

日本活断層学会 2020 年度秋季学術大会

一般研究発表

講演予稿集

2020 年 11 月 22 日(日) 9:00～12:00

2020 年 11 月 23 日(月) 9:30～11:30

オンライン開催

一般社団法人日本活断層学会

11月22日（日）午前

9:00-9:10 開会式

一般研究発表（口頭）

座長：遠田晋次

- 9:10 O-1 松本市街地周辺の活断層に関する新発見
○鈴木康弘・千田 昇・廣内大助・
松多信尚・山中崇希・五味雅宏
- 9:30 O-2 田代盆地における地中レーダ探査によって得られた北伊豆断層帯丹那
断層の極浅部の左横ずれ変形構造
○木村治夫・稲荷絢音・堤 浩之・谷口 薫・郡谷順英
- 9:50 O-3 ALOS30 DEM アナグリフ画像と Google Earth 画像判読によるチベット高
原の活断層詳細マッピング
○中田 高・熊原康博・後藤秀昭
- 10:10 O-4 Active fault mapping in Indonesia by interpretation of topographic anaglyph
images based on the Indonesian DEM
○Adi Patria・Hiroyuki Tsutsumi・Takashi Nakata

休憩（10:30-10:40）

座長：鈴木康弘

- 10:40 O-5 2018 年インドネシア・スラウェシ島の地震（Mw7.5）に伴う地震断層の
性状とそれに伴う被害
○中埜貴元・平田 直・Hastin Chandra Diantari・
多田直人・Etri Suhelmidawati
- 11:00 O-6 日奈久断層北端部で確認された熊本地震の地表余効すべり
○遠田晋次・鳥井真之・小俣雅志・三五大輔・石澤堯史
- 11:20 O-7 布田川断層帯北甘木断層の活動履歴－熊本県嘉島町でのトレンチ掘削
調査－
○鳥井真之・福田泰英・石澤堯史・奥野 充・遠田晋次
- 11:40 O-8 断層活動に伴い生じた亀裂の充填物の放射性炭素年代測定に基づく断
層活動時期の制約
○石澤堯史・鳥井真之・遠田晋次・奥野 充・
福田泰英・宮入陽介・横山祐典

12:00-12:15 表彰式

一般研究発表（ポスター）

P-1	富山県氷見市における古津波堆積物調査で見つかったイベント堆積物 ○立石 良・河村綾太
P-2	長野県北部，信濃町と飯綱町で新たに発見された活断層露頭 ○竹下欣宏・近藤洋一・花岡邦明・富樫 均・宮下 忠・ 関めぐみ・中川知津子・廣内大助・野尻湖地質グループ
P-3	新たに見いだされた飯綱－黒姫地域の活断層 ○廣内大助・竹下欣宏
P-4	太江断層西端付近における断層分布と変位速度 ○岩沢冴子・中村耕佑・安江健一・立石 良・ 寺門隆治・楮原京子・丹羽正和・黒澤英樹
P-5	ネパール中部 Hetauda Dun における断層地形の特徴 ○熊原康博・Deepak Chamlagain・Prajwal Neupane
P-6	布田川断層帯と日奈久断層帯の境界部の活動履歴－熊本県御船町高木にお ける 2016 年地震断層のトレンチ調査－ ○岩佐佳哉・熊原康博・後藤秀昭・細矢卓志・ 竹内 峻・佐藤拓実・住谷侑也・西口颯真
P-7	2016 年熊本地震の地表地震断層に沿った本震後の変位の分布とその特徴 ○住谷侑也・岩佐佳哉・熊原康博・後藤秀昭・ 竹内 峻・佐藤拓実・西口颯真
P-8	平成 28 年（2016 年）熊本地震における建物被害と地表地震断層分布の関係 について ○吉見瑤子・遠田晋次
P-9	広域三次元応力場ならびに Wallace-Bott 仮説を用いた断層すべり角推定手 法の検証～主要活断層帯を対象として～ ○石辺岳男・寺川寿子・橋間昭徳・望月将志・松浦律子
P-10	活断層を対象とした断層パラメータの不確かさを考慮した震源近傍におけ る地震動強さのばらつきの分析 ○儘田 豊・藤田雅俊

松本市街地周辺の活断層に関する新知見

鈴木康弘（名古屋大）・千田 昇（大分大）・廣内大助（信州大）・松多信尚（岡山大）・
山中崇希（国土地理院）・五味雅宏（地域開発コンサルタンツ）

Active Fault Around Matsumoto Urban Area: New Active Fault Map
“Matsumoto” Produced by Geospatial Information Authority of Japan

Yasuhiro SUZUKI (Nagoya Univ.), Noboru Chida (Oita Univ.), Daisuke Hirouchi
(Shinshu Univ.), Nobuhisa Matta (Okayama Univ.), Takaki Yamanaka (GSI),
Masahiro Gomi (Regional Planning Consultation Co.,Ltd.)

1. はじめに

1:25,000 活断層図「松本」は、1999 年に国土地理院により初版（松多ほか,1999）が刊行された。その後、地震本部の「糸魚川―静岡構造線断層帯における重点的な調査観測」（2005～2009 年度）の際に見直された（澤ほか,2007）。その後、2020 年度に国土地理院により改訂版（鈴木ほか,2020）が刊行された。活断層認定は、澤ほか(2007)と鈴木ほか(2020)とに大差はないが、一部に新たなトレースが認定され、全体の断層構造についてさらに踏み込んだ解釈がなされた。ここでは国土地理院の新旧の活断層図を比較した時の新知見として整理し、澤ほか（2007）との関係についても適宜言及する。

2. 1:25,000 活断層図「松本」の新旧図の比較

全体的な断層帯の分布構造として、鈴木ほか（2020）は北方の「信濃池田」図幅から梓川に沿って南下する松本盆地東縁断層（A 系統）を追認する一方、松本市街地北西（犀川東岸）の丘陵の東縁に伸びる活撓曲を保福寺川西岸の構造と一連のものと判断し「女鳥羽川断層」（B 系統）と新称した。女鳥羽川断層は松本盆地東縁断層のバックスラストの可能性が高いが、両者は最大 5km 離れている、さらに従来の牛伏寺断層（C 系統）は南部の中山丘陵から松本市街地へ続き、さらに北西部の丘陵の城山付近で女鳥羽川断層の変形（撓曲崖）を左横ずれさせている。この点は澤ほか(2007)も指摘している（初版は推定活断層として記載）。

断層変位地形としては以下が確認された。

1) 犀川東岸の豊科田沢付近に、複数の断層変位地形が新たに見出された。山麓線に沿って扇状地の扇頂部に低断層崖が認定された。また 300～500m 西方にも低断層崖と逆向き低断層崖が見出された。さらに盆地内には従来から認定されている断層線があり、結果的に松本盆地東縁断層は複数条に分かれていることが判明した。なお平野内の断層沿いにおいては近藤ほか(2006)が指摘する横ずれ地形を追認することはできなかった。

2) 松本市街地には、Kondo et al(2008)や澤(2007)が認定したものとほぼ同じ比高 2m 弱の低断層崖が確認された。この地形は DEM を実体視することでより明瞭に判読され、松本城南部では二条に分かれていることも新たに確認された。また、既存ボーリング断面を検討したところ、市街地には盛り土が施されているものの、地表の落差を説明できるものではないこと、および地震

基盤面とされる礫層の層準にも落差があることが追認された。

3) 牛伏寺断層北端付近では、女鳥羽川断層に伴って中位段丘 1 面に形成された撓曲崖が、100m 程度左横ずれしている。澤ほか(2007)はこれを米軍撮影航空写真により見出していたが、今回は DEM 実体視および赤色立体図においても明瞭に追認された。

4) 中山丘陵付近の牛伏寺断層は複数条に分岐し、中山丘陵の東西両縁に存在していると判断された。

3. 解釈

以上の変動地形から A～C 系統の断層の活動性について、以下のように考えられる。B 系統（女鳥羽川断層）は A 系統（松本盆地東縁断層）のバックスラストと解釈されるが、両者は最大 5km 離れているため、少なくとも地下数キロ程度まで独立した断層面を有する可能性が高い。そのため B 系統は単に付随的な活動だけををするとは限らず、強震動発生の原因にもなりえる可能性がある。

C 系統（牛伏寺断層）は B 系統（女鳥羽川断層）の構造を切っているため、一見、C 系統の方が新しく、切られている B 断層は活動を停止していると解釈しがちであるが、B 系統の活動は低位段丘にも及び、現在も活動的と判断されることから、その解釈は誤りであろう。発生時期は C 系統の方が新しいのかもしれない。

牛伏寺断層が初版よりも北へ延伸され、牛伏寺断層に沿って左横ずれ変位を示す区間が長くなった。近藤ほか(2006)および Kondo et al(2008)は糸静線の左横ずれ区間の北限を明科としているが、近年「大町」図幅（廣内ほか, 2018）においても木崎湖周辺に明瞭な左横ずれのトレースが発見されている。さらに 2014 年神城断層地震の震源断層モデルに左横ずれ成分が明瞭であり、蔵平の梓川右岸においては地震時にも明瞭な左ずれが生じ、そこに累積変形も見出されている。以上のことから糸静線の左横ずれはほぼ全域に及ぶ可能性がある。

文献

- 近藤ほか, 2006, 地学雑誌, 155, 208-220.
Kondo et al., 2008, Geomorphology, 101, 731-739.
澤ほか, 2007, 活断層研究, 27, 169-190.
鈴木ほか, 2020, 活断層図「松本(改訂版)」.
廣内ほか, 2018, 活断層図「大町(改訂版)」
松多ほか, 1999, 都市圏活断層図「松本」.



図：松本市街地北西丘陵の赤色立体図（国土地理院が管理する航空レーザ測量データから作成した 1mDEM を用いて金田平太郎氏作成）

田代盆地における地中レーダ探査によって得られた 北伊豆断層帯丹那断層の極浅部の左横ずれ変形構造

○ 木村 治夫（一般財団法人 電力中央研究所 地球工学研究所）

稲荷 絢音・堤 浩之（同志社大学 理工学部）

谷口 薫・郡谷 順英（株式会社 パスコ）

Sinistrally deformed near-surface structure of the Tanna fault in the Kita-Izu fault zone revealed by ground penetrating radar profiling in the Tashiro basin, central Japan

Haruo Kimura (Central Research Institute of Electric Power Industry)

Ayane Inari, Hiroyuki Tsutsumi (Faculty of Science and Engineering, Doshisha Univ.)

Kaoru Taniguchi, Yorihide Kohriya (Pasco Corporation)

【はじめに】地中レーダ探査とは、制御された電磁波を地中に送信し、電磁的性質の異なる媒質の境界面（例えば層理面など）で反射した電磁波の受信により、地下構造を可視化する探査法である（例えば、物理探査学会, 2016）。我が国では土木・建築の分野を中心に用いられてきたが、近年では考古学や堆積学など多彩な分野で幅広く活用されている。活断層研究の分野でも横ずれ断層（阿寺断層）の極浅層構造可視化（中埜・酒井, 2007）や逆断層（糸魚川－静岡構造線活断層帯神城断層）の最新活動時変位量検出（木村ほか, 2013）、ボーリング調査と合わせた正断層（別府－万年山断層帯朝見川断層）の活動性評価（Kimura et al., 2019）などが実施されている。海外ではさらに活用が進み、米国のサンアンドレアス断層、ニュージーランドのアルパイン断層、トルコの北アナトリア断層などをはじめとする多くの横ずれ断層系において極浅部三次元地下構造が可視化されている（例えば、Gross et al., 2004）。本研究では、数多くのトレンチ掘削調査が行われて、多数の地点で極浅部地下構造が明らかになっている北伊豆断層帯丹那断層（例えば、地震調査研究推進本部地震調査委員会, 2005）において、地中レーダ探査を実施して極浅部の横ずれ変形構造の可視化を試みた。

【探査地概説】1930 年北伊豆地震（ $M_{\text{JMA}} = 7.3$ ）時に、北－南から北北東－南南西走向の北伊豆断層帯では主に左横ずれで最大で 2 m 以上の地表変位が生じた（例えば、伊原・石井, 1932, 鉄道省熱海建設事務所, 1936）。本探査測線近傍にあたる田代盆地西部（静岡県田方郡函南町）においても水田に約 60 cm の左横ずれ変位が生じた（松田, 1972）。現在では、探査測線及び周辺の水田・道路などの地表部には断層変位の痕跡はほとんど見られない。ただし、探査測線の北側に隣接する水田におけるトレンチ掘削調査では、地下浅部での断層変位が確認されている（近藤ほか, 2003）。

【地中レーダ探査】本地点でほぼ南北走向の丹那断層の推定地表トレースに沿った、南北方向 40 m・東西方向 20 m の長方形の範囲内で地中レーダ探査を実施した。探査測線群は断層にほぼ平行で等間隔な 41 本とほぼ直交する 2 本の合計 43 本によって構成される。探査機材

には（一財）電力中央研究所が所有するカナダ Sensors & Software 社の pulseEKKO PRO システムを用いた。アンテナは中心周波数 50 MHz 用のものを用いた。地下断面の取得についてはプロファイル測定法（例えば，物理探査学会 編，2016）によって，手持ちハンドルを用いて 0.5 m 人力移動するごとにレーダ送受信を行った。また，地中電磁波速度解析用の CMP アンサンブルデータをワイドアングル測定法（例えば，物理探査学会 編，2016）によって取得した。地中レーダ探査データの処理は韓国地質資源研究院によって開発された地中レーダ探査データ処理ソフトウェア RADPRO ver.3 を用いて行った。データ処理では，バンドパスフィルタ処理，振幅回復処理，デコンボリューションフィルタ処理，NMO 補正，マイグレーション処理などを施した後，地表面形状に合わせた深度変換断面図を作成した。

【地下構造】これらの結果，地表下深度 5 m 程度までの地下構造を示す地中レーダ探査断面が得られた。南北方向の 41 本の測線の大半において，深度 1 m 付近で北傾斜する特徴的な構造と，深度 4 m 前後でチャンネル構造を示すと考えられる構造が認められた。これらの構造の水平分布はそれぞれ，左横ずれ変形を示す分布形状となった。また，深度 4 m 前後のチャンネル構造の方が深度 1 m 付近の構造よりも有意に大きい横ずれ変位を呈しており，横ずれ変位の累積が確認できた。このように地中レーダ探査によって極浅部の三次元地下構造を可視化することによって，横ずれ変位量の検出に加えて横ずれ変位の累積性も確認できたことは，本探査が横ずれ活断層に対する有効な調査手法の 1 つになり得ることを示したと言える。

謝辞 地中レーダ探査には道路管理者・地権者をはじめとする地元の皆様に御協力いただいた。本研究の一部には JSPS 科研費 JP18K03768 を使用した。記して謝意を表す。

引用文献

- 物理探査学会 編（2016）*物理探査ハンドブック 増補改訂版*，物理探査学会，1045p.
- 伊原敬之助・石井清彦（1932）*北伊豆震災地調査報文*，*地質調査報告*，112，111p.
- Gross, R. et al.（2004）Location and geometry of the Wellington Fault (New Zealand) defined by detailed three-dimensional georadar data, *Journal of Geophysical Research*, 109, B05401 (14p).
- 地震調査研究推進本部地震調査委員会（2005）*北伊豆断層帯の評価*，地震調査研究推進本部，28p.
- 木村治夫 ほか（2013）糸魚川－静岡構造線活断層系神城断層における地中レーダ探査，*活断層研究*，38，1–16.
- Kimura, H. et al.（2019）Holocene activity of the Asamigawa fault detected from sediment cores and a ground-penetrating radar cross-section in the Beppu area, southwestern Japan, *Quaternary International*, 503, 87–96.
- 近藤久雄 ほか（2003）丹那断層の過去 3,000 年間の活動履歴と単位変位量―田代地区における 3D トレンチ・Geoslicer 調査―，*地震第 2 輯*，55，407–424.
- 松田時彦（1972）1930 年北伊豆地震の地震断層，星野通平・青木 斌 編「*伊豆半島*」，東海大学出版会，73–93.
- 中埜貴元・酒井英男（2007）阿寺断層系中北部における極浅層構造のレーダ探査による研究，*活断層研究*，27，191–200.
- 鉄道省熱海建設事務所（1936）*丹那隧道工事誌*，596p.

