西條辰義・大和毅彦　「公共財供給」　中山・船木・武藤編著『ゲーム理論で解く』　第2章　有斐閣.

第 2 章　公共財供給

2.1　公共財とは

A 君と B 君は，A 君のアパートで一緒にビールを飲みながら，テレビで広島—巨人戦を見ようということになった．ところが，あいにく A 君のアパートには缶ビールが一本しかなかった．ケチな A 君は，缶ビールは自分が買ってきたものだからと言って，一人で全部飲んでしまった．怒った B 君は自分の家に帰り，その夜は二人別々にナイターをテレビ観戦することになった．

A 君が缶ビールを飲んでしまったので，B 君はその同じ缶ビールを飲むことができなかった．このように，ある人が消費したならば，他の人が消費できなくなるような財・サービスを「私的財」という．他方，A 君が自分のアパートでナイターを見たからといって，B 君が自宅でナイターを見られなくなるわけでない．このように，ある人が消費しているからといって，他の人が消費することを妨げないような財・サービスを「社会財」という．社会財の持つこの性質は，「消費に関する非競合性」と呼ばれる．

プロ野球の巨人戦は，誰でも無料で一般のテレビ放送を通じて見ることができる．一般のテレビ・ラジオ放送のように，社会財であって，全ての人が自由にアクセスできる財・サービスを「純粋公共財」という．自由なアクセスは「消費に関する排除不可能性」とも呼ばれる．

社会財ではあるが，アクセスが自由ではない財・サービスも存在する．例えば，プロ野球の広島—阪神戦を関東地方において見るためには，料金を支払い，ケーブル・テレビに加入する必要がある．ケーブル・テレビ放送，警備会社による防犯，有料の公園，有料の道路，会員制のプールなどは，料金を支払わない人は利用できない．消費に関して非競合的だが，アクセスを制限できる財・サービスを「排除可能な公共財」と呼ぶ文献も多い．

他方，警察による防犯，無料の公園，無料の一般道路，公共のプール，消防，行政，公共の駐車場などは，誰でも自由にアクセスでき，消費に関して排除不可能である．しかし，利用者が非常に多い場合には混雑するため，消費に関して競合的になり，社会財としての性質が失われることもある．

このように，実際の多くの財に関しては，消費に関する非競合性と排除不可能性の程度が異なっている．これら二つの性質を満たす度合に応じて，さまざまな財の分析を行うことが可能であるが，以下では，両方の性質を十分によく満たす純粋公共財のケースに焦点を絞り，純粋公共財を単に公共財と呼ぶことにする．

私的財に関しては，市場価格メカニズムを使って効率的な財の配分を実現できることはよく知られており，これは「厚生経済学の基本命題」と呼ばれる（石井＝西條＝塩沢（1995）第 6 章を参照）．しかし，公共財が存在する経済においては，効率的な財の配分を実現することは容易ではない．このことを，ゲーム理論の手法を用いて示してみよう．

2.2　大気中の有害物質削減ゲーム

オゾン層を破壊するフロン, 車の排気ガスに含まれる窒素酸化物や浮遊粒子状物質，ダイオキシンなど大気中の有害物質の削減は，早急に解決が求められている重要な社会問題の一つである．いま，二つの隣接する A 国と B 国が，大気中の有害物質を削減するための投資を国家予算の中から行おうとしているものとしよう．これは,「きれいな大気」という公共財を二つの国で生産するケースである．二つの国は隣接しており，自国の空気を相手国に使わせないようにすることは不可能である．例えば，A 国の投資により大気中の有害物質を 5%削減することができたならば，たとえ B 国が全く投資を行わなくても，B 国の大気中の有害物質はやはり 5%削減するであろう．よって，各国における大気の有害物質量は同じで，両国の投資額の合計によって決まるものとする．また，総投資額が増加するほど，大気中の有害物質は少なくなるものとする．

各国の総予算はそれぞれ 3 千億ドルで，簡単化のために，有害物質削減への投資額を千億ドル単位とする．各国は 0, 1, 2, 3 のいずれか一つを投資額（単位は千億ドル）として, おのおの独立に選択するとしよう. いま, A 国の投資額を C_A，B 国の投資額を C_B と表そう．投資を行うことによって得られる便益は，表 2.1 に示されている値をとるものとする．ゲーム理論では「便益」は「利得」と呼ばれている．以下では利得という言葉を使う．表 2.1 において，行は A 国の投資額を，列は B 国の投資額を表す．また，各マスの左下の数字は A 国の利得を，

右上の数字は B 国の利得を表している．（これらの値は，A 国の利得＝$(3-C_A)^2(C_A+C_B)^3$，B 国の利得＝$(3-C_B)^2(C_A+C_B)^3$という利得関数に基づいて計算されている．これらの関数は，経済学でよく用いられるコブ＝ダグラス型関数の一種である．）

