

鵡川・沙流川流域における融雪期の土砂・物質流出特性

水垣 滋¹・吉川 契太郎²・旭 峰雄³

¹ (独法) 土木研究所寒地土木研究所 水環境保全チーム (〒062-8602 北海道札幌市豊平区平岸1-3-1-34)

²北海道開発局 室蘭開発建設部 治水課 (〒052-8918 北海道室蘭市入江町1-14)

³北海道開発局 建設部 河川管理課 (〒060-8511 北海道札幌市北区北8条西2丁目第1合同庁舎)

積雪寒冷地域である北海道では、融雪期の水・土砂・物質（栄養塩）の流出が陸域・海域の自然環境の形成に重要な役割を果たしている。流域・沿岸域の自然環境を保全するためには、沿岸域に寄与する複数の流域で土砂・物質流出特性を把握する必要がある。本研究では、隣接する鵡川及び沙流川水系を対象に、融雪出水時の水文・水質調査を多地点において実施し、両流域の土砂・物質流出特性について検討した結果を報告する。

キーワード 流域土砂収支, SS, 栄養塩, 融雪出水

1. はじめに

沿岸域の自然環境には、そこに寄与するさまざまな河川流域の水・土砂・物質流出特性が大きく関与している。とくに積雪寒冷地域である北海道では、年間の水・栄養塩流出負荷にしめる融雪期の割合が60%以上に達するとの報告もあり¹⁾、水・土砂・物質の流出が陸域・海域の自然環境の形成に重要な役割を果たしている。したがって、陸域・海域の自然環境を保全するためには、沿岸域に寄与する複数の流域の水・土砂・物質流出特性の理解がかかせない。

一般にSS濃度は流量に対して増加傾向を示すが、窒素やリンの濃度は溶存態か懸濁態かによって流量に対する応答が異なること、またSS濃度や栄養塩濃度は流量に対して二価性（ヒステリシス）を示すことが知られている^{2), 3), 4)}。また、これらの濃度特性は流域の土地利用や地質^{5), 6)}、降雨特性や季節^{7), 8)}によって異なる。流域の土砂・物質流出特性を把握するには、観測地点において水文観測や採水、水質分析などを一定の期間継続し、物質濃度の流量に対する応答特性、任意期間の総流出負荷量や収支を評価する必要がある。

しかし、複数の流域において上流域から下流域までの同時観測を単独機関で実施することは、コスト面や労力的な面で困難であり、十分なデータ蓄積は期待できない。一方、流域によってはさまざまな関係機関が水文観測地点を設けている場合があり、出水時の観測を連携して実

施することができれば、多地点における同時観測データの蓄積と総合的な解析が可能となる。本研究の目的は、

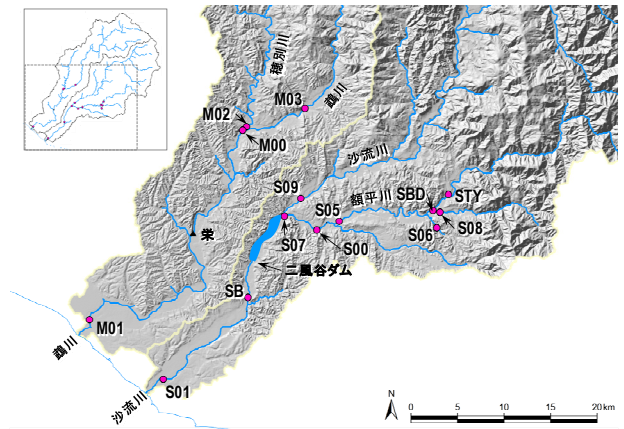


図-1 調査地位置図

表-1 観測地点のピーク流量と採水時の流量

コード	河川名	観測地点	流域面積 [km ²]	ピーク流量 [m ³ /s]	採水時の流量 [m ³ /s]		採水 回数	担当 機関
					最小	最大		
M02	穂別川	中島橋	199.9	91.0	12.7	88.4	7	1)
M03	鵡川	富内橋	722.5	443.5	43.2	438.0	7	1)
M00	鵡川	穂別橋	949.5	440.4	55.0	440.4	5	2)
M01	鵡川	鵡川橋	1238.8	599.5	75.9	599.5	5	2)
S08	宿主別川	宿主別橋	63.9	121.2	7.7	55.8	6	1)
STY	額平川	豊糠橋	167.2	49.3	5.7	31.3	6	2)
SBD	額平川	平取ダムサイト	236.0	106.6	8.8	41.2	6	2)
S06	総主別川	町道1号橋	16.8	8.3	1.1	5.5	6	1)
S05	額平川	貫気別橋	290.5	153.5	37.0	134.0	6	1)
S00	額平川	貫気別観測所	373.0	213.2	10.5	49.8	6	2)
S07	額平川	額平橋	383.5	213.2 *	23.7 *	158.6 *	6	2)
S09	沙流川	長知内橋	784.5	218.4 **	82.5 **	218.4 **	5	2)
SB	沙流川	平取橋	1215.0	419.1 †	94.8 †	396.2 †	5	2)
S01	沙流川	沙流川橋	1333.0	460.3	103.3	460.3	5	2)

