

# 性選択における多数派同調バイアスに関する人工生命モデル

名古屋大学大学院人間情報学研究科 俵 啓介 有田 隆也

## An artificial life model on the influence of the conformity bias in sexual selection

Keisuke Tawara Takaya Arita

Graduate School of Human Informatics, Nagoya University

**Abstract:** Recently, there has been considerable interest in the idea of social intelligence from the evolutionary viewpoint. This paper investigates on the influence of conformity bias on evolutionary dynamics by focusing on sexual selection based on the artificial life approach. In our evolutionary model, each individual is composed of a trait vector, a preference vector and its sex. Female preferences and male traits evolve based on the mechanism of mate selection, in which each female chooses a male according to the similarity between its preference vector and male trait vectors. The conformity bias is introduced into the model as a tendency of individuals to imitate the majority phenotype of preferences or traits. Simulation has shown that the conformity bias has a tendency to maintain the diversity and to generate fluctuation in preferences and traits, which is contrary to our expectations.

## 1 はじめに

一般に社会的集団において、他者の物理的な存在は自分にとって様々な心理的、行動的影響を与える。そして、実質的な相互依存関係が存在する状況では、他者からの影響を受け、または与える中で、行動や態度の変化による同調行動を要因として集団内のメンバーに行動や態度の斉一性が生まれる [1]。このような斉一性は多数派と少数派を生み出し、一般に多数派は社会的影響の発信源になり、「数は力なり」の原理が集団生活で幅広く作用すると言える。その後、多数派の拡大によって少数派は排除され均一な集団になると思われる。しかし現実はずしもそうではない。少数派は消えることなく存続するのである。これはいかなる理由によるのか。この問いに対して、Latane らは社会的インパクト理論と、そこに時系列的ダイナミズムを導入したダイナミック社会的インパクト理論によって、多数派の拡大と少数派の局所的に等質な集団を作ることによる残存可能性を示した [2][3]。また、石黒らはダイナミック社会的インパクト理論のモデルに全体情報のフィードバックを導入し、マス・コミュニケーションが集団に与える影響について検討している [4]。亀田らは、適応戦略としての学習行動に注目し、個人的学習と社会的学習を代表的な学習モードとして、多数派同調バイアスの適応基盤について検討している [5]。このように、態度変化メカニズムや多数派・少数派にお

ける差異、人間の社会行動などについて社会心理学の分野で研究が盛んに行われている。

一方、進化生物学の知識をもとにした、生物の行動や心理に関する研究も活発に行われている。その中でも、行動生態学で注目されている性選択は、進化的視点から多くの研究が行われているものの一つである。性選択は、Darwin が自然選択の理論を発表して以来、Darwin を悩ませた現象である雌雄間の性的二型性に関する理論である。孔雀の尾羽のような、一見すると生存上不利であるように思われる雄の派手な形質の進化理由について説明するものである。性選択には雄間の競争と、雌による選り好みの二つの過程が考えられ、特に注目されているのは雌による選り好みである。この雌の選り好みについて、Fisher のランナウェイ仮説 [6] と呼ばれるものがある。この仮説では、雄の形質に環境に対する有利性がなくとも、多くの雌に選ばれること自体が繁殖成功度を上昇させ、環境に対する適応度にとって替わる。雌の選り好みは雄の形質と強い相関をもって進化することにより、雄の形質は適合範囲を越えて派手になり、雌の選り好みは雄の形質に付随しながら広まっていくというものである。雄は直接選ばれることが利益であり、雌は子が次世代でより多くの雌から選ばれ、孫を残すことで利益が得られる。つまり雄は直接的利益であるのに対して、雌は間接的利益である。これは Kirkpatrick や Lande らによって数式に表され、実際に働き得ることが確認され

ている [7][8] . 特定の選り好みを行う雌が集団中にある程度存在することが必要であり, また重要な点である . これは社会的集団で論じられる多数派と同様の効果をもつと考えられる .

同調行動が社会的集団において適応的とされ, また進化的に得てきたと思われる心理的行動であるならば, この適応行動とされる同調が配偶者選択に影響を与え得る可能性は十分に考えられる . その影響を性選択で観察し, 多数派に同調することが常時適応的な行動であるのかを議論することは興味深い . よって本論文では, 社会的集団における多数派のもたらす進化ダイナミクスへの影響に関する, 性選択を題材とした人工生命手法による解明を目的とする . つまり, 性選択に基づくエージェントベースシミュレーションを用いて, 雌の嗜好と雄の形質の進化に注目し, 集団の斉一性に対する同調行動の効果を考察する .

