

共同社会基盤整備における情報の自己表明に基づく純便益配分制度の適用に関するゲーム論的考察*

Game Theoretic Analysis on Application of Net benefit Allocation Based on Self Revelation

for Multi-Agent Infrastructure Project*

榎原 弘之**, 岡田 憲夫***, 多々納 裕一****, 五十部 渉*****

By Hiroyuki Sakakibara**, Norio Okada***, Hirokazu Tatano****, and Wataru Isobe*****

1. はじめに

水資源開発事業のように、複数の事業主体(以下単に主体と呼ぶ)が共同で実施する社会基盤整備においては、事業費用や事業によって各主体に帰着した便益をどのように配分するかが問題となる。特に事業形態によって供給サービス水準が異なるような場合は、事業費用のみでなく便益を考慮した負担の決定(純便益配分)が必要となる。しかし、費用に比べ便益の算定には各主体の有する情報を必要とすることが多い。帰着している便益が大きいと判定された主体が大きな額を負担する受益者負担ルールの下では、主体に自らの便益に関する情報を偽ろうとするインセンティブが生じる。本論文では複数主体による社会基盤整備で便益に関する情報を各主体のみが有している状況下で、情報の自己表明に基づいた純便益配分を実施した場合の効率性について、ゲーム理論を用いて検討する。

2. 情報構造に関する設定

(1) 主体の便益に関する情報

本研究では、二人の主体($i = 1, 2$)と、計画調整主体の三者による不完備情報下でのゲームを想定する。今、ある共同事業が想定されているとし、それらの事業が実施された場合の主体 i の便益の大きさを b^i とする。一方この共同事業に要する費用は C であるとする。

真の b^i の大きさは、当該主体 i のみが知るものとする。もう一方の主体と、計画調整主体は、 b^i の値がある確率変数として生起することのみを知っているとする。具体的な確率分布としてここでは均等分布を仮定し、上限、下限は $L_{\max}^i, L_{\min}^i$ で与えられるものとする。すなわち

* キーワーズ: 計画基礎論, 水資源計画, 財源・制度論, 計画情報

** 正員, 工修, 山口大学工学部社会建設工学科
(山口県宇部市常盤台 2557, Tel. 0836-22-9721, Fax 0836-35-9429)

*** 正員, 工博, 京都大学防災研究所
(京都府宇治市五ヶ庄, Tel. 0774-38-4035, Fax 0774-38-4044)

**** 正員, 工博, 京都大学防災研究所
(京都府宇治市五ヶ庄, Tel. 0774-38-4035, Fax 0774-38-4044)

***** 学生員, 京都大学大学院
(京都市左京区吉田本町, Tel. 075-753-5070)

b^i の確率密度関数は次のように与えられる。

$$f(b^i) = \begin{cases} \frac{1}{L_{\max}^i - L_{\min}^i} & (L_{\min}^i \leq b^i \leq L_{\max}^i) \\ 0 & (b^i \leq L_{\min}^i, b^i \geq L_{\max}^i) \end{cases} \quad (1)$$

両確率変数は独立で、相関はないものとする。また本論文では $L_{\min}^1 + L_{\min}^2 \leq C$ すなわち事業の成立が確定的ではない状況を想定する。

一方事業費用 C に関しては、両主体、計画主体のいずれも正確な額を知っているものとする。また各主体の効用は事業の純便益に対して線形の関数で与えられると仮定する。

(2) 共有知識

便益に関する情報が不完備な状況であっても、多くのケースでは、一部の事象の選好順序に関して、確定的な情報を入手できると考えられる。例えば、任意の主体が自らの負担がより少ない配分を選好することは明らかであり、関係する主体すべてがこのことを知っている。また後述するように各主体は計画調整主体が採用する純便益配分メカニズムについて事前に情報を得ている。これらにある状態において共有知識(Common Knowledge)が得られていると呼ぶ。共有知識は次のように定義される¹⁾。

定義

状態 ω において主体 i が事象 E を知っていることを $P_i(\omega) \subset E$ と表すとする。状態 ω において事象 E が主体 $i = 1, \dots, N$ にとって共有知識であるとは、任意の $n \in \{1, 2, \dots, N\}$ 及び任意の主体の列 $(i_1, i_2, \dots, i_n)$ に関して $P_{i_n}(P_{i_{n-1}}(\dots P_{i_1}(\omega))) \subset E$ が成立することを指す。

すなわち共有知識とは、すべての主体がそのことを知っているのみでなく、「他の主体が知っていることを知っている」ような情報を指す。(1)で示した情報のうち $L_{\max}^1, L_{\min}^1, L_{\max}^2, L_{\min}^2, C$ は共有知識の一例である。共有知識は、計画調整主体による選好順序の推定に有用である。

