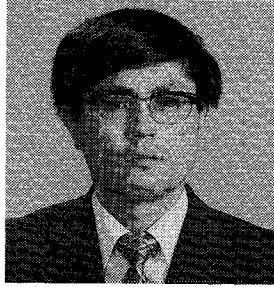


招待論文

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

CRITICAL REVIEW AND A RESEARCH PERSPECTIVE OF COST ALLOCATION METHODS FOR PUBLIC PROJECT DEVELOPMENT



岡田憲夫

Norio OKADA

正会員 工博 京都大学教授 防災研究所
(〒611 宇治市五ヶ庄)

Keywords :

cost allocation, public project, game theory

1. はじめに

本論文では公共プロジェクトの「費用配分法」を取り上げるとともに、方法論的な視点から今後の研究展望を試みる。次章ではそのための序論として、公共プロジェクト「費用配分問題」を土木計画論的視点からみた場合の今日的な重要性や意義について言及する。

まず本研究では、「公共プロジェクト」にかかわる「費用配分問題」にあくまで限定して議論を進める。その際、具体的な公共プロジェクトの事例として水資源開発プロジェクトを主として取り上げる。これは著者のこれまでの研究の履歴や経験からの制約からでもあるが、アメリカ合衆国の TVA の多目的ダム事業に代表されるように水資源開発の分野が、歴史的にみても、公共プロジェクトの費用配分問題の典型的かつ古典的な事例を豊富に提供し得るからでもある。また、本論文では、後述する理由により、これまで長年にわたって実用に供せられ、経験的にその有用性が高く評価されていると考えられる「慣用的費用配分法」に焦点を当て、理論的な側面からその再解釈・再評価を試みることに狙いがある。水資源開発の分野では、分離費用・身代り妥当支払い法（あるいは同支出法）(Separable Costs, Remaining Benefit Method, SCRB 法) などのように「慣用的費用配分法」の代表格の方法が開発され、長く利用されてきた実績をもっており、この意味でも水資源開発プロジェクトに事例を求めることは妥当であると考えられる。

このように議論をかなり水資源開発の分野に限定して進めるものの、本研究で提示しようとする研究展望的視点からの論点・知見の多くは、交通整備やその他の地域整備にかかわる各種の公共プロジェクトにも敷衍し得るものである。そこで、終章ではそのための今後の研究の必要性と方法論的接近の可能性についても若干の言及を

して結びとする。

2. 費用配分問題の定義

ここでは以下の議論において無用な混同を防ぐために、術語の定義を明らかにしておきたい。ただし、ここで著者が提示する術語の定義と用法は必ずしも広く一般に確立され、認められているものではない。その意味では、あくまで便宜上の概念整理にとどまるものである。

「費用配分問題」あるいはそれを解決するための方法としての「費用配分法」と同じような意味で用いられる術語に、「費用割振り問題」あるいは「費用割振り法」がある。これは、英語の 'cost allocation problems' あるいは 'cost allocation methods' に対応するもので、「費用配分」「費用割振り」のいずれも同義語であるとみなしてよいであろう。英語でも、'allocation' の代わりに 'assignment' や 'apportionment' を使うことがあるが、ニュアンスの違いはあるものの、ほぼ同義語とみなしてさしつかえない。

これに対して、「費用負担問題」あるいは「費用負担法」という用語が用いられることも多い。これらは英語では、'cost (burden) sharing problems' や 'cost (burden) sharing methods' に対応するものと考えられる。また、公共経済学や財政学の分野では昔から、「受益者負担問題」とのかかわりから「社会開発における費用負担」の問題とその方法が議論され、数多くの研究がなされてきた。たとえば田中³⁾が論じるように「社会資本が生み出すフローとしての公共財」を対象とした開発を「社会開発」と呼ぶと解釈したうえで、「社会開発における費用負担」は、市場機構により、各自がその受ける利益に応じて費用を負担する方法が採用しがたく、受益と費用負担が切り離さざるを得ない点に、「費用負担問題」の本質と困難性がある。また、受益と費用負担の分離が「た

だ乗り」(free rider)を排除し得なくなり、これが所得配分に混乱を招く可能性は公共経済学や厚生経済学の分野において広く知られたテーマである(たとえば、熊谷³⁾を参照せよ)。

さて、「費用配分」と「費用負担」との関係はどのように理解すればよいのであろうか。本論文では、「費用配分」はあくまで、複数の参加主体の提携の集合であるコンソーシアムとしての共同事業体の存在・成立を想定するとともに、それが建設し運営する公共プロジェクトについて、それにかかわる費用を各参加主体に配分する問題および方法を指すものと定義する。つまり、この限りにおいて、「費用配分」はひとえに「社会開発に参加する事業主体」間にどのようにコンソーシアムとしての公共プロジェクトの事業費を配分すればよいかという問題に還元されることになる。これを、配分される側としての各事業主体からみれば、どのように「費用を負担すればよいか」という問題と裏腹の関係にあるように思える。ただし、この点については多少厳密に吟味しておく必要がある。両者が暗に密接な関係をもっていることは疑いがなく、かなり異なった問題意識とアプローチを基底においており、現状では両者の間にかかなりのギャップがあることをまず踏まえておく必要がある。

事実、各事業主体は公共の財やサービスの供給者であるから、その背後にはそれを需要し、利用する者がいる。それが準公共財的で、その供給に対する反対給付として、料金が徴収されるとしよう。このとき、当該事業主体への費用配分のいかんは、価格を通じて需要を変化させる可能性があり、ひいては社会的にみて適正な資源や所得の配分たり得るかという問題にまで、議論は遡りかねない。一方、「消費の排除困難性」や「消費の区分困難性」から逃れられないという意味で、「純粋公共財」であるようなサービス(たとえば、消防、警察、国防など)の場合、価格形成がきわめて困難である⁴⁾。この場合でも、徴税を通じて間接的に納税者が負担させられるという意味では、これも社会的にみた所得や資源の適正配分の問題につながっているといえる。森⁵⁾はこのような立場から、「費用配分」は、会計上の規則とは別に、社会経済的な意義付けが強く求められる問題であり、経済学の伝統的な視点である効率と公正の観点に照らして、適正な費用配分を選び分ける必要があるとしている。つまり森は費用配分の裏腹の問題として費用負担を含意させる形でとらえているものと解釈される。そのうえで、森は費用配分の問題を主として方法論の視点から比較し、展望している。

