

マルチエージェント・シミュレーション技法を初学者に習得させる試み: Windows 版 KK-MAS 利用の経験から

鈴木一敏・山影進¹

はじめに

社会科学系マルチエージェント・シミュレーション(mas)は現在のところ、ごく小さなニッチしか持っておらず、ごく一部の研究室で若手の研究者を中心に試行錯誤的に使われているだけである。しかし、われわれの周囲の乏しい経験を踏まえただけでも、mas は研究面で有用なだけでなく、教育面でも有効な技法である可能性が高いことが窺われる。

しかし、国際関係論はもちろん社会科学全般でも、mas 技法を専門分野の一技法として教える授業は管見の限りでは見あたらない。われわれ自身や周囲の mas に関心を持った院生は、構造計画研究所が用意した Windows 版 KK-MAS のマニュアルの第 1 章を参考にしながら、基本的に「独学」で技法を習得していった。マニュアルでモデル構築の見本となっているのは、1 匹のカメを動かすことから始まり分居モデルの原型を完成させるまでの最も基本的なソフト操作方法を解説した第 1 章である。第 2 章は、関数などのレファレンス・マニュアルになっている。利用者の間からは、こうしたマニュアルの内容から、実際にルールを記述することへの難易度の変化についていけないとの声があがっていた。mas を研究に用いようとする者は、たとえ既存のマニュアルに不満でも、何とか「使える」まで試行錯誤を繰り返すだろう。しかし、mas を教育用に用いるためには、mas への入り口を広くし、自分で mas のモデルを作成するまでの敷居を低くする必要があることを痛感していた。そして、mas 利用の裾野を広げるためには、一段一段の段差が少ない入門教科書を用意することが先決であると考えられるようになった。

mas 入門教科書作成には、われわれの考える入門プログラムに対して初めて mas 技法に触れることになる学生がどのような反応を示すか知る必要がある。そこで、東大駒場キャンパスで 2004 年度の夏学期に、mas 技法を初学者に教えるコースを開講

¹ 東京大学大学院総合文化研究科。

* 本稿は、日本学術振興会科学研究費補助金学術創成「マルチエージェント・シミュレータによる社会秩序変動の研究」(課題番号10115959代表 山影進)による研究成果の一部である。

することにした。本稿は、その入門コースの紹介を兼ねての自己評価である。²

なお、mas 技法の講習用のソフトウェアは、現在開発中の JAVA 版 KK-MAS ではなく、開発済みでわれわれが「くせ」を大体知っている Windows 版 KK-MAS を用いた。

1. マルチエージェント・シミュレーション技法に触れるまで

① 対象

上述のように、従来の大学院生を対象にした授業から、今回初めて、学部生をも対象にした。東京大学教養学部後期課程学生（3,4 年生）を主たる対象としつつ、大学院生の初学者も大学院の授業科目として履修できるようにして、次のような授業紹介を行った。

社会秩序の生成・変容というマクロな問題について、ミクロなレベルからアプローチするマルチエージェント・シミュレーションという技法を用いて理解を深めてもらう。全くの初学者を想定して、授業を進める。特に予備知識を必要としないが、関心ある学生は必ず初回の授業に出席すること。

こうしてみると素っ気ない文章であるが、執筆時には、プログラミングの授業と誤解されないように、ということが最も気になった。それはともかく、約 30 人ほどが初回の授業に顔を出した。

② 概要紹介(第 1 回、第 2 回講義)

我々はマルチエージェント・シミュレーションについて漠然としたイメージしか持っていない学生を想定していた。(そしてほとんどの参加者が実際にそうであった。)そこで、初回と 2 回目の授業では、実際にどのようなモデルが作られているのか、そしてそうしたモデルをどのような様にして作るのかを見せることにした。

初回の授業は、いわばウィンドーショッピングであった。教室にきた人がどれだけ真剣に、また、どのような分野に興味を持っているか分からないため、間口を広くとつ

² 本稿の共著者である山影は授業を開講し、鈴木がその授業の TA の取りまとめ役を務めたが、他の TA である光辻克馬、山本和也、阪本拓人、保城広至の 4 氏に謝意を表す。

