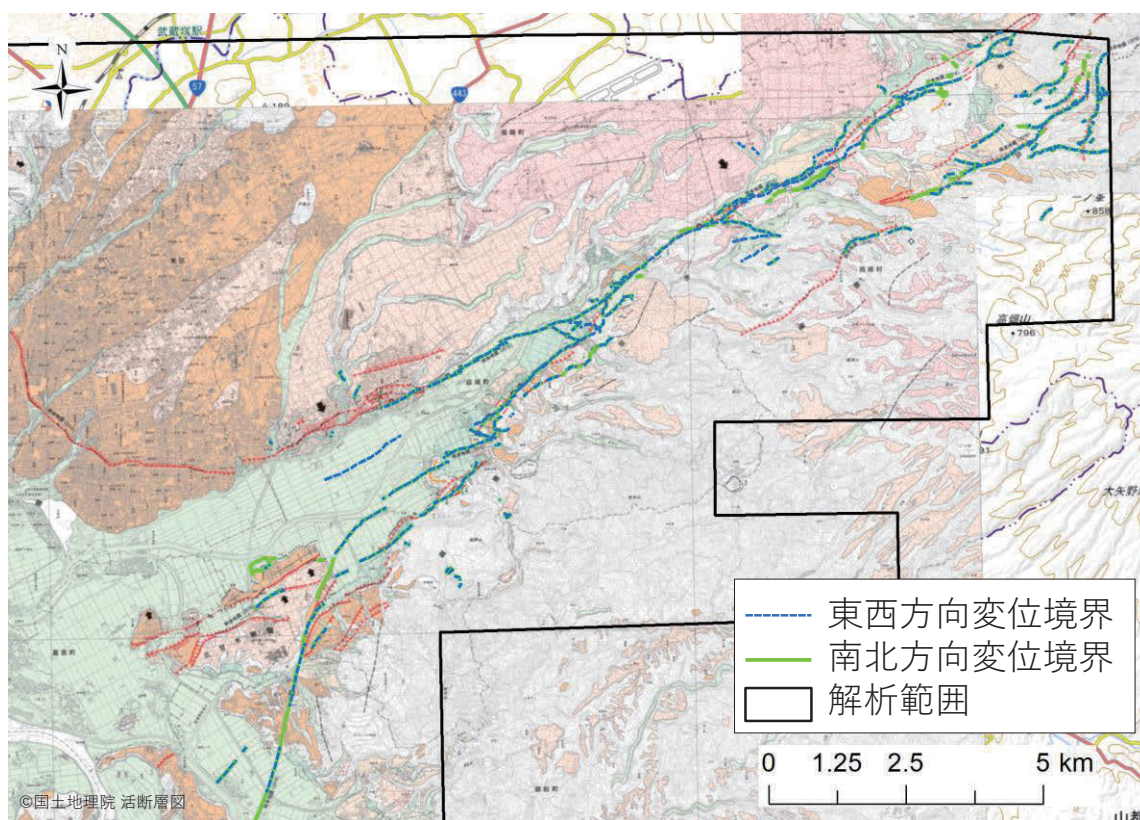


図 2 空中写真の光学画像相関解析結果を用いた地表変位のマッピング結果（熊原ほか 2017 に加筆）

**引用文献：**Shirahama, Y., Yoshimi, M., Awata, Y. et al., 2016, Characteristics of the surface ruptures associated with the 2016 Kumamoto earthquake sequence, central Kyushu, Japan. *Earth Planets Space* 68, 191 (2016). 小俣ほか (2017), LC-InSAR 解析によって抽出される平成 28 年熊本地震の微小な地表変状. 日本活断層学会 2017 年大会予稿集. Milliner, C. W. D., J. F. Dolan, J. Hollingsworth, S. Leprince, F. Ayoub, and C. G. Sammis., 2015, Quantifying near-field and off-fault deformation patterns of the 1992 Mw7.3 Lander earthquake, *Geochim. Geophys. Geosyst.* 熊原康博・岡田真介・楮原京子・金田平太郎・後藤秀昭・堤 浩之, 2017, 1:25,000 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. 国土交通省, 地籍調査 Web サイト, 熊本地震に伴う被災地域境界基本調査の成果.

本報告は「令和 2 年度および令和 3 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。本事業を進めるにあたって（一財）地域地盤環境研究所の井上直人氏、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ている。

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ける  
活断層トレンチ調査結果－大津町下町トレンチ，益城町上陳東トレンチ－  
○渋谷典幸・小俣雅志・渡邊和輝・杉本 惇・足達健人・高玉秀之（株式会社パスコ）

Active Fault trenches survey at the small displacement point in Shimomati, Oozu town and Kamijin-east, Mashiki town, which located away from the main fault trace of the 2016 Kumamoto earthquake.

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

## 1. はじめに

平成 26 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．さらに，杉本ほか（2021）では，地震前後の衛星画像を用いた光学画像相関解析を実施し，地震時に変位が発生した可能性がある箇所を広範囲で抽出している．トレンチ調査は，位相不連続ラインおよび光学画像相関解析の両方で抽出され，かつ，現地で変状を確認できた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実施した．

## 2. 大津町下町トレンチ

下町トレンチの掘削範囲の層序は，下位より段丘構成層，斜面上に堆積した崩積土層，凹地状の地形を埋積したチャンネル充填堆積物および人工地盤に区分される（図 1）．トレンチ法面では少なくとも 5 回の断層活動イベントが識別された．

イベントⅠ：F1 断層群に該当する．開口亀裂が人工地盤を切断していることから，この開口を伴う断層は 2016 年熊本地震によって形成されたと判断できる．

イベントⅡ：F2 断層群に該当し，せん断面に灰色のシルト～砂を挟在する．25 層堆積後もしくは堆積中に生じたと考えられ，イベント時期は  $2,140 \pm 20$ yrBP 以降である．

イベントⅢ：F3 断層群に該当し，せん断面に灰色～茶褐色の砂を挟在する．27 層堆積中に生じたと考えられ，イベント時期は  $2,140 \pm 20$ yrBP 以降である．

イベントⅣ：F4 断層群に該当し，チャンネルを挟み凹地状の構造を形成している．せん断面はイベントⅡおよびⅢのせん断面と一部共有することから，繰り返しの活動が示唆される．イベント時期は 11,790yrBP 以降，2,120yrBP 以前である．

イベントⅤ：F5 断層群に該当し，灰白色の不明瞭な剪断構造である．せん断面は F2,F3,F4 の各断層群により切断される．イベント活動時期は 11,790yrBP 以降，2,120yrBP 以前である．



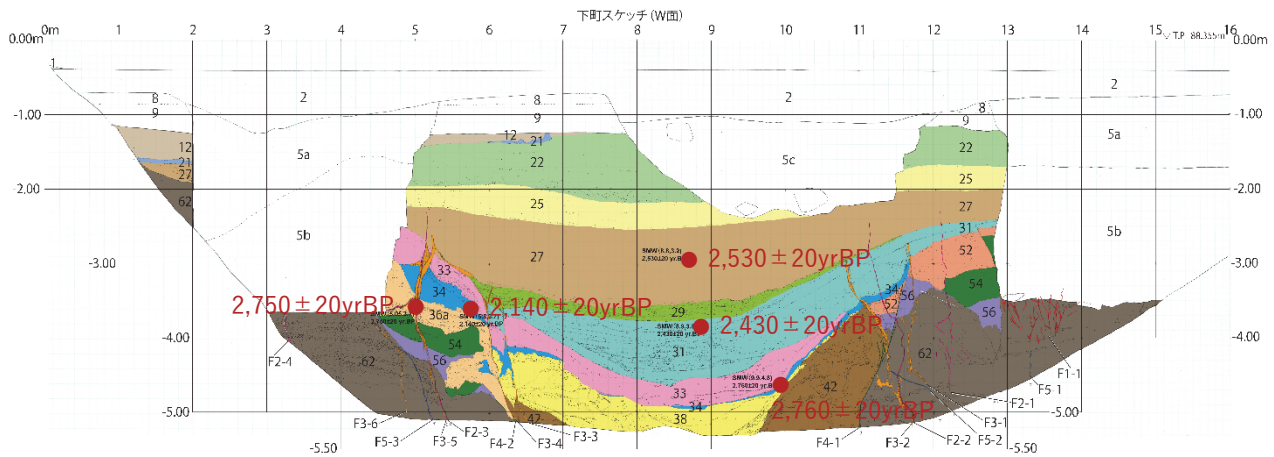


図1 下町トレンチ W 面スケッチ

### 3. 益城町上陳東トレンチ

上陳東トレンチの掘削範囲の層序は、下位より段丘構成層、Aso-4 火砕流堆積物、トレンチ北側堆積盆を埋積した堆積物、トレンチ南側堆積盆を埋積した堆積物および人工地盤に区分される。トレンチ法面では少なくとも3回の断層活動イベントが識別された。

イベント I : F1 断層群に該当する。開口亀裂が保存されていることから、この開口亀裂を伴う断層は2016年熊本地震によって形成されたと判断できる。

イベント II : F2 断層群に該当し、確認された断層群の中でも見かけの上下変位が最も大きく、最大で50cm程度である。イベント活動時期は90,000年前以降、11,050yrBP以前である。

イベント III : F3 断層群に該当し、このせん断断面は上位層準に変位を与えていない。イベント活動時期は90,000年前以降、11,050yrBP以前で、活動回数は不明である。

### 4. まとめ

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。下町トレンチでは、熊本地震に先行する約2,000年前以降2回および約10,000年前以降2回の合計4回の断層活動イベントが識別された。これらは主断層トレースでの活動（上田ほか,2018など）と同時期に活動したことが想定され、福原トレンチ（渋谷ほか,2018）および陣内トレンチ（渋谷ほか,2020）などの主断層トレースから離れた位置での活動履歴とも調和的である。一方で、上陳東トレンチにおいては、約11,000年前以降の地震活動イベントは確認できなかった。このような活動履歴の差が生じた理由については不明である。

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、渋谷ほか（2018）日本地質学会第125年学術大会講演要旨 R15-P-9、渋谷ほか（2020）JpGU-AGU Joint Meeting 2020 講演要旨 SSS16-P09、杉本ほか（2021）日本活断層学会 2021 年度秋季学術大会講演要旨、上田ほか（2017）日本地質学会第124年学術大会講演要旨 R15-P-1

本報告は「令和2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）地域 地盤 環境 研究所の井上直人氏、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。

## 熊本地震の地表地震断層主要部から離れた位置に分布する 微小変位とその特徴

○小俣 雅志・渋谷 典幸・杉本 惇・森 良樹（株式会社パスコ）

Characteristics of the microdisplacements distributed away from the main trace of the surface rupture with the 2016 Kumamoto earthquake  
M. OMATA, N. SHIBUYA, J. SUGIMOTO, Y. Mori (PASCO CORPORATION)

### 1. はじめに

熊本地震では既往の活断層図で示された布田川断層および日奈久断層北部に沿って地表地震断層が出現した。地震前後の干渉 SAR 解析では、これら既往の活断層線に沿った地表地震断層のメイントレース以外の場所でも多くの位相の不連続が確認され、地表変位が生じていることが示唆された (Fujiwara et al., 2016, 小俣ほか 2017 等)。これまでの調査で、LC-InSAR 図から位相が不連続となる低コヒーレンスが連続する“位相不連続ライン”を抽出し、メイントレース位置から離れた位置に分布する“位相不連続ライン”の位置には、微小な地表変位が生じていることを現地調査で確認している。これらの微小な地表変位がどのような性状を持つものであるか調査するために、トレンチ調査を行ってきた。個々のトレンチ調査の結果についてはこれまでも報告してきているが、今回これらの調査結果を概観し、地表地震断層のメイントレースから離れた位置で出現している地表変位の特徴について、トレンチ調査結果から得られた過去の断層活動について検討する。

### 2. トレンチ調査結果

これまで、メイントレースから離れた位置での“位相不連続ライン”上で、5か所のトレンチ調査を実施した。トレンチ調査結果の概略について以下に記載する。

福原トレンチは、国天然記念物「谷川地区」である共役系断層が分布する地点の約 130m 南東側に位置する。“位相不連続ライン”が分布する位置を現地で確認すると、道路に右横ずれ 20cm 程度の変位が確認される。地震発生直後の空中写真では田圃上にも地表変位が連続していることが確認できる。この地表変位を横断するようにトレンチを掘削した。トレンチ調査の結果、熊本地震に対応するイベントⅠ、2,900cal. BP~1,150cal. BP のイベントⅡ、2,900cal. BP 以前の活動であるイベントⅢ及びこれらに先行するイベントⅣが確認された (渋谷ほか, 2018a)。

上陳東トレンチは、堂園地区の南側の丘陵地に位置する。地震直後には複数の地表地震断層の分布 (熊原ほか, 2017) が記載されており、これに連続する“位相不連続ライン”を横切るようにトレンチを掘削した。上陳東トレンチの掘削の結果、熊本地震で生じた多数の亀裂によるイベントⅠ、本地震に先立つ断層活動イベントとして 90,000 年前以降、11,050cal. BP 以前のイベントⅡ、これに先立つイベントとしてイベントⅢが確認された (渋谷ほか, 2021)。

土林トレンチは、布田川断層メイントレースのから南側へ約 1km 離れた東北東-西南西方向の“位相不連続ライン”上に位置し、近傍の道路上では 15cm 程度の右横ずれが確認できる。この道路の東側に位置するトレンチ掘削地点では地震直後の空中写真でも地表変位は確認することができない。



トレンチ調査の結果、深さ最大 2m の掘削を行ったが、トレンチ壁面に明瞭なせん断面は確認できなかった。壁面の層相の分布から、断層イベントによる変形構造とも解釈できる構造は確認できるものの、巨礫により深度 2m 以深の掘削が出来ず、イベントの認定には至らなかった(渋谷ほか, 2018b)。

陣内トレンチは、熊本空港の北東側に北東-南西方向に連続する“位相不連続ライン”上に位置している。“位相不連続ライン”は比較的連続性が良く約 5km 連続しており、このラインに沿って人工構造物に 20cm 程度の右横ずれを示す変形が確認されている。トレンチ掘削の結果、熊本地震に対応するイベントⅠ、9,820 cal.BP 以降、3,410 cal.BP 以前のイベントⅡ、11,240 cal.BP 以降、10,450 cal.BP 以前のイベントⅢ、これらに先立つが活動年代が特定できないイベントⅣの 4 回の断層活動イベントが確認されている(渋谷ほか, 2020)

下町トレンチは、陣内トレンチの西側約 2 km に位置し、ほぼ東西方向に短い“位相不連続ライン”が確認できる地点である。現地調査の結果では、このラインに沿って道路に亀裂並びに補修跡が認められるものの明瞭な変位方向を示すものは確認できない。トレンチ調査の結果、5 回の断層活動イベントが確認される。その活動イベントは、熊本地震に対応するイベントⅠ、2,140±20cal.BP 以降のイベントⅡ及びイベントⅢ、11,790cal.BP 以降、2,120cal.BP 以前のイベントⅣ及びイベントⅤとして区分される(渋谷ほか, 2021)。

### 3. まとめ

干渉 SAR 解析によって、既往の活断層線に沿って出現した地表地震断層のメイントレース以外の場所で“位相不連続ライン”が多数抽出された。その“位相不連続ライン”上で微小な地表変位が確認される 5 箇所トレンチを掘削したところ、掘削しきれなかったと考えられる土林トレンチ以外の 4 箇所では、熊本地震に先行する断層活動イベントが確認できた。

これまで布田川断層帯のメイントレースで実施されているトレンチ調査の結果(上田ほか, 2018 など)による熊本地震に先行する断層活動イベントをまとめると、おおよそ 1,900~2,000cal.BP, 4,000~9,000cal.BP, 10,000~13,000cal.BP にイベントがあったと考えられる。今回のトレンチ 4 箇所のうち、下町トレンチ及び福原トレンチでは布田川断層の断層活動と同時に活動したとも解釈可能であるが、陣内トレンチ及び上陳東トレンチでは一部の断層活動は布田川断層と同時活動と解釈可能であるものの、布田川断層本体の活動時と同時期のイベントが抽出できないことがあることが分かった。これらの違いがどのようにして生じているかについての解釈は今後の課題であり、メイントレースから離れた位置にある地表変位の分布状況と合わせて検討していく必要がある。

**引用文献** : Fujiwara et al, (2016)EPS, 熊原ほか (2017)1:25,000 活断層図「熊本(改訂版)」, 小俣ほか(2017)JpGU-AGU Joint Meeting 2017, 渋谷ほか (2018a)日本地質学会第 125 年学術大会講演要旨, 渋谷ほか(2020)JpGU-AGU Joint Meeting 2020, 渋谷ほか (2018b) 日本活断層学会 2018 年度秋季学術大会講演要旨, 渋谷ほか (2021) 日本活断層学会 2021 年度秋季学術大会講演要旨, 上田ほか (2017) 日本地質学会第 124 年学術大会講演要旨

本報告は「平成 29 年度から令和 3 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。本事業を進めるにあたって(一財)地域 地盤 環境 研究所の井上直人氏、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ている。

## 阿蘇カルデラ西壁に発達する正断層群の断層露頭

○平尾匠（島根大学）・佐藤渉里（島根大学）・内田嗣人（島根大学，現 四国総合研究所）・大久雅貴（島根大学，現 芙蓉コンサルタント）・佐野達也（島根大学，現 日建技術コンサルタント）・向吉秀樹（島根大学）

## Outcrop of normal faults developed in west wall of the Aso caldera

○Takumi HIRAO (Shimane Univ.), Ayuri SATO (Shimane Univ.), Hideto UCHIDA (Shikoku Research Institute Inc.), Masaki OKU (Fuyo Consultants Co. Ltd.), Tatsuya SANO (Nikken Gijutsu Consultants Co. Ltd.), Hideki MUKOYOSHI (Shimane Univ.)

### 1. はじめに

2016年4月14日から16日にかけて、西南日本九州中部でマグニチュード7の地震を伴う「2016年熊本地震」が発生した。その際、震源断層である布田川断層及び日奈久断層帯から離れた阿蘇カルデラ西部に多数の東西走向の直線的な地割れが出現した（藤原ほか，2016）。阿蘇カルデラ西部周辺には東西走向の活断層群が知られているが（鈴木ほか，2019），これらの断層周辺において同地震に関連した地震は観測されておらず，2016年熊本地震と阿蘇カルデラ西部周辺の活断層群との関係の詳細は分かっていない。本研究では，2016年熊本地震後の地質調査により，阿蘇カルデラ西部に現れた地割れにつながる断層露頭を数条確認した。それらの断層露頭の下位から上位にかけて岩相記載を行い，各層準における断層岩の構造解析を行った。本発表では，確認した断層の累積変位量およびこれらの断層と布田川断層の活動に関する考察を報告する。

### 2. 調査手法

阿蘇カルデラ西部で既に報告されている地割れ（地表地震断層）（藤原ほか，2016）の位置を参考に，地質踏査により，阿蘇カルデラ西壁に露出する断層露頭を特定した。確認された断層露頭の母岩の岩相記載を行った。併せて各層準における断層岩の変形構造解析及び断層条線の姿勢測定を行った。断層面を介した両側の母岩の層準対比及び断層条線の姿勢をもとに断層の累積変位量を把握した。

### 3. 調査結果

今回の調査では，阿蘇市車帰周辺の阿蘇カルデラ西壁において3条の断層の露頭を確認した。これらの断層は，これまでに活断層が報告されていない場所（鈴木ほか，2019）で確認されたものである。確認した断層のうち，北部の断層は，上盤が安山岩，下盤は火山角礫岩であり，下盤側の下方向への引きずりが確認されるため，北落ちの正断層であると判断した。火山角礫岩のオフセットから，北側が約16m変位していることが分かった。中央部の断層は，母岩が火山角礫岩であり，南落ちの正断層センスを示す複合面構造が確認された。南部の断層は，母岩が火山角礫岩であり，火山角礫岩の上に挟

まれる薄いシルト層、砂岩層のずれにより、南側が約 20m 変位していることが分かった。

#### 4. 考察

2016 年熊本地震の際に阿蘇カルデラ北西部で確認された東西走向亀裂群の個々の変位量は約 10cm (藤原ほか, 2016) とされている。地震調査研究推進本部 (2013) によると、布田川断層の活動の再来間隔は 8100~26000 年とされている。一方、2016 年熊本地震後の調査では、布田川断層の平均活動間隔は、1400~2500 年と活動間隔の短縮が報告されている (遠田ほか, 2019)。

今回調査した断層露頭の母岩である火山岩類の K-Ar 年代は  $360 \pm 50\text{Ka}$  である (NEDO, 1991)。これらの値を用いて布田川断層活動の度に、今回の調査で観察した西壁断層が毎回 10 cm ずつ変位していたと仮定した場合の累積変位量を計算する。地震調査研究推進本部 (2013) の長期的な間隔に従った場合、1.19m~5.06m となり、2016 年熊本地震後の報告 (遠田ほか, 2019) による短期的な間隔に従った場合、12.4m~29.3m となる。上記計算結果に従うと、長期的活動間隔で布田川断層が活動した場合、布田川断層と今回確認した断層との関連性は低いと考えられ、2016 年の地震の際には、偶発的に今回確認した断層群にわずかな変位が生じたと考えられる。一方、短期的活動間隔で布田川断層が活動したと考えると、今回の調査で観察した断層露頭の約 20m の累積変位と整合的であり、布田川断層活動の度にこれらの断層が変位した可能性がある。

藤原ほか (2018) は 2016 年熊本地震の際に阿蘇カルデラ西部に出現した多数の地表地震断層が、布田川断層帯の活動に伴い、東西走向の主要なひずみが解放され、残された一部の南北伸長を正断層で開放したことにより形成した可能性を報告している。短期的活動間隔で布田川断層が活動したと考えた場合の本調査結果は、上記仮説と整合的である。

#### 5. まとめ

- ・2016 年熊本地震の際に現れた亀裂の延長で確認された断層露頭において鉛直累積変位量約 16m (北部)、約 20m (南部) を確認した。

- ・短期的活動間隔で布田川断層が活動したと考えると、本調査結果で明らかとなった阿蘇カルデラ外輪山西部断層の累積変位量は、布田川断層帯の活動に伴う部分的な南北伸長に伴って発達した正断層であるという仮説 (藤原ほか, 2018) を支持する結果となる。

#### 参考文献

藤原智, 矢来博司, 小林知勝, 森下遊, 中埜貴元, 宇根寛, 宮原伐折羅, 仲井博之, 三浦優司, 上芝晴香, 攪上泰亮, 2016: だいち 2 号干渉 SAR による熊本地震で生じた小変位の地表断層群の抽出. 国土地理院時報, 2016, 128, 147-162.

鈴木康弘, 石村大輔, 熊本洋太, 熊原康博, 千田昇, 中田高, 中埜貴元, 2019, 1/25000 都市圏活断層図「阿蘇」, 国土地理院

地震調査研究推進本部 (2013) 布田川断層帯・日奈久断層帯の評価 (一部改訂)

遠田 晋次, 鳥井 真之, 奥野 充, 今野 明咲香, 小野 大輝, 高橋 直也, 2019, 熊本地震地表地震断層の阿蘇カルデラ内の完新世活動履歴—南阿蘇村黒川地区トレンチ調査—, 活断層研究, 51, 13~25

藤原智, 森下遊, 中埜貴元, 小林知勝, 矢来博司, 宇根寛, 山中雅之, 2018, 熊本地震に伴い現れた阿蘇カルデラ北西部の地表断層群と九州中部の活断層の形態の類似性, 日本地球惑星科学連合 2018 年大会新エネルギー・産業技術総合開発機構 (NEDO), 1991, 平成 2 年度全国地熱資源総合調査 (第 3 次) 広域熱水流動系調査阿蘇地域 火山岩分布・年代調査報告書要旨 (NEDO Press). 280p.

