論文

Javaによるエコロジー・シミュレーション教育環境の構築

横井　利彰

モデリングとシミュレーションの手法を学び実践的な力を養うには，基本的な実例を理解するだけでなく，興味を持って自らが工夫できる自由度を持った新しい環境を提供して学生の向学心を刺激し，参加意欲を高めることが必要といえる．平成13年度まで，授業の中ではシステムダイナミックス，基礎的数理生態学，複雑系等の解説を通じてシミュレーションの基礎力をつけ，各自の興味あるテーマでの実践を行うという内容を進めてきた．平成14年度の授業後半からは，独自に仮想生態系のプラットフォームを設計し，Java言語で実装して学生に提供した．学生はプロジェクト形式で，生態系の中で生き抜く生物の行動を自らデザインし・試し・分析し・再びデザインするという課題を遂行した．プロジェクトの進捗過程で，悩みながらも積極的取り組む姿勢をみることができた．

キーワード：Java，シミュレーション，生態系，オブジェクト・デザイン

1　はじめに

3年前期の科目の「モデリングとシミュレーション」では，シミュレーションの基礎を学ぶと共に，プロジェクト課題を通じて応用力を身につけることを目的とし，オムニバス形式で筆者と武山助教授が担当してきた．その中で筆者は，平成11年から13年までは，システムダイナミクスを主軸に解説し，プロジェクト形式で学生の興味ある分野での応用をプロジェクト課題としてきた．良い成果を上げる例もあったがテーマ選定に苦慮する例も見られた．

そこで，平成14年度の授業後半からは，生態系のシミュレーションに的を絞り，創意工夫に没頭できる土台を用意することとした．そのために教員として，独自に仮想生態系のプラットフォームを設計し，Java言語で実装して学生に提供した．学生はプロジェクト形式で，生態系の中で生き抜く生物の行動を自らデザインしてJava言語でプログラム表現し・試し・分析し・再びデザインするという課題を遂行した．

これまでも様々な教育でJavaを用いてきたが[１]，学生が自宅やノートＰＣなどで課題に取り組め，アイデアを即座に試す環境を用意したため，悩みながらも積極的取り組む姿勢をみることができた．

YOKOI Toshiaki
武蔵工業大学環境情報学部助教授

2　構成論的アプローチによる生態系シミュレーション

今回のエコロジー・シミュレーショターでは，ダーウィンの「Struggle for existence」で述べられている共生関係のシミュレーションを題材に選んだ．そして，数理生態学の考えに沿って，生物群集における各生物種の消長に関する現象を説明するためのモデルを作り，コンピュータを用いて現象の起こる原因を解明して行くなかで，見えないルールの発見や，失われた鎖（missing link）を探すという枠組みを構成することとした．すべてを厳密にシミュレーションできるわけではないが，進化の過程で哺乳類が獲得した「種を維持しコミュニティを形成する本能」の一端を垣間見ることができるものとなっている．

モデルの構築にあたっては，構成論的アプローチ（複雑に見える現象に対し，人工的なモデルを構築して動作させ，その分析から現象を理解しようとする手法）を参考とした．マックス・プランク生物サイバネティックス研究所のVelentino Braitenbergは，簡単な電気機械を用いて，人間の感情 愛，攻撃，恐れ，洞察）と同じであるかのように受け取れる行動（あたかも高度な知能を持っているかのように見える）を合成する試みを行っている．Braitenbergは，パルス列で動作する人工神経細胞網を使って興味深い特性について明らかにしている[２]．

また，クレイグ・レイノルズは「ボイド(Boid：Birdoid)」というソフトウェアによって，鳥の群の飛

行のシミュレーションを行い，「互いに一定の距離をおいて飛ぶ」など単純な３つ程度のルールを設定するだけで，全体に指示を出すプログラムがなくても，全体としての秩序が構成されることを示した[３]．

本教育研究では，学生でも容易にアイデアを実現できることを目標とし，行動ルールの部分のみを Java で表現すればシミュレーションを実行できるように工夫した．

３　仮想生態系プラットフォームの構築

本研究で開発したエコロジー・シミュレータは，熱帯のサバンナを模擬し，草である「Grass」，草食動物の「Impala」，そして肉食獣の「Lion」の３つの種での食物連鎖を表現するものである．コンウェイの「ライフゲーム」とは異なり，３つの種は空間を連続的に移動でき，寿命を持ち，生き抜くために捕食・逃避・生殖などの行動を自らの状況に応じて決定するとうものである．学生には，Impala のプログラムの中の思考ルーチンのみを設計させる構成とした．

