

# エージェントシミュレーションによる 「チープ・トーク」モデルの拡張

小山 友介

## 1 やや長い前書き：社会科学のエージェントシミュレーション

社会科学のエージェントシミュレーションは、個々のエージェントが環境を認識して意思決定をする多主体複雑系特有の相互作用の難しさ (出口 [4]) をどうモデル上で実現し、分析するかが課題となる。モデル上で実現する方法および分析対象は広範囲にわたり、明確な基準はない。単純な指標として、モデル内の「エージェント数」とモデルと個々のエージェントの行動原理の「複雑性」(これも定義が厄介な基準である) の積を考えてみるとわかりやすい。指標の大きさが水準以上に達する現象を分析の対象にしていると言っていいだろう。もし指標の大きさが明確に定義できれば、指標の大きさそのものが「研究フロンティア」の位置を示していると考えてよい。

この視点からは、社会科学のエージェントシミュレーションの研究は「エージェント数」と「複雑性」を両極にした研究フロンティア上に位置する事になる。可能な限り行動原理をシンプルにしてエージェント数を増やし、多数のエージェントによる相互作用から発生した創発現象を研究する経済物理学が一方の極

である。もう一方の極は、コンピュータを用いたエージェントシミュレーションではないが、実際の間数人が複雑な現象について行うゲーミングシミュレーションを挙げる事ができるだろう。

これまで社会科学のエージェントシミュレーションが採用してきた研究パラダイムは、Axelrod [3] が主張した KISS 原理 (Keep it simple and stupid) である。経済物理学で扱うような数万エージェントは扱わないが、数十～数百のエージェントを扱うために、行動原理はできるだけシンプルにし、相互作用のあり方もできるだけ単純なものに限定する。エージェントが相互作用する空間は用意しないでランダムマッチングにするか (Axelrod [3] や多数の生態学からの派生モデル)、セル型の空間内での近隣相互作用に限定する (Epstein [5]、Gaylord et.al [7] など) か、市場タイプの相互作用のみに集中する (Arthur [1] など) といった形でモデル自体の複雑性をできるだけ減らすようにしていた。こういった事情で、社会科学のエージェントシミュレーションのほとんどは、Axelrod [3] に始まる GA (遺伝アルゴリズム) 系とシェリング [9] に始まるセル系、Arthur [1] に始まる人工市場 (ここに経済物理学も含まれる) に分類する事ができる。

KISS 原理に基づく多数のエージェントによるシンプルな相互作用モデルの研究は、研究から得られる成果が減少しつつあるため、今後はエージェント数が少なくてもより複雑な相互作用を行うモデルへと研究トレンドがシフトしてゆく事が予測される (図 1)。このような複雑で具体的なモデルを構想するにあたっては、実際の現象や実験データ、ゲーミングから得ら

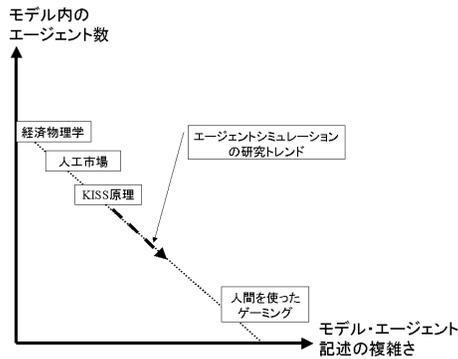
---

The extention of the 'cheap-talk' model in the agent simulation

Yuhsuke Koyama, 日本学術振興会特別研究員・京都産業大学客員研究員, Research Fellow of the Japan Society for the Promotion of Science, Visiting Fellow of Kyoto Sangyo University

koyama@cc.kyoto-su.ac.jp / yus@ma1.seikyoku.ne.jp ,  
<http://ha1.seikyoku.ne.jp/home/yus/index.html>

