

レクリエーション便益を考慮した 多目的ダム費用割りに関する考察

多々納裕一・岡田 憲夫・谷本 圭志

MEASURING RECREATION BENEFITS OF INSTREAM FLOW TOWARDS COST ALLOCATION OF A MULTI-OBJECTIVE RESERVOIR

By *Hirokazu TATANO, Norio OKADA and Keishi TANIMOTO*

Synopsis

This paper addresses the need for addition of a recreational use to multi-purpose reservoir development. The paper then proposes a systematic methodology of project evaluation where allocation of costs are combined with the assessment of benefits. Particularly, the method of evaluating the benefits of recreational use in multi-purpose reservoir development is closely discussed. It was determined that the application of the travel cost method was the most useful to the model situation assumed in this paper. Then, appropriate cost allocation schemes are discussed theoretically, based on the results from the benefits estimated for recreational use. The paper concludes with itemizing policy implications derived from this study and lists possible themes to be subject for further research.

1. は じ め に

環境問題への関心の高まりにより、河川に関わる生態系の保持の要請は急速に高まってきつつある。さらに、近年の余暇重視の傾向は、河川の親水機能向上に対する社会的要請を以前にも増して高めてきている。多目的ダム事業は従来より、治水や利水を中心にその開発が進められてきたが、近年では、より質的に豊かで潤いのある生活への志向や、環境問題に対する関心の高まりを受け、多目的ダム事業においても新たな展開が求められるようになってきた。このような背景から、近年、ダム周辺環境整備事業、レクリエーション事業、水環境対策ダム、清流復活事業等の事業が計画・実施されるなど、環境面やレクリエーションなどに配慮したダム開発が志向されるようになってきている。

ダム貯水池の開発は、流況を安定化させることにより、利用可能な水量の増大に寄与する。一方、景観や生態系の保全、河川空間のレクリエーション機能等の河川の親水機能の確保・向上ためには、ある程度の河川の水量を確保・維持することが必要である。ところが、河道内の流量の確保を進めようとする、河川から取水しうる水量はその分だけ減少することになり、農業用水、上水道や工業用水等の用水の供給、発電等のための河川水の利用との間で競合関係を招きやすい。このような問題を回避するために、ダムの貯水容量の増大をはかり、河道内で確保されるべき水量と河川から取水される水量の両者を満足し得るように水資源開発を進めるという方法が想定しうる。

現行制度下においても、多目的ダムによる水資源開発は、流水の正常な機能維持のために必要な流量の設定した上で開発水量及びダム貯水池の利水容量を決定するという手順をとっている。ここで、流水の正

常な機能維持のために必要な流量, すなわち, 「正常流量」は「維持流量」と「水利流量」との双方を満たす流量である。このうち, 維持流量は舟運, 漁業, 景観, 塩害の防止, 河口閉塞の防止, 河川管理施設の保護, 地下水位の維持, 動植物の保護, 流水の清潔の保持の9項目を満たす河川流量であり, 親水に関連する項目も含まれている。一方, 水利流量は, 既に開発され利用されている用水量と新規に開発される用水量との両者を満たす河川流量である。このように現行の制度下においても, 河道内で確保されるべき「維持流量」と河川から取水され利用される「水利流量」の両者を満たすようにダムの容量決定が行われている。

しかしながら, 水利流量が将来の水需要の予測に基づいて決定されるのに対し, 維持流量の設定方法は未だ十分に確立しているとはいえない。とりわけ, 景観, 動植物の保護に関わる項目, さらに, レクリエーション利用のためにどれだけの流量を維持すべきかを決定する方法は, 継続的に議論されるべき課題であろう。維持流量の設定方法の一つの代替案として, 費用便益分析を用いたアプローチが想定しうる。このアプローチは, 河道内にある流量が確保されることの便益を計量化し, そのための費用と比較することによって河道内に確保されるべき流量を決定しようとするものである。このために, 旅行費用法やCVM法(コンティンジェントバリュエーションメソッド)により河川流量に対応する形でレクリエーション便益を計量化した研究^{1,2)}や, 河川流量の状態がラグを伴って漁獲量に及ぼす影響をモデル化し, 河道流量確保の便益の計量化を試みた研究³⁾などがある。しかしながら, これらの研究では主として便益の計量化法を取り扱うにとどまり, ダム貯水池の整備と結びつけることを想定した費用に関する議論は十分にはなされていない。

本研究では, 通常の事業目的に親水目的を加え, 河川の親水機能の確保・向上のための貯水容量(「環境容量」)を有するダムを整備する方法を想定する。河川の流れをより豊かにするために, 物理的・自然的条件により要求される維持流量に加えて親水目的のために「環境流量」を設定し, 上述の環境容量を用いてダムからの補給することによって河川の親水機能の確保・向上するものと想定する。このことによって, 河道内で維持される流量の水準とダムの規模との関係が定まり, 河道内流量の確保費用もこれに関連して定まることになる。しかしながら, 多目的ダム事業は複数の目的から成る共同事業である。このため, 共同事業費の割り振り問題が生じる。従って, 厳密には共通費用の割り振りが決定しなければ環境流量確保の費用は決定しないことになり。しかし, 環境流量補給の便益が少なくとも分離費用を下回らなければ, 親水目的を多目的ダム事業の目的として除外する必然的な理由はない。

一般に, 費用割り振り問題はFig. 1に示すように, Stage 1.の参加事業の事業効果確認と, Stage 2.の建設費用の事業者への割り振りの2段階から構成される。本研究では, 河川の親水機能を確保・向上するための親水目的が, 多目的ダムの事業目的として加えられるか否かの判断を行うことを目的とする, Stage 1.の段階の分析プロセスを提案し, 実証的な検討を試みる。

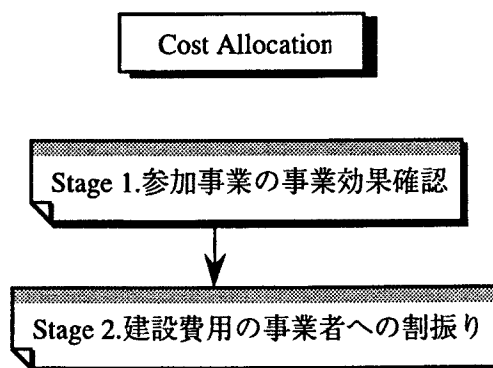


Fig. 1. Flow of the cost allocation process

2. 事例対象流域の概要

本研究が事例対象地域として選定した流域は淀川水系猪名川流域である。猪名川流域の概略図をFig. 2に示す。猪名川は北摂山地に源を発し, 大阪・京都・兵庫の2府1県にまたがる流域面積383 km², 幹



Fig. 2. Map of the Ina River Basin

線延長 43 km の中規模河川である。この内には、阪神工業地帯や多くの都市群を擁し、東西の拠点をつなぐ交通機関の集中しており、また多くの工場等が立地している。流域内の資産集中・人口密度も著しく高く、最近では水源とされている流域まで開発が進みつつあり、典型的な都市河川の様相を呈している。また上流の支川の一つである一庫大路次川には一庫ダムがある。一庫ダムは猪名川流域内の諸都市の発展に伴う生活用水不足の解消、ならびに洪水調節を目的として整備された多目的ダムである。

