

西谷川および熊野川谷川流域における 降水と流砂量の関係性

小井 宣秀¹・武藤 裕則²・田村 隆雄³・馬場 康之⁴

¹ 学生会員 徳島大学大学院先端技術科学教育部博士後期課程

(和歌山県県土整備部県土整備政策局技術調査課長) (〒770-8506 徳島市南常三島町 2-1)

E-mail: n-m.koi@alto.ocn.ne.jp

² 正会員 徳島大学大学院社会産業理工学研究部教授 (〒770-8506 徳島市南常三島町 2-1)

E-mail: muto_yas@ce.tokushima-u.ac.jp

³ 正会員 徳島大学大学院社会産業理工学研究部准教授 (〒770-8506 徳島市南常三島町 2-1)

E-mail: tamura@ce.tokushima-u.ac.jp

⁴ 正会員 京都大学防災研究所流域災害研究センター白浜海象観測所准教授

(〒649-2201 和歌山県西牟婁郡白浜町堅田 2500-106)

E-mail: baba.yasuyuki.7z@kyoto-u.ac.jp

我が国では、近年、森林の荒廃により、降水時に土砂生産・流入や崩壊危険度が增大している流域が存在するため、降水や森林荒廃が土砂生産等に影響を及ぼす程度を明確にする必要がある。本研究では、和歌山県の二級河川富田川支川の西谷川および熊野川谷川流域で、降水、河川水位、流砂量の観測を行うとともに、富田川流域に隣接する一級河川熊野川右支川の音無川流域における流出土砂推計値の検討を行った結果、降水量と流砂量の間には、雨量の閾値、土砂流出に有効な降雨強度および一次関数の関係式を見出した。また、得られた関係式に基づく流出土砂量の予測により効率的な河川管理を行い、治水安全度の向上に資する可能性について考察を行った。

Key Words: forest dilapidations, precipitation, sediment yield, linear function, threshold, reliability of flood control

1. はじめに

近年、我が国では、林業経営を取り巻く状況の変化によって十分な管理がなされぬまま荒廃化した森林が増加しており、そのような流域では平常時の土砂生産・流入の増加のみならず、降水多量時の崩壊危険度の増大も指摘されている。こうした中、2011年の紀伊半島大水害、2014年広島土砂災害、2015年関東・東北豪雨、2017年九州北部豪雨、2018年西日本豪雨、2019年台風第19号および2020年熊本豪雨等、大規模降雨による災害が日本各地で頻発している。いずれの災害も上流部に森林を有する流域において、大規模降雨に起因して発生したものである。従って、大規模降雨や森林の荒廃が、土砂の生産や河道への流入に与える影響を明らかにする必要がある。降水と流出土砂量の関係性については、過去において多くの研究がなされ¹⁾³⁾、これらの成果として、流域内の地質や崩壊地の有無、河床堆積物や森林特性等によ

り様々な形態をとることが報告されているが、その関係性を明確にすることは極めて困難である。また、西南日本の治水、利水および多目的ダムが存在しない山地流域において、降水と流出土砂量の関係性に関して、現地での実測に基づく研究がなされた数はそれ程多くはない。こうした中、現在、山地からの土砂流出を予測するモデルは、既に高度化している⁴⁾が、測量や観測の継続性など実務レベルの運用では、依然様々な課題があり、流出土砂量のある程度の精度で簡便に求めることは、長期の流域管理を効率的に行う上でも重要である。

和歌山県の二級河川である富田川においても、2011年9月の台風第12号による紀伊半島大水害時に、中辺路町真砂地内で斜面が崩壊し約12万m³の土石流が河道に流入した他、富田川流域の各支川でも多くの山腹崩壊が発生した。崩壊土砂はその後の降雨に伴い継続的に河道へ流入しており、富田川の中下流域への大量の土砂堆積により、全体の治水安全度の低下が危惧されている。和歌

山県が管理する河川の延長は総計約 1,970km であるが、このような事態に対し河川管理を行う職員数は減少の一途をたどり、護岸や河道の管理が十分に行えていない現状である。

著者らは、富田川右支川の西谷川および熊野川谷川流域において、降水と流出土砂量の関係性を定式化することを目的として、2014年から2019年にかけて水文量と流砂量の観測^{5), 6)}を行ってきた。しかしながら、6年間の継続的な観測をもってしてもある程度以上の土砂流出が発生したイベントは数えるほどでしかなく、体系的な説明が出来るに至っていない。そこで本研究では、近接する流域でかつ網羅的なデータが存在する一級河川熊野川の右支川である音無川流域について、降水と流出土砂量の関係性、特に流出土砂量のオーダーが変わる連続雨量の閾値の決定要因について検討した。さらに、そこで得られた概念と用いた検討手法を西谷川および熊野川谷川流域に適用し既発表^{5), 6)}の内容に新たな解釈を試みた。

具体的には、音無川流域における流出土砂の推計結果から、降水と流出土砂量の間に見られる傾向、並びに期別連続雨量を構成する時間雨量を10~30mmの間で5mm毎に区分し、各区分雨量すなわち雨量の閾値以上の累積雨量の変化に伴う流出土砂量への影響を分析した。さらに、各区分雨量及び閾値以上の累積雨量の概念を西谷川および熊野川谷川流域に適用し、降水と流出土砂量との関係について整理し直した。

加えて、頻発する水害に対応する和歌山県職員の人員不足等、厳しい河川管理の現状を踏まえ、得られた関係式を用いた治水安全度向上のための効率的な河川管理の可能性について考察を行った。

2. 富田川、西谷川、熊野川谷川および音無川流域の概要

富田川は、その源を和歌山県と奈良県との県境に位置する安堵山(標高1,184m)に発し、鍛冶屋川、西谷川などの支川を合流し、和歌山県の中南部を流れ紀州灘に注ぐ、幹川流路延長約46.00km、流域面積254.10km²の二級河川である。観測を実施した西谷川(流路延長約2.00km、流域面積約5.25km²)は富田川中流域の右支川の一つであり、一方、熊野川谷川(流路延長約1.30km、流域面積約3.01km²)は、富田川中流域の右支川である鍛冶屋川流域の右支川であり、西谷川流域の北東部に近接する。

音無川(流路延長約7.30km、流域面積約10.80km²)は、富田川流域に隣接する一級河川熊野川の右支川である。

図-1に富田川流域の全体図および、西谷川、熊野川谷川、音無川の流域を示す。

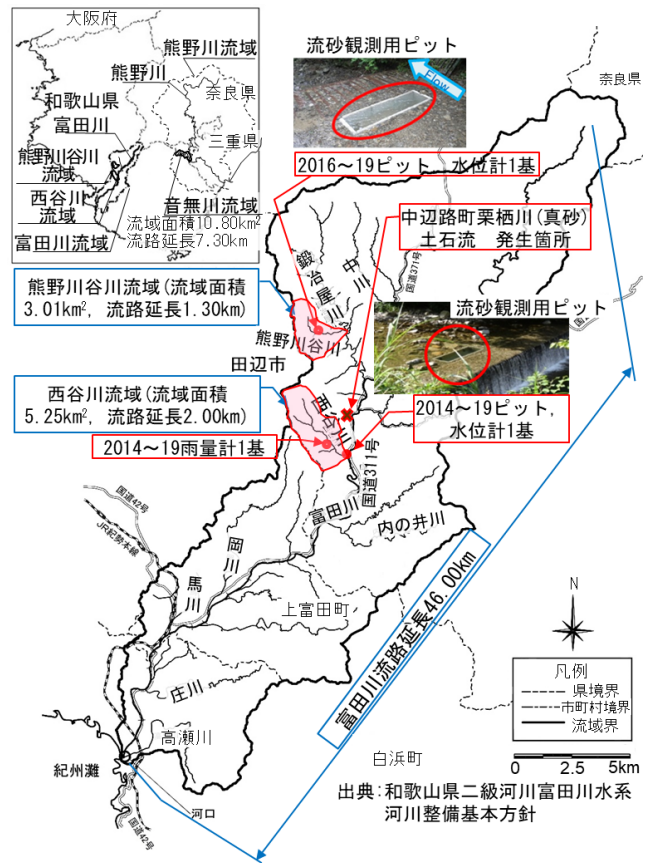


図-1 富田川、西谷川、熊野川谷川および音無川流域図、並びに観測機器位置図

3. 音無川流域における降水と流出土砂量の検討

(1) 土砂流出計算モデル

降水と流出土砂量の関係性を把握するために、国土交通省近畿地方整備局紀南河川国道事務所が行った流出土砂予測業務⁷⁾の内、音無川流域における1995~2015年の期間中のデータを用いて分析を行った。同業務で使用された土砂流出計算モデルは、降雨流出計算と土砂流出計算を組み合わせたものであり、その概要を以下に示す。なお、期別連続雨量は、前後に24時間以上の無降雨期間がある一かたまりの降雨と考え、連続雨量が50mm以上、かつ掃流砂の発生が推計されたイベントを抽出した。

a) 降雨流出計算

斜面流水モデルの支配方程式として、表面流にはkinematic wave法、中間流にはダルシー則⁸⁾を用いることで、各層から流出する流水の支配方程式は式(1)~式(8)のように表せられる。表面流については、

$$\partial h_1 / \partial t + \partial q_1 / \partial x = (r - f_1) \cos \theta_s \quad (1)$$

$$q_1 = 1/n_s i^{1/2} h_1^{5/3} \quad (2)$$

ここに、 h_1 : 表面流の水深、 q_1 : 表面流における単位幅流量、 r : 降水量、 f_1 : A層における浸透能、 θ_s : 斜面傾斜角、 n_s : 斜面におけるマンニングの粗度係数、 i : 斜面勾配(= $\tan \theta_s$)である。中間流 A 層については、

$$\lambda_e \partial h_2 / \partial t + \partial q_2 / \partial x = (f_1 - f_2) \cos \theta_s \quad (3)$$

$$q_2 = k_1 h_2 i \quad (4)$$

ここに、 λ_e ：土層内における有効空隙率、 h_2 ：中間流 A 層における水深、 q_2 ：中間流 A 層における流量、 f_2 ：B 層における浸透能、 k_1 ：A 層における透水係数である。中間流 B 層については、

$$\lambda_e \partial h_3 / \partial t + \partial q_3 / \partial x = (f_2 - f_3) \cos \theta_s \quad (5)$$

$$q_3 = k_2 h_3 i \quad (6)$$

ここに、 h_3 ：中間流 B 層における水深、 q_3 ：中間流 B 層における流量、 f_3 ：C 層における浸透能、 k_2 ：B 層における透水係数である。

