

社会的組織の形成と発展

——ゲーム理論的アプローチ——

岡田 章

1. はじめに

個人的価値や目的を追求する複数の行為主体が存在する社会的相互依存状況では、主体間で利害の対立や競争、協力の可能性が内在する。社会科学の基本的な問題の1つに、「個人的価値を追求する行為主体の間でいかにして協力関係が成立し発展するか」という問いがある¹⁾。

現代の大きな政治的および経済的変動、とりわけ、旧社会主義諸国の崩壊とその後に発生した地域間、民族間の対立、また、さまざまなレベルでの環境汚染は、社会的状況における協力の問題が社会科学の理論的課題の1つであるだけでなく、現代社会の重要な政策的課題であることも示している。

社会的状況における協力の問題を考察するさいの重要な分析上の視点は、個人的価値の追求(個人的合理性)と協力の実現(社会的合理性)の基本的な不一致の認識である。個人的合理性と社会的合理性の対立はこれまでに多くの論者によって探求されてきている²⁾。特に、ゲーム理論における「囚人のジレンマ」のモデルは、簡潔にかつ明瞭にその不一致を表現するために、政治学、経済学、哲学、法学、社会学、社会心理学、経営学などを含む社会科学のさまざまな分野でその研究が行われている。この論文においても、社会的相互依存状況のモデルとして「囚人のジレンマ」を考察する³⁾。

近年、社会的状況における協力の問題へのゲーム理論的アプローチとして、2つの主要な潮流が文献を占めてきた。1つは、くり返しゲーム理論であり、他の1つは、進化論的ゲーム理論である。くり返しゲーム理論の最も重要な成果(「フォーク定理」の名前で呼ばれている)は、

同じ行為主体が同一のゲームを際限なく(あるいは、非常に長期間)くり返しプレイするならば、パレート最適な状態の実現が個々の主体の効用最大化行動から説明可能であるということである。くり返しゲームにおいて主体間の協力は、主体の戦略の中に組み入れられている相互処罰のメカニズムによって可能となる。もしある主体が協力状態から離脱すれば、次期以後、長期間、適当な方法で他の主体から処罰される。このとき、処罰による損失が協力状態から離脱することによる一時的な効用の増加を上回れば、主体の機会主義的な行動は阻止される⁴⁾。

一方、進化論的ゲーム理論では、進化生物学の考えや分析手法に基づいて、生物社会の自然淘汰プロセスに類似したある一定の社会的淘汰プロセスを考え、主体間の協力状態がいかに安定的なものとして実現し持続するかを主要な関心とする。ここではプレイヤーは自律的な意志をもち選択し行為する主体というよりはむしろ、特定の戦略(行動パターン)がプログラム化されている「遺伝子」であり、「適応度」の低いプレイヤーはゲームから淘汰される⁵⁾。

くり返しゲーム理論と進化論的ゲーム理論は社会的状況における協力の問題の解明にきわめて重要な貢献をしているが、他方、いずれのアプローチともその前提となるゲームのプレイヤーのとり扱いは「社会的存在」としての行為主体の記述としては限定的なものと言える。プレイヤーは社会の相互依存状況を与えられた環境としてとらえ、その制約の下で可能な行動を選択するという受動的な行為者である。

この論文では、ゲームのプレイヤーは単にゲームのルールを与えられたものとして受け入れるのではなく、協力の実現のために必要であれ

ばゲームのルールを変更し新たに構築するという立場から、協力の問題を考察する⁶⁾。具体的には、プレイヤーは協力のために交渉し組織を形成すると仮定し、社会的状況における組織の形成と発展を考察する。便宜上、このようなアプローチを、協力の問題に対する組織論的アプローチと呼ぶことにする。この論文の目的は、組織論的アプローチのためのゲーム理論によるモデル分析の1つの試みを示すことである。

ここでは、社会的組織とは、社会において行為主体の協力を可能にするために主体間の合意に基づいて作られる社会的関係であると考え⁷⁾。すでに述べたように、社会的相互依存状況の特徴づける基本要素の1つは個人的合理性と社会的合理性の不一致であるから、社会的組織の重要な機能の1つはそのメンバーの機会主義的行動の規制である。したがって、この論文では、組織のメンバーに協力行動を強制する労働に専門的に従事するエージェント(以下では、「強制エージェント」と呼ぶ)を明示的に導入する⁸⁾。

この論文で提示する社会的組織の形成と発展に関するゲーム理論的モデルの重要な決定要因は、組織の強制エージェントの費用と主体の組織に対する「ただ乗り」行為であり、主な結論は次のとおりである。強制エージェントの費用と主体の組織への参加条件から組織が形成可能であるためのメンバーの最小数が決定される。そして、各主体の組織に対する「ただ乗り」のインセンティブから、一般的に、各主体は組織に参加すべきか否かの選択のジレンマに直面する。社会の主体の総数が組織の最小規模と一致する場合を除いて、すべての主体は確率的に組織に参加する。ここで、主体の組織への参加確率は1つの「組織均衡」の条件により定まる。また、組織の発展プロセスは社会の発展が人口成長、組織の最小規模に与える影響に依存し、組織の発展プロセスの4つの典型的なパターンを示す。最後に、発展プロセスのパターンにより、社会的組織の持続的発展の可能性について論じる。

