

北海道のダム堆砂速度から見た 流域スケールでの土砂生産量の変化

丸谷知己¹・黒木幹男²・笠井美青³

Sediment production in catchment scale from specific sedimentation of dam reservoirs in Hokkaido, Japan

Tomomi MARUTANI¹, Mikio KUROKI² and Mio KASAI³

Abstract

Specific amount of sediment deposition in dam reservoirs is a useful index to appraise the degree of sediment production from the catchments. We examined the relationships between the amount and geomorphic and geological characters of catchments of various sizes in Hokkaido, Japan, by analyzing annual sedimentation records in 105 reservoirs. The 28 of the reservoirs were situated in mountainous areas, and the annual specific sediment yield from the catchments was $178\text{m}^3/\text{km}^2/\text{year}$ on average. Sediment yield from the catchments underlain by sedimentary rocks was 8 times larger than those underlain by volcanic rocks, and rainfall pattern was strongly reflected in the sedimentation record. On the other hand, specific sediment yield rates became more dependent on dam utilization by human activities for larger catchments. The data revealed that annual specific sediment yield increased with the size in catchments smaller than 100 km^2 , while the relationship is reversed for those larger than the size.

Key words: *specific sedimentation, dam reservoir, geology, heavy rainfall, catchment size*
キーワード：比堆砂量, ダム貯水池, 地質, 豪雨, 流域スケール

1. はじめに

本特集号の課題は、火山活動による堰止湖の形成とその後の環境変動であり、特に北海道を中心にして議論されることにある。火山活動による堰止湖は、火砕流や火山泥流に

2018年7月13日受付, 2018年8月3日受理

¹ 地方独立行政法人北海道立総合研究機構 (〒060-0819 北海道札幌市北区北19条西11丁目)

¹ Regional Independent Administrative Agency, Hokkaido Research organization, Kita 19, Nishi11, Kita-ku, Sapporo, Hokkaido 060-0819, Japan

² 環境防災研究機構北海道 (〒060-0001 北海道札幌市中央区北1条西8丁目2-39)

² Crisis & Environment Management Policy Institute, Hokkaido, Kita 1, Nishi 8, Chou-ku, Sapporo, Hokkaido 060-0001, Japan

³ 北海道大学大学院農学研究院 (〒060-8589 北海道札幌市北区北9条西9丁目)

³ Research Faculty of Agriculture, Graduate School of Hokkaido University, Kita 9, Nishi 9, Kita-ku, Sapporo, Hokkaido 060-8589, Japan

よって河川が堰き止められて出来ることが多く、砂防学においては天然ダムの形成と決壊という課題で研究されてきた（高橋・匡，1988；里深ほか，2007など）。また、火口湖も一種の堰止湖の課題であるが、その決壊は決壊型火山泥流（丸谷ほか，2007）と呼ばれている。このような堰止め湖や火口湖が決壊した際には洪水段波や土石流を発生し、下流域に大きな被害をもたらす。

しかし、長期間決壊しない場合には、堰止湖の形成する自然景観は観光資源になると同時に、流入する土砂の堆積により湖沼の湛水容量が徐々に減ることで、内水面漁業への影響や生活用水の枯渇など、人間の生活環境にとっても大きな問題となる場合がある。一方、堰止湖への堆砂は、流入する河川流域から生産され流出した土砂によるもので、堆積量は流域全体の土砂流出の変化を知るために重要な指標となる。特に、堰止湖は一般の湖沼とは違い堰き止められた時期が明らかなことから、湖底に堆積した土砂量は堰き止め時を初期条件とする土砂の流入量を示していることになる。

流域の土砂管理をする砂防計画にとって、流域全体からの土砂生産量の変化を知ることが極めて重要な課題であるが、この土砂量を現地で実測することはたいへん難しい。たとえば、観測斜面をもうけて一定期間の生産土砂を捕捉しても流域全体の生産土砂量にはつながらないし、また河川流量から流出土砂量をモデル計算しても斜面からの実際の生産土砂量との関係はわからない。しかし、堰止湖のように初期条件の明らかな湖底において、定期的に堆積土砂量を計測することができれば、流域スケールでの生産・流出土砂量を知ることが出来る。そのために用いられるのが湖底堆積物のコアサンプリングで、これにより流域からの生産・流出土砂量の経年変化を推定することができる（Eden et al., 1998; 柏谷ほか，1988など）。

