

Occurrence probability and frequency of large (Mj6.8) earthquakes on active faults in Japan

*近藤 久雄¹、岩切 一宏²、谷 広太³、佐竹 健治⁴

*Hisao Kondo¹, Kazuhiro Iwakiri², Hirota Tani³, Kenji Satake⁴

1. 産業技術総合研究所 活断層・火山研究部門、2. 気象庁、3. 文部科学省研究開発局地震・防災研究課、4. 東京大学地震研究所

1. Geological Survey of Japan, National Institute of Advanced Industrial Science and Technology, 2. Japan Meteorological Agency (JMA), 3. Earthquake and Disaster-Reduction Division, MEXT, 4. Earthquake Research Institute, The University of Tokyo

The 2016 Kumamoto earthquake (Mj 7.3; Japan Meteorological Agency magnitude) caused devastating damages and more than 180 casualties. It occurred in an active fault zone and surface ruptures appeared mostly along the previously mapped active faults (The Headquarters for Earthquake Research Promotion-HERP, 2016). The source fault was a part of the Futagawa fault zone that has been evaluated for long-term forecast of destructive earthquake occurrence in Japan (HERP, 2002; 2013). The Mj 7.3 earthquake was the first case, after the 1995 Kobe earthquake, that characteristic earthquake with surface rupture occurred on the major active fault zone evaluated by HERP. It coincides with the past estimation of the average occurrence interval of 10-20 years of an earthquake on those active faults in Japan (Secretariat of HERP, 2001). Meanwhile, the occurrence of large (Mj6.8) earthquakes on minor active faults has been more frequent in recent years.

Under these circumstances, we re-examined the frequency and probabilities of large (Mj6.8) earthquakes on active faults in the last 125 years. In order to classify the damaging earthquakes on active faults, we used the catalogue of damaging earthquakes in Japan (Usami et al., 2013) and previously evaluated reports by HERP.

In total, 28 large (Mj6.8) damaging crustal earthquakes occurred in the last 125 years, and 22 of them (80 %) are related with mapped active faults, and 6 (20 %) are not. The 22 earthquakes in 125 years yield the average recurrence interval of 5.7 years. Using the individual recurrence intervals, 4.6 ± 3.7 years is obtained for all large (Mj6.8) damaging earthquakes and 6.0 ± 5.5 years for those on active faults. These estimates clearly show shorter recurrence intervals than the previous estimation made in 2001.

We also examined the frequency distribution of recurrence intervals of all the large (Mj6.8) damaging earthquakes. The distribution shows a bimodal distribution consisting of two groups: one <6 years and another >8 years. The average recurrence interval of the former group is 2.9 ± 1.5 years, which is extremely short in comparison with the average recurrence interval in the last 125 years. The longest interval in the latter group is 17 years between the 1978 Izu-Oshima-Kinkai earthquake and the 1995 Kobe earthquake. It is thus apparent that the occurrence of the Mj6.8 damaging earthquakes exhibits the temporal clustering and long quiescence periods.

Under the assumption of Poisson process, we then calculated the earthquake probability within the next 5, 10 and 30 years for entire Japan. We obtained 72%, 92%, 100% probabilities for all Mj6.8 damaging earthquakes, and 62%, 86%, 99.7% for active fault earthquakes, respectively. Assuming the present day is within a clustering period, the probability increases up to 68-97% within the next 5 years.

We further investigated the temporal clustering and the timing of mega-thrust earthquakes along the subduction zones. In northeastern Japan, 5 active fault earthquakes occurred within 5 years before and

after the 2011 Tohoku earthquake. In southwestern Japan, 3 active fault earthquakes occurred within 5 years before and after the 1944 Tonankai and 1946 Nankai earthquakes. These frequencies are comparable with the average recurrence interval of 2.9 ± 1.5 years for the above-mentioned <6 years group. This result is in accord with the previously known idea that inland crustal earthquakes increase before and after the occurrence of mega-thrust earthquakes along the subduction zones, although the above probability is computed with the assumption of Poisson process, hence it is time-independent. We can reasonably expect the occurrence of a few active fault earthquakes before the upcoming Nankai earthquake, probably 3 to 5 active fault earthquakes. To forecast them more accurately, the earthquake probability based on the BPT model for individual active faults and time-dependent seismic hazard assessment are necessary.

日奈久断層帯海域部における3次元地質構造解析手法の適用

Application of the 3D geological structure analytical technique to sea section in the Hinagu Fault Zone

*八木 雅俊¹、坂本 泉¹、横山 由香¹、藤巻 三樹雄¹、田中 博通¹、藍壇 オメル²、根元 謙次¹

*Masatoshi Yagi¹, Izumi Sakamoto¹, Yuka Yokoyama¹, mikio fujimaki¹, Hiromichi Tanaka¹, Omer Aydan², Kenji Nemoto¹

1. 東海大学、2. 琉球大学

1. Tokai University, 2. Ryuky University

筆者らは、文部科学省委託研究「沿岸海域における活断層調査」の一環として日奈久断層帯海域部（南西部区間）である八代海に分布する海底断層群を対象とした断層活動履歴調査を開始以降、複数年にわたり海底地形探査、高分解能地層探査および柱状試料採取を実施してきた。八代海海底断層群は、地震調査研究推進本部の長期評価（2017年1月1日時点）では、今後30年以内における地震発生確率がM7.3で0~16%と算出されており、その最大値は糸魚川-静岡構造線や富士川河口断層帯に次ぐ値である。この八代海海底断層群の最新活動時期は、744年の肥後の地震（宇佐美ほか、2003）とされ（地震調査研究推進本部、2013）、歴史記録により八代海に面する一部地域で「水をかぶり漂没」という表現がされていることから、断層活動に伴う津波の存在が示唆されている。また、八代海南方には川内原発があり、八代海海底断層群の詳細な断層活動履歴の判読や地震規模の推定が必要である。本研究では、八代海海底断層群を対象として実施してきた稠密な地層探査記録に基づき、上下変位だけでなく水平変位の検出を行うための3次元地質構造解析（Seismic Trenching）を試みた。

八代海海底断層群の北東端における地層探査記録では、横ずれ断層の存在を示唆する反射面の垂直的な上下変位や低下側の地層の下方への引きずり込みが認められている（以降、この海域をA海域と呼称する）。このA海域において実施した20~50m間隔の稠密測線により得られた地層探査記録を用いて、各反射面のホライゾンピッキングおよびそのグリッド処理による3次元地質構造解析を行った。その結果、約20,000年前（最終氷期の浸食面）や約13,000年前に形成された反射面（ヤングドレアス氷期の浸食面）上において、断層を挟んだ北西側に円弧状に広がる沈降領域の発達が認められた。この沈降領域は、断層（南東側）に向かい徐々に深度が増していく傾向が認められる。この形状は、平成28年（2016年）熊本地震直後に国土地理院により観測された布田川断層周辺の地表変動と形態的に類似している。このことは、海域においても、陸域と同様な横ずれ断層が存在することを示している。また、A海域における約13,000年前の面では、北東-南西方向に延びる断層に直交する北西-南東方向に延びる溝状地形が3本認められ、これらの溝状地形は一様に右横ずれ変位を被っていた。この右横ずれ変位量を計測し、約13,000年前で単純に割り算をすると、平均変位速度は2.1~4.5m/千年と算出された。地震調査研究推進本部（2013）による陸域の日奈久断層の平均変位速度は0.7m/千年であり、陸域に比べ3倍以上の値となっている。

以上、八代海海底断層群において、3次元地質構造解析手法を行った。その結果、地下浅部において横ずれ断層の活動を示す変形構造の存在を明らかにした。また、その中で認められた溝状地形を変位基準とし、累積量からの単純な割り算ではあるが平均変位速度を算出した。しかし、その値は陸域に比べ3倍以上大きいため、この結果に関しては現在再検討中である。

キーワード：日奈久断層帯、八代海海底断層群、Seismic Trenching、横ずれ断層

Keywords: Hinagu Fault Zone, Yatsushiro-sea Submarine Fault Group, Seismic Trenching, Strike-slip fault

布田川断層に並走する正断層の新規の累積変位: 益城町下陣金山川沿いに現れた地震断層露頭

An outcrop showing recent cumulative slip on a normal fault co-ruptured with the Futagawa fault at the 2016 Kumamoto earthquake

*高橋 直也¹、遠田 晋次²、石村 大輔³

*Takahashi Naoya¹, Shinji Toda², Daisuke Ishimura³

1. 東北大学理学研究科地学専攻、2. 東北大学災害科学国際研究所、3. 首都大学東京大学院都市環境科学研究科地理学教室
1. Department of Earth Science, Tohoku University, 2. International Research Institute for Disaster Science, Tohoku University, 3. Department of Geography, Tokyo Metropolitan University

