

共同利用実施報告書(研究実績報告書)
(特定共同研究(A)、特定共同研究(C))

1. 課題番号 2014-A-01 (※1703)

※特定共同研究 A01 の場合、地震火山災害軽減研究課題番号を記入

2. 研究課題名 (和文、英文の両方をご記入ください)

和文: 地表地震断層および活断層の地表計上・変位量データにもとづく直下型地震の規模・頻度予測手法の高度化・LiDAR 等の高解像度 DEM を用いた検討

英文: _____

3. 研究代表者所属・氏名 名古屋大学・減災連携研究センター・鈴木康弘

(地震研究所担当教員名) 石山 達也

4. 参加者の詳細と旅費使用概要 (研究代表者を含む。必要に応じ行を追加すること)

氏名	所属・職名	出張先	出張期間	旅費支給の有無 ※特定(A)のみ
鈴木康弘	名古屋大学・減災連携研究センター・教授	法政大学	12月14日	有
鈴木康弘	名古屋大学・減災連携研究センター・教授	東京大学地震研究所	3月2日	有
熊原康博	広島大学大学院教育学研究科・准教授	長野県白馬村	12月5-7日	有
金田平太郎	千葉大学大学院理学研究科・准教授	長野県白馬村	12月10-11日	有
楮原京子	山口大学教育学部・講師	長野県白馬村	12月5-8日	有
松多信尚	岡山大学教育学部・准教授	法政大学	12月14日	有
松多信尚	岡山大学教育学部・准教授	東京大学地震研究所	3月2-3日	有
松多信尚	岡山大学教育学部・准教授	長野県白馬村	3月12-13日	有
松多信尚	岡山大学教育学部・准教授	名古屋大学・地震火山研究センター	3月20-21日	有
杉戸信彦	法政大学人間環境学部・講師	名古屋大学・地震火山研究センター	3月20日	有
林 星和	千葉大学大学院理学研究科・学生	長野県白馬村	12月10-11日	有

5. 参加者が分担した役割 (200-400 字程度で記入してください)

根尾谷断層で参加者が一同に会し、本研究課題に関する議論を予定していたが、その直前に2014年11月22日長野県北部の地震が発生し神城地震断層が出現したため、急遽了承をとり、本研究課題に沿う内容で高解像度DEMの作成と地表地震断層の形状・変位量・分布の調査に変更した。熊原は石黒・中田とともにUAVを用いた航空写真撮影をおこない、楮原などがおこなったGCP測量をもとに、写真マッチング技術を用いた詳細DEMを作成した。鈴木や金田は林や澤・廣内・後藤などとともに地表地震断層の形状・変位量・分布を調査した。松多と杉戸は地上レーザ測量を実施し、後藤・廣内などと断面測量をおこなったほか、全般にわたって統括をおこなった。その結果は現在まだ解析中であるが、今までの調査では認定が難しかった長波長の変形を確認できたほか、詳細な3次元データによって任意な方向での計測が可能となり、変動地形と地震断層の変位量や形状との関係を議論するに資するデータの取得に成功した。

6. 研究実績 (論文タイトル、雑誌・学会・セミナー等の名称、謝辞への記載の有無)

シンポジウム (謝辞の記載無)

Hirouchi, D., Sugito, N., Kaneda, H., Goto, H., Matsuta, N., and Geomorphological Research Group for the 2014 Kamishiro Fault Earthquake: Surface rupture associated with the 2014 Kamishiro fault earthquake, central Japan: A preliminary report on field reconnaissance surveys, Hokudan 2015 International Symposium on Active Faulting, 淡路

Sugito, N., Goto, H., Ishiguro, S., Suzuki, Y., Hirouchi, D., and Geomorphological Research Group for the 2014 Kamishiro Fault Earthquake: Surface rupture associated with the 2014 Kamishiro fault earthquake, central Japan: Comparison between pre- and post-earthquake aerial photographs, Hokudan 2015 International Symposium on Active Faulting, 淡路

Ishiguro, S., Watanabe, M., Kumahara, Y., Nakata, T., Goto, H., Kitano, S., Miyauchi, T., Kagohara, K., and Geomorphological Research Group for the 2014 Kamishiro Fault Earthquake: Digital Surface Model for surface fault ruptures of the 2014 Kamishiro fault earthquake, central Japan, based on UAV and high-pole photography and SfM-MVS analysis, Hokudan 2015 International Symposium on Active Faulting, 淡路

Matsuta, N., Goto, H., Sugito, N., and Geomorphological Research Group for the 2014 Kamishiro Fault Earthquake: Surface rupture associated with the 2014 Kamishiro fault earthquake, central Japan: TLS (Terrestrial Laser Scanner), TS (Total Station) and AL (Auto Level) measurements, Hokudan 2015 International Symposium on Active Faulting, 淡路

Sawa, H., Matsuta, N., Watanabe, M., Suzuki, Y., Nakata, T., and Geomorphological Research Group for the 2014 Kamishiro Fault Earthquake: Surface rupture associated with the 2014 Kamishiro fault earthquake, central Japan: Implications to tectonic geomorphology and long-term earthquake prediction, Hokudan 2015 International Symposium on Active Faulting, 淡路

学会発表（謝辞の記載無）

石黒聡士・渡辺満久・熊原康博・中田高・後藤秀昭・北野志歩・宮内崇裕・楮原京子・2014 年神城断層地震地形調査グループ：UAV による写真撮影と細密 DSM にもとづく 2014 年長野県北部の地震に伴う地表地震断層の変位量計測，日本地理学会 2015 年春季学術大会

廣内大助・杉戸信彦・金田平太郎・後藤秀昭・松多信尚・鈴木康弘：2014 年神城断層地震地形調査グループ：2014 年長野県北部の地震（神城断層地震）に伴う地表地震断層，日本地理学会 2015 年春季学術大会

澤祥・松多信尚・渡辺満久・鈴木康弘・中田高・2014 年神城断層地震地形調査グループ：2014 年長野県北部の地震（神城断層地震）による地表地震断層の位置と既存の活断層との関係，日本地理学会 2015 年春季学術大会

鈴木康弘・廣内大助・渡辺満久・2014 年神城断層地震地形調査グループ：2014 年長野県神城断層地震が提起した問題，日本地理学会 2015 年春季学術大会

廣内大助・杉戸信彦・金田平太郎・後藤秀昭・松多信尚・鈴木康弘・石黒聡士・熊原康博・2014 年神城断層地震地形調査グループ：2014 年長野県北部の地震（神城断層地震）に伴う地表地震断層と活断層，地球惑星科学連合 2015 年大会

石黒聡士・熊原康博・中田高・後藤秀昭・渡辺満久・宮内崇裕・楮原京子・杉戸信彦・松多信尚・廣内大助・2014 年神城断層地震地形調査グループ：UAV による低空写真撮影にもとづく 2014 年長野県北部の地震に伴う地表地震断層の変位量計測，地球惑星科学連合 2015 年大会

鈴木康弘・2014 年神城断層地震地形調査グループ：2014 年長野県神城断層地震と活断層－何を学ぶべきか？，地球惑星科学連合 2015 年大会

Surface rupture associated with the 2014 Kamishiro fault earthquake, central Japan: A preliminary report on field reconnaissance surveys

Hirouchi, D. (Shinshu University, hirokuma@shinshu-u.ac.jp)

Sugito, N. (Hosei University)

Kaneda, H. (Chiba University)

Goto, H. (Hiroshima University)

Matsuta, N. (Okayama University)

Geomorphological Research Group for the 2014 Kamishiro Fault Earthquake

The Kamishiro fault is located in the northernmost part of the 150-km-long Itoigawa-Shizuoka Tectonic Line (ISTL) active fault zone, central Japan. Immediately after the destructive Mj 6.7 earthquake of November 22, 2014, which occurred in the northern part of the Nagano Prefecture, we conducted field reconnaissance surveys, and found coseismic surface ruptures exactly along the northern part of the reverse-faulting Kamishiro fault (Photo 1). Based on our surveys, in addition to the reports of other universities or research institutes, primary coseismic surface ruptures extend for ca. 9 km, most of which runs along the previously-identified active fault traces (Figure 1) (Research Group for ISTL Tectonic Landforms, 2007; Suzuki et al., 2009, 2010). Various methodologies to record the surface ruptures have been applied until now, including aerial photographs, UAV and high-pole SfM, TLS (Terrestrial Laser Scanner), AL (Auto Level), and TS (Total Station), as reported in other presentations.



