

所属する集団の印象による間接相互性の進化

島根大学大学院 総合理工学研究科 甲斐 大 (Hiroshi Kai)*

島根大学 総合理工学部 黒岩 大史 (Daishi Kuroiwa)†

1 はじめに

最近、社会における協調関係を考察するための新しい枠組が、Nowak & Sigmund [1, 2] により導入された。ここでは、従来から行われているような「直接的な相互性で協調関係が成立するモデル」とは全く異なり、個体同士が直接的な相互作用を受けないような状況において、「間接的な相互性で協調関係が成立するモデル」が考察され、いくつかの興味深い性質、および理論的特性が観察されている。個体間の協調関係成立の研究において、間接相互性の概念を導入したモデルを構築した Nowak & Sigmund の業績ははかり知れない。

このモデルでは、各個体が「印象」と「戦略」を持ち、各個体はそれらに基づいて相互作用を行っている。また、各個体の印象は全ての個体に知られていて、どの個体からの印象も同一であると仮定されている。しかしながら、この状況は、全ての情報を得ることが不可能である我々の社会的状況からはかけ離れたものであり、このような状況化での協調性の考察は無意味である場合も考えられる。実際の社会をモデル化したような新しい枠組を導入し、協調関係の成立について考察することは強く求められている。

本研究では、各個体が他の個体に対する印象を個別に持つような状況を仮定し、この状況下での協調関係の成立について考察する。この際、本研究での独自のアイデアとして各個体の印象が所属する「集団」によって決定されるモデルを導入する。現実社会において、これは自然なモデルである。例えば、私達が持つ初対面の人に対する印象は、その人の持つ評判とは別にその人の属する大きな枠組（例えば、性別、人種、国、仕事など）により決定されることが多いからである。印象を個別に持つような状況では確かに協調関係は成立しにくいことが示されている。しかしこのモデルを用いることで、印象を個別に持つ状況において協調関係が成立しやすくなることが示される。

2 印象による間接相互性のモデル

2.1 印象による間接相互性

印象による間接相互性とは、同じ二人のプレイヤーが再び出会うことのないような状況で、各プレイヤーが利他的行為（協調行動）を行うか行わないかを相手のプレイヤーの印象によって選択していく相互作用である。プレイヤーが利他的行為を行った場合、そのプレ

*email:kai@cis.shimane-u.ac.jp

†email:kuroiwa@cis.shimane-u.ac.jp

プレイヤーの印象が増加し、将来に利他的行為を受けることが期待できるようになる。逆に、プレイヤーが利他的行為を行わなかった場合、そのプレイヤーの印象が減少し、将来に利他的行為を受ける可能性が減る。これはいわゆる「因果応報」に基づいた考え方である。

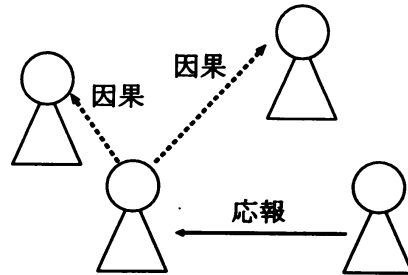


図 1: 間接相互性による利他的行為

過去に利他的行為をどれくらい行なったか（因果）ということによって印象が決定され、それにより利他的行為を受ける（応報）可能性が決まるのである（図 1）。

2.2 Nowak & Sigmund のモデル

- (1) 社会（個体群）は n 人のプレイヤー（個体）から構成されるとし、各個体は戦略、印象、得点の三つのパラメータをもつとする。ここで、戦略 k は $-5 \leq k \leq 6$ なる整数値で初期値はランダムに選び、印象 s は $-5 \leq s \leq 5$ なる整数値、得点は実数値とし、いずれも初期値は 0 とする。
- (2) 個体群中で、以下に示す相互作用を m 回行う。
 - 相互作用とは、個体群から一人の提供者（donor, 利他的行為を行う可能性のある者）と一人の受け手（recipient, 利他的行為を受ける可能性のある者）をランダムに選択し、提供者は受け手に対し利他的行為を行う、行わないの行動を決定することである。
 - 利他的行為とは、提供者はコスト c を支払い、受け手は利益 b を得る行為である。ここでは $b > c$ と仮定する。
 - 相互作用中に利他的行為を行うかどうかの行動の決定は、以下に従う。 k を提供者の戦略、 s を受け手の印象とすると、 $s \geq k$ ならば提供者は受け手に利他的行為を行なう。この際、提供者の印象は 1 増加する。逆に $s < k$ ならば提供者は受け手に利他的行為を行わない。この場合提供者の印象が 1 減少するが、両者の得点の増減はない。ただし、印象の増減は上記の決められた範囲内で行なう。
 - 相互作用後の行動の報酬は、利他的行為を行った場合、提供者の得点が c 減少し、受け手の得点が b 増加する。利他的行為を行わなかった場合、得点の増減はない。
- (3) 個体群の世代交替を行う。各個体の得点に基づきエリート選択（得点の値で個体の割合が増減する）によって次世代の個体群を構成する。（新しい個体の印象、得点は初期値として 0 とする。）突然変異によって個体の戦略を変化させる。

