

多地点観測結果に基づく鶴川流域における浮遊土砂流出量の経年変化

土木研究所寒地土木研究所 水環境保全チーム ○内藤 大梧
土木研究所つくば中央研究所 研究評価・国際室 水垣 滋
土木研究所寒地土木研究所 水環境保全チーム 横山 洋

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。鶴川流域では平成28年北海道豪雨によって浮遊土砂流出特性が変化した可能性がある。鶴川流域では、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。また、寒地土木研究所では鶴川流域で10年以上にわたり濁度観測を実施してきた。本報告では、鶴川流域で行われた両観測の結果から、浮遊土砂流出量の経年変化を調べた。

キーワード：浮遊土砂、H28北海道豪雨、土砂流出モニタリング

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。豪雨や大規模地震に伴う深層崩壊や表層崩壊、地すべりといったマスマーブメントによる「大規模土砂生産現象」¹⁾は溪流・河川・ダム等へ大量の土砂を供給し、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²⁾。そのため、流域の土砂流出特性を把握するには長期間にわたり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。

2016（平成28）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（以下、H28北海道豪雨）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)}。水垣⁶⁾は鶴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、鶴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^{8,9,10,11)}。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、H28北海道豪雨時のデータも取得している。

水垣¹²⁾は、鶴川及び沙流川流域の下流地点（図-1 M01

地点及びS01地点）で2011年～2017年に実施した濁度観測結果から、平水時～小規模出水時（流量100 m³/s未満）のSS濃度の流量に対する応答を調べたところ、沙流川ではH28北海道豪雨の前後でSS濃度が上昇した可能性があり、鶴川では明確な違いが見られなかったとしている。一方、昨年度の報告¹³⁾では、2011年～2022年の合同水質調査データからH28北海道豪雨の前と後でC-Qモデルを構築し融雪期および降雨期のSS濃度を比較したところ、鶴川流域の浮遊土砂流出にもH28北海道豪雨の影響が示唆された。

このように、継続的な調査・観測データの蓄積によりはじめて流域の土砂動態変化が把握可能となるが、より明瞭に把握するには浮遊土砂流出量として定量評価する必要がある。水垣ら¹⁴⁾は沙流川流域の2011年～2020年の浮遊土砂流出量の変化を明らかにしているが、鶴川流域の浮遊土砂流出量変化については、定量的な評価がなされていない。本研究の目的は、鶴川流域で行われた出水



図-1 令和7年度の水質調査実施地点

時の浮遊土砂濃度観測と濁度観測の結果から、浮遊土砂流出量の経年変化を明らかにすることである。

2. 方法

(1) 研究対象流域

研究対象流域は、鶴川流域である(図-1)。流域面積は1,270 km²、幹線流路延長は135 kmであり、一級河川である。

(2) 調査・分析方法

水質調査の実施地点は、鶴川流域で水文水質データベースにより流量データが公開されている鶴川水位・流量観測所とした(図-1)。採水は2011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濃度の測定にはポアサイズ1 μmのフィルターを用いた。

濁度計は図-1に示すM01に、2011年から2015年まではATU3-8Mを、2016年から2021年まではATU75W-USB(いずれもJFEアドバンテック社製)を設置した。

流量データは水文水質データベースのものを使用した。使用地点は上述の鶴川水位・流量観測所であり、使用したデータの期間は2011年4月から2021年11月である。

(3) 解析方法

a) 流量によるSS濃度の推定

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¹³⁾。

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が、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¹⁴⁾は流量とSS濃度との関係はばらつきが大きく、特にH28北海道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H28北海道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、昨年度の報告¹⁵⁾と同様に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。

b) 濁度によるSS濃度の推定

濁度は濁度計によって水中に浮遊する物質に対する赤外線の透過率や散乱強度を計測することで得られる値であり、実際のSS濃度とは異なる。今回は低濃度から高濃度までのSS濃度をカバーするため、三次の線形和である(2)式を用いた。

$$C_{SS} = \alpha_1 T_b + \alpha_2 T_b^2 + \alpha_3 T_b^3 \quad (2)$$

ここで、 C_{SS} はSS濃度、 T_b は濁度、 α_1 、 α_2 、 α_3 は場所や測定器に固有の係数である。式(2)は流出する土砂の粒径が大きく変化する以外では浮遊土砂流出特性の変化の影響を受けないと考えられる。今回は計測機器の設置期間に合わせ2015年以前と2016年以後に分けて式(2)を適用した。

