2016年
12月号

IEVG ニュースレター
Vol.3 No.5

NEWS LETTER

[トピックス]

2016年鳥取県中部の地震（M_j6.6）に伴う地表変状の確認調査

吾妻　崇・丸山　正（活断層評価研究グループ）

1．はじめに

（1）地震の概要

2016年10月21日14時08分に鳥取県中部の深さ11 km（速報値は約10 km）を震源とするマグニチュード6.6（気象庁，2016）の地震が発生しました．震源メカニズム解と余震の分布状況に基づき，北北西 - 南南東走向の断層面で左横ずれの断層運動が生じたことが考えられています．余震分布は倉吉市市街地付近を通過し，そこから北北西へ約2 km，南南東へ約10 kmの範囲に広がっています（図1）．本震の震央は，余震分布範囲の南寄りの東伯郡三朝町付近に位置していました．

今回の地震による地殻変動は，人工衛星データを用いた干渉解析結果（国土地理院，2016）からみてとることができます．地殻変動様式は北北西－南南東に延びる余震分布を挟んで対照的な形態を示し，その境界は余震分布に沿って倉吉市市街地の北西から市街地の東側を通り，天神川と並行して南南東に延びています．

鳥取県のとりまとめによると，11月28日現在における今回の地震による住宅被害は，全壊12戸，半壊132戸，一部損壊13,219戸となっており，震源地近傍の倉吉市（全壊1戸，半壊88戸，一部損壊8,776戸）と三朝町（半壊2戸，一部損壊641戸）のほか，沿岸部の低地に位置する北栄町（全壊10戸，半壊33戸，一部損壊1,704戸）と湯梨浜町（半壊9戸，一部損壊1,720戸）に集中していました．

鳥取県周辺では，2000年鳥取県西部地震（M7.3），1943年鳥取地震（M7.2），1927年北丹後地震（M7.3），1925年北但馬地震（M6.8）などの大地震～中規模地震が発生しています．これらのうち，1943年鳥取地震，1927年北丹後地震，1924年北但馬地震では地表地震断層が出現したことが報告されています（図2）．

Contents

01　トピックス　2016年鳥取県中部の地震（M_j 6.6）に伴う地表変状の確認調査 …… 吾妻　崇・丸山　正
10　トピックス　イタリア中部の地震と活断層 …… 石川有三・吾妻　崇
14　新人研究紹介　3次元電気比抵抗構造で診る阿蘇カルデラのマグマ溜まり …… 畑　真紀
18　ワークショップ　噴火準備過程の岩石学的解析に関する国際ワークショップ（PAPEMP）報告 …… 東宮昭彦
21　ワークショップ　第3回国際火山観測所ワークショップ報告 …… 石塚吉浩
24　外部委員会活動報告 2016年10月～11月

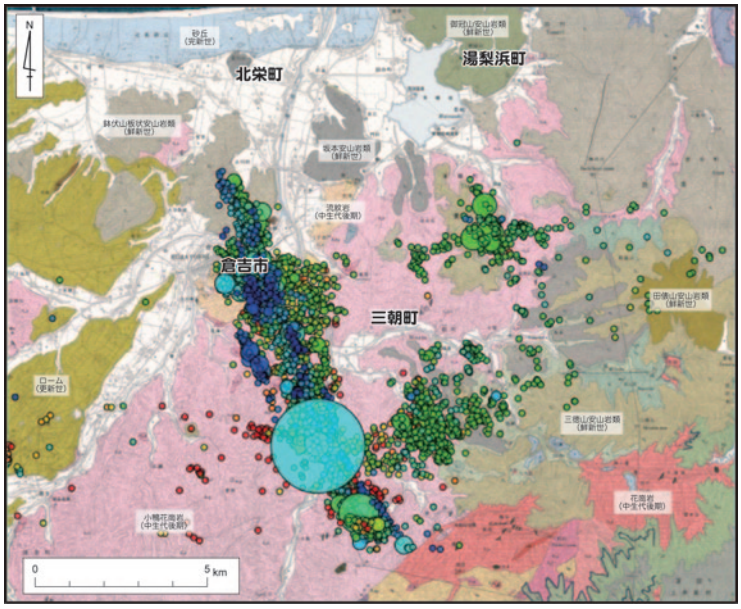

図１　倉吉周辺の地質と2016年鳥取県中部の地震の震源分布．産総研「地質図 Navi」の画面上に 20 万分の 1 地質図「倉吉」と震源分布を重ねて表示した画像に，地名および地質凡例等を加筆して作成．震源分布のデータは，気象庁一元化データを産総研で再決定したもの．

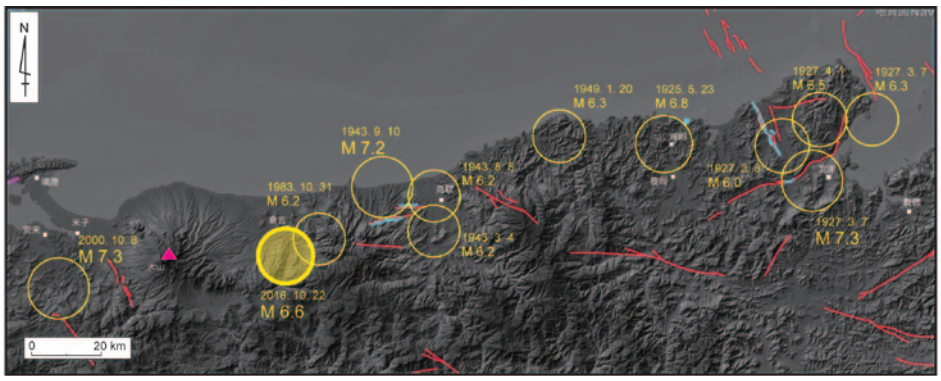

図２　山陰地方東部で発生した大地震と活断層の分布．産総研「地質図 Navi」の画面上に活断層データを表示させた画像に，1923 年以降に発生した M6.0 以上の地震の震源（黄色の円）および地震に伴う地表地震断層（水色の線）を加筆して作成．1990 年以前の震源の位置と地震規模および地表地震断層の分布は活断層研究会編（1991）による．

（2）震源域周辺の地質および活構造

地質図（村山・大沢，1961：図 1）をみると，震源域周辺には中生代後期の花崗岩が広く分布しています．また震源域の北側には鮮新世の火成岩が分布します．倉吉市から約 20 km 西方には，第四紀後期に活動した火山である大山が位置しており，倉吉市の北西方には大山の噴出物により形成された火山麓斜面が広がります．北方の日本海に面した沿岸部には砂丘が分布し，砂丘の背後には低地が広がっています．

今までに公表されている活断層図等には，今回の地震の余震分布域に活断層は引かれていませんでした．活断層研究会編（1991）は今回の震源域の南方に南北走向のリニアメント（確実度Ⅲの活断層）を図示していますが，認定根拠などの詳細なことは分かりません．また，震源域の北西側には，尾田断層と大立断層という北北西－南南東走向の短い活断層が認定されています（活断層研究会編，1991；図 3）．これらの活断層は大山の山麓扇状地とされる高位段丘に東側隆起の変位を与えていますが，活動履歴や平均変位速度などの具体的な断層パラメータは不明です．

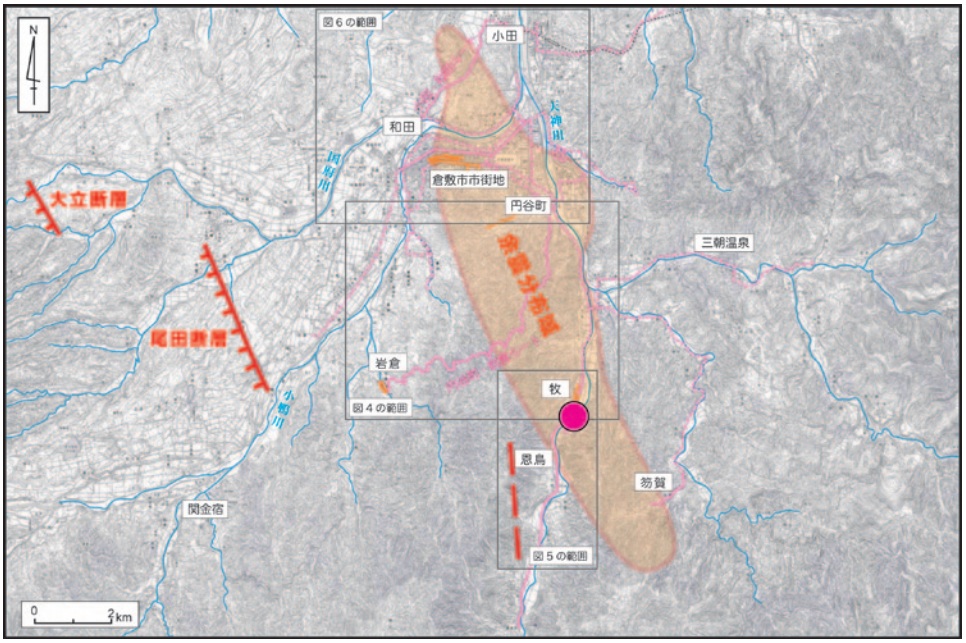

図３　今回の調査のルートマップ（全域）．基図には「数値地図 25000 地図画像」を使用．橙色で示した範囲は産業技術総合研究所地質調査総合センター（2016）による余震分布の概略範囲を示す．