た。授業ではまず、KK-MAS で作成したモデルをいくつか実際に動かして見せた。参加者がマルチエージェント・シミュレーションに対して持つイメージを限定してしまわないため、紹介するモデルは、題材、ルール面で特定のタイプのものに偏らないよう注意して選んだ。³

デモをするに当たっては、単純なルールを実行するエージェントが集まることによって秩序が生まれる点を強調した。分居モデル(全体で見ると、個々が望むよりも明確に分居してしまう)や交通渋滞(渋滞が徐々に後ろにずれてゆく)などが好例に思える。

一通り見終わったあと、簡単なモデルを実際にその場で作成し、単純なルールから複雑な模様が描かれる様子を見せた。KK-MAS を開いた状態から、エージェントを作成し、「初めにランダムに方向を決め、一直線に進む」というルールを設定した。そしてこの操作から、一点から波紋のように広がる多数のエージェントの動きを表現した。技術的な説明は最小限に抑えた。

初回は敢えて間口を広くとったのに対して、第 2 回授業の冒頭では、授業で学ぶ mas の技法が最終的にどのような形で社会科学の研究に役立ちうるのかという例を示した。第一回授業の参加者の多くが国際関係論を専攻していたので、阪本によるスーダンの内戦モデル⁴を詳細に紹介した。

また、簡単なモデルとフローチャートを用いて、個々のエージェントの動作がルールとしてどのように表現されるのかを具体的に説明した。参加人数と PC 所有の状況をおおよそ確認できたところで、ノート・パソコンを所有している者は第三回授業には持参するように指示した。なお、参加者には、下記のような概要紹介を配布した。

趣旨：国際秩序（世界全体、地域）を念頭に置いたマルチエージェント・シミュレーション(mas)の体験ならびに KK-MAS 技法入門(初学者向け)。プログラミング技法の習熟が不要なソフト(KK-MAS)があるので、実質（国際秩序の mas 的モデル化）に専念できる。

³ 分居モデル、オオカミとヒツジ、交通渋滞、遊園地、避難、文化変容、勢力均衡、魚雷ゲーム等。これらのモデルは、<http://www2.kke.co.jp/mas/> もしくは山影進・服部正太（編）『コンピュータのなかの人工社会』（共立出版、2002）に付属する CDROM から入手可能である。

⁴ 本ワーキングペーパーシリーズ No.4 「仮想国家における内戦の再現：スーダンの事例を中心に」 参照。

レベル1：既存のサンプルモデルを動かす。パラメータを変えてみながら、秩序の生成・崩壊を実際に「体験」する。

レベル2：既存モデルのエージェントの行動ルールを覗いてみる。パラメータだけでなく、エージェントをめぐるロジックにも注意を払う。少しルールを変えてみる。

レベル3：エージェントの行動ルールだけでなく、「ワールド・ルール」にも注目する。ワールド・ルールを変えてみる。

レベル4：mas の発想法に慣れたら、自分の関心のあるテーマをモデル化し、実際にルールを作ってみる。

レベル x. 5：上の各レベルで、「エージェント・プロパティ」や実行環境、出力環境を変えてみる。

第1週：イントロ(1)– mas のいろいろ、個・相互作用・全体を概観する

第2週：イントロ(2)– mas とはどんなものか、KK-MAS 導入準備

第3– 8週：mas の発想法に慣れる、KK-MAS に慣れる

第9– 13週：KK-MAS で mas を実行する

参考書：山影進・服部正太（編）『コンピュータのなかの人工社会』（共立出版、2002）。

③ 機器の準備とサンプルルールの実行(第3回)

第3回の授業では、機器の準備を行い、サンプルルールを自ら動かしてもらった。

最終的な参加者は26人であった。その多くは国際関係論を専攻する学部3–4年生と国際関係・人間の安全保障プログラムの大学院生であったが、広域システム等に所属する学生も数名いた。参加者の殆どはプログラミングやシミュレーションソフトを利用した経験が無かったが、概して通常のPC操作には慣れていた。

