

2011年新燃岳噴火後5年間の開析谷の地形変化 と降下テフラ移動

LANDFORM CHANGES AND PYROCLASTIC FALL REWORKING IN A DISSECTED
VALLEY DURING 5 YEARS AFTER THE 2011 SHINMOE-DAKE ERUPTION

黒木 貴一¹・磯 望²・宗 建郎³・黒田 圭介⁴・出口 将夫⁵

Takahito KUROKI, Nozomi ISO, Tatsuroh SOH, Keisuke KURODA and Masao DEGUCHI

¹福岡教育大学 (〒811-4192 宗像市赤間文教町 1-1)

E-mail: kuroki0@fukuoka-edu.ac.jp

²西南学院大学 (〒814-8511 福岡市早良区西新 6-2-92)

E-mail: iso@seinan-gu.ac.jp

³志學館大学 (〒890-8504 鹿児島市紫原 1-59-1)

E-mail: soh@shigakukan.ac.jp

⁴西南学院大学 (〒814-8511 福岡市早良区西新 6-2-92)

E-mail: kuroda@seinan-gu.ac.jp

⁵福岡教育大学 (〒811-4192 宗像市赤間文教町 1-1)

E-mail: degutimasao@gmail.com

Key Words: Shinmoe-dake, pyroclastic fall, dissected valley, GIS

1. はじめに

2011年新燃岳噴火では、噴出した軽石質の降下テフラが南東方向を中心に堆積した¹⁾。新燃岳は2011年9月7日の噴火を最後に活動は休止し、同年12月以降マグマの供給も停止した状態が続いている²⁾。噴火活動後、降下テフラ被覆で不安定化した火山斜面では、侵食と堆積による土砂移動で地形変化が短期間で起こる。防災対策を検討するには、土砂移動の特徴を標高、地形、土砂量の各変化から明らかにする必要がある。広範囲に対し空中写真や衛星データなどリモートセンシング技術が利用され^{3), 4), 5)}、狭範囲に対し現地測量など各種計測が実施され変化は明らかにされた^{6), 7), 8)}。これら変化の背景にある、降雨に反応した土砂移動の過程や量に関し、現地試験を踏まえた議論^{9), 10), 11)}も進められ、防災対策に活かされてきた。新燃岳噴火は、1991年ピナツボ火山や1990~1995年の雲仙普賢岳噴火と比べ小規模で

短期間だった為、多頻度の航空レーザー計測や空中写真など地理的データは得難く、噴火後の変化を明らかにするには詳細な地形観察と現地測量での対応が現実的だった。既報¹²⁾では、高千穂峰の南東麓にある横尾谷の開析谷に対し簡易レーザー距離計による計測と観察から、噴火後約3年間の地形変化特徴を整理した。この変化が著しかったため標高変化の計測をその後も継続した。本研究では、噴火後5年間の標高変化を追跡し、明らかとなった地形変化の特徴と今後の推移に関し検討した。

2. 研究方法と調査経緯

(1) 研究対象地域

新燃岳南東約7kmの高千穂峰南東麓で都城市夏尾地区の開析谷(標高約500mから550m)を研究対象とした(図-1)。開析谷を谷底と谷壁に区分し観察を進め、特に計測範囲(約60m×40m)に対し標高変化を明