ただ、天然の堰止湖はどこにでも広く分布するわけではなく、特定の場所にしか形成されない。そこで著者らは、天然の堰止湖の代わりに人工的に建設された多目的ダムを用いて、そこに堆積する土砂量を流域全体での生産・流出土砂量として利用できないかと考えた。我が国の多くの多目的ダムは建設後数十年の歴史があり、ダム堆砂測量を実施しており、特に国の直轄ダムでは毎年堆砂量を測量していることから、数十年にわたる流域からの生産土砂量の変化を知ることが出来る。そこで、本研究では、北海道内の多目的ダムで計測された堆砂量データを利用して、単位流域面積あたりの1年間での堆砂量を比堆砂量として求め、ダム流域の地質や降雨量の変化が数十年間の土砂生産に及ぼした影響を明らかにすることを目的とした。

2. 研究方法

一般にダムを建設する際には、100年間に溜まると予想される土砂量を堆砂容量として見込み、治水・利水容量と堆砂容量を合わせた容量を確保しなければならない。このことから、毎年進行するダム湖への堆砂はダムの寿命に関わる最も重要な課題となり、建設後

の全国のダム堆砂量は国土交通省から毎年開示されている。「比堆砂量」は、このダムの堆砂容量を決定するために必要であり、様々な経験式によって表現されているが、いずれもダムの年間堆砂量を単位流域面積あたりに換算した値である（吉良，1982）。

本論では、北海道開発局によってとりまとめられた堆砂量データを用いて、それぞれのダムの堆砂量（ m^3 ）を建設からの経過年数 y で除して年平均堆砂量 V （ m^3/y ）とし、さらに流域面積（ km^2 ）で除して年平均比堆砂量 V_a （ $\text{m}^3/\text{km}^2/\text{y}$ ）を求めた。年平均比堆砂量は流域により異なり、また時間的にも変化する。堆砂量の流域間での差は地質や土壤などの地盤の違いによって異なることが予想される。なお、年平均比堆砂量をダム湛水域の面積で除して湛水域単位面積あたりの年平均比堆砂量を求める事も考えられるが、湖沼に比べてダム湛水域のサイズの差は小さいため、結果として堆砂率に大きな変化はないことから、ここでは年平均比堆砂量をそのまま用いた。

まず北海道全体の土砂生産量を概算するために、道内 105 基の多目的ダム（電力・利水ダムを含む）のデータから、平成 21 年度の堆砂量をもとにして年平均堆砂量を求めた。また地質との関係を分析するために、地質が明瞭でほぼ 1 種類の地質から構成されるダム流域をこれらの 105 のダム流域から選んで年平均堆砂量および年平均比堆砂量を求めた。多くのダム流域は様々な地質で構成されるが、ここでは固結状態の異なる堆積岩と火山岩に着目し、流域面積に対してこれらの占める地質割合の大きな（90%以上）28 のダム流域を選んだ。これら 28 基のダムの位置を Fig. 1 に示す。

つぎに、数十年という短い時間では、流域の地形的・地質的等の変化よりも、土砂を侵食し運搬する豪雨の影響の方がより大きいものと予想される。そこで、年平均比堆砂量の時間的変化を分析するために、ダム堆砂量が毎年計測されている道内の直轄ダム 15 基について（一部は上記 28 ダムと重複）、ダム建設後の毎年の堆砂量を時系列データとしてプロットし、降雨量との関係を分析した。Fig. 1 に、これら 15 基の直轄ダムの位置も併せて示す。

3. 北海道の年平均堆砂量

Fig. 2 は、ダム流域ごとの流域面積 A に対する年平均堆砂量を、全道の 105 基のダムについてプロットしたものである。縦軸は log 尺度なので、年平均堆砂量の値は相当ばらついていることになるが、弱い相関関係は見られる。当然ではあるが、年平均堆砂量は流域面積が大きいほど増加している。流域面積 100 km^2 程度までは急速に増加し、それより大きな流域面積で緩やかな増加の傾向を示している。このばらつきの大きさは、土砂生産が流域面積以外の要因すなわち地質や土壤の差異に依存していることを示唆している。

