

## 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

榊原 弘之\*・岡田 憲夫・多々納 裕一

\*京都大学大学院工学研究科

### 要旨

ダム再開発プロジェクトの成立過程に純便益の配分ルールが与える影響について、ゲーム理論を援用した分析を行う。本論文では、既存事業者と新規事業者の利用権の有無を反映させた純便益配分法の提案を行う。次に、利用権に時間的制限を設定することを提案する。最後に、これらの費用・便益配分法の有効性を検討するため、プロジェクト実施のための提携形成過程を提携リンク形成ゲームとして、非協力ゲームの枠組みで分析する。

キーワード: ダム再開発, 純便益配分, ゲーム理論

### 1. はじめに

ダム再開発プロジェクトは、既存ダムの機能を拡張したり、新たな機能を付け加えることによって、より有効な利用を図ろうとするものである。しかし、既存の利用者と新規参入する利用者の間には既得利用権の有無に起因する立場の差があり、負担の決定ルールも新規ダムの建設時とは異なるものと考えられる。本研究ではゲーム理論の枠組みの下で、ダム再開発プロジェクトにおける純便益配分ルールを提案するとともに、それがプロジェクト自体の成立可能性に与える影響について分析する。

### 2. ダム再開発プロジェクトと費用・便益配分問題

#### 2.1 ダム再開発プロジェクト

現在わが国において完成あるいは計画されているダム再開発の事例には、堤体を嵩上げるものが多い(ダム技術センター, 1987)。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再開発も今後増加するものと考えられる。

複数のダムが関係した再開発の事例としては、長崎県の長崎水害緊急ダム事業がある(前田, 1995)。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とする計画が立案された。しかしこれだけでは洪水調節容量の分だけ利水容量が減少するので、上水道に必要な水量が確保できなくなる。その解決策として、別の水系に、不足分の水道用水確保と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ことが計画されている。主体が異なっても、同様の構造を持つ問題は、全国各地に存在すると考えられる。

#### 2.2 ケースの想定

本論文では、上述したようなダム再開発プロジェクトを対象に、その純便益配分問題を考える上で、2つのケースを想定して分析を行う。これらは、行政上「ダム再開発事業」として規定されているものをさらに一般的に拡張概念化したものである。従って既存のダムのより有効な利用形態への転換という目的から、利用方式(ソフト)とダム施設(ハード)の一体的な更新システムを考える。

##### (1) Case1 (Fig. 1)

電力事業者が現在発電用ダムを使用している流域において、周辺自治体は電力事業者に発電量を減少させることにより下流への放流を増加させることを求めているケースを考える。発電用ダムの下流では、落差を得るために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

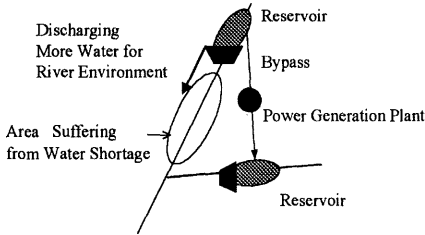


Fig.1 Redevelopment Project for Case 1  
(Coordination between Hydropower Generation and River Environment)

刻化することがある。地域のアメニティに対する社会的な要求の増加に対応して、既存ダムを維持しつつ河川流況を改善するため、水力発電の規模を縮小し、余剰となった水を直下流に放流することが計画されたとする。これは電力事業者にとっては発電量の減少、出力の低下につながるため、電力事業者は地域（地方自治体が代表するものとする）に対しある程度の負担を求めらるであろう。以下では Case1 においてプロジェクトに関与する主体を次のように設定する。

主体 1：電力事業者  
主体 2：地方自治体

(2) Case2 (Fig. 2)

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、水道局と治水事業者という二人の事業者と、A,B 二つのダムサイトを考える。サイト A には既に治水事業者によって治水専用ダムが建設されている。再開発プロジェクトによって、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、サイト B は再開発により不足する治水のための容量を確保するための新規ダムの建設予定地として想定されているものとする。Case1 との違いは、治水事業者が治水事業者の協力が得られなくてもサイト B に治水専用の（小規模な）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、治水による便益がサイト A よりも小さいものとする。Case2 のプロジェクトに関与する主体を次のように設定する。

主体 1：水道事業者  
主体 2：治水事業者

本論文では、これら 2 つのケースをゲーム理論に基づきモデル化し、純便益配分法を適用し、分析を行う。

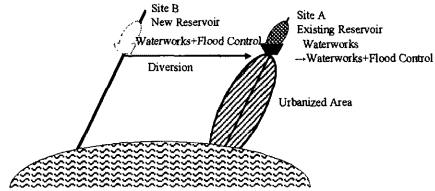


Fig.2 Redevelopment Project for Case 2

2.3 配分法と成立プロジェクトの関係

Case1, Case 2 のいずれにおいても、主体 1（電力事業者、水道事業者）は、既存のダムを利用して、再開発プロジェクトが実現しなくとも現状での利用形態の維持が可能である。一方主体 2（地方自治体、治水事業者）は、新たに生まれた社会的要請（地域のアメニティ、洪水に対する従来以上の安全性）を代表する主体であり、再開発に参加するか、新規の施設を建設しなければ、サービスを供給することができない。本論文では、Case1, Case2 を通じて主体 1 を既存事業者、主体 2 を新規事業者と呼ぶ。

既存事業者 (= 主体 1) は単独でダムを利用して、その純便益は  $B_1 (\geq 0)$  であるとする。新たに生まれた目的を代表する事業者（新規事業者 = 主体 2）を含めた事業パターンとして生じし得るのは、①既存事業者がダムの使用を継続し、新規事業者は参入を断念する②既存・既存両事業者がそれぞれ単独でダムを利用する (Case2 のみ)③既存・既存両事業者によるダム再開発プロジェクトを行う、の 3 つである。ここで再開発プロジェクトは、既存ダムの容量再配分と別のサイトへの多目的ダムの建設の両方を含む大規模なプロジェクトであるとする。②における（治水事業者の）新規単独プロジェクトによる純便益の大きさを  $B_2$ 、①②において既存事業者が確保している純便益を  $B_1$  とする。①、②、③が全体にとって最適な事業パターンとなる条件は、それぞれ次の通りである。

