

間接的互惠関係における信頼の外化

Evolution of Indirect Reciprocity: Money as Externalization of Confidence

名古屋大学 大学院人間情報学研究科 岩島 奈緒美
名古屋大学 大学院情報科学研究科 有田 隆也

Naomi Iwashima Graduate School of Human Informatics, Nagoya University
Takaya Arita Graduate School of Information Science, Nagoya University

Abstract: Altruistic behavior in a human population can be explained by a model of indirect reciprocity. A key idea here is to express our evaluations of other people's altruistic behavior and store them in some kind of forms for later use. This paper proposes a model of indirect reciprocity based on money in an abstract sense as externalization of internal images of others. Simulation results have shown that money can build a cooperative relationship in a larger group compared to the relationship based on internal image, but it is largely influenced by macro factors. The results of the simulation with money and internal images have shown that money can coexist with internal images, which leads to a more stable cooperative relationship, but that once the relationship is disrupted, it is occasionally hard to resume. This paper also discusses a scenario for the origin and emergence of human cooperative society based on the simulation results.

1 はじめに

自己複製子としての遺伝子は、長寿、多産性、複製の正確さという3条件を満たすもの、言い換えるならば「利己的」な性質を備えるものが、結果的に集団に広がるとみなすことができる[1]。一方、その遺伝子の「乗り物」である個体レベルにおいては、道徳的な人間社会だけでなく、動物の群れにも利他的行為を観察することができる。自己の遺伝子を保存するために利己的に振舞いがちと考えられる個体が、なぜ利他的行為を見せるのだろうか。さらに、人間という種が進化していく過程において、利他性がその基盤を形作っていると考えられる我々の社会は、どのような条件で創発し、また維持され得てきたのだろうか。このような問いかけは、生物学、社会学の領域から心理学、ゲーム理論、計算機科学の領域に至る広範囲において議論されてきたテーマであり、長年に渡って様々な研究・議論がなされてきた[2]。

これらの問いかけに対する主な説明として、「血縁選択」「グループ選択」「互惠関係」によるものが挙げられる[3][4]。その中でも、互惠関係による説明は、協調する個体間に特別な関係が必要とされないため、さかんに研究がなされてきた。互惠関係は、集団サイズの拡大に伴い、直接的なものから間接的なものへと進化してきたと考えられる。近年、Nowakらは、他者イメージ(印象)に基づく間接的互惠関係のモデルを提案した[5][6]。彼らは進化シミュレーションにより、協調的集団と裏切り集団が周期的に出現するという基本的な進化ダイナミクスを観察し、比較的大規模な集団における利他的行為の基盤を説明することに成功している。

しかし、このモデルでは、他者イメージをどう評価

するかという基準には個体の多様性が反映されているが、他者の利他的行為を受けて他者イメージをどのように変更するかという点は画一的な価値観を前提としている。そこで、我々はまず利他的行為に対する評価基準に個体の持つ価値観の多様性を導入し、進化シミュレーションを行った[7]。その結果、その場合においても協調的な社会が創発するということがわかり、また、創発した社会の中には、利他的行為を良く評価しないような個体も存在する多様な社会も観察された。さらに、価値観の分散が大きくなるほど識別的な社会になるが、協調的な社会が創発するかどうかは、利他的行為をどうとらえるかという個体の価値観の平均に依存することが示された。

我々は、研究を進める過程で、印象という人の心理機能に頼る不安定なものではなく、「物」によっても同様の機能が果たせるのではないかと考えるようになった。それは、現在我々が使用している貨幣と、どのようにつながり、どのような関係があるのだろうか。人間が協調的な社会を築き、そのサイズを拡大してきた歴史の中に、必然的に貨幣の起源を見出すことができないかという点に、本研究の根本的な動機がある。

2 間接的互惠関係

間接的互惠関係とは、直接の相互作用がほとんどなくても、何らかの媒体を通して、多者間で支援(協調、利他的行為)が行われるような状況を指す。この媒体として、典型的にはイメージや貨幣などが考えられる(Fig.1)。Nowakらのイメージスコア(印象値)による間接的互惠関係モデルの概要を以下に示す。

