

熊本県白川河口域における土砂動態

宇野 誠 高* ・ 横山 勝 英** ・ 森 下 和 志***
高島 創 太郎*** ・ 大 角 武 志***

本研究では河口域における微細土砂の供給、堆積、再移動のメカニズムを明らかにすることを目的として、熊本県白川河口域において洪水期の上流からの土砂供給、土砂の堆積による河口域の地形変化、平水期の潮汐流による堆積土砂の再輸送に関して、1年間にわたって現地観測を実施した。これらのデータから地形の変化量と土砂移動量を粒径別に、また季節別に計算し、河口域における1年間の粒径別土砂収支を検討した。その結果、河口域の地形変化の主要因は出水期の土砂供給であるが、平水期の潮汐流によるシルト・粘土の移動量も前者の1～2割に達することから、河口域の土砂動態では無視し得ない要因であることが明らかとなった。

1. はじめに

沖積河川の河口域では、上流から供給された微細土砂が流速の低下と塩水による凝集作用によって堆積しやすい。このため、河道の洪水疎通能力や航路及び港湾を維持するために堆積した土砂を浚渫する必要がある。一方で、河口域には土砂の堆積作用によって干潟が形成されるが、近年は自然環境の保全も強く求められており、環境保全と河道管理の両立が重要な課題となっている。

河口域の地形は、洪水期に上流から供給される土砂が堆積して変化すると考えられる。ただし、筆者らは白川と多摩川の河口域で高濁度水塊 (Turbidity Maximum) が上げ潮時に発生することを確認している (横山ら, 2001)。つまり、平水期には潮流によって堆積土砂が再移動している可能性があり、これらの諸過程における土砂動態のバランスと地形変化の関係を明らかにする必要がある。

なお、土砂とひとことで言っても、河口域には砂、シルト、粘土といった各種サイズの土砂が供給され、これらは粒径によって沈降速度、栄養塩付着量、電気的性質が異なる。そのため、地形形成や水質及び生態系に及ぼす影響も異なると考えられ、粒径別の検討が必要である。

従来の研究は、室内実験による底泥の巻き上げに関する微細な検討か (例えば近藤ほか, 1993)、数年おきに行われる地形測量資料から地形変化傾向を検討した研究に分かれる。しかし、河口域で生ずる上記の緒過程は、日変動、季節変動、年変動が組み合わさっており、従来の研究が対象とした時間スケールはマイクロとマクロの両極端に偏っている。

そこで本研究では、熊本県白川河口域において、上流からの土砂供給、干潟への堆積、潮流による堆積土砂の再移動を1年にわたって詳細に観測し、この結果から地形変化量と土砂移動量を粒径別に、また季節別に計算し、

以上をまとめて1年間の粒径別土砂収支を検討した。

2. 調査対象地と観測項目

研究対象地は白川河口域の河道3 kmから河道0 km, および干潟部を含む沖合4 kmまでである。白川は阿蘇カルデラに源を発し、熊本市内を流下して有明海へと注ぐ。流路延長は74 kmで、流域面積は480 km²であり、その約8割を阿蘇カルデラが占めている。

図-1に調査対象地を示す。河道4.4 kmには堰があり、感潮区間はここまでとなる。研究対象地周辺は潮汐による干満差が最大で4 m程度と大きい。満潮時には塩水が強混合状態で河道内へと進入する。また干潮時には、沖合2.5 km付近まで砂泥質の干潟が干出する。干潟の幅 (滞筋の横断方向) は4 km程度である。

観測項目は大きく次の3つに分類される；(a) 上流か

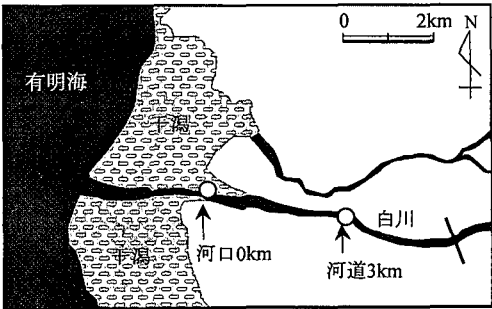


図-1 白川河口域の平面図

表-1 観測項目と実施時期

観測名	内容	Month 2001												2002		
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	1	2	3
上流からの土砂供給	モニタリング															
	濁水採取															
地形変化	測量															
	底質変化															
平水期の土砂移動	モニタリング															
	集中観測															

