

中部日本，北部銭洲海嶺上に位置する伊豆諸島北部の後期完新世の隆起：西暦1498年明応地震の波源域の含蓄

Late Holocene uplift of the Izu Islands on the northern Zenisu Ridge off Central Japan: Implication for the tsunami source area of the AD 1498 Meio earthquake

*北村 晃寿¹、三井 雄太¹、宮入 陽介²、横山 祐典²、徳田 悠希³

*Akihisa Kitamura¹, Yuta Mitsui¹, Yosuke Miyairi², Yusuke Yokoyama², yuki Tokuda³

1. 静岡大学理学部地球科学教室、2. 東京大学大気海洋研究所、3. 公立鳥取環境大学

1. Institute of Geosciences, Faculty of Science, Shizuoka University, 2. Atmosphere and Ocean Research Institute, University of Tokyo, 3. Tottori University of Environmental Studies

西暦1498年8月25日に発生した明応地震(M 8.2-8.4)は、南海トラフ沿いの破壊により引き起こされたと考えられているが、伊豆半島南東の北部銭洲海嶺の地域の破壊によるという考えもある。北部銭洲海嶺沿いの明応地震に起因する地震性隆起を調査することで、この地域の破壊を評価した。具体的には、銭洲海嶺上の新島、式根島、神津島の隆起貝層の標高調査と放射性炭素年代測定を行った。その結果、1950年以降(隆起イベント1)、西暦1810-1950年(隆起イベント2)、西暦786-1891年(隆起イベント3)、西暦600-1165年(隆起イベント4)、西暦161-686年(隆起イベント5)の5回の隆起イベントを識別した。隆起イベント4と5は神津島でしか確認されていない。生物種の現在の標高分布に基づき、隆起量を0.2-0.9 m (隆起イベント1)、0.2-0.4 m (隆起イベント2)、0.3-2.6 m (隆起イベント3)、1.6-4.4 m (隆起イベント4)、8.2 m (隆起イベント5)と推定した。隆起イベント1は、2000年の神津島の近くの三宅島の噴火に伴う、岩脈岩脈の貫入により引き起こされた。隆起イベント2は、近海での地震または岩脈岩脈の貫入が引き起こしたかもしれない。隆起イベント3は、近海の地震、岩脈の貫入、1498年明応地震の可能性がある。隆起イベント4は838年の神津島天上山の噴火、隆起イベント5はそれ以前の火山活動に伴う溶岩ドームの形成によって引き起こされた。これらの知見は1498年の明応地震が式根島と神津島での隆起イベント3を引き起こした可能性を否定しない。しかし、本論のデータと近年の研究から、1498年の明応地震が南海トラフ沿いで発生し、歴史記録に記された1495年の地震と相模湾での津波が、北部銭洲海嶺南縁の断層の破壊により引き起こされ、本研究地域が隆起した可能性がある。本論は今井啓文の修士論文である。

キーワード：1498年明応地震、伊豆諸島、隆起貝層、14C年代

Keywords: AD1498 Meiou earthquake, Izu islands, emerged marine sessile assemblages, 14C dating

シミュレーション及び震度分布の特徴の検討による安政江戸地震の震源像について

Location and depth of the 1855 Ansei Edo earthquake inferred from seismic intensity characteristic

*中村 亮一¹、佐竹 健治¹、石辺 岳男²、村岸 純¹、西山 昭仁¹

*Ryoichi Nakamura¹, Kenji Satake¹, Takeo Ishibe², Jun Muragishi¹, Akihito Nishiyama¹

1. 東京大学地震研究所、2. 地震予知総合研究振興会

1. Earthquake Research Institute, The University of Tokyo, 2. Association for the Development of Earthquake Prediction

§1. はじめに

関東地方の地下には、太平洋プレート(PAC)、フィリピン海プレート(PHS)が沈み込み、構造が複雑である。また、減衰構造の不均質により震度分布が同心円状にならない異常震域などの現象が生ずる(Nakanishi and Horie, 1980, J.P.E.; 中村・他, 2007, 歴史地震)ことが知られている。このため、1855年安政江戸地震の震源については、詳細な震度分布図が得られている(宇佐美, 1994; 中村・松浦, 2011, 歴史地震)にも関わらず、その震源位置については、地殻内、PHS上面、PHS内及びPHS/PAC境界など様々な見解がある。なお、震度分布以外のデータとして体験記からP-S時間が推定され(中村・他, 2003 歴史地震)、また有感域の広がり地殻内地震でなくても説明出来る(中村・他, 2014, 2015)ことから、地殻内地震の可能性が小さいと考え、本研究では、それ以外の可能性について検討する。具体的にはPHS/PACのプレートの境界で発生した近年の地震の震度分布の特徴を再検討して、1855年安政江戸地震による震度と比較した。また、より浅い地震の場合の震度分布の性状を知るため、詳細な三次元減衰構造による震度予測を行った。その結果として、PHS/PACプレート境界の可能性は低く、PHS内あるいはPHS上面の地震と考えられたので、ここに報告する。

§2. 安政江戸地震との震度分布の比較

まず、最初に、安政江戸地震の震度分布の特徴と、PHS/PACのプレートの境界で発生した近年の地震の震度分布の特徴を比較した。両者の震度は、東京の西で小さめになるという共通の特徴があり、中村・他(2007)は、これを“くびれ”と称した。このような共通性が見られるものの、安政江戸地震の震度は、江戸が周囲に比べて震度がかなり大きい(図1)。つまり、図1(a)の図中の震ヶ浦付近から神奈川県中部にかけての矩形で示す範囲について、大手町を中心に北東-南西の震度をみると、図1(b)のように江戸付近が大きいという特徴がみられる。この傾向は、地盤増幅をJ-SHISデータに基づき補正しても変わらないため、地盤増幅の影響とは考えにくい。一方で、東京湾北部～千葉県北西部で発生したPHS/PACのプレートの境界の地震による震度は、大手町周辺より、むしろ神奈川県で大きい。そのことについて、近年の地震について再検討した一例を図2に示す。安政江戸地震と同様に矩形の範囲の震度データを抽出したところ図2(b)に示すようになり、大手町周辺より神奈川県で大きい傾向がみられる。このような傾向は他のPHS/PACのプレートの境界付近の地震でもみられることがわかった。これらのことから、PHS/PACのプレートの境界で発生した地震の震度は、江戸で大きくはならず、安政江戸地震の震度分布とは特徴が異なる。安政江戸地震の震源は、PHS/PACのプレートの境界とは考えにくい。

なお、安政江戸地震の直後、鈴木平九郎『公私日記』は立川付近から江戸に向かって甲州街道を移動しているが、代田橋(現在の京王線代田橋駅近くにあった橋)において、はじめて被害を報告している(村岸・矢田, 2016, 前近代歴史地震史料研究会)。代田橋より西は被害が少なかったことが推察され、安政江戸地震でも“くびれ”の現象が生じていることが確かめられる。

次に、PHS内の地震でも“くびれ”が生じうるかどうかを、詳細な三次元減衰構造による震度予測を行って検討した。この三次元減衰構造は、K-NET及びKiK-netの1996年～2016年7月までの記録で、ブロックサイズ

を $0.1 \times 0.1 \times 5$ kmとして求めたものである。図3に一例として深さ50 km を想定した場合の予測震度を示す。この場合でも“くびれ”が生ずることがわかる。また、浅くすると江戸の周辺の震度は神奈川県中部に比べて大きくなっていくことがわかった。これらのことから、安政江戸地震は、PHS/PACのプレート境界よりも浅い地震としてPHS内あるいはその上面の可能性が残されることがわかった。

§3. おわりに

関東周辺の比較的ローカルな震度分布をみると、安政江戸地震とPHS/PACのプレートの境界で発生した地震の震度分布の特徴には相違が見られることから、PHS/PACプレート境界地震の可能性は低くなったと考えられる。1855年安政江戸地震はPHSプレート内地震、あるいはPHSプレート上面の地震である可能性が残されると考えられる。

謝辞：本研究は、文部科学省受託研究「都市の脆弱性が引き起こす激甚災害の軽減化プロジェクト」の一環として実施されました。記して感謝いたします。

キーワード：1855安政江戸地震、異常震域、震源深さ、減衰構造

Keywords: 1855 Ansei Edo earthquake, Abnormal seismic intensity distribution, Hypocentral depth, Attenuation structure

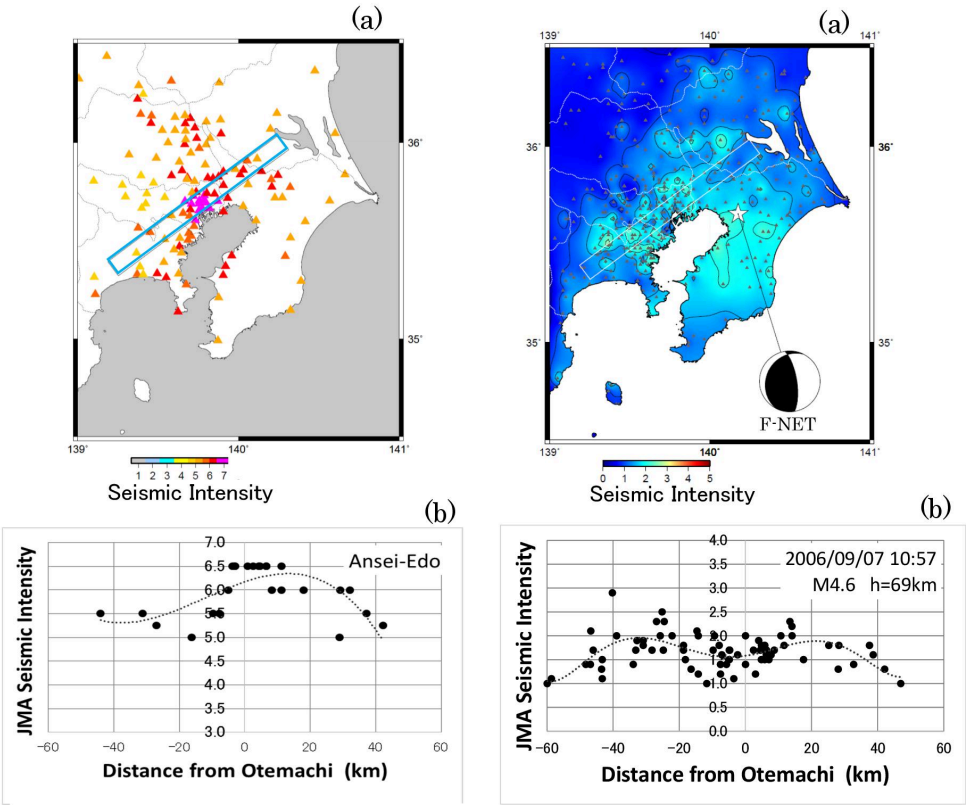


Fig.1 Ansei Edo earthquake
Usami(1994) The Japan Electric Association

Fig2 PHS/PAC plate boundary
JMA data

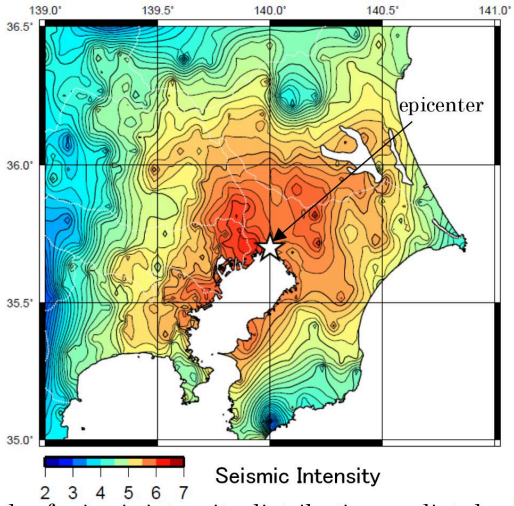


Fig.3 An example of seismic intensity distribution predicted assuming 50 km depth

1855年安政江戸地震時の地変・発光現象・被害分布から推定されることと予察的検討；NNE-SSW系地震断層の可能性一

Earthquake characteristics of 1885 Ansei Edo earthquake presumed by earthquake anomalies and housing damages - preliminary report on NNE-SSW trending an earthquake fault

