

教養教育としての複雑系科学入門授業 —初学者による MAS 構築の実践—

三浦 政司

グローバル化や情報化に伴ってますます社会が複雑化し、複合的・分野横断的な問題が顕在化していくなか、そのような問題を扱うことのできる複雑系科学の視点や考え方は学部・学科を問わず幅広い領域の学生にとって重要な教養であると言える。そこで筆者は、MAS などの基盤的な手法を実践する中で複雑系科学の基本的な考え方を学ぶことのできる初学者向けの授業を教養教育として展開している。授業の設計にあたっては、初学者が主体的に MAS の構築を実践できるよう、artisoc の活用や独自のモデリング手法の導入などを進めている。

キーワード：マルチエージェントシミュレーション，モデリング，教養教育

1. はじめに

複雑系科学の考え方は、従来の科学がベースとしてきた要素還元的なパラダイムに対して、要素間の関係性や全体としての振る舞いに目を向けた新しいパラダイムであり、ますます複雑化する現代社会および未来社会の諸問題を扱うにあたって、極めて重要な考え方である。複雑系は社会、経済、生命、環境など実に幅広い領域の事象において現れ [1]、複雑系科学の考え方はそれらを理解するための基盤的なアプローチとなる。そこで筆者は、複雑系科学の考え方が専門分野を問わず幅広い領域の学生にとって非常に重要な教養になると考え、その基礎的な視点と手法を身につけることを目的とした入門授業を企画し、主に大学初年次生を対象とした教養教育として実践している。

複雑系科学はネットワーク理論、ゲーム理論、進化計算など広範で高度な研究手法を含むが、本稿で紹介する入門授業ではマルチエージェントシミュレーション (MAS) に焦点を当てた。複雑系の最も基本的で重要な性質は「創発性」と呼ばれ、部分の単純な挙動が全体の高度な秩序を生み出すプロセスを有することである。部分の単純な挙動を自然な形でモデリングし、全体の高度な秩序をシミュレーションする MAS は、複雑系を理解するための最も基盤的な手法の一つであると言える。そこで、本稿で紹介する複雑系科学入門授業では、学習者が主体的に複雑系現象をモデリングし、MAS を構築するという実践的な活動に取り組む中で、

複雑系の基盤的な考え方や視点を習得し、創発性について理解を深めることを目指した。一方で、教養教育の対象者は複雑系科学やシミュレーションに関する基礎的な知識をもたない初学者であり、上記のような授業を実現するためには、初学者でも自身の力で MAS を構築することができるよう、授業設計や指導方法を工夫する必要がある。この課題に対して著者の取り組みでは、初学者による MAS 構築に適した開発プラットフォームである artisoc を活用するとともに、独自のチュートリアル教材やモデリング手法を開発し、授業の中に取り入れている。

本稿では筆者が企画・実践している MAS 構築の実践を伴う複雑系科学入門授業について、授業設計や教材、指導上の工夫などについて紹介する。

2. 授業設計

本節では著者が実践している複雑系科学入門授業「複雑な社会をシミュレーションする」の授業設計について述べる。「複雑な社会をシミュレーションする」は鳥取大学における全学共通科目（教養科目）として開講しており、課程規則上は全学年の学生が受講することができるが、開講時限と科目区分の都合により実際の受講生はほとんどが初年次生である。そこで授業設計にあたっては、複雑系科学やプログラミングに関する基礎知識を全くもたない初学者が対象であることを想定し、ディスカッションや演習を通して徐々に複雑系科学の考え方や MAS 構築の方法を修得できるような構成とすることを心がけた。本稿ではこれ以降、特に断らない場合は「授業」という記述は教養科目「複雑な社会をシミュレーションする」のことを指し示すものとする。

みうら まさし

鳥取大学

〒 680-8552 鳥取県鳥取市湖山町南 4-101

miura@icee.tottori-u.ac.jp

2.1 達成目標

授業の目的である「複雑系科学の基本的な考え方、視点と MAS 構築の基礎的な方法を知ること」に対応して、下記のような達成目標を設定した。

1. 「複雑系」や「創発現象」などの基礎的な用語について、自分の言葉で説明できるようになること
2. 複雑系科学を学ぶ意義や応用可能性について、自分の言葉で説明できるようになること
3. エージェントベースモデリングのプロセスと、それに基づくシミュレーション (MAS) を構築する基礎的な方法を修得すること

