

多地点観測結果に基づく鵲川および 沙流川流域における平成28年8月 北海道豪雨による浮遊土砂流出特性の変化

土木研究所寒地土木研究所 水環境保全チーム ○内藤 大梧
水垣 滋

山地から海岸に至る流域土砂動態を明らかにすることは河川管理上重要である。鵲川および沙流川流域ではこれまで出水時の浮遊土砂濃度が多地点で同時に観測されてきた。沙流川流域では平成28年8月北海道豪雨によって斜面崩壊が多数発生した。これにより多くの土砂生産源が形成された。本報告では、両流域で行われた豪雨前後10年間の浮遊土砂濃度観測の結果から、平成28年8月北海道豪雨前後に生じた土砂流出特性の変化を調べた。

キーワード：浮遊土砂、水文観測、流砂系

1. はじめに

流砂系の総合的な土砂管理において、流域からの流出土砂量は流域土砂動態の最も基本的かつ重要な情報である。近年、深層崩壊や表層崩壊、地すべりといったマスムーブメントによる「大規模土砂生産現象」¹⁾が豪雨や大規模地震に伴い流域のいたるところで生じ、溪流・河川・ダムなどへ大量の土砂を供給している。このような大規模土砂生産現象は、流域の土砂動態・環境に長期間（数年～数十年、場合によっては100年以上）にわたり大きな影響を及ぼす可能性があるため²⁾、流域の土砂流出特性を把握するには長期間にわたって土砂流出量を観測する必要がある。しかし、大規模土砂生産現象を直接観測した事例は必ずしも多くなく³⁾、その後のモニタリング継続事例も少ない。

平成28年（2016年）8月17日～23日に相次いで北海道に上陸した台風第7号、第11号、第9号や8月29日からの前線と台風第10号の接近による大雨は、道内の広範囲に大規模な水害・土砂災害をもたらした⁴⁾⁵⁾。この大雨を以降では平成28年8月北海道豪雨と呼称する。平成28年8月北海道豪雨では、とくに台風第10号による日高山脈周辺の地形性降雨により、日高山脈東側斜面で土石流・土砂流出が多発したほか⁶⁾、西側に源頭部を持つ鵲川および沙流川水系でも大規模な出水が生じた。沙流川では法面・斜面の崩壊や土砂流出、河道の洗堀・浸食が多数確認されており⁷⁾、相当量の土砂が海域まで流出したと考えられる。水垣ら⁸⁾は鵲川および沙流川流域の雨量観測所で観測された豪雨時の雨量データから、両流域ともに上流域と下流域で降雨分布の違いが顕著であり、流域

の土砂生産および流出にも影響を及ぼしたと推察している。

寒地土木研究所は国土交通省北海道開発局室蘭開発建設部の協力を得て、鵲川および沙流川流域の水、浮遊土砂および物質動態を把握するために、2011年以降合同で出水時の水質調査を実施してきた⁹⁾¹⁰⁾¹¹⁾。具体的には、融雪出水および降雨出水時に多地点において同一出水イベント時に水質調査を実施しており、平成28年8月北海道豪雨時のデータ取得している。水垣¹²⁾は平成28年8月北海道豪雨による出水時の浮遊土砂実態を明らかにしており、鵲川流域では下流域の寄与が、沙流川流域では沙流川本川流域と額平川流域の寄与が大きかったと報告し

