ネットワーク型囚人のジレンマにおける協調行動の創発に関する研究*

井寄 幸平[†]・鳩野 逸生[‡]・小田宗兵衛[§]・上田 完次[¶]

The Emergence of Cooperation in the Prisoners' Dilemma Network*

Kouhei IYORI[†], Itsuo HATONO[‡], Sobei H. ODA[§] and Kanji UEDA[¶]

This paper describes how people establish or fail to establish long-run cooperation in the Prisoner's Dilemma Network (PDN), where subjects are allowed to nominate a subject with whom they want to play the Prisoner's Dilemma (PD) game at the beginning of each round. We have done a series of experiments with undergraduates and computer simulations of the PDN games. In the experiments most subjects either continued to play the PD game cooperatively with the same partner or never played the PD game cooperatively in the long run, and those who were more cooperative earned more. Since the simulations reproduced the results of the experiments, we can guess the subjects' strategies, which were not as apparent and controllable as the programs of agents.

1. はじめに

本研究では、「ネットワーク型囚人のジレンマ」[7-9]を用いて行動主体間に発生する関係と協調行動について分析する。

従来の囚人のジレンマ研究[1]は主体間の関係を「継続的」かつ「強制的」なもの、すなわち変更や解消が不可能なものとして取り扱ってきた。しかし神ら[8,9]は現実社会で観察される継続的関係の多くは当事者間の合意によって成立したものであり、また変更や解消が可能な「非強制的」関係であるとしている。たとえば消費者間の情報のやりとりや企業間の取引関係は必ずしも強制力を

持つものではなく、むしろ互いが自由に選択することが可能である。このような問題に対して山岸らは「ネットワーク型囚人のジレンマ」を提案している。ネットワーク型囚人のジレンマでは各行動主体が集団の中から自由に自分の対戦相手を選ぶことができ、相互の合意に基づいて成立したペアによってゲームの対戦が行われる。

「ネットワーク型囚人のジレンマ」では各行動主体（プレイヤー）が集団の中から自分の対戦相手を自由に選ぶことができ、行動主体間の合意によって成立したペアでゲームの対戦が行われる。このような状況下で行動主体間に構築される関係は「創発」という概念でとらえることができる。本研究における創発とは、「要素間の局所的な相互作用により大域的挙動が現れ、その大域的挙動が要素の振舞いを拘束するという双方向の動的過程を通して、新しい機能や形質、行動を示す秩序が形成されること」[6]と定義される。ネットワーク型囚人のジレンマでは行動主体は互いの選択と行動決定により相互作用を行い、その結果として継続的な相互関係を構築してゆく。行動主体が構築した関係はそれぞれの行動主体にとっての環境となり、時には高い利得を得るため、また時には損失を最小限にとどめるための秩序を形成してゆく。本研究では行動主体間に創発する関係のうち、とくに「相互協力」を継続的に維持する協調行動に着目する。現実社会における消費者間の口コミ、企業間の価格協定など、経済主体間の協調行動は社会全体に大きな影響を及ぼ

* 原稿受付 2002年11月1日

[†] 日本学術振興会特別研究員 京都産業大学経済学部 JSPS Research Fellow, Faculty of Economics, Kyoto Sangyo University; Motoyama, Kamigamo, Kita-ku, Kyoto 603-8555, JAPAN

[‡] 神戸大学 工学部 Faculty of Engineering, Kobe University; 1-1 Rokkodai-cho, Nada-ku, Kobe, Hyogo 657-8501, JAPAN

[§] 京都産業大学 経済学部 Faculty of Economics, Kyoto Sangyo University; Motoyama, Kamigamo, Kita-ku, Kyoto 603-8555, JAPAN

[¶] 東京大学 人工物工学研究センター Research into Artifacts, Center for Engineering, The University of Tokyo; 4-6-1 Komaba, Meguro-ku, Tokyo 153-8904, JAPAN

Key Words: Prisoners' Dilemma Network, cooperation, emergence.

