

大阪府北部の地震(2018年6月)と胆振東部地震(2018年9月)に対する  
地震調査委員会の評価—活断層との関係を中心に—

佐竹健治(東京大学地震研究所・地震調査委員会長期評価部会長)

Earthquake Research Committee's evaluations on the June Osaka and

September Hokkaido earthquakes with their relation to active faults

Kenji Satake (Earthquake Research Institute, the University of Tokyo)

地震調査委員会では、毎月の定例会に加え、被害地震などが発生した場合には臨時会を開催し、気象庁・国土地理院・防災科研・産総研などの各機関から提供された観測データを検討して、評価文としてまとめ公表している。2018年6月18日に発生した大阪府北部の地震(M 6.1)については当日開催した臨時会ならびに7月の定例会において、2018年9月8日に発生した北海道胆振東部地震(M 6.7)についても当日の臨時会と9月及び10月の定例会で評価文を検討し、公表した。

大阪府北部の地震について、地震当日に発表された評価文のうち、震源に関する部分は以下の通りである。

- 6月18日07時58分に大阪府北部の深さ約15kmでマグニチュード(M)6.1(暫定値)の地震が発生した。この地震により大阪府で最大震度6弱を観測し、被害を伴った。
- その後、M6.1の地震の震源周辺で、東西約5km、南北約5kmの領域で地震活動が続いている。18日17時までに発生した最大の地震は、08時08分頃及び16時31分頃に発生したM3.5(速報値)の地震である。
- M6.1の地震の発震機構は東西方向に圧力軸を持つ型で、地殻内で発生した地震である。また、その後の地震活動は、横ずれ断層型と逆断層型が混在している。地震活動域の北側では逆断層型、南側では横ずれ断層型の地震が発生している。
- GNS観測の結果(速報)では、今回の地震に伴う有意な地殻変動は検出されていない。
- この震源域付近には、東西方向に延びる有馬一高槻断層帯、および南北方向に延びる生駒断層帯と上町断層帯などが存在している。今回の地震は、これらの活断層帯に関連した活動である可能性があるが、詳細は今後の調査観測結果等を踏まえ、さらに検討を行う必要がある。

地震発生当日の余震分布やメカニズム解からは、周辺の活断層(有馬一高槻断層帯、生駒断層帯、上町断層帯)との関係は明らかにできなかった。7月の定例会での評価では、地震活動やそれらのメカニズム解についての情報が追加された。

- その後7月10日16時までに発生した最大の地震は、6月19日に発生したM4.1の地震で、最大震度4を観測した。地震活動は東西約5km、南北約5kmの領域で減衰しつつも継続している。領域の北部では東に傾斜した面状に、南部では南東に高角で傾斜した面状に、震源が分布している。発震機構は横ずれ断層型と逆断層型が混在しているが、横ずれ断層型

の地震は領域の全域で、逆断層型の地震は領域の北部で発生している。

○ M6.1 の地震の発震機構と地震活動の分布などから推定される M6.1 の地震の震源断層は、概ね南北 2 つの断層で構成される。北側は東に傾斜する逆断層で、南側は南東に高角で傾斜する右横ずれ断層であった。

これらの余震分布やメカニズム解は、地震調査委員会が長期評価を行った有馬一高槻断層帯（ほぼ東西走向、高角で北傾斜）、上町断層帯（ほぼ南北走向、高角で東傾斜）、生駒断層（ほぼ南北走向、低角で東傾斜）の位置・形状と一致しないことから、これらの活断層による地震であるとは判断されなかった。

北海道胆振東部地震については、当日の評価文（震源に関する部分）は以下の通りである。

○ 9月6日 03 時 07 分に北海道胆振地方中東部の深さ約 35km でマグニチュード(M)6.7（暫定値）の地震が発生した。この地震により胆振地方で最大震度 7 を観測し、被害を伴った。この地震の発震機構は東北東－西南西方向に圧力軸を持つ逆断層型で、地殻内で発生した地震である。

○ その後、M6.7 の地震の震源を含む南北約 30km の領域で地震活動が続いている。6 日 18 時までに震度 4 以上を観測した地震が 2 回発生するなど、地震活動は活発である。6 日 18 時までの最大の地震は、6 日 3 時 20 分頃に発生した M5.5（速報値）の地震である。

○ G N S S 観測の結果では、地震に伴って、日高町の門別観測点が南に約 5cm（暫定値）、厚真町の厚真観測点が南東に約 5cm（暫定値）移動するなどの地殻変動が観測された。

○ 胆振地方東部・日高地方から浦河沖の周辺では、陸域で通常発生する地殻内の地震よりも深い場所でも地震が多く発生している特徴が見られ、今回の地震活動はこのような特徴がある地域で発生したものである。また、地震活動が続いている場所の西側には、南北方向に延びる石狩低地東縁断層帯が存在している。

震源の深さや当日に発生した余震分布から、石狩低地等縁断層帯についてはその存在を述べるにとどまった。その後、比較的浅い余震（15 km程度）が発生していることが明らかとなり、さらにその延長が石狩低地東縁断層帯の地表トレースと一致していることが指摘されたが、石狩低地東縁断層帯の長期評価では、同断層帯は低角東傾斜（10–18°）とされていることから、地震本部が想定した石狩低地東縁断層帯の地震ではないと判断された。10月12日の評価文では、以下のように書かれている。

○ 地震活動の分布や地殻変動などから、今回の地震の震源断層上端の深さは 15km 程度にまで達している可能性がある。また、地震活動が続いている場所の西側の地表付近では、石狩低地東縁断層帯が南北方向に延びている。

## 河床縦断面解析に基づく布田川断層帯周辺の長期隆起傾向

高橋直也（東北大学・院）

Long-term uplift trend of the Futagawa fault zone

based on stream profile analysis

Naoya Takahashi

### はじめに

断層変位量が累積していく過程を時空間的に明らかにすることは、断層の活動様式を考える上で非常に重要である。1回の地震で生じる変位量が走向方向に大きく変化することを考えると、断層全体の地殻変動傾向を把握する必要があるが、調査に適した断層変位地形が断層全体に分布していることはさほど多くないという問題がある。河床縦断面解析 (Kirby and Whipple, 2012) は、相対的ではあるが広範囲の隆起傾向を定量的に検討できるという利点があり、断層変位量の空間的な変化を明らかにする上で有用な手法である（例えば、Kirby and Ouimet, 2011）。

2016年の熊本地震時には、布田川断層と出ノ口断層沿いに地表地震断層が出現したことに加え、阿蘇カルデラの北西・北東部にも微小変位が生じた (Fujiwara et al., 2016; 岡村ほか, 2017)。本発表では、これらの地表変位と長期的な地殻変動傾向との関係を明らかにするために行った、河床縦断面解析の結果について述べる。

### 河床縦断面解析

平衡状態にある河床縦断面形は、河川のある点における河床勾配 ( $S$ ) と流域面積 ( $A$ ) を用いて、

$$S = k_{sn} A^{-\theta_{ref}} \quad (1)$$

のように表され、 $k_{sn}$  は Normalized steepness index、 $\theta_{ref}$  は Reference concavity index と呼ばれる (Flint, 1974 ; Kirby and Whipple, 2012)。特に岩床河川については、隆起速度 ( $U$ ) を用いて、

$$k_{sn} = (U/K)^{1/n} \quad (2)$$

と表され、 $K$  は係数、 $n$  は定数である (Sklar and Dietrich, 1998; Kirby and Whipple, 2012)。従って、複数の河川に対して (1) 式から  $k_{sn}$  の値を計算することで、長期的な隆起傾向を検討することができる。ただし、(1) 式は一定以上の集水域（以下、 $A_{crit}$ ）を持つ地点でしか成り立たないことや、 $k_{sn}$  の値が係数  $K$  の値にも影響されるということなどに留意する必要がある (Kirby and Whipple, 2012)。