図 1 研究トレンド



れた知見などからモデルの構想力を豊富にする事が必要である。最終的に一番重要なのは、研究の蓄積やモデリング手法のブレークスルーによって、研究可能フロンティアを図1の右上方向に広げる事である。そのためには、技術に比較優位を持つ工学系と、ビジョンや知識に比較優位をもつ社会科学系の共同研究が今後ますます重要になってくるだろう。

## 2 協力発生の難しさ

### 2.1 事前コミュニケーションの重要性

ゲーム理論の囚人のジレンマ (表 1) の例で有名なように、見知らぬ他人と協力する事は難しい。自分の利益を最大化する個人を仮定すると、ジレンマ状態では協力は発生できない (ワンショット・ゲームでのナッシュ均衡)。同じゲームが繰り返され、将来利益の割引評価率が十分大きければ、協力状態もありうるが、協力の発生には (比喻ではなく、本当に) 無限回の繰り返しが必要である (フォーク定理)<sup>†1</sup>。

表 1 囚人のジレンマ

		プレイヤー B	
		協力	裏切り
プレイヤー A	協力	(3,3)	(0,5)
	裏切り	(5,0)	(1,1)

†1 繰り返し囚人のジレンマと協力の発生については、Axelrod [2] が今でも基本文献である。社会心理学者による議論は山岸 [11]、社会学者による議論は盛山他 [13]、経済学者による議論は松島 [8] を参照。

理論的なフレームワークを離れて、人間による囚人のジレンマ実験の結果 (Frank [6]) をみてみよう。質問紙調査の結果によると、過半数の被験者が「相手が協力的に行動する確信があれば、自分も協力的に行動する」と答えている。実際の実験結果では、相手との選択前コミュニケーションを被験者に許可した場合、許可しない場合に比べて協力を選択する確率は大きく上昇する。さらに、「お互いに裏切らない」という (拘束力のない) 約束を許可されている場合、約束ができない場合より協力の選択率は高くなる。この結果は、実際の行動前にコミュニケーションがとれ、相手が協力する確信を得られれば、協力が起こりやすくなる事を示している。

### 2.2 「チープ・トーク」による相手の情報の収集

実際の現実世界では、ジレンマ状態の相手と約束が可能とは限らない。コミュニケーションできない場合も多い。しかし、われわれは直接コミュニケーションが不可能でも、何らかの形で相手の情報を収集し、また、無意識のうちに自分の情報を発信している<sup>†2</sup>。このことがコミュニケーションに準ずる効果を挙げている。

「ゼロコストもしくは無視可能な低コストでの相互情報交換」を、ゲーム理論ではチープ・トーク (Cheap Talk) と呼ぶ。チープ・トークで得る情報は、直接コミュニケーションが難しい実際の社会で協力が発生するために、非常に重要な役割を果たしている。

#### 2.2.1 チープトークによる社会秩序の変化の例 : Secret Handshakes

ここで、チープ・トークを用いた Secret Handshakes という簡単なモデルを考えてみよう<sup>†3</sup>。多数のプレイヤーの一群の中からランダムに 2 名がマッチングされ、ゲームを 1 回プレイする。利得行列は表 2 を用いる。

利得行列 (表 2) にはナッシュ均衡が 2 つある。

†2 話し方や服装、しぐさなどの「自分がその場にいるだけで近くの人に伝達される情報」の量は膨大である。無意識に相手から収集する情報、こちらが発信する情報は意外に多い。

†3 詳細は Weibull [10] 参照。

表 2 コーディネーション・ゲーム

		プレーヤー B	
		選択肢 A	選択肢 B
プレーヤー A	選択肢 A	(3,3)	(0,0)
	選択肢 B	(0,0)	(1,1)

{ 選択肢 A, 選択肢 A } と { 選択肢 B, 選択肢 B } である。それぞれを均衡 A と均衡 B と呼ぶとき、均衡 A が均衡 B をパレート優越 (全員の利益が上回る状態) している。

プレーヤー群全体が選択肢 B を採用している状態、すなわち社会状態が均衡 B の場合、たとえ均衡 A の方が望ましい事がわかっていても、(利得を得るためには) プレーヤーは選択肢 B を選ばざるを得ない。すなわち、社会状態が均衡 B の時には選択肢 A は進入不可能<sup>†4</sup>である。

