

Karl Sims の仮想生物を用いた生態系

保久村哲朗^{*1}
Tetsuro Hokumura池上高志^{*2}
Takashi Ikegami^{*1} 東京大学 総合文化研究科

In this study, virtual creatures evolve in 3D virtual world by competing for limited resources. We examine evolution of interaction between them and how evolution and diversity are affected by space and energy. We found that there are cases in which these parameters affect extinction and diversity.

1. はじめに

Karl Sims は、3 次元の仮想世界を作り、その中で仮想生物を進化させた[Sims, 1994]。仮想生物たちは、泳ぐ、歩く、ジャンプする、追いかける、箱とり競争する、などの行動を進化させた。

Sims の仮想生物を複数使ってそれらの間の相互作用を見た研究も存在する。Thomas Miconi の Evosphere[Miconi, 2008]がそれで、これは一種の生態系である。仮想生物が球体の上で戦い合う(体を構成するブロックをぶつけあう)のである。これは Thomas S. Ray の考えに影響されている。Ray は仮想生物を進化させるよい方法は人為淘汰ではなく自然淘汰だと考えている[Ray, 2001]。Evosphere では仮想生物が歩いたり追いかけたりするよう直接仕組まれているのではなく、戦いを通じて自然にそれらの形質が進化するようになっている。

[伊藤, 2012]は被食者と捕食者の共進化を行なっている。その結果防衛戦略が創発した。ただしこれは、多対多ではなく、一対一のシミュレーションである。

この研究も Ray の考えに則り、仮想世界の仮想生態系を作り、その中で歩いたりする行動が自然に進化することを期待している。

2. 方法

この実験では 3 次元の仮想世界に仮想太陽、仮想惑星、そして仮想生物を用意し繁殖させ進化させる。仮想生物は二種類ある(植物と動物)。植物は太陽光からエネルギーを受け取り、動物は植物を食べエネルギーを受け取る。仮想世界のパラメーターをいくつか変更しシミュレーションを走らせ、パラメーター変更の影響を調べる。

2.1 仮想世界のフィールド

使用するフィールドは球体である(これを仮想惑星と呼ぶ)。その上を仮想生物たちが動き回る。仮想惑星の半径を様々に変えてシミュレーションを行い、それによる影響を調べる。

2.2 仮想生物

仮想生物の体は複数のブロックから成り立っており、ユニバーサルジョイントを関節に持つ。各ブロックには複数のニューロンが入っていて、動きを制御する。

仮想生物には植物と動物という 2 つのタイプがある。詳しくは後述する。

仮想生物の遺伝型と表現型の関係は Sims のものと基本的には同じである。違うところは、一つは Sims の用いている遺伝

型が有向グラフであるのに対し、この実験では遺伝型を有限状態マシンにしているというところである。もう一つは個体に 1 つだけ割り当てられた「脳」が無いところである。Sims の方式では各ブロックに 1 つずつある脳(これは神経に似ている)と、各個体に一つずつある脳があり、後者で各ブロックからの信号を受け取っていたが、本研究では各ブロックで信号の送受信が可能であるようにした。

仮想生物にはエネルギーという変数があり、エネルギーがなくなると、仮想世界から取り除かれる。エネルギーを取り入れるには次のような方法がある: 1 植物の場合太陽光に当たる。2 動物の場合植物に接触する。エネルギーを失うのには次のようなケースがある: 1 動きまわる。2 自分の体積が大きい(体積が大きいほどエネルギー失われていく)。3 動物と接触する。植物が動物と接触する場合、失われるエネルギーは、動物が動物と接触する場合よりも更に大きい。4 繁殖する。子孫を作った場合、エネルギーからまず子孫を作るのに必要なエネルギーが引かれ、その後 2 で割られる。新しく作られた子孫にはその現在のエネルギーと等しいエネルギーが割り当てられる。

