

石狩湾沿岸海域の水質変動特性と河川水・外洋の影響

山下俊彦*・梅林 司**・隅江純也**
柏谷和久***・山崎真一****

石狩湾の湾口部, 湾奥部を対象とした年間を通じた現地観測を実施し, 過去に行われた広域調査の結果とともに石狩湾の周年の水質変動特性について, 河川水と外洋水の影響を含めて考察した。湾奥部の栄養塩濃度は冬期から春期にかけて高く, 融雪洪水後と夏期洪水後増加し, その後植物プランクトンも増殖している。これは融雪出水や夏期洪水の河川由来の影響と冬期の海域深層との鉛直混合による影響である。湾口域の水質は, 水温と塩分濃度の変動から, 河川水の影響を受けやすい地点と湧昇流の影響を受けやすい地点があり, この海域の植物プランクトンの増殖に影響を与えていることがわかった。

1. はじめに

近年, 自然と共生した持続可能な社会の構築が求められている。自然共生型流域圏形成のためには, まず流域・沿岸域を含めた広域での水域環境の物質循環等の実態解明が必要である。河口沿岸海域では植物プランクトンの成長に必要な栄養塩が河川などの陸域から供給され, かつ深層水の湧昇等, 外洋からも供給される。そのため河口沿岸域は活発な生物生産活動の場となっている。しかし, 陸域と海域の水域を一体として捉える研究はまだ数少ない。特に開放性沿岸域では流動の把握さえも困難な面がある。山下ら (2001) は, 寒冷地の北海道で年間の河川流出物質の約半分を占める融雪洪水期に, 石狩川の物質流出特性と流出物質の河口沿岸域での挙動を報告している。石狩湾湾奥部の水質周年変動については, 山下ら (2002) は河川からの融雪洪水・夏期洪水, 海域の流動特性と比較して考察している。開放性沿岸域の水質の外洋の影響に関しては, 八木ら (2002) の黒潮流路変動に着目した研究等がある。

本研究では開放性の強い石狩湾沿岸域を対象として, 河川水だけでなく外洋の影響を把握するために, 前報よりも広域の調査地点を設けて, 年間を通じた長期観測を実施し, 湾口域・湾奥域での水質変動特性を明らかにする。これらの結果と過去に実施された広域の水質調査結果をもとに, 河川水と外洋水の沿岸域における影響を考察する。

2. 調査方法

図-1 に主な調査地点を示す。石狩川は河道長 268 km, 流域面積 14330 km² の大河川である。流域には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いる。石狩湾は約水深 100 m 以深に急勾

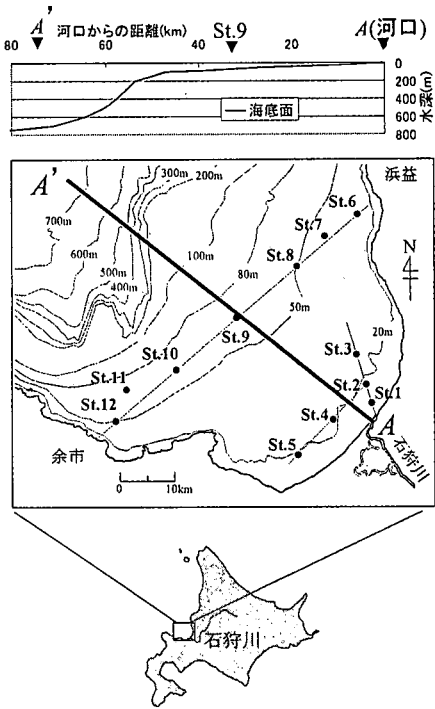


図-1 観測地点 (下) と石狩湾海底断面図 (上)

配な海底面が存在する。調査地点は 12 地点で, 調査期間 は湾奥部の st. 1～st. 5 では 2001 年 3 月から, 湾口部の st. 6～st. 12 では 2002 年 4 月からそれぞれ 2003 年 3 月まで実施した。観測項目は, st. 2, 5, 7, 11 での平均月 2 回 1～4 層での採水, st. 1～st. 12 の平均月 2 回のクロロテック計による水温, 塩分, 濁度, クロロフィル a (chl-a) の鉛直分布測定, st. 2, 5, 7 での水温塩分計, クロロテック計による周年連続観測等である。水質の分析項目は各態の N と P, chl-a, 水温, 塩分, SS 等である。広域の調査結果は北海道立中央水産試験場 (1982, 1983) により実施されたものを用いた。

