2014年長野県北部の地震(Mw6.2)に伴う地表地震断層の分布と変位量 Surface rupture and slip associated with the 2014 Nagano-ken Hokubu earthquake (Mw6.2)

Abstract

勝部亜矢* 近藤久雄* 谷口 薫*†
加瀬祐子*

Aya Katsube*, Hisao Kondo*,
Kaoru Taniguchi*† and Yuko Kase*

2015年10月6日受付.

2016年10月13日受理.

* 産業技術総合研究所活断層・火山研究部門
Research Institute of Earthquake and Volcano
Geology, National Institute of Advanced In-
dustrial Science and Technology, Tsukuba
305-8567, Japan

† 現所属: 株式会社パスコ
Present address: PASCO CORPORATION,
Meguro, Tokyo 154-0042, Japan

Corresponding author: A. Katsube,

On 22 November 2014, the Kamishiro Fault, situated along the northernmost segment of the Itoigawa–Shizuoka Tectonic Line, ruptured, causing the Mw 6.2 Nagano-ken Hokubu earthquake. We mapped a 9-km-long surface rupture along the Kamishiro Fault, monitored earthquake-related deformation, and measured co-seismic displacements at 42 localities. The surface rupture consists of main and additional sections. The maximum vertical displacement is 95 ± 17 cm at Shiojima, and the amount of displacement generally decreases to the south. The main and additional rupture traces are divided by a 1-km-wide step-over. The slip distribution and fault geometry indicate that the earthquake rupture terminated at this structure, preventing it from propagating farther to the south. The length of the surface rupture is shorter than the total length (24 km) of the Kamishiro Fault. The main shock epicenter is located near the northern end of the surface rupture, and the aftershock distribution indicates that the source fault extends farther to the north. The relationship between the maximum net displacement of 2.0 m and the surface rupture, or source fault lengths, show a good fit with empirical data. Historical documents suggest that a similar-sized earthquake occurred in the same region in 1714 AD, indicating they may occur at an interval of ~300 years. The 2014 earthquake was a partial rupture on the Kamishiro Fault, unlike the characteristic earthquakes modeled in long-term predictions. A paleo-seismic reconstruction of displacement along the Kamishiro Fault is necessary to understand the recurrence intervals of both irregular and characteristic earthquakes.

Keywords: Itoigawa-Shizuoka Tectonic Line Active Fault system (ISTL), Kamishiro fault, co-seismic slip, surface rupture, moderate-sized earthquake, paleoseismology, Nagano Prefecture

はじめに

2014年11月22日22時08分に発生した2014年長野県北部の地震(2014年地震)は、長野県北信地方で最大震度6弱を記録し、長野県北安曇郡白馬村と小谷村^{おたり}およびその周辺地域に建物の倒壊や道路の破損等の被害をもたらした。地震の規模は気象庁マグニチュード(M)6.7(モーメントマグニチュード(Mw)6.2)で、震源は白馬村北城の高戸山北東(36°41.5'N, 137°53.4'E)の深さ5 kmに位置し、発震機構は西北西–東南東に圧縮軸を持つ逆断層型であった(Fig. 1)。本地震の震央から約2 km西方には北北東–南南西走向に延びる東傾斜の逆断層である神城断層が知られており(例えば、活断層研究会編, 1991)、地震直後から神城断層の活動による地震であると指摘された(勝部ほか, 2014[URL1]; 近藤ほか, 2014[URL2]; 廣内ほか, 2014[URL3]; 大塚ほか, 2014[URL4]; 勝部ほか, 2015; Katsube et al., 2015; Lin et al., 2015; Okada et al., 2015 など)。神城断層は国内で

最も長大な活断層のひとつである糸魚川–静岡構造線活断層系(糸静線活断層系)を構成する、東側隆起の逆断層である(Fig. 1)。

糸静線活断層系は神城断層を最北端とし松本盆地の東縁沿いから諏訪湖を經由して甲府盆地西縁までの総延長約160 kmの活断層帯とされる。この活断層系は断層の形態や連続性から北部・中北部・中南部・南部の4つの活動区間に大きく区分されている(例えば、地震調査研究推進本部, 2015[URL5])。平均変位速度が大きく(5–14 mm/yr)活動間隔が短い(582–843年)中北部区間の牛伏寺断層は将来の地震発生確率が高い断層とされ(奥村ほか, 1994, 1998; Okumura, 2001)、北部区間の神城断層も上下平均変位速度が2–3 mm/yrの活動性の高い断層と考えられている(例えば、今泉ほか, 1997; 下川・山崎, 1987)。糸静線活断層系の最新活動は、信州地域を中心に大規模な被害を出した西暦762年の地震もしくは西暦841年の地震と考えられており(奥村ほか, 1998; Okumura, 2001)、北部区間の最新活動も8～

Fig. 1. Simplified map of the Itoigawa-Shizuoka Tectonic Line (ISTL; black line), the Kamishiro Fault (white line; Kondo et al., 2008), and the epicenter of the 2014 Nagano-hoku earthquake (Mw 6.2). The CMT solution for the 2014 earthquake is shown using a lower-hemisphere equal-area projection (Japan Meteorological Agency, [URL7]).

9世紀であったとすると、その後の経過時間は神城断層の平均活動間隔(1258–1510年; Okumura, 2001)に迫っている。そのため、糸静活断層系北部区間は牛伏寺断層を含む中北部区間と同時に近い将来に活動しM8の大地震を引き起こす可能性が指摘されてきた(地震調査研究推進本部, 2015 [URL5])。さらに、神城断層は長野県北安曇郡小谷村から木崎湖南岸まで約二十数kmにわたって連続する断層として認識され(Fig. 2)、単独で活動するとM7以上の地震を引き起こすと考えられてきた(地震調査研究推進本部, 2015 [URL5]など)。

しかし、2014年地震は北部区間と中北部区間が連動した地震規模だけでなく、神城断層単独で推定されていた地震規模よりも小規模であった。そこで、2014年地震に伴う地表地震断層の分布や性状を整理し、神城断層の活動による地震かどうか検討する必要がある。

また、本地震はM6程度の地震であったにもかかわらず明瞭な地表地震断層が現れた点も特筆すべきである。地表地震断層は比較的浅い場所で発生した大規模な内陸地震に伴い現れることが多く、日本国内でのM7以上の内陸大地震ではほぼ確実に報告されている(栗田ほか, 1996; 松田, 1974; 松田ほか, 1980; 中田ほか, 1995; 堤・遠田, 2012など)。活断層は、地震に伴う地表地震断層が累積して形成された変動地形から識別されるため、M7以上の大地震を起こした(かつ今後も起こす)断層と考えられてきた。また、近年発生した内

陸の被害地震では、M7以下の規模でも多数の負傷者や家屋の全壊等の被害が生じており、M6～7程度の比較的小規模な過去の地震を古地震調査によって見出せば、その発生可能性評価につながる。

さらに、本地震で現れた地表地震断層の断層長と地震時変位量をもとに、活断層の地震規模評価に国内で利用される松田(1974)および松田ほか(1980)の経験式を検証することができる。これらの経験式は、M7以上の横ずれ断層型内陸地震の断層長と地震時変位量から導かれており、横ずれ断層以外の活断層やM7以下の地震を起こす活断層の古地震評価には適切ではない可能性がある。そこで、2014年地震に伴う地表地震断層の地震時変位量・断層長を用いて、特にトレンチ調査や変動地形調査など活断層の古地震調査で得ることができる地震時変位量・断層長に関する経験式の合理性を検討する。

本稿では、2014年地震に伴う地表地震断層の詳細な分布と変位量を明らかにし、本地震の震源断層と既知の神城断層との関係を検討し、断層長と地震時変位量との既報の経験式を検証することを目的とする。その結果から、震源断層長の推定が困難な20km未満の短い活断層(地震調査研究推進本部, 2010)の評価に、地震時変位量の調査が有効であることを示す。

震源域の地形・地質・活断層

2014年地震に伴い地表地震断層が現れた北城盆地および神城盆地周辺の地形と地質をFig. 2, Fig. 3に示す。両盆地は、飛騨山地東縁部を南北に延びる山間盆地で、標高2,600–2,900mの急峻な山頂が連なる西側の飛騨山地と、標高1,600–1,800mのなだらかな尾根が連なる東側の小谷山地に挟まれる。本地域は先中新統と中新統の構造境界で、地質学的区分における糸魚川-静岡構造線上に位置する(中野ほか, 2002)。盆地西側の飛騨山地には、飛騨外縁部を構成する中・古生界が広く分布し、後期白亜～新第三系の貫入岩・火山岩類と後期鮮新～中期更新統の火山岩類が一部に分布する(中野ほか, 2002)。一方、小谷山地には、火山岩と火山碎屑岩類および扇状地性の堆積物からなる鮮新～前期更新統の大峰帯が分布する(小坂, 1991)。大峰帯の東縁である小谷-中山断層のさらに東には、海成層と火山碎屑物を主体とする中新-鮮新統のフォッサマグナ堆積物が分布する(加藤ほか, 1989)。

両盆地を横切る神城断層は長野県北安曇郡小谷村から木崎湖南岸まで全長約二十数kmの区間で認識され、完新世に形成された地形面に低断層崖や撓曲崖が発達する(下川ほか, 1995; 東郷ほか, 1996)。周辺では、北城盆地の北西縁には西側隆起の八方断層が、木崎湖南部以南には東側隆起の糸静活断層系松本盆地東縁断層が知られている(Fig. 2)。北城盆地・神城盆地内には完新世を通じて河川性・湖沼性堆積物が堆積し、更新世以降に盆地内で堆積した湖沼性堆積物が盆地東縁付近の神城断層の上盤側で段丘化している。神城堀之内集落での神城断層のトレンチ調査では湖沼性堆積物から5回の古地震が識別され、地震の再来間隔が1258–1510年と

Fig. 2. Simplified map of active faults (modified after Matsuta et al., 2006) and surface ruptures around the epicenter area of the 2014 earthquake. The aftershock distribution (11/22 0:00 to 12/23 8:00) was determined using the heterogeneous velocity structure in the region (Imanishi and Uchide, 2015). The topographic relief map was produced from 5 m and 10 m DEMs (Geospatial Information Authority of Japan).

