高千穂河原における重力連続観測

【概要】

高千穂河原ビジターセンターにおいて、2017年12月以降重力連続観測を継続中である.本 年3月上旬の新燃岳の噴火活動極大期前後で2 μ Gal程度の重力減少が観測されている.



図1. (a) 観測点位置図. 鹿児島県観光課・自然公園財団の許可を得て高千穂河原ビジターセンター内に2017 年11月末に連続観測用重力計gPhoneを設置した. (b) 2017年12月1日から2018年5月31日までの期間の重 力変化. gPhoneの観測データをBAYTAP-Gで解析し,潮汐成分及び気圧応答成分を除去したトレンド成分 を指数関数+1次関数で近似して得られた残差を示す. 上段は降水量未補正の結果で継続時間10日前後, 最大振幅1-2µGalの三角波状の変化は降雨の影響と考えられる. 下段は木村・他 (2015, 験震時報)の方法 により降水の影響を除去した結果を示す. (c)京大防災研地震予知研究センター宮崎観測所伊佐観測坑道 の伸縮計により観測された面積ひずみ成分. (d)鹿児島県砂防課所管の高千穂河原雨量計による時間降水 量(赤)及びその積算雨量を1/20倍したもの(青). 黄色ハッチの期間は本年3月上旬の新燃岳噴火活動極 大期. [京大防災研からは伊佐観測坑道の伸縮計各成分,鹿児島県砂防課からは雨量のデータをそれぞ れご提供いただいた. 地形図の作成には国土地理院発行の数値地図を使用した.]

鹿児島大学理工学研究科と東京大学地震研究所・他は、2011年1月のマグマ噴火前より 霧島山(新燃岳)周辺にGNSS観測点を4点設置し、噴火後には東北大学、北海道大学、 九州大学と共同で更に6点を増設するとともに、京都大学防災研究所、防災科学技術研究 所、国土地理院のデータと併せて地殻変動データの解析を行っている。今回は気象庁から 2016年1月から2018年3月までのデータ提供を受け、併せて解析を行った。観測点配置 を図1に示す.なお、図2、図4で2012年12月5日に見られるステップは950486観測 点のアンテナ交換によるものである。また、2016年熊本地震による影響も含まれているこ とを銘記しておく.

図2で示す霧島山を挟む比較的長い基線長の変化を見ると、2011年1月末の噴火後に継続していたマグマ蓄積は2011年11月頃一旦停止したが、2013年10月頃より再開し、これも2014年9月頃に停止した。しかし、最近2017年2月ごろから基線長の伸びが見られ、2017年10月の噴火に至った。噴火直後にわずかに収縮したが、すぐに膨張を再開し、この時期膨張が以前よりも加速しているように見える。3月上旬の噴火活動の際に基線長が縮んだが、また膨張を開始したが、4月終わりころから膨張が停滞している。なお、この基線長変化は日々更新され、以下のHPの「GPS即時解析」で公開している. http://www.eic.eri.u-tokyo.ac.jp/MS/

上記の各期間での膨張収縮源の位置と観測変位と理論変位の比較を図6に示す.図6(a) 以外は硫黄山周辺にも浅部の膨張収縮源があると仮定し、深部の膨張収縮源と同時に推定 した.各期間での膨張収縮源の位置を図7にまとめて示した.各期間ともほぼ同じ位置に あり,同じ膨張収縮源が活動していると考えられる.

図8では、2011年噴火前から現在までの新燃岳北西の深部膨張源の体積変化、体積変化 率の推移を模式的に示した. GNSSによる観測から推定される2018年3月噴火前の体積 膨張率は、2011年1月の噴火前に比べてわずかに大きく、これらの時期の膨張率は2013 年10月~2014年9月まで、2011年2月~11月の期間に比べて大きい. 2018年3月上旬 の噴火のGNSSから推定された体積減少量は2011年の噴火の時のそれに比べて小さい. マグマ蓄積が進んでいることや、2011年と最近ではマグマの体積弾性率が変化したことな ど、色々な原因が考えられる. 今後、検討を重ねたい. なお、今後、解析手法を改良する ことにより、ここで示した図が若干修正される可能性がある.

解析には、国土地理院,防災科学技術研究所,気象庁の観測データも利用した.また, 次世代火山研究人材育成総合プロジェクトの課題 B-4「火山内部構造・状態把握技術の可 開発」の経費を使用した.謝意を表す.





図1.霧島山(新燃岳)周辺のGPS観測網.



01/2010 01/2011 01/2012 01/2013 01/2014 01/2015 01/2016 01/2017 01/2018 01/2019 01/2020 図 2.霧島山(新燃岳)をはさむ基線の基線長の時間変化(2011年1月~2018年5月). 基準点は KKCD 観測点



霧島火山



基準点は 950486(GEONET)観測点



2018年5月). 基準点は 950486 (GEONET) 観測点.



図6. (a) 2013年6月1日~2014年8月31日に推定された膨張源の位置と,期間中の 変動(青矢印)と理論値(赤矢印). 左図が水平変動,右図が鉛直変動.



図 6. (b) 2017 年 7 月 1 日~2018 年 2 月 28 日に推定された膨張源の位置と,期間中の変動(青矢印)と理論値(赤矢印). 左図が水平変動,右図が鉛直変動.



図 6. (c) 2018 年 2 月 28 日~2018 年 3 月 8 日に推定された膨張源の位置と,期間中の変動(青矢印)と理論値(赤矢印). 左図が水平変動,右図が鉛直変動.



図 6. (d) 2018 年 3 月 8 日~2018 年 4 月 3 0 日に推定された膨張源の位置と,期間中の 変動(青矢印)と理論値(赤矢印). 左図が水平変動,右図が鉛直変動.



図7. 推定した深部膨張源の位置を星印で示す. 右図では推定した深部膨張源の位置を星 印で、推定した浅部膨張源の位置を四角印で示す. シンボルの色は深さを示す. 図中のア ルファベットは、図6のアルファベット(解析期間)に対応している.



図8. 膨張収縮源の体積変化の積算を赤線で、体積変化率を黒線で示す. 図中のアルファ ベットは、図6のアルファベット(解析期間)に対応している.

霧島における絶対重力連続観測

[1] 測定概要

FG5 絶対重力計#212 を、新燃岳の北西 5.6km に位置する霧島火山観測所(KVO)に設置した(図 1). 深さ 6-10 kmにあると推定されるマグマだまりの中心から水平方向に 1 km程度の 位置にある。2017 年 11 月 2 日から 1 日あたり 1200~2400 回の自由落下測定を継続してい る. 重力測定値の標準偏差は 10~50µga1、日平均値の推定誤差は 10~50/(2500)^{1/2} すなわ ち 0.2~1µga1 程度と見積もられる.



図1 絶対重力計配置図.

[2] 観測結果(長期変動)

図 2 に絶対重力変動(2017 年 11 月初旬~2018 年 5 月中旬)を示す. 2018 年 4 月以降の日雨量 100 mmを超す豪雨に対する重力増加、及び 1 週間程度をかけた回復過程が見られる。長期的には 2017 年 11 月~2018 年 2 月中旬まで、顕著に重力減少が見られる。これは、2018 年 3 月の噴火の準備過程として、深部マグマだまりが膨張を続け、地表が隆起したことを捉えているものとみられる.



[3] 観測結果(2018年3月噴火時の変動)

2018年3月の新燃岳噴火時の重力変動を図3に示す.爆発的活動を続けていた期間 に約4マイクロガルの重力増加が見られる.爆発時に深部マグマだまりから、新燃岳火口 ヘマグマが輸送されたため、深部マグマだまりが収縮し、重力観測点が沈降したことを示 すものと解釈される.



図3 2018 年3月の新燃岳噴火時の霧島火山観測所における重力変化(セット 平均値)。

霧島火山群新燃岳 2018 年噴火の火口状況および噴気活動の変遷

概要: 2018年3月1日の噴火開始以降,航空機やドローンによる新燃岳火口及び火口周辺の観察・調 査を繰り返し実施した。3月3日には山頂火口東端から噴煙が継続的に激しく上昇し,火砕丘が形成 されていた。3月6日に火口底へ流出,蓄積を開始した溶岩は,3月9日には北西火口縁から溢れ出し, その後山体北西斜面を覆い舌状地形を形成した。3月9日午後からは爆発的噴火が繰り返すようにな った。3月10日,14日には,爆発直前に火口蓄積溶岩中央部から小規模な噴煙が発生し,隆起する現 象が確認された。火口蓄積溶岩中央には,4月5日噴火により小火口が形成された。北西火口縁から 溢れ出した溶岩は,4月16日までに約150m流下しその後流動を停止したが,6月4日現在も溶岩溢れ 出し部付近からは大量の水蒸気が上がり続けている。西側斜面の噴気活動は一時強まったものの, しだいに衰退したようである。

[上空観察の概要] 新燃岳火口および山体斜面を,航空機やドローンにより上空から観察した。航空 機による観察は2018年3月3日,9日,10日,13日に実施した(新日本航空セスナ機,10日はKYT,UMK ヘリコプター)。ドローンによる観察は3月14日,4月15–16日,6月4日に実施した。規制区域のドロ ーン飛行に関しては,火山噴火予知連絡会霧島(新燃岳)総合観測班のガイドラインに従い,事前 に鹿児島森林管理署をはじめとする関係機関と調整した上で実施した。

[上空観察にもとづく火口状況および噴気活動の変遷]

- ・ 霧島新燃岳では 2018 年 3 月 1 日午前に噴火を開始した。3 月 3 日 9 時半頃には噴煙が山頂火口 東端から勢い良く上がり、火口近傍には 2017 年 10 月と今回の噴火でできた火砕丘が形成されて いた(図 1)。火山灰放出火口は 2017 年 10 月噴火とほぼ同じ場所だが、直径は今回の方が大き い。また火山灰放出火口以外からも水蒸気が多くの場所(孔)から噴出しており、その数や噴気 量は 2017 年 10 月の活動を上回るものであった。
- ・3月6日から溶岩ドームが成長しはじめ、8日夜半までに溶岩は火口をほぼ満たし、北西側のや や低い火口縁に乗り上げた。溶岩ドーム成長の様子は衛星 SAR 解析で捉えられ、溶岩供給は9 日までに衰えたと考えられる^{1,2)}。成長が鈍化した溶岩ドーム中央部では、9日午後から爆発的 噴火が繰り返し始めた。この溶岩流出から爆発的噴火への推移は2011年1-2月噴火と類似して いる。
- ・3月9日午後5時頃の観察では、溶岩は北西縁に乗り上げ、先端からは水蒸気の白煙を上げていた。10日午後3時半頃には先端部が斜面に向かって前進しはじめた。その後溶岩は自重で斜面下方へゆっくり移動し、9-10日の約1日で溶岩先端は数十m前進したと考えられる(図2)。
- ・3月10日10時15分頃の爆発の10分ほど前からは、溶岩ドーム中央部で火山灰が弱く放出され 始め、さらにその中央部で隆起が認められ、甘食のような形状となり噴火に至った(図2)。
- 3月13日午後には、北西斜面の溶岩はさらに流下し、舌状に伸びている様子を観察した。先端部の動きや転動岩塊、赤熱部等は見られず、溶岩流の動きは極めて緩慢であったと推定される。
 また、火口蓄積溶岩の中央やや北東側には浅い凹地形を確認した(図3)。
- ・ 4月16日には、周辺地形との比較をもとに流下距離は150mに達したと推定される(図4)。溶 岩表面はクリンカーで覆われ、多くの亀裂が生じた。溶岩溢れ出し部の西縁付近ではとくに噴気

