【土木計画学研究・講演集　No.22(2)　1999年10月】

多目的ダム事業の慣用的費用割り振り法の適用可能性の評価に関する考察 —容量を確保しない主体の参加に着目して— *

Applicability Assessment of Cost Allocation Methods in Multi-purpose Reservoir Developments including Participants without their Own Volume*

谷本 圭志**，岡田 憲夫***，喜多 秀行****，大熊 慶之*****

By Keishi TANIMOTO **, Norio OKADA ***, Hideyuki KITA **** and Yoshiyuki OKUMA *****

1. はじめに

多目的ダム事業は，洪水制御や都市用水供給などの異なった目的を有する複数の主体から構成される共同事業である．共同事業の実行可能性を担保するためには，これら複数の主体の間での利害対立を調整・解消する必要がある．事業において生じ得る利害対立の原因の一つとして共同事業費の配分があり，いかに公正に共同事業費を各主体に配分するかが重要な問題となる．我が国では，分離費用身替り妥当支出法 [1]という慣用的な費用割り振り法（以後,「慣用法」と呼ぶ）を用いてその問題の調整に当たっている．

慣用法は割り振り計算が容易など実用性に優れている反面，得られる費用割り振り解の理論的整合性が不明確との批判がある [2]．現在，分離費用身替り妥当支出法の適用が開始されてから約20年経過しており，その間事業に参加する主体が多様化するなどの変化が見られる．この背景の下で，従来想定されていなかった主体が参加する事業に対して慣用法がどこまで適用可能なのかが問われている．

これについて，岡田・谷本 [3]は慣用法に理論的整合性が保証される範囲を慣用法と協力ゲーム理論による費用割り振り解の間の一致性に着目して導出している．一致性が生じている範囲においては，慣用法による費用割り振り解に協力ゲーム理論的な意味付けが与えられることになる．よって，一致性の生じる条件を用いて慣用法の適用可能性を評価・判定することが可能となった．ただし，この知見はあくまで事業に参加する全ての主体が固有の貯水容量を確保していることを前提としている．

しかし昨今では，レクリエーションや利水従属発電など必ずしも貯水容量を確保しないという特殊な主体のダム事業への参加が現実となっている [4]．そこで本研究では，貯水容量を確保しない主体（以後,「容量非対応型の主体」と呼ぶ）を含めて実施される事業に対して慣用法の適用可能性を評価するための理論的準拠枠について，既往の知見の拡張を試みる．

2. 慣用法の適用可能性の評価

(1) 費用割り振り法

慣用法の代表には，分離費用身替わり妥当支出法の原型であるSCRB法（Separable Cost Remaining Benefit Method）及びENSC法（Egalitarian Non-Separable Cost Method）がある．これらはいずれも実際の事業の過程で開発され，必ずしも直接的な理論的裏付けが与えられていない．一方，協力ゲーム理論に裏付けされた費用割り振り法として仁 [5]及びその変種 [6]などがある．これらの費用割り振り法を以後,「ゲーム理論的方法」と呼ぶ．これらの定式化等については文献 [2], [3]を参照されたい．

---

*キーワーズ：水資源計画，環境計画，計画基礎論，費用配分
**正員 工博 鳥取大学工学部社会開発システム工学科
(〒680-8552 鳥取市湖山町南4-101，Tel 0857-31-5311
Fax 0857-31-0882)
***正員 工博 京都大学防災研究所
(〒611-0011 宇治市五ケ庄，Tel 0774-38-4035
Fax 0774-38-4044)
****正員 工博 鳥取大学工学部社会開発システム工学科
(〒680-8552 鳥取市湖山町南4-101，Tel 0857-31-5311
Fax 0857-31-0882)
*****学生員 鳥取大学工学部社会開発システム工学科
(〒680-8552 鳥取市湖山町南4-101，Tel 0857-31-5311
Fax 0857-31-0882)

(2) ゲームの費用関数特性と一致性

岡田·谷本[3]は，慣用法とゲーム理論的方法による解の一致性が生じる条件を導出するとともに，その条件をゲームの費用関数特性と関連付けている．ゲームの費用関数特性としてはConvex性などがあり，それらの十分条件について限界費用MCを用いて表したものを以下に示す[1]．