す。本研究ではこのような経済主体間の協調行動をネットワーク型囚人のジレンマによりモデル化し、被験者実験と計算機実験を用いて分析することを目的とする。

2. ネットワーク型囚人のジレンマ

本研究では、4人1組の集団を仮定して以下のようにネットワーク型囚人のジレンマのモデルを定義する。囚人のジレンマの対戦を行うペアを形成するにあたり、2種類の規則を導入する。

- (1) 各プレイヤーは集団の中から対戦を希望する相手を1名選択し指名する。
- (2) 各プレイヤーの指名に基づいてペアを形成する。本研究で用いるペアの形成規則は以下の二つである。
 - (a) 指名ペア (PDN α)：互いに指名し合ったプレイヤー同士をペアにする。
 - (b) 強制ペア (PDN β)：まず、互いに指名し合ったプレイヤー同士をペアにする。つぎに相互指名が成立しなかったプレイヤーをランダムに組み合わせてペアとする。
- (3) ペアが成立したプレイヤー同士で囚人のジレンマゲームの対戦を行う。ペアを形成したプレイヤーは相手に対し「協力」か「非協力」を選択する。
- (4) 各プレイヤーの行動と Table 1 に示す利得表をもとに各プレイヤーに利得が与えられる。PDN α においてゲームに参加できなかったプレイヤーには（ゲームを行って互いに非協力を選択した場合と同じ）1点が与えられる。

以上の手順を1ラウンドとする。また、同じ被験者と規則のもとでゲーム終了まで行われる複数回のラウンドを1セッションとする。

Table 1 Payoff matrix

$i \backslash j$	cooperate	defect
cooperate	3, 3	0, 5
defect	5, 0	1, 1
1 if not paired		

ネットワーク型囚人のジレンマでは、相手との合意が成立しなかった場合のプレイヤーの取り扱いが問題となる。現実社会では合意が成立せず取り残された集団の成員が残された成員といやおうなく関係を形成させられる場合もあり得るし、誰とも関係を持たない場合もある[8]。前者は本研究のモデルにおけるPDN β に相当し、後者はPDN α に相当する。先行研究では、被験者実験で前者を行ったもの[8]や計算機実験を用いて後者を行ったもの[9]があるが、2種類のペア形成規則を用いたうえで被験者実験と計算機実験の双方を行った例は行われておらず、本研究ではそれぞれのペア形成規則による結果の違い、および計算機実験との比較を行う。

3. 被験者実験

3.1 被験者実験の概要

上述のモデルを用いて被験者実験を行った。実験は2002年7月24日と7月27日の2日間行われ、京都産業大学の学部生および交換留学生から募集された48名（各日24名）が実験に参加した。参加者募集はホームページと掲示により行われ、いずれも実験結果に比例する金銭が報酬として支払われることが明記された。実験は1日に2種類行われ、それぞれペア形成規則が異なる実験が行われた。第1日目は指名ペア-強制ペアの順(PDN α -1, PDN β -2とする)で、第2日目は強制ペア-指名ペアの順(PDN β -1, PDN α -2とする)で行われた。それぞれの実験の前に、被験者はランダムに4人ずつのグループに分けられた。また、第2回目の実験におけるグループは第1回目とは異なる（第1回目で同じグループになった被験者とは第2回目では必ず別グループとなる）。ランダムにグループ分けが行われていること、および第2回目のグループが第1回目と異なることは被験者に知らされているが、誰と誰が同じグループになっているかは最後まで知らされない。

各被験者はコンピュータ画面に表示される実験画面を通してゲームを行う。

- メイン画面：画面右上のフレーム。相手の指名および行動決定を行う。また、ゲームの対戦結果が表示される。数字による順序効果を避けるため他のプレイヤーは色で表示されており、ゲームの手の選択の際には心理的効果を避けるため「協力」「非協力」ではなく「A」「B」と表記されている。
- 履歴画面：画面左のフレーム。過去のラウンドにおける自分の指名した相手、実際にペアになった相手、自分と相手の行動、ゲームの得点の履歴が表示される。
- 得点表：画面右下のフレーム。囚人のジレンマゲームの利得表が表示される。被験者にわかりやすくするため「得点表」と表記されている。

実験の終了回数はそれぞれの実験について101-120ラウンドの間でランダムに決定される。実験が何ラウンド続くかは被験者には知らされない。すべての実験が終了すると、被験者はゲームでの総得点に応じた報酬を支払われる。報酬の計算式は $6 \times (\text{総得点}) + 1000$ [円]とし、実験前に被験者に明示された。