らかにして地形変化の過程を整理した。本地域は噴火に伴って直径平均約 1cm の灰白色軽石(粘着性低い、透水性高い)により層厚約 10cm で被覆された。

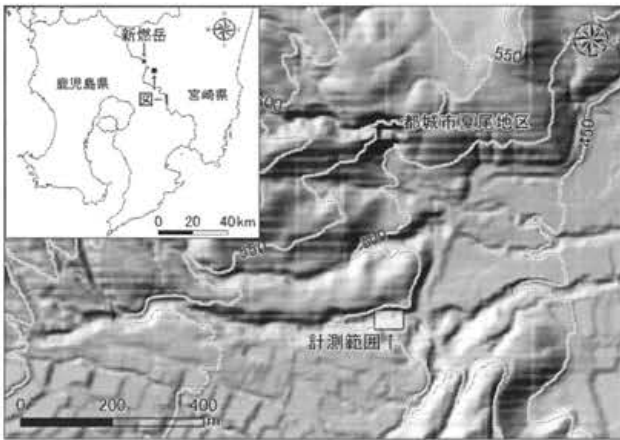


図-1 研究対象地域

(2) 観察と計測

観察と標高の計測は、既報告¹²⁾の2013年8月24日以降で、2014年3月2日、同年9月23日、2014年12月20日、2015年8月21日、2016年2月6日に行った。開析谷を頂稜、谷底、谷壁に区分し、その谷底、谷壁の降下テフラ残存及び地形変化を観察した。計測は、2015年8月までTruPulse200による簡易レーザー測量¹³⁾を実施し、地形標高モデル(25cmメッシュDEM)を求めた。UAVのカメラ搭載(2014年12月20日)と棒間ロープのカメラ吊り下げ¹⁴⁾(2016年2月6日)で撮影した写真をSfMで解析しDEM(1~2cmメッシュ)を求めた。標高変化は既報告¹²⁾の2015年8月までの期間1~3(1:2012年3月3日~8月24日、2:2012年8月25日~2013年3月9日、3:2013年3月10日~8月23日)に加え、2014年3月から2016年2月までの期間4~7(4:2013年8月24日~2014年3月1日、5:2014年3月2日~9月22日、6:2014年9月23日~2015年8月20日、7:2014年12月20日~2016年2月3日)別に求め、標高変化分布の特徴と地形変化の関係を整理する。各期間の標高変化量を1日当たりに換算した平均日変化深(mm/day)を、気象庁データから求めた平均日雨量(mm/day)、最大時間雨量(mm)、最大日雨量(mm)と比較し、噴火後の火山斜面の安定化を検討した。

3. 2013年8月までの開析谷の地形変化要約

既報告¹²⁾を要約する。2011年6月は、谷底、谷壁とも降下テフラが約10cm被覆し、その二次移動は確認されなかった。2011年8月は、降下テフラは谷底

に掃流で厚く移動、堆積し、谷壁では布状流で末端に移動してテフラの緩斜面を作り、緩斜面には元地表を侵食限界とするガリが掘られた。2012年3月は、谷底の土砂は人為的に除去され、谷壁末端への降下テフラ移動は継続した。2012年8月は、谷底は掃流による降下テフラ堆積が再開し、谷壁末端へのテフラ移動は継続した。谷底では礫、砂、テフラによる段丘状地形が形成され始め、谷壁のガリは幅と長さが拡大した。2013年3月は、谷底は侵食に転じて段丘状地形が比高を増し、布状流による谷壁末端へのテフラ移動が弱まった。谷壁ではガリ幅の拡大、ガリを通じたテフラ移動が強まった。2013年8月では、谷底は側方侵食が強まり段丘状地形は縮小し始めた。堰堤近傍で1m以上の洗掘や比高約1mの礫、砂、テフラによる砂礫堆が形成された。谷壁のガリ拡大は鈍り、布状流による微弱なテフラ移動が続き、ガリ末端からテフラによる崖錐状地形が形成され始めた。結果、開析谷は、谷壁にガリ、緩斜面、崖錐状地形、谷底に段丘状地形と砂礫堆が形成された(図-2)。