子孫は、親の上方に作られ、重力に引かれ落下する。

仮想生物の持つセンサーとエフェクターは Sims のとっている方法と基本的には同じである。違うところは、種類をいくつか増やしているというところである。各ブロックに、センサーは全部で 21 個あり、エフェクターは全部で 4 つある。Sims のものから増やしたセンサーは、下方向、一番近い植物の方向、一番近い動物の方向、当たった光の量、個体の現在のエネルギー、一番近い植物、動物の「声」、である。Sims のものから増やしたエフェクターは、「声」である。声とは信号で、一番近い仮想生物のもののみを聞き取ることが出来る。これは Sims は実装していないものの、実装可能なセンサーとして挙げている[Sims, 1994]。

2.3 太陽光のシミュレーション

このシミュレーションでは、植物に無限遠から光を当て、生態系のエネルギー源にする。光が多く当たるほど植物へ供給されるエネルギーは多くなる。一方植物が他の生物に隠れていると、エネルギーは与えられない。この光のシミュレーションを行う為に、ゲームなどの 3DCG で影の描画に用いられるシャドウマップ法[Williams 1978]を一部変更して応用した。つまり、光源から見える植物の面積から、植物に当たる光の量を計算する。

シャドウマップ法は光源から見た画像を描き、その画像を利用して、あるピクセルが影になっているかどうかを判定する手法である。その際画像には光源からの距離を書きこむ。

ここでは、光源から見た画像には、光源からの距離の代わりに、物体の ID を書きこむ。そこに書かれている値が物体の ID と等しいピクセルの数を数えれば、その物体に当たる光の量が求まる。

実験では、この太陽光の強さを様々に変えてその影響を調べる。

3. 結果

結果として、ほぼ全てのパラメーターの組み合わせで絶滅が起きた。絶滅が起きた時間(ステップ数/(30*60))を以下に記す。なお、仮想惑星の半径 4, 太陽光の強さ 0.5 の時のみ、行ったシミュレーション時間内には絶滅は起こっていない(表 1)。

	0.5	1	2	4
4	-	11	3	6
6	51	46	17	6
8	0	8	26	21
12	0	1	35	35

表 1:太陽光の強さと仮想惑星の半径をそれぞれ変えた時の、絶滅までの時間。横{0.5, 1, 2, 4}は光の強さを表している。縦{4, 6, 8, 12}は仮想惑星の半径を表している。仮想惑星の半径 4, 太陽光の強さ 0.5 の時のみ、時間内(60 まで)には絶滅は起こっていない。{仮想惑星の半径, 太陽光の強さ}={8, 0.5}, {12, 0.5}, {12, 1}の時は絶滅前に残った仮想生物は植物である。それと{4,0.5}以外の時は全て絶滅前に残った仮想生物は動物である。

この結果を見ると、ある程度の時間絶滅しないためには太陽光の強さと仮想惑星の半径両方が適切な値をとっている必要がある事がわかる。太陽光の強さが 0.5 の時、仮想惑星の半径を大きくすると、早い段階に絶滅する。これは、太陽光が地面に遮られる時間が多いためからだとと思われる。一方で太陽光の強さが 2, あるいは 4 の時、仮想惑星の半径を大きくすると絶滅までの時間が長くなる。これは、植物の生息できる空間が大きくなるからだとと思われる。

3.1 絶滅の起こっていないケース

絶滅の起こっていないパラメーター設定では、図1のように、個体数が増減を繰り返している。

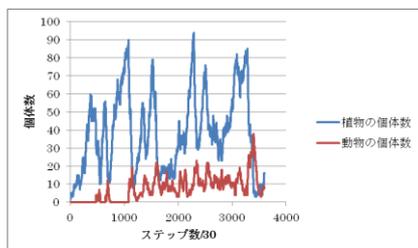


図1: 3600 ステップまでに絶滅が起こらなかった場合の植物と動物の個体数の推移。それぞれ増減を繰り返している。

このケースで生き残ったのは、植物と動物それぞれ一種だけであった(図2)。両方共自発的には動かない。動ける空間が狭いからであると思われる。生成されたあと親とぶつかり、転がる。なお、仮想生物の種は形によって決める。ブロックの付き方が同じなら、同じ種であるとする(ただしブロックのサイズは考慮しない)。