論文の構成は次の通りである。2節では、「囚

人のジレンマ」のゲームを定式化し、環境汚染と公共財供給の2つの例を示す。3節では、「囚人のジレンマ」状況における社会的組織の形成のためのゲームモデルを提示し、組織形成の条件を明らかにする。4節では、「囚人のジレンマ」ゲームの動学化を行い、社会的組織の発展プロセスを考察する。最後に、5節では、今後の研究課題について述べる。

2. 「囚人のジレンマ」

2.1 ゲームのルール

$N=\{1, \dots, n\}$ を社会を構成する行為主体(プレイヤー)の集合とする。各主体 $i \in N$ は2通りの行動 C (協力)と D (裏切り)をもつ。すべての主体の行動の組、 $a=(a_1, \dots, a_n)$ 、各 a_i は C あるいは D 、に対して、主体 i の利得関数を $f_i(a_1, \dots, a_n)$ で表す。ここで、主体 i の利得関数は i 自身の行動 a_i と協力行動 C を選択する i 以外の主体の数 h_i のみに依存し、

$$f_i(a_i, h_i), a_i = C, D, h_i = 0, 1, \dots, n-1$$

とかけるとする。以下では、すべての主体は同一の利得関数をもつとし、混乱がない限り、主体の添字 i は省略する。主体の利得関数は次を満たすとする。

仮定 1

- (1) すべての $h=0, \dots, n-1$ に対して、

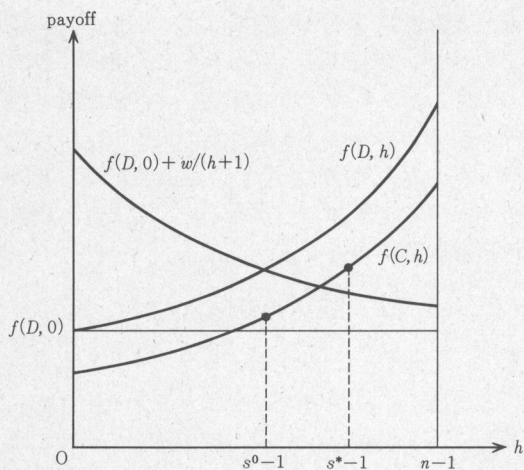
$$f(D, h) > f(C, h).$$

- (2) $f(C, n-1) > f(D, 0)$.

- (3) $f(C, h)$ と $f(D, h)$ はともに h の単調増加関数である。

条件(1)は、すべての主体にとって他の主体の行動に無関係に裏切り行動 D による利得の方が協力行動 C による利得よりも大きいことを意味する。このとき、自己の効用最大化を目的とする各主体にとって、裏切り行動 D を個人合理的行動という。すべての主体が個人合理的行動 D をとるとき、行動の組 $(D, \dots, D)$ が実現し、各主体は利得 $f(D, 0)$ を得る。利得 $f(D, 0)$ を「囚人のジレンマ」の非協利得という。一方、条件(2)より、もしすべての主体が一律に協力行動 C を選択するならば、各主体はより高い利得 $f(C, n-1)$ を得る。すなわち、

図1



個人合理的行動の組 $(D, \dots, D)$ は n 人の主体からなる社会においてパレート最適ではない。最後に、条件(3)は、各主体の利得はその行動が何であろうと協力行動 C をとる他の主体の数が大きくなるにつれて増加することを意味する。この意味で、各主体の協力行動 C は他の主体に「正の外部性」をもたらす。

主体のもつ利得関数の性質は図1で示される。図1からわかるように、

$$f(C, s^0 - 2) < f(D, 0) \leq f(C, s^0 - 1)$$

を満たす整数 s^0 ($2 \leq s^0 \leq n$) が一意に存在する。整数 s^0 は、主体が協力行動 C をとる場合、非協力利得 $f(D, 0)$ 以上の利得を得るために必要な協力行動 C を選択する主体(自分自身も含む)の最小数を表す。この意味から、整数 s^0 を「協力の最小人数」と呼ぶ。

2.2 「囚人のジレンマ」の例

(1) 環境汚染⁹⁾

ある湖のまわりで紙パルプ工場 $1, \dots, n$ が生産活動を営んでいる。各工場の生産プロセスは湖水を使って紙パルプを生産し、生産廃水を湖に流すことである。いま、各工場は生産廃水の浄化処理設備をつける(C)かつかない(D)かの2通りの行動をもつ。浄化処理の設備費用を A とする。一方、紙パルプの生産のためには湖水を浄化する必要があり、生産のための湖水浄化費用を kB とする。ただし、 k ($=0, \dots, n$) は廃水の浄化処理設備をつけない工場数である。こ

のとき、工場 i の利得関数は

$$f_i(a_i, h) = \begin{cases} -A - (n-h-1)B, & a_i = C \\ -(n-h)B, & a_i = D \end{cases}$$

与えられる。ここで、 h ($=0, \dots, n-1$) は工場 i 以外で廃水浄化設備をつける工場の数である。 $B < A < nB$ のとき、工場の利得関数は仮定1を満たす。各工場の個人合理的行動は廃水の浄化設備をつけないことである。その結果、湖水の汚染は最悪となり、各工場は紙パルプ生産のために湖水浄化費用 nB を要する。これに対して、もしすべての工場が廃水の浄化設備をつければ、湖水は汚染されず各工場の費用は nB から A に減少する。この例のように、共有資源が経済主体の個人的価値の追求のために汚染し枯渇する現象は「共有地の悲劇」と呼ばれている¹⁰⁾。