見積もられた(奥村ほか, 1998; Okumura, 2001). また、三日市場集落と堀之内集落でのボーリング調査・ジオスライサー調査では 2.4–2.6 mm/yr(下川・山崎, 1987: 始良 Tn テフラの年代を 28000–30000 y.B.P(町田・新井, 2011)として再計算)と 1.5 mm/yr(今泉ほか, 1997)の平均上下変位速度が報告されている。

研究手法

地震発生翌日の 11 月 23 日から 25 日と 12 月 1 日から 6 日に既報の神城断層トレース(活断層研究会編, 1980, 1991; 下川ほか, 1995; 東郷ほか, 1996; 松多ほか, 2001)周辺と、震源域に近接する地質断層の小谷–中山断層・姫川断層(Fig. 3)周辺で踏査を実施した。本調査では、地表地震断層を「2014 年地震を引き起こした断層が地表に出現したもの」と

Fig. 3. Geological map of the surface rupture of the 2014 earthquake and surrounds (modified after Nakano et al., 2002; Kato et al., 1989).

定義し、地震動による側方流動や重力性の地表変状はその他の地表変状として記録した。地表地震断層かどうかの判断は、地震前の変動地形と地表変状の位置が一致し過去の地震でもくり返し変位したことが確認できることや、重力性の変形としては説明できないことを基準とした。地表地震断層とその他の地表変状の位置は携帯型 GPS で記録し、地表地震断層の変位量測定はメジャーやハンドレベルおよびレーザ距離計で可能な限り上下変位・水平短縮・横ずれ変位の三成分を計測した。なお、変位量が大きい舗装道路や畦では、ハンドレベルやレーザ距離計を用い断面測量を実施し、地形断面図をもとに変位量を正確に計測した。レーザ測距計は、Impuls 200(Laser Technology, Inc.) を利用した。Impuls 200 の距離と角度の測量精度はそれぞれ 30 cm および 0.25° 内で、5 m 離れた地点間の比高の測定誤差は 2 cm 以下である。また、飯田集落東方の姫川にかかる橋ではレーザスキャナを用いた 3D モデルを作成し、橋の橋脚付近に生じた水平短縮量を精密に計測した。

地表地震断層の分布と変位量

地表地震断層は、白馬村塩島集落周辺から三日市場集落付近まで神城断層に沿って約 9 km にわたり追跡できる。また、断層の南北端点を結んだ地表地震断層長は約 8 km であった。Figs. 4a, 4b, 4c に地表地震断層およびその他の地表変状が認められた地点と既報の神城断層トレース(糸静線断層帯重点調査観測変動地形研究グループ, 2007)を示す。また、Table 1 に地表地震断層の変位量と測定地点を示す。以下に、地表地震断層の位置や形状および変位量分布を記載する。

1. 梅池^{つがいけ}～塩島

本区間には地表地震断層の北端部が位置し、地表地震断層は断層トレースの屈曲やステップ、バックスラストなど複雑な形状を示す(Fig. 4a)。

地震断層北端の塩島集落の北東では、2 条の地表地震断層が概ね東西走向に並走し、ポップアップ構造を形成する。この 2 条の地表地震断層の北側トレースでは、城山麓から舗装道路の東側の水田内に北側低下の撓曲変形が約 60 m の区間で連続し、舗装道路では上下変位約 30 cm、道路に沿うガードレールでは約 26 cm の水平短縮が測定された(Fig. 4a; NGH27, Fig. 5a)。一方、南側トレースでは、舗装道路から水田内に概ね $N85^\circ E$ 走向に約 200 m の区間で南側低下の撓曲変形が連続して認められた(Fig. 4a; NGH24)。水田で約 20–40 cm 上下変位が、水田に沿う南北方向の側溝で水平短縮約 20 cm が測定された(Fig. 4a; NGH20, 21)。

塩島集落南東では、ポップアップ構造の北側トレースの南延長の城山麓から松川の河原までの畑地、水田、水路、舗装道路、空き地に東側隆起の撓曲変形が約 500 m の区間で連続する(廣内ほか, 2014[URL3])。塩島集落沿いの舗装道路で東側隆起約 90 cm が(Fig. 4a; NGH14, Fig. 5c)、松川左岸に沿う舗装道路で約 95 cm の上下変位が測定され(Fig. 4a; NGH46, Fig. 6)、これは本地震に伴う最大変位である。なお、城山の山頂にはポップアップ構造の北側トレー

スと城山麓から始まるトレースをつなぐ北西側低下の小崖が連続するため、地表地震断層も小崖に沿って連続すると考えられる。

一方、姫川右岸の野平集落が位置する西側傾斜の高位段丘面上には、整地されたグラウンドの東端に東側低下の撓曲変形がみられた(Okada et al., 2015)。ここには活断層トレースはこれまで報告されていないが、グラウンド整地以前の 1948 年に撮影された空中写真には比高は不明なものの段丘面より高い小丘が存在し、現在のグラウンドの東端の位置に逆向き断層崖が確認できる。しかし、2014 年地震で現れた撓曲変形の上下変位量は 10 cm 以下と小さく、この地表地震断層と活断層は南北への連続が明瞭ではない。また、野平集落西方では姫川に掛かる水神宮橋の東側の舗装道路から姫川の河床中のブロックに不明瞭ながら傾動と上下変位 10 cm 以下の撓曲変形が認められた。この撓曲変形は東側隆起であり、段丘上の地表地震断層とは連続しない地表地震断層と考えられる。

また、松川と姫川の合流地点付近の盛土と水田上に西側隆起の撓曲変形が約 350 m 連続する。撓曲変形は盛土上では $N21-51^\circ E$ と走向変化しながら連続し、約 20–60 cm の上下変位が認められた(Fig. 4a; NGH49-53)。水田内では上下変位 30–40 cm、隣接する側溝では短縮変形 20 cm が測定された(Fig. 4a; NGH48, Fig. 5b)。この地表地震断層トレースは大局的には $N30^\circ E$ 走向で、西側に並列するメイントレースのバックスラストと考えられる。

なお、Fig. 4 の範囲外であるが、塩島集落より北方の姫川沿いにも変位量 10 cm 以下の短縮変形が地すべり地形の中に認められた。これらの短縮変形は、いずれも既存の変動崖と一致せず、地表地震断層と判断しなかった。本範囲には、小谷村千国で姫川左岸の千国駅駅舎の側道と連絡通路に短縮変形が報告されている(中埜ほか, 2015)。しかし、この変形は側道の擁壁が山側から姫川方向へ約 20 cm 孕み出した地点から数 m の範囲に限られる。そのため、西側の山地の地すべり土塊末端で生じた短縮変形と考えられる。また、塩島集落より北方では 2014 年地震時に小谷村千国崎などで山側から姫川に向かって多数の地すべりが発生しており、姫川沿いの短縮変形は山地からの地すべりに起因すると考えられる。

2. 塩島～飯田区間

本区間には、一般走向 $N20-25^\circ E$ の 3 条の東側隆起の地表地震断層が現れた。

松川右岸から追跡される 1 条目(北側)の地表地震断層は、白馬^{おおいで}駅の東まで約 1 km 連続する。そのうち、松川右岸から大出集落南の国道 406 号線までは、既存の神城断層トレース(糸静線断層帯重点調査観測変動地形研究グループ, 2007)に沿う。本トレースの北端は松川右岸の湿地内で、 $N20^\circ E$ 走向の東側隆起の撓曲変形が北流する小河川の河床に認められ、この河床の隆起によって河川の堰止めと緩やかな逆流が観察された(Figs. 4a and b; NGH45)。これより南では、東側隆起の撓曲変形が大出集落北の舗装道路と未舗装道路を横断し(Fig. 4b; NGH44)、神城断層の低断層崖とされている。

Fig. 4. Detailed map of the distribution of the surface rupture and related surface deformation associated with the 2014 Naganoken Hokubu earthquake. Active fault traces are modified from Matsuta et al. (2006), and base maps are derived from 1:25,000 digital topographic maps published by the Geospatial Information Authority of Japan.

Fig. 4. Continued.

Fig. 4. Continued.

Table 1. Survey sites and slip measurements of the surface rupture associated with the 2014 Nagano-ken Hokubu earthquake.