3.2 被験者実験の結果

被験者実験の結果の概要を Table 2 に示す。各実験セッションで繰り返し回数が異なるため、比較のために100回までの結果を括弧内に示してある。

被験者実験の結果、二つの大きな特徴が観察された。第一に、実験が進むにつれてほとんどのグループで継続的な協調関係（常に同じ相手を指名してペアになり、協力を選択する）を維持するペアが固定することが観察さ

Fig. 1 Subjects' screen

Table 2 Overall performance

—	PDN α -1	PDN α -2	PDN β -1	PDN β -2
rounds	104 (100)	114 (100)	127 (100)	117 (100)
exp. time [minutes]	35 (34)	40 (35)	50 (39)	30 (26)
max points	254 (242)	342 (300)	383 (300)	348 (300)
min points	104 (100)	97 (83)	129 (91)	102 (85)
average points	149.6 (143.4)	251.4 (218.7)	261.7 (201.6)	237.8 (202.2)

れた. このようなペアを継続的協調ペアとよび, 以下のように定義する.

継続的協調ペアとは, 80-100 ラウンドの間の 90% (18 ラウンド) 以上において同じ相手を指名し, かつ相互協力を達成したペアである.

継続的協調ペアの多くは実験の中盤から後半にかけて形成されているため, その判定は実験後半の 80 ラウンド以降で行う. また, それぞれの実験の比較のため, および被験者が実験終了ラウンドを予想して行動を変化させることの影響を少なくするために判定終了は 100 ラウンドで統一した.

実験結果は形成された継続的協調ペアの数で分類することができる. Case n は n 組の継続的協調ペアが形成されたことを示す. Table 3 は各セッションで観察された Case n に分類されるグループ数を示す. ただし, Case n のいずれにも該当しなかったペアは others として示している. 今回の被験者実験で観察された others に該当する場合は, (1) 相互協力を達成するペアは形成されているが特定の相手と継続的に行われたものでない場合

(Fig. 5), (2) 同じ相手との相互協力に至ったのが実験終了直前だったために継続的協調ペアの定義を満たさない場合, の 2 種類である.

Fig. 2 から Fig. 5 はそれぞれの場合の例を示す. 図において横軸は実験回数を示し, 縦軸はペア数を示す. 灰線は相互指名によって形成されたペアであり, 黒線は相互協力状態にあるペアを示している.

第二に, 被験者が得た総得点は協力的な被験者ほど高

Table 3 The classification of experiments

—	Case 0	Case 1	Case 2	others
PDN α -1	3	3	0	0
PDN α -2	0	3	2	1
PDN β -1	1	3	2	0
PDN β -2	2	1	2	1

Fig. 2 An example of Case 0

Fig. 3 An example of Case 1

Fig. 4 An example of Case 2

いことがわかった。Fig. 6 と Fig. 7 は被験者が得た平均得点と協力率の関係を示す。図において、横軸は被験者の協力率（協力を選択した回数をペアが成立した回数で除したもの）を示し、縦軸は平均得点を示している。図より、協力率の高い被験者ほど平均得点が高いことがわかる。ただし、Fig. 6 に示すように $PDN\alpha$ では協力率に関わらず平均得点が 1 付近の被験者の集団が存在する。これは、 $PDN\alpha$ では相互指名によってのみペアが成立するために、ペアが成立した回数が少ない被験者の平均得点がペア不成立時の 1 点に近くなるためである。

Fig. 5 An exceptional case

Fig. 6 The average points ($PDN\alpha$) Fig. 7 The average points ($PDN\beta$)