* 貫気別観測所の流量データを使用

† 二風谷ダム放流量データを使用

** 幌毛志橋の流量データを使用

1) 寒地土木研究所, 2) 室蘭開発建設部

複数流域の融雪出水による水・土砂・栄養塩の流出特性を明らかにすることである。寒地土木研究所及び室蘭開発建設部が連携して、融雪出水時に多地点において水文・水質の同時観測を実施し、SSや栄養塩の流出特性や収支について検討した。

2. 方法

(1) 研究対象流域及び野外調査

研究対象流域は、北海道中部～南部で隣接している鵡川及び沙流川流域とした(図-1)。流域面積及び幹川流路延長はそれぞれ鵡川流域で1270 km², 135 km, 沙流川流域で1350 km², 104 kmであり、ともに一級河川である。観測地点は鵡川流域に4地点、沙流川流域に10地点、合計14地点とした(図-1)。採水は2012年4月から5月にかけて発生した融雪出水を対象に、可能な限り融雪出水時の水位上昇時、ピーク時、逡減時を網羅するように5回ないし7回行った(表-1)。なお、鵡川流域の栄水位流量観測所の流量データについても解析に利用した(図-1)。

(2) 分析・解析

採取した水試料について、SS、総窒素、溶存態窒素、総リン、溶存態リンの濃度を測定した。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。また懸濁態窒素及び懸濁態リンの濃度は、それぞれ総窒素濃度と溶存態窒素濃度、総リン濃度と溶存態リン濃度の差からもとめた。

SSや栄養塩の流出特性については、それぞれの濃度や流出負荷量を流量や比流量の累乗式で近似し、それらの係数をもって流出特性を論じられることが多い。そこで、本研究においても各地点のSS、総窒素及び総リンの濃度、流出負荷量と比流量との関係を累乗式で近似した。

流域のSS及び栄養塩の収支について、観測地点ごとに観測対象期間の流出負荷量を積算してもとめた。融雪出水の特徴として、降雨にともない融雪が促進され、降水と融雪水が急激に河川水位を上昇させること、また無降雨時にも気温上昇により流域地表面から融雪水が河川へ供給されるため、河川水位に日変動がみられ、高水位が継続することがあげられる。観測された水位変動曲線では、3月下旬から降雨にともなう鋭敏な融雪出水ピークが認められたが、気温が低く、水位上昇は継続しない。本格的な融雪出水は、気温が上昇する4月上旬からはじまり5月中旬まで継続したとみられる(図-2)。そこで、2012年4月10日1時から5月11日24時までを融雪出水期とし、本研究の解析対象とした。