ALOS30 DEM アナグリフ画像と Google Earth 画像判読による チベット高原の活断層詳細マッピング

・ 中田 高・熊原康博・後藤秀昭 (広島大学)

Detailed active fault mapping of Tibet Plateau by interpretation of ALOS30 DEM anaglyph and Google Earth images

Takashi NAKATA・Yasuhiro KUMAHARA and Hideaki GOTO (Hiroshima Univ.)

はじめに

ヒマラヤ衝突帯の背後に位置するチベット高原の活断層は、Molnar and Tapponnier (1975)がアジアのネオテクトニクスを論じる際に、その分布と特徴について検討したのが最初である。初期には、Landsat 画像の単写真が活断層認定に使われており、活断層分布の大枠については把握されたと見える (Molnar and Tapponnier, 1975・Ni and York, 1978 など)。その後、一部の主要な活断層においては、斜め空中写真や現地調査によって信頼性の高い詳細な活断層図が作成された (Almijo et al., 1986 など)が、他の多くの活断層については調査が進んでいない。既存の活断層分布図をもとにウェブベースのデジタルマップも作成された (Taylor and Yin, 2006) が、詳細さに欠けるものである。そのような中でも、既存の活断層図をもとにしたチベット高原の発達モデルが検討されており (Tapponnier et al., 2001), 詳細な活断層図にもとづく変形様式の再検討が必要であろう。

チベット高原北部の Kunlun 断層では、2001 年に発生した地震 (Mw7.8) によって 450km に及ぶ地震断層が地表に出現し、Ikonos や Quick Bird などの高解像度の画像を用いて詳細な地震断層のマッピングが行われた (Klinger et al., 2005)。近年、中国人研究者達 (Wang et al., 2018; Ha et al., 2019 など) によって、いくつかの活断層の詳細な調査が始まっている。チベット高原全体を統一的な基準で地形を判読し、詳細な活断層図の作成が必要であると考え、本研究を行った。

活断層マッピングの方法

チベット高原は日本の面積の 6 倍以上の約 250 万平方 km と広く、活断層が比較的密に分布していると考えられている。このため、効率よく地形を判読することが重要な鍵となる。本研究では、ALOS 30 DSM を用いてアナグリフ画像を作成し、幾何補正アプリケーションソフト Map Tiler Pro (Klokant Technologies)を使って kml ファイルに変換して Google Earth に重ねる手法 (後藤, 2015) を用いた。まず、ALOS 30 DSM アナグリフ画像によって活断層分布の概要を把握した後、Google Earth の透過表示機能を使って Google Earth の拡大画像をチェックし、位置や形状を詳細に把握した。1) チベット高原では降雨・流水によ

る侵食が少なく、さらに人工改変もほとんどないことから断層変位地形の保存が良く、2) 植生に覆われていないため、地表の様子が確認しやすく、3) 一部の地域を除いて Google Earth 画像が縮尺 4 万分の 1 空中写真以上の画像分解能を持つなど、Google Earth の画像の判読にも多くの利点がある。しかし、Google Earth 画像は立体視できないために、活断層の認定には ALOS30 アナグリフ画像を併用することが必要であり、本研究で用いた手法が適切であったと考えられる。また、認定した活断層の属性情報を Google Earth で追加する KML ファイルの「説明」に記述し、広域的な活断層分布を網羅的、統一的にマッピングすることができた。これらの方法を用いても、作業には約 2 ヶ月を要した。

活断層判読結果の既存の活断層図との比較

本研究では、変動地形学的手法にもとづいて新期の地形面や河谷の系統の変位などの断層変位地形を活断層の認定根拠としており、確実な断層のみを取り上げる、いわば保守的な活断層図となっている。本研究で新たに得られた主な知見は下記の通りである。

1) 従来の活断層図で連続的に引かれている多くの活断層のうち、長大な横ずれ断層である Altyn-Tagh 断層、Kunlun 断層、Karakorum 断層とラサの西部に位置する南北性の活断層帯 (Almijo et al., 1986) を除けば、既存の活断層は比較的広いギャップを伴う断続的な活断層の集合と認識される。

2) 多くの活断層図に示され、Tapponnier et al. (2001) のモデルにも関連する南東部の Jiali 断層は、河谷の横ずれ屈曲などの断層変位地形は認められず、活断層とは言いがたい。

3) 縫合線 (Suture zone) や、既存の地図で活断層とされているヒマラヤ山地と平行する西北西-東南西走向の活断層に沿っては、極限られた例外を除いて変動地形学的に認定される活断層は発達していない。

4) 独立した短い活断層が数多く認められ、日本では困難な活断層の長さとの関係を検討できる可能性がある。

5) チベット高原の変形は、Molnar and Tapponnier (1975) 以来、定説化しているインドプレートの衝突によるチベット高原の横ずれ活断層に沿った側方移動モデルより、水平主圧縮応力軸が南北方向をなす環境下での slip partitioning を示していると考えた方が適当と考えられる。

付記 本研究は科学研究費補助金 (基盤研究 B, 18H00766) の助成を受けた。

文献 Molnar and Tapponnier (1975) Science; Ni and York (1978) Tectonics; Almijo et al. (1986) JGR; Tapponnier et al. (2001) Science; Taylor and Yin (2006) Earth-Science Reviews; Klinger et al. (2005) BSSA; Wang et al. (2018) Tectonics; Ha et al. (2019) Journal of Asian Earth Sciences; 後藤 (2015) 広島大学大学院文学研究科論集

Active fault mapping in Indonesia by interpretation of topographic anaglyph images based on the Indonesian DEM

Adi Patria (Graduate School of Science and Engineering, Doshisha University, Japan)

Hiroyuki Tsutsumi (Department of Environmental Systems Science, Doshisha University, Japan)

Takashi Nakata (Professor Emeritus, Hiroshima University, Japan)

Abstract

Indonesia is a tectonically active area, located at a convergence zone of three major plates: Australia, Eurasia, and Pacific. The Australian plate moves toward the northeast with a rate of ~ 70 mm/yr relative to the Eurasian plate, while the Pacific plate motion relative to the Australian plate is ~ 120 mm/yr toward the west. The convergence is accommodated by subduction zones and active faults across Indonesia. We mapped active faults and described the tectonic geomorphic features on land Indonesia using 3D anaglyph images, constructed from the DEMNAS (Indonesian Digital Elevation Model) with 8 m spatial resolution. Most of the active faults has been identified previously. However, using this technique, we can map active faults in detail and determine the precise location of the active faults. Tectonically, Indonesia can be divided into two regions: western and eastern Indonesia. Active faults in western Indonesia, such as the Sumatran fault in Sumatra and the Lembang, Ajibarang and Ungaran fault in Java, accommodate the convergence of Australia and Eurasia. Active deformation in eastern Indonesia is more complex and broadly distributed than in western Indonesia. The region is dominated by an active left-lateral strike-slip fault system, which includes the Sorong and Tarera-Aiduna fault in Papua, the Kawa and Bobot fault in Seram, and the Matano and Palu-Koro fault in Sulawesi. The Papua fold-and-thrust Belt occupies Central Papuan mountain ranges. These active faults in eastern Indonesia accommodate the westward movement of the Pacific plate relative to Australia.

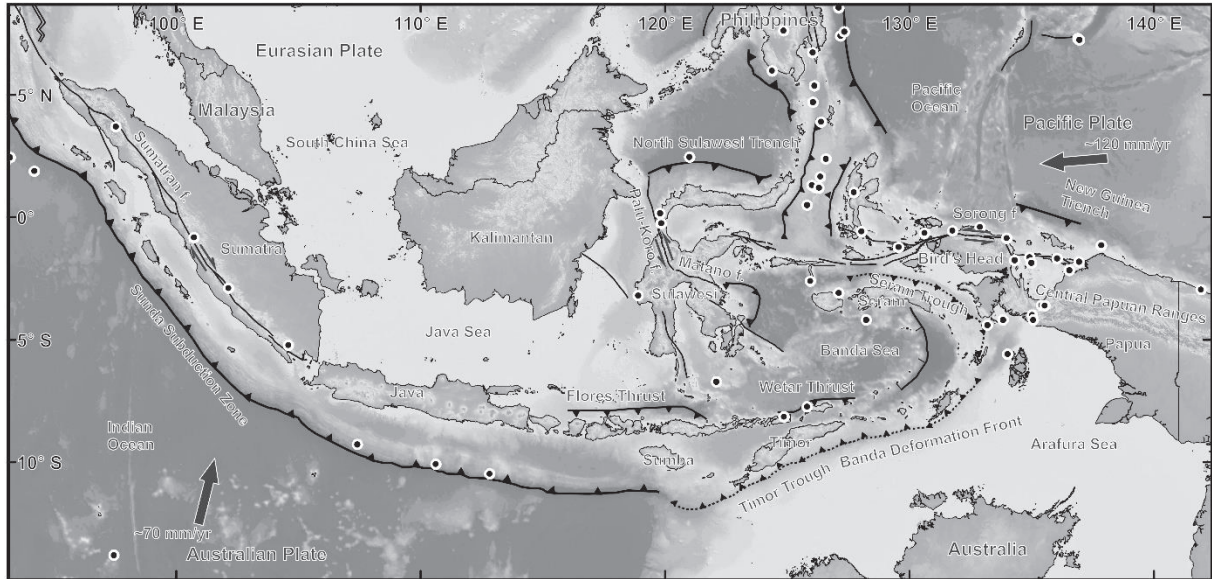


Figure caption: The seismotectonic map of Indonesia shows major structures in the region (from Hall, 2012). Dots indicate the hypocenters of modern earthquakes between 1900 and 2019 with $M_w \geq 7$ and ≤ 20 km deep from the USGS earthquake catalog. Arrows indicate plate motion vectors of the Pacific plate to Australia and Australia to Eurasia are from DeMets et al. (2010).

Acknowledement

This study is funded by JSPS Grant to Takashi Nakata (Ref. No. 18H00766).

2018 年インドネシア・スラウェシ島の地震 (Mw7.5) に伴う 地震断層の性状とそれに伴う被害

○中埜 貴元 (国土地理院)・平田 直 (防災科学技術研究所)・

Hastin Chandra Diantari (八千代エンジニアリング)・

多田 直人 (国土交通省)・Etri Suhelmidawati (パダン工科大学)

Properties of earthquake faults associated with the 2018 Sulawesi Island earthquake (Mw7.5) and the damage caused by them

○Takayuki Nakano (GSI of Japan), Naoshi Hirata (NIED),

Hastin Chandra Diantari (Yachiyo Engineering),

Naoto Tada (MLIT), Etri Suhelmidawati (Polytechnic State of Padang),

1. はじめに

2018 年 9 月 28 日 (UTC) にインドネシア・スラウェシ島で Mw7.5 (USGS) の地震が発生した。この地震では Palu 盆地を中心に、液状化・流動化に伴う地すべりや津波により甚大な被害が生じたほか (Mori, 2018 ; Koshimura et al., 2018 など)、衛星 SAR や衛星画像の解析により大規模な断層変位 (地震断層) が地表に生じたことが報告された (国土地理院, 2018 ; Valkaniotis et al., 2018 ; Elliott, 2018 など)。これらの被害の概況や発生メカニズムを調査し、災害復興計画に役立つ知見を得ることを目的として、2018 年 11 月に JICA による調査団が組織され、現地において地震断層や液状化・流動化発生域を対象とした調査を実施した。本発表では地震断層の性状とそれに伴う被害について報告する。

2. 調査の概要

今回の調査は、2018 年 11 月 2~4 日にかけて、図 1 に示す範囲で実施した。現地調査に先立って、JAXA の ALOS 全球数値地表モデル "ALOS World 3D - 30m (AW3D30)" を用いた断層変位地形の判読と文献調査を実施した。現地調査では、出現した地震断層の変位量を計測するとともに、干渉 SAR により線状の位相不連続が現れた箇所や既知の断層変位地形の周辺において、地表変位の有無を調査した。

3. 結果と考察

現地調査の結果、Palu 盆地の平坦部西側において、非常に明瞭な左横ずれを伴う地震断層が、少なくとも 7km にわたって北北西-南南東方向に直線的に出現していることを確認した。なお、その後 Jaya et al. (2019) などにより、全体で約 160km にわたる地震断層が確認されている。

本調査で変位量の計測や周辺の被害調査を実施した 13 地点 (図 1) のうち、最大の左横ずれ変位量は 20181102-6 地点 (Cemara street) や 20181102-10 地点 (Padanjakaya street) の 4.6m であった。これは、2016 年熊本地震における地震断層の横ずれ変位量の倍近い値に相当し、世界でも最大級の横ずれ量と言える。また、複数地点では上下変位量 0.5~1.0m 程度の相対的東側隆起を確認した。この東側隆起は、盆地西縁山麓部の既知の活断層の変位の向きと逆センスであるため、分岐

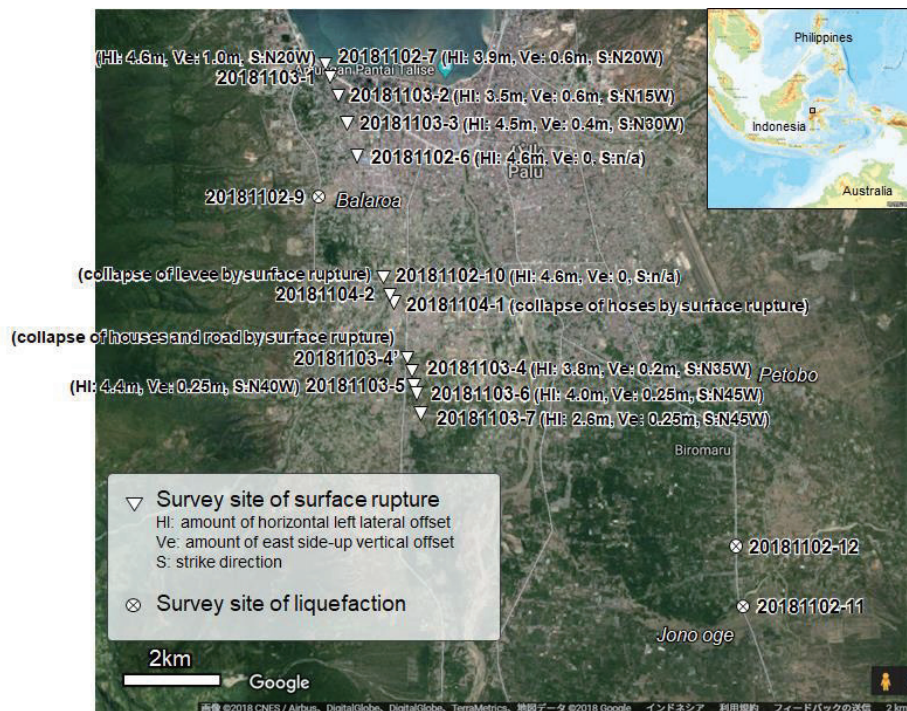


図1 調査地点図（背景図には GoogleMaps を使用）

断層が地表に出現した可能性もある。地震断層は 20～30m 程度の幅を持った帯状に出現しており、場所によっては明瞭なエシュロン構造（雁行状に配列した断裂群）が確認できた。この地震断層帯の上に立つ建物はことごとく倒壊していたが、一方でそのすぐ脇の家屋は倒壊を免れていた。横ずれ断層の場合、地震断層に沿って建物被害が集中することが従来指摘されているが、今回はその典型例と言える。またこれは、これらの倒壊家屋は地震動により倒壊したものではなく、地表の変位によって倒壊したことを示している。なお、既知の活断層付近では、地震断層を示すような地表変位は確認できなかった。

