

IV-29

流域間の水資源共同開発のための提携形成過程のモデル分析

山口大学工学部 正員 ○榊原 弘之
壺山建設 正員 梅寺 正樹
京都大学防災研究所 正員 岡田 憲夫

前田道路 正員 曾我 直生
山口大学工学部 正員 古川 浩平

1. はじめに 水資源開発においては、事業者が流域を越えて複数の共同事業に同時に参加することがある。本研究ではゲーム理論に基づき、多目的ダム事業のための協力関係(提携)が形成される過程を、複数事業に参加する可能性を含めて記述するモデルを提案する。その上で提携構造の安定性を検討する。

2. ケースの想定 ゲーム理論により提携形成過程の分析を行う上で次のケースを想定する。2つの河川のある地域を想定する。参加の可能性がある事業者を、水道及び治水の2事業者に限定する。各河川にはそれぞれダム建設の可能なサイトが一箇所ずつ存在し、それらをサイトA、サイトBとする。水道事業者と治水事業者をそれぞれ主体1, 2, サイトA, Bの所有者を主体3, 4とする。水道事業者はいずれの河川によっても水道用水を確保することができる。一方、治水事業者は当該河川のダムに洪水調節容量を確保しなければ効果がない。つまり、両方の河川にダムを建設しなければならない。2つの流域の洪水に対する安全性を向上させることができない。

また複数の主体による提携が形成された際には、協力ゲームにおける解の一つであるシャプレイ値に基づいて純便益の配分が提携ごとに実施されるとする。

3. 特性関数の設定 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し、純便益配分の基準となる。多目的ダム事業においては、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 ($i \in S$)のみに参加した場合、 S による事業において得ることができる便益を $b_S(\{i\})$ 、 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)とし、特性関数 $v(\{i\})$ 、 $v(S)$ を次のように定義する。

$$v(\{i\}) = b_{i3}(\{i\}) - C(\{i\}) \quad v(S) = \sum_{i \in S} b_{i3}(\{i\}) - C(S) \quad (1)$$

本モデルでは以下のように仮定する。

$$v(\{i\}) = v(\{2\}) = v(\{3,4\}) = 0 \quad (2)$$

(2)式は事業の成立には事業者と所有者双方が必要なことを意味する。

キーワード 水資源開発, ゲーム理論, 提携形成, 複数提携

連絡先 〒755-8611 山口県宇部市常盤台 2-16-1 山口大学工学部

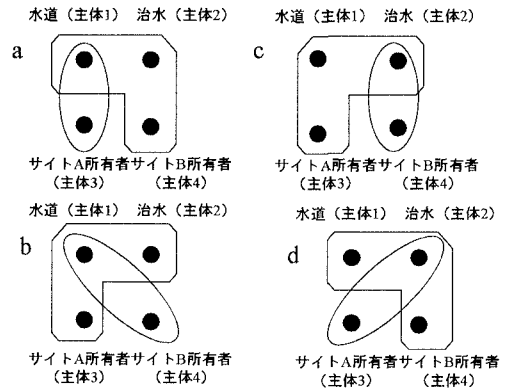


図1 事業者が複数提携に参加する提携構造

4. 複数事業に参加した場合の規模決定過程 本論文では提携成立時の事業規模が以下のように決定されると仮定する。提携が成立すると、事業者はその提携に対して自らが要求する機能水準を表明する。提携内では、提携に参加するすべての事業者が要求する機能水準をすべて満足し、かつ提携に参加している所有者が提供するサイトのみを用いて可能な最少費用の施設を建設するとする。

主体が複数の事業に参加する場合を考える。事業者については、図1の4通りの提携構造が生じ得る。a及びbにおいては、水道事業者が複数の事業に同時に参加している。またc及びdにおいては、治水事業者が各流域で別の事業に参加している。各事業における純便益の配分は独立に行われる。複数の事業に参加する場合、事業者は各事業における配分値の和を最大化するように要求機能水準を決定するとする。ここでは水道事業者の必要な水道用水量と、治水事業者が各河川で必要とする洪水調節容量は決定されているものとする。すなわち次式が成立する。

$$b_{13}(\{1\}) = b_{14}(\{1\}) = b_{134}(\{1\}) \\ b_{234}(\{2\}) = b_{23}(\{2\}) + b_{24}(\{2\}) \quad (3)$$

この場合、提携構造に関わらず治水事業者の要求機能水準は一定である。一方水道事業者は、a及びbにおいて各河川で別々を実施されている事業に要求機能水準（この場合は水道用水）をどのように配分するかを決定する必要が生じ

る。ここで費用関数形と意思決定の相関について以下の定理が成立する。

定理 両サイトにおいて、規模の増加とともに限界費用が逓減しつづける場合、 a 及び b における水道事業者の最適な意思決定は、①サイト A のみを利用する、②サイト B のみを利用する、のいずれかである。逆に水道事業者が両サイトを利用する場合、少なくとも一方のサイトにおいて限界費用が増加に転じている。

