

ダムからの排砂と土砂マネジメントによる 河川管理の事業評価 -矢作川におけるダムから海岸に至る 総合土砂管理の最適化と費用便益評価-

PROJECT EVALUATION OF RIVER MANAGEMENT
BY SEDIMENT BYPASSING AND SEDIMENT MANAGEMENT
- OPTIMIZATION AND COST BENEFIT ANALYSIS OF COMPREHENSIVE SEDIMENT
MANAGEMENT IN YAHAGI RIVER FROM DAM TO THE COAST -

富田邦裕¹ 角 哲也² 渡邊 守³

Kunihiro TOMITA, Tetsuya SUMI, Mamoru WATANABE

¹正会員 工修, 経修 (株)建設環境研究所 (〒170-0013東京都豊島区東池袋2-23-2)

²正会員 博士(工) 京都大学教授 防災研究所水資源環境研究センター (〒611-0011京都府宇治市五ヶ庄)

³非会員 前国土交通省中部地方整備局矢作ダム管理所長 (〒444-2841 愛知県豊田市閑羅町東畑67番地)

Sedimentation is an essential issue on long-term management of dam reservoirs. Cost and benefit of the comprehensive sediment manage project is now a challenging issue by taking account not only keeping the reservoir capacity but also other important issues such as the improvement of downstream environment by necessary sediment supply, the effect of recycling of sediment, additional costs for downstream facilities, CO₂ emission by excavating and transporting of sediment. In this study, we studied how to integrate these costs and benefits for the economic evaluation of comprehensive sediment management projects. The benefits of improving river and coastal environment were estimated by the results of CVM (Contingent Valuation Method) and Conjoint Analysis on Yahagi River. We have also proposed that preparing a stock yard in the middle river reach is a key factor to manage various objectives.

Key Words : Reservoir sedimentation, Comprehensive sediment management, Reservoir sustainability, Economic evaluation, Cost benefit analysis, CVM, Conjoint Analysis

1. はじめに

矢作ダムでは、流砂系の総合土砂管理の一環として、土砂バイパス(BP)を使った排砂計画が進められている。ダムからの排砂では、貯水池容量の維持管理による長寿命化だけでなく、ダム下流河川区間も含めて、事業実施によるメリットとデメリットの両面に留意する必要がある。メリットには土砂還元による河川や海岸の環境改善効果や、土砂資源リサイクル利用の促進等があり、デメリットには、土砂の流下・堆砂による下流河道の治水・利水機能への影響や下流のダムや堰への土砂堆積による維持管理コストの増大などの課題が想定される。今後は、これらの予測と影響評価等をいかに進めるかが課題であるが、既報では、ダム直下流域(豊田市域)を対象とし

たアンケート調査に基づくCVM及びコンジョイント分析調査により、排砂による下流環境改善効果について評価を行い、土砂BPの事業効果、費用等から事業の有効性、妥当性について考察を行った¹⁾。

本研究では、これを矢作川下流域から三河湾海浜域まで拡張し、矢作川流砂系全体の総合土砂管理の費用便益評価を試みた。また、矢作川では、河川への土砂還元に加えて土砂資源リサイクルの促進も重要と考えられる。現在、土砂資源としての有効利用について、ダム下流の越戸ダムエリアに設置された排出土砂の仮置き場(ストックヤード)を設置し、民間事業者が参画した形で矢作ダムの排出土砂の有効活用に関する社会実験が実施されており、本研究では、利用者に対してアンケート調査等により、土砂資源リサイクルの実施可能性、有効性の分析と、実施上の課題についても考察を行った。さらに、



図-1 矢作川流域の土砂還元に関わる主な施設²⁾

ストックヤードを使った土砂マネジメントにより、土砂資源の有効利用について、経済的に最適化するシステムの構築についても考察を試みた。

2. 矢作ダム土砂BP事業の概要と効果

矢作ダムには年間平均約30万 m^3 の土砂が流入しており、特に平成12年の恵南豪雨では、貯水池内に約280万 m^3 もの堆砂が発生した。そのため、ダム機能の健全性を保ち、貯水池の長寿命化を図るために、早期に堆砂対策の実施が望まれ、洪水時に排砂するための土砂BPが計画されている²⁾。

