

荒瀬ダム撤去影響評価に向けた球磨川及び河口干潟の 土砂輸送・堆積特性の把握

Study of sediment transport and deposition in the Kuma River and tidal flat for evaluation of environmental impact associated with removal of the Arase Dam

大槻順朗¹・北村直也²・二瓶泰雄³・石賀裕明⁴・皆川朋子⁵・島谷幸宏⁶

Kazuaki OHTSUKI, Naoya KITAMURA, Yasuo NIHEI, Hiroaki ISHIGA,

Tomoko MINAGAWA, and Yukihiro SHIMATANI

For the assessment of the impact by dam removal at the Arase Dam in the Kuma River, Kyushu, Japan, preliminary survey focused on SS transport and sediment characteristic was conducted. The results showed that more than 2,000,000m³ of SS transported during fulltime gate open operation started in April 2010 and annual quantity of SS in 2011 was the third largest in the past 19 years. Comparing with the results of past investigation conducted in 2002, sediment in estuary and near shore zone have shifted from mud to sand. The results of constituent element concentration of sediment supported the possibility that element bringing the grain coarsening in shore zone have origin in the Kuma river.

1. はじめに

ダムによる下流河川・沿岸環境への影響として、土砂輸送の分断については長年にわたり懸念されてきた（例えば、宇野木，2004）。このような土砂輸送障害に対し、排砂バイパスや排砂ゲート操作、置き土という河川への土砂還元策が実施・検証されてきたが（例えば、大矢ら，2000）、最も抜本的な対策と言える「ダム撤去」については、本邦ではこれまで十分に検討されていない。

熊本県南部を流れる球磨川に位置する荒瀬ダム（1954年完成）では、2012年度より、本邦初の堤高15m以上のハイダム撤去事業が実施される。既に、その前段階として、2010年度より、洪水調節操作を行なうことなく、ダムゲートを常時開放する操作がなされている。荒瀬ダムは河口から19.9kmと海域近くに位置するため、撤去による土砂輸送動態の変化に関わる影響は、河川内のみならず、河口干潟や沿岸域まで及ぶことが予想される。球磨川本川においては、荒瀬ダムをはじめ、3つの主要なダムが1950年代に相次いで建設された。これに前後し、沿岸漁業従事者から、アマモ場の喪失や干潟の泥化など

という環境劣化が叫ばれ続けている（宇野木，2004）。一方で、ダムゲート常時全開後では、干潟の砂質化などの環境回復も報告されている（つる，2011）。このように、本ダム撤去事業については、流域から沿岸に至るまでを包含した環境影響評価が必須であるが、評価軸の基本となる、当地における土砂輸送特性・堆積特性についての現地調査はほとんど行われておらず、わずかに道前・石賀（2002）による堆積物の粒度・構成元素濃度に基づく知見がある程度である。

本研究では、本撤去事業による環境影響評価を沿岸域まで含めた形で行うために、球磨川とその河口干潟・周辺沿岸域における土砂輸送・堆積特性を把握するための現地調査を行った。具体的には、まず、①荒瀬ダム上・下流部における濁度・DO連続モニタリングを行い、出水時におけるSS輸送量やダム堆積物流出によるDO変化状況を把握すると共に、長期間にわたるSS輸送量の経年変化を算出した。次に、②河川から沿岸海域までの堆積土砂の粒度・元素組成分析を行い、過去データ（道前・石賀，2002）との比較を合わせて、底質環境の時間・空間変動状況を検討した。

2. 研究サイトの概要とダム撤去計画

本研究で対象とする球磨川は、熊本県南部の人吉盆地を西に貫流し、山地狭窄部を北流、八代平野を経て八代海に至る、流路延長115km、流域面積1,880km²の1級河川である（図-1）。流域の大部分は急峻な山地であり、河床勾配も八代平野を除いて概ね1/1000以上と急流であ

1	正会員	博(工)	東京理科大学助教 理工学部土木工学科
2	非会員		東洋建設(株) (元東京理科大学学部生)
3	正会員	博(工)	東京理科大学准教授 理工学部土木工学科
4	非会員	理博	島根大学教授 総合理工学部
5	正会員	博(工)	福岡大学助教 工学部社会デザイン工学科
6	フェロー	博(工)	九州大学大学院教授 環境都市部門

