

## 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2報)

坂本恋†<sup>1</sup> 和田勇氣†<sup>1</sup> 大島登志一†<sup>1</sup>

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仮想の生態系のシミュレータの開発を進めている。生物学への興味を引き出す教養的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ている。第1報では、仮想生物群の動態をシャーレの中に表示して体験できるフィジカルMRディスプレイを開発し、HMDを用いてミクロな世界の中に入り込んで体験できることを併せ備えたプロトタイプシステムを提案した。本稿では、仮想生物の挙動パラメータ調整のユーザーインターフェースの追加実装と国際会議でのデモ展示を踏まえた改良について示す。

キーワード: ミクストリアリティ, フィジカルMRディスプレイ, 生態系, 捕食連鎖, エデュテインメント

## MitsuDomoe: Ecosystem Simulation System of Virtual Creatures in Mixed Reality Petri Dish (2)

REN SAKAMOTO†<sup>1</sup> YUKI WADA†<sup>1</sup> TOSHIKAZU OHSHIMA†<sup>1</sup>

Abstract: In this study, we propose the use of mixed reality (MR) for the purposes of biological education. Our objective is to create an interactive edutainment MR framework for users to learn about nature and human beings. MitsuDomoe, an interactive ecosystem simulator of virtual creatures in a petri dish, comprises three species of primitive artificial creatures. MitsuDomoe simulates the predation chain of the virtual creatures in the petri dish, and users can interact with this ecosystem via the petri dish interface, that is a physical MR display. Users can also experience immersive observation by wearing HMD. By combining the MR petri dish and immersive virtual reality (VR) interfaces, we synergistically improve user understanding of the experience. We have tested the first prototype system at Laval Virtual 2017 demo. We are considering about improving the system by reflecting user feedback at the test.

Keywords: mixed reality, physical MR display, virtual reality, ecosystem, predation chain, science education

### 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生態系シミュレータの制作に取り組んでいる。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ている。第1報で報告した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を用いてミ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した[1]。

本稿では、第1報をベースに関連研究も加えて本研究の要点を改めて整理しつつ、仮想生物の挙動パラメータ調整のユーザーインターフェースの追加実装と国際会議でのデモ展示を踏まえた改良について示す。

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」[2]という実験的展示がある。これは、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有用であるとして、中学校の理科教材として導入する試み[3]も報告されている。

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ー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。

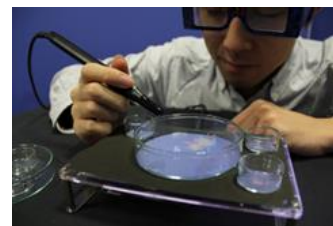


図1 MitsuDomoe システムでの体験の様子  
Figure 1 Appearance of MitsuDomoe system

†1 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

理科科目、特に生物学教育を応用対象としたインタラクティブ技術の研究事例が報告されている。実際の微生物観察体験を拡張する研究として、尾川らは、アバターロボットを介して顕微鏡下の実際の微生物とインタラクティブするシステムを提案した[4]。実験シミュレーションのツール開発を目指した研究として、Okerlund らは、実験器具と組み合わせたタンジブルなデバイスによって、バーチャルなバクテリアの遺伝子を操作するシステム SynFlo を開発した[5]。一方、本研究では、実験器具の代表としてシャーレに着目し、これをフィジカル MR ディスプレイとしてインタラクティブの中心に据え、複数の仮想生物が繰り広げる生態系の動態を取り扱う。

生態系は、一般的に「生産者」「消費者」「分解者」という3種の構成要素の循環的關係によりモデル化される[6]。前述のエコボールでは、水草、水棲動物(魚・エビ)、砂内の微生物のそれぞれが対応する。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[7]。このモデルでは、「捕食者」と「被食者」という捕食関係にある2種間の個体数増減の動態が表されている。また、Chauvet らは、ロトカ・ヴォルテラモデルを2種から3種へと拡張した[8]。しかし、ロトカ・ヴォルテラモデルに代表される捕食者-被食者モデルでは、「消費者」層の動態のみに着目しており、生態系全体を網羅したものではない。

