



仮想世界から現実を観る

寺野 隆雄 研究室～知能システム科学専攻



寺野 隆雄 教授

人は社会の中で他者と関わり合いながら生活しており、人々のつながりは社会現象に大きな影響を与えている。

寺野研究室では、人々のつながりと社会の関係に着目した社会シミュレーションの手法であるエージェント・ベース・モデリング (ABM) を用いて、社会システムを中心にさまざまな分野の研究を行っている。

本稿では、ABMの仕組みと利点、さらにABMの活用例として貨幣創発に関する研究を紹介する。



エージェント・ベース・モデリングとは

我々の住んでいる社会では、通勤ラッシュや価格競争といった、人々の関わり合いに起因するさまざまな現象が起きている。先生はそのことに興味をもち、社会の構成員同士の関わり合いについて考えることのできるエージェント・ベース・モデリング (ABM) という手法を用いて長年研究を行ってきた。

ABMを用いたシミュレーションを行うときには、コンピュータ上に仮想世界を構築する必要がある。この仮想世界は、エージェントとワールドの二つからなっている。

エージェントは実社会の構成員にあたる存在である。各エージェントは内部状態、意思決定能力、通信能力を備えている。内部状態とは各エージェントが個別にもっている変数のことで、実社会の構成員における個性にあたるものである。意思決定能力とはエージェントが自身の行動を決定する能力のことであり、通信能力とは他のエージェントと情報のやりとりを行う能力のことで、これによってエージェントは他のエージェントの内部状態の一部または全部を参照できる。

内部状態は意思決定能力および通信能力と深く

関わり合っている。エージェントは意思決定に内部状態を利用する。その結果、選択された行動の影響を受けて内部状態が変化する場合がある。また、通信能力によって他のエージェントの内部状態を参照し、自らの内部状態を変化させる場合もある。

エージェントに対して、ワールドは流行や秩序などの実社会の状況にあたるものである。これにより、各エージェントがとり得る行動の選択肢が定められる。また、ワールドはエージェントの行動によって変化することがあり、それに伴って各エージェントのとり得る行動の選択肢が変化することもある。

ABMを用いたシミュレーションには他の手法によるシミュレーションにはない三つの特長がある。一つ目の特長は、実社会によく似た設定のもとでシミュレーションを行えるということである。エージェントとワールドの関係は、社会の構成員と社会状況の関係を模している (図1)。実社会では、人々の行動によって社会状況が生みだされ、構成員は社会状況を考慮して行動する。ABMによるシミュレーションでは、エージェン

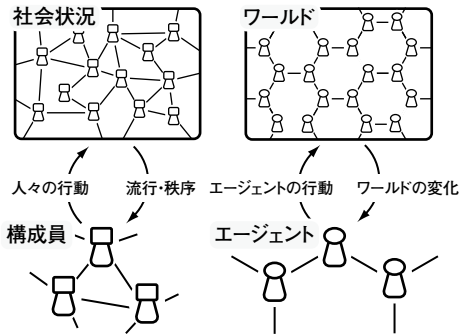


図1 ABMと実社会の類似性

トが行動することでワールドが変化し、それによってエージェントの行動の選択肢が変化する。このように、社会状況と構成員、ワールドとエージェントは同じように影響を及ぼし合う。そのため、エージェントとワールドの設定を適切に行えば、実社会によく似た構図のもとでシミュレーションを行うことができる。ABMの仮想世界と実社会がよく似ているため、ABMを用いたシミュレーションの結果から導かれる考察は実社会においても有用であると先生は考えている。

二つ目の特長は、社会全体の傾向だけでなく、個々の構成員がとる行動も調べられるということである。一般的な社会シミュレーションの手法では、社会の構成員がとる行動の傾向を確率で表現した確率モデルというものを用いて社会現象を近似的に表現する。その際、構成員のとりうる選択肢一つひとつに対して、構成員全体の何割がその選択肢を選ぶかを設定する。したがって、確率モデルにもとづく社会シミュレーションでは、構成員一人ひとりが実際にどのような選択肢を選んだのか調べることはできない。一方、ABMを用いたシミュレーションでは、エージェント一つひとつの行動について観察できる。よって、ABMは構成員一人ひとりの行動が密接に関わるような社

会現象について調べるのに適していると言える。

三つ目の特長は、エージェント同士のつながりに注目できるということである。エージェント同士のつながりとは、互いに通信能力を用いて内部状態を参照できる関係のことである。この特長により、ABMを用いたシミュレーションによる考察は、構成員同士のつながりが重要だと考えられる現象の研究を行う際には非常に有用であると言える。

