

戦-13 火山灰の浸透能低下と堆積厚が土砂流出に与える影響に関する研究

研究予算：運営費交付金（治水勘定）

研究期間：平 18～平 20

担当チーム：土砂管理研究グループ（火山・土石流）

研究担当者：田村圭司、山越隆雄、武澤永純

【要旨】

平成20年度は、火山灰堆積厚の違いが土砂流出に与える影響を評価するため、三宅島におけるガリーの発達過程を考察すると共に、ガリーによる侵食土砂量を調査した。その結果、三宅島の噴火後1年間のガリー侵食による侵食土砂量はガリーの拡幅よりもガリーの伸展および縦侵食が支配的であることがわかった。また、三宅島における火山灰堆積厚とガリー侵食土砂量の関係を示した。

キーワード：火山灰、火山灰侵食、三宅島、ガリー侵食

1. はじめに

火山噴火に伴って火山灰や火砕流が堆積した流域では、噴火後の降雨により土石流や泥流が頻発するようになる。これは一般に、火山灰が地表面を覆うことにより噴火前に比べて地表の浸透能が減少し、降雨時に表面流が発生しやすくなることが原因であるといわれる^{例えば1)}。しかし、噴火活動が終了すると、土石流の発生回数や流出土砂量は時間の経過に伴って減少し、やがて終息していくことが指摘されている²⁾。こうした火山地域からの長期的な土砂流出量を予測することは、土砂処理や施設配置の効果的な対策を講じるために非常に重要である。

火山地域からの土砂流出については主にガリーによる侵食形態が主であることが指摘されているが^{例えば3)}、ガリー侵食によって生産される土砂量や、ガリー侵食量に影響を与える因子等については不明な点が多い。大規模噴火の事例は非常に少ないため、火山地域からの土砂流出の実態を解明するためにはデータの蓄積・分析が必要である。

よって、2000年に噴火した三宅島を対象に、噴火前・噴火後に地形図および航空レーザー測量で得られた数値標高モデル（DEM）を用いて、各溪流のガリー侵食による土砂量を算出するとともに、ガリーの発達形態や侵食土砂量に影響を与える因子を解明するために、検討を行った。

2. 解析条件

2.1 検討に用いるデータ

本研究で用いる噴火後の数値標高モデルを表-1に示

表-1 使用する数値標高モデル

作成元	DEM作成時期	取得・計測方法	メッシュサイズ
国土地理院	1984	1984年作成の5千分1火山基本図を元	10m
国土地理院	2000	2000年11月8日空中写真+2001年1月16日SAR画像(火口付近)	10m
東京都	2001	2001年6月実施の航空レーザー測量	5m

す。は、国土地理院が2000年11月8日撮影の空中写真と2001年1月16日のSAR画像(雄山火口付近)から数値図化した1:5,000噴火地形図「三宅島」を基に作成したDEMと、2001年6月に東京都が取得した航空レーザー測量によって作成したDEMを用いた。

噴火直前の三宅島全島のDEMデータがないため、時期が古い1983年(昭和58年)に国土地理院が火山基本図から作成したDEMを噴火前の地形データとして用いた。なお、今回の検討については噴火した火山の隆起や沈降等に起因した地形変化の影響は無視している。

三宅島における対象溪流を図-1に示す。対象溪流は源頭部が火口に接している溪流および接していないが、判読結果からガリーの形成が著しいと考えられる25溪流を選定した。それについて、平成19年度に空中写真によるガリー判読を行い、ガリーのポリゴンデータを作成した。表-2に対象溪流を示す。