る。球磨川が流出する八代海は、潮位差が最大で 4m であり、沿岸には 2,947ha の広大な砂・泥干潟が存在する。球磨川本川の横断構造物としては、人吉盆地上流の市房ダムと幸野ダム、その下流の山地狭窄部に位置する瀬戸石ダムと荒瀬ダム、という計 4 つのダムがある。さらに、荒瀬ダム下流には、出水時にゲート開放がなされる遥拝堰と球磨川堰、新前川堰があり、後者二つの堰まで海水遡上が生じる。

各ダムにおける堆砂量は、2008 年現在、市房、幸野、瀬戸石、荒瀬ダムにて、それぞれ 399, 1.7, 73, 87 万 m^3 であり、荒瀬ダムは最下流部に位置するが堆砂量は多い。この荒瀬ダムにおける堆砂量の経年変化を図-2 に示す。荒瀬ダムでは、近年土砂除去が行われているため、図中では、年毎の堆砂量と共に、累積土砂除去量も合わせて表示しており、両者の和がダムの総堆砂量に相当している。これより、堆砂量は、竣工後約 20 年間は概ね増加しており、この時の堆砂速度は 5.1 万 m^3 /年である。その後、土砂除去が開始された 1972 年以降では、堆砂量は横ばいで推移している (80~100 万 m^3)。この間の除去量は 71 万 m^3 である。また、堆砂量と累積土砂除去量の和は、近年では概ね横ばいであり、荒瀬ダムによる土砂堆積は竣工直後と比べて顕著でないことが伺える。

ダム撤去計画については、2010 年度に撤去が最終決定し、2012 年度より撤去工事開始、2027 年度に撤去完了の予定となっている。撤去の前段階として、2010 年 4 月より、出水時に通常行なう洪水貯留・放水操作をやめ、常時ゲート全開とする操作がなされている。さらに、2012 年末には、撤去工事の第一段階として、ダム堤体に水位低下設備 (横孔) が施される予定である。

3. 球磨川における SS 輸送特性

(1) 現地観測・データ解析の概要

球磨川における SS 輸送特性を把握すると共に、出水時におけるダム湛水域の汚濁堆積物流出の影響を明らかにするため、図-1 に示す荒瀬ダム上・下流に位置する葉木 (河口から+22km) と遥拝堰 (同+9km) において、濁度と溶存酸素濃度 (DO), 水位の自動連続観測を行った。用いた測器は、光学式濁度計 (Compact-CLW もしくは Infinity-Turbi, JFE アドバンテック (株) 製), 隔膜電極型 DO 計 (Compact-DOW, 同上), 水位計 (U-20 WaterLevelLogger, Onset 社製) である。観測期間は 2011 年 8 月 5 日から 2012 年 5 月現在までである (DO 計のみ 2011 年 11 月 21 日まで計測)。また、遥拝堰には、自動採水器 (6712 型 ポータブルウォーターサンプラー, TeledyneISCO 社製) を設置しており、出水時 (2011 年 11 月 19 日) に 1 時間間隔の連続採水を行った。得られたサンプル水をガラス繊維ろ紙によりろ過・乾燥後、質

