

融雪期の石狩川下流部の水質変動・輸送特性

CHARACTERISTICS OF WATER QUALITY AND SUBSTANCE TRANSPORT AT THE DOWN-STREAM PART OF ISHIKARI RIVER IN THE SNOWMELT SEASON

山下俊彦¹・菅沼剛²・梅林司³・清水康行¹・橘治国¹・
斎藤大作⁴・山崎真一⁵・渡邊康玄⁶

Toshihiko YAMASHITA, Tsuyoshi SUGANUMA, Tsukasa UMEBAYASHI, Yasuyuki SHIMIZU,
Harukuni TACHIBANA, Daisaku SAITO, Shin-ichi YAMAZAKI, and Yasuharu WATANABE

¹ 正会員 工博 北海道大学大学院助教授 工学研究科 (〒060-8628 札幌市北区北 13 条西 8 丁目)

² 静岡県庁 (〒420-8601 静岡市追手町 9 番 6 号)

³ 学生会員 北海道大学大学院 工学研究科 (〒060-8628 札幌市北区北 13 条西 8 丁目)

⁴ 正会員 工修 北海道開発局 石狩川開発建設部 (〒060-8541 札幌市中央区北 2 条西 19 丁目)

⁵ 正会員 工修 北海道開発土木研究所 (〒062-8602 札幌市豊平区平岸 1 条 3 丁目)

⁶ 正会員 工博 北海道開発土木研究所 (〒062-8602 札幌市豊平区平岸 1 条 3 丁目)

The field survey was performed for water quality at the down-stream part of the Ishikari River during the snowmelt season in 2000 and 2001. Most of the total phosphorus is particulate, 70 to 90% of the total nitrogen is dissolvable. Concentrations of suspended solids (SS) and particulate total nutrients (phosphorus, nitrogen, etc.) in river water increase greatly with discharge, and dissolvable total nitrogen flowed out in large quantities in the first half snowmelt season. Concentrations of SS, nitrogen, and phosphorus can be roughly estimated from the river discharge. Changes in chlorophyll-a concentrations were investigated.

Key Words : Field observation, Snowmelt flood, Water-quality, Mass-transfer, Ishikari River

1. はじめに

流域に降った雨や雪は、森林、農地、都市など地域の特性によって種々の物質を含有し、河川に集まり変質流下して最後は海に流出する。このように流域、河川、沿岸域は水を媒介とした物質循環の中で相互に影響を及ぼしている。これらの物質は、森林からの流出、農地からの流出、都市からの生活廃水や工業廃水等、我々の土地利用を含めた人間活動と密接に関係し、河川や沿岸域の水質・生態系に大きな影響を与えている。北海道においては年間の物質流出の 50%以上が融雪期に占められており、また洪水時には栄養塩濃度の上昇が観測されることから、融雪洪水が河川の水質・生態系に及ぼす影響は大きいと考えられる。また融雪期に河川から供給された栄養塩等は河口沿岸域の一次生産にも大きな影響を与えていることが予想される。

そこで本研究では流域全域からの流出物質が集中する石狩川下流部を対象として、融雪期に現地観測を行い、融雪期の水質変動・輸送特性を明らかにする。

2. 調査の概要

石狩川は、北海道の大雪山系・石狩岳(標高 1967 m)に源を発し、大小 70 余りの支川を合わせて日本海に注ぐ大河川である。河道長は 268km、流域面積は 14330km²で、北海道全体の 6 分の 1 の面積に相当する。流域には札幌市をはじめ、全道人口の半分以上にあたる約 300 万人が生活する。また、流域に形成された広大な石狩平野は、北海道の稲作農業の中核地帯となっており、農業活動が河川水質に及ぼす影響も大きいと考えられる。

図-1に観測地点を示す。観測項目は2000年は4月～6月の約2ヶ月間に43回、2001年は3月～6月の約4ヶ月間に26回、ともに河口から上流14.5kmに位置する札幌大橋で河川表層採水を実施した。分析項目は、SS、粒度分布、各態の窒素とリン、クロロフィルa等である。

