

協力呼びかけゲームの利得構造

高木英至 (TAKAGI, Eiji)

協力呼びかけゲームとは関係型の社会的ディレンマを内蔵する協力関係の成立を計算的に実験するための背景状況として考案したゲームである。本稿は協力呼びかけゲームの特性、とりわけその利得構造を分析する。すなわち、このゲームでは他者の協力の予期に応じて孤立より協力が有利となること、成立する協力関係は社会的ディレンマの特性を充たすこと、などを述べる。

キーワード：協力、社会的ディレンマ、選択的受容、信頼、進化シミュレーション

はじめに

協力の成立

社会の最も重要な側面の1つはその中で協力関係、つまり一定の共同の効果を目指す関係が成立することである。協力関係なしには社会の存続はむろん、個の存続もあり得なかったろう。

では協力関係はいかにして成立するか？ ゲーム理論における協力ゲームはこの問題に明快な解答を与えている。他の合意結果からは「支配」されない効率的な合意結果の集合（解集合）の何れかが実現する、という解答である¹。この視点は協力関係の本質の1つを表現している。にもかかわらずこの視点は別の重要な本質を見逃している。効率的な解にも非協力ゲームとしての側面があり得ること、つまりその解からの逸脱（非協力や手抜き）への誘因がエージェントに存在することがあり、もしその誘因が存在するなら、効率的な解でも崩壊する可能性は否定できないことである。別の言い方をすれば、効率的な解であるはずの協力関係それ自体が社会的ディレンマの性格を持ち得ることである。

協力関係には非協力誘因が普遍的に存在することを認めるなら、協力関係はいかにして成立するかという問いかけは、協力関係がいかにして社会的ディレンマを解決できるかという問題に置き換えることができる。

ここで社会的ディレンマの2つの類型を区別してみよう。1つは「関係型 (relationship-type)」と呼び得る社会的ディレンマである。参加を選択した者だけで何らかの協力関係を作るが、その関係において非協力の誘因が存在するような場合である。協力／非協力に基づく正／負の外部性はこの関係の中だけで波及すると想定する。関係型と対比するためにもう一方の類型を「社会型 (societal-type)」のディレンマと呼んでおこう。社会型のディレンマとは通常の社会的ディレンマのことである。社会型のディレンマは関係型ディレンマと次の点で異なっている。非協力傾向が高い者が既に社会の中に存在し、協力／非協力の外部性が社会全般に波及し、かつ非協力者の発見・排除が現実的に（つまり技術的にも倫理的にも）困難なことである。この2つのディレンマはそれぞれ、想定する協力関係が社会の部分であるか全体であるかという区分に対応している。

ディレンマの解決の経路を考えると、この2つの類型は質的に異なっている。全体社会は通常、協力関係への「本質的な敵」を既に含んでいる。そのため非協力を排除し協力を達成するのは一般に難しい。対して関係型ディレンマには非協力を抑制する単純な解決法がある。協力性向の高い者だけを関係の中に選択的に受入れる (selective inclusion) ことである。全体社会が1つの協力関係の中で存立するのではなく、内部で協力がある部分社会の複合として存立することは、関係型のディレンマが相対的に克服しやすいことに由来するかも知れない。

ここで議論を関係型のディレンマに限定しよう。繰り返せば、関係型ディレンマの克服に有効と思える方法は、協力しそうな人だけを受入れ、非協力的な人を排除して協力関係を作ることである。この方法は協力状態を実現するために実際に人々が行っている方法の1つといってよい。こうした選択的な受入れ／排除 (selective inclusion/exclusion) には少なくとも次の2つの意味がある。第1は、人はその動機づけ志向に応じて、一貫して協力的、あるいは非協力的な傾向を示すことがあることである (e.g., Kramer, McClintock, & Messick, 1986; Liebrand, & van Run, 1985)。多くの人がそうした一貫性を持つと見込めるのなら、協力するに決まっている人だけを予め受入れ、しからざる人を排除した方が、協力性の出現という点では合理的であるに決まっている。第2の意味は、協力関係に入れることがエージェントの利得達成に寄与する限り、選択的な受入れ／排除が協力に向けての誘因システムとして機能し、結果として非協力的なエージェントを協力者へと「改宗」させることに寄与できることである。