集団は n 個体で構成され、2個体間で支援-受援の機会が繰り返し起こる。各個体は、支援するかどうかの

閾値である戦略値 k ，他個体に対するイメージスコア s （他個体ごとに），適応度に相当する得点 q を持つ。まず，集団から 2 個体が，それぞれ支援（候補）者 A，受援（候補）者 B としてランダムに選ばれる。A が B を支援する条件は以下の通りである。

（A のもつ）B のイメージスコア A の戦略値

- もし，支援する場合は以下の処理がなされる。
- ・ A はコスト c が得点から減少，B は利益 b ($b > c$) が得点に増加。
 - ・ 各目撃者で，A に対するイメージスコアが 1 増加。条件が不成立の場合には支援がなされず，以下の処理がなされる。
 - ・ 得点の増減はなし。
 - ・ 各目撃者で，A に対するイメージスコアが 1 減少。
- つまり，支援を行うとコストを払う必要があるが，それによって皆の自分に対するイメージが上がり，将来自分が支援されやすくなり，コスト以上の利益を得られる可能性がある，というメカニズムである。

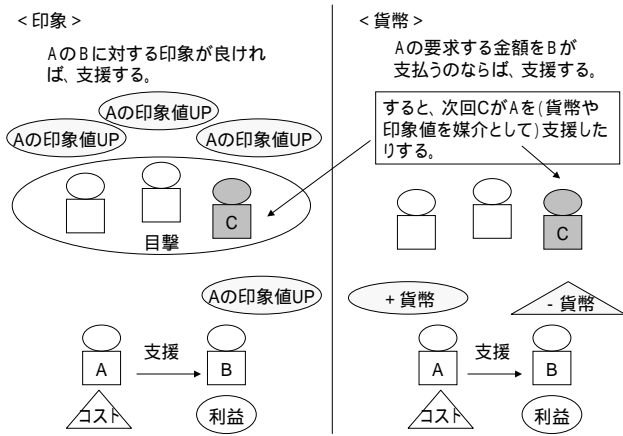


Fig.1 印象，貨幣による間接的互惠関係の概念

2 個体をランダムに選び，このような相互作用を行うことを m 回繰り返す。世代の終わりに，集団サイズは固定したまま，各個体は得点に比例した数だけ自分の戦略値 k を受け継ぐ子孫を残し，イメージスコアと得点はリセットする。但し，戦略値 k に対して，突然変異を導入する。突然変異率 μ_{rate} の確率で子はランダムな戦略値を取る。以上の処理を 1 世代とし， t 世代繰り返す。

Nowak らは， $n=100$ ， $b=10$ ， $c=1$ ， $k=-5, -4, \dots, 5, 6$ ， $m=300$ ， $t=10000$ ， $\mu_{rate}=0.001$ と設定して実験を行った。その結果の概要は次の通りである。

- ・ 全世代を通した平均協調率（支援率）は約 70% であり，過去にほとんど面識のない二者間でも利他的行為が行われ得る。
- ・ ほとんどの世代で，識別戦略（戦略値 $k=0, -1$ ）が多数を占める社会になるが，極端な協調戦略（戦略値 $k=-5, -4$ ）が増加し，そのために極端な裏切り戦略（ $k=5, 6$ ）が侵入可能になる。しかし，裏切り戦略が

蔓延すると，すぐにまた識別戦略が多数を占める社会に戻ることを繰り返し，協調と裏切りの無限のサイクルとなる。これは，識別戦略が多数を占める社会では，極端な裏切り戦略の侵入は不可能であるが，突然変異の影響で極端な協調戦略が増加すると，ただのりに制裁を加える機能が無くなり，極端な裏切り戦略の侵入を許してしまうからである。

- ・ 目撃者数を制限した実験では，平均協調率が低くなる。

3 信頼の外化としての貨幣のモデル化

イメージに基づく間接的互惠関係では，支援を行うと，それを目撃した人の心の中で印象値が増加し，以降第三者から支援されやすくなる。ここで，他者の心の中にある不安定な証拠ではなく，より確実な「物」とし，しかも自分がそれを保持することを想定すると，それは「貨幣」に近い存在になるであろう。

また，イメージに基づく間接的互惠関係では，自分の戦略値と相手に対する印象を比較して，自分の戦略値より相手に対する印象が高ければ支援を行うが，貨幣におけるサービス（商品）の売買に似ている点がある。売り手の立場で説明すると，自分の売値と相手の所持貨幣や買値を比較して，自分の売値が高くなければ，相手から自分の売値だけ貨幣をもらって支援を行う（商品を定価で売る）ということになる。

