

# 雲仙の火砕流堆積地における侵食量評価の試み

## A VOLUMETRIC STUDY OF SURFACE EROSION IN A TEST AREA ON A PYROCLASTIC FAN AROUND UNZEN VOLCANO

黒木 貴一<sup>1</sup>・磯 望<sup>2</sup>・後藤 健介<sup>3</sup>

Takahito KUROKI, Nozomi ISO and Kensuke GOTO

<sup>1</sup>福岡教育大学教育学部 (〒811-4192 宗像市赤間文教町1-1)

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

<sup>2</sup>西南学院大学人間科学部 (〒814-8511 福岡市早良区西新6-2-92)

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

<sup>3</sup>長崎大学熱帯医学研究所 (〒852-8523 長崎市坂本1-12-4)

E-mail: k-goto@nagasaki-u.ac.jp

**Key Words:** digital camera, anaglyph, erosion, landform, parallax

### 1. はじめに

地形変化域及び量を定量的に把握することは、火山・地震活動や斜面崩壊などによる自然災害の実態を知り、その予測を行うために重要である。近年、火山・地震活動による広い範囲の地形変化は、空中写真や航空機レーザー<sup>1)</sup>による測量や2時期のSARデータの干渉法<sup>2)</sup>により高精度で容易に把握できるようになった。一方、斜面崩壊などの狭い範囲の土砂移動や侵食による地形変化は、礫にペンキを塗布する方法<sup>3)</sup>、岩の形状を隔年で詳細計測する方法<sup>4)</sup>、流出土砂を貯砂施設でトラップする方法<sup>5)</sup>など細かな手作業を多く要する。したがって、地形変化量が微妙なほど、計測には時間と手間がかかる。その時、計測を考慮しなければ、その変化量は2時期の写真を撮影しその画像間の違いを観察することで時間も手間もかけず認識できると思われる。

本研究では雲仙火山の火砕流堆積地を対象に、デジタルカメラで撮影した2時期の画像の変化を解析し、狭い範囲の地形変化域及び量を定量的に把握する簡便な手法を検討した。

### 2. 研究方法

#### (1) 研究対象地域

雲仙は、長崎県島原半島に位置する標高約1480m

の火山である。1990年から始まった雲仙の火山活動(1990-1995年)では、山頂部に溶岩ドームが形成され、その溶岩ドームの崩落によってメラピ型の火砕流が発生した<sup>6),7)</sup>。また降雨時には山麓において火砕流堆積物を起源とする土石流も頻発した。特に1993年4月～9月には、大規模な土石流が水無川で頻発し、住家に被害が及んだ<sup>8)</sup>。火山活動の終息した現在は、雲仙に顕著な地形変化は見られず、火砕流や土石流による影響を受けた対象地域(図-1)では、砂防工事が進むととも

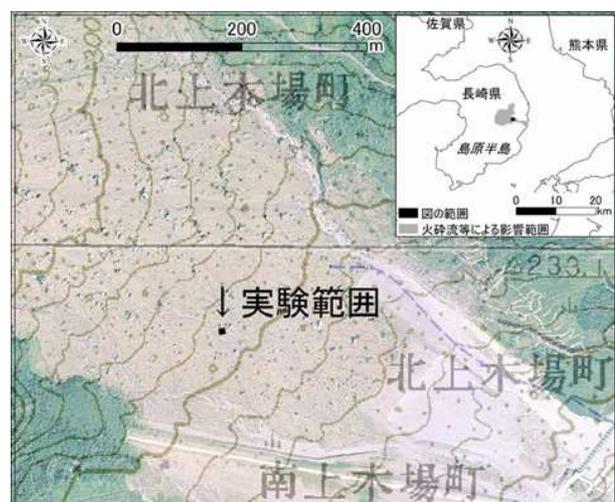


図-1 対象地域

\*背景1は島原振興局撮影の2006年のオルソ空中写真。

\*背景2は数値地図25000「地図画像」(平成13年発行)の「島原」と「雲仙」。

に植生も回復しつつある。

しかし 2006 年撮影の空中写真を詳細に見ると、火砕流堆積地にはいく筋ものガリが刻まれており、そこでは植生の回復が遅れている。実際に現地(写真-1)では、植生の豊かな微高地と植生の乏しいガリに地形区分できる。前者にはウィーピングラブグラスやスキを中心と