このとき、プレーヤー群の一部が突然変異を起こしたとしよう。一部のプレーヤーは行動を選択する前に、一部の突然変異を起こしたプレーヤーのみにわかるメッセージ  $\mu$  を出す。変異プレーヤーは、相手からメッセージを受け取った時のみ (すなわち、相手も自分と同種である事を確認できた時のみ) 選択肢 A を選択し、それ以外のときは選択肢 B を選択する。事前にメッセージを交換するこの戦略は均衡 B の中に進入可能であり、徐々に環境内で勢力を増し、環境全体を均衡 A へと移行させることが可能である。チープ・トークによって社会状態が良くなる方向へと移行させる事が可能になるのである。

しかし、Secret Handshakes モデルは囚人のジレンマではなく、コーディネーション・ゲームである。行動主体に利益最大化行動を仮定している限りでは、チープ・トークが可能であっても、囚人のジレンマ (およびその多人数版の社会的ジレンマ) を解消する事は原理的に不可能である。Secret Handshakes モデルでは複数のナッシュ均衡状態から望ましい均衡へと移行させる事はできても、ナッシュ均衡戦略以外の行動をとらせることはできない。

<sup>†4</sup> 選択肢 A も選択肢 B も進化安定戦略 (Evolutionary Stable Strategy:ESS) である。進化安定戦略についての詳細は、前述の Weibull [10] を参照。

ジレンマ状態で協力を発生させるには、先ほどの実験の結果で見受けられるような何らかの先験的な協力性向を想定し、短期的な利益最大化 (いわゆる合理性) の仮定を外す必要がある。節を変えて、より現実的な方向への議論の拡張を試みてみよう。

### 2.2.2 「社会的知性」

チープ・トークによって Secret Handshakes モデルのような明瞭なメッセージを交換することは、現実では難しい。通常は、相手から受け取った不明瞭なメッセージを解釈する必要がある。いわゆる「鈍感な人」が多数いる事からわかるように、メッセージの解釈能力には個人差がある。この「メッセージの誤解」も考慮に加えると、チープ・トークはノイズが非常に多く、使うのが大変なコミュニケーションである。

さらに、相手を利用して自分が得をしようと考えている人も多数存在する。いわゆる詐欺のように、コミュニケーションを逆に利用して相手に信用させ協力させ、裏切ると言う可能性もある。チープトークで得た「情報」を受信した側で適切に解釈できるかどうかは、協力が発生できるか否かだけではなく、迂闊に悪人を信頼してしまって自分が「食い物」にされるか否かと言った、より根源的な場面で重要である。

この「誰が信頼できるか」を見抜く能力を、山岸 [12] では「社会的知性 (social intelligence)」と呼んでいる。「社会的知性」が高い人ほど、裏切られて利用されかねない環境で協力的な人とそうでない人を見抜き、協力的な人を信頼する能力が高い。実験の結果からも、われわれの日常経験からも、「相手が協力的なら協力的にふるまう」人が社会に (それなりに) 多数存在する事はわかっている。こういった協力的で社会的知性が高い人同士がチープトークで情報交換しあうことで、社会内では協力が発生しているという「お話」を、われわれは想像する事ができる。

### 2.3 本研究の目的

山岸 [12] によると、他者を信頼する傾向が強い人は相手が信頼できる人 (= 協力してくれる人) を見抜く能力が強く、社会内に協力できる人を見つけ、ネットワークを広げてゆける人である。一方、社会的知性が低い人は、信頼できる人を見つけ出す能力が低い

で、すでに存在している協力のネットワークにしがみつく (コミットメント状態) 以外できない人である。

山岸 [12] の知見は質問紙調査と実験から得られたものである。この現象をエージェントシミュレーションで再現を試み、エージェント間の相互作用によって他の収束がありうるかを探る事が本研究の目的である。