一方，印象と貨幣の相違点に関して，本研究で着目する点は以下の通りである。

- 1) 「自分に対する印象は他者で分散して持たれるが，自分の貨幣は自分一人で持つ」
印象（印象値）は言わば内なる信頼（信頼値）であるので，各個体の持つ価値観に左右されがちである。よって，自分に対する印象について，（自分を含め）全員がそれぞれ違った評価をしている可能性がある。しかし，これでは確実性が低い。そこで，この内なる信頼を外化（証明書化）したものが，貨幣であるという見方ができる。信頼の証明書を手元にもらうことで，自分の信頼度を安定で強固なものにすることができる。
- 2) 「印象は一度のやりとりで非ゼロサムであるが，貨幣ではゼロサムである」
一度のやりとりにおいて，受援者に対する印象は増減しないので，印象は貨幣とは違い，非ゼロサムである。したがって，貨幣のほうが，ただのり（受援だけして支援しないこと）を許しにくい。また，貨幣の総量がマイクロなレベルで変化することはないが，貨幣の総量は，協調社会の形成に少なからず影響を与えるはずである。よってその調節は，現実社会の日本銀行などによる金融政策に代表されるように，重要な問題になる。
- 3) 「印象は，当事者と目撃者という範囲に関わるが，貨幣は，当事者間でのみやりとりされる」
印象のほうは，集団が大きくなると，協調関係を維持するためには，目撃範囲も同じように広くなる

必要があるのに対して、貨幣のほうは、集団が大きくなっても、やりとりの範囲が変わる必要はない。

以上を前提として、我々は、信頼の外化として貨幣をモデル化した。貨幣による間接的互惠関係モデルの構成は以下の通りである。

集団は n 個体で構成され、2 個体間で支援-受援の機会が繰り返し起こる。各個体は、支援（候補）者に選ばれた際に支援するかどうかの閾値である戦略値 mt （売値）、受援（候補）者に選ばれた際に受援するかどうかの閾値である戦略値 mg （買値）、そして所持貨幣 $money$ を持つ。また、適応度に相当する得点 q も持つ。

まず、集団から 2 個体が、それぞれ支援（候補）者 A、受援（候補）者 B としてランダムに選ばれる。

A が B を支援するのは以下の 2 条件が両方とも成立するときである。

B の mg （買値）	A の mt （売値）
B の所持貨幣 $money$	A の mt （売値）

もし、少なくともいずれかが不成立の場合は、支援せず、得点の増減などはなされない。

つまり、これは、支援（利他的行為）を行うとコストを払わなければならないが、それによって貨幣を得ることができれば、将来自分が支援されやすくなり、コスト以上の利益を得られる可能性がある、という構造をモデル化したものである。

2 個体をランダムに選び、このような相互作用を行うことを m 回繰り返す。世代の終わりに、集団サイズは固定したまま、各個体は得点に比例した数だけ自分の戦略値 mt , mg を受け継ぐ子孫を残し、所持貨幣と得点はリセットする。但し、戦略値 mt , mg それぞれに対して、突然変異を導入する。突然変異率 μ_rate の確率で子はランダムな戦略値を取る。以上の処理を 1 世代として、これを t 世代繰り返す。

4 貨幣による間接的互惠関係モデルの実験

貨幣のみによるシミュレーション実験をまず行った。基本設定として、パラメータを $n=100$, $b=10$, $c=1$, $mt=1, 2, \dots, 5$, $mg=0, 1, \dots, 4$, $m=300$, $t=10000$, $\mu_rate=0.001$ とした。なお、以降、支援を協調と呼ぶ場合もある。

Fig.2 は、平均 mt , 平均 mg , 相互作用ごとの平均移動貨幣, 相互作用ごとの平均得点の推移, Fig.3 は、全世代平均戦略出現割合（丸の大きさが、割合の大きさに相当）を示す。また、次のことも示された（次の 4 項目は相互作用の結果の 4 分類を意味し、全て足すと 100% である）。

- ・ 全世代平均の協調率：約 63%
- ・ 全世代平均の貨幣底つき率（受援者の所持貨幣が不足して支援が行われなかった割合）：約 37%
- ・ 全世代平均の意思無し率（受援者が支援者の求める貨幣量を払う意思がなかったため、支援が行われな