Photo 1. (Left) Coseismic west-facing fault scarp observed at the Shiojima site (located in Figure 1). Note person for scale. The maximum height of the scarp is ca. 0.9 m. Horizontal shortening is also identified. (Right) The southern extension of the fault scarp. Revised after Hirouchi et al. (2014).

Notes Geomorphological Research Group for the 2014 Kamishiro Fault Earthquake: Ikeda, K., Kiryu, K., Shimizu, R., Yamazaki, F. (Shinshu Univ.), Suzuki, Y. (Nagoya Univ.), Watanabe, M. (Toyo Univ.), Nakata, T., Kumahara, Y., Kitano, S. (Hiroshima Univ.), Ishiguro, S. (Nat. Inst. for Environ. Studies), Miyauchi, T., Hayashi, H., Abe, M., Takagi, S. (Chiba Univ.), Sawa, H. (Natl. Inst. of Tech., Tsukuba Coll.), Ishiyama, T. (Univ. of Tokyo), Yasue, K. (Japan Atomic Energy Agency).

Acknowledgements This study was supported by MEXT of Japan, under its Earthquake and Volcano Hazards Observation and Research Program, and the Integrated Research Project on Seismic and Tsunami Hazards around the Sea of Japan.

References (1) Hirouchi et al., 2014, Active Fault Research, 41, Pictorial, i-ii (in Japanese). (2) Research Group for ISTL Tectonic Landforms, 2007, <http://danso.env.nagoya-u.ac.jp/istl-gis/> (in Japanese). (3) Suzuki, Y. et al., 2009, E-journal GEO, 4, 37-46 (in Japanese with English abstract). (4) Suzuki, Y. et al., 2010, Active Fault Research, 33, 1-14 (in Japanese with English abstract).

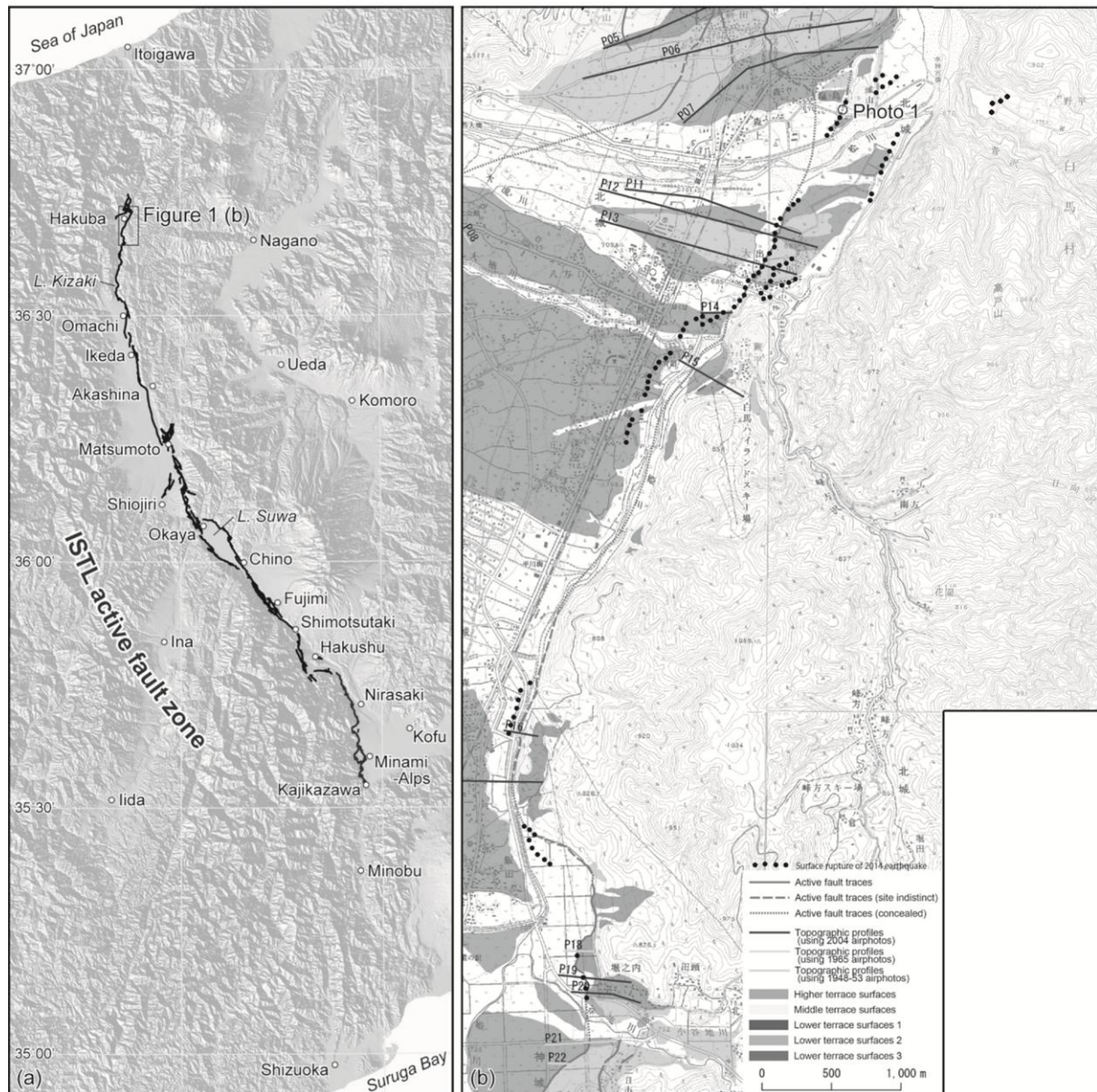


Figure 1. (a) Index map of the ISTL active fault zone. The shaded relief map is based on 50-m-grid DEM issued by GSI of Japan. (b) Tectonic geomorphological map of the northern part of the Kamishiro fault (Research Group for ISTL Tectonic Landforms, 2007). The web-GIS based active fault information is available at <http://danso.env.nagoya-u.ac.jp/istl-gis/> (in Japanese).

Surface rupture associated with the 2014 Kamishiro fault earthquake, central Japan: Comparison between pre- and post-earthquake aerial photographs

Sugito, N. (Hosei University, nsugito@hosei.ac.jp)

Goto, H. (Hiroshima University)

Ishiguro, S. (National Institute for Environmental Studies)

Suzuki, Y. (Nagoya University)

Hirouchi, D. (Shinshu University)

Geomorphological Research Group for the 2014 Kamishiro Fault Earthquake

The Mj 6.7 Kamishiro fault earthquake struck the northern part of the Nagano Prefecture, central Japan, at 22:08 JST on November 22, 2014. We took color and high-resolution aerial photographs along the Kamishiro fault on November 27 (5 days after the earthquake), and conducted their stereo-pair interpretation for detecting locations of primary coseismic surface ruptures associated with the earthquake. The resolution of the airphotos is ca. 17.5 cm per pixel. At the Shiojima site (Figure 1), we can recognize NE-trending west-facing coseismic fault scarps, which cross paved roads, paddy fields, vegetable fields, and artificially modified lands for about 0.3 km. Based on the field reconnaissance surveys, the maximum height of the scarp is ca. 0.9 m around the site. The scarp is located along one of the previously-identified fault trace of the reverse-faulting Kamishiro fault (Suzuki et al., 2010), although most of the tectonic landforms along the fault trace around the Shiojima site was eroded by fluvial processes before the 2014 earthquake. We can also identify coseismic surface-rupture traces with smaller vertical displacement at several sites (only ca. 0.3 m or less measured during the field reconnaissance surveys), when we take into account systematic color changes in paddy fields (caused by ponding in the down-thrown sides), paved roads (caused by destruction or slope-angle change), and so on, as shown in Figure 2 of the Hakuba-cho site. Furthermore, we have stored pre-earthquake color airphotos taken in 2004 (Figure 3) (Suzuki, 2005), whose resolution is the same as those taken on November 27. We will conduct photogrammetric analysis using our pre- and post-earthquake airphotos, for examining locations of surface ruptures and amounts of coseismic vertical displacement associated with the 2014 Kamishiro fault earthquake.

Notes Geomorphological Research Group for the 2014 Kamishiro Fault Earthquake: Matsuta, N. (Okayama University), Watanabe, M. (Toyo University), Nakata, T., Kumahara, Y. (Hiroshima University), Miyauchi, T., Kaneda, H. (Chiba University), Sawa, H. (National Institute of Technology, Tsuruoka College), Murate, N., Miyasaka, S., Senda, Y. (Nakanihon Air Service)

Acknowledgements This study was supported by MEXT of Japan, under its Earthquake and Volcano Hazards Observation and Research Program, and the Integrated Research Project on Seismic and Tsunami Hazards around the Sea of Japan.

