

融雪期に鵠川から沿岸海域に供給された 浮遊物質の挙動

BEHAVIOR OF DISCHARGED SUSPENDED MATERIAL
FROM MUKAWA RIVER TO COAST IN SNOWMELT SEASON

山崎真一¹・山下俊彦²・渡邊康玄³

Shin-ichi YAMAZAKI, Toshihiko YAMASHITA, Yasuharu WATANABE

¹正会員 工修 北海道開発土木研究所 河川研究室 副室長 (〒060-8602 札幌市豊平区平岸 1 条 3 丁目)

²正会員 工博 北海道大学大学院工学研究科助教授 (〒060-8628 札幌市北区北 13 条西 8 丁目)

³正会員 工博 北海道開発土木研究所 河川研究室長 (〒060-8602 札幌市豊平区平岸 1 条 3 丁目)

To control suspended material transport in rivers, we must study the effect of the suspended material on the coastal sea area near river mouth in the end. In April and May, 2000, we investigated the transport of suspended material at the snowmelt flood at Mukawa river and the coastal sea at the same time. Snowmelt flood is dominant in the suspended material transport in a year in Hokkaido. Once suspended material of the river flows into the sea, it is transported by the coastal current directly, or goes to the bottom and rises again due to the ocean waves and is transported by the current near the bottom. On this investigation we used the acoustic Doppler current profiler (ADCP), which is designed for measuring current velocity and scattered intensity at the same time. Scattering intensity is related to turbidity, and if turbidity is related to concentration of suspended material, we can calculate the mass of suspended material. In this way, we estimate the direction and the mass of suspended material transport.

Key Words : *suspended material transport, snowmelt flood, ADCP, coastal sea*

1. はじめに

近年、流域土砂管理という言葉が用いられるようになった。河川上流の山間部から砂防堰堤、ダム、堰等の構造物を経て、中下流部、海岸へと、水の流れに沿って周辺海域を含めた流域という単位で土砂移動の流れを連続的に捉える考え方は、土砂移動を理解するためには重要な視点である。例えば、河道拡幅、ダム建設等によって河川から流下する土砂の量・粒径が変化し、様々なインパクトが河川自体、そして周辺海域に与えられることになる。近年、ダムに堆積した土砂を下流に流すことにより流砂の連続性を取り戻す試みがなされているが、この問題においても、どのような粒径の土砂をどの程度の量流下させるかを決定する必要がある。このためには、下流河川、そして海域における影響を何らかの形で評価することが必要となる。

河川からの流出物は粒径の小さな浮遊砂成分が多く、

海域への影響は広範囲に及ぶ。このような粒径の成分は同時にリン、窒素などの栄養塩を付着させて輸送することから、周辺海域の水質にも影響を及ぼしている。このようなことから、粒径の小さな浮遊砂成分に着目して、その挙動を調査することとした。

今回調査対象とした鵠川の洪水時の浮遊砂は、50%粒径で0.01mm～0.02mm程度であり細かなシルトが主体である。鵠川河口周辺海域は北海道南西の太平洋岸に位置しており、河口域周辺は海底の沈降堆積物の移動が激しく、底層付近での巻き上げや移流が活発に行われている。

今回の調査では ADCP (acoustic Doppler current profiler) を用い、流速分布の他に浮遊物質からの反射強度を同時に観測した。反射強度と濁度、SS との相関関係が得られれば、浮遊砂成分の移動方向、移動量を算出することができる。

