

鳥の歌獲得のための後天的形質を考慮した進化エージェントモデル

秦 愛† 武藤敦子† 加藤昇平† 伊藤英則†

†名古屋工業大学

1 はじめに

鳴禽類のオスは、メスを惹きつけるために歌を歌う。メスはその歌を聴き、自分の好みにあったオスを選ぶ。本研究は、性選択のある環境下における歌の変化の課程を解明することを目的とする。性選択により発達した形質には孔雀の羽などの先天的性質が知られているが、鳴禽類の歌は後天的形質であると考えられる。鳴禽類（以後、単に鳥）は、幼少期に聴覚により歌を取捨選択し、聴覚記憶をもとに歌を学習する [1]。また、歌に対する好みも幼少期の聴覚記憶に左右されることが分かっている。

これまでに、鳥の性選択や歌の学習に関して様々な研究がなされている [2][3]。しかし、両方を考慮した研究はない。そこで本研究では、鳥の幼少期における聴覚を遺伝子で表現し、先天的形質（聴覚機能）と後天的形質（歌表現）の両方を考慮した新しい進化エージェントモデルを考える。提案モデルの中で周囲から聞こえる歌の環境モデルとして歌プールという概念を追加した。そして、提案モデルを用いて性選択のシミュレーションを行い、周囲の環境が鳥の歌獲得に与える影響について確認する。

2 従来モデル

本節では、性選択モデルである笹原のモデル [2] と、聴覚機能と学習を含むモデルである Ritchie のモデル [3] について説明する。

2.1 笹原のモデル

オス、メスエージェントはそれぞれオートマトンで表現された歌表現  $S$ 、および、好み  $P$  を持つ。歌  $s$  はチャンク  $c_i$  の有限系列で表現され、 $s = c_0c_1c_2...c_n$  と定義する。エージェントが歌い認識できるチャンクの種類は高々  $C$  である。オスは  $S$  を用いて歌を生成し、メスに歌いかける。メスは  $P$  を用いて歌のスコアを計算する。

笹原のモデルでは、親のオートマトンを突然変異させ次世代エージェントとするため、鳥に本来ある学習や交叉の概念が無く、鳥のモデルとして不十分である。

2.2 Ritchie のモデル

エージェントは遺伝子として、チャンクからチャンクへの遷移確率が格納された行列であるフィルタ  $filter$  を持つ。エージェントが歌  $s$  を聴いたときエージェントは  $filter$  を用いて、 $preference$  値を以下の式で計算する。

$$preference(s) = \frac{\sum_{i=1}^n tp(c_{i-1}, c_i)}{n} \quad (1)$$

$n$  は  $s$  の遷移数、 $tp(t_i)$  は  $s$  の  $c_{i-1}$  と  $c_i$  間の遷移における  $filter$  の  $(i, j)$  要素の値を参照する関数である。 $preference$  値は歌が自種の歌にどの程度近いかを表す

\*An evolutionary model considering acquired traits of bird for generating songs, Megumi HATA†, Atsuko MUTOH†, Shohei KATO† and Hidenori ITOH†  
†Nagoya Institute of Technology  
Gokiso-cho, Showa-ku, Nagoya 466-8555, Japan  
{mhata, shohey, atsuko, itoh}@ics.nitech.ac.jp

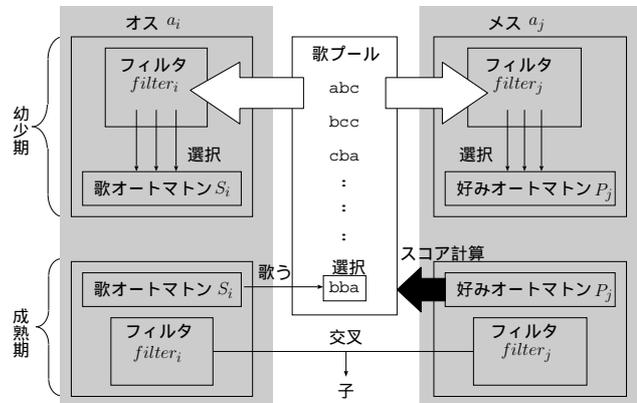


図 1: 歌プールを用いた鳥エージェントの性選択モデル

指標である。幼少期の間、エージェントは  $preference$  値の値に応じて教師歌集合  $train$  を収集する。 $train$  は  $s$  の集合で表現され、エージェントは、 $train$  を用いてオートマトンを構成する。子のフィルタは、親のフィルタを一点交叉させ、一定確率で突然変異させたものとする。

