

ネットワーク環境下における相手決定規則と 経験の影響に関する研究

井 寄 幸 平

(受付 2014年5月29日)

1. は じ め に

本研究では、ゲームにおける対戦相手の選択が可能なネットワーク環境の下で、相互の協力的な関係がどのように形成・維持されるかについて、「ネットワーク型囚人のジレンマ」[4, 6, 9, 10] ゲームを用いて分析をおこなう。特に集団内において相手を決定する規則の違いと、プレイヤーが一通りのゲームを「経験」することによって得た知識の影響について、被験者実験とシミュレーションを用いた検証を試みる。

ネットワーク型囚人のジレンマでは、従来の囚人のジレンマモデル [1, 2, 3] と異なり、対戦相手の自発的選択による関係の構築がおこなわれる。実社会で観察される継続的な関係、例えば個人間の情報交換や企業同士の取引関係は、当事者間の合意に基づいて形成したり解消したりするものが多い。また、相互の合意による関係が構築できなかった場合、規則や慣習、上位者による命令などによって強制的に相手を決定されることもある。これらの「相手の決定規則」は相互協力の形成・維持の過程に大きな影響を与えていると考えられる。

これまでの研究 [5, 7] により、ネットワーク型囚人のジレンマの被験者実験において「相互の指名のみによって対戦相手を決定する」規則よりも「相互指名による相手の決定後、相手を得られなかったプレイヤーを強制的かつランダムに組み合わせる」規則の方が、全体として多くの協力関係を発生・維持させることが確認されている。この結果を再現するため、対戦相手の協力度合いを主観的に評価する指標「信頼度」を定義し、その値に基づいて相手と行動の選択をおこなうアルゴリズムを構築しシミュレーションを実施したところ、協力的関係の形成数や、協力率と利得の傾向について概ね被験者実験と同様の結果を得た。

しかし、被験者実験においてゲームを一通りおこなった後、集団の成員を変更して2度目のゲームをおこなうと、相互指名による規則では明確に相互協力関係が増加するのに対し、強制指名を含む規則では協力関係は増加せず、むしろ若干ではあるが非協力的な関係が増加した。この結果についてシミュレーションによる検証はおこなっておらず、プレイヤーの「経験」をどのように評価してアルゴリズムに組み込むかを検討する必要がある。

そこで本研究では、ネットワーク型囚人のジレンマにおける対戦相手決定規則と「経験」

の影響に着目し、シミュレーションを用いて被験者がどのような意思決定をおこなっているのか分析・検証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

ネットワーク型囚人のジレンマは、特定の個人又は集団との継続的かつ強制的な関係を仮定してきた従来の囚人のジレンマモデルと異なり、集団の中から対戦相手の候補を自ら選択・指名し、その結果に基づいて対戦相手を決定する手法をとる。集団の人数、対戦相手の決定規則は限定されておらず、状況に応じて様々なモデルを構築しうる。本研究では以下のようなモデルを定義し、被験者実験およびシミュレーションをおこなうこととする。

- (1) 4人1組の集団を形成する。
- (2) 各プレイヤーは集団内から対戦を希望する相手を1名選択し指名する。
- (3) 各プレイヤーの指名に基づいて対戦相手を決定する。対戦相手が決定したプレイヤーの組み合わせを「ペア」と呼ぶ。また、ペアの形成規則として以下の2つを規定する。
 - (a) 互いの指名が一致した場合のみペアを形成する（図1）。この規則を「指名ペア規則」とする。
 - (b) まず互いの指名が一致した場合に優先的にペアを形成し、指名によるペアになら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（図2）。この規則を「強制ペア規則」とする。
- (4) ペアが成立したプレイヤー同士で1回の囚人のジレンマゲームの対戦をおこなう。プレイヤーは相手に対し「協力」か「非協力」を選択する。ただし、(3)の(a)指名ペア規則においてペアが成立しなかったプレイヤーは不参加となり、対戦をおこなわない。
- (5) 各プレイヤーの行動の組み合わせにしたがって、利得を決定する（表1）。