写真 -1 実験範囲周辺の夏の景観

する植生が、後者にはイタドリを中心とするまばらな植生が見られる。また後者の内部では、植生密度は一様ではなく、多少の起伏も見られる。したがって対象地域では、現在も表流水により土砂移動(堆積, 通過, 侵食)の生じていることが推測できる。そこで、ガリ内に 10m 四方の正方形の実験範囲を設定した(図-1)。

## (2) 撮影および画像加工方法

### a) 撮影

実験範囲の四隅に打杭し、ビニールテープで囲んだ(写真-2)。夏(2007年8月21日)と冬(2007年12月27日)に、実験範囲の中心から約10m離れた溶岩の、高さ



写真 -2 実験範囲の夏の景観

約5mの頂上から、デジタルカメラ(Nikon COOLPIX L6)で、実験範囲の通常画像を撮影した。また夏には、カメラ位置を約30cmずらした右画像と左画像を撮影した。撮影時の解像度などの設定モードは統一した。

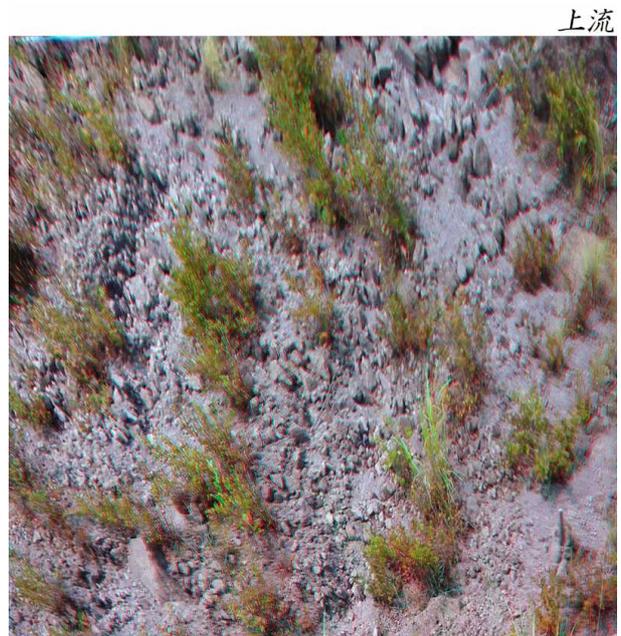
### b) 画像加工

撮影画像を画像処理ソフト(Photoshop)で正方形に変形した。次にむっちゃんのステレオワールド(<http://stereo.o.jp/jpn/index.html> 2008.4.28)にあるフリーソフト

「ステレオフォトメーカー」を使用し、夏の左右画像から地形区分用のアナグリフ画像を、夏冬の通常画像から地形変化の確認用のアナグリフ画像を用意した(写真-3)。アナグリフ画像の作成方法や使用効果に関しては後藤・佐藤(2003)<sup>9)</sup>に詳しいため省く。

### c) 地形変化量の推定

アナグリフ画像(写真-3(a))を赤青めがねで判読し地



(a) 地形区分用

\*礫質の所は、表流水の影響で植生が乏しいと思われる。



(b) 地形変化確認用

\*四角囲みの範囲は、侵食により顕著な変化がある。

写真 -3 アナグリフ画像

形区分(I面, II面, III面)と砂比区分(20%刻み)を実施した。

次にアナグリフ画像(写真-3(b))を観察し地形変化部を概ね把握した。判読の結果, 径約 5cm 以上の礫の移動はあまりなく, 径約 5cm 未満の砂礫の移動が認められた。そこで, 本研究では径約 5cm 未満の砂礫が画像上に占める割合を砂比とし, 砂礫域の侵食深を求めていく。堆積物の分類を, 基質に対する礫の含有率(単位面積当たりの礫の占める面積割合)で行うことができ, この方法では, 例えば礫が 80%以上含まれる場合は礫支持礫岩とし, それ以下の場合は基質支持礫岩と分類する<sup>10)</sup>。しかし本研究では, 侵食されるものが堆積物の基質に相当する径約 5cm 未満の砂礫だったため, 礫の含有率ではなく基質の含有率に相当する砂比を用いたものである。

最後に夏冬の通常画像の比較から侵食深区分(0~30mm)を行い, 砂比, 侵食深区分毎の面積, 侵食深から侵食量と平均侵食深を計算した。結果は, 地形区分毎に整理した。なお侵食量は以下の式で計算した。