4. 年平均比堆砂量と地質

Fig. 3 (左) に、単一の地質のしめる割合が大きな 28 基のダムについて、流域面積と年平均堆砂量との関係を示す。堆積岩と火山岩が大部分を占める流域でも、Fig. 2 の 105 基のダムと同様の傾向を示し、流域面積 100 km² まではほぼ直線的に増加し、それ以上ではほぼ頭打ちになっている。一方、Fig. 3 (右) に、流域面積と年平均比堆砂量との関係を示す。流域面積 100 km² までは左図と同様に増加傾向にあるが、この流域面積を超えると、流域面積の増加に伴い年平均比堆砂量が減少する傾向にある。サンプル数が少ないので、統計的に明解な結論はできないが、この傾向は芦田・奥村 (1974)、橋本・永野 (2008) の結果と同様である。なお、Fig. 3 右図の 28 基を北海道の山地の代表地点と見做すならば、これらより求めた北海道での 1 km² 当たりの年平均土砂生産量は次式のようなになる。

$$V_a = 178 \pm 138 \text{ (m}^3/\text{km}^2/\text{y)}$$

北海道の面積は約 83,450 km² なので、北海道全道から海洋へと流出する土砂は、毎年 $14.7 \times 10^6 \text{ m}^3$ に上ると推定される。

Fig. 4 は、年平均比堆砂量と流域面積との関係について示したもので、左図は流域面積の 90% 以上を堆積岩が占める流域、右図は流域面積の 90% 以上を火山岩が占める流域である。いずれにおいても流域面積が増加するほど年平均比堆砂量も増加しており、以下の式に回帰できる。

$$\text{堆積岩流域} \cdots V_a = 0.0131 \cdot A - 0.2224 \text{ (R}^2 = 0.83)$$

$$\text{火山岩流域} \cdots V_a = 0.0016 \cdot A + 0.0411 \text{ (R}^2 = 0.71)$$

地質の違いでは、堆積岩の流域のほうが火山岩の流域よりも流域面積に対する年平均比

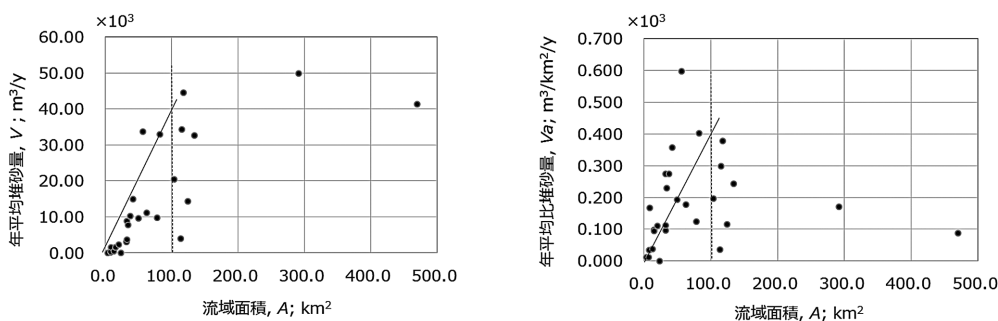


Fig. 3. Mean annual sediment deposition plotted against catchment size for the 28 dam reservoirs. (Left) and specific amount of sediment deposition plotted against catchment size for the 28 dam reservoirs (Right). The geological settings of these catchments are clarified by the administrators of dam reservoirs.

図3 流域面積に対する年平均堆砂量(左)と年平均比堆砂量(右)の分布(北海道105ダム中地質の明らかな28ダム)。

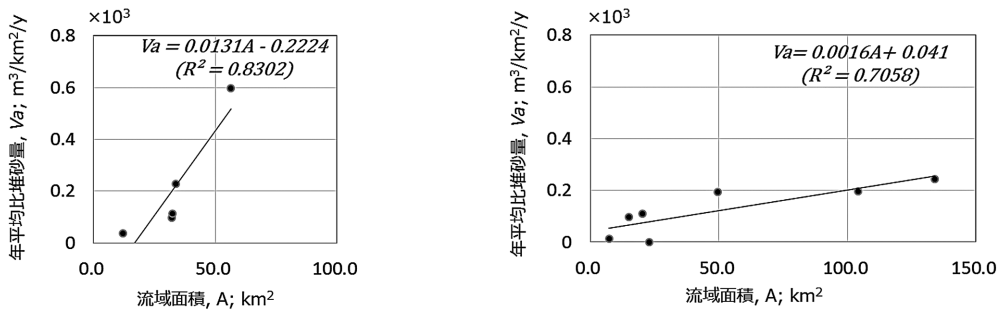


Fig. 4. Relation between specific amount of sediment deposition in dam reservoirs and catchment size. The catchments in left figure are underlined by sedimentary rock at 90% in catchment area and those in right figure are underlined by volcanic rock at 90% in catchment area.