- ①  $B_1 \leq 0, B_2 \geq B_1$  (1)
- ②  $B_1 \geq 0, B_2 + B_1 \geq B_2$  (2)
- ③  $B_2 \geq 0, B_2 \geq B_1 + B_2$  (3)

一方、各プロジェクトの実現性の面から見ると、①、②は新規事業者のみで意思決定が可能であるのに対して、③は既存事業者の同意が必要である。従って再開発プロジェクト成立のためには、個々の事業者についても純便益が再開発プロジェクトによって改善されなければならない。i 番目の主体の j 番目の事業パターンにおける獲得純便益（①においては純便益配分額）を  $y_j^i$  とすると、以下の条件を満たす必要がある。

$$y_3 \geq y_1 (= y_2), y_3 \geq \max(y_2, 0) \quad (4)$$

## 2.4 ダム再開発プロジェクトにおける費用・便益配分問題

多目的ダム事業においては、わが国では法律により定められた分離費用身替貸当支出法 (SCRB 法 (Federal Inter-Agency River-Basin Committee, 1950)) による費用配分が一般的である。一方、協力ゲーム理論に準拠した費用配分法の水資源開発事業への適用例についてもいくつか報告されている (Young, *et al.*, 1982; 岡田ら, 1995)。これらの配分法では、身替り費用を参加各主体の交渉力の基準としている。

身替り費用とは、事業に参加する各主体が、多目的ダムから受けるのと等しい便益を得るために、単独でダムを建設した場合の費用のことである。一般にダムサイトにおいては規模が拡大するにつれて限界費用は減滅するので、身替り費用は共同事業において配分される費用に比べ割高となる。

SCRB 法やゲーム理論に基づいた仁 (Schmeider, 1969, Mashler, *et al.*, 1979) やシャプレイ値 (Shapley, 1971) などの配分法では、身替り費用の他に分離費用 (その主体の参加による共同費用の増加分) や、部分提携 (一部主体による提携) の事業費用に基づいて交渉力を規定し、各主体への配分費用を算定する。一般に身替り費用や分離費用の額が大きいほど当該主体の交渉力は弱くなり、配分される費用は多くなる。

一方、ダム再開発プロジェクトにおいては、すでに対象サイトにダムが建設されていることから、新規事業者が単独で同一サイトにダムを建設するのは不可能である。従ってこの場合、身替りダムを想定すること自体が不自然である。また、Case2 のような、複数のサイトを含んだ再開発計画においては、各ダムにおける各主体への配分容量は流域全体での効率性を考慮して決定されたものであるから、各ダムにおいて個別の身替り費用を算定しても、それが主体の交渉力を反映しているとは限らない。さらに、ダム再開発は、社会的により好ましい利用への転換を目的としているため、既存の利用者への容量配分が変更され、得られる便益が減少する可能性もある。

このように、ダム再開発事業においては、(新規の) 多目的ダム事業に比べ問題がより複雑化している。特にサイトの利用可能性によっては、各主体の達成し得る便益自体が可変である。そこで、本論文では費用配分過程に便益の再配分を含めた、純便益配分 (総便益から総費用を引いたもの) 過程について検討する。

## 2.5 ダム再開発プロジェクトにおける利用権

再開発の場合に限らず、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。このとき既存施設を利用している事業者は、通常、既に利用権を取得して (利用権保有者となって) いると同時にサイトの所有者であり、事業者とサイト所有者が一体化している。そのため一般にはこの二者を区別して考えることはない。

しかし、この二種類の主体のプロジェクトへの貢献は異なった形を取る。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。一般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減滅するため、費用を軽減することができる。つまり、事業者の貢献は規模の経済性の面での貢献である。利用権は、限られた資源である流水やダムサイトのような空間資源を占有する権利と考えられる。空間資源の所有に関する代理人である所有者は、プロジェクト成立に不可欠な資源であるサイトを提供することに貢献している。他方、事業者は事業を企画・実施し、地点に属する水資源や空間資源を利用する。

以上に述べたような事業者、所有者の関係は、ダム再開発プロジェクト以外の水資源開発事業にも存在する。例として、湖沼からの導水問題を考える。事業者として、都市用水の水源を求めている都市 A、B、所有者としては、水系の管理主体としての国や湖沼のある地元自治体 C を想定する。例えば都市 A、B は協力して事業を共同化すれば、導水施設等の建設費を軽減することができるであろう。しかし、地元自治体 C との間で協力、または一種の契約関係を結ばなければ、湖からの導水自体が不可能となる。

ダムのような施設が既に存在する場合、所有者は、事業者の許可なく他の (新規) 事業者を受け入れることはできない。これを事業者の参入に関する所有者との間の許可構造 (以下簡単に事業者と所有者の間の「許可構造」という) と呼ぶ。ダム再開発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の下で交渉できるという点で、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。

以上の考察に基づき、本論文では、ダム再開発プロジェクトにおける純便益配分問題を検討するにあたり、ダムに関係する主体について、事業者と所有者を別の主体とみなしたモデルを提案する。既にダムの存在するサイトにおいて、所有者は、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。つまり、既存事業者と所有者との間に許可構造が存在し、所有者は既存事業者に従属しているものとする。Case1 における発電用ダムのサイト、Case2 のサイト B の所有者 (ともに主体 3 とする) は主体 1 に従属していると解釈される。

また施設が存在していない Case2 のサイト B 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（主体 4）は、任意の事業者と提携が可能であるとする。この事業者と所有者を別の主体とみなしたモデルにより、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過程として表現することが可能となる。

### 3. ダム再開発プロジェクトにおける純便益配分法の検討

#### 3.1 純便益配分の協力ゲーム理論による定式化

本章では協力ゲーム理論を援用して、ダム再開発プロジェクトにおける「純便益配分ゲーム」を定式化する。そのために、特性関数を設定する必要がある。特性関数は、「提携が最低限得ることができる利得の値」として定義される。言い換えれば、当該提携が自力のみで得ることができる利得の大きさを意味する。水資源開発プロジェクトにおいては、特性関数はプロジェクトの純便益の値を用いることができる。本論文では、純便益配分に適用可能な協力ゲーム理論の解概念のうちシャプレイ値 (Shapley, 1971) を適用する。

