

DInSAR 解析による 2016 年熊本地震の地表地震断層の変位量分布

○青柳恭平(電中研)・大沼巧(地科研)

Fault Displacement of the 2016 Kumamoto Earthquake deduced by DInSAR analysis
 ○Yasuhira Aoyagi (CRIEPI), Takumi Onuma (JGI, Inc.)

○はじめに

2016 年熊本地震では、地表地震断層の抽出に差分干渉 SAR (DInSAR) が本格的に活用され、布田川一日奈久断層帯のほか、阿蘇北西部や熊本市街地まで広範囲にわたって複雑に地表地震断層が出現したことが明らかになった (Fujiwara et al., 2016)。断層主部から離れた地表変位は、DInSAR の結果に基づいて、現場の地表踏査で追認されたものも多い。こうしたリモセン技術は、広範囲に見落としなく地表地震断層を抽出できるために、変位量をデータベース化する上で、非常に有効なツールとなると思われる。本研究では、DInSAR に基づく 3 成分の地殻変動分布から、熊本地震の地表地震断層の変位量分布を整理した。

○DInSAR 解析から得られた地殻変動

ALOS-2 PALSAR-2 の 2016/3/7-2016/4/18 のペア (南行軌道、西向き)、および 2016/3/29-2016/4/26 のペア (北行軌道、東向き) を用いて、地震に伴う地殻変動の 3 成分を求めた。準東西成分と準上下成分は、差分干渉処理から得られる各ペアの LOS 変位を組み合わせて求めた。また、南北成分は、MAI 処理によって得られる各ペアの衛星飛翔方向の変位成分を組み合わせて求めた。地表での分解能 (画素サイズ) は東西、上下成分が約 10m、南北成分が約 50m である。

得られた変動分布を図 1 に示す。上下成分では、布田川断層の北側のほか、布田川断層西方延長と日奈久断層に挟まれた領域にも沈降が認められる。水平成分では、布田川一日奈久断層帯を挟んで北側が東から北東側へ、南側が南西から南側へ移動する傾向が認められる。この傾向は、近傍の GNSS 観測点の地震時変位と調和的である。また、小林ほか (2017) が SAR 画像のピクセルオフセット法で求めた 3 成分変位の分布ともよく似ており、地震に伴う地殻変動を適切に捉えられたと考えられる。

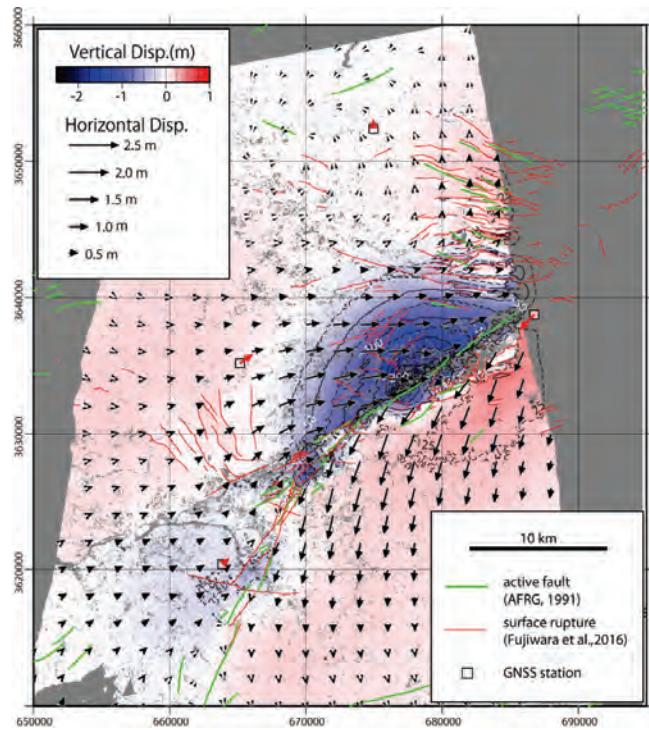


図 1. 熊本地震の地殻変動と活断層、地表地震断層

○断層変位量の計測

得られた3成分の地殻変動データを用いて、Fujiwara et al.(2016)によって抽出された228断層（のうち、図1で地殻変動が得られている領域にあるもの）の変位量を計測した。各断層トレース上で200m間隔に計測点を設け、断層トレースに直交するプロファイル上で断層から±100mの範囲で断層を挟む両側の地表の変動量をもとに、断層を挟んだ変位量を計測した。このとき、同一プロファイル上で非干渉の領域が多数を占めている場合や、断層両側の地表の変動ベクトルがほぼ同じ向きである場合には、計測対象から除外した。

○暫定結果

既知の活断層（活断層研究会、1991）からの距離に対して、得られた変位量をプロットしたもののが図2である。DInSARでは変化の大きすぎる領域は非干渉となるため、特に布田川断層沿いのメイントレースでは変位データを得られない点が多い。そのため、同図には、Shirahama et al.(2016)が布田川～日奈久断層沿いで計測した変位データもプロットした。同図から、地表地震断層の変位量が、既知の活断層からの距離に応じて指数関数的に減少する傾向が認められる。この傾向は、筆者らが2011年福島県浜通り地震について行った検討結果でも得られている（青柳・大沼、2017）。また、地表に変位を生じた国内の16地震について、副断層の変位量を主断層からの距離に応じて整理した高尾ほか（2013）の結果とも類似している。したがって、地表地震断層の変位量は、一般に活断層から離れるほど小さくなると考えられる。ただし、布田川一日奈久断層帯を主断層として考えた場合には、阿蘇北西側の地表地震断層は主断層からかなり遠方に発生したことになる。阿蘇北西側の地表地震断層の成因については検討が必要であるが、合理的な断層層変位予測には、変位の累積性が認められる活断層からの位置関係を総合的に検討することが重要と考えられる。

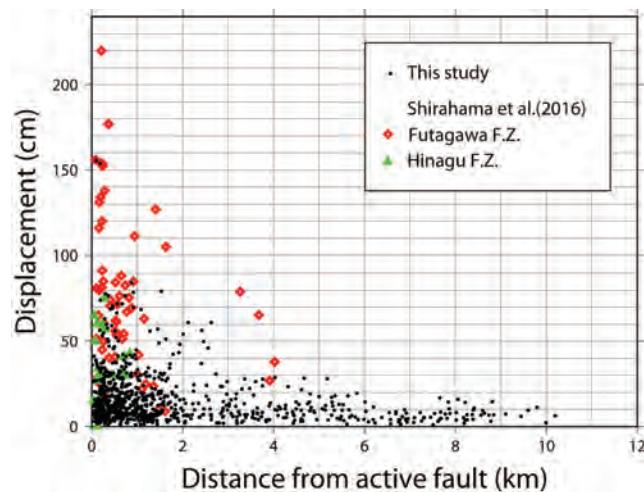


図2. 既知の活断層からの距離で整理した地表地震断層の変位量分布。

文献：Fujiwara et al., (2016) Earth, Planets and Space, doi: 10.1186/s40623-016-0534-x ; 小林ほか (2017), 京大防災研一般研究集会「リモートセンシング技術の進展と活断層・内陸地震研究」要旨集; 活断層研究会編(1991), 新編日本の活断層 ; Shirahama et al.(2016), Earth, Planets and Space, DOI 10.1186/s40623-016-0559-1 ; 青柳・大沼 (2017), 京大防災研一般研究集会「リモートセンシング技術の進展と活断層・内陸地震研究」要旨集 ; 高尾ほか (2013) 日本地震工学会論文集, 13(1), pp.17-36.

1:25,000 活断層図 布田川・日奈久断層帯とその周辺「阿蘇」「熊本」の公開

○ 山中崇希・中澤 尚・安喰 靖・齋藤俊信・飯田 誠・植田摩耶・中埜貴元
(国土地理院)

Release of 1:25,000 Active Fault Map "ASO" and "KUMAMOTO":
Futagawa-Hinagu Fault Zone and its vicinity

○ Takaki YAMANAKA, Takashi NAKAZAWA, Yasushi AKUI,
Toshinobu SAITO, Makoto IIDA, Maya UEDA and Takayuki
NAKANO (GSI)

1. 1:25,000 活断層図について

1:25,000 活断層図は、全国の主要な活断層帯を中心に活断層の位置・形状を 2 万 5 千分の 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・淡路大震災を契機として、「1:25,000 都市圏活断層図」という名称で、大地震の際に大きな被害が予想される都市域とその周辺について整備を行ってきたが、近年はそれに限らず全国の活断層帯を対象として整備・公開をすすめていることから、平成 29 (2017) 年 10 月より名称を「1:25,000 活断層図」に変更した。現時点（平成 29 (2017) 年 11 月現在）では、188 面の活断層図（都市圏活断層図）を公開している。

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、主に空中写真や詳細な標高データを用いた手法により、断層による変位地形の判読調査を行っている。加えて、現地調査の実施、トレーナー調査等の最新の研究成果なども活用しながら、図をまとめている。

2. 布田川・日奈久断層帯とその周辺「阿蘇」「熊本」の調査・公表について

平成 28 (2016) 年熊本地震の発生を受けて、国土地理院は布田川・日奈久断層とその周辺地域について、1:25,000 活断層図の作成に係る調査を開始した。調査にあたっては従来の全面的な空中写真判読の成果に加え、地震直後の現地踏査（熊原ほか, 2016）や ALOS-2 の観測データをもとにした干渉 SAR を用いた成果（Fujiwara et al., 2017）なども活用した。

その調査の成果として平成 29 (2017) 年 10 月に、平成 13 (2001) 年公表の図葉（池田ほか, 2001）を改訂した「熊本 改訂版」（熊原ほか, 2017）及び新規図葉である「阿蘇」（鈴木ほか, 2017）を新たに公開した。今回発表するポスターとともに公開した両図葉についても展示する。

ちなみに本図葉は各々、下記の活断層の研究者により調査された。（以下、敬称略）
阿蘇：鈴木康弘・石村大輔・熊木洋太・熊原康博・千田昇・中田高・中埜貴元
熊本 改訂版：熊原康博・岡田真介・楮原京子・金田平太郎・後藤秀昭・堤浩之

3. 布田川・日奈久断層帯とその周辺「阿蘇」「熊本」の特徴

両図葉の大きな特徴として、平成 28 (2016) 年熊本地震によって出現した地震断層を記載している点が挙げられる（図 1, 2）。地表の地震断層は、布田川・日奈久断層帯に概ね沿って

分布しているほか、熊本市街地（図1）や阿蘇カルデラ内（図2）にも多数出現したことが記載されている。また、今回の調査で、熊本市中央区水前寺付近や益城町宮園付近（図1）、および阿蘇カルデラ内（図2）などで、新たな活断層が確認された。

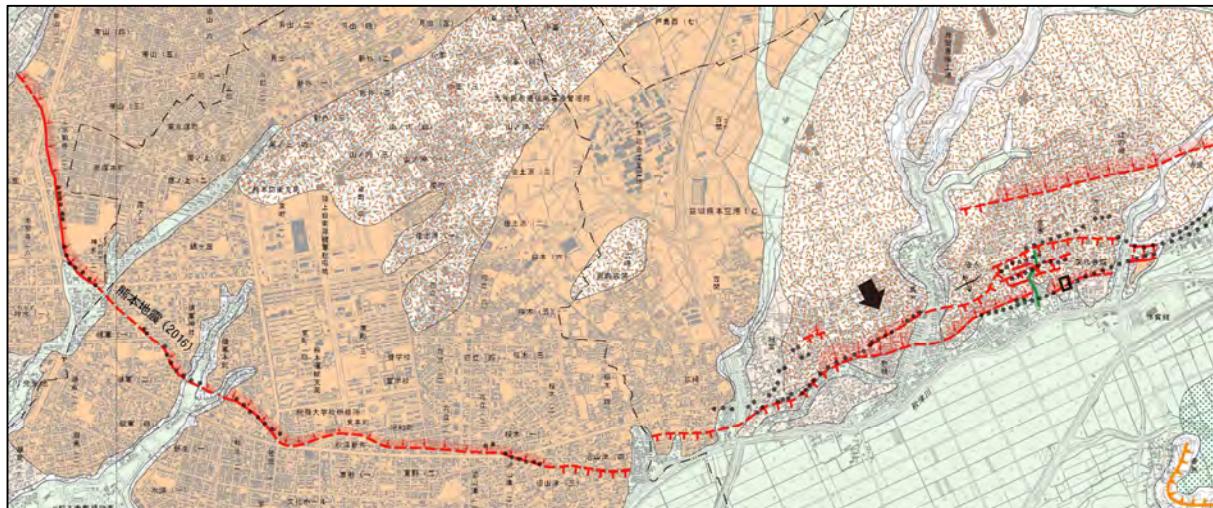


図1. 1:25,000 活断層図「熊本 改訂版」の一部

引用文献

池田安隆・千田 昇・中田 高・金田平太郎・田力正好・高沢信司（2001）：
1:25,000 都市圏活断層図「熊本」，国土地理院。

熊原康博ほか（2016）：2016年熊本地震に伴う地表地震断層の分布とその特徴，
日本地球惑星科学連合 2016 年大会予稿，
MIS34-05.

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。

鈴木康弘・石村大輔・熊木洋太・熊原康博・千田 昇・中田 高・中埜貴元（2017）：1:25,000
活断層図 布田川・日奈久断層帯とその周辺「阿蘇」，国土地理院。

Fujiwara, S., Morishita, Y., Nakano, T., Kobayashi, T. and Yarai, H. (2017) : Non-tectonic liquefaction-induced large surface displacements in the Aso Valley, Japan, caused by the 2016 Kumamoto earthquake revealed by ALOS-2 SAR, Earth and Planetary Science Letters, 474, 457-465.
DOI:10.1016/j.epsl.2017.07.001

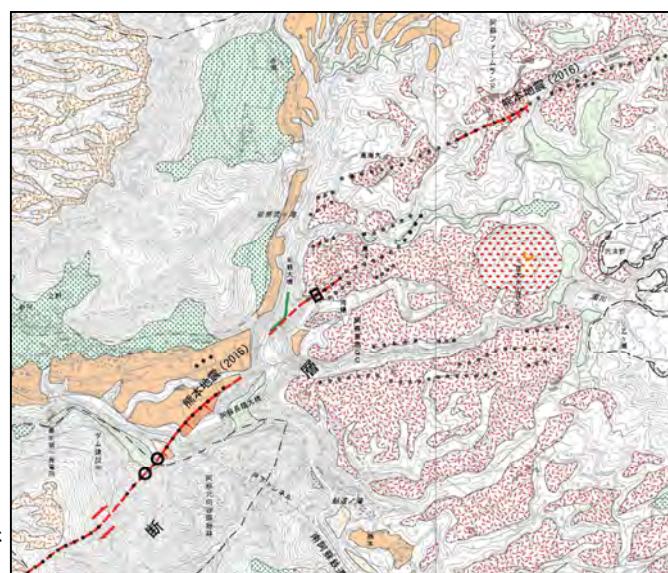


図2. 1:25,000 活断層図「阿蘇」の一部

益城町堂園地区における熊本地震の地表地震断層の詳細な分布と 共役断層の活動履歴

° 岩佐佳哉(広島大学・学部生)・熊原康博・後藤秀昭(広島大学)・中田 高

Detailed mapping of surface ruptures associated with the 2016 Kumamoto earthquake and faulting history of the conjugated fault in Dozon, Mashiki Town, Kumamoto

Yoshiya Iwasa (Undergraduate student, Hiroshima Univ.),

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

1. はじめに

平成 28 (2016) 年 4 月 14 日午後 9 時 26 分頃、熊本県熊本地方を震源とする M6.5、最大震度 7 の地震が発生し、4 月 16 日午前 1 時 25 分頃、同じく熊本地方を震源とする M7.3、最大震度 7 の地震が発生した。一連の地震によって北東—南西走向の布田川一日奈久断層帯に沿って長さ約 31km の地表地震断層が出現し、多くの地点で右横ずれ変位が認められ、最大右ずれ変位量は益城町堂園地区で約 2.25m であった (熊原, 2017)。

本発表では、最大の横ずれ変位が確認された益城町堂園地区周辺を対象にドローンによる写真撮影と RTK-GPS 測量を行い、これらと SfM-MVS 技術によるソフトを用いて作成した数値地表モデル (DSM) に基づいて、地震断層沿いの地表地震断層の詳細な分布を把握した。これにより、主たるトレース沿いの変形だけでなく、その周辺の変形の特徴を明らかにできた。また、この地区において、局地的に生じた主断層から分岐する北西—南東走向の左ずれ変位をもつ共役断層トレース上でトレンチ掘削調査を行い、断層変位の繰り返しについて検討した。地震時に生じた地表の変位と変形の全体を把握し、熊本地震による地変が長期的な断層変位地形の形成にどのように関与したのかを議論したい。

対象地域の益城町堂園地区は、北側の Aso-4 火碎流台地と南側の Aso-3 火碎流以前の山地・丘陵に挟まれた木山川の低地にあたる。低地内には、Aso-4/Aso-3 火碎流などからなる北東—南西走向の小規模な孤立丘が延びており、木山川はその北西を南西に流下する。山地と丘の間は地溝状の地形をなしており、地溝状の地形の縁辺には数段の小規模な段丘地形が認められ、地溝状の地形にはかつて木山川が流れていたと考えられる。地溝状の地形内には、堂園池と呼ばれる北東—南西方向に長い池が存在する。

2. 地表地震断層の特徴

DSM 作成に用いた写真は、2017 年 4 月 15, 16 日に小型ドローン (DJI Phantom2) に取り付けたコンパクトデジタルカメラ (Nikon Coolpix A) により空撮された。SfM-MVS 技術を用いた 3D モデル作成ソフト PhotoScan を用いて空撮写真から DSM を作成した。地上基準点は RTK-GPS 測量によって求めた値を用いた (誤差平均 9.23mm)。得られた DSM の解像度は 6.91cm である。作成した DSM を GIS ソフト上で多様な地形に表現し、耕作地や道路など地震前に連続していたと見なせる地物が異常な高度差を有するトレースを抽出した。

そのトレースを横切る複数箇所で地形計測を行い、おおよその垂直変位量を求めた。さらに抽出したトレース上を現地で調査し、側溝の破断、開口割れ目、撓曲変形など地表の変形を確認した。

上記の調査から以下のことが明らかになった。最大変位を記録した主トレースから北西側約 $100\text{m} \times 500\text{m}$ の範囲で、4～5条の地震断層が新たに認められた。認められたトレースは、変位様式と分布に基づき大きく二つに分けられる。一つは、ほぼ東西走向、南側の山麓から西に向かって分岐するように延びており、長さは約40mで、最大25cmの左ずれ変位と最大20cmの南落ちを示す1条の断層である（共役断層と呼ぶ）。残りのトレースは、東北東～西南西走向で長さは80～100mであり、互いに30～40m離れており、左ステップの雁行配列をなす。これに沿っては、垂直変位量10～30cmの北落ち変位が見られ、横ずれ変位はほとんど認められない。

本研究で新たに認められたトレースは、堂園池の周辺に限られる。堂園池周囲では堰堤や水路の水没が確認され、垂直的な断層変位によって池周辺が沈降したとみられる。池やその周辺は地溝状の低地のなかでも特に低い場所であることや、後述のトレンチ掘削調査の結果からこれまでにも同様の断層変位が生じていた可能性がある。

3. トレンチ掘削調査

トレンチ掘削調査は、上述の共役断層を対象に谷底から比高2mの段丘面上の水田で断層に直交するように掘削して行った。トレンチは、幅3m、長さ7m、深さ1.5mである。

壁面には、巨礫層とそれを覆う細粒の砂層と粘土層が見られ、それらを変位させる北傾斜の2条の断層が認められた。巨礫層は、礫が円磨されていることから木山川起源の扇状地性礫層とみられる。2条の断層は、いずれも南落ち変位を示し、北側の断層（以下F1）は77°N、南側の断層（F2）は60°Nであった。下位にある巨礫層の上面はF1に沿って約60cm南落ちに変位しているのに対して、その上位にある有機質粘土層は約40cmであった。F1は今回の地震に伴って地表変位が確認されている。

一方、F2に沿っては、巨礫層の上面が約20cm南落ち、その上位の有機質粘土層が約7cm南落ちの変位を受けているが、それより上位の砂層には変位が認められない。巨礫層の垂直変位量は、壁面全体では1m以上に達し、今回の地震に伴う垂直変位量の20cmよりも著しく大きいことから、F1では複数回の断層変位を受けていることが推定される。

F1とF2ともに、巨礫層の変位量よりも有機質粘土層の変位量が小さいこと、F2において有機質粘土層の上位の砂層には変位が認められないことから、この間にも断層イベントが推定される。熊本地震を含め少なくとも三回の断層変位が推定され、共役断層においても、変位の累積性があることが明らかになった。現在、壁面の地層から採取された試料の放射性炭素同位体年代測定を進めており、発表時にはイベントの年代についても言及したい。

文献：熊原康博（2017）日本地理学会2017年春季学術大会発表要旨集

謝辞：本研究の一部は広島大学教育研究支援財団「平成28年熊本地震に伴う地震断層に関する変動地形学的研究・熊本県益城町堂園地区を対象に」（平成29年度）の助成により実施しました。記して謝意申し上げます。

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

小俣雅志・郡谷順英・三五大輔・渋谷典幸・谷口薰(株式会社パスコ)

Small ground deformations of the 2016 Kumamoto earthquake detected
by LC-InSAR analysis

Masashi Omata, Yorihide Kohriya, Daisuke Sango,

Noriyuki Shibuya, Kaoru Taniguchi (PASCO CORPORATION)

1. はじめに

干渉 SAR 解析によって、内陸直下地震により生じた広域の地殻変動を把握することができるようになってきた（例えば、雨貝ほか, 2008）。局所的な地表変状についても、干渉位相の不連続と現地調査とを合わせて検討がされるようになってきた（例えば、中埜ほか, 2015）。しかし、干渉位相の不連続のみからでは、干渉縞が不明瞭な部分で地表変状の位置を特定するのが困難な場合がある。そこで、筆者らは干渉縞と低コヒーレンス（干渉性が悪い）部分を着色した図とを重ね合わせることで、地表変状を検出する LC-InSAR 図を提案してきた（小俣ほか, 2016, 小俣ほか, 2017, 三五ほか, 2016, Sango et al., 2017）。この LC-InSAR 図を使用して、図から読み取れる地表変状の可能性がある“位相不連続ライン”のマッピングを試みた。この一部の“位相不連続ライン”位置の現地調査を実施し、地表変状を確認した。