表 2.1：大気中の有害物質削減ゲームの利得表

B国

A国	$C_B=0$	$C_B=1$	$C_B=2$	$C_B=3$
$C_A=0$	0, 0	9, 4	72, ***8***	243, 0
$C_A=1$	4, 9	***32***, ***32***	***108***, 27	***256***, 0
$C_A=2$	***8***, 72	27, ***108***	64, 64	125, 0
$C_A=3$	0, 243	0, ***256***	0, 125	0, 0

各国の利得は以下のような特徴を持つ．1）自国の投資額が変わらなければ，相手国の投資額が多くなればなるほど，自国の負担を増やすことなく有害物質は減るので，利得は大きくなる．例えば，A 国の投資額が 2 の時，A 国は，B 国が投資額を 0 にすれば 8，投資額を 1 にすれば 27，投資額を 2 にすれば 64，投資額を 3 にすれば 125 の利得を得る．2）総投資額が一定ならば，つまり，同じ有害物質水準を達成できるのであれば，自国の投資額が小さいほど利得は大きくなる．例えば，総投資額（C_A+C_B）が 3 の時，A 国は投資しなれけば 243，投資額を 1 にすれば 108，投資額を 2 にすれば 27，投資額を 3 にすれば 0 の利得を得る．3）有害物質の削減は必要不可欠なので，削減が全く行われない（$C_A+C_B=0$）時は，利得は必ずゼロになってしまう．4）予算を全額有害物質削減のために投資した（$3-C_i=0, i=A,B$）場合も，他には何も購入できなくなるので，利得は必ずゼロである．

さて，表 2.1 のゲームでは，両国の投資額はどこに落ち着くのであろうか．このことを考察するため，まず，B 国の投資額が与えられたとき，A 国はどれだけ投資するのが最適かを検討しよう．最初に，もし，B 国の投資額がゼロなら，A

国は，投資しなければ 0，投資額を 1 にすれば 4，投資額を 2 にすれば 8，投資額を 3 にすれば 0 の利得を得る．したがって，利得が最大になる投資額 2 を選ぶだろう．次に，もし，B 国の投資額が 1 ならば，A 国は，投資しなければ 9，投資額を 1 にすれば 32，投資額を 2 にすれば 27，投資額を 3 にすれば 0 の利得を得る．よって，利得が最大になる投資額 1 を選ぶだろう．同様に，B 国の投資額が 2 もしくは 3 の時も，A 国は自国の利得が最大になる投資額 1 を選ぶだろう．A 国の投資額が与えられた時における，B 国の最適な投資額についても，同じことが成立する．

相手国の投資額が 1 のときに自国の利得を最大にする投資額は 1 である．このことは相手国も同じである．よって両国の投資額が 1 に落ち着くと予測するのが自然であろう．このように，相手国の戦略に対して各国が最適な戦略を選択している状況は「ナッシュ均衡」と呼ばれる．

ところが，各国が共に 1 ずつ投資するナッシュ均衡は，効率的ではない．なぜなら，もし，各国が共に 2 ずつ投資すれば，両国とも 64 の利得を得ることができ，それはナッシュ均衡における利得 32 より大きいからである．一方，両国とも 2 ずつ投資するのはナッシュ均衡とはならない．なぜなら，相手の投資額が 2 の場合は，自国の投資額を 2 から 1 に減らすことにより利得を 64 から 108 に増やし，相手国の公共財の投資にただ乗りできるからである．自国の利得のみを追求する結果，両国にとって最善の結果を得ることができないのである．

以上のように，社会の参加者が自己の所有する私的財を自発的に出し合って，公共財を生産する仕組み・制度は「自発的支払メカニズム(voluntary contribution mechanism)」と呼ばれる．上記の例では，ナッシュ均衡における公共財への総投資額は，効率的な公共財への総投資額よりも小さくなった．一般に，自発的支払メカニズムのナッシュ均衡における公共財の供給水準は，効率的な水準に比較して低いことが知られている（石井＝西條＝塩沢（1995）第 7 章を参照）．

2.3　メカニズムへの自発的参加の問題

前節で見たように，公共財が存在する経済においては，効率的な財の配分を達成するのは簡単ではない．ところが，1977 年のエコノメトリカの論文でグロブ

ズ＝レッジャードは，制度ないしはメカニズムをうまく設計すると効率的な財の配分を達成できることを示した．この論文以降，様々な性能のよいメカニズムが提唱されてきた（石井＝西條＝塩沢（1995）第 7 章を参照)．少なくとも理論的には長年未解決だった公共財供給の問題が解けたと考えられてきた．

しかし，これまで提案されてきた一連のメカニズムにおいては，ある社会を構成する主体は必ず全員参加することが暗黙のうちに仮定されていた．公共財供給において「ただ乗り」するというのは，公共財供給のメカニズムに参加せず，メカニズムへ参加した主体が生産した公共財の便益を享受すると考えるのがより自然であろう．