なお、本研究で用いた流量、SS濃度及び栄養塩濃度

については速報値を用いている。それぞれの測定項目について検証後の確定値により再評価が必要であることを付記しておく。

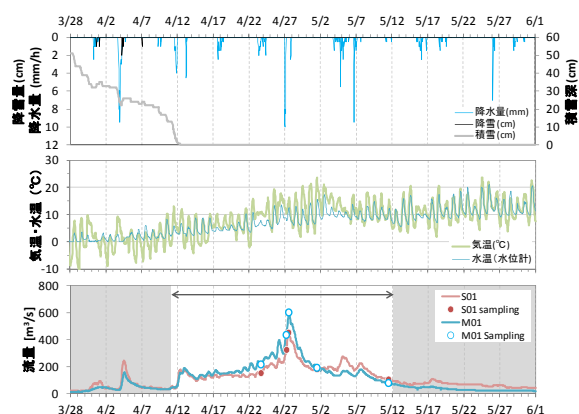


図-2 融雪出水時の流量変動の観測例

降雪・降水量・積雪深・気温は新和(気象庁)、水温はS06総主別川、流量はM01鵡川橋、S01沙流川橋の観測データ

3. 結果と考察

(1) SS、栄養塩と流量との関係

一般に出水時のSS濃度や窒素、リンの濃度は流量にともない増加傾向を示し、両者の関係は累乗式で示されることが多い^{3),9)}。そこで、本研究で観測されたSS濃度、総窒素濃度及び総リン濃度(C:単位はそれぞれmg/L)について比流量(Q/A: m³/s/km²)との関係を観測地点ごとに累乗式(C = a(Q/A)^b)で回帰し、その係数及び決定係数を調べた(表-2)。SS濃度の場合、ほとんどの地点で決定係数(R²)が0.90以上であったが、S05貫気別橋では0.85、M02中島橋、M08宿主別橋では0.80未満と低かった(表-2)。累乗指数bは地点によって1.46から4.00まで大きく異なっていた。総リン(TP)については、決定係数はSS濃度と同様であったが、bは1.36から3.05とばらつきの幅は比較的小さかった。総窒素(TN)濃度について、SS濃度や総リン濃度に比べて決定係数やbが低く、bは0.56から1.33の範囲でばらつき、1を下回る地点が多くみられた。これらの結果より、SSや総リンの濃度は流量に応じて増加する一方、総窒素の濃度は必ずしも流量だけに依存せず、流量が増大すると濃度が頭打ちにある可能性が示唆された。

(2) SSの流出特性

SS濃度や総窒素、総リンの濃度は増水時と減水時で異なり、決定係数は必ずしも高くない。SSや濃度と流量との関係を散布図にプロットし時系列順に線をつなぐと、さまざまなパターンの曲線(ヒステリシスループ)を描く^{3),4)}。その形状を類型化することでおおまかな流域の土砂生産・流出特性と関連づけることができる^{2),3)}。

表-2 SS濃度及び栄養塩濃度と比流量との関係（累乗式）における係数

コード	河川名	観測地点	流域面積 [km ²]	SS			TN			TP		
				a	b	R ²	a	b	R ²	a	b	R ²
M02	穂別川	中島橋	199.9	7144	1.71	0.77	3.46	0.63	0.68	2.25	1.44	0.79
M03	鷓川	富内橋	722.5	4483	2.03	0.99	3.08	0.66	0.84	1.36	1.74	0.99
M00	鷓川	穂別橋	949.5	11957	2.27	0.96	6.07	0.95	0.96	3.61	1.86	0.98
M01	鷓川	鷓川橋	1238.8	7264	1.92	0.98	5.02	0.82	0.97	3.14	1.61	1.00
S08	宿主別川	宿主別橋	63.9	4472	1.80	0.79	3.97	1.04	0.82	5.07	1.86	0.84
STY	額平川	豊糠橋	167.2	34774	2.94	0.98	1.45	0.56	0.96	8.13	2.44	0.99
SBD	額平川	平取ダムサイト	236.0	69133	3.19	0.98	1.61	0.64	0.93	22.00	2.73	0.97
S06	総主別川	町道1号橋	16.8	198811	4.00	0.93	8.91	1.31	0.91	48.43	3.05	0.91
S05	額平川	貫気別橋	290.5	15617	2.10	0.85	9.46	1.33	0.85	8.51	1.93	0.84
S00	額平川	貫気別観測所	373.0	67064	2.27	0.94	3.03	0.68	0.89	37.03	2.13	0.95
S07	額平川	額平橋	383.5	10024	1.46	0.94	6.98	0.90	0.94	6.48	1.36	0.93
S09	沙流川	長知内橋	784.5	40370	2.85	0.93	10.06	1.29	0.89	20.40	2.81	0.95
SB	沙流川	平取橋	1215.0	48005	2.58	0.98	14.92	1.39	0.93	16.94	2.27	0.96
S01	沙流川	沙流川橋	1333.0	21156	2.19	0.93	10.28	1.16	0.96	10.86	2.00	0.94

SS濃度と流量とのヒステリシスループを調べたところ、観測地点によって異なるパターンが認められた。たとえば鷓川・富内橋（M03）では流量とSS濃度との関係はほぼ一価の関係にあり、SS濃度は流量の累乗式で回帰できる（図-3a）。累乗式による回帰式の決定係数が低かった宿主別川（S08）では、複雑な流量変動を示しており、SS濃度は増水時よりも減水時で高く、反時計回りのループを描く（図-3b）。また穂別川・中島橋（M02）では、流量ピークまでの増水時にSS濃度が増減し、ヒステリシスループは複雑な形状となっている（図-3c）。