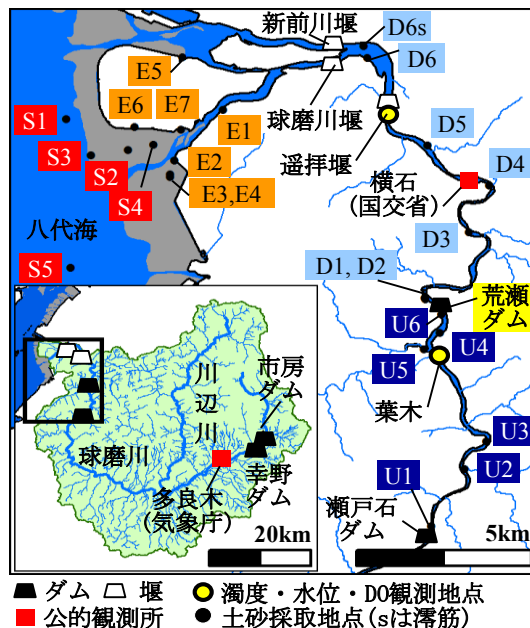


図-1 球磨川流域マップと観測地点

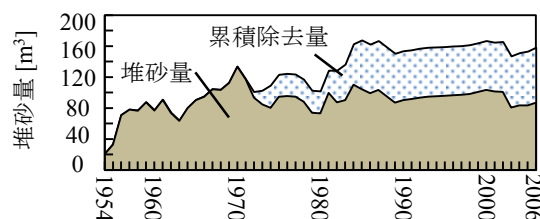


図-2 荒瀬ダムにおける堆砂量の経年変化

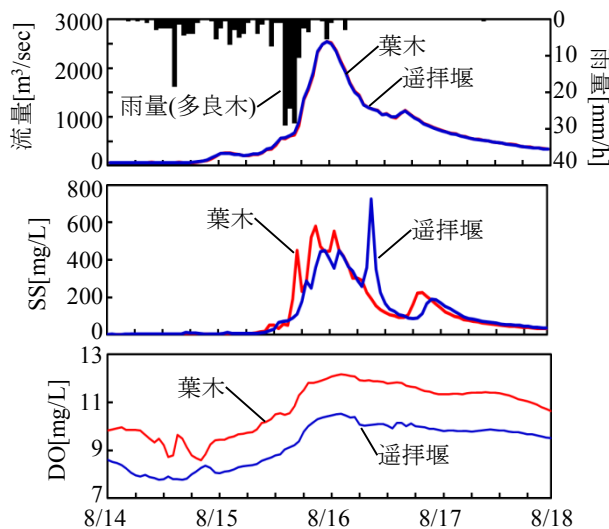


図-3 出水時における流量・SS・DO の時系列変化

量を計測し、SS を求めた。

データ解析に用いる流量 Q としては、遥拝堰については近くに位置する横石水位流量観測所 (河口から+13km) における観測値をそのまま用いた。ダム上流の葉木における流量は、遥拝堰の流量と両地点の水位、連続式から算出された。

観測された濁度連続データと、採水サンプルの SS か

ら、濁度-SS 相関式を導出し ($SS=0.997Turb$, SS : 浮遊土砂濃度 [mg/L], $Turb$: 濁度 [FTU]), 連続計測されている濁度を SS に変換し, SS と流量 Q より時々刻々の SS 輸送量 L を求め, L と Q の相関式 (L - Q 式, $L=aQ^b$, a, b : 係数) を構築した. この際, 低流量時と高流量時の取得データ数に差があるため, 田中・二瓶 (2011) と同様に, ある範囲の流量に対して移動平均操作を行い L - Q 式を求めた. また, 低流量時と高流量時では, L - Q 関係の傾きが異なったため, 閾値 ($Q=54m^3/sec$) を境に高・低流量時の L - Q 式をそれぞれ作成した.

(2) 出水時における SS・DO の時間変化

2011 年 8 月 14~18 日に生じた中規模出水時における流量・SS・DO の時系列変化を図-3 に示す. この出水における累計雨量は多良木において 202mm であり, ピーク流量は横石水位流量観測所において $2,540m^3/sec$ であった. 本出水の規模は, 球磨川では概ね年一回生じる規模である. また, ダム上流 (葉木) と下流 (遙拝堰) の流量はほぼ一致している.

SS は, ダム上流の方が下流よりもわずかに高いものの, 明確な差はない. この流量・SS データから得られた葉木・遙拝堰地点における L - Q 関係を図-4 に示す. ここでは, 生データ (図中×印) と共に, 移動平均データを低流量時と高流量時に分けて図化している (それぞれ丸印淡・濃色). その結果, L - Q 式の傾きを示す係数 b は, 両地点共に, 低流量時では 1.0 程度である一方, 高流量時では約 2.5 である. これより, SS 輸送は出水時に顕著であり, その係数 b は一般的な河川の値 (=2.0) と比べて大きくなっている. これは, 流域平均年降雨量が 2,800mm を超えることや, 流域の 80% 強が山地であることが影響していると考えられる.

DO については, 両地点共に出水時では低下せず, 流量と共にむしろ増加している. 黒部川・出し平ダム, 宇奈月ダムに見るような排砂後の DO 低下挙動 (田崎ら, 2001) は確認できないことから, ダムゲートの常時全開操作に伴うダム汚濁堆積物の流出による負の環境負荷は小さいと考えられる.