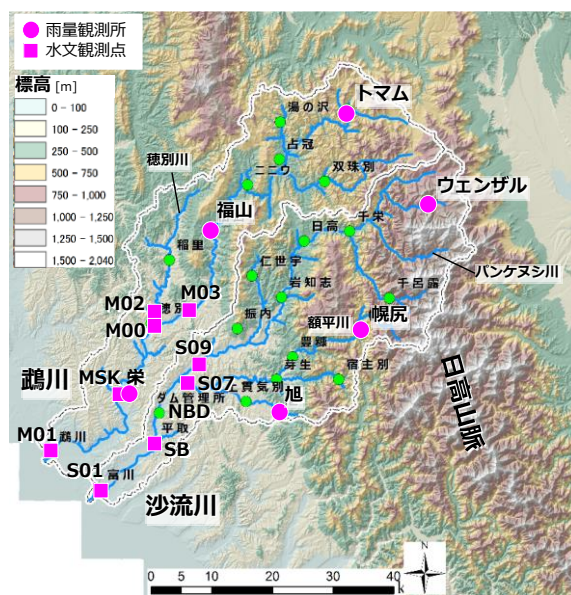


図-1 調査地位置図（水垣ら¹²⁾より引用）

表-1 C-Qモデルの適用によって得られた各地点の融雪期及び降雨期の係数

コード	水系	河川	観測所名	期間	融雪期				降雨期			
					Cmax	Km	Lmt	RMSE	Cmax	Km	Lmt	RMSE
M00	鵡川	鵡川	穂別	2016年まで	9.757	109.75	16.730	0.325	7.720	30.31	-9.490	0.965
				2017年以降	7.770	50.31	-16.900	0.392	7.873	32.20	-12.844	1.196
M01	鵡川	鵡川	鵡川	2016年まで	9.495	170.32	10.570	0.450	8.381	79.83	19.322	0.664
				2017年以降	7.819	60.82	-7.190	0.274	9.146	66.96	-10.079	0.532
M02	鵡川	穂別川	中島橋	2016年まで	8.719	14.96	0.460	1.048	8.853	11.08	4.233	0.590
				2017年以降	9.007	12.97	1.220	0.628	9.253	6.52	1.117	0.582
M03	鵡川	鵡川	富内	2016年まで	10.757	171.83	8.363	0.452	9.505	136.86	30.385	0.649
				2017年以降	8.222	27.73	2.201	0.678	6.741	7.35	3.644	1.227
MSK	鵡川	鵡川	栄	2016年まで	7.600	62.74	-20.121	0.243	8.741	89.66	-2.305	0.171
				2017年以降	7.193	37.41	-20.867	0.271	8.869	50.01	-9.906	0.779
S01	沙流川	沙流川	富川	2016年まで	9.515	118.48	-18.171	0.625	9.704	183.54	88.053	0.346
				2017年以降	7.188	40.82	-30.136	0.522	8.517	62.68	-10.588	0.829
S07	沙流川	額平川	額平川	2016年まで	8.852	24.53	3.532	0.351	8.826	18.22	0.249	0.532
				2017年以降	7.899	10.16	-1.020	0.645	8.952	18.25	-2.201	0.352
S09	沙流川	沙流川	幌毛志	2016年まで	11.183	128.68	-9.129	0.403	9.250	73.42	22.113	0.666
				2017年以降	9.642	83.82	4.207	0.691	11.073	68.45	-14.706	1.029
SB	沙流川	沙流川	平取	2016年まで	11.907	202.20	-3.720	0.478	9.875	118.17	25.447	0.427
				2017年以降	8.634	93.36	5.641	0.611	9.847	299.99	209.535	0.140

ている。また、沙流川流域の下流端で豪雨後の2017年に平水時や小規模出水時のSS濃度が豪雨前と比較して高い傾向が観測され、豪雨による影響がいつまで継続するかをモニタリングする必要があると述べている。

本研究の目的は、水質調査の結果から鵡川および沙流川流域における平成28年8月北海道豪雨の前後での浮遊土砂流出特性の変化を確認することである。

2. 方法

(1) 研究対象流域

研究対象流域は、北海道中央部～南部で隣接している鵡川および沙流川流域である（図-1）。流域面積および幹線流路延長はそれぞれ鵡川流域で1,270 km²、135 km、沙流川流域で1,350 km²、104 kmであり、ともに一級河川である。