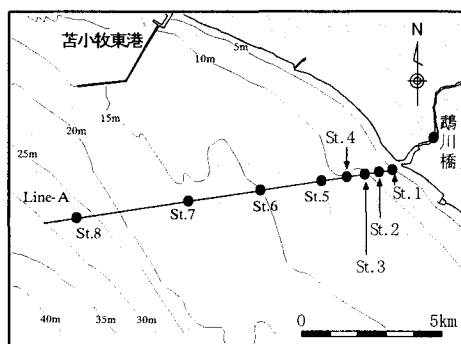
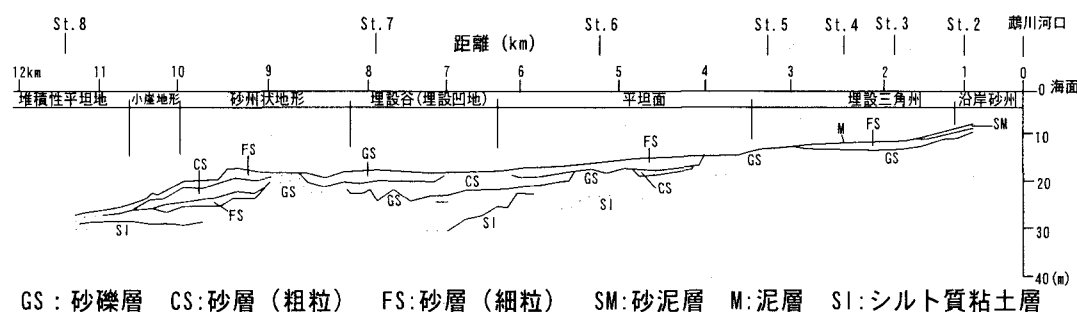


図-1 観測地点図

苫小牧東港沖

Line A

河口付近



GS: 砂礫層 CS: 砂層(粗粒) FS: 砂層(細粒) SM: 砂泥層 M: 泥層 SI: シルト質粘土層

図-2 調査測線の地形・地質

2. 現地調査

(1) 調査概要

鵠川は、北海道日高山脈に源を発し、太平洋苫小牧沿岸に注ぐ流域面積 1,270km²、幹川流路延長 135km の 1 級河川である。流域形状は細長く、流域面積の 91% が森林で占められ、沖積平野はほとんどなく河口付近はデルタを形成している。

観測は平成 12 年 4 月 10 日から 5 月 25 日の融雪期に実施したが、この間に規模の大きな融雪出水が 2 回発生している。鵠川は流出する土砂量が多く、ときには SS 濃度が 5,000mg/l にも達するような濁水が海域に流出する。近年でも、平成 4 年、平成 13 年と計画流量に匹敵するような大規模な出水が発生し、流出した土砂によって海域の水産資源が影響を受けている。

図-1 に示す測線上の 8 観測地点において、表-1 の調査項目を実施した。

河川から海域に流出した土砂の堆積状況を把握するために、海底面の底質を観測期間前、期間中 4 回、観測終了後の合計 6 回採取した。調査地点の水深によっては、海底面の基盤となる土砂が移動することも考えられたため、船上からの採泥器による採取の他に柱状採泥を実施した。柱状採泥作業はダイバーにより人力で行ったが、地層に礫を含んでおりコアの延長は平均的には 30cm 程度であった。また、調査測線では音波探査を実施し、断面の地質構造を把握した。

海底面に堆積した土砂の移動状況を把握するために砂

表-1 各調査地点の観測項目

調査地点	St.1	St.2	St.3	St.4	St.5	St.6	St.7	St.8	鵠川橋
水深(m)	5.0	7.0	10.5	11.0	12.0	14.0	16.0	27.0	-
沈降・堆積物調査	柱状採泥	○	○	○	○	○	○	○	
	砂面計					○		○	
	蛍光砂調査			○		○	○	○	
	セディメントトラップ	○	○	○	○	○	○	○	
流動調査	波高計・流速計		○			○		○	
	ADCP					○			
水質調査	採水分析	○	○	○	○	○	○	○	○
	濁度計			○		○		○	

※: 水質採水分析は、COD、T-N、T-P、SS等について行った。

面計を 2 地点に設置した。また、5 地点の海底面に各地点で採取した底質に蛍光塗料を塗布した蛍光砂を 1m×1m の範囲に 30～50cm の厚さで埋設し、調査期間及び調査終了時に柱状採泥を行い調査期間における堆積状況を観測した。

海域の沈降量、粒径を把握するために、セディメントトラップを 8 地点に設置し、約 1 週間毎に回収し沈降物を採取することとした。ただし、荒天等海域の状況により、回収するまでの期間にはばらつきが生じた。

