

河川砂防技術研究開発 【成果概要】

		氏 名 (ふりがな)	所 属	役 職	
①研究代表者		みずの ひであき 水野 秀明	国立大学法人九州大学大 学院農学研究院	准教授	
②研究テーマ	名称	一般型 【テーマ名】火山地域における土石流の流出補正係数の推定			
③研究経費 (単位: 万円)		令和3年度	令和4年度	令和5年度	総合計
※端数切り捨て。		185万円	185万円	114万円	486万円
④研究者氏名					
氏 名		所属機関・役職 (※令和6年3月31日現在)			
江藤 稚佳子		国立大学法人九州大学大学院生物資源環境科学府 博士課程			
⑤技術研究開発の目的・目標					
<p>現在、土石流・流木対策の基本となる「土石流・流木処理計画」は、降雨に起因する土石流によって運搬されてくる土砂と流木の体積を推定して、その量を土石流・流木対策施設で全て捕捉するように策定する。土石流・流木処理計画で想定する計画流出土砂量は、崩壊として流出してくると想定される土砂に加えて実際に溪床に存在する土砂（移動可能土砂量）と、計画で対象とする降雨によって運搬される最大の土砂（運搬可能土砂量）を比べて、小さい方として設定する。この土砂のうち運搬可能土砂量は、土石流が平衡土砂容積濃度まで発達した状態を想定し、その状態で運搬される土砂量に「流出補正係数」を掛け合わせて算出する。流出補正係数に関する算出方法は示されている一方で、その実際の数値はほとんど示されていない。また、その算出方法は流域面積だけの関数となっており、降水強度や植生等の地被状況といった変数を加味したものとなっていない。気候変動に伴って降水強度の増加が予想される中、土石流・流木対策の高度化・効率化に向けて、流出補正係数の実態を明らかにすることが求められている。</p> <p>本研究の目的は、降雨強度の時空間分布、土石流の発生日時や映像、地形といった、流出補正係数の推定のための情報を十分に蓄積している桜島といった火山地域を対象として、流出補正係数の実態を明らかにするとともに、現在の「砂防基本計画策定指針（土石流・流木対策編）解説」（国総研資料904号）に示された算出方法により算出した値との相違を明らかにすることとする。</p>					

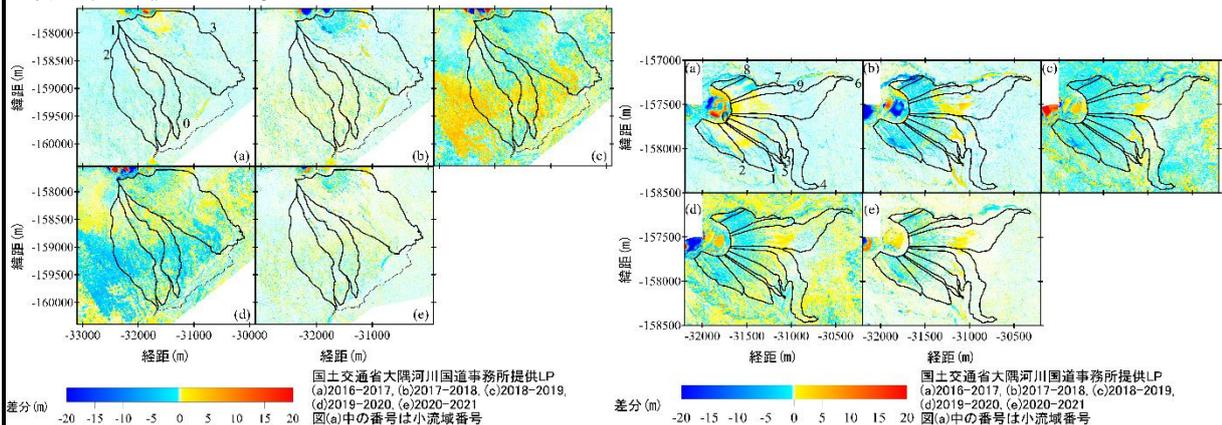
⑥研究成果

1. 地形・地被状況の変化量の時系列的变化の推定

国土交通省国土地理院所有の航空写真、国土交通省九州地方整備局大隅河川国道事務所所有の航空写真及びLPデータをもとに、桜島島内の土石流危険渓流における地形の変化量を推定するとともに、地被状況の時系列的な変化を推定した。