References (1) Suzuki, Y., 2005, Tectonic-geomorphic analysis using high-resolution DEMs, in Pilot Integrated Research Project for the ISTL Active Fault Zone, MEXT of Japan, 97-106 (in Japanese) (translated by Sugito, N.). (2) Suzuki, Y. et al., 2010, Prediction of coseismic fault behavior based on slip-rate and slip distributions for the northern part of the Itoigawa-Shizuoka Tectonic Line active fault zone, central Japan, Active Fault Research, 33, 1-14 (in Japanese with English abstract).



Figure 1. A post-earthquake stereo-pair airphoto of the Shiojima site.



Figure 2. A post-earthquake stereo-pair airphoto of the Hakuba-cho site.



Figure 3. An example of stereo-pair airphotos taken in 2004, showing the Oide site.

Digital Surface Model for surface fault ruptures of the 2014 Kamishiro fault earthquake, central Japan, based on UAV and high-pole photography and SfM-MVS analysis

Ishiguro, S. (National Institute for Environmental Studies, ishiguro.satoshi@nies.go.jp)

Watanabe, M. (Toyo University)

Kumahara, Y. (Hiroshima University)

Nakata, T. (Hiroshima University)

Goto, H. (Hiroshima University)

Kitano, S. (Hiroshima University)

Miyauchi, T. (Chiba University)

Kagohara, K. (Yamaguchi University)

Geomorphological Research Group for the 2014 Kamishiro Fault Earthquake

Introduction

The surface ruptures associated with the 2014 Kamishiro fault earthquake (Mj 6.7), central Japan was photographed by digital cameras mounted on an unmanned aerial vehicle (UAV) and a high pole. The resulting Digital Surface Model (DSM) generated using the Structure from Motion (SfM) -Multi-View Stereo (MVS) software enabled accurate measurement of the terrain section, as well as variations in directions and amounts of three-dimensional surface displacements. Topographic measurements by a UAV and pole camera have helped in the characterization of the surface ruptures caused by the 2013 Bohol earthquake (Pogay et al. 2013). Imaging technology mounted on a UAV is used to obtain widespread surface measurements, while the pole camera is used for the detailed photography of important locations. The accuracy of the DSM will be confirmed by the comparison of our findings with the measurements by other methods, such as auto-level and terrestrial LiDAR.

Materials and Methods

The UAVs used in this study include F450 and Phantom 2 manufactured by DJI Inc., of which the former autopilots according to the flight route set by the mission planner. Pole camera, a digital camera attached to the tip of the 7-m-high carbon fiber pole, was used for interval shooting. Both the cameras used a GR of RICOH. One week after the earthquake, on November 29 and 30, the area was photographed by the UAVs and pole-camera, and further measurements for the GCP by GNSS RTK survey was conducted on December 3 and 4. About 9.5 km along surface rupture was photographed to study the extensive surface displacements. Initially, the entire survey was planned to avoid gaps completely. However, this was not achieved because of the limited time and adverse weather conditions. Thus, the acquired aerial photographs generated the DSM using SfM-MVS software (Agisoft PhotoScan Pro).

Results

As a result, we were able to create a DSM of a resolution of a few centimeters (Figure 1). The shaded

diagram of the DSM indicates the following: 1) Surface rupture has propagated in an intricately bent and branched manner. 2) Small-scale deformation and deformation along several meters of width have taken place. Subsequently, this DSM was compared with the cross-sectional survey and measurements carried out by the auto-level and LiDAR, and it was confirmed that the DSM is characterized by fine topographic changes. However, an error of about 10 cm could have been present depending on the location.

Notes Geomorphological Research Group for the 2014 Kamishiro Fault Earthquake: Matsuta, N. (Okayama University), Sugito, N. (Hosei University), Suzuki, Y. (Nagoya University), Kaneda, H. (Chiba University), Hirouchi, D., Yamazaki, F., Ikeda, K., Kiryu, K. (Shinshu University), Ishiyama, T. (ERI, The University of Tokyo), Yasue, K. (Japan Atomic Energy Agency)

References Pogay, C., Rivera, J. D., Buhay, D. J., Pidalaoan, A., Cahulogan, M., Abigania, M. I., Papiona, K., Lim R., Pelicano, A., Bacolcol, T., Daag, A., Inoue, H. and Nakata, T. 2005, Mapping the surface fault rupture of the 2013 Bohol Earthquake by SfM Photogrammetry using small UAV and pole camera

Acknowledgements This study was supported by the Ministry of Education, Culture, Sports, Science and Technology (MEXT) of Japan, under its Earthquake and Volcano Hazards Observation and Research Program, and the Integrated Research Project on Seismic and Tsunami Hazards around the Sea of Japan.

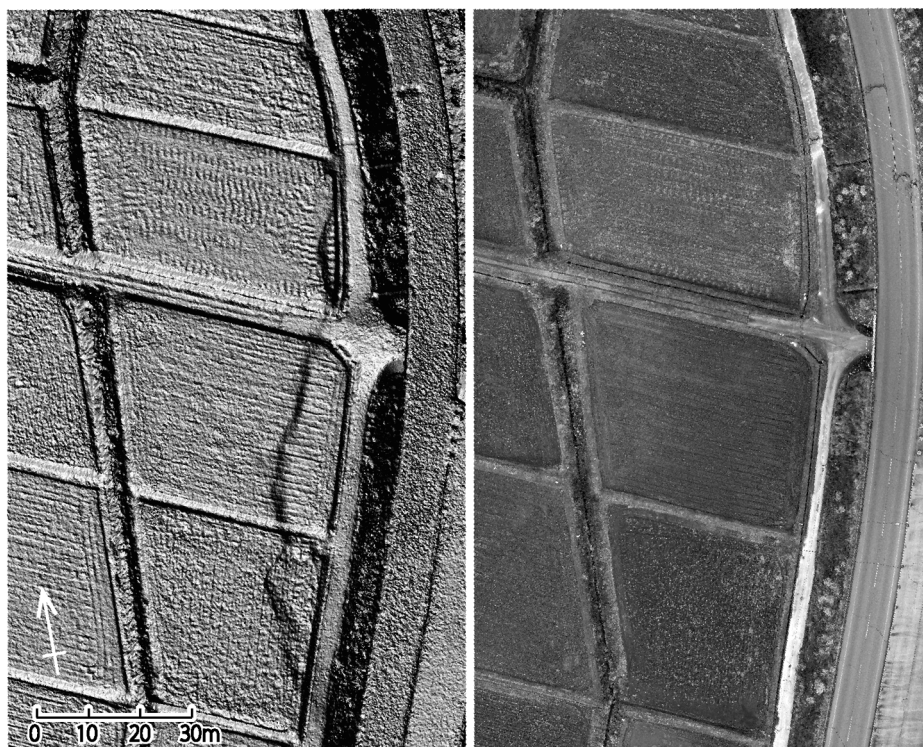


Figure 1. An example of DSM and orthophotograph of the Iimori site.

Surface rupture associated with the 2014 Kamishiro fault earthquake, central Japan: TLS (Terrestrial Laser Scanner), TS (Total Station) and AL (Auto Level) measurements

Matsuta, N. (Okayama University, matta@cc.okayama-u.ac.jp)

Goto, H. (Hiroshima University)

Sugito, N. (Hosei University)

Kagohara, K. (Yamaguchi University)

Geomorphological Research Group for the 2014 Kamishiro Fault Earthquake

An Mj 6.7 earthquake occurred in the Kamishiro fault at 22:08 (JST) on November 22, 2014. The fault is a reverse fault located in the northern part of the Itoigawa-Shizuoka Tectonic Line active fault zone, northern Nagano Prefecture, central Japan. The 2014 earthquake produced 9-km-long surface ruptures along the Kamishiro fault with vertical displacement of 0.9 m or less. We have measured surficial deformation using our terrestrial laser scanner (TLS, RIEGL VZ-1000), total station (TS, Leica TCR705), and auto levels (ALs), for examining the results of the SfM-MVS analysis. Among them, TLS measurements were conducted at five sites: (1) northeast of Mt. Joyama, where the northern end of the surface rupture appeared as small and broad deformation in a rice field; (2) Shiojima, where the most clear vertical offset was identified among the whole surface ruptures; (3) Oide, where Holocene terrace surfaces indicate cumulative vertical displacement caused by the Kamishiro fault, and coseismic surface ruptures also appeared during the 2014 earthquake; (4) Hakuba-cho (east of Hakuba Station), where broad deformation was observed in rice fields and paved roads, with vertical displacement of ca. 5-10 cm (based on the field reconnaissance surveys); and (5) east of Iida, where at least two traces of surface ruptures with small vertical displacement were found in rice fields and unpaved roads. TS and AL measurements were also conducted at sites including (1) to (5). Because the amounts of vertical displacement during the 2014 earthquake are not so large, our terrestrial-measurement equipment would be useful in detailed mapping of the surface ruptures.