図4 地質別の流域面積と年平均比堆砂量との関係。90%以上を堆積岩で占められる流域（左）と90%以上を火山岩で占められる流域（右）。

堆砂量の増加率が著しく、約8倍の増加率を示している。すなわち、堆積岩流域の方が火山岩流域よりも土砂を生産しやすいことを示している。実際にダム建設する際には、ダム流域内に様々な地質が分布することが多いので、これほど極端な差異は現れないが、流域面積が小さくなるほど同一の地質で占められる機会は多くなり、その場合には堆積岩や火山岩などの固結度の違いが堆砂量に大きな影響を及ぼすことが示されている。

5. 年平均堆砂量と降雨量

つぎに、堆砂量の時間的（経年）変化を見るために、国の直轄15基のダムについて、流域面積に対する年比堆砂量の変化を、ダム建設年（運用開始年）を初期条件として示す（Fig. 5）。流域の地質や土壌が数十年の間に大きく変化するとは考えづらい。したがって、これらの時系列データにおいて年比堆砂量の増加率が変化する場合、その原因は降雨や降雪などの気象条件だと推測される。そこで、これら15ダム流域についてダム間の堆砂量の違いよりもそれぞれのダム流域における堆砂量変化に着目する。横軸はダム建設年（運用開始年）からの経過時間、縦軸は流域サイズの影響を除くために、流域面積で割った年比堆砂量である（グラフでは年比堆砂量の累積値が示される）。

グラフでは、連続した時系列データが不連続（急激に増加する年）になることに着目した。豪雨や豪雪など、北海道全域に及ぶ大きな気象災害が発生すると、土砂生産量が一時的に増えることは予想される。不連続になっている年を抽出すると以下ようになる。

大雪ダム	1963年, 1991年
桂沢ダム	1981年, 1997年
芦別ダム	1963年
漁川ダム	1981年
二風谷ダム	2003年, 2006年

十勝ダム 1991年～1992年, 2001年
 札内川ダム 1999年, 2003年
 岩尾内ダム 1995年～1996年
 豊平峡ダム 2000年

札内川ダムや漁川ダムのように堆砂量が減少していることもあるが、これはダムの浚渫や計測方法の変更などによるもので、堆砂量減少後のデータについてはここでは扱わない。また、不連続になった後で堆砂量のグラフの傾きが急になった流域は、桂沢ダムだけである。