## 結果と解釈（予察）

布田川断層帯（ここでは、布田川断層と出ノ口断層とする），阿蘇カルデラ北西・北東部を対象に TopoToolbox (Schwanghart and Scherler, 2014), Chi-Profiler (Gallen and Wegmann, 2017) を用いて  $k_{sn}$  を計算した。その際、縦軸に  $\log(S)$  を、横軸に  $\log(A)$  をとった S-A plot を用いて流域ごとに  $A_{crt}$  を定め、 $A > A_{crt}$  を満たす範囲でのみ計算を行った。その結果、布田川断層の西部（益城町砥川～同下陳） $k_{sn}=10\sim30$ 、出ノ口断層沿い（西原村河原～同宮山）では  $k_{sn}=40\sim60$  となった。既存文献中に示された上下変位速度をまとめると、 $k_{sn}$  の値の分布と同様に断層帯東部で変位速度が大きくなる傾向が見られた。また、2016年地震の際の上下変位量分布も、同様の傾向が見られている（岡村ほか, 2017; Scott et al., 2018）。以上のことから、2016年地震時の上下変位量分布と長期的な隆起傾向とが一致しており、2016年地震の変位量分布が、布田川断層帯で生じる変位としては典型的なものであったことを示唆している。

カルデラ北西部については、二重峠付近の的石原野断層、坂ノ下断層の付近で  $k_{sn}$  の値が増加していた。しかし、解析が可能な河川のうち、これらの断層と交差するものが1つしか存在していないため、この  $k_{sn}$  の値の変化が断層変位を反映したものかどうかは定かではない。

## 謝辞

本研究を進めるにあたり、国立台湾大学の徐澔德教授、同陳嘉俞博士に議論していただき、記して感謝の意を表する。

## 引用文献

- Flint, J. J. (1974). Water Resources Research, 10(5), 969-973.
- Fujiwara, S. et al. (2016). EPS, 68:160, DOI 10.1186/s40623-016-0534-x.
- Gallen, S. F. and Wegmann, K. W. (2017). Earth Surface Dynamics, 5, 161-186.
- Kirby, E. and Ouimet, W. (2011). GSL special publication, 353, 165-188.
- Kirby, E. and Whipple, K. (2012). Journal of Structural Geology, 44, 54-75.
- 岡村行信ほか (2017). 平成28年熊本地震を踏まえた総合的な活断層調査. 平成28年度成果報告書, 文部科学省・九州大学, 5-185.
- Schwanghart, W. and Scherler, D. (2014). Earth Surface Dynamics, 2, 1-7.
- Scott, C. P. et al. (2018). Journal of Geophysical Research: Solid Earth, 123, <https://doi.org/10.1029/2018JB015581>
- Sklar, L. and Dietrich, W. E. (1998). in Tinker, K. J. and Wohl, E. E. eds., Rivers over rock: Fluvial Processes in Bedrock Channels, AGU, 237-260.

熊本県西原村小森におけるトレンチ掘削調査に基づく  
 布田川一日奈久断層帯北東部の活動履歴  
 ° 岩佐佳哉（広島大学・院）・熊原康博・後藤秀昭（広島大学）  
 鳥井真之（熊本大学）・石村大輔（首都大学東京）  
 細矢卓志（中央開発株式会社）

Faulting history of the northeastern part of Futagawa-Hinagu fault zone based on trench survey at Komori, Nishihara Village, Kumamoto

Yoshiya Iwasa (Graduate student, Hiroshima Univ.) , Yasuhiro Kumahara, Hideaki Goto (Hiroshima Univ.), Masayuki Torii (Kumamoto Univ.), Daisuke Ishimura (Tokyo Metropolitan Univ.), and Takashi Hosoya (Chuo Kaihatsu Corporation)

## 1. はじめに

平成 28 (2016) 年 4 月 16 日に布田川一日奈久断層帯の再活動により熊本地震が発生し、これに伴い、長さ約 34km の右横ずれを主体とする地表地震断層が出現した (Shirahama et al., 2016)。地震後、それ以前の活動履歴や活動間隔を明らかにするために、地表地震断層のトレースに沿って多数のトレンチ掘削調査が行われた。主な調査地点は、甲佐町白旗山出（白濱ほか, 2017），益城町（例えば、熊原ほか, 2017; 堤ほか, 2018 など），阿蘇カルデラ内部（例えば、上田ほか, 2018 など）である。布田川一日奈久断層帯北東部に位置する益城町堂園～阿蘇カルデラまでの約 15km の区間では、トレンチ掘削調査が行われていなかった。そこで演者らは、トレンチ調査の空白域の中央付近に位置する西原村小森において、2018 年 8 月にトレンチ掘削調査を実施した。本発表では、その調査で活動履歴を検討した結果を報告する。

対象地域の西原村付近に分布する布田川一日奈久断層帯は、90ka に噴出した高遊原溶岩台地を上下に変位させ、比高 70～100m の断層崖が北東-南西方向に延びていることが知られている（渡辺・小野, 1969）。地震後の地形判読により、高遊原溶岩台地の開析谷には系統的な右横ずれや谷の閉塞が認められることが図示された（熊原ほか, 2017）。

トレンチ掘削地点は、高遊原溶岩台地の開析谷中に位置し、熊本地震の際には周辺で約 1.5m の右横ずれ変位を伴って左ステップする断層が現れた。この付近にはこのトレース以外に地震断層は認められず、変位量が大きいことから、布田川一日奈久断層帯北東部の断層活動を代表する場所と考えられる。掘削地点では、熊本地震時に東北東-西南西走向の凹地を形成する地表変状が出現した。この凹地の鉛直変位量は、地震後の航空レーザ測量による地形データを用いて北落ち約 40cm と計測された。この凹地を直交するように、幅 0.7m, 長さ 15m, 深さ 3.5m の大きさのトレンチを掘削した。また、トレンチ底面からハンドオーガを用いて 7 本の地層を抜き取り、トレンチ底下の地層も観察した。

## 2. トレンチに現れた地層

トレンチ壁面には、上位から表土層（10 層）、暗茶色土層（20 層）、黒色火山砂層（30 層）、硬質褐色ローム層（40 層）、褐色～茶褐色シルト層（50 層）、茶褐色ローム層（60 層）、明褐色ローム層（70 層）、黒色腐植土と明褐色ロームの混合層（80 層）、下部に軽石を含む黒色腐植土層（90 層）、暗褐色ローム層（100 層）が認められた。地層境界はいずれも不明瞭である。このうち 10 層と 20 層は黄色の細粒テフラが全体に散在するなど、層相から攪乱が認められ、人工改変層と考えられる。30 層以下は自然堆積層である。70 層の基部には、黄色の細粒テフ

ラが塊状に分布していた(71層). このテフラは火山ガラスからなり, その屈折率に基づくと鬼界アカホヤ(K-Ah)テフラに同定された. なお, 熊本地震の地表変状は掘削時には改変により平坦化されており, 10層は熊本地震後の改変層と考えられる.

### 3. 地層の変形とイベント層準

壁面の地層には, 熊本地震時の地表変状と同様に凹地をなすような変形構造が認められ, 剪断面としては, 60層基底を40cm北落ちに変位させる60°Sのものが部分的に認められたに過ぎない. トレンチ壁面の中央より南側では累積的な北への撓曲変形が認められる一方, 中央より北側では下位の地層ほど南へ増傾斜する単純な傾動が認められた.

