

## 仮想生物進化で探る進化とニッチ構築の相互作用ダイナミクス

鈴木 麗璽\*・有田 隆也\*

Exploring the Interplay between Evolution and Niche Construction  
by Evolving Virtual Creatures

Reiji Suzuki\* and Takaya Arita\*

**Key words:** Virtual Creatures, Niche Construction, Evolution, Ecological Inheritance, Artificial Life

## 1. はじめに

生物の進化を考えると、まず環境が存在し、それが生物の子孫の残しやすさである適応度を決め、その結果集団の遺伝子構成が変化すると考えると、生物集団は環境に対して一方的な影響を受ける印象がある。しかし、実際には生物は環境の中で生態活動を行っており、多かれ少なかれ環境に影響を与えている。その中でも、生物自身やその他の種に生じる自然選択圧に影響を及ぼす活動のことをニッチ構築と呼ぶ<sup>1)</sup>。ニッチ構築に基づく適応行動の典型例には動物による巣作りがある。外敵から身を守ったり、子個体を保護したりすることで自身の適応性を高めており、さらに巣を前提とした適応行動の進化をもたらす。特によく知られるのはビーバーのダムがあり、多くの木を切り倒して運んで川の流れをせき止め、その中に巣を作ることによって外敵の来襲を受けても逃げやすい環境を構築している。その結果、自身のみならずダム周辺の多くの種の環境を大きく改変し、新たな選択圧をもたらしている。一方、クモの巣は逆に捕食のために利用され、その上での様々な捕食行動が進化しているといえる。

ニッチ構築による環境の改変の影響が長く残ったり、蓄積したりする場合には、その場にいる生物のみならず、以降の世代の生物にも影響を及ぼす。これは生態継承と呼ばれる<sup>1)</sup>。アリ塚や前述のビーバーのダムもその例であるといえる。つまり、図1に示すように、生物が環境を改変することで選択圧が改変され、改変された選択圧によって生物の進化が影響を受ける。さらに、この改変された環境は世代を通して継承し得る。この遺伝的な継承と生態的な継承という2本の流れの

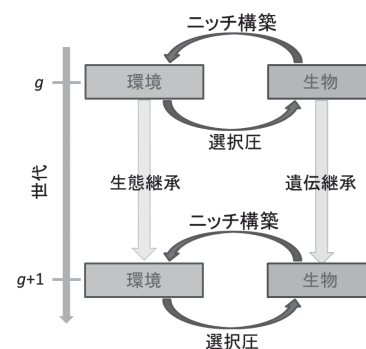


図1 進化とニッチ構築，生態継承の概念図（[Odling-Smee et al., 2003]を元に作成）

間をニッチ構築と自然選択がつないでいる。人間の文化的活動は進化・ニッチ構築と生態継承がもたらす最も顕著なものといえる。現代の地球環境が人新世と呼ばれるように、我々人間は環境条件を大規模に改変する存在であり、その結果は環境問題含め我々自身や地球上の多くの種に大きな影響を及ぼしている。

ニッチ構築の概念は Odling-Smee らによって提案され<sup>1)</sup>、理論的には集団遺伝学、特に、遺伝子と文化の共進化理論の枠組みに基づいて議論されてきた。また、人工生命の分野においても、地球環境全体が生命体であると考えたガイア仮説に端を発する、生物による生態環境の恒常性維持に注目したデイジーワールドモデルなどを用いた研究<sup>2)</sup>などがなされている。また、ニッチ構築はオープンエンドな進化のための重要な要素の一つであるとも考えられている<sup>3)</sup>。さらに、近年では人類の複雑な文化（文化的ニッチ）がどのように累積的に進化してきたかに注目した数理モデル研究もなされている<sup>4)</sup>。

仮想生物の進化は人工生命研究の黎明期から続く代表的な研究手法であり、Sims の先駆的研究<sup>5)</sup>では陸

\* 名古屋大学 大学院情報学研究科  
Graduate School of Informatics, Nagoya University

上や水中などの3次元物理環境において、複数のブロックでできた仮想生物の形態と行動を同時に進化させ、泳ぐ・跳ぶ・物を取り合うといった生物の創発が報告されている。現在はロボットの行動や形態を設計する進化ロボティクスにおいて発展しており、ソフトロボティクスとして注目される柔らかい体を持ったロボットの設計<sup>6)</sup>や、動く生体組織のデザインへの応用<sup>7)</sup>も検討されている。同時に、仮想生物で様々な進化の過程を実際に作り出すことによる進化現象の理解も試みられている。例えば柔らかい体の基本骨格が生涯を通して変化する仮想生物の進化において、発生経路の運河化のような過程が創発し得ること<sup>8)</sup>や、多細胞仮想生物を用いてオタマジャクシがカエルに変態するような発生過程の進化が示されている<sup>9)</sup>。