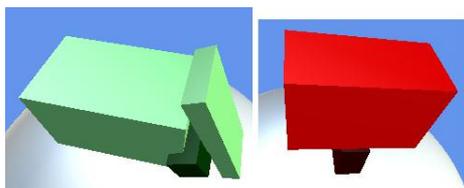


図2:最後に生き残っていた2つの種。右は植物、左は動物である。

3.2 絶滅したケース

絶滅したケースには 2 パターンある。最後に植物が残ったパターンと、動物が残ったパターンである(表 1)。植物が残ったパターンでは、早い段階(時間が 0 や 1 の段階)で絶滅している。一方、動物が残ったパターンではある程度時間が経ってから絶滅している。

動物が残ったケースで残った種には様々なタイプがあった(図 3)。自発的に動くタイプや、ブロックが一つしかなく全く動けないタイプなどである。動けないタイプは地面に並んで植物が触れてくるのを待つ。

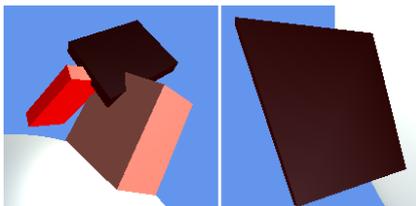


図 3:左は仮想惑星の半径=4,光の強さ=4 における最後に生き残っていた動物である。右は仮想惑星の半径=8, 光の強さ=4 における最後に生き残っていた動物である。

4. おわりに

本研究では、3 次元の仮想世界に仮想惑星と太陽を用意し、そこで Karl Sims の仮想生物を進化させた。太陽の光の強さと仮想惑星の大きさを変え、仮想生物の進化にどのような影響があるかを調べた。結果、ある特定の条件では進化が続いていったものの、ほとんどのケースでは途中で絶滅した。多くの場合絶滅の原因は動物が植物に対して強すぎて、植物が先に絶滅してしまうというものであった。動物は動くように進化した場合も、動かないで植物が触れるのを待つように進化した場合もあった。

今後の研究の課題としては、絶滅が起こらず、かつ自発的に行動する仮想生物が進化する条件を見つけることが重要である。また、この研究には植物と動物の 2 種類しかなかったが、それより多くの種類の生物が創発し、食物網が出来上がるシミュレーションが望ましい。そうすればより興味深い形質が創発する可能性がある。

参考文献

[Sims, 1994] Karl Sims, "Evolving Virtual Creatures" Computer Graphics (Siggraph '94 Proceedings), pp.15-22.. July 1994.
 [Miconi, 2008] Thomas Miconi "Evosphere: Evolutionary dynamics in a population of fighting virtual creatures" Conference: IEEE Congress on Evolutionary Computation - CEC , pp. 3066-3073, 2008.
 [Ray, 2001]T. S. Ray. Artificial life. In R. Dulbecco, D. Baltimore, F. Jacob, and R. Levi-Montalchini, editors, Frontiers of Life, Volume One: The Origins of Life, pages 107-124. Academic Press, 2001.
 [伊藤, 2012] 伊藤孝, Marcin L. Pilat, 鈴木麗瑩, 有田隆也: "三次元物理シミュレーションでの被食者と捕食者の共進化に基づく 防衛戦略の創発", 第 26 回人工知能学会全国大会論文集, pp. 4L1-R-8-5 (2012/06/15)
 [Williams 1978] WILLIAMS, L. Casting curved shadows on curved surfaces. In Proceedings of SIGGRAPH '78, ACM Press, 270-274, 1978.