

石狩川から供給された粒径別土砂の河口沿岸域での 堆積特性と土砂収支の試み

山下俊彦*・新山雅紀**・菅沼 剛***・早川哲也****

1. はじめに

河川からの供給土砂の粗粒成分の減少は沿岸の海岸侵食を引き起こし、栄養塩が多く吸着している細粒成分は沿岸域の生態環境に影響を与えており(橘, 1993; 山下ら, 2000), 水系一貫の粒径別土砂管理が求められている。河川からの供給土砂は, 従来海岸工学で対象とされてきた砕波帯内に発生する海浜流のみならず, 砕波帯外でも強い流れを引き起こす吹送流や海流等によって広域の海域を輸送, 堆積, 再移動している。そこで本研究では, 広域の石狩川河口沿岸域を対象として, 現地観測及び既存資料解析により, 石狩川の粒径別供給土砂量, 広域の底質・海底断面地形特性, 汀線・海底断面地形変化, 季節毎の流動特性を把握する。これらを基に, 河口沿岸域での粒径別供給土砂の移動・堆積特性を明らかにし, 供給土砂の粗粒成分の土砂収支の推定を試みる。

2. 調査方法

図-1 に調査地点の概要を示す。

流動特性については, 長期データとして, 図-1 の St. 3 (離岸距離 4.9 km, 水深 23.5 m) で北海道開発局小樽港湾建設事務所によって海底上 1 m で観測された 1990 年から 1999 年の 10 年間のデータを解析した。短期広域データとして, 図-1 の破線領域 (15 km×50 km) で実施した冬期 (1998 年 1 月~2 月, 1999 年 12 月~2000 年 1 月), 融雪期 (1998 年 4 月~5 月), 夏期 (1997 年 7 月), 秋季 (1996 年 9 月~10 月) の ADCP 等を用いた集中現地観測データを用い, 季節ごとの広域の 3 次元流動特性を調べた。

河川からの供給土砂量は, 清水ら (1998) の研究を基に, 1976 年から 1995 年の 20 年平均の石狩川の粒径別供給土砂量を求めた。

広域の底質, 断面地形については, 海上保安庁水路部発行の沿岸の海の基本図より, 広域の表層底質分布, 海底断面地形特性を把握した。また, 図-1 に示す破線領域

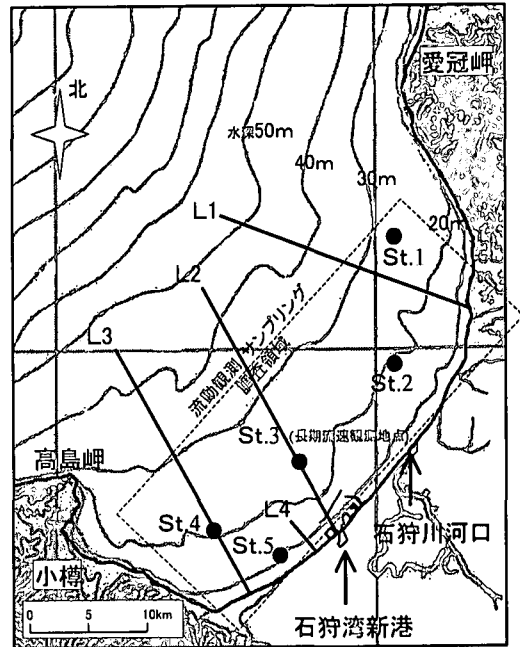


図-1 観測地点

で約 50 地点の表層底質サンプリング調査を実施し, 粒度分布, 平均粒径 d_{50} 等を把握した。

石狩浜沿岸の汀線変化は, 河川から供給された土砂の粗粒成分の河口沿岸域での土砂収支を考える際に重要である。汀線の長期変化は, 石狩湾新港の建設 (1972 年より建設) の影響のほとんどない, 1947, 65, 76 年の国土地理院発行の 1/25000 の地図を汀線方向に 500 m ピッチで測定することにより求めた。また, 北海道開発局小樽港湾建設事務所で行われている 1977, 85, 93 年の石狩湾新港周辺の深淺図より, 汀線から沖に約 3 km, 水深 20 m までの断面地形の長期変化特性及び地形変化限界水深を把握した。さらに, 石狩浜の陸域の地形測量により, 汀線変化に伴う陸域の地形変化高さを推定した。