かった割合）約 0%

- ・ 全世代平均の両方無し率（受援者の所持貨幣が不足して、且つ、受援者が支援者の求める貨幣量を払う意思がなかったため、支援が行われなかった割合）約 0%

両図から、平均 mt と平均 mg がともに 4 あたりで推移していること、平均移動貨幣が平均 mt の幾らか下を推移していること、そして、平均得点は初期世代に一気に上昇して、そのまま維持されることがわかる。また、多くの世代において、 $(mt, mg)=(4, 4)$ の戦略値を持つ個体が、集団を占めていることもわかる。

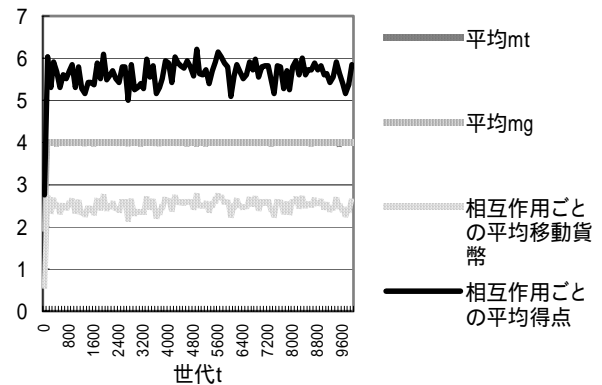


Fig.2 平均戦略値などの推移 (基本設定)

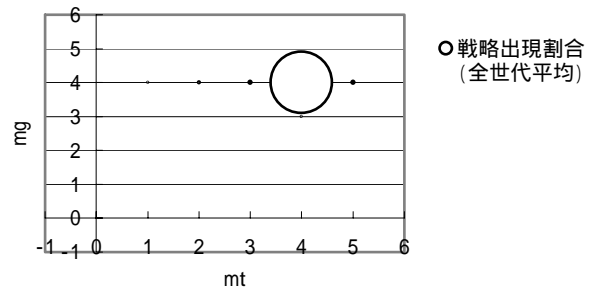


Fig.3 戦略出現割合 (基本設定)

これらの結果には、次のようなメカニズムが影響を及ぼしていると考えられる。 mt （売値）が大きいと、支援しにくいとため、余計なコストを払わなくてすむ。また、支援した際に得る貨幣量が多いとため、後に所持貨幣が底をついて受援できない割合が減り、多少利益を得やすくなる。しかし、 mt （売値）が大きいと、確実に少量ずつ貨幣を得ていくことができないとため、後に所持貨幣が底をついて受援できない割合が増え、利益を得にくくなる。

まず、多様性の大きい初期集団において、貨幣が底をついて支援できないようなことが度々あるとため、 mt （売値）については、最大ではないがある程度大きなもの、つまり $mt=4$ が有利になる。そして mg （買値）については、 $mt=4$ が有利な社会で確実に受援するものは $mg=4$ であるとため、 $mg=4$ が有利になる。そして、初期集団でこのように戦略出現割合が固まってしまうと、突然変異で他の戦略が多少出現しても、傾向が変わることはない。よって、このような結果になったと考える

られる。

次に、突然変異率の影響を調べた。Fig.4 は、 $m=300$ で $\mu_rate=0.001, 0.01, 0.1$ に変えたときの、協調率、貨幣底つき率、意思無し率、両方無し率（全て全世代平均）、Fig.5 は $\mu_rate=0.1$ の場合の、全世代平均戦略出現割合を示す。両図から、本モデルにおける突然変異率は、戦略の淘汰圧を弱めるが、協調率にはそれほど強く影響しないということがわかる。