### 3 モデル

#### 3.1 内容

$n$  人のプレーヤー<sup>†5</sup>によるグループを想定する。各プレーヤーに社会的知性、倫理度 (自分から裏切らない性向。Axelrod [2] の意味での「上品さ」)、基本信頼度 (初対面の相手に対する信頼度)、信頼の修正速度をエージェント固有パラメータとして用意する。毎回ランダムに 2 人をマッチングさせ、ゲーム (後述) をプレイする。ゲーム後相手への信頼度を修正し、双方協力の場合には他プレーヤーの情報を交換し合う。このプレイを繰り返す。

ゲームは 2 プレーヤー・ $3 \times 3$  の対称ゲームである。利得行列は表 3 である。表 3 の利得行列の純粋戦略ナッシュ均衡は M,M であり、ESS でもある。各プレーヤーは積極的に相手と協調し高い利益を得ることを目指す協調行動 C、C を選択する相手を利用して高い利益を得ようとする D、相手と積極的に関係を持たない選択肢 M という 3 つの選択肢を持っている。

表 3 チーブ・トーク・ゲーム

		Player 2		
		C	M	D
Player 1	C	(30,30)	(10,13)	(0,50)
	M	(13,10)	(16,16)	(13,10)
	D	(50,0)	(10,13)	(5,5)

プレーヤー  $i$  は以下のパラメータを保有する。 $I_i, E_i, R_{ij}, V_i$  は 0 から 100 の整数である。

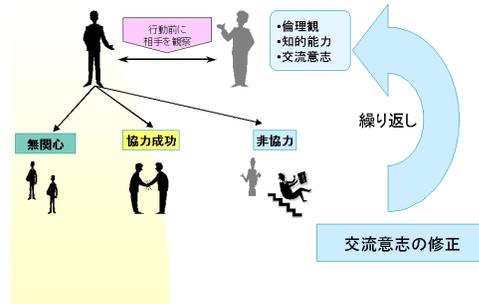
- 知性  $I_i$  : 大きいほどゲームをプレイするときに

相手の協力度 (後述) を正確に推測できる。

- 倫理  $E_i$  : 大きいほど各プレイで協力行動を採用する確率が大きくなる。
- 信頼度  $R_{ij}$  : 相手が協力行動を取る信頼度。初対面時はデフォルト ( $R_i$ ) で、毎回のプレイ毎に修正する。
- 信頼度修正速度  $V_i$  : 大きいほど相手のプレイ結果に従って信頼度  $R_{ij}$  が大きく変化する。
- 履歴 : 各相手のプレイ回数、相手が C を出した回数、D を出した回数を記録する。

一回のマッチングで、以下の一連の行動が行われる。これを繰り返す (図 2)。

図 2 チーブトークゲーム



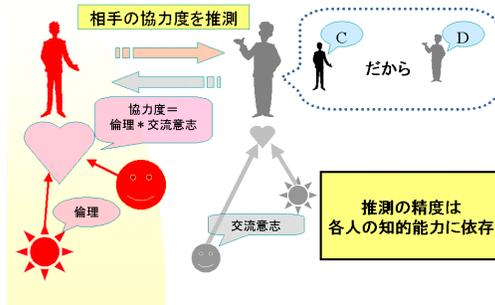
1. プレイする 2 プレーヤーを  $n$  人からランダムに選ぶ。
2. 行動前に相互に観察し、相手の協力性向 (後述) を推測する。推測の精度は自分の知性  $I_i$  に依存する。
3. 読み取った結果を元に自分の行動 (C,M,D) を決定する。行動の結果、得られる利得が双方に与えられる。
4. プレイ後、相手への信頼度を修正する。修正割合は信頼度修正速度  $V_i$  に依存する。
5. 二人の行動がともに協力 (C,C) の場合、評判情報 (後述) を交換し、信頼度を修正する。

