

ダム更新整備プロジェクトにおける 純便益配分問題に関するゲーム理論的考察

榊原 弘之¹・岡田 憲夫²

¹ 正会員 工修 山口大学助手 工学部社会建設工学科 (〒755-8611 山口県宇部市常盤台 2557)

² 正会員 工博 京都大学教授 防災研究所 (〒611-0011 京都府宇治市五ヶ庄)

ダム更新整備プロジェクトにおける純便益配分法について、ゲーム理論を援用した考察を行う。ダム更新整備プロジェクトは、既存の事業者が既に存在しているサイトに新規の事業者が参加する点で、新たに多目的ダムを建設する場合よりも費用及び便益の配分に関する問題は複雑である。本論文では、この既存、新規事業者間の立場の相違をサイト所有者に対する許可構造の有無として解釈し、その構造を反映させた純便益配分法の提案を行う。次に、既存事業者の優位性を制約するためのルールとして、利用権に時間的制限を設定する方式を考え、その有効性について分析する。

Key Words: reservoir renewal projects, net benefit allocation, game theory, permission structure, vested interests

1. はじめに

多目的ダム事業は、河川管理者と水道事業者、電力事業者等が各事業者の有する目的（治水による地域の安全性の確保、上水道、電力の供給など）を達成するために、共同でダムを建設・管理する事業である。異なった目的を有する各事業者（以下では主体と呼ぶ）が、主体単独ではなく共同でダムを建設することを選択する理由としては、ダムの規模拡大による建設費用の節減が挙げられる。一般に、ダムの規模が大きくなり堤体が高くなるほど、貯水池の水面の面積が大きくなることから、堤体の規模当たりの貯水容量が増大し、多目的ダムの方が単位貯水容量当たりの費用が節減されることが期待される。

多目的ダムの計画においては、節減された費用を各主体にどのように配分するかという「費用配分問題」が事業の実施上重要な問題として扱われ、各種の費用配分法が提案されてきている^{1),2)}。そこでは、事業の成立を前提としつつ、各主体が独自に同一サイトにダムを建設して同一水準のサービスを供給した場合の費用（「身替り費用」と呼ばれる）を交渉力として配分費用を決定している。その代表的なものに分離費用身替妥当支出法（SCRB法）が挙げられる³⁾。また、多目的ダムを含む水資源開発共同事業の費用配分問題に協力ゲーム理論を適用する研究も数多く報告されている^{4),5),6),7)}。協力ゲーム理論は、

主体の協力を前提とし⁸⁾、協力によって実現された利得の配分を決定する理論解を与える。すなわち最終的に各主体が協力すること（効率性の成立）を前提とした上で、各主体の交渉力を反映した（公平性の成立）配分解を見出す理論である。その際、各主体が独自に行動した場合を想定し、そのときに実現された利得を各主体の交渉力として規定している。岡田¹⁾は、共同事業の費用配分問題は、総節約額（総利得）の配分問題と等価であることに着目すれば、協力ゲーム理論の配分解は費用配分問題の理論解となることを示している。

一方、近年その必要性が高まっている既存ダムの「更新整備プロジェクト」は、ダムを「既に利用している主体」と、「新規に参入する主体」の間でコンフリクトの調整を行い、ダムの用途や規模を一部変更するものである。この更新整備プロジェクトにおいては、ダムを既に利用している主体と、新規に参入しようとする主体の間に、既得権の有無に起因する立場の強弱が存在するため、従来の費用配分方式をそのまま適用するには問題が多い。すなわち、各主体が独自に対等の立場で同一サイトにダムを建設した場合の費用（あるいは節約額）を交渉力とするこれまでの費用配分（あるいは節約額配分）の想定では、このような既存の利用者（主体）と新規に参入する主体の立場の差を適切に反映することができない。

本論文の着眼点は、この点をどのように克服するかにある。まず第2章において、純便益（事業の便益と費用の差）配分問題を既往の協力ゲーム理論^{9),10)}の知見に基づいて定式化し、従来の多目的ダム事業における費用配分問題が各主体の供給するサービス水準が常に一定とした場合の純便益配分問題と同値であることを示す。次にダム更新整備プロジェクトにおいては、サイト利用の排他性、供給サービス水準の変異等により純便益配分問題を費用配分問題に変換するのは困難であり、費用のみでなく便益をも考慮した配分スキームが必要なことを示す。第3章においては純便益配分においてダムサイトの所有権や利用権を明示的に考慮するために、サイトの所有者を協力ゲームに参加する主体として組み入れたモデルを提案する。その上で既存の利用者と所有者との間の一種の従属関係を構造的に規定した純便益配分法を提案する。この配分法は、Gilles *et al.*¹¹⁾ が一般化された状況において定義した「許可構造を持つ協力ゲーム」を既存事業者の利用権という具体的な権利構造に適用したものである。さらに利用権を規定する制度の変更が配分問題に与える影響をモデル化する。最後に第4章では本論文で得られた知見を整理する。

2. ダム更新整備プロジェクトと純便益配分

(1) 多目的ダム事業における配分問題

水資源開発共同事業では、協力関係の成立によって増加した利得を主体間でどのように配分するかという問題が発生する。ここでは事業の純便益を利得とみなすこととする。事業成立のためには、純便益配分に関するコンフリクトを調整し、関係各主体が受け入れられるような純便益配分方式を示す必要がある。

純便益配分問題は一般に協力ゲーム理論を用いて以下のように定式化可能である^{9),10)}。まずプロジェクトに参加している任意の主体を i とし、全主体の集合を $N = \{1, 2, \dots, n\}$ で表わす。また提携を次のように定義する。

定義 2.1 提携

N の任意の部分集合を提携と呼び、これを S で表わす。

全主体 $\{1, 2, \dots, n\}$ の含まれる提携 N を全提携、主体 i のみからなる提携 $\{i\}$ を単独提携と呼ぶ。次に特性関数を以下のように定義する。

定義 2.2 特性関数

提携 S が他の協力を得ずに最低限得ることができる利得の値を特性関数 $v(S)$ として定義する。特性関数

は提携の関数として与えられる。

特性関数は、提携が自力で得ることができる利得の大きさを意味する。新規に開発する（従来型の）多目的ダム事業においては、同一サイトに当該提携がダムを建設した場合の純便益の値を特性関数値として用いることができる。主体 i が提携 $S(i \in S)$ による事業において得ることができる便益を $b_S(i)$ 、提携 $S(i \in S)$ による事業において必要な費用を $C(S)$ （これを費用関数と呼ぶ）とすれば、特性関数 $v(i)$ 、 $v(S)$ 、 $v(N)$ は次のように与えられる。

$$v(i) = b_{\{i\}}(i) - C(\{i\}) \quad (2.1)$$

$$v(S) = \sum_{i \in S} b_S(i) - C(S) \quad (2.2)$$

$$v(N) = \sum_{i \in N} b_N(i) - C(N) \quad (2.3)$$

主体の集合 N と特性関数 v により表現されたゲーム (N, v) を、特性関数形ゲームと呼ぶ。

$v(N) > \sum_{i \in N} v(i)$ が成立するとき、そのゲームは「本

質的」であると呼ぶ。また、任意の部分提携 S, T について、 $v(S) + v(T) \leq v(S \cup T)$ が成立するとき、その特性関数は「優加法的」であるという。特性関数に優加法性が成り立つ場合、提携規模、すなわちプロジェクトに参加する主体の数が多いほど、プロジェクトの効率性は高まる。次の条件を満たす