エージェント同士のつながりに注目できることのメリットについて、具体例を用いて考える。ある高校において、選挙で生徒会長を決めることになったとする。この高校では、まず立候補者全員を被選挙人とする一次投票を行い、その後得票数上位の二名で決選投票を行って生徒会長を決める。選挙の結果、一次投票ではAが得票数一位に、Bが得票数二位になって決選投票に進んだものの、決選投票ではBが当選したとする。

選挙の結果についてシミュレーションを用いて考察しようとするとき、確率モデルを用いると投票者一人ひとりが実際にとった行動について調べることができない。そのため、一次投票と決選投票で結果が異なった理由を、確率モデルでは説明できない。一方、ABMを用いた場合、各エージェントが通信能力や意思決定能力をどのように使ったのか調べることができる。例えば、あるエージェントは第一次投票ではAに投票したが、他のエージェントと情報交換を行い、その結果決選投票でBに投票した、といったことがABMを用いれば調べることができるのだ。このように、ある現象が起きた理由についてエージェントの行動をもとに考察できる。

以上に挙げた三つの特長から、ABMでは実社会を模した設定によるシミュレーションが可能となっている。

貨幣創発の謎を解く

先生はABMを用いたシミュレーションによってさまざまな分野の研究を行っている。そのうちの一つである貨幣創発についての研究を紹介する。

貨幣創発とは、特定の財がお金として利用されるようになる現象のことである。ここでいう財とは物々交換において取引されるもののことを指

す。物々交換を行っている全ての人が、特定の財を他の全ての財との交換の対象にできると認識したとき、この財がお金として使えるようになる。

貨幣創発は人々の間で物々交換がなされていく過程で自然に起きると考えられている。先生は人々のつながりが貨幣創発の自然発生に関わっ

ているのではないかと考えた。そこでエージェント同士のつながりについて考えることができるABMを用いて、貨幣創発が自然に起きるかどうかにあつての研究を行った。

ABMを用いたシミュレーションを行うにはエージェントとワールドを適切に設定する必要がある。先生はまず、物々交換の中から貨幣創発が起きるといふ仮説をもとに、エージェントとワールドを設定する上でどのような要素が必要になるかを考えた。

一般に、物々交換の中から貨幣創発が起きる過程は以下のようなものだと考えられている。人々は欲しいものを手に入れるために物々交換を行うが、自分の提示した交換条件に合う相手がいないければ交換できない。そこで人々は、誰もが欲しいがるようなものを所持しておこうと考える。需要のあるものを持つておくことで、物々交換で自分の欲しいものを手に入れられる可能性が高くなるからだ。このようにして、物々交換の過程で誰もが欲しいがるようなものが、何とでも交換できるもの、すなわちお金になるのである。

この過程を踏まえて、先生は貨幣創発のシミュレーションに必要な要素を三つにまとめた。一つ目は、エージェント同士のつながりを客観的に観察できるようにするということである。この要素が必要な理由は、先述のように、貨幣創発には物々交換における人々のつながりが関係すると先生は考えたからだ。そこで、今回の研究ではエージェント同士のつながりを表すネットワークを設定した(図2-左)。

二つ目の要素は、ある財が何とでも交換できる

という認識を、誰がもつていて、誰がもつていないのか客観的にわかるようにすることである。これは貨幣創発が起きたかどうかを判断するためのものだ。この研究では、どの財の組み合わせが交換可能なものなのかという認識を内部状態として各エージェントに与えることにした。これは、各エージェントが認識している交換可能な財の組み合わせをリンクさせたネットワークの形で表される(図2-右)。このネットワークを内部ネットワークという。

貨幣創発が発生したかどうかを確かめるには、各エージェントの内部ネットワークにおいて、他のすべての財と直接リンクしている財があるかどうかを調べればよい。もし、すべてのエージェントで共通してこのような状態になっている財があれば、それは他の全ての財と交換できると誰もが認識している財、すなわちお金になっていると言えるのである。

最後の要素は、エージェントのもつ内部ネットワークが変化するようにするということである。このようにするのは、エージェントの行動を、人間の思考を模したものにすることを、人間の思考に模したものにすることで、よりよいシミュレーションが行える。

物々交換における人間の思考には三種類あると考えられる。その三つとは、交換の組み合わせを思いつく、周りから学習する、忘れる、というものである。交換の組み合わせを思いつく、というのは内部ネットワーク上のリンクを一定の確率で増やすことで再現できる。同様に、忘れるというのは既に内部ネットワーク上にあるリンクを減らすこ

