

鵜川河口海域における洪水後の 土砂拡散について

SEDIMENT DIFFUSION FROM MUKAWA RIVER TO OCEAN
AFTER THE 1997 FLOOD

船木淳悟¹・新目竜一²

Jungo FUNAKI, Ryuichi SHINME

¹正会員 北海道開発局 開発土木研究所 (〒062-8602 札幌市平岸1条3丁目)

²正会員 北海道開発局 開発土木研究所 (〒062-8602 札幌市平岸1条3丁目)

To study sediment continuity from river to ocean deposition, some field investigations have been carried out in Mukawa River and ocean around its mouth. Investigation items are a density of suspended solids (SS) contained in river water in a flood, river water diffused in the ocean space, trapping deposited mass on bottom of ocean and particle-size analysis of coast sand. The results are below,

- 1) Among suspended load and wash load diffused in the ocean, the sedimentation with particle diameter bigger than 0.1mm sediment to within the limits whose distance from a mouth of a river is 2.5km.
- 2) The surface material of bottom of ocean is greatly influenced by suspended load and wash load, which are supplied from river at the time of a flood.
- 3) The main composition elements of coastal sand near a river mouth are the ingredient with a grain fine among riverbed material and big among suspended material.

Key Words: river system, sediment continuity from river to ocean, flood investigation, suspended load and wash load, diffusion and deposition

1. はじめに

流域の土砂管理を水系一貫した視点から取り扱うことの重要性が、近年非常に強調されるようになってきた。山地斜面域での不連続な土砂生産現象と流域域での連続的な土砂移動現象との連結という課題に対し、河道網理論を用いて流域の流砂量分布を推定する手法を提示した山本ら¹⁾の研究や、地質因子や崩壊面積因子から土砂生産量を求めた上野ら²⁾の研究などがあるが、未だ十分な解明が進んでいないのが現状である。

一方で、最近では地球規模での環境保全という視点から、河川を陸域から海域へ土砂やその他様々な物質を運搬するシステムとして取り扱うべきとの認識がなされるようになり、河口周辺沿岸海域をも水系の要素として陸域-海域間の事象の研究が必要となってきた。海岸侵食の原因の一つに、流域に建設されたダムや護岸、あるいは河道での砂利採取など、陸域からの漂砂源が近年著しく減少したためであるといわれている。宇多ら³⁾は安部川を漂砂源とする静岡・清水海岸を事例

に、砂利採取による河川からの流出土砂の減少が海岸侵食をもたらしたことを示した。また、河口周辺地形の発達や変形に関し、伊達ら⁴⁾は河口噴流と掃流砂及び浮遊砂の堆積によって形成される河口テラス形状の数学モデルを提案している。

これらの一連の研究をさらに発展させていくためには、河口を挟んだ河川から海域への土砂の動態に関する観測データが不可欠である。しかしながら、こうした土砂の移動を連続的に調査した事例は極めて少なく、河川管理のために定期的に行われている河川測量データや流量データなどから、河道と海岸域の変動関係を理論的に解析しているものがほとんどである。

以上のことから著者らは、河川から海域への土砂の移動・堆積過程を明らかにし、海岸地形変化における河川の機能を解明するための基礎的データをを得ることを目的として、北海道の一級河川鵜川とその河口海域において洪水時の土砂の拡散・堆積の同時観測を実施している。本研究は、その調査結果、ならびに考察について述べたものである。

2. 研究方法

(1) 調査地概要

調査対象とした鵜川は日高山脈トマム山に源を發し、太平洋に注ぐ幹川流路延長135km、流域面積1,270km²の一級河川である。流域形状は細長く、流域面積の91%が森林で占められ、山地部が河道の際まで迫り沖積平地はほとんどない。

一方、鵜川河口付近の胆振海岸は、NW-SE方向に海岸線が延びる砂浜海岸である。河口部の東側2kmには汐見漁港の防波堤が沖合い約300mまで突き出し、西側には河口から10km地点に苫小牧東港の防波堤が沖合い約3.5kmまで突き出している。