(3) SS輸送量の経年変化

観測値から得られた L - Q 式に基づいて, ゲート常時解放後からのダム上・下流地点における累積 SS 輸送量を図-5 に示す. これより, 出水時に急激に累積 SS 輸送量は増加しており, この期間中では 2011 年 6 月 11, 16, 19 日に相次いで発生した 3 つの出水イベント時に合計 118 万 ton の SS が流下した. また, ダム上下流の累積 SS 量はほぼ等しく, ダムでは SS はほとんどトラップされていないものと考えられる. さらに, 本観測地点における比 SS 輸送量は $0.871 ton/day/km^2$ となり, 筑後川における実測値 (横山ら, 2008) の約 3 倍程度となり, 球磨川における土砂生産量が

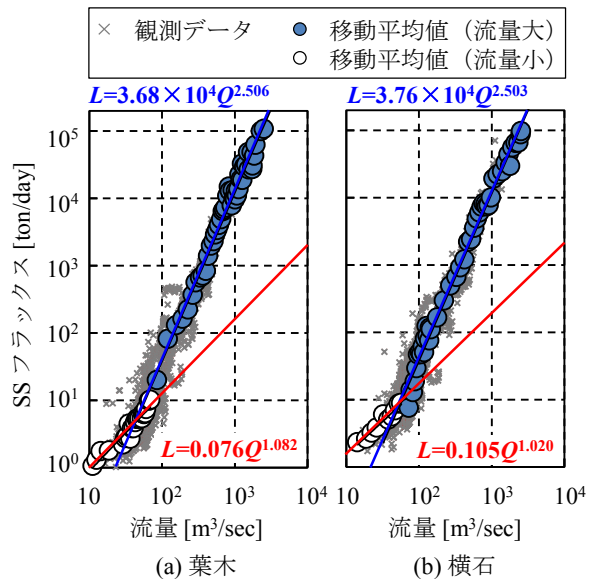


図-4 SS フラックスと流量の相関関係 (L - Q 式)

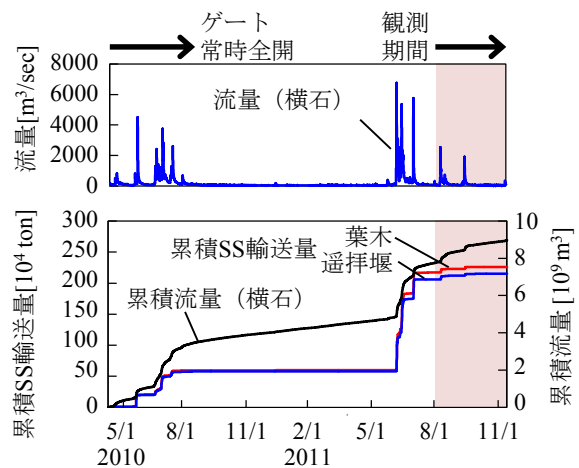


図-5 ダムゲート解放からの累積 SS 輸送量推定値

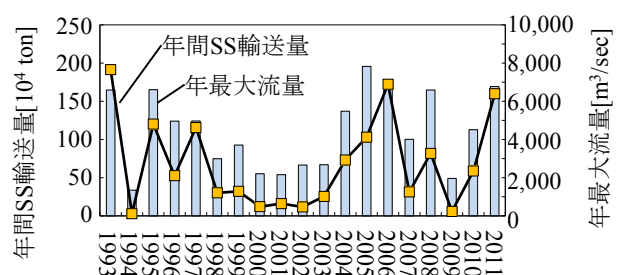


図-6 年 SS 輸送量と年最大流量の経年変化

極めて大きいことが分かる.

