

モンゴルにおける UAV による 1967 年モゴド地震の 地表地震断層調査（速報）

○石黒聡士（愛知工大）、鈴木康弘（名古屋大）、
Dangaa Enkhtaivan（モンゴル科学アカデミー地理学研究所）、
Sukhee Battulga（モンゴル国立大学）、Dalai Serjmyadag（NEMA）、
Enkhjargal Odbaatar（モンゴル科学アカデミー地理学研究所）、
Bayarsaikhan Sainbuyan（モンゴル科学アカデミー地理学研究所）、
松多信尚（岡山大）、石井祥子（名古屋大）、隈本邦彦（江戸川大）、稲村哲也（放送大）

Preliminary research by using UAV on 1967 Mogod earthquake fault in Mongolia

Satoshi Ishiguro, Yasuhiro Suzuki, Dangaa Enkhtaivan, Sukhee Battulga, Enkhjargal Odbaatar,
Bayarsaikhan Sainbuyan, Nobhisa Matsuta, Shoko Ishii, Kunihiro Kumamoto, and Tetsuya Inamura

1. はじめに

1967 年 1 月 5 日にウランバートルの西約 300km のモゴド付近を震源とする M7.8 の地震が発生し、全長約 45km に及ぶ地表地震断層が現れた（図 1）。この地表地震断層は地震から 50 年が経過しようとしているが、半乾燥地域にあって浸食や人工改変による地形の変化が少ないことから、その変位地形は現在まで良く保存されている。

地震断層の新たな調査手法として、無人航空機（Unmanned Aerial Vehicle, UAV）の活用が期待されている。UAV により低空から撮影された空撮画像を SfM-MVS（Structure from Motion – Multi View Stereo）解析することにより、解像度が数 cm の細密な DSM（Digital Surface Model）を作成することが可能である。

2016 年 8 月、我々はモゴド地震断層沿いにおいて、現地調査を実施した。その目的は次の二つである。すなわち、1）モンゴルにおける地表地震断層に対し、初めて UAV による空撮を行い、高精細なオルソ画像および高解像度の DSM を作成することと、2）DSM を用いた断面測量により変位量を計測し、既存研究で示されている変位量と比較することである。



図 1 モゴド地震断層の位置

2. モゴド地震の概要

1967 年 1 月 5 日、モンゴル国モゴド（北緯 40 度 16 分、東経 103 度 0 分）の付近を震源とする M7.8 の地震が発生した。この地震に伴い、北緯 48 度 11 分付近から北緯 48 度 0 分付近の 20 km の区間（北部）ではほぼ南北走向、その南端からは北西—南東方向に走向を変えて、約 10 km の区間（南部）で明瞭な地表地震断層が確認されている。Baljinnyam et al (1993) によれば、変位様式は、北部の区間では右横ずれが卓越し、変位量の平均は 1.5 m、最大 3.2 m であった。南部は北東側隆起の逆断層で、変位量はおおむね 1.5~2 m、最大 3.5 m に達すると記載されている。

3. 地震断層の UAV 計測の意義

地表地震断層沿いにおいて、詳細な変位量分布を把握するためには、細密な地形モデルを作成する必要がある。地表地震断層沿いに現れる $10^{-1} \sim 10^{-2}$ m オーダーの微細な地形モデルを作成するためには、UAV による低空からの空撮が特に適している。機材一式がコンパクトで携行しやすく、現地踏査の途中で直ちに飛行させることができるため、利便性も高い。UAV を用いた地表地震断層の撮影と、SfM-MVS 解析による地形モデル作成の有効性は、2014 年 11 月 22 日長野県北部の地震や 2016 年熊本地震で確かめられている。

我々は、2016 年 8 月 12 日から 14 日にかけて、モゴド地震断層の現地調査を実施した。使用機材は DJI 社の Phantom 3 advanced と附属の専用カメラである。また、写真から地形モデルを作成するために、Agisoft 社の Photo Scan professional edition を用いた。

4. 計測結果

オルソ画像と DSM の作成を目的とした UAV による撮影は、主に 3 カ所で行った。オートパイロットを利用した 6 フライトにより、およそ 1600 枚の写真を撮影した。また、撮影した写真から SfM-MVS 解析により作成した DSM の作成範囲は、のべ 8.8 km^2 であった。DSM の解像度は約 8 cm、オルソ画像の解像度は約 4 cm である。

作成された DSM からは、河道が 15 m ほど右横ずれしている様子がわかる (図 2)。また、鉛直変位量は 0.8 m 程度と計測された (図 3)。

5. 既存研究における変位量との比較

図 2 で示した場所における鉛直変位量は、既存研究により 0.5 m であることが報告されている (Baljinnyam et al, 1993)。一方、右横ずれ量は、図 2 の場所における記載はないものの、そのおよそ 10 km 南方において、3.2 m と記載されている。これらのことから、本研究で計測された変位量は、複数回の活動の累積である可能性が高い。

【文献】

Baljinnyam et al (1993) Ruptures of major earthquakes and active deformation in Mongolia and its surroundings. Geological society of America.

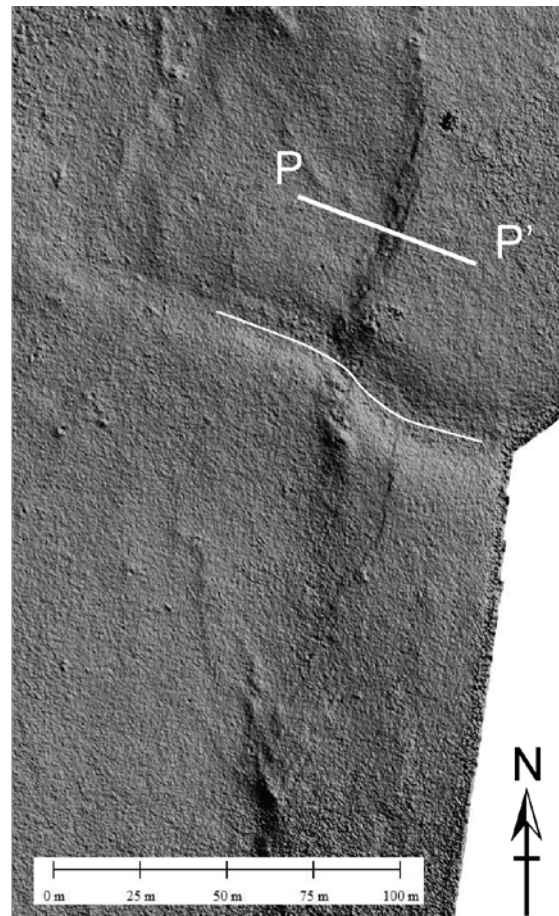


図 2 8 cm 解像度の DSM. UAV から撮影された写真の SfM-MVS 解析により作成。

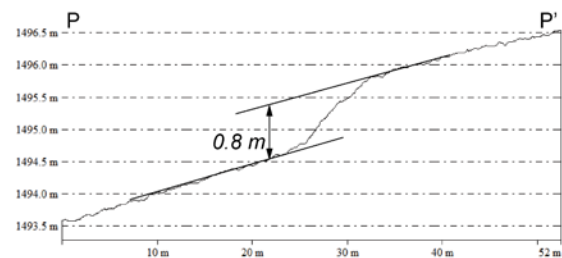


図 3 地形断面図の例. 位置は図 2 に示す。

地震断層と海岸隆起から推定される 2013 年フィリピン・ボホール地震の 震源断層

○中田 高・後藤秀昭(広島大学)・堤 浩之(京都大学)・宮内崇裕(千葉大学)

活断層マッピングチーム(フィリピン火山地震研究所)

Earthquake source fault of the 2013 Bohol earthquake, Philippines, deduced from earthquake fault rupture and co-seismic coastal uplift

Takashi NAKATA・Hideaki GOTO (Hiroshima Univ.), Hiroyuki TSUTSUMI (Kyoto Univ.)

Takahiro MIYAUCHI(Chiba Univ.), Active Fault Mapping Team (PHIVOLCS)

2013 年 10 月 15 日にフィリピン・ボホール島南西部で M7.2 の地震が発生し、震源域の北部では長さ約 6km の地震断層が地表に出現した(Cahulogan et al., 2014 など). また、島の南西部海岸では海岸線が最大 2m 弱隆起し、北西部海岸は沈降する顕著な地殻変動が記録された(Abigania, 2014 など). この地震を発生した震源断層に関しては、合成開口レーダー (SAR) 解析による地殻変動の検討が行われ(国土地院, 2013; Kobayashi, 2014 など), 地震に伴って生じた地変も考慮した南東傾斜逆断層型の震源断層モデルが提示されている.

発表者らは 2016 年 9 月 8 日から 13 日にかけて、地震断層が現れた北部の Anonang 村周辺の地形とトレンチ掘削調査、及び海岸の地震性隆起・沈降が明瞭であった島の南西部の Marinbojoc と Loon 間の海岸線の変化を中心に調査を実施し、震源断層に関する新たな見解を得たので予報的に報告する.

地震断層については、Rimando et al. (2015) が 4 箇所でトレンチ調査を実施し、地震断層が高角逆断層であり、2013 年の変位を含め過去 1 万年間に 3 回活動したと報告している. しかし、彼らのトレンチ・ログを見る限り、完新世堆積物の明確な変位は 1 回のみであり複数回の活動は懐疑的である. 報告者らが実施した Anonang 村及びその南部の最大垂直変位量 (2.4m) が記録された場所でのトレンチ調査では、基盤岩とそれを覆う堆積層が南傾斜約 70 度の逆断層による変位を受けているが、基盤岩上面と地表の変位量はほぼ同じであり、この断層の繰り返し活動は認められない. この逆断層は、山地や丘陵の斜面や頂部に変位を与えていることが多い. また、断層を挟んで東上りの急崖が認められるのは Anonang 周辺だけであり、この断層が広い範囲の地震性地殻変動を代表するような断層とは考え難い.

ボホール島の南西部には丘陵が発達し、その南東縁は北東～南西走向の撓曲崖状の急崖に限られている. 丘陵の背面は北西に緩やかに傾斜し、全体としてこの丘陵は背斜軸が南東に偏る背斜状の地形と解釈される. 2013 年の地震に伴って隆起したこの丘陵の南西の海岸では、丘陵の形態を反映するような地震性隆起が起こった. 丘陵の南西端に位置する Punta Cruz 周辺では隆起量は 1.5～1.7m であるが、北に向かって緩やかに隆起量は減少し、Basdacu 付近で 1m, Loon 付近で 0.5m, 北西海岸の Calape 付近で 0m となる. また、さらに北西部の Mopoc Sur では 0.3-0.4m 沈降している. 一方、Punta Cruz の東の撓曲崖状の急崖の基部では隆起量は急激に減少し、Marinbojoc より南東の海岸ではほとんど変化がないか数 10cm 沈降している. これは、2013 年の地震の際に、Marinbojoc から Punta Cruz の沖に位置する北西傾斜の逆断層が活動したことを暗示している. Punta Cruz から Loon にかけて発達する MIS5e の海岸段丘の高度も北に傾斜しており、北西傾斜の逆断層による累積的な変形を支持する.

[Memo]

泊原子力発電所敷地内の活構造と「将来活動する可能性のある断層等」

渡辺満久（東洋大）

Active structure and capable faults in Tomari Nuclear Power Plant, Hokkaido

WATANABE (Toyo Univ.)