しかし本論文では、このように「費用負担を含意した費用配分」という解釈は採らずに、「費用負担」はあくまで社会開発のサービスを受ける「受益者としての一般利用者」に料金徴収や租税制度その他の公共的制度を通

して「費用の負担」を適正かつ合理的に行う問題や方法を論じるものと定義付けしておくことにする。本研究ではこのようにして「費用負担」の問題を切り離したうえで、公共プロジェクトの「費用配分」の問題を取り上げることとする。この場合、需要は与件でかつ固定しており、プロジェクトは基本的に採択が妥当視されていることを想定している。

3. 本研究の立場

ここで、本研究の立場を明らかにしておく。

(i) 多目的・複事業主体参加型の公共プロジェクトの費用配分問題を取り上げ、そのために開発された各種の方法について比較検討する。さらに、今後のこの分野における研究の社会的意義、課題およびその方向性について展望する。

(ii) 著者は「費用配分」と「費用負担」を同義語として扱わず、性格の異なるものと解釈する立場を採るが、それゆえに両者が不可分の密接な関係にあることを軽視するものでは決してない。むしろ、その密接な対応関係に着目するからこそ、両者の概念的・用語的混乱を指摘しておく意味で、上述のような定義づけは有用と考えるのである。したがって、必要であれば、「費用負担を含意した費用配分」という表現を用いることにする。

(iii) 本研究では、費用配分の方法(費用配分法、費用割振り法)を取り上げるにあたって、実際の公共プロジェクトにおいて用いられている方法(以下、「慣用的費用配分法」という)の重要性と有用性を基本的に肯定する立場で、再検討・再評価することに主眼がある。つまり、今後の費用配分法の研究に要請されている社会的な課題は、「簡便性」や「理解容易性」等の「実用的合理性」と、「論理的整合性」や「解釈妥当性」等の「理論的合理性」とをどのように折り合わせるかであると著者は考えている。これは、費用配分法の研究に「直観主義」と「形式主義」との方法論的融合が求められていると言い換えることもできよう。

(iv) そこで、本研究では「理論的合理性」を検討する分析的武器として、ゲーム理論および経済学の諸知見を整理・分類し、援用する。その際、このような理論的・規範的アプローチにより開発された各種の「理論的費用配分法」についても紹介し、その適用可能性について言及する。

4. 慣用的費用配分法—その系譜と考え方

(1) 実物量準拠配分法

およそ共同事業がなんであれ、最も単純でしかも直観的にわかりよい配分の方法は実物量(またはそれを加工した値)に基づいて比例配分する方法であろう。たとえば、流域下水道のバイプラインの事業費をそれぞれの都

市からの排水負荷量 Q または管轄区間の管長 L と Q との積 QL に応じて配分する方法である (それぞれ、「 Q 法」, 「 QL 法」とよぶ⁶⁾.) 費用配分法における最も常識的かつ素朴で古くから受け入れられてきた配分原則として、「需要 (利用) の程度に応じて配分する」方式がある。これは「享受している機能・便益・効用」に着目した一種の「応益主義」であり、「原因者割当て主義」であるといえる (一般に「原因者負担主義」という言葉がよく用いられるが、本研究では「費用負担」を既述したように狭義に定義しているの、ここでは「原因者割当て主義」と呼んでおく)。実物量準拠配分法はこの方式に基づいて作られた最も簡便な方法である。

この方法の致命的欠陥は、「享受している機能・便益・効用」が「実物量」で適正に代表し得ないことが多いという点にある。また、排他的・独立的利用の物理的境界を明確にし得ないことが普通であるにもかかわらず、それが可能であることを前提にしてあえて物理量を用いることに根元的な矛盾がある。特に施設がネットワークの形をとって複雑になったり、既存の施設を (部分的に) 利用可能な参加主体とそうでない参加主体が共同で施設を建設・利用するときなどに不合理が生じるものと考えられる。

上述の方法のもう一つの欠陥は、費用配分を受ける各参加主体の「提携交渉可能性」を全く想定していない点にある。つまり当該プロジェクトに参加しなくても他の代替プロジェクトで同じ機能や目的が達成できる場合、その参加主体はそのような潜在的立場や優位性の違いが反映されるように費用配分の結果について交渉できると考える方が妥当であろう。これを「提携交渉可能性」の仮定という。したがって、いま仮に各主体に割り当てられる費用自体が、(i) 当然受容できる (acceptable) 最低限の費用と、(ii) 他の主体との相対的な提携交渉可能性の立場の違いの構造に応じて付加的に受容せざるを得ない費用とから構成されるべきであると、各参加者が考えたとする。このとき、上述の実物量準拠法はこのような二元的費用構成を前提にした配分法にはなっていないことになる。

(2) 身替り費用法

これは、「享受している機能・便益・効用」を「(機会) 費用」で代用させるという意味で、「費用主義」と呼べるものである。以下、本研究で取り上げる各種の方法のほとんどは、この原則に基づいている。

「身替り費用」(alternate single cost) とは、一種の機会費用である。各主体が当の共同事業に参加する替わりに、各自が単独で同水準の機能が享受できる施設を建設したと (仮想的・便宜的に) 考えたとき、その単独施設の事業費を指して「身替り費用」と呼称する。いま、主体 i ($i=1, \dots, n$; n は参加主体の数) の身替り費用