３．１　プラットフォームの概要

エコロジー・シミュレータの実行画面は，図１のようなものである（Java アプリケーション）．学生は，自分が設計した思考ルーチンプログラムをコンパイルして，シミュレータを起動すれば，自動的に個々の Impala の行動は，その思考ルーチンに従って決定される．時刻の経過速度は調節可能であり，またその時点での生物総数が棒グラフで表示される．実行の様子は，研究室のホームページでも紹介している[４]．現在の Java は格段に実行性能が向上しており[５]，他言語に遜色ない性能で利用できる．

図１　エコロジー・シミュレータの表示画面

３．２　クラス構成と役割

エコロジー・シミュレータは，合計８個のクラスから構成される（図２）．実行クラス Eco1 は，Frame1 を起動して対話可能な実行画面を生成させる．Frame1 は開始ボタンに反応して，仮想生態系 Savanna をスレッドとして起動する．Savanna は，その構成要素である「Grass」，「ImpalaS」，「Lion」のインスタンスを生成し，設定条件に従って各要素の行動を逐次問い合わせて，生態系を動作させる．「Grass」，「ImpalaS」，「Lion」の各クラスは，Savanna からの問い合わせに対し，think メソッドのなかで行動決定を行い，決定行動を Savanna に返す．ただし，あらかじめ定められた制約（最大移動速度，寿命，行動による消費エネルギー）に反するものは受け付けないルーチンとなっている．

学生がデザインするのは，「ImpalaS」の think メソッドだけをもたせた「Impala」クラスの think メソッドだけである．行動の決定に必要な周囲の状況については，Savanna から与えられ，また各要素の設定パラメータについては「Service」クラスのインスタンスに問い合わせれば情報を得られるようにしている．Impala クラスは，ImpalaS クラスのスーパークラスとして設計されているため，学生は他のパラメータを勝手には変更できない仕組みとしているので，学生は行動決定ルーチンの設計に専念すればよい．

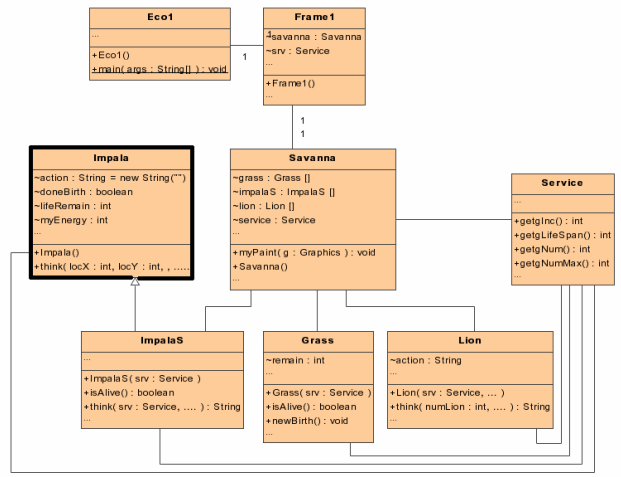

図２　エコロジー．シミュレータのクラス・ダイアグラム

これらのクラスの Java プログラムのサイズは，表１のとおりである．最も複雑なのは，仮想生態系の世界を制御する Savanna である．なお，ImapalaS.java

表１　Java プログラムのコードサイズ

プログラム名	ステップ数
Eco1.java	50
Frame1.java	285
Savanna.java	955
Impala.java	161
ImpalaS.java	91
Grass.java	57
Lion.java	168
Service.java	129

が 161 ステップとなっているのは，学生に提供したサンプルプログラムの例である．実際には，学生が工夫を凝らした結果, 最大で 348 ステップの例があった．

３．３　動作シーケンス

図３は，仮想生態系の世界での一時間ステップで行われる処理のシーケンス・ダイアグラムを示している．

３．４　　行動決定ルーチン作成と実行

学生が設計する「Impala」クラスの詳細は, 図４の通りである．この中の think ルーチンでは，周囲の状況と自らの状態の情報をもとに，下記の行動パターンから選び ImpalaS に返すという流れになる．

（１）移動する
　書式　"move:方向(deg)"
　　移動する分，体力を消費する
（２）走る
　書式　"run:方向(deg)"
　　移動する分，体力を消費する
（３）休む
　書式　"rest"
　　休んでいてもエネルギーは
　　少し消費する
（４）出産
　書式　"birth"　(give birth)
　　ただし，適度な数の仲間の存
　　在が条件
（５）草を食べる
　書式　"eat"