Site	Tault strike	Trace †1	Slip (cm) †2				Location		
			V	H	L	Total	Latitude	longitude	
NGH23		M	10			10	36° 42' 47.0" N	137° 52'	55.1" E
NGH22		P	4			4	36° 42' 45.1" N	137° 52'	59.0" E
NGH27	95	M	30	26		40	36° 42' 45.0" N	137° 52'	51.2" E
NGH21	280	P	20			20	36° 42' 41.4" N	137° 52'	57.5" E
NGH20	85	P	40			40	36° 42' 41.1" N	137° 52'	56.4" E
NGH24		P		20		20	36° 42' 40.0" N	137° 52'	51.0" E
NGH14	31	M	90			90	36° 42' 29.7" N	137° 52'	38.4" E
NGH53	51	B	20			20	36° 42' 28.7" N	137° 52'	58.6" E
NGH52		B	30			30	36° 42' 28.0" N	137° 52'	57.5" E
NGH51	26	B	40			40	36° 42' 26.4" N	137° 52'	56.6" E
NGH47		M	80			80	36° 42' 26.4" N	137° 52'	35.6" E
NGH50	21	B	50			50	36° 42' 24.9" N	137° 52'	55.9" E
NGH46		M	75			75	36° 42' 23.8" N	137° 52'	33.1" E
NGH49	30	B	60			60	36° 42' 23.3" N	137° 52'	54.8" E
NGH48	40	B	30			30	36° 42' 20.2" N	137° 52'	52.2" E
NGH54	20	B	40			40	36° 42' 10.6" N	137° 52'	47.8" E
NGH44	25	M	50			50	36° 42' 2.8" N	137° 52'	20.0" E
NGH13		M	40			40	36° 41' 50.0" N	137° 52'	11.4" E
NGH42	75	M		30		30	36° 41' 42.6" N	137° 52'	0.8" E
NGH40	40	M	20			20	36° 41' 41.5" N	137° 51'	54.9" E
NGH41	35	M	20			20	36° 41' 40.0" N	137° 51'	54.4" E
NGH39	30	M	15	15		21	36° 41' 34.5" N	137° 51'	49.8" E
NGH38	30	M	15	4		16	36° 41' 28.6" N	137° 51'	43.9" E
NGH32	20	M		8		8	36° 41' 15.4" N	137° 51'	37.7" E
NGH31	170	M		5		5	36° 41' 13.9" N	137° 51'	37.4" E
NGH16-2	20	M	30			30	36° 40' 14.6" N	137° 51'	8.3" E
NGH16	20	M	50			50	36° 40' 9.3" N	137° 51'	5.8" E
NGH15-2	20	M	50			50	36° 40' 0.1" N	137° 51'	5.3" E
NGH15	315	M	70			70	36° 40' 0.8" N	137° 51'	6.1" E
NGH12		M		60		60	36° 39' 48.0" N	137° 51'	6.5" E
NGH11	272	M	20		20	28	36° 39' 42.7" N	137° 51'	10.1" E
NGH37		M		2		2	36° 39' 34.4" N	137° 51'	12.8" E
NGH09		M		1		1	36° 39' 27.9" N	137° 51'	23.6" E
NGH35		M		5		5	36° 39' 27.6" N	137° 51'	18.0" E
NGH33	14	M		4		4	36° 39' 20.8" N	137° 51'	20.8" E
NGH34	14	M		12		12	36° 39' 20.6" N	137° 51'	21.3" E
NGH08		M		28		28	36° 39' 13.7" N	137° 51'	23.5" E
NGH07		M		5		5	36° 39' 6.9" N	137° 51'	28.8" E
NGH06	5	M		21		21	36° 39' 4.4" N	137° 51'	26.5" E
NGH05	61	M	2	2		3	36° 39' 4.0" N	137° 51'	31.3" E
NGH04		M		4		4	36° 38' 59.8" N	137° 51'	28.9" E
NGH19-2	65	M	10		15	18	36° 38' 47.4" N	137° 51'	40.3" E
NGH19	65	M	3		4	5	36° 38' 45.9" N	137° 51'	39.2" E

†1 Code of fault trace. M: main trace, B: back thrust trace, P: southeastern trace of pop-up.

†2 Type of measured slip. V: vertical slip, H: horizontal slip, L: lateral slip. Total slip is geometrically calculated as a net slip using different two types of slip data.

た明瞭な段丘崖の基底部に連続する。この舗装道路上では上下変位約 50 cm が測定された。この撓曲変形の連続は大出集落内で N30–40°E 走向に追跡できる。また、大出集落北の低断層崖では、隆起側の段丘面上に断層の走向とほぼ平行な撓曲崖や断層と直交する北側低下の撓曲崖が現れた。大出集落南では、東西に延びる国道 406 号線を撓曲変形が横断し、40 cm の東側隆起の上下変位が計測された (Fig. 4b; NGH13)。撓曲変形は国道 406 号より南の未舗装道路と宅地、畑地に N60°E 走向へ大きく屈曲しながら追跡できた。NGH42 (Fig. 4b) 地点の舗装道路沿いの側溝には 30 cm の短縮変形が認められ、その南の畑地内で撓曲変形は不明瞭となった。

2 条目 (中央) の地表地震断層は、1 条目の断層トレースから約 150 m 西にステップし、白馬駅南東から深空集落^{みそら}まで約 1 km にわたって延びる。このトレースの最大上下変位は約 20 cm と小さいが、概ね N40°E 走向で畑地、舗装道路および民家の庭等に連続して認められる。NGH41 地点 (Fig. 4b) の舗装道路では N35°E 走向に撓曲変形が現れ、上下変位約 20 cm の東側隆起が確認された。用水路を挟みさらに南方では、白馬村体育館東の舗装道路に短縮変形が認められた。これに連続し、水田内に N30°E から N85°W に走向を変化し蛇行する東側隆起の撓曲変形が認められた (Fig. 4b; NGH39, Fig. 5e)。同地点付近の側溝では 15 cm の短縮が、地表地震断層が撓曲変形を伴いながら横断する畦では約

Fig. 5(←, ↑). Photographs of surface ruptures (arrowheads). (a) Northern end of the surface rupture [URL1]. An asphalt road is deformed with relative uplift on the southern side, and a guardrail is shortened on the northern trace of the pop-up structure. (b) Back-thrust with relative uplift of the western side, extending ~600 m (Kondo et al., 2015). The flexure scarp running through paddy fields shows a distinct boundary between the water-filled area of the down-thrown side and the snow-covered area of the up-thrown side. The fault trace along this section extends parallel to the main traces. (c) Flexure of an asphalt road, a stream, and a paddy field, at one of the largest slip sites (Kondo et al., 2015). The stream, obliquely cross-cut by the flexure scarp, shows apparent left-lateral deformation, and the road and footpath between the paddy fields show pure reverse deformation. (d) Flexure exposed on an asphalt road (Route 406) and continuing towards the south side of a small mound. (e) Flexure scarp in a paddy field near the Hakuba Village Gymnasium, continuing toward the west side of a small mound [URL1]. (f) Subtle flexure on an asphalt surface [URL1]. Snow remains on the up-thrown side of the flexure. (g) House tilted 2° to the west [URL1]. Deformation extends from the asphalt road in front of the house to a crack in the house wall. The surface rupture runs just under the house. (h) Fault scarps in paddy fields flattened by agricultural farmland consolidation in the 1950s (Kondo et al., 2015). (i) Buckling of an asphalt road [URL2]. Shortening is also observed in side ditches, but not in nearby paddy fields. Okumura (2001) excavated paleo-seismic trenches in the paddy fields just behind the road in the photograph. (j) Deformation on the asphalt road (prefecture road 55) and guardrail [URL2]. (k) Shortening in an asphalt road along the Yachigawa River (Kondo et al., 2015) at the southernmost end of the surface rupture in the Kamishiro Basin. Shortening is observed south of NGH4 and is associated with extensional structures formed by lateral deformation. (l) Flexure with right-lateral deformation along a mountain ridge [URL1]. The flexures strike oblique to the Kamishiro Fault (N 25°E), thus representing the lateral component of deformation.

10–15 cm の上下変位を伴う東側隆起が確認された。これより南の舗装道路・側溝・畑地上では短縮変形や微弱な撓曲変形が概ね N25°E 走向に断続的に生じていた。白馬村体育館の駐車場と舗装道路の境界部には、東側隆起の上下変位 15 cm と短縮変形 4 cm が測定され (Fig. 4b; NGH38)、さらに南の舗装道路と側溝に 10 cm 以下の短縮変形が認められた (Fig. 4b; NGH32, Fig. 5f)。NGH31 (Fig. 4b) 地点では、舗装道路上と近接する側溝に約 5 cm の短縮変形が認め

られ、舗装道路の南に位置する家屋が東側隆起の撓曲変形により約 2° 西に傾いていた (Fig. 5g)。撓曲変形は南方へ減衰し、この地点から南に約 10 m で消失した。

3 条目 (南側) の地表地震断層は飯森集落から飯田集落まで東側隆起の撓曲変形が小刻みに蛇行しながら追跡できる (Fig. 4c)。なお、2 条目と 3 条目のトレースの間には変位は認められなかったが、これは姫川の河床に生じた変位を識別できなかったか、姫川の浸食により速やかに消失したこと

Fig. 6. Example of vertical displacement measured across a surface rupture obtained from a topographic profile at NGH46, showing (a) an aerial photo taken after the 2014 earthquake (Google; © 2015 DigitalGlobe); and (b) a topographic profile (A–B) of the displacement. The displacement amount is 0.95 ± 0.17 m. The relative elevation was measured using an Impulse series 200LR laser rangefinder (Laser Technology).

による可能性が考えられる。3 条目 (南側) の地表地震断層は 2 条目の地表地震断層より変位が大きく、最大上下変位量は 70 cm であった。飯森集落東方の姫川沿いに現れた撓曲変形は県道 31 号線を横断し、県道西側では水田中に約 250 m の区間で蛇行しながら連続する。この水田中の撓曲変形では東側隆起の上下変位 30–50 cm が測定された (Fig. 4c; NGH16, 16-2, Fig. 5h)。その南延長では N45°W 走向の撓曲変形が県道 31 号を横断し、県道には北東隆起の上下変位 50 cm が (Fig. 4c; NGH15-2)、東側に並走する側道では北東側隆起の上下変位 70 cm が測定された (Fig. 4c; NGH15)。さらに南では、姫川にかかる橋の右岸側の主桁と橋脚の接合部に明瞭な短縮変形が認められた (Fig. 4c; NGH12, Fig. 7)。この短縮量を計測するため、レーザスキャナ測量をもとに 3D モデルを作成し、表面からは観察できない破損したアスファルトの下面側の構造を確認した (Fig. 7)。二列並ぶ破損のうち、東側の亀裂は撓曲変形により浮き上がり破断しているため短縮変形が認められないが、西側の破断は橋脚側のアスファルトが覆いかぶさるように重なり顕著な短縮変形を生じていることが確認された。3D モデルをもとにした計測によって、西側の破断は少なくとも 60 cm の短縮を伴うことが明らかになった。この短縮量は橋脚の南側で飛び出した塩化ビニールパイプから推定された短縮量 (Fig. 7e) と概ね一致する。

2 条目と 3 条目のトレースの間は、姫川の両岸に短縮変形が認められなかったが、変位を識別できない河床に地表地震断層が延びていた可能性が考えられる。ただし、Lin et al. (2015) は本区間において小谷山地内に地表地震断層が現れたと報告している。その位置には、最大 1.8 m の高さの低崖が谷地形に沿って認められたが、非常に高角なすべり面 (N10°W, 78°S) が連続することから、本研究では地すべり

