

融雪期の石狩川の物質輸送特性と流出物質の河口沿岸域での挙動

山下俊彦*・菅沼 剛**・橘 治国*
斎藤大作***・山崎 真一****

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、河川を通じて海域に流出する。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、我々の土地利用を含めた人間活動と密接に係り、河川や沿岸域の水質・生態系に大きな影響を与えている。河川域と沿岸域は別々に研究されることが多かったが、このような問題を解決するためには、両域を一体として捉え、その広域での栄養塩や土砂の動態を明らかにする必要がある。特に北海道においては、年間の物質流出の約半分を占める融雪洪水が河口沿岸域での水環境に大きな影響を与えているものと考えられる。

河川での物質輸送に関しては、橘(1993)、渡邊ら(1999)は、洪水時に栄養塩は主に懸濁物質に吸着して流下することを報告している。沿岸での河川流出物質の挙動については、船木・新目(1998)、山下ら(2000)は、北海道鶴川河口沿岸域で、河川洪水時にトラップを設置し、トラップ内沈降物量、物質特性を報告している。

そこで本研究では、北海道石狩川の河口部をはさんだ河川域と沿岸域を対象として、融雪期に両域同時に現地観測を行い、河川から供給される物質特性と河川流出物質の沿岸域での拡散・堆積特性を明らかにする。その結果を基に、融雪期の河川流出物質の海域環境への影響を考察する。

2. 調査方法

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 268 km、流域面積は 14330 km²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、

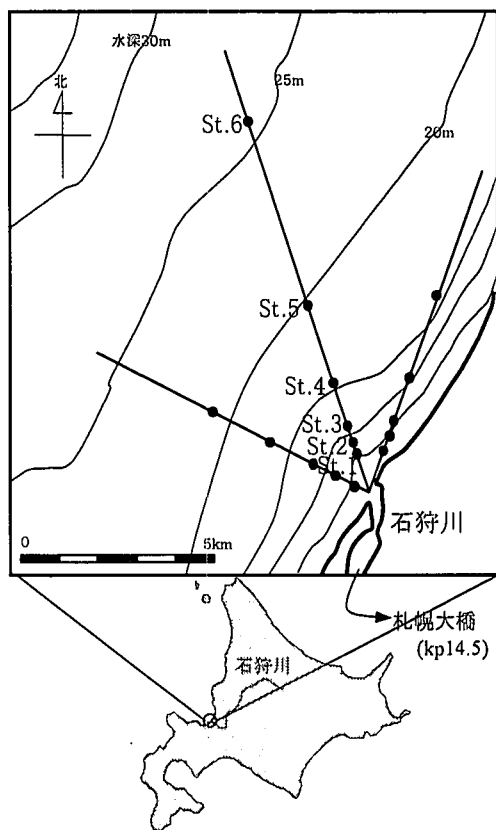


図-1 調査地点

北海道の稲作農業の中核地帯となっている。

2000 年融雪出水期(4 月～6 月)の約 2 ヶ月間、図-1 に示す石狩川の河川域と河口沿岸域で現地観測を行った。主な観測項目は、河口より上流 14.5 km 地点にある札幌大橋での 43 回の河川表層採水、河口海域 16 地点で上中下 3 層での約 10 回の採水、中央側線 6 地点での 10 回の採泥と 2 回の柱状採泥である。

分析項目は、SS、粒径、各態の窒素とリン、クロロフィル a、フェオフィチン、強熱減量、COD 等である。ここでは、中央側線 6 地点について述べる。各地点は、St. 1(河口からの距離 1 km、水深 6 m)、St. 2(1.5 km、9 m)、St. 3(2 km、11.5 m)、St. 4(3 km、15 m)、St. 5(5 km、