が活発で、6月4日時点でも継続している(図5、6)。

下位の噴気活動には期間中大きな変化は認められなかった。

火口蓄積溶岩中央部は、3月14日にはわずかに凹んでいる状態であったが、同日午後3時18分のブルカノ式噴火直前には小規模な噴煙形成や、溶岩の部分的な隆起を確認した(図7上図)。
 4月15-16日には、直径約100mの凹地(小火口)が形成されていた(図7下図)。小火口周囲には火山灰や岩塊が厚く堆積し溶岩表面微地形ははっきりしないが、同心状に亀裂が発達している。小火口は、だいち2号のSAR画像²⁾で認められた凹地形に対応し、4月5日の爆発的噴火で形成されたものと推定される。5月14日噴火では、火口蓄積溶岩のやや東寄りに火口が形成されたと推定されるが、6月4日の調査では視界が悪く火口内の詳細な状況は確認できなかった。
 火口蓄積溶岩の周縁部には所々噴気が活発な箇所がある。また、西側斜面には複数の噴気が認められ、このうち中腹の噴気孔は一時活発となったが、6月4日には衰退している(図8)。斜面



図1 3月3日午前10時前。新燃岳山頂火口からは火山灰が激しく放出されている。火山灰火口以外からも多 くの水蒸気噴煙が上がっている。立ち上る火山灰噴煙から、すぐに落ち始める火山灰が風で火口側に戻されな がら降灰している。(中田撮影)



図2 3月10日午後の新燃岳山頂火口北西縁の様子。右は10時15分頃の爆発的噴火約5分前の溶岩ドーム中 央部の隆起の様子。(中田撮影)

第141回火山噴火予知連絡会

東京大学地震研究所



図3 3月13日午後の新燃岳山頂火口の様子。左は火口域全体で南東側より撮影。右は火口蓄積溶岩中央やや 北東側にある浅い凹地形。北側より撮影。(金子撮影)



図4 新燃岳火口北西縁から溢れ出て舌状に広がる溶岩(上:3月14日,下:4月15日)。周辺地形との比較から、4月16日時点で流下距離は150mに達したと推定される。溶岩の厚さは先端部にかけて徐々に薄くなっている。(以下,前野撮影)



図 5 4月15日の新燃岳火口西縁の状況。溶岩溢れ出し部ではとくに激しく水蒸気を上げている。溶岩破砕部分の灰色は火山灰の被覆による。



図 6 6月4日の新燃岳火口西縁の状況。雲が多く正面からの観察は行えなかったが, 溶岩先端部の状態は4 月16日とほとんど変わっていない。溶岩溢れ出し部付近からは4月16日同様に大量の水蒸気が上がっていた。



図7 (上)3月14日午後3時18分噴火直前の火口内の状況。火口からは複数の箇所から灰色~褐色噴煙が 生じている。このおよそ5分後に噴火が発生した。(下)4月15日には、火口蓄積溶岩中央部に小火口(直 径100m程度,深さ不明)が形成されており、活発な噴気活動が認められた。周囲は火砕物で厚く覆われてお り、数mの岩塊が散在している。小火口を中心に同心状に亀裂が発達する。凹地形は、4月5日の爆発的噴火 により形成されたと考えられる



図8 新燃岳西側斜面の噴気活動の様子(上:4月16日,下:6月4日)。斜面下位には複数の小噴気孔からなる噴 気地帯,中腹にはやや大きい噴気孔が存在する(黄色点線および矢印)。中腹の噴気活動は4月16日には活発 であったが,6月4日には衰退しているように見えた。斜面下位の噴気活動には大きな変化はなかった。

参考資料:

- 1) 防災科学技術研究所 平成 30 年 (2018 年) 3 月新燃岳の噴火活動に関するレスポンスサイト: http://gisapps.bosai.go.jp/nied-crs/2018-0003/index.html
- 2) 国土地理院 平成 30 年(2018 年)霧島山(新燃岳)の噴火に関する対応: http://www.gsi.go.jp/BOUSAI/h30kirishima-index.htm

ひまわり8号, MODISによる新燃岳の熱異常の観測(2018年)

新燃岳は2018年3月1日から噴火活動を再開した.現在までの活動状況を衛星赤外画像により観 測した.

◆ ひまわり8号による観測

ひまわり8号の3.9 µm, 11 µmの夜間画像による熱異常の時間変化を図1に示す.3月5日から 熱異常が表れ,6日に急増し,高い状態が数日続く.その後低下し,3月中旬以降はバックグラ ウンドに近いレベルとなる.その後,4月5日の噴火に対応して単発的に高い熱異常が表れるが, 数時間でバックグラウンドレベルまで低下する(後述).これ以降現在までチャート上で熱異 常は認められない(2018年6月15日現在).



図1 ひまわり8号3.9 µmバンドによる 熱異常の時間変化(2018年1月1日~6月15日). 夜間画像のみを使用し,各日の熱異常の最高値をプロットした.

♦ MODISによる観測

MODISの3.9 µm, 11 µmの夜間画像による熱異常の時間変化を図2に示す.ひまわり8号と同様に,3月6日頃から急に高い熱異常を示すようになり数日間続く.その後一様に低下傾向を示す.ただし,ひまわり8号と異なり,4月半ばまで微弱ながら熱異常が認められる(図3).これは主に画素サイズの違い(ひまわり8号:2 km,MODIS:1 km)により,MODISの3.9 µmのバンドの方が検出下限値が低いためと思われる.チャートには表れない微弱な熱異常を画像上で確認すると,最後に熱異常が観測されるのは4月20日(図4a)となっている.5月4日の画像(図4b)では熱異常は認められない.

以上より、3月1日に始まった新燃岳の活動では、熱異常は3月6日頃より数日間高値を示す が、時間と共に低下し、3月中旬にはひまわりで検知できなレベルに、さらに4月下旬には MODIS画像上でも検知できないレベルまで低下する.4月5日の噴火は、この全体に一様な低 下傾向を示すトレンドから外れた孤立的なイベイトであるように見える.

霧島山·新燃岳



112



図4 (a) 2018年4月20日のMODIS画像 (3.9 µm 11 µm 12 µmの合成. 熱異常 は3.9 µm画像上のもの)



(b) 2018年5月4日のMODIS画像(3.9 μm 11 μm 12 μmの合成. 熱異常は 3.9 μm画像上のもの)

◆ ひまわり8号による4月5日噴火の観測

最初の熱異常が日本時間5日3時40分に観測され,同時に噴煙が発生している(図5).この噴煙の放出は4時30分頃 まで40-50分程度続いていた様に見える.これ以降は顕著な噴煙の発生は見られない.噴煙は風に流され東方へ移動 し,日本時間で6時過ぎには宮崎市の上空に達している.熱異常は活動最初期の3時40分-4時10分頃が最高で,以 後4時30分には297Kまで下がるが,再び徐々に上がり5時20分頃ピークとなり低下に向かう(一部雲の影響で詳細は不 明)(図6).これは火口での小規模な連続的活動があったことを示すものかもしれない.活動は7時頃には終息している ように見える.



図5 ひまわり8号の画像(3.9 µm, 11 µm, 12 µmの合成. 熱異常は3.9 µm画像上のもの). 画像の幅は約200km.



霧島火山群新燃岳 2017-2018 年噴出物の全岩化学組成とその推移

概要: 2018年3月6-7日の新燃岳溶岩ドーム形成時に噴出した軽石は、2011年噴火の噴出物とほぼ同 じ安山岩組成(SiO₂含有量:~58 wt.%)である。また、2017年10月から2018年5月にかけての一連の噴 火活動において、噴出物の全岩化学組成に時間変化が認められた(SiO₂含有量の低下,MgO含有量 の増加など)。火山灰全岩化学組成の変化は、噴出物中における新鮮な溶岩あるいはマグマの割合 の増加を反映していると解釈される。

[全岩化学組成の特徴]

2017年10月噴火の火山灰全岩化学組成は、SiO₂含有量 61-63 wt.%で、2011年噴出物にもとづく新 燃岳マグマの組成トレンドから逸脱していた¹⁾(図1,水色三角)。一方、2018年3月1日からの噴火で は、火山灰組成はこの新燃岳マグマ組成トレンドに近づき(図1,橙色三角),さらに3月6-7日の溶 岩ドーム形成時に噴出した軽石および火山灰(図1,赤丸および赤三角)は、2011年噴火のマグマ組 成とほぼ同じになった(図1,2)。2017年10月から2018年3月のマグマ噴出に至るまでの火山灰組成 変化は、2008年の水蒸気爆発以降、2011年1月噴火に至るまでの火山灰組成変化²⁾とよく似ており(図 2),新鮮な溶岩あるいはマグマの割合の増加により生じたと考えられる。一方、2018年3月のマグ マ噴出以降、火山灰組成は一定とならず、5月14日噴火にかけてややMgOが増加、Al₂O₃が減少する ような傾向がみられる。なお、分析に用いた火山灰試料は数ミリ以下の岩石片であるので、斑晶を 含む正確な全岩組成からは若干ずれている可能性がある。



図1 霧島新燃岳噴出物の全岩化学組成の比較。●は軽石または溶岩(P,L),▲は火山灰(A)。 1716-1717年享保噴火のデータ(灰色)も同時に示してある。点線で囲んだ領域は,2011年噴出物に もとづく新燃岳マグマ組成トレンド。



図2 霧島新燃岳における2008年噴火以降の噴出物全岩化学組成の時間変化。右図は2017年10月以降の拡大。

参考資料:

- 1) 東京大学地震研究所・早稲田大学,霧島新燃岳 2017 年 10 月 12 日,14 日噴火の火山灰について.火山噴 火予知連絡会拡大幹事会資料.2017 年 10 月 17 日.
- Suzuki, Y., Nagai, M., Maeno, F. Yasuda, A., Hokanishi, N., Shimano, T., Ichihara, M., Kaneko, T., Nakada, S. (2013) Precursory activity and evolution of the 2011 erupton of Shinmoe-dake in Kirishima volcano insights from ash samples. Earth, Planets and Space, 65, 11.

霧島全磁力

新燃岳周辺域ならびに硫黄山北で全磁力連続観測をおこなっている。新燃岳山頂噴火に よる噴石や降灰のため、2011年1月末には新燃岳直近の4観測点での観測が途絶えたが、 新燃岳西(SMW)観測点については、2011年7月15日より観測を再開した。

2011年7月15日の観測復帰時には、新燃岳西(SMW)の全磁力は2011年1月の噴火 直前に比べ2010年9月のレベルに減少していたが、その後増加を示した。この増加の原 因が2010年と同じ消磁源によるとして、2011年9月~10月までは新燃岳西側斜面の地下 浅部ないしは新燃岳北西縁ごく浅部で引き続き温度上昇による消磁が進行していたと解釈 していた。その後、SMWの全磁力は、2011年1月噴火直前のレベルに達しないうちに全 体として減少傾向であったが、2016年夏頃より上昇に転じ、2017年の夏から秋にかけて 顕著な上昇を示し、現在に至っている.