に伴う滑落崖と判断した。また、姫川右岸の山地斜面基部に連続した撓曲変形が報告されている (大塚, 2014 [URL4]) が、より東側の山地斜面には滑落崖が存在しており、これらの撓曲変形は地すべり土塊末端で生じた短縮変形と判断した。

以上から、塩島集落から飯田集落にかけての地表地震断層は、深空集落から飯森集落間では姫川に沿うと考えられるが、概ね連続的に分布し、変位量も 20–95 cm と大きく、2014 年地震を引き起こした断層の主要な活動区間と考えられる。

3. 飯田～三日市場区間

この区間では、30 cm 以下の短縮変形と見かけの横ずれ変位が断続的に認められる。NGH11 (Fig. 4c) 地点では姫川から東方向に約 100 m の区間に水田と未舗装道路を横切って N88°W 走向に延びる撓曲崖が認められた。この未舗装道路では北側隆起の上下変位 20 cm、左横ずれ変位 20 cm が計測された。また、NGH 36 (Fig. 4c) 地点でも 10 cm 以下の上下変位を伴う北側隆起の撓曲変形が姫川から水田内に N60°W 走向に連続し、水田内で消失する。これより南の飯田集落東の水田内には明瞭な撓曲変形は認められないが、舗装道路のアスファルト面にバックリングや破損が断続的に分布していた。これらの変状は既報の神城断層トレースの 100–500 m 西に位置し、NGH37, NGH35, NGH9, NGH33, NGH34, NGH8, NGH7 地点の側溝において短縮変形 1–28 cm が計測された (Fig. 5i)。また、堀之内集落の南を東西に延びる県道 31 号線と県道沿いのガードレールに約 20 cm の水平短縮量が認められた (Fig. 4c; NGH6, 5, Fig. 5j)。その南では、谷地川沿いの舗装道路と側溝で 3 cm の短縮変形が認められた (Fig. 4c; NGH4, Fig. 5k)。この地点以南の神城盆地内にも地表地震断層の報

Fig. 7. Deformed asphalt road at the eastern end of the bridge over the Himekawa River at NGH12. (a) Plan view of the 3D model created from ground laser scanning data with the viewing direction of photographs (b) and (e), and the location of cross-section line (d). (b) Photograph (Kondo et al., 2015) taken just after the earthquake shows the front of the shortening deformation, looking east. (c) Plan view of the 3D model constructed using point cloud data. (d) Cross-section through the shortening showing that two sheets of asphalt were turned up. Sheet A was piped up by shortening, whereas sheet B was not. (e) Shortening at the end of the bridge showing a pipe displaced by 60 cm.

告(Okada et al., 2015)がある。しかし、我々の調査では、舗装道路の破損や水田中の変状のいずれでも開口する引張成分が短縮変形を上回ることが確認できたため、地震動により励起された側方流動に伴う変状と判断した。よって、谷地川以南の既知の神城断層トレースには、地表地震断層は生じなかったと考えられる。

また、被害の集中した三日市場集落の東に位置する北西向き山麓斜面に面した資材置き場では、 $N80^{\circ}E$ 方向の開口クラックが $N65^{\circ}E$ 走向に約 600 m の区間で杉型に雁行配列する (Fig. 4c; NGH19, 19-2, Fig. 5I)。ここではコンクリートの断裂部から右横ずれ変位約 4–15 cm と、南東側が相対的に隆起する上下変位約 3–10 cm が認められた。この断層はこれまで活断層として指摘されていないが、三日市場集落内および集落南西で報告される $N30-60^{\circ}E$ の神城断層 (東郷ほか, 1999) の上盤側に位置し、逆断層上盤側で形成された副次的な断層と考えられる。

以上のように、飯田から三日市場にかけての地表地震断層は既報の神城断層トレース周辺に断続的に分布し、変位量は 30 cm 以下と小さかった。

4. 変位量分布と断層傾斜角

神城断層の一般走向である $N25^{\circ}E$ 方向に投影した変位量分布を Fig. 8 に示す。ポップアップやバックスラストなど主断層と並走する断層線上の変位量は、並走する主断層の変位量分布の上に重ねるように表示した。変位量分布には 3 つのピークが認められる。本地震断層での最大変位量である 1.4 m (上下変位量の合算値) を示した塩島集落を中心とするピークは、南に向かって変位量の減少が認められた。また、最大上下変位量 70 cm を示した NGH15 地点を中心とした飯森集落から飯田集落までのピークは南北に変位量を減ずるような傾向を示す。さらに、飯田集落から三日市場集落までのピークは堀之内集落の水田の側溝に認められた 28 cm の水平短縮を最大とし、30 cm 以上の変位量は認められなかった。そこで塩島集落から飯田集落までを本地震を引き起こした断層の主活動区間とし、飯田集落以南を副活動区間とした。主活動区間の全体を見ると、震央が位置する北から南へ変位量が減少する傾向が認められた (Fig. 8)。

2014 地震に伴う地表地震断層は断層走向に横ずれが認められないことから、地震時の変位はほぼ縦ずれ成分のみだっ

Fig. 8. Strike-parallel distribution of field measurements showing (a) vertical, (b) horizontal, and (c) total displacements associated with the 2014 Nagano-ken Hokubu earthquake. Symbols connected by lines show the maximum and minimum values measured at the same site. Back-thrust traces run parallel to the main trace. The slip values of the pop-up and back-thrust traces are plotted as the integrated values with linear interpolated values between adjacent two measured sites on the main trace. Values of net slip are calculated from values of vertical and horizontal slip.

たとえられる。そのため、断層のネットスリップは地表地震断層の最大上下変位量と断層の傾斜から求めることができる。断層の傾斜 α を地表地震断層の上下変位量 V と水平短縮量 H から算出すると($\tan \alpha = V/H$; 例えば、松田ほか, 1980), 我々の調査で両パラメータが測定された3地点(NGH19, NGH19-2, NGH11)の α は $45\text{--}49^\circ$ となった。また、最大変位量を記録した塩島集落付近で実施された反射法地震探査では、深さ約500 mまでの地表付近の反射面に東傾斜約 60° の断層構造が認められている(川島ほか, 2015)。断層の傾斜は表層地質によって変わるため、 α を $45\text{--}60^\circ$ とし、最大上下変位量1.4 m (Fig. 8, 塩島集落付近)として計算すると、ネットスリップは1.6–2.0 mと推定される (Fig. 9; Table 2)。

議 論

1. 既知の活断層トレースと地表地震断層の位置関係

神城断層は、これまでにいくつもの活断層図が改定し公表されており(活断層研究会編, 1980, 1991; 下川ほか, 1995 など)、近年では、大縮尺の地形図や空中写真・写真図化を利用した地形判読から詳細な活断層トレースが報告されている(東郷ほか, 1996; 松多ほか, 2006; 糸静線断層帯重点調査観測変動地形研究グループ, 2007)。

2014年地震の地表地震断層と既報のトレースを詳細に比較すると、両者の位置は概ね一致する。特に塩島集落の北東から大出集落の南まで続くトレースは既報の逆向き低断層崖とほぼ完全に一致した (Fig. 4a, b)。また、姫川による断層

崖の浸食により位置不明瞭とされていた(例えば、松多ほか, 2006)、飯森集落から飯田集落までの区間は、姫川沿いの極めて新しい沖積面上に地表地震断層が現れ、従来の地形判読通り、断層が伏在していたことが明らかになった (Fig. 4c)。一方、白馬駅東方から深空集落南方までの区間は、既報の活断層トレースは位置不明瞭として姫川沿いに示されていたが(例えば、松多ほか, 2006)、地表地震断層は姫川左岸側に現れた (Fig. 4b)。ここは飛騨山脈から東流する平川の扇状地面上にあたり、これまで変動地形は認定されていなかった。しかし、大出集落南方のNGH13地点 (Fig. 4b) や体育館東 (Fig. 4b; NGH39 南) では扇状地面上の小規模な丘に沿って地表地震断層が認められた。さらに、1940年代の米軍撮影によるモノクロ空中写真や1970年代のカラー空中写真を見直すと、平川の扇状地面上に地表地震断層出現位置と一致する逆向きの低断層崖が断続的に認められた。この微小地形は連続性が乏しく、地震前には認識されていなかったと考えられる。このことから、この白馬駅東方から深空集落までの地表地震断層も新規の断層ではなく、神城断層の一連のトレース上に現れたと言える。以上のことから、本地震は、神城断層の再活動による地震であることは確実であろう。

神城断層は活断層研究会編(1980, 1991)では小谷村北小谷から木崎湖南岸までとされていたが、近年、断層北端部の小谷村から白馬村梅池までの区間には後期更新世以降の活動が認められないと指摘されている(東郷ほか, 1996)。一方、南端部に関しては、木崎湖南岸で低断層崖が認定され、断層が大町市街地北部まで続くことが示され(東郷ほか, 1996;

(a) Detailed map around the maximum displacement sites

(b) Before the 2014 earthquake

(c) Present

Fig. 9. Schematic diagram showing measurements of total maximum displacement associated with the 2014 Nagano-ken Hokubu earthquake, around the Matsukawa River. (a) A–B shows the location of the cross-section (base maps derived from 1:5000 digital maps published by the Geospatial Information Authority of Japan). (b) Cross-section prior to back-thrusting caused by the 2014 Nagano-ken Hokubu earthquake. (c) Cross-section after the earthquake. The fault dips of both the main and back-thrust are presumed to be 45°.

松多ほか, 2006; 糸静線断層帯重点調査観測変動地形研究グループ, 2007), 神城断層の全長は約 24 km となる。しかし, 2014 年地震に伴う地表地震断層の全長は約 8 km であり, 既知の神城断層の全長に対して 16 km も短かった。

神城断層の北端は活断層研究会編(1980)などで樽池周辺, 東郷ほか(1996)などで新田集落 (Fig. 4a) の完新世の扇状地を切る低断層崖とされたが, 2014 年地震の地表地震断層は塩島集落周辺より北には出現しなかった。既報の神城断層ト

Table 2. Estimated fault length and magnitude using the maximum co-seismic slip of the 2014 Nagano-ken Hokubu earthquake.