3. 石狩湾広域の水質特性

図-2 に 1982 年 6 月における, 石狩湾の水深 0 m, 50 m での硝酸態窒素, リン酸態リン, 塩分の各濃度の空間

* 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 北海道開発土木研究所

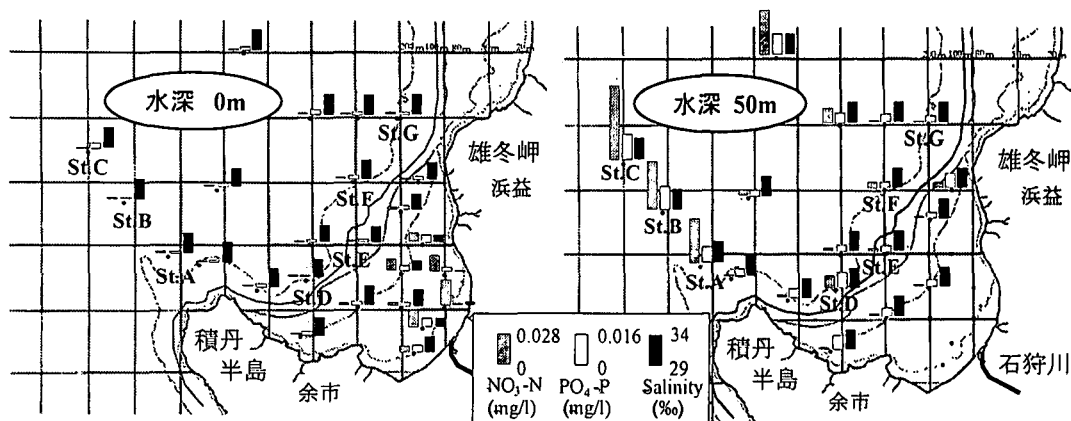


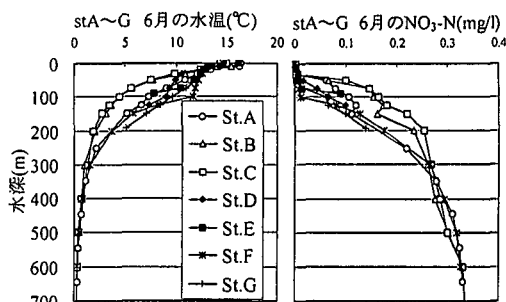
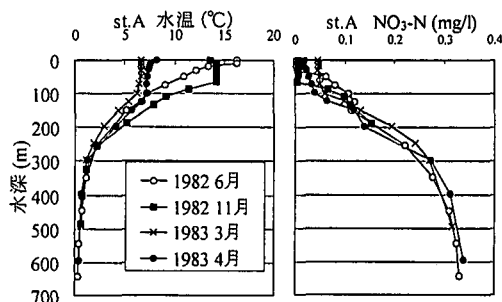
図-2 1982年6月の各水質の空間分布 (左:水深0m 右:水深50m)

分布を示す。水深0mの図から、湾奥部に低塩分、高栄養塩であることがわかる。これは石狩川から流出した河川水によるものと考えられ、比較的低流量時である6月にもかかわらず、その影響が浜益沖にまで達している。またコリオリ力により河川水が汀線を北上するように流出していることもわかる。水深50mの図から、st. A, B, C, Dで栄養塩濃度が高くなっていることがわかる。この理由としてはこの海域は急深な海底面が存在し、地形性湧昇流が発生し深層の豊富な栄養塩が巻き上げられたものと推察される。このように同じ石狩湾でも水質の傾向が地点により異なるため、湾外部・湾奥部・湾口部に分けて考察する。

4. 湾外部水質特性

図-3に1982年6月のst. A~Gの水温・硝酸態窒素濃度の鉛直分布を示す。どの地点でも30m以浅は貧栄養であるが、水深が深くなるにつれ水温は低下し、硝酸態窒素濃度は増加する。約水深300m以深では水温・硝酸態窒素濃度ともに安定することがわかる。低水温・高栄養塩水である深層水の存在が確認される。また、st. B, Cでは水深約300m以浅に低水温で高栄養塩の水塊が存在する特徴的な変化を示している。これは上述のように、この海域では神威海脚により、より深い海域からの湧昇流が発生しているものと考えられる。