2. 検討方法

平成 28 年熊本地震の地震前後における、だいち 2 号 (ALOS-2) によって取得したデータを使用し、干渉 SAR 解析により干渉縞図、低コヒーレンス部分を着色した図、および傾斜量図を重ね合わせて LC-InSAR 図を作成した。データは 2016 年 4 月 15 日と 2016 年 4 月 29 日との北行軌道左側照射のペアを主として使用し、あわせて同日観測の南行軌道左側照射のペアを用いて、LC-InSAR 図から地表変状の可能性がある“位相不連続ライン”的抽出を行った。抽出にあたっては、干渉位相の不連続が明瞭に確認できるかによって 2 段階に分けて記載した。連続性のある低コヒーレンス部を境に干渉位相が不連続である場合を確実度 I、連続性のある低コヒーレンス部があるものの、その低コヒーレンス部分を境にして干渉位相の不連続が明瞭に認められないものを確実度 II とした。

平成 28 年熊本地震の地表地震断層は熊原 (2016) および Shirahama (2016) 等によって詳細な分布が示されている。筆者らも熊本地震発生直後から現地調査を実施し、地表地震断層の分布を確認している（郡谷ほか, 2016）。今回の LC-InSAR 図からの地表変状の抽出にあたっては、これらの既往調査による地表地震断層の分布は、地表変状の抽出判断には加えず、低コヒーレンス部の連続と干渉位相の連続によって判断した。

3. 検討結果

LC-InSAR 図による検討の結果、代表的な地点の状況を以下に述べる。

布田川断層と出ノロ断層との間には地表変状の可能性がある“位相不連続ライン”が確認さ

れる。さらに、出ノ口断層の南東側にも複数条の位相不連続ラインが抽出され、俵山の山頂南側にも抽出される。南阿蘇村立野から堂園付近で地表地震断層が確認されている範囲では、LC-InSAR 図では全体的に低コヒーレンスとなり、“位相不連続ライン”は抽出することが出来なかつた。

益城町下陳から福原にかけての地域において、既往調査で丘陵地と沖積平野との境界付近に地表地震断層が確認され、この南東側にも 1 条の地表地震断層が確認されている。今回の LC-InSAR 図では、このさらに南東側においても地表変状の可能性がある“位相不連続ライン”が複数確認できる。このライン上の一一部では人工構造物にわずかな横ずれ変位が確認された。益城町福原から砥川付近の沖積平野内でも“位相不連続ライン”が抽出され、水田の微小な撓み、道路の微小な亀裂が確認できる。

日奈久断層沿い御船町高木付近では、既往調査により明瞭な地表地震断層が確認されているが、この西側に北東－南西方向に連続する“位相不連続ライン”が抽出される。

4. まとめ

LC-InSAR 図により抽出した“位相不連続ライン”は、既往報告の地表地震断層（熊原, 2016, Shirahama, 2016 等）と一致している部分に分布が多いものの、これまで地表地震断層として報告されていない位置にも分布する。これらのこれまで地表地震断層として報告されていない位置を、LC-InSAR 図を基にして現地調査を行うと、人工構造物にわずかなクラックおよび緩やかな変形によって地表変状が確認される場合がある。しかしながら、人工構造物に明らかな変形が確認できない場合もあり、人工構造物がない林地等では地表変状はほとんど確認できないことが多い。これは、変位の基準となるものが無くて現地調査では確認不可能な微小な地表変状を LC-InSAR 図では検出できている可能性がある。また、2016 年熊本地震で発生した地表変状は、これまでの報告による地表地震断層位置のみだけではなく、周辺部にも微小な変位を与えていると考えられる。

LC-InSAR による干渉 SAR 解析は特許出願中である（特願 2016-175628）。また、本研究に用いた ALOS-2 データは、ALOS-2 PI プロジェクト（PI No. 1410）の下、JAXA より ALOS-2 データ提供を受けたものである。

【引用文献】

- 雨貝ほか (2008) 国土地理院時報 , 117, 15-20.
- 郡谷ほか (2016) 日本地球惑星科学連合 2016 年大会, MIS34-P49
- 熊原ほか (2016) 日本地球惑星科学連合 2016 年大会, MIS34-05
- 中埜ほか (2015) 活断層研究, 43, 69-82.
- 小俣ほか (2016) 日本活断層学会 2016 年秋季学術大会講演予稿集
- 小俣ほか (2017) JpGU-AGU Joint Meeting 2017, MIS34-P49
- 三五ほか (2016) 日本リモートセンシング学会（平成 28 年度秋季）学術講演会論文集
- Sango et al. (2017) ISRS 2017, p159-162
- Shirahama et al. (2016) Earth Planets and Space, 68, 191

UAV 調査で確認された南阿蘇村立野地区の布田川断層帯

・中原 毅, 高見智之 (国際航業), 高橋直也, 遠田晋次 (東北大学),
 村上智昭 (復建技術), 松山和馬 (ダイヤコンサルタント),
 加茂圭祐 (応用地質), 坂東雄一 (東北電力)

Futagawa fault zone of Tateno, Minamiaso village found by UAV

Tsuyoshi Nakahara, Tomoyuki Takami, Naoya Takahashi, Shinji Toda,
 Tomoaki Murakami, Kazuma Matsuyama, Keisuke Kamo, Yuichi Bando

1. はじめに

平成 28 年 4 月に発生した熊本地震から 1 年以上が経過した現在、現地では復興のため大規模工事が実施されている。特に、新阿蘇大橋工事や阿蘇長陽大橋の工事では、大規模な切土や基礎掘削により新たな露頭が出現している。一方、現地の断層露頭は、比高 100m 以上の渓谷斜面に存在する場合もあり、近接するのが難しい箇所も多々ある。

今回、当該地域において、UAV を使用して渓谷斜面および切土法面等の撮影を実施し、断層帯の分布や連続性の確認を行ったので、現地踏査結果と合わせてその内容を報告する。

2. 調査方法

使用した UAV は DJI 社製, PHANTOM4 であり、飛行中は 2 秒間隔で静止画の撮影を行った。画像データは、Agisoft 社製, PhotoScan で、写真測量の原理で処理し、簡易 3D モデルとオルソフォトを作成した。この際、画像に埋め込まれた位置情報から、ほぼ実測スケールでモデル化しているため、3D モデル上から距離計測することも可能となる。また、UAV 撮影と合わせて現地踏査を実施し、現地の断層状況を確認している。本調査では、主に図-1 に示す 3 箇所の撮影等調査を実施した。

3. 立野地区の地質と断層帯

立野渓谷の地質は、現在の阿蘇カルデラが形成された Aso-4 以降の噴出物で、下位から鮎返ノ滝溶岩、栃ノ木溶岩、立野溶岩、火山研究所溶岩(高野尾羽根溶岩)、草千里ヶ浜降下軽石、赤瀬溶岩および地表を覆う火山灰が分布する。立野地区は布田川断層帯の東端にあたり、布田川断層の延長上に位置する北向山断層が分布する。北向山断層の長さは 5.2km(布田川断層を含めると約 20km)で、南東側が相対的に隆起する、上下成分を伴う右横ずれ断層とされる。



図-1 調査箇所位置図
(地理院地図を使用)

3. 調査箇所概要

①犀角山バルジ（長陽大橋復旧工事箇所）

犀角山の中央に道路切土が造成される。また、東部は黒川水衝部に面し、比高 100m 以上の急崖を形成する。バルジの頂部付近は立野溶岩が分布し、柱状節理が北側に傾斜する（図-2）。断層運動により隆起したものと推察される。

②新阿蘇大橋工事箇所周辺

新阿蘇大橋工事のため、大規模な切土が造成されている。犀角山バルジで確認された断層の延長上に位置しており、断層の分布が推測される。立野溶岩を覆う火山灰層が厚く分布し、火山灰層内には、正断層系の亀裂が多数確認され、横ずれ断層運動によるフラワー構造の可能性が推察されるが、当該位置には切土掘削前に崖線に平行な亀裂も確認されているため、地すべり等のノンテクトニック断層である可能性も示唆される。

③旧阿蘇大橋南側渓岸斜面

黒川左岸に位置し、ENE-WSW 方向の地表地震断層延長上の谷地形である。UAV 撮影画像から、立野溶岩と火山研究所溶岩の境界とみられるオレンジを呈する火山灰層が、断層によって見かけ上鉛直方向に変位していることが確認された。簡易 3D モデルによる計測では約 10m の落差がある。また、断層の延長方向（北東部）の地表面では、鉛直変位約 60cm、水平変位約 40cm の地表地震断層が確認されていることから、過去複数回の活動により、現在の変位量になったと推測される。

4. まとめ

本調査では、UAV を活用して近接が難しい斜面や工事による新規露頭のデータを取得し、3D モデルを作成することで、布田川断層帶（下向山断層）の形態や延長方向について、新たな知見を得ることができた。

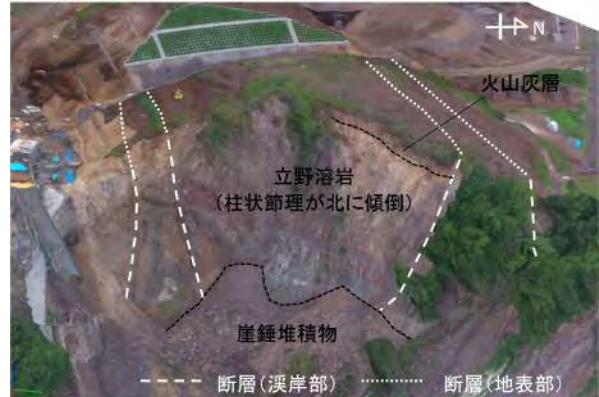


図-2 犀角山バルジ周辺の 3D モデル



図-3 新阿蘇大橋工事箇所の 3D モデル



図-4 旧阿蘇大橋南側斜面の 3D モデル

断層沿いに 10m の垂直変位（見かけ）

テクトニックバルジの内部構造と発達過程 —熊本県南阿蘇村立野地区における UAV 調査—

○高橋直也（東北大・院）, 村上智昭（復権技術）, 遠田晋次（東北大）, 坂東雄一（東北電力）, 加茂圭祐（応用地質）, 松山和馬（ダイヤコンサルタント）, 中原毅, 高見智之（国際航業）

Internal structure and a growth process of tectonic bulge: an example from a field observation using an UAV at Tateno, Minamiaso village, Kumamoto Pref.

Naoya TAKAHASHI, Tomoaki MURAKAMI, Shinji TODA, Yuichi BANDO, Keisuke KAMO, Kazuma MATUYAMA, Tsuyoshi NAKAHARA, Tomoyuki TAKAMI.

1. はじめに

阿蘇カルデラ西部に位置する立野河口瀬周辺では、断層変位による構造物の破壊に加え、阿蘇大橋西側斜面などで大規模な斜面崩壊が発生したために、大規模な工事が行われている。立野地区に存在する犀角山（サイカクヤマ）（図1）は、橋梁工事に伴って大規模に改変されており、内部の地質構造が露わになっていた。犀角山は、横ずれ変位に伴う局所的な隆起が累積してできたテクトニックバルジである。バルジ内部の地質構造は、観察できる機会が稀である一方で、横ずれ断層の変位地形形成過程や活動度を明らかにする上で重要な情報である。本発表では、露頭観察結果と UAV 調査結果から、テクトニックバルジの内部構造と、その発達過程について述べる。

2. バルジ内部の地質構造

バルジは、NE-SW 方向の長軸を持ち、周囲とは約 30m 前後の比高がある。その直下には、下位から鮎返ノ滝溶岩 (80 ± 10 ka), 立野溶岩 (54 ± 5 ka), 赤瀬溶岩 (26 ± 2 ka) が分布しており、立野溶岩は柱状節理が発達している（宮縁ほか, 2004; Miyoshi et al., 2012）。バルジを北東側から見ると、立野溶岩と思われる柱状節理の発達したユニットが北西方向に傾動しており、バルジの隆起量が増していく際に生じた変形だと考えられる。これら傾動したユニットの上位には、草千里ヶ浜軽石層 (30 ka; Miyabuchi, 2009), クロボク土（下部から約 13,000 calBP, 上部から約 10,600 cal BP の ^{14}C 年代値を得ている）などを含むローム層が堆積しており、バルジの中央側が 1m 前後沈降する変位が多数生じている。この多数の変位の中には、地表まで達しているものとそうでないものとが混在しているため、少なくとも過去数千年においてはバルジ中央部が沈降する動きが継続していたものと考えられる。

3. 犀角山バルジの発達過程

上田（2003）の模型実験結果によると、累積変位の増大に伴って横ずれ変位地形は “1) リーデル剪断群の形成→2) リーデル剪断間の地盤の膨らみ→3) Lower-angle shear の形成→4) Lower-angle shear 間の地盤の上昇によるバルジ群の形成→”

5) バルジを切る断層 (Y-shear) の形成ならびにバルジ間における溝状地の形成→6) 連続的な溝状地の形成とその内部における新たなリーデル剪断, P-foliation の発達, ならびにバルジの沈下”, のような発達過程を経る。バルジ内部の地質構造から, 現在の犀角山バルジは, 6) の段階にあると考えられる。約 9 万年前の阿蘇 4 火碎流噴出時に, 一度地下の構造がリセットされたと考えれば, 上記の発達段階の 1) から 6) に到達するまでに 9 万年程度かかることになる。しかし, 模型実験では侵食・堆積作用が及ばない条件下であるのに対し, 犀角山バルジでは絶えず断層の上載層が更新されることを考慮すれば, 実際に 1) から 6) の段階に到達するまでの時間は 9 万年よりも短くなると予想される。

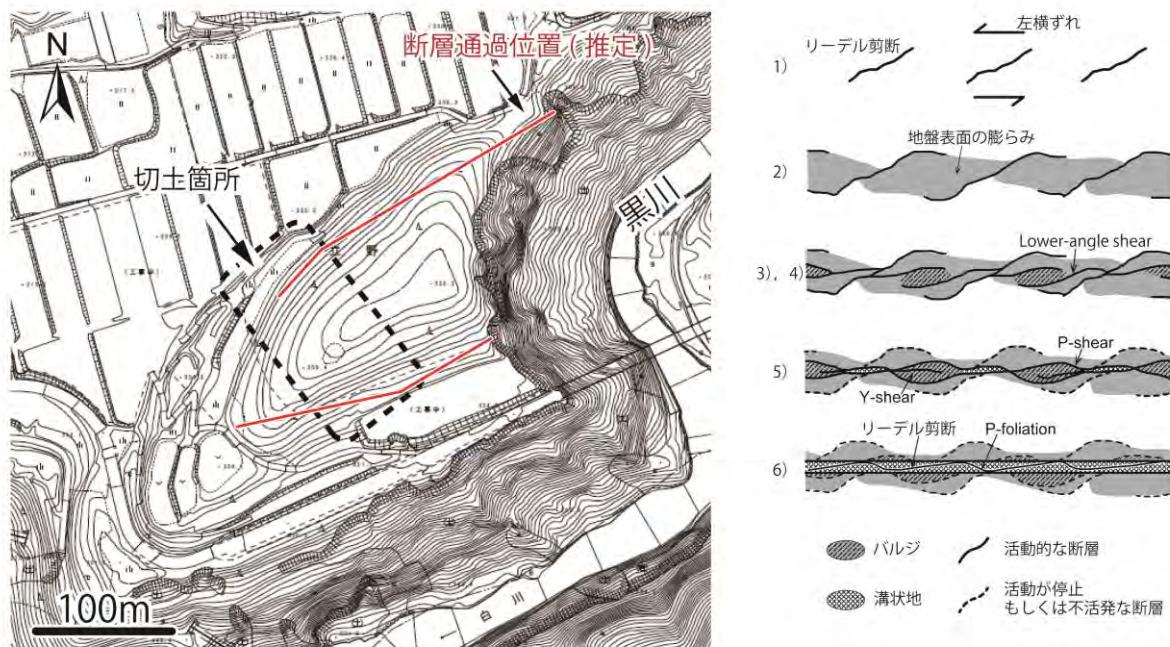
4. 文献

宮緑ほか (2004), 溶岩流とテフラとの層序関係からみた阿蘇火山中央火口丘群西武地域の発達史. 火山, 49, 267-282.

Miyabuchi (2009), A 90,000 year tephrostratigraphic framework of Aso volcano, Japan. Sedimentary Geology, 220, 169-189.

Miyoshi et al. (2012), K-Ar ages determined for post-caldera volcanic products from Ash volcano, central Kyushu, Japan. Jour. of Volcanology and Geothermal Research, 229-230, 64-73.

上田 (2003), 横ずれ断層系の発達過程ならびに変位地形の形成過程 -断層模型実験による検討-. 電力中央研究所報告, U03021.



(左) 図 1. 犀角 (サイカク) 山バルジ周辺の地形図。切土工施行前のため, 現在の地形とは一部異なる。等高線は 2m 間隔。基図には, 国土地理院発行の 1/2,500 応急復旧対策基図を使用。

(右) 図 2. 左横ずれ断層の累積変位量増加に伴う, 変位地形発達過程の模式図 (上田(2003)を基に作成) .

放射性炭素年代連続測定に基づく日奈久断層帯高野-白旗区間の活動履歴

白濱 吉起[○]・宮下 由香里(AIST)・宮入 陽介・横山 祐典(東京大)

Paleoseismic events on the Takano-Shirahata segment of the Hinagu fault zone interpreted by sequential radiocarbon measurements

Yoshiki Shirahama, Yukari Miyashita (AIST),

Yosuke Miyairi, Yusuke Yokoyama (Tokyo Univ.)

日奈久断層帯は上益城郡益城町木山付近を北端とし、八代海南部に至る長さ約 81 km の断層帯である。日奈久断層帯は過去の活動時期から高野—白旗区間、日奈久区間、八代海区間に分けられる(地震調査推進本部 2013)。2016 年熊本地震後、産総研は文部科学省および九州大学からの委託業務「平成 28 年熊本地震を踏まえた総合的な活断層調査」の一環として、日奈久断層帶上の二地点においてトレーナー調査を実施した。その結果、日奈久区間の南部田地点では約 1 万 8 千年前以降に少なくとも 6 回、高野—白旗区間の山出地点では 15000 年前以降に 5 回のイベントが認定された(表 1)。このうち、山出トレーナーで認定されたイベントの発生時期推定の精度を高めるため、火山灰分析を行うとともに、放射性炭素年代測定を追加で実施した。

火山灰分析試料は北壁面の 3 測線、南壁面の 3 測線から連続的に採取した。火山灰分析は(株)古澤地質に依頼し、粒子組成分析および主成分分析を行った。その結果、断層低下側の C-4 層から採取した火山ガラス層(図 1)は鬼界アカホヤ火山灰(K-Ah)であることを確認した。また、すべての測線から K-Ah 濃集層を検出した。K-Ah 濃集層より下位層からは K-Ah は検出されないことから、二次堆積ではなく降下火山灰層とみなせる。この分析により、地層境界が不明瞭だった C 層内における C-4 層の分布が明らかとなり、北壁面の C-3 層は断層の相対的隆起側まで連続的に分布することが明らかとなった。以上より、イベント層準を見直すと、C-5 層/C-3 層に認定していたイベント 2 の発生時期は、C-5 層堆積以降 C-4 層堆積前と考えられる。また、北壁面では C-5 層が低下側にのみ分布すること、南壁面では C-5 層が低下側で急激に層厚を増して分布することから C-6 層/C-5 層にイベント層準がある可能性が示唆される。

山出トレーナーでは、放射性炭素年代測定用試料についても火山灰分析と同様に、連続的な試料採取を実施した。北壁面低下側の一測線の測定結果からは、堆積物が連続的に堆積していたことが明瞭に示されている。本要旨投稿時において、追加分析結果については速報値が得られているのみである。発表では、南壁面の連続年代測定結果もあわせて、高野-白旗区間の活動履歴について、より詳細な議論を行う予定である。

表1. 山出トレンチにおけるイベント層準とその年代

イベント名	イベント層準	信頃度	年代 (層歴正值: 約***年前)
1	B-3ないしB-2層/B-1層	○	1,400～800
2	C-5層/C-3層	○	8,600～4,300
3	D-3層/D-2層	○	12,000～9,500
4	D-8層/D-5層	△	13,000～12,000
5	D-10層/D-9層	○	15,000～13,000
6	D-13層/D-12層	◎	15,000以前

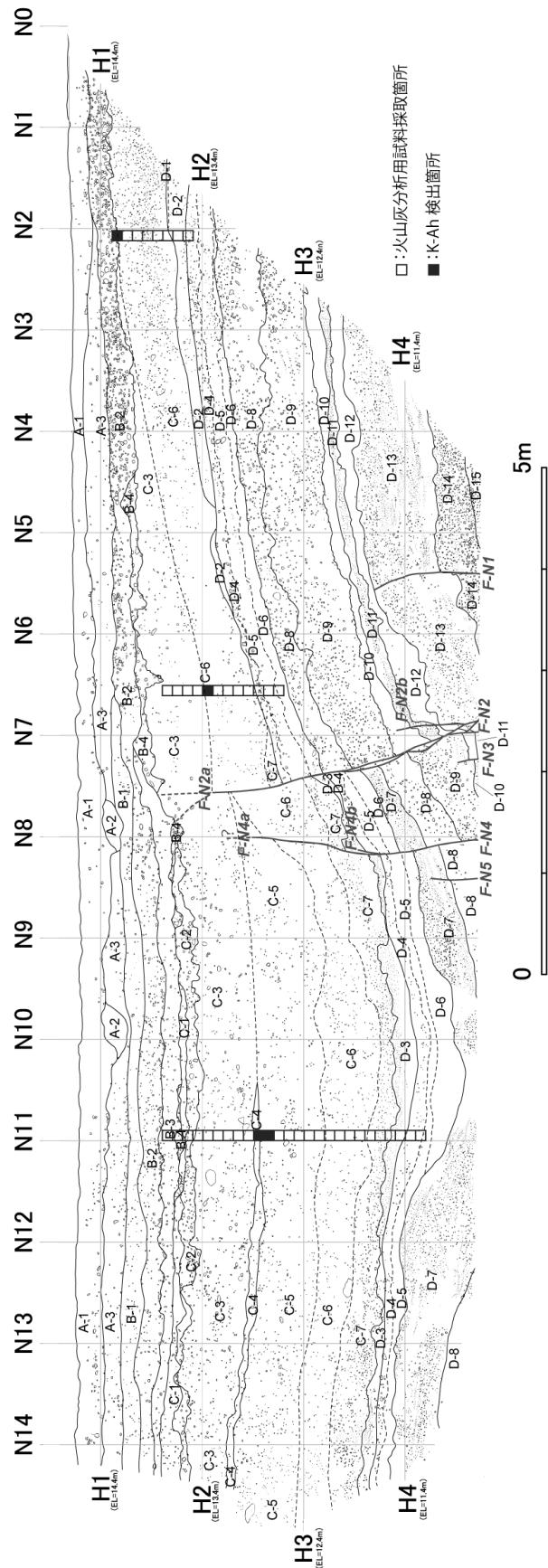


図1. 山出トレンチ北面のスケッチ

**活断層の連動破壊シナリオの設定が
確率論的地震ハザード解析に与える影響の検討**
内田淳一・[°]儘田豊・田島礼子(原子力規制庁長官官房技術基盤グループ)
**An effect of multi-segment rupture scenario of active fault on
probabilistic seismic hazard analysis**
Jun'ichi UCHIDA, Yutaka MAMADA and Reiko TAJIMA