* 正会員 環境 筑波大学大学院環境科学研究所
** 正会員 工学 国土交通省国土地理院総合研究所河川研究室
*** 国土環境株式会社

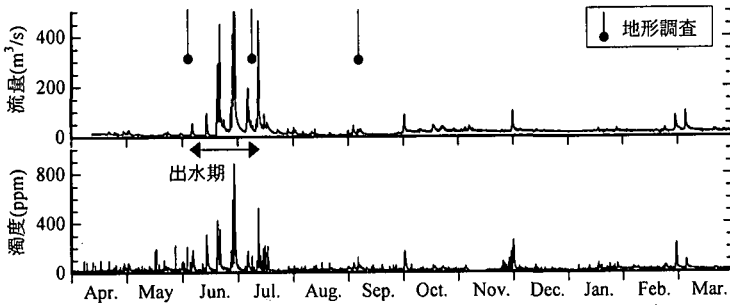


図-2 年間の流量と濁度 (2001年4月～2002年3月)

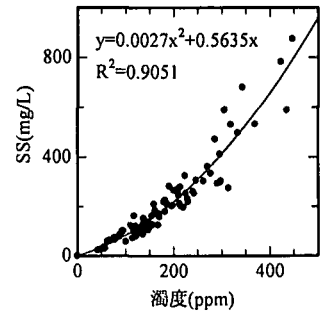


図-3 濁度とSSの相関

らの土砂供給, (b) 河口域の地形変化, (c) 潮汐流に伴う土砂の移動。表-1に各観測の実施時期を示す。さらに, (d) 各過程での土砂の物性を分析した。観測方法については, 各項目の章で詳しく述べる。

3. 上流からの土砂供給量

(1) 観測方法

現地観測は, 通年の土砂供給状況を把握するための濁度モニタリングと供給土砂の物性を把握するための濁水採取の2種類を実施した。観測地点は感潮区間より上流の12 km 地点(濁水採取)と16 km 地点(濁度モニタリング)である。

濁度モニタリングには自記式濁度計(アレック電子, ATU5-8M)を使用した。計測は2000年7月から開始し, 20分間隔で現在まで連続計測している(2002.3.31現在)。

洪水時には濁水をバケツで採取し, その場でポータブル濁度計(アレック電子, ATU-2D)により濁度を測定し, さらにサンプルを実験室に持ち帰り, SSと粒度分布を測定した。粒度分析にはレーザー回折式粒度分布測定装置(島津製作所, SALD3000S)を用いた。濁水採取は2001年6月に4洪水で実施した。

(2) 観測結果

図-2に2001年4月から2002年3月の河道13 kmの時間流量と濁度を示す。これより, 梅雨時期の6月中旬から7月中旬にかけて洪水が頻繁に発生している事がわかるので, この期間を本年度の出水期と定義した。

次に, 洪水時に採取した濁水の分析結果から, 濁度とSSの相関図(図-3)を作成し, 図中に示す相関式が得られた。これより, 図-2の濁度時系列をSS時系列に変換することが可能である。なお, 出水期には3年確率程度の比較的大きな洪水が発生したが, このときは濁度計の計測レンジを越えたため実測のSS値を用いる。

このようにして作成したSS時系列と, SSに流量を乗じて得られる通過土砂量の累積値を, 出水期について示す(図-4)。これより, 出水期には13.3万 tonの土砂が

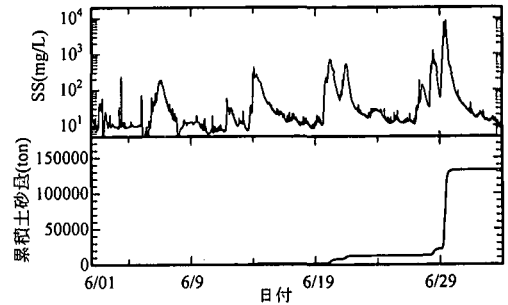


図-4 SS時系列と通過土砂量時系列(累積)