一方、硫黄山北(IWN)観測点の全磁力については、微弱な変化ながら、2014年夏頃 を境としてそれまでの減少から増加に転じる長期的変動が消長を繰り返しながらも現在

(2018年4月19日)に至るまで継続している。IWNの全磁力についても、2017年に入り、その上昇傾向が加速している。このIWNにおける全磁力値の増加は、観測点南側に 位置する硫黄山周辺域で消磁が起こっていると考えることで説明が可能である。

なお、本報告において、SMW, IWN 観測点とも、気象庁鹿屋地磁気観測所との全磁力差 を表示して検討しているが、2017 年 9 月以降は鹿屋の暫定値を用いた解析となっている。



全磁力観測点配置。2011年1月末に測定が途絶えた新燃岳直近の4観測点のうち、 SMW 観測点については2011年7月15日より観測を再開した。

霧島山

第141回火山噴火予知連絡会



気象庁鹿屋地磁気観測所基準の新燃岳西(SMW:一段目)、硫黄山北(IWN:二段目)観測 点での2009年10月1日から2018年4月19日までの全磁力差毎日値。IWN については、 2011年山頂噴火前のデータを用いた年周変動の除去補正を行っている。同期間における地 磁気永年変化を示すため、あわせて気象庁鹿屋地磁気観測所での磁場南北成分(三段目)、 磁場東西成分(四段目)、磁場鉛直成分(五段目)の時系列を示す。縦軸の目盛間隔は、1nT (SMW, IWN)ならびに50nT(鹿屋磁場成分値)。横軸の目盛間隔は6か月。

霧島山

IWN 観測点については、2016 年夏頃より年周変化の様子に変化が見られたため、その ことを表す参考図を下に示しておく。上段の生データに認められる年周変動は、2011 年山 頂噴火前の 2003 年-2009 年の平均的な年周変化を取り除くことで、2016 年夏頃までは 除去されていたが、それ以降は年周変化の除去がうまく機能していない。年周変動を除去 することで、かえって見かけの変動が現れる様子が読み取られる。ただ、そのことを考慮 したとしても、2016 年後半からの消磁傾向の全磁力の増加が加速していることは確からし い。



参考図:

上段: IWN (年周変動補正無し,縦軸は1目盛り1nT) 下段: IWN (年周変動補正後,縦軸は1目盛り1nT) 年周変動は,2003年-2009年の平均で見積もっている。

霧島山(えびの高原(硫黄山)周辺)の噴火に伴う空振について

東京大学地震研究所と九州大学は、霧島火山の活動活発化を受 け、空振臨時観測点を増設した(図1、表1).それぞれの機関が以 前より運用している観測点を併せて解析を行い、4月19日に発生 したえびの高原(硫黄山)周辺噴火に伴う空振が捕らえられた(図 2). 硫黄山ごく近傍に設置されている2つの空振計の相互相関解析 から,空振の開始が15:39頃に決められ,これは,気象庁の硫黄山 南監視カメラで噴火開始が確認された時刻に一致した.また、5km 以上離れた新湯付近に新たに高感度の空振アレイを設置したが、こ れらの観測点でも、18:45 頃以降空振が微弱ながら捕らえられ、 19:21 以降明瞭になった(図3). これは,空振の低周波パワーが段 階的に増大したことによるもので(図2,4), 噴気孔の拡大(気象 庁火山活動解説資料,2018/4/20 21:30 発表)と関係しているかも しれない. 一方,約 1.3km の距離にある東京大学地震研究所霧島 観測所の観測坑内に設置された微気圧センサーは、地震による振動 を記録していたが、空振のシグナルを捕らえることはできなかった (図6).



図1. 観測点位置.

凶 6).

今回,新しいセンサー(ACO-7744N)を導入したこともあり,今後のモニタリングの基礎情報として,霧島周辺で稼動中の空振観測点(地震研・気象庁)の特徴を整理しておく(図 7-9).

観測点	設置機関	空振計	備考
EBS	地震研	MB2005	高感度微気圧計. 定常観測点.
KVO	地震研	MB2005	高感度微気圧計. 定常観測点. 観測坑内
EBQ7	九大	SI-104	ノイズレベル~0.1 Pa
KREB	九大	SI-102	高感度. 非線形性あり.
EBQ8	九大	SI-102	高感度.非線形性あり.データ欠測.
KROb	九大	SI-104	ノイズレベル~0.1 Pa
KSYb	九大	SI-104	ノイズレベル~0.1 Pa
KSYc	九大	SI-104	ノイズレベル~0.1 Pa
AC25	地震研	ACO-7744N	高感度. 100Pa 程度で振り切れ.
AC26	地震研	ACO-7744N	高感度. 100Pa 程度で振り切れ.
AC27	地震研	ACO-7744N	高感度. 100Pa 程度で振り切れ. データ欠測.

表1. 臨時観測点と, 硫黄山空振解析に使用した定常観測点.



図2.硫黄山近傍の2つ の空振観測点の相互相 関関数.1-20Hz帯.縦軸 は2点間の時間遅れ.噴 火発生時刻15:39に空振 シグナルが捕らえられ, 時間遅れから硫黄山方 向から来ていることが

わかる.また,18:45頃と19:21頃に不連続に相関パターンが変化し,幅が太くなっている. これは、卓越周波数が低周波に変化したためと考えられる.19:35頃には、気象庁のカメラ により噴気孔の拡大が確認されており、活動の変化が空振に現れている可能性がある.



図 3.1-7Hz 帯の相互相関 関数. 一番上の図は, 図2 と同じく, 硫黄山近傍の 観測点,下の二つは,約 5km 離れた新湯付近の観 測点で, 硫黄山からの空 振に対して予想される観 測点間時間遅れ(破線)の ところに, 強い相関が 19:21頃(黒線)以降見ら れる. 噴火の開始した 15:39頃からの信号は,遠 い観測点では捕らえられ ていないが,低周波の卓 越が始まったと考えられ る19時前からかすかに見 え始めているようであ る.



図 4. KREB 観測点のパ ワースペクトル.噴火開 始からしばらくは,高周 波が卓越している(赤). 19:21 頃以降,新湯付近 でも空振が捉えられた が,この時期には,低周 波のパワーが増大して いた(水色).

図 5. 新湯付近の観測点 での, ACO 高感度マイク と, SI-104 の比較. 1-20Hz を使用. ACO マイ クでは硫黄山からと思 われるシグナルが捕ら えられている(上)が, SI104 マイクでは, ノイ ズが大きいため, 見られ ない(下).



図 6. 東大地震研霧島観測所坑内の空振計と併設された地震計の相互相関解析.一見,空振と 空振による地面の揺れの相関パターンに見えるが,空振に対して地震の振幅が大きすぎる.こ れは,地面の揺れを空振計が拾ったものである.観測点のノイズが小さく,空振計の感度がよ いため,捕らえられたものである.その後も,空振シグナルは捕らえられていない.





図 7. 霧島火山全体の地震研(赤)と気象庁(黄色)の 空振観測点(左図)で記録された 2018 年 3 月 12 日の 新燃岳爆発波形.各波形に添えたアルファベットは観 測点の最初の 3 文字とセンサー種類(MC:SI104, P:気象 庁 ACO, B1:MB2005 差圧出力, nb:NanoBaro).

霧島火山(硫黄山·新燃岳)



図 8. 図 7 と同じ観測点で記録された周波数が低く振幅の小さい空振(2018/3/12,新燃岳). 気象庁の観測点はすべて,波形が崩れ,振幅が小さくなっている.これは,1Hz以下の低 周波の特性が低下しているためである.地震研霧島観測所坑内センサー(KVOB1)は,高周 波が落ち,また周辺の観測点から予想される振幅よりも小さくなっている.



図 9. 図 8 と同じ波形について,新しく設置した ACO-7744N センサー(AC25~27)と周辺の観測点で比較したもの.特性がよく揃い,感度のよい AC25,AC26,EBSB1 により,5km 以上離れた硫黄山からの微弱な空振が捕らえられた.(AC27 はデータロガーのトラブルにより欠測.)

2018 年 4 月硫黄山噴火前のえびの高原付近の地震活動

硫黄山周辺では、これまで熱活動が活発で、水蒸気噴火の可能性については多くの関係者で共 有されていた。一方で、観光地であるえびの高原では噴火切迫性評価の高度化に対する社会的な 要請は高い.即ち、観光客の安全な避難には、この水蒸気噴火の1~2日前にその発生の予測が 可能であることが望ましい.そこで、4月19日の噴火の噴火前にこれまでと異なる地震活動等が 見られないか、地震観測から検証した.

解析は、2018年2月1日から5月5日までとして、特に4月19日の噴火前に地震活動の変化 に注目して、東京大学地震研究所で利用できるデータ(気象庁・防災科技研とのデータ交換協定 に基づくデータを含むが、気象庁の臨時観測点は含まない)を用いて解析した.

この間に,決めた震源の分布を地震波形の特徴に分けて図1に示した.色の付いている地震は, 霧島観測所(KVO)の記録でS-P時間が0.6秒以下のものを示し,以降はこの地震を対象に解析し た.なお,観測点の配置から,推定された震源の精度はそれほど高くないが,ここで対象として いる地震はえびの高原の地下を震源とする地震であることは明らかである.震源については,今 後,気象庁の臨時観測点のデータの提供を受けて改善したい.

図2に地震の波形の特徴による種別ごとに、噴火前の地震活動度をプロットした. えびの高原 では、3月下旬頃から長周期地震が増加していた. 更に、噴火直前にはクラックの振動で励起さ れたと考えられるN型地震が増えていた. 特に、N型地震(波形例を図3に示す)は、噴火の4日 前から2日前までの間に、小さなものも含め多数発生し、その卓越周波数は噴火に向かって徐々 に低くなっているように見える.

この様子を更に詳しく見るため、時間軸を拡大し、卓越周波数と減衰定数に分けて時間変化を 図4に示した.噴火に向かって徐々に周波数が低下している様子が見える.一方、減衰定数に関 しては、時間変化の様子が見られない.この点に関しては、今後、詳細な解析を行い、更に検証 を進めたい.

一方, N型地震の発生は噴火2日前から少なくなったが,その直後から噴火直前まで短周期地 震が急激に活発化した.現時点では,短周期地震と長周期地震の区別を客観的に行っていないの で,今後これらの地震が長周期地震に判別される可能性はあるが,ここで言えることは岩盤の破 壊現象による地震が増えたということである.

この噴火前数日の地震活動の変化を総合的に考えると、地下の高温・高圧の流体が既存クラックを振動させて N型地震を多数発生させ、その後、周辺岩体の破壊が進行して、水蒸気噴火に至ったという仮説も考え得る.

この例だけですべてを判断できないが、ここで示したように4月19日の水蒸気噴火の前に、地 震活動に異常が見られた可能性が高く、前兆が小さいと言われる水蒸気噴火でも、地震活動を注 意深く検視すれば、前兆を捉えられる可能性がある.



