火砕流発生後の大規模土砂流出に対する緊急減災対策の研究

研究予算:運営費交付金(一般勘定)

- 研究期間:平21~平23
- 担当チーム: 十砂管珊胱グループ (火山・十石流)
- 研究担当者:石塚忠範、山越隆雄、清水武志

【要旨】

火砕流に伴う土砂災害の緊急減災対策技術の高度化を目的として、本研究課題は、①火砕流影響範囲からの土 砂流出予測手法の開発、②火砕流調査マニュアルの作成、そして、③火砕流影響範囲からの大規模土砂流出に対 応した施設効果評価手法の提案を達成目標として実施している。本年度は、H22 年 10 月に大規模な火砕流を伴 って噴火したインドネシア国ムラピ火山についての調査結果と、その結果を通じて検討した衛星画像による火砕 流堆積範囲の把握手法の適用可能性および課題について検討するとともに、火砕流影響範囲からの土砂流出予測 手法に関する基礎的な検討を行った。その結果、以下の結果が得られた。①ムラピ火山において、大規模火砕流 が堆積した渓流における土砂流出の定性的な傾向が明らかになった。この傾向は、過去のより小規模な火砕流発 生時の事例と比較して大きな違いは認められなかった。②火砕流本体部の堆積範囲は、ALOS-PALSAR の画像において明瞭に認識された。③大規模崩壊の堆積斜面の侵食状況の再現計算では、流出土砂量は1オーダ ー小さく試算されたものの、河床変動の定性的な傾向は説明可能であることが明らかになった。 キーワード:火砕流、緊急減災対策、土砂流出

1. はじめに

国土交通省砂防部は平成 19 年 4 月より、火山噴火 緊急減災対策砂防計画策定ガイドライン¹⁰を発表し、 全国の 29 火山において順次緊急減災対策砂防計画を 作成しているところである。その中でも、火砕流の調 査手法や、噴火終了後少なくとも数年間は継続する土 砂流出頻発期間における流出土砂量の予測技術は、緊 急対策工の規模・種類の選定、および施工実施優先順 位付けにあたり必要な技術である。しかし、これらの 手法、技術は、雲仙普賢岳噴火の際にその重要性が認 識され、ある程度研究が進んだものの、将来の土砂流 出量を予測する手法の提案にまでは至っていない。



図―1 ムラピ火山の位置図



図-2 2010年11月5日時点の火砕流到達範囲図(ガ ジャマダ大学ウェブサイト¹⁾よりダウンロード し、一部加筆)

本研究では、①火砕流影響範囲からの土砂流出予測 手法の開発、②火砕流調査マニュアルの作成、そして、 ③火砕流影響範囲からの大規模土砂流出に対応した施 設効果評価手法の提案を達成目標として実施している。



写真-1 ボヨン川下流のチョデ川における浸水被害の 状況

本年度は、H22年10月に大規模な火砕流を伴って 噴火したインドネシア国ムラピ火山についての調査結 果と、その結果を通じて検討した衛星画像による火砕 流堆積範囲の把握手法の適用可能性および課題につい て報告を行うとともに、火砕流影響範囲からの土砂流 出予測手法に関する基礎的な検討を行ったので、その 結果を報告する。

2. 2010 年 10 月ムラピ火山噴火とその後の土砂移動現 象

2.1 2010年の噴火活動と被害の概要

インドネシア中部ジャワ州・ジョグジャカルタ特別州 境に位置するムラピ火山は2010年10月26日17時02分(イ ンドネシア西部時間)に噴火活動を開始した。以降、ほ ぼ連日のように噴火を繰り返し、11月5日に最大の噴火 が発生した。その後、火山活動は小康状態となり、火砕 流は11月22日を最後に発生していない。

火山地質災害対策局の発表によると、2010年11月5日



写真-3 グンドール川の火砕流堆積物(2010年12 月6日撮影)

時点でのムラピ火山山頂からの火砕流流下範囲は図-2の通りである。11月5日に発生した最大の火砕流は、 火山から真南に流下し、15km地点にまで達した。これは、 1990年-95年にかけて継続した雲仙普賢岳噴火の際に 発生した最大の火砕流の流下距離5.5kmの約3倍もの距 離である。

