

第九章 研究の総括

9-1 本研究のまとめ

本研究では、感潮区間を有する河口域の土砂動態を明らかにするために、新たな計測手法を提案すると共に、上流から河口域に供給される土砂量と河口干潟の地形及び底質変化の関係、堆積土砂の再移動過程と1年間の移動状況をそれぞれ詳細な現地観測によって調べた。さらに、各過程で移動する粒径別土砂量を計算し、それらの収支を検討することで、河口域の地形・底質変化に及ぼす影響を評価した。

調査対象地は熊本県白川と東京都多摩川の河口域であり、白川に重点を置いて研究を進めた。得られた結論は以下の通りである。

9-1-1 計測技術の開発

- 1) 河川では流量観測地点に濁度計を設置することで、浮遊砂の長期モニタリングが可能である。濁度計は光の散乱強度で水中懸濁物質の濃度を計測しているため、粒径依存性があり、シルト粘土には良く反応するが、粗砂以上になると応答性が非常に悪くなる。しかし、現地ではある地点を通過する土砂の粒径や性状は流域地質や河岸材料などに固有であるため、それが洪水ごとに変化することは少ない。したがって、予め洪水時に採水を行って濁度とSSの相関関係を調べておけば、その地点を浮遊通過する土砂の粒径情報が相関関係に含まれるので、粘土から砂までの広範囲の土砂濃度(SS)を濁度モニタリングから推定することが可能である。
- 2) 上記の方法で河川を流下する浮遊土砂量を1年間にわたってモニタリングしたところ、下流の湖沼に溜まった土砂量と一致した。濁度モニタリングでは河道横断面内の1点で、しかもセンサーのごく近傍の土砂濃度しか計測していないが、浮遊土砂(ウォッシュロード)であれば精度良く移動量を把握できることが示された。
- 3) 河口域では超音波流速計を河床に設置することで、流速と土砂濃度の鉛直分布を計測できるため、時々刻々の土砂移動量を計算できる。超音波流速計は水中の懸濁物質の移動速度を音波のドップラーシフトから計算しているが、それと同時に反射強度も計測している。反射強度は水中の土砂濃度と相関が高いため、両者の関係を定式化すれば、土砂濃度の鉛直分布を推定できる。ここで、式の係数は測定機の個体差や周波数、測定の設定、地点ごとのSS性状の違い、といった様々な影響を受けるため、現段階では個別にキャリブレーションする必要がある。最初にキャリブレーションを行えば、あとは流速と土砂濃度の鉛直分布を1台のセンサーで計測できるため、従来の一点式計測機を複数台設置するよりも効率的に、かつ安全に浮遊土砂移動量を把握することが可能である。

9-1-2 白川上流から河口域に供給される土砂量

- 1) 白川は洪水時の土砂濃度が高いと言われており、昭和 28 年の既往最大の出水では氾濫水もさることながら、それに含まれる高濃度の「泥土」が熊本市街を覆い尽くしたとされている。そこで、土砂の供給源をさぐるために、阿蘇カルデラの地質調査報告書や崩壊土砂調査書、昭和 28 年災害の記録などを整理したところ、次のことが分かった。白川では「ヨナ」と呼ばれる土砂が阿蘇カルデラから大量に供給されるが、それらは山腹崩壊によって生産される砂質土と溪流堆積物から流出する泥質土（ヨナの変化生成物）に分けられ、洪水時には後者の流出量の方が多い。
- 2) 白川が洪水時に河口域に供給する土砂量を把握するために、濁度モニタリングと採水観測を梅雨時期に実施した。その結果、浮遊土砂の粒径はシルト・粘土であり、これが 10.2 万 m^3 河口に供給されたことが分かった。このときの流量規模は 1 / 3 ~ 1 / 4 確率であった。
- 3) 洪水が河口域の地形や底質の性状に及ぼす影響を把握するために、河口干潟の測量と底質採取を洪水前、洪水後、その 2 ヶ月後に実施した。その結果、干潟の地形は洪水後に最大で 0.3m 程度上昇し、その堆積量は総量で 42.4 万 m^3 、内訳はシルト・粘土質が 24.0 万 m^3 、砂質が 18.4 万 m^3 であった。これより、シルト・粘土分は上流域からの供給土砂量が干潟部堆積量の約半分、砂分は洪水中に見られなかったが干潟には 18 万 m^3 堆積した、という結果になった。
- 4) 測量の鉛直精度は数センチであるため、干潟全体の堆積量では数万から十万 m^3 程度が誤差と考えられる。一方、洪水観測の精度は浮遊砂に限って言えばかなり高い。したがって、洪水観測の結果を基準に考えると、干潟に堆積した土砂量は、シルト・粘土分が 10 万 m^3 程度、砂分が 8 万 m^3 程度であると見積もられた。