*豊蔵 勇¹

*Isamu Toyokura¹

1. ジオ・とよくら技術士事務所

1. Geo-Toyokura Professional Engineer's Office

1. はじめに

安政二年十月二日（1855年11月11日）の夜四つ頃（午後10時頃）に江戸及びその周辺を襲った安政江戸地震（マグニチュード6.9）は、江戸城下の大名屋敷を始め、社寺、町方の住居の倒壊ならびに多くの死傷者がでるなどの大きな被害を及ぼしたことが知られている（宇佐見，1996など）。この地震の被害については、被害に関する幕府等の公式記録・個人の日記・かわら版などの記録が多く残されていることから、家屋被害や人的被害の程度は多くの研究者によって研究されており、明治より前であるにもかかわらず、その地震像はかなり細かなことまで判明している（宇佐見，1995・1996；中村他,2003a；中村他,2003bなど）。

安政江戸地震に関しては、江戸には知的好奇心が旺盛な武士や町方がいたため、地震に伴う建物や人的被害にとどまらず、地変や宏観現象が発生したことを記録した古文書が残されており、かつまた、よく整理がなされている（佐山：東京都総務局，1973）。発表者は、これらの貴重な地変・地震異常の記録のうち発光現象および地下水の異常の記録について、その他地質情報や被害状況も合わせて分析を試みてきた。その結果、安政江戸地震に関して興味深い地震像が得られる可能性があるため、予察的に報告する。

2. 地震に伴う地変・異常現象・被害等

安政江戸地震前後の地変・異常現象については、地震の直後に記録された史料があり、その記録した人物も明らかになっている点、信頼性の高いものと考えられる。代表的な史料として、武江地動之記と安政見聞録である。なお、これらの記録は、佐山（東京都，1979）によってその種類、内容、場所、史料名などが整理されているので、これに従った。種類としては、①地割、②石垣の崩れ、③地面の凹凸、④崖崩れ、⑤橋の損壊、⑥井戸水の増・減、⑦音・震動が聞こえた方向、⑧光及び方向に分けられている。①から⑤までの地変については、震度に関わる事象として区分されるが、⑥と⑦に関しては、震源域の地殻・地盤変動に関わる事象として区分され得ると考えられる。

また、地震による建物の被害等から震度分布を推定したものは、佐山（1979）、宇佐美（1995）、中村他（2002）など多くある。

1) 発光現象

発光現象については、佐山（1979）は「光及方向」としてまとめているが、まず「光」については自分がいる周囲が明るくなったと感じた種類のもの（Sタイプと仮称）およびそこからの方位や場所で方向を示す記述があるもの（Dタイプと仮称）に分類され、その他、炎のように見えるもの（Fタイプと仮称）も記録されている。Sタイプの箇所を含み、かつDタイプの観察箇所をみると、北端は日暮里付近にあり、南端は品川付近、東端は築地から浅草付近、西端は飯田橋西方付近にあることになる。その分布範囲は、NNE-SSW方向に長軸を持つ楕円形内に収まり、そしてその延長は約12km、幅は約1.5kmとなる。Fタイプの観察箇所もその中に含まれている。

地震の際の発光現象は、1945年1月の三河地震や1995年1月の兵庫県南部地震など、比較的多くの地震時に観察されていたことが知られている（力武・齋藤，2006；山口他，2001など）。また、地震時の発光現象の原因を研究する目的で、石英を含む花崗岩等の岩石破壊試験がなされており、発光現象が断層沿いで観察され

ている（Kato et al., 2010など）。これらの発光現象が、本震および余震分布域によくco-seismic現象として観察されていること、および岩石の破壊実験に伴う断層沿いで認められていることから、震源断層の分布位置と密接に関係するとみることができよう。

これらの発光現象が認められた範囲が、日暮里付近から品川付近に向かって約13km延び、その幅が約3kmの楕円形を示すことは、本震の地震断層は山の手台地内をNNE-SSW方向に延びていたことを示唆する可能性がある。

2) 地下水等の増減

地下水の増減に関しては、武江地動之記によると、神田平永町で地震前に路地口の外に水の湧出があったこと、浅草蔵前で数日前土中の竹の穴跡から水が湧きでるなど、かなり顕著な地下水の湧出が記録されている。また、これとは反対に赤坂では井戸水が低下した箇所が知られている。

これらの地変の発生箇所は、上記の発光現象の分布範囲に入る。

3) 被害分布

安政江戸地震に伴う家屋・寺社・大名屋敷などの被害状況に基づき、震央域付近の震度分布図が作成されている（佐山，1979；宇佐美，1995；中村他，2002など）。震度分布および山の手台地内の谷底低地部や隅田川以東の軟弱地盤による揺れやすさの点を考慮すると、大きな地震動が生じたのは山の手台地東側の可能性が高く、また、上記の楕円形の範囲とかなり重なっている。

3. 想起される地震断層

安政江戸地震に伴う発光現象および地下水変動、ならびに震度分布から推論される震源断層は、日暮里付近から品川へかけてのNNE-SSW系で、その強震動域から推定される震央域は山の手台地東側にある可能性が高いと考えている。ただ、いくつかの課題もあり、今後さらに検討を加えていく予定である。

キーワード：安政江戸地震、発光現象、NNE-SSW系地震断層、首都直下伏在断層、被害分布

Keywords: Ansei Edo earthquake, earthquake lighting, NNE-SSW trending earthquake fault, concealed fault in the metropolitan area, damage distribution

Can felt reports of historical documents be used to estimate the source of large earthquakes? - Evaluation of applicability to historical large earthquakes -

*石辺 岳男¹、松浦 律子¹、岩佐 幸治¹、中村 亮一^{2,3}、佐竹 健治³

*Takeo Ishibe¹, Ritsuko S. Matsu'ura¹, Koji Iwasa¹, Ryoichi Nakamura^{2,3}, Kenji Satake³

1. 地震予知総合研究振興会、2. 東電設計株式会社、3. 東京大学地震研究所

1. Association for the Development of Earthquake Prediction, 2. Tokyo Electric Power Services Co., Ltd., 3. Earthquake Research Institute, the University of Tokyo

Can felt reports of historical documents be used to estimate the source of large earthquakes? Before establishing a new methodology, we show that the source area of recent three large earthquakes (2004 Niigata-Ken Chuetsu, 2008 Iwate-Miyagi, and 2011 Fukushima-Hamadori earthquakes) can be imaged from the spatial distribution of felt reports by using the JMA seismic intensity database. Our preliminary results imply the possibility that the large earthquake source can be constrained from spatial and temporal distribution of felt reports.

For the case of the 2004 and 2008 earthquakes, number of aftershocks with felt reports decreases with increasing distances at epicentral distances <100 km from the mainshock, while they fluctuate at epicentral distances >100 km, probably due to site condition and/or attenuation structure. This indicates that the effects of site amplification near surface and heterogeneous attenuation structure should be properly taken into consideration to estimate source of historical earthquakes. For the case of the 2011 earthquake, the number of aftershocks with felt reports fluctuated even at epicentral distances <100 km from the mainshock, because of the aftershocks following the 2011 Tohoku-oki earthquake. The areas imaged from the number of felt reports were well concordant with aftershock area following these mainshocks even after thinning out the observation stations as long as the station coverage was retained. In Japan, abundant historical literature during over 1,000 years is preserved; these have been used for estimating a source of a historical large earthquake (e.g., Usami *et al.*, 2013) and for revealing recurrences of great interplate earthquakes along the Nankai Trough (e.g., Ishibashi and Satake, 1998). Sources of historical large earthquakes have been traditionally estimated from seismic intensity distribution on the basis of damage for building structures and casualties recorded in historical literature. However, the damage was not necessarily caused by a ground shaking but also tsunami, massive fire and/or landslide. In addition, the distribution of building damage is strongly controlled by the population density and elapsed years since constructed. Thus, the estimated source of a historical large earthquake is possibly biased to a densely populated area.

In some historical literature, felt reports without any damage are also documented as well as damage description from major earthquakes. Most of historical documents only described 'earthquake with felt' as well as the date and time, whereas some of them particularly recorded the number of earthquakes with felt in each day with the intensity of ground shaking. On the basis of felt reports, it has been revealed that the seismicity rate increased in the central and northern parts of the Kinki district before and after the great Nankai earthquakes (Oike, 1996) and that the seismic quiescence possibly happened preceding to the 1861 Miyagi-oki earthquake (Matsu'ura and Tsuji, 2010). However, felt reports were not fully utilized except for several previous studies (e.g., Matsui and Oike, 1997; Satake, 2002).

キーワード：有感地震、気象庁震度データベース、2004年新潟県中越地震、2008年岩手・宮城内陸地震、2011年福島県浜通りの地震

Keywords: Felt reports, JMA seismic intensity database, 2004 Niigata-Ken Chuetsu earthquake, 2008 Iwate-Miyagi earthquake, 2011 Fukushima-Hamadori earthquake

地震年表や史料集における年月日の取り違えとその類型

Examples and types of misdates in catalogs of Japanese historical earthquakes and associated materials

*加納 靖之¹

*Yasuyuki Kano¹

1. 京都大学防災研究所附属地震予知研究センター

1. Research Institute for Earthquake Prediction, Disaster Prevention Research Institute, Kyoto University

歴史地震の研究において、ある地震の有無（実在・非実在）や発生日時の認定は、もっとも基本的な作業といえる。しかしながら、文書の作成時から現代にいたる伝来（特に書写）の過程や、現代における解読や解釈などの各場面において、日時の取り違えが発生しうる。ここでは、規模が比較的小さい地震もふくめ、日時の取り違えのある地震を取りあげ、修正案を提示する。日時の取り違えは、次のような場合に発生すると考えられる。(1)史料そのものが違っている場合、(2)自治体史などの編集時に間違えた場合、(3)史料集の編集時に間違えた場合。

(1)の史料そのものが違っている場合に該当するのは、天保二年の会津の地震である。これについては、史料が1点だけの場合、間違いの可能性に気づくことは困難である。史料の記述そのものに矛盾がないかを丁寧に検討することにより、あるいは、同じ日に複数の史料があれば、相互に矛盾がないかを検討することにより、間違いをみつけることができる可能性がある。(2)の自治体史などの編集時に間違えた場合に該当するのは、飛越地震の際の『天保一五年（弘化元年）御林山内取調箇所附帳』の扱いである。これは(1)と同様に記事そのものから間違いに気づくことは難しい。しかしながら、原史料にもどって検討できれば、記述を訂正することができ、それにより地震についての正しい情報を得られる可能性がある。(3)の史料集の編集時に間違えた場合には、宝永地震についての『南牟婁郡誌』の記事、享保の『月堂見聞集』の京都の地震、享和の畿内・名古屋の地震、文政の中部・近畿の地震、天保の佐賀の地震、善光寺地震の際の越後高田の記事が該当する。日記の省略部分を補う際に生じた年月日の取り違えが多い。本文はきちんと解読できており、場合によっては、史料集の他の部分に同文で収録されているにもかかわらず、編集の際に、いわば勘違いにより別の日付のところにってしまったものもあると考えられる。日付に関しては、干支でかかれることも多く、年月日との対応を確認することで間違いを防ぐことができるだろう。

年月日の取り違えによって、単に発生年月日が間違っただけでなく、場合によっては実在する地震が複製されて、実在しない地震として認定されてしまうことがある。『月堂見聞集』に書かれた複数の地震や1847年2月15日の越後高田の被害のような例である。これらの間違いを放置すると、地震活動度を過大評価してしまう可能性がある。特に、無被害の中小地震もふくめた有感地震の活動度を検討するような場合、結果に大きく影響する可能性がある。

キーワード：虚報地震、日時の取り違え、1707年宝永地震、1831年会津の地震、1847年善光寺地震、1858年飛越地震

Keywords: Fake earthquake, Misdate, 1707 Hoei earthquake, 1831 Aizu earthquake, 1847 Zenkoji earthquake, 1858 Hietsu earthquake

過密都市の犠牲者率から内陸地震の震央を推定できるか？兵庫県南部地震の例

Is mortality an indicator for the location of epicenter of inland great historical earthquakes? –a case study of the Hyogo-ken Nanbu Earthquake in 1995-

*小松原 琢¹

*Taku Komatsubara¹

1. 国立研究開発法人産業技術総合研究所

1. Institute of Geology and Geoinformation, Advanced Industrial Science and Technology

1. はじめに

近年、死傷者率や全壊家屋一軒あたりの死者数といった人的被害状況を基に歴史地震の震央を求めることが試みられている(たとえば都司, 2010)。これは、1)人は初期微動を感じた直後から適切な避難行動をとりうる、2)そのため、初期微動継続時間(すなわち震央距離)と生存率の間には密接な関係がある、ことを前提としている。これまでの研究では、上記の前提が成り立つ可能性が高い農村部における夜間の地震を対象として研究が進められ、地盤状況に左右される家屋倒壊率よりも明確に震央を特定できる可能性が高いことが示されてきた(たとえば小松原, 2016)。