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。事象の原因は様々あるが、地震に関しては将来発生しうる地震動の強さとその頻度を把握するため、確率論的地震ハザード解析(以下「PSHA」という。)が用いられる。PSHAは、対象地点に対して、地震動として影響を及ぼし得る様々な震源を考慮し、着目期間内に、ある地震動強さを超える確率(超過確率)を算出し、結果を地震ハザード曲線として表現する。超過確率の算出過程で地震の発生確率と地震動強さを定量評価するが、その際に、適用する震源モデル及び各パラメータ等に関する不確かさを考慮する。

本研究では、PSHAで扱う不確かさのうち、地震ハザード解析結果に最も大きな影響を与える要因の一つである地震シナリオ(断層の活動シナリオ及びその平均活動間隔をあわせて考慮したもの)の不確かさについて扱う。儘田・他(2015)では複数の断層が同時に活動する地震シナリオと個別に活動する地震シナリオを対象として、一つの評価点における最大加速度の超過確率の試計算を行った。その結果、ある地震動(検討例の場合、最大加速度1500cm/s²程度以下)に相当する超過確率は、同時に破壊する地震シナリオよりも、各断層が個別に活動する地震シナリオで大きくなることを示した。実際の評価においては、評価点と断層帶の位置関係によって超過確率が変化することが予想されるため、評価点の位置と着目する最大加速度の超過確率の関係について、面的に把握しておくことが重要である。そこで本研究では、断層帶周辺に面的に評価点を設定して複数の地震シナリオについてPSHAを実施し、断層帶周辺における、着目する最大加速度毎の超過確率の分布及び想定する最大加速度毎の等超過確率となる領域を把握する。検討は儘田・他(2015)で扱った山崎断層帯を対象とし、大原断層、土万断層及び安富断層の三断層の同時活動を考慮した地震シナリオについて扱う。

2. 山崎断層帯を例とした確率論的地震ハザードの詳細解析

PSHAに用いた山崎断層帯主部北西部の三断層のモデルを図1(a)に示す。同図中のグリッドはPSHAの評価点であり、断層帯を囲む80km×80kmに1km間隔で配置した。図1(b), (c)は検討した地震シナリオの例とそれに対応する断層長、地震規模(M_j)等である。本検討では地震ハザードの計算で、二つの固有地震の地震シナリオ(Case1及びCase2)を考える。Case1は三つの断層が同時活動する地震シナリオで、Case2は三つの断層が個別に活動する地震シナリオである。それぞれの地震シナリオについて平均活動間隔を算出するため、各シナリオで想定する断層の長さから松田(1975)により、地震規模を推定し、マグニチュードから一回の活動による変位量(D)を計算した。また、地震調査研究推進本部(2013)による当該断層帯の活動度B級を採用し、奥村、石川(1998)により平均変位量(V_m)を与

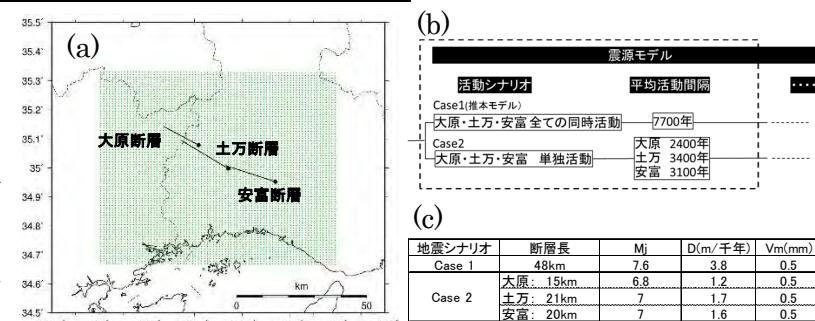


図1 山崎断層帯を対象とした地震ハザードの検討例 (a) 検討対象とした断層帯とハザードの評価点 (b) 検討した活動シナリオの例 (c) シナリオ毎の断層長と地震規模

えた。以上を用いて平均活動間隔をD/V_mにより推定した。また、PSHAでは断層の最新活動時期は不明として、地震発生確率はポアソン過程、地震動は司・翠川(1999)の距離減衰式で計算した。なお、PSHAは50年間の超過確率として評価した。

図2(a)及び(b)に地震シナリオCase1及びCase2に対する最大加速度500cm/s², 1000cm/s²及び1500cm/s²の超過確率の分布を示す。いずれの最大加速度についても超過確率は断層帯からの距離に依存した分布となり、Case1の三断層が同時に活動する場合は、Case2の個別に活動する場合に比べ、広範囲に超過確率の大きな領域が分布する。一方、断層近傍の比較的狭い領域では、Case1に比べCase2で超過確率が大きくなる領域が存在している。Case1及びCase2の超過確率の大小関係は着目する最大加速度と評価点が位置する断層からの距離により大きく変化するため、地震シナリオを設定する場合には、これらの効果を定量的に把握しておくことが重要である。図3(a)と(b)には、地震シナリオCase1及びCase2に対する50年超過確率が10⁻⁴、10⁻⁵及び10⁻⁶となる最大加速度の分布を示す。いずれの地震シナリオでも超過確率の減少に伴い、断層帯から等距離にある評価点の最大加速度は増加する。10⁻⁴となる等超過確率の最大加速度の分布で見ると、断層帯から10km程度以内の断層帯近傍ではCase1に比べCase2の最大加速度が大きくなり断層が個別に活動する場合の影響が重要になるが、10⁻⁶となる等超過確率の最大加速度では、断層帯から10km程度以内の断層帯近傍で、Case1の最大加速度が大きくなり、断層が同時に活動する場合の影響が重要となる。

3. まとめ

以上に示したように、PSHAの結果に大きな影響を与える不確かさの一つとして、活動シナリオと平均活動間隔があげられるが、PSHAの評価結果は評価地点の位置や着目する最大加速度等にも依存するため、注意する必要がある。PSHAでは、不確かさを伴う活動シナリオや平均活動間隔等はロジックツリーの中で扱うことになるが、断層と評価点の位置関係や着目する加速度等について十分考慮した上で、扱うことが重要と考えられる。

引用文献 :

- (1) 優田・内田・藤田、確率論的地震ハザード解析におけるロジックツリーの分岐項目の設定に関する検討—内陸の活断層を対象として—、日本活断層学会、2015、(2) 松田、活断層から発生する地震の規模と周期について、地震 2, 28, 269-283, 1975、(3) 地震調査研究推進本部、山崎断層帯の長期評価（一部改訂）について、2013、(4) 奥村・石川、活断層の活動度から推定される平均変位速度に関する検討、土木学会第53回年次学術講演会講演概要集、第I部 (B)、554-555、1998、(5) 司・翠川、断層タイプ及び地盤条件を考慮した最大加速度・最大速度の距離減衰式、日本建築学会構造系論文集、第523号、63-70、1999

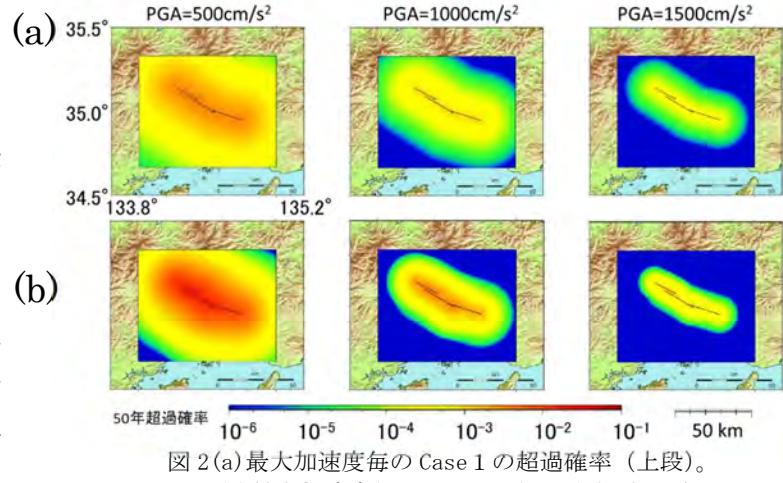


図2(a)最大加速度毎のCase 1の超過確率(上段)。

(b)最大加速度毎のCase2の超過確率(下段)。

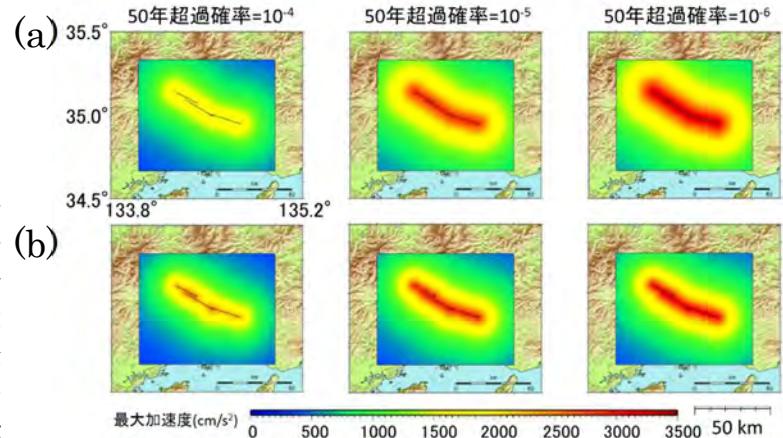


図3(a)超過確率毎のCase 1の最大加速度分布(上段)。

(b)超過確率毎のCase2の最大加速度分布(下段)。

地震ハザード評価における長大断層の連動性評価手法

Simultaneous rupturing model of a long and large fault

°大西耕造^{*1}・西坂直樹^{*1}・大内泰志^{*2}・隈元 崇^{*3}

^{*1} 四国力株式会社・^{*2} 株式会社四国総合研究所・^{*3} 岡山大学

ONISHI, K. ^{*1}, NISHIZAKA, N. ^{*1}, OOUCHI, T. ^{*2}, KUMAMOTO, T. ^{*2}

^{*1}Shikoku Electric Power Co., ^{*2}Shikoku Research Institute Inc., ^{*3}Okayama Univ.

1995 年の兵庫県南部地震($M_{JMA} 7.3$)以降、地震防災への意識が高まる中で、地震や活断層に関する研究成果のリスク評価への応用が望まれている。そのために、将来発生する地震の場所、規模、時期の予測の高度化を図り、より精度の高い地震ハザード評価を行うことは重要であり、例えば文部科学省・地震調査研究推進本部（以後、「地震本部」という。）の「全国地震動予測地図」（地震本部, 2016）はそうした成果の一例である。この図中で、例えば糸魚川ー静岡構造線活断層など複数の活断層が近接して分布し、それらのトレーニング調査結果などから過去の地震発生領域について必ずしも一定でない長大な活断層帯の評価は、地震の規模が相対的に大きいことから近隣地域への影響が大きいと考えられる。このような起震断層帯内部での地震活動の実例として、2016 年 4 月 16 日に発生した熊本地震($M_{JMA} 7.3$)が挙げられる。この地震では、布田川ー日奈久断層帯の中で、布田川区間（布田川断層）に加えて日奈久断層帯に含まれると考えられた高野ー白旗区間に沿って地表地震断層が出現しており、これら 2 つの断層帯が連動して地震が発生したこと、従来想定されていた地震規模($M_{JMA} 7.0$)よりも大きくなつたとされている（例えば、地震本部(2016)）。地震本部による全国地震動予測地図（以後、「地震動予測地図」という。）においても、被害が大きくなり得る連動型地震の発生を踏まえた地震ハザード評価の高度化が進められるところである（地震本部, 2016）。

しかし、地震ハザード評価における連動型地震の規模と頻度の可変性に関する評価手法は確立されておらず、これまでに地震本部においても複数の評価手法が考案されている。こうした現状を踏まえ、本研究では、地震ハザード評価における連動型地震の評価手法（以後、「連動の考え方」という。）を比較し、連動の考え方による地震ハザード評価への影響を検討する。

国内外のこれまでの研究をレビューすると、連動の考え方をすすめていく上では、ある断層帯のセグメントがそれぞれ単独で発生するもしくは連動して発生するといった破壊パターンをモデル化することとなる。図 1 には、簡略化のために 2 つの断層の連動を対象にした場合の 5 つの考え方の概念を示す。

まず、「考え方①」は、次に発生する 1 つの地震を考えることとして、その地震がどの活動範囲で発生するかを考察するモデルである。この考え方は次に発生する地震によるハザード評価を対象としており、一定期間の平均的なハザードを評価することを目的とした地震動予測地図等とは異なった考え方である。当該の起震断層帯内部やその周辺の地震ハザードについては、地震発生後にこの地震が発生したことを考慮した再計算を迅速に行うことで危険度の指標がアップデートされることとなる。一方、この考え方をロジックツリーにあてはめると、分岐が互いに排他とならず、ハザードが過小評価となるとの指摘もある（原子力学会, 2015）。

「考え方②」は、長い期間における地震発生を考える場合、ある地震帯の破壊のパターン

は固定されているというモデルである。この考え方では、ある断層帯で発生する地震は常に単独で発生もしくは常に連動して発生という2つ破壊パターンを考慮することとなる。一部の地域を除いた地震動予測地図では、連動は考慮されていないことから、この考え方の常に単独で発生する場合のみに該当する。

「考え方③」は、複数の破壊パターンの組合せを考える考え方モデルである。この考え方では、地域評価が行われた九州地域等を対象に地震動予測地図に取り込まれている。地震本部では、単独で発生する場合の発生確率を分配することで複数の破壊パターンの発生確率を算定する手法が考案されている。

「考え方④」は、背反かつ想定されるすべての破壊パターンをモデル化するモデルである。一般的にハザード評価において、ある地点における複数の地震によるハザードは余事象として算定される。この考え方では地震が発生しない場合も含めたすべての破壊パターンを考慮するため、すべての破壊パターンのハザードの積和で算定される。

「考え方⑤」は、断層帯全体で発生確率が1つとするモデルである。地震動予測地図では、南海トラフの大地震に対して南海トラフ全体を一つの領域と考え、大局的に領域全体で繰り返し大地震が発生しているとして評価する中で、この考え方が採用されている。

本研究では、こうした考え方ごとに設定が必要となるパラメータ等を検討するとともに、中央構造線断層帯に適用してハザード評価に与える影響を議論する。

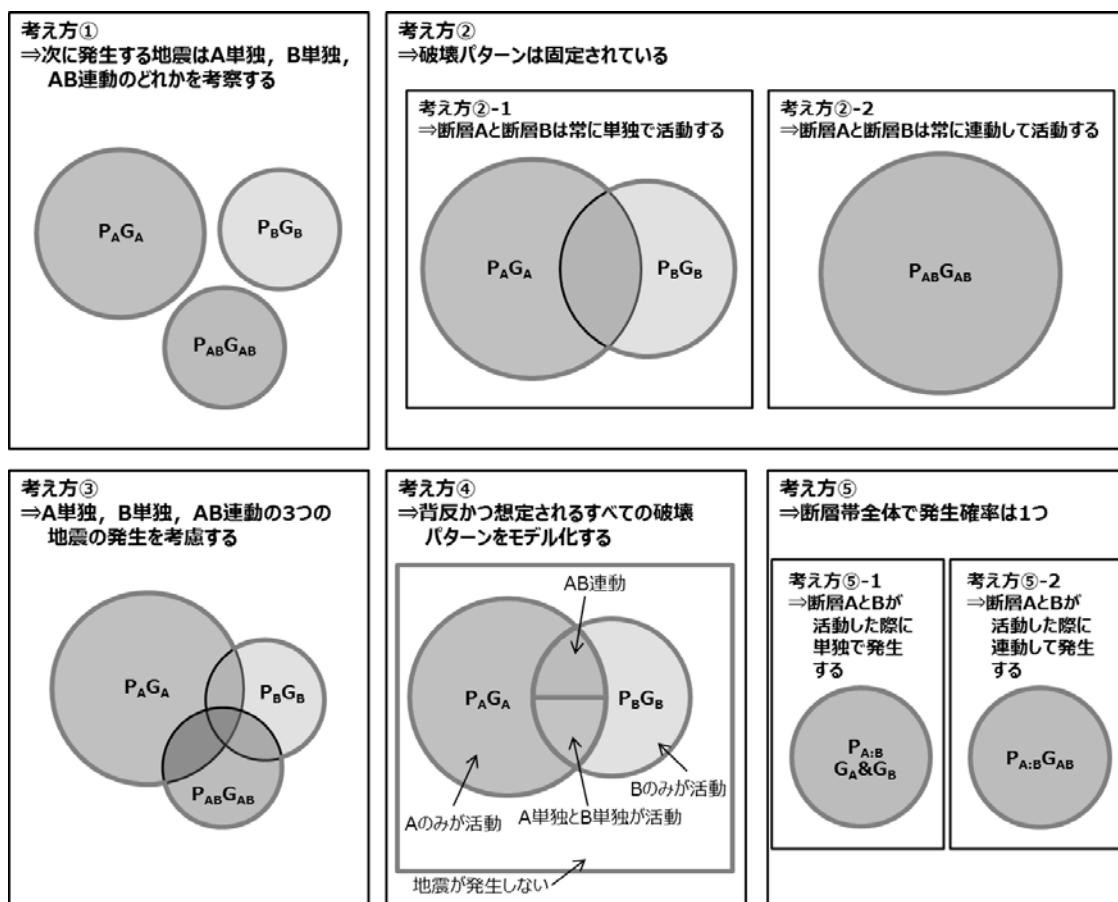


図1 連動の考え方

東北日本前弧域仙台湾周辺における地殻構造

岡田真介（東北大学災害科学国際研究所）

Subsurface structure around the Sendai Bay in the fore-arc region of
Northeast Japan

Shinsuke OKADA (IRIDeS, Tohoku University)

はじめに：プレート沈み込みに伴って蓄積される歪みの約 90%程度は、2011 年東北地方太平洋沖地震のようなプレート境界の巨大地震によって弾性変形として解放されるが、残りの 10%程度は内陸地域に発達する活断層運動によって、島弧内部の非弾性変形（地殻変形）として蓄積される（池田・岡田, 2011）。この島弧地殻の非弾性変形の詳細を明らかにすることは、沈み込みを伴う島弧の歪み蓄積・解放の過程を明らかにする上でも重要である。

東北日本弧は、鮮新世以降現在までは圧縮場であるが、中新世には、日本海拡大に伴った伸張場にあったとされている (Sato and Amano, 1991; Sato, 1994)。伸張場において形成された正断層は、鮮新世以降に圧縮応力場に変化した後でも、同じ断层面を用いて逆断層として再活動したと考えられている（テクトニックインバージョン； Okamura et al., 1995；中村, 1992）。つまり、東北日本弧の活断層は中新世の伸張場における正断層構造を起源としていることが多く、伸張場であった中新世に遡って地質構造を解釈することが重要である。

東北日本背弧域における地殻変形：筆者はこれまでの研究において、東北日本の背弧域において、海域反射法地震探査および重力データを用いて、中新世以降の地殻水平短縮量と伸張量を balanced cross section 法を用いて定量的に解析した(Okada and Ikeda, 2012)。その結果、中新世における東北日本背弧域の地殻伸張は、東に傾く低角なデタッチメント断層によって生じ、深く非対称な断面形の堆積盆が形成されていることが分かった（図 1, 断面 A）。また、東北日本背弧域（図 1 左の網掛け部分）は、thin-skin タイプの変形であり、鮮新世以降にデタッチメント断層が逆断層として再活動することにより、堆積盆を充填する厚い堆積物（最大 8 km 以上）に大きな水平短縮量（10-15 km）を伴った褶曲変形を生じていた。さらに、中新世の伸張量および鮮新世以降の短縮量は島弧方向に大きく差異があり、特に村上沖の断面 B では著しく伸張量および短縮量が小さいことが明らかになった。この島弧方向の変形量の差異は、内陸盆地や前弧域に分布する活断層の活動度と関連している可能性がある。そこで本研究では、東北日本前弧側の中新世以降の地殻伸張量および短縮量を明らかにし、島弧全体の地殻変形の全容を明らかにすることを目的とした。

前弧域における中新世以降の地殻変形：中新世の伸張変形および鮮新世以降の短縮変形に伴ったテクトニックインバージョンは、東北日本背弧域だけでなく、前弧域にも広く分布して

いる。北上低地西縁断層帶では、中新世の伸張量は 5.2 km、鮮新世以降の短縮量は 1.0 km と見積もられおり (Kato et al., 2006)，背弧側のそれと比較し変形量は小さい (断面 A では中新世の伸張量約 40 km、鮮新世以降の短縮量 14 km)。しかし、その南部の村上～仙台にかけての地域では、背弧側の伸張変形・短縮変形が著しく小さく (図 1, 断面 B)，それに代わって前弧側や内陸盆地での地殻変形が大きい可能性がある。仙台湾においては南北走向のテクトニックインバージョンを伴った海底活断層が指摘されているが (中村ほか, 1990)，これらの地殻伸張量および短縮量については明らかにされていない。そこで、本研究では、仙台湾周辺の中新世以降の地殻伸張量および鮮新世以降の短縮量を明らかにするために、昭和 61 年度国内石油天然ガス基礎調査海上基礎物理探査「南三陸～鹿島沖」(石油公団, 1987) の再解析を行い、これを基に中新世以降の地殻変形量を明らかにする。海域反射法地震探査データでは、西に傾斜する中新世のリストリックな正断層構造が、鮮新世以降にテクトニックインバージョンを受け、逆断層として再活動していることが明らかになった。

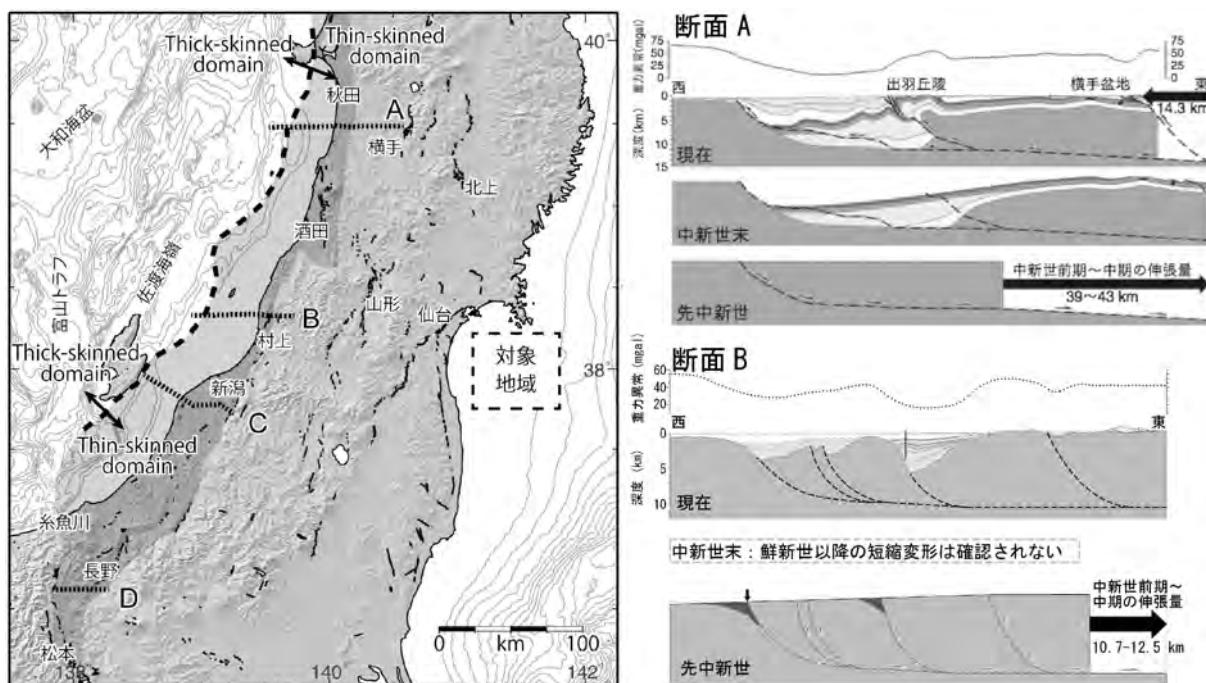


図 1. 東北日本背弧域の地殻伸張量および短縮量と本研究の対象地域

謝辞: 本研究は JSPS 科研費 JP7K14404 の助成を受けました。ここに記し感謝申し上げます。

引用文献: 池田・岡田 (2011), 科学, 81, 1071-1076; Kato, N., et al. (2006), *Jour. Struct. Geol.*, 28, 2011-2022; 中村 (1992), 構造地質研究会誌, 38, 3-45; 中村ほか (1990), 金華山沖海底地質図, 海洋地質図 no. 33, 地質調査所; Okada, S., and Y. Ikeda (2012), *JGR*, 117, B01404, doi:10.1029/2011JB008355; Okamura, Y., et al. (1995), *The Island Arc*, 4, 166-181; Sato, H. (1994), *JGR*, 99, 22261-22274; Sato, H., and K. Amano (1991), *Sediment. Geol.*, 74, 323-343. 石油公団 (1987), 昭和 61 年度 国内石油天然ガス基礎調査海上基礎物理探査「南三陸～鹿島沖」調査報告書, 27 pp.