3. 観測結果及び考察

(1) 水質変動特性

図-2の(a)に2000年の石狩川流量とSS、窒素、リン、クロロフィルaのそれぞれの濃度変動を示す。2000年は観測期間中、4月12日と5月14日に約4000m³/sの融雪出水としては大きな出水があった。流量増加に伴いSS濃度が増加していることがわかる。総窒素の7割～9割は溶解性である。しかし、高流量時には粒子性窒素の割合が高くなっており、粒子性窒素として蓄積されていたものが出水により流出したものと考えられる。溶解性窒素は、観測開始時から低下傾向を示し、2回目の大きな出水で濃度が上昇したあと、再び低下傾向を示している。この濃度の低下傾向より、溶解性の窒素の現存量に限度があるものと考えられる。総リンのほとんどは粒子性リンで、SSとほぼ同様な濃度変化を示している。リンはSSに吸着、あるいはSS自体として地表に蓄積され、出水とともに大量に流出されたことがわかる。約4000m³/sの2回の出水時を比較すると5月14日より4月12日の方がSS、粒子性窒素、粒子性リンの濃度が高くなっている。これは、4月12日の出水により栄養塩が洗い出されたためと考えられる。2回の出水時におけるSS、粒子性窒素、粒子性リン濃度のピーク値を比較すると、SSが約4割、粒子性窒素が約7割、粒子性リンが約3割減少しており、粒子性窒素の減少率が高いことがわかる。このことから粒子性窒素の貯蔵性はリンより低いことが考えられる。クロロフィルaは、4月12日の出水時にピークを持ち、その後は高い値を示さない。融雪初期に増殖していた植物プランクトンが、初めの出水で流出したためと考えられる。

図-2の(b)は2001年の石狩川流量と各物質の濃度変動である。SS、粒子性リンは流量変化とほぼ同じ濃度変化を示している。窒素は溶解性、粒子性ともに融雪初期の3月にピークを持つ。冬季の積雪により蓄積されていた窒素が、融雪とともに溶け出し、流出しているためであると考えられる。また、2回の出水時におけるピーク値の減