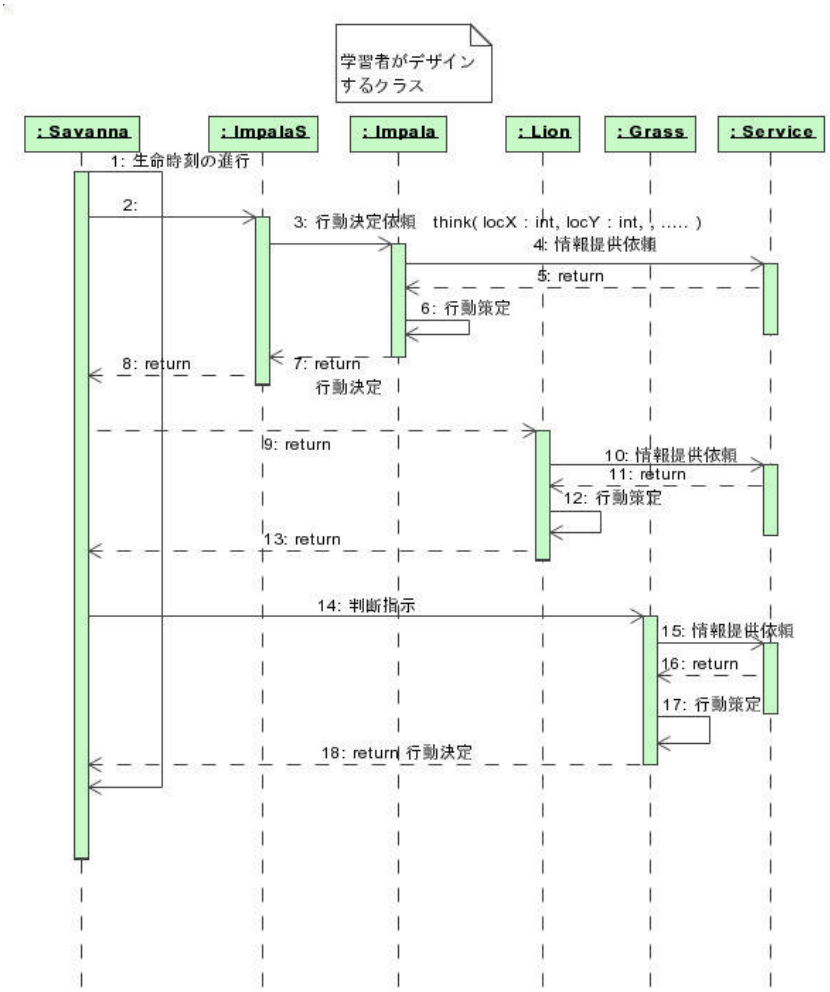

図３　１ステップのシーケンス・ダイアグラム

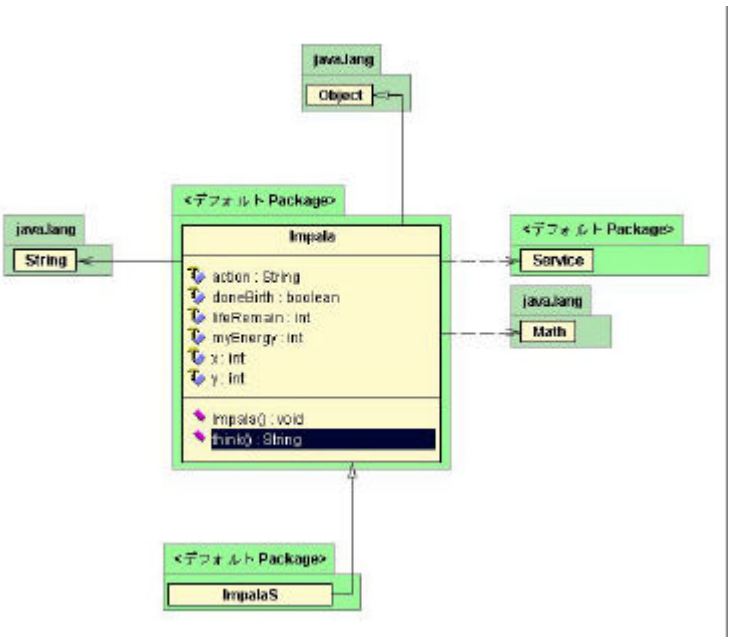

図４　学生がデザインする Impala クラスの基本構成

指定距離以内にある場合のみ食べられる

なお, 初期設定値は図５のファイルで与え, これは, 学生が変更できる様にし, 考察材料となるようにした.

