

ギビングゲームによる間接互惠性成立の要因に関する検討

～評判が良い人への提供を促進するインセンティブの効果と選択的プレイ状況を中心に～

下岡 結衣^{1,†1} 池田 大輔^{1,a)}

概要: 本論文では、ギビングゲームを用いて間接互惠性を成立させる要因について検討する。このゲームでは、送り手と受け手が選ばれ、送り手は戦略によって資源を渡すかどうか決める。真島・高橋 [11] によると、前回の行動時に良い人に提供した人のみを Good (G) とし、他の 3 つを全て Bad (B) と評価する SDISC 戦略のみが、2 次の情報を使う戦略の中では、間接互惠性を成立させる戦略であった。しかし、これは前回行動時に悪い人に提供しなかった人も Bad と評価するが、たまたま悪い人が受け手に割り当てられることもある。彼らによると、これを Good とする評価する ES 戦略が自然だが、実際には ES では間接互惠性は成立しなかった。そこで、彼らは悪い人との交換を回避できる選択的プレイ状況を導入し、間接互惠性が成立することを示した。本論文では、選択的プレイ状況も含め、SDISC と ES の違いを議論し、試行回数によっては、選択的プレイ状況でも ES では間接互惠性が成立しないことを示す。この不成立の理由をさらに考察し、ES においても間接互惠性が成立するパラメータを導入し、実験により確認した。このパラメータは、提供を促すインセンティブに対応する。

キーワード: 間接互惠性, ギビング・ゲーム, 選択的プレイ状況, 遺伝的アルゴリズム

Study on Factors Realizing Indirect Reciprocity Using the Giving Game

YUI SHIMO-OKA^{1,†1} DAISUKE IKEDA^{1,a)}

Abstract: This paper is devoted to studying factors which realize indirect reciprocity, using the giving game. In this game, two individuals are randomly selected as a *donor* and a *recipient*, and the donor decides whether he confers a benefit to the recipient, based on his strategy. According to [11], SDISC is the only strategy, among strategies utilizing the second order information, realizing indirect reciprocity, where an individual with SDISC puts “Good (G)” only to a recipient who gave to good one in the last turn, and “Bad (B)” to the others. Even if you chose not to give a bad donor, you are evaluated as bad one by this strategy. Although Mashima and Takahashi thinks the strategy, called ES, which evaluates such an individual as Good is natural, they showed that this strategy can not realize indirect reciprocity. So they introduced “selective play” environment, in which an individual can avoid exchanges with bad ones, and showed that ES can realize indirect reciprocity under this environment. In this paper, we discuss differences between SDISC and ES, and showed that ES does not realize indirect reciprocity even in case of selective play environment when the number of trials is much larger. We further discuss reasons for it, introduce some parameter which makes ES realize indirect reciprocity, and confirm this realization by computational experiments. Intuitively, this parameter corresponds to incentives of exchanges.

Keywords: Indirect reciprocity, giving game, selective-play environment, genetic algorithm

¹ 九州大学
Kyushu University, Fukuoka 819-0395, Japan

^{†1} 現在, 新日鉄住金ソリューションズ株式会社
Presently with NS Solutions Corporation

^{a)} daisuke@inf.kyushu-u.ac.jp

1. はじめに

利他的行動に対する理論的なモデルとして間接互惠性がある。これは、相手を直接確認できる直接互惠性ではなく、

表 1 受け手の前回の行動と(送り手から見た)善し悪しにより 4 種類の受け手

Table 1 The action by a recipient and Good/Bad (from the viewpoint of a donor) decides four types of recipients.