筆者らは、仮想生物進化の方法を使った進化や発生、生態の間の相互作用の理解を目指している<sup>10)</sup>。本稿では、仮想生物の形態が進化する代わりに生物自身が物理的な構造物を作り出すニッチ構築行動が進化するモデルを用いて、生態継承も含んだダイナミクスの理解に関する研究を概観する。仮想生物を利用するのは、物理的な実体を生物が持つことでより自然に生態環境を表現でき、その複雑さやリッチさを生物がうまく利用できると考えるためである。物理的な制約を伴うニッチ構築は生物の適応進化や多様化にどう影響するか、特に、生態継承の度合いや仕方が及ぼす影響はどんなものかをいくつかのタスクに基づく研究事例で考える。なお、本稿は、「科研費新学術領域研究「出ユーラシアの統合的人類史学」・「共創的コミュニケーションのための言語進化学」合同領域会議「物と命」」での著者の講演<sup>11)</sup>を、仮想生物進化に関する内容を中心に関連する取り組みを加えて再構成したものである。

## 2. 仮想生物によるニッチ構築の進化と生態継承

### 2.1 谷渡りタスク

初めに、「谷渡りタスク」に基づく実験と分析<sup>12)</sup>を仮想生物進化の枠組みとともに紹介する。図2のような仮想空間を考える。このモデルではゲーム用の物理エンジンであるLiquidFunという物理シミュレーション環境を利用しており、下向きの重力や物体間の摩擦や衝突などが表現されている。空間は奥行きがない世界を横から見たステージになっており、複数の四角いブロックで環境の足場や外壁が表現されている。

仮想生物は円形で表現されており、左右に自転できる。同時に自身の周囲に薄い板が四角いブロックを置く

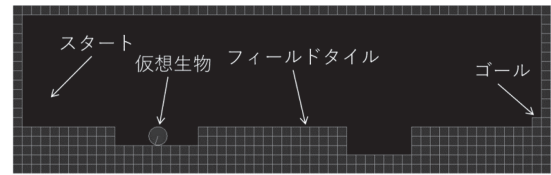


図2 谷渡りタスクでのフィールドの構成

ことができる。これは見えないアームのようなもので自分の周りにブロックを繰り出していると考えられ、動く3Dプリンターロボットのようなものが想定できる。

生物に課せられたタスクは決められた時間内でスタートからゴールにより多く到達することであり、ゴールに到達するとスタート地点に戻される。このステージには穴が2つあるため、ただ転がっているだけでは引っ掛かってしまう。そこでブロックを使って構造をつくり、ゴールに向かい円滑に転がれる環境をつくる必要がある。このブロックの設置が環境の改変であり、ニッチ構築と考える。適応度は評価時間内にゴールした回数と、初期位置からゴールまでの距離を1として最終時刻においてゴールに接近できた割合の和とする。

生物の行動に関しては、図3に示すように生物には視界（半径 $FV$ ）があり、視界内にあるフィールドのタイルの分布の情報（重心位置）や、自分が置いた四角いボックスと、薄い板のボードという2種のブロックの分布（重心位置）などが情報として3層のニューラルネットワークに入力され、中間層を通して各時刻どちら側に回転する力が加わるか、自身から半径 $L$ 以内のどの場所にブロックを置くか、置かないかも含めた出力が決まる。この入力と出力が繰り返されることで生物が行動する。このネットワークの結合重みが生物の持つ遺伝子であり、進化には適応度が高い個体ほど次の世代に子孫をより多く残す単純なルーレット選択に基づく遺伝的アルゴリズムを用いる。適応度に比例した確率で親個体を選ばれ、親個体の遺伝子が交叉したり、突然変異したりして子孫の遺伝子が生じる。

さらに生態継承を考える。子個体は、2体の親のうちランダムに選んだ方から、それがフィールドに設置したオブジェクトの最終状態の分布を受け継ぐことを生態継承と考える。ここで風化率（ $we$ ）を導入する。これは各ブロックが受け継がれずに風化してなくなる確率とする。風化率が0の場合は親から完全に同じものを受け継ぎ、1の場合は全部無くなってしまい毎世代まったく異なる状態からスタートする。