インドネシア国家防災庁の発表によると、12月9日現 在で、386名が死亡した。うち、198名は火傷によるもの であった。避難者は、避難勧告区域の拡大とともに増加 し、11月14日のピーク時には399,403名に達した。その 他、火山灰のために、ジョクジャカルタおよび近隣の空 港が長期間にわたり閉鎖された。

2.2 現地の土石流発生状況

ムラピ火山の噴火が始まった後、同火山周辺は雨季 に入った。その結果、図-2示したような、火砕流が 流下する等火山噴火の影響を受けたほとんどの河川で 土石流の発生が始まった。同火山周辺の河川では、こ れまでに200 基を超える砂防施設が築造されており、



写真-2 グンドール川下流域を埋積した火砕流堆積物上から上流を望む

火山名 ▪ 渓流名	火砕流発生日	火砕流の規模	最初の土石流または顕著なガリー 侵 食 等が発生した日および日数	最初の土石流発生までの 雨量	備考
ムラピ火山 Boyong川	1994年11月22日	100万m3	1994年12月13日(21日)	少なくとも169mm	千田(1995)
ムラピ 火山 Gendol川	2010年11月5日	? 10 ⁷ m ³	2010年12月6日~1月5日 (31~62日)	236~526mm(衛星雨量)	

表-1 火砕流堆積後の土石流、土砂流出発生事例

現地調査時点では、上流域、中流域では顕著な土石流 の氾濫被害は見られていない。むしろ、下流域を中心 に河床上昇による浸水被害が生じていることが特徴で ある(写真-1、2)。

一方、11月5日に発生した大規模な火砕流が堆積し たグンドール川では、その両隣の河川で土石流が発生 しているにも関わらず、噴火から2ヶ月以上、土石流 が発生しない状況が続いている。同河川では河道地形 が完全に埋塞され、流水が集中的に流れた痕跡が全く 無い区間も見られる(写真-2)。また、1ヶ月以上が 経過した2010年12月初頭の時点でも、堆積物上には 部分的に地表面温度100℃を超える箇所が見られた (写真-3)。一般に、噴火後の火山では、雨水が表面 流として流れ、堆積物を激しく侵食することで土石流 が発生すると考えられているが、グンドール川では、 まだそのような状況になっていないものと考えられる。

2.3 大規模火砕流発生後の土砂移動現象の発生状況 について

前述のとおり、大規模な火砕流が堆積したグンドー ル川では、主に細粒火山灰が堆積したその他の渓流で 土石流が頻発していたにもかかわらず、2010年12月 初旬の段階では、土石流による被害は生じていなかっ た。しかし、2011年1月初め時点では、下流に土砂の 流出が始まっている状況が確認されている。

過去、同様に火砕流堆積後直ちに土石流の流出が始ま らない例が報告されている。表-1 に示す過去の事例 と比べて、今回の火砕流は、1 オーダー以上大規模で あると考えられる。しかし、グンドール川で土砂流出 が始まったタイミングは、他の事例と比べて大きく日 数、累加雨量とも違いが認められないように見える。

西田ら⁴らで議論されているように、表面だけが冷 却すれば土石流が発生し得るとすれば、火砕流の規模 が大きく変化しても、初期の温度が同程度であれば、 土砂流出が開始するタイミングが大きく違わないこと は妥当な結果であると言える。

一方、グンドール川における 2011 年1月~3 月にかけての定点観察の結果からは、グンドール川の下流域では、土砂移動が顕著であるが上流部、中流部では、 相対的に地形変化が穏やかである。途中で支川が合流していること、下流区間では、インドネシア政府によって緊急河道掘削が実施されたこと等、考慮すべきことが多くある。今後、事実関係を精査して、その原因を明らかにする必要がある。

3. 火砕流堆積後の緊急調査への衛星 RS の適用可能性 と課題

火砕流堆積後、堆積物が冷却する前に地下水との接 触が起きると、二次爆発を起こすことがある。⁷また、 冷却後はその後の降雨によって著しく侵食を受け、下 流に大量の土砂が流出するようになる。これらの現象 の監視、およびその後の火砕流監視体制整備に資する ため、火砕流の堆積深・範囲を現象の推移に沿って監 視を行う必要性がある。