この不参加によるただ乗りの問題は，例えば，国際公共財の供給に関する国際条約において重要となっている．一例として，地球温暖化を引き起こす二酸化炭素などの「温室効果ガス」という国際公共財を削減する目的で作成されたメカニズムである「京都議定書」を考えよう．この議定書では，先進国やロシア，ウクライナ，東欧圏諸国などの市場経済移行国を中心とする 38 カ国に関して，温室効果ガス排出量の上限を決定し，同時にこの目標を達成するために排出権取引などを利用することを認めた．議定書は，1997 年 12 月に気候変動枠組条約の第 3 回締約会議として開催された京都会議において採択され，2000 年 1 月までに 84 カ国が署名している．議定書発効のためには，少なくとも 55 カ国が批准せねばならない．だが，2000 年 1 月現在，批准国数はまだ 22 にすぎない．

特に，世界最大の温室効果ガス排出国である米国が，議定書の批准に関して否定的な立場をとっている点が問題となっている．議定書の批准には，米国上院で 2/3 以上の賛成が必要となる．しかし，京都会議直前の 1997 年夏に，米国上院では，議定書が米国経済に打撃を与えてはならない，途上国にも排出量削減目標を設定することが必要である，これら二つの要件を満たさない議定書は批准しないという内容の決議をほぼ全会一致でしている．議定書発効のためには，先進国のうち批准した国の 1990 年 CO_2 排出量合計が，先進国全体の排出量合計の 55%以上であることが必要とされる．米国は 36%程度のシェアを占める CO_2 排出大国なので，米国が批准しない場合，議定書の発効する可能性はかなり小さい．さらに，たとえ議定書が発効したとしても大きな効力はないであろう．なぜなら，批准（参加）しなければ議定書に従う必要がなく，他の批准（参

加）国が削減する「温室効果ガス」にただ乗りできるからである．

2.4　参加ゲーム

2.2 節では，二つの国が共に自発的支払メカニズムに参加すること，つまり，両国とも，大気中の有害物質を削減するために，国家予算から自発的に投資を行う制度に加わることに同意していることを前提とした．しかし，国際条約を批准するか否かは各国の判断に任せられている状況を考えると，各国がメカニズムに自由に参加するか否かを決定できるケースを分析すべきであろう．以下では，このような状況では，両国とも参加することはありえないことを示す．

各国が自発的支払メカニズムへ参加するか否かを自由に選ぶ状況を，以下の 2 段階から成るゲームで表現する．まず第 1 段階で，メカニズムに参加するか否かの意思決定を両国が同時にする．第 2 段階では，第 1 段階での相手国の意思決定を知った上で，「参加」を選んだ国は，有害物質削減のための投資額を決定する．第 1 段階で「不参加」を選んだ国は，第 2 段階で投資をしない．

図 2.1　参加ゲームのゲーム・ツリー

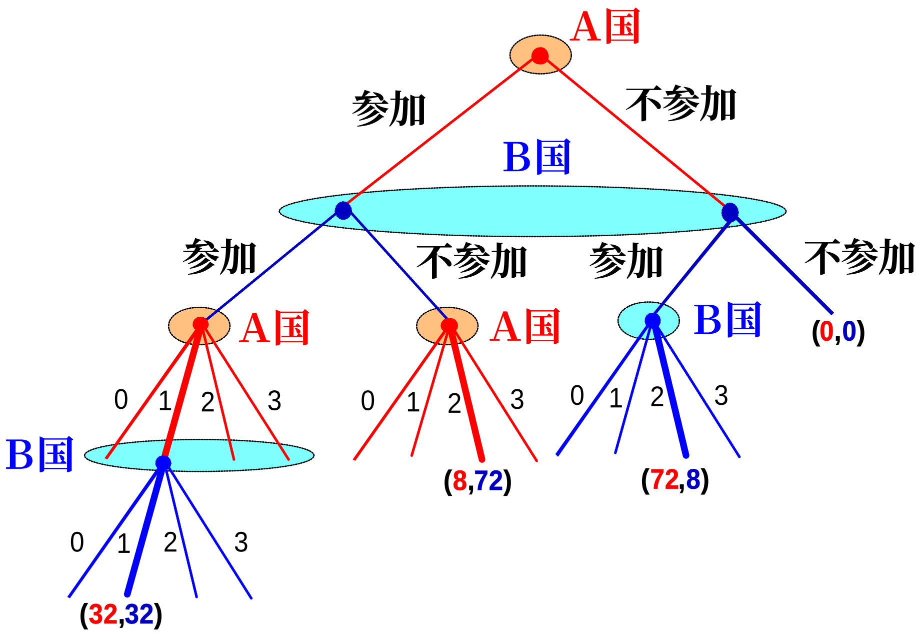


図 2.1 は，この 2 段階ゲームを表すゲーム・ツリーである．まず，A 国が，一番上の「A 国」と書かれた自国の手番で「参加」または「不参加」の枝を選択する．次に，B 国が，2 番目にある「B 国」と書かれた自国の手番で「参加」または「不参加」の枝を選択する．ここで，B 国の手番は，二つの分岐点を含んだ