(4) (2) から (3) を t 世代繰り返す。

2.3 戦略の分類

個体は戦略の値によって以下のように分類される。

- 協調者 (cooperator) : $k = -5$ の戦略をもつ個体
- 識別者 (discriminator) : $-5 < k < 6$ の戦略をもつ個体
- 裏切り者 (defector) : $k = 6$ の戦略をもつ個体

「協調者」は、どんな印象の個体に対しても利他的行為を行う。逆に「裏切り者」はどんな印象の個体に対しても利他的行為を行わない。「識別者」のみが受け手のもつ印象の値によって利他的行為を行なうかどうかを決定する。

2.4 印象の種類

印象には以下の二つの考え方がある。(参照：図 2)

- **客観的印象**：個体群全体で一つの絶対的価値観を共有した場合の印象である。提供者は、全ての相互作用によって作られる「各個体の印象表」に基づいて行動を決定する。Noak & Sigmund のモデル [1, 2] における印象は、この考え方による印象である。全ての個体の相互作用を観察して作られる各個体の印象表は、全体で一つだけの完全なる印象表である。現実世界においてこれを作成することは、社会が非常に小さいか、または全知全能の神でないかぎり不可能である。
- **主観的印象**：個体自身の体験のみで作成された、その個体独自の印象である。この場合、個体は自身が持つ独自の「個体の印象表」に基づいて行動を決定する。この印象は、上記の客観的印象と比較して、より現実社会に近い状況をあらわしている。

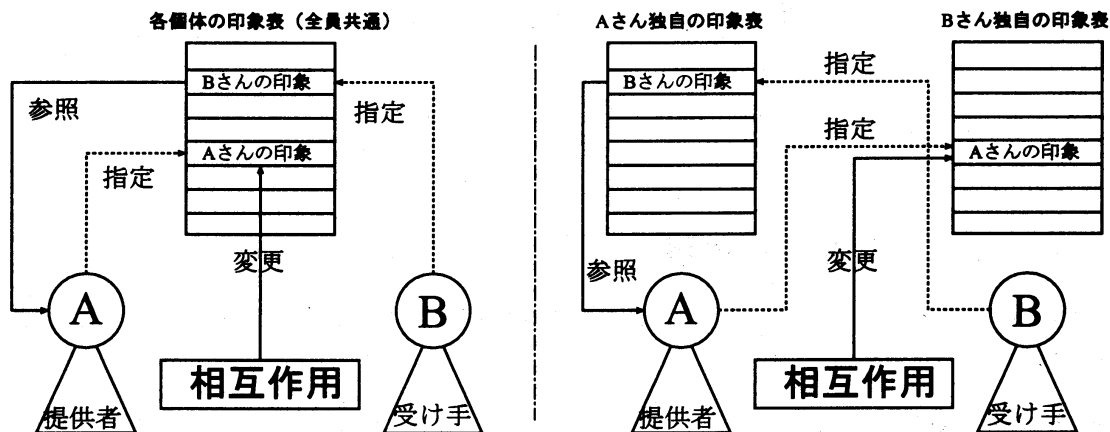


図 2: 客観的印象 (左) と主観的印象 (右)

2.5 集団のモデル

我々の社会ではうわさや前評判をはじめとして、性別、人種、国籍などによって、以前に会ったことがなくとも会う前からある程度の情報を持っていることが多い。このような情報が初対面の人への印象となるとは言い切れないまでも、(このような情報が) 印象に与える影響は大きい。本論文では、社会における大きな枠組を所属する集団と捉えることで、そのような状況が生じるようなモデルについて考えていく。なおここでの印象は、主観的印象を用いるものとする。(参照：図 3)

