

第 5 部

方法

社会学における進化論*

佐藤嘉倫
(東北大学)

【要旨】

社会学における進化ゲーム理論とエージェント・ベースト・モデルの可能性を検討する。具体的には、社会学の中心問題の一つである秩序問題に焦点を当て、この問題にいかにかにアタックすることが可能かをアクセルロッドの研究の展開をたどりながら、検討する。そしてアクセルロッドが用いた遺伝アルゴリズムによるシミュレーション結果がしつぺ返し戦略の頑健性を示すことを紹介する。最後に、進化ゲーム理論とエージェント・ベースト・モデルが、秩序問題の解明だけでなく、人々の相互作用を通じて社会が変化していく過程を分析するのに適していることを指摘する。

キーワード：進化ゲーム理論， エージェント・ベースト・モデル， 遺伝アルゴリズム

1. 社会学と進化論

社会学はその起源から進化論と親和的な関係にあった。社会学は、19世紀前半、フランス人のオーギュスト・コントによって名付けられた学問領域である。そして、19世紀中ごろにおけるダーウィンの生物進化論の影響を受けながら、ハーバート・スペンサーが「社会進化論」を提唱するに至った⁽¹⁾。彼は、社会を1つの有機体とみなし、生物が組織や器官を分化させるのと同様に、社会も同質的なものから異質的なものへ分化すると考えた。具体的には、軍事型社会から分業の発展に基づく産業型社会への発展を社会の進化として捉えた。

アナロジーとはいえ、社会を生物と同じような有機体とみなすという発想は、いかにもダーウィン進化論の影響下にあった19世紀的発想であり、現在ではほとんどの社会学者は有機体説と結びついた社会進化論を支持していない。しかし社会が分化していくという発想は、産業化論や近代化論などのマクロな社会変動論の基礎となっている。その意味では、有機体説と切り離された社会進化論はその姿を変えて現代社会学の根底に存続していると言えよう⁽²⁾。

しかしここで注意しなければならないのは、生物進化論と社会進化論では進化する実体が異なるということである。生物進化論では、進化するのは個体である。もちろん新種の出現のように、種レベルでの進化が論じられるが、実際に変異するのは個体（さらに言えば遺伝子）である。これに対して、社会進化論では、進化するのは社会である。社会を構成する個々人の変異よりも社会全体の変動——上述した「軍事型社会」から「産業型社会」への変動など——に考察の焦点が絞られた。社会を有機体として想定する以上、その下位レベルの進化が重視されなかったことは、当然といえば当然であろう。

しかし近年、このような社会進化論とはまったく異なる文脈から進化論の影響が社会学

に及んできている。それは進化ゲーム理論とエージェント・ベースト・モデルである⁽³⁾。進化ゲーム理論とエージェント・ベースト・モデルとの関係は論者によって異なるが、本論文では進化ゲーム理論を進化に関する数理モデル、エージェント・ベースト・モデルを進化に関するコンピュータ・シミュレーション・モデルと使い分けることにする。ただし両者の発想は共通している。すなわち、社会進化論とは異なり、進化ゲーム理論とエージェント・ベースト・モデルは生物進化論の発想をそのまま受け継いでいる。まず社会の中にさまざまな特性を持った個体が存在していると想定する。進化ゲーム理論とエージェント・ベースト・モデルでは、この特性にしたがった個体の行動を「戦略」と呼ぶ。個体は他の個体と相互作用して、その結果として利得を得る。この利得にしたがって、個体は戦略を変える。この変更方法は、自然選択の場合もあるし学習の場合もある。自然選択とは、利得の高い個体は子孫を多く残せ、利得の低い個体は少ない子孫しか残せない、という原理である。また学習は、利得の高い個体は自分の戦略を次回も用いようとし、利得の低い個体は次回には別の戦略を用いようとする戦略修正過程である。学習にはさらに利得の高い他の個体の戦略を模倣するという過程も含まれる。このような戦略変更を通じて社会全体における戦略分布が変化し、そのもとで個体はまた相互作用、戦略変更を行う。こうして時間が進むにしたがって、戦略分布が変化していく。最終的にこれ以上分布が変化しない状態に至ると、その状態は均衡と呼ばれる。

さて、このような進化ゲーム理論とエージェント・ベースト・モデルの発想は、社会学にどのように応用できるだろうか。もっとも一般的に考えるならば、社会状態の時間的変化を分析するのに適用できる。個々人の特性（戦略）の時間的変化が集積する形で社会が変化していく過程の分析である。たとえばある行動パターンが社会の中に広まっていく普及過程が典型例である。それは新製品の普及の場合もあれば、新しい価値や規範の普及の場合もある。

本論文では、このような過程の中でも社会学の中心的問題である秩序形成問題について検討する。秩序形成問題とは、簡単に言えば、利己的な個々人からいかにして社会秩序が形成されるのか、という問題である。歴史的に見ると、この問題は、ホブズの提起した「万人の万人に対する闘争状態」（Hobbes, 1651）をいかに回避するかという問題である。彼は、人間が自己保存の本能にしたがって行動すると利害対立の生じる可能性がきわめて高いと考え、中央集権的国家形成によって闘争状態を回避するという解答を提示した。有名な「リバイアサン」による解決である。

しかしそれ以外の解決方法もあるのではないか。この研究方針にしたがって、多くの研究者が、国家による秩序形成ではなく、個々人の相互作用から自生的に秩序が形成されるメカニズムを探求してきた。その典型例はアダム・スミスの経済理論である（Smith, 1776）。彼は人々が自己利益を追求すると、それぞれが生産した財を交換して、人々は交換前よりも豊かな状態になると想定した。人々の自己利益追求が悲惨な結果をもたらすというホブズのシナリオとは対照的に、スミスの描く世界では人々が自己利益を追求するがゆえに幸福な結果が生まれる⁽⁴⁾。ただしこのバラ色の世界が実現するためには、交換をスムーズに進める市場の存在が必要となる。有名な「神の見えざる手」が適切に働かなければならない。

しかし社会の中にいつも効率的な市場メカニズムが存在するわけではない。本稿で紹介す

る秩序形成に関する研究も、自生的秩序形成に着目する点でスミスと同じ方向性を持つが、市場が存在しない状況を対象とする。たとえばゴミ問題を考えてみよう。ゴミ問題を解決する方法の一つは分別収集を徹底することである。しかしゴミを分別するのは面倒くさい。

「自分ひとりくらい分別しなくても大丈夫だろう」と考えて、分別せずにゴミを出す。このようなことを多くの人が行えば、分別収集システムは機能せずに、ゴミ問題は解決しない。

現実の社会を見渡せば、さまざまな局面で人々が協力行動を取っていることがわかる。しかし一方で上述したゴミ問題のように非協力行動が広まる場合もある。どうしてこのような違いが生じるのか、いかなる条件により協力行動が確保されるのか。これらの問題群は社会学者のみならず、心理学者、政治学者、経済学者の関心を引いてきた。またこれらの問題群には政策的な含意もある。人々にゴミの分別をさせるために、監視・罰則システムを強化するという方法も考えられうる。ホップズ的解決法である。しかしこの方法は、国家・自治体による市民生活への過剰な介入を容認するだけでなく、監視・罰則に関わる費用がかかりすぎて、実行可能性が非常に低い。むしろ人々が自発的にゴミを分別するように仕向ける仕掛けを作るほうが効率的である。アダム・スミスの解決方法である。だがアダム・スミスが想定していたような市場と異なり、人々の自己利益追求行為は非効率的な社会的結果をもたらしてしまう。中央集権的解決でも市場的解決でもない解決方法が求められる。次節では、進化ゲーム理論とエージェント・ベースト・モデルがこの問題にどのように取り組んできたのか紹介しよう。

2. 囚人のジレンマゲームとその解決策

2.1 囚人のジレンマゲームとゲーム理論

上述のゴミ問題のような状況は多くの行為者が関与している。そのような状況をそのまま扱う理論もありうるが、ここでは議論を簡潔にするために、もっとも単純な状況を想定し、その状況の解明と解決に向けて進化ゲーム理論とエージェント・ベースト・モデルがいかなる貢献をしてきたのか紹介しよう。

ここでいうもっとも単純な状況とは、それに関与する行為者が2人だけの状況である。その典型例は「囚人のジレンマゲーム」と呼ばれるものである。これは次のようなストーリーからなる。2人組の強盗 A と B が銀行を襲撃して大金を奪うことに成功したとしよう。しかしその後2人は警察に逮捕された。だが確たる物的証拠がないために、取調官は2人を別々の取調室に呼び、次のような司法取引を持ちかけた⁽⁵⁾。「お前たちが黙秘続けるならば別件でそれぞれ懲役3年を求刑する。しかし相方が黙秘し続けていてお前が自白するならば、お前は無罪放免にしてやる。相方には懲役7年を求刑する。しかしお前が黙秘し続けていて相方が自白するならば、相方は無罪放免だが、お前には懲役7年を求刑する。2人とも自白したならば、それぞれ懲役5年を求刑する。さあどうする。」実際には裁判があるので、求刑どおりの判決が出るとは限らない。しかしここでは話を簡単にするために、求刑がそのまま判決となるとしよう。

さてこのような取引を提示された A と B はどのような選択をするだろうか。自白するだ

ろうか、それとも黙秘するだろうか。ここではゲーム理論の発想を用いて、この問いに答えよう。ゲーム理論は、進化ゲーム理論の元になっている理論である。ただし進化ゲーム理論と異なり、行為者の「前向き合理性」を仮定する。すなわち行為者は将来の結果を考慮して現在の自分の行為（戦略）を選択する。ただし将来の結果は、自分の戦略選択だけではなく他の行為者の戦略選択にも影響されるので、行為者は他の行為者のことも考慮に入れて現在の自分の戦略を選択する。

それではこのような前向き合理性を持った銀行強盗は上述の取調官の申し出にどのように対応するだろうか。この問いに答えるためには、「利得行列」を作成するのが便利である。利得行列では、行と列がそれぞれ強盗 A と B の戦略に対応し、行列のセルには戦略の組み合わせに応じた利得が入る。上述の囚人のジレンマゲームの場合、その利得行列は表 1 のようになる。たとえば強盗 A が黙秘し強盗 B が自白した場合、（黙秘，自白）という社会状態（右上のセル）が実現し、A は-7、B は 0 の利得を得る。なおここでは懲役が強盗にとってマイナスの利得になっていることに注意されたい⁽⁶⁾。

表 1 囚人のジレンマゲームの利得行列

		B	
		黙秘	自白
A	黙秘	-3, -3	-7, 0
	自白	0, -7	-5, -5

さて、この利得行列の下で A と B はどのような選択をするだろうか。A の立場に立って考えてみよう。A は次のように考えるだろう。「B が黙秘するでしょう。自分が黙秘すれば懲役 3 年、自白すれば無罪放免だ。それなら自白しよう。今度は、B が自白するでしょう。自分が黙秘すれば懲役 7 年、自白すれば懲役 5 年だ。それなら自白しよう。」このように考えて、A は自白する。B も同様に考えて自白する。この結果、A も B も懲役 5 年になる。ところが、もし 2 人が黙秘するならば、2 人とも懲役 3 年ですむ。黙秘を協力行動、自白を非協力行動と考えるならば、2 人が協力行動を取れば、2 人が非協力行動を取るよりも利得が高くなる。しかし 2 人が前向き合理性を用いた合理的な選択を行った結果として、2 人とも非協力行動を取ってしまい、利得が低下してしまう。囚人の「ジレンマ」ゲームと呼ばれる所以である。

このことをゲーム理論の用語を用いて言い直そう。まずゲームに関わる行為者は「プレイヤー」と呼ばれる。上記の囚人のジレンマゲームでは 2 人の銀行強盗がプレイヤーである。プレイヤーはいくつかの可能な行為から特定の行為を選択する。可能な行為の集合を「戦略集合」、戦略集合の要素である行為を「戦略」と呼ぶ。プレイヤーの持つ戦略集合の直積が可能な社会状態である。上述の囚人のジレンマゲームでは（黙秘，黙秘），（黙秘，自白），（自白，黙秘），（自白，自白）が可能な社会状態である。これらの可能な社会状態のうち、ゲーム理論では「ナッシュ均衡」が実現すると想定する。ナッシュ均衡とは、「他のプレイヤーが選んだ戦略を変更しないとして、自分だけ他の戦略に変更すると、自分の利得が低下するか少なくとも変わらない」ということがすべてのプレイヤーに当てはまる状態である。

囚人のジレンマゲームで2人とも自白する状態からAだけ黙秘に戦略を変更したとしよう。するとAの利得は-5から-7に減少する。したがってAは戦略を変更する誘因を持たない。同様に、Bも戦略変更の誘因を持たない。したがって2人とも自白する状態はナッシュ均衡である。一方、2人とも黙秘する状態はナッシュ均衡ではない。この状態からAだけが自白に戦略を変更すると、利得は-3から0に増加する。したがってAは戦略変更の誘因を持つ。それゆえ2人とも黙秘する状態はナッシュ均衡ではない⁽⁷⁾。

しかし2人とも黙秘する状態は、2人とも自白する状態よりも、2人の利得は改善されている。このような改善は「パレート改善」と呼ばれる。パレート改善とは、ある状態から別の状態に移ったときに、すべてのプレイヤーの利得は低下せず、少なくとも1人の利得が改善されることをいう。そしてある状態から別の状態に移ったとき、少なくとも1人の利得が低下する場合、元の状態は「パレート最適」と呼ばれる。言い換えれば、パレート最適とはその状態からもうパレート改善を図れない状態である。2人とも黙秘する状態から別の状態に移るならば、少なくとも1人の利得は低下する。したがってこの状態はパレート最適である。囚人のジレンマゲームは、ナッシュ均衡とパレート最適の乖離から由来するジレンマの典型例である。

このように囚人のジレンマゲームは、ナッシュ均衡とパレート最適の乖離ゆえに、相互利益をもたらす協力行動が必ずしも社会の中に広まらないことを端的に示している。しかし現実の社会ではさまざまな局面で協力行動が見られる。したがって上述の考え方では現実の協力行動を説明できない。このギャップを埋めるために、ゲーム理論の専門家たちはさまざまな工夫をしてきた。1つの方向は繰り返しゲームへの拡張である。これは2人のプレイヤーが上記の囚人のジレンマゲームを無限に繰り返して行うというものである。この場合、プレイヤーの利得には割引因子がかかる。たとえば毎回（黙秘，黙秘）の社会状態——協力関係——が続くとしよう。このとき、割引因子を δ ($0 < \delta < 1$) とすると、プレイヤーAの利得は $-3 + (-3)\delta + (-3)\delta^2 + \dots = \frac{-3}{1-\delta}$ となる⁽⁸⁾。そしてこの δ が十分に大きければ、両プレイヤーは毎回協力行動を選択した場合の利得を得られることが証明されている。これはフォーク定理と呼ばれる定理である⁽⁹⁾。この定理は無限繰り返しゲームで毎回協力関係が実現する可能性を示している。しかしこの定理は、毎回協力関係が必ず実現することは保証しない。それどころかこの定理は、2人が毎回非協力行動をとる可能性をも示している。

2.2 進化ゲーム理論によるアプローチ

それでは2人だけのゲームではなく、多くの人間から成り立つ社会の中で行われるゲームならば、協力関係は実現するだろうか。この方向性に沿った研究が進化ゲーム理論である。進化ゲーム理論を適用することで、囚人のジレンマを解決することはできるだろうか。まず第1節で簡単に解説した進化ゲーム理論の考え方をより詳しく述べよう。一般的に進化ゲーム理論では、行為者は「個体」と呼ばれる。上述したゲーム理論ではプレイヤーは戦略を選択できる。これに対して、生物学に端を発する進化ゲームでは一般的に、ちょうど生物個体が自己の遺伝子に基づいてある行動を取るように、個体はゲームの局面であらかじめ決まっ

た戦略を実行すると想定する⁽¹⁰⁾。このような想定により、進化ゲーム理論では、プレイヤーの選択よりもさまざまな戦略の分布が関心の対象になる (Skyrms, 1996)。すなわち初期の戦略分布が時間的にいかに変化し、均衡にいたるかが関心の対象となる。この変化には大きく2つの考え方がある。1つは、自然選択による変化である。ゲームの結果得られる利得が高い戦略を持っている個体はより多くの子孫を残せるが、利得が低い戦略をもっている個体はより少ない子孫しか残せない。ここで、自分の子孫は自分と同じ戦略を持つと想定する。そしてこの繁殖率の違いにより、次世代(次時点)における戦略分布が決まる。これは生物進化論をそのまま応用した発想である。もう1つの考え方は、学習による変化である。学習にはさまざまなバリエーションがあるが、基本的な考え方は共通している。学習には2つの種類がある。個人の経験に基づく学習と他の個体の経験に基づく学習である。前者では、低い利得を得た個体は自分の戦略を別のものに変更しようとし、高い利得を得た個体は自分の戦略を維持しようとする。後者では、個体はある特性を持った他の個体の戦略を模倣する。模倣の典型例は、利得の低い個体が利得の高い個体の戦略を模倣することである。このような学習を通じた戦略変更により、次時点における戦略分布が決まる。

さらに、第1節では述べなかったが、攪乱要因による戦略変更もありうる。突然変異やミスのために、個体が自然選択や学習によって獲得した戦略とは異なる戦略を選ぶことがある。ただし一般的に、その確率は非常に低いと仮定される。

さて、進化ゲーム理論でナッシュ均衡に対応する重要な均衡概念は、漸近安定均衡(または進化的均衡)と「進化的に安定な戦略 (Evolutionary Stable Strategy, ESS)」である⁽¹¹⁾。漸近安定均衡とは、進化過程の安定な不動点のことである。一般的に進化ゲーム理論における進化過程は微分方程式系で記述されるが、その系の不動点は進化過程が均衡に至っている点である。しかしその不動点は安定しているとは限らない。何らかの攪乱要因(上述した突然変異やミスなど)のために系が不動点から少し乖離した時、その点が不安定な不動点ならば、系はその点から離れていってしまう。しかしその点が安定な不動点ならば、系はその点に復帰する。つまり漸近安定均衡は進化過程が落ち着く先を示している。

これに対して、ESSとは、ある戦略を持った個体が社会全体を占めているときに、突然変異によって生じた新しい戦略を持った個体はその社会に侵略できない戦略のことである。社会が多少ゆらいでも、また元に戻るという状況を表現した概念である。もし協力行動が進化的に安定な戦略ならば、非協力行動が広がることはなく、協力行動が広がった社会が安定的に存続することになる。

漸近的安定均衡が進化過程はどのように均衡に至るのかという動的側面を表現しているのに対し、ESSは均衡が存在するとすればそれはいかなるものかという静的側面を表現している。どちらも重要な概念であるが、後述するAxelrod(1984)はESSに基づいた議論を展開しているので、本論文でもこの後はESSのみを扱うことにする。

さて、ESSの定義を数式で表現すると、次のようになる⁽¹²⁾。社会全体を占めている戦略を X 、突然変異した戦略を Y 、突然変異の発生確率を ϵ とする。このとき、 X を持った個体と同じ X を持った個体とゲームを行った時の利得を $u(X, X)$ 、 Y を持った個体とゲームを行った時の利得を $u(X, Y)$ とする。同様に、 Y を持った個体と同じ Y を持った個体とゲームを行った

時の利得を $u(Y, Y)$, X を持った個体とゲームを $u(Y, X)$ とする. すると X を持った個体の期待利得 E_X は, 同じ X を持った個体とゲームをする確率が $1 - \varepsilon$, Y を持った個体とゲームをする確率が ε なので,

$$E_X = (1 - \varepsilon) u(X, X) + \varepsilon u(X, Y)$$

となる. 同様に, E_Y を持った個体の期待利得 E_Y は

$$E_Y = (1 - \varepsilon) u(Y, X) + \varepsilon u(Y, Y)$$

となる. この時, X が進化的に安定な戦略であるとは, すべての Y について E_X が E_Y よりも大きいことである.

この定義に基づいて, 囚人のジレンマゲームの黙秘が ESS かどうか検討しよう. 社会のすべての個体が黙秘戦略を持っているとしよう. ここにわずかな確率 ε で個体が自白戦略を持つようになったとしよう. このとき黙秘戦略を持つ個体の期待利得は次のようになる.

$$E_1 = (1 - \varepsilon)(-3) + \varepsilon(-7) = -3 - 4\varepsilon$$

この個体が他の黙秘戦略を持つ個体に出会う確率は $1 - \varepsilon$ で, その場合は 2 人とも黙秘する状態が実現し, -3 の利得を得る. これに対して, この個体が突然変異した自白戦略に出会う確率は ε で, その場合は自分が黙秘し相手が自白する状態が実現し, -7 の利得を得る. したがって期待利得は上記のようになる.

同様に, 突然変異した自白戦略を持つ個体の期待利得は次のように計算できる.

$$E_2 = (1 - \varepsilon)0 + \varepsilon(-5) = -5\varepsilon$$

E_1 が E_2 よりも大きければ, 長期的に見て自然選択や学習を通じて自白戦略を持った個体は消滅していく. その条件は $\varepsilon > 3$ である. ところが ε の範囲は 0 以上 1 以下なので, この条件は満たされない. したがって黙秘戦略は ESS ではない. つまり黙秘戦略を持った個体から成り立っている社会は突然変異した自白戦略を持つ個体の侵入を許してしまう. そして同様の論理によって, 自白戦略を持つ個体から成り立っている社会に黙秘戦略を持つ個体が侵入できないことが証明される.

このことは, ゲーム理論から進化ゲーム理論へ議論を展開して 2 人関係から多くの人々からなる社会に視野を広げても, 協利行動の広がりをも説明できないことを意味する. それではどうすれば良いだろうか. Axelrod (1984) は繰り返しゲームと進化ゲームを組み合わせた方向性を提示した. 次項ではこの方向性を検討しよう.

2.3 エージェント・ベースト・モデルへの展開

Axelrod がまず行ったのはコンピュータ・プログラムによる総当たり戦である。第1回目の総当たり戦では、ゲーム理論の専門家を招待して14の戦略（コンピュータ・プログラム）を集めた。これに協力と非協力を等確率で出す「でたらめ戦略」を合わせて、15の戦略による総当たり戦を行った（自分自身との対戦も含む）。各試合は200回の繰り返し囚人のジレンマゲームであり、各戦略は自分を含めて他の戦略とそれぞれ5試合ずつ対戦した。ただし彼の行った囚人のジレンマゲームの利得行列は表1のそれとは異なり、表2のようになる。数値は違うが、（裏切り、裏切り）がナッシュ均衡であり、（協力、協力）がパレート最適になっている。

表2 囚人のジレンマゲームの利得行列（Axelrod（1984）の総当たり戦）

		B	
		協力	裏切り
A	協力	3, 3	0, 5
	裏切り	5, 0	1, 1

この総当たり戦で最高得点をあげたのは、しっぺ返し戦略（tit-for-tat）である。この戦略は、繰り返しゲームの初めに協力を選択し、2回目以降は前回に相手が選んだ戦略を今回に繰り返すという単純なものである。

この第1回総当たり戦の結果を受けて、Axelrodは第2回総当たり戦を開催した。今回は、62の公募戦略とランダム戦略が総当たり戦を行った。第1回総当たり戦と異なるのは、1試合200回の繰り返しではなく、試合の終わりが確率的に決まるということである。ある回が終わるとそこで試合が終わる確率を0.00346と定めた。この確率は1試合あたりの繰り返し回数の期待中央値が200になるように設定された。この第2回総当たり戦でも、しっぺ返し戦略は最高得点をあげて優勝した。

このしっぺ返し戦略は興味深い特徴を2つ持っている。第1は、自分からは裏切らないという特徴である。これはAxelrodが「上品」と呼んだ特徴である。この上品さはそれだけでは相手を裏切ろうとする戦略に負けてしまうが、もう一つの特徴によってその強さが発揮される。それは、相手の選択に対してすばやい反応をするという特徴である。しっぺ返し戦略は前回の相手の戦略を今回用いるので、前回裏切られたならば、今回裏切り返す。しかし相手が協力に戻ったならば、直ちに自分も協力行動を選ぶ。このすばやい反応によって、裏切り戦略から無制限に搾取されることを回避できる。

この2つの特徴を備えているため、しっぺ返し戦略は協力行動を取る戦略と組み合わせられると良い成績を収められるだけでなく、裏切り行動を取る戦略と組み合わせられてもそれなりの成績を収めることができる。これに対して、裏切り行動を取る戦略は協力行動を取る戦略から搾取することもできるが、裏切り行動を取る戦略と組み合わせられると利得が低くなる。このようにして、しっぺ返し戦略は平均して高い利得を得ることができた。

ただし第1回、第2回の総当たり戦は進化ゲームではない。各戦略は200回の繰り返しゲーム（または確率的に終了する繰り返しゲーム）を（自分を含めて）他の戦略と5試合ずつ

行っているだけで、全試合終了後に得点に基づいて戦略分布が変化するわけではない。しかし Axelrod はしつぺ返し戦略が強いことをさまざまな角度から検討する中で、進化ゲームによる説明も行っている。すなわち割引因子が十分に大きければ、しつぺ返し戦略が集団安定であることを証明した。なお「集団安定」という概念は上述の進化的に安定な戦略概念と若干異なるが、ほぼ同義と考えてよい。したがって Axelrod が証明したのは、割引因子が十分に大きければ、いかなる突然変異戦略も全員がしつぺ返し戦略を採用している社会に侵入することはできない、ということである。

しかしフォーク定理の場合と同様に、全面裏切り戦略——毎回裏切りを選ぶ戦略——も集団安定であることが証明されている。また Axelrod は、総当たり戦で応募者が自分の戦略（プログラム）を提出する際に他の応募者がどのような戦略を提出するか予測したことがしつぺ返し戦略の成功につながったのではないかと疑い始めた。戦略に関するこのような先入観のない状況で果たしてしつぺ返し戦略は成功を収めるのだろうか。この問題に取り組むために、Axelrod (1997) はエージェント・ベースト・モデルを用いて研究を進めた。

エージェント・ベースト・モデルは進化過程をコンピュータ上で実現する手法である。この手法では個体を「エージェント」と呼ぶのが慣習となっている。基本的にモデルは、初期化、マッチング、相互作用、特性変更という4つの段階からなる。初期化段階ではエージェントにさまざまな特性が付与される。後で見る遺伝アルゴリズムという手法では、各エージェントの染色体上の座位に特定の遺伝子が割り当てられることになる。次のマッチング段階では、エージェントが他のエージェントと組になる。分析目的にもよるが、ランダムに2人のエージェントが組になることもあれば、特定の規則によって組になることもある。また3人以上のエージェントが組になることもある。（ただし後述する Axelrod のモデルでは、エージェントは特定の戦略と出会う。）第3の相互作用の段階では、組になったエージェント同士が何らかの相互作用を行う。この相互作用においてエージェントは自己の特性に基づいて行動する。典型例は、何らかのゲームを行うことである。この相互作用の結果、エージェントは利得を得る。そして第4の特性変更の段階では、この利得に基づいてエージェントの特性が変更される。Axelrod のモデルでは交配と交差、突然変異が生じる。そして新しい特性を持ったエージェントはマッチング段階に戻り次の回が始まる。そして進化ゲーム理論と同様に、長期にわたりこの反復を行った後に戦略分布が均衡に至るか否か、至っている場合にはその均衡の性質はいかなるものか、といった分析を行う。