図－1は航空レーザー測量の成果を各年度間で差分を計算した事例で、左側が有村川流域、右側が降灰で覆われた流域（以後、「降灰流域」と呼ぶ）のものである。

表－1は有村川流域、黒神川流域、野尻川流域およびそれら3流域の中で降灰で覆われた小流域における流出土砂量を算出した結果である。なお、2019年度の計測結果は他の時期と比べて溶岩原や樹林帯において高い標高値を計測していたので、2018年度から2020年度と2年間とした。流出土砂量は計算上負の値である。



図－1 航空レーザー測量成果の差分結果の事例（左：有村川流域、右：降灰流域）

表－1 流出土砂量の算出結果

流域名	小流域番号	面積 (m ²)	流出土砂量 (m ³)				
			2016-2017	2017-2018	2018-2020	2020-2021	合計 2016-2021
有村川	0	447,396	-23,443	5,667	-6,207	6,210	-17,772
有村川	1	472,460	-26,805	937	-7,472	-2,109	-35,450
有村川	2	751,422	-55,523	7,336	-4,552	13,174	-39,565
有村川	3	1,638,048	-110,076	-267,146	-322,286	-12,856	-712,364
黒神川	0	1,579,682	-161,979	-438,216	-442,948	-31,352	-1,074,495
黒神川	1	1,201,267	-53,446	-22,059	9,160	84,986	18,640
黒神川	2	1,701,113	-110,603	-76,639	-131,963	73,148	-246,057
野尻川	0	1,713,743	-198,427	-273,611	-407,871	-150,567	-1,030,477
降灰	0	69,407	374	-25,293	-33,109	-7,547	-65,576
降灰	1	111,226	-694	-40,527	-40,770	-5,876	-87,867
降灰	2	108,763	-34,765	-147,946	-175,427	-20,916	-379,054
降灰	3	97,192	540	-7,733	-25,322	-2,455	-34,970
降灰	4	143,744	-5,813	-6,705	-5,560	3,174	-14,904
降灰	5	22,519	-460	-5,995	-7,472	-1,057	-14,985
降灰	6	277,335	4,430	557	-12,361	14,422	7,046
降灰	7	65,536	-15,528	-86,495	-130,433	-19,589	-252,044
降灰	8	22,308	-16,339	-78,284	-72,964	-7,772	-175,359
降灰	9	49,624	1,330	-9,430	-20,446	-1,367	-29,913