土砂移動を把握するために St.3、St.6、St.8 に波高計、流速計を設置し海域の流動環境を継続的に調査した。なお、St.6 には ADCP も設置した。

河川の水質調査は、鵠川橋地点(河口から 2.55 km 地点)で実施した。海域でも調査測線を中心に水質調査を行った。また、流動調査を実施した St.3 及び St.8 の海底面上 1m、St.6 では海底面上 1m、7m 及び海面下 1.5m の位置に濁度計を設置した。

(2) 海底地質の状況

a) 採泥結果

図-2 の音波探査結果を見ると、海底地質は調査測線上ではほとんどの箇所が砂質から礫質で構成されている。河川から供給される浮遊砂成分は、この海域が堆積環境であれば広く海域に分布しているはずであるが、浮遊砂成分が堆積したと考えられる厚い泥層は St.3 から St.4 にかけての範囲に存在しているのみであった。

柱状採泥による粒度組成、粒径変化を図-3、蛍光砂調査の結果を図-4 にそれぞれ示す。

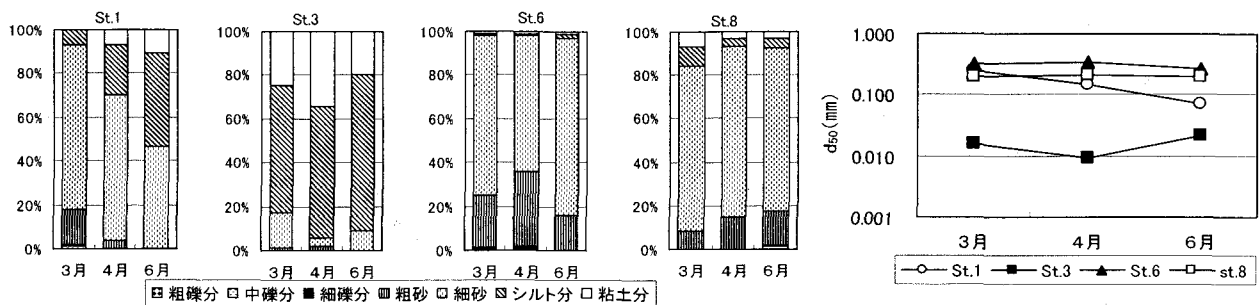


図-3 各観測地点の海底面の粒度組成・粒径

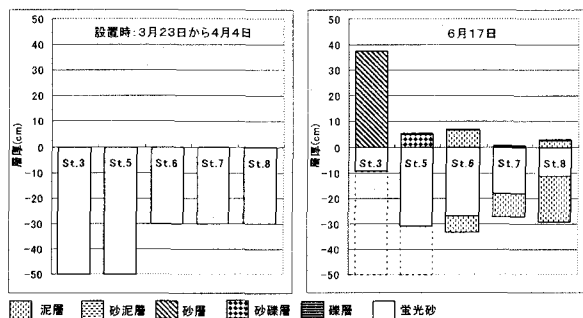


図-4 蛍光砂の設置状況及び調査結果

St.1 では、表層の粒度組成が変化していることがわかる。3 月の出水期前には細砂、粗砂の割合が高いが、その後6 月にかけてシルト、粘土の割合が高くなり、50% 粒径も 0.6mm から 0.07mm へと徐々に細粒化している。

St.1 は水深が 5m 程度で波浪の影響が大きく流動が激しいことから細粒成分は残存しづらいものと考えられるが、河口に近い河川から供給される細粒成分が粒径分布に影響を与えているものと考えられる。

St.3 の表層はほとんどが粘土、シルトで構成されている。この地点の蛍光砂調査の結果をみると、調査期間中に基盤の層と異なる砂が厚く堆積しており、洪水時に堆積したものと考えられる。