(2) 1997年鵜川洪水の概要

1997年8月8日から10日にかけて、台風11号の影響により、鵜川流域平均雨量135mm、最大時間雨量21mmの降雨が発生し、鵜川橋観測地点（河口上流2.55km）で最大流量1,089m³/sの洪水が発生した（図-2）。この洪水は8月10日18時と13日7時にピークを持つ二山型の洪水であり、最初のピーク前後の14時間警戒水位を超え、高水敷はほぼ全川にわたって1~2m程度冠水した。また、低水路河岸が数カ所で決壊した。

(3) 河川水質観測

洪水流中に含まれる懸濁成分（SS）の時間変化を把握するため、前述の鵜川橋地点において、流量観測と平行して最初の流量ピークをはさむ前後期間、橋上より河道流心部の表層から採水を行った。また、流量

ピーク後は自動採水器（ISCO社製3700）を用いて継続採水した。採水間隔は2時間を基本とし、流量ピーク後は毎正時採水とした（図-3）。

(4) 海域濁度観測

鵜川の河口0.5km地点を基点として、放射状に4測線（MA、MB、MC、MD：それぞれSW、WSW、W、WNW方向）を

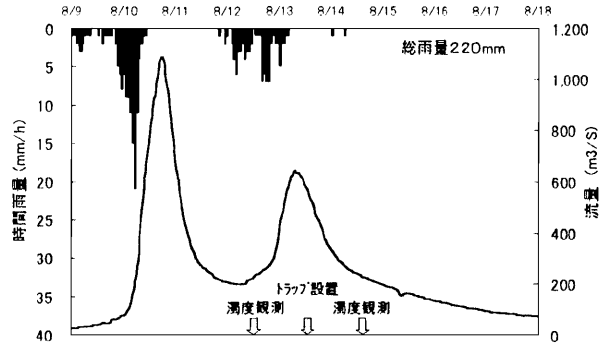


図-2 1997年8月洪水ハイドログラフ
（鵜川橋観測所）

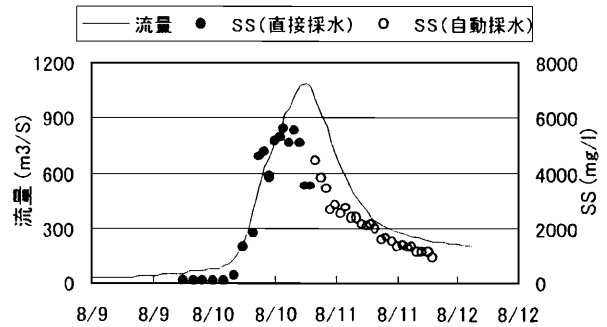


図-3 河川水のSS濃度変化

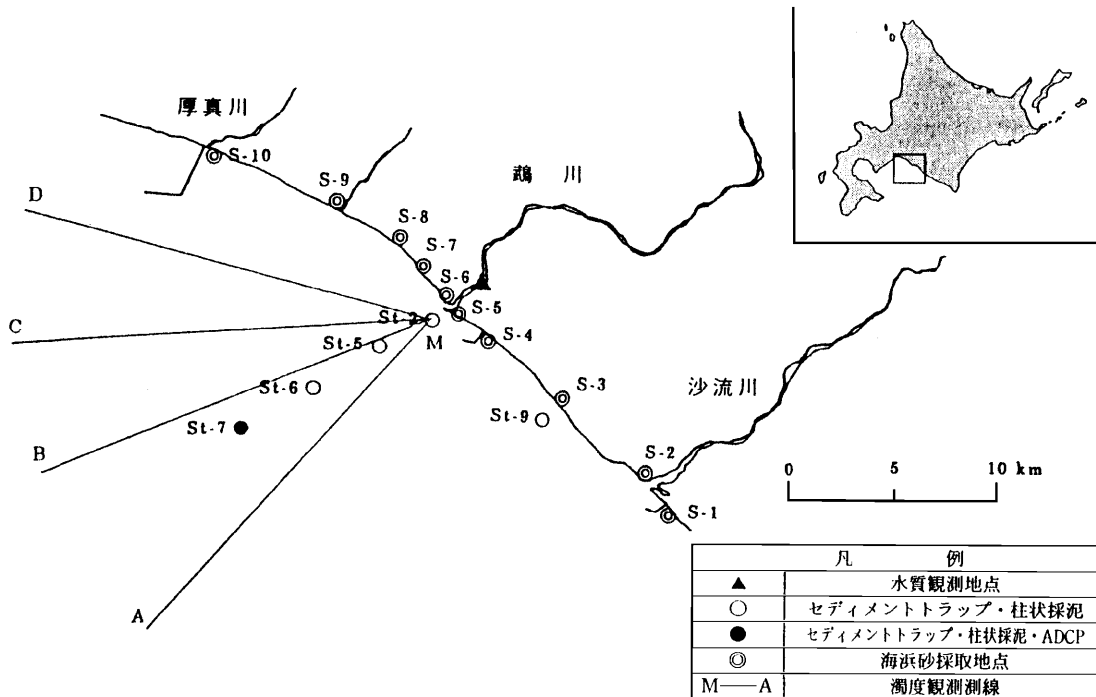


図-1 調査位置図

設定し、各測線上の0.5、1、3、5、10、15、20km地点においてメモリーSTD（アレック電子社製ATS-1000M）を用いて鉛直方向に水温・塩分・濁度を測定した。調査は8月12、14、20日の3回実施した。ただし、3回日はC測線のみ行った。

(5) 海域沈降物採取

海域に拡散し沈降した物質の試料を得るため、セディメントトラップと柱状採泥の2つの方法を行った。