この L - Q 式と横石観測所における過去 19 年間の流量データを用いて, 年 SS 輸送量の経年変化を推定した結果を図-6 に示す. ここでは, 年 SS 輸送量を折れ線で, 年最大流量を棒グラフで表示している. この結果から, 観測期間である 2011 年の SS 輸送量は, 過去 19 年間で 3 番目に大きい. 解析対象期間の前半 (~2003 年) では, 1993 年を除いて, 土砂輸送量は全般的に小さいのに対して, 同後半

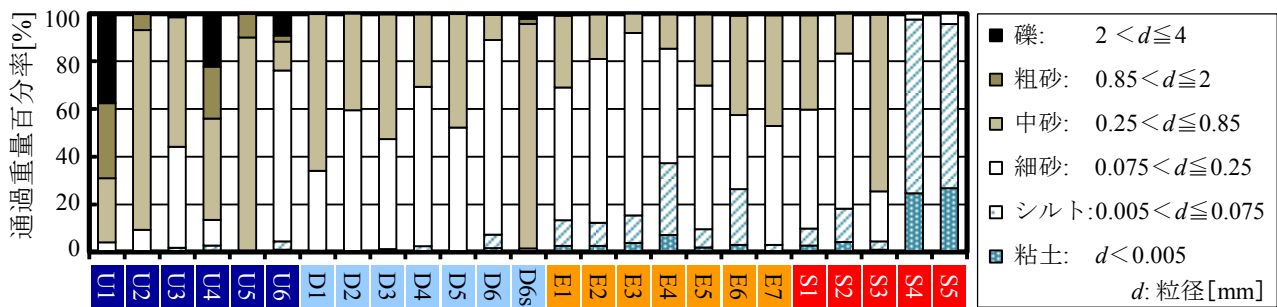


図-7 底質粒度組成の縦断変化

(2004年～)では2006年や2011年など150万tonを超える大きなSS輸送量が発生しており、海域への土砂供給量が近年では比較的大きいことが分かる。これらはいずれも年最大流量が6,000m³/secを超える大規模出水が生じると共に、出水回数も相対的に多かったためである。このような大規模出水の発生と連動して、相対的に大粒径・多量の土砂が海域へ流出したと考えられる。

4. 荒瀬ダム上下流・河口干潟・海域までの堆積物特性

(1) 現地調査及び分析方法

球磨本川から沿岸域にわたる堆積物特性を把握するため、2011年9月28～30日にて底質サンプリングを行った。観測地点は、図-1に示すように、ダム上流6地点(Stn.U1～U6)、下流順流部7地点(Stn.D1～D6とStn.D6s)、感潮域・河口干潟7地点(Stn.E1～E7)、沿岸海域5地点(Stn.S1～S5)、計25地点である。底質サンプルの採取方法としては、海域と河川滞筋(Stn.D6sのみ)では、船上もしくは橋上よりグラブ型採泥器(DIK-190A, 大起理化学工業(株)製)を落としてサンプリングした。その他の地点(ダム上下流, 感潮域)では、平水時の水際において、表面から1cm部分をスコップにて採取した。この際、概ね粒径4mm以下の堆積物を選択し、スコップで切り出された底質断面の堆積層の状態を確認している。

得られた底質サンプルを160℃で24時間乾燥後、ふるい分け試験による粒度分析を行った。さらに、蛍光X線分析装置(RIX2000, (株)Rigaku製)によりAs, Pb, Zn, Cu, Ni, Cr, V, Sr, Y, Nb, Zr, Th, Sc, TS(全イオウ), F, Br, I, Cl(以上微量元素18種), TiO₂, Fe₂O₃, MnO, CaO, P₂O₅(以上, 主元素5種)合計23種の構成元素濃度を計測した。この分析では、小笠原(1987)による土砂試料を粉末化し、圧縮成形したサンプルを分析する粉末プレス法を用いた。また、一部の地点のサンプルについては、中砂・細砂にふるい分けした試料でも分析を行っている。得られた元素組成データから、流域地質の指標となる7元素(Sr, Y, Nb, Zr, TiO₂, Fe₂O₃, CaO)を選定し、標準化処理を施したのち、クラスター分析により類似性の評価を行った。統計解析には統計解析ソフトウェアR Ver. 2.15.0を用いた。

