



過去40年程度の発生・流出流木量の 経年的な変化傾向

防災科学技術研究所
秋田 寛己

2024.12.17 気候変動適応の研究会(東京新橋)

研究背景

平成29年九州北部豪雨や平成30年7月豪雨では、山地流域からの土砂とともに大量の流木が流出。

特徴

- ✓ 比重が小さいため流水に浮き上がりやすく土石流の礫や泥と混じりながら下流域まで流下しやすく、家屋などに衝突し甚大な被害をもたらす。
- ✓ 木質資源としての価値が消失し再利用が困難であり、撤去・処分費用がかかる。



[平成29年7月九州北部豪雨]

研究背景

気候変動に伴い変化すると想定される雨の降り方・量が問題視され、発生・流出流木量の傾向がこれまでと変化する可能性。

- ✓ 日降水量200mm以上となる大雨や1時間降水量50mm以上となる短時間強雨の年間発生回数が全国的に増加。

[気象庁, 2017]

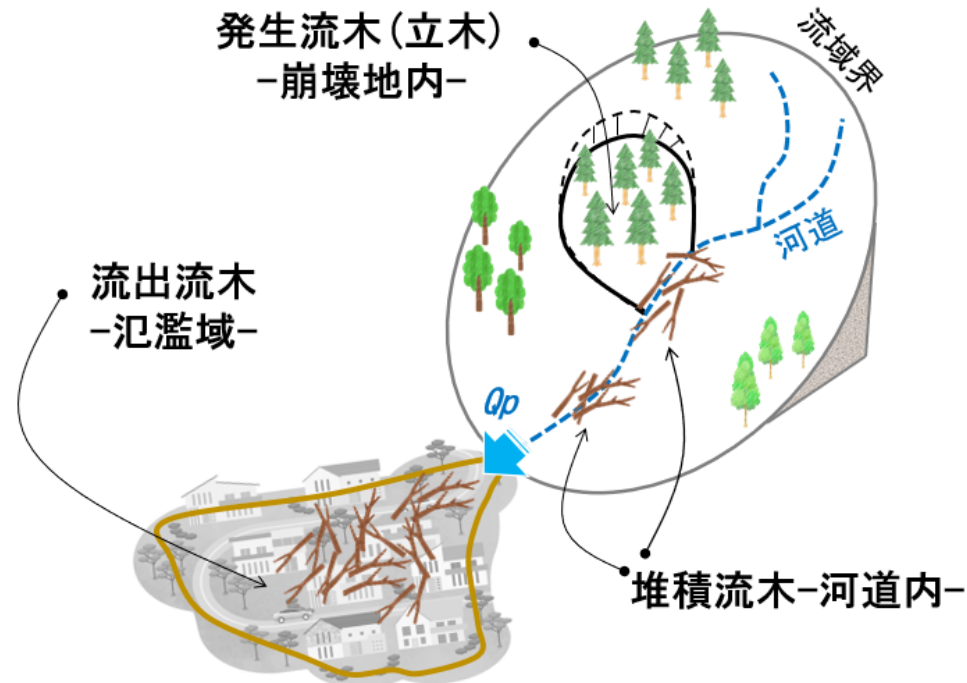
- ✓ 洪水断面が大きくなることによる洪水に巻き込まれる恐れがある樹木の量の増加や、溪流沿いの立木のうち侵食を受けて根が浮くなどして根系機能の発揮が期待できなくなる。

[林野庁, 2021]

目的

流木量は、計画施設の諸元を決める設定値の一つ。既往災害の流木量の発生・流出傾向を整理し、気候変動が寄与する雨量・流量の変化との関連性の理解が重要。

過去40年程度まで遡った上で、主要な流木災害の文献を収集し流域面積や降雨量，発生・流出流木量の基礎データを整理し，その経年的な変化傾向を明らかにする。



文献整理

対象地域は，降雨により発生した1982年から2020年までの全国19件の流木災害(75流域)。

- ✓ 災害発生年別に諸元を整理。諸元は，場所の情報(市町村名，災害発生年月，流域面積など)と，災害発生時の雨量の情報，流木量の情報(林相，発生・堆積・流出量)，土砂量の情報(生産・流出量)。
- ✓ 流域面積が明記されていなかった事例は，地理院地図に流域ポリゴンを描画してGISで計測。