まず、セディメントトラップは、河口部から沖合い距離0.6、2.5、5.2、8.2kmの地点で、海底部と1/2水深部の2層に、内径10cm、高さ30cmの塩化ビニールパイプを18本束ねたものを設置した（それぞれSt-2、5、6、7）。また、鵜川からの河川水が直接影響しないと想定される地点として、鵜川河口から5km東側の地点（St-9）にも同様のトラップを設置した。設置期間は洪水発生から3日経過した8月13日から同月28日までの15日間と、これより前、融雪出水が発生していた同年4月27日から6月5日までの40日間である。

柱状採泥は、上記の一連の出水が終息した6月5～6日と8月28～30日にかけて、セディメントトラップと同地点において実施した。採取方法は、アクリル製の採泥管を海底に差し込んで海底面に堆積している浮泥層を含む表層部分を試料として採取した。

上記の試料について、乾重量、粒度分析を行った。

(6) 沿岸流観測

沿岸流による拡散水の移動や沈降物質の巻き上げ・再移動環境を把握するため、St-7地点（水深20m）の海底部に超音波ドップラー流速計（ADCP 600kHz）を4月30日から6月5日までの41日間設置し、水深1m毎の流向・流速を観測した。

(7) 海浜砂採取

鵜川からの上砂供給と砂浜材料との関連性を検討するため、鵜川河口周辺部の海浜砂を採取し、海域沈降物や海底材料と粒度組成の比較を試みた。鵜川河口部の東側約10kmの地点には一級河川沙流川が注いでいる。また、西側10km地点には苫小牧東港の防波堤があって二級河川厚真川がこの防波堤のすぐ東側に注いでいる。この20km区間には他に主要な漂砂源となるような河川はない。したがってこの20km区間の海浜砂は鵜川を主要な漂砂源とする可能性が高いと考え、10地点から採取した。採取場所には砕波の打ち上げ高よりも高い地点において粒径の均一な箇所を選び、表層を約10cm取り除いてから移植ごてで採取した。

3. 河川水の拡散状況

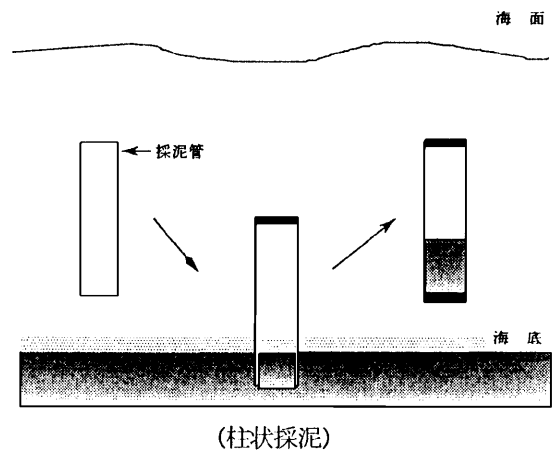
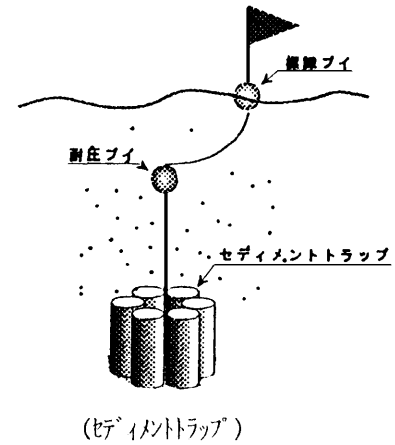


