

第八章 多摩川の土砂動態

多摩川は東京都と神奈川県の間を流れ東京湾に注ぐ。人口密集地帯を流れる河川であるために古くから利用が進んでおり、首都圏の社会資本整備のために大量の河床材料が砂利骨材として採取され、また河口沖合は工業地帯や空港として大半が埋め立てられた。つまり、熊本県白川とは全く対照的に、人為作用の大きい川である。

そこでここでは、多摩川の人為要因による浚渫及びそれによる河床変動と、自然の洪水や高濁度水塊の移動による土砂動態との関連について検討する。最初に、研究対象地の概要を説明し、次に測量資料と浚渫資料から河床変動傾向を読みとる。さらに、超音波流速計を主体とした現地観測を実施して、洪水時の土砂供給と潮汐による高濁度水塊の移動を把握し、土砂移動の概要を把握する。

8-1 研究対象地の概要

8-1-1 地形

調査対象地は多摩川の河口域である。図-8-1 に地形の変遷を、図-8-2 に平面図と最深・平均河床縦断面図を示す。多摩川の流域面積は約1,200km²であり、流路延長は120km、感潮区間は13kmである。図-8-1の左側は1883年の地形図であるが、河口の周辺に岸から1~2km沖合まで干潟が広がっていた。しかし、戦後、河口周辺の干潟は南側が京浜工業地帯として、北側が羽田空港として埋め立てられ、その姿はほぼ消滅した。

感潮河道の地形は、-1km~4km付近は浅く、5~7kmは窪地状の地形となっている。多摩川河口の1km付近までは左岸の羽田空港や右岸の工業地帯に物資を運搬するためのタンカーが多く航行しているが、干潮時に滞筋の水深が3m程度になるため、船底が河床に着底しそうな状態で走行している。

8-1-2 底質

図-8-3に1925年(高田, 1927)と1971年(京浜工事事務所, 1972)、及び2001年の河床材料を示す。同じ地点のデータは存在しなかったため、近傍のデータを比較している。

これより、1925年(大正時代)には細砂から粗砂であった河床が、約50年経過した後には粘土もしくはシルト質に変化している。ただし、1925年については、数値以外の記録として「水深大となり沈積物中泥土の量多し」「有機物を増す」とあるため、場所によってはシルト粘土が堆積していたものと考えられる。1971年については他の調査地点でもシルト質が大半であった。したがって、やはり傾向としては河床材料が細粒化したものと考えられる。

この原因としては、戦後の経済成長に伴う流域排水の増大が挙げられる。多摩川の河口域では1960年代以降、有機汚泥が厚く(最大3m程度)堆積して水質汚濁や悪臭

等が顕著になったため、環境整備事業として1971年から1994年にかけて浚渫を実施した。図-8-4に浚渫位置を示す。総浚渫量はおよそ100万 m^3 であり、また0~4kmで集中的に汚泥除去が行われた。