一方、家屋が密集する都市域では、たとえ初期微動継続中に屋外に避難できたとしても建物が道を塞ぐように倒壊する危険があり、初期微動継続時間と生存率の間に密接な関係があるかどうかは検討の余地がある。

演者は安政江戸地震のような市街地を襲った夜の地震の震央を推定するために死傷者率を用いることができるかどうか検討することを意図して、1995年兵庫県南部地震による死傷者率と震央距離の関係を検討した。

2. 兵庫県南部地震の概要と人的被害状況

兵庫県南部地震は周知のように午前5時46分に明石海峡の地下16kmを震源として生じたM=7.3の地震である。この地震の震源過程はSekiguchi et al. (1998)などにより詳しく解析されている。それによると、明石海峡で始まった断層破壊は、5秒後に長田区から灘区の市街地に至る諏訪山断層深部に、9秒後に東灘区から宝塚市に至る五助橋断層深部に伝搬した。すなわち神戸側では複数の破壊セグメントがあり、破壊は西から東に進行した。

本研究では毎日新聞社編(2015)に記された死者と、直近の国勢調査ないし住民基本台帳に記された地震直前の住民総数の比から死者率を町ごとに求めた。

死傷者率の分布は、建築研究所(1996)に記された建物被災状況の分布ときわめてよく似ており、垂水区東部から兵庫区一帯と、灘区から西宮市西部一帯にかけて高い傾向を示す。これは、初期微動継続時間から推定されるパターン、すなわち垂水区付近で最も高く、東に向かって低下する傾向とは明らかに異なっている。

3. 議論と今後の課題

兵庫県南部地震の神戸側の被害状況を見る限り、初期微動継続時間と生存率の間に密接な関係は見出しがたい。これは、1)耐震性の低い2階屋が多く、逃げようとしても刺激れなかった人が多かった、2)外を塞ぐように建物が倒壊した地区では逃げ切れなかった人が多い、3)「地震を感じたら、まず机の下に隠れよ」と学習してため、住家の倒壊に対応できなかった、などの要因が考えられる。2)の要因は近世の過密都市でも同様と考えられ、過密都市を襲った地震について、死傷者率分布から震央を推定することには慎重であるべきという結論が導かれる。

今後は、淡路島側の死傷者率も求めることや、震央距離ないしは破壊イベント開始点との距離と死傷者率・家屋倒壊率の関係を統計的に求めることが課題である。

文献

毎日新聞社編(1995)ドキュメント阪神大震災全記録 平成7年兵庫県南部地震完全保存版, 242 p.

建築研究所(1996)平成7年兵庫県南部地震被害調査最終報告書. 303 p.

小松原琢(2016) 死傷者率にもとづく内陸地震の震央の推定-安政五年(1858年)-飛越地震の事例-. 歴史地震, **31**, 1-7.

Sekiguchi, H. , Irikura, K. and Iwata, T. (2000) Fault geometry at the rupture termination of the 1995 Hyogo-ken Nanbu Earthquake. *BSSA*, **90**, 117-133.

都司嘉宣(2010)集落別死者分布で見た文政11年11月12日(1828, Dec. ,28)越後三条地震. 地質ニュース 676,12-20.

キーワード：歴史地震、犠牲者率、震央、兵庫県南部地震、都市震災

Keywords: historical earthquake, mortality, epicenter, Hyogo-ken Nanbu Earthquake, urban earthquake disaster

2016年熊本地震を引き起こした布田川断層帯の過去30万年のテクトニクス

Active tectonics of the Futagawa fault zone over the last 300 ka

*大橋 聖和¹、田村 友識¹、戸澤 茉莉花²

*Kiyokazu Oohashi¹, Tomonori Tamura¹, Marika Tozawa²

1. 山口大学大学院創成科学研究科、2. 山口大学理学部地球圏システム科学科

1. Graduate School of Sciences and Technology for Innovation, Yamaguchi University, 2. Faculty of Science, Yamaguchi University

はじめに：2016年4月に発生した熊本地震は、主に日奈久断層帯の一部と布田川断層帯が活動することによって発生した。一連の地震活動や両断層帯の幾何学・運動像は、単純には説明できないように見える以下のような特徴を持つ。(1) M6.5の前震およびM7.3の本震の初動の発震機構解の節面は、日奈久断層、布田川断層の走向と一致しない。また、余震分布から日奈久断層帯・布田川断層に非調和な逆傾斜の断層面も認められる(清水ほか, 2016)。(2) 一般的に中部九州は南北引張の展張場とされており、本地域の地形や地質には縦ずれの累積変位が強く記録されている(国土地理院, 2001; 渡辺ほか, 1979)が、布田川断層における地表変状(Shirahama et al., 2016)および震源インバージョン解析結果(防災科研, 2016)は横ずれが卓越する。(3) 布田川断層帯は全長64 km(地震調査研究推進本部, 2013)を超え、国内の内陸活断層では長い部類に入るが、今回の地震に伴う地表変状はステップや分岐を繰り返し、幾何学的な成熟度の低い断層であることを示唆する。(4) 本震の地表地震断層は、これまで断層の引かれていなかった多くの場所において出現した。筆者らは、布田川断層帯および周辺地域の第四紀テクトニクスを解明することで、これらの疑問に対する回答を試みる。

布田川断層帯周辺における調査結果：益城町上陳に位置する上陳露頭では、2016年熊本地震に伴って阿蘇-4火砕流堆積物が最大2 m右横ずれ変位した(大橋・田村, 2016)。断層は南東側に分布する阿蘇-4火砕流下部ユニット(固結)と北西側に分布する阿蘇-4上部ユニット(未固結)との境に位置しており、累積鉛直変位量は約10 m、ここから推定される鉛直平均変位速度は0.1 m/千年である。益城町杉堂の布田川断層通過地点では、約8万年前と考えられる阿蘇-4火砕流の二次堆積物と斜面崩壊堆積物が約5.4 m北落ちで撓曲変形している。ここから推定される鉛直平均変位速度は0.07 m/千年である。また、西原村小森桑鶴に露出する露頭では、断層の南東側にスコリアを含む凝灰角礫岩(阿蘇-4上部ユニット)、北西側に阿蘇-4を覆う後期更新世の崖錐堆積物がほぼ水平に分布する。断層より南東側では崖錐堆積物が7.5 m以上は上位に位置することから、崖錐堆積物形成以降、最低でも7.5 mの北西沈降の運動があったことが示唆される。これらの露頭で得られた鉛直平均変位速度をまとめると、0.1~0.07 m/千年の値が求まる。一方で、布田川断層帯南方の御船層群と木山変成岩中の小断層は、カタクレーサイトがほぼ傾斜ずれの高角な条線を有するのに対し、それを切って発達する軟弱な断層ガウジ帯は中角もしくは水平に発達する。

2016年熊本地震震源域のネオテクトニクス：布田川断層を定義した渡辺・小野(1969)は、約9万年前に形成された大峰火山の溶岩台地が断層の北側で最大100 m落ちていることを指摘し、渡辺ほか(1979)は約10-25万年前の阿蘇噴出物の累積変位量から、約1 m/千年の平均鉛直変位速度を推定した。一方で、本研究によって明らかとなった約9万年前以降の平均鉛直変位速度はそれよりも1桁以上低い値を示す。また、基盤岩中の断層ガウジの条線方位の変化から、布田川断層帯を含めた本地域の変形場が縦ずれ(正断層)型から横ずれ型に変化してきていることがわかる。これらのことは、中部九州の造構場がごく最近になって変化してきていることを示唆し、本地域の断層幾何学や運動像がtransientなものであることを示している。

引用文献

大橋・田村(2016), 地質学雑誌122,12, V-VI; 清水ほか(2016), JpGU Abstract, MIS34-02; 国土地理院(2001), 都市圏活断層図「熊本」; 渡辺ほか(1979), 第四紀研究18, 89-101; Shirahama et al.(2016), EPS, doi: 10.1186/s40623-016-0559-1; 地震調査研究推進本部(2013), 布田川断層帯・日奈久断層帯の評価; 渡辺・小野(1969), 地質学雑誌75, 365-374; 防災科研 (2016),
http://www.kyoshin.bosai.go.jp/kyoshin/topics/Kumamoto_20160416/inversion/

キーワード：2016年熊本地震、平均変位速度、条線、断層岩、阿蘇火砕流堆積物

Keywords: The 2016 Kumamoto earthquakes, average slip rate, Striation, Fault rocks, Aso pyroclastic deposits

2016年M_w 7.1熊本地震を引き起こした布田川-日奈久断層帯における大地震の再来周期について

Recurrence interval of morphogenic earthquakes on the Futagawa-Hinagu Fault Zone that triggered the 2016 M_w 7.1 Kumamoto earthquake, SW Japan

*林 愛明¹、佐津川 貴子¹、高橋 信一²、高橋 信一²、平田 壮一郎²

*Aiming Lin¹, Takako Satsukawa¹, Kouichiro Sado², Nobukazu Takahashi², Soichiro Hirata²

1. 京都大学大学院理学研究科地球惑星科学専攻地球物理学教室、2. (株) 地圏総合コンサルダント

1. Department of Geophysics, Graduate School of Science, Kyoto University, 2. Chiken Sogo Consultants Co. Ltd.

2016年4月16日発生したM_w 7.1の熊本地震に伴い、長さ約40kmにわたる地表地震断層が複数本の既存の活断層と未知の活断層沿いに出現したことが確認された (Lin et al., 2016)。京大調査チームは地震直後に地表地震断層の性状の調査とともに、震源断層である布田川-日奈久断層帯において、トレンチの掘削調査および40個以上の年代測定を行った。その結果、布田川断層と日奈久断層沿いに過去4000-5000年間に大地震の繰り返し周期は約1000年であると推定される。今回の調査はこれまでの先行研究により推定された大地震の再来周期と最新活動の時期と異なる結果を示した。今後、これらのことを明らかにするためにはさらなる詳細な調査が必要であると思われる。

The 2016 M_w 7.1 (M_j7.3) Kumamoto earthquake, which occurred in central Kyushu Island, southwest Japan, produced a ~40-km-long surface rupture along the Hinagu-Futagawa fault zone (HFFZ) that cuts across Aso caldera. Field investigations related to the Kumamoto earthquake, trench excavations across the Hinagu and Futagawa faults, and radiocarbon dating results reveal that 1) prior to the 2016 earthquake, at least two morphogenic earthquakes occurred in the past ca. 2000 years on the Hinagu Fault, and four events in the past 4000–5000 years on the Futagawa Fault, suggesting an average late Holocene recurrence interval of 1000 years for morphogenic earthquakes within the HFFZ; and 2) the most recent event occurred between AD 1000 and 1400. These results contradict previous studies that estimate recurrence intervals for morphologic earthquakes of 3600-11,000 years and 8000-26,000 years on the target segments of the Hinagu and Futagawa faults, respectively. Our findings show that recent activity, including the recurrence intervals of large earthquakes and slip rates in the HFFZ, were previously underestimated; therefore, it is necessary to reassess the seismic hazard posed by the HFFZ, particularly for densely populated areas of Kyushu, Japan.

Reference: Lin et al. (2016). Coseismic rupturing stopped by Aso volcano during the 2016 Mw 7.1 Kumamoto earthquake, Japan. *Science*, 354, 869-875.

キーワード：2016年Mw 7.1熊本地震、布田川-日奈久断層帯、大地震の再来周期

Keywords: 2016 Mw 7.1 Kumamoto earthquake, Futagawa-Hinagu Fault Zone, Recurrence interval of morphogenic earthquakes

トレンチ調査が示す日奈久断層帯高野-白旗区間の活動履歴 Paleoseismic events along the Takano-Shirahata segment of the Hinagu fault zone revealed by trench investigation

*白濱 吉起¹、宮下 由香里¹、吾妻 崇¹、東郷 徹宏¹、亀高 正男²、鈴木 悠爾²

*Yoshiki Shirahama¹, Yukari Miyashita¹, Takashi Azuma¹, Tetsuhiro Togo¹, Masao Kametaka², Yuji Suzuki²

1. 国立研究開発法人産業技術総合研究所地質調査総合センター活断層火山研究部門活断層評価研究グループ、2. (株) ダイアコンサルタント

1. Advanced Industrial Science and Technology, Geological Survey of Japan, Research Institute of Earthquake and Volcano Geology, Active Fault Research Group, 2. Dia Consultants Co., Ltd.

