

性選択に基づく複雑な形質の創発に関する 生成 AI と進化計算の融合モデル

池田智裕† 鈴木麗璽‡ 有田隆也‡

名古屋大学 情報学部† 名古屋大学 大学院情報学研究科‡

1. はじめに

生物進化における配偶者選択（選り好み）の影響には様々な議論がある．特に，生態的な適応性に直接関係しないキューとその選り好みの遺伝的な相関が高まりつつ選択されることで極端な形質が進化するランナウェイ過程について論じられている．この過程が両極端な量的形質（長短や明暗等）に対して同時に働くことで同所的種分化が生じることが単純な数理モデルで示されている[1, 2]一方，実際の鳴き声や話し言葉のような複雑な形質とそれに対する選り好みの多様化や流行の理解については課題である．

本研究は，性選択に基づく複雑な形質と選好性の共進化過程の理解を目的として，多様なパターンを表現可能な生成 AI と進化計算を組み合わせた性選択モデルを構築した．具体的には，性選択の対象としてよく知られる鳥類の歌として，キンカチヨウの歌の音素のスペクトログラム，または，「口説き文句」として日本語文章を生成するモデルを用い，潜在空間上の位置を遺伝子，生成されたスペクトログラムや文章をオスの形質またはメスの選好性とした．メスはオスの形質と自身の選好を比較し類似するオスほど配偶りに選択しやすいものとした．両モデルについて，多様な形質の維持（棲み分け）や流行が生じうることを示す．

2. モデル

鳥類の鳴き声の進化モデルを説明した後，日本語文章の進化モデルの差分を述べる（図1）．

2.1. 鳥類の鳴き声の進化モデル

レコーディングボックスで録音された多数のキンカチヨウの歌を音素ごとに分けた各 0.36 秒の音声のモノクロススペクトログラム（128×128）を，潜在空間を2次元とする変分オートエンコーダに入力して教師なし学習を行った（図1右端，図2中）．潜在空間を遺伝子空間，各点から生成されるスペクトログラムを形質（オスの鳴き声，メスの選好性）とみなし，多様な複雑さを持つ音声が発現する遺伝子型・表現型マップとした．

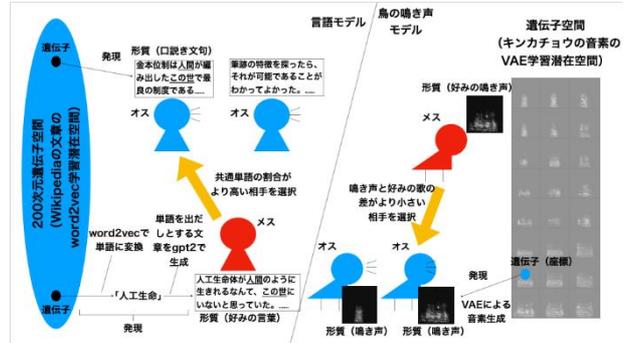


図1：モデルの概要

それぞれ N 個体からなるオスとメスの集団を考える．各個体は，鳴き声と選好性それぞれについて，潜在空間上の位置を示す座標を遺伝子として持つ．オス個体は，鳴き声遺伝子に対応するスペクトログラムを鳴き声として発現する形質とし，メス個体は選好性遺伝子に対応する画像を選好性として発現する形質とする．

各メスは全てのオスの鳴き声を式1に従って自身の選好性と比較して評価し，評価値に比例した確率で1個体のオスを配偶者として選択する．

$$\text{評価値} = \exp\left(-\frac{\sum_{i=1}^M \sum_{j=1}^M |m[x_i, y_j] - f[x_i, y_j]|}{M^2}\right) \quad (\text{式1})$$

M は画像の1辺の画素数， $m[x_i, y_i]$ ， $f[x_i, y_i]$ はそれぞれオスとメスの i 行 j 列目の画素値である．これは，両者の各画素値の差分の絶対値の平均が小さいほど，つまり，鳴き声と選好性の音響パターンが一致するほど高く評価することを表す．

以上を各メス個体で行った後，各オスとメスのペアでオスとメスの2個体の子孫を残す．この時，メスは1回のみ繁殖し，オスは複数のメスとの間に子孫を残す可能性がある．子個体の生成は，親ペアの遺伝子について BLX- α 交叉[3]を行った後，各遺伝子について p_{mut} の確率で突然変異を起こすものとした．変異は遺伝子の座標に平均 0，標準偏差 0.1とした正規乱数を加えた．

2.2. 日本語文章の進化モデル

日本語文章を用いたモデルは基本的な流れは鳥類の歌を用いたモデルと同じだが，遺伝子・形質の表現と評価が異なる．このモデルでは，Wikipediaをコーパスとして word2vec で生成された 200 次元の潜在空間[4]を遺伝子空間とみなした．空間上の座標を遺伝子とし，それに対応する word2vec の単

An evolutionary agent-based model with a generative AI for the emergence of complex traits based on sexual selection
†Chihiro Ikeda
School of Informatics, Nagoya University
‡Reiji Suzuki, Takaya Arita
Graduate School of Information Science, Nagoya

語と、それを文章生成モデルである gpt2-japanese[5] に入力し、続けて生成される文章を形質とした。この形質は、オスのメスに対する「口説き文句」、それに対するメスの期待（選好性）と解釈する。