風化率の設定を変えて実験し、進化の過程を観察した。その要点について紹介する。まず、図4は生態継承がない場合（ $we = 1$ ）において、最終的に高適応度

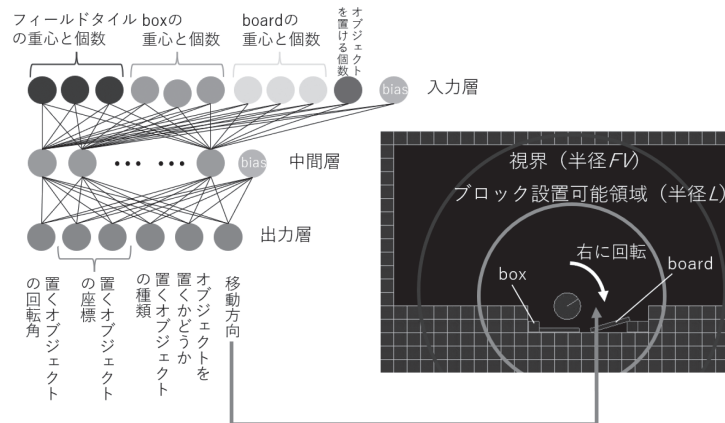
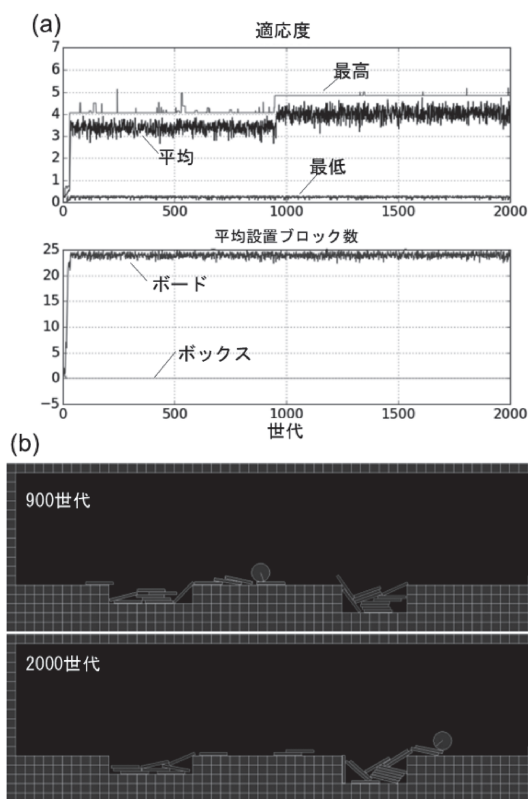
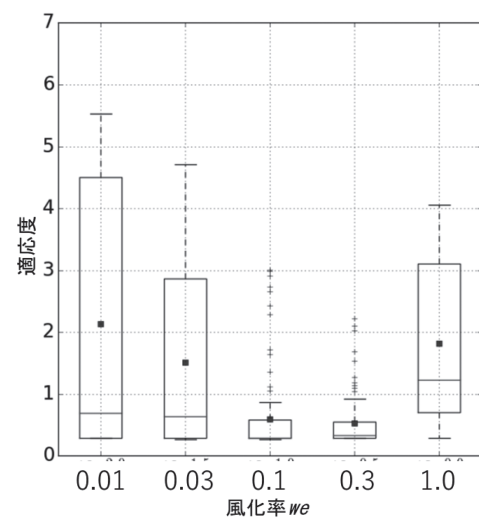


図3 生物のニューラルネットワーク（遺伝子）と行動

図4 生態継承なし ( $we = 1$ ) の場合の適応的試行の例。(a) 適応度と設置ブロック数の推移。(b) 適応度増加前(900)後(2000)の世代での適応構造。

を獲得した試行の例である<sup>1</sup>。図4(a)は横軸が世代、縦軸が適応度(平均・最高・最低)・平均設置ブロック数(ボックス、ボード)の推移を示している。早い世代で適応度が高い値で安定するが、1000世代手前でまた増加している。適応度増加前後の最良個体の様子が図4(b)であり、いずれも穴にブロックを設置しスロープのような構造をつくりだしている。基本的なスロー

<sup>1</sup> 本論文に登場する仮想生物の動画を次のURLに掲載している。  
<https://doi.org/10.6084/m9.figshare.24081081>