上流から供給されたことが分かった。

次に, この土砂が河口域に堆積した場合の粒径別体積を求める。粒度分析の結果, 洪水時の浮遊土砂の粒径は D_{50} が0.01～0.02 mm, D_{90} が0.03～0.07 mmの範囲にあり, シルト・粘土であった。また, 出水期に干潟に堆積した同じ粒径の土砂の平均密度は1.3であった。以上より, 河口域には10.2万 m^3 のシルト・粘土が放出されたことになる。ただし, 本研究の観測方法では掃流砂は把握できないため, 砂分については不明である。

4. 河口域の地形変化量

(1) 調査方法

河口干潟の地形変化量を粒径別に把握するために, 音響測深と底質採取を出水期の直前(2001年6月9日), 直後(7月9日), 2ヶ月後(9月2日)に実施した。

測量は音響測深機(千本電気, PDR101)とD-GPS(トリンプル社, PRO-XR)を作業船に搭載して行った。測線は岸と平行に200 m間隔で沖合4 kmまで設定した。底質採取は干潟の幅2.5 km, 沖合3 kmまでの範囲において47地点で実施し, 採取過程で粒子が抜け落ちることを防ぐために, 潜水してサンプル容器に直接取り込んだ。底質は実験室で粒度分布と密度を測定した。

なお, 音響測深の精度は測器の分解能や船の動揺の関係で5 cm程度である。そこで精度を向上させるために, 次に示す方法で出水直後の地盤高さを補正した。底質を

潜水して採取する際に、底質中に竹棒を押し込んで砂と泥の堆積状況を確認した。ここで、流れが弱いと考えられる水域において(河口と滞筋から離れている場所)、出水期の前後に底質が砂から変化していない場所は変化高を0と仮定し(6地点)、また砂層の上に泥が堆積している場所は変化高を竹棒による測定値と仮定した(6地点)。この合計12地点での誤差の平均値は+4.95 cmとなったので、出水直後の測量データから一律にこの値を引いた。なお、出水2ヶ月後のデータについては、地形や底質の変化が明瞭ではなく補正作業はできなかった。

(2) 調査結果

出水前後の等深線重ね合わせ図を図-5に、出水直後と2ヶ月後の等深線重ね合わせ図を図-6に、沖合2 kmでの底質の中央粒径と泥含有率の変遷を図-7に示す。ここで泥含有率とは、0.074 mm以下のシルト・粘土の割合である。

図-5より出水後には沖合1~3 kmにかけて滞筋周辺の地形が顕著に上昇しており、図-7より滞筋の両脇にシルト・粘土が堆積したことが分かる。堆積厚は最大で30 cmであった。干潟全体での土砂堆積量は42.4万 m^3 であり、粒径別内訳はシルト・粘土が24.3万 m^3 、砂が18.1万 m^3 と推定された。