## 2 モデル

### 2.1 設計方針

本論文では, 環境に対する適応度をもたない形質を用いて, 雌の嗜好と雄の形質の進化過程をシミュレートする . これは, 形態が十分に進化し, 環境への依存がすでに存在しない状態と捉えることができる . よって, 嗜好と形質の共進化による, 多数派・少数派の形成を単純に捉えることができると考える .

進化モデルにおいて, 各個体は性別, 嗜好ベクトル, 形質ベクトルによって表現される . 雌雄ともに嗜好, 形質の両ベクトルを持ってはいるが, 嗜好ベクトルは雌においてのみ発現し, 形質ベクトルは雄においてのみ発現するものとする . 配偶者評価は雌のみが行う . 雌が自分の嗜好に近い形質を持つ雄を選んで繁殖を行い, 雌雄から嗜好と形質を遺伝させることにより, 雌の嗜好と雄の形質が進化する . 性選択のメカニズムの実現方法は Lerena のモデル [9] を参考にした .

### 2.2 個体の表現

集団は 100 個体 (雌: 50, 雄: 50) からなる . 個体は 2 つの部分から構成される .

$$\begin{aligned} \text{trait-vector} \quad (M \text{ bit}) : t \\ \text{preference-vector} \quad (N \text{ bit}) : p \end{aligned}$$

$\text{trait-vector}$ (形質ベクトル) のもつ値, つまり各遺伝子座の対立遺伝子は  $\{0, 1\}$  とし, 1 つの形質ベクトルをも

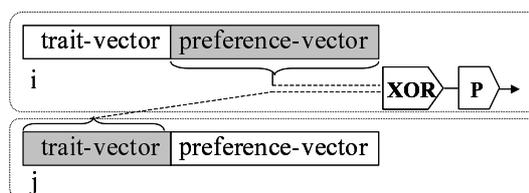


図 1: 個体の構成と配偶者評価

とにして, その各遺伝子座を変異率 5% で変異させたものを個体に持たせる .  $\text{preference-vector}$ (嗜好ベクトル) については, 各個体の各遺伝子座にランダムに  $\{0, 1\}$  を配置する .

### 2.3 評価値

個体  $i$  は相手  $j$  を評価する際に,  $p_i$  と  $t_j$  のハミング距離をとり, 以下の式 (1) で配偶者の評価  $P_i(j)$  を求める (図 1) . つまり, 類似度が評価値となる .

$$P_i(j) = 1 - \frac{H_N(p_i, t_j)}{N} \quad (1)$$

$H_N$  : Hamming distance

### 2.4 世代交代

雌 1 個体に対して雄  $n$  個体がランダムに選ばれ, 配偶者候補として雌に与えられる . 雌は  $n$  個体中から式 (1) に従って計算された  $P_i(j)$  で最大値をとる雄と繁殖し, 次世代の個体となる子孫を 2 個体 (雄: 1, 雌: 1) 残す . 具体的には, 子個体が受け継ぐ遺伝子列は嗜好ベクトルと形質ベクトルであり, それぞれ雄雌どちらのベクトルが遺伝するかは等確率である . つまり, 雌から遺伝した嗜好ベクトルと雄から遺伝した形質ベクトルで子個体が生成されることもあれば, どちらのベクトルも雄から遺伝して父親と等質な子個体が生成されることもある . その際, 各遺伝子座において確率  $r$  で突然変異が起きる . 雌は全個体が繁殖できるものとする . 全ての雌が繁殖を 1 回行うと次の世代に移る .