その後、2001年のデータでは1971年よりも若干粗粒化しており、1925年との中間的な粒径になっており、底質の環境改善が進んだものと思われる。

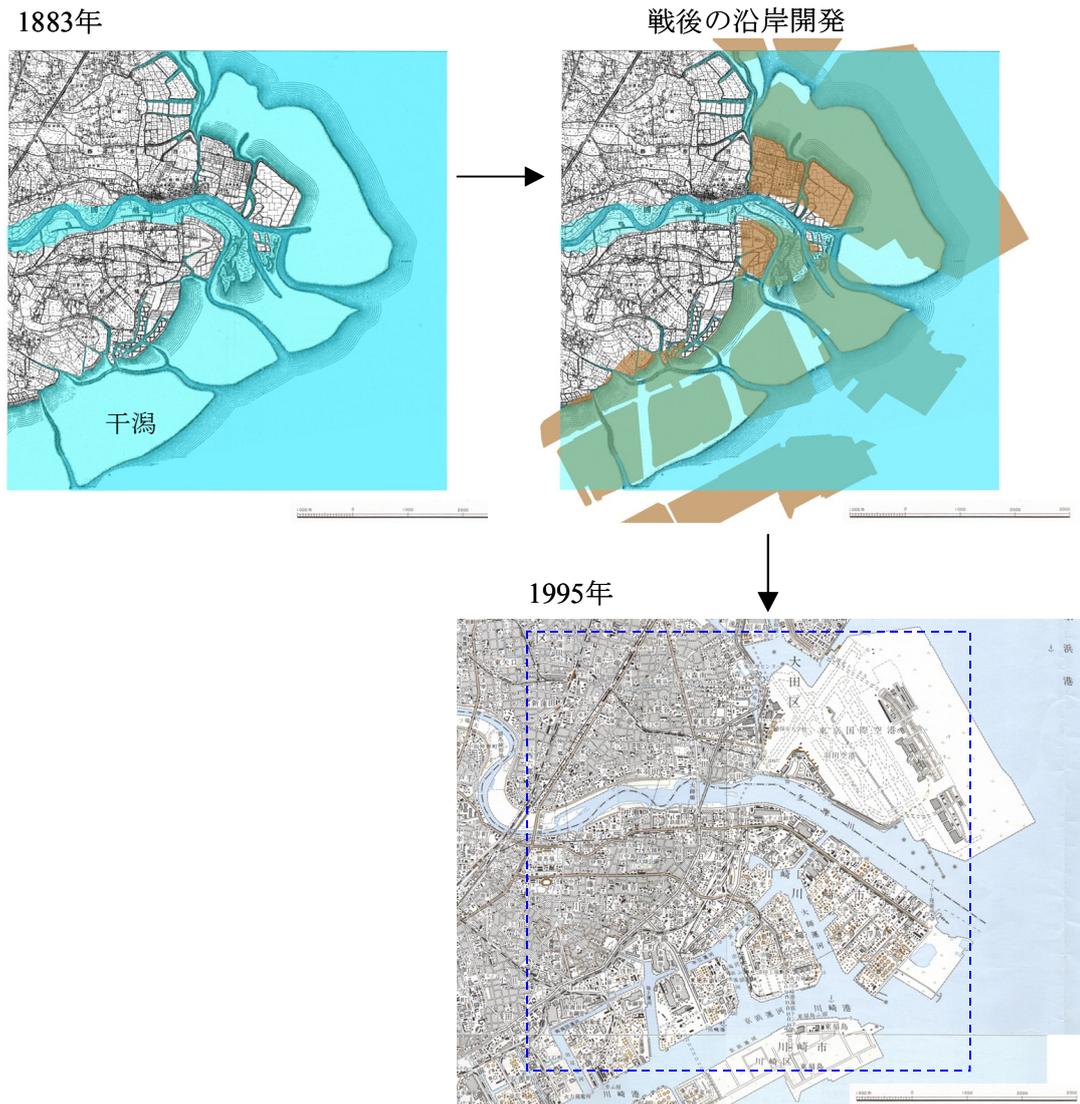


図-8-1 多摩川河口周辺の地形の変遷

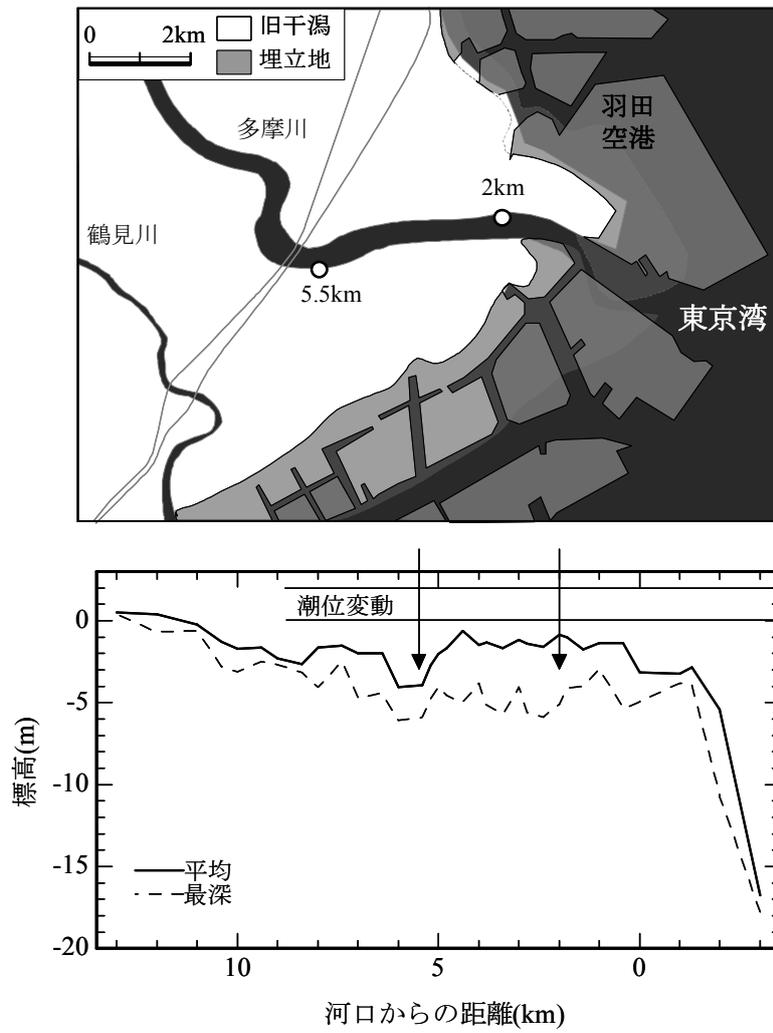


図-8-2 多摩川河口域の平面図と縦断図

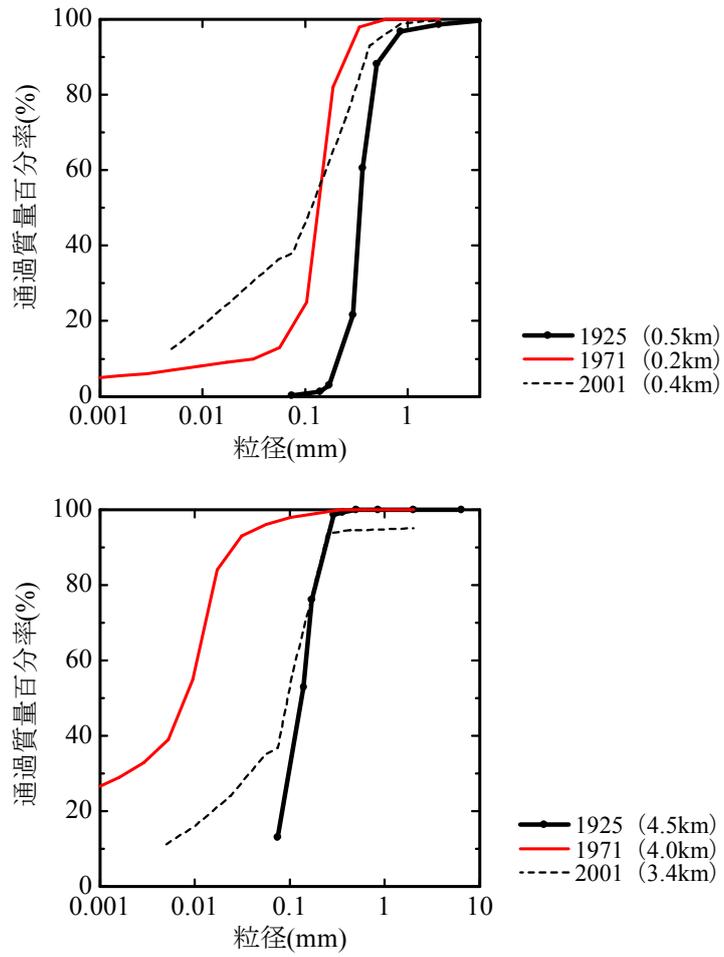


図-8-3 河床材料の粒径の変遷

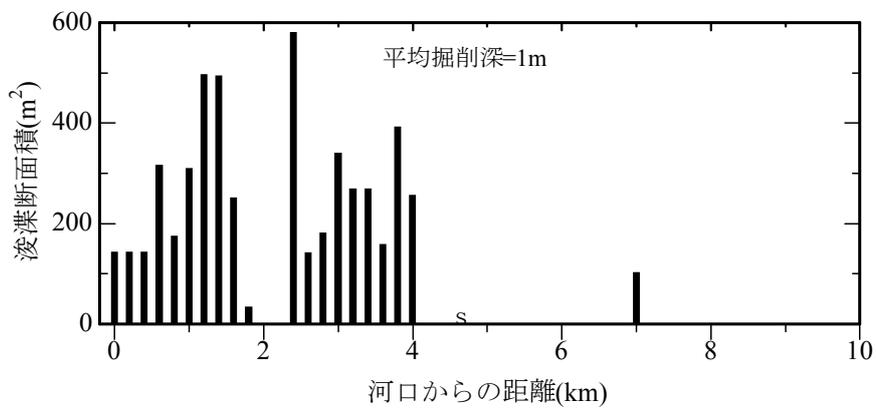


図-8-4 浚渫事業の実施位置

8-2 河床変動履歴

8-2-1 浚渫実施箇所と未実施箇所の比較

図-8-5に1kmの河床変動履歴と1968年を基準とした断面積の変化時系列、および上流地点の年最大流量時系列を示す。また、図-8-6に5kmについて同様の図を示す。図中の番号(①~⑤)は、1968年から91年までの測量年を指したものである。1kmは河床地形が浅く有機汚泥の浚渫が実施された場所の例として、5kmは窪地状の地形で浚渫が実施されていない場所の例として示している。

まず、1km(図-8-5)について見ると、②(79年)に急激に断面積が増加し、河床は最大2m程度低下しているが、その2年後には約75%程埋め戻り、さらに2年後の③(83年)では浚渫により再び河積が増大している。その後はこの断面では浚渫が実施されていないため、徐々に①の河床に復元してゆき、⑤(91年)ではほぼ元通りになっている。②の河積増大は、入手した浚渫記録には記載されていないが、流量記録では1975年以降かなり低い流量が続いていることから、洪水による洗掘とは考えにくく人為的な掘削によるものと推測される。