(2) 公共財の供給

1種類の私的財と1種類の公共財(社会的共通資本)から成る経済を考える。経済主体の集合を $N = \{1, \dots, n\}$ とし、各主体 $i \in N$ は r (> 1) 単位の私的財を初期保有量としてもつ。いま、各主体は公共財の供給のために私的財1単位(税)を拠出する(C)か、しない(D)の2通りの選択をもつ。拠出された私的財の総量 x 単位に対して、公共財の生産関数を

$$g(x) = x$$

とする。 K 単位の公共財が供給されるとき、すべての主体は(公共財の供給のために税を拠出したかどうかによらず)公共財を用いて私的財 βK 単位を生産できるとする。主体 $i \in N$ の効用関数 u_i は公共財の供給量 K と私的財の消費量 y_i に依存し、

$$u_i(K, y_i) = \beta K + y_i$$

であるとする。

このとき、すべての主体の行動の組 $a = (a_1, \dots, a_n)$ 、各 a_i は C あるいは D 、に対して、主体 i の利得関数は

$$u_i(a_1, \dots, a_n) = \begin{cases} \beta(h+1) + r - 1, & a_i = C \\ \beta h + r, & a_i = D \end{cases}$$

となる。ただし、 $h = 0, 1, \dots, n-1$ は主体 i 以外で税を拠出する主体の数である。 $1 < n\beta < n$ のとき、主体 i の利得関数は仮定1を満たす。

主体の個人合理的行動は、公共財の供給のために私的財を抛出ししないことである。その結果、公共財は供給されず、各主体は初期保有量の r 単位の私的財を消費するのみである。これに対して、全員が1単位の私的財を抛出すれば、 βn 単位の公共財が供給され、各主体は $\beta n + r - 1$ ($> r$) 単位の私的財を消費でき効用は増加する。

3. 社会的組織の形成

3.1 組織モデル

「囚人のジレンマ」において、行為主体がいかなるものにも拘束されず自らの自由な意志に基づいて行動を選択できる状況では、ゲームの自然な結果はすべての主体が個人合理的行動(裏切り行動 D)を選択することである。「囚人のジレンマ」における本質的な問題は、適当な強制機構(メカニズム)がなければすべての主体が協力行動をとるという社会的に最適な状態(社会的合理性)は実現しないことである。

このような個人合理性と社会的合理性との不一致を解消するために、社会を構成する主体はそのメンバーに協力行動を強制する社会的組織を形成すると考える。組織 ϕ を4つの要素の組 (S, p, i^*, w) で表現する。ここで、 $S \subset N$ は組織 ϕ のメンバーの集合である。 p は組織のメンバーが協力行動をとらない場合に課される罰則を表す。主体の効用が貨幣で測られる場合、 p は罰金を表す。 i^* は警察官や税吏などのように組織のメンバーに協力行動の選択を強制するエージェントである。以下では、 i^* を組織の強制エージェントと呼ぶ。強制エージェントの仕事は組織のメンバーの行動をモニターし、協力行動をとらないメンバーに対して罰則を加えることである。最後に、 w は強制エージェントに支払う賃金(報酬ルール)を表す。

組織 ϕ の形成を考える場合、組織の各構成要素 S, p, i^*, w がどのようなルールで定まるかを明らかにする必要がある¹¹⁾。組織のメンバーの決定ルールとして、自由参加と強制参加の2通りがある。罰金 p は組織の集団的意志決定プロセスによって決定されたとする。強制エージェントは社会を構成する主体の一人(あるい

は複数)がその役割を果たす場合と社会の外部のエージェントがその仕事を行う場合の2通りがある。前者の場合を内部エージェント、後者の場合を外部エージェントと呼ぶ。強制エージェントに対する報酬ルール w の決定は後で述べる。

この節では、組織形成の基本モデルとして自由参加と外部強制エージェントの場合を考える¹²⁾。

3.2 組織形成のルール

「囚人のジレンマ」状況において次のような組織形成のゲームを考える。ゲームは3段階からなる。

(1) 参加決定段階

すべての主体 $i=1, \dots, n$ は組織に参加する ($d_i=1$)、あるいは参加しない ($d_i=0$) を他の主体とは独立に決定する。すべての主体の決定の組 $d=(d_1, \dots, d_n)$ に対して、組織のメンバーの集合 $S(d)=\{i \in N | d_i=1\}$ が定まる。

(2) 組織の罰則決定段階

組織のメンバーは組織内の罰則ルールを決定する。罰則は組織のメンバーが裏切り行動 D を選択するときのみ課される。以下では、簡単化のため、罰則は罰金 p によって与えられる。罰金 p は組織のメンバーの全員一致投票で決定されたとする。すなわち、組織の各メンバー i は罰金額 q_i を他のメンバーとは独立に選択する。罰金は、すべてのメンバーが同一の額を選択する場合にのみ決定され、その他の場合は罰金は0とする。

すでに述べたように、罰則の実施は社会の外部エージェントが行うとする。組織のメンバーは外部のエージェントと私的契約を結び、組織のメンバーの行動のモニタリング、罰則の実施を依頼する。外部エージェントの市場は競争的とし、外部エージェントへの労働賃金 w はエージェントの労働に対する機会費用 w_0 に一致するとする。外部エージェントへの賃金 w は組織のメンバーが均等に負担すると仮定する。