Fault dip (Degree)	Max. geologic net slip (m)	Estimated fault length (km)		Estimated magnitude
		Matsuda et al. (1980)	Wesnousky (2008)	
30	2.8	28	13	7.4
45	2.0	20	9.4	7.2
60	1.6	16	7.7	7.0

レースの北端部に地表地震断層が出現しなかったことは, 神城断層の北部で活動性が低下しているとする見解(東郷ほか, 1996)と整合的である。また, 2014 年地震の余震の震源分布から, 本震の震源断層面は地表地震断層の北端よりさらに北へ約 5 km 以上は延長していたと考えられ, その区間の地下では複数の断層面が認められている(酒井ほか, 2015)。後述するように, より規模の大きい地震が発生する際には新田集落以北の活断層も活動する可能性もあるため, 当区間で今後古地震調査を実施し検討する必要がある。

また, 地表地震断層の南延長にはバルジの配列・地形面の食い違い・低断層崖等の神城断層の明瞭な変動地形が認められていたが, それらに沿って地表地震断層は現れなかった。さらに, 飯田集落から三日市場集落までの区間は地表地震断層が現れたものの, 前述のように既知の明瞭な低断層崖と一致せず, 変位量も 30 cm 以下と小さいため, 2014 年地震での主要な活動部分ではなかったと考えられる。これは, 地震後の InSAR により推定された上下地殻変動(国土地理院, 2015 [URL6])とも整合的である。

2. 地表地震断層の分布と変位量, 活動性

2014 年地震に伴う変位量分布の急変部と地表地震断層の分布形態は関連していると考えられる。上述のように, 主要な活動区間と副活動区間の境界とした飯田集落東方では 400 m の短い区間を境に地震時の上下変位量が 60 cm (NGH12) から 20–30 cm (NGH36) へと減少する (Fig. 8)。ここでは, 既存の神城断層トレースが幅約 1 km で左ステップする関係にあり, 約 10° の走向変化も伴っている。この断層不連続はわずかであるが, 地表地震断層および変位量分布から判断してこのステップが今回の地震時の破壊停止地点となったと考えられる。これは, 地表の詳細な活断層分布から破壊停止位置およびセグメント境界の候補を事前に推定できる可能性を示しており (例えば, Kondo et al., 2005; Wesnousky, 2006), 1 km 程のステップ幅であってもセグメント区分や活動区間の推定に有効な指標となると考えられる。

さらに, 地形・地質学的に推定された神城断層の長期的な活動性と本地震の活動が一致しないことがわかった。2014 年地震において断層の主要な活動が認められなかった堀之内集落や三日市場集落では, これまでに古地震調査や変位速度の推定が行われ, 神城断層の活発な活動が指摘されている。

Fig. 10. Distribution of seismic intensity of (a) the 1714 Shotoku Otari Earthquake based on historical documents (Tsuji, 2003); and (b) the 2014 Nagano-ken Hokubu earthquake (Headquarters for Earthquake Research Promotion, 2014) [URL8]. The seismic intensity of the 2014 earthquake follows the Japan Meteorological Agency seven-stage seismic scale.

(奥村ほか, 1998; 今泉ほか, 1997; 松多ほか, 2001; 下川・山崎, 1987). 堀之内集落西でのトレンチ調査で報告されている4回の古地震の1000–2400年の地震間隔(奥村ほか, 1998)と、三日市場集落でのボーリング調査による2.4 mm/yrの平均変位速度(下川・山崎, 1987)から、1回の地震時変位量は1.0–2.4 mと推定できる。しかし、堀之内集落や三日市場集落では2014年地震に伴う地表地震断層は30 cm以下の変位量しか認められず(Fig. 8), 2014年地震より大きな地震時変位が繰り返さない限り既報の平均変位速度を説明できない。また、飯森集落と三日市場集落では、安定した湖水環境で水平に堆積したと考えられる始良 Tn テフラ(28000–30000 y.B.P)が断層上盤側の湖成段丘構成層中にほぼ同一標高で見つかっており、両地域の累積変位量はほぼ同じと推定されている(松多ほか, 2001)。しかし、2014年地震に伴う地表地震断層の変位量は飯森集落と三日市場集落でそれぞれ50–70 cmと10 cm以下と大きく異なる。すなわち、2014年地震の変位量分布の単純な繰り返しだけではテフラが示す長期的な累積変位を説明できない。よって、2014年地震と同様な変位量分布の断層運動だけが後期更新世に繰り返し生じたとは考えられない。そのため、神城断層の平均変位速度を決める長期的な地表変位の累積には、2014年地震のような中規模の地震による断層変位の寄与は非常に小さく、主としてM7クラスの地震による数mオーダーの断層変位が繰り返すことで生じたと考えられる。したがって、今回のMw6.2の2014年地震は神城断層の一部の区間の活動によって引き起こされた非固有の地震と考えられる。一方で、神城断層での過去の断層運動については、大きな断層変位が推定される固有地震と2014年地震のような非

固有地震それぞれの地震時変位量と、長期間の平均変位速度をより多地点で詳細に復元する必要がある。そのようにして固有地震・非固有地震それぞれの発生頻度を明らかにすることで、従来よりも正確な地震発生予測が可能になるものと期待できる。

3. 1714年正徳小谷地震との類似性

長野県白馬村周辺を震源とする被害地震は歴史時代にも知られており、その顕著な例は1714年正徳4年3月15日に発生した小谷地震(1714年地震)である(宇佐見ほか, 2003; 都司, 2003)。大きな被害は小谷村の姫川沿いに生じたこととされ、千国の坪の沢集落において山崩れが生じ、北城盆地から小谷村にかけての姫川が湛水し、57戸の家屋のうち9戸が潰家、30名の死者が出たことが記録されている。また、小谷、北城、神城、堀之内集落においても48戸の潰家と14名の死者が生じている。現在の大町市にあたる大町組においても194戸の潰家と141戸の半壊が記録されている。さらに、長野善光寺において石垣が崩れ、石塔が転倒し、松代領で潰家48戸、半壊127戸が報告されている。また、余目(山形県庄内町)、江戸、上田、松本、駒ヶ根など遠方でも有感地震の記録が残されており、これらの被害記録から地震規模はM6.25と推定されている(宇佐美ほか, 2003)。これらの被害分布は、建物の耐震強度の違いを加味しても、2014年地震で発生した被害とよく似ている(Fig. 10)。2014年地震においても、小谷村、白馬村堀之内集落に全壊した家屋が集中し、長野市や大町市でも全壊や半壊の被害が出ている。また、姫川周辺での崩落や地すべりが多発しており、白馬村から小谷村へ至る国道148号線では大規模な土砂崩れのために通行止めとなった。

Fig. 11. Relationship between the maximum values of co-seismic surface displacement and surface rupture, or source fault length, of the 2014 Nagano-ken Hokubu earthquake (this study), and a historical crustal earthquake dataset (compiled by Wesnousky, 2008). The solid line is a regression line for the reverse fault data proposed by Wesnousky (2008), and the dashed line is an experimental trend based on the source fault length of Japanese inland earthquakes occurring between 1891 and 1981 (Matsuda et al., 1980).

また近年、1714 年地震に伴う詳細震度分布が新たな史料を加えて再検討され、震度 6 以上の場所は糸静線活断層系に沿って分布することから、この地震の震源が同活断層系であることが指摘されている(都司, 2003)。なお、震度 7 が推定されている小谷村千国の坪の沢集落においては、上述のように山崩れによる被害が主とみられるため、被害による震度換算が確実ではない点には留意する必要がある。この歴史記録による被害から推定された 1714 年地震の震度分布は、2014 年地震の計測震度とよく一致している (Fig. 10)。よって、2014 年地震は、1714 年地震と同程度の規模で、ほぼ同じ領域の断層が活動した可能性が高い。さらに、地震直後に飯森集落で実施したトレンチ調査 (Fig. 4c) から、神城断層の一つ前の地震は 1714 年地震に一致する可能性が高い (近藤・勝部, 2016)。前述のように、平均変位速度から 2014 年地震は神城断層の非固有の地震であったと考えられるが、仮に 2014 年地震が 1714 年地震と同じ領域で発生したとすれば、そのくり返し間隔は約 300 年になる。世界的にみて、プレート境界型地震を除き、いわゆる活動度 A 級の内陸活断層で知られる大地震のくり返し間隔は、千年から数千年、あるいはそれ以上であることが知られている (Kanamori and Anderson, 1975 など)。また、日本の内陸活断層において、2 回以上の歴史地震が同一の活断層から生じた例、あるいはその可能性は、1930 年北伊豆地震と 841 年承和地震を生じた北伊豆断層系、1995 年兵庫県南部地震と 1596 年慶長伏見地震を生じた六甲-淡路断層系の 2 例だけが知られている。2014 年地震のような短い発生間隔の非固有の地震が、より規模の大きい神城断層の固有地震や糸静活断層系における連動型地震と共存するか明らかにするためにも、2014 年地震の震源域においてさらに古地震学的な検

討を加えることが必要であろう。

4. 変位量と地震規模との相関

地表での地震時変位量と地表地震断層長の関係について議論した研究は松田(1974)、松田ほか(1980)、Wells and Coppersmith(1994)、武村(1998)などがあり、近年では、地震学的・測地学的な手法で推定される震源断層と断層変位の関係が検討されている (例えば、Sommerville et al., 1999; 入倉・三宅, 2001; Murotani et al., 2015)。しかし、地震規模が M7 を下回る地震については、地表地震断層の詳細な分布や変位量が不明な場合が多く、歴史地震の変位量と断層長の関係について議論されていない。