I はじめに

断層の活動時期を知るためには、断層を横切ってトレンチ調査を実施することが有効である。トレンチ壁面においては、断層活動によって乱されている(変位・変形が確認できる)地層と断層変位を受けていない(断層を覆っている)地層を確認することになる。そして、それら地層の堆積年代を測定できれば、誤差を含みながらも、調査対象としている活断層の活動時期をある範囲内に限定することが可能となる。これらのことは、変動地形・活断層研究において常識として認識されている手法・考え方である。

なお、調査対象としている断層の断層面上端の到達位置が不明瞭な場合は、どの層準までが断層変位を受けているのかが不明となることがある(渡辺、1996など)。とくに、変位量が小さい場合は、断層変位を受けていない(断層を覆っている)地層を特定できないことになる。このような場合は、断層活動時期の下限は把握できても、その上限を決められないということになる。このことも、変動地形・活断層研究においては、常識的に認識されていることである。

本発表では、上記したような常識的な手法・考え方が、泊原子力発電所敷地内の断層評価においては適用されていないことを指摘し、発電所敷地内の層面滑り断層は、原子力規制委員会が定義する「将来活動する可能性のある断層等」であることを否定できないことを示す。現地調査には、平成 25～27 年度科学研究費補助金（基盤研究（C）研究代表者：渡辺満久）の一部を使用した。

II 泊原子力発電所敷地内の層面滑り断層

積丹半島は、神威海脚の西縁から神恵内西方まで約 60km 連続する積丹半島西方断層の活動によって隆起しており、半島南西岸地域には複数の海成段丘面が標高 20m 以上の高度に分布し、標高 1～2m の隆起（離水）ベンチが連続的に発達している（渡辺、2016）。半島北東岸には、海成段丘面も離水ベンチも確認できない。積丹半島南西岸における、MIS 5e に形成された海成段丘面の旧汀線高度は 20m 程度、MIS 7・MIS 9 に形成されたと推定される海成段丘面の旧汀線高度は、それぞれ約 40m・約 60m である。したがって、MIS 9 以降、地震性隆起はほぼ等速度で継続していると考えられる。

泊原子力発電所は、MIS 9 に形成された海成段丘面を掘削して建設されている。段丘面構成層の基盤を成す中新統の凝灰岩類は南西方向に撓曲しており、多数の層面すべり断層が確認されている。すなわち、未確認の断層活動によって中新統が撓曲し、複数の層面すべり断層が発達しているのである。そのうち、1 号機付近の層面すべり断層（F-1 断層）を対象にトレンチ調査が実施されている。

北電（2013 など）によれば、F-1 断層は 120 万年前～数 10 万年前に堆積した「岩内層」を切るが、その後に堆積した MIS 9 の海成層（段丘堆積物）や、その上位に堆積している火山灰（220±80ka）には断層変位は認められない（図 1）と結論されている。また、北電(2015 など)によれば、上記の撓曲構造は発電所南方の岩内平野の地下へ連続しており、前期－中期更新統の「岩内層」が撓曲構造を覆うとされている。これらのことから、原子力規制委員会は、泊原子力発電所敷地に見られる撓曲構造は後期更新世には成長しておらず、F-1 断層は「将来活動する可能性のある断層等」ではないこと

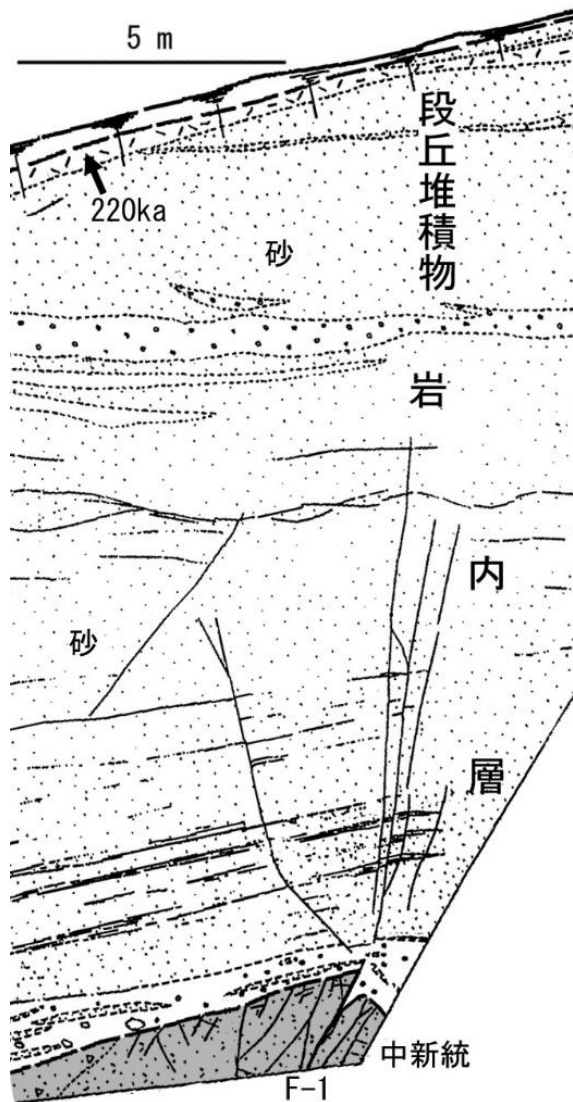


図1 発電所敷地内のF-1断層
北電(2013など)を簡略化した。

を了承した(原子力規制委員会、2015など)。

しかし、発電所敷地内で「岩内層」とされた地層とMIS 9の海成層との境界は非常に不明瞭であり、両者は同一の地層である可能性が高い。MIS 9以降は等速度で隆起していることを考慮すれば、MIS 9の海成層を切る構造は活構造と判断すべきである。なお、「岩内層」中のF-1による変位量は非常に小さく、断層面上端の位置も不明確であり、どの層準までが断層変位を受けているか判断できない(図1)。すなわち、冒頭に述べたように、F-1断層の活動時期を特定することはできず、「F-1断層の活動時期はMIS 9より古い」あるいは「220ka前後の火山灰堆積前に活動した」とは結論できない。

下部更新統の傾斜は、発電所近傍では12~13度であるのに対し、南方の岩内平野では3~4度となってしまう。約5km南方で変形程度が小さくなってしまいう構造をもとに、泊原子力発電所直下の構造を検証することは適切ではない。また、岩内平野で「岩内層」とされた砂層から構成される海成段丘面は、開析度などからみて、前期-中期更新世の段丘であるとは考えにくい。発表者は、北電(2015など)が「岩内層」を確認した地点において、海成砂層直上にToya火山灰が降下堆積していることを確認した。すなわち、岩内平野の「岩内層」は前期-中期更新統ではなく、MIS 5eの海成層である。MIS 5eの砂層は1度程度傾斜している可能性があり、地層の変形そのものが不明瞭な岩内平野では、「後期更新世の地層に変形はない」と判断することは非常に困難である。

III まとめ

以上述べたように、トレンチ調査結果に基づけば、「F-1断層は後期更新世に活動していない」と結論することはできない。また、地層の編年等にも大きな誤認があり、「敷地内の撓曲は後期更新世には成長を止めている」といった結論を導くこともできない。撓曲構造は、それをもたらす「活断層」が存在することも暗示している。このように、F-1断層が「将来活動する可能性のある断層等」であることを否定することはできないし、F-1断層以外の多数の層面滑り断層に関しても同様に評価される可能性がある。さらに、撓曲をもたらす活構造を見逃している可能性もある。図1の構造によって断層活動時期を特定し、地形編年を誤るような調査・検討結果を受け入れた、原子力規制委員会の審査能力には大きな疑問を感じざるを得ない。専門家を交えた正しい審査を実施することが必要である。

【文献】原子力規制委員会,2015,第226回審査会合 議事録等. 北電,2013,2015,審査会資料. 渡辺,1996,活断層研究,15. 渡辺,2016,連合大会.

北海道電力泊発電所（泊原発）敷地内の「活断層」

～新規制基準適合性審査における原子力規制委員会と学会の役割を問う～

小野有五(北星学園大学)[○]・斉藤海三郎（「行動する市民科学者の会・北海道」）

An “active fault” in the premises of Tomari Nuclear Electric Power Station,
Hokkaido Electric Power Company

～ Enquiring Nuclear Regulation Committee and academic associations to play the roles
on the judgment of conformity to the New Regulatory Requirements ~

Yugo ONO (Hokusei Gakuen Univ. ; HACASE)[○] and Kaisaburo SAITO
(Hokkaido Active Citizen's Association of Science: HACASE)

I はじめに

北海道電力泊発電所(以下、泊原発と略称で呼ぶ)は、北海道西部、積丹半島の基部に位置し、海成段丘を掘削した敷地に1~3号機の3つの原子炉が建設されている。北海道電力(北電)は3号機の再稼働を目指しており、原子力規制委員会の「新規制基準適合性に係る審査」では、2013年7月以来、2016年8月まで、活断層など泊原発へのリスクとなる自然現象についての審査会合が計50回、非公開のヒアリングは計71回、行われてきた。審査会合については、当日の議事内容、北電が提示したパワーポイントなどの資料のほか、会議の内容もYouTubeで公開されており、一般市民も見ることができる(ヒアリングは議事録要旨とパワーポイント資料のみ公開)。演者らは、インターネット上に公開されたこれらの資料を分析してきた。北電は、泊原発敷地内にあるF-1断層が、「岩内(いわない)層」を変位させていることを認めているが、北電は、「岩内層」のFT年代は120万年前であり、前期～中期更新世の地層なので、F-1断層は活断層とは認められないと主張してきた。しかし、北電の資料を詳細に検討すると、北電の主張する「岩内層」の年代には科学的な根拠がないことが明らかになった。また、北電が提示した敷地内のトレンチ断面の写真では、海成段丘面をつくるはずの厚い海成層を段丘堆積物と認めていないなど基本的な誤りも見受けられる。これらの問題点が明らかになったので、演者らは岩内平野での現地調査を実施した。本報告では、そこで得られた知見をもとに、北電の主張してきた泊原発敷地内の「岩内層」は、前期～中期更新世の地層ではなく、約33万年前のMIS 9、約35万年前のMIS 10に相当する地層である可能性がもっとも高いことを述べる。これによれば、F-1断層は、明確に40万年前より新しい地層を変位させていることになり、3.11以降の新規制基準に基づけば「将来活動する可能性のある断層等」となる。なお、調査費の一部に高木仁三郎基金の助成金を使わせていただいた。

II 北電による「岩内層」の年代決定への疑問

3.11の東日本大地震と津波による福島第一原発の過酷事故への対応を迫られた政府は、原発を有する電力会社から、「地震・津波に関する意見聴取」を行った。北電が「岩内層」の年代について初めて言及したのは、平成24(2012)年7月17日に開催された第19回の会合においてであった。「参考 岩

内層について」というパワーポイントが 1 枚だけ示され、そこには、「岩内層は、岩内平野に分布し、砂・礫等からなり、砂礫は葉理がよく発達する。本層は、岩内平野において丘陵背面を形成し、丘陵斜面が洞爺火砕流堆積物に不整合で覆われている。本層の形成年代に関しては、砂層中の凝灰岩を対象としたフィッション・トラック法年代測定値 $1.2\text{Ma} \pm 0.2\text{Ma}$ が得られている。これらのことから、本層の形成年代は前期～中期更新世と判断される」と書かれ、岩内台地での露頭写真と、その拡大写真が 1 枚ずつ示されている。しかし試料測定地点や測定層位も示されておらず、拡大写真も不明確で、「砂層中の凝灰岩」が写されているのかどうかも明らかにされておらず、測定試料の詳細は不明である。2013 年からは泊原発 3 号機の再稼動をめざす審査が始まり、北電は、毎回、百枚を越えるような多数のパワーポイント資料を提示しているが、「岩内層」の年代に関する詳しい資料がそこで提示されたことはない。測定地点や測定層位など基本的データすら現在に至るまでまったく公表されないままである。それだけでも、科学的な年代測定とはいえないが、より根本的な問題は、北電が、「岩内砂層」中の「凝灰岩」の年代を測って、それをそのまま「岩内層」の年代としていることであろう。砂層のなかに取り込まれた外来礫としての「凝灰岩」の年代を測定しても、それがそのまま砂層の堆積年代にならないことは明らかである。まずこの点からして、北電の主張する「岩内層」の年代なるものは地球科学的に疑問である。