さて、Axelrod は、エージェント・ベースト・モデルの一種である遺伝アルゴリズムの手法を用いて、しつぺ返し戦略がランダムな初期状態から進化するか検討した。遺伝アルゴリズムでは、エージェントを遺伝子配列として表現する。そして自分の遺伝子の指令に基づいて、エージェントは行為を選択する。そして行為が集積した社会状態に基づいて利得を得る。この利得に基づいて、次世代における自分の遺伝子を持った子孫の数が決まる。ただし自分の遺伝子そのまま子孫に継承される訳ではない。遺伝子の変異には2種類の要因が考えられる。第1は、交差（crossover）である。これは有性生殖のように、2つの遺伝子配列のある部分で遺伝子配列が入れ替わることをいう。たとえば図1のように、10個の遺伝子を持つ親の交配から子どもが生まれる時、4番目と5番目の遺伝子の間で遺伝子配列が入れ替わ

る。この結果、まったく新しい遺伝子配列を持った子どもが生まれる。変異の第2の要因は、突然変異 (mutation) である。これは遺伝子配列のある部分が確率的に別の遺伝子に変異することである。たとえば図1の子ども X の3番目の遺伝子 (A3) が別の遺伝子 (たとえば B1) に変異するような現象である。

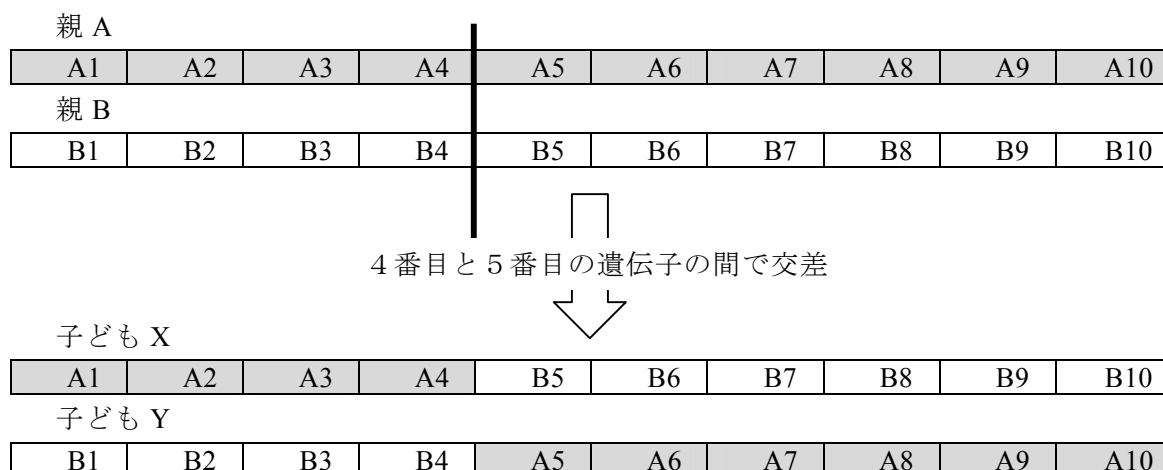


図1 交差の例

Axelrod のエージェント・ベスト・モデルを用いたシミュレーションは次のようになる。まずエージェントの選択は 70 個の遺伝子で統制される。エージェントは表 2 で表される囚人のジレンマゲームを同じ相手と 151 回繰り返してプレーする (151 回というのは総当たり戦で用いられた繰り返しゲームの平均繰り返し数である)。エージェントは過去 3 回に実現した社会状態 (表 2 の 4 つのセル) に基づいて今回の選択を決める。たとえば (協力, 協力), (裏切り, 協力), (裏切り, 裏切り) という直前 3 回の流れに対して協力か裏切りを選ぶ。1 回に実現しうる社会状態の数は 4 つなので、直前 3 回に実現しうる社会状態の数は $4 \times 4 \times 4 = 64$ 通りある。これらの社会状態一つ一つに応じて協力か非協力が選択するので、64 個の遺伝子が必要になる。しかしこれだけでは、初めの 3 回の選択が決まらない。そこでゲームが始まる前に仮想ゲームが 3 回行われたと想定して、その 3 回分の自分と相手の選択を遺伝子として表現する。自分と相手がそれぞれ 3 回選択しているので、6 つの遺伝子が必要になる。これらと上記 64 個の遺伝子を合わせて、エージェントの染色体には 70 個の遺伝子が並ぶことになる。

シミュレーションでは 20 のエージェントを用いる。初期状態として、染色体上の 70 個の位置にランダムに協力か非協力の遺伝子を割り当てる。そして各エージェントは、他のエージェントではなく、上述した第 2 回目総当たり戦に参加した戦略のうち代表的な戦略 8 つと対戦する。この対戦によって各エージェントの利得が得られる。そしてエージェントは得点によって、(a) 利得が平均利得よりも 1 標準偏差以上大きいエージェント、(b) 利得が (平均利得 + 1 標準偏差) と (平均利得 - 1 標準偏差) の間にあるエージェント、(c) 利得が平均利得よりも 1 標準偏差以上小さいエージェントの 3 種類に分けられる。(a) のエー

エージェントは他の (a) のエージェントと 2 回の交配を行う。 (b) のエージェントは (b) のエージェントと 1 回の交配を行う。 (c) のエージェントは交配ができない。 また 1 回の交配につき 2 人の子孫を残せる⁽¹³⁾。 このように利得の大きさによって、残せる子孫数に格差を設けている。

子孫は上述の交差によって親の遺伝子を受け継ぐ。 親の染色体上の 1 つ以上の場所で交差が起こり、新しい遺伝子配列の染色体を持った子孫が生まれる。 さらに突然変異によって、染色体上の遺伝子が協力から非協力を、または非協力から協力に変化する。

このようにして子孫の持つ戦略分布の下で新しい社会が形成され、子孫たちは 8 つの代表的戦略と対戦して、次の世代の子孫を生み出す。 こうして社会における戦略分布が時間的に変動していく。 この時間的な変動を見ることで、しつぺ返し戦略がランダムな初期状態から進化していくかどうか見ることができる。 実際のシミュレーションでは 50 世代まで変動を見た。 また安定した結果を得るため、同じ条件で 40 回試行を行った。

シミュレーションの結果は基本的にしつぺ返し戦略の頑健性を示すものだった⁽¹⁴⁾。 シミュレーションで進化した戦略の多くは、しつぺ返し戦略が総当たり戦で成功したのと類似した特性を持っていた。 Axelrod はそれを次の 5 つにまとめている。

- (1) 波風を立てない：相互協力が 3 回続いた後は協力する。
- (2) 挑発に乗る：相手が出し抜けに裏切ったら自分も裏切る。（相互協力関係が 2 回続いた後に相手が裏切ったら、裏切る。）
- (3) 謝罪を受け入れる：協力が修復されたら、その後は協力する。（直前 3 回が（裏切り、協力）、（協力、裏切り）、（協力、協力）となったならば、協力する。）
- (4) 忘れる：相手に裏切られた後に相互協力が修復されたら、協力する。（直前 3 回が（協力、裏切り）、（協力、協力）、（協力、協力）となったならば、協力する。）
- (5) 轍にはまる：相互裏切りが 3 回続いた後は裏切る。

この結果は Axelrod の疑問に対する明快な答えを提示している。 彼は、総当たり戦でしつぺ返し戦略が成功したのは、公募に応じた戦略の作者が他の作者の出方を予測していたからではないかという疑問を抱いていた。 しかしエージェント・ベスト・モデルに基づいたシミュレーション結果はこの疑問が杞憂だったことを示している。 ランダムな初期状態からしつぺ返し戦略の特性に類似した特性を持った戦略が進化したからである。

3. 結び

本論文では、社会学の中心問題の一つである秩序形成問題に対して進化ゲーム理論とエージェント・ベスト・モデルがいかに貢献しうるか検討した。 秩序形成問題を協力関係形成問題に絞り、主に Axelrod の研究の展開過程をたどりながら、しつぺ返し戦略の有効性を確認した。

しかし進化ゲーム理論とエージェント・ベスト・モデルが社会学の発展に貢献する可能

性は、これだけに止まらない。進化ゲーム理論とエージェント・ベースト・モデルの大きな特徴は、無数の行為者（個体やエージェント）が相互作用を行い、その相互作用の結果が集積してマクロな社会現象の出現につながるということである。これは社会学の重要問題であるマイクロマクロ問題の解明に貢献する。社会学では、行為者の行為などを分析するマイクロレベルの研究と社会システムの挙動を分析するマクロレベルの研究とが乖離する傾向にあった。その一因は両レベルを架橋する良い分析道具がなかったことである。しかし近年では、Coleman（1990）など積極的にマクロレベルの現象をマイクロレベルから説明しようとする研究が現れている。この研究の流れに進化ゲーム理論とエージェント・ベースト・モデルは大いに貢献するだろう。なぜなら、これまで見てきたように、両者はマイクロレベルの個体やエージェントに比較的単純な行動ルールを与えて、そのルールにしたがった個体やエージェントの相互作用から社会レベルの変動過程を解明するからである。残念ながら、今のところ社会学者の間で進化ゲーム理論やエージェント・ベースト・モデルの有効性はあまり認識されていない⁽¹⁵⁾。しかし社会的に優れた理論やモデルが構築され社会学者に提示されることで、両者は社会学の中で進化していくだろう⁽¹⁶⁾。

ただしここで注意すべきことがある。進化ゲーム理論もエージェント・ベースト・モデルも社会学的問題を解明するための道具である。本論文で紹介した理論やモデルは単純なもので、研究の最先端ではもっと複雑で高度な理論やモデルが開発されている。しかし理論やモデルを高度化することを自己目的化してはならない。あくまでも社会的関心が初めにあり、その関心に適した理論やモデルを用いるなり構築するなりする必要がある。道具は道具に過ぎない。重要な社会学的問題を探し出し、それを解明するための適切な道具を見つけることが大切である。

* 本稿は『人工知能学会誌』第19巻6号（2004年11月、686-693頁）に掲載された「社会学における進化論」（佐藤嘉倫著）を人工知能学会の許可を得て転載したものである。

【注】

- (1) スпенサーの社会進化論は1876年から1896年にかけて刊行された *Principles of Sociology* で展開されている。スペンサーの業績については清水（1970）および富永（1984）を参照されたい。
- (2) スペンサーの社会進化論と有機体論の現代的意義については富永（1984: 227-233）が詳述している。
- (3) 進化ゲーム理論はまず生物学者の Maynard Smith（1982）によって社会学者にも知られるようになったが、やはり政治学者の Axelrod（1984）のインパクトが大きかった。本文中で述べるが、彼は囚人のジレンマゲームにおけるしっぺ返し戦略の有効性を進化ゲーム理論とエージェント・ベースト・モデルの発想を用いて示した。なお近年の社会学におけるエージェント・ベースト・モデルについては Macy and Willer（2002）を参照されたい。
- (4) ホップズとスミスの対比については、Hechter and Horne（2003: 216-219）を参照されたい。
- (5) 囚人のジレンマゲームで「司法取引」が可能なのは、アメリカ社会を想定しているからである。
- (6) 求刑年数と利得の関係については、より複雑なものを想定することもできる。しかしここでは求刑年数がそのまま銀行強盗の利得となると想定する。
- (7) 1人でもある状態から戦略変更の誘因を持てば、その状態はナッシュ均衡ではない。したがって B が戦略を変更した場合の利得変化を考慮する必要はない。なお（黙秘，自白）と（自白，黙秘）もナッシュ均衡ではない。
- (8) 割引因子の解釈にはいくつかあるが、もっとも分かりやすいのは「1年後に1万円もらうよりも、今1万円もらう方が望ましい」という考え方であろう。1年後には死んでしまって1万円もらえないか

もしれないし、インフレで1万円の価値が下がっているかもしれない。割引因子が小さい人はこのように1年後の1万円の価値をかなり低く評価する人である。これに対して、割引因子の大きい人はこの価値をあまり低く評価しない人である。

- (9) フォーク定理はゲーム理論の中でもっとも有名な定理の一つなので、ゲーム理論の教科書ならば、必ず言及されている。たとえば Gibbons (1992) や武藤 (2001) を参照されたい。
- (10) ただし進化ゲーム理論の領域で近年提唱されている確率進化モデルでは必ずしもそうではない。
- (11) 漸近安定均衡と ESS のより詳しい解説については石原・金井 (2002) を参照されたい。
- (12) ESS の数学的表現については、Maynard Smith (1982: ch. 2) および太田 (2000: 第3章) を参照されたい。
- (13) ただし社会の規模を一定にするために比率に応じた人数調整を行う。
- (14) ただし例外もある。詳しくは Axelrod (1997: ch. 1) を参照されたい。
- (15) ただし数理社会学者の間では進化ゲーム理論やエージェント・ベースト・モデルへの注目が高まっている。たとえば数理社会学会誌『理論と方法』では昨年から今年にかけて進化ゲーム理論 (18 巻 2 号) とエージェント・ベースト・モデル (19 巻 1 号) の特集が組まれている。
- (16) 社会学的に興味深いモデル構築の1つの方向性として、役割分化に基づいた分業の発展を進化ゲーム理論で説明することが考えられる (Sato, 2003)。

【文献】

- Axelrod, Robert. 1984. *The Evolution of Cooperation* Basic Books. (松田裕之 (訳). 1987. 『つきあい方の科学——バクテリアから国際関係まで』 HBJ 出版局.)
- Axelrod, Robert. 1997. *The Complexity of Cooperation* Princeton University Press. (寺野隆雄 (監訳). 2003. 『対立と協調の科学——エージェント・ベースト・モデルによる複雑系の解明』 ダイヤモンド社.)
- Coleman, James S. 1990. *Foundations of Social Theory* The Belknap Press of Harvard University Press.
- Hechter, Michael and Christine Horne. 2003. *Theories of Social Order: A Reader* Stanford Social Sciences.
- 石原英樹・金井雅之. 2002. 『進化的意思決定』 朝倉書店.
- Gibbons, Robert. 1992. *Game Theory for Applied Economists* Princeton University Press. (福岡正夫・須田伸一 (訳). 1995. 『経済学のためのゲーム理論』 創文社.
- Hobbes, Thomas. 1651. *Leviathan*. (永田洋・田中浩 (訳). 1972. 『リヴァイアサン——国家論』 河出書房新社.)
- Macy, Michael W. and Robert Willer. 2002. “From Factors to Actors: Computational Sociology and Agent-Based Modeling,” *Annual Review of Sociology*, 28: 143-66.
- Maynard Smith, John. 1982. *Evolution and the Theory of Games* Cambridge University Press. (寺本英・梯正之 (訳). 1985. 『進化とゲーム理論——闘争の論理』 産業図書.
- 武藤滋夫. 2001. 『ゲーム理論入門』 日本経済新聞社.
- 太田勝造. 2000. 『法律』 東京大学出版会.
- Sato, Yoshimichi. 2003. “Can Evolutionary Game Theory Evolve in Sociology?: Beyond Solving the Prisoner’s Dilemma,” 『理論と方法』 18-2: 185-196.
- 清水幾太郎. 1970. 『コント スペンサー』 中央公論社.
- Skyrms, Brian. 1996. *The Evolution of the Social Contract* Cambridge University Press.
- Smith, Adam. 1776. *The Wealth of Nations* W. Strahan and T. Cadell. (大河内一男 (監訳). 1976. 『国富論』 中央公論社.)
- 富永健一. 1984. 『現代の社会学者——現代社会科学における実証主義と理念主義』 講談社.

Can Evolutionary Game Theory Evolve in Sociology? :

Beyond Solving the Prisoner's Dilemma*

Yoshimichi SATO
(Tohoku University)

Abstract

Although evolutionary game theory has been popular in social sciences, we have seldom checked its utility as a tool in sociology. In this paper I argue that evolutionary game theory is a good tool with which we study evolution of certain types of social order, but that it has a limitation when we apply it to the study of evolution of the division of labor. To prove the argument, I first adopt a working definition of social order as a self-enforcing relationship between action and expectation. Then I adopt the fictitious play and best reply assumptions rather than the hardwired strategy and replicator dynamics assumptions, because the former are fitter for analysis of the self-enforcing relationship. Third, I claim that the core of the division of labor is the creation of new roles and build an evolutionary game theoretic framework of evolution of the division of labor. Finally, I point out that a limitation of evolutionary game theory in the study of evolution of the division of labor as social order is that it assumes a finite set of possible actions, while evolution of the division of labor accompanies new actions. This limitation, however, shows us where to attack to make a breakthrough.

Keywords: evolutionary game theory, social order, division of labor

1. Introduction: Evolutionary Game Theory as a Tool

Evolutionary game theory has arguably become popular, if not dominant, in social sciences since the publication of *Evolution and the Theory of Games* by Maynard Smith (1982). Economics, in particular, has familiarity with it (e.g., Aoki and Okuno 1996). It is another story, however, whether it will give (or has given) sociologists new important insights other sociological theories have not provided. This is because phenomena sociology tries to explain are not necessarily the same as economics does, even though both of them overlap. Evolution of evolutionary game theory in economics does not necessarily imply that in sociology. Thus the question to be answered in this paper is whether evolutionary game theory can evolve in sociology.

Before searching for an answer to the question, I argue that evolutionary game theory is not a “theory”. A theory defined in this paper is a set of assumptions from which falsifiable hypotheses about a phenomenon to be explained are derived. Evolutionary game theory does not fit this definition, because we cannot derive hypotheses from it only; we need additional assumptions to do so. Such

assumptions may be about substantial meanings of strategies, payoffs, and/or pairing of agents. Whatever they are, evolutionary game theory would be just a mathematical way of thinking without such additional assumptions. In other words it is not a theory but a tool with which we try to build a substantial theory that explains real social phenomena.

Then how do we evaluate a tool in sociology? This question might raise uncountable methodological arguments, which would distract us from the purpose of this paper. Thus I adopt a practical criterion for evaluation: A good tool in sociology should help build a good theory that explains a social phenomenon that most sociologists think is important. This criterion, however, raises another question: What social phenomenon is important? I pick “evolution of social order” in this paper from many important social phenomena. This is because this phenomenon has been the central subject in sociology many sociologists have attacked. Thus evolutionary game theory has to prove that a good theory on evolution of social order is to be built with it in order to show the possibility of its evolution in sociology.

The organization of this paper is as follows. We review the basic logic of evolutionary game theory in the next section. Then we give a working definition of social order and show that evolutionary game theory is a good tool for explaining evolution of some types of social order, but not all of it in Section 3. In Section 4 we point out that a theory based on evolutionary game theory should explain evolution of the division of labor, which has been one of the central subjects in sociology. Then we propose an evolutionary game theoretic framework of it and argue that evolutionary game theory has a limitation in explaining it. In the conclusion section we positively interpret the limitation as a problem to be solved for a breakthrough.

2. The Basic Logic of Evolutionary Game Theory

Evolutionary game theory focuses on temporal change in the distribution of strategies and predicts an equilibrium (or equilibria) in which the distribution does not change any longer. The evolutionary process is broken down into four stages. In the first stage the initial distribution of strategies is determined. A strategy may be “to cooperate” or “to defect” in the Prisoner’s Dilemma game. Or it may be “to go straight” or “to swerve” in the Chicken game. Then the initial distribution of strategies, say, in the Prisoner’s Dilemma game may be 30 % of cooperators and 70 % of defectors.

We temporarily assume that a strategy is “hardwired” to an agent.¹⁾ He/she cannot choose a strategy; a strategy connected to him/her directs him/her how to behave. This assumption is in contrast to that in conventional game theory. The latter assumes that a player chooses a strategy expecting that the chosen strategy will maximize his/her payoff given strategies chosen by other players in the game.

The “hardwired strategy” assumption is very popular among evolutionary game theorists because important theorems are proved from it in combination with replicator dynamics, which assumes that strategies that gain higher (lower) payoffs propagate (decline). However, it is not fit for the study of evolution of social order, which will be defined in the next section. As will be shown,

social order is a self-enforcing relationship between action and expectation. The assumption, however, is only about action. (Here I use action and strategy interchangeably, although sociologists strict about definitions of action would disagree with me.) Thus an evolutionary game with this assumption cannot be a good tool for the study of social order. I will discuss this issue in detail in the next section. The purpose of this section is to review the basic logic of evolutionary game theory, so I temporarily use the “hardwired strategy” assumption here.

Let us get back to the evolutionary process. In the second stage of the process agents are paired. There are several assumptions about pairing, too.²⁾ First, the number of pairs is different in various models. Only two agents may be chosen and paired at each round, or all of the agents in a society may make pairs. Second, agents may be randomly paired, or correlation between agents may be assumed. In the latter case agents with similar (or the same) characteristics are more likely to be paired. Dense interactions among kin and homogamy are classic examples in the real world. Turning to the Prisoner’s Dilemma game, we can assume that a cooperator is more likely to play with another cooperator.

In the third stage paired agents play a game. The game may be a Prisoner’s Dilemma game, a Chicken game, or a Coordination game. Or it may be a war between two countries or a diplomatic negotiation between them. Any interaction between the paired agents is conceptualized as a game. Agents play strategies connected to them under the “hardwired strategy” assumption. Then the combination of played strategies produces an outcome, which in turn determines payoffs to the paired agents.

In the fourth stage the distribution of strategies changes depending upon payoffs agents received. Roughly speaking, under the assumption of replicator dynamics, the share of a strategy earning a higher payoff increases, while that of a strategy earning a lower payoff decreases. The change in the distribution may be brought about by differential reproduction or by learning. Differential reproduction means that an agent with a higher payoff bears more offspring, while an agent with a lower payoff bears less offspring. Learning means that an agent with a lower payoff changes his/her strategy in the next round, while an agent with a higher payoff does not. Then the evolutionary process goes back to the second stage, and the process continues to infinity or till the system arrives at an equilibrium.

Equilibrium is a key concept in evolutionary game theory, because a social phenomenon is assumed to correspond to an equilibrium of a game. Various concepts of equilibrium have been proposed, but it is enough for us to understand that an equilibrium is a state to which the system returns after perturbation. Agents may make a “mistake” by mutation or errors in learning. If the system is in an equilibrium, such mistakes do not take the system away from it; the system returns to the equilibrium.

Although not all the specialists on evolutionary game theory agree to this, a presumption in evolutionary game theory is that a social phenomenon that is to be explained corresponds to an equilibrium. Thus we think that the phenomenon is explained if it corresponds to an equilibrium of a game.

With this basic logic of evolutionary game theory I will explore the possibility of explaining

evolution of social order in the next section.

3. Evolution of Social Order

We have to define social order in the first place before explaining its evolution. It is, however, almost impossible to give an agreeable definition of it. It might not be exaggeration to say that the number of definitions of social order equals the number of sociologists. Discussing definitions and conceptualization of social order might be an intriguing topic to some sociologists, but it seems to be an endless task. To avoid this issue we have to remove peripheral factors from the core mechanism of social order and to focus on it. Thus I adopt a working definition of social order that I think is the common foundation underlying most of the definitions of social order: Interaction between action and expectation. That is, social order is defined as a self-enforcing relationship between action and expectation. Additional factors such as oughtness and sanctions should be added to the definition if we study such concepts as norms and values that are derived from the fundamental definition of social order.³⁾ We focus on the core mechanism of social order in this paper, however.

An example would make the meaning of the definition clearer. Suppose a society where people buy goods by Japanese yen. Why do buyers use Japanese yen? Because they expect sellers will accept Japanese yen. Then why do sellers accept Japanese yen? Because they expect other sellers will also accept Japanese yen when they buy something. This action-expectation chain continues endlessly as long as Japanese yen is trusted by people in the society. In the chain buyers' expectation that sellers will accept Japanese yen is reinforced by sellers' action. Then buyers use Japanese yen again with the reinforced expectation. Here again we observe a self-enforcing relationship between action and expectation and, hence, social order.

This working definition also covers "bad" social order such as a war and mutual defection in the Prisoner's Dilemma game. In a war between countries A and B, for example, if A expects that B will attack A, A attacks B as the first strike. This attack leads to B's retaliation, which reinforces A's expectation that B will attack. A attacks B again with this expectation. The same reasoning is the case for B. Here we observe a self-enforcing relationship between action and expectation.

Getting back to the original question in this paper with this definition of social order, we ask a new question whether a theory based on evolutionary game theory can explain evolution of a self-enforcing relationship between action and expectation. My answer to it is that such a theory explains some types of social order defined above but does not explain all types of it. I explain the implication of the answer below.

It should be pointed out, first of all, that the basic logic of evolutionary game theory described in Section 2 is not fit for the study of evolution of social order. The "hardwired strategy" and replicator dynamics assumptions cannot deal with the relationship between action and expectation, because there is no room for expectation to reinforce action in them. Another assumption about the relationship between strategies and agents is more appropriate to the study of social order. It is called fictitious play

(Young 1998, p.31). According to this assumption, an agent constructs a subjective distribution of strategies played by other agents based on information he/she has about past strategy choices of other agents; then he/she chooses a strategy that maximizes his/her expected payoff given the subjective distribution. The strategy is called a best reply.⁴⁾ This assumption seems to be the same as the assumption in conventional game theory described in Section 2, but they are slightly different from each other. Conventional game theory assumes that players in a game know that their choices of strategies are interconnected. They know that each player's choice affects other players' choices. Fictitious play, on the other hand, does not assume such interdependency of choices. According to the fictitious play assumption, an agent does not think that his/her choice of strategy affects other agents' choices.

With the fictitious play assumption we have to modify the fourth stage of the evolutionary process described in Section 2. What changes in the stage is not an agent's strategy but his/her subjective distribution of other agents' choices. He/she observes actual choices of other agents in the third stage. Then he/she updates his/her subjective distribution of other agents' choices with new information he/she gains in the third stage.⁵⁾ Subsequently, he/she chooses a best reply in the third stage of the next round based on the updated subjective distribution.

The assumptions about fictitious play and best replies allow us to deal with the self-enforcing relationship between action and expectation. An agent's subjective distribution of strategies of other agents is interpreted as his/her expectation of other agents' actions, and he/she chooses an action based on the expectation. Then the expectation is reinforced if other agents choose actions in accordance with it. At the next round the agent is likely to choose the same action based on the reinforced expectation. This self-enforcing mechanism is the case for each agent.