Notes Geomorphological Research Group for the 2014 Kamishiro Fault Earthquake: Hirouchi, D., Shimizu, R., Ikeda, K., Kiryu, K., Yamazaki, F. (Shinshu University), Yasue, K. (Japan Atomic Energy Agency), Suzuki, Y. (Nagoya University), Watanabe, M. (Toyo University), Nakata, T., Kumahara, Y., Kitano, S. (Hiroshima University), Ishiguro, S. (National Institute for Environmental Studies), Miyauchi, T., Kaneda, H. (Chiba University), Sawa, H. (National Institute of Technology, Tsuruoka College), Danjo, T. (Yamaguchi University), Ishiyama, T. (ERI, The University of Tokyo)

Acknowledgements This study was supported by the Ministry of Education, Culture, Sports, Science and Technology (MEXT) of Japan, under its Earthquake and Volcano Hazards Observation and Research Program, and the Integrated Research Project on Seismic and Tsunami Hazards around the Sea of Japan.

Surface rupture associated with the 2014 Kamishiro fault earthquake, central Japan: Implications to tectonic geomorphology and long-term earthquake prediction

Sawa, H. (Nat. Inst. Tech., Tsuruoka Col., sawa@tsuruoka-nct.ac.jp), N. Matsuta (Okayama Univ.),
M. Watanabe (Toyo Univ.), Y. Suzuki (Nagoya Univ.), T. Nakata (Hiroshima Univ.), and
Geomorphological Research Group for the 2014 Kamishiro Fault Earthquake*

1. Introduction

On November 22, 2014 at 10:08 PM local time, a JMA magnitude-6.7 earthquake (the 2014 Kamishiro fault earthquake) occurred in northern Nagano Prefecture, central Japan (epicenter, 36° 41' 20.4" N, 137° 53' 16.2" E). The spatial distribution of aftershocks and the focal mechanism indicates that this earthquake was generated by movement along a reverse fault known as the Kamishiro fault – the northern part of the Itoigawa–Shizuoka Tectonic Line (ISTL) active fault system. Remarkable surface ruptures, over 9 km long, appeared along the Kamishiro fault. We have made public details about the nature and location of the Kamishiro fault before the earthquake on an active fault map (Matsuta et al, 2006; Research Group for ISTL Tectonic Landforms, 2007; <http://danso.env.nagoya-u.ac.jp/istl-gis/>). We wish to establish a location relationship between this surface rupture and the pre-existing active fault trace.

2. Re-examination of active fault maps of ISTL

Most of the 2014 surface ruptures appeared along pre-existing active fault traces. However, a very few surface ruptures appeared where there was no pre-existing active fault trace, prompting us to re-examine our former active fault maps. We looked again at a series of 1:10,000 aerial photographs archived in the 1940s and 1950s. The aerial photo analysis was supplemented and reinforced by field observations. Although the detailed re-interpretation of aerial photographs caused a few modifications of the locations of active fault traces, we concluded that the location of some active fault traces had not been added on former maps.

1) Oide: Obvious surface rupture stretched north to south along the active fault trace at Oide. The southern half of surface rupture at Oide doesn't seem to match with the active fault trace. However, a few small tectonic landforms exist on the lower terrace, and was overlooked. The active fault line should have been traced considering such small landforms. 2) Nodaira: This area was on the outside of the study area in Matsuta et al. (2006) and Research Group for ISTL Tectonic Landforms (2007). In this reexamination the pre-existing tectonic landforms were observed in the area. The M terrace (50–100 ka) is cut by the fault. The west-side-up fault extends northeastward and it is considered to be a back-thrust faulting associated with the main fault. Surface ruptures clearly appeared along these pre-existing fault traces. 3) Kamishiro: Some tectonic landforms along the piedmont line and back-thrust fault scarps were newly mapped at Kamishiro. Obvious surface ruptures appeared along some traces. In Mikkaichiba, surface rupture was observed along the back-thrust fault scarp that had been mapped on our earlier active fault map (Katsube et al., 2014). 4) Shiojima: The remarkable coseismic east-side-up fault scarp appeared in the 2014 earthquake. The maximum height of the scarp is about 0.9 m. In a little of northeast of the coseismic scarp, there are the tectonic landforms on the M terrace (50–100 ka). We found the pre-existing east-side-up small - less than 1 m - fault scarp on the alluvial lowland through the detailed re-interpretation of aerial photographs. The coseismic east-side-up fault scarp appeared in the same location.

3. Implications for long-term earthquake prediction

The surface ruptures associated with the 2014 Kamishiro fault earthquake appeared in the area covered by a detailed active fault map (Matsuta et al, 2006; Research Group for ISTL Tectonic Landforms, 2007). Most of the 2014 surface ruptures appeared along pre-existing active fault traces shown on the maps. The proper maintenance of an active fault map contributes greatly to earthquake damage reduction. In this area, there have been three active fault maps apart from our map (Ikeda et al., 2002; Sawa et al., 1999; Togo et al., 1999). However, almost no back-thrust faulting associated with the main Kamishiro fault has been mapped on these three maps. The 2014 surface ruptures appeared along some back-thrust traces. It is important that we study small – less than 1 m – tectonic landforms, i.e., reverse tilting of the surface, flexural scarp, scarplet and back-thrust scarp.

In the northern part of the ISTL active fault system (Hakuba Village to Matsumoto City, with a length of 55 km), the maximum vertical offset and a JMA magnitude during the last earthquake were estimated to be 5–6 m and M_{JMA} 8.2–8.3, respectively (Suzuki et al., 2010). However, the maximum vertical offset during the 2014 Kamishiro fault earthquake is approximately one fifth as large as the above estimation. It could indicate that one-scale-smaller earthquake with M_{JMA} -7 have been probably occurring with a shorter interval in the northern part of ISTL active fault system. Considering such a supposition, we need to re-evaluate a long-term earthquake prediction properly.

Acknowledgements This study was supported by the Ministry of Education, Culture, Sports, Science and Technology (MEXT) of Japan, under its Earthquake and Volcano Hazards Observation and Research Program.

Notes* Hirouchi, D. (Shinshu University), Sugito, N. (Hosei University), Goto, H., Kumahara, Y. (Hiroshima University), Miyauchi, T., Kaneda, H. (Chiba University), Ishiguro, S. (National Institute for Environmental Studies), Ishiyama, T. (ERI, The University of Tokyo), Kagohara, K. (Yamaguchi University), Murate, N., Miyasaka, S., Senda, Y. (Nakanihon Air Service)

References (1) Ikeda Y. et al. ed. 2002. *Atlas of Quaternary Thrust Faults in Japan*. Tokyo. University of Tokyo Press. (2) Katsube A. et al. 2014. Preliminary report (2) on surface rupture associated with the 2014 Kamishiro fault earthquake, central Japan. Geological Survey of Japan, AIST, <https://www.gsj.jp/hazards/earthquake/naganokenhokubu2014/naganokenhokubu20141209.html> (3) Matsuta N. et al. 2006. The vertical slip-rate and geomorphological mapping between Tsugaike and Lake Kizaki along the northern Itoigawa-Shizuoka tectonic line active fault system. *Active Fault Research* 26: 105 - 120. (4) Research Group for ISTL Tectonic Landforms 2007. *Database on Itoigawa-Shizuoka Tectonic Line active fault system Tectonic Landforms No. 1 Northern Area (between Hakuba Village and Matsumoto City)*. Nagoya University. (5) Sawa H. et al. 1999. *Active Fault Map in Urban Area, Active Faults of the Shiroumadake*. Geographical Survey Institute of Japan. (6) Suzuki, Y. et al., 2010, Prediction of coseismic fault behavior based on slip-rate and slip distributions for the northern part of the Itoigawa-Shizuoka Tectonic Line active fault zone, central Japan, *Active Fault Research*, 33, 1-14. (7) Togo M. et al. 1999. *Active Fault Map in Urban Area, Active Faults of the Omachi*. Geographical Survey Institute of Japan.