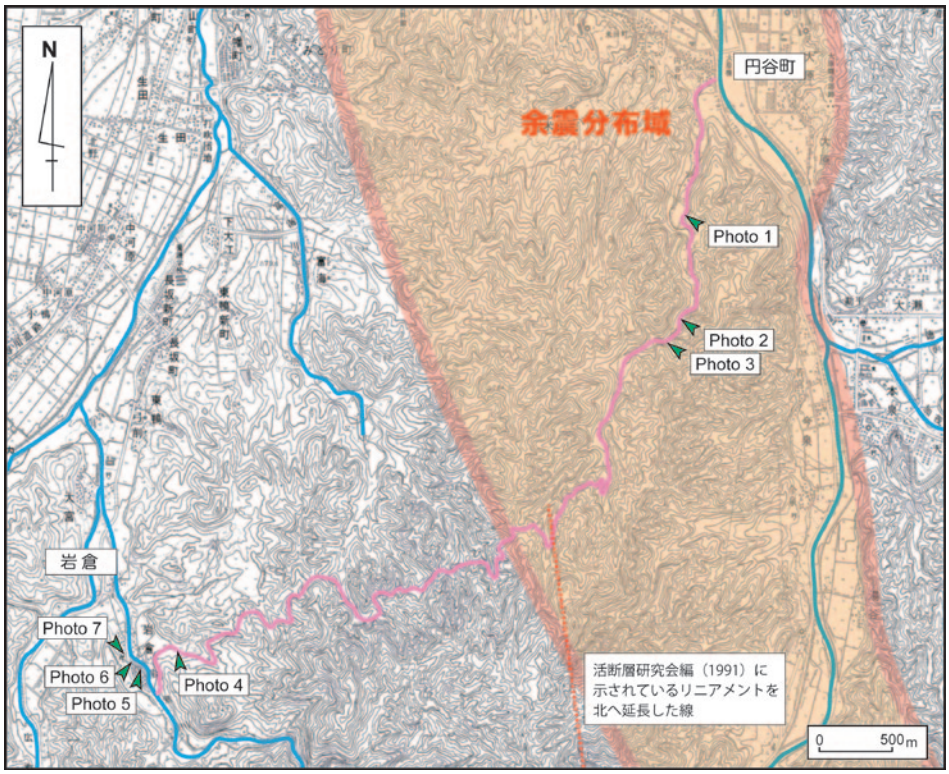

図４　円谷町－岩倉ルートにおける観察地点．基図には「数値地図 25000 地図画像」を使用．橙色で示した範囲は産業技術総合研究所地質調査総合センター（2016）による余震分布の概略範囲を示す．

2．調査報告

産業技術総合研究所では，この地震による地表地震断層の出現の有無を確認するため，活断層・火山研究部門から吾妻と丸山の 2 名が，2016 年 10 月 26 日と 27 日の 2 日間に緊急調査を実施しました．地表地震断層の出現の有無に関しては，余震分布の帯や国土地理院から公開されている InSAR 画像によって地殻変動の境界にあたるような地域を横切る道路やそれらの直上に位置する集落を対象としました（図 3）．

（1）円谷町－岩倉ルート

最初に注目したのは，余震分布域を横切って山地東側の円谷町付近から山地西側の岩倉へ抜けるルート（図 4）です．円谷町側から入るとすぐに，崩落した斜面の工事現場に差し掛かりました（写真 1）．この付近では舗装道路にも亀裂が認められましたが，いずれも谷側に向かって落ちる重力性の亀裂でした（写真 2）．活断層研究会編（1991）によって示されているリニアメントの北延長においても若干の舗装道路上に亀裂が認められるだけで，断層運動を示す地表変状は認められませんでした．亀裂の中には，以前から既に存在していたものが，今回の地震による震動で再度開口したものもありました（写真 3）．山地西側に差し掛かった坂道では複数の開口亀裂が認められましたが，それらが見られる地点から少し下った地点には圧縮性の亀裂（写真 4）が認められたことから，これも重力性

写真 1　円谷町－岩倉ルート東部における斜面崩壊の復旧現場

写真 2　円谷町－岩倉ルートの舗装道路で観察された開口亀裂．斜面下方側に落ちる重力性の亀裂と解釈した．

写真 3　円谷町－岩倉ルートの舗装道路で観察された開口亀裂．亀裂の中に植物が生えていることから，今回の地震発生前から亀裂が存在していたことが伺える．

写真 4　円谷町－岩倉ルートの舗装道路で観察された圧縮性亀裂．この坂道の上方には複数の開口亀裂が存在しており，それらの開口の総量とこの写真の箇所での圧縮変形の量はほぼ同じであった．

の変状と判断しました．岩倉の集落では一部の住宅の屋根瓦や土壁，石垣に被害が認められたほか，寺院の山門脇にある石碑が倒れていました（写真 5，6，7）．結局，路面を注意深く観察しながらこのルートを往復しましたが，地表地震断層の存在を示す地表変状は確認できませんでした．

写真 5　岩倉の集落内で観察された瓦屋根の被害状況．これだけ瓦屋根が乱れている事例は多くはなかった．

写真 6　岩倉の集落内で観察された石垣の崩壊．

写真 7　岩倉の集落内で観察された寺社の山門脇に立っていた石碑の転倒．

（2）国道 179 号線沿い

次に観察を行ったのは，天神川と平行して走る国道 179 号線沿いのルートです（図 5）．本震の震央は国道沿いの恩鳥という集落付近に位置していました．また，我々よりも先に現地調査を行っていた研究者から，恩鳥付近で圧縮性の亀裂が認められたとの情報を事前に聞いていました．我々が調査した

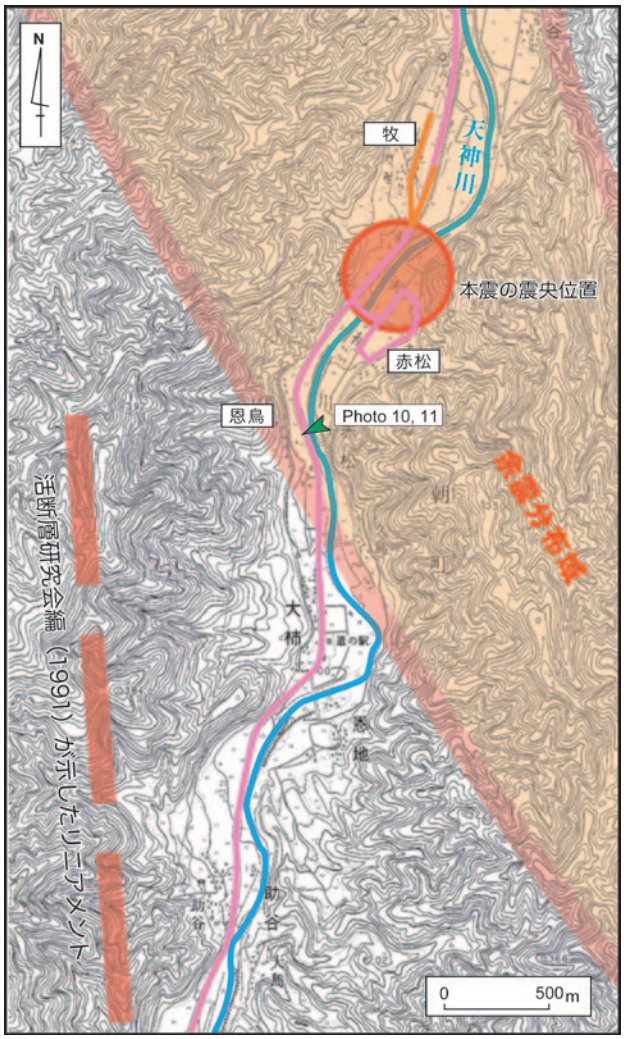

図 5　国道 179 号線沿いにおける観察地点．基図には「数値地図 25000 地図画像」を使用．橙色で示した範囲と赤色の丸印は，産業技術総合研究所地質調査総合センター（2016）による余震分布の概略範囲と本震の震央位置を示す．赤色の破線は，活断層研究会編（1991）に示されている確実度Ⅲの活断層（リニアメント）．

ときには，道路の西側の縁石が圧縮変形を受けて破壊している様子が認められました（写真 8），また，道路の西側に位置するコンクリート製の私道で，左横ずれもしくは回転移動を示唆する 2 cm 程度の開口が認められ（写真 9），その延長の畑にわずかな亀裂が認められました．これらの現象は，今回の調査で観察した地表変状の中では，本震の震源メカニズム解から想定される断層運動と調和的なものでしたが，連続性が悪く，局所的な現象であったので，これを地表地震断層であるとは判断しませんでした．またその集落に住む住民の方から聞いた話では，集落の背後（西側）の山地内に導水管が通っており，それが地震によって破壊して水が流れ込んできたそうです，導水管の破壊が断層運動による可能性も考えられましたが，正確な位置等が分からないので今回の調査ではその確認は行いませんでした，その他の国道沿いや周辺の集落においても調査を行いましたが，重力性の亀裂以外の地表変状は認められませんでした．

（3）倉吉市市街地

倉吉市では，震度 6 弱が記録されました．倉吉市市街地周辺（図 6）においても舗装道路上の亀裂の

写真 8　本震の震央付近（恩鳥）で観察された縁石の圧縮変形．左横ずれを伴ってなく周辺への延長も認められないため，地表地震断層を示すものではないと判断した．

写真 9　本震の震央付近（恩鳥）で観察された左横ずれもしくは回転による移動を示すコンクリート道路接合部の開口．周辺への延長が認められないため，地表地震断層を示すものではないと判断した．