Mapping of the Chaman fault in Afghanistan using CORONA and ALOS satellites imageries

[°]Zakeria Shnizai¹, Yuki Matsushi², Yoshio Soeda³ and Hiroyuki Tsutsumi¹

¹Department of Environmental Systems Science, Graduate School of Science and Engineering, Doshisha University

²Disaster Prevention Research Institute, Kyoto University

³West Japan Engineering Consultants, Inc.

Afghanistan is located near the collision boundary between the Indian and Eurasian plates. South of Afghanistan, the Eurasian plate meets with the Indian and Arabian plates in the Makran coast. The Indian and Arabian plates move northward under the Eurasia. The Indian plate and Arabian plate move northward towards the Eurasian plate at rates more than 39 mm/year and 23 mm/year, respectively. The plate boundary between the Indian and Eurasian plates is marked by the Chaman fault system that forms one of the largest continental strike-slip faults in the world. The Chaman fault system, which includes a group of strike-slip faults, is a major left-lateral strike-slip fault that accommodates much of the differential movement between the Indian and Eurasian plates in southeastern Afghanistan and Pakistan. The ~860-km-long fault strikes from N10°E to N35°E. The Chaman fault generally separates the eastern area from the central and western areas of Afghanistan (Fig. 1).

The slip rate of the Chaman fault has been estimated by several studies. About 1150 m displaced alluvial fan with a ¹⁰Be exposure age of ~35 kyr along the Chaman fault in the border region of Afghanistan and Pakistan yields a slip rate of 33 mm/yr (Ul-Hadi et al., 2013). GPS and InSAR data reported slip rates of 18 mm/yr and 8 mm/yr, respectively (Furuya and Satyabala, 2008; Mohadjer et al., 2010). Matching four geologic features displaced along the fault indicates a slip rate of 19-24 mm/yr (Lawrence et al., 1992). There is a report of volcanic rocks with ~60-80 km offset along north-south dated at 2 m.y, the fault slip estimated 25-35 mm/yr (Beun et all, 1979).

The Chaman fault is a large strike-slip fault with high slip rate, which is known by previous works in the Pakistan side. The detailed mapping of the fault trace on Afghanistan side has not been done while there are some works on the Pakistan side. Therefore, we mapped the Chaman fault based on previous literatures and visual images interpretation. For mapping of the fault, high resolution 3D Corona and ALOS images were used. Stereographic pairs of ~1:125,000 scale aerial corona photographs for the whole length of the Chaman fault in Afghanistan and Pakistan were interpreted. The fault is approximately 650 km long in our mapped area within Afghanistan, and terminates near the southern margin of the Kabul block. Tectonic geomorphic features such as offset and beheaded stream channels, offset alluvial fans, shuttle ridges, fault scarp and tilted alluvial surfaces are common. Along the southern part of the study area, east-dipping thrust faults on the western side of the main fault were mapped; they were formed as a result of compression on the left-lateral motion on the master fault. Some of these thrust faults are more than 20 km long and extend more than 10 km wide on the west of the main fault trace.

The geomorphic expression of the Chaman fault in Quaternary deposits varies along the fault trace. The fault typically offsets late Pleistocene and Holocene deposits and landforms, and is generally marked by continuous fault scarps that offset older and younger alluvial fans and stream deposits. There is some information about the relative ages of some deposits and landforms along the fault, but their absolute ages are unknown. In the absence of absolute ages for specific deposits, it is impossible to determine the

fault slip rate. Determining the slip rate is usually difficult in desert areas because of the lack of ^{14}C dating materials. We will introduce the cosmogenic dating as was done in Pakistan side. Terrestrial cosmogenic nuclide (TCN) is a relatively new method to date sediments, and our study focuses on the Ghat Bandakul alluvial fan, which shows clean left-lateral offsets of two channels. Analysis of satellite imageries and field work indicate that middle terrace and older terrace is left-laterally offset 55 m and 90 m along the Chaman fault (Fig. 2). Six samples were taken for ^{10}Be TCN dating from three different terraces of Ghat Bandakul. The samples were collected from well-embedded sandstone boulders, typically less than 1 m in diameter to avoid any surface alterations and leaching. From each desired boulder, about 1 kg of sample was collected using a handheld hammer. We will process the samples at the TCN dating laboratory at Kyoto University. We plan to obtain the first geomorphologically determined slip rate of the Chaman fault in Afghanistan southern part of Kabul.

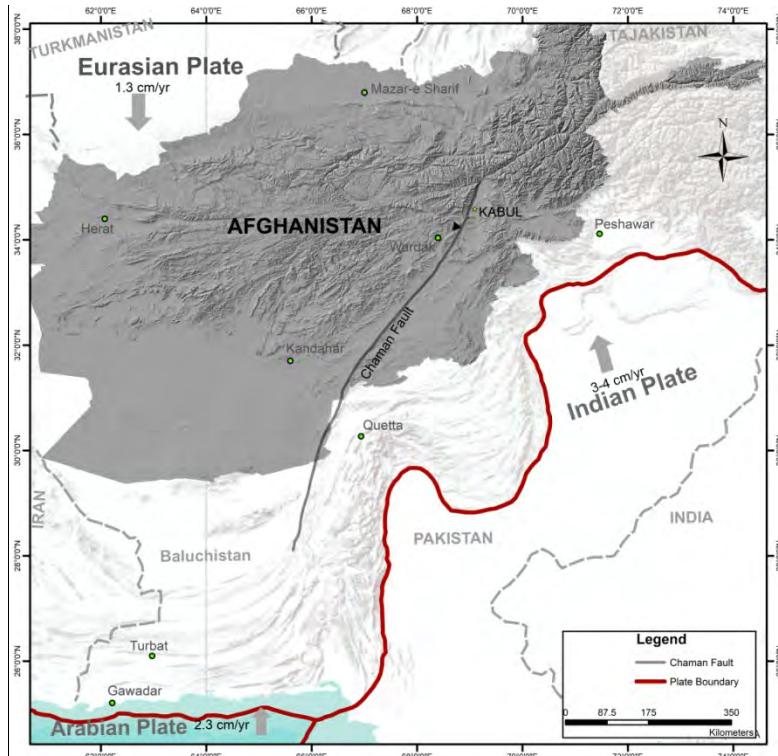


Fig. 1: Location of the Chaman fault on the southern end of the Eurasian plate. Gray-colored arrows show relative plate motions and velocities between the Indian, Eurasian, and Arabian plates (Plate velocities from Rulman et al., 2007). Black arrow shows capture location and direction of the Fig.2 (Ghat Bandakul alluvial fan).

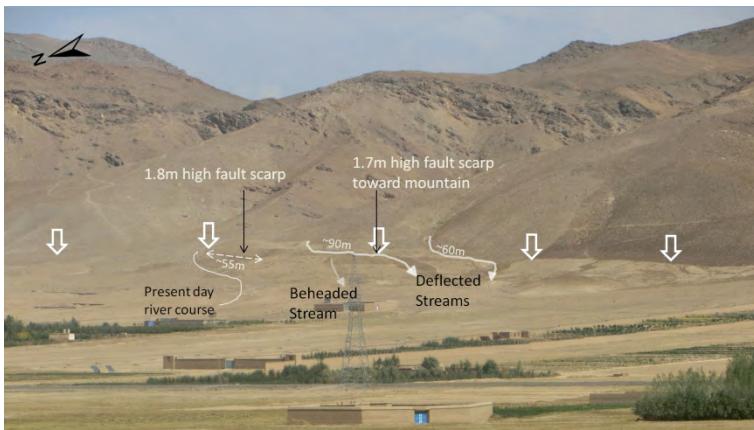


Fig. 2: Oblique view looking east across the Chaman fault showing typical left-lateral offsets of stream channels and a beheaded stream. The white hollow arrows show location of the Chaman fault trace, which generally has formed a west-facing scarp in this area. The area is fed by a moderate to highly-incised, discontinuous ephemeral stream network.

クリープ変位区間で発生し地震断層を伴った 2017年7月フィリピン・レイテ島地震(M_w 6.5)

堤 浩之(同志社大学)・Jeffrey S. Perez(フィリピン火山地震研究所)

The July 2017 M_w 6.5 Leyte earthquake: a moderate-sized surface-rupturing earthquake on a creeping segment of the Philippine fault

Hiroyuki Tsutsumi (Doshisha Univ.) and Jeffrey S. Perez (Philippine Institute of Volcanology and Seismology)

研究の背景

フィリピン断層は、その中央部を中心に、定常的にクリープ変位をしていることが実証的に明らかにされている世界的にも数少ない断層のひとつである。我々はレイテ島の北部や中部において断層のクリープ変位による人工構造物のずれを確認し、さらにクリープ変位速度を定量的に見積もるための測地学的観測をルソン島からミンダナオ島の15地点において2013年より行っている。レイテ島の北端部と中部では、20 mm/yr を超えるクリープ変位速度が観測され、この速度はGNSS観測で見積もられるフィリピン断層の左横ずれ変位速度に匹敵するため、レイテ島での大地震の発生の可能性は低いと考えていた(堤ほか, 2016)。しかしながら、レイテ島でも数mm/yrのクリープ変位速度しか観測されない地点も存在し、部分的には歪みが蓄積している領域が存在する可能性もあった。

2017年7月6日に、レイテ島北部のOrmoc City東部を震源とする M_w 6.5の地震が発生し、長さ約26 kmにわたる地震断層が出現した(PHIVOLCS, 2017; 図1)。この地震断層は、我々のクリープ変位観測線を横切って出現し、定常的なクリープ変位と中規模地震に伴う変位の関係を考える上で重要な情報を提供している。そこで本年8月～9月に地震断層の調査を実施し、その出現位置や変位量を検討した。また震源域の2ヶ所に設置していたクリープ観測網の改測を行った。

2013年～2016年における震源域のクリープ変位の観測

Tsutsumi and Perez (2013)で、空中写真判読によってフィリピン断層の縮尺5万分の1活断層図を作成した。その後、レイテ島においてクリープ変位による人工構造物の変形量と建造年代から、過去10～40年間のクリープ変位速度を見積った。2013年からは、フィリピン断層上の15地点でクリープ変位観測を行っている。レイテ島では、北端部のLeyteや中部のAbuyogにおいて、20～30 mm/yrの定常的なクリープ変位速度が観測されている。一方、その間のOrmoc CityやJavierでは、クリープ変位速度が約6 mm/yrと約4 mm/yrと小さかった。Ormoc Cityでは、断層トレースが左ステップする一方の断層トレースのみを観測しており、そのためにクリープ変位速度が小さい可能性もあるので、もう一方のトレースにも基点を設けて観測を開始した矢先であった。

地震断層の調査

地震断層は、既存の断層変位地形にほぼ沿って出現した(図2)。ずれのセンスは左横ずれが主であり、変位量は最大で1.1 mであった。クリープ変位の観測基点を設けているMilagro地点でも約1.0 mの左ずれが計測された。地震直後から調査を続けているフィリピン火山地震研究所(PHIVOLCS)のグループは、地震断層の長さを約26 kmと見積もっている。震源域では断層トレースが約1 km左ステップし、地震断層もそれらのトレースに沿って出現した。ステップオーバーの北側のトレースに沿っては、数10 cm以上の左ずれがほぼ連続的に確認できるのに対し、南側のトレースに沿っては断続的に小規模な地割れが認められるだけで、明確な横ずれ変位を確認できる地点はなかった。またクリープ観測基点を設けているLake

Danao 地点でも、基点間の舗装道路が破壊されたが明瞭な横ずれ変位は確認できず、基点の改測によって約 2 cm の左横ずれが計測されたのみであった。ステップオーバーの南側の断層トレースに沿っては、副次的に小規模に破壊が生じたか、あるいは地震動に誘発されて地割れが生じた可能性が高い。よって、2017 年 7 月地震の地震断層の長さは約 15 km と判断され、この値は Wells and Coppersmith (1994) による地震断層の長さと地震規模の関係式とほぼ調和的である。

考察

レイテ島北端部や中部では 20~30 mm/yr のクリープ変位速度が観測されており、これは GNSS 観測で見積もられるフィリピン断層の左ずれ変位速度に匹敵する。Milagro 地点では 2013~2016 年に平均クリープ変位速度約 6 mm/yr が観測されており、約 15~25 mm/yr のすべり欠損があったことになる。よって 2017 年 7 月の地震による約 1 m の変位により 40~70 年分の歪みが解消されることになる。定常的にクリープ変位している断層が、地震断層を伴う中規模地震で破壊することは、サンアンドreas 断層の Parkfield セグメントなどでも知られており、フィリピン断層の一部もそのような挙動を示すことが判明した。フィリピン断層では、2017 年 2 月に発生したスリガオ地震 ($M_s 6.7$) でも長さ 4 km の地震断層が生じたが、この区間は 1879 年の地震 ($M_s 6.9$) で破壊したと考えられており (Perez and Tsutsumi, 2017)，今回はより小規模な地震で破壊した可能性が高い。このように、フィリピン断層から発生した最近の被害地震は活断層から発生する地震の多様性を顕著に示している。

2017 年 8 月~9 月に行った地震断層の調査には、科学研究費補助金基盤研究 B 「フィリピンの地震関連地形の包括的把握と地震発生予測精度向上に関する研究」(研究代表者：中田 高) を使用した。

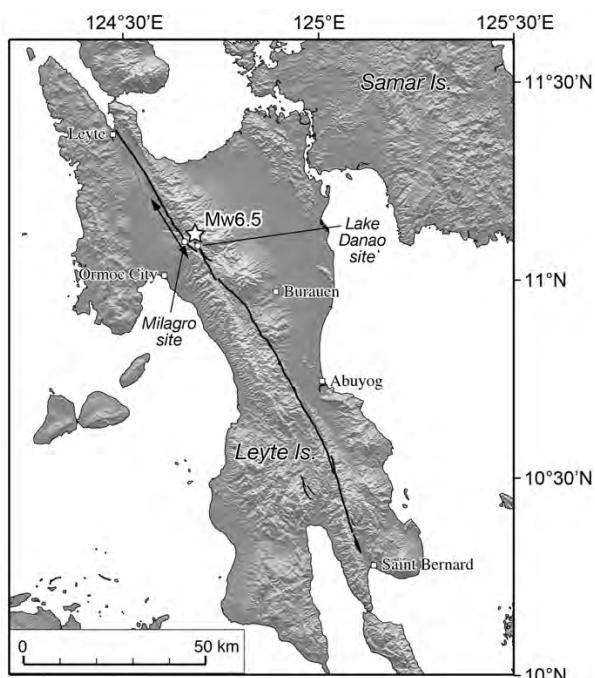


図 1 レイテ島のフィリピン断層のトレースと主な調査地点の位置。両矢印で示される区間で地震断層が出現した。



図 2 既存の逆向き低断層崖 (hill-side ridge) の基部に出現した地震断層

インドネシア共和国アチェ州 Weh Island におけるスマトラ断層の調査

○副田宜男（西日本技術開発）・堤 浩之（同志社大学）・

Nazli Ismail（シアクラ大学）

Tectonic landform of the northernmost Sumatran fault in Weh Island, Aceh Province, Indonesia

Yoshio SOEDA (West Japan Engineering Consultants, Inc.), Hiroyuki TSUTSUMI
(Doshisha Univ.) and Nazli ISMAIL (Syiah Kuala Univ.)

スマトラ断層 (Sumatran fault) は、スンダ海溝に沿うインド・オーストラリアプレートの斜め沈み込みによって形成された島弧中央横ずれ断層で、延長距離約 1,900 km, 右横ずれの変位速度が 20 mm/yr に達する活断層である (Yeats et al., 1997 ; Sieh and Natawidaja, 2000 など)。スマトラ断層に沿っては地震活動も活発で、過去約 100 年間にマグニチュード 6.5 以上の大地震が 20 個以上発生している (Natawidaja and Triyoso, 2007)。しかし、スマトラ断層北部の Aceh セグメントと Seulimeum セグメントにおいては大地震が発生しておらず、地震の空白域とされている (Hurukawa et al., 2014)。

発表者らはこれまでに、ALOS PRISM データ（空間分解能 2.5 m）のペア画像を用いた実体視による地形判読、地表踏査及びトレンチ掘削調査により、スマトラ断層北部の活断層のマッピングや古地震調査を進めてきた（副田ほか, 2013 ; Tabei et. al., 2015 ; 堤ほか, 2015, 図 1）。これらの調査により、スマトラ断層北部においては、Aceh セグメントより Seulimeum セグメントの方が第四紀後期の活動度が高く、Seulimeum セグメントが本地域の歪みの解消を主に担っている可能性が高いことがわかつてきた。2017 年 9 月には、Seulimeum セグメントの北西端部に位置する Weh Island を対象に、活断層の特徴をより詳細に把握すること目的とした調査を行った。Weh Island においては、スマトラ断層の一部とされる活断層が Sieh and Natawidaja (2000) により示されているが、活断層の詳細な位置や特徴は不明である。本発表では、断層変位地形や露頭の観察に基づき、Weh Island におけるスマトラ断層の特徴について報告する。

Weh Island は、スマトラ島の北西約 17 km 沖合にある北西-南東方向に約 20 km、北東-南西方向に約 12 km の長さを持つ島である。最高点は島の南西部に位置する標高 716 m の Jaboi 山である。本島の地表地質の大部分は第四紀の安山岩質の火山岩からなる (Bennett, et al., 1981)。島の北東部には標高約 130 m 以下に平坦な地形が発達し (図 2B 地点 01)，現地調査の結果、隆起サンゴ礁段丘群であることが確認された。

調査ではまず、ALOS PRISM のペア画像を縮尺およそ 4 万分の 1 および 2 万分の 1 で出力し、立体視地形判読により活断層図を作成した。それをもとに、断層トレースに沿って地表踏査を行った。調査の結果、先行研究と同様に、島の東部に Seulimeum セグメントの延長部と考えられる北西-南東方向に延びる活断層を認定した。この断層トレースは長さ約 9 km で、島の北西端の Sabang から一般走向 N35° W で南東にのび、Aneuk Laot 湖の南東方の直線状谷を経て Balohan の低地の北東縁に至る (図 2B)。Sabang の西方では、円錐形の丘陵が走向 N40° W の直線的な崖により低地と接しており、この崖の基部に活断層を認定した (図 2B 地点 02)。Sabang の南東方に発達する隆起サンゴ礁段丘群は、走向 N35° W の直線的な南西向きの急崖により Aneuk Laot 湖の低地と境され、この崖の基部に活断層が推定される (図 2B 地点 03)。サンゴ礁段丘の離水年代は明らかではないが、面の開析度などの地形的特徴から、第四紀後期に離水した可能性が高いと考えられる。Aneuk Laot 湖の南東方では、主断層トレースと認定した直線状谷の他に、それ

に並走する複数のリニアメントや直線状谷が認められる（図2B 地点 04）。また、直線状谷の谷底には小規模な線状凹地が発達する。これらのことから、この付近では並走する複数の断層が分布すると判断される。

Balohan の低地付近では、北西-南東方向に延びる丘陵と Balohan の低地の地形境界に断層トレースが認定される。ここでは、小規模な河谷の右屈曲、鞍部列、シャッターリッジが認められる。また、地形学的に認定できる断層トレースに沿って、複数の地点で断層や破碎帶の露頭が確認された。断層鞍部にある幅約 30 m の大露頭では、安山岩中に発達する複数の断層面や断層破碎帶が認められた（図2B 地点 05）。観察される断層面は、地形学的に認定される断層トレースの走向にほぼ平行な北北西～北西走向で高角度西傾斜のものが卓越する。もっとも破碎の進んだ部分では、幅 30～40 cm の軟質な断層ガウジが認められる。ガウジ中に認められる主剪断面の走向・傾斜は N27° W・80° SW である。

Weh Island におけるスマトラ断層は、変位地形がさほど明瞭とは言えないものの、崖地形、鞍部列、直線状谷が比較的よく連続することや、第四紀後期に離水したと推定されるサンゴ礁段丘の分布を限ること、さらに未固結で軟質な断層ガウジが伴われることから、第四紀後期にも繰り返し活動している可能性が高いと推定される。活動様式については、断層トレースの北東側に広く隆起サンゴ礁段丘が分布すること、また、小規模であるが河谷の右屈曲が認められることから、主として北東側隆起の右横ずれ断層と判断される。しかし変位基準となる地形面の発達に乏しく、変位速度に関するデータを得ることはできなかった。