2.2 授業の流れ

この授業は 2 単位の科目であり、1 週当たり 1 コマ、計 16 週で構成される。授業の全体スケジュールは表 1 のようになっており、大きく前半 (1 週目~7 週目) と後半 (8 週目~16 週目) に分けることができる。

授業の前半では、受講生たちは複雑系科学の考え方をディスカッション形式で学ぶ活動と MAS 構築の基礎的な方法をチュートリアル形式で学ぶ活動に取り組む。ディスカッションの週とチュートリアルの週を交互に配置し、ディスカッションにおける資料作成課題とチュートリアルにおけるプログラミング課題のそれぞれについて 2 週間ずつの取り組み期間をもてるようにした。MAS 構築のチュートリアルでは、シンプルながらも創発現象をわかりやすく観察することのできる「サメ-小魚モデル」を教材とし、モデリングからコーディングまで、MAS を構築するプロセスを体験的に学ぶ。これについては 3 節で詳しく紹介する。

授業の後半では受講生が 3~4 名ずつのグループに分かれ、受講生自身が設定したテーマに基づく MAS 構築を実践する。初学者である受講生たちが 8 週間程度の比較的短い期間でエージェントベースなモデリングとプログラミングを含むシミュレーション構築を確実に

表 1 授業のスケジュール

週	活動内容
1	ガイダンス
2	ディスカッション①：複雑系とは何か？
3	MAS 構築チュートリアル①
4	ディスカッション②：さまざまな創発現象
5	MAS 構築チュートリアル②
6	ディスカッション③：複雑系科学の応用例
7	MAS 構築チュートリアル③
8	テーマ設定
9~15	グループ活動による MAS 構築
16	プレゼンテーション
終了後	MAS コンペ参加に向けた活動 (希望者のみ)

実現できるよう、Game-Based Situation Prototyping という独自の協働型モデリングプロセスや、クラウド型システムモデリングツールを用いた指導などを導入している。これらの工夫については 4 節で詳しく紹介する。授業の最終週には、各グループが構築した MAS についてプレゼンテーションを行う機会を設けている。

さらに希望者がいる場合、授業終了後も MAS を改良する活動に取り組み、毎年 3 月に開催される MAS コンペに参加することを目指す。平成 26 年度の授業では授業終了後も継続して活動に取り組んだグループが第 15 回 MAS コンペに参加し、優秀賞を受賞した [2]。この活動や授業の様子については文献 [3] で報告している。

3. MAS 構築のチュートリアル

3.1 開発プラットフォーム

教養科目「複雑な社会をシミュレーションする」では、MAS を構築するプラットフォームとして *artiso* を用いている。*artiso* は株式会社構造計画研究所が公開している MAS 開発プラットフォームであり、教育機関に対しては無償で提供されている [4]。グラフィカルでユーザーフレンドリな操作性を特徴とし、プログラミングに不慣れな場合でも素早く MAS を構築することができる。また、日本語で書かれた解説書 [5, 6] やマニュアルが豊富であり、初学者が MAS 構築に取り組む場合に適しているプラットフォームである。

3.2 サメ-小魚モデル

2.2 節で述べたように、授業の前半では受講生たちは MAS を構築するプロセスをチュートリアル形式で学ぶ。この際、例題として「サメ-小魚モデル」という独自の教材を活用している。サメ-小魚モデルは非常にシンプルルールで記述することができ、MAS 構築が容易なモデルである。その一方で、サメ-小魚モデルの MAS を実行することで、個々のエージェントの行動ルールからは予測することのできない全体的な振る舞い、すなわち創発現象をわかりやすく観察することができる。学習者各自が *artiso* を用いてサメ-小魚モデルの MAS を構築する活動に取り組むことで、MAS を構築する流れと基本的な手法、そして創発現象について効果的に学ぶことができる。

本節ではサメ-小魚モデルについて、エージェントの行動ルールと MAS の実行結果について簡単に紹介する。詳細については [7] の文献にまとめている他、著者の WEB サイト [8] においてソースコードやモデル構築方法を公開している。