2016年4月16日熊本地震 (Mw 7.0) では、既知の日奈久断層北東から布田川断層に沿って、全長31 kmの地表地震断層が出現した (一部は阿蘇カルデラ内に延びる, 熊原ほか, 2016)。地震断層は、主として右横ずれ変位を示し、益城町堂園地区では2.1 mの変位量が報告されている。一方で、今回の地震断層の特長の1つとして、布田川断層と並走する長さ10kmの正断層が同時に活動したことがあげられる (Toda et al., 2016)。この正断層型の地震断層は、布田川断層の南約1~2 kmに位置する既知の出ノ口断層 (活断層研究会, 1991) 沿いに現れ、最大2 mの上下変位を示す。出ノ口断層は、変動地形から上下変位の累積が指摘されているが、詳細な地層断面の観察や具体的な活動史に関する報告はない。本発表では、益城町金山川での護岸工事中に現れた地震断層露頭について報告する。当地点は地震時において北落ちの正断層変位が生じており、出ノ口断層西端から約3 km南西に位置することから、Toda et al. (2016)が報告したスリップパーティショニング構造の延長にあるものと考えられる。出ノ口断層系の活動度の解明とともに、熊本地震でみられたような地震時スリップパーティショニング (coseismic slip partitioning) が繰り返し発生してきたかどうかを考える上で重要な露頭である。

当地点では、2016年地震時に50~60cm程度北落ちの正断層変位が生じた。断層露頭の最下部には当地点の基盤を構成するシルト岩が露出し、その上位には段丘を構成する層厚約3.5 mの礫層が堆積し、最上部に盛土・耕作土が見られる (Fig. 1)。露出した断層面の走向・傾斜はN74°E・57°Nを示し、地震断層トレースの走向と整合的である。基盤の断層は、幅約1 mにわたって脆弱に破碎されており、明瞭な数mmの断層ガウジをもつシャープな断層面が3箇所認められる。そのうちの1つ (f3) は段丘構成礫層に覆われる。最新の断層面 (f1) は最も直線的で、過去に活動したと考えられる波打った断層面 (f2) を切断する。累積変位量に関しては、2016年地震時に動いた断層面を境に基盤上面が約2.5m上下に変位している。ただし、下盤側の上面が浸食されている可能性があるため、最小値と考えなければならない。仮に、2016年地震と同程度の変位が繰り返されたと仮定すると、少なくとも4回の活動が記録されていることになる。上盤側に見られる段丘構成礫層は、複数のユニットに分けられるが、堆積中に地震イベントを抽出できるほどの分解能はない。現在、上盤の礫層中から炭化木片を得ており、年代測定中であるため、平均変位速度の算出が期待できる。この露頭の南西には基盤の断層と同じ走向に延びる断層崖が約1.5 km連続して見られる (池田ほか, 2001)。そのため、地形的にも新期の断層変位が繰り返されたことは明らかである。本露頭でみられた上下変位の累積は、このような地形情報とも整合的であり、過去の布田川断層の活動時にも並走する正断層に変位が生じていたことが示唆される。本露頭は、布田川断層に並行する正断層における初めての断層露頭報告であり、その累積性を示すこともできた。活断層のグルーピングや複雑に分布する断層群から震源断層の破壊シナリオを考える上で貴重な情報と考える。

謝辞：広島大学の中田高名誉教授、東洋大学の渡辺満久教授には本露頭の位置情報を教えていただきました。感謝いたします。

文献: 活断層研究会 (1991) 東京大学出版会; 熊原ほか (2016) 日本地球惑星科学連合大会要旨, MIS34-05; Toda et al.(2016) Earth Planets and Space.; 池田安隆ほか (2001) 国土地理院技術資料 D1-No.333

キーワード: 活断層、地表地震断層、2016年熊本地震

Keywords: Active fault, Surface rupture, 2016 Kumamoto earthquake



干渉SARの新たな解析を用いて検出した平成26年（2014年）11月22日 長野県北部の地表地震断層

The surface rapture of the 2014 Northern Nagano Earthquake detected by InSAR

*郡谷 順英¹、小俣 雅志¹、三五大輔¹、渋谷 典幸¹

*Yorihide Kohriya¹, Masashi Omata¹, DAISUKE SANGO¹, Noriyuki Shibuya¹

1. 株式会社パスコ

1. PASCO CORPORATION

内陸直下型地震によって生じた広域の地殻変動は、合成開口レーダを使用した干渉SAR画像解析による干渉縞の画像によって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）。最近では、干渉SAR画像を用いて干渉位相の不連続と、現地調査によって確認された地表変位とあわせて検討（例えば、中埜ほか2015）がなされるようになってきたが、干渉SAR画像の干渉位相の不連続を指標に地表変位の検出する場合には、干渉画像を大縮尺に拡大することで位相の境界部が不鮮明となり、地表変位位置を特定しにくい場合がある。

筆者らは干渉SARによる干渉縞、低コヒーレンス値分布図、およびDEMデータによる傾斜量図を重ねることにより、地表地震断層を検出する方法を検討した（小俣ほか2016、三五ほか2016）。

干渉縞がずれる位相の不連続と低コヒーレンス値を示す地点が一致する場合には地表地震断層の可能性が高い。低コヒーレンス値が連続するにも関わらず干渉縞に不連続が生じていない場合には、地表地震断層ではない地表変位の可能性が高い。その地点が傾斜地であれば地すべりや崩壊、平坦地であれば液状化等の地盤変位の可能性がある。

平成26年（2014年）11月22日長野県北部の地震（Mj6.7）において、筆者らは地震発生直後から現地調査を実施し、白馬村の姫川沿いに地表地震断層が出現していることを確認した（小俣ほか2015）。本発表では、この時の地表地震断層の現地調査結果と、新たに実施した干渉SAR解析による干渉縞および低コヒーレンス図に地形表現図（傾斜量図）を重ねた図とを比較検討し、この干渉SAR解析の有効性を検証した。

JR白馬駅東方から信濃森上東方の城山にかけて連続する地表地震断層が干渉SAR解析図から判読できる。このトレースは松川を横断しているが、松川河床内にも断層変位を被る地形の連続が判読できる。また、白馬駅東方の大出付近では3条の低コヒーレンスの連続が認められた。現地調査では白馬駅より北側では比較的連続性の良い地表地震断層が確認された。大出付近においては東上がりの地表地震断層が3条確認された。

城山東側の水田は干渉せず低コヒーレンスが面的に表示されてしまい地表変位は検出できなかったが、現地調査において東北東-西南西方向の2条の地表地震断層が確認され、断層の間がバルジ状を呈していることが確認された。

白馬駅-飯森駅間においてJR大糸線と姫川間の水田では干渉縞の位相の不連続に一致する低コヒーレンス値の分布が断続的に認められる。現地調査では白馬駅南方の体育館南までは水田、耕作地に地表地震断層の連続が確認できたが、深空東方では顕著な地表地震断層は確認できなかった。

JR神城駅東方では飯田から三日市場に連続して幅を持つ低コヒーレンスの帯が確認される。現地調査では水田に撓曲変形が確認された。飯田においてトレンチ掘削調査が実施され横ずれ断層が確認されたが、その南側に位置する堀之内から三日市場にかけては、緩やかな水田の傾動などが確認されるが、地表地震断層の位置を特定することは非常に困難である。

なお、姫川第二ダムより下流では余震域からは白馬村北方の小谷村姫川沿いに断層の連続が推定されるが、画像から顕著な断層トレースと推定されるものは認めにくかった。現地においても明瞭な地表地震断層は確認できなかった。

衛星干渉SARを用いて地表地震断層を検出する新たな手法を開発した。検出した地表地震断層と現地調査により確認された断層位置は一致しており手法の有用性が確認された。

この手法は観測から早期に作成することが可能で、地震発生直後において広域の地表地震断層の分布を把握する有用な手法となる。

本発表による干渉SARの解析検討方法は特許出願中である（特願2016-175628）。

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。

キーワード：干渉SAR、地表地震断層、平成26年（2014年）11月22日長野県北部の地震

Keywords: DInSAR, Surface rupture, 2014 Northern Nagano Prefecture Earthquake

干渉SAR解析による平成26年（2014年）長野県北部の地震の余効変動 Postseismic deformation extracted by InSAR, after the 2014 Northern Nagano Prefecture Earthquake

*小俣 雅志¹、三五 大輔¹、郡谷 順英¹、渋谷 典之¹

*Masashi Omata¹, DAISUKE SANGO¹, Yorihide Kohriya¹, Noriyuki Shibuya¹

1. 株式会社パスコ

1. PASCO CORPORATION

平成26年11月22日に発生した長野県北部の地震（Mj6.7）では、地震前後の干渉SAR解析により白馬村を中心として東西約30km南北約30kmの地域に地殻変動が確認された（国土地理院,2015）。地震後に実施された現地調査では、既往の活断層調査による神城断層の一部に沿って地表地震断層が出現した。地表地震断層は白馬塩島付近から白馬村東佐野付近までの9kmで確認されている（Okada et al., 2015）。干渉SARの詳細な解析により地表地震断層との関連も検討されている（中埜, 2015）。本研究では、平成26年11月28日と約7か月後の2015年6月26日の地震後のペアで干渉SAR解析を実施して地震後の余効変動を検討した。山地部では積雪および植生繁茂の影響から低コヒーレンスとなり干渉が悪いものの、平坦地では干渉に問題はなく変動が読み取れる。解析の結果、地震直後に確認された地表地震断層付近を境にして東側が、北行軌道の衛星に近づく変動が確認された。

塩島付近から大出までの地域における干渉SARによる地殻変動は、地表地震断層付近を比較的明瞭な境界として、東側が西向きもしくは隆起していることが確認される。松川から大出付近の地表地震断層は松川扇状地の逆向き崖に沿って出現しており、既往活断層図の活断層線に沿って出現した（石村ほか, 2015）。その後のトレンチ調査によってこの活断層線の位置で2014年の地震による変形に先行する複数回の地震イベントが確認されている（遠田ほか, 2016）。