図-4 沈降物採取方法

図-5に、8月12日および14日の測線MB、MC上の濁度の鉛直分布を示す。最初の洪水ピークから2日後の8月12日時点で、測線MBでは洪水に伴う濁度10mg/l以上の濁水は、表層で約10km沖合まで達している。また、河口近傍では濁度が100mg/l以上の高濃度水塊が分布している。これに対し、測線MCでは拡散範囲が5km程度で、河口付近にも高濃度域は見られない。測線MBは河口部が開いている方向であり、洪水時の河川水の噴流方向と考えられる。

この2日後の8月14日では、測線MBの濁水の分布は河口部寄りに減少しているが、逆にMCでは表層濃度が高くなっている。これはこの期間の卓越風向がS～SES方向であること、および後述する沿岸流も同一方向であることから、表層濁水が測線MC寄りに吹き寄せられたためと考えられる。さらに、図示してはいないが20日の観測では表層の濁水はほとんど消滅している。

また、いずれの測線でも濁水塊は海面表層部とともに底層部にも分布している。

一方、St-7で観測された沿岸流の様子を見ると（図-6）、水深全層に渡ってNW-SE方向の流れが日周期で交互に発生していることがわかる。とくに水深20mの海底部においても流速0.2m/s程度の流れが恒常的に存在し

ている。この水理条件下での限界掃流力 u_c は1.14～1.71cm/sとなり、岩垣の式から移動限界粒径はおよそ0.05～0.46mmと求められる。後述する図-11に示すように、この粒径は沈降物質や海底砂の粒径分布範囲内にあることから、底層流によって移動しうる環境である⁹⁾。

以上のことから、底層部にみられる濁水塊の由来が、浮遊土砂の沈降物、河川水の噴流方向に沿って底層部を移動した掃流砂、底層流によって巻き上げられた海底砂のいずれなのか、あるいは複合的なものなのか、今回の調査では判断できず、今後詳細な検討が必要である。

4. 河口域における土砂堆積特性

(1) 河川から海域への懸濁物質(SS)の移動量

鶴川橋地点において観測された流量—懸濁物質(SS)の関係は次のように求められた。

$$L(\text{g/s}) = 0.1715 \cdot Q^{2.4699}$$

これを用いて、ハイドログラフが立ち上がり始めた8月9日から洪水前の流量にほぼ低下した8月17日までの9日間に海域に供給された懸濁物質総量を推定した結果、およそ $3.2 \times 10^8 \text{kg}$ となった。