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（地震調査研究推進本部 2013）。2016年4月熊本地震に伴い、高野-白旗区間の北部から約6 kmの範囲に右横ずれによる地表地震断層が出現した（Shirahama et al., 2016）。日奈久断層帯の将来の活動を知る必要があるが、これまでの調査では最新活動や活動間隔といった活動履歴の詳細はよくわかっていない。我々は、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、日奈久断層帯の活動履歴をより詳細に明らかにすることを目的に、熊本県甲佐町白旗山出地区と宇城市小川町南部田地区の二か所においてトレンチ調査を実施した。本発表では特に山出地区において掘削されたトレンチ（山出トレンチ）が示す日奈久断層帯高野-白旗区間の活動履歴を紹介する。南部田地区の調査結果については東郷ほか（JpGU 2017）を参照されたい。

山出トレンチの掘削地点は日奈久断層帯高野-白旗区間中央部に位置し、熊本地震に伴って出現した地表地震断層の南端に当たる。本地点における地震直後の調査では、付近の水田に東上がりの傾動変形とNE-SW方向に杉型雁行配列した開口亀裂が水田の畝に確認された。地震断層に直交するように長さ14m、幅10m、深さ4mのトレンチを掘削したところ、壁面に明瞭な断層と地層の変形が確認された。主要な断層は北面に2条、南面に4条見られ、それらはすべて東から南東傾斜で、ほぼ直立した東上がりの逆断層の様相を呈していた。地層は断層付近で東から西へたわみ下がるとともに、断層を境に上下の食い違いが生じていた。また、壁面には複数枚の腐植質シルト層が見られ、下位の層準ほど断層沿いの変位量が大きく、変位の累積が確認された。トレンチ内で見られる最下部の腐植質シルト層の¹⁴C年代は約15 kaを示しており、それ以降の複数回の活動による変形が示唆される。発表では本トレンチが示す日奈久断層帯高野-白旗区間の活動履歴を報告し、他区間の活動履歴との関係について議論する。

キーワード：日奈久断層帯、2016年熊本地震、トレンチ調査

Keywords: Hinagu fault zone, 2016 Kumamoto Earthquake, Trench survey

トレンチ調査から明らかになった日奈久断層帯日奈久区間の活動履歴 Paleoseismic event of the Hinagu segment of the Hinagu fault zone investigated by a trench survey

*東郷 徹宏¹、宮下 由香里¹、吾妻 崇¹、亀高 正男²、酒井 享²、松浦 一樹²

*Tetsuhiro Togo¹, Yukari Miyashita¹, Takashi Azuma¹, Masao Kametaka², Toru Sakai², Kazuki Matsuura²

1. 産業技術総合研究所、2. (株)ダイヤコンサルタント

1. National Institute of Advanced Industrial Science and Technology, 2. Dia Consultants CO., Ltd.

日奈久断層帯は、上益城郡益城町木山付近から、八代海南部に至る断層帯である。本断層帯は、概ね北東－南西方向に延び、八代平野の東縁と九州山地の明瞭な地形境界を成し、断層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ている。過去の活動時期から、益城町木山付近から宇城市豊野町山崎付近まで延びる長さ約16kmの高野－白旗区間、豊野町山崎から芦北町御立岬付近に分布する長さ約40kmの日奈久区間、御立岬以南の八代海南部に位置する八代海区間に区分されている。(地震調査研究推進本部、2013)

2016年熊本地震では、まず日奈久断層帯高野－白旗区間が活動をし、同区間の北端で接する布田川断層帯に断層破壊が進展した。熊本地震の際には日奈久区間においても比較的規模の小さな余震 ($M < 5.5$) が発生したものの、地震調査研究推進本部 (2013) が松田 (1975) の経験式を用いて推定したM7.5の地震より明らかに小さく、日奈久区間全体の破壊には至っていない。そこで我々は、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、日奈久断層帯の活動履歴をより詳細に明らかにすることを目的に、熊本地震の際に現れた地表変位の南端に位置する熊本県甲佐町白旗山出地区と、日奈久区間の中央付近に位置する宇城市小川町南部田地区の二か所でトレンチ調査を行った。本発表では南部田地区での活動履歴について発表を行う。山出地区の調査結果については白濱ほか (JpGU 2017) を参照されたい。

本地点では、これまでボーリング調査 (原子力発電技術機構, 1998; 熊本県, 1998a, b; 産業技術総合研究所, 2007) やトレンチ調査が行われている (産業技術総合研究所, 2007; 吉岡ほか, 2007)。産業技術総合研究所 (2007) が実施したトレンチ壁面では、明瞭な断層は観察されなかったものの、下位の地層が断層活動による変形を受けて西に傾斜しており、変形を受けた地層の年代から約11,000年前以後、約3,900年前以前に少なくとも1回の断層活動があり、変形を受けていない地層の年代から1,800年前以後には断層活動はなかったと推定された (吉岡ほか, 2007)。

本研究では、産業技術総合研究所 (2007) で報告したトレンチの南側に隣接し、より西側に拡張させる位置でトレンチ調査を行った。その結果、トレンチ壁面において南東に傾斜する明瞭な逆断層が現れ、断層に向かって大規模な地層のたわみが見られる。本調査は予稿投稿時点でも継続中であり、南部田地点における日奈久区間の詳細な活動履歴については、当日に発表を行う予定である。

キーワード：日奈久断層帯、日奈久区間、トレンチ調査

Keywords: Hinagu fault zone, Hinagu segment, Trench survey



平成28年（2016年）熊本地震において新たな干渉SAR解析によって見出された地表変状

The grand deformation detected by new method of InSAR, in the 2016 Kumamoto Earthquake

*小俣 雅志¹、三五 大輔¹、郡谷 順英¹、谷口 薫¹

*Masashi Omata¹, DAISUKE SANGO¹, Yorihide Kohriya¹, Kaoru Taniguchi¹

1. 株式会社パスコ

1. PASCO CORPORATION

合成開口レーダの干渉SAR解析による干渉縞画像を使用することで、内陸直下型地震によって生じる広域の地殻変動が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）。また、干渉SAR解析による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をあわせて地表地震断層の検討がなされるようになってきた（例えば、中埜ほか、2015）。

私たちは、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手法を提案してきた（三五ほか、2016、小俣ほか、2016）。この手法を用いると、干渉縞による広域の地殻変動とあわせて、干渉縞の位相不連続位置と低コヒーレンス値を示す位置との一致から地表地震断層が検出可能となる。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位置では、地表地震断層ではない地表変状が生じている可能性があり、その位置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状の可能性が考えられる。

今回、平成28年（2016年）熊本地震の震源域で検討を行った。干渉SAR解析では、だいち2号（ALOS-2）によって取得した2016年4月15日と2016年4月29日とのデータを使用して、干渉縞、低コヒーレンス値が高い部分を着色した図、および傾斜量図を重ねた。平成28年（2016年）熊本地震は、2016年4月14日21時26分のMj6.5の地震、および4月16日1時25分のMj7.3の地震として発生した。これらの地震に伴って布田川断層帯および日奈久断層帯の一部で既往報告による活断層トレース（池田ほか、2001；中田・今泉、2002）に沿うように地表地震断層が出現した。益城町三竹付近の水田では、既往活断層図による布田川断層の活断層トレース付近に見られる地表地震断層に加えて、木山川右岸に連続する地表地震断層が確認された（熊原ほか、2016、郡谷ほか、2016等）。益城町三竹付近の水田で干渉縞の不連続と低コヒーレンス値の連続とが確認され、この位置は地震直後に確認された地表地震断層の位置と非常に良く一致している。この地点のほか、福原でも水田に連続する地表地震断層と低コヒーレンスの連続が一致しているのが確認された。

一方で、地震直後の現地調査では地表地震断層として確認されなかった地点において、干渉縞が不連続で低コヒーレンスが連続するのが確認される箇所がある。この干渉SARの解析結果は地表地震断層が分布する場合と同様の解析結果である。益城町市街地の南側水田および益城町砥川付近に連続する干渉縞の不連続と低コヒーレンスが連続する地点は、地震後の現地調査で地表地震断層が報告されていない。この地点を干渉SARの解析結果を基にして現地調査を行ったところ、明瞭な地表地震断層は確認できないものの道路や水路にはわずかな亀裂が確認された。低コヒーレンスが連続する線と直交する直線道路と並走する水路を見通すと、わずかに右横ずれを示しているのが確認された。この付近は厚い沖積層が分布していることから基盤内の断層変位を軟弱な地層が吸収し、地表地震断層として地表面に亀裂を生じさせることなく、地表面にブロードな変形を生じさせた可能性が高い。干渉SAR解析で干渉縞と低コヒーレンス図を重ねて検討することで、地表地震断層の分布位置を明らかにすることが出来る。あわせて、地表地震断層として認識することが困難な微小でブロードな地表面の変形を捉えることが出来ることが明らかとなった。

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。

【引用文献】

- 雨貝ほか（2008）国土地理院時報，117，15-20.
郡谷ほか（2016）地球惑星科学連合大会講演要旨，MIS34-P49
熊原ほか（2016）地球惑星科学連合大会講演要旨，MIS34-05
中埜ほか（2015）活断層研究，43，69-82.
中田・今泉編（2002）「活断層詳細デジタルマップ」東京大学出版会.
小俣ほか（2016）日本活断層学会2016年度秋季学術大会講演予稿集，
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

キーワード：2016年熊本地震、干渉SAR、地表地震断層、コヒーレンス、だいち2号

Keywords: the 2016 Kumamoto Earthquake, InSAR, surface rupture, coherence image, ALOS-2

2016年熊本地震に伴い阿蘇カルデラ内に生じた亀裂の地形・地質要因

Geomorphological and Geological Factors of Surface Cracks in Aso-caldera in association with the 2016 Kumamoto Earthquake

*金 幸隆¹、長井 瑞貴¹、原口 強¹

*Haeng-Yoong Kim¹, Mizuki Nagai¹, Tsuyoshi Haraguchi¹

1. 大阪市立大学 大学院理学研究科 生物地球学専攻

1. Osaka City University, Graduate School of Science, Division of Biology & Geosciences

2016年4月14日（Mw6.5）および16日（Mw7.0）の熊本地震は、阿蘇山西部から島原湾に北東―南西に延びる布田川断層帯の東半分と震央の益城町から八代海に延びる日奈久断層帯の北部の一部に、正断層を伴う右横ずれ型の明瞭な地表地震断層が約27 km出現した（地震調査研究推進本部、2016；熊原、2016；産総研、2016）。これらの地震によって、益城ではそれぞれ最大加速度1580galおよび1362galが観測された（防災科研、2016）。また地表亀裂を伴う多様な地盤変状が、地表地震断層の周辺で確認されている（国土地理院、2016）。しかしながら、被害をもたらした地盤変状の要因については十分に解明されていない。布田川断層帯の東側では、明瞭な地表亀裂が阿蘇カルデラの低地帯の中に北東―南西方向の帯状に出現した。この亀裂帯の成因について、Lin et al.(2016)と中田・他（2016）は地震断層としたが、黒木ほか（2016）は地盤の側方移動によるとしている。本震から176日後の10月8日、布田川断層帯の東方のカルデラ内に形成された中央火口丘では火山噴火がおきている。阿蘇カルデラ内の亀裂の成因を明らかにすることは、活断層と火山の分布や断層運動と火成活動との関係を理解する上で極めて重要である。そこで本研究は、亀裂帯の中央部の乙姫地区において、①亀裂の分布と変位様式、②亀裂の形成場の地形的・地質的特徴および③活断層地形の有無を調査した。その結果、亀裂の成因は重力性のマスマーブメントであることを明らかにした。以下では、これらの分析内容について報告する。

亀裂の分布 亀裂の分布は、Google EarthおよびUAVの画像判読に基づき現地調査を行い、GPSで位置を特定した。その結果、亀裂は途中で大きく湾曲しながら、本流の黒川にほぼそうように、川から南西側に約400～1000 m離れた低地帯の中に、北東から南西に帯状に約2km分布することが明らかになった。

亀裂の変位様式を明らかにするために、亀裂の方向に対してほぼ直交する地形断面測量を3測線で実施した。また亀裂沿いに、開口量と上下変位量の分布を明らかにした。その結果、調査地では亀裂の数は78か所確認された。全ての亀裂は開口性であり、開口量は最大約0.47 mであった。また横ずれ変位は、認められなかった。亀裂は、連続のある長さ100～300mのものと、その周辺にある短いものに分類された。連続のある長い亀裂は、ほぼ2本が平行に分布して、その間の地盤が大きく陥没している個所が4か所で認められた。陥没量は、最大約1.75 mであった。