(2) 調査・分析・解析方法

浮遊土砂流出の観測地点は、鵡川流域に5地点、沙流川流域に4地点、合計9地点とした（図-1）。採水は2012年4月から2022年8月までの融雪出水および降雨出水を対象に、可能な限り水位上昇時、ピーク時、逓減時を網羅するよう3回以上行った。採取した水試料について、SS濃度を測定した。SS濃度の測定にはボアサイズ1 μmのフィルターを用いた。

SS濃度は一般にrating curveと呼ばれる流量Qの累乗関数によって回帰されることが多く、C-Q式やL-Q式として流域からの土砂流出プロセスや流出土砂量の推定に広く用いられている。累乗関数によるC-Q式やL-Q式の累乗

指数は、おおよそ2～3程度とされているが、これらの回帰式は必ずしも決定係数は高くない¹⁾。

水垣ら¹²⁾は、流量とSS濃度の間に、流量に対してSS濃度の自然対数が上限値に漸近する傾向がみられることから、両者の関係を式(1)の関数で近似した。

$$\ln(C_{SS}) = \frac{C_{\max}(Q + Lmt)}{K_m + Q + Lmt} \quad (1)$$

ここで、C_{SS}はSS濃度、Qは流量、C_{max}はSS濃度の上限値に関する係数、K_mはSS濃度の増加率に関する係数、LmtはSS濃度に影響する流量の下限値に関する係数である。また、水垣ら¹²⁾は流量とSS濃度との関係はばらつきが大きく、特に2016年8月豪雨の前後で土砂流出特性が変化した可能性があるため、2016年の前後で区分する必要があること、また融雪期と降雨期で異なる傾向があることを確認している。

本研究では2016年8月豪雨の前後における土砂流出特性の変化を確認するため、それぞれの地点のデータを、2016年の豪雨までと2016年の豪雨以後で区分し、さらに融雪出水と降雨出水で区分したうえで、式(1)のC-Qモデルをそれぞれのデータに対して適用した。

3. 結果

C-Qモデルの適用によって得られた各地点の融雪期及び降雨期の係数を表-1に示す。RMSEは二乗平均平方根誤差であり、モデルの予測誤差を比較するための尺度である。RMSEが0に近いほど正確であるといえる。また、