一つの楕円で表されていることに注意しよう．このことは，B 国がこれら二つの点を識別できない，つまり，A 国が「参加」か「不参加」の内どちらを選んだのかわからないもとで，「参加」または「不参加」を選ぶことを意味している．このゲーム・ツリーで表されている状況は，2 段階ゲームで想定した「各国が参加するか否かを同時に決定する状況」とは厳密には異なっている．しかし，ゲーム理論では，プレイヤーは，「相手と同じ時に意思決定する」ケースと，「実際には相手の後に意思決定をするのだが，相手が何を選択したのかは知らない」ケースにおいては，同じ意思決定をすると想定しており，これら二つのケースは実質的に同じ状況と見なされる．

第 2 段階が始まる時点では，第 1 段階における参加に関する意思決定は両国とも知っている．このことは，第 2 段階の始めにおけるすべての手番が，ただ一つの分岐点から成っていることによって表されている．第 2 段階の始めでは，4 つのケースが起こりうる．まず，両国とも参加した場合には，両国が投資額を同時に選ぶ．このことは，図 2.1 では以下のように表されている．まず A 国が「A 国」と書かれた自国の手番で，0, 1, 2, 3 の枝のどれかを選び，投資額を決める．次に，B 国が，相手国の投資額を知ることなしに，0, 1, 2, 3 の枝のどれかを選ぶ．A 国（B 国）だけ参加した場合には，A 国（B 国）が「A 国（B 国）」と書かれた自国の手番で，0, 1, 2, 3 の枝のどれかを選ぶ．両国とも不参加を選んだ時には，ゲームはそこで終わる．

ここで，「第 1 段階で不参加を選択すること」と「第 1 段階で参加を選び，第 2 段階で投資額をゼロにすること」は異なる点に注意しよう．いま A 国が参加を選択したとしよう．もし B 国が参加しなければ，B 国の投資額は必ずゼロであり，このことを A 国は投資額を決定する際に知っている．一方，B 国が参加を表明した場合には，A 国は，B 国の投資額がいくらになるかを知ることなく，自国の投資額を決定しなければならない．たとえ，B 国が結果的に全く投資をしなかったとしても，これをあらかじめ知ることはできない．

この 2 段階ゲームで各国がどのような選択を行うかを予測してみよう．まず，第 1 段階のゲームが終わった時点から考えよう．図 2.1 で示されているように，起こりうるケースは 4 つある．各ケースに関して，第 2 段階での投資額がどこに落ち着くのかを見よう．まず，両国とも参加するケースを考える．この場合

の利得表は，表 2.1 で与えられている．両国が 1 ずつ投資して，お互い 32 の利得を得るというナッシュ均衡が実現されるであろう．次に，一つの国だけが参加するケースを考察する．相手国が参加しない場合には，相手国の投資額がゼロなので，自国の利得を最大にする投資額 2 を選ぶと考えてよいであろう．このとき，自国の利得は 8，相手国の利得は 72 になる．最後に，両国とも参加しない場合には，両国の投資額は共に 0 で，利得も 0 になる．

以上のことを参加・不参加という戦略で表現した利得表にまとめたのが，表 2.2 である．このゲームで，参加・不参加の選択がどこに落ち着くを検討しよう．相手国が参加した場合には，自国が，参加すれば 32，不参加ならば 72 の利得を得るので，不参加の方がよい．逆に，相手国が参加しない場合には，自国が，参加すれば 8，不参加ならば 0 の利得を得るので，参加する方がよい．よって，「A 国は参加するが B 国は参加しない」と，「B 国は参加するが A 国は参加しない」はナッシュ均衡である．「両国とも参加する」のは均衡ではない．

表 2.2　参加・不参加による利得表

		B国 p_B 参加	B国 $1-p_B$ 不参加
A国	参加 p_A	32 / 32	8 / 72
A国	不参加 $1-p_A$	72 / 8	0 / 0

これまでは，各国が「参加する」もしくは「参加しない」と確定的な行動をとることをはっきりと決めている戦略について考察してきた．このような戦略は「純粋戦略」と呼ばれる．これに対して，「参加する」と「参加しない」の内どちらをとるのかを，一定の確率に従ってランダムに選ぶ戦略を「混合戦略」という．例えば，サイコロを振って「1」が出た時には「参加」を選び，他の数が出た場合には「不参加」を選ぶというのは，混合戦略のひとつである．この場合，「参加」を選ぶ確率は $1/6$，「不参加」を選ぶ確率は $1-1/6=5/6$ となる．いま，A 国が「参加」を選ぶ確率を p_A（従って「不参加」を選ぶ確率を $1-p_A$），B 国が「参加」を選ぶ確率を p_B（従って「不参加」を選ぶ確率を $1-p_B$）と表す．