It is true that a state in which action and expectation reinforce each other evolves in the framework of evolutionary game theory if we use the fictitious play assumption. Take a coordination game with the payoff matrix in Figure 1 for example. Suppose that agents who play A and agents who play B are randomly distributed at $t=0$ and that two agents are randomly chosen to play the game at each round. Then how do agents behave in this situation? We assume the simplest fictitious play here. That is, an agent expects that the distribution of other agents' actions at the current round is equal to that at the previous round.⁶⁾ In other words, the agent expects that other agents will choose the same actions at the current round as they chose at the previous round. Then the agent chooses a best reply given the distribution in the following way. The expected payoff of choosing action A is $3 \cdot 0.5 + 1 \cdot 0.5 = 2$, while that of choosing action B is $1 \cdot 0.5 + 2 \cdot 0.5 = 1.5$. If an agent who chose A at $t=0$ is chosen to play the game, he/she plays A based on the expected payoffs. This does not change the initial distribution of the actions. If, however, an agent who chose B at $t=0$ is chosen to play the game, he/she plays A, which slightly increases the share of agents who play A at $t=1$. Then the expected payoff of choosing A also slightly increases at $t=2$, while that of choosing B slightly decreases. Thus if an agent who chose B at $t=1$ is chosen to play the game at $t=2$, he/she plays A. And the process goes on till the system finally reaches and never leaves a state in which all the agents choose A, which means the system has reached

an equilibrium. Here a self-enforcing relationship between action and expectation is realized. An agent expects that all the other agents will play A and, therefore, plays A at $t=T$. Observing that all the other agents play A at $t=T$, the agent confirms his/her expectation and plays A. When he/she is chosen to play the game again. (His/her playing A at $t=T$ also reinforces other agents' expectation.)

		Agent <i>j</i>	
		A	B
Agent <i>i</i>	A	3, 3	1, 1
	B	1, 1	2, 2

Figure 1 Coordination Game

The evolution of action A described above is a classic example of evolution of social order. Evolution of cooperation in the Prisoner's Dilemma game is another example. A game with the payoff matrix in Figure 2 has the unique (strict) Nash equilibrium: Mutual defection (D, D). If the two agents agree to cooperate to realize mutual cooperation (C, C), they get higher payoffs than they do in mutual defection. Mutual cooperation, however, is not realized theoretically, because (C, C) is not a Nash equilibrium. This "paradox" has attracted many game theorists, and evolutionary game theorists are not immune from the seduction of the paradox, either.

		Agent <i>j</i>	
		C	D
Agent <i>i</i>	C	3, 3	1, 4
	D	4, 1	2, 2

Figure 2 Prisoner's Dilemma Game

An evolutionary game theoretic model with random pairing and the one-shot Prisoner's Dilemma game, however, does not lead the system to an equilibrium in which cooperation dominates. Suppose that the share of agents who choose C is p , while that of agents who choose D is $1-p$. Then the expected payoff of choosing C is $2p+1$, and that of choosing D is $2p+2$. Thus the latter is always greater than the former, and the system moves to the unique equilibrium in which defection dominates.

We, therefore, need some devices to realize an equilibrium in which cooperation dominates. Actually, they have been invented and worth mentioning, although they do not use the fictitious play assumption. Axelrod (1984), for example, used a repeated Prisoner's Dilemma game to solve the paradox and demonstrated the strength of the tit-for-tat strategy.

Another device to solve the paradox is to assume non-random pairing (cf. Skyrms 1996). Suppose that agents are hardwired to C or D and that agents are allowed to select their counterparts. If a cooperator (an agent hardwired to C) refuses to play with a defector (an agent hardwired to D) and plays only with another cooperator, he/she gains 3, the payoff of mutual cooperation. A defector has nobody to play with but another defector and receives 2, the payoff of mutual defection. Thus cooperators will dominate in the society in the long run. Papers in this issue argue for the significance of non-random pairing for solving the paradox (Oura 2003; Kanai 2003).

These examples seem to be strong evidence that a theory based on evolutionary game theory explains evolution of social order. I partly agree to the statement but argue that such a theory explains certain types of social order, not all types of it. The above examples show how the distribution of strategies changes over time and converges on an equilibrium. The equilibrium may be a state in which only one strategy dominates as in the above examples or a state in which more than one strategy coexists. In any case, however, the point is that a theory based on evolutionary game theory explains how a certain distribution of strategies supported by expectation of them is realized.

A stable state in which action and expectation reinforce each other, however, is just one type of social order. There are various types of social order other than it, and sociologists have thought the division of labor is an important social order among them (e.g., Durkheim, 1893). Therefore explaining evolution of the division of labor is a touchstone of whether evolutionary game theory can evolve in sociology. We explore this possibility in the next section.

4. Division of Labor and Evolutionary Game Theory

4-1. Evolutionary Game Theoretic Framework of Division of Labor

Why is the division of labor thought to be important in sociology? This is because it is a significant feature of modern society. Functions of family in traditional society, for example, are performed by various corporate actors in modern society: Education in schools, production in firms, and welfare by states. Then the actors interact in the market, the political arena, and the social sphere.

The division of labor is a type of social order. When the division of labor is established, role expectation and role performance reinforce each other. When it goes smoothly, the following self-enforcing chain exists. An incumbent of a role tries to fulfill expectations for the role held by other people. If he/she succeeds in fulfilling the expectations, other people confirm their expectations. The confirmed expectations make the incumbent fulfill them at the next round. There is more than one role in a society where the division of labor is established, so we find a complex web of roles and expectations in such a society.

Thus when we explain evolution of the division of labor, we have to explain (1) how a simple role system evolves into a complex one and (2) how the self-enforcing relationship between role expectation and role performance evolves. If a theory based on evolutionary game theory explains the two above processes, evolutionary game theory is quite likely to be qualified as an excellent tool and to evolve in sociology. Thus our task here is to examine this possibility.

We have to formulate the concept of role in the framework of evolutionary game theory in the first place. A role is not an agent but a bundle of actions expected by others in various social settings (cf. Parsons 1951). An English teacher, for example, teaches English in class and participates in a meeting with his/her colleagues. In this case teaching English and participating in a meeting are actions expected by others and constitute the role of an English teacher. An action is interpreted as a strategy in evolutionary game theory, so a role is a bundle of strategies. Then an agent is equipped with a bundle

of strategies associated with a role when he/she takes it.

What makes the relationship between agents and roles more complicated is that an agent usually takes more than one role. It may be the case that the English teacher in the above example is a teacher in the school, the father in his family, and the manager of a baseball team in his community.

The above inquiry about the concept of role and the relationship between agents and roles necessitates formalizing the two following mechanisms when we apply evolutionary game theory to the study of evolution of the division of labor. The first mechanism is how more than one strategy is arranged in a role, and the second one is how an agent takes a set of roles. Figure 3 shows the conceptual framework of the two mechanisms.

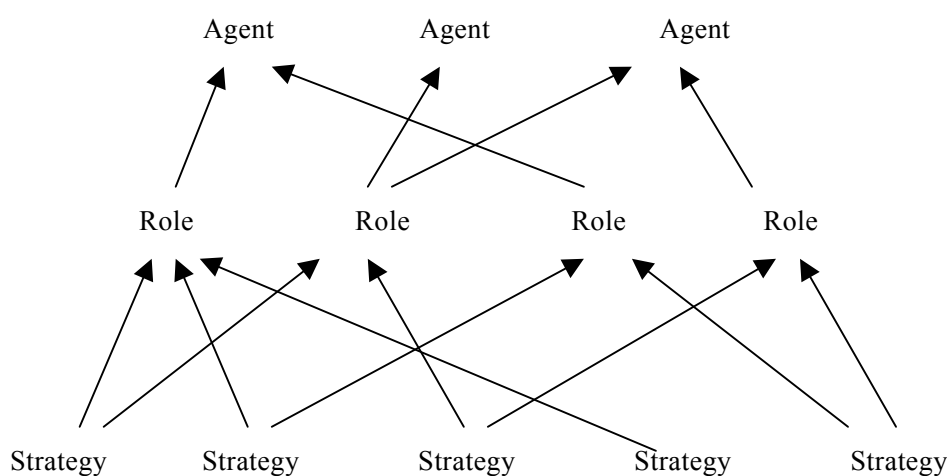


Figure 3 Connection between Agents, Roles, and

Although the second mechanism is important for development of role theory, we focus only on the first mechanism in this paper for two reasons. First, incorporating two mechanisms in a framework would make the framework unnecessarily complicated. Second, if the two mechanisms are different, omitting one of them from the framework would be a wrong decision. However, the mechanism connecting strategies to a role is logically equivalent to the mechanism connecting roles to an agent. Thus we deal only with the first mechanism for the sake of simplicity.

The mechanism, however, is difficult to formalize. This is because we do not know much about how a new role is created in society. Functionalists, who have been dominant in explaining the division of labor (cf. Parsons 1966), would argue that a new role is created in the expectation that it will fulfill functional requisites for society. This argument is the case when a new role is created in a purposive organization. The role of a computer operator, for example, is created in a firm when the firm decides to computerize its accounting system.

The functional argument is not the case, however, when a new role is created in society. This is because a society does not have a purpose, so we cannot assume that a new role is created to fulfill

functional requisites for it. The role of a hedge fund, for example, was not invented for the functioning of a society. Rather, it was created by those who were interested in financial engineering and making big money by applying their knowledge in the financial market.

Leaving the functionalistic explanation of evolution of the division of labor, we have to construct an analytical framework of it based on evolutionary game theory, because our purpose in this paper is to explore whether the theory is a good tool for explaining evolution of the division of labor. The logic of evolution in general naturally leads us to interpret the creation of a new role as an error in the evolutionary process. That is, new roles are created when actions bundled with a role (or roles) are mistakenly disbanded and construct new roles.

With this idea of the creation of new roles we construct a promising framework of evolution of the division of labor. In the first stage the set of possible actions in a society is determined. This stage is the logical starting point of a society.

In the second stage actions are randomly bundled up to construct roles. This stage corresponds to the lower part of Figure 3. We exclude the possibility that roles are constructed with a purpose or a functional requisite. Rather, we assume that some roles evolve from the pool of randomly created roles. Note that surviving roles in the evolutionary process are neither “good” nor “bad.” They survived just by chance, as will be shown. No value judgment is to be made on evolution of roles.

In this stage we also assume that an agent takes a role. As we discussed above, role taking in this framework means that there is a one-to-one correspondence between agents and roles.

In the third stage agents are chosen and interact with each other. Only two agents may be chosen and play a game in this stage, or all the agents may be chosen. It depends on our research purpose how to formalize this stage. No matter how agents are chosen, they choose actions based on the fictitious play assumption. A chosen agent knows the role of his/her counterpart but does not know what action the counterpart will take. What the agent has is his/her subjective distribution of actions in the role of his/her counterpart. Suppose, for example, that an agent is in the role of a patient and paired with another agent in the role of a medical doctor. The agent knows his/her counterpart is a doctor but does not know what the counterpart will do in the interaction with him/her. He/she is not naïve, however. He/she knows from direct or indirect experience what doctors do to patients in general. With this subjective distribution of possible actions of the counterpart the agent chooses an action that maximizes his/her expected payoff.

In the fourth stage agents update their subjective distributions of actions associated with roles based upon additional information they got in the third stage. They may have the same distributions if the actions are the same as before. If the distributions are updated, however, it means that role expectations change.

If the system went back to the third stage as was assumed in the evolutionary process in Section 2, the evolutionary process would not include the creation of new roles, which is the core phenomenon in the evolution of the division of labor. How do we conceptualize it? We assume the following mechanism based on the above discussion on new roles as products of errors. A role is randomly

chosen, and actions constituting the role are resolved in the fifth stage. Then the resolved actions are bundled up as more than one new role. Suppose that a role consists of five actions: A, B, C, D, and E. If an error occurs for the role, the five actions are disconnected from the role. Then a new role is created by bundling A and C together, while the other new role is created by bundling B, D, and E together.

There are variations of this resolving-bundling process. Factors to be considered for variations are (1) the number of roles to be chosen, (2) the number of actions associated with a chosen role to be disconnected from the role, and (3) the number of new roles to be created. No matter what variation we assume, the basic process of the creation of new roles in this stage is common.

After this stage the system goes back to the third stage for the next round. If incumbents of the new roles choose actions that are consistent with expectations held by other agents, the new roles are reinforced by the expectations and will become fixed in the society. This is evolution of new roles, thus, the division of labor.

4-2. Limitation of the Framework

The above framework seems to deal with evolution of the division of labor properly and to help evolutionary game theory evolve in sociology. There is a critical defect in it, however: The set of possible actions is fixed at the initial point, so there is no room in the framework for a new action to be invented.

When it occurs in a real society, the division of labor almost always accompanies invention or emergence of new actions. When banks, which played an important role for development of capitalism, emerged in a society, new financial actions such as systematic collection of money from depositors and investment in promising companies were associated with them. If these actions were not invented, the role of a bank was not performed. This means that the role of a bank does not emerge in an evolutionary game if these actions are not included in the set of actions assumed in the model.

Even if we assume that there are many actions in society, the set of actions is finite. Thus it is logically possible, if not practically possible, that an action is not available for the creation of a new role. This problem would lead to a case in which a theory based on evolutionary game theory does not explain evolution of the division of labor.

5. Conclusion

This paper does not have any intention of vitiating evolutionary game theory. Rather, I tried to demarcate evolutionary game theory in sociology to define its frontiers. Once its frontiers are clarified, we understand where to attack to make a breakthrough in evolution of evolutionary game theory in sociology.

The argument in this paper points out that the frontiers lie in the study of evolution of the division of labor. It is true that evolutionary game theory is a good tool with which to explain evolution

of certain types of social order such as coordination in the Coordination game. The division of labor, however, is a different type of social order from coordination in the game. This is because we need the concept of role in the study of the division of labor. The concept of role has been in the center of sociology, but evolutionary game theory has not been serious about conceptualization of role and about appropriately locating the concept in its framework. Although some evolutionary game theorists use roles in their models (Selten 1980; Maynard Smith 1982; Binmore and Samuelson, 1999), their conceptualization is rather simple from a sociological viewpoint. The crux of their formalization of role is as follows. A strategy an agent chooses is determined by the “role” of the agent. Take the Prisoner’s Dilemma game for example. Choosing C or D is determined by whether the agent takes the role of a row player or a column player. For example, an agent chooses C if he/she is a row player, while he/she chooses D if he/she is a column player. A problem with this conceptualization of role is that the set of roles is mapped to the set of strategies by a one-to-one correspondence. A role, however, is assumed to be a bundle of strategies in sociology. In other words a correspondence between the set of roles and the set of strategies is one-to-many.

Thus I proposed a framework in this paper with which to develop a theory about evolution of the division of labor and to bridge a gap between sociology and evolutionary game theory. The framework is rudimentary, and much work remains to be done. It shows, however, what a critical problem is for a breakthrough: The number of possible actions is finite in evolutionary game theory, while it should be infinite theoretically when we deal with the creation of new roles. This problem may seem unsolvable. It, however, tells us that we will be able to make a breakthrough if we invent a device to solve it.

* This research was supported by Grant-in-Aid for Scientific Research (B) 14310095 (Principal Investigator: Hirokuni Oura), the Japan Securities Scholarship Foundation Grant, and the Japan Economic Research Foundation Grant. The academic support of the Center for the Study of Social Stratification and Inequality at Tohoku University is gratefully appreciated. This paper was originally published as an article in *Sociological Theory and Methods*, 18-2: 185-196, 2003. This is reproduced by permission of the Japanese Society for Mathematical Sociology.

Notes

- 1) See Macy (1996) for a detailed description of “hardwired” and “softwired” strategies.
- 2) I assume that a game is played by two agents, but it can be assumed that more than two agents participate in a game such as the *N*-person Chicken game.
- 3) See Hechter and Opp (2001) for the importance of oughtness and sanctions in the emergence of social norms.
- 4) See Muto (2001) for an introductory, but excellent description of the fictitious play and best reply assumptions.
- 5) Here I ignore an assumption that agents “sample” their observations for the sake of simplicity. See Young (1998, Pp.83-99) for a detailed description of sampling.
- 6) Agents’ memory is assumed to be unity in this fictitious play.

References

- Aoki, Masahiko and Masahiro Okuno (eds.). 1996. *Comparative Institutional Analysis: A New Approach to Economic Systems*, Tokyo: University of Tokyo Press. (in Japanese)
- Axelrod, Robert. 1984. *The Evolution of Cooperation*. New York: Basic Books.
- Binmore, Ken and Larry Samuelson. 1999. "Evolution and Mixed Strategies." *Games and Economic Behavior* 34: 200-26.
- Durkheim, Émile. 1893. *De la division du travail social*. Paris: Presses universitaires de France.
- Hechter, Michael and Karl-Dieter Opp (eds.). 2001. *Social Norms*. New York: Russell Sage Foundation.
- Kanai, Masayuki. 2003. "The Significance and Problems of Selective Interaction Models in Evolutionary Game Theory," *Sociological Theory and Methods* 18(2): 153-67. (in Japanese)
- Macy, Michael, W. 1996. "Natural Selection and Social Learning in Prisoner's Dilemma: Co-adaptation with Genetic Algorithms and Artificial Neural Networks." *Sociological Methods and Research* 25(1) : 103-37.
- Maynard Smith, John. 1982. *Evolution and the Theory of Games*. Cambridge: Cambridge University Press.
- Muto, Shigeo. 2001. *Introduction to Game Theory*. Nihon Keizai Shinbun. (in Japanese)
- Oura, Hirokuni. 2003. "Evolutionary Game Theoretical Approach for Order Problem." *Sociological Theory and Methods* 18(2): 133-52. (in Japanese)
- Parsons, Talcott. 1951. *The Social System*. New York: Free Press.
- Parsons, Talcott. 1966. *Societies: Evolutionary and Comparative Perspectives*. Englewood Cliffs, N.J.: Prentice-Hall.
- Selten, Reinhard. 1980. "A Note on Evolutionarily Stable Strategies in Asymmetric Animal Contests," *Journal of Theoretical Biology* 84: 93-101.
- Skyrms, Brian. 1996. *Evolution of Social Contract*. Cambridge: Cambridge University Press.
- Young, H. Peyton. 1998. *Individual Strategy and Social Structure: An Evolutionary Theory of Institutions*. Princeton: Princeton University Press.

進化ゲームにおける選択的相互作用モデルの意義と課題

金井 雅之
(山形大学)

【要約】

社会的ジレンマをはじめとする協力の成立可能性問題を進化ゲーム理論的に分析する際、ランダム・マッチングを仮定するとうまくいかない。ランダム・マッチングでない相互作用、すなわち選択的相互作用を扱う代表的モデルとして、格子モデルと多水準淘汰モデルが挙げられる。本稿ではこのうち多水準淘汰モデルについて、理論上の基礎づけを確認し、代表的な2つの数理モデルについてその意義と課題を検討する。理論上の基礎づけに関しては、淘汰の単位をめぐる論争が焦点となる。ここではヴィークルという概念を導入することにより、自己複製子淘汰と矛盾することなく多水準淘汰が考えうることを示す。そして多水準淘汰の先行モデルは、絶滅型モデルと離合集散型モデルに大別できるが、それらは分析する対象によって使い分けることが適切であることを示す。

キーワード：選択的相互作用，多水準淘汰，群淘汰，社会的ジレンマ，進化ゲーム理論

1. ランダム・マッチングと選択的相互作用

Maynard Smith and Price (1973) によって提唱された当初、進化ゲーム理論ではどういった相手と（直接的であれ間接的であれ）対戦するかは無作為に決まるとされていて、相手によって相互作用のしやすさが異なるという仮定はおかれていなかった。このように集団内に相互作用相手の選択に関する構造を仮定しないモデルを、本稿ではランダム・マッチングモデルとよぼう。進化的に安定な戦略（ESS）やレプリケータ・ダイナミクスといった進化ゲーム理論における重要な諸概念は、基本的にはこのランダム・マッチングモデルを前提に定義されている（たとえば Weibull (1995) を参照）。

ところで、社会的ジレンマをはじめとする協力行動の成立可能性に関する問題を進化ゲーム理論の枠組みで考察しようとする際、このランダム・マッチング仮定はしばしば障害となってきた。協力行動の成立可能性問題には、ゲームの定式化の仕方によってさまざまな定義が考えられるが、ここでは伝統的な進化ゲーム理論の枠組みである、2個体が一対一で対戦するタイプのゲームに即して定義してみよう。集団中に2つの行動様式（これを C, D とよぶ）が存在するとする。一般に行動様式 A が行動様式 B と対戦したときの行動様式 A の利得を $u(A, B)$ であらわす。ここで、

$$(1) \quad u(C, C) < u(D, C) \text{ かつ } u(C, D) < u(D, D),$$

$$(2) \quad u(C, C) > u(D, D)$$

なる利得構造が存在するとき、協力の成立可能性問題が生じていると定義する¹⁾。

いま問題の集団内で行動様式 C をとる人の割合が p ($0 \leq p \leq 1$) であるとしよう。この

ときランダム・マッチング仮定に基づくならば、行動様式 C, D の利得の期待値はそれぞれ

$$W(C) = p u(C, C) + (1 - p) u(C, D),$$

$$W(D) = p u(D, C) + (1 - p) u(D, D)$$

となる。仮定(1)より、 p の値にかかわらず常に $W(C) < W(D)$ である。もしここでいう利得の期待値の相対的大小が繁殖に影響するものとして（つまり W を適応度と考え）、2つの行動様式のシェアの時間的変化を進化的に考えるならば、いずれは集団の全員が行動様式 D をとる状態が生じると予測される。しかし、これは各人にとって必ずしも最良の状態ではない。なぜなら $u(C, C) > u(D, D)$ （仮定(2)）より、自他ともに行動様式 C をとった方が、自他ともに行動様式 D をとるよりも高い利得を得られるからである。このように、協力の成立可能性問題の本質は、進化的動学の行き着く先がすべての人にとって望ましくないものであることにある。

ところでこの問題の解決のヒントはまさにその仮定(2)、すなわち C 同士が対戦すれば D 同士が対戦するよりも有利だという点にある。ランダム・マッチング仮定のもとでは、対戦相手はその時点での集団内におけるシェアに比例して確率的に決まるので、集団内に D が相対的に多ければ、D と対戦する確率も大きくなる。もしここで C 同士が対戦する確率を何らかのメカニズムで増加させることができれば C にとって有利な状況が生じ、集団中でのシェアが増えるかもしれないと考えられる。ここで C 同士が対戦する確率が高いとは、相互作用する相手を（意図的であれ非意図的であれ）選んでいるということの意味する。

このような、ランダム・マッチング仮定に基づかない相互作用のモデルを総称して、本稿では選択的相互作用（selective interaction）モデルとよぶことにする²⁾。ランダム・マッチングモデルは一通りしかないが、選択的相互作用モデルはそれ以外のすべてを包括する概念なので、もちろん無数に存在しうる。そのうち、協力の成立可能性問題に関連する重要なものとして、格子モデルと多水準淘汰モデルが挙げられる。

格子（lattice）モデルとは、プレイヤーを格子状の空間に配置し、近隣のプレイヤーとしか相互作用しないと仮定するモデルである。社会科学における協力の成立可能性問題を進化ゲームの枠組みを用いて最初に本格的に論じた Axelrod（1984）は、集団中に D が多い場合でも、C 同士が対戦する確率をランダム・マッチングで実現するよりも高い値に人為的に設定すれば、D の多い集団に C が侵入できる可能性があることを示した上で³⁾、そのような相互作用が実現しうるメカニズムとしてある種の領域性（territoriality）、すなわち近隣4つのセルと相互作用する2次元格子モデルを提唱した。

この格子モデルは、その後さまざまな論者によって発展させられている。たとえば、生物学における利他行動の進化の文脈における中丸麻由子らの研究は、ペア近似やペアエッジといった数理解析、出生死亡過程モデル、コンピュータ・シミュレーションなどさまざまな方法を援用して、繰り返し囚人のジレンマゲームにおけるしっぺ返し戦略と全面裏切り戦略との状態遷移の数値的条件を明らかにした（中丸・松田・巖佐（1996, 1998）、Nakamaru, Nogami, and Iwasa（1997, 1998））。

しかしながら、現実への応用、特に社会科学的な現象への応用を考えた場合、この格子という仮定はあまりにも特殊すぎる。そもそも格子モデルは物性物理学や生態学に由来するも

ので、固体の分子や植物のように、本当の意味でその場所を動かない対象には適しているが、人間の行動や社会を説明するのにこのような厳密な意味で動かないということを仮定するのは、比喩としても無理があるだろう。もちろん、格子を文字通りの空間的な意味ではなく、親族関係や友人関係、あるいはもっとゆるくイデオロギーのようなものとも考えることもできなくはない⁴⁾。しかしその場合でも、隣接個体同士のみが直接相互作用するという想定は必ずしも必要ないはずである。

そこで、選択的相互作用に関するもうひとつの重要なモデルとして挙げられるのが、多水準淘汰 (multi-level selection) モデルである⁵⁾。これは、集団がいくつかの部分集団 (= 群) に分かれていて、成員は基本的に同じ群に属する個体とのみ相互作用する、と仮定するモデルである。格子モデルが集団内に空間的な構造を想定したのに対し、多水準淘汰モデルは論理的な構造を想定しているといえる。本稿ではこの多水準淘汰モデルについて進化論上の理論的な基礎づけを与えるとともに、代表的な2つのモデルを取り上げて、社会科学への応用を視野に入れつつ、その特徴と適用範囲を考えていきたい。

2. 多水準淘汰モデルの歴史と理論的基礎づけ

多水準淘汰モデルは、群淘汰 (group selection) モデルともよばれる。進化生物学における群淘汰モデルは、1960年代まではごく普通に使われながら、1970年代から80年代にかけて一時評判が悪くなり、近年ふたたび評価され始めたという歴史をもっている。本節では、群淘汰 = 多水準淘汰モデルの歴史を簡単に振り返った上で、淘汰の水準という観点から見たその理論的基礎づけを確認する。

生物の世界において普遍的に観察される利他行動の進化を説明するにあたって、“集団にとって有利な形質をもつ個体が多い集団は、集団レベルに働く淘汰圧によって他の集団より有利になるので、数が増えるだろう”とする群淘汰論は、1960年代までは進化生物学の世界でごく普通に信じられてきた。

