共同事業における自己表明に基づく純便益配分制度に関するゲーム論的考察*

Game Theoretic Analysis on Net Benefit Allocation Based on Self Revelation for Multi-Agent Infrastructure Project*

榊原 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，事業費用をどのように配分するかが問題となる．水資源計画においてこの問題は「共同事業費用の配分問題」として多くの研究成果が存在する[1),2),3)]．一方事業形態によって各主体への帰着便益が異なるような場合は，便益と費用の差（純便益）を考慮した負担の決定（純便益配分）が必要となる．筆者らは，既存ダムの更新整備プロジェクトにおいて，プロジェクトを実行した場合と実行しない場合で各主体に帰着する便益の大きさが異なることから，純便益配分を用いることが適当であることを示し，具体的な配分法を提案している[4)]．この純便益配分を実施するためには，各主体に帰着する便益の大きさを知る必要がある．

しかし，費用は第三者にとっても比較的算定が容易なのに対し，便益の推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．それによって，社会的に見て実施されるべき事業が実施されないという非効率性が生じる恐れがある．

ゲーム理論においては，主体がゲームの要素について完全な情報を持たないゲームとして，Harsanyi[5)]らによる不完備情報下のゲーム理論が存在する[6)]．本論文では，これらを援用して，複数の主体による共同事業の純便益配分過程における主体の情報の表明に関する意思決定過程を分析する．先述したダムの更新整備のように，事業費用のみでなく純便益を配分することが必要となるタイプの共同事業においては，純便益配分が適当であると考えられる．その際，自らに帰着する便益が大きいほど，負担額が大きくなるような配分ルールが採られることが多い．この場合，自らの便益の大きさを小さく偽ることは，相手主体の事業規模にただ乗りすることを意味する．

この問題に類似した構造が，公共経済学における公共財の自発的供給の問題にも存在する[7)]．公共財に対する評価を実際より低く申告することによって自らの負担を小さくすることができるような場合，公共財の供給が最適な量に比べ過少になる可能性が指摘されている．

本論文では 2 主体による共同社会基盤整備事業を対象として，情報の自己表明に基づく純便益配分メカニズムの下での主体の選択行動を分析し，総純便益が正である共同事業は実行され，負である事業は実行されないという，社会的な効率性が達成されるか否かについて検討を行う．第 2 章では，本論文における情報構造をモデル化する．第 3 章では，不完備情報のゲーム理論を援用して，情報の自己表明に基づく純便益配分メカニズムを定式化し，2 種類の情報表明ルールを想定する．第 4 章では，第 3 章で定式化した配分メカニズム，情報表明ルールのもとで，相手主体の行動に関する期待の異なる 2 種類のケースについて主体の最適戦略を求め，社会的な効率性が達成されているか否かを分析する．第 5 章では，第 3 章で想定した情報表明ルールの内，序数型情報表明ルールについて，情報を複数回表明することによって社会的効率性を改善する可能性について分析を行う．最後に第 6 章では，本論文の分析結果をまとめるとともに今後の課題を示す．

2. 情報構造に関する設定

(1) 主体の便益に関する情報

本論文では，2 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

* 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，
E-Mail hsakaki@jim.civil.yamaguchi-u.ac.jp）
*** 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，
E-Mail okada@imdr.dpri.kyoto-u.ac.jp）
**** 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，
E-Mail tatano@imdr.dpri.kyoto-u.ac.jp）
***** 学生員，京都大学大学院工学研究科
（京都市左京区吉田本町，Tel. 075-753-5070
E-Mail isobe@imdr.dpri.kyoto-u.ac.jp）

る共同事業が想定されているとし，そ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一様分布を仮定し，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$b^i$の確率密度関数は次のように与えられる．

$$f(b^i)=\begin{cases}\dfrac{1}{L\max^i-L\min^i} & (L\min^i \le b^i \le L\max^i)\\ 0 & (b^i \le L\min^i, b^i \ge L\max^i)\end{cases} \tag{1}$$

b^1, b^2は独立で，相関はないものとする．また本論文では$L_{\min}{}^1+L_{\min}{}^2 \le C$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，本論文で想定するゲームでは関係する主体すべてが事業費用を知っており，さらに全主体が事業費用に関する正確な情報を有していることをすべての主体が知っている．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．これらを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，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．共有知識の詳細な定義は付録に譲る．

3．自己表明に基づく配分メカニズム

(1) 自己表明に基づく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．

このメカニズムは不完備情報ゲーム [7]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序のみを表明させ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，$s^1+s^2 \le C$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 [9]による純便益の配分解(y^1, y^2)は次のように与えられる．

$$(y^1,y^2)=(\frac{s^1+s^2-C}{2},\frac{s^1+s^2-C}{2}) \tag{2}$$

(2)式から明らかなように，主体の数が 2 人の場合シャプレイ値は純便益の総和を等分したものとなる．このとき各主体の負担額x^1, x^2はs^1, s^2とy^1, y^2の差として与えられるため，

$$(x^1,x^2)=(\frac{s^1-s^2+C}{2},\frac{-s^1+s^2+C}{2}) \tag{3}$$

となる．さらに各主体が実際に得る純便益は次式により表される．

$$(y^1,y^2)=\begin{cases}(b^1-\dfrac{s^1-s^2+C}{2}, b^2-\dfrac{-s^1+s^2+C}{2}) & (s^1+s^2 \ge C)\\ (0,0) & (s^1+s^2 \le C)\end{cases} \tag{4}$$

(4)式より，$s^1+s^2 \ge C$である限り，各主体は表明

する値s^1, s^2を小さくするほど実際に得る純便益が大きくなることが分かる.

(3) 序数型情報表明ルール

主体 1 の負担額として，r_1とr_2の 2 種類を設定する（$r_1 < r_2$とする）. 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_jAは事業が実施され，主体 1 がr_j，主体 2 が$C-r_j$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.

ここで各主体の選好に関して，一般に次の共有知識が形成されていると考えられる.

共有知識

同一事業において，各主体は自らの負担がより小さい事象をより高く選好する.