### 2.5 多数派同調

本論文で考慮する多数派同調とは, 集団内で最多数を占める嗜好 (または形質) が, 表現型に影響を与えるものとする . 雌が多数派同調を行うとは, 集団内で多数派の嗜好を表現型で模倣することである . 雄の場合には, 形質の表現型を模倣することである . これを人間の行動

に例えるなら、女性の場合、その時代に人気のある俳優に似た男性を好むことであったり、男性の場合、シークレットブーツで高身長に見せるなどといったことである。

多数派同調の度合いは、多数派と個体の持つベクトルの類似度に比例させる。類似度に従って、確率的に非共有遺伝子を多数派の遺伝子に変化させていく。つまり、多数派と似た行動や態度であるなら多数派に近づき易く、異なるものであるほど近づき難い。

繁殖時に遺伝する嗜好や形質は、変化の影響を受けない遺伝子型のベクトルである。

### 3 シミュレーション実験

#### 3.1 設定

次のように同調のない設定と、多数派同調についての3設定、計4設定のシミュレーション実験を行った。

- 1) 多数派同調なし
- 2) 雌が多数派同調を行う  
雌が、雌間の多数派嗜好を模倣し、その模倣した嗜好を用いて配偶者選択を行う。
- 3) 雄が多数派同調を行う  
雄が、雄間の多数派形質を模倣、つまり着飾ることを行い、雌の配偶者選択を受ける。
- 4) 両性が多数派同調を行う  
設定2), 3)の多数派同調が働く。両性はその同調行動の後、配偶者選択の機会をもつ。

シミュレーション1試行のパラメータは、実験世代1000、個体数100(雌: 50, 雄: 50),  $n = 10$ ,  $M = 5$ ,  $N = 5$ ,  $r = 0.001$ とした。

#### 3.2 実験結果

各設定において50試行のシミュレーションを行った。50試行中から、代表的な試行を用いて結果を示す。設定1)での雌の嗜好と雄の形質の遺伝子頻度の典型例を図2と図3に示す。嗜好は雌の集団、形質は雄の集団から抽出したデータであり、世代による遺伝子頻度、つまりベクトル種類の集団全体に対する割合を示した積み上げ面グラフである。横軸が世代、縦軸が割合である。

図2, 3から多数派である嗜好と形質のみを抽出したものを図4に示す。横軸が世代、縦軸が種類番号である。番号は、図2, 3で最多数となっているベクトルに対応する。例えば図2において、嗜好ベクトル(24番)が50世代あたりから250世代あたりにかけて集団内で多数派となっている。その後、少数派であった嗜好ベクトル(15番)が新たな多数派となっている。そのような多数派の

遷り変わりを、番号の変化で示したものが図4である。設定2), 3), 4)について同様のものを図7, 8, 9に示す。

また、集団内の嗜好と形質の遺伝子型における多様性を図5に示す。多様性を表す指標としてエントロピーを用いた。エントロピーは以下の式(2)を用い、嗜好は雌の集団のみ、形質は雄の集団のみから算出した。

$$H = - \left( \sum_{i=1}^n p_i \log_2 p_i \right) \quad (2)$$

設定2), 3), 4)について同様のものを図10, 11, 12に示す。図13に、各設定における嗜好と形質の多数派の入れ替わり回数を示した。これは各設定での50試行の平均値である。

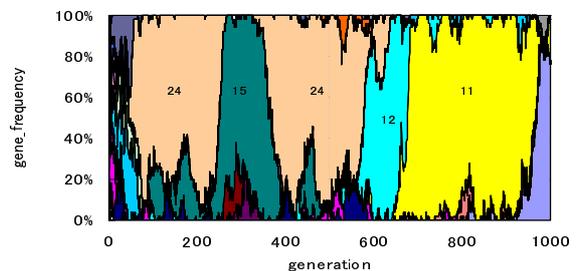


図2: 嗜好の遺伝子頻度

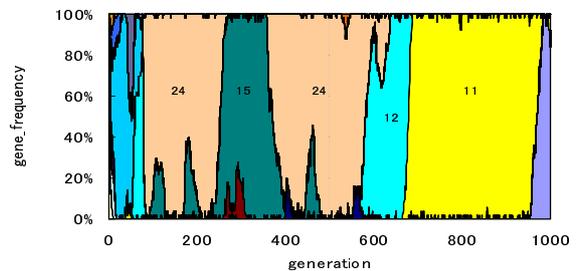


図3: 形質の遺伝子頻度

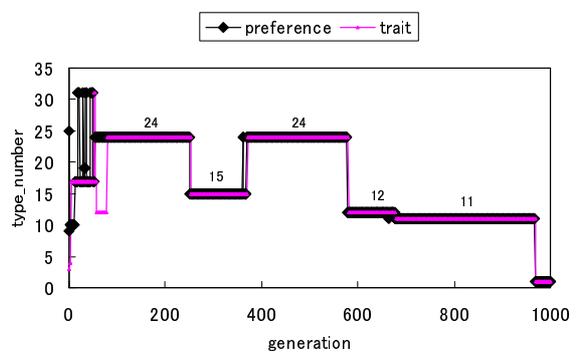


図4: 嗜好と形質の多数派 (多数派同調なし)