次に、図-5に示した懸濁物質の濃度分布を用いて、

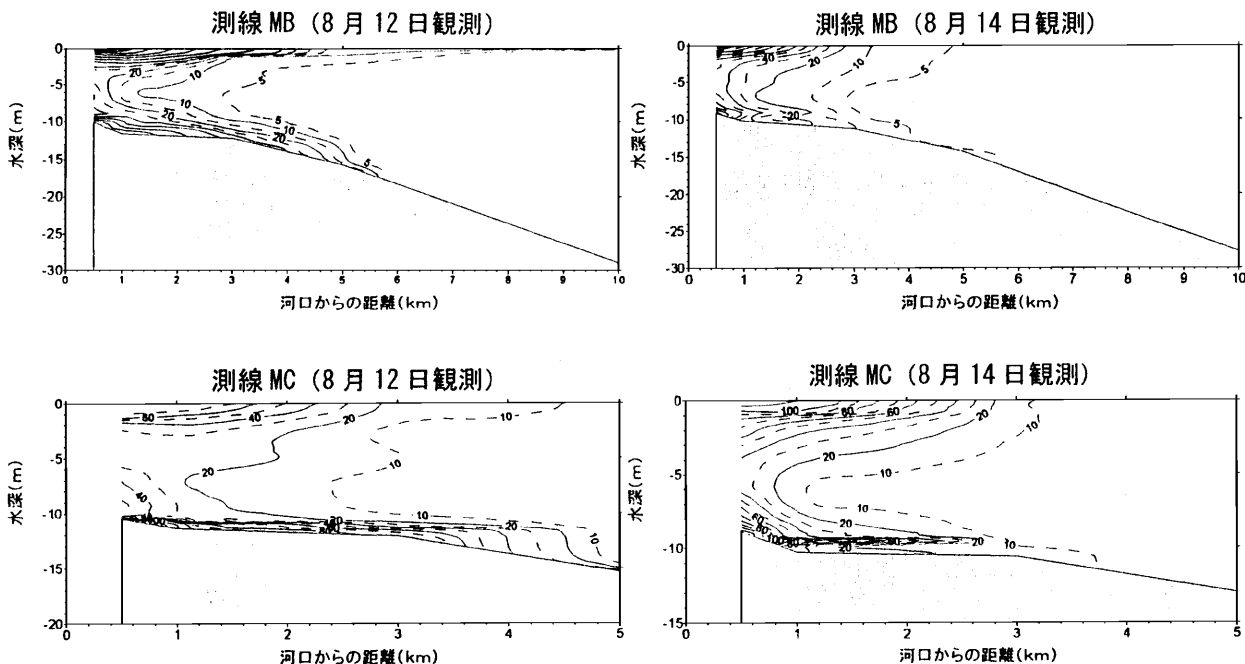


図-5 拡散水の濁度(mg/l)鉛直分布

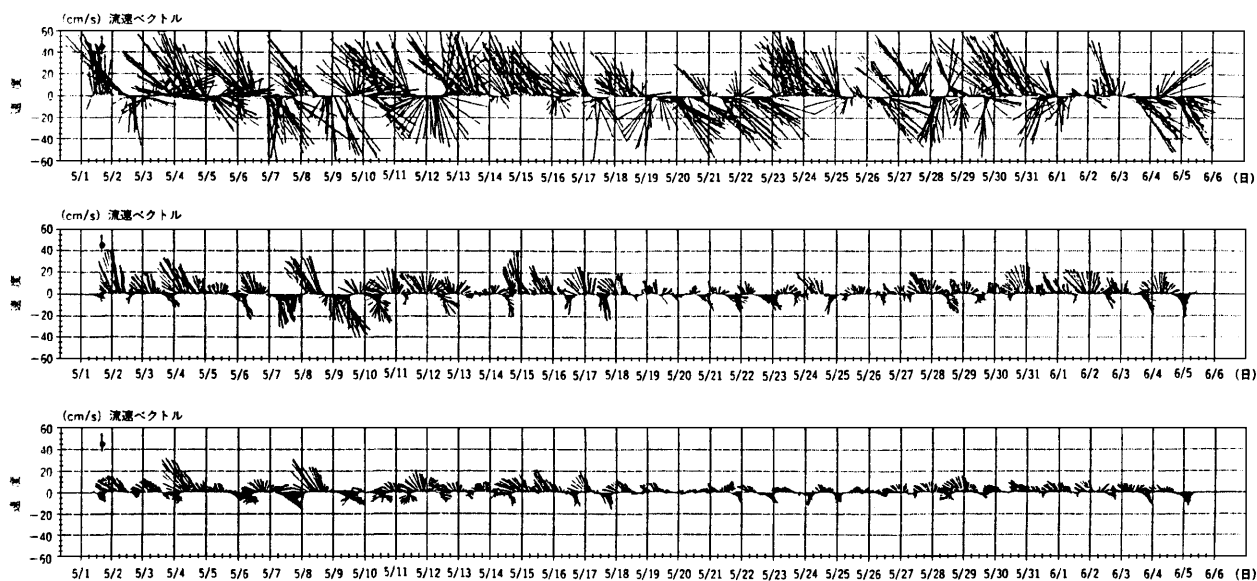


図-6 ADCPによる沿岸流観測結果(上段より水深5m、10m、20m)

