

多目的ダム事業の費用割り振り問題に関する研究

—系譜と展望—

谷本 圭志・岡田 憲夫*¹

社会開発システム工学科・*¹京都大学防災研究所

Review and a Research Perspective of Cost Allocation Problem

in Multi-purpose Reservoir Developments

Keishi TANIMOTO, Norio OKADA*¹

Department of Social Systems Engineering, Faculty of Engineering
Tottori University, Tottori 680-8552, Japan

*¹Disaster Prevention Research Institute
Kyoto University, Uji 611-0011, Japan

Abstract: Multi-purpose Reservoir Development is joint project including multiple users. Thus how to allocate the joint cost amongst the users is critical problem. In this study, we show some problems in cost allocation which the multi-purpose reservoir development faces, and propose how to deal with them in terms of game theory with reviewing associated researches.

Key words: Cost Allocation, Conflict Analysis, Game Theory

1. はじめに

近年、公共事業に対して様々な批判が向けられている。その主な主張には、計画手法の見直しや意思決定過程の透明化、決定基準の客観化、推進体制の効率化などがあり、従来の公共事業を支えてきた技術や制度について、それらの再構築や改善を求めるものである。このような世論の高まりが見られるのは、これらの技術（制度も社会システムを円滑に動かしていくための技術と考え、ここで言う技術に含める）が確立した当初に比べて現在の社会の状況が著しい変化を遂げた結果として、当の技術自身が実態に即した形で社会貢献できなくなっていることが一つの大きな原因であると考えられる。このような現状を踏まえ、個々の技術に対するの必要性、妥当性、効率性などといった様々なレベルでの再評価、すなわち一種の技術評価 (technology assessment) の実施が社会的な要請となっている。

一方、今後の社会の動向を見ると、国際協力や地域連携などに代表されるように、厳しい資源制約のもとで効果を高めかつ効率性の向上を図ることを目的として多種多様な主体が一つの政策や事業を実施する形態の増加が見込まれている。これは、国際的な観点から

は平成9年のCOP3で採択された京都議定書、国内的な観点からは平成10年に発表された新たな全国総合開発計画に「地域連携軸の展開」が謳われていることから明らかに見て取れる。しかし多くの主体が連携するということは、同時にこれらの主体間で複雑な利害対立 (コンフリクト, conflict) が生じる可能性が高まっている事を意味する。従って、このような社会の動向を支援していくための技術として、コンフリクトの調整技術がますます重要となってきた。

このような主体間でのコンフリクトを調整する技術を古くから有し、また実際に解決に当たることによって事業の実施可能性を確保してきた事業として多目的ダム事業がある。この事業は性格の異なる多様な主体の参加を前提とした共同事業であり、これら全ての主体のコンフリクトを調整することなしには事業の実施そのものが不可能となる可能性がある。中でも費用割り振りに関するコンフリクト、すなわち共同事業費をどのように各主体に割り振るかは大きな問題であり、その調整問題は決定的に重要な課題である。この問題は費用割り振り問題 (cost allocation problem) と呼ばれている。この問題を解決するための重要な技術として費用割り振り制度及びその制度に定められている費用割り振り法がある。

このように、多目的ダム事業は他のどの事業にも増して古くから費用割り振りに関するコンフリクト調整技術が必然的に求められてきた。よって、費用割り振り問題に関する豊富な経験と蓄積を有しているという意味で、多目的ダム事業は先進的な事業であると言っても過言ではない。

我が国の多目的ダム事業の費用割り振り制度は、これまで幾度かの改正を経て現在「特定多目的ダム事業法」に引き継がれている。その法律に基づいて現在定められている費用割り振り法は、昭和42年に制度化された分離費用身替わり妥当支出法[1]であり、以来長年に渡って供用されている。また、この費用割り振り法の適用が著しく不適當であると認められる場合においては、優先支出法やその他の方法などの制度的工夫が設けられており、柔軟な対応が可能となっている。