いずれにしても、②と③の河積増大の直後に50~70%程度埋め戻っていることが特徴的である。流量との関係を見ると、1974年に過去30年間で最大の洪水が生じているものの河積はほとんど変わっていないが、②と③の後に生じた平均よりも若干大きい洪水によって大部分が埋まっている。つまり、河床がある安定した形状から人為的に変化すると、元の形状に戻る方向に土砂の移動が生じ、戻る速度は数年程度と短い時間であると言える。

図-8-6に示す5kmでは、浚渫は実施されていないが、横断形状は①から⑤まで堆積と洗掘を繰り返している。河積の変化は、②と④が洗掘、③と⑤が堆積であり、洗掘から堆積に転じる期間には平均程度の洪水か、もしくは濁水に近い状態が起きている。とはいうものの、その逆(濁水だから堆積する)は成立しておらず、流量との明瞭な相関は見いだせない。

8-2-2 河床変動の特徴

以上の整理を0kmから10kmまでの200mピッチの51断面で11測量年の全てに対して行い、河道容積の経年変化を求めた。その結果を図-8-7に示す。また、浚渫量の累積時系列も示している。浚渫量は容積を増大させる行為なので、正の値としている。

1968年からの河道容積の変化量は1995年で-15万 m^3 であり、この量は10km区間全体が5cm下がったことに相当するが、30年間の変化としてはほぼ元の状態に戻ったと言える。つまり、総浚渫量100万 m^3 は全て埋まったことになる。図中のメッシュで印した河積の拡大は、入手した浚渫記録と対応していないが、1979年に430万 m^3 、1983年に190万 m^3 拡大し、その後に全て埋め戻っている。

1989年以降は浚渫がほとんど行われていないが、河道容積は徐々に減少し、10km区間全体が20cm上昇した程度の堆積が生じている。そして1995年には河床低下に転

じている。なお、図-8-5の流量時系列によれば1991年の洪水が平均より若干大きい
が、それ以外は大した洪水は生じていない。

以上、資料整理より得た多摩川感潮域の河床変動の特徴をまとめると、①浚渫等の人為的な河積拡大は、洪水規模に係わらず数年程度で埋め戻ってしまう、②平均以下の洪水しか生じていない期間でも土砂の堆積・流出が生じている。