一方、中流の軍行橋付近は河幅が広く、高水敷は公園、緑地及び広場として解放されている。そこには多数のレクリエーション施設があり、多くの人々がスポーツや散策、釣り、水遊びを楽しむ憩いの場となっている。なお、今後用いる「公園」とは、軍行橋付近のレクリエーション地を示すものとする。

3. 本研究の分析プロセス

本研究では、Fig. 3 に示す分析プロセスを提案する。すなわち、「流水の正常な機能の維持」目的

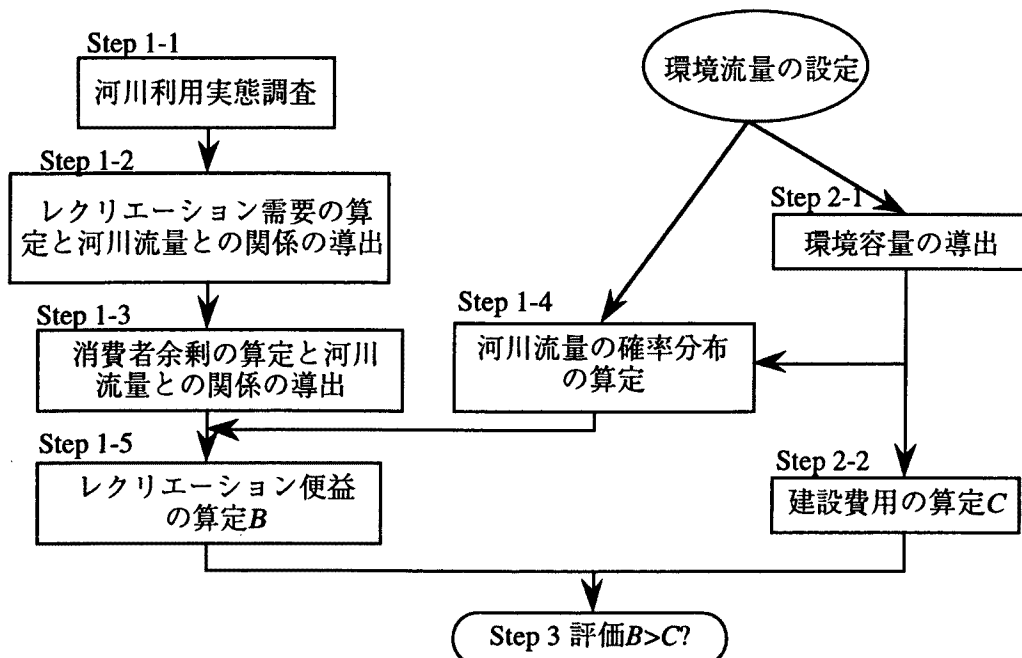


Fig. 3. Process of cost benefit analysis

によって設けられる維持流量のうち、自然的・物理的条件によって定まる流量に対して追加的に加えられる親水機能の確保・向上のための環境流量を設定し、その補給のために必要なダム貯水容量（環境容量）を確保することによって生じる便益と費用の算定、評価を行う。これらを通じて、親水機能の確保・向上を多目的ダムの事業目的として加え得るかを判断する。具体的には、便益の評価に関しては、河川域におけるレクリエーション需要は河川の流量に依存するとの認識に立ち、環境流量設定によるレクリエーション地での河川流量改善に伴うレクリエーション便益の増加分を環境流量設定に対する便益として算定する。費用については、環境流量の補給に必要なダム容量を算出し、その容量を有するダム建設費によって評価する。

以下に、Fig. 3 に即して本研究での分析プロセスの詳細を説明する。

Step 1-1 河川利用実態調査

河川レクリエーション便益を測定するに際して必要となるデータを収集する。本研究が扱うデータは、建設省が行っている河川水辺の国勢調査⁴⁾におけるアンケート結果を用いる。この調査は全国の主要河川を対象に季節毎に行っているものであり、利用者の中から無作為に選んだ回答者を対象としている。その項目としては、利用者の属性や、利用目的、訪問地の感想等から構成されている (Fig. 4)。本研究では平成 2 年から 5 年にかけて猪名川で実施されたアンケート結果を用いて分析を行う。

Step 1-2 レクリエーション需要の算定と河川流量との関係の導出

本研究では、環境流量設定による親水機能の確保・向上に伴う便益を、旅行費用法 (Travel Cost Method, TCM) を用いて算出する。以下にまず TCM の説明を行う。

TCM はレクリエーション財の価値を測定する際に用いられる方法として、1950 年代後半から 1960 年代に Clawson and Knetsch⁵⁾ によって開発された方法である。TCM では、当レクリエーション地までおおよそ同じ交通費をもつようにゾーニングされた地区を設定すると、レクリエーション地に近い地区の人々ほど割安の費用を支払い、遠い地区の人々ほど高い交通費を支払うことから、旅行費用、旅行時間及び他の社会経済的変数によってレクリエーション地の需要曲線が描けるであろうという Hotelling⁶⁾ の推論が出发点となっている。よって、レクリエーション地の入場料の増加（減少）と同等の変化が旅行費用の増加（減少）によっても生じると仮定すると（この仮定は旅行費用法の基本的な仮定である）、レクリエーション地の入場料徴収に対して、当レクリエーション地への訪問者数や訪問回数が減少するであろう。需要曲線が得られたとすると、消費者余剰を計量することによって、レクリエーション財の便益を測定し得る。TCM の評価の対象となる財が弱補完性⁷⁾を満たすと仮定される。弱補完性はもし人々がその財を消費しなければ、当財の限界価値は 0 であることを意味している。すなわち財を消費して初めてその財の価値が存在することを表わしている。すなわち、弱補完性を満たす財 i に対する需要曲線は $x_i = 0$ となる入場料 p が有限値として決まることを意味している。その他にもゾーニングされた各地区の人々は同一の選好を有する、消費者の旅行費用の変化に対する反応はレクリエーション地の入場料の変化に対する反応と同じであるなどいくつかの仮定がおかれている^{8,9)}。TCM を適用することにより、レクリエーション財の便益（変化）を算定し得る。しかし TCM は、便益評価手法そのものではなく、需要関数を求める方法である。

以下、TCM の適用手順に沿って、分析プロセスを説明する。

1. 利用圏域のゾーニング

公園までの時間及び距離を考慮し、それらがおおよそ等しくなるような地域に分類する。本研究では行政区分単位を基準に以下のようにゾーニングを行った (Fig. 5 及び Table 1)。我々が得ているアンケート結果によれば、ほとんどの利用者の交通手段が自動車であることから、徒歩・自転車圏として設定したゾーン 0 を除いては、自動車でのアクセスを仮定する。よって交通費用は各ゾーンからの距離 (km) 及び