	Good	Bad
Give	T1	T2
Not give	T3	T4

利他的行動の結果、めぐりめぐって別の人からその見返りを得られると期待できるときに成立する。シミュレーションによる間接互惠性成立に関する研究は、基本的に多数のエージェントが独自の戦略により資源の交換を行い、どのような戦略やパラメータの時に、資源をよく提供ようになる、つまり、間接互惠性が成立するかを示している。

このようなシミュレーションの一つにギビングゲームがある [2]。これは、適当な人数からなる集団を仮定し、各試行ごとに送り手と受け手からなるエージェントのペアがランダムに選ばれる。送り手は戦略によって資源を渡すかどうか決める。渡す場合は送り手はコスト c を支払い、受け手は利益 $b (> c)$ を受け取る。戦略として、受け手が誰であれ渡す、誰であれ渡さない、考察対象とする戦略の 3 つを投入し、多数の試行を行い、1 世代とする。各世代ごとに淘汰を行い、次世代の戦略の比を変化させる。これを多くの世代にわたって行い、最終的にどの戦略が残るか観察し、多くの提供が行われているかどうかを見る。

戦略として、受け手の前回の行動とその時の相手の評判を考慮する。この場合、相手の評判が(送り手から見て)良いか悪いかの 2 選択と、受け手が提供を行ったかどうかの 2 選択の積により、受け手が 4 つに分類される。ここでは、[10], [12] に従い、4 種類の受け手を表 1 のように、T1~T4 と表記する。これら T_i ($i=1\sim 4$) に割りあてられた受け手に対し、G か B をどう割りあてるかが戦略である。戦略の表記として、T1 から順に G または B を並べる。例えば、相手がどうであれ、与えた人は全て G とし、与えなかった人を B とするイメージスコアリング戦略は、T1 および T2 に対し Good と評価し、T3 および T4 に対し Bad と評価するので、GGBB と表記される。また、全ての人に与える戦略 (All Cooperator; ALL-C) は、全ての人を Good とみなす戦略なので GGGG と表記される。逆に、全ての人に与えない戦略 (All Defector; ALL-D) は、全ての人を Bad とみなす戦略なので BBBB となる。

真島ら [11] によると、前回の行動時に良い人に提供した人のみを G とし、他の 3 つを全て Bad と評価する GBBB 戦略 (または strict discriminator; SDISC と呼ばれる) のみが、間接互惠性を成立させる戦略であった。これは前回行動時に悪い人に提供しなかった人 (T4) も Bad と評価するが、ペアはランダムに定まるため、たまたま悪い人が受け手に割り当てられることもあるため、厳しい評価戦略

と言える。その意味で、T4 を Good と評価する GBBG 戦略 (または extra-standing; ES と呼ばれる) がより自然だと考えられるが、ギビングゲームによる結果では、間接互惠性は成立しなかった。そこで、彼らはペアのマッチングにおいて、悪い人との選択を回避できるような仕組み (選択的プレイ状況) を導入し、間接互惠性が成立することを示した [12]。

間接互惠性の成立には、常に非提供をする戦略 (ALL-D) が広がらないことが重要である [10]。ここで、SDISC 戦略 (G BBB) と ES 戦略 (G BBG) の違いを考えると、悪い人に非提供だった人 (T4) をどう評価するかにあるが、ALL-D の戦略を持っている人が受け手になった場合、彼らは常に非提供なので、SDISC 戦略の人は Bad と評価するため ALL-D 戦略の人に非提供だが、ES 戦略では Good と評価するため、提供する。そのため、ES 戦略を考えた場合には ALL-D 戦略を持つ人の利益が増え、結果的に間接互惠性が成立しなかったものと考えられる。しかし、選択的プレイ状況を導入すれば状況は変わるだろうか? これはペアのマッチング方法だが、ALL-D はどんな人が相手でも戦略を変えないため、これは間接互惠性成立には無関係ではないだろうか。

本論文では、選択的プレイ状況も含め、SDISC と ES の違いを議論する。まず、これらの戦略の違いを考察する。次に、試行回数によっては、選択的プレイによっても ES では間接互惠性が成立しないことを示す。この不成立の理由をさらに考察し、ES においても間接互惠性が成立するパラメータを導入し、実験により確認した。