しかし、このように経験的に有用と認められている制度であるとは言え、制定当初から長い年月が経過しており、現在多目的ダム事業が社会的に要請されているニーズに対してどこまで適切に応えうるかは未だ明確に検証されていない。つまり、従来の緊務であった水資源の量的確保と安定的供給のみならず、その質的な側面や水のもつ親水的な機能や周辺環境への配慮に関してニーズが高まっているが、これらは制定当初に想定していなかった変化であり、このような現実に対してこれまで慣用的に用いられてきた現行の方法がどこまで対応できるかが問われることになる。

この問題の事業における実際の、具体的な変化が、これまで想定されていなかった新たな主体の事業への参加である。その主なものがダム湖の親水性を活用したレクリエーション主体や、濁水の一時的な貯水、維持流量の確保などを目的とした環境対策の主体などである。これらの主体の参加を想定した場合、現行の制度が暗に前提としていた点について必ずしも整合しない状況が発生する可能性が考えられる。本研究では、このような新たな主体の参加という社会的な要請に対して現行の制度及び費用割り振り法が抱える問題点を整理するとともに、これらの問題点に対して現行の方法がどこまで適用可能か、またその拡張可能性についての検討の方向について述べる。また、その検討に当たっては協力ゲーム理論を用いた検討が有効であることを示す。

2. 新たな主体が参加する場合の費用割り振り問題

2.1 現行の制度が抱える問題点

現行の費用割り振り制度では事業に参加する主体に関して同等性、対等性が認められる状況を暗に想定している。しかし、レクリエーション主体や環境対策の

主体などの新たな主体の参加を想定した場合、具体的には以下の点での同等性、対等性が必ずしも満たされないことが考えられ、現行の制度の対応可能性が問われることになる。

- 劣加法性など一種の規模の経済性が成立するような費用の算定条件が全ての主体について満たされる。
- 各主体の費用と機能水準(=便益)は容量と対応している(例えば治水安全度や利水安全度は容量と対応する)。各主体の容量が決まればその容量に対応した費用が算出されるため、容量配分が決定された時点で実は費用割り振りも同時に決定されている。
- 各主体の事業に関する優先度は同等である。ここで言う優先度には、緊急性や順序依存性の概念が考えられるが、何れの場合も主体間に差異はない、もしくは無視しうる程度に微小である。
- 各主体(提携)の費用はその他の主体及びその主体がどのような提携を組んでいるかに依存しない。すなわち外部性は存在しない。よって、各主体の所期の機能水準は当該主体自身で確保することができる。

実はこれまでも主体に関する同等性、対等性を厳密に確保することについて困難に直面してきた経緯があり、それに対しては制度上の様々な工夫によって表面的には確保してきた。しかし、上述のように新たな主体の参加が見込まれる以上、このままつぎはぎの形で制度を改良していくよりは、これまで慣用的に用いられてきた方法の適用可能な範囲がどこまでかを明確に示すことが第一に重要である。

また、優先支出法などの分離費用身替わり妥当支出法の代替的な方法と位置づけられてきた方法が、その適用のニーズが高まっているにもかかわらず実は適用の実績がほとんどないことも問題として指摘すべきであろう。このように、現行の費用割り振り制度のもとで適用の道が開かれている方法についてどこまで新たな主体の参加に対応できるかの評価が求められる。

さらに、現行の制度で適用可能でないと判定される場合については、直面している問題に対応すべき新たな費用割り振り法の基礎的な検討、準備が今後の円滑な事業実施にとって必要不可欠と考えられる。

2.2 費用割り振り問題と協力ゲーム理論

費用割り振り問題は、各事業主体が共同事業に参加していることに合意しているものの、共同事業に係わる費用をどのように割り振るかというコンフリクトに

直面している。このコンフリクトは費用の割り振りに関するゲーム（これを費用割り振りゲームと呼ぶ）と見ることができ、ゲーム理論を用いた検討の意義がここにある。

ゲーム理論は一般的なテキスト [2],[3] に見られるよう非協力ゲーム理論 (non-cooperative game) と協力ゲーム理論 (cooperative game theory) に大別される。これらの違いはプレイヤー間の協力を前提とするかしないかにあり、前提としないゲームを非協力ゲーム、前提とするゲームを協力ゲームと呼ぶ。