一方本研究では、平衡状態を保ちながら「循環」という、健全な状態の生態系の特質が子供にも直感的に理解され得ることを意図して生態系の抽象化をおこなった。

「消費者」だけで生態系を構成し、それらが循環的捕食関係をなすという仮想のモデルをデザインした。すなわち、植物などの「生産者」と微生物などの「分解者」を生命形態に関わらず「仮想の消費者」として動物などの生命体になぞらえることで、実際には複雑な生態系について循環という図式を分かりやすくモデル化したのである。

### 2.2 MitsuDomoe の生態系モデル

前述のように、生態系ループの全ての構成要素を「消費者」に属する仮想的な同質の生命体としてモデル化をおこなった。さらに図2に示すように、3種の仮想生命種で捕食対象の「獲物」種とそれを捕食する「天敵」種の間を循環的に設定した。

図2において、3種の仮想生物種のそれぞれは、同一の挙動アルゴリズムに基づき、パラメータ設定によって、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にモデル化を行った。本システムの生物種には、「ライフサイクル」と「行動状態」という2種類の状態遷移層を設定する。

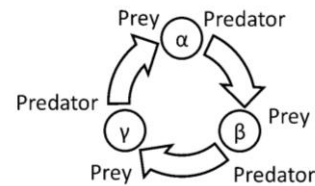


図2 循環的捕食連鎖モデル

Figure 2 Predation loop

ライフサイクルの状態遷移を図3に示す。誕生から一定の成長を経て増殖し、寿命を迎えて消滅する、という状態遷移である。このライフサイクルは、寿命を全うする基底の状態遷移を表す。ライフサイクルの状態遷移に関わる基本パラメータとして、各種に「健康値」を設定する。健康値は、誕生時の初期値から成長により増加、十分な捕食状態において一定値以上で増殖、老化により減少、一定値以下で行動不能、消滅となる。

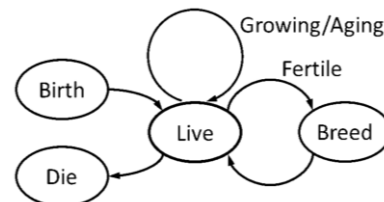


図3 ライフサイクル

Figure 3 Life cycle

ライフサイクルのLive状態(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。各種の個体はそれぞれのパラメータ設定に従って領域内を動き回り、天敵から逃避しつつ獲物を捕食する。寿命に関わらず天敵に捕食されれば消滅する。また、行動状態によって健康値は変化し、待機・探索や移動で減少、捕食で増加する。

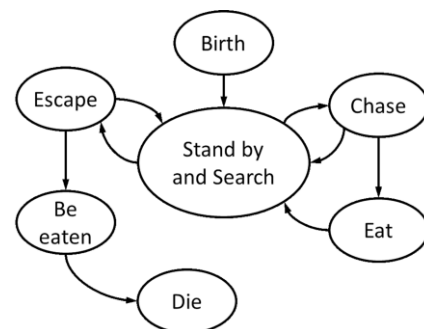


図4 行動の状態遷移

Figure 4 State transition of behavior

各状態と状態遷移に関わり、各種に設定するパラメータは、下記の5種類とした。

- a) ライフサイクルに関連するパラメータ群

- c) 追跡・逃避時の移動に関連するパラメータ群
- d) 獲物や天敵の感知に関連するパラメータ群
- e) 探索行動に関連するパラメータ群
- b) 初期の個体数と生息分布

パラメータの変更については、アルゴリズムに関わる個別詳細なパラメータを直接ユーザに示すのではなく、直感的に分かりやすいよう、以下3種類の「ファクター」を増減することで制御する簡易なユーザインタフェースとした。

- A) 多産性 (増殖時の数)
- B) 移動性 (移動速度)
- C) 感知性 (獲物や天敵を検知する視野範囲)