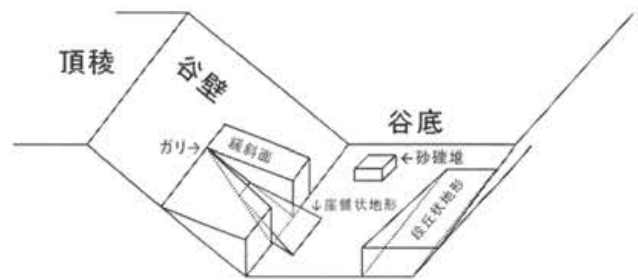


図-2 開析谷の地形モデル

4. 2014年以降の地形変化観察と標高変化

(1) 地形変化の観察

写真-1(1)は2014年3月2日の谷底の景観である。谷底は礫質で、左岸に段丘状地形、堰堤近傍に砂礫堆がある。谷壁(2)には、平底型で落葉の集積するガリがあり、その末端から崖錐状地形が発達した。緩斜面はガリで分断され島状となり、地形縁は丸みを帯びている。緩斜面では布状流で、ガリでは流水により谷底へ向かう降下テフラ移動が推定される。なお崖錐状地形は緩斜面と連続しており、布状流によるテフラ供給も受けている。

写真-2(1)は2014年9月23日の谷底の景観である。谷底の多くは礫が砂で埋没している。谷壁(2)ではガリが少し拡大し島状の緩斜面が狭まり、崖錐状地形が少し拡大した。

写真-3(1)は2015年8月21日の谷底の景観である。谷底は礫が散在し写真-1(1)と共通する。谷壁(2)で

はガリの拡大，島状の緩斜面の縮小，崖錐状地形の拡大が認められる。

写真-4(1)は2016年2月6日の谷底の景観である。谷底広くが砂質となり写真-2(1)と共通する。谷壁(2)では崖錐状地形は更に拡大した。ただ緩斜面の侵食が進み，崖錐状地形と緩斜面，ガリと緩斜面間の比高は縮小し，各地形面の識別が難しくなった。

このように谷壁では，2013年8月以降，ガリ幅の拡大，緩斜面の侵食，崖錐状地形の拡大が継続し，2016年2月では元地表の露出が増し，3地形は比高差が縮小して識別が難しくなった。この間，谷底では，砂の流入と流出が繰り返され，礫の移動は少なかった。段丘状地形の侵食は写真では不明瞭である。

(2) 標高変化と地形との関係

図-3(1)は期間4の標高変化を示す。地形境界線は2015年8月21日のものを重ねた。谷壁左岸A域の0.4m以上の標高増加は緩斜面と崖錐状地形の形成を示す。この標高増加域は段丘状地形にまで及び，崖錐状地形が広がったことを示す。同様の増加傾向は右岸にも確認できる。段丘状地形B域の標高減少は段丘の侵食を示す。谷底C域の最大0.2mの標高減少は堰堤近傍の洗掘を，谷底D域の標高増加は砂礫堆形成を示す。谷底は全体に侵食傾向を示している。

図-3(2)は期間5の標高変化を示す。谷壁左岸A域の0.2m以上の標高増加は緩斜面と崖錐状地形の形成の継続を示す。右岸でも同様の地形変化が継続していると推定される。C域の谷底全体に及ぶ0.4m以上の標高増加は堰堤近傍の洗掘箇所を埋積を示す。谷底は全体，段丘状地形の上流端で0.2m以上の標高低下は，谷底の洗掘を示す。