St.6、St.8 は海底面付近の粒度組成、50%粒径の変動は小さく、St.6 では 50%粒径は約 0.3mm、St.8 では約 0.2mm である。砂面計のデータをみると、St.6 では 4 月の時化の時期に一時的に約 10cm 海底面が低下するが、その後徐々に堆積傾向となっている。St.8 は砂面計の変化はほとんどなかったが、蛍光砂調査の結果では、薄くではあるものの、蛍光砂の上層に泥の堆積層が存在している。このことから、この地点でも河川からの流出物が堆積しているものと考えられる。

b) 沈降堆積物の分布状況

今回の調査期間に柱状採泥を含め 6 回の採泥を実施し、海底の基底面に新たに堆積した土砂の状況を調査した。

表-2 に示すとおり 4 月 10 日、19 日には、全ての地点で堆積物が存在しているが、その後 4 月 30 日には存在する地点が減少する。堆積物の平均粒径はほとんどが 0.01mm～0.025mm のシルトで構成されている。河川から流出する浮遊砂成分の粒径も後述するとおりおおむね 0.01mm～0.02mm であり、この海域では河川からの流

表-2 浮泥の 50%粒径

	4月10日	4月19日	4月30日	5月15日	5月19日	6月1日
St.1	0.025	0.014	0.014		0.012	
St.2	0.017	0.012				0.013
St.3	0.022	0.010	0.011		0.023	0.007
St.4	0.022	0.011				0.010
St.5	0.012	0.013				0.009
St.6	0.019	0.014	0.012			
St.7	0.013	0.019				
St.8	0.012	0.016	0.010			0.010

※空白では浮泥の堆積は見られなかった。

出土砂が融雪期に一時的に堆積していることがわかる。

(3) 河川及び海域の浮遊物質の特性

鵜川橋地点の融雪洪水時の流量、SS 濃度を図-5 に示す。融雪出水の流量規模は 4 月 11 日に 959m³/sec、5 月 15 日に 1,192m³/sec と融雪出水としては比較的大きな規模の出水であった。鵜川橋の SS 濃度は最大で 5,000mg/l で、SS 濃度と流量の関係から今回の調査期間に海域に流出する土砂量を計算すると約 75 万トンであった¹⁾。

河川から海域に流出した浮遊砂成分は凝集沈降を生じ、また遠方ほど粒径が小さくなることが想定される。鵜川及び周辺海域の採水試料、沈降物（セディメントトラップ調査）の 50%粒径を図-6 に示すが、融雪期間を通じておおよそ 0.01mm～0.02mm の値で、採取地点、水深に関わらず同程度の値であった。このように浮遊砂の粒径にあまり差がないことから、海域の濁度と SS 濃度の相関は図-7 に示すとおり非常に高く、濁度観測データを用いることにより浮遊成分の移動量が把握できるものと考えられる。

(4) 海域の流動と濁質の挙動

図-8 に St.6 の有義波高、底層流速、底層の濁度変動を示す。鵜川沿岸海域では風によって海底面付近に強い流れが生じることがわかっており²⁾、St.6 においても生じている。海底面にはこのような流れ、波によってせん断力が生じ、堆積物は巻き上げられて移動している。海底面の巻き上げ状況を示す濁度は、底層流速より有義波高との相関が高いことがわかる。