地層の変形と変位量の違いに基づいてK-Ahテフラ降下以降, 2016年熊本地震を含めて3度の断層変位イベントを読み取ることができた. 以下ではその根拠を記す.

- ・イベント1: 2016年熊本地震における調査地点の地表の鉛直変位量は約40cmであった. 凹地の南側の50層基底面は約40cmの鉛直変位量をもつことから, 50層より上位の20層~50層は熊本地震の変位のみを受けていると考えられる.

- ・イベント2: トレンチ壁面の中央より南側では60層以下の地層に, 50層より大きな北落ちの変位が認められる. 60層と70層の境界は断層により40cm北落ちの剪断変位を受けている. この剪断面の上方への延長はよく解らないが, 50層と60層との境界には変位が認められない. 70層と50層/60層との境界を基準にして変形量を加味すると, 全体では鉛直変位量が約80cmとなり, 50層と70層/60層との境界の変位量の約2倍となる. また, 壁面の中央より北側では, 60層と70層の境界の傾斜角は50層と70層/60層との境界より大きく, 傾斜不整合が認められる. これらのことから60層の堆積後, 50層堆積前に変位があったと考えられる.

- ・イベント3: トレンチ壁面の中央より南側に分布する70層は, 北落ちの撓曲変位を受け, 約120cmの鉛直変位量が計測できる. これは70層と50層/60層との境界の鉛直変位量である約80cmより大きい. また, この撓曲変形より北側の70層の層厚は南側よりも厚い. 一方, 壁面の中央より北側では, 70層と80層の境界の傾斜角は70層と60層の境界より大きい. これらのことから, 70層の堆積中に断層変位があったと考えられる.

上記の解釈に基づけば, いずれの断層変位のイベントでも, トレンチ壁面の中央より南側では北落ちの撓曲変形が認められ, 北側では南傾斜の変位が認められ, 熊本地震時と同様の変形が繰り返されていることを示している.

現在, 壁面の地層から採取した試料の放射性炭素同位体年代測定を進めており, 発表時には各イベントの年代について言及する予定である.

**文献:** Shirahama et al. (2016) Characteristics of the surface ruptures associated with the 2016 Kumamoto earthquake sequence, central Kyushu, Japan. Earth Planets Space 68:191; 白濱ほか (2017) 2017年地球惑星連合大会発表要旨 SSS12-09; 熊原ほか (2017) 日本活断層学会 2017年度秋季学術大会講演予稿集 O-1; 堤ほか (2018) 熊本県益城町寺中における2016年熊本地震断層のトレンチ調査, 活断層研究, 49, 印刷中; 上田ほか (2018) 2018年地球惑星連合大会発表要旨 SSS08-P23; 渡辺・小野 (1969) 阿蘇カルデラ西側, 大峰付近の地質, 地質学雑誌, 75, 7, 365-374; 熊原ほか (2017) 1:25,000活断層図「熊本(改訂版)」, 国土地理院.

**謝辞:** 本研究はJSPS科研費(基盤研究(A))「熊本地震から学ぶ活断層ハザードと防災教育-活断層防災学の構築を目指して(代表者 鈴木康弘)」(JP18H03601)の助成を受けたものです.

**直接事前推定による活断層地震のモーメント**  
**島崎邦彦（東京大学）**

**Direct prediction of seismic moment of an event on an active fault**  
**Kunihiko Shimazaki (UTokyo)**

様々な経験式を用いて、将来活断層で発生する地震の地震モーメントがどのように推定できるかを論じてきた。ここでは、現在特定の活断層で発生する地震について、実際に強震動の推定などに使用されている地震モーメントの値の当否を、問題とする。これまでの議論では、経験式とデータから、まず経験式の当否を論じ、次にどの経験式によって推定された地震モーメントの値かを問題としており、やや迂遠の感がある。当講演では、実例に対し、より直接的に（経験式によらず）、その当否を論じる。用いる関係は、地震モーメントが断層の長さの二乗に比例することのみである。また、この関係が当てはまる過去の地震として、最もよく観測、調査、研究が行われた2016年熊本地震のデータを用いる。

本論に入る前に、過去に得られた結果のまとめを示す。

表 地震モーメントの観測値と事前推定値（経験式から求まる値）：単位は $10^{18}\text{Nm}$

地震名略称	地震モーメント Mo	長(km) x 幅(km)	中央防災会議 (2008)	武村 (1998)	山中・島崎 (1990)	地震本部 レシピ(イ) (2017)	入倉・三宅 (2001)
1891濃尾	180	69x14	220	210	180	91	52
1930北伊豆	27	27x14	27	32	28	15	7.9
2011浜通り	11	19.5x15	13	17	14	7.8	4.8
1927北丹後	46	33x14	42	48	41	22	12
1943鳥取	36	30x14	35	39	34	18	9.8
1945三河	10	21x17	16	19	17	9.0	7.1
1995兵庫南	22	32x14	40	45	39	20	11

断層長は活断層（帯）の両端間の距離を用い、幅は地震発生前に推定された断層の傾斜と地震発生層の厚さから推定した。太枠内の数字（地震モーメントの事前推定値。単位： $10^{18}\text{Nm}$ ）は、表の最上部に示す経験式を用い、断層長（と幅）を用いて計算した。

ここでは地震発生層の全体が壊れるような、M7クラス以上の地震で、かつ地表に地震断層が概ね出現するような活断層地震で、断層が垂直か垂直に近い場合のみを扱うこととする。

表中で、かなりの部分が地表に出現しない断層や小さい傾斜の断層（下2行）は除外される。

表中の中央防災会議（2008）は、平成20年12月「中部圏・近畿圏の内陸地震に関する報告」による。松田式（1975）によって断層長からマグニチュードを求め、これを中央防災会議（2004）による式でモーメントマグニチュードに変換して地震モーメントを求める。地震本部レシピ（イ）（2017）は、平成29年4月「震源断層を特定した地震の強震動予測手法」による。レシピ（ア）は入倉・三宅（2001）の式によって、断層面積から地震モーメントを求める。レシピ（イ）では、松田式（1975）を用いて断層長から地震モーメントを求める。しかしその後で、入倉・三宅式（2001）を用いて断層面積を計算し、断層長と幅を一定値まで増やし、面積の調整を行う。

断層長を  $L \text{ km}$ 、断層面積を  $S \text{ km}^2$  としてわかりやすい形に変形すると、地震モーメント（単位  $\text{Nm}$ ）は、次のように表すことができる。

$1.95 \times L^{2.2} \times 10^{16}$  中央防災会議（2008）

$4.37 \times L^2 \times 10^{16}$  武村（1998）

$3.80 \times L^2 \times 10^{16}$  山中・島崎（1990）

$2.37 \times L^{1.95} \times 10^{16}$  地震本部レシピ（イ）

$5.56 \times S^2 \times 10^{13}$  入倉・三宅（2001）

$L^{2.2}$  や  $L^{1.95}$  は、 $L^2$  を示唆している。また、断層の幅が同じであれば、断層面積による式も  $L^2$  の式に帰着する。よって地震モーメントは断層長の二乗に比例すると考える。

