

2016年

6月号

NEWS
LETTER

IEVG ニュースレター

Vol.3 No.2

[特集]

産総研つくばセンター 2016 年一般公開における展示の紹介

産総研では、広く一般の方々に我々の日頃の研究成果に接して頂くために、毎年夏休みの土曜日につくばセンターの一般公開を開催しています。本年度は7月23日（土）に開催の予定です。一般公開では、研究者が成果を分かりやすく説明すると同時に、来場された方々に実際に簡単な実験を体験して頂く企画も行われます。一般公開では、当研究部門からも以下にご紹介するように4つの体験デモを出展する予定です。地震や火山について楽しみながら学ぶことのできる良い機会ですので、ご来場頂ければ幸いです。一般公開の全容については、産総研ホームページ（<http://www.aist.go.jp/tsukuba/ja/pr/2016/>）をご覧ください。

1. チャレンジコーナー 「実験で学ぶ火山の噴火」
の見どころ

火山が噴火するのは地球が活着しているからです。しかし火山の中がどうなっているのかは見えません。多くの研究者がむずかしい方法で調べていますが、産総研が開発した「シースルー火山」を使って実験すれば火山の中をイメージすることはかんたんです。実験に使う材料は家庭によくあるビニール袋と洗剤です。洗剤（重曹とクエン酸）を混ぜることで起こる発泡は爆発的噴火でマグマが発泡する現象とそっくりです。本物の火山が噴火すると、家族が離れ離れになって逃げたり、時には命を奪われることもあります。ところが、この実験なら、かんぺきに安全に火山噴火を疑似体験して、夜は家に帰って夕飯を食べることができます。夏休みの自由

Contents

- 01 特集 産総研つくばセンター 2016 年一般公開における展示の紹介
- 04 研究現場紹介 (1) 熊本地震と今後の活断層調査研究 …… 宮下由香里
- 12 (2) 熊本地震緊急調査 …… 白濱吉起
- 15 (3) 熊本地震による温泉水・湧水への影響調査 …… 高橋 浩
- 17 新人研究紹介 堆積岩の変形特性と水理特性取得のための室内岩石実験手法 …… 佐藤 稔
- 20 シンポジウム 活断層・火山研究部門研究集会「カルデラ研究の今後の展望」の開催報告 …… 山元孝広
- 21 受賞報告 風早竜之介研究員が2016年度日本火山学会研究奨励賞を受賞
- 22 外部委員会活動報告 2016年4月～5月

研究もこれですませば二重の意味で安全です。火山や噴火のことについての質問にもぜんぶ答えます。

「地震・雷・火事・親父」ということわざには「噴火」が入っていません。これでは大規模な火山災害が起こったときに心配です。将来の火山災害に備えて、この実験に参加した人の中から、将来の火山研究を背負って立つ勇者が現われることを願っています！

(文責：大規模噴火研究グループ 古川竜太)



2015 年の実験の様子。キミのお家は大丈夫？

2. チャレンジコーナー 「地面の動く様子を目の前で！」の見どころ

本コーナーでは、地面の動きや地下の変形する様子を目の前で見てもらうことをテーマにして、2つの実験を行います。

①木製のかたい地盤とスポンジ製のやわらかい地盤の模型を使い、揺れ方の違いを見る実験（写真参照）

②地下の変形を精密に計測する装置（ひずみ計）のデモ実験

①は過去の一般公開でも出展し、楽しんでいただいている実験です。②は一般公開初お披露目になる実験です。わずかな変形も検出できるその感度に驚くこと間違いなしです。どちらの実験も休みなく行っていますので、ぜひお立ち寄りください。

(文責：地震テクニクス研究グループ 今西和俊)



実験で用いる地盤模型。木製のかたい地盤（左）とスポンジ製のやわらかい地盤（右）、その上に設置した家（本物の地震計）から構成されます。手回しで地盤を揺らし、揺れ方の違いを観察します。地震計で記録された揺れはディスプレイで表示されるようになっています。どちらの家が大きく揺れるでしょうか？（写真は昨年の一般公開の様子です）

3. チャレンジコーナー 実験で観察する「断層の動き」の見どころ

私たちは、発砲スチロールの模型を使って、種類が違う模型を動かすことによって地面の割れ目の様子を観察するアナログ実験を企画しています。実際に模型に触れていただくことによって、「断層が動くと、どんな地面の割れ目ができるのか」、を来客者の皆さんに体験していただくのがこのブースでの目的です。

2016 年 4 月 14 日および 16 日に熊本県熊本地方で発生した「2016 年熊本地震」では広範囲に様々な地表地震断層と呼ばれる地面の割れ目が生じました。そこで、地下の断層面の姿勢（向きや傾斜）の違いが地面の割れ目のでき方に影響を与えることを視覚的に理解しやすいように、色々な角度で二つに切った発砲スチロール板を作成します。そして、この模型の上に地面を模擬した薄い紙を載せて、模型を動かした時に薄い紙にどんな割れ目ができるか、来客者の皆さんに実感していただくというのがねらいです。

私たちが日常生活をしている日本列島の地下には、多くの断層が存在します。現在活動をしている断層は「活断層」として地表で観察できることもあります。地下に、どんな姿勢の断層が存在すると、

断層が動いたときに地面にどんな割れ目ができやすいのか、を今回の模型で触れることができます。私たちのグループでは、断層面に働く力（応力）や断層の傾斜を調べて、断層の活動しやすさを研究しています。一般公開当日では、模型を動かしながら、断層が動いた時の地面の割れ目のでき方について来客者の皆さんとお話しできればと考えています。

（文責：地質変動研究グループ 大坪 誠）



図1 2016年熊本地震で生じた地表地震断層（地面の割れ目）。

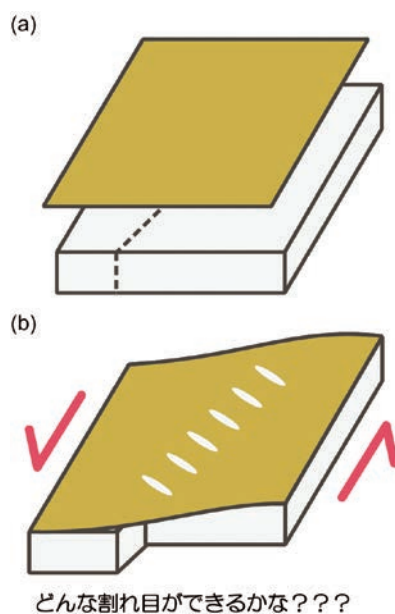


図2 模型実験のイメージ。(a) 薄い発泡スチロール板に斜めに切り込みを入れておきます（模擬断層）。その板の上に薄い紙（図の黄色、地面を模擬）を載せます。(b) 模型を左ずれに動かした様子の例。この場合に地面にどんな割れ目ができるのでしょうか？

4. サイエンスコーナー 「地震を見てみよう！聴いてみよう！」の見どころ

本コーナーでは、地震のデータを動画や音声に変換することで、地下で起こっている現象をより簡単に正確に把握する取り組みを紹介するものです。データを画像や動画にする「可視化」と音にする「可聴化」が本コーナーのテーマです。

可視化パートでは、2016年熊本地震の際の前震・余震の3次元的な分布を動画で見いただきます。震源の分布を見ると、地下の断層がどのように分布しているのか見えてきます。そのほかの地域における震源分布も準備しているところです。

可聴化パートでは、2011年東北地方太平洋沖地震の際に記録された地震波形データを音と動画にしたものを視聴していただきます。これは昨年度も出展したのですが（写真参照）、ちょっと音を聴いていただくと、日本全国への地震波の広がりを感じられますし、そこに隠れた別の地震も見つかります。

D会場（本部・情報棟1階ロビー）の中央、サイエンストーク会場の入り口付近で、皆様のお越しをお待ちしております。

（文責：地震テクニクス研究グループ 内出崇彦）



写真：2011年東北地方太平洋沖地震の際の地震波形を音と動画に変えたものを視聴していただいている様子。2015年は屋外で実施しましたが、本年は屋内で行います。

研究現場紹介 熊本地震と今後の活断層調査研究

熊本地震（1）

宮下由香里（活断層評価研究グループ）

はじめに

2016年4月14日21時26分に、熊本県でマグニチュード(M) 6.5の地震が発生しました。また、28時間後の4月16日01時25分にM7.3の地震が発生しました(図1)。これら一連の地震は、気象庁によって、「平成28年(2016年)熊本地震」と命名されました。産総研地質調査総合センターでは、地震発生直後に緊急対応本部を設置するとともに、翌15日に緊急調査隊を現地に派遣しました。緊急調査隊の現地調査の様子については、本ニュースレターに記述されていますので、ご一読いただければ幸いです。地震発生から2ヶ月が過ぎ、2016年熊本地震の地震学的、測地学的特徴、現地調査の結果等については、気象庁、防災科研、地震調査研究推進本部、各種学会、大学等のホームページに詳細がまとめられています。ここでは、2016年