以上の手順を1ラウンドとし、同じ集団、同じ規則のもとで最終ラウンドまでおこなわれる複数回のラウンドを1セッションと定義する。

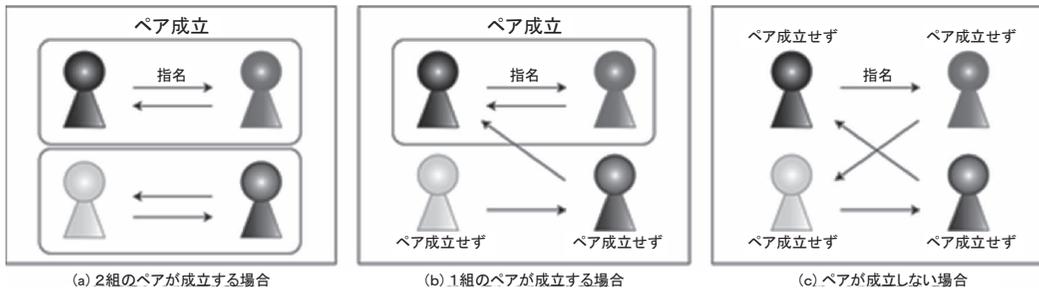


図1 指名ペア規則

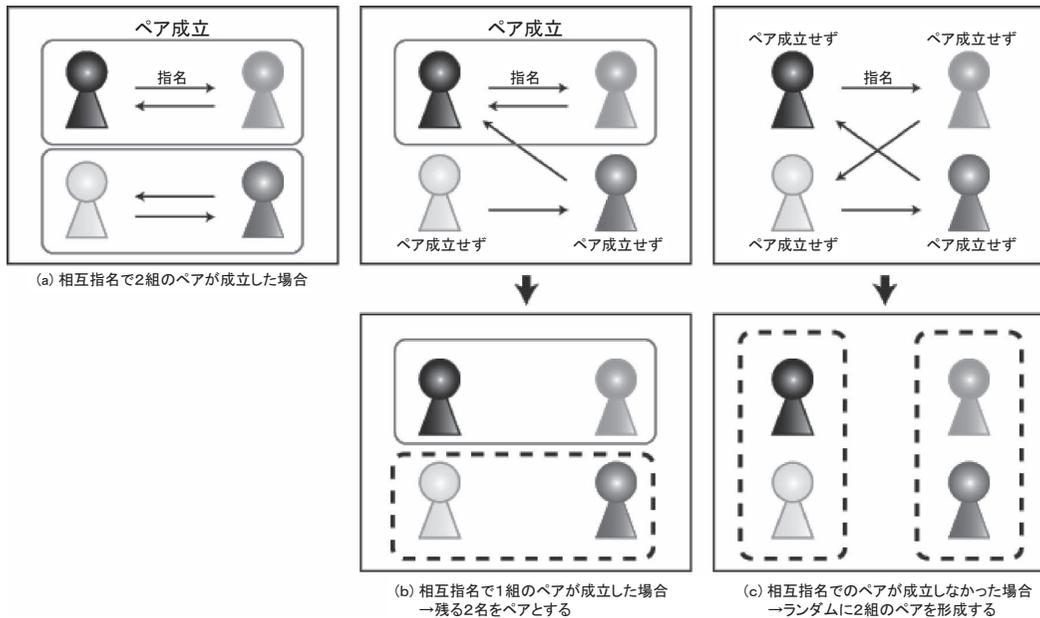


図2 強制ペア規則

また、各プレイヤーが1ラウンドのゲームで得られる利得は表1に示す利得表の通りとする。なお指名ペア規則においてペアが成立しなかった場合は、そのプレイヤーの利得は1とし、これはペアが成立し互いに非協力を選択した場合と同じになっている。

本研究では以上のモデルに基づいて被験者実験とシミュレーションを実施する。

表1 利得表

	協力	非協力
協力	3, 3	0, 5
非協力	5, 0	1, 1
指名ペア規則でペア不成立：1		

3. 被験者実験

3.1 被験者実験の概要

先に述べたモデルを用いておこなった被験者実験について述べる。被験者実験においては指名ペア規則、強制ペア規則それぞれによる違いのほか、ゲームの対戦を通じて被験者が得た「経験」がその後の意思決定にどう影響しているかを確かめるため、対戦相手となる集団

の成員を組み替えて2回のセッションをおこなっている。1回のセッションは概ね100回前後とするが、被験者に終了回数は知らせず、ランダムに終了することを伝えている。

被験者実験は京都産業大学の経済実験室で開催された。被験者は京都産業大学の学生からホームページと学内掲示による公募で計96名が集められ、その際には金銭による報酬があることが明示された。実験の際、対戦相手となる集団はランダムに形成され、自分の対戦相手が誰であるかは被験者には知らされていない。また、2回目のセッションでは集団を組み替えており、このことは被験者にも知らされている。被験者はパーテーションとコンピュータを備えた個別の机に1名ずつ着席し、コンピュータ画面に表示される実験用アプリケーションを用いてネットワーク経由の実験をおこなう。これにより各被験者の行動は他の被験者から秘匿される。

