

2011年新燃岳噴火後の降下テフラによる 地形変化

LANDFORM CHANGES DUE TO TRANSPORTATION OF PYROCLASTIC FALL
DEPOSITS AFTER THE 2011 SHINMOE-DAKE ERUPTION

黒木 貴一¹・磯 望²・宗 建郎³・黒田 圭介⁴・後藤 健介⁵

Takahito KUROKI, Nozomi ISO, Tatsuroh SOH, Keisuke KURODA and Kensuke GOTO

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 大阪教育大学 (〒563-0026 大阪府池田市緑丘 1-2-10)

E-mail: goto@cc.osaka-kyoiku.ac.jp

Key Words: Shinmoe-dake, pyroclastic fall deposits, landform change, GIS

1. はじめに

霧島連山北西部に位置する新燃岳(標高 1421m)は、2011年1月26日から本格的な噴火となり、翌27日には降下軽石を中心とするテフラ降下を伴う激しい噴火が生じた。28日以降は噴煙を伴う激しい噴火が繰り返され、火口内部には溶岩も噴出した。国土地理院¹⁾や気象庁²⁾のHPでその後の状況は報告された。またその火山活動や降下テフラなどに関し、直後の日本地球惑星科学連合2011年大会の霧島山(新燃岳)2011年噴火セッションで47件の報告があった。しかし新燃岳は2011年9月7日の噴火を最後に活動は休止し、同年12月以降はマグマの供給も停止した状態が継続している³⁾。

このような噴火活動後は、不安定化した火山斜面での侵食と堆積による激しい地形変化が短期間で起こるため、その特徴を標高、地形分布及び断面、土砂量の各変化から明らかにする研究が進められた。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),6)}、狭範囲に対し現地測量など各種計測が実施されている^{7),8),9),10),11)}。

新燃岳噴火は、近年のピナツボ火山や雲仙普賢岳の噴火に比べ小規模で短期間であり、直後の東北地方太平洋沖地震もあって、その活動や地形変化に対する関心は急速に低下した。この場合、多頻度の航空レーザー計測や空中写真など広範囲の地形変化を対象とするデータは得難く、詳細な地形観察と現地測量での対応が現実的である。またこれまで注目されにくかった谷壁斜面などの微地形を検討できる範囲で標高変化の三次元的な検討を加えれば、噴火活動後の地形変化の実態をより理解できると考える。

そこで本研究では、新燃岳噴火後の火山斜面を対象に降下テフラの移動及びそれに伴う地形変化を微地形スケールで観察し、現地測量に基づく標高変化の解釈から地形変化の特徴を整理した。

2. 研究方法

(1) 研究対象地域及び調査範囲

図-1 は研究対象地域と降下テフラの等層厚線(mm)を示す。北西に新燃岳があって、主にその南東の霧島市、都城市、三股町に降下テフラは多く堆積したが、高千穂峰周辺では層厚約 10cm である。降下テフラの降灰主軸は給源から南東方向にある。層相は、灰白色を呈する発砲の悪い均質な軽石が主体で極めてルーズで粘着性に乏しいもので、層厚の厚い場所では最上部に薄い灰色細粒火山灰層を伴うことが特徴である¹²⁾。調査地点は高千穂峰の南東斜面の標高約 500m の開析谷にあり、約 1.3km²の集水域を持つ。そこに約 60m×40m の調査範囲を設定し観察と測量を行った(図-2)。