(3) 行動決定段階

すべての主体 i (組織のメンバー、非メンバーを問わず) はそれぞれ独立に行動 a_i, C あるい

は D 、を選択する。すべての主体の行動の組 $a = (a_1, \dots, a_n)$ に対して、主体 i の利得 $F_i(a_1, \dots, a_n)$ は次のように定まる。 s を組織のメンバー数、 $h_i(a)$ を i 以外の主体で協力行動 C を選択する主体の数とする。

(i) 主体 i が組織のメンバーである場合、

$$F_i(a_1, \dots, a_n) = \begin{cases} f(a_i, h_i(a)) - w/s & , a_i = C \\ f(a_i, h_i(a)) - w/s - p & , a_i = D \end{cases}$$

ただし、 p は罰金である。

(ii) 主体 i が組織の非メンバーである場合、

$$F_i(a_1, \dots, a_n) = f(a_i, h_i(a))$$

組織の非メンバーはたとえ裏切り行動 D を選択してもいかなる罰則も受けないことに注意する。

3.3 組織形成ゲームの分析

次に、組織形成ゲームの非協力均衡解を求める¹³⁾。非協力均衡解の具体的な計算手順は次の通りである。最初に、行動決定段階の対称な(ナッシュ)均衡点を求める。ここで、対称な均衡点とは、主体や行動の名前、番号の付け方に依存しない均衡点を意味する。もし対称な均衡点が複数個存在する場合は、均衡点の間の「利得支配」関係を適用して、他のすべての対称均衡点を利得支配する対称均衡点を行動決定段階の均衡解とする¹⁴⁾。次に、行動決定段階の均衡解を前提にして、組織の罰則決定段階の均衡解を同じ要領で求める。以下、同じ操作を参加決定段階に適用して終わる。

均衡解の計算を容易にするために、「囚人のジレンマ」の利得関数に関して次の仮定を追加する。

仮定 2. すべての $h = 0, 1, \dots, n-1$ に対して利得の差 $f(D, h) - f(C, h)$ は正でかつ一定である。この利得差を α とおく¹⁵⁾。

利得の差 $f(D, h) - f(C, h)$ は主体にとって協力行動 C よりも裏切り行動 D をとるインセンティブの大きさを表す。仮定 2 は、主体の裏切り行動をとる正のインセンティブは他の主体の行動には無関係であることを意味する。2.2 節の環境汚染ゲームと公共財供給ゲームの 2 つの例は仮定 2 を満たす。環境汚染ゲームでは α

$= B - A$ であり、公共財供給ゲームでは $\alpha = 1 - \beta$ である。

最初に、行動決定段階の均衡解を求める。組織の非メンバーにとって裏切り行動 D は協力行動 C を支配する。組織のメンバーの行動は組織の罰則ルール p に依存する。 $0 \leq p < \alpha$ の場合、裏切り行動 D は協力行動 C を支配する。 $p > \alpha$ の場合、協力行動 C は裏切り行動 D を支配する。 $p = \alpha$ の場合、協力行動 C と裏切り行動 D による各主体の利得は他の主体の行動が何であろうと等しい。この場合、メンバーの任意の混合戦略の組は均衡点であり、すべてのメンバーが協力行動 C を選択する行動の組 $(C, \dots, C)$ は他のすべての対称な均衡点を利得支配することが証明できる。したがって、次の命題を得る。

命題 1. 組織 (S, i^*, p, w) の下で行動決定段階の均衡解は次のとおりである。

(i) $0 \leq p < \alpha$ のとき、社会のすべての主体は裏切り行動 D を選択する。

(ii) $p \geq \alpha$ のとき、組織のすべてのメンバーは協力行動 C を選択し、すべての非メンバーは裏切り行動 D を選択する。

命題 1 が示すように、組織の非メンバーはいかなる罰則も受けないから「囚人のジレンマ」の場合と同様に裏切り行動 D を選択する。組織のメンバーは組織の罰則 p が裏切り行動 D に対するインセンティブ α を消去するのに十分な場合だけ協力行動 C を選択する。

次に、組織の罰則決定段階の均衡解を求める。罰則決定段階のゲームは組織のメンバーのみによってプレイされる。各メンバー i は罰金の額 q_i を選択する。すべてのメンバーの選択の組 $q = (q_i : i \in S)$ に対してメンバー i の利得は次のように定まる。組織のメンバー数を s とする。

(i) すべてのメンバーが $p \geq \alpha$ なる罰金を選択する場合、

$$F_i(q) = f(C, s-1) - w/s$$

(ii) すべてのメンバーが $0 < p < \alpha$ なる罰金を選択する場合、

$$F_i(q) = f(D, 0) - w/s - p$$

(iii) 罰金の合意が成立しない場合、

$$F_i(q) = f(D, 0)$$

エージェント費用 w を組織のメンバーが負担する場合の「協力(組織)の最小人数」 $s^*(\geq 2)$ は、

$$f(D, 0) + w/s \leq f(C, s-1)$$

を満たす最小の整数 s^* で与えられる(図1参照)。

罰則決定段階のゲームの結果は、組織の規模 s と「協力の最小人数」 s^* (あるいはエージェント費用 w) に依存する。 $1 \leq s \leq s^*-1$ のとき、組織のすべてのメンバーにとって(iii)の利得が最大になるから罰金の合意は成立しない。 $s^* \leq s$ のとき、組織のすべてのメンバーにとって(i)の利得が最大になるから、対称な均衡点では罰則 $p \geq \alpha$ が合意される。