経験式によらない直接推定を、具体例によって示す。大飯原発の基準地震動を起こすFOA～FOB～熊川断層（以下「大飯原発の活断層」と略す）の断層長 63.4km を  $L_1$ 、モーメントを  $Mo_1$  とすると  $Mo_1 = \alpha \times L_1^2$  ( $\alpha$  は定数)、同様に2016年熊本地震について、事前に設定された断層長を  $L_2$ 、モーメントを  $Mo_2$  とすると同様に、 $Mo_2 = \alpha \times L_2^2$  が成り立つ。2016年熊本地震が発生した布田川・日奈久断層帯北東部の断層長は、2002年の長期評価では約27kmとされている。大飯原発の活断層同様、折線状の断層として扱うと長さは約30kmとなる。熊本地震後に、地震断層とともに活断層地形の調査が進められ、1:25,000活断層図『阿蘇』が改訂された（鈴木ほか, 2017）。活断層である布田川断層帯はカルデラ内に約3km伸びている。よって断層長を 33km とする。熊本地震の地震モーメントとしては、複数の結果をまとめた値 47 x 10<sup>18</sup> Nm（大きめだが表と調和的な値である）を用いる。大飯原発の活断層のモーメントは

$$Mo_1 = (L_1 / L_2)^2 \times Mo_2 = 47 \times 10^{18} \times (63.4 / 33)^2 \text{ Nm} = 173 \times 10^{18} \text{ Nm}$$

と求まる。一方関西電力は断層幅を15kmとし、入倉・三宅（2001）式を用いて 50 x 10<sup>18</sup> Nm とした。その値は1/3.5に過小評価されている。

より直接的に比べてみよう。熊本地震の2倍弱の長さの断層を関西電力は設定したが、地震モーメントは熊本地震と同程度であり、過小評価は明らかである。

## 阿蘇外輪山北西部・的石牧場 I 断層の活動履歴

○宇根 寛・中埜貴元（国土地理院）・佐藤 浩（日本大学）

・八木浩司（山形大学）・小村慶太郎（電力中央研究所）

## Past activity of Matoishi Bokujō I Fault in the northwest of outer rim of Aso caldera

○Hiroshi UNE, Takayuki NAKANO (Geospatial Information Authority of Japan),

Hiroshi P. SATO (Nihon Univ.), Hiroshi YAGI (Yamagata Univ.)

and Keitaro KOMURA (Central Research Institute of Electric Power Industry)

阿蘇外輪山北西部では、平成 28 年熊本地震に伴う「お付き合い断層」が多数現れたことが ALOS-2 データを用いた SAR 干渉解析により明らかになった (Fujiwara et al. 2016, 宇根ほか 2017)。このうち、既存の変位地形が明瞭で、SAR で明瞭な位相不連続が現れ、現地でも地表変位が確認された的石牧場 I 断層 (鈴木ほか 2017, 図 1) について、ピット調査、地中レーダ (GPR) 探査などの地形地質的調査を実施し、活動履歴について調査している。

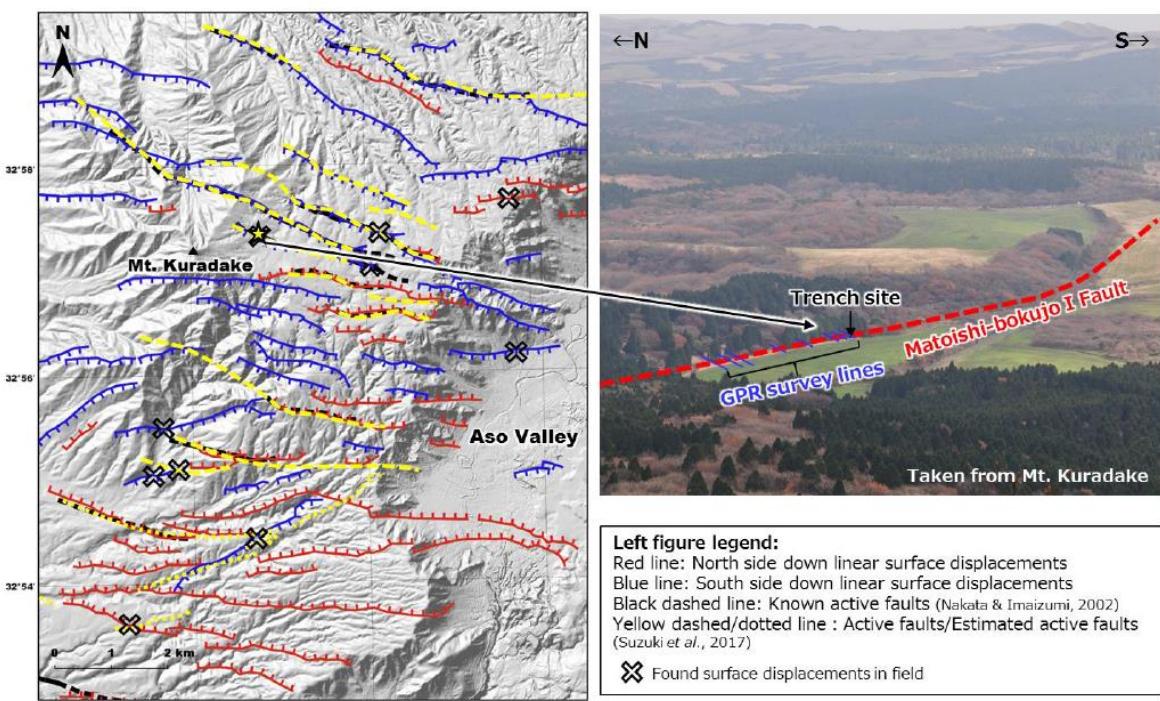


図 1 的石牧場 I 断層周辺の地形、活断層及び SAR による地表変位。☆は調査地点。

ピット調査では、断層崖基部を最大深さ 4m 程度試掘し、壁面の観察を行った。壁面基部には白色の火山噴出物起源と思われる堆積層が現れ、その上位を礫層や黒色の砂泥質の斜面性堆積物が覆っている。明瞭な降下火砕物層はみられない。礫の混入割合、マトリクスの色調、砂質か泥質かなどをもとに暫定的に層区分した結果を図 2 に示す。明瞭な断層面は現れなかったが、各地層の傾きや垂れ下がりは、断層運動に伴い崖が間歇的・累積的に成長してい

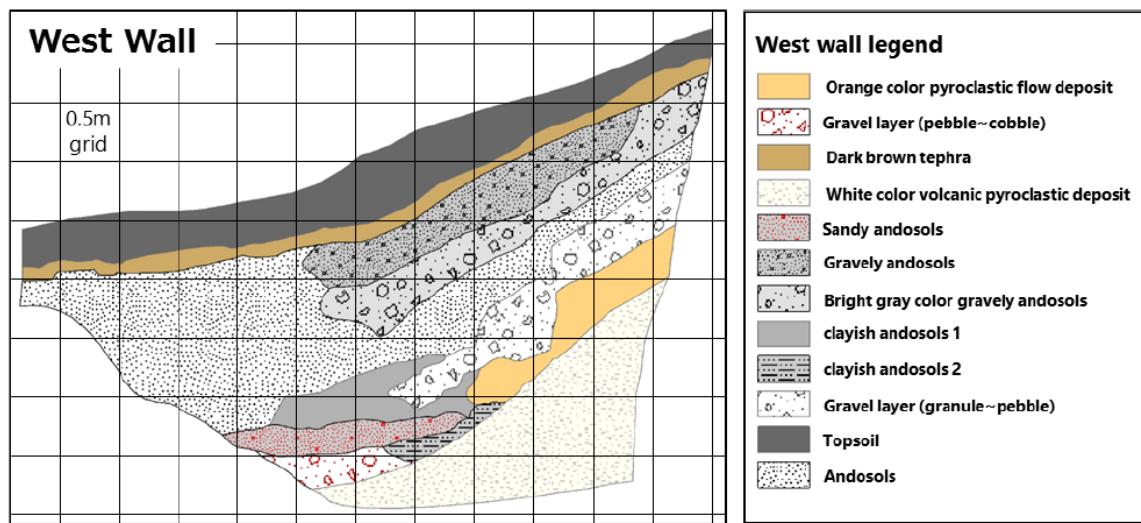


図2 的石牧場 I 断層基部で掘削したピットの西側壁面のスケッチ（暫定版）

ることを示唆していると考えている。なお、その後、ピット北側を約 2m 増し掘りしたところ、地層の変位や礫の回転などを伴う少なくとも 2 条の断層が現れた。結果は整理中である。