この時期の群淘汰論の典型的な議論として、Wilson and Sober (1994) はつぎのようなものを挙げている。たとえば大洋の真ん中に点在する島々にウサギが住んでいるとしよう。ある島に突然変異によって、草を食べる効率がとてもよく繁殖力の高いウサギが現れたとする。この島の中では、この草をたくさん食べるウサギは生存に有利なので、個体数を増やすだろう。しかしそのような個体が増えれば島の草は次第に食べ尽くされて、いずれウサギは絶滅するだろう。すると隣接する島々から突然変異をしていないウサギが移住してきて、もとの普通のウサギのいる島に復帰するにちがいない。この推論自体は、現在の多水準淘汰モデル (絶滅型モデル) でも基本的に同じであるが、現在とちがうのは、当時の議論は“生物学的階層における個体より上位のレベル (= 群) においても自然淘汰が働きうる”ときわめて素朴に考えていたことにあった⁶⁾。Wilson and Sober (1994) はこのタイプの群淘汰論を素朴群淘汰論とよんでいる。

ところが、分子生物学レベルでの進化のメカニズムが次第に明らかになり、進化における適応の概念をめぐる議論がさかんになるにつれ、このような素朴群淘汰論はさまざまな攻撃

にさらされるようになった。その代表例は Williams (1966) による批判である。Williams はつぎの理由で群淘汰論を誤解、もしくは無用のものであると論じた。第一に、生物学のさまざまな階層での適応を論じるのであれば、それぞれのレベルで自然淘汰が働かなければならない。第二に、しかるに真の意味で淘汰が働くのはあくまでも遺伝子のレベルであって、群はおろか個体ですら、あまりにも一時的なものに過ぎないので、淘汰の単位にはなりえない⁷⁾。第三に、にもかかわらず結局彼は個体レベルで淘汰圧がかかることは認め、群淘汰の可能性も理論的にはないとは言えないとしつつ、しかし群レベルの淘汰が個体レベルの淘汰に打ち勝ちうるかどうかはパラメータの設定次第でどうにでもなりうるものであり、群淘汰論は理論的に見て重要とは思えないと結論づけた。

さらに別の側面からも群淘汰論にとって不利な状況が現れた。それは、従来群淘汰論によってしか説明できないと思われていた利他行動を、別の角度から説明する理論が出現したことである。たとえば Hamilton (1964a, 1964b) の血縁淘汰論は、遺伝的的近親者間で利他行動が進化するのを、包括適応度という、基本的には遺伝子レベルの概念のみで説明したものであった。また Trivers (1971) による互惠的利他主義の進化の説明や、Maynard Smith and Price (1973) や Axelrod (1984) による進化ゲームを用いた利他行動の進化の説明も、群淘汰モデルを代替するものとして受け止められた。

これに対して近年、適応や淘汰の単位といった概念の見直しを通じて、遺伝子や個体だけでなく、生物学の他の階層においても淘汰に似た作用が働きうるという議論が注目を集めている (Sober (1984, 1994), Wilson and Sober (1994), Sober and Wilson (1998), Keller (1999))。この議論は、群という特定の階層において淘汰が起こるとするのではなく、いろいろな階層でいろいろな形質に関して、淘汰に似た作用が独立に起こりうるるところに特徴があるので、多水準淘汰とよばれることが多い。

そもそも生物学のさまざまな階層で淘汰に似た作用が働きうるという考え方は、一般に遺伝子淘汰論者の代表とみなされている Dawkins (1989, 1983) において、すでに表明されている。Dawkins の遺伝子淘汰論の根拠は、十分長い時間持続して真の意味で淘汰の単位となる自己複製子は、群や個体ではなく遺伝子しかありえない、というものである。彼はこの自己複製子淘汰の論理は保持しつつも、それと両立する形で個体や群レベルでも淘汰に似た作用が働きうることを基礎づけるために、ヴィークル (vehicle) という概念を提示する。「自己複製子淘汰はある自己複製子が他の自己複製子を犠牲にして生き残る過程であり、ヴィークル淘汰はあるヴィークルが他のヴィークルよりもそれらの自己複製子の生存をより成功裏に保証する過程である」 (Dawkins 1983=1987, pp. 164-165, 傍点引用者)。

このヴィークルという考え方の萌芽は、彼のボートクルーの比喩に見られる (Dawkins 1989)。ボートレースの勝敗は個々のクルーではなくボートごとに決まるものである以上(表彰されるのは特に勝利に貢献したクルーだけではない)、他のボートに勝つためには、クルーたちは協力してがんばった方が、お互いに足を引っ張りあうよりも得策である。生物においても、個体はいわば遺伝子の乗り物である。特に有性生殖をする生物において、遺伝子が次世代に受け継がれる手段は生殖細胞に乗り込んで他の個体に由来する生殖細胞と受精することしかないが、そのためにはとにかく個体が生殖可能な年齢に達するまで力をあわせる

しかない。永続的な自己複製子である遺伝子と同じような意味で個体に直接淘汰の作用が働くわけではないが、個体というヴィークルに乗り合わせた遺伝子セットは次世代への伝達（＝自己複製）という点でいわば運命をともにせざるを得ないために⁸⁾、遺伝子を「より成功裏に」生存させられるかどうかの違いによって、ヴィークルである個体にもあたかも淘汰に似た作用が働いているように見えるのである。

ところでこの論理において、ヴィークルは必ずしも生物学的個体である必要はない。進化のもっとも基礎的な単位である遺伝子すなわち自己複製子は、生物学的階層のいろいろなレベルで共存している。つまり、個体に含まれる遺伝子は、その個体の中で他の遺伝子と共存していると同時に、その個体の属する群の中で他の個体に属する遺伝子とも共存している。淘汰の基本的な単位をあくまでも自己複製子である遺伝子に求めるならば、複数の遺伝子の適応度の変化に共通して作用する成分のあることが、それらの遺伝子が同じヴィークルに乗っているといえるための条件である。こうして、自己複製子淘汰の考え方と矛盾することなく（したがって素朴群淘汰論に対する上述の批判をかわして）、個体以外のレベルでも淘汰に似た作用が働きうるとする新しいタイプの多水準淘汰論が、論理的に基礎づけられるのである。

以上が多水準淘汰モデルの歴史とその論理的基礎である。なおここで、協力の成立可能性問題を考えるにあたって、前節で触れた格子モデルよりもこの多水準淘汰モデルの方が論理的にわかりやすい理由を付言しよう。協力の成立可能性問題（あるいはもっと一般に社会的ジレンマ）の本質は、個人の価値と集団の価値との相克である。ここでいう集団の価値とは、集団に属する個々人に平等にもたらされる、よさ、もしくは悪さのことである⁹⁾。そしてこの平等性という性質こそ、Dawkins のボートの比喻の本質なのである。ボートレースで優勝した際の栄誉は、力を出した乗組員にも力を出し切れなかった乗組員にも、平等に与えられる。したがって、優勝に貢献した乗組員はそれに貢献しなかった乗組員よりも、相対的に損をしていることになり、そのままではみな努力をしなくなるはずである（個体淘汰）。しかし、多くの場合そうならず各人なりに最大限の努力をするのは、集団としてのボート同士が競争状況にあり、レースに負ければそのボートに乗り組む全員が打撃を受けるからである（群淘汰）¹⁰⁾。競争に敗れたからといって、他の仲間をさしおいて自分だけ他のボートに移り移って生き延びることはできない。つまり、多水準淘汰論は、個人の価値と集団の価値の関係という、協力の成立可能性問題の本質を、もっとも素直な形で表現しうるモデルなのである。

3. 絶滅型モデルと離合集散型モデル

多水準淘汰に関する近年の数理モデルは、大きく2つの系統に分けられる。本節ではこの2つをそれぞれ絶滅型モデル、離合集散型モデルと名づけ、その特徴を概観する¹¹⁾。

3.1. 絶滅型モデル

多水準淘汰についての第一のモデルは、群を半永続的なものとして考え、群間競争（群と群との競争）に敗れた群が個体数を減らして絶滅すると仮定したときに、集団全体での協力行動の比率がどのように推移するかを考察するものである¹²⁾。このタイプのモデルには、移住拒否戦略との共進化を ESS の観点から分析したもの（大浦（1999））、シミュレーションによって協力行動の進化の条件を分析したもの（金井（2000）、Ono, Misawa, and Tsuji（2003））、なども含まれるが、生物学の分野における長年の研究蓄積の中では、いわゆる集団遺伝学の流れをくむものが主流となっている¹³⁾。集団遺伝学の祖の一人とされる S. Wright（1943, 1945）は、60年近く前にすでに島モデルとよばれる萌芽的なアイデアを提示している。

Wright はしかし、群淘汰の効果を定量的に分析することはついになかったが、確率過程論に基づいてこの仕事を完成させたのが、Aoki（1982, 1983）や Kimura（1983）らによる近年の集団遺伝学上の研究である。ここでは Kimura（1983）の定式化にしたがって、集団遺伝学的な絶滅型モデルの概要を確認する。

集団の中に同じ大きさ N_e の無限個の群が存在するとする。ある遺伝子座に対して、A, A' という 2 つの対立遺伝子を考える。このうち A' は利他的遺伝子、すなわち個体の適応度を減らす、群が競争に勝ち増殖するのを助ける性質をもつ。各群のなかでの A' の頻度を x とおく¹⁴⁾。集団遺伝学モデルが分析の対象とするのは、（群の集合体としての）集団におけるこの x の頻度分布の時間的推移である。頻度分布が 1 に片寄ることは、集団全体で利他的行動をとる個体が増えることを意味する。

頻度分布の時間的推移に影響を与える可能性があるパラメータとして、以下のものを考える。第一は A' の A に対する淘汰上の不利度 s' で、これは群内での競争（個体淘汰）の強さを表す。第二は群相互の間での移住率 m で、このモデルは群相互の間で一定の確率で移住が起こるものと仮定している。第三は群淘汰の係数 c とよばれるもので、遺伝子頻度のクラス x に属する群の個数が群相互の競争によって変化する割合の大きさを意味する。

これらのパラメータを含む確率微分方程式を定義し、その定常状態を分析した結果 Kimura が導出した結論は、

$$D = c / m - 4 N_e s'$$

なる量を考えたとき、定常状態において

$$D > 0 \text{ ならば } A' \text{ が優勢（群淘汰が優勢）}$$

$$D < 0 \text{ ならば } A \text{ が優勢（個体淘汰が優勢）}$$

というものであった。つまり、群淘汰が個体淘汰にまさるためには、群淘汰の係数 (c) が大きく、移住率 (m)、各群のサイズ (N_e)、利他的遺伝子の淘汰上の不利度 (s') がそれぞれ小さい方がよい、ということである。

3.2. 離合集散型モデル

絶滅型モデルにおける群とは、時間を通じて固定されていて、例外的に相互のあいだで移住という形で個体の交換が起こる、というものであった。これに対して、自然界にはもっと一時的な群も存在する。たとえば植物はその生活史において、通常生長しているあいだは同

じ場所にとどまっているが、花粉や種子となる時期には、空間的にかなり広範囲に拡散し、混ざり合う。またイモムシとチョウの関係も同様である。Williams and Williams (1957) はこのような一時的な群の例として姉妹集団を考え、利他的形質の群淘汰を通じての進化において、この種の群が重要な役割を果たすかもしれないことを指摘している。

多水準淘汰のモデルの第二のタイプは、こうした定期的な群の再構成によって、絶滅型モデルの移住よりももっと大規模に群の個体構成が入れ替わることを仮定する。絶滅型モデルのように固定的な群構成を仮定する場合、個体淘汰の働きにより群内での D 行動の割合は単調に増加していきばかりだが、定期的に群が再構成される場合、新たな群において C 行動をとる個体がたまたま多く集まるという確率的余地が生じる。そこで確率分布を考えて群淘汰が有利になる条件を探ろうというのが、このモデルの特徴である。代表的な論文としては Price (1972), Wilson (1975), Wilson and Sober (1989), Dugatkin, Perlin, and Atlas (2003) などが挙げられるが、ここでは典型例として Wilson (1975) のモデルを確認する。

群内でランダムに交配がおこなわれる 2 種類の個体があるとする。これらの個体は、ただ 1 つの遺伝的形質においてのみ異なっている。いまこの形質の働きにより、各個体は自分自身の適応度を変化させると同時に、群内の他のすべての個体の適応度を変化させるものとしよう。たとえば、他より個体の採餌率を上げる形質は、その形質をもつ個体の適応度を増加させると同時に、群内の他のすべての個体の適応度を一律に減少させるだろう（共有地の悲劇）。逆に敵が近づいたときに警戒音を発せさせる形質は、その形質をもつ個体の適応度を若干減少させる一方で（敵に見つかりやすいから）、群内の他のすべての個体の適応度を一律に増加させるだろう。このような状況を想定したときに、問題の形質を発現させる個体をドナー、その影響を受ける群内の他のすべての個体（複数）をレシピエントとよぶ。一般に、ドナーとレシピエントのあいだで直接的な相互作用があるとは限らない¹⁵⁾。

ある形質によるドナーの適応度の変化を f_d 、レシピエントの適応度の変化を f_r とあらわす。ここで f_d, f_r はともに、正負どちらの場合もありうるので、その値の組み合わせは、 f_d, f_r を両座標軸とする 2 次元平面における点として表現できる（図 1）。

ここでまず、ある 1 つの群内（個体数 N ）での個体の適応度を考える。群内に形質 A をもつ個体（ドナー）と形質 B をもつ個体（レシピエント）がいるとする。上述の仮定より、形質 A は自分の適応度を f_d 変化させ、自分以外の個体の適応度を f_r 変化させる。一方、形質 B は自分の適応度も自分以外の個体の適応度も変化させない。2 種類の個体の頻度をそれぞれ a, b とおくと、形質 A による個体あたりの適応度の変化は、形質 A をもつ個体、形質 B をもつ個体についてそれぞれ、 $f_d + (N a - 1) f_r, N a f_r$ となる。群内での相互作用だけを考えるならば、形質 A が淘汰によって数を増やす条件は形質 A の適応度の変化が形質 B のそれよりも高いことだから、 $f_d + (N a - 1) f_r > N a f_r$ より

$$f_d > f_r \quad (\text{個体淘汰の条件}) \quad (1)$$

である。

ところで f_d と f_r の値の大小関係によっては、形質 A の作用によって群全体の適応度が

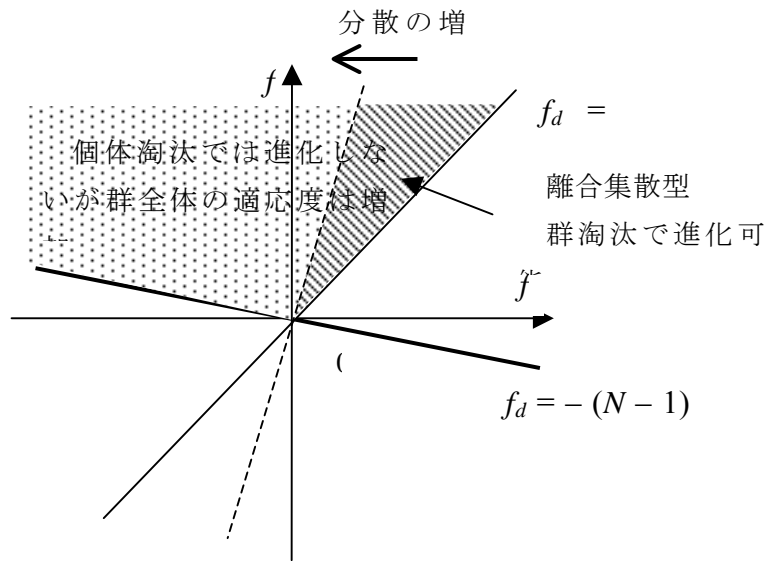


図1 f_d と f_r との関係 (Wilson (1975, p.144) の FIG.1 をもとに作成)

増加する可能性もある. その条件は, $f_d + (N-1)f_r > 0$ より

$$f_d > -(N-1)f_r \text{ (群淘汰の条件)} \quad (2)$$

と書ける.

さて個体淘汰の条件(1)と群淘汰の条件(2)とは一部重なっている. すなわち, 図1において, 個体淘汰の条件は直線 $f_d = f_r$ (実線)の右側の領域, 群淘汰の条件は直線 $f_d = -(N-1)f_r$ (太実線)の上側の領域にあたるが, この2つの領域は一部重なっている. この重なっている領域に入る f_d, f_r の組み合わせを与える形質は, 個体淘汰の観点からも群淘汰の観点からも増加することが予想され, 理論的には特に問題はない. 問題があるのは, 個体淘汰の観点からは選択されないが, 群淘汰の観点からは望ましい領域 (両直線の“上側”, 図1の網掛部分)に入る形質である. このような形質が進化するかどうか, 利他行動の進化, もしくは協力の成立可能性問題に他ならない.

そこで離合集散型モデルは2つの淘汰の関係をつぎのように定式化する. いま群が複数集まった集団全体を考える. すべての群の個体数は N で同じとする. 群 i における形質A, Bの頻度をそれぞれ a_i, b_i としたとき, それらの群を含む集団全体における形質A, Bの平均的な適応度の変化は,

$$\text{形質 A : } \frac{\sum_i N a_i [f_d + (N a_i - 1) f_r]}{\sum_i N a_i}, \quad (3)$$

$$\text{形質 B : } \frac{\sum_i N b_i [N a_i f_r]}{\sum_i N b_i} \quad (4)$$

となる. この2つの式は, すべての群における個体の適応度変化を, その群におけるそれぞれのタイプの個体数に応じて単純に重みづけ平均したものである.

このとき形質Aが淘汰によって数を増やす条件は, 上記形質Aの平均的な適応度変化が

形質 B の平均的な適応度変化を上回ることから、

$$f_d > f_r \left[N \left(\frac{\sum_i a_i b_i}{\sum_i b_i} - \frac{\sum_i a_i^2}{\sum_i a_i} \right) + 1 \right] \quad (\text{個体淘汰と群淘汰の関係条件}) \quad (5)$$

である。そしてこの式を考える上で重要なのが

$$N \left(\frac{\sum_i a_i b_i}{\sum_i b_i} - \frac{\sum_i a_i^2}{\sum_i a_i} \right) \quad (6)$$

という部分である。

式(5)は(6)を除けば(1)と同じであることに注意しよう。もしすべての群において A と B の頻度が同じであるならば、(6)は 0 となり、(5)は(1)に帰着する（純粋な個体淘汰条件）。一方もし 2 つの形質が完全に分離されていたら、すなわち A のみからなる群と B のみからなる群しか存在しなければ、(6)は $-N$ となり、(5)は(2)に帰着する（純粋な群淘汰条件）。一般に(6)は 0 から $-N$ までの値しかとらないので、(6)が小さくなるにしたがって、つまり、各群における両形質の分離度が大きくなるにつれて、式(5)を表す直線（図 1 の破線）は、原点を中心に反時計回りに回転し、ついには太実線と一致することになる。こうして、個体淘汰だけでは説明できなかった、両直線の“上側”の領域に入る形質の進化が説明できると Wilson は論じるのである。

各群における両形質の分離度、すなわち各群における C 行動（この場合形質 A）のシェアの分散が大きいことがなぜ群淘汰にとって有利に働くのかは、直観的にはつぎのように理解できる。すなわち、社会的ジレンマの定義より、ある群の平均的な利得はその群における C 行動のシェアに比例する。群淘汰とはこれらの群の平均利得の差によって起こるプロセスであるから、両形質が分離せず、各群の平均適応度が等しくなるような状況では、群淘汰が個体淘汰に対して相対的に有効に機能しないのである。

このように離合集散型モデルの第一の特徴は、各群における C 行動のシェアの分散の大きさが、個体淘汰と群淘汰との関係に重要な影響をおよぼすことに着目した点にある。そして離合集散型モデルの第二の特徴は、こうした各群における C 行動のシェアのばらつきが生じる原因として、群の定期的な再構成（の行われ方）を考えることにある。すなわち、まず 1 つの極端として、再構成時の新しい各群における形質の頻度がまったくランダムに決まるのであれば、集団全体でみたときの各群における形質の頻度の分布は二項分布に従うはずである¹⁶⁾。このとき(6)は、群のサイズ N や集団全体での A の頻度 a にかかわらず常に -1 になる。よって式(5)は $f_d > 0$ を意味する（図 1 で言えば破線 $f_d = f_r$ が y 軸に重なった状態）。これに対して、もし二項分布よりも頻度分布のばらつきが大きくなるような状況が成立しているならば、(6)の値は -1 よりもさらに小さくなるので、群淘汰にとってさらに有利な状況になるはずである。Wilson (1975) はその 1 つの例として遺伝的血縁を挙げ、血縁淘汰が多水準淘汰の観点から説明できると述べている。

4. 両モデルの特徴と適用範囲

このように多水準淘汰に関する絶滅型モデルおよび離合集散型モデルは、それぞれ特徴ある数学的方法を用いて協力の成立可能性問題に一定の解答を与えている。今後社会的ジレンマ問題の研究を進めていくにあたり、こうした先行する数理モデルの特徴と適用範囲を確認しておくことは重要な作業である。

まず絶滅型モデルについて。このモデルの理論／方法的な長所は2つ挙げられる。第一は、個体淘汰と群淘汰とのどちらが優勢になるかについての定量的条件を、数学的に厳密に証明したことである。これは Wright 以来の集団遺伝学上の宿題でもあったことだが、それを明らかにしたことは先述した Williams らの群淘汰批判に答えるものであると評価できる。第二の長所は、拡散モデルを用いているという意味で、システムの動学的側面を考慮に入れているという点である¹⁷⁾。進化ゲームの本質は動学にあることを考えると (Hofbauer and Sigmund (1998), 石原・金井 (2002))、これは評価に値するといえよう。

一方、絶滅型モデルには理論的短所も存在する。それは一言で言えば、数学的厳密性を追求するあまり一般的・抽象的になりすぎているという問題であり、具体的には以下の3点が指摘できる。第一に、群の数が無限個ありそのサイズが等しいとするなど、現実的に見てやや無理な仮定がおかれている。第二に、利他的遺伝子の淘汰上の不利度や群淘汰の係数といったパラメータの由来が不明である。本来これらは、ゲーム論的状况における何らかの具体的相互作用の結果として現れてくるパラメータであるはずである。絶滅型モデルは選択的相互作用モデルのひとつであることはたしかなのだが、相互作用が選択的に行われているという具体的メカニズムがモデルの表面に明示的に表現されていないのである。第三に、群の構成の推移など具体的な途中経過が見えにくい。絶滅型モデルは群淘汰に敗れた群の絶滅を前提にしているにもかかわらず、群淘汰が優勢になるための定量的条件は定常状態、すなわち時間が十分経過して各群における C 行動のシェアの頻度分布がもはや変化しなくなった時点においてのみ計算されている。先述したようにこのモデルは進化の動学的側面を比較的良好に扱っているとはいえ、途中経過までをていねいに分析したものではないのである。

では現実との対応関係を考えたとき、絶滅型モデルはどのような対象に適用するのがふさわしいだろうか。第一に、絶滅型モデルは確率過程の定常状態を分析対象としており、これは一般に比較的長い時間が経過したあとに実現すると想定されている。よって、学習型進化ゲームが対象とするような比較的短期の現象を分析するには、あまり有効な手法とはいえない。逆に、進化心理学で扱うような遺伝型モデルが適用される現象には、それなりの意味をもつだろう。第二に、絶滅型モデルは群構成の時間的推移に関して、移住という例外的場合を除いて各群の成員構成が変化せず、群の中での相互作用が固定的かつ半永久的に続くという仮定をおく。したがって、人的交流が少ない社会、たとえば前近代社会における社会現象を分析するにはこのモデルは適切かもしれない。

つぎに離合集散型モデルについて。このモデルの理論／方法的な長所は2つ挙げられる。第一に、このモデルの最大の特徴は、群淘汰の効果を個体の適応度の計算に組み込んでいることである。通常個体の適応度は個体レベルでの淘汰に関してのみ計算されるが、このモデルは個体淘汰の効果と群淘汰の効果を、適応度概念の中で一元的に取り扱うことを可能にし

ている。このように適応度概念に群淘汰の効果を取り込むことの方法的メリットは、個体の適応度に基づいて定義された従来の進化ゲーム理論上の諸概念（ESS やレプリケータ・ダイナミクス）をそのまま流用できることである¹⁸⁾。一般に、選択的相互作用に基づく動学過程を厳密に定式化することはむずかしい上、特に社会的ジレンマ（ N 人囚人のジレンマ）のように選択的相互作用を仮定しなくても動学的定式化がむずかしい問題を分析するには、このメリットは大きいといえる。離合集散型モデルの第二の長所は、各群におけるC行動のシェアの分散が、多水準淘汰において群淘汰が優勢になるために重要であることを指摘した点である。先述のように、これは絶滅型モデルでは表面に現れてこない論点であるが、群淘汰の効果が長期にわたって持続するためには論理的に不可欠の前提である（金井（2000））。

一方、離合集散型モデルの理論的短所は2つ挙げられる。第一に、このモデルは一般に時間性を明示的に考慮していない。たとえば先のWilson（1975）のモデルにおいて、シェア増加の条件は“ある形質の平均適応度が他の形質の平均適応度よりも高い”とされているのみである。これはある特定の時点における比較である。しかし実際には時間とともに、まさに淘汰の働きにより、各群における両形質の頻度の、全体集団中における分布は変化していくので、適応度の相対的大小関係も変わる可能性がある。このように適応度が頻度に依存する現象は、進化ゲームで扱うようなゲーム論的状况において典型的に見られるが、そうでなくても理論的にはおこりうるものである。実際Wilsonが想定しているような社会的ジレンマ状況でも、適応度（の相対的な差）は頻度に依存している。第二に、群の再構成という仮定が結論とどう結びついているのかが、数学的に見て不明確である。Wilson（1975）や、離合集散型モデルを「主観的頻度」という別の観点から定式化したWilson（1998）においては、“群が定期的に離合集散するならば、群相互での頻度分布の分散が大きくなるだろう（もしくは少なくとも維持されるだろう）”という暗黙の前提が置かれている。もしこれが正しければ、“群相互での頻度の分散が大きければ協力が進化しやすい”という論理は一応彼は示したつもりでいるのだろうから、“群が離合集散するならば協力は進化しやすい”という命題が成り立つだろうことは理解できる。しかし問題はこの前段の妥当性である。群が定期的に離合集散するという場合、具体的にどの程度の頻度で、どういうメカニズムに基づくものを想定しているのか、Wilsonの論文では明らかにされていない。それらの想定次第で、この命題は成り立つかもしれないし、成り立たないかもしれないのである。また仮にこの命題が成り立つとしても、“頻度の分散が大きければ協力が進化しやすい”という後段の命題は、離合集散によって頻度の分散が増える力と個体淘汰の力の相対的な関係に依存するはずであるが、前段の命題を量的に定式化していない以上、この問題にも答えられないのは当然である。群の離合集散が重要であるという着眼は十分評価できるものではあるが、現時点での先行研究は定量的な意味でその効果を証明したとまではいえないのである。