III 地形面を無視した北電の「岩内層」の対比

次に問題なのは、北電が年代測定をしたとする岩内台地の「岩内層」の位置づけである。岩内台地は、リヤムナイ台地とも呼ばれ、岩内町市街地の背後に広がる標高 25~30m 程度の平坦な台地であるが、すでに渡辺(真人)ほか(1990)、赤松ほか(1992)はこれを最終間氷期の海成段丘面とし、それを構成する砂層である「岩内層」は、MIS 5e に相当する海成層と推定している。また、日本全国の海成段丘面を分類、地図化した小池・町田(2001)も、これを MIS 5e の海成段丘面に分類している。しかし北電は、今日に至るまで、前 2 者の論文は参照せず、小池・町田(2001)を否定する科学的根拠も示していない。演者らの調査結果からいえば、北電が「岩内層」と一括してきた地層は、場所によって、堆積年代のまったく異なる、更新世の複数の海進の堆積物であると考えべきことが明らかになった。すなわち、岩内台地では、前述したように、それは約 12.5 万年前の MIS 5e の海進に対応する砂層であり、泊原発敷地内では、MIS 9 の海成段丘面を構成する海成の砂層と、その基底礫層(MIS 10 に相当する地層)と考えられる。したがって、泊原発敷地内で F-1 断層が変位させているのは、明らかに 40 万年より新しい地層であり、「後期更新世の地形・堆積物がなく、後期更新世以降の活動を判断できない場合」の基準に照らせば、F-1 断層は、明らかに「将来活動する可能性のある断層等」となる。

IV 原子力規制委員会と学会に望むこと

以上述べたように、北電が原子力規制委員会の審査で主張していることには重大な誤りがある。これは、たんに敷地内の「活断層」の問題にとどまらず、積丹半島周辺の地殻変動の解釈に関わる問題であり、看過することはできない。原子力規制委員会がこうした明らかな誤りを見抜けなかったのは、規制委員会に、海成段丘やその地層を判断できる専門家がいなかったためであろう。また、たとえ専門家がいたとしても、実際に現地を歩いていないと、電力会社が自らに都合よくまとめあげた資料の問題点を見抜けない可能性も高い。このような場合には、やはり、多様な専門家を有する学会がその不足を補うべきであろう。日本活断層学会のような学会は、研究成果を積極的に提供するだけでなく、規制委員会に対し問題点を指摘して、より科学的な審査を要求すべきであろう。規制委員会もまた、積極的に外部から知見を取り入れる努力をして、科学的に意味のある適合性審査を行っていただきたいと望むものである。

最終間氷期海成段丘に基づく三陸海岸北部の地殻変動

○宮崎真由美（株式会社パスコ）・石村大輔（首都大学東京）

Crustal movements on the northern Sanriku coast based on the last interglacial marine terraces

Mayumi Miyazaki (PASCO CORPORATION) and Daisuke Ishimura (Tokyo Metropolitan Univ.)

1. はじめに

三陸海岸は過去 10 万年間における地形学・地質学的な隆起傾向と最近約 100 年間の測地学的な沈降傾向との矛盾が指摘されており、地殻変動像を正確に捉えるためには確度の高い海成段丘の認定および編年が重要となっている。本研究では、海成段丘の編年学的研究が行われている上北平野を模式地とし、テフラに関するデータに乏しい三陸海岸北部において段丘被覆層のテフラの層位や層相、記載岩石学的特徴を明らかにするとともに、その結果に基づき海成段丘の対比・編年を行い、地殻変動速度とその傾向について考察した。

2. 研究地域概要

三陸海岸北部とその周辺地域である上北平野には、最終間氷期の海成段丘が分布する（小池・町田, 2001）。特に、上北平野は十和田火山起源のテフラに厚く覆われ、段丘の編年学的研究が行われてきた。宮内（1985）は上北平野に分布する最終間氷期海成段丘を高館面とし、高館面を同定・対比する上で指標となる洞爺テフラ（Toya, 112～115 ka : 町田・新井, 2003）をはじめ、この面を覆うテフラの層序を明らかにした。これらのテフラについては町田・新井（2003）や桑原（2010）によってその記載岩石学的特徴が明らかにされている。一方、三陸海岸北部では、米倉（1966）が最終間氷期海成段丘（種市面）を地形面及び堆積物の観察から同定・対比しているが、その年代指標は記載されていない。また、宮内（2001）によってこの地域に分布するテフラの層序が記載されたものの、その記載岩石学的特徴は十分に示されていない。

3. 研究手法

国土地理院撮影の縮尺 20,000 分の 1 の空中写真と後藤（2012）の手法に基づき作成したアナグリフ（国土地理院発行の 5 m DEM を使用）を用いて八戸から久慈にかけての地形判読を行い、既存研究で最終間氷期に形成されたとされる海成段丘を区分した。現地調査では、露頭調査およびハンドオーガーを用いた掘削調査を行い、段丘構成層および被覆層の観察、テフラの記載・試料採取を行った。テフラ分析では、偏光顕微鏡による観察を行い、粒子組成、重鉱物組成、火山ガラスの形態を明らかにした。一部の試料については、火山ガラスの屈折率測定を行った。

4. テフラ分析の結果とテフラの同定・対比

1) 上北平野

高館面を覆うテフラの模式露頭である青森県八戸市河原木（宮内, 2001）においてテフラ試料を採取し、宮内（2001）の記載をもとに上位から十和田八戸テフラ（To-H）、十和田ビス

ケット 2 テフラ (To-BP2) 十和田ビスケット 1 テフラ (To-BP1), 十和田合同テフラ (To-G), 十和田キビダンゴテフラ (To-Kb), 十和田オコシ 2 テフラ (To-Ok₂), 十和田アオスジテフラ (To-AP), Toya, ザラメ 2 テフラ (ZP2) の 9 層に対比した。

2) 三陸海岸北部

三陸海岸北部に分布するテフラの詳細な層相や記載岩石学的特徴は明らかにされていない。そこで、最終間氷期海成段丘より上位の面ではあるが、被覆層の露出・保存状態のよい青森県階上町道仏でテフラの記載を行った。そして、上北平野のテフラと比較し、To-H, To-BP1, To-Ok₂, To-AP, Toya, ZP2 に対比されるテフラが分布することを確認した。

各地点におけるテフラの対比を行った結果、多くの地点で To-H, To-BP1, To-Ok₂, To-AP, Toya が確認された。したがって、本研究で対象とした三陸海岸北部の段丘面の多くは被覆層中のテフラとの関係から最終間氷期海成段丘であると考えられる。

5. 海成段丘に基づく最終間氷期以降の地殻変動

段丘堆積物を覆う被覆層や崖錐堆積物の厚さを考慮し、旧汀線位置を推定した。その結果、上北平野の旧汀線高度は 38~40 m であり、小池・町田 (2001) と変わらない値であった。一方、三陸海岸北部では 16~30 m と小池・町田 (2001) の推定値に比べ低い値となった。この差異は、旧汀線高度の推定方法の違いによると考えられる。小池・町田 (2001) では、地形図から旧汀線アングルの標高を読み取り、その値から被覆層層厚を差し引き、旧汀線高度を求めている。この方法では、崖錐堆積物の層厚が考慮されないため、本研究に比べ高い値を示すのであろう。また、小池・町田 (2001) に準拠し、上記の旧汀線高度からユースタティックな海水準高度 5 m を差し引いて垂直変動量を算出した。その結果、上北平野では 0.26~0.29 mm/yr であるのに対し、三陸海岸北部では 0.09~0.20 mm/yr となり、上北平野に比べ低い値となった。また、三陸海岸北部において徐々に隆起速度が減少する傾向が見られた。

6. まとめ

本研究では上北平野の高館面を模式とし、層位や層相、記載岩石学的特徴から三陸海岸北部に分布する最終間氷期以降のテフラを To-HP, To-BP1, To-Ok₂, To-AP, To-CP, Toya, ZP2 に対比した。既存研究において最終間氷期海成段丘とされている種市面をテフラ分析に基づいて再検討した結果、指標テフラである Toya が段丘構成層直上にあることから、高い確度で最終間氷期海成段丘であるということが明らかになった。この海成段丘の対比に基づき推定された三陸海岸北部の最終間氷期海成段丘の旧汀線高度は 16~30 m となった。また、本地域における隆起速度は 0.09~0.20 mm/yr となり、北から南にかけて徐々に減少する傾向が見られた。

文献

後藤秀昭 (2012) 広島大学大学院文学研究科論集. 72, 1-69. 小池一之・町田 洋編 (2001) 日本の海成段丘アトラス. 東京大学版会. 桑原拓一郎 (2010) 地質調査研究報告, 61, 11/12, 489-494. 町田 洋・新井房夫 (2003) 新編 火山灰アトラス 日本列島とその周辺. 東京大学出版会. 宮内崇裕 (1985) 地理学評論, 58, 492-515. 宮内崇裕 (2001) 上北平野. 小池一之・町田 洋編, 日本の海成段丘アトラス, 東京大学版会, 27-29. 米倉伸之 (1966) 地理学評論. 39, 311-323.

能登半島北部内浦の完新世海成段丘と地殻変動

大畑雅彦（国際航業株式会社）

Holocene marine terraces and crustal movements

in Uchiura on the northern Noto Peninsula, Central Japan

Masahiko OHATA (Kokusai Kogyo Co., Ltd.)

1. はじめに

能登半島は周囲を複数段の海成段丘に縁取られ、更新世中期以降隆起の卓越する地域として知られている（太田・平川，1979）．富山湾に面した内浦の地域において，近年の沿岸海域の調査にて北傾斜の海底活断層が推定されているが（東京大学地震研究所，2014），完新世の隆起については十分に解明されていない．本研究では，能登半島北部の内浦の地域を対象として，完新世海成段丘および離水ノッチの旧汀線高度分布を明らかにし，完新世の地殻変動の様式を考察する．

2. 研究手法

空中写真判読と露頭観察・簡易掘削調査により完新世海成段丘の発達を調べた．斜面測量器およびレーザー距離計を用いて，完新世海成段丘の旧汀線アングルの高度および離水ノッチのリトリートポイントを測量した．なお，完新世海成段丘のうち基盤岩が露出するものを離水ベンチとして以降記述する．

3. 結果

完新世海成段丘面を上位より L1 面（平均海面高約 6 m），L2 面（約 3.5～7 m），L3 面（約 1～3 m）に分類した（図 1）．このうち L1 面の分布は限られるものの，L2・L3 面は発達が断片的ながら連続性が確認でき，両面が発達する地点も多い．また完新世段丘面より低位に発達する離水ベンチ・ノッチを，上位より B1 面（約 2 m），B2 面（約 1～1.5 m），B3 面（約 0.5～1 m）に分類した．以下に地域ごとの発達を記載する．

1) 宇出津地域

当地域に位置する遠嶋山では，約 5～6 m の完新世海成段丘（L2 面）の露頭にて不整合に切られた基盤岩上に層厚 50 cm 前後の薄い円礫層が堆積していた．また御舟崎および遠嶋山では多数の離水ノッチ・離水ベンチ（B1～B3 面）が発達し，複数の地点で海食洞内に複数段の離水ノッチの発達が認められた．また離水ノッチ・離水ベンチの発達高度と対応して，穿孔貝によると思われる帯状の穿孔痕が観察できた．

2) 鵜川地域

当地域では約 3.5～4.5 m の完新世海成段丘（L2 面）が発達し，不整合に切られた基盤岩上に層厚 50 cm 以下の薄い円礫層が堆積していた．その中でも七見にて発達する L2 面は，段丘構成層である薄い円礫層の直上に，角の取れていない製塩土器片らしき土器片を密に含む円礫層

が堆積していた。付近の別の露頭では暗褐色シルトの被覆層中に円礫が薄く挟まれる様子が観察できた。これらは、段丘の離水後に高潮や津波などで礫浜の円礫が打ち上げられた堆積物の可能性がある。

3) 穴水地域

当地域では、約 3～4.5 m の L2 面と約 1～2.5 m の L3 面が発達し、いずれも不整合に切られた基盤岩上に層厚 30cm 以下の薄い円礫層が堆積していた。特に新崎に発達する約 3.7 m の L2 面と、野々木鼻に発達する約 1.9 m の L3 面が比較的幅広い段丘面を成し、周囲との旧汀線高度の対比の基準となる。