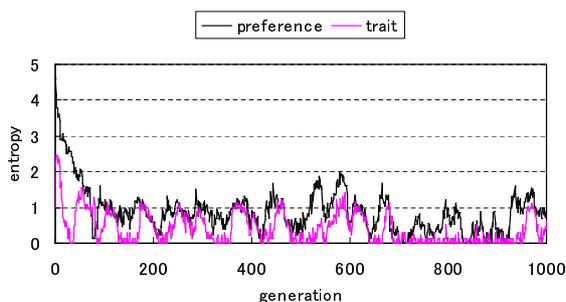


図 5: 嗜好と形質の多様性 (多数派同調なし)

図 2, 3 から, この単純な設定において, すでに多数派の入れ替わりが起きている. 図 5 から, 多様性の増加と減少の繰り返しを起こしていることが分かる. これは, 減少時が多数派の形成であり, 増加時が崩壊である. そして, エントロピーが低い値を推移していることから, 集団はほぼ均一化していると分かる. 図 4 から, 多数派である嗜好ベクトルと形質ベクトルの番号が良く一致し, 長期に渡っている. つまり, 嗜好と形質が相関をもって進化していること, 多数派は他の設定に比べて長期に渡って集団を占有していることが分かる.

### 3.3 多数派と少数派の入れ替わり

多数派と少数派の形勢逆転のメカニズム (図 6) を考える. 集団内には, 遺伝子  $a$  (多数派) と遺伝子  $b$  (少数派) のみが存在すると簡略化して考える. 個体は以下のように表現する.

$N_{ab}$ :  $N$  (雌雄),  $ab$  (遺伝子型)

例,  $M_{ab}$ :  $ab$  の遺伝子型を持つ雄

$F_{aa}$ :  $aa$  の遺伝子型を持つ雌

添え字の前者を嗜好遺伝子, 後者を形質遺伝子とし, 前述のように雌は嗜好のみ, 雄は形質のみが発現する. 遺伝子  $a$  が発現した個体はタイプ A に属し, 遺伝子  $b$  が発現した個体はタイプ B に属す. また, 嗜好と形質の遺伝子が一致したものを, 相関のとれた個体と呼ぶ.

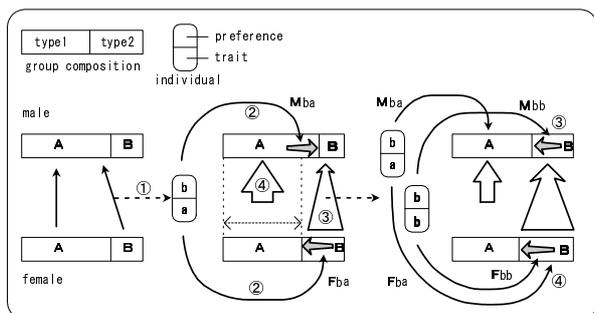


図 6: 形勢が逆転するメカニズム

図 6 の説明を以下に記す.

- ① 多数派 A の雄 (形質で遺伝子  $a$  が発現) が過度に多いため, 少数派 B の雌 (嗜好で遺伝子  $b$  が発現) に配偶者候補として与えられる雄が全て個体 A である可能性がある. そのような場合, 雌 A は好みと違う雄であっても, その中から配偶者を選ばざるをえないので, 個体内で相関の取れない子個体が生まれる.
- ② その子個体が雄であった場合, 形質遺伝子  $a$  のみが発現し多数派の雄 A は増加する. また, 子個体が雌であった場合, 嗜好遺伝子  $b$  のみが発現し, 少数派の雌 B は増加する. その結果, 雌と雄で遺伝子頻度の変化が生じる.
- ③ 増加した雌 B は, その繁殖回数から雄 B が配偶者候補に存在する可能性がある. その時, 雄 B が 1 個体でも存在すれば雄 B と繁殖し, 雄 B は増加する. その結果, 雄 B の遺伝子頻度は雌 A に近づく. 一方, 雌 A は確実な配偶者選択で雄 A を選ぶが, 雄 A が雌 A の頻度以上にいたとしても, 雌は 1 個体としか繁殖できないため, 雄 A の頻度は雌 A の頻度以上の増加を望めない.
- ④ ③で生成される子の個体内の相関がとれている (発現していないが嗜好遺伝子に  $b$  を持つ) ため, 雄 B による増加は雌 B の増加をもたらす. また,  $M_{ba}$  である雄 A と雌 A が繁殖することで, 嗜好遺伝子  $b$  の増加をもたらす. このことはさらに③を引き起こす. これは雄の頻度が雌の頻度を越えるまで持続する.