3.3 行動ルール

サメ-小魚モデルではサメと小魚の2種類のエージェントにそれぞれ視野が設定されており、各エージェントは下記の(1)~(4)の行動ルールに従って動く。

- (1) 小魚は視野内にサメがいる場合、最も近くにいるサメから逃げる(サメとは反対方向を向く)。
- (2) サメは、視野内の最も近くにいるエージェントが小魚の場合に、その小魚を追いかける(小魚の方向を向く)。
- (3) サメは、視野内の最も近くにいるエージェントがサメの場合に、そのサメから逃げる(反対方向を向く)。
- (4) 上記の(1)~(3)に当てはまらない場合は向きを変えずに進む。

これらのルールを図示したものを図1に示す。

3.4 シミュレーション結果

artisocを用いて構築したサメ-小魚モデルのMASについて、エージェントの数や視野の大きさを変化させながら実行した結果のキャプチャを図2の(a)~(c)に示す。図中ではサメは●、小魚は×で表されている。図2(a)はサメの数を10、小魚の数を500、両者の視野の大きさを10に設定した場合である。この状態から、小魚の視野を大きくして15に設定すると、図2(b)のように小魚たちが特定の場所に集まって塊になる。視野が広がった小魚たちから見ると、前後左右どこを

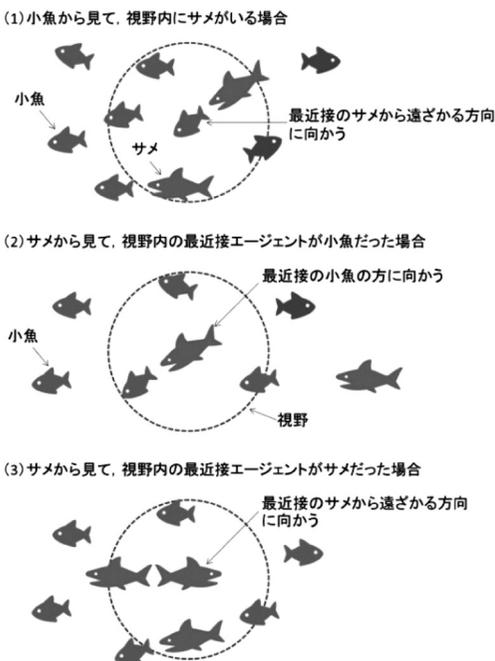


図1 サメ-小魚モデルの行動ルール

向いてもサメがいるという状況になり、サメに囲まれて同一の場所に凝縮するように集まる。次にエージェント数のバランスを大きく変えて、サメの数を100、小魚の数を3に設定する。すると、図2(c)のようにサメが規則正しく結晶のように並ぶ。これは、サメ同士は避け合うようなモデルになっているので、環境中にサメがたくさんいると、個々のサメはほかのサメに囲まれてしまって身動きできなくなるためである。

サメや小魚の行動ルールには「一箇所に集まる」や「規則正しく並ぶ」といった命令は入っていない。それにもかかわらず、条件によっては図2(b)のように小魚が特定の場所に集まったり、図2(c)のようにサメが規則正しく整列したりする。これらは、個々の構成要素の性質や振る舞いからは直接導き出すことのできない全体的な振る舞いであり、創発現象のわかりやすい例となっている。

4. モデリングプロセス

2.2節で述べたように、授業の後半では少人数グループに分かれた受講生が社会現象のモデリングとMASの構築に主体的に取り組む。この授業の主な対象は人文・社会系学部を含む初年次生であり、そのような初学者でもモデリングに関する議論やモデルの記述を効果的に行うことができるよう、モデリングの進め方や指導方法にいくつかの工夫を加えた。本節では指導上の主な工夫点をいくつか取り上げ、紹介する。

4.1 協働型モデリング手法GBSPの導入

受講生グループによる社会現象のモデリングにおいて、筆者らが提案している独自の協働型モデリング手法であるGBSP (Game-Based Situation Prototyping)を導入した。GBSPはゲームとエージェントモデルがどちらもルール、相互作用、パラメータ変化によって特徴づけられる[9, 10]という点に着目し、協働でゲームをつくるというプロセスを通して、異分野の専門家や非専門家、実務家らと対話しながらエージェントベースモデリングを進めていくという手法である[11]。