4. 計算機実験

つぎに、計算機実験により被験者実験の再現を試みる。繰り返し囚人のジレンマを取り扱った研究では、あらかじめ特定の戦略をプレイヤーにプログラムする方法 [1,9] や、強化学習を用いて行動を決定させる [5] ものなどがある。しかし、被験者が実際に行う行動の多様性や変化を見る限り、特定の行動をあらかじめプログラムする方法は適切とはいえない。また、強化学習を用いた方法ではおもに得られた得点をもとに行動を学習していくため、非協力によって高い利得が得られる方へ収束することが多い。Erev & Roth の強化学習アルゴリズム [2] はあらかじめ戦略のなかに「協力」、「非協力」に加えて「しっぺ返し戦略」を組み込むことで「しっぺ返し戦略」が学習され、プレイヤー間の相互協力が增加することが示されているが、この場合も被験者があらかじめそのような行動を準備しているとは考えにくい。また、ネットワーク型囚人のジレンマでは「協力」「非協力」の行動選択に加えて対戦相手の選択も行うため、さらに多様な戦略を表現する必要がある。

被験者実験において継続的協調ペアが形成される理由の一つに、被験者の戦略合理性が考えられる。つまり、1 回の囚人のジレンマゲームの対戦には「非協力によって大きな利得を得る」という誘因があっても、自分の行動が相手に与える影響を予測（たとえば、自分の非協力が相手の報復を招く可能性）し、長期的に高い利得を得る協調関係を目指していると思われる。ただし、戦略合理的な行動が有効となるのは同じ相手と長期につきあう可能性が大きい場合に限られる。よって、被験者はまず対戦相手が長期的な関係を築くに値するかどうかを判定する必要がある。セッションの初期段階において、相手を判断する基準は相手の行動（すなわち協力を選択する）ということになるであろう。なぜなら、初期段階で目の利益を求めて非協力を選択する被験者は戦略合理的でないと判断されるからである。つぎに、ある程度実験が進んで対戦相手の行動様式が予測されるならば、その予測に基づいて最適な行動をとればよい。相手が戦略合理的（長期的な関係を望み、協力的）な場合には自分もその相手を選択して協力を選択すればよいし、そうでなければ非協力によって搾取されるのを防ぐことになる。以上の理由により、本研究では 1 回の対戦における利得構造の大小ではなく、相手の過去の行動系列をもとに戦略を決定する方法をとる。具体的には、相手の「信頼度」を数値化し、その値をもとに相手の指名と行動決定を行うアルゴリズムを提案する。本アルゴリズムの要点は以下の三つである。

- 信頼度の値を用いて相手の指名および行動決定を行うことにより、単一のパラメータで異なる多種多様な戦略を表現できる。
- 相手の行動によって信頼度を変化させることにより、

状況に合わせた適切な行動選択（戦略合理的な行動）を可能とする。

- 得られた得点ではなく相手の行動を評価基準とするため、強化学習にみられる非協利行動への偏向を回避できる。

4.1 プレイヤの行動のモデル化

本研究では、「信頼度」は相手がどのような行動をとるかに対する主観的な期待を数値化したものであり、以下のような仮定を満たすものとして定義する。

- (1) 信頼度の値は対戦相手が「協力」した場合に増加し、「非協力」をとった場合には減少する。
- (2) 信頼度の値は 0 から 1 の間とし、相手が常に協力した場合には 1 に、相手が常に非協利をとった場合には 0 に収束する。
- (3) 同じ相手と複数回の対戦を行ったとき、新しい時点の行動ほど大きく評価する。すなわち相手の過去の行動については割引をかけて評価する。
- (4) PDN α において、あるプレイヤを指名したにもかかわらず相手から指名されなかった場合には信頼度の値が減少する。
- (5) 指名しなかったプレイヤに対する信頼度は変化しない。

以上の仮定を満たすものとして、時刻 t におけるプレイヤ i の j に対する信頼度を

$$T_{i,j}(t) = W_{i,j}(t) \left(\frac{1}{1+r} \right) \{ r X_{j,i}(t) + T_{i,j}(t-1) \} + \{ 1 - W_{i,j}(t) \} T_{i,j}(t-1) \quad (1)$$

と定義する。

ここで r は割引率であり、 $r > 0$ とする。 r の値が大きいほど相手の直前の行動に対する信頼度の変化は大きくなる。たとえば $r = \infty$ ならば信頼度は相手の直前の行動のみによって決定され、 $r = 0$ であれば相手の行動にかかわらず信頼度は一定の値をとり続ける。 $X_{i,j}(t)$ は時刻 t の対戦におけるプレイヤ i の j に対する行動であり、以下のように定義する。

$$X_{i,j}(t) = \begin{cases} 1 & (\text{cooperate}) \\ 0 & (\text{defect}) \end{cases} \quad (2)$$