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となる. 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_jA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$(r_j, C-r_j)$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. **表－1** に各主体の表明するタイプと獲得純便益の期待値に関するマトリックスを示す. 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.

$$P_1^1 = \begin{cases} 1 & (L_{\min}{}^1 \ge r_2) \\ \dfrac{L_{\max}{}^1 - r_2}{L_{\max}{}^1 - L_{\min}{}^1} & (L_{\min}{}^1 \le r_2 \le L_{\max}{}^1) \\ 0 & (L_{\max}{}^1 < r_2) \end{cases} \tag{5}$$

表－1 表明タイプと獲得純便益の期待値

主体1 ＼ 主体2	タイプ1	タイプ2	タイプ3
タイプ1	$(b^1 - r_1/2 - r_2/2,$ $b^2 - C + r_1/2 + r_2/2)$	$(b^1 - r_2,$ $b^2 - C + r_2)$	(0,0)
タイプ2	$(b^1 - r_1,$ $b^2 - C + r_1)$	(0,0)	(0,0)
タイプ3	(0,0)	(0,0)	(0,0)

$$P_3^1 = \begin{cases} 1 & (L_{\max}{}^1 \le r_1) \\ \dfrac{r_1 - L_{\min}{}^1}{L_{\max}{}^1 - L_{\min}{}^1} & (L_{\min}{}^1 \le r_1 \le L_{\max}{}^1) \\ 0 & (L_{\min}{}^1 > r_1) \end{cases} \tag{6}$$

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

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

(a) 基本的行動モデル

主体 1 にとってs^2は確率変数であるため，事前の意思決定の段階において主体 1 は(4)式の期待値が最大となるような表明を選択する. 主体 1, 2 がそれぞれs^1, s^2を表明した場合の獲得純便益の期待値$E(y^1 | s^1), E(y^2 | s^2)$はそれぞれ以下のようになる.

$$E(y^1 | s^1) = \begin{cases} 0 & (L_{\max}{}^2 \le C - s^1) \\ \displaystyle\int_{C-s^1}^{L_{\max}{}^2} \{b^1 - \frac{s^1 - s^2 + C}{2}\} h^1(s^2) ds^2 & (L_{\min}{}^2 \le C - s^1 \le L_{\max}{}^2) \\ \displaystyle\int_{L_{\min}{}^2}^{L_{\max}{}^2} \{b^1 - \frac{s^1 - s^2 + C}{2}\} h^1(s^2) ds^2 & (L_{\min}{}^2 > C - s^1) \end{cases} \tag{8}$$

$$E(y^2 | s^2) = \begin{cases} 0 & (L_{\max}{}^1 \le C - s^2) \\ \displaystyle\int_{s^1=C-s^2}^{L_{\max}{}^1} \{b^2 - \frac{-s^1 + s^2 + C}{2}\} h^2(s^1) ds^1 & (L_{\min}{}^1 \le C - s^2 \le L_{\max}{}^1) \\ \displaystyle\int_{s^1=L_{\min}{}^1}^{L_{\max}{}^1} \{b^2 - \frac{-s^1 + s^2 + C}{2}\} h^2(s^1) ds^1 & (L_{\min}{}^1 > C - s^2) \end{cases} \tag{9}$$

ここで$h^1(s^2)$及び$h^2(s^1)$は，主体 2(主体 1)の表明する値に関して主体 1(主体 2)が有する確率分布である.

(b) 真の表明を期待する場合

各主体が，相手主体は常に真の表明を行うことを期待している場合には，$h^1(s^2)=f(s^2)$，$h^2(s^1)=f(s^1)$となる．このとき主体 1,2 の最適な戦略s^{1*},s^{2*}は次の最大化問題を解くことにより得られる．

$$\max\left[0,\frac{1}{L_{\max}{}^2-L_{\min}{}^2}\int_{\max\{(C-s^1),L_{\min}{}^2\}}^{L_{\max}{}^2}\left(b^1-\frac{s^1-s^2+C}{2}\right)ds^2\right]$$
$$s.t.L_{\min}{}^1\le s^1\le L_{\max}{}^1 \tag{10}$$

$$\max\left[0,\frac{1}{L_{\max}{}^1-L_{\min}{}^1}\int_{\max\{(C-s^2),L_{\min}{}^1\}}^{L_{\max}{}^1}\left(b^2-\frac{-s^1+s^2+C}{2}\right)ds^1\right]$$
$$s.t.L_{\min}{}^2\le s^2\le L_{\max}{}^2 \tag{11}$$

解析解の導出は付録 B に譲る.

(c) 期待均衡が実現した場合

(b)における想定は，自身は偽りの情報を表明しながら，相手主体は常に真の情報を表明することを期待して意思決定するというものであった．実際には，純便益配分メカニズムが定着するにつれ，各主体は相手主体もまた偽りの表明をする可能性があると考えて意思決定するようになるであろう．ここではその極端なケースとして，完全な期待均衡が実現した場合を想定する．主体 1, 2 の表明する値の内点解が$(s^1,s^2)=(\alpha^1b^1+\beta^1,\alpha^2b^2+\beta^2)$として与えられ，両主体とも$\alpha^1,\beta^1,\alpha^2,\beta^2$を知っているものとする．すなわち，各主体は相手主体の便益の大きさについては知らないが，相手主体の便益がある値であるときに，相手主体がどのような値を表明するかを正確に知っているものとする．このとき主体 $i,j(i,j=1,2,i\neq j)$ ついて次式が成立する.

$$h^i(s^j)=\begin{cases}\dfrac{1}{\alpha^j(L\max^j-L\min^j)} & (L\min^i\le s^j\le\alpha^jL\max^i+\beta^j)\\ 0 & (b^i\le L\min^i,b^i\ge\alpha^jL\max^i+\beta^j)\end{cases} \tag{12}$$

従って主体 1,2 の最適な戦略s^{1*},s^{2*}は次の最大化問題を解くことにより得られる．

$$\max\left[0,\frac{1}{\alpha^2(L_{\max}{}^2-L_{\min}{}^2)}\int_{\max\{(C-s^1),L_{\min}{}^2\}}^{\alpha^2L_{\max}{}^2+\beta^2}\left(b^1-\frac{s^1-s^2+C}{2}\right)ds^2\right]$$
$$s.t.L_{\min}{}^1\le s^1\le L_{\max}{}^1 \tag{13}$$

$$\max\left[0,\frac{1}{\alpha^1(L_{\max}{}^1-L_{\min}{}^1)}\int_{\max\{(C-s^2),L_{\min}{}^1\}}^{\alpha^1L_{\max}{}^1+\beta^1}\left(b^2-\frac{-s^1+s^2+C}{2}\right)ds^1\right]$$
$$s.t.L_{\min}{}^2\le s^2\le L_{\max}{}^2 \tag{14}$$

解析解の導出は付録 C に譲る.

ここで，真の表明を期待する場合と，期待均衡が成立する場合における内点解を比較する．付録 B 及び付録 C から,

$$\frac{-L_{\max}{}^2+C+2b^1}{3}-\left\{\frac{2}{3}b^1+\frac{3C+L_{\max}{}^1-3L_{\max}{}^2}{12}\right\}$$
$$=\frac{-L_{\max}{}^1-L_{\max}{}^2+C}{12} \tag{15}$$

(15)式より，$L_{\max}{}^1+L_{\max}{}^2>C$の場合，真の表明に対する最適反応の場合よりも期待均衡が成立した場合の方がs^{1*}が大きい．$L_{\max}{}^1+L_{\max}{}^2>C$が成立しなければ，事業成立の可能性が全くないことを意味する．従って事業が成立し得る状況下では，期待均衡の方が常に過小申告の程度は小さい．これは，相手主体もまた過小な値を申告する可能性を考慮して意思決定しているためである.