文献整理

No.	市町村名	災害名	災害発生年月	水系・溪流名	流域面積 (km ²)	発生流木量と生産土砂量の求め方	砂防施設に関わる記載	出典
1 2 3	長崎県長与町	昭和57年7月 豪雨	1982.7.23 ~7.24	長龍寺川	0.3	流木発生範囲は空中写真から判読。100m ² のコードラート調査により樹高・胸高直径・立木密度を求め、1本あたりの材積量を形数法(胸高係数 $f=0.4$)により計算。発生範囲に立木密度と材積量を乗じ、流木量を計算。	砂防施設なし。	発生流木量ほかは、石川ら(1989)による。流出・堆積流木量は、記載のあった流木流出率を用いて著者が計算。
陣ノ内川				0.1				
芒塚川				0.6				
4 5 6 7	山形県温海町	昭和62年8月 豪雨	1987.8.29	鍋倉沢支川	0.3	生産土砂量は、現地測量による横断面から侵食・堆積断面積を算定し、これに区間距離を乗じて計算。	各溪流に砂防堰堤1基あり。	
西平沢川				0.1				
東平沢川右支川				0.5				
東平沢川左支川				0.9				
8 9 10 11 12 13 14 15 16 17 18 19 20 21 22 23 24 25 26 27	広島県加計町	昭和63年7月 豪雨	1988.7.20 ~7.21	杉谷川	0.1	一部は、現地測量による横断面から侵食・堆積断面積を算定し、これに区間距離を乗じて計算。	一部の溪流に砂防堰堤が整備。	
江河内谷川				0.7				
江河内東谷				0.7				
峠谷川				1.6				
下殿賀内川				0.3				
鶯渡瀬沢				0.6				
木坂西川				0.2				
木坂川				0.2				
香草川				0.9				
明ヶ谷川				0.6				
本谷川				0.7				
中西平谷川				0.2				
山城川				0.2				
上原谷川				0.1				
辻の河原川				0.6				
中尾谷川				0.3				
蛇の谷川	0.4							
念仏谷川	2.0							
坪野川	0.3							
千本川	0.3							
28	愛知県豊根村	平成元年9月 豪雨	1989.9.19 ~9.20	伊香川	0.8		砂防堰堤1基あり。	
29 30 31 32	熊本県阿蘇町	平成2年7月 豪雨	1990.6.28 ~7.3	古恵川上流	1.4	流木発生範囲は空中写真から判読。100m ² のコードラート調査により樹高・胸高直径・立木密度や1本あたりの材積量を計算し、発生範囲を乗じて流木量を計算。	砂防施設なし。	発生流木量ほかは石川(1994)による。
古恵川支流1				2.9				
古恵川支流2				2.4				
古恵川支流3				1.1				
33 34	鹿児島県垂水市	平成5年台風 13号	1993.9.3 ~9.4	飛岡川	2.2		飛岡川流域に2基の砂防堰堤、中俣川流域に3基の砂防堰堤が整備。	流域面積は著者が地理院地図から計測。発生流木量と流域面積以外土井(2000)による。
中俣川				3.1				
35	栃木県那須町	平成10年8月 末豪雨	1998.8.26 ~9.1	那珂川水系那珂川支流余笹川	97.0	流木発生範囲は空中写真から判読。100m ² のコードラート調査により樹高・胸高直径・立木密度や1本あたりの材積量を計算し、発生範囲を乗じて流木量を計算。	流域内に3基の砂防堰堤が整備。	発生流木量ほかは土井(2000)による。
36	福岡県太宰府市	平成15年7月 豪雨	2003.7.17 ~7.19	御笠水系御笠川原川	0.1	災害前後の空中写真から流木発生範囲を判読。コードラート調査により材積量を求め、発生範囲に乘じて流木量を計算。生産土砂量は、福岡県の調査結果による。	下流に砂防堰堤1基あり。	発生流木量ほかは国総研(2005)による。
37 38 39 40	北海道新冠町・門別町	平成15年台 風10号	2003.8.9 ~8.10	厚別川上・中流	68.9	河畔林の被害範囲を災害前後の空中写真から判読。調査地内の11箇所では林分材積・樹種構成を調べ、被害範囲と平均林分材積(142m ³ /ha)を乗じて流木量を計算。	砂防施設なし。	堆積流木量は佐藤ら(2006)による。発生流木量ほかは山田ら(2006)による。
厚別川下流				66.7				
里平川				54.0				
比宇川				63.8				