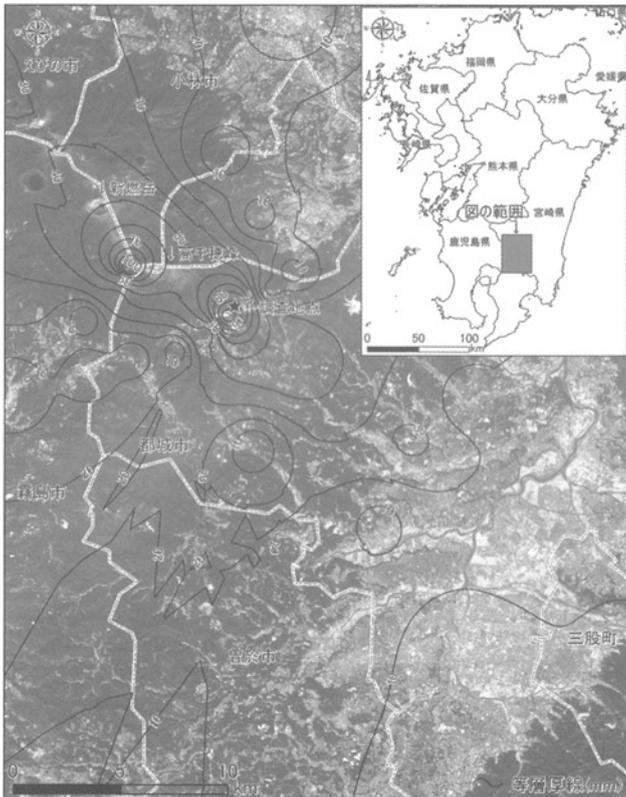


図-1 研究対象地域

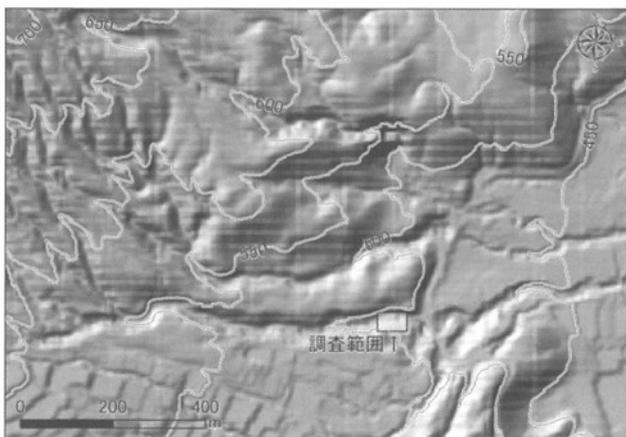


図-2 調査範囲

(2) 観察及び測量と DEM 作成方法

観察は、2011年6月4日、8月6日、2012年3月3日、8月25日、2013年3月10日、8月24日に谷底と谷壁斜面に対して行った。測量は2012年3月3日以降に実施した。測量では機動力の高い廉価で簡便な計測方法¹³⁾を用い、砂防堰堤上の基準点2点から計測点までの水平距離と高さを計測した。結果はGISのクリギング法による空間補間で25cmメッシュの地形標高モデル(DEM)とした。

3. 観察結果と解釈

(1) 谷壁斜面

写真-1 は調査範囲の南向き谷壁斜面の 2011年6月～2013年8月までの状況を示す。2011年6月では、少し凹凸のある谷壁斜面が降下テフラに均等に覆われ緩やかに谷底に連続する。谷壁斜面は落葉に覆われており降下テフラの移動は少ないと思われる。同年8月では、斜面全体が平滑になり、一部線的な侵食が始まった。そのため最大で幅約 30cm で深さ約 20cm のV字状のガリが形成された。谷壁斜面末端は谷底の洪水による侵食で約 30cm の崖になった。その断面には降下テフラ層に多くの落葉が挟まれる成層構造が認められる。これは6月以降、降下テフラが落葉を巻き込みながら面的な布状洪水で下方に穏やかに移動し、谷壁斜面の下部を緩傾斜化し平滑化させたことを示す。

2012年3月では、ガリが少し埋積されて不明瞭化し、谷壁斜面末端は緩やかに谷底に連続し、崖は消失した。降下テフラの面的な移動が継続していることを示す。同年8月では、最大幅約 1m、深さ約 40cm にガリが拡大した。ガリ頭部は3月と比べ上方に数 m 延伸し、樹木の根系の露出も増えた。ガリ底は平滑な噴火前の地表が露出し、降下テフラのみが侵食された。これは谷壁斜面で、より透水性の高い降下テフラが、降雨時に飽和状態となり地表流が現れる点で選択的に侵食されたことを示す。一方、谷壁斜面末端の樹木近傍で、3月に比べより高い位置まで堆積が進んでおり、この8月まで布状洪水による緩傾斜化は継続していた。しかしそこには約 50cm の崖が生じており、谷底の洪水による谷壁斜面末端の侵食もあった。