熊本地震を引き起こしたとされる^{ふたがわ}布田川断層帯と^{ひなぐ}日奈久断層帯の活断層としての特徴と、この地震が提起した活断層調査研究における問題点について考えてみたいと思います。

布田川断層帯と日奈久断層帯

日本の活断層調査研究は、1995年の兵庫県南部地震を契機に、地震調査研究推進本部（以下では地震本部と記述します）が設立されて以降、質・量ともに発展・充実して来ました。地震本部は1997年に基盤的調査観測の対象活断層として、98の主要活断層帯を策定しました[1]。その後の活断層調査と評価を経て、その数は2005年に110、2015年に97と改訂されています。1995年兵庫県南部地震以降、気象庁が名前をつけた、あるいはM7.0以上の陸域及び沿岸海域を震源とする被害地震は7つあり

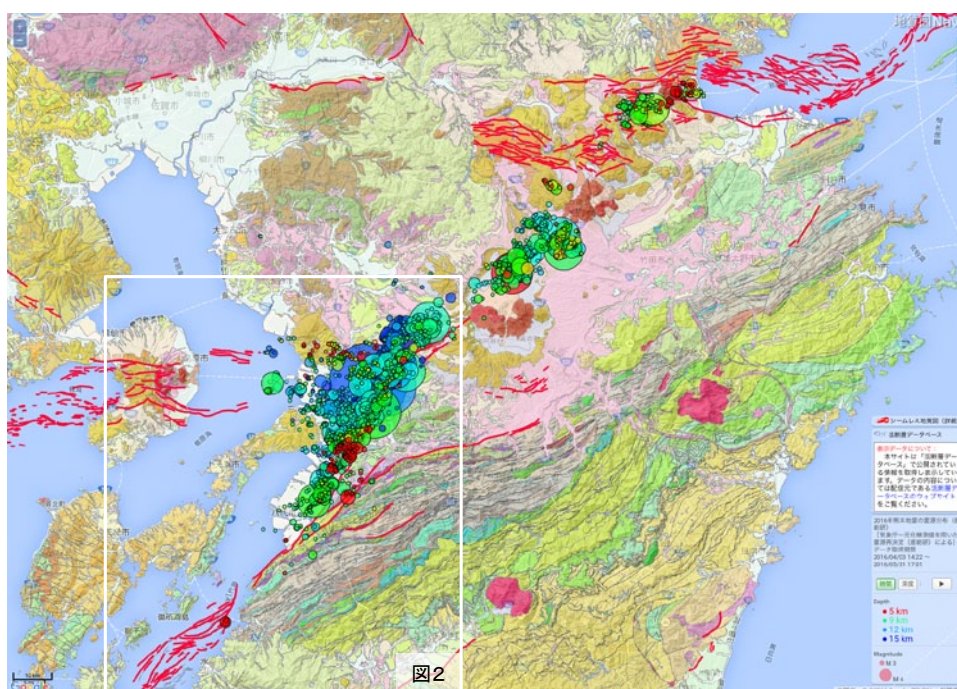


図1 九州中部地域の活断層と2016年熊本地震の震央分布。地質図Naviで20万分の1日本シームレス地質図に震源分布を重ねて表示。基図はGoogle Mapsの地形を使用。

ますが、そのいずれもが主要活断層帯以外で発生したものでした（表1）。2016年熊本地震は、我が国が本格的な活断層調査研究に取り組み始めて以来、国として警戒していた活断層で初めて起こった大地震でした。

2016年熊本地震を引き起こした活断層は、布田川断層帯と日奈久断層帯です。この二つの断層帯は、従来、布田川・日奈久断層帯として一括されていましたが[2]、2013年の九州地域の活断層の長期評価の際に、二つの断層帯に区分されました（図2）[3]。ここで、地震前に予想していたこと（長期評価）と、実際に起こったことを整理してみましょう。表2に、布田川断層帯、日奈久断層帯の長期評価と今回の地震の特性をまとめてみました。加えて、各断層が起こす地震の活動間隔をわかりやすく見るために、長期評価で使われた「布田川断層帯・日奈久断層帯の時空間分布図」を引用します（図3）。

布田川断層帯については、後で詳しく述べますが、布田川区間全域と東西両延長に地表地震断層が現れました。長さや地震の規模に関しては、想定より長い区間が破壊し、想定より大きな規模の地震が起こったと言えます。過去の活動から推定された地震発生確率については、「0.9%」をとれば「やや高

い」確率ですが、図3を見ると、次の地震はまだ先のことであるような印象を受けます。しかし、実際には、最新活動と一つ前の活動の間の活動の有無については分かっていません（表2）。日奈久断層帯については、高野－白旗区間の北端から約6kmの間に地表地震断層が現れました。余震分布はこの区間とほぼ同様の範囲に認められますが、地震の規模は想定より小さかったと言えます。高野－白旗区間の地震発生確率は、「不明」でした。これは、主として過去の活動時期が一つしか明らかとなっていなかったことにより、活動間隔が不明だったためです。しかし、日本の活断層の平均的な活動間隔が千年から数千年オーダーであることを考えると、最新活動時期が約1,600年前～1,200年前の間であれば、やはり、次の地震はまだ先のことであるような印象を持ってしまう。また、今回地表地震断層が現れた布田川断層帯の布田川区間と、日奈久断層帯の高野－白旗区間は、過去においては同時に活動した痕跡がありません（図3）。以上をまとめると、地震前に予想していた断層の位置はかなり正確でしたが、地震発生確率を算出するための過去の活動（活動履歴）に関するデータは不十分であったと言えるでしょう。

	発生年（和暦）	発生年（西暦）	地震名	マグニチュード	震源となった活断層
	平成28	2016	熊本地震*	7.3	布田川断層帯、日奈久断層帯
	平成26	2014	長野県北部の地震	6.7	糸魚川－静岡構造線断層帯
7	平成23	2011	福島県浜通りの地震	7.0	井戸沢断層（西側）、湯ノ岳断層
6	平成20	2008	岩手・宮城内陸地震*	7.2	—
5	平成19	2007	新潟県中越沖地震*	6.8	—
4	平成19	2007	能登半島地震*	6.9	—
3	平成17	2005	福岡県西方沖の地震	7.0	警固断層帯（北西部）：地震発生後に追加
2	平成16	2004	新潟県中越地震*	6.8	二つのケースを想定 ケース2の場合は六日町断層帯の活動
1	平成12	2000	鳥取県西部地震*	7.3	—
	平成10	1998	岩手県内陸北部	6.1	雫石盆地西縁－真昼山地東縁断層帯
	平成7	1995	兵庫県南部地震	7.2	六甲・淡路島断層帯