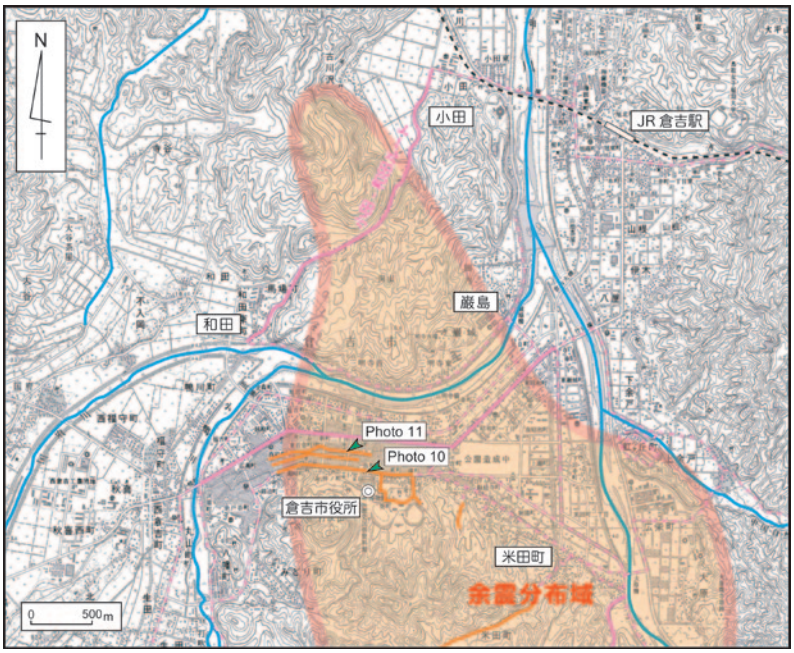

図 6　倉吉市市街地周辺における観察地点．基図には「数値地図 25000 地図画像」を使用．橙色で示した範囲は産業技術総合研究所地質調査総合センター（2016）による余震分布の概略範囲を示す．

有無等を観察しましたが，傾斜地における重力性の亀裂や埋設管の埋め戻しに伴う圧密沈下（写真 10）が確認されたのみで，断層変位を示唆するような変状は認められませんでした．建物の被害については，基礎が被害を受けたものが 1 件認められましたが，ほかは瓦屋根の一部損壊や市役所庁舎の階段の損壊程度でした．市街地には玉川と呼ばれる小河川に沿って白壁土蔵群があることが有名で観光地となっていますが，この壁には数カ所で破損が認められました（写真 11）．

（4）三朝町周辺（天神川東方）

温泉で有名な三朝町付近では，本震時に震度 5 強が記録されました．余震分布からは西にわずかに傾く高角な断層面が想定されていたため，地表地震断層が出現するのは余震分布域よりも東側である可能性が考えられ，この地域についても調査を行いました．三朝温泉街の東方まで舗装道路の路面を注意深く観察しましたが，地表地震断層の出現を示す亀裂等は確認できませんでした．余震分布域の南端付近にあたる三朝温泉南方の笏賀付近（図 3 参照）においても同様に観察を行いましたが，地表変状は認められませんでした．

写真 10　倉吉市市街地の歩道にみられた不等沈下．

写真 11　倉吉市内の白壁土蔵にみられた壁材の崩落．調査を実施した範囲内では，その他の土蔵ではこれほどの被害はみられなかった．

（5）倉吉市以北の地域

余震分布域の北端付近にあたる小田－和田ルート（図 6）および川沿いのルートにおいて，舗装道路を注意深く観察しましたが，断層運動を示唆する地表変状は認められませんでした．余震分布域の直上にあたる集落（小田，巌城など）では，他の集落よりも被害が多い（屋根にブルーシートをかけられた住居が多い）ように見えましたが，正確な状況は明らかにするためにはきちんとした被害調査結果を待つ必要があります．また，北栄から倉吉に向かう高速道路を走行したときに何カ所も段差がついているのを感じましたが，正確な位置などの確認は今回は行いませんでした．北栄周辺も被害が多かったことが報じられていますが，今回の調査目的は被害調査ではないため，この地域については詳しい状況は確認していません．

3．地震規模と地表地震断層の出現の関係

上述の通り，今回の地震に伴う地表地震断層の出現は認められませんでした．過去に発生した内陸の地殻内で発生した地震と地表地震断層の出現の有無の関係をみると，地震規模が M7.3 以下の地震では地表地震断層が出現する場合と出現しない場合があることが分かります．地震規模別にみると，地表地震断層を伴う可能性が 50 % を超えるのは M6.8 以上の地震となります（表 1）．M7.3 から M6.0 までの規模の地震の累積数でみると，地震規模が M6.4 以下になると地表地震断層の出現率が 50 % を下回ります．今回は明瞭な活断層が分布しない地域で発生した M6.6 の地震で，地表地震断層が出現しなかった一例になります（図 7）．今回のような明瞭な活断層が分布しない地域における地震の最大規模は M6.9 と考えられています（島崎，2008）．これらの規模の地震によって地表地震断層が出現するかどうかについては，地質の違いに代表

される地域性のほか，それぞれの地震の震源の深さや深さ方向のすべり分布の差異などによる影響を受けると考えられますが，その分類や影響度の違いについては未解決の研究課題となっています．

謝辞

今回の緊急調査にあたり，鳥取大学の香川敬生教授，広島大学の後藤秀昭准教授，株式会社パスコの小俣雅志氏には，地震発生直後に現地に入られたときの情報を教えて頂きました．以上の方々に御礼を申し上げます．

引用文献

地震調査研究推進本部地震調査委員会（2016）：2016 年 10 月 21 日鳥取県中部の地震の評価．http://www.static.jishin.go.jp/resource/monthly/2016/20161021_tottori.pdf（最終確認日：2016 年 12 月 9 日）

活断層研究会編（1991）：「新編日本の活断層－分布図と資料－」．東京大学出版会，440p.

気象庁（2016）：平成 28 年 10 月 21 日 14 時 07 分頃の鳥取県中部の地震について．http://www.jma.go.jp/jma/press/1610/21a/kaisetsu201610211540.pdf（最終確認日：2016 年 12 月 9 日）

国土地理院（2016）鳥取県中部の地震「だいち 2 号」による SAR 干渉解析結果（1）．http://www.gsi.go.jp/common/000147189.pdf（最終確認日：2016 年 11 月 28 日）

村山正郎・大沢　穠（1951）：5 萬分ノ 1 地質図幅説明書「青谷・倉吉」．工業技術院地質調査所，86p.

産業技術総合研究所地質調査総合センター（2016）：平成 28 年（2016 年）鳥取県の中部に発生した地震に関する情報．https://www.gsj.jp/hazards/earthquake/tottori2016/ index.html（最終確認日：2016 年 12 月 9 日）

島崎邦彦（2008）：震源断層より短い活断層の長期評価．日本活断層学会 2008 年度秋季学術大会予稿集，19-21.

宇佐美龍夫・石井 寿・今村隆正・武村雅之・松浦律子（2013）：日本被害地震総覧［513-2012］．東京大学出版会，724p.

地震規模（M）	地震数		地表地震断層を伴った地震の数		地表地震断層の出現率	地表地震断層の累積出現率
	（地震規模別）	（累積数）	（地震規模別）	（累積数）		
7.3	5	5	4	4	***0.80***	***0.800***
7.2	2	7	2	6	***1.00***	***0.857***
7.1	1	8	0	6	*0.00*	***0.750***
7.0	3	11	2	8	***0.67***	***0.727***
6.9	1	12	1	9	***1.00***	***0.750***
6.8	6	18	4	13	***0.67***	***0.722***
6.7	3	21	1	14	*0.33*	***0.667***
6.6	4	25	0	14	*0.00*	***0.560***
6.5	4	29	1	15	*0.25*	***0.517***
6.4	8	37	0	15	*0.00*	*0.405*
6.3	5	42	0	15	*0.00*	*0.357*
6.2	5	47	1	16	*0.20*	*0.340*
6.1	9	56	1	17	*0.11*	*0.304*
6.0	2	58	0	17	*0.00*	*0.293*

表１　1923 年以降に発生した M6.0 以上の地震における地表地震断層の出現の有無と出現率.

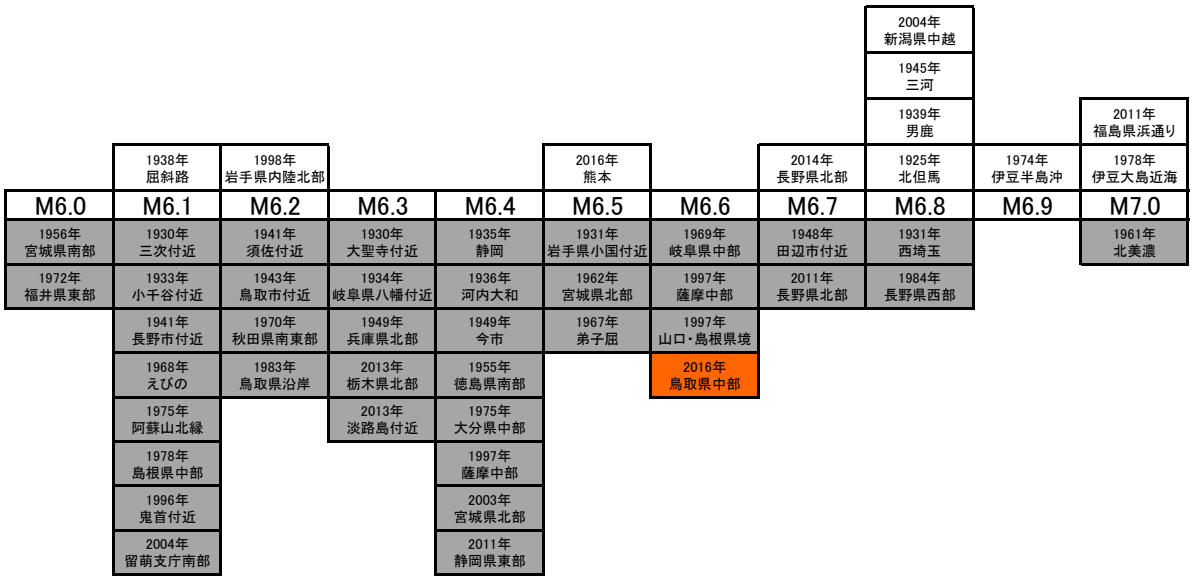

図７　M6.0 以上の地震と地表地震断層の出現の有無．対象とした地震は 1923 年以降に内陸浅部（震源の深さが 20 km 以浅）で発生した M6.0 以上のもの．震央が沖合でも陸上に地表地震断層の出現したものは含めた．ここに示されている地震の発生後, 数日以内に発生した余震は含めていない．2012 年以前の地震規模と名称は宇佐美ほか（2013）による.