ピット底部に現れた白色層は約 9 万年前に噴出した Aso-4 火碎流堆積物表層の二次堆積物と考えている。この周辺には Aso-4 火碎流の堆積面とされる小起伏の地形が拡がっており、地表下数 m の比較的浅い位置に白色層が観察されることから、白色層の上面は火碎流堆積時の堆積面を示していると考えられる。ピット調査や GPR 探査から、白色層上面は南から北に断層崖に向かって緩やかに高度を下げ、断層崖で約 10m 高度を上げていると推定され、地形及び SAR による上下変位パターンと整合的である(図 3)。このことは、今回のような変位の累積が的石牧場 I 断層の断層崖を形成したことを示唆している。

謝辞：本研究は JSPS 科研費 JP17K01234 (研究代表者：佐藤浩) の一部を使用しました。だいち 2 号 (ALOS-2) データの所有権は宇宙航空研究開発機構 (JAXA) にあります。

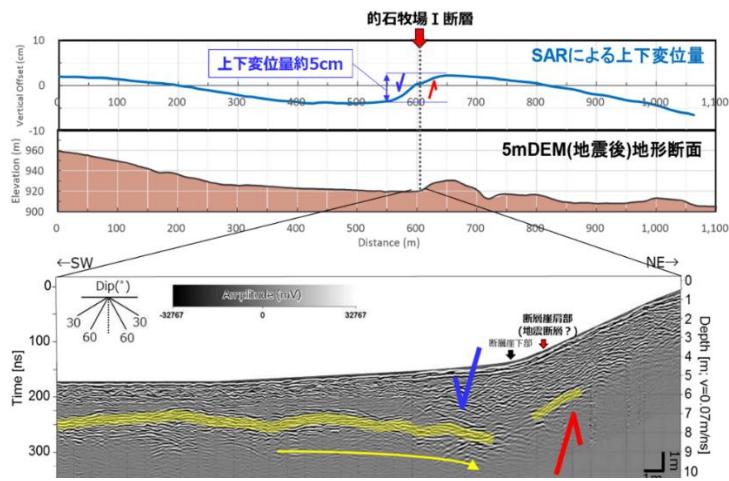


図3 的石牧場 I 断層に直交する地形断面と SAR による上下変位量（上）及び GPR 探査断面（下）

## 2018年北海道胆振東部地震に係わる斜面崩壊と活断層帯の地質学的意義

岡 孝雄（株北海道技術コンサルタント・NPO 北海道総合地質学研究センター）

Geological significance of slope collapses and active fault zone concerned in 2018

Eastern Iburi Earthquake in Hokkaido

Takao Oka (Hokkaido Gijutsu Consultant Co., Ltd and NPO Hokkaido Research Center of Geology)

### 1. 地震経過と発生メカニズムなど

2018年北海道胆振東部地震(震源37km; Mj6.7, Mw6.6)については、厚真町を中心に死者41人、負傷者681人、住居の全壊186・半壊539・一部破損5034棟などの被害をもたらした。それとともに、厚真町などの山地～丘陵地(林地・農地)に数1,000箇所にも及ぶ崩壊・地すべり箇所を出現させ、全道規模の長期停電(ブラックアウト)を含めて、地震の脅威を如実に示すものとなった。

地震後、測地・地震、土木・建築、地質などの専門家グループ・企業の観測・調査も始まり、余震も含む地震の観測結果の開示とともに、調査結果の公表もシンポジウム・緊急報告会という形式で始まっている。

★文部科学省地震調査研究推進本部地震調査委員会 胆振東部地震の評価(9/6, 9/11, 10/12公表)。★東北大学災害科学国際研究所 胆振東部地震に関する検討会(9/7)、同現地調査報告会(10/5)。★地盤工学会主催(共催:土木学会)胆振東部地震による地盤災害緊急報告会(9/12; 日本大学駿河台、同地盤災害調査団速報会(10/2; 北海道大学)。★最終間氷期勉強会第139回例会 胆振東部地震に関する緊急報告会(10月27日; 札幌市北区民センター)。

これらの成果から本地震の発生メカニズムなどとその後の経過は以下のように要約できる。①9月6日3:07に胆振地方中東部の深さ約35kmでM6.7の地震が発生、最大震度7、東北東～西南西に圧力軸をもつ逆断層型。破壊継続時間は13秒。震源断層モデルとして、国土地理院からは断層基準点位置東経141.976°・北緯42.586°、上端深さ約16km・下端約31km、走向ほぼ南北(358°)、東傾斜の高角(74°)、すべり角113°、すべり量1.3m、Mw6.56が提示。②

余震活動は本震を含む南北30kmの領域で継続、9/6 6:11, 10/5 8:58に最大震度5弱、10/12 10:00までにM4.0以上の地震が52回、最大震度4の地震が23回発生。③本震について安平町K-NET追分観測点で1796gal(三成分合成)など大きな加速度が観測され、震央付近の厚真町鹿沼で震度7、同京町・安平町追分柏が丘・むかわ町松風・同穂別で震度6強の揺れを観測。④衛星測位地システム観測では苫小牧・厚真・平取で東～南東へ1.9～3cm、門別で南南東へ5.4cmの水平移動が観測された。だいち2号の合成開口レーダー干渉解析画像の解析から震央周辺で最大7cm程度の隆起、その東側で最大4cm程度の東向き変動が見られた。⑤本震および余震は主に深さ25～40km付近に集中し、一部の微小な余震が10～15km付近に認められ、前者が下部地殻付近に位置することからその位置付けが問題となった。過去10～18年間の胆振東部とその周辺の震源分布も検討された結果、本震および余震は高速度域と低速度域の境界付近で発生したものとされ、今回の地震を含む地震発生層は日高山脈下へ深くなるものとしてとらえられている。一方、深さ10km付近より浅部では石狩低地東縁断層帯の震源断層が低角東傾斜～水平で想定されているが、地表付近の活断層群(副次的)を含めて、直結はしていない。

### 2. 胆振中東部の地質・地形と未知の活断層および崩壊・地すべりの多発

厚真町を中心とした地域の地質は地質図幅「早来」・「穂別」に示されるが、主に新第三系堆積岩よりなる褶曲地帯で、地形的には細かく開析された山地(小起伏; 標高400m以下)と丘陵地を主体とするが、西寄りの部分では中期更新世以降の海成段丘が発達する。厚真川が北東から南西へ向かって流れ太

平洋に注ぐが、その流域には沖積低地が膨縮を繰り返して分布する。狭くなった部分には、石狩低地東縁断層帯などの地質的構造線（帯）が通過することから、沖積低地の広がりは活構造（断層）に規制されている可能性がある。さらに、中～上流部では下位より T1～T5 の河岸段丘面の発達が顕著である。T5 面（現河床からの比高 30m 前後～40m 前後）でも、その形成（離水）時期は 5～6 万年前で、それより古い（高い）段丘面は確認できず、地殻変動の進行により消失したものと思われる（地殻変動の激しさを反映）。なお、褶曲帯のうち、鵡川市街北東側丘陵から厚真町高丘付近に至る右雁行褶曲群（新たに厚真複背斜と呼ぶ）は活構造の可能性が高い。