Convex性

$$MC(S, S\backslash U) \leq MC(T, T\backslash U), (\forall U \subseteq T \subset S \subseteq N) \quad (1)$$

Semi-convex性

$$MC(N, N\backslash\{i\}) \leq MC(S, S\backslash\{i\}), (\forall i \in S \subset N) \quad (2)$$

One-convex性

$$MC(N, N\backslash\{i\}) \geq MC(S, S\backslash\{i\}), (\forall i \in S \subset N) \quad (3)$$

岡田・谷本が定義したWeak-convex性の十分条件を限界費用で表した場合，上述のSemi-convex性と同一の式となる．上式における各変数は以下の通りである．

- $N = \{1, 2, \cdots, n\}$:プレイヤーの集合．
- $i(\in N)$:任意のプレイヤー．多目的ダム事業における任意の主体．
- $S, T(\subset N)$:プレイヤーの部分集合．これを提携と呼ぶ．Nは全てのプレイヤーから構成される提携であり，全員提携と呼ばれる．
- $C(S)$:任意の提携Sに関する費用関数．
- $MC(S, S\backslash\{i\})$:提携$S\backslash\{i\}$にプレイヤーiが参加した場合の限界費用（marginal cost）．

ゲームの費用関数特性と一致性の関係を表.1に示す．なお表中の各行における () の中の「必要」,「十分」は，その行に示すゲームの費用関数特性が一致性に関して必要条件か十分条件かを示している．

(3) V-C関数とゲームの費用関数特性

一致性の基本的要件であるゲームの費用関数特性の成立は，実際の多目的ダム事業において導出可能な費用関数，すなわち貯水容量（volume）に関する費用（cost）の関数（以後これを「V-C関数」と呼ぶ）

[1]なお，Semi-convex性, One-convex性は費用差関数[2]で定義されている

表.1　ゲームの費用関数特性と一致性

Weak-convex性	SCRB法=相対仁	(必要)
Semi-convex性	SCRB法=NSCG法	(十分)
One-convex性	SCRB法=相対仁	(十分)
	ENSC法=NSCG法	(十分)
	ENSC法=仁	(十分)
	ENSC法=弱仁	(十分)

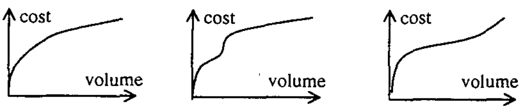

図.1　V-C関数とゲームの費用関数特性（右より，Convex性，Semi-convex性及びWeak-convex性，One-convex性が十分成立するV-C関数）

を用いて判定することができる[3]（図.1参照）．なお，$V(S)$を任意の提携Sの貯水容量とすると，V-C座標系において描かれる費用曲線の左端の貯水容量は$V(\phi) = 0$，右端の貯水容量は$V(N)$に対応している．図.1では，Convex性は任意の貯水容量規模において費用の急増が見られない形状，Semi-convex性及びWeak-convex性は比較的小さな貯水容量規模において費用の急増が見られる形状，One-convex性は比較的大きな貯水容量規模において費用の急増が見られる形状を呈したV-C関数の場合に十分成立ことを示している．ただし，$V(S) - V(S\backslash\{i\}) = \text{const}, (\forall S \ni i)$の仮定をおく．

以上より，事業に一人ずつ主体が参加する過程を想定した場合，その任意の参加過程においてV-C座標系に描かれる(貯水容量，費用)の点の推移が図.1に示す形状を呈した費用曲線の上にプロットされれば，当該のゲームの費用関数特性が十分成立する．例えば3人ゲーム($N = \{1, 2, 3\}$)の場合，任意の参加過程，$i \rightarrow j \rightarrow k$における点$(V(\{i\}), C(\{i\})) \rightarrow (V(\{ij\}), C(\{ij\})) \rightarrow (V(\{ijk\}), C(\{ijk\}))$が図.1に示す形状を呈した費用曲線上にあれば，当該のゲームの費用関数特性が十分成立する（図.2参照）．