雲仙普賢岳の報告では、後方散乱係数の変化[®]およ び干渉処理によるコヒーレンスの変化[®]をもとにLバ ンド合成開口レーダ衛星である地球資源衛星1号

(JERS-1),C バンド合成開口レーダである Earth Observation Satellite (ERS)を用いて火砕流堆積範囲 の抽出を検討している。後方散乱係数の変化では、L バンドよりもCバンドの方が良好な結果が得られ、コ ヒーレンスの変化では、L バンドでの抽出が優位であ るという結果が出ている。^{8、9}

そこで、JERS-1 の後継機である陸域観測技術衛星 「だいち」(ALOS) に搭載されたフェーズドアレイ方式 Lバンド合成開口レーダ (PALSAR)を用い、2010年10 月に大規模な火砕流を伴う噴火をしたムラピ山におい て火砕流堆積範囲の抽出を行うほか、試行的に降灰範 囲の抽出を行った。

用いた衛星画像は、表-2のとおりである。



図-3 Merapi a,b:後方散乱係数カラー合成画像(R:G:B, 100916:101105:101105) bはa赤枠内の拡大 c:後方散乱係数の差分演算 (101105-100916) d:後方散乱係数の差分演算 WB1(101127-101012) e:ポラリメトリカラー合成画像 (R:G:B,HH+HV,2HV,HH-HV)f:火砕流堆積範囲の写真(2010.11 へりから撮影)g:地点降灰深(101207 時点、地点 1:3cm,地点 2:5cm)

検討にあたっては、6.25m の空間分解能をもつ FBS モードの後方散乱係数差分画像および二時期カラー合 成画像のほか、100m 解像度の WB モードでの後方散乱 係数差分画像および二時期カラー合成画像を用いた。 また、HH, HV, VH, W の4 つの偏波を同時に取得可能な PLR モードでパウリカラー合成画像を作成した。それ ぞれの画像を、図-3に示す。

Before / After	撮影日	入射角 (°)	衛星飛行 方向 (AS/DS)	空間分解能 (m)
Before	2010/09/1 6	41.5	DS	6.25
After	2010/11/0 5	41.5	DS	6.25
Before	2010/10/1 2	27.1	DS	100
After	2010/11/2 7	27.1	DS	100
After	2010/12/3 1	27.1	DS	12.5

表-2 衛星画像

1) 火砕流堆積範囲の抽出

現地でのヘリコプターから撮像された火砕流本体の 範囲および火砕流熱風部の範囲と、対応する範囲で画 像の変化が見られることが確認できる。

昨年までの成果から、火砕流堆積前後の後方散乱係 数を比較したときに、堆積範囲において後方散乱係数 が上昇する現象(Chaiten)と低下する現象(桜島)が存 在することがわかってきている10。 ムラピ山での例 をあわせて考えると、火砕流の堆積によって地表面に 堆積物のみが存在している範囲は後方散乱係数が低下 し、熱によって枯死した樹木の立ち木があわせて存在 している範囲は、後方散乱係数が上昇すると考えられ る。これは、枯死木の存する範囲では、樹木と地表面 によるコーナーリフレクタ効果が発生しているためで はないかと推測される。また、ムラピ山では空間分解 能が100mのWBモードにおいても後方散乱係数の変化 が見られ、火砕流堆積範囲の抽出は容易であると共に、 PLR モードの画像においても火砕流範囲が明瞭に抽出 可能であった。WB モードによる抽出が可能であれば、 合成開口レーダによる火砕流堆積範囲の抽出頻度を増 大させることが可能であることを示唆している。また、 PLR モードの画像で取得可能であることで、噴火前の 画像との比較をしなくても、カラー合成画像から火砕 流の堆積範囲が把握できる。したがって、緊急時には、 事前の画像との整合を図る必要がなく、軌道を考慮せ ずに撮像した単時期の画像で火砕流堆積範囲の抽出が 可能となる。

2) 降灰範囲の抽出

現地調査時に降灰が厚く堆積していると判断された 範囲と後方散乱係数の上昇範囲とを比較するとその範 囲は、FBS モード、WB モード共に抽出できている可能 性が高い、しかしながら降灰範囲の後方散乱係数上昇