式 侵食量(m<sup>3</sup>)=侵食深区分毎の面積(m<sup>2</sup>)×砂比(%)×侵食深(mm)

### 3. 画像解析の結果

#### (1) 地形区分

写真-3(a)を判読した結果, 実験範囲の地形は高位よりI面, II面, III面に区分できた(図-2) I面は径約 10cm

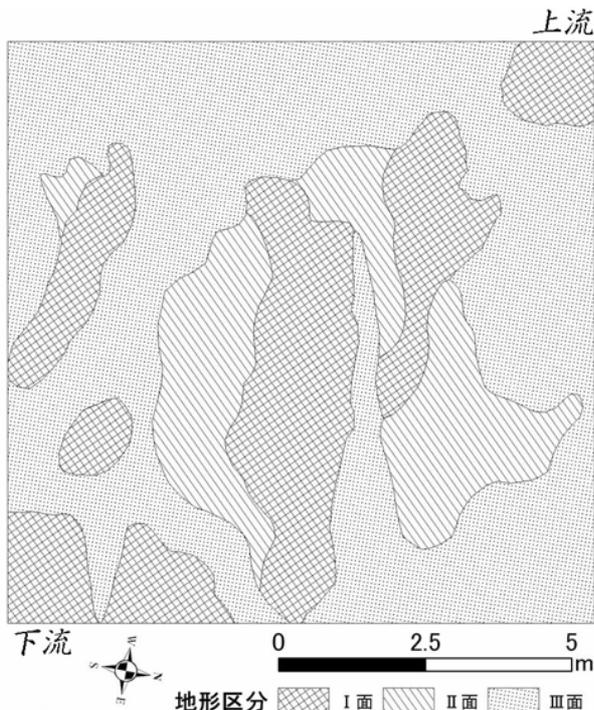


図-2 地形区分

の礫を主な構成物とする縦長の微高地で, 植生に乏しい。II面はI面より約 10cm 低い平坦地で, I面に比べ砂が多く礫はあまり目立たず, 植物が極めて多い。III面は最も低い谷底面で, 径約 20cm を越す礫と砂が構成物で, 植生に乏しい。III面は概ね, 幅 1m 程度の谷底面であり, 砂が多く礫は少ない。しかし部分的に認められる溝状の箇所では砂より礫が多い。なお III面が網状に発達し, その中にI面が細長の微高地として点在することから, 実験範囲は扇状地特有の網状流内にあり, I面はその中の砂礫堆と考えられる。

#### (2) 砂比区分

写真-3(b)を判読した結果, 地形区分ごとに 20%刻みで砂比を区分できた(図-3)。図-3に示す砂比区分の境界は, 地形区分境界に概ね一致する。しかし, 一つの地形区分内に複数の砂比区分を実施した所もある。図-3を図-2と比べると, I面は全体的に砂比が小さいこと, II面はI面よりも砂比が大きいこと, III面は極端に砂比の大きな場所と小さな場所が混在する傾向が分かる。

