

石狩湾河口沿岸域の底質と石狩川から流出する懸濁物質の関係

山崎真一*・山下俊彦**

河口沿岸域の底質及び河川から流出する懸濁物質の関係を明らかにするために、2001年から2004年にかけて石狩湾及び石狩川で調査を実施した。その結果、海域の底質の T-N, T-P はそれぞれ粒径が小さいほど含有量は大きくなるが、T-N は有機態成分、T-P は無機態成分の CDB-P の影響であることがわかった。石狩川から流出する懸濁物質と底質の T-P を粒径別に整理した結果、懸濁物質から約 0.1 mg/g のリン酸が海域に溶出していることがわかった。また、平常時に河口感潮域に堆積していた底質が洪水時に流出し、河口沿岸域の海底面に浮泥成分として存在しており、リン酸、TOC、TON の含有量が高いことがわかった。

1. はじめに

河川から流出する SS には栄養塩が豊富に含まれており、沿岸海域の水質に重要な役割を果たしている。これまでに石狩湾及び石狩川で調査を進め、栄養塩類は出水時に懸濁物質と共に大量に石狩川から流出するが、1 次生産に必要な溶存態リン酸は有機態リンの分解の他、懸濁物質に吸着しているリンの吸着平衡の変化によって海域に供給されること(山崎ら, 2005)、一旦海底に沈降した懸濁物質からは、開放性水域で海底面付近でも好気的条件下にある石狩湾では巻き上げ等によってリン酸等の栄養塩が放出されていること(山崎ら, 2004a)等が明らかになっている。河川の懸濁物質の海域への影響を評価するためには、最終的な溶存態リン酸の供給量を評価する必要がある。このためには河川の懸濁物質と海域の底質を比較する必要がある。一方で、懸濁物質中のリン酸、窒素等の含有量は粒径に依存していると考えられることから、懸濁物質及び底質の栄養塩含有量を粒径との関係で整理した。また、河口沿岸域で採取した底質には浮泥が存在していることが確認でき、海域の水質に影響があると考えられることから、浮泥についても調査を行った。

2. 現地調査の概要

石狩湾の底質分布(海上保安庁, 1980)、及び調査地点を図-1 に示す。2002年 8 月から2003年 6 月にかけて、石狩湾の水深 40 m 以下の石狩川から流出した土砂が堆積していると考えられる 7 地点で柱状採泥を実施した。また、2001年 7 月から2004年 4 月にかけて石狩川河口から 14.5 km 上流の札幌大橋において洪水時に流下する懸濁物質を採取し、2003年 1 月には低水時の懸濁物質、石狩川の底質を採取した。これらの石狩川の懸濁物質及び

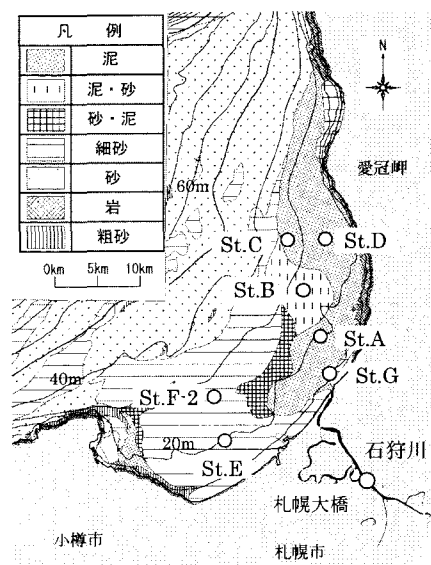


図-1 石狩湾の底質分布及び調査地点

石狩湾の深度毎に分割した底質について粒度、形態別のリン含有量(CDB-P, Ca-P, Al-P), T-P, T-N, TOC, chl-a, フェオフィチン, 強熱減量, 硫化物, 間隙水の pH, D-PO₄-P, NH₄-N 等を分析した。形態別リン含有量の分析は田中(1994)の分析方法を参考に実施した。また、採取した柱状採泥試料の上水に含まれる浮泥についても底質同様の項目を分析した。