3. 結果

(1) 流量によるSS濃度の推定結果

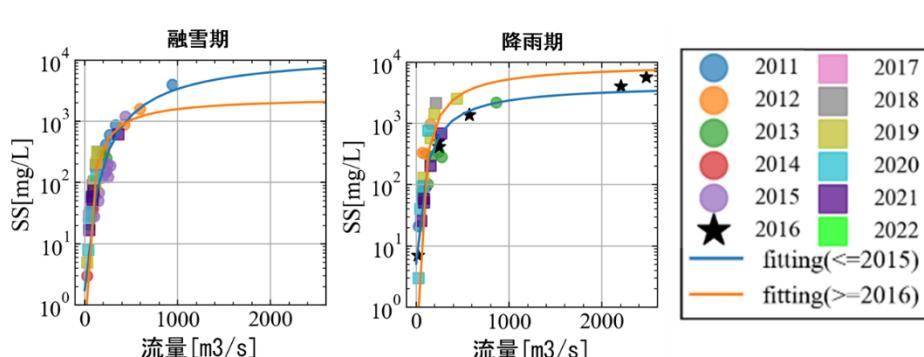


図-2 M01 地点における融雪期と降雨期の流量およびSS濃度データとC-Qモデルの適用結果

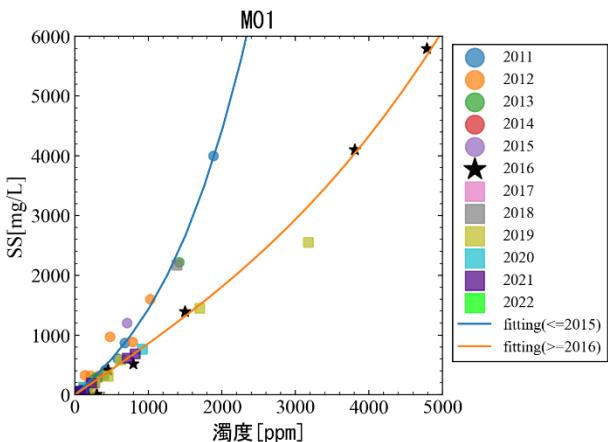


図-3 M01における濁度とSS濃度データと濁度によるSS濃度の推定結果

作成したC-Qモデルの適用結果を、図-2に示す。詳細は昨年度の報告¹⁵⁾を参照いただきたい。

(2) 濁度によるSS濃度の推定結果

式(2)によって推定した濁度とSS濃度の関係を図-3に、その係数を表-1に示す。濁度計の変更に伴い、濁度とSS濃度の関係が変化していることがわかる。H28豪雨の前後で浮遊土砂の粒径分布が変化し、濁度とSS濃度の関係が変化した可能性がある。しかし、濁度計の変更とH28北海道豪雨の時期の差が半年ほどであり、それを確認するだけのデータは得られなかった。2016年以降の濁度とSS濃度の関係は安定しており、H28年豪雨から2022年までの間で浮遊土砂の粒径分布が変化している可能性は小さいと考えられる。

(3) 鶴川流域下流地点における浮遊土砂流出量

水質調査によるSSデータ、濁度観測による濁度データ、水文水質データベースによる流量データの3つのデータが利用可能なM01（鶴川水位・流量観測所）について、C-QモデルによるSS濃度の推定結果から得られた浮遊土砂流出量と、濁度とSS濃度の関係性をもとに推定したSS濃度から得られた浮遊土砂流出量の経年変化を図-4に示す。青の棒グラフがC-Qモデルにより推定した浮遊土砂流出量、オレンジの棒グラフが濁度とSS濃度の関係性をもとに推定した浮遊土砂流出量を示している。また、流量データの欠損日数を青の棒グラフ上に、濁度データの欠損日数をオレンジの棒グラフ上に示している。今回用いた濁度データは年により異なるものの濁度計の埋没等により欠損期間が存在し、多い年では50日以上となる。そのため、濁度とSS濃度の関係性をもとに浮遊土砂流出量を推定すると、濁度の欠損期間により浮遊土砂流出量を過小評価する可能性がある。一方で、C-Qモデルによる浮遊土砂量の推定は流量の欠損期間がほとんどないことから欠損期間の影響を受けにくい。2つの手法による浮遊土砂流出量の推定結果を比較するため、濁

表-1 推定した濁度とSS濃度の関係における式(2)の係数

	α_1	α_2	α_3
ATU3-8M	1.07	1.56×10^{-4}	2.08×10^{-7}
ATU75W-USB	0.844	1.45×10^{-25}	1.49×10^{-8}

度の欠損期間にあわせてC-Qモデルによる浮遊土砂量の推定期間の一部を削除した。その結果を緑の棒グラフで示している。

全体として、最大流量が浮遊土砂流出量に大きな影響を与えていていることがわかる。2018年は濁度データの欠損を考慮してもC-Qモデルの推定した浮遊土砂流出量が濁度とSS濃度の関係から推定したそれよりもはるかに大きい。2018年は降雨期に高流量を示す降雨イベントが多く、降雨期の採水データの不足などからC-Qモデルが高流量時に浮遊土砂量を過大に評価した可能性が高い。