4. 考察

能登半島北部内浦では間欠的な離水によって形成される完新世段丘・離水ノッチが複数段の高度に発達し、沿岸の海底活断層に起因する地震性隆起が推定される。また L2・L3 面の旧汀線高度の分布から、図 1 の AA' 軸の投影では全体的に北東上がりの傾動が認められる一方で、平面的な分布では富山湾側に向かう南東上がりの傾動も認められる（大畑，2016）。今後は沿岸の海底活断層の活動性と関連させつつ、より小地域ごとの傾動隆起の詳細を明らかにする必要がある。

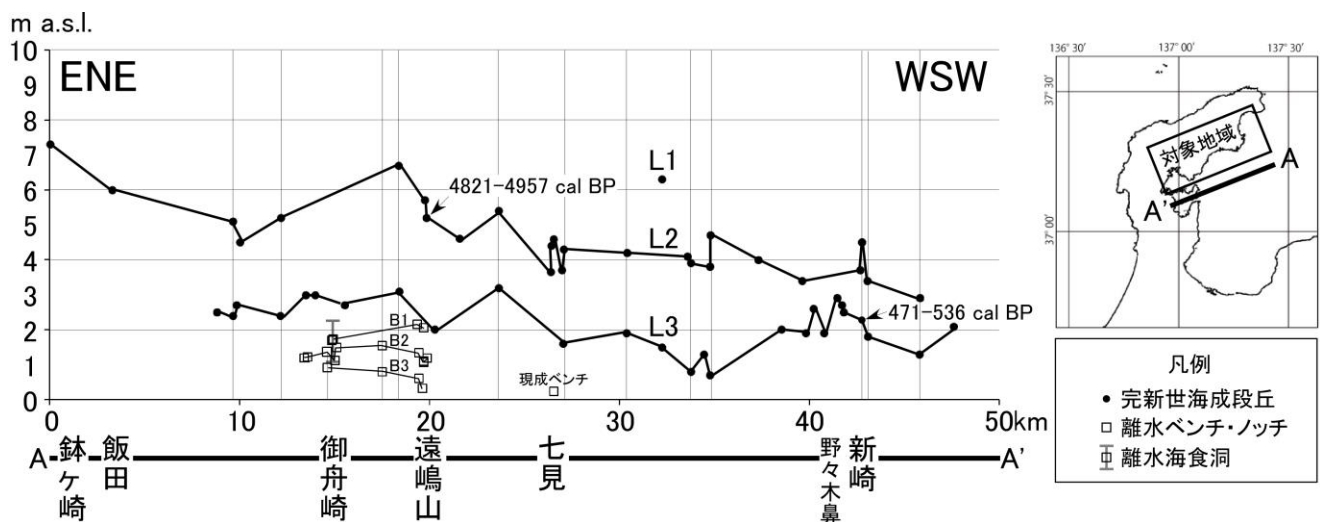


図 1 旧汀線高度分布図

年代値は大畑（2016）による。

【引用文献】

- 太田陽子・平川一臣 1979. 能登半島の海成段丘とその変形. 地理学評論 52: 169-189.
- 大畑雅彦 2016. 能登半島北部の完新世海成段丘と地殻変動. 日本地理学会発表要旨集 2016 年度日本地理学会春季学術大会
- 東京大学地震研究所 2014. 日本海地震・津波調査プロジェクト 平成 25 年度 成果報告.
http://www.eri.u-tokyo.ac.jp/project/Japan_Sea/H25Report/index.htm

熊本市街地付近の活断層と 2016 年熊本地震による地表変状

○後藤秀昭(広島大学)・堤浩之(京都大学)・遠田晋次(東北大学)・熊原康博(広島大学)

Geomorphic features of active faults and surface rupture associated with the 2016 Kumamoto earthquake in and around the downtown of Kumamoto City

Hideaki Goto (Hiroshima Univ.), Hiroyuki Tsutsumi (Kyoto Univ.), Shinji Toda (Tohoku Univ.),
and Yasuhiro Kumahara (Hiroshima Univ.)

2016 年 4 月 16 日に発生した熊本地震 (Mj7.3) に伴って出現した地表地震断層のほとんどは、布田川-日奈久断層帯としてすでに記載された断層 (渡辺ほか, 1979 ; 九州活構造研究会編, 1989 ; 池田ほか, 2001 ; 中田・今泉編, 2002 など) に沿って出現した (熊原ほか, 2016)。熊本市街地でも大きな震動と被害が生じたものの、熊本平野では南縁の布田川断層帯以外で平野に分布する活断層は立田川断層 (渡辺, 1987) を除いて知られていない。本研究では、熊本市街地周辺の変動地形を再判読することで、新たな断層地形を見いだした。また、2016 年熊本地震の地表変状を調査したところ、変位量は小さいものの、これに沿って断続的に変形が確認された。これらについて、報告し、若干の考察を行う。

熊本平野を対象に数値標高モデル (国土地理院基盤地図情報 5 m メッシュ) を用いた地形ステレオ画像を判読したところ、熊本市街地付近の段丘面を変位させる北西-南東方向に延びる撓曲崖が新たに確認された (水前寺撓曲崖)。また、益城町中心街から水前寺撓曲崖の南東端に向けて東北東-西南西方向の長波長の撓曲変形が新たに確認された (秋津川撓曲帯)。

熊本平野周辺の河成段丘は、阿蘇カルデラから流下し、市街地付近では南西方向に流下する白川によって主に形成されており、上位から Aso-4 堆積面 (86.8-87.3ka : MIS5b), M 面, L1 面, L2 面, L3 面に分けられる。M 面は地形面状に残された旧河道や上位面との段丘崖との地形的特徴から Aso-4 堆積面の侵食段丘と考えられる。L1 面, L2 面は比較的連続して分布するのに対し、L3 面は一部に分布し、撓曲崖と沖積面を分けるように発達しており、断層変位に関連した地形面と考えられる。L2 面を覆う風成層から AT 火山灰が見いだされている (渡辺ほか, 1995) ことから、L2 面は MIS4~3, L1 面は MIS5a に堆積した地形面と考えられる。

水前寺撓曲崖は大きく 3 条の撓曲崖に分けられる (図 1, F1~F3)。いずれも新旧の地形面を横切って延び、地形面を南西方向に撓ませる。小河川や開析谷の流行方向にほぼ直交して延びる崖からなり、外的作用で地形発達を説明するのは困難な地形である。変位量は M 面で 8.2-9.5m, L1 面で 6.2-7m, L2 面で 3.5-4.3m, L3 面で 2.7m と累積的である。白川は撓曲帯より上流で段丘面を先入蛇行しており、段丘面形成以降に隆起していることを示している。

秋津川撓曲帯は南~南西傾斜の地形面が急傾斜する帯状の地形として認められる。M 面で 6m, L1 面で 2.5-3m, L2 面で 2m の上下変位が認められ、急傾斜帯の幅はそれぞれ 400-500m, 300m, 200m と累積的である。水前寺撓曲崖よりも長波長の変形として認められ、伏在する活断層による変形と考えられる。

2016 年熊本地震後に地表踏査を行ったところ、路面や擁壁などの人工構造物に連続する亀裂が、水前寺撓曲崖、秋津川撓曲帯に沿って断続的に認められた。これらは 16 日の本震で生

じたとされる。水前寺撓曲崖の一部ではわずかながら左ずれが確認された。水前寺撓曲崖の上に作られている熊本工業高校のプールでは 8cm の傾きが確認でき、撓曲崖が成長したと考えられる。これらの地表変状は合成開口レーダーの解析とも調和的である(国土地理院, 2016)。

余震分布からは水前寺撓曲崖の下に北西-南東方向に延びる比較的浅い地震が分布しており(気象庁, 2016), 地下浅部での破断が推定される。ただし, 断層の長さから想定される変位量ではなかったことから, 布田川-日奈久断層帯の活動に誘発されて変位した可能性がある。

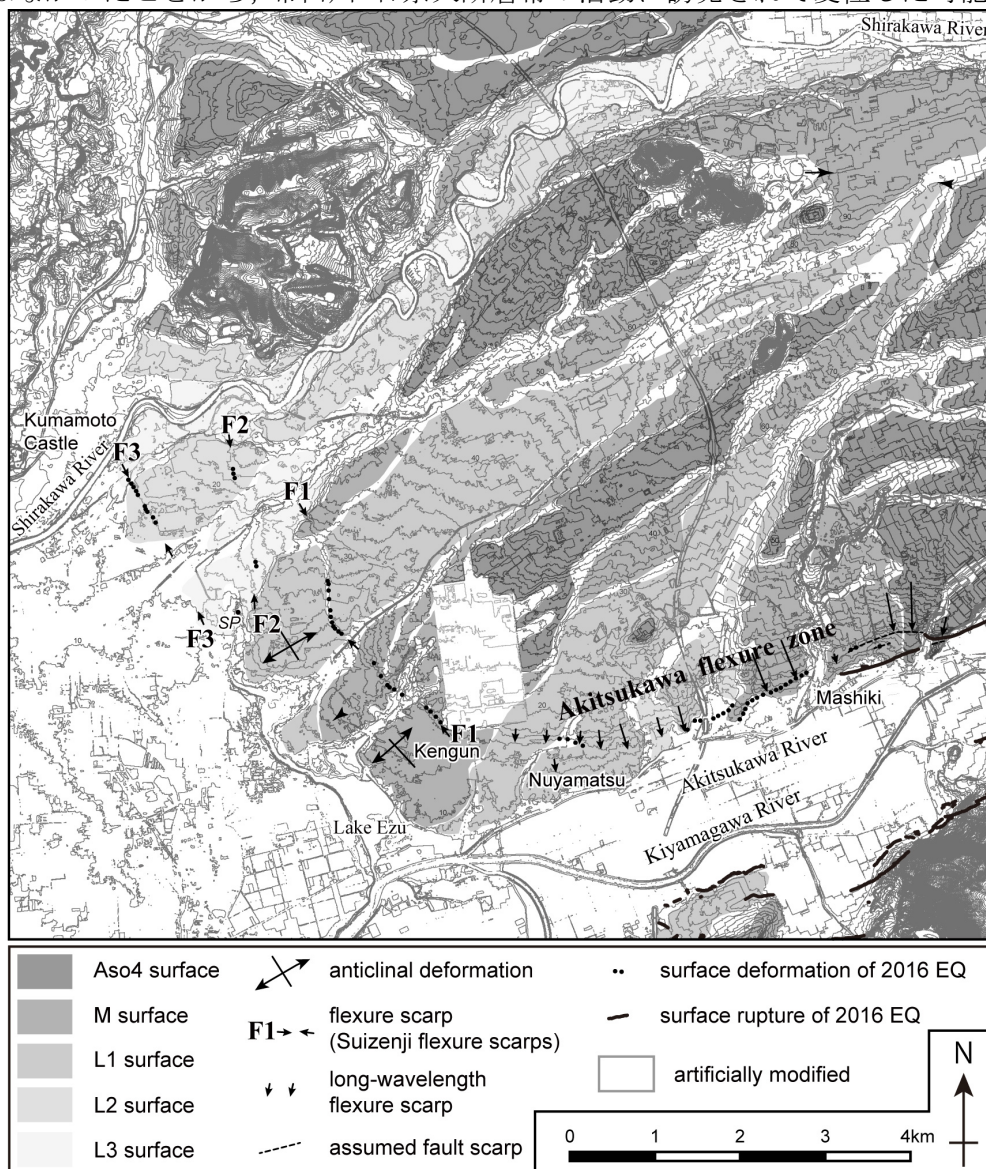


図1 熊本市街地付近の変位地形と2016年熊本地震に伴う地表変状の確認された位置

(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)都市圏活断層図「熊本」九州活断層研究会編(1989)『九州の活断層』熊原康博ほか(2016)日本地球惑星科学連合2016年. 中田高・今泉俊文編(2002)『活断層詳細デジタルマップ』渡辺一徳・榎倉克幹・鶴田孝三(1979)阿蘇カルデラ西麓の活断層群と側火山の位置について. 第四紀研究, 18, 89-101. 渡辺一徳(1987)活断層としての立山山断層. 熊本地学会誌, 85, 6-13. 渡辺一徳・高田英樹・岡部良子・西田晃代(1995)熊本県白川中流域の河成段丘堆積物と広域テフラとの層序関係. 熊本大学教育学部紀要 自然科学, 44, 15-22. 国土地理院(2016)平成28年熊本地震に関する情報. <http://www.gsi.go.jp/BOUSAI/H27-kumamoto-earthquake-index.html> 気象庁(2016)「平成28年(2016年)熊本地震」について(第7報) <http://www.jma.go.jp/jma/press/1604/16a/201604160330.html>

