

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 26 年 6 月 16 日現在

機関番号：14301

研究種目：若手研究(B)

研究期間：2011～2013

課題番号：23780162

研究課題名(和文)フラッシュフラッド発生危険渓流の抽出に向けた発生機構の解明

研究課題名(英文) Study on processes of flash flood toward extracting potential risk of flash flood in rivers

研究代表者

宮田 秀介 (Miyata, Shusuke)

京都大学・防災研究所・助教

研究者番号：80573378

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,500,000円、(間接経費) 1,050,000円

研究成果の概要(和文)：フラッシュフラッドが発生しやすい山岳流域において現地水文観測および流出シミュレーションを行い、フラッシュフラッドに関連する各種発生要因の影響を検討し、現象把握と発生機構の解明を行った。試験流域は早い流出特性をもち、短時間に集中する降雨では特定の谷(支流)に集中した降雨だけでなく土壌層の薄い高標高地帯からの流出も急激な河川水位上昇をもたらすことが明らかとなった。火山流域において土砂濃度の高いフラッシュフラッドである土石流に流出シミュレーションを応用することで、流出過程を考慮した土石流発生基準を設けられる可能性を示した。

研究成果の概要(英文)：To examine effects of factors associated with flash flood and processes of flash flood, hydrological observations and simulations were conducted in an alpine catchment. Observation and simulation results suggest that runoff response of the study catchment is quick even during prolonged rainfall event and both localized precipitation in a sub-catchment and quick runoff from high altitude areas with thinner soil layer contributed rapid increase of river water level during a short-duration intensive storm. The hydrological simulation was applied to catchments covered by volcanic ash and showed that area of overland flow in a catchment is possibly an index of debris flow occurrence.

研究分野：農学

科研費の分科・細目：森林学・森林科学

キーワード：鉄砲水 降雨の空間分布 山岳流域 小規模河道閉塞 土石流

### 1. 研究開始当初の背景

山地河川における土石流などの豪雨による土砂災害は、これまでの砂防事業により減少傾向にある。一方、同じ山地河川にあっても、フラッシュフラッド(鉄砲水)は発生予測が難しく、2006年の志平沢川(長野県)、富並川(山形県)、2008年の都賀川(兵庫県)などのように人的被害につながるが多い。また、気候変動により「ゲリラ豪雨」と呼ばれるような短時間集中豪雨が増加する懸念もある。

フラッシュフラッドについて明確な定義は定まっておらず、日本では土石流として扱われる現象も諸外国では含まれるが、ここでは「山地河川における急激な出水」とする。フラッシュフラッドは、河道付近にいる人が急激な水位上昇により流されてしまう災害であるため、砂防ダムなどの既往施設で対応することは難しい。山地流域における降雨-流出過程に関する知見は蓄積されつつあるが、降雨-流出過程に関する知見がフラッシュフラッドの現象解明に十分活かされておらず、発生箇所・時間を予測できないのが現状である。そのため、山地流域におけるフラッシュフラッド災害の防止・軽減は、砂防学の大きな課題の一つとして残っている。現状では危険渓流を指定するのが減災の第一歩と考える。

フラッシュフラッドの発生予測が困難な理由の一つは、現象の実態把握がこれまでほとんどなされていないことである。これはフラッシュフラッドが発生した山地河川において流量(水位)、雨量またはその空間分布が観測されていないことによる。また別の理由としては、フラッシュフラッドの発生要因が複数にわたることが挙げられる。例えば、1993年鹿児島県しらす谷では大量の地下水湧出、2006年佐賀県白土川では天然ダムの決壊、2006年山形県富並川では上流域における局所的な豪雨と集水地形、2008年兵庫県都賀川では中・下流域における短時間集中豪雨が原因とされているが、2006年長野県志平沢川のように明確な原因が特定できない事例もある。しかしながら、これらは災害発生後の現地踏査や降雨、水位データを解析した結果であり、詳細な雨量-流量観測に基づいたものではない。したがって、フラッシュフラッドの詳細な観測データの取得とそれに基づいた発生機構の解明が求められている。