図-3(3)は期間6の標高変化を示す。



写真-1 2014年3月の景観



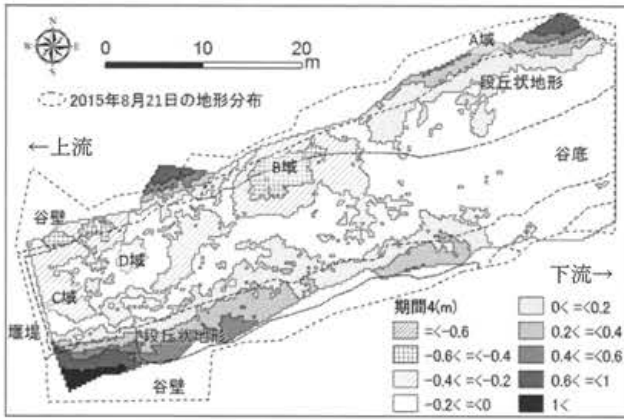
写真-2 2014年9月の景観



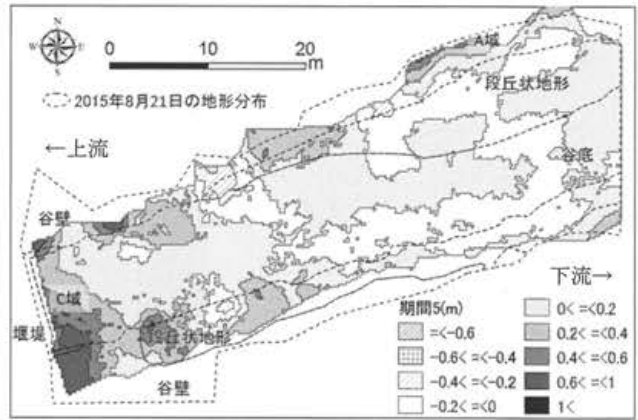
写真-3 2015年8月の景観



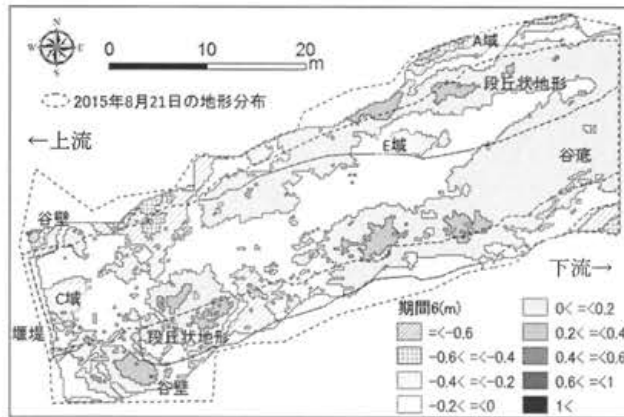
写真-4 2016年2月の景観



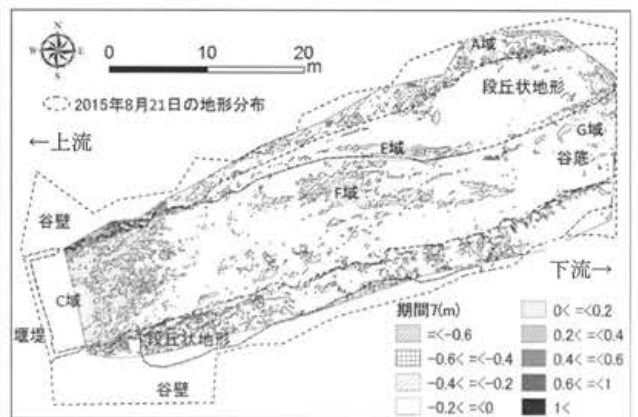
(1) 期間4(2013年8月24日~2014年3月1日)



(2) 期間5(2014年3月2日~9月22日)



(3) 期間6(2014年9月23日~2015年8月20日)



(4) 期間7(2014年12月20日~2016年2月3日)

図-3 標高変化量の分布

す。谷壁左岸A域の0.4m以上の標高減少は緩斜面が侵食されたことを示す。一方近傍の段丘状地形では標高増加傾向で、緩斜面の侵食による崖錐状地形の広がりを示す。同様の標高増加は右岸にも分布する。谷底のC域及び直下流の0.2m以上の標高減少は堰堤近傍の洗掘を示す。谷底は上流側では侵食傾向、下流側は堆積傾向である。なお段丘状地形E域の0.2m以上の標高減少は段丘の侵食を示す。

