

流木の流入状況の違いによるダムの減災効果の考察 —石狩川水系の金山ダムと漁川ダムを事例として—

Disaster prevention effects of dam lakes considering the differences of driftwood influx situation during large-flooding events
—A case study of Kanayama and Izari Dam lakes in the Ishikari River basin—

北海道大学工学部環境社会工学科
北海道大学大学院工学研究院
北海道大学大学院工学研究院
北海道大学大学院工学研究院

○学生員 鎌田真史(Masafumi Kamada)
正会員 今日出人(Hidetoto Kon)
正会員 久加朋子(Tomoko Kyuka)
フェロー 清水康行(Yasuyuki Shimizu)

1. 研究背景

近年、全国各地で大雨や台風による被害が増加している。豪雨に伴う山腹崩壊や斜面崩落は各地で多大な被害を発生させており、2017年九州北部豪雨災害では流木の流出による災害リスクが改めて認識された。多量の流木は径間長が比較的短い橋梁に集積し、それに伴う河道閉塞によって土砂と流木を含んだ洪水氾濫が田畑や道路、家屋周辺に流れ込み、甚大な被害を発生させたことが報告されている¹⁾。

北海道においても、近年では記録的な大雨が相次いで更新されている。2014年9月や2016年8月の豪雨災害では、多量の土砂の移動に伴う流路変動により河川の中上流域において甚大な被害が発生した^{2), 3)}。しかしながら、これらの一連の災害では、出水時に多量の流木が河道内を流れていたことは後述の通り明らかであるものの、流木の移動そのものによる顕著な被害は殆ど報告されていない。上記2洪水では上流域に存在するダム等の取水・砂防施設によってある程度流木が捕捉されたため、ダム下流域の市街地における流木被害が殆ど確認されなかったのではないかと考えられる。

ダムは本来、洪水調節、かんがい用水、水道用水の供給、電力発電などを目的として建設されている。しかしながら、近年、記録的な大雨、洪水災害によって全国各地で山腹崩落が多発しており、上流に位置するダムが一時的に大量の流木を捕捉すること自体がダム下流域に位置する市街地の被害軽減につながると期待されている。しかしながら、これまで出水時の流木発生源や流木発生量、ダムへの流木の流入特性などを扱った検討は少なく^{1), 4)}、さらに一度に多量の流木がダム湖内の網場や出水ゲートまで到達した場合の危険性なども懸念される状況にある⁵⁾。

そこで本研究では、ダムによる出水時の流木捕捉効果に着目し、近年の大雨洪水災害を経験した石狩川水系漁川ダムと石狩川水系金山ダムの2つのダム(図-1)を事例とした流木流入特性の比較検討を行う。具体的には、ダムによって下流へ輸送される流木量がどの程度低減するかを把握することを目的に、1) 両ダムにおける経年的な土砂と流木流入量の比較、2) 2014年の漁川ダムと2016年の金山ダムの出水時の流木発生源と流木発生量の比較、3) ダムへの流木流入状況の違い等を比較する



図-1 漁川ダムと金山ダムの位置関係
(北海道開発局資料を一部修正)



図-2 2014年洪水時の漁川ダム湖の流木流入状況

左) ダム湖の網場付近(2014年9月12日撮影、開発局提供)
右) ダム湖上流域(2014年10月24日撮影、開発局提供)

ことで、流域面積や流域の傾斜度等の違いがダムへの流木流入特性に与える影響を把握した。

2. ダム諸元

2.1 漁川ダム

漁川ダムは石狩川水系千歳川の最大の支流である漁川に、洪水調節、上水道、流水の正常な機能の維持を目的として作られた多目的ダムであり、1980年に完成した。恵庭市内の山間部に位置し、北海道開発局管轄のダムでは貯水容量が最も小さな多目的ダムであり、その流域面積は113 km²である。

2014年9月の北海道豪雨災害では、漁川ダムへ流入した流量は約820 m³/sと、漁川ダムにおいて過去に観測された大雨洪水災害時の最大流入量の3倍近くもの値を記録した。また、図-2に示すとおり、多数の斜面崩壊が発生し、大量の土砂と流木がダムへ大量に流れ込んだ。北



図-3 2016 年洪水時のかなやま湖の流木流入状況
左) ダム堤付付近(2016 年 9 月 2 日撮影、開発局提供)
右) ダム上流の大勝橋(2016 年 9 月 3 日撮影、調査団)



