

仮想生物進化を用いた音響ニッチ仮説に関する初期的検討

河合 恒輝[†] 鈴木 麗璽[†] 有田 隆也[†]

名古屋大学 大学院情報学研究科 複雑系科学専攻[†]

1. はじめに

生物が音を使ってコミュニケーションする際、時間や周波数をシフトして他種との競合を避けるという音響ニッチ仮説がある。Masumoriらは、複数種のエージェントが複雑な音波を生成する環境において、同種間の効率的なコミュニケーションとその多様化に対する選択圧が、数種による周波数領域のニッチ分化や生態系の複雑化をもたらす結果を得ている[1]。

一方、ヒト言語を含む音声コミュニケーションの起源に関して、移動や捕食、呼吸に伴い必然的に発生する音響ノイズがパターン化され意図や感情を伝える手段に変容したとする仮説がある[2]。しかし、物理的接触等から生じる音響パターンへのニッチ分化については未解明である。

本研究は、三次元仮想生物進化実験環境における生物の形態と行動の進化実験により、構成的に音響ニッチ仮説を検証する。初期的検討として、2種の集団において、体の動きに伴い自身の体のパーツ同士や体と地面が衝突する際に生じる音の周波数領域における分化の進化について実験し、その過程を分析した。

2. 音で相互作用する仮想生物進化環境

本研究は、物理接触で音を発する三次元仮想生物進化実験環境 EvoCreature を用いる（詳細は[3]参照）。図1のように、重力、摩擦、慣性などが Open Dynamics Engine で再現されたフィールド上に、直方体ブロックが繋がった形態を持つ仮想生物を複数配置して実験を行う。各個体は図2に示す各ブロックの特性（サイズ、保持するニューラルネットの構成、センサの有無等）、ブロック間の接続過程が記述された(a)遺伝子グラフに基づいて(b)表現型グラフが作られ、それに準じた(c)形態が仮想空間に作られる。各個体は自身の体が地面や他のブロックに衝突する際にブロックの大きさと相対速度に比例した音を発し、自身、もしくは他個体は距離に応じて減衰する音を8方向の音センサで知覚できる（図3）。各個体にはステップごとに接触情報や音響信号がニューラルネットに入力され、ヒンジに加わる力が出力されることで行動する。適応度評価

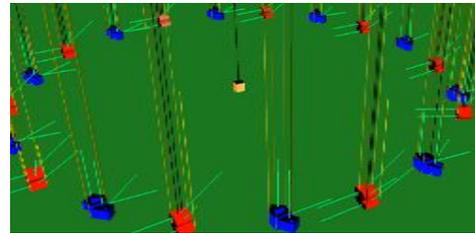


図1 実験環境

仮想生物の(a)遺伝子、(b)表現型、(c)物理形態

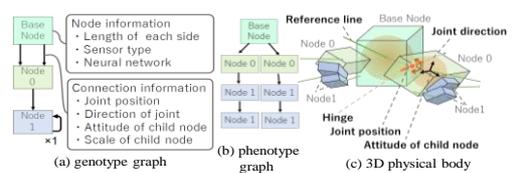


図2 仮想生物の構成

物体衝突による音の発生と減衰(左)・指向性音センサ

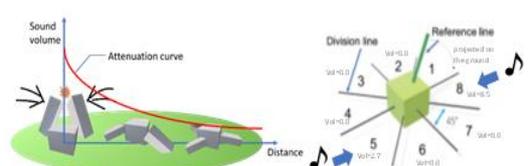


図3 音の発生と知覚

に応じた進化操作で集団は進化する。

3. 音響ニッチ仮説に基づく共進化モデル

各 N 個体の仮想生物集団からなる2つの種を考える。本研究は、生物の発する音の周波数領域での種間の棲み分けに着目する。各世代では、すべての個体が平坦な仮想空間に同時に配置され、32ステップを1秒とみなした1024ステップの間行動する。各個体は、地面より高い位置から落とされ、他個体の音を感知しない条件で自分の体を動かして地面や自身の体と衝突して音を発する。各個体が発した音の周波数成分を算出するため、最終256ステップを8等分する。各32ステップで発した音響シグナル（個体自身が受けた自身の発した音）の時系列を個体ごとに計測し、それぞれFFT（Fast Fourier Transform）を行って周波数スペクトルを計算する（具体例は図5、6参照）。

各個体の適応度を次の手順で計算する。

- ① 各個体について、周波数スペクトルの各強度の和を低周波・高周波成分で等分する周波数値（スペクトルがつくる領域の重心の

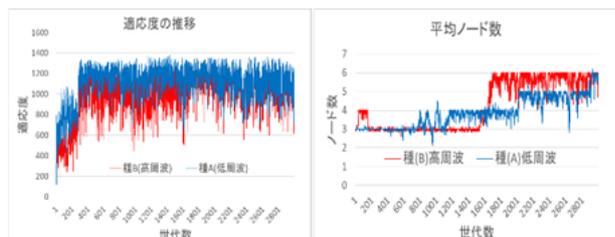


図4 平均の適応度とノード数

周波数値) を全 8 シグナルに関して算出し、平均値を f とする。

- ② 種 1, 2 について f の平均をとり、各種の周波数重心 G_1, G_2 とする。
- ③ 種 s の各個体の適応度 F を次式で定義する。

$$F = \begin{cases} T + |f - G| \times 10 & \text{if } |f - G| \geq 0.1 \\ 0 & \text{otherwise.} \end{cases} \quad (1)$$