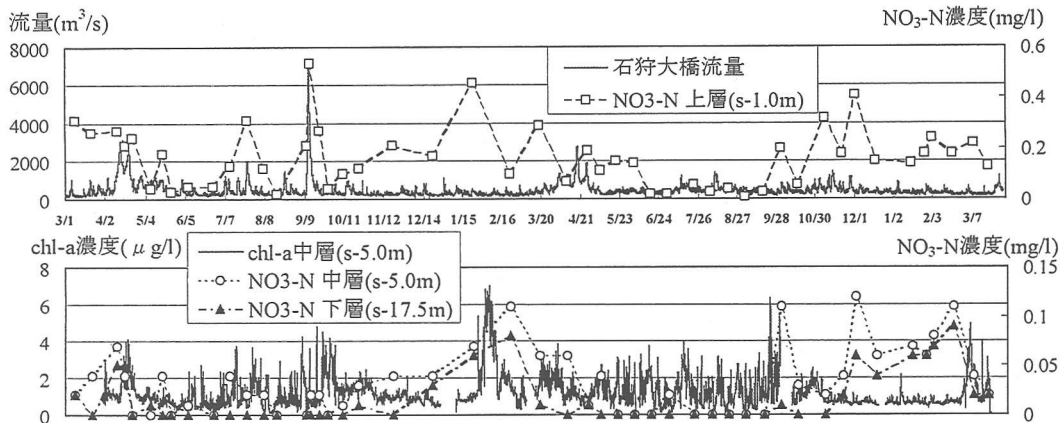
図-4はst. Aの周年の水温・硝酸態窒素濃度の変化を表したものである。6月の水温は大気により温められて表層ほど高くなっていて水温躍層が発達している。その後冬期から春期までは水深約100mまで水温は一定となり、鉛直混合が起こっているものと考えられる。一方、硝酸態窒素濃度は3月の水深約100m以浅で高濃度である。鉛直混合により底層の豊富な栄養塩が表層にまで巻き上がったためと考えられる。水深約50m~100mでは6月の濃度が高いが、これは前述の湧昇流の影響がst.

図-3 6月の湾外部の水温・NO₃-Nの鉛直分布図-4 st. Aの周年の水温・NO₃-Nの鉛直分布

Aにまで及んでいるためと考えられる。水深約300m以深では水温・硝酸態窒素濃度ともに年間を通じてほぼ一定であることがわかる。

5. 湾奥部水質特性

図-5は2001年3月から2003年3月における石狩川河口から5km地点にあるst. 2での採水による硝酸態窒素濃度の時系列変化と、同測点でのクロロティック計の定連続観測によるクロロフィルa濃度の時系列変化を示している。これによると硝酸態窒素は2年ともほぼ同じような変動を示している。海域表層である水深1mの

図-5 石狩川流量と st. 2 の $\text{NO}_3\text{-N}$ ・chl-a 濃度の時系列変化

硝酸態窒素濃度の変動が極めて大きく、2001 年 4 月・7 月・9 月、2002 年の 4 月に石狩川で発生した出水とともに濃度が増加していて、2002 年の 1 月、2003 年の 12 月にも高濃度を記録している。水深 5 m の中層と水深 17.5 m 付近の下層は 2001 年 4 月と 2002 年 2 月・12 月、2003 年の 2 月に極大値を示している。冬期の各層の濃度上昇はより深い海域での鉛直混合により供給された高栄養塩水に起因しているものと考えられる。

クロロフィル a 濃度は、融雪期の 2001 年 4 月に約 $3 \mu\text{g/l}$ で一度ピークがあり、その後しばらく低濃度が続く、7 月の石狩川流量増大後に濃度が増加し、9 月の大出水後、2～3 週間は高濃度が続く、その後はしばらく低濃度で推移し、2002 年 1 月下旬～2 月上旬に $6 \mu\text{g/l}$ の高濃度を示している。2002 年度もほぼ同様な変化を示している。ここには示さないがリンの濃度変化も含めて、2001 年の 4 月、7 月、9 月のクロロフィル a 濃度の上昇は石狩川の出水により流出した多量の栄養塩によるもので、2002 年 2 月の増加は外洋の鉛直混合による栄養塩増加による植物プランクトンの増殖と考えられる。また、2 年とも 12 月～1 月は高栄養塩であるにもかかわらず、クロロフィル a は低濃度である。これには、プランクトン種の交替や日射量が関係していると考えられるが、不明な点が多く今後の検討課題である。