＊：気象庁が名前をつけた地震
赤字：主要活断層帯
青字：沿岸海域の活断層で発生した地震

表1 1995年以降の被害地震。

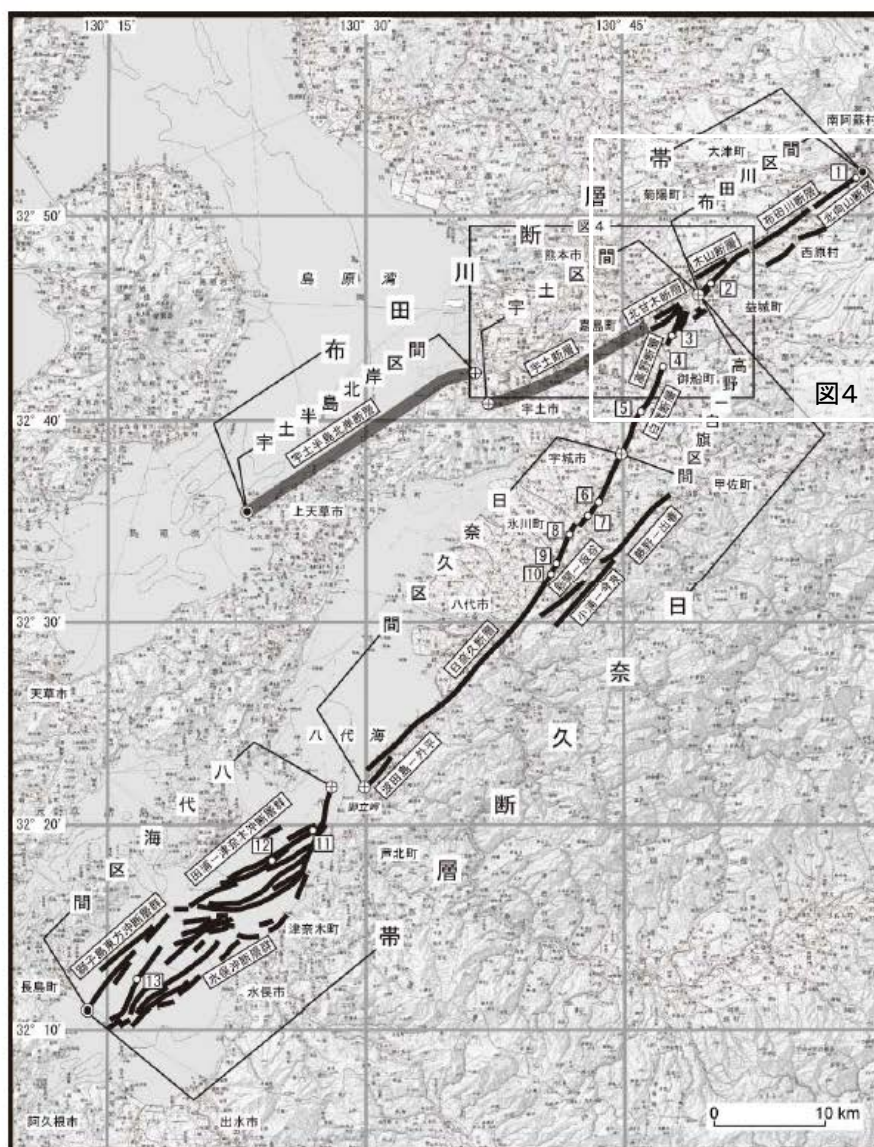


図2 布田川断層帯・日奈久断層帯の分布. 地震本部 (2013) [3] の図2を引用.
 布田川断層帯は、布田川区間、宇土区間、宇土半島北岸区間に、日奈久断層帯は、
 高野-白旗区間、日奈久区間、八代海区間にそれぞれ分けられています.

断層帯	区間名	長さ	平均変位速度 ずれの成分:m/千年	過去の活動	1回のずれの量	地震の規模 (M)	地震発生確率 (30年間)
布田川断層帯	布田川区間	約19km	右:0.2m 上下:0.1-0.3m	①6,900-2,200 ②28,000-23,000 ①, ②間の活動の有無は不明	2m程度	7.0程度	ほぼ0%-0.9%
	宇土区間	約20km	上下:0.2-0.5m以上	不明	2m程度	7.0程度	
	宇土半島北岸区間	約27km以上	不明	不明	3m程度以上	7.2程度以上	
	2016年熊本地震	約28km	—	—	最大2.2m	7.3	—
日奈久断層帯	高野-白旗区間	約16km	上下:0.04-0.2m	①1,600-1,200	2m程度	6.8程度	不明
	日奈久区間	約40km	右:0.7m 上下:0.2-0.5m	①8,400-2,000 ②13,000-12,000 ③19,000-16,000 ④35,000-30,000	3m程度の上下 方向のずれと それ以上の量 の右横ずれ	7.5程度	ほぼ0%-6%
	八代海区間	約30km	不明	①1,700-900 ②7,300-2,800	3m程度	7.3程度	ほぼ0%-16%
	2016年熊本地震	約6km	—	—	最大0.75m	6.5	—

表2 布田川断層帯・日奈久断層帯の長期評価 [3] と熊本地震の特性一覧。

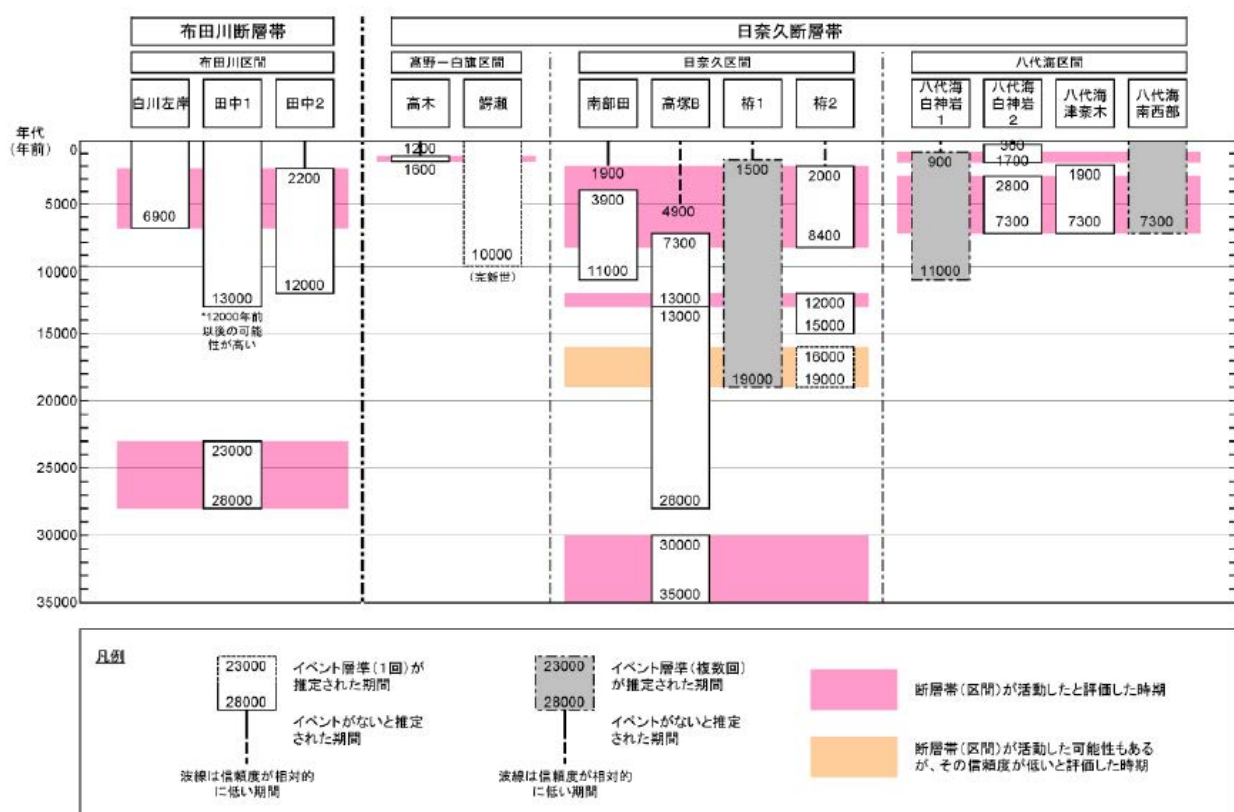


図3 布田川断層帯・日奈久断層帯の活動の時空間分布。地震本部(2013) [3] の図13を引用。図の縦軸は現在から何年前かを示す年代値、横軸は各断層帯における調査位置です。

2016 年熊本地震に伴う地表地震断層の調査

次に、産総研緊急調査隊の現地調査結果の一部をご紹介します。調査結果の詳細については、産総研地質調査総合センターホームページ、「平成 28 年（2016 年）熊本地震及び関連情報」をご参照下さい [4]。地表地震断層は、主に布田川断層帯の布田川区間と日奈久断層帯の高野－白旗区間沿いに露出しました。布田川断層帯については、西部の宇土区間の一部と東部延長の阿蘇カルデラ内にも地表地震断層が現れました。その長さは、布田川断層帯沿いで 28km、日奈久断層帯沿いで 6km と長大です（図 4）。

図 4 において、ピンク色で示した線が地震前に推定されていた活断層の位置です。黒丸で示した地表地震断層は、大まかに見ると、地震前に推定されていた断層位置とほぼ同じ位置に現れました。益城町上陳堂園では、1 本の直線的な断層に沿って、2.2m の右横ずれ変位が計測されています（図 5a）。しかし、細かく見てみると、断層が分岐する地点（三

竹東方）では、分岐した二つの右横ずれ断層をつなぐ方向に左横ずれ断層があったり（図 5b）、変形が幅 200m～300m の間に分散して、その間に、雁行する開口亀裂の連続として認められる断層（図 5c）、正断層（図 5d）、右横ずれ断層（図 5e）、見かけ逆断層的な断層（図 5f）等が 3～4 列平行して存在する区間（河原団地北方）があったりと、地表変位の形態は変化に富んでいることが明らかとなりました。また、布田川断層帯の東方延長部にあたる阿蘇カルデラ内にも、地表地震断層が認められました。現在も、この断層がカルデラ内のどこまで連続していくのか調査を続けています。

今後の活断層調査へのフィードバック

2016 年熊本地震に伴う地表地震断層の調査結果から、ひとくちに「地表地震断層」と言っても、変位・変形が集中する箇所や幅 200m～300m の間に分散している箇所がある等、その地表への現れ方は変化に富んでいることが明らかになりました。