そこで次に、この考察がどの程度確からしいのか、その可能性を調べるために、現地で実際に生じている土砂動態の現地観測を実施した。

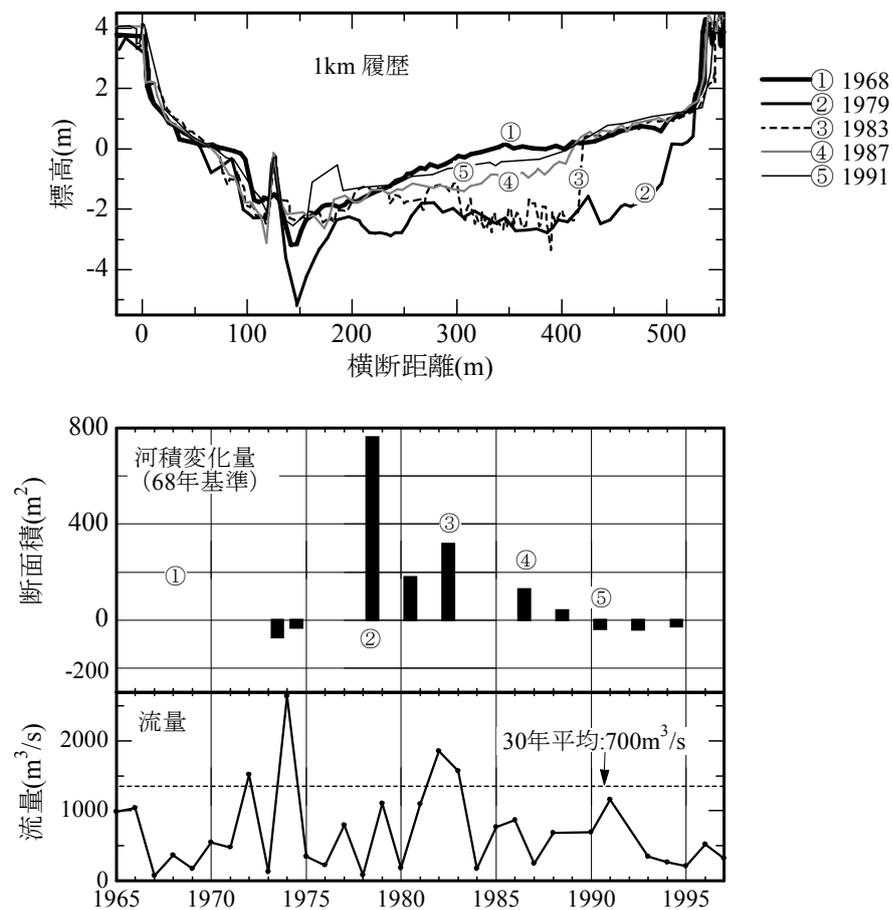


図-8-5 河床変動履歴，河積変化量と年最大流量（1km）

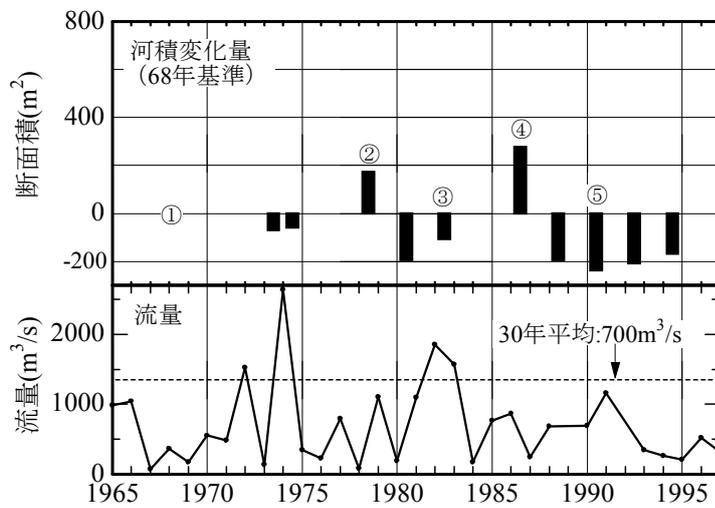
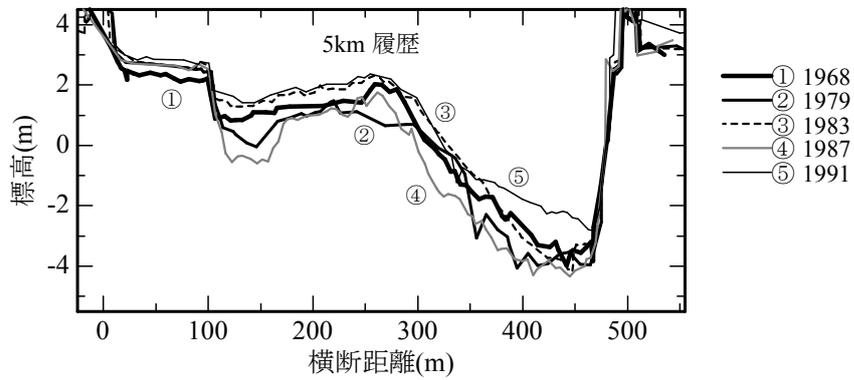


図-8-6 河床変動履歴，河積変化量と年最大流量（5km）

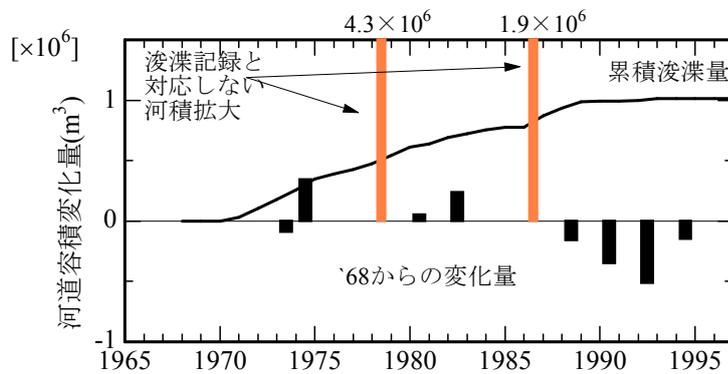


図-8-7 全区間(10km)の容積変化量と浚渫履歴

8-3 洪水による土砂供給

ここでは上流から供給される土砂量を現地観測に基づいて簡易的に推定する。多摩川の観測では感潮区河道における短期的な濁度モニタリングしか実施しておらず、洪水時の採水は実施していないため、いくつかの仮定を行うことで土砂量の概略値を求める。

8-3-1 観測方法

現地観測は感潮河道の 5.5km 地点で実施した (図-8-2)。河道の流心は水深が約 6m あり、ここに自記式濁度計 (アレック電子 ATU5-8M) をロープ、アンカー、ブイで固定した。設置水深は河床から 1m, 3m, 5m の 3 箇所である。設置期間は 1999 年 10 月 15 日から 11 月 16 日までの約 1 ヶ月間である。

なお、洪水時の採水は実施していない。

8-3-2 観測結果と解析

図-8-8 に洪水時の流量と濁度の時系列を示す。濁度は 3 水深の平均値である。流量は京浜工事事務所が 28km 地点で取得しているデータである。洪水のピーク流量は約 $350\text{m}^3/\text{s}$ であり、年に 3~4 回発生する中規模洪水であった。

濁度のピークは洪水のピークから数時間遅れているが、これは観測地点が 23km 離れているためやむを得ない。この 2 つのデータから洪水時土砂量を算出するが、その際には 2 つの手順を経る必要がある。1 つは濁度と SS の相関を仮定することであり、1 つは濁度のタイムラグを修正することである。

前者については、採水分析を実施していないので、浮遊土砂はカオリン粘土と同等と仮定して、SS=濁度とする。

後者について、洪水の立ち上がり時刻とピーク時刻に着目すると、タイムラグはおよそ 3~5 時間程度であると推測される。また、河川における浮遊砂の特性として、流量と流砂量の間に良い相関があることが知られている (Q-Qs 関係)。そこで、上記のデータについて Q-Qs 関係を整理し、線形性が見いだされるようにタイムラグを調整した。その結果、タイムラグが 4 時間で最も線形性が良くなり、図-8-9 のようになった。