火山灰堆積厚については、大学合同観測班地質グループ・地質調査所が作成したアイソパック⁴⁾を用いた(図-2)。

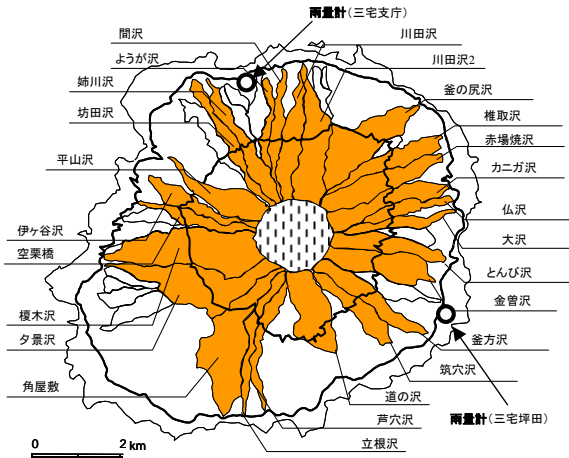


図-1 対象溪流の位置

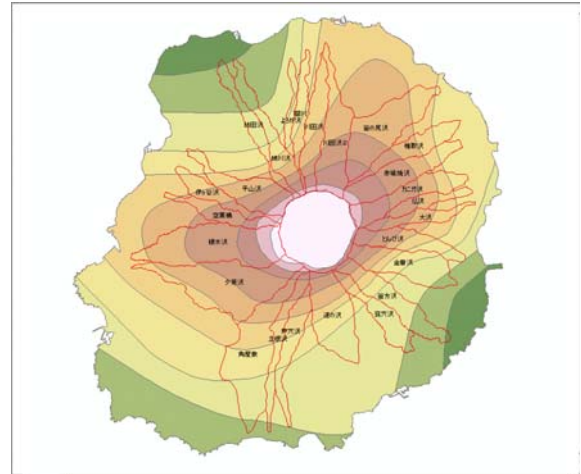


図-2 火山灰等層厚線図
(参考文献4) を元で作成)

表-1 対象溪流

方位	溪流名	流域面積	ガリーポリゴン	
			2000年11月	2001年6月
北	姉川沢	0.76	○	○
北	ようが沢	0.26	○	○
北	間沢	0.49	○	○
北	川田沢	0.84	○	○
北	川田沢2	1.21	○	○
北東	釜の尻沢	1.51	○	○
北東	椎取沢	0.69	○	○
北東	赤場焼沢	1.06	○	○
東	カニガ沢	0.88	○	○
東	仏沢	0.37	○	○
東	大沢	0.43	○	○
東	とんび沢	0.73	○	○
南東	金管沢	1.11	-	○
南東	釜方沢	0.96	-	○
南東	筑穴沢	0.66	-	○
南	道の沢	1.29	-	○
南	芦穴沢	0.67	○	○
南	立根沢	0.57	○	○
南西	角屋敷	1.88	○	○
南西	夕景沢	2.13	○	○
西	榎木沢	1.97	○	○
西	伊ヶ谷沢	0.53	○	○
北西	平山沢	0.96	○	○
北西	坊田沢	0.56	○	○

2.2 検討手順

検討手順(図-3 参照)は以下のとおりである。本検討は①ガリーの発達特性の評価②ガリー侵食土砂量と火山灰堆積厚との関係の評価、の大きく2つに分かれる。

①ガリーの発達特性の評価

- 1) 三宅島噴火後の写真を用いてガリー判読を行う(平成19年度に実施)
- 2) 判読結果からガリーポリゴンデータを作成し、各ガリーの特徴(延長、幅等)を計算する(平成19年度に実施)
- 3) 表-1に示す3時期のDEMについて1m単位のメッシュデータに変換する。

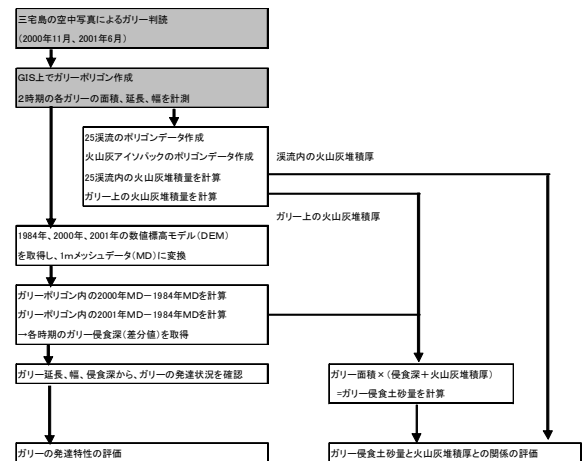


図-3 検討手順(着色部はH19に実施)

シユデータに変換する。

4) 各時期のメッシュデータを重ね合わせ、2時期のガリーポリゴン内の差分量(2000年-1983年、2001年-1983年)を算出する。差分量が負を示した値を侵食深とする。