殆どの参加者がノート型パソコンを持参したが、持参可能なノート型パソコンを持っていないと申告した参加者もいたため、予備のパソコンを用意し、希望者には貸与した。

構造計画研究所の許可を得て、KK-MAS 本体のインストーラーおよび単純なサンプルルール集のCDROMを作成し、各自が使用するノート型パソコンのハードディスクにコピーした。CDROMは数枚用意し、順番に使用してもらった。CDROMドライブが付いていないPCを持参した場合はUSBメモリを利用した。

ファイルのコピー後、各自インストールしてもらったが、ほぼ何の問題もなく正常にインストールを終了した。一部、ルールエディタの入力支援機能が出ないなどの問題が生じたが、上書きインストールすることで解決された。全体としてみても、予想していたよりもかなり短い時間(約 20 分)で作業を終えた。サンプルルールの実行についても問題なく行われていた。

2. マルチエージェント・シミュレーションらしさの導入

① 毎回の授業のテーマ

第 4 週からはルール記述の方法を解説した。授業は、文法書のようにルールを順に説明するのではなく、「エージェントが動く」、「周りの状況を知る」、といった動作ごとに分類した。詳しくは後述するが、これはプログラミングを覚えるだけでなくマルチエージェント・シミュレーションの発想に慣れ易いよう配慮した結果である。また、「動くエージェント」や「周りの状況を知るエージェント」など目に見える成果が毎回残り、学習者が自分でモデルを作る際に参考にしやすい点も重視した。どうしても覚える必要がある基本的な文法事項は、各回に散りばめるようにした。毎回の授業は、以下のような内容で行った。⁵

・ エージェントを動かす(第 4 回、第 5 回)

自分の X 座標、Y 座標の値を変更することで移動する方法、組み込み関数を使って前進する方法をとりあげた。文法事項としては、実行順序の解説、ツリーの設定の仕方、二次元表示の設定の仕方、if 文、Direction 変数、ランダム・切り捨て・四捨五入などの使い方が含まれている。周囲の状況を参照しないタイプの基本的な移動に関しては、ここで作成したルールをコピーまたは応用すれば事足りる様に意識した。

・ エージェントが周りを見て、状況に応じて行動を変える(第 6 回、第 7 回)

組み込み関数を用いて周囲のエージェントの数を数える方法、その数によって周囲の空きスペースに移動する方法をとりあげた。文法事項としては、変数の種類とルール内での宣言、コントロールパネル・グラフの表示といった内容が含まれている。周囲の状況を参照する最も容易な方法と、前回覚えた移動の方法、組み込み関数を用いた

⁵ なお、詳しくは巻末資料を参照のこと。

移動方法を組み合わせる事を基本的な目的とした。周囲を参照するにはコレクション関数を使う方法もあるが、これは比較的難易度が高いと思われたので少し先(第10回、第11回)に延ばした。

- ・ world でエージェントを生成し配置する(第8回)

world のルールで特定の数のエージェントを生成し、ランダムに配置する方法、空間に順に並べる方法など、シミュレーション開始時にエージェントの配置を行う際の常套手段をいくつか紹介した。なお、文法事項としては、for next 文を含んでいる。

- ・ エージェントが属性をもつ、属性が変わる(第9回)

個別のエージェントが持つ文化や性格を、文字列型変数を用いて表す方法を中心に据えた。文字列型変数の操作や、変数によってエージェントの色を変える方法なども織り交ぜた。属性を持つこと自体は既に説明してあった変数(整数型、実数型)でも可能だが、文化や性格などを複数桁の文字列で表すという方法は、文化の伝播などを表現したいときによく用いられるうえ、文字列型変数の取り扱いとは他の変数型に比べて少し特殊なので、ここでまとめてとりあげた。

- ・ エージェントが仲間の属性をさぐる(第10回、第11回)

周囲のエージェントの状態を参照する方法をとりあげた。具体的には、コレクション関数を用いてある条件に当てはまるエージェントのリストを作る、そのリスト中のエージェント(特定、全て)について情報を参照するなどの操作をする、リストの内容を操作する(自らを取り除く)といった際によく用いられる書き方をとりあげた。

- ・ エージェントが記憶をもつ(第12回)