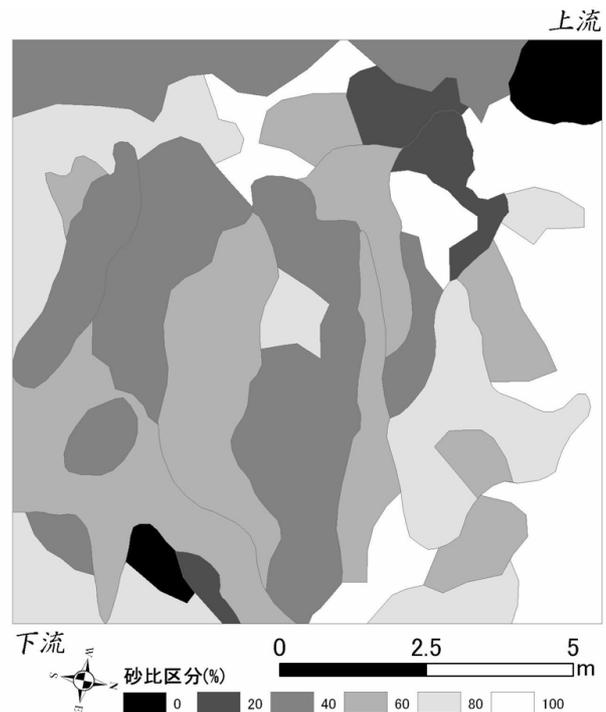


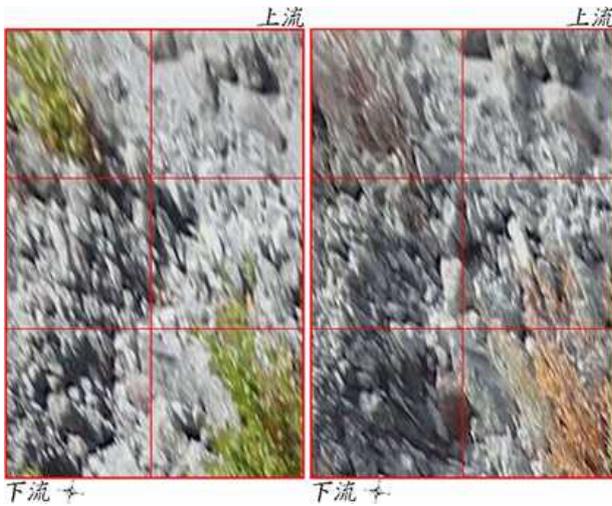
図-3 砂比区分

#### (3) 地形変化の確認

写真-3(b)を観察し地形変化(侵食)場所を判読した。2時期間に物質移動のあった場所は判読時にちらついて見える。判読の結果, 多くの場所で, 径約 5cm 未満の砂礫の消失や大きな礫の露出度合の増加により識別できる侵食が認められた。それらは写真-3(b)に四角で囲む特定の場所に集中していた。それらは III面およびそ

の周辺に位置する。

写真-4は夏冬間で顕著な変化を示した場所(写真-3 (b)左上の2m×3m範囲)の比較の例示である。写真中央から下に伸びるIII面中では、礫の露出度が増すとともにいくつかの礫の位置が変化した。また写真右上方では砂の堆積面から礫の露出度が増した。図-3と夏冬の通常画像を詳細に比べると、一つの砂比区分内では侵食深の程度は概ね等しいこと、侵食深の異なる場所が混在する場合もあることが分かった。



(a)夏

(b)冬

写真-4 顕著な地形変化のある場所

まとめると、実験範囲では夏冬間に豪雨時の表流水で、特にIII面で侵食が進んだ。その時大きな礫は動かず、礫を埋没させるマトリックスの砂や小礫が流出した。つまり夏冬間に砂比区分の対象となった砂礫域で侵食が生じた。

このように2時期の写真を詳細に比較すると、地形変化の位置とその程度を確認できるため、画像に目盛りを付しかつ、礫や砂の大きさを参考に、侵食深を概略求められると思われる。

#### (4) 地形変化量の推定

GIS上で夏冬の通常画像を図-3に重ね合わせ、礫や砂の大きさ、礫の露出度の変化をGISで計測し、その計測結果を目安に侵食深を求めた。侵食深が5mmを越すと、画像変化は明瞭にも関わらず、礫などが斜像のために侵食深を正確に求めにくかった。そこで侵食深は5, 7, 10, 20, 30mmに限定した。また侵食深が5mmに満たないと、解像度の限界のためにGIS上で侵食深を計測しにくかった。そこで、画像で分かる小礫の露出度合いの違いから、侵食深を1mm刻みで定めた。侵食深は基本的に一つの砂比区分の範囲に対し一つ定めた。しかし一つの区分内で侵食深が明瞭に異なる場