5) 2)で整理したガリー延長、幅と4)で整理した侵食深から、2時期におけるガリーの発達状況を確認する。

6) 5)の結果を元に、三宅島におけるガリーの発達特性を評価する。

②ガリー侵食土砂量と火山灰堆積厚との関係の評価

1)、2)は①と同様

3) 各溪流および火山灰アイソパックのポリゴンデータを作成し、25溪流内の火山灰堆積量とガリー内の火山灰堆積量を計算する

4) 3)のガリー上の火山灰堆積量と①の4)から、ガリー侵食土砂量を計算する。ガリー侵食土砂量は、地山か

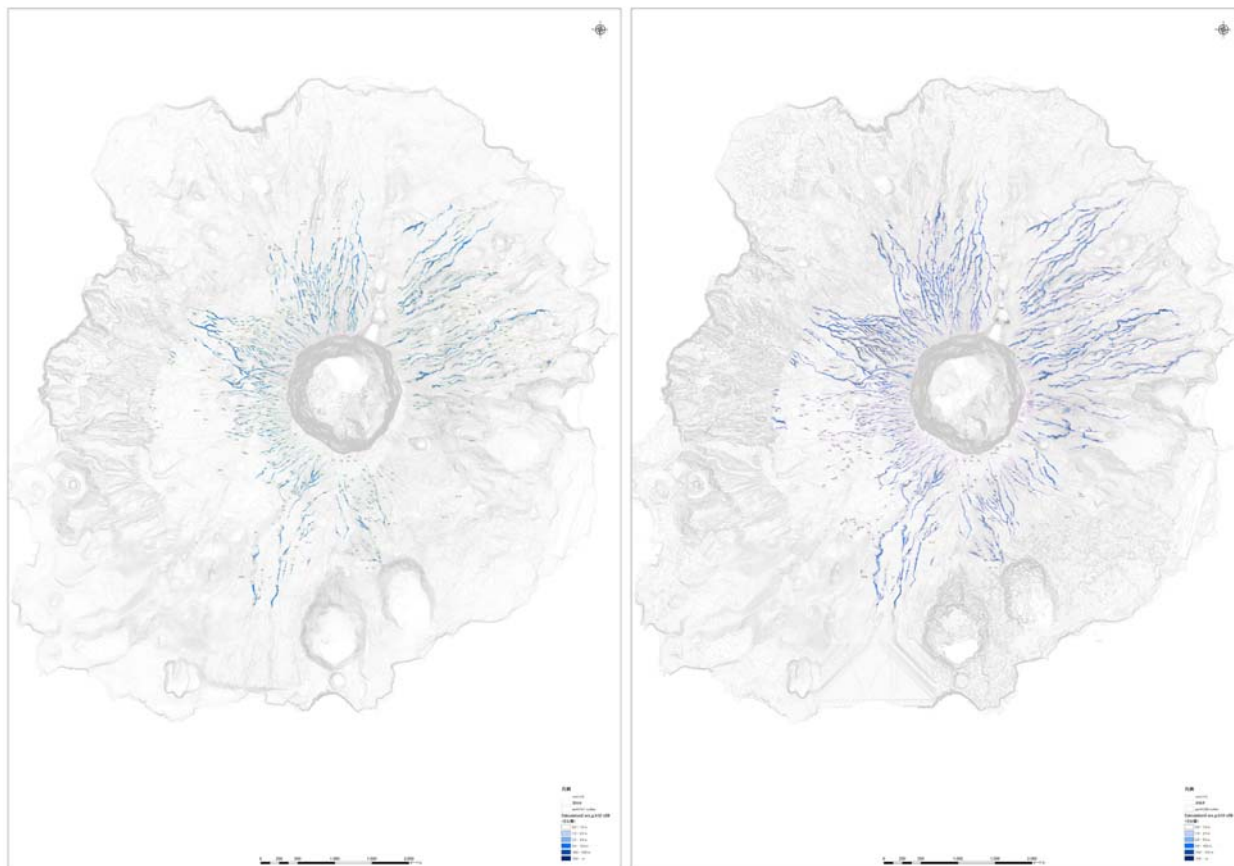


図-5 ガリーの侵食深分布図（左：2000年－1983年、右：2001年－1983年）

らの侵食量と火山灰堆積量（火山灰からの侵食量）の和である。なお、ガリーポリゴン内で差分値が負（侵食）を示した場合、その部分に堆積していたと火山灰はすべて流出されたものとして計算する。

5) 3) の25 溪流内の火山灰堆積量と4) のガリー侵食土砂量から、ガリー侵食土砂量と火山灰堆積厚との関係を評価する。

ここで、①の4) について、本研究では2つの時期におけるDEMデータの差分をとることによって、2つの時期の地形変化量を算出するものである。しかし、本研究では異なる2時期かつ取得方法の異なるデータを使用しているため、座標がずれていると考えられる。そのため、1983年と2000年11月、2001年6月のデータ間の座標のズレを補正し、地形変化量を求めた。

一般に、座標のズレを補正するため、通常は基準点や人工構造物などを基準とするが、本研究で用いるデータには基準点はなく、人工構造物もほとんど無いため、主に地形を比べることでズレを評価した。本研究では2001年のDEMを基準として、1983年のDEMを水平方向に北へ9m、鉛直方向に+1m平行移動し、2000年

のDEMを水平方向に北へ4m、西へ8m、鉛直方向に+4m平行移動させている。座標の補正後、2つのデータの差分量を取り差分分布図を作成し、ガリーポリゴン内における差分量の負の値をガリー侵食深として算出した。

3. 検討結果

3.1 ガリーの発達特性の評価

ガリーからの侵食土砂量は、ガリー長の伸展（既存のガリーの伸展および新しいガリーの発生）や、ガリーの拡幅、または縦侵食が進むことで増加する。前述のとおり、火山地域からの土砂流出についてはガリー侵食が主であることから、ガリーがどのように発達しているかを把握することは、土砂流出を予測する上で重要である。