SAR 干渉解析による平成 28 年（2016 年）熊本地震に伴う 熊本市内の地表変位と地下構造との関係

○中埜 貴元・森下 遊・小林 知勝・藤原 智・宇根 寛（国土地理院）

Relationship between InSAR-derived surface displacements
associated with the 2016 Kumamoto Earthquake and
underground structure around Kumamoto City

○Takayuki Nakano, Yu Morishita, Tomokazu Kobayashi,
Satoshi Fujiwara, Hiroshi Une (GSI)

1. はじめに

平成 28 年（2016 年）熊本地震（Mj 7.3）（以下、「熊本地震」という）では、ALOS-2 データを用いた SAR 干渉解析により、広域の地殻変動が検出された（国土地理院，2016）．この SAR 干渉画像では、地表地震断層が出現した布田川断層や日奈久断層付近で位相の不連続が生じたが、それ以外の場所でも小さな地表変位を示す線状の位相不連続が多数確認された（Fujiwara et al., 2016）．そのうち、熊本市の水前寺江津湖公園周辺で見られた北西－南東方向に延びる位相不連続箇所において、SAR データによる 3 次元解析を行い、詳細な上下変位量を明らかにするとともに、現地にて地表変位量を調査した．また、ボーリングデータによる地下構造と比較することで、地表変位の要因を検討した．

2. 解析・調査の概要

国土地理院のホームページ（国土地理院，2016）で公開されている 8 つの SAR 干渉画像のうち、今回対象とした熊本市の水前寺江津湖公園周辺の地表変位を示す線状の位相不連続は、6 つの SAR 干渉画像で確認でき、これらを検討に使用した．また、ALOS-2 は 4 方向からの観測が可能で、それらの結果から東西/南北/上下の 3 次元地表変位量成分を算出することができるため、4 方向からの干渉画像を用いて 3 次元解析を実施し（森下ほか，2016），それを現地調査等に用いた．現地調査は、2016 年 5 月 10 日に実施した．地下構造の検討に使用したボーリングデータは、防災科学技術研究所のジオ・ステーションで公開されているものを使用した．

3. 結果と考察

3. 1 SAR 干渉画像に基づく現地調査結果

SAR 干渉画像及び 3 次元変位量図から、北西－南東方向に軸をもつ鋸歯状の地溝構造を示す地表変位が確認できた（第 1 図）．現地調査の結果、水前寺公園の西縁から江津湖西縁にかけてみられる位相不連続箇所の 4 地点において、また、健軍神社西側の 3 地点において、アスファルト道路や歩道、擁壁等で開口亀裂を確認した（第 1 図の×地点）．前者 4 地点の開口亀裂は、開口幅 5～10mm、走向 N20°W～N40°W で、上下変位は認められなかった．ただ、SAR による 3 次元変位量図では、この地点周辺では位相不連続線を境界に南西側が約 7cm 沈降、北東側が約 1cm 隆

起で、相対的な上下変位量は約 8cm となっている。そのため、現地でもある程度の地表の上下変位が期待されたが、今回の調査では認められず、狭幅な撓曲状の変位が生じている可能性がある。後者 3 地点の開口亀裂は、開口幅 5~10mm、走向 N30°W で、一部は南西側下がりの 5mm の上下変位が確認された。3 次元変位量図では、この地点周辺では位相不連続線を境界に南西側が約 4cm 沈降、北東側が約 5cm 隆起で、相対上下変位量は約 9cm となっている。それと比べると、現地で確認された上下変位量は小さいが、上下変位の向きは調和的である。

3. 2 ボーリング柱状図を用いた地下構造との比較検討

上記地域を概ね東西方向に横切る配列のボーリング柱状図を第 1 図下部に示す。江津湖西縁部では、基盤に相当する礫層が地下 7m 付近に現れており、他の場所と比べて非常に浅く、この付近に地質構造の境界が存在する可能性が考えられる。SAR の 3 次元変位量図では、この江津湖西縁に沿う北西-南東方向の位相不連続線の西側が地溝状に沈降し、東側が隆起しているが、江津湖西縁部の基盤の浅さと併せて考えると、江津湖西縁に沿う北西-南東走向の断層構造の存在が疑われる。

4. まとめ

熊本地震に伴い SAR 干渉画像で確認された熊本市水前寺江津湖公園周辺の地表変位（線状の位相不連続）について、SAR による 3 次元変位量解析と現地調査、ボーリング柱状図を併用して、地表変位の要因を検討した結果、江津湖の西縁に沿う断層構造の存在が示唆された。

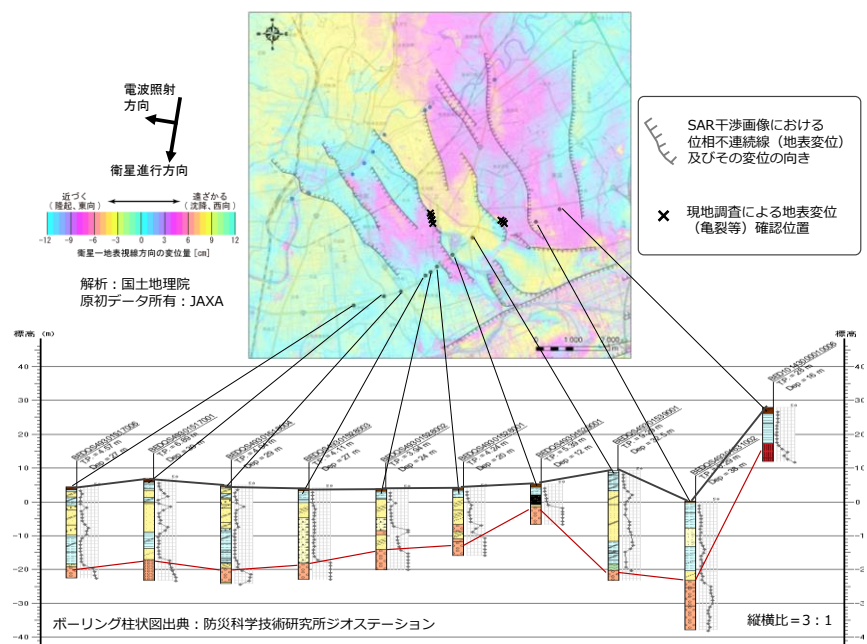
引用文献

Fujiwara et al. (2016): Small displacement linear surface ruptures of the 2016 Kumamoto earthquake sequence detected by ALOS-2 SAR interferometry, Earth, Planets and Space (in press).

国土地理院 (2016) : だい

ち 2 号干渉 SAR による変動の検出について、平成 28 年熊本地震に関する情報、<http://www.gsi.go.jp/BOUSAI/H27-kumamoto-earthquake-index.html#3> (2016 年 9 月 13 日閲覧)。

森下ほか (2016) : ALOS-2 による 2016 年熊本地震に伴う様々な地表変動の詳細な計測、日本地震学会 2016 年度秋季大会予稿集。



第1図 熊本市水前寺江津湖公園周辺の SAR 干渉画像とボーリング柱状図との対比

活断層で発生する地震の地震モーメント事前推定

島崎邦彦（東京大学）

Pre-seismic estimate of the seismic moment of a large earthquake on active faults in Japan

Kunihiko Shimazaki (UTokyo)

2016年4月熊本地震の地震モーメントを、地震発生前の情報から推定することによって、地震モーメントの事前推定の問題を明らかにする。阿蘇火山地域の地下構造の考慮が重要であり、断層面積や断層長は地下構造によって制限される。今回の地震は、地震前の情報から想定しうる最大（或は最大以上）モーメントの地震で、入倉・三宅式を用いると過小評価（島崎, 2016）となる。経験式を用いる場合には、元のデータに遡る検証が必要である。事前に、断層が並走する震源モデルを想定する可能性は皆無といって良い。しかし地震後には提案され、総断層長や総面積を用いて経験式が作られ、地震モーメントを過小評価する原因となる。

まず断層の幅の事前推定が、深さ10-15km程度の地殻構造と密接に関連することを指摘したい。阿蘇地震の地表地震断層はカルデラ内に達しており、震源断層の推定には火山体およびその周辺の地下構造を考慮する必要がある。この地域では火山直下深さ6km付近のマグマや、深さ15-20kmのシル状マグマなどが推定されており（Sudo and Kong, 2001; 国土地理院, 2004; Abe et al., 2010）、これらの近傍で強震動を発生する破壊が発生するとは考えにくい。地震後に推定された震源モデルには、マグマ溜まりや低速度域を無視したものが散見される。地震動の逆解析から得られた震源モデルは、仮定した破壊伝播速度の影響を受ける。熊本地震の破壊伝播速度が遅かったため、通常の伝播速度を仮定すると断層長が過大となる（八木, 2016私信）。独立な地殻変動データなどによる確認が望ましい。

特記すべきは、GNSS連続観測により地震発生時に生じた地殻変動が判明したこと、およびSAR（だいち2号）観測により、空間的な震源域の把握が容易なことである（国土地理院, 2016）。

断層のずれの不均質性を考慮した震源モデル（国土地理院, 2016）について、地震モーメントの事前推定の問題を提示する一例であることを指摘したい。震源モデルは4面の断層面からなり、断層長の合計は60kmとなる。しかし、これらは互いに重なりあっており、その部分を除いた断層長は43kmに過ぎない。また南東傾斜で中央火口丘群と重なる位置にある断層面A2（長さ10km）は疑問である。SAR観測は火口丘全体の沈降を示している。上記は、並走する、あるいは重なる断層面の一例であるが、内陸最大の1891年濃尾地震も同様である。日本の内陸地震として最大であるため、そのデータは経験式の策定に重要な位置を占める。岐阜-一宮線を含めると総断層長は122kmとなるが、活断層系の両端間の距離は69kmに過ぎない。経験式では、断層長の二乗により地震モーメントが求まるので、その影響は大きい。

[Memo]

2016 年熊本地震時に「清正公道」に沿って出現した地震断層

渡辺満久（東洋大）・中田 高・後藤秀昭（広島大）・田中 圭（地図センター）・
鈴木康弘（名古屋大）・高田圭太（復建(株)）

Earthquake faults along the Kiyomasa kodo, associated with 2016 Kumamoto earthquake, Kyushu

Takashi NAKATA, Hideaki GOTO (Hiroshima Univ.), Kei TANAKA (Japan Map
Center), Mitsuhsa WATANABE (Toyo Univ.), Yasuhiro SUZUKI (Nagoya Univ.)
and Keita TAKADA (Fukken Co. Ltd.)