M03のように流量とSS濃度が一価の関係にある場合は、SS濃度が流量に依存していると考えられ、河道内の土砂が巻き上げられて輸送されていると考えられる。S08のように反時計回りの場合、上流域の斜面から流路へ供給された土砂が観測地点に遅れて到達した可能性が考えられる。M02のような複雑なヒステリシスは、増水時の初期と後期で土砂供給源が異なることを示唆している。本研究で得られたヒステリシスループは採水間隔が長く採水回数も十分でないため、ヒステリシスループの形状のみから土砂生産・流出特性を解釈することは困難であ

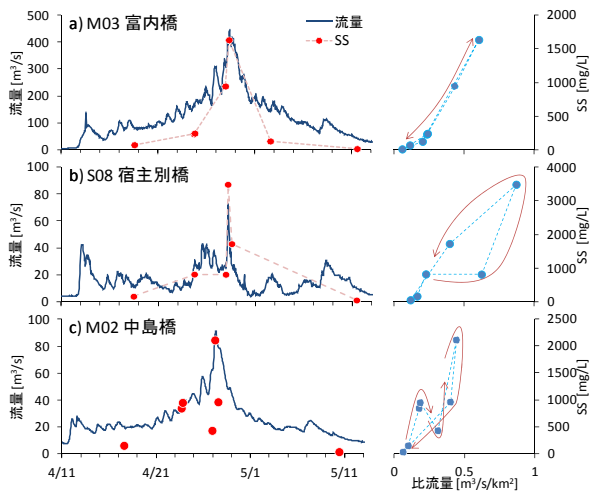


図-3 流量とSS濃度との関係

a) M03富内橋, b) S08宿主別橋, c) M02中島橋

るが、土砂生産・流出特性が流域によって異なることが示唆された。

(3) 栄養塩の流出特性

河川水における総窒素や総リンは存在形態によって懸濁態と溶存態に区分され、流出特性が異なる。総窒素、総リンの濃度は流量とともに増大する傾向が認められたが、それぞれについて懸濁態濃度及び溶存態濃度と比流量との関係を調べたところ、懸濁態は流量にともない増加傾向がみられるが、溶存態は窒素、リンともに頭打ちになる傾向が認められた（図-4）。懸濁態の窒素及びリンはそれぞれ懸濁物質（SS）中の有機物、鉱物中に多く含まれると考えられるため、SS濃度との相関がよい（PTN $r=0.9763, p<0.0001$; PTP $r=0.9082, p<0.0001$, とともに $n=63$, 図-5）。一方、溶存態窒素及びリン濃度は流量の増大による希釈効果が影響していると考えられる¹⁰。これらのことから、総窒素及びリンにおける懸濁態の割合

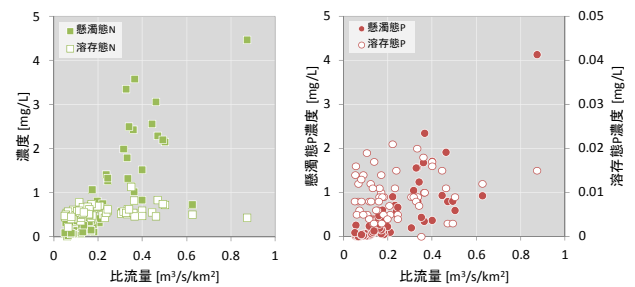


図-4 存在形態別の窒素及びリン濃度と比流量との関係

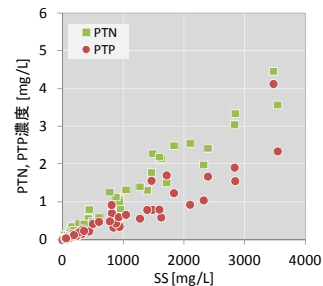


図-5 懸濁態窒素（PTN）及び懸濁態リン（PTP）の濃度とSS濃度との関係

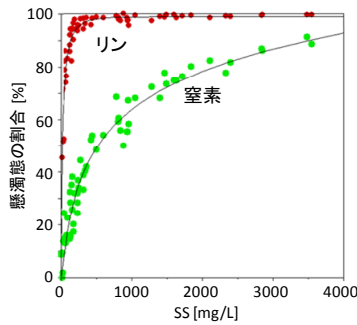


図6 懸濁態窒素及び懸濁態リンの割合とSS濃度との関係

はSS濃度によって変化すると考えられる。

SS濃度と総窒素及び総リン濃度における懸濁態の割合との関係を調べたところ、窒素とリンで異なる傾向がみられ、それぞれSS濃度の逆双曲線関数及び双曲線関数によって回帰できた。