松田ほか(1980)は、1891 年以降に国内で発生した地表地震断層の地震時最大変位量 D (m) と地震断層の長さ L (m) に $D=10^{-4} L$ の関係を指摘している。この関係は主に横ずれ断層型地震のデータに基づいていたが、逆断層型地震であった 1896 年陸羽地震の地表地震断層長 ($L=36$ km) と最大変位量 (D =ネットスリップ約 4 m) でもほぼ成り立つとされている。また、M7 以下の地震についても、 $D=10^{-4} L$ の直線上にプロットされている。しかし、松田ほか(1980)に示される M7 以下の 2 地震 (1970 年秋田南東部地震 M6.2, 1969 年岐阜中部地震 M6.6) は、明瞭な地表地震断層が報告されておらず、本震前後の微小地震分布に基づき得られた震源断層長を用いている。そのため、松田ほか(1980)では M7 以下の地震の地表地震断層と最大変位量の関係が示されているとは言えない。

さらに、松田ほか(1980)では並列する副断層の変位量の取り扱いが近年の研究事例と異なることが指摘できる。松田ほか(1980)は、陸羽地震に伴った地表地震断層の変位量として、真昼山地の西縁に認められた東側隆起の主断層のみを

参照し、山地内に西側隆起のバックスラストとして生じた副断層の変位量を加算していない。我々は近年の研究事例 (Kondo et al., 2005 など) に従い、並走する断層の変位量を積算している。それでも松田ほか(1980)に従うとすると、2014 年地震 ($L: 8 \text{ km}$) の最大変位量は $D=0.8 \text{ m}$ と計算でき、本研究で得られた最大変位量 (ネットスリップ) である $1.6\text{--}2.0 \text{ m}$ よりも有意に小さい (Fig. 9; Table 2)。同様に、2014 年地震の最大変位量 $1.6\text{--}2.0 \text{ m}$ から断層長 $L=16\text{--}20 \text{ km}$ と計算でき、実際の地表地震断層長 8 km とは調和しない。しかし、松田ほか(1980)の断層長を震源断層長として捉えた場合、余震分布から推定された 2014 年地震に伴う震源断層長 (約 20 km) と調和的となる (Fig. 11)。

ところで、松田(1974)が示した断層長と地震規模の関係式は、松田ほか(1980)と同一の断層長データを使用しているが、 $M6.8$ 以上の地震で関係式を検証した武村ほか(1998)は、その断層長が震源断層長を説明すると指摘している。上述のように松田(1980)の断層長と断層変位量の間関係も、2014 年地震の震源断層長を断層長とした場合に説明できる。そのため、松田ほか(1980)や松田(1974)の関係式は、 $M6.8$ を下回る場合も地表地震断層長ではなく震源断層長とした場合に成り立つ可能性がある。また、松田ほか(1980)や松田(1974)では、 $M6.8$ 以上の地震に伴う断層長のデータとして地表地震断層長と震源断層長を区別せずに地震規模や変位量との関係が成り立つことから、 $M6.8$ 以上の地震では両者がほぼ一致することを示している。

一方、長さ 15 km 以上の地表地震断層を伴った 38 の世界の歴史地震のデータをまとめた Wesnousky (2008) では、我々と同様に並走する断層の変位量を積算し、逆断層型内陸地震の地表地震断層について最大変位量 $D=2.1 \times 10^{-4} L$ の関係を指摘している。この相関に従うと、2014 年地震の地表地震断層長 $L=8 \text{ km}$ 、最大変位量 $D=1.68 \text{ m}$ と計算され、本研究で得られた地表地震断層長・最大変位量と概ね一致する。また、Wesnousky (2008) は、断層の変位様式によって地震時変位量と断層長の関係が異なることを指摘している。2014 年地震の結果を含めても、横ずれ型地震と逆断層型地震では最大変位量と地表地震断層長の傾向は明らかに異なっており (Fig. 11)、地表地震断層長が同じであったとしても逆断層型地震の地震時変位量は横ずれ型地震の場合と比較して相対的に大きい。

以上のことから、2014 年地震のような逆断層地震の地震時変位量と断層長との関係式は松田(1980)よりも Wesnousky (2008) の方が適切と考えられる。これは地表地震断層の長さに対して震源断層の長さが約 2 倍程度の 2014 年地震のような逆断層型地震であっても成立した。一方で、松田ほか(1980)を用いることで地震時変位量から震源断層長を推定可能となる。すなわち、逆断層について古地震イベントの地震時変位量を任意の地点で復元することによって、当該イベントに伴う地表地震断層長ないし震源断層長の少なくとも最小値については明らかにできることを示す。

この知見は、長さが 20 km 以下の活断層の評価にとって有益である。地表で認識できる長さが数 km の短い活断層

であっても、地下の震源断層長が数十 km に延び、 $M6.8$ 以上の被害地震を生じる可能性が指摘されている (例えば、島崎, 2008)。地質断層や重力異常の連続性から地下の震源断層の長さの推定が試みられているものの、事前に震源断層長を推定することが困難な場合が多く、未だ地震規模を推定する明確な指標はない。しかし、本研究で提示したように、2014 年地震に伴った 10 km 以下の地表地震断層長・ 2 m 以下の最大変位量・ 20 km 以下の震源断層長でも既報の経験式と整合した。よって、短い活断層の評価においても、古地震調査によって地形・地質学的に地震時変位量を復元すれば、事前に地表地震断層長や震源断層長を推定する指標のひとつとなる可能性が高い。この点については、さらに具体的な調査事例を増やして検証を続け、過去に活断層から発生した地震規模をより正確に求めることによって、将来の発生予測の高度化へ貢献することができると期待される。

ま と め

2014 年 11 月 22 日長野県北部の地震 ($Mw6.2$) (2014 年地震) に伴う地表地震断層の詳細分布と変位量の現地調査を実施し、地表地震断層を伴った中規模地震の特性に関する以下の諸点を明らかにした。

- 1) 地表地震断層は、白馬村塩島集落北東から三日市場集落まで既報の神城断層に沿って、約 9 km の区間で認められ、断層の北端部から南端部までの地表地震断層長は約 8 km であった。この地表地震断層長は、既報の神城断層の長さ比べて 18 km も短いものの、地表地震断層トレースは活断層トレースと良く一致している。そのため、本地震は神城断層の一部が活動した地震と考えられる。
- 2) 地表地震断層の変位は、東側隆起の上下成分または短縮成分がほとんどで、断層の走向が一般走向から大きく傾斜する場合にみかけの横ずれ成分が認められる。よって、本地震の断層の変位様式は純粋な逆断層運動であったと考えられる。また、最大変位量は震央に近い地表地震断層の北端部で認められ、上下変位量は 1.4 m であり、断層傾斜を $45\text{--}60^\circ$ と仮定するとネットスリップは $1.6\text{--}2.0 \text{ m}$ と算出できる。
- 3) 地表地震断層の分布と変位量分布に基づき、塩島集落から飯田集落までの主要活動区間と飯田集落から三日市場集落までの副活動区間に区別できる。主要活動区間の南端と副活動区間の北端は、活断層トレースの約 1 km 幅のステップと一致している。これは、地表の 1 km 幅ほどのステップであっても、地震時の破壊の伝播を止めるセグメント境界となることを示している。
- 4) 2014 年地震の震源近くで発生した歴史地震として、1714 年正徳小谷地震 (1714 年地震) が知られている。2014 年地震の震度分布と 1714 年地震のそれはほぼ一致しており、被害にも類似点が多い。1714 年地震は神城断層で発生した 1 つ前の地震の可能性が高く、そうであれば 300 年という非常に短い発生間隔で地震が発生したことになる。また、短い発生間隔や地震規模が

ら判断して、2014 年地震ならびに 1714 年地震はいずれも神城断層の固有規模の地震ではないと考えられる。

- 5) 2014 年地震に伴う地表地震断層の最大変位量と地表地震断層長の関係は、Wesnowsky (2008) による逆断層のデータセットによる経験式に整合する。一方、最大変位量と震源断層長の関係は松田ほか (1980) でもよく説明できる。このことは、変動地形から認められる活断層長と地震規模を規定する震源断層長とが大きく異なる、20 km 以下の短い断層に対しても、地震時変位量を調査して震源断層長の下限を推定することで、活断層評価が可能であることを示す。

謝 辞

地表地震断層の現地調査にあたっては、(株)応用地質の黒澤英樹氏にご協力いただいた。地表地震断層分布と震源断層の関係について、東京大学の井出 哲氏、安藤亮輔氏に、InSAR による地震時地殻変動について、国土地理院の飛田幹男氏、矢来博司氏に有益な議論をして頂いた。産業技術総合研究所の今西和俊氏には気象庁の一元化震源データを再解析した余震分布の位置データをご提供いただいた。また堤浩之氏と田力正好氏の丁寧な査読と編集委員の鈴木毅彦氏の詳細な校閲により本稿は改善された。以上の方々に、記して御礼申し上げます。