I はじめに

1997 年と 1999 年には、阿蘇カルデラの北西部から南西方向に正断層性の右横ずれ地震帯が形成された(二重峠断層;須藤・池辺, 2001, 京大防災研年報)。2016 年熊本地震時には、阿蘇カルデラ北西部においても、断続的ではあるが ENE-WSW 方向に配列する顕著な段差を伴う断層が出現した(中田ほか, 2016, 地震学会)。これらの断層は地下浅部の断層変位に由来する可能性が高い。阿蘇外輪山北西部の二重峠付近から西南西方向の大津町に至る地域では、尾根や斜面上に直線的な凹地があり、その一部は「清正公道(豊後街道の一部)」として利用されている。熊本地震時には、清正公道に沿っても家屋被害集中域があり、開口亀裂等も確認された。本報告では、清正公道に沿って出現した地震断層を中心に報告する。調査には平成 28 年度科学研究費補助金(特別研究促進費)「2016 年熊本地震と関連する活動に関する総合調査」(課題番号: 16H06298、研究代表者: 清水 洋)を使用した。

II 阿蘇カルデラ北西部～清正公道に沿って出現した地震断層の記載

三久保(阿蘇カルデラ北西部、東経 131° 02' 9.5"・北緯 32° 57' 22.2") : 県道 175 号線を横切って、NE-SW 方向、比高約 1.5m の地溝が形成されている。この地溝は、4 月 16 日の本震時に形成されたことを、現地での聞き込みで確認した。なお、地溝を形成した断層は墓地も横切っているが、極めて不安定なものを除いて墓石の転倒はみられない。周辺の家屋への被害に関しても、顕著なものはない。本震発生時に強震動を伴わない変位によって地溝が形成されたと考えられる。

豊後街道(東経 130° 57' 44.15"・北緯 32° 54' 48.2") : 外輪山の二重峠から南西～西南西方向に、幅の狭い地溝状の地形が連続している。その延長上、カルデラ内の赤水から県道 23 号線を登り、県道 339 号線を通過したところに豊後街道が保存されている。豊後街道と県道 23 号線が交わる地点で、2cm 程度の右ずれが生じており、破壊された県道 23 号線は補修されている。

清正公道碑(東経 130° 55' 45"・北緯 32° 53' 43.2")～高尾野水道記念碑(東経 130° 55' 42"・北緯 32° 53' 42.8") : 4 本のボルトで固定されていた清正公道碑、東屋、高尾野水道記念碑等がすべて、北方向に倒壊している。清正公道碑付近では北側が数 cm 程度隆起した痕跡が残されている。水道記念碑付近では北側が 10cm 以上隆起した可能性があり、断層トレース付近では埋設された石柱が飛び出したり傾斜したりしている。

新小屋町消防団倉庫付近(東経 130° 55' 14.5"・北緯 32° 53' 37.5") : 最大で 10cm の断層変位(南側隆起)が認められ、軽トラックの車輪が開口亀裂中に落ち込んでいる。地震断層は消防団倉庫横の集会所直下を通過しており、その基礎には 10cm の鉛直変位とともに 5cm 程度の右ずれ変位が確

認できる。地震断層は少なくとも 120m 以上は連続しており、付近の家屋の損傷は著しい。周辺での聞き取り調査から、この地変は 4/16 の本震時に発生していることを確認した。

新小屋町の東屋(東経 130° 54' 53" ・北緯 32° 53' 37") : 東屋(倒壊していない)周辺に、数 10m 以上連続する南落ちの地震断層が確認できる。また、東屋の西隣では、右ずれ型の pull-apart basin が形成されている(南北幅 1.6m、東西長 3.5m 以上)。地溝を形成している地震断層の鉛直方向の断層変位量は、最大で 8cm 程度である(写真1)。

III まとめ

阿蘇カルデラ北西部と大津町高尾野付近では、4/16 の本震 (01 時 25 分) 後に、それぞれ M5.8 (03 時 03 分頃) と M6.0 (01 時 46 分頃) の余震が発生している。上記した二重峠断層沿いの地震断層は、余震時ではなく、本震発生時に出現している。阿蘇カルデラ北西部の三久保付近では、家屋や墓石の被害はほとんどない。ここでは、本震発生時に強震動を伴わない断層運動によって地溝を形成したと考えられる。一方、清正公道に沿う地域では、地震断層は家屋の地震被害集中域を伴っており、石碑等の倒壊状況も顕著である。これは「ずれ」による被害以外に、強い地震動が発生した可能性を示している。清正公道に沿っては、北側隆起の地震断層、右ずれと南側隆起の地震断層、右ずれを暗示する地溝を形成する地震断層がほぼ連続している。これらの特徴から、右ずれを主体とする断層活動があったと考えられる。

加藤清正が整備した清正公道は、大津町～二重峠間の豊後街道の名称であり、熊本藩の参勤交代に利用されてきた街道である。この清正公道は、外輪山の二重峠から大津町高尾野に至る地域において、尾根や斜面上の直線的な凹地を通過している。尾根や斜面途中のような位置に、人工的に掘削して凹地を作って街道を設置する合理的理由があるだろうか。2016年熊本地震時には、この凹地に沿って地震断層が出現していることから、清正公道は断層変位地形を利用して建設された可能性が指摘できる。今後、活断層の分布と公道との位置関係について、さらに検討を進める必要があろう。



写真 1 新小屋の東屋西隣の地溝 (写真上が北)

平成 28 年熊本地震に伴い阿蘇外輪山北西部に現れた 多数の地表変位について

○宇根 寛・中埜貴元・藤原 智・小林知勝・森下 遊（国土地理院）・
佐藤 浩（日大）・八木浩司（山形大）

Dozens of linear surface displacements emerged in northwest of the outer rim of the Aso caldera associated with the 2016 Kumamoto Earthquake

○Hiroshi UNE, Takayuki NAKANO, Satoshi FUJIWARA, Tomokazu KOBAYASHI,
Yu MORISHITA (GSI), Hiroshi P. SATO (Nihon Univ.), Hiroshi YAGI (Yamagata Univ.)

1. はじめに

ALOS-2 データを用いた SAR 干渉解析により、平成 28 年熊本地震に伴い生じた地表変動が詳細に明らかにされた（国土地理院，2016）。この中には、地表地震断層が出現した布田川断層や日奈久断層付近での位相の不連続や断層変位に伴う広域的な弾性変形のほか、小さな地表変位を示す線状の位相不連続が多数確認された（Fujiwara et al., 2016）。特に、阿蘇外輪山北西部には、概ね西北西～東南東走向の長さ数 km の線状の位相不連続が数百 m 間隔で並行に 20～30 本認められた（図 1）。筆者らはこれらがどのような地表変位を反映して現れたものかを SAR データの 3 次元解析で明らかにするとともに、現地調査を行い、SAR 解析結果と整合的な地表変位を確認した。

2. SAR 干渉解析による地表変位

ALOS-2 の 4 方向からの観測による干渉画像を用いて、東西/南北/上下の 3 次元地表変位量成分の解析を行った（森下ほか，2016）。その結果、阿蘇外輪山北西部の位相不連続は、北部は南落ち、南部は北落ちの最大 30cm 程度の垂直変位を示していると解釈された。

3. 現地調査

これらの位相不連続が現れている地点の現地調査を行った（5 月 11 日及び 8 月 11～13 日）ところ、少なくとも 3 つの不連続線上で地表変位を確認した。

図 1 の地点 1 では、杉林の斜面中に走向 EW、開口幅 12～40cm、落差 10～20cm 程度の南落ちの段差が少なくとも数 10m 連続しているのを確認した。地点 2 では、ゴルフ場のクラブ

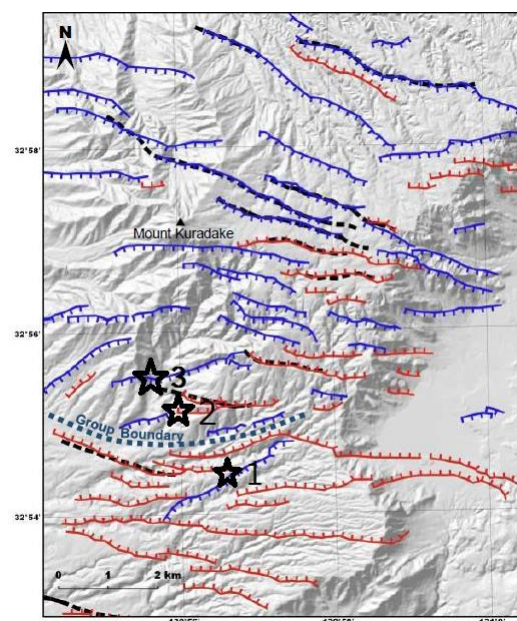


図 1 阿蘇外輪山北西部の位相不連続
（Fujiwara et al., 2016）。☆1～3 は現
地調査で地表変位を確認した地点。

ハウスの駐車場からコースにかけて数 100m にわたって走向 EW，開口幅 10～20cm，北落ち落差最大 20cm 程度の段差が追跡でき，その延長上の道路上のアスファルトにも段差が確認できた。さらに，ゴルフ場から 600m 西側の延長上では，河川の護岸と床固め工，道路上のアスファルト，民家敷地内に走向 EW 落差 10cm 程度南落ちの，短縮変形を伴った段差が連続していることが確認できた。地点 3 では，簡易舗装の道路上に走向 EW 落差 10cm 程度の南落ちの段差と，その道路の西隣の土堤上に走向 EW，開口幅 30cm，落差 10cm 程度の南落ちの段差を確認した。いずれの段差にも大きな横ずれは確認できなかった。

これらの地表変位は，いずれも SAR 干渉解析による分析ときわめてよく整合するものであった。

4. 考察

これらの地表変位が現れた阿蘇外輪山北西部は，主要な震源断層と考えられる布田川断層，日奈久断層からかなり離れており，余震もほとんど発生していない。このため，震源断層が地表に到達した通常の地表地震断層とは考えられず，地震に伴う応力の変化や地震動により既存の構造が誘発された受動的な変動，いわば「お付き合い」地表変動と考えられる。しかし，現地での観察では地表地震断層と判断されかねない形状的特徴を示しており，ある程度の変位量をもって地下に連続している。このような受動的な地表変動は，SAR 干渉解析により地表の変位が面的かつ詳細に把握できるようになって以降，2014 年長野県北部の地震（中埜ほか，2015）や 2007 年中越沖地震（Nishimura et al. 2008）などでも報告されている。これまで報告されている地表地震断層や，トレンチで認定されるイベントにも，このような受動的変動が含まれている可能性があり，活断層の活動履歴の評価に対する問題提起と考えるべきであろう。

文献

Fujiwara et al. (2016): Small displacement linear surface ruptures of the 2016 Kumamoto earthquake sequence detected by ALOS-2 SAR interferometry, *Earth, Planets and Space* (in press).

国土地理院（2016）：だいち 2 号干渉 SAR による変動の検出について，平成 28 年熊本地震に関する情報，<http://www.gsi.go.jp/BOUSAI/H27-kumamoto-earthquake-index.html#3>（2016 年 9 月 13 日閲覧）。

中埜ほか（2015）：干渉 SAR で捉えた 2014 年 11 月 22 日長野県北部を震源とする地震に伴う地表変位，*活断層研究*，43。

Nishimura T, Tobita M, Yarai H, Amagai T, Fujiwara M, Une H, Koarai M (2008) : Episodic growth of fault-related fold in northern Japan observed by SAR interferometry, *Geophys Res Lett*. doi:10.1029/2008GL034337

森下ほか（2016）：ALOS-2 による 2016 年熊本地震に伴う様々な地表変動の詳細な計測，*日本地震学会 2016 年度秋季大会予稿集*。

2016 熊本地震での地表変位と被害

原口 強(大阪市立大学)

Clarification of the relationship between the damage distribution and

surface displacement caused by the 2016 Kumamoto earthquake

Tsuyoshi HARAGUCHI (Osaka City Univ.)