しかし選択的受入れが協力を促進できることは、選択的受入れ戦略がエージェント間で戦略的均衡として成り立つこととは別次元の問題である。均衡たり得るか否かは別途の検討を要する。

¹ 正確に言えばゲームの性格に応じて解集合の定義も異なる（鈴木(1994)など）。

選択的受入れ戦略の進化を考える上で重要なのが（一般的）信頼(trust)の問題である。（一般的）信頼とは未知の相手が協力すると予期する主観確率の高さであると考えておく。相互作用の初期段階で相手の協力確率が分からない者が多いとすれば、選択的受入れ戦略によって協力が成立するためにはエージェントの信頼が高くなければならない。そうでなければエージェントは用心深くなり過ぎ、協力関係を作ることをためらうからである。信頼が低ければ、協力関係は初期の段階から放棄され、社会の中で進化的に淘汰される結果に終わるだろう。しかし逆にエージェントの信頼が高ければ、非協力者の搾取によって同様に協力は淘汰の途を辿るかも知れない。その意味で、高い信頼が社会の中で均衡として成り立つか否かという点も、自明とはいえない。

協力と信頼の進化シミュレーション

選択的受入れ／排除のメカニズムが社会の中で確立できるか否かを評価することを目的として、筆者はこれまで「協力と信頼の進化シミュレーション」を試行してきた(Takagi, 2002; 高木, 2002a, 2002b)。このシミュレーションの目的は選択的受入れ／排除のメカニズムが戦略的な均衡として出現できるかどうかを思考実験することにある。ここまでの試行による暫定的な結論は次の2点である。第1は選択的受入れメカニズムが大勢では戦略の進化的な均衡として成り立ち、協力関係が進化することである。すなわち、「協力の用意のある者だけを仲間にする」という選択的受入れ戦略とともに協力関係が進化するというシナリオは、論理的に可能と見てよい。第2は、（非協力誘因が社会の協力水準を崩壊させない範囲にあることを前提に）協力関係における非協力誘因の存在は信頼感をむしろ高めることである。ここに非協力誘因の存在とは、協力関係に入ったときの裏切り（非協力）誘因（利得）の大きさ、および裏切り「陰謀」可能性の存在、として操作化される。いま、「安心」を非協力誘因が欠如した（あるいは除去された）状況と考えるなら、暫定的な結論の第2は「安心」がない状況への適応反応として「信頼」が進化しやすいことを意味している(cf. 山岸, 1998, 1999)。

協力関係のゲーム構成

上記のシミュレーションを試行するにあたっては、エージェント間で可能な協力の形態をどのようなゲームとしてモデル化するか、という問題があった。モデルとしての協力のゲームに要請されるのは少なくとも次の3点である。

第1の要請は協力関係の成立が選択的であることである。すなわち、協力関係に入るか否かはエージェントの任意であり、協力関係をすべて拒否したエージェントにも何らかの利得機会が提供されていなければならない。この要請は同時に、社会の中の多くの部分的なエージェント集合が任意に別個の協力関係を作れることを意味している。

第2の要請は、いったん成立した協力関係がその当事者に社会的ディレンマの利得構造を課すことである。協力関係が成立するか否かと、協力関係の中で非協力が生じるか否かは分離された別個の問題と考えることになる。

ここまでの要請は2人の囚人のディレンマゲーム（2PDG）、ないしその変形によって充たすことができる。2PDGは協力関係の簡便なモデルであり、Axelrod(1984)以来、協力関係の「進化」のモデルとしてシミュレーションなどに広く使われてきた。2PDGにおいて双方が協力選択をすればその2者間では協力関係が生じたといえる。また、2PDGの選択的プレイのモデル(e.g., 林, 1999)は、2者が2PDGに入るかどうかを選択する局面と、2PDGに入ってから協力選択をするかどうかの局面を分離することで、上記の第2の要請も充たしたことになる。