## 大森-三子山リニアメントの断層露頭と地質学的累積変位量

○向吉秀樹（島根大学）・松浦良彦（島根県地学会）・清水亮介（島根大学）・永島晴夫・山内靖喜（島根大学）

### A Fault outcrop of the Omori-Mitsugoyama lineament and geological record of the cumulative displacement.

○Hideki MUKOYOSHI (Shimane Univ.), Yoshihiko MATUURA (Geo. Soc. Shimane), Ryosuke SHIMIZU (Shimane Univ.), Haruo NAGASHIMA, Seiki YAMAUCHI (Shimane Univ.)

#### 1. はじめに

世界遺産である石見銀山周辺には、大森－三子山リニアメントと呼ばれる東北東走向のリニアメントが報告されている（活断層研究会編，1991）。また，このリニアメントに沿って数 100m の河川・谷の右横ずれが報告されている（活断層研究会編，1991；吾妻，2008）。一方，この地域の 5 万分の 1 地質図（鹿野ほか，2001）には，このリニアメントに対応する断層は描かれていない。久原（1926）は，石見銀山を構成する一部の鉱脈が東北東走向の断層に沿って産するとしているが，これらの断層と大森－三子山リニアメントとの関係についてはよくわかっていない。また，リニアメントに対応する断層露頭の報告もない。そこで本研究では，大森－三子山リニアメント周辺における精細な地質踏査を行い，断層露頭および地質学的変位の有無を確認することを目的とした調査を行った。調査の結果，幅数 m の破碎帯を伴う断層露頭および，約 100m の地質学的累積変位を確認したので報告する。

#### 2. 地質概要

調査地域である島根県大田市仙ノ山周辺は，新第三紀中新世の海底火山噴出物による地層（久利層）を基盤とし，その上に新第三紀後期鮮新世～第四紀前期更新世の堆積岩層である都野津層が，更にそれを仙ノ山火山噴出物が覆っている（鹿野ほか，2001）。K-Ar 年代から求められた仙ノ山火山噴出物の形成年代は 2.21～1.75Ma と報告されている（迫田，2000）。

#### 3. 調査手法

断層露頭の特定および数 10m 程度の地層のずれを反映するために，地質踏査に基づく 1/5000 の精度での地質図作成を行った。また，確認した断層露頭における剪断センス判定等の構造解析および断層岩試料を定方位で採取し，微細構造解析を行った。

#### 4. 調査結果

調査の結果，大田市大森三石谷のリニアメント上において，都野津層を切る幅約 5m の断層破碎帯露頭を確認した。破碎帯には幅数 mm 程度の断層ガウジを伴う直線的な剪断面が数条確認された。断層周辺の砂岩層中には，マンガン鉱化作用により部分的に黒



色化している箇所が認められた。一部は断層面に沿って脈状にマンガン鉱化物が産していた。破碎帯から採取した断層岩試料を観察した結果、右横ずれを示す複合面構造および北落ちを示す引きずりの構造が認められた。破碎帯周辺には、都野津層を 1m ほど変位させる小断層も数条認められた。また、同大森昆布山谷のリニアメント上では、久原（1926）の馬の背断層に相当すると考えられる断層露頭（間歩）を確認した。さらに、断層露頭を直接確認することはできなかったが、10 m 以内の狭い範囲において、岩相が下位の都野津層から上位の仙ノ山に急激に変化する箇所を数か所で確認した。地質図作成の結果、リニアメント上の断層により、都野津層と仙ノ山火山岩類の境界が北落ち約 40 m、水平方向に約 100m 右横ずれ変位していることが確認された。

## 5. 考察

大森－三子山リニアメント上において、地質踏査により確認された右横ずれの地質学的変位は地形判読の結果と調和的である。ただし、約 100 m の水平方向右横ずれ累積変位は、地形判読から推定された数 100 m の右横ずれに比べ、かなり小さい評価となる。この理由として、仙ノ山火山噴出物が堆積する以前から断層が活動していた可能性が考えられる。仙ノ山火山噴出物が堆積した直後からくり返し断層活動があったと仮定すると、平均変位速度は約 5 cm / 1000 年と見積もられる。今回確認された断層露頭周辺において、マンガン鉱化作用が認められ、また、リニアメント上の断層の一部は間歩として採鉱が行われていることから、大森－三子山リニアメントが石見銀山の形成に関与した可能性が示唆される。

## 6. まとめ

大森－三子山リニアメント周辺における詳細な地質踏査により、同リニアメント上において 2 か所断層露頭を確認した。また、北落ち約 40 m、右横ずれ約 100 m の地質学的累積変位量が見積もられた。仙ノ山火山噴出物が堆積した直後から断層活動があったと仮定すると、地質学的に見積もられる平均変位速度は約 5 cm / 1000 年となる。断層岩に産するマンガン鉱化物およびリニアメント上の間歩の分布から、大森－三子山リニアメントが石見銀山の形成に関与した可能性が示唆される。

## 参考文献

- 吾妻崇・谷口薫, 2015, 空中写真判読によって見出された大森－三子山リニアメントおよびその周辺の断層変位地形. 日本活断層学会 2015 年度秋季学術大会講演要旨.
- 鹿野和彦・宝田晋治・牧本博・土谷信之・豊遙秋, 2001, 温泉津及び江津地域の地質. 地域地質研究報告 (5 万分の 1 地質図幅), 産総研地質調査総合センター, 129p.
- 活断層研究会編, 1991, 新編日本の活断層-分布図と資料-. 東京大学出版会.
- 久原幹雄, 1926, 大森鉱山地質及鉱床概論 (一). 地質学雑誌, 33, 159-175.
- 迫田昌敏・小玉敬義・井上常史, 2000, 島根県大森鉱山 (石見銀山) の Au-Cu-Ag 鉱化作用と K-Ar 年代. 資源地質, 50, 45-60.

## 重力探査による仙台平野南部の伏在活断層の南方延長の推定

° 安保亮汰（東北大学）・岡田真介（岩手大学）・

岡田知己（東北大学）

Estimation of southern extension of the blind active fault in the southern part of the Sendai Plain, by using gravity survey

Ryota Ambo (Tohoku University), Shinsuke Okada (Iwate University), Tomomi Okada (Tohoku University)

### 1. はじめに

宮城県名取市の愛島丘陵東麓には、南北方向に撓曲崖が分布し、その東側の約 2.5 km に伏在活断層の存在が指摘されている（池田ほか，2002）．また、過去の反射法地震探査によって、この伏在活断層が愛島丘陵北端付近から亘理町の阿武隈川河口付近まで連続することが明らかになっている（宮城県，2004；岡田ほか，2017）．また、反射法地震探査と同一の測線で行った重力探査から、伏在活断層に対応するブーゲー重力異常の変化が明らかになっている（岡田ほか，2017）．しかし、この伏在活断層の阿武隈川付近以南の連続は明らかになっていない．そこで本研究では、伏在活断層の南端部を明らかにするために、宮城県亘理郡山元町で重力探査を実施した．

### 2. 研究手法および解析手法

研究地域は、既存データのわずかな重力変化から宮城県山元町とした．本研究では伏在活断層を横断するように東西方向に 4 本測線（W, X, Y, Z）を設定し（図 1），それぞれの測線の間隔は約 1.5～2.0 km とした．各測線での測定点間隔は、東西方向に標準 250 m とし、相対重力測定および GNSS 測量を実施した．相対重力測定には LaCoste & Lomborg 社製の G 型重力計（G-682）を使用した．GNSS 測量には u-blox 社製アンテナを使用し、各測定点において 2 Hz で 15～30 分程度の干渉測位を行った．得られた重力計の読み取り値の処理は、地質調査所重力補正標準手順 SPEC-G1988（地質調査所重力探査グループ，1988）に従いブーゲー重力異常を求めた．GNSS 測量データの処理は RTKLIB ver 2.4.3 を用いて、重力測定地点の緯度、経度、楕円体高を求めた．標高を計算するためのジオイド高には日本のジオイド 2011（ver. 2.1）を用いた．

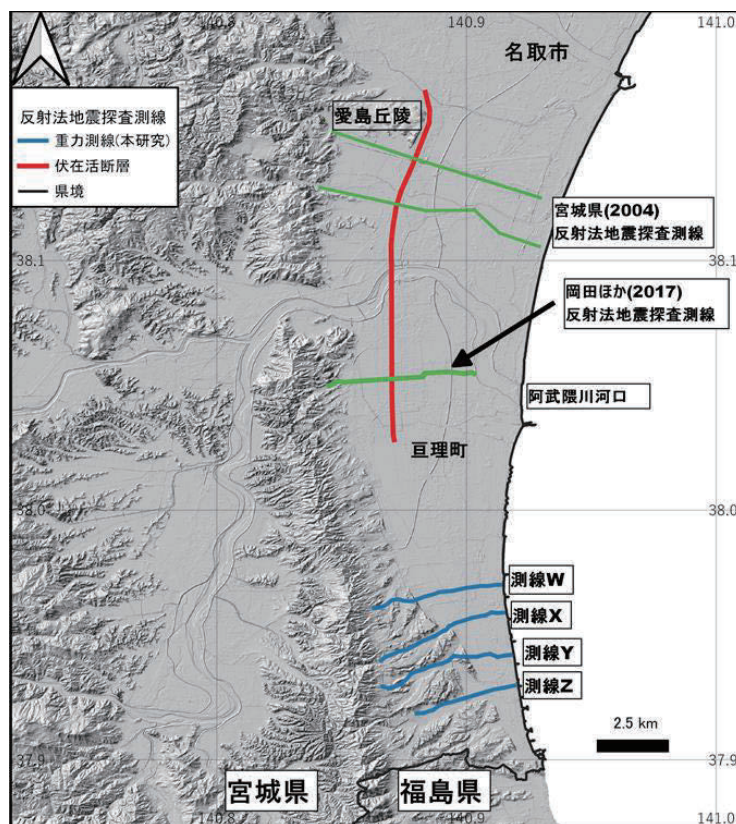
### 3. 結果

本研究では、伏在活断層に伴う小さな重力変化を追跡することから、上述の重力補正手順で用いる仮定密度に対する検討を行った．得られた重力値に対して複数の仮定密度（1200～3000 kg/m<sup>3</sup>）でのブーゲー重力異常を求め、地形の起伏と比較した．その結果、地形の起伏と相関が最も低い 2000 kg/m<sup>3</sup> が本研究地域の仮定密度として適切と判断した．次に、仮定密度 2000 kg/m<sup>3</sup> を用いたブーゲー重力異常を用いて各測線のブーゲー重力変化をプロットし、地下の密度構造の変化すなわち活断層の連続を追跡した．本研究の測線での重力変化は、全体的には測線東側では西に向かって一定に傾き下がる重力変化が見られ、測線中部～西部に向

けて高ブーゲー重力異常に変化する特徴を持つ。東側の一定の重力変化は広域な重力変化の傾向と一致すると考えられ、測線中部～西側の高ブーゲー重力異常は、割山花崗閃緑岩などの先新第三系が阿武隈山地の頂部付近に分布していることによる重力変化に対応していると考えられる。各測線の重力変化をさらに詳細に見ると、測線4本の中、北側の2本の測線W, Xでは、西に向かって一定に傾き下がる重力変化に対して、平野部で1～2 mGal程度のブーゲー重力異常の立ち上がりが見られる。この重力変化は、岡田ほか(2017)で報告されている伏在活断層の北部での重力変化と同様の傾向であり、地下の伏在活断層に相当する重力異常の変化であると考えた。一方、南側の2本の測線では、北側2本の測線でみられた伏在活断層による重力変化の延長上に、有意な重力変化が見られなかった。これらのことから研究地域の北方から連続する伏在活断層は、測線Xまでは連続するが、測線Y以南には存在しない可能性が高い。

#### 4. 参考文献

- 池田安隆・今泉俊文・東郷正美・平川一臣・宮内崇裕・佐藤比呂志, 2002, 第四紀逆断層アトラス, 東京大学出版会, 260p.
- 岡田真介・今泉俊文・楮原京子・越後智雄・戸田茂・松原由和・三輪敦志・住田達哉, 2017, 反射法地震探査および重力探査から明らかになった仙台平野南部の伏在活断層, 地震2, **70**, 109-124.
- 地質調査所重力探査グループ, 1989, 地質調査所重力補正標準手順 SPEC91988 について, 地質調査所月報, **40**, 601-611.
- 宮城県, 2004, H16 宮城県：仙台平野南部地域地下構造調査報告書,  
<http://www.hp1039.jishin.go.jp/kozo/Miyagi9frm.htm>, 2021年9月6日参照.





## 潮間帯化石群体の $^{14}\text{C}$ 年代測定に基づく地殻変動履歴の復元 ：土佐湾東岸部，羽根岬の事例

○塚原 柚子，菅野 瑞穂，後藤 翠，藤田 奈津子，小松 哲也  
(日本原子力研究開発機構)，前杵 英明 (法政大学)

Holocene crustal movements recorded in fossil calcareous assemblages  
around the Cape Hane, Shikoku, Southwestern Japan.

Yuzuko TSUKAHARA, Mizuho KANNO, Akira GOTO, Natsuko FUJITA,  
Tetsuya KOMATSU(JAEA), Hideaki MAEMOKU(Hosei Univ.)

### 研究背景・目的

岩石海岸にみられる潮間帯生物の化石群体（潮間帯化石群体）は，旧汀線指標の一つである（茅根ほか, 1987）。したがって，その分布高度・内部構造・ $^{14}\text{C}$  年代といった情報を統合することで，完新世の相対的海水準変動を復元することが可能である（例えば，前杵, 2001；実倉ほか, 2008）。復元した相対的海水準変動を海岸部における上下変動と読み替えるならば，沿岸部における地殻変動の履歴や様式を知ることができる。そこで発表者らは，高知県土佐湾東岸地域を事例に，潮間帯化石群体を用いた地殻変動履歴の復元手法の高度化を目的とする研究開発を実施した。本発表では，そうした研究開発の一環で実施した羽根岬西岸での調査結果を報告し，採取した潮間帯化石群体の  $^{14}\text{C}$  年代値について若干の考察を行う。

### 結果・考察

羽根岬西岸の離水地形の分布とその地形的特徴を明らかにするために，ドローンを用いた写真測量を実施した（図 1）。作成した詳細地形図から，調査地には標高 7~9 m，標高 4~6 m，標高 1~3 m に比較的平坦な侵食面が発達することが明らかになった。これら 3 つの面を離水ベンチとして認定し，高い方から B1 面，B2 面，B3 面と名付けた。

化石群体については，B3 面に付着するものを計 3 試料（HN1, HN2, HN3）採取した。HN1 は，調査地域北部のポットホール側壁に付着する化石群体であり，その上端高度は標高 2.6 m である（図 1 測線 a-a'）。HN2 と HN3 は，HN1 よりも約 100 m 南に位置する地点に分布する比較的分厚く大きな化石群体であり，それらの上端高度はそれぞれ標高 2 m，標高 1.6 m である（図 1 測線 b-b'）。HN1~3 の切断面の観察から，これらの化石群体が，主にヤッコカンザシ（*Pomatoleios Kraussii*）やクジャクガイ（*Septifer bilocularis*）といった潮間帯生物から構成されることがわかった。しかし，いずれの化石群体の切断面においても離水・沈水過程で形成されると考えられている多層構造（例えば，前杵, 2001；実倉ほか, 2008）を認めることはできなかった。

化石群体の切断面から削り出したゴカイ化石 17 試料を対象に，東濃地科学センターの加速器質量分析装置（JAEA-AMS-TONO-5MV）を用いて  $^{14}\text{C}$  年代測定を実施した。HN1~3 のゴカイ化石の  $^{14}\text{C}$  年代は，それぞれ 2060~1370 cal BP，2010~920 cal BP，1300~500 cal BP であったことから，B3 面は 2060~500 cal BP に形成されたと考えられる。さらに，この形成期間は，前杵（2001）が室戸岬南端部の標高 4.7~6.7 m に付着する化石群体（B 群体）の形成期間として示した  $^{14}\text{C}$  年代を本研究と同じ基準で暦年校正した年代値（2480~490 cal



BP) と重なる。したがって B3 面と B 群体は、前杓 (1988) が指摘するレベルⅢまたはⅣの旧海水準に対比できる可能性が高い。B3 面と B 群体の分布高度の差は、前杓 (1988) で指摘されている北方向への傾動をあらわしたものと考えられる。

B3 面の形成期間中に発生したと考えられる離水イベントのタイミングとその際の上下変動量を検討するために、各ゴカイ化石から得られた  $^{14}\text{C}$  年代をそれらの採取高度に基づき整理した。しかし、①化石群体同士の標高差が小さいこと、②各ゴカイ化石の年代幅が  $2\sigma$  の範囲で互いに重なり合うことから、離水に伴う相対的海水準の低下および化石群体が成長しない空白期間の認定が難しく、結果として離水イベントのタイミングを特定することはできなかった。このことから、潮間帯化石群体を用いて数 100 年間隔で生じた地殻変動履歴を検出・復元するためには、構造的な不連続面をとまなう多層構造、もしくは多点  $^{14}\text{C}$  年代測定に基づいた化石群体の成長の空白期間の認定が不可欠であると考えられる。

**引用文献** 茅根ほか (1987), 第四紀研究, 26, 1, 47-57. 前杓 (1988), 地理学評論, 61, 10, 747-769. 前杓 (2001), 地学雑誌, 110, 479-490. 宍倉ほか (2008), 活断層・古地震研究報告, 8, 267-280.

**謝辞** 本報告は、日本原子力研究開発機構 核燃料・バックエンド研究開発部門「若手研究者・技術者育成ファンド (令和 2 年度)」の成果の一部を利用した。

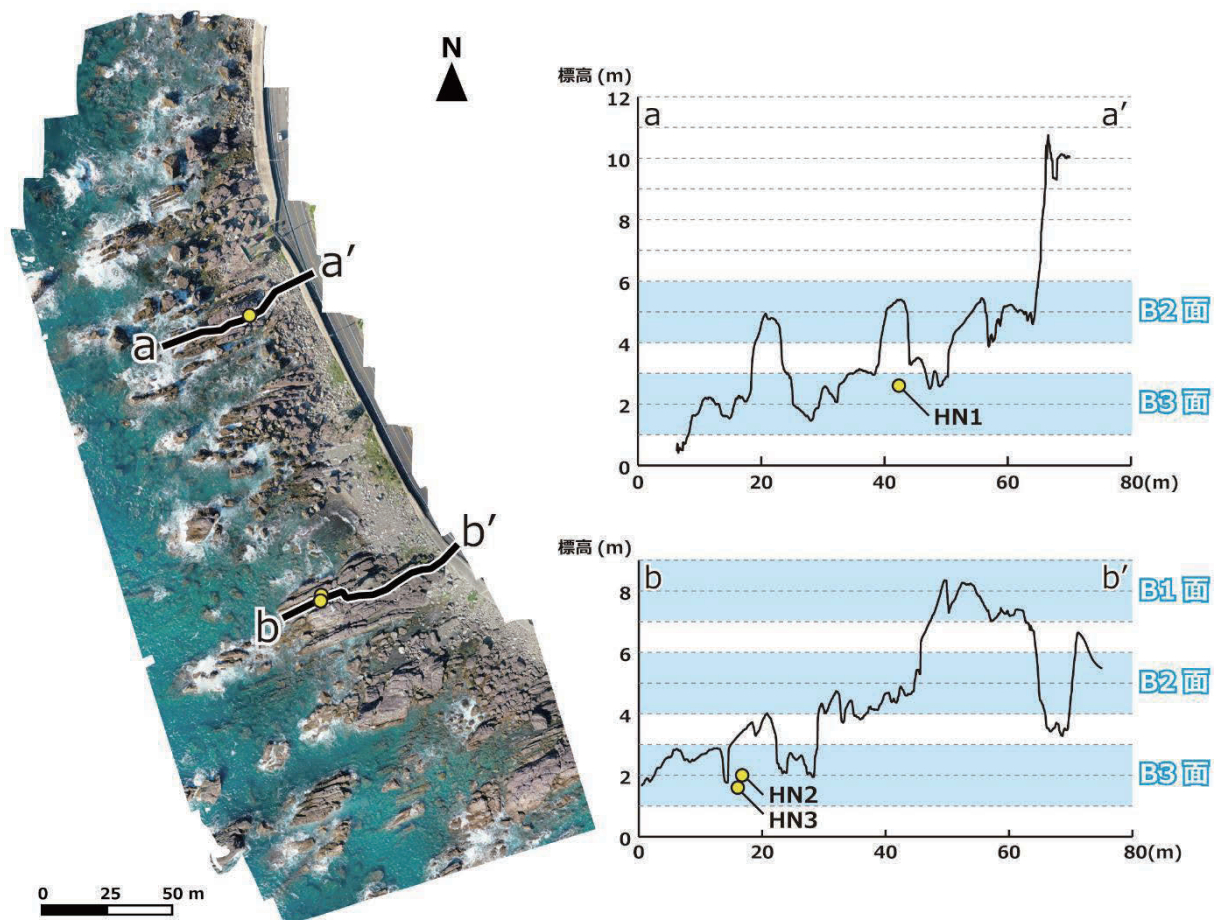


図 1 羽根岬西岸のオルソ画像と地形断面図

## 三河地震の変位情報を利用した特性化震源モデルの高度化に関する 測地データに基づいた検証

°近藤優花・隈元 崇(岡山大学)

Verification based on the Geodetic Data for Upgrading Characterized Source  
Model by Using Displacement Information of the 1945 Mikawa Earthquake

°Yuka KONDO, Takashi KUMAMOTO (Okayama Univ.)