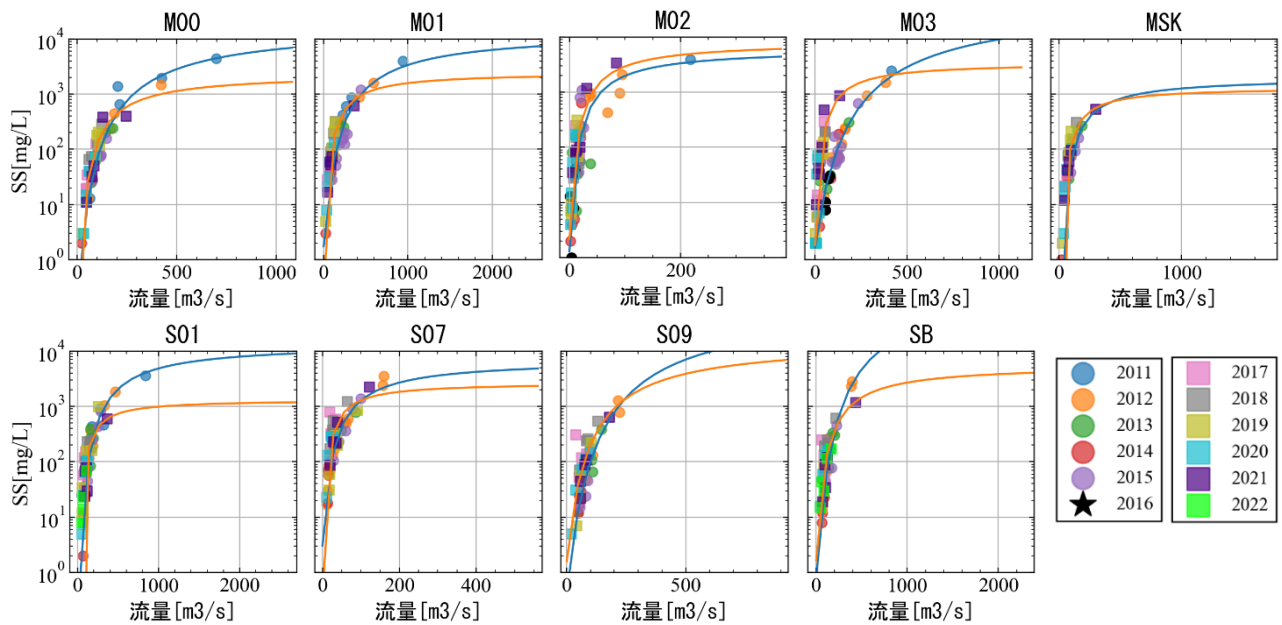


図-2 各地点における融雪期の流量およびSS濃度データとC-Qモデルの適用結果

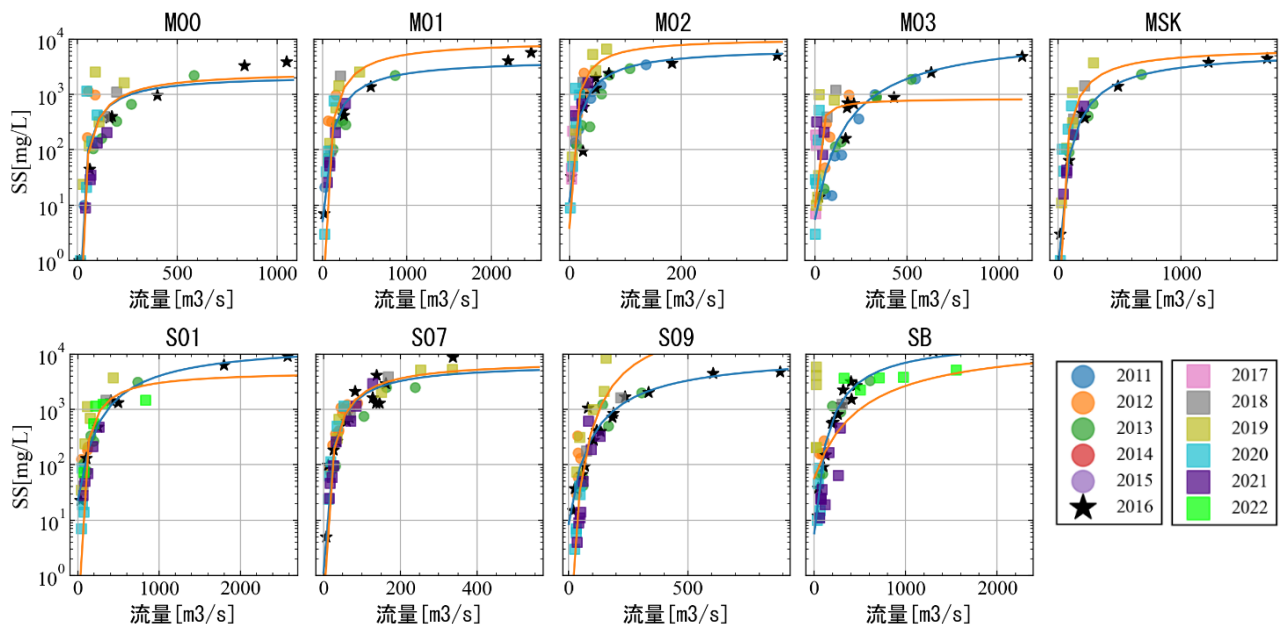


図-3 各地点における降雨期の流量およびSS濃度データとC-Qモデルの適用結果

各地点の融雪期のデータと式(1)のC-Qモデルの適用の結果を図-2に、各地点の降雨期のデータと式(1)のC-Qモデルの適用の結果を図-3にそれぞれ示す。SB（平取）地点の降雨期かつ豪雨後のC-Qモデルは計算を十分に収束させることができなかった。