* 正 会 員 工 博 北海道大学助教授 大学院工学研究科環境資源工学専攻

** 学生会員 北海道大学大学院工学研究科

*** 正 会 員 工 修 北海道開発局石狩川開発建設部

**** 正 会 員 工 修 (独)北海道開発土木研究所

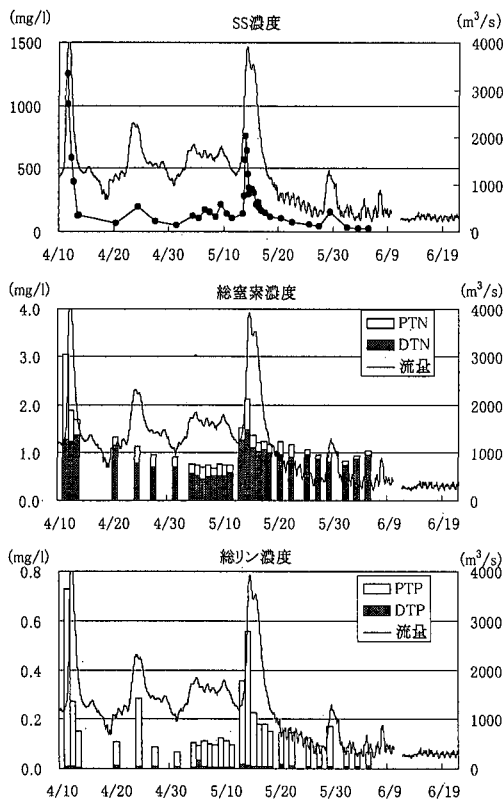


図-2 石狩川の流量と水質成分

19.5 m), St. 6 (10 km, 25.5 m) である。

3. 河川水中の水質特性

3.1 河川水質の時系列変化

図-2に石狩川の流量とSS、窒素、リン濃度の時系列変化を示す。観測期間中、4月12日と5月14日に約4000 m³/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の濃度が大きく増加していることがわかる。4月12日の出水時には約1200 mg/l、5月14日の出水時には約800 mg/lに達している。

総リンのほとんどは粒子性で、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。

総窒素の7割～9割は溶解性であるが、出水時には粒子性の割合が高くなっている。リンと同様に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。

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、

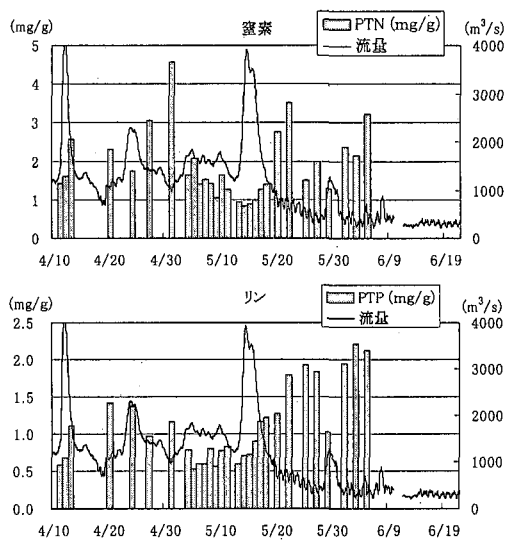


図-3 SS中の窒素・リン

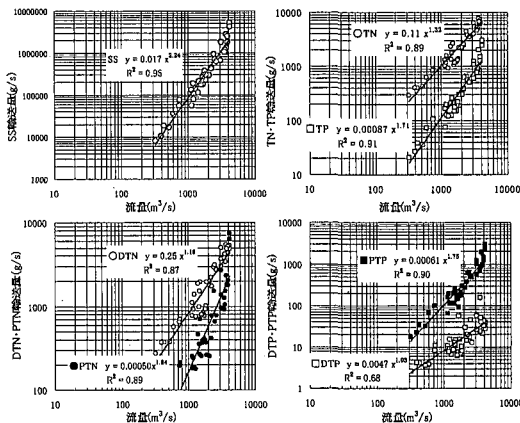


図-4 流量と水質成分輸送量

粒子性リン濃度の最大値の減少率をみると、SSが約4割、粒子性窒素が約7割、粒子性リンが約3割となり、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。

図-3は粒子性の窒素・リン濃度をSS濃度で割り、SS 1g当たりの窒素・リン含有量 (mg/g) を計算したものの時系列変化である。5月14日の出水以降に、栄養塩、特にリンのSS 1g当たりの含有量が高くなっていることがわかる。これは、この時期がちょうど代掻き期にあたり、流域の水田から流出した栄養塩の影響を受けているためではないかと考えられる。