4. まとめ

今回の調査により、地震断層は少なくとも長さ 7km にわたって出現していること、家屋の倒壊被害は地震断層帯直上に限定されることが確認できた。

謝辞：本調査は JICA により実施されたものである。AW3D30 を用いたアナグリフ画像は広島大学の中田高名誉教授よりご提供頂いた。感謝申し上げます。

引用文献：

- Elliott, A. (2018): <https://fingfx.thomsonreuters.com/gfx/rngs/INDONESIA-QUAKE/010080MZ19R/index.html>
- Jaya et al. (2019): Distribution and morphology of the surface ruptures of the 2018 Donggala–Palu earthquake, Central Sulawesi, Indonesia. *Earth, Planets and Space*, 71:144.
- 国土地理院 (2018)：2018 年インドネシア・スラウェシ島の地震に伴う地殻変動。 <https://www.gsi.go.jp/cais/top/ic181005-index.html>
- Koshimura et al. (2018): Field Survey Report of the 28 September Earthquake Tsunami of Sulawesi, Indonesia. http://www.regid.irdes.tohoku.ac.jp/response/report/SurveyReport_Oct_2018.pdf
- Mori (2018): The areas of landslides and affected buildings and houses within those areas, in and around Palu City during Sulawesi Earthquake on September 28, 2018 specified by an analysis based on satellite imagery provided by Google Crisis Map. <http://committees.jsce.or.jp/eec205/system/files/Landslides%20Palu%20City-mori.pdf>
- Valkaniotis et al. (2018): A preliminary report on the M7.5 Palu earthquake co-seismic ruptures and landslides using image correlation techniques on optical satellite data. Report of EMSC.

日奈久断層北端部で確認された熊本地震の地表余効すべり

◦遠田晋次(東北大学)・鳥井真之(熊本大学)・小俣雅志(パスコ)・三五大輔
(元パスコ)・石澤堯史(東北大学)

Afterslip on the northernmost Hinagu fault associated with the 2016 Kumamoto earthquake

◦Shinji Toda (Tohoku University), Masayuki Torii (Kumamoto University), Masashi Omata (Pasco Corporation), Daisuke Sango (Formally Pasco Corporation), and Takashi Ishizawa (Tohoku University)

平成 28 年 4 月 16 日に発生した熊本地震 (M7.3) では、日奈久断層帯高野ー白旗区間北部 (日奈久断層北端) から布田川断層帯布田川区間沿い約 30km にわたって地表地震断層が出現した (熊原ほか, 2016). 地震断層沿いの最大右横ずれ変位は 2.2m であるが、国土地理院電子基準点や ALOS-2 による干渉 SAR 解析からは、広域での地震時変動が捉えられた。さらに、衛星測地からは、地震後も地震時変位と同じセンスの余効変動がさらに広域に継続的に生じていることがわかり、震源断層の余効すべりと下部地殻の粘弾性変形によってモデル化されている (例えば, Pollitz et al, 2017). また、中尾ほか (2019) は GNSS 臨時観測から日奈久断層帯で約 21cm の余効すべりを推定した。今回、著者らは本震後約 4 年間に不定期に地震断層を確認した結果、日奈久断層北端の御船町高木地区において目視判別できるほどの顕著な余効すべりを確認したので報告する。

地震後 1 年間の最も明瞭な変化が確認されたのは、高木地区給油所裏のブロック塀である (図 1c,d). テープ計測のため精度は高くないが、地震時には 50cm だった右横ずれ (図 1c) が 1 年後には約 70cm にまで成長し、ブロックの剥離も確認されている (図 1d). また、本震の 10 ヶ月後に新設されたブロック塀にも約 5 cm の右横ずれが生じている (2020 年 8 月時点). さらに、その他 3 箇所で地震後に修復されたアスファルト上に右横ずれに整合的な杉型雁行亀裂や 1-2cm 程度の上下変位、最大 3cm 程度の右横ずれ変位が認められた (図 1a,b).

GNSS データによる推定ではあるが、一般にプレート境界型の巨大地震では余効すべりの報告例は多い。陸上では、サンアンドレアス断層帯上の 1966 年、2004 年パークフィールド地震や 2014 年南ナパ地震が顕著で、地震時変位と同等かそれ以上の数 10cm もの変位が確認されている (Lienkaemper & McFarland, 2017; Lienkaemper et al., 2016). 一方、日本列島内陸では、これまで余効すべりが地震断層上で目視確認されたことはない。間接的に 1974 年伊豆

半島沖地震（M6.9）後に石廊崎断層での四辺長計測の結果、地震後2年間に7-25mmの余効すべりが報告されているのみである（宮沢・衣笠，1977）。なお、干渉 SAR からは布田川断層・出ノ口断層沿いにも部分的に余効すべりが確認されているが、現地で目視判別できる地点は認められない。「不完全な破壊」に終わった日奈久断層側で顕著な余効すべりが発生している事実は、今後の地震活動を評価するうえで考慮すべき要素となろう。また、断層変位ハザードの観点からは、今回の顕著な地表余効すべりは内陸大地震後の断層沿いの本格復旧の開始時期を考える上で示唆に富む。

文献： 熊原ほか，2016，日本地球惑星科学連合大会 2016 年大会講演要旨，Lienkaemper, J. J. and F. S. McFarland, 2017, Bull. Seismol. Soc. Amer., 107, 1082-1092. Lienkaemper, J. J. et al., 2016, Seismol. Res. Lett., 87, 609-619. 宮沢・衣笠，1977，地質調査所特別報告，6，105-120. 中尾ほか，2019，平成 28 年熊本地震を踏まえた総合的な活断層調査成果報告書，484-517. Pollitz, F. F. et al., 2017, Geophys. Res. Lett., 44, 8795–8803.



図1 余効すべりの写真. a) 益城町町道飯田東無田線上の右横ずれを示す車両通行帯白線と導流帯. b) 御船町高木地区町道小敷田西往還線上の補修路面に出現した雁行亀裂群. c) 御船町高木地区給油所裏のブロック塀の変位. 地震直後, d) 1年後.

**布田川断層帯北甘木断層の活動履歴
-熊本県嘉島町でのトレンチ掘削調査-**

○鳥井真之（熊本大学）・福田泰英（三和地質コンサルタント）・石澤堯史
（東北大学）・奥野 充（福岡大学）・遠田晋次（東北大学）

Activity history of the Kita-Amagi Fault in the Futagawa Fault
Zone viewed from trench survey at Kashima town, Kumamoto
Prefecture, SW Japan

Masayuki Torii, Yasuhide Fukuda, Takashi Ishizawa, Mitsuru
Okuno , Shinji Toda

はじめに

熊本県嘉島町を中心に位置する北甘木断層は宇土断層とともに布田川断層帯宇土区間を構成している（地震調査研究推進本部, 2013）。2016 年熊本地震ではおもに布田川区間で大きな変位が発生したが、この北甘木断層においても小規模ながら地震断層が出現している。熊原ほか(2017)では、2016 年熊本地震後の調査などから井寺において分岐もしくは屈曲するように南西方向へ連続し、北甘木台地を横切り南西につながる北甘木断層の新たな活構造を示した。しかし、2016 年熊本地震では肉眼で識別できる変位が確認されず、断層露頭などによる存在の有無も確認されない。この北東-南西方向の活構造の存在は、宇土断層との連続性や、平行する日奈久断層帯との関係性を考察する上で重要な情報となり得る。そこで演者らは、北甘木台地上でトレンチ調査を実施し、北甘木断層の活動履歴を検討した。

トレンチ調査

熊原ほか(2017)により示された新たな活構造は、東側は北西落ち、西側は南東落ちの 2 つの平行する活断層からなっており、東側活断層を 1 カ所（T-1）、西側活断層を 2 カ所（T-2 と T-3）の計 3 カ所のトレンチ掘削をおこなった（Fig. 1）。代表的な T-2 トレンチの状況を写真に示す（Fig. 2）。これらトレンチ壁面には下位より、火砕流堆積物、火砕流堆積物を起源とする 2 次堆積物、円礫層、赤ボク、3 層準のテフラを挟在するクロボク、耕作土・盛土から構成されている。これらの層序を明確にするために、火砕流堆積物とテフラを鏡下観察したところ、火砕流堆積物はバブルウォール型の火山ガラスと角閃石を含むことから Aso-4 火砕流堆積物と判断された。また、クロボク中のテフラはいずれもバブルウォール型の火山ガラスから構成されており、それらを対象とした EPMA による主成分化学組成分析の結果、最下位のテフラ（試料 KS-4）は AT テフラに、最上位のテフラ（試料 KS-6）は少量の AT テフラの火山ガラスを混在するものの K-Ah テフラにそれぞれ対比可能である（Fig. 3）。一方、中位のテフラ（試料 KS-5）は最下位テフラと同様に AT テフラの組成を示しているが、層位的に上位であり、側方への連続性もやや乏しいことから、形成過程は不明ながら AT テフラの再堆積物と考えられる。そして、これらの層位関係から円礫層は保田窪砂礫層と判断される。

壁面観察と層序に従えば、T-1 の南側面に赤ボク中にクロボクが充填された開口亀裂が認められるものの、明瞭な断層変位は認められない。しかし、保田窪砂礫層内の堆積構造や地層境界は西側への傾動を示していることから撓曲構造の存在を示唆している。T-2 および T-3 では明瞭な鉛直変位を伴う断層が確認された。これらの断層面はいずれもほぼ鉛直であることなどから、横ずれ成分が大きいことが予想されるが、具体的な横ずれ変位量は確定できていない。イベント層準として、Aso-4 火砕流 2 次堆積物と保田窪砂礫層との間の層準、赤ボク堆積中、AT 再堆積層以降の少なくとも 3 層準が明確に識別可能であり、やや不明確であ

るが、保田窪砂礫層と赤ボクの間の層準、AT 直下の層準もイベント層準と認定できる。Aso-4 火砕流 2 次堆積物は約 9 万年前の Aso-4 火砕流噴火に近い時期の堆積物と推定されることから、約 9 万年前以降に少なくとも 3 回～5 回の活動であることが推定される。熊本地震後に実施された益城町島田地区でのトレンチ調査から、北甘木断層の活動については断層変位地形の形成に寄与した断層活動は少なくともおよそ 16,000 年前以後でおよそ 3,000 年前以前あるいは 10,000 年前以前との結果が得られており(丸山ほか, 2019)。本結果と大きな矛盾はない。よって北甘木断層の活動度は布田川区間と比較し低いことが明らかとなった。

謝辞 本研究を進めるにあたり嘉島町都市計画課に多大なる便宜を図って頂いた。記して感謝の意を表する。

熊原康博・岡田真介・楳原京子・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)」, 国土地理院技術資料 D・1-No. 868.

丸山正・齋藤勝・小峰佑介・亀高正男(2019)熊本県上益城郡益城町島田地区における北甘木断層の活動履歴と 2016 年熊本地震で出現した地震断層の詳細. 活断層研究. 50, 13-31.

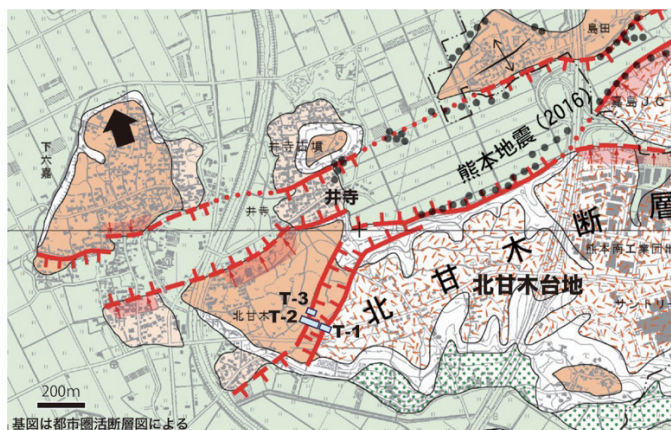


Fig.1 北甘木台地でのトレンチ実施箇所

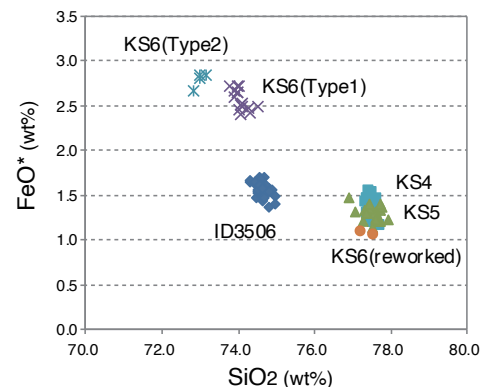


Fig.3 テフラ中の火山ガラスの主成分化学組成



Fig.2 T-2 トレンチ南側壁面の状況とテフラ試料の採取位置

断層活動に伴い生じた亀裂の充填物の放射性炭素年代測定に基づく断層活動時期の制約

°石澤堯史（東北大学）・鳥井真之（熊本大学）・遠田晋次（東北大学）・奥野 充（福岡大学）・福田泰英（三和地質コンサルタント）・宮入陽介（東京大学）・横山祐典（東京大学）

Dating of crack-filling to constrain a timing of surface-rapturing earthquake

Takashi Ishizawa (Tohoku University), Masayuki Torii (Kumamoto University), Shinji Toda (Tohoku University), Mitsuru Okuno (Fukuoka University), Yasuhide Fukuda (Sanwa-Chishitsu Consultant), Yosuke Miyairi (University of Tokyo), Yusuke Yokoyama (University of Tokyo)

1. はじめに

2016 年 4 月発生した熊本地震では、布田川・日奈久断層帯が活動し M7.3 の地震が発生した。この地震では、同断層帯における布田川区間と高野―白旗区間が主に活動したが、それ以外の区間では大きな変位は認められず歪みの蓄積が継続していると考えられる。本研究では 2016 年の熊本地震の際には目立った活動が認められなかった、熊本県嘉島町北甘木地区の断層を対象としてトレンチ調査を行った。

2. 研究地域

研究地域は熊本県嘉島町の北甘木台地である。本地域では北東―南西方向に 2 本の平行な断層（北甘木断層）が推定されている。本地域では 2019 年 12 月からトレンチ調査が実施され、北甘木断層の活動履歴が議論された（鳥井ほか，2020）。しかしながら、本地域では上位の層準が人為活動により擾乱されているため、最新の断層活動時期については正確には判明していない。そこで本研究では、断層活動により副次的に形成されたと考えられる開口亀裂に着目し、その亀裂を充填する堆積物の年代測定から最新の断層活動時期の制約を試みた。