これより、図中の相関式を用いて、過去の大きな流量規模における供給土砂量を推定すると表-8-1 が得られた。なお、土砂堆積の計算に使う湿潤密度は、白川の河口干潟に堆積した泥土の値を参考にして 1.3 と設定した。

表の第一行は今回の洪水であり、第二行は平均年最大流量、第三行は 1 / 5 確率の流量である。これより、多摩川では年に数回発生する洪水で供給される土砂量は約 $5,000\text{m}^3/\text{s}$ であり、1 / 5 確率の洪水では $560,000\text{m}^3/\text{s}$ の微細土砂が上流から河口に供給されると推定された。

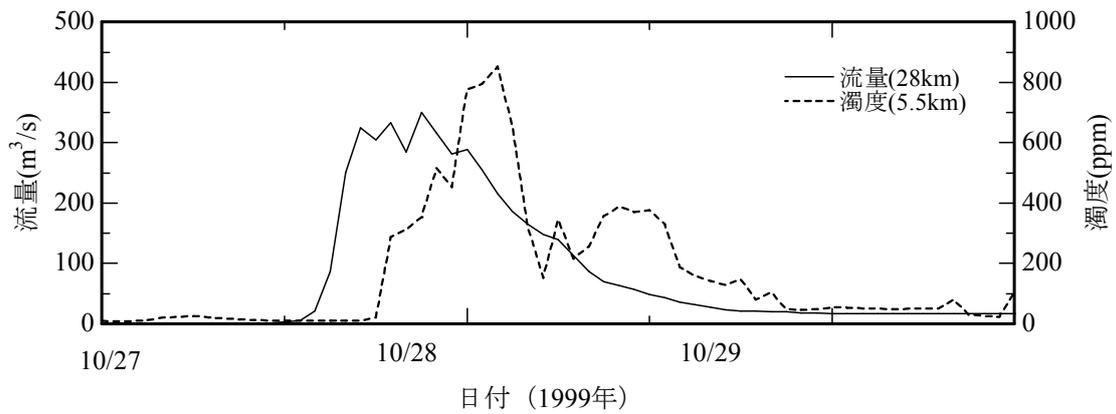


図-8-8 洪水時の流量と濁度の時系列

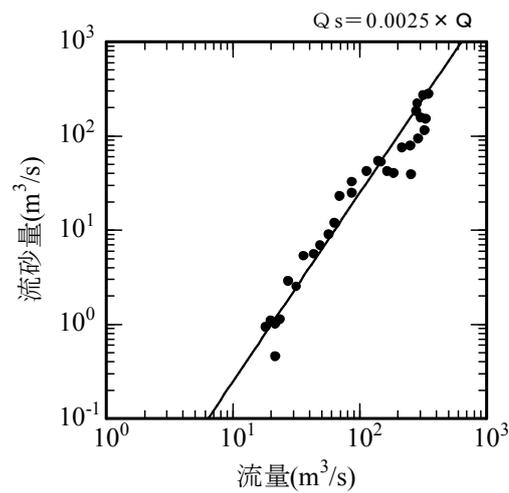


図-8-9 流量と流砂量の相関 (タイムラグ: 4時間)

表-8-1 流量規模ごとの供給土砂量 s

生起月日	ピーク流量	日平均流量	土砂体積
1999.9	400(m³/s)	180(m³/s)	4,600(m³)
2000.7	1,200(m³/s)	630(m³/s)	90,000(m³)
1999.8	2,300(m³/s)	1,400(m³/s)	560,000(m³)

8-4 平水期の潮流による土砂移動

白川では上げ潮時に干潟の底泥が巻き上げられて塩水フロントと共に遡上する高濁度水塊が見られ、地形・底質変化に及ぼす影響を無視し得ないことが明らかとなった。そこで、多摩川においても同様の手法で観測及び解析を行い、高濁度水塊の存在を確認すると共に、その影響について評価する。

8-4-1 観測方法

(1) 水質及び流動モニタリング

現地観測は2km地点で2000年12月より2001年5月までの約半年間にわたって実施した。また、5.5km地点では2000年12月より2001年1月までの約1ヶ月間だけ実施した。観測地点の縦断位置は図-8-2に示したとおりである。

測定項目は2km地点では流速、塩分、水温であり、5.5km地点では濁度、塩分、水温である。流速の鉛直分布はナローバンドタイプの有線式超音波ドップラー流速計(NORTEK社,ADP)を河床に設置して計測した。測定機の制御およびデータ記録用のノートパソコンは、河岸の民間栈橋に設置させていただいた。センサー周波数は1.5MHz、層厚は0.4mの設定で5分間の平均流速を計測した。

濁度、塩分、水温の計測にはそれぞれ小型メモリー式センサー(アレック電子製)を用いた。これらをロープに結びつけ、アンカーと水中ブイを用いて河床より1m、3m、5mの位置に固定した。塩分と水温の計測間隔は10分、濁度の計測間隔は5分である。

なお、2km地点には濁度計を設置できなかったため、超音波流速計の反射強度から濁度を推定した。

(2) 流動集中観測

高濁度水塊の運動を詳細に捉える目的で、2km地点において集中観測を2回実施した。観測項目は濁度・塩分・水温の鉛直分布であり、多項目水質計(アレック電子製ACL-1183PDK)により鉛直間隔10cm、時間間隔15分で連続的に計測した。実施日は2001年1月8日と2月22日(いずれも大潮)であり、前者は28時間連続で、後者は8時間連続で計測した。

水質の鉛直分布測定時には、北原式採水器で濁水を採取し、30分から1時間ほど静置して沈殿物をシャーレに取り、デジタル顕微鏡(キーエンス製マイクロスコープ)により倍率175倍で粒子の写真撮影を行った。さらに、濁水を実験室に持ち帰ってSSと粒度分布を分析した。

なお、濁度を土砂濃度に換算するためにSSと濁度の相関を調べ、 $SS=1.11 \times \text{濁度}$ を得た。以後は濁度をSS換算した結果を示す。

8-4-2 半月周期の土砂動態特性

図-8-10 に約 2 週間の観測結果を示す。図は風速，河口水位，塩分，SS (2km)，SS (5.5km) を示している。2000 年 12 月から 2001 年 4 月までの期間では上流流量は平水状態であり，潮汐並びに SS の変動は以下に示す半月周期のパターンを繰り返していた。