### 1. はじめに

地震調査研究推進本部による地震動の評価では、震源断層を特定した地震の強震動予測手法（以下、「レシピ」）が構築・公開され、活断層から発生する大地震の地震動の予測が行われている。しかし、例えば 2016 年の熊本地震の震源近傍で観測された地震波形の解析によると、「レシピ」に従って地震発生層の上端に矩形断層面の上辺を合わせたモデルによる計算では、変位成分が過小になるという問題が指摘されている（Asano and Iwata, 2016）。この解決のために、例えば隈元ほか(2018)は、熊本地震で益城町と西原村で観測された変位波形を計算対象とし、野外の変動地形調査で得られる地表地震断層の変位量データを、強震動計算の特性化震源モデルにおいて浅部すべりとして加えるモデルを考案した。その結果、永久変位の再現の向上が確認され、変動地形情報を断層モデルに組み込む重要性を示した。

このような活断層に沿う変位量データを強震動計算に取り入れる試みについて、強震観測が不十分であった時代の地震についても検証することは地震動の予測や地震ハザードの評価において重要と考える。そこで、本研究では、全長約 28km の地表地震断層が出現した 1945 年三河地震( $M_{JMA}$ 6.8,  $M_w$ 6.6)を研究対象とし、先行研究で提案されている三河地震の断層モデルと、現行の「レシピ」から得られた断層モデルについて、観測された断層沿いの地表変位や測地測量により得られた震源域近傍の地殻変動情報との整合性を検証した。また、さらなる地震危険度評価の高度化を目指して、隈元ほか(2018)と同様、「レシピ」による特性化震源モデルの地下最浅部に地表地震断層の変位量データを組み込んだモデルも比較・議論した。さらに、逆断層の断層形状のパラメータの設定の困難さと、それに関連する地震規模の評価を検討する中で、地表地震断層の最大変位量から震源断層の最大すべり量を予め設定したのち断層幅を設定することで、不確実さをすべり量ではなく断層幅で説明する新たな手法を用いたモデルを考案した。

### 2. 先行研究と本研究での地表変位の計算・評価方法

三河地震に伴う地表の変位・変形について、Ando(1974)は、地表の上下変動から地表地震断層に沿った南北走向の矩形震源断層モデルを推定しているが、横須賀断層は考慮されていなかった。その後、Kikuchi *et al.* (2003)は、遠地波形インバージョンに基づく不均質断層モデルを提案したが、地表地震断層の位置と断層モデル上端が整合しておらず、三河地震で

出現した地表地震断層の考慮は十分ではない。また、高野(2008)は、地表の水平変動を最もよく表す断層パラメータを試行錯誤的に評価して震源断層モデルを設定した。計算された地表変位は先の二つの先行研究と比較して地表地震断層の変位や測量結果との整合性は良い。しかし、この断層モデルの地震モーメントは、気象庁の地震カタログに記述された  $M_{JMA}6.8$  を地震モーメントに換算した  $4.74 \times 10^{18}$  (Nm) の約 4.1 倍である  $1.95 \times 10^{19}$  (Nm) となっている。

本研究の断層運動に伴う地表変位の計算には、巨視的パラメータを用いて均質半無限弾性体内における矩形断層の食い違いを計算する手法 (Okada, 1992) と、巨視的パラメータに加え、地盤情報や破壊開始点、すべり速度関数といった複雑なパラメータを必要とする久田 (2016) の波数積分法を併用して比較した。変位の計算対象地点は 1955~56 年の国土地理院による測量地点と杉戸・岡田 (2004) の地表地震断層の変位量測定点の一部とした。これらに与えるパラメータを活断層および地表地震断層の情報をもとに設定することで、地表下断層浅部のすべり設定の重要性を議論した。

### 3. 特性化震源モデルの改良案と考察

深溝断層の活断層情報をもとに現行の「レシピ」に忠実に巨視的パラメータを設定して得られる地表変位は、三河地震で観測された地表地震断層の変位や測量結果と乖離が生じた。これに対して、隈元ほか(2018)や乗松・遠田 (2021) の考えを参考に地表地震断層の変位量データを「レシピ」による特性化震源モデルの地表下最浅部に組み込んだ断層モデルを設定したところ、地表地震断層近傍での地表変位の再現性の向上が確認された。しかし、地表地震断層から離れた地域では、逆に地表変位の再現性が低くなった。これは、付与した地表下最浅部に対する震源断層内のすべり量の過小評価が原因であると考えられた。そこで、地表地震断層の最大すべり量と震源断層の最大すべり量が同程度であると考えられていることから、深溝断層において、地表の最大すべり量 4m を震源断層内の最大すべり量としたのち断層幅を決定する新たな巨視的パラメータ構築のモデルを考案した。その結果、地表地震断層近傍に加え、震源断層上やその周辺の地域における地表変位の再現性の向上が確認された。

ただし、本研究の新たなモデルの課題として、高野 (2008) と同じく設定した地震モーメントが気象庁の地震カタログに記述された  $M_{JMA}6.8$  の換算値の約 2.7 倍と大きくなっていることに留意が必要である (図)。この点について、一部の文献 (例えば、Ando (1974) や松田 (1975)) や過去の地震データベースでは、地震モーメントが約 2.2 倍大きい  $M_{JMA}7.1$  の記載もあった。したがって、逆断層として最大 2m の上下変位を生じた三河地震の地震規模に関しても再検討が必要であると考えられる。

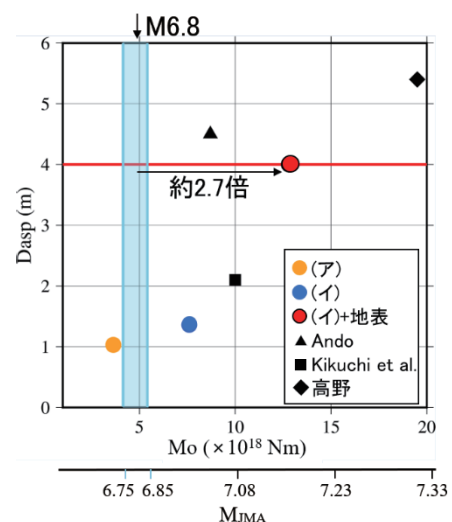


図 各断層モデルの地震規模と最大すべり量との関係

## 地下 30 m まで探査可能な地中レーダ探査機器の導入と 活断層調査への適用

○ 谷口 薫・石井 一徳（株式会社 パスコ）  
木村 治夫（一般財団法人 電力中央研究所）  
川嶋 渉造・堤 浩之（同志社大学）

## Application of a Ground Penetrating Radar System with up to 30 m imaging depth to Active Fault Studies

Kaoru Taniguchi, Kazunori Ishii (Pasco Corporation)  
Haruo Kimura (Central Research Institute of Electric Power Industry)  
Shozo Kawashima, Hiroyuki Tsutsumi (Doshisha Univ.)

### 【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、電気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で、ライフラインなどの地下埋設物調査や路面下空洞調査、河川堤防調査、遺跡調査、地質調査などで広く活用されている技術であり、活断層調査への適用も進められている。その一方で、GPR 探査では探査可能深度が地下 5 m 以浅の探査機器（周波数帯）が一般的であり、より深部の地下構造について探査した事例は多くはない。今回、深度 30 m まで探査可能な探査機器について、性能および有効性を確認するために実証実験を実施したので、その結果について報告する。

### 【GPR 探査機器】

用いた探査機器は、株式会社パスコ所有のカナダ Sensors & Software 社製の pulseEKKO PRO システムである。受信機は、ウルトラレーシバ Model 3200 で、これはコントロールパッケージ DVL-500 と組み合わせることによりスタック数を最大で 65536 までの設定が可能となり、地下の地質条件や地下水位などの影響にもよるが、より高解像度の地下断面取得が期待できる。探査に使用したアンテナは、中心周波数 100 MHz・50 MHz・25 MHz で、探査可能深度はそれぞれ 5 m・10 m・30 m である。地下断面の取得について、整地された路面上で探査する際にはカートに探査機器を搭載し、不陸のある測線上および 25 MHz アンテナ使用時に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 および KIGAM によって開発された RADPRO Version 3.4 を用



いた。

### 【実証実験結果】

探査機器の性能および有効性を確認するため、実験施設および活断層を対象として実証実験を実施した。

（一財）電力中央研究所赤城地区極浅部地盤構造探査実験場（田辺ほか，1997）では，地下空洞および地下埋設物を対象とし，東西方向に 3 測線，南北走向に 2 測線の探査を実施した。また同一測線上で周波数を変えての探査も同時に行った。取得した地下断面には空洞および地下埋設物の存在を示す明瞭な反射面の形状を捉えることができた。

活断層での実証実験は，奈良盆地東縁断層帯（地震調査研究推進本部，2001）を対象として，木津川市上狛および奈良市今市町にて合計 3 測線の探査を実施した。ここでも同一測線上で周波数を変えての探査を行った。あわせて，奈良市今市町では，既存の GPR 探査（川嶋ほか，2021）と同一測線上での探査を実施し，探査結果の比較検証をおこなった。川嶋ほか（2021）が実施した中心周波数 50 MHz（スタック数 64）の探査では，地表下約 2-3 m では西側へ傾斜する反射面の形状が認められるが，それ以深では，反射波が減衰するため，良好な地下構造の情報は得られていない。一方，川嶋ほか（2021）と同一測線で，中心周波数 50 MHz・スタック数を 32768 に設定した地下断面では，地表下 2-3 m においても反射強度がやや強い反射面が得られており，また測線位置 0-55 m・深度 8-10 m 付近に物性に違いを示す境界面（＝地層境界）が不明瞭ながらも連続することが確認された。本測線上では，堤ほか（2021）によってトレンチ調査および群列ボーリング調査が実施されている。その地質調査データを GPR 断面に反映させることにより，奈良盆地東縁断層帯による累積変位量などの見積もりが可能となり，より深部までの地下構造を可視化可能な本 GPR 探査システムの有効性が示唆された。

**謝辞** 電中研赤城実験場での実証実験時には，実験場施設の方々や湯川芽依氏（電力中央研究所）および松本正芳氏・山下紘司氏（株式会社パスコ）に御協力いただいた。また，奈良盆地東縁断層帯では地権者・関係者からの了解を得ることにより探査が実施可能となった。記して謝意を表す。

### 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.

川嶋ほか（2021）：地中レーダ探査と航空レーザ測量に基づく奈良盆地東縁断層帯・帯解断層と佐保田撓曲の断層分布，日本地球惑星科学関連学会 2021 年大会予稿集，SSS10-P10.

地震調査研究推進本部地震調査委員会（2001）：「京都盆地-奈良盆地断層帯南部（奈良盆地東縁断層帯）の評価」，地震調査研究推進本部，17p.

田辺ほか（1997）：FM-CW 地下レーダ装置による地下埋設物探査性能の向上，電力中央研究所報告，T96051，13p.

堤ほか（2021）：奈良盆地東縁断層帯の帯解断層と天理断層の活動履歴と変位速度，日本地球惑星科学関連学会 2021 年大会予稿集，SSS10-07.

## iPad Pro 簡易 LiDAR を用いた効率的な活断層調査とその可能性

岩佐佳哉 (広島大・院・学振 DC)・山中 蛍 (広島大・院)・後藤秀昭・熊原康博・(広島大)・中田 高 (広島大・名誉)

Efficient Active Fault Investigation using Simple LiDAR on iPad Pro and its Potential  
Yoshiya Iwasa (Graduate student of Hiroshima Univ., JSPS Research Fellow),  
Tomoru Yamanaka (Graduate student of Hiroshima Univ), Hideaki Goto, Yasuhiro  
Kumahara and Takashi Nakata (Hiroshima Univ.)

**1. はじめに** ドローンによる低空での空撮や SfM-MVS 技術を用いたソフトウェアの普及により、高解像度な地形データを短時間で取得できるようになった(内山ほか, 2014 など). 活断層の地形調査(後藤, 2015)や地表地震断層の記録(岩佐ほか, 2020)など、活用が進んでいる. また、トレンチ掘削調査でも壁面の写真モザイクの作成など(杉戸, 2009)デジタル化が進み、最近では SfM-MVS ソフトによって壁面のオルソ画像が作成される(Reitman et al., 2015)など、壁面の記載を短時間で、かつ正確に行うことができるようになった. さらに、LiDAR を用いた地層断面の記載も行われる(Martínez-Fernández et al., 2020)など、調査方法は発展を続けている. 一方で、地形モデルを作成する場合には地理座標の取得が欠かせず、トータルステーションや GNSS 受信機など、大きな機器が必要となる場合もある.

調査機器は進化するものの、大型で高価な場合には手軽に利用することができない. そこで、本研究では iPad Pro に搭載された簡易 LiDAR を活用した効率的な活断層の調査研究について検討した. 2020 年 3 月に発売された iPad Pro および 2020 年 10 月に発売された iPhone 12 Pro に搭載された LiDAR 機能は計測できる距離が最大 5 m までであり、取得できる点群の密度が 2 個/cm<sup>2</sup> 程度と低解像度である. しかし、小型で比較的安価なうえ、簡便な操作でテクスチャ付きの 3D モデルを取得することができ、対象と目的を適切に選定すれば、活断層の調査研究に十分利用可能と考えられる.

Spreafico et al. (2021) や田中ほか (2021) は、iPad Pro の LiDAR を用いて取得した DSM の精度検証を行い、原田ほか (2020) は植生下に位置する戦争遺跡である土塁の DSM を取得した. 本研究では、iPad Pro に搭載された簡易 LiDAR を用いて、トレンチ壁面のオルソ画像の作成と、地表地震断層の地形モデルの作成について報告を行い、多視点の写真撮影と SfM-MVS により作成したモデルとの比較を通して、その可能性と限界について考察した.

**2. 簡易 LiDAR を用いたデータの取得方法** 本研究では iPad Pro 11 インチ (第 2 世代) に無料アプリケーション「3d Scanner App」をインストールしてスキャンした. このアプリケーションでは色付きの点群データとテクスチャ付きのメッシュデータを取得できる. また、スキャン済みの範囲がリアルタイムで表示されるため、効率的なデータ取得が可能である. 取得する点群データの解像度は低解像度と高解像度から選択できる. 解像度と取得できる範囲はトレードオフの関係にあり、対象物に合わせて設定する必要がある.

これまでの経験上、iPad Pro をゆっくりと動かすこと、対象物のスキャンは一度のみとし、繰り返しを避けることがスキャン時のポイントである. データ取得後、iPad Pro 上で 3D モデルを確認することができ、現地で取得の成否が判断できる. 本研究では、取得したデータのうち、点群データを LAS 形式、テクスチャ付きメッシュデータを OBJ 形式で出力し、PC に取り込んで処理した.

PC での処理はフリーウェアの「CloudCompare」を用いた. DSM はラスライズツールで作成し、TIF 形式で出力した. GIS ソフトに入力して陰影図のレンダリングや等高線の生成を行った. また、オルソ画像は Render to File の機能を用いて出力した.

**3. トレンチ壁面のオルソ画像** 糸魚川-静岡構造線活断層系の白州断層で行ったトレンチ調査（山中ほか，2021）において壁面のオルソ写真の作成を行った．簡易 LiDAR と SfM-MVS のいずれの方法でもほぼ同様のオルソ画像を作成することができた．画像の精度を比較するために，水系を用いて壁面に設けた 1 m 四方のグリッドの 4 辺の長さを比較したところ，両者の差の平均は約 2 cm であった．画像の解像度は，簡易 LiDAR と SfM-MVS のいずれも 1 ピクセルが約 0.52 mm と高い解像度であった．

オルソ画像の作成にかかった時間は，簡易 LiDAR では 10 分程度である一方，SfM-MVS の場合では写真撮影に約 30 分，SfM-MVS ソフトでの処理に 5 時間以上かかった．簡易 LiDAR を用いることで，オルソ写真を即日，印刷してスケッチに利用することができた．

**4. 地表地震断層の地形モデル** 2016 年に発生した熊本地震に伴って熊本県阿蘇郡南阿蘇村河陽の旧東海大学阿蘇キャンパスに出現した地表地震断層（Shirahama et al., 2016）を対象に，地形モデルを作成した．対象とした地表地震断層は，校舎とともに震災遺構として保存されている．なお，SfM-MVS ソフトを用いたモデル化では巻き尺により計測した地理情報を 6 箇所で与えた．

簡易 LiDAR による DSM では，開口亀裂と圧縮性の高まりからなる地表地震断層のおおよその特徴を表現できているが，SfM-MVS による DSM と比較して浅い開口亀裂が描画できていないなど，細かな地形は表現できていない（図 1）．DSM 作成にかかった時間は，簡易 LiDAR では 20 分程度であったが，SfM-MVS の場合では写真撮影に約 10 分，SfM-MVS ソフトでの処理に約 2 時間かかった．

**5. iPad Pro の簡易 LiDAR を用いた活断層調査の可能性と限界** 上記のように，iPad Pro の簡易 LiDAR は簡便な操作により短時間で点群データやオルソ写真を取得できた．可搬性に優れており，地表地震断層の出現直後に概略的な記録を行ったり，海外調査や露頭の記録に有用であろう．一方で，SfM-MVS ソフトを用いた場合と比較して点群データの解像度が低く，広い範囲のデータを取得できないという短所もある．対象物や調査時間，目的に合わせて簡易 LiDAR を用いることで，効率的に調査を行うことができると考えられる．なお，発表時には他の事例を追加して紹介する予定である．

**文献：**内山ほか（2014）防災科学技術研究所研究報告；後藤（2015）活断層研究；岩佐ほか（2020）活断層研究；杉戸（2009）活断層研究；Reitman et al. (2015) *Bulletin of the Seismological Society of America*；Martínez-Fernández et al. (2020) *Digital Applications in Archaeology and Cultural Heritage*；Spreafico et al. (2021) *The International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*；田中ほか（2021）日本地理学会春季学術大会要旨；原田ほか（2020）広島大学総合博物館研究報告；山中ほか（2021）地理科学学会春季学術大会発表要旨；Shirahama et al. (2016) *Earth, Planets and Space*

**謝辞：**本研究は科学研究費補助金特別研究員奨励費（JP20J22288），基盤研究 B（18H00766），文部科学省「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）」の一部を使用した．記してお礼申し上げます．

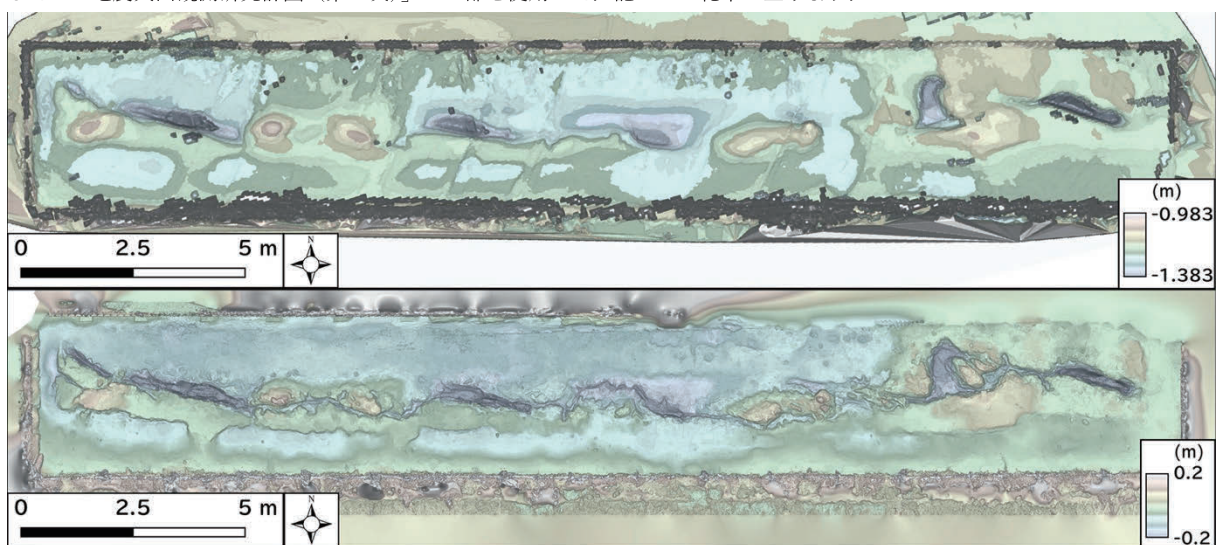


図 1 旧東海大学阿蘇キャンパスの地表地震断層から取得した DSM による表現の違い．上は iPad Pro の簡易 LiDAR，下は手持ちカメラによる多視点写真撮影と SfM-MVS による．



## 2020 年 Masbate 島(フィリピン)で発生した地震(M6.6)の地表地震断層 小村慶太郎(電力中央研究所)

### Surface rupture of the 2020 earthquake (M6.6) in Masbate island, Philippines

Keitaro Komura (CRIEPI)

【はじめに】フィリピン断層帯（以下、PFZ）は、Luzon 島から Mindanao 島におよぶ全長約 1250 km の左横ずれを主体とした活断層である。その中央部にあたる Masbate 島では、その東岸をかすめるように PFZ が通過するとされる（Tsutsumi and Perez, 2013）。現地時間の 2020/8/18、Masbate 島の約 7 km 沖合、深さ 21 km を震源とする M6.6 の地震が発生し、複数の死傷者を出す被害となった。地震直後の現地調査によれば、Cataingan 湾周辺で最大 30–40 cm の左横ずれを示す地表地震断層が確認され、PFZ の一部が活動したものと考えられている（PHIVOLCS, 2020）。しかしながら、PFZ 上に出現した地表地震断層の全容や詳細な位置に関する報告はない。Masbate 島では PFZ の南西側にも Uson 断層、Southern Samar 断層等いくつかの推定活断層が判読されており（PHIVOLCS, 2018）、さらに、2003 年にも地表地震断層を伴う M6.2 の地震が発生している（Besana et al., 2003）。2020 年地震の全容を面的に把握することは、これらの推定活断層や過去の地震との比較を行う上で重要であり、長大な横ずれ断層帯とそれに付随する断層の発達過程を理解することに繋がる。本研究では、Sentinel-1 を用いた InSAR 解析と SPOT-6 を用いた光学衛星画像ピクセルマッチング（以下、ピクセルマッチング）を実施し、2020 年地震に伴う変位の検出を試みた。ピクセルマッチングは乾燥地域で発生した地震において著しい成果を上げつつあるが、フィリピンのような熱帯地域の地震にどの程度適用できるか検討した事例は少なく、InSAR 解析とピクセルマッチングを組み合わせることで、より精度の高い地表地震断層の検出が可能となることが期待される。

【2020 年地震の地表地震断層分布】InSAR 解析結果によると、Masbate 島全体に広がる明瞭な干渉縞が認められ、地震に伴い周辺地殻が大きく変動していることが明らかとなった。Fujiwara et al. (2016)と同じ基準で干渉不連続線を抽出したところ、PFZ 上に断片的に不連続線が現れているものの、PFZ の活動を示す明確な不連続線は検出されなかった。また、活断層が判読されていない PFZ の南西側に PFZ と斜交する形の不連続線が複数条検出された。一方、ピクセルマッチングの結果によると、概ね PFZ と矛盾しない位置に変位の不連続線が断片的に検出され、少なくとも全長約 25 km に渡って PFZ が破壊した可能性が示唆された。また、Southern Samar 断層に沿って明瞭な左横ずれの変位が生じていることも明らかとなった。2つの解析手法の結果を統合すると、現地で変位が観察された Cataingan 湾周辺からさらに北西に向かって PFZ の破壊が生じたものと考えられる。さらに、2020 年地震は PFZ の活動のみによる単純な地震ではなく、少なくとも Southern Samar 断層の活動を伴う複雑な破壊様式によって引き起こされた可能性が高い。Uson 断層の南端から PFZ の間の山岳



地帯で検出された複数の不連続線については、地震動や地殻の歪みによって誘発された重力性の断層である可能性もある。今後、これらの不連続線に対応する変位地形が存在するのかどうか、高精度な地形データを用いた判読を実施する必要がある。

【光学衛星画像ピクセルマッチング手法の有用性】今回、Sentinel-1 を用いた InSAR 解析では PFZ 周辺が非干渉となり PFZ の変位を明瞭に捉えることができなかった。一方で、ピクセルマッチングでは PFZ 上の変位検出に成功しただけでなく、Southern Samar 断層の変位も検出することができた。雲量の少ない画像を取得しないと解析できないデメリットはあるものの、より正確な地表地震断層の面的把握においては、InSAR 解析とピクセルマッチングの併用が肝要であると言える。さらに、熱帯地域における変位量 50 cm 以下の地表地震断層においてもピクセルマッチングが有効であることを示したことは重要な知見である。今後、東南アジアを含む熱帯地域の地震においてピクセルマッチングの積極的活用が望まれる。