を $C(i)$ 、当該共同プロジェクトの全事業費を $C(N)$ で表そう。ここに、 N は $N=\{1, \dots, i, \dots, n\}$ なる参加主体の集合である。このとき、身替り費用法を適用すれば、主体 i に割り振られる費用 x_i は次のようになる。

$$x_i = [C(i) / \sum_{i \in N} C(i)] \cdot C(N) \dots\dots\dots (1)$$

本方法は身替り費用を導入することにより、「単独行動」という一種の提携交渉可能性をそのまま、「享受している機能・便益・効用」の代理指標としている点が特徴である。

この方法の欠点は、次のようである。

- (i) 各主体に割り振られる費用が、先述の意味で二元構成になっていない。
- (ii) 単独行動以外の他の提携の可能性を考慮していない。

このほかに、費用主義自体の考え方の限界が指摘できるが、これは以下の各種の方法にも当てはまる根元的な問題であるので、後に述べることにする。

(3) 分離費用準拠型配分法

この方法は、各主体に最低限割り振るべき費用として「分離費用」(separable cost) を算定するとともに、各自に分離費用を割り振った後に残る総事業費の剰余額を「非分離費用」(nonseparable costs) として、これを各自にある比率で付加的に割り振り、両者の割振り費用を合わせて当該主体の配分費用とするものである。したがって、この方法は上述した二元構成の費用配分法に属するものであるといえる。いま、共同プロジェクトの総事業費を $C(N)$ 、その共同プロジェクトから任意の主体 i が離脱したときの総事業費を $C(N-i)$ とすれば、この主体 i ($i=1, \dots, n$) の分離費用 SC_i は

$$SC_i = C(N) - C(N-i) \dots\dots\dots (2)$$

として定義される。

換言すれば SC_i は当の共同プロジェクトに主体 i が最後に参加することによって掛かる付加的費用 (additional cost, incremental cost) であり、経済学でいうところの限界費用 (marginal cost) に相当しているとも解釈できる。本方法では、分離費用 SC_i は非負であることを想定している。

非分離費用 NSC は

$$NSC = C(N) - \sum_{i \in N} SC_i \dots\dots\dots (3)$$

で定義される。 NSC も非負であることが大前提になっている点に留意したい。いま、 NSC を各自に付加的に割り振る比率を r_i としよう。分離費用準拠型配分法により主体 i に配分される費用 x_i は次のように与えられる。

$$x_i = SC_i + (r_i / \sum_{i \in N} r_i) \cdot NSC \dots\dots\dots (4)$$

r_i は、主体 i が分離費用 SC_i を受容したとして、それでは賄いきれない「享受している残余の機能・便益・効用」

を、参加主体全員からみた相対的割合として表したものと解釈できる。本配分法は、 r_i の規定のしかたによっていくつかのタイプに分かれる。

a) 均等配分型・非分離費用法 (egalitarian non-separable cost method, ENSC)

これは、 $r_i=1(i=1, \dots, n)$ すなわち各主体へのNSCの割振り率を均等にすればよいという前提に立っている。平等主義 (egalitarianism) を基調とした配分法といわれる理由はここにある。結局、この配分法による配分解は次のようになる。

$$x_i = SC_i + NSC/n \dots \dots \dots (5)$$

この方法はTVAが1930年代に多目的ダムの費用配分法の検討に入った当初に有力な候補として考案されたといわれている^{7),8)}。結局不採用になったのは、この手法では各自の立場の違いが十分に反映されず、配分結果の妥当性が不明確であるとの理由であったという。確かに本手法はそのような欠点があるが、逆に各自の立場の違いやクレームの妥当性の範囲が必ずしも明確ではないことも現実には多くあり、このような場合には判然としない部分を均等に折半することは昔からよく行われてきたところである。簡便性や理解容易性という意味で、ケースによっては再評価に値する方法と考えられる。

b) 分離費用・身替り妥当支出法 (Separable Costs, Remaining Benefit Method)

これは分離費用準拠型配分法の中では最もよく知られ、特に多目的ダムの費用配分法としては、アメリカはもちろんのことわが国においても制度化された形で、広く用いられている方法である^{5),8)}。上述したように1930年代にアメリカのTVA委員会で始まった多目的ダム事業の費用配分法の検討の結果、最終的に採択された方法である。これは r_i として、当の主体 $i(i=1, \dots, n)$ の残余便益 β_i をとり、次のようにして計算する。

$$r_i = \beta_i \dots \dots \dots (6)$$

$$\beta_i = \min\{B(i), C(i)\} - SC_i \dots \dots \dots (7)$$

ここに、 $B(i)$ は主体 i の便益、 $C(i)$ はその身替り費用であり、 \min は両者のうちいずれか小の値を選ぶことを意味している。わが国では、 $B(i)$ を「妥当投資額」と呼ぶのが慣例であるようだが、SCRB法を開発したアメリカでは、 \min の値を指してjustifiable costsと呼ぶのが普通のようなのである。 β_i は主体 i の「残余便益」(residual benefits)と呼ばれるもので、justifiable costsを i が「享受している機能・便益・効用」とみなしたうえで、 SC_i を割り振った後の残余分を表していると解釈される。

$\min\{B(i), C(i)\}$ とするのは、当該プロジェクトから享受できる便益 $B(i)$ が、それと同等の機能が得られる単独事業費(身替り費用) $C(i)$ を下回る場合があり得ることを前提にしている。事実、多目的ダム事

業に参加する水力発電などでは、このような場合が該当し得るといわれる。このときは、当該プロジェクトのjustifiable costsは、身替り費用 $C(i)$ を下回る便益 $B(i)$ をとるべきであるというのが \min をとる根拠である。ただし、共同プロジェクトから離脱せずにとどまっているのはそもそも $C(i) \leq B(i)$ であるからで、 $\min = B(i) < C(i)$ であることを正当化する根拠はむしろ実質上の内部補助の必要性にあるとの議論もある⁹⁾。

したがって普通は、 $\min = C(i)$ であるので、

$$\beta_i = C(i) - SC_i \dots \dots \dots (8)$$

と単純化したものを、「回避身替り費用法」(alternate costs avoided method, ACA)と称する。あるいは以下これを単に分離費用・身替り妥当支出法(SCRB)という。