文献整理

No.	雨量に関わる情報 ¹⁾				流木量に関わる情報 ²⁾				土砂量に関わる情報 ²⁾		砂防施設に関わる記載	出典			
	最大 1時間雨量 (mm)	最大 24時間雨量 (mm)	年平均 降水量 (mm)	最寄りの アメダス雨量 観測所	周辺 の林相	発生 流木量 (m ³)	堆積 流木量 (m ³)	流出 流木量 (m ³)	流木 流出率	生産 土砂量 (m ³)			流出 土砂量 (m ³)		
1 2 3	85	380	1,800	大村	スギ人工林(林齢10~30年前後) 山形県温海町の流木は、長さが7~ 19m, 直径が20~60cm	38	27	10	0.28	7,000	—	砂防施設なし。	発生流木量ほかは、石川ら(1989)による。 流出・堆積流木量は、記載のあった流木流 出率を用いて著者が計算。		
4 5 6 7	61	306	2,014	鼠ヶ関		18	11	7	0.39	5,077	—			各溪流に砂防堰堤1基あ り。	
8 9 10 11 12 13 14 15 16 17 18 19 20 21 22 23 24 25 26 27	55	270	1,856	加計		12	7	5	0.41	3,127	—				一部の溪流に砂防堰堤が 整備。
28	34	160	1,664	小原		9	8	1	0.14	1,664	—				
29 30 31 32	67	452	2,904	阿蘇乙姫		12	11	1	0.05	1,630	—				
33 34	70	321	2,659	高峠		4	3	1	0.19	1,180	—				
35	90	606	1,967	那須高原		238	31	207	0.87	49,510	—				
36	99	353	1,823	太宰府	261	34	227	0.87	12,480	—					
37 38 39 40 41	24	178	958	日高門別	132	24	107	0.82	12,230	—					
42	64.5	340.5	2,232	塩沢	5	2	3	0.53	2,070	—					
28	34	160	1,664	小原	150	8	143	0.95	6,410	—					
29 30 31 32	67	452	2,904	阿蘇乙姫	7	1	6	0.84	7,320	—					
33 34	70	321	2,659	高峠	1	1	1	0.59	1,460	—					
35	90	606	1,967	那須高原	4	2	2	0.46	1,750	—					
36	99	353	1,823	太宰府	3	2	1	0.31	1,330	—					
37 38 39 40 41	24	178	958	日高門別	10	9	1	0.07	7,680	—					
42	64.5	340.5	2,232	塩沢	162	96	65	0.41	4,930	—					
28	34	160	1,664	小原	1	0	1	0.85	380	—					
29 30 31 32	67	452	2,904	阿蘇乙姫	74	20	54	0.73	2,580	—					
33 34	70	321	2,659	高峠	160	67	93	0.58	8,670	—					
35	90	606	1,967	那須高原	284	24	260	0.92	12,930	—					
36	99	353	1,823	太宰府	108	23	85	0.79	9,090	—					
37 38 39 40 41	24	178	958	日高門別	149	49	99	0.67	8,520	—					
42	64.5	340.5	2,232	塩沢	33	8	26	0.78	1,840	—					
28	34	160	1,664	小原	5	3	3	0.49	9,430	—					
29 30 31 32	67	452	2,904	阿蘇乙姫	320	69	251	0.78	9,970	—					
33 34	70	321	2,659	高峠	1,765	—	—	—	97,760	—					
35	90	606	1,967	那須高原	5,445	—	—	—	371,020	—					
36	99	353	1,823	太宰府	1,790	—	—	—	142,220	—					
37 38 39 40 41	24	178	958	日高門別	1,018	—	—	—	200,980	—					
42	64.5	340.5	2,232	塩沢	284	281	3	0.01	—	—					
28	34	160	1,664	小原	2,043	1,392	651	0.32	—	—					
29 30 31 32	67	452	2,904	阿蘇乙姫	8,090	2,370	5,720	0.71	—	—					
33 34	70	321	2,659	高峠	305	49	256	0.84	13,675	—					
35	90	606	1,967	那須高原	17,937	15,399	2,538	0.14	—	—					
36	99	353	1,823	太宰府	17,537	13,872	3,665	0.21	—	—					
37 38 39 40 41	24	178	958	日高門別	19,611	18,605	1,006	0.05	—	—					
42	64.5	340.5	2,232	塩沢	6,872	6,357	515	0.07	—	—					
28	34	160	1,664	小原	3,391	3,144	247	0.07	—	—					
29 30 31 32	67	452	2,904	阿蘇乙姫	6,830	4,300	2,530	0.37	—	—					
33 34	70	321	2,659	高峠	—	—	—	—	—	—					
35	90	606	1,967	那須高原	—	—	—	—	—	—					
36	99	353	1,823	太宰府	—	—	—	—	—	—					
37 38 39 40 41	24	178	958	日高門別	—	—	—	—	—	—					
42	64.5	340.5	2,232	塩沢	—	—	—	—	—	—					

雨量・流木量・土砂量の情報整理

- ✓ 雨量情報は、発生場所の位置情報から最寄りの気象庁アメダス雨量観測所を調べ、災害発生時の雨量データを収集し、代表値としての最大1h・24h雨量と年平均降水量を計算.
- ✓ 発生流木量は、空中写真から判読された流木発生範囲に対し、コドラート調査(=10m×10mの四方枠)で得たデータから胸高係数を使用して材積量が計算され、発生範囲に乗じて算出するという手法に統一されていることを確認.
- ✓ 堆積流木量は、空中写真や地形データあるいは現地計測値から計算され、発生量から堆積量を減じることで流出流木量が算出.
- ✓ 生産土砂量は、現地測量による溪床横断面図から侵食・堆積断面積が算定され、これに溪流の区間距離を乗じて計算されたケースと、災害前後の地形データを用いた標高値の差分計算を基にしたケースがあった.