$Y = \{y_1, y_2, \dots, y_n\}$ (y_i は主体 i に配分された純便益) をゲームの配分と呼ぶ。

$$\text{全体合理性} \quad y_1 + y_2 + \dots + y_n = v(N) \quad (2.4)$$

$$\text{個人合理性} \quad y_i \geq v(\{i\}) \quad (\forall i \in N) \quad (2.5)$$

式(2.4), (2.5)を満足する配分は一般に複数存在する。

協力ゲーム理論の配分解に、コア⁹⁾の概念をベースとした仁^{12),13)}がある。コアとは、全体合理性(式(2.4))及び個人合理性(式(2.5))の他に、次式で定義される集団合理性も満足する配分の集合である。

$$\text{集団合理性} \quad \sum_{i \in S} y_i \geq v(S) \quad (\forall S \subseteq N) \quad (2.6)$$

またシャプレイ値¹⁴⁾は次のように定義される。ただし N に含まれる主体の数を n 、 S のそれを s で表す。

$$y_i = \sum_{S \subseteq N} \frac{(s-1)!(n-s)!}{n!} [v(S) - v(S - \{i\})] \quad (2.7)$$

また主体 i の負担額は帰着便益と配分値の差であるから、 $b_N(i) - y_i$ となる。シャプレイ値では全提携 N を形成する過程において、各主体の任意の (n) 通りの参加順序を考慮する。3人ゲームであれば6通り、4人ゲームならば24通りの参加順序が想定

される。各主体には、(部分)提携に最後に参加した際の特性関数の増加分を割り振る。このようにして各主体に割り振られた値を場合数(3, 4人ゲームならばそれぞれ6, 24)で割って単純平均した解がシャプレイ値である。特性関数が優加法的な場合、シャプレイ値は式(2.4), (2.5)を満足し、配分解となる。また $b_S(\{i\})$ が S に関わらず $b_N(\{i\})$ に等しければ、式(2.2)より特性関数は全提携における各主体への帰着便益を暗に考慮していると考えることができる。

以上の既往の純便益配分問題の定式化をもとに、ある条件下では純便益配分問題を事業費用の配分問題に変換可能であることを示す。主体 i の便益が提携に関わらず $b_N(\{i\})$ に等しい場合を考える¹。特性関数が優加法的な場合、式(2.4), (2.5)を満足する次のような配分が存在する。

$$y_i = b_N(\{i\}) - x_i \quad (2.8)$$

ここで

$$\sum_{i \in N} x_i = C(N) \quad (2.9)$$

$$x_i \leq C(\{i\}) \quad (\forall i \in N) \quad (2.10)$$

このとき $X = \{x_1, x_2, \dots, x_n\}$ を費用の配分と呼ぶ。 x_i は純便益配分 $Y = \{y_1, y_2, \dots, y_n\}$ に基づいて主体 i が負担する額を意味する。(2.9), (2.10)式はそれぞれ費用配分における全体合理性、個人合理性を規定している。従ってこのとき純便益配分問題と事業費用の配分問題は相互に等価である。よって主体の便益が提携規模に関わらず一定な場合、 $b(\{i\})$ の大きさを考慮しなくとも、事業費用の配分のみで多目的ダム事業の純便益の配分が達成される。一般に便益に比べ事業費用の算定の方がより容易であることから、この場合、費用配分問題に帰着できる配分問題はその分取扱いが容易である。

わが国の新規の多目的ダム事業においては、主として純便益配分ではなく費用配分が実施されている。それが社会的に受容されている理由は、以上のように主体に帰着する便益が常に一定とみなすことに関係者間で同意が成立したためと解釈することができる。具体的な配分法としては、特定多目的ダム法により定められた分離費用身替妥当支出法(SCRB法)³⁾が一般的に適用されている。SCRB法では、主体 i が単独で同一サイトにダムを建設した場合の費用用いる。ダムサイトは本来排他性を有し、ある複数の主体が同一サイトに複数のダムを建設することは不可

$C(\{i\})$ が i の交渉力を規定するファクターとなって能であるが、現行制度においてこの点を無視している。

一方、協力ゲーム理論に準拠した配分法の水資源開発共同事業への適用例についてもいくつか報告されている^{3), 4), 5), 6)}。協力ゲーム理論に準拠した費用配分法では、多目的ダム(複数目的の共同化)による事業費用の節約額を参加主体間で配分していると考えられることもできる。

(2) ダム更新整備プロジェクト

近年、貯水容量配分の見直しや、堤体の嵩上げ、更新による規模の拡大など、既存ダムのより有効な利用を目的とした共同プロジェクトが実施されている。本研究ではこれらを一括して「ダム更新整備プロジェクト」と呼ぶこととする。

ダムの更新整備が必要となってきた背景としては、第一に新規ダムの建設が困難となってきたことが挙げられる。技術的な制約等から、同一流域内におけるダム建設の可能なサイトには限りがあり、さらに後に残されたサイトほど一般に建設費用は割高となる。水道事業者のように、他の流域のダムからの導水が可能の場合もあるが、同一流域のダムの利用に比べ費用は高くなると考えられる。また、治水のように同一流域内のダムでなければ機能を発揮できない主体も存在する。

第二に、水資源開発に対する社会的な要請は、かつての治水・利水中心から、環境に配慮した開発、市民が水に親しむことができるような環境づくり等を含めたより多様なものへと変化してきている。従来から重視されてきた治水・利水にしても、産業構造や都市構造の変化に伴い、都市化が進展した地域における集中豪雨への対応や異常渇水対策といった、従来と異なる要請が生まれてきている。このように変化する社会的要請に対応するために、既存の水資源の利用形態を見直し、場合によっては既存の事業規模を縮小し、新規のより社会的要請の高い用途に振り向ける必要がある。

現在わが国において完成、あるいは計画されているダム更新整備の事例には、堤体を嵩上げするものが多い(これらは行政実務の分野では「ダム再開発事業」と呼ばれる)¹⁹⁾。しかし、後述するケースのように、貯水容量を再配分したり、複数のダムを組み合わせた更新整備も今後増加するものと考えられる。