図-6 にクロロテック計による、st. 1～st. 5 までのクロロフィル a 濃度の鉛直分布の時系列変化を示す。各地点はそれぞれ 2 年ともほぼ同様な変動を示している。河川水の流出する方向にある st. 1～3 は融雪洪水や夏期洪水の影響を受け、その時期に上層でクロロフィル a 濃度が上昇していることがわかる。一方、st. 4、st. 5 は河川水の影響をあまり受けないので st. 1～3 に比べて夏期にクロロフィル a 濃度の低い領域が全層的に多い。全地点とも冬期から春期にかけて底層付近が最も濃度が高く、夏期

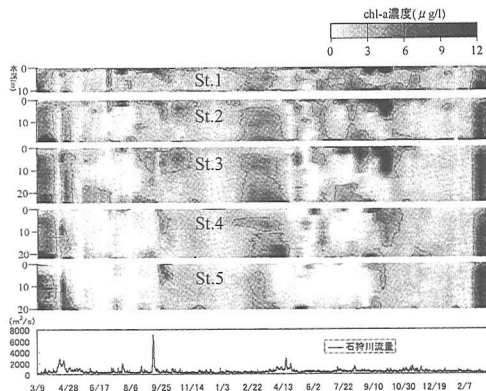


図-6 st. 1～5 の chl-a 濃度の時系列変化

から秋期にかけては表層の濃度が高い。つまりこの海域は、主に冬期から春期には外洋由来の栄養塩によって、また春期から秋期にかけては河川由来の栄養塩で植物プランクトンが増殖していると考えられる。

6. 湾口部水質特性

河口よりほぼ同距離にある st. 7 と st. 11 の水質変動特性について考察する。図-7 は 2 地点のクロロテック計の計測によるクロロフィル a 濃度と水温、塩分濃度及び採水による硝酸態窒素、リン酸態リン濃度の水深毎の時系列変化を示している。

水温は春期から夏期にかけて徐々に温まり、8 月～9 月に温度成層が最も顕著となる。10 月頃になると成層は表層より徐々に壊れ、冬期は水深 70 m の海底まで水温が一定となる。一方、栄養塩濃度は観測開始時である 4 月下旬こそ上層・中層の栄養塩濃度は高いが、その後は両地点とも st. 7 の硝酸態窒素濃度を除き下層の濃度が高い。4 月下旬の全層的高濃度は、石狩川の融雪出水