矢作川は従来、砂河川であるが、現在は矢作ダムへの流入土砂量の年間平均約30万 m^3 のうち掃流砂・浮遊砂の約25万 m^3 がダム湖に捕捉されて堆砂し、細粒分のウォッシュロード約6万 m^3 が洪水吐きなどを通じてダム下流へ流下している状況である(図-2参照)。土砂BP完成後は、BPを通じて砂分を中心に年間約20万 m^3 が新たに下流に供給され、矢作川本来の流砂環境の回復が期待される。

土砂BP完成後は、土砂BPを通じて砂分を中心に年間平均約25万 m^3 の土砂が新たに下流に流下することになるが、ダム下流には発電ダム等の利水施設があり、また、漁業や水辺を利用したレクリエーションなどの河川利用が進んでおり、下流河川環境への影響や利害関係者との調整等の課題がある。そこで、流域全体を俯瞰した最適な土砂マネジメント手法の確立と総合土砂管理の観点からの経済評価分析が必要である(図-1, 2参照)。

例えば、ダム貯水池に捕捉される土砂を、ダム下流に還元することにより、ダム貯水池の堆砂を減少させ、貯水池機能の長寿命化をもたらす効果があるが、効果はそればかりでない。下流河川においてもダムにより抑止されていた土砂が再び供給され、ダム建設前の大小の玉石や砂礫、細粒分まで含めた混合砂礫の供給が復活し、河川環境がダム建設前の状態に次第に近づく可能性がある。

これらの効果を確認するために、全国の幾つかのダム、河川では、流砂系河川における土砂循環を回復させるための実験が行われており、ダム管理者自らがダム湖に堆

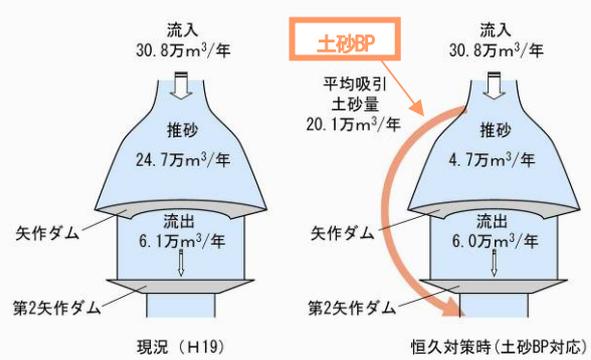


図-2 矢作ダムにおける土砂収支と土砂BPの効果²⁾

積した土砂を掘削・運搬し、下流河川に置土して、洪水時に土砂が流れるようにしておき、洪水で土砂還元後の効果をモニタリング調査を行い、土砂還元による効果の計測を行っている。その調査によれば、土砂の細粒分を補給することによりクレンジング効果が見られること、砂河床を好む底生生物が増加すること等が確認されている。

矢作ダムでも、このような動きを受けて置土実験、覆砂実験によるモニタリング調査が行われており、年に2,300から6,000 m^3 の置土からの土砂還元や覆砂実験で土砂還元による河川環境改善効果が計測されている。