文 献

- 栗田泰夫・水野清秀・杉山雄一・井村隆介・下川浩一・奥村晃史・佃 栄吉・木村克己 (Awata, Y., Mizuno, K., Sugiyama, Y., Imura, R., Shimokawa, K., Okumura, K., Tsukuda, E. and Kimura, K.), 1996, 兵庫県南部地震に伴って淡路島北西岸に出現した地震断層。地震第 2 輯 (*Jour. Seismol. Soc. Japan, 2nd Ser.*), **49**, 113–124.
- 今泉俊文・原口 強・中田 高・奥村晃史・東郷正美・池田安隆・佐藤比呂志・島崎邦彦・宮内崇裕・柳 博美・石丸恒存 (Imaizumi, T., Haraguchi, T., Nakata, T., Okumura, K., Togo, M., Ikeda, Y., Shimazaki, K., Miyauchi, T., Yanagi, H. and Ishimaru, T.), 1997, 地層抜き取り調査とボーリング調査による糸静線活断層系・神城断層のスリップレートの検討。活断層研究 (*Act. Fault Res.*), **16**, 35–43.
- 今西和俊・内出崇彦 (Imanishi, K. and Uchide, T.), 2015, 2014 年長野県北部の地震の前震と余震の震源パラメータの特徴。日本地球惑星科学連合 2015 年大会 (*Japan Geosci. Union Meet. 2015, Abstr.*), SSS30–11.
- 入倉孝次郎・三宅弘恵 (Irikura, K. and Miyake, H.), 2001, シナリオ地震の強震動予測。地学雑 (*Jour. Tokyo Geogr. Soc.*), **110**, 849–875.
- 糸静線断層帯重点的調査観測変動地形研究グループ (Tectonic Geomorphological Research Group for ISTL), 2007, 糸魚川-静岡構造線断層帯変動地形資料集 No. 1 (白馬-松本間) (*Tectonic Relief Book for Itoigawa-Shizuoka Tectonic Line Active Fault Systems, Hakuba-Matsumoto Area**), 30p.
- 地震調査研究推進本部 (Headquarters for Earthquake Research Promotion), 2010, 暫定版「活断層の長期評価手法」報告書 (*Report of Long-Term Evaluation Methods for Active Fault*). 117p.
- Kanamori, H. and Anderson, D. L., 1975, Theoretical basis of some empirical relations in seismology. *Bull. Seismol. Soc. Amer.*, **65**, 1073–1095.
- 加藤 碩一・佐藤 啓生・三村 弘二・滝沢 文教 (Kato, T., Sato, T., Mimura, K. and Takizawa, F.), 1989, 大町地域の地質。地域地質研究報告 (5 万分の 1 地質図幅) (*Geology of the Yokoyama District. With Geological Sheet Map at 1: 50,000*), 地質調査所 (Geol. Surv. Japan), 111p.
- 勝部亜矢・近藤久雄・谷口 薫・加瀬祐子 (Katsube, A., Kondo, H., Taniguchi, K. and Kase, Y.), 2015, 2014 年 11 月 22 日長野県北部の地震 (Mw6.2) で生じた地表地震断層の分布と変位量。日本地球惑星科学連合 2015 年大会予稿集 (*Japan Geosci. Union Meet. 2015, Abstr.*), SSS28–29.
- Katsube, A., Kondo, H., Taniguchi, K. and Kase, Y., 2015, Surface rupture and deformation associated with the 2014 Nagano-ken Hokubu earthquake, Mw 6.2, on the ISTL active fault system, central Japan. *Hokudan 2015 International Symposium on Active Faulting*, P11.
- 活断層研究会編 (The Research Group for Active Faults of Japan), 1980, 日本の活断層 分布図と資料 (*Active Faults in Japan: Distribution Map and the Related Materials**), 東京大学出版会 (Univ. Tokyo Press), 363p.
- 活断層研究会編 (The Research Group for Active Faults of Japan), 1991, 新編日本の活断層 分布図と資料 (*Active Faults in Japan, New Edition: Distribution Map and the Related Materials**), 東京大学出版会 (Univ. Tokyo Press), 437p.
- 川島裕貴・山内泰知・佐護浩一・近藤久雄 (Kawashima, Y., Yamachi, Y., Sago, K. and Kondo, H.), 2015, 白馬村北部の神城断層周辺における反射法地震探査。物理探査学会第 132 回学術講演会講演論文集 (*Proc. 132nd Soc. Explor. Geophys. Japan.*), 233–236.
- Kondo, H., Awata, Y., Emre, Ö., Doğan, A., Özalp, S., Tokay, F., Yıldırım, C., Yoshioka, Y. and Okumura, K., 2005, Slip distribution, fault geometry, and fault segmentation of the 1944 Bolu-Gerede earthquake rupture, North Anatolian Fault, Turkey. *Bull. Seismol. Soc. Amer.*, **95**, 1234–1249.
- Kondo, H., Toda, S., Okumura, K., Takada, K. and Chiba, T., 2008, A fault scarp in an urban area identified by LiDAR survey: a case study on the Itoigawa-Shizuoka tectonic line, central Japan. *Geomorphology*, **101**, 731–739.
- 近藤久雄・勝部亜矢 (Kondo, H., Katsube, A.), 2016, 2014 年長野県北部の地震が提起した内陸大地震の長期予測に関する諸問題。科学 (*Kagaku (Sci. Jour.)*), **86**, 4.
- 近藤久雄・勝部亜矢・谷口 薫・加瀬祐子 (Kondo, H., Katsube, A., Taniguchi, K. and Kase, Y.), 2015, 2014 年 11 月 22 日長野県北部の地震に伴う地表地震断層の概要 (速報), GSJ 地質ニュース (*GSJ Chishitsu news letter*), **4**, 1–4.
- 近藤久雄・勝部亜矢・黒澤英樹・佐々木亮道・阿部恒平・三輪淳志 (Kondo, H., Katsube, A., Kurosawa, H., Sasaki, R., Abe, K., Miwa, A.), 2016, 2014 年長野県北部の地震に伴う緊急トレンチ調査。活断層研究 (*Act. Fault Res.*), **43**, i–ii.
- 小坂共栄 (Kosaka, T.), 1991, 大峰帯の発達とそのフォッサマグナ発達における意義。信州大学理学部紀要 (*Jour. Fac. Sci. Shins-hu Univ.*), **26**, 75–140.
- Lin, A., Sano, M., Yan, B. and Wang, M., 2015, Co-seismic surface ruptures produced by the 2014 M w 6.2 Nagano earthquake, along the Itoigawa-Shizuoka Tectonic Line, central Japan. *Tectonophysics*, **656**, 142–153.
- 町田 洋・新井房夫 (Machida, H. and Arai, F.), 2011, 新編 火山灰アトラス (日本列島とその周辺) (*Atlas of Tephra in and around Japan, Second printing of Revised Edition*). 第 2 刷, 東京大学出版会, 336 p.
- 松田時彦・山崎晴雄・中田 高・今泉俊文 (Matsuda, T., Yamazaki, H., Nakata, T. and Imaizumi, T.), 1980, 1896 年陸羽地震の地震断層。東京大学地震研究所集報 (*Bull. Earthq. Res. Inst., Univ. Tokyo*), **55**, 795–855.
- 松田時彦 (Matsuda, T.), 1974, 1891 年濃尾地震の地震断層。地震研究所研究速報 (*Bull. Earthq. Res. Inst., Univ. Tokyo*), **13**, 85–126.
- 松多信尚・池田安隆・今泉俊文 (Matsuda, N., Ikeda, Y. and Imaizumi, T.), 2001, 糸魚川-静岡構造線活断層系北部神城断層の浅部構造と平均すべり速度 (浅部反射法地震探査とボーリングの結果)。活断層研究 (*Act. Fault Res.*), **20**, 59–70.
- 松多信尚・澤 祥・安藤俊人・廣内大助・田力正好・谷口 薫・佐藤善