命題2. 組織の罰則決定段階における均衡解は組織の規模 s によって次のように定まる。

(i) $1 \leq s \leq s^*-1$ のとき、

罰則ルールは合意されず、メンバーの利得は $f(D, 0)$ である。

(ii) $s^* \leq s$ のとき、

罰則ルール $p(\geq \alpha)$ が合意され、メンバーの利得は $f(C, s-1) - w/s$ である。

組織のメンバーにとってエージェント費用 w を負担し互いの行動を協力行動 C に拘束することが意味をもつのは組織の規模が「協力の最小人数」 s^* 以上であり、「囚人のジレンマ」の非協力利得以上の利得を得るときである。したがって、この場合にのみ組織の罰則ルールが合意される。

最後に、組織への参加決定段階を分析する。各主体 $i \in N$ の行動 d_i は1(参加)あるいは0(不参加)である。すべての主体の行動の組 $d = (d_1, \dots, d_n)$ に対して主体 i の利得 $F_i(d)$ は次のように定まる。 s を組織に参加する主体数とする。

(i) $0 \leq s \leq s^*-1$ のとき、

$$F_i(d) = f(D, 0)$$

(ii) $s^* \leq s$ のとき、

$$F_i(d) = \begin{cases} f(C, s-1) - w/s, & d_i = 1 \\ f(D, s), & d_i = 0 \end{cases}$$

命題2で見たように、組織の規模が s^*-1 以下のとき組織の罰則ルールは設けられず実質的に組織は機能しない。したがって、各主体 $i \in N$ にとって参加決定段階でのゲームの結果は次の3通りである：(1)主体 i は組織の非メンバーである、(2)主体 i は組織のメンバーである、(3)組織は形成されない。主体 i は(1)、(2)、(3)の順序でこれらのゲームの結果を选好する。したがって、すべての主体は組織の非メンバーとなり、組織のメンバーの協力行動に「ただ乗り」する強いインセンティブをもつ。しかし、すべてのメンバーが組織に参加しなければ組織は形成されず最悪の結果となる。一般に、個々の主体は組織に「参加すべきか否か」という選択のジレンマに陥る。

参加決定段階の均衡解は「協力のための最小人数」 s^* と主体数 n の関係に依存する。 $n < s^*$ のとき、明らかに組織は形成されない。 $n = s^*$ のとき、(1)の結果は不可能だから対称均衡点は全員が参加する、あるいは全員が不参加の2通りである。前者は後者を利得支配するから、均衡解では全員が参加する。

$2 \leq s^* \leq n-1$ のとき、(1)、(2)、(3)のすべての結果が可能であり、対称均衡点は全員が同じ確率 π ($0 < \pi < 1$) で参加するか全員が不参加の2通りである。 $s^* = n$ の場合と同様に、前者が後者を利得支配する。各主体の組織への参加確率 π は次の関係式を満たす。主体 i 以外のすべての主体が確率 π で組織に参加する条件の下で、主体 i に関して、

組織に参加する場合の期待利得

= 組織に不参加の場合の期待利得

である。この関係式より、

$$A_{s^*} = \sum_{k=s^*}^{n-1} \binom{n-1}{k} / \binom{n-1}{s^*-1} \cdot (\pi/1-\pi)^{k-(s^*-1)} B_k \quad (*)$$

を得る。ただし、 $A_{s^*} = f(C, s^*-1) - w/s^* - f(D, 0)$, $B_k = f(D, k) - f(C, k) + w/k$, である。 A_{s^*} は最小規模 s^* の組織が形成されるとき組織メンバーの利得の増分、 B_k ($k = s^*, \dots, n-1$) は規模 $k+1$ の組織から自分一人だけ離脱するときの組織メンバーの利得の増分を表す。

この意味から、 A_{s*} を協力のインセンティブ、 B_k を組織からの離脱のインセンティブと呼ぶ。

関係式(*)を「組織への参加確率の均衡条件」と呼ぶ¹⁶⁾。均衡条件(*)を満たす参加確率 π は一意に存在する。

命題3. 組織への参加決定段階における均衡解は次のとおりである。

- (1) $n < s^*$ のとき、組織は形成されない。
- (2) $s^* = n$ のとき、全員が組織に参加する。
- (3) $2 \leq s^* < n$ のとき、すべての主体は均衡条件(*)を満たす確率 $\pi (< 1)$ で組織に参加する。

命題3より、組織が形成されるための必要十分条件は $s^* \leq n$ である。これは

$$w \leq n\{f(C, n-1) - f(D, 0)\}$$

と同値である。すなわち、エージェント費用 w がすべての主体が協力することにより生ずる総余剰以下であるときにのみ組織は形成可能である。

命題3が示すように、自由参加のルールでは各主体は「ただ乗り」のインセンティブによる参加のジレンマを解消するために確率的に組織に参加する。協力の最小人数 s^* が社会における主体の総数 n と一致するときのみ、全員が確率1で組織に参加する。