3. 結果

本地域におけるトレンチ調査から AT 火山灰層中に同一方向の亀裂が発達していることが確認され、同層準が断層活動に伴う剪断作用を受けたことが推定された。その剪断により生じた亀裂の充填物を年代測定した所、約 1 万年前という結果が得られた。断層活動により形成された亀裂の充填物は、亀裂の層準～当時の地表付近の堆積物から成ると考えられる。よってその充填物から得られる年代は、亀裂を形成した断層と同時期かそれよりも古いと考えられる。以上のように、亀裂を充填する堆積物から得られた年代を用いることで断層活動時

期を制約することができた。本研究結果は、人為活動等により断層活動時期の判断が困難な場合でも、断層近傍に形成された亀裂の年代測定から、断層活動時期を制約できることを示唆している。

謝辞：本研究を進めるにあたり嘉島町都市計画課に多大なる便宜を図って頂いた。本研究は東京大学大気海洋研究所学際連携研究の支援を受けた。

引用：鳥井真之，福田泰英，石澤堯史，奥野 充，遠田晋次，2020. 布田川断層帯北甘木断層の活動履歴-熊本県嘉島町でのトレンチ掘削調査-。日本活断層学会 2020 年秋季学術大会講演予稿集



図 1. トレンチ壁面写真と年代測定用試料のサンプリング位置

富山県氷見市における古津波堆積物調査で見つかったイベント堆積物

° 立石 良, 河村綾太 (富山大学)

Event deposits found in search of paleotsunami deposits in Himi city, Toyama prefecture
Ryo TATEISHI, Ayata KAWAMURA (University of Toyama)

1. はじめに 本発表では、富山県氷見市において行った堆積物調査で発見されたイベント堆積物を報告する。なお本発表の内容は、立石・河村（投稿中）をまとめたものである。

2. 調査地域の概説 調査地域は能登半島の基部、富山湾に面した富山県氷見市に発達する平野の南東部に位置する（図 1A, 図 1B）。この平野は、海岸沿いに約 9km に渡って発達する浜堤列と、その背後の低地帯からなる（図 1B）。さらに内陸には、海成段丘からなる丘陵地が広がる。調査地域は浜堤列と標高 20m 程度の丘陵地に挟まれた浜堤背後の低地帯であり、現在は水田として利用されている（図 1C）。海岸線に直交する方向の浜堤列の幅は約 500m で、最大標高は 8m である。低地帯は海岸線から約 1km 離れており、平均的な標高は約 3.9m である。

調査地域周辺における歴史津波としては、1741 年（寛保元年）渡島大島の山体崩壊があり、氷見市では高さ 1~2m とされている（羽鳥, 1990）。有史以前の津波を対象とした調査は矢野・竹内（2014）、卜部ほか（2015）の 2 例あり、複数のイベント堆積物が発見されているが、いずれもイベント堆積物の年代に関する記載はない。

3. 手法 調査地域の低地帯で打ち込み式サンプラーを用いたコア採取を行った（Fig. 1C）。採取したコア試料に対して堆積相解析の方法を適用し、堆積環境の空間変化を復元した。次いで、地質学的に見て短期間で堆積したと判断される堆積物をイベント堆積物として抽出した。また、イベント堆積物の堆積年代を把握するため、有機物試料の放射性炭素年代測定を行った。

4. 結果と考察 採取したコア試料の堆積相解析の結果、この低地の地層は浜堤の堆積物（Sm）と、浜堤背後の凹地を埋積した湿地（Mo, Mh）や池、沼の堆積物（Mm）からなることが分かった（図 2）。この凹地の堆積物から、イベント堆積物 A~F が抽出された。このうちイベント層 A と D は、いずれも厚さ 1cm~2cm の石英粒子を多く含む淘汰の良い細粒砂~中粒砂からなり、約 700m 離れてほぼ同層準に分布すること、側方で植物片の濃集が観察されることから、同一のイベントで堆積したものと考えられる（図 3）。このイベント堆積物は、その含有鉱物や堆積構造、分布範囲の広さから、津波に由来する可能性がある。一方で、河川の氾濫堆積物の可能性も残されており、成因を特定するためには、継続して調査を続ける必要がある。なお、このイベント堆積物の直下の 14C 年代（HMS3-2_01 ; 図 2）は 2,344-2,155 cal BP である。

[引用文献]

羽鳥, 1990, 天保 4 年（1833 年）山形沖地震とその津波の規模. 地震第 2 輯, 43, 227-232.

立石・河村, 投稿中, 富山県氷見市における古津波堆積物調査, 堆積学研究.

卜部ほか, 2015, 津波堆積物の調査. 平成 26 年度「日本海地震・津波調査プロジェクト」成果報告書, 63-74.

矢野・竹内, 2014, 富山県射水市放生津潟における底生有孔虫を用いた津波堆積物の検出. 日本地質学会第 121 年学術大会講演要旨, R19-P-5, p.566.

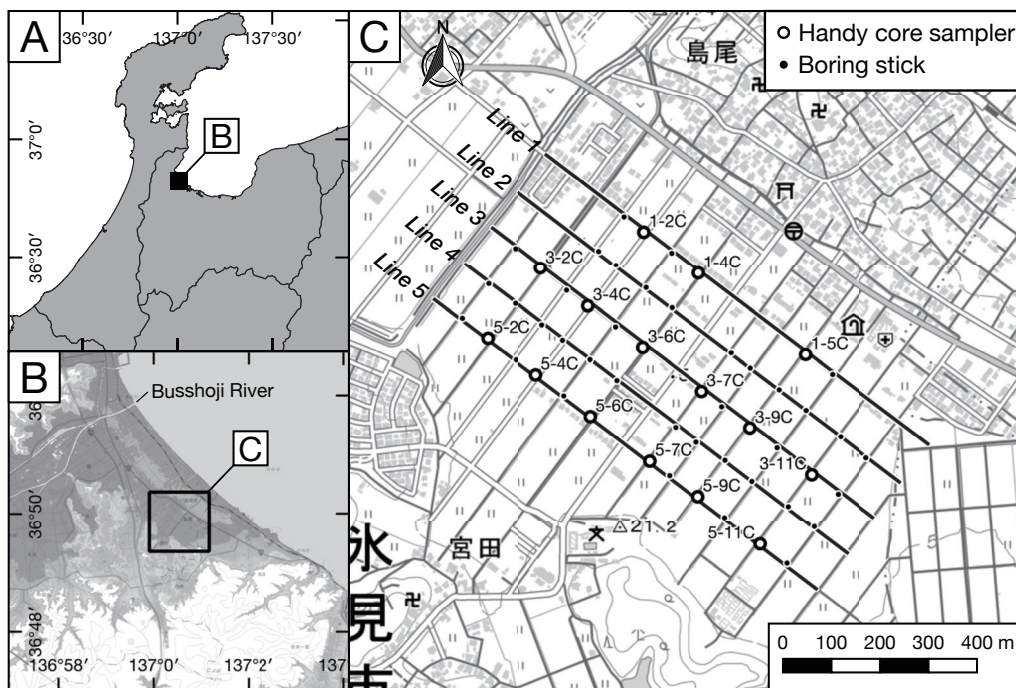


図 1 調査位置図

国土地理院 5m メッシュ DEM および地理院タイルを使用

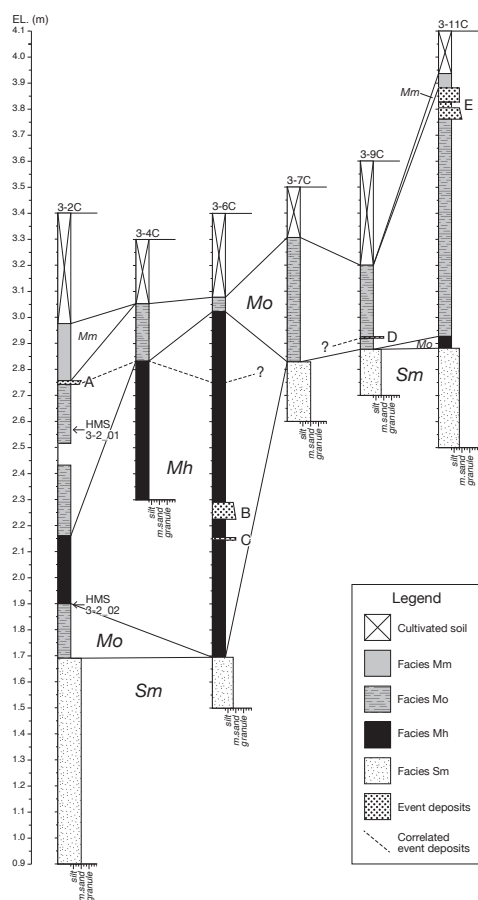


図 2 Line 3 の柱状図



図 3 イベント層 A, D

長野県北部、信濃町と飯綱町で新たに発見された活断層露頭

○竹下欣宏¹・近藤洋一²・花岡邦明・富樫 均³・宮下 忠・関めぐみ²・
中川知津子⁴・廣内大助¹・野尻湖地質グループ

¹信州大学・²野尻湖ナウマンゾウ博物館・³いいづな歴史ふれあい館・⁴戸隠中学校

Active fault outcrops newly found in Shinano and Iizuna Town,
northern part of Nagano Prefecture

○Yoshihiro TAKESHITA¹, Yoichi KONDO², Kuniaki HANAOKA, Hitoshi TOGASHI³,
Tadashi MIYASHITA, Megumi SEKI², Chizuko NAKAGAWA⁴, Daisuke HIROUCHI¹
and Geology Research Group for Nojiri-ko Excavation

Shinshu Univ.¹, Nojiriko Naumann Elephant Muse.², Iizuna Muse.³, Togakushi J.H.S.⁴

はじめに

長野県北部に位置する信濃町と飯綱町において活断層露頭を発見した(図1)。これらの露頭は糸魚川-静岡構造線活断層帯と長野盆地西縁断層帯には含まれた地域にあり、信濃町の露頭の付近で六月断層(長森ほか, 2003)が報告されているものの、そのほかに活断層は認識されていない。六月断層についても活動時期や変位量など詳しいことは明らかにされていないため、2つの露頭は活断層の空白地域で発見されたと言える。

今回発見した露頭では、後期更新世以降の地層を明瞭に断ち切り、地表面に変位が見られるため、過去に大規模な地震を発生させた断層の可能性が高い。したがって、これらの活断層の性質を明らかにすることは、長野県北部の地形・地質発達史のみならず、防災・減災の観点においても重要である。本研究では、これらの露頭に見られる地層と地質構造について報告するとともに、信濃町の露頭の北東側(下盤側)に広がる池尻川低地において深度20mのボーリング掘削を実施したので、その概要も紹介する。

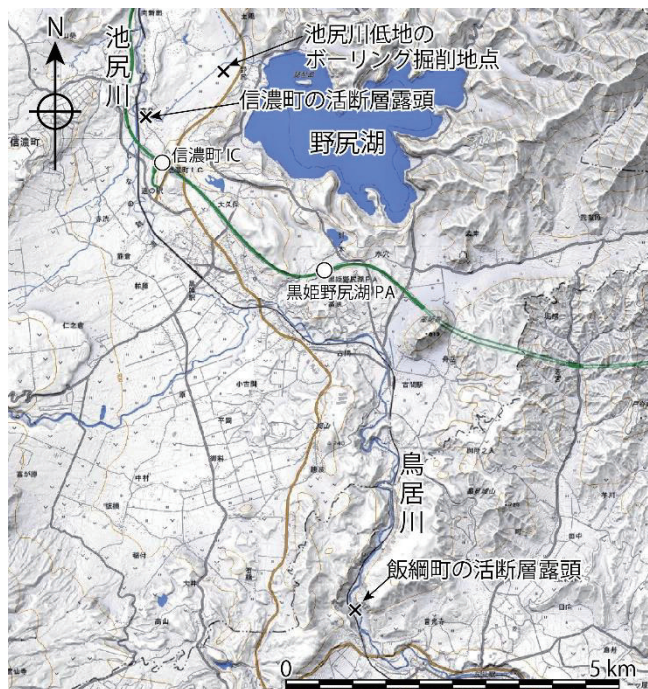


図1 露頭およびボーリング掘削位置図

信濃町の活断層露頭と池尻川低地のコア層序

2019年5月、長野県上水内郡信濃町において、橋の付替え工事にともない露頭が出現した。本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)を神山ローム層・野尻ローム層(野尻湖地質グループ, 1984; 野尻湖火山灰グループ, 1990)と呼ばれる風成堆積物が覆う(図2)。さらにそれらが断ち切られ、下位の地層が上位の地層に乗り上げている。露頭の北側には丘陵を切り割って流れる先行河川(池尻川)が確認できるために、この露頭の構造は、地すべり性のもではなく、断層の活動により形成されたものと考えられる。断層面の走向傾斜はフラットに近く波打っているためにばらつくが、断層条線の方法はN59°W~N81°Wである。露頭西側の地表面には北西側が

高い落差 2m 程度の段差があり、その段差の伸びの方向は N49°E である。神山・野尻ローム層には、黒姫・妙高火山起源の降下テフラ層が多数挟まれており（野尻湖地質グループ, 1984）、本露頭でもそれらを確認することができた。これらの降下テフラ層は、約 6.8 万年前～4.3 万年前に噴出したものと見積もられた（長橋・石山, 2009）。さらに約 3 万年前の始良 Tn テフラ（AT）も火山ガラスの濃集帯として確認でき、この層準も断ち切られている。



図2 信濃町の活断層露頭の写真

池尻川低地で採取した深度 20m のコアは、層相に基づき 3 層準に区分できる。1) 地表から深度 5.56m は主にやわらかい泥炭層、2) 深度 5.56-8.97m は主に砂層と砂礫層、3) 深度 8.97-20.00m は安山岩の巨礫を含む凝灰角礫層からなる。深度 1.98-2.03m にガラス質火山灰層、深度 5.31-5.41m と 5.42-5.53m に黒色スコリア層、深度 8.49-8.64m に灰色粗粒火山灰層、深度 8.68-8.88m に赤褐色粗粒火山灰がはさまれ、これらは上位より、野尻湖地質グループ（1984）のテフラ鍵層である [ヌカ I]（AT）、[赤スコ]、[青ヒゲ]、[灰ザラ]、[レンガ] にそれぞれ対比される。深度 8.97m 以深の凝灰角礫層は池尻川岩屑なだれ堆積物に相当する。低下側の水成層の深度が得られたので、断層の上盤側（池尻川低地の北西側）で同層準の水成層を検出し、それらの比高から断層の変位量を明らかにしたい。

飯綱町の活断層露頭

長野県上水内郡飯綱町の露頭は、2020 年 5 月に鳥居川沿いの地質調査中に発見された。この露頭では、牟礼岩屑なだれ堆積物（早津ほか, 2003）とそれを覆う鳥居川の最低位段丘堆積物が見られる（図 3）。それらが断ち切られ、西側が、東側に乗り上げる構造を確認することができる。断層面の走向傾斜はおおよそ N20°W20°W、断層条線はおおよそ S70°W20° にプランジしている。最低位段丘の堆積物を変位させていることから、かなり新しい時代の断層活動により形成されたと考えられるが、¹⁴C 年代を測定するなどして活動時期の精度を高める必要がある。



図3 飯綱町の活断層露頭の写真

引用文献：石井・野尻湖地質グループ（1997）野尻湖ナウマンゾウ博物館研究報告，5，9-18. 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. 早津ほか（2003）戸隠地域の地質第 5 章第四紀火山，49-73.