単位底面積(m²)の水柱を想定し、これに含まれるSS量を水面から海底部まで空間積分して求めた(図-7)。海中のSS量は河口部寄りの0.5、1km地点では0.4~0.6kg存在しているが、これより沖合いでは急激に減少している。8月12日と14日の観測値がほとんど同じであるが、通常海域の濁度が洪水後の時間経過とともに低減することを考えれば、今回の2回の観測が二山型洪水の各流量ピークから1日後に実施されたことと関係していると思われる。また図-5で、水深の中間部に低濁度域がみられることから、流量ピーク時の高濃度の懸濁物質は海水中で極めて速く沈降するのではないかと推察される。

一方、セディメントトラップに捕捉された沈降物質量は、河口に最も近いSt-2では海底部の方が水深の1/2位置のものに比べ1.5倍、St-5、6では150~180倍も多かった。これは前述したとおり海底部のトラップには相当量の巻き上げ物質が混入したためである。したがって、巻き上げの影響を受けていないと考えられる水深の1/2位置の試料が沈降物量を示していると判断した。

図-8に示すように、沈降物量は河口に最も近い0.6km地点(St-2)では62kg/m²であったのに対し2.5km(St-5)、5.2km(St-6)地点では0.5kg/m²程度と急激に少なくなっている。わずか3地点のデータではあるが、沖合い距離-沈降量の関係の近似曲線は図中に示すように、濁度を空間積分したものと同型の関数であり極めて良くフィットしている。そこで、この近似曲線を今回の洪水で海域に拡散した物質量を推定する関係式とみなし、懸濁物質が河口からの距離に比例して同心円状に沈降したものと仮定して、空間積分により沈降物質の総量を推定した。ただし、この関数型では河口近傍で沈降量が無限大となってしまうので、St-2より河口側の区域についてはSt-2の沈降量(62kg/m²)が一定に堆積すると仮定した。推定沈降量は1.2×10⁹kgとなり(図-9)、これは河川から流出した総懸濁物質質量3.2×10⁹kgの約40%に相当する。また、沈降物の約80%は河口部から2.5km程度の範囲内に沈降したと読み取れる。

2回目の流量ピーク発生時が8月13日7:00で、トラップを設置した時期が同日の午前中であること、懸濁物質の沈降速度が極めて速い可能性があることを考慮すれば、この沈降物は2回目のピーク時以降に供給された懸濁物由来ではないかと考えられる。そこで、鶴川橋観測地点からトラップ地点まで懸濁物が到達する時間を考慮し、8月13日0:00以降の洪水流によって供給された物質量をL-Q式から求めると1.0×10⁹kgとなり、トラップされた推定沈降量とほぼ一致した。

次に、トラップに捕捉された物質量と、柱状採泥によって採取された海底表面の沈降堆積物量とを比較した(図-10)。いずれの地点でも柱状採泥の試料が極めて少なく、海底に沈降した土砂のほとんどが、前章で述べたように流れの速い底層流の作用で再移動したり、