$$PTN\% = a \sinh^{-1}(SS/b) \quad RMSE = 5.789 \quad (1)$$

$$PTP\% = a \tanh(SS^b/c) \quad RMSE = 5.167 \quad (2)$$

ここにPTN% 及びPTP% はそれぞれ窒素及びリンの懸濁態の割合 [%], SSはSS濃度 [mg/L], a, b 及び c は各式における定数である。これらの式によると、リンの場合、SS濃度が200 mg/L 程度までは懸濁態の割合が急激に増加し、200 mg/L 以上ではほとんどが懸濁態として流出する(図-6)。一方窒素は、SS濃度が500 mg/L でも懸濁態の割合は50% 程度にとどまり、SS濃度が3500 mg/L に達しても懸濁態は約90%と溶存態の割合が10%も占めることから、窒素流出において溶存態の役割が重要であることがわかる。このように、栄養塩の流出形態は懸濁態の割合が窒素とリンで明確に異なること、その割合がSS濃度に密接に関連することが示された。

(4) SS・栄養塩の流出負荷量と流量との関係

一般にSSや栄養塩の流出負荷量は、流量の累乗式で推定される。各観測地点においてSS、総窒素、総リンの総流出負荷量を算出するため、比流出負荷量 (L : kg/s/km²) と比流量 (Q/A : m³/s/km²) と関係を累乗式で回帰した(表-3)。

$$L = C(Q/A) = a(Q/A)^b \quad (3)$$

ここに C はSS、総窒素または総リンの濃度 (mg/L), a 及び b は係数である。 a は比流量が1 m³/s/km² のときの比流出負荷量であり、単位流量に対する基本的なSS、総窒素または総リンの発生量を意味する。 b は対数グラフ上での傾きであり、単位面積斜面からの流出のしやすさを意味する⁸⁾。

SS流出負荷量について、一般に比流量の2~3乗で表されるが、本研究で得られた b の範囲は2.71から5.00と全体

的に大きい。また鶴川流域よりも沙流川流域、額平川流域で高い値を示した地点が多かった。村上ら¹²⁾によると、額平川貫気別観測所、沙流川幌毛志橋、平取、沙流川橋における2001~2002年、2003年8月の高水出水時の b は1.71から2.39と報告している。本研究の該当箇所ではいずれも3以上であり、2012年の融雪出水の方が大きいことがわかった。また総主別川流域の b が5.0と最大であったが、流域面積が小さいほど b が大きくなることが知られており、地質や勾配、土地利用といった被侵食因子が影響するためと考えられる⁹⁾。

総窒素及び総リンの流出負荷量について、 b はそれぞれ1.56から2.39、2.44から4.05の範囲であった。総リンは鶴川流域よりも沙流川流域、額平川流域で高く、SSと同様の傾向を示したが、これはリンのほとんどが懸濁態として流出するためと考えられる(図-6)。一方、総窒素はSSや総リンよりも b の値が小さく、また流域面積の影響も明瞭でない。これは、流出する窒素の存在形態がSS濃度によって大きく変化し、溶存態の割合が高いことから(図-6)、SSやリンとは異なる流出経路をもつものと考えられる。このようなSS・リンと窒素の流出形態の違いは、流域内の生産源が異なることを示唆している。

(5) 水・SS・栄養塩の収支

流域のSS・栄養塩の収支について、式(3)より観測期間中の流出負荷量を積算し、観測地点の総流出負荷量と観測地点間の増減を評価した。鶴川流域について、穂別川中島橋(M02)、鶴川富内橋(M03)の総流量の合計は、合流後の鶴川穂別橋観測所(M00)の総流量よりも大きく、流下過程で水が減少していることになる(図-7a)。水が減少する原因として利水が考えられるが、それだけが原因であるとは考えにくく、水位や流速、流量の観測誤差が影響している可能性がある。中下流域では、M00から栄和橋、さらに鶴川橋とそれぞれ 46×10^6 m³、 118×10^6 m³の増加があり、栄和橋下流の支川流域からの流入が重要であることを意味している。

SS、総窒素、総リンについても、M03富内橋~M00穂別橋間ではいずれも収支は損失となっているが、水の損失にとまなうものであり、観測誤差や利水の影響が考えられる。M00穂別橋~M01鶴川橋間でSS流出量はほぼ倍増しており、中下流域が土砂生産源として重要であることを示唆している(図-7b)。穂別橋より下流域では山地流域が多く、空中写真でも斜面や流路沿いに崩壊裸地が多く認められることから、流域からの浮遊土砂供給があるものと考えられる。