さて，表 2.2 のゲームにおいて，各国はどのような混合戦略を選ぶのであろう

か．ゲーム理論では，相手国の混合戦略に対して，各国が期待利得（利得の期待値）を最大にするような混合戦略を選択している状況が均衡となると考える．すなわち，均衡において，A 国は，

「A 国の期待利得」＝　p_A ×「A 国が参加を選んだ時の期待利得」

＋（$1-p_A$）×「A 国が不参加を選んだ時の期待利得」

を自国の参加確率 p_A を変化させて増大させることはできない．よって，均衡では，「A 国が参加を選んだ時の期待利得」が「A 国が不参加を選んだ時の期待利得」と等しくなければならない．なぜなら，もし「A 国が参加を選んだ時の期待利得」が「A 国が不参加を選んだ時の期待利得」より大きければ（小さければ），参加確率 p_A を増やす（減少させる）ことによって，A 国の期待利得は増大するからである．利得表 2.2 から，B 国の参加確率が p_B の場合，

「A 国が参加を選んだ時の期待利得」$= p_B \times 32 + (1-p_B) \times 8$，

「A 国が不参加を選んだ時の期待利得」$= p_B \times 72 + (1-p_B) \times 0$

となる．これら二つの期待利得が等しくなるという均衡条件から，$p_B = 1/6$ を得る．また，B 国の期待利得に関する同様の議論から，均衡では $p_A = 1/6$ が成立しなければならない．すなわち，表 2.2 のゲームにおける混合戦略での均衡は，「各国がそれぞれ 1/6 の確率で参加する」というものである．

尚，表 2.1 の利得表で表される第 2 段階の投資ゲームに関しては，純粋戦略を用いる「各国がそれぞれ 1 ずつ投資する」状況が唯一の均衡で，混合戦略による均衡は存在しない．（純粋戦略の数が 3 以上の時の混合戦略均衡については，岡田(1996)を参照せよ．）

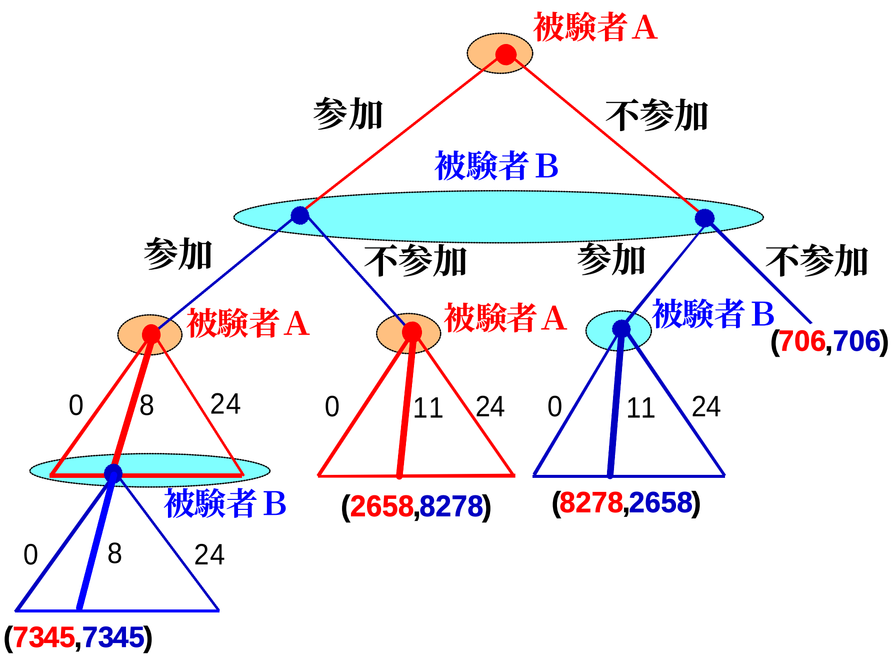
この節では，第 2 段階における投資額の均衡点を前提として，第 1 段階での参加・不参加の選択に関する均衡を考察した．このように，ゲームの最後の段階から出発して後ろ向きに，逆にたどって得られた均衡を「部分ゲーム完全均衡（subgame perfect equilibrium)」という．上記の参加ゲームに関して，純粋戦略を用いる「一つの国だけ（確率 1 で）参加し，他の国は（確率 1 で）参加しない」状況と，混合戦略を用いる「各国がそれぞれ 1/6 の確率で参加する」状況は共に部分ゲーム完全均衡である．後者の混合戦略での均衡では，二人とも参加する確率はわずか 1/6×1/6=1/36≈0.028 である．また，純粋戦略を用いる「両国とも（確率 1 で）参加する」状況は，部分ゲーム完全均衡ではない．