GBSPでは、紙やスチレンボードなどの簡易材料と

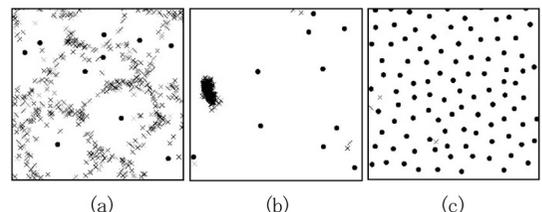


図2 サメ-小魚モデルのMAS実行結果

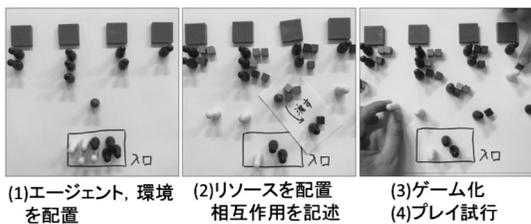


図3 GBSPの手順

トークン、カード、チップなどのプロトタイピングツールを用いて、エージェント、環境、相互作用、各種パラメータの移動などを机上に素早く可視化し、議論や対話に即した試行と変更を加えていく。また、ゲームをつくるつもりでエージェントの行動ルールや相互作用の手続きを議論し、規定していく。具体的には下記の(1)~(4)のような手順に従って参加者が対話しながら協働でゲームのプロトタイプとしてモデルを構築していく。図3にはこの手順に対応したGBSPの様子を示す。なお、GBSPは現在開発中の手法であり、手順は今後変更される場合がある。

- (1) 着目する現象の舞台となる環境と、登場するエージェントを紙、スチレンボード、ポントークン、チップトークンなどを使って机上に配置する。
- (2) エージェントや環境がもつパラメータを、チップトークンやブロックトークンなどを使って配置し、相互作用やパラメータ変化についてカードなどを用いて記述する。
- (3) ボードゲームを想定して、行動や処理の順序、意思決定が必要な箇所とタイミングなどを確認し、ルール化・手順化する。
- (4) 組み立てたルールと手順に従って簡易的なゲームプレイを行い、細部を確認・修正していく。

このように、「協働でゲームをつくる」という形をとることで、モデリングやシミュレーションに対するハードルを下げ、専門知識をもたない非専門家や初学者でも協働でモデリングを行うことができる。また、アウトプットがゲームのプロトタイプであり、ルールが明示されていることから、シミュレーションコーディングやフローチャート記述への接続性が高いというメリットも得られる。本稿で紹介する授業では、GBSPを用いることで、初学者で構成される受講生グループが協働で効果的なエージェントベースモデリングを実現することができる。

4.2 クラウド型システムモデリングツールの活用

授業におけるMAS構築の活動では、GBSPを用いた協働モデリングとartisoにおけるプログラミング

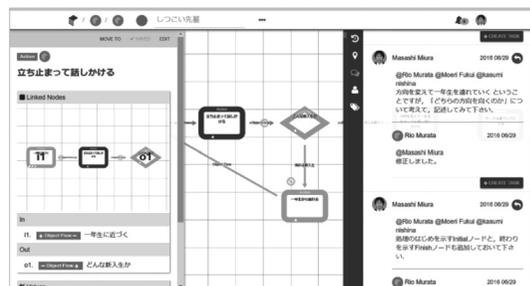


図4 BALUSの画面キャプチャ

作業の間に、ダイアグラムモデル(システムモデル)を介したシミュレーション設計のプロセスを取り入れた。これは、シミュレーションを構成する要素とシミュレーションにおける処理の流れの詳細を、それぞれストラクチャーダイアグラムとフローチャートを用いて整理し、確認するというプロセスである。ここで、ストラクチャーダイアグラムは、シミュレーションを構成するエージェント、変数、環境、相互作用などの要素の階層関係をツリー図で表現したものである。フローチャートはソフトウェア設計において一般的に用いられるものであり、MASの設計においてはシミュレーション全体の処理の流れを示したものと、各エージェントの行動に対応する処理の流れを示したものをそれぞれ記述するようにした。授業では、これらのダイアグラムを構築するプラットフォームとして、筆者らのグループが開発しているシステムモデリングツールBALUS(図4)を活用した。