総水量・最大洪水流量の計算

崩壊地や溪岸などから発生する流木は河道に流入した後、河川の流れによって下流まで流出するため、河川の流れの諸量として、総水量 Q と清水の対象流量 Q_p (以下、最大洪水流量と定義)を計算.

$$Q = A \cdot P_{24} \div 1,000$$

Q : 総水量 (m³), A : 流域面積 (km²), P_{24} : 最大24時間雨量 (mm)

$$T_f = K_{p1} \cdot A^{0.22} \cdot P_e^{-0.35}$$

[国総研, 2016]

T_f : 洪水到達時間(分), A : 流域面積 (km²), P_e : 有効降雨強度 (mm/h),
 K_{p1} : 係数で120

$$P_a = \frac{P_{24}}{24} \left(\frac{T_f}{24} \right)^{K_{p2}}$$

[物部, 1954]

P_a : 洪水到達時間内の平均降雨強度 (mm/h), P_{24} : 最大24時間雨量 ($P_{24} \doteq P_{day}$), K_{p2} : 定数 (= -1/2)

総水量・最大洪水流量の計算

$$P_e = K_{f1} \cdot P_a$$

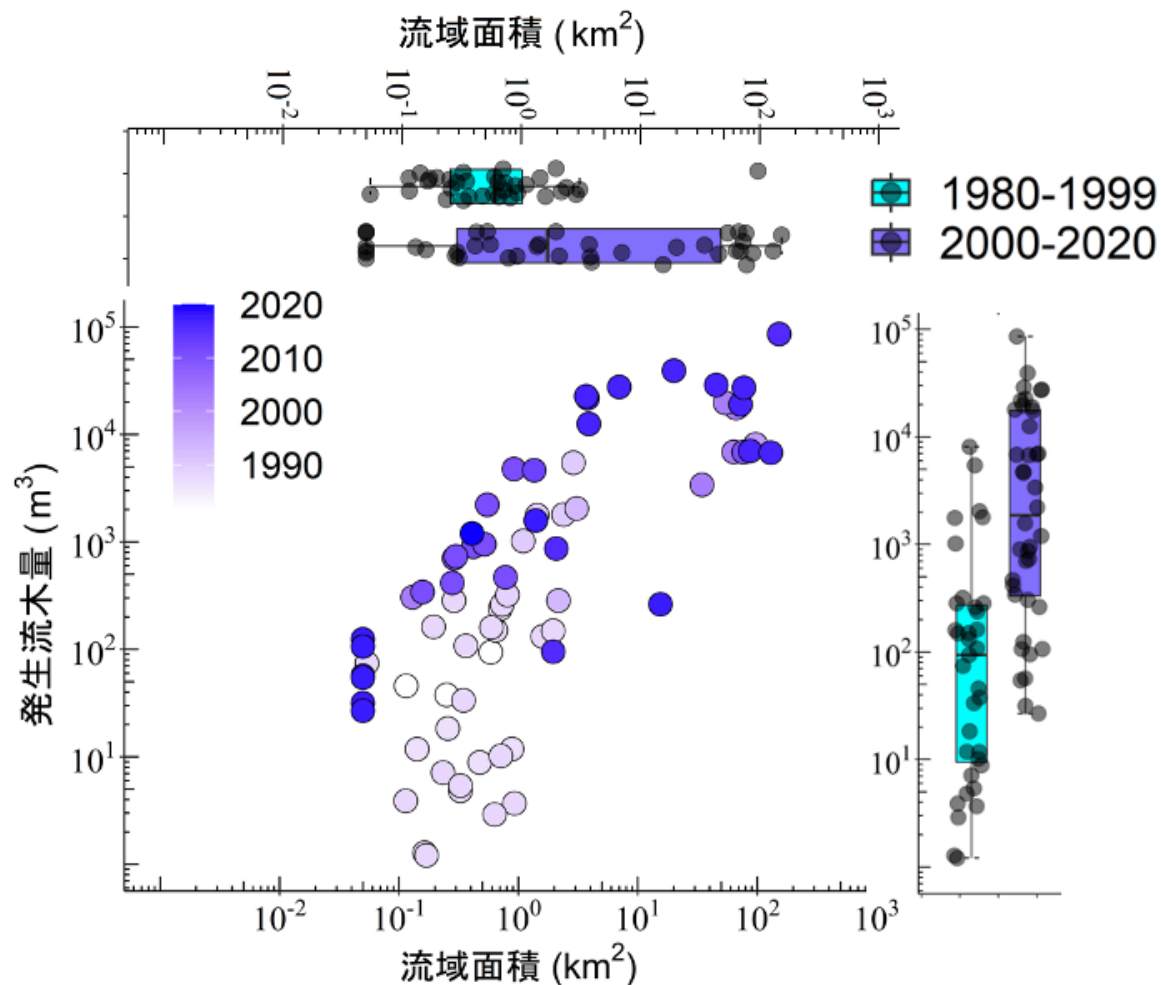
K_{f1} : ピーク流出係数 (河川砂防技術基準の山地河川 (0.75~0.85) の平均値 0.8)