国土地理院によって地震前に公表された5mメッシュの数値標高モデルに基づき地形断面を作成し、上述した亀裂横断3測線における地震後の地形断面と地形の変化を比較した。その結果、北側の測線では、水路より南東側の地盤が幅約300 mに渡って約0.2 m沈下していた。中央と南の測線では、亀裂分布帯よりも北西側の地盤が相対的に0.1 m～0.5 m沈下し、中央の測線では、地物マーカーが数10 cm北西側にシフトしている。従って熊本地震によって、地盤に深さ最大約1.75 mの亀裂が発生し、亀裂を境界に北西側の地盤が開水路に向かって数10 cm移動したと推定される。

亀裂形成場の地形的特徴については、1948年撮影の空中写真の判読から、20世紀後半以降の圃場整備前の地形を復元した。調査地の地形は、山地斜面、段丘群および沖積低地に分類され、断層地形は調査地内では認められなかった。したがって、熊本地震による阿蘇谷の亀裂は活断層の動きによるものではないと判断する。

また亀裂は、沖積低地のみに認定できた。微地形判読を実施した結果、この地域には北北西-南南東方向を向いた乙姫川の旧流路と、東北東-西南西方向を向いた黒川の旧流路がある。黒川沿いでは、黒川本流と乙姫川支流の流路が混在する地帯が認められる。混在地の幅は、黒川から最大約800 mに達しており、黒川は蛇行していたことが推定される。亀裂は、この黒川の旧流路のほぼ外縁部に沿って現れていた。従って、阿蘇谷の亀裂の発生は、本流と支流の地形境界に規制されたと推定する。

亀裂が形成された地質的な要因を調べるため、亀裂が形成された周辺の4地点でのボーリング結果をもとに、南北方向と東西方向をそれぞれ結ぶ2つの地質断面図を作成し、南北と東西の地質構造を推定した。その結果、亀裂が生じたエリアの地表付近は、砂質シルトの地盤から形成されており、地層は黒川に向かって傾斜している。そのため地盤は、黒川に向かって動いたと推定する。

以上の結果から、阿蘇カルデラ内の亀裂の成因は、地震時における地盤の側方移動に起因すると結論する。

キーワード：熊本地震、阿蘇カルデラ、亀裂、地盤側方移動

Keywords: Kumamoto Earthquake, Aso-caldera, Cracks, Lateral Mass Movement

布田川ー日奈久断層帯のセグメント境界における地震波速度構造 Seismic Velocity Structure around Segment Boundary of the Futagawa-Hinagu Fault zone

*青柳 恭平¹、木村 治夫¹

*Yasuhira Aoyagi¹, Haruo Kimura¹

1. 電力中央研究所

1. Central Research Institute of Electric Power Industry

2016年熊本地震では、地震前後の地殻変動や地表地震断層の分布、震源断層面上のすべり分布などから、布田川断層と日奈久断層北部（高野ー白旗区間）が活動したと見られている。長大な日奈久断層のうち、今回活動した高野ー白旗区間と、活動しなかった日奈久区間以南では、今回の地震以前にも、活動履歴が異なることが示されている（推本，2013）。したがって、そのセグメント境界は、断層の破壊進展を規制する何らかの構造的なバリアとなっている可能性がある。我々は、特にこのセグメント境界における地震波速度構造の特徴を明らかにするために、臨時余震観測データを用いて、トモグラフィ解析を行った。

余震観測は、2016年7月下旬から9月上旬にかけて、余震域の主要な範囲（阿蘇外輪山〜八代付近）をカバーするように、30点の独立型観測点を約5km間隔で設置して行なった。収録された地震波形からP波とS波の初動到達時刻を自動検出し、気象庁一元化震源の決定に用いられている定常観測点の検測値データと併合処理して、tomoDD（Zhang and Thurber, 2003）によりトモグラフィ解析を行った。トモグラフィ解析に用いたのは、10観測点以上で検測値が得られ、暫定的な震源決定により誤差が1km以下になった1710個の地震である。

結果として、地震発生層にほぼ対応する深さ2.5kmから12.5kmの範囲では、波線密度が十分に高く、4kmグリッドで高解像度の速度分布が得られた。この地域における最大の特徴は、この深さを通じて、東北東ー西南西方向の帯状の速度異常が発達していることである。この方向は、大分ー熊本構造線や臼杵ー八代構造線とほぼ一致しており、この地域における大局的な地質構造を反映したものと考えられる。また、高野ー白旗区間と日奈久区間の境界部付近では、やはり同様の方向に顕著な速度急変部が認められ、いずれの深さでも北側が低速度、南側が高速度になっている。この境界は、地表における堆積岩類（御船層群）と変成岩類（肥後変成岩類）の境界とよく対応する。したがって、地質境界における物性変化が、地震の破壊を規制する構造的なバリアになっている可能性が指摘できる。同様の指摘は、重力異常の解析結果からもなされている（Matsumoto et al., 2016）。ただし、1710個の地震のうち80%は、 V_p が5.9〜6.3km/s、 V_s が3.5〜3.8km/s、 V_p/V_s 比が1.62〜1.74のレイヤーで発生しており、実際の地震発生層は、御船層群の下位に位置する基盤岩と考えられる。これらの速度範囲を200MPaの高圧下で測定された様々な岩石の速度（Christensen, 1996）と比較すると、地震発生層は花崗岩類である可能性が高い。

キーワード：布田川ー日奈久断層帯、セグメント境界、地震波速度構造

Keywords: Futagawa-Hinagu fault zone, Segment boundary, Seismic velocity structure

別府一万年山断層帯（大分平野一由布院断層帯東部）における重点的な調査観測 ―2016年度調査―

Integrated Research for Beppu –Haneyama Fault Zone (East part of Oita Plain –Yufuin Fault) –Research in 2016 - Integrated Research Project for Active Fault Systems of MEXT

*竹村 恵二¹、別府一万年山断層帯（大分平野一由布院断層帯東部） 調査観測研究グループ

*Keiji Takemura¹, Research Group for Beppu –Haneyama Fault Zone (East part of Oita Plain –Yufuin Fault)

1. 京都大学大学院理学研究科附属地球熱学研究施設

1. Beppu Geothermal Research Laboratory, Institute for Geothermal Sciences, Graduate School of Science, Kyoto University

<はじめに>

文部科学省の活断層帯の重点的な調査観測として、2014年度（平成26年度）から3年間の計画で、別府一万年山断層帯（大分平野一由布院断層帯東部）の調査観測を実施した。本研究では既存の調査結果を基礎として、ボーリング調査、トレンチ調査、海域音波探査、自然地震観測、人工地震探査、電磁気探査、重力探査、水位変動観測、アレイ微動観測、等を行った。これらの調査観測の成果に基づいて、活断層の基本的な特性である位置や活動履歴、平均変位速度等を断層帯全体で陸域・海域・伏在平野域において包括的に評価することにより、活断層の基本情報の高度化、さらに自然地震探査や電磁気探査によって地震発生層の媒質の不均質性を探り、既往の地下構造観測情報と比較しながら、浅部構造観測調査も含め震源断層形状の高度化を試みている。また本対象断層帯に位置し、当該断層が活動した場合に大きな揺れに見舞われる可能性が高い大分平野および別府扇状地等の地下構造モデルの高度化を図るとともに、その地下構造モデルと震源断層モデルに基づいた強震動予測を行う」ことを目的とした。26年度調査に関しては、竹村ほか（2015）により、27年度調査に関しては、竹村ほか(2016)により、地球惑星科学連合大会で報告した。26年度報告・27年度報告は文部科学省ホームページに掲載されているので、参照されたい。

<28年度の調査>

研究グループは、京都大学理学研究科・九州大学理学研究院・産業技術総合研究所を主体として関連研究者からなる。3つのサブテーマに区分し、研究を遂行した。サブテーマ1：活断層の活動区間を正確に把握するための詳細位置・形状等の調査と断層活動履歴や平均変位速度の解明のための調査観測。サブテーマ2：断層帯の三次元的形状・断層帯周辺の地殻構造の解明のための調査観測。サブテーマ3：地下構造モデルの高度化及び強震動シミュレーションによる断層帯周辺における強震動予測の高度化のための研究。28年度実施した下記の項目のうち、主にサブ1およびサブ2の結果について報告する。

<サブテーマ1>平成28年度は、既存の地形・地質情報・歴史資料の収集・整理を継続・実施した。陸域では、空中写真判読・地表踏査により、海域では、海底地形調査および音波探査の解析作業を継続し、位置や分布を明らかにした。湾内での堆積物採取を実施し、地震時イベント堆積物の分析・解析を実施した。大分平野では、ボーリングデータ等の既存の資料を用いた解析を進め、群列ボーリング掘削調査等を行った。

<サブテーマ2>自然地震観測結果や電磁気探査に基づいて、断層帯及び周辺の地殻上部の不均質構造を明らかにするとともに、平野部で人工地震探査を実施した。また、重力探査・地下水調査等やボーリング等の

データ解析から、平野基盤形状の推定と断層との関係の調査を行った。小断層解析等も用いて、本地域の応力の時間的推移をシミュレーションも含めて推定する。これらの調査を踏まえて、震源断層形状及び地殻構造の解明を進めた。

＜サブテーマ3＞28年度は地震波干渉法による速度構造推定のための連続微動観測や、大分県内の震度観測点における微動観測および大分平野における臨時強震観測を実施し、深部および浅部地下構造モデルを作成・評価した。震源モデルについては、他サブテーマの成果を用いて断層形状を設定し、動力学的シミュレーションにより破壊過程を検討した。構築した地下構造モデルを用いて、強震動シミュレーションを実施し、想定される強震動を求めた。

講演では、主にサブ1およびサブ2の結果について報告する。

キーワード：別府一万年山断層帯、重点的調査観測、活断層と地下構造モデル、大分平野

Keywords: Beppu –Haneyama Fault Zone, Integrated Research Project, Active fault and subsurface structure, Oita Plain

高分解能反射法地震探査の結果から推定される森本・富樫断層帯の構造的 特徴

Thrust-related structural characters of the Morimoto-Togashi Fault revealed by high-resolution shallow seismic reflection profiling

*石山 達也¹、加藤 直子¹、佐藤 比呂志¹、戸田 茂

*Tatsuya Ishiyama¹, Naoko Kato¹, Hiroshi Sato¹, Shigeru Toda

1. 東京大学地震研究所

1. Earthquake Research Institute, University of Tokyo

We collected ca. 7.3 km long, onshore high-resolution two dimensional (2D) seismic reflection and refraction data across the Morimoto-Togashi Fault, active thrust fault within a failed rift system in the Sea of Japan. The processing of the seismic reflection data underpinned by shallow P-wave velocity structures determined from refraction travel time tomography illuminates the detailed subsurface structure to depth of ca. 3 km. The preliminary interpreted depth-converted section correlated with nearby Neogene stratigraphy indicates moderately east-dipping thrust fault plane overlain by monocline comprised by Pliocene to Pliocene sedimentary units. We will mainly discuss (1) the shallow structural characteristics of the active thrust based on our interpretation of the 2D seismic data in combination with the Neogene stratigraphy, (2) fault activity based on growth architecture and fold scarp morphology, and (3) and implications for regional tectonic setting especially associated with reactivation of the failed rift zone. In any case this example successfully shows high-resolution 2D seismic reflection imaging with dense and numerous seismic recorders to be a useful tool in defining otherwise inaccessible active blind faults and their recent fault activity.