SCRB法は、限界(分離)費用の原因者への割振りおよび非分離費用の応益割振りの原則に準拠した費用の二元構成方式となっていることや、提携の最小数(1)つまり単独行動および最大数($n-1$)の部分提携可能性を明示的に考慮していること、ならびに計算上の簡便さなどの点で優れている。一方で、その割には必ずしも理解が容易ではなく、便宜主義的でad hocであるとの批判もある。

なお、SCRB法の変種としてLoughlin¹⁰⁾の提案したAdjusted SCRB法などがある。

5. ゲーム理論に準拠した配分法

上述した慣用的な費用配分法の背後には暗に協力 n 人ゲーム的な概念が埋め込まれている。言い換えれば、費用配分法の研究分野はゲーム理論の実際的な適用ならびに拡張の豊かな脈脈と解釈することができる。ただし、ゲーム理論を用いた費用配分の研究はどちらかという理論面に片寄っていた感はまぬがれない。著者はこの点についてさらに踏み込んで、ゲーム理論から導かれる種々の配分概念や解析的知見が、慣用的な費用配分法の配分解の理論的な解釈・裏付けならびにその適用の範囲と限界を整理・分類するうえで、きわめて有用な尺度になり得るという立場で研究を進めている。

以下、簡単にこれまでのゲーム理論的アプローチの研究の成果を振り返るとともに、後で今後の展開のありかたや可能性について展望する。

1) ゲーム理論によるモデル化の基本的考え方

当該共同プロジェクトを n 人が参加する全提携(grand coalition)とし、これに対して各自が単独行動をした場合を $\{i\}$ 、2人以上 $n-1$ 人以下の提携を部分提携 S とみなそう。また、それぞれの提携の費用を $C(N)$ 、 $C(i)$ 、 $C(S)$ で表す。費用配分問題は提携・交渉可能性をめぐる各参加主体(プレーヤー) i の交渉行動規範

を表す「協力ゲーム」として数学的にモデル化できる。身替り費用法および SCRB 法はそれぞれ、全提携 N 以外に単独行動 i のみ、あるいはそれに加えて最大の部分提携 $N-i$ ($i=1, \dots, n$) を想定しているものと解釈できる。また、 $C(i)$ は身替り建設費用を表している。分離費用は $SC_i=C(N)-C(N-i)$ であり、提携が $N-i$ から N に増大するときの限界費用であるとみなすことができる。

a) コアに基づく費用配分規範のモデル化

当該共同プロジェクト(全提携)に参加している各プレイヤー i に配分される費用を x_i とすると、コアは次のように定式化される。

$$x_i < C(i) \quad (i=1, \dots, n) \dots\dots\dots (9)$$

$$\sum x_i \leq C(S) \quad (i \in S) \dots\dots\dots (10)$$

$$\sum x_i = C(N) \quad (i \in N) \dots\dots\dots (11)$$

式(9)は「個人合理性」(individual rationality), 式(10)は「集団合理性」(group rationality)を表す条件式で、各プレイヤーが全提携 N から離脱して、それぞれ単独行動、部分提携行動を取ろうとしてもかえって不利になるため、そうする動機づけが成立しないようにするための条件である。また、式(11)は「全体合理性」(total rationality)を表しており、共同プロジェクトの総費用が余すことなく配分されることを要請する条件である。これは配分が「効率的」(efficient)であるための条件であるともいえる¹¹⁾。

コアは配分が効率的でかつ公正であるための説得性をもった規範を表しており、費用配分の結果がこの条件を満たし得るかどうかは、その妥当性を測る重要な尺度となると考えられる。ここで、2つの可能性が問題になる。第1は、コアを満たさない場合があり得ること、第2は、コアを満たしたとして、それを唯一解にどのように絞り込むかということである。そこでまず、後者の問題について簡単にふれる。

コアに準拠した唯一解として開発され、費用配分にまず応用されたのは「仁」(Nucleolus)である (Suzuki *et al.*¹²⁾, Littelchild *et al.*¹³⁾)。これは基本的には「最大不満の最小化」の原則を基調にして定式化された解概念であり¹⁴⁾, Rawls のマクシミン原則に通じるものである¹⁵⁾。Young, Okada, Hashimoto^{16), 17)} は仁の変種としての弱仁 (Weak Nucleolus) や比例仁 (Proportional Nucleolus) を提案し、費用配分の唯一解としては「費用の単調性の原則」(総費用が増減しても配分解には単調性が保証されるべきであること) 等のいくつかの点で仁より優れた理論的特性を保証し得ることを明らかにしている。このほかに仁の拡張概念で費用配分解として提案されてきたものとしては、提携者間の「分裂性向」(propensities to disrupt coalitions) を最小化する考え

方を公平基準とする平均差仁¹⁸⁾が注目される。

また、Heaney *et al.*¹⁹⁾ はコアに相当する凸の解領域の境界を形成する上下限値を計算し、SCRB 法とのアナロジーで、下限値を SC_i , 上限値と下限値の差を r_i とする配分法を提案し、「限界費用・残余便益法」(Marginal Costs, Remaining Savings Method, MCRS) を提案している。この方法はコアの成立を保証した SCRB 法の変種とも解釈でき、慣用的費用配分法の代表格としての SCRB 法との接点を探るうえで有用な方法であると考えられる。なお、Okada²⁰⁾, 岡田²¹⁾ はこの方法とは別に、各主体の目的(配分費用最小化)の満足水準を SC_i に、許容水準を $C(i)$ とした多目的計画問題として費用配分問題を定式化すると、その満足解が SCRB 法の解と理論的に一致することを示している。このアプローチは MCRS 法と通じるものがあり、SCRB 法を基軸とした応用と理論面での接点的検証を図るうえでさらに研究が必要である。

上述した方法は理論面で厳密さや精練さを有している反面、線形計画法などの計算を繰り返す必要があるなど実用面で難点がある。また、直観的な理解容易性という面でも実用性は必ずしも高くない。