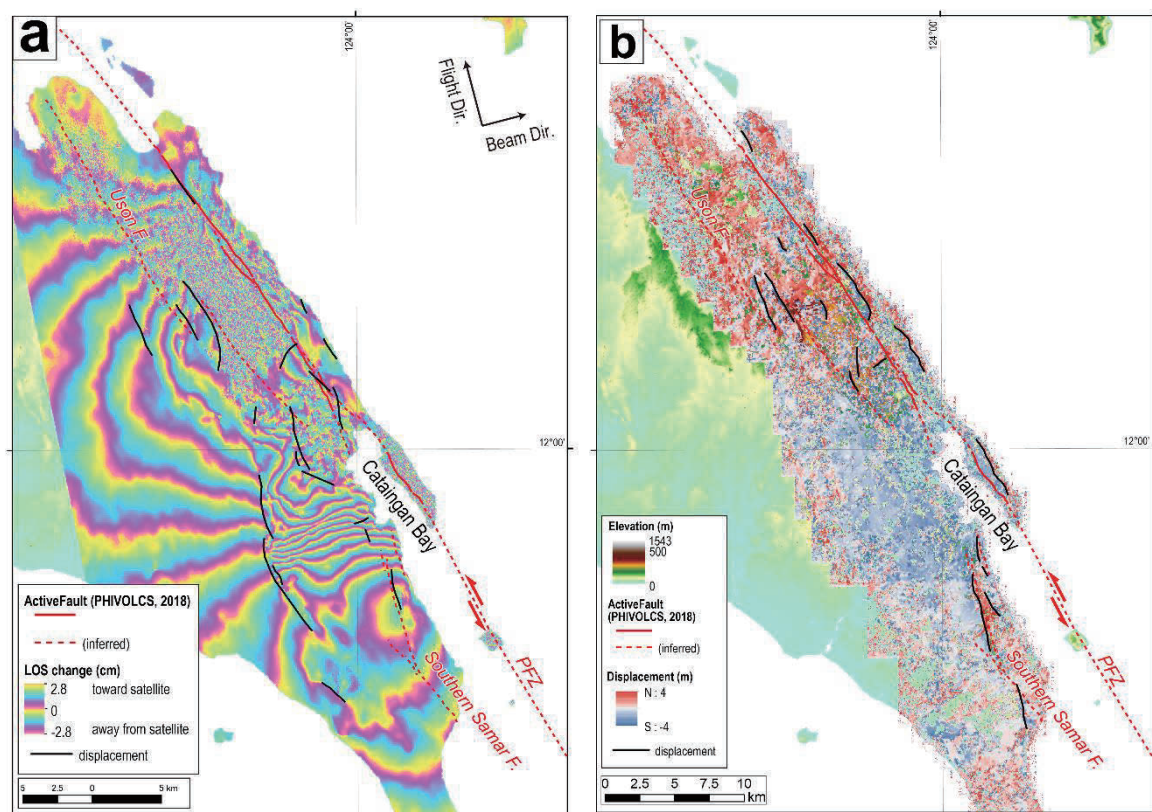


図 (a) 2020/08/15–08/21 観測北行軌道画像に基づく干渉解析結果と不連続線の分布。

(b) 2019/02/06–2021/03/20 観測画像に基づくピクセルマッチング結果（南北成分）と不連続線の分布

#### 【引用文献】

Besana et al. (2003) The Final Report of the 2003 Masbate Quake; Fujiwara et al. (2016) EPS, 68:160; PHIVOLCS (2018) Active fault hazard map of the Municipality of Pio V. Corpus; PHIVOLCS (2020) 18 August 2020 M6.6 Masbate Earthquake Primer; Tsutsumi and Perez (2013) AFR, 39, p29–37

## 阿蘇外輪山北西部で新たに確認した断層変位地形と 2016 年熊本地震に伴う地表地震断層

○ 中埜 貴元 (国土地理院)・宇根 寛 (お茶の水女子大学)・  
佐藤 浩 (日本大学)・小村 慶太郎 (電力中央研究所)

Surface ruptures derived from the 2016 Kumamoto Earthquake and tectonic  
landforms newly found in the northwest of the outer rim of the Aso caldera,  
southwestern Japan

○ Takayuki Nakano (GSI of Japan), Hiroshi Une (Ochanomizu Univ.),  
Hiroshi P. Sato (Nihon Univ.), Keitaro Komura (CRIEPI)

### 1. はじめに

平成 28 年 (2016 年) 熊本地震 (以下、「熊本地震」という) では、布田川断層及び日奈久断層に沿って地表地震断層が出現した (Shirahama et al., 2016)。また、干渉 SAR で検出された多数の変位リニアメント (Fujiwara et al., 2016) の一部でも地表地震断層が確認された (宇根ほか, 2017; 中埜ほか, 2018)。この熊本地震後には、国土地理院の活断層図が更新され、新たな活断層や地表地震断層が図示された (熊原ほか, 2017; 鈴木ほか, 2017)。

今回、干渉 SAR により多数の地表変位が確認された阿蘇外輪山北西部において、改めて現地調査を実施したところ、熊本地震時に生じたと思われる地表地震断層を確認するとともに、同地域の詳細な地形判読により、明瞭な断層変位地形を見出した。本発表では、その断層変位地形と地表地震断層の性状を報告するとともに、地震前後に取得された航空レーザ計測による数値標高モデル (DEM) の差分により、現地調査箇所よりも広域の地表地震断層の地表変位様態を考察する。

### 2. 調査の概要

本研究の対象地域を第 1 図に示す。本地域は阿蘇外輪山北西部の矢護山 (標高 942m) の南西～南南西方約 1.5km に位置し、西～南西方向に流下する矢護川の支流の右岸側の谷壁斜面に相当する。現地調査は 2021 年 3 月 3 日に実施した。現地では、Fujiwara et al. (2016) による位相不連続線及び上下変位量分布図における上下変位境界と交差する林道周辺を中心に地表変形の有無を調査し、地表変形が確認された場合はその性状等を観察し、変位量を計測した。また、空中写真 (1947 年, 1976 年, 2000 年, 2013 年, 2016 年撮影) や地震前後に取得された航空レーザ DEM (熊本河川国道事務所 2012 年計測 1mDEM, 林野庁 2016 年計測 0.5mDEM) から作成したアナグリフ画像等を用いて断層変位地形を判読した。さらに、この地震前後の航空レーザ DEM の差分をとり、標高変化量を求めた。

### 3. 結果と考察

現地調査の結果、第 1 図に示す位置において熊本地震時に発生したものと思われる地表地震断層を確認した。主に過去の崩壊地の対策工斜面で明瞭に現れており、走向 N60～80°E で南下がり 20～40cm 程度の上下変位を伴っていた。明瞭な横ずれ成分は見られなかったが、一部の断層は杉型ステップを呈していた。熊本地震時に生じたと判断したのは、崩壊地の対策工の完了年が 2014 年



であり、それ以降に発生したことは確実であること、また、Fujiwara et al. (2016)による変位リニアメントの位置とよく整合しており、熊本地震直後に生じた変位である可能性が高いことによる。また、重力性変形ではなく地表地震断層と判断したのは、変位が尾根を跨いで直線的に連続するとともに、

斜面の最大傾斜方向と斜交しているためである。さらに、この地表地震断層の西方延長には宇根ほか(2017)で報告されている地表地震断層があり、その走向や上下変位の向きの整合性から、これらは一連の断層と考えられる。

空中写真判読やアナグリフ画像判読により、この地表地震断層に沿うように断層変位地形が確認できた。この断層の走向は N65°E~EW で、断層長は約 1.3km である。また、熊本地震前後の航空レーザ DEM の差分により、Fujiwara et al. (2016)による変位リニアメント及びこの断層変位地形に沿って相対変位量最大 40cm 程度の南下がりの上下変位が確認できた。これは現地で確認した上下変位量と整合しており、地表地震断層による変位を捉えたものと考えられる。

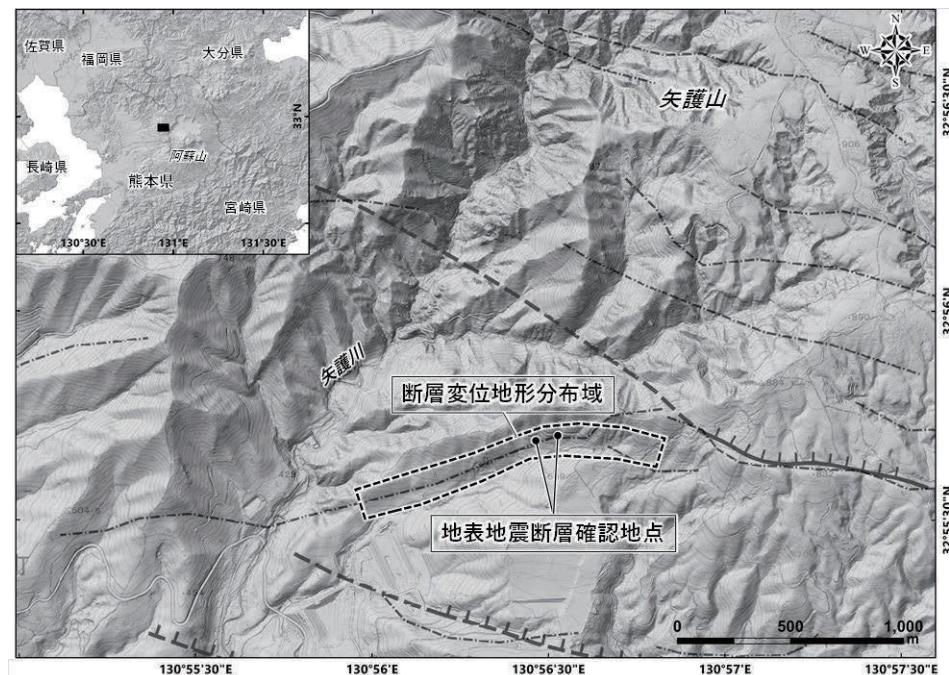
#### 4. まとめ

今回の調査により、矢護山の南西～南南西方において新たに熊本地震に伴う地表地震断層と断層変位地形を確認した。この地表地震断層の上下変位は地震前後の航空レーザ DEM の差分でも確認でき、Fujiwara et al. (2016)による SAR で検出された変位と整合していた。

**謝辞：**本研究は JSPS 科研費 20K01141 の助成を受けたものです。ここで使用しただいち 2 号の原初データの所有権は JAXA にあります。これらのデータは、だいち 2 号に関する国土地理院と JAXA の間の協定及び地震 SAR 解析 WG の活動に基づき提供されました。ここで使用した航空レーザデータは、国土地理院が各機関の協力の下、収集したものです。

#### 引用文献：

- Fujiwara et al. (2016): Earth, Planets and Space, 68, 160, doi: 10.1186/s40623-016-0534-x.  
 熊原ほか (2017)：1:25,000 活断層図「熊本(改訂版)」, 国土地理院。  
 中埜ほか (2018)：日本活断層学会 2018 年度秋季学術大会講演予稿集, P-6。  
 Shirahama et al. (2016): Earth, Planets and Space, 68, 191, doi: 10.1186/s40623-016-0559-1。  
 鈴木ほか (2017)：1:25,000 活断層図「阿蘇」, 国土地理院。  
 宇根ほか (2017)：日本地理学会発表要旨集, 103, doi: 10.14866/ajg.2017a.0\_100109。



第1図 調査対象地域及び地表地震断層・断層変位地形確認地点。背景は地理院地図及び地震後の航空レーザ DEM から作成した陰影起伏図+傾斜量図。図中の実線及び破線は鈴木ほか(2017)の活断層及び推定活断層、一点鎖線は Fujiwara et al. (2016)の変位リニアメント。

## 仙台南部地域における長町-利府線断層帯の分布と その活動による地形発達への影響

中村朋暉（東北大・院）

Detailed distribution of the Nagamachi-Rifu line fault zone  
in southern Sendai City and its tectonic effect on geomorphic  
development

Tomoki NAKAMURA (Tohoku Univ.)

### 1. はじめに

ひとたび都市直下もしくは近傍の活断層が活動すれば甚大な被害が発生する。政令指定都市の1つである仙台市では、北東-南西走向の長町-利府線断層帯が市中心部を横切る。この断層帯は1970年代から本格的に活断層としての調査が進められてきたが、構成する活断層の多くは地表面まで達しておらず明瞭な断層崖ではなく幅の広い撓曲崖を形成し、さらに市街地の人工改変も進んでいるため調査が難航し、活動間隔や最新活動時期などをはじめとした活動性評価の基礎データが十分に得られていない。また、活断層の分布と地形発達過程について、変動地形学的観点からの検討の余地も十分とは言えない。

本研究では、地形判読・現地調査を通して得られたデータと考察をもとに、複数の断層が並走・斜交・接合する仙台南部地域で、活断層の詳細分布を推定した。それを基に、本断層帯の断層運動が与えた地形発達への影響についての考察も報告する。

### 2. 手法

本研究では、1) 地形判読、2) GIS 上での簡単な地形解析、3) 現地調査により、地形面とリニアメントを分類した地形分類図を作成した。1) では、主に1947年米軍撮影の縮尺約1万6千分の1の航空写真、1961年国土地理院撮影の縮尺1万分の1の航空写真を用いた。2) では判読結果の補完を目的として、地形断面図や傾斜量図、陰影起伏図などを作成した。その際には、旧地形DEM（米軍撮影の航空写真から写真測量により作成された5mDEM；（株）復建技術コンサルタントより提供）と現地形DEM（国土地理院発行の5mDEM）を用いた。3) では、判読結果から推定される活断層位置の周辺状況確認や名取川河床露頭における活断層調査を行なった。名取川河床露頭の調査では、確認された断層位置の他、走向・傾斜や岩相をルートマップにまとめた。

### 3. 結果と考察

名取川河床露頭の調査の結果、北東-南西走向の断層が多数存在することが分かった。これらはいずれも右横ずれないしは左横ずれのセンスを示し、断層面はほぼ垂直である。しかし、これらの断層は破碎帯相当部がいずれも固結しており（もしくは不明瞭であり）、第四紀



後期に活動があった活構造であるとは考えにくい。また、名取川左岸において宮城県(1996c)によって反射法地震探査がされているが、その結果から明瞭な活構造は検出されていない(藤原ほか, 2013)。以上より、従来名取川左岸から荒川右岸にかけての南北走向の活断層と示されていたリニアメントは活断層である可能性が低いと判断した。しかし、名取川河床露頭においてこの延長部付近では層理面に沿った直線的なクラックが3箇所確認され、前述のリニアメントは層内すべり断層である可能性も否定はできない。

次に、判読結果から断層運動による地形発達への影響を検討した。長町ー利府線断層帯は、主断層である北西側隆起の長町ー利府線断層とバックスラストである南東側隆起の大年寺山断層から主に構成され、北東ー南西方向に発達するかまぼこ状の隆起帯を形成する。この隆起帯は三神峯公園付近から不明瞭になっていることから、可能性の1つとして隆起帯が南西方向に成長していることが考えられる。また、当地域に分布する名取川由来の河食崖の分布から、名取川が南方へ河道移動をしたことがわかる。前述の隆起帯の成長に関する仮説をもとに考察すると、この名取川の河道移動は断層運動(隆起帯の成長)が引き金となって生じた可能性が考えられる。さらに、仙台南部地域では河成段丘は主に広瀬川以北に広く分布する段丘群と対比されることが多いが、特に低位段丘群については活断層の分布からテクニクに段丘化した可能性のあるものがある。そのため、同地域の段丘対比については今後見直す必要があると考える。

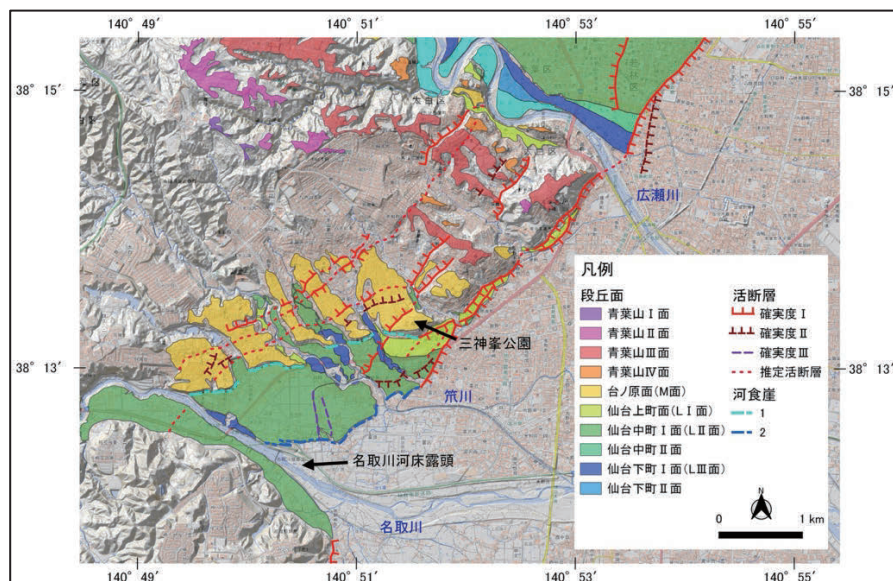


図. 仙台南部地域における地形分類図

## 引用文献

- 藤原 治・鈴木紀毅・林 広樹・入月俊明, 2013, 仙台南西部に分布する東北日本太平洋側標準層序としての中・上部中新統および鮮新統. 地質学雑誌, 119, 96-119.
- 宮城県, 1996c, 平成7年度地震調査研究交付金 長町ー利府線断層帯に関する調査業務(物理調査)成果報告書. 26p.

## 高密度ボーリングデータから推定される長町-利府線断層帯の活構造分布

°高橋直也・遠田晋次（東北大学災害研応用地質寄附研究部門）

Shallow geologic structure of Nagamachi-Rifu line fault zone  
inferred from a borehole dataset

°Naoya Takahashi, Shinji Toda (Tohoku University)

### 1. はじめに

地震に伴う地表変位は、震源断層近傍だけでなく、非常に広い範囲で生じる。震源断層（主断層）沿い以外で生じる副次的な変位は主断層に比べて小さいが、それらの総和が主断層での変位に匹敵することもある。また、変位量が小さい場合でも構造物への被害は無視できない。副次的な変位は既存の断層などに沿って生じることが多いため、震源断層となりうる主要な断層とその周辺の活構造の分布を詳細に把握することが重要である。本研究では、宮城県仙台市に存在する長町-利府線断層帯の活構造をマッピングした。仙台市のような都市域においては、人工改変などによって変動地形が保存されにくい。そのため、2m 解像度の数値地形モデル（DEM）と既存ボーリングデータを用いて、仙台市中心部の活構造分布について再検討した。

### 2. 対象地域概要

長町-利府線断層帯の主部をなす長町-利府線は、全長約 20km で北西側隆起の逆断層であり、仙台平野と仙台市中心部との間に撓曲崖を形成している（図 1）。この断層の先端は地表には達していないと考えられており、撓曲崖の基部は沖積層下に埋没している。長町-利府線の北西には、大年寺山断層、鹿落坂断層という南東側隆起の逆断層が存在している。これら 3 つの断層は中期更新世以降に形成された河成段丘を変位させており、長町-利府線による累積変位は、ほか 2 つの断層による変位より有意に大きい（中田ほか, 1976）。既存研究で示された断層露頭の存在や高解像度 DEM の解析から、このほかにも活構造が存在していると思われるが、それらの位置を地形データのみから把握するのは容易ではない。

### 3. 使用データ

仙台市中心部では、河成段丘堆積物などからなる第四系堆積物が新第三系の仙台層群を不整合に覆っている。そのため、長町-利府線と直交する地質断面図を作成し、第四系基底の変形について検討した。ボーリング柱状図は、とうほく地盤情報システム（森・布原, 2012）と仙台市交通局から入手し、テキストデータ化した。テキストデータを自動で整理するプログラムを作成し、長町-利府線と直交する向き（S50° E）に地質断面図を作成した。コア掘削地点の標高は、2006, 2008 年計測の航空測量データから作成した 2m DEM から取得した。また、同じ 2mDEM を用いて、地質断面図を作成した範囲の地形断面図を作成した。

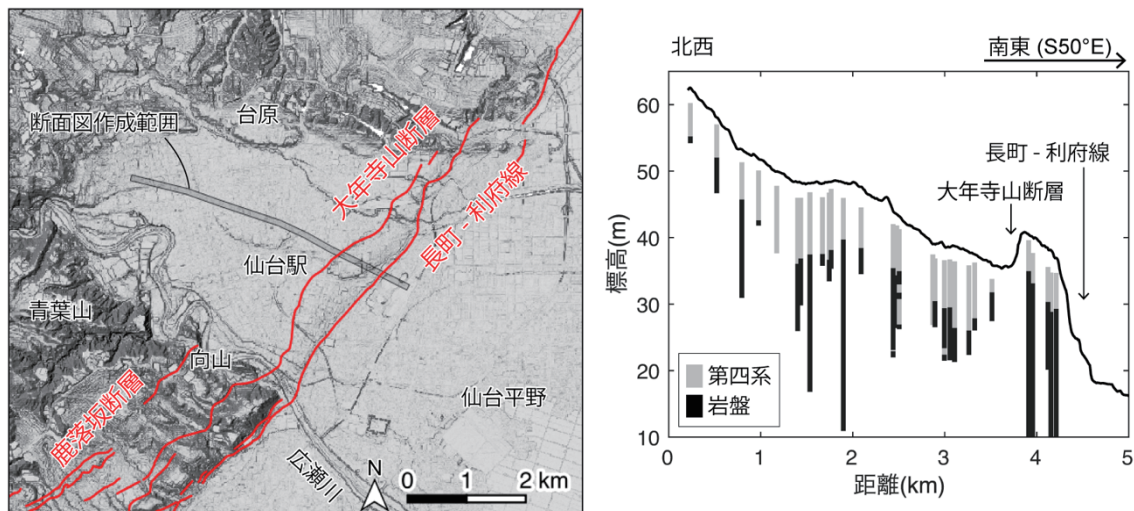
### 4. 結果, 考察

第四系堆積物の基底高度分布をもとに、以下の 2 点について検討した。図 2 において、大年寺山断層周辺では、断層の地表トレースから約 500m 北西側の地点から第四系の基底高度が南東に向かって上がり始める。広瀬川左岸の河成段丘分布範囲において作成した他の地質

断面においても、図2の断面と同様に、大年寺山断層の地表トレースと第四系基底高度の増加開始地点が数百メートルずれていた。この原因として、大年寺山断層の撓曲崖基部が地形的に確認できる位置よりも西側にあること、鹿落坂断層が青葉山丘陵（図1）からさらに北東まで続いていることなどが考えられるが、現時点で明確に原因を特定することは困難である。2点目は、大年寺山断層の地表トレースから約1.5km北西の地点において、第四系基底高度が周囲より高くなっていることである（図2、距離2km付近）。この第四系基底の高まりは、台原～向山付近にかけて北北東―南南西方向に分布しており、台原では段丘面の変位も明瞭である。産業技術総合研究所（2010）は、2m DEMを用いて変動地形の分布を再検討し、台原～向山付近（図1）にかけて背斜変形が生じていると述べており、本研究結果と調和的である。この背斜変形については、台原の段丘面を変位させているがそれより若い時期に形成された段丘には変位が見られないため、活構造ではないとされていた（中田ほか、1976）。本研究で用いたボーリングデータでは、最低位の段丘面における背斜変形の有無は確認できないものの、少なくとも従来考えられていたよりも若い時代まで、この背斜変形が継続していたと考えられる。

## 5. 文献

中田ほか（1976）東北地理，28，111-120；森・布原（2012）地盤工学会誌，60(10)，18-19；産業技術総合研究所（2010）「活断層の追加・補完調査」成果報告書，H21-3；今泉ほか（2008）国土地理院技術資料 D1-No. 502。



（左）図1. 仙台市中心部の活断層。断層トレースは今泉ほか(2008)による。

（右）図2. 地形・地質断面図。矢印で示した断層位置は今泉ほか（2008）の地表トレースによる。地形断面図（黒実線）は実際の標高よりも2m高くしてある。



# 長町－利府線断層帯における 2 次元微動アレイ探査

° 鈴木晴彦（応用地質）・高橋直也・吉見瑶子 中村朋暉・乗松君衣（東北大学）・松山 尚典（応用地質）・遠田晋次（東北大学）

2D microtremor array measurements for estimation of shallow subsurface structural model in Nagamachi-Rifu line fault zone.