実際の実験アプリケーション画面を図3に示す。

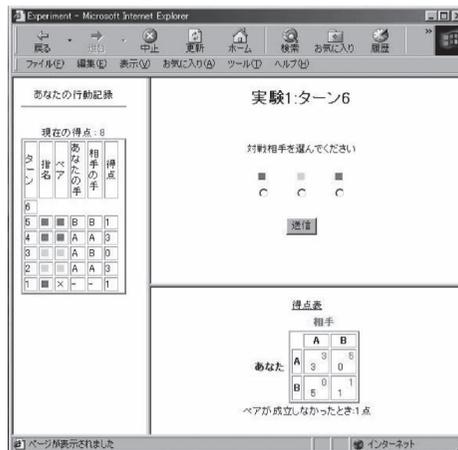


図3 実験アプリケーション画面

実験アプリケーションの画面は3分割されており、左側を履歴画面、右上をメイン画面、右下を得点表と呼んでいる。メイン画面では相手の指名、ペア形成の結果、行動の決定、得点の表示がおこなわれる。なお相手の指名時に数字の大小による順序効果を避けるため、集団に所属する他の成員は色で表示されており、行動選択時の「協力」「非協力」は言葉のイメージによる心理的効果を避けるために「A」「B」と表示される。履歴画面では過去に自分が指名した相手、指名ペア規則の場合はペア形成の成否、自分と相手が選択した行動、各ラウンドのゲームの得点、現時点での合計点が表示される。得点表画面には表1と同じ利得表が常に表示され、ゲーム中にいつでも参照が可能となっている。

実験のすべてのセッションが終了すると、被験者はゲームで得た総得点に応じて報酬を支

払われた。報酬の計算式は $6 \times \text{総得点} + 1,000$ (円) とし、実験前に被験者に周知された。

3.2 被験者実験結果

被験者実験結果の概要を以下に示す。なおセッションごとに終了ラウンド数が異なることから、比較のために1～100回までのラウンドで得られた結果を示している。

表2 被験者実験結果の概要

ペア形成規則	指名ペア規則		強制ペア規則	
	1	2	1	2
セッション	1	2	1	2
最大得点	298	300	300	300
最低得点	99	83	91	85
平均得点	159.8	224.0	208.4	219.0

指名ペア規則、強制ペア規則いずれの場合も1回目のセッションに比べて2回目のセッションの方が平均得点が高くなっている。ただし指名ペア規則では2回目のセッションで大幅に得点が増加しているのに比べて、強制ペア規則では元々1回目のセッションでの平均得点が高いこともあってそれほどの増加は見られない。また、1回目のセッションでは指名ペア規則よりも強制ペア規則の方が高い得点を得ているが、2回目のセッションでは逆転している。

次に被験者実験で形成された協力的なペアの数について示す。実験では4人を1つの集団としているため、形成されるペアは0～2組の間となる。実験の結果、セッション終盤では形成されるペアの数が安定し、なかでも「プレイヤー同士が同じ相手と継続的にペアを形成し、お互いに協力を選択している」ペア（これを相互協力ペアと呼ぶことにする）の数がほぼ固定されることが分かった。よって、実験結果を「相互協力ペアの数」に基づいて以下のように分類する。

- ・ Case 0：相互協力ペアが形成されていない状態
- ・ Case 1：相互協力ペアが1組形成され、残る2名のプレイヤーは（指名ペア規則では）ペアを形成していないか、2名のうちどちらかもしくは双方が非協力を選択している状態
- ・ Case 2：相互協力ペアが2組形成されている状態
- ・ その他：互いに協力を選択しているペアが1組以上あるが、継続的な関係でなく、同じペア内での断続的な協力関係であったり、ペア自体がしばしば組み替わっている状態

なお相互協力をおこなうペアが継続的に維持されているかどうかについては、セッションの終盤である80～100ラウンドの間で「80%以上のラウンドで同じ相手を指名してペアを形