図-4 2016 年洪水後の流木残存状況の一例
左) ダム湖岸(2018 年 7 月 18 日撮影)
右) 空知川河岸(2018 年 7 月 18 日撮影)

北海道開発局は、「仮にダムが整備されていなければ、計画高水位を大きく上回る出水となり、恵庭市へのはん濫により、約 9,900 戸、約 300 億円の被害が発生した可能性がある」と推察している²⁾。しかし、これはあくまで洪水調節に焦点をあてたものであり、流木について考慮すると構造物の破壊や越水などで被害はより大きなものになったと推測される。

2.2 金山ダム

金山ダムは空知川上流約 96 キロ地点に洪水調節、農業用水の供給、水力発電、水道用水の供給を目的に建設された多目的ダムであり、1967 年に完成した。流域面積は 470 km² である。

2016 年北海道豪雨災害では、8 月 17 日から 8 月 30 日の間に北海道では初となる 4 つの台風が 2 週間の間に連続して上陸し、最後に上陸した台風 10 号が道東をはじめ各地で記録的な大雨をもたらした。台風 10 号に伴う降雨による最大ダム流入量は約 1,500 m³/s であり、金山ダム上流に位置する南富良野町の幾寅では河岸侵食による橋台の流失、堤防の決壊に伴う市街地の浸水など、甚大な被害が生じた³⁾。流木に関しては、図-3 に示すとおり、空知川にかかる橋梁での多数の流木捕捉が確認されると共に、金山ダムへの大量の流木流入状況等が確認されている。さらに、空知川では上述の漁川ダムと異なり、当時の流木は未だにダム湖岸や河岸沿いに残存しており(図-4)、一斉に取り除くことが難しいようである。

3. 経年的な土砂と流木流入量の比較

図-5 および図-6 に、漁川ダムと金山ダムの経年的な堆積土砂量と流木量を示す。図-5-a によると、漁川ダムでは 2014 年出水時、一年間で堆砂した量が約 69 万 m³ であり、金山ダムでは 2016 年出水時の堆砂量が 250 万 m³ であった。堆砂率(計画堆砂量に対する堆砂量の比率)