トピックス　イタリア中部の地震と活断層

石川有三（地震地下水研究グループ）・吾妻　崇（活断層評価研究グループ）

1．イタリア中部の地震

イタリア中部で昨年 10 月 26 日にマグニチュード（以下，M と略します）5.5（現地時間 19 時 11 分）と M 6.1（同 21 時 18 分）の地震が続いて起きました．そしてその 4 日後の 30 日（同 07 時 41 分）には更に大きな M 6.6 の地震が起きました．幸いこれらの地震では死者がいませんでした．しかし，近年イタリア中部では地震が続いて起きています．

まず，図 1 に示したように 10 月の地震の震源域は，1997 年の地震と 2016 年 8 月の地震の震源域の間になります．南東側で約二ヶ月前の 8 月 24 日に M 6.2 の地震が起きていますが，この地震はマグニチュードが 10 月の地震より小さかったものの，発生した時刻が現地時間で 03 時 36 分と未明だったため多くの人が就寝中であり，倒壊した建物の下敷きになったりして残念ながら 297 人の方が犠牲になっています．そのさらに南東側のラクイラで 2009 年に起きた M 6.3 の地震では 309 人が死亡しています．この地震は中小地震が多発した後，最大の地震が起きました．その中小地震が多発しているとき，行政当局が「大きな地震は起きない」と広報しました．しかし結果的には M 6.3 の地震が起き，大きな被害がでてしまいました．そのため行政関係者が訴えられるということがありました．去年 10 月の地震でも 10 月 26 日に M 5.5 や M 6.1 の地震が起きて，その後，小さな余震が続いている中で，30 日に M 6.6 の最大地震が起きました．このように最大地震が一連の地震活動の途中で起きる場合がこの地域では多いようです．このような地震活動は群発型と呼ばれています．

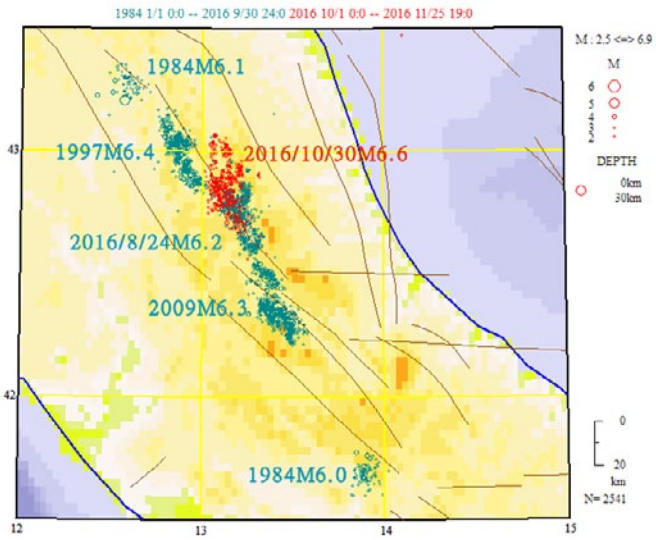

図 1　イタリア中部で発生したM 6 以上の地震の震央位置とそれぞれM 2.5 以上の一ヶ月間の余震分布（濃緑色）．赤色丸印が2016年10月に発生した地震とその後の一ヶ月間の余震を示しています（M 3 以上）．震源情報はイタリア国立地球物理・火山研究所（INGV）のデータを用いました．本震のMは米国地質調査所の値を使っています．茶色の細線は INGV のデータベース SHARE からダウンロードした活断層の位置を示しました．

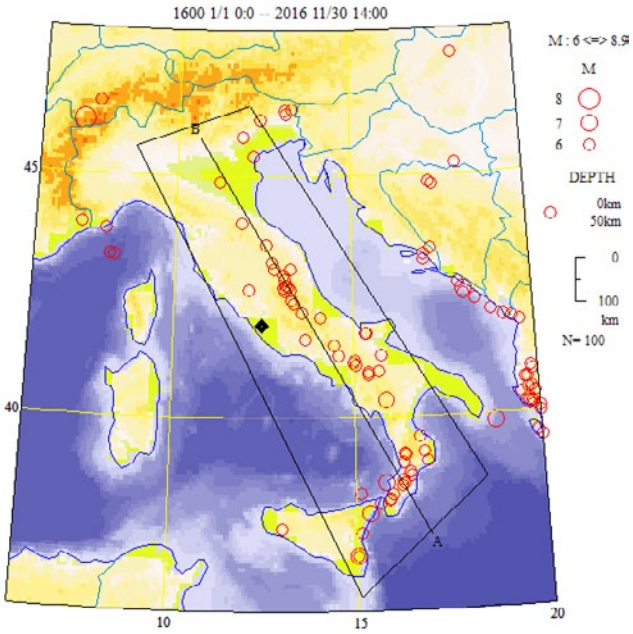

図 2　イタリアおよびその周辺で 1600 年以降に発生した大地震（M 6 以上）の震央分布．黒色◆は，ローマの位置です．震源パラメータは宇津カタログに基づきます．A-B 断面および黒線の枠は，図 3 に示す地震の分布範囲を示しています．

2．イタリア中部の歴史地震

このようにイタリア半島の中央を通るアペニン山脈に沿って地震が続いて起きています．これを過去にさかのぼって調べて見ると，1700 年頃にも地震が続発したことがありました．図 2 に 1600 年以降の震央分布図を示します．そして図 3 にイタリア半島を北西から南東に切り出した地域内の震源の時空間分布図を示しました．図 3 の右端中央よりやや上に〇印が 3 個ありますが，これらが 2016 年の地震です．このほぼ同じ高さに 1700 年頃にも〇印が列んでいます．1703 年の 1 月 14 日に M 6.7，1 月 16 日に M 6.2，2 月 2 日に M 6.7 の地震と続発しました．震源域の位置もかなり似た場所です．過去の震源域を並べて見ると図 4 のように一つの帯状の分布を示しています．1703 年の地震と 2016 年の地震の震源域は，一部重なっています．図 4 に示された震源域の帯の上に位置する場所でしばらく地震が起きていないところは，将来地震が起きる可能性があると思われるので注意が必要です．

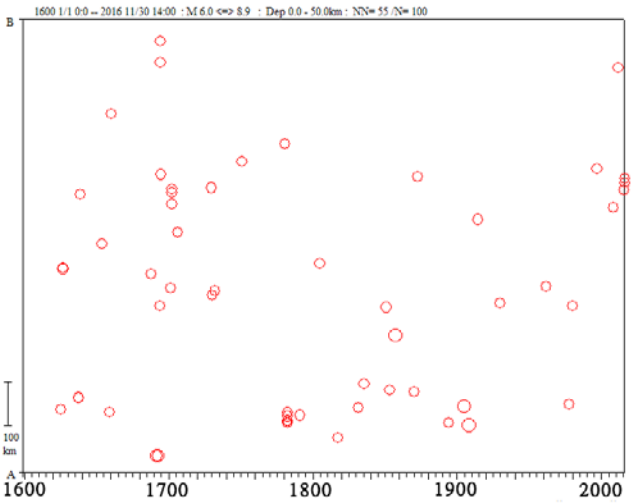

図 3　図 2 の黒色線分で切り出された地震（M 6 以上）を直線 A－B に投影した 1600 年以降の時空間分布．縦軸上側（B）は，北西側です．

3．アペニン山脈に沿う活断層

イタリア中部における地震は，イタリア半島の脊梁をなすアペニン山脈に沿って分布する活断層で発生しています（図 4）．これらの活断層は正断層であり，近年この地域で発生する地震はすべて北東－南西方向の張力をもつ正断層型の地震です（図 5）．活断層は大きく 2 列に分かれて分布しており（Galadini and Galli, 2000），今年 8 月に発生した地震では東側の断層群に含まれるモント・ビットーレ断層に沿って地表地震断層が出現したことが報告されています．この活断層では，地震発生以前に実施された古地震トレンチ調査によって約 18,000 年前以降に 3 回の断層活動があることが認められており，最新活動時期は約 6,150 年前から 7 世紀の間

図 4　アペニン山脈沿いおよびイタリア南部で発生した大地震の分布．Yeats (2012) に掲載されている図に 2016 年の地震の震源域などを加筆して作成．原図は大森（1909）によります．本文中に記述がある地震については，発生年を四角で囲んでいます．

で，平均活動間隔は約 4,500 年と推定されていました（Galadini and Galli, 2003）．

一方，上述した 1703 年の地震は，西側の断層群のうちのノルシカ断層で発生しており，そのときにも地表地震断層が現れたことが目撃されています．さらに紀元前 99 年に発生したと記録されている地震についても，その震源はノルシカ断層であったと推定されています（Galli *et al*., 2008）．西側の断層群は，さらに南東で 1915 年 1 月 13 日にアベザーノ地震（M 7.0）が発生しています．アベザーノ地震ではフッチーノ断層に沿って地表地震断層が出現しており，現在もその様子を現地で見ることができます．フッチーノ断層では 15 地点で古地震トレンチ調査が実施されて 10 回の古地震イベントが確認されており，平均活動間隔は 1,400-2,600 年程度を推定されています（Galli *et al*., 2008）．

アペニン山脈に沿ってさらに南の地域でも地震は発生しています．1980 年に発生したイルピニア地震（M 6.9）では，2483 人が犠牲になっています．この地震の震源断層であるカンパニアーールカニア断層で古地震トレンチ調査が行われており，約 8,600 年前以降に 4 回の断層活動があったことが明らかにされています（Pantosti, 1993）．