UAVによる写真撮影と細密 DSM にもとづく 2014 年長野県北部地震に伴う地表地震断層の変位量計測 Measuring displacement of surface rupture of the 2014 Kamishiro fault earthquake, based on UAV and SfM-MVS analysis

100187

石黒聡士 (国立環境研) *, 渡辺満久 (東洋大), 熊原康博, 中田 高, 後藤秀昭,
北野志歩 (広島大), 宮内崇裕 (千葉大), 楮原京子 (山口大), 2014 年神城断層地震地形調査グループ**
Satoshi ISHIGURO (NIES), Mitsuhsa Watanabe (Toyo Univ.), Yasuhiro KUMAHARA, Takashi NAKATA,
Hideaki GOTO, Shiho KITANO (Hiroshima Univ.), Takahiro MIYAUCHI (Chiba Univ.), Kyoko KAGOHARA (Yamaguchi Univ.),
Geomorphological Research Group for the 2014 Kamishiro Fault Earthquake

キーワード: 2014 年長野県北部の地震, 地表地震断層, UAV, SfM-MVS, 超高細密 DSM,
Key Words: The 2014 Kamishiro fault earthquake, surface rupture, UAV, SfM-MVS, Ultra-high-resolution DSM

1. はじめに

2014 年 11 月 22 日に長野県北部の地震が発生し (Mj 6.7, 以降, 神城断層地震), 地表地震断層が出現した (廣内ほか, 2014 など). 地表地震断層は復旧工事などの人工的な要因や降水などの自然現象により, 出現後, 比較的短時間で姿を変えてしまう. また, 長野県北部は降雪の多い地域として知られ, 降雪期直前の短期間で地表地震断層の観察が不能となる可能性があった. そこで, 本研究では, 小型の無人航空機 (Unmanned Aerial Vehicle; UAV) 2 機により空中写真の撮影を行い, Structure-from-Motion - Multi-View-Stereo (SfM-MVS) ソフトウェアを用いて解像度数 cm の超高細密の地表モデル (Digital Surface Model; DSM) およびオルソ写真を作成して, 短期間で広域的な測量を行った. これをもとに, 断面計測を行い, 断層に沿った変位量を計測した.

2. 写真撮影と地上基準点の計測および地形測量

UAV による写真撮影は, 地震発生 1 週間後の 11 月 29 日と 30 日に実施した. 使用した機材は, いずれも DJI 社の Phantom2 と F450 であり, 搭載したカメラは RICOH 社の GR である. シャッタースピードや絞り等を天候に合わせて調節し, インターバル撮影を行った. 当初, 地表に変位が認められた南北約 9.5 km の全域を撮影予定であったが, 時間と天候の制約により, 約 7 割程度のカバー率に留まった.

地上基準点 (Ground Control Point; GCP) の測量は地震発生 2 週間後の 12 月 3 日と 4 日に実施した. ライカ社 GCP900 を使用し, リアルタイムキネマティック (RTK) 測量を行った. 測量の結果, 119 地点の緯度・経度・標高を得た. なお, RTK 測量に含まれるオフセット性の誤差は, GCP 測量時に四等三角点「二ツ屋」を計測する事により補正した.

本手法による地形計測の妥当性・精度を検証するために, 同時並行でオートレベルによる断面測量とトータルステーション (Total Station; TS) による平面測量を実施した.

3. SfM-MVS による細密 DSM 作成と変位量計測

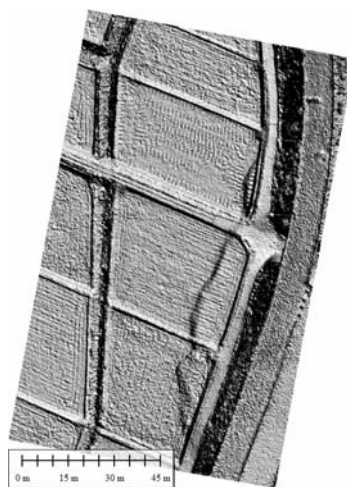
SfM-MVS は, 対象物を多方向から撮影した写真を用い, イメージマッチングの技術を応用することにより大量の 3 次元点群データを生成して 3D モデルを作成する技術である. 本研究において撮影した写真と GCP を用いて SfM-MVS ソフトウェア (Photo Scan Pro) により解析し, 解像度約 5 cm の DSM (図 1) と解像度 2.5 cm のオルソ画像を作成した.

作成された DSM を用いて, 地表地震断層沿いに数 m 間

隔で断面計測を行い, 鉛直変位量を計測した. 変位量は単に崖の比高 (見かけの変位量) を計測するのではなく, 背後のたわみなどの地形を考慮する必要がある. 計測の結果, 鉛直変位量は見かけの変位量よりも過小評価される場所と過大評価される場所が確認された.

4. まとめ

作成した DSM により, 以下のことが明らかとなった. (1) DSM の陰影図からは, 複雑に屈曲し, かつ分岐する地表地震断層のトレースと, トレース近傍の変形だけでなく, 幅数 m にわたってブロードに変形する構造が明瞭に示されている. 特に, 比高 10 cm 以下の微細な変形は, 現地での観察では認識することができないものであり, この手法の優位性を確認できる. (2) オートレベルおよび TS による断面測量結果と DSM による断面計測結果とを比較した結果, より微細な高度変化も捉えていることが確認できる. ただし, 場所によっては 10 cm 内外の誤差が生じるようである. (3) 本来測るべき変位量は単に崖の比高ではなく, 背後のたわみも含める必要があり, DSM を用いることにより, その計測も可能である. 崖背後の地形によっては, 変位量が過小または過大評価される恐れがある.



←図 1. UAV による写真から作成された DSM の陰影図. 水田内に明瞭な変位地形が認められる.

**2014 年神城断層地震地形調査グループ: 松多信尚 (岡山大)・杉戸信彦 (法政大)・鈴木康弘 (名古屋大)・金田平太郎 (千葉大)・廣内大助・山崎福太郎・池田一貴・桐生和樹 (信州大)・石山達也 (東大地震研)・安江健一 (原子力機構)

文献

廣内大助・杉戸信彦・清水龍来 2014. 2014 年 11 月 22 日長野県北部の地震 (長野県神城断層地震) に伴う地表変位と活断層. 活断層研究 41: 口絵 i-ii.

2014 年長野県北部の地震（神城断層地震）に伴う地表地震断層 Surface rupture of the 2014 Kamishiro fault earthquake

廣内大助（信州大）*, 杉戸信彦（法政大）, 金田平太郎（千葉大）, 後藤秀昭（広島大）, 松多信尚（岡山大）,
鈴木康弘（名古屋大）, 2014 年神城断層地震地形調査グループ*

Daisuke HIROUCHI. (Shinshu Univ.), Nobuhiko SUGITO (Hosei Univ.), Heitaro KANEDA (Chiba Univ.),
Hideaki GOTO (Hiroshima Univ.), Nobuhisa MATSUTA (Okayama Univ.), Yasuhiro SUZUKI (Nagoya Univ.),
Geomorphological Research Group for the 2014 Kamishiro Fault Earthquake

キーワード：2014 年長野県北部の地震，神城断層地震，地表地震断層，糸魚川―静岡構造線活断層帯

Key Words: The 2014 Kamishiro fault earthquake, surface rupture, ISTL active fault zone

1. はじめに

2014 年長野県北部の地震（Mj 6.7，長野県は神城断層地震と命名）は，白馬村東部を震源として，11 月 22 日の 22 時 8 分頃発生した．本震や余震からわかる断層面は東傾斜で，犀川丘陵側が西へ乗り上げる逆断層成分が卓越した地震である（気象庁，2014）．今回の地震で確認された地表地震断層は，白馬村北部の塩島付近から神城南部にわたる少なくとも約 9km の範囲で出現した（廣内ほか，2014；鈴木ほか，2015；勝部ほか 2014 など）．発表者らは地震発生翌日から現地を調査を実施し，地表地震断層の分布や断面測量による変位量の計測を行った．これらは地震後に航測会社に依頼し撮影した航空写真にマッピングした．また地表踏査に加えて UAV（小型無人航空機）による空撮，ボールカメラによる高所撮影，地表ライダーによる精密測量を実施して詳細な地表データを収集し，地表モデル（Digital Surface Model; DSM）を作成して，断面計測を行い断層に沿った変位量分布図を作成した．

2. 地表地震断層の分布と変位形態

神城断層については，都市圏活断層図「白馬岳」図幅が 1999 年に刊行され，2010 年には文部科学省の糸静線に関する重点的調査観測が実施され，「糸静線活断層情報ステーション」において詳細な活断層図が公表されている．今回出現した地表地震断層は，多くの場所で既存活断層線に沿って出現した．