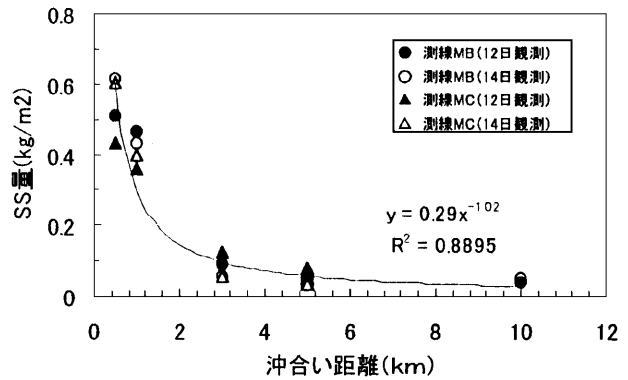


図-7 単位面積水柱に含まれるSS量

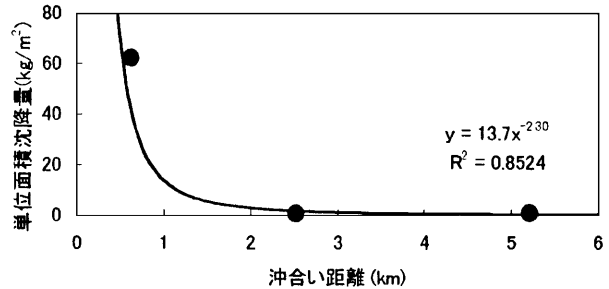


図-8 セディメントトラップの沈降量

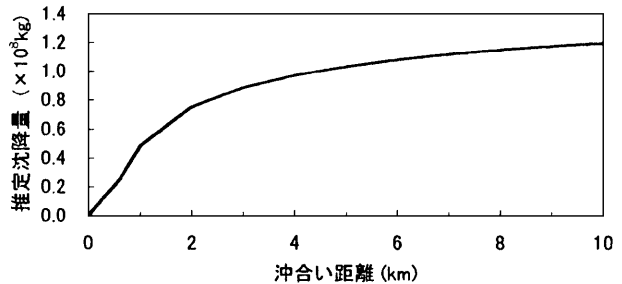


図-9 海域推定沈降量

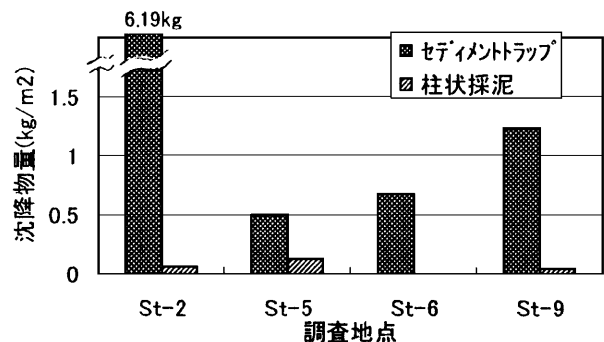


図-10 セディメントトラップと柱状採泥の比較

あるいは激しく巻き上げられることによって、もともとの海底材料と混合してしまったことを裏付けている。

(2) 沈降物の粒度組成

図-11は水深の1/2位置のトラップに捕捉された沈降物の粒度分布である。河口沖0.6kmのSt-2地点では粒径0.1mm前後のシルト-細砂成分がほとんどを占めている

のに対し、沖合2.5および5.2kmのSt-5およびSt-6地点では沈降物の粒度組成には差がなく、粘土-シルト成分で構成され、細砂成分は含まれていない。したがって河川水とともに海域に拡散した浮遊砂やウォッシュロードのうち、河口から沖合い2.5km以遠には粒径が0.1mmを上回る土砂はほとんど到達しなかったと考えられる。また、St-9は海岸からの距離がSt-2とほぼ同じであるが、鵜川及び沙流川の双方から約2.5km離れているため、粒度分布はSt-5やSt-6に似た細粒成分で占められている。

図-11はSt-2のトラップ内沈降物の粒度組成と、6月と8月に柱状採泥器により採取した河口沖合0.3km地点の海底表面材料、洪水発生前の1993年に採取した河床材料（河口上流0.2km）、鵜川河口右岸部（S-6）の海浜砂、および洪水時に水深2m程度冠水した鵜川RP19.4地点の高水敷上の樹木群内に堆積した土砂の粒度組成を比較したものである。

まず、トラップ内沈降物と高水敷上の堆積物の粒度組成が非常に似ていることから、この沈降物質が河川由来であることが確認された。海底表面材料は、洪水以前では粒径0.1~0.3mmのほぼ均一な細砂で占められていたが、洪水後ではシルト分が主体になり、底質の細粒化が起こっている。トラップ内物質の粒度は6月と