- 輝・石黒聡士・内田主税・佐野滋樹・野澤竜二郎・坂上寛之・隈元崇・渡辺満久・鈴木 康 (Matsuta, N., Sawa, H., Ando, T., Hirouchi, D., Tajikara, M., Taniguchi, K., Sato, Y., Ishiguro, S., Uchida, C., Sano, S., Nozawa, T., Sakaue, H., Kumamoto T., Watanabe, M. and Suzuki, Y.), 2006, 写真測量技術を導入した糸魚川-静岡構造線断層帯北部(樽池-木崎湖)の詳細変位地形・鉛直平均変位速度解析. 活断層研究(*Act. Fault Res.*), **26**, 105–120.
- Murotani, S., Matsushima, S., Azuma, T., Irikura, K. and Kitagawa, S., 2015, Scaling Relations of Source Parameters of Earthquakes Occurring on Inland Crustal Mega-Fault Systems. *Pure Appl. Geophys.*, **172**, 1371–1381.
- 中野 俊・竹内 誠・吉川敏之・長森英明・荻谷愛彦・奥村晃史・田口雄 作(Nakano, S., Takeuchi, M., Yoshikawa, T., Nagamori, H., Karitani, A., Okumura, K. and Taguchi, Y.), 2002, 白馬岳地域の地質. 地域地質研究報告(5万分の1地質図幅) (*Geology of the Shiroumadake District. Quadrangle Series, 1: 50,000*), 産総研地質調査総合センター(Geol. Surv. Japan, AIST), 105p.
- 中埜貴元・飛田幹男・中島秀敏・神谷 泉(Nakano, T., Tobita, M., Nakajima, H. and Kamiya, I.), 2015, 2014 年長野県北部の地震に伴い出現した地表地震断層における地中レーダ探査. 日本地球惑星科学連合 2015 年大会予稿集(*Japan Geosci. Union Meet. 2015, Abstr.*), SSS28–26.
- 中田 高・蓬田 清・尾高潤一郎・坂本晃章・朝日克彦・千田 昇(Nakata, T., Yomogida, K., Odaka, J., Sakamoto, T., Asahi, K. and Chida, N.), 1995, 1995 年兵庫県南部地震の地震断層. 地学雑誌(*Jour. Tokyo Geogr. Soc.*), **104**, 127–142.
- Okada, S., Ishimura, D., Niwa, Y. and Toda, S., 2015, The First Surface-Rupturing Earthquake in 20 Years on a HERP Active Fault is Not Characteristic: The 2014 Mw6.2 Nagano Event along the Northern Itoigawa-Shizuoka Tectonic Line. *Seis. Res. Lett.*, **86**, 1–14.
- 奥村晃史・井村隆介・今泉俊文・東郷正美・澤 祥・水野清秀・荻谷愛彦・斉藤英二(Okumura, K., Imura, R., Imaizumi, T., Togo, M., Sawa, H., Mizuno, K., Kariya, A. and Saito, E.), 1998, 糸魚川-静岡構造線活断層系北部の最近の断層活動-神城断層・松本盆地東縁断層トレンチ発掘調査-. 地震第2 輯(*Jour. Seismol. Soc. Japan, 2nd Ser.*), **50**, 35–51.
- 奥村晃史・下川浩一・山崎晴雄・佃 栄吉(Okumura, K., Shimokawa, K., Yamazaki H. and Tsukuda, E.), 1994, 糸魚川-静岡構造線活断層系の最近の断層活動-牛伏寺断層・松本市並柳地区トレンチ発掘調査-. 地震第2 輯(*Jour. Seismol. Soc. Japan, 2nd Ser.*), **46**, 425–438.
- Okumura, K., 2001, Paleoseismology of the Itoigawa-Shizuoka tectonic line in central Japan. *Jour. Seismol.*, **5**, 411–431.
- 酒井慎一・蔵下英司・小原一成・岩崎貴哉・高橋浩晃・松本 聡・神園めぐみ・岡田知己(Sakai, S., Kurashimo, E., Obara, K., Iwasaki, T., Takahashi, H., Matsumoto, S., Kamizono, M. and Okada, T.), 2015, 2014 年長野県北部の地震の複雑な断層. 日本地球惑星科学連合 2015 年大会予稿集(*Japan Geosci. Union Meet. 2015, Abstr.*), SCG57–15.
- 島崎邦彦(Shimazaki, K.), 2008, 活断層で発生する大地震の長期評価: 発生頻度推定の課題. 活断層研究(*Act. Fault Res.*), **28**, 41–51.
- 下川浩一・水野清秀・井村隆介・奥村晃史・杉山雄一・山崎晴雄(Shimokawa, K., Mizuno, K., Imura, R., Okumura, K. and Sugiyama, Y.), 1995, 糸魚川-静岡構造線活断層系ストリップマップ. 活構造図, no. 11 (*Tectonic Map Series no. 11: Strip Map of the Itoigawa-Shizuoka Tectonic Line Active Fault System*). 地質調査所(Geol. Surv. Japan), sheet 1.
- 下川浩一・山崎晴雄(Shimokawa, K. and Yamazaki, H.), 1987, 古神城湖堆積物からみた断層運動. 日本第四紀学会講演要旨集(*Ann. Meet. Japan Assoc. Quatern. Res.*), **17**, 92–93.
- Somerville, P. G., Irikura, K., Graves, R., Sawada, S., Wald, D., Abrahamson, N., Iwasaki, Y., Kagawa, T., Smith, N. and Kowada, A. 1999, Characterizing crustal earthquake slip models for the prediction of strong ground motion. *Seismol. Res. Lett.*, **70**, 59–80.
- 武村雅之(Takemura, M.), 1998, 日本列島における地殻内地震のスケーリング則-地震断層の影響および地震被害との関連-. 地震第2 輯(*Jour. Seismol. Soc. Japan, 2nd Ser.*), **51**, 211–228.
- 東郷正美・池田安隆・今泉俊文・佐藤比呂志(Togo, M., Ikeda, Y., Imaizumi, T. and Sato, H.), 1996, 神城断層両端部の断層変位地形. 活断層研究(*Act. Fault Res.*), **15**, 9–16.
- 東郷正美・池田安隆・今泉俊文・澤 祥・松多信尚(Togo, M., Ikeda, Y., Imaizumi, T., Sawa, H. and Matsuta, N.), 1999, 都市圏活断層図 大町(Active Fault Map in Urban Area Omachi). 国土地理院技術資料(*Technical Materials of the Geospatial Information Authority of Japan*), D. 1, No. 368.
- 都司嘉宣(Tsuji, Y.), 2003, 糸線静付近に起きた正徳四年(1714)信州小谷地震と安政5 年(1858)大町地震の詳細震度分布. 日本地震学会講演予稿集 2003 年度 秋季大会(*Seismol. Soc. Japan, 2013 Fall Meet., Abstr.*), 204.
- 堤 浩之・遠田晋次(Tsutsumi, H. and Toda, S.), 2012, 2011 年4 月11 日に発生した福島県浜通りの地震の地震断層と活動履歴. 地質雑誌(*Jour. Geol. Soc. Japan*), **118**, 559–570.
- 宇佐美龍夫・石井 寿・今村隆正・武村雅之・松浦律子(Usami, T., Ishii, H., Takemura, T. and Matsura, R.), 2003, 日本被害地震総覧 599-2012(*A Compendium of Destructive Earthquake**), 東京大学出版会(Univ. Tokyo Press), 724p.
- Wells, D. L. and Coppersmith, K. J., 1994, New empirical relationships among magnitude, rupture length, rupture width, and surface displacement. *Bull. Seismol. Soc. Amer.*, **84**, 974–1002.
- Wesnousky, S. G., 2006, Predicting the endpoints of earthquake ruptures. *Nature*, **444**, 358–360.
- Wesnousky, S. G., 2008, Displacement and geometrical characteristics of earthquake surface ruptures: Issues and implications for seismic-hazard analysis and the process of earthquake rupture. *Bull. Seismol. Soc. Amer.*, **98**, 1609–1632.
- [URL1] 勝部亜矢・近藤久雄・加瀬祐子・谷口 薫(Katsube, A., Kondo, H., Kase, Y. and Taniguchi, K.), 2014, 2014 年11 月22 日長野県北部の地震—第三報地表地震断層緊急調査報告(2) [2014 年12 月9 日]. 地質調査総合センター(Geol. Surv. Japan, AIST), <https://www.gsj.jp/hazards/earthquake/naganokenhokubu2014/naganokenhokubu20141209.html> (2015.10.06 確認).
- [URL2] 近藤久雄・勝部亜矢・加瀬祐子・谷口 薫(Kondo, H., Katsube, A., Kase, Y. and Taniguchi, K.), 2014, 2014 年11 月22 日長野県北部の地震—第二報地表地震断層緊急調査報告(1) [2014 年11 月26 日]. 地質調査総合センター(Geol. Surv. Japan, AIST), <https://www.gsj.jp/hazards/earthquake/naganokenhokubu2014/naganokenhokubu20141126.html> (2015.10.06 確認).
- [URL3] 廣内大助・杉戸信彦・清水龍来(Hirouchi, D., Sugito, N. and Shimizu, R.), 2014, 2014 年11 月22 日長野県神城断層地震における地表変位について(速報) (Preliminary report of grand surface displacement associated with the Kamishiro fault earthquake on 22 Nov. 2014, Nagano Prefecture*). http://www.ajg.or.jp/disaster/files/201411_nagano02.pdf (2015.10.06 確認).
- [URL4] 大塚 勉(Otsuka, T.), 2014, 長野県神城断層地震(2014 年11 月22 日, M6.7) 緊急調査報告(Preliminary report of the Kamishiro fault earthquake on 22 Nov. 2014, Nagano Prefecture*). [http://www.shinshu-u.ac.jp/faculty/general/news/uploaddocs/神城断層地震\(12%EF%80%A218%29%20%20.pdf](http://www.shinshu-u.ac.jp/faculty/general/news/uploaddocs/神城断層地震(12%EF%80%A218%29%20%20.pdf) (2015.10.06 確認).
- [URL5] 地震調査研究推進本部(Headquarters for Earthquake Research Promotion), 2015, 糸魚川-静岡構造線断層帯の長期評価(第二版) (Long term evaluation of the Itoigawa-Shizuoka Tectonic Line active fault systems, ver. 2). http://www.jishin.go.jp/main/chousa/15apr_chi_kanto/ka_21.pdf (2015.10.06 確認).
- [URL6] 国土地理院(Geospatial Information Authority of Japan), 2015, 長野県北部を震源とする地震に関する情報(最終更新日:

2015 年 1 月 29 日) (Information of the earthquake occurred at northern Nagano Prefecture*), <http://www.gsi.go.jp/BOUSAI/h26-nagano-earthquake-index.html> (2015.10.06 確認).

[URL7] 気象庁 (Japan Meteorological Agency), 2014 年 11 月 22 日 22 時 08 分 長野県北部 M6.7, 気象庁ホームページ (Geospatial Information Authority of Japan home page), <http://www.data.jma.go.jp/svd/eqev/data/mech/cmt/fig/cmt20141122220817.html> (2015.10.06 確認).

[URL8] 地震調査研究推進本部 (Headquarters for Earthquake Research Promotion), 2014, 2014 年 11 月 22 日長野県北部の地震に関する情報 (平成 26 年 12 月 9 日 19 時頃更新) (Information of the Nagano-ken Hokubu earthquake on 22 Nov. 2014*), http://www.jishin.go.jp/main/oshirase/20141122_nagano.htm (2015.10.06 確認).

* English translation from the original written in Japanese.

(要 旨)

勝部亜矢・近藤久雄・谷口 薫・加瀬祐子, 2017, 2014 年長野県北部の地震 (Mw6.2) に伴う地表地震断層の分布と変位量. 地質雑, **123**, 1–21. (Katsube, A., Kondo, H., Taniguchi, K. and Kase, Y., 2017, Surface rupture and slip associated with the 2014 Nagano-ken Hokubu earthquake (Mw6.2). *Jour. Geol. Soc. Japan*, **123**, 1–21.)

2014 年 11 月 22 日長野県北部の地震 (Mw6.2) に伴う地表地震断層は, 既知の糸魚川–静岡構造線活断層系神城断層トレースに沿って約 9 km の区間で認められる. 地震破壊の南への伝搬は約 1 km 幅の断層ステップ付近で停止したとみられ, 地表地震断層長は神城断層の全長約 24 km よりも短い. 一方で, 震源断層は地表地震断層北端からより北へ連続する. この地表地震断層長および震源断層長と地表で測定した最大変位量のネットスリップとの関係は, 既存の回帰直線でよく説明できる. 本地震は, 神城断層の一部が活動した地震であり, 地震前に想定されていた固有地震ではないと考えられる. しかし, 神城断層では西暦 1714 年にも今回と同規模の地震が発生した可能性が示唆され, 神城断層の非固有及び固有地震の発生頻度を理解するために, 地震時変位量に基づき神城断層の古地震イベント像を再検討する必要がある.

科学論文では, 学説の検証可能性を保証することが重要です. そのため, 地質学雑誌掲載論文には, 重要な証拠となった試料がどこで得られたかを示しているものがあります. 言うまでもないことですが, 見学や採取を行う場合, 各自の責任において地権者や関係官庁への連絡と許可の取得の必要があることにご注意下さい. 詳しくは, 以下のサイトをご覧ください.

<http://www.geosociety.jp/publication/content0073.html>

一般社団法人日本地質学会