河道 2km では潮位変動に応じて SS が上昇し，大潮から中潮にかけて相対的に濃度が高くなった。上流の 5.5km では 2km で SS が高くなった際にわずかに上昇した。また，SS の挙動と風速の間には関係は見られず，これらの状況は白川の河道内部の様子（例えば図-6-7）に似ている。ただし，濃度の絶対値は，白川では 300~500mg/l であったが多摩川では 100mg/l 程度と低い。

そこで次に SS の上昇が顕著な大潮時に着目して，SS の発生，移動の様子をより詳細に検討する。

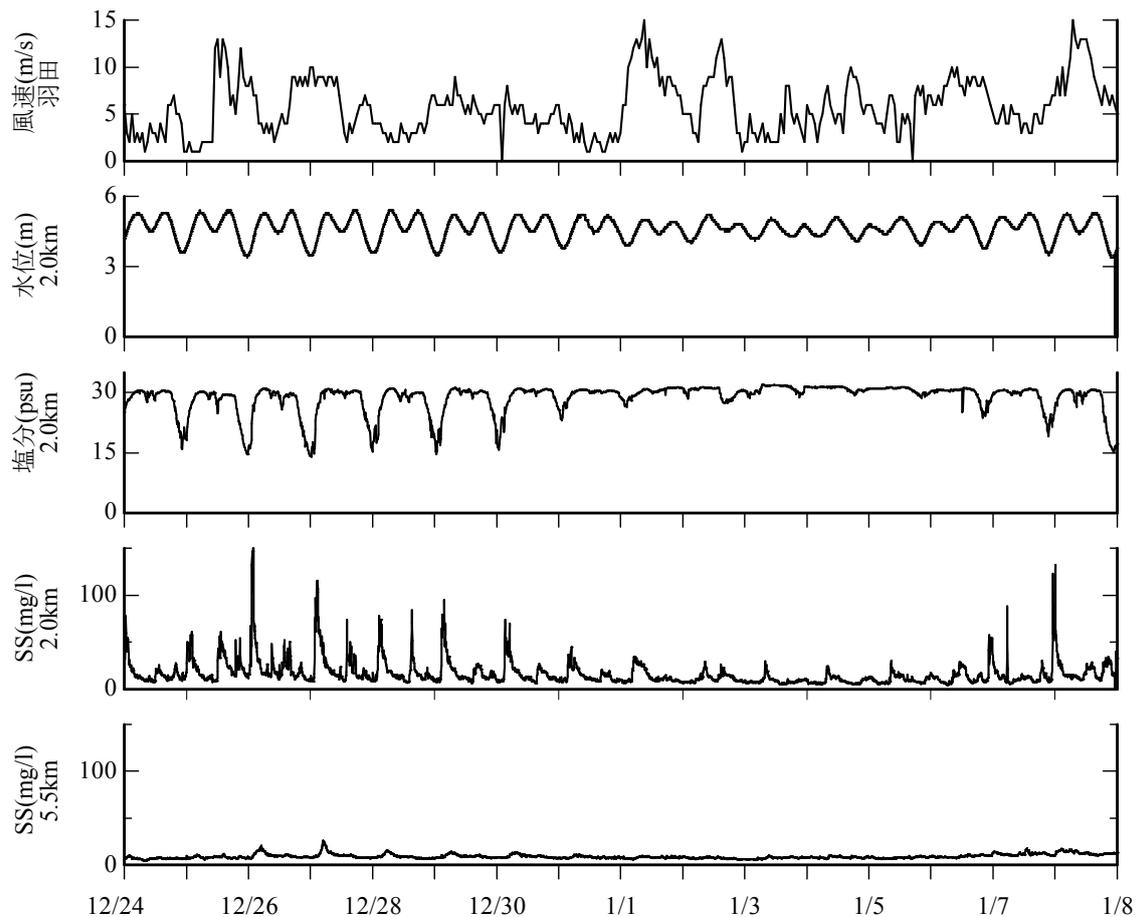


図-8-10 半月の風速，河川流量，潮位，塩分，SS の時系列

8-4-3 大潮～中潮期の土砂動態特性

図-8-11 に 28 時間連続観測の結果を示す。上段より流速・SS の鉛直分布時系列、中段が河床から 1.2m の流速・SS・塩分の時系列、下段は 5.5km の SS・塩分時系列である。

流速と SS の鉛直分布は表面を除いてほぼ一様になっており、強混合状態で塩水が進退していることが分かる。SS の上昇は、上げ潮によって塩分が立ち上がり、かつ逆流流速が最大に到達する直前に現れる。その後、最大流速は 2 時間程度継続するが、SS は尖塔状のピークを示してすぐに落ち込んでしまう。

また、順流時には流速が逆流流速と同等かそれ以上であるが SS の発生は見られず、SS と流速の絶対値とは対応していない。したがって、白川と同様に高濁度水塊が遡上しているものと推測される。高濁度水塊は、潮流によって巻き上げられた底質が塩淡水境界付近でフロックを形成し、沈降速度が増すために塩水フロントの前面に集積して、濃度の高い領域が発生する現象である。