白馬駅東方付近では、干渉SARによる地殻変動の境界は姫川付近に連続している。この地域の地表地震断層は姫川より西側で体育館（ウイング21）近くに連続し、変位量は北側の大出付近と比較して小さい。余効変動の境界はこの地表地震断層付近とは一致していない。

深空東方付近では、姫川右岸の山地部分に西向きもしくは隆起の変動が見られるものの、その変動量は一定せず、干渉色がまだらに変化する。おおよそ姫川沿いに変動境界があるものの、その境界はあまり明瞭には連続しない。

平川と姫川の合流部付近から南、飯田付近にかけての変動量が最も大きく姫川右岸の山地が3~4cm西向きに移動、もしくは隆起している。変動境界はおおよそ姫川沿いに分布し、飯田東方の水田の東縁沿いに東側へ曲がる。これより南方は地殻変動が不明瞭となり、堀之内付近より南では確認できなくなる。

干渉SAR解析により平成24年（2016年）長野県北部の地震の地震後、約7ヶ月間での余効変動が確認された。余効変動は地震後に確認された地表地震断層に沿う位置より東側が西向きに移動もしくは隆起する変動として確認された。明らかな地表地震断層が確認された地域では地殻変動の境界が明瞭に確認できる。地表地震断層の変位量が小さく、連続が不明瞭な地点では地殻変動の境界も不明瞭、もしくは明瞭な地殻変動が生じていないことが明らかとなった。

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。首都大学東京の石村大輔博士には、長野県北部の地震後の余効変動が生じている可能性についてご教示いただき、本研究解析のきっかけを作っていただきました。ここに感謝いたします。

【引用文献】

石村ほか(2015)活断層研究, 43, 95-108.

国土地理院 (2015) <http://www.gsi.go.jp/BOUSAI/h26-nagano-earthquakeindex>.

中埜ほか (2015) 活断層研究, 43, 69-82.

Okada et al.(2015) Seismological Research Letters, 86, 5, 1-14.

遠田ほか(2016)地球惑星科学連合大会, SSS31-16.

キーワード：平成26年（2014年）長野県北部の地震、干渉SAR、余効変動、神城断層、地表地震断層、だいち2号

Keywords: the 2014 Northern Nagano Prefecture Earthquake, InSAR, Postseismic deformation, Kamishiro fault, surface rupture, ALOS-2

石灯笼群の建立年代分布に見える歴史地震の影響

Historical earthquakes have altered age distributions of stone lanterns in temples and shrines in Japan

*加藤 護¹

*Mamoru Kato¹

1. 京都大学大学院人間・環境学研究科

1. Graduate School of Human and Environmental Studies Kyoto University

日本の寺社の境内に立つ石灯笼は地震の際に転倒・破損することがある。例えば2014年11月の長野県北部の地震では善光寺（長野市）の境内に建つ石灯笼に大きな被害が出た。歴史地震でも石灯笼の被害があったことは古文書記録に残っており、その記録は震度分布を知り震源断層を推定するなどに用いられている。石灯笼には建立年代などの文字が刻まれており、古い石灯笼の中には歴史地震を経験し現在も建つものがある。これは石灯笼群が歴史地震の記録媒体であることを意味する。石灯笼群を調査することにより歴史地震の発生や被害など文書記録の情報を実体で確認することができる可能性がある。

本発表では、多くの石灯笼が集中して現存し、また顕著な歴史地震を経験したことが分かっている3つのサイトにおける石灯笼の建立年代分布・破損状況と歴史地震活動の関係を整理する。われわれがこれまでに北野天満宮（京都市）、石清水八幡宮（京都府八幡市）、善光寺（長野市）で行った石灯笼の調査結果（加藤・日岡[2015, 2016a, 2016b]）の結果を総括し、歴史地震研究において石灯笼群を活用することは可能であるかを検討する。古文書記録などにより分かっている歴史地震の時系列と、現存する石灯笼の年代分布や破損状況等から地震の影響が石灯笼群に刻まれているかを確認する。また石灯笼の増減や破損は人間活動の影響を受けるためこの視点でも検討する。

得られた知見は以下のように整理される。境内の石灯笼年代分布をリセットしたと考えられる歴史地震がある。これは極めて大きな被害が生じ寺社の大半の石灯笼が撤去された可能性を示す。また地震後に石灯笼の建立が増えたと考えられる事例がある。これは復興過程を見ている可能性がある。個々の地震の揺れの特徴や被害の大きさを石灯笼群のみから知ることは困難であり、石灯笼群は古文書を補助するデータという位置付けがよいであろう。

キーワード：歴史地震、強震動

Keywords: historical earthquakes, strong ground motion

フランス人宣教師ルイ・ヒュレ氏による地震観測記録から推定した1858年前後の沖縄島周辺での地震活動

Seismicity on Okinawa Island around 1858, estimated from observations by a French missionary

織田 拓真¹、*中村 衛¹

Takuma Oda¹, *Mamoru Nakamura¹

1. 琉球大学理学部

1. Faculty of Science, University of the Ryukyus

19世紀半ば、西洋諸国は通商を求めて琉球を訪れていた。彼らの中には沖縄（那覇）滞在中に気象観測・地震観測を行っていたものがあり、彼らの残した記録から、史料に乏しい琉球王府時代の地震活動を探ることができた。フランス人宣教師ルイ・ヒュレは1857年から1860年にかけて那覇に滞在し、当地で気象・地震観測をおこなっていた。その記録がフランスに残されており、ベルギー王立気象研究所のDemarée教授らによって出版された (Demarée et al., 2016)。この資料を基に1857年から1859年の那覇での地震活動を解析した。

まず、資料に記載された揺れの大きさを震度に置き換えた。資料には地震の時刻と揺れの大きさが記載されていた。揺れの弱い順に” La secousse”、” légère secousse”、” forte secousse”、” violente secousse”、” secousse assez forte” となっている。” secousse assez forte” の地震の中には建物にヒビが入る揺れであったと記載されているものがあることから、建物被害が記載されている時の” secousse assez forte” を震度5弱として、” secousse assez forte” のみ記載されたものを震度4、” violente secousse” を震度3、” forte secousse” を震度2、” la secousse” と” légère secousse” を震度1とした。

また震度と揺れの継続時間を用いて震央距離とマグニチュードを推定した。カタログの中で6個の地震では揺れの継続時間が記されていた。継続時間は約60秒から120秒であった。これらの地震に対して震央距離とマグニチュードを推定した。計測震度の理論計算は司・翠川 (1999) の式を用いた。揺れの継続時間は能島 (2014) によるマグニチュード・震央距離と震度 (震度1) 継続時間との回帰式を用いた。

揺れの表記を震度に変換した結果、1858年に震度3以上の揺れが7回あったことが明らかになった。沖縄気象台による1923年以降の那覇での震度観測では、震度3以上の揺れを年3回以上観測した年は4回しかなく、さらに震度3以上を年7回以上記録した年はない。このことから、1858年は最近90年間と比較して地震活動が活発であったといえる。

さらに、1858年9月22日から11月7日の間に発生した3個の地震 (最大震度3~4、揺れの継続時間が60~120秒) の震央距離は50~100km、マグニチュードは5.5から6.5と推定した。これらは揺れの小さなものまで含めると群発地震的な活動を示している。この時期の活動は球陽にも「本年八月の間より十二月の間に至るまで、屢々地震有り。」と記載されており、宣教師の観測記録と良く一致している。これらのことから、ちょうど宣教師が那覇に滞在した時期に、那覇からやや離れた地域でM6クラスの地震を3個伴う群発地震活動が約5か月継続したと推定した。

キーワード：沖縄、地震活動、群発地震

Keywords: Okinawa, seismicity, earthquake swarm

津軽山地東縁における反射法地震探査

Seismic reflection profiling survey across the eastern foot of Tsugaru Mountains

楮原 京子¹、*越後 智雄²、岡田 真介³、戸田 茂⁴、井上 直人²、宮内 崇裕⁵、今泉 俊文⁶、小坂 英輝⁷、三輪 敦志⁸、坂下 晋⁸、松原 由和⁸、阿部 恒平⁸、黒澤 英樹⁸、松多 信尚⁹、石山 達也¹⁰
Kyoko Kagohara¹, *Tomoo Echigo², Shinsuke Okada³, Shigeru Toda⁴, Naoto Inoue², Takahiro Miyauchi⁵, Toshifumi Imaizumi⁶, Hideki Kosaka⁷, Atsushi Miwa⁸, Susumu Sakashita⁸, Yoshikazu Matsubara⁸, Kohei Abe⁸, Hideki Kurosawa⁸, Nobuhisa Matsuta⁹, Tatsuya Ishiyama¹⁰

1. 山口大学、2. 地域地盤環境研究所、3. 東北大学災害科学国際研究所、4. 愛知教育大学、5. 千葉大学大学院理学研究科、6. 東北大学大学院理学研究科、7. 株式会社環境地質、8. 応用地質株式会社、9. 岡山大学、10. 東京大学地震研究所
1. Yamaguchi Univ., 2. GRI, 3. IRIDeS, Tohoku Univ., 4. Aichi Univ. of Education, 5. Graduate School of Science Chiba Univ., 6. Graduate School of Science Tohoku Univ., 7. Kankyo-Chishitsu Co. Ltd., 8. OYO Corporation, 9. Okayama Univ., 10. ERI, Univ of Tokyo