次に、コアを満たさない(満たす理論的保証がない)場合を考えよう。事実、コアは費用配分の実際場面を想定した場合には、厳し過ぎる条件であり、それが完全に満たされないからといって、その配分解は妥当でないと結論づけることはできない。この点について簡単に考察しよう。

b) コアに基づかない費用配分規範

このタイプの代表的な方法はシャプレイ値 (Shapley Value) である²²⁾。これは、すべての可能な提携の組合せを列挙し、各参加者ごとに当人が各提携に最後に参加したとしたときの限界費用 $C(S)-C(S-i)$ をすべての組合せ $S \subset N$ について加算し、可能な組合せの数で除して期待値を求めることに相当している。

いま、主体 i への配分額を x_i とすると、シャプレイ値は次式によって計算される。

$$x_i = \sum_{\substack{S \subset N \\ i \in S}} \{(n-s)! (s-1)! / n!\} \cdot \{C(S) - C(S-i)\} \dots\dots\dots (12)$$

ここに、 $s=|S|$ で提携 S の大きさ(提携プレイヤーの数)を表す。

これを費用配分に適用・拡張した研究の代表としては、Loehman *et al.*²³⁾ の研究がある。そこでは、流域下水道の幹線管路網整備の提携可能なパターンの可能性の程度を確率とし、式(12)を変形した期待値をとることにより、シャプレイ値の拡張が提案されている。

シャプレイ値は効率的でかつ公正な理論解であり、しかも直観主義の立場からも明快であるため、実務家にも

受け入れられやすいことが明らかになっている^{20),24)}。

このシャプレイ値の欠点はコアを満たすことが一般には保証されないということである。ただし、それが保証されないからといって公正な配分解ではないというわけではないことに留意したい。「公正さ」としてどのような規範が妥当であるかは、対象とする費用配分問題の特性と密接な関係にあるし、それ自体が価値観を基底にした選択の問題であるともいえる。この点に関しては Loughlin の研究²⁵⁾ が参考になる。なお、費用配分に限らず、公共事業の公正さにかかわる役割について小林²⁶⁾ は「効率性」と「均衡性」規範を広範にレビューしている。

コアに基づかない配分解で、費用配分上、特記すべきもう一つの代表例は「非分離費用差法」(Nonseparable Cost Gap Method, NSCG) である^{7),27)}。これは、SCRB 法を残余便益および非分離費用について理論的に拡張した方法になっている。まず、費用差関数 (cost gap function) $g^{\circ}(S)$ を任意の提携 $S \subseteq N$ について次のように定義する。

$$g^{\circ}(S) = C(S) - \sum_{i \in S} SC_i \quad \dots\dots\dots (13)$$

一般に費用差関数は非負であることが多いので、 $g^{\circ}(S) > 0$ を仮定する。これは 6.(2) で言及するように、プロジェクトの規模や提携の数を大きくすることが経済的メリットをもたらすことを前提にすることと密接な関係がある。その特殊な場合が $NSC > 0$ であり、これが費用配分法の基本的条件とかわっていることは 6.(1) および図-1 において示される。

プレイヤー i の譲歩額 λ_i を

$$\lambda_i = \min_{S, i \in S} g^{\circ}(S) \quad \dots\dots\dots (14)$$

で定義する。ここでさらに

$$\sum_{i \in N} \lambda_i \geq NSC \quad \dots\dots\dots (15)$$

と仮定すると、プレイヤー i の配分類 x_i は次のようになる。

$$x_i = \begin{cases} SC_i & (NSC=0 \text{ のとき}) \\ SC_i + (\lambda_i / \sum_{i \in N} \lambda_i) \cdot NSC & \dots\dots\dots (16) \\ & (NSC > 0 \text{ のとき}) \end{cases}$$

記述したように、この配分法は SCRB 法を拡張したものになっている。つまり、SCRB 法が最小と最大の両端のみの提携を考慮して各プレイヤーの提携交渉力を規定しているのに対して、NSCG 法はすべての提携を想定している。式 (13) は「任意の提携 S を形成し得るプレイヤーの任意の候補者」が、最悪の場合として個人レベルで受容し得る最大の付加的割振り額を表している。この条件ならば、当のプレイヤーは提携 S を形成し得る他の候補者の了解を取らずとも、提携の外部に対してコミットし得る。当該の共同事業である全提携から

離脱し得る可能性を留保しつつ、そこにとどまるための交渉条件の目安として、その費用差の額のすべての提携 S についての最小値 λ_i を採るのは自然であろう。そこで、 λ_i を「譲歩額」(concession amount) と称する。一方、

$$g^{\circ}(N) = NSC \quad \dots\dots\dots (17)$$

であるから、非分離費用 NSC は、この譲歩額を計算する候補の一つとなる機会費用で、最大の提携についての各プレイヤーの個人レベルでの許容最大付加的割振り額を表していると解釈される。このときもし、

$$g^{\circ}(N) = \min_{S \subseteq N} g^{\circ}(S) \quad \dots\dots\dots (18)$$

であれば、 $\lambda_i = NSC = \text{定数}$ となって、NSCG 法による配分式 (16) は、均等配分型・非分離費用配分法 (ENSC) と一致することになる。

ところで、最小の提携 $\{i\}$ (ここに $i \in S$) について費用差関数は

$$g^{\circ}(\{i\}) = C(\{i\}) - SC_i \quad \dots\dots\dots (19)$$

となるから、このときもし、

$$g^{\circ}(\{i\}) = \min_{S, i \in S} g^{\circ}(S) \quad \dots\dots\dots (20)$$

であれば、 $\lambda_i = C(\{i\}) - SC_i$ となって、NSCG 法による配分式 (16) は、SCRB (ACA) 法の配分式 ((4), (6) および (8)) と一致することになる。このように費用差関数に基づく譲歩額 λ_i を、非分離費用 (式 (17)) および代替費用回避額 (式 (19)) に取れば、それぞれ ENSC 法と SCRB 法に一致することになる。つまり、NSCG 法は、ENSC 法や SCRB を包含した、より包括的な配分法であると解釈される。

