

実測データに適合するマルチエージェント環境の構築

Construction of Multiagent System Fitting to the Observed Data

大竹 麗央*

1 はじめに

社会や経済の研究において、シミュレーション技法を用いた研究は古くから行なわれてきたが、近年の飛躍的な計算機技術の発展によって、計算機上に社会や経済のモデルを構築し、シミュレーションを実行することが可能となった。これに伴って、集団から個々の主体に立ちかえり、エージェントと呼ばれる個体が集団としてどう振る舞うかに着目してモデルを構築する、エージェントベースモデリングと呼ばれる手法がとられるようになった [1, 2]。エージェントベースモデリングによって構築されたマルチエージェント環境においてシミュレーションを行なうことの利点は、理論に基づいて対象が記述できるだけでなく、シミュレーションの実行によってその理論の検証が可能な点にある。

エージェントベースモデリングでは、モデルが定常状態に収束するように、エージェントの持つ属性の値（パラメータ）を調整し、望ましいマルチエージェント環境を構築する。そのため、構築したマルチエージェント環境でシミュレーションを行い、最終的に形成されたモデル社会をもとにパラメータの良し悪しを評価している。

本研究では、定常状態に収束するだけでなく、その定常状態に至るまでのダイナミクスも再現したマルチエージェント環境を構築する。モデルの対象となる社会で実際に観測されたデータを利用し、逆シミュレーション手法によってそのデータに適合するようにマルチエージェント環境のパラメータを調整する。このようにして構築されたマルチエージェント環境は、従来のもの比べて実際の社会の挙動をより忠実に再現できると考えられる。

2 逆シミュレーション手法を用いたエージェントベースモデリング

エージェントベースモデリングでは、次の手順でマルチエージェント環境を構築する。

- (1) 理論や知見をもとに、社会のモデルを構築する。
- (2) パラメータの初期値を設定して、シミュレーションを実行する。
- (3) 望ましいシミュレーション結果が得られるまでパラメータを手動で調整し、シミュレーションを繰り返す。

しかし、設定すべきパラメータが多くなればなるほど、手動での調整は大変となる。この問題点を解消する方法として、倉橋らは「逆シミュレーション手法」を用いたパラメータの自動調整方法を提案している [3]。逆シミュレーション手法によるマルチエージェント環境の構築は、以下の手順で行われる。

- (1) 理論や知見をもとに、社会のモデルを構築する。
- (2) シミュレーション結果に対する評価関数を決定する。
- (3) 評価関数を目的関数としてシミュレーションを実行する。
- (4) 得られたパラメータを評価する。

(2)における評価関数には、モデル化する社会の特徴を表す指標を用いる。この指標を「マクロ社会指標」と言う。マクロ社会指標には、その社会についての先行研究によって導出されたものが多く採用されている。

また、(3)では、遺伝的アルゴリズムを用いてパラメータの自動調節を行なっている。設定するパラメータは「社会遺伝子」という形で「社会遺伝子プール」に多数格納されている。シミュレーションを繰

*西田・黒橋研究室所属, mail: leo@kc.t.u-tokyo.ac.jp

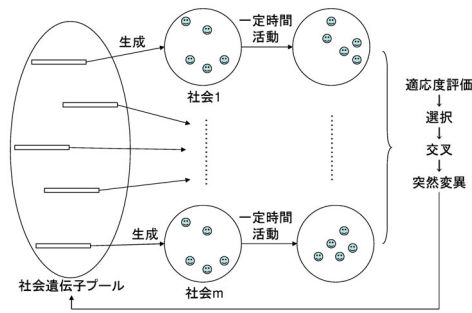


図 1: 遺伝的アルゴリズムを用いたパラメータ調整

り返すことで、望ましいマルチエージェント環境を構築できるような社会遺伝子が社会遺伝子プールの中に出現する (図 1)。

遺伝的アルゴリズムを用いたシミュレーションの流れは次のようになる。

- (1) 社会遺伝子プールから複数の社会を発生させる。
- (2) 各社会において、与えられた社会遺伝子をもとにパラメータの初期値を決定する。
- (3) 一定期間エージェントが活動を行い、評価関数をもとにその結果を評価する。
- (4) その評価をもとに、社会遺伝子は適応度評価→選択→交叉→突然変異という処理を施され、社会遺伝子プールに帰される ((1)に戻る)。