断層セグメンテーションの問題は、地震の規模を予測する上での重要要素であり、その解決のためには、活断層の分布形状の他、地質構造・地下構造、活動履歴や変位量分布などに基づいた総合的な調査研究が求められる。本研究では、本州最北端の津軽半島を構成する津軽山地および周辺地域を対象地域に、この問題に取り組むこととした。

津軽半島は南北から北北西方向に延びる津軽山地（南北約50km、東西10～15km）と平館山地およびその周縁の丘陵・低地からなる。津軽山地の形成に関わる断層帯として、津軽山地中軸に位置する津軽断層、山地東西縁の青森湾西岸断層帯と津軽山地西縁断層帯があり、平館山地東縁には根岸西方断層が知られている。津軽断層は中新世に活動していた正断層を起源とする逆断層である。地震調査研究推進本部（2004, 2005）によれば、青森湾西岸断層帯は蓬田付近から北北西-南南東方向で青森平野の西縁に至る長さ約30 km程度の西傾斜の逆断層で津軽断層から東側に派生した断層であると考えられている。津軽山地西縁断層帯は津軽山地と弘前平野との境界に沿う東傾斜の逆断層帯（約23 km）とされる。これらの断層の活動に伴う隆起と短縮変形により津軽山地の急傾斜、西翼緩傾斜の非対称な山容が形成されたと考えられる。

しかし、山地の規模に比べて、活断層が認識されている範囲は狭く、さらに北方に延びる可能性もある。一方、平館山地の南方には外ヶ浜・蓬田にかけて定高性のある丘陵が広がり、根岸西方断層の活動範囲に関して、南方（海域を含め）に連続している可能性がある。このように津軽山地東縁の蓬田町～外ヶ浜町は、これまで活断層の報告こそないものの、山地・丘陵の配置を鑑みると、この付近に活構造の入れ替わりが生じている可能性が考えられる。そこで本研究では、まず青森湾西岸断層帯北方の蓬田町・阿弥陀川沿いにおいて、伏在した活構造があるのかを明らかにするために、反射法地震探査および地表地質調査を実施した。

探査測線は蓬田町蓬田から大倉岳登山道入口に至る約7.6kmに設定した。探査データは、GS-20DX（OYO Geospace製）を用いて192chで収録し、制御震源にはENVIRO-VIBE（IVI社製）、収録器はGEODE（Geometrics社製）を使用した。受振・発振点間隔は共に10 mとした。発震はスウィープ周波数を10-120Hz、スウィープ長を16秒、記録長を4秒、標準垂直重合数を5回と設定した。データの解析はSuper-XC（地球科学研究所製）を用いて共通反射点重合法に基づいて行った。

本発表では、反射法地震探査によって明らかにされた地下構造について紹介する。

キーワード：津軽山地、反射法地震探査、地下構造、伏在断層

Keywords: Tsugaru Mountains, seismic reflection profiling, subsurface structure, blind thrust

北上低地西縁断層帯のセグメンテーション

Segmentation of the Kitakami Lowland western marginal fault zone, northeast Honshu, Japan

*岩月 祐真¹、越谷 信¹、佐藤 比呂志²、石山 達也²、加藤 直子²、橋本 佑樹¹

*Yuma Iwatsuki¹, Shin Koshiya¹, Hiroshi Sato², Tatsuya Ishiyama², Naoko Kato², Yuuki Hashimoto¹

1. 岩手大学、2. 東京大学地震研究所

1. Iwate University, 2. ERI, Univ. of Tokyo

北上低地西縁断層帯は、岩手県の紫波郡矢巾町西方から胆沢郡胆沢町南部にかけてほぼ南北に延びている活断層帯であり、上平断層や出店断層などの諸断層によって構成される。この断層帯は初生的には中新世の日本海拡大時に引張応力場のもとで正断層として形成され、鮮新世以降の圧縮応力場により逆断層として再活動していると言われている。これまでにいくつもの調査研究がなされてきたが、その地下構造がどのように連続しているかはいまだ明らかではない。私たちは重力調査により2次元地下密度構造モデルを推定し、北上低地西縁断層帯の地質構造の解釈を行ってきた。本論ではその過去のデータをまとめあげ、北上低地西縁断層帯の構造的連続性を解明することを試みる。

重力調査は、東西方向にひいた4つの測線に沿って行い、南から北に向かって水沢（約50km）、金ケ崎（約12km）、夏油（約9km）、和賀（約12km）測線と名付けた。水沢測線では株式会社地球科学総合研究所所有のラコステ・ロンバーク型重力計を用い、残りの重力測線では、シントレックス社製可搬型相対重力計CG-5を使用した。なお、いずれの重力線も測定間隔は200 mを基本とした。観測点の位置および標高は、RTK-GPSを用いて測定した。また、ブーゲー補正および地形補正に用いた仮定密度は、調査地域の地質や屈折法地震探査の結果を考慮して、 2.2g/cm^3 とした。得られたブーゲー異常に対して、広域的な重力異常の影響を取り除くためトレンド補正を行った。

水沢、和賀、金ケ崎測線においては反射法地震探査断面を考慮して密度構造モデルを作成した。また、いずれの測線においても、密度の異なる3層を仮定し、基盤岩に相当する第3層の密度は 2.7g/cm^3 とした。以上の条件で比較してみたところ、夏油と和賀の測線、金ケ崎と水沢の測線はそれぞれ連続性を示した。夏油と和賀には、2つの半地溝が存在し、その東縁の境界断層が反転し衝上断層として再活動する。金ケ崎と水沢には、1つの半地溝が存在し、境界断層として再活動している。そのため、北上低地西縁断層帯のセグメント境界は夏油-和賀地域と金ケ崎-水沢地域の間にあると結論付けた。

キーワード：北上低地西縁断層帯

Keywords: the Kitakami Lowland western marginal fault zone

武蔵野台地北東縁部の変動地形

Tectonic geomorphology of the northeastern Musashino Upland, central Japan

*石山 達也¹、廣内 大助²

*Tatsuya Ishiyama¹, Daisuke Hirouchi²

1. 東京大学地震研究所、2. 信州大学教育学部

1. Earthquake Research Institute, University of Tokyo, 2. Department of Geography, Faculty of Education, Shinshu University

武蔵野台地周辺には綾瀬川断層や深谷断層など、第四紀後期に活動を繰り返してきた断層が分布する（活断層研究会, 1991）。また、このほかにも関東平野を含む南関東地域の活構造については、上総層群・下総層群および中期更新世以降の海成・河成段丘面の分布・編年に基づいた数多くの研究がある（例えば貝塚, 1987; 廣内, 1999; 杉山ほか, 1997）。武蔵野台地北東部では従来から北東方向への傾動が指摘されてきた（貝塚, 1957）が、綾瀬川断層・深谷断層以外に顕著な活断層は指摘されていない。一方、Ishiyama et al. (2013) は、大大特・北関東測線などの近年関東平野で行われてきた大深度地殻構造探査（佐藤ほか, 2010）と周辺地域の新生代層序との対比の結果に基づき、南関東の平野域に分布する伏在断層の深部形状を推定した。その結果、武蔵野台地北東縁部に西傾斜の伏在逆断層が複数条分布することがわかった。本研究では、これらの断層を含めた当地域の活構造の分布を明らかにするために、中期～後期更新世に形成された段丘地形の分布・編年・構造を再検討した。その結果、川越から富士見にかけての中位段丘面群や、坂戸から狭山にかけての高位～低位段丘面群に、東向き撓曲崖が断続的に分布することがわかった。これらの一部は、深部構造探査で認められた逆断層の地表延長に位置し、また下総層群や後期更新世の地層の分布高度を食い違わせるものもあることから、伏在逆断層の最近の活動を示す地形的証拠である可能性がある。また、北関東測線より北には、所沢台・武蔵野面・立川面を変位させる撓曲崖地形が岩殿丘陵の東縁部まで断続的に分布しており、これらは同様に伏在断層の第四紀後期の変位を示す可能性がある。概してこれらの地形の上下落差は中位段丘面で数mであり、地形面の変位量からは、その多くはいわゆるC級活断層と推定される。これらの伏在断層の性格を明らかにするためには、さらに多くの地下地質資料を取得し、変位地形についてより詳細な検討を進めることが重要である。

能登半島南部， 邑知瀧断層帯野寺断層の断層幾何学

Fault geometry of the Nodera fault of the Ouchigata fault zone in the southern part of Noto Peninsula, central Japan.