まず、ゲーム理論において用いられる数学的表現を定式化する。プロジェクトに参加している任意の主体を  $i$  とし、主体の集合を  $N = \{1, 2, \dots, n\}$  で表す。任意の主体から成る  $N$  の任意の部分集合を提携と呼び、これを  $S$  で表す。 $N$  を全員提携、 $\{i\}$  を単独提携と呼ぶ。任意の提携の特性関数を  $v(S)$  と表す。特性関数により表現されたゲームを、特性関数形ゲームと呼ぶ。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、全体としての効率性は高くなる。主体  $i$  が受け取る利得を  $y_i$  とし、その組  $y = (y_1, \dots, y_n)$  を利得ベクトルと呼ぶ。利得ベクトルが次の 2 条件を満たしているとき、その利得ベクトルを配分と呼ぶ。

$$\text{全体合理性} \quad y_1 + y_2 + \dots + y_n = v(N) \quad (5)$$

$$\text{個人合理性} \quad y_i \geq v(i) \quad (\forall i \in N) \quad (6)$$

次に協力ゲームにおける解概念の一つであるシャプレイ値について説明する。シャプレイ値は全提携  $N$  を形成する過程において、各主体の任意の参加順序 ( $n!$ 通り) 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。特性関数型ゲーム  $v$  におけるシャプレイ値の配分解を  $\phi(v)$  により表す。任意の主体の配分值  $y_i = \phi_i(v)$  は次式で与えられる。ただし  $N$  に含まれる主体の数を  $n$ ,  $S$  のそれを  $s$  で表す。

$$\phi_i(v) = \sum_{S \subset N} \frac{(s-1)!(n-s)!}{n!} [v(S) - v(S - \{i\})] \quad (7)$$

純便益配分ゲームにおいては、特性関数は、主体の交渉力を規定しているため、重要な意味を持つ。再開発プロジェクトでは、主体間の許可構造をどのように考慮するかが問題となる。なお、本章における、プロジェクトの純便益、特性関数、配分值などの値は、すべて単年度の値とする。

#### 3.2 許可構造に基づいた設定

##### (1) 許可構造を有する主体の特性関数の設定

2 章において提案した、事業者と所有者を別の主体とみなしたモデルで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 事業者同士の提携は、正の利得を得ることができない。
- b 所有者同士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、ある利用者の下にある所有者と、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.* (1992) の "Permission Structure (許可構造)" を持つゲームにおける特性関数の設定法をもとにしている。Gilles らの方法について説明する。

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

$$j \in PS(i) \text{ ならば } i \notin PS(j) \quad (8)$$

このとき、 $j$  を  $i$  の successor (従属者) と呼ぶ。

また、主体の集合  $\{h_1, \dots, h_n\} \subset N$  のすべての  $h_k$  について  $h_{k+1} \in PS(h_k)$  が成立するとき、

$$h_m \in \widehat{PS}(h) \quad (9)$$

と表し、 $h_n$  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。

$$\widehat{PS}^{-1}(i) = \{j \in N \mid i \in \widehat{PS}(j)\} \quad (10)$$

提携  $E$  について、 $\widehat{PS}^{-1}(E) \subset E$  であるとき、 $E$  は許可構造  $PS$  のもとで自立的であるという。また一方、提携  $E$  の sovereign part (独立部分)  $\sigma(E)$  は次のような集合である。

$$\sigma(E) = E \setminus \widehat{PS}(N \setminus E) \quad (11)$$

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、特性関数を次のように変更したゲーム  $R_{PS}(v)$  を、 $PS$  のもとでの  $v$  の Conjunctive Restriction (連合 (合接) 制約) と呼ぶ。

$$R_v(\sigma(E)) = v(\sigma(E)) \quad (12)$$

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、それらの下位者は独自の意思決定ができないとみなしている。(12)式は、外部から支配されないで自ら意思決定可能な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。以下ではこの許可構造を反映した特性関数を用いて、ダム再開発プロジェクトにおける事業者と所有者の関係に基づいた純便益配分法を提案する。

### (2) Case1 における特性関数の設定

ここで例として、Case1 における特性関数を、許可構造の下で再定義する。まず、Fig. 3 のように許可構造を定義する。ダムサイトにおける利用権を保有する主体 1 (電力事業者) に従属する主体として、所有者である主体 3 (サイト所有者) を考える。主体 2 (地方自治体) は、環境流量の確保を目指す新規の事業者とみる事ができる。

次に、特性関数を定義する。再開発プロジェクト (全主体の参加により成立) の純便益を  $B$  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、 $a$  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、既存プロジェクトを可能にする組み合わせであり、特性関数は既存プロジェクトの純便益  $B_e$  である。一方主体 2 (周辺自治体) と 3 による提携  $\{2, 3\}$  が成立したとすれば、地域はダムのない状態で、環境流量を完全な形で確保できることになる。このときの純便益 (特性関数  $v(23)$ ) を  $B_{ENV}$  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 ( $t=0$ ) 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  $\{23\}$  が成立することは想定できない。ここでの許可構造を  $PS_1$  とし、Fig. 3 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。

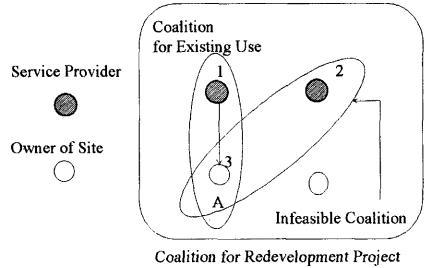


Fig. 3 Permission Structure for Case 1

$$\begin{aligned} R_{PS_1}(v)(\{1\}) &= 0, R_{PS_1}(v)(\{2\}) = 0, R_{PS_1}(v)(\{3\}) = 0 \\ R_{PS_1}(v)(12) &= 0, R_{PS_1}(v)(13) = B_e, R_{PS_1}(v)(23) = 0 \\ R_{PS_1}(v)(123) &= B, \end{aligned} \quad (13)$$