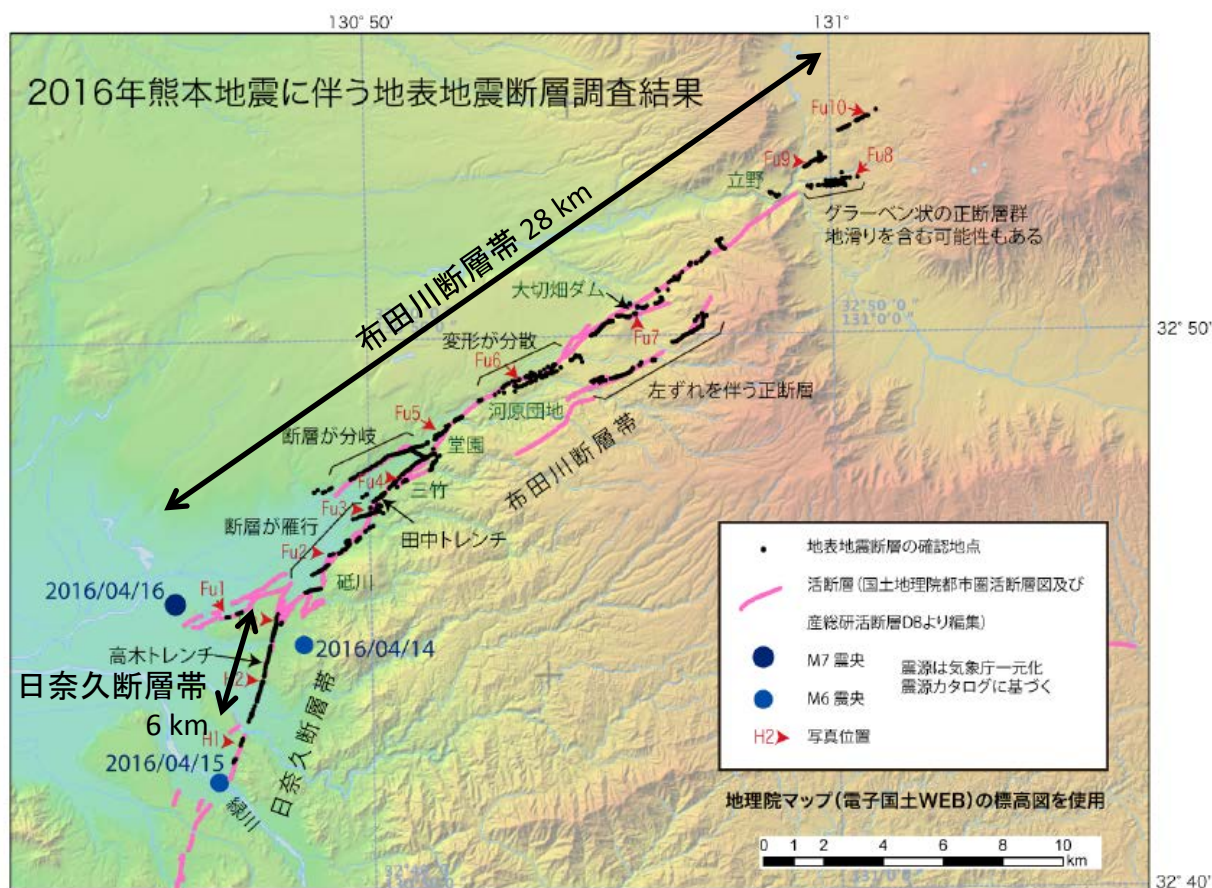


図 4 2016 年熊本地震に伴う地表地震断層調査結果 [5]。

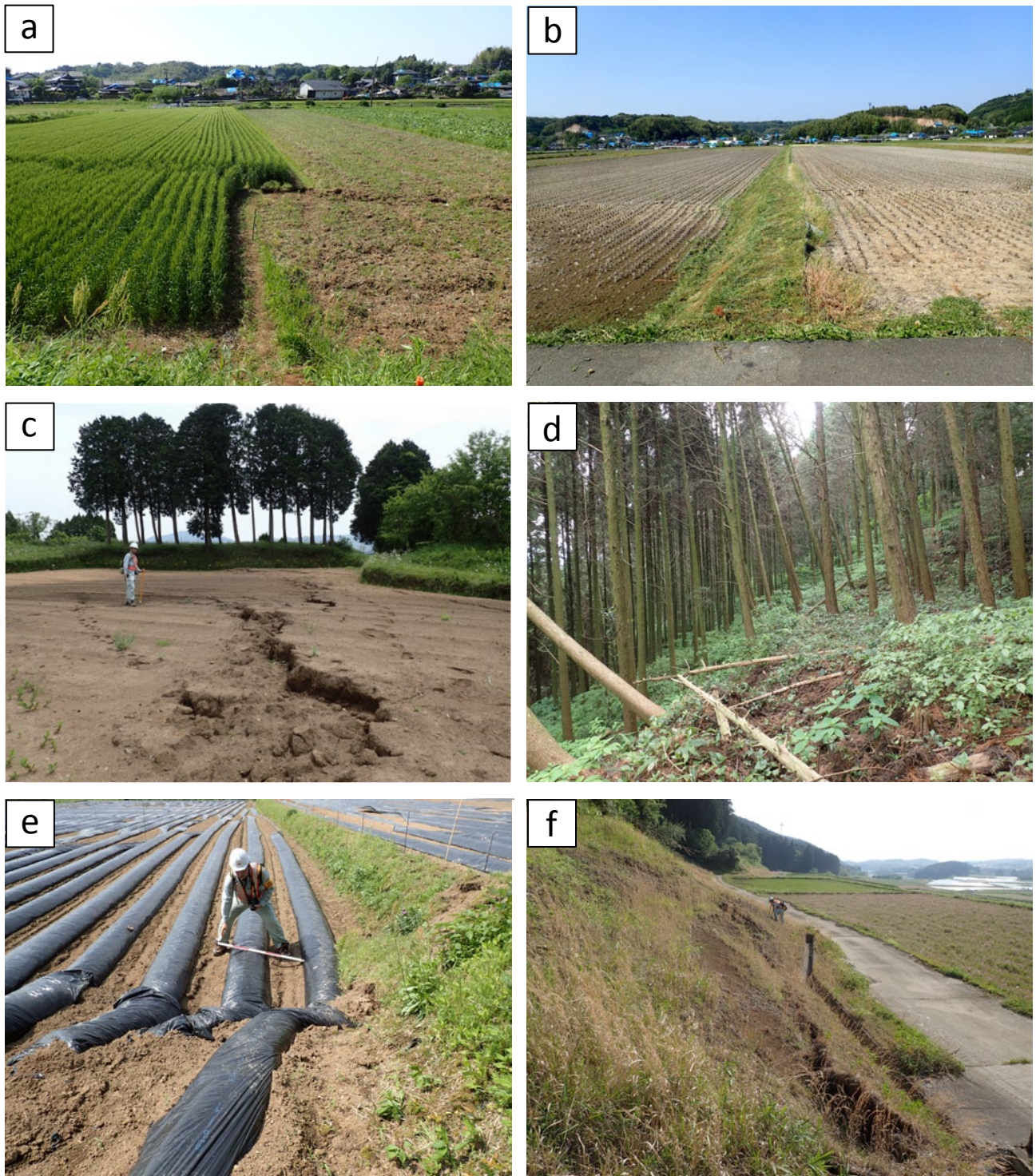


図5 2016年熊本地震に伴う地表地震断層.

私たちは、活断層を調査する際にトレンチと呼ばれる調査溝を掘削します。そして、トレンチの壁面に露出した地層と断層の切断・被覆関係を詳細に観察することと、地層の年代を知ることを両輪として、過去のいつ地震が起こったのかを推定していきます。この際には、「活断層は、ほぼ同じ位置（断層面）が、ある周期性をもって繰り返し活動する（＝地震を起こす）ことによって形作られてきた」という考え方（モデル）が、大前提となっています。前述した布田川断層帯や日奈久断層帯の過去の活動やここから導き出される将来の地震発生確率も、トレンチ調査結果に基づいて推定・算出されたものです。

トレンチ壁面に断層が露出した場合、そこは、その断層が過去に地震を起こしたときの地表地震断層であったはずですが、それでは、その地表地震断層は、一カ所に集中した場所だったのでしょうか？それとも、複数条に分散した場所だったのでしょうか？一カ所に集中した場所だった場合は、その場所だけ調査すれば、断層の過去の活動やずれの量が分かるかも知れません。しかし、断層が分散した場所だったら、一カ所で計測したずれの量は全体の中の一部でしかなく過小評価となってしまいます。また、トレンチ壁面に断層がなかった場合（私たちが最も恐れることです）、本当にそこに断層が存在しないのか、ちょっとずれた位置にあるのか、判断に迷うこともあります。疑い出すとキリがありませんが、そもそも、地表地震断層は、地震の度に同じ場所に現れるのでしょうか？その時のずれの量はいつも同じくらいなのでしょう？