上でも述べたように土石流は土砂濃度の高いフラッシュフラッドと考えることもできる。森林で覆われた山地流域では、土石流の多くは豪雨の最中に斜面崩壊に伴って発生する。一方、火山灰で覆われた流域では斜面崩壊を伴わずとも土石流が頻発する。2011年新燃岳のように火山が噴火すると、周辺流域では土石流発生基準となる雨量を設定する。現在は安全側をみて2000年三宅島噴火の事例を参考に1時間4mmが基準雨量とし

て用いられることが多い。しかし、この基準は噴火に伴う降雨-流出過程の変化などを考慮していない問題がある。フラッシュフラッドと同様に火山地域における土石流発生を検討することで、より意味のある土石流発生基準を定めることができると考えられる。

### 2. 研究の目的

近年、精度が向上している気象レーダと山地流域における雨量、河川流量観測などを組み合わせることで、フラッシュフラッドが発生する山地流域においても詳細な水文過程を調べることができる。本研究はフラッシュフラッド予測に向け、①フラッシュフラッド発生要因となり得る各種項目について、流出特性への影響度を数値シミュレーションにより明らかにする、②フラッシュフラッド発生可能性の高い山地流域における詳細な現地モニタリングによりフラッシュフラッド現象を把握し、数値シミュレーションを組み合わせ発生機構について検討することを目的として研究を行った。さらに、これらの知見を活用し、③土砂濃度の高いフラッシュフラッドとも言える土石流の発生・非発生と関連する要因について検討した。

### 3. 研究の方法

目的①②は神通川水系金木戸川(双六渓谷; 岐阜県高山市)を試験流域とし、現地水文観測および流出シミュレーションを行った。本流域は、笠ヶ岳(標高2897m)などの高山を源流にもつ山岳地帯に位置する。双六渓谷はキャンプ、釣り、沢登りなどに人気の流域であるが、同時に、フラッシュフラッド災害の多発渓流として地元住民、登山愛好者に知られる。近年では、2005年8月に沢登り中の大学生3名が金木戸川において被災し、うち1名が死亡する事故が起こっている。

試験流域は、河川施設による人工的な水の出入りのない流域面積60.9km<sup>2</sup>とした。河川長約12.3km、平均河床勾配約1/10の急流河川である。流域の標高約2500m以下はコマツガなどが優占する森林で覆われる一方、標高2500m以上の高標高地帯はハイマツやササなどで覆われ、一部は裸地となっている。

現地水文観測は、河川水位、雨量の連続観測、インターバルカメラによる河川の撮影を行った。本流沿いに流域末端から4ヶ所において河川水位を圧力式水位計により観測した。観測された水位は、河道断面の簡易測量に基づいて、流量に変換した。雨量計は流域界である稜線付近の3ヶ所に設置した。また、C-bandレーダによる降雨データを用い、5分間隔、約1kmメッシュでの雨量分布を解析に用いた。

目的③は鹿児島市の桜島において土石流発生頻度の高い4流域(野尻川、持木川、第二古里川、有村川)を対象として土石流発生の要因を検討した。桜島は南岳中腹の昭和河口における噴火活動が活発化しており、各流

域は火山灰などで覆われている。ただし、河口より半径 2 km は立ち入り禁止となっており、流域内の詳細な水文過程については不明である。インターバルカメラによる河川の撮影結果とともに国土交通省大隅河川国道事務所による土石流発生情報および河川流量情報を用いた。さらに、時間分解能 1 分、空間分解能約 250m の X-band MP レーダの観測データを利用し、流出解析を行った。