3. 自己表明に基づいた配分メカニズム

(1) 自己表明に基づいた純便益配分メカニズム

便益に関する情報が計画調整主体にとって明らかでない場合、事前に純便益の配分を示すことができない。そこで、主体に自らの便益に関する情報を表明させ、それに基づいて計画調整主体が事業の実施の可否と配分を決定するメカニズムを想定する。それは、以下のような手順を取るものとする。

- ① 計画調整主体は配分ルールと、主体に表明を求める情報の種類を伝達する。
- ② 主体は、計画調整主体に求められたタイプの情報を表明する。表明された情報は共有知識となる。ただし主体が常に真の情報を表明するとは限らない。
- ③ 計画調整主体は表明された情報に基づいて事業実施の可否と配分を決定する。

図-1 にそのプロセスを示す。

このメカニズムは不完備情報ゲーム²⁾の理論におけるコミュニケーションゲームとしてモデル化可能である。このとき主体 i の戦略は②において表明する情報 s^i となる。

本研究では、2. において示したように獲得純便益の大きさに対する線形関数として効用を規定している。言い換えれば、主体間で比較可能な基数型効用関数を仮定している。従って、便益の大きさ(支払い意思額)を表明させることによって両主体にとってパレート改善となるような純便益配分を決定することができる。しかし後述するようにこの種の情報の表明では主体は常に情報を偽るインセンティブを有する。一方で、有限個の負担オプションを提示し、それらと現状維持の場合との選好順位を表明させることにより、効用に関する序数的で比較不能な情報を得ることも可能である。この場合は情報を偽るインセンティブを減少させることができるが、その反面純便益

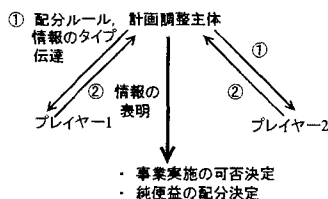


図-1 自己表明に基づいた決定メカニズム

配分によってパレート改善が潜在的に可能な事業が実施されない可能性が存在する。以下にこれらの情報表明ルールについて説明する。

(2) 基数型情報表明ルール

計画調整主体は、主体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。協力ゲーム理論の解概念の一つであるシャプレイ値による配分解は純便益を等分したものとなるので、各主体の負担額は次式で与えられる。

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

この場合、各主体の得る純便益は次式により表される。

$$(y^1, y^2) = \begin{cases} \left(b^1 - \frac{s^1 - s^2 + C}{2}, b^2 - \frac{-s^1 + s^2 + C}{2} \right) & (s^1 + s^2 \geq C) \\ (0, 0) & (s^1 + s^2 \leq C) \end{cases} \quad (3)$$

(3) 序数型情報表明ルール³⁾

主体 1 の負担額として、 R_1 と R_2 の 2 種類を設定する。主体 2 は残りの $C - R_1$ 、 $C - R_2$ を負担する。現状が維持される事象を SQ (Status Quo) により表現するとする。 R_1A は事業が実施され、主体 1 が R_1 、主体 2 が $C - R_1$ だけ負担する事象を指すとする。負担オプションを 2 種類に限定することにより、主体の表明する情報は SQ, R_1A, R_2A という 3 種類の事象に対する選好順序(序数型情報)となる。

ここで共有知識より、主体 1 が R_2A より R_1A を選好し、主体 2 が R_1A より R_2A を選好することはすべての主体にとって明らかである。従って現状 SQ と R_1A, R_2A の間の選好関係(タイプ)は、各主体についてそれぞれ次の 3 通りに限定される。

主体 1 タイプ 1: $R_1A \succ R_2A \succ SQ$,

タイプ 2: $R_1A \succ SQ \succ R_2A$ タイプ 3: $SQ \succ R_1A \succ R_2A$

主体 2 タイプ 1: $R_2A \succ R_1A \succ SQ$

タイプ 2: $R_2A \succ SQ \succ R_1A$ タイプ 3: $SQ \succ R_2A \succ R_1A$

R_1A のうち少なくとも一方が両主体によって SQ よりも選好される場合、事業は実施され、主体 1, 2 の負担額はそれぞれ $(R_1, C - R_1)$ となる。 R_1A, R_2A 両方が両主体によって SQ よりも選好される場合は、等確率で負担オプションが選択されるとする。2. において定義したよう