図-3(4)は期間7の標高変化を示す。谷壁左岸A域は上部で0.2m以上標高減少し、下部で若干増加した。A域近傍の段丘状地形では標高変化を判別できない。緩斜面は侵食され、崖錐状地形は一部拡大したが、本計測では標高変化を捉えられなかった。C域堰堤近傍の洗掘箇所は最大0.2m埋積された。E域の0.2m以上の標高減少は段丘の侵食を示す。標高減少域は約10mの延長で狭い幅を持つ。これは段丘縁の約10m間が谷壁側に少し後退したことを示す。谷底は、下流側は侵食傾向で0.2m以上の標高低下域が多く見られる。それらは上下流方向に細長く伸び、幾筋かの河川流が谷底を侵食したことを示す。1つの標高低下域は段丘縁のE域に向かっており、出水時にE域の侵食に河川流の関与が示された。最下流

域G域では最大0.2mの埋積が進んだ。

このように簡易測量により、ガリ、緩斜面、崖錐状地形、加えて谷底の地形変化を示す標高変化を捉え、地形変化が開析谷内の特定の地形場に共通することが示された。またSfMの写真解析ではその変化を詳細に捉えられた。

5. 降雨と標高変化に対応する地形変化

図-4は平均日変化深、平均日雨量、最大時間雨量、

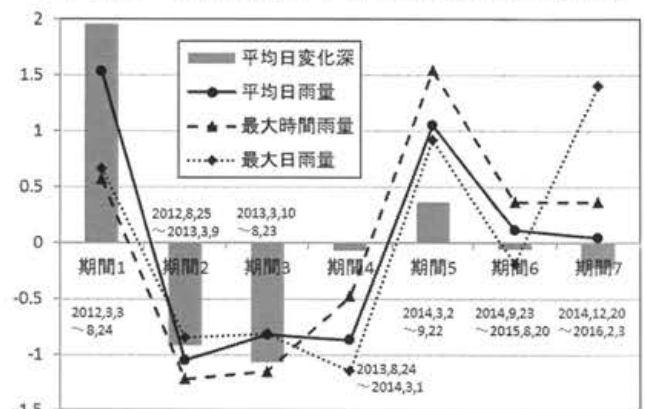


図-4 雨量と標高変化

最大日雨量を正規化し期間順にグラフ化した。平均日変化深の正規化値は、各雨量値が高いと高く、低いと低いため両者間には正の相関がある。しかし期間4~5の平均日変化深の値は、期間1~3のものに対し、極めて小さい。さらに期間6~7の平均日変化深の値は、期間1~5と異なり、各雨量の大半が正值を示すことに反し負値を示す。つまり、研究対象地域の標高変化は、一定の降雨に対し当初増加傾向だったが、次第に増加率が低下し、現在は低下傾向に転じたことが明らかとなった。

降雨に対する地形変化をテフラ供給源となる谷壁を中心に説明する。テフラ降下直後は、谷壁を等しく降下テフラが被覆した。期間1~3は、布状流によるテフラ移動で谷壁下部にテフラによる緩斜面が形成され、同時にガリが発達し始めた。雨量が多いと、谷壁から谷底へテフラが供給され谷底は上昇し、少ないと段丘状地形の侵食を伴って低下した。期間4~5は元の地表が侵食限界となる平底型のガリが拡大した。ガリ末端からはテフラ移動による崖錐状地形が形成され始めた。この時期、ガリ侵食で緩斜面は分断された。降雨に対する谷壁から谷底へのテフラの供給量は期間1~3に対し極小さくなった。期間6以降、谷壁では、ガリの拡大はなく、緩斜面は緩やかな侵食を受けて比高低下し、ガリや崖錐状地形との比高が縮小し、各微地形の不明瞭化も進んだ。既に谷壁の降下テフラ残存は少なく、降雨に対し谷壁から谷底へのテフラ供給はほぼ終了したため、谷底では極小さな標高低下が続く状況である。したがって、2016年現在、開析谷に及ぶ地形変化は噴火前の侵食・堆積速度に近づいたと考えられる。