以下に解析に用いた降雨-流出モデルの概要を記す。本モデルは、流域を斜面部と河道部に分割し、降雨を入力データとして斜面部の解析を行い、斜面部末端からの流出を河道部の入力データとしてシミュレーションを行うものである。標高データから GIS を用いて対象流域を斜面部と河道部に分割した。斜面部は 10×10m メッシュに分割し、各メッシュが 2 層からなる土塊と考え、基本要素とする。この 2 層は、金木戸川流域では透水性の高い表層 (A 層) と低い下層 (B 層)、桜島では上層を火山灰層、下層を土壌層とした。各要素に供給された降雨は、飽和水帯をただちに変化させると仮定し、不飽和浸透および不飽和側方流については考慮していない。各要素の火山灰層および土層からの側方流出  $Q_s$  はそれぞれダルシー則により求めた。上層の飽和帯水位が地表面まで到達した場合および降雨強度が浸透能を上回った場合には表面流が発生するとし、表面流は Manning 式により算出した。要素からの流出は、最急勾配方向の隣接要素にすべて流下するとし、各要素・層の流入量と流出量の収支から飽和帯水深を求めた。河川部と隣接する要素からの流出は、河川への流入量として河道部の計算に受け渡した。河道部は、一次元不定流の基礎式について人工粘性項を考慮した MacCormack 法によって差分化し、流れの計算を行った。支流との合流点では、支流からの流入量を斜面部からの流入と同様に横流入として扱った。

#### 4. 研究成果

##### ①フラッシュフラッド発生要因の比較検討

フラッシュフラッドの原因となり得る降雨の空間分布、土壌層の分布、小規模河道閉塞 (天然ダム) の侵食に伴う決壊について、金木戸川を対象として流出解析により、流出に及ぼす影響を検討した。山岳流域、山地流域では降雨の空間分布が大きいと予想される。対象とした金木戸川は、森林限界 (標高 2500m) 以上では優占する植生が異なる。植生の根系に関する研究例より、標高 2500m 以上では A 層がなく、土壌層が薄いとした。このように上流域で土壌層が薄い状態は、フラッシュフラッド事例のある谷川岳湯楡曾川や八海山水無川でも見られる。小規模河道閉塞は、斜面崩壊により発生した土砂が河道を閉塞することで発生し、越流侵食によって決壊が発生する過程を二次元河床変動シミュレーションにより流出する水のハイドログ

ラフを求めた。これらの項目を比較するために、シミュレーションで得られた河川水位の最大上昇率を指標とした。2005 年 8 月 11~12 日の降雨を対象とした。総雨量は 111mm、最大降雨強度は 14mm/h である。

解析の結果、斜面崩壊などに伴う小規模河道閉塞の越流侵食による流出が最も大きく水位上昇に寄与することが明らかとなった。高さ 10m の河道閉塞でも越流開始後 1 分程度でほとんど流亡した。湛水が非常に短い時間で流出することで、下流での急激な水位上昇をもたらした。また、この影響は河道閉塞発生箇所が下流に近いほど大きかった。高標高地帯において土壌層が薄いことによって、高標高地帯を含む支流において流出ピークが早くなった。したがって、フラッシュフラッド危険渓流の指標として、植生分布や岩盤の露出、裸地分布などにより土層の薄い範囲を用いるべきと考えられた。解析に用いたイベントは総降雨量が多く降雨継続時間も 1 日以上と比較的長いものであったため、降雨の空間分布については明瞭ではなかった。そのため、本イベントについては降雨の空間分布によるフラッシュフラッドへの影響は小さかった。この点については、降雨継続時間の短い「ゲリラ豪雨」のような降雨を対象として解析を行う必要がある。

これまでの研究では発生事例に対して調査や解析を行ってきた。本解析のように、フラッシュフラッドと関連のある要因について直接的に比較を行ったことで、発生危険渓流を抽出するための指標作りに資すると考えられる。

##### ②フラッシュフラッドの現象把握と発生機構の検討

①で示したようにフラッシュフラッドの起こりやすい流域である金木戸川において水文観測を行った結果、継続時間が長く総降雨量の多いイベント (長時間多雨型イベント) においても流出が早い特性を持つことが明らかとなった。さらに、2012 年 8 月 18 日の短時間の降雨イベント (短時間集中型イベント) においては、下流地点 (図 1 中 S1) が上流地点 (図 1 中 S2) よりも早く水位上昇が起こり、水位上昇率も S1 の方が大きかった。ここで、C-band レーダによる降雨分布をみると、S1 と S2 の間で合流する支流において非常に強い降雨の集かが確認された。これらの観測結果より、早い流出特性と有する本流域では、短時間集中型イベントでは降雨が特定の谷 (支流) に集中することで下流において予期しない急激な水位上昇をもたらすと考えられた。