¹ 主体 i が単独で事業(ダム建設)を実施した場合も、多目的ダム事業に参加した場合も、当該主体(目的)にとってほぼ同一の機能が達成可能であれば、 $b_N(\{i\}) = b_{ij}(\{i\}) = b(i)$ (一定)となる。

² 多目的ダム事業の費用配分制度において $C(\{i\})$ は「身替り費用」と呼ばれる。

複数のダムが関係した更新整備の事例としては、長崎県の長崎水害緊急ダム事業がある¹⁶⁾。長崎市は昭和57年の水害により大きな被害を受けた。そのため市内の中島川、浦上川の治水対策が必要とされたが、流域は上流まで都市化が進み、河川の拡幅も、新たな治水ダムの建設も困難であった。そこで、長崎市水道局が上水道水源として利用していたダムを、洪水調節容量を持つ多目的ダムに転換する計画が立案された。さらに、一部貯水容量の洪水調節容量への用途変更により既存ダムにおいて上水道に必要な水量を確保できなくなることへの対応として、別の水系において不足分の水道用水を確保するとともにそれぞれの流域の治水を目的とした多目的ダムを建設する計画となっている。

(3) ケースの想定

本論文では、ダム更新整備プロジェクトにおける純便益配分問題を考える上で、二種類のケースを想定して分析を行う。これらは、必ずしも行政用語として「ダム再開発事業」と定義されている事業とは限らないが、流域総合開発の一環としてみた広い意味でのダム更新整備プロジェクトに含めることができる。

Case1 発電用ダムの更新整備による環境用水の確保問題 (図-1)

発電用ダムでは、流水の効率的な利用のため、発電用導水路に流水の多くがバイパスされることが多い。その結果、ダムの直下流の流域では、洪水時以外流水がほとんどなくなり、生態系、景観、水質、地下水等への影響が深刻化することがある¹⁷⁾。既存ダムを維持しつつ河川環境への影響を緩和するために、水力発電の規模を縮小し、余剰となった水を河川に放流することが計画されたとする。

ここでは、周辺自治体が、「河川環境」という新たに流域に生じた社会的要請を代表する事業者となることを想定する。発電規模の縮小には代替発電手段の確保等が必要となるため、電力事業者は自治体に対し、ある程度の負担を求める問題を取り上げる。

Case2 水道専用ダムの更新整備と新規ダム建設の併用による洪水調節容量の確保問題¹⁸⁾ (図-2)

次に、先述した長崎水害緊急対策ダム事業を簡略化したケースとして、水道事業者と治水事業者という2人の事業者と、A,B二つのダムサイトを考える。Aには既に水道事業者によって水道専用ダムが建設されている。更新整備が行われる場合、このダムは洪水調節容量を持つ多目的ダムに改築される。一方、Bは更新整備により不足する水道の容量を確保するための新規ダムの建設予定サイトとして

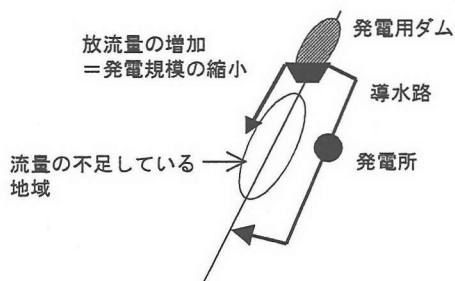


図-1 Case1で想定する更新整備

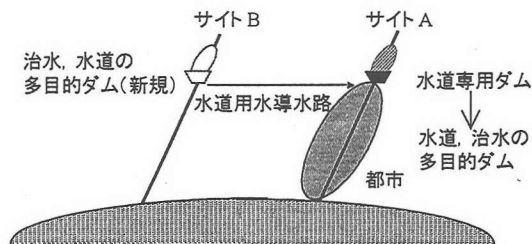


図-2 Case2で想定する更新整備

表-1 プロジェクトの性格の比較

プロジェクト	従来の多目的ダム事業	Case1更新整備	Case2更新整備
サイトの数	単一	単一	複数
サービス水準	固定	可変	固定と可変
新規・既存ダム	新規	既存	新規・既存

想定されている。Case1 との大きな違いは、治水事業者が、水道事業者の協力を得られなくても、Bに治水専用のダムを建設することができる点にある。ただし、サイトBのある河川の流域は人口が少なく、治水(ダムによる洪水調節)の便益がAよりも小さいものとする。

Case1における自治体、Case2における治水事業者は、ともに新たに生じた社会的要請(河川環境の改善や、都市水害への対策)を代表する主体である。以下ではこれらの主体を「新規事業者」と呼ぶこととする。一方Case1における電力事業者、Case2における水道事業者は、既存のダムを現時点で既に利用しており、ダムの更新整備に際して既得権を有していると考えられる。これらの主体を「既存事業者」と呼ぶこととする。既存事業者は、更新整備が実現しなくとも既存のダム利用を継続することが可能な点で、新規事業者よりも強い立場にある。

上記の二つのケース以外にも現実には数多くの更

新整備プロジェクトが展開されていると考えられるが、問題の構造がこれら二つのケースに類似した事例も全国に相当数存在すると推察される。この意味では、これら二つのケースで得られた分析的知見は、それなりに一般性を持つ。

(4) ダム更新整備プロジェクトにおける配分問題

ダム更新整備プロジェクトにおいては、従来の多目的ダム事業における配分問題とはいくつかの相違点が存在する。表-1は、一般の多目的ダム事業と、Case1, Case2のダム更新整備プロジェクトの違いをまとめたものである。具体的には以下のようなものである。

- 先述したように現行の多目的ダム事業の費用配分制度においてはサイト利用の排他性を無視している。新規ダムの場合は各主体がサイトを先に占有する可能性はほぼ同等と考えることができるが、ダム更新整備プロジェクトにおいては既存事業者は既にサイトを占有しており、新規事業者の排除は容易である。従って新規事業者が既存事業者の存在するサイトに単独でダムを建設するという想定は現実性を持たない。
- Case1の自治体、Case2の治水事業者のような新規事業者は、サイトを現在占有している既存事業者の協力が得られない場合、ダム開発に適した「サイトの有限性」により、他のサイトで同等のサービス水準を維持することは極めて困難である。その場合は、新規事業者は供給するサービス水準を下げると考えられる。例えばCase2において水道事業者の協力が得られない場合、治水事業者は防御の対象とする洪水の規模を引き下げざるを得ないであろう。これは $b_s(i)$ の値が提携によって異なることを意味する。この場合、式(2.8)-(2.10)を満足する Y が必ずしも式(2.4), (2.5)を満たすとは限らず、純便益配分問題を費用配分問題に還元することはできなくなる。
- 従来の多目的ダム事業においては、同一のサイトで主体 i が単独でダムを建設した場合の費用をもって $C(i)$ としている。しかし、Case2においては、プロジェクトは複数のサイトにまたがっている。主体単独でダム更新整備と同等の便益が得られるダムを建設する場合、①一方のサイトに単一のダムを建設、②両サイト(A, B)に小規模なダムを併設、の2通りが考えられる。①、②いずれの場合の費用を $C(i)$ とすべきかについては、明確な基準が存在しない。
- Case1の電力事業者、Case2の水道局のような既存の事業者は、既に存在しているダムを利用できるので、今後単独で新たに施設を建設する必要は