総窒素及び総リンの流出量について、M00穂別橋~M01鶴川橋間でそれぞれ71%、85%の増加が認められる(図-7c, d)。鶴川流域では鶴川上流、穂別川とともに、中下流域の支川も重要なSS、栄養塩の生産源であり、流域全体から流出しているといえる。

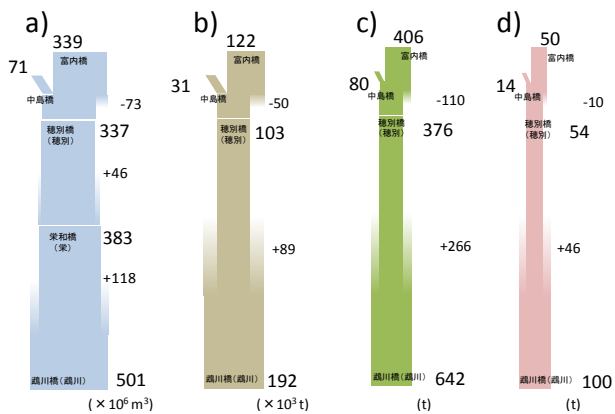


図-7 鶴川流域における水 (a), SS (b), 総窒素 (c) 及び総リン (d) の収支

沙流川流域の水収支は、二風谷ダム貯水池に流入する沙流川本川が額平川より約2.2倍大きく、ダム貯水池周辺や平取橋下流からはそれぞれ $18 \times 10^6 \text{ m}^3$ 、 $60 \times 10^6 \text{ m}^3$ の流入があった(図-8a)。額平川上流域では、平取ダムサイトに流入する額平川本川(豊糠)と宿主別川の寄与は、流域面積が異なるにもかかわらずほぼ同程度であり、宿主別川の比流量が大きい。額平川中～下流域のS05貫気別橋とS07額平橋(貫気別観測所)では、貫気別川の流入により増加が期待されるが、20%程度の損失がみられる。鶴川流域と同様に、観測誤差や利水の影響によるものと推察される。

SS流出量について(図-8b)、二風谷ダム上流では沙流川(S09長知内橋)よりも額平川(S07額平橋)の方が57% ($28 \times 10^3 \text{ t}$) 大きく、額平川流域が主要な浮遊土砂生産源であると言える。貯水池下流(平取)に流下したSS量は、上流からの流入量(S09+S07)よりも44%増加するが、平取橋から沙流川橋の下流域ではほとんど増加せず、海域へ流出している。村上ら¹¹⁾は、平成12～13年(2000～2001年)の2年間における二風谷ダム貯水池のSS量収支を計算し、沙流川82万t/年と額平川76万t/年、ダム下流への流出量は59万t/年と見積もっている。この2年間では、二風谷ダム上流のSS流出量は沙流川本川の方が額平川よりも若干大きい。また、既往最大の出水イ

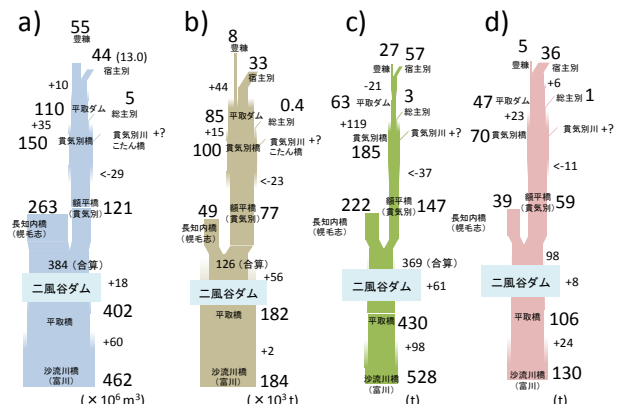


図-8 沙流川流域における水 (a), SS (b), 総窒素 (c) 及び総リン (d) の収支

ベントが生じた平成15年(2003年)8月9日から12日のSS流出量は、沙流川(幌毛志橋)及び額平川(貫気別観測所)でそれぞれ195.6万t及び126.6万tと見積もられており、沙流川の方が大きい¹²⁾。これらの既往の報告と本研究とではSS流出量がオーダーで異なるため、単純な比較は難しいが、2012年の融雪出水時では、額平川(12.4万t)が沙流川(5.8万t)に対して約2倍大きかった。生産源の違いが融雪出水特有のものか、それとも2003年の台風イベント以降の土砂生産・流出特性の変化によるものか、より長期的な観測結果に基づく検討が必要である。