一般に、主体の組織への参加確率 π は主体の総数 n 、協力の最小人数 s^* 、協力のインセンティブ A_{s*} 、組織からの離脱のインセンティブ B_k に依存する。一つの興味ある問いは、主体の総数 n は組織への参加確率 π にどのような影響を及ぼすかというものである。これに関して次の命題が成立する¹⁷⁾。

命題4. 協力の最小人数 s^* 、協力および裏切りのインセンティブ A_{s*} 、 B_k が主体の総数 n に関して一定とする。このとき、各主体の組織への参加確率 $\pi(n)$ は主体の総数 n の減少関数であり、 n が無限大になるときに0に収束する。

命題3と4より、次の結論を得る。社会に協力の最小人数 s^* しか主体が存在しないとき、すべての主体は組織を形成する。一定の条件の下で、社会の主体数が増えるにつれて各主体の組織への参加確率は単調に減少し、非常に多数

の主体が存在する社会では各主体の組織への参加確率は限りなく0に近い。すなわち、「大きな」社会では「小さな」社会に比べて組織の形成は困難である。

組織形成ゲームにおける主体の利得は次のように定まる。 $n < s^*$ のとき、組織は形成されないから、各主体の利得は「囚人のジレンマ」の非協力利得 $f(D, 0)$ と一致する。 $n = s^*$ のとき、全員が組織に参加するから各主体は利得 $f(C, n-1) - w/n$ を得る。 $2 \leq s^* < n$ のとき、均衡条件より、各主体の期待利得は他の主体が均衡確率で組織に参加する条件下で主体が組織に参加する場合の期待利得に等しい。組織のメンバーの利得 $f(C, s-1) - w/s$ は組織の規模 s の増加関数だから、各主体の期待利得は $f(C, n-1) - w/n$ 以下である。

命題5. 組織形成ゲームにおける主体 i の(期待)利得 F_i は、

$$f(D, 0) \leq F_i \leq f(C, n-1) - w/n$$

を満たす。

4. 社会的組織の発展

4.1 「囚人のジレンマ」の動学モデル

社会的組織の発展を分析するために、「囚人のジレンマ」モデルの1つの動学化を試みる。各世代 $t (= 1, 2, \dots)$ において n_t 人の主体が C (協力) と D (裏切り) の2通りの行動をもつ。社会の発展状態を示す1つの状態変数 k_t を新しく導入し、各主体 i の利得関数は、

$$f(k_t, a_i, h_i)$$

で与えられるとする。ただし、 $a_i = C, D$ 、 $h_i = 0, 1, \dots, n_t - 1$ である。 h_i は2.1節と同様に、協力行動 C をとる i 以外の主体数である。利得関数 f は状態変数 k_t の任意の値に対して2.1節の仮定1を満たすとする。また、各世代の主体の生存期間はその世代のみとし、同一の主体が複数の世代に生存することはないとする。

世代間での状態変数 k_t の推移を示す社会の発展方程式は、一般に、

$$k_{t+1} = g(k_t, a_1, \dots, a_{n_t})$$

で与えられる。以下では、特に

$$k_{t+1} = g(k_t, h), h = 0, 1, \dots, n_t$$

とする。ここで、 h は協力行動 C を選択する世代 t の主体数である。社会の発展方程式は次を満たすとする。

仮定 3

(1) $g(k_t, h)$ は各変数 k_t と h に関して単調増加。

(2) $g(k_t, h) > k_t, h = 1, 2, \dots$

仮定 3 は社会発展の状態変数 $k_t (t = 1, 2, \dots)$ は主体の協力行動の結果に依存し、各世代 t においてより多くの主体が協力行動を選択することによって次の世代における k_{t+1} の値は増加することを示している。言い換えれば、世代 t における状態変数 k_t はそれ以前の主体による「協力の蓄積」を表す。状態変数 k_t の例として、社会資本のストックや自然環境の状態を示すさまざまな指標などがある。

4.2 内部エージェントをもつ組織の発展

次に、組織が内部エージェントによってメンバーの協力行動を強制する場合、社会の発展と組織の形成がどのように関係するかを考察する。

3 節の組織形成モデルの結果を適用して、世代 t において $(h+1)$ 人の主体から成る組織が形成されるための条件を求める。組織のメンバーの 1 人は強制エージェントの役割を果たすとする。強制エージェントへの報酬を w とするとき、組織の他のメンバーの利得は

$$f(k_t, C, h-1) - w/h$$

である。(強制エージェント自身は協力行動あるいは裏切り行動の選択は行わないとする)。したがって、組織のすべてのメンバーが組織の形成を受け入れるための条件は

$$f(k_t, C, h-1) - w/h \geq f(k_t, D, 0) \\ w \geq f(k_t, D, 0)$$

である。これより、エージェントに対する報酬は

$$f(k_t, D, 0) \leq w \leq h[f(k_t, C, h-1) - f(k_t, D, 0)]$$

を満たさなければならない。

エージェントへの報酬 w の具体的な決定は組織内の集団意志決定ルールに依存する。組織の他のメンバーがエージェント報酬を決定するシステムでは、報酬は下限に設定されるであろ

う。一方、エージェントが報酬の決定権をもつような一種の独裁的なシステムでは報酬は上限に設定される。また、エージェントと他のメンバーとの交渉によって報酬が決定される場合もあり得る。