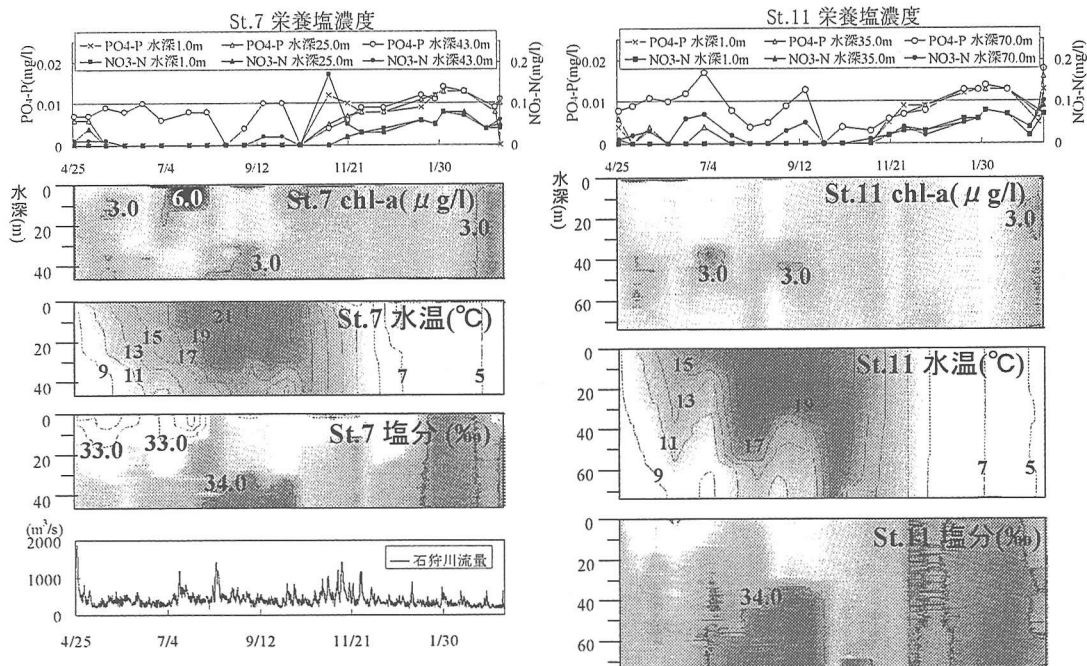


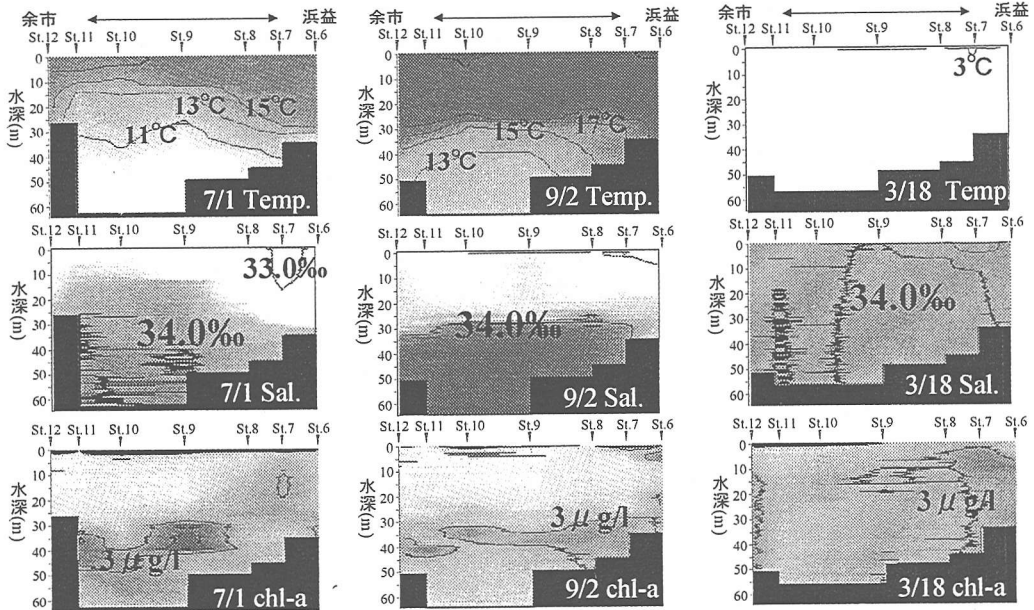
図-7 st. 7, st. 11の栄養塩濃度と chl-a 濃度、水温、塩分濃度の時系列変化

による栄養塩流出の影響や、冬期から春期にかけて起こる鉛直混合による、より深い海域の下層からの栄養塩の供給によるものであると推察される。その後植物プランクトンによる消費と、水温上昇に伴う成層化による深い海域からの栄養塩供給の遮断により上層・中層は貧栄養化が進む。一方植物プランクトンの活動がそれほど活発ではなく、より深い海域との海水交換も可能である下層は高濃度状態が続くものと考えられる。また水深約 30 m 以深の水温を見ると、6 月中旬～下旬の st. 11 と、8 月～9 月の st. 7, 11 に低下領域が見られ、同時期の塩分濃度を見ると、約 34‰ の高濃度である。同じく同時期の栄養塩濃度をみると、下層で濃度上昇が確認されることから、外洋から栄養塩を豊富に含んだ深い水深帯の低水温水塊の上昇、つまり湧昇流がこの時期に発生しているものと考えられる。この時期にクロロフィル a 濃度の上昇が確認できることから、湧昇流がこの海域の植物プランクトンの増殖に寄与していることがわかる。またこの時期の st. 11 は st. 7 に比べ水温・栄養塩濃度ともに変動も激しいことがわかる。st. 11 のように水深約 100 m 以深に急深な海谷がある石狩湾の南西側ではこの湧昇流の影響を受け易いことも考えられる。栄養塩濃度はその後、11 月下旬から鉛直混合により 2 地点とも全層で同様な濃度上昇を示し、2 月上旬にピークを迎えている。その後クロロフィル a 濃度は 2 月～3 月に全層的に上昇している。この時期の植物プランクトンの増殖は前述した