モデル化に困難をもたらすのは次の第3の要請、すなわち、 n 人協力関係のモデルであることへの要請である。 n 人協力関係の場合、その成立を判定する基準が複雑になる。

2人協力関係の成立は判定しやすい。いま100人のエージェントがいて、その中の任意の2者をA、Bとする。このAB間で協力関係ができる場合とは、両者が相手を選ぶとき以外にはない。しかし n 人関係になると判定基準は複雑になる。同じ100人のエージェントのうちA、B、C、Dの4者間の関係を考えてみよう。もしAがこの4者の協力関係を望み、BとCがAをその協力関係に受入れたとしてDがAを拒否したら、この関係はできるであろうか？ 多数決ルールが有効という強い仮定を置けばこの4者協力関係は成立するかも知れない。しかしAの受入れは多数決で承認されるとして、例えばBの受入れが承認されるとは限らない。ではAを多数決で選ぶ際の、承認されないBの「票」は有効だったのか？ あるいは、「票決」で決まるのではなく多当事者間交渉(multi-lateral negotiation)によって決まると考えるべきかも知れない。しかし多当事者間交渉のモデルの構成をするなら、複雑な前提を導入せざるを得ないのである。

n 人協力関係のモデルは必然的に複雑な過程を前提とする。その複雑なモデルが設定可能であっても、必ずしも正当化できない前提を置かざるを得ず、モデルの一般性に制約を抱え込むことになるだろう。

上記の問題に対処するために筆者が採用したのが次の「協力呼びかけゲーム」である。

協力呼びかけゲーム

協力呼びかけゲーム (Organize Cooperators Game、以下OCGと略) とは誰かが協力を呼びかけ、その呼びかけ人 (organizer) と呼びかけに応じたパートナー間で協力関係が成立すると考えるゲームである。協力関係の当事者を、関係成立にイニシアティブを持つ呼びかけ人とパートナーに分離することにより、 n 人協力関係の成立過程を単純化するのがその眼目である。OCGの基本コンセプトは以下である。

N 人のエージェントからなる社会を考える。各エージェントは自分のビジネスを持っている。例えば自分の畑で作物を作っているとしよう。この畑仕事は自分ひとりでもある程度の成果を上げることができる。しかし他エージェントの協力を得た方が成果が大きい。そこでエージェントは呼びかけ人 (organizer) となって他のエージェントに協力を呼びかけることができると仮定する。呼びかけられたエージェントは呼びかけに応じることも断ることもできる。呼びかけに応じたエージェントはその協力関係のパートナー (partners) である。お馴染みの生産関数を仮定しよう。成果は畑仕事に投入される人数の単調増加関数であり、成果の限界増分は人数とともに減少すると考える。パートナーは協力参加と引き換えに一定の成果を得る。パートナーが得る成果は協力規模が大きいほど大きい。他方、協力者数が増えるとともに呼びかけ人には組織化コストがかかると考える。コストは協力関係の当事者数 (呼びかけ人とパートナー) に比例すると仮定する。従って、呼びかけ人には協力関係の最適規模 (限界成果がコスト関数の傾きと等しくなる人数) が存在する。理想的には、呼びかけ人は全体の人数が最適規模となるように協力の呼びかけを行なうことが期待される。

いったん協力関係が成立したとして、その協力関係においてパートナーも呼びかけ人も「違反 (非協力)」ができるものと仮定する。違反者には追加的利益が生じ、他の参加者には損害が出る。従ってこのゲームは利得が非対称的な、 N 人ディレンマの利得構造を持つことになる (後述)。