ただし NSCG 法は必ずしもコアを満たすという保証がない点に留意が必要である。

6. 慣用的費用配分法のゲーム論的検討

(1) 提携構造の関数としての費用関数の特性のゲーム論的分類

共同プロジェクトの費用配分法を問題にするとき、われわれは暗に、「プロジェクトや提携が大きくなることの経済的メリット」を想定しているであろう。つまり、「規模の経済性」(scale of economy) や「範囲の経済性」(scope of economy) と呼ばれる特性が何らかの形で成り立っていると直観的に予想している。このことは、提携構造の関数としての「費用関数」の特性と密接な関係があるであろう。このような点に着目して Driesen *et al.*^{7),28),29)} や岡田³⁰⁾ は費用関数の構造特性について分析・分類を試みている。

費用関数 C が任意の提携 S, T と全提携 N について

$$C(S) + C(T) \geq C(S \cup T) \quad \dots\dots\dots (21)$$

$$(S \cap T = \emptyset)$$

を満たすならば、このとき費用関数 C は「劣加法的」

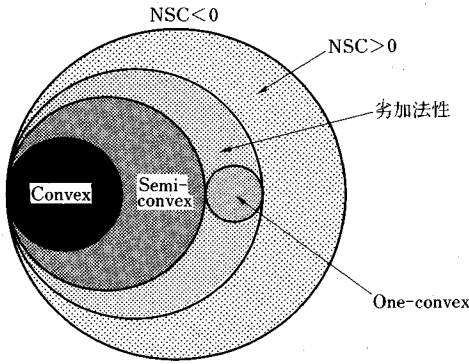


図-1 提携に関する費用関数の諸条件の包含関係 (必要条件)

(subadditive) であるという。これは、提携 S と T がさらに共同して共通のより大きな提携 $S \cup T$ を形成すれば、最悪の場合でも、掛かる総費用は $C(S) + C(T)$ を超えることはないことを保証している。つまり、任意の提携 S と T は、共同で提携を大きくするように協力しあうことが経済的にみて有利であるため、そうする動機づけをもつことになる。

これと関連して、次のような条件を考える。

$$C(S) + C(T) \geq C(S \cup T) + C(S \cap T)$$

$$(\forall S, T \subset N) \dots \dots \dots (22)$$

この式が成立するような費用関数によって決定される協力ゲームを「凸費用ゲーム」(convex cost game) という²²⁾。これは費用差関数を用いて次のように書き換えられることが容易に示される⁷⁾。

$$g(S - \{i\}) \leq g(S) \quad (i \in S \subset N) \dots \dots \dots (23)$$

この条件は、費用差関数が提携の大きさが増すにつれて、単調に増大する性質を有することを示している。

さて、前節の NSCG 法の説明において、費用差関数について式 (20) が成り立つ場合を考えたが、これは費用関数について式 (23) の条件を緩和した場合に相当していることがわかる。ただし劣加法性の条件は充足することが示される^{7), 28)}。このような費用関数を対象とした協力ゲームを「準凸費用ゲーム」(semi-convex game) という。したがって、NSCG 法の特殊形が SCRIB 法であるという上述の解釈と整合するようにするためには、SCRIB 法は準凸費用ゲームの特性をもった費用関数を対象とすべきことになる。

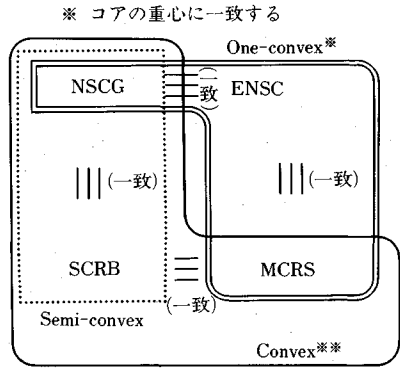
もう一方の可能性として、費用差関数が式 (18) を満たす場合について考える。この場合も劣加法性は成立するが、準凸費用ゲームとは互いに排反な条件を想定していることになる。このような費用関数を対象とした協力ゲームを「単凸費用ゲーム」(one-convex cost games) と称する^{7), 29)}。

岡田³⁰⁾ はこれらの理論的知見を整理し、図-1 に示すような諸条件の包含関係が成立することを明らかにして

表-1 費用関数と慣用的費用割振り法の関係

	SCRIB	ENSC	NSCG	MCRS	配分解
Convex	●		●	●	4人ゲームまではコアに属す
Semi-convex	●		●		コアに属すとは限らない
One-convex		●	●	●	コアの重心

いずれの場合も劣加法性を満たしている。
注) ●は配分解が一致することを示している。



※※ 4人ゲームまでは必ずコアを満たす

図-2 各種手法の一致関係

いる。ここでは、劣加法性の外側に非分離費用 NSC が非負となる条件を表す場合の領域、さらにその外側に NSC が負となる条件を表す領域がそれぞれ示されていることに注意したい。岡田³⁰⁾ はこのほかに、慣用的費用配分が特殊な場合には特定の理論的配分解と一致することを整理している (図-2, 表-1 参照)。これより、たとえば準凸費用ゲームが成立する条件の下で、SCRIB と NSCG とは一致することがわかる。また、単凸費用ゲームが成り立つ条件下では NSCG は ENSC を介して、MCRS と一致することが示される。さらに凸費用ゲームでは NSCG が SCRIB を介して MCRS と一致することがいえる。

これにより、理論解が想定している費用関数の構造特性が成立する場合について、特定の慣用的費用配分法の理論的な意味付けや裏付けを明らかにすることができることになる。著者はこのようなアプローチによってこそ、きわめて実用的な要請の下に適用される慣用的費用配分法に対して、理論面からの補完・検証を図り、前者の合理的な適用の範囲や局面を科学的に明らかにしていくことができるものと考えている。

(2) その他の理論的アプローチ

岡田³⁰⁾ は提携の関数としての費用関数を経済学でいうところの費用関数と対応づける必要性に着目し、基礎的な考察を行っている。その際、 n 人の共同プロジェクトを n 個の結合生産物を生産するシステムとみなすことにより、「規模の経済性」や「範囲の経済性」を表す