*高橋 啓太¹、小林 健太¹

*Keita Takahashi¹, Kenta Kobayashi¹

1. 新潟大学理学部地質科学科

1. Department of geology, Faculty of Science, Niigata University

邑知瀧断層帯は石川県中部に位置するNE走向の逆断層型の活断層帯である(活断層研究推進本部,2005)。本断層帯は宝達丘陵の北西縁に沿って連続して分布するが、西南部地域では断層が平野から丘陵にかけて分岐・並走する分布を示す。その中でも丘陵側を構成する野寺断層および坪山-八野断層では断層面の姿勢や隆起方向が異なることが示されているが、その要因は明らかにされておらず、構造地質学的研究例も乏しい。そこで本研究では野寺断層およびその西側の丘陵内部に推定されている断層の形態・および断層幾何学を解明することを目的として野外調査・試料解析及び断層解析を行った。

本研究地域周辺地域は宝達山花崗岩体と呼ばれるジュラ紀の花崗岩類を主体とした基盤岩類が広く分布し、一部は第四系により不整合で覆われる。

本研究では、野寺断層の側方延長部において破碎帯露頭を見出し、野寺断層の西側の丘陵部からも野寺断層と並走する破碎帯を確認した。これらの破碎帯露頭は一般にNNE-SSW走向で外縁部の断層ガウジは横ずれから斜めずれセンスを示す一方、中軸部の断層ガウジは左横ずれ成分を含む逆断層センスを示す。また本研究地域には、基盤岩を切るNNW-SSE走向の斜めずれから横ずれセンスを示す断層が多数分布し、一部NNW-SSE走向やNW-SE走向の断層が分布する。

これらの断層面から得られたスリップデータを用いて多重逆解法(山路,2000など)による古応力解析を行った。その結果、NNE-SSW圧縮を示す応力1、WNW-ESE圧縮を示す応力2の応力が得られた。応力1はNNE-SSW走向の断層の横ずれから斜めずれセンスを示す断層ガウジのデータとNW-SE走向の逆断層センスを示す断層ガウジのデータが該当した。これらは応力2に該当する断層面に切断されるため、応力2以前に形成されたと考えられる。応力2には逆断層センスを示すNNE-SSW走向とNNW-SSE走向の断層の中軸部から得られたデータが該当した。この応力は塚原・池田(1991)による現在の最大水平圧縮応力方位や2007年能登半島地震のメカニズム解と調和的である。

主要なNNE走向の破碎帯の断層ガウジについてX線回折分析を行った結果、破碎帯の外縁部の試料はイライトが多く含まれており、中軸部の試料はスメクタイトが多く含まれているという結果が得られた。このことから同じ破碎帯の外縁部と中軸部のガウジが異なる環境下で形成されていると考えられる。

先行研究(三崎,1980)では野寺断層は横ずれ成分を伴わない逆断層センスとされていたが、破碎帯露頭で得られたデータから左横ずれ成分を伴うと考えられる。これは周囲の変位地形と調和的である。また左横ずれセンスを伴う逆断層であるとする、応力2が得られたNNW-SSE走向の断層はNNE-SSW走向の断層の二次剪断面として活動している可能性がある。また、古応力解析とX線回折分析の結果を踏まえると、野寺断層や丘陵内部に並走する断層は基盤内部に形成された破碎帯を再利用して、現在の応力下で活動していると考えられる。重力異常により求められた基盤高度分布は海岸平野まで基盤岩が浅所に分布することを示しており、平野側を並走する断層や坪山-八野断層も同様に基盤岩に形成されている破碎帯を再利用して活動している可能性がある。

キーワード：活断層、邑知潟断層帯、野寺断層、断層岩

Keywords: active fault, Ouchigata fault zone, Nodera fault, fault rocks

活断層と後期更新世に活動を停止した断層における破砕帯物質の比較研究 —阿寺断層と奈良県中央構造線を例として—

Comparative study of the active fault zone and the fault zone terminated its activity by the Late Pliocene –examples of the Atera Fault and the Median Tectonic Line in Nara Prefecture

椿 純一¹、*大谷 具幸¹、河野 雅弘¹、上田 圭一²

Junichi Tsubaki¹, *Tomoyuki Ohtani¹, Masahiro Kono¹, Keiichi Ueta²

1. 岐阜大学工学部社会基盤工学科、2. 電力中央研究所

1. Department of Civil Engineering, Gifu University, 2. CRIEPI

活断層の活動性評価には若い被覆層が必要であり、現状ではそれがなければ評価を行うことができない。そこで、基盤岩の断層破砕帯より活動性を評価する手法の開発が望まれる。この際、活断層における破砕帯物質の特徴を明らかにするだけでなく、比較的最近まで活動しつつも現在は活動を停止している断層と比較する必要がある。そこで、活断層として阿寺断層、後期更新世に活動していない断層として奈良県の中央構造線を対象として調査を行った。

阿寺断層の調査地点は岐阜県中津川市付知町田瀬であり、この露頭では阿寺断層は下盤側の第四紀砂礫層と上盤側の白亜紀花崗岩の境界として認識される。断層は露頭上部では二条に分岐しており、下側の断層面は砂礫層と花崗岩の境界、上側は花崗岩の内部に位置している。遠田ほか(1994)は本露頭で3回の地震イベントを認定しており、上側の断層面は最近の2回のみで活動しているとしている。

中央構造線の調査地点は奈良県大淀町畑屋であり、この露頭では中央構造線は白亜紀和泉層群礫岩と第四紀菖蒲谷層の境界として認識される。菖蒲谷層上部層の年代は約120万年～12万年前であり、本露頭では松本(2001)が示すように中央構造線は菖蒲谷上部層を切断している。一方で、岡田・東郷(2000)はこの地域の中央構造線は30万年前以降は断層活動を生じていないことを示している。よって、この地域の中央構造線は少なくとも約120万年前までは活動していたが、30万年前以降は活動していないといえる。また、この地域に発達する最高位段丘面(寒川, 1976)の分布から、この露頭の最上面は過去には地下10mに位置していたと考えられる。

これらの露頭において、断層ガウジ帯とその両側から岩石試料を採取し、粉末X線回折分析と蛍光X線分析を行った。粉末X線回折分析より、阿寺断層ではスメクタイトが複数の断層ガウジのうち最新すべり面ではない淡黄色ガウジのみで認められる。中央構造線では、斜長石が断層ガウジにおいて露頭上部に向かってピークが弱くなる傾向がある。また、カオリナイトはほぼすべての試料に認められ、スメクタイトは露頭下部の断層ガウジのみで認められる。蛍光X線分析より、阿寺断層ではMnOが一部の橙色ガウジ、茶褐色ガウジ、淡黄色ガウジで原岩である花崗岩と比べて増加し、Na₂Oが淡黄色ガウジで減少している。中央構造線では、MnOは断層ガウジにおいて和泉層群・菖蒲谷層と比べ低い値を示す。また、Na₂Oは和泉層群と断層ガウジでは露頭上部に向かうにつれて減少する。

阿寺断層におけるMnOの濃集は地表付近における酸化によって生じたと考えられる。一方で、中央構造線ではMnOの濃集は認められない。これは過去にはMnOの濃集が生じたものの、地表面の削剥により失われたのであろう。また、中央構造線におけるカオリナイトの形成や露頭上部でのNa₂Oの減少、スメクタイトの消失は断層破砕帯での風化変質を反映していると考えられる。本調査対象地の中央構造線は削剥速度が極めて遅いため、断層破砕帯を風化させたと考えられる。一方で、阿寺断層の露頭では花崗岩が上昇するセンスで断層変位が生じており、断層ガウジは比較的風化の影響を受けてにくいものと考えられる。このように、断層破砕帯の風化変質に着目することにより最近の活動の有無を推測できる可能性があると考えられる。

キーワード：活断層、破碎帯、阿寺断層、中央構造線

Keywords: active fault, fault zone, Atera Fault, Median Tectonic Line

Paleoseismic and topographic evidence for latest Pleistocene to Holocene repeated surface-rupturing earthquakes on the Sone Hills fault zone, central Japan

*丸山 正¹、齋藤 勝²

*Tadashi Maruyama¹, Masaru Saito²

1. 国立研究開発法人産業技術総合研究所活断層・火山研究部門、2. 株式会社ダイヤコンサルタント

1. Institute of Earthquake and Volcano Geology, National Institute of Advanced Industrial Science and Technology, 2. Dia Consultants Company Limited

Our paleoseismic trenching and detailed topographic analyses and surveying reveal evidence for multiple large earthquakes accompanied with distinct surface ruptures during the latest Pleistocene to Holocene on the Sone Hills fault zone, central Japan. The ENE-striking Sone Hills fault zone, extending for 32 km, lies southern margin of the Kofu basin which hosts over 200,000 population. Although this fault zone is proximal to well-studied Itoigawa-Shizuoka Tectonic Line active fault zone, its recent rupture history and deformation style are less understood. For properly evaluating the future probability of earthquake occurrence and potential magnitude of ground displacement, paleoseismic information is vital. In order to derive paleoearthquake history we excavated three trenches across the two sub-parallel small scarps on the southern slope of a series of ENE-trending narrow ridges developed at leading edge of the fault zone at Otsuka, Ichikawa-Misato Town, western part of the fault zone. Furthermore, to measure the amount of vertical offset associated with each of possible last two faulting events, we performed detailed topographic analysis of faulted fluvial terraces at Kokubun, Fuefuki City, central part of the fault zone. Trench walls at Otsuka exposed the mid-Pleistocene to Holocene sediments, which are deformed significantly by numerous faults with both the reverse and normal slip components. Such coexisting of reverse and normal slip faults may suggest that the fault zone has a substantial strike-slip component. Based on sedimentary and structural features such as truncation and capping of faulted strata and angular unconformity combined with age controls using radiocarbon dating and tephrochronology, we identified and constrained timing of multiple event horizons, of which two events occurred since the Holocene. Analysis of lidar derived high-resolution DEMs and in-situ topographic surveying using a total station at Kokubun shows that two levels of fluvial terrace surfaces with ca. 10 ka old for its higher one exhibit a ENE-trending linear scarp. The vertical offset of the higher terrace is estimated to be ca. 2.5 m, while that of the lower terrace is less than 1.5 m, suggesting that multiple events occurred during the Holocene period at Kokubun, which is consistent with the results from trenches at Otsuka, and that the vertical offset of the lower terrace shows slip during the last event. This research was carried out as a commissioned research project by the Ministry of Education, Culture, Sports, Science and Technology (MEXT).