図1. えびの高原付近で発生した地震の震源分布(2018年2月1日~5月5日) 青:短周期地震,緑:長周期地震,赤:N型地震.霧島観測所(KVO)での記録でS-P時間が 0.6秒を越えるものは灰色でプロットした.



図2. KV0 での最大振幅で示した各種地震の活動度(2018年2月1日~5月5日) 震源が推定できたものを着色して示し,震源が決まらないが KV0 で S-P が 0.6 秒以下の地震 を白丸で示した.最下段は N 型地震の卓越周波数のプロット.大きさは振幅,色は見かけの 減衰定数(Q¹)の違いを示す.色の濃い方が,減衰が小さいことを示す.



図2. KVOで観測されたN型地震の波形例.

第141回火山噴火予知連絡会



図4.図2を噴火直前に注目して拡大して示した図(2018年4月1日~5月3日)
 最上段:N型地震の卓越周波数.2段目:N型地震の見かけ減衰定数(Q⁻¹).3段目:長周期
 地震,4段目:短周期地震.最下段はKV0でのノイズレベル.

2018 年 4 月噴火と硫黄山火口周辺の噴気・熱水活動について

概要: えびの高原硫黄山周辺では,2018年2月3日に硫黄山の南側で確認した熱異常域 (S) 周辺で,4月19日の噴火(硫黄山南火口群)が発生した.また,県道沿いの硫黄山西火口群は, 宮崎県により火山ガスの湧出が確認されていた付近に形成された.噴火前に上昇していた噴気・湧水温度等の各種観測値は6月4日時点では一部を除きわずかに低下した.

1. 熱異常域と火口位置の関係(図1,2)

継続的に観測してきた熱異常域調査の結果と2018年4月噴火の火口位置について検討した. 火口位置は防災科学技術研究所・他¹⁾の資料及び6月4日に実施した調査結果をもとにした.

- ・硫黄山南火口群の S4~S6 火口は2月3日に確認した熱異常域 (S) 周辺に形成され, S1
 ~S3 火口はそれまで熱異常が見られなかった場所に形成された.
- ・S7 火口付近では,2016 年 9 月 24 日に流水中に僅かな気泡を確認したが,最近,熱異常 現象等は確認していなかった.
- ・硫黄山西火口群は南北に伸びる6箇所の小火口からなり,宮崎県の火山ガス観測点M20 付近²⁾に形成された.

2. 噴気温測定 (図 3, 4)

硫黄山噴気帯について、噴火前後の噴気温度及び周辺の湧水・地中の温度を測定した.

- ・噴気孔 A は 2017 年 9 月 24 日の 98.3℃の観測後, 12 月 17 日に 95.5℃に下がった. 2018 年 2 月 3 日に 97.2℃, 4 月 16 日に 98.0℃に上昇した. 噴気孔 A での温度上昇後, 噴火が発生 しており, 両者に関連性があった可能性も考えられる. なお, 6 月 4 日時点で 96.0℃に低 下した.
- ・噴気孔 B は 2017 年 9 月 24 日に 121.1℃, 12 月 17 日に 99.6℃, 2018 年 2 月 3 日に 97.9℃, 6 月 4 日に 95.7℃と低下傾向にある.
- ・I地点は、2月3日の95.3℃よりわずかに高い95.7℃であった.

3. 湧水温測定(図4)

- ・川湯 3 (K3)の湧水温は,噴火前の 2 月 2 日に 47.2℃,4 月 10 日に 58.8℃,4 月 16 日に 61.4℃ と上昇傾向にあった.噴火後,5 月 9 日に 68.8℃と上昇していたが,6 月 4 日に 67.6℃とわ ずかに低下した.
- ・川湯3(K3)の電気伝導度(EC)は、4月以降1100mS/m前後の相対的に高い値となって おり、pHも1.5前後と同様な傾向を示した. ECは5月8日に値が低くなったが、前〜当 日の降雨の影響と考えられる.

東京大学地震研究所



図1 硫黄山噴気帯の熱異常域(50℃以上) 2017年6月3日,9月25日,2018年2月3日の50℃熱異常域(地中約10 cm).



図2 硫黄山噴気帯と2018年4月噴火の火口

基図は4月16日のドローン撮影より図化されたもの. 色調の異なる外側は Google Earth (Google Earth © 2018 ZENRIN 2018) による. 硫黄山南火口群 (S1~S7) は防 災科学技術研究所・他¹⁾を参照. 硫黄山西火口群 (W1~W6) は6月4日調査にも とづく.


図3 硫黄山噴気帯の噴気温度測定結果各地点は、図1,2を参照.

東京大学地震研究所





- 防災科学技術研究所・東京大学地震研究所・日本工営(2018)霧島えびの高原(硫黄山)4月
 19日~23日の活動の現地調査結果.火山噴火予知連絡会資料,2018年5月7日.
- 2) 宮崎県総務部危機管理局危機管理課 (2018) 硫黄山周辺の火山ガス濃度測定結果(速報値).
 2018.6.8. https://www.pref.miyazaki.lg.jp/kiki-kikikanri/kurashi/bosai/20161212181421.html

東京大学地震研究所·

防災科学技術研究所・日本工営

霧島硫黄山周辺 2018 年 4 月噴火による地形変化・噴出物および噴火後の噴気活動

概要:霧島硫黄山周辺で4月19日から始まった噴火では硫黄山の南側と西側に火口群 が形成された。噴火後,南火口群では噴気・熱水活動により凹地形が拡大し,2カ所に 合計約1000m²の湯だまりが形成された。湯だまり内には,断続的に熱水を激しく噴き 上げている箇所が複数存在する。一方西火口群では,1カ所を除き噴気活動は衰退した。 西火口群の周囲には,4月噴火により噴出した泥質火山灰を主とした降下堆積物や泥流 堆積物が認められる。

[調査概要]

硫黄山周辺での噴火前後の2018年4月16日および6月4日に,硫黄山とその周辺での踏査およびドローンによる地質調査を実施した^{*}。

[硫黄山南火口群]

6月4日時点で,硫黄山南火口群では大きく2箇所で噴気・熱水活動が継続し,馬蹄 形の凹地が形成されている(図1,2,3)。凹地には熱水の湧出により湯だまり(Y2,Y3) が生じている(図3,4)。Y2は噴火直後に確認された噴出孔群S4-S7¹⁾を含み,その大き さは約800 m²と推定される。Y3は噴出孔群S1-S3¹⁾を含み,大きさは約200 m²と推定 される。Y3はY2よりやや高い位置にあり,Y3の熱水の一部はY2へ流れ込んでいる。 Y2,Y3には,激しく熱水を噴出している箇所(S噴出孔に相当すると考えられる)が 存在し,断続的に5-10m程度の高さの噴泉を上げている。湯だまり縁での水温計測の 結果Y2で67.9℃,Y3で79.1℃であった。4月初旬に形成された最南部の湯だまり Y1(S8)の活動は衰退し,2つの凹地形が認められるのみである(図3,4)。

[硫黄山西火口群]

今回の噴火により硫黄山西側において少なくとも5つの火口が確認されていたが¹⁾, 6月4日の調査では南北に並ぶ6つの火口を確認した(図5,6,7)。このうちW3, W4を中心に泥質噴出物及び噴石が堆積している.噴石は,W3,W4から直径4 cmの ものが約40m,直径8 cmのものが約25mまで到達していたが,直径1 cmのものは約 50mで確認できなくなる(図6).また,火口群の周囲には,泥質火山灰がしぶき状に 樹木や岩塊に付着している様子が,少なくとも100mまでの距離で認められた(図8, 9)。W2などの火口を中心に,低所では泥流堆積物が多くの地点で認められた。西火口 群形成時には,泥流の発生とともに周囲に噴石や泥質火山灰を飛散させるような活動が あったと考えられる。なお,6月4日時点では,1つの火口(W4)で噴気活動が継続し ていたが,それ以外では噴気は認められなかった。

東京大学地震研究所・ 防災科学技術研究所・日本工営



図1 霧島硫黄山周辺4月噴火以降の火口・噴気孔群の分布(Y2, Y3は非表示)。



図 2 6月4日の硫黄山南火口群の状況。(A) 湯だまりの位置関係。赤線は火口縁を示 す。白丸は激しく熱水を噴き上げている箇所。(B) 噴煙の影響を低減した画像。(C) DEM による地形表示。 (D) 図 A 中の Y2 の一部拡大。(E) 図 A 中の Y3 の一部拡大。

東京大学地震研究所・ 防災科学技術研究所・日本工営



図 3 4月噴火による地形(上, DEM による表示)および噴気・熱水活動の状況(下)の変化。Y1は4月16日には活動が顕著であったが,噴火後に衰退した。



図4 硫黄山南火口群の湯だまり(Y1およびY2)の状況。6月4日撮影。

東京大学地震研究所 · 防災科学技術研究所 · 日本工営



図 5 西側火口群の状況(A:光学オルソ画像,B:DEM による表示)。赤矢印は火口位置。(C) W3, W4, W5の拡大。(D) W2の拡大。



図6 西側火口群及び噴石の分布。図中の数字は噴石の長径 (cm)。

東京大学地震研究所 · 防災科学技術研究所 · 日本工営



図7 硫黄山西火口群の状況。(A) W1: 長径約3m, 深さ約0.5m。(B) W2: 長径約9m, 深さ約1m。(C) W3: 長径約11m, 深さ約1m。(D) W4: 長径約3m, 深さ約1.5m。(E) W5b: 長径約1.0m, 深さ約0.1m。写真には写っていないが, W5a は長径約0.5m, 深さ約0.05m。(F) W6: 長径約1.5m, 深さ約0.15m。

東京大学地震研究所・ 防災科学技術研究所・日本工営



図 8 (A) 巨大岩塊上に堆積(付着)した噴出物。(B) 下位は砂礫,上位は泥質火山灰から成る。(C) W4 火口および周辺の礫の堆積状況。火口周辺に 30 cm 超の礫が認められるが,柵などに破損は見られない。(D) 杭上の隙間に挟まる礫。



図9 泥質火山灰堆積物。(A) W4火口から東40m地点。(B) W4火口から西100m地点。

 防災科学技術研究所・東京大学地震研究所・日本工営(2018)霧島えびの高原(硫 黄山)4月19日~23日の活動の現地調査結果.火山噴火予知連絡会資料,2018年 5月7日.

* 規制区域内での調査は、えびの市、宮崎県、宮崎森林管理署の許可を得て実施した。 関係者の方々には深く感謝します。

霧島硫黄山噴気の化学組成・安定同位体比(2015年12月~2018年5月)

Chemical composition and stable isotope ratio of the fumarolic gases at Iwoyama volcano, Kirishima, Japan (Dec. 2015 to May 2018)

1. 概要

2015 年 12 月から 2018 年 5 月にかけて, 霧島硫黄山で繰り返し, 噴気を採取・分析した. 噴気の SO₂/H₂S 比, 化学組成から計算される見かけ平衡温度,水素同位体比から計算される見かけ平衡温度は, 2018 年 4 月噴火の直前に顕著な上昇を示した. これらの変化は 2017 年 5 月に起きた変化と類似している. マグ マ起源ガスの熱水系に対する流量の指標と考えられる He/CH₄ 比は, 2017 年 5 月には低く, 2018 年 3 月 に高い値を示した. よって, 2018 年 4 月の噴火は, マグマ起源ガスの流量が増加し, さらに熱水系の温 度が上昇し,発生したと推定される.