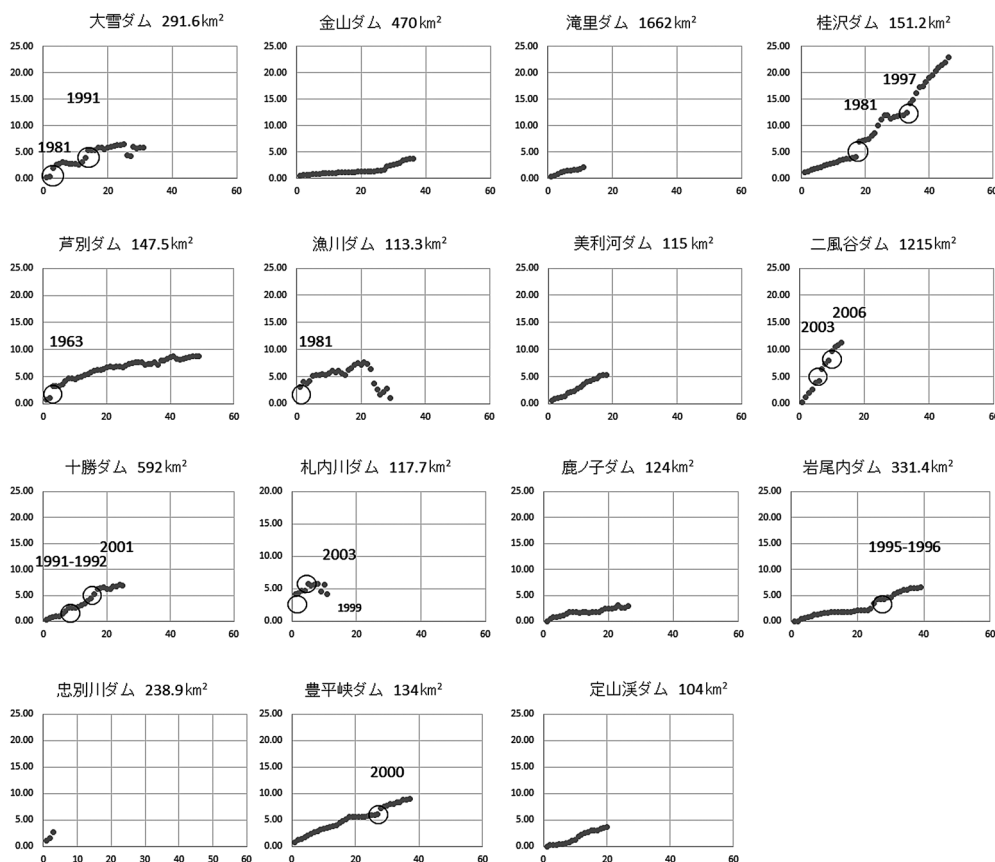


Fig. 5. Temporal changes in specific amount of sediment deposition at 15 dam reservoirs implemented by the national government.

図5 北海道の直轄15ダムにおける年比堆砂量の経年変化(○は年比堆砂量の不連続部分を示す)。

1960年以降の災害記録より北海道全域に及んだ気象災害を抽出したところ、1963年、1981年、1991年、1999年、2001年、2003年、2006年、2010年、2016年の9カ年であった。以下に災害の概要を示す。

● 1963年(昭和38年): 三八豪雪。北陸、北海道に豪雪。

- 1981年（昭和56年）8月：北海道に前線停滞と台風12号。3日～6日に札幌では294 mmの雨で大洪水発生。23日には台風15号の北上に伴い再び豪雨、大洪水で各地に被害。8月は胆振地方の白老町森野で北海道史上最大の月降水量1041 mmを観測。石狩川氾濫などにより北海道全体で死者3人、被害家屋は3万戸超。
- 1991年（平成3年）9月27日：非常に強い勢力の台風19号（中心付近の最大風速50 m/s）が長崎県佐世保市南に上陸後、早い速度で日本海を北上、北海道渡島半島に再上陸。
- 1999年（平成11年）6月29日～7月3日：梅雨前線、低気圧による豪雨（通称広島豪雨は日本海西部から東北方向に進み、北海道広尾町でも215 mmの豪雨。
- 2001年（平成13年）8月下旬～9月：台風11号、15号が本州中部～北海道に接近・通過、秋雨前線の活動も活発化。北海道では1979年以来の1時間降雨記録を更新。
- 2003年（平成15年）8月：台風10号により17人の死者・行方不明者発生。北海道日高地方の鷓川・沙流川で大水害発生。
- 2006年（平成18年）10月4日～5日：台風第16号、17号の北上に伴い、台風周辺の湿った空気が本州南岸の停滞前線に流れ込み、前線活動が活発化。北海道では、遠軽町遠軽20 mm/h、美深町小車13 mm/h、中標津町中標津13 mm/hなどで水稻等の冠水、果樹の落果、農業・水産施設の損壊。
- 2010年 線状降水帯による豪雨。忠別川洪水発生で死者2名。
- 2016年 8月～9月初旬：北海道東部豪雨災害、台風7号・9号・11号。

これらとダム堆砂量が不連続となった年を比較すると、一致していないのは桂沢ダム（1981年、1997年）と岩尾内ダム（1995年～1996年）、豊平峡ダム（2000年）だけで、他のダムでは年比堆砂量が不連続の年と気象災害が発生した年とは完全に一致している。豪雨や豪雪が北海道全域に及んだといっても、正確な降水量とその範囲とがわかっているわけではないし、時間降水量が判っているわけでもない。しかし、この程度の大雑把なデータの突合せだけでも、豪雨・豪雪の影響がうかがわれるということは、著しい降水量は一時的にダム堆砂量を増加させる影響があったと言える。