シミュレーションの実行画面の様子を図６に示す.

```
// このファイルはエコロジーシミュレーションのファイルです
//  変更は数値のみとし，文字列は変更しないでください.
//「モデリングとシミュレーション」2002　(c) Toshiaki Yokoi
//草に関する条件
50:草の初期数[個]
200:草の最大数[個]
100:草の寿命[step]
3:草のステップ毎生成率[個]
//インパラに関する条件
40:インパラの初期数[匹]
2000:インパラの寿命[step]
60:インパラの出産時の消費エネルギー[eco]
30:インパラが草を食べたときの獲得エネルギー[eco]
3:インパラがゆっくり進むときの消費エネルギー［eco/step]
100:インパラの視野半径[dot]
・・・・・・・・・・・・・・・・・・・
//ライオンに関する条件
・・・・・・・・・・・・・・・・・・・
```

図５　書記パラメータ設定ファイルの内容（一部）

４　プロジェクト課題と考察事例

４．１　課題設定

学生へ提示したプロジェクト課題は,「プロジェクトグループでの『行動ルーチン』のデザインと評価の報告」である.

仮想生態系：　草, 草食獣（インパラ), 肉食獣（ライオン）の３つの種から構成

システム側管理理：　草生育・肉食獣の生育行動管理

デザイン内容：　草食獣の判断機構（毎ステップ）（空腹と食事, 天敵からの逃避・攻撃, 仲間との協力など）

４．２　考察の事例

草食獣同士のコミュニケーションの考慮

当初提供したサンプルファイルは, 個体ごとの判定ルーチンの例であったが, これを拡張して, 仲間への危険通知というある種の「自己犠牲」による種の保存則の組み込みを試みた例があった（図７）. 実際には,

Impala 同士の会話機能は提供していないため, 苦労したようであるが, 危険予知という考えに変え, 近くの仲間が Lion に狙われているときには待避行動にうつるという間接的な実現を試みている. シンプルな