$$P_e = \left(\frac{P_{24}}{24} \right)^{1.21} \cdot \left(\frac{24 \cdot K_{f1}^2}{\frac{K_{p1}}{60} \cdot A^{0.22}} \right)^{0.606}$$

$$Q_p = \frac{1}{3.6} \cdot K_{f1} \cdot P_a \cdot A = \frac{1}{3.6} \cdot P_e \cdot A$$

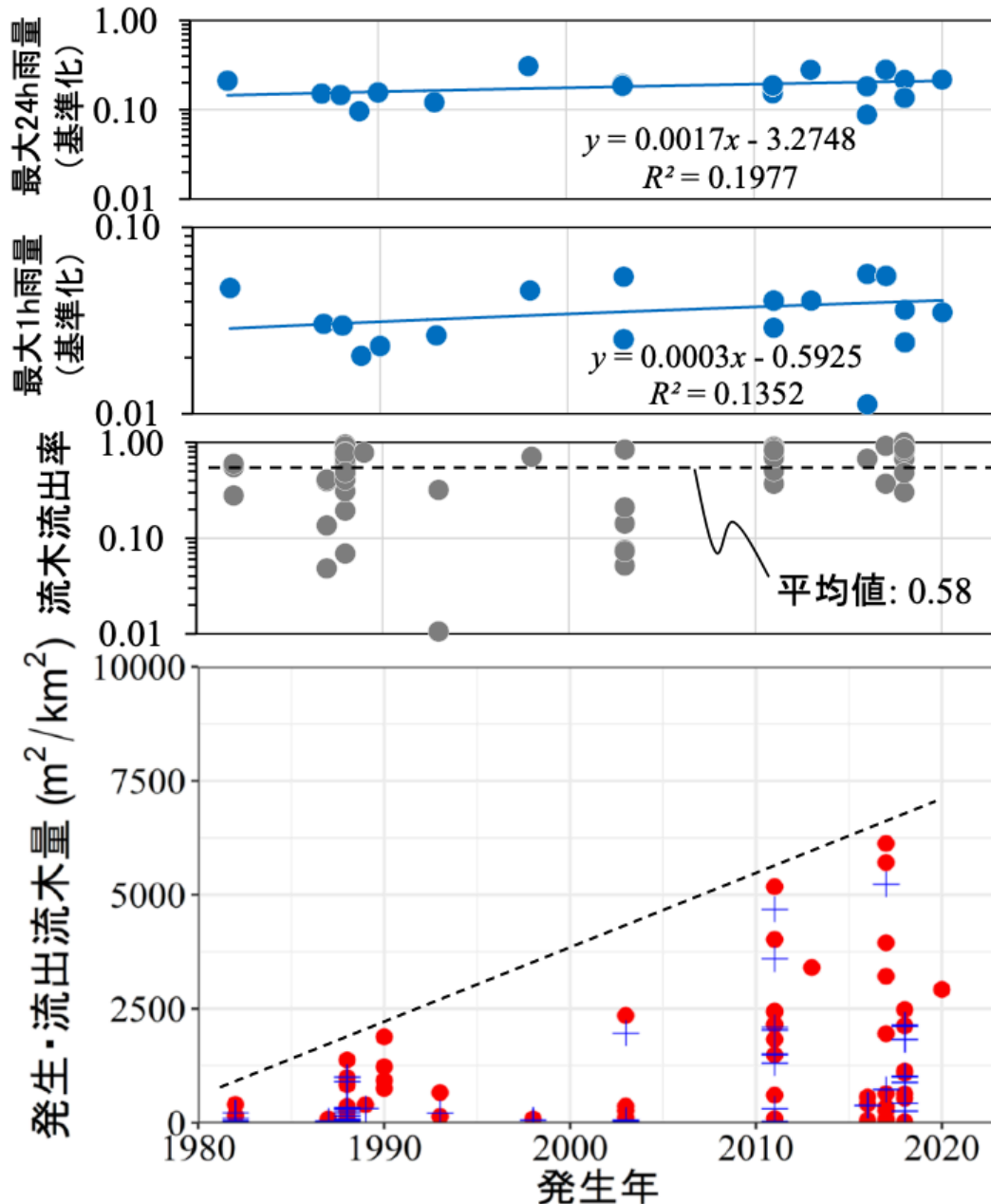
最大洪水流量 Q_p は合理式で求める。

流域面積と発生流木量の関係



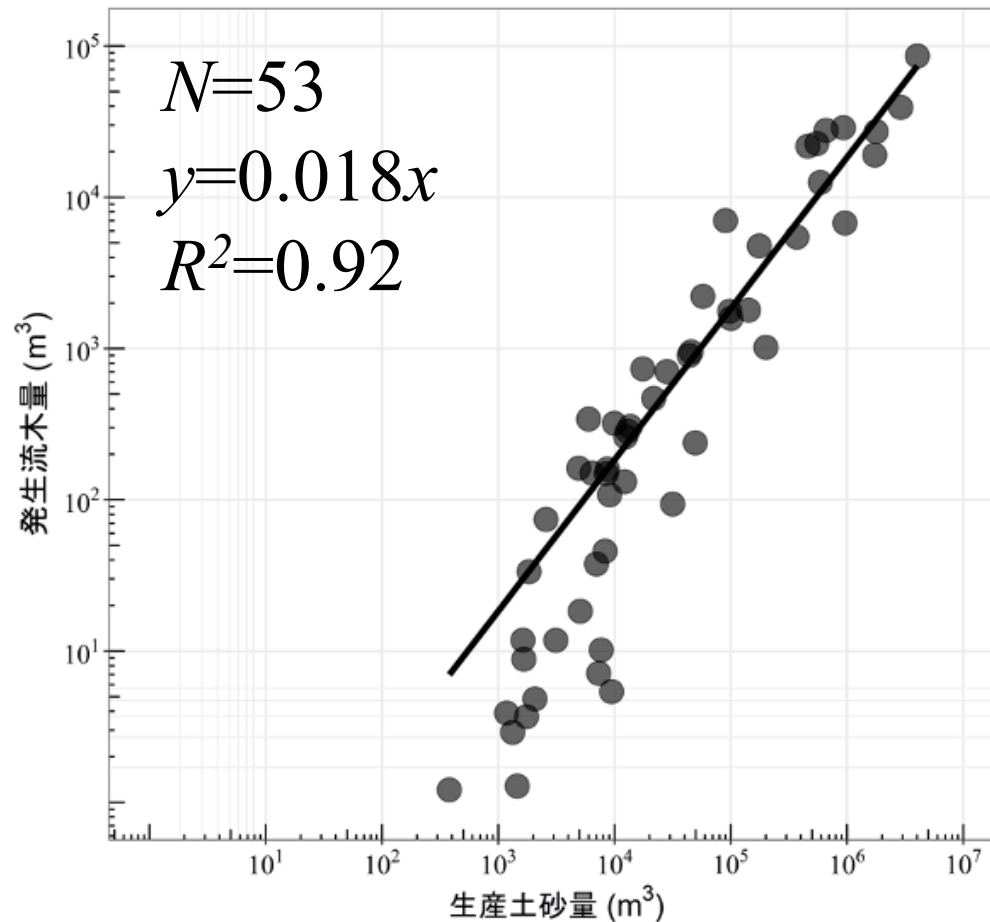
- 近年になるにつれ、同程度の流域面積でも発生流木量が増加。
- 2000年以降は流域面積10km²以上の大きな流域からも流木発生が認められ、1万～10万m³のオーダーの流木が発生。