Weh Island におけるスマトラ断層の活動性のさらなる把握のためには、顕著な断層ガウジが発達する火山岩の噴出年代の把握や離水サンゴ礁段丘群の編年が必要である。また、Krueng Raya から Weh Island に至る海域の調査が、Seulimeum セグメントの連続性や活動度の解明のために必要である。

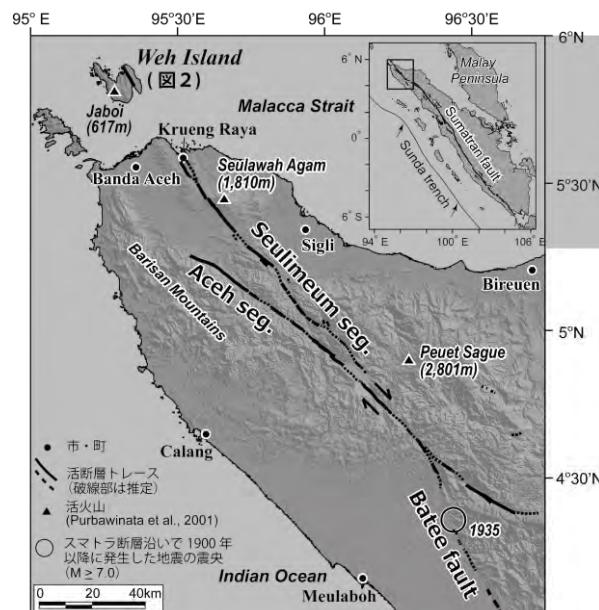


図1 スマトラ断層北部の断層トレースと Weh Island の位置

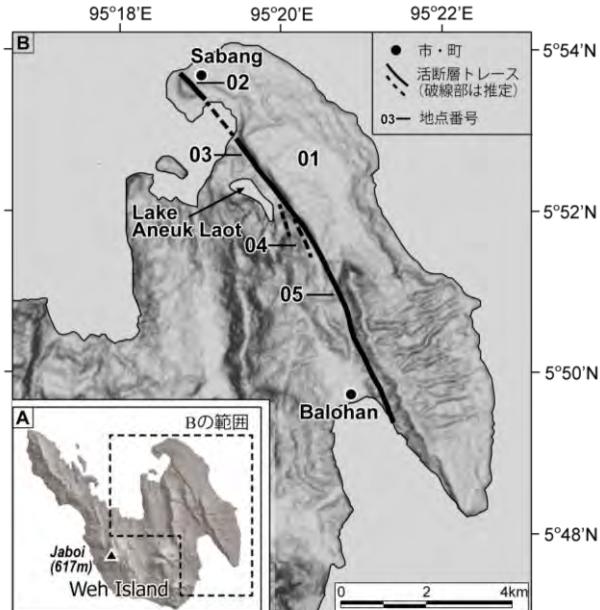


図2 Weh Island におけるスマトラ断層の断層トレース

謝辞：

現地調査では、シアクラ大学の教員や大学院生の協力を得た。調査に要した費用の一部には、科学研究費補助金基盤研究(B)海外学術調査（「プレート沈み込みと内陸長大横ずれ断層の相互作用：巨大地震発生後のスマトラ断層」、研究代表者：田部井隆雄）を使用した。記して謝意を表します。

海成段丘の分布からみたフィリピン群島の地殻変動の特徴

中田 高（広島大・名）*・宮内崇裕（千葉大）・堤 浩之（同志社大）・後藤秀昭（広島大）
フィリピン火山地震研究所地震関連地形マッピングチーム

Distribution of marine terraces and crustal movements in the Philippines

Takashi NAKATA(Hiroshima Univ.), Takahiro MIYAUCHI(Chiba Univ.), Hiroyuki TSUTSUMI(Doshisha Univ.), Hideaki GOTO(Hiroshima Univ.) Earthquake-related landform mapping team, PHIVOLCS

フィリピンでは海成段丘の調査研究は遅れており、マニラ海溝やフィリピン海溝沿いの地殻変動との関連を検討した研究以外は本格的な研究はほとんどなく、また、海成段丘の分布を全国レベルでまとめた研究はない。これまで、ルソン島北西部のボリナオ半島の西海岸(Maemoku and Paladio, 1992; Ramos et al., 2010)やミンダナオ島の東海岸(Ramos et al., 2012)の一部で行われた研究では段丘面の対比に問題があり、旧汀線高度の変化を安易にマニラ海溝やフィリピン海溝や沿いの地震と関連づけるなど、問題が少なくない。発表者らは、 IfSAR（干渉合成開口レーダー）より得られた 5m グリッドの数値地形モデル (DTM: Digital Terrain Model) を使用して作成したアナグラフ画像の判読をもとに、フィリピン全域の海成段丘のマッピングを行い新たな成果を得たので報告する。

海成段丘の分布の特徴

フィリピン群島では、海成段丘の分布状況は日本列島とは大きく異なる。フィリピン海溝やマニラ海溝に面する海岸における海成段丘の発達は極めて限られており、既存研究が行われた地域を含め海岸線 1%にも満たないと概算される。フィリピン海溝に面する海岸線は、海溝からおよそ 100km しか離れていないが、上述のミンダナオ島の東海岸やルソン島の東海岸などで局的に連續性に乏しい 1–2 段の低い段丘面が認められるにすぎず、海溝にもっとも近いサマール島の東海岸には全く海成段丘は発達ていない。一方、マニラ海溝に面する海岸では、上述のルソン半島中部西海岸やルソン島の北西端部およびその北に位置するパブヤン諸島で、例外的に多段化した段丘の発達が認められる。また、海溝が海岸に最も近い（あるいは上陸する）とされるミンドロ島の南部やパナイ島の西部にも多段化した段丘面が発達している。これに対して、ビサヤス諸島の西半部の内海に面するパナイ島南東部、ネグロス島東部、セブ島、ボホール島西部～南部とシキホル島では多段化した段丘が連続的に分布している。このうちミンダナオ海に面する地域は、フィリピンでは異例とも言えるほど海成段丘が発達する地域である。また、ミンダナオ島のダバオの南にあるサマル島には標高 250m 以下に 5 段の隆起サンゴ礁地形を示す段丘が発達している。

旧汀線高度から推定される地殻変動

フィリピンでは、ほとんどの海成段丘は低緯度地域に特有の離水サンゴ礁堆積物からなり、完新世段丘を除き殆どが再結晶した石灰岩からなり、段丘の形成年代を特定することが困難である。このため、段丘面の開析があまり進まない連續性の良い低位の段丘を最終間氷期(5e)に形成されたものと推定して、広域の段丘面対比の基準とした。海溝に面する海岸の 5e の旧汀線高度は、ミンドロ島南部での海拔 50m を除き 30m 以下がほとんどであり、プレート境界の巨大地震との関連性を指摘することは困難である。一方、ビサヤス諸島の西半部のボホール島やその南部やシキホル島では、5e の旧汀線高度変化がから比較的広域の西向きの傾動や断層運動などの地殻変動が推定される。この地域では、2012 年ネグロス地震、2013 年ボホール地震による局地的な海岸隆起が認められ、海成段丘の発達とボホール海の海底断層の活動と関連が強く示唆される。また、ミンダナオ島の中北部とダバオ市周辺の多段化した段丘の旧汀線高度の変化から、南北方向の隆起帯を形成する地殻変動が推定される。

奄美群島喜界島におけるサンゴマイクロアトールの分布と年代からみた地殻上下変動(予察)

宍倉正展^{○1)}・前埜英明²⁾・越後智雄³⁾

1) 産業技術総合研究所, 2) 法政大学, 3) 地域地盤環境研究所

Vertical crustal movement in the Kikai Island, the Amami Islands, deduced from the height distribution and ages of coral microatolls (preliminary report)

Masanobu Shishikura^{○1)}, Hideaki Maemoku²⁾, Tomoo Echigo³⁾

1) Geological Survey of Japan, AIST, 2) Hosei University, 3) Geo-Research Inst.

【はじめに】

奄美群島喜界島は、更新世後期から完新世の海成段丘が発達しており、隆起運動の活発な地域として知られている（太田・大村, 2000 など）。特に完新世海成段丘については4面に区分され、繰り返す地震に伴って生じた間欠的な隆起によってサンゴ礁が離水し、形成されたと考えられてきた（中田ほか, 1978 など）。しかし最近、定常的な隆起と僅かな地震性隆起をきっかけとした侵食作用が段丘形成の主要因であるとのシミュレーション結果も提示されている（Shikakura, 2014）。本地域における測地観測によると、GNSSの観測では年間2mm程度で隆起しているが、水準測量の結果（1997年9月と2014年4月の比較）では年間約1mmで沈降しているという、相反した結果が得られている（伊藤ほか, 2015）。このように喜界島の地殻上下変動様式については様々な見解や観測結果があり、未だに明確な答えが得られていない状況である。そこで我々は、天然の検潮儀であるサンゴマイクロアトールに着目し、その分布と年代から、過去数百年以上にわたる喜界島の地殻上下変動を復元することを試みている。本発表ではこれまでに得られたデータによる予察的な報告を行う。

【調査方法】

長期的な地殻上下変動について知る上で、沿岸の地形や地質などに記録された旧汀線指標を用いることが多いが、特に生物指標は高さと年代の情報を同時に知ることができる上で有効である。その中でハマサンゴの仲間が形成するマイクロアトールは、低潮位を基準に年間1cm程度ずつ成長するため、海面の上下変動を年単位で記録しており、地震時の急激な変動だけでなく、定常時の変動も復元できる非常に優れた旧汀線指標である（Meltzner and Woodroffe, 2015 など）。我々は喜界島においてマイクロアトールが分布していることを確認し、まずその形状を観察した。さらに一部の試料について¹⁴C年代測定を行い、過去数百年程度の地殻上下変動の傾向について復元を試みた。¹⁴C年代の海洋リザーバー効果については、Hirabayashi et al. (2017)が報告した喜界島のデータに基づいて較正を行った。

【調査結果】

・喜界島北端部（小野津地区）：

本地域では、現在も成長中の現成マイクロアトールを 5 個体確認した。いずれの個体もその頂面の形状はほぼ水平で、目立った勾配もない。これらの長径と短径を計測したところ、最も大きいものは長径 160 cm（半径 80 cm）であった。また現成のマイクロアトールの頂面より 20-25 cm 程度高い高度で、ほぼ水平な頂面を持った離水マイクロアトールも発見した。長径は 540 cm（半径 270 cm）あり、中心付近の年代は AD1305-1425 であった。中心から 255 cm にあるマイクロアトール外縁付近の試料は AD1490-1650 の年代を示した。

・喜界島東部（嘉鈍地区）：

東部では現成マイクロアトールを 15 個体確認した。頂面の形状は基本的にはほぼ水平だが、若干の凹凸（数 cm 以内）もあり、外縁部がやや盛り上がっている。最大のものは長径が 310 cm（半径 155 cm）あり、中心に近い部分の試料について年代測定を行ったところ、AD1680-1880 という値が得られた。

・喜界島南端部（上嘉鉄地区）：

本地域では北端部と同様に頂面がほぼ水平な現成マイクロアトールを 2 個体確認した。最大のものは長径が 160 cm（半径 80 cm）であった。

【地殻上下変動】

これまで得られているデータに基づけば、まず現成のマイクロアトールの頂面が水平であることから、最近の地殻上下変動が比較的安定していることがわかる。最大の半径が北端部と南端部で 80 cm、東部で 155 cm であり、成長速度を年間 1 cm と仮定すると、それぞれ少なくとも 80 年間および 155 年間はほぼ同じ海面高度で安定していたと言うことができる。これは東部の個体の中心付近から得られた ¹⁴C 年代とも調和的である。もし GNSS 観測の報告にある年間 2 mm の定常隆起が継続的に生じていたとすれば、中心の高さが 16~31 cm の山型の頂面を持つマイクロアトールになるはずであり、観察事実とは矛盾する。

北端部で発見した離水マイクロアトールは、中心部と外縁部の ¹⁴C 年代からみて、AD1305 から AD1650 の間に成長したことを示す。これは半径が 270 cm あること（おおよそ 270 年間成長したこと）と矛盾せず、その形状からこの期間は海面が安定していたことを意味する。また頂面が現成マイクロアトールより 20~25 cm 高く、その分だけ相対的に海面が低下したことになる。仮に地震性の隆起が生じていたとすれば、ネットで 20~25 cm しか隆起していないため、段丘を形成するような隆起とは異なる別のタイプの地震を想定する必要があるだろう。またその時期は 16 世紀から 17 世紀前半と推定される。今後はサンゴの年縞の解析やウラン系列年代を用いてより詳細な地殻上下変動の復元を行い、歴史地震との対比や地殻上下変動パターンの解明を目指す予定である。

本研究は南海トラフ広域地震防災研究プロジェクトの一環として行われている。

海陸を統合した地形データを用いた変動地形学的研究 —石垣島の海成段丘の傾動と海底地形—

後藤秀昭(広島大学)

Deformation of Marine Terraces and Seafloor Geomorphology in and around Ishigaki Island Based on Analysis of Digital Elevation Model

Hideaki Goto (Hiroshima Univ.)

1. はじめに 2007 年の地理空間情報活用推進基本法の施行以降、数値化された地形データの整備と利用が急速に進んだ。これらを使った実体視可能なステレオ画像により、空中写真による地形判読では認識が困難であった変動地形が抽出されるようになった（後藤・杉戸, 2012 ; Lin et al., 2013）。変動地形を把握する資料は、空中写真から数値地形データの併用や重点の転換が起こりつつあり、重要な手法的新展開となっている。

海底の地形についても、高解像度な地形データの収集とステレオ画像の作成により、地質構造を手がかりにしながら、海底地形を変動地形学的に解釈し、これまでとは全く異なる断層分布やプレート境界像が描かれるようになった (Nakata et al., 2012 など)。

このような状況であるが、沿岸域の変動地形については、陸上地形と海底地形がそれぞれ別の分野で研究されており、統合的に検討した研究は少ない。分野の違いだけでなく、海陸を統合して俯瞰する詳細な地形資料に乏しいことによると考えられる。そこで、後藤 (2014) は沿岸海底の地形データについて可能な限り収集して、数値標高モデル (DEM) を生成し、刊行済の陸上の DEM とあわせて、陸海を統合した DEM に基づく地形ステレオ画像を作成した。これにより陸上活断層の海底延長 (後藤, 2014) や海成段丘の分布を合理的に説明できる海底の活構造の認定 (Goto, 2016) のほか、海面下の沈水段丘面の地形発達など、重要な新知見がもたらされる可能性があり、多様な地域や地形環境での研究の蓄積が必要と考える。

地形ステレオ画像は広域的に地形を俯瞰しながら、垂直倍率を大きくして微小な地形の変化を捉えられる特徴を有しており、沖積面の長波長の変形のほか、海成段丘の連続やわずかな傾動も容易に捉えることができる。南西諸島中部では、低解像度の地形データを用いた地形ステレオ画像でも、島棚上にある島々の海成段丘が傾動していることが明らかにされた (後藤, 2015)。これらの傾動は空中写真では判読が困難なほど長波長な変形である。

本研究では、南西諸島南部の石垣島とその周辺を対象に、海底地形の情報を収集し、数値標高モデルを生成して、1 枚の画像で海陸を判読できる統合した地形アナグラフを作成した。これを変動地形学的な手法で判読を行い、陸上の段丘面の分布と海底の急崖や平坦面の分布を明らかにした。これらの標高分布に基づくと、石垣島南部では南東部で高く、西に向かつて低下する局地的な傾動があることが解った。石垣島南東沖には北東—南西方向の活断層が延びているとされており、その活動によって変形した可能性がある。

2. 研究の方法 海底地形の情報は、(財) 日本水路協会発行の M7021 の等深線データと、JAMSTEC の航海・潜航データ・サンプル探索システム「Darwin」のデータベースから収集したマルチビーム測深データを用いた。等深線データは海上保安庁発行の海底地形図がもとになっており、最も細かいところで 1m 間隔の等深線が描かれている。これを後藤 (2015)

と同様の方法で処理し、約 64m 間隔の DEM とした。また、マルチビーム測深データは約 89 m 間隔の DEM とした。陸上地形については、国土地理院の写真測量に基づく 5m メッシュの DEM を用いた。これらを Simple DEM viewer に読み込み、後藤（2015）の方法に従って浅海底の細かな地形が観察できるように調整した傾斜角による地形アナグリフとした。

地形アナグリフを用いて地形判読を行い、陸上では海成段丘面を区分した。また、海底地形については、連続的に地形面区分を行うことができないことから、相対的に認識が容易な急崖の基部を図化した。これらを GIS ソフトで重ね、標高値を読みとった。

3. 石垣島の海成段丘と石垣島南部の海成段丘の傾動 石垣島ではこれまで 2 段の海成段丘が認められており（木庭、1980），町田（2001）は島を取り巻くように分布する段丘面は MIS5e に形成され、その旧汀線高度は南部を除き、50～60m とした。また、南西部のバンナ岳付近の旧汀線高度は 84m であり、この付近に隆起の中心があり、そこから周辺に低下するとした。一方、本研究の地形アナグリフの判読では、町田（2001）により南部にのみ発達するとされた下位の段丘面を 2 段に細分することができ、南部では 3 段の海成段丘面が発達することが解った。それぞれ、M1 面、M2 面、M3 面とする。町田（2001）は下位の段丘面を MIS5c の段丘面に対比しており、M3 面は MIS5a に形成された可能性がある。

M2 面、M3 面の分布高度は、それぞれ南東端付近で 30m、15m、その 7km 西の市街地付近で 20m、10m と明瞭な西への傾動が認められる。南東部の M1 面は標高 80m の丘頂部にまで及んでおり、旧汀線高度が解らないことから、町田ほか（2001）が隆起の中心とした南西部のバンナ岳よりも旧汀線は高い可能性があり、M2 面、M3 面の西への傾動と矛盾しない。

4. 石垣島周辺の海底地形 海底 130m 以浅に分布する急崖は、石西礁湖の広がる西部を除いて、島を取り囲むように 2 段認められる。北東の半島部では、水深 50m 程度と 80m 程度である（堀・茅根、2000）。水深 50m 付近の急崖基部を堀・茅根（2000）は内側傾斜変換点（IB）と呼び、約 10～11ka の海面上昇が弱まった時期に形成されたとし、水深 50～70m の平坦面もこの時期に形成されたとしている。一方、島の南東岸には、水深 30～50m 付近に、不規則な凹凸のある面が認められ、他の地域に比べて特異な様相を呈する。

海上保安庁の海底地質構造図「石垣南部」（1991）には石垣島南東沖には更新統の琉球層群を切断する北東一南西走向の断層が記載されている。南東部で認められた海成段丘の西への傾動は、短い波長の変形であり、沿岸に分布するこれらの断層に関連した変形の可能性がある。この断層は陸地から離れるように延び、構造図では図郭外となり、北東や東への連続は不明であるが、延長上には線状構造が認められること、その北西側の水深 50～70m の平坦面が陸側に傾いていることから、さらに北東に延びる可能性がある。また、石垣島南東の約 10km 沖にある水深 80m に頂部を持つ直径約 5km の平坦面は北西に傾動しており、この東にも活断層が分布している可能性が示唆される。1771 年の明和津波などによって運搬されたとする異地性の巨礫である“津波石”は、石垣島南岸～東海岸に偏在しており（河名・中田、1994），これらの海底活断層との関連について検討が必要と考える。

文献：後藤秀昭・杉戸信彦（2012）E-journal GEO；Lin et al. (2013) Geomorphology；Nakata et al. (2012) Proceedings of the International Symposium on Engineering Lessons Learned from the 2011 Great East Japan Earthquake；後藤秀昭（2014;2015）広島大学大学院文学研究科論集特輯号；Goto, H. (2016) Earthquakes, Tsunamis and Nuclear Risks, 65-74；木庭元晴（1980）第四紀研究；町田洋（2001）日本の海成段丘アトラス；河名俊男・中田高（1994）地学雑誌；**謝辞：**科学研究費補助金（課題番号：16K01221）を使用した。

海陸を統合した地形データからみた種子島南西部とその周辺の変動地形

○林 貢平 ((株)地域開発コンサルタンツ)・後藤秀昭 (広島大学)・隈元 崇 (岡山大学)

Tectonic geomorphology of marine terraces and submarine topography
in the southwestern part of Tanegashima island and its vicinity

Kohei Hayashi (Regional Planning Consultation Co.,Ltd.), Hideaki Goto (Hiroshima Univ.),

Takashi Kumamoto (Okayama Univ.)