3. 石狩湾の底質の特性

(1) 底質及び懸濁物質の粒径

図-2 に2002年10月に採取した海底の表層付近の底質及び洪水時に石狩川で採取した懸濁物質の粒度を示す。図-1 に示したとおり、石狩湾ではシルト・粘土等の粒径の小さな底質は河口東岸沿いに堆積しており、西方には細砂が広く分布している。粒径の小さな底質は石狩川から洪水時に流出した懸濁物質が堆積したものと考えられ、河口から 4.5 km の St.A, 河口東岸の St.D の粒度

* 正会員 工修 (独法)北海道開発土木研究所河川研究室 副室長
** 正会員 工博 北海道大学大学院教授工学研究科環境フィールド工学専攻

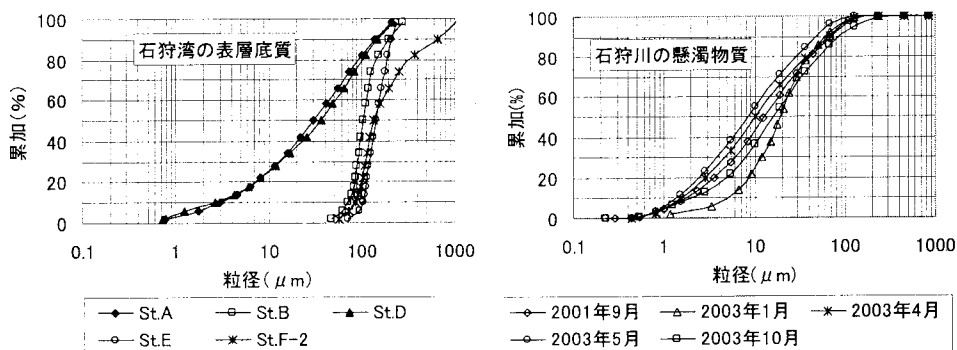


図-2 石狩湾の表層底質及び石狩川の懸濁物質の粒度分布

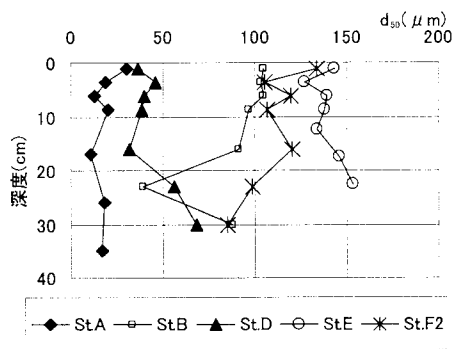
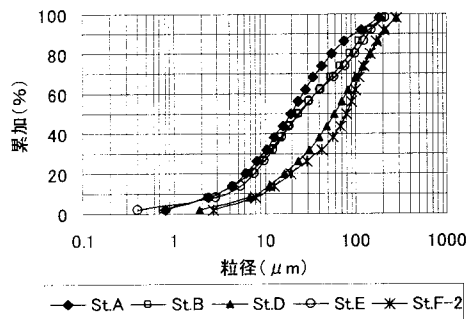
図-3 各調査点の d_{50} の鉛直分布

