2R-4

遺伝子とミームを用いた性選択モデルの一提案

徳原信哉 † 武藤敦子 † 加藤昇平 † 伊藤英則 †

† 名古屋工業大学

1 はじめに

孔雀の雄のように過度に派手な形質が先天的に獲得，発達したことを説明する進化理論の一つに性選択がある．また，生態系には雄が雌を引きつけるために後天的に装飾するという現象がみられる．例えば，アズマヤドリは身体の形質とアズマヤと呼ばれる建築物の二つの形質を持っている [1]．アズマヤドリの身体を先天的獲得形質（遺伝子），アズマヤを後天的獲得形質（ミーム）と捉えることができる．このようにアズマヤドリは二つの形質を持つことによって複雑な生態を形成している．

そこで本研究では，性選択が存在する環境下における上記の二形質のはたらきと相互作用の解明を目的として，遺伝子とミームをあわせ持つ人工生命体（エージェント）の進化モデルを提案する．本稿で提案するエージェントモデルを用いて性選択のシミュレーションを行い，ミームが遺伝子の多様性に与える影響と集団内の遺伝子とミームの多様性の変化について考察する．

2 エージェントモデル

本稿では，Lerena のモデル [2] に対してミーム [3] の概念を加えることにより，先天的獲得形質（遺伝子）と後天的獲得形質（ミーム）の双方を持った新しいエージェントモデルを提案する．ミームとは R.Dawkins によって提唱された概念であり，仮想的な文化情報の基本因子，基本単位である．

2.1 エージェントの定義

エージェントは性別 sex，年齢 age，遺伝子 $gene$，ミーム $meme$ から構成される．さらに遺伝子は形質 g^t，嗜好 g^p，ミームは形質 m^t，嗜好 m^p から構成される．エージェントが雄の場合 g^t と m^t が表出し，雌の場合 g^p と m^p が表出する．形質と嗜好はビット列で表現される．以下にエージェント a_i（i は識別子）の定義を示す．

$$a_i(sex, age, (g_i^t, g_i^p), (m_i^t, m_i^p)) \tag{1}$$

2.2 性選択

雌 a_i は集団中からランダムに選ばれた r 個体のサンプル集団中から自分の嗜好と最も近い形質を持った雄 a_j を配偶者として選択する．配偶者の評価には g_i^p と g_j^t，m_i^p と m_j^t のハミング距離に基づいた評価値 $P_{a_i}(a_j)$ を用いる．$P_{a_i}(a_j)$ は以下の式で計算され，この値が最小となる a_j を配偶者として選択する．

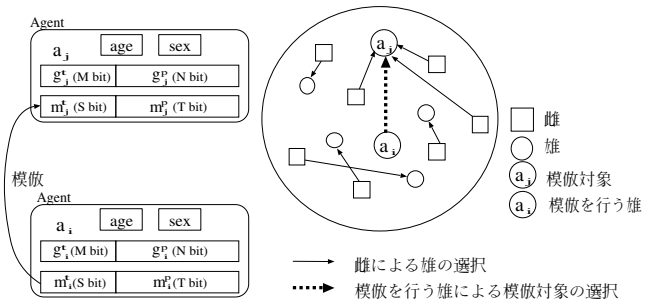

図 1: エージェントモデルと模倣の例

$$P_{a_i}(a_j) = Ham(g_i^p, g_j^t) + Ham(m_i^p, m_j^t) \tag{2}$$
$$Ham : Hamming\ distance$$

雌がどの雄と交叉を行うかは雌による評価のみで決まり，雄は選ばれたら必ず交叉を行う．したがって同数の雄と雌からなる集団の場合，複数の雌と交叉を行う雄や雌と交叉できない雄が存在する場合がある．

2.3 次世代エージェント

雌 a_i は雄 a_j を選択し，交叉により子個体 a_k が生成される．生成される子個体 a_k は以下のように定義される．

$$a_k(sex_k, 0, (g_k^t, g_k^p), (m_k^t, m_k^p)) \tag{3}$$
$$(g_k^t, g_k^p) = (m(cr(g_i^t, g_j^t)), m(cr(g_i^p, g_j^p))) \tag{4}$$
$$(m_k^t, m_k^p) = (ncp(m_i^t, m_j^t), ncp(m_i^p, m_j^p)) \tag{5}$$

ここで，$cr(A, B)$ は A または B を等確率で遺伝させる交叉関数である．また，$m(A)$ はビット列 A を突然変移させる関数である．$ncp(A, B)$ は A または B を等確率で選択し，選択したビット列にノイズを加える関数を表す．本稿では，全てのエージェントは集団に加わる時点で既に成熟しているものとし，エージェントの成長過程を省略した．ミームには初期値として親のミームにノイズが加えられたものが与えられる．

2.4 模倣

雌による性選択に対して雄が取る戦略として，本稿では模倣を考える．エージェントが持つ可変な形質（m^t）は模倣により変化する．図 1 に提案モデルにおける模倣の例を示す．a_i は模倣対象として全個体の中で交叉回数が最も多い雄 a_j を選ぶ．模倣において a_i は自らのミーム m_i^t を n ビット反転させ，a_j の持つミーム m_j^t へ近付ける．

Shinya TOKUHARA†, Atsuko MUTOH†, Shohei KATO† and Hidenori ITOH†
†Nagoya Institute of Technology
Gokiso-cho, Showa-ku, Nagoya 466-8555, Japan
{tokuhara, shohey, atsuko, itoh}@ics.nitech.ac.jp