様式B

利用者アンケート調査票

事務所名	猪名川	水産名	川名	猪名川	〒番号	イ	L	4-5
区域名	一般区域	特定利用区域	自然的利用区域	施設の利用区域	調査日	平成 7 月 25 日	時刻	13:30
1. 今回の利用目的は何ですか。 (下記から番号で選んで下さい。)	目的: 16 少年野球							
2. 年に何年ぐらい来ますか。	滞在時間(予定を含む): 1時間・1~2時間・2~3時間・3~6時間・6時間以上 春: 毎日・15回以上・5~14回(週1回)・2~4回(月1回)・1回・なし 夏: 毎日・15回以上・5~14回(週1回)・2~4回(月1回)・1回・なし 秋: 毎日・15回以上・5~14回(週1回)・2~4回(月1回)・1回・なし 冬: 毎日・15回以上・5~14回(週1回)・2~4回(月1回)・1回・なし							
3. 利用の目的は何ですか。 (下記から番号で選んで下さい。 複数可)	春 16 夏 16 秋 冬							
4. 利用交通機関は何ですか。	電車・バス・自動車・徒歩・自転車・バイク・その他()							
5. どのようなグループで来ましたか。	単独・家族・友人・近所・親戚・恋人・会社・その他()							
6. 何名で来ましたか。	合計 40 人 男: 大人 4 人 高校生 人 中学生 人 小学生 24 人 幼児 人 女: 大人 2 人 高校生 人 中学生 人 小学生 人 幼児 人							
7. どこから来ましたか。	市区町村名: 豊中市 所要時間: 15分未満・15~30分・30~1時間未満・1時間以上・2時間以上 距離: 1km未満・1~5km・5~9km・10~49km・50~200km・200km 以上							
8. 今の水辺をどのように思われますか。	1. 満足している 2. まあ満足している 3. どちらともいえない 4. やや不満である 5. 不満である その他()				1. もっと施設を整備すべき 2. もっと自然を残すべき その他(今のままでよい)			
9. 今後、水辺でどのようなことをやりたいですか。(下記から番号で選んで下さい。複数可)	目的:							
10. 失礼ですが年齢は。	10代・20代・30代・40代・50代・60代以上 (男) 女							
設問 1・3・9 の選択肢								
1. 水泳 2. 水遊び 3. 釣り 4. ボート 5. 遊覧船 6. 散歩 7. 休息 8. 探検 9. ピクニック 10. 花見 11. 花火見物 12. 写真撮影 13. 楽器の演奏 14. ランニング 15. 軽い運動 16. スポーツ 17. キャンプ 18. 水上スポーツ 19. 虫とり 20. 水生生物観察 21. 植物観察 22. バードウォッチング 23. 祭りや伝統行事 24. 水辺レストラン 25. バーベキュー・宴会 26. スポーツの観戦 27. 果上げ・ラジコン 28. サイクリング 29. モトクロス 30. その他の遊び 31. 通行 32. その他(業務等)								

Fig. 4. Questionnaire used for the census concerning river front use

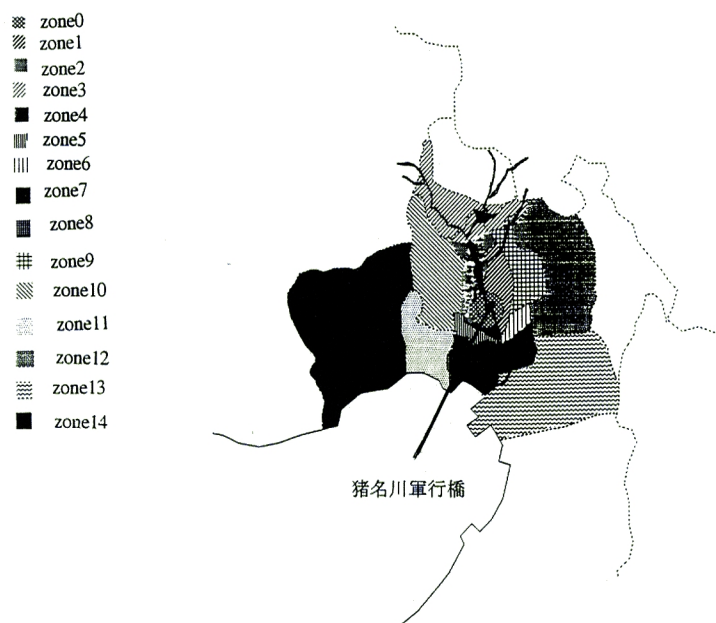


Fig. 5. Gunkobashi Bridge at Ina River and regional zoning

Table 1. Zoning

zone	市町村
0	池田市, 川西市, 伊丹市の公園からの 1 km 圏内
1	池田市 (ゾーン 0 に含まれる区分を除く)
2	川西市中部 (ゾーン 0 に含まれる区分を除く), 宝塚市一部
3	川西市北部, 猪名川町, 豊能町
4	伊丹市北東部 (ゾーン 0 に含まれる区分を除く)
5	伊丹市南西部
6	豊中市北西部
7	豊中市南東部
8	尼崎市
9	箕面市
10	宝塚市 (ゾーン 2 に含まれる区分を除く)
11	西宮市
12	吹田市, 茨木市, 摂津市, 守口市
13	大阪市 (北, 中央, 天王寺, 浪速, 西成, 港, 大正, 鶴見, 東成区), 東大阪市
14	神戸市 (灘, 東灘区), 芦屋市

zone	距離 (km)	交通費用 (円)	時間費用 (円)	旅行費用 (円)	人口 (1000 人)
0	1	0	372.117	372.117	33.842
1	2.1	31.5	372.117	403.617	86.141
2	2.7	40.5	372.117	412.617	118.174
3	7.3	109.5	543.290	652.790	120.230
4	3.0	45.0	372.117	417.117	74.356
5	5.0	75.0	372.117	447.117	101.873
6	4.8	72.0	357.232	429.232	118.541
7	6.1	91.5	453.982	545.482	291.296
8	9.4	141.0	698.579	840.579	498.999
9	4.9	73.5	372.117	445.617	122.12
10	5.7	85.5	424.213	509.713	144.172
11	12.1	181.5	900.522	1082.022	426.909
12	11.7	175.5	870.753	1046.253	544.109
13	25.6	384.0	1905.237	2289.237	1800.863
14	19.1	286.5	1421.4857	1707.986	407.456

自動車の燃費 (km/ℓ), ガソリンの価格 (円/ℓ) を用いて算定する。ここでは自動車の燃費を 8 km/ℓ, ガソリンの価格を 120 円/ℓ とした。時間価値については, レクリエーション行動には所得をもたない人々も多く参加するという特性を考慮し, 華山ら¹⁰⁾が行った方法と同様に, 平均賃金に労働力人口比率を乗じることによって時間価値を求める。ここでは, 平成 4 年の平均賃金 1744.3 円¹¹⁾, 労働力人口比率 64.0%¹²⁾ を用いる。よって時間価値は 1116.35 円/h である。

2. 訪問率と旅行費用との回帰

各調査日における各ゾーンから公園への訪問率 (訪問者数/日/1,000 人) と, 旅行費用 (円) との関係は Table 2 に示すようになった。このデータを用い, 本研究ではこれらの変数の間に以下のような方程式を仮定し, 最小自乗法で推定した。

$$\sqrt{r} = a \ln p + b \dots\dots\dots (1)$$

この結果, 各調査日における訪問率と旅行費用との関数は Table 3 に示すようになる。このうち, 平成 3 年 5 月 6 日及び平成 4 年 1 月 15 日のプロットと回帰曲線を Fig. 6 に示す。

サンプルには訪問率が 0 のゾーンがいくつか含まれているため, 実際にはこれらをどのように扱うかが問題となる¹³⁾。これは切断バイアスと呼ばれ, その取扱い次第で推定結果は大きく異なるであろう。計量経済学において, この点に関する議論がなされているが, 未だ決定的な結論は得られていない。

3. 推定された係数と流量との回帰

本研究では, 河川訪問者数 (または各ゾーンにおける訪問率) は河川流量に依存するとの仮定をおく。従って, この仮定の下では, 上で得られた各調査日の訪問率と旅行費用の関数における (推定された) パラメーター a, b と流量とは何らかの関係がある。直観的には, 流量が少なすぎる, または多すぎる場合