つまり、 $R_{PS_1}(v)(23)=v(2)=0$  となる。このことは逆に、実施不可能なプロジェクトの純便益 (ここでは  $B_{ENV}$ ) 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、シャプレイ値による配分法を適用した場合、配分解  $\phi(R_{PS_1}(v))$  は、

$$(\phi_1, \phi_2, \phi_3) = \left( \frac{2B_r + B_e}{6}, \frac{2B_r - 2B_e}{6}, \frac{2B_r + B_e}{6} \right) \quad (14)$$

となる。

### (3) Case2 における特性関数の設定

Case2 における許可構造を Fig. 4 に示す。主体 1 (水道事業者) 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、主体 3 (サイト A の所有者) との間に階層関係が存在する。主体 1, 3 は、同一組織に属していると考えられる。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。

主な部分提携のうちで、提携  $\{2, 3\}$  がもし可能であれば、サイト A (都市河川の上流に位置し、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「従属者」であるため、提携  $\{23\}$  の特性関数は 0 に変換される。想定可能なのは、既存のプロジェクト (水道用ダム)、再開発プロジェクト (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。各プロジェクトによる純便益をそれぞれ  $B_e, B_r, B_1$  とすると、特性関数は次のように設定される。

$$\begin{aligned} R_{PS_2}(v)(\{1\}) &= 0, R_{PS_2}(v)(\{2\}) = 0, \\ R_{PS_2}(v)(\{3\}) &= 0, R_{PS_2}(v)(\{4\}) = 0 \\ R_{PS_2}(v)(12) &= 0, R_{PS_2}(v)(13) = B_e, R_{PS_2}(v)(14) = 0 \\ R_{PS_2}(v)(23) &= 0, R_{PS_2}(v)(24) = B_r, R_{PS_2}(v)(34) = 0 \\ R_{PS_2}(v)(123) &= B_e, R_{PS_2}(v)(124) = B_1, \end{aligned}$$

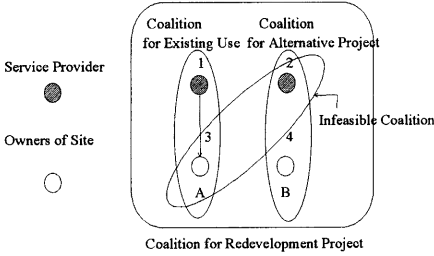


Fig.4 Permission Structure for Case 2

$$\begin{aligned} R_{PS2}(v)(134) &= B_e, R_{PS2}(v)(234) = B_i \\ R_{PS2}(v)(1234) &= B_e \end{aligned} \quad (15)$$

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、利得  $B_i$  を得ることができる点である。(4, 17) 式の特性関数に基づくシャプレイ値による配分解  $\phi(R_{PS2}(v))$  は

$$\begin{aligned} (\gamma_1, \gamma_2, \gamma_3, \gamma_4) &= \left( \frac{B_e + B_e - B_i}{4}, \frac{B_e - B_e + B_i}{4}, \right. \\ &\quad \left. \frac{B_e + B_e - B_i}{4}, \frac{B_e - B_e + B_i}{4} \right) \end{aligned} \quad (16)$$

また、 $B_i$  の大きさは、主体 2 の交渉力に影響を与える。すなわち、(16) 式から明らかなように、 $B_i$  が大きいほど、主体 2 への配分値は大きくなる。

### 3.3 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、年ごとに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、ダム使用权など) 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.*<sup>26)</sup> の方法に従って特性関数を設定した。しかしこの特性関数を長期間の継続的な費用・便益配分に用いると、既存の事業者の優位性が永続する。費用・便益の配分が、利用権の初期配分に半永久的に依存することは、将来社会的要請の変化を全く想定していないことになり、既存ダムの持続的な有効利用を目的とする計画調整手法としては不十分である。また、この種の利用権の行使は、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主体間の公平性の観点から問題である。また既存事業者と新規事業者の間の不平等性は、新規事業者の再開発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、

許可構造の更新のための時限 (時間的制限) 制を考える。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 (時限が切れるまでの残りの期間) に限るものとし、それ以後は再開発プロジェクトに基づく新たな許可構造に基づいた特性関数を設定する。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期限を付けることになる。そして、更新時までにより適切な河川の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、Fig. 3, Fig. 4 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、その権利が時限付きである場合、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。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。その結果、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 (Fig. 5) を  $PS_{12}$  とする。)

$$\begin{aligned} R_{PS1}(v)(\{1\}) &= 0, R_{PS1}(v)(\{2\}) = 0, R_{PS1}(v)(\{3\}) = 0 \\ R_{PS1}(v)(12) &= 0, R_{PS1}(v)(13) = 0, R_{PS1}(v)(23) = 0 \\ R_{PS1}(v)(123) &= B_e \end{aligned} \quad (18)$$

Case2 (新たな許可構造 (Fig. 6) を  $PS_{22}$  とする。)

$$\begin{aligned} R_{PS2}(v)(\{1\}) &= 0, R_{PS2}(v)(\{2\}) = 0, \\ R_{PS2}(v)(\{3\}) &= 0, R_{PS2}(v)(\{4\}) = 0 \\ R_{PS2}(v)(12) &= 0, R_{PS2}(v)(13) = 0, R_{PS2}(v)(14) = 0 \\ R_{PS2}(v)(23) &= 0, R_{PS2}(v)(24) = 0, R_{PS2}(v)(34) = 0 \\ R_{PS2}(v)(123) &= B_e, R_{PS2}(v)(124) = B_e, \\ R_{PS2}(v)(134) &= 0, R_{PS2}(v)(234) = 0 \\ R_{PS2}(v)(1234) &= B_e \end{aligned} \quad (19)$$

このような特性関数のもとで、シャプレイ値による各主体への配分値は以下のように変化する。

許可構造変化前後の配分解

Case1

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

$$\downarrow$$

$$\left( \frac{B_e}{3}, \frac{B_e}{3}, \frac{B_e}{3} \right)$$

Case2

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

$$\downarrow$$

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

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。例えば  $B_i=12, B_r=10$  の場合、シャプレイ値による配分解は(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、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、既存利用継続時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。