このように、土砂BPは、貯水池機能の長寿命化だけでなく、土砂供給による河川環境の改善効果や土砂資源リサイクルの視点においても有意義なものである。

3. 土砂マネジメントの必要性

矢作ダムでは土砂BPが計画されているが、事業評価には土砂BPの建設費、維持管理費に加え、下流の発電施設や治水機能への影響に対して維持掘削等の対策費や、堆砂した土砂の掘削費、運搬費、CO₂などの環境対策費などが発生する。一方、効果、便益としてはダム長寿命化便益、河川、海岸域における環境改善便益、土砂資源リサイクル利用便益などがあり、それらは、それぞれトレードオフの関係にあることから、ここでは、例えば、環境改善のためには何処にどれだけの土砂が必要で、その費用と効果はどれくらいか、また、土砂のストックヤードはどの位置に、どれくらいの規模で設置するのが経済的に効果的で最適かなど、土砂マネジメントによるダムからの排砂土砂の調整により、トータルコストとトータル便益、その結果としてのコストパフォーマンスが変化する。このため、矢作ダムの土砂BPの設置、運用にあたっては、排砂土砂の扱いや、土砂の配分を如何にするかという土砂マネジメントを最適化することが重要となる。また、そのために必要となる土砂の仮置きストックヤードの配置位置、規模なども、コストや便益に大きく影響してくるので重要である。

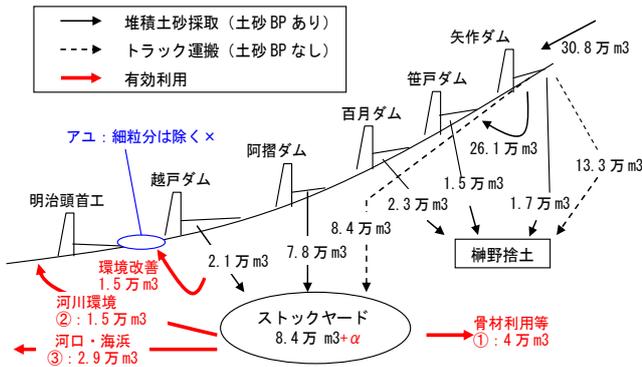


図-3 矢作川の土砂BP完成後の土砂の移動・掘削運搬モデル

著者らは、矢作川流域をモデルに、矢作ダムの土砂BP設置による河川及び海岸域の環境改善効果を、CVMとコンジョイント分析を行って費用便益計算に組み入れるとともに、ダムからの排砂により発生する各種の対策費用についても推定計算を行い、土砂BPの設置による費用便益計算による事業評価を行った。さらに、流域全体の総合的な土砂マネジメントを考えた時に、治水、利水機能と環境保全とはトレードオフの関係にもあるが、これら機能を保全しつつ、河川環境改善利用と土砂資源のリサイクル利用とのアロケーション・バランスはいかに行うべきか、また、土砂資源リサイクル面からは、どの位置から土砂を掘削し、どこに運搬しどのように利活用するのが経済的に最適か等について考察するため、越戸ダム付近にストックヤードを設けて自由に土砂の運び出しを認め、その利用者に対しアンケートによる追跡調査を行って、土砂資源リサイクル利用と河川、海岸域の環境改善のための利用に関して、最適化の可能性について考察を行っている。

以上、これらを総合的に考えあわせ、経済的に最適となる土砂マネジメントについて検討する必要があるが、検討にあたっては、LCCの期間を何年にするか、各費用と便益項目に何を選定するか、制約条件としての治水、利水機能上の制約はどうするか等を考慮し、地勢的、社会的条件等からの制約等も考慮しなければならない。

4. 土砂マネジメントの経済評価

(1) モデルの設定

土砂マネジメントのモデルは、土砂BPが完成後の矢作川をイメージした。

土砂BP完成後は、図-3に示すように、ダムを通過するようになった土砂の新たな行き先として、河道、海浜への供給（土砂還元）と土砂資源リサイクルの両者の組み合わせを考慮する必要がある。一方、土砂BP無しの場合、これをダム湖からの掘削とトラック運搬で実現しようとするれば、点線で示される長い走行距離を運搬しCO₂を多量に排出する。土砂BPが供用されれば、河道を通じて年平均約20万m³の土砂が新たに流下し、好適な流砂環境が