河道流水モデルの支配方程式として、流水の連続式および運動方程式は、式(7)に示す貯留型の方程式として表せられる。

$$\frac{\partial h}{\partial t} = \frac{[Q(x_i) + Q(y_i) - Q(x_{i+1})]}{BL} + \frac{q}{B} + r \cos \theta \quad (7)$$

ここに、 h ：単位河道 i における水深、 L ：単位河道 i における河道長、 B ：単位河道 i における河幅、

$Q(x_i)$ 、 $Q(y_i)$ ： x_i 、 y_i 地点からの流入量、 $Q(x_{i+1})$ ： x_{i+1} 地点からの流出量、 q ：単位河道 i に接続する山腹斜面からの単位長さ当たりの横流入量、 θ ：斜面傾斜角である。

運動方程式は kinematic wave 法による近似によって、式(8)のようになる。

$$Q(x_{i+1}) = \frac{1}{n} I^{1/2} B h^{5/3} \quad (8)$$

ここに、 n ：単位河道 i におけるマンニングの粗度係数、 I ：単位河道 i における河床勾配 (= $\tan \theta$)。

b) 土砂流出計算

著者らが西谷川および熊野川谷川流域で実施した調査および観測では、河床材料のうち粒径 2mm 未満の通過質量百分率が 20% 程度以下⁹⁾であり、濁度計による浮遊砂の計測は行っておらず、ピットによる捕捉土砂量を対象とした¹⁰⁾こと、また音無川における粒度調査の結果、浮遊砂の多くを占める 2mm 未満の粒径は 11% 程度未満⁷⁾であったことから、計算結果の内、浮遊砂および wash-load 成分は考慮せず、掃流砂のみを対象とした。掃流砂量の算定には、芦田・道上式¹¹⁾を用いる。掃流砂については式(9)にて示される。

$$Q_{bi}(x_{i+1}) = 17B \sqrt{sgd_i^3} p_i \tau_{*ei}^{3/2} \left(1 - \frac{u_{*ci}}{u_*}\right) \left(1 - \frac{\tau_{*ci}}{\tau_{*i}}\right) \quad (9)$$

ここに、 $Q_{bi}(x_{i+1})$ ： x_{i+1} 地点から流出する粒径別掃流砂量、 s ：土砂の水中における比重、 g ：重力加速度、 d_i ：粒径、 p_i ：粒径 d_i の粒子の含有率、 u_* ：摩擦速度、 u_{*ci} ：粒径 d_i の粒子の限界摩擦速度、 τ_{*i} 、 τ_{*ei} 、 τ_{*ci} ：それぞれ、粒径 d_i の粒子の無次元掃流力、無次元有効掃流力、無次元限界掃流力である。ここで、 u_* および τ_{*i} は式(10)および式(11)から得られる。

$$u_* = \sqrt{ghl} \quad (10)$$

$$\tau_{*i} = u_*^2 / sgd_i \quad (11)$$

また、有効掃流力 τ_{*ei} には対数則から推定される式(12)、式(13)、式(14)を用いる。

$$u_{*e} = \frac{u}{6 + 5.75 \cdot \log_{10} \frac{h}{dm \left(1 + 2 \frac{u_{*cm}^2}{sgdm}\right)}} \quad (12)$$

$$\tau_{*ei} = u_{*e}^2 / sgd_i \quad (13)$$

$$u_{*cm} = \sqrt{0.05 \cdot sgd_m} \quad (14)$$

ここに、 u_{*cm} ：平均粒径の粒子に対する摩擦速度、 d_m ：平均粒径である。

u_{*ci} は芦田・道上による修正 Egiazaroff の式¹¹⁾により式(15)、式(16)で表される。

$$\frac{u_{*ci}^2}{u_{*cm}^2} = \begin{cases} 0.85 & \frac{d_i}{d_m} < 0.4 \\ \frac{1.64}{\left(\log 19 \frac{d_i}{d_m}\right)^2} \cdot \frac{d_i}{d_m} & \frac{d_i}{d_m} \geq 0.4 \end{cases} \quad (15)$$

$$\tau_{*ci} = u_{*ci}^2 / sgd_i \quad (16)$$

(2) 土砂流出計算結果

期別連続雨量とその間に推定された流出土砂量の関係を表-1に示す。表-1中には累積有効雨量(試算)も示しているが、これについては後述する。表-1より、期別連続雨量 84~1,119mm の範囲で 7.47~265.34m³/km² の流出土砂が推計されている。また、年ごとの推計流出土砂量は、2005 年の 13.39m³/km²/年を最小値として、2011 年の 449.58m³/km²/年が最大値となっている。流域面積と比流出土砂量の関係¹²⁾によると、音無川流域と同一流域である十津川では 10⁴ m³/km²/年程度の値となっており、音無川は十津川と比較して 2 オーダー程度少ないものの、本推計は掃流砂のみを対象としていることから、ほぼ妥当なものと考えられる。

(3) 土砂流出の傾向の分析

期別連続雨量と単位面積あたりの推計流出土砂量の関係を図-2に示す。図-2より、最大値を包絡して見た場合、概ね雨量の増加に伴い流出土砂量も増加する傾向が見受けられるが、同一雨量に対するばらつきはかなり大きい。

ここで、同一雨量に対する流出土砂量のばらつきという観点から、図-2中にプロットされた点は以下の 3 グループに大別される。

A. 流出土砂量が概ね 50m³/km² 以下である雨量 240mm 以下のグループ

B. 流出土砂量のばらつきが 10~100m³/km² とやや大きくなる雨量 240~440mm のグループ

C. 流出土砂量のばらつきが 10~250m³/km² とさらに大

表-1 音無川の期別連続雨量および各区分時間累積雨量と推計流出土砂量の関係

番号	対象降雨期間 (流出土砂が推計された降雨 を抽出)		実測値								推計値			備考
			期別連 続雨量 (mm)	最大 時間 雨量 (mm)	左記 周辺 連続 時間	(a) 期別連 続雨量 の内時 間10mm 以上累 積雨量	(b) 左記の 内時間 15mm以 上累積 雨量	(c) 左記の 内時間 20mm以 上累積 雨量	(d) 左記の 内時間 25mm以 上累積 雨量	(e) 左記の 内時間 30mm以 上累積 雨量	流出土砂量 (m ³)	km ² 当 たり流 出土砂 量 (m ³ /km ²)	km ² 当 たり年 間流 出土砂 量 (m ³ /km ² / 年)	
1	1995(H7)	9/23~10/1	240	35.0	13	155	87	69	69	69	444.74	41.14	41.14	
2	1997(H9)	6/18~20	186	32.0	15	139	115	82	61	32	443.31	41.01	276.66	
3		7/25~26	452	42.0	22	413	402	333	264	264	2466.64	228.18		③
4		8/4~7	175	38.0	4	100	100	63	63	38	80.73	7.47		
5	1998(H10)	6/21	122	25.0	15	75	64	45	25	0	185.56	17.17	90.69	
6		9/18~22	385	34.0	12	192	140	106	84	34	488.48	45.19		
7		9/23~24	214	49.0	13	143	85	70	49	49	306.30	28.34		
8	1999(H11)	6/22~29	392	30.0	13	172	140	140	30	30	355.06	32.85	60.89	
9		7/2~3	154	35.0	7	112	100	82	62	35	303.11	28.04		
10	2000(H12)	9/2	166	58.0	7	163	163	163	140	88	935.56	86.55	112.66	
11		9/10~12	323	24.0	32	252	159	92	0	0	142.20	13.15		
12		9/12~15	163	28.0	17	84	52	52	28	0	140.14	12.96		
13	2001(H13)	8/19~21	466	39.0	35	377	350	298	214	135	2237.91	207.02	293.23	
14		9/30	136	48.0	7	117	105	89	89	89	550.46	50.92		
15		10/10	141	26.0	11	125	125	75	51	0	381.46	35.29		
16	2002(H14)	7/6~10	199	76.0	9	95	95	76	76	76	274.10	25.36	158.38	
17		8/27~29	445	59.0	52	357	291	227	120	92	1438.03	133.03		⑧
18	2003(H15)	5/30~31	101	23.0	10	83	61	43	0	0	136.55	12.63	88.16	
19		8/7~8/9	382	29.0	29	293	279	246	136	0	816.42	75.52		
20	2004(H16)	4/27	90	19.0	11	54	19	0	0	0	94.57	8.75	225.70	
21		6/19~21	240	48.0	16	207	174	155	155	155	543.27	50.26		
22		8/3~5	326	41.0	21	237	216	128	106	78	619.87	57.34		
23		9/27~29	161	26.0	15	145	96	46	26	0	106.94	9.89		
24		10/19~20	319	59.0	25	232	207	174	154	127	1075.13	99.46		
25	2005(H17)	9/4~7	465	27.0	40	344	185	47	27	0	144.74	13.39	13.39	⑥
26	2006(H18)	5/7	161	32.0	16	114	69	53	32	32	367.16	33.96	89.36	
27		7/5	84	23.0	8	67	44	44	0	0	598.84	55.40		
28	2007(H19)	7/10~15	450	23.0	26	227	167	67	0	0	154.62	14.30	14.30	⑦
29	2009(H21)	6/22~24	128.5	44.0	7	85	62	44	44	44	293.93	27.19	67.56	
30		7/25~29	397	33.0	12	216	102	85	65	65	436.40	40.37		
31	2010(H22)	4/22	157.5	29.5	17	89	51	51	30	0	362.82	33.56	98.74	
32		6/18~22	240	25.0	5	132	83	47	25	0	345.80	31.99		
33		7/9	100.5	30.5	11	80	53	53	31	31	131.12	12.13		
34		9/27~28	94.5	27.0	14	79	69	69	27	0	227.68	21.06		
35	2011(H23)	6/10~11	111.5	27.5	17	42	28	28	28	0	325.49	30.11	449.58	
36		7/17~20	622	53.5	48	494	412	297	254	172	1226.32	113.44		④
37		8/31~9/3	1119	48.0	47	977	889	785	612	422	2764.46	255.73		①
38		9/19~9/21	364	43.5	28	246	171	154	154	77	543.72	50.30		
39	2012(H24)	6/19	208.5	48.5	15	155	143	128	128	128	257.46	23.82	107.87	
40		9/30	273	61.5	10	260	260	260	260	233	908.60	84.05		
41	2013(H25)	6/26	200	33.0	18	179	157	89	89	64	759.26	70.24	191.46	
42		9/14~16	470	54.5	31	393	331	244	174	91	1310.40	121.22		
43	2014(H26)	8/8~10	649.5	51.5	45	580	486	402	353	218	2868.29	265.34	309.04	②
44		10/5~6	207	55.0	11	179	167	167	167	167	472.41	43.70		
45	2015(H27)	6/2~3	102.5	26.0	12	62	48	48	26	0	246.82	22.83	96.24	
46		7/15~17	530	39.5	30	460	387	321	229	175	793.55	73.41		⑤