3.2 流量と水質成分輸送量の関係

図-4に石狩川の流量と各水質成分の輸送量の関係を示す。この結果より、流量 Q をm³/sの単位とした場合

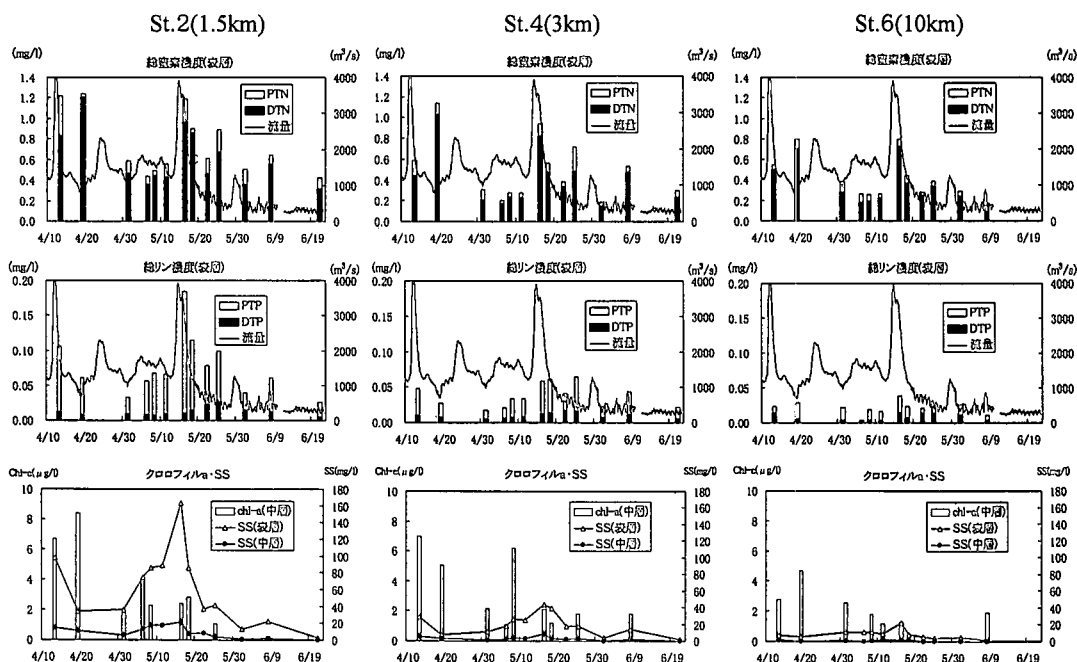


図-5 海域採水の水質成分

の、各水質成分の輸送量 L (g/s) を次のように求めた。

$$L_{SS} = 0.017 \cdot Q^{2.24}$$

$$L_{TN} = 0.11 \cdot Q^{1.32}, L_{DTN} = 0.25 \cdot Q^{1.18},$$

$$L_{PTN} = 0.00050 \cdot Q^{1.84},$$

$$L_{TP} = 0.00087 \cdot Q^{1.71}, L_{DTP} = 0.0047 \cdot Q^{1.08},$$

$$L_{PTP} = 0.00061 \cdot Q^{1.75}$$

溶解性総リン DTP を除く水質成分については、相関係数がほぼ 0.9 以上であり、流量から融雪期の各水質成分の輸送量がある程度予測可能と考えられる。DTP は、輸送量自体が少ないため、相関係数が 0.68 と少し低くなったと考えられる。次に、各輸送量の流量に対するべき数を比較する。SS のべき数は 2.24、粒子性の PTN、PTP は各々 1.84、1.75 で、流量増加に伴い、各々の濃度が増加していることがわかる。一方、溶存態の DTN、DTP のべき数は 1.0 に近く、流量によらずほぼ一定していることがわかる。