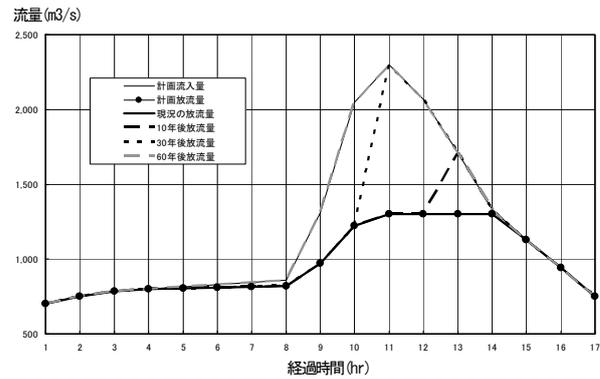


図-4 ダム長寿命化便益のイメージ

回復されるとともに、資源リサイクルの観点からも、需要地までの運搬距離が減少し、コスト面、運搬環境面からも有利な状況となる。一方、土砂の流下に伴って、局部的に河道堆積が発生して河床高が上昇することも想定されるが、ここでは、河道の流下能力から維持河床高を設定し、これを超過する分のみの維持掘削を経年的行うものとした。また、河道環境の改善に必要な土砂量として、河床変動高、粒径の変化予測などから、越戸ダム下流へ1.5万m³、明治頭首工下流へ1.5万m³、河口・海浜へ2.9万m³を還元し、骨材利用等の土砂資源として4万m³を活用するものとした。その際に、再利用のための一時保管、調整のためのストックヤードとして、越戸ダム付近に8.4万m³以上の規模のものが必要となる。

なお、矢作ダムでは既に民間事業として3万m³の掘削と骨材利用がなされているが、これについては今回のモデルには含めていない。これらの条件を加味して「土砂の移動・運搬モデル」を構築した。（図-3参照）

(2) 総合土砂マネジメントの経済評価方法

総合土砂マネジメントの経済評価を行う際の評価項目は、①土砂BPがあるケースと、②トラック運搬で土砂運搬するケースの2ケースで整理し比較した。インフラ整備における経済評価は、費用（C）と、それにより得られる便益（B）を算出し、費用便益比（B/C）、または差額（B-C）により行うことが多い。矢作ダムのように既に供用開始してから多くの年月が経過している事業では、これまで費やした事業費や効果を除き、本研究では、現時点において当該事業を実施した場合の経済評価を行い、事業実施の費用対効果を求めて経済評価することが実用的であることから、現時点からの評価（リアルオプション）で、評価期間はダムの施設寿命を考慮して100年間、割引率を4%とした。

評価項目等は以下の通りである。

a) 評価項目

・費用の算定

土砂BPの建設費、維持費に加え、土砂が下流河道に現在より多く供給されることによる発電ダム減電対策費、矢作ダム、発電ダム等からの土砂掘削費、ダンプ運搬費、それらによるCO₂に対する環境対策費を計上した。ス

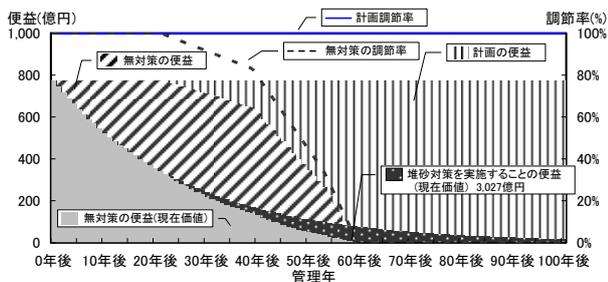


図-5 長寿命化（堆砂の排除）による便益

トラック整備費等については、事業主体、経営方法など具体が決まってから考慮する。

・便益の算定

土砂BPによりダム貯水容量が計画レベルに保たれ、洪水カット量の減少が回避されることによる治水便益をダム長寿命化便益として計算した。（図-4，5参照）

また、河川環境改善効果については、CVM・コンジョイント分析で行い、既報ではダム直下流域（豊田市区間）のみであったが、本研究では、矢作川下流域から三河湾海浜域まで拡張し、矢作川流域系全体を対象とした。土砂資源リサイクルによる便益については、現在、越戸ダム付近で排出土砂を仮置き場において民間事業者を対象に、矢作ダム排出土砂の利用実態調査を行っており、その結果から取引価格、用途、運搬場所等を分析し、より現実的な土砂資源リサイクル便益を算出した。