一方、Case2 については、 $B_e \geq B_i/2$  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。 $B_i=18, B_r=10, B_e=2$  とした場合、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 の電力会社に比べ、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、今後空間資源の希少性が高まるにつれ、都市用水についても、使用水量の直直しが迫られる可能性がある。

Case1, Case2 に共通するのは、配分値の事業者間の差異が消失し、所有者の配分がそのサイトを利用するプロジェクトから得られる便益に対応していることである。事業者への費用・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。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るから、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. ダム再開発プロジェクトの事業形態の決定過程

##### 4.1 事業形態決定過程のゲーム論的分析

多目的ダム事業等においてこれまで検討されてきた費用配分法は、プロジェクトの成立(協力関係の形成)を前提としたうえで、一部主体による仮想的な代替的事業における費用をそれらの主体の交渉力とし、公平性を測る指標として用いるものであった。しかし実際には、プロジェクト成立が確定する以前に、プロジェクトへの参加の有無、及び参加する場合は必要な規模を各主体が意思決定する段階が存在する。この段階において各主体がプロジェクトにおいて採用される純便益配分法に関する情報を有していれば、各主体は自らが得られる便益が多く、費用

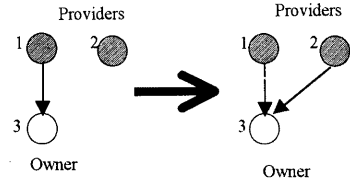


Fig.5 Transformation of Permission Structure for Case 1

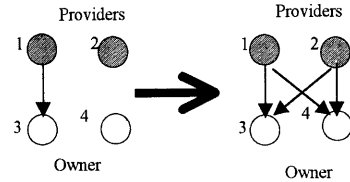


Fig.6 Transformation of Permission Structure for Case 2

が少なくなるような選択を行うと考えられる。

従って、3. で提案したような純便益配分法の採用は、事業形態に影響を及ぼし得る。また、各主体の選択行動は互いに相互作用し、それらの行動の均衡状態として、事業の規模、形態が決定すると考えられる。これはゲーム理論における非協力ゲームの状況設定である。ダム再開発プロジェクトにおいては、このような参加主体、事業規模の不確定性はより高いと考えられる。そこで本章では、Case2 を取り上げ、費用・便益配分法がプロジェクトのための提携形成に与える影響についてのゲーム論的分析を行う。

各主体が水資源開発共同事業に参加する際に次の二点を決定する必要がある。

1. 提携を形成する相手主体
2. 開発レベル(治水事業者における洪水調節容量、水道事業者における開発水量など)

本論文では、このうち 1. について検討する。2. については、提携が形成された段階で、その提携全体にとって最適な資源配分となる計画が実施されるものとする。

##### 4.2 提携リンク形成ゲーム

###### (1) 提携リンク形成ゲーム

主体間の提携関係は通常、主体の集合として表現される。しかし、ある提携関係から別の提携関係に移行する際には、二主体間での合意形成の集積として提携構造が変化すると考えられる。これは、提携構造をグラフによって表現することの必要性を意味している。そこで、Dutta *et al.*(1997)に従って、提携リンク形成ゲームを定式化する。

非空で、有限な集合  $N$  を想定する。 $N$  は主体の

Table 1 Relationship between Strategies and Graph Representing Coalition Structures

Player 1 \ Player 2	{0,0}	{1,0}	{0,1}	{1,1}
{0,0}	{13}①	{13}①	{13,24}②	{13,24}②
{1,0}	{13}①	{12,13}①	{13,24}②	{12,13,24}③-2
{0,1}	{13,14}①	{13,14}①	{13,14,24}③-3	{13,14,24}③-3
{1,1}	{13,14}①	{12,13,14}③-1	{13,14,24}③-3	{12,13,14,24}③-2

集合と考えることができる。 $n \in N$  と  $m \in N$  の間のリンクを  $nm$  と表す。この  $nm$  を提携リンクと呼ぶ。任意のノード間にリンクが存在する完全グラフを  $g^N$  と表す。

$$g^N = \{nm \mid n \in N, m \in N, n \neq m\} \quad (20)$$

また、 $g^N$  の部分集合のグラフ（これらを以後提携グラフと呼ぶ）の集合を  $GR$  により表す。

$$GR = \{g \mid g \subseteq g^N\} \quad (21)$$

グラフ  $g \in GR$  と全提携  $N$  の部分提携  $S \in N$  が与えられたとする。  $S$  の分割  $S/g$  は次のように定義される。

$$S/g = \{T \mid i \in T \text{ and } j \in T \text{ are connected in } S \text{ by } g\} \quad (22)$$

ここで、次のように修正された特性関数型ゲーム  $v/g$  を考える。

$$\forall S \subseteq N, \quad v/g(S) = \sum_{T \in S/g} v(T) \quad (23)$$

提携リンク形成ゲームにおいては、主体  $i$  は自分以外の主体  $j (j \in N \setminus i)$  に提携リンクを形成する意思を表明するオプションを有する。各主体に対するオプションの組み合わせとして、主体  $i$  は  $2^{n-1}$  種類の戦略を有することになる。また、 $n, m$  双方が相手主体と提携リンクを形成する意思を表明しているときにのみリンク  $nm$  が形成されるものとする。また提携  $S$  の特性関数は、実現したグラフによって規定される分割  $S/g$  ((22)式) の各要素の特性関数の和として与えられる。

#### (2) リンク形成ゲームにおける許可構造

3章で定義した許可構造  $PS$  の下での特性関数型ゲーム  $R_{ps}(v)$  をさらにグラフ  $g$  上で変換したゲームは、次のように表される。

$$\forall S \subseteq N, \quad R_{ps}(v)/g(S) = \sum_{T \in S/g} R_{ps}(v)(T) \quad (24)$$

また、許可構造  $PS$  は、提携リンク形成ゲームにおける主体の戦略を制約するものとする。すなわち、階層構造  $PS$  において自分以外の主体に従属している主体との提携リンク形成の意思を表明するオプションを持たないものとする。この想定の下では、Case2 における主体 2 は主体 3 との提携リンク形成の意思を表明することはできない。