同時期の st. 1～st. 5 と同様のものであると考えられる。

図-8 は前述で湧昇流が発生していると推測された 2002 年 7 月 1 日、9 月 3 日、全層的なクロロフィル a 濃度の増加が見られた 2003 年 3 月 18 日の水温、塩分濃度、及びクロロフィル a 濃度の空間分布を表している。

コリオリ力を受け、汀線を北上するように流れる石狩川の河川水により、7 月 1 日、9 月 3 日も st. 6, 7, 8 の表層では塩分濃度が低下している。また同地点でクロロフィル a 濃度が上層で増加していることから、この増殖は河川由来の栄養塩によるものであると推察される。また湧昇流の影響を受けていると思われる 7 月 1 日の st. 9～12、9 月 3 日の全地点では水深約 30 m 以深で、低水温かつ高塩分濃度 (34‰) である。またその上層の水深 30～50 m でクロロフィル a 濃度が増加していることもわかる。ここに示した例では、浜益側である st. 6, 7, 8 の海域は河川水が流入していて、表層で植物プランクトンの増殖が起こり、一方近くに急深な海谷のある st. 9, 10, 11, 12 の海域では河川水の影響はあまり受けず、深い海域からの湧昇流によって、植物プランクトンが増殖していることが考えられる。9 月 2 日の例では浜益側でも湧昇流に伴う植物プランクトンの増殖が発生している。3 月 18 日は全地点・全層でほぼ水温が一定であり、鉛直混合が活発に起こっていることがわかる。またクロロフィル a 濃度の増加は他の日と異なり全層的に、特に st. 6, 7, 12 で増加している。春期の植物プランクトンの



図—8 2002年7月1日、9月2日、2003年3月18日の水温・塩分濃度・クロロフィルa濃度の空間分布

増殖が、一様に水深50mの海域にまで達していることがわかる。

7. ま と め

本研究で得られた主な結果は以下の通りである。

1) 水深300m以深の海域では、周年を通じて水温は低温で、栄養塩は豊富に存在していて、冬期から春期にかけての鉛直混合により下層の豊富な栄養塩が巻き上げられていることがわかった。また、急深な海谷がある地点では頻繁に湧昇流が発生している可能性も考えられた。

2) 河口より5kmの湾奥部では、冬期に外洋由来の栄養塩濃度の増加も見られるが、周年を通してみると、河川水による影響の方が大きく、この海域の植物プランクトンの増殖に影響を与えていることがわかった。

3) 春期から秋期までの湾口部では河川水と外洋の両方の影響が見られた。南西部では、急深な海谷が近傍に存在するため、より深い海域からの湧昇流による影響が

見られ、栄養塩は主に水深約30m以深で増加し、植物プランクトンが増殖していることがわかった。一方北部では河川水がコリオリ力により海岸線を北上するため、主に河川由来の栄養塩により水深30m以浅で植物プランクトンが増殖する。また北部でも湧昇流の発生による水深20m以深での植物プランクトンの増殖も見られた。

参 考 文 献

- 北海道立中央水産試験場 (1982): 石狩湾新港海域生態調査報告書.
- 北海道立中央水産試験場 (1983): 石狩湾新港海域生態調査報告書.
- 八木 宏・足立久美子・二平 章・高橋正和 (2002): 黒潮流路変動に伴う沿岸域への栄養塩流入現象, 海岸工学論文集, 第49巻, pp. 1216-1220.
- 山下俊彦, 菅沼 剛, 橘 治国, 斎藤大作, 山崎真一 (2001): 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, 海岸工学論文集, 第48巻, pp. 1266-1270.
- 山下俊彦・梅林 司・菅沼 剛・斎藤大作・山崎真一 (2002): 石狩川の物質輸送特性と河口沿岸域での水質の周年変動, 海岸工学論文集, 第49巻, pp. 1011-1015.