以上のようにして決定された事業規模の下での純便益を、(1) 式の特性関数に基づいて配分する。

5. 提携構造形成過程のモデル化

(1) **提携構造形成過程** 複数提携に参加する場合を含めた提携構造の形成過程を次のようにモデル化する。まず各主体は他の主体に対して協力関係形成の意思の有無を表明する。ここで主体の戦略を以下のように定義する¹⁾。

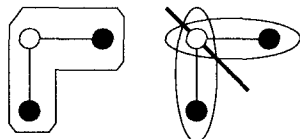
T_i : 主体 i が協力関係の意思表明している相手の集合

$j \in T_i, i \in T_j$ のとき主体 i, j 間にリンクが生成される。これを提携リンクと呼ぶ。提携リンクの集合により構成されるグラフを提携グラフと呼ぶ。提携グラフで連結された主体は、同一提携（同一事業）に参加する可能性が存在する。

次に主体は、自らに結合している提携リンク同士を結合するか否かを決定することができる。これは、自らを仲介役として連結されている 2 主体を包含した大規模な提携を形成するか、個別の提携に参加する形態をとるかを選択することを意味する(図 2)。

U_i : 提携構造において主体 i が結合している提携リンクペアの集合。

主体 i が提携リンクを結合していないば、主体 i を介して間接的に連結されている主体同士が同一の共同事業に参加することが可能となる。



○ 提携構造を決定する主体

図 2 提携リンクを結合して 3 主体による提携を形成した場合（左）と複数の提携が形成された場合（右）

(2) **安定性の定義** 本研究では提携構造の安定性は各事業者の戦略により定まる配分値の大小関係で決定される。ここでは戦略を変更できるのは事業者のみとする。また U_1, U_2 は T_1, T_2 が決定されたもとで定義される。ある T_1, T_2 の下で安定となる U_1^*, U_2^* はナッシュ均衡の概念より次のように定義

される。

$$\begin{aligned} F_1(T_1, T_2, U_1^*, U_2^*) &> F_1(T_1, T_2, U_1, U_2^*) \\ F_2(T_1, T_2, U_1^*, U_2^*) &> F_2(T_1, T_2, U_1, U_2) \end{aligned} \quad (4)$$

式(1)に示す F_1, F_2 は主体がある戦略を選択した場合の主体 1, 2 の利得（純便益の配分値の和）を表す。

ある T_1, T_2 の下で安定となる U_1^*, U_2^* を $U_1^*(T_1, T_2), U_2^*(T_1, T_2)$ と表すとする。安定な戦略の組 $T_1^*, T_2^*, U_1^*, U_2^*$ が満たすべき条件は以下ようになる。

$$\begin{aligned} F_1(T_1^*, T_2^*, U_1^*(T_1^*, T_2^*), U_2^*(T_1^*, T_2^*)) &> F_1(T_1, T_2, U_1^*(T_1, T_2), U_2^*(T_1, T_2)) \\ F_2(T_1^*, T_2^*, U_1^*(T_1^*, T_2^*), U_2^*(T_1^*, T_2^*)) &> F_2(T_1, T_2, U_1^*(T_1, T_2), U_2^*(T_1, T_2)) \end{aligned} \quad (5)$$

(3) **提携構造の安定性の分析結果** 本論文の提携構造形成モデルにおいては、2 段階の戦略選択を経て提携構造が形成されるため、提携構造が安定となる条件は(4)(5)式に示すように複雑となる。

図 1 の a, b, c, d のように一方の事業者が複数の提携に所属するような提携構造は、他方の事業者がサイトを利用することを妨げることになり、全体から見て非効率なサイト利用形態を招くことがある。このような提携構造の安定性について、以下の知見が得られた。

①両事業者がともにサイト所有者に対して自由に協力関係形成の表明をすることが可能な場合、事業者が複数の提携に所属する提携構造が安定するのは、両事業者がともに当該提携構造を全提携よりも選好する（純便益の配分値が大きい）場合に限定される。

②両サイトにおいて規模の拡大とともに限界費用が逓減する場合、 a, b に安定するのは、①に加え特性関数 $v(13)$ ($v(14)$) が負であることが必要条件となる。一方 c, d に安定するためには、特性関数の一部が負である必要はない。

①は複数流域において同時にダム建設の必要性が生じた場合、4 主体が単一の提携（全提携と呼ぶ）を形成する可能性が高いことを示している。実際に必ずしも複数流域を横断する事業が実施されないのは、制度的にサイトに対してアクセス（協力関係を形成）できる事業者が限定されているためと考えられる。既にダムが存在している場合などがこれに該当する。今後は複数ダムを連携させて既存ダムのより有効な利用を図るために、新規事業者が参入可能な制度的枠組みが必要と考えられる。一方②は、事業者のサイトへの依存性によって安定となる提携構造が変わり得ることを示している。

参考文献 1) Dutta, B. and S. Mutsaers: Stable Networks, Journal of Economic Theory, Vol. 76, pp.322-344, 1998.