3. 容量非対応型の主体の参加の下での慣用法の適用可能性の評価

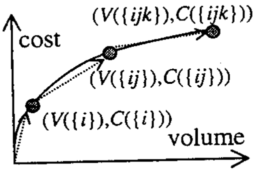

図.2　プレイヤーの参加過程とV-C関数

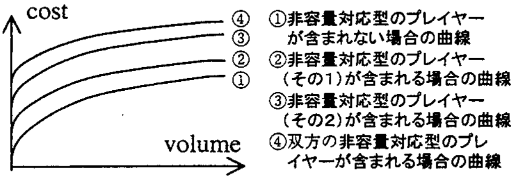

図.3　容量非対応型のプレイヤーの参加の下でのV-C関数

(1) 容量非対応型の主体の参加の下でのV-C関数

容量非対応型のプレイヤーが含まれない事業におけるV-C関数は，図.1のように一本の滑らかな曲線として導出される．しかし，容量非対応型のプレイヤーが含まれる事業では，そのような曲線とはならない．その例として2人の容量非対応型のプレイヤーを含む4人ゲームを考えてみよう（図.3参照）．

固有の容量を確保するプレイヤー（以後,「容量対応型のプレイヤー」と呼ぶ）から成る任意の提携が確保する貯水容量に対して4つの費用が対応している．これは，容量非対応型のプレイヤーが容量対応型のプレイヤーから成る提携に参加した場合，貯水容量が不変のまま限界費用のみが加算されるためである．結果として，容量対応型のプレイヤーのみからなる費用曲線と，この費用曲線からC軸方向に容量非対応型のプレイヤー（及びその集合）の限界費用分をシフトさせた費用曲線，すなわち容量対応型のプレイヤーのみから成る提携に1人の容量非対応型のプレイヤーが参加した場合，もう1人の容量非対応型のプレイヤーが参加した場合，2人の容量非対応型のプレイヤーが参加した場合の曲線の合計4つが得られる．一般には，m人の容量非対応型のプレイヤーが事業に参加した場合，V-C関数は2^m価の関数となる．

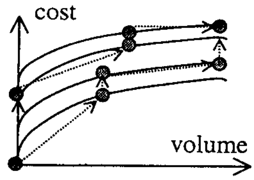

図.4　プレイヤーの参加過程と多価のV-C関数

このような多価のV-C関数の下で，前章で示したようなプレイヤーの事業への参加順序を想定した場合，V-C座標系に描かれる点の推移は図.2に示したような一本の費用曲線上に乗りえない．複数本得られる費用曲線上にどのような点の推移が見られるかは参加の順序によって異なる（図.4参照）．従って，一価のV-C関数とは異なった，多価のV-C関数を用いたゲームの費用関数特性の成立について評価，判定方法を検討する必要がある．

(2) 容量非対応型のプレイヤーの費用関数の仮定

貯水容量を確保しないという特殊性により，容量非対応型のプレイヤーが含まれる提携に関する費用関数に以下の仮定をおくことができる．これらの仮定についての定式化については，文献[7]を参照されたい．

仮定1:容量非対応型のプレイヤー（及びその集合）が事業に参加する場合に生じる限界費用の値は，容量非対応型のプレイヤーと提携関係にある容量対応型のプレイヤーのみの提携が確保している貯水容量に依存する．

仮定2:容量非対応型のプレイヤー（及びその集合）の限界費用は，当該プレイヤーと提携関係にある容量非対応型のプレイヤーのみから成る提携の規模に依存しない．

仮定3:容量非対応型のプレイヤーの身替り費用の算定が困難である．本研究では，妥当投資額を当該の費用として与える[2]．

[2]多目的ダム事業では各主体の便益を妥当投資額として算出する．妥当投資額を費用として与えるのは現行の多目的ダム事業での費用割り振り制度の運用においてなされている配慮であり，本研究ではその配慮に基づいた仮定をおいた．

(3) ゲームの費用関数特性の成立条件

上述の仮定の下でのゲームの費用関数特性の成立条件について導出する.