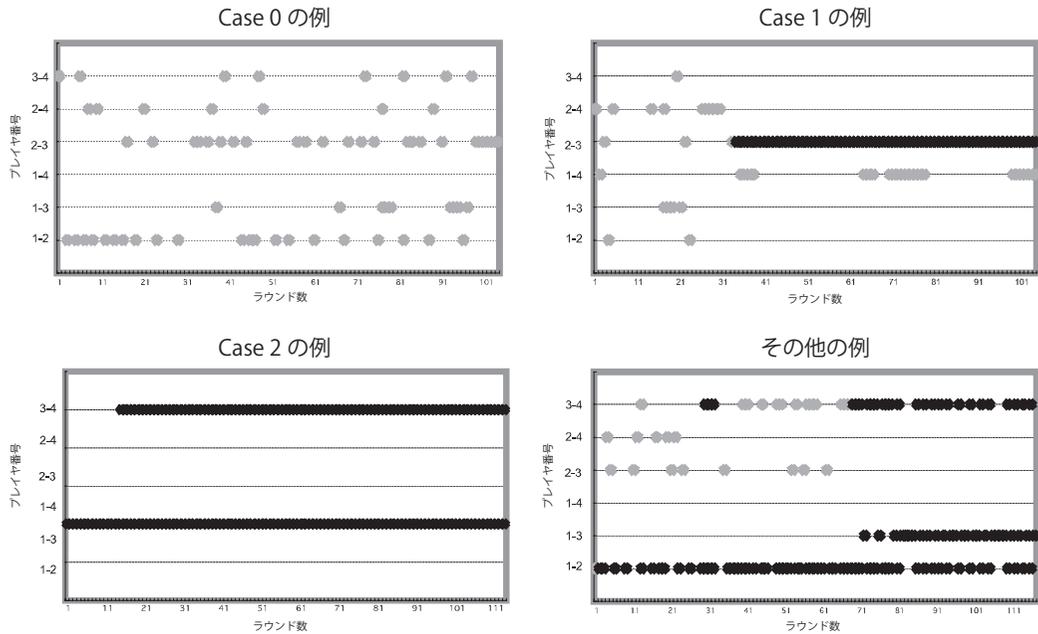


図 4 相互協力ペアによる分類の例

成し、互いに協力を選択していること」を判断の条件とした。

図 4 は被験者実験の結果例である。グラフの横軸はラウンド数、縦軸はペアとなる被験者のプレイヤー番号を示しており、例えば「1 - 2」の表記はプレイヤー番号 1 のプレイヤーと 2 のプレイヤーがペアを組んだ場合に相当する。図中の灰色の点は相互指名によるペアが成立していることを示し、黒い点はプレイヤーが互いに協力を選択していることを示す。図 4 から分かる通り、Case 0 では相互協力をとるペアがなく、Case 1, 2 ではそれぞれ特定の相手と継続的に相互協力をおこなうペアが 1 または 2 組あることが分かる。その他の場合では相互協力状態にあるペアは 2 組あるが、1 - 2, 1 - 3, 3 - 4 の異なる組み合わせが度々入れ替わっており、継続的な協調関係とはなっていない。これらの分類方法に基づき、被験者実験の結果をまとめたものが表 3 である。

表 3 被験者実験結果の分類

ペア形成規則 セッション	指名ペア規則		強制ペア規則	
	1	2	1	2
Case 0	50.0%	0.0%	23.0%	20.0%
Case 1	50.0%	53.8%	38.5%	40.0%
Case 2	0.0%	38.5%	38.5%	30.0%
その他	0.0%	7.7%	0.0%	10.0%

表3では被験者実験において形成されたペアの状態が、いずれの場合に分類されるかについて、全ての結果に対するそれぞれの場合の割合として表示している。

表3より、指名ペア規則では2回目のセッションになると形成される相互協力ペアが格段に増加していることが分かる。特に1回目のセッションでは半数を占めていたCase 0がなくなり、1回目には見られなかったCase 2が大幅に増加している。これは被験者が1回目のセッションを通じて得た経験により、効率的にペアを形成するとともに、高い利得を得るためお互いに協力的行動を選択しているためと考えられる。これに対し、強制ペア規則の方ではペア数に大きな増加は見られず、むしろCase 2に分類されるペアが減少していることが分かる。また表2より平均得点も大きな伸びは見られず、被験者の経験が生かされていない、もしくは継続的な協力関係を築くにあたってマイナスの効果を与えていると考えることができる。

4. シミュレーション

これまでの研究により [5, 7], 1回目のセッションにおける行動については、各プレイヤーが持つ「対戦相手の協力的行動に対する主観的な期待」を数値化した「信頼度」を用いることによって概ね再現できている。そこで本研究では、2回目のセッションにおける行動決定について同様のアルゴリズムで再現が可能かどうかを検証するとともに、より現実に即した新たなアルゴリズムの構築を目指す。

4.1 信頼度を用いた意思決定アルゴリズム

以下に信頼度を用いた意思決定アルゴリズムについて述べる。まず、各プレイヤーは同じ集団に属する他のプレイヤーに対して主観的な評価値を持つ。この評価値は「相手が自分を指名しそうか、また協力的であるか」を基準として決定され、値が大きいほど協力的な行動に対する期待が高くなる。この値を「信頼度」として定義し、相手の指名、および協力・非協力的行動決定に用いる。信頼度は相手の過去の行動履歴のうち、自分が知りえた情報を用いて継続的に更新することとし、以下の性質を満たす。