- **集団**：個体群を交わることなくいくつかの集合に分け、全ての個体はどれか一つの集合に属するものとする。この集合のことを集団と呼ぶことにする。また各個体は、それぞれの集団に対する印象を持っているとする。
- **集団に対する印象の使い方**：提供者 A は、受け手 B が所属する集団の印象を、受け手 B の印象として考え、相互作用を行なう。また、受け手 B は、提供が行なわれた場合、行なわれなかった場合、いずれも提供者 A の所属する集団の印象を増減させる。

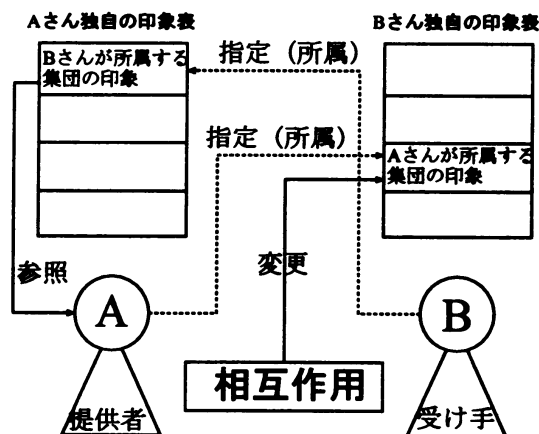


図 3: 集団のモデルにおける印象

3 シミュレーションと考察

以下にシミュレーションを行ない、結果および考察を示す。シミュレーションを行ったモデルは

- 客観的印象のモデル
- 主観的印象(個体)のモデル
- 主観的印象(集団)のモデル

の三つである。シミュレーションを行う際の各パラメータの数値は、個体数 $100(n = 100)$ 、世代数 $100(t = 100)$ 、相互作用数 $300(m = 300)$ 、利益 $1.0(b = 1.0)$ 、コスト $0.1(c = 0.1)$

これらのモデルに対してシミュレーションを 10000 回を行い、協調関係が成立した回数を比較することで、モデルごとの協調関係の成立し易さ、し難さを表現する。またここでは、協調関係が成立した割合のことを協調関係成立の可能性ということにする。

まず三つのモデルの協調関係成立の可能性を比較する。

モデル	各協調関係成立の可能性
客観的印象	0.5519
主観的印象 (個体)	0.0674
主観的印象 (集団、集団数 1)	0.0999
主観的印象 (集団、集団数 3)	0.2349

この結果より、小さな違いではあるが、主観的印象 (個体) のモデルより主観的印象 (集団) のモデルの方がより協調関係が成立しやすいことが分かる。集団の数が 1 のときは違いがあまりないが、集団の数を 3 に変更した結果を見ると明らかである。

次に、突然変異が起こる場合のシミュレーションの結果を比較する。比較するポイントは、

1. 各戦略 (協調者、識別者、裏切り者) の割合変化の推移
2. 相互作用における利他的行為の割合の推移

である。突然変異を考慮することで、各モデルの協調関係成立の可能性をダイナミクスな形から特徴付ける。

客観的印象、主観的印象 (個体)、主観的印象 (集団、集団数 1)、主観的印象 (集団、集団数 3) の各モデルにおけるシミュレーション結果のグラフを図 4、図 5、図 6、図 7 に示す。図では右側が各戦略の推移、左側が利他的行為の推移であり、それぞれのグラフにおいて横軸を世代、縦軸をそれぞれの割合としている。

図 4 と図 5 の利他的行為の推移より、客観的印象のモデルでは協調関係成立の状態を、主観的印象 (個体) のモデルでは非協調関係成立の状態を保っていることがわかる。図 5、図 6、図 7 の利他的行為の推移を比較すると、図 5、図 6 には見られない過程、非協調関係が成立した後に再び協調関係の成立へ移行する過程が、図 7 には見られることがわか