2013年3月では、半年前と比べガリの深さは変わらず幅が数 10cm 拡大した。谷壁斜面下部の緩傾斜化は停止したが、ガリ末端の埋積が進み、そこから谷底へ崖錐状に土砂が堆積した。同年8月は、3月の状況とあまり変化はないが、谷壁斜面末端が少し侵食され約 30cm の崖が生じた。



写真-1 谷壁斜面の景観

(2) 谷底

写真-2 は谷底の 2011 年 6 月～2013 年 8 月までの状況を示す。2011 年 6 月では、円磨された径約 30cm の大礫が堆積する谷底を降下テフラが約 10cm 被覆するが、降下テフラが二次移動した痕跡は認められない。同年 8 月では、谷底に上流から来た降下テフラを主体とする土砂が厚く堆積した。写真後方では堰堤の天端が地上 50cm ほどの高さとなり、2 ヶ月間に最大で 3m 以上の堆積があった。谷底表面は浅い網状の水流跡が多数あり、掘削断面には層厚数 cm で淘汰良の降下テフラによる成層構造がみえるため、土砂は掃流で運搬されたと考えられる。

2012 年 3 月では、谷底の土砂は全て除去され前年 6 月に近い状態に戻った。しかし同年 8 月では、再び上

流からの土砂が、堰堤近傍で最大 1.5m 程度堆積した。この時、左岸側に比高約 30cm の段丘も形成されており下方侵食も顕在化した。その段丘縁では径約 30cm の大礫が自然堤防状の高まりを形成しており、土石流に近い激しい土砂運搬も生じた可能性がある。

2013 年 3 月では、主に下方侵食が進み、堰堤近傍で特に多く約 1.5m 侵食された。最低位の谷底では前年 8 月には見られなかった大礫が散在する。左岸側に階段状の段丘が 4 面形成された。各段丘は上流で段差が大きく下流で堰堤の高さに収斂する。これは 3 月から 8 月にかけて洪水時の運搬土砂量の段階的な低下と、それに伴う下方侵食が進んだことを示す。同年 8 月では、さらに段丘の侵食が進み谷底に大礫が散在する状況となり堰堤も広く露出した。この時、右岸では谷壁斜面末端に侵食で約 1m の崖が生じ、左岸では最高位の段丘が狭く残存するのみになった。これは下方侵食よりも側方



写真-2 谷底の景観

侵食が強まったことを示す。段丘の地層断面では降下テフラ主体の掃流堆積物に大礫が混入する層相を確認できるため、段丘から選択的に降下テフラが流出し谷底が礫床になった可能性もある。また上流堰堤の天端に大礫が載り、その近傍で大礫主体の砂礫堆が形成されており、この時期は大礫も多く運搬される状況だった。

防状地形も表現された。

図-5は2012年3月から8月までの標高変化で、この間、えびのの総降水量は3575.5mmだった。標高は、広く増加傾向にあり、最高1.37m増加(堆積405.5m³、平均35.1cm)した。3月に谷の中心だった左岸で多くの土砂が堆積した。谷底の右岸側で0~0.2m低下した場所

4. 計測結果と観察結果の比較

2012年3月3日、8月25日、2013年3月10日、8月24日の谷底を中心とする地形標高モデルを作成し、隣接期間の標高変化を計算した。これらを現地観察結果と比較する。

図-3は2012年3月の地形標高モデルである。背景の陰影図に10cm刻みの等高線を描画した。西が上流で、下流堰堤上に基準点2点がある。計測1範囲には測点約130点がある。基準点は標高約584mにあり、右岸上流側の標高は587.5m以上ある。谷底の左岸寄りに谷の中心がある。土砂除去後の起伏が乏しい平坦イメージが良く表現された。ただ谷底の585mから上流は、それより下流と比べ等高線間隔が狭く傾斜が急なため、土砂除去後に上流からの土砂の堆積が再び進んだことを示している。

図-4は2012年8月の地形標高モデルである。計測2範囲には測点約130点がある。3月以降、さらに土砂の堆積が進み谷底の標高は増加した。谷底は上流一部を除き全体に3月より等高線の間隔が狭まっており急傾斜化した。左岸側の等高線は右岸よりも全体的に下流側にあり、段丘地形が読み取れる。また段丘縁では585mの等高線が下流に突出するため、実際の自然堤