国土地理院の厚真町周辺のデジタル標高地形図（2018 年 9 月作成）によれば、厚真川沿いの朝日～幌内においては、4 つの南北方向のリニアメントが認められる。そのうち、富里西方（吉野東側）のものについては既存のものに加えて、今回の地震で新たな活断層露頭が出現した。東落ち高角度の階段状断層で、概査によれば Ta-d（8,800 年前頃降灰）基底面の総計の落差は約 5m である。Ta-c（3,300 年前頃同）も変位を受けるが、Ta-b（1667 年同）は地形なりに断層を覆っており、切られていない。よって、8,800 年前以降 2 回以上の断層活動があったと推定される。その他の証拠も含めて活断層として確定したことから、これを「吉野断層」と呼ぶことにした。今回のこの活断層については新たに活動した証拠は認められなかった。他の活断層の可能性のあるリニアメントについても、今のところ動いた証拠はない。今回の本震の断層面を地表に延長させると、石狩低地東縁断層帯の地表部に達するような見方もあるが、演者は、そうではなく、厚真複背斜にともなわれる地表の活断層帯（石狩低地断層帯の東側に並列）に達すると考える。

崩壊地の多発については、国土地理院が 9/6, 9/8 および 9/11 に撮影の空中写真とその解析図を公表している。それによれば、安平町東縁部と厚真町中～北東部およびむかわ町の一部の山地～丘陵地（林地・農地）に数 1,000 箇所にも及ぶ崩壊・地すべり箇所を出現させた。この多発範囲は厚真複背斜地

域の中～北部および平取背斜地域の南部地域の範囲にほぼ一致し、本震とその後の余震分布から明らかになる断層の上盤範囲の北部からその北～北西側に該当する。一方、上盤範囲の南部（厚真町南東部・むかわ町南部）の山地～丘陵では厚真町鹿沼で震度 7 が観測されているが、崩壊・地すべりの発生は極めて少なかった。多発の要因は樽前火山起源の Ta-d を主体とした降下火山灰層が東方に厚く堆積し、崩壊多発範囲は Ta-d を主体とした 2～3m の斜面堆積物が厚く覆う部分となっていたことである。震度が大きかったが崩壊が少なかった厚真町南東部などについては今後の詳しい調査が必要である。

なお、ポスター発表でも示すように日高幌内川中流部では既知の地すべり地で新第三系岩塊が 500m 程分離・移動し、河谷を閉塞する事態が発生した。これは、震源近接部での地震動の激しさを象徴するものである。

### 3. 厚真川流域 6 万年史の解明から胆振東部地震について考える

厚真川上流域では厚幌ダム工事関連での遺跡調査の一環で地形・地質調査が演者により行われた。工事用の 5,000 分の 1 厚幌ダムレーザー測量図を読み取り地形面区分を行って露頭調査を進め、遺跡発掘の成果も取り入れて地形面毎の堆積物の構成をまとめた。その際にはクッタラ・支笏・恵庭・樽前火山の 5 万年前頃以降の降下火山灰に基づく火山灰編年が有効な役割を果たした。

中流域を含めて段丘堆積物（T1～T5 面）、現河川氾濫原堆積物（沖積層）および斜面堆積物の解析から過去 6 万年間の層序（地史）をまとめた結果、過去の顕著な地変については Ta-d 降灰後の斜面・河川変動（8,800 年前頃；縄文時代早期）、活断層の活動？（5,000 年前頃；縄文時代前期）が指摘できる。地震動に関連する証拠と言っても、厚幌 1 遺跡の地すべり移動体など数例に過ぎない。その他、年代は不明であるが、厚幌ダム湖周辺には数箇所、古い地すべり地形が存在する程度である。今回のような崩壊・地すべりが多発した証拠は少なくとも、過去 1 万年間には検出できていない。もし、それが確かであれば、我々は縄文人も遭遇しなかった地震と地変を経験したことになる。果たしてどうであろう。

## LiDAR-DEM 差分解析と差分干渉 SAR 解析の組み合わせによる 2011 年福島県浜通りの地震の地表地震断層の変位量分布

○青柳恭平(電中研)・影島充万・大沼巧(地科研)・本間信一・向山栄(国際航業)

Fault Displacement of the 2011 Fukushima-ken Hamadoori Earthquake deduced by  
Integrated analysis of Differential LiDAR DEM and DInSAR

○Y. Aoyagi (CRIEPI), M. Kageshima, T. Onuma (JGI, Inc.), S. Honma, S. Mukoyama (KKG)

### 1. はじめに

リモートセンシングによる地震時の地殻変動データは、地表地震断層の変位量を定量的に評価する上で有用な情報である。ここでは、差分 SAR 干渉解析と LiDAR-DEM 差分解析を併用して、2011 年福島県浜通り地震に伴う3成分の地殻変動分布を求め、地表地震断層の変位量分布を明らかにする。