(2) 序数型情報表明ルールの下での主体の行動

(a) 基本的行動モデル

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．証明は付録に譲る.

定理 1

R_jA よりも SQ の方が好ましい場合に偽って $SQ\prec R_jA$ 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_jA 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）事業が実行不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，最も好ましい事象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 のとき主体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．以下では，基数型情報表明ルールと同様，主体が相手主体に対して真の表明を期待する場合と，期待均衡が実現した場合についてタイプ 1 であるにも関わらずタイプ 2 であると表明する可能性について分析を行う.

(b) 真の表明を期待する場合

相手主体が常に真の情報を表明することを期待する場合，タイプ 1 の主体 1 に関して，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．

$$P_1^2(b^1-0.5\times r_1-0.5\times r_2)+P_2^2(b^1-r_2) \quad (16)$$

$$P_1^2(b^1-r_1) \quad (17)$$

(15)式が(16)式を上回るためには，主体 1 の便益b^1が

$$b^1 \geq r_2+\frac{L_{\max}{}^2-C+r_1}{2} \quad (18)$$

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．

(c) 期待均衡が実現した場合

期待均衡が実現したとき，各主体のタイプ 1，2 の表明を分離する閾値$\varepsilon^1,\varepsilon^2$が存在し，その大きさは両主体に明らかとなっている．$b^1 \geq \varepsilon^1 > r_1$，$b^2 \geq \varepsilon^2 > C-r_2$ の場合は，各主体が真の表明（タイプ 1)を行なうことになる．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．

$$P^2\{b^2 \geq \varepsilon^2\}(b^1-0.5r_1-0.5r_2) + P^2\{\varepsilon^2 \geq b^2 \geq C-r^2\}(b^1-r_2) \quad (19)$$

$$P^2\{b^2 \geq \varepsilon^2\}(b^1-r_1) \quad (20)$$

主体 1 が真の表明をするときには，(19)式が(20)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．

$$\frac{L_{\max}{}^2-\varepsilon^2}{L_{\max}{}^2-L_{\min}{}^2}(\varepsilon^1-0.5r_1-0.5r_2)+\frac{\varepsilon^2-(C-r_2)}{L_{\max}{}^2-L_{\min}{}^2}(\varepsilon^1-r_2) = \frac{L_{\max}{}^2-\varepsilon^2}{L_{\max}{}^2-L_{\min}{}^2}(\varepsilon^1-r_1) \quad (21)$$

$$\frac{L_{\max}{}^1-\varepsilon^1}{L_{\max}{}^1-L_{\min}{}^1}\{\varepsilon^2-0.5(C-r_1)-0.5(C-r_2)\} + \frac{\varepsilon^1-r_1}{L_{\max}{}^1-L_{\min}{}^1}\{\varepsilon^2-(C-r_1)\} = \frac{L_{\max}{}^1-\varepsilon^1}{L_{\max}{}^1-L_{\min}{}^1}(\varepsilon^2-(C-r_2)) \quad (22)$$

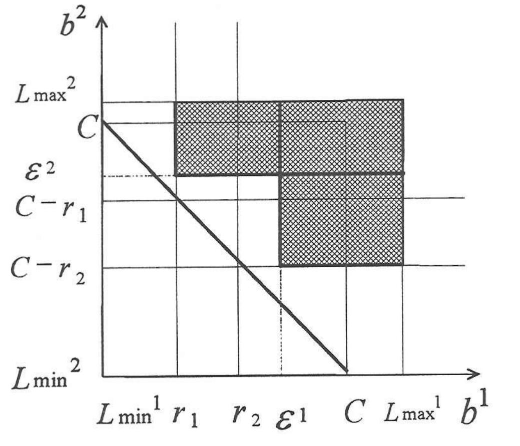
これらを変形すると，次の連立方程式となる．

$$\begin{cases}(r_2-r_1+\varepsilon_2)\varepsilon_1+0.5(L_{\max 2}-C+r_1-\varepsilon_2)(r_1-r_2)=0 \\ (r_2-r_1+\varepsilon_1)\varepsilon_2+0.5(L_{\max 1}-C+r_2-\varepsilon_1)(r_1-r_2)=0\end{cases} \quad (23)$$

(3) 社会的効率性に関する検討

(a) 基数型情報表明ルールの場合

相手主体が真の表明を行うと期待して意思決定する場合，双方のプレイヤーが偽りの申告を行っても共同事業が成立するためには，$s^{1*}+s^{2*} \geq C$ が成立することが条件となる．解析解を導出することにより，各ケースごとに



図－1　共同事業の成立領域

共同事業の成立条件を求めることができる．例として，両主体の最適戦略とも内点解となる場合の共同事業の成立条件は以下のように表すことができる．

$$b^1+b^2 \geq \frac{C+L_{\max}{}^1+L_{\max}{}^2}{2} \quad (24)$$

一方期待均衡が実現した場合，s^{1*},s^{2*} が変化することから，両主体の最適戦略とも内点解の場合の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必要条件は，