エージェントへの報酬 w がどのようなルールで決定されようとも、組織が形成されるための条件は上の議論より、

$$(1+1/h)f(k_t, D, 0) \leq f(k_t, C, h-1)$$

である。この条件を満たす最小の整数を h_t^* とすると、 (h_t^*+1) 人が組織メンバー(エージェントを含む)の最小数である。

社会の発展変数 k_t の増加が組織の最小規模 h_t^* に及ぼす影響を分析するために、関係式

$$F(k, h) = f(k, C, h-1)$$

$$-(1+1/h)f(k, D, 0) \equiv 0$$

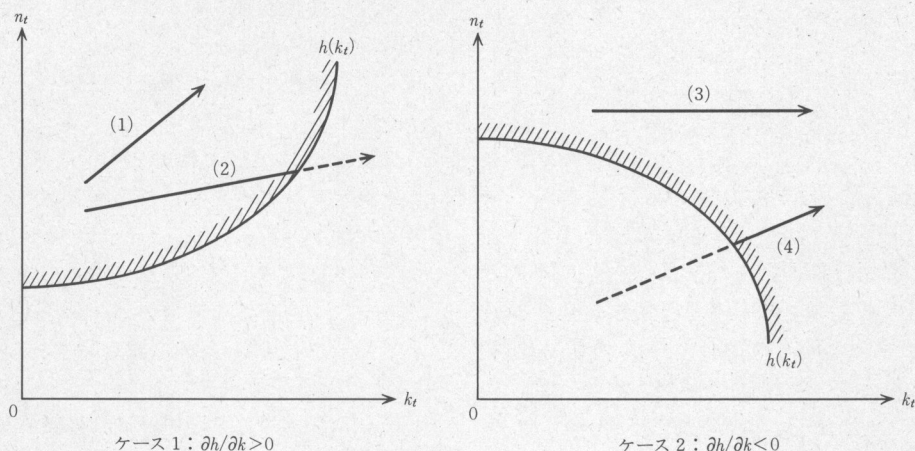
の下で h_k の符号を調べる。ここで、 h_k は関数 h の変数 k による偏微分係数を表す。陰関数定理より、 $h_k = -F_k/F_h$ である。 $f(k, D, 0) \geq 0$ と仮定すると、 h_k の符号は

$$-F_k = (1+1/h)f_k(k, D, 0) \\ -f_k(k, C, h-1)$$

の符号に一致する。すなわち、 h_k は社会の発展による非協利得の増分と協利得の増分の関係に依存し、非協利得の増分が協利得の増分を上回るとき、組織の最小規模は社会の発展につれて増加する。これは非協利得の増分が大きいとき、組織の強制エージェントの労働の機会費用が高くなり、機会費用を負担するためにはより多くのメンバーの参加が必要となるからである。

$F(k, h) = 0$ の曲線を $h = h(k)$ とおくと、世代 t において組織が形成可能な条件は $n_t > h(k)$ である。社会の発展と組織の関係は図 2 のようになり、発展プロセスは 4 通りの典型的なパターンに分類される。パターン(1)では人口成長率が組織の最小規模の増加率を上回り、すべての世代で組織の形成が持続する。パターン(2)では、人口成長率が低いいため社会の発展レベルが一定の臨界値に達した時点で組織の形成は不可能となる。パターン(3)では人口成長率がゼロ(あるいはマイナス)でも組織の最小規模

図2



が減少するため、組織の形成は持続する。最後に、パターン(4)は、人口が少なく社会発展のレベルが低い場合組織の形成が不可能な社会でもある外的要因(国際援助など)によって組織形成が可能なレベルまで人口成長と社会発展が促進されると、それ以後、自律的なメカニズムによって組織形成と社会発展が持続的に可能であることを示している。

5. 終わりに

この論文では、社会的組織の問題へのゲーム理論的アプローチの1つの試みを提示したが、分析は初期段階にすぎず、多くの問題が残されている。最後に、今後の研究課題の幾つかを述べたい。

組織モデルに関して、強制エージェントのモニタリングと処罰の不完全性¹⁸⁾や費用の導入、組織における官僚制の問題、組織の立憲ルールの定式化などがある。組織の発展の問題では、人口成長の内生化、社会の発展と組織の制度的変化の相互依存関係の分析などがある。さらに、複数の組織間の競争、協力関係も分析する必要がある。また、理論モデルの成果をコモンズの理論や国家理論に適用することも興味深い研究対象である¹⁹⁾。

社会的組織のゲーム理論的分析の試みをより一層、発展させることにより、現代社会や経済史上のさまざまな社会的組織の形成と発展に関

してその理論的説明が可能になることが期待される。

(京都大学経済研究所)

注

* 本稿の作成に当たって、林田修氏(大阪経済大学)と東北大学経済学部における研究会出席者の方々から有益なコメントを頂いた。なお、本稿の研究は、稲盛財団、学術振興野村基金の助成を受けた。併せてここに感謝の意を表したい。

1) ここでは、協力の意味をできるだけ広くとる。協力の形態は、家族、共同行為、財の交換、企業組織、国家、社会の形成など多種多様である。North(1981)によれば、「人類が展開してきた協力と競争の諸形態および人間行動を組織化するさまざまなルールの強制システムが経済史の核心である」(著者訳)。