6. 考 察

年比堆砂量は、1年間にダムに流れ込んだ堆積土砂の単位流域面積（1 km²）あたりの土砂量である。北海道の灌漑ダムの堆砂は、砂・シルト・粘土が約65%～100%を占め、最大粒径でも2 cm以下である（木村ほか、2013）ため、一般にふだんの低水流量や僅かの降雨や融雪水によって容易に流れ去る。岩垣の式によれば、粒径0.5 cmの礫は6 cm/secの流速で移動する。このことから、斜面から生産され河川に到達した土砂は殆どが直接ダム湖にまで流出するものと推測される。そこで、ここでは年（平均）比堆砂量を、単位流域斜面から1年間に生産された土砂すなわち流域の1年間の侵食量と考える（Fig. 6）。

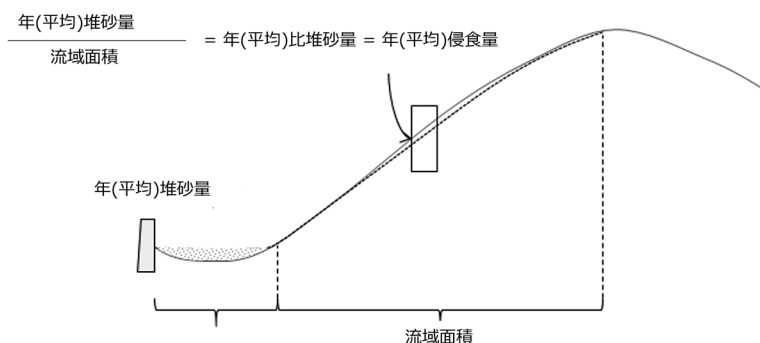


Fig. 6. Schematic chart of the relation between sediment deposition in dam reservoirs and sediment production from mountain slope.

図6 年平均比堆砂量と流域の侵食量

これまでの結果について、年（平均）比堆砂量を年（平均）侵食量と読み替えると以下のような結論が得られる。

- (1) 北海道全体の山地の年平均侵食量は 1 km^2 当たり $178 \pm 138 \text{ m}^3$ である。
- (2) 堆積岩が殆どを占める流域と火山岩が殆どを占める流域とでは、年平均侵食量が大きく異なり、堆積岩の方が火山岩より約8倍多い。
- (3) 北海道15の直轄ダム流域を時系列で見ると、年侵食量の不連続（突然増加）の年があり、そのほとんどが豪雨や豪雪の発生年と一致する。
- (4) 年侵食量の不連続をもたらす降雨量は流域によって異なるが、日雨量 $70 \text{ mm} \sim 300 \text{ mm}$ 以上であり、1~2年以内に以前からの増加量に戻る。

年平均侵食量は地質の違いによって最も影響されている。とくに、堆積岩は火山岩の様な固結度の高い地質に比べて非所にはやい速度で侵食されている。北海道における地質の工学的性質に関する、菊池（1990）および小島・中尾（1995）の研究によれば、岩石の吸水率は火成岩（火山岩と深成岩）では $0 \sim 10\%$ であるのに対して堆積岩（古第三紀，新第三紀）では 2% 以上、圧縮強度は火成岩（火山岩と深成岩）では 600 kgf/cm^2 以上であるのに対して堆積岩（古第三紀，新第三紀）では $10 \sim 2000 \text{ kgf/cm}^2$ とされている。すなわち、堆積岩は火成岩と比べて、一般には吸水しやすく圧縮強度が低い事が示されている。筆者らは、個々の岩石のサンプルをとって物理試験をしたわけではないが、一般的な性質から見て、堆積岩と火山岩には水に対する強度において相対的に明瞭な差が見られる。このことから、火山岩に比べて堆積岩が8倍侵食されやすいことは、容易に理解できる。

次に侵食を加速させる要因は豪雨である。北海道はこれまでは本州のように局地豪雨が多くなかったが、流域によっては日雨量 70 mm 程度で侵食量が急増することから、豪雨になれていない北海道の山地では今後はこれまで以上に侵食が進むことも予想される。Fig. 5で年比堆砂量が不連続になる年を抽出し、そのとき北海道全域に降雨をもたらしたイベントをあげたが、具体的にそれぞれのダムサイトでの局地的な降雨記録のあるダムに

Table 1. Characteristics of the 15 dam reservoirs, such as catchment size, elevation of dam, heavy rainfall record and specific amount of sediment deposition observed by the administrators of dam.