図-4 対象地域位置図

値は、火砕流熱風部との差が見られず dB 程度であった。また、PLR モード画像からの抽出は不可能であった。

昨年度報告した Chaiten、およびムラピ山の事例か ら、ある程度の規模の現象であれば降灰範囲について も合成開ロレーダ後方散乱係数の変化から抽出可能で あるということができる。今後、さらに事例を積み上 げて、本手法の適用可能性を明らかにするとともに、 火山噴火時に実施する緊急減災計画の中での位置付け 等について検討する必要がある。

4. 火砕流影響範囲からの土砂流出予測手法の基礎的 検討

大量の土砂の堆積後に降雨を原因として土砂が流下 する過程は、火山噴火後に降灰や火砕流によって土砂 が十分に堆積した後に土砂が流下する過程とよく似て いる。そこで、2004 年3 月26 日にインドネシアのス ラウェシ島のバワカラエン山で発生した巨大崩壊を対 象として検討を行った(図-4および写真-3)。幅 500~800m にわたって山頂を含む山体崩壊をおこし、 崩土は7km 下流まで到達した巨大崩壊である。数億m³ に及ぶ土砂を生産したと推定されている。このような 規模の現象は、日本国内においては火山噴火後の現象 を含めても、稀にしか発生しない。そのため、火山噴 火後の火砕物の堆積後の降雨によって土石流が発生す る現象を分析するために、当該崩壊の土砂流出過程を 分析することは有用であると考えた。同崩壊の分析を 進めることで、火砕流影響範囲からの土砂流出予測手 法の予察的な検討を行なった。

4.1. 衛星画像による地形を用いた実態の把握

当該地域は、2004年の崩壊時にはカルデラ内に大量 の土砂が堆積し、その後の熱帯雨林地域特有の雨季の



写真-3 現地写真





豪雨によって、下方侵食あるいは側方侵食が進行し、 リルやガリーや蛇行する河道が形成された。この過程 に伴い、大量の土砂が下流へ輸送された。カルデラ下 流に存在するビリビリダムやさらに下流の大都市マカ ッサルにまで直接・間接的に影響を及ぼしており、現 地では土砂移動の抑制やダム堆砂対策などの土砂災害 対策が行われている。

Sasahara et al¹¹⁾が1年1回の頻度で衛星画像のス テレオペア画像から数値標高モデルを作成し経年的な 地形変化を調査した結果によると、崩壊が発生した 2004 年から1 年間の総流出土砂量は約463 万m³/km²、 2 年目の流出土砂量は劇的に減少しおよそ 107 万 m³/km²、その後 2 年間は、流出土砂量はさらに減少し た64 万 m³/km² である。解析した対象領域を図-5に 示す。図-6に時系列的な衛星画像による標高変化図 を示す。図-6の(A)から(D)を順番にみると、全 体として流域内から標高の低下量は時間経過と共に減 少しているものの、それでもなお主要な河道では河床 低下が進んでいることが分かる。ただし、(B)や(C) においては、側岸崩落等の影響で、河道沿いに河床上



(A) 2005年と2004年の標高差



(C) 2007年と2006年の標高差



(B) 2006年と2005年の標高差



(D) 2008年と2007年の標高差

図-6 SPOT のステレオペア画像による数値地形の変化(単位 m) (Sasahara et al, 2010 より作図) 昇していると考えられる箇所もある。

これらの状況をもう少し詳細に調べるため、2004年 から2007年の数値地形データから、河道の縦断形状お よび横断形状の変化を調べた(図-7、8)。図-7の 縦断図の標高差分布をみると、2004 年から 2005 年の 期間は全体として侵食傾向にあり、カルデラ上流端か ら約1.8km、5km、7km付近では特に侵食が激しく、7km 付近は約60m侵食されている。翌年1年間は著しい侵 食が起こった場所でさえ、堆積している箇所も見られ る(5km付近)。3年目の1年間は7km付近の再侵食を 除き、全体として堆積傾向を示している。一方、横断 図(図-8)をみると、崩壊した年(2004年:赤線) の翌年までにはいずれの場所においても、下方侵食や 側方侵食が起こり、河道が深くなり幅が広がっている。 河川争奪等による転流している箇所もみられる(580 の節点)。2年目以降は河道の下方侵食は相対的には大 きくないが (縦軸の大きさに注意)、側方侵食はその後 も進行している様子が見て取れる。