謝辞：地権者ならびに野尻湖土地改良区にはボーリング掘削にご協力いただき、北信ボーリング(株)と田辺智隆氏にはコアの観察で大変お世話になった。ここに記して感謝申し上げます。

新たに見いだされた飯綱—黒姫地域の活断層

° 廣内大助（信州大）・竹下欣宏（信州大）

The newly found active fault around Iizuna-Kurohime area,
central Japan

Daisuke Hirouchi (Shinshu Univ.) and Yoshihiro Takeshita (Shinshu Univ.)

1. はじめに

長野県北部から新潟県にまたがる北部フォッサマグナ地域は、第四紀後期以降の褶曲や逆断層による短縮変形が顕著な地域であり、これら地域を震源とした 2000 年中越地震（六日町断層帯北部）や 2011 年長野県北部地震（栄村の地震、松之山背斜下の逆断層）など、活発な地震活動が認められる。本研究では、糸魚川—静岡構造線断層帯（以下 ISTL）と長野盆地西縁断層帯の間から高田平野の南方にあたる、長野県北部の信濃町～飯綱町周辺において、活断層露頭と変動地形の認定から、これまで十分な記載の無い新たな活断層を複数報告する。

2. 飯綱—黒姫地域の活断層に関わるこれまでの研究

本地域は北北西方向の北部 ISTL と北東—南西方向で西傾斜の長野盆地西縁断層帯の間に位置する。本地域における変動地形学的な研究として、活断層研究会（1991）では、飯綱山東麓火山斜面の高度不連続から確実度Ⅱ、活動度 B 級で北東方向に長さ約 13km の古町断層を認めている。また野尻湖と斑尾山を南北に挟む形で、いずれも東北東方向で北西側隆起、長さ約 10km の古海断層、南東側隆起で長さ約 7km の荒瀬原断層を、いずれも山地斜面の高度不連続から認めている。中田・今泉（2002）では、野尻湖の西側付近に、東側隆起の六月断層を認めている。また堤ほか（1999）「都市圏活断層図中野図幅」では、信濃町南部から飯綱町北部富士里にかけての約 4km に渡って、低位段丘面に東側隆起の断層崖や撓曲変形を認めている。一方、地質学的には長森ほか（2003）では、上部更新統の池尻川岩屑なだれ堆積物から、上部野尻湖層を北西落ちで約 10m 変位させる六月断層を認めている。本断層は中田・今泉（2003）で示された断層とほぼ一致しており、池尻川低地の東縁をなし野尻湖の閉塞に関わる断層である。

3. 新たに見いだされた活断層

野尻湖西方の池尻川低地西縁に六月断層と対をなす形で、西側隆起西傾斜の活断層露頭と変動地形を新たに見出した。断層露頭記載の詳細は竹下ほか 2020（本学会発表）で述べるが、68～43ka に噴出堆積した黒姫・妙高火山起源のテフラ層を明瞭に切断する。また断層隆起側にあたる地形面を構成する池尻川岩屑なだれ堆積物（約 68ka）の段丘を、池尻川は先行谷化して流れており、明瞭な変動地形を形成する。本断層は北東南西方向に 6km 程度連続する可能性が高い。

また飯綱町の高坂付近では、飯綱火砕流堆積物（長森ほか、2003）から構成される火山麓扇状地面に、波長 2km 程度の背斜状変形、ないしは撓曲変形が認められる（図 1）。この構造の西側には霊仙寺湖や逆谷湿地などが分布し、ここから流下する一部河川は東流し、背斜状変形を断ち切り、先行谷化して東側の低地へ流れ鳥居川に合流する。この背斜状変形の東方にあたる、北北

東－南南西方向の低地西縁付近に、西傾斜の逆断層が推定できる。この断層は活断層研究会(1991)が指摘した古町断層とほぼ一致すると考えられる。この断層の北東延長は低地に沿って北に延び、鳥居川方向へ連続する。この北側延長部にあたる鳥居川右岸の低位段丘には、段丘面と段丘構成層を変位させる明瞭な逆断層露頭が出現した(竹下ほか 2020 本学会で詳細を報告)。

飯綱－黒姫断層帯

これら2つの断層は雁行配列するが恐らく一連の褶曲逆断層帯を形成しており、地下では収斂する可能性がある。また堤ほか(1999)の断層もこれに関わると考えれば、断層帯全体の長さは少なくとも10km以上に及ぶ。また明瞭な変動地形を伴うことから、一連の起震断層としてこれまでも繰り返し活動し、将来一定規模の地震を引き起こす可能性がある。本研究ではこれら一連の断層を飯綱－黒姫断層帯とする。今後周辺を含めた断層帯全体の詳細な位置把握に加え、活動履歴や変位速度などの基礎的情報の集積と評価が必要である。

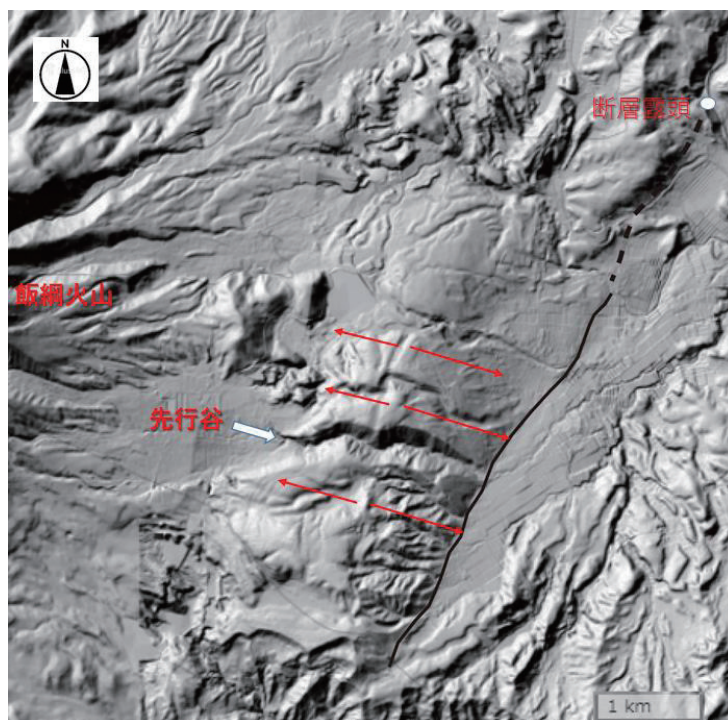


図1 飯綱山東方に見られる飯綱火砕流堆積面の背斜状変形と活断層

引用文献

- 活断層研究会編, 1991, 新編日本の活断層一分布図と資料, 東京大学出版会
長森英明ほか, 2003, 戸隠地域の地質, 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, 109p
中田高・今泉敏文編, 2002, デジタル活断層アトラス, 東京大学出版会 CD-ROM
竹下欣宏ほか, 2020, 長野県北部, 信濃町と飯綱町で新たに発見された活断層露頭, 日本活断層学会 2020 年度秋季学術大会発表要旨
堤浩之ほか, 1999, 都市圏活断層図「中野」, 国土地理院技術資料 D1-375

太江断層西端付近における断層分布と変位速度

○岩沢冴子・中村耕佑・安江健一・立石良(富山大学)・寺門隆治(吉城高校)・
楮原京子(山口大学)・丹羽正和(日本原子力研究開発機構)・黒澤英樹(応用地質)

Fault trace and slip rate at the western end of Taie Fault in Hida City, Gifu Prefecture.

Saeko IWASAWA, Kosuke NAKAMURA, Ken-ichi YASUE, Ryo TATEISHI (Univ. Toyama),
Takaharu TERAOKA (Yoshiki High School), Kyoko KAGOHARA (Yamaguchi Univ.),
Masakazu NIWA (JAEA), and Hideki KUROSAWA (Oyo Co.)

はじめに

太江断層は、岐阜県高山市上宝町荒原付近から、同県飛騨市古川町杉崎付近まで、概ね東北東-西南西方向に延びる右横ずれの活断層であり、その長さは約 10km である。これまでに複数の図において活断層の存在が示されているが、位置が明確に特定できない地点が多い(鈴木・杉戸, 2010; 今泉ほか編, 2018; 熊原, 2019; 杉戸, 2019 など)。この断層の西端付近においては、2008 年ごろに道路工事に伴う掘削によって断層露頭が出現(図 1)し、その観察結果が報告されている(飛騨地学研究会, 2009; 楮原ほか, 2009a, b)。その観察結果によると、断層は風化した花崗岩類と砂礫層が $N74^{\circ}W \cdot 67^{\circ}NE$ の断層面で接する北側が隆起する断層であり、断層面は地表に向かって低角化する。断層下盤の砂礫層は、赤色風化したくさり礫を多く含み、露頭で確認できる層厚は 15m 以上である。断層露頭の最上段では、低角逆断層によって崖錐性堆積物に花崗岩類が衝上しており、断層面の傾斜に沿った変位量は約 50cm である。この道路工事の断層露頭は、国土地理院 2008 年撮影の空中写真(CCB20077-C17-6)においても確認することができる。

このように既存情報から活断層の存在が示されているが、地表における正確な断層の位置・平均変位速度などの特定にまでは至っていない。これらを明らかにするために、本研究ではこの断層西端において、過去の露頭写真の判読、現地の地形・地質調査、C-14 年代測定を行ったので報告する。

断層の分布

道路工事の際に観察された断層露頭の走向は東西～西北西であり、既存の太江断層のトレースと若干斜交する。しかし、露頭写真からわかる複数箇所の断層変位の痕跡から断層はほぼ東西方向に連続し、道路北側の畑を通過すると考えられる。この畑付近ではわずかな撓曲が認められる。また、この地点から北方 50m 付近にはほぼ東西に連続するリニアメントが認められる。畑付近において変位は不明であるが、東側への延長部ではこのリニアメントを境に扇状地面の北側が約 2m 高くなる崖が認められる。これらの情報から太江断層西端付近では、地表付近で低角になる逆断層と、直線的に連続する断層が並走している可能性がある。

平均変位速度

露頭最下部の砂礫層から採取した有機質の土壌と木片を用いて、放射性炭素年代測定を行った。測定は、日本原子力研究開発機構東濃地科学センター JAEA-AMS-TONO にて実施した。測定結果は、OxCal 4.4 (Bronk Ramsey, 2013) に IntCal20 (Reimer et al., 2020) を用いて暦年較正を行った(表 1)。この結果から砂礫層は、4.2～2.7 万年前に堆積したと考えられる。露頭で確認できる砂礫層の層厚は 15m 以上であることから、平均上下変位速度は約 0.36～0.56m/ka 以上になると考えられる。

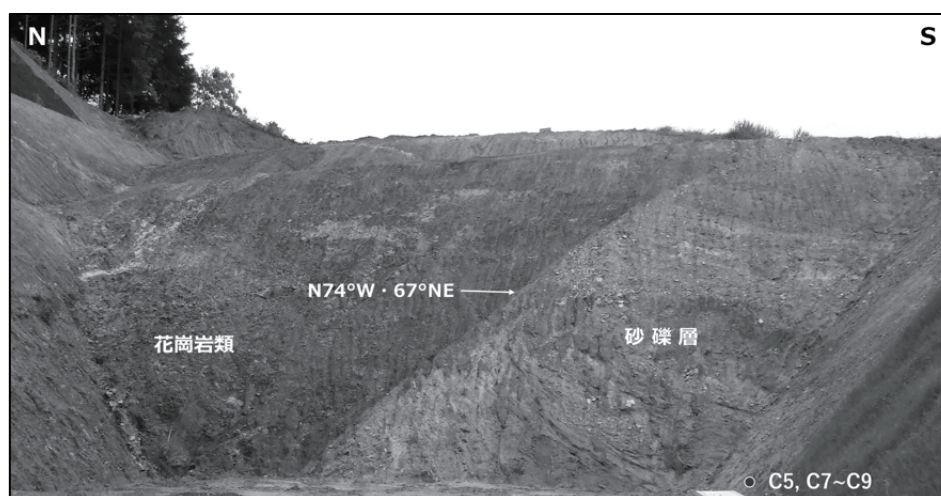


図 1 太江断層西端の断層露頭.

表 1 露頭最下部の砂礫層から採取した土壌および木片の放射性炭素年代測定.

Sample name	ID	pMC	±pMC	Libby (yr BP)	±Libby (yr BP)	δ ¹³ (‰)	Material	IntCal 20 (95.4% probability)
HIDA-BP-C5	JNC-7665	5.78	0.08	22900	120	-27.31	organic sediment	27449-26972
HIDA-BP-C7	JNC-7667	1.073	0.04	36430	320	-27.84	wood	41957-40959
HIDA-BP-C8	JNC-7668	1.543	0.05	33510	260	-28.70	organic sediment	39240-37500
HIDA-BP-C9	JNC-7669	1.039	0.04	36690	340	-27.82	organic sediment	42069-41131

おわりに

本研究では、過去の露頭写真の判読、現地の地形・地質調査、C-14 年代測定から太江断層西端部の詳細な断層分布と平均上下変位速度を考察した。今後は、断層露頭の北側に分布する東西走向のリニアメントについて、詳細な地形・地質調査から活断層であるかどうかを明らかにする必要がある。また、断層露頭で見られた地表付近の堆積物と断層の関係を調査することで、活動間隔や最新活動時期を明らかにする必要がある。しかし、露頭は現存しないことから、本研究で明らかになった詳細な断層分布を参考に、別の地点で掘削をするなどして調査を進める必要がある。

[引用文献]

- 熊原康博, 2019, 国土地理院技術資料 D1-No. 931, 9p.
 杉戸信彦, 2019, 国土地理院技術資料 D1-No. 929, 7p.
 鈴木康弘・杉戸信彦, 2010, 1:25,000 岐阜県活断層図解説書, 岐阜県, 104p.
 今泉俊文ほか編, 2018, 活断層詳細デジタルマップ[新編], 東京大学出版, 141p.
 飛騨地学研究会, 2009, 太江断層の露頭見学. ひだ地学第 160 号.
 楮原京子ほか, 2009a, 2009 年度日本地理学会春季学術大会要旨集, 98p.
 楮原京子ほか, 2009b, 2009 年度日本地理学会春季学術大会要旨集, 167p.
 Bronk Ramsey, C., & Lee, S. (2013). Radiocarbon, 55(2-3), 720-730.
 Reimer, P. et al., 2020, Radiocarbon, 62.

ネパール中部 Hetauda Dun における断層地形の特徴

◦ 熊原康博 (広島大学)・Deepak Chamlagain (Tribhuvan Univ.)・Prajwal Neupane (Graduate student of Tribhuvan Univ.)

Characteristics of tectonic landform in Hetauda Dun, central Nepal

Yasuhiro KUMAHARA (Hiroshima Univ.), Deepak Chamlagain (Tribhuvan Univ.)・Prajwal Neupane (Graduate student of Tribhuvan Univ.)