図-4 浮泥の粒度分布

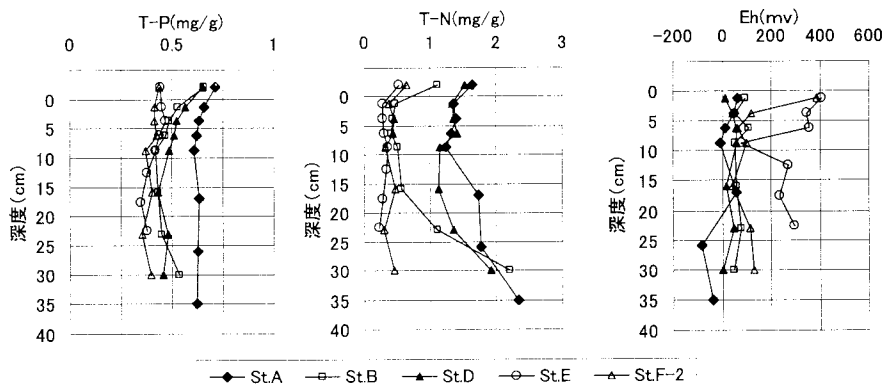


図-5 底質の分析結果

組成はシルト・粘土が主体で石狩川の懸濁物質と類似している。これに対し St.B, St.E, St.F-2は粒径が $100\mu\text{m}$ 程度の細砂が主である。図-3に底質の d_{50} の鉛直分布を示すが、St.A, St.Dの粒径がそれ以外の地点に比べ小さいこと、また各地点とも深度毎に粒径が変化していることがわかる。海底付近に存在する浮泥の粒度を図-4に示すが、St.A, St.B, St.Eは石狩川の懸濁物質の粒度組成に類似しており、底質と同様に石狩川から洪水時に流出した懸濁物質が海底面付近に存在しているものと考え

えられる。なお、St.D, St.F-2の浮泥の粒径は大きい、これは下層の底質の混入が原因と考えられる。

(2) 底質の分析結果

2002年10月に採取した底質の T-N, T-P, 酸化還元電位の分析結果を図-5に示す。T-Pは St.A, St.B, St.Dでは深度が小さなほうが値が大きな傾向を示しており、また河口に近い St.Aの値が大きく、石狩川の懸濁物質の影響が現れていると考えられる。T-Nの含有量は St.A, St.Dが大きく、また St.A, St.B, St.Dは深度

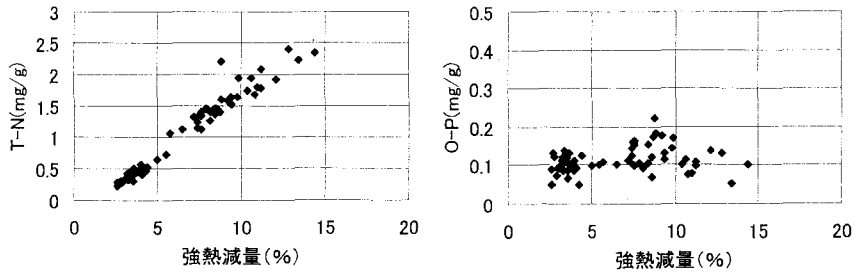


図-6 強熱減量と T-N, O-P の関係

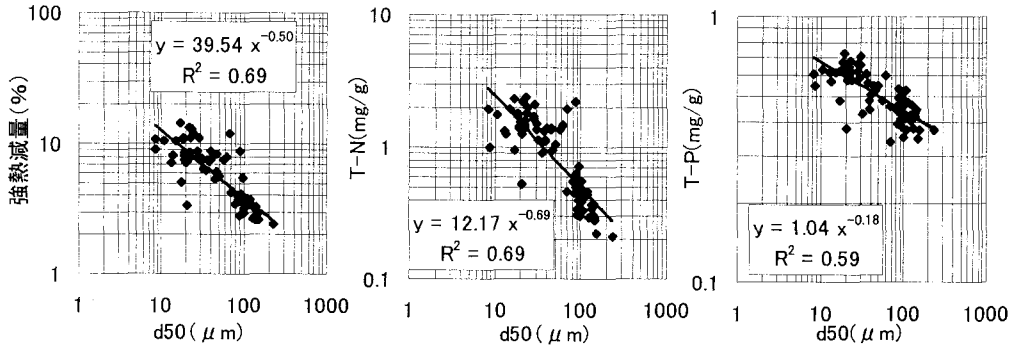


図-7 d50と T-P, T-N の含有量の関係

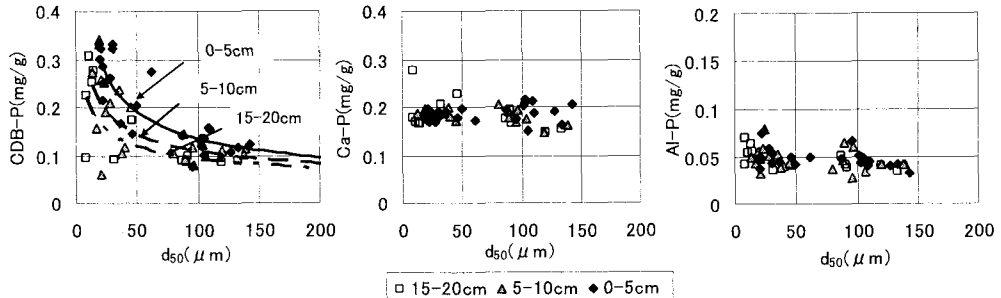


図-8 形態別リン分析結果 (凡例は底質表層からの深度を示す)