Table 2. The number of visitors and the visiting ration from every zone on each day surveyed

訪問者数	平成 3 年							平成 4 年						
平成 2 年	8月26日	11月3日	1月15日	4月29日	5月6日	7月28日	11月3日	1月15日	4月29日	5月5日	8月2日	11月3日	1月15日	
ゾーン														
0	35	65	59	164	70	78	101	98	129	88	117	335	113	
1	30	146	198	227	97	135	27	38	145	110	96	558	0	
2	9	110	120	375	100	5	92	13	121	78	17	144	83	
4	10	58	0	27	15	21	8	0	84	32	19	32	7	
6	12	17	0	16	6	34	110	13	46	8	35	4	82	
9	0	0	0	17	27	0	33	3	7	2	4	15	0	
5	0	0	0	3	18	2	46	3	0	29	13	0	2	
10	0	0	0	0	24	0	0	2	1	0	0	0	0	
7	0	40	0	0	14	13	50	3	18	23	13	0	0	
3	17	0	88	101	15	0	109	1	4	100	1	29	0	
8	0	18	0	0	0	10	12	0	36	20	24	43	30	
12	0	0	0	0	0	0	30	0	0	0	29	22	21	
11	0	0	0	0	4	0	10	1	0	25	0	0	0	
14	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2	0	0	33	
13	0	0	49	15	13	23	0	0	34	0	45	11	75	
計	113	454	514	945	403	321	628	175	625	517	413	1193	446	
全訪問者数	8486	11393	4736	13141	14461	8621	15894	8377	19517	17347	16645	14637	6528	
訪問率														
0	77.667014	48.199172	16.063662	67.38829	74.222452	61.900078	75.53338	138.61828	119.03282	87.249006	139.33608	121.45081	48.872855	
1	26.153868	42.532919	21.178922	36.644817	40.40686	42.089762	7.9328167	21.116608	52.564331	42.846624	44.915379	79.475985	0	
2	5.71933	23.358933	9.3563807	44.127156	30.364864	1.1363201	19.703322	5.2658912	31.973964	22.146571	5.7977667	14.950378	10.280197	
4	10.099702	19.57466	0	5.0494532	7.2388324	7.5850053	2.7229993	0	35.277379	14.44002	10.298437	5.2801418	1.3779305	
6	7.6021642	3.5988403	0	1.8769297	1.8162513	7.703054	23.485384	5.2495881	12.117758	2.2644109	11.899623	0.4140026	10.124896	
9	0	0	0	1.9357922	7.9335991	0	6.8391276	1.1759394	1.789964	0.5495118	1.3201003	1.5070099	0	
5	0	0	0	0.4095046	6.3402545	0.5272584	11.428054	1.4096543	0	9.5515255	5.1430175	0	0.2873533	
10	0	0	0	0	5.9734275	0	0	0.6640481	0.2165968	0	0	0	0	
7	0	3.44594	0	0	1.7245937	1.1985646	4.3441924	0.492989	1.9296166	2.6492757	1.7986331	0	0	
3	10.618439	0	6.744013	11.681675	4.4768412	0	22.944955	0.3981417	1.0389154	27.907504	0.335213	2.9593531	0	
8	0	0.9052219	0	0	0	0.5382115	0.6086325	0	2.2528686	1.34482	1.9384085	1.0572566	0.879968	
12	0	0	0	0	0	0	1.3954327	0	0	0	2.1480572	0.4960762	0.5649092	
11	0	0	0	0	0.3362157	0	0.592841	0.1121283	0	1.9648913	0	0	0	
14	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.164696	0	0	1.1854371	
13	0	0	0.2507056	0.1158263	0.2590335	0.3430045	0	0	0.5895644	0	1.0070837	0.0749417	0.6095732	

Table 3. Estimated visiting ratio-travel cost function for each day surveyed

調査日	推定式	(R, F-value, t-value (a), t-value (b))
2. 8 / 26	$\sqrt{r} = -2.399 \ln p + 17.236$	(0.525, 4.954 †, -2.226, 2.461)
2. 11 / 3	$\sqrt{r} = -2.632 \ln p + 18.873$	(0.586, 6.788 **, -2.605, 2.875)
3. 1 / 15	$\sqrt{r} = -1.140 \ln p + 8.370$	(0.388, 2.309, -1.520, 1.716)
3. 4 / 29	$\sqrt{r} = -2.715 \ln p + 19.606$	(0.556, 5.822 **, -2.413, 2.680)
3. 5 / 6	$\sqrt{r} = -3.069 \ln p + 22.331$	(0.686, 11.542 *, -3.397, 3.803)
3. 7 / 28	$\sqrt{r} = -2.155 \ln p + 15.564$	(0.500, 4.322 †, -2.079, 2.310)
3. 11 / 3	$\sqrt{r} = -2.693 \ln p + 19.976$	(0.637, 8.861 **, -2.977, 3.397)
4. 1 / 15	$\sqrt{r} = -2.573 \ln p + 18.376$	(0.479, 3.881 †, -1.970, 2.165)
4. 4 / 29	$\sqrt{r} = -3.432 \ln p + 24.874$	(0.589, 6.917 **, -2.630, 2.933)
4. 5 / 5	$\sqrt{r} = -2.868 \ln p + 21.214$	(0.586, 6.799 **, -2.608, 2.968)
4. 8 / 2	$\sqrt{r} = -2.821 \ln p + 20.7204$	(0.515, 4.697 †, -2.167, 2.449)
4. 11 / 3	$\sqrt{r} = -2.849 \ln p + 20.563$	(0.478, 3.857 †, -1.964, 2.181)
5. 1 / 15	$\sqrt{r} = -1.025 \ln p + 7.880$	(0.305, 1.337, -1.156, 1.368)

* significant at 0.01 level

** significant at 0.03 level

† significant at 0.05 level

‡ significant at 0.1 level

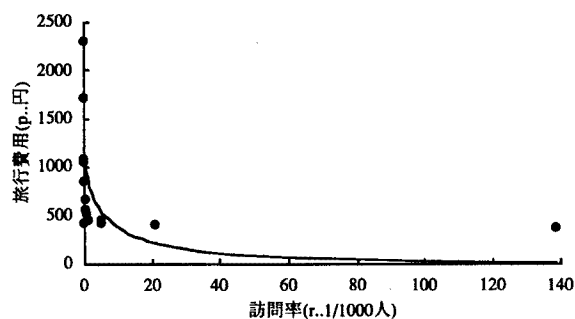
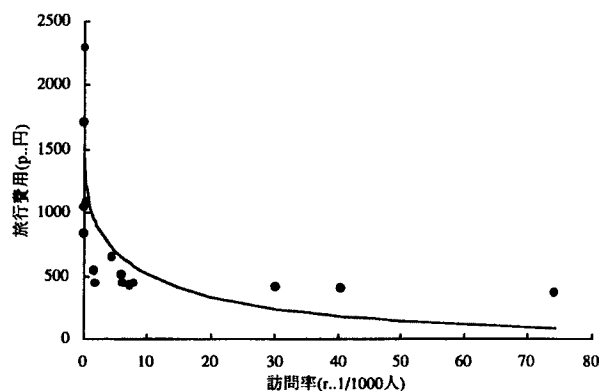