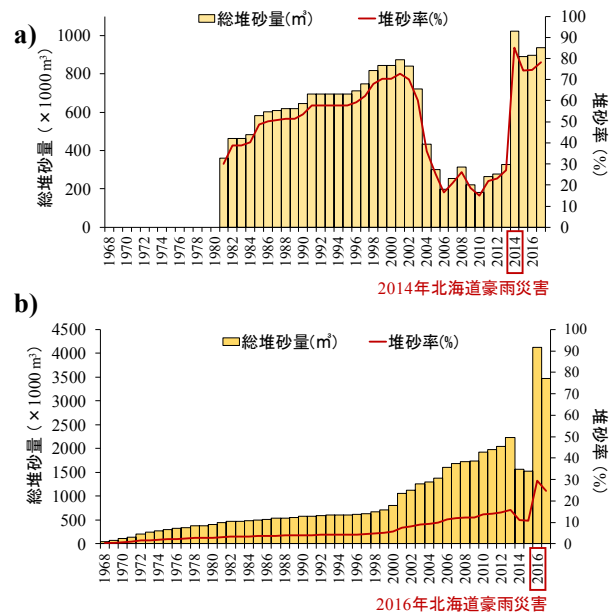


図-5 堆砂量と堆砂率の経年グラフ

(a) 漁川ダム、(b) 金山ダム

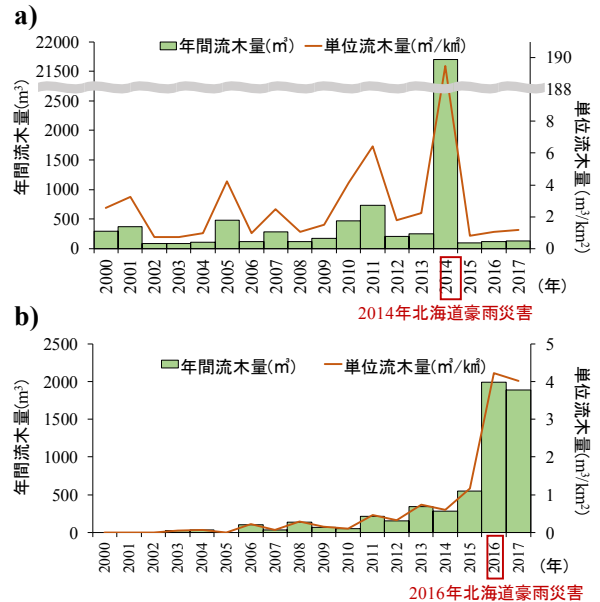


図-6 年間流木量と単位流木量
(年間流木量を流域面積で除した値)の経年グラフ

(a) 漁川ダム、(b) 金山ダム

について、漁川ダムでは掘削作業によって 30%未満に抑えられていたものが 1 年で 80%以上にまで上昇し、再度の掘削作業を余儀なくされたことが分かる。一方、図-5-b に示す金山ダムでは 2016 年出水により、ダム完成から 48 年にわたって 20%未満だったものが一年で 30%以上にまで急上昇した。2016 年北海道豪雨災害のほうが全体的な被害規模は大きかったものの、両ダムのみを比較した場合、流域面積に対する堆砂量に関しては、2016 年出水時の漁川ダムの方が大きな値を記録したことが分かる。

次に、図-6 より流木量について比較する。図-6-a によ

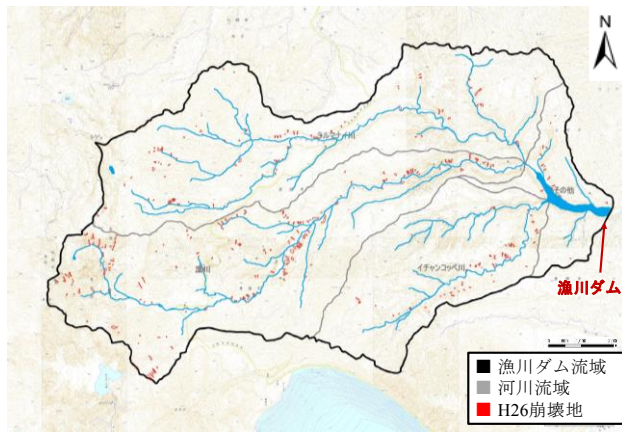


図-7 漁川ダム流域の崩壊地暫定図(2014 年度出水)
(北海道開発局より、一部加筆)

ると漁川ダムでは 2014 年出水時、流木は約 21,500 m³と過去のデータと比べると類を見ないほど大きな値を観測したことが分かる。しかし、堆積土砂量と同様に、2015 年度以降はダム湖への流入流量は比較的少なく、2014 年出水にて河道内に流出した流木の大半は災害年中に撤去されていることが分かる。一方、図-6-b によると、金山ダムでは、2016 年出水時、約 2,000 m³もの流木が引き上げられたが、災害翌年の 2017 年においても流木量が約 1,900 m³と、堆積土砂量と同じく 2 年にわたって大量の流木が引き上げられていることが分かる。これは、金山ダムでは漁川ダムと異なり湖岸に打ち上げられている流木がまだ大量に残っていること、空知川の川沿いにも同様に流木が残っていることが影響していると考えられる(図-4)。

4. 流木発生源と流木発生量の推察

図-7 に、漁川ダムにおける斜面の崩壊領域暫定図を示す。図-7 は、漁川ダム崩壊より作成した画像より判定した崩壊領域を示す図である(国土交通省北海道開発局提供)。図-7 より、崩壊面積を算出すると、約 0.649km²(流域面積で除した崩壊量: 0.006)であった。また、崩壊領域に着目すると、河川沿いの山腹が崩壊していることが分かる。

一方、図-8 に金山ダム流域における斜面の崩壊領域の推定図を示す。金山ダム流域については出水後の流域全体の垂直写真が存在しなかったため、金山ダム流域全体を網羅する範囲の Sentinel-2⁶⁾(Sentinel-hub EO-Browser, URL: <https://apps.sentinel-hub.com/eo-browser/>)の夏季の光学衛星写真を用い、植生が消失した領域を抽出することで斜面の崩壊面積の把握を試みた。本研究では、流域全体が充分に映っている衛星写真として、災害前のデータには 2016/7/9 の衛星画像(雲量: 11.9%)を、災害後のデータには 2017/9/5 の衛星画像(雲量: 1%)を選択した。得られた画像は、ArcGIS (ArcMap ver. 10.4.1)を用いて植生指数 NDVI を各々計算し、NDVI の差分を求め、明らかに植生が消失した領域を斜面崩壊領域と仮定した。ただし、畑や市街地などの一部も植生消失領域として特定されたため、ここでは明らかに異なると判断さ