2. 土石流発生日時及び降水状況の推定

レーダーアメダス解析雨量を用いて、各流域に供給された降水量を推定した。

図-2はレーダーアメダス解析雨量から推定した降水量の総和の事例である。

表-2は有村川流域、黒神川流域、野尻川流域、および降灰流域における降水量の総和の算出結果を示したものである。

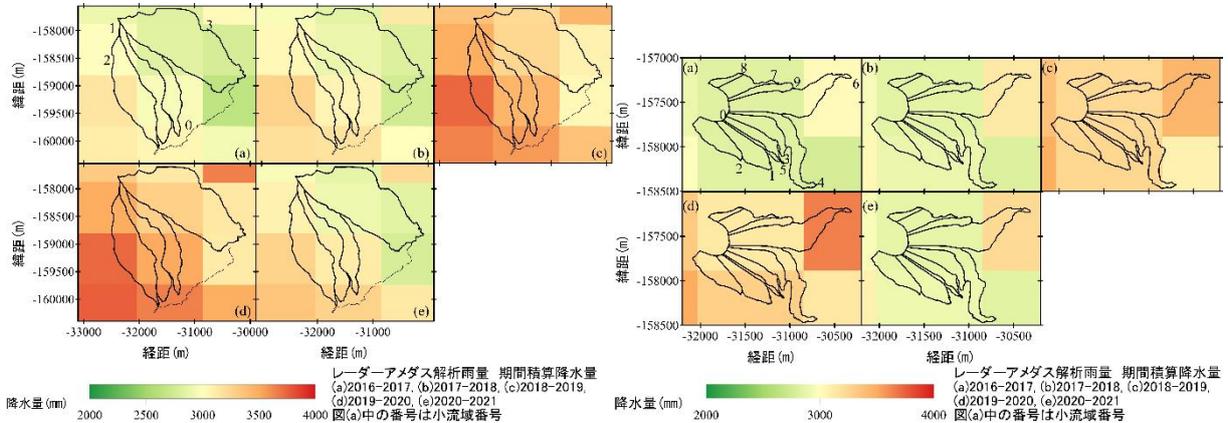


図-2 レーダーアメダス解析雨量の観測結果から推定した降水量の総量

表-2 流域に供給された降水量の総和の算出結果

流域名	小流域番号	面積 (m ²)	降水量 (mm)				合計 2016-2021
			2016-2017	2017-2018	2018-2020	2020-2021	
有村川	0	447,396	1,342,962	1,511,647	2,894,320	1,305,013	7,053,942
有村川	1	472,460	1,438,326	1,624,662	3,108,863	1,396,688	7,568,539
有村川	2	751,422	2,359,273	2,685,060	5,088,830	2,286,624	12,419,788
有村川	3	1,638,048	4,687,863	5,243,266	10,009,906	4,597,673	24,538,708
黒神川	0	1,579,682	4,576,476	4,734,545	10,729,671	4,857,524	24,898,215
黒神川	1	1,201,267	4,018,588	4,154,870	9,504,547	4,458,626	22,136,632
黒神川	2	1,701,113	5,366,425	5,690,419	13,055,908	6,026,198	30,138,950
野尻川	0	1,713,743	5,020,645	5,176,397	11,973,266	5,304,341	27,474,648
降灰	0	69,407	196,149	199,149	447,103	200,199	1,042,600
降灰	1	111,226	314,785	320,867	723,051	322,318	1,681,021
降灰	2	108,763	307,733	312,780	703,012	314,326	1,637,851
降灰	3	97,192	274,372	277,730	621,746	279,352	1,453,200
降灰	4	143,744	405,760	412,337	925,907	414,638	2,158,642
降灰	5	22,519	63,707	64,869	146,032	65,175	339,783
降灰	6	277,335	801,276	815,421	1,831,632	827,553	4,275,882
降灰	7	65,536	184,864	186,725	417,163	187,892	976,644
降灰	8	22,308	62,926	63,560	141,999	63,957	332,443
降灰	9	49,624	139,979	141,389	315,877	142,272	739,517

3. 流出補正係数の値の推定

3. 1 流出補正係数の定義と解釈

「砂防基本計画策定指針（土石流・流木対策編）解説」（国総研資料 904 号）に示された流出補正係数は

$$V_{dy2} = \frac{10^3 \cdot P_p \cdot A}{1 - K_v} \left(\frac{C_d}{1 - C_d} \right) \cdot K_{f2} \quad \dots (1)$$

で定義される。ここで、 V_{dy2} は運搬可能土砂量(m³)、 P_p は計画規模の年超過確率の降水量(mm)、 A は流

域面積(km²)、 C_d は土石流濃度 ($0.3 \leq C_d \leq 0.9C_*$)、 K_v は空隙率 ($K_v \approx 0.4$)、 C_* は溪床堆積土砂の容積濃度 ($C_* \approx 0.6$) である。

式(1)の誘導方法は「砂防基本計画策定指針(土石流・流木対策編)解説」(国総研資料904号)他既往文献に記載されていない。しかし、その誘導方法は次のように解釈できる。降水量の体積を $V_W(m^3)$ とおくと、

$$V_W \equiv 10^3 \cdot P_p \cdot A \quad \dots (2)$$

と書ける。また、空隙率と溪床堆積土砂の容積濃度の関係は

$$1 - K_v = C_* \quad \dots (3)$$

である。運搬可能土砂量は空隙を含む土砂量であることから、空隙を含まない土砂の体積を $V_S(m^3)$ とおくと

$$V_S = C_* V_{dy2} \quad \dots (4)$$

の関係がある。ここで、流出補正係数を

$$k \equiv K_{f2} \quad \dots (5)$$

と書くことにする。式(2)、(3)、(4)、(5)を式(1)に代入すると、

$$(1 - C_d) \cdot V_S = C_d \cdot V_W k \quad \dots (6)$$

の関係が得られる。これは、土石流に含まれる砂と水の体積の比、つまり

$$C_d : (1 - C_d) = V_S : (V_W k) \quad \dots (7)$$

を意味する。よって、流出補正係数は降水量のうち土石流として流れ出る割合である、と解釈できる。つまり、流出補正係数は

$$0 \leq k \leq 1 \quad \dots (8)$$

の条件を満たす。

本研究では、運搬可能土砂量のある流域からの流出土砂量 (V_{dis}) とおき、

$$V_{dis} \equiv V_{dy2} \quad \dots (9)$$

とする。土石流濃度は土石流に含まれる土砂礫の容積濃度と定義されているので、式(7)より、

$$\frac{C_* \cdot V_{dis}}{C_* \cdot V_{dis} + k \cdot V_W} = C_d \quad \dots (10)$$