4. 海水中の水質特性

図-5 に海域採水における窒素・リン濃度、SS、クロロフィル a と河川流量の変化の例を示す。

河川流量が増加すると海域表層 (水面下 1 m) では少なくとも河口から 10 km (St.6) までは、SS、総窒素、総リンの濃度が増加することがわかる。中層 (1/2 水深)、下層 (海底面上 1 m) については、河口から 1.5 km 以内の St. 1, 2 では、ある程度の変動を示しているが、それよりも沖側では、ほぼ全海域で総窒素濃度が 0.2 mg/l、

総リン濃度が 0.02 mg/l であり、河川流量による顕著な変化は、あまりみられない。

海水中の窒素の大部分は溶解性である。表層における総窒素の濃度変化は溶解性窒素の濃度変化に依存している。河川水中の窒素も多くは溶解性であり、河川から流出した溶解性窒素の影響が大きいと考えられる。粒子性窒素は全海域、全水深でほぼ 0.1~0.2 mg/l で大きな変動は示していない。

溶解性リン濃度は全海域、全水深で 0.01~0.02 mg/l であまり変動していないことがわかる。総リンに占める粒子性リンの割合は河口に近いほど高く、石狩川より流出した粒子性リンが海域表層で拡散していることが考えられる。

クロロフィル a は表層よりも、中層・下層で高濃度であった。これは表層では河川から流出した淡水の影響が大きく、海洋性のプランクトンが生息しにくい環境にあるためと考えられる。中層・下層では、全地点でほぼ同じ変化を示し、1 回目の融雪出水前後にピークがあり、その後は減少傾向を示している。これは、3 月中旬から始まった融雪出水の影響で海域の栄養塩が増加し、プランクトンが増加したからではないかと考えられる。

5. 河川流出物質の堆積・拡散特性

5.1 底質特性

図-6 に河口海域における表層底泥の中央粒径 d_{50} の時系列変化を示す。河口から 3 km 以内の St. 1, 2, 3 の

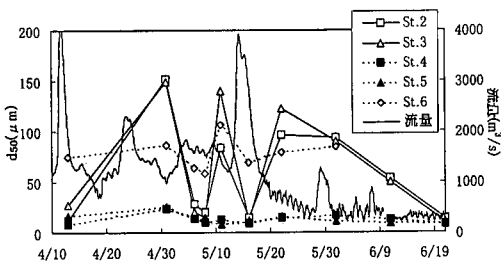


図-6 粒径の時系列変化

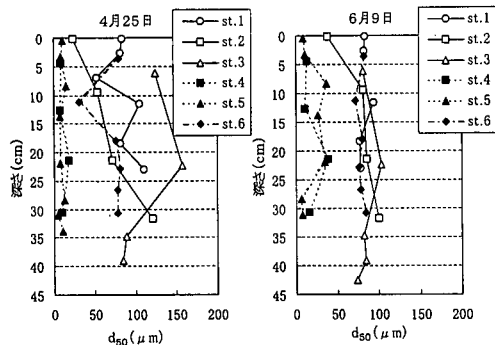


図-7 粒径の鉛直分布

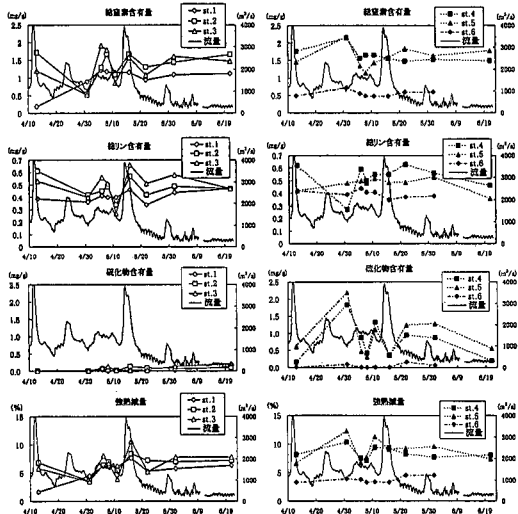


図-8 海域底泥中の成分の時系列変化

d_{50} は変動が大きく、出水時に粒径が $10 \sim 20 \mu\text{m}$ 程度に小さくなっていることがわかる。河口から $3 \sim 5 \text{ km}$ の St. 4, 5 では粒径が $10 \sim 15 \mu\text{m}$ で最も小さく、この海域では時間的にあまり変動していない。St. 6 は $60 \sim 80 \mu\text{m}$ で、ここでも大きな変動は示していない。