これらのほかにもアペニン山脈沿いに分布する活断層について古地震トレンチ調査が数多く実施されており，日本と同様にイタリアでも，歴史地震

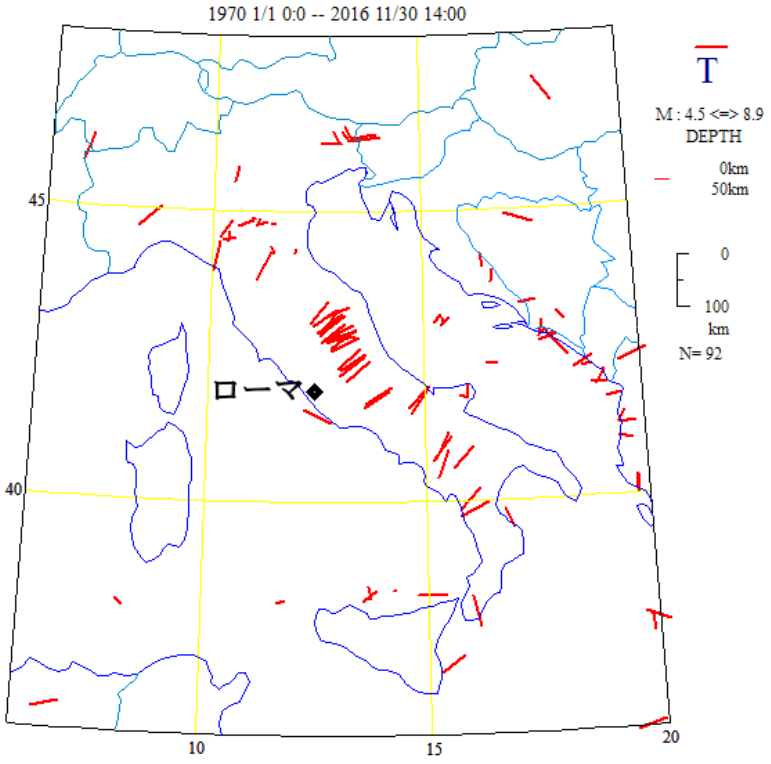

図 5　地震の発震機構解から求めたイタリアおよびその周辺地域の張力軸（地表面に投影）の向き．水平に近いとバーの長さが長く，鉛直に近いと短くなります．鉛直の場合は，点で表記しています．

との関係や活動時期および活動間隔に関する検討が行われています．

イタリアは，大部分はユーラシアプレートに属するものの，北部やシチリア島はアフリカプレートに属しています（異説もありますが）．プレート境界の概略を図 6 に示しました．このようにアフリカプレーとはユーラシアプレートに対してゆっくり北上していますが，アドリア海のところではアフリカプレートがユーラシアプレートの中へ食い込んでいて，複雑になっています．アドリア海がバルカン半島の方へ進み，そのためイタリア中部で北東―南西方向の張力が働いているようです．長い目で見るとイタリア半島は太くなっていくのではと思われます．

引用文献

Galli, P., Galadini, F. and Pantosti, D. (2008) : Twenty years of paleoseismology in Italy. Earth-Science Reviews, 88, 89-117.

Galadini, F. and Galli, P. (2000) : Active tectonics in the central Apennines (Italy) - input data for seismic hazard assessment. Nat. Hazards, 22, 202-223.

Galadini, F. and Galli, P. (2003) : Paleoseismology of silent faults in the central Apennines (Italy): the Mt. Vettore and Laga Mts. Faults. Ann. Geophis. 46, 815-836.

大森房吉（1909）：メッシナ大地震概況．東洋学芸雑誌，26，377-389, 435-445, 491-496.

Pantosti, D., Schwartz, D.P. and Valensise, G. (1993) : Paleoseismology along the 1980 surface rupture of the Irpinia fault: Implications for earthquake recurrence in the Southern Apennines, Italy. Journal of Geophysical Research, 98, 6561–6577.

Yeats, R. (2012) : Active faults of the world. Cambridge University Press, 621p.

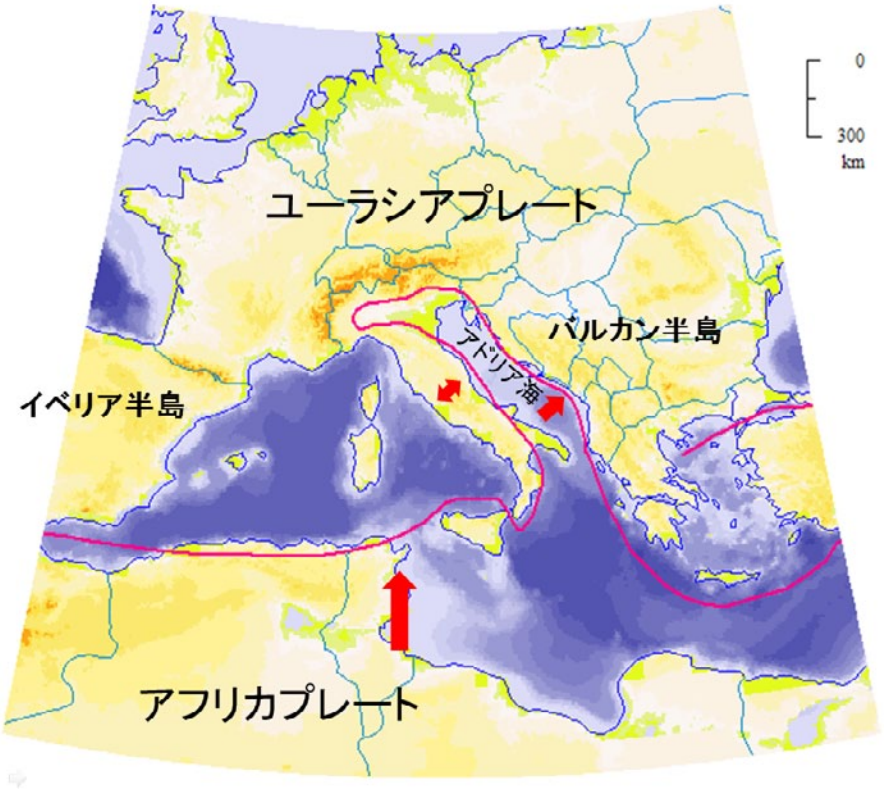

図６　地中海周辺における地表プレート境界とその動き．イタリア半島中部は両矢印の方向に広がっています．

新人研究紹介

3次元電気比抵抗構造で診る阿蘇カルデラのマグマ溜まり

畑　真紀（マグマ活動研究グループ）

1．はじめに

2015年4月の着任より，4カ年で実施予定の「火山影響評価に係る技術的知見の整備」の一端を担う研究である，火山モニタリング評価のための調査研究に携わってきました．本研究では，研究対象地域を阿蘇カルデラに設定し，2015～2016の期間に阿蘇カルデラ全域を覆う領域においてMagnetotelluric（MT）法による観測の展開を計画しています．本稿では，2015年度観測によって取得したMTデータのみを使用して，初期的に行った3次元インバージョン解析により得られた比抵抗構造モデルから分かった阿蘇カルデラの地殻の特徴について紹介します[1].

2．阿蘇カルデラと噴火活動

阿蘇カルデラは，270–90 kaに起こったAso1–4の大規模な火砕流噴火によって形成された南北25 km，東西18 kmのカルデラです（図1）．カルデラ中央部には，カルデラ形成後の活動によって生じた火口丘群が点在し，中岳火口では，最近も繰

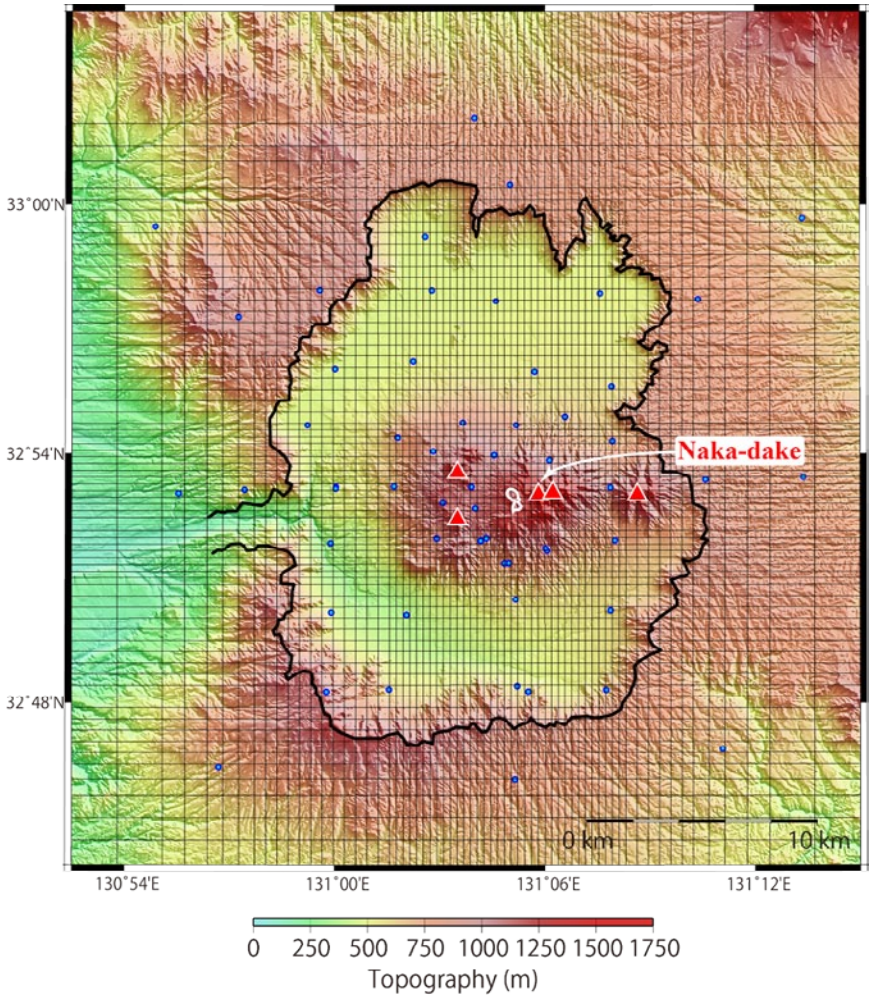

図1　阿蘇カルデラ周辺の地形図とMT観測点(●)．▲は中央火口丘，白枠は中岳第一火口を表す．([1]より)