呼びかけ人がどのように他のエージェントに協力を呼びかけるか、呼びかけられたエージェントが呼びかけに応じるか否かは、エージェントの戦略の構成に依存する。シミュレーションでは、エージェントは呼びかけや応諾を選択的に、つまり相手の違反率依存的に行なう戦略を選べることを想定している。まず、エージェントには一定の範囲で他エージェントの過去の違反率が分かるようにする。選択的に呼びかける戦略は、エージェントが選ぶ一定水準よりも違反率が低いエージェントだけを呼びかけの対象とする。選択的な応諾戦略とは、自分が呼びかけられたとき、呼びかけ人や同時に呼びかけを受けたエージェントの過去の違反率を参照し、一定の基準を充たすときだけ呼びかけに応じる戦略である。選択的でない戦略とは、例えばランダムに呼びかけたり応諾を決めたりする戦略と思えばよい。

以上のように、筆者が導入したOCGは協力関係の成立を単純にモデル化したものである。しかし一般にはこのゲームの特性は、NPDほどに自明とはいえない。筆者が協力と信頼の進化シミュレーションの結果を人に説明する場合も、ゲームの利得構造に関する質問を多く受けてきた。本稿の目的は、OCGの公式の特性をこの中にまとめ、あわせてその利得構造を明確にすることにある。

協力呼びかけゲームの定式

協力呼びかけゲームは公式には次の (1)~(4) のように定義する。

- (1) N 人のエージェントからなる社会を考える。各エージェントは自分のビジネスを持つ。
- (2) 1試行において1度、社会の各エージェント (Aとする) は自分のビジネスターンを持つ。このときAは自分一人でビジネスを行なっても、協力の呼びかけ人 (organizer) となって他のエージェントに協力を呼びかけてもよい。呼びかけ人は他のエージェントを誰でも、好きなだけ呼びかけることができる。呼びかけに応じたエージェントはその協力関係のパートナー (partners) となる。
- (3) 協力関係の当事者数 (呼びかけ人とパートナーの総数) を n とし、基本利得 S を次のように定義する。

$$S = a \cdot n^b \quad (a > 0, \quad 1 > b > 0)$$

このとき、呼びかけ人は S 、各パートナーは S/m の利得をそれぞれ得ると仮定する。ただし呼びかけ人には組織化コストとして $c \cdot n$ の損失が出ると考える。すなわち、

呼びかけ人の利得: $S - c \cdot n$

パートナーの利得: S/m ($m > 1$)

- (4) パートナーも呼びかけ人も、その協力関係において違反 (非協力) をすることができる。協力関係において1人の追加的な違反者が出るとき、その違反者以外の当事者には $d \cdot S/m$ ($d > 0$) の損失がある。他方、違反者には $(n-1) \cdot w \cdot S/m$ ($w > 0, \quad d > w$) の追加的な利益が生じる。 d は違反による損害の大きさを表し、 w は違反誘因 (非協力誘因) の強さを表している。なお、協力当事者のうち違反者

数を n_d 、違反しなかった当事者（協力者）数を n_c と表記する（ $n_c + n_d = n$ ）。

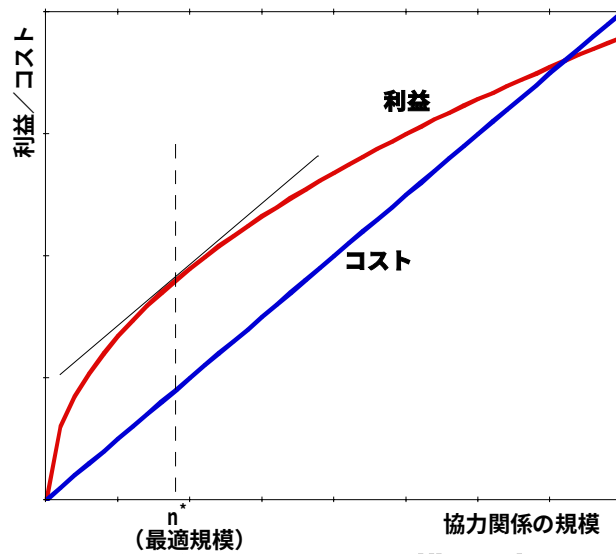


図1：呼びかけ人による規模の選択

上記の(3)に見るように、このゲームではパートナーの利得は関係規模が大きいほど大きい。しかし関係成立にイニシアティブを持つ呼びかけ人にはコストがかかるので、自ずと最適規模が定義されることになる（図1）。

