

# MitsuDomoe: バーチャル生態系の捕食連鎖 シミュレーション体験システム (第1報)

小島健三<sup>†1</sup> 大島登志一<sup>†1</sup>

**概要:** 本研究では、多数の小さな仮想生物によるバーチャル生態系を構成し、単純な行動アルゴリズムによって、3つの種が循環的な捕食連鎖をなすシミュレータを試作した。生物学への興味を引き出す教養娯楽に供することを目的とし、システムの実現にあたっては、ガラス製の実験器具をディスプレイ装置に組み込むなど、実際の理科の実験のような体験を楽しめるエデュテインメントを目指した。今回のプロトタイプシステムでは、現実の現象を正確にシミュレーションすることより、仮想生物群の動態を小さなシャーレの中に表示して体験できることと、HMDを用いてマイクロな世界の中に入り込んで体験できることを備えたバーチャルな実験システムのフレームワークを試行することを重視した。

## MitsuDomoe: A Virtual Ecosystem Simulation in a Petri Dish (1)

KENZO KOJIMA<sup>†1</sup> TOSHIKAZU OHSHIMA<sup>†1</sup>

**Abstract.** We propose a new use of virtual reality for biological education. The purpose is to create a framework system of interactive edutainment for learning about nature and human by using virtual reality. The MitsuDomoe is an interactive ecosystem simulator of virtual micro lives in a petri dish. The virtual ecosystem consists of three species of primitive artificial lives. MitsuDomoe simulates predation chain of the virtual species in the petri dish. A user can interact with the ecosystem through the interactive petri dish display, which consists of a small LCD module with petri dishes on it and a pipette-like device. Stereoscopic feature enhances understanding of dynamics in the ecosystem. Diffractive pseudo stereoscopic glasses provide viewpoint-independent observation. A user can also experience immersive observation by using an immersive microscope subsystem, which consists of an HMD and a locomotion interface in seated position.

### 1. はじめに

本研究では、多数の小さな仮想生物によるバーチャル生態系を構成し、単純な行動アルゴリズムによって、3つの種が循環的な捕食連鎖をなすシミュレータを試作した。生物学への興味を引き出す教養娯楽に供することを目的とし、システムの実現にあたっては、図1に示すようにガラス製の実験器具をディスプレイ装置に組み込むなど、実際の理科の実験のような体験を楽しめるエデュテインメントを目指した。今回のプロトタイプシステムでは、現実の現象を正確にシミュレーションすることより、仮想生物群の動態を小さなシャーレの中に表示して体験できることと、HMDを用いてマイクロな世界の中に入り込んで体験できることを備えたバーチャルな実験システムのフレームワークを試行することを重視した。

実際の生物による生態系のシミュレーションとしては、地球上の生態系を閉鎖された循環系としてモデル化した「エコボール」[1]という実験的展示がある。これは、群馬県立自然史博物館において制作された展示作品で、水と砂、空気、および複数種の生物（植物と水棲生物）をアクリル

製の球体容器に密閉したものである。密閉後は、光をあてる以外は外界と遮断された状態となっている。この実験は、生存に適した環境条件のバランスの重要性を理解する上で非常に有効であるとして、中学校理科第2分野の教材として導入する試み[1]もなされている。

本研究も同様の課題意識に基づいており、コンピュータによる生態系シミュレーションに実際の実験に近いインタフェースを提供することで、体験的学習効果の高いバーチャル実験教材を提案するものである。

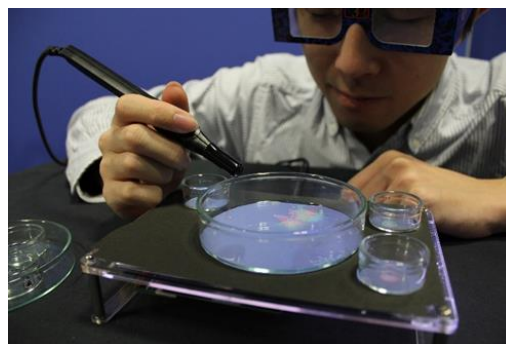


図1 MitsuDomoe システムでの体験の様子  
Figure 1 Appearance of MitsuDomoe system

<sup>†1</sup> 立命館大学映像学部  
Ritsumeikan University

## 2. 生態系のシミュレーション

### 2.1 関連研究

コンピュータ上で生物的な挙動をシミュレーションすることについては、計算機科学の歴史とともにさまざまな研究がなされてきている。セルオートマトン[2]を基にしたコンウェイの「ライフゲーム」[3]では、格子状のセル空間の一つ一つが生物に見立てられ、単純な規則に基づき隣接するセルの状態に応じて「生」と「死」の状態変化が発生する。結果、実世界の生態系のように複雑な動態を示すものである。