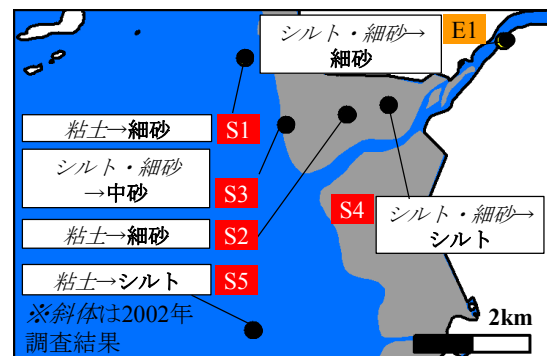


図-8 沿岸・河口海域における表層底質粒度と2002年調査結果との比較

(2) 粒度の空間分布と経年変化

ダム上流から沿岸海域にわたる堆積物の粒度組成状況を図-7に示す。ここでは、粒度を礫・粗砂・中砂・細砂・シルト・粘土と分類し、それらの重量比を表している。これより、全般的には、上流から下流へ向かうほど粒度が細かく、感潮域や沿岸海域ではシルト・粘土分が含まれる、という一般的な粒度の縦断変化が見られる。詳細には、荒瀬ダム上流では、中砂・粗砂・礫が主であるが、ダムサイト直上(Stn.U6)のみ細砂等が局所的に堆積している。一方、ダム下流では、粗砂・礫はなく、細砂・中砂が主となるが、滞筋(Stn.D6s)では細砂は無く中砂以上が主となりダム上流に近い。これらの結果から、ダムにより粗砂・礫分はトラップされるが、中砂以下の粒径成分の多くはダムを通過し、下流河川の滞筋には中砂が、水際には中砂と細砂が堆積している。また、中砂・細砂は感潮域・干潟や沿岸海域でも多くを占め、河川からの供給が堰を越えて供給されているものと考えられる。

干潟・沿岸海域の粒度組成として、道前・石賀(2002)による過去(2002年)のデータと本調査データ(2011年)を比較したものを図-8に示す。ここでは、最も卓越した粒度成分を記載しており、コアサンプルで得られた2002年のデータは表層の結果のみを抽出する。これより、2002年時点では粘土質であったものが、現況では全般に砂質化しており、ダムゲート常時開放後の報告事例と一致する(つる, 2011)。このような干潟・沿岸堆積物の粗粒化は、ダムゲートの常時開放による影響に加えて、近

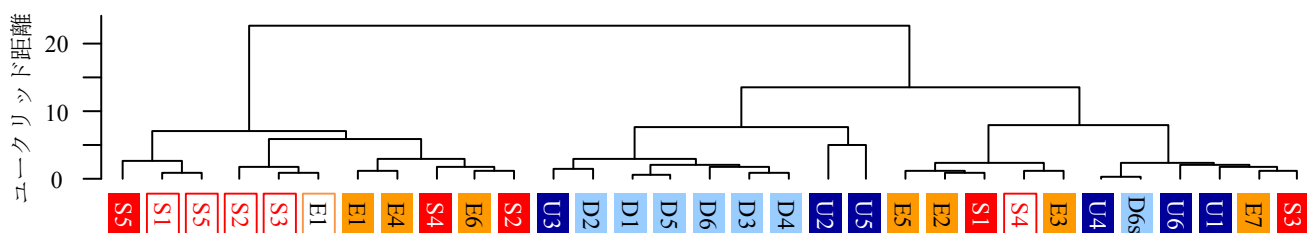


図-9 沿岸・河口海域における表層底質の元素濃度に対するクラスター分析結果

年の顕著な SS 輸送 (2006 年や 2011 年) の影響が挙げられる。今後、ダムに水位低下装置が施されるとダム堆積物の侵食が進行し、より大きな粒径成分がダム上流から下流域、干潟・沿岸海域に流出する可能性が高く、干潟・沿岸海域の粗粒化はより進行するものと考えられる。

(3) 堆積物の構成元素の比較

河川・沿岸海域における堆積物の類似度や起源を過去 (2002 年) と現況 (2011 年) の違いを含めて検討するために、堆積物の構成元素濃度に関するクラスター分析結果を図-9 に示す。ここでは、道前・石賀 (2002) による過去データ (図中白抜き、干潟・沿岸域のみ) と本調査による現況データを表示する。これより、沿岸海域や干潟における過去と現況データは大きく分かれてクラスタリングされており、過去と現況の堆積物の供給源に相違がある可能性が示唆される。道前・石賀 (2002) は、希土類元素濃度データより、2002 年当時の沿岸海域の底質の約 50% は球磨川起源であると述べている。上述したように、近年の SS 供給量の増加や堆積物の粗粒化の進行を考慮すると、現況の沿岸堆積物には球磨川起源の寄与が増加し、結果として、沿岸堆積物の構成元素が過去と現況で大きく異なったものと考えられる。このことは、砂質化が進行しなかった Stn.S5 の構成元素が過去と現在で差が無いという結果とも符合している。