$$b^1+b^2 \geq \frac{3C+L_{\max}{}^1+L_{\max}{}^2}{4} \quad (25)$$

となる．期待均衡が実現した場合の方が，共同事業の成立可能性が高まっていることがわかる．

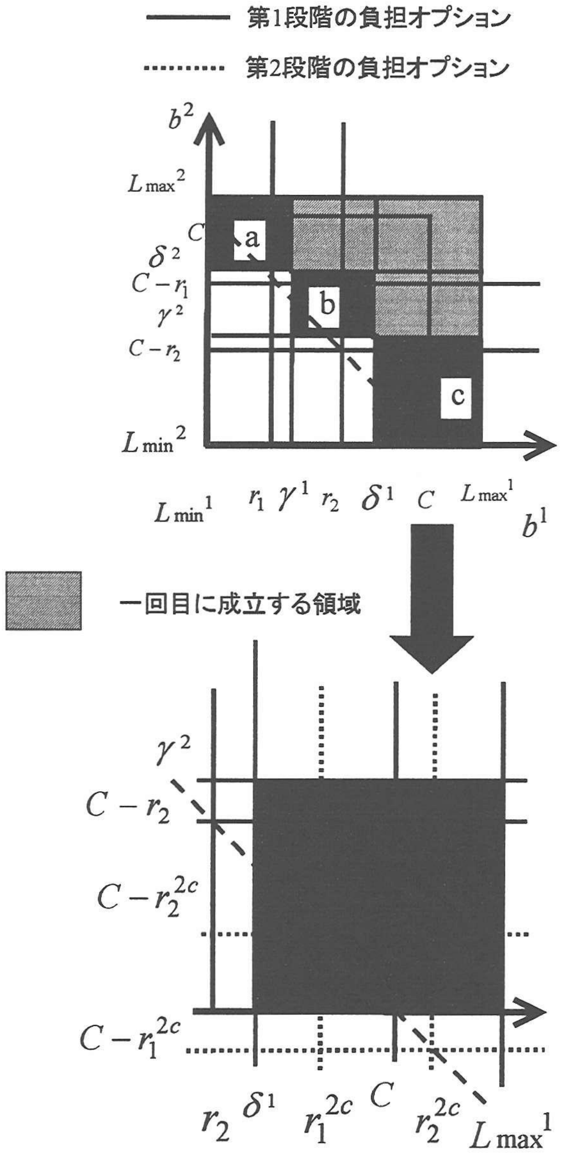
(b) 序数型情報表明ルールの場合

序数型情報表明ルールの場合，事業の成立する領域は**図－1** の斜線部のように示され，成立確率は次のようになる．

$$\frac{(L_{\max}{}^1-r_1)(L_{\max}{}^2-\varepsilon^2)+(L_{\max}{}^1-\varepsilon^1)(\varepsilon^2-C+r_2)}{(L_{\max}{}^1-L_{\min}{}^1)(L_{\max}{}^2-L_{\min}{}^2)} \quad (26)$$

(23)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．解析解により，基数型情報表明ルールにおいては，各主体は常に真の便益の値かそれ以下の値を表明することが分かる．一方基数型情報表明ルールにおいては定理 1 が成立することから，いずれの情報表明ルールにおいても，総純便益が正の共同事業を実行すべきでないと判断してしまう可能性は存在しても，総純便益が負の共同事業を実行すべきであると判断してしまう可能性は存在しない．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



図－2　複数回表明ルール

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

(1) 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 2 種類の負担オプションを設定し, 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.

ここで**図－2** に c における 2 種類の負担オプション $\{R_1^{2c}, R_2^{2c}\}$ の設定例を示す. R_1^{2c} は主体 1 が r_1^{2c}, 主体 2 が $C-r_1^{2c}$ 負担するオプションであり, R_2^{2c} は主体 1 が r_2^{2c}, 主体 2 が $C-r_2^{2c}$ 負担するオプションであるとする. $r_1^{2c} < r_2^{2c}$ であるとする. また $\{R_1^{2c}, R_2^{2c}\}$ の設定は第 1 段階に表明された情報を踏まえて行われるため, 各主体の便益の値が取り得る範囲が第 1 段階に比べ限定される. すなわち, $r_2 < r_1^{2c}$, $C-r_1^{2c} < C-r_2$ を満足するように設定するものとする.

(2) 情報の複数回表明ルールの下での主体の行動

情報の複数回表明ルールの下での主体の行動を分析するために, まず以下の定義を行う.

δ^1: 主体 1 にとって第 1 段階におけるタイプ 1, タイプ 2 の表明が無差別となる b^1 の値

δ^2: 主体 2 にとって第 1 段階におけるタイプ 1, タイプ 2 の表明が無差別となる b^2 の値

γ^1: 主体 1 にとって第 1 段階におけるタイプ 2, タイプ 3 の表明が無差別となる b^1 の値

γ^2: 主体 2 にとって第 1 段階におけるタイプ 2, タイプ 3 の表明が無差別となる b^2 の値

μ_a^1, μ_b^1, μ_c^1: 主体 1 にとって第 2 段階(a,b,c)におけるタイプ 1, タイプ 2 の表明が無差別となる b^1 の値

μ_a^2, μ_b^2, μ_c^2: 主体 2 にとって第 2 段階(a,b,c)におけるタイプ 1, タイプ 2 の表明が無差別となる b^2 の値

このとき, 第 1 段階で主体 1 がタイプ 1, タイプ 2 を表明した場合の純便益の期待値はそれぞれ以下のように与えられる.

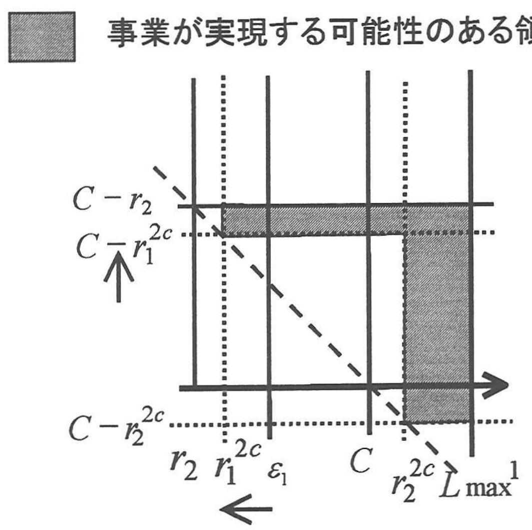
$$E_1^{11} = P^2(b^2 \geq \delta^2) \times (b^1 - 0.5 \times r_1 - 0.5 \times r_2) + P^2(\delta^2 \geq b^2 \geq \gamma^2) \times (b^1 - r_2) \tag{27}$$

$$E_2^{11} = P^2(b^2 \geq \delta^2) \times (b^1 - r_1) \tag{28}$$

さらに, 第 2 段階で主体 1 がタイプ 1, タイプ 2 を表明した場合の純便益の期待値はそれぞれ以下のように与えられる(代表として a の場合を示す.).

$$E_1^{12a} = P^2(b^2 \geq \mu_a^2)(b^1 - 0.5 \times r_1^{2a} - 0.5 \times r_2^{2a}) + P^2(\mu_a^2 \geq b^2 \geq C - r_2^{2a})(b^1 - r_2^{2a}) \tag{29}$$

$$E_2^{12a} = P^2(b^2 \geq \mu_a^2) \times (b^1 - r_1^{2a}) \tag{30}$$



図－3　第 2 段階における事業実現可能性の減少

以上より，第 1 段階，第 2 段階における表明タイプの組み合わせごとの純便益の期待値の現在価値は次のようになる．

(1-1) $E_1^{11}+\rho P^2(b^2<\gamma^2)E_1^{12c}$

(1-2) $E_1^{11}+\rho P^2(b^2<\gamma^2)E_2^{12c}$

(1-3) E_1^{11}

(2-1) $E_2^{11}+\rho P^2(\gamma^2\le b^2\le\delta^2)E_1^{12b}$

(2-2) $E_2^{11}+\rho P^2(\gamma^2\le b^2\le\delta^2)E_2^{12b}$

(2-3) E_2^{11}

(3-1) $\rho P^2(b^2>\delta^2)E_1^{12a}$

(3-2) $\rho P^2(b^2>\delta^2)E_2^{12a}$

(3-3) 0

ρ は第 1 段階と第 2 段階の決定の時間差に起因する時間割引項であり，$0\le\rho\le1$ である．ρ が小さいほど，決定の遅れに伴う損失が大きくなる．