SUZUKI Haruhiko, TAKAHASHI Naoya, YOSHIMI Yoko, NAKAMURA Tomoki, NORIMATSU Kimie, MATSUYAMA Hisanori, TODA Shinji

## 1. はじめに

微動アレイ探査は、海岸に打ち寄せる波浪や風、交通・工場振動などを振動源とする地面の微小な揺れ(微動)を観測することにより、S波速度構造を簡便に推定する手法である。1次元探査に加え、2次元、3次元探査が多く実施され、土木建築分野、地震防災分野で広く利用されている<sup>1)</sup>。本研究では、長町－利府線断層帯を横断する浅部地盤構造の推定を目的として、仙台市太白区において2次元微動アレイ探査を実施した。

## 2. 測定および解析方法

測定には、22台の応用地質製三成分 McSEIS-AT、地震計として固有周期 2Hz のジオフォンを用いた。図1に観測点位置図を示す。地震計の間隔は 10m 程度とし、22台中5台をオーバーラップさせて、30分程度の測定を10回実施した。測線の両端においてL字アレイ、測線内では、底辺長 2~3m の極小微動アレイ探査も実施した。解析法は CMP-SPAC 法を用いた常時微動トモグラフィ法を用いた<sup>2)</sup>。CMP の間隔を 30m として、測線全体で 73本の位相速度曲線を推定した。観測された位相速度の周波数範囲は 2~25Hz 程度である。測線の西部では全体的に位相速度が速く、国道 286 号線周辺から東側で位相速度が低下する傾向が見られた。

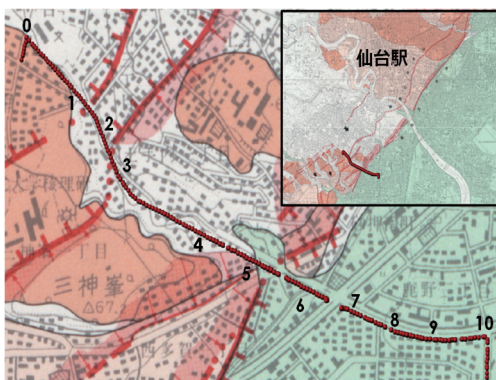


図1 観測点位置図  
背景は「都市圏活断層図」. 国土地理院ホームページより部分抽出し測線を加筆.

また、L字アレイやCCA法<sup>3),4)</sup>による結果と整合的であることも確認した。

## 3. 解析結果

得られた 73 本の位相速度を用いて、非線形最小二乗法により S 波速度構造を推定した。初期モデルは、波長の 3 分の 1 の深度に位相速度をプロットし深度 50m 以浅を 15 層に分割して作成した。図2上図に S 波速度構造の断面図を示す。測線の西部と東部で基盤上位の S 波速度が有意に異なっている。距離程 1100m 以下の地域では、基盤の上位の S 波速度は 300m/s 程度であり、国道 286 号線より東側の地域で



は、S 波速度 150m/s を下回る層（沖積層に相当すると推定）がみられ、測線の東端までほぼ均一に分布している。また、地形判読による主断層は 5 と 6 の旗の位置の中間に位置しているが、S 波速度構造からは、6 の旗の位置より東側で表層の低速度層が優位に厚く、ほぼ均一に分布していることから、この付近が主断層の位置に対応するように見える。距離程 900m 付近の S 波速度構造の変化は、この位置の北東側にある、主断層のひとつ後ろの分岐断層の延長部とも考えられる。距離程 400m 付近から東側では、標高 30m 付近よりやや深部の Vs300m 以上の速度構造が急変している。この付近に東傾斜の逆断層（バックスラスト）の存在に対応する可能性がある。表層部の低速度部はこの付近がやや凹地となっており、表層部に新しい堆積物が存在していることに対応すると考えられる。図 2 下図には、H/V（水平動/上下動）スペクトルの分布図を示す。距離程 1080m 付近で水平動が上下動に比べて大きくなるピーク（図では黄色から赤色で表現）が 7Hz 付近にみられ、国道 286 号線以东ではピークは 5 Hz 以下となる。この変化は、S 波速度構造の変化とよく対応している。

#### 4. まとめ

長町利府断層帯において 2 次元微動アレイ探査を実施した。地形判読による前縁の主逆断層よりやや東側において、S 波速度構造や H/V スペクトルピーク周波数が変化していることが確認できた。なお、調査期間中に、福島県東方沖の地震(Mj5.1)の観測を行うことができた。断層近傍の地震時の震動特性に関しても、当日報告を行う予定である。

参考文献：1)：林 久夫ほか(2019)：物理探査学会第 140 回学術講演会論文集，47-50. 2)：Hayashi, K. et al.(2021): GEOPHYSICS, VOL. 86, NO. 4 (JULY-AUGUST 2021); P. EN51-EN62, 15 FIGS., 1 TABLE., 10.1190/GEO2020-0467.1 3)：Tada et al.(2010), Proc. 7th International Conference on Urban Earthquake Engineering, Center for Urban Earthquake Engineering, Tokyo Institute of Technology.  
4):bido3.0,<http://staff.aist.go.jp/ikuo-chou>

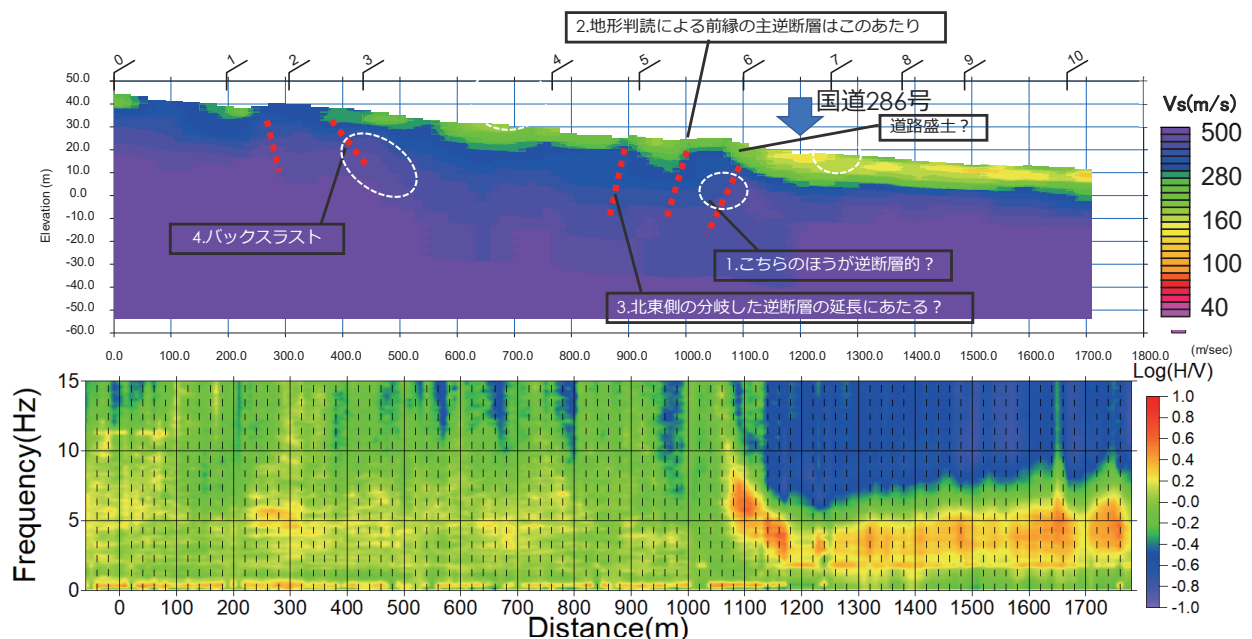


図 2 S 波速度構造断面図(上図)及び H/V スペクトル分布 (下図)

## 断層ガウジに含まれる交換性陽イオンと全岩化学組成の関係

○菅野瑞穂, 丹羽正和, 島田耕史(日本原子力研究開発機構), 立石良(富山大学)

Relationship of exchangeable cations in fault gouges with their whole-rock chemical compositions

Mizuho KANNO, Masakazu NIWA, Koji SHIMADA(JAEA), Ryo TATEISHI(Univ. Toyama)

### はじめに

第四紀後期の地形面や地層の分布に乏しく、変動地形学的手法が適用できない場合における活断層の認定手法の検討例の一つとして、断層ガウジの化学的性質に着目した手法が挙げられる(例えば、大谷ほか, 2013)。立石ほか(2021)は、国内における花崗岩質岩類中の横ずれ活断層と、既に活動を終えている断層(非活断層)の断層ガウジの全岩化学組成データを用いて線形判別分析を行い、両者が分かれることを示している。ただし、両者が化学組成で区別される要因については明らかとなっていない。断層ガウジの多くはスメクタイトなどの粘土鉱物に富むことで特徴づけられるため、粘土鉱物に吸着した元素が断層運動時、あるいはその後の活動休止期間における元素移動に大きく影響し(例えば、Niwa et al., 2015)、活断層と非活断層とで化学組成に違いが生じている主な原因となっている可能性がある。そこで本研究では、活断層、非活断層それぞれの断層ガウジを対象として交換性陽イオンの分析を行うとともに、全岩化学組成分析を併せて行い、両者の結果を比較した。

### 分析試料

分析した断層ガウジは、活断層として五助橋断層、六甲断層、跡津川断層、屏風山断層を対象とした。また、非活断層として広島花崗岩および六甲花崗岩中の断層を対象とした。五助橋断層および六甲断層の試料は、田中ほか(2018)の図-2のF1, F2断層、および図-3のF1断層から採取した。跡津川断層の試料は、丹羽ほか(2008)のFig. 5のSA-1とFig. 12のIT-2, Niwa et al. (2011)のFig. 4の地点5から採取した。屏風山断層の試料は、日本原子力研究開発機構(2016)の付2-8のZ2およびZ4から採取した。広島花崗岩中の試料は、植木ほか(2016)の図3.1.12の15042102-2, 15042103-1, 15042103-2から採取した。六甲花崗岩中の試料は、田中ほか(2018)の図-5のF1断層から採取した。

### 手法

交換性陽イオン分析では、粘土鉱物への吸着性の強いセシウムとイオン交換させる方法で、Inoue(2000)の手法を参考にして行った。分析では、超純水で攪拌・洗浄、遠心分離機で濃集を2回繰り返し、40℃で乾燥させた試料を用いる。試料1.5gと0.1 mol/lの塩化セシウム水溶液25 mlを遠沈管に入れ、時々攪拌しながら6日間室温で放置する。放置後、遠心分離機で上澄みを抽出し、50 mlになるように超純水でメスアップする。抽出した試料を誘導結合プラズマ発光分光分析により、Na, Mg, K, Ca, Rb, Sr, Baイオンの濃度を測定した。全岩化学組成分析は清水ほか(2016)に基づき、試料と融剤の質量比が1:2となる手法で作成したガラスビ

ードを用いた蛍光X線分析により行った。

## 結果

測定した元素のうち、Na, Mg, K, Ca, Sr, Baは活断層と非活断層とで明瞭な傾向の差は見られなかった。一方、Rbでは六甲断層の1試料を除き、非活断層が活断層よりも全岩化学組成、交換性陽イオン濃度ともに大きいという結果となった。このことは、粘土鉱物に取り込まれているRbが、断層運動と関係した元素移動の鍵になっている可能性を示唆する。

なお、本研究は資源エネルギー庁委託事業「令和2～3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（地質環境長期安定性評価技術高度化開発）」の成果の一部である。

## 引用文献

大谷具幸ほか, 2013, 日本応用地質学会研究発表会講演論文集, 113–114 ; 立石 良ほか, 2021, 応用地質, 62, 104–112 ; Niwa, M. et al., 2015, Geofluids, 15, 387–409 ; 田中義浩ほか, 2018, 応用地質, 13–27 ; 丹羽正和ほか, 2008, 地質学雑誌, 114, 495–515 ; Niwa, M. et al., 2011, Engineering Geology, 119, 31–50 ; 日本原子力研究開発機構, 2016, 平成 27 年度地層処分技術調査等事業 地質環境長期安定性評価確認技術開発報告書 ; 植木忠正ほか, 2016, JAEA-Data/Code 2016-010 ; Inoue, A., 2000, Marine Geology, 162, 501–528 ; 清水麻由子ほか, 2016, JAEA-Testing 2016-004. ; Aitchison, J., 1986 ed., The statistical analysis of compositional data, Chapman and Hall.

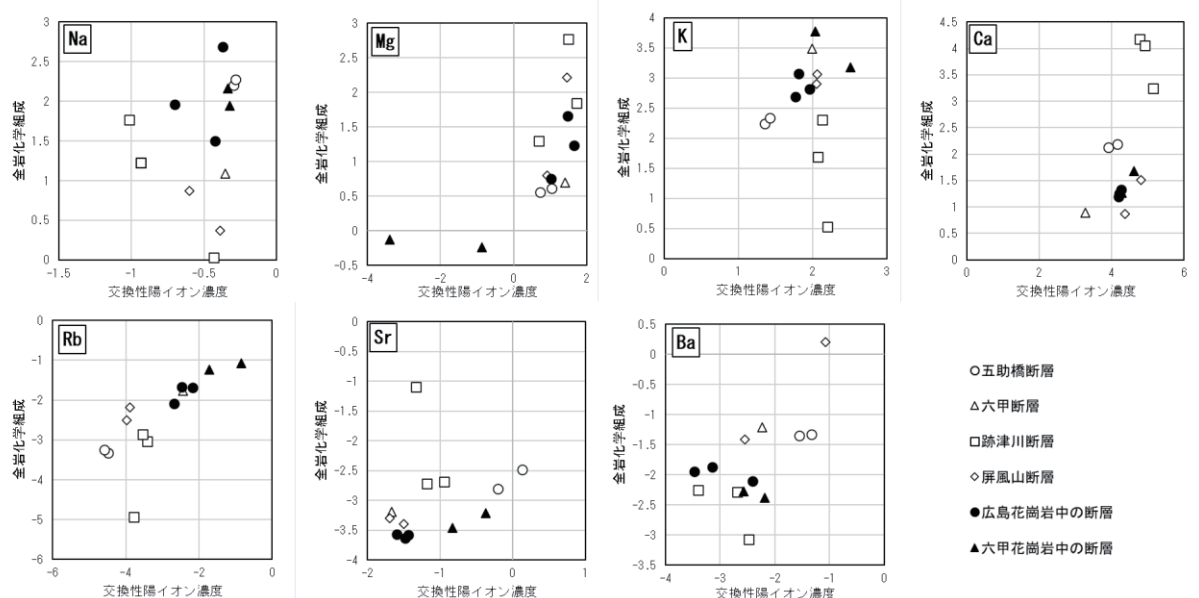


図-1 交換性陽イオン濃度と全岩化学組成との相関図

変数の総和が定数で固定されているデータに対し統計的な検討を可能にするため、分析結果は有心対数比変換（各元素の分析値を、各試料の測定した全元素組成の幾何平均で除し、その自然対数をとる変換法；Aitchison, 1986）により規格化した値で示した。

## 断層破碎帯の震動特性 -中央構造線断層系三野断層-

香川敬生（鳥取大学工学部）・木村一成（(株)ナイバ愛媛支店）

Ground motion characteristics in the shatter zone of the Mino Fault of Median Tectonic Line

Takao KAGAWA (Tottori Univ.) and Kazunari KIMURA (Naiba Co. Ltd.)

### 1. はじめに

地表断層変位が明瞭に見られる被害地震において、断層変位による被害があるものの地震動による影響が必ずしも大きくない事象が散見される（香川，2018）。また、断層帯近傍で実施した常時微動観測において、地盤の卓越周期が不明瞭になる現象が報告されている（香川・他，2017，野口・他，2021）。これらの現象を地盤応答の観点から考察すべく、断層破碎帯を対象にボーリング調査を実施して不攪乱試料を採取し、非線形地盤応答のモデル化に必要な動的変形特性の把握を試みた。

### 2. 調査の概要

ボーリングによって不攪乱試料を取得するためには、十分に大きな破碎帯を対象とし、かつアクセスが比較的容易であることが条件となる。そこで、各地の断層露頭の中から徳島県三好市三野町太刀野における中央構造線断層系三野断層の破碎帯（岡田，2020）を選定した。

まず、断層破碎帯を横断するように常時微動の単点3成分観測（JU410を1台利用）を14点で実施し（2020年12月）、破碎帯部を挟んで微動H/Vスペクトルの卓越周波数が変化し、破碎帯部で卓越が不明瞭になるという、他の地表断層部と同様の特徴がここでも確認された（図-1の10Hz付近）。なお、破碎帯露頭部に直接設置した場合には明瞭なピークが見られている。



図-1 左：断層破碎帯直上(00)と道路上で実施した(01～13)常時微動 H/V スペクトルと右：現地写真  
10Hz 付近のピークが破碎帯を挟んで少し変化し、直上付近で不明瞭になっている。

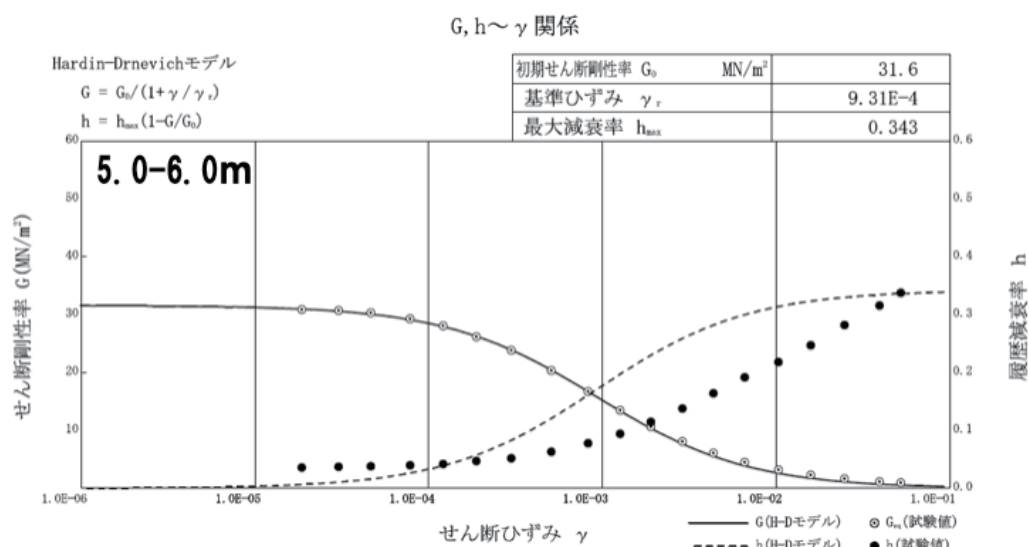
ボーリングは表層部の10m（径86mm）を対象とし、ロータリー式三重管サンプラー（トリプルサンプラー）で9深度の不攪乱試料を採取した（2021年1月）。このうち7試料について



繰り返し三軸試験を実施し、動的変形特性 ( $G/G_0-\gamma$ ,  $h-\gamma$ ) を得た (2021年2月)。うち浅部の4試料はよく締まった粘土質破碎帯、深部の3試料は強固結した断層岩であった。ボーリング孔を利用したPS検層 (ダウンホール法) をあわせて実施し (2021年1月)、地震波速度構造の把握をおこなった。

### 3. 調査結果

表層から7 mはよく締まった粘土質破碎帯に相当し、PS 検層によるS波速度は 245～327m/s となった。それ以深は強固結した断層岩 (カタクレサイト) であり、S波速度は 484m/s が得られた。繰り返し三軸試験から得られた動的変形特性を図-2 に示すが、これらに Hardin-Drnevich (H-D) モデルを適用すると、基準ひずみ ( $\gamma_{ref}$ ) は表層7 mで  $1 \times 10^{-3}$  程度、それ以深で  $2 \sim 6 \times 10^{-4}$  程度と軟弱地盤に相当する程度の比較的小さな値が得られた。最大減衰は表層7 mで軟弱な砂地盤相当の 0.34～0.38 程度と大きく、それ以深では 0.14～0.18 程度となった。また、特に表層7 mについては、H-D モデルで共通とする剛性低下と減衰増大の基準ひずみが異なり、減衰の方を大きくした方が試験結果を良く説明する結果となっている。



### 4. おわりに

得られた動的変形特性のモデル化を進め、このような特性を持つ地盤に強震動が作用した場合に、どのような非線形地盤応答が局所的に想定されるかを検討したい。また、地盤速度構造と常時微動特性の整合性についても解釈を試み、断層帯近傍における震動特性に関する知見を深めたい。

**謝辞** (有)山口興業には所有する敷地内での調査への許可、ご協力を頂きました。本研究は日本学術振興会科研費 19H02406 の助成を受けたものです。記して感謝致します。

### 参考文献

- 香川・他 (2017), 土木学会論文集A1, 73(4), pp. I\_840-I\_846.
- 香川 (2018), 日本活断層学会2018年度秋季学術大会, 講演予稿集, S-4, pp. 14-15.
- 野口・他 (2021), 土木学会論文集A1, 77(4), pp. I\_617-I\_625.
- 岡田 (2020), 中央構造線活断層帯-最長活断層(四国)の諸性質-, 古今書院, 368p.