指標と、凸費用ゲーム、準凸ゲーム、単凸ゲームとの対応関係を定式化している。また、これらの指標が非分離費用とも密接な関係にあることを理論的に示している。たとえば、非分離費用や費用差関数の非負性の条件は、「規模の経済性」や「範囲の経済性」と明示的な対応関係にあることが岡田によって示されている³⁰⁾。この点については機会を改めて発表したいと考える。なお、この種の研究としてはこのほかに Kim *et al.*³¹⁾の研究などが挙げられよう。

これに関連して、たとえば特定のインフラストラクチャがどのような施設から構成され得るか、またどのような共同整備方式が提携のパターンとして想定し得るかについて理論面および実際面から分析することも有用であろう。特に、これらの特徴的な情報は費用関数に凝縮されて反映されることになるので、費用関数の構造やパターンについての検討が不可欠であると考えられる。

(3) 環境資源配分問題の部分問題としての費用配分法

何らかの形で公共の共同整備問題を想定する限り、費用配分問題は派生的であったとしても不可避的な問題として存在するといえる。しかもその共同事業への参加の是非自体、参加することの代価として割り振られる費用の妥当性・受容可能性と無関係ではあり得ない。確立され、制度化された共同事業であれば、そのそもそもの導入の妥当性を棚上げにすれば、参加者は「参加の費用」をおおよそ推定することができる。しかし、新しい共同事業の導入を図る場合には併せて費用配分法を検討しておくことが要請される。

また、環境資源配分問題のような場合、共同プロジェクト自体が環境負荷量（たとえばCOD負荷量やゴミ排出許容量など）や資源量（たとえば取水可能量など）を配分するコンフリクト調整問題となっており、その下位問題として費用配分問題が存在することになる。このような観点から岡田らは一連の研究を展開している^{32)~35)}

7. む す び

本論文では、冒頭に断っておいたようにきわめて限定的な意味で、「費用配分法」を取り上げ、これまでの研究の系譜について述べてきた。もとより著者が理解し、知り得た範囲の紹介であり、かなり偏ったレビューになっているおそれがないとはいえない。また、紙幅の都合からも必ずしも十分に関連文献を紹介できたわけではないことをお断りしておきたい。

最後に、「費用配分法」の発展的分野として今後、稜線を広げるべき方向性について簡単に整理しておきたい。

(i) 費用配分法は現在では確立された会計上の規則や単なるルーチンとして受けとめるのが一般的であるように思われる。しかし、今後は社会のニーズの変化と技

術革新とともに公共のエンジニアリング・プロジェクトの整備のありようも多角化・多様化していかざるを得ないものと予測される。このような状況下では土木計画技術者としても、「制度的選択の対象としての費用配分法」について広範かつ基礎的な研究を積み上げていくことが求められているといえよう。

(ii) この場合、共同事業の「総費用を配分する方法を定める問題」は単なる狭義の（著者流の）「費用配分問題」ではとどまり得ず、「費用負担を含意とした費用配分問題」の領域に踏み込まざるを得ないであろう。事実、公益事業の運営形態を取りつつ、インフラストラクチャの整備を図っていかなければならない事業分野では、「配分されるべき費用」はそのまま料金徴収問題にかかわってくることになる。それはまた、広義の意味での利用者の「受益者負担」の問題ともつながってくる。この種の問題へのチャレンジのしかたとして、たとえば費用配分ゲームにコアに関連した価格概念（subsidy-free 価格, consumer subsidy-free 価格, sustainable 価格, Aumann-Shapley 価格など）を持ち込むことによって「社会的厚生」の視点を付加したモデル化を行うことも一つの考え方であろう^{5), 36)~40)}。このような接近は本稿で述べた費用主義的アプローチの延長にあるといえる。

一方、公共事業整備においては、財源政策との関係で「受益者負担」はきわめて重要かつ実際的な問題である。たとえば、交通事業者が直接支出した費用を、残りの主体がどのように分担するかが、費用負担問題の主題であるといわれる⁴¹⁾。この分野では、ここでとりあげた費用配分の問題とは別個に多くの経験と知見が積み上げられているが、ここではその個々についての言及は行わない。ただここでは、これまでともすれば独立の問題意識とアプローチを想定して進められてきた「費用配分問題」と「費用負担問題」は、ゲーム理論や経済学を介して、その大きなギャップを埋めていくための挑戦が求められている点に言及しておきたい。また、そうすることでひいてはゲーム理論や経済学に興味ある素材を提供し、そのすそ野を広げることに土木計画技術者がかかわることが期待される。それぞれの専門家との交流や共同研究を通じて、今後、この分野の研究の輪を広げていく研究仲間が増えれば、著者の望外の幸せである。