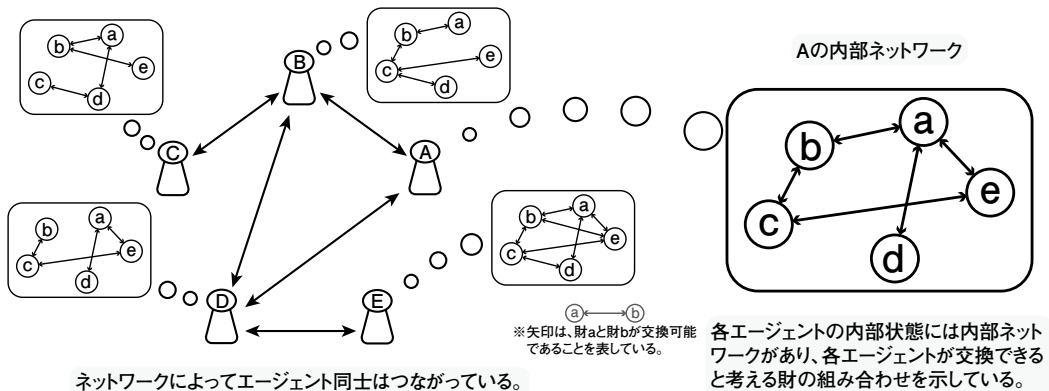


図2 エージェント同士のネットワークと内部ネットワーク

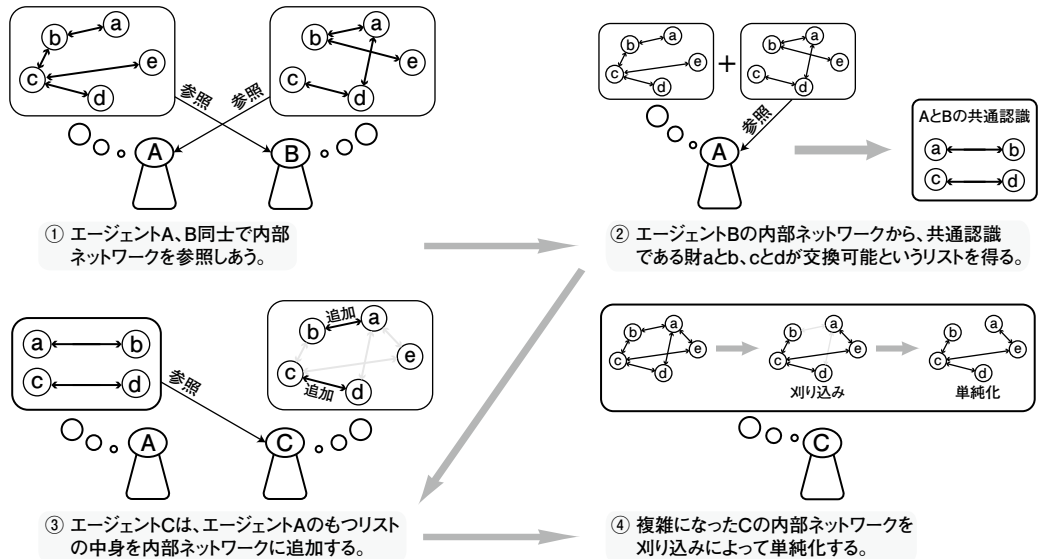


図3 模倣と刈り込み

とで再現できる。周りから学習する、というのはエージェントの通信能力を用いて模倣という処理を行わせることで再現できる。

模倣の手順は次の通りである(図3)。まず、つながっている二つのエージェントが、通信能力を用いて相手のもつ内部ネットワークを互いに参照する。次に、双方のネットワークで交換できるとされている財の組み合わせが存在していた場合、その組み合わせのリストを作成する。最後に、リストを作成した二つのエージェントのどちらかにつながっている別のエージェントが、リストを参照し、自身のネットワークにその情報を組み込む。

模倣を繰り返していくことで、各エージェントの内部ネットワークにあるリンクの数が増えていく。また、認識しているエージェントの数が多い財の組み合わせほど、模倣によって情報が渡されやすくなるため、その組み合わせの情報がよく拡散すると言える。

模倣という処理を行うようにすることで、エージェント同士の関わり合いからエージェントの内部状態の変化が起きるようになった。しかし、これだけでは人間の思考を再現したとはいえない。模倣による学習だけでは内部ネットワークが複雑になる一方である。これは、思考する上で複雑なものを単純化しようとする習性をもつ人間を模したものだとは言えない。この習性を再現するために、内部ネットワークに対して模倣に加えて刈り