ない。つまり、 $C(i)$ は0と考えることができる。

このように、ダム更新整備プロジェクトにおいては、(新規の)多目的ダム事業に比べ主体間の相互関係がより複雑となっている。ダム更新整備プロジェクトにおいては、主体単独での事業に同一サイトかつ同一サービス水準を仮定することは不自然なため、純便益配分問題をより単純な費用配分問題に還元することができない。

そこで本論文では、ダム更新整備プロジェクトにおいて、事業費用のみでなく便益も考慮に入れた純便益配分を導入することを提案する。事業費用に比べ便益の算定は相対的に困難であるが、前述の理由から、ダムの更新整備プロジェクトにおいては純便益配分と費用配分を同等のものみなすことはできず、純便益配分の方が主体の交渉力を正確に反映することが可能と考えられる。

本論文では協力ゲーム理論の解概念⁹⁾のうちシャプレイ値を適用する。式(2.7)から明らかのように、純便益配分ゲームにおいて自らの含まれる提携の特性関数の値が大きい主体は相対的に大きな値の配分を受ける。更新整備プロジェクトでは、既存事業者の相対的優位性などをどのように特性関数に反映させるかが問題となる。なお、本論文におけるプロジェクトの純便益、特性関数、配分値などの値は、すべて単年度あたりの値とする。

3. ダム更新整備プロジェクトにおける既存事業者の優位性を考慮した純便益配分法の検討

(1) ダム更新整備プロジェクトにおける利用権

更新整備の場合に限らず、多目的ダム事業が成立するためには、事業者が利用権(ここでは許可水利権、ダム使用权などを総称する)を取得することが必要である。通常、既存施設を利用している事業者は、既に利用権を取得して(利用権保有者となっている。また事業者が単独で当該施設(及びサイト)を使用している場合、事業者はその施設の所有者でもありうる。そのため一般に事業者(利用権保有者)と所有者(所有権保有者)を分離して考えることはない。また新規のダム建設時において、サイトに何らかの権利を有している者(土地所有者、住民など)は、土地買収や補償の対象として扱われても、事業者とともにプロジェクトを実施する主体とみなすことは少ない。

しかし、事業者、所有者という二種類(利用権保有者と所有権保有者)の主体は異なった形でプロジェクトに貢献する。利用権保有者としての事業者は、

複数集まって事業規模を拡大することができる。前述のように、ダムにおいては、貯水池の規模を大きくすると限界費用が逓減するため、費用を軽減することができる。事業者の貢献は規模の経済性に対する貢献である。一方サイトの所有者（所有権保有者）は、プロジェクト成立に不可欠なサイトを利用に供することに貢献している。

ダムのような施設が既に存在する場合、当該サイトの所有者は、既存事業者の同意（許可）なく他の（新規）事業者を受け入れることはできない。これを既存ダムにおける事業者と所有者の間の許可構造と呼ぶ。ダム更新整備を実行するにあたり、既存事業者は、ダムサイトにおいてこのような許可構造を持つ点で、新規事業者に比べて純便益の配分において有利な立場にあるといえる。

本論文では、既存ダムの有無に関わらず、プロジェクトに参加する主体としてサイト所有者を設定する。事業者と所有者は別の主体であり、目的の達成を図る事業者と、土地及びそれに付随した資源を有する所有者が提携を形成することによって初めてダムのプロジェクトが可能になるとする³。さらに、ダム更新整備プロジェクトの特殊性として、既にダムの存在するサイトにおいて、所有者は、既存事業者の同意なくそのサイトの用途を変更することはできないものとする。言い換えれば、ひとたび（既存）事業者の参入を認めた所有者は、既存事業者を通じてのみ新規事業者との交渉が可能となるとする⁴。

このような許可構造は既存の施設の更新整備に特有のもので、施設が存在していないサイトについては、このような許可構造は存在しない。その場合、所有者（土地所有者、地元自治体など）は、任意の事業者と提携が可能であるとする。一般にダムの存在しないサイトの所有者は多数存在すると考えられるが、本論文では簡略化のために単一の所有者を仮定する。ただし、複数の所有者が存在する場合も、同様のモデル化が可能である。

このように事業者と所有者を別の主体とみなしてモデル化することにより、事業者の開発地点の選択を、協力ゲーム理論における提携の形成問題として

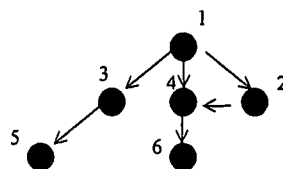


図-3 許可構造の例

表現することが可能となる。また、許可構造の導入により、既に資源を開発、利用している主体の、更新整備プロジェクトにおける立場の優位性（既得権の行使）を明示的に規定した協力ゲームモデルの構築が可能となる。

(2) 許可構造に基づいた設定

a) 許可構造を有する主体の特性関数の設定

(1)において提案した事業者と所有者を別の主体とみなしたモデルにおいて特性関数を設定するにあたり、次のような原則を適用する。

- a 事業者同士のみでの提携は、正の利得を得ることができない。
- b 所有者同士のみでの提携もまた正の利得を得ることができない。
- c 許可構造において、既存事業者に従属する所有者と、他の利用者の提携も、正の利得を得ることができない。（既に施設が存在するサイトにおいて、現在の利用者の許可なく別のプロジェクトを実施することはできない。）

c は、Gilles *et al.*¹¹⁾ の "Permission Structure (以下では「許可構造」と呼ぶ)" を持つゲームにおける特性関数の設定法に相当している。Gilles らの方法について以下に説明する。

許可構造 PS のもとで、主体 i に直接従属する主体 j の集合を $PS(i)$ とする。

$$j \in PS(i) \text{ ならば } i \notin PS(j) \quad (3.1)$$

このとき、 j を i の successor (追従者) と呼ぶ。また、 $h_{k+1} \in PS(h_k)$ が成立する任意の主体の部分集合 $\{h_1, \dots, h_m\} \subset N$ について、 h_1 に間接的に支配される主体 h_m を

$$h_m \in \widehat{PS}(h_1) \quad (3.2)$$

と表し、 h_m は h_1 の subordinate (下位者) と呼ばれる。同様に i の superiors (上位者) の集合は次式のように表すことができる。

$$\widehat{PS}^{-1}(i) = \{j \in N \mid i \in \widehat{PS}(j)\} \quad (3.3)$$

提携 E について $\widehat{PS}^{-1}(i) \subset E$ ($\forall i \in E$) であるとき、 E は許可構造 PS のもとで自律的であるという。また一方提携 E の sovereign part (独立部分) $\sigma(E)$ は次の