謝 辞：本論文をとりまとめるにあたり、鳥取大学工学部社会開発システム工学科の小林潔司教授から多くの示唆を得た。付して謝辞としたい。

参 考 文 献

- 1) 田中啓一：受益者負担論，東洋経済新報社，p.106, 1979.
- 2) 熊谷彰矩：社会開発における費用負担，社会開発政策，

- 青林書院, p.216, 1975.
- 3) 熊谷尚夫：経済政策原理, 岩波書店, p.216, 1964.
 - 4) 植草 益：公的規制の経済学, pp.8~9, 筑摩書房, 1991.
 - 5) 森 統：費用配分の考え方, 展望, 日交研シリーズ, A-129, 日本交通政策研究会, pp.1~19, 1989.
 - 6) 建設省都市局 (監修)：流域下水道事業の手引き, 日本水道新聞社, 1986.
 - 7) Driesen, T.S.H. and Tijs, S.H. : The Cost Gap Method and Other Cost Allocation Methods for Multipurpose Water Projects, *Water Resour. Res.*, Vol.21, No.10, pp.1649~1675, October, 1985.
 - 8) Federal Inter-Agency River-Basin Committee, Proposed Practices for Economic Analysis of River Basin Projects, Technical Report, Washington D.C., 1950.
 - 9) Okada, N. : Cost Allocation in Multipurpose Reservoir Development : The Japanese Experience, in : H.P. Young (ed.), *Cost Allocation : Methods, Principles, Applications*, Northholland, 1985.
 - 10) Loughlin, J.C. : The Efficiency and Equity of Cost Allocation Methods for Multipurpose Water Projects, *Water Resour. Res.*, Vol.13, No.1, pp.8~14, Feb., 1977.
 - 11) Aumann, R.J. (丸山 徹・立石 寛訳)：ゲーム論の基礎, 朝草書房, p.43, 1991.
 - 12) Suzuki, M. and Nakayama, M. : The Cost Assignment of the Cooperative Water Resource Development : A Game Theoretic Approach, *Management Sci.*, Vol.22, pp.1081~1086, 1976.
 - 13) Littlechild, S.C. and Owen, G. : A Further Note on the Nucleolus of the 'Airport Game', *Int. J. Game Theory*, Vol.5, pp.91~95, 1976.
 - 14) 鈴木光男：費用負担ゲームの解, 数理科学, No.256, 10月号, pp.63~68, 1984.
 - 15) Rawls, J. : *A Theory of Justice*, Belknap Press of Harvard University, Cambridge, 1971.
 - 16) Young, H.P., Okada, N. and Hashimoto, T. : Cost Allocation in Water Resources Development, *Water Resour. Res.*, Vol.18, pp.463~475, 1982.
 - 17) Young, H.P. : *Methods and Principles of Cost Allocation*, in : H.P. Young (ed.), *Cost Allocation : Methods, Principles and Applications*, Northholland, pp.119~153, 1985.
 - 18) Gately, D. : Sharing the Gains from Regional Cooperation : A Game Theoretic Application to Planning Investment in Electric Power, *International Economic Review*, Vol.15, pp.195~208, 1981.
 - 19) Heaney, J. and Dickinson, R.E. : Methods for Apportioning the Cost of a Water Resource Project, *Water Resour. Res.*, Vol.18, No.3, pp.476~482, 1982.
 - 20) Okada, N. : A Microcomputer Based Cost Allocation Gaming Analysis, Reports of the Faculty of Engineering, Tottori University, Vol.13, No.1, pp.136~154, 1982.
 - 21) 岡田憲夫：費用割振り問題のゲーミング分析, シミュレーション&ゲーミング, Vol.1, No.1, pp.78~83, 1990.
 - 22) Shapley, L.S. : Cores of Convex Games, *Int. J. Game Theory*, Vol. I, pp.11~26, 1971.
 - 23) Loehman, E., Orlando, J., Tschirhart, J. and Whinston, A. : Cost Allocation for a Regional Wastewater Treatment Systems, *Water Resour. Res.*, Vol.15, pp.193~202, 1979.
 - 24) Sfafl, I. : A Gaming Experiment Focused on Cost Allocation in Water Resources Development, IIASA, WP, pp.1~8, 1980.
 - 25) Loughlin, J.C. : The Efficiency and Equity of Cost Allocation Methods for Multipurpose Water Projects, *Water Resour. Res.*, Vol.13, pp.8~14, 1979.
 - 26) 小林潔司：公共施設整備における衡平性と効率性について一研究系譜と今後の課題一, 鳥取大学工学部研究報告, 第20巻, 第1号, pp.141~153, 1989.
 - 27) Heaney, J.P. and Dickinson, R.J. : Methods for Apportioning the Cost of a Water Resource Project, *Water Resour. Res.*, Vol.18, No.3, pp.476~482, 1982.
 - 28) Driesen, T.S.H. and Tijs, S.H. : Semiconvex Games and the τ -value, Rep. 8228, Dept. of Math., Catholic Univ., Nijmegen, The Netherlands, 1982.
 - 29) Driesen, T.S.H. : Properties of 1-convex n -person Games, *Oper. Res. Spektrum*, Vol.7, pp.19~26, 1985.
 - 30) 岡田憲夫：費用割振り問題の理論的考察一費用関数の構造に着目して一, 鳥取大学工学部研究報告, 第21巻, 第1号, pp.203~211, 1990.
 - 31) Kim, H.Y. and Clark, R.M. : Economies of Scale and Scope in Water Supply, *Regional Science and Urban Economics*, Vol.18, pp.479~502, 1988.
 - 32) 岡田憲夫・錦織 敦：ゲーム理論を用いた環境負荷量配分モデルに関する研究, 土木計画学研究・論文集, No.3, pp.65~72, 1986.
 - 33) Kilgour, M.M., Okada, N. and Nishikori, N. : Load Control Regulation of Water Pollution : An Analysis Using Game Theory, *Journal of Environmental Management*, Vol.27, pp.179~194, 1988.
 - 34) 岡田憲夫・M.M. Kilgour：水資源配分問題のコンフリクト分析一環境負荷量配分のゲーム論的アプローチ, 地域学研究, 第18巻, pp.113~124, 1988.
 - 35) Okada, N. and Mikami, Y. : A Game-Theoretic Approach to Acid Rain Abatement-Conflict Analysis of Environmental Loads, Reports of the Faculty of Engineering, Tottori University, Vol.20, No.1, pp.127~139, 1989.
 - 36) Mirman, L.J., Samet, D. and Tauman, Y. : An Axiomatic Approach to Allocation of a Fixed Cost through Prices, *Bell Journal of Economics*, Vol.14, pp.139~151, 1983.
 - 37) Mirman, L.J., Tauman, Y. and Zhang, I. : Supportability, Sustainability and Subsidy-free Process, *Rand Journal of Economics*, Vol.16, pp.114~126, 1985.
 - 38) Ramsey, F. : A Contribution to the Theory of Taxation, *Economic Journal*, Vol.37, pp.47~61, 1927.
 - 39) Spulber, D.F. : Second-Best Pricing and Cooperation, *Rand Journal of Economics*, Vol.17, pp.239~250, 1986.
 - 40) Aumann, R.J. and Shapley, L.S. : *Values of Non-Atomic Games*, Princeton Univ. Press, 1984.
 - 41) 土木学会 (編)：6.4 財源政策, 第4版・土木工学ハンドブック, II, p.2485, 1989.

(1991.6.6 受付)