1. はじめに 南西諸島の最北部に位置する種子島には複数段の海成段丘が発達する。これらの段丘面のうち、MIS 7 以降のものについては、南九州起源の広域指標テフラを用いて形成時期が明らかにされてきた (町田, 2001 など)。最も広く分布する MIS 5e に形成された段丘面の旧汀線高度は、南西部の崎原～島間で最も高く、130～80m に達し、島間以北では北上に向かって緩やかに低下し、北西部の西之表～国上付近では 60～30m となる (図 1)。このような地殻変動について、町田 (2001) は北へ傾動しながらほぼ等速的に進行してきたとし、中田 (1980) は種子島と屋久島をあわせて海溝軸に平行する海底活断層の運動が直接反映される外弧リッジにみられる変動に近いものとしている。

近年、数値標高モデルの利用が可能となり、変動地形学の分野でも多様な利用が報告されている (後藤・杉戸, 2012 など)。本研究では種子島とその周辺を対象に海陸を統合した数値地形データを用い、実体視可能な画像に加工して地形判読を行った。種子島南西部で新たに認められた海成段丘の変動地形について報告するとともに、種子島南西沖に東傾斜の海底活断層が分布し、それによって種子島南西部の変形が生じているとする仮説を提示したい。種子島南西沖には、沈水した段丘状の地形が広がり、それらが変位を受けている可能性がある。

2. 種子島南西部の海成段丘と変動地形 空中写真および国土地理院の 5m メッシュの数値標高モデル (DEM) から作成した地形アナグリフを用いて地形判読を行い、種子島南西部では H 面、M1 面、M2 面、M3 面の 4 段の海成段丘面に区分された (図 2)。現地での堆積物の観察では、H 面礫層の上位に Ata-Th および Ata、M1 面および M2 面では K-Tz が確認された (林, 2014)。これらに基づくと H 面、M1 面、M2 面、M3 面はそれぞれ MIS 7、5e、5c、5a に対比できる。

種子島の南端付近では、M1 面と M2 面の間にも段丘面が認められ、町田 (2001) はこれを MIS 5e の末期に形成されたとしたが、分布は局地的で他の地域では認められない。この付近の M1 面の地形面は、段丘崖末端近くで南西に大きく傾いており、撓曲状の変形と見なせる。これらから、一連であった M1 面が活断層によって切断され、その上盤にあたる M1 面が撓曲変形を受けたと考えると合理的な地形発達となる。段丘堆積物を覆う広域火山灰の分布は、一連の地形面であることを支持する。一方、この東に分布する H 面は東に傾動しており、M1 面の傾斜方向とは逆向きを示す。したがって、H 面と M1 面の間の段丘崖付近に軸を持つ背斜状の変形が推定される。

3. 海底の地形面と変動地形 海陸を統合した DEM から作成した地形アナグリフを用いて海底地形を変動地形学的に判読した。海底地形は 1m 間隔の等深線が描かれている (財) 日本水路協会の M7008 を用いて約 64m メッシュの DEM とした。判読の結果、種子島南西沖では、相対的に

平坦な海底地形が二段認められた。水深 10~20m 程度と水深 30m 程度のものである。これらの地形面は現在の海岸線に平行するように分布し、面の平面形態はM面群と類似し、いずれの面の傾斜角も陸上の海成段丘面と同等である。これらを仮に、沈水した海成段丘面とし、陸域で求めた平均隆起速度から外挿して計算すると、MIS 3 の高海水準期に形成されたことになる。

海底地形アナグリフの判読の結果、陸上の海成段丘を変位させる活断層の北延長および南東延長には明瞭な急崖が認められる（図2）。特に、北延長では海底の平坦面が上下に変位したように見え、その上下変位量は約 5m であり、M1 面の変位量（約 12m）より小さい。一方、この約 4km 西では海底の平坦面の分布が断たれ、直線状の急崖が連続する（図2）。産業技術総合研究所の「海域地質構造データベース」にある音波探査記録では、急崖に沿って地質構造に変形が認められる（図2）。陸上の海成段丘を切断する活断層とは別に、種子島南西部を隆起させる海底活断層が分布している可能性がある。M1 面の旧汀線高度の分布は種子島南部では背斜状とも見ることができ（図1）、これらの活断層による変形の可能性がある。

文献：後藤秀昭・杉戸信彦, 2012, E-journal GEO ; 中田 高, 1980, 西村嘉助先生退官記念地理学論文集；林 貢平, 2014, 広島大学大学院文学研究科修士論文；町田 洋, 2001, 日本の海成段丘アトラス

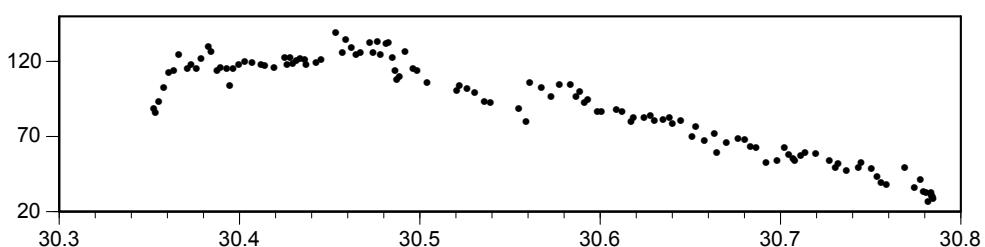


図1 種子島西岸の M1 面 (MIS5e) の
旧汀線高度の分布

（国土地理院 5mDEMに基づく標高値。横軸は
緯度、縦軸は標高 : m）

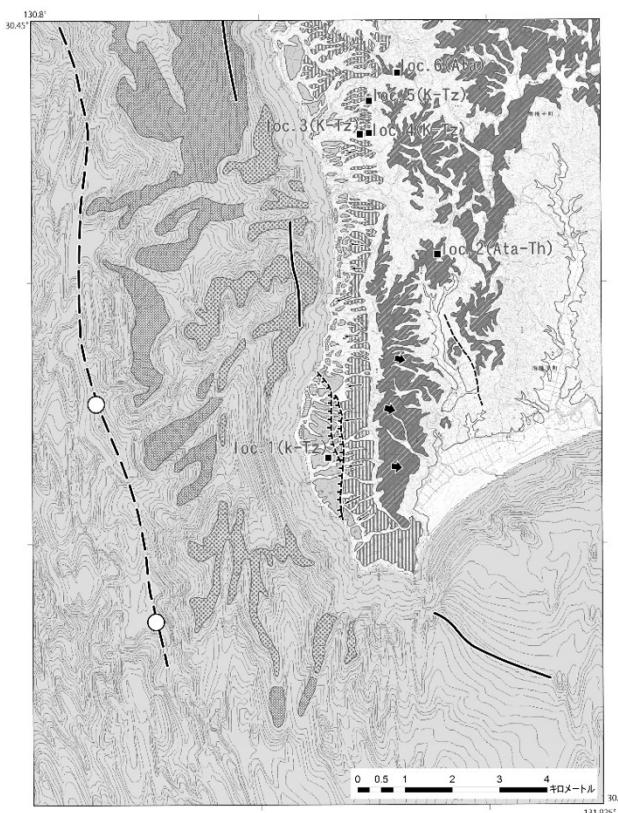
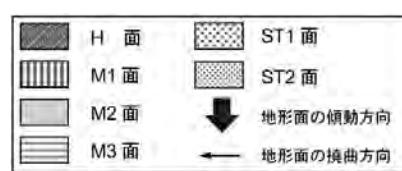


図2 種子島南西部周辺の変動地形学図
(白丸は音波探査記録で断層が確認できる地点、線は活
断層で破線は位置不明瞭を示す。陸上地形は 1:25,000 地
形図、海底の等深線は (財) 日本水路協会発行 M7008)



2014 年長野県神城断層地震後の地形と植生の変化

井口豊(生物科学研究所)

Topographical and vegetational changes after the 2014 Kamishiro fault earthquake in Nagano Prefecture
Yutaka Iguchi (Laboratory of Biology)

はじめに

2014 年の神城断層地震から 3 年経過した今年 10 月 11 日に、白馬村の 4 地点（図 1）における地形と植生の変化を観察した。

地点 1

大出、北野社の西南西 150 m のスギ林。地震後、岡山大学がトレーンチ調査を行い、活断層を確認した場所である。ここに約 80 cm 西側低下の断層崖が残っていた（図 2）。さらに、N40° W 方向に 50 m 以上に渡って、傾いたり倒れたりした木が認められた（図 3）。活断層の延長方向を示しているものと考えられ、傾いている方向は、いずれも西側だった。また、断層崖の低下側には、根元から約 80 cm の高さに屈曲部位が見られる木が少なくとも 3 本確認された（図 4）。いずれの屈曲も、傾いた木と同じ方向だが、上部は直立しており、今回の地震とは無関係と思われる。しかしながら、これらの木は断層崖に沿うように分布しており、今回の地震以前にも、活断層沿い地域で、木の生育に影響を与える地盤変化があったのかもしれない。



図 1: 調査地点、
基図は国土地理院
の電子国土 Web を
使用。



図 2: 地点 1. 白馬村大出、
北野社の西南西 150 m. 約
80 cm 西側低下の断層崖.



図 3: 地点 1 の傾いた
木の列。N40° W 方向
に連なる。



図 4: 地
点 1, 根
元からの
高さ約
80 cm
に屈曲が
ある木.

地点 2a

城山の東側の水田であり、下田ほか（2016）が撓曲の地点 6 として紹介した場所である。稲刈り後だが、地震により撓曲した水田で、水はけが極端に悪くなっているのが認められた（図 5）。この水田の横のあぜ道では、撓曲した部分が粘土状に固まっており（図 6），水

はけの悪さが水田の外側にも及んでいることを示唆している。



図 5: 城山の東側の水田。稲刈り後だが、左の水田と比べて、地震により撓曲した右側の水田の水はけが極端に悪い。



図 6: 図 5 の水田の東側のあぜ道。写真中央部を左右に撓曲が横切り、道が粘土状に固まっている。

地点 2b

城山の西側、共和工業（株）の敷地内の撓曲は、下田ほか（2016）が撓曲の地点 1 として紹介したもので、2015 年 3 月 5 日に、白馬村の天然記念物「神城断層」（白馬村、2017）として指定され、保存されている（図 7）。

地点 3

飯田地区、JR 大糸線神城駅の北東約 600m、姫川右岸の水田であり、地震後、東北大大学がトレレンチ調査を行い、活断層を確認した場所である（遠田ほか、2016）。地震後 3 年経ても、稲刈り後の水田には、左横ズレを伴う撓曲構造が明瞭に残っていた（図 8）。この水田は、前述の城山東側の水田と異なり、水はけが良いようだが、両地点の土壤や地盤で何が違うのか、まだ不明である。



図 7: 白馬村指定の天然記念物「神城断層」。



図 8: 飯田、神城駅の北東約 600m、姫川右岸、稲刈り後の水田。左横ズレを伴う撓曲構造が明瞭に残っている。

引用文献

白馬村（2017）行政ホームページ「白馬村指定文化財」。

http://www.vill.hakuba.lg.jp/somu/introduction/cultural_assets/specified_cultural_assets.html（2017 年 10 月 23 日確認）。

下田力・大塚勉・佐藤翔・加藤祐輝（2016）長野県白馬村における神城断層の地形を利用した歴史遺構。信州大学環境科学年報 38: 79–88.

遠田晋次ほか（2016）糸魚川-静岡構造線断層帯における重点的な調査観測（追加調査）平成 27 年度成果報告書。

飯山市街地北部の地形環境と長野盆地西縁断層帯

○杉戸信彦(法政大)・石山達也(東大地震研)・廣内大助(信州大)・塩野敏昭(北信ボーリング)
水谷光太郎(信州大)・米原和哉(名古屋大)・鈴木理恵(信州大*)・中村俊幸(信州大*)
丸山陽央(木曾青峰高)・松多信尚(岡山大)

Geomorphic environment of the northern part of central Iiyama City and the western-margin fault zone of the Nagano basin, central Japan

○Sugito, N. (Hosei Univ.), T. Ishiyama (ERI, U. Tokyo), D. Hirouchi (Shinshu Univ.), T. Shiono (Hokushin Boring), K. Mizutani (Shinshu Univ.), K. Yonehara (Nagoya Univ.), R. Suzuki (Shinshu Univ.*), T. Nakamura (Shinshu Univ.*), H. Maruyama (Kiso-seiho H.S.), and N. Matsuta (Okayama Univ.)

1) はじめに

1847年善光寺地震は、長野盆地西縁断層帯の最新活動にあたるM7.4の大地震であり、史料に基づくと、飯山市街地付近（図1）は地震に伴って約1.5~3m隆起したらしい（例えば、栗田ほか, 1987; 杉戸, 2014）。

杉戸ほか (2013b) は、地形調査と群列ボーリング調査の結果、および柳沢ほか (2001) の年代データ等に基づいて、善光寺地震の際にはトレースAとB3が活動し、それ以前には市街地南部に千曲川の沖積作用が及んでいた可能性を指摘した（約500~1000 yrBPの年代が報告されている）。遺跡分布図（飯山市, 2015）を見てもこの付近には遺跡指定地は認められない。一方で、市街地北部には北町遺跡が知られており（飯山市, 2015）、ここでは弥生時代中期以降の遺物・遺構が確認されている（例えば、大平編, 2013）。

以上のことから、飯山市街地は形成時期を異なる複数の地形面で構成されている可能性が高い。この点とその要因を検証すべく、トレースB2を対象としたトレンチ掘削調査を、飯山市立第二中学校跡地において実施した。

2) 結果と考察

調査は、第二中学校の校舎が解体された後、長野県飯山高校のグラウンドとして整備される前の2016年8月に実施された。トレンチは、長さ約24m・幅約6m・深さ約2.5mであり、第二中学校の校舎があった場所を避けて掘削されている。壁面のはりあわせ写真を図2に示す。

100番台の地層は、盛土等人工的な影響を受けた地層である。200番台の地層は灰色や明褐色などを示す主に砂層や泥層であり、下位の地層を侵食しながら堆積した千曲川による堆積物と考えられる。203層からは 370 ± 30 yrBPの放射性炭素年代が得られた (Beta-456237)。

301~307層は、主に明褐色を示す砂層と主に

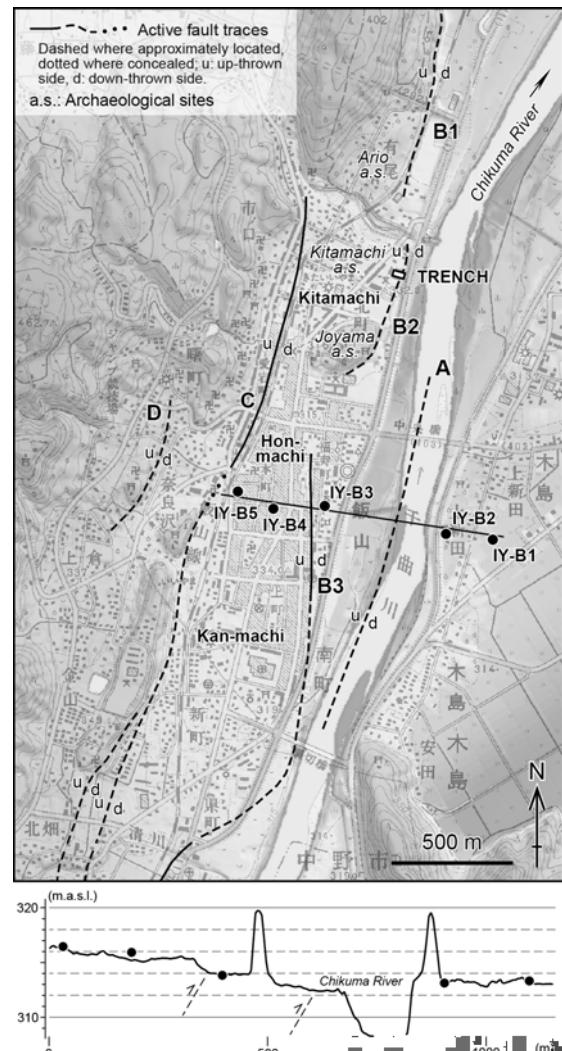


図1 飯山市街地付近の活断層・地形断面・主な遺跡。背景図は国土地理院発行 1:25,000 地形図「飯山」「往郷」。基盤地図情報数値標高モデル 5 m メッシュを用いた段彩図を重ね合わせた。活断層分布は杉戸 (2014) を一部改変。遺跡の位置は遺跡分布図（飯山市, 2015）に基づく。ボーリングコア IY-01~05 (計 118 m 長) は 2012 年に「ひづみ集中帶重点」で取得（杉戸ほか, 2013a, b）。地形断面は基盤地図情報数値標高モデル 5 m メッシュによる。

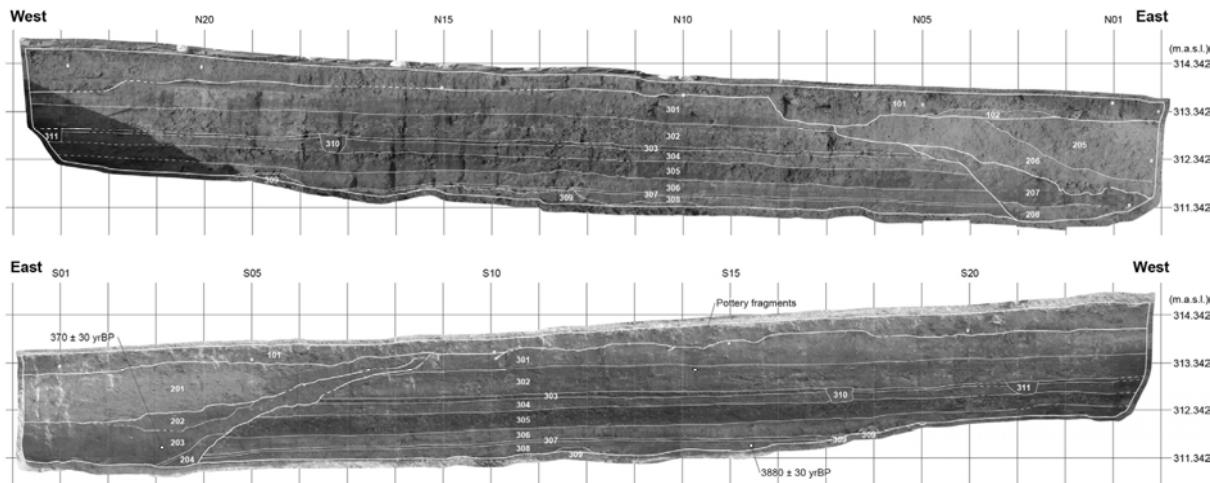


図2 トレンチ壁面のはりあわせ写真。上が北側壁面、下が南側壁面。

暗灰色を示す泥～砂層によって構成され、水平方向の連続性が良好であること、また各層で粒度が揃っていることから、千曲川の後背湿地で堆積した地層と判断される。ゆるやかな東傾斜を有しており、堆積後、東への撓曲変位を受けた可能性が考えられる。S14～15付近の302層上部からは土器片31点が出土した。土器片はいずれも円磨されておらず、また折り重なって出土したことから、現地性の遺物と判断される。飯山市教育委員会によると、(1)土器片は高杯1個体(直径23.6cm)を構成する(残存率約70%)、(2)型式からみて箱清水式土器(長野県編、1982)と判断され、時代は弥生時代後期中葉である。

308層は暗褐色の極細砂～細砂層であり、比較的細粒の部分と粗粒の部分が認められる。一部に砂礫層を挟む。3880±30 yrBPの放射性炭素年代が得られている(Beta-456238)。309層は明褐色の砂礫層である。クラストサポートであり、マトリックスは細～粗砂、また含まれる礫は細～中礫サイズの亜円礫である。礫種は、安山岩、砂岩、頁岩、チャート、流紋岩、凝灰岩、珪質頁岩など多様であり、千曲川起源と判断される。安山岩は、黒色および褐色を呈する普通輝石紫蘇輝石安山岩(屋敷層起源)、ガラス質で緻密な無斑晶質黒色安山岩、および径1mm以下の白色長石を多く含む角閃石安山岩の3種類が認められる。これら308・309層は、千曲川の本流が比較的近くを流れていた時代に堆積したと考えられる。

310・311層はいずれも、上部が褐色や明褐色を示す淘汰の良い細砂層、下部が青灰色を示す極細砂層であり、303・304層を削り込んで掘られた人工的な溝を埋積する洪水堆積物である。

以上のことから、調査地点付近は、弥生時代後期頃まで千曲川の後背湿地であり、その後トレー

スB2の活動によって離水し、さらに千曲川の侵食・堆積作用を受けたのち、善光寺地震に伴ってトレスB2が再び動いて隆起した可能性が考えられる。北町遺跡のデータも含めて考えると、市街地北部は弥生時代中期～後期頃の少し後に離水したことになるだろう。一方で、市街地南部は前述のようにその後も千曲川の沖積作用を受けていたようである。その要因として、地表変位が出現したトレスが地震ごとに異なっていた可能性が考えられる。今後さらに検討を行う必要がある。

●謝辞

トレンチ掘削調査の実施にあたっては、長野県飯山高校、飯山市中学校給食センター(当時)、飯山市教育委員会、長野県教育委員会、および飯山市飯山北町区長(当時)にお世話になった。掘削および埋め戻しは株式会社木建設に実施いただいた。深く感謝申し上げる。なお、本研究には2015～2017年度科学研究費補助金若手研究

(B)課題番号15K16285「弥生時代以降・都市圏直下の大地震と地形環境変化に関する変動地形学的研究」(研究代表者:杉戸信彦)を使用した。発表者所属の*印は2016年8月当時の所属であることを示す。

●文献

粟田ほか, 1987, 歴史地震; 飯山市, 2015,『遺跡分布図』(HP, 2017年10月2日閲覧); 長野県編, 1982,『長野県史考古資料編全1巻(2)主要遺跡(北・東信)』; 大平編, 2013,『北町遺跡III』; 杉戸ほか, 2013a, 日本地震学会; 杉戸ほか, 2013b, 日本活断層学会; 杉戸, 2014, 人間環境論集(法政大学人間環境学会); 柳沢ほか, 2001,『飯山地域の地質』。

近畿地方北西部、福知山盆地周辺の活断層

°田力正好(地震予知振興会)・中田 高(広島大学名誉教授)・堤 浩之(京都大学)・
後藤秀昭(広島大学)・吾妻 崇(産総研)・松田時彦(地震予知振興会)

Active faults around the Fukuchiyama Basin,
Northwestern Kinki district, Japan

Masayoshi TAJIKARA (ADEP), Takashi NAKATA (Hiroshima Univ.),
Hiroyuki TSUTSUMI (Kyoto Univ.), Hideaki GOTO (Hiroshima Univ.),
Takashi AZUMA (AIST), Tokihiko MATSUDA (ADEP)

福知山盆地は近畿地方北西部、丹波高地の西部に位置する、南北 5km、東西 20km 程度の東西に細長い盆地である。丹波高地は標高 900m 程度以下の中～低山性の山地であり、地質は主として丹波帶(中～古生代の付加体)からなる。丹波高地を含む近畿地方北西部は東方に隣接する近畿三角地帯とは対照的に活断層の分布は希薄であるが、三峠断層、殿田断層、埴生断層、上林川断層、養父断層などの活断層の存在が知られている(図 1; 活断層研究会編, 1991; 岡田・東郷編, 2000; 中田・今泉編, 2002)。筆者らは、1970 年代に国土地理院が撮影した縮尺 1/1 万のカラー写真を用いて中国地方から近畿地方全域の写真判読作業を進めている(田力ほか, 2015, 2016 など)が、その結果、福知山盆地周辺の三峠断層と養父断層との間の地域に新たな活断層の分布を確認したので、それらの活断層の詳細な位置形状と断層変位地形について報告する。

三峠断層は福知山盆地の東方の丹波高地内に分布する長さ約 26km、西北西－東南東走向の左横ずれ活断層で(植村, 1989)、平均変位速度は 0.3–0.4mm/yr と求められている(植村, 2001)。養父断層は福知山盆地の西方に分布する、長さ約 19km、西北西－東南東走向の活断層である。養父断層は活断層研究会編(1991)および岡田・東郷編(2000)では確実度 II、中田・今泉編(2002)では推定活断層として図示されている。変位の向きは主として左横ずれであり、平均変位速度は求められていないが、断層変位地形の特徴から B 級の活動度が推定されている(活断層研究会編, 1991)。

福知山盆地東部、福知山市川北～觀音寺付近において、西北西－東南東走向で長さ約 8 km の活断層が新たにマッピングされた(図 1, 川北断層と新称)。川北断層は由良川沿いの低地をまたいで分布し、断層を横切る多くの河谷が左屈曲することから、左横ずれ断層と推定される。北部の川北付近では、断層活動によって尾根が截断されて生じたと考えられる分離丘状の小丘も認められる。ただし、河谷の屈曲が不明瞭なものが多いため、確実な活断層とは言い切れず、推定活断層と判断した。