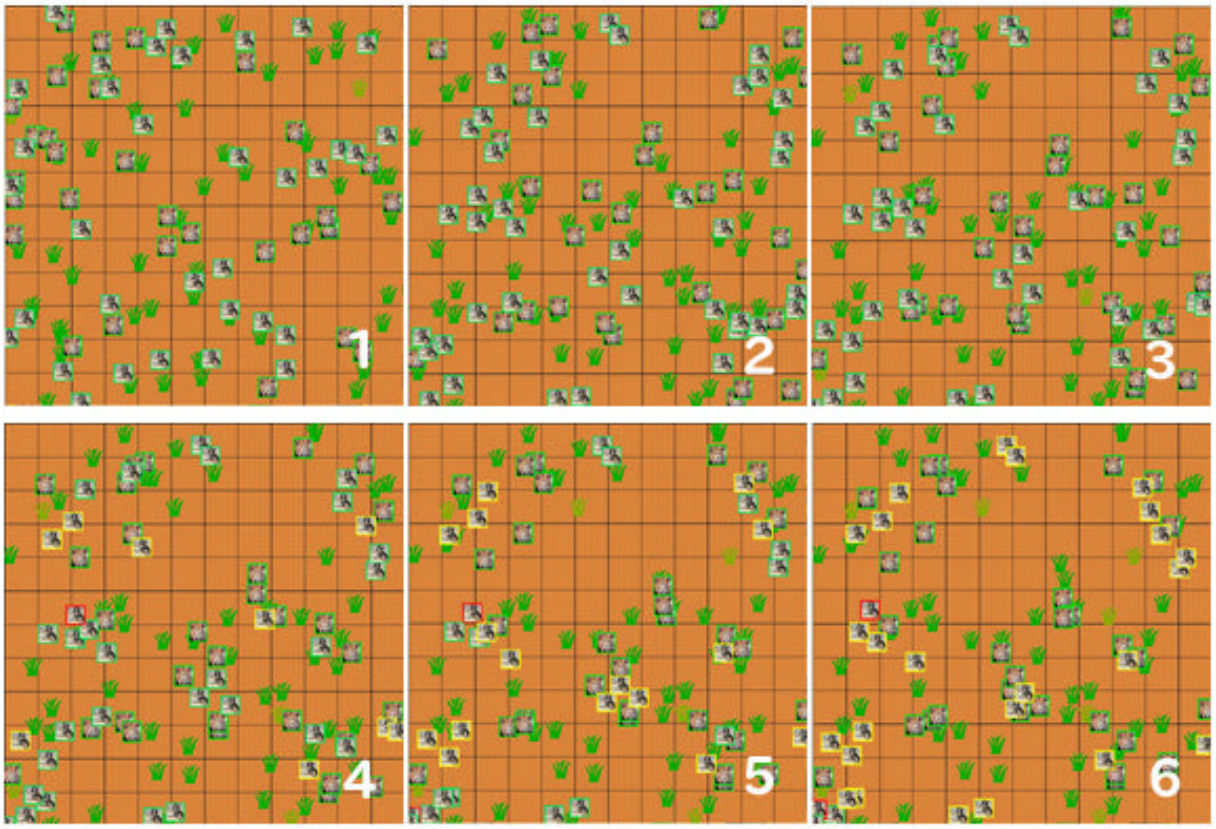

図６　エコロジー・シミュレータの実行経過例

行動決定例ではあるが，レイノルズの Boid と似た行動の実装方法について，創案したよい例となっている．

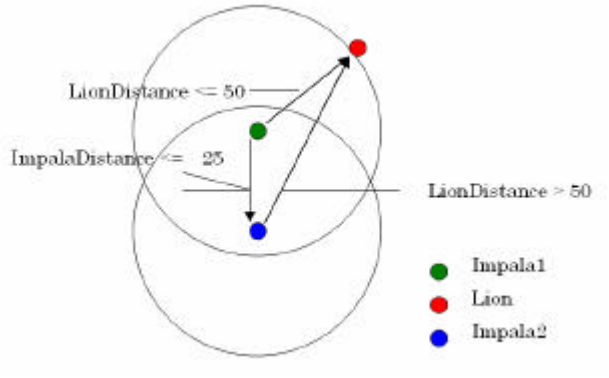

図７　（考察例）インパラ仲間の間での危険通知

このほかにも，危険度を複数の段階に分けて対応をする例や，仲間との競合をさけて草を食べるルーチンの考案など，興味深い考察が多く行われていたことから，予想以上の教育効果を醸成できたと認識している．

また講義の感想からも，新しい試みの授業に対して興味深く，非常に有意義なプロジェクトであったという強い感想も複数あった．同時に，提供されたシミュレーション・システムの改良の要望も複数あり，トーラス空間への拡張や，Lion の行動パターンの改善（比較的生存力が弱い）などの必要性があることも明らかとなった．今後は，これらの考察結果から必要と考えられる機能の追加を行いつつ，学生が思索に没頭できる環境の継続的整備が必要と考えられる．

５　まとめ

学生の興味を中心に考え，独自に仮想生態系のプラットフォームを設計して提供し．学生が生物の行動を自らデザインし・試し・分析し・再びデザインできる環境を構築した．開発は容易ではなく，まだ完成途上ではあるが，プロジェクトの進捗過程や結果から，期待以上の積極的な取り組みを得ることができたことは，今後の励みとなると感じた．

今後は，全種類の Impala を同時に動作させてエキシビションを実施したり，チンパンジーとボノボのコミュニティの違いに潜むミッシング・リンクの探求なども取り上げてゆきたいと考える．

参考文献

[１] 横井利彰：“Java 技術に基づく新しい情報環境の可能性について，“ 武蔵工業大学 環境情報学部 情報メディアセンタージャーナル，創刊号，pp.27-30，2000.

[２] V. Braitenberg: “Vehicles:Experiments in synthetic psychology '86,“ MIT Press.,1986.

[３] Craig Reynolds: “simulated boid flock avoiding cylindrical obstacles,” http://www.red3d.com/cwr/ ，(1986)

[４] 横井利彰：“Java によるエコロジーシミュレーション教育環境の構築，“http://www.yc.musashi-tech. ac.jp/~yokoi/labInfo/ kenkyuRyoiki.html“

[５] Toshiaki Yokoi: “Utilization Methodology of the Java Platform Application Programming Interface for High-Performance Numerical Simulation Environment,“ ICSC2002 International Conference on Simulation Technology 2002 Shanghai, Vol.１， pp.328-331，2002.