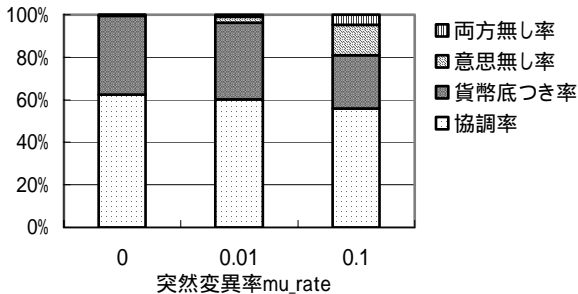


Fig.4 突然変異率を変えた場合の相互作用の分類

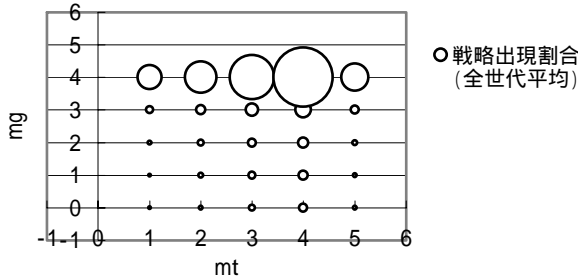


Fig.5 突然変異率0.1とした場合の戦略出現割合

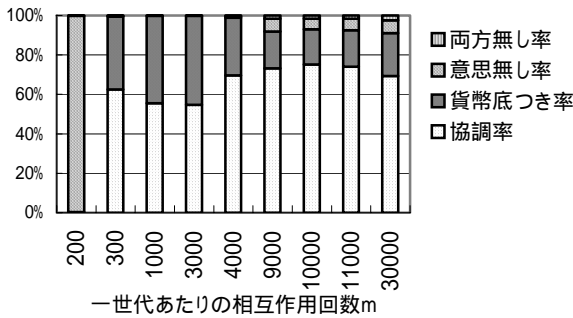


Fig.6 mを変えた場合の相互作用の分類

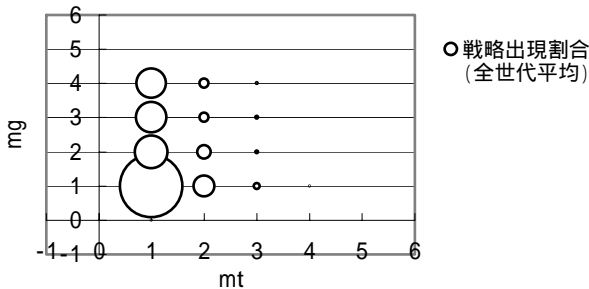


Fig.7 m=10000とした場合の戦略出現割合

次に、相互作用回数の影響を調べた。Fig.6 は、 $m=200, 300, 1000, 3000, 4000, 9000, 10000, 11000, 30000$

に変えた場合の、協調率、貨幣底つき率、意思無し率、両方無し率（全て全世代平均）、Fig.7 は、全世代平均の戦略出現割合を示す。両図から、一世代あたりの相互作用回数が多い場合には、貨幣がいつ底をついてもおかしくない状況になるので、確実に少量ずつ貨幣を得ていく mt の小さなものが適応的になり、それに伴って mg も小さなものが適応的になって、少ない貨幣をやりとりし、高い協調率を得ようになるのがわかる。

このことは、薄利多売やそれに伴うデフレーションに似た現象ではないかと考える。現実社会でも、相互作用する機会が多い都市部では、確実に少量ずつ貨幣を得て支援していくことで、全体として利益を得るのが適応的になりがちである。

本実験では、絶対的な貨幣供給量は変えていないが、一世代あたりの相互作用回数 m が大きくなると、流通に必要な貨幣量も大きくなるため、相対的な貨幣供給量を減らしたと、ほぼ等しい意味を持つと考えられる。この結果は、貨幣システムは、貨幣の総流量（貨幣供給量）に影響を受けやすいことを示している。政府や日本銀行が金融政策に苦心している現実が貨幣供給量の調節の重要性を表している。

続いて、利益とコストの差の影響を調べた。Fig.8, Fig.9 は、 $m=300, 10000$ の各場合について、 $c=0, 1, 3, 5, 7, 9, 10, 11$ に変えた場合 (b は 10 に固定) の、協調率、貨幣底つき率、意思無し率、両方無し率（全て全世代平均）を示す。両図から、協調関係が成立するには、受援する際に受ける利益が支援する際に払うコストを一定量上回る必要のあること、さらに、相互作用回数の少ない集団になればなるほど利益がコストをより大きく上回る必要があることがわかる。