2016 年熊本地震は、活断層が引き起こした地震であった。この地震に伴い、益城町と西原村では震度 7 を計測した。壊滅的被害は既知の活断層¹⁾沿いに集中し、改めて活断層の脅威が再認識された²⁾。この地震に伴い、地表には地震断層・液状化・側方流動に伴う地表変位が現れた。本発表では、地震で現れた地表変位と被害について具体的な事例を示して議論する。

1) 益城町低地北縁の地表地震断層と「震災の帯」

益城町低地北縁には、益城町堂園付近で分岐し宮園まで延びる総延長 4km の地表地震断層^{3) 4)}が現れた。「震災の帯」と呼ばれる壊滅的な建築物被害集中ゾーンは、この断層の延長にあたる。市街地内の断層変位量は 20cm 未満で西側に向かって消滅する。断層変位によって道路や基礎が僅かに食い違っていることで、その位置を確認することができる。ただし、詳細にみると倒壊家屋の分布と地表地震断層の出現位置は必ずしも一致しない。

国総研による益城町の通り悉皆調査結果では、「地盤変状が建築物被害に影響を及ぼす構造力学的な観点からは、地盤変状で基礎が破壊し建築物に構造的被害が生じる点である。基礎固定条件で上部構造が崩壊状態となるような部材変形角を 1 階柱脚の強制変位によって生じさせるには相当量の変位量が要求されるが、このような基礎被害はほとんど認められなかった。」⁵⁾としている。

2) 益城町低地南縁の地表地震断層と構造物被害

堂園から南西に続く地震断層の沿いの被害状況を観察すると、断層のズレによる基礎や擁壁の破壊があるが、倒壊建物はない。断層が直撃したにも関わらず屋根瓦の落下もなく、外見上の無被害建物が多く見られた。地表地震断層がブロック塀を直撃した例では、変位により塀が破壊され舗装道路も右に変位しているがその範囲は限定的で、近接した石積擁壁と木造家屋には外見上被害は見られない。

3) 阿蘇カルデラ内の地震断層と被害

阿蘇カルデラ内、南阿蘇村河陽・黒川地区においても地表地震断層が現れた⁶⁾。断層は雁行割れ目となって見られ、右横ずれ運動に伴うものと判断された。断層の一部は建物を直撃して変位させたが、直後の空撮写真⁶⁾では建物は倒壊していないことが確認される。さらに東側のファームランドでは、中田高氏によって地震断層による地下通路の被災状況が速報された。右横ずれ変位による通路の被害で、ボックスカルバートのつなぎ部分がズレて隙間から裏込め土砂が流れでている様子が見て取れる。断層は、埋め戻された土砂部に強制変位を与え、コンクリートブロックの継ぎ目がズレた。コンクリート壁面に目立つ欠損は見られず、2 か月後には変位を残したまま修復されている。

4) 阿蘇カルデラ内での地割れ変位と被害

阿蘇カルデラ内の赤水から内牧にかけての阿蘇谷では、多数の地割れが発生した。地震前後の航空レーザ解析⁷⁾では、黒川沿いの内牧、狩尾、的石の3地区で長径1~2km四方が北~北西方向へ2~5m移動し、変位拡大地点は陥没性断裂と整合的⁷⁾としている。的石地区の微動探査結果（詳細は別稿）、地割れの直下約10mに低速度層（極緩い地盤）を確認された。古老の話では、地割れ部分近傍は1940年以前に黄土採取が広い範囲で行われていたとのことである。これらを総合する、緩い採土跡地が地震動により流動化・沈下した結果、黒川の下刻で開放地盤となる黒川までの地盤ブロックは南北両側の地盤の支えがなくなり、地震動により緩やかな北傾斜する地形に沿って側方流動したと判断される。

まとめ

地震による壊滅的な被害は、活断層沿いの狭い幅に限定された。地割れ、断層変位のみによって構造物が倒壊するか否かの視点から、現地データを再確認した。

断層変位（ズレ）による建物の倒壊は、ズレで基礎が破壊し基礎と連結する建物に被害が生じ倒壊することで生じる。熊本地震で生じた地表地震断層沿いの観察から、変位が基礎を破壊し建物を倒壊させた事例はない。北淡町で保存されている野島地震断層が直撃した2階建の鉄筋コンクリート建物では、内部家具の倒壊はあるが建物は外見上ほぼ無傷状態で現存している。周囲のブロック塀も、断層変位で折れ曲がっているが倒壊はしていない。

地盤の変位という視点では、阿蘇谷の地割れが直撃した建物や墓地の事例がある。上下変位による建物の変形はあるが、倒壊していない。大変位の視点では京大阿蘇研究所北麓の地すべりで約60m滑った別荘では、外観に損傷はなく中の住人も無事であった。

以上の通り、活断層による直下型地震では壊滅的な被害が地震断層近傍に現れ「震災の帯」となる。しかし、断層変位による被害に着目すれば、被害は極めて限定的であることが事例から示された。

文献

- 1) 池田安隆ほか（2001）：都市圏活断層図「熊本」国土地理院
- 2) 鈴木康弘・渡辺満久・中田高（2016）：2016年熊本地震を教訓とする活断層防災の課題と提言，科学，Vol. 86，No. 8，pp. 0839-0847.
- 3) 熊原康博ほか（2016）：2016年熊本地震の地表地震断層の分布とその特徴，地球惑星科学連合大会，MIS34-05.
- 4) <https://www.gsj.jp/hazards/earthquake/kumamoto2016/kumamoto20160513-1.html>
- 5) 国総研（2016）：「熊本地震における建築物被害の原因分析を行う委員会」の第2回配布資料，資料8
- 6) 国土地理院（2016）：航空写真・UAV動画の判読による平成28年熊本地震に伴い出現した南阿蘇村河陽・黒川地区の断層について（平成28年4月20日）
- 7) 日本応用地質学会（2016）：熊本・大分地震災害調査団調査報告速報版その1，阿蘇カルデラ内に出現した陥没性断裂とその周辺の地形変位，http://www.jseg.or.jp/00-main/pdf/20160716_Aso.pdf

平成 28 年熊本地震時に益城町郊外で生じた 地表地震断層近傍の地震動について

○香川敬生・吉田昌平・上野太士（鳥取大学大学院工学研究科）

A Study on Ground Motion Characteristics in the Vicinity of Surface Fault Rupture
Appeared at Suburbs of Mashiki Town due to the 2016 Kumamoto Earthquake

Takao KAGAWA, Shohei YOSHIDA, Hiroshi UENO (Tottori University)

1. はじめに

平成28年熊本地震では、益城町郊外において明瞭な地表地震断層が現れ、断層変位に起因する基礎の変形など建物被害が見られた。しかし、これら地表地震断層ごく近傍においては、強震動に起因する被害は小さいように見え、むしろ地表地震断層から離れた領域で強震動による建物の倒壊が見られた。このような現象は、国内外における過去の被害地震でも見られており、震源断層近傍の地震被害を検討するにあたって重要な要素のひとつと考えられる。

熊本地震の震源断層は、第一近似的には鉛直横ずれ断層でモデル化される。この場合、地下の断層ずれに対して地表方向への地震動放射は理論的には極小となるため、その場所直下の断層すべりは近傍の地震動には影響しない。一方、放射方向が断層すべり方向に近づくほど地震動が大きくなるため、その場所の揺れはむしろ水平方に離れた強震動生成域での断層すべりに影響されることになる。したがって、地表地震断層ごく近傍で強震動が大きくないためには、その場所が周囲の強震動生成域から放射される地震動の影響を受け難い位置関係にあること、また地盤増幅による影響が小さいことが必要となる。一般に、地表地震断層を生じる場所では堆積層が薄く、地盤増幅も小さいことが考えられる。今回、益城町郊外において常時微動および余震観測を実施したので、その結果を用いて考察をおこなう。

2. 常時微動観測

益城町上陳、下陳および福原地区で生じた地表地震断層ごく近傍において、断層をまたいだ数mの範囲で常時微動の3成分単点観測を実施し、H/V スペクトル比を求めた。その一例を図-1に示すが、いずれも明瞭なピークが見られていない。また、地表地震断層を挟んだ明瞭な変化も見られていない。一方、最寄りの地表地震断層から500mほど離れた、木造建物の倒壊地点における例を図-2に示す。こちらには木造家屋の卓越周期に近い周期0.3~0.4秒に明瞭なピークが見られ、地盤増幅による影響が窺われる。このように、地表地震断層近傍で地盤増幅によるピークが不明瞭になる現象は1943年鳥取地震で地表地震断層を生じた鳥取市鹿野町近郊でも見られており（野口ほか、本大会）、今後その要因を検討したい。

3. 余震観測

次に、地盤増幅の違いが地震動に及ぼす影響を検討するため、益城町下陳で断層変位による被害が見られた家屋（写真-1）の隣家（無被害）の庭先、および約1km北の秋津川右岸、木造家屋の倒壊が多く見られた田原地区の消防団倉庫脇で同時余震観測をおこなった（平成28年5月4日15時頃~5月5日13時頃）。地表地震断層サイトのお宅では本震時に液晶TVが倒れた程度とのお話で震度5弱と強の中間（計測震度5.0程度）、被害域サイトは近傍で木造家屋が倒壊しているため震度6強（計測震度6.0以上）と、本震では計測震度で1.0以上の差が生じていたと推察される。

両地点共通に42地震を観測した。これらのうち振幅の大きい20地震の記録を用いて、下陳に対する田原のスペクトル比を求めた結果を図-3に示す。確かに下陳よりも田原の揺れが建

物に影響する 10Hz 以下で大きくなっているが、この比を計測震度に換算すると 0.45 程度となる。本震時に地表地震断層を生じた際には、余震観測記録や、先の常時微動観測結果に見られた地盤増幅特性以外の、地震波放射方位による地震動強度の違い、表層地盤の非線形応答など、複雑な要因が影響したことが想像され、それらを個別に検討することが重要である。

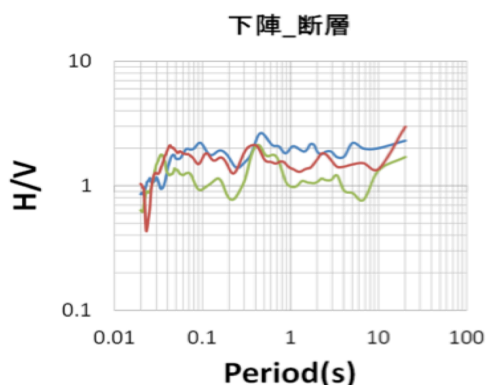


図-1 断層ごく近傍の H/V スペクトル例

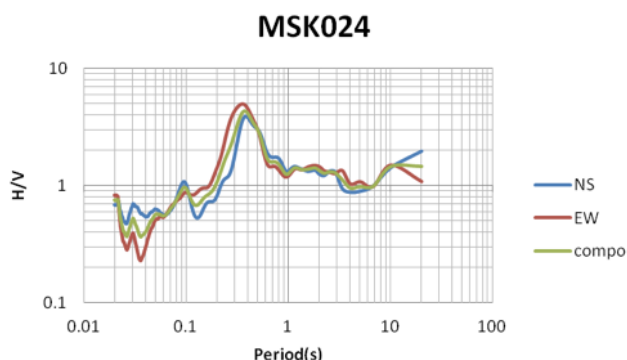


図-2 建物倒壊地点の H/V スペクトル例



写真-1 益城町下陳における断層変位による被害

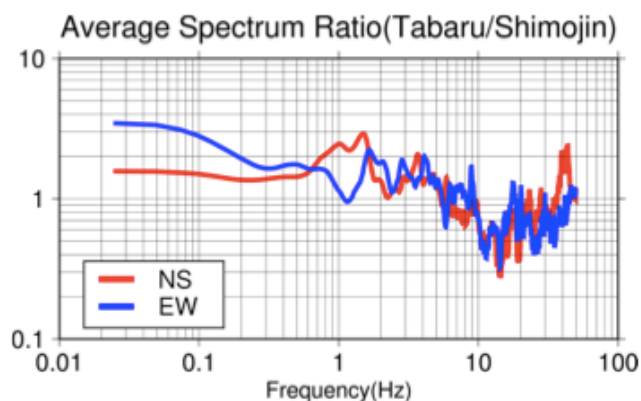


図-3 田原/下陳の平均スペクトル比

4. おわりに

平成 28 年熊本地震本震で生じた地表地震断層ごく近傍において、常時微動単点 3 成分観測および余震観測を実施した。強震動による被害が小さいと思われる地表地震断層近傍に対して、家屋倒壊が見られた地域では地盤増幅による影響が大きいものの、本震時の被害の差を定量的に説明できるほどの差はなく、地盤増幅の他にも何らかの要因を導入する必要があることが分かった。しかし今回の解析は、限られた調査時間の中で実施したごく一部の地域における観測を対象としているのみであり、熊本地震で生じた地表地震断層全域にわたる結果とはなっていない。今後も調査観測を追加して、普遍的な事実を抽出して行きたい。

謝辞

本調査の実施にあたり、観測場所や一時的な駐車スペースを快くお貸し頂いた現地の皆様に感謝します。観測には白山工業製の JU410 を利用しました。本研究の一部は、文部科学省科学研究費基盤研究(C)「1943年鳥取地震鹿野断層端部における断層変位と強震動が被害に及ぼした影響の分析」(平成27～29年度)の助成により実施しました。また一部の図の作成には GMT (Wessel and Smith, EOS, 1998) を用いました。

稠密臨時余震観測による 2016 年熊本地震震源域の断層形状と地殻構造

○青柳恭平・木村治夫(電中研)