$$U = a \cdot n^b - c \cdot n$$

次のように、 n による2次導関数は負になる。

$$dU/dn = a \cdot b \cdot n^{b-1} - c = 0$$

$$d^2U/dn^2 = -a \cdot b \cdot (1-b) n^{b-2} < 0$$

そこで、 $dU/dn = 0$ を解くと、最適規模 n^* は次となる。

$$n^* = \left[\frac{c}{a \cdot b} \right]^{-\frac{1}{1-b}}$$

ちなみに、シミュレーション（Takagi, 2002）に用いたパラメータ（ $a=3$ 、 $b=c=1/2$ ）を代入すると、 $n^*=9$ である。このとき呼びかけ人は、理想的には、自分以外のパートナーが8人になるように他エージェントに協力をよびかけることが最適となる。

協力呼びかけゲームの利得構造

次にこのOCGの利得構造を整理してみよう。

協力の利得

最初に、このゲームにおいてエージェントは協力からどの程度の利得を得るかを考えてみる。この項では、最適規模の協力関係が出現することを前提に次の2点が成り立つことを述べる。

- 「完全協力」が確保されるなら、自分のビジネスターンで協力を選ぶことが有利である限り、協力することは必ず望ましい。
- 任意の他エージェントの違反確率がある比率（他者全員が協力してくれたときの利益の増分／「他者全員が非協力のときのコスト」）より低ければ、協力はペイする。

エージェントが完全孤立を選んだ場合、つまりエージェントが自分のビジネスターンで協力を呼びかけず、他からの呼びかけにも応じなかった場合の期待利得を E_0 と表記しよう。定義から、

$$E_0 = a - c.$$

である。

次に「完全協力」が生じたときのエージェントの期待利得 E_c を考える。完全協力とは、(i) 社会の全エージェントが協力に参加し違反はしない、(ii) 協力関係はすべて最適規模 n^* になる、場合である。

E_c は次のように書ける。

$$E_c = S - c \cdot n^* + \sum_{i=1}^{N-1} i \cdot p(i) \cdot S/m.$$

i は他エージェントからパートナーに呼びかけられる回数 ($i = 1 \sim N-1$) を、 $p(i)$ はそのエージェントがパートナーに i 回呼びかけられる確率を表す。このゲームの 1 試行では自分以外エージェントのビジネスターンは $N-1$ 回あり、エージェント間にひいきがなければ呼びかけ人以外エージェントは $p = (n^* - 1)/(N-1)$ の確率でパートナーに選ばれるはずであるから、 $p(i)$ は 2 項分布 $B(N-1, p)$ にしたがうはずである。2 項分布の公式から、

$$\sum_{i=1}^{N-1} i \cdot p(i) \cdot S/m = (N-1) \cdot \frac{n^* - 1}{N-1} \cdot S/m$$

となるので、 E_c は次のようにまとめることができる。

$$E_c = S - c \cdot n^* + (n^* - 1) \cdot S/m.$$

E_c と E_0 の差を取れば次のようになる。

$$E_c - E_0 = (S - c \cdot n^*) - (a - c) + (n^* - 1) \cdot S/m.$$

上の式から、完全協力が確保されるなら、自分のビジネスターンで協力を選ぶことが有利である [$(S - c \cdot n^*) > (a - c)$] 限り必ず $E_c > E_0$ 、つまり協力することが望ましいことが分かる。

ここまでは協力当事者に違反がないことを仮定した。問題は違反があるときに協力することが望ましくなるかどうかである。いま、協力関係に入ったときに任意の他者が違反する確率を P とおこう。ここで、自分は絶対に違反しないという前提の下で自分が呼びかけ人になったターンで最適規模の協力関係を作る期待利得 E_1 は次のように表せる。

$$E_1 = S - c \cdot n^* - \sum_{i=1}^{n^*-1} i \cdot p(i) \cdot d \cdot S/m = S - c \cdot n^* - P \cdot (n^* - 1) \cdot d \cdot S/m.$$