2. 噴気の採取・分析

硫黄山では、図1に示す噴気孔 a, b, c, h で噴気を採取した. 噴気を採取するために、金属チタン 管を噴気孔に差し込み、管と孔の隙間を砂などで注意深く塞いだ. 次にチタン管にゴム管を接続し、ゴ ム管の出口を真空ガラス瓶のコックに接続した. 真空ガラス瓶にはあらかじめ高濃度のアルカリ性水溶 液(KOH あるいは NaOH) 20ml を封入した. 真空ガラス瓶のコックを慎重に開けることにより火山ガスを アルカリ性水溶液に吸収させた. 安定同位体比の測定のために噴気を水冷したガラス二重管に通し、凝 縮水を採取した. 採取後の噴気の化学分析は、主に小沢の方法[1]に従った.

3. 結果

噴気 a, b, hの CO₂/H₂0 比は, 2017 年 10 月頃から 2018 年 3 月まで, 0.007 から 0.012 の間で安定し ていたが, 2018 年 5 月に噴気 a は 0.005 以下の低い値を示した(図 2). 噴気 a と hの H₂S/H₂0 比は, 2018 年 1 月と 3 月に高い値を示したが, 2018 年 5 月に a の値は 0.0004 と, これまでで最も低い値を示した (図 3). 噴気 a と hの CO₂/H₂S 比は, 2018 年 1 月から 3 月にかけて低い値で安定していた(図 4). 噴気 a, c の CO₂/CH₄ 比と He/CH₄ 比は, 2017 年 9 月までは, 比較的低い値で安定していたが, その後, 上昇し 変動している(図 5, 6). この傾向は, 2018 年 5 月になっても継続している. 以下の反応,

 $SO_2 + 3H_2 = H_2S + 2H_2O$ If 1

で定義される見かけ平衡温度は, 噴気 a, c, h で 2017 年 5 月に高い値を示し, その後, 一旦低下した が, 2018 年 3 月に再び上昇し, 2018 年 5 月に低下した(図 7). 噴気に含まれる水蒸気と水素ガスの水

霧島硫黄山

素同位体比の差から、両者の間で水素同位体交換反応平衡を仮定し、見かけ平衡温度(AET(D/H))を計 算することができる. 噴気 a と b の AET(D/H) は、2018 年 1 月に高い値を示し(図 8)、2018 年 3 月には、 噴気 a, b, c で過去最高の値を記録した. その後 2018 年 5 月に噴気 a, c の AET(D/H) は低下した. 噴気 の H_2/H_20 比は、2018 年 1 月から 3 月にかけて若干上昇したものの、上昇の幅は、2017 年 5 月に比べて 小さかった(図 9). 噴気 a と c で H_2/H_20 比は 2018 年 5 月に低下した. 噴気の SO_2/H_2S 比は、2018 年 1 月から 3 月にかけて顕著に増加した(図 10)、特に、噴気 b、h、c では 2018 年 3 月の値は過去最大であ った. 2018 年 5 月に噴気 c の SO_2/H_2S 比は急減した. H_20 の水素・酸素同位体比については、2017 年 5 月頃から 2018 年 5 月にかけて安定している(図 11, 12).

4. 考察

熱水系の温度指標である AET や AET (D/H), さらに SO₂/H₂S 比は, 2018 年 4 月 19 日の噴火直前である 2018 年 3 月末に顕著な上昇を示した. この変化は 2017 年 5 月に起きた変化と類似している. 一方で, 熱水系に対するマグマ起源ガスの流量に対応すると考えられる He/CH₄ 比は, 2017 年 5 月に変化がなく, 2017 年 9 月から高い値を示すようになった. よって, 2018 年 4 月の噴火は, マグマ起源ガスの熱水系 に対する流量が増加し, 同時に熱水系の温度が上昇し, 発生したと推測される.

5. 文献

[1] 小沢竹二郎(1968) 地球化学におけるガス分析法(I). 分析化学, 17, 395-405.

6. 謝辞

福岡管区気象台は安全確保のために調査実施中に硫黄山の地震活動をモニタリングして下さいました.ここに記して感謝します.本研究実施のために、科研費「火山ガス観測により活火山ポテンシャル診断」(15K12485)を使用しました.

Location	Date	Temp	H2O	CO2	H2S	SO2	He	H2	CH4	δD	δ 180	AET	AET(D/H)	分析
		°C	%	%	%	%	%	%	%	%0	960	°C	°C	
硫黄山−a	2015/12/22	97.2	98.4	1.42	0.12	0.003	2.1E-05	1.7E-04	4.0E-05	-91	-14.1	218	383	東海大·気象研·名大
硫黄山−a	2016/2/24	97.2	98.2	1.65	0.10	0.008	2.3E-05	7.4E-04	2.1E-05	-52	-6.3	278	701	東海大·気象研·名大
硫黄山−a	2016/5/6	95.3	97.8	2.02	0.15	0.006	1.9E-05	4.3E-04	2.1E-05	-57	-6.6	252	435	東海大·気象研·名大
硫黄山−a	2016/8/30	96.9	98.3	1.42	0.30	0.005	1.2E-05	8.8E-04	1.6E-05	-41	-5.3	265	252	東海大·気象研·名大
硫黄山−a	2017/1/17	96.4	99.2	0.65	0.18	0.007	4.3E-06	1.5E-03	6.0E-06	-43	-3.6	295	542	東海大·気象研·名大
硫黄山−a	2017/5/15	96.5	98.8	0.66	0.22	0.230	5.5E-06	4.7E-02	8.8E-06	-42	-2.2	534	865	東海大·気象研·名大
硫黄山−a	2017/9/15	106.0	99.1	0.54	0.31	0.022	5.5E-06	2.4E-03	7.7E-06	-48	-3.7	321	413	東海大·気象研·名大
硫黄山−a	2017/10/18	96.0	99.0	0.87	0.14	0.015	7.0E-06	2.0E-03	5.5E-06	-48	-3.5	319	768	東海大·気象研·名大
硫黄山−a	2017/11/28	95.9	99.1	0.70	0.20	0.010	8.0E-06	4.9E-03	7.6E-06	-49	-3.7	347	291	東海大·気象研·名大
硫黄山−a	2018/1/26	96.8	98.9	0.78	0.32	0.008	7.6E-06	2.7E-03	4.5E-06	-48	-3.7	311	1027	東海大·気象研·名大
硫黄山−a	2018/3/28	96.2	98.5	0.91	0.30	0.290	9.8E-06	1.7E-02	6.4E-06	-46	-2.2	462	1124	東海大·気象研·名大
硫黄山−a	2018/5/29	96.7	99.6	0.29	0.04	0.042	2.6E-06	1.1E-02	2.0E-06	-45	-2.4	440	1010	東海大·気象研·名大
硫黄山−b	2016/2/24	96.2	98.3	1.58	0.10	0.004	2.2E-05	7.0E-04	1.8E-05	-78	-11.9	269	728	東海大·気象研·名大
硫黄山−b	2016/5/6	95.2	97.3	2.49	0.17	0.005	2.4E-05	5.5E-04	2.6E-05	-67	-9.2	256	434	東海大·気象研·名大
硫黄山−b	2016/8/30	95.2	97.5	2.08	0.43	0.006	1.9E-05	1.4E-03	2.8E-05	-56	-7.5	278	256	東海大·気象研·名大
硫黄山−b	2017/1/17	97.0	99.3	0.55	0.16	0.002	4.0E-06	4.2E-04	5.4E-06	-46	-4.6	238	111	東海大·気象研·名大
硫黄山−b	2017/5/15	96.6	98.9	0.79	0.16	0.068	1.0E-05	6.0E-02	1.6E-05	-46	-4.0	530	339	東海大·気象研·名大
硫黄山−b	2017/9/15	96.4	99.3	0.40	0.26	0.004	4.6E-06	2.7E-03	7.4E-06	-44	-1.9	306	262	東海大·気象研·名大
硫黄山−b	2017/10/18	96.0	99.0	0.82	0.13	0.005	7.6E-06	1.8E-03	4.4E-06	-45	-2.6	301	779	東海大·気象研·名大
硫黄山−b	2017/11/28	96.0	98.5	1.19	0.25	0.003	1.3E-05	4.4E-03	1.1E-05	-47	-3.4	323	208	東海大·気象研·名大
硫黄山−b	2018/1/26	96.4	99.1	0.64	0.26	0.001	7.3E-06	1.7E-03	4.9E-06	-44	-1.9	268	575	東海大·気象研·名大
硫黄山−b	2018/3/28	97.7	99.2	0.61	0.06	0.086	7.0E-06	1.1E-02	7.2E-06	-40	-1.3	444	839	東海大·気象研·名大
硫黄山−c	2017/5/15	95.2	99.0	0.80	0.11	0.037	1.1E-05	4.2E-02	1.4E-05	-57	-6.8	499	485	東海大·気象研·名大
硫黄山−c	2017/9/15	96.1	99.5	0.30	0.21	0.002	4.2E-06	1.1E-03	6.6E-06	-44	-2.7	265	301	東海大·気象研·名大
硫黄山−c	2017/10/18	96.2	99.0	0.90	0.13	0.002	7.5E-06	3.1E-04	5.7E-06	-48	-3.7	232	250	東海大·気象研·名大
硫黄山−c	2017/11/28	95.8	98.6	1.16	0.25	0.004	1.3E-05	5.2E-04	1.4E-05	-51	-4.5	247	133	東海大·気象研·名大
硫黄山−c	2018/1/26	95.7	99.0	0.72	0.26	0.002	7.9E-06	4.5E-04	3.9E-06	-44	-2.7	236	178	東海大·気象研·名大
硫黄山−c	2018/3/28	97	99.1	0.74	0.06	0.042	8.1E-06	1.1E-02	1.0E-05	-46	-3.3	429	659	東海大·気象研·名大
硫黄山−c	2018/5/29	96.1	99.0	0.82	0.14	0.004	6.2E-06	1.6E-03	6.9E-06	-50	-4.1	294	296	東海大·気象研·名大
硫黄山−a	2016/2/10	95.7	98.7	1.10	0.13	0.015		3.0E-04		-57	-7.0	251		産総研(AIST)
硫黄山−a	2016/3/21	96.4	98.2	1.62	0.11	0.014		4.1E-04		-54	-6.5	263		産総研(AIST)
硫黄山−a	2016/7/26	95.8	98.5	1.21	0.20	0.034		1.1E-03		-48	-6.2	300		産総研(AIST)
硫黄山−a	2016/12/10	95.8	98.6	0.98	0.41	0.003		3.7E-03		-44	-4.1	309		産総研(AIST)
硫黄山-a	2017/2/23	97.0	98.9	0.80	0.23	0.041		4.7E-03	1.2E-05	-43	-3.4	364		産総研(AIST)
硫黄山-a	2017/7/25	95.6	99.3	0.49	0.07	0.091		2.5E-02		-39	-1.6	493		産総研(AIST)
硫黄山-a	2017/9/6	97.5	98.8	0.86	0.18	0.074		3.3E-02				489		産総研(AIST)
硫黄山-a	2017/11/7	98.5	99.1	0.73	0.15	0.038		5.3E-03				375		産総研(AIST)
硫黄山-a	2018/1/31	96.0	99.0	0.71	0.27	0.035		5.2E-03				363		産総研(AIST)
硫黄山-a	2018/3/27	108.0	98.6	0.87	0.26	0.235		1.2E-02				442		産総研(AIST)
硫黄山-h	2017/7/25	148.0	98.8	0.52	0.32	0.269		2.9E-02		-37	0.2	495		産総研(AIST)
硫黄山-h	2017/9/6	135.0	99.1	0.50	0.23	0.108		2.8E-02				479		産総研(AIST)
硫黄山-h	2017/11/7	132.0	99.1	0.65	0.19	0.046		4.8E-03				369		産総研(AIST)
硫黄山-h	2018/1/31	132.0	98.3	0.93	0.37	0.087		4.2E-03				363		産総研(AIST)
硫黄山-h	2018/3/27	144.0	98.6	0.67	0.32	0.308		1.6E-02				458		産総研(AIST)