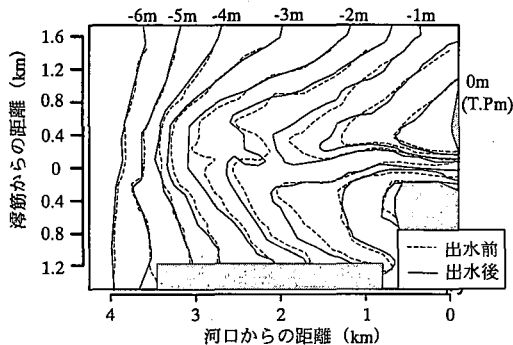


図-5 出水前後の干潟地形変化

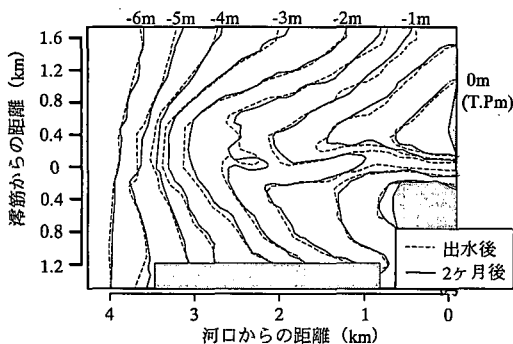


図-6 出水直後と2ヶ月後の干潟地形変化

図-6より出水期の2ヶ月後には、堆積領域で地形がわずかに低下しており、図-7よりシルト・粘土が抜けて出水前の状態に近づきつつあることが分かる。

5. 潮汐流に伴う土砂移動量

(1) 観測方法

河口域における浮遊土砂の移動量を定量的に把握するための流動モニタリングと浮遊土砂の物性を把握するための集中観測を実施した。観測地点は図-1に示す河口0 km、河道3 km (以後、河口、河道と略す) である。

流動モニタリングの測定項目は流速、濁度、塩分、水温である。流速は超音波ドップラー流速計(NORTEK社 Aquadopp)を河床に設置して計測した。濁度、塩分、水温の計測にはアレック電子製の自記式計測機を用いた。計測は2000年11月より開始し、10分間隔で現在まで継続している(2002.3.31現在)。ただし、超音波流速計はしばしば埋没したため、解析に使用できるデータセットは2001年9月、11月、2002年2月、3月の合計4ヶ月分である。

集中観測では濁度、塩分、水温の鉛直分布を多項目水質計(アレック電子製、ACL-208)により計測すると共に、採水を行ってSSと粒度分布を分析した。36時間の連続観測を平水期に2回実施した。さらに3章と同様の方法で濁度とSSの相関式を作成し、濁度をSSに変換した。

(2) 観測結果

図-8に1年間の河川流量、熊本港予測潮位と、河口、河道のSS時系列を示す。

著者らはすでに平水期の土砂動態特性について次のように報告している(2001, 横山ら)。白川河口域では半月周期の土砂動態特性があり、沖合と河口で波浪や潮汐流の影響でSSが発生し、このSSが上げ潮時に塩水フロントの前面に乗って高濁度水塊を形成しながら河道内を遡上している可能性がある。

今回は長期モニタリングの結果、平水期には河川流量

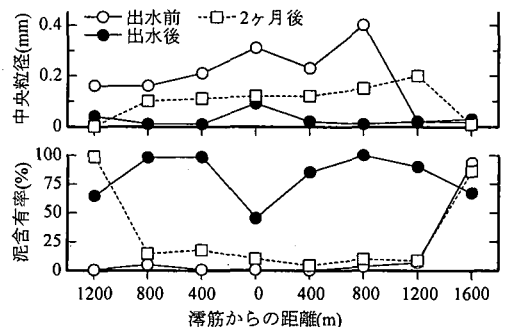


図-7 沖合2 km 測線における底質の中央粒径と泥含有率

の大きさによって河道における高濁度水塊の遡上状態が異なることがわかった。図-8から、河道のSSは5月から9月にかけて高く、大潮時には500~700 (mg/ℓ)に達しているが、10月から4月の期間は相対的に低く、大潮時でも300 (mg/ℓ)前後であることが分かる。

一方、河口では季節ごとの違いは明瞭ではない。したがって、SSは河口や沖合において潮汐及び波浪の作用により発生するが、河道を遡上する際には淡水流量が多いと遡上が抑制されると考えられる。

さらに、出水期(6月中旬~7月中旬)と平水期のSSは大差ないことも分かり、平水期の浮遊土砂移動を定量化する必要がある。なお、SSの粒径は、 D_{50} が0.009 mm、 D_{90} が0.026 mmであったのでシルト・粘土である。

(3) 平水期の土砂移動量

筆者らは超音波流速計を使用した移動土砂量の推定方法を別稿で提案しており(横山ら, 2002)、概要は次の通りである。超音波流速計で得られる反射強度からSS鉛直分布を推定し、これを流速鉛直分布に乗じることで河川断面を通過する浮遊土砂量が求まる。本研究ではこの方法により、河口と河道の通過土砂量を潮汐の周期を考慮して1ヶ月ずつ計算した。

図-9に9月と11月の累積通過土砂量を模式的に示す。図中には河川上流からの土砂流入量も示している。9月は図-8によれば1年のうちで流量が少ない時期にあたり(10 m³/s程度)、11月は流量が多い時期にあたる(24 m³/s程度)。