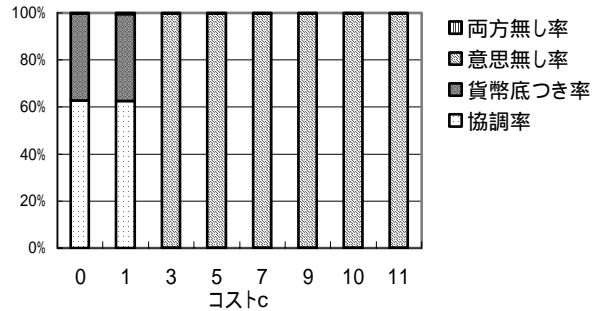


Fig.8 m=300でcを変えた場合の相互作用の分類

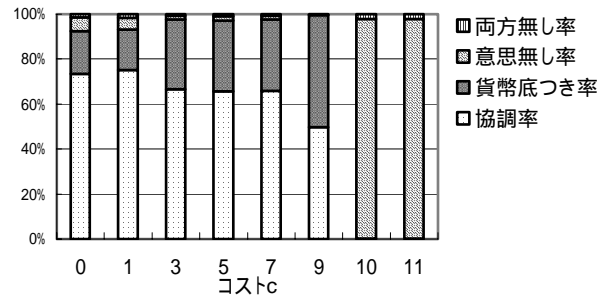


Fig.9 m=10000でcを変えた場合の相互作用の分類

最後に、集団サイズの影響を調べた。Fig.10, Fig.11 は、 $m/n=3$ (一人一世代当たりの平均相互作用回数が一定)、 $m/n=0.03n$ (一人一世代当たりの平均相互作用回

数が n に比例) の各場合について, $n=50, 70, 100, 200, 300, 400, 500, 600, 700, 800, 900, 1000, 1100, 1200, 1300, 1400, 1500$ に変えたときの, 協調率, 貨幣底つき率, 意思無し率, 両方無し率 (全て全世代平均) を示す. 両図から, 貨幣は, 一人一世代あたりの平均相互作用回数が一定の場合は, 集団サイズに関わらず同様に機能し, 一人一世代あたりの平均相互作用回数が集団サイズに比例する場合は, 集団サイズが極端に小さい場合にはうまく機能せず, 集団サイズが大きくなればなるほど, より協調的な社会を形成しやすくなることわかる.

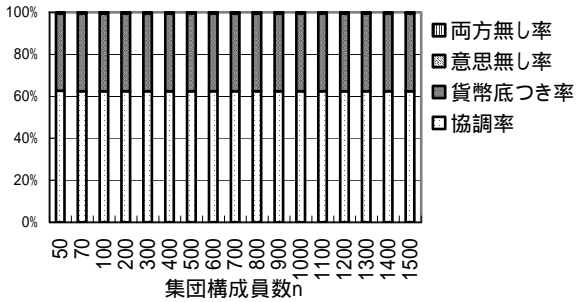


Fig.10 $m/n=3$ とした場合の相互作用の分類

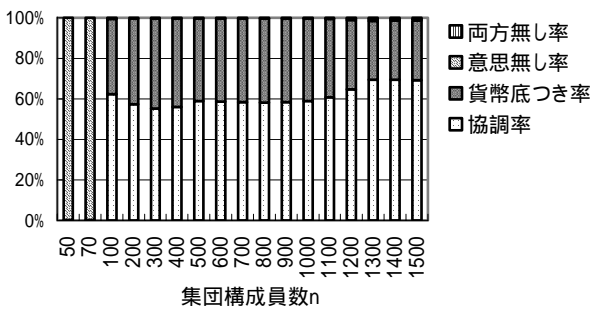


Fig.11 $m/n=0.03n$ とした場合の相互作用の分類

現実社会では, 大都市は, 集団サイズが大きい上に人口密度が高く, 過疎地域の都市では, 集団サイズが小さい上に人口密度も低い傾向がある. そして, 大都市ではほぼ貨幣のみで社会が形成されているのに対し, 過疎地域では印象によっても社会が形成されている. これは, 貨幣が過疎地域よりも過密地域において機能しやすいためであろう. 本実験はこのシナリオを裏付けている. さらに, 貨幣供給量という面から考えると, どのような集団でも貨幣供給量を一定にすれば良いというものではなく, 人口が同程度の集団においては, 過密集団では過疎集団よりも多く貨幣を供給する必要があると言える.