表 1.	霧島硫黄山噴気の化学組成	安定同位体比,	見かけ平衡温度	(AET)

*AETの計算では平衡圧力を1barと仮定した.AET(D/H)は水素同位体比に基づく見かけ平衡温度



図1. 硫黄山噴気 a, b, c, hの位置(背景の地図として, 国土地理院 1/25000 地形図を使用した)

霧島硫黄山









図 9. H₂/H₂0比の変化





図 12. H₂0 の酸素同位体比の変化

精密水準測量で検出された霧島・硫黄山の地盤上下変動 (2015年6月~2018年5月)

硫黄山周辺では2017年10月以降に隆起傾向に反転し,2018年3月には最大15.1 mmの隆起が記録されていたが、5月にはやや沈降傾向となっている.これは地表から多量の水蒸気や熱泥水の噴出することで、地下の圧力源が収縮しているためと推測 される

九大を中心とした大学合同水準測量班は、2015年6月にえびの高原周辺に水準路線 を増設した(図1).その後、硫黄山では火山性地震の群発や傾斜変動をともなう火山 性微動がたびたび発生し、2015年12月中旬には地表に新たな噴気帯が生じ、2017 年5月には火山泥の噴出が確認されている.その後噴気活動は一時沈降傾向になったが、 2018年2月には火山性地震が増加し、噴気現象も再度活発になってきた。2018年3 月6日の水準測量結果では硫黄山山頂部を中心に最大15.1mmの隆起が観測され、4 月上旬から硫黄山の南側に沿って東西に新たな噴気孔列が生じ、一部で小噴火を発生さ せている、しかし5月9日の測量では、沈降傾向になっていることがわかった。

最近4回の水準測量結果を図2に示す。また主な水準点における隆起量の時間変化を図3に示す。いずれも2015年6月および、測線の西端のBM1120を基準としている。 2018年5月9日の測量では、強い噴気孔が硫黄山西麓にできたため、県道1号線沿の

BM3035~BM3050の測定ができず,遊歩道に迂回することで,BM3060に接続した. 水準測量から得られた隆起量は,地表での火山活動と相関しているが,3~6ヶ月先 行して発生している.2017年春以降は硫黄山周辺を中心に沈降現象が見られていたが, 10月~2018年3月に反転し,地表においても2018年4月以降に噴気活動が活発と なった.しかし5月の測量では沈降傾向となっていることから,2017年秋からの硫黄 山における一連の再活発化現象は,今後は徐々に落ち着く傾向にあると推定される.



図1 えびの高原~硫黄山区間の水準路線.2018年4月から活発化した噴気領域や,これまでの水準測量から推定された圧力源の水平位置も同時に示す。国土地理院電子地形図(タイル)を使用した



図3 主な水準点の標高の時間変化.2017年2月以降に沈降傾向がみられていたが、10月~2018年3月は一転して隆起しており、地下の圧力源の急膨張が推定されていた。2018年4月の新噴気孔の生成・熱泥水の噴出に伴い、現在は地下の圧力源が収縮傾向にあると推定される.

*2018 年 3 月 測量作業 手操佳子・森田花織・塚本果織・清水 洋・気象庁福岡管区気象台 2018 年 5 月 測量作業 松島 健・清水 洋・千葉慶太

霧島・硫黄山における MT 連続観測

2011年3月より硫黄山の北東麓約400mにおいて電場2成分、磁場3成分の広帯 域 MT 連続観測を実施している(第1図)。

観測された時系列データから、電場-磁場 応答関数を1日ごとに決定した(第2図、 第3図)。色つき実線は2週間の移動平均値を示す。1次元構造を仮定すると、80Hz は数10m, 8Hzは300m, 1.25Hzは500m, 0.04Hzは3000mの深さにおおよそ 対応する。最下段に気象庁えびの観測点雨量を示す。

観測点直下の変化に感度が高い見掛け比抵抗(第2図上段)には年周変化以外の顕著 な変化は見られないが、シューマン共振の周期帯(自然の電磁場シグナルが強い)にあ たる8Hzの見かけ比抵抗では長期的にZyx(東西電場)成分の減少、Zxy(南北電場) 成分の増加で、両者の値が一定値に収束しつつあり、地下構造の異方性の低下(均一化) が推測される。

観測点の側方方向に感度が高いインダクションベクトル振幅(第2図下段、第3図) では、8Hz より短周期のインダクションベクトルの向きが2017年10月末ごろから数 度ほど北向きに変化している。

第4図に2015年12月、2016年4月、2017年5月に行われた広帯域 MT 調査に よる3次元比抵抗構造(塚本果織、2018年九州大学修士論文)を示す。この構造を元に フォワード計算を行った結果、図中に白破線で示される約1 Ωmの浅部低比抵抗層の内 部が、100~1000 Ωm程度に高比抵抗化したと解釈するとこのインダクションベクト ルの方向の変化と調和的である。浅部低比抵抗層をスメクタイトに代表される粘土鉱物 が豊富に存在する難透水層と解釈すると、高温化により粘土鉱物が分解され、難透水層 の部分的破壊が生じたと推定される。この破壊は2017年10月中旬の新燃岳噴火、え びの岳付近の群発地震活動の後から始まり、2018年1月上旬には完了した。その後、 2018年4月19日の硫黄山の小規模水蒸気噴火以降も含めてインダクションベクトル の変化は見られないことから、硫黄山直下の比抵抗構造は安定していると考えられる。



第1図 MT 連続測定地点。黄破線は図4 の比抵抗構造断面の位置を示す。 Fig 1. MT measurement site.



第2図 見掛け比抵抗(上段)、およびインダクションベクトル実部 (下段) の1日値 Fig 2. Temporal changes of daily apparent resistivity (upper), and daily real induction vector (lower).

この観測データの一部は文部科学省次世代火山研究推進事業により取得された。地図の作成には地理院地図を使用 した。震源決定には気象庁による検側値を利用させていただいた。気象庁えびの観測点の雨量を使用させていただ いた。

霧島山





霧島山



第4図 霧島硫黄山の3次元比抵抗構造鉛直断面 (塚本果織、2018年九州大学修士論文。 断面の位置は図1にも表示) に、インダクションベクトル変化を説明する比抵抗構造変化を 与えた図。低比抵抗層の一部 (白破線部)が100~1000Ωm 程度に変化したとすると短周期 インダクションベクトル方向の変化と調和的である。星印は水準測量による圧力源 (森田花 織、2018年九州大学修士論文)。丸印は人工地震探査 (戸松他,1997)の結果を利用し Double Difference 法により決定された震源データ (2013年1月~2016年11月)。 Fig 4. Vertical slices of 3-D resistivity structure around lwo-Yama volcano (Tsukamoto et al., 2018). Resistivity change in the low resistivity layer may explain the temporal change of induction vectors.



霧島山の火山活動について

この地図の作成にあたっては、国土地理院発行の 数値地図 50mメッシュ(標高)を使用した。 KRMV=地震計(短周期・広帯域)、傾斜計、気圧計、温度計、雨量計、GNSS KRHV=地震計(短周期・広帯域)、傾斜計、気圧計、温度計、雨量計、GNSS

資料概要

○ 地震活動

2017 年 10 月 11~17 日にかけて霧島山新燃岳で連続的に噴火が発生した。その後、2018 年 3 月から4月にかけて、爆発的な噴火が複数回発生した。また、硫黄山においても、4 月 19 日 と 26 日に噴火が発生した。それらの噴火に伴い、火口近辺では、やや低周波地震と低周波地 震が多数発生した。一方、高周波地震は、万膳観測点(KRMV)直下(図 1 A)等の山体西側で 発生していた。

〇 地殻変動

傾斜計記録(図2)には、3月から4月の爆発的な噴火に伴う変動が記録されている。また、 GNSS 解析結果(図3)においては、3月の噴火に伴う基線長の縮みが認められ、その後再び 伸張している。

霧島山



地図の作成にあたっては、国土地理院発行の数値地図 10mメッシュ(標高)を使用した。

図1 霧島山の地震活動(2018/01/01 - 2018/05/31)



霧島山の傾斜変動(2010/05/01~2018/06/03)



潮島山



防災科学技術研究所 GNSS 観測点及び国土地理院 GEONET 観測点で得られた地殻変動

霧島山

図 3

霧島山 GNSS 解析結果.※ベクトル図は速報暦使用

第141回火山噴火予知連絡会

表1 GNSS観測履歴

観測点番号	観測点名	図中記号	日付	保守内容
			2010/4/10	2周波観測開始
	霧島山夷守台 (KRHV)	K-1	2013/2/14	アンテナ台改善作業
			2016/7/3~7/19	
		K-2	2016/8/1~8/10	通信断による欠測
			2016/9/18~9/29	
			2010/4/9	2周波観測開始
	霧島山万膳		2010/11/13	受信機故障
	(KRMV)		2010/12/17	受信機再設置
		K-1	2013/2/15	アンテナ台改善作業

SAR による新燃岳火口の溶岩の変化

新燃岳 2018 年噴火において、火口内に流出した溶岩の変化を調査するため、PALSAR-2、 COSMO-SkyMed、Sentinel-1の SAR データを解析した。その解析結果を示す。

- 2018 年 3 月 6 日 23:30(JST)観測の PALSAR-2 画像には、火口内に新たに流出した溶岩 が見られる(第1図)。
- 2018年3月9日頃から、溶岩は北西縁から火口外に流出した(第1図)。
- 溶岩の面積は時間と共に拡大し、3月10日における面積は約40万㎡(第2図、第3図)。
- 溶岩の面積の拡大率は、時間と共に減少した(第2図、第3図)。
- 溶岩の体積をOzawa and Kozono (EPS, 2013)の方法で求めたところ、3月8日まで、おおよそ一定の速度(72m³/sec)で増加した。3月10日における体積は約1400万m³。それ以降に顕著な増加は見られない(第4図)。
- 上記の観測結果から3月6日23:30から3月10日23:16にかけての溶岩の粘性率を推定したところ、2.79×10⁸ Pa⋅s から3.49×10⁹ Pa⋅s と求まった(第5図、方法は【補足】参照)。
- 推定された溶岩の粘性は、2011 年新燃岳噴火において流出した溶岩について推定した粘 性率(5.87×10⁷ - 6.54×10¹⁰ Pa・s)の範囲に含まれる(第6図)。
- 3月15日~3月19日の期間においても、1m/dayを超える流動が見られる(第7図)。
- 溶岩の流動は時間と共に減少しているように見えるが、5 月においても干渉が得られないほどの大きさの流動が継続していると示唆される(第8図)。

謝辞.本解析で使用した PALSAR-2 データおよび COSMO-SkyMed データは、火山噴火予知連絡会・衛星解析 グループ(火山 WG)を通じて提供されたものである。PALSAR-2 データの所有権は宇宙航空研究開発機構が有 する。COSMO-SkyMed データは、イタリア宇宙機関が有する。本解析で使用した Sentinel-1 データは Sentinel-1 Scientific Data Hubを通じて提供されたものである。Sentinel-1 データの所有権は欧州宇宙機関が有する。解析 および図においては、国土地理院の基盤地図情報 10m メッシュ DEM を使用した。また、溶岩の粘性の推定にお いては、静岡大学理学部地球科学科 石橋秀巳准教授にご助言いただいた。関係各位に感謝の意を表する。

第141回火山噴火予知連絡会

防災科学技術研究所



第1図.新燃岳火口周辺の SAR 画像。赤破線は判読した溶岩ドームに覆われた領域を示す。





第4図. Ozawa and Kozono (EPS, 2013)の方法を用いて推定した溶岩の体積の時間変化.