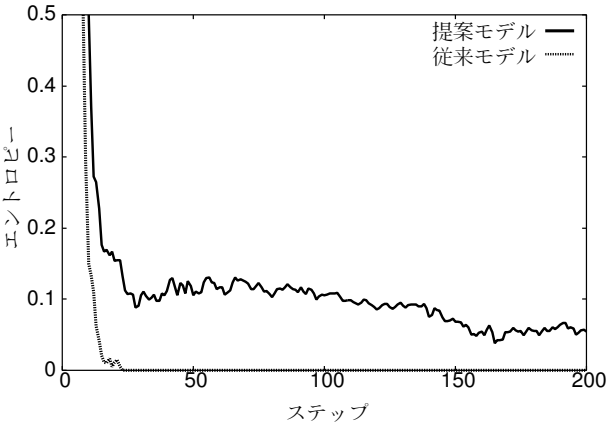

図 2: 実験 1 における多様性の変化

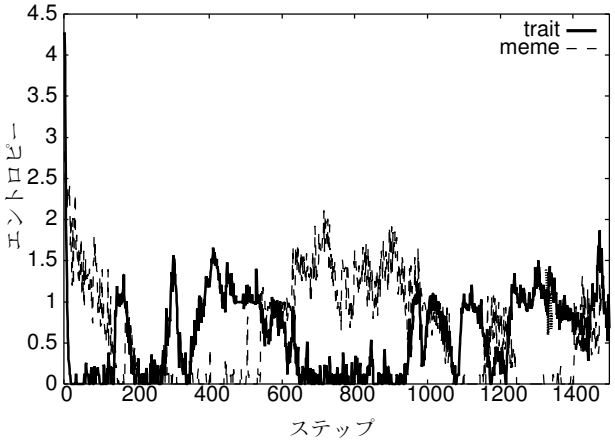

図 3: 実験 2 における多様性の変化

3 実験

前節で述べたモデルを用いてシミュレーション実験を行う．

3.1 シミュレーション

シミュレーションは以下の二つの手続きの反復で行われる．1 回の反復を 1 ステップと呼ぶ．また，L ステップ生存したエージェントは集団から排除される．

1. 性選択　集団内の全ての雌エージェントが 2.2 節に基づき雄を選択する．
2. 模倣　1. で選択されなかった全ての雄エージェントが 2.3 節に基づき模倣を行う．

3.2 実験環境

シミュレーションの初期設定と各実験の設定について述べる．初期個体数は雄 50 個体，雌 50 個体である．遺伝子 g^t，g^p ミーム m^t，m^p は全て 5 ビットとする．また，雌の嗜好に当たる遺伝子 g^p とミーム m^p の初期値は全個体同一として実験を行なう．模倣時に可変なビット数は $n = 1$ とする．サンプル集団としてランダムに選ばれる雄の数は $r = 20$ 個体とする．全ての個体は $L = 2$ ステップで集団から排除される．上記の条件のもとで以下の二つの実験を行った．

実験 1 突然変移率，ノイズともに 0 に設定し，集団の多様性が収束するまでシミュレーションを実行する．この実験では突然変移率，ノイズともに 0 のため集団の多様性は必然的に収束していくはずである．

実験 2 突然変移率，ノイズの発生率を 0.001 に設定して，シミュレーションを実行し，集団内の遺伝子とミームの多様性の変化を調べる．

3.3 実験結果

多様性の評価にはエントロピーを用いた．図 2，図 3 の横軸はステップ数，縦軸はエントロピーである．また遺伝子 g^t やミーム m^t のエントロピーは雄の集団のみから算出した．エントロピーの値が大きいほど多様化，値が小さいほど均一化している．図 3 中の trait は遺伝子 g^t を表している．また meme はミーム m^t を表している．

図 2 に実験 1 の結果（20 試行の平均値）を示す．ここでは，集団内の雄の遺伝子 g^t の多様性を調べた．図 2 から分かるように，従来モデルでは 20 ステップ程度で均一化しているのに比べて，提案モデルでは 350 ステップ程度まで多様性が維持された．従来モデルの実験結果から性選択モデルにおいて遺伝子の多様性を維持するためには突然変移が必要なことがわかる．これに対して提案モデルでは，ミームを用いた後天的形質の模倣によって本来選択されない雄が選択されることで，遺伝子の多様性はある程度維持される．一方で，ミームの多様性は早期に抑制される．

図 3 に実験 2 の結果を示す．ここでは，雄の集団中の遺伝子 g^t とミーム m^t の多様性の推移を調べた．図 3 の結果から g^t と m^t の双方が多様化と均一化を繰り返していることがわかる．図 3 の結果は遺伝子とミームの間に発生した多様性のギャップにより性選択の圧力に偏りが生じ，多様性の周期的な変動が発生したものと考えられる．

4 おわりに

本稿では先天的獲得形質（遺伝子）と後天的獲得形質（ミーム）の双方をもった人工生命体の進化モデルを提案した．そして，提案モデルを実装したシミュレーション実験を行い，ミームが遺伝子の多様性の維持に有効に作用することを確認した．

参考文献

[1] J.Albert, C.Uy and Gerald Borgia, SEXUAL SELECTION DRIVES RAPID DIVERGENCE IN BOWERBIRD DISPLAY TRAITS, Evolution,54(2000)

[2] Lrenena.P, Sexual Preferences, Dimension and Complexity, From Animals to Animats 6(2000)

[3] 水野雄介，加藤昇平，武藤敦子，伊藤英則，ミームによる文化形成・伝達のシミュレーション，情報処理学会第 65 回全国大会，pp371-372，2003