9-1-3 白川河口域の平水期の土砂動態

- 1) 洪水の 2 ヶ月後には、干潟の地形はわずかに侵食されていた。これは、潮流や波浪の影響と考えられる。そこで、平水期の干潟及び感潮河道での土砂の動きを把握するために、通年の水質及び流動モニタリングを実施し、さらに大潮時に集中観測を実施した。その結果、平水期には潮流や波浪の影響で河口沖合の底質が巻き上げられて、上げ潮時に塩水フロントの前面に集積して高濁度水塊を形成し、河口を通過して河道内部へと遡上している様子が確認された。この際、塩水フロントの前面では浮遊土砂がフロックを形成して沈降速度が増大するために、河口から河道に移流するにつれて土砂が堆積していった。
- 2) 超音波流速計の流速と反射強度データから断面通過土砂量を計算し、平水期の 11 ヶ月に移動する土砂量を推定した。その結果、SS として河口を出入りした土砂量は 4.8~5.7 万 m^3 であり、このうち 2.6 万 m^3 が河口と河道の間の 3km 区間に堆積して

いた．これは数年確率の洪水が供給する土砂量の 2～3 割に相当し，平水期の土砂移動量が無視し得ないことが明らかとなった．

- 3) 以上の結果より，白川河口域の土砂動態サイクルは次のようになる．出水期に河川上流から土砂（砂，シルト，粘土）が供給され，その大半が干潟に堆積する．平水期には潮汐流や波浪によって干潟に堆積した土砂のうちシルト・粘土が巻き上げられ，上げ潮によって河道内に逆流して河岸に堆積する．河岸に堆積した泥土は翌年の出水でフラッシュされると考えられる．
- 4) つまり，干潟部の地形・底質を形成する主要因は出水期の上流部からの供給土砂であり，副要因は平水時の潮流に伴う微細土砂の移動であると結論づけられる．

9－1－4 多摩川河口域の土砂動態

- 1) 多摩川の河口では昭和 40 年代に活発に環境浄化浚渫を実施したが，浚渫の数年後には大半が埋め戻っていた．また，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．
- 2) 洪水時に供給される浮遊土砂量を Q-Qs 関係式から簡易的に推定した．その結果，平均年最大流量の洪水が供給する土砂量は 9 万 m^3 と計算され，これが全て堆積すると考えれば，浚渫穴がすぐに戻ってしまうという現象も説明が付く．
- 3) 平水期の土砂動態を白川と同様の手法で調査した結果，大潮時に高濁度水塊が逆流する様子が確認され，半年間の遡上量は約 1,500 m^3 であった．1 年間でみても洪水が供給する土砂量の 1 割に満たないことが分かり，多摩川の高濁度水塊の挙動は白川に比べれば地形や底質に及ぼす影響が小さいと推測される．
- 4) この原因は，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考えられる．しかし，本研究ではこれらを明らかにするには至っていない．

9-2 今後の課題

本研究では、河口域の土砂動態を解明するために、信頼性の高い現場データを丹念にとり続け、それらのデータを積み上げることで土砂動態の全体像を示した。次のステップとしては、次の3つの柱が挙げられる。

1) 現地観測精度の向上

本研究では各種の現地観測を実施したが、計測精度が充分でないものもいくつかある。その典型は地形測量であり、特にガタ土が普段堆積していると予想される河道内部については、測量範囲が狭いにもかかわらず姿勢が不安定な作業船から測深するために十分な精度（1cm 以下）が得られない。そのため新たな測定技術を開発する必要がある。