図-5に1983年から2000年11月および2001年6月のガリーポリゴン内の侵食深を計算したものを示す。図より、2000年11月において、各溪流のガリーで侵食が進んでいることが確認でき、2001年6月では侵食がさらに進んでいることがわかる。ただし、2000年11月のDEMのメッシュサイズは10mであり、2001年6月のDE

Mのメッシュサイズは5mであるため、DEMが細かくなったことによる影響も含まれている可能性が考えられる。

この結果を元に、三宅島で発生したガリーの発達要因を検証するために、2000年11月から2001年6月にかけて、三宅島のガリー平均幅（溪流内のガリー総面積/溪流内のガリー総延長）に対するガリー平均侵食深の関係を示したものを図-6に示す（2000年11月の空中写真判読において、雲等の影響で溪流内のガリーポリゴンが作成できなかった金曾沢、釜方沢、筑穴沢、道の沢は検討から除外している）。図-6の矢印のベクトルの始点は2000年11月時点、終点は2001年6月時点を示す。これより、ガリー平均幅は坊田沢、大沢以外はほとんど増加していないか、減少傾向にある。ガリーの平均幅が負の値を示しているものについては、2000年11月から2001年6月に横断方向への発達が進んでいない新しいガリーが発生したことにより、ガリー幅全体の平均値を減じたことが考えられる。

ガリー平均侵食深については川田沢2、榎木沢、夕景沢、とんび沢以外はすべて増加傾向にある。平均侵食深も平均幅と同様に、2000年11月から2001年6月に鉛直方向への発達が進んでいない新しいガリーが発生し、ガリー平均侵食深の全体の平均値を減じている可能性が考えられるが、前述した4溪流以外はすべて正の値を示している。よって、三宅島では、拡幅よりも縦侵食によって発達しているガリーが多いことがわかる。ここで、図-6ではガリーの伸展についての影響が評価できないため、図-7に2000年11月から2001年6月までの各溪流のガリーの総延長の増加分に対するガリー平均幅の増加分、図-8に2000年11月から2001年6月までの各溪流のガリーの総延長の増加分に対するガリー平均侵食深の増加分を示す。図-7、図-8より、各溪流のガリー総延長はすべて正を示している。これは、2000年11月に確認されたガリーの長さが2001年に伸展した、もしくは、2000年から2001年にかけて溪流内のガリーの本数が増えたかのいずれかが考えられる。図-7より、ガリーの平均幅はガリー総延長の増加分に対して負の傾向を示しており、負の値を示した溪流は全体の約6割を占めている。一方、図-8より、ガリーの平均幅もガリー総延長の増加分に対して負の傾向を示しているが、平均幅の傾向と比較してそれほど顕著ではなく、負の値を示した溪流は全体の約2割である。よって、2000年11月から2001年6月において、三宅島のガリー侵食による土砂量はガリーの伸展と縦方向の侵食が支配的であったと

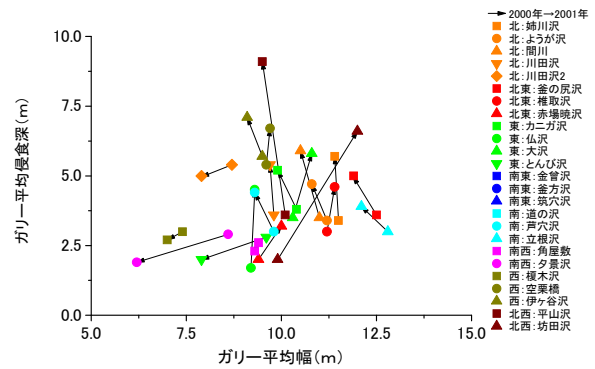


図-6 ガリー平均幅に対するガリー平均侵食深の関係 (2000年11月と2001年6月の推移)