私たちは、活断層のトレンチ調査をさらに進めることで、これらの問いに答えられると考えています。たとえば、今回の地表地震断層は、過去のトレンチ調査で断層が確認された箇所（布田川区間の田中トレンチ、高野―白旗区間の高木トレンチ）とほぼ同じ位置でずれ動いていることが、現地調査で明らかとなっています（図4）[5]。今後、同じ場所でトレンチを掘削したとしたら、ずれ動いた断層面は、前回の断層面とぴったり一致しているのでしょうか？それとも、少しずれた位置にあるのでしょうか？

「2回ずれ動いた」と答えが分かっているトレンチ壁面を見て、私たちは、回数やずれの量が2回分と認定できるのでしょうか？この調査を実施することで、過去の活動の認定方法や解釈の前提となっているモデルを検証することができます。また、今回の高野―白旗区間のように、ずれ量が想定されていた値より小さかった場所もあります（表2）。この区間で再度ずれ量の復元を目的としたトレンチ調査を行うことによって、地震毎にずれ量が変化しているのか否かを検証することが可能です。

今回の地震では、布田川断層帯の布田川区間と、日奈久断層帯の高野―白旗区間以外の区間は、活動していません。今回活動しなかった区間の地震発生確率がどの程度であるのか、早急に、高精度・高信頼度で調べる必要があります。先にも述べたように、布田川断層帯の布田川区間と、日奈久断層帯の高野―白旗区間は、過去においては同時に活動した痕跡が認められません（図3）。この意味するところは、1) 両区間は別々の活動間隔（周期）をもっているが、今回たまたま一緒に活動したのか、2) どちらか、あるいは両方の活動履歴に見落としがあるのか、3) それ以外の要因があるのか、等々、様々な可能性が考えられます。同様に、日奈久断層帯を構成する3つの区間についても、活動履歴の詳細とそれらの相互関係についてはまだまだ分かっていません。

一方で、活動履歴に関する情報（＝調査地点数）が少なすぎて、実態を捉えられていないという可能性も十分考えられます。布田川断層帯の陸域部の長さ約39kmに対して、トレンチ調査実施箇所はわずか2地点です。日奈久断層帯の陸域部の長さ約56kmに対しても、5地点のみです。横ずれ活断層では、地震が起きる度にその地点を構成している地層が横方向に食い違っていきます。このため、一つのトレンチの向かい合った壁面でさえ、同じ地層が分布しないことが多々あります。また、トレンチスケールで観察される断層面も、断面及び平面のそれぞれにおいて、複数条に分岐収斂した複雑な形態を示すことが普通です。2016年熊本地震が示したように、地表変状の多様性を考えると、このように

数少ない調査地点で得られた結果でその活動区間を代表させてしまうこと自体に問題があることは自明です。しかし、単純に調査地点と観察壁面数を増やすことによって、効率的に長期評価（将来予測）を高精度化・高信頼度化できることもまた明らかです。この際、目的に応じた適切な調査地点を選定することが重要であることは言うまでもありません。

おわりに

活断層調査研究の最大そして最終的な目的は、次に起こる地震を予測することです。今回の地震は、発生場所やずれの向きについてはほぼ予測通りであった反面、地震発生確率や地震後経過率については十分に予測できていなかったのではないかとこの問題を提起しました。活断層が起こす地震の繰り返し間隔にはどの程度のばらつきがあるのか、そもそも、それが分かるほどの古地震情報が得られていないのではないかと、隣り合う断層どうしの相互関係はどのようになっているのか、活動毎に地表変位の現れ方は異なるのか等々、科学的には、まだまだ分からないことがたくさんあります。しかし、私たちは、地震の教訓を謙虚に受け止め、今後の調査研究に生かしていくことによって、活断層と活断層が起こす地震の性質に迫ることができれば、将来起こりそうな地震像の予測もより正確になっていくと信じて調査研究を進めています。

また、これら調査研究の結果を、どのようにして活断層周辺の住民の方々にわかりやすく伝えていったら良いのか、についても、日々模索を続けています。私たちの調査研究結果は、報告書や学会・論文発表といった形で世の中に公表されていくほか、地震本部の活断層評価の基礎データとして取り入れられています。また、産総研では「活断層データベース」を作成し、新規データの速やかな収録や表示機能の改訂、セキュリティ上の強化対策等、維持管理を着実に続けているほか、問い合わせ ML の設置、講演会やトレンチ調査の一般公開を実施する等、多様なアウトリーチ活動を展開しています。しかし、調査研究成果が、なかなか一般社会の奥深くまで浸透して行かないというジレンマも感じています。

たとえば、西日本新聞は 2015 年 3 月に、2005 年福岡県西方沖の地震（M7.0）の 10 年後に際し、「九州の活断層の現状」と題した特集を組んでいます。この中で、地震本部が毎年更新している「活断層及び海溝型地震の長期評価結果一覧」を引用し、「日奈久断層帯、発生確率は全国一」との見出しをつけて、注意を呼びかけていました [6]。このようなきめ細やかかつ弛まぬ意識啓発を続けていく必要性を痛感しています。活断層が自分の住んでいる地域の近くにあるのか、あるとすればその具体的な場所はどこか、もしも地震が発生したらどのような行動を取れば良いのか、自分の子供に語りかけるようなつもりで、調査研究と情報発信を続けていきたいと思っています。

引用文献

- [1] 地震調査研究推進本部（1997）地震に関する基盤的調査観測計画
http://www.jishin.go.jp/about/hokoku97_s8kei/
- [2] 地震調査研究推進本部地震調査委員会（2002）布田川・日奈久断層帯の評価
http://jishin.go.jp/main/chousa/katsudansou_pdf/93_futagawa_hinagu.pdf
- [3] 地震調査研究推進本部地震調査委員会（2013）布田川断層帯・日奈久断層帯の評価（一部改訂）
http://jishin.go.jp/main/chousa/katsudansou_pdf/93_futagawa_hinagu_2.pdf
- [4] 地質調査総合センター（2016）平成 28 年（2016 年）熊本地震及び関連情報
<https://www.gsj.jp/hazards/earthquake/kumamoto2016/index.html>
- [5] 地質調査総合センター（2016）平成 28 年（2016 年）熊本地震及び関連情報「第四報」緊急地震調査報告 [2016 年 5 月 13 日]
<https://www.gsj.jp/hazards/earthquake/kumamoto2016/kumamoto20160513-1.html>
- [6] 西日本新聞(2015)特集「九州の活断層の現状」(5)
<http://www.nishinippon.co.jp/feature/attention/article/156892>

研究現場紹介 熊本地震緊急調査

熊本地震 (2)

白濱吉起 (活断層評価研究グループ)

2016年4月14日に熊本県を震源とするMj6.5の地震が発生し、2日後の4月16日にはMj7.3の地震が発生しました。産総研 活断層・火山研究部門では、4月14日の地震後即座に調査チームを現地に派遣し、地表地震断層についての緊急調査を実施しました。本稿ではその調査の様子をご紹介します。

地震に伴って地表地震断層（以下では、地震断層と表記します）が出現した場合（写真1）、地震を起こした断層の形状や動きをすみやかに評価するためと今後の基礎研究における重要なデータの取得のため、地震断層の分布や変状、変位量を把握するための調査を行います。最近では空中写真やLiDAR DEM（航空レーザ計測による詳細な地形情報）、InSAR 画像（地震前後の衛星観測データの比

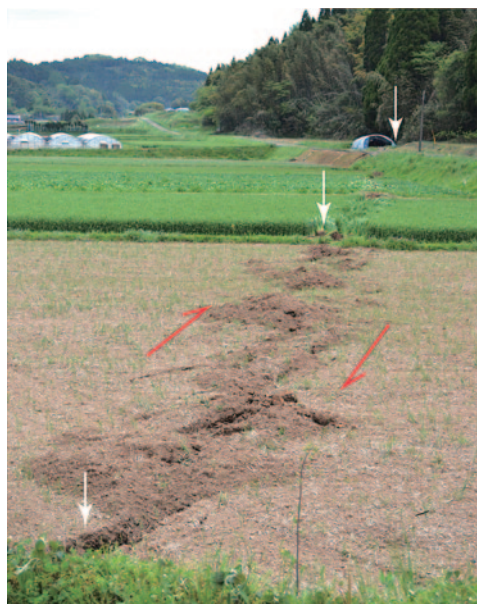


写真1 4月16日に撮影した熊本地震に伴って出現した益城町堂園地区の地震断層。教科書的な「杉の字型」の雁行亀裂が観察されます。白矢印は断層位置、赤矢印は変位方向を示します。現地調査では連続するこうした地表変状を追跡しながら、記載と計測を行っていきます。ここでは最大の右横ずれ変位量220cmが計測されました。