図5 風化率 ( $we$ ) が適応度に与える影響

プの構造は維持されている一方で適応度には影響があり、微妙な構造の違いが適応度の変化を生む繊細なタスクだと考えられる。適応的な構造にはスロープのほかにブロックで穴を埋めつくすものなどもあった。一方、行く手を阻む壁や、転がってきた勢いを止めてしまう足止めのようなものが適応的でない構造として確認された。

興味深いのは風化率の影響である。図5は横軸を実験時の風化率の設定、縦軸が各設定で90回実験をしたときの最後の1000世代分の適応度の箱ひげ図、四角い点が平均値を表している。右は風化率  $we$  最大の1の場合である。適応度は全体からすると中程度であり、スクラッチから毎回適応構造をつくることができている状況だと考えられる。また、安定した継承の条件である風化率0.01の場合に適応度が最大となった。分析の結果、適応度は振動しながらも高い値を維持しており、世代を経る中で比較的類似した構造を安定して受け継ぎながら、稀に生じる風化で減った分ブロックが置か



れることで構造をメンテナンスしながら使い回していることが推測された。つまり、安定して生態継承が生じる場合は一旦構築された適応構造が次世代にも利用され、適応進化に貢献することがわかった。

対照的に、風化率 0.1 の場合は 9 割ほど受け継がれ 1 割しか減らないにもかかわらず、適応度はほぼ最低になった。この場合、適応度は一旦増加し、ブロックを設置し受け継がれる方向に進化するものの、その後ブロックを置かない方向に進化して収束してしまうことがわかった。つまり、進化の初期の段階ではブロックを置く行動が適応的だが、風化によって親が残したブロックの適応的な構造が維持されず、むしろ子個体にとっては障害となる。それよりは、何も置かずに環境の最初の穴の端で止まってしまうほうがよいという、ある種の局所最適に収束した状況に至りやすいことがわかった。

そのほかに全体としてわかったことは、うまくいった試行とそうでなかった試行とが二極化しがちということや、高い適応度の試行では比較的薄いブロックのボードを置きがちということであった。

以上から、生態継承の度合いはニッチ構築行動の進化に大きく影響しうることが示唆された。特にこの実験設定では、安定した継承は受け継がれて維持する行動の進化を生む一方、中途半端な継承はむしろ「負の遺産」を生み、進化を停滞させ得ることがわかった。

## 2.2 山登りタスク

次に、より複雑な構造物の構築や蓄積が適応性により反映されうる状況設定として、平らな空間に構造物を構築して登ることでより高い地点に到達するほど適応度が高い、「山登りタスク」を設定して実験を行った<sup>13)</sup>。具体的には、フィールドタイルで囲まれた正方形形状の環境において高い位置から落下する生物を想定し、一定ステップの間行動した後の最後のステップにおける生物の高さ（y 座標）を適応度とする。なお、より積極的なニッチ構築行動の進化を狙い、生物は初期世代において最大 40 個のブロックをその世代内で設置できる状況から始め、30 世代ごとに 1 つずつ置けるブロックの数を増やした。

様々な条件で実験したところ、最初の谷渡りタスクと比べて大きく異なる点として次のことが分かった。図 6 は、風化率  $we = 0.01, 0.1, 1$  の条件で、1500 各世代の試行を 10 回行った際の、最終 800 世代における適応度の分布を示したものである。生態継承のない  $we = 1$  の場合は図 7 (c) の例のように、設置できるブロックの制約が大きく影響し、少ない数のブロックでうまく構造を作ることが難しい状況だった。一方、風