³ 現実には、サイトの所有者とサイトに立地したダム施設の利用者（事業者）とは、同一行政主体の中での異なる部局を構成している場合もあり得るが、これらの部局は独立した業務を行うとともに必要に応じて協力しあうことは妨げられないと仮定すれば、所有者と事業者を分離した主体とみなすことは妥当であろう。

⁴ この点で、既存事業者と所有者は、前者が後者の利害を代表するプリンシパル-エージェントの関係にあると考えることも可能である。

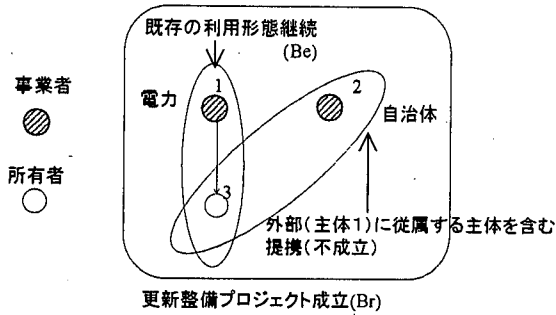


図-4 Case1における許可構造

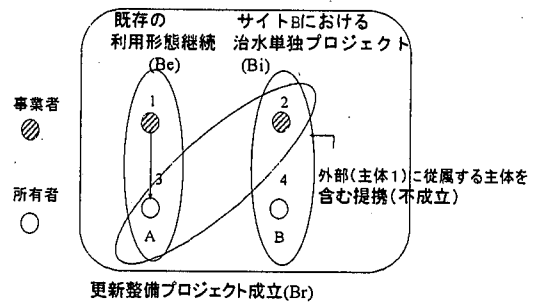


図-5 Case2における許可構造

ような集合である。

$$\sigma(E) = E \setminus \bigcup_{v \in \mathcal{N} \setminus E} \widehat{PS}(i) \quad (3.4)$$

Gilles *et al.*に従い、図-3を用いて説明する。 $E = \{146\}$ とすると、

$$\bigcup_{v \in E} \widehat{PS}^{-1}(i) = \{124\} \not\subseteq E \quad (3.5)$$

よって E は自律的ではない。また $\sigma(E) = \{1\}$ である。このような許可構造 PS のもとでのシャプレイ値を考えると、特性関数 v を以下のように修正した特性関数 $R_{PS}(v)$ を、 PS のもとでの v の Conjunctive Restriction (連合(合接)制約) と呼ぶ。

$$R_{PS}(v)(E) = v(\sigma(E)) \quad (3.6)$$

ここでは、提携の中に外部の主体の「下位者」である主体が存在する場合、それらの主体は独自の意思決定ができないとみなしている。式(3.6)は、外部から支配されない主体のみによって実現可能な利得をその提携の特性関数として再定義するものである。図-3の例で言えば、 $R_{PS}(v)(1,4,6) = v(1)$ となる。以下では Gilles *et al.* の許可構造を(1)で提案した事業者、所有者間の協力ゲームモデルに適用し、既存ダムにおける所有者を「下位者」、既存事業者を「上位者」とみなし、ダム更新整備プロジェクトにおける既得権の存在を考慮した純便益配分法を提案する。

b) Case1における特性関数の設定

Case1における特性関数を、許可構造に基づいて定義する。まず、図-4のように許可構造を定義する。既存事業者である主体1(電力事業者)に従属する主体として、所有者の主体3(ダムの管理主体)を考える。主体2(周辺自治体)は、環境流量の確保を目指す新規の事業者とみることができる。また主体2は、新たに現れた事業者であるため他の主体との間に許可構造は存在しない。

次に、特性関数を定義する。更新整備プロジェクト(全主体の参加により成立)の純便益を B_r とする。事業者単独、所有者単独によるプロジェクトは不可能なため、 $v(\{i\}) = 0$ である。また、原則 a より、

事業者同士の提携 $\{1,2\}$ も、サイトを利用できないため、特性関数は0である。事業者と所有者による提携の中で、 $\{1,3\}$ は、既存のダム利用(水力発電)の継続を可能にする組み合わせであり、特性関数の値はこのときの純便益 B_e である。一方主体2(周辺自治体)と主体3による提携 $\{2,3\}$ が成立したとすれば、主体2はダムの立地のない状態で、環境流量を確保できることになる。このときの純便益(特性関数 $v(2,3)$) を B_n で表すとする。しかし、実際には、プロジェクトを検討している時点において発電用ダムは存在し、主体3は主体1の下位にある。従って提携 $\{2,3\}$ のみでは純便益は B_n の値を取り得ず、結果的に0である。この提携にさらに主体1が加わった提携 $\{1,2,3\}$ が形成されてはじめて共同事業は成立し、純便益 B_r が達成される。いま Case1 の1を許可構造を示す PS の後に付け、このケースにおける許可構造を PS_1 により表す。 PS_1 により変換された特性関数 $R_{PS_1}(v)$ は次のように表される。

$$R_{PS_1}(v)(1) = 0, R_{PS_1}(v)(2) = 0, R_{PS_1}(v)(3) = 0$$

$$R_{PS_1}(v)(1,2) = 0, R_{PS_1}(v)(1,3) = B_e, R_{PS_1}(v)(2,3) = 0$$

$$R_{PS_1}(v)(1,2,3) = B_r \quad (3.7)$$

つまり、 $R_{PS_1}(v)(2,3) = v(2,3) = 0$ となる。このことは同時に、実施不可能なプロジェクトの純便益(B_n)を算定する必要がないということも意味する。

この修正後のゲーム $R_{PS_1}(v)$ におけるシャプレイ値の配分解は、

$$(y_1, y_2, y_3) = \left(\frac{2B_r + B_e}{6}, \frac{2B_r - 2B_e}{6}, \frac{2B_r + B_e}{6} \right) \quad (3.8)$$

となる。既存の利用形態(水力発電)を継続した場合の純便益 B_e が大きいほど、既存事業者(主体1)に有利で、新規事業者(主体2)に不利な配分となることがわかる。

c) Case2における特性関数の設定

Case2における許可構造を図-5に示す。主体1(水道事業者=水道局)は、現在サイトAのダムを水道水源として利用しているため、同一組織(例えば同じ地方行政庁の河川管理部局)に属する主体3(サイトAの所有者)との間に許可構造が存在する。サ