キーワード : Active fault、 failed rift

Keywords: seismic reflection profile, Sea of Japan

郷村断層（郷西方断層・郷村断層・仲禅寺断層）の地下比抵抗構造 Electrical resistivity structure beneath Gomura fault zone(Go-seihou fault, Gomura fault, Chuzenji Fault)

*三村 明¹、山口 覚¹、倉光 伸¹、小堺 航²、金 幸隆¹、村上 英記³、加藤 茂弘⁴

*Akira Mimura¹, Satoru Yamaguchi¹, Shin Kuramitsu¹, Ko Kozakai², Haeng-Yoong Kim¹, Hideki Murakami³, Shigehiro Katoh⁴

1. 大阪市立大学大学院理学研究科、2. 前大阪市立大学理学部、3. 高知大学教育学部自然科学系、4. 兵庫県立人と自然博物館

1. Graduate School of Science, Osaka City University, 2. Faculty of Science, Osaka City University, 3. Research and Education Faculty, Kochi University, 4. Hyogo Museum of Nature and Human Activities

郷村断層帯は京都府の丹後半島に位置する、全長34km以上の断層帯で、郷村断層、丹後半島北西沖合の断層、仲禅寺断層などで構成される（地震調査委員会、2004）。郷西方断層、郷村断層、仲禅寺断層はそれぞれ近接（数km以内）し、かつ平行に位置しているが、断層ごとに特徴が異なる。郷村断層は1927年の北丹後地震の際に左横ずれを主とする顕著な地表地震断層を生じた。一方で、郷西方断層は横ずれ変位を示す証拠がはっきりしない断層である。郷村断層と仲禅寺断層を比較すると、最新活動時期は郷村断層の方が1万年ほど新しく、累積変位量は仲禅寺断層の方が約2倍大きい。

断層周辺には、断層運動に伴い破砕され、空隙の多くなったダメージゾーンが存在し、ここに流体が入り込むことによって比抵抗が低くなることが知られている（e.g. Ritter *et al.*, 2005）。このような低比抵抗領域は、断層の最新活動時期や累積変位量に対応して、空間的な広がりや周囲との比抵抗コントラストが異なると予想される。そこで本研究では、郷西方断層、郷村断層、仲禅寺断層の地下比抵抗構造を求め、各断層の最新活動時期や累積変位量の特徴が、どのような比抵抗構造の違いとして現れるのか明らかにすることを目的とした。

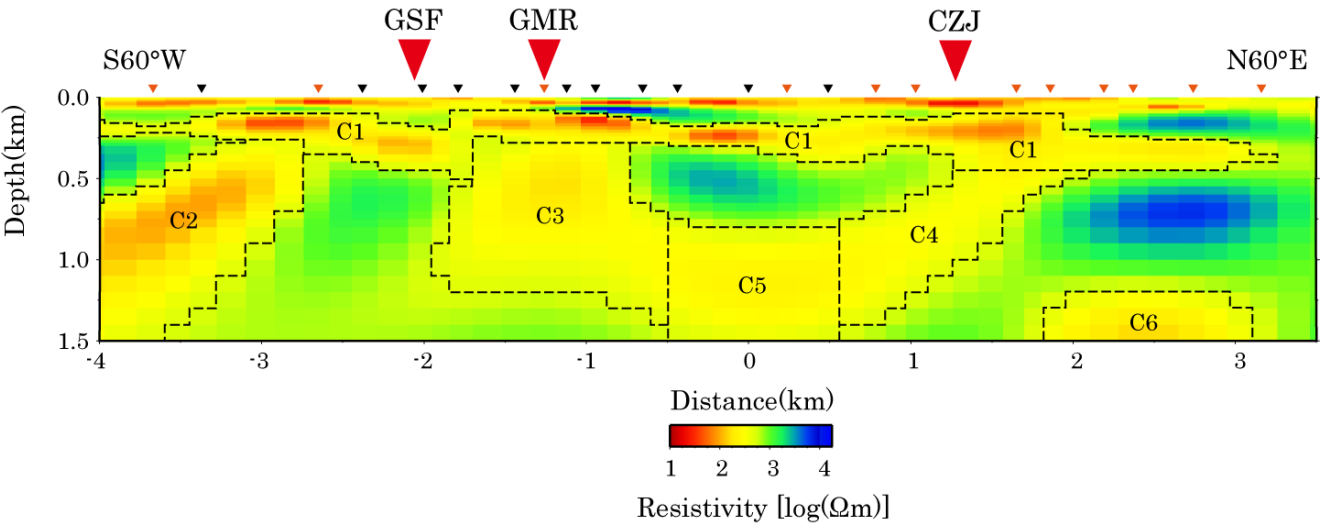
大内（2014）は郷西方断層と郷村断層を対象としたAMT観測を行い、両断層周辺の地下比抵抗構造を求めている。本研究では、仲禅寺断層含むように大内（2014）の測線を延長し、その測線上の25点（大内（2014）：12点、本研究：13点）においてAMT観測を行った。

観測によって得られた磁場と電場のデータからRemote reference法（Gamble *et al.*, 1978）を用いてMT応答関数を算出した。はじめに、Phase Tensor法（Caldwell *et al.*, 2004 ; Bibby *et al.*, 2005）を用いて次元の判定を行い、調査地域周辺の比抵抗構造は2次元であると判断した。次に、同じくPhase Tensor法を用いて比抵抗構造の走向を判定したのち、TE、TMモードのMT応答関数を算出した。得られたTE、TMモードのMT応答関数から、ABIC最小化による平滑化拘束付き2次元比抵抗インバージョンコード（Ogawa and Uchida, 1996）を用いて、2次元比抵抗モデルを求めた（GCHモデル）。

GCHモデルは6つの低比抵抗領域（C1-C6）で特徴づけられる。郷西方断層の直下のC1以深の領域では低比抵抗領域はみられないのに対し、郷村断層、仲禅寺断層の直下ではそれぞれ低比抵抗領域C3、C4がみられた。また、郷村断層直下の低比抵抗領域C3の幅は仲禅寺断層直下の低比抵抗領域C4に比べ広がっている。現時点では、郷村断層、仲禅寺断層直下の低比抵抗領域は、断層のダメージゾーンの空隙に流体が浸入したことによって生じたものだと考えられる。また、低比抵抗領域C3、C4の幅の違いは、各断層の最新活動時期の違いによるものだと考えられる。

キーワード：郷村断層、地下比抵抗構造、ダメージゾーン

Keywords: The Gomura Fault, electrical resistivity structure, Damage zone



山崎断層帯主部南東部の地下比抵抗構造

Resistivity structure beneath the southeastern part of the Yamasaki fault zone, southwest Japan

倉光 伸¹、*山口 覚¹、小田 佑介¹、伊東 修平¹、三村 明¹、村上 英記²、加藤 茂弘³、上嶋 誠⁴
 Shin Kuramitsu¹, *Satoru Yamaguchi¹, Yusuke Oda¹, Shuhei Ito¹, Akira Mimura¹, Hideki Murakami², Shigehiro Katoh³, Makoto Uyeshima⁴

1. 大阪市立大学大学院理学研究科、2. 高知大教育研究部自然科学系、3. 兵庫県立人と自然の博物館自然・環境評価研究部、4. 東京大学地震研究所

1. Department of Geosciences, Graduate School of Science, Osaka City University, 2. Research and Education Faculty, Kochi University, 3. Division of Natural History, Hyogo Museum of Nature and Human Activities, 4. Earthquake Research Institute, Tokyo University

岡山県東部から兵庫県西南部にのびる山崎断層帯は、北から那岐山断層帯、山崎断層帯主部、草谷断層の3つの起震断層に区分される活断層帯である。このうち、山崎断層帯主部は、最新活動時期と平均変位速度の違いから、大原断層、土万断層、安富断層、暮坂峠断層からなる北西部と、琵琶甲断層および三木断層からなる南東部に区分される(地震調査研究推進本部地震調査委員会, 2013)。このうち琵琶甲断層は西側のトレースA(琵琶甲断層Aと呼ぶ)と東側のトレースB(琵琶甲断層Bと呼ぶ)からなる(岡田・東郷, 2000)。

山崎断層帯主部では、断層セグメント個々の地下構造やそれらが互いにどのように連続しているかを明らかにすることを目的として、Audio-frequency Magnetotelluric (AMT) 法探査が展開されている(e.g. Yamaguchi et al., 2010)。ここでAMT法とは、地磁気地電流法の一つで、比較的高い周波数(数Hz~約10kHz)の電磁場変動を信号源とするので、地下浅部を、高い空間分解能で描出できる手法である。これまでに主部北西部では7測線、81観測点で行われているが、南東部では琵琶甲断層Aと三木断層の2測線、29観測点で行われているのみであり、南東部全体の構造を明らかにするには十分とは言えない。そこで、琵琶甲断層Aと三木断層の間に位置する琵琶甲断層Bとほぼ直交する測線に沿う観測を新たに展開し琵琶甲断層Bの地下比抵抗構造モデル(BWK_Bモデルと呼ぶ)を求めた。また、三木断層を横切る測線で得られたデータ(勝村, 2016)を再解析し、新たに三木断層の地下比抵抗構造モデル(MIKIモデルと呼ぶ)を求めた。

本発表では、これら2測線の比抵抗モデルの特徴をそれぞれ述べる。次に、琵琶甲断層Aを横切る2次元比抵抗断面(伊東ほか, 2015)の比抵抗モデル(BWK_Aモデル)も加え、南東部全体の地下比抵抗構造の特徴を説明する。これらモデルの考察にあたっては、地質構造、重力異常、反射法地震探査などの結果も取り入れ、山崎断層系主部南東部の地下構造について発表する。

観測および解析の詳細は次に記す。

観測

琵琶甲断層Bと直交する長さ6kmの測線(B測線)を設定し、2015年2月21~26日に測線北部の12点で、2016年3月1~6日には測線南部の12点の合計24観測点で電場水平2成分(南北・東西)および磁場3成分(南北・東西・上下)の測定を行った。また、データ解析にRemote reference法(Gamble et al., 1978)を用いるために、北端の観測点から北北西に約18km離れ、人工ノイズが少ない地点に磁場参照点を設置した。磁場参照点と断層近傍の観測点とはGPS時計を用いて時刻同期させてデータを取得した。S/N比を向上させるために、人工的な電磁気雑音が少なく、かつ信号源となる電磁場変動が大きくなる夜間(Garcia and Jones, 2002)に、12時間(18時~翌朝6時)にわたって測定した。

解析

B測線および三木測線で得られた電場、磁場のそれぞれ水平2成分から、Remote reference法に基づいて、10,400~0.35HzのMT応答関数を算出した。モデル計算に先立ちPhase tensor法(Caldwell et al., 2004; Bibby et al., 2005)を用いて、比抵抗構造の次元と走向を求めた結果、両測線ともに2次元構造であり比抵抗構造の走向はN40°W-S40°Eとなった。そして、Akaike's Bayesian Information Criterion (ABIC) による平滑化

拘束付き2次元比抵抗インバージョンコード (Ogawa and Uchida, 1996) を用いて、深さ1kmまでの2次元比抵抗モデル(BWKBモデル, MIKIモデル)を求めた。

キーワード：山崎断層帯、活断層、地磁気地電流法、比抵抗構造

Keywords: Yamasaki fault zone, active fault, Magnetotelluric method, resistivity structure

長岡平野西縁断層帯海域部の活構造分布と活動性について

Spatial distribution of active structure and the activity in the offshore extension of the Nagaoka-Heiya-Seien Fault zone.

*阿部 信太郎¹、大上 隆史²、森 宏³、向山 建二郎⁴、一井 直宏⁴

*Shintaro Abe¹, Takashi OGAMI², Hiroshi Mori³, Kenjiro Mukaiyama⁴, Naohiro Kazui⁴

1. 産業技術総合研究所、2. 中央大学、3. 信州大学、4. 川崎地質

1. Advanced Industrial Science and Technology, 2. Chuo Univ., 3. Shinshu Univ., 4. Kawasaki Geological Engineering Co., Ltd

文部科学省委託調査事業「内陸及び沿岸海域の活断層調査」の一環として、長岡平野西縁断層帯海域部において海底活断層調査を実施した。本調査の目的は、海域延長部における活構造の分布・性状、陸域部との連続性、海域端部の位置、完新統中の活動性と活動履歴を出来る限り正確に把握することである。既に本調査海域では海上ボーリングも含めて反射法地震探査記録等、数多くの調査データが取得されている。本調査においては、これら既存データを参照しつつ、ブーマーを音源とする高分解能マルチチャンネル音波探査（総測線長150km）およびパイプロコアラーによる柱状採泥(2地点)を実施した。

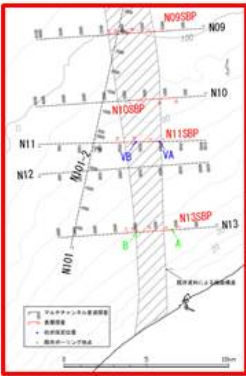
長岡平野西縁断層帯は小千谷市付近から新潟沖に至る全長約83km、西側が隆起する逆断層である。この断層帯が仮に一区間として活動した場合、地震規模はM8クラス、変位量は6m～7mと推定される（地震調査推進本部、2004）。活動セグメントとしては南側から片貝活動セグメント、鳥越活動セグメント、弥彦活動セグメントに区分される。本調査海域は、最も北側の弥彦活動セグメントに属する角田山東縁断層の海域延長部にあたる。この断層の陸域部では上盤側に角田・弥彦山地が形成され、その海域延長部には断層関連褶曲と解釈される四ツ郷屋沖背斜がほぼ南北に分布している。