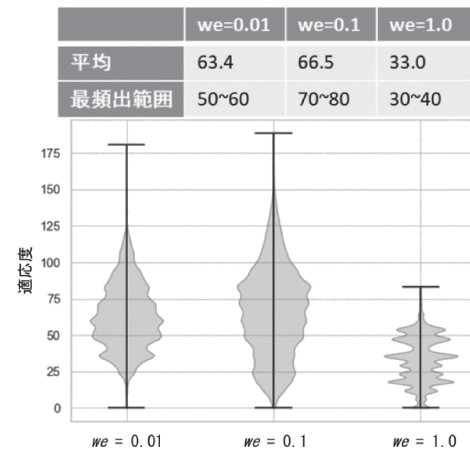


図 6 山登りタスクにおいて風化率 ( $we$ ) が適応度を与える影響

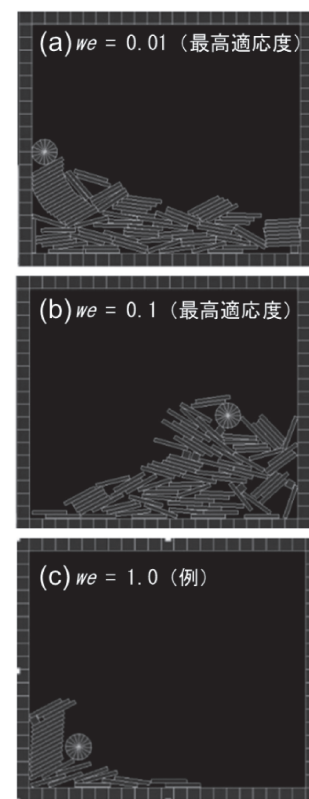


図 7 各風化率 ( $we$ ) の条件で創発した構造の例。 (a)  $we = 0.01$ . (b)  $we = 0.1$ . (c)  $we = 1$ .

化率  $we = 0.01, 0.1$  の場合は図 7 (a, b) に示す最高適応度獲得時の構造のように、受け継いだブロックをさらに積み上げて高い位置に達していることがわかる。この時、風化率が高めの  $we = 0.1$  の方がやや適応度が高く、2 種のブロックを両方活用している場合が多かった。ある程度崩れることを前提にして、複数種のブロックを使って複雑な構造を作って維持することが、結果的により適応的な構造の構築に貢献している可能性がある。適度な風化が適応的となりうることを示唆しており、谷渡りタスクの知見と対照的であり興味深い。

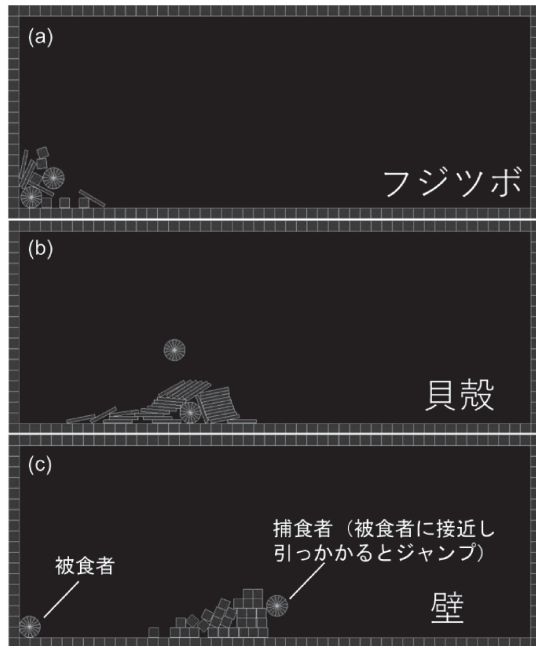


図8 捕食回避タスクで創発した適応構造の例。(a) フジツボ。(b) 貝殻。(c) 壁。

### 2.3 捕食回避タスク

より複雑な生態的な要素を盛り込んだ設定として、「捕食回避タスク」を用いた実験を紹介する<sup>14)</sup>。被食者と捕食者の2種が存在し、被食者が捕食者に捕食されない度合いに応じて被食者集団が進化する状況を考える。図8(c)の右が捕食者生物、左が被食者であり、進化するのは被食者の行動戦略のみとする。捕食者は決められたルール（捕食者に接近する方向に転がり障害物に接するとジャンプ）で被食者生物を追い掛けて接触する。接触は捕食の試みを表し、個体の適応度に悪影響を与えるとする。一方、被食者はこれまでと同様に転がれてブロックを設置できる。平坦で何もないフィールドではすぐに捕食されてしまうため、ブロックを使ってうまく構造をつくれれば適応的になりうる状況であり、シェルターのような安全な構造をつくることが期待される。捕食者に接触されたら両個体が離れたスタート位置に戻る状況において、適応度は限られた評価時間中に接触される回数が少ないほど、また、最終時刻において捕食者からより離れているほど高適応度とした。

生態継承がない  $we = 1$  の場合、典型的には図8のようないくつかの高い適応度をもたらす構造が創発することがわかった。フジツボ戦略(a)はフィールドの端の壁にへばりつき、ブロックで盾を作って相手の攻撃を防ぐ。貝殻戦略(b)は自分が構造の中に閉じこもる。壁戦略(c)はフィールドの中心付近などの自身から少し離れたところに捕食者が飛び越えられない構造をつ