H28豪雨後の2019年について、豪雨以前で最大流量と平均流量の規模が近い2014年と浮遊土砂流出量の推定値を比較すると、C-Qモデルによる推定では2019年のほうがやや大きく、濁度とSS濃度の関係による推定では同程度となっている。同様に、H28豪雨後の2021年について、豪雨以前で最大流量規模が比較的近い2013年と浮遊土砂流出量の推定値を比較すると、C-Qモデルによる推定では同程度、濁度とSS濃度の関係による推定では3分の2程度となっている。そのため、これまでの観測からはH28北海道豪雨の前後で浮遊土砂流出特性に大きな変化は見られなかった。

また、特にH28北海道豪雨以後では年間の浮遊土砂流出量における2つの手法の違いは2018年を除けば大きくなかった。一方で、2018年のC-Qモデルによる浮遊土砂流出量の過大評価は、C-Qモデルによる出水等による大流量発生時の浮遊土砂流出量の推定が、現在のデータだけでは不確実なことを示している。鶴川流域からの大流量発生時を含めた長期間の浮遊土砂流出量を推定する

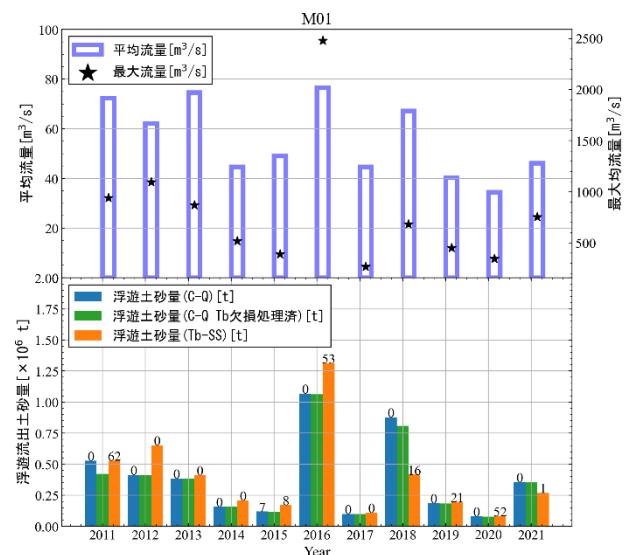


図-4 M01における浮遊土砂流出量の経年変化

ためには、今後もモニタリングの継続が望まれる。

4.まとめ

- ・昨年度の報告では、H28北海道豪雨後に鶴川流域において、特に低流量時のSS濃度が上昇し、浮遊土砂流出量が変化している可能性が示唆されていた。
- ・本報告ではC-Qモデルに加えて濁度データを用いて、鶴川流域の浮遊土砂流出量の経年変化を確認した。H28北海道豪雨の前後で同程度の流量規模を示す年の浮遊土砂流出量を比較したところ、大きな差は見られなかった。
- ・低水時の浮遊土砂流出は洪水時の浮遊土砂流出と比較すると年間の浮遊土砂流出に占める割合が小さく、C-QモデルにおけるSS濃度の上昇があまり影響を与えたかったと考えられる。
- ・H28北海道豪雨について沙流川流域と比較すると、鶴川流域は特に上流域の降水量が少なく、沙流川流域ほどの土砂生産が発生したとは考えにくい。そのため、2019年まで主に低水時の浮遊土砂流出量が増加していた可能性はあるが、現在まで続いているかはモニタリングの継続により判断する必要がある。

鶴川流域ではH28年北海道豪雨の前後5年間の浮遊土砂流出に関するデータが取得された。このような大規模土砂生産をもたらす事象の前後を含めた流域全体の土砂動態の連続モニタリングの事例は、著者らの知る限り少なくとも国内では見当たらない。大規模土砂生産現象による流域の土砂流出動態の変化を把握するためには、水文観測に加えて融雪および降雨期のそれぞれにおいて出水時の採水調査を継続的に実施し、基礎データを蓄積することが望ましい。これらの観測および調査を長期間にわたって実施可能とする、関係機関の連携を含めた持続的な観測体制の構築が重要である。

謝辞：国土交通省北海道開発局室蘭開発建設部治水課の継続的なご協力により鶴川の出水時の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：鶴川・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：鶴川・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：鶴川・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：鶴川・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鶴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ー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
- 15) 内藤大梧, 水垣滋：多地点観測結果に基づく鶴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, 第68回(2024年度)北海道開発技術研究発表会, 安全24, 2024.