### 3. システム構成

システム構成を図5に示す。システムは大きくフィジカルMRディスプレイと没入型VRインタフェースとに分けられる。フィジカルMRディスプレイは、図6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磁気式トラッカ(Fastrak)スタイラスによるピペット・デバイスから構成される。

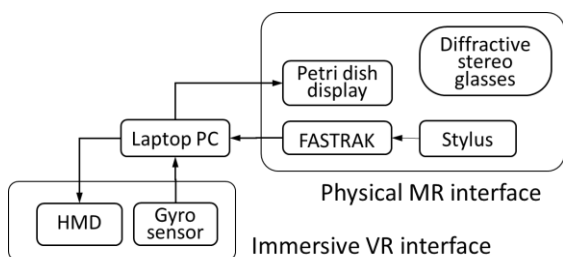


図5 システム構成図  
Figure 5 System Configuration



図6 シャーレ型フィジカルMRディスプレイ  
Figure 6 Petri dish MR display

本システムでは、主に教育用途という所期の目的から、図7のように複数のユーザによる利用を想定している。フィジカルMRディスプレイでは、複数人が同時に観察することができ、また、VRによる没入的な体験も可能である。グループ学習で、シミュレーション世界の外側からのインタラクションと、内側からの体験を共有することによって、学習効果の向上を期待するものである。



図7 複数人での同時体験  
Figure 7 Multi-user experience

図8左側の3つの小さなシャーレから3種の仮想生物をピペットで取り出し、中央のシャーレに移していく。この操作によって、初期の個体数と生息分布を設定でき、実行中も各種の個体を適宜追加することができる。また、同じくピペットを使って、図8右側のファクターコントロール・パレットから仮想の「薬液」を取り、3種それぞれのシャーレに滴下することで、前述の3つのファクターを増減し、仮想生物の挙動に変化を与えることができる。

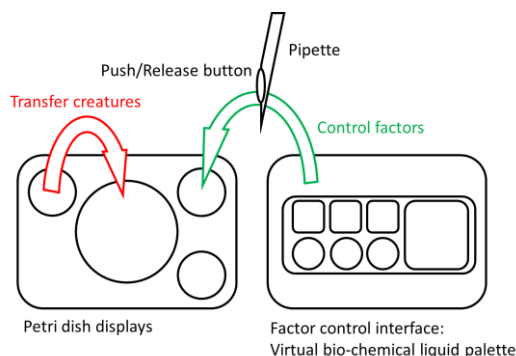


図8 フィジカルMRディスプレイの操作  
Figure 8 Operation of petri dish display

ファクターコントロール・パレットを図9に示す。感知性、移動性、多産性のそれぞれを増減する6種と、全体を死滅させるリセット用の併せて7種の薬液を提供している。

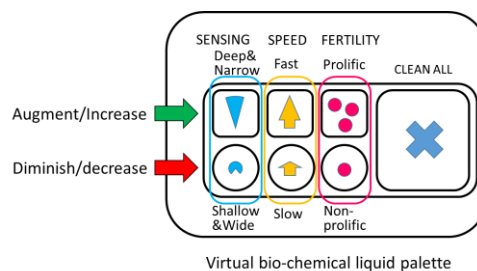
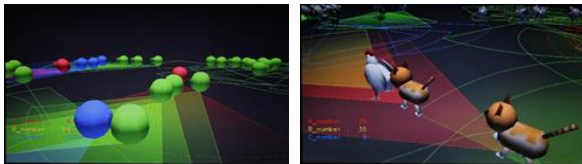


図9 ファクターコントロール・パレット  
Figure 9 Factor control palette

図6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、回折格子メガネ (ChromaDepth 3D Glasses) による視点位置によらない擬似的な立体表示機能を採用した。