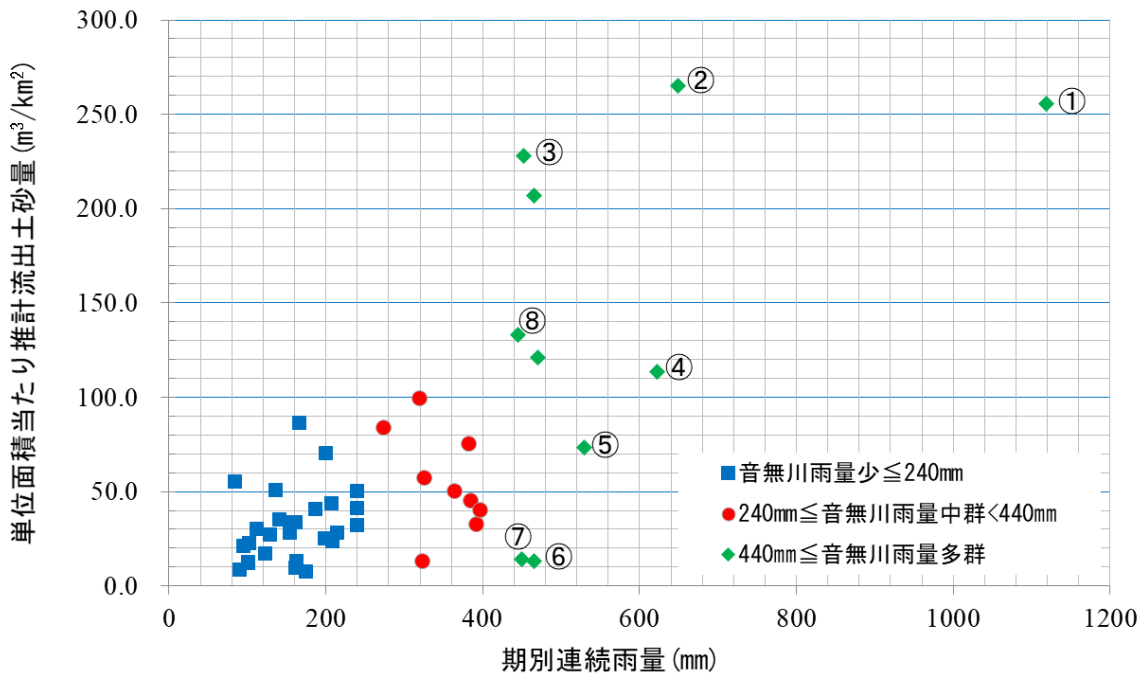


図-2 音無川流域 単位面積当たりの期別連続雨量と推計流出土砂量の関係

きくなる雨量 440mm 以上のグループ

グループ A (図-2 中青四角) は、他のグループに比してイベント数が多く、また、それらは比較的狭い範囲に固まっていることから同一雨量に対する流出土砂量の再現性がある程度存在するものと考えられる。また、流出土砂量が $50\text{m}^3/\text{km}^2$ 以下の領域では雨量の増加に伴い土砂量が増加する傾向にあることがうかがえる。

グループ B (図-2 中赤丸) は、グループ A において過半を占めた流出土砂量 $30\text{m}^3/\text{km}^2$ 以下がほとんどなく全体的に流出土砂量が増加している。しかしながら、雨量と流出土砂量の間には明確な傾向はない。

グループ C (図-2 中緑菱) では、グループ B との境界近くである雨量 440mm 付近で流出土砂量が約 $15\text{m}^3/\text{km}^2$ 、約 $130\text{m}^3/\text{km}^2$ および $200\text{m}^3/\text{km}^2$ 超と大きく異なる値でそれぞれ 2 イベントずつ存在する点が特徴的である。

雨量 600mm 付近にも流出土砂量が大きく異なる 2 イベントが存在するが、それより大きい範囲ではイベント数が少なく、傾向は明らかではない。雨量が最大および第 2 位のイベントにおける流出土砂量がいずれも約 $250\text{m}^3/\text{km}^2$ であることから、この値が同流域における限界流出土砂量を示しているとも考えられる。

(4) 土砂流出に有効な降雨強度の検討

図-2 に示したように、期別連続雨量に対して流出土砂量は一意には定まらず、そのばらつきは期別連続雨量が大きくなるほど顕著となる。これは、総雨量が同一であっても、降雨波形やそこに含まれる降雨強度の構成が異なることが一因と考えられる。特に、降雨に対する応答としての土砂流出を考えた場合、ある程度以下の弱い雨

は、土砂流出にはほとんど寄与しないことが想定される。

このことを確認するために、3.(3) でグループ C の特徴として指摘した、雨量 440mm 付近の 6 つのイベントのうち、流出土砂量の異なる 3 つのイベントを選び出しそれらのハイトグラフ及びハイドログラフを示したのが図-3 である。図-3 より、流出土砂量の小さいイベント⑦では、降雨強度 20mm/hr 以下の比較的弱い雨の占める割合が大きいのにに対し、流出土砂量の大きいイベント③では、そのような弱い雨の占める割合がそれほど大きくないことがわかる。そこで、降雨強度に流出土砂を発生させるある閾値が存在すると仮定し（以降、有効降雨強度とする）、閾値を $10\sim30\text{mm/hr}$ に変化させたときの閾値を超える雨量の累積値（以降、累積有効雨量とする）を計算し、表-1 に記載した。

図-4 はこのうち、有効降雨強度を 20mm/hr とした際の累積有効雨量(x軸)と流出土砂量(y軸)の関係をプロットしたものである。なお、図-4 には有効降雨強度の概念を適用する前の累積雨量（期別連続雨量）と流出土砂量の関係も合わせてプロットしている。図-4 より、有効降雨強度未達の雨量が省かれ総雨量が減ることにより、各プロットは y 軸方向へと移動するが、その移動量は総じて期別連続雨量が大きいものほど大きい。

図-4 には、累積雨量と流出土砂量の間に関係があるものと仮定して各プロット群に対する相関係数を記入しているが、有効降雨強度を導入することにより、線形関数の傾きが大きくなると共に相関係数も大きくなることが見て取れる。

図-5 は、閾値の変化に対する相関係数の変化を示したものであるが、これより有効降雨強度を 20mm/hr とした

場合に相関係数が最も高くなる。

以上のことから、音無川流域においては降雨強度が20mm/hr 以上の場合に最も土砂流出に有効な降雨となり、それ未満の降雨を省いた累積有効雨量を用いることで、流出土砂量は式(17)によって見積もられる。

$$V_s = 0.4062R_{ce} + 4.6271 \quad (17)$$

ここに、 V_s ：流出土砂量、 R_{ce} ：累積有効雨量（閾値20mm/hr）である。図-4には式(17)による推計値 $\pm 25\%$ の領域も示しているが、半数以上のプロットがこの範囲内に存在し、精度としてはやや粗いものの式(17)の有効性を示している。

4. 西谷川および熊野川谷川流域における降水と流出土砂量の検討

上記 3. (4)において、音無川流域で得られた雨量の閾値および累積有効雨量と流出土砂量との関係性について、西谷川および熊野川谷川流域の観測結果に適用が可能か検討を行った。

(1) 観測方法

西谷川流域では 2014～2018 年、熊野川谷川流域では 2016～2019 年に雨量、河川水位および流出土砂量の観測を行った。各年度の観測期間および流砂量計測日を表-2に示す。