5 貨幣と印象による間接的互惠関係モデルの実験

ここでは, 印象モデルと貨幣モデルを融合させたモデルを作り, シミュレーション実験を行った. このモデルでは印象による支援を優先させる. 印象による支援が行われれば, 支援者に対する全員のイメージが1増加し, 印象による支援が行われなくても, 貨幣による支援が行われれば, 支援者に対するイメージに変化はない. そして, 印象によっても貨幣によっても支援

が行われなければ, 支援者に対するイメージが1減少するものとした. 使用したパラメータは, 印象モデル, 貨幣モデルの基本設定と同様とした.

Fig.12 は, $m=1000$ において, 印象モデル, 貨幣モデル, 印象と貨幣共存モデルそれぞれにおける, 印象協調率 (印象を使用して支援を行った割合), 貨幣協調率 (貨幣を使用して支援を行った割合), 貨幣底つき率, 意思無し率, 両方無し率 (全て全世代平均) を, Fig.13 は, 平均 k , 平均 mt , 平均 mg , 相互作用ごとの平均移動貨幣, 相互作用ごとの平均得点の推移を示す.

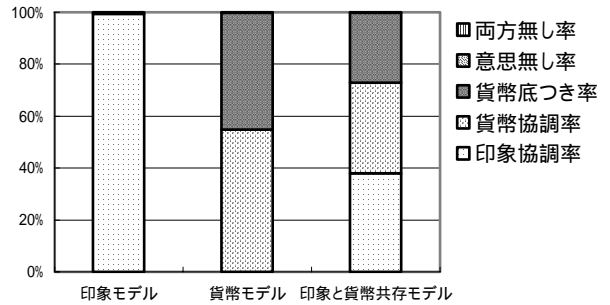


Fig.12 $m=1000$ とした場合の相互作用の分類

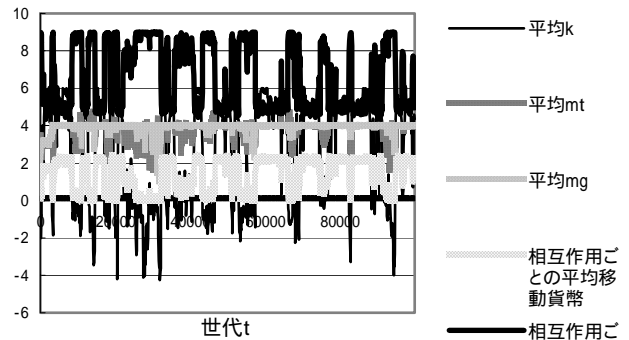


Fig.13 印象と貨幣共存モデルにおける平均戦略値などの推移

両図から, 印象と貨幣を同時に使用すると, Nowakらの印象モデルで見られたような, 完全な協調関係の崩壊 (平均得点がほぼ0になってしまうような世代が見られる状況) はほぼ起こらず, 比較的安定した協調社会が築かれているのがわかる. また, 貨幣と印象のどちらかだけが使用されるような状況にはならず, 貨幣と印象が共存している. しかし, 一旦協調関係が崩れたときに, 両者が悪いほうに作用し合っただけでは回復しにくいケースも見られた. これは, 印象と貨幣それぞれに関する戦略の淘汰がうまくいかず, 協調率が上がらないということである. 具体的には, 以下のようなメカニズムによるものであると考えられる.

- 貨幣が, 印象における裏切り戦略を助ける形になるため, 印象の裏切り戦略が蔓延し, 基本的に貨幣による協調が行われる.
- 突然変異の影響で印象の平均 k が極端に下がった世代では, 印象で協調が行われ, 貨幣が底をつきにくい状態になる. よって, 一世代あたりの相互作用回数があまりに小さいと, 貨幣の裏切り戦略が潜在的

に蔓延する。

- ・ しばらく印象による協調が行われた後で、印象の裏切り戦略が進入し、これによって印象による協調が不可能になり、貨幣による協調が行われる。しかし、貨幣において潜在的に裏切り戦略が蔓延していると、貨幣による協調も行われない状況となり、協調関係が完全に崩壊する。

一連の研究を通して得た知見から、協調的な社会や貨幣の起源に関して次のようなシナリオが示唆される。

自己遺伝子の保存のために利己的に振舞う個体間で、特に強固な関係がなくても互恵性に基づく利他的行為が行われ、協調関係は生まれ得る。そして、集団サイズが拡大するにつれて、その互恵関係は直接的なものから間接的なものへと変化し、その過程で、他者を信頼できるかどうか判断する印象のような心理機能（いわゆる社会的知能）が適応進化し、それに伴い脳のサイズも増大する。