ランナウェイ仮説で重要なのは, 雄が集中的に選ばれることであった. つまり, 雌の遺伝子頻度と雄の遺伝子頻度の差が大きく影響する. 対象となる雄が雌よりも少ない関係の時に増加が見込まれ, 雌よりも大きな集団となってしまうと, 雌からの選択圧による頻度変化は望めない. よって, 多数派と少数派の逆転が起きるポイントは, 嗜好と形質の遺伝子頻度の差と, 個体内で相関をとれるかどうかにあると考えられる.

### 3.4 多数派同調の影響

雌のみが多数派同調を行った場合, 図 7 から, 多数派である嗜好ベクトルと形質ベクトルの番号がほぼ一致して世代を経てはいるが, 数世代において嗜好と形質の番号が一致していない. 嗜好の挙動が振動している. これは, 形質は多数派の変化が少ないのに対して, 嗜好は変化が多い (図 13) ことを表している. 形質において多数派が安定している, つまり多数派の変化回数が少ないのは, 同調により表現型で均一化した雌の集団からの強い選択圧が原因である. これは図 10 から, 形質が多様性を減少し均一化していることから分かる. 逆に, 嗜好において多様性があるのは, 同調することで淘汰を逃れた嗜好の様々な遺伝子型が存在するからである. 集団内の形質遺伝子が急速に進化し均一化したことによって, 配偶者選択の意味は消失し, その結果, 嗜好は安定して

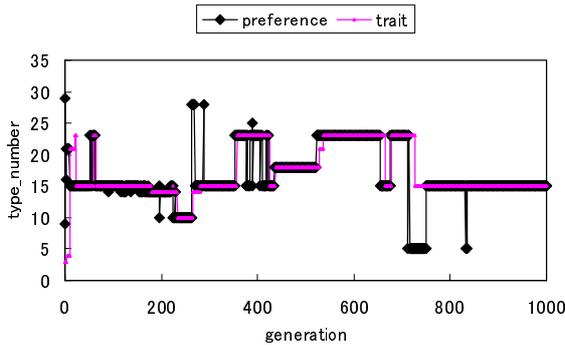


図 7: 嗜好と形質の多数派 (雌が多数派同調)

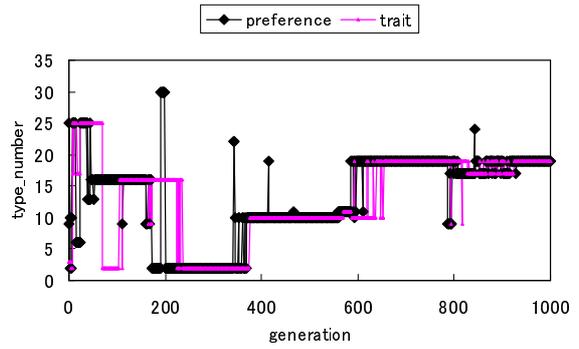


図 9: 嗜好と形質の多数派 (両性が多数派同調)

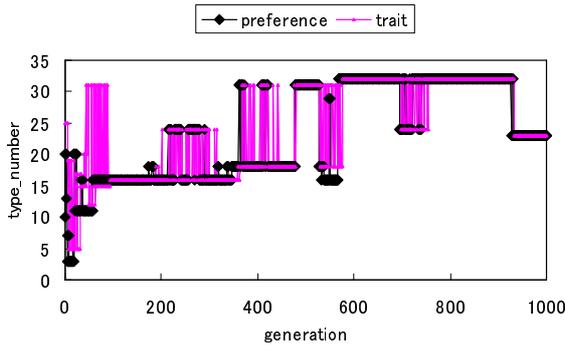


図 8: 嗜好と形質の多数派 (雄が多数派同調)