・塩島地区

地表地震断層の北端は，城山から北東の姫川方向へ数百 m 出現した．一方松川左岸には，約 300m に渡って最も明瞭な地震断層が出現し，その変位量は東側隆起約 90cm であった．また東方の菅沢では，西側隆起の逆向き断層が認められた．

・大出地区

松川右岸側では，およそ低位段丘の縁に沿う形で地震断層が出現し，道路や農地に断続的に東側上がりの変位が認められた．大出付近では，撓曲崖に沿って断続的な変位が認められ，段丘面上の水田も新たに撓曲した．さらに大出集落から国道 406 号線を連続的に変位させ，南へ約 1km に渡って東側上がりの断層崖を出現させた．また国道 406 号付近では，さらに東方に並走する形でこれまで指摘のない新たな 2 条の地表地震断層が認められた．

大出の南では，地表地震断層は断層推定位置（姫川河床）

を離れ，より西の低位段丘に出現し，白馬駅の南東約 500m 付近まで断続的に追跡できる．その南延長では地表変形は飯森まで途切れている．ただし大塚(2014)では，姫川右岸側の山地内に変形を認めているが，本研究では積雪のため確認できていない．

・飯森地区

既存の断層推定位置の西側に沿う形で，断続的に東側上がりの地表地震断層が出現した．また水田の畦や道路などで，左横ずれ変位も認められた．

・神城地区

西側への撓曲崖の基部で既存の断層線と県道 33 号線が交わる部分に，東側隆起の変位が出現した．それ以外には道路面の短縮などが認められたものの，明瞭な東上がりの変位は見られなかった．

3. 地表地震断層と既存断層線の関係

今回の地震後，既存の断層線と地表地震断層との齟齬が何度か指摘された．特に大出の南方については，断層推定位置の姫川河床ではなく，これまで指摘のない低位段丘上に地表地震断層が出現した．ここにはバルジ状の地形もあり，詳細な検討ができれば，ある程度事前に指摘できていた可能性があった．また大出東方に出現した 2 条の変位などについても，検討の余地がある．ただ多くの地点ではこれまで指摘のある断層線に沿って地表変位が出現している．

また今回の地震では，特に大出地区において，断層直上にいくつかの家屋が見られた．これらは倒壊しなかったが，そのほとんどで傾動や基礎の破壊が見られた．倒壊を免れたのは変位量が十数 cm と小さかったことに他ならない．断層線上の構造物を避ける必要性についても，改めて強く認識できる重要な地震であった．

*2014 年神城断層地震地形調査グループ

池田一貴・桐生和樹・清水龍来・山崎福太郎（信州大）・中田高・熊原康博・北野志歩（広島大）石黒聡士（国環研）宮内崇裕・林星和・阿部将弥・高木颯汰（千葉大）澤祥（鶴岡高専）石山達也（東大地震研）・安江健一（原子力機構）・渡辺満久（東洋大）

引用文献

廣内ほか 2014. 活断層研究 41, 勝部ほか 2014. 活断層研究 41, 気象庁 2014. 気象庁 HP, 大塚 2014. 信州大 HP, 鈴木ほか 2015. 科学 85 岩波書店.

2014年長野県北部の地震(神城断層地震)による 地表地震断層の位置と既存の活断層との関係

100208

Active fault along the Kamishiro fault, Central Japan,
Especially its close coincidence with the location of the surface rupture
associated with the 2014 Kamishiro fault earthquake

澤 祥(鶴岡高専)*, 松多信尚(岡山大), 渡辺満久(東洋大), 鈴木康弘(名古屋大), 中田高(広島大),
2014年長野県北部の地震(長野県神城断層地震)に関する変動地形研究グループ¹

Hiroshi SAWA (Nat. Inst. Tech., Tsuruoka Col.)*, Nobuhisa MATSUTA (Okayama Univ.), Mitsuhisa
WATANABE (Toyo Univ.), Yasuhiro SUZUKI (Nagoya Univ.), Takashi NAKATA (Hiroshima Univ.), and
Geomorphological Research Group for the 2014 Kamishiro Fault Earthquake¹

キーワード: 2014年神城断層地震, 地表地震断層, 活断層, 断層変位地形, 詳細活断層図
Keywords: the 2014 Kamishiro fault earthquake, Surface rupture, Active fault,
Tectonic landform, Detailed active fault map

はじめに

2014年11月22日の長野県北部の地震(神城断層地震, マグニチュード6.7)時に, 長さ約9kmにわたって明瞭な地表地震断層が出現した(廣内ほか, 2014 など). 本地震はほぼ南北方向に走る活断層: 神代断層(東傾斜の逆断層)が活動したものであり, 東西圧縮の場を反映して東上がりの逆断層という変位形態として出現した. 筆者らは, 変動地形学的な手法によって神代断層の詳細活断層図(縮尺 2.5 万分の1, 17断面での変位量計測)を作成していた(松多ほか, 2006; 糸静変動地形グループ, 2007). またそれ以前にも神代断層では活断層図が公表され(澤ほか, 1999; 東郷ほか, 1999; 池田ほか編, 2002), 縮尺 2.5 万~5 万分の1地形図上に活断層線の位置が示されていた. 2014年11月23日から筆者らは地表地震断層の位置, 変位様式, 変位量を現地調査した. 同時に既存の詳細活断層図(松多ほか, 2006; 糸静変動地形グループ, 2007)の改訂作業を行い, 地表地震断層出現位置と既存活断層線との関係を考察した. 地表地震断層の出現位置の確認のために, 地震発生5日後に撮影された高解像度大縮尺空中写真(2014年長野県北部の地震変動地形研究グループ, 縮尺1万分の1)も併せて使用した.

詳細活断層図の再検討

神城断層北部(白馬村北城~神城)の活断層線の位置および連続性を再検討した. 地表地震断層が出現した範囲(北部の姫川第二ダム付近から南部の青木湖北方)の米軍撮影大縮尺空中写真(縮尺約 1.6~2 万分の1, 1947~1948年撮影)を再刊読し, それに地表地震断層調査時の観察結果を加味して松多ほか(2006)と糸静変動地形グループ(2007)の詳細活断層図を改訂した. 活断層線の位置に大きな変更は無かったが, 北部から南部へ向かい, 塩島, 大出, 白馬駅南東, 神城の各地点において活断層線の追加と連続性の変更が行われた. 特に神城においては, 山麓線に沿う比高 1m 程度の東上がりの新期の変位地形と, 東上がりの撓曲崖背後のバックスラストが追加された. また, 松多ほか(2006)と糸静変動地形グループ(2007)の調査範囲外であった野平に, 西上がりの変位地形をあらためて示した.

地表地震断層の位置と既存の活断層との関係

地表地震断層の多くは東上がりの成分を持ち, 既存の活断層の位置と概ねよく一致して現れた. これらは, 東傾斜の逆断層である神代断層の活動を反映したものと考えられる.

北部の塩島と大出では, L2 面(4~7 ka)と L3 面(1~2 ka)を 2~8 m 東上がりで変位させる撓曲崖基部に明瞭な地表地震断層が出現した. 塩島に現れた東上がり 0.9 m の最大変位は, 沖積低地上に新たに認定された比高 1 m 弱の東上がりの撓曲崖の位置と一致する. 研究地域北部では, 変位基準が若いにもかかわらず既存活断層線と地表地震断層の位置の一致が概してよい. また, 大出南延長に位置する白馬駅南東方の L3 面の変位地形と地表地震断層の位置もよく一致する. しかし変位地形の分布が断片的なため, それが無い部分では地表地震断層

は西方に湾曲する様に現れている.

南部の神城付近では, L1 面(10~20 ka)を比高 10 m で東上がりで変位させる明瞭な撓曲崖基部に, 東上がり約 0.3 m の地表地震断層が現れ, 既存断層線と地表地震断層の位置はよく一致する. しかしそれより北の飯田, 飯森に現れた地表地震断層は, 既存の変位地形から 70~200 m ほど西に離れた沖積低地上に出現した.

最北部の野平では, M 面(50~100 ka)を西上がりで切る低断層崖と一致する位置に, 西上がり約 0.4 m の明瞭な地表地震断層が出現し, これは約 1 km 西方に位置する神代断層のバックスラストと解釈できる. 台湾で発生した 1999 集集地震では南投市草屯において, 東上がりの逆断層の背後 2~3 km に位置するバックスラストが, 地震時に主断層の 40% ほどの変位量で活動したことが知られている(太田ほか, 2003).