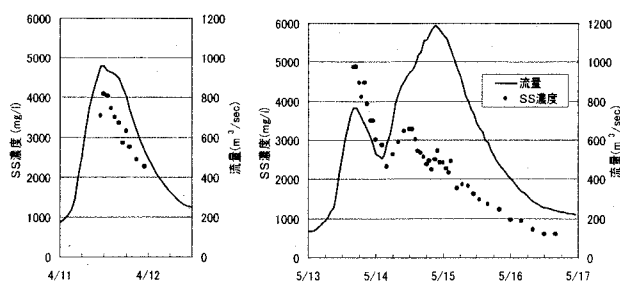


図-5 融雪洪水時の流量と濁度

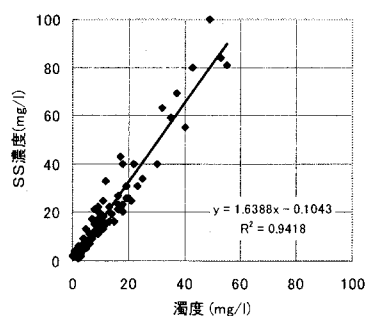


図-7 濁度とSSの関係

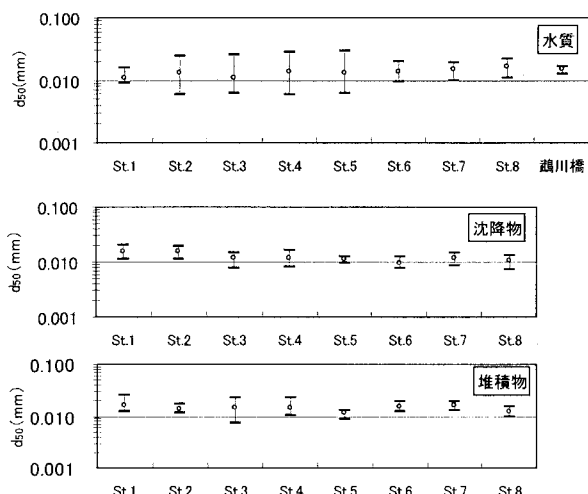


図-6 各地点の50%粒径

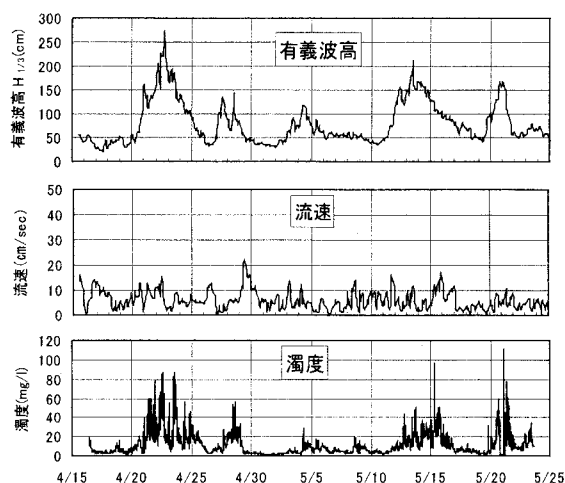


図-8 St.6の波浪、底層の流速、濁度

3. ADCP による浮遊物質の移動量の把握

海底面に堆積した泥土は、主として波浪によって巻き上げられ移動している。このような浮遊砂の流動現象を把握するためには、海底面付近の浮遊砂の濃度分布、流速分布を同時に観測することが必要である。

(1) ADCP の反射強度と濁度の関係

ADCP は、3次元の流速及び浮遊物質の反射強度を多層にわたり計測することができる。今回の調査で用いた機器はRD Instrument 社製の1200KHzで、St.6の海底面に設置し、計測間隔は鉛直方向に50cmピッチ、第1層目の計測水深は1.5mである。また、計測間隔は10分とした。

海底面から1.5m、7mの位置に設置した濁度計の値と、その水深の浮遊物質の反射強度と対応関係があるADCP カウント値の間には比較的良い相関関係が得られる。しかし、音波が海水中を伝播する場合には伝播する距離、媒質によって減衰が生じるため、減衰量も値に含まれているカウント値だけでは濁度の鉛直分布そのものを推定することはできない。音波の距離による拡散及び媒質による減衰損失 Rc は、センサーから1mの地点を基準に取った場合、音圧レベルでは式(1)で示され⁴⁾、1m地点では減衰量は0となる。

$$Rc = 20 \log r + \alpha(r-1) \quad (1)$$

ここで、 r は ADCP のセンサーから観測点までの距離、 α は、海水の吸収係数である。

今回の調査では、鉛直方向に濁度が一様に近く、拡散及び媒質による減衰損失のみを表現していると考えられる状態でのカウント値から減衰量を推定し補正した。

補正に用いたデータを濁度毎に平均したカウント値を図-9に示すが、減衰損失は同様の傾向を示した。補正に用いたデータ毎に基準点(水深1.5m)からの減衰量を求め、水深毎に値を平均し減衰損失量とした。この値を各時刻のカウント値に加えることによって、ADCPの減衰量を補正した。なお、図-9に示すカウント値を見ると、水面に近い部分では水面の散乱、気泡等の影響から反射強度が大きく出ていることから水面から約2mの範囲の値は用いなかった。