また $Y_{i,j}(t)$ は時刻 t においてプレイヤ i が j を指名したかどうかを表す変数であり、以下のように定義する。

$$Y_{i,j}(t) = \begin{cases} 1 & (\text{nominate}) \\ 0 & (\text{otherwise}) \end{cases} \quad (3)$$

つぎに時刻 t においてプレイヤ i が j とペアになったかどうかを示す変数として $Z_{i,j}(t)$ を定義する。

$$Z_{i,j}(t) = \begin{cases} 1 & (\text{paired}) \\ 0 & (\text{otherwise}) \end{cases} \quad (4)$$

$W_{i,j}(t)$ は $Y_{i,j}(t)$ と $Z_{i,j}(t)$ の最大値として定義する。

$$W_{i,j}(t) = \max\{Y_{i,j}(t), Z_{i,j}(t)\} \quad (5)$$

各プレイヤは (1) 式から (5) 式によって定義される信頼度を用いて相手指名および行動選択（協利か非協利）を行う。指名戦略として、各プレイヤは最も高い信頼度をもつプレイヤをゲームの相手として指名する。すなわち、プレイヤ i は $T_{i,j}(t)$ が最大となるプレイヤ j を指名する。信頼度の値が最大となるプレイヤが複数存在する場合にはその中からランダムに 1 人のプレイヤを指名するものとする。

ペアが成立した場合、囚人のジレンマゲームの対戦が行われる。各プレイヤの行動決定（協利もしくは非協利）は信頼度の値にしたがって確率的に行う。時刻 t の対戦においてプレイヤ i がプレイヤ j に対して協利を選択する確率 $P_{X_{i,j}(t)=1}$ を以下のように定義する。

$$P_{X_{i,j}(t)=1} = T_{i,j}(t-1) \quad (6)$$

すなわち各プレイヤは対戦相手の信頼度の値を協利の確率として使用する。

以上より割引率 r と信頼度の初期値 $T_{i,j}(0)$ の組合せにより様々な行動戦略を表現することができる。 $r = \infty$ かつ $T_{i,j}(0) = 1$ とすると、2 人ゲームの場合によく知られた「しつぺ返し」戦略（第 1 手目は協利を選択し、それ以降は相手が直前にとった行動と同じ行動をとる）と同じになる。 $r = 0$ のときは相手の行動に関係なく $T_{i,j}(0)$ の確率で協利か非協利かを選択する戦略となる。

4.2 計算機実験の手順

前述のモデルに基づいて計算機実験を行う。実験の手順は以下の通りである。

- (1) 4 人のプレイヤによる初期集団を生成する。 r , $T_{i,j}(0)$ の値はランダムに各プレイヤに与える。
- (2) 各プレイヤは信頼度 $T_{i,j}(t)$ が最大となるプレイヤを 1 名指名する。
- (3) 各プレイヤの指名に基づいてペアを形成する。計算機実験においても PDN α , PDN β の両方を行う。
- (4) 形成されたペアの間で囚人のジレンマゲームの対戦を行う。
- (5) 各プレイヤの行動に基づいて利得が与えられる。
- (6) 各プレイヤは対戦相手もしくは指名した相手の行動に基づいて信頼度の値を変更する。

以上の手順を 1 ラウンドとし、100 ラウンドを 1 試行とする。実験は 50 万試行行われる。割引率および信頼度の初期値は $0 < r < 100$, $0 < T_{i,j}(0) < 1$ で試行ごとにランダムに各プレイヤに与えられる。1 集団を 4 名のプレイヤとし、囚人のジレンマゲームには Table 1 に示す

Table 4 The classification of simulations

—	Case 0	Case 1	Case 2	others
PDN α	63.6%	24.8%	0.8%	10.8%
PDN β	2.7%	61.9%	26.3%	9.1%

Fig. 8 Case 0 in simulations

Fig. 9 Case 1 in simulations

利得表を用いる。

4.3 計算機実験結果

Table 4 は計算機実験で得られたそれぞれの場合の比率を示す。計算機実験においても、継続的協調ペアの判定方法は被験者実験と同じである。Table 4 より、ほとんどの場合（約 90%）でいずれかの場合に分類できる。