本研究においては、今回取得した反射法地震探査記録に既存の記録断面も加え、四ツ郷屋沖背斜下における沖積層基底面の撓曲構造を追跡した。その結果、この撓曲構造は、その沖合に分布する北東－南西方向の隆起帯である角田瀬の斜面に至って構造的には認識できなくなることが判明した。また、海底面に撓曲が及んでいる領域があることから、最新活動時に海底に変位を及ぼした可能性もある。

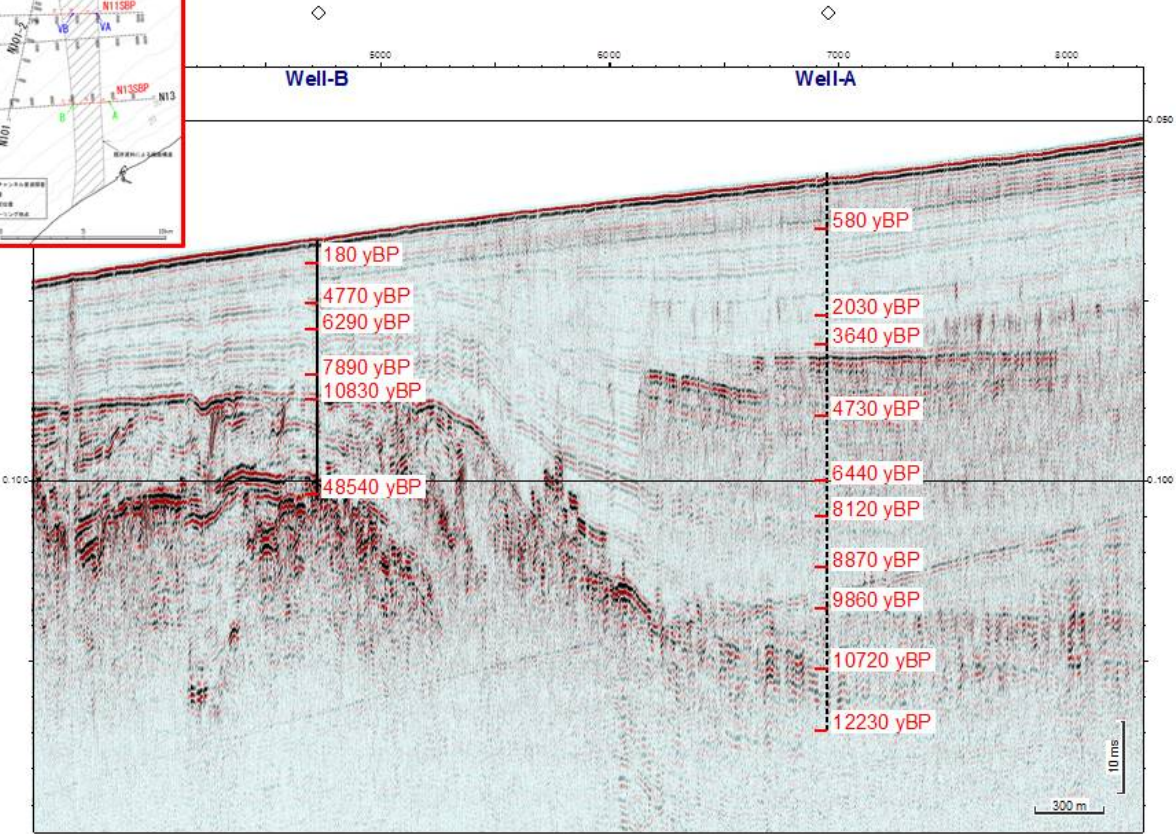
撓曲を挟んで実施された既存の海上ボーリング（上盤側27m、下盤側58m）の結果から求められた平均的な堆積速度は上盤側で1.22m/千年程度、下盤側4.74m/千年程度となっており、大きく異なる。この傾向は、本調査でパイプロコアラーにより取得した海底下5m程度においても同様である。取得した反射法地震探査断面と既存の海上ボーリングデータの対比から算出された上下変位の平均変位速度は約3.8m/千年となる。

キーワード：長岡平野西縁断層、活構造、高分解能反射法地震探査

Keywords: the Nagaoka-Heiya-Seien Fault zone, active structure, high-resolution seismic reflection survey



N13測線と海上ボーリングの対比



四国東部における中央構造線活断層帯の変位速度と活動間隔

Late Quaternary Slip Rates and Recurrence Interval on the Median Tectonic Line Active Fault Zone in the Eastern Shikoku, Southwest Japan

*後藤 秀昭¹

*Hideaki Goto¹

1. 広島大学大学院文学研究科

1. Graduate school of letters, Hiroshima University

はじめに

中央構造線活断層帯は、四国だけでも190kmに及ぶ日本で最も長大な活断層であり、平均変位速度は10mm/yrにも達する可能性があると言われてきた（Okada, 1980）。しかし、説得力のある変位基準で、高精度に変位速度を求めたものは極めて少ない。GPSによる測量では、中央構造線の横ずれ変位速度は約5mm/yr（Tabei et al., 2002）や0~5.5mm/yr（Aoki and Scholz, 2003）とのされており、これらとの対比を行うためにも、地形学的な時間スケールでの高精度な変位速度の検討が求められている。

中央構造線の古地震学的な研究では、最新活動時期について、中世を中心に歴史時代の活動が多数の地点で報告されている（後藤ほか, 2001など）。しかし、それより前の活動時期や活動間隔についてはほとんど分かっていない。地震危険度の評価において大きな問題となっており、高精度な変位速度の提示が求められているといえる。

本研究では、中央構造線の池田断層、父尾断層に沿って認められていた後期更新世の変位地形を、1970年代の空中写真を用いて数値標高モデルとして復元し、変位ベクトルを検討するとともに、堆積物から得た試料の放射性炭素年代測定値に基づき、高精度な変位速度の算定を試みた。

研究方法

1974年撮影の約8000分の1カラー空中写真（CSI-74-8および9）を20 μ m（1,270dpi）の解像度でスキャンした画像を用い、国土基本図を評点として1m間隔のDEMとしたものを用いた。

対象とした地域周辺では、後期更新世以降の段丘面は中位面、低位1面、低位2面の3面に区分できる。低位1面は山地の谷を埋積する地形面に連続しており、平野部で最も広く発達する堆積段丘面である。低位1面は、礫層下部にATテフラを挟むとする報告があり（水野ほか, 1991など）、最終氷期に形成されたと考えられる。一方、中位面は、森江ほか（2001）がAso-4テフラによって覆われることが報告されており、最終間氷期の段丘と考えられる。低位2面はK-Ahテフラに覆われるとの報告がある（水野ほか, 1991など）。

池田断層の変位速度と活動間隔

池田断層東部の馬来谷川付近では中位面、低位1面が変位を受け、中位面で43m、低位面で7mと累積的な上下変位量が認められる。中位面の段丘崖の横ずれが複数地点で確認でき、断層崖の両側で明瞭な段丘崖が認められる場所では数値標高モデルから145~155mの横ずれ量が計測された。断層に平行な地形断面図からは上下変位量は横ずれ量の8%であり、横ずれが卓越していることが解った。

低位1面の構成層上部から得られた木片から17,212~16,792 cal BPの放射性炭素年代値が得られた。これらに基づけば、横ずれ変位速度は8.5mm/yrよりも大きいことになる。池田断層の最新活動時の変位量（堤・後藤, 2006）に基づけば、活動間隔は約820年と算定され、地震本部（2011）の値（1000~1600年）より短い。

父尾断層の変位速度と活動間隔

父尾断層中央部の日開谷川西岸では、後期更新世以降の河成段丘面が発達し、典型的な横ずれ変位地形をな

す（岡田・堤，1997など）。徳島自動車道の建設によって変位地形は改変されたが，1974年の空中写真によって復元された数値標高モデルによる地形をもとに多段化した地形を詳細に検討した。その結果，低位1面および沖積面はそれぞれ2面に細分されることがわかった（それぞれ，上位面，下位面とする）。これらの段丘崖の基部を基準にすると，上下変位量は横ずれ変位量の6～8%でほぼ同方向に変位してきたと考えられる。低位1上位面の段丘崖の横ずれ量は140～150mと計測された。

地形面の年代を示す新たな試料は得られなかったが，低位1下位面は急傾斜であり，日開谷川下流西岸で沖積面に埋没することから，最終氷期極相期の地形面と考えられる。池田断層の馬来谷川付近の低位1面に対比されるが，約35km下流に位置し，より早くに離水したと考えられることから，低位1面下位面は18ka以降，17,122～16,639 cal BPまでに形成されたと推定される。これらに基づくと，父尾断層の変位速度は7.8～9.1 mm/yrと算定される。池田断層の最新活動時の変位量（岡田・堤，1997）に基づけば，活動間隔は660～900年と算定される。

なお，これらの結果と地震本部（2011）をもとに池田断層と父尾断層の長期的な地震危険度を評価すると，今後30年間の地震発生確率は，それぞれ0.4–1.9%，0.1–3%となり，現在公表されている値（0–0.3%）に比べて，明らかに危険度は高い。

キーワード：活断層、地形、変位速度、数値標高モデル、中央構造線、西南日本

Keywords: active fault, geomorphology, slip rate, digital elevation model, Median Tectonic Line, southwest Japan

福井県水月湖の年縞堆積物中に記録された地震イベント

Tectonic events recorded in the varved sediments of Lake Suigetsu, Fukui, central Japan

*山田 圭太郎¹、中川 毅²、リチャード スタッフ^{3,4}、北場 育子²、北川 淳子⁵

*Keitaro Yamada¹, Takeshi Nakagawa², Richard A. Staff^{3,4}, Ikuko Kitaba², Junko Kitagawa⁵

1. 京都大学大学院理学研究科、2. 立命館大学古気候学研究センター、3. オックスフォード大学、4. グラスゴー大学、5. 福井県里山里海湖研究所

1. Graduate School of Science, Kyoto University, 2. Research Centre for Palaeoclimatology, Ritsumeikan University, 3. Oxford University, 4. University of Glasgow, 5. Fukui Prefectural Satoyama-Satoumi Research Institute

Lake Suigetsu, Fukui prefecture, central Japan, is one of 5 tectonic lakes located in the San' en triangle (e.g. Okada et al., 2010) partitioned by the Mikata and Hiruga Faults of the Mikata Fault Zone in a north-south direction and the Kumagawa Fault in a west-east direction (Nakata and Imaizumi, 2002; Okada, 2012). Lake Suigetsu preserves annually laminated sediments over the last ca.70 kyr (Nakagawa et al., 2012) with a significant number of event layers (Schlölaut et al., 2014). The sediment is one of the best-dated annually laminated materials in the world (e.g. Staff et al., 2011; Bronk Ramsey et al., 2012). Theoretically, the sediments have the potential to provide one of the most precise and highly resolved records of tectonic events in the world. In this study, we reconstructed a very detailed history of fault movements from changes of sedimentation rate in off-fault records using the new core drilled in 2014 (SG14) and the previously obtained and well-dated core (SG06).

The SG14 core was obtained from a point ~320 m to the east of the SG06 coring site funded by the Fukui Prefecture. The SG14 core is composed of overlapping segments recovered from four nearby boreholes to ensure continuity of the whole archive. We also took high-resolution photographs of the sediment section on the coring site before any oxidation could take place. On the basis of these high-resolution photographs, we recognised more than 300 event layers in the SG14 core and precisely correlated them to their counterparts in the SG06 core. This enabled us to transfer the high-quality SG06 chronology to the SG14 core and compare sedimentation rate changes of both cores in an exceptionally high resolution and precision for the last ca. 50 ka.

The result showed semi-cyclic step changes in the difference of the sedimentation rate at least three times over 50,000 years. That is, the relative sedimentation rate drastically increased at the eastern side of the lake, closest to the fault (SG14), after gradually increasing at the western side near the depositional centre of Lake Suigetsu (SG06). These cyclic step shifts were not synchronous with thick and very characteristic event layers such as turbidites. These findings suggest that: (i) the cyclic step changes in differential sedimentation rate demonstrate direct records of the deformation events due to slips of the Hiruga Fault, and (ii) much thicker turbidites that are seen in the lake' s sediment (at least not all of them) were not always induced by the near fault' s movement.