込みという処理を行うことにした。内部ネットワークにおいて、ある財からある財へとリンクを辿っていくとき、複数の経路を取ることができる場合がある。その場合は、経路が一つになるように内部ネットワーク上のリンクを消すというのが刈り込みである(図3-右下)。刈り込みにより内部ネットワークは単純化され、より人間の思考に近くなる。模倣によって追加されたばかりのリンクが前からあったリンクと区別されることはないで、リンクが模倣によって追加された後、すぐに刈り込みによって消えてしまうこともある。

先生は、エージェントとワールドに対し、以上に述べたような要素を組み込んだ設定をした。その上でエージェントの数やそれらのつながり方、財の種類の数を変えながらシミュレーションを行った。それにより、どんな設定においても特定の財がお金として使われるようになるという結果が得られた。このことから、貨幣創発は物々交換の中から自然に起こるということが導かれた。

この研究成果を利用して、ポイントの一極集中現象についても説明できると先生は考えている。ここでいうポイントとは、特定の会社のサービスを利用すると貯まっていき、貯まったポイントを利用する際に現金の代わりとして使うことができるというものである。また一極集中現象とは、ポイントの種類は多いにもかかわらず、特定の種類のポイントばかりが利用

されるようになるという現象のことだ。

一極集中現象が起きる上で大きな役割を果たしているのは、ポイントサイトと呼ばれる Web サイトの存在である。このサイトでは、利用者はある会社のポイントを、一定の比率で別の会社のポイントと交換することができる。ポイントサイトにはさまざまな種類があり、サイトごとに交換できるポイントの組み合わせが異なっている。また、利用者が知っているサイトの種類もまちまちである。つまり、利用者ごとに認識しているポイント交換の組み合わせが異なっていると言える。この状態から、利用者同士でサイトの情報がやりとり

されることにより、ポイント交換に関する認識が変化していく。そして、特定の会社のポイントに交換する利用者が増え、最終的に特定の会社のポイントばかりが使用されるようになり、一極集中現象が起きるのである。

この現象においても、構成員は他の構成員と情報をやりとりしながら認識を変化させていき、結果として一つのものがどんなものでも交換できるという新たな価値をもつ、といった構図がある。これは貨幣創発の構図とよく似ているため、ABMによってこの一極集中現象が説明できると先生は考えている。

寺野研究室と ABM

これまで述べたように、先生は ABM を用いてさまざまな現象の解明を行っているが、世界的に見てもこの手法を用いている研究者は稀である。なぜなら、ABM は確率モデルなどに比べ歴史が浅いため、まだ論拠としての信頼性に欠けるとされているからである。それにもかかわらず、先生は ABM が有用な手法だと考えて研究を進めてきた。その理由は二つある。

一つは、ABM はさまざまな分野の研究に用いることが可能だからである。確かに、ABM を用いたシミュレーションをする際には、エージェントとワールドを設定しなければならないという制約がある。しかし、ABM はそれらを設定することさえできればあらゆる分野において活用できるのである。

このことを活かして、寺野研究室では分野を問わずさまざまな現象について ABM を用いた研究を行っている。その例として、貨幣創発の研究の他に、ゆとり教育に関する研究がある。寺野先生は、ゆとり教育や詰め込み教育などを再現したシミュレーションを行うことで、ゆとり教育は詰め込み教育に比べ生徒の成績の格差が大きくなりやすいということを示した。

もう一つの理由は、社会の構成員である個人を考慮したシミュレーションを行うことができるからである。近年、個人がインターネットなどで情報を収集、発信できるようになったために、古くからある社会制度が実社会の状況に対応できなくなることが多くなってきた。例としてウィキリークスという Web サイトが挙げられる。これは、人々が匿名で政府などがもつ機密情報を投稿するサイトである。インターネットが普及する以前は、政府などが公表しない限り機密情報が明らかにされることは少なかったが、今日では個人がウィキリークスなどに投稿できるため、機密情報を機密性を保ったまま保持することが難しくなってきた。

このように、個人が情報を収集、発信することで、自身や周囲の人々の行動に影響を与えていき、最終的に社会全体に影響を及ぼしているが、現行の古い社会制度ではこの状況に対応しきれていない。個人の影響を考慮した社会制度を作る上で、ABM がその一助となると先生は考えている。

以上の理由から、ABM はこれからの社会にとって有用であると先生は考えている。先生の研究がこれからの社会に良い影響を及ぼしていくことを期待したい。

取材では、記事で取り上げた内容以外にも興味深いお話をたくさん伺うことができました。末筆になりましたが、度重なる取材やメールに真摯に応じてくださり、また記事執筆の上でさまざまな

助言をしてくださった寺野先生に感謝いたします。今後の先生の研究、ならびに ABM の発展をお祈り申し上げます。

(阪元 優汰)