掃流砂の観測手法については、現在までに様々な検討がなされており^{13)~16)}、ピット掃流砂計測装置に代表される直接的な手法と音響法に代表される間接的な手法が

あるが、本観測では掃流砂の絶対値を直接観測可能で、現時点では間接法より精度の良いピットによる手法を採用した。

西谷川流域では、流域のほぼ中心部に雨量計を、また

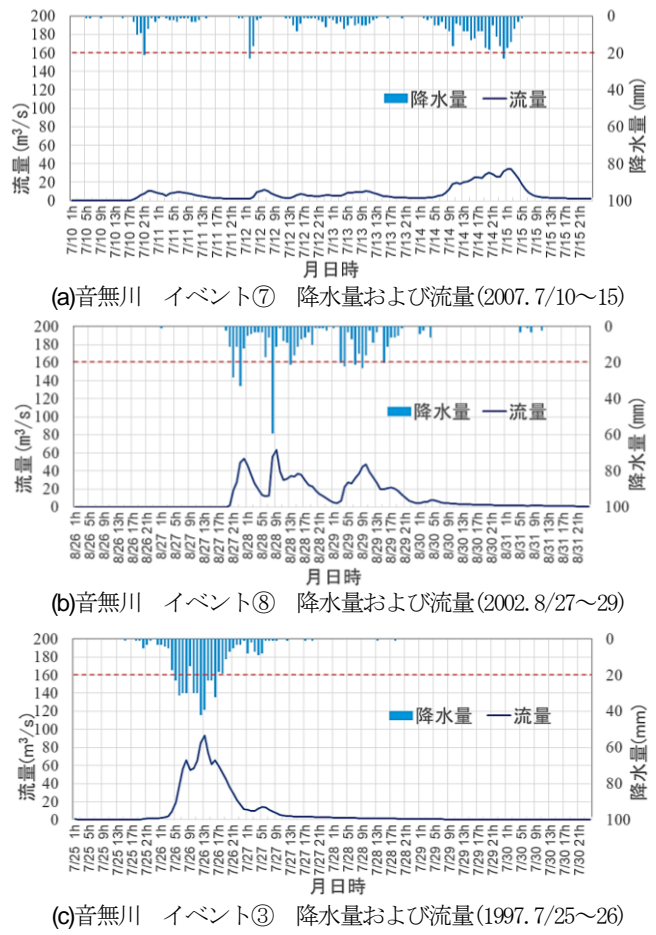


図-3 音無川流域 期別連続雨量440mm付近のイベントの降水量および流量

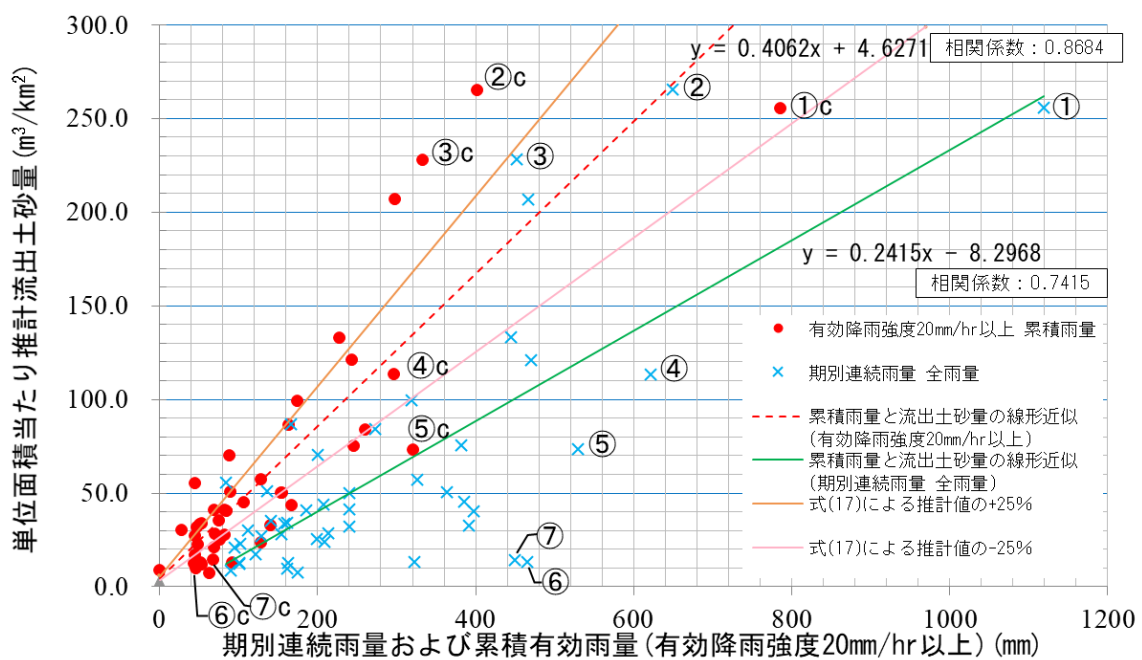


図-4 音無川流域 単位面積当たりの期別連続雨量および累積有効雨量(有効降雨強度20mm/hr以上)と推計流出土砂量の関係

流域下流端にほど近い落差工の直上部に図-1に示す掃流砂量計測用のピットを設置し、ピット内部に水位計を設置した。ここで、ピットの諸元は開口部の幅 1.8m、縦断方向長さ 0.45m、深さ 0.45m、空容積 0.3386m³であり、捕捉された土砂量にピット幅と河道幅の比を乗じて河道全幅での流砂量¹⁰とした。

熊野川谷川流域においては、集水域に明らかな崩壊地が含まれるのを避けて中流部に位置する落差工を選び、その直上部に西谷川と同様にピットと水位計を設置した。なお、ピットへの集水域は 1.02 km²であり、流域面積の約 1/3 である。

(2) 観測結果

観測結果の一例を図-6に、降雨イベント毎に整理したものを表-3に示す。ここで、期別連続雨量は前後に 24 時間以上の無降雨期間がある一かたまりの降雨と考え、連続雨量が 50mm 以上、かつ原則として観測水位が河床面から 5cm 以上に上昇したイベントを抽出した。なお、設置した雨量計の不調による欠測期間については、気象庁アメダスの栗栖川観測所の雨量で代用した。また、音無川流域(表-1)と同様に、イベント毎に累積有効雨量の試算値を示した。表-3より、西谷川流域では期別連続雨量 63~681.5mm の範囲で観測結果が得られているが、期別連続雨量が 200mm 以下の場合には流出土砂量が 0.07m³/km² 程度以下であるのに対し、500mm 以上となると、2018 年の 507mm のイベントを除き 0.32~0.43m³/km² となった。

一方、熊野川谷川流域では、期別連続雨量 154~664mm の範囲で観測結果が得られたが、西谷川で見られたような雨量の多寡に対する単位面積あたり流出土砂量の応答性が見られず、1.11~1.48m³/km² とほぼ一定であった。同流域の特徴としては、西谷川流域と比べて河川水位の上昇の程度が低く、降雨イベント終了後、短時間で河床以下に水位が低下しており、伏流水化していることが考えられる。

(3) 降水と土砂流出の傾向

期別連続雨量と単位面積あたりの流出土砂量の関係を図-7に示す。図-7には、西谷川と熊野川谷川の両者の結果をプロットしている。図-2に示した音無川の結果と比較すると、ばらつきはあるものの、熊野川谷川で 1~2 オーダー程度、西谷川ではさらに 1 オーダー流出土砂量が小さい。3.(3)で検討したグループ分けの観点で見ると、西谷川に関しては、音無川と同様に雨量 200~250 mm を境に流出土砂量のばらつきが大きくなっている。

一方、雨量 400mm 前後でばらつきはそれほど変わらないが、むしろ雨量 520mm 以上で流出土砂量がほぼ 0.40 m³/km² 程度に収れんしている。これに対して熊野川谷川

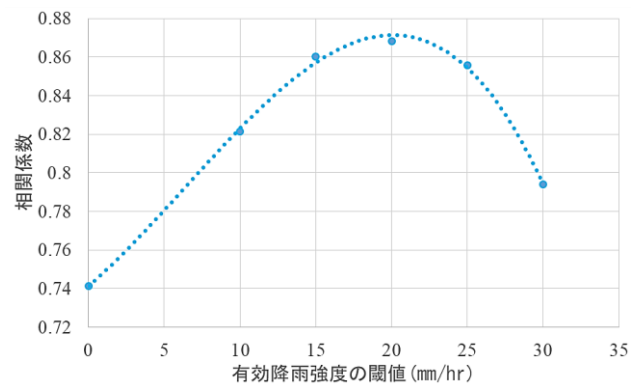


図-5 音無川流域 有効降雨強度の閾値に対する相関係数

表-2 西谷川および熊野川谷川での各年度の観測期間および流砂量計測日

流域名	年度	観測期間	流砂量計測日
西谷川	2014 (H26)	6/28~11/29	7/18, 8/19, 10/9, 12/17
	2015 (H27)	8/6~12/23	9/22, 12/7
	2016 (H28)	6/18~11/16	7/22, 10/31
	2017 (H29)	7/1~11/22	8/15, 11/3
	2018 (H30)	5/12, 6/28~11/26	5/12, 6/30, 9/1, 10/2
熊野川谷川	2016 (H28)	6/18~11/16	7/22, 10/31
	2017 (H29)	7/1~11/22	8/15, 11/3
	2018 (H30)	6/28~11/26	9/8
	2019 (R1)	5/18~11/30	8/8, 9/14, 11/30