キーワード：曾根丘陵断層帯、古地震、トレンチ掘削、断層変位地形

Keywords: Sone Hills fault zone, Paleoseismology, Trenching, Tectonic landform

能郷白山付近における根尾谷断層北部の断層変位地形と活動履歴 Tectonic geomorphology and paleoseismology of the northern Neodani fault around Mt. Nogo-Hakusan, central Japan

*田中 知季¹、金田 平太郎¹、井上 勉

*Tomoki Tanaka¹, Heitaro Kaneda¹, Tsutomu Inoue

1. 千葉大学大学院理学研究科地球科学コース

1. Department of Earth Sciences, Chiba University

1891年に発生した濃尾地震(Mw7.5)では、主として、温見断層、根尾谷断層、梅原断層の3条の左横ずれ活断層が連動破壊を起こし、甚大な被害をもたらした。これらの活断層のうち、根尾谷断層中部以南では地震後多くの研究が行われ、平均変位速度や活動履歴などの情報が得られているが、同断層北部については、植生に覆われた山岳地域に位置することもあって詳しい現地調査はこれまで行われておらず、この区間の平均変位速度や活動履歴は不明であった。そこで本研究では、これらを明らかにすることを目的として、段丘面を切る低断層崖の存在が報告されている(松田, 1974; 佐々木・上田, 2012)能郷白山南西方(温見白谷最上流部)について、航空レーザー測量データを用いた詳細な地形判読および現地調査を行うとともに、低断層崖をまたぐ形で手掘りによるトレンチ掘削調査を実施した。

温見白谷最上流部には複数段の河成段丘面が発達しており、上位から順にNS-I面、NS-II面、NS-III面、NS-IV面の4面に分類される。このうち最も広く発達するNS-II面上には段丘面を横切って明瞭な逆向き低断層崖が存在し、NS-II面に 3.0 ± 0.1 mの上下変位を与えている。また、この段丘面を開析する支谷は 28 ± 5 m, uphill方向に左屈曲しており、この谷が低断層崖と交差する地点では、段丘構成礫層と基盤岩(礫岩)を境する活断層の露頭が確認された。

このNS-II面上の逆向き断層崖をまたいで長さ約5.5m、深さ約1.5m、幅約1mのトレンチを掘削した。トレンチ壁面には、隆起側の段丘構成礫層と低下側のせき止め堆積物を境する断層が露出した。低下側には、地表面から表土、湿地堆積物と考えられる黒色泥炭層、湖沼堆積物と考えられる灰色粘土層、風成層と考えられる黄褐色シルト層、および段丘構成礫層が確認された。黄褐色シルト層と灰色粘土層の境界は極めて明瞭であり、劇的な堆積環境の変化を示唆する。また、灰色粘土層は、断層に向かって撓み上がるような変形を受けており、その上位の黒色泥炭層はこれを不整合に覆って堆積している。さらに、黒色泥炭層中にみられる有機物濃集層も断層直近で撓み上がっている。以上の層相変化や変形構造等から、段丘構成礫層堆積以降計4回の古地震イベントを認定した。火山灰分析結果から、このうち3回のイベントは鬼界アカホヤテフラ降灰(約7.3 ka)以降に発生したことが明らかになり、最新のイベントは1891年濃尾地震である可能性がある。また、NS-II面の離水は始良丹沢テフラ降灰(約30 ka)以降、鬼界アカホヤテフラ降灰以前と考えられることから、上記の開析谷の屈曲量に基づくと、この付近の根尾谷断層の左横ずれ平均変位速度は少なくとも 2.6 ± 1.9 mm/yr以上に達することになる。

以上から、根尾谷断層北部区間が同断層中部と同等ないしそれ以上の高い活動度を持つ可能性が高いことが示された。注目すべきは、このような高い活動度を持つ活断層が通過するにも関わらず、同区間において本研究地域以外には明瞭な断層変位地形がほとんど見られないことである。大起伏山地における高い侵食速度によって断層変位地形が失われたと考えられるが、このことは、他の高い活動度を持つ活断層においても、山岳地域では明瞭な断層変位地形を伴わない可能性があることを示唆する。後氷期の激しい削剥・侵食が及んでいない温見白谷の最上流部に位置するため、本研究地域では局所的に断層変位地形が保存されていたものと推定される。

キーワード：活断層、古地震学、航空レーザー測量、濃尾地震

Keywords: active fault, paleoseismology, LiDAR, Nobi earthquake

濃尾活断層系，黒津断層の活動履歴 ～連動破壊におけるその役割～ Paleoseismology of the Kurozu fault, Nobi active fault system, central Japan: its role in multiple fault rupture

*高木 颯汰¹、金田 平太郎¹、石村 大輔²、高橋 大地³

*Sota Takagi¹, Heitaro Kaneda¹, Daisuke Ishimura², Daichi Takahashi³

1. 千葉大学大学院理学研究科地球生命圏科学専攻、2. 首都大学東京都市環境学部地理環境コース、3. 千葉大学理学部地球科学科

1. Department School of Earth Science, Chiba University, 2. Department of Geography, Tokyo Metropolitan University, 3. Graduate School of Science, Chiba University

複数の活断層が同時に活動することにより、個々の活断層が単一で活動する場合よりも大規模な地震となることがある。この現象は連動破壊と呼ばれ、国内では1891年に発生した濃尾地震(M8.0)がその典型例として知られている。この地震時には、主として北から温見(ぬくみ)断層、根尾谷断層、梅原断層の3条の左横ずれ活断層が連動破壊を引き起こしたが、これまでに実施されたトレンチ調査により、これらの活断層の活動履歴は必ずしも一致せず、濃尾地震のような連動破壊が毎回起きているわけではないことが指摘されている(例えば、岡田ほか, 1992)。本研究で対象とする黒津断層は、温見断層と根尾谷断層の間に位置する長さ8 kmほどの短い左横ずれ活断層で(例えば、鈴木・杉戸, 2010)、濃尾地震時には温見断層、根尾谷断層とともに活動したことが知られている(松田, 1974)。その位置から、この断層が温見断層から根尾谷断層への連動破壊に何らかの役割を果たしている可能性があるが、その活動性についてはこれまでほとんど明らかとなっていなかった。そこで本研究では、ボーリング・簡易貫入試験調査やトレンチ調査等を行うことで黒津断層の平均変位速度及び活動履歴の解明を試みた。

黒津断層沿いでは、旧黒津集落対岸(根尾西谷川左岸側)の段丘面上に逆向き低断層崖が形成されている(Kaneda and Okada, 2008)。この段丘面上において、風成被覆層を確認するためのピット掘削を行った結果、段丘面構成礫層のすぐ上位にAT火山灰(約3万年前)起源の火山ガラス濃集層が確認された。根尾谷断層沿いでは、C-14年代値から離水年代3~4万年前の段丘面が報告されており(流川・金田, 2013)、旧黒津集落対岸の段丘面もこれに対応すると考えられる。また、断層低下側にてボーリング掘削および簡易貫入試験を行った結果、段丘構成礫層上面が黒津断層により上下に約5.5 m変位していることが明らかとなった。上記の段丘面離水年代から、この地点における黒津断層の上下平均変位速度は0.14~0.18 m/kyrと算出される。

また、この逆向き低断層崖をまたいで手掘りによるトレンチ調査を実施した。壁面には数条の明瞭な断層が露出し、この断層を挟んで隆起側には段丘構成礫層およびそれを被覆する風成シルト層、低下側には厚い湖沼堆積物および湿地堆積物が認められた。トレンチ壁面に露出した堆積物の変位・変形から読み取ることのできた古地震イベントは、3~4万年前の段丘面離水以降、濃尾地震を含めて2回のみであった。黒津断層では濃尾地震時に約3 mの上下変位が生じたとされていることから(大森, 1894)、上記の段丘面の上下変位約5.5 mは地震2回分の変位量に相当すると考えられ、このトレンチ調査結果と整合的である。

以上から、黒津断層は1年以上の長い活動間隔をもつ可能性が高く、2,000~5,000年程度の間隔で活動を繰り返しているとされる温見断層や根尾谷断層とは対照的である。温見断層と根尾谷断層が常に連動して活動しているわけではないことや、濃尾地震時には温見断層、根尾谷断層とともに黒津断層も活動したことを考えると、黒津断層が橋渡し役を担うことで温見断層-根尾谷断層の破壊伝播が実現している可能性が指摘できる。黒津断層が活動することによって温見断層-根尾谷断層の連動が強く促進されることは、静的クーロン応力変化の計算結果からも示唆された。

【引用文献】岡田ほか(1992), 地学雑誌, 101, 1-18; 鈴木・杉戸(2010), 岐阜県, 138; 松田(1974), 地震研速報, 13, 85-126; Kaneda and Okada(2008), BSSA, 98, 2170-2190; 流川・金田(2013), JpGU予稿集SSS32-P15; 大森(1894), 地質学雑誌, 1-9, 425-437

キーワード：濃尾地震、活断層、トレンチ、平均変位速度、活動履歴

Keywords: Nobi earthquake, active fault, trench, slip rate, paleoseismic history

讃岐山脈北縁周辺の活断層とそのテクトニックな意義

Active faults and their tectonic implication around northern margin of the Sanuki Range, Shikoku region, Japan