9月は河口と河道の両地点で、順流土砂量よりも逆流の方が多く、正味では土砂は海域から河道内へと流入し

ており、さらに2地点間には1,100 m³の土砂が堆積している結果となった。

11月は両地点で土砂の流れが海域へと向かっているものの、2地点間には1,900 m³の土砂が堆積している結果となった。なお、河口からの遡上土砂と上流からの流入土砂が全て流出すると1,650 m³であるが、実際の流出量は3,300 m³であることから、河道3 kmよりも上流の感潮区間(1.5 km)において河床が侵食されたことになる。

この他の期間(2002年2月、3月)も両地点間に堆積していたため、河川流量の大小にかかわらず河口と河道の間に必ず浮遊土砂が堆積することが分かった。

これらの結果を用いて年間の土砂移動量を計算した。連続したデータは上記の4ヶ月であるが、土砂移動の量と向きは河川流量に左右されるため、図-8に示すように流量規模ごとに出水期を除く11ヶ月を3期間に区分し、各期間で上記の計算値を引き延ばした。

計算結果を図-9の三段目に示す。これより、1年間に河口では約50,000 m³の浮遊土砂が出入りしていたが、このうち河道内に約26,000 m³の浮遊土砂が堆積したことが示された。河道の岸際にはガタ土と呼ばれる泥質が1 m前後堆積しているが、現場での目視観察によれば、この泥質河岸は洪水で削られてその後徐々に回復してゆく。計算された浮遊土砂はこうした場所に供給されていると考えられる。

6. 土砂の性状

これまでの観測及び調査で採取した土砂の鉱物組成を顕微鏡(キーエンス製マイクロスコープ)で観察した。

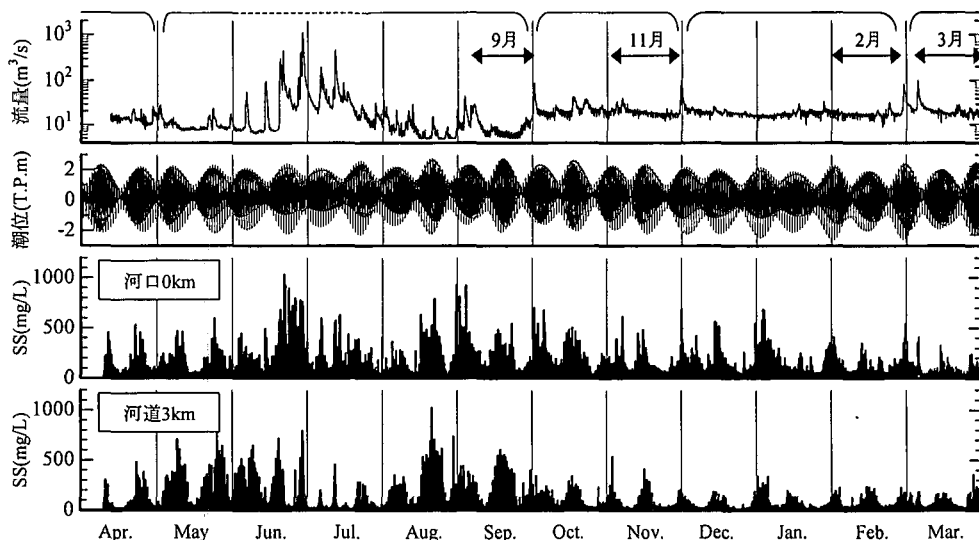


図-8 年間の河川流量、潮位、SS(河口)、SS(河道)の時系列(2001年4月~2002年3月)

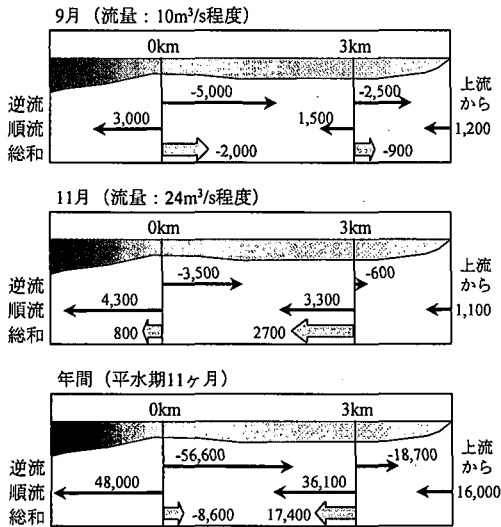


図-9 土砂移動量の計算結果 (9月, 11月, 年間)