Fig. 6. Estimated Visiting ratio-Travel cost curve for May 6, 1991 (Top) and January 15, 1992 (Bottom)

は訪問者は少なく、ある流量水準において最大訪問者数となるようにパラメーターが変動すると予想できよう。従って、本研究ではパラメーター a , b と流量 f との間に $a, b = \alpha f^\beta e^{\gamma f}$, ($\gamma < 0$) で表される関係があるとし、パラメーター α, β, γ を推定する。その際、推定精度が悪い平成3年の1月15日と平成5年1月15日のデータを分析の対象から省くことにする。最尤推定法を用いた結果、パラメーター a , b と流量 f の関係は次式のように推定された。

$$a = -2.667 f^{0.148} e^{-0.021f} \dots\dots (2)$$

$$b = 19.353 f^{0.152} e^{-0.022f} \dots\dots (3)$$

a , b と流量とのプロット及び推定された曲線を Fig. 7 に示す。

なお、流量が多い日でのデータが少ないが、これはそのような日での調査が少ないからであろう。このため、今後はより多様な流量に対してデータを収集し、推定精度を向上させる必要があると思われる。

4. 需要関数の導出

以上より、需要関数は次式のように求められる。ここに、 $\hat{f}$ は $a \ln(TC_i + p) + b > 0$ となるゾーン i の集合を表す ($\hat{f} = \{i \mid a \ln(TC_i + p) + b > 0\}$)。ただし、 G_i はゾーン i の人口 (1000 人) である。ただし、本研究で用いたデータすべてが休日に収集されたものであることから、ここでの需要量 x の単位は (人 / 休日) である。

$$x(p, f) = \sum_{i \in I} G_i((-2.667 f^{0.148} e^{-0.021f}) \ln(TC_i + p) + (19.353 f^{0.152} e^{-0.022f}))^2 \dots\dots\dots (4)$$

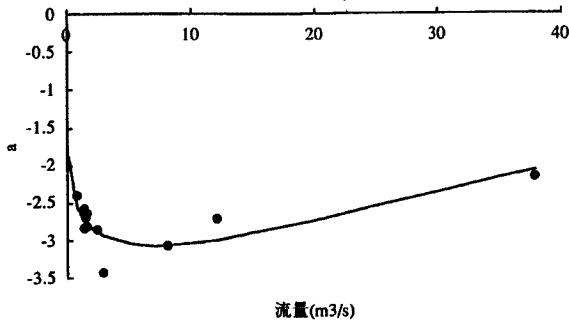


Fig. 7. Estimated Flow-Parameter a, b curve (Top flow-a; Bottom flow-b)

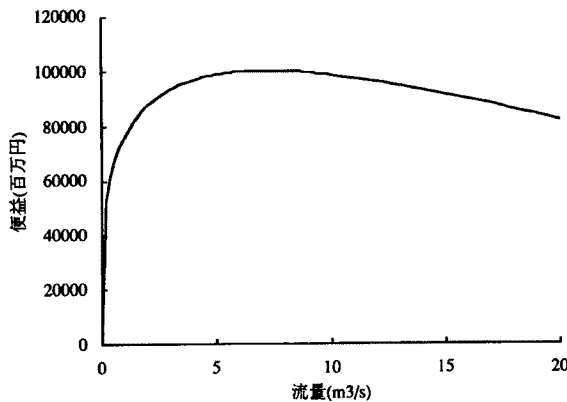


Fig. 8. Flow-Consumer's surplus curve

Step 1-3 消費者余剰の算定と河川流量との関係の導出

流量 f に対する消費者余剰は需要関数 $x(p, f)$ を積分することによって得られる。ここに p は需要 x が 0 となる価格である。

$$B(f) = \int_0^p x(p, f) dp \dots\dots\dots (5)$$

本研究で得られた、流量 (m^3/s) に対する消費者余剰 (百万円) の関係を Fig. 8 に示す。Fig. 8 では、流量が約 7 (m^3/s) において消費者余剰がピークとなっている。なお、本研究で算定した訪問率と旅行費用の曲線は、先述にもあるが、休日におけるデータを用いて算出したため、一年間の休日・土曜日・平日の日数をそれぞれ 66 日、50 日、250 日とし、別途調査⁴⁾から得られた休日、土曜、平日の訪問率の比率から重みをそれぞれ 1, 0.37, 0.18 として年間便益を算定した。Fig. 8 はこのような補正を加えた後の値を示したものである。また、便益は平成 4 年現在の価値である。

Step 1-4 河川流量の確率分布の算定

親水目的の便益を消費者余剰の期待値として算定するためには、環境流量を設定しない場合と設定した場合それぞれについて、公園 (軍行橋) 地点での流量の生起確率分布を算定する必要がある。ここでは、ダム放流規則を有する簡単なダム放流モデルを作成し、そのモデルが再現する公園 (軍行橋) 地点での流量生起分布を求める。また流域を Fig. 9 のようにモデル化した。なお、計算単位時間は半旬とした。以下にその方法についての説明を行う。

(i) 各地点での流量の推定方法

- ・(一庫) ダム流入量は過去のデータからその分布を決定し、その分布に従う乱数を発生させることによって与える。ここでは、その分布が対数正規分布に従うと仮定し、最尤推定法で推定した。
- ・残流域 (猪名川本川) 流量とダム流入量は Fig. 10 に示すように高い相関が認められることから、残流域流量を被説明変数、ダム流入量を説明変数として最小自乗法で推定した直線回帰式より求める。
- ・ダム操作規則に基づいて放流された流量に残流域流量を加えることにより、虫生地点での流量が算定

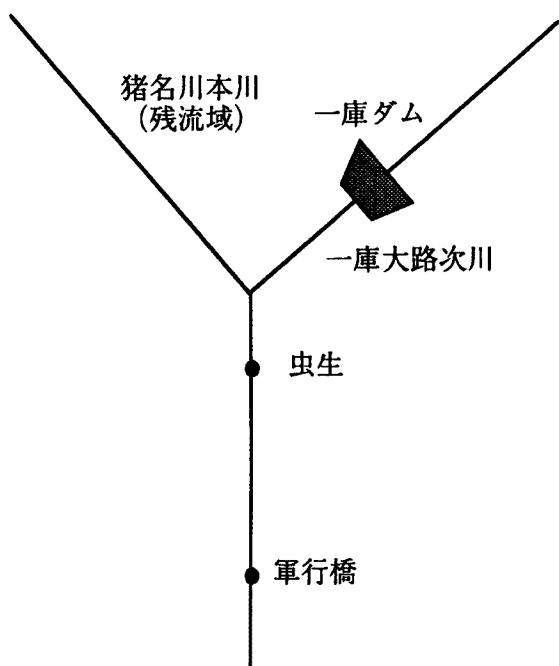


Fig. 9. Model of the river basin

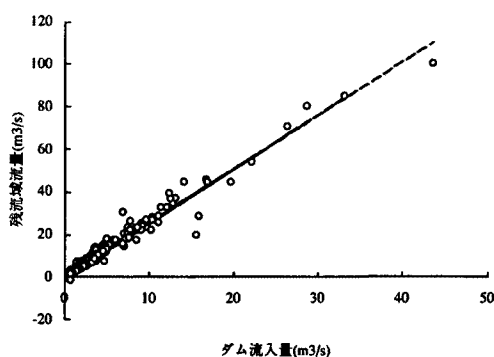


Fig. 10. Relationship between flows into the reservoir and the unobstructed flow

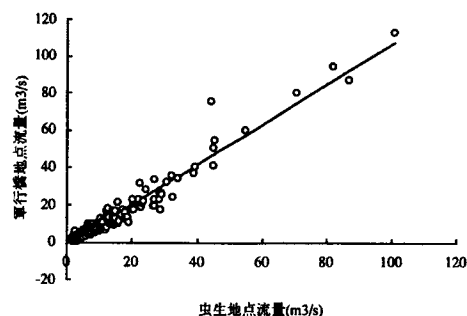


Fig. 11. Relationship between flows at Mushiu and Gunkobashi Bridge

できる。

- 軍行橋地点流量と虫生地点流量との間には, Fig. 11 に示されるように高い相関が認められることから, 軍行橋地点流量を被説明変数, 虫生地点流量を説明変数として最小自乗法で推定した直線回帰式より, 軍行橋地点流量を求める。