Fig. 8 から Fig. 10 は計算機実験におけるそれぞれの場合の例である。計算機実験でも被験者実験と同様にこれらの結果を再現することができた。また、被験者実験と同様に試行を重ねていく過程で協調関係を築くことのできる相手を選択し、その場合には自分から裏切りを選択することなく長期にわたる協調関係を維持していることがわかる。

Fig. 11 および Fig. 12 は計算機実験におけるプレイヤーの平均点と協力率の関係を示す。50 万試行のうちの 500 回の結果をランダムに抜き出して表示している。協力率の定義は被験者実験の場合と同じである。平均点と協力率の関係においても、本研究で提案した手法によって被験者実験と同様の結果が得られた。とくに PDN α にお

Fig. 10 Case 2 in simulations

Fig. 11 The average points in simulations (PDN α) Fig. 12 The average points in simulations (PDN β)

いて、ゲームにあまり参加できなかったプレイヤーが平均点 1 付近に集中する様子をはっきりと確認できる。

5. 考察

被験者実験において、各セッションにおける平均継続的協調ペア数（Case n に分類されないグループは除外して計算）は PDN α -1, PDN α -2, PDN β -1, PDN β -2 でそれぞれ 0.5, 1.4, 1.2, 1 となる。計算機実験においては PDN α で 0.29, PDN β で 1.25 となる。被験者実験において、同じ日に行われた実験では第 1 セッションより第 2 セッションの方が継続的協調ペア数が増加してい

る (0.5 → 1; 1.2 → 1.4). また, 3章 Table 2 より 100 ラウンドまでの平均点をみても第1セッションより第2セッションの方が大きくなっている (143.4 → 202.2; 201.6 → 218.7). ペア形成規則が異なるにもかかわらずこのような傾向が出ていることから, 被験者はセッションを通じてゲームの構造や戦略を学習し, ペア形成規則が異なる場合のゲームにおいても協力的な関係を築いているといえる.

被験者実験における第1セッションの平均継続的協調ペア数と, 計算機実験における平均継続的協調ペア数の比較を Table 5 に示す. Table 5 より, 明らかに PDN β の方が平均継続的協調ペア数が増加している. これは, セッションの初期段階においてゲームの対戦を行う機会が増加するために, 長期的な関係を築く相手を見つけやすいためと考えられる. PDN α において, ある被験者(プレイヤー)がランダムに指名を行った場合にペアとなる確率は $1/9 (= 11.1\%)$ とかなり低い. 何度も指名してペアになれなかった相手の場合, たとえペアになっても協力的な行動には慎重になり, その結果として継続的協調ペアの数が減少しているものと考えられる.

Table 5 The average number of pairs in experiments (1st session) and simulations

—	PDN α (-1)	PDN β (-1)
experiments	0.5	1.2
simulations	0.29	1.25

次に協力率と平均得点の関係について見てみると, 被験者実験において PDN β ではほぼ線形に分布している. 継続的協調ペアでは平均点は3点に近づくことから, 平均点の低いペアは強制的にペアとなった被験者であり, 互いに非協力を選択していることが多いと考えられる. 神らの実験 [8] では, 強制的かつ継続的にペアを組んだ被験者の協力率が低下することが示されているが, 今回の実験でも同様の結果が観察された.

PDN α では相互の指名によってのみペアが成立するため, ペアが成立した回数の少ない被験者は協力率にかかわらず平均得点が1点付近に分布しているが, それ以外は線形に分布している. このことから, 被験者実験においては非協力によって相手を搾取して高得点を得ようとしてもペアとして指名されなかったり, ペアになっても相互非協力となって低い得点に押さえられていると考えられる. つまり, ネットワーク型囚人のジレンマにおいては協力的に振る舞い, 同じく協力的な相手と継続的な関係を維持することが高得点につながるといえる. 計算機実験はこの結果を非常に忠実に再現しており, 協力的なプレイヤーほど高い得点を獲得結果となった.