イト B には現在ダムが存在しないため、その所有者である主体 4 は誰にも従属していない。

部分提携のうち、提携{2,3}がもし可能であれば、サイト A (都市河川の upstream に位置し、主体 3 が管理) のダムを治水専用として利用できることになる。しかし、主体 3 は主体 1 の「下位者」であるため、提携{2,3}の特性関数は 0 に交換される。想定可能なのは、既存のダム利用の継続 (水道用ダム)、更新整備プロジェクト (水道と治水の多目的ダム) 及び治水単独による小規模なプロジェクト (サイト B に治水専用ダムを建設) の 3 つである。純便益をそれぞれ B_o, B_r, B_i とすると、変換された特性関数 $R_{PS_2}(v)$ は次のように設定される。

$$\begin{aligned} R_{PS_2}(v)(1)=0, R_{PS_2}(v)(2)=0, R_{PS_2}(v)(3)=0, R_{PS_2}(v)(4)=0 \\ R_{PS_2}(v)(1,2)=0, R_{PS_2}(v)(1,3)=B_o, R_{PS_2}(v)(1,4)=0 \\ R_{PS_2}(v)(2,3)=0, R_{PS_2}(v)(2,4)=B_r, R_{PS_2}(v)(3,4)=0 \\ R_{PS_2}(v)(1,2,3)=B_o, R_{PS_2}(v)(1,2,4)=B_i, \\ R_{PS_2}(v)(1,3,4)=B_o, R_{PS_2}(v)(2,3,4)=B_i \\ R_{PS_2}(v)(1,2,3,4)=B_r \end{aligned} \quad (3.9)$$

許可構造上の Case1 との違いは、主体 2 (治水事業者) が独立した主体である主体 4 と提携{2,4}を形成して利得 B_i を得る可能性がある点である。式(3.9)の特性関数に基づくシャプレイ値の配分解は

$$(y_1, y_2, y_3, y_4) = \left(\frac{B_r + B_o - B_i}{4}, \frac{B_r - B_o + B_i}{4}, \frac{B_r + B_o - B_i}{4}, \frac{B_r - B_o + B_i}{4} \right) \quad (3.10)$$

新規事業者 (主体 2) が既存事業者とは独立に実施可能なプロジェクトによる純便益を意味する B_i の大きさは、主体 2 の交渉力に影響を与える。すなわち、式(3.10)から明らかのように、 B_i が大きいほど、主体 2 への配分値は大きくなる。

(3) 既存利用者の利用権の期限の前後で許可構造を変化させた設定

前節までは、長期間 (数十年) 継続する事業において、便益配分を行う態勢が固定していると仮定してきた。すなわち、既存の事業者が施設を利用して、利用権 (水利権、ダム使用権など) を有しているとき、その事業者は所有者を「支配している」とし、Gilles *et al.*¹⁸⁾ の方法に従って特性関数を設定した。既得権を有する事業者に、更新整備プロジェクトの実施を承認させるためには、このようにこれらの主体の優位性を認めた純便益配分法が必要と考えられる。しかしこの特性関数を長期間の継続的な純便益配分に用いると、既存の事業者の優位性が永続する。将来も再び社会的要請の変化が起こり得ることを考慮した場合、純便益の配分が利用権の初期

分配 (以前の許可構造) に半永久的に依存する配分制度は新規事業者の参入を妨げる恐れがある。またここでの利用権の行使は、公共的な資源の占有を意味するから、それが無期限に保証されることは社会的ニーズが変化した場合、主体間の公平性の観点から問題である。さらに既存事業者と新規事業者の間の不平等性は、新規事業者の更新整備プロジェクトへの参加の意欲を削ぐ要因となる可能性もある。

この問題への一つの解決案として、本節では、「許可構造の時限性」の方式を導入する。すなわち旧来の許可構造が継続する期間を、既存事業者の利用権の残存期間に限るものとする。利用権の残存期間中に更新整備プロジェクトが開始された場合は、時限までは旧来の許可構造に基づいて単年度あたり純便益 (単年度あたりの便益と既存施設除去費用等を含む年費用の差) が配分される。そして利用権の時限以後は新たな許可構造に基づいた純便益配分が実施されるとする。つまり更新時までにより適切な利用目的が現れた場合は、河川管理者は当該事業者に利用権の更新を認めないという前提を設定し、既存事業者の優位性を弱めた純便益配分ルールを導入する。この設定を実際の河川管理で具体化する場合、河川管理者は水利権等に時限を付けることになる。

これまでに取り上げた、Case1、Case2 における許可構造は、図-4、図-5 に示されている。しかし、この許可構造は事業者の持つ利用権によって規定されることから、その権利が期限付きである場合、時限以降は施設の完成後であっても許可構造が変化すると考えることができる。既存事業者の利用権残存期間を T (年) で表す。変化後の許可構造については、所有者は、既存事業者、新規事業者の双方に支配される許可構造に移行するものとする。図-6、図-9 にそれぞれのケースにおいて想定する許可構造の変化を示す。この移行の結果、許可構造の変化の前後で、特性関数は次のように変化する。

Case1 (新たな許可構造を PS_{1r} とする。)

$$\begin{aligned} R_{PS_{1r}}(v)(1)=0, R_{PS_{1r}}(v)(2)=0, R_{PS_{1r}}(v)(3)=0 \\ R_{PS_{1r}}(v)(1,2)=0, R_{PS_{1r}}(v)(1,3)=0, R_{PS_{1r}}(v)(2,3)=0 \\ R_{PS_{1r}}(v)(1,2,3)=B_r \end{aligned} \quad (3.11)$$

Case2 (新たな許可構造を PS_{2r} とする。)

$$\begin{aligned} R_{PS_{2r}}(v)(1)=0, R_{PS_{2r}}(v)(2)=0, R_{PS_{2r}}(v)(3)=0, R_{PS_{2r}}(v)(4)=0 \\ R_{PS_{2r}}(v)(1,2)=0, R_{PS_{2r}}(v)(1,3)=0, R_{PS_{2r}}(v)(1,4)=0 \\ R_{PS_{2r}}(v)(2,3)=0, R_{PS_{2r}}(v)(2,4)=0, R_{PS_{2r}}(v)(3,4)=0 \\ R_{PS_{2r}}(v)(1,2,3)=B_o, R_{PS_{2r}}(v)(1,2,4)=B_i, \\ R_{PS_{2r}}(v)(1,3,4)=0, R_{PS_{2r}}(v)(2,3,4)=0 \\ R_{PS_{2r}}(v)(1,2,3,4)=B_r \end{aligned} \quad (3.12)$$