の関係式が成立する。「砂防基本計画策定指針(土石流・流木対策編)解説」(国総研資料904号)では、土石流濃度は $0.3 \leq C_d \leq 0.9C_*$ を満たす。しかし、解析対象流域は20度以上の急な流域を含むことから、土砂移動形態が崩壊となる可能性もある。そこで、本研究では、土石流濃度の最大値は溪床堆積土砂の容積濃度とする。また、式(8)より C_d は k の減少関数であるから、土石流濃度の最小値は0.3と式(10)の最小値のうち大きいほうの値となる。よって、本研究では、

$$\text{MIN} \left(0.3, \frac{C_* \cdot V_{dis}}{C_* \cdot V_{dis} + k \cdot V_W} \right) \leq C_d \leq C_* \quad \dots (11)$$

とする。ここで、関数 $\text{MIN}(a, b)$ は数値 a と数値 b を比べて小さい値を返すものである。

流出補正係数は式(10)より、

$$k = \frac{C_* \cdot V_{dis}}{V_W} \cdot \frac{1 - C_d}{C_d} \quad \dots (12)$$

として算出できる。

3. 2 流出補正係数の推定結果

表-3は表-1と表-2に示した値を式(11)と式(12)に代入して求めた流出補正係数の値である。なお、流出土砂量が正の値の場合、流出補正係数の値は算出しなかった。また、式(12)に代入する際には、流出土砂量の絶対値を V_{dis} として代入した。溪床堆積土砂の容積濃度は0.6とした。表中の流出補正係数の最高値は式(11)の土石流濃度の最小値の場合の値で、流出補正係数の最低値は式(11)の土石流の最大値を用いた場合の値である。有村川流域の場合、流出補正係数は最高値で0.00125から0.03295、最低値で0.00036から0.00941であった。流出補正係数の値は期間毎に大きく変化しなかった。黒神川流域の場合、流出補正係数は最高値で0.00743から0.12958、最低値で0.00212から0.03702であった。流出補正係数の値は期間毎に大きく変化しなかった。野尻川流域の場合、流出補正係数は最高値で0.01363から0.05533、最低値で0.01135から0.02114であった。流出補正係数の値は期間毎に大きく変化しなかった。降灰流域に着目すると、降灰流域8において、流出補正係数の最高値が1.00000、最低値が0.49266となった。

表-3 流出補正係数の推定結果

流域名	小流域 番号	面積 (km ²)	流出補正係数 (C*=0.6と仮定)							
			2016-2017		2017-2018		2018-2020		2020-2021	
			最高値	最低値	最高値	最低値	最高値	最低値	最高値	最低値
有村川	0	0.4474	0.02444	0.00698			0.00300	0.00086		
有村川	1	0.4725	0.02609	0.00745			0.00336	0.00096	0.00211	0.00060
有村川	2	0.7514	0.03295	0.00941			0.00125	0.00036		
有村川	3	1.6380	0.03287	0.00939	0.07133	0.02038	0.04508	0.01288	0.00391	0.00112
黒神川	0	1.5797	0.04955	0.01416	0.12958	0.03702	0.05780	0.01651	0.00904	0.00258
黒神川	1	1.2013	0.01862	0.00532	0.00743	0.00212				
黒神川	2	1.7011	0.02885	0.00824	0.01886	0.00539	0.01415	0.00404		
野尻川	0	1.7137	0.05533	0.01581	0.07400	0.02114	0.04769	0.01363	0.03974	0.01135
降灰	0	0.0694			0.17781	0.05080	0.10367	0.02962	0.05277	0.01508
降灰	1	0.1112	0.00309	0.00088	0.17683	0.05052	0.07894	0.02255	0.02552	0.00729
降灰	2	0.1088	0.15816	0.04519	0.66220	0.18920	0.34935	0.09981	0.09316	0.02662
降灰	3	0.0972			0.03898	0.01114	0.05702	0.01629	0.01230	0.00352
降灰	4	0.1437	0.02006	0.00573	0.02277	0.00650	0.00841	0.00240		
降灰	5	0.0225	0.01012	0.00289	0.12939	0.03697	0.07163	0.02047	0.02271	0.00649
降灰	6	0.2773					0.00945	0.00270		
降灰	7	0.0655	0.11759	0.03360	0.64851	0.18529	0.43773	0.12507	0.14596	0.04170
降灰	8	0.0223	0.36352	0.10386	1.00000	0.49266	0.71937	0.20553	0.17013	0.04861
降灰	9	0.0496			0.09337	0.02668	0.09062	0.02589	0.01345	0.00384

