第IV部門　水資源開発プロジェクトにおける不完備情報下での純便益配分法の社会的効率性に関する基礎的考察

京都大学大学院　学生員　○榊原　弘之　京都大学大学院　学生員　五十部　渉
京都大学防災研究所　正員　多々納　裕一　京都大学防災研究所　正員　岡田　憲夫

1. はじめに　水資源開発プロジェクトにおいて，関係各主体に帰着する便益に関する情報が不完備な場合，各主体が自らの便益に関する情報を操作し，その結果として社会的に好ましい事業が実行不可能となる恐れがある．つまり情報の不完備性により社会的効率性が損なわれる可能性がある．そこで本研究では，不完備情報下での純便益配分ルールについて，便益の値または負担可能オプションをプレイヤー自らが表明する 2 種類のメカニズムを想定し，社会的効率性(実施すべき事業が実際に成立する確率)との関わりから比較検討を行う．

2. 純便益均等化配分ルール　筆者らは，既存ダムの更新整備の場合，事業費用のみでなく更新整備プロジェクトによって変化する便益も考慮した純便益配分が必要なことを指摘し，協力ゲーム理論の解概念の一つであるシャプレイ値に準拠した配分法を提案した[1]．この配分法は，プレイヤーが 2 人のとき以下のように定式化される． 2 つの異なる目的を代表するプレイヤー i $(i=1,2)$が，共同で事業を実施するとする．各プレイヤーが単独で行動した場合の便益を 0(原点)とし，事業が成立したときに各プレイヤーに帰着する便益(の増分)をそれぞれb^1，b^2とする．また事業費用をCで表す．社会的に見て事業実施が望ましいための条件は，$b^1+b^2 \geq C$であり，純便益の大きさはb^1+b^2-Cである．このときシャプレイ値による配分値は純便益を等分したものとなる．これはプレイヤー間で別払い(Side Payment)が行われていることを意味し，各プレイヤーの負担額 (x^1,x^2)は次式により表される．

$$(x^1,x^2)=\left(\frac{b^1-b^2+C}{2},\frac{-b^1+b^2+C}{2}\right) \tag{1}$$

次に各プレイヤーの便益に関する情報が不完備な[2]状況を想定する．両プレイヤーと，計画調整主体が有している情報は，Cと，b^1，b^2の上限・下限を示す値$(L_{\max}{}^1,L_{\min}{}^1)$，$(L_{\max}{}^2,L_{\min}{}^2)$のみであるとする．本論文では$L_{\min}{}^1+L_{\min}{}^2 \leq C$すなわち事業の成立が確定的でない状況を想定する．計画調整主体は，プレイヤーが便益の大きさとして表明した値s^1,s^2に基づいて負担割合を決定するとする．ただし，$s^1+s^2 \leq C$の場合は，事業は実施されないものとする．(1)式に従って負担額が決定されるとした場合，(s^1,s^2)が与えられた時のプレイヤー 1，2 の得る純便益は，次式により表される．

$$(y^1,y^2)=\begin{cases}\left(b^1-\dfrac{s^1-s^2+C}{2},b^2-\dfrac{-s^1+s^2+C}{2}\right) & (s^1+s^2 \geq C)\\ (0,0) \quad (s^1+s^2 \leq C) & \end{cases} \tag{2}$$

プレイヤー 1 が自らの獲得する純便益の期待値が最大となるような表明(s^1)を選択すると考えると，(s^1,s^2)は各プレイヤーの戦略と考えることができる．このときプレイヤー 1 は次の最大化問題を解くことになる．

$$max\frac{1}{L_{\max}{}^2-L_{\min}{}^2}\int_{(C-s_1)}^{L_{\max}{}^2}\left(b^1-\frac{s^1-s^2+C}{2}\right)ds^2$$
$$s.t.\, L_{\min}{}^1 \leq s^1 \leq L_{\max}{}^1 \tag{3}$$

(3)式の解は，

$$s^{1*}=\begin{cases}\dfrac{-L_{\max}{}^2+C+2b^1}{3} & (b^1 \geq 1.5L_{\min}{}^1+0.5L_{\max}{}^2-0.5C)\\ L_{\min}{}^1 \quad (b^1 < 1.5L_{\min}{}^1+0.5L_{\max}{}^2-0.5C) & \end{cases} \tag{4}$$