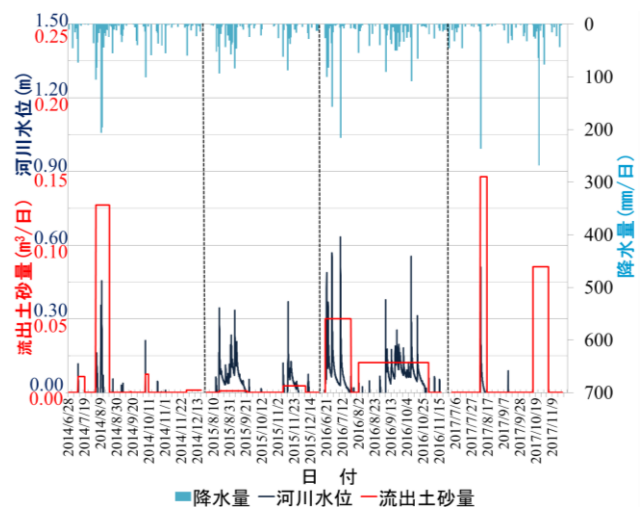


図-6 西谷川流域 降水量-河川水位-流出土砂量の観測結果 (2014~2017年)

では、4.(2)でも指摘したように、1 イベントを除いて流出土砂量は 1.40m³/km² でほぼ一定である。

以上のことから、西谷川では音無川の例に倣い、雨量 200mm あたりに 1 つのグループ境界の存在がうかがえる。加えて、雨量 520mm 以上での傾向から、同流域の限界流出土砂量は今回の観測結果からは 0.40m³/km² 程度と推測される。

一方、熊野川谷川では、今回の観測結果においては、単位面積あたりの流出土砂量は雨量に依らずほぼ一定と

表-3 西谷川および熊野川谷川の期別連続雨量および各時間区分の累積雨量と流出土砂量の関係

番号	流域	対象降雨期間 (一連の連続雨量が50mm 以上かつ観測水位がある 場合は水位が5cm以上の 降雨を抽出)	観測値											備考			
			期別連続雨量 (mm)	観測日	流出土砂量 (m ³)	最大時間雨量 (mm)	左記 周辺 連続 時間	期別連続雨量の内下記各時間区分の 累積雨量(mm)					最高 水位 (m)		km ² 当たり 流出 土砂量 (m ³ /km ²)		
								(a) 時間10 mm以上	(b) 時間15 mm以上	(c) 時間20 mm以上	(d) 時間25 mm以上	(e) 時間30 mm以上					
1	西谷川	2014	7/6~7/10	131	7/18	0.097	13.0	18	25.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.12	0.019		
2	流域 面積	(H26)	8/1~5, 8~12	681.5	8/19	2.275	30.5	43	415.0	354.5	245.5	139.5	30.5	0.46	0.433	⑦	
3			10/5~10/6	115	10/9	0.055	40.5	8	99.5	71.5	71.5	71.5	0.21	0.010	⑤		
4			11/28~11/29	63	12/17	0.030	14.5	14	40.5	0.0	0.0	0.0	0.0	-	0.006		
5		5.25	2015	8/17, 9/1~2, 6~9	339	9/22	0.134	29.5	17	242.0	180.0	145.5	55.5	0.0	0.35	0.026	④
6	km ²	(H27)	11/8~9, 13~15, 17~18	251	12/7	0.134	35.5	15	76.0	54.0	35.5	35.5	35.5	0.37	0.026	③	
7	流域 面積	2016	6/19~21, 22~23, 27~30, 7/8~7/10	664	7/22	1.681	59.5	31	458.0	411.0	339.5	294.0	186.0	0.63	0.320		
8			8/1~2, 9/4~8, 12 ~15, 17~20, 22~ 25, 10/8~10/9	620.5	10/31	1.855	39.0	18	305.5	211.5	196.5	176.0	149.0	0.56	0.353		
9			2017	8/4~8/7	254	8/15	1.287	34.0	25	183.5	169.0	98.5	34.0	34.0	0.51	0.245	①
10			(H29)	10/14~23, 28~29	527	11/3	1.735	31.0	47	294.5	239.0	204.5	111.5	31.0	-	0.330	
11	ピット への集 水面積	2018	4/24~25, 5/2~3, 6~9	507	5/12	0.134	24.5	28	304.0	126.5	80.5	0.0	0.0	-	0.026	②	
12			5/30~31, 6/5~9, 18~21, 26~30	539.5	6/30	2.023	48.5	40	243.0	176.0	108.5	86.0	86.0	-	0.385		
13			8/23~24	337.5	9/1	1.753	52.0	34	252.5	252.5	233.5	233.5	181.5	0.76	0.334		
14			9/29~10/1	174	10/2	0.370	34.5	16	127.5	114.5	65.0	65.0	65.0	0.61	0.071	⑥	
15	熊野川 谷川	2016	6/19~21, 22~23, 7/8~10	664	7/22	1.448	59.5	31	458.0	411.0	339.5	294.0	186.0	0.18	1.426		
16	流域 面積	(H28)	9/4~8, 12~15, 17~20, 22~25, 10/8~9	566.5	10/31	1.125	39.0	18	261.5	152.5	132.0	132.0	105.0	0.10	1.107	⑧	
17	3.01	2017	8/4~8/7	254	8/15	1.505	34.0	25	183.5	169.0	98.5	34.0	34.0	0.13	1.481		
18	km ²	(H29)	10/14~10/23	426	11/3	1.430	31.0	47	235.0	193.0	175.5	82.5	31.0	0.19	1.407		
19	1.02 km ²	2018	8/23~24, 9/4	489	9/8	1.486	52.0	34	372.5	362.0	343.0	302.0	250.0	0.48	1.463		
20			2019	5/20~21, 6/26~ 7/2, 7/3~4, 15~19	504.5	8/8	1.329	34.5	31	203.0	144.5	111.0	88.0	34.5	0.05	1.308	
21			(R1)	8/13~16	395.5	9/14	1.467	32.0	56	254.0	156.0	106.0	58.0	32.0	0.33	1.444	
22			10/17~19	154	11/30	1.442	38.0	26	71.5	71.5	38.0	38.0	38.0	-	1.419		

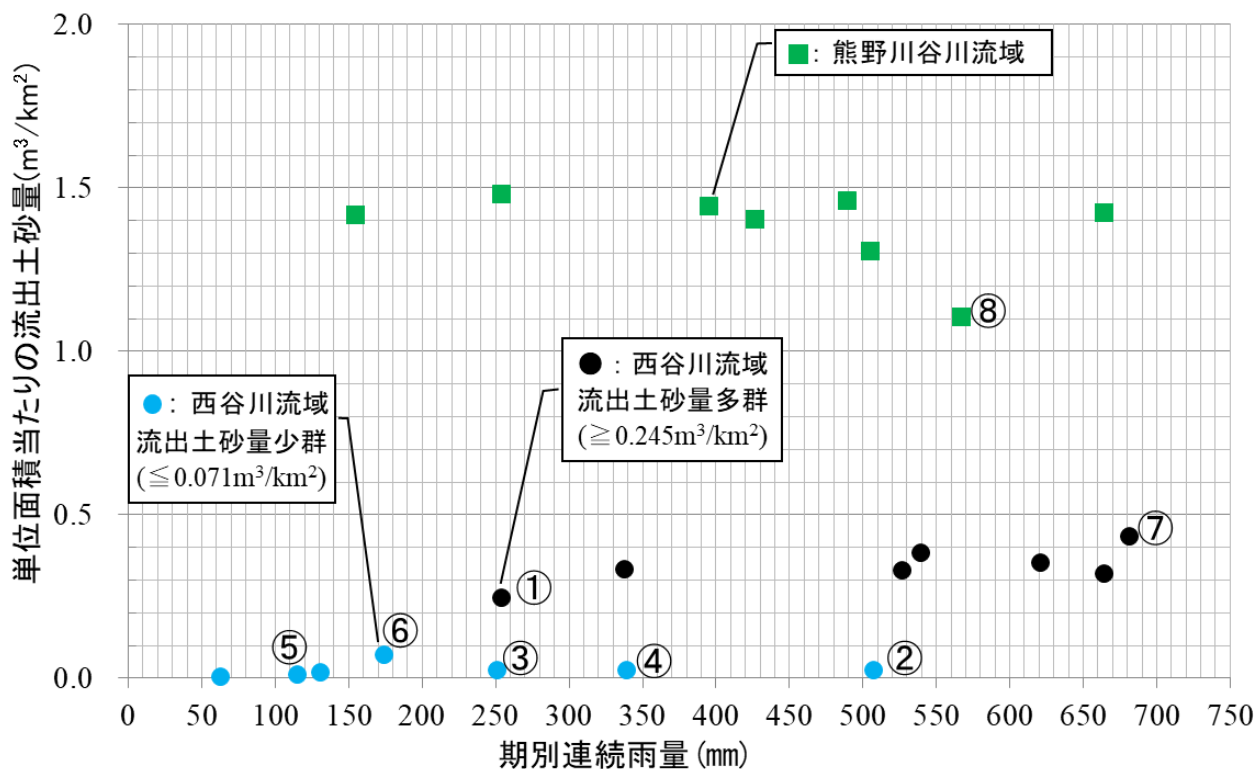


図-7 西谷川および熊野川谷川流域における期別連続雨量と単位面積当たりの流出土砂量の関係

特異な結果を示している。

ここで西谷川および熊野川谷川と音無川流域のオーダーの違いについて、2011年9月の大災害時の崩壊地面積(図-8~10)¹⁷⁾と各河川の水位(図-11)の観点から考察を行った。まず、崩壊地面積から推定崩壊土砂量を求めるGuzzettiらの経験式¹⁸⁾を式(18)に示す。式(18)によって求めた各流域の推定崩壊土砂量を表-4に示した。

$$V = 0.074A^{1.45} \quad (18)$$

ここに、 V ：崩壊土砂量、 A ：崩壊面積である。

表-4より、崩壊土砂量は、熊野川谷川流域では19,412m³で、音無川の97,971m³と比較して、ほぼ1オーダー小さく、西谷川では5,116m³で熊野川谷川と比較してさらに1オーダー小さい推計結果となり、図-2と図-7で示された流出土砂量の関係性と同様の傾向が見られた。