3. 3 流出補正係数の推定結果

図-3は流出補正係数の推定値の事例を示したもので、図中には新たな推定式を示した。左側は2017年から2018年までの流出補正係数を示したものである。降灰流域における流出補正係数は0.49から1.00となり、三つの事例が国総研資料904号に示された式よりも上となった。右側は2018年から2020年までの流出補正係数を示したものである。降灰流域の流出補正係数は0.21から0.72であり、一つが国総研資料904号に示された式よりも上にプロットされた。以上のように、降灰流域においては、流出補正係数が国総研資料904号に示された式より高い値になる可能性があることが分かった。

流出補正係数の最高値を包含できるように、国総研資料904号に示された式

$$k = 0.05(\log_{10} A - 2.0)^2 + 0.05 \quad (0.10 \leq k \leq 0.50) \quad \dots (13)$$

に関数 $f(A)$

$$f(A) = \alpha A + \beta \quad \dots (13)$$

を掛けた式

$$k = f(A) \cdot \{0.05(\log_{10} A - 2.0)^2 + 0.05\} \quad (0.10 \leq k \leq 1.00) \quad \dots (14)$$

を考える。ここで、 α 、 β は定数である。関数 $f(A)$ を線形にした理由は簡易的な式を提案するためである。式(14)が流域面積 0.2km²以下で、全てのデータを包含するように、 α と β の値を求めると、 $\alpha = -5$ 、 $\beta = 2$ となり、式(14)は

$$k = (-5A + 2) \cdot \{0.05(\log_{10} A - 2.0)^2 + 0.05\} \quad (0.10 \leq k \leq 1.00) \quad \dots (15)$$

と書ける。図-3のように式(15)は超過した事例をすべて包含できることが分かった。

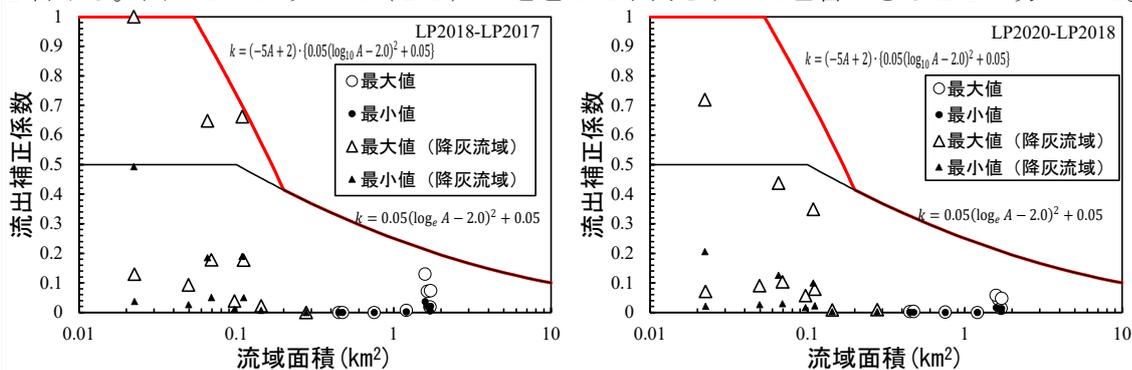


図-3 流出補正係数の事例と新たな推定方法

⑦研究成果の発表状況・予定

井関十也, 江藤稚佳子, 水野秀明 (2023) : 桜島における土石流の流出補正係数の推定、令和5年度砂防学会研究発表会概要集、p.659-660

(令和5年度砂防学会研究発表会 若手優秀発表賞 ポスター発表部門 優秀発表賞)

今後、砂防学会誌をはじめ学術誌に投稿予定

⑧研究成果の社会への情報発信

特になし

⑨表彰、受賞歴

特になし

⑩技術研究開発の今後の課題・展望等

今回の研究課題では、従来使用してきた流出補正係数の推定式の適用性を、火山活動が活発で、植生の少ない桜島の流域に着目して明らかにした。その結果、火山灰が新しく堆積した斜面では、従来の推定式を上回る事例が見られ、指針式の上限值を修正する必要性が明らかとなった。しかしながら、今回の成果は桜島のみデータに基づいたものであることから、今後、他の火山地域で検証していく必要があると考えている。

また、今回の研究課題を通じて、桜島における地形の変化の推移、降水量の推移、さらに土砂の密度など、数値計算に必要な情報が系統的に整理された。今後、それらのデータが、二次元浅水流方程式を用いた河床変動計算の精度検証などに活用できればと考えている。

⑪研究成果の河川砂防行政への反映

砂防学会誌など学術誌への成果の公表を通じて、砂防基本計画策定指針（土石流・流木対策編）に活用できる基礎資料を提供していきたいと考えている。