b) 土砂マネジメントの目標

ダム貯水池からの排砂により「ダム長寿命化」を実現しつつ、下流の河川環境、海浜環境の改善や土砂資源リサイクルの促進等により流域全体として便益の最大化、費用の最小化、費用対効果が最大（最適）となる状況を目指した。これらにより、土砂マネジメントは流域としての全体最適状態を目標とする。

(3) 経済評価

a) CVM・コンジョイント分析調査の実施

河川等の環境改善効果はCVMで算出し、国土交通省の事業評価で標準指定されている方法を用いて住民の支払意思額（WTP）を求めた^{4) 5)}。また、コンジョイント分析は、住民がどのような環境改善要因を評価しているかを把握し^{6) 7)}、土砂マネジメントに活用するために行った。既研究によると、ダムからの排砂により下流河川から海浜域までの「景観や生物の息息・生育環境の改善」などの環境改善効果が期待される。市場取引されないこのような環境財に対しては、環境改善効果を貨幣換算評価する手法であるCVM、コンジョイント分析による環境改善便益の測定が有効である。

H21年度のダム直下流域の豊田市域で行った調査データを活かして継続的に検討し、地域での比較及び要因比較を行うため、本研究では矢作川下流域と海浜域を対象に調査を行った。必要標本数はCVM指針⁵⁾に記載されている方法で、信頼度95%、絶対精度5%の場合の必要標本数を確保し、CVMは多段階（5段階）二項選択式、コン

表-1 アンケート対象地域

■河川区域（下流域）		■海浜区域	
市町村名	世帯数	市町村名	世帯数
岡崎市	128,457	岡崎市	128,457
碧南市	24,060	碧南市	24,060
刈谷市	55,093	刈谷市	55,093
安城市	60,854	安城市	60,854
西尾市	34,438	西尾市	34,438
知立市	25,263	知立市	25,263
高浜市	14,537	高浜市	14,537
一色町	6,734	一色町	6,734
三好町	18,985	吉良町	6,425
合計	368,421	幡豆町	3,718
		幸田町	11,634
		三好町	18,985
		合計	390,198

表-2 アンケート回収率と有効回答率

項目	配布数	回収数（率）	有効回答数（率）
河川環境	1,000	469 (46.9%)	228 (49%)
海浜環境	1,000	463 (46.3%)	314 (68%)
参考：H21 上流河川環境	1,000	472 (47.2%)	336 (71%)

ジョイント分析はカード選択4問で行い、過去の事例より回収率30%、有効回答率60%と想定して、アンケート配布数は、それぞれ1,000通を郵送配布、回収を行った（表-1参照）。

事業効果シナリオ、効果期待設問、CVM支払意思額設問、賛同理由、反対理由、コンジョイント分析の説明因子及び回答方法の説明、説明因子のイメージ、コンジョイント分析の設問、回答者属性より構成した。

アンケートの回収率は、河川環境46.9%、海浜環境46.3%とH21年度と同様に5割近くの高い回収率であり、住民の方々が、土砂供給に対して高い関心を持っておられることが読み取れた。ここから無効回答やバイアス回答を排除し、有効回答票（河川環境：228票、海浜環境314票）をもとに分析を行った（表-2参照）。

b) 河川域の環境改善効果（WTP）の推定

アンケート有効回答者228名の回答から、推定モデルを用いたパラメトリック法によりCVM提示金額に対する賛成曲線を推定した結果、矢作川下流域におけるダムからの排砂に対する支払意思額WTP（平均値）は、1世帯当たり378.2円/月であった（図-6参照）。これは、H21年度に実施したダム直下流域の（豊田市域対象）のWTP317.4円より約60円高い結果であり、下流域の方が土砂還元に対する期待がやや強いものと推定される。