では現実との対応関係を考えたとき、離合集散型モデルはどのような対象に適用するのがふさわしいだろうか。第一に、群の離合集散を考えるという特徴より、先ほどの絶滅型モデルとは逆に、人的交流が盛んで相互作用の範囲も頻繁に変わる社会における現象を扱うのに適しているといえよう。第二に、長期的な動学過程をあまり考えないという特徴の帰結として、比較的タイムスパンが短く、学習型モデルで扱うような現象でも、適用できる可能性が

ある。そして第三に、動学過程を厳密に定式化しなくてもすむという特徴より、先にもふれたように、社会的ジレンマのように相互作用の厳密な定式化がむずかしい現象にも適用しやすいであろう。

以上のように絶滅型モデルと離合集散型モデルは、多水準淘汰という同じ現象を扱っているながら、前提とするメカニズムや数学的定式化がかなり異なる。これはもちろん、どちらかが優れているという問題ではなく、分析する対象に応じて使い分けていけばよいことである。そしていずれのモデルも生物学の分野で開発されてきたものなので、特に社会科学に応用しようとするときまだまだ不十分な点が多い。社会的ジレンマをはじめとする秩序問題を進化ゲーム理論的に考えていくにあたって、こうした分析手法の数学的整備と論理的基礎づけが急務になっているといえよう。

【謝辞】

本稿は『理論と方法』第18巻2号（2003年9月，153-167頁）に掲載された「進化ゲームにおける選択的相互作用モデルの意義と課題」（金井雅之著）を数理社会学会の許可を得て転載したものである。

【付記】

この研究は、科学研究費補助金基盤研究(B)(1)「秩序問題への進化ゲーム理論的アプローチ」（研究代表者：大浦宏邦，課題番号14310095）ならびに科学研究費補助金基盤研究(B)(1)「社会理論の実践的可能性の探求」（研究代表者：数土直紀，課題番号13410054）の助成を受けており、その成果の一部です。

【注】

- 1) N 人の集団における間接的な相互作用を考える場合（社会的ジレンマ）は、Dawes（1980）の下記の定義を用いるが、これは本稿における一対一対戦の(1)、(2)にそれぞれ対応している。
 - (a) 社会の他の諸個人が何をするかにかかわらず、各個人は社会的に裏切りの選択 [行動様式 D] をおこなったとき、社会的に協力的な選択 [行動様式 C] をおこなったときよりも高い利得を得る。
 - (b) しかし、もし全員が協力するならば、全員が裏切るよりも、すべての個人がよい状態になる。
- 2) ここで「選択」とは対戦する相手が無作為に決まるのではないことを言っているのであり、natural selection の意味での「選択」ではもちろんない。
- 3) 彼が分析したのは繰り返し囚人のジレンマゲームなので、Cに相当するのはしっぺ返し（Tit for Tat）戦略、Dに相当するのは全面裏切り戦略である。
- 4) Axelrod（1984）はこれらを「抽象的空間」とよんでいる。
- 5) 多水準選択と訳すこともある。一般に進化論において (natural) selection ということばは、選択もしくは淘汰と訳されるが、学術的にはまったく同義である。本稿では、選択的相互作用という概念との混同を避けるためもあって、淘汰という用語で統一する。multi-level selection という用語を明示的に用いている文献としては、たとえば Wilson（1998）。
- 6) こういう議論が問題であるとする理由は、後述するように永続性がないため淘汰の単位となりえない群を素朴に淘汰の単位とみなしてしまうという、論理的誤謬にある。
- 7) 彼のこの議論は、後に Dawkins（1989）らによってわかりやすく解説されることになる遺伝子中心主義に基づいている。淘汰が遺伝子レベルにしか働かないとする理由は、自分と完全に同じものを複製できる単位（＝自己複製子）は遺伝子しかないからというものである。個体ですら淘汰の対象となりえないのは、有性生殖をする個体の場合、自分の子といえども遺伝子レベルで見れば完全に同じ組み合わせのものではありえないからである。
- 8) Wilson and Sober（1994）はこれを運命共同体（shared fate）としてのヴィークルとよぶ。

- 9) ここで平等性を強調するのは社会学的文脈における協力の成果の公共財的性格を念頭においているからであって、進化論における多水準淘汰一般の文脈ではもちろん群の利益が構成員に平等に分配される必要性はない。
- 10) これまでの議論からわかるように、遺伝子以外のレベルに働く淘汰に似た作用を淘汰とよぶのは厳密には問題があるが、本稿では今後便宜上、そのような作用も淘汰とよぶことにする。
- 11) 生物学における群淘汰論の標準的な分類法にしたがえば、絶滅型モデルはゲーム間群淘汰 (inter-demic group selection) , 離合集散型モデルはゲーム内群淘汰 (intra-demic group selection) もしくはトレイトグループ淘汰 (trait group selection) に相当する。
- 12) 本稿では以後、多水準淘汰モデルで想定する相互作用の範囲を群 (group) , 群を含む全体を集団 (population) とよぶことにする。
- 13) 集団遺伝学の概説書としては、Crow and Kimura (1970) , Kimura and Ohta (1971) などを参照。
- 14) 頻度 (frequency) とはこの場合、割合・シェアなどと同義と考えてよい。
- 15) このように、一般に離合集散モデルは具体的な問題状況として社会的ジレンマを想定していることが多い。
- 16) 新しい群における両形質の頻度がランダムに決まるとは、具体的にはたとえば、協利行動をとる個体同士が集まりやすかったり (あるいは D 行動をとる個体を避けたり) , 前の期と同じ群に属していた個体同士が集まりやすかったりする傾向がないことを意味する。
- 17) 本稿では紙幅の関係上、このモデルのもつ確率過程論としての詳細部分を省かざるを得なかったが、興味のある読者は Kimura (1983) を参照。
- 18) Kerr and Godfrey-Smith (2002) はこの観点から、多水準淘汰モデルと個体主義的モデルが数学的には結局等価であり、ものの見方の違いとしての意義しかもたないと指摘している。

【文献】

- Aoki, K. 1982. "A Condition for Group Selection to Prevail over Counteracting Individual Selection." *Evolution* 36:832-842.
- . 1983. "A Quantitative Genetic Model of Reciprocal Altruism: A Condition for Kin or Group Selection to Prevail." *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America* 80:4065-4068.
- Axelrod, R. 1984. *The Evolution of Cooperation*. New York: Basic Books. =1987. 松田裕之 (訳) 『つきあひ方の科学』 HBJ 出版局.
- Crow, J. F., and M. Kimura. 1970. *An Introduction to Population Genetics Theory*. New York: Harper and Row.
- Dawes, R. M. 1980. "Social Dilemmas." *Annual Review of Psychology* 31:169-193.
- Dawkins, R. 1989. *The Selfish Gene* (new ed.). Oxford: Oxford University Press. = 1991. 日高敏隆・岸由二・羽田節子・垂水雄二 (訳) 『利己的な遺伝子』 紀伊國屋書店.
- . 1983. *The Extended Phenotype: The Gene as the Unit of Selection*. Oxford: Oxford University Press. =1987. 日高敏隆・遠藤彰・遠藤知二 (訳) 『延長された表現型』 紀伊國屋書店.
- Dugatkin, L. A., M. Perlin, and R. Atlas. 2003. "The Evolution of Group-Beneficial Traits in the Absence of Between-Group Selection." *Journal of Theoretical Biology* 220: 67-74.
- Hamilton, W. D. 1964a. "The Genetical Evolution of Social Behavior I." *Journal of Theoretical Biology* 7:1-16.
- . 1964b. "The Genetical Evolution of Social Behavior II." *Journal of Theoretical Biology* 7:17-52.
- Hardin, G. 1968. "The Tragedy of the Commons." *Science* 162:1243-1248.
- Hofbauer, J., and K. Sigmund. 1998. *Evolutionary Games and Population Dynamics*. Cambridge: Cambridge University Press. =2001. 竹内康博・佐藤一憲・宮崎倫子 (訳) 『進化ゲームと微分方程式』 現代数学社.
- 石原英樹・金井雅之. 2002. 『進化的意思決定』 朝倉書店.
- 金井雅之. 2000. 「多水準淘汰による協力の進化」 東京大学大学院博士論文.
- Keller, L. ed. 1999. *Levels of Selection in Evolution*. Princeton: Princeton University Press.

- Kerr, B., and P. Godfrey-Smith. 2002. "Individualist and Multi-level Perspectives on Selection in Structured Populations." *Biology and Philosophy* 17:477-517.
- Kimura, M. 1983. "Diffusion Model of Intergroup Selection, with Special Reference to Evolution of an Altruistic Character." *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America* 80:6317-6321.
- Kimura, M., and T. Ohta. 1971. *Theoretical Aspects of Population Genetics*. Princeton: Princeton University Press.
- Maynard Smith, J., and G. R. Price. 1973. "The Logic of Animal Conflict." *Nature* 246:15-18.
- Maynard Smith, J. 1982. *Evolution and the Theory of Games*. Cambridge: Cambridge University Press. =1985. 寺本英・梯正之（訳）『進化とゲーム理論：闘争の論理』産業図書.
- 中丸麻由子・松田裕之・巖佐庸. 1996. 「格子上の集団における協力の進化」『物性研究』67:257-285.
- . 1998. 「近所付き合いは社会的相互作用の進化にどのように影響するのか」『理論と方法』12(2):149-162.
- Nakamaru, M., H. Nogami, and Y. Iwasa. 1997. "The Evolution of Cooperation in a Lattice-Structured Population." *Journal of Theoretical Biology* 184:65-81.
- . 1998. "Score-dependent Fertility Model for the Evolution of Cooperation in a Lattice." *Journal of Theoretical Biology* 194:101-124.
- Ono, S., K. Misawa, and K. Tsuji. 2003. "Effect of Group Selection on the Evolution of Altruistic Behavior." *Journal of Theoretical Biology* 220:55-66.
- 大浦宏邦. 1999. 「農耕戦略の進化モデル」『第 28 回数理社会学会大会研究報告要旨集』数理社会学会. 12-13.
- Price, G. R. 1972. "Extension of Covariance Selection Mathematics." *Annals of Human Genetics* 35:485-490.
- 盛山和夫・海野道郎（編）. 1991. 『秩序問題と社会的ジレンマ』ハーベスト社.
- Sober, E. 1984. *The Nature of Selection: Evolutionary Theory in Philosophical Focus*. Chicago: The University of Chicago Press.
- . 1994. *From a Biological Point of View: Essays in Evolutionary Philosophy*. Cambridge: Cambridge University Press.
- Sober, E., and D. S. Wilson. 1998. *Unto Others: The Evolution and Psychology of Unselfish Behavior*. Cambridge, Mass.: Harvard University Press.
- Trivers, R. L. 1971. "The Evolution of Reciprocal Altruism." *Quarterly Review of Biology* 46:35-57.
- Weibull, J. W. 1995. *Evolutionary Game Theory*. Cambridge, Mass.: The MIT Press. =1998. 大和瀬達二（監訳）『進化ゲームの理論』オフィスカノウチ.
- Williams, G. C. 1966. *Adaptation and Natural Selection: A Critique of Some Current Evolutionary Thought*. Princeton: Princeton University Press.
- Williams, G. C., and P. C. Williams. 1957. "Natural Selection of Individually Harmful Social Adaptations among Sibs with Special Reference to Social Insects." *Evolution* 11:32-39.
- Wilson, D. S. 1975. "A Theory of Group Selection." *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America* 72:143-146.
- . 1998. "Hunting, Sharing, and Multilevel Selection." *Current Anthropology* 31:73-97.
- Wilson, D. S., and E. Sober. 1989. "Reviving the Superorganism." *Journal of Theoretical Biology* 136:337-356.
- . 1994. "Reintroducing Group Selection to the Human Behavioral Science." *Behavioral and Brain Sciences* 17:585-654.
- Wilson, E. O. 1975. *Sociobiology: The New Synthesis*. Cambridge, Mass.: Belknap Press of Harvard University Press. =1983. 坂上昭一（他訳）『社会生物学』思索社.
- Wright, S. 1943. "Isolation by Distance." *Genetics* 28:114-138.
- Wright, S. 1945. "Tempo and Mode in Evolution: A Critical Review." *Ecology* 26:415-419.

（受稿 2003 年 4 月 16 日/掲載決定 2003 年 8 月 9 日）

The significance of selective interaction models in the evolutionary game theory

Masayuki KANAI

Faculty of Education

Yamagata University

1-4-12 Kojirakawa, Yamagata city, Yamagata, 990-8560, Japan

To analyze how cooperation evolves, including the problem of social dilemma, a random-matching model in the evolutionary game theory does not work well. Instead of that, we have some models of selective interaction, which assume that players interact not with all members but with specific members in the population. Though selective interaction models consist mainly of a lattice model and a multilevel-selection model, we focus the latter to examine the theoretical foundation and the mathematical formation. As to the theoretical foundation, it is concerned with the well-known debate of unit of selection. We show that the multilevel-selection is consistent with the replicator selection if the concept of “vehicle” is introduced. There are two models of multilevel-selection, that is, extinction models and fission-fusion models. Although they are based on the different assumption about the reconstruction of groups, we argue that both of them have adequate phenomena to apply.

Key words and phrases: selective interaction, multi-level selection, group selection, social dilemma, evolutionary game theory.

(Received April X, 2003/Accepted August X, 2003)

文化進化系進化ゲーム理論による社会的ジレンマ分析

七條 達弘
(大阪府立大学)

【要旨】

進化ゲーム理論には、「生物系」「経済系」「文化進化系」の三つの理論体系がある。「文化進化系」は、「経済系」の進化ゲーム理論を発展させたものである。「経済系」の進化ゲーム理論では、利得が高い戦略が広まっていくと仮定するが、「文化進化系」では、この仮定が成立しない場合についても取り扱うことができ、多数派同調の効果や、戦略表明の効果が存在する場合も考慮する。本論文では、それぞれの効果をもちいて、社会的ジレンマ状況における協力の発生を示すモデルを作成する。このモデルにより、繰り返しゲーム特有の戦略を考慮しなくても、協力が進化しえることが示される。

キーワード: 進化ゲーム理論、社会的ジレンマ、頻度依存、多数派同調効果、戦略表明、文化進化

1. 進化ゲーム理論の三つの系統

進化ゲーム理論は、丸田（2002）が主張するように、ゲーム状況において、「進化の単位」が全体に占める割合が増減する動学的調整過程を考慮した理論である¹⁾²⁾。そこで、なにを「進化の単位」とするか、その「増加率」が何によって決まるかの仮定によって、進化ゲーム理論は、「生物系」「経済系」「文化進化系」の三つに分かれる。本論文では、三つの系統の分類分けについて概観し、その後、社会的ジレンマ状況における協力の発生を「文化進化系」のゲーム理論によって分析する。

「生物系」の進化ゲーム理論は、Mainard-Smith & Price（1973）から始まる理論体系であり、進化ゲーム理論の祖といえる理論体系である。「生物系」では、「進化の単位」は、遺伝子であり、生物の死亡と出生によって、各遺伝子の頻度が増加する状況を想定する。したがって、死亡率が低く、出生率が高い遺伝子が増加していくことになる。つまり、「増加率」は出生と死亡によって決定される。

「経済系」の進化ゲーム理論では、「進化の単位」は人々の行動を決定する戦略である。したがって、人々の行動の変化が、戦略の出生死亡を意味する。ここで、行動の変化は、模倣、教育、学習、および、現状を所与とした最適反応によって引き起こされると仮定される。経済系の進化ゲーム理論では、行為者にとっての客観的利得を想定する。客観的利得としては、多くの場合、物質的利得が採用される³⁾。本論文では、特に断らないかぎり「利得」を物質的利得の意味で用いる⁴⁾。さらに、利得が大きい戦略ほど増加率が大きく、全体に広まっていくと仮定する⁵⁾。つまり、以下のいずれかの仮定がおかれていると解釈できる。「人々は利得が高い人の戦略を模倣しようとする」、あるいは、「教育⁶⁾する際、利得が高い人ほ

ど影響力が高い。」、「学習によって利得が高い戦略を採用するようになる。」、「現状を所与として利得を高める行動をとる」。このような仮定によって、進化的均衡(Friedman 1991)に到達することになる。進化的均衡はナッシュ均衡であるため、ナッシュ均衡を用いる古典的ゲーム理論と同じ結論を導く場合もある。しかし、ナッシュ均衡だが進化的均衡ではない状態が存在するため、進化的均衡は、ナッシュ均衡を精緻化する均衡概念といえる。進化ゲームをナッシュ均衡の精緻化として用いた研究として、Kandori & Mailath & Rob (1993)がある。また、この理論には、精緻化だけではなく、動的過程を記述できるという長所がある。たとえば、七條(1998)では、模倣学習モデルを利用した動的モデルによって、バブル経済を説明した。

「文化進化系」の進化ゲーム理論では、「進化の単位」は行動戦略に限定されず、選好も進化の対象となる。経済系の進化ゲーム理論では、模倣や教育によって行動戦略が人から人へと伝達されると仮定しているが、文化進化系の進化ゲーム理論ではさらにこの考え方を応用し、戦略のみではなく、選好も人から人へと伝達されると仮定する。選好や価値観といったものは、社会生活の中で他の人々からの影響をうけて形成されるものだからである。たとえば、Shichijo & Kobayashi (2002)と七條・小林(2003)は、「プロテスタンティズムの倫理と資本主義の精神」(Weber 1904-05)のモデル化を行い、プロテスタンティズムの倫理が資本主義の発達に必要であったが、資本主義が発達するとプロテスタンティズムの倫理が衰退するというパラドックスを数理的に説明した。また、経済学においても間接進化(indirect evolution)理論など、選好の進化を取り扱い、本論文における文化進化系の進化ゲーム理論に分類される研究がなされている(Bisin & Verdier 2001)⁷⁾。

「文化進化系」の進化ゲーム理論のもうひとつの特徴は、利得が低い戦略や選好が増加することもありえる点である。経済系の進化ゲーム理論では、客観的利得を仮定して、それが高い戦略が広まっていくと仮定したのとは対照的に、これに反する現象が起こることもあると仮定する。このため、2節と3節で示すように、比較的容易に社会的ジレンマ状況における協力の発生を導くことができ、TFTなど繰り返し戦略特有の戦略によらず、単に協力を取り続ける戦略や、裏切りが自明なとき以外は協力する戦略が進化することが分かった。

2. 多数派同調効果と群淘汰

人々は多くの人が行っている行動を真似するという同調行動をとるという多数派同調効果がある場合が考えられる⁸⁾。たとえば、我々は、海外旅行にいったチップを払うことが当たり前の国では、チップを支払うという行動をとる。その国では、チップを皆が払うという理由で、旅行者も支払うが、物質的利得という面からは利得が低い行動かもしれない。このような多数派同調効果を組み込んだモデルとして、Boyd & Richerson (1985)のモデルがある。ここでは、Boyd & Richerson (1985)のモデルをさらに発展させ、社会的ジレンマ状況において、協力行動をとることが均衡となるモデルを構築する。

2.1 模倣学習モデル

基本的なモデルとして、Weibull (1995) で模倣学習モデル 2⁹⁾とされているモデルを使用する。Weibull (1995) では、このモデルがアプリオリに提示されているので、この節では、このモデルの導出を行う。

戦略 S の影響力を I^S とおき、戦略変更を検討するプレイヤーが、戦略 S をとっている人と出会ったときに、相手の戦略を模倣する確率は I^S であるとする。ランダムマッチングを仮定し戦略 S の人と出会う確率は、戦略 S をとっている人の割合 θ^S に比例するとする。このとき、戦略変更を検討しているプレイヤーが、模倣する相手に出会ったという条件のもとで、その相手が戦略 S であり、その戦略 S を模倣する確率は、 $I^S \theta^S$ となる。さらに、戦略の変更を検討するプレイヤーが模倣対象となる相手に出会ったという条件のもとで、どの戦略かは問わず相手の戦略を模倣する確率を $Q = \sum_S I^S \theta^S$ とおく。このとき、どの戦略も模倣

しない確率は、 $1-Q$ である。戦略を検討するプレイヤーが、1人目に出会った相手の戦略は模倣せず、2人目に戦略 S と出会い、それを模倣する確率は、 $I^S \theta^S (1-Q)$ である。同様に計算すると、なんども人と出会う場合も含めて最終的に戦略 S を模倣する確率は、

$$\sum_{i=1}^{\infty} I^S \theta^S (1-Q)^{i-1} = \frac{I^S \theta^S}{1-(1-Q)} = \frac{I^S \theta^S}{Q}$$

倍して、 $I_0^S = aI^S$ for $\forall S$ としても、上記の最後の確率は変化しない。つまり、影響力の値は、他の影響力に対する比のみが重要であり、絶対的値は意味を持たない。そこで、以降では、 I^S を確率であると考えた場合に必要な条件 $I^S \leq 1$ や $\sum_S I^S = 1$ を仮定せず、単に、 I^S は正の値であると仮定する。

次に、微分方程式を導く。戦略 S をとっている人の中で、 Δt の間に、戦略変更を検討する人の数が $\beta \theta^S \Delta t$ 人である仮定し、 Δt の間に戦略変更を検討した人のうち戦略 S を採用するようになった人の数は、 $\frac{I^S \theta^S}{Q} \Delta t$ 人であると仮定する¹⁰⁾と、以下の微分方程式が導出される。

$$\frac{d\theta^S(t)}{dt} = \beta \left(\frac{I^S(t)\theta^S(t)}{\sum_x I^x(t)\theta^x(t)} - \theta^S(t) \right) = \beta \theta^S(t) \left(\frac{I^S(t)}{\sum_x I^x(t)\theta^x(t)} - 1 \right) \quad (4.1)$$

ここで、経済系の進化ゲーム理論の仮定に従い、影響力 I^S が、戦略 S の期待利得 B^S に比例すると仮定した場合、上記の式は以下のようなになる¹¹⁾¹²⁾。

$$\frac{d\theta^S(t)}{dt} = \beta \theta^S(t) \left(\frac{B^S(t)}{\sum_x B^x(t)\theta^x(t)} - 1 \right)$$

2.2 利得と影響力が比例する場合の群淘汰

この節では、経済系の進化ゲーム理論に従い、影響力が（物質的）利得に、比例すると仮定した場合に、群淘汰原理がどのように働くかを考察する。

まず、集団が一つしかない場合を想定する。C と D の二つの戦略があるとする。C をとるプレイヤーの数を N^C 、D をとるプレイヤーの数を N^D 、全体のプレイヤー数を $N (= N^C + N^D)$ とする。さらに、C をとるプレイヤーの割合を $\theta^C (= N^C/N)$ 、D をとるプレイヤーの割合を θ^D とおく。各戦略をとる人の利得は、 θ^C にのみ決定され、社会的ジレンマ型の利得構造になっていると仮定する。すなわち、 $B^C(\theta^C)$ 、 $B^D(\theta^C)$ は、 θ^C の単調増加関数であり、C をとる人が増加すればするほど利得は高くなり、全員が D をとる状態がパレート効率的な状態である ($B^D(0) < B^C(1)$) が、常に D をとる人の利得の方が高い ($B^C(\theta^C) < B^D(\theta^C)$) ために C をとる人が増えない可能性があるとして仮定する。

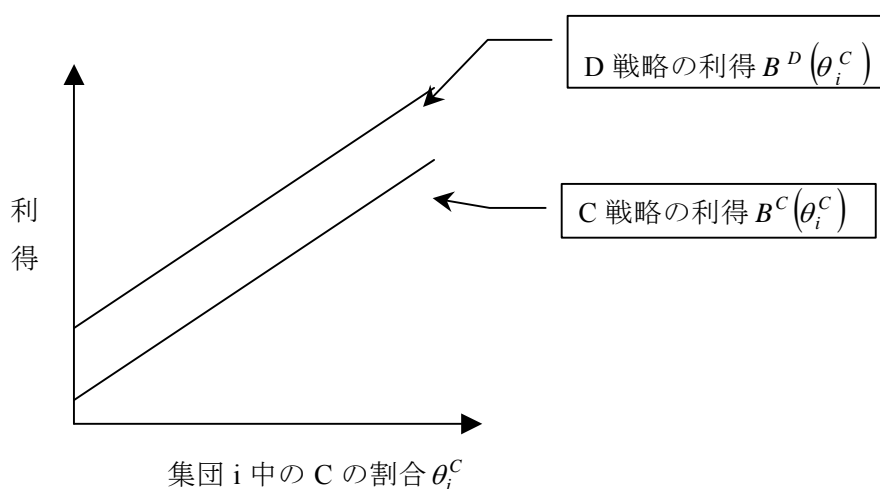


図1 各戦略の利得

経済系の進化ゲーム理論に従い、各戦略の影響力が利得に比例すると仮定すると、以下の式が導出される。

$$\frac{dN^C}{dt} = \alpha \left(\frac{B^C(\theta^C)}{B^C(\theta^C)\theta^C + B^D(\theta^C)(1-\theta^C)} - 1 \right) N^C \quad (5.1)$$

ここで、 $B^C(\theta^C) < B^D(\theta^C)$ であり、 $B^C(\theta^C) < B^C(\theta^C)\theta^C + B^D(\theta^C)(1-\theta^C)$ なので、 $\frac{dN^C}{dt} < 0$ であり、C をとる人の数は常に減少する。したがって、戦略 C をとる人は最終的にいなくなると予想される。

次に、複数の集団がある場合を考える。集団 i 中で C をとるプレイヤーの数を N_i^C 、D をとるプレイヤーの数を N_i^D とおき、集団 i に属するプレイヤーの総数を $N_i (= N_i^C + N_i^D)$ とおく。さらに、集団 i の中で戦略 C が占める割合を $\theta_i^C (= N_i^C/N_i)$ とおき、同様に、 $\theta_i^D (= N_i^D/N_i)$ を定義し、集団 i の中で戦略 C、D の利得は、それぞれ、 $B^C(\theta_i^C)$ 、 $B^D(\theta_i^C)$ であるとする。利得は、先ほどと同じく社会的ジレンマ状況を仮定する。(5.1)式と同様に、 Δt 時間の間に所属する集団は変更せず戦略のみ変更するプレイヤーは、 $\alpha \Delta t$ の割合存在し、さらに、戦略も

所属集団も両方とも同時に Δt 時間の間に変更するプレイヤーは、 $\beta \Delta t$ の割合存在するとする。このとき、前節の模倣学習を仮定すると以下の微分方程式が導かれる。

$$\frac{d N_i^C}{d t} = \alpha \left\{ \frac{B^C(\theta_i^C)}{B_i} - 1 \right\} N_i^C + \beta \left\{ \frac{B^C(\theta_i^C)}{\bar{B}} - 1 \right\} N_i^C$$

$$\frac{d N_i^D}{d t} = \alpha \left\{ \frac{B^D(\theta_i^C)}{B_i} - 1 \right\} N_i^D + \beta \left\{ \frac{B^D(\theta_i^C)}{\bar{B}} - 1 \right\} N_i^D$$