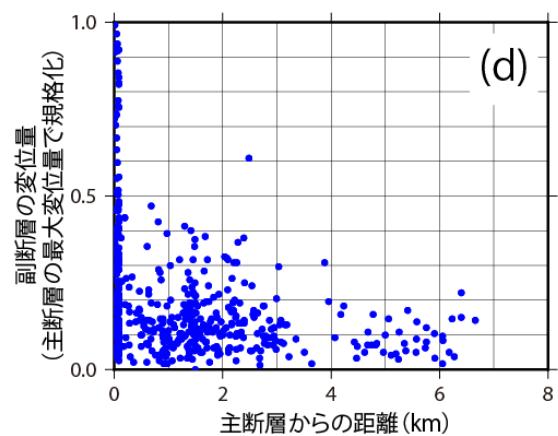
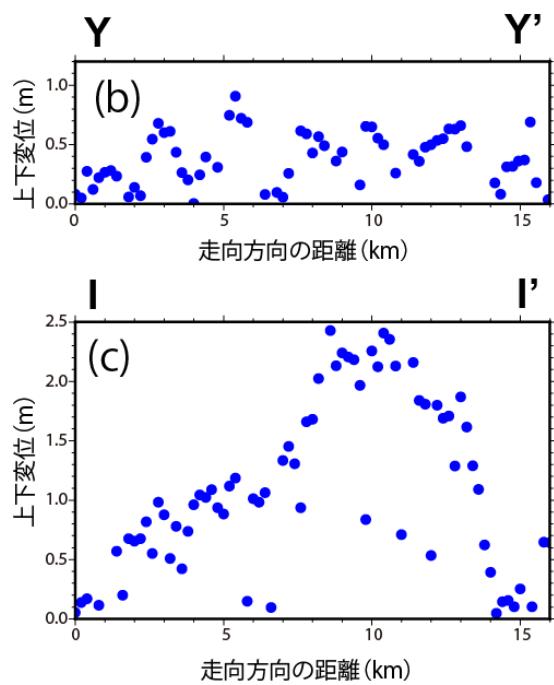
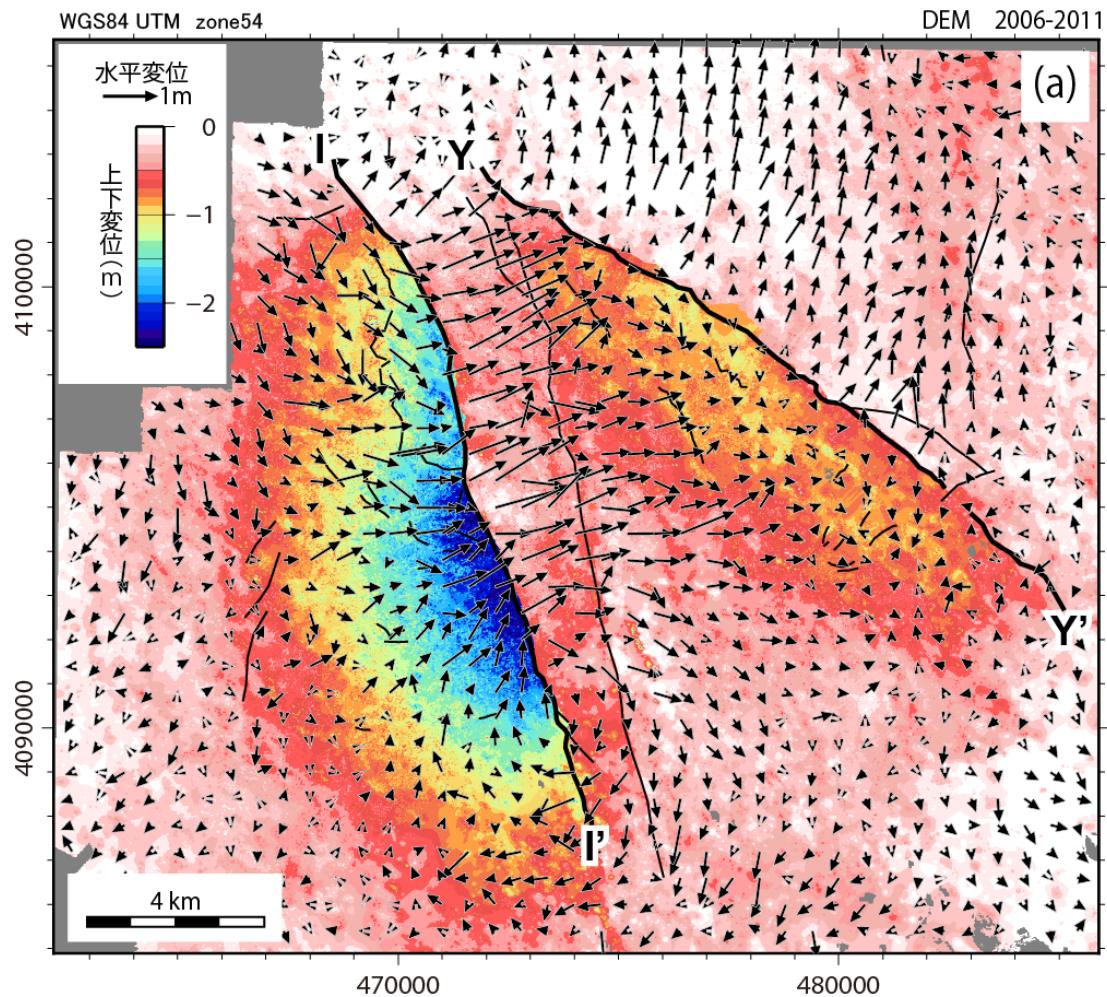
### 2. LiDAR-DEM 差分解析と差分 SAR 干渉解析の併用による震源域の地殻変動

地震の前(2006~2007 年)と後(2011 年 5~6 月)に取得された 2m メッシュの LiDAR-DEM を用いて、DEM 差分解析を行った。データと解析は品川ほか(2013)に準じているが、解析対象を震源域全体に拡張した。これにより、震源域全体の3次元変動分布が得られた。ただし、このデータには航空レーザー計測のコースずれの影響のほか、原因不明のばらつきも多数含まれる。そのため、ALOS PALSAR による地震前後の差分干渉 SAR の解析結果(青柳・大沼, 2017)を参照して、LOS 方向の変動量が差分干渉 SAR 解析の結果とほぼ一致する(差が±20%以内)地点の解析結果のみを残してデータ補間を行った。また、FFT フィルタを適用して、特定の方向に卓越するコースずれの影響を除去した。

得られた3次元的な地殻変動分布を図(a)に示す。井戸沢断層西トレース(I-I')、湯ノ岳断層(Y-Y')に沿って、最大 2.4m ほどの西側の沈降が認められる。また、水平変動は井戸沢断層の並走する2本のトレースの間で特に東向きの変動が大きく、1m ほどに達する。井戸沢断層の西側は最大沈降域に収斂する向きの変動が生じている。この結果、井戸沢断層北部では左横ずれ、南部では右横ずれとなっている。湯ノ岳断層は南東側の水平変動量が小さいのに対して、北東側が北向きに変動している。

### 3. 3次元地殻変動に基づく断層変位分布

差分干渉 SAR で得られた干渉縞の不連続部を地表地震断層として抽出した(図(a)の黒実線)。これらの各断層沿いに 200m 間隔で測定点を設け、断層に直交する測線沿いに得られる 15m 間隔の変動分布から、断層を挟む±150m 区間での最大相対変位をその測定点の断層変位量として算出した。主断層と考えられる湯ノ岳断層(Y-Y')と井戸沢断層(I-I')に沿う上下変位量の分布を図(b), (c)にそれぞれ示す。堤・遠田(2013)の観測結果と調和的である。また、それ以外の断層を副断層として、各測定点の変位量分布を主断層からの距離で整理した(図(d))。主断層からの距離に応じて変位量が減衰していく様子が捉えられた。この傾向は、高尾他(2013)が複数の地震に対して整理した結果と調和的である。



(a) 地震前後の地殻変動分布  
背景が上下、ベクトルが水平成分を表す。  
黒実線はInSARの位相不連続から推定した地震断層。  
(b) 湯ノ岳断層沿いの上下変位 (Y-Y' 断面)  
(c) 井戸沢断層沿いの上下変位 (I-I' 断面)  
(d) 地表地震断層の変位量と主断層との距離の関係  
湯ノ岳断層と井戸沢断層を主断層とした。  
縦軸は、井戸沢断層の最大変位で規格化した変位量。

## 安政江戸地震の震度分布と山の手台地部の地形区分・地下地質・断層との関連性について

豊蔵 勇（ジオ・とよくら技術士事務所）

Intensity distribution of the Ansei Edo Earthquake and its relationships with topographical classification, subsurface geology and faults

Isamu TOYOKURA (Geo-TOYOKURA Professional Engineer's Office)

**1. まえがき** 安政江戸地震は、江戸時代の終わり頃の安政二年十月二日（1855年11月11日）に江戸の中心部を襲ったマグニチュード6.9の、いわゆる都市直下型であると同時に当時の政治経済の中心部を襲った地震である（宇佐美, 1996など：東京大学出版会）。この地震では、江戸城下の多くの大名屋敷を始めとし、武家屋敷、社寺、町方の住居の倒壊等の建物被害、大火災、ならびに7千人を超える死者がでた。被害については、幕府等の公式記録、個人の日記、かわら版など多くの史料が残されているため、様々な研究が行われている。地震に関しては、建物の被害に基づく震度推定の研究のみならず、広域の震度分布や揺れの体感に基づき震源の推定がなされている。

本発表では、既往の建物被害から推定された震度分布に関する研究が複数あることから、ここでは東京都総務局（1973；佐山）と中村・松浦（2011, 2013：歴史地震）の震度分布を用い、山の手台地内における地形区分・地下地質・断層との関連性について検討したのでその結果について述べる。