このパラメータは、提供する場合のコストおよび利益に影響を与え、良い人へ提供した人へ提供する額を、悪い人への非提供した人への提供額より多くする。つまり、提供を促すインセンティブを導入することになる。従来からコストと利益の比 (b/c) が大きい時には成立しやすいこと、つまり、提供の効率が高い時には成立しやすいことが知られていたが、本研究により、提供の量を増やすことでも間接互惠性が成立することが明らかになった。この結果は、既に [7] で示したもののだが、本論文では、このパラメータ着想に至った SDISC 戦略と ES 戦略の違いに関する理論的な考察や、選択的プレイ状況における ES 戦略による間接互惠性の不成立等の実験結果が新たに加わっている。

本論文の構成は以下の通り。まず、関連研究について述べた後、ギビングゲームの詳細について 3 節で述べる。4 節で実験結果を示し、最後にまとめる。

2. 関連研究

間接互惠性の成立については、様々な研究があるが、例えば、文献 [8] に様々な戦略についてまとめてある。

戦略として、まずは、受け手の前回の行動 (1 次情報) を元にしたものが考察された。具体的には、受け手が前回与

えとかどうか (Give or Not give) で良い人かどうか (Good or Bad) と判断し, Good な人へのみ提供する「イメージスコアリング」戦略がある [2]. しかし, [5] によって, この戦略と ALL-C 戦略によって構成される集団は ALL-D 戦略に取ってかわられることが示された.

前回の行動に加え, その時の相手の評判 (2次情報) を考慮する戦略もある. まず, T3 を Bad と評価し, 他を Good と評価する Standing 戦略 (GGBG) が考察された. つまり, 良い人への非提供を罰するという側面を持っている. この戦略により間接互恵性が成立することが示された [1], [5] が, 知覚エラーがあるときには, 成立しないことが示された [11]. 送り手がどう評価されるかどうかの情報 (3次の情報) まで考慮する戦略も考察されている [3], [4].

2次情報の場合, 受け手の評判の善し悪しの2選択と, 提供を行ったかどうかの2選択の積により, 受け手が4つに分類される. 2次情報の場合, この4つのそれぞれにに対し, 良い (G) か悪い (B) と評価するため $2^4 = 16$ 通りの戦略が存在する. これらについて, 真島らが詳しく研究を行っている [10], [11], [12]. 彼らはギビングゲームを用い, 2次情報を用いる戦略を全て調べ, 唯一 SDISC 戦略が間接互恵性を成立させることを示した [11]. 一方で, Ohtsuki ら [3] によると, この結果は1世代の試行回数が少ないせいであり, これを増やした場合は SDISC 戦略でも, 間接互恵性は成立しなくなるだろうと指摘されていた. 本論文の結果の一部は, 試行回数以外は真島らの設定と同じギビングゲームを用いて, この指摘を直接示したことになる.

また, 試行回数が小さい場合は SDISC 戦略により間接互恵性が成立するとは言え, この戦略は T4 (Bad な人に非提供だった人) を Bad と評価するものであり, この点において厳しい戦略である. また Takagi [9] や Ohtsuki ら [3] の結論と照らし合わせても, 一般交換を成立させる選別戦略は, 「提供者への提供者には提供し」かつ「非提供者に提供する寛容さを罰する」行動傾向を備えていれば良く, 「非提供者を罰した人を罰する」という行動は不要なはずである. さらに, 日常経験に基づく直観もあわせると, 一般交換研究における議論は共通して, 社会において間接互恵性を成立せしめている戦略として, SDISC 戦略 (GGBB) よりむしろ Bad な相手に対して非提供行為をとった人は罰せずに許容する GBBG (ES 戦略) を指していると考えた. しかし, 彼らのシミュレーションでは, ES 戦略では必ずしも間接互恵性は成立しなかった [11].