Case2 において、所有者（主体 3, 4）は常に事業者との提携リンク形成の意思を表明する戦略を取っているものとする。主体 1 が取り得るオプションは他の主体（主体 2, 3, 4）に対して提携リンク形成の意思を表明することである。また主体 2 は主体 1, 4 に対して提携リンク形成の意思を表明することができる。従って戦略の組み合わせとして  $8 \times 4 = 32$  通りの事象（提携構造）が生じし得ることになる。ここでは、既存の事業形態で形成されていた提携リンク {13} は再開発の前後を通じて維持されるものとする。これによって生じし得る事象（提携構造）は 16 通りとなる。主体 1 が主体 2, 4 に対してとる戦略を  $\{s_1^2, s_1^4\}$ （相手主体  $i$  に対して提携リンク形成の意思を表明するときは  $s_i^j = 1$ 、表明しないときは  $s_i^j = 0$  で表すとする）と表す。{1,0}とは、主体 2 に対して提携リンク形成の意思を表明し、提携 4 に対しては表明しないことを意味する。同様に主体 2 が主体 1, 4 に対してとる戦略を  $\{s_2^1, s_2^4\}$  と表す。Table1 は主体 1, 2 の取り得る戦略と、その組み合わせによって生じするグラフ及びそこで実現する事業パターン（①サイト A の既存の利用形態（水道専用ダム）の継続、②サイト A の既存のダムとサイト B の小規模治水ダムの併存、③ダム再開発プロジェクトの実現）を示したものである。Table1 のように戦略型のゲームとして表現することにより、ナッシュ均衡となる事象（提携グラフ）を特定することができる。さらに、ナッシュ均衡となる提携グラフ上に定義される事業パターンが、当該配分ルールの下で実現すると考えることができる。

#### 4.3 Myerson 値

一対の主体間の提携関係のリンクによって提携を定義することにより、事業のための提携成立過程をモデル化することができる。しかし、3章で配分解として示したシャプレイ値は、提携（集合）に対する特性関数値に基づいた配分であり、グラフ上



で定義された特性関数型ゲームに直接適用することはできない。

そこで、本章では Myerson(1977)の提案した”Fair Allocation Rules” にもとづいて高野(1998)及び榊原ら(1997)が水資源開発共同事業や流域下水道事業に適用した配分法(Myerson値)を用いる。

$R_{PS}(v/g)$ のもとでのシャプレイ値による配分解を  $Y(R_{PS}(v/g))$ により表す。

$$Y(R_{PS}(v/g)) = \phi(R_{PS}(v/g)) \quad (25)$$

これにより、階層構造 PS のもとで、任意の提携グラフ  $g$  について、ただ一つの配分解が与えられる。

一方、公正な配分の条件として、Myerson(1977)は次の2条件を挙げている。

配分ルールが安定であるための条件

$$\forall g \in GR, \forall nm \in g$$

$$y_n(v/g) \geq y_n(v/(g \setminus nm)) \quad \text{かつ}$$

$$y_m(v/g) \geq y_m(v/(g \setminus nm)) \quad (26)$$

配分ルールが公正であるための条件

$$\forall g \in GR, \forall nm \in g$$

$$y_n(v/g) - y_n(v/(g \setminus nm)) = y_m(v/g) - y_m(v/(g \setminus nm)) \quad (27)$$

(27)式は、2主体が提携リンクを形成、解消するとき、両プレイヤーへの配分の増加、減少量は等しくなることを意味する。特性関数が優加法的である場合、(25)式による配分値は、(26)、(27)式の条件を常に満足する。優加法的でない場合は、(27)式は満たすが、(25)式を満足するとは限らない。

(25)式からわかるように、Myerson値は、シャプレイ値の拡張の形式をとっている。しかし、その解の前提となる規範はシャプレイ値とは異なる。Myerson(1977)は、2主体間の1対1の提携関係(提携リンク)の集積により協力関係が形成されてゆくゲームを想定している。

#### 4.4 提携リンク形成ゲームによる分析結果

##### (1) 許可構造を考慮した設定の効果

3. においては、費用・便益配分の基準となる特性関数の設定について、まず許可構造を考慮した設定を提案した。続いて、事業者間の、利用権の初期分布に起因する交渉力の差を緩和するためのルールとして、許可構造の変化を考慮した設定を提案した。これらは、一度のみの配分ではなく、長期間に一定のルールに基づいて便益配分が継続されることを前提としている。単年度で不利な配分であっても、数十年というプロジェクトの継続期間から見ると有利となることも考えられる。そこで、提携リンク形成

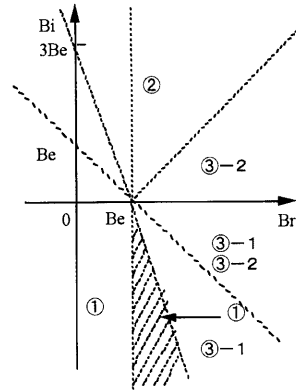


Fig.7 Relationship between Benefits and Stable Project Patterns under Net Benefit Allocation Scheme Using Permission Structure

ゲームを用いて、長期間にわたる便益配分を考慮したときの意思決定過程を分析し、特性関数やルールの妥当性について検討する。配分法については、シャプレイ値の拡張としてのMyerson値を使用する。

Table1より、展開型ゲームの最終的な状態としては、次の8種類の提携グラフが存在する。

- {13} {12,13}, {13,14} (以上事業パターン①)
- {13,24} (以上事業パターン②)
- {12,13,14}, {12,13,24}, {13,14,24}, {12,13,14,24} (以上事業パターン③)

③においては{12,13,14}, {12,13,24}と{12,13,14,24}, {12,14,24}はそれぞれ異なる配分解を与えるため、各状態を③-1, ③-2, ③-3とする。 $B_i(t), B_j(t), B_k(t)$ をプロジェクト期間(50年とする)の間一定とすると、単年度の配分値で比較判断することが可能となる。