次に、2014年から2018年までの降水量および各流域の河川水位を示したものが図-11である。なお、音無川の2015年の水位については、水位計の不具合により欠測となっている。図-11より、音無川の最大水位は2.40m程度で、西谷川は0.60m程度、熊野川谷川は0.40m程度となっており、河川水位の観点からも音無川は西谷川・熊野川谷川と比較してオーダーが異なることが説明できる。熊野川谷川流域で流出土砂量は雨量に依らずほぼ一定となったことについては、図-11に示すように同川は水位上昇量も継続時間も小さく掃流力は小さいものの、表-4に示すように多量の崩壊土砂が河道に残留しているため、短時間で同流域の限界流出土砂量に達した後水位低下するといった流量の変化が短時間に急激に生じる先鋭的な土砂流出現象による可能性が考えられる。

加えて、西谷川流域の特殊事情として、同流域は過去に地すべり対策事業による地下排水トンネル等の施設が設置されており、それらの流末は岩盤が露呈した沢に流下されている。このことも、同流域の流出土砂量が少ないことの要因として考えられる。

(4) 土砂流出に有効な降雨強度の検討

4.(3)での検討において、熊野川谷川では流出土砂量は雨量に依らずほぼ一定であったことから、本節の検討は西谷川に限って進めることとした。

図-12は、西谷川における観測結果に対して図-4と同様に、有効降雨強度の概念を適用したときの累積雨量および期別連続雨量をx軸に、流出土砂量をy軸にプロッ



図-8 西谷川流域の崩壊位置図

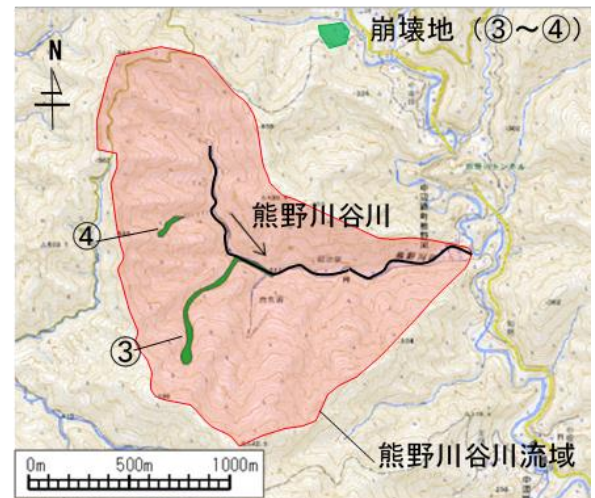


図-9 熊野川谷川流域の崩壊位置図

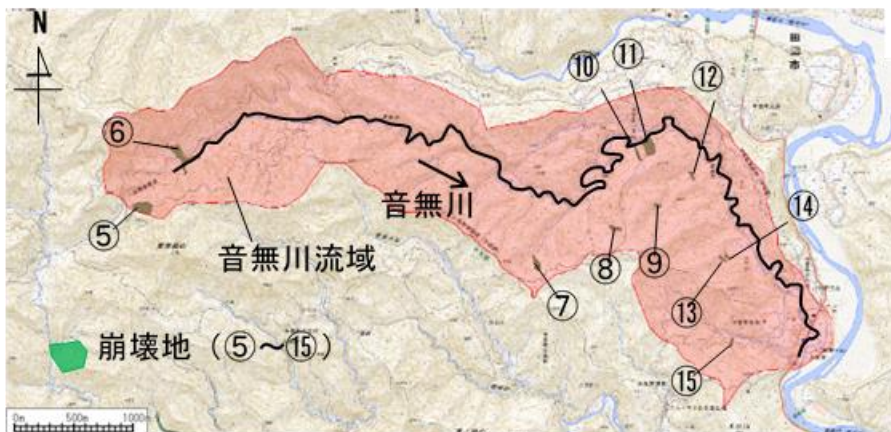


図-10 音無川流域の崩壊位置図

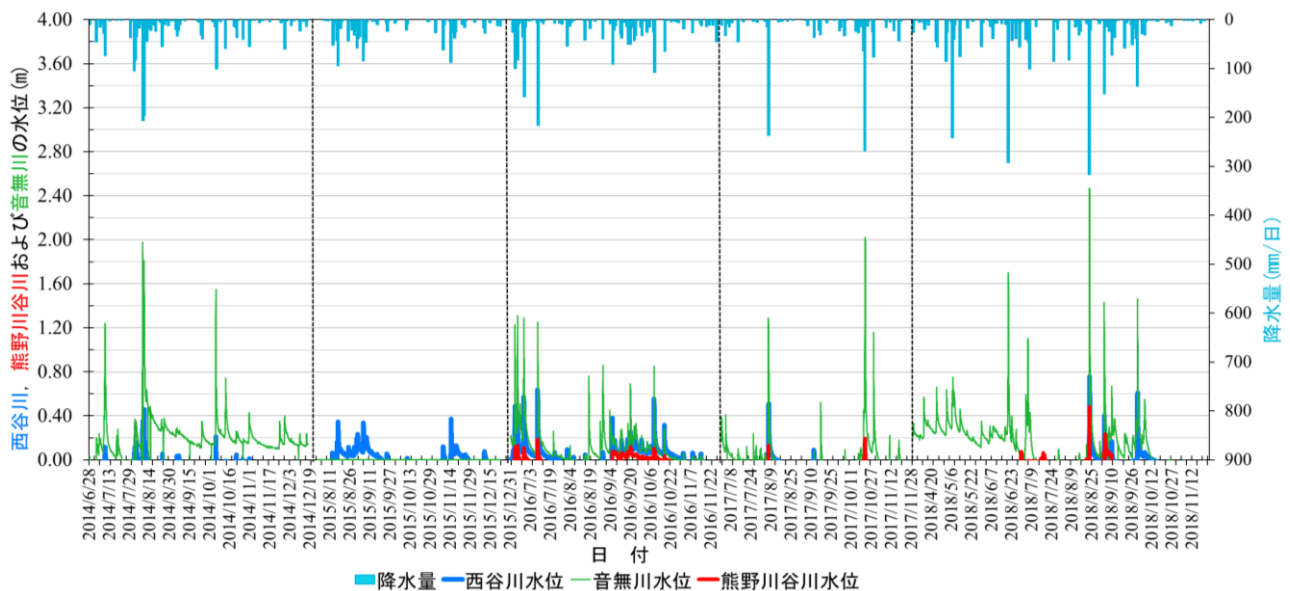


図-11 西谷川，熊野川谷川および音無川流域における降水量と河川水位の観測結果（2014～2018）

トしたものである。

なお、図-12には、有効降雨強度の概念適用前の関係に加えて、有効降雨強度を 15mm/hr および 20mm/hr とした際の結果および相関係数を合わせて示している。

有効降雨強度の概念を適用することによるプロット群の変化傾向は、音無川におけるものと同様であることが確認できる。しかしながら西谷川においては、有効降雨強度を 20mm/hr とした場合には相関係数が適用前よりも小さくなり、適合度はかえって良くない。

今回検討した閾値の範囲では、西谷川流域に対しては 15mm/hr とした場合の相関係数が最も高かった。このことから、一流域で得られる有効降雨強度は必ずしも普遍的ではないが、概ね 15～20mm/hr 程度となることが推測される。

図-12には、図-4と同様に、有効降雨強度 15mm/hr とした場合の流出土砂量の推計値±25%の領域も示しているが、音無川ほどにはこの概念の適用が有効でないことがわかる。その理由としては、データ総数が少ないことに加えて、流出土砂量の少ない部分（0.10m³/km²以下：以下グループDとする）と多い部分（0.24m³/km²以上：以下グループEとする）とに二分されて偏ってデータが存在していることがあげられる。そこで、プロット群をこれら2つのグループに分け、それぞれで相関およびその±25%を取ったものが図-13である。なお、横(x)軸は累積有効雨量（閾値 15mm/hr）であり縦(y)軸は単位面積当たりの流出土砂量(m³/km²)である。また相関係数を合わせて示している。図-13より、相関係数は必ずしも高くはないものの、グループEについてはほぼ全てのプロットが、またグループDについても大半のプロットが±25%の領域に存在することがわかる。

さらに、期別連続雨量（図-7）では250～500mmの範

表-4 西谷川，熊野川谷川および音無川流域の崩壊地面積および推定崩壊土砂量

流域名	崩壊地 番号	崩壊地面積 (m ²)	推定崩壊 土砂量(m ³)
西谷川	①	2,005	4,543
	②	481	573
	計	2,486	5,116
熊野川 谷川	③	4,947	16,828
	④	1,359	2,585
	計	6,306	19,412
音無川	⑤	8,274	35,475
	⑥	2,733	7,118
	⑦	2,356	5,740
	⑧	1,716	3,625
	⑨	714	1,016
	⑩	3,468	10,054
	⑪	5,431	19,267
	⑫	1,928	4,292
	⑬	1,847	4,031
	⑭	1,200	2,157
	⑮	2,200	5,196
	計	31,866	97,971