り返し噴火活動が観測されており，2014 年と 2015 年には，20 年ぶりのストロンボリ式マグマ噴火を第一火口において経験しています．また，マグマ噴火に先立った約 20 年間の中岳第一火口での活動は，2000 年の火口南壁での赤熱現象，2003～2004 年の大規模な土砂噴出，2011 年以降の小規模噴火（微量な火山灰放出）が挙げられるように，活動的な状態で推移していたと考えられます．本研究の目的は，このような中岳火口における活動の駆動源となっているマグマ溜まり，さらに，カルデラ噴火に至るまでのマグマ溜まりの存在を電磁気学的手法の観点から検討することです．

3．観測と解析の概要

3.1. 2015 年度の MT 観測

本研究の最終的な目標は，阿蘇カルデラの地殻内におけるマグマ溜まりを捉えることですが，初年度は先ず，阿蘇カルデラの中央火口丘を中心に東西方向約 20 km, 南北方向約 30 km の矩形領域において，5 km 間隔の MT 観測を 11～12 月の期間に実施しました（図 1）．観測には全点で，Phoenix Geophysics 社製の MTU-5A システムを用い，地磁気 3 成分－地電位差 2 成分を測定しました．データ収録は，夜間の 14 時間（6 p.m.–8 a.m）に，サンプリング間隔 15 Hz or 2,400 Hz（0.067 s or 0.00042 s）で実施しています．

3.2. データ処理とモデル解析

時系列データから，3 次元インバージョン解析に使用する応答関数データを求める際には，阿蘇カルデラから約 100 km 離れた磁場参照点で観測された地磁気 3 成分値を用いて Remote reference 処理 [2] を行いました．そして，求めた応答関数から 16 周期（0.005–2380 s）を選び出し，MT 応答関数 6 成分を入力とした 3 次元インバージョン解析 [3] を実施しました．最適モデルは，南北 1,400 km・東西 1,400 km・鉛直 1001.79 km の領域に，陸地 80 Ωm・海水 0.33 Ωm・空気 10^8 Ωm の比抵抗値を与えた初期構造から，陸地の比抵抗値のみを変化させ求めています．

4．阿蘇カルデラの比抵抗構造モデル

4.1. 比抵抗構造モデルの特徴

3 次元インバージョン解析により得られた比抵抗構造モデルの水平断面を図 2 に，鉛直断面を図 3 に示します．図 2 の水平断面を見ると，阿蘇カルデラ内には，顕著な低比抵抗異常のブロック C1，C2（1–40 Ωm）が存在することが分かります．そして，低比抵抗異常のブロックは，深さ ~10 km から地表面に向かうにしたがって，北から南へと移動していることが確認できます．さらに，図 3 の鉛直断面（profile A2）を見ると，低比抵抗異常のブロック C2 は，C1 からの枝分かれであり，中岳へと延びていることが分かります．これらのことから，低比抵抗異常 C1，C2 は，中岳第一火口の噴火活動に関連したマグマに起因した異常であると考えられます．

図 3 に示した鉛直断面にプロットされた地震の震源（2002 年 6 月～2016 年 4 月 16 日の期間の気象庁一元化震源）は，阿蘇カルデラ北西側では高比抵抗ブロック内に分布するのに対し（profile A1–A3），北東側では高比抵抗ブロックと低比抵抗ブロックの境界付近の高比抵抗ブロック側に分布しています（profile B1–B3）．この高比抵抗ブロック内で起こっている地震の震源分布の東西での差異は，阿蘇カルデラ下の地殻の応力分布にマグマが何らかの影響を及ぼしている可能性を示唆していると考えられます．

4.2. マグマ溜まりの存在

マグマ溜まりの存在を検討するため，低比抵抗異常 C1，C2 について，その比抵抗値が示すメルトの割合を計算しました．この計算では，先ず，2014 年 11 月 26～27 日に中岳第一火口で噴出したスコリアの化学分析結果 [G. Saito（personal communication），Geological Survey of Japan, 2015] を使用してケイ酸塩メルトの比抵抗値を SIGMELTS[4] で求めた後，Hashin–Shtrikman の式 [5] を用いてメルトの割合を計算しています．最終的に，低比抵抗異常 C1 では最大で 76–87 %，C2 では最大で 13–14 % のメルトが存在するという結果が得られました．

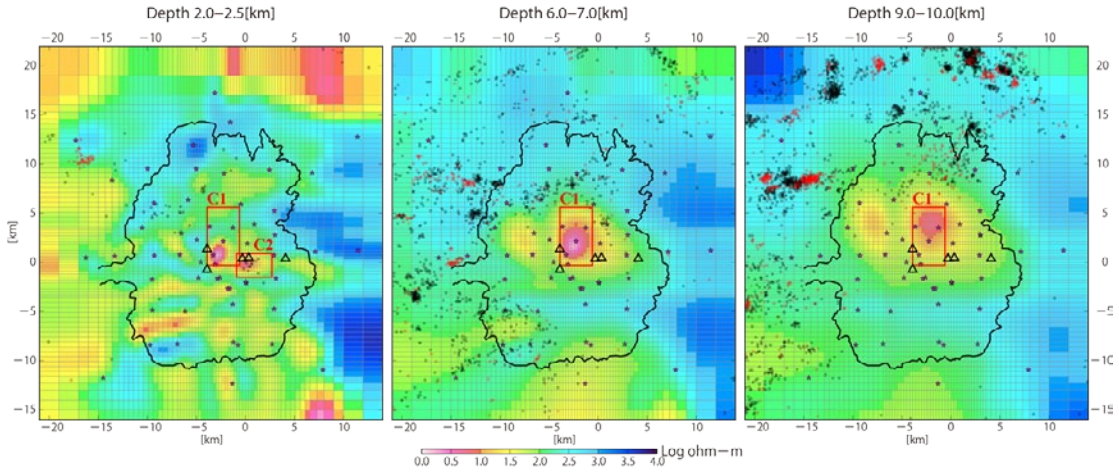

図 2. 3 次元比抵抗構造モデルの阿蘇カルデラ周辺の水平断面．★は MT 観測点，△は中央火口丘，○と○は震源分布を表す．（[1] より）

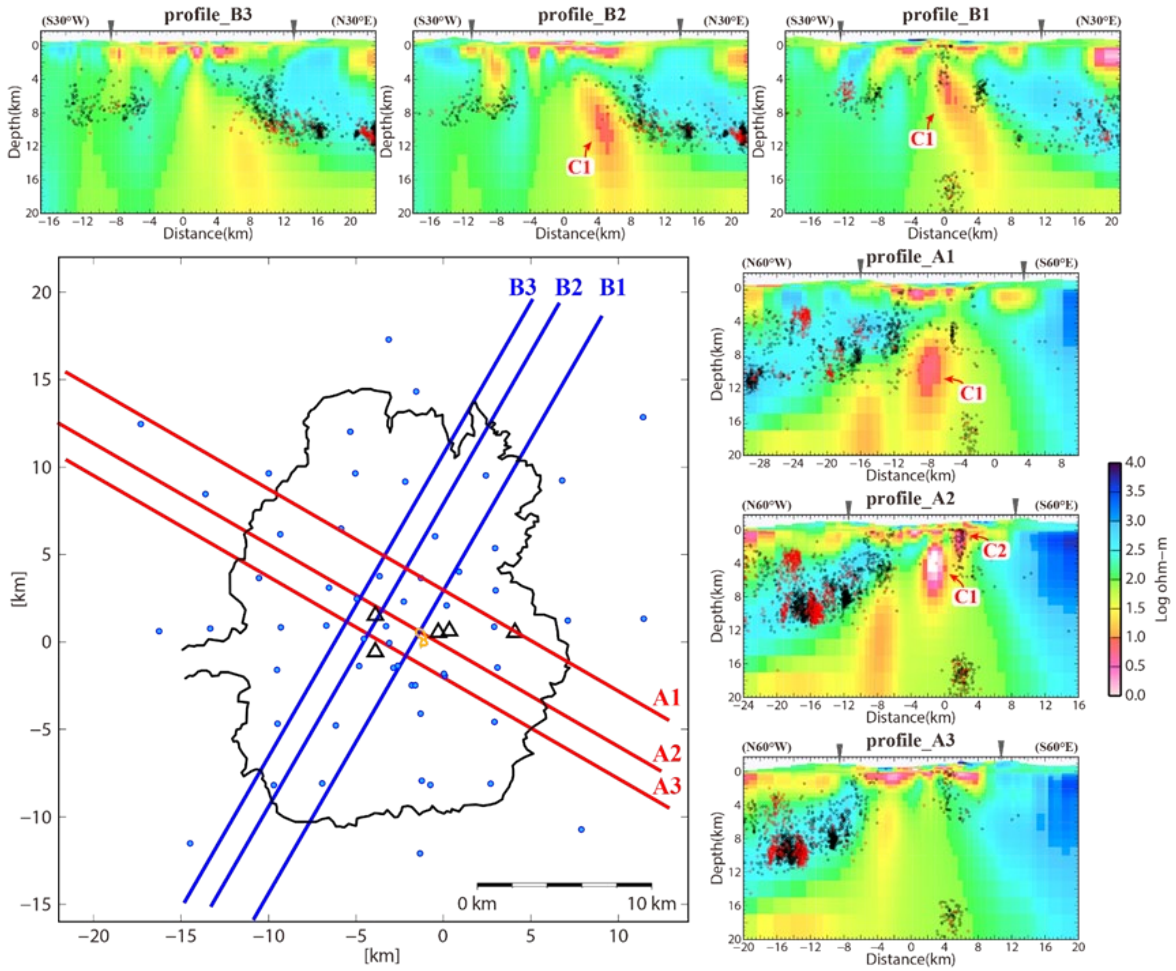

図 3. 3 次元比抵抗構造モデルの阿蘇カルデラを横断するの鉛直断面．断面上の▼はカルデラ壁の位置，○と○は震源分布を表す．それぞれのカルデラ横断測線は，地図上の赤線と青線に対応する．●は MT 観測点，△は中央火口丘，オレンジ枠は中岳第一火口を表す．（[1] より）

