

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もある。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くることがわかった。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

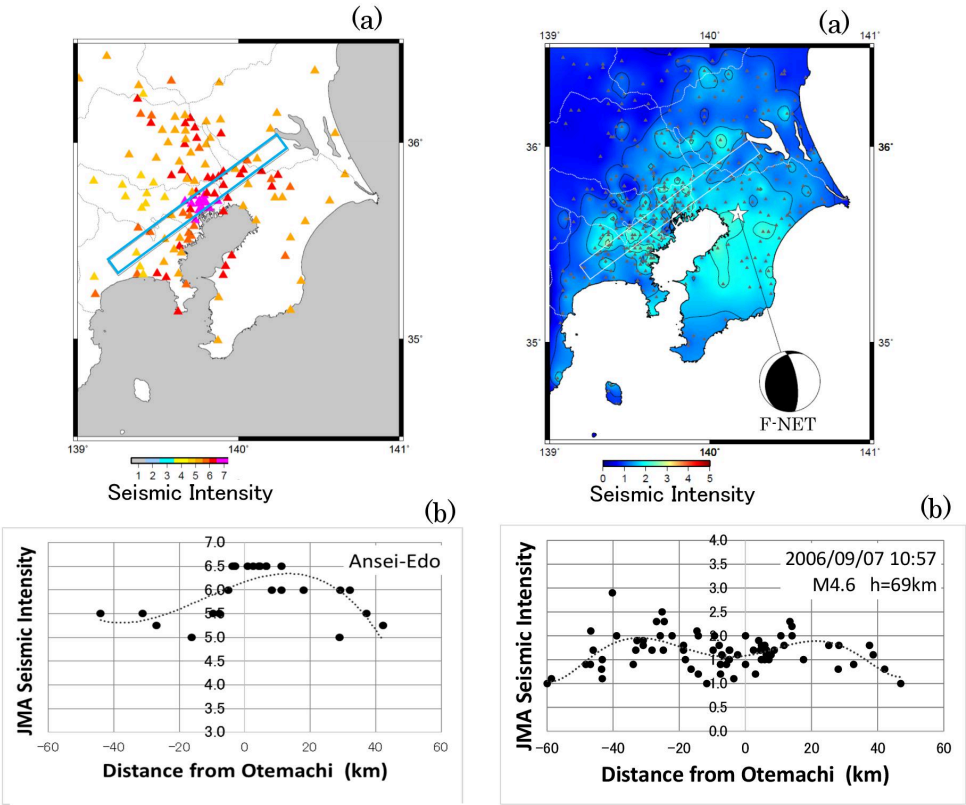


Fig.1 Ansei Edo earthquake
Usami(1994) The Japan Electric Association

Fig2 PHS/PAC plate boundary
JMA data

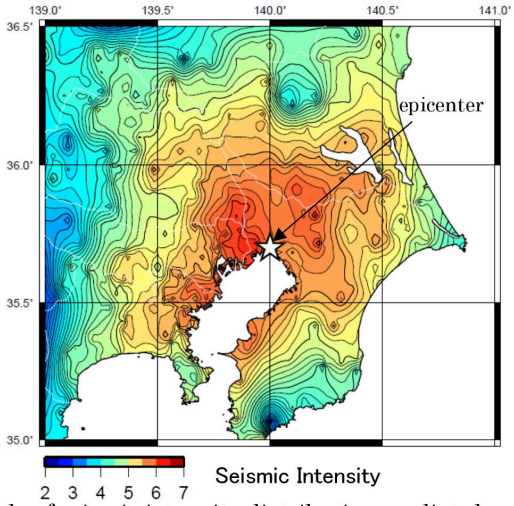


Fig.3 An example of seismic intensity distribution predicted assuming 50 km depth

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。

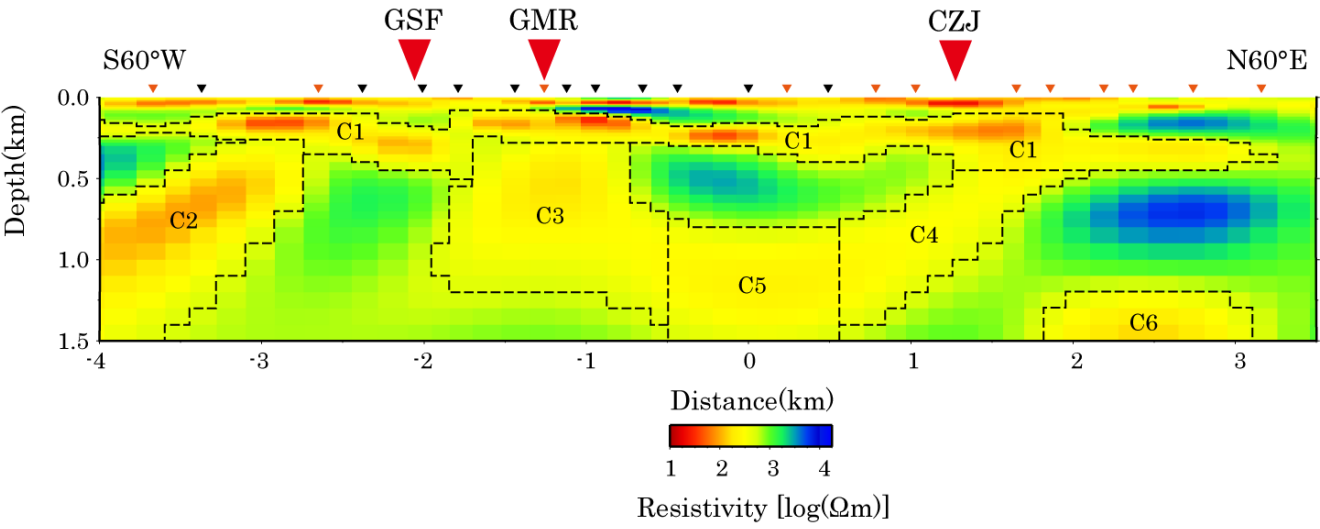
大内（2014）は郷西方断層と郷村断層を対象としたAMT観測を行い、両断層周辺の地下比抵抗構造を求めている。本研究では、仲禅寺断層含むように大内（2014）の測線を延長し、その測線上の25点（大内（2014）：12点、本研究：13点）においてAMT観測を行った。