エージェントに過去の行動の記録を持たせる時などに配列を使う方法をとりました。配列の参照の仕方や設定の仕方など、決まり文句的なよく用いられる方法を知ること、その応用が出来るように注意した。

以上のように、マルチエージェントシミュレーションらしさの導入では、既存のモデルを参考に、移動、生成、認識、属性変化、記憶など、よく使われる行動を記述する決まり文句を抽出して、ある行動をとらせたいときには、どの様に設定したらよいのかを解説した。以上で講義は一通り終わりとして、最終回はデモとこれからの学習の手引きとした。

3. 学習とサポート

① 講義の構成と自宅学習

各週の講義では、まずその回で必要となる文法事項(条件文、変数の型など)を説明したあと、それを用いた例題を提示して具体的に説明した。そして、それを用いて、その回のテーマに即した練習問題を授業中に解いてもらった。

毎週、その日に習った事項をおさらいするための宿題を出した。内容は簡単なものにしたが、一部それでは退屈と感じる参加者もいたので、やや工夫の必要な問題も上級者向けと明記した上で併記した。次の授業の冒頭で簡単に解説を加えると同時に、web 上に解答例を掲載した。

なお、授業の際には 5 名の TA がつき、各 4~5 人を指導した。受講者は講義中に一旦ついて行けなくなると混乱しがちである。特に初心者では些細な書き間違いをすることも多く、モデルが動かない事に気をとられて授業を聞き流してしまうこともしばしば生じた。TA はこうした事態を防ぐために躓いている受講者を手助けした。また、書き上がったルールの確認も行った。同じ事を表現するのに、人によってルールの書き方が異なる場合も多く、一つ一つ確認する必要がある、負担が大きかった。

② 期末レポート

授業最終回はデモとサポートを行った。具体的には、今後も学習を続けるための道しるべとして、マルチエージェント・シミュレーション関係のウェブサイトや書籍を紹介した。また、その後の最終的な目標、研究に役立てられる発想を育ててもらうため、デモも行った。期末レポートの課題も、同様の理由から、以下の様にどのようなモデルが可能なのかを考えて貰うものにして、最終回の 1~2 週間ほど前に、あらかじめ以下のような課題を印刷し配布しておいた。負担が過大となるおそれがあったので、課題 2 の提出は任意とした。このため課題 1 の提出者 16 名のうち、課題 2 も提出したのは 2 名にとどまったが、のちにモデル送付してくれた受講者もいた。

期末レポート課題

課題 1 (全員提出)

国際社会は、主権国家の上に上位主体が存在しないため、多数の主体どうしの相互作用が秩序のあり方を決め

るという点で、マルチエージェント・シミュレーションを適用するのに適している社会です。国際社会において、マルチエージェント・シミュレーションによって分析すれば興味深いと思われる現象をひとつ提案しなさい。

それについて、(1) 個々の要素（国家、民族集団、政策決定者、軍隊、ゲリラ、多国籍企業など）はどのような振る舞いをするのか、(2) 個々の振る舞いはどのようなマイクロ・レベルの相互作用になるのか、(3) それがどのようなマクロな様相を生み出すのか、を想像しなさい。なお、同一タイプだけではなく、異なるタイプの主体間相互作用でも構いません。

以上を、2000字程度にまとめなさい。その際、必ず、内容を適切に表す表題を付けなさい。学年、学生証番号、氏名は冒頭に記しなさい。

国際社会の例を思いつかない人は、他の社会（人間社会一般、動物社会、植物社会など）や生物学、化学、物理学などにおける「複雑系」の例について、上のような作業をしなさい。

課題2（任意）

課題1で提起した現象の予想（または、それを単純化したもの）を、実際に KK-MAS でモデル化して、予想通りの結果が出たかどうか吟味しなさい。

提出方法

課題1は MS-Word ファイル（またはテキスト・ファイル）で作成し、課題2は MAS モデルについては .abs ファイルで、考察については MS-Word ファイル（またはテキスト・ファイル）で作成し、**鈴木宛**（ktoshi@yf7.so-net.ne.jp）に「課題提出」という表題のメールに添付して提出しなさい。締切は、9月1日正午とします。