Fig.7は、2種類のプロジェクト及び既存の利用形態を継続した場合の純便益( $B_i, B_j, B_k$ )の大きさの比と、ナッシュ均衡となる提携グラフにおいて実現する事業パターンとの関係を図示したものである。異なる提携グラフに均衡する領域の境界を、太い破線により示している。この中で、斜線で示されている領域に注目する。この領域において、新規事業者は、単独で事業を行っても費用が便益を上回ってしまう( $B_i \leq 0$ )が、既存事業者を含めた再開発プロジェクトの純便益は既存プロジェクトよりも大きい。従って、社会全体としてみれば、再開発を実施した方が望ましい。しかし、均衡点において実現する提携グラフは{13}であり、これは既存プロジェクトの継

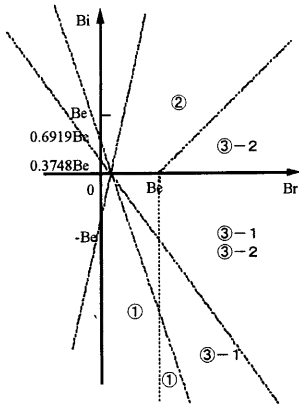


Fig.8 Relationship between Benefits and Stable Project Patterns under Net Benefit Allocation Scheme Using Transforming Permission Structure

続を意味する。許可構造を考慮した特性関数の下で提携ネットワーク配分法による配分を行った場合、主体2（治水事業者）への配分値が負となる。すなわち主体2は得られると期待する便益よりも大きな額の負担を行わなければならないため、どのような種類プロジェクトにも参加しない（純便益 = 0）というオプションを選択してしまう。

(2) 許可構造の変化を考慮した設定の効果

次に、利用権に時限を設定した場合について、同様の検討を行う。まず、評価期間である50年間の配分値の現在価値の総和を求める。既存の事業者のサイトAの利用権の残存期間が現在から後T年であるとき、時間割引率をrとすれば、各主体への配分値の現在価値は次式により表される。

$$NPV_i = y_{i1} \sum_{t=1}^T \frac{1}{(1+r)^t} + y_{i2} \sum_{t=T+1}^{50} \frac{1}{(1+r)^t} \quad (28)$$

$y_{i1}$  = 許可構造変化前の主体iへの配分値  
 $y_{i2}$  = 許可構造変化後の主体iへの配分値

T=10（年）の場合について考える。ナッシュ均衡解において同じ事業パターンが実現するを分類して  $B_i - B_j$  平面上に表示したのが Fig. 8 である。ただし、再開発プロジェクトの実施が最適となる領域内のみを分類している。 $(B_i, B_j)$  の点が同一領域内に存在する場合、ナッシュ均衡となる提携グラフにおいて実現する事業パターン及び純便益配分は同じである。③-1、③-2 ではいずれも再開発プロジェクトが実施可能となる。領域①では主体2は提携リ

ンク形成の意思を表明せず（戦略{00}を選択し）、既存の事業パターンが継続される。しかし、Fig. 7 と Fig. 8 を比較すると、既存の事業パターンに留まってしまう領域が小さくなっていることがわかる。言い換えれば、 $B_i$  と  $B_j$  の差が比較的小さく、 $B_i$  がわずかに負であるようなケースで、主体2が再開発に向けた働きかけを行う方が新たに有利になることがわかる。従って、許可構造の変化を想定して設定した特性関数のもとでの費用・便益配分は、新規事業者の参加を促す効果を持つことがわかる。

次に、 $(B_i, B_j)$  の比を一定 ( $B_i = 1.2, B_j = 1$ ) とし、 $B_i$  と T を変動させた場合について、同様な分析を行う。Fig. 9 は、 $B_i$  と T の変化と、事業パターン③-1（再開発プロジェクト成立）及び事業パターン①（既存の利用継続）における主体1への配分値の差の関係を示したものである。空白となっている領域では、事業パターン①、すなわち既存プロジェクトを継続した方が主体1への配分値が大きい。 $B_i$  が負で T が長期間である場合、主体1にとって、再開発プロジェクトよりも、既存の利用形態を継続した方がより大きな配分を得られ、有利なことがわかる。

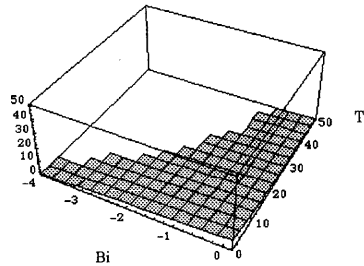


Fig.9 The Difference between Allocated Values to Player 1 in Pattern ③-1 and in Pattern ①

一方 Fig. 10、Fig. 11 は、それぞれ事業パターン③-2、③-1における主体2への配分値の変化を示している。空白な領域においては、配分値が負となる。すなわち、 $B_i$  が負で T が大きくなると、配分値が負となってしまう、主体2にとって参加しない（純便益0）方が好ましいことになる。その結果、主体2が再開発プロジェクトに参加することが不可能になる。しかし、許可構造の変化を想定しない場合、配分値は Fig. 10、Fig. 11 における T=50 のとき（評価期間中常に既存プロジェクトの許可構造が継続する）の値に常に一致する。従って、利用権の期限の設定によって、単独では純便益が負となりプロジェクトを実施できないような新規事業者が再開発プロジェクトに参加できる可能性が高まることが明らかとなった。

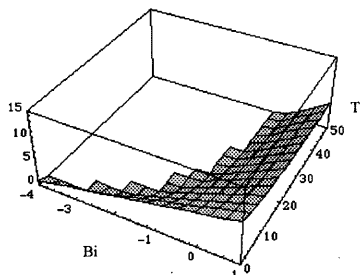


Fig.10 Allocated Value to Player 2 in Pattern ③-2

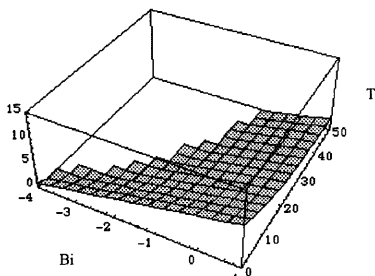


Fig.11 Allocated Value to Player 2 in Pattern ③-1

$B_i$ と $T$ の変化に対する均衡点の移行は、 $(B_i, B_o, B_i)$ の場合と同様、Fig. 12 により模式的に示すことができる。 $B_i \geq 0$ のとき、 $B_i$ が大きくなるほど、事業パターン①が実現する領域は狭くなり、再開発プロジェクトの可能な領域が拡大する。これは、再開発プロジェクトと他のプロジェクトの間の純便益の差が大きい場合、配分上不利な主体2に対しても、十分大きな額を配分することができるようになることを意味している。