一方、コンジョイント分析による下流域における各項目の限界支払意思額（原単位毎の支払意思額）は表-3のとおりであり、上流域（ダム直下流域）での調査結果では「砂河原」のWTPが低かったのに対し、下流域では「砂河原」のWTPが大きかった。これは、下流域では、矢作川の『原風景』として「砂河原」への意識が強いのではないかと推察される。また、下流域では「水遊び場」が234円と高く、子供の頃に砂河原で遊んだ『原体験』への思いが強いのではないかと推察される。

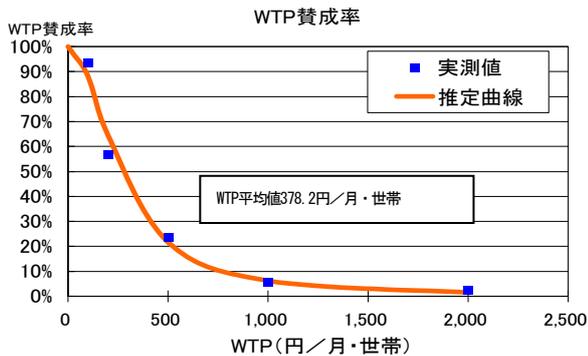


図-6 矢作川下流域の河川環境改善へのWTP推定結果

表-3 矢作川下流域におけるコンジョイント分析結果

項目	限界支払意思額(円/月・世帯)	
	矢作川下流域	矢作川上流域
水質	111	163
ヨシ原	3	106
砂河原	110	22
水遊び場	234	162
生態系	187	194

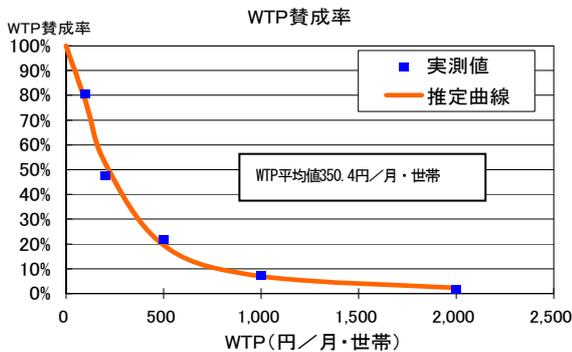


図-7 海浜環境改善へのWTP推定結果

表-4 海浜域におけるコンジョイント分析結果

項目	限界支払意思額(円/月・世帯)
浅場・干潟	139
水質	105
潮干狩り	33
海水浴	37
水産生物	140

c) 海浜域の環境改善効果 (WTP) の推定

アンケート有効回答者314名の回答から賛成率曲線を推定した結果、WTP(平均値)は河川環境の378.2円より低く、1世帯当たり350.4円/月(図-7参照)と推定された。一方、コンジョイント分析による各項目の限界支払意思額は、「浅場・干潟(景観)」及び「水産生物」のWTPが高く(表-4参照)、住民のこれらへの思いが強いものと推察された。また、「潮干狩り」、「海水浴」などのレクリエーションについては、WTPが低い結果となった。

d) 土砂資源の有効利用調査

矢作ダム堆積土砂の有効利用の可能性を調査するため、ダム下流域の仮置き土砂ストックヤードを用いた社会

表-5 費用便益評価の計算表

		土砂バイパス (億円/100年)	トラック運搬 (億円/100年)
費用	ダムの掘削費	34.9	55.3
	運搬費	111.1	296.8
	パイパストンネル+吸引 施設建設費	129.0	-
	発電ダム対策費	2.4	-
	環境対策費	1.1	2.8
	維持管理対策費	41.4	道路維持等 15.0
	海浜対策費用	15.0	15.0
合計	334.8	369.9	
便益	ダムの長寿命化	3027.0	3027.0
	河川環境	552.8	409.7
	海浜環境	402.1	402.1
	土砂資源リサイクル	25.3	25.3
	合計	4007.2	3864.1
費用便益比(B/C)		12.0	10.4