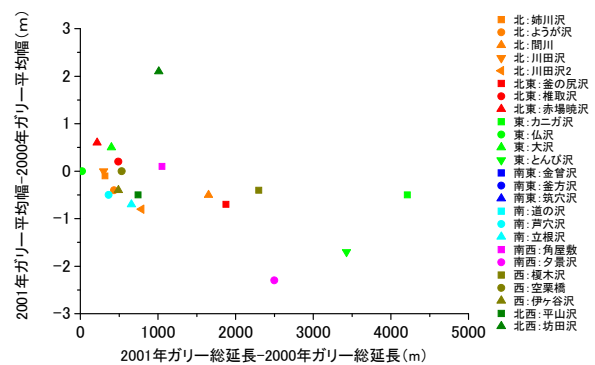


図-7 2000年11月から2001年6月のガリー総延長の増加分に対するガリー平均幅の増加分

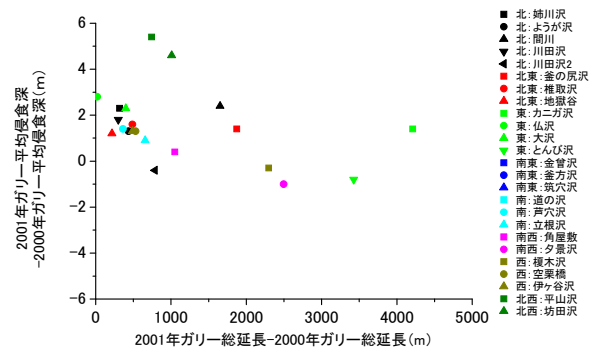


図-8 2000年11月から2001年6月のガリー総延長の増加分に対するガリー平均侵食深の増加分

考えられ、ガリー幅の拡幅に起因する土砂量はガリーの伸展や縦侵食と比較して、それほど顕著ではなかった可能性が示唆される。

ここで、桜島あみだ川流域内（降下火山灰）のガリーの横断面の時間的な変化を調べた結果によると、横断面の拡大発達が不連続であることが指摘されている⁵⁾。一方、雲仙普賢岳における赤松谷上流部の横断形状は、1993年と1994年で侵食が縦横方向に拡大している⁶⁾。

また、2004年にインドネシア国バワカラエン山の山体崩壊について、衛星観測高精度DEMを用いて堆積土砂の経年変化を追跡した事例では、全般的に2004年から2005年の約1年間でガリーの横断形状が縦横方向に進んだことを指摘している⁷⁾。両者を比較すると、今回の結果は桜島の傾向に類似していると考えられる。

両者の違いは火山噴出物の堆積厚と地山の特性によるものと考えられる。例えば、雲仙で発生した火砕流は谷を埋めるほど厚く堆積しており、ガリーによる縦侵食によって地山を露出させるには時間を要するため、地山の影響は受けていないと考えられる。また、火砕流堆積物の主体は砂～礫分⁸⁾であり、粘性がほとんどないと考えられるため、ガリーの縦侵食に対して、側壁は自立できずに追従するように崩壊すると考えられる。つまり、縦侵食と溪岸侵食（横侵食）がほぼ同時期に発生するため、ガリー幅とガリー侵食深に一義的な関係が得られると考えられる。なお、バワカラエン山の場合、粒径分布は調査事例が無いため不明であるが、前述の検討結果によれば、河床が最大で140m程度上昇した箇所があるため、現地の粒度分布が雲仙と酷似していれば、同様なメカニズムでガリー侵食が起こりえた可能性が示唆される。

一方、火山灰の場合は、火砕流堆積物と比べて細粒分を含むことから粘着力を有すると考えられる。そのため、ガリー側壁はある程度の高さまでは自立すると考えられる。また、火砕流堆積物と比べて堆積厚が薄い（1～2m）ため、ガリーの縦侵食によって地山に到達する時間が早い。地山に到達した後は、縦侵食の速度や侵食量は地山の耐侵食性に影響を受けると考えられる。三宅島の地山は過去の噴火によって流れた溶岩や降下火山灰（スコリア）等が広く分布しており、後者の場合、耐侵食性は低いと考えられ、縦侵食が進むものと考えられる。

3.2 ガリー侵食土砂量と火山灰堆積厚との関係

一般に流域内に降灰が堆積すれば土石流、つまり土砂流出が起こりやすくなる。これは前述のとおり、浸透能が低い火山灰によって表面流が発生することに起因する。ここで、表面流によって火山灰が表面侵食を受けることを考えると、火山灰の堆積厚が薄ければ、表面侵食によって地山が露出し、流域内の浸透能が見かけ上回復することで土砂流出が発生しにくくなると考えられる。一方、火山灰が厚く堆積すれば、表面侵食によって地山が露出するには長い時間を要するため、その間は土砂流出が発生しやすくなる。つまり、火山灰堆積厚と土砂流出には何らかの因果関係があると考えられる。