非協力ゲーム理論は個々のプレイヤー (=ゲームに参加する主体や組織) に関する意思決定のレベルでゲームを分析する理論であり、その意思決定の帰結としてナッシュ均衡解やシュタッケルベルグ均衡解などの様々な解概念が提案されている。一方、協力ゲームはプレイヤーの提携レベルでのゲームを分析する理論であり、プレイヤー間の交渉 (bargaining) による帰結としてどのような資源配分が達成されるかに関心を置いている。

多目的ダム事業では、事業に参加する各主体はゲームのプレイヤー (player) であり、これらのプレイヤーの間に共同事業を実施するという協力関係が前提となって共同費用の割り振りに関する交渉を行う状況と見ることができることから、費用割り振り問題は協力ゲーム理論の枠組みで分析することができる。

協力ゲーム理論では、効率的にかつ公平な資源配分を達成するための規範を与えており、費用割り振り法のアセスメントを実施し、適用性を評価する上での準拠点となりうる。また、新たな費用割り振り法の開発に際しても、その理論的根拠を協力ゲーム理論に求めることにより既往の様々な方法の拡張として割り振り法を検討することができ、単に ad hoc な方法の開発にとどまらず既往の研究蓄積に立脚した提案を可能にすると考えられる。

協力ゲーム理論において具体的に提案されている費用割り振り法としては、仁 (Nucleolus) [4] やシャプレイ値 (Shapley Value) [5] などがあるが、これら各々について割り振りの規範が明確であり、理論的な整合性が保証された方法である。しかし、程度の差こそあれ、これらはいずれも割り振り計算の煩雑性に起因する適用上での簡便性、割り振り法そのものに関する理解の容易さについては難点があり、その分実用性が低いと考えられる。逆に、現行の多目的ダム事業で実際に用いられている慣用的な費用割り振り法は、理論的な整合性については必ずしも明確でないものの、実用性については協力ゲーム理論に基づく方法を上回る利点がある。その意味で、協力ゲーム理論に基づく方法と慣用的な方法とは、利点短点について見れば、補完関係にあると言える。

よって、今後も実際に用いられる方法は基本的には慣用的な方法であると考えることができ [6]、以降本研究では慣用的な方法の実用性を肯定する立場から上に述べた4つの問題点に対して協力ゲーム理論に基づいた研究のアプローチについて整理する。

3. 費用割り振り問題のゲーム論的検討

3.1 慣用的費用割り振り法の評価に関する検討

我が国の費用割り振り制度において基準方式として位置づけられている費用割り振り法が「分離費用身替り妥当支出法 (Separable Alternative Costs Justifiable Expenditures method) [1]」である。この方法は、1930年代にアメリカのTVA委員会が始まった多目的ダム事業の費用割り振り法の検討の結果、最終的に採択された方法であるSCRB法 (Separable Costs Remaining Benefit method) [7]に改良を加えたものである。

この分離費用身替り妥当支出法を中心とした慣用的な費用割り振り法は、実用性の観点など利点を有するものの、便宜的で ad hoc であるとの批判もある。そこで、これらの慣用的な方法がどのような条件のもとで適用が可能かを評価する方法を提案することが求められる。慣用的な方法の適用可能性は上に述べたように協力ゲーム理論における規範に求めることができるため、慣用的な方法と協力ゲーム理論に基づく費用割り振り法の関係を調べることにより適用可能性を判定しうると考えられる。

このように、慣用的な費用割り振り法と協力ゲーム理論に基づく方法との関係という観点からアプローチした研究としては、Suzuki *et al* [8], Young *et al* [9], Driessen *et al* [10],[11], 森 [12], 岡田 [6] の研究例がある。特に鈴木 [13] は慣用的費用割り振り法と協力ゲーム理論の方法による解の一致性という興味深い知見を得ている。

例として、ある費用関数のもとでの費用割り振り解を以下の表に示そう。ここに、 $C(S)$ は任意の提携 S の費用、 x_i は任意の主体 $i (= 1, 2, 3)$ の割り振り費用を示している。ここでは、費用割り振り法や費用関数の定義についての詳細は省略するが、慣用的費用割り振り法 (表の「慣用法」) と協力ゲーム理論に基づく方法 (表の「ゲーム理論的方法」) の解が実際に一致していることが分かる。これを表中では、*, ** で示している。一致性が生じているということは、慣用的な費用割り振り法に協力ゲーム理論における理論的な意味付けがなされることを意味している。すなわち、一致性が生じていることが適用可能であること、また一致性が成立するための条件が適用可能な範囲であると解釈でき