以上のことから、巨大崩壊によって流域内全体にわ たって土砂が堆積した後、1 年目の雨季の間に下方侵 食(最大約 60m)が卓越し、同時に側方侵食を起こし た。翌年以降は転流や側方侵食(河岸崩落)等をおこ しつつ、土砂が流下する過程が生じたものと考えられ る。

これらの実態調査結果を検証用のデータとして、本



図-7 河道の縦断形の変化。(a)は各年の河床縦断形、
 (b)は1年間の河床縦断形の変化量。(a)注の▽の数値は図
 4-6の番号と一致している。



図-8 各年の河道の横断形状。横断図の横軸 0m は上 流から下流を見て左岸を表す。

年度の検討では、土砂流出モデルを用いて数値計算を 行い、上記の土砂流出過程を再現することを試みた。

4.2. 数値解析モデルおよび用いたデータ

当該年度は、土砂流出モデルとして、日本の山地河 川の土砂移動を解析する際に実用上用いられている標 準的な手法で解析した。斜面と河道を図-9のように モデル化した。斜面では雨を与えて Kinematic Wave 法により流出解析を行ない、斜面から河道へ水が流入 する。河道において、斜面から流入する水を条件とし て時々刻々与え、掃流砂・浮遊砂を考慮した1次元河 床変動計算を行なった。崩壊直後 2004 年に作成した数 値地形モデルを初期条件として与えた。現地で観測さ れた1年間分の雨量データを用いて、1年間に流出し た土砂量を推定した。河道の幅などの初期値は衛星に より作成した 2004 年の数値地形モデルから計測し、値 を与えた。側岸の侵食や崩壊発生を考慮したモデルを 用いていないため、この値は計算中一定である。

日雨量は、八千代エンジニヤリング㈱の現地観測結 果1年間分を使用させて頂いた。Dahnio ほか¹²⁾によ ると、対象域の下流に存在するビリビリダムへの日流 入流量と日雨量の比が平均して 0.45 程度であること から、日雨量にこの比を乗じたものを有効降雨と見な して与えた。ただし、計算時間短縮のため、1mm 以下 の日雨量日および無降雨日は計算から除外した。また、 粒径等のパラメータ設定に当たっても、八千代エンジ ニヤリング㈱による調査結果を参考にさせて頂いた。 ただし、粒径の調査は計算対象域より下流で行ってい たため、筆者らの現地調査結果も踏まえ、最大粒径 2m、 中央粒径 10cm, 最小粒径 2cm とした。以上の条件を設 定し、河道末端の流域から流出した土砂量や河道の各 点における河床変動量の結果を得た。2005年の数値地 形データを検証データとして、河床変動結果を検討し た。以上の計算方法のフローをまとめると、図-10の ようになる。



図-9 河道モデルおよび斜面モデル。赤点は計算結果の 出力点



4.3. 結果

河床変動解析の総計算時間 432 時間である。1 年間 の総時間の約 5%に相当する

入力した降雨に対する斜面水位分布の応答を図-11 に示す。弱い降雨が入力された場合は、緩勾配筒所(左 岸カルデラ;図の下側)は水位が高いが、河道付近ま では到達していない。一方、強い降雨の場合は河道ま で到達していることが分かる(但し、河道の節点は、 河道モデルへ水が流れ込むため、水位が0となってい る)。これらの変化を河道でみると、図-12のように なる。上流側では流量が小さく土砂の移動は少ないが、 下流側では水が集まるため流量が大きく、土砂が移動 し河床が変動している。下流側の流量増加は、表面か らの土砂移動や浸透を考慮していないこと、河道を一 本しかモデル化していないこと等のため、過大に評価 している可能性がある。一方、下流末端(図-12)の 累積流出土砂量をみると約 40 万 m³であった。計算領 域からの流出した土砂の平均土砂濃度は、計算に用い た総雨量約2,600mm、流域面積約26km²であることから、 約0.06%の結果となった。