さらに流出解析により、短時間集中型イベントで観測された急激な水位上昇の発生した過程を検討した。①と同じく標高 2500m 以上の地帯は透水性の高い A 層がなく土層が薄いとされた。シミュレーションは、下流地点での降雨データを流域全体に与える Case 1 と C-band レーダのデータをそのまま用いる

Case 2 について行った。Case 1 では上流側から下流側に水位上昇が伝搬したのに対し、Case 2 では現地観測で見られた下流側での急激な水位上昇を再現することができた。ただし、Case 2 における流出過程を詳細に調べると、本流源頭域の土層が薄い高標高地帯からの流出と降雨が集中した支流からの流出のタイミングが重なることで、急激な水位上昇を引き起こしたことがわかった。

Case 2 では Case 1 に比べて約 1 時間早く危険水位（ここでは 0.8m とした）に到達していた。流出解析における Case 1 を下流にいる河川利用者が周辺の降雨状況から予想する河川水位の変化、Case 2 を実際の河川水位の変化と考えると、河川利用者が危険を想定するよりも早く水位が上昇することになる。この場合、水位上昇により河川利用者が流されるもしくは河道内に取り残されるなどの被害が起こる恐れがある。本研究で用いた植生を元にした土層厚分布、降雨分布を取り入れたシミュレーションをモデル降雨に対して行うことで、フラッシュフラッドの発生しやすい河川において、避難までのリードタイムなどを示すことができると期待される。

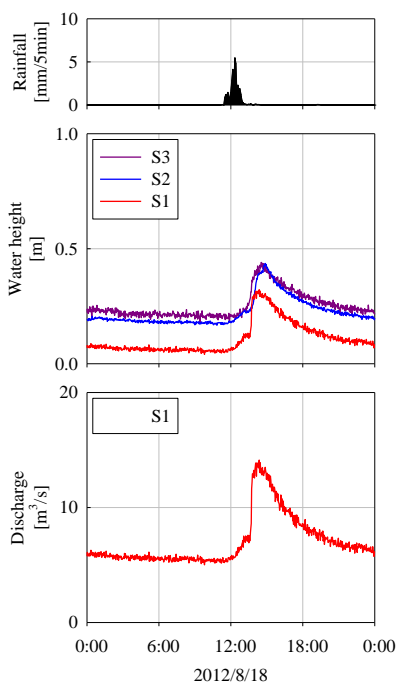


図1 2012年8月18日における雨量、水位観測結果

### ③土石流の発生・非発生に関連する要因の検討

2012年7月1日の降雨では、野尻川下流において 50mm/h を超える 1 分間雨量が観測されたにもかかわらず土石流が発生しなかった。本イベントでは、各河川の上流域よりも下流域において降雨強度が強い傾向が見られた。これに対し、土石流が発生した 7 月 12 日の降雨イベントでは、土石流発生が検知される直前に 100 mm/h を超える降雨の雨域が野尻

川上流域に集中していた。同様に、持木川、第二古里川、有村川においても上流域において非常に強い降雨が観測された。このように、地上雨量計の設置される下流域よりも土石流の発生源である上流域の降雨情報が非常に重要である。