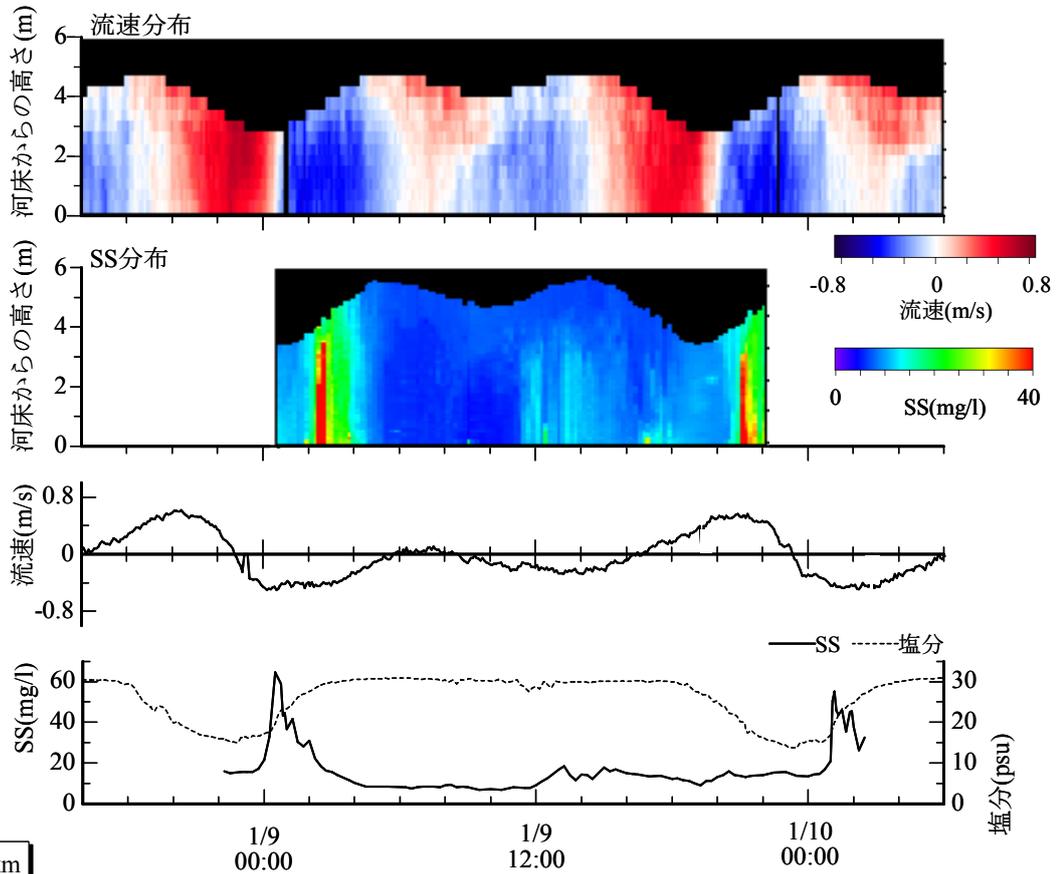
そこで、フロックの存在を確認するために高濁度水塊から採水して粒子の顕微鏡観察を行った(写真-8-1)。輪郭の不鮮明な団子状のものはフロックであり、輪郭の鮮明なものは鉱物粒子である。両者の正確な存在比率は計測できないが、高濁度水塊中にはフロックと単体の鉱物粒子が共に存在していることが確認された。フロックは大きいものでは 0.1mm 以上あったが、団粒構造を超音波振動により壊してから粒子単体の粒度分布を計測したところ、 $D_{50}=0.011\text{mm}$ 、 $D_{90}=0.038\text{mm}$ が得られ、フロックはかなり大きく成長していた。

以上より、多摩川においても白川と同様に高濁度水塊が発生していることが確認できた。

また、上流部(5.5km)では、2km 地点から 2.5 時間程度遅れて SS の上昇が観測されたが、濃度は 2km よりも低くなっており、塩水はほとんど混合していた。

多摩川では河口や沖合で観測を行っていないので、高濁度水塊の発生については分からない部分が多いが、白川の河口のように流れや波浪の影響で底質が巻き上げられて SS が生じている可能性がある。

2.0km



5.0km

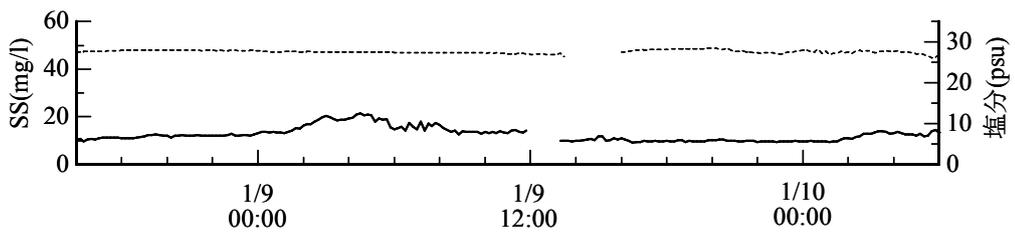
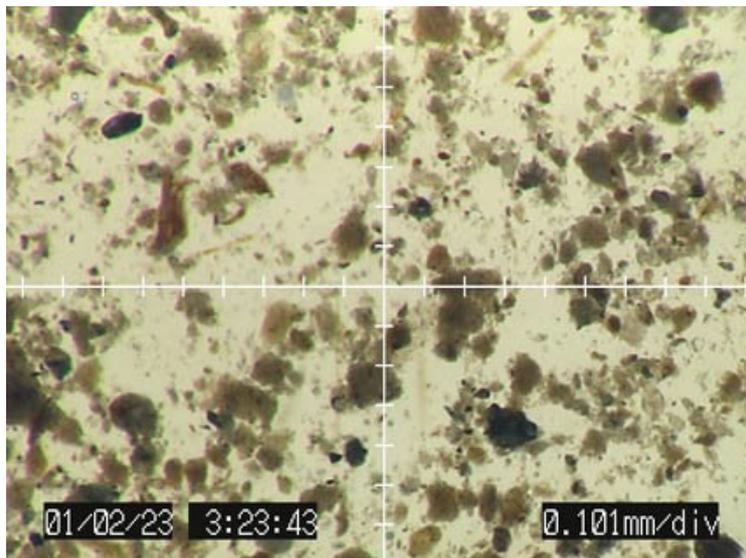
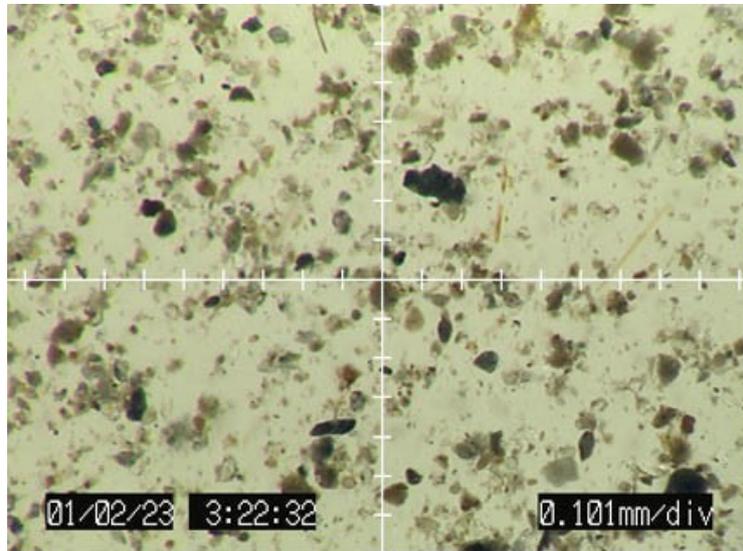