融雪期についてC-Qモデルによる推定の結果を平成28年8月北海道豪雨の前後で比較すると、M02（中島橋）とS01（富川）を除くすべての地点で低流量時は豪雨後のほうがSS濃度が高く、高流量時は豪雨後のほうがSS濃度が低く推定されていることがわかる。融雪期の平成28年8月北海道豪雨後のデータは豪雨前と比較して流量が大きいものがほとんどなく、その影響で豪雨後でC-Qモデルが高流量時のSS濃度を十分な精度で推定できていない可能性がある。一方で、低流量時のSS濃度は多

くの地点で豪雨以前よりも増加していることが確認できた。

降雨期についてC-Qモデルによる推定の結果を平成28年8月北海道豪雨の前後で比較すると、M01（鶴川）、M02（中島橋）、MSK（栄）では低流量時から高流量時までのほとんどの範囲で豪雨後のほうがSS濃度が高くなっている。また、M00（穂別）とS07（額平川）は豪雨の前後でほとんど推定結果に違いがみられない。一方でM03（富内）およびS01（富川）は融雪期の推定結果と同様に、低流量時は豪雨後のほうがSS濃度が高く、高流量時は豪雨後のほうがSS濃度が低く推定されており、高流量時のデータ不足が原因で十分な精度での推定が実施できていない可能性がある。

4. 考察・まとめ

寒地土木研究所は国土交通省北海道開発局室蘭開発建設部の協力を得て、鵲川および沙流川流域の水、浮遊土砂および物質動態を把握するために、2011年以降合同で出水時の水質調査を実施してきた。本研究では鵲川および沙流川流域における平成28年8月北海道豪雨の前後での浮遊土砂流出特性の変化を確認するため、水質調査によって得られたデータを融雪期と降雨に分け、豪雨の前後でC-Qモデルによって得られる推定の結果を比較した。

融雪期のC-Qモデルによって推定されたSS濃度の値は、低流量時ではS01（富川）を除くすべての地点で豪雨以前よりも高く、特にM03（富内）で顕著であった。これらの地点では豪雨の前後で土砂流出特性が変化し、低流量時のSS濃度が豪雨以前よりも増加した可能性がある。

降雨期のC-Qモデルによって推定されたSS濃度はM01（鵲川）、M02（中島橋）、MSK（栄）では流量によらず豪雨後のほうが高かったが、M00（穂別）やS07（額平川）のように豪雨の前後でSS濃度がほとんど変化しない地点やM03（富内）やS01（富川）のように豪雨後に低流量時のSS濃度のみが上昇している地点も見られた。また、降雨期のデータの特徴としてすべての地点で2018年、2019年のデータのSS濃度が非常に高い値を示していることが挙げられる。これらは平成28年8月北海道豪雨による土砂生産が、土砂流出特性に影響を及ぼした結果だと考えられる。一方で2021年以降のデータではSS濃度はそれほど高い値を示しておらず、土砂生産による一時的な土砂流出であり、現在は収まった可能性もある。

また、水垣¹²⁾は平成28年8月北海道豪雨後のSS濃度について、濁度計観測から推定したSS濃度と流量の関係の経年変化から、鵲川流域（M01（鵲川）地点）では明確な違いがない一方、沙流川流域（S01（富川）地点）ではSS濃度が2016年に明らかに高い値を示し、2017年も継続して高濃度の濁水が流出したことを報告している。本研究の結果からは、降雨期のM01（鵲川）地点では土砂流出特性の変化が認められ、SS濃度の上昇が確認された。一方で融雪期や降雨期のS01（富川）地点では、高流量時のSS濃度データの不足もあり明確な土砂動態の変化は確認できなかった。豪雨による土砂生産が引き起こした一時的な土砂流出が低流量時のSS濃度を増加させた可能性もあるため、今後も豪雨による土砂生産現象の影響の把握と流域の土砂動態のモニタリングのため調査の継続が求められる。