2) 例えば、Arrow(1974, 1章)、Buchanan and Tullock(1962, 4章)。

3) 「囚人のジレンマ」のオリジナルは2人ゲームであるが、ここでは「囚人のジレンマ」の n 人ゲームモデルを議論する。Schelling(1978, 7章)参照。

4) くり返しゲーム理論の展開については、松島(1993)、Pearce(1992)、Taylor(1987)等を参照。

5) 生物進化の考えに基づく進化論的ゲーム理論については、Axelrod(1984)、Maynard Smith(1982)等を参照。

6) このようなプレイヤーの自発的な制度(ルール)形成の議論については、Ostrom(1990)等を参照。

7) Arrow(1974)によれば、「組織とは、価格システムがうまく働かないような状況の下で集団の行動の利点を実現するための手段である」(村上訳)。

8) Weber(1968, p. 48)は、組織における強制行為を実行するスタッフの存在を組織と他の社会的関係を区別する重要な特徴とみなす。

9) Shapley and Shubik(1969)参照。

- 10) Hardin(1968)参照.
 - 11) North(1981, p. 203)によれば, 組織や制度において人間行動を規制するルールとして, 立憲ルール(constitutional rules), 操作ルール(operating rules), 規範的な行動様式(normative behavioral codes)がある. この用法に従えば, 組織の4つの構成要素が操作ルールであり, その決定ルールが立憲ルールといえる.
 - 12) エージェント費用がない場合の分析については Okada(1993)を参照.
 - 13) ここでの非協力均衡解の詳細な定義は Okada(1993)を参照.
 - 14) 均衡点の対称性と利得支配の定義は, Harsanyi and Selten(1988)を参照.
 - 15) この仮定がない場合は, 罰則ルール(罰金) p は協力を選択する他の主体数に依存して規定すればよい.
 - 16) 関係式(*)は, 主体の組織への参加確率は参加することの便益と機会費用の比較によって決定されることを示していて, March and Simon(1958, p. 84)による「組織均衡」の一種である.
 - 17) 証明は, Okada(1993)の命題 4.11 と同様である.
 - 18) Avenhaus, Okada and Zamir(1991)は, 核不拡散条約の事例研究において不完全なモニタリング技術の下での国際原子力エネルギー機関(IAEA)の査察ルールを分析している.
 - 19) 国家理論への適用については, Okada and Sakakibara(1991), Okada, Sakakibara and Suga(1993)を参照.
- 参 考 文 献**
- Arrow, J. K.(1974) *The Limits of Organization*, New York: W. W. Norton & Company(村上泰亮訳『組織の限界』岩波書店 1976).
- Avenhaus, R., Okada, A. and Zamir, S.(1991) "Inspector Leadership with Incomplete Information," in R. Selten ed., *Game Equilibrium Models*, Vol. IV, Berlin: Springer-Verlag, pp. 319-361.
- Axelrod, R.(1984) *The Evolution of Cooperation*, New York: Basic Books.
- Buchanan, J. M. and Tullock.(1962) *The Calculus of Consent*, Ann Arbor: The University of Michigan Press.
- Hardin, G.(1968) "The Tragedy of the Commons," *Science*, Vol. 162, pp. 1243-1248.
- Harsanyi, J. C. and Selten, R.(1988) *A General Theory of Equilibrium Selection in Games*, Cambridge: The MIT Press.
- March, J. G. and Simon, H. A.(1958) *Organizations*, New York: John Wiley & Sons, Inc.
- 松島 齊.(1994)「過去, 現在, 未来: 繰り返しゲームと経済学」, 伊藤元重, 岩井克人編「現代の経済理論」, 東京大学出版会.
- Maynard Smith, J.(1982) *Evolution and the Theory of Games*, Cambridge: Cambridge University Press(寺本英・梯正之訳『進化とゲーム理論』産業図書 1985).
- North, D. C.(1981) *Structure and Change in Economic History*, New York: W. W. Norton & Company.
- Okada, A.(1993) "The Possibility of Cooperation in an n-Person Prisoners' Dilemma with Institutional Arrangements," *Public Choice*, Vol. 77, pp. 629-656.
- Okada, A. and Sakakibara, K.(1991) "The Emergence of the State: A Game Theoretic Approach to Theory of Social Contract," *The Economic Studies Quarterly*, Vol. 42, No. 4, pp. 315-333.
- Okada, A., Sakakibara, K. and Suga, K.(1993) "A Public Choice of Political Systems: A Game Theoretic Approach to Theory of Social Contract," KIER Discussion Paper, No. 367, Kyoto University.
- Ostrom, E.(1990) *Governing the Commons*, Cambridge: Cambridge University Press.
- Pearce, D.(1992) "Repeated Games: Cooperation and Rationality," in J.-J. Laffont ed. *Advances in Economic Theory: Sixth World Congress*, Cambridge University Press.
- Schelling, T. C.(1978) *Micromotives and Macrobehavior*, New York: W. W. Norton & Company.
- Shapley, L. S. and Shubik, M.(1969) "On the Core of an Economic System with Externalities," *The American Economic Review*, Vol. 59, pp. 678-684.
- Taylor, M.(1987) *The Possibility of Cooperation*, Cambridge: Cambridge University Press.
- Weber, M.(1968) *Economy and Society*, New York: Bedminster Press.