ここで、 $\bar{B}_i = B^C(\theta_i^C)\theta_i^C + B^D(\theta_i^C)(1-\theta_i^C)$ 、 $\bar{B} = \sum_i \bar{B}_i N_i / N$ である。

上記の微分方程式から、初期状態で集団 i の中に戦略 C をとるプレイヤーの数が多く $B^C(\theta_i^C) > \bar{B}$ が満たされている場合には、外から集団 i に参加するプレイヤーが多いために、 N_i^C が増加する可能性がある。これが群淘汰の効果である。しかし、その一方で、 N_i^D も増加すると考えられる。そこで、集団 i に占める C の割合 θ_i^C の変化について計算すると以下の式が得られる。

$$\frac{d \theta_i^C}{d t} = \frac{d}{d t} \left(\frac{N_i^C}{N_i} \right) = \frac{1}{N_i} \frac{d N_i^C}{d t} - \frac{N_i^C}{N_i^2} \frac{d N_i}{d t} = \theta_i^C (B^C(\theta_i^C) - \bar{B}_i) \left(\frac{\alpha}{B_i} + \frac{\beta}{\bar{B}} \right)$$

ここで、利得の構造から $\theta_i^C > 0$ ならば $B^C(\theta_i^C) < \bar{B}_i$ なので、 $\frac{d \theta_i^C}{d t} < 0$ であり、集団 i の中で戦略 C をとるプレイヤーの割合が減少していくことが分かる。これによって、長期的には $B_i^C - \bar{B}$ の値も小さくなり、戦略 C をとるプレイヤーの数 N_i^C が減少していき、最終的には全員が D をとる状態に均衡することが分かる。

2.3 多数派同調効果

2.2 節では、各戦略の影響力が利得に比例する状況を考えた。この節では、多くの人が採用しているからそれを模倣しよう傾向（多数派同調効果）がある場合について考察する。ここで、影響力が利得の単調増加関数ではなく、多くの人が採用している戦略を採用する傾向があると仮定する。このとき、 C 戦略をほとんどの人が採用している場合、 C 戦略の影響力が大きく、 C 戦略が全体を占める状態が最終的な安定状態となる可能性がある。しかし、初期状態で、 D 戦略の方が多い場合は、 D 戦略の影響力が強い上に、 D 戦略の利得が高いために、 D 戦略が全体を占める状態が最終的な状態になる。そこで、複数の集団がある場合を考える。複数の集団があつて、その中で、 C 戦略の割合が大きい集団が偶然発生すると、利得が高いその集団に移住するインセンティブが働く、これによって、 C 戦略の比率が高い集団の成員数が増加していき、最終的には、全体の中で、 C 戦略の比率が高まっていくと考えられる。以下で、具体的にモデルを構築する。

2.2 節と異なり、この節では、影響力は、利得だけではなく、頻度にも依存して決まり、利得 B 、割合が θ である戦略の影響力は、 $B f(\theta)$ であると仮定する。ここで、関数 f は、頻

度の影響を表す関数であり、単調増加であると仮定する。集団の中で、CをとるかDをとるか戦略を検討する場合の影響力はそれぞれ、 $B^C(\theta_i^C)f(\theta_i^C)$ 、 $B^D(\theta_i^C)f(\theta_i^D)$ となる。さらに、多数派同調により戦略Cを採用する効果が働き、 $\theta_i^C = 1$ のときは、Cの影響力がDの影響力より大きい ($B^C(1)f(1) > B^D(1)f(0)$) という状態が成立していると仮定する (次図) ¹³⁾。

以上の仮定より、経済系進化ゲームで仮定される利得単調性 (Weibull 1995 p144) を満たさないモデルとなり、経済系の進化ゲームでは導出できない結論を導くことができる可能性がある。

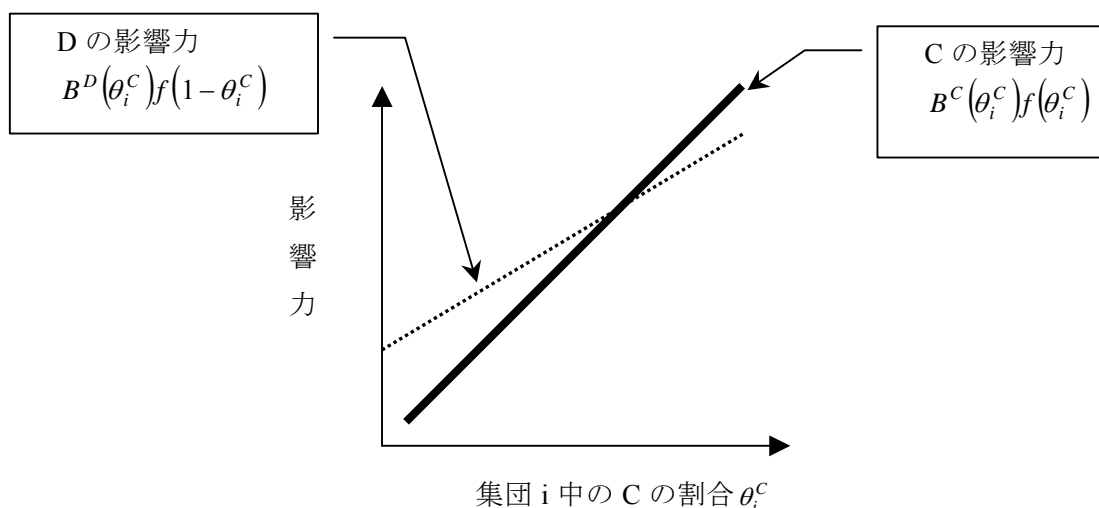


図2 多数派同調効果がある影響力

一方、帰属集団を変更する際には、その戦略が全集団の中で占める割合に着目すると仮定する。すなわち、全体の中で集団 i の C 戦略が占める割合を $x_i^C (= N_i^C / N)$ とおくと、帰属集団も戦略も同時に変更しようとするプレイヤーにとって、頻度依存の効果は x_i^C 分だけ表れ、集団 i 中の戦略 C がもつ影響力は、 $B^C(\theta_i^C)f(x_i^C)$ であるとする。同様に、帰属集団の変更を検討しているプレイヤーに対して、集団 i 中の戦略 D がもつ影響力は、 $B^D(\theta_i^C)f(x_i^D)$ であるとする。

$$\frac{dN_i^C}{dt} = \alpha N_i^C \left(\frac{B^C(\theta_i^C)f(\theta_i^C)}{\bar{I}_i^\theta} - 1 \right) + \beta N_i^C \left(\frac{B^C(\theta_i^C)f(x_i^C)}{\bar{I}^x} - 1 \right) \quad (5.2)$$

$$\frac{dN_i^D}{dt} = \alpha N_i^D \left(\frac{B^D(\theta_i^C)f(\theta_i^D)}{\bar{I}_i^\theta} - 1 \right) + \beta N_i^D \left(\frac{B^D(\theta_i^C)f(x_i^D)}{\bar{I}^x} - 1 \right) \quad (5.3)$$

ここで、

$$\bar{I}_i^\theta = B^C(\theta_i^C)f(\theta_i^C)\theta_i^C + B^D(\theta_i^C)f(\theta_i^D)\theta_i^D$$

$$\bar{I}^x = \sum_i \{ B^C(\theta_i^C)f(x_i^C)x_i^C + B^D(\theta_i^C)f(x_i^D)x_i^D \} \text{である。}$$

このモデルでは、集団の中で全てのプレイヤーが戦略 C をとっている状態が安定な状態であり、このとき、高い利得をあげることができる。そこで、複数ある集団の中でどれか一つでも戦略 C が占めて協力が成立している集団が生まれれば、その集団が高い利得をあげるために、他の集団から移住するプレイヤーが現れ、協力している集団の規模が拡大していき、全体に占める戦略 C の割合が上昇していくことが期待される。戦略 C が占める集団が現れるか否かは、初期状態に依存して決まる。そこで、各集団内の初期状態における戦略 C の割合を一様分布に従って生成させてシミュレーションを行った結果が以下のとおりである。

集団の数	1 個	5 個	10 個
協力形成回数	3163	8434	9752
協力形成割合	31.6%	84.3%	97.5%

表 1 多数派同調効果のシミュレーション結果

ここでは、全体のうち 99% のプレイヤーが C 戦略を採用しているときに、協力が形成されたと判断し、10000 回のシミュレーション中、何回、協力形成がなされたかを計算した。また、シミュレーションに使用した関数、および、パラメータは以下のとおりである。

$$f(x) = x + 1, \quad B^C(x) = 4x + 1, \quad B^D(x) = 4x + 2, \quad \alpha = 1, \quad \beta = 0.1$$

このシミュレーション結果から、集団の数が増えるほど、その中のどれか一つでも協力が成立した集団が存在する確率が増えるため、最終的に全体として協力が成立する可能性が高くなることが分かる。すなわち、集団が一つの場合には、協力発生確率が低い場合であっても、集団数が増加すると、群淘汰原理により、協力が発生する可能性が高くなっている。このモデルでは、協力の発生を論じるために、トリガー戦略などの過去の相手の行動を記憶して行動を変化させる、繰り返しゲーム特有の戦略ではなく、C を出し続ける、D を出し続けるといった、1 回きりのゲームに対する戦略を考察している。それにも関わらず、多数派同調の効果と群淘汰の両方の効果によって、上記のように、協力形成がなされる可能性を示すことができ、繰り返しゲーム特有の状況を考慮すると、より、広い範囲で協力が発生する可能性があることが示唆される。

3. 戦略表明ゲーム

この節では、囚人のジレンマ状況において自分の戦略を表明する状況を考察する。この場合、裏切り戦略を採用する人は、裏切りをとることを自ら表明するとは考えにくい。なぜなら、裏切りを採用することが対戦相手に知られると、不利益をこうむるからである。そこで、裏切り戦略採用者は、自己の戦略をいつわると考えられる。偽装がうまくいけばいくほど、裏切り戦略は高い利得をあげることができる。しかし、偽装すると、人の戦略を模倣しようと考えているプレイヤーにとって、非常に、わかり難く模倣しにくい戦略となる。したがっ

て、模倣によって、戦略変更が行われるとするならば、利得が高い偽装した裏切り戦略の増加がおさえられる可能性がある。

3.1 節では、繰り返し同じ相手と囚人のジレンマゲームを行うことによって、協力が維持されるための条件を示す。3.2 節では、戦略表明の効果により協力が発生しやすくなることを示す。3.1 節のモデルでは、ほとんど全てのプレイヤーが裏切り行動をとる場合、協力が進化することができないが、3.2 節のモデルでは、そのような状況でも協力が発生することを示す。さらに、条件により、同じ相手と1回きりしか対戦しない状況であっても協力が進化することを示す。

3.1 繰り返し囚人のジレンマゲームの先行研究

この節では、Axelrod(1984)などの繰り返し囚人のジレンマゲームの研究について簡単に紹介する。ここでは、囚人のジレンマ型の利得行列にしたがうゲームを繰り返すとする。

	c	d
c	r	s
d	t	p

表2 囚人のジレンマ型利得表

ここで、 $t > r > p > s$ が成立していると仮定する。

単純化のため、ALL-D と TFT という二つの戦略しかないという状況を考える。ここで、ALL-D は、常に d を出す戦略であり、TFT は、最初は c を出すが、その後は、相手が1回前に出した手を出すという戦略である。

ALL-D を D、TFT を T と略記して、ALL-D が TFT と対戦したときに得る利得を $U(D, T)$ と表記する。未来係数を w と仮定すると、最初に、TFT が c、ALL-D が d を出して、ALL-D が t の利得をえるが、その後、TFT も ALL-D もともに d を出すために、利得 p をえることから、以下の式が導出される

$$U(D, T) = t + wp + w^2p + w^3p + \dots = t + \frac{wp}{1-w}$$

一方、TFT が TFT と対戦した場合、互いに c を出し続け利得 r をえるので

$$U(T, T) = r + wr + w^2r + \dots = \frac{r}{1-w}$$

である。

よって、 $w > \frac{t-r}{t-p}$ であれば、 $U(T, T) > U(D, T)$ となる。よって、ランダムに出会った相手と

上記の繰り返しゲームを行う状況を想定し、TFT と ALL-D の二つの戦略のみ考えるならば、TFT が ESS となる。

一方、 $U(D, D) = \frac{p}{1-w}$ 、 $U(T, D) = s + \frac{wp}{1-w}$ であるが、 $p > s$ より、任意の w に対して、 $U(D, D) > U(T, D)$ が成立しており、ALL-D 戦略も ESS である。したがって、初期状態において ALL-D が支配的な状況を想定すると、そこから協力解が発生しないことになる。

3.2 戦略表明ゲーム

この節では、自分が採用している戦略を各プレイヤーが宣言している戦略表明ゲームを想定し、この戦略表明効果により、協力が発生しやすくなることを示す。

戦略表明ゲームは、プレイヤーが、自分がどのような戦略であるか宣言しており、戦略は、模倣により伝播していくゲームである。ALL-D などの裏切りの戦略をとっている場合、自分の戦略を偽ることによって高い利得をえることが可能となる。しかし、自分の戦略を偽ると模倣されにくくなる。戦略をうまく偽るほど、その戦略を把握し、模倣することが困難となるからである。一方、協力を生成する TFT のような戦略をとっている場合、正確に自分の戦略を相手に伝える方が利得が高まるため、真の自分の戦略を宣言することになる。この戦略は、模倣しやすい戦略となる。したがって、戦略表明の効果によって、TFT 的な戦略が進化しやすい可能性がある。

3.1 節の囚人のジレンマ型の利得表を用い、戦略表明ゲームについて考察する。3.1 節の ALL-D や TFT のように、 c と d を出す規則を決定する戦略を「行動戦略」とよぶ。どのような行動戦略をとっているかを表明する戦略を「表明戦略」とよび、行動戦略と表明戦略の組を単に「戦略」とよぶ。全てのプレイヤーは、表明戦略に従い、自分の行動戦略を表明しており、すべてのプレイヤーは、その戦略表明を知ることができるとする。真の行動戦略を詐称して、戦略表明を行うことも可能であるが、一定の確率 a で、ウソがばれりと仮定する。たとえば、対戦したプレイヤーが、相手の過去の行動の履歴を入手して、真の行動戦略をする可能性があるとする。逆に、 $1-a$ の確率で、戦略表明の詐称が成功し、他のプレイヤーは、その戦略表明を信じるとする。

行動戦略としては、次の2種類のみを考察する。一つ目は、常に d を出し続ける ALL-D 戦略である。二つ目は、TFT 戦略を拡張した TFT' 戦略であり、戦略表明や外部情報に応じて、次の二通りの行動をとる戦略である。①相手が ALL-D であると戦略表明をした場合、あるいは、ウソを見破り真の行動戦略が ALL-D であることを知った場合には、常に d を出し続けるが、②それ以外の場合は、最初に c を出し、その後、相手の行動を真似る TFT 戦略をとる。すなわち、TFT' 戦略は、相手が ALL-D であると分かった場合は、ALL-D をとるがそれ以外の場合は、TFT をとる戦略である。

次に戦略表明も含めた戦略として次の D' 戦略と T' 戦略の二種類のみを考える。D' 戦略は、「TFT' であると宣言し、実際の行動戦略は ALL-D をとる。」、T' 戦略は、「TFT' と宣言し、実際の行動戦略も TFT' 戦略をとる。」

この D' 戦略と T' 戦略の利得はそれぞれ以下ようになる。T' 戦略の割合を θ^T 、T' 戦略の利得を $B^T(a, \theta^T)$ 、D' 戦略の利得を $B^{D'}(a, \theta^T)$ とおく。定義より、以下のように利得の計算ができる。

$$B^T(a, \theta^T) = \theta^T U(T, T) + (1 - \theta^T) \{aU(D, D) + (1 - a)U(T, D)\}$$

$$B^{D'}(a, \theta^T) = \theta^T \{aU(D, D) + (1 - a)U(D, T)\} + (1 - \theta^T) U(D, D)$$

模倣により戦略の頻度が変化すると仮定するが、表明戦略と行動戦略の組が模倣されるとする。このとき、表明戦略は、全てのプレイヤーにとって明らかであるため正確に模倣することが可能であるが、行動戦略は、誤って模倣される可能性があるとする。たとえば、D'戦略をとるプレイヤーからの影響をうけて模倣する場合、確率 a で真の行動戦略を知ることができ、ALL-D という行動戦略を模倣することができるが、確率 $1-a$ でウソを信じてしまい、表明された行動戦略である TFT'戦略を模倣するとする。一方、T'戦略をとるプレイヤーからの影響をうけて模倣する場合、真の戦略と表明された行動戦略が同じ戦略であるので、つねに、行動戦略は TFT'戦略を模倣する。

このとき、模倣者からみた T'戦略、D'戦略の利得は、以下のとおりである。

$$I^T(a, \theta^T) = \frac{\theta^T B^T(a, \theta^T) + (1 - \theta^T)(1 - a)B^D(a, \theta^T)}{\theta^T + (1 - \theta^T)(1 - a)}$$

$$I^D(a, \theta^T) = B^D(a, \theta^T)$$

2節の模倣学習モデルと同じモデルを想定すると以下の式が成り立つ。

$$\frac{d\theta^T}{dt} = \beta \left\{ \frac{I^T(a, \theta^T) \{ \theta^T + (1 - \theta^T)(1 - a) \}}{I^D(a, \theta^T)(1 - \theta^T)a + I^T(a, \theta^T) \{ \theta^T + (1 - \theta^T)(1 - a) \}} - \theta^T \right\}$$

このモデルでは、 a が大きいほど T'戦略の実際の利得 $B^T(a, \theta^T)$ が大きくなり $B^D(a, \theta^T)$ は小さくなる。そのため、 a が大きいほど T'戦略にとって有利になるという面がある。その一方、 a が小さくなると、模倣者は、勘違いして D'戦略に出会っても T'戦略を採用してしまうという確率が増加する。そのため、 a が減少したとしても T'戦略に有利になる面がある。つまり、 a の値にかかわらず、3.1節のゲームより協力が発生しやすい構造になっている。実際、次の定理が示すように、一定の条件のもとで a の値に関わりなく、T'戦略が増加する。

定理 1

$U(T, T) > U(D, D)$ 、 $U(D, T) > U(D, D)$ 、 $U(D, D) > U(T, D) > 0$ 、 $w > \frac{t-2p}{t-p}$ であるならば、任意

の $a \in [0, 1]$ 、 $\theta^T \in (0, 1)$ に対して、 $\frac{d\theta^T}{dt} > 0$ である。

(証明は付録)

ここで、 $U(T, T) > U(D, D)$ 、 $U(D, T) > U(D, D)$ 、 $U(D, D) > U(T, D)$ という条件は、囚人のジレンマゲームを想定すると、任意の未来係数 w について成り立つ条件であり、また、 $U(T, D) > 0$ は、模倣するときに負の影響を受けないための自然な条件であり、実質的条件は、 $w > \frac{t-2p}{t-p}$ のみである。したがって、定理 1 は、強い結果である。3.1節のモデルでは、ALL-D

戦略も ESS であったが、この定理の条件が満たされるとき、ALL-D に対応する D'戦略はもはや ESS ではない。よって、任意の初期値から出発して、T'戦略が全体を占める状況になる

ことが示されている。さらに、上記の定理 1 では、3.1 節のゲーム状況において TFT が ESS であるために必要だった $U(T,T) > U(D,T)$ という条件も必要ではなくなっている。その上 $t - 2p < 0$ であれば、未来係数 w が 0 で 1 回きりのゲーム状況であっても、T 戦略が全体を占める状態のみが均衡となる。

4. 議論

「生物系」、「経済系」、「文化進化系」どの進化ゲーム理論も社会学における中心的問題である社会的ジレンマについて寄与することができる。

「生物系」の進化ゲーム理論は、主に、人間以外の生物の行動を分析するために構築された理論体系であるが、人間が抱える社会的ジレンマ問題に対しても貢献することができる。なぜなら、人間は生まれながらにして社会的動物であり、生まれながらにしてなんらかの協力性向を持っていることは確かであり、それが、社会的ジレンマ解決の上で重要な要因となっているからである。すなわち、先天的な人々の協力性向や他の人から評価されたいという欲求などが、社会的ジレンマを解決するための重要な要素であるとするならば、そのメカニズムを分析し、未だ解決されていないジレンマ問題に応用することも可能であると考えられる。

経済系の進化ゲーム理論による社会的ジレンマ問題に対するアプローチも数多くなされている。たとえば、Axelrod (1984) は、繰り返し囚人のジレンマゲームにおいて、TFT が集団安定であることを示した¹⁴⁾。また、Cho & Matsui (2003) は、一定の限定合理性を仮定して、協力解のみが均衡解となりうることを示した。

このように、「文化進化系」のみが社会的ジレンマを分析する分析ツールではないが、2 節と 3 節で示したように、「文化進化系」の進化ゲーム理論には、比較的容易に社会的ジレンマ状況における協力の発生を説明することができるという利点がある。また、社会的ジレンマ解決の上で文化的側面が重要な役割を果たしているならば、この手法は有効であると考えられる。

また、社会的ジレンマ研究は、協力をどのように発生させるかが問題であるというより、むしろ、「どの単位の集団における協力が発生するか」という次の問題も同時に取り組んでいく必要がある。たとえば、競争入札において、落札価格を低下させるように談合を行う行為は、入札する業者という集団に対しては、社会的ジレンマ状況における協力的行為である。しかし、一方で、競争入札を行う政府や納税者という集団から見ると明らかな裏切り行為である。したがって、社会的ジレンマ状況における協力の発生を示しただけでは不十分であり、どの単位の集団に対する協力を発生させるかが問題となる。たとえば、3 節では、小さな集団が複数ある状態ほど協力が発生しやすいことが示されているので、競争入札に参加する業者の所在地を一定の地域に限定するなどして、小集団を形成させるより、電子入札などを用いて多くの業者が参加でき、集団の規模が大きくなるほど、談合などが起こりにくいことが理論的にもわかる。このように、社会的ジレンマの詳細を分析するためには、様々な角度からアプローチすることが重要であり、より広い適用範囲をもつ文化進化系の進化ゲーム理論

がもつ重要性は高いと考えることができる。

【付録】

定理 1 の証明

まず、記号を整理する。 $U(D,D)=\delta$ 、 $U(T,D)=\delta-\kappa$ 、 $U(D,T)=\delta+\gamma$ 、 $U(T,T)=\delta+\tau$ とおくと、 $U(T,T)>U(D,D)$ 、 $U(D,T)>U(D,D)$ 、 $U(D,D)>U(T,D)>0$ より、 $\delta>0$ 、 $\gamma>0$ 、 $\tau>0$ 、 $\kappa>0$ で、かつ $\delta>\kappa$ である。さらに、 $w>\frac{t-2p}{t-p}$ を仮定すると、 $2U(D,D)>U(D,T)$ より、 $\delta>\gamma$ が導かれる。

$$F(a, \theta^T) = I^T(a, \theta^T) \{ \theta^T + (1 - \theta^T)(1 - a) \} - I^{D'}(a, \theta^T) a \theta^T \text{ とおく。}$$

$$\frac{d\theta^T}{dt} = \frac{\beta F(a, \theta^T)(1 - \theta^T)}{I^{D'}(a, \theta^T)(1 - \theta^T)a + I^T(a, \theta^T) \{ \theta^T + (1 - \theta^T)(1 - a) \}} \text{ なので、} F(a, \theta^T) > 0 \text{ のとき、} \frac{d\theta^T}{dt} > 0 \text{ で}$$

あるので、 $F(a, \theta^T) > 0$ を示せばよい。

$$F(a, \theta^T) = \{ \theta^T B^T(a, \theta^T) + (1 - \theta^T)(1 - a) B^{D'}(a, \theta^T) \} - B^{D'}(a, \theta^T) a \theta^T$$

$$= \theta^T B^T(a, \theta^T) + (1 - a - \theta^T) B^{D'}(a, \theta^T)$$

$F(a, \theta^T)$ を δ 、 γ 、 τ 、 κ を使って書くと以下のようになる。

$$F(a, \theta^T) = \gamma \theta^T a^2 - (2\gamma \theta^T - \gamma \theta^{T^2} - \kappa(1 - \theta^T) \theta^T + \delta) a + \theta^T(\gamma - \kappa) + \theta^{T^2}(\tau + \kappa - \gamma) + \delta$$

このように、 $F(a, \theta^T)$ は、 a についての2次関数である。そこで、 a の軸の位置について調べる。軸の位置 $\pi(\theta^T)$ は、以下の値となる。

$$\pi(\theta^T) = \frac{(2\gamma \theta^T - \gamma \theta^{T^2} - \kappa(1 - \theta^T) \theta^T + \delta)}{2\gamma \theta^T}$$

ここで、

$$\frac{d\pi(\theta^T)}{d\theta^T} = -\frac{1}{2} + \frac{1}{2\gamma} \left(\kappa - \frac{\delta}{\theta^{T^2}} \right)$$

よって $\frac{d\pi(\theta^T)}{d\theta^T}$ は、 $\theta^T=1$ のときに最大値をとるが $\left. \frac{d\pi(\theta^T)}{d\theta^T} \right|_{\theta^T=1} = -\frac{1}{2} - \frac{1}{2\gamma}(\delta - \kappa) < 0$ である。従

って、常に $\frac{d\pi(\theta^T)}{d\theta^T} < 0$ である。すなわち、 $\pi(\theta^T)$ は $\theta^T=1$ のときに最小値をとるが、

$$\pi(1) = \frac{\gamma + \delta}{2\gamma} = \frac{1}{2} + \frac{\delta}{2\gamma} > 1 \text{ となる。ここで最後の不等号は、} \delta > \gamma \text{ から得られる。}$$

さて、 a は0から1の間の値であるが、軸が1より大きいため、 a^2 の係数が正であることを考慮すると、 $F(a, \theta^T)$ は $a=1$ のとき最小値をとるが、 $F(1, \theta^T) > 0$ であるため、 $F(a, \theta^T) > 0$ である。

(証明終わり)

【注】

- 1) 松井(2002)のように、経済系の理論の中の模倣学習を仮定した進化ゲーム理論と生物系の進化ゲーム理論のみを進化ゲーム理論とよび、経済系の中で最適反応動学などを仮定した理論を社会

- ゲームとよぶ立場もある。しかし、本論文では、進化ゲーム理論を広い意味で使用する。
- 2) 進化ゲーム理論における「進化」とは、「変化」を意味し、「進歩」といった意味合いは含まれていない。
 - 3) 物質的利得の解釈としては、二通り考えられる。一つは、生物的側面に着目した解釈で、多くの子供をもつことを可能とする要因が物質的利得であるとする解釈である。この解釈では、食べ物など、子供を育てるのに必要な財を多く保有することが可能であるほど利得が高いとする。現代では、所得が高く子供を育てるのに必要な財を多く保有することが可能であっても、子供を多く持つとは限らないが、古代には、そのような要因が実際の子供の数を決める大きな要因で、あった可能性があるからである。もう一つは、経済的側面に着目した解釈で、市場価値で測った、財の保有量やサービスの消費量とするものである。
 - 4) 生物系進化ゲームでは、通常、子供の数が利得であり、これは必ずしも経済学でいうところの物質的利得とは一致しない。さらに、文化進化系のゲーム理論においても、生物系の進化ゲームの類推に従って、戦略や選好が次の世代にどの程度広まるかを利得と呼ぶこともある。しかし、本論文では、経済系の進化ゲーム理論に合わせ、利得を物質的利得の意味でのみ使用する。
 - 5) Weibull (1995, p.144) では、この性質を利得単調性 (payoff monotonicity) とよんでいる。
 - 6) ここで、教育は広い意味で用いており、自分の行動に関することを語るなどし、人に自分と同じ行動をとる誘引を与える行為一般をさす。
 - 7) この他、進化ゲーム理論ではないが、高増明・松井暁 (1999) のように、選好の変化を考慮する議論がある。
 - 8) ここで、多数派同調効果とよばれている効果は、Leibenstein (1950) のバンドワゴン効果とほぼ同一の効果である。多数派同調効果は、物質的利得が多少低くても、多数派に同調することによって精神的な効用が高まるとする効果である。バンドワゴン効果も同じ意味で使用されることが多いが、多数派と同じ行動をとることで物質的利得が上昇する場合についてもバンドワゴン効果という用語を用いる場合があるため、ここでは、バンドワゴン効果の代わりに多数派同調効果という言葉を用いる。
 - 9) このモデルについては Weibull (1995, p.158) に記述がある。
 - 10) 本来、確率的現象であるが、プレイヤーの人数が十分に大きい場合は、この仮定が近似的に成立する。
 - 11) 各戦略があげる利得は、確率変数であるが、ここでもプレイヤーの数が多く、戦略変更を検討する人の数も十分に大きい、あるいは、十分に多くの対戦をしていると仮定して、期待利得を用いた近似を行っている。このような近似は、進化ゲーム理論の動学モデルで、よく使われる方法であるが、近似である点には注意が必要である。
 - 12) 通常、経済系の進化ゲーム理論では、物質的利得と影響力が比例関係にあるとするのが一般的であるが、物質的利得に対する効用関数を想定し、限界効用逓減を仮定し、比例関係ではないとすることも可能である。しかし、このような仮定をした場合であっても、利得が大きいほど、影響力が大きいという利得単調性が仮定されている。
 - 13) ここで、C 戦略が多い場合には、多数派同調効果により C 戦略の影響力が増加するので、 $I^C(1)/I^D(1) > B^C(1)/B^D(1)$ である。一方、C 戦略が少なく、D 戦略が多い場合には、多数派同調効果により D 戦略の影響力が増す。よって、 $I^C(0)/I^D(0) < B^C(0)/B^D(0)$
 - 14) 集団安定と ESS は、少し異なる概念である。

【文献】

- Asch, S. E. 1956. "Studies of Independence and Conformity: A Minority of One Against a Unanimous Majority." *Psychological Monographs : General and Applied* 70 : 1-70.
- Axelrod, R. 1984. *The Evolution of Cooperation*. NY, Basic books.
- Bisin, A. & V. Thierry. 2001. "The Economics of Cultural Transmission and the Dynamics of Preferences." *Journal of Economic Theory* 97: 298-319.
- Boyd, R., and P.J. Richerson. 1985. *Culture and the Evolutionary*. Chicago : University of Chicago Press.
- Cho, I. and A. Matsui 2003. "Learning Aspiration in Repeated Games." mimeo.
- Friedman, D. 1991. "Evolutionary Games in Economics." *Econometrica* 59 : 637-66.

