Ⅳ－５　費用割振り法の基本的特性に関するゲーム論的考察　－多目的ダム事業を対象として－

京都大学防災研究所　正員　岡田憲夫　　京都大学大学院　　学生員　○谷本圭志

１．はじめに

近年の水資源開発事業では，水の効率的な利用を促すために多くの多目的ダム事業が行われている．この際，事業に参加している主体間で共同事業費をいかに割り振るかが問題となる．その方法としてはENSC法やSCRB法に代表される慣用的な方法がある．これは比較的実用性に優れている反面，配分額（配分解）に対する意味付けや理論的な根拠については不明確である．また，費用割振り問題への最近のアプローチとしてゲーム理論のコア概念に準拠した方法がある．これは各提携の配分額に対する「不満」を計量し，その最大値が最も小さくなるように公正な配分額を決定する．従って理論的な公正性の定義は明確であるが，その計算は複雑であり，実用性に難がある．このように両方法は長所短所の面で互いに補完的な関係にあるが，ある適当な条件下ではこれらの配分解が一致することが既往の研究によって知られている．本研究では多目的ダム事業に用いられる慣用法並びにゲーム論的費用割振り法である仁及びその変種に着目すると，一致性が成立する条件（ケース）がより多様に特定できることを理論的に明らかにする．さらに，これらの一致性の条件がダム事業の費用関数の特性と密接な関係にあることを理論的かつ，実証的に検討する．

２．一致条件の理論的妥当性

主体の集合を$N=\{1,2\ \cdots,n\}$とし，任意の提携を$S(\forall S\subset N)$とすると，提携Sの身替わり費用は$C(S)$，主体iの単独提携のそれは$C(\{i\})$で表される．また，主体iが最後に事業に参加したときの増分費用$SC_i=C(N)-C(N-\{i\})$を主体iの分離費用と呼び，各主体に分離費用を割り振った後の総費用の残余額 $NSC=C(N)-\sum_{j\in N}SC_j$を非分離費用という．ENSC，SCRB法は分離費用を各主体に割り振り，非分離費用を前者は均等に，後者は残余便益(便益をBとすると$\min\{B(\{i\}),C(\{i\})\}-SC_i$)に比して割り振る．

ゲーム理論に準じた方法で分離費用を導入し，非分離費用を譲歩額($\min\{C(S)-\sum_{j\in S}SC_j\}$)に比して配分するのがNSCG法である．仁法は（単独提携も含めた）任意の提携の配分額に対する「不満」を最小化したものであるが，「不満」の定義によっていくつかの派生的な方法がある．弱仁法は任意の提携の主体１人当たりの平均不満を，相対仁法は相手提携(N-S)との不満比をそれぞれ最小にする．この他に比例仁や平均差仁などがあげられる．これらはゲーム理論に基づく公正配分解といわれる．

既往の研究では(a)ENSC,SCRB法とNSCG法及び,(b)ENSC法と仁法との一致性の条件が明らかになっているが,本研究では新たに(c)ENSC法と弱仁法,(d)SCRB法と相対仁法との一致性の条件を特定した．(a)～(d)の一致条件を劣加法性条件$C(S)+C(T)\geq C(S\cup T)$に関連した提携構造に対する費用関数の特性について次の三つの性質，

i)Convex性　$(C(S)+C(T)\geq C(S\cup T)+C(S\cap T))$　$(\forall S,T\subset N)$　(1)

$(g(S-\{i\})\leq g(S))$　$(\forall i\in S\subset N)$　(2)

ii)Semi-convex性　$(g(\{i\})\leq g(S))$　$(\forall i\in S\subset N)$　(3)

iii)One-convex性　$(g(N)\leq g(S))$　$(\forall S\subset N)$　(4)

と対応づけると以下の表にまとめることができる．ただし，$g(S)=C(S)-\sum_{j\in S}SC_j$である．なお，$|S|$ $(\forall S\subset N)$は提携の大きさ（人数）

費用割振り法	一致条件		
(a)ENSC と NSCG	$g(S)\geq g(N)$	(One-convex)	(5)
SCRB と NSCG	$g(S)\geq g(\{i\})$	(Semi-convex)	(6)
(b)ENSC と 仁	$g(S)\geq \frac{\|S\|+1}{n}g(N)$	(One-convex+)	(7)
(c)ENSC と 弱仁	$g(S)\geq \frac{\|S\|}{n-1}g(N)$	(One-convex+)	(8)