- (1) 信頼度の値は相手が協力的な行動をした場合に増加し、非協力的な行動の場合は減少する。
- (2) 値は0から1の間とし、相手が常に協力的な行動をした場合は1に、常に非協力的な行動をした場合は0に収束する。
- (3) 過去の行動履歴には一定の割引率を乗じ、新しいものを大きく評価する。
- (4) 指名ペア条件において、指名しなかったプレイヤーに対する信頼度は変化しない。
- (5) 指名ペア条件において、指名したにも関わらず相手から指名されなかった場合、信頼

度は減少する。

これらの条件を満たすため、まずラウンド t におけるプレイヤー i とプレイヤー j の行動から以下のような変数を定義する。

$$X_{ij}(t) = \begin{cases} 1 & (\text{協力}) \\ 0 & (\text{非協力または指名せず}) \end{cases} \quad (1)$$

$$Y_{ij}(t) = \begin{cases} 1 & (\text{指名}) \\ 0 & (\text{指名せず}) \end{cases} \quad (2)$$

$$Z_{ij}(t) = \begin{cases} 1 & (\text{ペア成立}) \\ 0 & (\text{ペアでない場合}) \end{cases} \quad (3)$$

$$W_{ij}(t) = \max\{Y_{ij}(t), Z_{ij}(t)\} \quad (4)$$

ここで $X_{ij}(t)$ はラウンド t におけるプレイヤー i のプレイヤー j に対する行動、 $Y_{ij}(t)$ はラウンド t においてプレイヤー i がプレイヤー j を指名したかどうかを示す変数、 $Z_{ij}(t)$ はラウンド t においてプレイヤー i とプレイヤー j がペアになったかどうかを示す変数、 $W_{ij}(t)$ は $Y_{ij}(t)$ と $Z_{ij}(t)$ の最大値で定義される変数である。

次に上記の変数を用いて、信頼度 $T_{ij}(t)$ を以下のように定義する。

$$T_{ij}(t) = W_{ij}(t) \left(\frac{1}{1+r_i} \right) \left\{ r_i X_{ji}(t) + T_{ij}(t-1) \right\} + \left\{ 1 - W_{ij}(t) \right\} T_{ij}(t-1) \quad (5)$$

また r_i は対戦相手の過去の行動評価に対する割引率である。 r_i 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り、 $r_i = 0$ であれば相手の行動に関わらず信頼度の値が変化しなくなる。

各プレイヤーは (5) 式の信頼度を用いて、対戦相手の候補となる相手の指名と、ペアになった場合の行動決定をおこなう。まず指名戦略として、各プレイヤーは集団内で最も高い信頼度を持つプレイヤーを指名するものとする。複数のプレイヤーが条件に合致する場合は、その中から 1 名をランダムに選択し指名する。次にペアが成立した後の行動については、相手の信頼度そのものを相手に対する協力の確率とする。例えば信頼度が 0.5 の場合は 50% の確率で協力を選択するものとする。

4.2 シミュレーション結果

信頼度を用いて指名と行動選択をおこなったシミュレーション結果について以下に示す。以前におこなったシミュレーション研究 [8] より、プレイヤーがより高い利得を目指して意

思決定の手法を進化させていった場合には、信頼度の定義における割引率 r_i が徐々に増加していくことが示されている。被験者実験におけるプレイヤーが、1 回目のセッションにおける経験を通じて学習し、より高い利得を得ているとすると、 r_i の値を変化させることでその結果を再現できる可能性がある。そこで以下では割引率 r_i の値をいくつか変化させてシミュレーションをおこない、生成される相互協力ペアの割合がどのようになるか分析する。

以下のシミュレーションでは、1 セッションを100ラウンドとし、プレイヤーはいつセッションが終わるか知らないものとする。信頼度の初期値 $T_{ij}(0)$ は $0 \leq T_{ij} \leq 1$ の範囲でランダムに生成される。割引率 r_i は0.2, 0.5, 1.0および $0 \leq r_i \leq 1$ の範囲でランダムに生成したものをを用いる。

表 4 シミュレーション結果（指名ペア規則）

ペア形成規則	指名ペア規則			
r_i	0.2	0.5	1.0	ランダム
Case 0	61.4%	71.3%	80.4%	62.6%
Case 1	33.4%	26.1%	18.0%	31.1%
Case 2	1.4%	1.0%	0.4%	1.2%
その他	3.8%	1.6%	1.2%	5.1%

表 4 は指名ペア条件におけるシミュレーション結果である。表 3 の被験者実験結果と比較すると、被験者実験よりも Case 0 の割合が多いものの、1 回目のセッションにおいてほとんどが Case 0 か Case 1 となった部分について一致している。しかし、 r_i を増加させてプレイヤーの「経験」の再現を試みたところ、被験者実験では Case 1 と Case 2 の割合が大きく増加したのに対し、シミュレーションでは逆に Case 0 の割合が増加し、相互協力ペアの数が減少していることが分かる。このことから、この条件ではプレイヤーの「経験」による行動の変化をうまく再現できていない。