まとめれば、開析谷では、降雨が多い場合に、2012年8月までは強い堆積傾向、2013年8月までは強い侵食傾向だった。2013年8月以降2014年9月までは、降雨に対し極小さい同様の標高変化傾向になった。2014年9月以降現在までは降雨に応じた極小さい標高低下が続いている。この降雨と標高変化傾向の関係は、開析谷の特に谷壁の地形変化に対応付けることができた。

6. 降下テフラの残存状況と今後

今後のテフラ流出の予測の観点から開析谷での

現在の降下テフラ残存場所を確認した。写真-5は研究対象地域の約500m上流の3カ所の景観である。開析谷は頂稜、谷壁、谷底に大別される。谷壁では降下テフラは大半が流失しあまり残存しない。しかし頂稜では降下直後の状態で降下テフラは良く残る。谷底のテフラは運搬営力が主に卓越する。

写真-5(1)は、谷底に降下テフラが残存していた例である。谷底には黄色軽石を混在する平坦な土石流段丘が断続的に分布し、この段丘面上に降下直後の状態で降下テフラが確認された。

写真-5(2)は、谷壁で降下テフラが残存していた階段状構造である。谷壁に緩傾斜と急傾斜の繰り返しからなる階段状構造があり、その緩傾斜側に降下テフラが残存した。谷壁上部に崩壊壁があるため、階段状構造は斜面崩壊土砂が谷壁に残ったものと考えられる。また階段状構造にある樹木は根曲りが多いため、その表層部はクリープしている。クリープは樹木に阻まれ停滞し、緩傾斜地が発達する¹⁰⁾が、その際降下テフラはそこに残存しやすいと思われる。

写真-5(3)は、谷壁末端に形成された降下テフラ及び移動したテフラによる緩斜面で、ルーズでガリは発達しない。本地形は開析谷内の多くの地点で見られた。そこでは降雨時に末端から谷底にテフラが緩やかに流出すると思われる。

これら降下テフラが残存する地形では、既に植物根や土壌生物が侵入し、枯枝や落葉の混入も増えた。実際、降下テフラは色調が暗色に近づき土壌化が進んでいる¹⁰⁾。今日までの谷壁の基本的な地形変化を踏まえれば、今後、降下テフラは、降雨による布状侵食やガリ侵食による各地形からの流出は少なく、表層崩壊など突発的な擾乱に伴い開析谷から失われていくと考えられる。

7. 降下テフラの残存状況と今後



図-5 降下テフラの残存する地形景観

2011年新燃岳噴火後5年間の降下テフラの移動を観察・計測し、開析谷の地形変化をまとめた。

- 1) 開析谷では、谷壁にガリ、緩斜面、崖錐状地形、谷底に段丘状地形と砂礫堆が形成された。
- 2) 谷壁では、2013年8月以降、ガリ幅の拡大、緩斜面の侵食、崖錐状地形の拡大が続いた。2016年2月では、各地形の比高差が縮小し識別が難しくなった。この間、谷底では砂の流入と流出が繰り返され礫の移動は少なかった。また段丘状地形の侵食が継続している。
- 3) 簡易レーザー距離計により、谷壁の緩斜面、崖錐状地形、谷底の洗掘や段丘状地形の地形変化を示す標高変化を捉え、各地形変化が開析谷の特定場に共通することが示された。また SfM の写真解析ではその変化をより詳細に捉えられた。
- 4) 開析谷は、降雨が多い場合に、2012年8月までは強い堆積傾向、2013年8月までは強い侵食傾向だった。2013年8月以降2014年9月までは、降雨に対し同様の標高変化が弱くなった。2014年9月以降現在までは降雨に応じた極弱い標高低下が続いている。この降雨と標高変化傾向の関係は、開析谷の特に谷壁の地形変化に対応付けられた。
- 5) 降下テフラの残存状況から、今後降下テフラは降雨による侵食ではさほど流出せず、表層崩壊など突発的なイベントで開析谷から失われていくものと考えられる。