*田力 正好¹、堤 浩之²、後藤 秀昭³、松田 時彦¹

*Masayoshi Tajikara¹, Hiroyuki Tsutsumi², Hideaki Goto³, Tokihiko Matsuda¹

1. 公益財団法人 地震予知総合研究振興会、2. 京都大学大学院理学研究科地球物理学教室、3. 広島大学大学院文学研究科
1. Association for the Development of Earthquake Prediction, 2. Department of Geophysics, Graduate School of Science, Kyoto University, 3. Graduate school of letters, Hiroshima University

讃岐山脈は四国地方北東部に位置する山地で、東西約95 km、南北約15 kmの細長い形態を示しほぼ東西走向に延びる。標高は最大1000 m程度であるが、狭長であることから比較的急峻な地形を示す。讃岐山脈の南縁は活断層である中央構造線断層帯 (MTL) に限られ、非常に直線的な形態を有している。山地の地質は主として白亜紀の領家帯花崗岩類・和泉層群からなり、山地西半部では鮮新世末～更新世中期の三豊層群に覆われる (牧本ほか, 1995; 松浦ほか, 2002)。

讃岐山脈の北縁付近には、活断層である長尾断層が発達しているが、その分布は讃岐山脈北縁の中央部のみに限られており、その周辺には顕著な活断層の存在は認められていなかった。今回、空中写真および国土地理院5-10mDEM立体視画像の詳細な判読の結果、既報の活断層の周辺に活断層の疑いのある変動地形が多数見いだされた。本発表ではこれらの変動地形の分布と特徴について報告し、そのテクトニックな意義について若干の考察を行う。

既報で報告されている活断層 (長尾断層) は、さぬき市大川町富田中付近～高松市香南町由佐付近に分布する。段丘面の撓曲変位などから、南上がりの確実な活断層とされており (寒川, 1973; Sangawa, 1978; 熊木ほか, 1986など)、中田ほか (1999) や中田・今泉編 (2002) でその詳細な位置が示されている。変位速度は上下約0.05-0.1 m/千年 (活断層研究会編1991、香川県1997) であるが、一部で河谷の右屈曲が認められることから、若干の右横ずれ変位を伴うとされている。

長尾断層の東方延長部においては、さぬき市津田付近に河谷の屈曲地形を根拠として北西-南東走向の左横ずれ、東北東-西南西走向の右横ずれ断層が新たに記載された。一部の断層では、丘陵背面の高度差や風隙地形の発達などから北上がり変位も推定された。

長尾断層の西方延長部の綾川町滝宮付近では、南上がりの段丘面の変形 (撓曲) がほぼ東西走向、数kmにわたって認められた。さらにその北側の綾川町陶付近では、北上がりの低断層崖が認められた。さらに西方の丸亀市岡田付近では段丘面を北上がりに変位させる明瞭な活断層が認められる。この断層は既報でも上法軍寺断層として知られていた (Sangawa, 1978) が、今回の調査により、低断層崖の分布が東方へ数km延長された。

土器川よりも西方の讃岐山脈北縁地域では、三豊市立石付近・竹成付近、まんのう町江畑・炭所付近、観音寺市五郷付近・大坪付近で、北東-南西走向および北西-南東方向の横ずれ断層群が新たに認定された。これらの断層のずれはいずれも河谷の屈曲から推定され、北東-南西走向の断層では右横ずれ、北西-南東走向の断層では左横ずれである。いずれも断層長は短く (ほとんどが数km程度)、断続的に讃岐山脈北縁付近の丘陵地内に分布する。また、同地域には数条の南上がりの段丘面の撓曲崖が認められるが、いずれも数km以下で、分布は更に断片的である。

讃岐山脈北縁周辺の活断層群は、長尾断層を除いて連続性が悪く分布が断続的・断片的であり、変位の向き、変位様式が一定ではない。MTLは30-40°程度の北傾斜 (伊藤ほか, 1996)、長尾断層は30-40°南傾斜 (香川県, 1997) と考えられており、両者が近接 (17-18 km程度) していることから、地震発生層深部では収斂している可能性がある。長尾断層の変位速度は南上がり約0.05-0.1 m/千年 (香川県, 1997)、MTLの変位速度の上下成分は北上がり約1 m/千年 (森野ほか, 2001; 中西ほか, 2002) とされており、前者が後者の1/10程度である。以上のことを考慮すると、讃岐山脈北縁周辺の断層群はMTLの副断層的な性質を持つ可能性

が考えられる。

長尾断層は東西走向の逆断層で南北方向の圧縮応力場に対応した構造となっているが、長尾断層の東方・西方延長部の活断層群では横ずれ変位が卓越し東西走向の軸を持つ圧縮応力場に対応した構造となっており、近接してほぼ直交する応力場が想定されることになる。また、横ずれ成分を主体とするMTLに平行な走向を持つ副断層（長尾断層）がMTLと直交する南北圧縮の構造であることも直観的には理解し難い。この原因は明確ではないが、一つの可能性として、MTLの右斜めずれ変位が南北成分と東西成分に局所的に分配されていることが考えられる。類似した構造（MTLに平行な走向を持つ南北圧縮応力場に対応した逆断層）は和泉山脈北縁の内畑断層、高縄半島の滝本断層でも認められ、讃岐山脈のみに特異な構造ではない。ただし、これらの南北圧縮構造はいずれも活動度が小さく、更新世中期以降の活動が活発ではないことから、最近の活動はMTLに集中しつつある可能性が考えられる。

キーワード：讃岐山脈、長尾断層、中央構造線、活断層

Keywords: Sanuki Range, Nagao fault, Median Tectonic Line, active fault

Seismic attenuation profiling for imaging active faults within poorly reflective oceanic crust in Nankai Trough

*鶴 哲郎¹、朴 進午²、野 徹雄³、中東 和夫¹

*Tetsuro Tsuru¹, Jin-Oh Park², Tetsuo No³, Kazuo Nakahigashi¹

1. 東京海洋大学、2. 東京大学大気海洋研究所、3. 海洋研究開発機構地震津波海域観測研究開発センター

1. Tokyo University of Marine Science and Technology, 2. AORI, University of Tokyo, 3. CEAT, Japan Agency for Marine-Earth Science and Technology

We tested applicability of seismic attenuation profiling (SAP) method as an indicator to understand present fault activity within poorly-reflective incoming oceanic crust in the Nankai Trough. Seismic reflection surveys are usually conducted to investigate fault activities in sedimentary basins, where faults can be specified by offsets of seismic reflections from formation boundaries. However, it is almost impossible to analyze the activities within oceanic crust because seismic reflections are inherently invisible there. Seismic attenuation profiling was, therefore, applied to image faults and investigate their activities within the oceanic crust seaward from the trough axis of Nankai Trough.

The Nankai Trough is the northern margin of the subducting Philippine Sea Plate, where large earthquakes with $M_w > 8$ have occurred with a recurrence interval of 100 to 200 years. Seismic reflection studies have been carried out in order to figure out geologic structures of the seismogenic plate boundary and splay faults. On the other hand, only a few seismic reflection studies have been applied to investigate intracrustal faults within the incoming oceanic crust, because it is very difficult to observe seismic reflections.

In 2005, high resolution seismic reflection survey was conducted by R/V Kairei of Japan Agency for Marine-Earth Science and Technology (JAMSTEC) on a seismic line NT501H, which was designed along the axis of the Nankai Trough, southwest Japan. Through the surveys, a total of ca 552 km of high-resolution seismic reflection data were collected with two GI-Guns (a total of 12 liter) and a 5100 m streamer cable. Shot interval, receiver interval and CDP interval are 50 m, 25 m and 12.5 m, respectively. The GI-Guns and the streamer cable were towed at 5 m and 8 m depths, respectively. Those towing depths are shallower than ones of conventional Kairei seismic reflection survey (10 and 15m), providing broader frequency bandwidth due to higher ghost-notch frequencies. The broader frequency bandwidth has advantage in estimation of seismic attenuation in frequency domain, such as spectral ratio method.

In order to visualize fault activities in the incoming oceanic crust, we applied SAP that maps seismic attenuation property instead of seismic reflectivity. Spectral ratio method was used to calculate seismic attenuation from multichannel seismic reflection data, because the method is one of the most general methods to estimate Q. In the present study, average Q was calculated only for depths of the oceanic crust as well as the uppermost mantle, in order to avoid influences from sediments and see spatial variation in attenuation property within the igneous oceanic crust. Based on amplitude decay curve analysis, the method is applicable to approximately 10 km depth below the sediments.

Combining the seismic reflection profile and the seismic attenuation profile enables us to understand a whole picture of fault activity. The former clearly shows active and fossil faults in the sedimentary layers. The latter shows active faults within the igneous oceanic crust as high-attenuation anomalies, which extend immediately beneath the active faults that were specified by the seismic reflections. On the other

hand, the fossil fault zone was discriminated as low-attenuation zone from the active fault zone, within the oceanic crust.