融雪洪水時の石狩川の SS の粒径は $10 \sim 15 \mu\text{m}$ 程度である。このことから、出水時に石狩川から流出した SS

は、河口付近の St. 1, 2, 3 では一時的に、St. 4, 5 では常に堆積していることが考えられる。

図-7 は 4 月 25 日と 6 月 9 日に実施した柱状採泥試料の中央粒径 d_{50} の鉛直分布である。4 月 25 日では融雪最盛期のため、河川から多量の細粒、粗粒成分が流出し、その土砂が波、流れにより移動することにより、St. 4, 5 を除き粒径が鉛直方向にかなり変化している。St. 4, 5 では、深部まで $10 \sim 15 \mu\text{m}$ 程度の細粒径になっている。St. 1 では粒径の鉛直方向の変動が大きく、St. 2 では表層ほど粒径が小さく、St. 3 では表層で粒径が大きく、St. 6 では深さ 10 cm の層の粒径が細かくなっている。6 月 9 日では、融雪期後、半月程経過しているため、粒径の鉛直方向の変化は St. 2 の表層を除いて少ない。 d_{50} は St. 1 $\sim$ 3, 6 はほぼ $70 \sim 100 \mu\text{m}$, St. 4, 5 ではほぼ $10 \sim 30 \mu\text{m}$ である。

以上から、河川からの流出土砂の粗粒成分は比較的水深の浅い St. 3 (水深 11.5 m) までの範囲に一度堆積し、波、流れの影響で広い海域に徐々に輸送される。一方、細粒成分は、出水後、より広い海域で表層に堆積する。水深の浅い St. 1 $\sim$ 3 の地点では波、流れによりふるいわけられ、再移動してより水深の深い海域へ比較的簡単に運ばれることがわかった。St. 4, 5 (水深 15 m , 19.5 m) は、河川流出物質の細粒成分、すなわち懸濁物質の堆積が卓越する場所であることもわかった。

5.2 強熱減量、窒素・リン・硫化物含有量

図-8 に表層底泥の強熱減量、窒素・リン・硫化物含有量の時系列変化を示す。強熱減量、窒素・リン含有量は、St. 2, 3 で出水時に高い値を示している。これは出水により河口から大量に流出した栄養塩含有量の高い SS が、これらの海域に堆積するためと考えられる。

St. 4, 5 では、強熱減量、窒素・リン含有量の変動が St. 1, 2, 3 に比べ少なく、常に高い値を示している。その値は St. 2, 3 での極大値とほぼ等しい。これより、出水時の河口付近での表層底泥と、St. 4, 5 に堆積している底質は、ほぼ同じような性質であると考えられる。

St. 6 は、変動が少なく他地点よりも小さな値を示している。しかし、栄養塩レベルは砂浜海岸と比べ高いレベルにあり、石狩川流出物質の海域の底質環境への影響が St. 6 にまで達していることを示している。

硫化物は河口付近の St. 1, 2, 3 では非常に低い値を示している。St. 4, 5 では高い値となっているが、出水時には値が低下していることがわかる。これは、この海域の底質中の環境が貧酸素状態で硫化物が発生しやすくなっているが、出水時に石狩川から流出した SS が新生堆積物としてこの海域に堆積したためではないかと考えられる。