表1 費用割り振り解の例

慣用法		x_1	x_2	x_3
*	SCRB法	6.1	5.1	4.8
**	ENSC法	5.6	4.7	5.7
ゲーム理論的方法		x_1	x_2	x_3
	仁	6.0	5.0	5.0
**	弱仁	5.6	4.7	5.7
*	相対仁	6.1	5.1	4.8
*	NSCG法	6.1	5.1	4.8

$C(1) = 10$ $C(2) = 9$ $C(3) = 7$
 $C(1,2) = 13$ $C(1,3) = 14$ $C(2,3) = 13$
 $C(1,2,3) = 16$

る。

このように、慣用的費用割り振り法と協力ゲーム理論に基づく方法との一致性に着目することで、慣用的費用割り振り法の適用可能性を評価することが可能となる。また、そこで得られた条件は費用関数の条件で与えられると考えられ、上に述べたような費用の算定条件の下での適用可能性について吟味することができる。また、適用可能な条件は実際の多目的ダム事業で得られる貯水容量と費用の関数と何らかの関係があると考えられ[14]、この関数と適用可能性との関係を明らかにすることで、実際的な文脈での判定が可能になる[15]。

3.2 貯水容量をもたない主体が参加した場合の慣用的費用割り振り法の適用可能性に関する検討

ダムは山間の溪谷に建設することが一般的であることから、ダムの規模を大きくするとそれ以上に貯水容量が大きくなると考えられる。このことは、V字谷にダムを建設することを考えると容易に理解されよう。従って、既往のダム事業に一種の規模の経済性が認められていたのは、実は貯水容量をベースとした費用の算出が根拠となっていたと考えられる。

しかし、レクリエーション主体などは治水や利水などの従来の主体と異なり、必ずしも自らが確保する貯水容量は存在しない。このような貯水容量と対応しない主体が事業に参加した場合についての費用の算出条件を明らかにするとともに、その条件下での現行の費用割り振り法の適用可能性を吟味する必要がある。

ところが、その適用可能性を吟味するために開発した3.1の方法論は、あくまで「貯水容量と費用の関数で判定しうる」評価方法であり、貯水容量をもたない主体が事業に参加する場合にはこの方法をそのまま適用することができない。貯水容量を有していない主体

と有している主体による提携の費用はそれぞれ異なった値をとる一方で、その提携の貯水容量は同一である。従って、貯水容量と費用の関数は一般には連続的な一価関数であるが[14]、貯水容量を有していない主体を含めた場合のそれは不連続な二価関数となる。よって、このような特殊な関数のもとで3.1の方法論を拡張することが必要となる。

3.3 主体間の優先度の差異を考慮した費用割り振り法の開発

レクリエーションや環境対策の主体が事業に参加する場合の特徴として、事業に関する優先度(=主体が順番に事業に参加することを想定した場合の参加順序)の差異が著しく大きくなる場合がある。例えばレクリエーション主体は、単独でレクリエーション主体のダムを建設するといったことは考えにくい。むしろ、治水利水など他の基幹的の主体がダム事業に参加することを前提として初めて、付加的に参加すると考えることが現実的であろう。このため、レクリエーション主体は、治水、利水な主体などの目的を持つ主体に比べ相対的に優先度が低いと考えられる。

また、別の優先度の問題として事業に対する緊急性がある。開発に適した良好なサイトが減少している現在においては、限られた土地をいかに有効に利用するかが課題となろう。従って、ダム計画においては、より長期的な展望をもつ必要がある。すなわち、現在における需要が顕在化していない主体であっても、将来需要を見越して現時点でのダム事業に含めておくことが不可欠となってこよう。よってこのような場合には、主体間に現時点でのダム事業に対する緊急度の差が生じていることになる。緊急度の高い主体ほど、その事業に対する優先度は高いと考えられる。