流木量の経年的な傾向



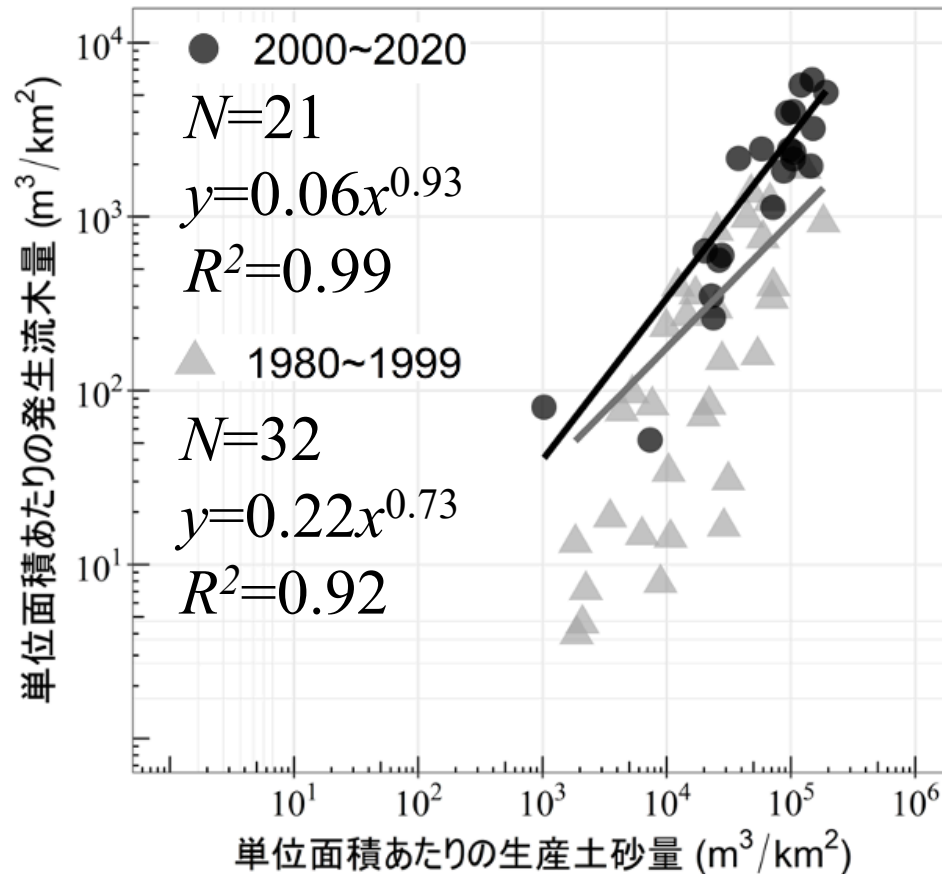
- 発生・流出流木量は全体的に上限値が増加しているため、雨量の増加傾向との対応が示唆.
- 雨量の傾向は、新規崩壊の発生密度や面積率の増加といった流木発生源に影響を与える可能性があるとともに、水位・流量の増加が溪岸侵食による流木の発生にも影響.

発生源からの流木量



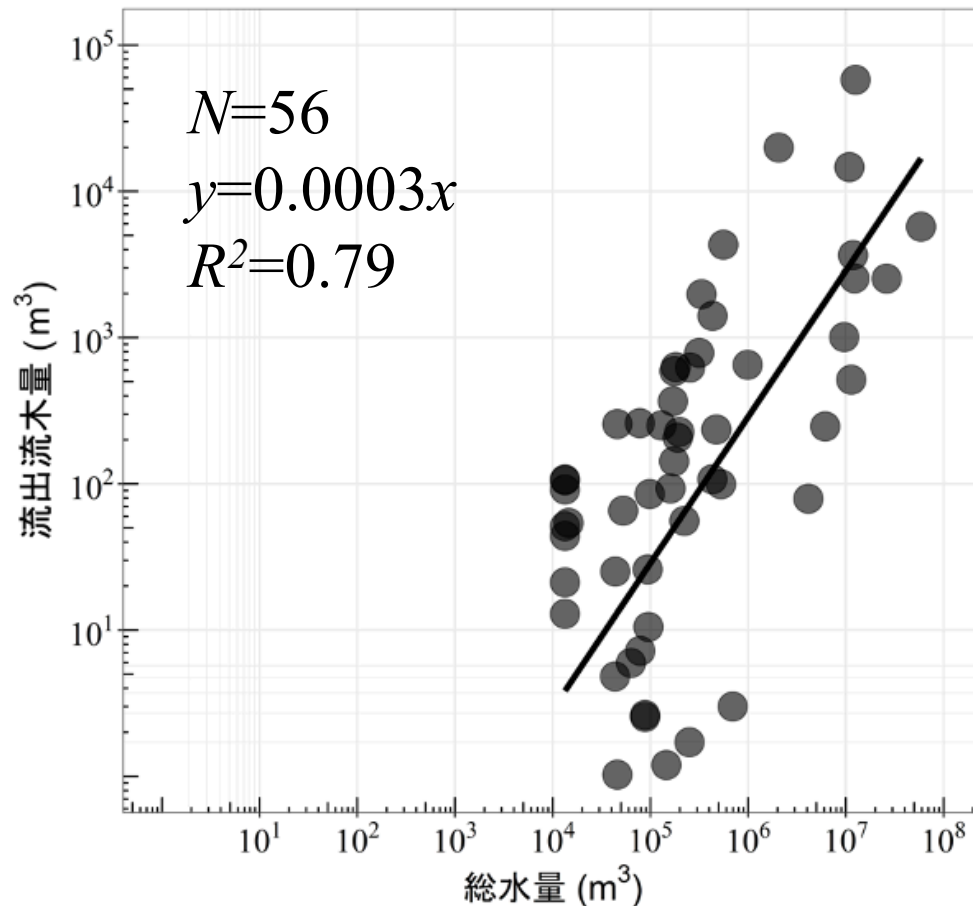
- 崩壊地からの生産土砂量が増加するほど流木が多く発生する.
- 発生流木量は、崩壊地面積の拡大による立木の巻き込みや、崩壊深の拡大に伴う土砂量増加がその発生要因と推察.