- Kandori, M., J.G. Mailath., and R. Rob, 1993. "Learning, Mutation and Long run equilibrium in games." *Econometrica* 61(1) : 29-56.
- Leibenstein, H. 1950. "Bandwagon, Snob, and Veblen Effects in the Theory of Consumers' Demand," *Quarterly Journal of Economics* 64: 183-207.
- 丸田利昌. 2002. 「進化ゲーム理論とは何か」 『経済セミナー』 12月号 : 70-77.
- 松井彰彦. 2002. 『慣習と規範の経済学』 東洋経済新報社.
- Maynard Smith, J. and G. R. Price. 1973. "The logic of animal conflict." *Nature* 246, 15-18.
- 七條達弘. 1998. 「時間遅れのある伝播モデル」 『理論と方法』 13(1) : 75-91.
- Shichijo, T. and J. Kobayashi. 2002. "Diffusion of Protestantism and Capitalism: Macro Dynamics of Weber's Micro Argument." Discussion Paper. Institute for the Study of Cooperative Relations, Utrecht University. Utrecht, Netherlands.
- 七條達弘・小林盾. 2003. 「宗教倫理と資本主義の発達：ウェーバー」 『社会学の古典理論』 印刷中.
- 高増明・松井暁. 1999. 『アナリティカル・マルキシズム』 ナカニシヤ出版.
- Weber, M. 1905. *Die Protestantische Ethik Und Der Geist Des Kapitalismus*. 大塚久雄訳 1989 『プロテスタンティズムの倫理と資本主義の精神』 岩波文庫.
- Weibull, J.W. 1995. *Evolutionary Game Theory*. London, The MIT Press.

【謝辞】

匿名の審査者から多くの有益のコメントを頂いた、ここに記して感謝いたします。本論文は、『理論と方法』（2003年 Vol.18 No.2 P169～183）に掲載された「文化進化系進化ゲーム理論による社会的ジレンマ分析」（七條達弘著）を数理社会学会の許可をえて転載したものである。

(受稿 2003年5月6日/掲載決定 2003年9月6日)

An Analysis of Social Dilemma with Evolutionary Game Theory of Cultural Evolution

Tatsuhiko SHICHIJO

Osaka Prefecture University

1-1 Gakuencho, Sakai city, Osaka 599-8531, Japan

There exists three categories in evolutionary game theory, evolutionary game theory of biology, that of economics, and that of cultural evolution. Evolutionary game theory of cultural evolution derives from evolutionary game theory of economics. In that of economics, they suppose strategy which earn better payoff would spread in the group. But, evolutionary game theory of cultural evolution can treat the situation in which the supposition isn't satisfied. It can treat the case in which there exists frequency dependent bias and effect of strategy manifestation. In this paper, we use this two situations to construct models which explain origin of corporation in social dilemma. One of these models, we show corporation can spread in social dilemma situation, even if it is not repeated game.

Keywords and phrases: evolutionary game theory, social dilemma, frequency dependence, strategy declaration, cultural evolution

(Received May 6, 2003/Accepted September 6, 2003)

秩序問題としての社会的ジレンマの一般性

——《二重の選択性》の視点から——

武藤 正義
(東京工業大学)

【要旨】

本稿の目的は、左古（1998）によって特殊な状況とされ、それゆえ秩序問題としての懸案性に疑問が投げかけられている社会的ジレンマが、じつはきわめて一般的な状況の構造であることを示すことにある。具体的にはまず、Luhmann（1972）の「二重の選択性」に依拠して、社会秩序を、特定の行為選択肢集合の範囲内にある相互行為そのものの成立として捉える。さらに、左古自身に依拠して、なんらかの理由で行為選択肢集合の偶有性を行為者が知覚したとき、この行為者に当の相互行為が行為選択肢集合というルールをもつ（規範的な）社会秩序として現れる、と考える。そして相互行為が価値を孕むとき、ルールから「逸脱しない／逸脱する」という各行為者によるメタ位の選択状況が、Dawes（1980）定義の社会的ジレンマとして見出せる。このとき、価値を孕む相互行為は遍在するゆえ、社会的ジレンマは一般的な状況の構造といえるのである。

キーワード：社会秩序，行為選択肢集合，ルール

1. はじめに

数理社会学者は、ゲーム理論を用いて、Parsons（1937=1974-89）のいうホッブズの秩序問題を「社会的ジレンマ」として定式化してきた¹。さしあたり社会的ジレンマとは、3人以上での囚人のジレンマのこととしておく²。このような秩序問題へのゲーム理論的アプローチのメリットとデメリットについては、盛山和夫が簡潔にまとめている。

ゲーム論的な定式化は、状況をきわめて特定の限定することによって公共の利益概念

¹ 盛山・海野（1991）参照。他には Runciman & Sen（1965）、Taylor（1987=1995）、Coleman（1990=2004: 11章）、土場（1992）、数土（2000, 2001）、大浦（2003）など。

² 社会的ジレンマは、抽象的な秩序問題だけでなく、もっと具体的な多くの社会問題、たとえばゴミ問題（中野 1996）、環境問題（船橋 1989）、交通問題（藤井 2003）などに共通にみいだせる構造のモデルとして利用されている。また、社会問題の解決にむけた社会運動のモデルとしても利用されている（佐藤 1998）。このように社会的ジレンマは、社会問題に複合的にかかわっており、この両研究分野の交流がすすんでいる。もっとも、社会的ジレンマは、Hardin（1968）の「共有地の悲劇」という社会問題に由来するから、この交流は自然な流れではある。

を適用しやすくし、そのように限定された課題に関する論理的な分析を可能にした、と位置づけることができる。と同時に、そこには、ゲーム論的アプローチの帰結がどこまで一般化できるかという問題が残されている。(盛山・海野 1991: 19, 傍点は引用者)

さらに左古輝人は、詳しくは後述するが、この限定性によってゲーム理論的アプローチが秩序問題の懸案性を大きく損なっていると考えている(左古 1998: 16)。

このように、社会的ジレンマは特殊な状況にすぎないと考えられてきた。しかし、じつは社会的ジレンマは、従来考えられてきたよりもはるかに一般的にみいだされる状況の構造なのである。本稿の目的は、このことを明らかにすることにある。

ただし本稿は、従来考えられてきたように社会的ジレンマを、社会の「起源」の問題としても、またそれとは対照的な「社会問題」としても考えない。本稿はゲーム理論とエスノメソドロジーにおいてそれぞれ別々に議論されてきた秩序問題を、統一的に理解できる枠組みを提示する。結論を先取りしていえば、社会秩序を「相互行為が遂行されることそれじたい」として考えることで、社会的ジレンマを相互行為のルールの成立問題として位置づけられるのである。つまり、社会的ジレンマは、いわばメタ位のゲームとして把握できる。

なお、社会問題研究を批判する意図はまったくない。ただ本稿は、いわゆる「社会問題」とどまらない社会的ジレンマ概念のもつ豊饒性と一般性を認識することにねらいがある。

本稿の構成は、以下のとおりである。2節では社会的ジレンマと秩序問題に対する先行研究をとりあげる。3節ではゲームの外部という観点からルールを考える。4節はまとめである。

2. 先行研究：社会的ジレンマと秩序問題

2.1 社会的ジレンマの定義

社会的ジレンマは、最も一般的には、「個人的合理性」と「社会的合理性」という二水準の合理性が乖離する状況とされる(木村 2002: 20)。ここで、社会的合理性は、平等性・公平性などでもありえるが、ふつうはパレート効率性として考えられている。

その一方、個人的合理性は、しばしば最適戦略として考えられている(行為選択肢は戦略とよばれる)。また、ゲーム理論では、だれもが最適戦略をとりあつた状態すなわちナッシュ均衡が、定常的に実現されると考える。したがって、ナッシュ均衡は個人的合理性の象徴である。ただし、ゲームには一般に複数のナッシュ均衡が存在する。よって、「すべてのナッシュ均衡がパレート非効率」、言い換えれば**効率的均衡がない状況**が、個人的合理性と社会的合理性の乖離する状況としての社会的ジレンマをうまく表現していると考えられている(木村 2002: 23)。

しかし、じっさいの多くの社会的ジレンマ研究では、「協力」と「非協力」とよばれる2つの選択肢しかないより限定的なゲームが用いられている。このゲームでは、「非協力」はいつでも「協力」より個人的にはよい結果をもたらすが、「非協力」を全員がとつた場合よりも「協力」を全員がとつた場合のほうがだれにとってもよい(Dawes 1980)。つまり、だれもが利己的に行動して非協力をとると、パレート非効率に陥る。本稿ではこの状況を「**Dawes 定義**の

社会的ジレンマ」とよぶ。有名な囚人のジレンマは、この状況の2人版である。

2.2 秩序問題としての社会的ジレンマに対する左古の批判

秩序問題とは、ともにもっともらしい「**自由な個人**」と「**社会秩序**」が両立しそうにないゆえに、それらをいかに両立させるのか、あるいは現にいかに両立しているのかを問う問題である（佐藤 1993: 134, 左古 1998: 6-7）。さしあたり、「自由な個人」は**可能な複数の行為選択肢**を、「社会秩序」は社会状態（＝行為の組）の**規則性**を意味するとしよう。ただし、規則性は、行為者が遵守すべきと思っている規則すなわちルールとは異なる、単なる定常性である。

上述したように、（二水準の合理性の）「乖離」の問題としての社会的ジレンマは、Parsons（1937=1974）のホブズ的秩序問題のゲーム理論的定式化として考えられてきた。しかし、左古（1998）はこのことに批判的である。左古の言い分を敷衍すればつぎのようになる。秩序問題は「乖離」のあるなしにかかわらず、自由な個人と社会秩序の双方を認めるならば、すべからく「切実」と思えるような問題である。しかし、秩序問題＝社会的ジレンマと考えるならば、しばしば現実に存在する「乖離」のない状況では、秩序問題がありえず、秩序問題を切実なものとして感じられなくなってしまう。よって、秩序問題を社会的ジレンマとしてみなすことは、秩序問題の懸案性を失わせる。

この左古の批判は、ゲーム理論家がなぜ社会的ジレンマとしての秩序問題を探求するのかという根拠をきちんとした形で示していないことに由来していると考えられる。無数の状況のうち、なぜ社会的ジレンマだけが問題にされるのか。結局、本稿の作業はこの問いに答えることにほかならない。結果として、きわめて限定的にみえる Dawes 定義の社会的ジレンマ（2人の場合には囚人のジレンマ）が、特別な意味をもつことがわかる。

2.3 秩序問題への意味アプローチと切断アプローチ

ゲーム理論的アプローチを批判する左古自身は、秩序問題に対するルーマンとライターによる「意味アプローチ」（Luhmann 1981=1985, Leiter 1980=1987）と「ホブズ的アプローチ」（Hobbes 1651=1971）を結びつけることで、秩序問題の（解決ではなく）解明を試みている。

● 意味アプローチ

左古（1998: 31）によれば、「意味アプローチ」（ルーマンおよびライター）にとって、「自由な個人」とは、物事を多様に意味づける、**意味を解釈する個人**である。意味は、事象に対して、常に過剰である。「ゴミを路上に捨てる」という行動には、なにがゴミか、どこが路上か、といったさまざまな解釈の余地がある。つまり、私たちは事象をさまざまに解釈できる存在なのである。

ところが、私たちは日常的には、「ゴミを路上に捨てる」という行動が単一の意味をもって信憑している。したがって、意味アプローチにとって、「社会秩序」とは、行為者自身が有している、他者の行動が**単一の意味をもつという信憑**にほかならない。よって、ここでの秩序問題とは、本来的に多様な意味づけをしよう個々人が、他者の行動に単一の意味を付与するのはいかにして可能か、ということである。

● 切断的解明

左古によれば、意味アプローチ (Leiter 1980=1987) の想定する「意味を解釈する個人」とは、「日常的悟性の持ち主」すなわち日常的な行為者であるという。しかし左古は、これに反対する。日常的悟性の持ち主は、「本来可能なはずの複数で過剰な意味」を意識していないからである (左古 1998: 32)。

行為者が、自身を含む当の相互行為を認識し解釈するのは、端的には不可能なはずだ。なぜなら、認識主体が認識対象でもあるという「循環」があるからだ。行為者が自身の相互行為を認識するには、この「循環」が切断されていなければならない³。この切断によってはじめて行為者は、「複数で過剰な意味」を意識するようになる。つまり、「自由な個人」すなわち意味アプローチのいう「意味を解釈する個人」とは、「**循環**」から**切断された個人**のはずである。ただし、そのような切断がいかんにして可能となるのかは自明ではない。

左古はこの切断には2つのタイプがあることを示す (ibid: 181)。ひとつは、いわば**単独的**なもので、現実社会を偶有的なものとする19世紀以降の社会学者の体験である (行為者は社会学者であってもよい)。もうひとつは、いわば**集合的** (強制的) なもので、17世紀イギリスにおける「内乱」という現実の社会秩序の崩壊を受けてのホブズズの体験である。ホブズズにおけるこの切断は、「集団が解体され崩壊する」事態であり、同時にあらゆる行為可能性が開かれる (ibid: 179)。これを左古は「恐慌」とよんでいる (ibid: 177)。この恐慌の只中では、人は社会秩序を「藁をも掴む」気持ちで信仰し、構想しつづけるしかない (ibid: 193)。そして、このような**恐慌への対処**こそが、当初の秩序問題だったのである (ibid: 193)。なお、単独的な切断、集合的な切断は本稿の言い方であって左古のものではない。

以上を規則と規則性という用語を用いて、言い換えてみよう。「循環」のもとにある行為者は、ふつう社会秩序を規則としても規則性としても意識していない (左古 1995)。つまり、「循環」のもとにある行為者にとって、社会秩序は「自明な前提」である。一方、「循環」から切断された行為者は、まず、社会秩序を当為である「規則」として認識し、ついで、「循環」の只中にいた過去の自分にとっては社会秩序が当為を含まない「規則性」であったことを、事後的に認識する (ただしこのような認識は、行為者にとっておぼろげなものかもしれない)。これは、意味アプローチのいう社会秩序 = 「単一の意味への信憑」という同一平面的な事柄を、存在と当為という二平面に置き直したものといえよう (ibid: 156-7)。以上の左古による秩序問題の解明を、本稿では「切断的解明」とよんでおく。

3. 「切断的解明」のゲーム理論的解釈

3.1 行為選択肢集合の偶有性への知覚

● ゲームの外部

³ 左古の用語系では、ここでの行為者は「当事者」といわれる。これは、左古が行為者の概念を、後に本稿でいうゲームの外部を意識した者に限定しているためである。

前節にみた左古の切断アプローチは、じつは以下のようにして、ゲーム理論的に解釈することができる。日常的に私たちは、無愛想でもなければ、「おはよう」といわれれば「おはよう」といい返す。このとき私たちは、可能な行動全体をいちいち考えたりせず、特定の行動をある**自明な**行為選択肢集合の下で選択することで(たとえば、声の大きさなどの調整範囲において)相互行為している。

したがって、「おはよう」といわれて、「いただきます」といい返したりすることは、可能ではあってもふつうは思いもよらない。このとき、このようなほかの可能な行動への単独的な「気づき」、あるいは実際にそうされたことでの強制された認知は、「循環」を切断するものである。4. つまり、この**行為選択肢集合の偶有性**の知覚によって、相互行為の中にいるはずの行為者は、あたかもその相互行為の外部に立つかのようにして、状況を多様に意味づけ、意味を解釈する自由な個人になる⁵。

行為選択肢集合は、行為の前提となり、行為の前後で不変なものとしての構造、すなわち「ゲームのルール」の要素として与えられる⁶。そして、ゲーム(のルール)は基本的に、①行為者(プレイヤー)、②行為選択肢集合(戦略集合)、③利得関数(利害関係)の3つ組で与えられる(岡田 1996: 20)。注目すべきは、行為選択肢集合が予め与えられるということは、ゲームのルールの外、すなわち**ゲームの外部**が存在するということである。これはルーマンのいう「**二重の選択性**」に相当する(Luhmann 1972=1977: 48, 佐藤 1988, 石原 1993)。

● 外部のある広義ゲームとしての社会秩序

行為者自身が、自分たちの行為選択肢集合を偶有的なものとして受け止めるとは、ゲームの外部を意識することにほかならない。このとき、意味アプローチのいう社会秩序=単一の意味への信憑とは、所与のゲームのルール(利得関数と行為選択肢集合)への盲従あるいは尊重として解釈できる。ここでいう**盲従**とは、ゲームの外部を意識しないために自動的にルールの範囲内で行為することであり、**尊重**とは、その外部を意識してなお、所与のゲームのルールの範囲内で行為することである。行為者が「循環」の内部にいる場合が盲従であり、そこから切断された場合が、尊重である(尊重は明らかに当為である)。

「循環」から切断された行為者は規則としての社会秩序を見出すが、この社会秩序は所与としてのゲームそのものであると解釈できる。そこで、**社会秩序とは、外部のある広義ゲームが営まれること**、と定義する。ここでいう「広義ゲーム」とは、①行為者と②行為選択肢集合の組である(この組が広義ゲームのルールである)。つまり、ふつうのゲームと異なり、利得関数を欠いてよい。注意点を3点あげる。

4 この「切断」は、今田(1986: 229)がいうように、自己の行為の「意図せざる結果」によって主にもたらされるだろう。なお、左古(1995)によれば、意図せざる結果によって、デュルケムという当人には動かしがたい「社会的事実」(社会秩序)が、意図した当人に顕在化する。

5 今田(1986: 264)の自省的行為における「規則に従うことの意味を考える」ことは、この行為選択肢集合の偶有性を知覚することを前提にしていると考えられる。

6 宮台(1985)は、行為選択肢集合を、「選択領域」とよんでいる。また、佐藤(1988)は、同じものを「被構成選択肢集合」とよんでいる。

1. ゲーム理論の利得関数はかなりきつい仮定であるから、これを必ずしも必要としない広義ゲームは、単なるゲームに比べ、その扱う対象が大幅に拡大する。たとえば、利得とは関係がなさそうな「おはよう」という挨拶行為がうまく扱える。つまり、外部のある広義ゲームは、なんでもありというわけではない日常的な相互行為一般に一致する。
2. 社会秩序を外部のある広義ゲーム（＝日常的な相互行為）そのものとみなすということは、社会秩序をさまざまレベルで適用できる操作的な概念として扱うことを意味する。ホッブズは、社会秩序を「平和」とみなしたが、エスノメソドロジーは、社会秩序を「日常性」とみなしている（Garfinkel 1963）。これらを本稿の用語でいえば、平和は国家権力以外の暴力や欺瞞を禁止した広義ゲームであり、日常生活は、さまざまな生活規則からなる広義ゲームである。このように、外部のある広義ゲームという概念を用いることで、社会秩序概念全体をカバーすることができる。
3. だれがプレイヤーなのか、というメンバーシップの問題は、社会階層のような大規模な社会秩序にとっては重要だが、これは本稿の課題をはるかに超えるので所与としておく。したがって、本稿で扱う**広義ゲームのルールは、行為選択肢集合のみからなる**。よって、広義ゲームの外部とは、当該の行為選択肢集合の外部を意味する。なお、外部のない広義ゲームを考えることもできるが、これについては3.3節で述べる。

さて、意味アプローチ的にいえば、時間を分析的に考慮しないとき、社会秩序は、行為選択肢集合が役割カテゴリーのような「意味」によって限定されていることとして記述できる。さらに時間を考慮すれば、社会秩序は、当該の行為選択肢集合の**各行為に対して、特定の行為選択肢集合を指定する**ようなルールすなわち**接続規則**が見出せるもの（便宜的に「コミュニケーション」とよんでおく）として記述できる⁷。しかし、このコミュニケーションも、利得が明示されない「展開型広義ゲーム」としてゲーム理論的に解釈できる。つまり、本稿における「行為選択肢集合の限定」は、この行為の接続規則をも意味するものとする。

付言しておくが、行為選択肢集合は刻々と変化するのだが、その背景には接続規則があり、このような構造が、一瞬で消滅する行為に対してその意味（社会秩序）を持続させる前提になっている。しかし広義ゲームの行為選択肢集合そのものは、瞬間的な行為の前後で固定されるだけで、行為毎につきの行為選択肢集合が開示されるがゆえに、このコミュニケーションも、その断面である行為選択肢集合も、ほとんど無限の形態をとりうる。したがって、他者の行為選択肢集合とそれへの私の予想が一致するというようなことが問題なのではなくて、単に行為選択肢集合という枠の存在がここでは問題なのである。もちろん、枠そのものはコミュニケーションの中でつねに変化する。しかしながら、その行為の瞬間ごとの枠が行為と社会秩序を意

⁷ 本稿のコミュニケーション概念は、いわば1次的なもので、「なにが行為であるかを定めるのもまたコミュニケーションである」というときのコミュニケーション概念（1次的なコミュニケーションに言及するいわば2次的コミュニケーション）とは次元が異なる。

味あるものになっているのである。

なお、通常のゲーム理論では、一般に、社会秩序をゲーム内部の**ナッシュ均衡**として考える（鈴木 1999）。たとえば、寡占市場における均衡がそうだ。しかしここでは、既にゲームという構造、すなわち法律や競争倫理によって整備された市場という社会秩序が前提されている。たとえば、ライバル企業の工場を爆破するといった行為は禁止されている。社会的には、そのような寡占市場というゲームそのものを偶発的な社会秩序として捉え直す必要がある。

ところで、定義上、社会秩序（＝外部のある広義ゲーム）は広義ゲームのルールが盲従ないし尊重されることによって支えられている⁸。したがって、社会秩序がいかんにして可能かと問うことは、広義ゲームそのものがいかんにして可能か、つまり**広義ゲームのルールはいかにして可能か**と問うことに等しい。次節ではこのことを議論しよう。

3.2 単一の意味という信憑と社会秩序の崩壊

Durkheim (1895=1978), Luhmann (1972=1986), 橋爪 (1985) など多くの社会学者が、ルールに着目してきた。ルールは憲法、法律、企業の定款、約款など、多くの場合、明文化されている。礼儀作法のマニュアルなどもルールの明文化だろう。また、スポーツや遊戯のゲームなども明文化された公式のルールというものがある。

このように、ルールは明文化され、流布されることで、「公式的なルールの知識」（佐藤 1988）となる⁹。社会のなかの行為者は、これらの公式のルールの知識を尊重あるいは盲従する。具体的には、他者の行為の意味を同定したり、自分の行為がどうみられるかを予期したりするさいにこのルールの知識が使われる（他者が主観的に従う行為規則を知ることはできないため）。すくなくとも、このルールの知識は、Garfinkel (1963: 209) のいう「構成的期待」を強化する¹⁰。それゆえ、たとえば私たちは、医者や教師のようなものに単一の意味があるかのように信憑することができる。この**単一性の信憑**によってはじめてルールはルールとして機能し、広義ゲームが成立する。

たとえば、**ジャンケン**という（広義）ゲームでの行為選択肢集合は{グー、チョキ、パー}の3つであり、それ以外のたとえば「指3本」とか「殴りかかる」というのはルール違反であ