表 5 シミュレーション結果（強制ペア規則）

ペア形成規則	強制ペア規則			
r_i	0.2	0.5	1.0	ランダム
Case 0	16.4%	19.6%	23.0%	17.2%
Case 1	48.3%	42.2%	38.7%	46.1%
Case 2	19.6%	26.5%	27.1%	22.1%
その他	15.7%	11.7%	11.2%	14.6%

表 5 は強制ペア条件におけるシミュレーション結果である。 r_i が小さい場合、それぞれの分類に対する割合は 1 回目のセッションにおける被験者実験の結果をよく再現している。次に r_i を増加させた結果を見てみると、分類の割合がそれほど大きく変化せず、かつ全体的に相互協力ペアの数が減少傾向にある。これは被験者実験における 2 回目のセッションの結果と一致している。

以上のシミュレーション結果から、割引率 r_i を増加させてプレイヤーの経験を行動決定に反映させてみたところ、強制ペア規則では被験者実験の結果を再現しているが、指名ペア規則の場合にはうまく再現できないことが分かった。

4.3 指名と行動決定を分離したアルゴリズム

4.2 のシミュレーション結果より、信頼度を用いて相手の指名と行動決定の双方をおこなうアルゴリズムは、強制ペア規則および経験がない場合の指名ペア規則については被験者実験の結果を再現できたが、プレイヤーが 1 セッションの経験を経た場合の指名ペア規則については再現できていない。特に指名ペア規則においてはセッション 1 と 2 で結果に大きな違いがあり、その原因を分析することは非常に重要である。ここでは、被験者の経験がどのように行動決定に影響を与えているかを考える。

指名ペア規則と強制ペア規則の大きな違いは、「相互指名に失敗しても対戦相手を確保できるかどうか」にある。強制ペア規則ではどのような場合であっても相手を確保することができるため、少なくともゲームの対戦に参加することは可能である。逆に言えば、望まない相手であってもペアとされる可能性があることになり、その場合は協力的な関係を維持していくのは難しい。被験者実験において、強制ペア規則では 1 セッションを経ても相互協力ペアが増加しないのはこのためではないかと考えられる。これに対して指名ペア規則では、まず相互指名によって相手を確保できないとゲーム自体に参加できないため、ある程度の経験を経たプレイヤーはより確実に相手を確保し、関係を維持したいと考えるはずである。そのためには「相手の指名」と「行動の決定」に関する戦略をある程度分離しておき、安易に関係を破綻させないようにすることで結果的に継続的な協力関係を築いているのではないと思われる。そこで、以下では「相手の指名」と「行動の決定」についてそれぞれ別の評価値に分離し、独立して評価をおこなうようなアルゴリズムを構築する。

まず相手の指名においては、指名した相手とペアを組めたかどうか、ペアを組めた場合は相手の過去の行動、が評価の対象となるため、(5) 式の信頼度 $T_{ij}(t)$ と同じ式をそのまま利用することができる。これを「指名信頼度」と呼び、 $N_{ij}(t)$ で表すことにする。次に行動決定に用いる指標として「行動信頼度」を定義し、 $A_{ij}(t)$ と表す。行動信頼度に求められる要件は、相手の指名およびペア形成とは独立に、実際に対戦を行った相手の行動履歴のみに基

づいて評価をおこなうことである。これらについて、以下のように定義する。

$$N_{ij}(t) = W_{ij}(t) \left(\frac{1}{1+r_i} \right) \{ r_i X_{ji}(t) + N_{ij}(t-1) \} + \{ 1 - W_{ij}(t) \} N_{ij}(t-1) \quad (6)$$

$$A_{ij}(t) = Z_{ij}(t) \left(\frac{1}{1+r_i} \right) \{ r_i X_{ji}(t) + A_{ij}(t-1) \} + \{ 1 - Z_{ij}(t) \} A_{ij}(t-1) \quad (7)$$

ここで $X_{ij}(t)$, $Z_{ij}(t)$, $W_{ij}(t)$ はそれぞれ (1), (3), (4) 式で定義したものと同一である。また割引率 r_i についても同様に定義する。割引率は相手の行動変化に対してどの程度迅速に評価値を変化させるかに対応しているため、相手の指名と行動決定について極端に異なる値を持っているとは考えづらい。そのため本モデルでは r_i の値について、 $N_{ij}(t)$, $A_{ij}(t)$ とも共通の値を採用しているものとする。