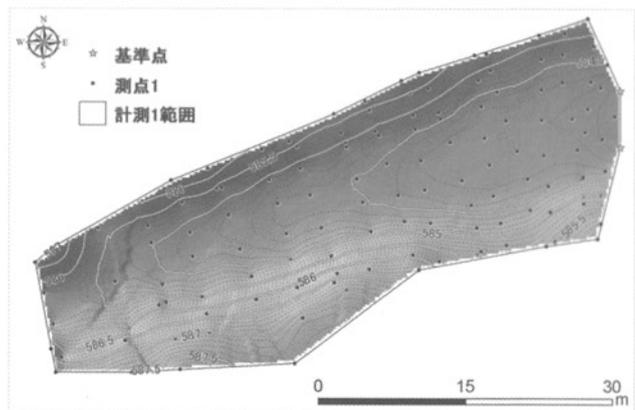


図-3 2012年3月の標高分布

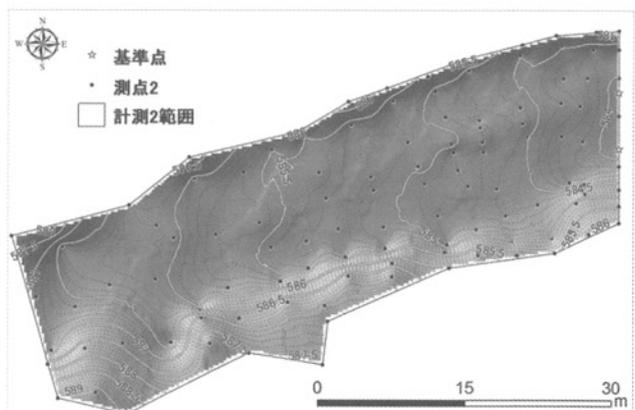


図-4 2012年8月の標高分布

が谷方向に連続しており、下方侵食が既に始まっている。このため左岸に段丘が現れた。また左岸の計測範囲縁では標高が 0~0.4m 低下した場所があり、これは谷壁斜面で進むガリ侵食や末端侵食を示すと思われる。一方、兩岸の計測範囲縁で標高が約 0.2m 上昇した場所は、谷壁斜面の降下テフラ移動を示すと思われる。