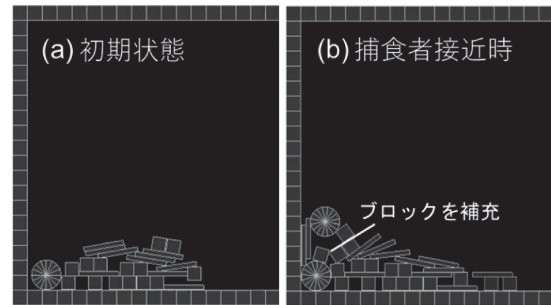


図9 ブロックと生存位置の継承がある場合の適応構造の例。(a) タスクの開始時の状態。(b) 捕食者が接近したときの適応構造。

くって寄せ付けない。いずれの場合もシェルターをつくる行動ではあるが、多様なパターンが生じ得ることがわかった。

生態継承については、ブロックの継承の有無と、親個体の最終時刻での位置が子個体のスタート位置として受け継がれる誕生位置の継承の有無を想定した結果を紹介する。図9は両方受け継いだ条件 ( $we = 0.1$ ) で高適応度を記録した例である。この個体は受け継いだ構造を生かして捕食者を待ち構え、接近すると足りない分ブロックを設置して補って捕食者の接触を防いでおり、その結果、世代を通して構造が少しずつ変化しながら維持され続けることがわかった。

次に、2種の継承の有無（計4通り）の影響を考える。ブロックの継承有の場合は  $we = 0.01$  とした。図10は設置可能なブロック数を変えて複数実験を行った際のすべての世代において、適応度の最大値が9.0を上回った最高適応度個体がつくった環境（ブロックの配置）を画像として保存し、オートエンコーダ<sup>15)</sup>を用いて2次元に圧縮した特徴空間において手作業で大まかに構造の種類を分類したものである。生態継承がない場合(a)には、フジツボと貝殻戦略が頻繁に出現し多様性は中程度であった。一方、生存位置の継承だけの場合(b)にはほぼフジツボ戦略ばかりが出現し、適応度が最大だが多様性は最小であった。逆に、ブロックだけを受け継ぐ場合(c)では適応的な構造そのものがほとんど進化しなかった。この場合、子個体は親個体がつくった構造の外に出された状態になるため、かえってうまく使いこなせない状況が生じていた。これは谷渡りタスクにおける負の遺産に相当するといえる。一方、両方を継承する場合(d)では、さらに壁戦略も加わり適応構造の多様性が最も大きくなることがわかった。つまり、生態継承の仕方が集団の適応性と適応構造の多様性に影響し得るということである。

### 2.4 生態系タスク

捕食回避タスクでは様々な適応構造が創発したが、

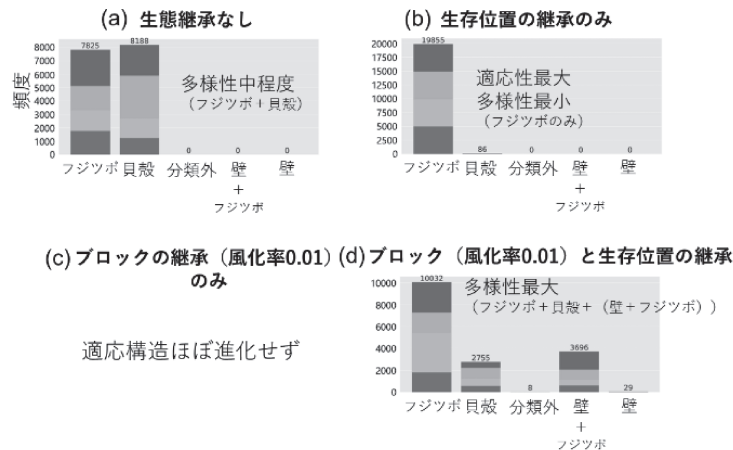


図 10 生態継承（ブロック・生存位置）の有無が適応度と適応構造の多様性に与える影響。(a) 生態継承なし。(b) 生存位置の継承のみ。(c) ブロックの継承のみ。(d) ブロックと生存位置の継承あり。

シェルターをつくる基本的な役割は同様であり、生物はその中や向こう側でじっと留まる結果となった。一方、実際の生態では留まるだけではなく、採餌など生存のために自ら行動することも必要な場面があり、ある種のトレードオフが存在しうる。そこで、捕食回避タスクでの被食者は、同時にフィールド中に生い茂る草資源を食べることで適応度が高まるものとして実験を行った<sup>16)</sup>。その近似として、適応度の定義において、前述の被捕食回数に基づく適応度の項に加え、フィールド上を移動した距離の項を加えた。いわば、当初の捕食者は肉食動物、進化実験の対象である被食者は草食動物、加えてフィールド上には草が繁茂している、小さな生態系のような設定である。

