多目的ダムにおける事業規模決定過程に関するゲーム論的考察

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

１．はじめに　多目的ダムの事業規模決定に当たっては，参加事業者の要求量が社会全体から見て適切な規模と一致しているか否かが問題となる．本研究では，多目的ダムに参加する各事業者を独立の意思決定主体とみなし，各主体が要求する貯水容量の総和によって事業規模が決定されているとする．さらに各サイトにおける費用及び便益を貯水容量の関数とし，ゲーム理論等を用いてモデル化し分析する．

２．ケースの想定　本研究では以下に示す２つのケースを想定する．

ケース１：河川環境の改善を考慮した発電用ダムの開発（図 1）

河川環境を改善するため，水力発電用ダムに環境用水のための容量を設定し，河川の放水流量を増加させるケースである．事業者は電力事業者と自治体，サイト所有者は１人である．電力事業者，自治体がサイトにおいて要求する貯水容量をそれぞれr_1, r_2，それによって得られる便益を$b_1(r_1), b_2(r_2)$，費用を$C(r_1+r_2)$とする．

ケース２：複数流域における新規ダム開発（図 2）

２つの流域において，サイト A は水道専用ダムであり，サイト B は水道，治水どちらも参加可能とする．治水は B で必要な洪水調節容量を確保するか，対象となる河川の改修を行うことができる．水道は A,B のみ又は A,B 両方のダムで必要な貯水容量を確保することができる．事業者は水道と治水事業者の２人であり，所有者はサイト A,B にそれぞれ１人とする．各事業者が要求する貯水容量を，以下のように定義する．

r_1^A：水道がサイト A から得る貯水容量
r_1^B：水道がサイト B から得る貯水容量
r_2^B：治水がサイト B から得る貯水容量
r_2^C：河川改修を貯水容量に置き換えた変数
r_1：水道が必要とする総貯水容量（$= r_1^A + r_1^B$）
r_2：治水が必要とする総貯水容量（$= r_2^B + r_2^C$）

図１　ケース１

図２　ケース２

３．分析プロセス　多目的な水資源開発共同事業における事業規模決定過程について，各ケースごとに以下の手順で分析する．

1. 各ケースにおいて，各部分提携における純便益を，主体の貯水容量の関数として設定する．
2. １で決定した値を特性関数として，主体が純便益配分の結果得ることができる配分値（シャプレイ値による）を求める．
3. 配分値の式に特性関数を代入し，その主体が得ることができる利得を，各サイトに対して要求する貯水容量の関数として表す．
4. ３で示した配分値の関数を，貯水容量rで偏微分し，主体の配分値が最大となるための一次条件を求める．
5. さらに，主体にとっての最適値（便益が最も多く得られる事業規模）を決定する．これが，主体の最適反応戦略となる．
6. 各主体の最適反応戦略を決定し，非協力ゲームにおける，ナッシュ均衡点の概念を援用して実現する事業規模を推定する．さらに，主体全体の純便益の総和を最大化する事業規模を求め，両者の間に乖離が生じていないか検討する．

4．ケース１の分析結果　電力事業者を主体 1，自治体（環境保全を目的とする）を主体 2，サイト所有者を主体 3 とする．便益の関数$b(r)$及び，費用関数$C(r)$は，貯水容量rに対して限界便益，限界費用が逓減する関数を想定する．シャプレイ値による主体 1 の配分値の式は

$$Y_1 = \frac{b_1(r_1) - C(r_1) + 2\{b_1(r_1) - C(r_1 + r_2) + C(r_2)}{6} \quad (1)$$

となる．主体 1 の配分値が，最大となるための一次条件として(2)式が得られる．

$$3\frac{\partial b_1}{\partial r_1} - 2\frac{\partial C}{\partial r}\frac{\partial r}{\partial r_1} - \frac{\partial C}{\partial r_1} = 0 \quad (2)$$

(2)式を変形すると(3)式が得られる．

$$3(\frac{\partial b_1}{\partial r_1} - \frac{\partial C}{\partial r}) - (\frac{\partial C}{\partial r_1} - \frac{\partial C}{\partial r}) = 0 \quad (3)$$