所に対しては、そこを新たに区分し侵食深を定めた(図-4, 図-5)。最後にGISデータ化された図-5から侵食量を計算した。

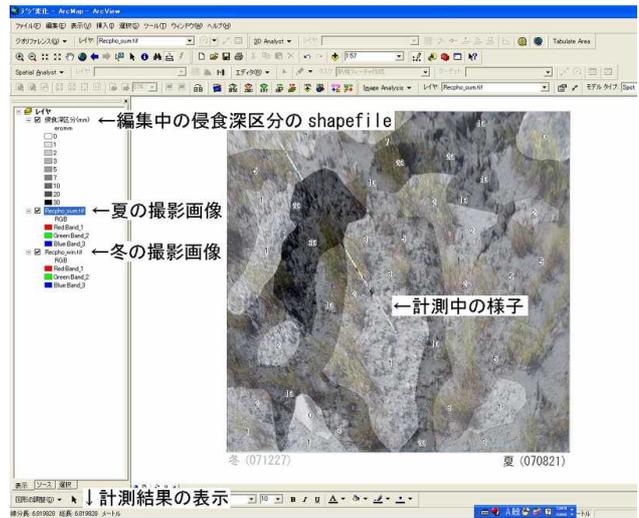


図-4 侵食深測定イメージ

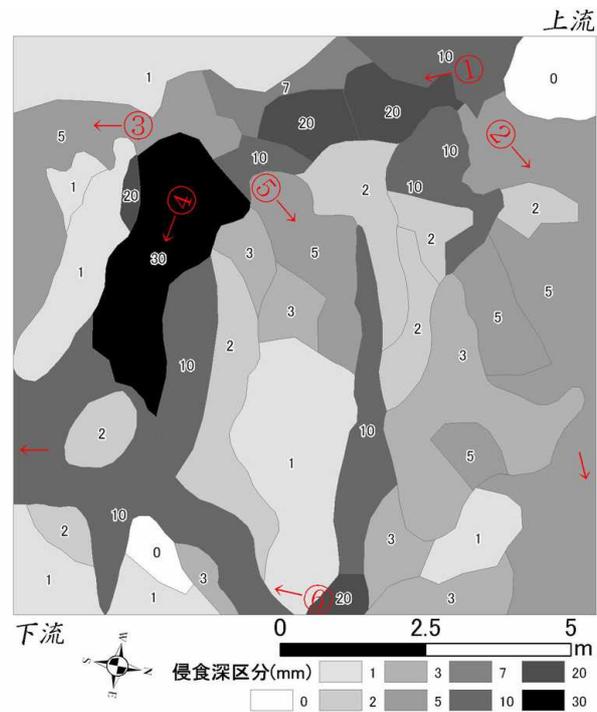


図-5 侵食深区分

表-1は地形区分別の侵食深と平均侵食量を示す。この実験範囲(100m<sup>2</sup>)にはI面が27.8m<sup>2</sup>、II面が17.6m<sup>2</sup>、III面が54.7m<sup>2</sup>ある。I面の侵食量は0.032m<sup>3</sup>で平均侵食深は1.16mm、II面ではそれぞれ0.043m<sup>3</sup>と2.44mm、III面ではそれぞれ0.298m<sup>3</sup>と5.45mmである。また全体では侵食量は0.373m<sup>3</sup>で平均侵食深は3.73mmである。予想通り侵食量、平均侵食深ともにIII面が大きく、III面の侵食量で実験範囲の約8割を占めた。

このようにデジタルカメラによる撮影画像から求めた地形区分, 砂比, 侵食深から侵食量を計算できた。

表 -1 侵食量と平均侵食深

	面積	侵食量	侵食深
地形区分	(m <sup>2</sup> )	(m <sup>3</sup> )	(mm)
I 面	27.8	0.032	1.16
II 面	17.6	0.043	2.44
III 面	54.7	0.298	5.45
合計	100.0	0.373	3.73

#### (5) 表流水の動き

図-5を良く見ると, 侵食深の大きな区分範囲が列をなしている。この大きな侵食深区分の配列は南北方向のと東西方向の が顕著である。両者は全て III 面にある。 は南に至り, , の各配列に分岐する。 , は III 面に, は I 面を通じて III 面に至る。 より東では, I 面は西端の一部が弱い下方侵食を受け, II 面は強い側方侵食と弱い下方侵食を受け, III 面は強い下方侵食を受けた。また の配列にある III 面は強い下方侵食を受けた。付近で の配列は南に転向する。一方, は から東へ分岐するように見える。の南では, I 面において西端の一部が強い下方侵食を受けたが, 周囲にあるそれ以外の I 面と II 面が受けた下方侵食は弱い。の北には侵食深 3mm の侵食深区分があり, は の配列に合流しないように見える。

写真-3を詳細に観察すると, 礫の長軸方向(インプリケーション)や礫周囲が最も掘り込まれる位置(流れの下流側)は場所毎に統一性がある。それらは から の侵食深区分の配列と調和的な方向性を持つ。したがって図-5に示された大きな侵食深区分の配列は表流水の流下方向を示すと考えられる。