(ii) ダム操作規則

- ダムの放流量は一庫ダムの放流実績をもとに, 通常 $2 \text{ (m}^3/\text{s)}$ とする。
- 各基準点 (虫生, 軍行橋) での正常流量 + 環境流量が $2 \text{ (m}^3/\text{s)}$ の放流で満たされない場合, $2 \text{ (m}^3/\text{s)}$ に不足分の流量を上乗せして放流する。
- 洪水時の流入に対しては洪水調節容量 (現行の一庫ダムと同じ容量を設定) で調節し, 放流は一庫ダムの過去の実績より $30 \text{ (m}^3/\text{s)}$ とする。
- ダムの貯水容量不足により, $2 \text{ (m}^3/\text{s)}$ の放流が確保できない場合, 一庫ダムの過去の実績を踏まえ, 放流量を $0.5 \text{ (m}^3/\text{s)}$ とする。このとき, 基準点の確保流量が満たされない可能性もある。

以上に述べたようなダム操作規則に基づき, 軍行橋地点での流量生起分布を求める。なお, 計算手順を以下に説明する。

(iii) 計算

- 1) 環境流量を設定する。
- 2) 設定した環境流量に対する環境容量を加えたダム容量を与える。ダムが満水位であることを計算の初期条件とする。
- 3) 上に述べたような流量やダム操作規則に則って, 軍行橋地点に現れる流量を (半旬単位で) 10 年間追跡する。得られた 10 年分の流量から流量生起分布を求める。本研究ではその分布が対数正規分布に従うと仮定している。
- 4) 環境流量を変化させることにより, 生起分布の変化を求める。

計算の結果、環境流量に対する流量生起分布の変化は Fig. 12 に示すようになる。ただしこの図では、環境流量が 0, 1, 2, 3, 4, 5 (m^3/s) における確率分布を表している。従って、環境流量 Δf に対して得られた流量生起確率密度関数 $\pi(f | \Delta f)$ を便益関数 $B(f)$ に乗じることにより、環境流量 Δf に対する期待消費者余剰が算定できる。

Step 1-5 レクリエーション便益の算定

流量 f に対する便益 B の関数 $B(f)$ に流量確率分布を乗じることにより、消費者余剰の期待値が算定できる。その結果得られた環境流量と期待消費者余剰との関係を Fig. 13 に示す。期待消費者余剰は環境流量が 5 (m^3/s) 付近でピークとなり、そのときの便益は（平成 4 年価値で）約 155,000（百万円）である。

Step 2-1 環境容量の導出

本研究では、利水安全度 1/10 で環境流量を確保するために必要とされる容量（環境容量）を求める。その際、不特定容量の決定と同様に、各基準点において環境流量を先取りし、その後に新規開発水量を確保する方法によって、利水容量（＝上水道容量＋不特定容量＋環境容量）を求める。しかし本研究では一庫ダムの計画に際して用いた基準年での流量データが得られなかったことから、昭和 60 年から平成元年までの流量データ^{14, 15)}を用いて算定する。ここで、これらのデータを用いて環境流量＝0 で算定された容量と、環境流量 Δf として算定された容量との差をもって、環境流量 Δf を確保するための環境容量とする。その際、基準点を虫生地点、軍行橋地点とする。

なお、環境容量の計算に関する精度をより向上させるためには、ダム流入を確率過程とみたシミュレーションの導入などが考えられるが、この点については今後の課題としたい。

その結果、Fig. 14 に示す曲線が得られた。環境流量に対して環境容量は単調増加しているが、環境流量 2.0 (m^3/s) 付近からその増加が著しくなっている。これは、より多くの流量を確保するためには、それ以上に多くの容量を確保する必要があることを示している。

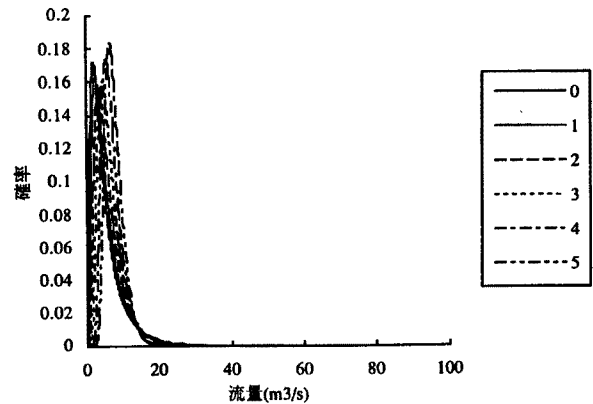


Fig. 12. The probability density function for "environmental flow"

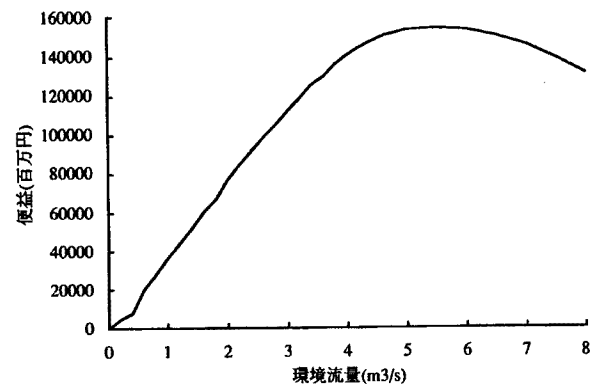


Fig. 13. "Environmental flows" versus Expected consumer's surplus

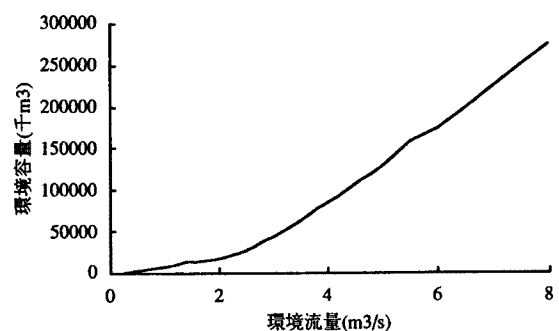


Fig. 14. "Environmental flows" versus Capacities reserved for environmental purposes