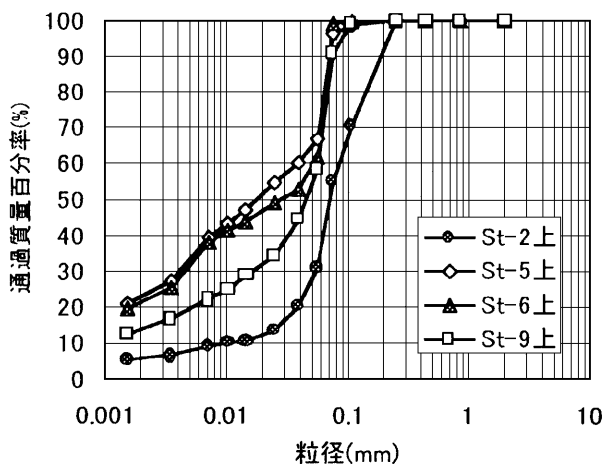


図-11 海底沈降物の粒度組成

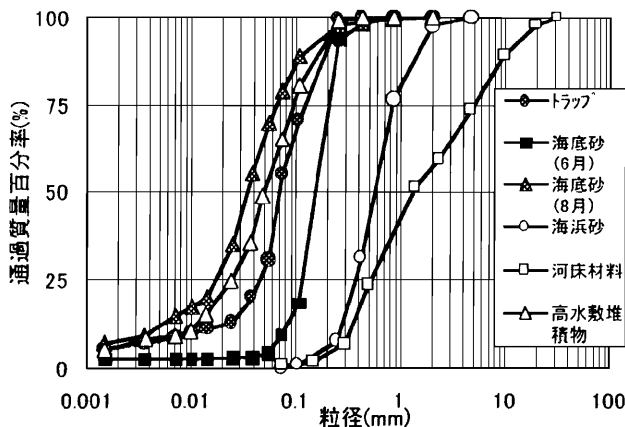


図-12 各材料の粒度組成比較

8月の海底表面材料の中間的な組成となっており、このことから海底表面材料は出水時に河川から供給される浮遊砂とウォッシュロード由来の沈降物に大きく影響を受けていると考えられる。

一方、河口近傍の河床材料の組成は海底砂の組成とほとんど重なっておらず、掃流状態によって河川から供給される土砂が、直接河口付近の海底材料の形成に寄与する割合は極めて少ないのではないかと推定される。また、海浜砂はシルトと細砂との境界領域に位置するほぼ単一粒径で構成されており、河口部付近の海浜砂は河床材料の細粒成分と浮遊砂中の粒径の大きな成分が主たる構成要素となっているものと推定される。

5. おわりに

洪水時に河川から海域へ土砂が移動する過程を、一連で観測する機会に恵まれた。その結果、河川水中に含まれる懸濁物質のうち約80%が河口のごく周辺部に堆積することがわかった。また、約0.2m/sの底層流が存在することによって、沈降物は拡散もしくは速やかに海底材料に同化してしまうこともわかった。

水系としての土砂移動をとらえるためには、洪水という単発的な現象だけではなく、年間トータルで評価する必要がある。著者らは、引き続きセディメントトラップによる今融雪期からの連続観測を継続中である。さらに、河川を陸域から海域への物質を運搬するシステムとして評価するためには、流域から生産される土砂以外の多様な有機的・無機的物質についても、その生産・移動プロセスを把握し、海域環境に対して河川がどのような機能を果たしているのかを一つずつ明らかにしてかなければならない。

参考文献

- 1) 山本 徹, 黒木幹男, 板倉忠興: 河道網理論による金山ダム流域の地質別流砂分布, 土木学会水工学論文集No.41, pp.765-770, 1997.
- 2) 上野順也, 山口 甲, 新庄 興: 貯水池堆砂量の経年変化について, 水文・水資源学会1998年研究発表会要旨集, pp.78-79, 1998.
- 3) 宇多高明, 三澤博敬, 松井初男: 静岡海岸におけるSAND BODYの移動現象のIGNITIONについて, 海岸工学論文集, No.43(1), pp.581-585, 1996.
- 4) 伊達政直, 泉 典洋, 田中 仁: 掃流砂・浮遊砂の流出に伴う河口テラスの初期堆積機構, 海岸工学論文集, No.44(1), pp.591-595, 1997.
- 5) 森 信幸, 紅葉克也, 高田利幸: 胆振海岸の沿岸漂砂に影響を与える沿岸流について, 第41回北海道開発局技術研究発表会発表概要集(3), pp.115-162, 1998.

(1998. 9. 30受付)