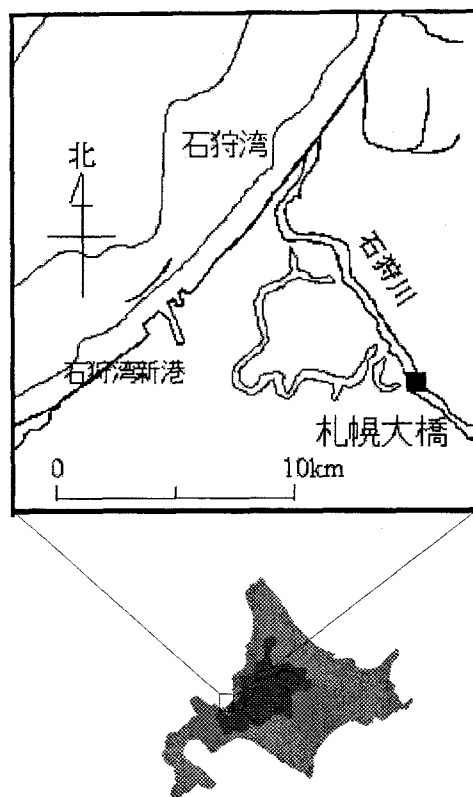


図-1 観測地点

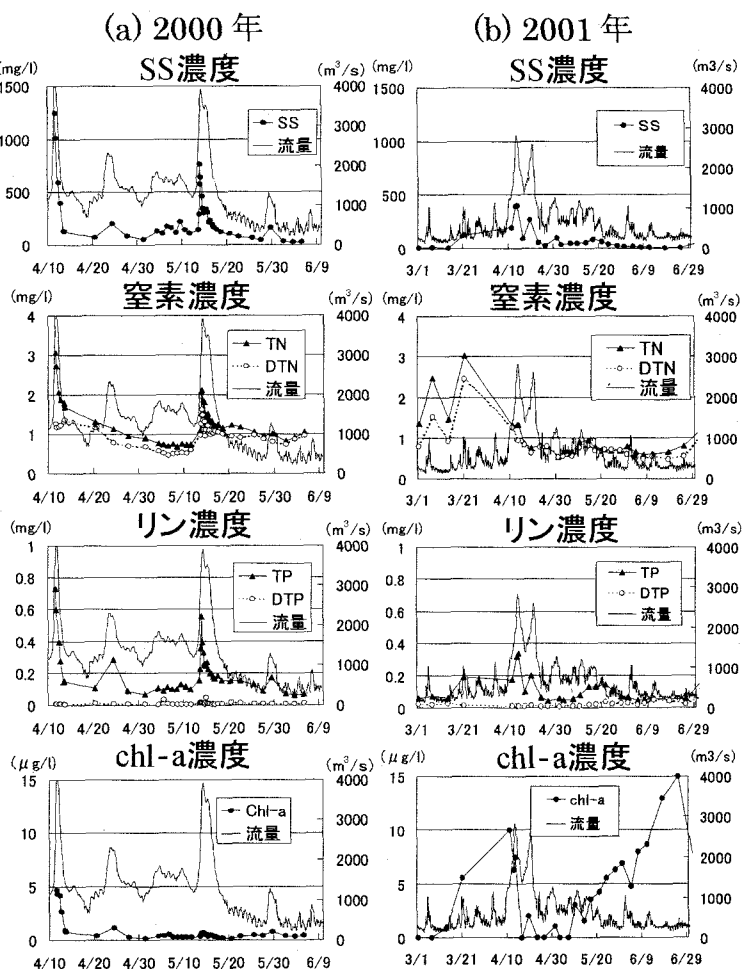


図-2 河川採水

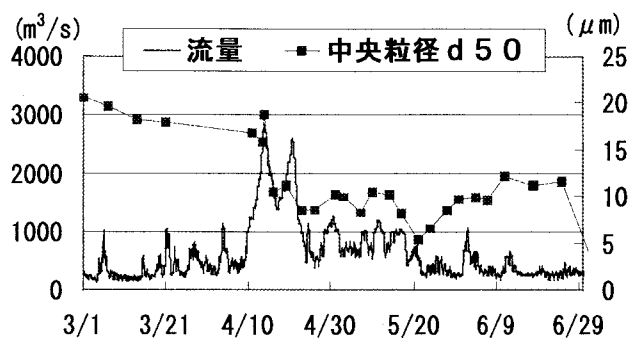


図-3 流量・中央粒径

少率は、SS が約 3 割，粒子性窒素が約 7 割，粒子性リンが約 4 割となっていてほぼ 2000 年と同様な結果が得られた。クロロフィル a は融雪初期の 3 月中旬から 4 月上旬に濃度が高く，最初の出水後にすぐに低下するが 6 月の低流量時に増加しより高い値を示している。低流量時は流速が小さいので河川水中で植物プランクトンが増殖しやすい状態となり，濃度が高くなっているものと推測される。

図-3 に 2001 年の流量と SS の中央粒径 d_{50} を示す。 d_{50} は融雪初期に $20\mu\text{m}$ と大きく，4 月 13 日の約 $3000\text{m}^3/\text{s}$ の融雪洪水後は約半分の $10\mu\text{m}$ となっている。

図-4 は流出する粒子性物質の濃度を SS 濃度で割り SS 1 g 当たり含有する粒子性物質を mg で

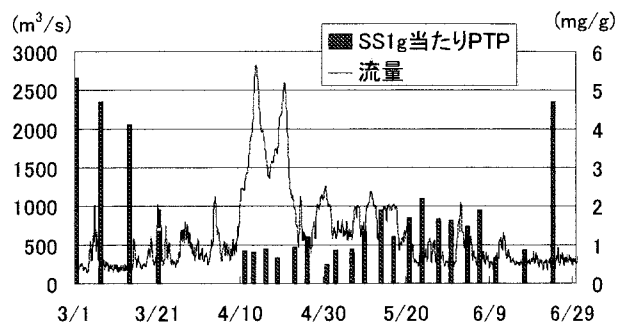
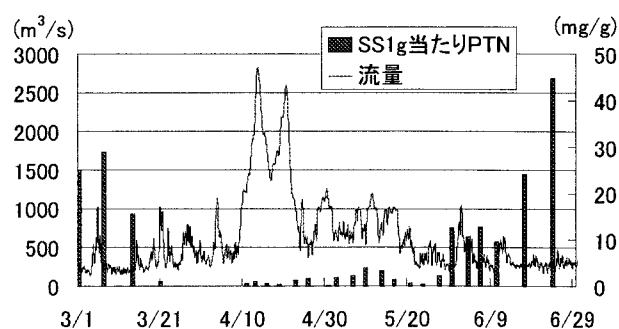


図-4 SS1g 当たりの窒素・リン

表したものである。全体的に 3 月に高い値を示し，融雪洪水期に減少し，5 月下旬から増加し始めている。これは冬期に蓄積されていた粒子性成分が融雪の始まりとともに流出し出水時には含有量が減少するが，融雪後期になると代掻き期に入るため肥料な