ただし、 i は $n^* - 1$ のパートナーのうち違反する人数 ($i = 1 \sim n^* - 1$) を、 $p(i)$ は i 人のパートナーが違反する確率を表す。 $p(i)$ は 2 項分布 $B(n^* - 1, P)$ に従うので、上式の右辺のように変形できる。

今度は、自分は絶対に違反しないという前提の下で、呼びかけ人以外ときにエージェントが得る期待利得 E_2 を計算する。 i は自分がパートナーに呼びかけられる回数を、 $p(i)$ は i 回呼びかけられる確率を表すとする。同様に j はある協力関係で出現する違反者数を、 $p(j)$ は違反者が j 人出る確率を表すとする。このとき、ここまでと同様の操作から E_2 は次のように表せる。

$$\begin{aligned} E_2 &= \sum_{i=1}^{N-1} i \cdot p(i) \cdot \left[S/m - \sum_{j=1}^{n^*-1} j \cdot p(j) \cdot d \cdot S/m \right] \\ &= (N-1) \cdot \frac{n^* - 1}{N-1} \cdot [S/m - P \cdot (n^* - 1) \cdot d \cdot S/m] \\ &= (n^* - 1) \cdot S/m \cdot [1 - P \cdot (n^* - 1) \cdot d] \end{aligned}$$

ここで、非協力 (違反) があっても協力的なエージェントが協力するのは、

$$E_1 + E_2 > E_0$$

のときである。 $E_1 + E_2 - E_0 > 0$ を P について整理すると次式を得る。

$$P < \frac{E_c - E_0}{n^* \cdot (n^* - 1) \cdot d \cdot S/m}$$

上式右辺の分子は、自分は必ず協力するという前提の下で「他者全員が協力したときの利益の増分」を、分母は「他者全員が非協力のときにもたらされるコスト」を指している。そして、任意の他者が違反する確率を P がこの比率よりも低ければ、違反が出るとしても、協力はペイすることになる。

上式の含意は、違反があっても違反確率が適度な水準で維持されれば協力に参加するエージェントが出ること、および、違反による損害 d が大きければ違反確率が相当低くなければ協力が崩れることである。

社会的ディレンマの利得構造

この項では OCG が社会的ディレンマの利得構造を持つことを示す。具体的には次の 2 点である。

- a. 協力関係に入ったエージェントにとり、違反（非協力）は利益になる。つまり違反することが優越的戦略である。
- b. しかし協力関係の中で追加的に違反者が出るごとに、協力当事者の利得は低下する。したがって当事者が優越的戦略を採用することは非効率的な結果をもたらす。

社会的ディレンマの利得構造の正確な定義は実は論者によって少しずつ異なっている。が、大まかに言えば、次の2点が社会的ディレンマの定義特性と思ってよいだろう (Hamburger, 1979)。

(a) 各エージェントは1つの優越的戦略を持つ。

(b) 各エージェントが優越的戦略に従うなら、結果は従わない場合より悪くなる。

この2点をOCGが満たすかどうかを以下で確認してみる。

まず(a)について、 n を協力関係の当事者数、 n_d を協力関係の他の当事者の中で既に違反を決めている者の数とすれば、呼びかけ人が協力から非協力（違反）に選択を切り替えたときの利得の差額（違反選択時の利得－協力選択時の利得）は次のように表せる。

$$\begin{aligned} & [S - c \cdot n - n_d \cdot d \cdot S/m + (n-1) \cdot w \cdot S/m] - [S - c \cdot n - n_d \cdot d \cdot S/m] \\ & = (n-1) \cdot w \cdot S/m > 0 \end{aligned}$$