鳥の歌の発達性は性選択によるものと考えられるが、Ritchie のモデルには雌雄の区別がなく性選択の概念が入っていない。

3 後天的形質を考慮した性選択モデル

本節では、笹原のモデルと Ritchie のモデルを組み合わせた提案モデルについて説明する。提案モデルの概要を図 1 に示す。提案モデルは、幼少期、および、成熟期のエージェントと歌プールで構成される。エージェント  $a_i, a_j$  ( $i, j$  は識別子) は性別  $sex$ 、フィルタ  $filter$ 、教師歌集合  $train$ 、歌表現  $S$  (メスの場合は好み  $P$ ) で構成され、以下の式で表現される。

$$a_i(sex_i, filter_i, train_i, S_i) \quad (2)$$

$$a_j(sex_j, filter_j, train_j, P_j) \quad (3)$$

3.1 歌プール

歌プールとは、一定時間 (1 ステップ) の間にオスによって歌われた歌を格納するリストである。幼少期のエージェントは歌プール中の歌を聞き、教師歌を選別する。つまり、エージェントは親以外のエージェントの歌を教師歌として採り入れることができる。成熟期のメスは歌プール中の歌を聞き、交叉相手を決定する。

3.2 スコア

メスがオスの歌に対して計算するスコア  $score(s, P)$  を以下の式で定義する。

$$score(s, P) = \frac{1}{3} \left( \frac{ch(s)}{C} + \frac{fam(s)}{length(s)} + \min(1, \frac{fam(s)}{N}) \right)$$

$$fam(s, P) = length(s) - violation(s, P) \quad (4)$$

$ch(s)$  は  $s$  に含まれるチャンクの種類数、 $length(s)$  は歌の長さ、 $violation(s)$  は  $P$  を用いて  $s$  をマッチさせたとき遷移不能になったチャンクの数、 $N$  は定数である。第一項は歌の派手さ、第二項と第三項はメスが  $s$

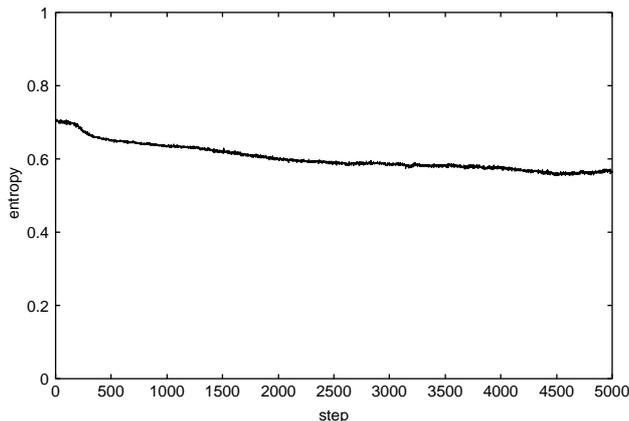


図 2: フィルタの正規化エントロピー

をどの程度知っているかを表す指標である。メスは派手でかつ既知の歌を好むとし、スコアが高いほどメスに選ばれやすくなる。

### 3.3 エージェントの状態

エージェントは次の 2 期間のいずれかに属する。

- 幼少期

感覚学習期  $filter_i$  を用いて歌プール内の歌の  $preference$  値を計算し、 $preference$  値が一定以上の歌を  $train_i$  として収集する。

運動学習期  $train_i$  を用いてオスは歌表現  $S_i$ 、メスは好み  $P_j$  を構成し、成熟期に入る。

- 成熟期

オス  $S_i$  使って歌を 1 つ出力し歌プールに格納する。

メス  $P_j$  を使って歌プール内の歌のスコアを計算しスコアが一番高いオスを選択する。選ばれたオスとフィルタの交叉、突然変異を行い次世代エージェントを生成する。

## 4 先天的性質と後天的性質の関係

提案モデルを用いてシミュレーションを行い、先天的性質（フィルタ）の進化と、環境が後天的性質（歌表現）に与える影響について確認する。

実験 1 初期エージェント数はオス、メス共に 500 体、寿命は 30 ステップ、幼少期は 5 ステップとする。5000 ステップまでシミュレーションを行い、フィルタのエントロピーの推移を調べる。