謝辞: 本研究の遂行にあたり、平成27年度福岡教育大学研究推進支援プロジェクト経費を使用した。記して謝意を表す。

参考文献

- 1) Miyabuchi Y., Hanada D., Niimi H. and Kobayashi T.: Stratigraphy, grain-size and component characteristics of the 2011 Shinmoedake eruption deposits, Kirishima Volcano, Japan, *Journal of Volcanology and Geothermal Research*, no. 258, pp. 31-46, 2013.
- 2) 気象庁: 霧島山(新燃岳)の火山活動解説資料(平成25年10月分), http://www.data.jma.go.jp/svd/vois/data/tokyo/STOCK/monthly_v-act_doc/fukuoka/13m10/50_13m10.pdf, 2013.
- 3) 西田顕郎・小橋澄治・水山高久: 雲仙普賢岳における火砕流堆積とガリー侵食の相互作用による地形変化, *地形*, 19巻, pp. 35-48, 1998.
- 4) 広瀬典昭・井上公夫: ピナツボ火山噴火後の地形変化

と土砂災害, *地形*, 20巻, pp. 431-448, 1999.

- 5) Tomiyama, N., Koike, K., Oomura, M. and Iguchi, M.: Analysis of Topographic Change at Mount Sakurajima, South Kyushu, Japan, using JERS-1 SAR Interferometry, *Geoinformatics*, Vol. 22, no. 1, pp. 17-24, 2011.
- 6) 山本博: 有珠山の一斜面における1977-1978年降下火砕堆積物の侵食, *地形*, 5巻, pp. 111-124, 1984.
- 7) 土井康弘・山越隆雄・若林栄一・小山内信智・西本晴男: 三宅島における噴火後の谷地形変化, *地形*, 25巻, pp. 284-285, 2004.
- 8) Tanarro, L.M., Andrés, N., Zamorano, J.J., Palacios, D., Renschler, C.S.: Geomorphological evolution of a fluvial channel after primary lahar deposition: Huiloac Gorge, Popocatepetl volcano (Mexico). *Geomorphology*, Vol. 122, pp. 178-190, 2010.
- 9) 地頭菌隆・下川悦郎: 火山灰に覆われた桜島山腹斜面における表面流出, *新砂防*, 42巻, 3号, 18-23, 1989.
- 10) Yamakoshi, T. and Suwa, H.: Post-Eruption Characteristics of Surface Runoff and Sediment Discharge on the Slope of Pyroclastic-Flow Deposits, Mount Unzen, Japan, *地形*, 21巻, pp. 469-497, 2000.
- 11) 清水収・地頭菌隆・下川悦郎・山越隆雄・木佐洋志・瀧口茂隆・杉山光徳: 霧島山新燃岳の2011年1月噴火による降灰とその後の土砂移動, *新砂防*, 64巻, 3号, pp. 46-56, 2011.
- 12) 黒木貴一・磯望・宗建郎・黒田圭介・後藤健介: 2011年新燃岳噴火後の降下テフラによる地形変化, 第7回土砂災害に関するシンポジウム論文集, pp. 25-30, 2014.
- 13) 黒木貴一・塚本高史・黒田圭介: 簡易レーザー距離計を用いた斜面崩壊地形の計測方法, *地図*, 49巻, 4号, p. 1-6, 2012.
- 14) 黒木貴一・黒田圭介: 狭範囲に対する写真撮影と SfM 利用方法の検討, 九州応用地質学会平成27年度(第31回)研究発表会論文集, pp. 7-10, 2015.
- 15) 黒木貴一・磯望・後藤健介・黒田圭介・宗建郎: 1982年長崎豪雨による斜面崩壊地の植生回復と土層形成, *地形*, 36巻, pp. 205-213, 2015.
- 16) 黒木貴一・磯望・後藤健介・宗建郎・黒田圭介: 2011年新燃岳噴火による降下テフラ層の変化, 自然災害研究協議会西部地区部会報・論文集, 37号, pp. 29-32, 2013.

(2016.5.31 受付)