このように Bad と評価された人が受け手になったときの扱いが間接互恵性成立のポイントである. そこで, 悪い人との交換においては評価を保留する (以前の評価そのまま引き継ぐ) という戦略にすることで, 間接互恵性が成立することを示した研究がある [6]. 評価することを “P” (preserve) とすると, この戦略は GPBP と表記できる. 一方で, 真島らは, ペアのマッチングにおいて, 悪い人との

選択を回避できるような仕組み (選択的プレイ状況) を導入し, 間接互恵性が成立することを示した [12].

本研究は, まず, 1世代の試行回数として, SDISC 戦略により間接互恵性が不成立であった 5,000 回を採用し, この回数のもとで, 選択的プレイ状況でも ES 戦略は間接互恵性を必ずしも成立させないことを示した. 一方で, SDISC 戦略に対しては, 選択的プレイ状況を導入することで, 大きい試行回数でも間接互恵性が成立することを示した. また, 選択的プレイ状況が成立しない理由の理論的な考察により, ランダムマッチング環境においても, ES 戦略で成立させる仕組みを導入した. これは, ギビングゲームのコスト比 (b/c) と同様に, 個人の戦略ではなく, 社会的な制度と考えることができる.

3. 手法

ギビングゲームに用いるパラメータは, 基本的に真島ら [11], [12] に従う. 具体的には集団内の人数を 300 人とし, 1 世代を 1,500 試行とし, 10,000 世代で 1 レプリケーションとする. ただし, 後述するように, 1 世代の回数の多寡を検証する際には, 1 世代 5,000 試行での実験も行う.

ALL-C や ALL-D 以外の戦略では, 他の人がどのような行動をとったかを知覚することが重要になるが, ギビングゲームでは, 一定の割合で知覚のエラーが発生する. 例えば, このエラーにより, 提供した行動を非提供と見誤ることがある. 同様に, 行動のエラーも仮定されている. これは, 戦略に忠実であればとってたはずの行動ではない行動をとってしまうことである. 例えば, 戦略によれば提供するつもりだったが, このエラーにより, 非提供としてしまうことが起こる. 知覚と行動のエラー率はどちらも 0.025 とする.

1 試行において, 送り手と受け手がランダムに選ばれ, 送り手は戦略に従い受け手を評価し, 利益を与えるかどうか判断する. 与える場合は送り手はコスト c を支払い, 受け手は利益 $b (> c)$ を受け取る. この比 b/c をコスト比と呼び, 集団で一定であるとし, 様々に変えて実験を行う. 具体的に支払う額は $c = 1.0$ とする. 例えば, コスト比が 4.0 の場合, 受け手は $b = 4.0$ を受け取る.

ただし, 本論文では, 良い人 (Good と評価された人) に提供する場合のコスト α と, そうでない人に提供する場合のコスト β を変化させた場合の挙動も調査する. 具体的には, これらの比 α/β を様々に変化させる. $\alpha/\beta = 2.0$ とすると, 受け手が Good の場合は, 送り手は 2.0 倍のコスト $c = 2.0$ を負担し, 受け手は $b = 8.0$ の利益を得る. 受け手がそれ以外の場合は従来通り $c = 1.0$ を負担し, $b = 4.0$ の利益を得る. つまり, Good であることが多くの利益を得られるため, Good に提供することを促進する仕組みと言える. その意味で, この比を提供インセンティブ比と呼ぶ. この比を 1.0, 1.2, 1.4, 1.6 として実験を行う.

表 2 ES 戦略 (GBBG) を用いた 10 レプリケーション中の間接互恵性成立回数

Table 2 The number of replicates, among 10 replicates, in which ES strategy (GBBG) realizes indirect reciprocity.

b/c	成立回数	提供率	第 3 戦略	ALL-C	ALL-D
2	0	0.0259	0.5	0.0	299.5
4	8	0.7287	239.7	0.3	60.0
6	10	0.9086	299.3	0.7	0.0
8	10	0.9086	299.3	0.6	0.1
10	10	0.9089	297.6	2.4	0.0