VR インタフェースでは、シャーレ内部からの一人称視点で生態系の動態を観察することができる。図10に抽象型モデルと生物型モデルの2種類の表示モード画面を示す。



(a) 抽象型モデル (b) 生物型モデル

図10 HMDによるVR体験映像

Figure 10 VR experience through HMD

#### 4. 実験と考察

インタフェースを改良したシステムについて Laval Virtual 2017 にて多くの一般ユーザを対象とした運用実験を行った[9]。図11に示すように、小さな子供から高齢者まで、250名程度の体験者があった。3種類の仮想生物の捕食連鎖の輪は、概ね容易に理解された。また、小さなシャーレから中央のシャーレに仮想生物を移すという基本操作は、現実の器具の使い方に沿っており、円滑に操作できている様子が見られた。最初はむやみにたくさんの仮想生物をシャーレに投入していても、体験の中でさらに食物連鎖関係の理解がさらに進むにつれ、どうなるのか興味を持ちながら、考えて操作を行う様子も見られた。



図11 一般ユーザへのデモ展示の様子

Figure 11 Demonstration for public users

ファクターコントロール・パレットの操作によって仮想生物の挙動に変更を加えるインタフェースについては、説明があれば操作はできるものの、特に小さな子供にはあまり必要がないようであった。参加者で混雑する状況もあり、今回のデモ展示では、シャーレ・ディスプレイを使った基本操作を中心に運用を行った。

シャーレでは抽象型モデルのみを表示しているが、HMD

には生物型モデルの表示をおこなった。生産者と分解者を仮定の消費者という存在に置き換え、被食者の「鶏」と捕食者である「猫」の食物連鎖を循環させる「仮定の消費者」として「ハエ」で表現していることは、架空の状況であるものの、動物に群がる虫という設定はある程度の現実味はあり、本デモでも自然に受け入れられるようであった。

#### 5. むすび

Laval Virtual 2017 の展示を通じて、多くの年齢層のユーザに対して、本研究の趣旨、循環的捕食連鎖モデルの概念、ユーザインタフェースの操作方法、それらが良好に理解され、システムが十分効果的に機能することが確認された。

今後、本プロジェクトに関して、いくつかの着眼点から改良と展開を進めていく。循環的捕食連鎖モデルについて、さらに理論的にもつめながら実験を重ねる。特に「仮定の消費者」としてなぞらえた「生産者」と「分解者」も組み込んだモデルも検討したい。移動のアルゴリズムについて、いくつかの生物に応じた挙動をシミュレーションすることとする。デバイスの改良も進めていく。いくつかの利用シナリオを作成し、基本操作からファクターコントロールを使うまでのチュートリアルを準備して実験を進める。

さらに、生物学学習における実利用の観点から、小中学校の教員とも共同し、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予定である。

**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 の助成を受けたものです。

#### 参考文献

- 1) 小島健三, 大島登志一: 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), 情報処理学会シンポジウムインタラクション2017 論文集, pp. 872 - 875 (2017)
- 2) 特集展示詳細エコボール, 群馬県立自然史博物館だより, No. 41 (2008)
- 3) 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)
- 4) 尾川順子他: 微生物との実世界インタラクションシステムの提案と初期検討, 情報処理学会論文誌, Vol. 49, No. 10, pp. 3546 - 3553 (2008)
- 5) Okerlund, J. et al.: SynFlo: A tangible museum exhibit for exploring bio-design, Proceedings of the TEI '16: Tenth International Conference on Tangible, Embedded, and Embodied Interaction, pp. 141 - 149 (2016)
- 6) 鈴木孝仁: 視覚でとらえるフォトサイエンス〜生物図録, 数研出版 (2000)
- 7) 森田善久: 生物モデルのカオス, 朝倉書店 (1996)
- 8) Chauvet, E. et al.: A Lotka-Volterra Three-species Food Chain, *Mathematics Magazine*, Vol. 75, No. 4, pp. 243 - 255 (2002)
- 9) Ohshima, T. and Kojima, K.: MitsuDomoe: Ecosystem Simulation of Virtual Creatures in Petri Dish, *VRIC'17: Proc. of the 2017 Virtual Reality International Conference*, DOI: 10.1145/3110292.3110295 (2017)