*) 筆者らの試算値であり公式値ではない。

実験を行い、ストックヤードから土砂を搬出利用する民間業者に対しアンケート調査を行い分析した。

アンケート結果では、土砂利用のための負担費用として「混入ゴミ除去費用」と「運搬費」が平均約770円かかる結果となったが、H21年度に矢作ダム管理所が実施した市場調査では、ダムからの土砂の想定販売価格300円/tであったので、今回の調査結果(処理費用+運搬費用)である770円を加えると、販売価格は概ね1,070円/tとなり、同じくH21年度の調査結果では、流通価格1,860円/t³⁾であることから、約800円/t程度安価に流通できる可能性があることがわかった。この調査結果から、土砂マネジメントの経済計算では、海浜への土砂資源の取引価格は800円/tとした。また、これは、今後のストックヤードの維持管理運営費用としても検討の余地があると考えられる。一方、アンケートによる要望では、骨材流通量には季節性があり、10月~翌3月の期間に年間の60~70%の利用が集中しているの、この時期に十分な土砂が供給出来るかが、流通のポイントと考えられる。また、用途はコンクリート製品や骨材、左官砂の利用が主であったが、CVMのアンケートで評価が高い海浜域の浅場・干潟の造成(三河湾沿岸)に活用出来れば利用価値はさらに高まるものと考えられる。

今後は処理コストの軽減と安定供給(需要と供給のバランス)、並びに海浜域での利用を促進する施策を、土砂マネジメントとあわせて検討していくことが重要と考える。

e) 費用便益評価

以上のデータをもとに、矢作ダムの「土砂BPあり」の場合と「トラック運搬(土砂BPなし)」の場合で、土砂マネジメントの費用便益評価を行った。計算期間は今後100年間で、割引率4%で現在価値化するリアルオプションでの費用便益比(B/C)の計算を行った。

ケース1はダム長寿命化(治水便益)のみを便益とした場合のB/C、ケース2は河川、海浜の環境改善効果と土砂資源リサイクルのみを便益とした場合のB/C、ケース3は両者を合計してダム長寿命化に環境改善等の間接

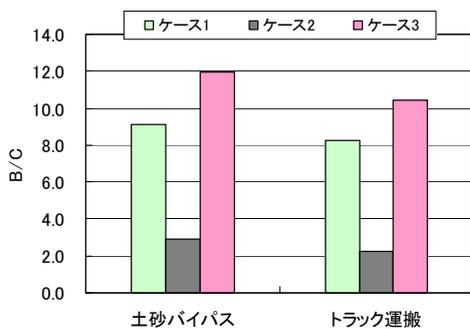


図-8 土砂BPとトラック運搬のB/Cの比較

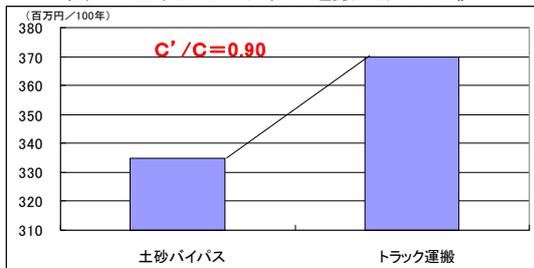


図-9 土砂BPとトラック運搬のC'/Cの比較

効果を含めた場合のB/Cを図-8に示す。これより、土砂BPの整備は費用便益評価上も1.0を大きく上回り、十分に事業効果、コストパフォーマンスの高いことが確認された。特に、環境改善効果だけでも2.0を上回る効果が見込まれることがわかった。