実験では ALL-C, ALL-D に、考察対象とする第 3 戦略の 3 つの戦略をランダムな比率で組み合わせた状態からスタートする。あらかじめ各自同じだけの資産を持っていると仮定し、各世代ごとに、戦略が持つ資産ごとに次世代の戦略を持つ人数の比を変化させる。この時、突然変異を仮定し、その率を 0.0001 とした。これを多くの世代にわたって行い、最終的にどの戦略が残るか観察し、多くの提供が行われているかどうかを見る。ある時点での提供率を、その時点から見て前回の行動が「提供」であった個人の割合と定義する。最終的に提供率が 0.7 以上である時に、その集団で間接互恵性が成立しているといい、第 3 戦略が間接互恵性を成立させたともいう。

プログラムは Python を用いて書いた。まず、動作確認として、パラメータを同じにした状態で、[10] との比較を行う。表 2 に ES 戦略 (GBBG) を用いて、10 レプリケーション中の間接互恵性成立回数を示す。各列は、コスト比、10 レプリケーション中での成功回数、最終的な提供率の平均値、最終的な各戦略 (第 3 世代, All-C, All-D) が占める人数の平均値である。文献 [10] では、30 レプリケーションで実行している上に、細かな数字 (例えば、提供率など) は厳密に一致しているとは言えないが、コスト比が 2 からの成立回数は 0, 23, 30, 30, 30 となっており、おおまかな傾向は表 2 と同じと考えてよいだろう。

4. 結果

4.1 大きな試行回数における SDISC 戦略

表 3 に、SDISC 戦略 (GBBB) において 1 世代が 1,500 試行の場合の間接互恵性成立回数を示す。文献 [10] ではコスト比が 2 の時は、成立回数が 0 であり、こちらでは成立している点が異なるが、基本的にどちらでも間接互恵性が成立していると言える。

次に、同じ条件で 1 世代の試行回数を 5,000 回とした場合の結果を表 4 に示す。全てのコスト比において不成立となり、また、提供率の値も低く、SDISC 戦略でも、この試行回数では間接互恵性は成立しないと言える。

この場合の、最終世代における試行ごとの提供率の推移を図 1 に示す。この図から分かるように、減少傾向が続き、

表 3 SDISC 戦略 (GBBB), 1 世代=1,500 試行, ランダムマッチング状況での間接互恵性成立回数 (10 レプリケーション中)

Table 3 The number of replicates, among 10 replicates, in which SDISC strategy (GBBB) realizes indirect reciprocity under random matching environment when one generation consists of 1,500 trials.

b/c	成立回数	提供率	第 3 戦略	ALL-C	ALL-D
2	10	0.8009	299.4	0.1	0.5
4	10	0.7838	297.8	2.2	0.0
6	10	0.8008	299.4	0.6	0.0
8	10	0.8313	252.9	47.1	0.0
10	10	0.8313	224.7	75.3	0.1

表 4 SDISC 戦略 (GBBB), 1 世代=5,000 試行, ランダムマッチング状況での間接互恵性成立回数 (10 レプリケーション中).

Table 4 The number of replicates, among 10 replicates, in which SDISC strategy (GBBB) realizes indirect reciprocity under random matching environment when one generation consists of 5,000 trials.

b/c	成立回数	提供率	第 3 戦略	ALL-C	ALL-D
2	0	0.4909	299.9	0.0	0.1
4	0	0.3851	299.8	0.2	0.0
6	0	0.4361	299.9	0.1	0.0
8	0	0.4839	299.3	0.7	0.0
10	0	0.4400	298.3	1.7	0.0

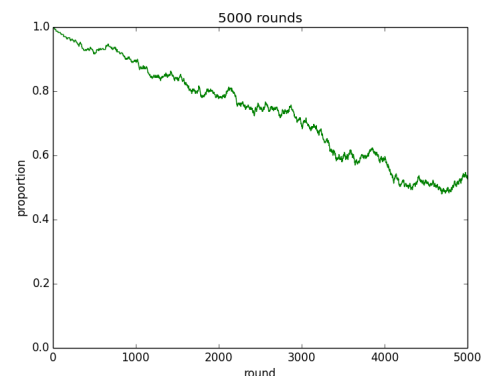


図 1 ランダムマッチングで 1 世代 5,000 試行における、最終世代の試行ごとの提供率

Fig. 1 The changes of provision rates at each trial in the final generation when one generation is 5,000 trials under random matching environment.