ここで，以下の 2 つの定理が成立することが明らかとなった．証明は付録に譲る．

定理 3

情報の複数回表明ルールにおいて，定理 2 は成立しない．すなわち $r_1<\gamma^1, C-r_2<\gamma^2$ である．

定理 4

$\varepsilon^1<r_1^{2c}, \varepsilon^2<C-r_2^{2a}$ の場合，$\varepsilon^1<\delta^1, \varepsilon^2<\delta^2$ が常に成立する．

定理 3，定理 4 はともに，複数回表明ルールを実行した場合に第 1 段階において真の表明が得られる可能性が，一回のみ情報を表明する場合に比べて低下することを意味している．その結果第 1 段階で事業が成立する確率もまた低下する可能性が高い．定理 4 より $\varepsilon^1<\delta^1, \varepsilon^2<\delta^2$ となることを回避するためには，第 2 段階における負担オプションを $r_1^{2c}<\varepsilon^1, C-r_2^{2a}<\varepsilon^2$ となるように設定すべきことが分かる．しかし図－3 に示すように，このような設定は第 2 段階において事業が成立する可能性を低下させ，情報を複数回表明する効果自体を減少させてしまう．

一方 ρ が小さくなると，第 2 段階における純便益の期待値の現在価値が減少することから，第 2 段階まで決定を引き延ばすインセンティブは低下する．従って第 1 段階において偽りの表明が行われる可能性も低下する．以上より複数回表明ルールを導入した場合に第 1 段階で真の情報が得られる可能性を増加させるためには，第 1 段階と第 2 段階の間に時間的間隔を設定することが有効と考えられる．ただしこれは，社会的な時間割引率が，主体 1，2 の時間割引率を下回っていることが前提となる．

6. おわりに

以上本論文では，2 主体による共同社会基盤整備における，主体自身による情報表明に基づいた純便益配分メカニズムの下での主体の行動について基礎的な分析を実施した．分析の結果次のような知見が得られた．

・基数型情報表明ルールと序数型情報表明ルールのいずれの下でも，真の値よりも小さい値を便益として表明したり，負担可能なオプションを負担不可能であると表明するインセンティブが存在する．しかし，便益の値を過大に表明したり，負担不可能なオプションを負担可能であると表明することはない．

・その結果，本論文で検討したメカニズムの下では，総純便益が負で，実行すべきでない事業を実行してしまう危険性は存在しない．一方総純便益が正である事業を実行不可能と判断してしまう可能性は存在する．

・2 種類の情報表明ルールの優劣は，共同事業の成立確率によって比較することが可能である．

・相手主体が真の表明を行うと期待する場合と期待均衡が実現する場合では，期待均衡が成立した場合の方が共同事業の成立する可能性が高まる．このことは，主体が純便益配分メカニズムに適応し，相手主体もまた偽りの情報を表明する可能性を考慮するようになることによって，社会的効率性が改善され得ることを示している．

・序数型情報表明ルールの下で情報を複数回表明させた場合，負担オプションを逐次変化させることにより，総純便益が正である共同事業の実現可能性を高めることができる反面，第 1 段階において偽りの表明を行うインセンティブを高めてしまうという効果をも有する．

今後の課題として以下の点が挙げられる．

・制度に対する主体の適応過程という観点からの，相手

主体の表明の予測の形成過程のモデル化.
・事業規模自体や，事業の種類を決定の対象としたゲームへの拡張.
・確率分布の妥当性の検討や，3 人以上の主体が関与するケースへの拡張.

付録A 共有知識

生起し得る状態の集合をΩとする．主体 i はどの状態が生起しているかを完全に知ることはできず，Ωの分割のうち一つに含まれる事象のいずれかが生起したことしか知ることができないとする．このとき主体 i の知識を表すΩの分割を主体 i の持つ情報分割U_iと呼び，U_iの要素を情報集合と呼ぶ．状態πを含む主体 i の情報集合を$u_i(\pi)$とする．状態の集合 E に関して，$u_i(\pi)\subset E$が成立するとき，「状態πにおいて主体i がEを知る」という．また主体i が E を知ることができるすべての状態の集合を$P_i(E)=\{\pi\in\Omega \mid u_i(\pi)\subset E\}$として定義する．状態$\pi$において$E$ が主体 $i = 1,\ldots, N$ にとって共有知識であるとは，任意の$n\in\{1,2,\ldots N\}$及び任意の主体の列$(i_1,i_2,\ldots,i_n)$に関して $\pi\in P_{i_n}(P_{i_{n-1}}(\ldots P_{i_1}(E)))$が成立することを指す.

付録B 真の表明を期待する場合の最適戦略

(10)式より，内点解

$$\bar{s}^{1*}=\frac{2b^1-L_{\max}{}^2+C}{3} \tag{B.1}$$

を得ることができる．$\bar{s}^{1*}$が主体 1 の最適な戦略であるためには，以下の三条件を満足しなければならない.

$$L_{\min}{}^1\le\bar{s}^{1*} \tag{B.2}$$

$$L_{\min}{}^2\le C-\bar{s}^{1*} \tag{B.3}$$

$$C-\bar{s}^{1*}\le L_{\max}{}^2 \tag{B.4}$$

(B.2)式の条件を満足しない場合，主体 1 の最適な戦略は端点解$s^{1*}=L_{\min}{}^1$となる．また(B.3)式の条件を満足しない場合は，端点解$s^{1*}=C-L_{\min}{}^2$となる．さらに(B.4)式の条件を満足しない場合は，s^1に関わらず主体 1 は正の純便益を得ることができない．(B.1)式より，(B.4)式を満足しないのは$b^1<C-L_{\max}{}^2$の場合である．本論文では，このような場合，主体は真の値を表明するものとする．その結果$s^1+s^2<C$となり，プロジェクトは採択されない.

ここで次のパラメータを定義する.

$$\omega^1=1.5L_{\min}{}^1+0.5L_{\max}{}^2-0.5C \tag{B.5}$$

$$\theta^1=-1.5L_{\min}{}^2+0.5L_{\max}{}^2+C \tag{B.6}$$

$$\sigma^1=C-L_{\max}{}^2 \tag{B.7}$$

$\omega^1,\theta^1,\sigma^1$はそれぞれ(B.2)式，(B.3)式，(B.4)式において等号が成立するb^1の値を示している．ここで，$\omega^1\ge L_{\min}{}^1\Leftrightarrow\sigma^1\le L_{\min}{}^1$，$\omega^1\le L_{\min}{}^1\Leftrightarrow\sigma^1\ge L_{\min}{}^1$ となる．また$\omega^1<\theta^1$，$\sigma^1<\theta^1$が常に成立することから，主体 1 の最適な戦略s^{1*}は，$\omega^1,\theta^1,\sigma^1$の大小関係に応じて以下のように求められる.