以上より、利用権に時限を設定し、それに伴った許可構造の変化を考慮した特性関数を導入することにより、プロジェクト開始時点での利用権の有無に起因する費用・便益配分上の優位性の差が時間とともに平滑化され、新規事業者が再開発プロジェクトに参入しやすくなることがわかる。主体1(水道局)は主体3(サイトAの利用権所有者)の上位にあり、実際には同一組織に属している。そのため、主体1は組織全体への配分値(主体1と3への配分値の和)が最大となるよう意思決定を行うと仮定することもできる。この場合も、Fig. 12と類似の結果が得られた。また、常に同一の提携関係が生起することを確認している。

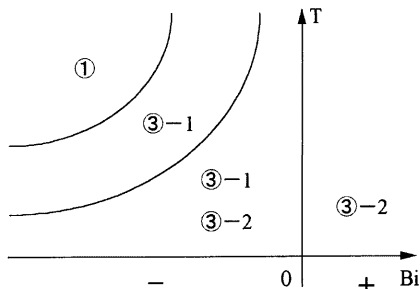


Fig.12 Relationship between  $B_i$ ,  $T$ , and Stable Project Patterns under Net Benefit Allocation Scheme with Permission Structure Transformation

## 5. おわりに

本研究では、水資源の流域規模での再配分としてダム再開発プロジェクトを位置づけるとともに、これを費用・便益配分問題としてモデル化し、ゲーム理論を援用して考察した。

まず、事業者・所有者間の許可構造を考慮した特性関数の下でのシャプレイ値による配分法を提案した。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である点を考慮し、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。さらに、各主体が自らへの配分値の最大化を目的として提携の形成行動をとったときの事業規模の決定過程について、非協力ゲームによる分析を行った。その結果、利用権への期限の設定が有効であることが明らかになった。

今後の課題としては、次のような点が挙げられる。

- ・本研究では、事業形態の不確実性は主体が提携に加わるか否かの問題に限定されていた。しかし、実際には主体はプロジェクトに要求する供給量のレベルも変更可能であると考えられる。上水道を例にとって考えると、水道局は、ダムに参加した場合の負担額と、自己水源(地下水など)の開発費用を検討し、最適量の組み合わせを選択しようとするであろう。この場合、各主体が供給希望量を変更するオプションを含んだゲームモデルによる分析が必要となる。

以上、今後の課題としたい。

## 参考文献

岡田憲夫(1991): 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.

- 岡田憲夫, 谷本圭志(1995) : 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.
- 榊原弘之(1997) : 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, 京都大学大学院修士論文.
- 榊原弘之, 高野浩一, 岡田憲夫(1996) : ネットワーク型水資源開発共同事業の費用配分法に関するゲーム理論的考察, 土木計画学研究・講演集 Vol.19.
- 鈴木光男(1984) : 費用分担ゲームの解, 数理科学 No.256, pp.63-68.
- 鈴木光男(1994) : 新ゲーム理論, 剏草書房.
- ダム技術センター編(1987) : 多目的ダムの建設 1 計画・行政編.
- 高野浩一(1996) : 水資源整備共同事業の費用・便益の配分方法に関するゲーム理論的考察: シャプレイ値系配分解を中心として, 京都大学卒業論文.
- 高野浩一(1998) : ネットワーク型水資源施設整備の自発的形成为のための費用配分ルールに関する研究—流域下水道事業を対象として, 京都大学大学院修士論文.
- ダム技術センター編(1987) : 多目的ダムの建設 4 設計 II 編.
- 前田佳朗(1995) : 広域な再開発—長崎水害緊急対策ダム事業—ダム技術 No.108.
- Aumann,R.J.(丸山 徹, 立石 寛訳)(1991) : ゲーム理論の基礎, 剏草書房.
- Dutta, B. and S. Mutuswami (1997): Stable Networks, *Journal of Economic Theory*, Vol.76, pp.322-344.
- Federal Inter-Agency River-Basin Committee (1950): Proposed Practices for Economic Analysis of River Basin Projects, Technical Report, Washington D.C.
- Gilles, R.P., G., Owen, and van den Brink, R(1992): Games with Permission Structures: The Conjunctive Approach, *International Journal of Game Theory*, 20, 277-293.
- Maschler, M., B. Peleg and L. S. Shapley (1979): Geometric Properties of the Kernel, Nucleolus and Related Solution Concepts, *Mathematics of Operations Research*, Vol.4, pp. 303-338.
- Myerson, R. B.(1977): Graphs and Cooperation in Games, *Mathematics of Operations Research*, Vol.2, 225-229.
- Shapley, L. S.(1971): Cores of Convex Games, *International Journal of Game Theory*, Vol. I, pp.11-26.
- Schmeidler,D.(1969): The Nucleolus of a Characteristic Function Game, *SIAM, Journal of Applied Mathematics* 17, pp.1163-1170.
- Young,H.P., Okada,N. and Hashimoto,I.(1982) : Cost Allocation in Water Resources Development, *Water Resources Research*, Vol.18, pp.463-475.

## A Game Theoretic Analysis on Coalition Formation Process for Reservoir Redevelopment Projects

Hiroyuki Sakakibara\*, Norio OKADA, and Hirokazu Tatano

\*Graduate School of Engineering, Kyoto University

### Synopsis

A game theoretic approach is applied to cost/benefit allocation problem in reservoir renewal projects. By focussing on the differences between new and existing agencies, the problem of allocating net benefits is explicitly modeled by use of game theory. Permission structure is defined between providers and owners of sites. Next the net benefit allocation method based on permission structure is proposed. Then the method is extended to reflect the effect of temporal limit on provider's usership. Finally, another model is proposed to formulate a coalition formation process based on Fair allocation Rule developed by Myerson.

**Keywords:** Reservoir Redevelopment, Net Benefit Allocation, Game Theory