⁸ 盛山 (1991: 26) は規範すなわちルールにはすくなくともつぎの3つのタイプがあると述べている。

(1) 内面的な命令として、あるいは外面的なサンクションによって行為を統制するもの。

(2) 自然的あるいは社会的世界を概念的に整除し、意味づけるもの。

(3) 個人行為のあるいは社会状態の理想、価値、目標を与えるもの。

ゲーム理論のゲームのルールは、常に(1)でも(2)でも(3)でもあるが、広義ゲームのルールは(3)が除かれる場合がある。

⁹ 現実にはルール対ルールという象徴闘争があるが、その闘争もまたなんらかのルールに制約されている。

¹⁰ 構成的期待とは、(a) 可能な選択のうちから・・・を期待する、(b) それが自分に妥当するのと同様に、他者にも妥当すると期待する、(c) こちらが、それが他者にも妥当すると期待しているように、「他者もそれがこちらに妥当すると期待している」と期待する、という3つの期待のセットである（Garfinkel 1963: 209, 浜 1997: 94）。

る。それらはゲームの外部である。もっとも厳密には、他者の主観的な行為選択肢集合が本当に{グー, チョキ, パー}なのかは知ることはできない。もしかすると「指3本」も入っているのだが、たんに戦略的に使わないだけなのかもしれない。しかし、このような可能性は無数にあるから、結局、わたしたちは他者の行為を{グー, チョキ, パー}という公式の規則的知識によってしか解釈できない。よって、この公式の規則的知識＝**広義ゲームのルールが**、ジャンケンという**単一の公式的な意味を構成する**。すなわちこの社会秩序を構成する。したがって、この場面でもしも「指3本」をすれば、このジャンケンという単一の意味の信憑すなわちこの場面での社会秩序は崩壊してしまう。

もっとも、エスノメソドロジーの違背実験にみられるように、「指3本」が構成的期待による人びとの絶えざる秩序化のプロセスによって、ジャンケンに似た新しいゲーム（新秩序）を生む可能性はある（Garfinkel 1963, 浜 1997）。しかしこれは異なる社会秩序（ゲーム）への移行が成功した場合であり、失敗した場合には、ルール違反によって外部のある広義ゲームの秩序は崩壊する。たとえば、子どもの遊びは、ルールが曖昧で固定されないことから、しばしばこの新秩序（新しいゲーム）をつくりだすこともあるが、それに失敗してケンカという紛争がはじまることもよくある。

なお、厳密には、意味の単一性への信憑すなわちルールの同一性は、暫定的なものである。クリプキが述べているように、つぎのことは首肯できるだろう、すなわち、「私とあなたが同じルールに従っていれば、恒常的な不一致はない」（Kripke 1982=1983: 184 参考）。対偶をとったつぎのことも首肯できるだろう、すなわち「私とあなたの間になんらかの恒常的な不一致があれば、同じルールに従ってはいない」。同じルールに従っていることは、じつはどうしても確認できない。しかし、不一致がなければ違うルールに従っていることも確認できない。そこで論理的には、不一致がないかぎり、「わたしとあなたは、暫定的に同じルールに従う」としておくしかない（ibid: 186 参考）。というのは、ルールが同じようにみえても本当は違うのだとすれば、振る舞い方がわからなくなり、それは社会秩序の崩壊にほかならないからだ。しかし、この意味で、ルールは、有用なのである（ibid: 180）。この有用性は、3.4 節で大きな役割を演じる。

3.3 メタ位のゲームとしてのルール・ゲーム：ゲームの外部のあるなしの意味

● 外部のない広義ゲーム

さて、ジャンケンでの「指3本」はルール違反であった。同様に、市場という（広義）ゲームの秩序は、商品の値段をいくらにするかとか、商品をどれくらい生産するかといったことが行為選択肢集合を構成するため、ライバル企業の工場を爆破するといった行為はルール違反であった。このように、ゲーム理論によって抽象された社会のある状況のモデルには、ふつつ抽象されたゲームの外部がある。

ところが、外部をもたない（広義）ゲームというものを考えることもできる。それは典型的には、ある行為を**する／しない**、という二項対立の行為選択肢からなる場合である。たとえば、共同の研究室を掃除するか／しないか、飲み会に行くか／行かないか、などである。このよう

な状況はきわめてありふれている。

しかし、外部のない広義ゲームでは、失格とか、反則とか、ゲームから降りるといったことがありえない。したがって、ルールの盲従も尊重もなく、だれもルールから逸脱することはできない。このようなルールは、逸脱することもできるような私たちの日常的なルールのニュアンスとは異なっており、むしろ自然法則のようなものである。一方、外部のある広義ゲームとしての社会秩序は、「する／しない」という次元よりはるかに複雑なシステム（ルールの組）である。したがって、外部のある広義ゲームとは異なり、外部のない広義ゲームは、自然的な秩序ではあっても、社会秩序とはいいいがたい。しかし、「外部のないゲーム」はつぎにみるルール・ゲームにおいて特別な意味をもつ。

● ルール・ゲーム

ジャンケンでは、3つの選択肢{グー、チョキ、パー}以外のあらゆる行動はルール違反であった。したがって、このゲームが現実になされるときには、行為者はじつは、{グー、チョキ、パー}以外の選択はとらないという選択、すなわちルール違反をしないという暗黙の選択をしていることになる。その選択肢は、ルールから「逸脱しない／逸脱する」というものである。このことはあらゆる外部のある広義ゲームについていえる。

なお、ルールに従っているかどうかは他者が判断することなので、積極的にルールに従うことはできない (Kripke 1982=1983: 172-4)。けれども、禁止されていることを行うことで積極的にルールから「逸脱する」ことはできる。したがって、ルールから「逸脱しない」こともできる。逸脱しようとしたにもかかわらず、他者からみればルールに従っているようにみえることもありうるが、無規制の暴力や欺瞞は、常にルール違反となる。なぜなら、それらはほぼ常にどんな外部のある広義ゲームでも禁止されているから。あるいは脈絡なく振舞えば、どんなルールにも従っていないようにみえるだろう。

「逸脱しない／逸脱する」という暗黙のメタな選択は、広義ゲームの最中ではふつうは意識されることはなく、ルールは盲従される。言い換えれば、「循環」から切断された者だけがこの選択をなす（幼児はルールを知らないから逸脱を選択することはできない）。とはいえ、この選択は、盲従まで含めれば、あらゆる「外部のある広義ゲーム」が随伴している選択である。それに、自分が「循環」から切断されたのなら、他者もまた「循環」から切断されているかもしれないのである。

よって「逸脱しない／逸脱する」というメタな選択は、外部のある広義ゲームの下にある行為者のだれに対してもあてはまる。したがって、たとえば2人なら2×2ゲームとして表現することができる¹¹。この外部のある広義ゲームに対してメタ位にあるこのゲームを**ルール・ゲーム**とよぶ。後述するが、ルール・ゲームには利得がある。このように、ルール・ゲームは、ルールを「**偶有化**」し、元の広義ゲームをひとつの状態と違って「**縮約**」することで元の広義ゲームから抽出される（表1参照）。この縮約という操作ゆえに、元の広義ゲームの利得関数

¹¹ 志田・永田(1991)は制度内ゲーム（1次ゲーム）と制度をつくるゲーム（2次ゲーム）という枠組みを提案している。これは、本稿のアイディアと近い。しかし、かれらは、ルールじたいは常に従われるものと仮定している点で本稿とは異なる。

はどうでもよいものになる。また、明らかに、ルール・ゲームは、外部のないゲームであり、ルール・ゲームのルール・ゲームはありえない。ルール・ゲームの「ゲームのルール」は自然法則的なのである。

ただし、ルール・ゲームは、外部のある広義ゲームが随伴する「二重の選択性」において、行為選択肢集合そのものを選択の対象とするわけではない（それはあまりに認知的負荷が大きい）。ルール・ゲームにおける選択肢は、当該の行為選択肢集合それじたいを受け入れるか（逸脱しない）、拒絶するか（逸脱する）である。

結局、社会秩序＝外部のある広義ゲームは、メタな次元で外部のないルール・ゲームをもつ。それゆえ、ルール・ゲームはあらゆる社会秩序のメタ位にみいだされる普遍的なゲームなのである。

表1 広義ゲームの偶有化と縮約
広義ゲーム（例. ジャンケン）

	グー	チョキ	パー		
グー	0, 0	1, -1	-1, 1		
チョキ	-1, 1	0, 0	1, -1		
パー	1, -1	-1, 1	0, 0		
	↓ 偶有化				
	グー	チョキ	パー	指3本	その他
グー	0, 0	1, -1	-1, 1		
チョキ	-1, 1	0, 0	1, -1		
パー	1, -1	-1, 1	0, 0		
指3本					
その他					
	↓ 縮約				
ルール・ゲーム					
	逸脱しない		逸脱する		
逸脱しない	x, x		y, z		
逸脱する	z, y		w, w		

注 (3.4 節). 公理 1: $x > w$, 公理 2: $x > y, z > w$, 公理 3: $w > y$

注. 広義ゲームの利得が与えられていなくても、偶有化・縮約後のルール・ゲームでは選好順序が考えられる。

3.4 保証ゲームと囚人のジレンマ：遍在する2つのルール・ゲーム

● ルール・ゲームの構造

ルール・ゲームは元のゲームのメタ位にあるため、金銭のような基数的な利得尺度を想定することは難しい。また、ルール・ゲームの利得表のセルは、多くの社会状態を抽象したものであるから、一意的に利得を決めることは難しい。それゆえ、ルール・ゲームの利得は、**日常的な合理性**によって推論される抽象的な選好順序関係（**合理的選好**とよぶ）と考えるのが自然だろう¹² ¹³。このことは、ルール・ゲームが、個々人の趣味や嗜好を超えたところにあることを意味する。したがって、以下のルール・ゲームの公理は、個々人の明らかな能力差がない場合には、だれにでもあてはまると考えてよいだろう。

ルール・ゲームにおける個々人の選好順序に、日常的な合理性に照らして妥当と思われるつぎの公理をおく¹⁴。簡単のため、本稿では2人ゲームの場合のみを考えよう。

公理 1 互いに逸脱するよりは、互いに逸脱しないほうがよい。

公理 2 相手には逸脱しないでほしい。

公理 3 相手が逸脱するのであれば、自分も逸脱する。

公理 1 について。これは、ルールがもつ有用性の一側面である。互いに逸脱するとは、ルールが事実上存在しない事態である。もしも、公理 1 がなければ、社会秩序よりもなんでもありの無法状態（紛争）のほうがよいという個人が許容される。個々人の趣味を考えれば、そのような人はたしかにいるかもしれない。しかし、ルールは、単に平和だけではなく、たとえばスポーツ、市場競争、組織内行動、友達つきあい、科学、芸術、恋愛、家族生活などさまざまな

¹² ここでいう「日常的な合理性」と左古（1998）がいう「日常的悟性」とは関係がない。「循環」からの切断それじたいは非日常的である。しかし、ひとたびそれがなされ、それを位置づけるときに行為者が用いるであろう合理性が、日常生活世界に依拠したものである場合を指して「日常的な合理性」という用語を用いた。

¹³ 日常的な合理性は、教育という規律訓練で形成されるルールという側面もあるが、外部のある広義ゲームのルールではない。つまり日常的な合理性は、「逸脱することが潜在的に可能なルール」ではない。もしも日常的な合理性から故意に逸脱しようとするれば、それが故意であるがゆえに日常的な合理性の圏内にある。日常的な合理性から恒常的に逃れられるのは、合理性の「能力不足」のみである。具体的には、これはいわゆる「自己決定能力」の不足であり、幼児などが該当する。行為とは、選択であり（桜井 1991、石原 1993）、選択は思慮されたものである以上、合理性と無縁ではない。なお、ゲーム理論が「繰り返しゲーム」で想定するような超合理性＝能力過剰は、日常的な合理性とはいっけん一致しないが、これは日常的な合理性によって単純な記号操作を忍耐強く積み重ねていくことであり、つまり日常的な合理性の途方もない蓄積である。しかし、その蓄積は日常的にはとらえられないから、これを指して、「日常的でない合理性」とよんでよいだろう。高等数学や哲学の体系なども同様である。

¹⁴ ルールは利得関数を欠きうる「広義ゲームの行為選択肢集合」として定義したものの、それはゲームの内部でのルールの相にすぎず、当のゲームの外部からの相を規定することができる。

事柄それじたい（＝社会秩序）を可能にする。もちろんこのルールは刻々と変化してもよい。社会に生きる者は、内乱状態でなければ、社会秩序のもとに生きており、それを否定し、内乱を選好することは自己否定であり、日常的な合理性に反する。

公理2について。これも、ルールがもつ有用性の一側面である。ポイントは、自分自身は除かれているということだ。もしも公理2がなければ、相手のあらゆる可能性を考慮に入れなければならない。これは大きな認知的負担であり、かつじっさいに相手によって自分が危害にさらされる可能性がある。

公理3について。これは、ルールがもつ社会性である。ルールは、従うべきものである。しかし、日常的な合理性の持ち主は、ルールに従うことそれじたいが目的であるような病的に硬直した存在ではない。ルールは従われることで使われ、事柄を生ぜしめるための手段である。だから、日常的な合理性の持ち主は、自分以外のだれもが逸脱するようなルール——それは事柄を生ぜしめない——に従おうとはしない。つまり、遵法意識という規範とは別に、このような合理的選好が存在する。より詳しくみてみよう。逸脱しないこと（＝ルールに従おうとすること）は、それじたいでは行為集合の制限、つまり自由の制限である。したがって、自分だけが制限され、相手が無制限であれば、この2人のあいだでの社会秩序はすでに崩壊しており、逸脱しないことは無駄であり、単なる自由の損失にすぎない。いいかえれば、2人の場合、両者が逸脱しないことではじめて社会秩序（広義ゲーム）は成立するのであるから、片方でも逸脱すれば、もはやもう一方が逸脱しない意味がなくなってしまうのである。

以上の公理1,2,3をみたすルール・ゲームは、両行為者が対称な場合、表2の2つの著名なゲームのどちらかになる（表1で、 $x > w > y$ と $z > w$ より、「保障ゲーム」 $x > z > w > y$ か「囚人のジレンマ」 $z > x > w > y$ が成立）。数字は選好順序を表す（大きいほうがよい）。したがって、利得の数値としての大きさは意味をもたない。また、ルール・ゲームは、所与のゲームを縮約したものだから、利得表の各セルは、社会状態の集合であり、単一の社会状態を表すわけではない。網掛けのセルは元の広義ゲームを表す。

表2 2つのルール・ゲーム

		保証ゲーム		囚人のジレンマ	
		逸脱しない	逸脱する	逸脱しない	逸脱する
逸脱しない		4, 4	1, 3	3, 3	1, 4
逸脱する		3, 1	2, 2	4, 1	2, 2

保証ゲームでは、両行為者が逸脱しない、社会秩序の蓋然性が高い状態がルール・ゲームのナッシュ均衡になっている。この場合、いったん両者がルールに従えば（厳密には互いに相手に従っていることを認めれば）、そこから両者は逸脱しにくい。たとえば、ジャンケンを単なるゲームとして楽しもうとすれば、ルールに違反してもなにも得るところはないから、ルールはいったん成立すればいわば自然に守られる（自己の合理的選好を高めるように行動する仕方を「自然」とよぼう）。ここでは一度成立したルールは、それがルールであることはほとんど意識にのぼらなくなる。つまり元のゲームのルールは、盲従されやすい。言語の文法や共同生活の暗黙の規則はこのようなルールだろう。このようなルールは、ルール違反に対する制裁を

考える必要がない。したがって多くの場合、ルールを明示する必要もなくなるだろう（だからといって常にルールが曖昧なわけではない、たとえばジャンケンのように）。

囚人のジレンマでは、両行為者が逸脱しない状態がルール・ゲームのナッシュ均衡になっていない。ここでは、ルールは自然には従われない。この乖離を解決することが、いうまでもなく、社会的ジレンマの問題であり、研究課題とされてきた。たとえば、ジャンケンに勝利することがたんにゲームを楽しむ以上に大きな利得がついてくる場合、相手にバレないような「あとだし」をすることなどが合理的になってくる。また、競技スポーツではよくドーピングが問題になる。ドーピング禁止という明確なルールの背景には、それが意識されなければ、つまり自然にはドーピングを使ってしまうという合理的選好の構造がある。このように、囚人のジレンマ的な選好構造では、ルールは明示され、かつそれに違反した場合には制度的な制裁が設けられていることが多い。

なお、うえでは基本的に利己的な個人を想定している。このことは、行為に高度な予測可能性を与え、秩序問題を矮小化しているのかもしれない（左古 1998: 16）。この点でたしかに、ホップズは悪意をもったり、羨望をもったり、優越感にひたる虚栄心などの**動機**をもつ個人を想定していた。しかし、じつは、このような自己の優越を求める個人どうしでは、保証ゲームは、囚人のジレンマのようになる（武藤 2004）。この感情が根深いものであるならば、囚人のジレンマすなわち社会的ジレンマもまた特別な意味があるのである。

このように、外部のある広義ゲームのルールの満たすべき妥当な性質を考えていくと、結局、このような2つのよく知られたメタ位のゲームが抽出できることがわかった¹⁵。つまり、秩序問題を広義ゲームのルールの成立問題として考えていくと、保障ゲームとDawes定義の社会的ジレンマに帰着するのである¹⁶。ここまでで既に、社会的ジレンマの一般性は十分に明らかだろう。

しかし、ジャンケンの例で示したように、保証ゲームか社会的ジレンマかは元の広義ゲームの孕む価値の有無に依存している。特に、所与の広義ゲームが単なる遊戯ではなくて、財や貨幣はもちろん、時間、健康、愛情といったさまざまな**価値**を孕む場合、メタ位のルール・ゲームは、社会的ジレンマの様相を帯びてくる。つまり、もとの広義ゲームの利得関数がよくわからなくても、外部のある広義のゲームが実質的な価値を含んでいる場合には、社会的ジレンマが潜んでいるのである。社会的ジレンマは、価値が絡む状況において、きわめて一般的に存在するのである。

4. 結論

¹⁵ 森村(1987)は、ホップズの自然状態が保証ゲームないし囚人のジレンマであると論じている。しかし、本稿は、社会秩序を外部のある広義ゲームとする以上、国家以前の自然状態だけでなく、あらゆる社会秩序にこの構造が潜在することを主張する。

¹⁶ 数土(2000)は本稿と同様に、ルールに従うか否かのゲームの表現としての社会的ジレンマを考えている。しかし、ルールが随伴するルール・ゲームは保証ゲームである可能性がある。ただし、本稿は数土のこのアイデアを二重の選択性に照らして陽表化し、その意味を検討したものとしても位置づけられよう。

本稿の内容をまとめておこう。社会秩序のうちにある行為者は、ふつう当の社会秩序を規則としても、規則性としても意識していない(左古 1995)。それは自明すぎるのである。この事態を左古は「循環」とよんだ。なんらかの理由でそのような「循環」から切断された行為者は、まず規則を見出し、ついでそれが意識される前の段階としての規則性を間接的に見出す。この認知の順序ゆえに、社会秩序は、当の行為者の認識にとっては規則という当為として現れるのだった。

この切断という事態は、行為者自身による「二重の選択性」の自覚、すなわち当の行為者が所与の選択肢集合の偶有性を自覚することとして解釈できた。そこで本稿では、社会秩序を、利得関数を欠いていてもよい「外部のある広義ゲーム」すなわち日常的な相互行為そのものとして一般的に定義した。そして、外部のある広義ゲームのルールを、偶有化し、縮約することで、ルール・ゲームなる概念を導入した。このルール・ゲームは、保証ゲームかまたは社会的ジレンマとなるが、それに価値が絡む場合、すなわち重要な相互行為は、社会的ジレンマになる傾向が強い。こうして、社会的ジレンマの一般性が明らかにされ、秩序問題を社会的ジレンマとみなす正当性が示された。

なお、本稿は、「社会的ジレンマ」と「二重の選択性」をルール概念によって架橋し、この2つのよく知られた概念を関係づけたともいえよう。

さいごに、今後の課題を述べたい。本稿では、ルールを所与として考えてきた。つまり、社会秩序＝構造(行為の前後で不変なもの)と考えてきた。しかし、近代社会では、実定法として、ルールは人為的に作りだされ、あるいは変更される。スポーツやゲームは考案される。つまり、ルールはダイナミズムをもつ。同時に、さまざまな役割の意味は変わっていくし、作りだされてもいく。このようなルールのダイナミズムをルール・ゲームの視角から探求していくことが必要だろう。

【文献】

- Coleman, James S., 1990, *Foundations of Social Theory*, Harvard University Press. (=2004, 久慈利武訳『社会理論の基礎(上)』青木書店.)
- Dawes, Robyn. M. 1980. "Social Dilemmas" *Annual Review of Psychology*. 31:169-193.
- 土場学, 1992, 「功利主義的社会理論と秩序問題: ホッブズの秩序問題の終焉」『社会学研究』59: 117-141.
- Durkheim, Emile, 1893, *De la division du travail social*, PUF, 1960 (=1971. 田原音和訳, 『社会分業論』青木書店.)
- 藤井聡, 2003, 『社会的ジレンマの処方箋』ナカニシヤ出版.
- 船橋晴俊, 1989, 「「社会的ジレンマ」としての環境問題」『社会労働研究』35(3/4): 23-50.
- Garfinkel, Harold, 1963, "A Conception of, and Experiments with, Trust' as a Condition of Stable Concerted Actions", O. J. Harvey, ed., *Motivation and Social Interaction*, Ronald Press.
- Hardin, Garrett, 1968, "The Tragedy of Commons", *Science*, 162:1243-1248.
- 浜日出夫, 1997, 「「共通価値」から「信頼」へ: 秩序問題のパラダイム転換」駒井洋編『社会知のフロンティア』新曜社: 82-106.
- 橋爪大三郎, 1985, 『言語ゲームと社会理論: ヴィトゲンシュタイン・ハート・ルーマン』勁草書房.
- Hobbes, T. 1651. *Leviathan, or the Matter, Forme, and Power of a Common-Wealth, Ecclesiasticall and Civil*. → 1965. Clarendon. (永井道雄ほか訳. 1971. 『リヴァイアサン』世界の名著 23. 中央公論社.)

- 今田高俊, 1986, 『自己組織性』 創文社.
- 石原英樹, 1993, 「「選択」概念の再建に向けて」『ソシオロギス』 17: 202-214.
- 木村邦博, 2002, 『大集団のジレンマ』 ミネルヴァ書房.
- Kripke, Saul A., 1982. *Wittgenstein on Rules and Private Language*, Oxford: Basil Blackwell. (=1983, 黒崎宏
訳『ヴィトゲンシュタインのパラドックス』 産業図書.)
- Leiter, Kenneth, 1980, *A Primer on Ethnomethodology*, Oxford University Press. (=1987, 高山眞知子訳『エ
スノメソドロジーとは何か』 新曜社.)
- Luhmann, Niklas, 1972, *Rechtssoziologie*, Rowohlt Taschenbuch. (=1977, 村上純一・六本佳平訳『法社会
学』 岩波書店.)
- Luhmann, Niklas, 1981, “Wie ist soziale Ordnung möglich,” aus *Gesellschafts-struktur und Semantik*, Suhrkamp
Verlag. (=1985, 佐藤勉訳『社会システム理論の視座：その歴史的背景と現代的展開』 木鐸社.)
- 宮台真司, 1985, 「規範の三層構造論 (上)」『ソシオロギス』 9: 1-18.
- 森村進, 1987, 「『リヴァイアサン』の自然状態」『理想』 637: 85-93.
- 武藤正義, 2004. 「社会的動機による 2×2 対称ゲームの変換」 数土直紀編『社会理論の実践的可能性の
探求』 2001-2003 年度科学研究費補助金研究成果報告書, 学習院大学, 103-130.
- 中野康人・阿部晃士・村瀬洋一・海野 道郎, 1996, 「社会的ジレンマとしてのごみ問題」『環境社会学
研究』 2:123-13.
- 大浦宏邦, 2003, 「秩序問題への進化ゲーム理論的アプローチ」『理論と方法』 18(2): 133-152.
- 岡田章, 1996, 『ゲーム理論』 有斐閣.
- Persons, T. 1937. *Structure of Social Action*. Free Press. (=1974-89, 稲上毅・厚東洋輔・溝部明男訳『社会
的行為の構造(1)-(5)』 木鐸社.)
- Runciman, W. G., and A. K. Sen, 1965, “Games, Justice and the General Will”, *Mind*, 74:554-62.
- 左古輝人, 1995, 「秩序のふたつの様相 : 当事者からみた」『社会学評論』 46(3): 23-37.
- 左古輝人, 1998, 『秩序問題の解明：恐慌における人間の立場』 法政大学出版局. [Sako 1998]
- 桜井洋, 1990, 「価値と自由」『社会学評論』 41(2): 114-128.
- 佐藤俊樹, 1988, 「理解社会学の理論モデルについて」『理論と方法』 3(2): 151-170.
- 佐藤俊樹, 1993, 『近代・組織・資本主義』 ミネルヴァ書房.
- 佐藤嘉倫, 1998, 『意図的社会変動の理論：合理的選択理論による分析』 東京大学出版会.
- 盛山和夫, 1991, 「秩序問題の問いの構造」『秩序問題と社会的ジレンマ』 ハーベスト社: 3-33.
- 盛山和夫・海野道郎編, 1991, 『秩序問題と社会的ジレンマ』 ハーベスト社.
- 志田基与師・永田えり子, 1991, 「制度の社会契約理論」『秩序問題と社会的ジレンマ』 ハーベスト社:
61-101.
- 数土直紀, 2000, 『自由の社会理論』 多賀出版.
- 数土直紀, 2001, 『理解できない他者と理解されない自己：寛容の社会理論』 勁草書房.
- 鈴木光男, 1999, 『ゲーム理論の世界』 勁草書房.
- Taylor, Michael, 1987, *The Possibility of Cooperation*, Cambridge University Press. (=1995, 松原望訳『協力
の可能性』 木鐸社.)

**Social Dilemma and “Double Choice” Concept:
A Game Theoretic Response to Clarification of the Hobbesian Problem of Order**

Masayoshi MUTO

Graduate School of Decision Science and Technology

Tokyo Institute of Technology

2-12-1 Oookayama, Meguro, Tokyo 152-8552, JAPAN

The purpose of this paper is to clarify that Social Dilemma is concerned with more general situation than thought. Game theorists have formalized the Hobbesian Problem of Order as a Social Dilemma (Prisoners' Dilemma). However, Sako (1998) oppose this formalization. He insists that Social Dilemma is concerned with only special situation but the Hobbesian Problem of Order is concerned with more general situation. Therefore he concludes that game theoretic formalization lacks emergency. But using “Double Choice” concept by Luhmann (1972), we clarify that Soko's framework based on ethnomethodology is also concerned with Social Dilemma.

Keyword: social order, set of action choices, rule