$L_{\min}{}^1\le\omega^1\le L_{\max}{}^1\le\theta^1$

$$s^{1*}=\begin{cases} L_{\min}{}^1 & (b^1<\omega^1)\\ \dfrac{2b^1-L_{\max}{}^2+C}{3} & (b^1\ge\omega^1)\end{cases} \tag{B.8}$$

$L_{\min}{}^1\le\omega^1<\theta^1\le L_{\max}{}^1$

$$s^{1*}=\begin{cases} L_{\min}{}^1 & (b^1<\omega^1)\\ \dfrac{2b^1-L_{\max}{}^2+C}{3} & (\omega^1\le b^1<\theta^1)\\ C-L_{\min}{}^2 & (\theta^1\le b^1)\end{cases} \tag{B.9}$$

$L_{\min}{}^1\le\sigma^1\le L_{\max}{}^1\le\theta^1$

$$s^{1*}=\begin{cases} b^1 & (b^1<\sigma^1)\\ \dfrac{2b^1-L_{\max}{}^2+C}{3} & (b^1\ge\sigma^1)\end{cases} \tag{B.10}$$

$L_{\min}{}^1\le\sigma^1<\theta^1\le L_{\max}{}^1$

$$s^{1*}=\begin{cases} b^1 & (b^1<\sigma^1)\\ \dfrac{2b^1-L_{\max}{}^2+C}{3} & (\sigma^1\le b^1<\theta^1)\\ C-L_{\min}{}^2 & (\theta^1\le b^1)\end{cases} \tag{B.11}$$

図－B は，上の 4 ケースにおけるb^1とs^{1*}の関係を図示したものである．主体 2 の最適な戦略s^{2*}についても同様にして求めることができる.

付録C 期待均衡が成立する場合の最適戦略

本文中の仮定をもとに，s^{1*},s^{2*}がそれぞれ(B.8)～(B.11)式と同様の形式の，以下のようなb^1,b^2の関数で与えられると仮定する.

$L_{\min}{}^1\le\tilde{\omega}^1\le L_{\max}{}^1\le\tilde{\theta}^1$

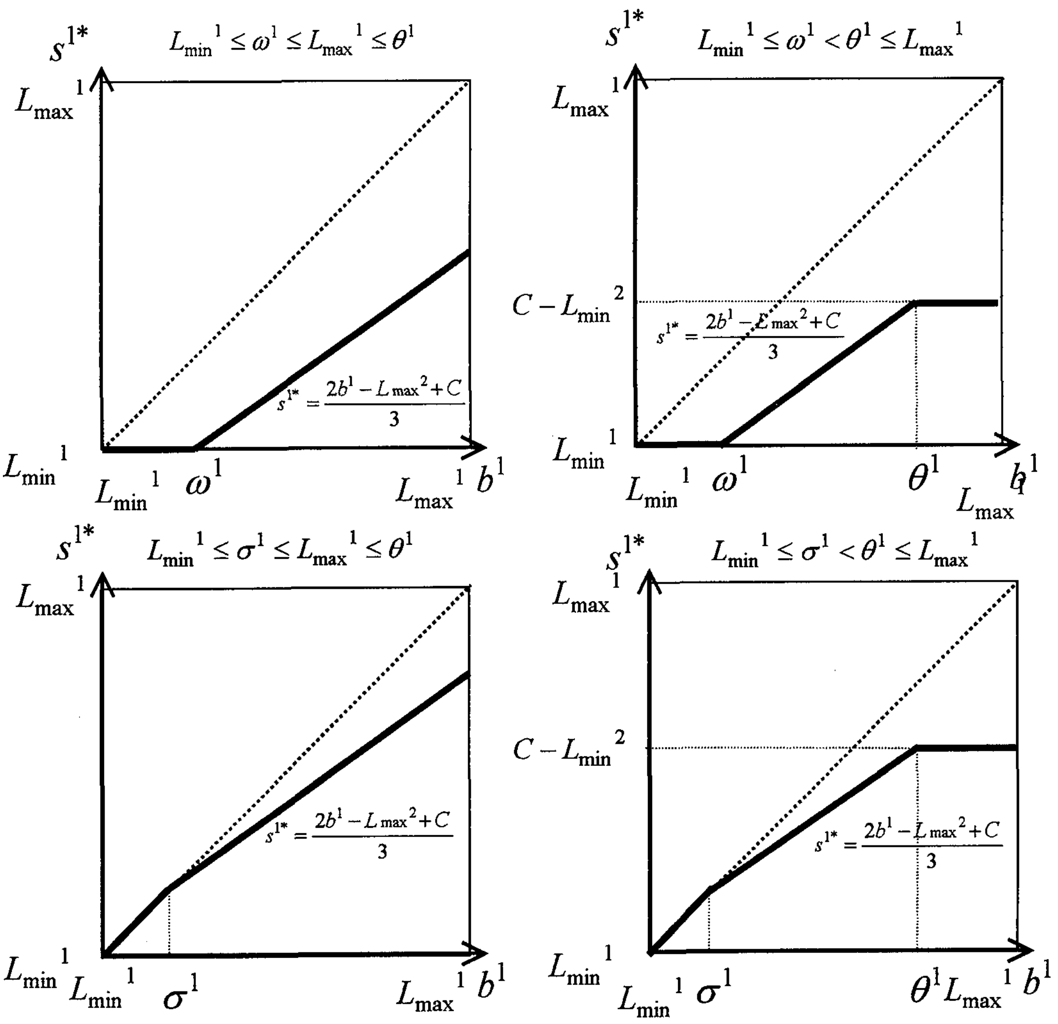
$$s^{1*}=\begin{cases} L_{\min}{}^1 & (b^1<\tilde{\omega}^1)\\ \alpha^1b^1+\beta^1 & (b^1\ge\tilde{\omega}^1)\end{cases} \tag{C.1}$$

$L_{\min}{}^1\le\tilde{\omega}^1<\tilde{\theta}^1\le L_{\max}{}^1$

$$s^{1*}=\begin{cases} L_{\min}{}^1 & (b^1<\tilde{\omega}^1)\\ \alpha^1b^1+\beta^1 & (\tilde{\omega}^1\le b^1<\tilde{\theta}^1)\\ C-L_{\min}{}^2 & (\tilde{\theta}^1\le b^1)\end{cases} \tag{C.2}$$