進化することが困難になる．そして、嗜好は遺伝子型において多様性を維持していることから (図 10)、嗜好の遺伝子頻度変化が集団内で頻繁に起こったと考えられる．

雄のみが多数派同調を行った場合、図 8 から、多数派である嗜好と形質ベクトルの種類がほぼ一致して世代を経てはいるが、形質においてその挙動が嗜好と外れることが多いと分かる．つまり、形質で多数派の入れ替わりが激しい．50 試行の平均 (図 13) からその差は明らかである．これは、形質が多数派をある程度形成すると、多数派同調によって多数派を装う雄が出現し、形質の遺伝子型において多様性を増し、拮抗状態が生まれることに起因すると考えられる．これは図 11 から、嗜好と形質の多様性が減少していない、つまり多数派が集団内を占有していないことから裏付けられる．形質側の表現型において均一化が起こると、そこに自分の嗜好に合わない雄と強制的な繁殖をする可能性があり、嗜好において少数派の侵入可能性が存在する．そのため嗜好においても、拮抗した嗜好が多数派と少数派を繰り返すと考えられる．

両性が多数派同調を行った場合、図 9 から、多数派である嗜好と形質ベクトルは、ともに数世代で振動しているが、ほぼ一致して世代を経ている．これについて図 13 から、嗜好と形質の多数派の入れ替わり回数の差が、他の多数派同調を行った設定と比べて、両性が多数派同

調を行った設定の方が明らかに小さいことが分かる．これは、多数派同調によって急速な均一化と、それによる遺伝子頻度変化を起こしながらも、嗜好と形質がお互いに進化の方向を合わせたために生じたと推測される．これに関しては、図 12 から、嗜好と形質の多様性において、多様化と均一化を繰り返す挙動が良く同期していることから裏付けられる．他の多数派同調の設定との違いは、嗜好と形質がともに多数派を装うことで多様性を維持している点である．設定 2) において、形質の均一化によって嗜好のみの無相関な進化が見られたが、この設定では形質側の遺伝子型において多様性があり、多数派とは無相関な嗜好が進化しようとする際に、その嗜好と相関を持つ形質が存在する可能性があるため、進化の方向をお互いに合わせる事ができたと推測される．設定 3) において、形質のみの無相関な進化が見られたが、この設定では嗜好側の多数派同調によって強い選択圧が存在するので、無相関な形質の進化は抑えられたと推測される．

## 4 おわりに

本論文では、社会的集団における多数派のもたらす進化ダイナミクスへの影響に着目し、性選択を題材としたマルチエージェントモデルにおいて、多数派同調が雌の嗜好と雄の形質の共進化に与える影響を調べた．

シミュレーションの結果、多数派同調のない場合において、集団内で共進化した嗜好と形質の多数派は、比較的長期に渡って集団を占有すること、また多数派は周期的に入れ替わることを示した．これにより、基本的に多数派の入れ替わりが起こることが分かった．雌のみが多数派同調を行った場合には、同調を起こした雌からの強い選択圧が形質の多様性を急速に減少させる．そのため、雌による配偶者選択の意味は消失し、嗜好と形質は共進化できないこと、そして集団内で嗜好のみが様々な多数

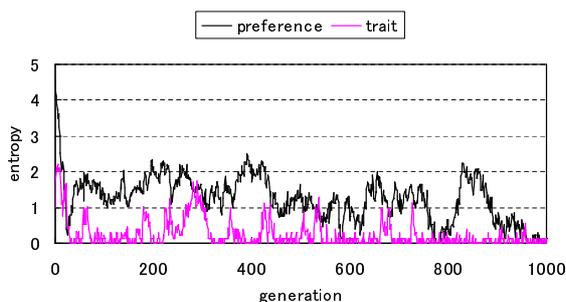


図 10: 嗜好と形質の多様性 (雌が多数派同調)

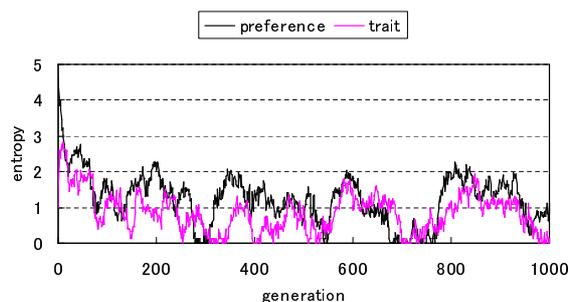


図 12: 嗜好と形質の多様性 (両性が多数派同調)