4. 参加者の反応

① アンケート

第七回の授業が終了した時点で、授業の進行スピードと課題の量等についてアンケートを実施した。授業は添付した資料の通りに進めたが、進度や課題の量に関しては適切か少し多すぎたようである。

また、最終回にも、冬学期以降もマルチエージェント・シミュレーションの授業に対する授業があるか知るために、簡単なアンケートを行った。開講されても履修しないと答えたものが4名、もう一度初級の授業を希望したのが2名、中上級の授業を希

毎回の進度	速すぎる 4	丁度良い 15	遅すぎる 0
課題の量	多すぎる 2	丁度良い 17	少なすぎる 0
説明の仕方	良い 12	普通 7	悪い 0

望したものが5名いた。また、中上級の授業を希望したもののうち3人は、自分でモデルを作るワークショップでも良いとしている。

② 授業中の所見

* よく見られたミス

初心者が犯しやすい間違いのパターンがいくつか見られた。以下、授業中に実際に見られた例を織り交ぜながら紹介しておきたい。

- ・ 「=」 と書くべき所で「=」と書いてしまうミス。殆どの場合 if 文の条件文の中で代入演算子である「=」を「イコール」という普段の意味で用いてしまうことによって起きていた。
- ・ 実数の除算の仕様が多少複雑であるため、学習者が誤った使い方をしてしまう。Windows 版 KK-MAS では、たとえば $10/3.0$ と記述すれば実数の商($3.3333\cdots$)が返されるが、 $10/3$ では3が返される仕様となっている。ある距離 a の半分を進みたい場合に「`_forward(a/2.0)`」ではなく「`_forward(a/2)`」と記述してしまったり、「特定範囲中にて、エージェント種 A が占める割合」を求めるために「範囲内の A の数/特定範囲内にいる全エージェントの数」とする場合に分母を整数型で定義してしまうなどして、意図しない値を求めてしまう例も後を絶たなかった。
- ・ 意識せずに整数型に実数型を入れてしまう。既に行ったルールを書き直す際などによく見られた。
- ・ ツリーで定義されている変数名と同じものをルール内で宣言し(仕様では可能)、自らが混同してしまう。
- ・ if と end if の数が合わない。if が多ければ警告が出るが、end if の方が多いとフリーズしてしまうことがある。
- ・ ルール中の綴りのミス。KK-MAS の特徴の一つは、日本語の変数名や関数を定義できることであるが、全角と半角を間違えて使ってしまうなど、日本語が使えるこ

とが逆に徒となる場合もあった。

これらのミスに共通して言えるのは、不注意から基礎的な文法の決まり事を破ってしまっているという事である。学習者本人も場所を指摘されれば問題が把握できる場合がほとんどであるので、余程注意しない限りこうしたミスは無くならないかもしれない。ただ、こうしたミスが実際にどの程度の問題を引き起こすかについては、KK-MAS の仕様に依存するところが大きかった。

まず、変数名などの綴りを間違える、end if を付け忘れるといったミスでは、ルールを実行しようとした際に問題箇所が KK-MAS によって指摘されるため、殆どの場合学習者が自ら解決していた。文法的な決まり事を一通り学習したあとであれば、たとえミスをしたとしてもほとんど問題にはならなかった。

一方、end if が多すぎた場合や、無限ループを書いてしまった場合には、KK-MAS 自体がフリーズしてしまうため、問題箇所が分かりにくく、苦勞している場面も見られた。プログラム側で何らかの対処が必要だろう。

しかし、より深刻なのは、ルールを間違えて記述していてもそのまま動いてしまう場合である。if 文の条件文の中に意図せずに代入文を書いてしまう場合などは、常にそのブロック文ルールが実行されることになり、当人は気づかぬまま間違った結果を得てしまう。今後、より広い層に KK-MAS を普及させるのであれば、初心者が間違いやすい点については警告するなど、意図しない形のまま動いてしまうことを避ける工夫が望まれる。上記の点については、JAVA 版 KK-MAS の開発段階からフィードバックしており、文法チェックの充実とデバッグ機能の追加などの形で、かなりの改善が期待される。