地上雨量計が設置される下流域における雨量を流域全体に適用した Case A に比べて上流域の代表地点の降雨を適用した Case B では、河川流出量の変動が土石流発生・非発生とより調和的であった。土石流の発生源の雨量を適用することで、土石流の発生に関わる河川流出量を適切に表現できると考えられた。2012年6月27日はいずれの河川においても土石流が発生しなかったが、ピーク流出量が大きく計算された。反対に、2012年6月12日には野尻川において 4 m<sup>3</sup>/s 以下の比較的小さい流量と計算されたにも関わらず、実際には土石流が発生した。6月12日の土石流は約 2 か月ぶりの発生事例であり、発生源に不安定土砂である噴火堆積物が多く堆積していた、もしくは厚く堆積した火山灰による浸透能の低下が顕著であった可能性が考えられる。

土石流非発生イベントである 7 月 1 日および土石流が発生した 7 月 7 日における流出ピーク時の表面流水深分布を図 2 に示す。土石流発生および非発生時の流域内の流出について比較すると、土石流が非発生の 7 月 1 日では表面流が発生していたが、発生範囲は流域内の一部に限られていた。一方、土石流が発生した 7 月 7 日のイベントではピーク流出時には流域内ほぼ全域で表面流が発生し、河川部に接続する谷地形（ガリ）において表面流が集中していた。このように、表面流が斜面部だけでなく谷地形まで連続することが、

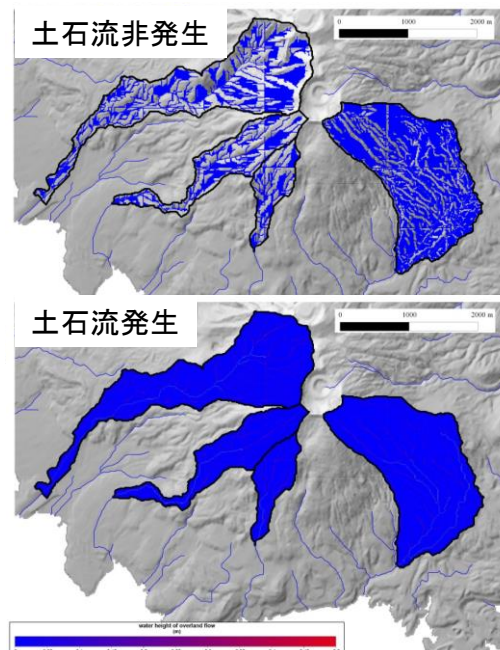


図2 土石流非発生イベント（2012年7月1日）、発生イベント（2012年7月7日）における表面流水深シミュレーション結果

土石流を発生させるような大きな河川流出量に寄与することが示された。これらの解析結果から、表面流発生面積率を指標とすることで、単純な降雨ではなく流出過程を考慮した土石流発生基準を示すことができると考えられる。

#### 5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

[雑誌論文] (計 7件)

- ① 宮田秀介, 藤田正治, 堤大三, 市田児太郎: 神通川水系金木戸川における水文観測—フラッシュフラッド現象の解明を目指して—, 砂防学会誌, 66(5), 92-95, 2014. (査読無)
- ② 宮田秀介, 堤大三, 村重慧輝, 宮本邦明, 藤田正治: 「泥流発生過程を考慮した融雪型火山泥流の予測」, 土木学会論文集 B1 (水工学), 70(4), I\_949-I\_955, 2014. (査読有)
- ③ Miyata, S., Fujita, M., Teratani, T., Tsujimoto, H., Osaka, T.: Application of rainfall radar and runoff model to volcanic mountain watersheds, Proceedings of 4th International Seminar of HATHI, 1-6, 2013. (査読有)
- ④ 宮田秀介, 藤田正治: レーダ雨量を用いた流出シミュレーションと桜島における土石流発生溪流への適用, 京都大学防災研究所年報, 56, B, 457-464, 2013. [http://www.dpri.kyoto-u.ac.jp/nenpo/no56/content\\_menu.htm#Btop](http://www.dpri.kyoto-u.ac.jp/nenpo/no56/content_menu.htm#Btop) (査読無)
- ⑤ 五味高志, 宮田秀介, Roy C. Sidle, 小杉賢一朗, 恩田裕一, 平岡真合乃, 古市剛久: 「分布型流出モデルを用いたヒノキ人工林流域における地表流の発生と降雨流出解析」, 日本森林学会誌, 95, 23-31, 2013. (査読有)
- ⑥ Dung, B. X., Gomi, T., Miyata, S., Sidle, R. C., Kosugi, K., Onda, Y.: Runoff responses to forest thinning at plot and catchment scales in a headwater catchment draining Japanese cypress forest, Journal of Hydrology, 444-445, 51-62, 2012. (査読有) DOI: 10.1016/j.jhydrol.2012.03.040
- ⑦ Dung, B.X, Gomi, T., Miyata, S., Sidle, R.C.: Peak flow responses and recession flow characteristics after thinning of Japanese cypress forest in a headwater catchment, Hydrological Research Letters, 6, 35-40, 2012. (査読有)