表 1 直轄 15 ダムの流域面積，標高，豪雨と年平均比堆砂量

		流域面積 (km ²)	経過年数 (年)	標高 (m)	年平均侵食量 (m ³ /km ² /year)	年最大日降雨量 (豪雨年) (mm)	
大雪ダム	(石狩川水系石狩川)	291.6	31	812	0.19	75 mm (1963)	69 mm (1991)
金山ダム	(石狩川水系空知川)	470	42	330	0.09		
滝里ダム	(石狩川水系空知川)	1662	11	162	0.19		
桂沢ダム	(石狩川水系幾春別川)	151.2	46	166	0.50	200 mm (1981)	93 mm (1997)
芦別ダム	(石狩川水系芦別川)	147.5	49	336	0.18		
漁川ダム	(石狩川水系漁川)	113.3	21	205	0.37		
豊平峡ダム	(石狩川水系豊平川)	134	37	477	0.24		
定山溪ダム	(石狩川水系小樽内川)	104	20	392	0.19		
美利河ダム	(後志利別川水系後志利別川)	115	18	129	0.30		
二風谷ダム	(沙流川水系沙流川)	1215	13	51	0.87	237 mm (2003)	302 mm (2006)
十勝ダム	(十勝川水系十勝川)	592	25	343	0.28	117 mm (2001)	
札内川ダム	(十勝川水系札内川)	117.7	11	475	0.38		
鹿ノ子ダム	(常呂川水系常呂川)	124	26	460	0.12		
岩尾内ダム	(天塩川水系天塩川)	331.4	39	322	0.17		
忠別ダム	(石狩川水系忠別川)	238.9	3	426	0.88		

ついて日降雨量を挙げた (Table 1).

大雪ダムの 1963 年と 1991 年，桂沢ダムの 1981 年と 1997 年，二風谷ダムの 2003 年と 2006 年および十勝ダムの 2001 年がダムサイトまたは近傍の降雨記録 (日雨量) が得られた。大雪ダムでは，日雨量 75 mm および 69 mm と，他のダムに比べて比較的少ない雨で侵食量が急激に増加している。一方，二風谷ダムでは，日雨量 237 mm および 302 mm と北海道にしてはかなりの豪雨で，それぞれのダム流域でも年最大日降雨量となっている。これは，大雪ダムが北海道中央部 (Fig. 1) の標高の高い高寒冷地 (Table 1) にあり，二風谷ダムが，日高山地東側の海沿いにあり，普段から雨の多い場所に位置することとも関係がある。以上，比堆砂量を流域の平均的な侵食量と読み替えても，従来の研究成果と大きく食い違う事はないと言える。

流域面積と年平均比堆砂量との関係については，はっきりした原因はわからないが，かならずしもこれまでの研究成果では理解できない点もある。芦田・奥村 (1974)，橋本・永野 (2008) によれば年平均比堆砂量は大きな流域では流域面積の増加に伴い減少傾向にあることが指摘されている。しかし，本研究では Fig. 4 に示したように，100 km² より小さな流域ではむしろ流域面積の増加に伴って年平均比堆砂量は増加している。つまり，ほぼ 100 km² 程度を境にして逆の傾向にあるといる。つまり，100 km² という値に意味があるとは思えないが，比較的面積の大きな流域と小さな流域とで逆の傾向にある事は確かである。

Table 1 によれば，これらのダム流域は国の直轄であり，石狩川，後志利別川，沙流川，十勝川，常呂川，天塩川といずれも一級水系 (一級河川) である。一級河川では，上流部は都道府県によって委託管理されているが，直轄管理されているダム及びダム貯水池とそ

の上・下流の一定区間は国によって直轄管理されている。一般に、一級河川は飲料水、農業用水や工業用水、水力発電などの利用の目的から、地方自治体が管理する二級河川よりも河川の整備が進んでいる。また、二級河川に比べて流域面積が必ずしも広いとは言えないが、大部分の一級河川は数百 km^2 から千数百 km^2 という大きな流域である。すなわち、直轄ダム流域となるような比較的大きな流域は住民による河川利用が盛んで、そのために河川整備がいき届いている。