いずれの優先性にしろ、主体間での差異が著しく大きく認められる場合には、その差異を反映した費用割り振り法の検討が求められることになる。現行の費用割り振り制度では優先支出法などの適用が認められているものの、その適用については経験が不足しており、その有用性には疑問が生じる。従って、その適用に関する問題点について整理するとともに、その方法を改善するための基礎的な検討が必要となる。

協力ゲーム理論において主体間の優先度を明示的に考慮した公正配分解は存在しないが、優先性を考慮した方法として拡張可能と考えられる方法としてシャプレイ値(Shapley value)[5],[16]がある。シャプレイ値は全提携 N (=共同事業体)を形成する過程として、参加者が誰もいない状況から出発して、各主体が順次提携を結んでいき、提携規模を拡大して最終的に全提携 N に至る状況、すなわち主体が順番に事業に参加する

状況を想定している。

シャプレイ値は、主体が順番に事業に参加する過程に関する確率情報を必要とするため、有用な確率情報が得られない場合にはその適用が困難になると考えられる。そこで、確率情報を用いずに割り振り解を得る方法として、コア[17]に基づく公正配分分解である仁[4]を拡張することが考えられる[18]。

3.4 外部性を考慮した費用割り振り法の開発

環境対策の主体がダム事業に参加した場合の特徴として、「環境に関する費用は他の主体（提携）及び提携構造（＝提携の組まれ方）に影響を受ける」状況、すなわち外部性が不可避免的に発生する。

ここに、当該主体に影響を及ぼす要因に着目すると「外部性」には「提携の間での外部性」と「提携構造の間での外部性」の二つの側面があると考えられる。

提携の間での外部性 ある提携の存在そのものが他の提携に影響を及ぼす性質を指す。つまり、ある提携構造に着目した時にその提携構造に含まれる当該提携の費用が他の提携によって影響を受ける状態であり、公共経済学で一般に扱われている「外部性」である。この外部費用を誰に帰すかは社会制度や各事業でのルールによる。例えば、環境権が認められた制度の下では環境を損なった原因者に外部費用を帰すことになり、（環境権の対義語としての）開発権が認められた制度の下では環境自身に外部費用を帰すことになる。

提携構造の間での外部性 提携構造のパターンの変化が当該提携に影響を及ぼす性質を指す。ゲーム理論で定義する外部性（spillover）は一般にこの外部性を指している[19]。

よって費用割り振りの際に考慮すべきは「提携構造の間での外部性」であり、「提携構造の間での外部性」を考慮した公正配分概念についての拡張を検討する必要がある。以降、「外部性」とは「提携構造の間での外部性」を指すものとする。

そこで、外部性のあるゲームをいかに表現するかが問題となる。外部性を表現するためには提携構造を考慮する必要があるが、伝統的な協力ゲーム理論では任意の主体（提携）の費用は当該提携のみの関数で与えられるため外部性は表現しえない（例えば任意の提携 S の費用は $C(S)$ のように表される。この関数形は提携関数形と呼ばれている）。任意の主体（提携）の費用を当該提携と提携構造の関数として表現することができる関数形として分割関数形（partition functional form）[20]がある。分割関数を用いると、任意の提携構造 B のもとでの任意の提携 S の費用は $C(S, B)$ のように

表される。

分割関数を用いた既往の研究例としては、提携の自発的な形成問題に関心とした研究[21],[22],[23]に見られるものの、そこでの関心はあくまである割り振り法を与えた時に形成される提携であり、割り振り解の特性についての基礎的な検討は行われていない。

また、費用割り振り法の分割関数形への拡張を試みた研究は数は少ないものの、シャプレイ値を対象の検討例[24]や、コアを対象とした検討例[23]がある。しかし、それらの相互関係やその適用性について十分な検討はなされていない。このため、これらの解について比較分析を行うなど解の特性について把握するとともに、これらの方法に欠けている規範を補った新たな費用割り振り法を開発する研究への発展が必要になる。