<sup>†5</sup> ゲーム理論の慣例に従い、エージェントではなく「プレーヤー」と書くことにする。意味に違いはない。

3.2 行動決定およびパラメータ修正方法

ゲーム中の行動決定では、(モデル内で定義する) 協力性向の大小で決定する。協力性向が大きい時は、相手が裏切らない限り協力を試みる。小さい時は、相手に対し攻撃的でスキがあれば利用しようとし、相手の利得を下げるには若干のコストも平気<sup>†6</sup>である。

図 3 行動決定



選ばれた 2 プレーヤーを  $i, j (i > j)$  とする。1 から 100 までの整数値をとる乱数を  $RAND100$  とする。プレーヤー  $\alpha (= i, j)$  が相手の意図を読み取ろうとする行為を  $S_\alpha$  であらわす。

1. 自分の倫理  $E_i$  から  $RAND100$  を引き、相手への信頼度  $R_{ij}$  を掛け合わせたものを自分の協力性向  $X_i$  とする。

$$\begin{cases} X_i = (E_i - RAND100) \cdot R_{ij} \\ X_j = (E_j - RAND100) \cdot R_{ji} \end{cases} \quad (1)$$

2. 相手の  $X$  を推測したものを  $Y$  とする。

$$\begin{cases} Y_i = S_i[X_j] \\ Y_j = S_j[X_i] \end{cases} \quad (2)$$

$Y$  の推測は 2 段階で行う。

- (a)  $X_j$  の符号を推測する。最大推測誤差は  $50 + I_i/2\%$ 。すなわち、知性が 100 の時は完全に把握できる。
- (b) 相手の  $X_j$  の実値を  $\pm(100 - I_i)\%$  の精度で推測する。 $I = 70$  のときは推測値は  $X_j$

<sup>†6</sup> 実験では、相手より自分の利得を大きくしたい、という行動 (Spite 行動) を取る人が存在する。この仮定はそれに倣ったものである。

の 70% から 130% である。

3. 相手の  $Y_j$  を推測したものを  $Z_i$  とする。推測方法は 2 と同様とする。

$$\begin{cases} Z_i = S_i[Y_j] \\ Z_j = S_j[Y_i] \end{cases} \quad (3)$$

4.  $Y_i$  と  $Z_i$  を表 4 と照らし合わせ、相手の行動  $A_j$  を推測する。

表 4 相手の行動の推測

		$Z_i$		
		300 ~	-300 ~ 300	~-300
$Y_i$	300 ~	C	M	M
	-300 ~ 300	C	M	M
	-300	D	D	M

5.  $X_i$  および  $A_i$  を表 5 と照らし合わせ、自分の行動を決定する。

表 5 自分の行動の決定

		$A_i$		
		C	M	D
$X_i$	300	C	M	M
	-300 300	C	M	M
	-300	D	D	M

6. プレイ後に今期  $t$  の現在の相手への信頼度を  $R_{ij,t}$  を修正する。

$$R_{ij,t+1} = \left( \frac{1 - V_i}{100} \right) \cdot R_{ij,t} + kV_i \quad (4)$$

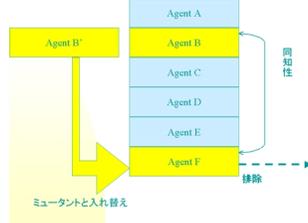
$k$  は相手が C を選択時は 1、M では 0.6、D では 0 とする。

7. 双方の行動が (C,C) の場合、情報を交換し、信頼度を以下の手順で修正する。

- (a) 双方が過去のプレイの履歴から、C を採った回数が D を採った回数より多かった相手プレーヤーのリストを作成する。
- (b) リストを相互に交換し、そのリスト内の相手への信頼度を実際にプレイした場合と同様に (下方に) 修正する。

8. ゲームを一定回数繰り返すごとに、マッチング一回当たりの利得が最も低いプレイヤー  $a$  をミュータント (突然変異) と入れ替える (図 4)。

図 4 ミュータントとの入れ替え



ミュータントは、プレイヤー  $a$  と同知性の中で ( $I_a$  が同じ) 平均利得が最高のプレイヤー  $b$  のいくつかのパラメータを (最高 100、最低 0 の範囲内で)  $\pm 5$  以内でランダムに変化させたものである<sup>†7</sup>。