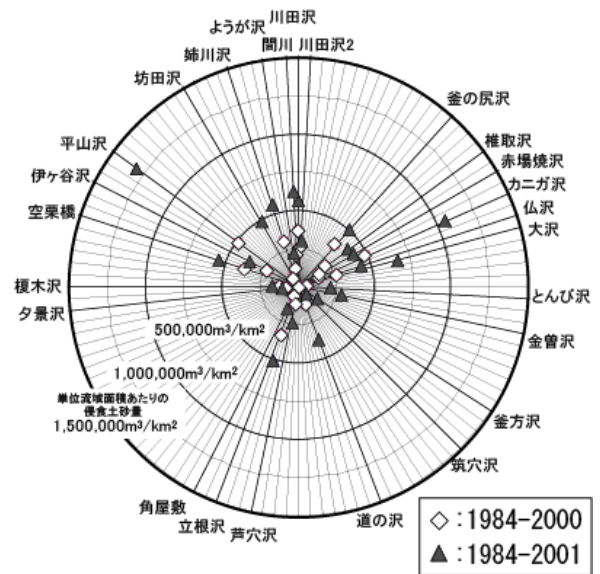


図-9 2000年11月、2001年6月における単位流域面積あたりのガリー侵食土砂量

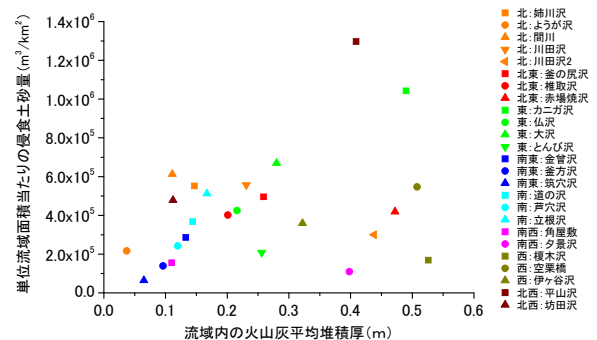


図-10 流域内の火山灰平均堆積厚に対する単位流域面積あたりの侵食土砂量の関係

図-9に2000年11月、2001年6月における各溪流の単位流域面積あたりのガリー侵食土砂量を示す。この図は雄山の噴火口を中心にして三宅島を方位角3°ごとに区分し、その方位に適合する単位流域面積あたりのガリー侵食土砂量をくもの巣グラフ上に示したものであるこれを見ると、平山沢が25溪流の中でガリーの侵食土砂量をもっとも大きく、続いて釜の尻沢、カニガ沢は、他の溪流よりも侵食土砂量が多いことがわかる。また、釜方沢、芦穴沢、伊ヶ谷沢等については侵食土砂量が小さいことがわかり、溪流によって侵食土砂量に違いがあることがわかる。この影響は火山灰の堆積厚に影響を受けている可能性が考えられる。よって、2.1で作成した火山灰のアイソパックのポリゴンデータから各溪流内の火山灰堆積量を算出し、それを流域面積で除することで溪流内の火山灰平均堆積厚を算出し、単位流域面積あたりの

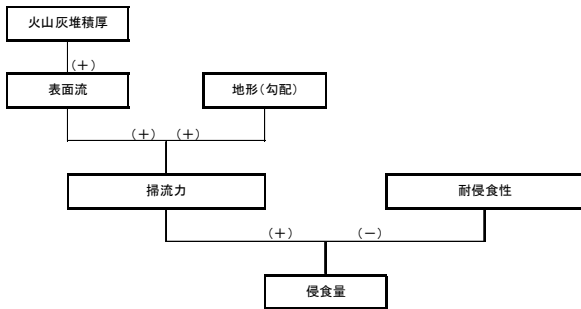


図-11 火山灰が堆積した流域におけるガリー侵食の概念図

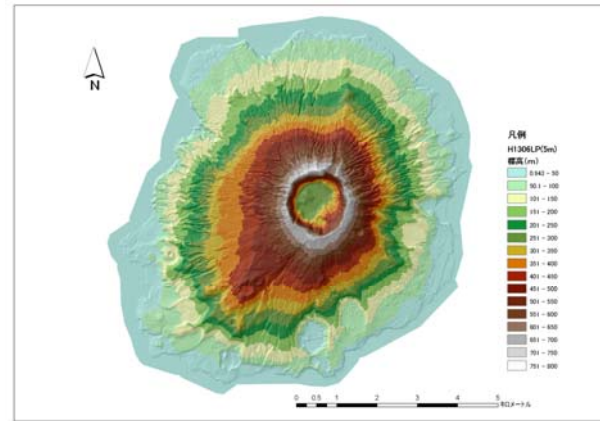


図-12 三宅島の標高値 (2001年DEMを元に作成)