第5図.2018年新燃岳噴火時の溶岩ドームの粘性率の時間変化



第6図.2011年新燃岳噴火時の溶岩ドームの粘性率の時間変化 (橙色部分:誤差を含めた2018年噴火時の溶岩ドームの粘性率範囲)



第7図. オフセットトラッキング法により推定した新燃岳火ロ周辺の3月11日~3月12日、3月12日~3 月15日、3月15日~3月19日の期間の変位速度(m/day)。

第141回火山噴火予知連絡会

防災科学技術研究所



第8図. Sentinel-1 データを解析して得られた、硫黄山周辺の衛星 – 地表間距離分布。火口内においては、爆発 が発生した時期を含まないデータペアにおいても干渉が得られていない。これは溶岩が大きく流動して いることを示唆する。

【補足】溶岩ドームの粘性率の推定方法

溶岩流が同心円状に拡大すると仮定すると、水平方向に拡大する駆動力と、流動に対する粘性 抵抗が働く。これらの力がつり合う場合、粘性率は下記のように表される。

$$\eta = \frac{\rho g h^4}{Q}$$

(η: ニュートン流体を仮定した粘性率, ρ: 密度, g: 重力加速度, h: 厚さ, Q: 流入速度) h,Qは SAR 画像から見積もり、ρは 2000 kg/m³として粘性率を計算した。

Sentinel-1/InSAR による硫黄山(霧島山)周辺の地表変動

4月19日に噴火が発生した硫黄山(霧島山)周辺の地表変動を、Sentinel-1データを用いた SAR 干渉法を用いて調査した。得られた地表変動を第1図に示す。

- 噴火前に西上空から観測された SAR データを解析した結果、硫黄山南斜面付近において、衛星-地表間距離が短縮する変化が求まった。パス 54 における 2 月 20 日から 4 月 9 日までのスラントレンジ短縮量、および、パス 156 における 2 月 27 日から 4 月 16 日までの 衛星-地表間距離短縮量は約 4cm であった。
- 噴火前に見られた衛星-地表間距離短縮変化は、時間と共に大きくなったように見える。
- 4 月 19 日の噴火発生時を含む期間には、硫黄山南斜面付近において、3~4cm 程度の衛 星-地表間距離短縮変化が求まった。この変化が生じている領域は、噴火前に衛星-地 表間距離短縮変化が見られた領域よりも広い。
- 噴火直後には、2~3cm 程度の衛星-地表間距離伸長が求まった。

謝辞.本解析で使用した Sentinel-1 データは Sentinel-1 Scientific Data Hub を通じて提供されたものである。 Sentinel-1 データの所有権は欧州宇宙機関が有する。解析および図においては、国土地理院の基盤地図情報 10m メッシュ DEM を使用した。



第1図. Sentinel-1 データを解析して得られた、硫黄山周辺の衛星-地表間距離分布.

霧島山(硫黄山)火山ガス組成変化(2018年3月27日まで)

霧島山硫黄山に設置した火山ガス多成分測定装置により、2018 年 4 月 19 日の 噴火に先立つ火山ガス組成などの変化が認められたので報告する。

産業技術総合研究所では霧島山硫黄山において 2017 年 7 月 25 日以来火山ガス 組成連続観測を実施している(図1)。

2018 年 4 月 19 日の噴火に先立つ、2018 年 2 月~3 月に、SO₂/H₂S 比および SO₂ 濃度に 100 倍に達する顕著な増加が観測された。変化は 2 月中に特に大き く、3 月中は増減している。これらの変化は、地下における高温火山ガスの供給 の増大を示すと考えられる。

ただし、同様の変化は、2017 年 12 月中旬から 2018 年 1 月初旬にも見られて いる。

3月27日以降のデータは通信の不良などによりデータは未取得であり、4月 19日の噴火の直前の変化は不明である。

本結果は SIP(戦略的イノベーション創造プログラム)の課題「レジリエントな 防災・減災機能の強化」により開発・整備された火山ガス多成分測定装置を用い た連続観測にり得られたものである。

産業技術総合研究所



図1 霧島硫黄山火山ガス組成観測結果。MG:火山ガス観測装置測定結果、 GB:噴気採取分析結果、(H):H噴気孔、(A):A噴気孔。組成は装置回収後の 校正結果を補正した値。2018/3/27 以降は通信の不良によりデータが取得でき ていない。SO₂/H₂S 比に見られる MG と GB の差は、GB 試料に混入した空気 による酸化のためと推定される。
霧島山

2018年3月の新燃岳の噴火以降に霧島山を挟む基線での伸びが継続していましたが、 5月頃から伸びの傾向がやや鈍化しています。



霧島山周辺の各観測局情報

点番号	点名	日付	保守内容	ÎΓ	点番号	点名	日付	保守内容
950486	牧園	20131013	伐採	Ì	129082	M霧島山A	20140514	受信機交換
		20150622	受信機交換				20141021	受信機交換
		20171205	伐採				20150909	受信機交換
960714	えびの	20140814	伐採		149083	M霧島山2	20141021	新設
021087	都城2	20130913	受信機交換				20150909	受信機交換
		20140616	受信機交換					
		20140717	受信機交換					



●----[F3:最終解] O----[R3:速報解]

※[R3:速報解]は暫定値、電子基準点の保守等による変動は補正済み

^{国土地理院} 霧島山

国土地理院



※[R3:速報解]は暫定値、電子基準点の保守等による変動は補正済み



霧島山周辺GEONET (電子基準点等)による連続観測基線図(2)

国土地理院・気象庁・防災科学技術研究所



基線変化グラフ



霧島山周辺GEONET (電子基準点等)による連続観測基線図(3)

基線変化グラフ



国土地理院・気象庁



霧島山周辺の地殻変動(水平:3か月)



☆ 固定局:野尻(950481)

国土地理院・気象庁・防災科学技術研究所

霧島山周辺の地殻変動(水平:1年)



国土地理院・気象庁・防災科学技術研究所

☆ 固定局:野尻(950481)

国土地理院

霧島山の SAR 干渉解析結果について

判読)硫黄山において、2018年1月以降の(a)、(b)では、硫黄山南部で膨張とみられる 衛星に近づく変動が見られます。
4月の硫黄山の噴火前後の(c)~(f)では、硫黄山南部及びその西側で膨張とみられ る衛星に近づく変動が見られます。
4月の硫黄山の噴火後の(g)では、硫黄山南部及びその西側で膨張とみられる衛星 に近づく変動が小さくなり、(h)、(j)では、収縮とみられる衛星から遠ざかる変動 が見られます。
新燃岳において、3月以降の(a)~(f)では、新燃岳火口周辺で火砕物等の影響とみ られる非干渉領域が見られます。

4月下旬以降の(g)~(j)では新燃岳火口内で収縮と見られる変動が見られます。



◎ 国土地理院 GNSS 観測点

○ 国土地理院以外の GNSS 観測点

背景:地理院地図 標準地図・陰影起伏図・傾斜量図

本解析で使用したデータの一部は、火山噴火予知連絡会衛星解析グループの活動を通して得られたものです。

国土地理院



背景:地理院地図 標準地図・陰影起伏図・傾斜量図

本解析で使用したデータの一部は、火山噴火予知連絡会衛星解析グループの活動を通して得られたものです。

国土地理院



本解析で使用したデータの一部は、火山噴火予知連絡会衛星解析グループの活動を通して得られたものです。

国土地理院

【硫黄山の拡大図】



○ 国土地理院以外の GNSS 観測点

本解析で使用したデータの一部は、火山噴火予知連絡会衛星解析グループの活動を通して得られたものです。

国土地理院



○ 国土地理院以外の GNSS 観測点

背景:地理院地図 火山基本図・陰影起伏図・傾斜量図

本解析で使用したデータの一部は、火山噴火予知連絡会衛星解析グループの活動を通して得られたものです。 霧島山

国土地理院



背景:地理院地図 火山基本図·陰影起伏図·傾斜量図



【参考 (e) 2018/03/11-2018/04/22 と(f) 2018/03/12-2018/04/23 の 2.5 次元解析結果】

※2018/04/22 と 04/23 の間に地殻変動があるとみられるので上の図の変動は実際と異なる場合があります。 背景:地理院地図 標準地図 準上下成分、準東西成分ともコンター間隔 1cm

本解析で使用したデータの一部は、火山噴火予知連絡会衛星解析グループの活動を通して得られたものです。

国土地理院

霧島山

【新燃岳の拡大図】



背景:地理院地図 火山基本図・陰影起伏図・傾斜量図

本解析で使用したデータの一部は、火山噴火予知連絡会衛星解析グループの活動を通して得られたものです。

国土地理院

	(a)	(b)	(C)	(d)	(e)
衛星名	ALOS-2	ALOS-2	ALOS-2	ALOS-2	ALOS-2
	2018/01/12	2018/03/05	2018/03/09	2018/03/10	2018/03/11
ᇷᆱᇿᅳᄟ	2018/03/09	2018/04/16	2018/04/20	2018/04/21	2018/04/22
11111111111111111111111111111111111111	0:12 頃	12:19 頃	0:12 頃	12:26 頃	23:37 頃
	(56日間)	(42 日間)	(42 日間)	(42 日間)	(42 日間)
衛星進行方向	北行	南行	北行	南行	北行
電波照射方向	右	右	右	右	左
観測モード*	U-U	U-U	U-U	SPT-SPT	U-U
入射角	32.1°	35.5°	32.1°	22.8°	38.5°
偏波	HH	HH	HH	HH	HH
垂直基線長	- 225 m	- 185 m	- 15 m	+ 8 m	- 9 m