5．おわりに

2015 年度観測の MT データを使用した 3 次元インバージョン解析による比抵抗構造モデルから，阿蘇カルデラの地殻内部について，以下の 2 点の特徴が得られました．

1）中岳火口北側の約 10 km 以深から火口直下まで延びる北下がりの低比抵抗異常のブロックが存在すること．

2）カルデラ北西側の地震の震源は，高比抵抗ブロック内に分布するのに対し，カルデラ北東側の震源は，高比抵抗ブロック内，もしくは，高比抵抗ブロックと低比抵抗ブロックの境界に分布すること．

今後は，さらに地殻の深い部分（~20 km）におけるマグマ溜まりの存在を検討するため，より広範囲に展開している 2016 年度観測の MT データを追加し，阿蘇カルデラ下の地殻深部に至る構造を明らかにすることを目指した 3 次元インバージョン解析を予定しています．また, メルトの割合については, さらなる検討を行っていく必要があると考えています．

謝辞

本研究は平成 27 年度原子力施設等防災対策等委託費（火山影響評価に係る技術的知見の整備）の成果の一部です．本研究に係る観測においては，京都大学火山研究センター（Aso Volcanological Laboratory）の方々に協力を頂きました．ここに記して感謝いたします．

引用文献

[1] HATA, M., S. Takakura, N. Matsushima, T. Hashimoto, and M. Utsugi (2016), Crustal magma pathway beneath Aso caldera inferred from three-dimensional electrical resistivity structure, *Geophys. Res. Lett*., 43, doi:10.1002/2016GRL070315, 2016.

[2] Gamble, T.D., W.M. Goubau, and J. Clarke (1979), Magnetotellurics with a remote magnetic reference, *Geophysics*, 44, 53–68.

[3] Siripunvaraporn, W., and G. Egbert (2009), WSINV3DMT: Vertical Magnetic Field Transfer Function Inversion and Parallel Implementation, *Phys. Earth Planet. Inter*., 173 (3-4), 317–329.

[4] Pommier, A., and E. Le-Trong (2011), “SIGMELTS”: A web portal for electrical conductivity calculations in geosciences, *Computers & Geosciences*, 37, 14501–459.

[5] Hashin, Z., and S. Shtrikman (1962), A variational approach to the theory of effective magnetic permeability of multiphase materials, *J. Appl. Phys*., 33, 3125.

ワークショップ

噴火準備過程の岩石学的解析に関する国際ワークショップ（PAPEMP）報告

東宮昭彦（マグマ活動研究グループ）

はじめに

火山噴火がどのように始まるか，噴火前にマグマがどのように溜まるか，といった噴火準備過程は，火山学の中心的課題の一つです．最近 10 年ほどの間に，岩石学的解析，特に火山岩中の結晶の微小領域分析手法が大きく進展し，新たな観察事実や考え方が生まれてきました（詳しくは東宮（2016a）のレビューを参照）．こうした最近の進展の紹介，関連研究者相互の情報交換や交流，GSJ のハブ機能強化などを目的として，国際ワークショップ "International Workshop on Petrological Analysis of Pre-eruptive Magma Processes（PAPEMP）"［噴火準備過程の岩石学的解析に関する国際ワークショップ］を，産総研つくばセンターにて 2016 年 11 月に活断層・火山研究部門主催で行いました．

ワークショップ

今回，この分野を代表する国内外の研究者 5 名（写真 1）を，部門の予算をいただいて招聘することができました．このうちシャナカ・デシルヴァ氏は，東宮が 2014〜2015 年にオレゴン州立大学で在外研究を行った際の受入担当教授であり（東宮，2016b），本ワークショップについてもオレゴン滞在中から相談に乗っていただいていました．

11 月 9 日の 9:00〜17:30 に行ったワークショップ本体（写真 2, 3, 4）では，招聘者 5 名をコアとして 5 つのセッションを設けました．各セッションでは，まず招聘者に基調講演（30 分）をしていただいた後，関連テーマの研究者によるショートトーク（5 分；

写真 1　ワークショップに招聘した基調講演者．上段左から Shanaka de Silva 氏，Fidel Costa 氏，Georg F. Zellmer 氏．下段右から中川光弘氏，中村美千彦氏．

写真 2　ワークショップ本体の様子．約 70 名が参加し，活発な議論がありました．

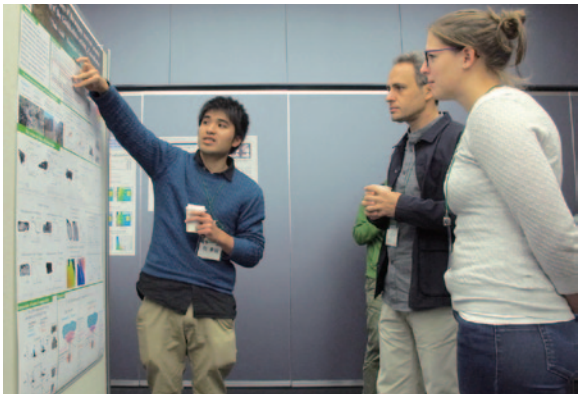

写真 3　ポスターセッションの様子．

写真４　屋外にて集合写真．イチョウの黄葉が美しかったが，風も強かった！

基本的にポスター発表付き）を数件，セッションの締めに全体討論の時間を持ちました．各セッション名と基調講演者は次の通りです．(1) 深部マグマプロセス：ゲオルク・F・ツェルマー氏（マッセー大学，ニュージーランド）；(2) マグマ供給系の進化：シャナカ・デシルヴァ氏（オレゴン州立大学，アメリカ）；(3) マグマプロセスのタイムスケール：フィデル・コスタ氏（南洋理工大学シンガポール地球観測所，シンガポール）；(4) 噴火直前のマグマ供給系：中川光弘氏（北海道大学）；(5) 浅部マグマ上昇～噴火過程：中村美千彦氏（東北大学）．そして 5 つのセッションの終了後，デシルヴァ氏をモデレータとして，ワークショップを総括する総合討論を行いました．当日の詳しいプログラムや各基調講演の要旨等は，地質調査研究報告にて近日中にご報告する予定です．ワークショップには，おかげさまで所内外合わせて 70 名ほどの参加をいただき，活発な議論も行われ，想定以上の大成功であったと思います．

ワークショップ本体終了後の 18:00 からは，山﨑誠子氏のとりまとめで所内レストランにて懇親会を行いました．ワークショップ席上ではなかなか発言できなかった参加者も，活発に交流することができていたようです．

ワークショップ関連イベント

11 月 10 日には，ワークショップ関連イベントをいくつか行いました．

まず午前中は，招聘者 4 名（中村氏は早朝から海外出張のため欠席）と GSJ の火山関係コアメンバー数名で，ビジネスミーティングを行いました（座長：篠原宏志氏）．前日のワークショップ本体の総括と今後の展開についてざっくばらんに話し合い，今後も密に連絡を取りましょうということになりました．そのあと，若手研究者と海外招聘者との対談企画（写真 5）を潮田雅司氏のとりまとめにより行いました．これは，1 人 30 分の枠で，世界をリードする国際的研究者と 1 対 1 でじっくり研究の話ができる機会です．大学院生・ポスドク・新人職員延べ 7 名が参加し，活発な議論があって，30 分では短かったとのことでした．

写真５　若手研究者と海外招聘者との対談．

午後には，海外招聘者と所内希望者の参加により，田中明子氏の引率で GSJ ラボツアーを行いました．関係の方々（右のカッコ内）のご協力をいただき，光ルミネッセンス（OSL）年代（田村 亨氏），カリウムーアルゴン年代（山﨑誠子氏），アルゴンーアルゴン年代（石塚 治氏），レーザーアブレーション誘導結合プラズマ質量分析計（LA-ICP-MS）および高感度高分解能イオンマイクロプローブ（SHRIMP）（昆 慶明氏）の各ラボを回りました．

伊豆大島火山巡検

11 月 10 日夜から 12 日昼にかけては，海外招聘者 3 名と所内職員 4 名で伊豆大島火山巡検を行いました（写真 6）．案内者は山元孝広氏です．伊豆大島火山は，数万年前に活動を始めた若い活火山で，新鮮な溶岩流や火山灰層などが見られるほか，近い将来また噴火することが確実視されています．

11 日未明に夜行客船で上陸後，まずは海岸沿いの露頭をいくつか回り，伊豆大島活動初期の噴出物や，山頂カルデラ形成時の堆積物，歴史時代の溶岩流などを観察しました．このほか，過去約 2 万年の火山灰層など約 100 枚がバームクーヘンのように堆積している「地層大切断面」（写真 6），1986 年噴火の C 火口列（山頂カルデラの外側斜面に噴火割れ目が開いたため溶岩流が元町に脅威を与えた），などを観察しました．途中，2013 年 10 月の土砂災害被災地域も通りましたが，今も大規模な土木工事中でした．

12 日午前には，山頂カルデラ内に入り，1986 年および 1950-51 年噴火の溶岩流などを観察しつつ，中央火口丘の三原山に登りました．あいにくの霧で山頂火口は霞んでいましたが，ほどなく霧が晴れ，山の上から美しい海と対岸の伊豆半島などが見えました．富士山が見えてきたときには，海外招聘者がたいへん喜んでいました．その後，下山し，高速ジェット船で東京へ戻り，竹芝客船ターミナルにて解散となりました．

なお，本巡検のために山元氏が用意した巡検ガイド（英語）は，地質調査研究報告にて近日中に公開される予定です．

おわりに

ワークショップ開催にあたっては，所内外の多くの方々にたいへんお世話になりました．皆様ありがとうございました．なお，写真 1〜4 は宮城磯治氏・宝田晋治氏によるものです．

文献

東宮昭彦（2016a）マグマ溜まり：噴火準備過程と噴火開始条件．火山，61, 281-294.