河床変動状況は図-13 に示す。(d)をみると、数値 計算による推定結果は、衛星による標高差と異なり、 上流域の河床が変化していない。一方、河幅が狭くな る 4,000m 付近から急激な侵食が始まる。この傾向は (b)の勾配変化を見ても同様である。これは4,000m に おける水位が急激に上昇し掃流力が大きくなった結果 である。4,000m より下流における河床変化は、河道の 変化等を考慮していないにも関わらず、全体的には侵 食・堆積の傾向は同様であった。



図-11 降雨の入力に対する斜面の水位の応答。(a) (b) ともに上図は入力降雨(横軸は計算時間 432 時間)下図は上図の 赤線の時間における斜面の水位応答状況。

4.4. まとめ

火砕流による火砕物が堆積した区域から降雨による 土砂流出予測手法の基礎的検討として、インドネシア 国スラウェシ島において 2004 年に発生したバワカラ エン山の巨大崩壊により大量に堆積した土砂が降雨に よって流出した事例を対象として検討した。

多時期衛星画像から作成した数値地形データにより 実態を把握した研究成果を検証データとして、日本の 山地河川で実用上用いられているモデルを用いた流出 解析および河床変動計算を組み合わせた計算モデルを 使用して予察的な検討を行った。その結果、河床変動 の傾向は定性的には説明できた。一方、流出土砂量は



図-13 掃流砂・浮遊砂計算した結果。(a)は標高、(b)は勾 配、(c)は河道幅の初期条件(黒線)と計算結果(赤線)、(d)は衛星に よる数値地形の2004年と2005年の標高差(黒線)および計算によ る同時期の標高差(赤線)を示し、横軸はいずれもカルデラ頂部から の水平距離を表す(凡例は(d)のみ)。▽は図-9の河川モデルの節点 番号を、破線は水平距離2000m毎に引いた補助線を表す。計算結果 は、衛星による標高差と異なり上流域の河床が変化していないが、 4000m付近から河幅が狭くなり急激に侵食が始まる。下流域の変化の 傾向は、河幅の変化等を考慮していないものの、全体的には同様の侵 食・堆積傾向を示した。

1 オーダー小さい結果となった。これらのことから、 流出土砂量を推定するには、考慮しなかった現象をモ デルに組み込む必要がある。衛星画像による地形や現 地調査の結果から、河岸侵食や複数のガリー形成があ ることは明らかである。しかし、今回の計算にはこれ らの効果反映できていない。また、土砂の流下形態も



図-12 河道モデルにおける上流側の節点および下流側の節点における水位・流量・土砂量・累積土砂量の時間 変化。節点の番号は図-9を参照。(a)と(b)で縦軸の値が異なることに注意すること。下流側は流量が大きく、土砂が移動しているが、上流 では土砂は移動していない。

掃流砂・浮遊砂のみをモデル化しているが、実際は土 石流形態等での流下も観測されている。

今年度の予察的な結果を踏まえ、中・長期的な大規 模土砂生産後の土砂流出過程を推定する方法について さらに研究を進めて行く必要がある。

5. まとめ

本年度は、H22年10月に大規模な火砕流を伴って噴 火したインドネシア国ムラピ火山についての調査結果 と、その結果を通じて検討した衛星画像による火砕流 堆積範囲の把握手法の適用可能性および課題について 検討した結果、以下の成果が得られた。

①ムラピ火山において、大規模火砕流が堆積した渓流 における土砂流出の定性的な傾向が明らかになった。 すなわち、火砕流堆積から1~2ヶ月間は顕著な土砂流

出が発生しなかったが、その後土砂流出が始まった。 しかし、過去の雲仙普賢岳、ムラピ火山のより小規模 な火砕流堆積後の土砂流出開始に要した時期、雨量と 比較して、大きな違いは認められなかった。

②火砕流本体部の堆積範囲は、ALOS-PALSA Rの画像において、後方散乱係数の低下域として、明 瞭に判読可能であった。また、熱風部については、逆 に増加域として認識された。