補正したカウント値と海底面上1.5m、7mの地点の濁度計による濁度データの関係を図-10に示すが、ばらつきはあるものの相関係数が0.5程度得られた。この結果を用いて算出した濁度と観測データを図-11に示す。海底面上1.5m及び7mの値については、調査期間全般にわたりおおむね濁度の変動を再現することが出来た。

しかし、水面下1m(平均水深で海底面上13m)に設置した濁度計の値と海底面上12mの計算した濁度の値を比較すると、濁度が低い場合にはそれぞれの値はよく合っているが、濁度が高い場合には計算で求めた濁度の

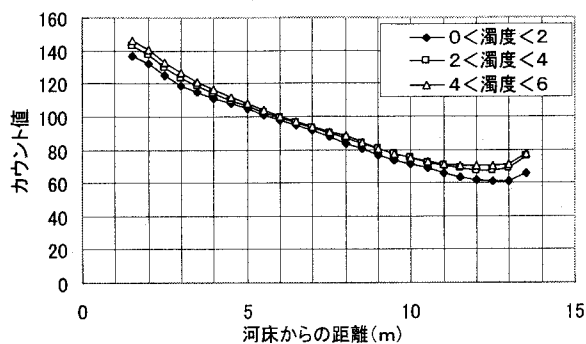


図-9 ADCP カウント値の距離・吸収減衰

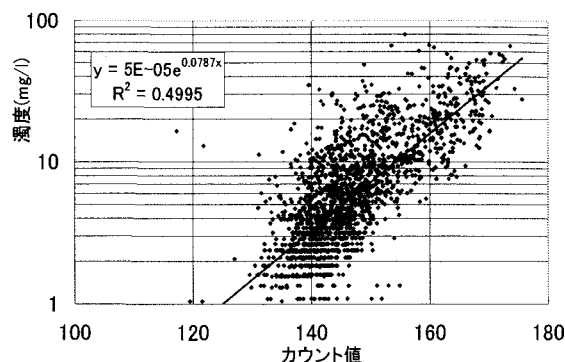


図-10 減衰量補正後のカウント値と濁度の関係

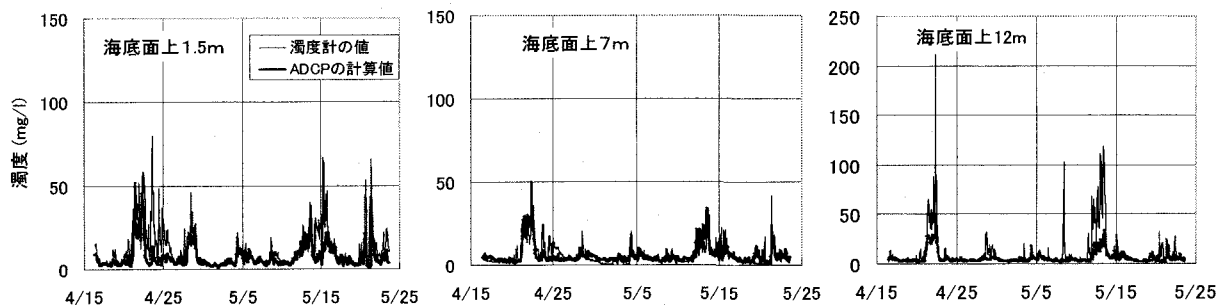


図-11 濁度観測値とADCP 算出値の比較

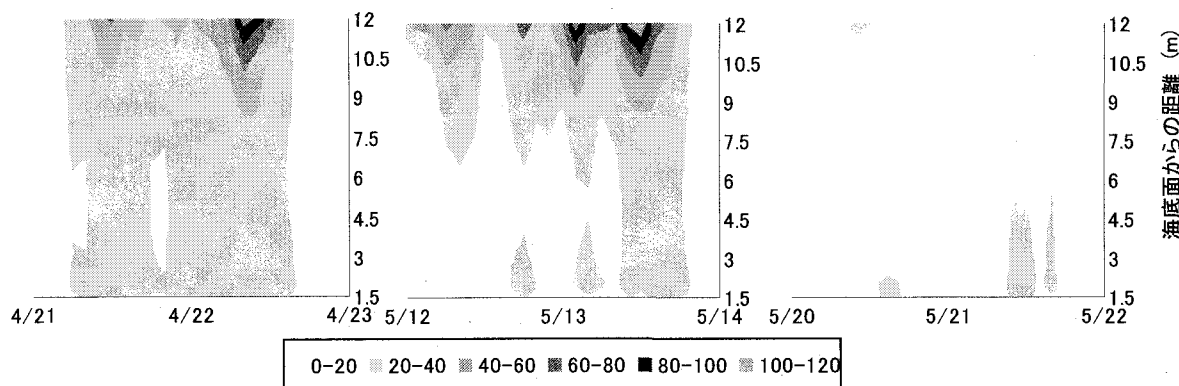


図-12 濁度の鉛直分布の時間変動

値が濁度計の値に比べ大きく出る傾向が見られた。

この原因は明らかではないが、波高が高い場合には水面の反射の影響を受ける領域が広くなること、碎波によって気泡が水中に混入したことによって反射強度が高くなったものと考えられる。