Convex性の十分条件

$$MC(S^v \cup S^{-v}, S^v \backslash U^v \cup S^{-v}) \leq MC(T^v \cup S^{-v}, T^v \backslash U^v \cup S^{-v}) \quad (\forall U^v \subseteq T^v \subseteq S^v \subseteq N^v, \forall S^{-v} \subseteq N^{-v}) \tag{4}$$

Semi-convex性，Weak-convex性の十分条件

$$MC(N^v \cup S^{-v}, N^v \backslash \{i\}^v \cup S^{-v}) \leq MC(S^v \cup S^{-v}, S^v \backslash \{i\}^v \cup S^{-v}) \quad (\forall i^v \in S^v \subseteq N^v, \forall S^{-v} \subseteq N^{-v}) \tag{5}$$

「One-convex性の十分条件」の必要条件

$$MC(S^v \cup S^{-v}, S^v \backslash \{i\}^v \cup S^{-v}) \leq MC(N^v \cup S^{-v}, N^v \backslash \{i\}^v \cup S^{-v}) \tag{6}$$

$$MC(N^v \cup N^{-v}, N^v \cup N^{-v} \backslash \{i\}^{-v}) = MC(S^v \cup S^{-v}, S^v \cup S^{-v} \backslash \{i\}^{-v}) \tag{7}$$

$$(\forall i^v \in S^v \subseteq N^v, \forall i^{-v} \in S^{-v} \subseteq N^{-v})$$

ここに，各変数は以下のように定義される.

- N^v:容量対応型のプレイヤーの集合.
- N^{-v}:容量非対応型のプレイヤーの集合. $N^v \cup N^{-v} = N$.
- $i^v(\in N^v)$:任意の容量対応型のプレイヤー.
- $i^{-v}(\in N^{-v})$:任意の容量非対応型のプレイヤー.
- $S^v(\subset N^v)$:容量対応型のプレイヤーの部分集合.
- $S^{-v}(\subset N^{-v})$:容量非対応型のプレイヤーの部分集合.

なお，T^v, U^vやT^{-v}, U^{-v}はそれぞれ容量対応型，容量非対応型のプレイヤーの部分集合を示す.

以上の結果より，上述の仮定の下でゲームの費用関数特性は複数本得られるV-C座標系の費用曲線各々について，2章に示したような費用曲線の形状を呈していれば当該のゲームの費用関数特性は十分成立する．従って，複数の費用曲線各々について2章に示したような曲線の形状が満たされていれば，プレイヤーの任意の参加過程に伴って描かれる点の推移に対して当該のゲームの費用関数特性が成立する.

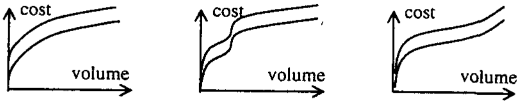

図.5　多価のV-C関数とゲームの費用関数特性（右より，Convex性，Semi-convex性及びWeak-convex性，One-convex性が成立しうるV-C関数）

図.5に，一人の容量非対応型のプレイヤーを含む3人ゲームを対象として，各ゲームの費用関数特性が十分成立する多価のV-C関数の形状を示す.

4. おわりに

本研究では，容量非対応型の主体の参加の下での慣用法の適用可能性の評価について検討した．今後はここで得られた理論的知見を実際の事業に適用するなど，より具体的・実証的な検討を行いたい.

[参考文献]

1) Federal Inter-Agency River-Basin Committee : Proposed Practices for Economic Analysis of River Basin Projects, Technical Report, Washington D.C., 1950.

2) 岡田憲夫：公共プロジェクトの費用配分法に関する研究：その系譜と展望，土木学会論文集，No.431/IV-15, pp.19-27, 1991.

3) 岡田憲夫，谷本圭志：多目的ダム事業における慣用的費用割り振り法の改善のためのゲーム論的考察，土木学会論文集，No.524/IV-29, pp.105-119, 1995.

4) 日本の多目的ダム事業 付表編，建設省河川局監修，ダム技術センター発行.

5) Schmeidler, D. : The Nucleolus of a Characteristic Function Game, SIAM, Journal of Applied Mathematics, Vol.17, pp.1163-1170, 1969

6) Young, H. P., Okada, N. and Hashimoto, T. : Cost Allocation in Water Resources Development, Water Resources Research, Vol.18, pp.463-475, 1982.

7) 大熊慶之・谷本圭志・岡田憲夫・喜多秀行:多目的ダム事業の費用割り振り法の適用可能性の評価に関する考察，土木学会中国支部第51回研究発表会，pp.477-478, 1999.