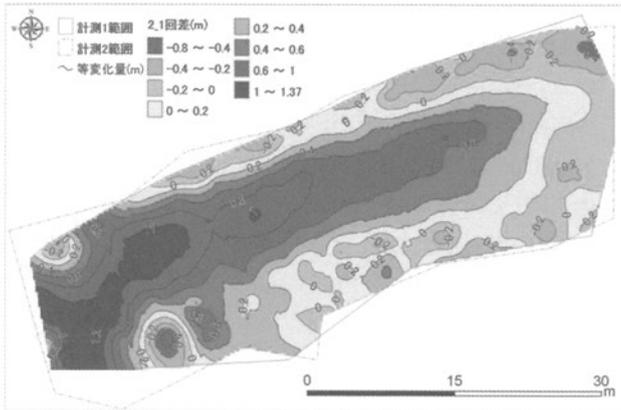


図-5 2012年3月から8月までの標高変化

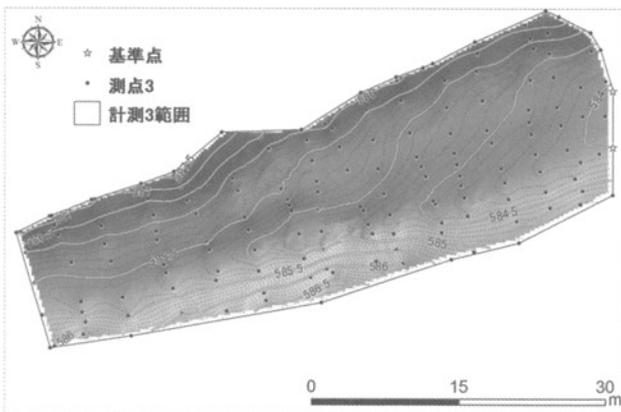


図-6 2013年3月の標高分布

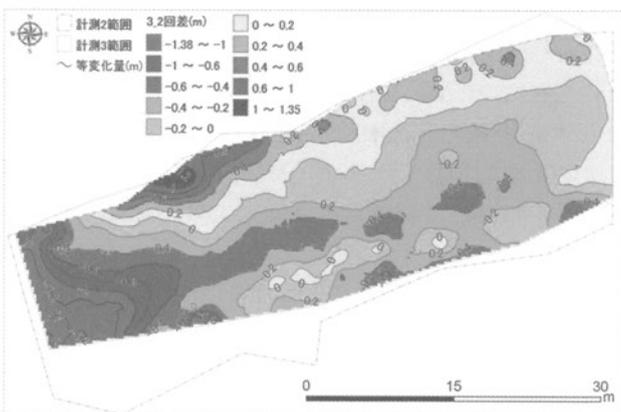


図-7 2012年8月から2013年3月までの標高変化

図-6は2013年3月の地形標高モデルである。計測3範囲には約 170 点の測点がある。585m の等高線が上流に向く楔状なため、谷底右岸を中心に下方侵食が進み狭長な谷が形成され、左岸の段丘が明瞭化したことが分かる。さらに左岸の計測範囲縁は前時期に比べて

滑らかでありガリの埋積や崖錐形成を示すと思われる。

図-7は2012年8月から2013年3月までの標高変化で、この間、えびのの総降水量は1792mmだった。標高の増加範囲は左岸の計測範囲縁に多く、低下範囲は谷底全体に広がった。谷底は上流ほど標高低下が著しく、上流堰堤付近で最高 1.38m(侵食 207m³, 平均 -19.8cm)も低下した。前期間に比べ標高低下範囲を示す等変化量線の間隔が広いので、この間に側方侵食が強まっている。谷壁斜面ではこの間、布状洪水とガリ侵食は確認されないため、左岸の標高増加はガリの埋積と谷底に続く崖錐形成を示す。

図-8は2013年8月の地形標高モデルである。計測4範囲には約 160 点の測点がある。前時期に比べ585m の等高線はさらに上流に移動し、谷底では横断方向の等高線間隔が広まった。これは段丘がほぼ侵食され幅広い谷底になったことを示す。谷の中心は右岸から左岸側に移動し、そこに等高線や陰影図からも砂礫堆形成に伴う幅数 m の凹地や凸地を読み取れる。

図-9は2013年3月から2013年8月までの標高変化であり、この間、えびのの総降水量は1682.5mm だった。標高は全体に低下傾向にある(侵食 200.4m³, 平均 -19.5cm)。前時期に谷の中心だった右岸と下流部では約 0.2m の標高増加を示す。砂礫堆は、段丘が侵食さ

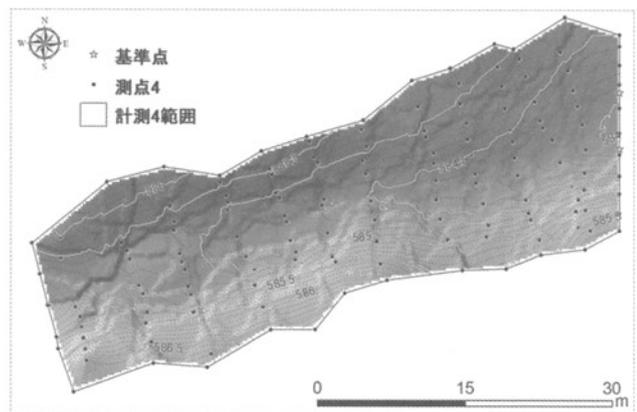


図-8 2013年8月の標高分布

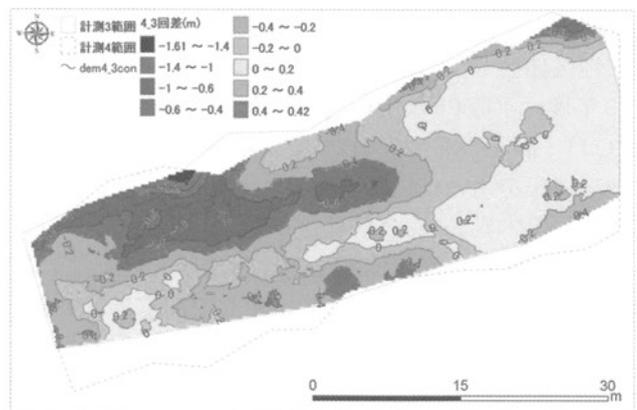


図-9 2013年3月から2013年8月までの標高変化

れ0.4m以上も標高が低下した場所にあるため、図-9はこの間の左岸側の顕著な侵食と大礫を伴う土砂移動を示している。計測範囲縁の下流左岸側は標高低下傾向にあり、この間に谷底の側方侵食が谷壁斜面末端に及んだ事も分かった。一方その右岸側では若干の標高増加が示されており、布状洪水やガリを埋積する降下テフラの移動が若干継続していると思われる。