Step 2-2 ダム容量と建設費用との関係

地形条件等を考慮して、ダム容量に対するダム費用曲線を求める。その際、現行の各目的の必要容量と費用との関係 (Table 4), ならびに地形図から各種費用を見積もることによってダム費用曲線を求める。ただし Table 4 に関しては、初期計画時での費用に対してその後変更が加えられていることから、変更前と変更後について示す。また変更が加えられた費用は総事業費用のみであるので、他目的の費用については総事業費用における変更前後の比率を乗じている。ここに「河川目的」は、不特定+洪水調節目的を、また「共同」は河川と上水道の共同事業を表している。ただし、各種費用の単価は「一庫ダム工事史」にある値を用いた。また、本研究ではダム費、用地及び補償費のみを計算し、その他の各事業費はダム費を基準に Table 5 のように見積った。

この結果、Fig. 15 に示す貯水容量に対する費用の曲線が得られた。ただし、費用は一庫ダム建設当時の昭和 53 年の価値である。貯水池容量約 60,000 (千 m³) 付近から費用の増加が著しくなっている。これは、一庫ダムに流れ込む一庫大路次川、田尻川などの沿岸に大きな町があり、その補償費用が大きいためである。

Step 2-1, Step 2-2 より、環境流量に対するダム建設費用の関係は、Fig. 16 に示すようになる。

Step 3 評価

Step 1-5, Step 2-2 において算出された便益と費用を相互比較する。しかし Step 1-5 で得られた便益は年間の値であるので、これを単純に費用と比較できない。従って、次式で表す妥当投資額を計算し、費用と比較する。妥当投資額は、

$$\text{妥当投資額} = \frac{\text{年効用} - \text{年経費}}{\text{資本還元率}(1 + \text{建設利息率})} \quad (6)$$

で計算される。

本研究では、上式の各値を次のように与えた。年効用は分析によって得られた年間便益とし、追加的費用は極めて小さいと考えられるため 0 とした。資本還元率及び建設利息率については洪水調節目的に対して一般に定められている値を用いることとし、資本還元率 = 0.0464, 建設利息率 = 0 に設定した。

Table 4. Alternate single cost and necessary capacity for each purpose at Hitokura Dam

目的	費用 (変更前)	費用 (変更後)	ダム容量
河川	8,057	60,200	23,600
上水道	6,587	49,200	17,300
共同	8,360	62,500	33,300

Table 5. Calculation of miscellaneous costs

建設費	工事費	ダム費 管理整備費 仮設備費 工事動力費	ダム費 × 0.150 ダム費 × 0.200 ダム費 × 0.025
	測量及び試験費		工事費 × 0.075
	船舶機械器具費		工事費 × 0.050
	営繕費		工事費 × 0.025
事務費			建設費 × 0.100

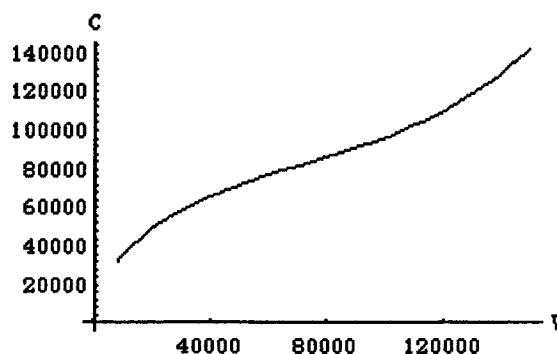


Fig. 15. Reservoir capacities versus Construction costs at Hitokura dam

また、妥当投資額は平成4年価値であるが、費用は昭和53年価値であることから、費用を平成4年価値に変換した。その際、社会的割引率を3%として計算した。

すると、Fig. 16に示すような環境流量に対する妥当投資額と費用との曲線が得られる。図より概ね環境流量が2～4 (m³/s) において純便益 (= 妥当投資額 - 費用) が正となっている。また、流量が約2.4 (m³/s) において純便益が最大となっている。従って、本事例における親水目的の事業最適規模は環境流量2.4 (m³/s) となる。

以上より、本事例においては、親水目的に関する妥当投資額が費用よりも上回る結果となった。従って、親水機能の確保・向上を多目的ダム事業の目的に加えることが妥当であろうとの判断を得た。

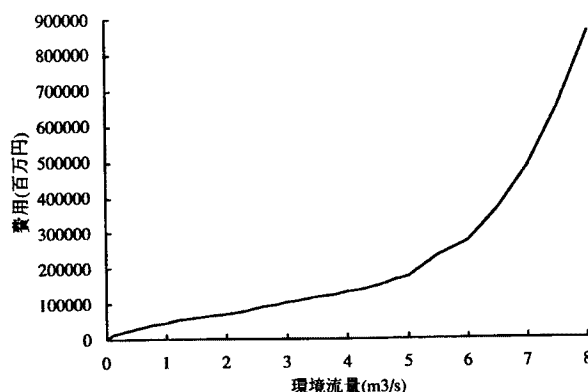


Fig. 16. Graph of "Environmental flows" versus Construction costs at Hitokura dam

4. 建設費用の事業者への割振り

本研究では親水目的を含めた費用割り振り問題の一環として、費用便益分析アプローチの提案を行うことを主旨として検討を行った。ここではさらに親水目的の事業効果が確認され、ダム事業への参加が認められた後の Stage 2. すなわち事業者への費用割り振りに関して生じ得るであろう問題点について概説し、その対策等を展望する。

現在我が国の多目的ダム事業における費用割り振り法としては、米国の TVA 事業に発端をなす SCRB 法 (Separable Cost Remaining Benefit Method)¹⁶⁾ に補正を加えた分離費用身替り妥当支出法が用いられている (以後これらをまとめて SCRB 法と呼ぶ)。SCRB 法による任意の目的 i の割り振り額 x_i は次式で表される。ただし、事業参加目的の集合を $N = \{1, 2, \dots, n\}$ とし、また任意の目的 i の妥当投資額、(身替り) 費用をそれぞれ $B(i)$, $C(i)$ で表す。費用関数 $C(\cdot)$ を全提携 N にも拡張すると、 $C(N)$ は共同事業費を表す。

$$x_i = SC_i + \frac{\lambda_i}{\sum_{j \in N} \lambda_j} NSC \quad \dots\dots\dots (7)$$

ここに、

$$SC_i = C(N) - C(N - \{i\}) \quad \dots\dots\dots (8)$$

$$NSC = C(N) - \sum_{i \in N} SC_i \quad \dots\dots\dots (9)$$

$$\lambda_i = \min \{B(i), C(\{i\})\} - SC_i \quad \dots\dots\dots (10)$$

である。 SC_i は任意の目的 i の分離費用 (separable cost) であり、当該目的が共同事業に最後に参加した際に生じる付加的費用である。SCRB 法では、分離費用を当該目的の参加が直接的原因であるとしてまず割り振り、残余额 NSC (non-separable cost) を共同事業参加の「利用の度合い」によって按分する形をとる。「利用の度合い」としては、残余便益 λ_i をその基準としている。

SCRB法は過去の経験から提案された慣用的な費用割り振り法であり、実用性に優れている。その反面、解の理論的な意味付けが不明確であり、ad hoc であるとの批判もある。従って、親水目的のような新たなタイプの目的がダム事業に参加するという状況に対し、慣用的な費用割り振り法の適用可能性を検証、判定する必要がある。岡田、谷本²¹⁾はこの点について、ゲーム理論の知見を援用し、検討を行っている。しかし、親水目的には、以下の特徴があると思われる。すなわち、親水目的は他の目的、例えば治水や発電といった目的の参加が前提となって、初めて事業参加する動機を有するということである。換言すれば、治水や発電などの他の目的が単独でダム開発を行うことを想定し得るのに対し、親水目的は想定し得ないということである。このことは、各目的における事業への参加の順序の違いがあることを意味する。また、参加の順位の違いは目的間の優先度の差異と解釈できよう。目的間の優先度の差異が著しいと認められる場合には、各目的の立場の差異を明示的に考慮した費用割り振りが適切であろう。