が大きくなると増加する傾向がみられ、T-P とは傾向が異なっていることがわかる。また、酸化還元電位は St.E を除き値は低く底質が還元状態にあると考えられ、Fe と結合したリン酸が溶出し得る環境にあると考えられる。図-6 に強熱減量と O-P, T-N の関係を示す。T-N は殆どが有機物と考えられるため強熱減量と高い相関が得られるが、O-P についてはばらつきはあるもののほぼ一定値を示しており、底質中の有機態のリンは難分解性のものが堆積しているものと考えられる。従って、T-P が表層付近で上昇するのは有機物による影響ではないと考えられる。図-7 に強熱減量、T-N, T-P について粒径との関係を示す。底質の有機物含有量は一般に粒径が小さなほうが大きな傾向があること、リン酸には懸濁物質の表面に吸着する画分が存在することから

T-N, T-P はそれぞれに粒径に依存しており、粒径が小さな底質ほど含有量が大きな傾向があることが示されている。

(3) 粒径と懸濁物質の形態別リン含有量の関係

図-8 に石狩湾の底質の形態別リン含有量を粒径との関係で整理した。CDB-P が粒径に依存して変動しているのに対し、Ca-P, Al-P は粒径に依存しておらず、それぞれ 0.2 mg/g, 0.05 mg/g 程度の値を示している。CDB-P は Fe-P の他に吸着態リンが含まれており、懸濁物質は粒径が小さい程表面積が大きく、このためリン酸の吸着量が大きくなるものと考えられる。また、CDB-P は深度が 10 cm 以下になると含有量が増加する傾向がみられるが、一方で Al-P, Ca-P は鉛直方向に対しても変動は小さく、時間的な変動もあまり受けてい