**2. 既往の震度分布研究と本研究法について** 東京都総務局（1973；佐山）の震度分布図は、各種の建物を種類別にせず震度を推定しているため、カ所数が多い特徴がある。震度階級には、改正メルカリ法（MMI）による12区分のものを用いられている。他方、中村・松浦（2011, 2013）による震度分布図は、大名・武家屋敷・寺社の被害に基づき震度を推定しているため、カ所数は少ないが対象建物の耐震的な強さがある程度そろっていると考えられる。震度階級には、歴史地震分野で採用されている気象庁の震度階級（気象庁, 1978）用いられている。

本報告では、両震度分布について表層地盤によって地震動の増幅度が異なることから、更新統から構成される段丘台地部（洪積地盤）と軟弱な沖積層からなる低地・谷地部（軟弱地盤）に分けて、それぞれの震度分布図を作成し、台地部の地形は土地条件図による地形分類（国土地理院・数値地図25000, 2018年現在）、地質はこれまで発表者が使用してきた地質解析図（豊蔵, 2009, 2012など）、東京の地盤（GIS版）ならびに新宿区地盤情報閲覧システム、地質構造については伏在推定第四紀断層の分布（豊蔵, 2009, 2012など）との関連性について検討しているが、本報告では、主として山の手台地部の震度分布と強震動の出現原因に関する検討内容について述べる。

**3. 山の手台地の台地部の震度分布の特徴** 上記の二つの震度分布を基に山の手台地内の

段丘台地部に限定した震度分布図（コンターマップ）は、互いに震度階級法が異なるので直接的な比較できないが、東京都総務局および中村・松浦によるものには、それぞれ次のような震度分布状況が認められた。

- ・山の手台地の山手線内は、前者ではほぼ MMI7 以上、後者では震度 5 以上である。
- ・前者の MMI8 以上の強震域は推定市ヶ谷断層付近から推定飯田橋断層の西側に NNE-SSW 走向で長さ約 6.5km、幅 0.5～1.5km の範囲に、後者の震度 5.5 以上の強震域は同方向よりやや東よりの方向に長さ約 7.5 km、幅約 1.0～3.0 km の範囲であるが、その北限はそれぞれ台地北東縁の日暮里および田端付近で、南限は四谷駅西方および赤坂と神宮前付近を結ぶ付近である。この強震域の分布は詳細に見ると南半部と北端部では重なり合うところが広いが、北半部では重なり合う範囲はかなり少ない。
- ・さらに一段階強い震度の範囲は局所的であるが、前者では MMI9～10 の箇所が、後者では震度 6.0～6.5 の箇所が、それぞれ市ヶ谷駅と市ヶ谷～四谷駅の西方で認められるが、詳細な位置は微妙にずれている。

#### 4. 山の手台地で強震度分布の認められる場所と地形、地質、断層との関連性

- ・山の手台地内は前者の MMI7 以上、後者の震度 5 以上の範囲は、地形的にはいずれも本郷面から、豊島面、淀橋面までの各面に広がっている。また、これらの面の表層付近の構成層はいずれも中期更新世の東京層上にそれぞれ更新世中期末淀橋面構成砂層、更新世後期の豊島段丘堆積層、および本郷段丘堆積層が載った上に関東ロームが覆ったものとなっている。
- ・前者の MMI8 以上および後者の震度 5.5 以上の範囲は互いに比較的似た分布を示し、飯田橋付近ないしその西方を中心として NE-SW～NNE-SSW ないし NE-SW 方向の長さ約 7km、幅約 1～3km の長方形的な不定形状の地区である。これらの分布域は上記の震度分布域同様段丘面および段丘構成層によって差が現れていない。
- ・前者の MMI8 以上あるいは後者の震度 5.5 以上の強震域は、推定市ヶ谷断層ないし飯田橋断層沿いあるいはその周辺に限定されるという特徴がある。
- ・なお、山の手台地の東縁部には中央部より低い震度範囲が認められるが、このことは震度低下が山の手台地内から東京湾側に向かっていることを示している。

#### 5. まとめ：以上のことから、東京都総務局および中村・松浦による震度分布図に基づくと、安政江戸地震の際には、山の手台地部のほぼ山の手線内の洪積地盤の広い範囲が強い震動にみまわれたが、特に強震動が出現した場所は推定市ヶ谷第四紀断層ないし飯田橋第四紀断層の周辺で、上述のように地形、地質よりは、両断層の分布に関連することを強く示唆する。このことは、現在、本地震の震源として約 40km 以深を推定する見解が多いが、両断層に沿いにも強い震度帯が現れたことは、これらの地下深部に震源断層の一部があった可能性を示唆する。その他、下末吉期の軟弱な泥層を伴う埋没谷の震度の增幅傾向が一部見られたことから、それについても言及する。

研究機関と学会の協働による若手育成：第一回「活断層の学校」 in つくば

国土地理院、産総研、防災科研で学ぶ“活断層研究”の報告

山口勝（NHK放送文化研究所）・吾妻崇（産総研地質調査総合センター）

一）・宇根寛・中埜貴元（国土地理院）・藤原広行（防災科学技術研究所）

・杉戸信彦（法政大学）

Human resource development through collaboration between research institutions and Academic Society (JSAF).

Report on The 1<sup>st</sup> “School of Active Fault Studies” in Tsukuba, 3days of Geospatial Authority of Japan(GSI), Geological Survey of Japan(GSJ), AIST and National Research Institute for Earth Science and Disaster Resilience(NIED).

Yamaguchi, Masaru<sup>○</sup> (NHK Broadcasting culture Research Institute), Azuma, Takashi (GSJ, AIST), Une, Hiroshi (GSI), Nakano, Takayuki (GSI), Fujiwara, Hiroyuki (NIED), Sugito, Nobuhiko (Hosei University)

日本活断層学会の普及教育事業として、学生を対象にした「活断層の学校」 in つくば 国土地理院 産総研 防災科研で学ぶ“活断層研究”を 2018 年 9 月 12-14 日に実施した。西は熊本、東は千葉、北は信州の大学から、学部 1 年から大学院 2 年の 19 人（内、学生会員は 4 人）が参加し、大学の中だけでは得られない、活断層や地震に関する最先端の調査研究や防災政策を学んだ。「活断層の学校」直前の 9 月 6 日には北海道胆振東部地震が発生し、3 機関やメディアからどのような情報が発信されるのか注視するよう事前課題を出し、講習はより充実したものになった。本稿では、国土地理院、産総研地質調査総合センター、防災科学技術研究所という国の研究機関との協働で実現した活断層研究人材の育成について、参加者アンケートを含めて成果と課題を報告する。本学会は、設立 10 年で法人化した。「活断層の学校」は、分野を超えて活断層を地震を 防災を 社会とともに考えるという学会設立の原点を確認し、将来像を考える機会にもなった。「来年もやりましょう！」実施者が得た最大の成果である。参加者募集に合わせて、大学と学会の協働による「信州大学防災カフェ 活断層地震にどう備えるか」（7 月 21 日）や「信大ジオツアー 長野活断層巡査」（7 月 28 日）を実施したところ、信州大学から 3 人の学生が参加し、新たに一人が学生会員になった。学会、研究機関、大学、学生の視点から「活断層の学校」の意義を考察する。



参加者アンケート（詳しくは発表で！）

- 活断層研究の関心高まった 100%
- 学校への満足度 満足 100%
- 学会、研究機関への関心高まった
- 参加目的 活断層研究を学ぶ、キャリア選択●分野を超えた、新たな「気づき」や「学び」、来年もぜひ！
- 参加者の関心分野: 地質、地理、防災、地震、社会の順