キーワード：地震波の減衰、断層、海洋地殻

Keywords: seismic attenuation, fault, oceanic crust

多チャンネル電磁探査装置を用いた高密度CSAMT探査の活構造調査への適用

Application of high density CSAMT exploration for active fault investigation by using multi-channel electromagnetic survey system

*坂下 晋¹、小田 佑介¹、山下 善弘¹、小林 貴幸¹、Groom Douglas²、Bin He³、Fei Wang²、越後 智雄⁴、楮原 京子⁵、岡田 真介⁶、戸田 茂⁷、井上 直人⁴、宮内 崇裕⁸、今泉 俊文⁹、小坂 英輝¹⁰、三輪 敦志¹、松原 由和¹、阿部 恒平¹、黒澤 英樹¹、松多 信尚¹¹、石山 達也¹²

*susumu sakashita¹, Yusuke Oda¹, Yamashita Yoshihiro¹, Kobayashi Takayuki¹, Douglas Groom², He Bin³, Wang Fei², Tomoo Echigo⁴, Kyoko Kagohara⁵, Shinsuke Okada⁶, Shigeru Toda⁷, Naoto Inoue⁴, Takahiro Miyouchi⁸, Toshifumi Imaizumi⁹, Hideki Kosaka¹⁰, atsushi miwa¹, yoshikazu matubara¹, Kohei Abe¹, hideki kurosawa¹, Nobuhisa Matsuta¹¹, Tatsuya Ishiyama¹²

1. 応用地質株式会社、2. Geometrics, Inc.、3. Laurel geophysical systems, Ltd.、4. 地盤環境研究所、5. 山口大学、6. 東北大学災害科学国際研究所、7. 愛知教育大学、8. 千葉大学大学院理学研究科、9. 東北大学大学院理学研究科、10. 株式会社環境地質、11. 岡山大学、12. 東京大学地震研究所

1. OYO corporation, 2. Geometrics, Inc., 3. Laurel geophysical systems, Ltd., 4. GRI, 5. Yamaguchi Univ, 6. IRIDeS, Tohoku Univ., 7. Aichi Univ. of Education, 8. Graduate School of Science Chiba Univ., 9. Graduate School of Science Tohoku Univ., 10. Kankyo-Chishitsu Co. Ltd., 11. Okayama Univ., 12. ERI, Univ of Tokyo

新たに開発した多チャンネル測定が可能な電磁法探査装置を用いた高密度CSAMT探査を、活構造が伏在すると推定される場所に適用した。

開発した電磁法探査装置GeodeEM3Dは、単体で電場と磁場を6成分測定することが可能である。複数のGeodeEM3Dは、LANケーブルを用いて最大40台までの接続が可能な分散型ネットワークシステムを構築する。1ユニットにおける電場(E)と磁場(H)の組み合わせは、4E/2H、2E/3H、3E/1H等比較的自由に設定でき、送信源を使用するCSAMTだけでなく自然信号を用いるAMTにも使用可能である。測定可能周波数帯域は0.1Hz-10kHzである。GeodeEM3Dを用いることにより、測点間隔を小さくして測点分布を密にしたCSAMT探査を効率よく実施できる。この高密度CSAMT探査を活構造が伏在している可能性のある場所（青森湾西岸断層帯北方の蓬田町・阿弥陀川沿い）で実施した。測線長は4km、測点間隔は50mで、測定周波数は0.5Hzから8192Hzであった。測定箇所では、地表地質踏査と反射法地震探査が実施されている(楮原ほか, 2017)。解析の結果得られた比抵抗断面には、低比抵抗の段差が認められた。反射法地震探査結果との重複箇所と併せて解釈を行い、伏在する活構造の形状を明らかにすることができた。

キーワード：多チャンネル電磁探査装置、高密度CSAMT探査、反射法地震探査、津軽山地、地下構造、伏在断層

Keywords: Multi-channel electromagnetic survey system, high density CSAMT exploration, seismic reflection exploration, Tsugaru Mountains, subsurface structure, blind thrus

Active tectonics around an ongoing rapid surface deformation area in southern Taiwan by integrating geodesy and field investigation

*Yu-Fang Hsu¹, Ray Chuang¹

1. Department of geography, National Taiwan University

Mudstone areas in southern Taiwan are located at the frontal fold-thrust belt of the Western Foothills. They are one of the areas with the most active surface movement and rapid topographic evolution in Taiwan. In the past century, there were more than ten disaster earthquakes in southwestern Taiwan. The M 6.6 Meinong earthquake occurred on February 5, 2016 and generated surface rupture along two lineaments near the town of Guanmiao. However, these two structures were neither well documented before nor included in structural models. In addition, the Lungchi area right east of the two lineaments shows both rapid preseismic and coseismic deformation, raising a question if this area is sensitive to stress change or the deformation is just transient. Therefore, this study aims to create a new active structural fault model in this region. We integrate observations from PS-InSAR and GPS to constrain short-term active tectonic patterns and the interseismic deformation rates. Moreover, we map river terraces based on field investigations along the upstream of Erren River to estimate long-term deformation patterns and rates. Thus, we can provide a new model of active tectonic and seismic potential in this area.

Keywords: PS-InSAR, Interseismic deformation, Meinong earthquake

Tectonic features of active faults and seismicity in the Tehran basin, Iran

*Zahra Mohammadi¹, Ahmad Sadeghi², Fateme - Saleh³

1. Division of Earth and Planetary Sciences, Graduate school of Science, Kyoto University, 2. Head of Tehran Disaster Mitigation and Management Organization (TDMMO), 3. Mitigation and risk reduction deputy of Tehran Disaster Mitigation and Management Organization (TDMMO)

Tehran, capital of Iran, is located at the pediment zone block area of the Alborz Mountains chain, (which form part of the Alps-Himalayan Orogenic Zone) at the abrupt topographic boundary between the mountain range and the northern border of the central Kavir Desert. The urban area of this megacity is located near seismically active faults in the north, (Tchalenko et al., 1974). The presence of diverse faults with evidence of internal post-Pleistocene deformation in this zone confirms its vulnerability to further destructive earthquakes, because the Tehran region has not experienced any major destructive earthquakes at least since 1830, therefore it is necessary to study the active tectonics and evaluating fault seismicity to detect the active faults. The border between the Alborz Mountain and the Tehran' s piedmont (northern part of Tehran City) is marked by the North Tehran Fault dividing the Eocene rock formation from the alluvial units of different ages (Early Pleistocene to the recent alluvium).

In this study, we focus on the deformation features of active faults developed in the Tehran basin, based on the deformation features of active faults developed in the Tehran basin, based on the interpretations of aerial photographs, perspective view of DEM, Google Earth and satellite imageries, geomorphic indices, seismic data and field investigations. Field investigations guided by the interpreted results of images and analysis of geophysical data reveal that the active faults are mainly developed along the topographical boundary between the mountains and basin, which are characterized by the deformational feature of oblique thrusts with horizontal displacement component. The faults mainly strike E-W to ENE-WSW (?) and dip to north with varied angles between $\sim 25^\circ$ and 85° . Locally, the faults are characterized by left-lateral strike-slip topographical features, with systematic left lateral offset or deflection of valleys and streams. The faults cut the terrace risers and alluvial fans which are inferred to be formed in the late Quaternary and Holocene, indicating the current activity of these faults. Seismic data also show that the many historical earthquakes and many micro-earthquakes occurred in the study region, consistent with our results. Our results show that the active faults in the Tehran region are the potential source of large earthquakes and may require further more study for accessing the seismic hazard in the densely populated urban regions around the Tehran city, Iran.

Keywords: Tehran, Alborz Mountains chain, Kavir Desert, geomorphic indices, index of relative active tectonics (IRAT)

Tectonic features of active faults and seismicity in the Tehran basin, Iran

Abstract: Tehran, capital of Iran, is located at the pediment zone block area of the Alborz Mountains chain, (which form part of the Alps-Himalayan Orogenic Zone) at the abrupt topographic boundary between the mountain range and the northern border of the central Kavir Desert. The urban area of this megacity is located near seismically active faults in the north, (Tchalenko et al., 1974). The presence of diverse faults with evidence of internal post-Pleistocene deformation in this zone confirms its vulnerability to further destructive earthquakes, because the Tehran region has not experienced any major destructive earthquakes at least since 1830, therefore it is necessary to study the active tectonics and evaluating fault seismicity to detect the active faults. The border between the Alborz Mountain and the Tehran's piedmont (northern part of Tehran City) is marked by the North Tehran Fault dividing the Eocene rock formation from the alluvial units of different ages (Early Pleistocene to the recent alluvium).

In this study, we focus on the deformation features of active faults developed in the Tehran basin, based on the deformation features of active faults developed in the Tehran basin, based on the interpretations of aerial photographs, perspective view of DEM, Google Earth and satellite imageries, geomorphic indices, seismic data and field investigations. Field investigations guided by the interpreted results of images and analysis of geophysical data reveal that the active faults are mainly developed along the topographical boundary between the mountains and basin, which are characterized by the deformational feature of oblique thrusts with horizontal displacement component. The faults mainly strike E-W to ENE-WSW (?) and dip to north with varied angles between -25° and 85° . Locally, the faults are characterized by left-lateral strike-slip topographical features, with systematic left lateral offset or deflection of valleys and streams. The faults cut the terrace risers and alluvial fans which are inferred to be formed in the late Quaternary and Holocene, indicating the current activity of these faults. Seismic data also show that the many historical earthquakes and many micro-earthquakes occurred in the study region, consistent with our results. Our results show that the active faults in the Tehran region are the potential source of large earthquakes and may require further more study for accessing the seismic hazard in the densely populated urban regions around the Tehran city, Iran.

Keywords: Tehran, Alborz Mountain chain, Kavir Desert, geomorphic indices and index of relative active tectonics (IRAT)