な不完備情報下において主体 1 の各選好関係(タイプ j の客観的な生起確率 P_j^1 は、次のように与えられる。

$$P_1^1 = \begin{cases} 1 & (L_{\min}^2 \geq R_2) \\ \frac{L_{\max}^1 - R_2}{L_{\max}^1 - L_{\min}^1} & (L_{\max}^1 \geq R_2) \\ 0 & (L_{\max}^1 < R_2) \end{cases} \quad (4)$$

$$P_3^2 = \begin{cases} 1 & (L_{\max}^1 \leq R_1) \\ \frac{R_1 - L_{\min}^1}{L_{\max}^1 - L_{\min}^1} & (L_{\min}^1 \leq R_1) \\ 0 & (L_{\min}^1 > R_1) \end{cases} \quad (5)$$

$$P_2^1 = 1 - P_1^1 - P_3^1 \quad (6)$$

4. 情報表明ルールと社会的効率性

(1) 基数型情報表明ルールの下での主体の行動

主体は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を選択する。本論文では完全な期待均衡が実現した場合を想定する。このとき、各主体が選択する戦略(s^1, s^2)は、ベイジアン均衡点²⁾に一致する。 s^1, s^2 がそれぞれ b^1, b^2 の線形の関数で与えられると仮定すると、主体 1 の最適戦略(s^{1*})は次式の通りである。

($3L_{\max}^1 - L_{\max}^2 \leq 3C$) のとき

$$s^{1*} = \begin{cases} \frac{2}{3}b^1 + \frac{3C + L_{\max}^1 - 3L_{\max}^2}{12} \\ \left(\frac{3C + L_{\max}^1 - 3L_{\max}^2}{4} \leq b^1 \right) \\ b^1 \\ \left(b^1 < \frac{3}{4}C - \frac{L_{\max}^1 - 3L_{\max}^2}{4} \right) \end{cases} \quad (7)$$

($3L_{\max}^1 - L_{\max}^2 > 3C$) のとき

$$s^{1*} = \begin{cases} \frac{C - L_{\min}^2}{12} \\ \left(\frac{9C - L_{\max}^1 + 3L_{\max}^2 - 12L_{\min}^2}{12} \leq b^1 \right) \\ \frac{2}{3}b^1 + \frac{3C + L_{\max}^1 - 3L_{\max}^2}{12} \\ \left(b^1 \leq \frac{9C - L_{\max}^1 + 3L_{\max}^2 - 12L_{\min}^2}{12} \right) \\ L_{\min}^1 \\ \left(b^1 < \frac{-3C - L_{\max}^1 + 3L_{\max}^2}{8} \right) \end{cases} \quad (8)$$

$C \leq L_{\max}^1$ の場合、真の表明に対する最適反応²⁾よりも s^{1*} が大きい。

(2) 序数型情報表明ルールの下での主体の行動

序数型情報表明ルールのもとでは、一般に次の 2 つの定理が成立する。

定理 1 $R_j A$ よりも SQ の方が好ましい場合に偽って $SQ \prec R_j A$ であると表明すると配分される純便益の期待値は必ず減少する。従ってそのような表明を行う動機は存在しない。

定理 2 $R_j A$ のうちに少なくとも 1 つ現状より好ましい事象が存在する場合、タイプ 3 であると表明する動機は存在しない。

定理 1 は、主体が便益を過小に表明する可能性は存在しても、過大に表明することはないことを意味している。従って、序数型情報表明ルールの下では実施すべき(純便益が正である)事業が実行可能であると判断されることは有り得るが、実施すべきでない(純便益の増加分が負である)事業が実行可能と判断されることはない。定理 2 は、最も好ましい事業に関しては常に真の表明を行うことを意味する。

定理 1, 2 よりタイプ 2, 3 のときプレイヤーは真の選好順序を表明する。しかしタイプ 1 の場合はタイプ 2 であると偽の表明を行なう可能性が存在する。 $b^1 \geq \varepsilon^1 > R_1$, $b^2 \geq \varepsilon^2 > C - R_2$ の場合は、各主体が真の表明を行なうとする。主体 1 がタイプ 1 の場合、真の表明を行った場合とタイプ 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。なお $P^2(b^2 \geq \varepsilon^2)$ は b^2 が ε^2 を上回る確率を意味する。

$$P^2(b^2 \geq \varepsilon^2) \times (b^1 - 0.5 \times R_1 - 0.5 \times R_2) + P^2(\varepsilon^2 \geq b^2 \geq C - R_2) \times (b^1 - R_2) \quad (9)$$

$$P^2(b^2 \geq \varepsilon^2) \times (b^1 - R_1) \quad (10)$$

主体 1 が真の表明をするときには、(9)式が(10)式を上回る必要がある。ここでは 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。期待均衡では($\varepsilon^1, \varepsilon^2$)に関して次式が成立する。

$$\begin{aligned} & \frac{L_{\max}^2 - \varepsilon^2}{L_{\max}^2 - L_{\min}^2} (\varepsilon^1 - 0.5R_1 - 0.5R_2) + \frac{\varepsilon^2 - (C - R_2)}{L_{\max}^2 - L_{\min}^2} (\varepsilon^1 - R_2) \\ &= \frac{L_{\max}^2 - \varepsilon^2}{L_{\max}^2 - L_{\min}^2} (\varepsilon^1 - R_1) \end{aligned} \quad (11)$$