図-8-11 大潮時の水位，流速，SS，分時系列



写真－ 8 － 1 濁水中の土砂粒子（フロック，鉱物）

8-5 潮汐に伴う土砂移動量の計算

前節では、高濁度水塊が河道を遡上していることが明らかになったので、次にその移動量を第二章の方法を用いて超音波流速計の観測データから計算する。

2km 地点における約半年間の流量、SS、断面通過土砂量を計算した結果を図-8-12に示す。なお、流量の計算方法は第二章で示した詳細な方法ではなく、平均流速を便宜的に8割と仮定する方法にしている。流量とSSは超音波流速計のデータから計算した値である。

これより、白川の場合と同様に、土砂はほとんど全ての期間で上流に向かって逆流し、その量は半年で $1,550\text{m}^3$ となった。前述の通り、5.5km 地点ではほとんど濃度の上昇が見られなかったことから、逆流した土砂は2地点間に堆積しているものと考えられる。

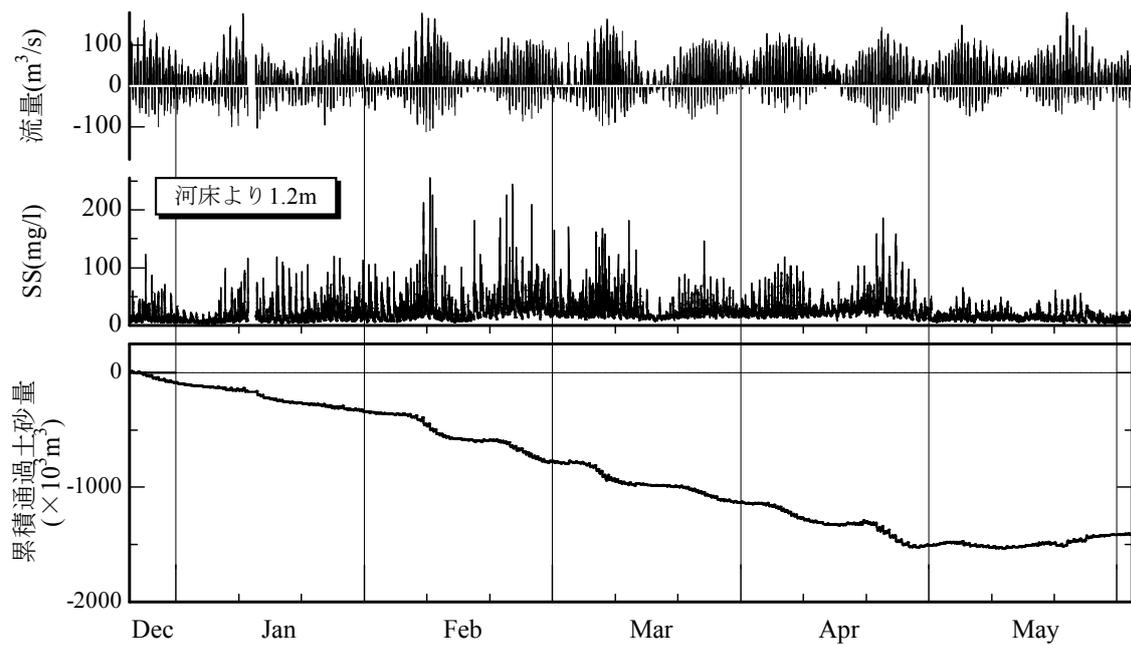


図-8-12 半年間の断面通過土砂量 (2km)

8-6 多摩川河口域の土砂動態のまとめ

これまでの計算結果をまとめると次のようになる。

測量・浚渫資料を整理した結果、多摩川における過去の環境浄化浚渫は、洪水規模に係わらず数年程度で埋め戻っており、平均年最大流量以下の洪水しか生じていない期間でも土砂の堆積・流出が生じていた。年間の変動量は、浚渫が行われていない時期（1990年代）は1年間に数万から10万 m^3 程度であり、また、浚渫量は年平均5万 m^3 （20年間で100万 m^3 ）であった。

洪水時に上流から供給される微細土砂量は、年に数回発生する中規模洪水では約 $5,000\text{m}^3/\text{s}$ であり、1/1確率の洪水では約9万 m^3 、1/5確率の洪水では56万 m^3/s と推定された。したがって、洪水時の土砂の大半が堆積すると仮定すれば、河床変動量とオーダー的に整合し、浚渫箇所が短期間に埋没することも説明が付く。

一方、平水時には高濁度水塊の遡上が確認され、濃度は100~200 mg/l に達した。高濁度水塊の運動によって移動・堆積する土砂量は半年で約1,500 m^3 であった。これを単純に1年間に換算すると約3,000 m^3 となるから、中規模出水と同じオーダーの土砂が潮汐によって移動していることになる。

したがって、多摩川の土砂動態では洪水による土砂供給が大きな比重を占め、平常時の移動量は白川ほどには大きな割合を占めないことが明らかになった。多摩川は潮位変動量が白川の半分程度であるため底質巻き上げの強度が異なる可能性があること、多摩川には河口干潟がほとんど存在しないために浮泥の供給源が少ない可能性があることなどが原因として考えられる。

ただし、微細土砂には多量の栄養塩が付着しているため、高濁度水塊の日々の移動が生態系に及ぼす影響は大きいと考えられる。

参考文献

- 高田昭（1927）：多摩川産砂利及び砂に関する調査，土木試験所報告，第 9 号，pp71-92.
建設省京浜工事事務所（1972）：多摩川下流河床土質試験調査書