一般的に、地質や降雨条件が流域内のどこでも同じであれば、流域面積が大きくなるほど侵食量は増加するはずである。しかし、地表面の侵食はこのような自然条件だけで支配されているわけではない。小さな河川流域では山腹斜面が河岸と接近するため、斜面からの土砂が直接河川に流入するのに対して、大きな河川流域ほど山腹斜面と河岸との間に宅地や産業やインフラなどの人間活動の場が広がるため、それに伴って治山・砂防ダムや流路工、沈砂池などの河川整備も充実している。このため、山腹斜面から生産された土砂が人間の活動の場や河川設備によって捕捉され、直接、河川に供給されてダム湖まで流出しないケースが多いと思われる。すなわち、侵食土砂がそのままダムへの流出土砂とならない可能性がある。このことから、比堆砂量を流域の平均的な侵食量として読み替えるには限界があり、おおむね 100 km^2 以下の比較的小さなサイズの流域においては読み替えが有効であるといえる。

このような河川の流域のもつ自然の多様性が流域整備によって減少することにより、人間活動を考慮に入れた新たな土砂流出を考えるべきことは、早くから Brierley and Fryirs (2005) によって指摘されている。人間活動が自然の一部である以上、河川環境のみならず、流域の社会的・経済的な利用も含めて土砂の流出を予測しておくことが今後の河川流域管理にとって必要だという主張である。地質や降雨など河川流域に備わった自然条件は、様々な河川流域でかなり明瞭に線形関係を示した。しかし、流域サイズのみが一定値を境に異なった傾向を示した。人為的な環境変化が山地からの土砂流出量に与える影響は、流域のサイズによって異なり、とくに北海道では今後の気候変動による局地的な降雨量の増加の影響を考える場合には、流域サイズを考慮して行くことが重要であることが示唆された。

謝 辞

本研究のきっかけを与えていただいたのは北海道開発局のダムフォローアップ委員会（委員長 黒木幹男）におけるダム堆砂についての議論であった。また、北海道開発局には筆者らの疑問に答えていただき、道内のダム堆砂データも支障のない範囲で提供いただいた。また、データの整理分析は、元北海道大学大学院流域砂防学研究室の小塚菜津美（2014年）さんと安田梨花（2011年）さんの修士論文を通して行っていただいた。あわせて謝意を表す。

引用文献

- 芦田和男・奥村武信 (1974) ダム堆砂に関する研究：京大防災研究所年報, **17-B**, 555-570.
- Brierley, G.J. Brierley and Fryirs, K.A. (2005) *Geomorphology and River Management*, Blackwell, Oxford, 398p.
- Eden, D.N. and Page, M.J. (1998) Palaeoclimatic implications of a storm erosion record from late Holocene lake sediments, North Island, New Zealand: *Paleogeography, Paleoclimatology, Palaeoecology*, **139**, 37-58.
- 橋本晴行・永野博之 (2008) 九州におけるダム堆砂の実態と土砂流出特性：第4回土砂災害に関するシンポジウム論文集, 167-172.
- 柏谷健二・太井子宏和・川谷 健・沖村 孝 (1988) 六甲山系の湖沼堆積物の粒度組成の変動と崩壊環境：地形, **9**, 193-200.
- 菊池宏吉 (1990) 地質工学概論, 土木工学社, 276p.
- 木村一郎・鈴木英一・村田雄輝・清水康行・山口里実 (2013) 流水型ダムの水理と堆砂に関する基本特性とその数値シミュレーションによる検討：水利科学, **332**, 51-73
- 吉良八郎 (1983) 講座「ダム計画と堆砂 (その4) - ダム堆砂量の予測 -」：農業土木学会誌, **51-2**, 147-153.
- 小島圭二・中尾健児 (1995) 地質技術の基礎と実務, 鹿島出版会, 391p.
- 丸谷知己・山田 孝・木村正信・眞板秀二・Vern Manville・Graham Leonard・Noel Trustrum (2007) ニュージーランド北島ルアペフ火山の火口湖決壊によって発生したラハール：砂防学会誌, **60-2**, 59-65.
- 里深好文・吉野弘祐・水山高久・小川紀一郎・内川龍男・森 俊勇 (2007) 天然ダムの決壊に伴う洪水流出の予測手法に関する研究：水工学論文集, **51**, 901-906.
- 高橋 保・匡 尚富 (1988) 天然ダムの決壊による土石流の規模に関する研究：京都大学防災研究所年報, **31-B (2)**, 601-615.