活断層の長期予測および防災との関連

糸魚川-静岡構造線北部(総延長約 55 km, 白馬~大町: 神城断層, 大町~松本: 松本盆地東縁断層帯)では, 断層変位地形から算出された平均変位速度分布に基いて, 同区間が一括して活動した場合のモーメントマグニチュードが 7.46~7.55 と推定されている(鈴木ほか, 2010). 今回の地震は, この様な固有地震としての大地震よりも一回り以上規模の小さな地震がより短い区間で発生し, 明瞭な地表変位を出現させて変位地形を成長させることを示した. 鈴木ほか(2010)の平均変位速度, 地震時変位量および地震時ネットスリップ分布は, 大町市を境にして北部の神城断層(総延長約 20 km)と南部の松本盆地東縁断層帯の 2 つの部分に別れるようにも見える. マグニチュード 7 弱の神城断層地震によって, 1m 未満とはいえ明瞭な地表地震断層が現れ最大震度 6 弱の強震動が生じ建物被害が発生したことは重要である. 変動地形学的なより詳細な研究によって, 固有地震とより小さな地震の関係を検討する必要がある.

神城断層地震で出現した地表地震断層は, 既存の断層変位地形の位置とよく一致する. 強震動だけでなく地表変位(ずれ)による建物やライプラインの不同沈下, 傾斜そして切断による被害を予測・軽減するために, 詳細な変位地形の位置を周知することは重要である. 神代断層で作成された活断層図では, 逆断層の上盤側の変位(バックスラスト)が示されていないものがある(例えば, 澤ほか, 1999). これは, バックスラストでの変位は逆断層の副次的なものとの考えから生じているのかもしれない. しかし今回の地震では, 上盤側の変位(バックスラストや逆断層の短縮変形に伴う増傾斜や膨らみ)に伴う傾斜異常による建物被害がみられた. 比高 1m 程度の小規模な変位地形や微細な傾斜異常を詳細活断層図に示すことは, 防災上有効であると考えられる.

1: 廣内大助(信州大), 杉戸信彦(法政大), 後藤秀昭(広島大), 熊原康博(広島大), 宮内崇裕(千葉大), 金田平太郎(千葉大), 石黒聡士(国立環境研), 石山達也(地震研), 楢原京子(山口大), 宮坂聡(中日本航空), 千田良道(中日本航空)

2014 年長野県神城断層地震が提起した問題

100262 Issues raised by the 2014 Kamishiro Fault Earthquake, central Japan

鈴木康弘（名古屋大）・廣内大助（信州大）・渡辺満久（東洋大）・2014 年神城断層地震地形調査グループ

Yasuhiro SUZUKI (Nagoya Univ.), Daisuke HIROUCHI (Shinshu Univ.), Mitsuhsa WATANABE (Toyo Univ.)

and Geomorphological Research Group for the 2014 Kamishiro Fault Earthquake

キーワード：活断層，地震断層，2014 年長野県神城断層地震

Keywords: active fault, earthquake fault, the 2014 Kamishiro Fault Earthquake

1. 地震と地震断層の概要

2014 年長野県北部の地震(神城断層地震)は、地震調査研究推進本部(地震本部)が選んだ 110 の「主要活断層」のうち、糸魚川ー静岡構造線(糸静線)の北部が活動して起きたものである。震源断層面が浅かったために局地的に強い揺れが発生し、地表のずれ(地表地震断層)は、既存の活断層地図に示された位置に出現した。しかし、地震本部が予測した地震よりも明らかに「ひとまわり小さい地震」であり、活断層評価に再考を促すものだった。

長野県白馬村において、神城断層に沿って南北約 9km の範囲で地表地震断層が現れ、主な変位は糸静線と調和的な東上がりの逆断層であった。明瞭な断層変位はすぐに見出されたが、撓曲変形については綿密な地形調査を必要とした。水田が傾き、雨水が不均一に溜まったことで断層変位が確認された場所もあった。

2. 「ひとまわり小さい」地震の問題

地震本部は 1996 年に糸静線の評価結果を公表している。その内容は「現在を含めた今後数百年以内に、M8 程度(M7.5~8.5)の規模の地震が発生する可能性が高い。しかし、地震を発生させる断層区間(場所)がどこまでかは判断できない」というものであった。今回の地震はこれに比べて明らかに「ひとまわり」規模が小さい。

予測より規模が小さければ良いという問題ではない。マグニチュードを過大評価すると、その反動で地震発生確率が過小評価される。すなわち、「千年に一度だけ M7.5 の地震が起きる」と考えれば発生確率は低いが、「M6.7~6.9 程度の地震が数百年に一度起きる」とすれば発生確率は高まることに留意する必要がある。

3. 堀之内地区の被害集中が提起する問題

白馬村堀之内地区に甚大な被害が集中した。家屋倒壊率は3割を超えたことから、震度7相当と見られる。その原因は、逆断層直近の上盤側で発生した強震動にある可能性が高い。神城盆地の地盤が軟弱であることを理由にする意見も多々あるが、堀之内地区は上盤側(隆起側)で段丘化しているため、地盤がとくに軟弱だとは言えない。堀之内地区周辺の活断層は複数あり、少なくとも数列は今回の地震時にずれを生じた。集落内に逆向き(西側隆起)の副次的な断層も認められ、堀之内地区は複雑な変形帯に位置する。歴史記録によれば、1714 年の信濃小谷地震の際にも堀之内地区の被害は甚大であった。そのことから約 300 年ごとにこの程度の地震が繰り返しているのではないかという意見もあり、今後の課題である。



黒線：活断層、●：地震断層、○：産総研による地震断層、□：地盤変状
(鈴木ほか,2015,科学 より)

投稿番号：03364

2014 年長野県北部の地震（神城断層地震）に伴う地表地震断層と活断層 Surface rupture of the 2014 Kamishiro fault earthquake

廣内 大助^{1*}；杉戸 信彦²；金田 平太郎³；後藤 秀昭⁴；松多 信尚⁵；鈴木 康弘⁶；石黒 聡士⁷；熊原 康博⁴；2014 年神城断層地震 地形調査グループ¹

HIROUCHI, Daisuke^{1*}；SUGITO, Nobuhiko²；KANEDA, Heitaro³；GOTO, Hideaki⁴；MATSUTA, Nobuhisa⁵；SUZUKI, Yasuhiro⁶；ISHIGURO, Satoshi⁷；KUMAHARA, Yasuhiro⁴；GEOMORPHOLOGICAL RESEARCH, Group¹

¹ 信州大学, ² 法政大学, ³ 千葉大学, ⁴ 広島大学, ⁵ 岡山大学, ⁶ 名古屋大学, ⁷ 国立環境研究所

¹Shinshu Univ., ²Housei Univ., ³Chiba Univ., ⁴Hiroshima Univ., ⁵Okayama Univ., ⁶Nagoya Univ., ⁷National Institute for Environmental Studies

2014 年長野県北部の地震（Mj 6.7, 長野県は神城断層地震と命名）は、11 月 22 日の 22 時 8 分頃白馬村東部を震源として発生した。余震分布から断層面は東傾斜で、東から西へ乗り上げる逆断層成分が卓越した地震である（気象庁, 2014）。今回の地震で確認された地表地震断層は、白馬村北部の塩島付近から神城南部にわたる少なくとも約 9km の範囲で出現した（廣内ほか, 2014；鈴木ほか, 2015；勝部ほか 2014 など）。発表者らは地震発生翌日から現地調査を実施し、地表地震断層の分布や変位量計測を実施し、地表地震断層を地震後に航測会社に依頼し撮影した航空写真にマッピングした。また地表踏査に加えて UAV（小型無人航空機）による空撮、ポールカメラによる高所撮影、地表ライダーによる精密測量を実施して詳細な地表データを収集し、地表モデル（Digital Surface Model; DSM）を作成して、その位置を連続的に示すとともに、断面計測を行い変位量を計測した。

神城断層については、既存の都市圏活断層図や、2010 年の糸静線重点的調査観測による「糸静線活断層情報ステーション」において詳細な活断層図が公表されている。今回出現した地表地震断層は、多くの場所で既存活断層線に沿って出現した。

今回の地震では、地表地震断層の北端に近い白馬村塩島地区の松川左岸において、約 300m に渡って最も明瞭な地震断層が出現し、その変位量は東側隆起約 90cm であった。その南方、松川右岸でも連続的に出現し、大出地区の南まで出現したが、大出の南では、地表地震断層は既存の活断層推定位置（姫川河床）を離れ、より西の低位段丘に出現し、白馬駅の南東約 500m 付近まで断続的に追跡できるが、その南延長は飯森まで途切れている。ただし大塚 (2014) では、姫川右岸側の山地内に変形を認めているが、本研究では積雪のため確認できていない。