本研究の目的と方法 ネパールにおける活断層は、現在のインド=ユーラシアプレート境界の先端とされるヒマラヤ前縁帯スラスト (Himalayan Frontal Thrust: HFT) や過去のプレート境界である主境界スラスト (Main Boundary Thrust: MBT) と主中央スラスト (Main Central Thrust: MCT) 沿い、また MBT と MCT の間にあたる低ヒマラヤ (Lower Himalaya) 内で集中的に発達することが知られている (Nakata, 1982)。そのうち、HFT は、現在のプレート境界であることから最も活動的であると考えられており、活断層の変動地形、スリップレートの推定、古地震履歴に関する多くの研究が行われてきた。一方、その他の断層に関する研究は、Hossler et al. (2016) ; Kumahara et al., (2016) などあるものの、不十分な状況である。本研究では、Hetauda Dun (Dun: 構造的縦谷) 周辺の約 30km の区間 (図 1) を対象に断層変位地形と断層露頭の記載を行い、活断層の分布や変位様式、模式的な断層構造について議論することを目的とする。断層変位地形の調査は以下の方法を用いた。典型的な地形でかつ森林に覆われていない地点を対象に、ドローン (Mavic2 PRO) による空中写真撮影と RTK によって GCP を取得した。写真と GCP から SfM-MVS ソフト (Photoscan Pro) を用いて DSM を作成し、DSM 上で同一の地形面における垂直変位量を計測した。また、断層を横切るトレンチ掘削調査を行い、地層の変形を明らかにした。

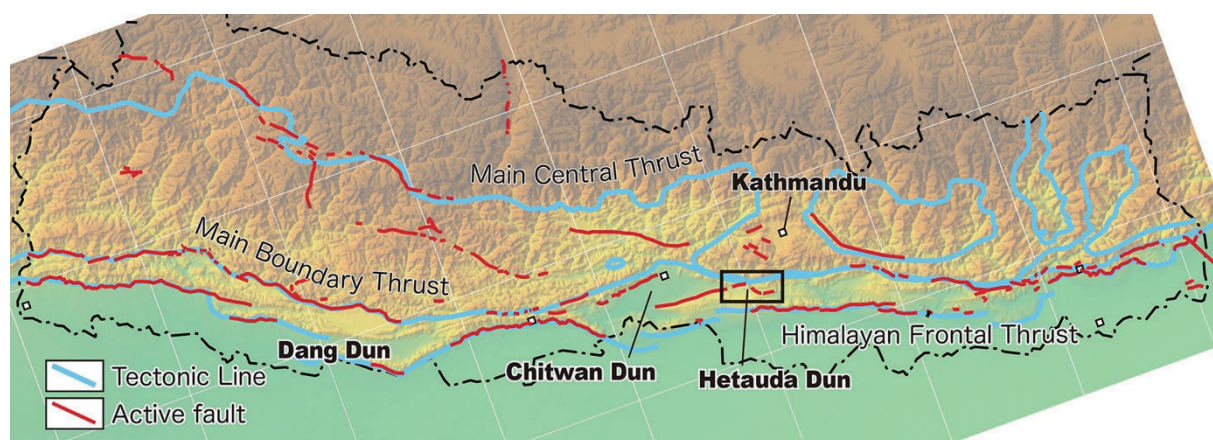


図 1 ネパールの活断層分布と調査地域

研究の結果 地表踏査の結果，明らかになったことは以下の通りである。

1) Chitwan Dun から Hetauda Dun 西端までの Dun 南縁（シワリク丘陵北縁）に沿って，南傾斜の断層面をもつ逆断層が発達することが，撓曲変形を受けた高さの異なる段丘面から認定することができる。この逆断層は，HFT のバックスラスト（BT）と考えられる。

2) この BT は，Hetauda Dun 内では，Dun の北縁付近までトレースが北へのびる。Dun の北縁付近では南へ流れる支流に対して逆向き（北落ち）の断層崖が段丘面に形成され，断層より下流では先行性流路となり峡谷状を呈する。また，Dun の西部では複数段の段丘面が広く形成されている。このことから，当初は Dun 南縁（シワリク丘陵北縁）に発達していた BT が，Front-migration が生じて Dun 北縁にジャンプしたことで，元々沈降場であった盆地底が隆起場に変化して，その結果，段丘化したものと判断される。BT は Hetauda Dun の中央部まで確認できる。

3) Hetauda Dun の東部では，Dun 南部に逆向き（南落ち）の撓曲崖が沖積面や段丘面上に認められる（図 2）。変動地形の状況から北傾斜で低角な断層面が想定され，MBT の Front-migration が生じて南へジャンプして形成された可能性がある。本断層は，Hetauda Dun の東端まで認められる。

Hetauda Dun では，Dun の中央部を境に，西部では南傾斜の HFT のバックスラストと，東部では MBT と推定される北傾斜の低角なスラストがそれぞれ発達しているが，両者のトレースは重複しない。おそらく，HFT より山地部での歪みを解消するために，それぞれの地域で既存の異なる地質構造を利用して活断層が再活動しているためと考えられる。

付記 本研究は JSPS 科研費 18KK0027, 18H00766, 19H01368 の助成を受けた。

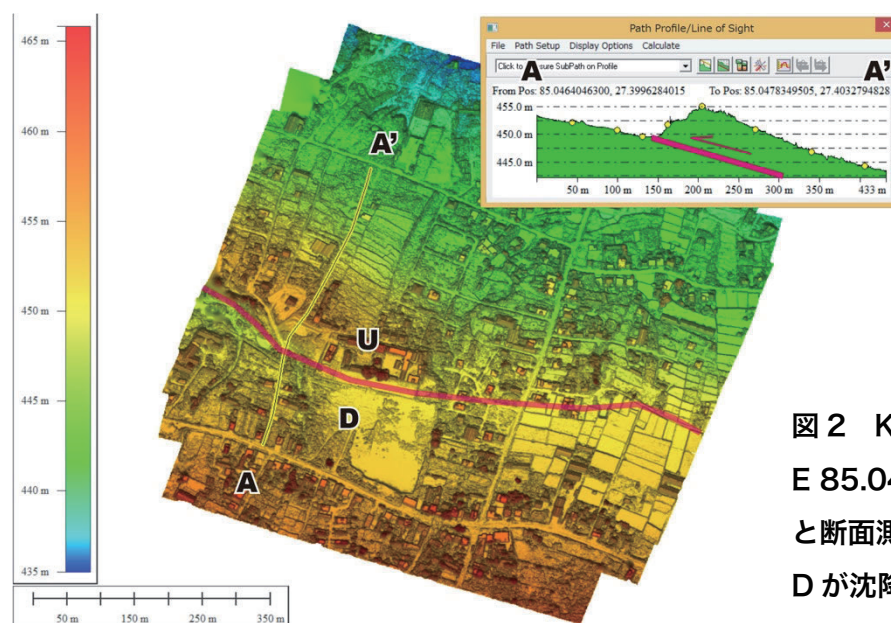


図 2 Kamane (N 27.397°, E 85.049°) における DSM と断面測量結果。U が隆起側，D が沈降側を示す。

布田川断層帯と日奈久断層帯の境界部の活動履歴

—熊本県御船町高木における 2016 年地震断層のトレンチ調査—

°岩佐佳哉（広島大・院・学振 DC）・熊原康博・後藤秀昭（広島大）・細矢卓志（中央開発株式会社）・竹内 峻（広島大・院）・佐藤拓実・住谷侑也・西口颯真（広島大・学）

Faulting history of the 2016 surface rupture in the boundary area of the Futagawa and Hinagu fault zones at Takagi, Mifune town, Kumamoto Prefecture

°Yoshiya Iwasa (Graduate student of Hiroshima Univ., JSPS research fellow), Yasuhiro Kumahara, Hideaki Goto (Hiroshima Univ.), Takashi Hosoya (Chuo Kaihatsu Corporation), Shun Takeuchi (Graduate student of Hiroshima Univ.), Takumi Sato, Yuya Sumitani and Souma Nishiguchi (Undergraduate student, Hiroshima Univ.)

1.はじめに 平成 28（2016）年 4 月 16 日に発生した熊本地震では、異なる活動範囲・区間であると地震前に評価されていた、布田川断層帯の布田川区間と、隣接する日奈久断層帯の高野一白旗区間の一部に、右横ずれ変位を主体とする地震断層が生じた（地震調査研究推進本部，2013；Shirahama et al., 2016）。高野一白旗区間に位置する御船町高木では、垂直成分を伴わない純粋な右横ずれ変位の地震断層が生じた。ここでは、比高 7 m 以上の断層崖が知られており（渡辺ほか，1979 など），熊本地震とは異なる変位が繰り返されてきたと考えられる。すなわち，高野一白旗区間の北部は布田川断層帯と日奈久断層帯の境界部にあたり，両断層帯の活動に影響された複雑な活動をしてきた可能性がある。境界部に存在する断層の挙動を明らかにすることにより，長大な断層帯のセグメント区分の是非や，その指標の検討が可能になると考える。

演者らは，御船町高木においてトレンチ掘削調査を行い，過去の活動時期とその変位様式を検討した。本発表では，その結果を述べるとともに，布田川断層帯と日奈久断層帯の活動履歴に関する先行研究との比較に基づき，両断層帯との連動性について予察的に検討する。

2.対象地域とトレンチの概要 対象地域には，比高約 7 m の東落ちの断層崖が発達する（渡辺ほか，1979 など）。トレンチ掘削地点はこの断層崖の基部に位置する。掘削地点周辺では，熊本地震時に 80–95 cm の右横ずれ変位をもつ地震断層が出現した。掘削地点の周辺では，地震前に原子力発電技術機構（1998）が，地震後には Lin et al. (2017) がそれぞれトレンチ掘削調査を行い，複数回のイベントを推定している（図 1）。

本研究では，地震断層に直交する溝を 2 本，地震断層に平行する溝を 2 本掘削し，口の字型の平面形状となるトレンチを掘削した。本発表では地震断層に直交する 2 本のトレンチ（N トレンチ・S トレンチ）の壁面で認められた地層の観察結果について述べる。

3.トレンチ壁面に現れた地層と変形構造 トレンチ壁面には，上位から表土層（10 層），茶灰色シルト層（20 層），砂礫層（25 層），暗灰色有機質層（30 層），茶灰色シルト層（40 層），桃褐色シルト質礫層（45 層），円礫層（50 層），礫層（60 層），礫層（70 層），桃灰色砂質シルト層（80 層），青灰色シルト層（90 層）が認められた（図 2）。

壁面の地層には，40 層の基底以下の地層を変位させる断層

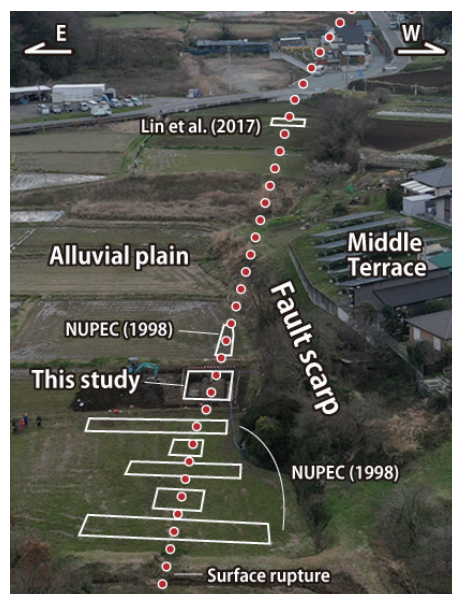


図 1 掘削地点の空撮

が認められた。壁面の下部では、断層の傾斜はほぼ垂直であり、厚さ約 7cm の断層粘土を伴う。40 層の基底では、断層に沿って地層が立ち上がったたり、落ち込んだりするなど、各壁面で異なる変形構造が認められ、横ずれ変位の地層断面と共通した特徴を有する。また、40 層の基底と 50 層の基底では変形構造や垂直変位量が異なり、複数のイベントの存在を示していると考えられる。30 層以浅の地層に熊本地震時の変形構造や剪断面は認められない。

4. イベント層準とその年代 地層の変形構造と垂直変位量の違いに基づいて 5,000 年前以降、熊本地震を含めて 3 つのイベントを読み取ることができた。以下ではその根拠を記す。

・イベント 1 (熊本地震) : 調査地点の地震断層は、最大で 95 cm の右横ずれ変位であった。しかし、地表に明瞭な垂直変位は観察されず、壁面にも明瞭な垂直変位や剪断面は認められない。

・イベント 2 (2,251–1,561 calBP) : N トレンチの南壁面では、40 層の基底が断層により落ち込んでいる。また、S トレンチの南壁面では 40 層の基底が約 10 cm 東落ちに変位している。さらに、S トレンチの北壁面において、断層に沿って 50 層の堆積物が 40 層を貫くような構造が認められる。これらの変形構造は 30 層に覆われる。したがって、40 層の下部堆積より後、30 層堆積前にイベントがあったと考えられる。採取した試料の年代に基づくと、イベントの時期は 2,251–1,561 calBP と考えられる。壁面の地層の変形構造に基づくと、イベント 2 は横ずれ変位を伴う活動であったと考えられる。

・イベント 3 (3,977–2,768 calBP) : N トレンチの南壁面と S トレンチの南北壁面では、50 層の基底が断層を挟んで 10–20 cm 東落ちに変位している。S トレンチの南壁面では、50 層の基底の変位量が 40 層の基底の変位量より大きい。したがって、50 層の下部堆積より後、40 層の堆積前にイベントがあったと考えられる。採取した試料の年代に基づくと、イベントの時期は 3,977–2,768 calBP と考えられる。

5. 布田川・日奈久断層帯との連動性 (予察) 布田川断層帯では、熊本地震の一つ前の活動時期が約 2,000 年前であったことが示されており (上田ほか, 2018; 遠田ほか, 2019), 本研究のイベント 2 の年代に含まれる。また、高野―白旗区間に位置する山出地区でも約 2,000 年前にイベントが推定されており (岡村ほか, 2019), 本研究の調査地点と布田川断層帯がともに活動した可能性が高い。

布田川断層帯北部の二つ前の活動時期は 4,237–4,100 calBP であったとされ (遠田ほか, 2019), 本研究のイベント 3 とは対応しない。日奈久断層帯の活動時期は十分に解らないが、吉岡ほか (2007) や岡村ほか (2019) が示した年代とイベント 3 の年代は重複し、日奈久断層帯と連動した活動である可能性がある。壁面の地層の変形構造に基づくと、イベント 3 は熊本地震と異なり、垂直変位の大きな活動であり、調査地点では日奈久断層帯と連動した際には変位量が大きかった可能性がある。

文献: 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)』; Shirahama et al. (2016) *Earth, Planets and Space*; 渡辺ほか (1979) 第四紀研究; 原子力発電技術機構 (1998) 『平成 9 年度原子力発電立地確認調査に関する報告書 (1)』; Lin et al. (2017) *Bulletin of the Seismological Society of America*; 上田ほか (2018) 日本地球惑星科学連合要旨; 遠田ほか (2019) 活断層研究; 岡村ほか (2019) 『平成 28 年熊本地震を踏まえた総合的な活断層調査』; 吉岡ほか (2007) 活断層・古地震研究報告

付記: 本研究は JSPS 科研費 (JP18H03601) および特別研究員奨励費 (JP20J22288) の助成を受けた。

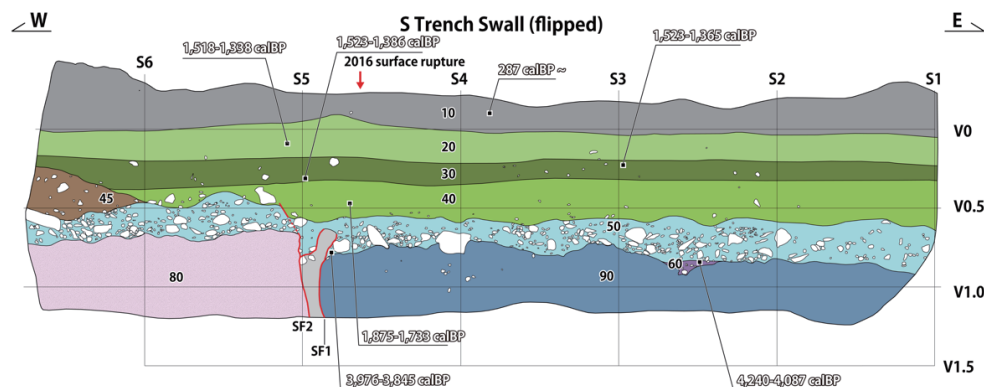


図 2 S トレンチ
南壁面のスケッチ

2016 年熊本地震の地表地震断層に沿った本震後の変位の分布とその特徴

°住谷侑也(広島大・学)・岩佐佳哉(広島大・院, 学振 DC)・熊原康博・後藤秀昭(広島大)・
竹内 峻(広島大・院)・佐藤拓実・西口颯真(広島大・学)

Distribution and characteristic of deformation observed after the earthquake along the surface rupture of the 2016 Kumamoto earthquake

°Yuya Sumitani (Undergraduate student, Hiroshima Univ.), Yoshiya Iwasa (Graduate student of Hiroshima Univ., JSPS research fellow), Yasuhiro Kumahara, Hideaki Goto (Hiroshima Univ.), Shun Takeuchi (Graduate student of Hiroshima Univ.), Takumi Sato, and Souma Nishiguchi (Undergraduate student, Hiroshima Univ.)