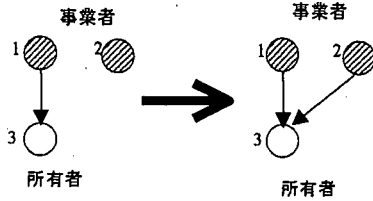


図-6 Case1における許可構造の変化

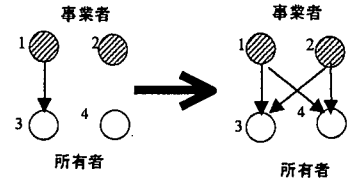


図-9 Case2における許可構造の変化

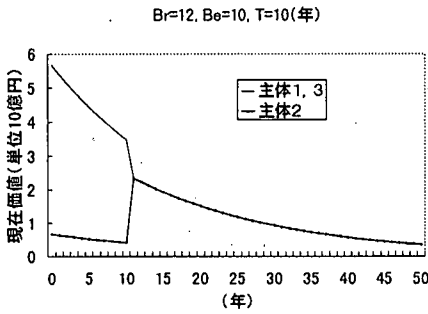


図-7 Case1における配分解の変化

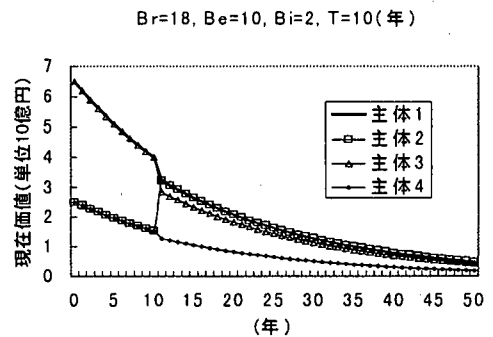


図-10 Case2における配分解の変化

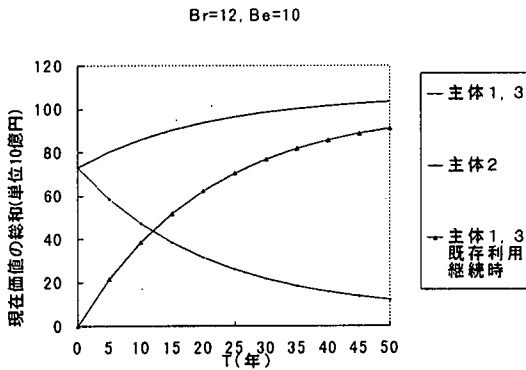


図-8 Case1における利用権の時限Tと配分値の総和の関係

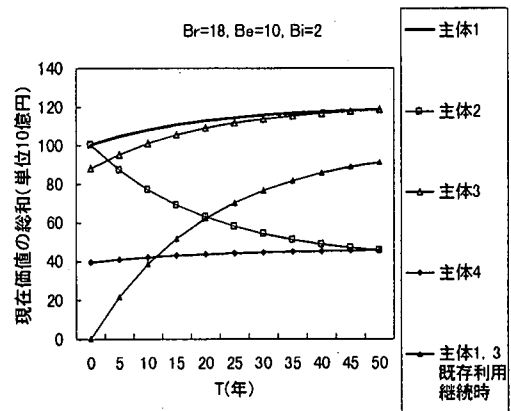


図-11 Case2における利用権の時限Tと配分値の総和の関係

このような特性関数のもとで、シャプレイ値による配分解は以下のように変化する。

Case1における配分解の変化

$$\left(\frac{2B_r + B_e}{6}, \frac{2B_r - 2B_e}{6}, \frac{2B_r + B_e}{6} \right)$$

$$\downarrow$$

$$\left(\frac{B_r}{3}, \frac{B_r}{3}, \frac{B_r}{3} \right) \quad (3.13)$$

Case2における配分解の変化

$$\left(\frac{B_r + B_e - B_i}{4}, \frac{B_r - B_e + B_i}{4}, \frac{B_r + B_e - B_i}{4}, \frac{B_r - B_e + B_i}{4} \right)$$

$$\downarrow$$

$$\left(\frac{3B_r + B_e + B_i}{12}, \frac{3B_r + B_e + B_i}{12}, \frac{3B_r + B_e - 3B_i}{12}, \frac{B_r - 3B_e + B_i}{12} \right) \quad (3.14)$$

式(3.14)より、Case1において、 $B_e \geq 0$ であれば利用

権の期限後において既存事業者(主体 1)への配分値は必ず減少し、新規事業者への配分値は増加することがわかる。

例えば $B_1=12, B_2=10$ (単位 10 億円) の場合、配分値は(5.67, 0.67, 5.67)から(4, 4, 4)へと変化する。許可構造の変化後(利用権の時限の後)、既存プロジェクトに参加していた主体 1, 3 への配分値の合計(8)は、既存プロジェクトの純便益を下回っている。これは、既存プロジェクトの利用権の時限後は、時限前とは異なって、既存プロジェクトの継続は不可能とみなしているためである。

更新整備プロジェクトの結果実現する利用形態(新規事業者の参入)は一般に利用権の時限を越えて長期間継続される。従って既存事業者は、新規事業者の参入を許容するにあたって、利用権の時限後の配分の変更も考慮する。配分値の総和の現在価値が現在の利用形態を継続したケースを上回っていれば、既存事業者は更新整備を許容するであろう。更新整備プロジェクト期間が P 、既存の事業者のサイトの利用権の時限が現在から T 年後であるとき、利用権の時限以前の主体 i への配分値を y_{i1} 、時限以後の配分値を y_{i2} 、時間割引率を r とすれば、各主体への配分値の現在価値の総和 NPV_i は次式により表される。

$$NPV_i = y_{i1} \sum_{t=1}^T \frac{1}{(1+r)^t} + y_{i2} \sum_{t=T+1}^P \frac{1}{(1+r)^t} \quad (3.15)$$

一方既存プロジェクトを継続した場合の既存事業者 i の配分値を y_{i3} とすると、時限 T 以降はプロジェクト継続不可能なので、既存プロジェクトの純便益の現在価値の総和 NPV_i^e は

$$NPV_i^e = y_{i3} \sum_{t=1}^T \frac{1}{(1+r)^t} \quad (3.16)$$

となる。

$T=10$ (年)、 $P=50$ (年) のとき、社会的割引率 $r=0.05$ として、Case1 における 50 年後までの各年の配分値の現在価値をプロットしたのが図-7 である。また、権利残存期間を 5 年後から 50 年後まで 5 年ごとに变化させたときの、更新プロジェクトによって各主体へ配分される純便益の現在価値の総和 NPV_i と、既存のダム利用を継続して利用権の期限を迎える場合の純便益の現在価値の総和 NPV_i^e の比較を図-8 に示す。利用権の残存期間が短いほど既存事業者が優位に立つ期間が短いため、新規事業者に有利な配分となることがわかる。利用権の時限後において新規事業者に有利な本配分法のもとでも、既存事業者の得る純便益の総和は、既存のダム利用を継続して有