2.5　参加ゲームの実験

上記のメカニズムの参加に関する否定的な結果は一般的に成立する．自発的支払メカニズムはほんの一例に過ぎない．西條＝大和（1997, 1999）は，社会の構成員全員が自発的に参加するインセンティブを常に持つようなメカニズムを作ることは不可能であることを証明した．この不可能性定理ゆえに，我々は公共財供給のための制度をデザインするという手法を放棄しなければならないのであろうか．この問いかけに対する解答の一つの手がかりを与えてくれるものが，西條＝大和＝横谷＝ケイソン(1999)の経済実験である．彼らが行った自発的支払メカニズムへの参加ゲームに関する実験では，不参加によって大幅な利得を得ることを阻止するメカニズムが自然に発生し，これが引きがねとなり協力が生まれた．我々の理論的予測の範囲外で被験者は行動したのである．以下で，この実験を紹介しよう．

20人の被験者が集められ，2人のペアが10組作られた．各被験者はこのペアとなる相手と対戦する．実験は15回繰り返され，対戦ペアは各回ごとに変わる．被験者は毎回違う相手と対戦しているのはわかっているが，実際に誰と対戦しているかはわからない．また，被験者間のコミュニケーションは一切禁止した．

図 2.2　実験における参加ゲームのゲーム・ツリー



被験者がプレイするゲームは図 2.2 で表されている．このゲームの基本的構造は，図 2.1 に示されている 2 プレイヤー2 段階の参加ゲームと同じである．ただし，各々の被験者が保有している私的財の量は 3 単位ではなく，24 単位である点が異なる．表 2.1 の利得表と同様に，自分の投資数と相手の投資数に応じて自分の利得が決まる．ただし，実験では私的財の初期保有量が 24 単位であるから，ゼロ単位の投資数も考慮に入れると，利得表は 25 行 25 列となる．各被験者に同じ 25×25 の利得表を配布し，また，相手も同じ利得表を持っていることを予め教えた．各被験者は利得表を見て，投資に参加するか，参加しないかをまず最初に選ぶ．各被験者は相手が投資に参加するかどうかを知らされた後，もし自分が参加を選択したならば，利得表を見て 0 から 24 の間で投資数を決定する．

この参加ゲームの部分ゲーム完全均衡を検討しよう．表 2.3 は，被験者に配布した利得表の一部を示している．利得の値はあるコブ＝ダグラス型関数に基づいている．もし二人とも参加するならば，どこに落ち着くのであろうか．相手が投資数を 8 に選んだ時，自分の利得を最大にするためには投資数を 8 にすればよい．このことは相手も同じである．したがって，「二人とも 8 単位投資する」のがナッシュ均衡となり，両者の利得は 7345 となる．相手が参加しない時には，相手の投資数がゼロなので，自分の利得を最大にする投資数 11 を選ぶであろう．このとき，自分の利得は 2658，相手の利得は 8278 になる．二人とも参加しなければ，互いに 706 の利得になる．これらのことは，図 2.2 にも書かれている．