これらの値に基づき、各プレイヤーは指名戦略として集団内で指名信頼度 $N_{ij}(t)$ の最も大きいプレイヤーを指名する。なお $N_{ij}(t)$ が最大のプレイヤーが複数いる場合はその中からランダムに指名するものとする。ペアが形成された場合、プレイヤーは行動信頼度 $A_{ij}(t)$ の値を相手への協力確率として使用し、行動を決定する。

4.4 指名と行動決定を分離した場合のシミュレーション結果

4.3で述べたアルゴリズムを用いておこなったシミュレーション結果を以下に示す。4.2のシミュレーションと同様に1セッションを100ラウンドとし、プレイヤーはいつセッションが終わるか知らないものとする。行動信頼度の初期値 $A_{ij}(0)$ は $0 \leq A_{ij} \leq 1$ の範囲でランダムに生成される。割引率 r_i は0.2, 0.5, 1.0および $0 \leq r_i \leq 1$ の範囲でランダムに生成したものを用いる。なお指名信頼度の初期値 $N_{ij}(0)$ は0.5とした。

表6は指名ペア規則の場合のシミュレーション結果である。割引率が増加するにつれてCase 0の割合が減少し、Case 2が増加していることが分かる。この結果は表3の被験者実験結果のうち2回目のセッションにおける結果をよく再現している。ただし被験者実験にお

表6 シミュレーション結果 (指名と行動を分離した場合：指名ペア規則)

ペア形成規則	指名ペア規則			
r_i	0.2	0.5	1.0	ランダム
Case 0	14.6%	5.0%	3.1%	8.9%
Case 1	60.7%	63.0%	61.3%	62.2%
Case 2	16.7%	31.0%	35.5%	23.6%
その他	8.0%	1.0%	0.1%	5.3%

表7 シミュレーション結果（指名と行動を分離した場合：強制ペア規則）

ペア形成規則	強制ペア規則				
	r_i	0.2	0.5	1.0	ランダム
Case 0		3.6%	1.0%	0.4%	1.7%
Case 1		47.9%	33.4%	25.6%	39.0%
Case 2		37.6%	63.2%	72.1%	50.2%
その他		10.9%	2.4%	1.9%	9.1%

ける1回目のセッションの結果とはあまり対応しておらず、プレイヤーが経験を積んだ場合に対してのみ適用できるものと思われる。

次に表7は強制ペア規則の場合のシミュレーション結果である。指名ペア規則の場合と同様に、割引率の増加に伴って相互協力ペアの数が増加していることが分かる。また指名ペア規則の場合と比べるとCase 1, Case 2の割合が高くなっており、指名と行動決定を分離することで効率的に相互協力の状態へ至っていると考えられる。しかしながら、この結果は表3の被験者実験の結果とは大きく異なる。被験者実験での強制ペア規則では、被験者は1セッション目の経験を経て2セッション目をおこなっても相互協力ペアの数が増加しておらず、むしろ減少傾向にあった。この結果は表5の単一の信頼度を用いるシミュレーション結果がよく再現しており、このことから強制ペア規則の下でのプレイヤーは指名と行動選択に関して分離して評価しておらず、むしろ同一視しているのではないかと考えられる。

5. 考 察

以下に被験者実験とシミュレーション結果についての考察を述べる。

被験者実験により、相互指名のみによってペアを形成する指名ペア規則では、経験を経て学習することでより効率的にペアを形成し、相互協力をおこなうプレイヤーが大きく増加することが示されている。指名ペア規則では相手に指名されない限りペアを形成できないため、自分の行動次第で簡単にペアが解消される可能性がある。1セッションの実験を経験したプレイヤーは、より高い利得を得るためには「相手に選ばれる」必要があり、そのためには協力的に振る舞うことが必要との結論に至ったものと考えられる。

これに対し、ペアになれなかったプレイヤーを強制的に組み合わせる強制ペア規則では、一定の経験を経ても相互協力は増加しておらず、むしろ減少傾向にあった。これは「少なくともゲームの対戦には参加できる」という考えから、無理をしてでもペアを維持する必要性が少なく、そのため「希望しない相手」との対戦で非協力的に振る舞うことが影響していると

考えられる。

このような「経験」の影響を再現するため、シミュレーションにおいては相手の行動に対する評価の「割引率」を変化させて検証をおこなった。これまでにおこなったシミュレーション研究では、より高い利得を得るためにパラメータを進化させると、割引率の値が増加していくことが示されている。そこで被験者実験での「経験」をシミュレーションにおける「割引率の増加」に対応させ、様々な値でシミュレーションをおこなったところ、強制ペア規則においては被験者実験の結果をよく再現した。指名ペア規則では1セッション目の結果には対応したが、経験を経た後の結果には対応しなかった。そこで相手の指名と行動決定に用いる評価値を分離し、それぞれを別に変化させたところ、指名ペア規則の2セッション目の結果をよく再現できた。ただしそれ以外の場合については被験者実験と対応しておらず、むしろ分離しない場合のほうがよく一致している。