## 飛騨高原北部に分布する稲越断層の断層露頭

°中村耕佑(富山大学)・田村友識(山口大学)・山口弘幸(富山大学)  
・安江健一(富山大学)

**Fault outcrops of the Inagoe Fault in northern part of Hida Plateau**  
Kosuke NAKAMURA(Univ. Toyama), Tomonori TAMURA(Yamaguchi Univ.),  
Hiroyuki Yamaguchi(Univ. Toyama), and Ken-ichi YASUE(Univ. Toyama)

### 1. はじめに

中部地方は日本でも有数の活断層地帯であり，その中でも飛騨高原北部には，北東-南西系の右横ずれ活断層が隣接して複数分布する．このような活断層が密集している地域の断層運動を解明するためには，個々の活断層の活動履歴を得ることが重要である．比較的断層長の長い跡津川断層では，約1万年前以降の複数のイベントの時期が明らかにされている．しかし，跡津川断層の南に位置する断層長の短い複数の活断層に関しては，詳しい活動履歴が得られていない．本発表では，跡津川断層から約4km南に位置し，活断層露頭が複数報告されている稲越断層を対象に，地形・地質踏査を実施して確認した断層露頭について報告する．

### 2. 断層分布

稲越断層は，飛騨市古川町谷の西を東端として，湯峰峠から稲越川に沿って南西へ連続し，下小鳥ダム・飛騨河合PAを抜けて栗ヶ谷付近まで続く，長さ約14kmの活断層である．断層沿いには，系統的な尾根・谷の屈曲，直線状の谷，鞍部，分離丘などが分布する．また，これまでに断層東部の稲越川沿い及び断層西部において活断層露頭や活動時期が確認されている（岐阜県活断層研究会, 2008；田村ほか, 2021）．

### 3. 断層露頭状況

本研究において，活断層トレース上で新たに3箇所の断層露頭を確認した．それぞれの特徴を以下に記す．

#### 【断層北東部：湯峰峠】

花崗岩と頁岩を境する断層が観察できる．断層を境に，北側には石英や長石を主体とする斑状粗粒な花崗岩が分布し，南側には灰色～暗灰色の砂質頁岩が分布する．境界付近には，垂直な割れ目が多く発達した粘土質の破砕部が確認できる．この中で，連続性がよく露頭上部まで続く断層面が見られる．その走向・傾斜は  $N69^{\circ} E \cdot 88^{\circ} N$  であり，断層面上の条線はトレンドが  $N79^{\circ} E$ ，プランジが  $18^{\circ} E$  である．

#### 【断層中央部：下小鳥ダム付近】

角礫層と頁岩を境する断層が観察できる．断層を境に，北側には大きいもので直径1mを超える角礫～亜角礫と粗粒な長石や石英を多量に含む基質からなる角礫層が分布し，南側に

は中粒～粗粒の長石や石英を多量に含む灰色～暗灰色の砂質頁岩が分布する．境界付近には，未固結で粘土質の破碎帯が確認できる．断層面の走向・傾斜は，露頭の下部で  $N79^{\circ} E \cdot 46^{\circ} S$ ，中部で  $N66^{\circ} E \cdot 53^{\circ} S$ ，上部で  $N68^{\circ} E \cdot 20^{\circ} S$  であり，大局的に地表に近づくにつれて断層面が低角化する．

#### 【断層西部：栗ヶ谷川】

下小鳥ダムに流れ込む栗ヶ谷川沿いに分布する河成段丘を削り込む谷沿いに礫層を変位させる断層が観察できる（図）．断層を境に，南側は，飛驒変成岩を破碎した幅 2m 程の黒色断層ガウジと白色断層ガウジが交互に確認できる未固結な破碎帯が分布し，断層ガウジ中の断層面の走向・傾斜は  $N50^{\circ} E \cdot 72^{\circ} S$  である．断層の北側は，材などの植物片を僅かに含み，非常に締まった淘汰の悪い礫支持の角礫層 b が分布する．この角礫層 b は，断層から 50cm 程の範囲で断層面に沿うように再配列している礫が認められる．断層ガウジの上位には，崩れやすく淘汰の悪い角礫層 a が分布しており，角礫層 b と断層で接している．活断層面の走向・傾斜は  $N50 \sim 56^{\circ} E \cdot 84 \sim 90^{\circ} S$  である．さらに，この断層を覆う締まりの悪い砂礫層が分布する．

#### 4. まとめと今後の課題

今後，本研究で観察した活断層露頭において活動履歴を明らかにすることに加え，周辺の活断層の活動履歴を含めて飛驒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．

#### 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，2021，岐阜県北部、古川断層帯稲越断層の活断層露頭，日本地球惑星連合大会 2021 年．

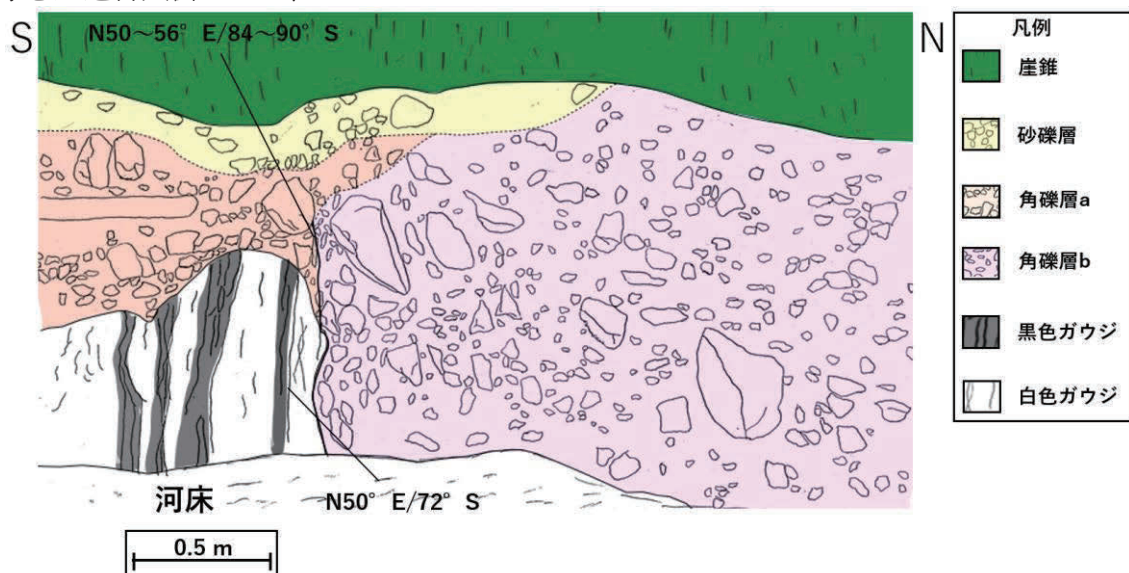


図 稲越断層南西部栗ヶ谷川沿いに分布する河成段丘を削り込む谷沿いの断層露頭スケッチ．

## 長野県北部，野尻湖西方で発見された活断層露頭周辺の地形・地質

○竹下欣宏<sup>1</sup>・関めぐみ<sup>2</sup>・近藤洋一<sup>2</sup>・花岡邦明・宮下 忠・

中川知津子<sup>3</sup>・廣内大助<sup>1</sup>・野尻湖地質グループ

<sup>1</sup>信州大学・<sup>2</sup>野尻湖ナウマンゾウ博物館・<sup>3</sup>戸隠中学校

The geomorphological and geological features around the active fault found west of the Lake Nojiri-ko, northern part of Nagano Prefecture

○Yoshihiro TAKESHITA<sup>1</sup>, Megumi SEKI<sup>2</sup>, Yoichi KONDO<sup>2</sup>, Kuniaki HANAOKA, Tadashi MIYASHITA, Chizuko NAKAGAWA<sup>3</sup>, Daisuke HIROUCHI<sup>1</sup>

and Geology Research Group for Nojiri-ko Excavation

Shinshu Univ.<sup>1</sup>, Nojiriko Naumann Elephant Muse.<sup>2</sup>, Togakushi J.H.S.<sup>3</sup>

### はじめに

長野県北部の野尻湖西方において活断層露頭が発見された（竹下ほか，2020）．この露頭では池尻川岩屑なだれ堆積物（石井・野尻湖地質グループ，1997）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．これらのテフラ層は黒姫山や妙高山から約 68～43ka に噴出したと推定されている（長橋・石山，2009）．さらに約 30ka の広域テフラ層である始良 Tn テフラ層が褐色風化火山灰土層中にバブルウォール型火山ガラス片の濃集層準として確認され，この層準も断ち切られていることから，約 30ka 以降も活動したと考えられる．また露頭の脇を流れる池尻川は丘陵状の高まり断ち切って先行河川として低地帯（池尻川低地）から流れ出ており，明瞭な変動地形が認められる．このような変動地形に基づき，野尻湖西方の露頭で発見された断層は北東南西方向に 6 km 程度連続する可能性がある（廣内・竹下，2020）．本報告ではこの活断層を向新田断層と仮称する．

向新田断層の性質を明らかにするためにこの断層の周辺において地形・地質調査を行った．その結果，これまで単に河岸段丘として捉えられていた地形が，断層の動きにともなう撓曲によって約 30ka に離水した可能性が高いこと，地すべり地形と解釈されていた地形が急激な浸食で形成された地形と断層による撓曲の組み合わせである可能性が高いこと，活断層が完新世にも活動した可能性が高いことがわかったので報告する．

### 池尻川低地の河岸段丘の地形と地質

長野県北部にある野尻湖の西側には北東南西方向に約 2.5km，北西南東方向に約 400m の広がりをもつ標高 650～654m の平坦な低地帯があり，池尻川低地と呼ばれている．この低地帯の出口付近には比高 4m 程度の段丘が池尻川の両岸に見られる．この河岸段丘は，廣内・竹下（2020）で推定された活断層よりも東側にあり，この活断層は北西傾斜の逆断層であるため，下盤側にあたる．また，河岸段丘の東側には活断層と考えられる六月断層（長森ほか，2003）があるが，この断層は南東傾斜の逆断層と推定されているため，やはりこの河岸段丘は六月断層の下盤側にあたる．このように両断層の下盤側，すなわち一般的には沈降が優性と考えられる場所で，なぜ隆起によって形成される河岸段丘が形成されたのであろうか．

現地での目視および国土地理院の数値地図を利用して河岸段丘の地形を調べたところ，この段丘面は標高 654m 付近をピークとして下流側と上流側にゆるやかではあるが傾斜しており，北西南東方向を軸とする背斜状の地形を呈することがわかった．したがって，この段丘面は背斜状地形の軸に直行する方向（北東南西方向）の圧縮を受けている可能性が高く，向新田断層は垂直成分だけでなく横ずれ成分をとともなう断層である可能性が示唆された．また，段丘面の中で最も高い標高 654.4m 地点



で深さ 2.3m の調査ピットを掘って段丘の構成層を調査した。その結果、厚さ 3cm 程度の細粒ガラス質火山灰層が再堆積層をとまって堆積していること、それより下位の粘り気の強いシルト層には黒姫山や妙高山からの降下テフラ層のほか砂の薄層が挟まれること、それより上位の明黄褐色風化火山灰土はフカフカしており砂の薄層は挟まれないことが確認できた。このガラス質火山灰層はほとんどバブルウォール型の火山ガラスからなり、他のテフラとの層位から AT に対比されると考えられる。これらのことから調査ピットを掘った地点は、AT 降灰後に離水したとことがわかった。

### 野尻大学村周辺の地形と地質

活断層露頭の北東側にある野尻大学村内には東側に開いた馬蹄形の急崖とマウンド状にゆるやかに盛り上がった地形の組み合わせがあり、防災科学研究所の地すべり分布図では、これらを地すべりの滑落崖と移動体と解釈している。廣内・竹下 (2020) は、マウンド状の地形を変動地形と捉えて活断層の位置を推定している。したがってこの地形の成因が、地すべりであるか否かは断層の位置を決めるうえで重要である。そこで、防災科学研究所の地すべり分布図で移動体と解釈された範囲の中心付近で長さ 4m、幅 1.5m、深さ 3.5m のトレンチを掘削して地層を観察した。その結果、下位より池尻川岩屑なだれ堆積物 (厚さ 100cm 以上) と亜円～亜角礫層 (厚さ 25cm)、それらを覆う風成堆積物 (厚さ 3.2m) が乱れることなく堆積している様子が確認された。風成堆積物中には活断層露頭で記載された多数の降下テフラ層のほぼすべてが挟まれていた。

このように地層に乱れがないことから、このマウンド状に盛り上がった範囲は地すべりの移動体とは考えにくく、断層によって形成された変動地形と解釈する方が妥当である。この解釈が正しいとすると、滑落崖と解釈されていた急崖は何らかの浸食によって形成されたと考えざるを得ない。このトレンチでは、約 68ka の池尻川岩屑なだれ堆積物を約 66ka の降下テフラ層である [ツブオレンジ] (長橋・石山, 2009) が覆うため、この急崖は約 2000 年の間に浸食により形成されたと考えられる。

### 赤川左岸の段丘の地形と地質

赤川左岸には北東南西方向に連続する比高 2m 程度の段丘が認められる。廣内・竹下 (2020) ではこの段丘の東端に断層を推定した。断層により隆起する前は段丘と低地は一続きであったと考えられ、この段丘がいつ離水したのかを明らかにすれば、向新田断層の最新の活動に関する情報を得られる可能性がある。そこで、段丘面上で深さ 2m ほどの調査ピットを掘り地層を観察した。その結果、礫層とシルト層からなる水成層を厚さ 65cm ほどの黒ボク土 (柏原黒色火山灰層: 野尻湖地質グループ, 1980) が直接覆うことが確認された。礫層とシルト層には降下テフラ層が挟まれていなかったために層位は不明であるが、柏原黒色火山灰層が堆積しはじめるまでは、低地の一部であったはずである。柏原黒色火山灰層の基底から 20cm 上に厚さ 5～8cm の黄褐色火山灰層が挟まれており、その層相と角閃石や直方輝石を多く含むことからこの火山灰層は約 6ka の妙高～赤倉火山灰層 (早津, 2008) に対比できる。また、近隣の遺跡では柏原黒色火山灰層から縄文早期以降の遺物が見つかっている (中村, 1997)。これらのことから、赤川左岸の段丘を覆う柏原黒色火山灰層の堆積開始が 11ka より古くなることは考えられない。したがって、向新田断層は完新世にも活動した可能性が高い。

**引用文献:** 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. 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. 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. 野尻湖火山灰グループ (1990) 地団研専報, 37, 29-38. 長橋・石山 (2009) 野尻湖ナウマンゾウ博物館研究報告, 17, 1-57. 長森英明ほか, 2003, 戸隠地域の地質, 産総研地質調査総合センター, 109p. 中村 (1997) 第四紀, 29, 17-25. 竹下ほか (2020) 日本活断層学会講演予稿集, 22-23.

## 糸魚川–静岡構造線活断層系白州断層の詳細な活断層分布と 三次元変位ベクトルの復元

・山中 蛍（広島大・院）・後藤 秀昭（広島大）

### Slip-Vector Deduced from Tectonic Geomorphology of the Hakushu Fault, Itoigawa-Shizuoka Tectonic Line Active Fault System Tomoru Yamanaka, Hideaki Goto (Hiroshima Univ.)

1. はじめに 日本列島の  $10^3 \sim 10^5$  年スケールの地殻応力については、活断層の分布と変位様式の概要が明らかにされた 1970 年代から議論がなされてきた（岡田・安藤，1979 など）。活断層の変位ベクトルは、それをさらに詳細に検討する手がかりであり（阿部・池田，1987），GNSS を用いた測地観測から知られる近年の歪蓄積と比較することで、時間スケールを変えて列島の変形や断層運動の特性を議論することができる重要な情報である。

糸魚川–静岡構造線活断層系は、変位様式の違いに基づき、北部（東傾斜の逆断層）、中部（左横ずれ断層）、南部（西傾斜の逆断層）に区分された（奥村ほか，1998）。その後、これらの変位様式と GPS 連続観測により明らかにされた歪みの方向とに一部で不調和があることが指摘された（Sagiya et al., 2004 など）。また、平行して LiDAR データの利用などによって変動地形の再検討が行われ、北部区間の松本盆地東縁断層（近藤ほか，2006）や神城断層（廣内ほか，2018）で左横ずれ変位地形が新たに認定された。

一方、南部区間では GNSS 連続観測では顕著な歪みはないとされ（地震本部，2015），微小地震の発震機構解の P 軸方位は北西–南東～西北西–東南東とされる（今西ほか，2006）。本研究では、地形学的時間スケールでの応力を議論するため、白州断層周辺を対象に LiDAR データを用いたステレオ実体視による地形判読とトレンチ調査を含めた現地調査を行い、断層変位の三次元変位ベクトルを検討した。

2. LiDAR データのステレオ実体視から明らかになった詳細活断層分布 白州断層は、北北西–南南東走向で赤石山地の東縁に分布する延長約 10km の活断層である（図 1）。北には、北西走向の左横ずれ断層の下葛木断層が分布しており、断層の走向の違いによって変位様式が異なるとされ



図1 白州断層とその周辺の活断層  
活断層の位置は本研究の判読による。背景の陰影図は国土地理院発行基盤地図情報 10m メッシュ DEM を用いて作成した。

ている（澤，1985）。LiDAR データを用いた判読からは，白州断層の分布を詳細に明らかにでき，新たな変位地形も多数，認定できた。以下，判読結果の概要を記述する。

白州断層は赤石山地から東流する諸河川が形成する複合扇状地を山麓線付近で南北に横切っており，沖積面を除きほぼ全ての平坦面で撓曲を伴った西側隆起の変位として認識できる。地形の人工改変が少ない地域であり，大部分を位置が明瞭な確実な活断層として図示できた。断層線は従来の活断層図に比べると，細かい湾曲に富む平面形態を持つ。また，これらに並走して，延長の短い撓曲崖が4箇所（流川右岸，田沢川左岸，尾白川左岸，尾白川右岸）で新たに認められた。これらの断層線の分布形および地形的特徴から，白州断層は低角度の逆断層と考えられる。

一方で，詳細な地形判読の結果，尾白川一沢上沢間や滝道川北方では，断層を横切る段丘崖に左横ずれ変位が新たに見出された。断層線に斜交する段丘崖のみならず，直交に近い場所でも左ずれしており，逆断層の水平短縮に伴う見かけ上の横ずれだけでは説明できない。

そのほか，白州断層の西側の山地内に北西―南東走向の直線性の高いリニアメントが複数認められた。そのうち，流川上流部，日向山東翼，白州断層南端付近では，鞍部列や小河谷の左屈曲などの左横ずれ変位を示す地形を伴うことが分かった。断層の走向によって変位様式が異なる特徴があり，水平圧縮応力軸を推定できる断層群と考えられる。

**3. トレンチ壁面に出現した逆断層** 本研究では，活断層による地層の変位，変形構造を明らかにするためにトレンチ調査を実施した。掘削地点は尾白川右岸に位置し，尾白川が最終氷期～完新世初頭に形成したと推定される段丘面を覆う現世の小扇状地上である。トレンチ壁面には，約 4,500 年前以降に堆積した砂層と古土壌の互層が出現し，それらを切る逆断層が露出した。断層面は深度 2m で西傾斜 20 度，深度 3m で 10 度であった。地層からは 2 回の変位イベントを読み取ることができた。なお，白州断層で行われた遠田ほか（2000）のトレンチ調査結果では，西傾斜 5～35 度の低角な逆断層が報告されている。

**4. 段丘崖の横ずれ変位から推定される白州断層の三次元ベクトル** 上述したとおり，白州断層では2カ所で段丘崖の左横ずれが観察された。そのうち，尾白川一沢上沢間では，L1 面の段丘崖（およそ N50°E）に断層崖を挟んで約 5～10m の左横ずれが認められた。L1 面の上下変位量は 6m であり，断層の一般走向を N30°W とし，トレンチ調査で観察された断層面の傾斜角（20 度）を当てはめると，ネットスリップは 17～19m と算定される。ネットスリップの水平短縮方向（Horizontal throw）は N70～80°E となり，主応力軸が水平である仮定すれば，純粋な逆断層とした場合の白州断層から推測される水平主圧縮応力軸（N60°E）より時計回りに 10～20 度異なることになる。これは，白州断層の周辺に分布する左横ずれ断層の走向とも調和的な圧縮軸となる。LiDAR データが利用可能となり，変動地形にもとづいて，詳細な断層の分布だけでなく，活動の特性も抽出しやすい状況になったと考える。

**謝辞** 岡山大学の隈元崇教授には変位の算出法について教示いただいた。広島大学大学院学生の岩佐佳哉さんと学部学生の清原寿樹さんには現地調査を手伝っていただき，トレンチ調査では土地所有者に掘削を許可いただいた。LiDAR データは国土地理院より借用した。文部科学省「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）」の一部を使用し，名古屋大学の鈴木康弘教授にお世話になった。以上，記して御礼申し上げます。



## 令和 3(2021)年度 1:25,000 活断層図の公開

○星野賢史・小野 康・岡本勝浩・稲澤容代・前島正吉・山中崇希  
(国土地理院応用地理部)

Release of new sheets of 1:25,000 Active Fault Map in 2021

○ Hoshino Kenji・Ono Yasushi・Okamoto Katsuhiko・Inazawa Hiroyo・  
Maeshima Masayoshi・Yamanaka Takaki

Geographic Dept., Geospatial Information Authority of Japan (GSI)

### 1. 1:25,000 活断層図について

1:25,000 活断層図（以下、「活断層図」という。）は、全国の主要な活断層帯を中心に活断層の詳細な位置・形状を 2 万 5 千分 1 の縮尺で表示した、国土地理院が作成する主題図である。平成 7（1995）年の阪神・淡路大震災を契機に整備が開始された。活断層図の作成にあたっては、活断層研究の専門家からなる「全国活断層帯情報整備検討委員会」を設置し、空中写真や航空レーザ測量データを用いた断層変位地形の判読による調査を行っている。加えて、現地調査による地形や地質の確認結果や、他機関によるトレンチ調査等の最新の研究成果などを反映し、活断層図としてまとめている。

### 2. 令和 3（2021）年度公開の 1:25,000 活断層図について

令和 2 年度に調査を実施した活断層図 8 面（新規：7 面，改訂：1 面）を、令和 3 年 9 月 30 日に公開した（図 1）。

今回の調査で新しく確認した活断層としては、「加茂」図葉の、秋葉山断層、護摩堂山断層と、「山口」図葉の、美祢市薬王寺付近の活断層があげられる。「加茂」図葉の秋葉山断層、護摩堂山断層はいずれも新津背斜西縁部に発達する副次的な断層であるとされた（石山ほか，2021）。また「山口」図葉の美祢市薬王寺付近の断層は、リニアメント上に河谷の右屈曲や傾斜変換、尾根に連続した鞍部が認められることから右横ずれを主体とする活断層であるとされた（楮原，2021）。他の図面についても、活断層の詳細な位置・形状を明らかにし、既往の活断層線の延長や主断層の副次的な変動地形等を新たに確認することができた。とくに航空レーザ測量データが整備されている地域においては、そのデータを積極的に活用したことにより、従来知られていなかった活断層線を確認することができ、たとえば「諏訪 改訂版」においては初版と比較し山間部を中心に多くの活断層を新たに確認することができた。

今回公開した成果の詳細については HP から活断層図や解説書をご確認いただきたい。

### 3. 1:25,000 活断層図の今後の取組

この公開により、活断層図の整備面数は 216 面となった。これらの成果は、断層線の判読根拠を含む解説書と共に、ウェブ地図「地理院地図」上で公開し、一般の方々も容易に閲覧できる。今後は、調査に使用した参考資料情報（過去に公開した活断層図の参考資料を含む）についても、HP 上から閲覧できるよう順次整備していく予定である（図 2）。これら成果は地震調査研究推進本部が実施する主要活断層帯の長期評価に利用されるほか、各研究機関による調査研究のための基礎資料としての利用や、行政における防災への取組に利活用が期待される。国土地理院では、引き続き主要活断層帯を中心に活断層図の整備に取り組むとともに、初期に整備した図面においても、とくに地震発生の危険性が高い断層帯を中心に図面の改訂に取り組んでいく。



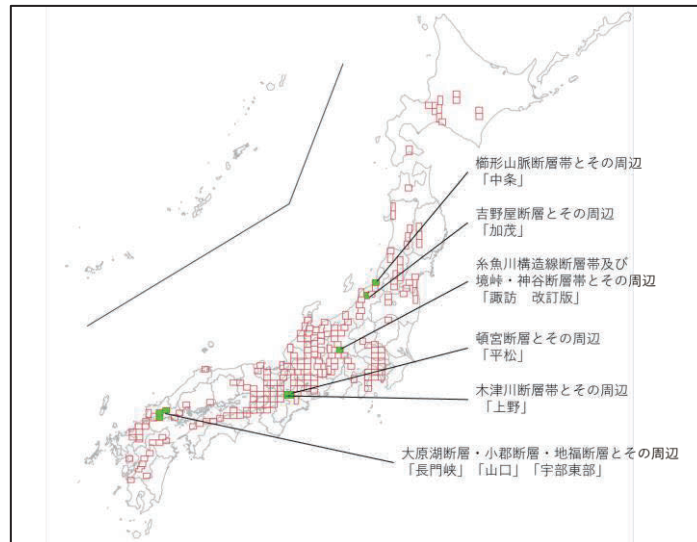


図 1. 1:25,000 活断層図の整備範囲と  
令和 3（2021）年度の公開範囲

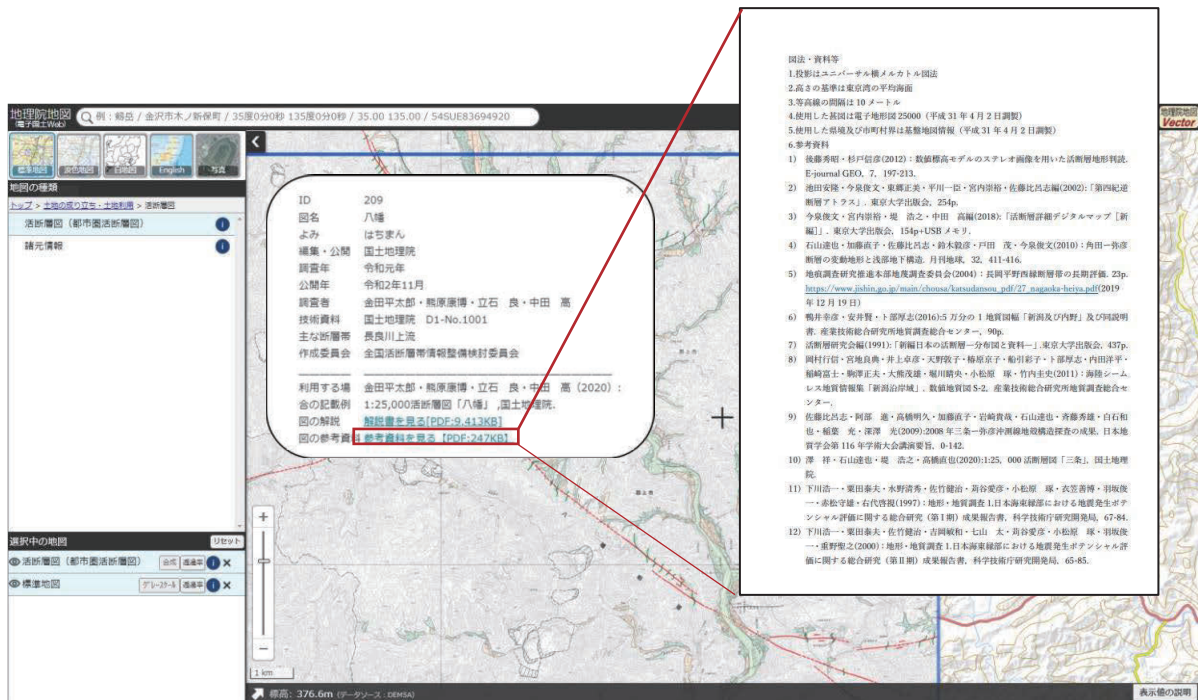


図 2. 地理院地図での表示イメージ  
活断層図にのみ掲載していた参考資料等情報について、  
地理院地図からも閲覧ができるよう順次公開していく予定。

## 引用文献

石山達也・岡田篤正・立石 良・宮内崇裕（2021）：1:25,000 活断層図 吉野屋断層とその周辺「加茂」解説書，国土地理院，9p.