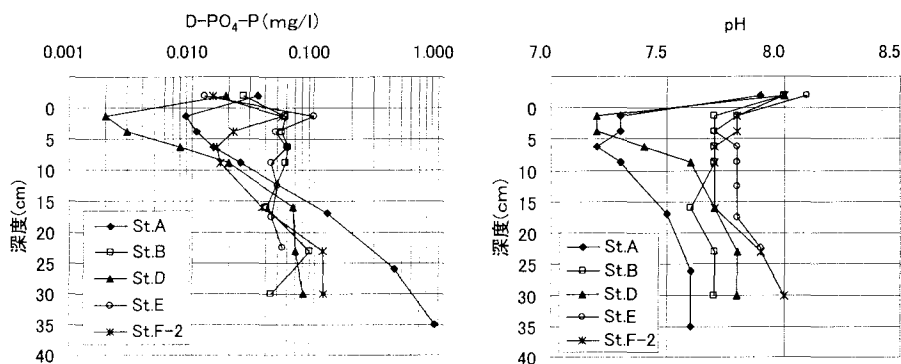


図-9 間隙水の水質

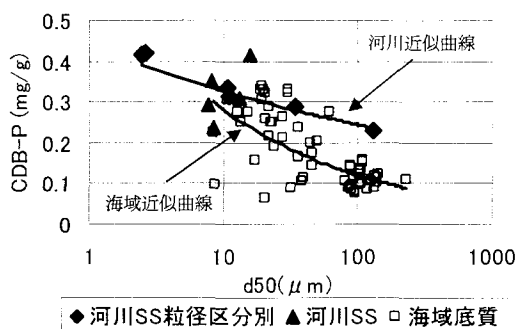


図-10 河川SSと海域底質のリン含有量比較

ないと考えられ、安定して存在していることがわかる。

(4) 底質と間隙水の水質

底質の間隙水を分析した結果を図-9に示すが、粒径の小さなSt.A, St.Dは海底面から約10 cmまでの深度では底質のCDB-Pが高いにもかかわらず溶存態リン酸濃度は急激に低下している。これはリン酸の吸着平衡がpHに依存しており、pHが低下すると底質の吸着量が増加する傾向があることが原因と考えられる。粒径の小さな底質には有機物が多く含まれており、表層付近では有機物の分解で生じた有機酸等の影響でpHが低下する傾向がみられ、このため間隙水中のD-PO₄-Pは低下していると考えられる。深度が10 cm以上では、pHは上昇し、また図-5に示したとおり底質は還元状態であることからFe-Pの一部が間隙水中に溶出するが、表層付近ではpHが低下しているため、Fe-Pは底質に吸着されてしまうものと考えられ、結局深度が10 cm以上の底質のCDB-Pの値は徐々に低下すると考えられる。一方で、海底面にはリン含有量が高い河川から流出した懸濁物質が堆積することから、結局表層から約10 cmの範囲で底質のリン酸含有量が高くなっているものと考えられる。

4. 河川から流出する懸濁物質と石狩湾の底質の関係

(1) 河川から流出する懸濁物質からのリン溶出量

図-10に河川の懸濁物質と海域の底質のCDB-Pとd₅₀の関係を整理した。河川の懸濁物質については、2001年の石狩川の出水時に採取した懸濁物質について粒径別に含有量を分析した結果(山崎ら, 2003), 及び2002~2004年に石狩川で採取した懸濁物質の分析結果を図中にプロットしているが、河川の懸濁物質のCDB-Pが平均的に約0.10 mg/g 海域の値に比べ大きく、海域にリンが溶出した結果と考えられる。これらの懸濁物質、底質のリン含有量の差から懸濁物質から溶出・分解したリン酸の量と溶存態として流出するリン酸の量を比較してみる。SSと流量の関係から推定した1992年~2001年までの10年平均で石狩川から流出する懸濁物質量は約140万 t/y, 年総流出量は150億 t/yと推定される(山崎ら, 2004b)。一方、2001年から2003年にかけて札幌大橋で実施した水質調査から石狩川から海域に流出する平均のD-PO₄-Pは約0.013 mg/lである。従って懸濁物質からのリン酸の溶出量は約140 t/y, 溶存態成分の流出量は約195 t/yと想定され、懸濁物質からの溶出量が溶存態成分に匹敵することがわかる。

(2) 出水時の海域の堆積物と河川の懸濁物質の関係

2003年融雪期の底質及び懸濁物質のd₅₀を図-11に、TOC, T-P, フェオフィチンの値を図-12に示す。d₅₀をみると出水時の懸濁物質が底質、浮泥に比べやや小さい傾向があるが、海域では粒径の大きな懸濁物質から沈降し、粒径の小さな懸濁物質は沖まで拡散しているためと考えられる。TOC, T-Pは冬の石狩川の底質及びSSの値が大きく、出水期前にこれらの物質が感潮域に堆積しているものと考えられる。海域では、TOC, T-P, フェオフィチン共に河口に近いSt.G, St.Aの値が大きく、また浮泥に含まれる栄養塩類は底質に比べ大

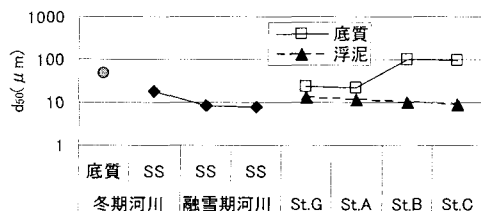
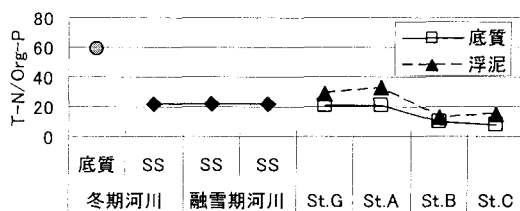
図-11 SS, 底質, 懸濁物質の d_{50} 