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。

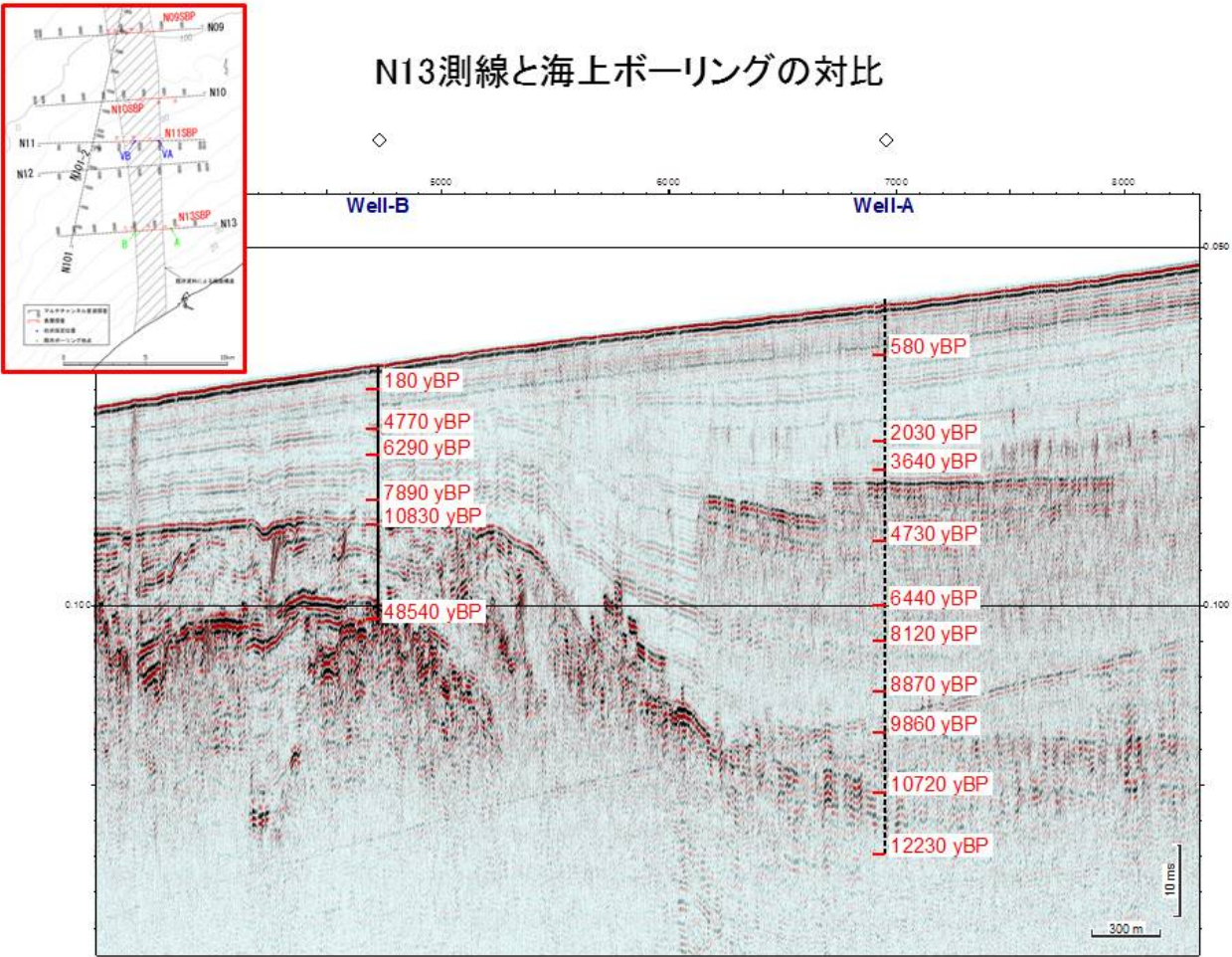
本研究においては、今回取得した反射法地震探査記録に既存の記録断面も加え、四ツ郷屋沖背斜下における沖積層基底面の撓曲構造を追跡した。その結果、この撓曲構造は、その沖合に分布する北東－南西方向の隆起帯である角田瀬の斜面に至って構造的には認識できなくなることが判明した。また、海底面に撓曲が及んでいる領域があることから、最新活動時に海底に変位を及ぼした可能性もある。

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