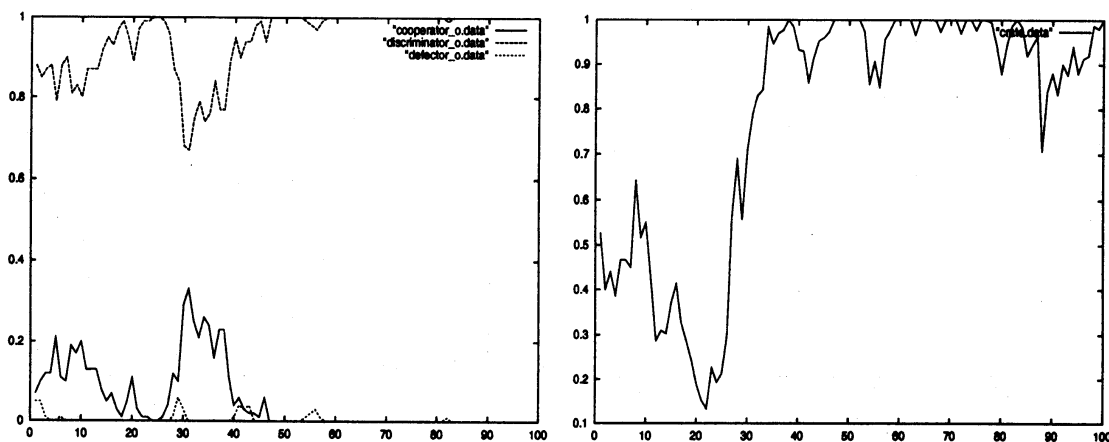


図 4: 客観的印象

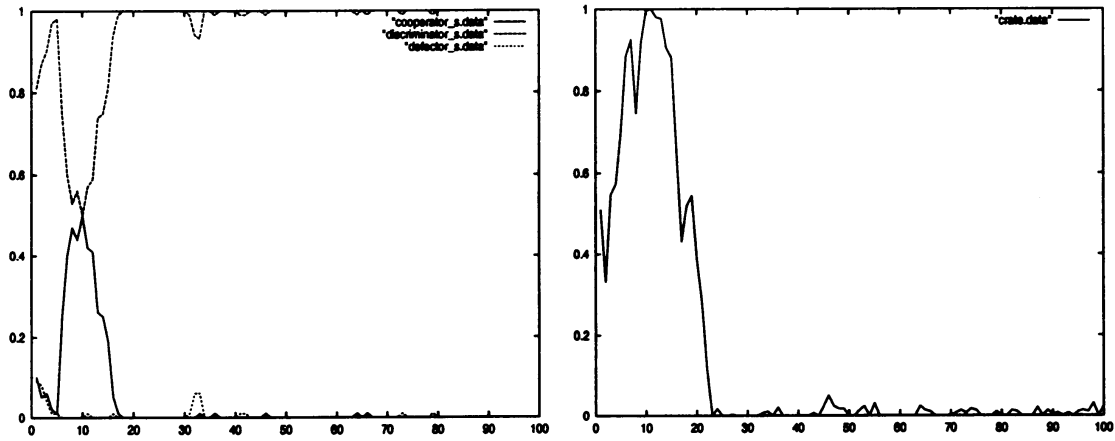


图 5: 主観的印象 (个体)

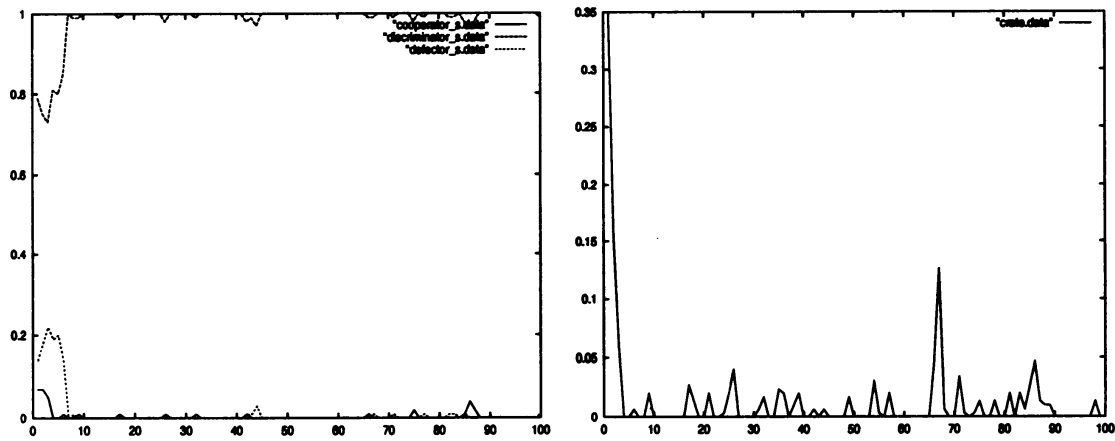


图 6: 主観的印象 (集团、集团数 1)