* PC 操作

参加者の殆どは通常の PC の操作に慣れており、KK-MAS のインストールや操作について問題は見られなかった。また、プログラミング経験のある参加者が数名おり、マルチエージェント・シミュレーションに触れるのは初めてにもかかわらず、初回からマニュアルを参照しながら自らモデルを作成している者もいた。

KK-MAS のユーザーインターフェイスは、他のアプリケーションソフトと近いため、ルール記述以外のほとんどの操作(マップやコントロールパネルの設定等)は感覚的に出来てしまうように見えた。唯一、Windows 版 KK-MAS はルールエディタが右クリックに対応していないため、ルールを切り貼りする場合にはショートカットキーを用いる必要があった。普段ショートカットキーを利用していない参加者は苦勞していたが、

この右クリックについても JAVA 版 KK-MAS では改善されている。

5. 考察

新たな言語を覚える時には、二種類のアプローチがあるように思われる。必要な文法事項の網羅的解説を目的とした文法書アプローチと、状況ごとによく使われるパターンを例示する会話集アプローチである。今回の講義は、会話集のアプローチによって初心者マルチエージェント的発想とルール(プログラムではなく)の書き方を学んでもらう試みであったとも言えるだろう。そこで、今回のアプローチの良かった点、悪かった点などをまとめておきたい。

今回は、エージェントにとらせたい行動をもとにして講義内容を構成した。このため、各講義の練習問題や例題、宿題で作成したルールをコピーして組み合わせることで、自らのモデルを作成を容易に行うことができるという利点があるだろう。

また、「for 文をネストしてエージェントを敷き詰める」、「コレクション関数と `_GetObject` を使って特定の条件に当てはまるエージェントを操る」、といった実際に良くある使い方のパターンの中で文法事項を教えることで、細かな文法規則でなく、ルール作成の技法に焦点を当てることが出来た。

必要な文法規則はできる限り散りばめて、毎回の授業で習う規則が少なくなるようにした。毎回の授業で何らかの新しい成果(ある行動をするエージェント)が残るようにしたことと併せて、学習者の意欲を保つのに役だったように思う。

一方で、問題となりうる点もある。たとえば、あとから特定の文法事項を参照したい時には不便だろう。教科書にするのであれば、文法事項の索引を付ける、類似した事項をまとめてコラムにして説明する、など工夫する必要があるだろう。

また、既にプログラミング経験のある受講者からは、基本的な記述の規則を早い段階で教えて欲しかった、といった意見もあがった。こういった人には、KK-MAS のルール記述の仕様が簡潔にまとめられた文法書、もしくはマニュアルの方が良いのかもしれない。

さらに、今回は文法規則の細かな点は敢えて強調せずに、思い描いたイメージをルールにする事の方に焦点を当てた。このことが、不注意から基本的な文法規則ミスの多さに影響しているかもしれない。ただ、文法規則に焦点をあてる場合には、学習意欲との兼ね合いも考える必要があるだろう。

もちろん、細かな文法規則も覚えなければならないのは事実である。しかし、今

回の講義によって、初心者が Windows 版 KK-MAS の利用法を学ぶ上で苦勞する点が具体的に見えてきた。ここから得られた知見は、文法規則、エラーチェックの項目、よく使う関数の組み込み関数化といった形で JAVA 版 KK-MAS の開発にフィードバックしている。

今後、KK-MAS そのものが改善されることによって、初心者が躓きやすい部分が実行前にチェックされるようになる予定である。それにつれて、初心者の力を注ぐべき対象は、細かな文法事項を間違えずに書くことから、思い描くエージェントの行動をどの様にルールにするかという問題に移ってゆくことだろう。そうなれば、入門用の教科書は、より会話集的アプローチに近づく余地があるものと思われる。

KK-MAS の進歩と、こうした教科書とのコンビネーションによって、イメージをルールにするための技術的敷居を引き下げることが出来ると考えている。そうなれば、たとえ初級の利用者でも、個々の行動と秩序の関係という、より本質的な部分に力を注ぐことが出来るようになるだろう。