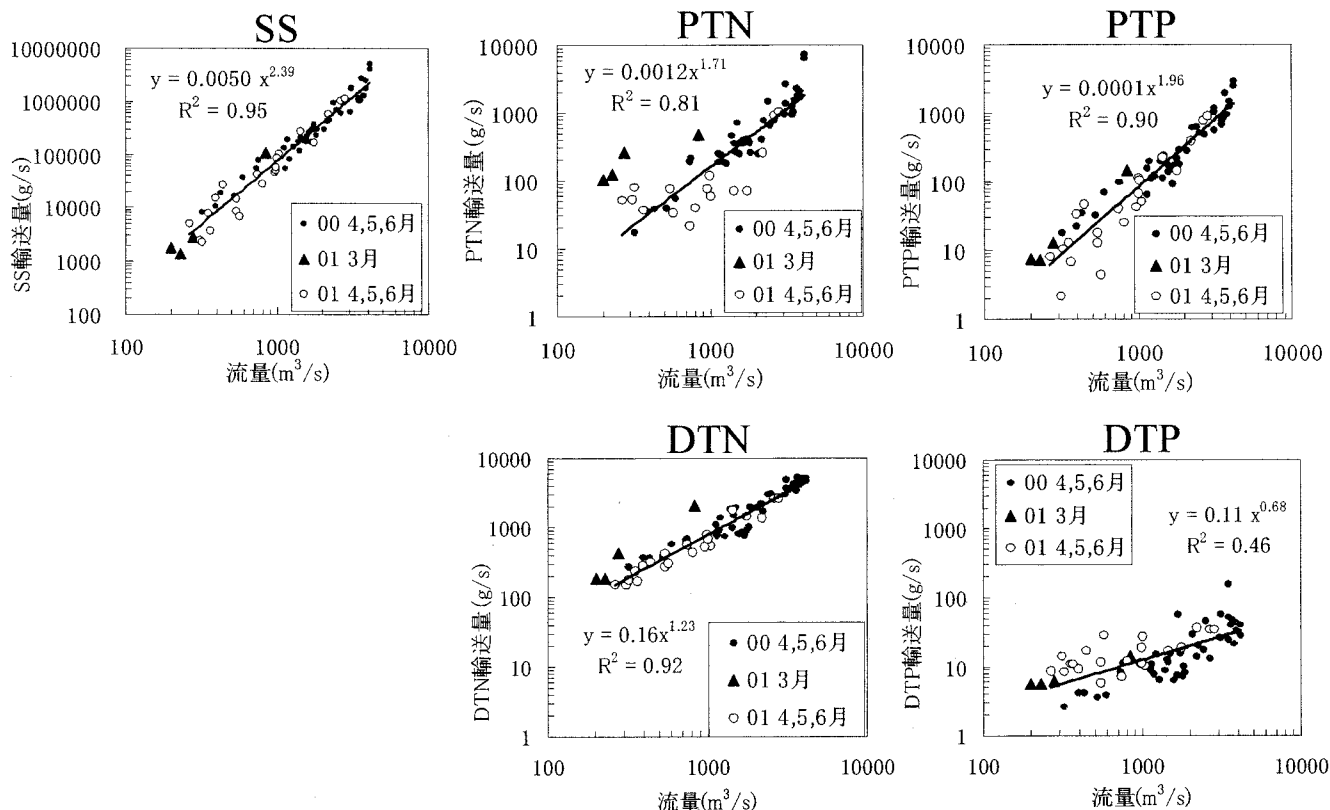


図-5 流量・輸送量相関

どにより農地に蓄積されている粒子性窒素・リンが農地排水とともに一齐に石狩川に流出したためではないかと考えられる。

以上より2001年は2000年より融雪洪水が小規模であったため、各粒子性物質の濃度は低い傾向にあったが、流出物質全体の濃度変動はほぼ同様な変化を示した。しかし窒素濃度の上昇が3月より以前には起きてはいないのか、またクロロフィルa濃度の増減による河川生態系への影響等、今後検討する必要がある。