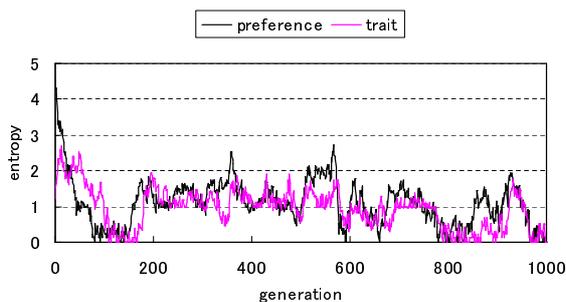


図 11: 嗜好と形質の多様性 (雄が多数派同調)

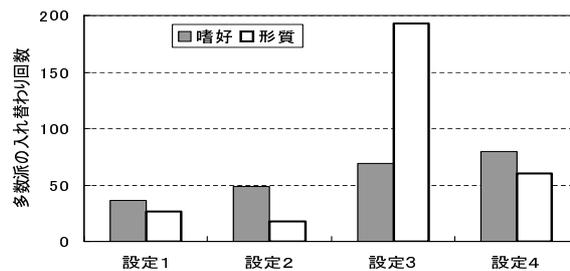


図 13: 多数派の入れ替わり回数

派形成を繰り返すことが確認された。逆に雄のみが多数派同調を行った場合、形質の急速な均一化は、進化中である嗜好の拡大を阻害する。そのため、嗜好は中規模な多数派形成を繰り返すこと、また形質においては多数派同調によって遺伝子型で拮抗状態をとり、より激しい多数派の入れ替わりを起こすことが確認された。両性が多数派同調を行った場合、共進化・多数派同調による集団の均一化・多数派を装っていた少数派の侵入と拡大、の3過程を繰り返し、嗜好と形質はともに多数派の入れ替わり回数が多くなること、しかし共進化を着実に起こしていることが確認された。

多数派同調は、集団の斉一性を維持するかに思われたが、逆に集団内での多数派の変遷を促進することが示された。本論文で用いたモデルと設定において、集団内に常に安定した状態が存在するのではなく、嗜好と形質において多数派と少数派が入れ替わり、集団形成の発展と衰退が見られた。社会的集団において、全体の情報を知り、多数派に同調するという行動は、社会状況の均一化や流行の集中化を促進するだけでなく、発展と衰退の繰り返いを促進する効果があるのではないだろうか。

## 参考文献

[1] Asch, S.E.: Effects of group pressure upon the modification and distortion of judgement, In Guetzkow, H. (Eds.), *Groups, Leadership and Men*, pp. 177-190, Carnegie Press (1951).

[2] Latane, B. and Wolf, S.: The social impact of majorities and minorities, *Psychological Review*, 88, pp. 438-453 (1981).

[3] Nowak, A., Szamrej, J. and Latane, B.: From private attitude to public opinion: A dynamic theory of social impact, *Psychological Review*, 97, pp. 362-376 (1990).

[4] 石黒 格, 安野智子, 柴内康文: Dynamic Social Impact Theory シミュレーションへの全体情報の導入: マス・コミュニケーションの「強力効果」は社会を統合するか?, *社会心理学研究*, 第16巻, 第2号, pp. 114-123 (2000).

[5] 亀田達也, 中西大輔: 適応戦略としての多数派同調バイアス: 進化ゲームモデルによる検討, *日本社会心理学会第41回大会* (2000).

[6] Fisher, R.: *The Genetical Theory of Natural Selection*, Clarendon Press, Oxford (1930).

[7] Lande, R.: Models of speciation by sexual selection on polygenic traits, *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 78(6), pp. 3721-3725 (1981).

[8] Kirkpatrick, M.: Sexual selection and the evolution of female choice, *Evolution*, 36, pp. 1-12 (1982).

[9] Lerena, P.: Sexual Preferences: Dimension and Complexity, In *From Animals to Animats 6, Proceedings of the Sixth International Conference of The Society for Adaptive Behavior*, MIT Press (2000).