囲で重なっていた両者の境界を、概ね 170～180mm と決定することができる。境界値付近では流出土砂量が2つ存在する課題は残るが、西谷川のように雨量に対する流出土砂の応答が明瞭に変化する流域では、有効降雨強度の概念を導入することで、雨量の境界値を明確に決定できる可能性を示唆している。以上より、西谷川流域においては降雨強度が 15mm/hr 以上の場合に最も土砂流出に有効な降雨となり、それ未満の降雨を省いた累積有効雨量を用いることで流出土砂量は式(19)および式(20)によって見積もられる。

$$V_s D = 0.0001 R_{ce} + 0.0149 \quad (19)$$

$$V_s E = 0.0002 R_{ce} + 0.2898 \quad (20)$$

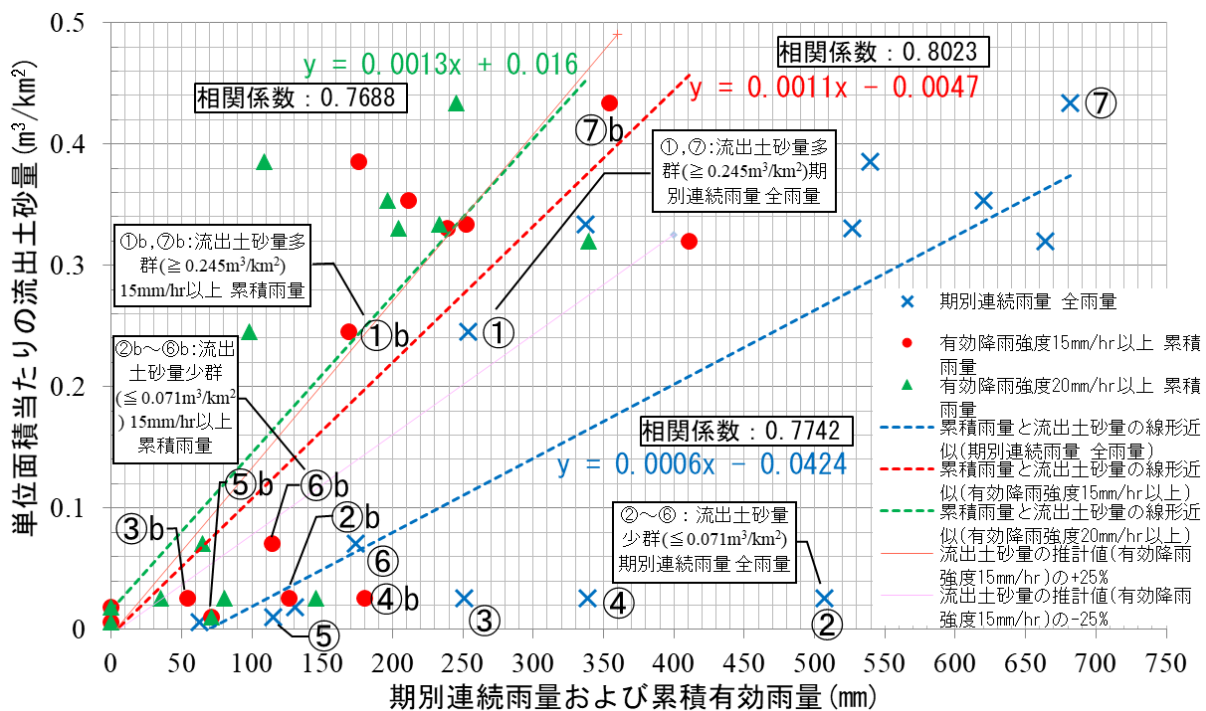


図-12 西谷川流域の期別連続全雨量および累有効積雨量(有効降雨強度 15mm/hr 以上および 20mm/hr 以上)と流出土砂量の関係

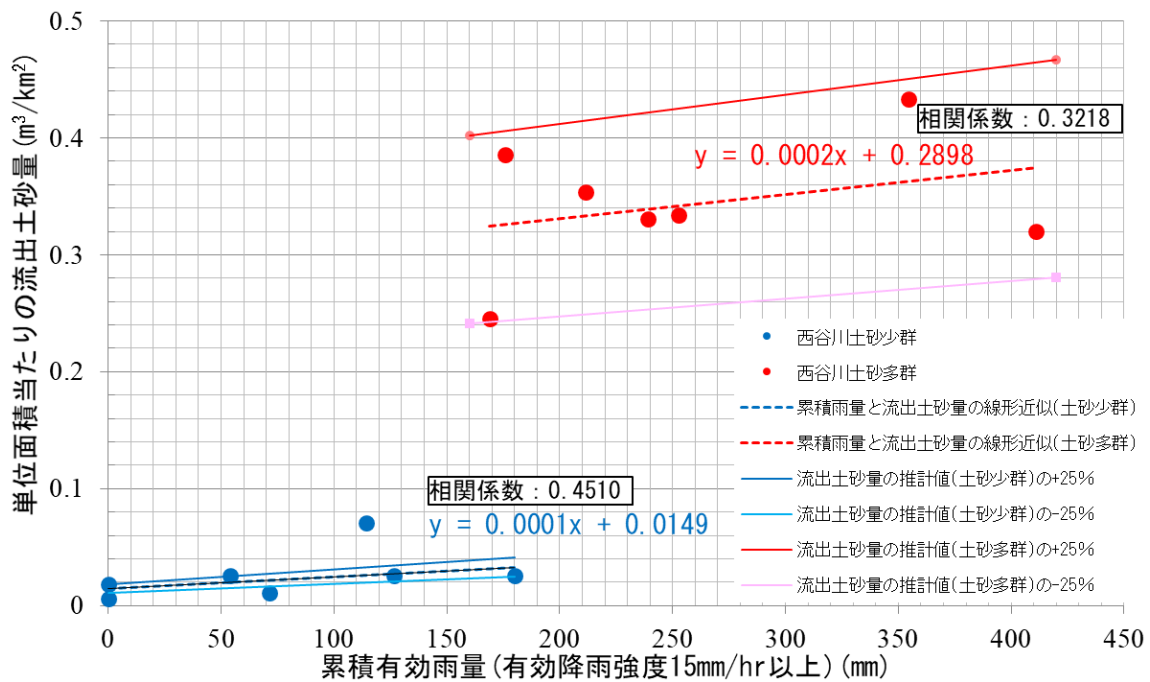


図-13 西谷川流域の累有効積雨量(有効降雨強度 15mm/hr 以上)と流出土砂量の関係

ここに、 VsD はグループDの、 VsE はグループEの流出土砂量、 R_{e} ：累有効積雨量（閾値 15mm/hr）である。

(5) 提案したモデルの実用的意義

今回導出した簡易な土砂流出量予測モデル、具体的には式(17)、式(19)および式(20)の実用性について考察する。

和歌山県では近年、冒頭に記した2011年9月台風第12号による大規模斜面崩壊以外にも、2003年8月台風第10号、2009年7月梅雨前線、2017年10月台風第21号、2018年9月台風第21号等による出水により、中下流域

での土砂堆積による河床上昇や、護岸の被災などが問題となっている。被災後調査の中心となる土木技術職員数は、1980年度から2020年度の40年間で、約520人から約380人まで約3割削減されており、現場レベルで全ての流域エリアを調査することは極めて困難であり、その状況は今後気候変動の激化に伴い一層深刻となることが予想される。また、県管理河川の出水による土砂流出・被災状況については、職員の調査作業の安全確保を第一として、水位が低下した後に、河川管理道路や一般道路、橋梁上など、河川へのアクセスが容易な箇所から目視に

よる調査を中心に実施しているが、前述したように約2,000kmに及ぶ河川延長を有する全ての流域を調査することは現実的には不可能であり、実際には出水後かなりの時間が経過した後に、市町村や地元地区からの通報により河床上昇や被災箇所を認識することが大部分を占めるため、流域にとって治水安全度が低下した危険な状態で、長期間にわたり放置されている現状となっている。

このような状況への対応策として、既に開発された数値モデルにより事前、ないしは発災後に各流域での流出・堆積土砂を推定し効率的に調査・対応を進めることが考えられるが、全ての流域に対して、想定される全ての降雨パターンを用いて事前予測することは現実的ではなく、また発災後にそのような解析を行うこともモデルが複雑であるほど即応性に欠ける点は否めない。

今回提案したモデルは、降雨量に応答した流出土砂量を、複雑なモデル計算を行うことなく、表計算レベルで容易かつ迅速にある程度の精度で推定できるところに特徴があり、実際に河道を流下する流砂量を推定できる点で現状の土壌雨量指数よりも有利である。本モデルであれば、想定される全てとまでは行かずとも、多数の降雨パターンに対して各流域での流出土砂量を事前予測しておき、実際の降雨パターンに照らして類似のものから現地の状況を推定することや、短時間降雨予測に基づき直前予測を行い前もって被害想定流域を絞り込んでおくこと、あるいは実降雨を用いた発災直後の迅速な推定も可能と考える(図-14)。特に、以上の作業を、複雑なモデルに対する知識や計算の技術を有せずとも実行可能な点は、上述の技術者の減少や地方自治体における政策的経費の減少に対する方策としても有効である。各河川の流出実態を踏まえた上で、簡易かつ迅速な流出土砂量の推定を行うことは、近年頻発する土砂の流出と河道内堆積による氾濫現象¹⁹⁾の助長を未然に防ぐという点で治水安全度の向上に資するのみならず、調査業務量をいたずらに増やすことなく迅速に県単独事業による河床掘削や災害復旧事業の応急復旧工事を施工することによって治水安全度の向上を図り流域内住民の生命を守ることに資するものとして、地方自治体レベルの河川管理の実態に即したものと考える。