となる．(4)式は，$b^1+L_{\max}{}^2 \geq C$すなわちプレイヤー 1 から見て事業が成立する確率が正であるときは常に真のb^1よりも小さいs^1を表明するのが最適な戦略であることを示している．プレイヤー 2 についても同様である．

3. 負担可能オプション選択ルール　2. と異なるもう一つのルールとして筆者らは，固定的な有限個の負担オプションを設定し，プレイヤーに対して負担可能かどうか表明させ，それに基づいてプロジェクトを選択する計画調整手法を提案している[3]．本手法は，事業内容(施設の種類等)と負担割合の同時決定問題にも適用可能であるが，ここでは単一の事業の負担設定に関する問題に限定する．

プレイヤー 1 の負担額として，R_1とR_2の 2 種類のオプションを設定する．プレイヤー 2 は残りの$C-R_1$，$C-R_2$を負担する．このとき事業と負担オプションの組み合わせとして，2 つの計画案が存在する．これらをそれぞれR_1A，R_2Aと呼ぶこととする．現状SQとこれらの間の選好関係(タイプ)は，各プレイヤーについてそれぞれ次の 3 通り存在する．

プレイヤー1　①$R_1A \succ R_2A \succ SQ$，②$R_1A \succ SQ \succ R_2A$
③$SQ \succ R_1A \succ R_2A$

プレイヤー2　①$R_2A \succ R_1A \succ SQ$，②$R_2A \succ SQ \succ R_1A$

Hiroyuki SAKAKIBARA, Wataru ISOBE, Hirokazu TATANO, and Norio OKADA

③$SQ \succ R_2A \succ R_1A$

プレイヤー1から見たプレイヤー2の各選好関係(タイプ) j の生起確率 P_j^2 は，次のように与えられる．

$$P_1^2 = \begin{cases} 1 \ \ (L_{\min}{}^2 \geq (C - R_1)) \\ \dfrac{L_{\max}{}^2 - (C - R_1)}{L_{\max}{}^2 - L_{\min}{}^2} \ \ (L_{\max}{}^2 \geq (C - R_1)) \\ 0 \ \ (L_{\max}{}^2 < (C - R_1)) \end{cases} \tag{5}$$

$$P_3^2 = \begin{cases} 1 \ \ (L_{\max}{}^2 \leq (C - R_2)) \\ \dfrac{(C - R_2) - L_{\min}{}^2}{L_{\max}{}^2 - L_{\min}{}^2} \ \ (L_{\min}{}^2 \leq (C - R_2)) \\ 0 \ \ (L_{\min}{}^2 > (C - R_2)) \end{cases} \tag{6}$$

$$P_2^2 = 1 - P_1^2 - P_3^2 \tag{7}$$

タイプが②または③の場合，プレイヤーが偽りの表明を行うインセンティブが存在しないことは証明可能である．プレイヤー 1 のタイプが①の場合，真の表明を行った場合と，②であると偽の表明を行った場合の獲得純便益の期待値は，それぞれ次式で表される．

$$P_1^2(b^1 - 0.5 \times R_1 - 0.5 \times R_2) + P_2^2(b^1 - R_2) \tag{8}$$

$$P_1^2(b^1 - R_1) \tag{9}$$

真の表明を行った方が有利となるためには，(8)式が(9)式を上回る必要がある． P_j^i がすべて正の値を取るような R_1，R_2 に限定して考えると，(8)式が(9)式を上回るためには，プレイヤー1の便益 b^1 が

$$b^1 \geq R_2 + \frac{L_{\max}{}^2 - C + R_1}{2} \tag{10}$$

であればよい．このときプレイヤー 1 は真の表明を行うと考えられる．プレイヤー2に関しても同様である．

4. 社会的効率性に関する検討 2. 及び 3. において，表明された便益の値に基づいて負担額を決定するメカニズム(2.)及びあらかじめ設定された負担オプションから両プレイヤーが支払可能なオプションを選択するメカニズム(3.)の 2 つのルールを示し，それぞれにおける不完備情報下でのプレイヤーの行動をモデル化した．計画調整メカニズムの社会的効率性を，実行すべき(純便益が正の)事業が確実に実行される確率により評価するとする．どちらのルールにおいても，実行すべきでない(純便益が負の)事業が実行可能であると判定されることはありえない．よって計画調整主体はが事業成立確率がより高い方のルールを採択すべきであると考えてよい．