較による地表変位の情報）の解析結果が地震後数日のうちに公開され、地表の変形が広範囲にわたって確認できるようになりました。しかし、よりすみやかに地震断層の概要を把握するとともに、より詳細な記載を行うためには現地調査が欠かせません。地震時の地表変状は、その後の侵食と風化によって、また、生活圏に現れた場合は修復によって、時間が経つにつれ消失していきます。そのためにも、できるだけ新鮮な状態を観察すべく、地震発生後即座に現地入りし、調査を行う必要があります。

実際の調査としては、地震断層の認定と分布を把握するのはもちろん、それらの詳細な記載や変位量の計測を行います。変位量の計測は指標となるものを探し出し、そのずれを計測します（写真2）。指標となるものとしては、たとえば、道路や塀、生垣、側溝など、元々ひとつながりのもので、平面的あるいは直線的な形状をしていたことが予想されるものであればなんでも使用します。中でも、水田はもともと水平に作られ、直線的なあぜ道によって格子状に区切られるため、上下、水平変位を計測するのに適した指標となります。多くの指標が存在する街



写真2 益城町覚田地区における水田のあぜ道を基準にした時の水平変位量の計測事例。変位量の走向成分は断層の向きと平行に計測する必要があるため、物差しの向きはあぜ道と斜交しています。

中や水田地帯は計測が比較的容易であり、断層の変位が微小であっても識別できます。しかし、山林の中に入るとそうはいきません。しかも、指標となるものが少ないので、苦労して藪の中を歩いて地震断層を確認した割には変位量のデータが取れず、精神的に参ることがあります。

今回の調査では、私を含め4名の先発隊が4月15日の段階で九州入りしていました。移動途中の16日未明にMj7.3の地震が発生したため、調査対象はその地震に伴って出現した地震断層となりました。はじめの2~3日は被災直後で、現地での食料や水の調達が困難になることが予想されたため、15日に宿泊した福岡県内にて物資を買い込み、現地に向かいました。地震発生直後ですから寸断された道路も多く、停電している地域では信号も動いていません。初日は渋滞に巻き込まれ、熊本市内に至るまでに5時間を要しました。その後も、余震が続く混乱の最中ではありましたが、できる限りの調査を行い、日奈久断層帯と布田川断層帯の一部について地震断層分布の概査と簡易的な計測を行いました[1]。17日に調査を一旦切り上げ、つくばにて調査体制を整えたのち、20日に再度現地入りしました。20日以降は佐賀県に拠点を置き、5月3日まで延べ12名が入れ替わり立ち替わり調査を実施しました。はじめの一週間は、比較的調査のしやすい布田川断層布田川区間の西半分や日奈久断層帯などについて地震断層の把握と変位量の計測に努めました。しかし、依然として地滑りによる道路の寸断、余震や悪天候への警戒のため、布田川断層帯布田川区間中部の堂園地区^{どうぞん}から北東側の山間部に足を踏み入れることができず、南西側のみの調査に留まりました。地震後10日ほど経つと、次第に復旧が進み、布田川断層布田川区間の北東部とその東方での調査が可能となりました(写真3)。北東側の断層のほとんどは起伏の大きい山間部を通っているため、

その調査には時間を要しました。結局10日ほどかけてようやく大まかな地震断層分布の把握と計測を行うことができました。

今回の緊急調査によって、布田川・日奈久断層帯に沿う約31kmにわたる地震断層の分布と、約200地点における変位量が明らかとなりました[2]。しかし、依然として調査の及んでいない地域も多く残されています。熊本地震の全貌を明らかにすべく、今後も継続して調査・研究を進めていきたいと思っています。

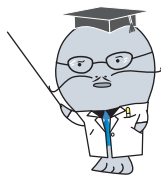
引用文献

- [1] 白濱吉起・森 宏・丸山 正・吉見雅行. 2016. 平成28年(2016年)熊本地震及び関連情報,「第三報」緊急現地調査報告. GSJ 地質ニュース, 5, 5, 141-146.
- [2] 白濱吉起・吉見雅行・栗田泰夫・丸山 正・吾妻 崇・宮下由香里・森 宏・今西和俊・武田直人・落 唯史・大坪 誠・朝比奈大輔・宮川歩夢. 2016. 2016年熊本地震に伴う地表地震断層. 地球惑星科学連合2016年大会.



写真3 布田川断層帯北東の阿蘇村河陽地区における地震断層の様子。奥の崩壊地は阿蘇大橋付近の大規模斜面崩壊です。

用語解説



亀裂の配列からわかるずれの方向

地表地震断層は大小様々なサイズの亀裂によって構成されます。横ずれ成分を持つ断層によってできる亀裂は断層の伸びる方向に対して斜めに配列することが多いです（雁行亀裂と呼びます）。雁行亀裂が図 1-A のように配列していた時、それぞれの亀裂には図中の矢印で示した力が働いていますので、右横ずれによって形成されたと判断されます。この時、亀裂の配列が杉の字の旁「つくり」のように見えますので、杉型あるいは杉の字型と呼びます。一方、片仮名のミの形に配列する亀裂はミ型あるいはミの字型と呼び（図 1-B）、左横ずれによっ

て形成されたと判断されます。このように亀裂の配列の仕方を観察することにより、断層の動きが右ずれか左ずれかの判別が可能です。雁行亀裂の中には、亀裂と亀裂をつなぐ部分に膨らみができることがあります（図 1）。この膨らみと亀裂のつながりはまるでもぐらが巣を作った跡のように見えることからモールトラックと呼ばれます。熊本地震時には堂園地区で綺麗なモールトラックが生じました（熊本地震緊急調査、写真 1）。この地表変状をよく見ると、亀裂は杉の字型に配列しておりますので、右横ずれ断層によって生じたことがわかります。

文責：活断層評価研究グループ 白濱吉起

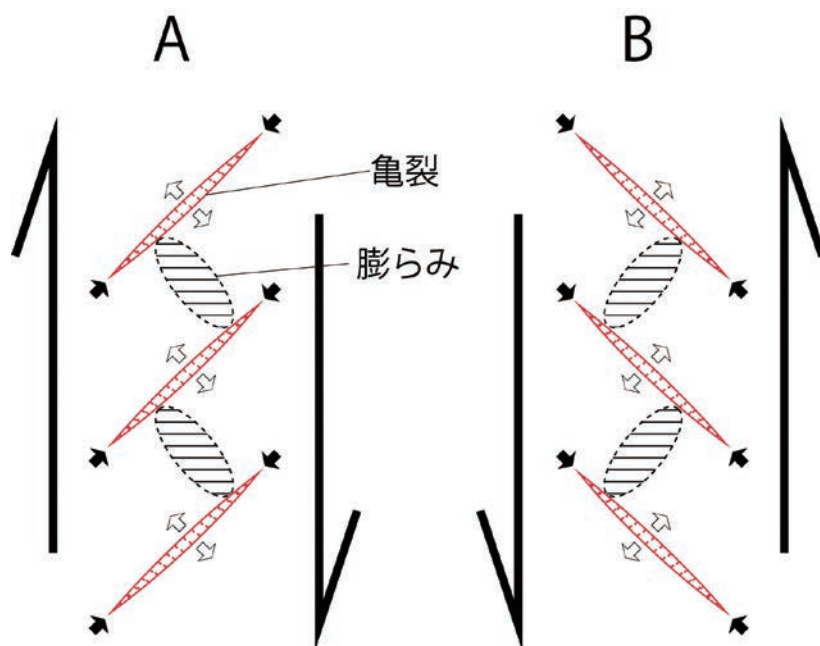


図 1 右ずれ (A) と左ずれ (B) にともなう雁行亀裂。黒矢印は亀裂に働く圧縮応力方向、白矢印は伸長応力方向を示しています。

研究現場紹介 熊本地震による温泉水・湧水への影響調査

熊本地震 (3)

高橋 浩 (深部流体研究グループ)

2016年4月22日～26日、5月11日～16日、5月31日～6月1日に、熊本地震による温泉水や湧水への影響についての調査を佐藤 努主任研究員と実施しました(4月の調査は、鹿児島大学の川端訓代研究員が同行)。地震による温泉水や湧水への影響としては、①濁りが出る。②水温が変化する。③量が変わる。④化学組成が変化する。といったものが考えられます。最後の化学組成の変化は現地ではわからない(わかりにくい)ものですが、残りの3つは、温泉や湧水をよく利用する人には認識できます。そこで、そういった人たちに聞き取りを行うことが調査の第一段階となります。

現地ではライフラインに大きなダメージがあり、温浴施設は大変混み合っていましたし、湧水にも多くの方がいらっしゃいました(写真1)。そういったなかで、施設や水くみをしている方から情報を集めていきます。温泉や湧水に変化があったところほど、現地の方から、熱心な説明を聞くことができました。こういった情報収集では、定量的なデータ