$$\begin{aligned}
& \frac{L_{\max}^1 - \varepsilon^1}{L_{\max}^1 - L_{\min}^1} \{ \varepsilon^2 - 0.5(C - R_1) - 0.5(C - R_2) \} \\
& + \frac{\varepsilon^1 - R_1}{L_{\max}^1 - L_{\min}^1} \{ \varepsilon^2 - (C - R_1) \} \\
& = \frac{L_{\max}^1 - \varepsilon^1}{L_{\max}^1 - L_{\min}^1} (\varepsilon^2 - (C - R_2)) \quad (12)
\end{aligned}$$

(3) 社会的効率性に関する検討

基数型情報表明ルールの場合、双方の主体が偽りの申告を行っても事業が成立するための条件は、(7),(8)式より

$$b^1 + b^2 \geq \frac{3C + L_{\max}^1 + L_{\max}^2}{4} \quad (13)$$

成立確率は次式で与えられる。

$$\frac{9(L_{\max}^1 + L_{\max}^2 - C)^2}{16(L_{\max}^1 - L_{\min}^1)(L_{\max}^2 - L_{\min}^2)} \quad (14)$$

序数型情報表明ルールの場合、事業の成立する領域は図-2の斜線部のように示され、成立確率は次のようになる。

$$\frac{(L_{\max}^1 - R_1)(L_{\max}^2 - \varepsilon^2) + (L_{\max}^1 - \varepsilon^1)(\varepsilon^2 - C + R_2)}{(L_{\max}^1 - L_{\min}^1)(L_{\max}^2 - L_{\min}^2)} \quad (15)$$

(11),(12)式を解くことによって $(\varepsilon^1, \varepsilon^2)$ を解析的に求めることができ、それによって事業が成立する領域が特定できる。

計画調整主体が自己表明に基づいた純便益配分制度を導入する際には、社会全体の観点からより好ましいと判断する情報表明ルールを適用する。(13)式及び(15)式より、 $L_{\max}^1 + L_{\max}^2 \geq C$ の場合いずれの情報表明ルールでも事業が成立する領域においては常に総純便益が正である $(b^1 + b^2 \geq C)$ ことがわかる。従って成立確率のより高い情報表明ルールを選択することは、総純便益が正となる事業を実施する確率を最大化することと同値であり、社会的に見てより効率的である。

5. 情報の複数回表明ルール

これまでのメカニズムにおいては各主体は情報を一度だけ表明し、その情報によって事業実施の可否と配分が決定された。ワンショットのゲームであることによって、主体が自らの便益を小さく表明したときに事業が実施されないリスクが大きくなり、このことが主体が情報を偽るインセンティブを弱める働きをしていた。しかし現実の計画

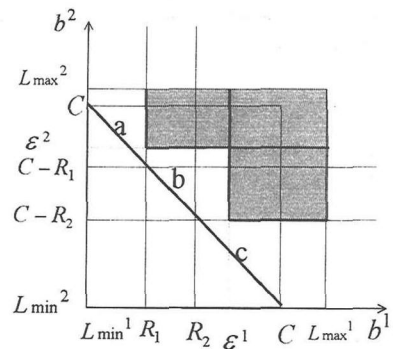


図-2 事業の成立領域

調整メカニズムにおいては、主体から情報を得た上で修正した計画案を再び提案するようなプロセスをとることも多いと考えられる。そこで序数型情報表明ルールにおいて次のような2段階のメカニズムを考える。

- ① 3.(3)に従って主体はタイプの表明を行う。
- ② 事業が成立しないケースのうち、表明されたタイプが図-2のa(主体1がタイプ3, 主体2がタイプ1), b(主体1がタイプ2, 主体2がタイプ2), c(主体1がタイプ1, 主体2がタイプ3)の場合、計画調整主体がa,b,cの各領域内において再度負担オプション R'_1, R'_2 を設定し、再度表明された情報に基づいて事業実施の可否と配分を決定する。

このように情報の表明を複数回とし、このことが事前に共有知識となっている場合、一回目の情報表明において定理2は成立しない。すなわち主体の真の選好順序がタイプ2であってもタイプ3であると偽りの情報を表明し、より有利な(自らの負担の小さい)設定が実施される第2段階へプロセスを移行させようとする可能性がある。ただし時間割引により決定の遅れに伴う損失を考慮すれば、第1段階における偽りの表明を抑制することができる。詳細については講演時に譲る。

参考文献

- 1) J. Geanakoplos: Common Knowledge, Journal of Economic Perspectives, Vol.6, No.4, pp.53-82, 1992.
- 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概要集, IV-20, 1998.