図-8 金山ダム流域の植生差分による
崩壊地推定図(2016 年度出水)

れる領域を衛星写真より判断し、除去した。得られた差分値は画像をモザイク処理し、崩壊面積の推定値を得た。

図-8 によると、金山ダム流域の崩壊面積の推定値は約 12.11km²(流域面積で除した崩壊量: 0.025)であった。これより、金山ダム流域では漁川ダムの場合と比べて非常に広範囲で斜面崩壊が発生したことが分かる。また、崩壊地の位置に着目すると、金山ダム流域では漁川流域と異なり、ほぼ空知川やその支川であるシーソラプチ川、ルーオマソソラプチ川と重なるような位置に存在することが示された。これは、漁川流域では土石流に混ざって流木が流れてきた⁴⁾ことに対し、金山ダム流域では流路の拡幅に伴う河岸侵食によって主に流木が生じたためではないかと推察される。

そこで、両ダムの崩壊地の特徴の違いを検討するため、図-9 に漁川ダム流域および図-10 に金山ダム流域の傾斜度を示す。図-9 より両ダム流域を比較すると、漁川ダムでは川沿いが崖のような急勾配域(赤い領域)で囲まれていることが分かる。一方、金山ダムの上流域は市街地であり、かつ空知川やシーソラプチ川周辺は比較的平坦な傾斜度を持つ土地(図-10 のピンク色~青色)であることが分かる。

漁川ダム上流域は現地調査や衛星写真から見ても分かるほどの山岳地帯であり、この急な傾斜度のため、2014 年豪雨時に発生した川沿いの山腹崩壊に伴う土砂と流木は、土石流のような形で一気に漁川へと流れ込んだはずである。逆に、金山ダム流域では比較的山腹崩落が少なく、上述の通り主な流木発生源は川幅の拡幅による河岸侵食であったと推察される。つまり、漁川では主に山腹の斜面崩落で一気に流木が河道へ流入した一方で、空知川では出水時の流路変動や流路拡幅に伴って樹木の流失がゆっくり生じたものと考えられる。また、かなやま湖の湖岸部や川沿いの傾斜も緩やかなものとなっており、この傾斜の緩やかさが、流量低下時に流木が打ち上げられた要因だと考えられる。

5. ダムへの流木流入状況の違いとそれに伴う下流域への防災効果の考察

ここまで、二つのダムの特徴と洪水災害時の詳細を述

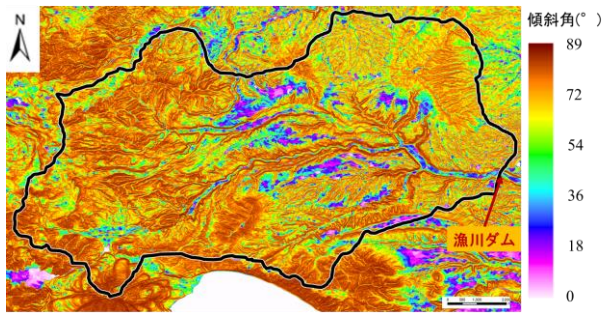


図-3 漁川ダム流域の傾斜図
(国土地理院 10mDEM データより作成)

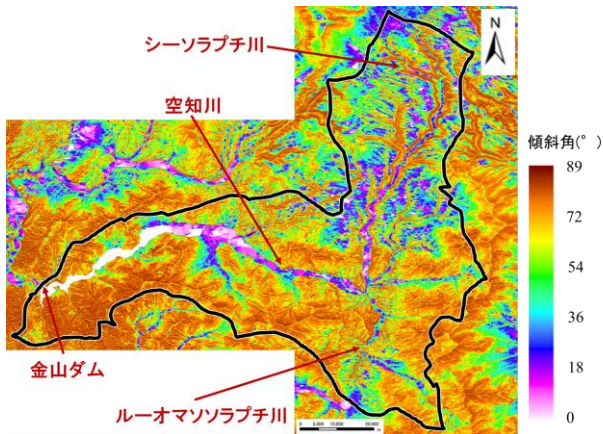


図-4 金山ダム流域の傾斜図
(国土地理院 10mDEM データより作成)