実験 2 2500 ステップ時のあるオスエージェント  $A$  に注目する。運動学習期において、歌プール内の歌（周囲の歌）を聴いてオートマトンを構成した場合  $A_1$ 、および、 $A$  のオス親の歌のみを聴いて構成した場合  $A_2$  の二つにおいて、オートマトンの複雑さ、スコアを比較する。

### 4.1 実験結果

シミュレーション実験の結果を以下に示す。

先天的性質（フィルタ）の進化

実験 1 から、図 2 にフィルタの正規化エントロピーの推移を示す。ステップが進むにつれてエントロピーは徐々に下がっている。これは、フィルタがある状態に収束し、特定の歌を教師歌として選択しやすくなったことを意味する。同種の教師歌を持つオスとメスは、似た歌表現と好みを構成する。そのため、メスが同種の教師歌を持つオスを選ぶ確率が高くなる。ゆえに、より確実に同種の歌を選択できるようにフィルタが収束したと思われる。

環境が後天的性質（歌表現）に与える影響

実験 2 から、図 3 と図 4 に  $A_1$  と  $A_2$  それぞれのオー

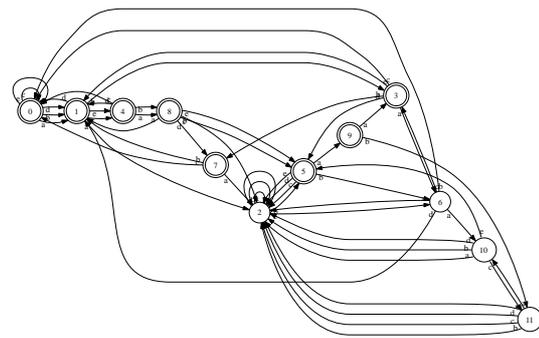


図 3:  $A_1$  のオートマトン

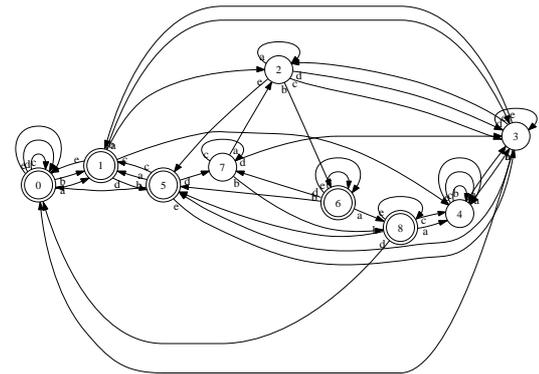


図 4:  $A_2$  のオートマトン

トマトンを示す。二つのオートマトンの複雑さはノード数、遷移数によって比較する。スコアとは、 $A_1$ 、 $A_2$  から出力された歌に対する全メスによるスコア計算の平均値である。比較結果を表 1 に示す。ノード数、遷移数ともに  $A_1$  の方が多い。これは、親の歌だけでなく他のエージェントの歌も聞くことで、多様な歌が教師歌として採用されたためオートマトンが複雑になったことを表す。スコアの値も  $A_1$  の方が高い。これらの結果から、同じフィルタを持っていても教師歌が異なることでオートマトンやスコアに大きな差が出ることが分かった。つまり、歌表現の優劣は先天的形質だけでなく、周囲の環境にも大きく左右されることが確認できた。

表 1:  $A_1$  と  $A_2$  の比較

| 評価対象   | 評価指標 | $A_1$ | $A_2$ |
|--------|------|-------|-------|
| オートマトン | ノード数 | 11    | 8     |
|        | 遷移数  | 54    | 44    |
| 歌      | スコア  | 0.69  | 0.29  |

## 5 おわりに

本研究では後天的形質を考慮した鳥エージェントの新しい性選択モデルを提案した。そして提案モデルを用いてシミュレーションを行い、性選択によって聴覚機能が進化すること、歌表現は聴覚機能の能力に比例せず、環境によって左右されることを確認した。今後の課題としては、フィルタのエントロピーの低下とオートマトンの複雑さの相関について調べたい。

### 参考文献

- [1] 岡ノ谷一夫, 高橋美樹 鳥類の歌学習と聴覚フィードバック. 日本音響学会誌 59 巻 11 号 pp.664-669
- [2] K.Sasahara and T.Ikegami, Coevolution of Birdsong Grammar without Imitation, ECAL, 2003.
- [3] Ritchie, G. and Kirby, S. Selection, domestication, and the emergence of learned communication systems, Proceedings of AISB, 2005.