また、生態学のモデルとしてロトカ・ヴォルテラの競争モデルが提唱されている[4]。このモデルでは、「捕食者」と「被食者」の役割の異なる2種間の個体数増減の動態が表されている。前述のエコボールでは、生態系の構成要素が水草＝「生産者」水棲動物＝「消費者」砂＝「分解者」という全く役割の異なる3種であると呼称されている。

一方、コンピュータグラフィックスの分野では、魚や鳥の群れをモデル化し、boidsと命名される仮想生物の自律的な挙動を再現するアルゴリズム[5]が発表されている。

本研究では、ロトカ・ヴォルテラモデルやエコボールなど全く役割の異なる生物から構成される生態系ではなく、存在として同格で同じ挙動アルゴリズムを持たせた3種の仮想生物種の各種について、図2に示すように、捕食対象の「獲物」種と逆に捕食されてしまう「天敵」種を循環的に設定した。本来、植物と動物のようにメカニズムが大きく異なるものであっても、生態系の構成要素は、サイクルの一部として本質的には同等の一個の生命としてモデル化すべきと考えたのである。同じ挙動アルゴリズムでも、設定によって、肉食動物のようであったり、草食動物のようであったりするようなバリエーションを実現できるよう、モデル化を行った。

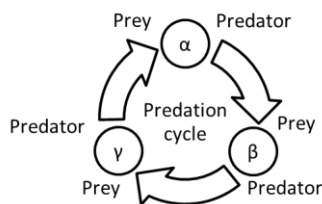


図2 捕食連鎖

Figure 2 Predation cycle

### 2.2 MitsuDomoeの生態系モデル

本システムの生物種には、2つのレイヤの状態遷移を。

- 1) ライフサイクル
- 2) 行動状態

ライフサイクルの状態遷移を図3に示す。「誕生」から経時的に「成長・老衰」を経る中で「増殖」によって種を増やし、寿命を迎えて「消滅」する、という状態遷移である。

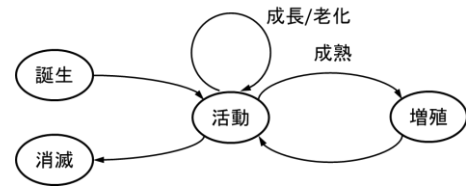


図3 ライフサイクル

Figure 3 Life cycle

このライフサイクルは、最長の寿命を全うする基底の状態遷移を表す。ライフサイクルの「活動期」において、行動の状態遷移を図4のように定義する。

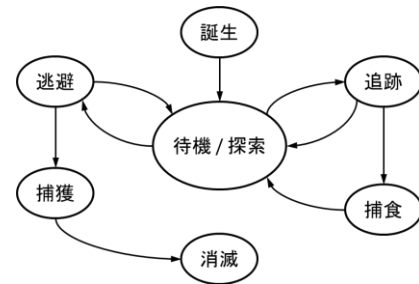


図4 行動の状態遷移

Figure 4 State transition of behavior

各種の個体はそれぞれのパラメータに従って領域内を動き回り、天敵から逃避しながら獲物を捕食する。寿命に関わらず、天敵に捕食されれば天寿として全うする。また、一定の成長を経て、十分な捕食状態において増殖を行う。

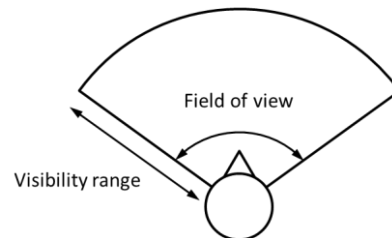


図5 視野範囲視野

Figure 5 View range

各種について設定すべきパラメータは詳細には多くなるが、ユーザが任意に指定できるパラメータとして、以下の変更可能なパラメータ情報は下記5種とした。図5に視野範囲について示す。