ここで T は個体の形態を構成するブロック数、 G は対象個体のもう一方の種の周波数重心である。つまり、もう一方の種が主に利用する周波数成分から離れた成分を持つシグナルを発するほどニッチ競争を避け、何らかの情報伝達に成功し適応的になることを表す。また、多様な形態の進化を狙いブロック数も適応度に加えた。軽微なノイズの影響を除外し棲み分けの進化を促進するため、 $|f - G| < 0.1$ の場合は適応度 0 とした。

適応度計算の後、各種の集団について次の進化操作を行う。

- ① 最高適応度個体をエリートとして次世代集団にそのまま追加する。
- ② 適応度に比例したルーレット選択で 2 個体選び、交叉率 p_c で交叉、変異率 p_m で突然変異操作を行って 1 個体を作成し、次世代集団に追加する。これを $N - 1$ 回繰り返す。

4. 実験結果と考察

実験設定として $N=10, p_c=0.03, p_m=0.015$ を用いて 3000 世代にわたり実験した。図 4 は両種の平均適応度とノード数の推移である。両種とも約 400 世代までに適応度が大きく増加し、パーツ数は世代を通して断続的に増加した。

その結果、両種が発する音の時系列パターンとその周波数成分が異なる方向に進化し、音響ニッチの棲み分けが生じた。両種の最高適応度個体について、音の時系列パターンと周波数スペクトル、形態を図 5, 6 にそれぞれ示す。同図から、種 A は約 32 ステップで 1 周期となるような正弦波のような音響パターンを発し、低周波領域にピークのあるスペクトルが生じた。これは、小さいパーツをほかのパーツに規則的にぶつけることで、歯ぎしりのように次第に強さが増減する音を出力しているためと考えられる。

種 B の最高適応度個体では、周期 2 の短い繰り返し

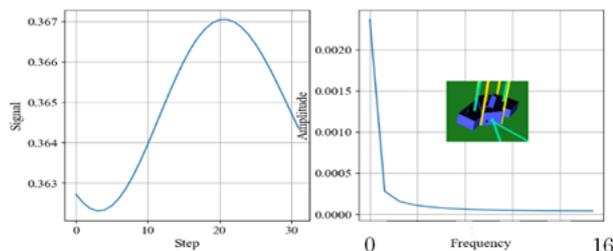


図5 種 A(低周波)

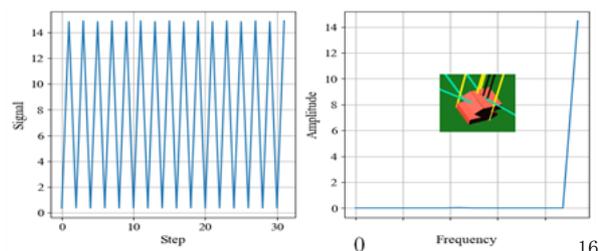


図6 種 B(高周波)

返しの音響パターンで高周波領域にピークのあるスペクトルが生じた。この個体は、極小パーツを下面に置き細かく動かすことで、ほかのパーツを地面に連続的にぶつけて音を発生させる。このため小刻みに音を出していると考えられる。

また、図 4 から、1600 世代ほどで両種の適応度差が小さくなり、種 B の適応度が種 A の適応度に追いついている。これは、この時点でパーツ数が増えることに加え、自分の体同士を打ち付ける動きから、小さいパーツを下にして体を地面に打ち付ける動きに変わること、小刻みな音が出せるようになり、より種 B が適応的になったためだと考えられる。

5. おわりに

本研究では三次元仮想生物進化実験環境において、物理衝突で発する音の周波数成分におけるニッチ競回避が共進化の様子を確認した。

今後の課題として、より多くの種での実験や、他個体の音を聞いて発する音を調整する行動の進化を検討している。

謝辞

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] Masumori, A., Doi, I., Smith, J., Aoki, R. and Ikegami, T.: Evolving acoustic niche differentiation and soundscape complexity based on intraspecific Sound Communication, In *Proc. of the 2020 Conference on Artificial Life*, pp. 465-472 (2020).
- [2] Okanoya, K.: Language as a parasite to emotional signals, In *Proceedings of the 12th International Conference on the Evolution of Language*, pp. 364-366 (2018).
- [3] 坂野孝広, 鈴木麗瑩, 有田隆也: 3次元仮想生物の進化における音響的相互作用に基づく資源共有戦略の創発, 人工知能学会第 34 回全国大会予稿集, 103-GS-8-03 (4 pages)(2020).