メスの配偶者選択での評価式を式2で定める。

$$\text{評価値} = \frac{|male \cap female|}{|male \cup female|} \quad (\text{式 2})$$

ここで *male*, *female* は、それぞれオス、メスの形質を分かち書きした単語の集合である。これは、両形質に含まれる単語が一致する割合が高いほど高く評価することを示している。

3. 実験結果

3.1. 鳥類の鳴き声の進化

パラメータ設定として $N=250$, $p_{mut}=0.1$, $\alpha=0$ を用いて 1000 世代に渡って 1 試行を行った。初期集団の遺伝子は $[-3, 3]$ の範囲の一様乱数で生成した。

図 2 は典型的な 1 試行での全世代にわたる鳴き声遺伝子について、カーネル密度推定によって潜在空間上の分布を示し、かつ、各ピークに対応する典型的な鳴き声のスペクトログラムを示したものである。背景は対応する座標に対応するスペクトログラム画像を並べたものである。各試行において、初期集団から、同図左上のピークにあたる単純な鳴き声を持つ多数派の個体と、それ以外のピークにあたる複数の少数派の個体に分かれ、収束することが観察された。この時、各個体の鳴き声と選好性の遺伝子が急速に一致するように進化しており、単純な形質と多種の複雑な形質を持つ個体群への同所的種分化がランナウェイ過程に類する形で生じていると考えられる。単純な鳴き声が多数派になりやすいのは潜在空間上に類似の形質が広く分布しており多くの個体に選ばれやすいためである一方、少数派の複雑な鳴き声は極端な特徴を持つことで特定のメスから確実に選ばれて生き残っていると考えられる。なお、突然変異率が大きくなると、分化した集団同士が融合して最終的に一つになった。

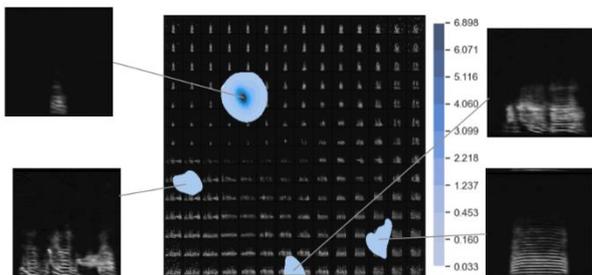


図 2：潜在空間上の分布と対応する音素

3.2. 日本語文章の進化

パラメータ設定として $N=20$, $p_{mut}=0.1$, $\alpha=0$, 生成文の最大長さ 100 字、初期集団の遺伝子範囲 $[-$

2.5, 2.5] を用いて 1000 世代予備的試行を行った。

図 3 は全世代を通した高頻度遺伝子の上位 4 種の個体数推移を示している。初期集団から「地域新聞…」に収束するが、やがて「南部州…」へと移り変わり全体の大半を占める。さらに、しばらくたった後、類似の「南部連合・・・」と混在する状況に至った。メスの選好はこの動向と連動しており、ランナウェイ過程的に流行創発したといえる。個体数を変えた場合でも同様の傾向が確認された。つまり、この集団は一旦ほぼ完全に収束するも、突然変異をきっかけに遺伝子が潜在空間内を移動して形質が変化しやすい傾向がある。これは、超多次元の遺伝子空間がもたらす形質発現に関する中立性と、多様な形質の適応性に関する中立性が寄与している可能性があると考えている。

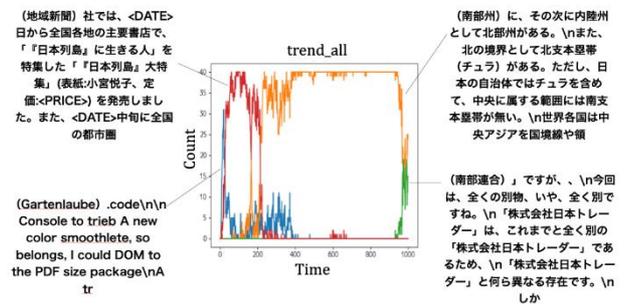


図 3：高頻度遺伝子の推移と形質 (括弧内は遺伝子に対応する語)

4. おわりに

本稿では、鳥類の鳴き声と日本語文章の生成モデルを用いて、性選択による複雑な形質の進化モデルを構築した。前者では単純な多数派と複雑な少数派の鳴き声を持つ集団に分化し、後者では集団は収束しつつも時折主要な日本語文が移り変わる流行の創発を観察した。

謝辞

キンカチョウの鳴き声の提供に関し北海道大学和多和宏准教授に謝意を表す。本研究の一部は JSPS 科研費 17H06379 (4903) の支援を受けた。

参考文献

- [1] Higashi, M., Takimoto, G. and Yamamura, N. (1999). Sympatric speciation by sexual selection, *Nature*, 402 (6761): 523-526.
- [2] 黒島麻衣, 鈴木麗瑩, 有田隆也 (2009). 複数の手がかりを用いた選り好みに基づく同所的種分化に関する個体ベースモデル, 第 21 回自律分散シンポジウム論文集, pp. 7-12.
- [3] Eshelman, L. J. and Schaffer, J. D. (1993). Real coded genetic algorithms and interval-schemata, *Foundations of Genetic Algorithms*, 2: 187-202.
- [4] <https://dumps.wikimedia.org/jawiki/latest/jawiki-latest-pages-articles.xml.bz2>
- [5] <https://github.com/tanreinama/gpt2-japanese>