5. まとめ

新燃岳噴火後の降下テフラの移動を反映する地形の観察と現地測量から、以下のことが分かった。

(a)谷壁斜面では、2011年6月まで降下テフラの二次移動は見られなかったが、その後布状洪水に伴う穏やかな面的移動が生じ、その下部で緩傾斜化が進んだ。同時に線的なガリ侵食とその後の横方向の侵食も進んだ。後者は元の地表上で降下テフラ内が飽和し地表湧出点から始まる線的及び横方向の侵食である。両者ともに降下テフラ堆積後の1.5年間で活発で、その後は低減した。また谷底の洪水による谷壁斜面末端の侵食、ガリが埋積され崖錐が形成される土砂移動も確認された。

(b)谷底では2011年6月まで降下テフラの二次移動は見られず、同年8月から2012年8月までの1年間は掃流による降下テフラの二次堆積が継続した。その後、土砂運搬量は段階的に低下したため下方侵食が卓越し2013年3月には4面の段丘が形成された。しかし同年8月には側方侵食が卓越する環境に転じ段丘構成層の降下テフラが選択的に流出するとともに、堰堤直下流では大礫の運搬と砂礫堆形成が確認された。

(c)DEM作成を通じ、谷底では谷全体の形状に加え段丘、微高地、砂礫堆を、谷壁斜面では下部及び末端の微地形形状を示せた。DEMによる標高変化の分析を通じ、各地形の形成・消失を示す堆積、下方・側方侵食の地形プロセスの存在とその広がりを概ね確認できた。

謝辞：本研究の一部は、日本地理学会の災害対応委員会での災害緊急速報「2011年新燃岳噴火について」で報告し、日本地理学会¹⁴⁾と自然災害研究協議会西部地区部会¹⁵⁾で発表した。現地調査にあたり、平成23年度～平成25年度の科学研究費補助金(基盤研究(C))；課題番号23501243「都市域における時空間地理情報を用いた氾濫原の特性評価の研究」(研究代表者 黒木貴一)および課題番号23501253「土砂災害発生に関する経年的変化の検討」(研究代表者 磯望)の一部を利用した。ここに記して謝意を表す。

参考文献

1) 国土地理院:霧島山(新燃岳)噴火に関する対応,防災関

連, <http://www.gsi.go.jp/BOUSAI/h23kirishima-index.html>, 2013.11.12.

- 2) 気象庁:霧島山,九州地方の活火山,全国の活火山の活動履歴等,火山,気象等の知識, http://www.seisvol.kishou.go.jp/fukuoka/505_Kirishimayama/505_index.html, 2013.11.12.
- 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侵食の相互作用による地形変化,地形,19(1),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,20-4,431-448,1999.
- 5) 佐藤浩:火山活動終了後の雲仙普賢岳・溶岩ドーム周辺の地形変化,地形,25-1,1-22,2004.
- 6) 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, 22-1, 17-24, 2011.
- 7) 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,5,111-124,1984.
- 8) 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,25-3,284-285,2004.
- 9) 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, 122, 178-190, 2010.
- 10) 地堂菌隆・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,42-3,18-23,1989.
- 11) 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,21-4,469-497,2000.
- 12) 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特徴と堆積後の変化,自然災害研究協議会西部地区部会報・論文集,36,49-52,2012.
- 13) 黒木貴一・塚本嵩史・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,49-4,1-6,2012.
- 14) 磯望・黒木貴一・後藤健介・黒田圭介・宗建郎・藤井あみ・永井さやか:2011年新燃岳噴火降下テフラ層の特徴とその変化,2011年秋季学術大会日本地理学会発表要旨集,80,p153,2011.
- 15) 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,第37号,29-32,2013.

(2014.5.9受付)