BALUSはロボットなどの複雑なシステムの設計を支援するクラウド型のツールであり、次のような機能・特徴をもっている[12, 13]。

- ・WEBブラウザ上で各種ダイアグラムを素早く構築し、チームメンバに共有することができる
- ・ダイアグラムの要素に紐づけたコメントを投稿することができ、チームメンバがコミュニケーションしながらダイアグラムを構築することができる
- ・更新履歴の保存、更新差分の表示、バージョン管理機能など、チームによる非同期なダイアグラム構築をサポートしている

これらの機能を活用することで、受講生同士または受講生と教員の間でダイアグラムモデルを介した円滑なコミュニケーションが可能となり、シミュレーションの構成や処理の流れに関する細かい議論、指導、アドバイスを伝えることができる。BALUSは現在β版を無料公開しており、[14]に示すURLから利用することができる。



図5 受講生によるGBSPの様子



図6 BALUSを活用している様子

5. 実践結果

本節ではH28年度における授業の様子とアンケート評価の結果について紹介する。H28年度の受講生は初年次生10名であり、5名が工学部、3名が地域学部、2名が医学部という構成であった。

5.1 授業の様子

ここでは2.2節で示した全体スケジュールのうち、後半(8週目~16週目)の受講生主体によるMAS構築活動の様子について写真を交えて簡単に紹介する。

MAS構築に向けた最初の活動は、どのような社会現象に着目してMASを構築するのか、テーマを設定することである。H28年度の授業では、三つのグループがそれぞれ下記のようなテーマを選んだ。

- ・入学シーズンにおけるサークルの勧誘活動
- ・遊園地におけるアトラクションの待ち行列
- ・戦国時代における合戦

次に、4.1節で紹介したGBSPの手法を用いて、着目する現象について協働でモデリングを行った。GBSPを用いることで、モデリングに関する議論がスムーズかつ活発に行われ、グループメンバー間で合意を得ながらエージェントベースなモデルについて考えることができた。受講生によるGBSPの様子を図5に示す。

GBSPを用いたモデリングの後は、4.2節で紹介したクラウド型システムモデリングツールBALUSを用いて、シミュレーションの構成要素とその関係性および詳細な処理の流れについて、ダイアグラムモデルを用いて整理した。BALUSを用いることで、授業時だけでなく、授業外の時間においても非同期でダイアグラムを介したコミュニケーションをとることができ、グループで協力して、または教員からのアドバイスに基づいてシミュレーションの詳細設計を構築していくことができた。図6に、グループ活動においてBALUSを活用している受講生の様子を示す。

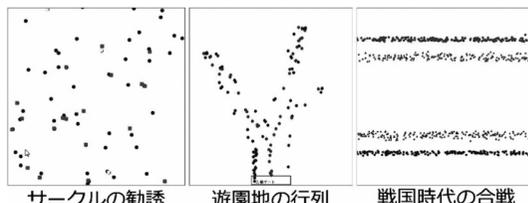


図7 受講生グループが構築したMAS

表2 質問項目と尺度

質問 No.1	複雑系とは何か理解していますか？
質問 No.2	複雑系や創発現象の考え方がどんなことに役立つかわかりますか？
質問 No.3	MASとは何か、理解していますか？
質問 No.4	MASの考え方がどんなことに役立つかわかりますか？
質問 No.5	マルチエージェントシミュレーションを構築する方法がわかりますか？
尺度 (共通)	A: 全く分からない, B: わからない, C: 理解している, D: とても良く理解している

最後に、ダイアグラムモデルを用いた詳細設計に従って、artisocを用いてMASを構築する作業に取り組んだ。どの受講生も3.2節で紹介したサマー小魚モデルを例題としたチュートリアルを通してartisocによるMAS構築の基本的なプロセスを修得していたので、スムーズにMASを構築することができた。図7に受講生グループが構築したMASの出力結果を示す。

5.2 アンケート評価

授業の受講前後にプレ調査とポスト調査という形で同一の質問項目によるアンケート調査を行った。アンケートでは表2に示すような各質問に対してリッカート尺度による選択肢回答と自由記述形式の回答を求めた。ここでは尺度選択肢への回答の集計結果を報告する。