We propose that the following sequence best explains the mechanism responsible for these subtle changes in sedimentation rates: 1. the eastern side of the lake was lifted relatively, due to a reverse-fault slip of the Hiruga Fault; 2. the sedimentation rate increased relatively at the eastern site of SG14 because of sediment focusing nearer the fault; 3. subsequently, the sediment focusing occurred further from the fault; 4. the sedimentation rate gradually increased at the western SG06 coring site located near the lake' s depocentre; 5. the eastern site (SG14) was relatively lifted by the fault again, and the same sequence repeated for a number of times. These results are consistent with the subsidence events related to the activity of the Mikata Fault Zone estimated in the nearby Lake Mikata, located to the south of Lake Suigetsu (Ishimura et al., 2010). In summary, we have reconstructed a precise and highly resolved record

of fault movements. The detailed ages as well as the typical recurrence period will be reported at this conference.

キーワード：水月湖、堆積速度、地震イベント、年縞堆積物

Keywords: Lake Suigetsu, Sedimentation rate, tectonic event, varved sediments

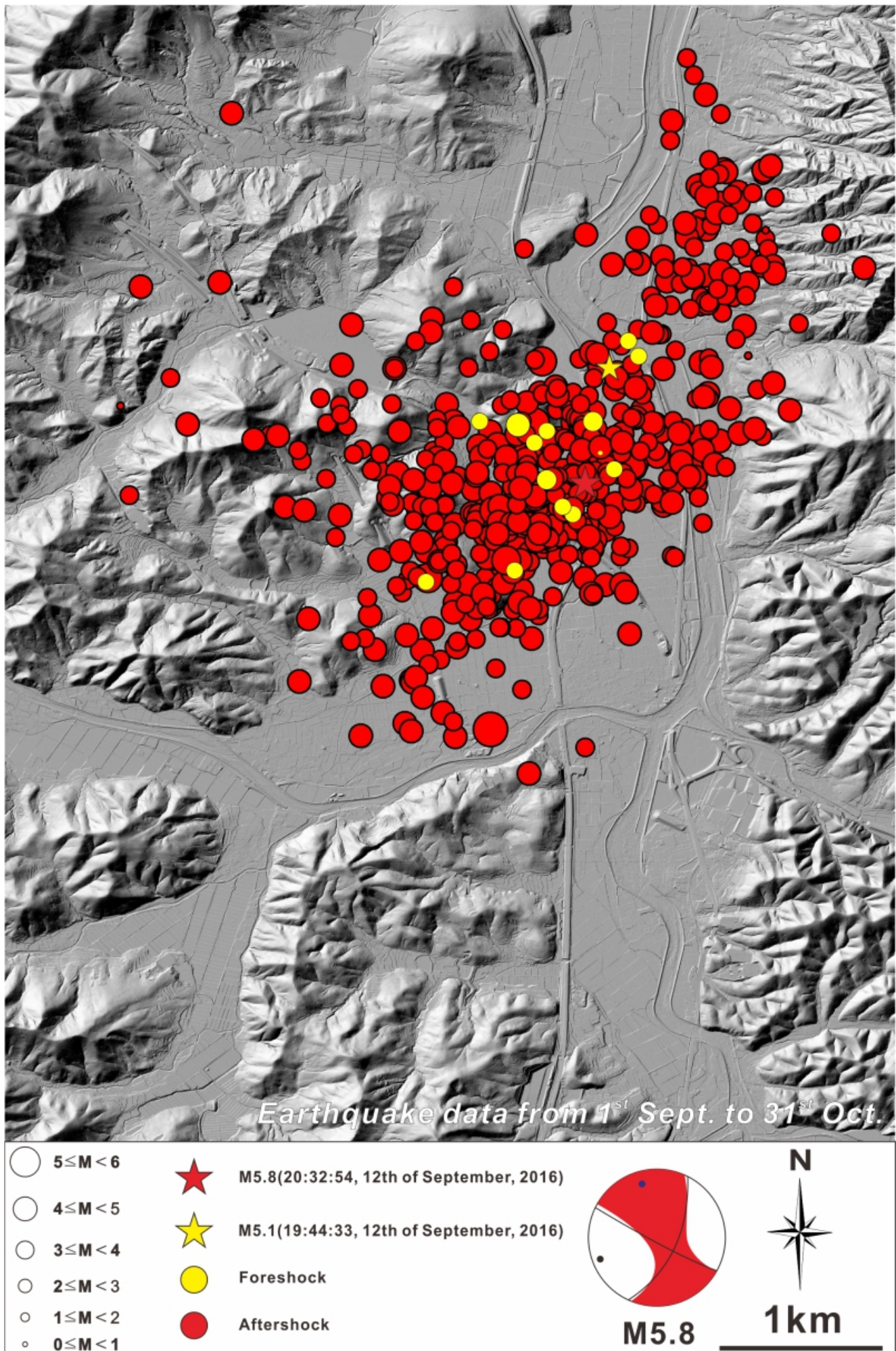
Preliminary study on related faults and triggering mechanism of the 9.12 Gyeongju earthquake (ML=5.8)

*Taehyung Kim¹, Junho Lee¹, Young-Seog Kim¹

1. Dept. of Earth & Environmental Sciences, School of Earth Environmental Hazard System Science, Pukyong National University

The 9.12 Gyeongju Earthquake (ML=5.8), the biggest instrumental earthquake in South Korea, are followed by hundreds of small to medium magnitude of aftershocks around the Hwagok reservoir in Naenam-myeon, Gyeongju, Korea. This earthquake is a shock to Korean people who believed that a Korean peninsula is a safe place from earthquakes. It was enough people to think the importance of earthquake and active fault. One of the hottest issues after the earthquake is the related active fault. We directly visited the epicenter area and carried out field work to find surface ruptures or any related faults, and furthermore, we have done lineament analysis based on pre-existing satellite images and new LiDAR data as well as fore/aftershocks distribution. Although we could not find any surface ruptures related to this earthquake, there are many N-S to NNE-SSW trending lineaments and minor dextral faults, which are parallel to the main Yangsan Fault and a subsidiary Deokcheon fault. The two major faults are geometrically linked by several NE-SW trending connecting lineaments in LiDAR Image. Focal mechanisms of the 9.12 Gyeongju Earthquake represent NNE trending dextral strike-slip fault, and distributions of fore/aftershocks indicate the concentration in the linking damage zone between the two major faults. Based on these preliminary studies, the 9.12 Gyeongju Earthquake may be triggered by a connecting fault in the linking damage zone of the two NNE-SSW trending faults (Yangsan fault and Deokcheon fault) with a dextral strike-slip sense.

Keywords: Gyeongju Earthquake, Active fault, Earthquake mechanism, LiDAR, Aftershock distribution, Fault damage zone



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. Ryukyu 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（ヤングドレラス氷期の浸食面）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。

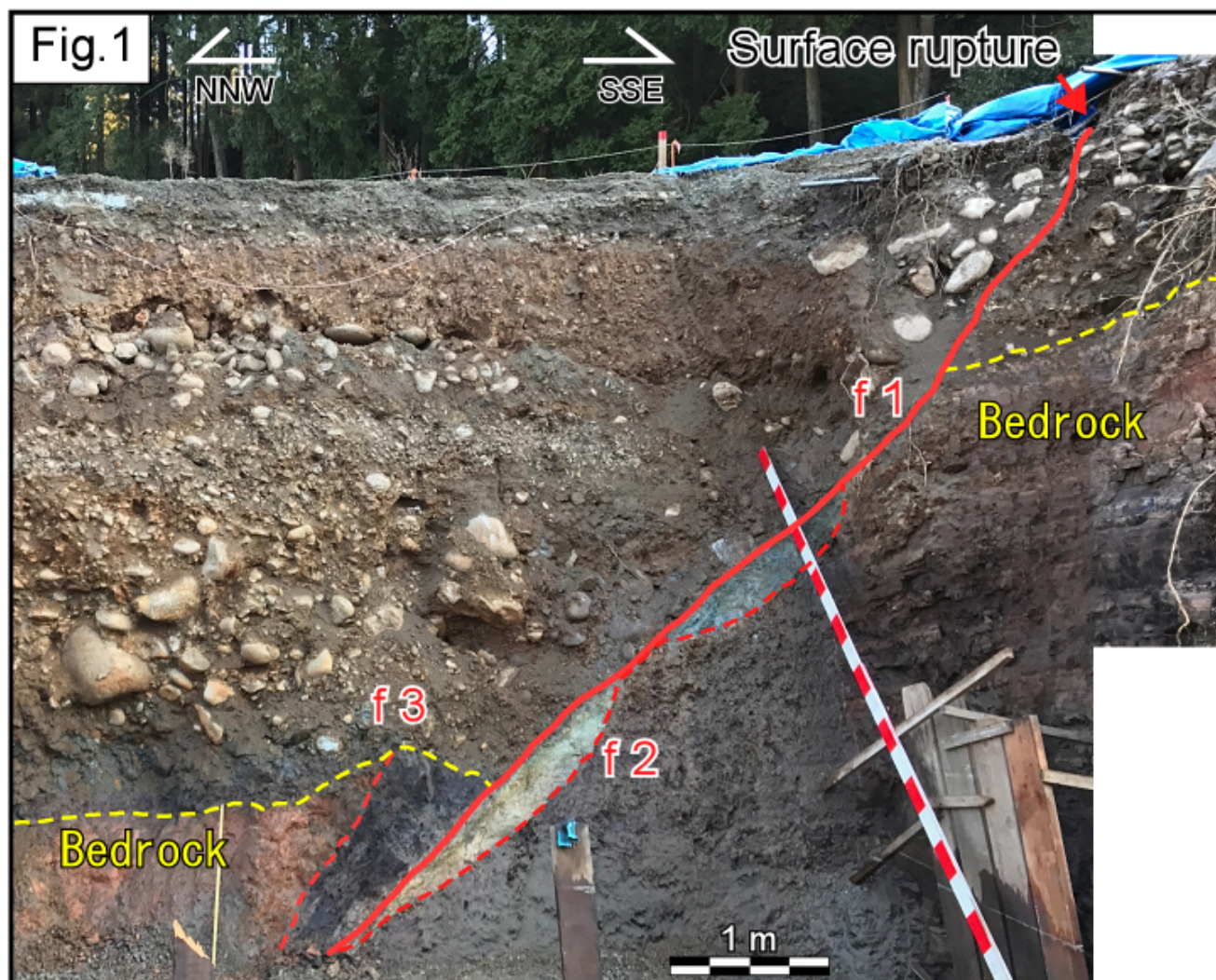
当地点では、2016年地震時に50~60cm 程度北落ちの正断層変位が生じた。断層露頭の最下部には当地点の基盤を構成するシルト岩が露出し、その上位には段丘を構成する層厚約3.5 mの礫層が堆積し、最上部に盛土・耕作土が見られる (Fig. 1)。露出した断層面の走向・傾斜はN74°E・57°Nを示し、地震断層トレースの走向と整合的である。基盤の断層は、幅約1 mにわたって脆弱に破碎されており、明瞭な数mmの断層ガウジをもつシャープな断層面が3箇所で見られる。そのうちの1つ (f3) は段丘構成礫層に覆われる。最新の断層面 (f1) は最も直線的で、過去に活動したと考えられる波打った断層面 (f2) 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2.5 m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

石灯籠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籠は地震の際に転倒・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）の境内に建つ石灯籠に大きな被害が出た。歴史地震でも石灯籠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。石灯籠には建立年代などの文字が刻まれており、古い石灯籠の中には歴史地震を経験し現在も建つものがある。これは石灯籠群が歴史地震の記録媒体であることを意味する。石灯籠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、多くの石灯籠が集中して現存し、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籠の建立年代分布・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）で行った石灯籠の調査結果（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籠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、現存する石灯籠の年代分布や破損状況等から地震の影響が石灯籠群に刻まれているかを確認する。また石灯籠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。境内の石灯籠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籠が撤去された可能性を示す。また地震後に石灯籠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籠群のみから知ることは困難であり、石灯籠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 Hashimoto¹1. 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、 2.2 g/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 2.7 g/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一和賀地域と金ケ崎一水沢地域の間にありと結論付けた。

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， 邑知潟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

邑知潟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 ー阿寺断層と奈良県中央構造線を例としてー

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に、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、破砕帯、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で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 Kaiei 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 Kaiei 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、楳原 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 Miyauchi⁸, 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(楳原ほか, 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 $\sim 25^\circ$ 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 Mountain chain, Kavir Desert, geomorphic indices and index of relative active tectonics (IRAT)