3. 流動特性

図-2 に St. 3 での 1990 年~1999 年の長期データより求めた月平均流速を示す。平均流は冬期には南西流, 夏

* 正 会 員 工 博 北海道大学助教授 大学院工学研究科
** 正 会 員 工 修 (株)アイ・エヌ・エー
*** 学生会員 北海道大学大学院工学研究科
**** 正 会 員 北海道開発局 開発土木研究所

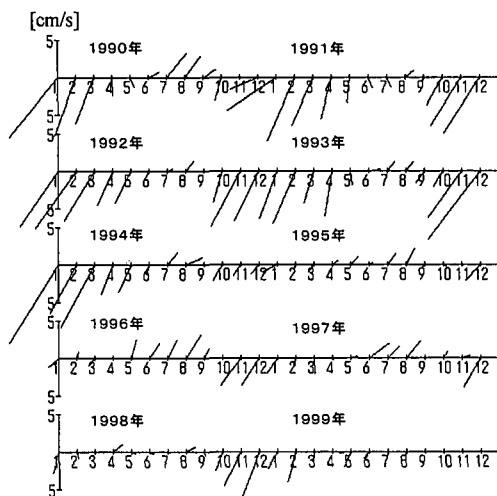


図-2 月平均流速

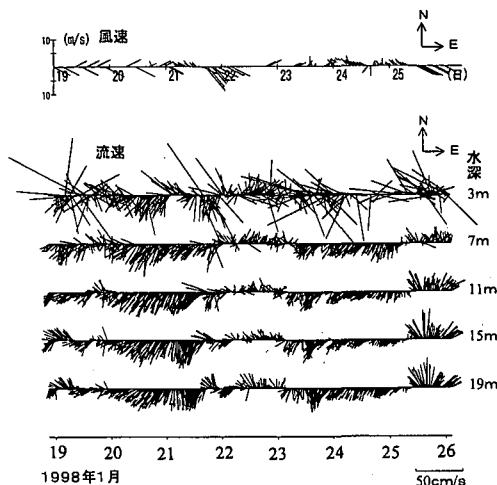


図-3 冬期における St. 2 の流動特性

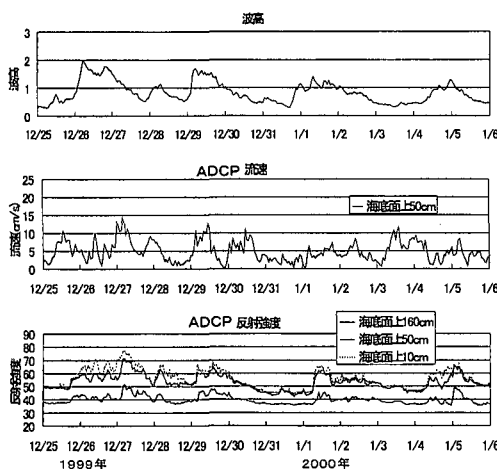


図-4 St. 3 の波高・流速・反射強度

底上 2 m に下向きに設置されたハイレゾリューションモードで観測された 1200 kHz の ADCP の流速と反射強度を示す。ADCP の鉛直方向の測定間隔は 5 cm で 2 分毎に 20 個 (約 4 秒間隔で測定) の平均流速を記録した。測定した時期は冬期としては波高 2 m 程度で高波浪ではないが、ADCP の反射強度は波高とほぼ同じ傾向で変動しており、波動流速による底質の巻き上げ・移動が発生していることがわかる。12 月 26 日の波高 2 m の場合の底面での波動流速振幅は約 30 cm/s であり、St. 3 の底質の d_{50} は 80 μm でこのときのシルズ数は約 0.2 となり、波によって水深 23.5 m である St. 3 付近で底質が移動していることが確認できる。一方、この期間の ADCP による海底面上 50 cm での流速は最大で 15 cm/s 程度であり、12 月 25, 30 日, 1 月 3 日は平均流速 10 cm/s と大きくなっているが ADCP の反射強度は小さく、平均流による巻き上げはこの時期にはあまり顕著ではないことがわかる。