榊原京子（2021）：1:25,000 活断層図 大原湖断層、小郡断層及び地福断層とその周辺「山口」解説書，国土地理院，13p.

# シンポジウム

「北陸の活断層と地震防災」

## 講演予稿集

2021 年 10 月 23 日(土) 13:30～16:30

会場: 富山大学五福キャンパス黒田講堂

主催: 一般社団法人日本活断層学会

共催: 一般社団法人立山黒部ジオパーク協会

後援: 富山県, 富山市, 特定非営利活動法人富山県防災士会

10月23日（土）午後

シンポジウム「北陸の活断層と地震防災」

【趣旨】

北陸地方は比較的地震が少ない印象があるかもしれませんが、過去には度々被害地震に襲われていますし、内陸型地震を起こす原因である活断層が存在しています。平野と山地の境界に逆断層、山間部に横ずれ活断層が存在しています。また、海域にも活断層が存在しています。本シンポジウムでは、北陸地方の活断層や地震活動に関する最新の知見について情報交換を行い、地域の地震防災について考えたいと思います。

司会：山瀬裕子

- |       |                    |      |
|-------|--------------------|------|
| 13:30 | 趣旨説明               | 安江健一 |
| 13:40 | S-1 北陸の活断層の特徴とその背景 | 石山達也 |
| 14:05 | S-2 北陸の地震と石川の活断層   | 平松良浩 |
| 14:30 | S-3 活断層と地域防災       | 小杉邦夫 |

休憩（14:55-15:10）

- |       |                                     |      |
|-------|-------------------------------------|------|
| 15:10 | S-4 小竹貝塚の標高の謎－地球科学から考古学に架橋する試み－     | 川崎一朗 |
| 15:35 | S-5 福井地震と福井平野の活断層－福井地震と平野形成の関わりを探る－ | 廣内大助 |
| 16:00 | S-6 北陸と周辺海域の地震地体構造と応力場の変遷           | 竹内 章 |

（終了 16:30）

## 北陸の活断層の特徴とその背景

石山達也（東京大学地震研究所）

### Tectonic Setting of Active Faults in Hokuriku Region, Central Japan

Tatsuya Ishiyama

(Earthquake Research Institute, the University of Tokyo)

#### はじめに

北陸地域は地学的には日本海東縁部の南西延長部に位置し、堆積平野の縁辺部に多くの活断層が分布する(図 1)。本発表では、近年得られた変動地形や構造探査のデータを中心に検討を行った結果得られた、活断層の構造的な背景や特徴について紹介する。

#### 富山トラフ周辺の活断層

日本海は、中新世の日本海拡大に伴い、大規模な地殻の改変を伴う背弧リフト系が形成された場である。このうち、より陸側に位置するリフト系は東北日本から西南日本の日本海側に分布し、東北日本では主に鮮新世から第四紀にかけて圧縮応力場のもとで逆断層として再活動している(Sato, 1994 など)。このリフト系は北陸地方では富山トラフから福井沖にかけて分布すると考えられる。近年、能登半島沖～富山トラフ～飛騨山地北縁部を横断して行われた深部構造探査(図 1)の結果、北陸地域の活構造と日本海拡大期に形成された背弧リフト系の地殻構造の詳細な関係がわかってきた(Ishiyama et al., 2017a)。それによれば、富山トラフ南東縁(飛騨山地北西縁部)に沿って分布する魚津断層(東郷ほか, 2003; 松浦, 2006)などの活断層は、富山トラフ下の背弧リフト軸に隣接する大規模な地殻楔が、第四紀に逆断層として再活動したものと解釈される。断層の先端部は多くの推定よりもさらに前縁部に伏在する可能性が高い。このような構造は飛騨山脈北西縁部から両白山地西縁部にかけて走向を変えながら連続して追跡され、現在の広域応力場に最適な走向の断層が活動的であるらしい。一方、富山トラフの西側斜面～同基部にかけては西傾斜の分岐逆断層群が存在する。これらは富山トラフを充填する新期の堆積物に変位を与えており、能登半島に分布する中～後期更新世の海成段丘面群の隆起・傾動を形成してきた可能性が高い。また、能登半島から白山瀬にかけて分布する小規模な半地溝群の一部では顕著な反転構造が認められ、このうちの一部は1993年能登半島沖地震や2007年能登半島地震(佐藤ほか, 2007)などの震源断層と考えられる。ただし地震のメカニズムは現在の応力場に対する断層の走向によ

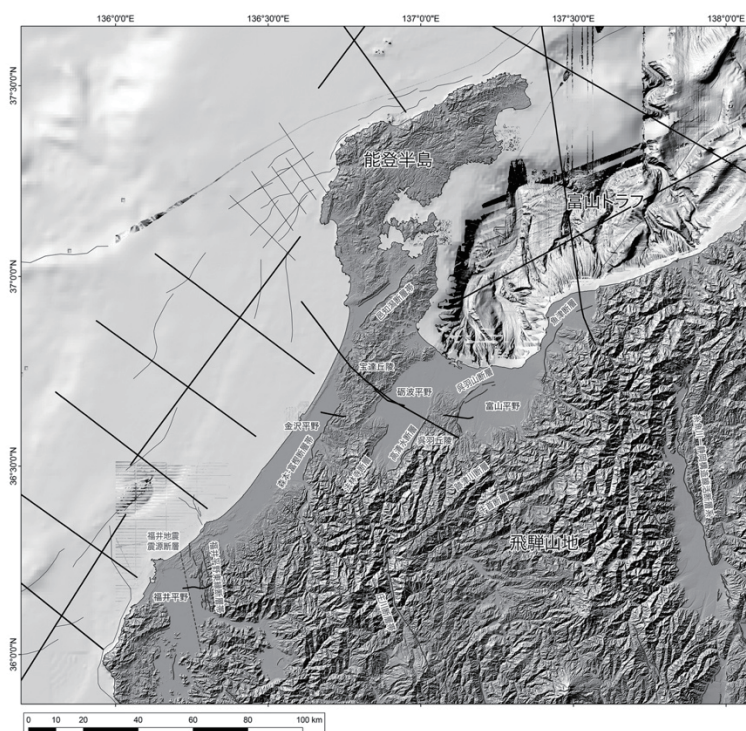


図 1 北陸地域から飛騨山地にかけて分布する主な活断層の分布・地形。黒線は主な反射法地震探査測線を示す。活断層の位置は中田・今泉編(2002)による。



って異なる。このように、富山トラフは中新世の背弧拡大に関連して形成された第一級のリフト系であり、その縁辺にはリフト系を構成する断層の再活動と解釈される逆断層が多く分布する。

### 富山平野・砺波平野・金沢平野の活断層

富山平野・砺波平野・金沢平野は、いずれも厚さ 5 km 以上の中新世～第四紀堆積物で充填された堆積盆地で、基本的には富山トラフの延長部にあたる。これらの平野では共通して第四紀に顕著な沈降を生じており、同様の背弧リフト軸沿いの顕著な沈降は新潟平野や飛島海盆、西津軽海盆などでも認められ、日本海東縁から北陸にかけて分布する背弧リフト系に共通の現象である。これらの平野は地形的には呉羽丘陵・宝達丘陵でそれぞれ隔てられており、平野・丘陵の分化は地形境界部に分布する呉羽山断層・清水断層・法林寺断層・森本断層などの活断層（逆断層）の活動によって基本的には形成されたと考えられる。これらの逆断層の多くは北東走向であり、中新世～第四紀堆積盆地がより東西に向きを変える部分に分布し、魚津断層や能登半島東の活断層とは異なって堆積盆が延びる方向とは斜交している。従って、これらの逆断層の起源は魚津断層などとは異なっており、トランスファー帯内部に形成された二次的な正断層を起源とする可能性がある。また、これらの堆積盆地内には伏在断層が分布していることが、詳細な変動地形解析（後藤・杉戸, 2012）や反射法探査の結果（Ishiyama et al., 2017ab）等から明らかにされつつある。

### 福井平野の活断層

リフト形成に寄与した正断層の再活動による逆断層に加えて、北陸地域には福井平野東縁断層帯（廣内, 2003）などに代表される北北西走向の左横ずれ断層が多く分布し、1948 年福井地震（M7.1）や 1952 年大聖寺沖地震（M6.5）などの地震も発生してきた。福井平野北部で反射法地震探査・重力測定を行った結果（石山ほか, 2016; Ishiyama et al., in prep）、福井平野東縁断層帯や福井地震の震源断層（鷺谷, 1999）近傍では新第三系・第四系が参加する横ずれ断層に伴う変形構造が存在することがわかった。これらの横ずれ断層群はリフト軸と高角で斜交することに加えて、福井地震の震源断層の両側ではリフトを充填する中新世前期の堆積岩・火山碎屑岩の分布に系統的なオフセットが見られる。従って、これらの活断層はリフト軸に直交ないしは高角で交わるトランスファー断層（Lister et al., 1986）起源であると推定される。また、御母衣断層系など飛騨・両白山地に分布する横ずれ断層の一部は、大局的にはトランスファー断層の延長上に分布しており、その再活動と関連する可能性がある。

### まとめ

近年の変動地形・地質学・構造探査などの研究の蓄積から、北陸地域に分布する活断層の多くは中新世の日本海形成に強く関与したリフト系に関係する構造的な起源をもつことが明らかになってきた。一方で、平野内に存在する伏在断層についてはその分布や活動性について不明な点が多い。伏在断層は都市部に分布し、その活動による地震が甚大な災害をもたらす可能性が高いことから、これらの分布・活動性など基本的な観測データの蓄積が待たれる。また、北陸地方のリフト構造およびその再活動と飛騨・両白山地に多数分布する横ずれ断層の構造的な関わりについては、今後の検討が必要な課題である。

### 引用文献

後藤・杉戸, E-journal GEO, 7, 197-213, 2012; 廣内, 地理学評論, 76, 119-141, 2003; Ishiyama et al., Tectonophysics, 710, 21-36, 2017a; Ishiyama et al., Tectonophysics, 718, 72-82, 2017b; Lister et al., Geology, 14, 246-250, 1986; 松浦ほか, 活断層研究, 26, 137-150, 2006; 中田・今泉（編）, 活断層詳細デジタルマップ, 東京大学出版会, 2002; 鷺谷, 地震 第 2 輯, 52, 111-120, 1999; Sato, JGR, 99 (B11), 22261-22274, 1994; 佐藤ほか, 地震研彙報, 82, 369-379, 2007; 東郷ほか, 1:25,000 都市圏活断層図「魚津」, 2003.

## 北陸の地震と石川の活断層

平松良浩(金沢大学)

Earthquakes in Hokuriku district and active faults in Ishikawa prefecture

Yoshihiro Hiramatsu (Kanazawa University)

**はじめに** 北陸は地震の少ないところと思いがちであるが、歴史的には幾度も大きな地震災害に見舞われている地域である。また、将来大地震を発生させる活断層も存在する。本講演では北陸地方を襲った過去の大地震を概観し、石川県の活断層と私たちの暮らす大地との関係について紹介する。

**北陸の被害地震と現在の地震活動** 石川・富山両県への地震被害の記録として最も古いものは1586年天正地震(M7.8)である。それ以降、金沢の城下町を中心に被害をもたらした1799年金沢地震(M6.0)、鳶崩れを引き起こし、常願寺川流域に大きな洪水を発生させることになった1858年飛越地震(M7.3~7.6)などたびたび大きな地震に襲われている。

近年になると北陸では、3,769人の死者を出し震度7新設の契機となった1948年福井地震(M7.1)、1952年大聖寺沖地震(M6.5)、1961年北美濃地震(M7.0)、1993年能登半島沖地震(M6.6)、そして2007年能登半島地震(M6.9)が発生している。

最近10年間の地震活動を見ると、比較的近年の大地震の余震や飛騨山脈や跡津川断層に沿った地震、今年になり有感地震が多発する珠洲市周辺の地震活動が目立つ。その一方、歴史的な被害地震を含めて富山平野では地震活動が低い。地震は地殻に日々蓄積していく歪みを解放する現象であることを考えると、歴史時代から現在にかけて地震活動が低いということは、次の大地震に向けて着々とエネルギーを蓄えていると考えるべきであろう。



「防災科研 地震だ  
ねっと！」(白山手  
取川ジオパーク)の  
QRコード

**石川の活断層** 石川県には49の活断層があると言われている。主要な活断層帯(複数の活断層を一つの大地震を起こしうるまとまりとして考えたもの)としては、津幡町から白山市鶴来町にかけて延びる全長約26km(想定地震M7.2程度)の森本・富樫断層帯、七尾市からかほく市にかけて延びる全長約44km(想定地震M7.6程度)の邑知潟断層帯がある。

森本・富樫断層帯は森本断層、野町断層、富樫断層の3つの活断層からなる断層帯で、野町断層は金沢の中心部を通っている。金沢の観光名所である兼六園や金沢城は高い台地の上にあるが、これは犀川と浅野川そして野町断層によって作られた河成段丘である。また、現在は用水として利用されているところもある金沢城の惣構は段丘崖の斜面も利用して築かれている。金沢の城下町は野町断層の断層運動がなかったら、この場所には存在しなかったかもしれない。森本・富樫断層帯の南端にある鶴来の街も手取川と富樫断層によってつくられた河成段丘の地形を利用している。富樫断層の断層運動は手取川扇状地の扇頂部を隆起させ扇状地の形成の一因となっている。さらに、

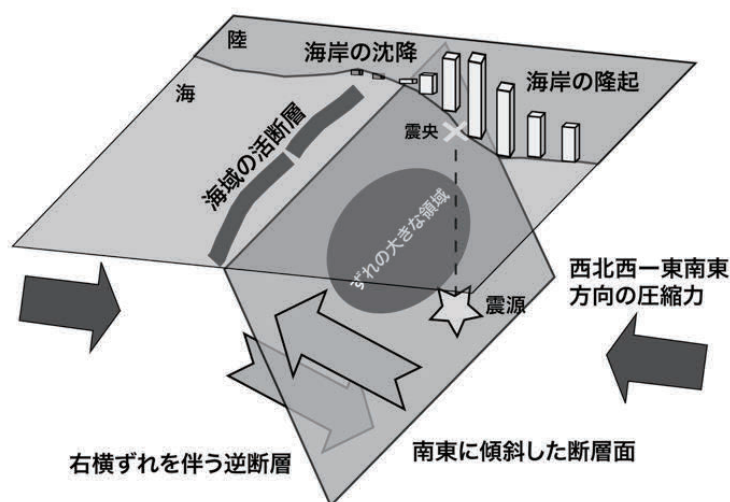
白山手取川ジオパークの人気スポットでもある獅子吼高原とよばれる急峻な山地を形成し、パラグライダーの良い飛行場を作っている。

邑知潟断層帯は能登半島の内浦（富山湾側）と外浦（日本海側）を結ぶ古代から交通の要所となっている邑知平野の南側の縁を走る逆断層である。邑知平野の北側の縁には逆断層である眉丈山断層があり、邑知平野はこれらの断層運動で沈降する場所にできた平野である。邑知潟断層帯は北陸最大の断層帯であり、もし想定されている大きさの地震が発生すれば、石川・富山両県で大きな被害がでるであろう。富山県の地震被害想定調査（平成 29 年度）によると、富山県で 3 千人を超える死者が出ると試算されている。

**能登の地形と海域の活断層** 2007 年能登半島地震では石川県で観測史上初めてとなる震度 6 強を観測し、死者 1 人、負傷者 336 人、住家全壊 609 棟、住家半壊 1,368 棟の被害が発生した。能登半島地震は海域にある活断層で右横ずれを伴う逆断層運動により発生した地震である。強い地震動とともに地殻変動（最大約 45 cm の海岸の隆起など）や小さな津波（珠洲市長橋で 22 cm）も観測された。

能登、特に外浦には断崖が印象的な観光地がいくつもある。これらの断崖は海成段丘によるもので、海域の活断層の活動がその形成に大きく関わっていると考えられる。能登半島地震後の調査により、輪島市から珠洲市にかけて海岸線に平行に長大な活断層帯があることが分かった。金沢大学では海岸線の岩石に固着する生物（ヤッコカンザシ）の化石を採取し、化石の年代と固着地点の高さから、約 300 年前に海岸を隆起させるイベントが発生していることを明らかにした。さらに、数値モデリングにより輪島沖セグメントと呼ばれる断層帯が活動し、M6.9 の地震により、このような海岸の隆起が発生したことを示した。

日本海には多くの活断層が海底にある。これらの海底の活断層で大地震が発生すると津波が発生する。1983 年日本海中部地震や 1993 年北海道南西沖地震の際には、能登で最大約 4 m の津波うちあげ高が記録された。富山県の津波浸水想定（平成 28 年度）では約 3～10 m の津波が富山県内各地を襲い、約 100 人の死者が生じるという結果が出されている。北陸に住む我々は、陸域の活断層同様に海域の活断層で大きな地震が起こることに対しても注意が欠かせない。



2007 年能登半島地震の断層運動の概念図



## 活断層と地域防災

小杉邦夫 (NPO 法人富山県防災士会)

Active fault and community disaster prevention

Kunio Kosugi (Toyama Bousaisi Orgnization)

### 1. はじめに

自然災害で命を落とす人があとを絶たない。

今日では、緊急地震速報や津波情報、気象情報、土砂災害警戒情報が整備され、より詳しく発信されるようになった。更に想定最大規模の洪水ハザードマップも作成されている。行政が発令する避難情報も改正され、よりきめ細かく、その情報は格段に進歩し、市民はそれらの情報を様々な方法で入手可能になり、わが身と家族の命を守る行動に移せるはずである。しかし、毎年甚大な被害が発生している。

「自らの命は自らが守る」自助が基本ではあるが、高齢化社会、人口減少など社会環境がますます厳しくなっている。情報が届かない、情報が理解できない等自助が困難な要配慮者をどう守るか、更にはいつ起こるともわからない地震に対する予防対策が今後の大きな課題になっている。

### 2. 富山県防災士の活動

上記の課題解決に向けて、一般市民はハザードマップの見方等、防災を学び、災害に関心を持ち、防災意識を高め、更に地域は学校と密接な連携し、地域ぐるみで防災文化を醸成することが大事である。

自主防災組織は、行政に依存することなく、災害に向けての予防対策や災害時にどう行動するかをまとめた地区防災計画の策定し、実践的避難訓練を繰り返しておくことだ。

富山県防災士の活動は住民主体の防災意識の高いコミュニティー、防災協働社会づくりにその一翼を担うことである。

#### 富山県防災士の役割

防災士制度ができ、防災士第1号が誕生して18年になる。全国の自治体が防災士養成に力を入れ、全国で21万人を超す防災士が誕生している(2021年8月現在)。認証を受けた防災士はそれぞれの居住地や職場で精力的に活動している。

日本防災士機構が示す防災士の理念として「(1) 自助：自分の命は自分で守る。(2) 共助：地域・職場で助け合い、被害拡大を防ぐ。(3) 協働：市民、企業、自治体、防災機関等が協力して活動する。」を掲げている。この理念に基づき富山県防災士会は2007年5月に設立し、行政・関係団体とも連携を深め、防災・減災に関する防災啓発・防災教育・防災協働社会づくりを積極的に行ってきた。

本会には東日本大震災以降、自主防災組織の活動方法や各種団体、一般市民、教育機関から防災講演会、防災講座等の依頼が急激に増え、一般市民の災害に対する関心の高まりを感じる。本会としては今後も他の機関・団体と協力し、地域や職場の防災力向上に更なる努力をしたい。

#### (1) スキルアップ

防災士のスキルアップは、本会の活動の大きな柱の一つである。毎年、大学等の専門家を招聘し、様々なテーマで防災士としてのスキルを高め、地域住民の防災意識を高める活動にいかしている。

- ・「防災士と防災教育」(2012年講師：大西宏治氏)では、防災教育の内容は、その地域固有のコンテンツを組み入れることが地域防災力向上に役立てることができる。ハザードマップ、地形図を持ってまち歩きすることが防災に繋がることを学んだ。
- ・「2016 熊本地震と富山」(2016年講師：川崎一朗氏)では、呉羽山断層は逆断層であることから西側の隆起、東側の沈降に伴い神通川を横断し、下流域が隆起するという稀な断層で、出水期と重なると被害が拡大する可能性があることを示唆された。
- ・「富山県における現今の地震情勢と防災対策」(2019年講師：竹内章氏)では、南海トラフ地震と日本海側の活断層の活動との連動、呉羽山断層帯、砺波平野断層帯西部・東部、石川県の邑知湯断層



帯の地下構造や揺れの周期による地震被害について学んだ。また、防災まち歩きも提唱された。

- ・「富山県の地形・地質と災害」(2019年講師：立石良氏)では、富山県内の地震回数が圧倒的に少ない状況は活動に入る前兆とも捉えることができる。活断層の長さからマグニチュードが推定できる予測技術への期待等について多くのことを学んだ。
- ・「活断層勉強会」(2020年講師：安江健一氏)女性防災士の勉強会。ここでは小中学・高校生が活断層の見学を通して防災意識を高めているという講師の取り組み事例を学んだ。大変わかりやすい事例で、これを機会に活断層巡りをし、地域の防災活動にいかしたい等の感想があった。