また、河川における浮遊土砂濃度を濁度計で計測しており、その精度が高いことは証明したが、やはり粒径集団別に濃度を計測できることが望ましい。そのような機器を開発すれば、河床付近にセンサーを近づけることで底面付近を流れる粒径の大きい浮遊砂を計測できるので、洪水時の砂移動量を把握できるようになる。

2) 土砂動態のミクロな機構の解明

本研究により、高濁度水塊が地形・底質変化に大きな影響を及ぼすことが明らかとなった。そのため、次の段階としては、高濁度水塊の発生や移動に関するメカニズムを解明する必要がある。検討すべき事項は、潮流や波浪による底質の巻き上げ、塩水フロントの通過による底質の巻き上げ、懸濁した土砂のフロック化、移流、沈降、などである。これらの諸過程が明らかになれば、水域ごと土砂移動状況の違いも明確になる。

なお、底質の巻き上げに関してはこれまで多くの研究者が室内実験を主体にして取り組んできたが、未解明の部分が多いのが現状である。そのため、室内実験で行うような詳細な計測を現地で実施することで、違った展開が開けるかもしれない。

3) 底質の挙動モデルの構築

上記の成果をもって底質の挙動と高濁度水塊の発生・移動の機構をモデル化することが必要である。底質の挙動をモデル化することが出来れば、既往の沿岸潮流モデルや河口内部の塩水遡上モデルに底質の挙動モデルを組み込むことで、河口干潟の底質がどのようなタイミングで移動し、どの場所にどの程度溜まるかということについて定量的な予測が可能となる。そのため、沿岸環境の保全管理を行ううえで極めて重要なツールとなる。

公表成果

本研究の成果として公表した論文は次の通りである。

査読付き論文

- 1) 横山勝英, 藤田光一 (2001): 多摩川感潮域の土砂動態に関する研究, 水工学論文集, 第 45 巻, pp.937-942.
- 2) 横山勝英, 宇野誠高 (2001): 河川感潮域における高濁度水塊の挙動—強混合河川の場合—, 海岸工学論文集, 第 48 巻, pp.631-635.
- 3) 横山勝英 (2002): 濁度計の粒径依存特性と現地使用方法に関する考察, 土木学会論文集, No.698/Ⅱ-58, pp.93-98.
- 4) 横山勝英, 諏訪義雄, 二村貴幸, 谷口 丞, 末次忠司 (2002): 涸沼川下流域における土砂・栄養塩動態の特性, 水工学論文集, 第 46 巻, pp.659-664.
- 5) 横山勝英, 宇野誠高, 森下和志, 河野史郎 (2002): 超音波流速計による浮遊土砂移動量の推定方法, 海岸工学論文集, 第 49 巻, (投稿中)
- 6) 宇野誠高, 横山勝英, 森下和志, 高島創太郎, 大角武志 (2002): 熊本県白川河口域における土砂動態, 海岸工学論文集, 第 49 巻, (投稿中)

口頭発表

- 1) 横山勝英, 藤田光一, 諏訪義雄 (2000): 多摩川感潮域における平常時および出水時の土砂移動量, 第 55 回土木学会年次学術講演会
- 2) 横山勝英 (2000): Field Study on Fine Sediment Suspended in Flood Water —洪水時の濁質輸送に関する研究—, Workshop on Water Resources Development And Flood Control
- 3) 横山勝英, 宇野誠高 (2001): 河口域における浮遊土砂動態の調査法, 第 7 回河口研究集会
- 4) 横山勝英, 宇野誠高, 末次忠司 (2001): 白川河口域における土砂動態の現地観測, 第 56 回土木学会年次学術講演会

技術資料

- 1) 横山勝英 (2001): 河口域の新たな流量計測法と土砂観測への応用, 土木技術資料, Vol.43, No.6, pp.10-11.

謝 辞

本研究を実施するにあたり，熊本工事事務所調査一課，京浜工事事務所調査課には各種資料を貸与していただき，また現地観測にご協力いただいた．ここに記して謝意を表する．