つまり違反に切り替えることによる利益は正である。同様の利得の差額をパートナーについて計算しても、次のように、同じ大きさの利得になることが分かる。

$$\begin{aligned} & [S/m - n_d \cdot d \cdot S/m + (n-1) \cdot w \cdot S/m] - [S/m - n_d \cdot d \cdot S/m] \\ & = (n-1) \cdot w \cdot S/m > 0 \end{aligned}$$

従って協力当事者にとり、違反の選択は優越的な戦略である。

(b)については、自己の選択が同一として、 n_d が増えれば自分の利益が減る（ n_c が増えれば自分の利益が増える）ことを示せばよい。当のエージェントが協力を選んだとすれば、呼びかけ人のときの利得とパートナーのときの利得は次のように表せる。

呼びかけ人のとき： $S - c \cdot n - n_d \cdot d \cdot S/m$

パートナーのとき： $S/m - n_d \cdot d \cdot S/m$

当のエージェントが違反を選んだとすれば、呼びかけ人のときの利得とパートナーのときの利得は次のように表せる。

呼びかけ人のとき： $S - c \cdot n - (n_d - 1) \cdot d \cdot S/m + (n-1) \cdot w \cdot S/m$

パートナーのとき： $S/m - (n_d - 1) \cdot d \cdot S/m + (n-1) \cdot w \cdot S/m$

何れの場合でも、協力当事者の利得は n_d の増大とともに低下する。つまり(b)が満たされている。

念のために協力当事者の利得の総和、つまり総利得を見てみよう。まず違反者がいない（ $n_d = 0$ ）ときの総利得を TP_0 とすると、呼びかけ人の利得は $S - c \cdot n$ 、パートナーの利得は S/m であるから、

$$TP_0 = S - c \cdot n + (n-1) \cdot S/m$$

次に違反者がいて（ $n_d > 0$ ）、呼びかけ人は違反しないときの総利得 TP_1 を求めてみる。立場ごとのエージェントの利得は次のように表せる。

呼びかけ人の利得（ P_o ）： $S - c \cdot n - n_d \cdot d \cdot S/m$

協力するパートナーの利得（ P_c ）： $S/m - n_d \cdot d \cdot S/m$

違反するパートナーの利得（ P_d ）： $S/m - (n_d - 1) \cdot d \cdot S/m + (n-1) \cdot w \cdot S/m$

$$TP_1 = P_o + (n_c - 1) \cdot P_c + n_d \cdot P_d$$

$$= S + (n_c + n_d - 1) \cdot S/m - c \cdot n - n_d \cdot d \cdot S/m \cdot [1 + (n_c - 1) + (n_d - 1)] + n_d \cdot (n-1) \cdot w \cdot S/m$$

$$= TP_0 - n_d \cdot (n-1) \cdot S/m \cdot (d - w)$$

同様に計算すれば、違反者がいて（ $n_d > 0$ ）呼びかけ人が違反するときの総利得もこの TP_1 に等しい。

上式から、 $d > w$ という前提が満たされている限り、次の関係があるのが分かる。

$$TP_0 > TP_1$$

つまり総利得で見ても、違反がない場合に比べて違反があるときには利得が低く、違反者数（ n_d ）が多いほど総利得は低い。この特性も社会的ディレンマの想定と一致している。

利得の非対称性

OCGの定式では呼びかけ人の利得を $S - c \cdot n$ 、パートナーの利得を S/m （ $m > 1$ ）としている。両者の利得の大小関係はパラメータの値によるけれども、 m を小さくしない限り、呼びかけ人の利得はパート

ナーの利得より高いことを、このモデルでは想定している。つまりOCGでは呼びかけ人とパートナー間に利得の非対象性がある。

ただし次の点には注意を要する。1回のビジネスターンでは、呼びかけ人がパートナーより高い利得を取るかも知れない。しかし、1試行のうちでは、各エージェントが呼びかけ人として得る利得は他エージェントが呼びかけた関係でのパートナーとして得る利得より大きいとは限らないことである。このことは単純に、1試行で各エージェントが呼びかけ人になれるのは1回だけであるのに、パートナーには多数回なり得ることによる。