このような優先性の問題に対し、SCRB法はもはや適用限界を超えていると考えられる。SCRB法では、各目的が単独で事業を行うことを想定した身替り費用 $C(\{i\})$ を用いて各目的への配分値を算定するが、例えば親水目的のように（物理的に）当該目的の単独による事業が想定し得ない目的に対しても、単独による身替り費用を用いて配分値を算定することが合理的であろうかという疑問が生じよう。実は、優先性の問題に対し、現行の費用割り振り制度においていくつかの措置が用意されている。しかし、それらが必ずしもここで提起した親水目的の参加に伴って生じ得る種類の優先性の問題に対して適用可能ではなく、また理論上、実際上において必ずしもその適用が妥当ではない。これに対し、岡田、谷本は目的間の優先度の差異を考慮し得る費用割り振り法としてゲーム理論の知見である加重シャープレイ値²²⁾に着目するとともに、コア (core)¹⁷⁾ をベースとした仁 (Nucleolus)^{18, 19)} の定義を補正・拡張した新たな費用割り振り法の提案を行っている²³⁾。よって、本研究で対象とした親水目的を含めた費用割り振りを行う上で、親水目的の特殊な性格に伴う優先度の問題が著しく認められる場合は、その一つの有力な手段として、優先度の差異を考慮した費用割り振り法の適用が考えられよう。

5. お わ り に

本研究では、河川の親水機能の確保・向上を達成するための一つの手段として、親水目的を事業目的に含めた多目的ダム事業の整備を想定した。親水目的の参加に際し、共同事業である多目的ダム事業が必然的に抱える費用割り振り問題についての検討が必要となるため、本研究ではこの費用割り振り問題についてのプロセスの一環として、参加目的の事業効果確認を中心に検討を行った。その際、淀川水系の猪名川を事例対象として、親水目的に関する便益（妥当投資額）と費用を算出し、それらを相互比較することにより、当目的のダム事業参加可能性（妥当性）を経済的観点から評価した。その際、便益評価に関しては、河川のレクリエーション需要が河川の流量に依存するとの立場に立脚し、親水目的の便益を算出した。また、便益測定については旅行費用法の適用を試みた。費用評価に関しては、親水機能の向上のために設けられた環境流量を確保するためのダム容量を算出し、次いでその容量を有するダム建設費用を算出した。その結果、当流域においては、純便益が正となる環境流量水準が存在し、親水目的の参加が経済的に妥当であるとの実証を得た。

本研究で提案したアプローチは、目的に関する便益・費用がダム容量と結びつくことが特徴である。すなわち、現在の制度にある、容量をベースとした費用割り振りとの接点が認められる。しかし、例えばダム湖のオープンスペースを利用したレクリエーション目的のようにダム容量と直接的な関連がない目的も考えられる。このような目的に対しては、本研究が提案するアプローチの延長線上での検討は不可能であろう。よって、今後の多目的ダム事業により多様な目的の参加が期待されている今日においては、各目的の特徴を踏まえた検討が必要となってこよう。これは本研究の今後の課題である。

また費用割り振りにおいて、親水目的の特徴的性格に伴い、優先性の問題が生じ得ることを指摘した。これに対し、目的間の優先度を考慮した費用割り振り法の適用可能性について言及した。しかし實際上、目的間の優先度の差異をどのように判定するか、また優先度をどのように決定するかという点における理論的な検討がまず求められることになる。本研究では優先性の問題については深く立ち入っていないが、親水目的を含めた費用割り振り問題において、このような優先性の関する一連の問題は、今後検討すべき課題である。

参 考 文 献

- 1) Brown T. C., Taylor, J. G. and B. Shelby : Assessing the Direct Effects of Streamflow on Recreation : A Literature Review, Water Resources Bulletin 27 (6), pp. 979 – 989, 1991.
- 2) Duffield, J. W., Neher, C. J. and T. C. Brown : Recreation Benefits of Instream Flow : Application to Montana's Big Hole and Bitterroot Rivers, Journal of Water Resources Research 28, pp. 2169 – 2181, 1992.
- 3) Johnson, N. S. and R. M. Adams : Benefits of Increased Streamflow : The Case of the John day River Steelhead Fishery, Journal of Water Resources Research 24, pp. 1839 – 1864, 1988.
- 4) 平成 4 年度河川水辺の国勢調査年鑑：河川空間利用実態調査編，建設省河川局治水課監修，財団法人リバーフロント整備センター編集.
- 5) Clawson M. and Ktnetch J. L. : Economics of Outdoor recreation. Resources for the future Inc. Washington, D. C., 1966.
- 6) Hotelling H. : The Economics of Public Recreation-An Economic Survey of the Monetary Evaluation of Recreation in the National Parks. A Report by Permitt, National Parks Service, Washington, D. C., 1949.
- 7) Mäler, K-G. : Environmental Economics. A Theoretical Inquiry. The Johns Hopkins University Press, Baltimore, 1974.
- 8) 萩原清子：水資源と環境，劉草書房，1990.
- 9) 末石富太郎・環境計画研究会：環境計画論—環境資源の開発・保全の基礎として—，森北出版，1992.
- 10) 華山 謙・渡辺貴介・増山和弘：東京湾環境の総合管理—費用便益分析の試み—，公害研究，第 14 巻，第 4 号，1985.
- 11) 賃金統計総覧：労働省大臣官房政策調査部編.
- 12) 経済統計年鑑 94：週間東洋経済 臨時増刊
- 13) Smith, V. K. and W. H. Desvousges : Measuring Water Quality Benefits. Kluwer · Nijhoff, 1986.
- 14) ダム管理年表.
- 15) 流量年表.
- 16) Federal Inter-Agency River-Basin Committee : Proposed Practices for Economic Analysis of River Basin Projects, Technical Report, Washington D. C., 1950.
- 17) R. j. Aumann, (丸山 徹，立石 寛訳)：ゲーム理論の基礎，劉草書房，p. 43, 1991.
- 18) D Schmeidler : The Nucleolus of a Characteristic Function Game, SIAM, Journal of Applied Mathematics 17, pp. 1163 – 1170, 1969.
- 19) B. Peleg Maschler, M. and L. S. Shapley : Geometric Properties of the Kernel, Nucleolus and Related Solution Concepts, Mathematics of Operations Research. 4, pp. 303 – 338, 1979.

- 20) L. S. Shapley : Cores of Convex Games, Int. J. Game Theory, Vol. I , pp. 11 - 26, 1971.
- 21) 岡田憲夫・谷本圭志：多目的ダム事業の費用配分法に関するゲーム論的考察. 応用地域科学会発表論文, 1993.
- 22) Loehman, E., Orlnado, J., Tschirhart, J. and Whinston, A. : Cost Allocation for a Regional Wastewater Treatment System. Water Resour. Res., Vol. 15, pp. 193 - 202, 1979.
- 23) 岡田憲夫・谷本圭志：水資源開発事業における優先支出法のゲーム論的考察. 応用地域科学会発表論文, 1994.