図-13 T-N/Org-P

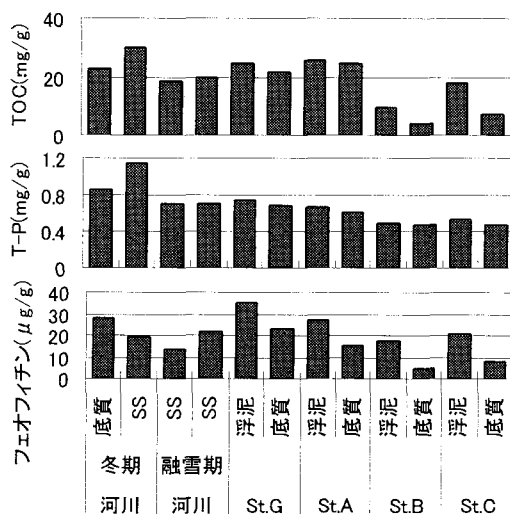
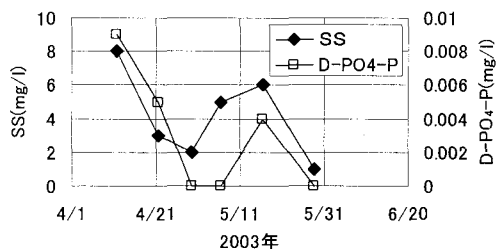


図-12 SS, 底質, 浮泥の分析結果

図-14 海底面付近の SS と $D-PO_4-P$ の関係

きな傾向がみられ、特に TOC、フェオフィチンの値は河口付近では洪水時の河川の SS を上回る値を示していることがわかる。これは、河口感潮域に凝集・沈降して蓄積された栄養塩の含有量が高い懸濁物質が洪水時に河床から巻き上げられ流出した結果と考えられる。St.B, St.C では TOC の値が低下しており、T-P についても 0.5 mg/g 程度の一定値を示し河川の影響は低下しているのと考えられる。図-13 に底質と浮泥の T-N/Org-P 比を示す。河口付近では底質は河川の SS とほぼ同じ値を示すが、浮泥は T-N/Org-P 比が高く、河口感潮域に堆積している T-N/Org-P 比が高い石狩川の底質の影響と考えられる。これに対し沖合いの浮泥の T-N/Org-P はレッドフィールド比16に近い値を示し、海域の植物プランクトンの影響が大きいものと考えられる。図-14 に2003年融雪時の St.A の海底面から1mの地点での水質調査結果を示すが、SS は低いことから巻き上げられているのは比重の軽い浮泥と考えられ、SS の上昇と共に $D-PO_4-P$ が上昇していることがわかる。浮泥にはリン酸等の栄養塩が底質に比べても多く含まれており、平常

時の海底面付近でのリン酸濃度の上昇はリン酸の含有量の高い浮泥からの溶出が主な原因と考えられる。

5. おわりに

石狩湾は開放性が高いが、日本でも有数の大河川である石狩川からの懸濁物質の流出によって、河口沿岸域はその影響を強く受けており、長期的には約 0.1 mg/g のリン酸が石狩川から流出する懸濁物質から溶出していることが示された。また、粒径と栄養塩の含有量の関連についても明らかとなった。今後、河口感潮域に堆積している懸濁物質の影響を明らかにしていく必要があるものと考えられる。

参考文献

- 海上保安庁水路部(1980): 5万分の1沿岸の海基本図海底地形地質調査報告書 小樽, 及び雄冬岬。
- 田中勝久(1994): 沿岸・河口域のリン循環過程に及ぼす土壌物質の影響, 南西水研報, No.28, pp. 73-119。
- 山崎真一・山下俊彦・渡邊康玄(2003): 海域に供給される河川の SS に含まれるリンの形態別含有量に関する調査, 水工学論文集, 第47巻, pp. 1273-1278。
- 山崎真一・山下俊彦(2004a): 石狩川河口沿岸域における底質の巻上げと水質変動, 海岸工学論文集, 第51巻, pp. 966-970。
- 山崎真一・山下俊彦(2004b): 長期の石狩川の浮遊砂の流砂量と沿岸海域の底質堆積特性, (独)北海道開発土木研究所月報, No.617, pp. 2-16。
- 山崎真一・山下俊彦(2005): 石狩川河口沿岸海域の溶存態リン酸の変動に及ぼす懸濁物質の影響, 水工学論文集, 第49巻, pp. 1351-1356。