5. 結論

本研究では、熊本県を流れる一級河川・球磨川中流部に位置する荒瀬ダムの撤去事業に先立ち、ダム撤去による土砂輸送特性の変化に起因する影響評価を海域まで含めて行うために、SS 輸送量観測並びに堆積物調査を実施した。主な結論は以下の通りである。

(1) SS 輸送量 L と流量 Q の相関関係 ($L-Q$ 式) の傾き b は 2.5 と一般的な値 (= 2.0) より大きい。また、球磨川の比 SS 輸送量は $0.871 \text{ ton/day/km}^2$ となり、筑後川の約 3 倍であり、球磨川の土砂生産量は極めて大きい。

(2) 過去 19 年間の SS 輸送量の経年変化を求めたところ、1993, 2006, 2011 年には年間 150 万 m^3 を超える大きな SS 輸送量が見られた。また、出水規模や回数差に起因して、同期前半 (~2003 年) よりも後半 (2004 ~2011 年) の SS 輸送量の方が大きい。

(3) 出水時の DO は流量と共に増加しており、各地の

ダムにおける排砂後の DO 低下挙動は確認できなかった。そのため、ダムゲートの常時全開操作に伴うダム汚濁堆積物の流出による負の環境負荷は小さい。

(4) 堆積物の粒度分布の縦断変化から、荒瀬ダムでは現状でも粗砂以上の成分の多くがトラップされている。また、干潟・沿岸堆積物の粒度は、2002 年では粘土質であったが、現況では砂質化しており、それにはダムゲートの常時開放と近年の顕著な SS 輸送 (2006 年や 2011 年など) の影響を受けていることが示唆された。

(5) 過去 (2002 年) と現況 (2011 年) の沿岸堆積物の構成元素濃度は大きく異なり、近年の SS 供給量の増加や堆積物の粗粒化を考慮すると、現況の沿岸堆積物には球磨川起源の寄与が増加していることが示唆された。

謝辞：(財) 河川環境管理財団・河川整備基金 (代表者：皆川朋子, No.23-1215-037) の補助を受けた。ここに記して、深甚なる謝意を表す。

参考文献

- 宇野木早苗 (2004) : 内湾の環境や漁業に与えるダムの影響, 海の研究, Vol.13, No.3, pp.301-314.
- 大矢通弘・角哲也・嘉門雅史 (2004) : ダム堆砂の河川還元利用における環境影響, ダム工学, Vol.14, No.1, pp.4-19.
- つる祥子 (2011) : 日本初のダム撤去の現場からの報告 荒瀬ダムのこの 1 年 —2010 年 存続から撤去決定, そしてゲート全開—, 不知火海・球磨川流域圏学会誌, Vol.5, No.1, pp.21-29.
- 道前香緒里・石賀裕明 (2002) : 堆積物の元素組成から見た球磨川, 川辺川流域の環境評価, 島根大学地球資源環境学研究報告, No.21, pp.17-29.
- 田中健太郎・二瓶泰雄 (2011) : SS モニタリングネットワークに基づく東京湾への浮遊土砂供給特性の把握, 水工学論文集, Vol.55, pp.1327-1332.
- 横山勝英・藤塚慎太郎・中沢哲弘・高島創太郎 (2008) : 多点濁度観測による筑後川水系の SS 流出・輸送特性に関する研究, 水工論文集, Vol.52, pp.553-558.
- 田崎和江・国峯由貴江・森川俊和 (2001) : ダム堆積物の連携排砂が黒部川の下流に与える影響, その 2—連携排砂時の水質変動と懸濁物質の特性—, 粘土科学, Vol.41, pp.64-74.
- 小笠原正継 (1987) : Rh 管球を用いたけい光 X 線分析による岩石中の微量元素の定量, 地質調査所月報, Vol.38, No.2, pp.57-68