図-9 は柱状採泥によって得られた硫化物含有量の鉛

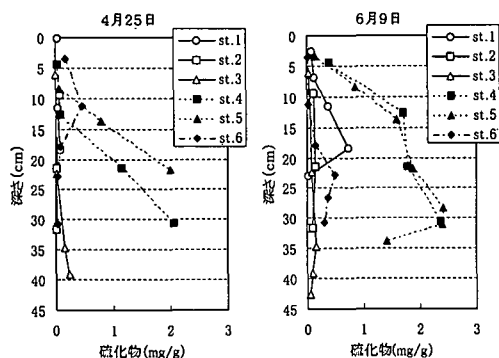


図-9 硫化物含有量の鉛直分布

直分布である。この図からも St. 4, 5 では、下層ほど硫化物含有量が多くなっていることがわかる。

以上から、石狩川から流出された、栄養塩を多量に含有した SS 成分は、河口から 10 km 以上の海域まで沈降、再移動、堆積を繰り返し、広い範囲の底質環境に影響を与えていることがわかる。

5.3 海域底泥の粒径と窒素・リン含有量

図-10 に表層底泥の粒径と、その強熱減量、窒素・リン含有量の関係を示す。粒径が大きくなるほど底泥に含まれる窒素の量が減少していることがわかる。強熱減量についても同じことがいえる。リンにも窒素や強熱減量ほど顕著ではないが、その傾向がみられる。これは小さい粒径の底質ほど有機物自身を多く含むことや、単位重量当りの表面積が大きく、栄養塩等を表面吸着しやすいためであると考えられる。

6. 結 論

本研究により、融雪期の石狩川から供給される物質特性と河川流出物質の沿岸域での拡散・堆積特性を明らかにした。得られた主な結果は以下の通りである。

(1) 河川流量の増加に伴う、河川水中の SS、窒素、リン濃度の増加を定量的に明らかにした。窒素・リンの濃度変化は粒子性の窒素・リンによるところが大きいことがわかった。また、融雪洪水期の SS、窒素、リン濃度は、河川流量からある程度予測可能であることがわかった。

(2) 河川出水が海域水質に及ぼす顕著な影響は、表層で河口から 10 km 以上の範囲に及んでいることがわかった。

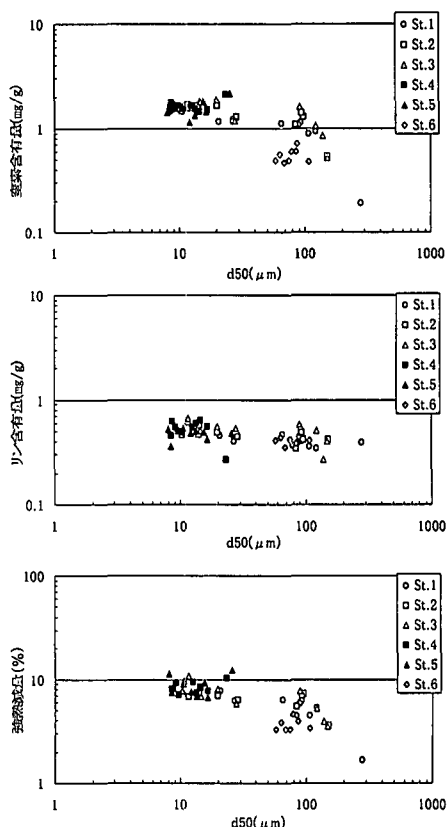


図-10 粒径と栄養塩含有量

(3) 石狩川から流出した栄養塩を多く含有する SS 成分は、河口から 10 km 以上の海域まで沈降、再移動、堆積を繰り返し、広い海域の底質環境に影響を与えていることがわかった。

参 考 文 献

- 橘 治国 (1993): 森林河川における栄養塩の流出と懸濁物質の役割, 水環境学会誌, Vol. 16, No. 7, pp. 2-8.
- 船木淳悟・新目竜一 (1998): 河川から供給された物質の河口沿岸域でのふるまいについて, 第 53 回年次学術講演会概要集 II, pp. 788-789.
- 山下俊彦・宮下将典・山崎真一・渡邊康玄 (2000): 河川から供給された物質の河口沿岸域での挙動, 海岸工学論文集, 第 47 巻, pp. 1026-1030.
- 渡邊康玄・新目竜一・斎藤大作・玉川 尊 (1999): 鷗川 1998 年融雪出水時の物質輸送に関する現地調査, 水工学論文集, 第 43 巻, pp. 587-592.