東宮昭彦（2016b）オレゴンから在外研究報告．GSJ 地質ニュース，5, 113-118.

写真 6　伊豆大島火山巡検の様子．写真は島の南西部の地層大切断面．

ワークショップ

第 3 回国際火山観測所ワークショップ報告

石塚吉浩（火山活動研究グループ）

1．はじめに

2016 年 11 月 15 日～18 日にかけて，米国ワシントン州で第 3 回国際火山観測所ワークショップ（3rd International Volcano Observatory Best Practices Workshop：VOBP）が開催され，参加しましたので報告します．

2．ワークショップの趣旨とこれまでの開催

このワークショップは，世界各国の火山観測所からハザード評価に関わる責任者が集い，噴火対応を行ってきた経験知を国際的に共有することで，火山災害の軽減を目指すことを目的としています．もう少し分かりやすく言うと，各国それぞれの機関が行ってきたあるいは計画中の“火山災害を減らすための Best Practices（最も良い事例，最も効果的な方法）”は何かを，膝詰めで議論し，共有して，また各国及び各機関へ持ち帰ろうというものです．

このような目的で，これまでに 2 回，ワークショップが開催されてきました．第 1 回は 2011 年に，短期（Near-term）の噴火予測をテーマに，27 ヶ国 80 名が参加し開催されました．日本からは東大地震研と京大桜島観測所から参加しています．第 2 回は火山災害のコミュニケーションがテーマでした．2013 年に，25 ヶ国 83 名が参加して開催されました．日本からは気象庁，京大桜島観測所，GSJ が参加しています．第 1 回と第 2 回はイタリア INGV がホストでした．

3．3rd VOBP について

第 3 回目となった今回のワークショップは，米国 USGS がホストとなり，長期的な火山ハザード評価をテーマとして開催されました．特に話題の中心は火山ハザードマップの高度化です．参加は米国を中心に，中南米，東南アジア，ニュージーランド，南アフリカ，イタリア，日本（GSJ 1 名）など 20 ヶ国，約 70 名でした．

開催地は，米国ワシントン州南部のバンクーバーという地方都市でした．コロンビア川を挟んですぐ対岸はオレゴン州です．バンクーバーには，北米の西海岸に連なるカスケード山脈にある複数の火山を調査，監視する USGS カスケード火山観測所があるためです．天気が良ければ，3000m 級のセントヘレンズ火山やフット火山が眺望できる町らしいですが，開催された 11 月中旬は海から湿った空気が入り，連日曇りや雨で，これらの火山は残念ながら見えませんでした．

ワークショップでは，4 日間，異なるテーマでの基調講演と，それに関する地域別グループで議論が行われ，その日の最後に各グループでのまとめを全体に紹介する形が繰り返されました．グループは，アジア・太平洋，ヨーロッパ・アフリカ，中南米，北米の 4 つの地域に別れ，ワークショップ中，同じメンバーでした．

基調講演（写真 1 及び写真 2）は，初日が 1）ハザードマップの歴史，2）実際のハザードマップの活用事例と問題点，2 日目が 3）長期的ハザードに資するデータ整備とその信頼性，4）ラハール等のシミュレーション技術展開，3 日目と 4 日目が 5）長期的ハザードマップ評価の新たな展開，を主テーマに行われました．これらのうち，1960 年のハワイ島でのハザードマップが出発点で今日に進化していること（John Ewart 氏）や，ハザード評価しても住民がその評価を受け入れることができる表現にしないと活用されないという 1980 年のセントヘレンズ噴火の事例（Chiris Newhall 氏）の基調講演が印象的でした．また，ラハールのシミュレーション技術（LaharZ）では，開発者である発表者が，各国（特に途上国）からオープンソース化できないか

質問攻めにあっていたことも，トピックとしてあげられます．

各テーマの基調講演後は，地域別に分かれてのグループ議論が行われました（写真 3）．1 テーブル 10 人弱に分かれてです．この face to face での地域別のグループ議論を通して，経験知を集約，共有していく点が，このワークショップの最大の特徴でした．このような少人数グループ議論が 1〜2 時間連続で行われるため，それぞれ参加者した人の経験知，アイデアがじわりじわりと絞り出されてきて，それを異なるバックグラウンドをもつ人が，また違う視点で質問していくスタイルのため，話題は少しずつ変化していきます．それぞれの機関や参加者にとっては自明の経験知であっても，多数の経験を比較していくことにより，深く考える機会を与えてくれます．グループ内でのとりまとめ役が USGS ということもあり，欧米の大学や研究室ではしばしばとられる形式なのでしょう．日本式教育に浸かってきた私には，新鮮でしたが，疲れました．

その後，それぞれ地域内でまとめをおこない，全体討議を行う形式となりました（写真 4）．シナブン火山やマヨン火山，御嶽山など，最近噴火事例が多いアジア太平洋地域での経験知が議論をリードする形となりました．

写真１　代表世話人の米国 USGS John Pallister 氏の基調講演の様子．

写真２　世話人のイタリア INGV Paolo Papale 氏の基調講演の様子．

写真３　地域別に分かれたグループ議論の様子．アジア太平洋地域はインドネシア，フィリピン，ニュージーランド，シンガポール，日本，米国の一部からなる 11 名．基調講演の後，各国が事例を紹介し議論を行う．このような地域別グループ議論を通して，経験した知識を集約，共有していく点が，このワークショップの最大の特徴だった．

写真４　地域代表によるパネル議論．アジア太平洋地域，中南米地域，ヨーロッパ・アフリカ地域，北米地域からの代表が取り組み例を紹介し，議論しあう．

また，各国各機関が作成した 40 枚上のハザードマップ及び関連地図が会場一杯に展示され，先ほどの地域別グループ内のメンバー全員で巡回し，それぞれの特徴が比較，議論されました（写真 5）．GSJ からは富士火山地質図と東アジア地域地震火山災害情報図を紹介しました（写真 6）．火山の地質図自体の展示は GSJ のみでしたが，地質図に陰影をつけ，更にインフラ施設や人口を入れることで，地質図からハザードを読み解く都市圏の事例としました．富士山は知名度が高く，大都市近傍であり，50 年ぶりの全面改定版は関心を引きました．また，山梨県及び静岡県が今年度，この富士火山地質図をベースに富士山噴火時避難ルートマップを発行していますので，これも同時に紹介しました．この避難ルートマップは，最近の科学的成果を避難シナリオに反映させており，更に QR コードを表示するなどの最近のテクノロジーを上手く組み合わせた点が，好例として取り上げられました．

4．終わりに

このような各国火山観測所の責任者が膝詰めで議論する形の国際ワークショップに参加することにより，GSJ のプレゼンス向上に貢献するとともに，今後の国内での研究や国際協調を行う際の方向性を議論する際のベースとなる重要な情報が収集できたと感じています．得られた情報は，今後，GSJ の火山研究者の間で情報共有を進め活用していきます．ただ残念な点は，日本における実際の噴火対応への取り組みへの関心は高かったですが，日本からのこのワークショップへの参加が GSJ1 名であり，具体的な情報発信の国としての窓口になっている気象庁が今回出席していなかったので，我が国の噴火対応への取り組みについての発信力は弱かったと感じています．

写真 5　長期ハザードがメインテーマであることから，各国各機関が作成した 40 枚以上の火山ハザードマップと関連地図が一同に展示，比較検討された．米国レーニア火山のハザードマップの特徴を解説する著者の Ramsey 氏（USGS）．USGS はステークホルダーが理解しやすいように，可能な限りシンプルなつくりに進化している．

写真 6　GSJ からは今年度出版した富士火山地質図と東アジア地域地震火山災害情報図について紹介した．火山地質図自体の展示は GSJ のみであった．全面改定した地質図に陰影をつけ，更にインフラ施設や人口を入れることで，高分解能な地質図からハザードを読み解く例とした．

外部委員会等 活動報告（2016年10月～11月）

2016 年 10 月 4 日
火山噴火予知連絡会（篠原出席 / 気象庁）
火山活動評価

2016 年 10 月 12 日
地震調査委員会（岡村出席 / 文科省）
9 月の地震活動の評価ほか

2016 年 10 月 18 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 10 月 19 日
地震調査委員会津波評価部会（行谷出席 / 文化庁）
津波の予測や評価のための標準的な手法について，津波の予測 / 評価結果の利活用について，その他．

2016 年 10 月 20 日
第 56 回地震調査研究推進本部海溝型分科会（第二期）（宍倉出席 / 文部科学省）
千島海溝・日本海溝の地震活動の長期評価について

2016 年 10 月 25 日
第 224 回地震調査研究推進本部長期評価部会（宍倉出席 / 文部科学省）
（1）海溝型地震の長期評価について
（2）活断層の長期評価について
（3）その他

2016 年 11 月 21-22 日
大規模地震による天然記念物の保全対策検討委員会第一回会合（吾妻出席 / 熊本）
2016 年 11 月 21 日に熊本県庁で開催された標記会合および翌 22 日に実施された現地視察に委員として出席した．会合では，熊本地震と天然記念物の被災状況に関する説明があり，被災した天然記念物への対応，新たな地表地震断層の天然記念物への登録等について議論が行われた．翌日に実施された視察では，国の天然記念物指定となっている地表地震断層出現地点 2 地点を視察したほか，既に天然記念物に指定されている立野地区の原始林指定地の地すべり発生状況と阿蘇火山の米塚に生じた亀裂の状況を観察した．

IEVG ニュースレター Vol.3 No.5（通巻 17 号）

2016 年 12 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