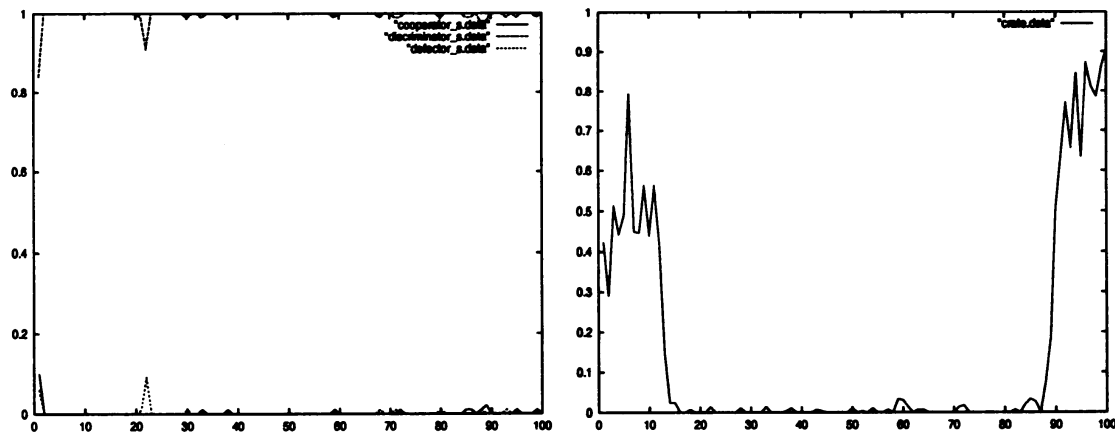


图 7: 主観的印象 (集团、集团数 3)

る。このことは非協調関係の状態から協調関係成立の状態に移行することは、協調関係成立の可能性が高いモデルの方がより多いことを示唆している。

最後に、主観的印象（集団）のモデルにおいて、集団数と協調関係成立の関係を観察するためのシミュレーションを行ない、図 8 に示す。各パラメータの数值は上と同じとし、集団数を 1 から 200 まで増加させる際、1000 回のシミュレーション中で協調関係が成立した回数を調べ、図 8 に表している。横軸を集団数（1 から 200 まで）、縦軸を協調関係成立の回数（1000 回中）としている。このシミュレーションにおいて観察された三つの性質をあげる。

1. 集団の数を増やすと協調関係成立の可能性が増加する
2. 集団の数がある値を越えると、協調関係成立の可能性の増加傾向が頭打ちとなる
3. 集団の数を増やした際には、個体は各世代ごとに平均 2.5 集団にしか存在しない

第二の性質において、ここには示していないが、このシミュレーションに関する数値的な結果から、集団数は 10 で増加傾向が頭打ちとなっていることがわかる。また第三の性質もシミュレーションに関する数値的な結果から示されている。第三の性質は第二の性質を説明するための重要な要因であると考えられる。実際、第三の性質は第二の性質より推測することで分かり得た結果である。

参考文献

- [1] M.A.Nowark and K.Sigmund, Evolution of indirect reciprocity by image scoring, *Nature* **393** 573–577, 1998.
- [2] M.A.Nowark and K.Sigmund, The dynamics of indirect reciprocity, *J.Theor.Biol* **194** 561–574, 1998.

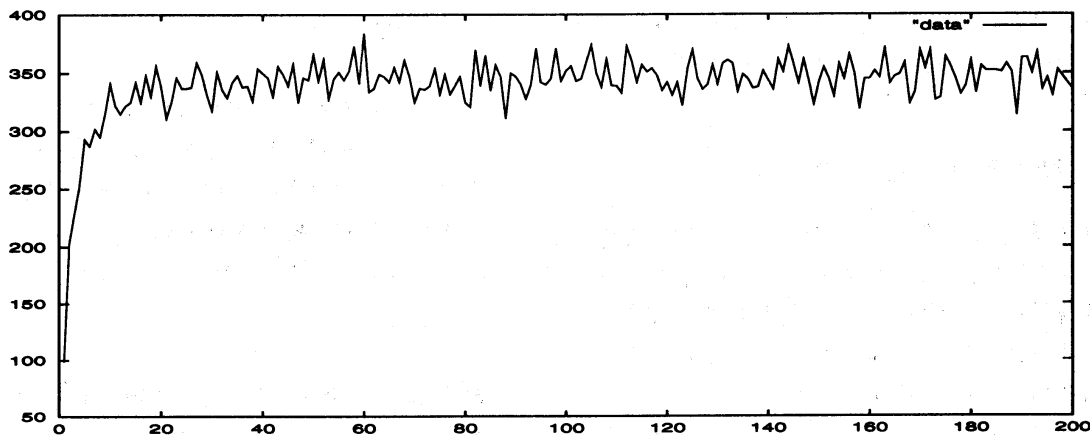


図 8: 集団数と協調関係成立