福知山盆地西方から南部にかけての福知山市夜久野町額田付近～大門～正明寺～荒木～塩津峠付近においては、北西－南東走向、長さ約 3–8 km 程度の短い活断層群が新たにマッピングされた(図 1, 全体を正明寺断層と新称)。これら断層群は、川北断層と同様に断層を横切る多くの河谷が左屈曲することから、左横ずれ断層と認定される。ただし、屈曲する河谷は多いものの、その多くが不明瞭であるため、これらの断層群のほとんどが推定活断層である。正明寺断層で最も西方に位置する額田付近では、河谷の屈曲が明瞭で、かつ断層を横切るほとんどの河谷が左屈曲を示すことから、確実な活断層と認定した。

正明寺断層の西方の夜久野町日置～千原付近においては、北西－南東走向で長さ約 5 km の活断層が新たにマッピングされた(図 1, 千原断層と新称)。千原断層も上記 2 断層と同様に、河谷の左屈曲を

根拠として認定された推定活断層である。

三峠断層の南方の福知山市三和町下川合～京丹波町猪鼻～三ノ宮付近において、三峠断層とほぼ平行に分布する西北西一東南東走向、長さ約 13 km の活断層が新たに認定された(図 1, 猪鼻断層と新称)。この断層も他の断層と同様、河谷の左屈曲から認定された推定活断層である。

以上のことから、三峠断層と養父断層の間の地域に、数 km の間隔をもって、長さ 3–8 km 程度の活断層群が断続的に雁行して分布することが明らかとなった。三峠断層西端と養父断層東端は約 26 km 離れており、両者はこれまで別々の断層とされていたが、今回新たに福知山盆地周辺に活断層が認定されたことにより、断続的ではあるものの、三峠断層と養父断層が連続する可能性が示された。活断層研究会編(1991)は、養父断層について「さらに東方は同じ走向の三峠断層系に雁行状につづくのではないかと思われる」と指摘しているが、今回の判読により、その見方の正当性が裏付けられたと考えられる。三峠断層と養父断層が一連の断層帯をなすとすると、長さ約 84 km に達する長大な活断層帯となる。ただし、三峠断層の平均変位速度(0.3–0.4 mm/yr)とその他の活断層の断層変位地形の特徴から推定される活動度からみて、このような長大な活断層帯の全てが同時に活動する可能性は低いと思われる。したがって、これらの断層はいくつかのセグメントに分かれて活動すると予想されるが、そのセグメント境界を認定するためには、さらに詳細な位置形状の検討、平均変位速度・活動時期とその分布等を今後明らかにする必要があると考えられる。

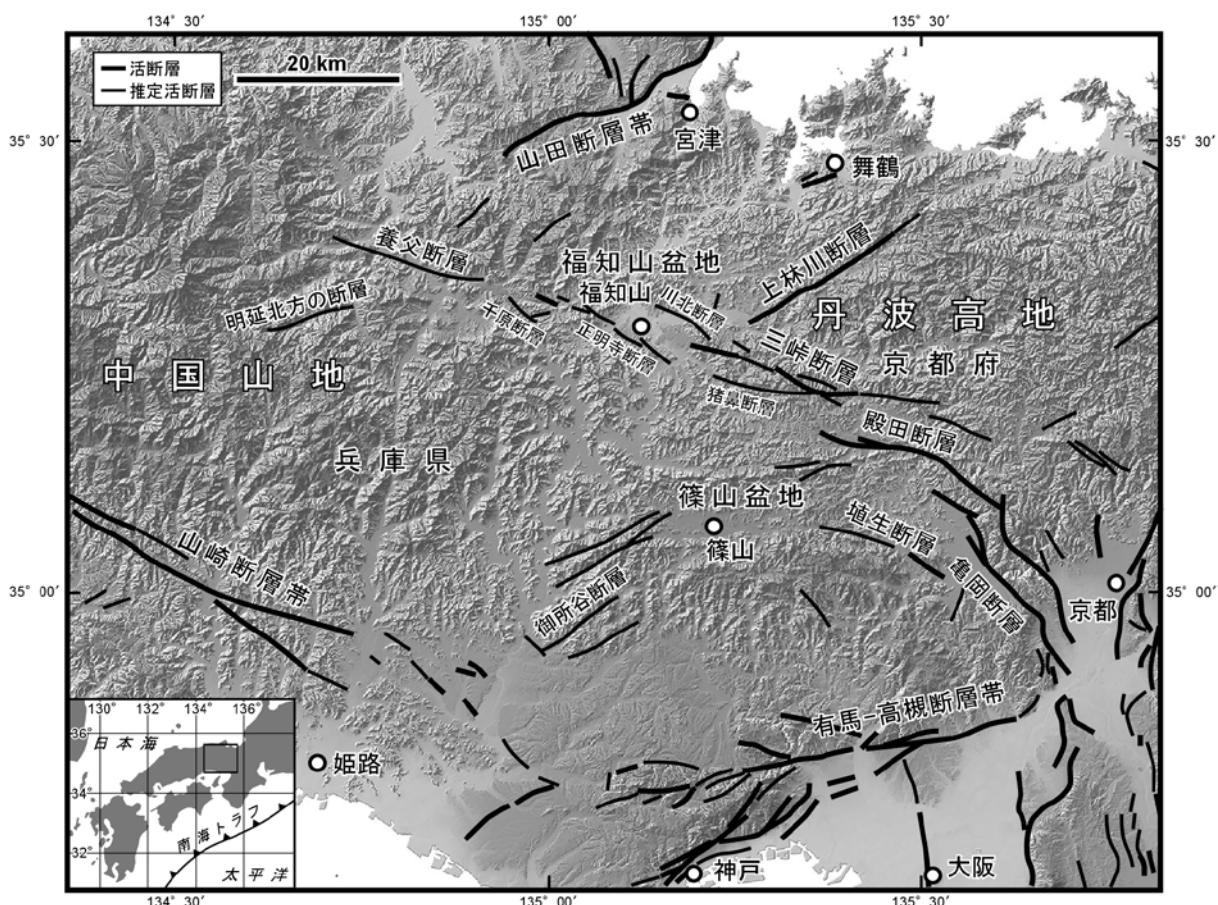


図 1 調査地域周辺の地形と活断層の分布

福知山盆地周辺、養父断層と三峠断層との間の地域の活断層群が新たに認定された。

中国山地西部に分布する筒賀断層の変位地形と変位ベクトル

—低活動度の横ずれ活断層の検討—

山内一彦（広島大学・大学院生、山口県立岩国高等学校）

Slip vector and fault topography of the central part of the Tsutsuga Fault

Kazuhiko Yamanouchi (Hiroshima Univ., Iwakuni H.S.)

1. はじめに

中国地方は、近年まで、活断層の分布が希薄であるとされていた（活断層研究会編、1991；中田・今泉編、2002など）が、最近の詳細な地形判読によって、中国地方の西部においては多数の新期の断層地形が見出され、地質断層が最近の地質時代にも再活動していると考えられるようになった（高田ほか、2003；金折、2005；田力ほか2015など）。変位地形の明瞭さから、活動度は低いとみられている（田力ほか2015など）が、詳細な変動地形学的研究は乏しい。

日本では、近年、2000年鳥取県西部地震や2008年岩手宮城内陸地震のようなM7前後の内陸地震が、明瞭な活断層の存在が知られていなかったところで続発し、多数の潜在断層の存在が疑われており（遠田、2010, 2013など）、低活動度の活断層における調査の重要性が高まっている。特に、山地域に分布することの多い横ずれ活断層は、変位基準となる地形面や第四紀層の分布が少ないため、微小な変位地形に着目した詳細な調査・検討が必要である。横ずれ活断層の変位は変位ベクトルで表され、これによって高精度に変位速度が算出されるが、変位ベクトルの検討については、阿寺断層における研究（Sugimura and Matsuda, 1967）以降、研究に乏しい。

そこで、演者は低活動度とみられている横ずれ活断層が多数分布する中国地方西部の筒賀断層を対象に、LiDARに基づく数値標高モデル(DEM) や大縮尺の空中写真などを用いた地形判読を行い、活断層を詳細に検討した。また、時代が異なる複数の段丘を変位させる地形が認められる吉和地区を対象に詳細な現地調査と地形計測を行い、変位地形を記載して、変位量・変位ベクトルを検討した。

2. 筒賀断層の概要

中国地方西部は北東-南西走向の断層線や断層谷の発達が顕著であり、その一部は最近の地質時代にも活動している。筒賀断層はこれらの一つで、広島県山県郡北広島町から山口県岩国市にかけて分布する長さ約58kmの右横ずれを主体とする活断層である（地震調査委員会、2016）。活断層研究会編（1991）では「活断層の疑いのあるリニアメント（確実度Ⅲ）」とされ、中田・今泉編（2002）では中央部がB～C級の活動度を有する確実な活断層として図示されている。地震調査委員会（2016）は、全区間を活断層としているが、変位基準に乏しく、平均変位速度など活動性はわかつていない。

3. 段丘面区分と断層変位地形

対象地域である吉和地区の段丘面は沖積錐起源のものが主体で、上位からI面～VII面の7面に区分された。そのうち、VI面の堆積物直上にはK-Ahテフラ起源のガラスを含む黒ボク土が載っているが、ATテフラの層準が認められないことから、MIS2頃に離水した可能性がある。

対象地域ではほぼ全域で小河谷の右屈曲、尾根の右ずれ、鞍部列などの断層変位地形がみられ、一部に段丘崖の右ずれ、段丘面を変位させる低断層崖が認められる。これに沿った地点で最近の活動を示す断層露頭が確認された。

4. 吉和地区の筒賀断層の変位量

対象地域の吉和地区では、II面～VI面の段丘面上に逆向き低断層崖や段丘崖および段丘開析谷の右ずれが連続して認められる。これらの地形を対象にトータルステーション（Leica 社製 TCR407Power）を用いて地形計測を行い、Golden software 社の Surfer 8 を用いて等高線間隔 0.2m の詳細な地形図を作成した。そして、地形図上での計測、および現地での巻尺を用いた計測により横ずれ変位量を測定した。段丘面の鉛直変位量については、山林内で長い測線での計測が困難なことから、LiDAR に基づいて作成された国土地理院基盤地図情報の 5m メッシュの DEM データから地形断面図を作成して読み取った。

計測・分析の結果、以下のことが明らかとなった。1) 横ずれ変位量および鉛直変位量は、古い段丘ほど大きく、累積的な変位が認められる。2) 横ずれ変位量を最も精度よく保存していると考えられる段丘崖基部の横ずれ変位量は、IV面で $22 \pm 3\text{m}$ 、V面で $18 \pm 2\text{m}$ 、VI面で $12 \pm 2\text{m}$ であった（図1）。3) 鉛直変位量は、II面で約 16.7m、III面で約 8.6～9.4m、IV面で約 5.3m、V面で約 3.5～4.4m、VI面で約 1.0～1.8m であった。4) 対象地域における筒賀断層は、鉛直変位量が横ずれ変位量の約 7～28%で横ずれ変位が卓越する。5) VI面の離水時期を MIS2（約 15～20ka）とすると、変位速度はネットスリップで 0.5～0.9mm/yr.となる。

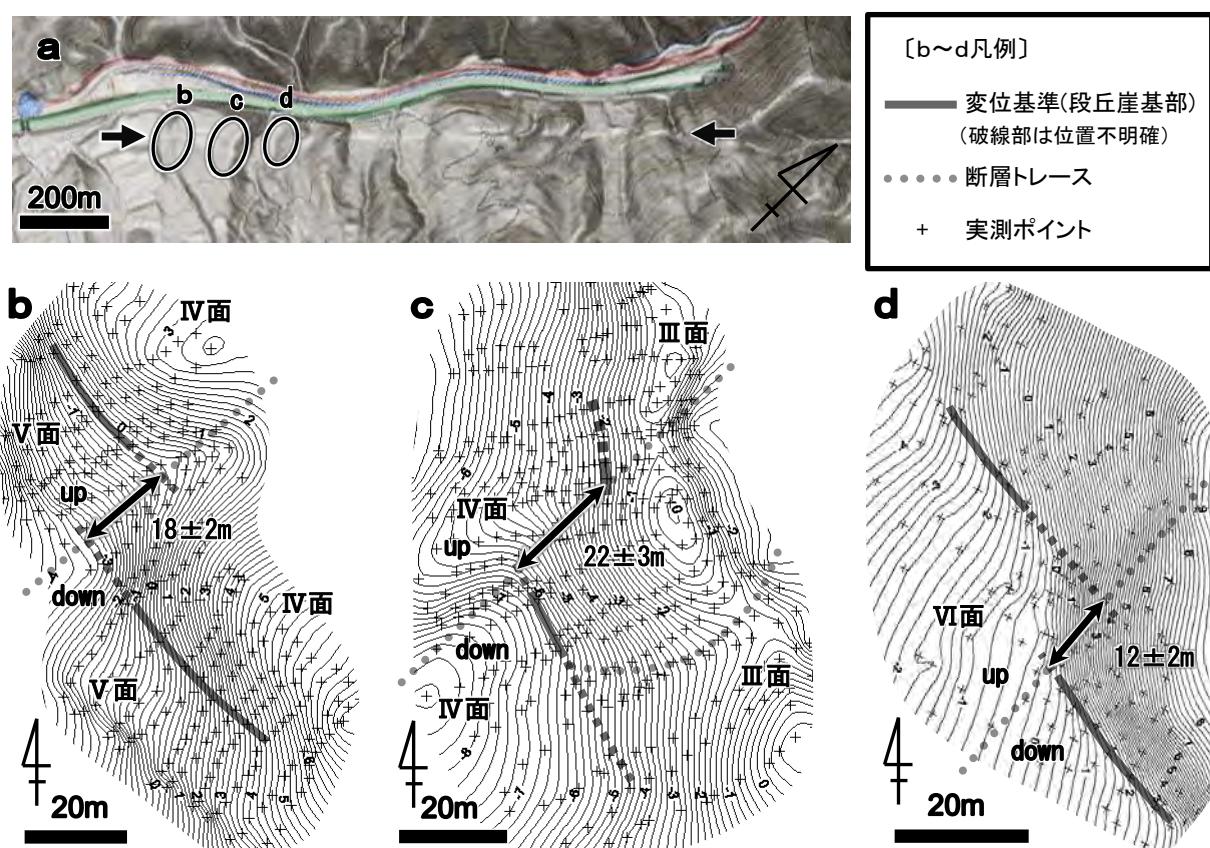


図1 吉和東方における段丘面の右横ずれ変位

a : 地理院地図の傾斜量図と標準地図(25000)を重ね合わせたもの。矢印のところに筒賀断層が走る。

b～d : トータルステーションでの現地測量により作成。等高線は 0.2m ごと。

Sentinel-1 C-SAR 差分干渉による奈良県天理周辺における 最近の地表変位—伏在断層？

○影島充万・大沼巧（株式会社地球科学総合研究所）

Recent surface displacement derived from DInSAR analysis using
Sentinel-1 C-SAR around Tenri, Nara Pref. – Concealed Fault?

○Mitsukazu Kageshima, Takumi Onuma (JGI, Inc.)

1. 概要

大阪・京都周辺を対象とする Sentinel-1 C-SAR データの差分干渉解析により、2014 年 11 月～2017 年 4 月の期間の地表変位履歴を調査した結果、奈良県天理市から広陵町にかけて NE-SW 方向の延長約 10km、NW-SE 方向の幅約 5km に及ぶ範囲に最大約 2cm の隆起が認められた。隆起は同範囲に位置する電子基準点のデータからも確認された。隆起範囲の北側は NE-SW 方向のリニアメントに画され、伏在断層の存在を示唆する。

2. 使用データと解析方法

欧州宇宙機構 Sentinel-1A・1B の C-SAR データのうち、2014/11/23～2017/4/5 の昇交軌道 32 シーンと、2015/4/28～2017/4/11 の降交軌道 21 シーンを使用した。両軌道とも観測間隔 1 年～2 年の 50 ペアにつき差分干渉処理を実施し、時系列解析により地表変位の時系列シリーズを構築した。2016 年 5 月から 2017 年 4 月の間の、昇交軌道と降交軌道の LOS 変位量を用いて 2.5 次元解析を施し、水平変位と準上下変位の解析結果を得た。

3. 暫定解析結果と考察

図 1 左に降交軌道の 2016/5/28～2017/4/5 の LOS 変位量を、図右に昇交軌道の 2016/5/16～2017/4/11 の LOS 変位量を示す。両軌道とも平均コヒーレンス > 0.5 の処理結果を表示した。電子基準点「宇治」(図中の○印) を変位の参照点としており、LOS 変位量はこれを基準とする相対変位量である。幾つかの沈下域と隆起域が認められるが、図左の南東隅付近の天理市から広陵町にかけての隆起が顕著である。これらを用いた 2.5 次元解析結果のうち、天理付近の準上下変位量を図 2 に示す。等変位量線の間隔は 5mm、実線は新編日本の活断層（活断層研究会編、1991）から転記した断層、○印は過去の地震の震央、◇印は電子基準点の位置と番号を示す。図から電子基準点「天理」(960764) 付近において約 2cm の隆起が認められた。この解析結果は、電子基準点「宇治」を固定した場合の「天理」における相対上下変位量（図 3）と調和的である。隆起範囲の北側境界は、延長約 10km に達する NE-SW 方向のリニアメント（図 2 矢印）に画され、既知の活断層との比較から未知の伏在断層の存在が示唆される。1936/2/21 の河内大和地震(M6.4) は、図 2 中央を NE-SW 方向に延びる大和川断層の活動に伴うとされており、断層の南東側が隆起ブロックである。上記リニアメントの規模・方向性・南東側隆起の特徴は大和川断層の特徴と類似しており、同様の性質を有する断層を反映する可能性が考えられる。

参考文献 活断層研究会編(1991)、新編日本の活断層

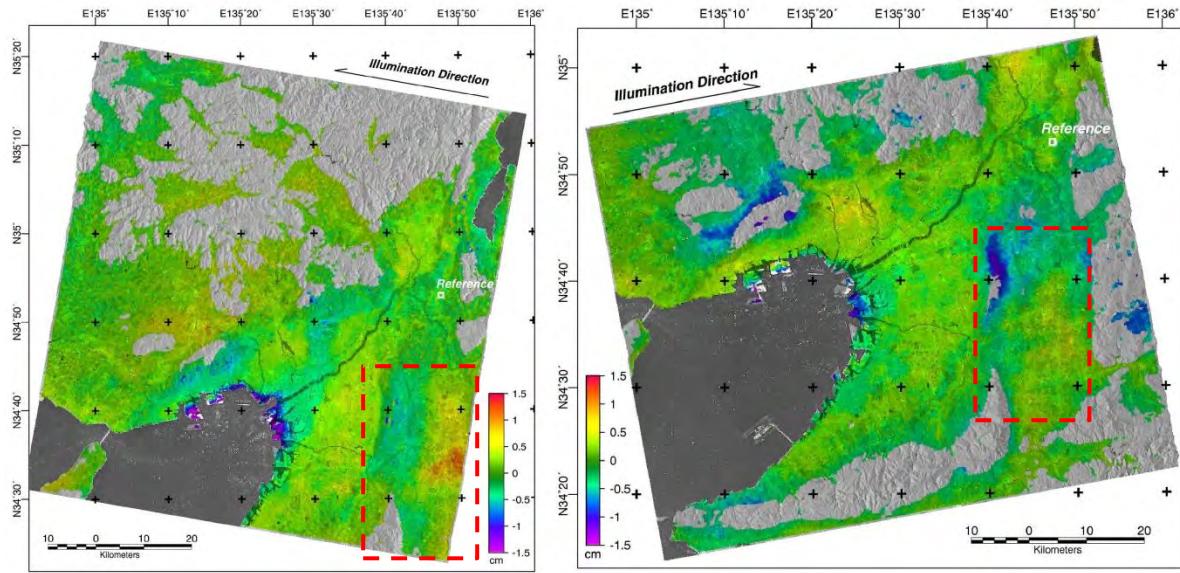


図1 降交軌道(2016/5/28–2017/4/5;図左)と昇交軌道(2016/5/16–2017/4/11;図右)のLOS変位量(コヒーレンス>0.5). 破線枠:図2の位置.