図-12にイ) 4月20日～25日、ロ) 5月10日～15日およびハ) 5月20日～22日の濁度が高い時期の鉛直分布の時間変化を示す。それぞれの期間とも、波浪が高く海底面の濁度が上昇し濁質が上層に浮揚していることがわかる。ただし、前述のとおり上層の濁度は実際の値に比べ大きく計算されている。

(2) St.6 における土砂輸送量

濁度とSS濃度の関係は図-7に示すとおり良好な相関関係が得られており、浮遊砂成分の移動量が算出できる。

計算は、ADCP、濁度計の観測データがそろっている4

月16日から5月23日の間で行った。なお、濁度については、海底面上7mから下層はADCPの計算値を用いたが、7mより上層は水面下1mに設置した濁度計の値と7mの計算値を用い、この間の濁度を一次式により補間することにより求めた。

図-13に示すとおり、ADCPによって計測された流向、流速はそれぞれの水深では原点に対称な分布をしており、海底面付近では東西方向であったものが水面に近づくにつれて東南東～西北西、南東～北西と変化しておりコリオリ力による影響を受けているものと考えられる。フラックスの流動方向は北西方向が卓越しており、濁質は海岸に沿って苦小牧方向に流動していることがわかる。図-14に全層合計の5日毎の移動量を表示したが、4月20～25日、5月10日～15日の期間に濁質の移動量が多いことがわかる。

図-14から、この地点では計算した期間に単位幅あた

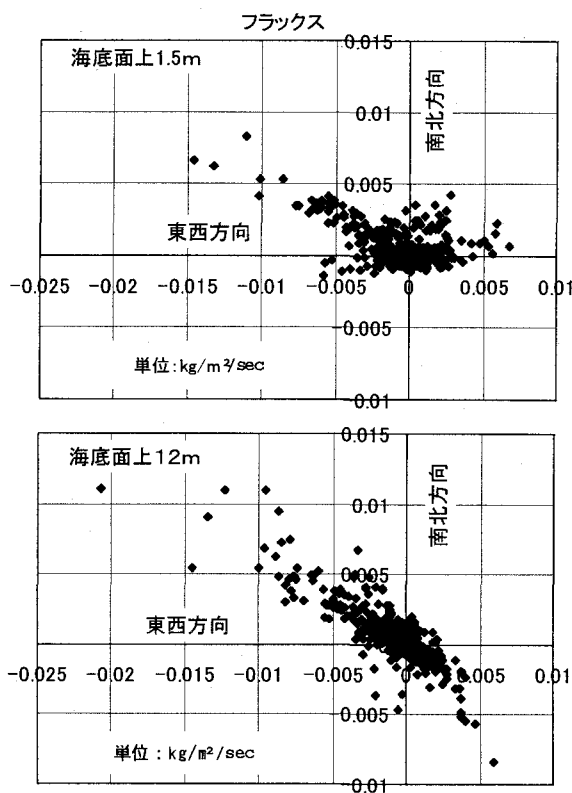
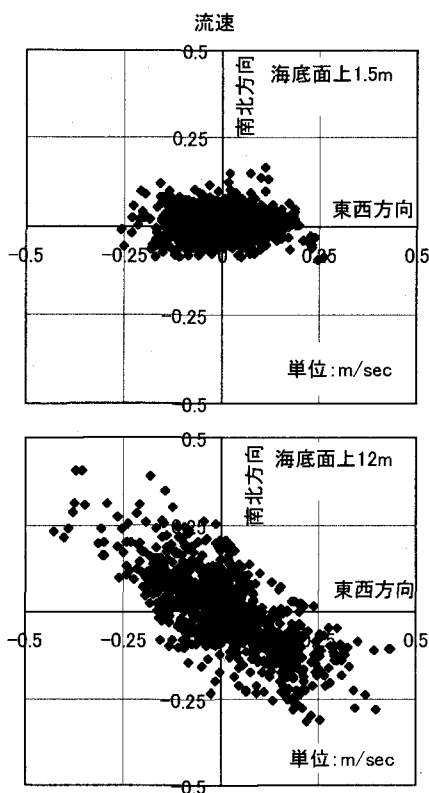