効期限を迎えた場合よりも大きいことがわかる。

一方、Case2 については、 $B_2 \geq B_1/2$ のとき、利用権の時限後に新規事業者への配分値は増加する。Case2 について同様の分析を行った結果を図-10 と図-11 に示す。ここでは $B_1=18, B_2=10, B_3=2$ 、(単位 10 億円) $T=10$ (年)、 $P=50$ (年) である。配分解は(6.5, 2.5, 6.5, 2.5)から(5.5, 5.5, 4.83, 2.17)へと変化する。Case1 の電力事業者に比べ、Case2 の水道事業者は同じ既存事業者であってもより公共性が高いと考えられるため、数年後に利用権の放棄を迫られる可能性は低いと考えられる。しかし、今後サイトの希少性が高まるにつれ、都市用水についても使用水量の見直しが迫られる可能性がある。

Case1, Case2 に共通するのは、時限後新規・既存事業者間の配分値の差異が消失し、配分値が既存・新規とも同じ値になっていることと、所有者の配分値がそのサイトを利用するプロジェクトから得られる純便益(主体 3 は B_3 、主体 4 は B_4)に対し単調増加となっていることである。なお事業者への純便益の配分値が等しくなることは、費用の均等配分の場合とは意味が異なることに留意が必要である。純便益はその主体が得る便益と支払わなければならない費用の差額であり、純便益の配分値が等しい場合、各事業者は得られる便益に応じた負担を行っていることになる。

4. おわりに

本論文では、ダム更新整備プロジェクトにおける配分問題を協力ゲーム理論によりモデル化し、従来型の多目的ダム事業における費用配分問題を純便益配分問題に拡張するアプローチを提案した。その上で、サイトの所有者とサイトを利用してダム施設を建設する事業者とを別の主体として概念的に分離した上で、サイトの所有者をプロジェクトに参加する主体として明示的に考慮した純便益配分ゲームを提案した。すなわち既にダムが存在するサイトにおける既存事業者の既得権を事業者・所有者間の許可構造としてゲームの構造に埋め込むモデル化の方法を示した。次に、既存事業者との立場の差異により、新規事業者が配分上不利になる点を考慮し、それを緩和する方法として、利用権に時限を設定するというルールを提案した。

現在の費用配分制度における同一サイト、同一サービス水準の仮定は、新規の多目的ダム事業においてもあくまで仮想的なものであり、主体単独での行動の選択肢をより幅広く許容した配分制度も可能である。この点については今後の課題としたい。

筆者らは主体間の協力関係の成立を非協力ゲームとしてモデル化し、本研究と同様に主体間の許可構造を導入した場合について一部結果を得ている¹⁹⁾。今後は、社会全体から見て効率的なプロジェクトが可能となる協力関係が自発的に形成されるような配分制度について、共同社会基盤整備のための計画調整制度の設計という観点から検討してゆきたい。

参考文献

- 1) 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.
- 2) 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.
- 3) Federal Inter-Agency River-Basin Committee: Proposed Practices for Economic Analysis of River Basin Projects, Technical Report, Washington D.C., 1950.
- 4) Young, H.P., Okada, N. and Hashimoto, T.: Cost Allocation in Water Resources Development, Water Resources Research, Vol.18, pp.463-475, 1982.
- 5) Lejano, R. P. and Davos, C. A.: Cost Allocation of Multiagency Water Resources Projects: Game Theoretic Approaches and Case Study, Water Resources Research, Vol. 31, pp.1387-1393, 1995.
- 6) 鈴木光男，中村健次郎：社会システム—ゲーム論的アプローチ，共立出版，1976.
- 7) 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.
- 8) 岡田章：ゲーム理論，有斐閣，1996.
- 9) 鈴木光男：費用分担ゲームの解，数理学 No.256, pp.63-68, 1984.
- 10) 鈴木光男：新ゲーム理論，劉草書房，1994.
- 11) Gilles, R.P., Owen, G. and van den Brink, R.: Games with Permission Structures: The Conjunctive Approach, International Journal of Game Theory, Vol. 20, pp. 277-293, 1992.
- 12) Schmeidler, D.: The Nucleolus of a Characteristic Function Game, SIAM, Journal of Applied Mathematics 17, pp.1163-1170, 1969.
- 13) Maschler, M., Peleg, B. and Shapley, L.S.: Geometric Properties of the Kernel, Nucleolus and Related Solution Concepts, Mathematics of Operations Research 4, pp.303-338, 1979.
- 14) Shapley, L.S.: Cores of Convex Games, International Journal of Game Theory, Vol. I, pp.11-26, 1971.
- 15) ダム技術センター編：多目的ダムの建設 4 設計 II 編, 1987.
- 16) 前田佳朗：広域な再開発—長崎水害緊急対策ダム事業—ダム技術 No.108, 1995.
- 17) ダム技術センター編：多目的ダムの建設 1 計画・行政編, 1987.
- 18) 萩原良巳，渡辺晴彦，今田俊彦，蔵重俊夫：ダムの再編成に伴う費用配分に関する一考察，NSC 研究年報，Vol.12, pp.57-66, 1984.
- 19) 榊原弘之，岡田憲夫，多々納裕一：ダム再開発プロジェクトの成立過程に関するゲーム論的分析，京都大学防災研究所年報，1998(印刷中).
- 20) 榊原弘之：流域規模の水資源再配分としてみたダム再開発プロジェクトの費用・便益配分問題に関する研究，京都大学修士論文，1997.
- 21) Okada, N. and Sakakibara, H.: Modeling a Cost/Benefit Allocation Game in a Basin-wide Reservoir Redevelopment as a Part of Water Resources Reallocation, Proc. of IEEE International Conference on Systems, Man, and Cybernetics, pp. 791-796, 1997.
- 22) Okada, N. and Sakakibara, H.: Methodology for Net Benefit Allocation for Reservoir Redevelopment, In K., Takeuchi, M. Hamlin, Z. Kundzewicz, D., Rosbjerg, and S., Siminovic (ed.), Sustainable Reservoir Development and Management, IAHS Press, Wallingford, pp.112-120, 1998.

(1998. 6. 15 受付)

A GAME THEORETIC ANALYSIS ON NET BENEFIT ALLOCATION PROBLEM FOR RESERVOIR RENEWAL PROJECTS

Hiroyuki SAKAKIBARA and Norio OKADA

A game theoretic approach is applied to the net benefit allocation problem in reservoir renewal projects. Since renewal projects are implemented at the sites where existing agencies have already used reservoirs, the problem of allocating net benefit as required by renewal projects is more difficult than that of simply allocating costs in the case of constructing a new reservoir. In this paper, the differences in bargaining power between new and existing agencies are reflected explicitly in the permission structure between users and owners of sites. Then, the net benefit allocation method based on the permission structure is proposed. The modified allocation method including the time limit on user's right is shown to be more reasonable when we account for allocating water resources for a longer span of time.