が得られることは稀ですが、地震後の変化のうち、特に地域的な違いを知る上でとても大事です。

とはいえ、定量的なデータ、特に地震前後の比較ができた方が、様々な解析に使えます。私たち深部流体研究グループでは、数年前から熊本県の温泉や湧水の調査を行っていたため、今回の調査では、できるだけ同じ温泉や湧水の調査を行うことを基本方針としていました。しかし、設備が破損してしまい、温泉のくみ上げができないところがあったり、崖崩れで道がふさがれてしまい(写真2)、遠回りをしたり、中には結局たどり着けないところがあったりしました。道路渋滞もあちこちで発生して、時間を取られることが多くありました。そんなときは、ネット配信されている通行止めや渋滞情報が非常に役に立ちました。以前の調査現場に無事に到着したら、聞き取り調査を行って、採水許可のお願いをします。通常、温泉等の調査を実施するときには、1ヶ月程度前から協力依頼の手紙を出したり、電話で訪問時間の約束をしたりと準備を行います。今



写真1 調査を行った湧水（吉無田水源）。多くの人が水を汲んでいるなか、順番待ちをしたり、割り込ませてもらったりしながら調査を行います。湧出量の調査では、すべての湧き口で測定して合計量を求めるので、なかなか気がつかれます。（撮影：佐藤 努）



写真2 崖崩れでふさがれた道（美里町）。このむこうに調査したい湧水があります。3方向からアクセスを試みましたが、どのルートもふさがれていました。峠の反対側にもう1つのルートがあったのですが、時間が足りずに調査を断念しました。（撮影：佐藤 努）

回の調査では、現地で直接お願いするしかありません。いきなりの話だったにも関わらず、多くの施設でご対応いただき、大変感謝しています。採水した試料は、すぐにつくばへ送って化学分析を行います。温度や湧出量が変化した温泉でも、化学組成はほとんど変化していないという試料が多かったです。しかし、長期的に調査を行うことで、こまかなゆらぎのような変化が見つかることもありますので、今後、注視していく必要があります。

熊本には多くの湧水があって、普段から多くの方が水を汲みに来ています。しかし、中には、地震後も豊富な水量を維持しているものの、地震により道路が寸断され、徒歩でしかアクセスできなくなってしまったところもあります（写真3）。その他、近くの建造物が倒壊する恐れがあるために閉鎖している湧水、水が涸れてしまった湧水や、湧出量が減ってしまったり、揚水ができなくなったりした温泉が多くあります。調査でそのような温泉や湧水に立ち寄ると、とても寂しい思いです。一日でも早く元に戻って、また多くの人で賑わうようになればと思います。



写真3 地震で被害を受けた湧水（潮井水源）。徒歩のみでアクセス可能になっています。以前は、右側の掛樋から水が出ていました。（撮影：佐藤 努）

要がありますが、破壊後の試料は脆いためこのままではコアを抜けません。そこで破壊後の試料を液体の樹脂に入れて真空引きを行い、試料全体を樹脂固定してからコア抜きを行いました。図2には、封圧 5.0MPa の条件で破壊した岩石試料の破断面と直交方向にコアを抜き、マイクロフォーカス X 線 CT で撮影した画像を示します。取得した 3 次元ボリウムデータから、さらにせん断帯を含む箇所と、せん断帯近傍からそれぞれ 1 辺 2mm の岩石内空隙部分のボリウムデータを抽出しました。空隙部分を抽出する際に必要な、空隙と岩石を構成する粒子を分けるためのしきい値として、試料の有効空隙率の値 (36.0%) を使用しました。画像解析の結果、せん断帯を含む箇所の空隙率は 15.4%、せん断帯近傍の空隙率は 36.0% でした。このことから、癒着したせん断帯の空隙率は、せん断帯近傍の空隙率よりも 20% 小さいという結果が得られました。また、せん断帯を含む箇所の薄片を作成して観察を行った結果、せん断帯で破碎した粒子は見られませんでした。したがって、空隙率が減少した原因は粒子の破碎ではなく、粒子が噛み合わさるように回転し粒子配列が密になったということが考えられます。

一般に、破壊して断層ができると、断層に沿って流体が流れやすくなると想像できますが、堆積岩のように比較的軟らかい岩石の場合、破壊して断層ができたときに透水性が減少するという場合もあり

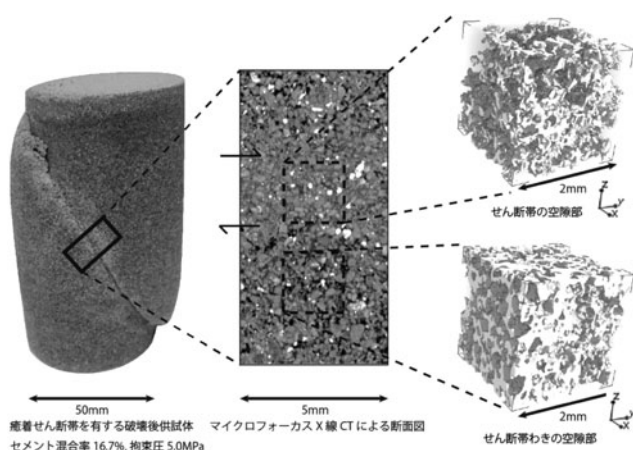


図2 癒着せん断帯を形成した破壊後供試体の撮影箇所
左：三軸圧縮試験後の供試体、中央：破壊後供試体の断面図、右上：癒着せん断帯の空隙部のボリウムデータ、右下：癒着せん断帯近傍の空隙部のボリウムデータ（佐藤ほか、2013）。

ます。破壊にともなう透水性の減少は、空隙率が比較的高い堆積岩では、断層破壊する際に粒子が回転し噛み合わさり粒子配列が密になることや、破碎した粒子が空隙構造を充填するためと考えられます。

岩石の水理特性の測定

岩石の変形実験と内部構造の観察から得られるせん断帯における空隙の幾何学情報は、断層発生時における母岩の透水性の増減を予測することに役立ちます。岩石の種類・変形様式に基づく水理定数の定量的な予測を可能とするためには、同様の条件下で透水実験を実施し、せん断帯の空隙の幾何学情報と水理定数の関係性を明らかにする必要があります。ここでは応力変化にともなう透水性の変化を透水試験によって評価した例を紹介します。透水試験手法はさまざまあり、試料の透水係数に応じて手法を選択します。Sato *et al.* (2016) ではフローポンプ法という手法で実験を行いました。フローポンプ法の利点は、多孔質砂岩から泥岩までの比較的幅広い透水係数（経験的に $10^{-5} \sim 10^{-12} \text{m/s}$ ）に対応して実験を行えることです。フローポンプ法は岩石を挟んで上流側から下流側に一定流量の水を送水し、差圧の時間変化を記録して透水特性を評価する手法です。Sato *et al.* (2016) では幌延泥岩（空隙率約 30%）を対象に透水試験を行い、透水係数と比貯留率の評価を行いました。比貯留率は地盤中において地下水位の変動が生じた際に単位体積あたりの岩石から排出もしくはそこに吸入される水量です。これまでの実験では誤差が大きく精度よく比貯留率を求めることが難しかったため、精度向上を目的として実験を工夫して透水試験を行いました。

実験は有効応力を段階的に载荷・除荷し、各応力値で透水試験を行いました。有効応力変化にともなう透水係数の値を図3に示します。有効応力の増加にともない透水係数が減少し、除荷過程では透水係数の回復は見られませんでした。この結果から、载荷過程では空隙が閉じるために透水係数が減少することと、岩石の弾性変形領域よりも高い圧力を受けたため除荷過程においても空隙構造が元に戻らなくなるため透水係数が回復しなかったことが

言えます。このような透水係数の有効応力依存性は既往研究でも数多くなされており、岩種が変わってもこのような傾向は見られます。次に1つの幌延泥岩試料に対し、同じ応力条件化でフローポンプ法透水試験をするときに、上流側から送水する流量を変化させて透水試験を行った結果を表1に示します。表では有効応力2MPaでは50 μ l/minで送水したときの比貯留率の誤差範囲が 2.63×10^{-5} (1/m), 100 μ l/minのとき 2.02×10^{-5} (1/m), 150 μ l/minのとき 1.98×10^{-5} (1/m)と、流量の増加に伴い、求められた比貯留率の誤差範囲が小さくなることがわかりました。他の応力条件でも同様の傾向が見られました。そのためフローポンプ法透水試験では、上流側から送水する流量を増やすことで、比貯留率の誤差を小さく取得できることがわかりました。

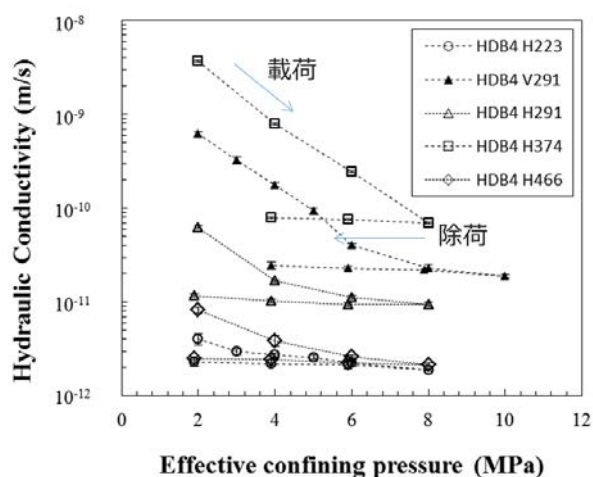


図3 透水係数の有効応力依存性 (Sato *et al.*, 2016).