1. 研究の目的 2016 年に発生した熊本地震では 4 月 14 日に前震 (Mj6.5) とされる地震が発生した後, 16 日に Mj7.3 の本震が発生した. 布田川・日奈久断層帯に沿って, 前震では断層帯南部の一部に長さ約 6km に渡る地変が生じ (Sugito et al., 2016), 本震では長さ約 31km の明瞭な地表地震断層が現れた (Shirahama et al., 2016). その結果, 日奈久断層帯の高野一白旗区間の一部では前震と本震の両方で地表地震断層が生じるという, 世界的に珍しい現象が確認された (Sugito et al., 2016).

本震直後から現在まで震源断層周辺やその延長上で余震活動が継続し (気象庁, 2018), 干渉 SAR の解析や GNSS 測量に基づく九州の広い範囲において余効変動が認められている (檜山ほか, 2016; Moore et al., 2017; Pollitz et al., 2017; Himematsu and Furuya, 2020; 橋本, 2020).

演者らは, 熊本地震発生から約 4 年後の 2020 年に地表地震断層の地表踏査を行い, 本震後の変位の有無を観察した. その結果, 一部の区間で地表に変状が確認されたので報告する.

2. 研究の方法 本震後に補修・修理された道路の路面や縁石, 家屋の塀などの直線的な構造物を指標として, 地表地震断層が横切る地点の変位の有無を調べた. いずれの地点でも変位量は 9cm 未満と小規模であり, ずれや亀裂が側方流動や不同沈下, 人間活動の影響で生じた可能性もある. そのため, 周辺住民への聞き取りや, 複数の証拠の収集など, 変位を慎重に検討して断層変位を認定した.

一部の地点では, トータルステーション (TS) による変位量の計測を 2020 年 3 月 28, 29 日に実施した. また, 亀裂帯や上下変位が認められる場所では, ドローンによる垂直写真撮影と RTK-GNSS 測量をもとに, SfM-MVS ソフト (PhotoScan ver. 1.3.1) を用いてデジタル地表モデルを作成し, 変状の特徴を検討した. また, 所有者や市町村の担当部署に構造物の補修に関する聞き取りを行い, 構造物の変状が生じた期間を明らか

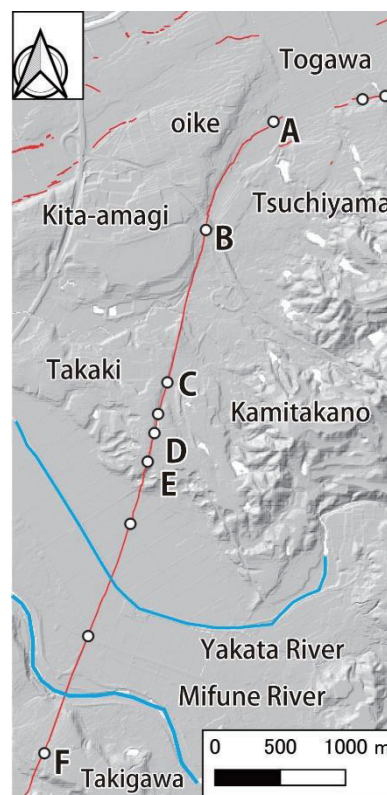


図 1 2016 年の地表地震断層と本震後に変位が確認された地点 (白丸).

にした。以上から本震後の変位の認められる区間とその特徴を整理し、測地観測の研究成果 (Himematsu and Furuya, 2020) と比較した。

3. 結果 本震後の変位が集中的に認められるのは、高野―白旗区間の一部である益城町小池から御船町滝川までの区間 (約 5.2km) であり、11 地点で本震後の変位が認められた (図 1)。また、布田川断層や出ノ口断層でも数地点で確認できた。ここでは明瞭な変位について記述する。

- ・地点 A (益城町小池, 県道 232 号線と国道 443 号線の交差点付近, 本震時 26cm 右横ずれ): 北西―南東方向に伸びる県道 232 号線の東側に本震後に設置されたフェンスが約 6cm 右横ずれしている。また、フェンスの下の路面には地表地震断層の位置に亀裂が見られる。

- ・地点 B (御船町大字高木, 本震時 55cm 右横ずれ): 北西―南東方向に伸びる道路の北側の白線が TS による計測で 8.5cm 右横ずれしている。また、縁石や事業所の門のレールにも右横ずれ変位が確認でき、道路上には断層の走向と一致する亀裂が多数見られる。

- ・地点 C (御船町大字高木, 本震時 30cm 右横ずれ): 地表地震断層と同じ位置に、左ステップする亀裂が延びる。また、小規模なプルアパートベイズンと見られる約 50×30cm の紡錘状凹地も見られる。

- ・地点 D (御船町大字高木, 本震時 35cm 右横ずれ): 断層の走向と平行した左ステップする亀裂が地表地震断層と同じ位置に認められる。

- ・地点 E (上益城郡御船町大字高木, 本震時 50cm 右横ずれ): 東西方向に伸びる塀を地表地震断層が横切っており、塀は TS による計測で 7.4 cm 右横ずれしている (図 2)。住民への聞き取り調査によれば、最新の補修時期は 2017 年 2 月であり、完成時は縁石が一直線であったらしい。

- ・地点 F (御船町大字滝川, 本震時 11cm 右横ずれ): 北西―南東方向の道路の白線に亀裂が見られた。

4. 考察 いずれの観察地点でも右横ずれ変位を示し、本震時の変位様式と一致する。本震後の変位が集中的に認められた区間の本震後の変位量は 6.0–8.5 cm であり、本震時の変位量の 12–23% に相当する。本震後の変位が連続的に認められたこの区間では熊本地震時の変位量が最大 65cm と、これより北の区間の変位量 (最大 2.2m) よりも顕著に小さいことが知られている (Shirahama et al., 2016)。この区間は前震、本震ともに変位が生じており、本震後の変位を含めると、一連の地震で 3 度の変位が生じた特異な区間といえる。一方、干渉 SAR の解析では、この区間で断層を境に右横ずれ変位していることが指摘されており、地震時から 2 年 4 ヶ月後までの間に 5–10cm 変位していることが読み取れる (Himematsu and Furuya, 2020; Fig. 6)。この結果と本調査結果で得られた変位量と期間はおおよそ一致する。

文献: Sugito et al. (2016) *Earth, Planets and Space*; Shirahama et al. (2016) *Earth, Planets and Space*; 檜山ほか(2016) 国土地理院時報. (128); Moore et al. (2017) *Science*; Pollitz et al. (2017) *Geophysical Research Letters*; Himematsu and Furuya (2020) *Earth and Space Science*; 橋本 (2020) 日本地球惑星科学連合大会発表要旨

付記: 本研究は公共財団法人深田地質研究所が実施する「深田野外調査助成」、JSPS 科研費 (JP18H03601) および特別研究員奨励費 (課題番号: JP20J22288) の助成を受けた。

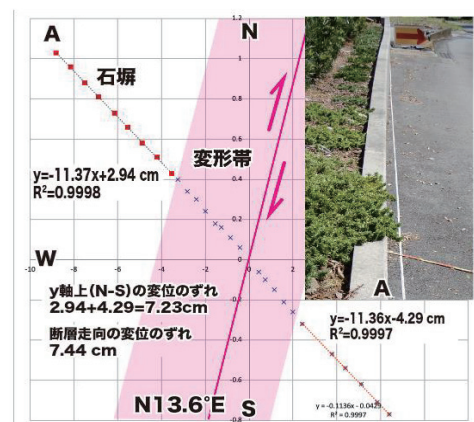


図2 地点Eにおける塀の変位

平成 28 年（2016 年）熊本地震における
建物被害と地表地震断層分布の関係について

° 吉見瑶子・遠田晋次

（東北大学災害国際科学研究所都市直下地震災害（応用地質）寄附研究部門）

Relationship between building damage and surface earthquake fault
distribution in the 2016 Kumamoto Earthquake

YOSHIMI Yoko, TODA Shinji

①はじめに

平成 28 年 4 月 14 日に熊本県熊本地方で M6.5 の地震が発生し、4 月 16 日に同地方で M7.3 の地震が発生した。これらの地震により熊本県で最大震度 7 を観測し、多数の建物被害や土砂災害が生じた。平成 28 年（2016 年）熊本地震の建物被害は地震断層近傍を中心に集中する地域が見られ、被害率の大きい地域は明瞭なコントラストが見られる。これらは平成 7 年（1995 年）に発生した兵庫県南部地震でも「震災の帯」として確認され、活断層、地質構造、表層地質、地盤、建築物の状態、動的特性を考慮しどのような地点に被害が集中するかの検討は、今後の地震による被害予測に重要である。

熊本地震については被害調査、断層調査、地震動解析等多数の研究が実施されている。また、地震発災以前にも活断層調査が実施されており、事前の活断層調査と比較検討できる地域である。本発表では、熊本地震によって被害に遭った建物の倒壊要因について既往文献をもとに整理し、今後の主要活断層による被害の想定のために必要な材料や対策を提言することを目的として研究を実施した。

②手法

熊本地震について述べられた論文、報告書、予稿集のうち、建築物の被害状況とその要因について調査・考察された文献を収集しリストとして整理した。既往文献中の調査手法と位置情報は GIS にとりまとめ、建物被害分布と地質地盤、地震動、地表地震断層および推定活断層位置等の情報と重ね合わせ建物被害要因との関係性を考察した。建物被害分布は内藤他（2018）の 250m メッシュ内の被害率の分布図を使用した。

③結果

既往文献より、建物被害の要因は地震断層による変位、地質地盤によるサイト増幅、不適格建物（建築年代、材料、欠陥）等、文献により意見が分かれる。被害の大きかった益城町周辺に絞った調査が多く地震断層全体で議論された文献は少ない。

内藤他（2018）と 1:25,000 都市圏活断層図「熊本 改訂版」「阿蘇」（国土地理院、2017）の分布を比較した結果、被害率の大きい場所は概ね地表地震断層近傍に集中する。特

に断層端部及び断層形状が複雑化する箇所において被害が集中するが、地表地震断層の出現箇所でも被害率が非常に低い場所も確認された。また、地表地震断層から離れた場所で高い被害率分布が集中している箇所が確認された。地質と比較すると、被害率の大きい地点は益城町では低位・中位段丘堆積物上に分布し、西原村以東では火山地質の地点に分布した。

建物被害の分布と地表地震断層までの距離の関係をグラフ化した結果、地表地震断層の100m 以内で被害率が大きく、600m 以上では倒壊率が30%を超える地点が減少する。被害率が1%以上の地点においては、およそ1km までは距離に従って被害率の高い地点が減少していくが、1km 以降は距離による減衰が小さい。

熊本地震の建物被害分布と地震断層の距離の関係は、距離が近いほど被害が必ずしも大きいとは言えず、地表地震断層端部、地表断層の複雑化した地点、地表断層から離れた地点での被害要因を区別し、また、それぞれの浅部の地質地盤の影響を被害集中地点において比較検討し要因を整理する必要があると考えられる。

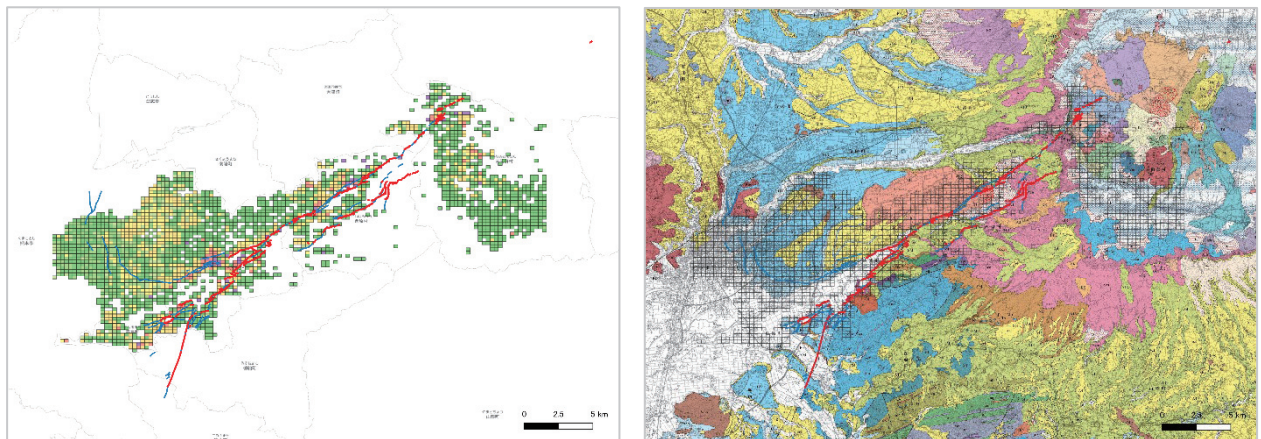


図1 左図：内藤他（2018）被害率分布と断層位置（青：都市圏活断層図 赤：遠田他（2016）地表地震断層位置）

図2 右図：地質図と断層位置（熊本県地質図編纂委員会（2008）使用）

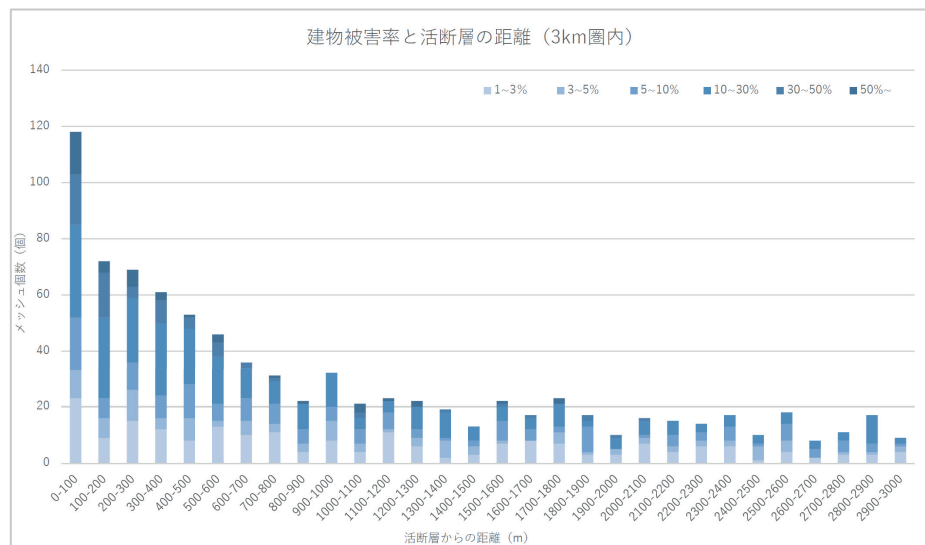


図3 建物被害率と活断層の距離（3km 圏内）

広域三次元応力場ならびにWallace-Bott 仮説を用いた断層すべり角推定手法の検証～主要活断層帯を対象として～

°石辺 岳男（地震予知総合研究振興会）・寺川 寿子（名古屋大学）・
橋間 昭徳（東京大学地震研究所）・望月 将志（防災科学技術研究所）・
松浦 律子（地震予知総合研究振興会）