③火砕流影響範囲からの土砂流出予測手法に関する基礎的な検討として、大規模山体崩壊堆積物斜面において急速に生じる侵食過程を、日本の山地河川で実用的に用いられている分布型流出計算および河床変動計算を組み合わせた手法によって、1年分の再現を試みた。その結果、流出土砂量では1オーダー小さく試算されたものの、河床変動の定性的な傾向は説明可能であることが明らかになった。

参考文献

 Klinik Lingkungan dan Mitigasi Bencana (KLMB), Fakultas Geografi UGM, http://cybergisforum.blog spot.com/2010_10_31_archive.html

- 植野利康、ハリヨノウトモ:インドネシア・メラピ山2
 010年噴火災害報告(速報),砂防学会誌, Vol. 63, No. 5, pp. 47-51, 2011
- 中田節也:普賢岳で発生した火砕流とその流下機構, 雲 仙における土石流・火砕流の調査研究, p. 71-76, 平成 5 年3月
- 西田顕郎・水山高久:火砕流堆積物の冷却と土石流発生、 砂防学会誌, Vol. 51, No. 3, pp. 11–18, 1998

- 5) 金子正則ほか: 1998 年7月にインドネシア・メラピ火山で 発生した火砕流堆積物の侵食状況,砂防学会誌, Vol. 54, No. 1, pp. 59-65, 2001
- 6)千田容嗣:1994年11月22日メラピ火山噴火に伴う火砕流 災害報告(暫定版),未公開資料,1995年3月
- 7) 宇井忠英:火山噴火と災害, 1-47, 東京大学出版会, 1997
- 8) 照沼利浩・西田顕郎:合成開口レーダー(SAR)を用いた 雲仙普賢岳の地形解析,日本リモートセンシング学会第29 回学術講演会論文集, pp. 35-36, 2000.
- 9) 照沼利浩・西田顕郎・天田高白・浦井稔:合成開ロレーダ ーを用いた火砕流・ラハールの流下範囲抽出法に関する研 究,日本リモートセンシング学会第 30 回学術講演会論文 集,pp. 245-246, 2001
- 10) K. Sasahara, Y. Shimizu, N. Osanai, T. Yamakoshi, K. Tamura, S. Doshida, K. Tsutui; Time variation of sediment runoff from collapsed mass caused by large-scale landslide at Mt. Bawakaraeng, South Sulawesi, Indonesia, International Workshop on Multimodal Sediment Disasters Triggered by Heavy Rainfall and Earthquake and the Countermeasures, Yogyakarta, INDONESIA, March 8-9, 2010
- L.Dahnio, , T. Mizuyama, K. Kosugi, A. Rampisela: Changes in Sediment Discharge after the Collapse of Mt.Bawakaraeng in South Sulawesi, Indonesia, 砂防学会 誌, Vol. 61, No4, pp. 31- 38, 20

RESEARCH ON TECHNIQUES FOR EMERGENCY DISASTER MITIGATION AGAINST MASSIVE SEDIMENT DISCHARGE INDUCED BY PYROCLASTIC FLOW DEPOSITION

Budged : Grants for operating expenses General account Research Period : FY2009-2011 Research Team : Erosion and Sediment Control Engineering Research Group (Volcano and Debris Flow Research Team) Author: Tadanori ISHIDUKA Takao YAMAKOSHI Takeshi SHIMIZU

Abstract : Pyroclastic flow causes serious devastation of source areas of mountain torrents around a volcano. In order to improve techniques for emergency disaster mitigation against sediment-related phenomena, this study aims at the following; 1) the development of prediction method of sediment discharge from area affected by pyroclastic flows, 2) the creation of the technical manual for monitoring of volcanic eruption induced sediment disasters, and 3) the proposal on the evaluation method of effects of planned sabo facilities against massive sediment discharge from areas where pyroclastic flow has deposited. In the FY2010, Mt. Merapi in Indonesia erupted with large pyroclastic flows. The results of the field survey and remote sensing surveys are shown and the applicability of the remote sensing techniques is examined. In addition, the results of the trial simulation of sediment discharge from the pyroclastic flow

Key words : pyroclastic flow, emergency disaster mitigation, sediment discharge