以上より, 計算機実験によって被験者実験の結果をある程度再現できたといえる. 第2セッションの結果と計算機実験の結果はかなり異なるが, 計算機実験における

信頼度の初期値を変化させることで再現できるのではないかと考えている. 実際に計算機実験において信頼度の初期値を大きくすれば平均ペア数や平均利得は増加する. 今後さらに被験者実験を行い, 実際の被験者がどの程度の信頼の初期値を持っているのか, セッションを通じてどのように変化するのかを分析し計算機実験で検証したいと考えている.

6. おわりに

本研究では「ネットワーク型囚人のジレンマ」の被験者実験により行動主体間に発生する協調行動について分析し, 計算機実験による被験者行動の再現を行った. 我々が提案する「信頼度」に基づく行動決定手法により, 被験者実験でみられた以下の2点の特徴を計算機実験によって再現できた.

- ほとんどの被験者(プレイヤー)が常に同じ相手を指名し, 協力する「継続的協調ペア」が一定数形成されるか, 全く協調しないかのいずれかに分類される.
- 協力率の高い被験者(プレイヤー)ほど平均得点が高い. ただし, PDN α においてゲームにあまり参加できなかったプレイヤーは協力率に関わらず平均得点が1付近となる.

現実社会で観察される継続的関係の多くは互いの合意に基づくものであり, 企業や消費者といった社会システムを構成する主体間の関係の分析は重要である. とくに, ネットワークを通じた取引やオークションでの売買など, 実際に相手と会って交渉しなくてもいい場合には相手が信頼できるかどうかを見極め, その上で有益な関係を築いていく必要がある. このような状況のモデル化, および分析にあたって本研究で用いた手法が応用できる.

今後は1グループの構成人数を増加させ, 常に1対1の対戦ではなく1対複数, 複数対複数の対戦などを導入することや, 抽象的な利得表ではなく商品やサービスの取引を念頭においたモデル化を行うことでより現実的で有用な研究にできると考えている.

謝 辞

本研究は私立大学学術研究高度化推進事業オープン・リサーチ・センター「実験経済学: 経済学教育の新しい方法と, それによる経済学教育の社会的効果の研究」, 科学研究費補助金(基盤研究B(2))「マーケットマイクロストラクチャー理論に基づくリサイクル市場への戦略設計」(課題番号: 13480115), 科学研究費補助金(特別研究員奨励費)「被験者実験に基づく経済主体の意志決定と協調行動に関する研究」, および科学技術融合振興財団研究助成金の補助を受けて行われたものであり, ここに謝意を表します.

参考文献

- [1] R. Axelrod: *The Evolution of Cooperation*, Basic Books (1984)
- [2] I. Erev and A. E. Roth: Simple reinforcement learning models and reciprocation in the prisoner's dilemma game; *The Bounded Rationality: The Adaptive Toolbox*, pp. 215–231, MIT Press (2002)
- [3] N. Hayashi and T. Yamagishi: Selective play: Choosing partners in an uncertain world; *Personality and Social Psychology Review*, Vol. 2, pp. 276–289 (1998)
- [4] K. Iyori, I. Hatono, S. H. Oda and K. Ueda: The emergence of cooperative behaviour in the Prisoner's Dilemma Network: Simulations and experiments; *Proc. of the 6th International Conference on COMPLEX SYSTEMS*, pp. 134–140 (2002)
- [5] R. Sarin and F. Vahid: Predicting how people play games: a simple dynamic model of choice; *Games and Economic Behavior*, 34, pp. 104–122 (2001)
- [6] K. Ueda: Synthesis and emergence; *Artificial Intelligence in Engineering*, Elsevier, 15, pp. 321–327 (2001)
- [7] T. Yamagishi, N. Hayashi and N. Jin: Prisoner's dilemma network: Selection strategy versus action strategy; *Social Dilemmas and Cooperation*, Springer-Verlag, pp. 233–250 (1994)
- [8] 神, 林, 篠塚: ネットワーク型囚人のジレンマの実験的研究: PD 関係におけるコミットメントの形成; 実験社会心理学研究, 第 33 巻, 第 1 号, pp. 21–30 (1993)
- [9] 林, 神, 山岸: ネットワーク型囚人のジレンマ: 戦略のシミュレーション; 社会心理学研究, 第 8 巻, 第 1 号, pp. 33–43 (1993)