表3にプレ調査とポスト調査における回答の変化についてまとめたものを示す。すべての質問項目において、80%以上の受講生が、理解度が向上する方向への変化を示した。特にNo.1とNo.4の項目については

表3 プレ調査結果とポスト調査結果

回答尺度の変化	No. 1	No. 2	No. 3	No. 4	No. 5
ネガティブな反応がポジティブな反応になった (A/B → C/D)	9	4	7	8	6
ネガティブな反応であることは変わらなかったが、理解度が向上した (A → B)	1	4	1	1	2
変化しなかった (A→A など)	0	2	2	1	1
理解度が下がった (B/C/D → A, C/D → B, D → C)	0	0	0	0	1
その他の変化	0	0	0	0	0

理解度が向上する方向への変化が大きかった。これらの結果から、今回実施した授業が、複雑系およびMASに関する理解の向上について効果的であったことがわかる。

6. おわりに

本稿では、初学者によるMAS構築活動を伴う教養教育について、授業設計、独自の教材や指導方法、実践の様子などについて紹介した。授業の主な対象は複雑系科学やプログラミングに関する基礎知識を持たない初学者であり、限られた時間の中で初学者が主体的にMASを構築できるようサポートすることが最大の課題であった。本稿で紹介したサメー小魚モデルを用いたチュートリアル、GBSPによる協働モデリング、クラウド型システムモデリングツールを用いたダイアグラムモデリングなどは、その課題に対応した工夫の例である。これらの手法を導入することで、初学者が自分自身の力でMASを構築し、実践的に学ぶことのできる機会を創出することができた。これからMASを学ぶ初学者の方や、MASを教材として利用する立場の指導者の皆さまにとって、本稿で紹介した取り組みが少しでもヒントになれば幸いである。

参考文献

- [1] M. M. Waldrop, *Complexity: The Emerging Science at the Edge of Order and Chaos*, Simon & Schuster, 1992.
- [2] 山崎幸輔, 木村大希, 安田早希, 高田修汰, “生死を賭けた籠城戦シミュレーション—鳥取飢え殺し—,” 第15回MASコンペ, No. 12, 2015.
- [3] M. Miura, “Project based learning with multi-agent simulation in liberal arts education,” In *Proceedings of the 3rd International Conference on Applied Computing & Information Technology*, pp. 242–247, 2015.
- [4] 構造計画研究所, MAS コミュニティ, <http://mas.kke.co.jp/> (2017年5月1日閲覧)
- [5] 山影進, 『人工社会構築指南』, 書籍工房早山, 2007.
- [6] 兼田敏之, 『artisoc で始める歩行者エージェントシミュレーション—原理・方法論から安全・賑わい空間のデザイン・マネジメントまで—』, 書籍工房早山, 2010.
- [7] 三浦政司, 櫻間一徳, “マルチエージェントシミュレーションをはじめよう,” *システム/制御/情報*, **61**, pp. 169–174, 2017.
- [8] サメー小魚モデル配布ページ, <http://m-miura.jp/mas/shark-fish/> (2017年5月1日閲覧)
- [9] E. Adams and J. Dormans, *Game Mechanics: Advanced Game Design*, pp. 63–68, New Riders Press, 2012.
- [10] 鳥海不二夫, 山本仁志, “マルチエージェントシミュレーションの基本設計,” *情報処理*, **55**, pp. 530–538, 2014.
- [11] 三浦政司, 前波晴彦, “Game-Based Situation Prototyping による協働型モデリングの提案,” 計測自動制御学会社会システム部会第12回研究会論文集, pp. 40–43, 2017.
- [12] Y. Nambu, M. Miura, R. Yoshizawa, T. Hagihara, S. Kimura, A. Yumiyama and S. Igarashi, “Study on requirements analysis and management of Nanosatellites with open model-based collaboration tool,” *Transactions of the Japan Society for Aeronautical and Space Sciences, Aerospace Technology*, **14**(30), pp. 15–24, 2016.
- [13] 三浦政司, 南部陽介, “協働型システムモデリングツールを用いたシステム設計に関する実践教育,” 平成28年度工学教育研究講演会講演論文集, pp. 162–163, 2016.
- [14] BALUS β版, <http://app.balus.me> (2017年5月1日閲覧)