発生源からの流木量



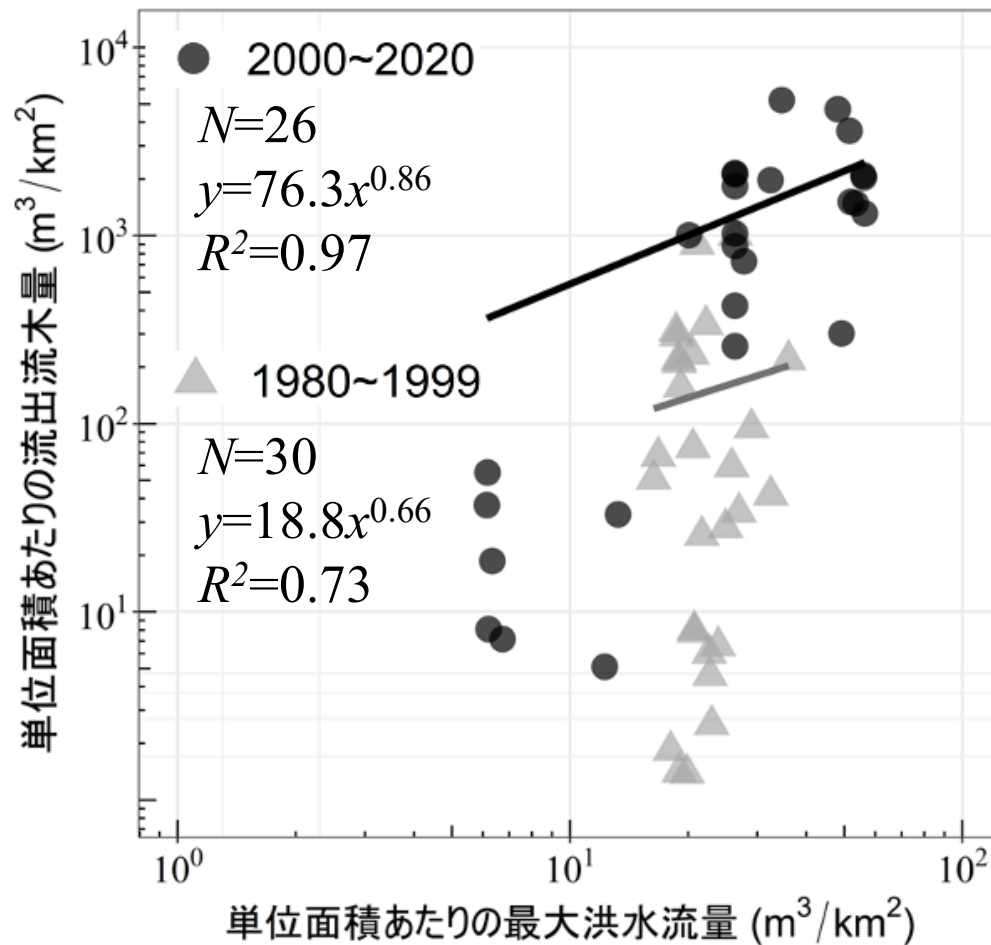
- いずれのケースでも、生産土砂量と発生流木量に正の相関があり、2000～2020年のケースでは **b 値**が大きく、生産土砂量と発生流木量が**いずれも大きい範囲**に分布。
- 従前よりも発生源からの生産土砂量の増加に加え、山地の森林蓄積量そのものの増加(樹木の成長)も要因の1つ。

洪水流による流出流木量



- 生産土砂量と発生流木量の関係よりもばらつきが大きく、流域内での流木の生産源から下流端までの区間における堆積や溪岸の立木流出といった増減が影響.

洪水流による流出流木量



- 1980～1999年のケースに比べ、近年の2000～2020年のケースで全体的にも増加傾向が認められ、流木量自体も多くが下流域まで流出。
- 最大洪水流量と流出流木量の増加傾向は概ね対応。

将来的な気候変動により極端に多い降雨の発生回数増加が危惧される中、発生・流出流木量自体も概ね増加傾向。流木の発生は崩壊土砂の増加と関連し、下流までの流出は洪水流の増加とそれぞれ関連しており、かつこれら要因はいずれも降雨量などの影響を受けると想定されるため、流木の傾向は気候変動とも関連する可能性がある。

今回お話しした内容は、来年1月掲載予定の論文から構成しました。論文もご覧頂けると幸いです。

秋田寛己, 今泉文寿, 中谷洋明, 堤大三 (2024)
過去40年程度の発生・流出流木量の経年的な変化傾向とその関連要因の分析, 砂防学会誌