このことから、経験が浅く、指名・行動決定に試行錯誤をおこなっている1セッション目のプレイヤーおよび指名と行動決定を分離して評価しなくとも相手を確認できる強制ペア規則でのプレイヤーは、相手の評価を単一の値でおこなっているものと思われる。このとき、割引率の値を増加させることは相手の非協力的な行動に対しても迅速に反応する、つまりは不寛容であることにつながるため、結果として相互協力の度合いが減少傾向にあるのではないかと考えられる。そして経験を経ることで相手の選択およびその維持が非常に重要であると認識した指名ペア規則の下のプレイヤーは、相互指名の不成立をそのまま相手の行動評価につなげるのではなく「指名は指名」、「行動は行動」と分離して評価することで、極端に不寛容な態度になることなく効率的にペアを形成し、協力関係を維持できているものと思われる。

6. ま と め

本研究では「ネットワーク型囚人のジレンマ」モデルを用いてシミュレーションをおこない、対戦相手の決定規則とプレイヤーの「経験」がどのように結果に影響を与えているかを分析した。

シミュレーションと被験者実験の結果を比較することにより、相互の合意のみによって相手が決定するような場合には、プレイヤーが一定の経験を積むことで効率的な行動方を学習し、より協力的な関係を多く形成・維持できることが示された。このときプレイヤーは意思決定の方法として、経験の浅いときには単一の値で相手を評価し、相手の選択と行動決定を同じ値に基づいておこなっている。そして経験を積んだ後は相手の選択と行動決定をあえて分離し、それぞれ別に評価することでより適切な相手と行動の選択ができるようになると考えられる。

これに対して、相互の合意によって相手を得られなくとも、相手のいないプレイヤー同士で強制的に対戦をおこなわせる場合、経験の有無に関わらず単一の評価値による意思決定を続けている。指名の成否に関わらず対戦が可能な場合、あえて指名と行動決定を分離してまで評価する必要はなく、目の前にいる相手に適切に対応すればよいと考えているためと思われる。

以上より、ネットワーク環境下にあるプレイヤーは通常相手の指名・行動を単一の値として評価し、行動を決定しているが、相手指名の方法が利益に特に大きな影響を与えている状況では、一定の経験を経ることでその重要性を認識し、相手の指名と行動の決定を分離して評価したうえで意思決定に利用しているものと考えられる。これはプレイヤーが置かれた環境に応じて意思決定のパラメータを変化させるだけではなく、時には意思決定アルゴリズムそのものを変更または修正していることを示している。今後はどのような状況下で意思決定アルゴリズムの変更がおこなわれ、またどのように変化しているのかについて分析を進めていきたいと考えている。

参 考 文 献

- [1] Axelrod, R.: *The Evolution of cooperation*, Basic Books, 1984.
- [2] Axelrod, R.: *The Complexity of cooperation*, Princeton University Press, 1987.
- [3] Erev, I. and Roth, A. E.: *Simple reinforcement learning models and reciprocity in the prisoner's dilemma game*, *The Bounded Rationality: The Adaptive Toolbox*, pp. 215-231, MIT Press, 2002.
- [4] Hayashi, N. and Yamagishi, T.: *Selective play: Choosing partners in an certain world*, *Personality and Social Psychology Review*, Vol. 2, pp. 276-289, 1998.
- [5] Iyori, K.: *Prisoner's dilemma network: Experiments and Simulations*, *System Sciences for Economics and Informatics*, S. Hiraki and M. Sakaguchi (eds.), Kyushu University Press, pp. 35-49, 2007.
- [6] Yamagishi, T., Hayashi, N. and Jin, N.: *Prisoner's dilemma network: Selection strategy versus action strategy*, *Social Dilemmas and Cooperation*, Springer Verlag, pp. 233-250, 1994.
- [7] 井寄幸平, 鳩野逸生, 小田宗兵衛, 上田完次, 「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」, システム制御情報学会論文誌, 第16巻第9号, pp. 36-43, 2003.
- [8] 井寄幸平, 「ネットワーク型囚人のジレンマにおける信頼度に基づく戦略のシミュレーション」, 経済科学研究, 第13巻第1号, pp. 23-37, 2009.
- [9] 神 信人, 林直保子, 篠塚寛美, 「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」, 実験社会学研究, 第33巻第1号, pp. 21-30, 1993.
- [10] 林直保子, 神 信人, 山岸俊男, 「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.