- a) 寿命
- b) 初期個体数
- c) 追跡・逃避時の移動速度
- d) 獲物や天敵を検知する視野範囲（視野角，視認距離）
- e) 探索行動時の移動速度

このほか、主要なパラメータとして、各種に「健康値」を設定する。健康値はさらに、誕生時の初期値，捕食者に与える値，増殖に必要な値，行動時の消費値などがある。

### 3. システム構成

システム全体の外観を図 6 に示す。システム構成を図 7 に示す。システムは大きくデスクトップ・インタフェースと没入型 VR インタフェースとに分けられる。デスクトップ・インタフェースは、図 8 に示すように、シャーレを備えた液晶ディスプレイモジュールとピペット・デバイスとして Fastrak スタイラスから構成される。

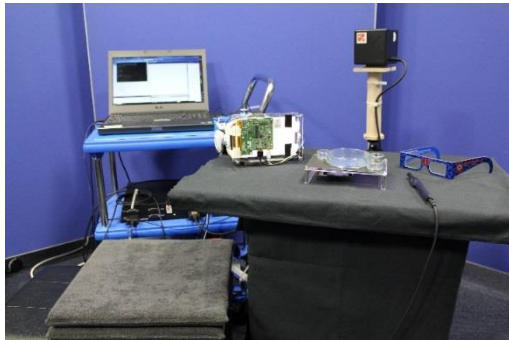


図 6 システムの外観  
Figure 6 Appearance of the system

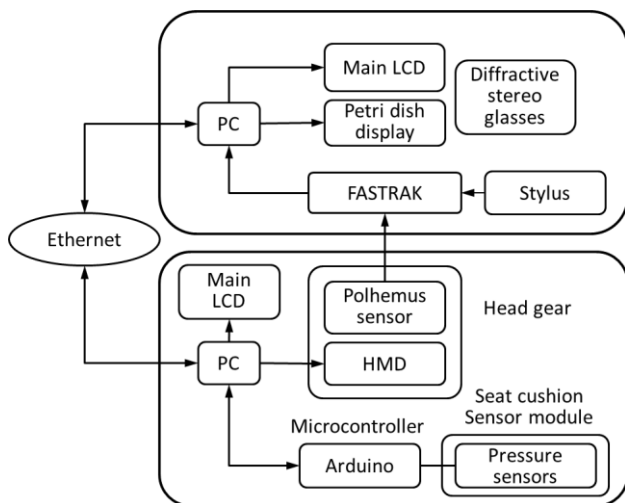


図 7 システム構成図  
Figure 7 System Configuration

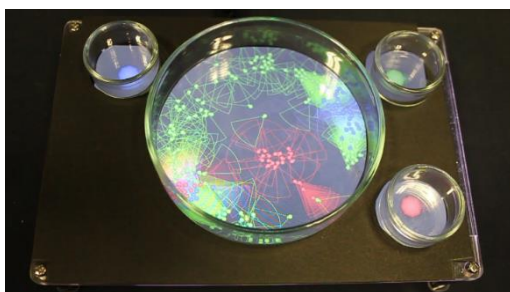


図 8 デスクトップ・インタフェース  
「シャーレ・ディスプレイ」  
Figure 8 Petri dish display



図 9 複数ユーザによる体験の様子  
Figure 9 Multi-user experience

本システムでは、主に教育用途という所期の目的から、図 9 のように複数のユーザによる利用を想定している。図 8 に見るように、小さなシャーレの中に多くの対象物が表示されるので、各種ごとに奥行き感を変えて表示することは、その分布状態や活動動態を把握する上で有効と考えられる。そのため、複数のユーザによる同時体験も鑑みて、視点非依存の立体表示機能を採用した。ChromaDepth 3D lass (米 Chromatek 社) は、回折格子による擬似的な立体観察用の眼鏡であり、表示対象物の色の波長によって奥行き感が変わって知覚されるというものである。これによって、見る位置によらず奥行きを感じられ、3 種に割り当てた色により、3 層に分かれてその分布を把握しやすくすることを実現している。

また、没入型 VR インタフェースでは、視野角約 110 度でシミュレーション空間に入り込んだように臨場感のある観察が可能である (図 10)。また、座位型ロコモーションインタフェース Virtual ISU (Intuitive Striding Unit) [6] によって、座ったまま歩くような足の動作でシミュレーション空間内を移動することが可能となっている。