## (2) 活断層の現地研修

本会顧問である竹内章富山大学名誉教授の案内で呉羽山断層ウォーク(2019年)に本会から数名が参加した。この活断層ウォークをもとに会員向けに「呉羽山断層の痕跡について」の報告会(2019年)を行い、更に「呉羽山断層のことをもっと知ろう」(2020年)では呉羽山断層や県内活断層の発生確率の意味、地震規模など長期評価資料について勉強会を行った。大変わかりやすく、地域防災に役立つ内容であった。また、「糸魚川静岡構造線、不動堂断層(2015年)、野島断層(2017年)、立山カルデラ砂防及び跡津川断層(2018年と2019年)等の現地見学会をおこなってきた。

## (3) 地区防災計画の中の活断層

地区防災計画とは平成26年4月に施行された災害対策基本法で規定された新しい概念で、市町村内の一定の地区で想定される災害から生命、身体を守るために当該地区住民自らが作成する防災活動に関する計画である。(※地域防災計画は行政の防災活動に関する計画)

富山県防災士会ではこの地区防災計画の策定むけてモデル地区を設定し、支援を行ってきた。その支援過程では防災講座、DIG、HUG、防災まち歩き等の助言指導を行い、地域住民の意識を高め、その上で自主防災組織は住民の声を反映させ、打合わせを重ねて予防対策・災害時の住民の行動計画を地区防災計画としてまとめている。

2021年8月現在、県内地区防災計画策定状況は、策定済みが19地区、策定中が4地区と数は少ないが、漸く始まったというところである。活断層に近い地域では防災士・専門家等からの情報と防災まち歩きを通して、活断層による影響を地区防災計画に盛り込み、地区住民の地震に対する予防対策を促す等、防災士のスキルアップの活動が生かされている。以下に、盛り込まれた活断層による影響の例を挙げる。

### ①Y地区防災計画

富山市調査によると、この地区の西、速星、五幅地区から富山駅北側に呉羽山断層帯が存在し、この断層帯が活動した際、予想される震度は7となっている。断層西側(下流側)は隆起し東側(上流側)は沈降し、川の流れが塞ぎ止められる可能性もあると言われている。

### ②U地区防災計画

U地区では井田川の北西に呉羽山を配し、呉羽山断層が一部地域を通っている。呉羽山断層を震源とする地震の発生により震度6強から一部地域では震度7の揺れが予想される。

### ③O地区防災計画

砺波平野断層帯東部(高清水断層)と西部があり、近隣の呉羽山断層帯と邑知瀧断層帯によりいつ地震が起きてもおかしくないと言われている。地震調査研究推進本部によれば、30年以内の発生確率が、高いSランク評価されている。

## 3. 終わりに

災害の多い日本であるにもかかわらず、一般市民は防災について学ぶ機会が極めて少なく、災害に対する関心は高いとは言えない。今後、防災意識の向上に向けて教育機関や一般市民に対し、地域の物的資源や人的資源を活用し、引き続き自助を育む防災教育が必要である。

また、「自分たちの地区は自分たちで守る」という地区住民の自発性と連帯を引き出しながら、行政とタイアップし、即応性のある地区防災計画づくりを支援して行きたい。

## 小竹貝塚の標高の謎ー地球科学から考古学に架橋する試みー

川崎一郎（京都大学名誉教授，東濃地震科学研究所客員研究員）

### A puzzle about the elevation of Odake shell midden

ー Bridging the border from active fault study to archeology in Toyama ー

Ichiro KAWASAKI

#### ●小竹貝塚の標高の謎

あいの風とやま鉄道（旧北陸線）呉羽駅の北 200m ほどの一帯が小竹（おだけ）貝塚遺跡である。2010 年・2011 年の発掘調査では，貝塚の頂部から縄文時代前期の 6000 年前頃の 91 体の人骨が発見され（町田, 2018），全国的に大きな話題になった。

数年前，富山県埋蔵文化財センターの展示で貝塚頂部の標高が +1m から +1.3m であることを知ったとき発表者は衝撃を受けた。縄文人が遺体を埋葬したのは汀線近くの貝塚頂部だったであろう。6000 年前頃の海水準は +2.5m 程度だったので貝塚頂部の現在の標高は +2.5m 程のはずである。3000 年前頃に呉羽山断層で地震が発生して +1.3m 程隆起したであろうことを加えると標高 +4m 程のはずだということになる。3m もの差は地球科学の既存の知識の枠組みでは説明不能である。発表者は，地球科学にはこの謎を解く責任があると思った。

他にも謎がある。呉羽丘陵の +103m 程の 5 万年前頃の上宝テフラ挟在層が存在する（田村・他, 2010）。一方，長期評価の活動度は 0.4m から 0.6m / 千年（上下成分）なので，筆者の計算によると呉羽山断層の活動による 65 万年の累積地震性地殻変動は呉羽山丘陵山頂部で +210m から +310m である。当時の海水準はよくわからないが，仮に -100m 程度だったとしても，上宝テフラ挟在層の現在の標高は +110m から +210m のはずである。清水断層の活動による寄与を加えるとさらに高くなる。矛盾である。

#### ●呉羽山断層の研究史

以前は，呉羽山断層は呉羽山丘陵と平野の境界部を走っていると推定されていた。1996 年，富山県によって神通川から呉羽トンネルを通して栃谷周辺まで東西 6.6 km 程の測線で反射法地震探査が行われ，断層線は境界部から 1.5 km 程東の安田城址を走っていることが明らかになった（富山県, 1997）。中村・他（2003）は微地形の段差を追跡し，安田城址から北東に延び，富山大学五幅キャンパスを横断し，岩瀬の海岸に抜ける地表断層線の位置を明らかにした。2006 年には丘の夢牧場で断層発掘調査が行われた（産業技術総合研究所, 2007）。竹内・他（2011）は，海域で行われた反射法地震探査の成果も加え，地表断層線が魚津沖まで 15 km 程延びていることを明らかにした。

#### ●富山ー金沢定常沈降帯

とはいえ，呉羽山断層を調べているだけでは小竹貝塚の標高の謎への答えは出てこない。発表者に唯一考えられるのは，地震本部の主要活断層の長期評価の断層パラメータを用いて周辺の主要活断層の過去に向かって外挿した累積地震性地殻変動（上下成分）を計算し，それを足し合わせ，地質学，地形学，地震学的な情報との差を定常的地殻変動とみなし，その空間分布から小竹貝塚周辺の定常的沈降を推定することである。

その様な方法論の場合，一番確実なデータは反射法地震波探査による堆積構造の研究成果である。発表者は上記の様な方法論を近畿地方中央部に適用して「大阪平野から奈良盆地では，180 万年前頃から 50 万年前頃まで -70 m/10 万年程の広域的定常的沈降が進行し

ていた。50 万年前頃にそれは停止した」という「2 段階定常的地殻変動説」に至り、上記のような方法論の有効性を示した（川崎, 2019a）。

しかし、富山平野には、反射法地震波探査による堆積構造の研究成果はない。それに代わるものは以下の①や②などである。

①「日本の海成段丘アトラス」（小池・町田編, 2001）の第四紀基底面深度分布図や段丘面分布図（海成段丘の形成年代と標高がプロットされている）,

②中村・他（2003）による呉羽丘陵の杉谷丘陵、夢の丘牧場、八尾水谷、中村（2005）による魚津断層周辺の十二貫台地、東福寺台地などの段丘面の離水時期。

多くの仮定と推測に頼らざるを得なかったが、図 1 の範囲内の主要活断層について累積地震性地殻変動を計算し、主要地点についてそれらを足し合わせて①や②との差を求め、プロットしたのが図 1 である。飛騨高原から突き出す呉羽丘陵を例外として、飛騨高原と能登半島の間は宝達山地も含めて広域的に沈降するという系統性がある。これを「富山ー金沢定常沈降帯」と呼ぶ。残念ながら図 1 の地殻変動がどのくらい遡れるかについて判断できるデータはないが、十二貫野台地や東福寺台地は、80 万年前頃に始まった立山の高速隆起（川崎, 2019b）に随伴して高速隆起するようになったのであろう。

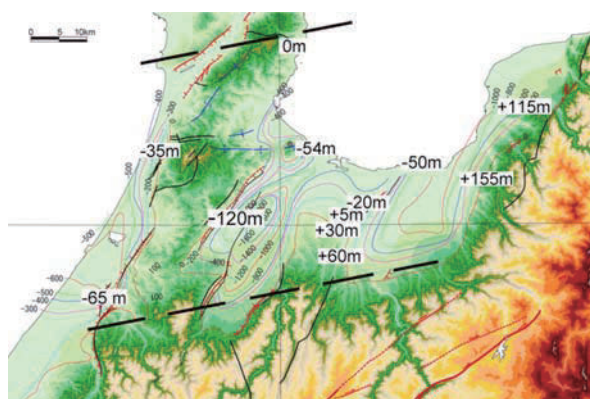


図 1 10 万年当たりの定常的地殻変動速度上下成分（単位は 1/10 万年）の分布。基図は「日本の海成段丘アトラス」（小池・町田編, 2001）の第四紀基底面深度分布図。「立山の賦ー地球科学からー」（川崎, 近刊）による。

小竹貝塚の定常的沈降を呉羽丘陵山頂部

の  $-20\text{m}/10$  万年と海岸部の  $-50\text{m}/10$  万年の間の  $-30\text{m}/10$  万年から  $-40\text{m}/10$  万年とすると、6000 年間に 1.8m から 2.4m ほど沈降したことになる。3000 年前の呉羽山断層の地震による  $+1.3\text{m}$  程を加えると現在の標高は  $+2.0\text{m}$  から  $+1.4\text{m}$  のはずだということになる。まだ足りないが、方向性は見えた。地球科学の側の責任は一応果たしたと言えよう。

### ●終わりにあたって

活断層学は大きく進歩した。しかし、活断層学には、第四紀後半の大規模活断層の活動は定速的だったのか？ 長期評価は他の地質学的・人文科学的証拠と調和的か？ 他の（特に人文系の）学問分野にどのような貢献が出来るのか？ などの忘れ物があるような気がする。本講演は忘れ物への肯定的な試みの一つである。

### ●参考文献

川崎一朗（2019a）日本地震学会 2019 年度秋季大会予稿集, S10-10. 川崎一朗（2019b）日本測地学会第 132 回講演会プログラム, 63. 小池一之・町田洋編（2011）「日本の海成段丘アトラス」東京大学出版会. 町田賢一（2018）「日本海側最大級の縄文貝塚 小竹貝塚」新泉社. 中村洋介・他（2003）地学雑誌, 112, 544-562. 中村洋介（2005）第四紀研究, 44, 353-370. 産業技術総合研究所（2007）成果報告書 No.H18-9. 竹内章・他（2011）日本地球惑星連合 2011 年大会予稿集, SSS032-09. 田村糸子・他（2010）地質学雑誌, 116, 1-20. 富山県（1997）平成 7 年度地震調査研究交付金呉羽山断層に関する調査成果報告書.



## 福井地震と福井平野の活断層 — 福井地震と福井平野形成の関わりを探る — 廣内大助（信州大学）

The Fukui Earthquake associated with the active fault of the Fukui plain  
Daisuke HIROUCHI (Shinshu University)

### 1. 1948 年福井地震と福井地震断層

福井地震は 1948 年（昭和 23 年）6 月 28 日 16 時 13 分頃に発生した地震であり，地震の規模は M7.1 とされる。明瞭な地表地震断層は報告されていないが，平野内の現あわら市から福井市に至る範囲に亀裂帯が認められ，地震前後の三角点・水準点改測結果から，左横ずれ約 2m，東側隆起 0.9m 程度の変位が認められており（那須, 1949；小笠原, 1949 など），平野下に伏在する福井地震断層が認められている。福井地震による被害は平野内に特に集中し，福井平野の全域で住家全壊率が 60%以上に達し，震源近傍では 100%を越える集落も多数出現した。この地震による死者は 3769 人，全壊戸数 36184 戸の被害があった（宇佐美, 2003）。この地震による最大震度は 6 であったが，この地震をきっかけに気象庁は震度 7（激震）を加えている。

### 2. 福井平野の活断層と地形形成

福井平野は東に加越山地，北には加越台地，西に丹生山地，南は足羽山など孤立丘を挟んで鯖江盆地と連続する。平野の東から流入する九頭竜川は，上流の大野盆地などを経るため，扇状地の発達が悪く低平な自然堤防帯～三角州が広く分布する。九頭竜川河口は，丹生山地と加越台地の間に分布する三里浜砂丘によって北へ寄っており，福井平野は下流側 3 方を山地と台地に囲まれた特異な形状である。

一方福井平野の東縁には，山地と丘陵，平野を境する北北東～南北走向に福井平野東縁断層帯が分布する。本断層帯は丘陵と山地を境する剣ヶ岳断層，平野と丘陵を境する松岡断層，篠岡断層，瓜生断層，細呂木断層，見当山断層が構成する。さらに福井地震断層が平野内に伏在する。これら断層は主に東側隆起で河谷の屈曲から左横ずれ変位を持つ。福井地震断層は，福井地震時の改測結果から，左ずれ変位が認められる（那須, 1949 など）。

これら活断層による地殻変動が，平野の形成にどのように関わるのかについて，平野周辺の海成段丘面の高度分布や，平野下の新第三系分布高度などから知ることができる。

福井平野下の新第三系分布高度（以下基盤分布高度）は，福井地震断層の北部では西側が深く，南側では東側に深い地域があり単純に東側が高くない。左横ずれ変位を考慮した福井地震時の地殻変動モデルを示した鷲谷（1999）と比較すると，福井地震時の上下変位



パターンと基盤の分布パターンは概ね一致する。また加越台地東部金津付近の海成段丘の傾動は、福井地震断層末端東側の隆起域と関係する。したがって平野東部の基盤分布や海成段丘の変形は、福井地震断層の変位の累積によって形成されたものと理解できる。

一方で、福井平野最深部の基盤高度は-300m 以深だが、平野西部の九頭竜川河口付近では-100m 程度と浅くなる。また加越台地の海成段丘は西方ほど高度が高く、複数の段丘面が分布し完新世段丘も分布する。三国より南方では、平野を塞ぐ形の砂丘の少なくとも南西部は砂丘の下に海成層が分布し、砂子坂付近では海成層を露頭で観察できる。九頭竜川河口付近の基盤高度が浅いことや、加越台地西部の海成段丘面高度が高いことは、沿岸に東側を隆起させる活構造が推定され、加越台地西方の三国沖まで連続することを示唆する。この構造は丹生山地西方沿岸の甲楽城断層から連続する可能性が考えられる。またこの活構造の継続的な活動によって、福井平野は西方出口側が閉塞し、平野内の堆積が進み、沈水状の丘陵や広い沖積平野が形成されたと考えられる。

### 3. 福井平野東縁断層帯の活動履歴と地震の被害予測

政府の地震本部による福井平野東縁断層帯の長期評価は、断層帯の主部と西部に分けて行われている。断層帯主部（剣ヶ岳断層、見当山断層～松岡断層）では、瓜生断層で行われたトレンチ掘削調査、松岡断層で実施されたボーリング調査などの結果を根拠に、最新活動時期は、3 千 4 百年前以後、2 千 9 百年前以前、一つ前の活動が約 1 万 3 千年前以後、約 9 千 7 百年前以前とされ、平均的な活動間隔は約 6 千 3 百年～1 万年程度、推定される地震規模は M7.6 程度とされる。今後 30 年以内の地震発生確率はほぼ 0%～0.07%と推定されている。

一方断層帯西部（福井地震断層）については、1948 年福井地震の際に活動している一方、過去の活動時期や平均活動間隔は不明である。しかしながらごく近い将来に大規模な地震が発生する確率は、低いと考えられている。

将来発生する地震に関する震度分布や被害想定が、福井県によって報告されている。その結果、福井地震と同程度の M7.1 の地震が発生した場合、最大震度は 7、死者は冬の場合全県で最大 4286 人（うち福井市で 2223 人）、負傷者数は 25110 人（福井市 7932 人）とされる。また地震の揺れと液状化による建物被害は、全壊 85944 棟、半壊 68251 棟、火災による焼失数 17030 棟と想定されている（福井県、1997）。

【引用文献】福井県 1997 福井県地震被害予測調査報告書、283p、那須信治 1949. 昭和 23 年福井地震調査研究速報、福井地震調査研究特別委員会、69-71、小笠原義勝 1949. 地理調査所時報 特報 2、1-13、鷲谷威 1999. 地震第 2 輯 52、111-120、宇佐美龍夫 2003. 最新版日本被害地震総覧

## 北陸と周辺海域の地震地体構造と応力場の変遷

竹内 章（富山大学名誉教授）

### A seismotectonic province map and transition of stress field in and around area of the Hokuriku district, central Japan

Akira Takeuchi (Professor Emeritus, University of Toyama)

本州中央部は、アムール(AMU)、オホーツク(OKH)、フィリピン海(PHS)、太平洋(PAC)の4枚のプレート相対運動に関係する収束境界である。PHS プレートの上盤にあるフォッサマグナ地域(FM)は、東北日本弧(NEJ)と西南日本弧(SWJ)の境界に位置する新生代後期の断層褶曲帯で1847年善光寺地震や2014年神城断層地震などの被害地震も知られている。

これまで陸域については、FM西縁を限る糸魚川-静岡構造線(以下、**糸静線**)が、NEJ、SWJ、伊豆弧という3つの構造地域の境界とされてきた。地震調査研究推進本部が行う長期評価や地域評価でも同様の地震地体構造区分が使用され、2014年から富山トラフおよび日本海東縁部の西縁境界線が描き加えられた。富山トラフは、海域でのNEJ/SWJ境界にある構造凹地であり、今回は、FMがどのように富山トラフに接続するかという問題へのアプローチとして断層ブロック構造(地体構造)をとりあげ、地殻内地震との関係を議論する。

**1. 断層ブロック構造マップ** 演者は、日本海における資源探査および地震・津波防災に向けた地殻構造探査の公表データにもとづき、日本海盆南東部、大和海盆東部および富山トラフの地質構造とその発達過程を考察した(竹内2021):

(1) 日本海の拡大とともに発達した漸新世~中新世断層にはN-S、E-W、NE-SWの3系統の方向性と前後関係があり、断層の時空分布から断層区が識別された。大和海盆のように後期中新世以降活動が停止または低調な地区がある一方で、日本海東縁変動帯のように中新世末の応力場の転換によって鮮新世以降に再活動を開始した地区がある。そうした断層区の比較検討から、日本海盆東縁部と大和海盆東部との境界に沿った南北方向の大規模せん断帯を伴う背弧拡大で富山トラフが形成されたことが明らかになった。

とくに鮮新世以降の再活動については、広域応力場の転換に対応する断層運動(ずれの向き)の反転の様相が地区によって異なることが興味深い。堆積盆が隆起域に転じる「正常な反転」は、日本海盆東縁を含むNEJ背弧側の特徴である。一方、北陸を含むSWJ背弧側では堆積盆が沈降域として持続する「反反転」が起きている。さらに中部日本の飛騨高地と飛騨山脈では傾斜した断層は固着し高角断層が横ずれする場に転換している。

**2. 構造の発達過程** 島弧接合部であるフォッサマグナおよびその北方延長(富山トラフ)がいつどのように形成されたかは、古地磁気研究から前期中新世にSWJが回転したためとされる。その構造発達過程は日本海での断層活動史からつぎのように解釈された:

およそ17Ma前後に西南日本が時計回りに回転したタイミングで、大和海盆とその周辺で背弧海盆拡大の第2段階が生じ、白山瀬北部と富山トラフせん断帯でNW-SE走向の左横ずれ断層を伴ってトラフの幅が拡大した。この段階で本州弧はNEJとSWJに分化し、後期中新世以降は別々に構造発達が行われた。両弧の内帯では中新世の断層運動が活発になっ

たが、NEJ の NE-SW 方向の正断層、SWJ の東西方向の逆断層という、走向も運動センスも異なる断層系が、島弧境界である FM～富山トラフ沿いに隣接した。その後 SWJ 側の白山瀬北部では断層運動が停止する一方、NEJ 背弧側では逆断層および関連褶曲によるリッジトラフ構造が発達して、富山トラフを軸に対照的な地形が隣接することになった。

**3. 断層区の現在** 中新世末に、逆断層と褶曲をともなう短縮変形が日本海の島弧地殻周縁に沿って始まった。現在、SWJ 東縁である糸静線および富山トラフでは、断層区の境界が起震断層として再活動している。

現行テクトニクスにかかわる知見としてつぎの4点を指摘しておきたい：

**(1) 中央日本北部の地震活動・応力場と糸静線**

中部日本は一様な主圧力軸配置をもつ広域応力場にあるが、糸静線は SWJ 側の横ずれ断層型と NEJ 側の逆断層型という活断層区境界になっている。ただし地震の震源メカニズム分布をみると、NEJ 側で中新世の信越堆積盆地域（現在の信濃川地震帯）は横ずれ型の基盤と逆断層型の被覆層という二階建ての応力場である。

**(2) 新潟－神戸歪集中帯と糸静線の交差**

跡津川断層系は新潟－神戸ひずみ集中帯の長軸と平行で、この断層系が糸静線を越えて北東の西頸城隆起帯へ伸びている可能性があり、1858 年安政飛越地震では2週間後に松代藩内で誘発地震があり、立山カルデラの鳶崩れによる地震ダムが決壊して大洪水を起こした。西頸城隆起帯西縁では糸静線に沿う活断層が認められない。

**(3) 基盤構造と震源断層モデルについて**

海陸の地震探査断面によれば、中新世堆積盆の深さは最大 6 km 程度であるが、M6 クラス以上の震源は有意に深く、震源断層の破壊開始点は、中部や近畿地方などと同様、地震発生層下半部にあると考えられる。震源メカニズム解の分布は多様性を示し、断層区ごとに特徴がある。東北背弧区では逆断層型が卓越する一方、FM 中央隆起帯や NEJ 脊梁、飛騨山地などでは横ずれ断層型の地震が一般的である。地体構造の境界で起きたとみられる 1847 年善光寺地震や 2004 年中越地震などの震源断層を中央隆起帯や脊梁側に傾斜する楔形スラストを考えるモデルもあるが、地震探査断面では確認できていない。

**(4) アムールプレート東縁線と地震について**

中村（1983）や小林（1983）は日本海東縁変動帯の西縁および富山トラフ東縁を新生プレート境界と提唱したが、最新の海陸統合地震探査データからこれが裏付けられた。日本海東縁変動帯の西端を画する境界（SWJ-NEJ 境界）は、富山トラフ東縁－西頸城帯東縁（高田平野西縁断層帯－新井-小谷構造線）－小谷－中山断層－松本盆地東縁断層である。太平洋側の海溝型地震との連動や誘発地震の連鎖が懸念される。

**おもな文献**

中嶋 健，吉川 幸佑，興津 修，2021，富山トラフと周辺日本海の地質構造と堆積盆形成テクトニクス，地質雑 127(3)，165-188.

野 徹雄，佐藤 壮，小平 秀一，高橋 成実，佐藤 比呂志，石山 達也，三浦 誠一，金田 義行，2019，地震探査から見た富山トラフの地殻構造の特徴，地質雑 125(7)，517-525.

竹内 章，2021，富山トラフおよび周辺海域のネオテクトニクス，地質雑 127(3)，145-164.