Subsurface Fault Geometry and Crustal Structure around the Source Area of
the 2016 Kumamoto Earthquake deduced from a Temporal Aftershock Observation

○Yasuhira Aoyagi, Haruo Kimura (CRIEPI)

○背景

2016 年熊本地震では、4 月 14 日の前震 (M6.5)、4 月 16 日の本震 (M7.3) がいずれも、布田川断層系と日奈久断層系の会合部付近を破壊開始点として発生した。地震前後の地殻変動や地表地震断層の分布などから、前震では日奈久断層系の高野―白旗区間が、本震では布田川断層区間が主に活動したと見られている。布田川断層と日奈久断層を異なる断層系として捉えることには議論がある。しかし、両断層系が連続した 1 枚の震源断層を形成しているならば、なぜ破壊は 2 回にわたって発生したのか。逆にそれぞれが異なる震源断層を形成しているならば、そのように近接した断層面は空間的にどのような関係にあるのか。さらに、一連の地震の破壊は、なぜ日奈久断層系の北部のみにとどまったのか。これらの点は、長大な活断層系において発生する地震の規模や発生様式を評価する上で、重要な課題である。

○研究目的と手法

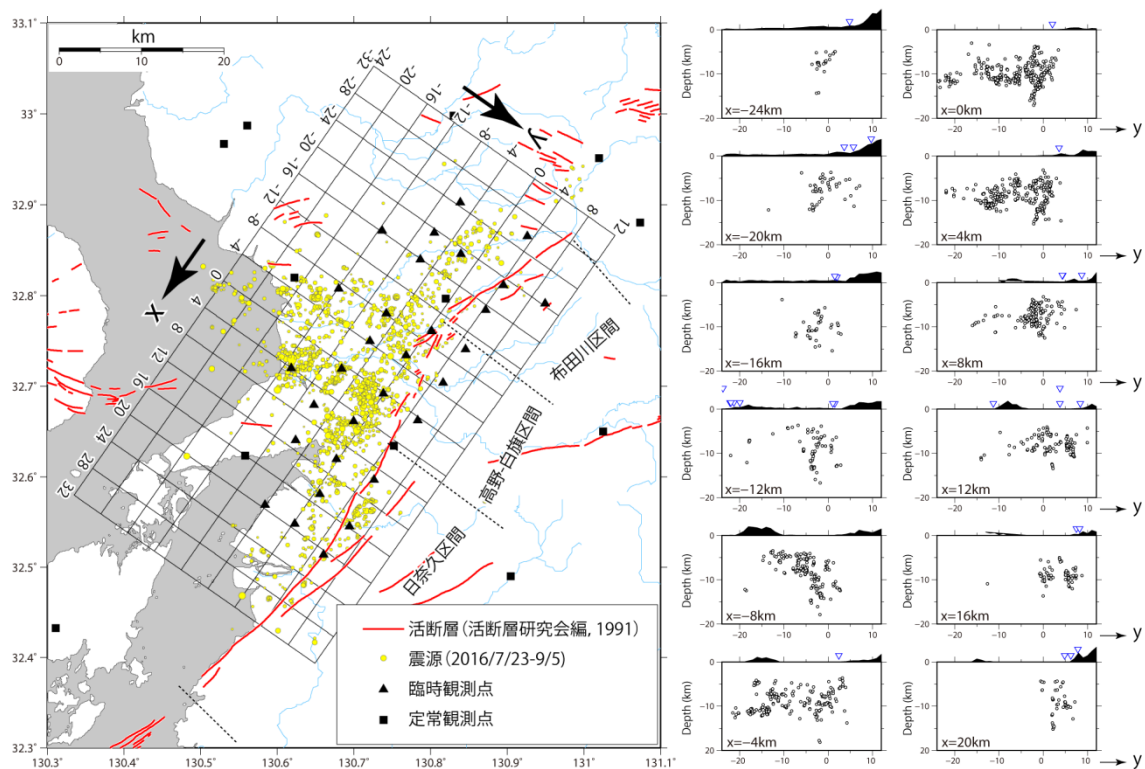
本研究の目的は、地下の断層形状と地殻構造の面から、上記課題を解明することである。そのために、震源域に 30 点の臨時観測点 (近計システム EDR-X7000+KVS-300) を設置して、余震観測を行った (左図)。設置は 2016 年 7 月 19 日~22 日 (1 点のみ 7 月 28 日)、回収は 9 月 5 日~9 日に実施し、いずれの観測点でも 1 ヶ月余りの良好な連続記録が得られた。この期間の気象庁一元化震源カタログを参照して 8000 個余りの地震波形を抽出し、win システムを用いて自動検測を行った。その中から、P 波、S 波いずれの到達時刻も 10 観測点以上で検測された 2400 個余りの地震を対象に、周辺の定常観測点の検測情報も併合処理した。一次的な震源決定の結果、空間的な誤差が 1km 以下に決定された 1710 個の地震を最終的な検討対象として、それらの走時情報をもとに tomoDD によりトモグラフィ解析を行った。

○暫定結果

震源分布については、活断層の走向にほぼ直交する深度断面で、以下の傾向が認められる (右図)。北側の布田川断層付近では、地表の活断層から北西側に傾斜する余震分布が認められる。日奈久断層との会合部 ($x=-12\text{km}$) 付近にかけて、その傾斜は少しずつ高角化するようである。それより南側では、余震分布が西側へ大きく広がる。 $x=-8\text{km}$ 付近では、他の断面とは傾向が異なり、西側 (金峰山付近) で浅く、東側で深くなる様子が認められる。また、その南側では、再び西傾斜となるが、複数のクラスターに分かれて分布する。この様子は、特に、 $x=0\text{km}$ の断面で高角西傾斜の 2 条の断層として明瞭に認められる。以上のことから、

一連の地震活動に複数の震源断層が関わっていることは確実である。ただし、これらの余震は、本震後 3～4 カ月後に観測したものであるため、必ずしも本震や前震の震源断層を示すものではない。前震と本震がそれぞれどのクラスターに位置づけられるのか、それらが地表の活断層とどのような関係にあるのかは、今後さらに検討する。

一方、速度構造については、深さの異なる水平断面で、以下の傾向が認められる。地下浅部（深さ 0～2.5km）においては、布田川～日奈久断層系を境に、西側が低速度領域、東側が高速度領域と明瞭に区分されている。これは地形あるいは地質分布とも極めて整合的である。ただし、熊本平野側の低速度領域は、宇土半島南岸の東方延長部付近までしか分布せず、それより南側では平野部も含めて高速度領域になっている。この境界の位置は、堆積岩と変成岩類の境界によく一致し、日奈久断層系を白旗付近で横断している。地震時の破壊が白旗付近までにとどまったことは、この横方向の構造的な変化と関係がある可能性が高い。この点は、重力異常からも指摘されている (Matsumoto et al., 2016)。さらに、地下 10km ほどまでは、やや不明瞭であるものの、東北東－西南西方向の速度異常が複数認められる。この方向は、臼杵－八代構造線やそれ以南の付加体の地質境界とほぼ一致しており、この深度での地質構造を反映したものと考えられる。上述した深さ 2.5km での分布境界も、その一環である。これらの地質構造と破壊挙動との関係については、今後より詳細に検討する。



(左) 観測点配置と解析レイアウト。

(右) 再決定した震源分布の深度断面。断面から±2km の震源を投影。▽は活断層の位置。

中部日本の大地形形成についての1 アイデア

小松原琢(産業技術総合研究所地質情報研究部門)

A preliminary idea on the formation of major landscapes in the
central Japan arc.

Taku KOMATSUBARA

1. はじめに

日本の地形学は、空中写真の導入と、プレートテクトニクス(内的営力の基礎)および古気候復元(外的営力変遷の基礎)という関連領域の構築に伴って過去半世紀で飛躍的に進歩した。一方、大地形成因論に関しては池田(1992, 1999 など)の一連の研究以外に大きな進歩はなかった。ここで中部山岳地帯の成因をプレート運動と結びつけて論じる。

2. 本州中部の大地形とプレート配置

本州中部は島弧としては例外的に雁行山脈(北・中央・南の各アルプス)が発達する。それらの主稜線は、本州の分水界と一致しない。

本州のプレート配置には2つの考えがある。1つは活断層研究会(1991)や地震本部で広く引用される、日本海東縁-糸静線-南海トラフに東北日本弧(NA)とアムールプレート(AM)の境界を引く考え、もう1つはTaira(2001)による日本海東縁-中部山岳-中央構造線にプレート境界を引く考えである。両者とも7Maにおける丹沢地塊の本州弧への衝突と3Maにおけるフィリピン海プレート(PHS)の運動方向の変化を説明できるが、前者はAM南端を決め難く後者はMTL西方のAM-日本弧境界を決め難い。

3. PHSの北進による外帯の湾曲と中部山岳北部における火成活動

本州中部では外帯全体が約200km北に湾曲している。これは丹沢地塊の本州弧への衝突以降7~3MaにPHSが5cm/年で北進したと考えれば説明できる。また4Ma以降に活発化する中部山岳北部の火成活動はPHSのスラブが中部山岳下の深さ100kmに達したことによって説明できる。この火成活動と関連して、地殻上部の脆性破壊領域(地震発生層)が薄化、低密度化したと考えることができる。

4. PHSの運動方向の変化とAMの東進開始による雁行山脈の形成

PHSは3Ma以降現在まで西北西方向に沈み込んでいる。この運動に伴って南アルプス

に以前と異なる強い東西圧縮が加えられ、東麓の断層運動を伴った隆起が開始された。

同じころ AM の東進が始まり、脆性破壊領域が薄くなっていた中部山岳北部が座屈を始めたことに伴い、AM の東前線に当たる北アルプスの隆起が始まった。その後 AM の東進の進行とともに脆性破壊領域が中部山岳北部と比較してやや厚い中部(中央アルプス)で東麓の低角逆断層を伴う隆起が開始されたと考えることができる。

5. 3つの雁行山脈が大起伏をもつに至った時期

3つの雁行山脈の山麓に厚い礫層が堆積し始める年代は次のとおりである。

北アルプス：東麓で 1.6~2.3Ma(三村・原山, 2002), 北西麓で 1.65~2.65Ma(田村ほか, 2010)。中央アルプス：東麓で 0.6Ma(菅沼ほか, 2003)。南アルプス：西麓で 1.0~1.4Ma(菅沼ほか, 2003), 南麓で 1.78Ma(柴ほか, 2007)。

以上から、3つの雁行山脈が山麓に多量の礫を供給するほどの起伏量をもつに至ったのは、北→南→中央の順序であり、その年代はおそらく起伏量約 1000m 以上の山に成長した時期を示すと考えられる。北アルプス、南アルプスと比較して中央アルプスの起伏量が大きくなった時代は 100~200 万年新しいことは確かであり、3つの山脈の成因をすべて同じ要因に帰することができないことを示唆する。

6. まとめ

中部山岳地帯における山脈の雁行配列は、4つのプレートが相接する場において、時代を異にして山脈が隆起することによって形成されたという仮説を論じた。仮説の当否について議論いただければ幸いである。

引用文献

池田(1992)日本の逆断層：flake tectonics の可能性について。地球号外，5，117-120..

池田(1999)飛騨高原と近畿三角地帯の鮮新世以降のテクトニクスはマントルリッドのデラミネーションで説明できるか。地球，21，137-144.

活断層研究会(1991)新編日本の活断層-分布図と資料-。東京大学出版会。

Taira, A. (2001) Tectonic evolution of the Japanese island arc system, *Annual Review, Earth Planet. Sci.*, **29**, 109-134.

三村・原山(2002)北部フォッサマグナ大峰帯火山岩の K-Ar 年代と大峰帯の堆積・変形。地質調査研究報告，**53**，439-444.

田村ほか(2010)北陸積成盆地，北陸層群の広域テフラと第四紀テクトニクス。地質学会第 117 年学術大会見学旅行案内書，1-20.

菅沼ほか(2003)長野県南部，伊那層群のテフラとその対比，第四紀研究，**42**，321-334.

柴ほか(2007)掛川層群と小笠層群のシーケンス層序と鮮新世から更新世の隆起と海進。地団研総会プログラム，**61**，23-28.