2. の配分ルールを用いる場合，双方のプレイヤーが真の値よりも小さい値を表明すると考えられる．(4)式より，双方のプレイヤーが偽りの申告を行っても事業が成立するための条件は，

$$b^1 + b^2 \geq \frac{C + L_{\max}{}^1 + L_{\max}{}^2}{2} \tag{11}$$

(11)式が成立する確率は

$$\frac{(L_{\max}{}^1 + L_{\max}{}^2 - C)^2}{8(L_{\max}{}^1 - L_{\min}{}^1)(L_{\max}{}^2 - L_{\min}{}^2)} \tag{12}$$

一方 3. の配分ルールにおいては， 事業の成立確率は(5)(6)式及び(10)式より次のように表される．

$$\begin{aligned} &\frac{(L_{\max}{}^1 - R_2 - \frac{L_{\max}{}^2 - C + R_1}{2})(L_{\max}{}^2 - (C - R_1) - \frac{L_{\max}{}^1 - R_2}{2})}{(L_{\max}{}^1 - L_{\min}{}^1)(L_{\max}{}^2 - L_{\min}{}^2)} \\ &+ \frac{(L_{\max}{}^1 - R_2 - \frac{L_{\max}{}^2 - C + R_1}{2})(\frac{L_{\max}{}^1 - R_2}{2} + R_2 - R_1)}{(L_{\max}{}^1 - L_{\min}{}^1)(L_{\max}{}^2 - L_{\min}{}^2)} \\ &+ \frac{(\frac{L_{\max}{}^2 - C + R_1}{2} + R_2 - R_1)(L_{\max}{}^2 - (C - R_1) - \frac{L_{\max}{}^1 - R_2}{2})}{(L_{\max}{}^1 - L_{\min}{}^1)(L_{\max}{}^2 - L_{\min}{}^2)} \end{aligned} \tag{13}$$

$(L_{\max}{}^1, L_{\min}{}^1) = (1.5C, 0), (L_{\max}{}^2, L_{\min}{}^2) = (1.5C, 0)$ の場合について，R_1, R_2 に対する(13)式と(12)式(事業の成立確率)の差を等高線により示したのが図 1 である．$(R_1, R_2) = (0.3C, 0.7C)$ において(13)式は最大となり，(12)式の値よりも大きい．従って，負担オプションを 2 種類に限定した 3. のメカニズムの方が，事業が成立する可能性が高く，社会的効率性の点で優れているといえよう．

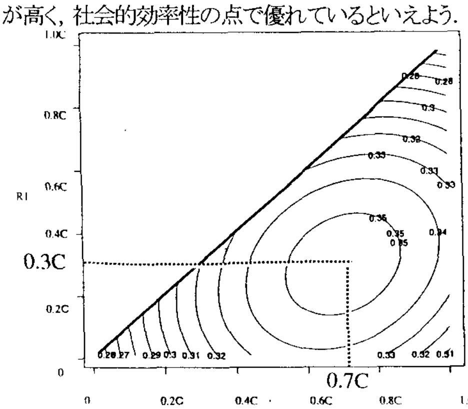

図1 事業成立確率の差

参考文献 1) 榊原弘之, 岡田憲夫:流域規模の水資源再配分としてみたダム再開発事業の費用・便益配分問題に関する研究, 土木学会関西支部年次学術講演会, IV-3, 1997. 2) 岡田章:ゲーム理論, 有斐閣, 1996. 3) 五十部渉, 榊原弘之, 多々納裕一, 岡田憲夫:不完備情報下での発電用ダム再開発における純便益配分法の提案, 土木学会関西支部年次学術講演会, 1998(投稿中).