表 2.3　実験で使用した利得表

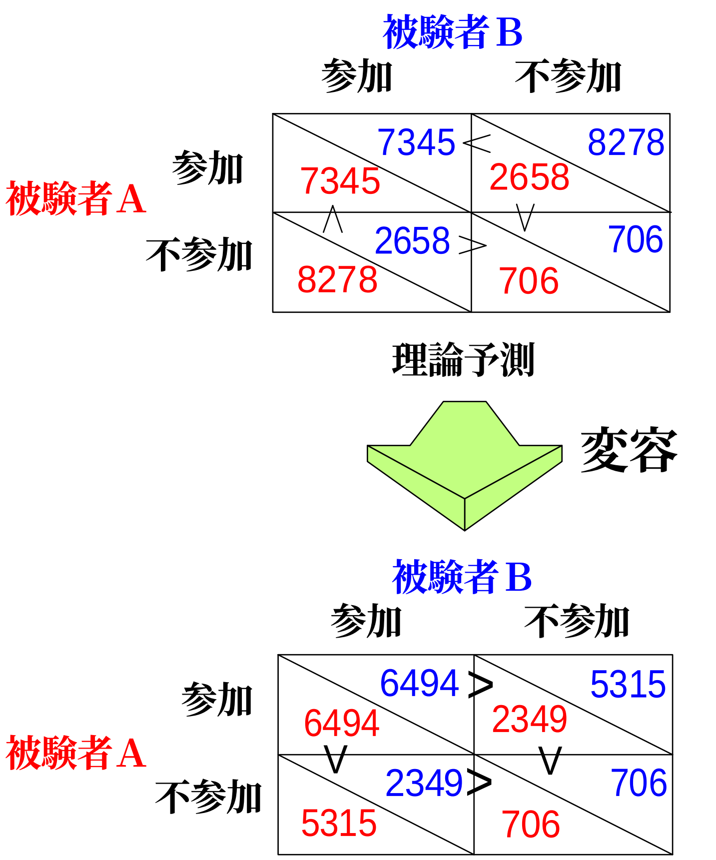
あなたの投資数

対戦相手の投資数	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
0	706	871	1072	1297	1536	1775	2003	2210	2386	2523	2615	2658	2648	2585	2470
1	905	1127	1379	1647	1919	2183	2427	2641	2816	2944	3019	3039	3001	2905	2755
2	1186	1465	1764	2072	2374	2658	2913	3129	3297	3411	3465	3456	3385	3252	3061
3	1554	1888	2232	2575	2902	3202	3463	3675	3831	3925	3952	3911	3801	3626	3391
4	2017	2401	2787	3160	3508	3817	4078	4281	4420	4488	4483	4403	4250	4028	3743
5	2578	3010	3432	3831	4193	4507	4762	4950	5064	5101	5057	4934	4733	4459	4119
6	3244	3718	4171	4590	4960	5272	5515	5681	5766	5765	5677	5504	5249	4918	4519
7	4018	4529	5008	5440	5812	6115	6339	6478	6526	6481	6343	6114	5800	5406	4944
8	4904	5447	5944	6383	6751	7038	7237	7340	7345	7250	7056	6765	6385	5924	5393
9	5907	6475	6984	7422	7779	8043	8209	8271	8225	8073	7816	7458	7007	6472	5867
10	7031	7616	8130	8561	8897	9132	9257	9270	9168	8951	8624	8193	7664	7051	6367
11	8278	8873	9384	9800	10109	10306	10384	10339	10173	9886	9482	8970	8359	7661	6892
12	9653	10250	10750	11142	11416	11567	11589	11480	11242	10877	10390	9791	9090	8302	7444
13	11158	11749	12229	12589	12820	12916	12875	12694	12376	11925	11349	10656	9860	8976	8022
14	12796	13372	13824	14144	14323	14356	14243	13982	13576	13033	12358	11565	10667	9681	8627

（実験で使用した表にはサークルで囲った部分はない）

以上のことを，参加・不参加という戦略で表現した利得表でまとめたものが，表 2.4 の上側の表である．表 2.2 のゲームと同様に，このゲームの純粋戦略均衡は 2 つあり，「相手が参加しないときに参加する」というものである．また， 2.4 節で行った計算方法と同様のやり方で，「各人がそれぞれ 68%の確率で参加する」というのが混合戦略均衡になることも容易に確かめることができる．実は，この混合戦略のみが進化的に安定な戦略（Evolutionarily Stable Strategy）なのである．（進化的に安定な戦略については，本書第 7 章（進化ゲーム），岡田（1996），中山(1997)などを参照せよ．）

表 2.4　実験における参加・不参加による利得表

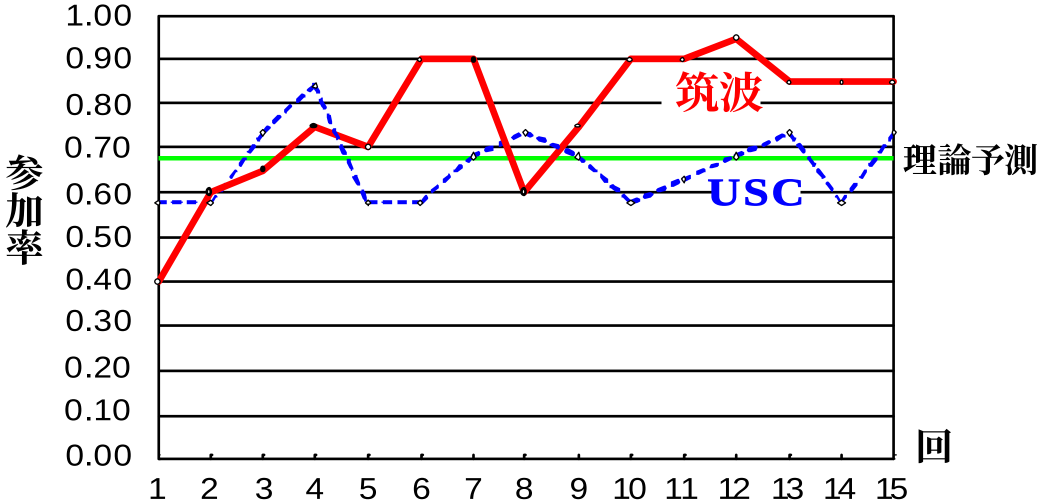


5回目までの利得データの平均値

混合戦略均衡による予測が正しいならば，被験者全体の参加率は，68%前後になるはずである．ところが，筑波大学で行われた西條＝大和＝横谷＝ケイソン(1999)の実験では，この理論予測とは全くことなる結果が観察された．図 2.3 に示すように，当初 40%だった参加率は回が進むにつれて上昇し，後半になると 85%から 95%にもなった．表 2.4 の上側のゲームでは，二人ともに参加する