最終的に 0.7 を下回っている。

一方で、試行回数が 5,000 の場合でも、マッチング方法に選択的のプレイを採用した場合は、SDISC 戦略は間接互恵性を成立させる (表 5 参照)。

これらの結果を受けて、以降では 1 世代の試行回数を 5,000 回として実験を行う。

4.2 大きな試行回数における ES 戦略

この節では、真島らが主張した「選択的のプレイ状況では、

表 5 SDISC 戦略 (GBBB), 1 世代=5,000 試行, 選択的プレイ状況での間接互惠性成立回数 (10 レプリケーション中).

Table 5 The number of replicates, among 10 replicates, in which SDISC strategy (GBBB) realizes indirect reciprocity under selective play environment when one generation consists of 5,000 trials.

b/c	成立回数	提供率	第 3 戦略	ALL-C	ALL-D
2	10	0.9499	299.6	0.4	0.0
4	10	0.9507	296.3	3.7	0.0
6	10	0.9547	297.6	2.4	0.0
8	10	0.9490	297.0	3.0	0.0
10	10	0.9557	295.8	4.1	0.1

ES 戦略 (GBBG) でも間接互惠性が成立する」[10], [12] ことを再度検討する。

これを検討する前に, まずランダムマッチング状況において間接互惠性を成立させた SDISC 戦略と, 一部のコスト比において ALL-D による逆転を許してしまった GBBG 戦略の違いについて考える. SDISC 戦略 (GBBB) は T4 (Bad に非提供した人) を Bad とみなし利益を与えない一方, ES 戦略 (GBBG) はこれを Good とみなし利益を与える. ALL-D は全ての人に非提供とするため, Bad な相手とマッチングされた後に受け手となった場合に T4 になる. 一方, ALL-C は全ての人に提供とするため, T4 にはならない. ここで, 第 3 戦略として ES 戦略を考えた場合, 3 つの戦略のうち T4 になり得るのは ALL-D と GBBG の 2 つである. よって, GBBG が渡り手の時, 受け手の ALL-D や GBBG の利益が増大する. ALL-D の利益増加は間接互惠性の成立に対してネガティブに, GBBG の利益増加はポジティブに作用するので, ES 戦略によって間接互惠性が不成立となったのは, SDISC 戦略 (GBBB) を採用したときと比較して「Bad に対して非提供行為をとった ALL-D」の利益が増えてしまったことが原因であると考えられる.

これに対し, 真島ら [12] は選択的プレイ状況を導入し, ES 戦略でも間接互惠性が成立することを示したが, その理由については以下のように説明した (p183).

SDISC(GBBB) と GBBG の行動の違いを生み出すのは, 「T4:集団内に Good なプレイヤーがいない状況で非提供した人」の存在であることになる. しかし, このような種類のプレイヤーは, 選択的プレイ状況においてはそもそもほとんど存在しないと考えられる. なぜなら集団における Bad の比率が高いという状態が生じることはあったとしても, 集団内に一人も GOOD なプレイヤーが存在しないという状況はシミュレーションにおいてもほとんど生じないと予想されるからである.

つまり, 彼らは『選択的プレイ状況の下では, 集団内に T4 はほとんど存在しない』と述べたが, 選択的プレイ状況によって行動を変えるのは GBBG 戦略のみであり, ALL-D

表 6 ES 戦略 (GBBG), 1 世代=5,000 試行, ランダムマッチング状況での間接互惠性成立回数 (10 レプリケーション中).