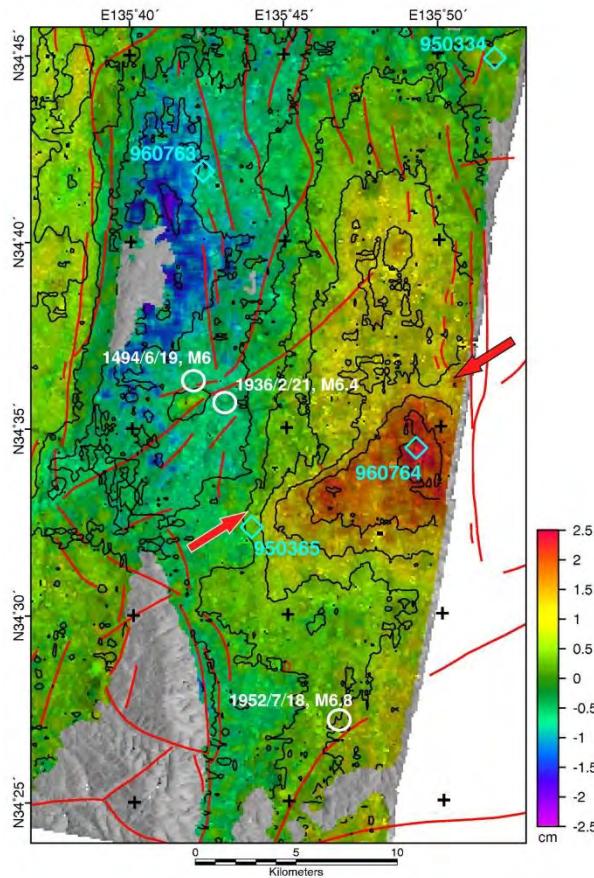


図2 隆起範囲周辺の上下変位量

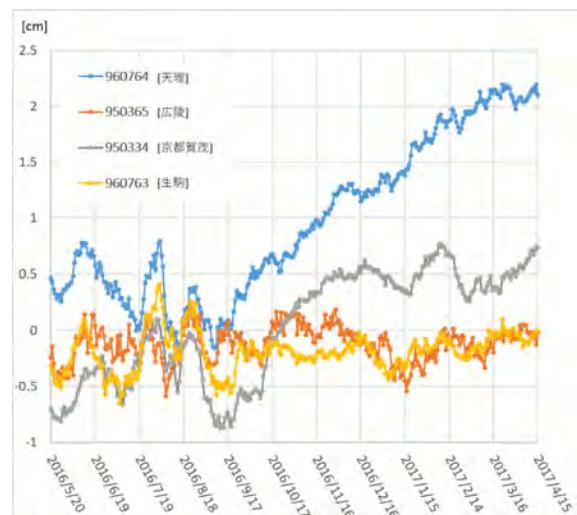


図3 電子基準点「宇治」を固定した場合の図2中の電子基準点4点における相対上下変位量の推移

庄内平野東縁断層帯での活断層防災教育

澤 祥（鶴岡工業高等専門学校）

An example of earthquake disaster prevention education,
a case study on the Shonai-heiya Touen fault zone, Northern Japan

Hiroshi SAWA (National Institute of Technology, Tsuruoka College)

1 はじめに

山形県・庄内平野には、地震調査研究推進本部によって主要活断層帯とされた庄内平野東縁断層帯があり、東側の出羽丘陵と西側の庄内平野を限り、逆断層がほぼ南北走向に約38km連続する（地震調査研究推進本部、2009）。本断層帯は主要活断層帯113の中でも「30年地震発生確率が高いグループ」に分類されており、庄内平野東縁断層帯（南部）の30年地震発生確率は18番目である（地震調査研究推進本部、2017）。

本断層帯北部は1894（明治27）年庄内地震（M.7）の震源とされ（地震調査研究推進本部、2009），死者726人，全壊家屋3,858戸の大災害を引き起こした。また日本海では、庄内平野西南方に位置する粟島付近の海底活断層を震源として1964（昭和39）年新潟地震（M.7.5）がおこり、山形県では死者9人，建物全壊486戸の被害を生じた。酒田市立第三中学校では、中学生1人がグランドに生じた亀裂に転落し死亡した。

この様に、庄内地方は過去100年あまりの間に2回の大きな地震災害を経験しているため、他の山形県域（村山・置賜・最上地方）に比べ地震・地震災害に対する関心が高く、1995年兵庫県南部地震・阪神淡路大震災以降に、筆者は地元の活断層研究者として地方自治体・学校・生涯学習施設・企業・町内会などの地域コミュニティー等から活断層・地震の普及解説講話を依頼されることが多くなった。2011年東北地方太平洋沖地震・東日本大震災後には、毎年約20回前後の普及活動を行っている。

このような経験を通じて筆者が得た「市民等が活断層研究者に求めている情報」と「活断層研究者が市民等に伝えられる・伝えるべき情報」について述べたい。

2 山形県酒田市教育委員会での活動

酒田市教育委員会は2015～17年度に「子どもの命を守る安全教育推進事業」を実施し、筆者は防災アドバイザーとして、防災教育の専門家である村山良之氏（山形大学大学院・地理学）とともに参加している。この事業は、児童・生徒への防災教育によって危険回避能力を育成し、教職員への防災管理研修、「学校防災マニュアル作成ハンドブック」作成を通じた災害時における防災管理体制の見直しを図ることを目的としている。筆者に求められたのは、活断層に関する講話と情報提供である。村山（2017）は、誘因としての災害そのものの他に、災害の規模・様相を大きく変化させる素因としての土地条件（地形・地質・地盤など）の重要性を指摘した。地域に根ざした防災の必要性を教職員が認識し、事前対策を有効なものにするためには、教職員が地域の災害構造（素因・誘因）を理解することが不可欠である。このハンドブックでは「各学校で特に注意すべきハザード（概要）」欄を設け、学校学区の地形（低地、砂丘、山地・丘陵地、海岸）条件と関連付けて注意すべき災害（津波、液状化、地震動ほか）を表示し、教職員の素因理解を促そうとした。

筆者は2016年にこの事業の一環として、庄内平野東縁断層帯北延長部直上に位置する酒田市立鳥海八幡中学校で、全校生徒を対象とした防災講話を行った。ここで筆者は、同断層帯が活動した場合に予想される強震動については庄内地震の建物被害を例に、地表変形の可能性については2014年長野県神城断層地震（M6.7）の際現れた逆断層による地表地震断層を示し、生徒に画像・動画を使い具体的に例示した。同校が活断層直上にあることをほとんどの生徒が初めて知り、驚いていたことが印象的であった。

3 地域コミュニティーでの活動

山形県鶴岡市は、「コミュニティ防災センター」を災害時の防災拠点及び平時の地域活動拠点として小学校学区ごとに設置し、ここを中心にして防災訓練や防災啓発活動を行ってい

る。地域コミュニティーでの防災講話聴講者は60才代以上の高齢層が主体で、青壯年層の参加は非常に少ない。講話する際に、筆者は庄内地方で予想される強震動を具体的に想像してもらうため、新潟地震の揺れを目安にすることを話す。高齢の参加者には同地震を体験した者が多いために理解が進むが、一方で青壯年層の多くは新潟地震で庄内地方に大きな被害が生じたことを知らず、災害記憶継承の必要性を強く感じる。

4 普及活動で活断層研究者に求められていること

1 活断層・地震に関する正しく平易な解説

「活断層を正しく理解したい」、講話の際に筆者が聴講者から一番強く感じることである。阪神淡路大震災以降、活断層は広く一般に認知されることとなった。活断層研究者による普及啓蒙書（松田：1995, 池田ほか：1996, 鈴木：2001, 渡辺：2014, 遠田：2016など）も出版される様になり、筆者は活断層防災講話をを行う際にこれらの書籍を紹介し読むことを聴講者に勧めてきた。これらは何れも平明な表現で正確に記述されているにもかかわらず、「難しい」との感想を聞かされることが意外に多い、図・写真・動画を例示し、これら普及啓蒙書に書かれている内容をより平易に説明することが求められている様に感じる。聴講者からの質問が特に多いのは確率論的地震発生予測である。30年確率がほぼ0%～6%であるにもかかわらず、なぜ地震発生確率が高いグループになるのかを度々質問される。

2 活断層地震の写真・動画の多用

日本では、1995年兵庫県南部地震～2016年熊本地震までの間に7つの地表地震断層が出現し、多くの活断層研究者が実地調査にあたった。その際に得られた地表地震断層やそれに伴う被害の画像等は、活断層大地震（およそM7以上）が強い揺れだけではなく地表変形によっても被害を生じさせることの理解に役立つ。また最近ではモバイル端末を利用して誰でも動画を残せる様になったため、強震動の生々しい様子がネットで数多く公開される様になった。これらの動画を適切に利用し正確な解説を付せば、揺れに対するイメージの創生に大いに役立つ。

3 身近な地名を織り込む

活断層の位置や過去の災害記録を例示する際には、できる限り詳細な地名あるいは事物を具体的に示したい。自分が知っている地名・事物が語られることで、聴講者は地震動による災害や地表地震断層の出現を他人事ではなく受け取る様になる。筆者は講話後に聴講者から度々この様な感想を聞かされる。

5 終わりに

庄内平野東縁断層帯では都市圏活断層図が発行され（今泉ほか, 2007）ており、活断層の位置情報と活動履歴（地震調査研究推進本部, 2009など）について比較的多くの研究成果が蓄積されている。このため、住民に詳細で具体的な内陸地震の情報を提供できる。2016年熊本地震をおこした布田川・日奈久断層帯でも都市圏活断層図が刊行され（池田ほか, 2001），熊本県はじめ各自治体が内陸地震発生の危険性や防災減災対策の啓発に取り組んでいたが、地震発生直後に「熊本で大地震が起こることは聞いたことがない」との意見があったという（遠田, 2016）。同様の住民の反応を、1995年兵庫県南部地震直後の調査時に筆者も直接聞いた経験がある。庄内平野東縁断層帯でも同じ様な反応が将来の地震発生直後に住民から出ることは、想像に難くない。自治体等を通じた啓発活動も重要であるが、学校で防災教育を受けた児童生徒が家庭で自分の地域・地元の活断層の危険性を語ることは重要である。活断層防災教育において、活断層研究者が住民の「正しく知り、正しく恐れ備える」姿勢の醸成に対して貢献できることは多く、また期待されている役割も大きいと感ずる。

引用文献

- 池田安隆・島崎邦彦・山崎晴雄（1996）：活断層とは何か、東京大学出版会, 220p.
池田安隆・千田昇・中田高・金田平太郎・田力正好・高沢伸司（2001）：1:25,000 都市圏活断層図「熊本」、国土地理院技術資料 D-1 No.388、国土交通省国土地理院。
今泉俊文・中田高・宮内崇裕・八木浩司・澤 祥（2007）：1:25,000 都市圏活断層図「庄内北部」、国土地理院技術資料 D-1 No.496、国土交通省国土地理院。
東郷正美・今泉俊文・澤 祥・宮内崇裕・八木浩司・（2007）：1:25,000 都市圏活断層図「庄内南部」、国土地理院技術資料 D-1 No.496、国土交通省国土地理院。
地震調査研究推進本部（2009）：庄内平野東縁断層帯の評価（一部改訂）、http://www.jishin.go.jp/main/chousa/katsudansou_pdf/19_shonai-heiya_2.pdf
地震調査研究推進本部（2017）：今までに公表した活断層及び海溝型地震の長期評価結果一覧、平成29年3月3日現在。
<http://www.jishin.go.jp/main/choukiyoka/ichiran.pdf>
鈴木康弘（2001）：活断層大地震に備える、ちくま新書、筑摩書房, 208p.
遠田晋次（2016）：活断層地震はどこまで予測できるか、ブルーパックス、講談社, 262p.
松田時彦（1995）：活断層、岩波新書、岩波書店, 242p.
村山良之（2017）：地域と子どもたちと先生を守る学校防災、平成29年5月10日開催第1回子どもの命を守る安全教育推進会議、配布資料。
渡辺満久（2014）：土地の「未来」は地形でわかる、災害を予測する変動地形学の世界、日経BP社, 198p.

地表地震断層近傍における被害の特殊性について

—1927年北丹後地震を事例に—

° 高山正教(兵庫教育大学連合大学院・研)・角野大河(岡山大学・学, 現・
葦高等学校)・松多信尚(岡山大学)

Fatalities for completely destroyed houses ratio in the vicinity of
the surface rupture associated
For example, Kita-Tango earthquake, 1927
Masataka Takayama · Taiga Kadono · Nobuhisa Matsuta

【はじめに】

地震災害の誘因と素因の関係は複雑であり複数のプロセスがある。地震災害の軽減には、それらのプロセスごとの対策が必要である。しかし、すべての地点で観測はできないため、それらのプロセスの解明には現象からそこで起きた現象を推定するしかない。

地震における建物被害や人口喪失率などの人的被害の特徴と地盤などの地域性とに着目した研究は多くの蓄積がある(表, 1946; 松田, 1978など)。しかし、建物被害に対する人的被害の比率に着目した研究は、ほとんど見当たらない。明治以降の地震災害において、建物被害に対して人的被害が大きい地震は、津波や火災が発生した地震が多い。それらがない地震ではその比率は大きなばらつきがあるが、比率が高い地震には、地表地震断層が出現した内陸直下型地震であるという共通点がみられる。しかし、断層上に地震計がない限りは、地表地震断層の近傍で起きる現象を観測することは難しい。そのため、過去の地表地震断層を伴った地震の被害実態という状況的な証拠から検証する必要がある。その対象は、地表地震断層が出現し、人的被害の主たる要因に建物の倒壊が含まれており。加えて死者名簿が残っていることなどが条件となり、角野・松多(2017)は1927年の北丹後地震を対象に小字単位での被害の特徴について検証を行った。その結果、同じ北丹後地震において甚大な被害があったとされる地点において、建物被害に対する人的被害の比率は火事が発生した小字と地表地震断層の出現した小字で高く、その条件でない小字で建物倒壊率が高くても比率が小さいことが明らかになった。また、比率の高い小字では、一軒の家から複数の犠牲者を出している場合が多いことを死者名簿から明らかにした。しかし、それは小字単位であり、実際に犠牲者を出した家と地表地震断層の関係については明らかになっておらず、本研究では家一軒ごとの検証を行った。

【北丹後地震の概要】

北丹後地震は、1927年(昭和2年)3月7日の18時28分頃に発生した。マグニチュード7.3を観測した内陸直下型の地震であり、死者2,898人、負傷者7,595人、全壊家屋4,899戸となっている。地震により被害を受けた地域は、おおよそ現在の京丹後市と宮津市に位置する。家屋倒壊による人的被害が多く、局所的に火災による人的被害も多い。北丹後地震では郷村断層帯と山田断層帯の2つの活断層帯が大きく関係し、この2つの活断層帯では、地表地震断層が出現した。郷村断層では、おおよそ全てにおいて地表地震断層が出現した一方、山田断層では全線の長さが約27km程度あるにも関わらず、地表地震断層が出現した地域は約3km程度の地域だけであり、変位量も小さくなっている。

【研究方法】

『丹後地震誌』には町村ごとの全壊戸数・死者数などのデータ、小字ごとの倒壊戸数・死者数などのデータがある。そこから小字ごとに全壊家屋率(全壊家屋数/総戸数)や人口喪失率(死者数/総人口)などを求め、地表地震断層との位置関係を考察する。

『昭和二年奥丹後震災遭難者名簿』には、地震による死亡者の本籍地や名前、続柄、戸主名などのデータが書かれている。そこから戸主名を元にして家一軒当たりで何人の人が亡くなったのかについて判断する。そして、死亡した世帯数が多い集落のグラフを作成し、家一軒当たりでの死亡者数と断層との位置関係について考察を行う。以上の結果をもとにして、犠牲者数が多く、地表地震断層の直上で、且つ火災による被害の少なかった地域に聞き取り調査を行った。さらに、区画整理が行われ新たな住宅地となった地域を除き、当時の集落形の名残がある地域を選定した。実際に聞き取りを行ったのは、郷村断層が通る郷^{ごう}集落と高橋集落、その近隣である公庄^{くじょう}集落、生野内^{いくのうち}集落で行った。この聞き取り調査では、『昭和二年奥丹後震災遭難者名簿』に記載されている事柄を手掛かりに、その近縁の方々を訪ね、震災で亡くなった方の居住地を特定していった。

【結果】

①火災に見舞われた峰山町や市場村は、建物被害に対する人的被害は大きい。②地表地震断層との距離が近いほど人口喪失率(死亡者数／総人口)、倒壊家屋率(倒壊家屋数／総戸数)ともに高い。③地表地震断層から距離のある久美浜周辺では、地表地震断層からの距離の割に建物被害は大きいが、半壊が多くなっており、人的被害も少ない。④山田断層付近では活断層からの距離ではなく、地表地震断層の近傍ほど建物の倒壊の仕方が激しく、人的被害も増加する。⑤また、『昭和二年奥丹後震災遭難者名簿』をもとに、小字ごとの家一軒当たりでの死者数をもとに、死亡世帯数 10 以上の小字で戸主の名前が明確な家を現地調査から特定すると、地表地震断層に近いほど家一軒当たりでの死者数が多い傾向にある。ことが分かった。

【考察】

地表地震断層から距離がある久美浜周辺は、地盤が弱く、断層からの距離の割に建物被害は大きい。建物の倒壊の仕方は、徐々に壊れていくような倒壊の仕方のため、半壊が多くなっており、人的被害も少ないため、久美浜では建物に対する人的被害の比率は小さいと考えられる。

現地調査を行った郷村集落では、地表地震断層から 100m内の居住地で一軒当たり死亡者数が三名の家が 1 軒、二名の家が 1 軒、一名の家が 2 軒であった。地表地震断層から 100m以上離れた家では、死亡者は一名であった。高橋集落では、集落のほぼ全域が地表地震断層の 100m 内である。この集落では、地表地震断層からの距離が 50m程になると、死亡者数三名以上の家が 4 軒確認された。他方で、断層から 300m程離れた公庄集落では一軒当たりの死亡者数が一名から二名のみである。また、生野内集落では、集落が地表地震断層から 200m～500m程度離れており、一軒当たりの死亡者数は二名以下の家が 5 軒であった。このように集落内の居住地ごとに見ていくと、地表地震断層から 50m内または 100m 内のところでは、一軒の家で多くの死亡者がいる傾向があり、地表地震断層からそれ以上離れると家一軒当たりでの死亡者は少なくなり、その結果、家屋の倒壊に対する人的被害の比も小さくなることが考えられる。

これは、地表地震断層の近傍は揺れによる倒壊とは異なる倒壊プロセスがあることを示唆し、その範囲は地殻変動の幅を超えていていることから、断層活動による地殻変動ではなく、断層出現（ずれ）による特殊な揺れが原因の可能性が高い。

これは、地震被害の対策には一般に考えられる地震動だけではなく、それに伴う地表地震断層近傍に発生するゆれを考える必要があるといえる。視点を変えれば、過去の内陸直下型地震における建物被害と人的被害の被害状況の分布から、断層出現の有無が推定できる可能性がある。

日本活断層学会 10 年－設立経緯および社会的対応の記録－

鈴木康弘（名古屋大学）・中田高（広島大学）

Some historical records of the Japanese Society for Active Fault Studies

Yasuhiro SUZUKI (Nagoya Univ.), Takashi NAKATA(Hiroshima Univ.)

I はじめに－日本活断層学会の記録

日本活断層学会は 2007 年 9 月 22 日に設立された。その後、2008～2010 年には原子力安全委員会が「発電用原子炉施設の耐震安全性に関する安全審査の手引き」を定め、2011 年には東日本大震災が発生し、2012 年には原子力規制委員会が発足した。その後、原子力発電所敷地内の破碎帶調査や、新規制基準の策定とそれによる安全審査が開始した。2014 年には長野県北部の地震 M6.7、2016 年には熊本地震 M7.3 が起き、1995 年以降の地震調査研究推進本部の取り組みについても再検証が必要となった。このような激動の 10 年において、活断層学会においてさらなる disciplinary な研究の重要性は言うまでもないが、inter-disciplinary、trans-disciplinary な研究の重要性も増している。今一度、学会の存立意義を議論するための資料として、(1)学会設立までの経緯と、(2)2012～2013 年における社会的対応を記録に留める。

II 学会設立までの経緯（2007.9.22 設立集会配付資料から）

日本活断層学会は、2006 年 11 月から約 10 ヶ月の準備を経て、2007 年 9 月に設立された。

2006 年 11 月上旬：呼びかけ／11 月 22 日：発起人 ML 開設／12 月上旬：第一次発起人（34 名）確定

■第 1 回設立発起人会（2006 年 12 月 6 日 17:00～19:30、場所：学士会館本館、出席者 18 名）

議題：経緯報告、設立趣意書、学会名、活動項目、今後の進め方、幹事選出

◇第 1 回幹事会（2007 年 1 月 13 日 17:00～18:00、場所：野島断層保存館、出席者 7 名）

議題：学会名、設立趣意書、学会設立事務局の設置、設立時期 9 月を検討

◇第 2 回幹事会（2007 年 3 月 30 日 11:00～14:00、場所：京都大学、出席者 7 名）

議題：趣意書改訂、活断層研究会への依頼方法、発起人会、発起人の自薦方法、幹事追加、設立集会、北淡との関係、幹事の役割分担、英文名称、執行部体制、学会誌、予算規模、学会規約案

◇第 3 回幹事会（2007 年 5 月 13 日 13:00～18:00、場所：京都大学、出席者 9 名）

議題：学会誌方針、趣意書、英文名称、準備委員会の必要性、人選基準、設立集会 9/22 会場、発起人会(5/23)の議事内容整理

■第 2 回設立発起人会（2007 年 5 月 23 日 12:30-13:30 場所：幕張メッセ 303 出席者：59 名）

議題：①趣意書、②学会名：発起人 ML 上での投票結果、③発起人：他薦により第二次発起人（42 名）、第三次発起人（35 名）を加え 111 名に、④学会誌：雑誌の継承、⑤HP による自薦発起人募集→最終的に 7/1 に 122 名、⑥準備委員会設置→31 名、⑦設立支援寄付金

□第 1 回設立準備委員会（2007 年 7 月 14 日 13:00-15:00 場所：八重洲俱楽部、出席者：17 名）

議題：①旧幹事会提案として、学術雑誌「活断層研究」を継続刊行するための活断層研究会と調整経過を報

告。②設立準備委員会内規を定め、総務、編集、大会・広報、企画の4WGを設置。委員長は岡田篤正。③活断層研究会との協力関係等に応じた趣意書変更を検討開始

□第2回設立準備委員会（2007年8月28日10:00-12:00 場所：八重洲俱楽部、出席者：20名）

議題：①定款・規定について（会員種別）、②役員選挙実施決定、③財務検討結果（会員数300、会誌年2回を想定して会費検討）、④趣意書最終案、⑤編集規定案、⑥9/22設立集会の進行案

□第3回設立準備委員会（2007年9月17日13:30-20:30 場所：地域地盤環境研、出席者：9名）

議題：①役員および事務局長候補、②9/10に活断層研究会長宛に協力依頼書*、③英文名称、④定款案、⑤選挙規定案・会費規定案、⑥平成19年度事業計画案、⑦平成19年度予算案、⑧入会フォーム、⑨設立集会の進行等について検討（*:協力依頼書の概要は以下の通り。①「活断層研究」を継続刊行（号数継続）、②経営・刊行責任は学会が負う、③研究会推薦の編集委員を加えた共同編集、④編集規定・投稿規定は学会が整備、⑤知的所有権は学会に帰属）

■日本活断層学会設立集会 2007年9月22日15:00-17:00 場所：学士会館本館

III 日本活断層学会社会的対応（2014総会資料より）

（1）規制委員会からの原発破碎帯調査に関する委員推薦依頼への対応

2012年9月下旬、規制委員会から敷地内破碎帯調査に参加する専門家推薦要請があった。直後にメールで全会員に報告。急を要することから理事会対応とすることの承認を得た。その後、理事会MLで調査実績のある会員の推薦を集め、最終的に9名の会員を規制委員会へ推薦した。

その際、調査を学会代表として行うことは困難であり、個人の責任において参加するものであることを確認し、規制委員会にもその旨を伝え了解を得た。なお本人の就任意思確認は規制委員会と当人の間で行うこととし、岡田・金田・熊木・鈴木・堤・廣内・吉岡・渡辺が引き受けた。

（2）経産省エネ庁からの地層処分技術検討に関する専門家推薦依頼への対応

2013年7月には、経産省から、地層処分技術WGへの学会代表の委員推薦依頼があった。会長・副会長・事務局長で経産省へ出向き意見交換をした。その後、理事会MLで対応方針を議論、会員MLへも報告しつつ検討を進め、最終的に8月25日の理事会において以下の対応方針を決定。①学会「代表」を推薦することは困難、②個人を複数名「紹介」することに留める、③WGの独立性の確保と委員の責任の明確化を要望する（詳細を8/26に会長から会員へメールで説明。地震学会等、関連学会長とも意見交換した。）

学会員の投票による17名（他薦16名、自薦1名）の推薦のうち、8名を選出。紹介の可否について4名が辞退したため、最終的に9月17日に順位をつけず4名を経産省へ報告した。

その後、10月5日に、経産省担当者からメール：「4名の“紹介”につきまして、既に内定済みの委員候補者に相談したところ、専門的観点から遠田先生が適任との意見をいただき、事務局としましてもその意向を反映し、委員依頼についての打診をさせていただきます。」

10月19日の理事会後、10月25日に会員へメールで報告。「・・・委員選任の最終判断は経産省の専権事項であり、それについては今後、経産省が公開するものと考えています。」

IV まとめ

学会に対する社会的要請は高まり、上記2件以外にも政策に対する意見提出の依頼等が増えていく。経験知は今後の対応において重要であるため、ここに記録を残す。