4. 石狩川の供給特性

清水ら (1998) は、1976 年～1995 年の最近 20 年間の各年毎の石狩川河口での粒径別年間流出土砂量を推定している。既往最大洪水の発生した 1981 年は 300 万 m^3 以上の土砂流出があったと推定されるが、通常年は年間流出土砂の 80% 以上が融雪期に流出していることを報告している。20 年間の平均の年間流出土砂量を求めると約 80 万 m^3 となり、その粒径別割合を示すと図-5 となる。海岸の汀線付近に堆積する粒径 75 μm 以上の流出土砂は全体の 38% を占め、年間約 30 万 m^3 、75 μm 以下のシルトより細かい土砂成分は全体の 62%、約 50 万 m^3 と推定される。

期には北東流、春季、秋季はその遷移期というように、毎年同じような季節変化を繰り返していることがわかる。ここには示していないが風も毎年季節変化をし、冬期に北西風、夏期に南東風である。

次に、短期広域集中観測より得られた主要な結果を示す。冬期に発生する流れは主に強い北西～西の季節風に支配され、特に西よりの季節風の場合には、図-3 に示す St. 2 (水深 21 m) の ADCP の流速データを見る (1 月 20～21 日) と、水深 21 m では時間平均流速で 50 cm/s に達する強い全層的な南西流が発生することがわかる。山下ら (1999) は、この流れは空間的には湾奥を全層的に時計回りに流れ、積丹半島の影響による風の場所的な分布で発生していることを明らかにしている。