なお, 気象庁(<http://www.jma.go.jp/jma/index.html> 2008.6.29)によれば, 気象観測地点「島原」では夏調査と冬調査間に合計 341mm の降水があり, 期間中の日最大降水量は 10 月 9 日の 122mm だった。

これらの検討結果を踏まえ実験範囲の地形及びその変化過程は, 次のようにまとめられる。これまでの土砂移動の過程で, 実験範囲のガリは高位より I 面, II 面, III 面に分かれた。2007 年時点で I 面は最も安定しており地形変化は少なく, 豪雨時には主に II 面の側方侵食(側刻)と III 面の下方侵食(下刻)が進行している。

#### 4. まとめ

本研究では, デジタルカメラで撮影した画像から, 狭い範囲の地形変化を定量的に把握する簡便な手法を整理した。この検討から以下のことが明らかとなった。

1) アナグリフ画像は地形判読と地形変化場所の特定に有効に利用できる。

2) 実験範囲は扇状地の網状流の中にあり, そこは高位より I 面, II 面, III 面を区分できた。

3) 地形, 砂比, 侵食深の各区分, それらに対する面積や量を認定し, その結果を GIS で解析すれば侵食量を計算できる。実験範囲全体の侵食量は 0.373m<sup>3</sup> で平均侵食深は 3.73mm である。また両指標ともに高い順に III 面, II 面, I 面となる。

4) 侵食深区分の配列から表流水の経路とそれが地形変化に与える状況を推定できた。2007 年時点で I 面は安定しており, 主に豪雨時に II 面の側方侵食と III 面の下方侵食が進行していると判断された。

5) 通常, 植物の影になる部分に対する侵食深の計測は不可能である。そこで実験範囲に砂比区分, 地形区分, 侵食深区分という等質地域(条件が同じとみなせる場)を見出し, 植物の影になる部分は計測できないという問題を解決した点に本研究の特徴がある。

本研究ではデジタルカメラで撮影した画像を変形し, 結果の斜像から概略の侵食深を認定したため, 侵食量を過大・過小に見積もっている可能性がある。また実験範囲は, 不動の礫に対して侵食される土砂が明瞭に識別できる好条件に恵まれたため侵食深を計測できた。

今後, より正確に侵食量を算出する方法とともに, 異なる場所での事例研究を積む必要がある。

謝辞: 本研究では実験範囲の位置の確認に島原振興局から提供を受けたオルソ空中写真が役に立った。沼津工業高等専門学校佐藤崇徳先生にはアナグリフの有効性と使用事例を紹介いただいた。アナグリフ作成では「ステレオフォトメーカー」作者の tomo & むっちゃんに, 現地作業では, 福岡市史編纂室の宗建郎さんと黒田圭介さんに援助いただいた。ここに記して皆様に謝意を表します。

#### 参考文献

- 1) 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.
- 2) 村上真幸・藤原智・飛田幹男・新田浩・中川弘之: 国土地理院における干涉 SAR による地殻変動検出技術の進展, 国土地理院時報, 88, 1-9, 1997.
- 3) 鈴木郁夫: 谷川連峰の強風砂礫地における表面礫の移動-周氷河作用と非周氷河作用のかかわりについて, 地理学評論, 65-2, 75-91, 1992.

- 4) 青木久・松倉公憲:海水飛沫帯における橋脚砂岩塊のくぼみ深さに関する定量的把握,地形,26-1,13-28,2005.
- 5) 宮縁育夫・玉井幸治・小川泰浩・清水貴範:九州南部の森林流域における2005年台風14号豪雨による出水と土砂流出,地形,28-2,127-142,2007.
- 6) 宇井忠英・隅田まり・大学合同観測班地質班:メラピ型火砕流の発生過程-雲仙普賢岳第6ドームでの観測結果-,火山,38,45-52,1993.
- 7) 太田一也:雲仙火山の噴火活動を振り返って,地熱,33,285-301,1996.
- 8) 建設省河川局砂防部砂防課・建設省九州地方建設局・建設省雲仙復興工事事務所・長崎県土木部砂防課:雲仙普賢岳噴火と火山噴火対策砂防事業,58p,1994.
- 9) 後藤秀昭・佐藤崇徳:アナグリフ画像による地形実体像の共有と地理教育での利用,福島地理論集,46,61-66,2003.
- 10) 地学団体研究会:地学双書 24,堆積物の研究法-礫岩・砂岩・泥岩-,377p,1983.

(2008.5.16 受付)