一方，主体全体の純便益は

$$b_1(r_1) + b_2(r_2) - C(r_1 + r_2) \quad (4)$$

であるため，社会全体にとって最適なr_1は

$$\frac{\partial b_1}{\partial r_1} - \frac{\partial C}{\partial r} = 0 \quad (5)$$

の解となる．ここで

r_1^*：主体 1 にとって最適なr_1｛(３) 式の解｝

r_1'：社会全体として最適なr_1｛(５) 式の解｝

r_{10}^*：$r_2 = 0$において主体 1 にとって最適なr_1

とする．貯水容量の増加に対して限界費用が逓減する費用関数の下では，以下の関係が常に成立する(**図 3**)．

$$r_{10}^* \le r_1^* \le r_1'$$

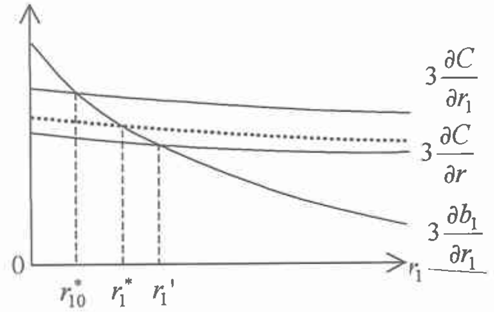

図 3 最適規模の決定

主体 2 による最適規模の決定も同様なため，ナッシュ均衡点は**図 4** のように決定される．

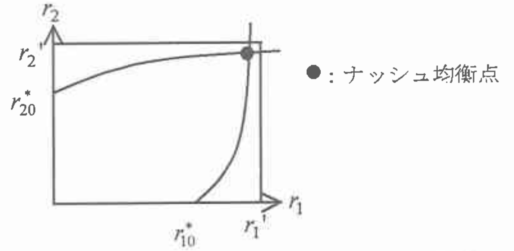

図 4　ケース 1 におけるナッシュ均衡点

以上より，非協力ゲームにおけるナッシュ均衡点において，互いの均衡戦略は常に社会的に最適な規模より小さい事業規模を選択してしまうことが明らかとなった．

5．ケース２の分析結果　水道事業者を主体 1，治水事業者を主体 2，サイト A 所有者を主体 3，B 所有者を主体 4 とする．費用関数$C(r)$は，いずれのサイトにおいても貯水容量rに対して限界費用が逓減する関数を想定する．一方，各事業者ごとの便益は一定である．

主体 1，2 の配分値が最大となる条件より

主体 1 の最適反応戦略は$r_1^B = 0$か$r_1^B = r_1$であり，

主体 2 の最適反応戦略は$r_2^B = 0$か$r_2^B = r_2$である．

主体 1，2 の最適反応戦略が，$r_1^B = 0$から$r_1^B = r_1$，$r_2^B = 0$から$r_2^B = r_2$に変わる境界値を，$\tilde{r}_1^B, \tilde{r}_2^B$とする．この$\tilde{r}_1^B, \tilde{r}_2^B$が，0 以下の場合，0 から$r_1, r_2$の間にある場合，$r_1, r_2$を越える場合の 3 通りに分類され，ナッシュ均衡点は全部で 9 通り存在する．以下に，その内の 3 つの例を示す．

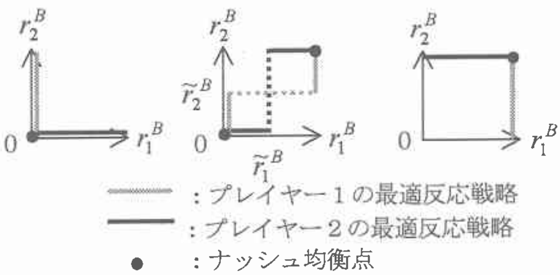

図 5 ケース 2 におけるナッシュ均衡点

分析の結果，各事業者の便益が大きくなると$\tilde{r}_1^B, \tilde{r}_2^B$が大きくなり，サイト B を利用しない傾向が強まることが明らかとなった．本研究では，純便益配分の実施を前提としている．このケースにおいては純便益配分がサイト B における共同事業の実施を妨げる一因となっている．