*U: 高分解能(3m)モード *SPT: スポットライト(1-3m)モード

	(f)	(g)	(h)	(i)	(j)
衛星名	ALOS-2	ALOS-2	ALOS-2	ALOS-2	ALOS-2
	2018/03/12	2018/04/16	2018/04/20	2018/04/30	2018/04/23
ᇷᆱᇿᅳᄟ	2018/04/23	2018/04/30	2018/05/04	2018/05/14	2018/05/21
11111111111111111111111111111111111111	13:07 頃	12:19 頃	0:12 頃	12:19 頃	13:07 頃
	(42 日間)	(14 日間)	(14 日間)	(14 日間)	(28 日間)
衛星進行方向	南行	南行	北行	南行	南行
電波照射方向	左	右	右	右	左
観測モード*	U-U	U-U	U-U	U-U	U-U
入射角	53.2°	35.5°	32.1°	35.5°	53.2°
偏波	HH	HH	HH	HH	HH
垂直基線長	- 73 m	- 107 m	+ 36 m	- 73 m	+ 194 m

*U: 高分解能(3m)モード

国土地理院

霧島山の SAR 強度画像結果について

 判読)新燃岳火口内の溶岩は、北西側で火口縁を越えています。火口外への流出は 3月9日に始まりましたが、流出速度は非常にゆっくりです。
 溶岩は新燃岳火口の一面に広がっており、その直径は約700mとなっています。
 (h)で新燃岳火口中央部付近に直径約100mの地形変化を検出しました。
 (j)で新燃岳火口東部に長さ約200mの地形変化を検出しました。





本解析で使用したデータの一部は、火山噴火予知連絡会衛星解析グループの活動を通して得られたものです。 霧島山

国土地理院



国土地理院





橙線は3月06日

赤線は3月07日

青線は3月09日0:12頃

線は3月12日

茶線は3月14日

水色線は3月21日

SAR 強度画像から判読した地形変化領域

背景:地理院地図 火山基本図・陰影起伏図・傾斜量図

(a)

(b)	(C)	(d)	(e)
ALOS-2	ALOS-2	ALOS-2	ALOS-2
18/03/07	2018/03/09	2018/03/09	2018/03/12

	(a)	(b)	(C)	(d)	(e)
衛星名	ALOS-2	ALOS-2	ALOS-2	ALOS-2	ALOS-2
组测口中	2018/03/06	2018/03/07	2018/03/09	2018/03/09	2018/03/12
1110 1110 1111111111111111111111111111	23:30 頃	13:00 頃	0:12 頃	12:05 頃	13:07 頃
衛星進行方向	北行	南行	北行	南行	南行
電波照射方向	左	左	右	右	左
観測モード*	U	SPT	U	U	U
入射角	47.8°	45.4°	32.1°	53.6°	53.2°
偏波	HH	HH	HH	HH	HH

*U: 高分解能(3m)モード

*SPT: スポットライト(1-3m)モード

	(f)	(g)	(h)	(i)	(j)
衛星名	ALOS-2	ALOS-2	ALOS-2	ALOS-2	ALOS-2
知到口吐	2018/03/14	2018/03/21	2018/04/11	2018/05/14	2018/05/21
1110月11日 时	12:12 頃	13:00 頃	0:19 頃	12:19 頃	13:07 頃
衛星進行方向	南行	南行	北行	南行	南行
電波照射方向	右	左	右	右	左
観測モード*	U	SPT	U	U	U
入射角	45.7°	45.4°	42.9°	35.5°	53.2°
偏波	HH	HH	HH	HH	HH

*U: 高分解能(3m)モード

*SPT: スポットライト(1-3m)モード





時間依存のインバージョン解析







茂木ソース: 緯度 31.947°経度 130.83°深さ 7.4km *電子基準点の保守等による変動は補正済

霧島地域観測点の座標時系列(黒丸)と計算値(赤線)(1)



固定局950481. EW, NS, UDは東西、南北、上下変動. 周期成分は除いている.

*電子基準点の保守等による変動は補正済み

*熊本地震の変動は補正済み



*熊本地震の変動は補正済み

霧島山(新燃岳)2018 年噴火に伴う溶岩の体積変化について

2018 年 3 月 28 日に新燃岳周辺でセスナ機より撮影した斜め空中写真を使用した 3D 地形モデルを作成した結果,2018 年の噴火で 3 月 28 日までに地表に流出した溶岩の体

積は約 1500 万m³と求まった.これは,同様の方法でもとめた 3 月 9 日までの溶岩の 体積とほぼ等しい値である.そのため 3 月 9~28 日間には,地表への溶岩の供給はほと んど無かったと考えられ,9 日以降の火口外への溶岩の流出は主に溶岩全体の自重による 変形によるものと判断される.

2018 年 3 月 28 日午前に,産総研が新燃岳周辺でセスナ機より撮影した斜め写真を使用 して,SfM/MVS 方式により 3D 地形モデルを作成した(図1~2).さらに,すでに報告し た 3 月 9 日撮影の写真から作成した 3D 地形モデル*(図3)と比較して,この間の地形変 化量を求めたので報告する.

3月9~28日間には,火口外に溶岩が流出し,火口内でも溶岩の流出範囲の拡大が認め られ,3月25日の火砕流が発生した噴火の投出岩塊および火砕流堆積物と考えられる地形 変化も火口外に認められる(図4~6).一方,火口内に蓄積した溶岩の中央部は広い範囲 で沈降(沈下)している(図4~6).

3月9日のモデルおよび3月28日のモデルと国土交通省宮崎河川国道事務所のH24レ ーザ計測データの結果の差分から,2018年の噴火で地表に流れ出た溶岩の体積をもとめた (表1).その結果,3月9日および28日の時点で地表に流出した溶岩の体積は,いずれも 約1500万m³であり有意な変化は認められない.そのため,3月9~28日間には地表への 新たな溶岩の供給がほとんど無かったと考えられる.また,溶岩の拡大量,火口外への溶 岩の流出量,火砕流堆積物の量の合計は,火口内の溶岩の沈降量とほぼ等しい(表2).そ のため,3月9日~28日にかけての地形変化は,主に溶岩の自重による変形の結果と考え られる.

謝辞:国土交通省宮崎河川国道事務所には 平成 18 年度および平成 24 年度の航空レー ザ計測データを提供していただいた。地形変化量の算出および SfM の GCP に使用した.

本検討は,文部科学省の次世代火山研究・人材育成総合プロジェクトの「無人機(ドローン等)による火山災害のリア ルタイム把握手法の開発」の研究として,産業技術総合研究所の協力を得て実施したものである.

^{*2018} 年 3 月 11 日予知連資料,アジア航測・熊本大・東大地震研「新燃岳の溶岩地形解析結果」



図 1 2018 年 3 月 28 日撮影の写真から作成した 3D 地形モデル



図 2 3D モデルを基に作成した赤色立体地図 A:溶岩流,B:火口内蓄積溶岩中央付近の窪地,C:火口内拡大部

アジア航測・産業技術総合研究所 ・東京大学地震研究所・熊本大学



図 3 2018 年 3 月 9 日と 3 月 28 日の赤色立体地図 3 月 9 日は SfM3D モデルを修正(噴気の影響を除去し H24 レーザ計測と合成)



図4 3月9日と28日の地形差分画像と赤色立体地図の重ね図 差分の標高差をカラーバーで表示している.





図6 北東-南西方向断面図

霧島山(新燃岳)

アジア航測・産業技術総合研究所

・東京大学地震研究所・熊本大学

表1 各地形モデル毎の差分値(地形変化量)

地形モデル	2018年3月9日	2018年3月28日	
	SfM/MVS	SfM/MVS	
H24 宮崎河川国道事務所	1496 万 m³	1499万 m³	
LiDAR			
2018年3月9日SfM/MVS	-	2.8万 m³	

計測誤差や有効桁数を考慮せずに差分値をそのまま表示.

参考: 2011年に火口内に流れ出た溶岩量: 1830万 m³

(H18年(2006年)計測の国土地理院の基盤地図情報(数値地形モデル)5m メッシュ(標高)とH24(2012年)計測の宮崎河川国道事務所のレーザ測量結果との差分値)

表2 3月9日~3月28日の地形変化量

集計単位*	体積変化量(万 m ³)**
火口内沈下(沈降)部	-138.2
火口内拡大部	109.7
火口外溶岩	30.2
火砕流	1.1

*集計単位は図4参照.

**計測誤差や有効桁数を考慮せずに,3月28日地形モデルから3月9日地形 モデルの値を単純に差し引いた差分値をそのまま表示.

アジア航測・産業技術総合研究所・東京大学地震研究所・熊本大学

参考資料 新燃岳火口の地形変化



平成 18 年度 航空レーザ計測による赤色立体地図 (宮崎河川国道事務所提供)



平成 24 年度 航空レーザ計測による赤色立体地図 (宮崎河川国道事務所提供)

2018 年 3-5 月の新燃岳噴火によるテフラ量(概報)

概要

2018 年 3 月 1 日から 5 月 14 日までの総テフラ噴出量は約 70 万トンと推定される.この量は, 2011 年噴火での総テフラ噴出量と比較して桁違いに少ない.この傾向は溶岩が流出した期間のみ のテフラ噴出量を比較した場合においても同様である.

本 文

2018年3月1日から活動を再開した霧島山(新燃岳)の2018年5月末までの降灰(テフラ) 分布(図1)とその量をまとめた.テフラ噴出量は、複数の等重量線図が得られた場合はFierstein and Nathenson (1992)の、1本だけ得られたものはLegros (2000)の方法によって求めた.なお火口近 傍の調査は行っていないため、火口近傍のテフラ量は山腹や山麓から得られたデータから単純に 外挿してもとめている.そのため今後の研究の進展によって、本報告のテフラ噴出量は変わる可 能性がある.

3月1日から5月14日までの活動は、3月1~5日朝までの火口底への溶岩流出前、3月5日夜~9日までの溶岩流出中、3月9日~5月14日までの溶岩流出後に大きく三分される. それぞれ の期間の総テフラ噴出量は、それぞれ、約28、約26、約17万トンと計算され、全期間の総量は約70万トンとなる.

新燃岳の2011 年噴火と比べると、今回はサブプリニー式噴火が発生していないこともあり総テ フラ噴出量はかなり少ない。また2011 年噴火では今回とほぼ同じ量の溶岩が火口底に流出した が,その溶岩流時に放出されたテフラ噴出量は100 万トンオーダである(及川ほか,2011; Nakada et al., 2013).溶岩流出期のテフラ噴出量同士を比較した場合においても今回は桁違いに小 さい傾向にある.

文献

Fierstein and Nathenson (1992) Bull. Volcanol., 54, 156-167., Legros (2000) Jour. Volcanol. Geotherm. Res., 96, 25-32., Nakada et al. (2013) Earth, Planets and Space, 65:1., 及川(おか(2011) 地球惑星連合大会2011. SVC070-P20.

*新燃岳降灰調査グループ

産業技術総合研究所,防災科学技術研究所,東京大学地震研究所,常葉大社会環境学部,熊本大学, 福岡管区気象台,鹿児島地方気象台,日本工営(株)中央研究所



図1 2018年3月1日~5月14日の降灰(テフラ)分布図

Eb:えびの市, Ko:小林市, Ta:高原町, I:硫黄山, K:韓国岳, O:大浪池, S:新燃岳, T:高千穂峰, M:御池

霧島山 (新燃岳)