図-13 海底面から 1.5m 及び 11m 地点の流速及びフラックス

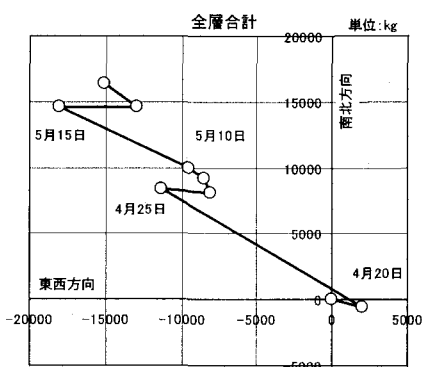


図-14 浮遊砂成分の流動図

り約 22 トンが北西方向に移動したことになる。前述のとおり、この期間に鵠川において流出した浮遊砂成分は SS 濃度と流量の相関関係から約 75 万トンと推定されている。河口から St.8 までは約 12,000m であり、河口から St.8 までの区間の浮遊砂の移動量を St.6 で代表させると約 26 万トンと推定される。必ずしも鵠川から流出したものと特定できないが、河川から流出した浮遊砂成分のおよそ 1/3 に相当する量が観測期間にこの測線を通してしていると推定される。

4. まとめ

今回 ADCP と濁度計を用いることによって河川から海域に流出する浮遊砂成分の流動方向、移動量が計測で

きることが明らかとなった。ただし、水面に近い領域では反射強度が高く出る可能性があり、注意が必要である。

また、調査期間中に単位幅当たり 22 トンの土砂が北西方向に流動しており、2 回程度の時化でその量が移動しうることがわかった。

なお、今回用いた濁度計は海中に設置したものと、採水時の調査機器が異なり、特性が異なる可能性があることから、今後濁度計の検定をする必要があるものと考えられる。

参考文献

- 1) 山下俊彦, 宮下将典, 菅沼剛, 森田真郷, 山崎真一, 渡邊康玄: 寒冷地河川から供給された物質の河広域沿岸での挙動, 第 16 回寒地技術シンポジウム論・報告集 vol.16/pp.98-103 2000.
- 2) 山下俊彦, 奈良俊介, 宮下将典, 新山雅紀, 山崎真一: 苦小牧沿岸域の流動特性, 海洋開発論文集, vol.16/pp.117-121, 2000.
- 3) 山崎真一, 奈良俊介, 宮下将典, 新山雅紀, 山下俊彦: 鵠川河口海域における流動と底質の堆積・移動特性, 海岸工学論文集第 47 巻(1)/646-650, 2000.
- 4) 佐藤一彦, 内野孝雄著: 海洋測量ハンドブック, pp. 453-466, 1973.
- 5) Charles, N.F., Sharon, L.S.: On the use of acoustic Doppler current profiler to measure zooplankton abundance, Deep-Sea Research, vol. 36, No.3, pp.455-474, 1989.

(2001. 10. 1 受付)