図-4 に、St. 3 (水深 23.5 m) で観測された波高と海

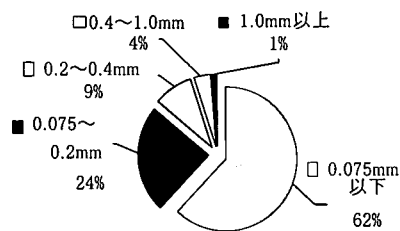


図-5 供給土砂の粒径別割合

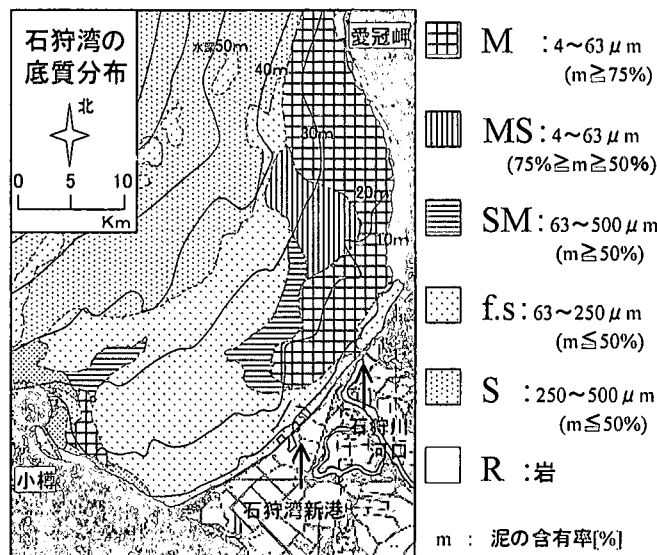


図-6 表層底質分布

5. 広域の表層底質特性

図-6に沿岸の海の基本図より得られた石狩湾の表層底質分布を示す。まず、40 m以浅の表層底質分布を見ると、泥が多く含まれたシルト質の底質は石狩川河口の北東海域と小樽沖にあることがわかる。この沿岸には石狩川以外の大きな河川はないことから、両方の泥を多く含む底質は石狩川から流出したものと考えられる。河口より北東側のシルトは春～夏期の前述の北東流やコリオリ力を受けて右にまがる河川流出流によって運ばれ堆積したものと考えられる。河口より南西方向に堆積した細砂を中心とする粗粒成分は、一度河口付近に堆積した土砂が冬期の高波浪で巻き上げられ、前述の南西流や南西方向の海浜流により移動、堆積したものと考えられる。小樽沖に堆積している泥を多く含むシルト成分は、粗粒成分と同様、一度河口の前面海域から北東海域に堆積したシルト成分が冬期の高波浪、南西流で輸送堆積したものと、洪水時に石狩湾奥に南西流が発生した場合に、その南西流で直接輸送堆積したものとがあると考えられる。このように、水深40 m以浅には、泥と泥砂の領域を除くと細砂が堆積しているが、40 m以深には比較的粗い砂が多く堆積していることがわかる。

図-7に、1996年6月に表層底質サンプリングを行い、粒度分布を求めた結果を示す。沖側は汀線から5 kmの位置で、汀線方向に5 kmの間隔で、北東から地点1～8(水深21～23 m)、岸側は汀線から2.5 kmの位置で、汀線方向に2.5 kmの間隔で、北東から地点9～24(水深15～20 m)で、合計24地点の底質を調べた。河口前面海域を見てみると地点13を除き、地点2～4、10～14に

$d_{50} = 75 \mu\text{m}$ 以下のシルト分が堆積しており図-6の結果と一致する。これらの地点のシルト・粘土含有率Sは70～100%で、ふるいわけ係数 S_0 が2～4と大きく、流出土砂の微粒径の堆積域になっていることがわかる。特に河口位置に近い地点2、3、12、14は $d_{50} \approx 10 \mu\text{m}$ 程度である。両離岸距離の地点とも、河口域から離れるに従って d_{50} が大きくなり、Sが小さくなることもわかる。離岸距離2.5 kmの地点の方が d_{50} が大きいこともわかる。これは波と流れの作用であるといわれ、大きい粒径の砂はその場所に残りやすく、小さい粒径の砂は流されて運ばれやすいためと考えられる。地点13は河口のすぐ前面のため河川からの粗粒成分が堆積しやすく、また水深が15 mと最も浅い地点のため波によるふるいわけが行われやすかったと考えられる。

粒径分布の一例として、図-1のSt. 1～5の粒度分布を図-8に示す。St. 2は流出土砂の堆積域で、 d_{50} は約20 μm と小さく、ふるいわけ係数 S_0 が大きく、St. 1、3、4、5の順で d_{50} は大きくなるが、 S_0 はあまり変わらない。

今回調査を実施しなかった水深25 m～50 mの海域の底質を大島(1978)の研究から調べてみると、新港の左側に広がる水深30 m付近の細砂の d_{50} は約100 μm 、水深40 m以深は $d_{50} = 250$ から450 μm 程度である。水深のより深い海域に河川からの流出土砂の粗粒成分が堆積することは現海水準では考えられず、水深40 m以深の粗い砂は後述のように古い海水準の時代の堆積物である。