有効応力 (MPa)	上流からの流量 Q(μ l/min)	間隙水圧の定常状態差圧 (kPa)	比貯留率 S'(1/m)	比貯留率の誤差範囲 $\times 10^{-5}$ (1/m)
2	50	26.0	2.94×10^{-5}	2.63
2	100	52.8	2.17×10^{-5}	2.02
2	150	82.4	1.62×10^{-5}	1.98
4	10	24.8	2.38×10^{-5}	1.41
4	20	50.2	2.55×10^{-5}	1.05
4	30	76.4	2.41×10^{-5}	0.88
6	5	41.4	2.46×10^{-5}	1.06
6	10	78.5	2.96×10^{-5}	0.92
6	11	90.7	2.54×10^{-5}	0.52
8	2	56.1	2.61×10^{-5}	0.78
8	3	87.2	2.74×10^{-5}	0.68
6	2	53.2	3.10×10^{-5}	1.13
6	3	79.9	3.32×10^{-5}	0.92
4	1	26.5	3.23×10^{-5}	1.99
4	2	50.5	2.56×10^{-5}	1.03
4	3	77.1	2.66×10^{-5}	0.69

表1 上流側からの流量を変えてフローポンプ透水試験を行ったときの比貯留率の誤差範囲の変化 (Sato *et al.*, 2016).

おわりに

現在では変形実験も透水試験も手法は確立されています。断層面周辺の断層帯は上述の通り、岩種や封圧などの条件によって開口亀裂になることもあります。したがって、断層破壊した岩石の透水性は断層に対して並行方向と直交方向で異なる透水異方性を持っていると考えられます。今後の移流測定目標としては真三軸応力下における変形－透水実験の確立が挙げられます。真三軸試験は角柱岩石試料を使用し、3方向から異なった主応力を岩石に付加できる装置です。真三軸応力下における変形－透水実験では2方向の透水試験が可能で、岩石の変形から破壊に至るまでの透水異方性の発達まで議論ができると考えています。真三軸試験の歴史や利点については高橋 (2016) のIEVGニュースレター2月号をご参照ください。

今後は移流だけでなく拡散現象についても空隙ネットワーク構造を基に定量的な評価を行い、移流・拡散と岩石の変形特性・空隙ネットワーク構造の関係についての、統一的で新しい地下水挙動モデルの提案を目指します。

引用文献

- 佐藤 稔・高橋 学・竹村貴人 (2013) 未固結－半固結堆積物を想定した人工供試体の変形様式と透水性に関する研究. 応用地質, Vol.54, No.4, pp.168-174.
- M. Sato., M. Kato., M. Takahashi. (2016) Experimental Evaluation of Specific Storage in Mudstone Considering Error Using the Flow Pump Method. Materials Transactions, Vol. 57, No.2, pp.112-118
- 高橋 学 (2016) 室内岩石試験の将来について. IEVG ニュースレター, Vol.2, No.6, pp.1-8.

シンポジウム 活断層・火山研究部門研究集会「カルデラ研究の今後の展望」の開催報告

山元孝広（総括研究主幹）

平成 28 年 4 月 26 日午後に活断層・火山研究部門の研究集会「カルデラ研究の今後の展望」を秋葉原 UDX で開催しました。本研究集会では、将来日本で起こりえるカルデラ噴火に備えるために、火山学として今後どのような課題に取り組むべきかについて、専門家 5 名に話題を提供していただき、意見交換を行いました。藤井敏嗣予知連会長からは、「カルデラ研究のすすめ」の題で、カルデラ噴火を巡る社会的問題とそれに答えるための研究の必要性について講演していただきました。当部門下司信夫グループ長からは、「大規模噴火の比較：その共通点とバリエーション」の題で、噴火規模や噴火プロセスの違いに基づくカルデラ噴火の多様性についての報告がありました。北海道大学中川光弘教授からは、「大規模カルデラ噴火の準備過程と噴火過程」の題で、支笏カルデラで実施された地質学・岩石学的検討の結果から明らかにされた、カルデラ

噴火の準備過程についての報告をいただきました。京都大学防災研究所井口正人教授からは、「地盤変動観測からみる始良カルデラ下のマグマの動き」の題で、始良カルデラで観測されている地殻変動は、従来の Mogi モデルだけでは説明しきれない変位パターンであることについて報告をいただきました。神戸大学巽 好幸教授からは、「巨大カルデラ噴火は予測できるか？」の題で、カルデラ噴火の発生頻度分布が通常の山体噴火とは異なり別の噴火プロセスを考えるべきこと、および現在計画中の鬼界カルデラの海底構造探査についての紹介をいただきました。合計 73 名、所外からは 59 名参加がありました。所外からは大学や気象庁、防災科研等の研究者の他に、原子力規制庁や民間コンサル、マスコミ関係者など多様な所属の方に参加いただきました。当日の司会・進行は部門の山元孝広総括研究主幹が務めました。

受賞報告

受賞報告 風早竜之介研究員が 2016 年度日本火山学会研究奨励賞を受賞

活断層・火山研究部門マグマ活動研究グループの
風早竜之介研究員が 2016 年度日本火山学会研究奨
励賞を受賞しました。同賞は、火山学に関する優れた論文を発表し、将来、火山学の発展への貢献が期待される 35 才以下の火山学会会員に贈られるものです。日本地球惑星科学連合 2016 年大会での日本火山学会総会（5 月 24 日）直後の授賞式で、井口正人会長から賞状が授与されました。

風早氏の授賞研究テーマは「火山ガスの観測研究に基づく噴火機構の解明」です。マグマ中のガスの分離放出過程は噴火ダイナミクスを理解する上で重要ですが、地表で観測される火山ガスの観測のみでは、地下で起きている現象を推定することは困難です。特に、従来の観測では地球物理観測より時間分解能が劣り、直接的な比較も困難でした。風早氏は、火山ガス放出率の観測手法改良を進め、地球物理データとの比較可能なデータを取得した上で、火山ガス放出率の変動等を地震モーメントや地殻変動量と比較することにより、マグマ供給系や噴火発生過程の理解を進めました。その一連の研究の火山学に対する貢献が高く評価され、授賞に至ります。

した。風早氏の研究成果は、噴火ダイナミクスやメカニズムを理解するための基礎研究としての意義のみならず、噴火前兆現象把握手法としても重要であり、噴火活動推移の予測手法の高度化を通じて防災にも大いなる貢献が期待されます。



受賞者のコメント

私は今まで火山ガス観測を主軸に火山噴火メカニズムの研究を行ってきました。特に、火山ガス観測と他の地球物理観測量の比較を通じて、噴火に伴う種々の現象のモデル化を進めていった点を評価していただいた、と考えています。また、お世話になった方々にこの場を借りてお礼申し上げます。

どうも、有難うございました。そして、今後とも
よろしくお願いいたします。

外部委員会等 活動報告 (2016年4月～5月)

2016 年 4 月 15 日

地震調査委員会（桑原出席 / 文部科学省）

2016 年 4 月 14 日熊本地震（M.6.5）の評価について

2016 年 4 月 18 日

測地学審議会地震火山部会（山元出席 / 文部科学省）
H27 成果報告

2016 年 4 月 25 日

地震防災対策強化地域判定会（松本（則）出席 / 気象庁）

東海地方周辺の最近の 1 ヶ月のデータを持ち寄って検討し、東海地震の発生可能性について協議した。

2016 年 4 月 25 日

第 1 回バックエンド技術評価検討委員会（山元出席 / 原子力規制委員会）（山元出席 / 原子力規制委員会）

バックエンド技術中間評価

2016 年 5 月 11 日

地震調査観測計画部会（桑原出席 / 文科省）

以下の内容について審議した。

- （1）今後の活断層調査について
- （2）調査観測計画部会において今後優先的に取り組む事項
- （3）今後の海域観測のあり方について

IEVG ニュースレター Vol.3 No.2（通巻 14 号）

2016 年 6 月 発行

発行・編集 国立研究開発法人 産業技術総合研究所
活断層・火山研究部門

編集担当 黒坂朗子

問い合わせ 〒 305-8567 茨城県つくば市東 1-1-1 中央第 7

Tel: 029-861-3691 Fax: 029-861-3803

URL <https://unit.aist.go.jp/ievg/index.html>