Validating the Method of Estimating Fault Slip Angles by Using the Wallace-Bott Hypothesis and Regional 3D Stress Field ~Application to the Major Active Fault Zones ~

°Takeo Ishibe (ADEP), Toshiko Terakawa (Nagoya University), Akinori Hashima (ERI the Univ. Tokyo),
Masashi Mochizuki (NIED) and Ritsuko S. Matsu'ura (ADEP)

活断層調査に基づき将来発生する地震の現実的な強震動・津波予測には、入力データとなる断層形状や断層すべり角（ずれの向き）、断層すべり量などが実際に発生する地震のそれらと乖離しない事が求められ、その高精度化を目的とした調査研究が日々進められている。特に断層すべり角の設定が津波の予測に与える影響は大きく、その適切な設定は防災上においても重要な課題である。近年、地震時に断層面に働く応力ベクトルの剪断成分の方向にすべるという考え方（Wallace-Bott 仮説）に基づき、活断層調査から得られた断層形状と地震データから推定された広域応力場の情報から断層すべり角が推定され、これらが強震動・津波予測に活用されてきた（例えば、日本海における大規模地震に関する調査検討会，2014；武田・他，2014；岩田・他，2020；佐竹・他，2020）。

しかしながら、広域応力場ならびに Wallace-Bott 仮説から推定した断層すべり角を強震動あるいは津波予測に用いる事の妥当性の検証ならびに精度（誤差）について、十分に検討が行われているとは言い難い。また一般に、活断層で発生する固有地震規模の地震の平均再来間隔は数千年から数万年のオーダーであると推定されており、その期間に蓄積された応力が解放される現象が地震である事を鑑みると、10年程度の非常に限られた期間における地震学データから推定された広域応力場をどの程度、長期間のテクトニックな応力場のプロキシとして用いる事ができるのか、検討する必要がある。

上記の背景から我々はこれまでに、防災科学技術研究所による F-net メカニズム解ならびに国立大学地震観測網初動メカニズム解カタログ（JUNEC FM²；Ishibe et al., 2014）を用いて上記手法の検証を行い、2011年東北地方太平洋沖地震後に東北日本内陸において活発化した群発的活動など一部の地震を除き、上記手法から推定されたすべり角とメカニズム解のすべり角が概ね整合的である事を示した（Ishibe et al., 2020）。しかしながら、検証の対象としたカタログ期間はそれぞれ

10 年程度であり、より長期間の応力場のプロキシを用いた検証が課題として残っている。

地震調査研究推進本部（以下、地震本部）は、基盤的な調査対象として現在、114 の主要活断層帯を選定し、これらの活断層（帯）における過去の活動履歴や位置形状等を調査し、断層の幾何形状に関する情報（断層長さ、幅、傾斜角、走向等）や断層のずれの向きと種類（逆断層、正断層、左横ずれ断層、右横ずれ断層等）、平均再来間隔、将来の地震発生確率等の長期評価を公表している（例えば、地震本部地震調査委員会, 2017）。また、長期評価による断層の幾何形状（長さ、幅、傾斜角、走向等）ならびにずれの向きと種類に基づいて、その断層が活動した場合にどういった地震動に見舞われるのか、強震動評価が行われている。そこで本研究では、Terakawa and Matsu'ura (2010) による広域三次元応力場ならびに Wallace-Bott 仮説から推定されるすべり角を氣象庁による分類方法に準拠し、左横ずれ断層（ $-45^{\circ}\sim 45^{\circ}$ ）、逆断層（ $45^{\circ}\sim 135^{\circ}$ ）、右横ずれ断層（ $135^{\circ}\sim 180^{\circ}$ または $-180^{\circ}\sim -135^{\circ}$ ）、正断層（ $-135^{\circ}\sim -45^{\circ}$ ）に分類し、変動地形学的に推定された断層のずれの向きと種類と比較する事で、上記手法の適用可能性に関する考察を行った。なお、主要活断層帯に対する断層モデルとして、地震ハザードステーション（J-SHIS）を用い、すべり角の算出は断層モデルの中央点で行った。

その結果、一部の断層帯を除き三次元応力場ならびに Wallace-Bott 仮説によって推定された断層すべり角（断層のずれの向きと種類）は、変動地形学的に推定された断層のずれの向きと種類と一致した。この結果は、観測期間が限られているものの、地震学データから推定された三次元広域応力場を長期のテクトニックな応力場のプロキシとして用い、Wallace-Bott 仮説により断層すべり角を推定する手法に関して、一定の妥当性を示すものと考えられる。一方で中央構造線断層帯のように隣接する単位活動区間にも関わらず、断層すべり角が大きく変化する断層も一部見られた。

現在の地震調査研究推進本部による震源断層を特定した地震の強震動予測手法（「レシピ」）（地震調査研究推進本部地震調査委員会, 2020）では、活断層で発生する地震の特性化震源モデルに対する微視的震源特性の一つとして「すべり角 $\lambda(^{\circ})$ 」については、「長期評価」で示されている場合には、これに従う。資料が得られない場合は、断層のずれのタイプ（ずれの方向）により次に示すすべり角を基本とする。逆断層： 90° 正断層： -90° 左横ずれ断層： 0° 右横ずれ断層： 180° とされている。これらのすべり角の設定に関して、本研究で推定したように広域三次元応力場ならびに Wallace-Bott 仮説から推定された断層すべり角を用いる選択肢も考えられ、特に Oblique なすべりが期待される断層に対しては上記の設定とは異なる強震動評価結果となる可能性がある。

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

活断層を対象とした断層パラメータの不確かさを考慮した震源近傍における地震動強さのばらつきの分析

◦ 儘田豊・藤田雅俊（原子力規制庁長官官房技術基盤グループ）

Probabilistic seismic hazard analysis for a specific active fault considering uncertainty of fault parameters

Yutaka MAMADA and Masatoshi FUJITA

1. はじめに

原子力発電所等での機器の機能喪失等の事象の発生頻度とその影響を定量評価する手法として確率論的リスク評価がある。地震起因によるリスク評価では、確率論的地震ハザード解析（以下「PSHA」という。）を用いて、地震動として影響を及ぼし得る様々な震源を考慮し、将来発生する地震動の強さとその頻度を定量的に評価する必要がある。PSHAでは、ある対象地点に着目した場合、着目期間内における地震の発生確率と、地震が発生したときにある地震動強さを超える確率（地震動の超過確率）を条件付き確率として算出し、累積確率（地震ハザード曲線）として表現される。このとき、地震動の超過確率は、複数の震源と複数の地点から得られた地震動の観測記録から対数正規分布を仮定して経験的に求めた地震動予測式（以下「地震動予測式」という。）の平均値と標準偏差を用いて計算することが一般的であるが、活断層による震源近傍の観測記録数、プレート間等で発生する大規模地震による観測記録数は十分とは言えず、地震動予測式の適用範囲を超えた予測については検討の余地がある。そこで、本研究では活断層を対象に震源近傍における地震動強さのばらつきを定量的に把握することを目的とし、断層パラメータの不確かさを考慮した断層モデルを設定し、波形合成法により地震動の平均値と標準偏差を計算し、地震動予測式による結果と比較した。標準偏差については、それに含まれる不確かさ要因の違いに留意して比較・分析した。

2. 断層モデルの設定

地震動計算に用いる断層パラメータが複雑にならないようにMw6.6の地震規模を発生する傾斜角90°の横ずれ断層を想定し、強震動予測レシピに準拠した特性化震源モデルを基本モデルとして設定した。本研究では、断層の走向、傾斜角、すべり角などの巨視的パラメータは固定し、微視的パラメータの不確かさに着目し、強震動予測レシピに準拠した各パラメータの平均的な値でモデル化された基本モデルに対し、地震動への影響が大きい短周期レベル、ライズタイム、破壊伝播速度、アスペリティ位置、破壊開始点を対象に不確かさを考慮したケースを設定した。破壊伝播速度、短周期レベル及びライズタイムについては、地域地盤環境研究所（2017）が整理した約20個程度の国内の内陸地殻内地震の地震動解析で推定された値から、対数正規分布または正規分布を仮定し平均値と標準偏差（ σ ）を算出した。基本モデルでは平均、不確かさケースでは平均 $\pm\sigma$ 、平均 $\pm2\sigma$ 、平均 $\pm3\sigma$ の計7通りの値をそれぞれ設定した。また、アスペリティ位置は断層面内で一様になるように断層面中央を基本モデル、左右上下に8通りに不確かさケースを配置して計9通り、破壊開始点は配置したアスペリティ下端の左端（基本モデル）、中央、右端に計3通り配置した。以上の複数のパラメータの不確かさの重畳を考慮し、基本モデルと不確かさケースを併せて計9261通りを設定した。

3. 地震動の計算結果とそのばらつき

地震動の計算には統計的グリーン関数を用いた長周期成分まで適用可能な香川（2004）による方法を採用し、地下構造は半無限均質媒質として、断層を取り囲む断層最短距離5、10、30kmに位置するそれぞれ10地点で地震基盤上における応答スペクトル（周期0.02～5秒の擬似速度応答スペクトル）を計算した。図1には評価点位置の特徴が顕著に見られる例として、断層の走向方向の延長線上及び走向に垂直な方向にある、断層最短距離10kmの評価点(site15及びsite19)において

計算した9261通りの水平動成分(GMRotI50)の疑似速度応答スペクトルを示す。対数正規分布、正規分布で与えたパラメータに関してはその分布の面積に応じた重みを与え、アスペリティの位置や破壊開始点は等重みとして与えて、重みを考慮した応答スペクトルの平均値と標準偏差を算出した。スペクトルの濃淡は重みの程度を表し、濃淡が濃いものほど重みが大きく、平均値周辺に分布する。site15及びsite19の2地点におけるスペクトルの分布を比べると、地震動の伝播と断層破壊の方位性によって応答スペクトルの平均値と標準偏差が異なり、平均値は短周期側ではsite 19が長周期側ではsite 15が大きい。標準偏差は全体的にsite 15が大きく、特に1秒前後の長周期側で顕著に大きくなる傾向が見られた。重み付けした平均値を断層最短距離10及び30kmにおいて、地震基盤における震源近傍で適用可能な地震動予測式(原子力安全基盤機構, 2013)と比較すると、地震動予測式の中央値は概ね重み付け平均値 $\pm \sigma$ の範囲内に収まり、重み付け平均値と地震動予測式の比は1/2~2倍程度であった。また、計算結果のスペクトルには重み付け平均値の3倍程度を超えるものもあるが、その重みは小さく、極低頻度で発生する不確かさケースについても考慮されていると考えられる。

4. 計算結果と観測記録における地震動ばらつきの比較

上記で計算した応答スペクトルと原子力安全基盤機構(2013)の地震動予測式の平均値は概ね対応するが、巨視的パラメータや伝播経路特性等に起因する不確かさの要因は、本研究で計算した地震動の標準偏差には含まれていない。そこで、両者の標準偏差を比較するには、それに含まれる不確かさの要因について考慮する必要がある。地震動予測式の標準偏差に含まれる要因として、観測点によらず主に地震ごとの震源特性に起因する「地震間の標準偏差」と観測点に依存する伝播経路特性やサイト特性等に起因する「地震内の標準偏差」がある。そこで、本研究で計算した応答スペクトルから求めた標準偏差(σ_{cal})に含まれる要因と最も近い要因(伝播経路及び震源メカニズムがば同じ)を持つ応答スペクトルの標準偏差(σ_{obs})を観測記録に基づいて推定している、引田ほか(2018)とMorikawa et al. (2008)の2例による結果と比較した。その結果、本研究で計算した断層最短距離30kmにおける応答スペクトルによる σ_{cal} は0.14~0.29、 σ_{obs} は0.13~0.20程度となっており、約1秒以下の短周期側は、両者が同程度であるものの、約1秒以上の長周期側は、 σ_{cal} の方が大きい。この要因の一つとして、計算による標準偏差には微視的パラメータ間の相関を考慮せず各種の不確かさの重畳を含めるなど、本来の観測記録の標準偏差に含まれない不確かさを考慮した可能性が考えられる。観測に対応する震源断層パラメータの不確かさを把握するには、計算に含まれる地震動の不確かさの要因を観測に含まれる不確かさの要因と合わせた上で、定量的に評価する必要がある。

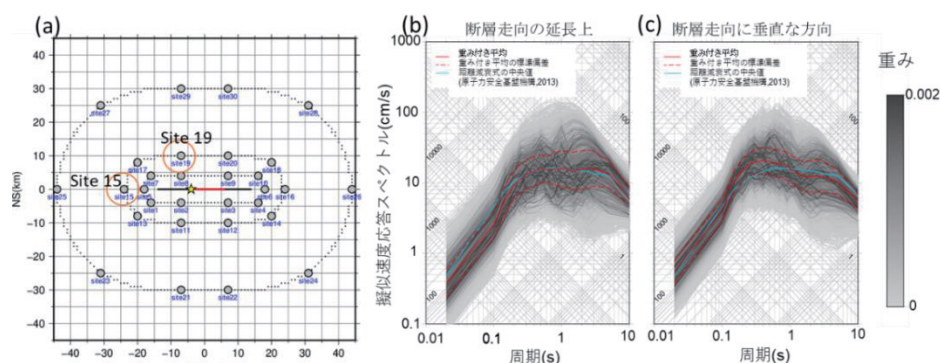


図1. 評価点位置 (a) と2つの評価点において不確かさケースを考慮して計算された9261通りの疑似応答スペクトル (b及びc)

引用文献:

- (1)地域地盤環境研究所, 平成28年度原子力施設等防災対策等委託費(地震動評価における不確かさの評価手法の検討), 原子力規制庁委託成果報告書, 2017.
- (2)香川敬生, ハイブリッド合成法に用いる統計的グリーン関数法の長周期帯域への拡張, 日本地震工学会論文集, 第4巻, 2号, 21-32, 2004.
- (3)原子力安全基盤機構, 平成24年度 地震基盤における応答スペクトルの距離減衰式に適用する地盤増幅特性評価手法の検討, 2013.
- (4)Morikawa et al., Strong motion uncertainty determined from observed records by dense network in Japan, J. Seismol., 529-546, 2008.
- (5)引田智樹・他, 観測地震動振幅の偶然的不確かさによるばらつき, 日本地震工学会論文集, 第18巻, 2号, 15-34, 2018.