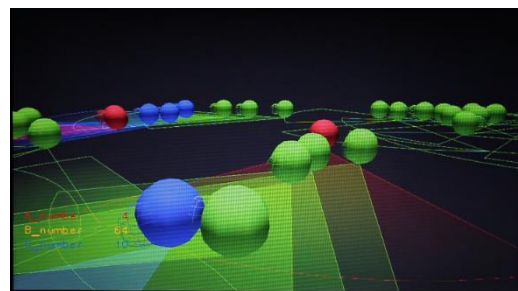


図 10 VR 体験映像  
Figure 10 VR experience through HMD

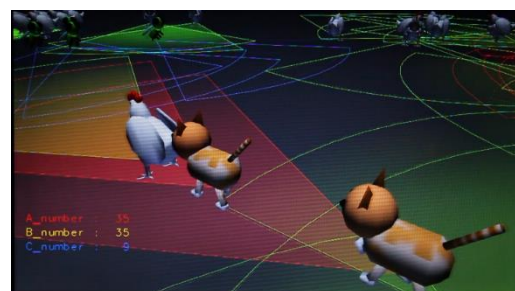


図 11 動物型のモデルによるシミュレーション  
Figure 11 Simulation with creature models

## 4. 実験と考察

まず、各種のパラメータを同じ値に統一して数回の試行を行い、個体数変化がほぼ同じであることを確認した。次に、各種のパラメータをそれぞれ、「猫」「鶏」「虫（ハエ）」を想定した値に設定した。弱った動物に群がる虫という設定は、多分に誇張したものと言わざるを得ないが、今回はプロトタイプシステムの機能の試行実験ということで分かりやすさを優先した。この評価実験では、同一のシンプルな挙動アルゴリズムで肉食動物的であったり草食動物的であったりという、幅広い挙動が再現できており、直感的にそのように推測されるか、という点を測ることとした。

本実験ではさらに、図 10 に示すような具体的な動物の形態を持たないオブジェクトによる体験と併せて、図 11 に示すように意図する動物形状のオブジェクトによる体験を行い、挙動だけで種別を推測できるかの比較を行った。今回の実験では、ひとまず特徴のはっきりしたステレオタイプの生物種の設定に関して、パラメータの調整によってある程度「らしい」挙動を模倣できることが確認できた。

## 5. むすび

生態系のシミュレーションであるので、平衡状態を再現できることを期待しているが、種によって異なるパラメータを設定した場合、数分程度でバランスが崩れる状態であり、モデル化が適切であるかは、理論的にも詰めながらさらに実験を重ねる必要がある。実験器具を模したインタフェースの使い勝手の評価はこれからである。

むしろ、そのような生態系の動態シミュレーションやそのモデル化の実験を行うためのフレームワークやユーザインタフェースの実現を目標として本研究を進めていく計画であり、生物学学習の観点から小中学生や教員にも簡便に使いやすいものになるよう取り組んでいく。

**謝辞** 本プロジェクトに協力されている立命館大学映像学部の大島研究室各位に感謝します。本研究は、JSPS 科研費 16K00288, 24220004 の助成を受けたものです。

## 参考文献

- [1] 石井照久, 篠木碧: 中学校理科教材の開発研究 簡易エコボール教材の開発と実践, 秋田大学教育文化学部教育実践研究紀要, 第 31 号, pp. 119 - 140 (2009)
- [2] Schiff, J. L. (著), 梅田博司ほか (訳): セルオートマトン, 共立出版 (2011)
- [3] Martin Gardner: MATHEMATICAL GAMES - The fantastic combinations of John Conway's new solitaire game "life", Scientific American, No. 223, pp. 120 - 123 (1970)
- [4] 森田善久: 生物モデルのカオス, 朝倉書店 (1996)
- [5] Reynolds, C. W. : Flocks, Herds, and Schools: A distributed behavioral Model, Computer Graphics, Vol. 21, No. 4, pp. 25 - 34 (1987)
- [6] Ohshima, T., Ishihara, H. and Shibata, R. : Virtual ISU: Locomotion Interface for Immersive VR gaming in Seated Position, VRIC'16: Proc. of the 2016 Virtual Reality International Conference, DOI: 10.1145/2927929.2927941 (2016)