既報では、矢作川上流区間(豊田市域)のみの環境改善効果であったが、今回は、矢作川下流域と海浜域も含め、矢作川流域の環境改善効果を考慮することが出来た。また、土砂資源の需要と供給のマッチングを図るため、中流部の越戸ダム付近にストックヤードを設けて試算してみた。これは将来土砂BPが運用した際には、河川、海浜の環境改善も含め、土砂の需給バランスを取る必要があるが、そのためには調整機能が必要となり、現時点で具体的な調整箇所は決まらないものの、効率的に土砂を収集、ストックし、供給、分配出来る箇所として、越戸ダム付近が効率的であると考えられたからである。あくまで仮定のケースではあるが、土砂ストックヤードの設営は必要であり、越戸ダム付近で、複数箇所での設置運用も含め、将来的には公的に運営していくことも検討する必要があると考える。

次に、ダムからの排砂手段を土砂BPありの場合と、トラック運搬(土砂BPなし)の場合で費用の比較を行った(図-9参照)。トラック運搬では土砂BPありの場合よりも約10%費用が増加し、トラック運搬のための道路維持整備費や、交通安全対策費等も考慮すると、土砂BPは経済的にトラック運搬よりも有利な事業手法であることが確認された。なお、トラック運搬の場合は上流部の土捨場が無限に收容可能なことが前提となり、現実的には持続可能な選択肢とはならないことから、土砂BPの有利性は揺るがないものと考えられる。

このように、土砂BPは、ダム長寿命化(治水)効果だけでなく、環境改善や土砂資源リサイクル利用等の間接効果も含めた総合的な土砂マネジメントを行った場合の事業評価においても、経済性に優れた有効な手段であることが確認された。

5. まとめ

本研究では、土砂BPによるダムからの排砂と土砂マネジメントによる河川管理について、矢作ダムをモデルに経済評価を行った。得られた結論は以下のとおりである。

- ①矢作ダム下流から河口、三河湾海浜域までを含めた、矢作川流域を対象として、ダムからの排砂による効果(便益)と対策費用について、CVM、コンジョイント分析等で調査した結果、土砂供給による費用便益構造とその要因が明らかになった。
 - ②ダム堆砂対策の貯水池長寿命化という治水効果に加え、流砂系全域にわたる環境改善等の間接効果を評価することにより、土砂BP事業の経済的優位性、社会的便益が大きいたことが明らかになった。
 - ③河川中流部にストックヤードを設定し、民間事業者等の参加による土砂マネジメントを行うことにより、費用対効果が最適となる需要と供給の適正なマッチングについて提案した。
 - ④今後の課題として、治水、利水、環境機能を増進に繋がる具体的なストックヤードの位置、規模、PFI等も含めた運営方法について検討し、経済的に自立運営出来る事業手法の確立が望まれる。
- なお、本研究は、矢作ダム土砂BP事業をケース・スタディとして土砂マネジメントのモデル化、経済評価モデル化の検討を行ったものであり、矢作ダム土砂BP事業そのものを評価したものではない。

参考文献

- 1) 富田邦裕, 角 哲也, 渡邊 守, 河川における総合土砂管理の経済評価, 河川技術論文集, 第16巻, 529-534, 2010.
- 2) 国土交通省中部地方整備局矢作ダム管理所: 矢作ダム土砂パイパス関連資料, 2010.
- 3) 国土交通省中部地方整備局矢作ダム管理所: 堆積土砂の有効利用関連資料, 2009.
- 4) 国土交通省: 公共事業評価の費用便益分析(共通編)に関する技術指針, 2009.
- 5) 国土交通省: 仮想的市場評価法(CVM)適用指針, 2009.
- 6) 角 哲也, 藤田 正治: 下流河川への土砂還元の現状と課題, 河川技術論文集, 第15巻, pp.459-464, 2009.
- 7) 池淵周一編著: ダムと環境の科学 I ダム下流生態系, 京都大学学術出版会, 2009.

(2011. 5. 19 受付)