いま、協力には違反が出ず、協力関係はすべて最適規模になると仮定しよう。このとき、既述のように次の関係が成り立つ。

$$E_c = S - c \cdot n^* + (n^* - 1) \cdot S/m.$$

エージェントが呼びかけ人として得る利得は $S - c \cdot n^*$ であり、パートナーとして得る利得の期待値は $(n^* - 1) \cdot S/m$ である。パートナーとして得る利得の方が大きくなるのは

$$S - c \cdot n^* < (n^* - 1) \cdot S/m$$

であるから、次の式が成り立てば、エージェントは平均的に、呼びかけ人としてよりパートナーとしてより多くの利得を得ることになる。

$$m < \frac{(n^* - 1) \cdot S}{S - c \cdot n^*}$$

以前のシミュレーション試行 (Takagi, 2002; 高木, 2002a, 2002b) で実際に用いたパラメータは、 $a = 3$ 、 $b = c = 1/2$ 、 $n^* = 9$ だった。このパラメータを上式に代入すると $m < 16$ であれば、エージェントは呼びかけ人としてよりパートナーとして多くの利得を得ることになる。実際、これらのシミュレーションでは $m = 10$ を代入していた。

既述のシミュレーション試行では、 m の値を小さくするほど、協力関係の規模が小さくなる、つまり協力への参加が低くなることが観測された。つまり協力関係が十分に供給されるためには、 m を大きくして呼びかけ人とパートナーとの利得の非対称性を大きくする必要があった。この傾向は次を意味すると考えるべきだろう。すなわち、もし m の値が小さく、パートナーとして得る利得が圧倒的に多くなれば、エージェントは自ら協力の呼びかけ人となる動機づけを低下させるはずである。しかしエージェントが呼びかけ人とならなければ、協力関係自体が供給されず、結果としてパートナーとなる機会も減って行く。最終的には協力関係が死滅して行くだろう。このように考えると、呼びかけ人に有利な利得の非対称性が存在することは、エージェントに協力へのイニシアティヴをとるインセンティヴを与え、社会の協力関係の出現に寄与している、といっていよう。

引用文献

- Axelrod, R. (1984) *The Evolution of Cooperation*. NY: Basic Books. アクセルロッド 松田裕之(訳) 『つきあい方の科学』、1987、HBJ 出版局。
- 林直保子 (1999) 『協力行動の社会関係の基盤』、多賀出版。
- Foddy, M., Smithson, M., Hogg, M. & Schneider, S. (1999) (Eds.) *Resolving Social Dilemmas*. NY: Psychology Press.
- Hamburger, H. (1979) *Games as Models of Social Phenomena*. San Francisco: Freeman.
- Kramer, R.M., McClintock, C.G. & Messick, D.M. (1986) Social values and cooperative response to a simulated resource conservation crisis. *Journal of Personality*, 54, 576-592.
- Liebrand, W.B.G. & van Run, G.J. (1985) The effects of social motives on behavior in social dilemmas. *Journal of Experimental Social Psychology*, 21, 86-102.
- 鈴木光男 (1994) 『新ゲーム理論』、勁草書房。
- Takagi, E. (2002) The evolution of inclusion/exclusion mechanisms in social dilemma situations. Paper presented at the XV ISA World Congress of Sociology, Brisbane, Australia, July 7-13, 2002.
- 高木英至 (2002a) 「関係型社会的ディレンマにおける協力の進化：コンピュータシミュレーションによる分析」、『日本シミュレーション&ゲーミング学会2002年度秋季全国大会発表論文集』、218-221。
- 高木英至 (2002b) 「安心があると信頼は生まれない：協力と信頼の進化シミュレーション」、『日本社会心理学会第43回大会発表論文集』、76-77。
- 山岸俊男 (1998) 『信頼の構造』、東京大学出版会。
- 山岸俊男 (1999) 『安心社会から信頼社会へ』、中央公論社 (中公新書)。