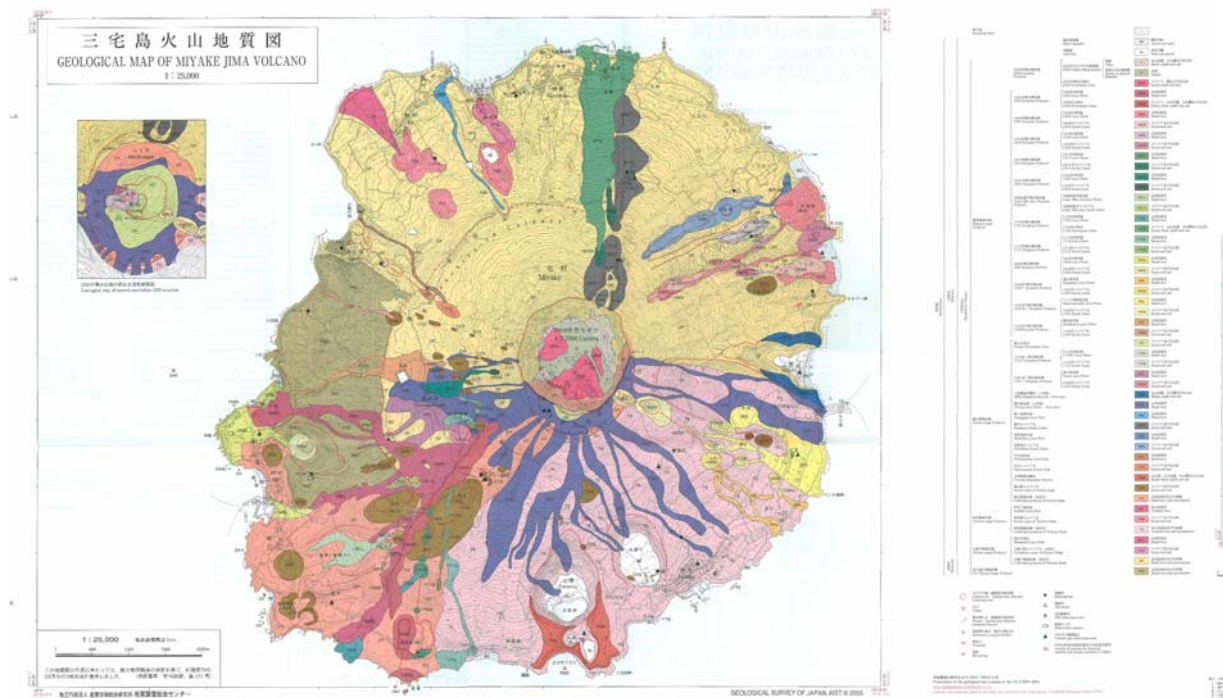


図-13 三宅島の火山地質図⁴

2001年6月の総侵食土砂量との関係を図-10に示す。図では、各溪流について三宅島の中央に位置する雄山を中心として8方位に区分し、それに適合する溪流を色分けしている。しかし、図-10からは、火山灰堆積厚と侵食土砂量には一義的な関係は見出せない。その理由として、ガリー侵食に影響を与える因子を考慮していないためと考えられる。

図-11に火山灰が堆積した溪流におけるガリー侵食の概念図を示す。細粒火山灰が堆積した斜面における水の流出形態の多くは、降雨時に地表面の火山灰層で浸透しきれない余剰分が地表流となって流出するHorton型表面流であると考えられる。火山灰が堆積した流域内で強

い降雨があると、水は火山灰の堆積した斜面部からHorton型表面流となって、火山灰が堆積した河道部へ流入する。河道部は斜面からの水が集中するため、水深が大きくなる。そのため、掃流力が大きくなることにより、斜面部よりも河道部の縦侵食が卓越し、ガリーが形成されると考えられる。ガリーの縦侵食の程度については、前述したとおり、溶岩のような耐侵食性が大きいものについては、侵食はほとんど発生せず、スコリア等耐侵食性が小さいものは容易に侵食されると考えられる。これより、ガリー侵食土砂量は流水による掃流力が正に働き、地盤の耐侵食性が負に働くものと考えられる。一方、掃流力は水深と流速が関係しており、前者は表面流の程度、

つまり溪流内の火山灰堆積厚の厚さに依存し、後者は河床勾配に依存していると考えられる。よって、これら影響を棄却して評価する必要がある。

河床勾配について、図-12 に三宅島の標高図分布を示す。これを見ると、三宅島雄山から東側の斜面は西側の斜面と比べて 351~400m、401~450m、451~500mの面積が狭く、急峻であることがわかる。また、図-13 に三宅島の火山地質図を示す。図より、三宅島の北側全域に玄武岩溶岩および火砕物が分布しており、三宅島南側、および北側、北東側に過去の噴火で噴出した玄武岩溶岩が分布しており、後者は地山の耐侵食性が大きいことが推察される。

よって、溪流ごとの河床勾配の違いを棄却するために図-10 のデータのうち、南西側、西側、北西側の溪流を白抜きで表示し、また、溪流ごとの地盤の耐侵食性の違いを棄却するために図-13 から、溪流内のガリーポリゴンに溶岩の範囲が大きく重なっていると考えられる川田沢 2、赤場暁沢、とんび沢、金曾沢、筑穴沢、道の沢、芦穴沢、角屋敷を白抜きで表示した結果を図-14 に示す。これより、白抜きのマーカー以外の溪流は、流域内の火山灰堆積厚と単位流域面積当たりの侵食土砂量に正の相関が見られることがわかった。

これより、例えば火山が噴火した際、溪流内に堆積している火山灰の量を調査することで、噴火後の施設配置計画や緊急対応の優先順位の決定に活用できることが考えられる。その場合は地形図・地質図等で事前に溪流の河床勾配や地山の耐侵食性を把握しておく必要があると考えられる。