ただし、(4)における適応度は、モデル化したい社会におけるマクロ社会指標とシミュレーション結果におけるマクロ社会指標の差が小さいほど、高い値となるように決定される。

3 実測データとの差分和に基づくモデルの適合度

エージェントベースモデリングにおいて、構築したモデルに対する評価は、一定期間エージェントが活動した後の定常状態を対象として行なっている。しかし、最終的な定常状態が同じであっても、その状態に至るまでの過程が違えば、モデルとしては異なることになる。例えば、電子コミュニティについてのモデルで、「最終的にコミュニティが活性化する」という定常状態は同じであっても、最初から徐々に活性度が上がっていくモデルと、一度活性度が下がってから活性度が上がるようなモデルは、異なるモデ

ルとして区別されるべきである。そのため、定常状態だけでなく、どのような経過を経て定常状態に収束したかについてもモデル化できれば、より実際の社会や経済を模したマルチエージェント環境が構築できることになる。

また、モデル化したい社会の社会的指標値は、設計者が任意に与えている場合が多いが、これについては、モデル化したい社会において実際に観測されたデータを用いることで、より実際の社会や経済を模したマルチエージェント環境が構築できることになる。

以上をふまえ、本研究では、実際に観測されたデータを利用して、構築したモデルに対する評価を行ない、その評価を遺伝子操作における適応度に反映させる。これにより、その形成過程も実測データと適合するようなマルチエージェント環境を構築することを狙う。

適応度は、マルチエージェント環境が出力したシミュレーションデータの時系列が実測データの時系列と近いほど高い値となるようにする。あるステップ t における実測データ、シミュレーションデータから計算されたマクロ社会指標をそれぞれ d_t , x_t とするとき、シミュレーションデータの適応度は次式で定義される。

$$fitness = - \sum_t \left(\frac{x_t - d_t}{\sigma_t} \right)^2$$

ただし、 σ_t は正規化のための定数である。本研究では $|x_t - d_t|$ の (理論上) とりうる最大値をもって σ_t とする。

4 実験

提案手法の有効性を検証するため、ウェイター問題 [4] での実験を行なった。ウェイター問題は立食パーティを題材としたもので、客とウェイターという 2 種類のエージェントがいる。ウェイターは会場をまわり、飲み物を要求している客がいれば、近くに行って飲み物を渡す。客は、飲み物を持っているときはそれを消費し、持っていないときはある確率でウェイターに飲み物を要求する。

ウェイター問題における社会遺伝子は、客の性格を表す次の 4 つのパラメータとした。

- ・ 飲み物の消費速度 v_d
- ・ 移動速度 v_s
- ・ 飲み物要求確率に関する属性 p_1, p_2

ただし、各ステップにおいて客が飲み物を要求する確率は、飲み物を飲み終えてからのステップ数を t とするとき、 $\min(1, p_1 + p_2 t)$ で与えられ、一度飲み物を要求したら、ウェイトが飲み物を持って来るまでずっと飲み物を要求し続ける。また、同一社会においては、すべての客が同じパラメータを持っているものとしている。

マクロ社会指標としては、シミュレーション中の各ステップにおける次の3つの値を用いる。

- ・ 飲み物を要求している客の平均待機ステップ数
- ・ 飲み物を要求している客の数
- ・ ウェイトが提供した飲み物の数

5 結果および考察

社会数 10, エージェント数 113 (客 100, ウェイト 13), 1 シミュレーションあたりのステップ数 500 にて、実測データに提案手法を適用した¹. 100 世代後、用意した 3 つのマクロ社会指標の時系列変化は図 2, 3, 4 のように進化した (いずれも最も適合度の高いものを表示している)。いずれのマクロ社会指標についても、観測データにおける時系列変化に近づいていることが分かる (実際、1 世代目と 100 世代目の適合度は表 1 のようになる)。