Table 6 The number of replicates, among 10 replicates, in which ES strategy (GBBG) realizes indirect reciprocity under random matching environment when one generation consists of 5,000 trials.

b/c	成立回数	提供率	第 3 戦略	ALL-C	ALL-D
2	0	0.0207	0.0	0.0	300.0
4	6	0.5562	176.8	2.9	120.3
6	10	0.9134	298.9	1.1	0.0
8	10	0.9074	298.0	1.9	0.1
10	10	0.9057	296.4	3.5	0.1

表 7 ES 戦略 (GBBG), 1 世代=5,000 試行, 選択的プレイ状況での間接互惠性成立回数 (10 レプリケーション中).

Table 7 The number of replicates, among 10 replicates, in which ES strategy (GBBG) realizes indirect reciprocity under selective play environment when one generation consists of 5,000 trials.

b/c	成立回数	提供率	第 3 戦略	ALL-C	ALL-D
2	0	0.0252	0.0	0.0	300.0
4	7	0.6472	209.8	0.1	90.1
6	10	0.9506	298.9	1.1	0.0
8	10	0.9553	297.5	2.5	0.0
10	10	0.9470	298.2	1.8	0.0

はどのような状況であっても非提供行動を取る. 上述したように, GBBG による間接互惠性不成立の原因は Bad に非提供行為をとった ALL-D の存在であるが, 選択プレイ状況下でも Bad に非提供行為をとった ALL-D は存在し, これに対する GBBG の評価は変わらない. よって, 選択プレイ状況を導入しても, ES 戦略 (GBBG) によって成立するかどうかは疑問が残る.

これを検証するために, 1 世代を 5,000 試行として, ランダムマッチング状況と選択的プレイ状況のそれぞれに対し, ES 戦略を第 3 戦略としてギビングゲームを実行した. 結果は, それぞれ, 表 6 と表 7 である. ランダムマッチングにおける結果 (表 6) は, 文献 [10] の結果と同様で, コスト比が低い場合に間接互惠性が不成立である. しかし, 選択的プレイ状況 (表 7) にしても状況はほとんど変化せず, やはりコスト比が低い場合に不成立となっていることが分かる.

4.3 提供インセンティブ比ごとの ES 戦略

ES 戦略による間接互惠性の成立を見るために, 3 節で述べた提供インセンティブ比を導入した実験を行った. 図 2 と 3 が, それぞれ, ランダムマッチング状況と選択的プレイ状況における結果, 10 レプリケートにおける間接互惠性の成立回数を, 様々なコスト比, 提供インセンティブ比で調べている. なお, 図 2 および 3 は, 文献 [7] 中のデータを用い, 再作成したものである.

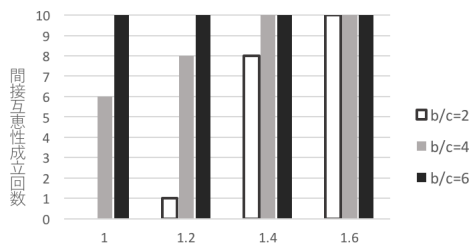


図 2 提供インセンティブ比ごとの ES 戦略 (GBBG) のランダムマッチング下における間接互惠性の成立回数

Fig. 2 The number of replicates in which ES strategy (GBBG) realizes indirect reciprocity under random matching for each provision incentive.

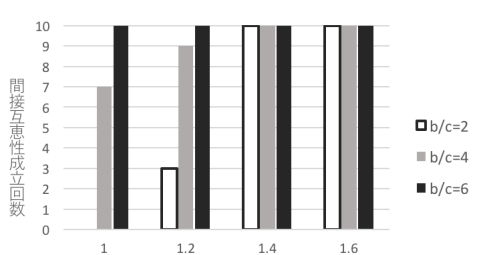


図 3 提供インセンティブ比ごとの ES 戦略 (GBBG) の選択的プレイ下における間接互惠性の成立回数

Fig. 3 The number of replicates in which ES strategy (GBBG) realizes indirect reciprocity under selective play environment for each provision incentive.