このモデルを計算機実験するためのプログラムは、Mathematica3.0 で<sup>†8</sup>書かれた。

#### 4 実験結果 (1) 同一知性グループ・学習速度一定

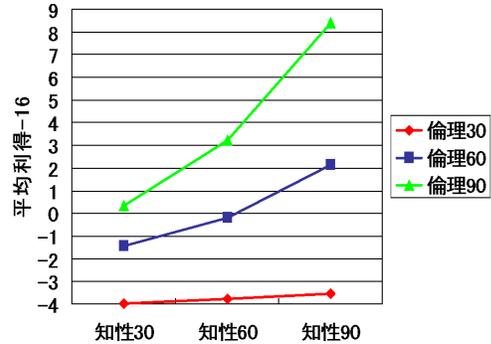
##### 4.1 一般的な傾向

最初に、解析の比較的容易な少人数で実験を行った。実験で共通するパラメータは、人数  $n = 5$ 、初期信頼度  $R_{ij} = 80$ 、信頼度の修正速度  $V_i = 15$ 、マッチング回数 30000 回である。知性  $I_i$  と倫理  $E_i$  はそれぞれ高 (90)、中 (60)、低 (30) の 3 水準を用意し、 $3 \times 3 = 9$  通りを調べた。各水準 3 回繰り返し、計 27 回の実験を行った。

各水準でマッチング 1 回あたりのプレイヤーの平均利得を計算した結果を図 5 に示す。(M,M) の場合の利得が 16 であるため、縦軸は平均利得から 16 引いた値である。縦軸の値が負の場合は、協力関係が発生しなかったことを示している。知性水準と倫理水準が高いと利得も高くなる傾向があり、双方が高水準なほど利得上昇幅が大きくなることわかる。知性、倫

理、知性  $\times$  倫理 (交互作用) の利得への効果は、それぞれ 5% 水準で有意である。

図 5 実験結果 (1-1)

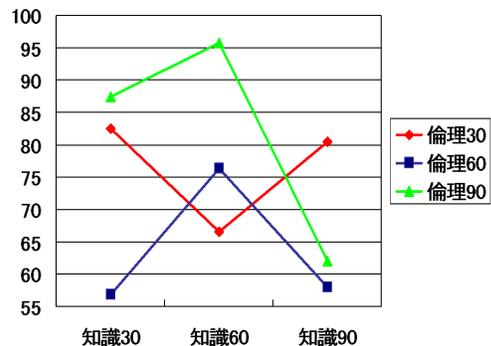


##### 4.2 簡単な学習を導入した結果

次に、簡単な学習を導入した場合の実験を行った。マッチング 3000 回 毎に 1 プレイの平均利得を計算し、下位のプレイヤー 2 人と最上位の初期信頼度  $R_b$  と修正速度  $V_b$  を変化させたミュータントとの入れ替えを 100 回繰り返した。実験スタート時のパラメータは前回の実験に準ずる。

利得は前回と同じ傾向が得られた。修正速度は各水準の変化に対して有意の結果が得られなかった。初期信頼度が検定をくぐり、興味深い結果が得られたので紹介する (図 6)。初期信頼度は知識の上昇に伴って、低倫理時には V 字型、中および高倫理時には逆 V 字型の曲線になる。

図 6 実験結果 (1-2)



†7 知性を保ったまま GA 風の学習を行うのは、「高知性は高知性なり、低知性には低知性なりの戦略」が出現するか調べるためである。

†8 Gayord [?] を参考にした。

5 実験結果 (2) 知性混合グループ・修正速度も学習させた時

グループ内に知性の異なるメンバーが存在し、修正速度も学習させた場合を考えてみよう。I = 90(高知性)とI = 30(低知性)のプレイヤーを用意し、その他のパラメータの初期値は  $E_i = 60, R_i = 80, V_i = 15$  で共通にした。ゲーム 45 回を 1 セットとし、セット終了時に 1 マッチング辺り利得が最下位のプレイヤー a と最高のプレイヤー b の  $E_b, R_b, V_b$  を変化させたミュタントとを入れ替える作業を 10000 回繰り返した (ゲーム 45 万回が 1 実験である)。調べた条件は、表 6 の通りである。