4. まとめ

平成 20 年度は、三宅島のDEMデータを用いて火山灰が堆積した流域のガリー発達過程を考察すると共に、三宅島におけるガリー侵食土砂量を調査した。その結果を以下に示す。

①三宅島のガリー侵食による土砂量は、ガリーの進展と縦方向の侵食が支配的であったと考えられ、ガリー幅の拡幅に起因する土砂量は縦侵食と比較してそれほど顕著ではなかった可能性が示唆される。ただし、2時期のDEMにおけるメッシュサイズの違いによる影響も考えられる。

②三宅島のガリー侵食は、降雨時に地表面の火山灰層で浸透しきれない余剰分が地表流となって流出する Horton 型表面流が、河道部に流入することによって掃流力が増すことで縦侵食が卓越するものと考えられる。これは桜

島（降下火山灰）、雲仙（火砕流堆積物）、バワカラエン

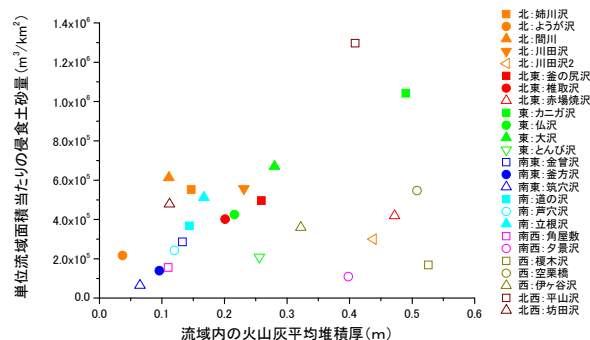


図-14 流域内の火山灰平均堆積厚に対する単位流域面積当たりの侵食土砂量の関係 (地形と地盤が異なる溪流は白抜きとした)

(山体崩壊)の過去の事例のうち、桜島のガリー侵食形態に類似していた。

③三宅島の 25 溪流におけるガリーからの侵食土砂量を計算した。その結果からガリー侵食に影響を与える因子として溪流ごとの河床勾配、地盤の耐侵食性の違いを棄却した結果、火山灰堆積厚とガリー侵食土砂量には正の相関があることを示した。

謝辞

国土地理院および東京都が作成・計測した三宅島における数値標高データを使わせて頂きました。ここに記して謝意を表します。

参考文献

- 1) 池谷浩：雲仙・水無川の土石流発生機構について、砂防学会誌、Vol. 47、No. 2、pp. 15-21、1993
- 2) 寺本行芳・下川悦郎・地頭蘭隆：雲仙普賢岳水無川流域における土石流の流出過程の経年変化、砂防学会誌、Vol. 56、No. 3、pp. 3-11、2003
- 3) Satoshi TAGATA, Takao YAMAKOSHI, Yasuhiro DOI, Katsuo SASAHARA, Haruo NISHIMOTO & Hiroshi NAGURA Post-eruption sediment budget of a small catchment on the Miyakejima volcano, Japan VIIth IAHS Scientific Assembly, 2005. 4, pp. 37-45, 2005
- 4) 津久井雅志・川辺禎久・新堀賢志 (2005)：三宅島火山地質図、産業技術総合研究所 地質調査総合センター、2005
- 5) 下川悦郎、地頭蘭隆：桜島におけるリル・ガリー侵食による土砂生産、砂防学会誌、Vol. 40、No. 1、pp. 19-24、1987.
- 6) 小橋澄治・水山高久：地形変動状況の把握 (平成 6 年度)、

雲仙火山砂防研究報告 第2号、社団法人砂防学会、
pp. 12-18、1996.

学会誌、Vol. 45、No. 2、pp. 3-13、2008.

- 7) 清水孝一・小山内信智・山越隆雄・笹原克夫・筒井健：衛星観測高精度DEMによるインドネシア国バワカラエン山の大規模崩壊後の土砂流出の経年変化把握、日本地すべり

- 8) 西田顕郎・小橋澄治・水山高久：雲仙普賢岳の土砂流出域における堆積物の浸透能の変化、砂防学会誌、Vol. 49、No. 1、pp. 49-53、1996.

RESEARCH ON THE DECLINE OF PERMEABILITY OF VOLCANIC ASH AND THE IMPACT OF THE DEPOSITION THICKNESS ON SEDIMENT RUNOFF

Abstract : In the F.Y.2008, for the purpose of clarifying the relationship between the thickness of the newly-deposited volcanic ash and sediment discharge caused by the post-eruption rain storms, gully erosion volume was quantitatively estimated in the upper reach of watersheds of the Miyakejima island where a large amount of ash fell in 2000 and the post-eruption sediment discharge caused lots of damages. We figured out time-dependent development characteristics of gullies in the Miyakejima Island and indicated that geographical conditions and erosion control properties of ground had significantly affected the gully formation characteristics and post-eruption sediment discharge.

Key words : volcanic ash, erosion, the Miyakejima island, gully erosi