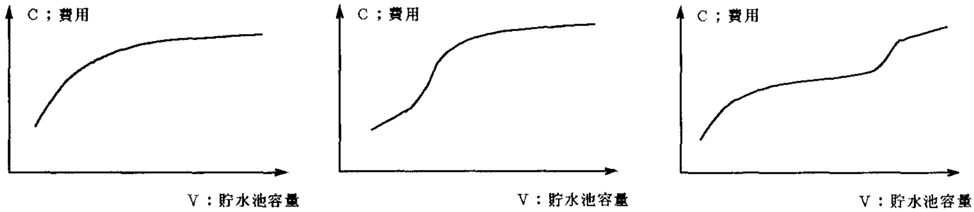
(d)SCRB と相対仁	$g(S)(\sum_{i\in N}g(\{i\})-g(N))\geqq g(N)(\sum_{i\in S}g(\{i\})-g(N)+g(N-S))$	(One-convex+)	(9)
	$(g(N)-g(N-S))(\sum_{i\in N}g(\{i\})-g(N))\geqq g(N)(\sum_{i\in S}g(\{i\})-g(S))$	(Convex+)	(10)

表．慣用法とゲーム理論方法の一致条件（太線は新たに明らかになった一致条件を示す）

を表し，One-convex+はOne-convex条件を含みかつ，それより広い範囲を含む条件であることを示す．Convex+はConvex性に準ずるがSemi-convex性とは別に派生した条件であることを示す．(c)の一致条件は，部分提携の大きさが増大すると，それに伴って費用差関数も増加しなくてはならないことを示す．(d)SCRB法と相対仁法が一致する条件は二つあり，特に主体が三人である場合は，常に配分解の一致性が成立する．また，One-convex性が成立している場合，ENSC法，NSCG法，仁法，弱仁法の四つの方法の配分解が一致することが保証される．

３．一致性の条件と多目的ダム事業の費用関数構造との関係

まず，多目的ダム事業の費用関数の構造を特徴づける諸条件について吟味する．費用関数をダム貯水池容量（規模）に応じた費用を表す関数とすると，多目的ダム事業では一般に規模の経済性，範囲の経済性が成立するため，費用関数は凹関数性となる．しかし，ある貯水池容量規模において水没する世帯や財産などが集中する場合にはその補償費用や付け替え費用が急増し，費用関数は部分的に凸関数性を呈することになる．このようにダムの規模の増大に伴って水没補償費用が著しく増加することが費用関数を特徴づける一つの重要な要因であることが推定される．ここで前頁のi)～iii)の性質を費用関数と対応づけた結果，Convex性，Semi-convex性は，1)費用の急増がない，もしくは緩い場合，2)貯水池容量規模が比較的小さい段階で費用の急増が生じている場合のいずれかに，またOne-convex性は 3)貯水池容量規模が比較的大きい段階で費用の急増が生じている場合に概ね相当することが示された．また，1),2)については比較的費用関数が滑らかである場合にConvex性が成立する傾向が高くなると言える．費用関数と一致性との関係をまとめたのが図である．具体的な事例等詳細は講演時に譲ることにする．



１）　　２）　　３）

1)

	仁	弱仁	相対仁	NSCG
ENSC	×	△	＼	×
SCRB	＼	＼	△	○

2)

	仁	弱仁	相対仁	NSCG
ENSC	×	×	＼	×
SCRB	＼	＼	△	○

3)

	仁	弱仁	相対仁	NSCG
ENSC	○	○	＼	○
SCRB	＼	＼	○	×

○：よく一致する　△：一致することがある　×：ほとんど一致しない　＼：一致性がない

図．費用関数の形態特性と配分解の一致性

我が国の多くの多目的ダム事業ではConvex,Semi-convex性が成立することが知られている[1]．従ってSCRB法は多くの場合，配分解の理論的裏付け（公正配分解に一致すること）が保証される．しかし，One-convex性が成立する場合も考えられる．このときはENSC法による配分額にも理論的根拠が保証されることになる．このように慣用法にも費用関数の構造特性に応じて理論的根拠が多重的に裏付け得ることが明らかになった．

参考文献

1)佐々木才朗：多目的ダムのコストアロケーションに関する研究，東京大学工学部博士論文，1992