表 6 実験のうちわけ

	低知性	高知性
実験 2-1	6 人	
実験 2-2	4 人	2 人
実験 2-3	2 人	4 人
実験 2-4		6 人

5.1 発生した戦略の分類

4 通りの実験をから発生した戦略を全て取り出して分類すると、表 7 のようになった。

表 7 発生した戦略

	倫理	初期信頼	修正速度
協力 & 警戒 (WR)	高	高	高
2 度目に期待 (ES)	高	低	高
蜜月 (HM)	高	高	低
Hit & Run(HR)	低	高	高
交渉拒否 (RC)	任意	低	低

それぞれの戦略の具体的な特徴は、以下のようになる：

- 「二度目に期待」型 (ES) : 高倫理、低初期信頼、中～高修正速度。自分からは裏切らないで一度様子を眺め、相手が裏切らなかった場合には、一

気に友好的になる。

- 「蜜月」型 (HM) : 高倫理、高初期信頼、低修正速度。最初から積極的に協力し合い、少々の失敗では相手への信頼が揺るがない。
- 「協力 & 警戒」型 (WR) : 高倫理、高初期信頼、高修正速度。最初から積極的に協力を求めるが、相手の出方次第でさっと引いてしまう。Axelrod [2] の「しっぺ返し (Tit For Tat)」に近い戦略。
- 「Hit and Run」型 (HR) : 中～低倫理、高初期信頼、高修正速度。交流を行う相手には裏切り、相手が攻撃的になったらすぐに交流を止める。
- 「交渉拒否」型 (RC) : 低初期信頼、低修正速度。初期信頼を低い水準ですずと保つ戦略。倫理は中 (50 前後) から低い事が多いが、基本的にはどんな値でも構わない。

基本的に、上の 3 つが協力が成功した場合、下の 2 つが協力が失敗した場合と言っていいだろう。戦略としてかなり優秀なのは ES と WR で、この 2 戦略は協力を形成する事が可能であるのに加えて、相手にだまされつづける事がない。双方の違いは初対面の相手への積極性にある。HM は HM ばかりが仲間にいる場合にはノイズに対する耐性が強いので協力形成に有利だが、相手が HR の場合には延々と搾り取られる可能性がある。

やや例外なのは RC で、「成功もしないが失敗もしない」戦略である。相手を信頼しない状態を保つ戦略で、行動決定には倫理はほとんど関係ないが、戦略が RC に固まるまでには多数裏切り・裏切られた経験をもつ (= 協力を出さないように相互に学習しあう) ので、周囲の倫理は低くなっている場合が多い。

5.2 それぞれの実験での結果

次に、それぞれの実験の結果を見てみよう (表 8)。

グループが全て同じ知性で占められている場合 (実験 2-1・2-4) では過半数が協力が成功 (= 戦略が HM, ES, WR) している。その点では、同質的なグループで協力が発生する / しないと言う視点からは知性は大きな影響を与えていない事がわかる。

しかし、発生した戦略をくわしく眺めると、低知性

表 8 実験結果 (2)

	2-1	2-2		2-3		2-4
	低	低	高	低	高	高
1	RC	WR	RC	ES	HR	HR
2	HM	WR	WR	ES	RC	HR
3	ES	HR	HR	RC	ES	WR
4	ES	HR	HM	ES	RC	WR
5	RC	HR	WR	HR	WR	HR
6	ES	ES	HM	ES	ES	HM
7	ES	ES	HR	WR	ES	HM
8	ES	HR	HR	RC	RC	HR
9	HR	HR	HR	RC	ES	WR
10	ES	HR	HM	HM	WR	HM