DOI: 10.3178/HRL.6.35

[学会発表] (計 15件)

- ① 藤田正治, 宮田秀介, 辻本浩史, 寺谷拓治: 降雨の空間分布を考慮した桜島における土石流の発生に関するシミュレーション, P1-48, 平成 26 年度 (公社) 砂防学会研究発表会, 朱鷺メッセ新潟コン

ベンションセンター, 2014.5.28-29

- ② Miyata, S., Fujita, M., Teratani, T., Tsujimoto, H., Osaka, T., Application of rainfall radar and runoff model to volcanic mountain watersheds, International Seminar on Water Related Disaster Solution, Yogyakarta, Indonesia, September 6, 2013.
- ③ Miyata, S., Fujita, M., Application of rainfall radar and runoff model to volcanic mountain watersheds, The 4th International Workshop on Multimodal Sediment Disasters - Disaster Risk Mitigation through Partnership-based Knowledge Sharing - , Yogyakarta, Indonesia, September 8, 2013.
- ④ 権田 豊, 河野宏平, 堀田紀文, 山田 孝, 沼本晋也, 宮田秀介, Djoko Legono, Untung Budi Santosa : 2010 年インドネシア・メラピ山噴火後の PUTIH 川における土石流・洪水流, Pa-06, 平成 25 年度 (公社) 砂防学会研究発表会, 静岡市民文化会館, 2013.5.29-30
- ⑤ 宮田秀介, 藤田正治, 辻本浩史, 寺本拓治: 山岳流域における降雨の空間的遍在がフラッシュフラッド災害に与える影響, 平成 25 年度 (公社) 砂防学会研究発表会, T2-03, 静岡市民文化会館, 2013.5.29-30
- ⑥ Miyata, S., Satofuka, Y., Fujita, M., Analysis of flash flood due to erosion of a small landslide dam in a mountainous catchment, The 3rd Workshop on Multimodal Sediment Disasters - Challenge to Huge Sediment Disaster Mitigation - , Takayama, Gifu, Japan, September 23, 2012.
- ⑦ 宮田秀介, 小林弘尚, 竹林洋史, 里深好文, 藤田正治, 辻本浩史, 竹下航: 山地河川におけるフラッシュフラッドの特性に寄与する要因, 平成 24 年度 (社) 砂防学会研究発表会, R3-02, 県民文化ホール, 2012.5.23-24
- ⑧ 小林弘尚, 宮田秀介, 藤田正治, 竹林洋史: 山地河川におけるフラッシュフラッドの発生要因の検討, P-128, 平成 23 年度 (社) 砂防学会研究発表会, 神奈川県民ホール, 2011.5.18-19

[図書] (計 0件)

[産業財産権]

○出願状況 (計 0件)

名称:  
発明者:  
権利者:  
種類:  
番号:  
出願年月日:  
国内外の別:

○取得状況（計 0 件）

名称：  
発明者：  
権利者：  
種類：  
番号：  
取得年月日：  
国内外の別：

〔その他〕  
ホームページ等

## 6. 研究組織

### (1) 研究代表者

宮田 秀介 (Miyata, Shusuke)  
京都大学・防災研究所・助教  
研究者番号：80573378

### (2) 研究分担者

( )

研究者番号：

### (3) 連携研究者

( )

研究者番号：