4. おわりに

本研究では、現在の多目的ダム事業が直面する社会的な要請を踏まえた上で、今後想定される費用割り振り問題とその問題への取り組みのアプローチを概説した。ここで示したように、現行の制度や方法に関する適用可能な範囲を明示するとともに、その拡張についての基礎的な検討を行い、想定される問題に対して準備をしておくことが今後の円滑な事業の実施に貢献するものと考えられる。また、ここで提示した問題の構造は必ずしも多目的ダム事業固有のものではなく、複数の主体から構成される共同事業について共通的に見られるものと考えられる。したがって、ここでの検討アプローチを他の事業へ応用していくことが一つの課題として考えられる。

その際、対象とする事業によっては、費用のみならず便益も含めた割り振りや共同事業の規模をも変更する費用割り振りのスキームの検討など、各事業の特性に応じた様々な形への拡張が求められることになろうが、本研究で示した検討はこれらの基礎となるものであり、有効な視座を与えうるものと考えられる。

参考文献

- [1] 堀 和夫：多目的ダムの計画と調査，全建技術シリーズ第21巻，社団法人全日本建設技術協会編，pp.142-169，1981。
- [2] 岡田 章：ゲーム理論，有斐閣，1996。
- [3] 鈴木光男：新ゲーム理論，劉草書房，1994。
- [4] D. Schmeidler：The Nucleolus of a Characteristic Function Game，SIAM, Journal of Applied Mathematics 17, pp.1163 ~ 1170, 1969。
- [5] Shapley, L. S.：Cores of Convex Games, Int. J. Game Theory, Vol. I, pp.11-26, 1971。
- [6] 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.1 ~ 19, 1991.
- [7] Federal Inter-Agency River-Basin Committee : Proposed Practices for Economic Analysis of River Basin Projects, Technical Report, Washington D.C., 1950.
- [8] Suzuki.M and M. Nakayama : The Cost Assignment of the Cooperative Water Resource Development : A Game Theoretic Approach, Management Sci., Vol.22, pp.1081-1086, 1976.
- [9] Young, H. P., Okada, N. and Hashimoto, T. : Cost Allocation in Water Resources Development, Water Resources Research, Vol.18, pp.463-475, 1982.
- [10] 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.
- [11] Driesen, T.S.H. and Tijs, S.H. : Semi-convex Games and the τ -value, Rep. 8228, Dept. of Math., Catholic Univ., Nijmegen, The Netherlands, 1982.
- [12] 森 統 : 費用配分法の考え方, 展望, 日交研シリーズ, A-129.
- [13] 鈴木光男 : 費用分担ゲームの解, 数理科学, No.256, 10月号, pp.63-68, 1984.
- [14] 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, 東京大学博士論文, 1992.
- [15] 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, 1995.
- [16] Loehman, E., Orlando, J., Tschirhart, J. and Whinston, A. : Cost Allocation for a Regional Wastewater Treatment System, Water Resources Research, Vol.15, pp.193-202, 1979.
- [17] Gillies, D. B. : Solutions to General Non-zero-sum Games, in: Contributions to the Theory of Games IV, R.D.Luce, and A.W.Tucker eds., Annals of Mathematics Studies, No.40, pp47-85, Princeton, 1959.
- [18] 岡田憲夫, 谷本圭志, 榊原弘之 : 水資源開発事業における優先支出法のゲーム論的考察, 土木学会論文集, No.555/IV-34, 1997.
- [19] Bloch, F. : Non-cooperative models of coalition formation in games with spillovers, New Directions in the Economic Theory of the Environment, Edited by C. Carraro and D. Siniscalco, Cambridge, 1997.
- [20] Thrall, R. and W. Lucas. : N-Person Games in Partition Function Form, Naval research Logistics Quarterly, 10, 1963.
- [21] Aumann R.J., and Dreze, J. : Cooperative Games with Coalition Structures, Int. J. Game Theory, Vol.3, pp217-237, 1974.
- [22] Shenoy, P. : On Coalition Formation : A Game Theoretical Approach, International Journal of Game Theory, 8, 1979.
- [23] Hart, S. and M. Kurz. : Endogenous Formation of Coalitions, Econometrica, 51, 1983.
- [24] Myerson, R.B. and Evanston : Values of Games in Partition Function Form, Int. J. Game Theory, Vol.6, pp.23-31, 1977.

(受理 平成10年8月24日)