の場合 (実験 2-1) では ES がほとんどであり、協力の形成に慎重である。また、一方、高知性の場合 (実験 2-4) では WR<sup>†9</sup> と HM が 3 回づつであり、積極的に協力行動を採る事が見受けられる。

グループが低知性と高知性に分かれている場合 (実験 2-2・2-3) では、協力発生が非常に難しくなっている。加えて、協力失敗の現れ方が異なっている。

低知性者が多数派の実験 2-2 では、双方が協力的な戦略となった事例が少ないだけでなく、HR が多数発生しており、協力的な人間を騙して利益を得ようとする事例が多数発生している事がわかる。高知性者が多数派の実験 2-3 では、HR ではなく RC が多数発生しており、コミュニケーションを閉ざす事で「万人の万人に対する闘争状態 (ホップズ)」を回避する方向に進化している。また、実験 2-2・2-3 の双方ともに、協力的な戦略を採用しているのは高知性者が多い。

## 6 結論と課題

今回の実験では、知性の高低の区別なくエージェントは協力を試みるが、協力へのアプローチの仕方に違いがあった。社会的知性の高低は、環境へのノイズ (突発的な攪乱) に適切に対処できる能力、と考えることができる。低知性者のノイズへの対処が低さが、

<sup>†9</sup> 山岸 [12] 内では「他の相手を『信頼』する人は社会的知性が高く、相手の行動から相手への信頼度をすばやく修正できる」と議論されている。WR がこの議論に最も近い。

ES や RC の発生頻度として現れた、といえよう。

今回のモデルを 5 人 (実験 1)・6 人 (実験 2) と言った少人数で分析した理由は、最初にモデルの傾向を調べるためという側面もあったが、実行速度の制約も存在したためである。平均マッチング回数を同程度に保ったままモデルの人数を増やすと、1 ループに必要なマッチング回数が大きく増加するだけでなく、収束までに必要なループ数も増大する。現在の Mathematica 環境では高速化に限界があるので、高速な言語への移植は不可避である。

モデルの不要部分の簡素化と実行の高速化を行う事で、モデル内記述の豊富化と多人数でのシミュレーションの実現を可能にする事が、今後の課題となるだろう。

## 参考文献

- [1] W.Brian Arthur, J.H. Holland, B. LeBaron, and P. Tayler. Asset pricing under endogenous expectations in an artificial stock market. In *The Economy as an Evolving Complex Systems II*, pp. 15-44. Addison-Wesley Publishing, 1997.
- [2] Robert Axelrod. *The Evolution of Cooperation*. Basic Books, New York, 1984.
- [3] Robert Axelrod. *The Complexity of Cooperation*. Princeton University Press, Princeton, New Jersey, 1997.
- [4] 出口弘. 『複雑系としての経済学』. 日科技連, 2000.
- [5] Joshua M. Epstein and Robert Axtell. *Growing Artificial Societies*. MIT Press, Cambridge, Massachusetts, 1997.
- [6] Robert H. Frank, Thomas Gilovich, and Dennis T. Regan. Does studying economics inhibit cooperation? *Journal of Economic Perspectives*, pp. 159-71, 1993.
- [7] Richard J. Gaylord and Louis J. D'Andria. *Simulating Society*. Springer-Verlag, New York, 1998.
- [8] 松島斉. 「過去、現在、未来: 繰り返しゲームと経済学」. 伊藤元重, 岩井克人 (編), 『現代の経済理論』. 東京大学出版会, 1994.
- [9] Thomas C. Schelling. *Micromotives and Macrobehavior*. Norton, New York, 1978.
- [10] Jörgen W. Weibull. *Evolutionary Game Theory*. MIT Press, Cambridge, Massachusetts, 1995.
- [11] 山岸俊男. 『社会的ジレンマの仕組み』. サイエンス社, 1990.
- [12] 山岸俊男. 『信頼の構造』. 東京大学出版会, 1998.
- [13] 盛山和夫, 海野道郎 (編). 『秩序問題と社会的ジレンマ』. ハーベスト社, 1991.