のは均衡ではない．ここで二人とも参加することを「協力」と呼ぶならば，理論予測と異なり，協力が創発したのである．

図 2.3　日米の参加率



では，なぜ協力が創発したのであろうか．相手が参加しない場合，自分の利得を最大にする投資数「11」を選ぶであろうと考えた．しかしながら，実験で最も多く観察された投資数は 11 ではなく「7」であった．実験では各回の意思決定を行う際，なぜそうしたのかの理由をすべての被験者に書かせた．それを眺めてみると，かなりの数の被験者が次のような理由付けをしていた．「相手が参加しない時，自分の利得を最大にする投資数は 11 であることは理解していた．しかし，そうすると相手の利得は 8278 であるの対して，自分の利得はわずか 2658 である．いま投資数を 11 から 7 に変えると，自己の利得は 2658 から 2210 に少し減少はするが，相手の利得を 8278 から 4018 と大幅に減少させることができる．」

第 1 段階で不参加を選んだ被験者は，相手が参加するなら，8278 という大きなただ乗りによる利得を得ることを当初期待する．しかし，参加した相手は，自分の利得を犠牲にしてまでも，参加しなかった被験者の利得が大幅に下がるような投資数を選ぶという「スパイト(spite)行動」をとるため，この甘い期待はかなわない．各回，相手が変わっていくものの，スパイト行動のために不参加をとっても利益にならないという情報が間接的に伝達され，最後には多くの被験者が参加するようになった．いわば，スパイト行動が協力の源泉になったのである．

事実，実験データを眺めてみると，参加した方が参加しないよりも平均的に高い利得が得られている．表 2.4 の下側の表は， 1 回目から 5 回目までの間被験者が実験で得た利得の平均値を表している．この利得表では，相手が参加した場合，参加すれば 6494，参加しなければ 5315 の利得を得るので，参加した方がよい．相手が参加しない場合も，参加すれば 2349，参加しなければ 706 の利得を得るので，参加した方がよい．よって，相手が参加するか否かに関係なく，参加した方がよい．このように，相手がどのような戦略をとろうが，自分には最善の戦略がある時，その戦略を「支配戦略（dominant strategy）」と呼ぶ．このゲームでは，二人とも「参加する」のが支配戦略である．表 2.3 に示されているように，二人とも参加するのは均衡ではないゲームが，スパイト行動を通じて，二人とも参加するのが支配戦略となるゲームへと変容した（transmute）のである．

ケイソン＝西條＝大和(1999)は，同じ実験を南カルフォニア大学（ＵＳＣ）の学生を被験者として行った．ＵＳＣの実験結果は，日本の実験結果とは異なり，ほぼ理論予測通りとなった．図 2.3 が示すように，参加率は 68%前後で推移している．ＵＳＣの被験者の大半は，相手が参加しない時，自己の利得を最大にする投資数である「11」を選び，スパイト行動をとらなかったのである．

日米でまったく異なった実験結果に直面しているが，この結果をもとにどのようにして新たな理論モデルを構築すればよいのかは，残された重要な課題である．実は，ここで紹介した参加ゲームの実験だけではなく，多くのゲームに関して理論予測とは異なる実験結果が観察されている．そこで，実験室で観察されたデータをきちんと説明できるように，ゲーム理論を拡張し新たな理論を構築しようという研究が生まれてきている．その一つが，キャメラー（1997）たちによる「行動ゲーム理論（Behavioral Game Theory）」で，経済学だけではなく，心理学，社会学などの分析手法も取り入れようとしている．

参考文献

石井安憲　西條辰義　塩沢修平（1995），『入門・ミクロ経済学』有斐閣．
岡田章（1996），『ゲーム理論』有斐閣．
中山幹夫（1997），『はじめてのゲーム理論』有斐閣ブックス．

C. F. Camerer (1997), "Progress in Behavioral Game Theory," *Journal of Economic Perspectives*, 11, 167-188.

T. N. Cason, T. Saijo and T. Yamato (1999), “Voluntary Participation and Spite in Public Goods Provision Experiments: An International Comparison,” mimeo.

T. Groves and J. Ledyard (1977), "Optimal Allocation of Public Goods: A Solution to the 'Free Rider' Problem," *Econometrica*, 45, 783-811.

T. Saijo and T. Yamato (1997), "Fundamental Difficulties in the Provision of Public Goods: ‘A Solution to the Free-Rider Problem’ Twenty Years After," mimeo.

T. Saijo and T. Yamato (1999), "A Voluntary Participation Game with a Non-Excludable Public Good,” *Journal of Economic Theory*, 84, 227-242.

T. Saijo, T. Yamato, K. Yokotani and T. N. Cason (1999), "Voluntary Participation Game Experiments with a Non-Excludable Public Good: Is Spitefulness a Source of Cooperation? " mimeo.

西條＝大和（1997）**，西條＝大和＝横谷＝ケイソン**（1999）**，およびケイソン＝西條＝大和**（1999）**の論文は以下のホームページから入手可能である．**

http://www.iser.osaka-u.ac.jp/~saijo/index.html

また，実験に興味をもたれた読者もこのホームページを参照されたい．