べてきた。ここでは、流域の勾配が異なる2つのダムによる洪水時の流木捕捉効果の違いと、それに伴う減災効果について考察する。

表-1は、漁川ダムと金山ダム、二つのダムの洪水被害発生年における年間流木量、単位流木量（実績）、単位流木量（推察）、最大流入量（実績）、比流量（実績）、総堆砂量（実績）、流域面積、単位堆砂量（実績）、計画堆砂量をまとめたものである。表-1において赤く表示した数字は、二つのダムを比較してより大きな値を観測した値を示している。表-1より、2014年漁川ダムと2016年金山ダムの出水時の状況を比較すると、漁川ダムでは最大流入量が金山ダムの約半分ほどであるが、流域面積が小さい分、単位面積当たりの比流量が大きくなっていることが分かる。つまり、漁川流域の方が単位面積当たりの降雨量が多かったことが分かる。それに伴い、漁川ダムにおける単位流木量および単位堆砂量も共に、金山ダムより大きな値を示したものと考えられる。しかしながら、単位堆砂量と異なり、単位流木量は漁川ダムと金山ダムにて45倍以上と大きく異なる。これは、漁川ダム流域がより傾斜が急で山腹崩落が生じやすいため、河岸侵食に比べて一度に多量の流木が生じるためである。ここから、傾斜が急で山腹崩落が流木供給の大半を占める漁川と、河岸侵食が流木供給の大半を占める金山ダムでは、ダム湖への流木流入特性が全く異なることが分かる。漁川ダムでは流木が一気に下流へ輸送されるため、金山ダムに比べ、ダム湖による一時的な流木捕捉が下流の市街地の被害軽減に果たす役割は大きいものと言える。

表-1 漁川ダム(2014)と金山ダム(2016)における出水状況の比較

	金山ダム(2016)	漁川ダム(2014)
年間流木量(m ³)	1,800	21,500
単位流木量(m ³ /km ²)	4.23	189.76
最大流入量(m ³ /s)	1,599	819
総堆砂量(×1,000 m ³)	4,331	1,201
流域面積(km ²)	470	113.3
比流量(m ³ /s/km ²)	3.402	7.229
単位堆砂量(×1,000 m ³ /km ²)	9.2	10.6
計画堆砂量(×1,000 m ³)	14,000	1,200

6. 結論

本研究では、ダムの流木、土砂の捕捉による下流への被害軽減効果を、現地データと ArcGIS による解析により検証した。以下に得られた知見を列挙する。

- 1) 流域面積が小さく、傾斜が急である漁川ダムの方が流木の発生特性は大きかった。
- 2) ダムの防災効果を評価する際に、上流域の傾斜が大きな要因となる。
- 3) 傾斜の緩急が流木の発生・流入特性に影響する。
- 4) 本研究では現地データと ArcGIS による解析のみの検討であるが、ダムの流木、土砂の捕捉による下流への被害軽減効果を示すために数値解析による検討が今後必要である。

7. 謝辞

本研究は、国土交通省北海道開発局札幌開発建設部・赤坂友二氏、藤田勇氏、株式会社建設技術研究所・川村育男氏、北海道大学大学院工学研究院・森川剛氏、渡邊健人氏、Shara Grace Astillero 氏をはじめ、多くの行政機関や組織・民間会社にご協力いただいた。皆様への謝意をここに示す。

8. 参考文献

- 1) 矢野・大久保・津末・武村・富田・風間・二瓶：平成 29 年 7 月九州北部豪雨による流木災害の発生要因に関する分析，土木学会論文集(水工学)，Vol71，pp. I_1063-1068，2018.
- 2) 北海道開発局：平成 27 年度 北海道地方ダム等管理フォローアップ委員会 漁川ダム定期報告書，2015.
- 3) 土木学会災害調査団：2016 年 8 月北海道豪雨災害調査団緊急報告会資料，2017.
- 4) 倉橋・角・永谷・川村・石田・水野：ダム貯水池における流木発生特性に関する研究，河川技術論文集，23，pp. 317-322，2017.
- 5) 国土交通省：ダム貯水池における流木流入災害の防止対策検討調査報告書，p.3，2007.
- 6) ESA：Sentinel-hub EO-Browser