額平川上流では、宿主別川が額平川(豊糠)の4倍以上のSS流出量があり、その他の支川からはさらに多くのSS量($44 \times 10^3 \text{ t}$)が供給されていることになる。豊糠、宿主別川の観測地点から平取ダムサイトの観測地点では大きな支川はないため、平取ダムサイトや豊糠における観測誤差が影響している可能性がある。額平川中～下流域のS05貫気別橋とS07額平橋地点ではSS量が減少しているが、これは水収支の損失にともなうものであるが、河床への堆積¹³⁾も可能性として考えられる。

総窒素の流出量について(図-8c)、二風谷ダム上流では沙流川本川の方が額平川よりも51%大きく、貯水池周辺や下流の支川から17%、平取橋下流で23%の増加がみられた。額平川上流では、宿主別川の寄与が大きい

表-3 SS及び栄養塩の流出負荷量と比流量との関係(累乗式)における係数

コード	河川名	観測地点	流域面積 [km ²]	SS			TN			TP		
				a	b	R ²	a	b	R ²	a	b	R ²
M02	穂別川	中島橋	199.9	7.1	2.71	0.89	0.0035	1.63	0.93	0.0022	2.44	0.92
M03	鶴川	富内橋	722.5	4.5	3.03	0.99	0.0031	1.66	0.97	0.0014	2.74	1.00
M00	鶴川	穂別橋	949.5	12.2	3.27	0.98	0.0061	1.95	0.99	0.0036	2.86	0.99
M01	鶴川	鶴川橋	1238.8	7.3	2.92	0.99	0.0050	1.82	0.99	0.0025	2.61	1.00
S08	宿主別川	宿主別橋	63.9	4.5	2.80	0.90	0.0040	2.04	0.95	0.0051	2.86	0.92
STY	額平川	豊糠橋	167.2	34.8	3.94	0.99	0.0014	1.56	1.00	0.0081	3.44	0.99
SBD	額平川	平取ダムサイト	236.0	70.6	4.19	0.99	0.0016	1.64	0.99	0.0221	3.73	0.98
S06	総主別川	町道1号橋	16.8	198.8	5.00	0.96	0.0089	2.31	0.97	0.0484	4.05	0.95
S05	額平川	貫気別橋	290.5	15.6	3.10	0.92	0.0095	2.33	0.99	0.0085	2.93	0.92
S00	額平川	貫気別観測所	373.0	67.1	3.27	0.97	0.0030	1.68	0.98	0.0370	3.13	0.98
S07	額平川	額平橋	383.5	10.0	2.46	0.98	0.0070	1.90	0.98	0.0065	2.36	0.98
S09	沙流川	長知内橋	784.5	36.4	3.85	0.96	0.0101	2.29	0.96	0.0266	3.81	0.97
SB	沙流川	平取橋	1215.0	46.1	3.58	0.99	0.0149	2.39	0.97	0.0167	3.27	0.98
S01	沙流川	沙流川橋	1333.0	21.1	3.19	0.96	0.0103	2.16	0.99	0.0109	3.00	0.97

額平川本川の寄与も比較的大きく、平取ダムサイトでは流出量が25% (21 t) の減少となっている。これも観測値不足によるL-Q式の誤差が影響している可能性がある。額平川中～下流域では、平取ダムサイトから貫気別橋間で総窒素流出量が189% 増加しており、観測誤差だけでなく、牧場などからの負荷が大きく影響している可能性がある。貫気別橋～額平橋間での37 t の減少は、水収支における損失によるものと考えられる。

総リンの流出量については(図-8d)、SSと同様の収支が認められた。二風谷ダム上流では沙流川本川より額平川からの流入量が大きい、貯水池周辺や下流の支川からの流入量は小さく、平取橋下流で約23%の増加が認められた。額平川上流域では、宿主別川流域からの寄与が大きく、平取ダムサイト下流で49%の増加が認められる。額平川中～下流域では、やはり水収支の損失にともなう総リン流出量の減少が認められる。

海域に流出する水、SS、総窒素及び総リンについて鵜川流域と沙流川流域で比較すると、ほとんど同程度であった(図-7, 8)。収支からみた生産源の分布については、観測地点の密度の違いにより単純な比較はできないが、鵜川流域では総じて流域全体から流出しており、流量に応じて増減していると考えられる。一方、沙流川流域ではSS、窒素、リンでそれぞれ生産源が異なり、地質や土地利用の違いを反映していると考えられた。