さらに集団サイズが増大すると、人類は、貨幣という、印象などの内なる信頼を外在化した物を考案する。内なる信頼は記憶した履歴に基づくが、脳のサイズにも限界があるので、これを外化することは集団が肥大化する過程で必然であったのかもしれない。この貨幣を用いたシステムは、本研究で示した通り、印象に基づくシステムと比べて、記憶容量の限界だけでなく、より大規模な集団で機能し、個体の価値観にも左右されにくいいため、比較的安定した協調関係を築くことができるという安定性の面も、他者を信頼する際の媒体の、印象から貨幣への転化を促したと考えられる。

しかし、現在の多重な社会では、個人は多数の集団に属する。集団サイズが比較的小さい場合には、貨幣供給量の調節などマクロな操作を必要としない印象システムのほうが有利である（貨幣システムのコストの問題もある）。よって、現在、印象と貨幣が共存しているのであろう。印象と貨幣を同時に使用すると比較的安定した協調関係が築かれる一方で、一旦協調関係が崩れたときに両者が悪いほうに作用し合っすぐに回復しにくいケースが生じ得る。そのことも一因となって、比較的信頼性が高く構成員数の少ない内集団は印象、信頼性が低く構成員数の多い外集団は貨幣というような使い分けがなされるようになったのではないだろうか。

6 終わりに

本研究では、貨幣は印象など内なる信頼の外化物であるという仮説に基づいて、まず、貨幣による間接的互恵関係モデルを構築し、シミュレーション実験を行った。その結果、貨幣は、相互作用の密接度が同程度ならば集団サイズに関わらず同様に機能し、さらに、より相互作用が密接で大規模な集団において協調関係を築くのに適していることがわかった。また、貨幣に基づくシステムがうまく機能するための条件が示された。また、貨幣に基づくシステムは、相対的な貨幣の総流量というマクロな事項に左右されやすいことなど

も示された。

次に、協調的な社会の起源へのアプローチとして、印象と貨幣による間接的互恵関係モデルを構築して、シミュレーション実験を行った。その結果、印象と貨幣を同時に使用すると、印象のみの場合に比べて、安定した協調関係が築かれ、印象と貨幣が共存することや、一旦協調関係が崩れたときに、両者が悪いほうに作用し合っすぐに回復しにくいケースがあることが示された。一連の研究を通して得られた知見は、協調的な社会の起源や貨幣の起源に関する一つのシナリオを提示するものであった。このシナリオの裏では、最近、再定義されつつあるグループ選択のメカニズム [8] が働いていると考えられる。

貨幣の起源については様々な説がある。安富は、貨幣は「皆の受け取るものは受け取る」という匿名の多数の他者の行為を模倣する戦略に、信用は「しっぺ返し」という固有名を持った個々の他者の行為を模倣する戦略にそれぞれ由来し、貨幣と信用は全く異なった起源と機能を持つとしている [9]。今後、モデルの洗練化や拡張を行うとともに、他の説との詳細な比較検討が必要である。

参考文献

- [1] R. Dawkins: *The Selfish Gene*, Oxford University Press (1976).
- [2] R. L. Riolo, M. D. Cohen & R. Axelrod: Evolution of Cooperation without Reciprocity, *Nature*, 414, 441-443 (2001).
- [3] W. D. Hamilton: The Genetic Evolution of Social Behavior, *Journal of Theoretical Biology*, 7, 1-52 (1964).
- [4] G. C. Williams: *Group Selection*, Aldine-Atherton (1971).
- [5] M. A. Nowak & K. Sigmund: Evolution of Indirect Reciprocity by Image Scoring, *Nature*, 393, 573-577 (1998).
- [6] M. A. Nowak & K. Sigmund: The Dynamics of Indirect Reciprocity, *Journal of Theoretical Biology*, 194, 561-574 (1998).
- [7] 岩島奈緒美, 有田隆也: 間接的互恵関係モデルにおける価値観の進化, 情報文化研究, 名古屋大学情報文化学部, Vol. 18 (印刷中).
- [8] E. Sober & D. S. Wilson: *Unto Others - The Evolution and Psychology of Unselfish Behavior*, Harvard University Press (1998).
- [9] 安富歩: 貨幣の複雑性, 創文社(2000).