$L_{\min}{}^1\le\tilde{\sigma}^1\le L_{\max}{}^1\le\tilde{\theta}^1$

$$s^{1*}=\begin{cases} b^1 & (b^1<\tilde{\sigma}^1)\\ \alpha^1b^1+\beta^1 & (b^1\ge\tilde{\sigma}^1)\end{cases} \tag{C.3}$$



図－B　b^1とs^{1*}の関係

$L_{\min}{}^1 \le \tilde{\sigma}^1 < \tilde{\theta}^1 \le L_{\max}{}^1$

$$s^{1*} = \begin{cases} b^1 & (b^1 < \tilde{\sigma}^1) \\ \alpha^1 b^1 + \beta^1 & (\tilde{\sigma}^1 \le b^1 < \tilde{\theta}^1) \\ C - L_{\min}{}^2 & (\tilde{\theta}^1 \le b^1) \end{cases} \tag{C.4}$$

ここで，$\alpha^1 b^1 + \beta^1$ は主体 1 の獲得便益の期待値最大化問題の内点解である．同様に，$\alpha^2 b^2 + \beta^2$ 主体 2 の獲得便益の期待値最大化問題の内点解とする．

ここで，α^1, β^1 及び$\tilde{\omega}^1, \tilde{\theta}^1, \tilde{\sigma}^1$を求める．まず(13)式，(14)式の内点解として次式が得られる．

$$\tilde{s}^{1*} = \frac{2}{3}b^1 + \frac{3C + L_{\max}{}^1 - 3L_{\max}{}^2}{12} \tag{C.5}$$

$$\tilde{s}^{2*} = \frac{2}{3}b^2 + \frac{3C + L_{\max}{}^2 - 3L_{\max}{}^1}{12} \tag{C.6}$$

以上のようにして，α^1, β^1 及び α^2, β^2 を得ることができた．$\tilde{s}^{1*}$ が主体 1 の最適戦略となるためには，(B.2)～(B.4)式と同様に，以下の三条件を満足する必要がある．

$$L_{\min}{}^1 \le \tilde{s}^{1*} \tag{C.7}$$

$$L_{\min}{}^2 \le C - \tilde{s}^{1*} \tag{C.8}$$

$$C \le \tilde{s}^{1*} + \alpha^2 L_{\max}{}^2 + \beta^2 \tag{C.9}$$

(C.7)式，(C.8)式，(C.9)式において等号が成立するb^1の値として，$\tilde{\omega}^1, \tilde{\theta}^1, \tilde{\sigma}^1$が決定される．

$$\tilde{\omega}^1 = \frac{-3C - L_{\max}{}^1 + 3L_{\max}{}^2 + 12L_{\min}{}^1}{8} \tag{C.10}$$

$$\tilde{\theta}^1 = \frac{9C - L_{\max}{}^1 + 3L_{\max}{}^2 - 12L_{\min}{}^2}{8} \tag{C.11}$$

$$\tilde{\sigma}^1 = \frac{3C + L_{\max}{}^1 - 3L_{\max}{}^2}{4} \tag{C.12}$$

主体 1 の最適な戦略s^{1*}は，$\tilde{\omega}^1, \tilde{\theta}^1, \tilde{\sigma}^1$の大小関係に応じて以下のように求められる．

$L_{\min}{}^1 \le \tilde{\omega}^1 \le L_{\max}{}^1 \le \tilde{\theta}^1$

$$s^{1*}=\begin{cases} L_{\min}{}^1 & (b^1<\tilde{\omega}^1) \\ \dfrac{2}{3}b^1+\dfrac{3C+L_{\max}{}^1-3L_{\max}{}^2}{12} & (b^1\geq\tilde{\omega}^1)\end{cases} \quad (C.13)$$

$L_{\min}{}^1 \leq \tilde{\omega}^1 < \tilde{\theta}^1 \leq L_{\max}{}^1$

$$s^{1*}=\begin{cases} L_{\min}{}^1 & (b^1<\tilde{\omega}^1) \\ \dfrac{2}{3}b^1+\dfrac{3C+L_{\max}{}^1-3L_{\max}{}^2}{12} & (\tilde{\omega}^1\leq b^1<\tilde{\theta}^1) \\ C-L_{\min}{}^2 & (\tilde{\theta}^1\leq b^1)\end{cases} \quad (C.14)$$

$L_{\min}{}^1 \leq \tilde{\sigma}^1 \leq L_{\max}{}^1 \leq \tilde{\theta}^1$

$$s^{1*}=\begin{cases} b^1 & (b^1<\tilde{\sigma}^1) \\ \dfrac{2}{3}b^1+\dfrac{3C+L_{\max}{}^1-3L_{\max}{}^2}{12} & (b^1\geq\tilde{\sigma}^1)\end{cases} \quad (C.15)$$

$L_{\min}{}^1 \leq \tilde{\sigma}^1 < \tilde{\theta}^1 \leq L_{\max}{}^1$

$$s^{1*}=\begin{cases} b^1 & (b^1<\tilde{\sigma}^1) \\ \dfrac{2}{3}b^1+\dfrac{3C+L_{\max}{}^1-3L_{\max}{}^2}{12} & (\tilde{\sigma}^1\leq b^1<\tilde{\theta}^1) \\ C-L_{\min}{}^2 & (\tilde{\theta}^1\leq b^1)\end{cases} \quad (C.16)$$

主体2についても同様にしてs^{2*}を求めることができる.

付録D　定理の証明

(1) 定理1の証明

主体1に関して証明を行う．まず，真のタイプが2である場合を考える．このとき$r_1<b^1<r_2$である．真のタイプを表明した場合と偽ってタイプ1であると表明した場合の主体1の得る純便益の差は主体2の表明タイプに依存する．

$$(\text{タイプ}1)\ (b^1-r_1)-(b^1-\frac{r_1+r_2}{2})=\frac{r_2-r_1}{2}>0 \quad (D.1)$$

$$(\text{タイプ}2)\ 0-(b^1-r_2)=-b^1+r_2>0 \quad (D.2)$$

$$(\text{タイプ}3)\ 0-0=0 \quad (D.3)$$

以上より，タイプ2の場合にタイプ1であると偽りの表明を行うことによって純便益の配分値が増加することはない．

次に真のタイプが3である場合を考える．このとき$b^1<r_1$である．真の表明を行えば事業は実施されず，純便益は0である．一方タイプ1またはタイプ2であると偽りの表明を行った場合，事業が実施される可能性があるが，その場合の純便益は常に負となる．従って，タイプ3の場合も偽りの表明を行うことによって純便益の配分値が増加することはない．