4. おわりに

多地点で同時観測された水質試験結果から、SSや栄養塩の流出特性・収支を比較することで、流域内の物質流出特性を把握することができた。また、観測・試験におけるさまざまな誤差による影響があることも明らかにできた。今回は各関係機関が実施した業務の速報成果を用いて水・土砂・物質の流出特性をとりまとめたため、多少の誤差は含まれる。とくに水収支に損失が認められた鵜川流域のM03富内橋～M00穂別橋間や、額平川流域のS05貫気別橋～S07貫気別橋間については、水位-流量曲線の精査や観測地点、観測方法の再検討が必要であろう。

今回は2012年の融雪期のデータについて検討した。C-Q式、L-Q式は見かけ上決定係数は0.90以上とよく見えるが、観測点数が少ないことから、濁度計などによるSS濃度の連続観測が望まれる。また栄養塩については、SS濃度と窒素・リン濃度における懸濁態の割合との関係を見いだすことができた。SS、総窒素、総リンを測定することで、懸濁態、溶存態の窒素・リン濃度を推定できる可能性もある。このように、より効率的・経済的な観測の継続が望まれる中、今後も複数の機関による観

測の分担・協力と収集データの総合的な解析をすすめることで、流域のより詳細な水・土砂・物質動態が明らかにされることが期待される。

謝辞： 北海道大学流域砂防研究室の笠井美青准教授には、SS流出負荷量について議論いただいた。沙流川ダム建設事業所には水質分析データを提供いただいた。関係各位から拙稿に対し貴重なご意見をいただいた。ここに記して謝意を表す。

引用文献

- 1) 橋治国, 安藤正治, 大森博之, 飯田真也, 梅本延彦. 1991. 融雪期における山地森林域河川からの栄養塩流出. 衛生工学研究論文集 27: 33-44.
- 2) Williams GP. 1989. Sediment concentration versus water discharge during single hydrologic events in rivers. Journal of Hydrology 111, 89-106.
- 3) 倉茂好匡. 1996. 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, 東京, 132-142p.
- 4) Ide J, Haga H, Chiwa M, Otsuki K. 2008. Effects of antecedent rain history on particulate phosphorus loss from a small forested watershed of Japanese cypress (*Chamaecyparis obtusa*). Journal of Hydrology 352: 322-335.
- 5) 村上泰啓, 中津川誠, 高田賢一. 2004. 流域条件と土砂・水質成分の流出特性について. 水工学論文集 48: 1105-1110.
- 6) 横山勝英, 藤塚慎太郎, 中沢哲弘, 高島創太郎. 2008. 多点濁度観測による筑後川水系のSS流出・輸送特性に関する研究. 水工学論文集 52: 553-558.
- 7) Abe T, Mizugaki S, Toyabe T, Maruyama M, Murakami Y, Ishiya T. 2012. High range turbidity monitoring in the Mu and Saru river basins: All-year monitoring of hydrology and sediment transport in 2010. International Journal of Erosion Control Engineering 5(1): 70-79.
- 8) 吉川泰弘, 渡邊康玄. 2005. 物質輸送に与える大規模洪水の影響. 北海道開発土木研究所月報 628: 2-17.
- 9) Ide J, Nagafuchi O, Chiwa M, Kume A, Otsuki K, Ogawa S. 2007. Effects of discharge level on the load of dissolved and particulate components of stream nitrogen and phosphorus from a small afforested watershed of Japanese cypress (*Chamaecyparis obtusa*). Journal of Forest Research 12, 45-56.
- 10) 平田健正, 村岡浩爾. 1988. 森林域における物質循環特性の渓流水質に及ぼす影響. 土木学会論文集 399 (II-10): 131-140.
- 11) 村上泰啓, 高田賢一, 中津川誠. 2002. ダム堆砂から見た河川の生産土砂について—既往資料からの整理—. 北海道開発土木研究所月報 595, 34-47.
- 12) 村上泰啓, 中津川誠. 2004. 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, 東京, pp. 46-56.
- 13) Kasai, M., Kimura, T., Marutani, T. 2012. Airborne LiDAR investigation of sediment flux after a major storm event in 2003 in the upper Saru River catchment, Hokkaido. 平成24年度砂防学会研究発表会概要集, 294-295.