6. 海底断面特性

石狩湾の海底地形は、急な斜面と緩やかな斜面が交互に続いており、それは海水準の変動によってできた地形

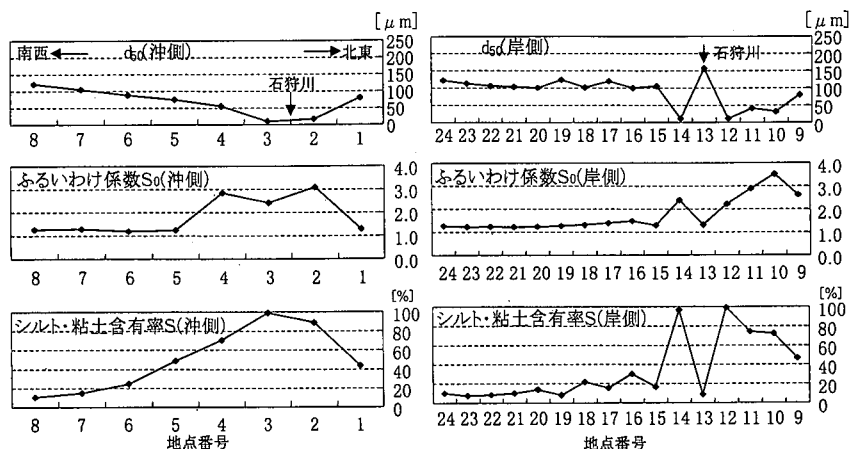


図-7 サンプル調査結果

であることが警告されている(海上保安庁水路部, 1974)。そこで例として, 図-1の L1~3の海底断面地形と図-6から得られる表層底質を図-9に示す。離岸20 kmまでの断面は大きく分けて, (a) 地区~(d) 地区の斜面に分けられることがわかる。(a) 地区は, 水深20 m以浅の勾配1/100程度の急斜面である。(b) 地区は, 水深20~30 mの勾配1/1000程度の緩やかな斜面である。(c) 地区は, 水深30~40 mの海域で勾配1/600前後の比較的急な斜面である。(d) 地区は, 水深40 m付近で勾配1/1000程度の緩斜面になっている。勾配が小さい平坦面は, 海水準が停滞している時期に堆積域として形成されたと報告されている(大嶋, 1992)。(b)の平坦面が, 現在の海水準下で形成されたものであり, (d) 地区の平坦面は海水準が-45 m低かった, 現在より10000年前ごろに形成されたものである(大嶋, 1992)。図中の表層底質を比較すると, 古い時代に形成された水深40 m以深の平坦面はすべて底質が砂であり, それより浅海域の土砂よりも粒径が粗くなっている。

7. 海浜変形性

図-10に1947~65年と1965~76年の石狩湾新港の建設の影響のない, あるいはほとんどない30年間の石狩川から南西方向へ15 kmの区間の汀線変化を一例として示す。この区域の汀線は石狩川河口からの距離によらず, また, 両期間とも年平均約1.0 m前進していることがわかる。汀線の前進が場所によらないのは, 石狩浜は遠浅で波が汀線にほぼ直角に入射するためである。図-10に示した区域よりも南西側の残りの5 km区間は年間約0.2 mの前進と推定した。また, 石狩川より北東側の4 kmの区間は汀線地形が複雑に変化しているので1/25000の地図からは汀線変化量を定量的に求めることは不可能だったので, この区間(石狩浜全体の15%の汀