しかし、100 世代目のシミュレーション結果と観測データの間にはまだ隔たりがある。この原因の 1 つとして、適合度の算出方法が単純であることが挙げられる。観測データとの差を単純に合計するだけでは、データが時系列にどのように変化しているかを追従しているとは言えない。

時系列変化を追従する方法としては、1 回のシミュレーションにおける全ステップをいくつかの区間に分割し、それぞれの区間において線形回帰をとることが考えられる。回帰係数を求めることで、その区間においてデータが増加傾向、減少傾向、停滞傾向、発散傾向²のいずれにあるかが判断できる。この傾向

¹ここでは、シミュレータによって人工的に作成したデータを用いた。

²線形回帰が妥当でない、すなわち線形回帰における決定係数が小さい場合。

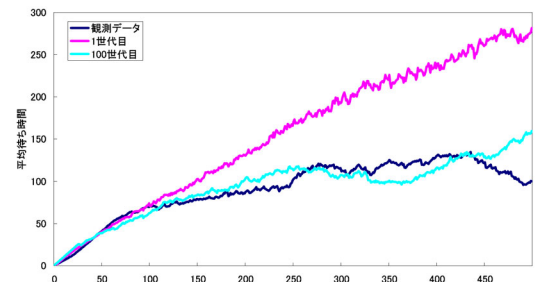


図 2: 平均待機ステップ数の推移

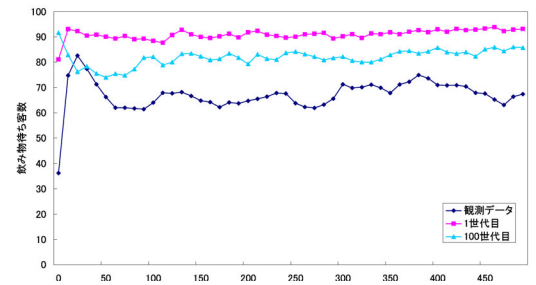


図 3: 飲み物待ち客数の推移

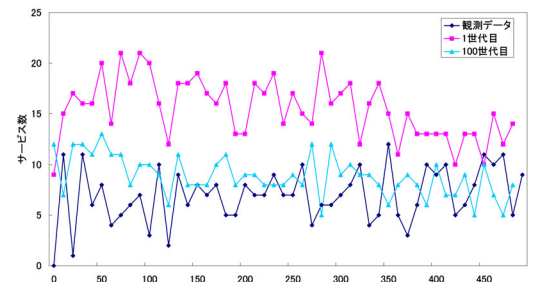


図 4: 提供された飲み物数の推移

が、観測データとシミュレーションデータでどれだけ一致しているかを調べればよい。このような手法の改良、および本手法の有効性を検証することは今後の課題である。また、より大規模なデータに対して本手法を適用することも必要であると考えられる。

表 1: 適合度の比較

	待機 step 数	待機客数	飲み物数
1 世代目	-28.87	-0.300	-0.044
100 世代目	-4.98	-0.141	-0.008

6 まとめ

本研究では、観測されたデータを利用し、そのデータと時系列的な推移が出来るだけ一致するようなマルチエージェント環境を構築するための手法について提案した。

謝辞

本研究を進めるにあたり、有益な助言をくださった松村真宏氏に感謝します。

参考文献

- [1] 山影進, 服部正太: コンピュータのなかの人工社会, 共立出版, 2002.
- [2] J. M. Epstein, R. Axtell: *Growing Artificial Societies*, Brookings Institution Press, 1996.
- [3] 倉橋節也, 南潮, 寺野隆雄: 逆シミュレーション手法による人工社会モデルの分析, 計測自動制御学会誌 Vol. 35, No. 11, pp. 1454-1461, 1999.
- [4] 大竹麗央, 西田豊明: 利己的な異種エージェント間の協調のためのソーシャルルール, *JAWS2003*, 2003.