(2) 物質輸送特性

河川流量と各流出物質濃度から輸送量を算出した。図-3は流量と輸送量を両対数で表したものである。3月は溶解性・粒子性窒素共に高濃度であったので別の記号で示している。この図から二年を通じて、溶解性物質(DTN, DTP)に比べ粒子性物質(SS, PTN, PTP)が急勾配の傾向にあることがわかる。これはSS自身、及びSSに吸着した粒子性物質が増水時に大量に流出することを表している。またこの図から2002年3月のデータを除くと、4月から6月は2年間でほぼ同様の関係があることから、各物質の流量 Q (m^3/s)に対する輸送量 L (g/s)の関係を図中の実線のように求めた。

$$L_{SS} = 0.0050 * Q^{2.39} (R^2 = 0.95)$$

$$L_{PTN} = 0.0012 * Q^{1.71} (R^2 = 0.81)$$

$$L_{PTP} = 0.0001 * Q^{1.96} (R^2 = 0.90)$$

$$L_{DTN} = 0.16 * Q^{1.23} (R^2 = 0.92)$$

$$L_{DTP} = 0.11 * Q^{0.68} (R^2 = 0.46)$$

相関係数は濃度が低く輸送量自体が少ない溶解性リンを除いては、約0.8~1.0の高い値となり、これらの関係を利用して流量から水質成分の輸送量が計算可能であることがわかる。次にべき数を見てみると、SSは2.39、粒子性リンは1.96、粒子性窒素は1.71と高い値を示していて、粒子性物質の中でも特にSSの増水時の地表からの強い洗い出し効果が認められる。また溶解性窒素のべき数は1に近く、比較的濃度は一定である。

次に2001年の流量と物質輸送量について精度を上げるため各物質について各月毎の近似式を求め、1時間毎の流量に濃度を乗じ、積分をして各月の流出量(ton)を図-6のように求めた。円グラフの外側の数字は各月の輸送量を示す。3月から6月全体でSSは64万t、溶解性窒素は5900t、粒子性リンは590t、粒子性窒素は850t、溶解性リンは120t海域へ流出することがわかった。各月の変化を見るとSS、粒子性リンはほぼ同様の傾向を示し、融雪洪水の発生した4月に3月から6月の融雪期の7割から8割を流出することがわかる。粒子

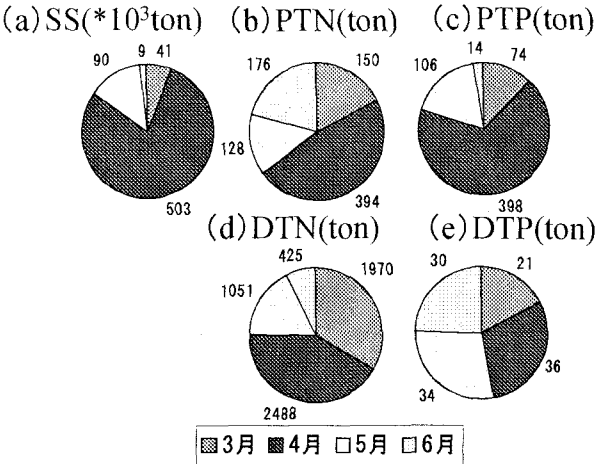


図-6 各月毎の物質流出量 (2001年)

性窒素もこれらと傾向が似ていて、4月に融雪期の45%が流出している。一方溶解性窒素は前述のように特に融雪初期に濃度が高いため、融雪前期の3月から4月に融雪期の75%が流出することがわかる。

4. おわりに

本研究で得られた主な結果は以下の通りである。

- (1) 融雪期における各物質の流出特性を明らかにした。窒素は多くが溶解性、リンは大部分が粒子性である。粒子性物質はその貯蔵性に差があるもののほぼ流量と同様な濃度変化を示し、溶解性物質は流量への依存性は低く、冬期に蓄積されていた溶解性窒素は融雪初期である3月に融雪水に高濃度で含まれることがわかった。また融雪後期の代掻き期におけるSSに含有する粒子性物質量の増加は農地からの流出による影響が考えられる。
- (2) 河川水中の植物プランクトンは融雪初期に増殖し、初めの融雪出水でその大半が流出し、以後は低濃度となるが流量が安定すると次第に増殖する傾向があると思われる。
- (3) 流量と輸送量の相関から融雪期における各成分の流出量の推定が可能であり、融雪期の各成分の総流出量を算出した。SS、粒子性リンはその大半を融雪出水の起こった4月に流出し、溶解性窒素は融雪初期の3月と4月に大部分を流出することがわかった。

(2002. 4. 15 受付)