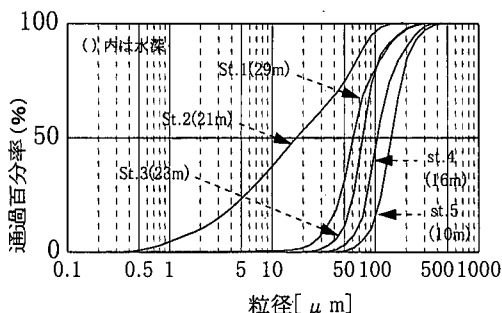


図-8 粒度分布

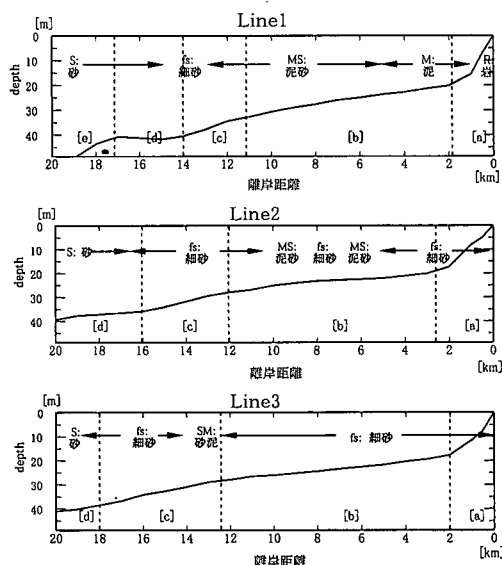


図-9 海底断面図

線距離に相当)の汀線は変化なしとした。

図-11に一例として石狩湾新港より少し西側のL4(図-1参照)での1977~93年の断面地形変化を示す。こ

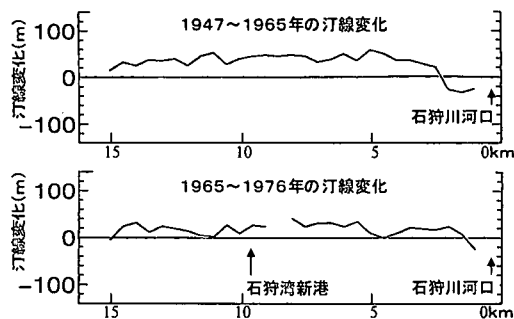


図-10 汀線変化

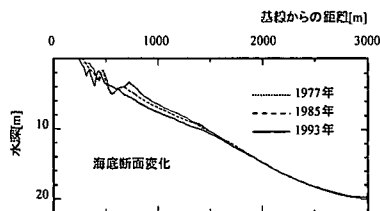


図-11 海底断面変化

のラインは調査した時期は侵食域になっているが、このような断面地形変化から地形変化限界水深を 12 m と求めた。1947~76 年は汀線が前進している時期であり、本来は堆積域の断面変化を調べるべきであるが、堆積域では明確な限界水深が求められなかった。

石狩浜の堆積域での陸域の地形測量より、汀線前進に伴う陸域の地形変化限界高さを 4 m と求めた。なお、陸域の地形変化限界は、現在石狩湾新港から河口までの堆積域で汀線から陸側に植生のない砂浜があり、衣に植生のある丘になるがその平均的な丘の高さとした。

8. 土砂収支

汀線変化に伴い各地点で地形変化限界水深から陸域の地形変化限界高さまで、海底断面が平行移動すると仮定すると、年間約 20 m^3 の土砂が石狩浜に堆積したと推定できる。汀線付近の底質の粒度分布は図-8 の St. 5 と

ほぼ同じと考えられ、St. 5 では $d_{50}=144 \mu\text{m}$ で約 95% が $75 \mu\text{m}$ 以上である。石狩川から供給される $75 \mu\text{m}$ 以上の粗粒成分の推定流出土砂量は前述のように、 $30 \text{ 万 m}^3/\text{年}$ で、汀線変化から求めた $20 \text{ 万 m}^3/\text{年}$ はその約 66% に相当し、残りの約 34% は水深 12 m 以深に堆積していると推定できる。

9. おわりに

広域の石狩川河口沿岸域を対象として、現地観測及び既存資料解析により、まず水深 40 m 以浅に現海水準で石狩川からの流出土砂が主に堆積していることを確認した。季節毎の流動特性を把握し、石狩川から供給された土砂の細粒成分は大部分が北東方向の海域（一部は小樽沖）、粗粒成分は汀線付近と河口より南西方向に輸送・堆積させる流動機構を明らかにした。石狩川から供給される土砂の粗粒成分 ($75 \mu\text{m}$ 以上) の推定流出土砂量の $30 \text{ 万 m}^3/\text{年}$ のうち、約 66% に当たる $20 \text{ 万 m}^3/\text{年}$ が汀線変化に関係ある水深 12 m 以浅に堆積していると推定できた。今後、河川流出土砂の粗粒成分の沿岸域での土砂収支の精度を向上させるとともに、細粒成分も含めて粒径別土砂の沿岸域での定量的な収支を明らかにしていく必要がある。

参考文献

- 大嶋和雄・横田節哉 (1978): 北海道石狩湾の堆積物, 地質調査所月報, 29 巻, pp. 501-529.
- 大嶋和雄 (1992): 沿岸海底地形に海水準変動記録を読む, 地質ニュース 459 号, pp. 40-48.
- 海上保安庁水路部 (1974): 海底地形図石狩湾 20 万分の 1, 第 6323 号.
- 沿水康行・磯峨 浩・早川 博・品川 守 (1998): 石狩川の土砂流出に関する研究, 本工学論文集, 第 42 巻, pp. 1039-1044.
- 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.
- 山下俊彦・星 秀樹・新山雅紀・長谷部隆光・福本 正・多田彰秀 (1999): 石狩湾沿岸の冬の三次元流動特性, 海岸工学論文集, 第 46 巻, pp. 426-430.
- 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.