飯森地区で再び明瞭に確認できる地震断層は、既存の断層推定位置の西側に沿う形で、断続的に東側上がりの地表地震断層が出現し、左横ずれ変位も認められた。神城地区では西側への撓曲崖の基部に、東側隆起の変位が出現した。それ以外には道路面の短縮などが認められたものの、明瞭な東上がりの変位は見られなかった。

地表地震断層と活断層

今回の地震後、既存の断層線と地表地震断層との齟齬が一部に話題となった。特に大出の南方では、断層推定位置の姫川河床ではなく、これまで指摘のない低位段丘上に地表地震断層が出現した。ここにはバルジ状の地形もあり、詳細な検討ができれば、ある程度事前に指摘できていた可能性があった。また大出東方に出現した 2 条の変位などについても、検討の余地がある。ただ多くの地点ではこれまで指摘のある断層線に沿って地表変位が出現している。

また今回の地震では、特に大出地区において、断層直上にいくつかの家屋が見られた。これらは倒壊しなかったが、そのほとんどで傾動や基礎の破壊が見られた。倒壊を免れたのは変位量が十数 cm と小さかったことに他ならない。断層線上の構造物を避ける必要性についても、改めて強く認識できる重要な地震であった。

* 2014 年神城断層地震地形調査グループ

池田一貴・桐生和樹・清水龍来・山崎福太郎（信州大）、中田高・熊原康博・北野志歩（広島大）、石黒聡士（国環研）、宮内崇裕・林星和・阿部将弥・高木颯汰（千葉大）、澤祥（鶴岡高専）、石山達也（東大地震研）、安江健一（原子力機構）、渡辺満久（東洋大）

引用文献

廣内ほか 2014. 活断層研究 41, 勝部ほか 2014. 活断層研究 41, 気象庁 2014. 気象庁 HP, 大塚 2014. 信州大 HP, 鈴木ほか 2015. 科学 85 岩波書店.

キーワード: 2014 年長野県北部の地震, 神城断層地震, 地表地震断層, 糸魚川—静岡構造線活断層帯

Keywords: The 2014 Kamishiro fault earthquake, surface rupture, ISTL active fault zone

投稿番号：02386

UAVによる低空写真撮影にもとづく2014年長野県北部の地震に伴う地表地震断層の変位量計測

A method for measuring surface rupture displacement by using UAV - Application to the 2014 Kamishiro fault earthquake

石黒 聡士^{1*}; 熊原 康博²; 中田 高²; 後藤 秀昭²; 渡辺 満久³; 宮内 崇裕⁴; 楮原 京子⁵; 杉戸 信彦⁶; 松多 信尚⁷; 廣内 大助⁸; 2014年神城断層地震 地形調査グループ¹

ISHIGURO, Satoshi^{1*}; KUMAHARA, Yasuhiro²; NAKATA, Takashi²; GOTO, Hideaki²; WATANABE, Mitsuhiro³; MIYAUCHI, Takahiro⁴; KAGOHARA, Kyoko⁵; SUGITO, Nobuhiko⁶; MATSUTA, Nobuhisa⁷; HIROUCHI, Daisuke⁸; GEOMORPHOLOGICAL RESEARCH GROUP, For the 2014 kamishiro fault earthquake¹

¹ 独立行政法人国立環境研究所, ² 広島大学, ³ 東洋大学, ⁴ 千葉大学, ⁵ 山口大学, ⁶ 法政大学, ⁷ 岡山大学, ⁸ 信州大学

¹NIES, ²Hiroshima University, ³Toyo University, ⁴Chiba University, ⁵Yamaguchi University, ⁶Hosei University, ⁷Okayama University, ⁸Shinshu University

The surface ruptures associated with the 2014 Kamishiro fault earthquake (Mj 6.7), central Japan was photographed by digital cameras mounted on an unmanned aerial vehicle (UAV) and a high pole. The resulting Digital Surface Model (DSM) generated using the Structure from Motion (SfM) -Multi-View Stereo (MVS) software enabled accurate measurement of the terrain section, as well as variations in directions and amounts of three-dimensional surface displacements. Imaging technology mounted on a UAV is used to obtain widespread surface measurements, while the pole camera is used for the detailed photography of important locations. The accuracy of the DSM will be confirmed by the comparison of our findings with the measurements by other methods, such as auto-level, Total Station, and terrestrial LiDAR.

As a result, we were able to create a DSM of a resolution of a few centimeters. The shaded diagram of the DSM indicates the following: 1) Surface rupture has propagated in an intricately bent and branched manner. 2) Small-scale deformation and deformation along several meters of width have taken place. Subsequently, this DSM was compared with the cross-sectional survey and measurements carried out by the auto-level and LiDAR, and it was confirmed that the DSM is characterized by fine topographic changes. However, an error of about 10 cm could have been present depending on the location.

キーワード: 2014年長野県北部の地震, 地表地震断層, UAV, SfM-MVS, 超高細密 DSM

Keywords: The 2014 Kamishiro fault earthquake, surface rupture, UAV, SfM-MVS, Ultra-high-resolution DSM

投稿番号：02431

2014 年長野県神城断層地震と活断層－何を学ぶべきか？－ Issues posed by the 2014 Kamishiro Fault Earthquake, central Japan

鈴木 康弘^{1*} ; 2014 年神城断層地震地形調査グループ^{*1}

SUZUKI, Yasuhiro^{1*} ; TECTONIC GEOMORPHOLOGICAL RESEARCH GROUP, For 2014 kamishiro fault earthquake¹

¹ 名古屋大学

¹Nagoya University

東日本大震災以降、内陸における地震活動もやや活発化している中で、2014 年長野県北部の地震が起きた。この地震の規模は M6.7 で大きな人的被害を出さずに済んだが、活断層が起こす地震においては局所的に極めて大きな被害を及ぼすことが改めて示され、阪神・淡路大震災から 20 年目にあたり重要な教訓を投げかけた。地震を起こした活断層は地震調査研究推進本部が検討対象としている主要活断層であったが、実際に起きた地震は予測とは大きく食い違っていた。単に規模が小さすぎて検討対象外だったということでは済まされない。これまでのトレンチ調査や変動地形学的調査、あるいは地殻変動研究の考え方を再整理する必要もある。さらに近年、様々な計測機器やリモセン調査手法の進歩があり、地震断層調査に関する緊急調査の体制を議論する機会ともなった。

この地震は、地震調査研究推進本部が選んだ 110 の「主要活断層」のうち、糸魚川－静岡構造線（糸静線）の北部が活動して起きたものである。震源断層面が浅かったために局地的に強い揺れが発生し、地表のずれ（地表地震断層）は、既存の活断層地図に示された位置に出現した。しかし、地震本部が予測した地震よりも明らかに「ひとまわり小さい地震」であり、活断層評価に再考を促した。

地震本部は 1996 年に糸静線の評価結果を公表している。その内容は「現在を含めた今後数百年以内に、M 8 程度（M 7.5～8.5）の規模の地震が発生する可能性が高い。しかし、地震を発生させる断層区間（場所）がどこまでかは判断できない」というものであった。今回の地震はこれに比べて明らかに「ひとまわり」規模が小さい。予測より規模が小さければ良いという問題ではない。マグニチュードを過大評価すると、その反動で地震発生確率が過小評価される。すなわち、「千年に一度だけ M7.5 の地震が起きる」と考えれば発生確率は低いが、「M6.7～6.9 程度の地震が数百年に一度起きる」とすれば発生確率は高まることに留意する必要がある。

白馬村堀之内地区に甚大な被害が集中した。家屋倒壊率は 3 割を超えたことから、震度 7 相当と見られる。その原因は、逆断層直近の上盤側で発生した強震動にある可能性が高い。神城盆地の地盤が軟弱であることを理由にする意見も多々あるが、堀之内地区は上盤側（隆起側）で段丘化しているため、地盤がとくに軟弱だとは言えない。堀之内地区周辺の活断層は複数列あり、少なくとも数列は今回の地震時にずれを生じた。集落内に逆向き（西側隆起）の副次的な断層も認められ、堀之内地区は複雑な変形帯に位置する。歴史記録によれば、1714 年の信濃小谷地震の際にも堀之内地区の被害は甚大であった。そのことから約 300 年ごとにこの程度の地震が繰り返しているのではないかという意見もあり、今後の課題である。

キーワード: 活断層, 地震断層, 神城断層地震

Keywords: active fault, earthquake fault, Kamishiro Fault Earthquake