5. 結論

本研究で得られた成果を列挙すると以下のものである。

(1) 音無川流域における雨量と流出土砂量の関係から、概ね雨量の増加に伴い流出土砂量も増加する傾向が見受けられるが、同時に同一雨量に対する流出土砂量のばらつきも大きくなり、その程度は雨量240mm、440mmの2

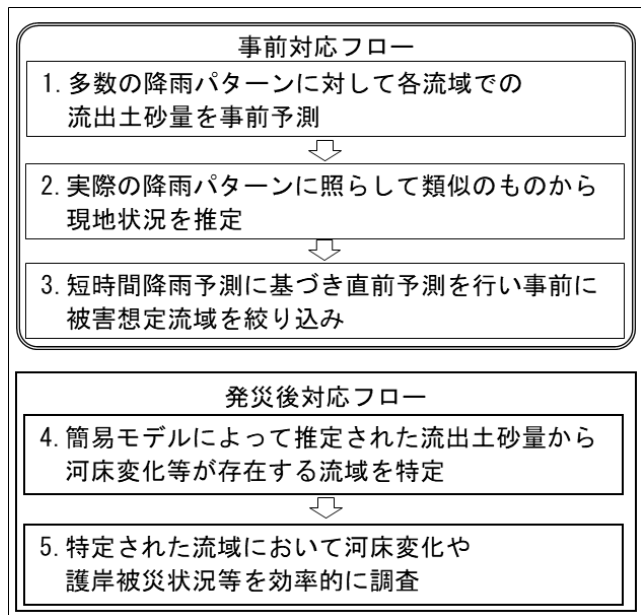


図-14 提案したモデルを用いた対応フロー

つの境界値を越えるごとに段階的に大きくなることがわかった。

(2) 同一雨量に対する流出土砂量のばらつきを説明する概念として有効降雨強度、すなわち土砂流出に有効な降雨強度を導入し、有効降雨強度以上の雨量成分(累積有効雨量)と流出土砂量の関係を検討した結果、音無川流域においては有効降雨強度を20mm/hrとした場合に累積有効雨量と流出土砂量の相関が最も高かった。

(3) 西谷川および熊野川谷川流域における流出土砂量は、音無川に比べて1~3オーダー小さい。西谷川においては、音無川と同様に雨量の増加に伴う流出土砂量とそのばらつきの増大が見られたが、熊野川谷川については雨量に対する応答性が見られずほぼ一定値であった。

(4) 西谷川流域においては、有効降雨強度を15mm/hrとした上で、流出土砂量の多寡による2つのグループに分けて、5.(2)で述べた有効降雨強度の概念を適用することで、概ね適切な流出土砂量を予測することができた。

(5) 各流域において得られた累積有効雨量と流出土砂量の関係式を活用して、各流域毎の大規模降雨による流出土砂量や災害発生の予測を行い、対応する流域を絞り込むことで、効率的な河川管理が可能となり、流域の治水安全度向上に資する可能性を示唆した。

今後の課題としては、各小流域でのピット容量の拡大や自動観測システムの開発などによる観測精度の向上、および出水期間中の時期による流出土砂量の特性の分析により、降水との関係性をより明確にすることが必要である。また、富田川流域全体への適用、並びに森林の樹種や管理状態の差異による降水量と流砂量間の関係性をより明確にするために、同一の地質区分上に存在し、森林状態が異なる流域での比較検討が望まれる。

謝辞：本研究は、科学研究費補助金・基盤研究(C)17K06578（研究代表者：武藤裕則）の補助を得て実施した。本研究を実施するに際し、現地調査やデータ解析などにおいて、京都大学防災研究所白浜海象観測所の水谷英朗助教（当時）、久保輝広技術職員、徳島大学河川・水文研究室福田郁子氏、長谷川諒氏、宮本光司氏、国土交通省近畿地方整備局紀南河川国道事務所 築地貴裕課長および水上裕介課長、和歌山県河尻拓郎河港課長、天野拓士主任、中村圭吾主査、平畑哲哉主査、田村直大主査、松川大佑技師、能城宏之氏、串憲和氏、竹末圭一郎氏、柏木美智代氏等地元関係諸氏に御協力を頂いた。ここに感謝の意を表します。

参考文献

- 1) 芦田和男, 高橋保, 奥村武信, 道上正規, 沢田豊明: 山地流域における出水と土砂流出, 京大防災研究所年報 第 15 号 B, pp.349-361, 1972.4.
- 2) 難波宣士, 川口武雄: 山地流域からの土砂流出に及ぼす諸因子とくに森林の影響, 林業試験場研究報告 第 173 号, pp.93-116, 1965.2.
- 3) 恩田裕一編: 人工林荒廃と水・土砂流出の実態, 岩波書店, pp.1-209, 2008.
- 4) 高橋保: 土砂流出現象と土砂害 対策, 近未来社, pp.261-302, 2006.
- 5) 小井宣秀, 武藤裕則, 田村隆雄, 河尻拓郎: 西谷川流域における降水量, 地下水位及び流砂量の関係について, 平成 28 年度土木学会四国支部第 22 回技術研究発表会, 2016.5.
- 6) Nobuhide, K. Yasunori, M. and Takao, T.: An observational research on hydrological data and sediment transport in the Nishidani and Kumanogawadani river basin and mountain watershed, the 38th IAHR World Congress September 1-6, Panama City, Panama, 2019.
- 7) 国土交通省 近畿地方整備局 紀南河川国道事務所: H25 年度熊野川土砂動態分析評価資料作成業務 報告書, 株式会社ニュージェック受託, pp.1-16, pp.5-1-124, 2014.
- 8) 箭内 寛治, 浅川 美利, 土木学会編: わかり易い土木講座 6 土質工学, pp.66-67, 彰国社, 1991.
- 9) 福田郁子, 武藤裕則, 田村隆雄, 小井宣秀: 森林の形態が土砂流出に与える影響に関する 基礎的研究, 令和 2 年度土木学会四国支部技術研究発表会, 2020.
- 10) 岡本敦, 内田太郎, 鈴木拓郎: 山地河道における流砂水文観測の手引き (案) 国総研資料, 第 686 号 pp.13-14, pp.20-26, 2012.
- 11) 山本晃一編: 総合土砂管理計画, 技報堂, pp.162-164, 2014.
- 12) 土木学会水工学委員会: 水理公式集, p.265, 2018.
- 13) 谷寧人, 水山高久, 堤大三, 藤本将光: 山地河川における間接法と直接法を用いた流砂観測事例, 平成 24 年度砂防学会研究発表会概要集, pp.612-613, 2012.
- 14) 水山高久, 里深好文: ピット掃流砂計測装置のハイドロフォンのキャリブレーションへの適用, 砂防学会誌, Vol. 56, No. 3, pp.55-56, 2003.
- 15) 吉柳岳志, 永井健二, 竹内昭浩, 臼杵伸浩, 佐野寿聰, 江口友章, 西村直記, 水山高久: 自動開口式ピット掃流砂計測装置の開発, 砂防学会誌, Vol. 65, No. 2, pp.37-39, 2012.
- 16) 鈴木拓郎, 内田太郎, 岡本敦, 高橋健太, 山下伸太郎, 小菅尉多, 福本晃久: 音圧データを用いたハイドロフォンによる掃流砂観測手法の現地適用性の検証, 砂防学会誌, Vol. 66, No. 1, pp.4-14, 2013.
- 17) 和歌山県県土整備部 河川下水道局 砂防課: 平成 23 年度砂調第 102 号 台風 12 号災害発生箇所判読業務 報告書, 国際航業株式会社受託, p.4-1, 2012.
- 18) 国土技術政策総合研究所: 平成 23 年(2011 年) 紀伊半島 台風 12 号土砂災害調査報告 6. 台風 12 号による土砂災害の評価及び対応, 国総研資料, 第 728 号, p.189, 2012.
- 19) 土木学会水工学委員会 2017 年九州北部豪雨災害調査団: 平成 29 年 7 月九州北部豪雨災害 調査報告書, pp.48-175, 2020.6.

(Received July 9, 2021)

(Accepted November 24, 2021)

THE RELATION OF BETWEEN RAINFALL AND SEDIMENT DISCHARGE IN THE NISHIDANI AND THE KUMANOGAWADANI RIVER BASIN

Nobuhide KOI, Yasunori MUTO and Takao TAMURA and Yasuyuki BABA

Due to forest dilapidations in recent years, sediment yields from a slope and slope collapsing risk are increased. In addition to devastating sediment disasters such as happened in Kii Peninsula flooding in 2011, continuous sediment runoff following to such disasters causes riverbed aggradation and revetment damage under normal flood period, which seriously threatens safety level of flood control. Thus it is important to clarify the relationship between precipitation and sediment discharge.

In this study, we analysed the relationship in the Otonashi River basin, a tributary of the Kumano River

in Kii Peninsula, and tried to derive a critical hourly precipitation, that is effective to yield sediment discharge. From the analyses, the critical hourly precipitation can be found around 15mm/h or 20mm/h. Moreover, by applying the critical hourly precipitation as a cut-off value to the accumulated precipitation, a linear function between the adjusted precipitation and sediment discharge becomes clearer. These concepts were also applied to the observational results in the Nishidani and the Kumanogawadani river Basin, tributaries of the Tonda River adjacent to the Kumano River, then we showed the proposed linear function can estimate sediment discharge in accordance with a rainfall event reasonably well. Although the coefficients of the function vary from one river basin to another, the concept can be useful to estimate sediment deposition within a river section after normal flood roughly but quite easily.