その結果、洪水時の濁水中に含まれる鉱物、干潟のシルト、平水期の高濁度水塊に含まれる鉱物が、いずれも火山ガラスや斜長石、重鉱物、岩屑であった。一方、流域の代表的な土砂である阿蘇降下火山灰 (ヨナ土) の鉱物組成は、火山ガラス、斜長石、重鉱物、単斜輝石である (菅野, 1962)。

したがって、各過程で移動・堆積している土砂は同一起源であると考えられる。そのため、これまでに求めた各過程における粒径別土砂量を比較することが可能であり、次に河口域全体での土砂収支をまとめる。

7. 河口域の粒径別土砂収支

表-2に河口域の1年間の土砂収支を示す。出水期に上流部から供給された土砂量はシルト・粘土が10.2万m³、掃流砂は不明であった。一方、出水後の干潟への堆積量が総量で42.4万m³、その内訳はシルト・粘土が24.3万m³で、砂が18.1万m³であった。これより、シルト・粘土は干潟に供給量の倍が堆積したように見積もられた。

洪水時の浮遊土砂観測に関しては、横山ら (2000) が濁度計から計算される土砂量の精度が高いことを示しており、その誤差は小さいと考えられる。一方、地形測量については簡易的な誤差補正を行ったものの精度に限界がある。ここで、地盤高にして1~2cmの誤差が含まれていると仮定すると、干潟全体の土砂量では数万から10万m³程度が誤差の範囲であると考えられる。

以上から、干潟の堆積土砂量が過大である可能性があり、その誤差を考慮すれば今回の算出結果は概ね整合していると思われる。

表-2 河口域の土砂収支

土砂移動の過程	粒径別土砂移動量	
	シルト・粘土	砂
上流からの土砂供給	10.2	不明
河口への土砂堆積	24.1	18.1
潮汐流に伴う土砂移動	2.6 (堆積)	不明
	5.6 (移動)	

単位: 万 m³

平水期の11ヶ月間にSSとして河口を出入りした土砂量は4.5~5.5万m³であり、河口から河道の3km区間に堆積した土砂量は2.6万m³であった。干潟では出水期以降、堆積したシルト・粘土が抜け出していたが、こうした土砂が河道内に再配分されていることが確認できた。

つまり、平水期のSSの移動は1潮汐でみるとその規模は小さいものの、1年間では出水期の移動量の1~2割に達し、地形変化にある程度の影響を及ぼすことが明らかになった。また、SSは栄養塩付着量が多いため、平水期の移動が生態系に及ぼす影響は大きいと推測される。

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。

なお、今回の調査・観測では洪水時の掃流砂供給量が不明であり、干潟の測量精度も低かった。また、河道内でのシルト・粘土の堆積や侵食を裏付ける測量資料を得ていない。今後はこのような点を考慮して詳細な調査検討を行い、河口域の土砂動態をより明確にする予定である。

謝辞: 本研究の実施にあたり、筑波大学大学院環境科学研究科の田瀬則雄教授より数々のご指導を頂いた。国土交通省熊本工事事務所からは河川流量を提供していただいた。また、株式会社キーエンスからは顕微鏡を貸与していただいた。ここに記して謝意を表する。

参考文献

- 近藤雅秋・平松和昭・戸原義男・四カ所四美男・森 健 (1993): 底層部の物性と流れによる巻き上げ特性に関する研究, 農業土木論文集 163, pp. 79-86.
- 菅野一郎 (1962): 日本の土壌型, 農村漁村文化協会, pp. 69-76.
- 横山勝英・石川忠晴・梅田信 (2000): 濁度生産量の推定方法に関する研究, ダム工学, Vol. 10, pp. 311-322.
- 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.
- 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, pp. 1486-1490.