詳細は省略するが、生態継承がない条件において、捕食回避タスクと異なる結果として次のことがあげられる。適応度における移動距離の重みが大きい場合、図 11 (a) に示す滑り台戦略と呼ぶ、スタート位置の下に滑り台上の構造物をつくり、勢いよく転がって捕食者に接触してスタートに戻ることを素早く繰り返す戦略が創発した。捕食のリスクはあきらかに採餌に特化した戦略であり、スタートに戻る設定を当初の想定を超えて利用しており、興味深い。また、適応度の両項の重みが中程度の場合、山戦略（図 11 (b)）と呼ぶ、捕食者を足止めしつつ移動するバランスの取れた戦略も観察された。生態継承の影響や、個体群動態を反映するようなダイナミクスを導入した際の影響など、発展した設定に基づく理解が期待される。

### 3. おわりに

本稿では、生物が環境にブロックを設置して構造を作り出し、それらが次世代に受け継がれる仮想生物進

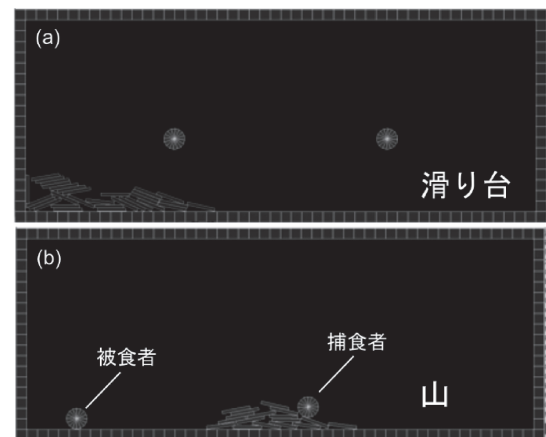


図 11 生態系タスクにおいて創発した適応構造。(a) 滑り台。(b) 山。

化の枠組みに基づく、進化とニッチ構築の相互作用と生態継承の理解の試みについて概観した。

仮想生物で進化実験を行う醍醐味は、単純な数理モデルや量では表現されにくい複雑な環境条件と進化ダイナミクスや適応行動・構造との関係を明らかにできることである。本稿で紹介したような、中程度の適応構造の継承は負の遺産になりうることや、むしろ更なる適応構造の発展に寄与しうることも、また、生態継承が創発する適応構造の多様性をもたらすことや、生態条件に応じた多様な適応構造の役割が創発しうる知見はその一端を示していると考えられる。谷渡りタスクにおいて生じた負の遺産の創発と進化が現代における環境汚染がもたらすネガティブなシナリオの一端を反映するなら、それを解決する手立てを考えることは人新世を生きる我々にとって重要な示唆を与えてくれるかもしれない。



仮想生物進化モデルを用いて物理的なニッチ構築行動の進化に焦点を合わせて論じてきたが、人間の知的活動によって生み出された最も強力なニッチは言語である。ヒトの言語能力の起源と進化を考える上で、既存の生物の言語能力が言語を特徴づけることで言語的ニッチがつくられ、そのニッチの存在が新たな言語能力の進化を駆動する共進化に基づく考え方が注目されている。著者らは、本来は形のない言語的ニッチを言語空間上に実体化され文化進化する言語集団として表現し、それらをコミュニケーションに利用し進化する生物集団との相互作用モデルを構築し、一方が他方を駆動する段階的な共進化が生じうることを示している<sup>17)</sup>。言語と言語能力の複雑な共進化過程に対し言語的ニッチの考え方に基づく一つの見方を提供しているといえる。

最近では、生成モデルを活用することで、従来シンプルであったエージェントモデルに比較的容易に複雑さ・リッチさを盛り込むことが可能になっている<sup>18,19)</sup>。仮想生物進化の枠組みとともに活用し、ニッチ構築がもたらす進化ダイナミクスの理解に貢献したいと考えている。

## 謝辞

本稿は、千葉尚彬氏（谷渡りタスク、捕食回避タスク）の名古屋大学大学院情報科学研究科博士前期課程での取り組み、米田薫氏（山登りタスク）、渡辺紘生氏（生態系タスク）の名古屋大学情報文化学部自然情報学科での卒業研究の取り組み、米納弘渡氏との共同研究（言語と言語能力の共進化）の一部に基づく。ここに謝意を表す。また、本研究の一部はJSPS 科研費 JP17H06383 (#4903) の助成を受けた。