まず、ランダムマッチング状況 (図 2) においても、提供インセンティブ比が 1.6 あれば、全てのコスト比で間接互惠性が成立していることが分かる。同様に、選択的プレイ状況 (図 3) では、さらに低い値 (1.4) でも、全てのコスト比で間接互惠性が成立していることが分かる。もともと、低いコスト比では間接互惠性が成立しにくいことは知られていたが、 $b/c = 2.0$ でも成立している。

5. おわりに

本稿では、間接互惠性を成立させる要因として、個人の戦略ではなく、社会的な要因として提供を促すような仕組みがあればよいことを、ギビングゲームを用いて示した。従来から、別の社会的な要因であるコスト比について、これが大きい時には提供により得られる利益が増えるため、間接互惠性が成立しやすいことは知られていたが、提供インセンティブ比によっても同様の効果があることが分かった。

間接互惠性を成立させる戦略には、提供を促進する仕組みと、非提供を罰する仕組みがあり得る。特に、SDISC 戦略 (GBBB) は Bad と評価することが多く、罰する意味合いが強いが、ポジティブな側面にインセンティブを与えることで、ES 戦略 (GBBG) のように、Bad に非提供者したものを肯定的に評価する戦略でも共栄な社会が作れることが意義深い。

参考文献

- [1] Leimar, O. and Hammerstein, P.: Evolution of Cooperation through Indirect Reciprocity, *Proceedings of the Royal Society of London, Series B. Biological Sciences*, Vol. 268, pp. 745–753 (2001).
- [2] Nowak, M. A. and Sigmund, K.: Evolution of Indirect Reciprocity by Image Scoring, *Nature*, Vol. 393, pp. 573–577 (1998).
- [3] Ohtsuki, H. and Iwasa, Y.: The Leading Eight: Social Norms That Can Maintain Cooperation by Indirect Reciprocity, *Journal of Theoretical Biology*, Vol. 239, pp. 435–444 (2006).
- [4] Ohtsuki, H. and Iwasa, Y.: Global Analyses of Evolutionary Dynamics and Exhaustive Search for Social Norms that Maintain Cooperation by Reputation, *Journal of Theoretical Biology*, Vol. 244, No. 33, pp. 518–531 (2007).
- [5] Panchanathan, K. and Boyd, R.: A Tale of Two Defectors: The Importance of Standing in the Evolution of Indirect Reciprocity, *Journal of Theoretical Biology*, Vol. 224, pp. 115–126 (2003).
- [6] Sasaki, T., Okada, I. and Nakai, Y.: The Evolution of Conditional Moral Assessment in Indirect Reciprocity, *Scientific Reports*, Vol. 7, No. 41870 (2017).
- [7] Shimo-oka, Y. and Ikeda, D.: Promoting Cost Effective Exchange Leads to Emergence of Indirect Reciprocity, *Proceedings of International Conference on Spirituality and Psychology 2017*, pp. 88–102 (2017).
- [8] Sigmund, K.: Moral Assessment in Indirect Reciprocity, *Journal of Theoretical Biology*, Vol. 299, No. 5, pp. 25–30 (2012).
- [9] Takagi, E.: The Generalized Exchange Perspective on the Evolution of Altruism, *Frontiers in Social Dilemmas Research* (Liebr, W. B. G. and Messick, D. M., eds.), pp. 311–336 (1996).
- [10] 真島理恵: 利他的行動を支えるしくみ—情けは人の為ならずはいかにして成り立つか—, ミネルヴァ書房 (2010).
- [11] 真島理恵, 高橋伸幸: 間接互惠性の成立: 非寛容な選別主義に基づく利他行動の適応的基盤, *心理学研究*, Vol. 76, No. 5, pp. 436–444 (2005).
- [12] 真島理恵, 高橋伸幸: 敵の敵は味方-間接互惠性における二次情報の効果に対する理論的・実証的検討-, *理論と方法*, Vol. 20, No. 2, pp. 177–195 (2005).