主体2についても同様に，R_jAよりもSQの方が好ましい場合に偽って$SQ\prec R_jA$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．

(2) 定理2の証明

タイプ1及びタイプ2の場合，真の表明を行った場合に得られる純便益の期待値は正である．一方偽ってタイプ3であると表明した場合は純便益は常に0となる．従って，真のタイプが1または2である場合に，偽ってタイプ3であると表明する動機は存在しない．

(3) 定理3の証明

主体1の便益b^1がr_1をわずかに上回る大きさであるとする．これを$b^1=r_1+\Delta b$と表す．このとき主体1の真のタイプは2である．真のタイプを表明した場合の純便益の期待値は

$$E_2^{11}=P^2(b^2\geq\delta^2)(b^1-r_1)=P^2(b^2\geq\delta^2)(\Delta b) \quad (D.4)$$

となる．一方タイプ3であると偽りの表明を行った場合，純便益の期待値は

$$\begin{aligned}&\rho P^2(b^2>\delta^2)E_1^{12a}\\ &=\rho P^2(b^2>\delta^2)\\ &\quad\{P^2(b^2\geq\mu_a^2)(r_1+\Delta b-0.5\times r_1^{2a}-0.5\times r_2^{2a})\\ &\qquad+P^2(\mu_a^2\geq b^2\geq C-r_2^{2a})(r_1+\Delta b-r_2^{2a})\}\end{aligned} \quad (D.5)$$

(D.4)式と(D.5)式を比較すると，$r_1-0.5r_1^{2a}-0.5r_2^{2a}>0$，$r_1-r_2^{2a}>0$であることから，$0\leq\rho\leq1$である任意の$\rho$において，(D.4)よりも(D.5)式の方が大きくなるような$b^1=r_1+\Delta b$が存在する．このことは，第1段階において，タイプ2の主体がタイプ3であると偽りの表明を行う場合が存在することを意味する．従って情報の複数回表明ルールにおいて定理2は成立しない．主体2についても同様の証明が可能である．

(4) 定理4の証明

$(\delta^1,\delta^2)=(\varepsilon^1,\varepsilon^2)$であったとする．$b^1=\varepsilon^1$における真のタイプは1である．情報の表明が一回限りであれば，$b^1=\varepsilon^1$においてタイプ1であると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純便益の期待値は同じである．つまり次の等式が成立する．

$$\begin{aligned}&P^2(\varepsilon^2\leq b^2)(\varepsilon^1-0.5\times r_1-0.5\times r_2)\\ &+P^2(C-r_2\leq b^2\leq\varepsilon^2)(\varepsilon^1-r_2)\\ &=P^2(\varepsilon^2\leq b^2)(\varepsilon^1-r_1)\end{aligned} \quad (D.6)$$

情報を複数回表明するとき，タイプ1であると真の表明を行った場合の純便益の期待値は以下の3通りのいずれかである．

$\varepsilon^1<r_1^{2c}$の場合，第2段階においては必ず真のタイプ（タイプ3）を表明するため，純便益の期待値は以下のように与えられる．

$$E_1^{11} = P^2(\delta^2 \le b^2)(\varepsilon^1 - 0.5\times r_1 - 0.5\times r_2)$$
$$+P^2(\gamma^2 \le b^2 \le \delta^2)(\varepsilon^1 - r_2) \quad \text{(D.7)}$$

一方タイプ2であると偽の表明を行った場合，純便益の期待値は

$$E_2^{11} + \rho P^2(\gamma^2 \le b^2 \le \delta^2)E_1^{12b}$$
$$= P^2(\delta^2 \le b^2)\times(\varepsilon^1 - r_1)$$
$$+\rho P^2(\mu_b^2 \le b^2 \le \delta^2)(\varepsilon^1 - 0.5\times r_1^{2b} - 0.5\times r_2^{2b})$$
$$+P^2(\gamma^2 \le b^2 \le \mu_b^2)(\varepsilon^1 - r_2^{2b})\} \quad \text{(D.8)}$$

ここで仮に$\delta^2 = \varepsilon^2$であるとすると，(D.6)式及び定理 $3(C - r_2 < \gamma^2)$より，$E_1^{11} < E_2^{11}$となる．また$\varepsilon^1 - 0.5\times r_1^{2b} - 0.5\times r_2^{2b} > 0, \varepsilon^1 - r_2^{2b} > 0$であることから，(D.8)式は(D.7)式よりも大きい．主体2についても同様なため，$(\delta^1, \delta^2) = (\varepsilon^1, \varepsilon^2)$において，両主体とも偽りの表明（タイプ2）を行うインセンティブを有する．従って$(\delta^1, \delta^2) = (\varepsilon^1, \varepsilon^2)$は安定せず，タイプ1とタイプ2の表明が無差別となるb^1，b^2の値であるδ^1, δ^2は最終的に$\varepsilon^1, \varepsilon^2$よりも大きくなる．

参考文献

1) 岡田憲夫：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, pp. 1-19, 1991.
2) 佐々木才朗 ：多目的ダムのコストアロケーションに関する研究，東京大学博士論文，1992.
3) Young, H.P., N. Okada, and T. Hashimoto: Cost Allocation in Water Resources Development, Water Resources Research, Vol.18, pp.463-475, 1982.
4) 榊原弘之，岡田憲夫：ダム更新整備プロジェクトにおける純便益配分問題に関するゲーム理論的考察，土木学会論文集（登載決定）,1999.
5) Harsanyi, J. C.: Games with Incomplete Information Played by Bayesian' Players, parts I, II, and III, Management Science, Vol. 14, pp.159-182, 320-334, 486-502, 1967-1968.
6) 岡田 章:ゲーム理論，有斐閣，1996.
7) 井堀 利宏：公共経済の理論，有斐閣，1996.
8) 鬼木 甫，西村 和雄，山崎 昭（編著）：情報経済学入門，富士通経営研修所，1997.
9) L.S. Shapley.: Cores of Convex Games, International Journal of Game Theory, Vol. 1, pp.11-26, 1971.

共同事業における自己表明に基づく純便益配分制度に関するゲーム論的考察

榊原 弘之，岡田 憲夫，多々納 裕一，五十部 渉

水資源開発事業のように，複数の事業主体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．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．

Game Theoretic Analysis on Net Benefit Allocation Based on Self Revelation for Multi-Agent Infrastructure Project

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

In multi-agent infrastructure projects, such as water resources development, the allocation of cost and benefit is a critical problem. The estimation of benefit generally needs the information owned by agents. When the allocation rule applied is based on the principle that the agent taking more benefit should be burdened with more costs, agents have the incentive to make false statements on their benefits. In this paper, the efficiency of net benefit allocation scheme based on self revelation is analyzed using game theory with imcomplete information.