## 参 考 文 献

- 1) F. J. Odling-Smee, K. N. Laland and M. W. Feldman: Niche Construction: The Neglected Process in Evolution. Princeton University Press, Princeton, NJ (2003)
- 2) I. Harvey: Homeostasis and rein control: from daisy world to active perception. In J. Pollack, M. A. Bedau, P. Husbands, R. A. Watson and T. Ikegami, editors, Proc. of Artificial Life IX (ALIFE IX), 309/314. MIT Press, Cambridge, MA (2004)
- 3) T. Taylor: Requirements for open-ended evolution in natural and artificial systems: In The Online Extended Abstract of the Satellite Workshop “EvoEvo Workshop” of the 13th European Conference on Artificial Life (ECAL 2015), 1/8 (2015)
- 4) L. Fogarty and N. Creanza: Philosophical Transaction of the Royal Society B, **372**-1735, 20160428 (2017)
- 5) K. Sims: Evolving virtual creatures, Proc. of the 21st Annual Conf. on Computer Graphics and Interactive Techniques (SIGGRAPH 94), 15/22 (1994)
- 6) N. Cheney, R. MacCurdy, J. Clune and H. Lipson: Unshackling evolution: Evolving soft robots with multiple materials and a powerful generative encoding, Proc. of the 15th Annual Conf. on Genetic and Evolutionary Computation (GECCO'13), 167/174 (2013)
- 7) S. Kriegman, D. Blackiston, M. Levin and J. Bongard: A scalable pipeline for designing reconfigurable organisms, PNAS, **117**-4, 1853/1859 (2020)
- 8) S. Kriegman, N. Cheney and J. Bongard: How morphological development can guide evolution, Scientific Reports, **8**, 13934 (2018)
- 9) M. Joachimczak, R. Suzuki and T. Arita: Artificial metamorphosis: Evolutionary design of transforming, softbodied robots, Artificial Life, **22**-3, 271/298 (2016)
- 10) T. Arita, M. Joachimczak, T. Ito, A. Asakura and R. Suzuki: ALife approach to Eco-Evo-Devo using evolution of virtual creatures, Artificial Life and Robotics, **21**-2, 141/148 (2016)
- 11) <http://evolvinglinguistics.net/wp/wp-content/uploads/2022/10/7920d7f3d83ba3d6727c0e3d4eeb546f-1.pdf>
- 12) N. Chiba, R. Suzuki and T. Arita: How ecological inheritance can affect the evolution of complex niche construction in a 2D physical simulation, Proceedings of the Artificial Life Conference 2016, 426/433 (2016)
- 13) 米田薫：仮想物理環境におけるニッチ構築に基づく頑健な適応構造の進化と物理条件の影響，名古屋大学情報文化学部自然情報学科卒業論文 (2021)
- 14) N. Chiba, R. Suzuki and T. Arita: Evolution of complex niche-constructing behaviors and ecological inheritance of adaptive structures in a physically grounded environment, Frontiers in Robotics and AI, **7**, 45 (2020)
- 15) G. E. Hinton and R. R. Salakhutdinov: Reducing the Dimensionality of Data with Neural Networks, Science, **313**, 504/507 (2006)
- 16) 渡辺紘生：2次元仮想物理環境における複数タスクによる複雑なニッチ構築行動の進化，名古屋大学情報文化学部自然情報学科卒業論文 (2021)
- 17) Hi. Yonenoh, R. Suzuki and T. Arita: A shift from material to informational aspects of shared resources can promote language evolution, Advances in Artificial Intelligence (Selected Papers from the Annual Conference of Japanese Society of Artificial Intelligence (JSAI 2020)), 200/207 (2021)
- 18) R. Suzuki, S. Sumitani, C. Ikeda and T. Arita: A modeling and experimental framework for understanding evolutionary and ecological roles of acoustic behavior using a generative model, Proceedings of ALIFE 2022: The 2022 Conference on Artificial Life (ALIFE2022), Paper No: isal\_a\_00542, 58 (3 pages) (2022)
- 19) 浅野誉子，鈴木麗壘，有田隆也：生成モデルに基づき雑談するエージェントの会話トピック嗜好性に関する文化進化，人工知能学会全国大会論文集，4H3-OS-6b-04 (2023)