謝辞：国土交通省北海道開発局室蘭開発建設部治水課、二風谷ダム管理所、沙流川ダム建設事業所の継続的なご協力により鵲川および沙流川流域の出水時のSS濃度データを得ることができました。ここに記して謝意を表します。

参考文献

- 1) 内田太郎，丹羽諭，蒲原潤一：大規模土砂生産後の土砂流出，土木技術資料，Vol. 56, No. 10, pp. 24-27, 2014.
- 2) 後藤宏二，内田太郎：大規模土砂生産後の流砂系土砂管理のあり方に関する研究，建設マネジメント技術，2012年7月号，pp. 49-53, 2012.
- 3) 村上泰啓，中津川誠：斜面崩壊・土砂生産・流木発生，土木学会水工学委員会（編），平成15年台風10号北海道豪雨災害調査団報告書，土木学会，pp. 46-56, 2004.
- 4) 土木学会水工学委員会「2016年8月北海道豪雨災害調査団」：2016年8月北海道豪雨災害調査団報告書，土木学会，p. 141, 2017.
- 5) 小山内信智，笠井美青，林真一郎，桂真也，古市剛久，伊倉万理，高坂宗昭，藤浪武史，水垣滋，阿部孝章，布川雅典，吉井厚志，紅葉克也，渡邊康玄，塩野康浩，宮崎知与，澤田雅代，早川智也，松岡暁，佐伯哲朗，稲葉千秋，永田直己，松岡直基，井上涼子：平成28年台風10号豪雨により北海道十勝地方で発生した土砂流出，砂防学会誌，Vol. 69, No. 6, pp. 80-91, 2017.
- 6) 倉橋稔幸，伊東佳彦，日外勝仁，角田富士夫，山崎秀策：2016年8～9月の北海道における豪雨災害に関する報告2 道路の被害（斜面・法面）について，寒地土木研究所月報，No. 769, pp. 48-57, 2017.
- 7) 早川智也，村上泰啓，水垣滋，渡辺浩司：平成28年8月台風10号に伴う沙流川上流の土砂動態特性について，第9回土砂災害に関するシンポジウム論文集，Vol. 9, pp. 185-190, 2018.
- 8) 水垣滋，捧雅章，小田島大祐：鵲川・沙流川水系における2016年8月豪雨による浮遊土砂流出量，第61回（平成29年度）北海道開発技術研究発表会，防37（治），2018.
- 9) 水垣滋，吉川契太郎，旭峰雄：鵲川・沙流川流域における融雪期の土砂・物質流出特性，第56回（平成24年度）北海道開発技術研究発表会，環19，2013.
- 10) 水垣滋，吉川契太郎，佐々木晋：鵲川・沙流川流域における土砂・栄養塩収支，第57回（平成25年度）北海道開発技術研究発表会，環36，2014.
- 11) 水垣滋，田上信樹，佐々木晋：鵲川・沙流川流域における土砂・栄養塩流出の季節変化，第58回（平成26年度）北海道開発技術研究発表会，環23，2015.
- 12) 水垣滋：平成28年8月北海道豪雨に伴う鵲川及び沙流川からの浮遊土砂流出，寒地土木研究所月報，No. 834, pp. 28-39, 2022.
- 13) 倉茂好匡：浮流土砂の測定および解析方法，恩田裕一，奥西一夫，飯田智之，辻村真貴（編），水文地形学-山地の水循環と地形変化の相互作用-，古今書院，pp. 132-142, 1996.
- 14) 水垣滋，村上泰啓，巖倉啓子：放射性同位体トレーサを用いた流砂系の土砂動態モニタリング技術の開発，第65回（2021年度）北海道開発技術研究発表会，防災16，2022.