

«論文»

コミュニケーション競争モデルと合理性

高橋伸一夫
桑嶋健正
玉田樹

I. はじめに

いわゆるマルチエージェント・シミュレーション (multi-agent simulation) においては、複数の「エージェント」が、それぞれのルールに基づいてコンピュータ上の空間で行動する。各エージェントのルール自体は簡単なものでも、多数のエージェントが互いに影響を与え合いながら行動すれば、個別エージェントの行動を積み上げた全体では、予測もできなかったような複雑な動きをするようになる。本稿の目的は、実際の企業の研究開発プロセスに関する調査研究から着想したマルチエージェント型のシミュレーション・モデルを用いて、集団の形成プロセスを分析することにある。その際、いわゆる合理的行動をルール化した「合理モデル」と合理性を逸脱した「徘徊モデル」とを対比させることにより、従来の経営組織論では合理性の陰で看過されてきた人間行動のもつ意味に光を当てるとともに、シミュレーション分析のもつ可能性についても示すことにしよう。

マルチエージェント・シミュレーションは、複雑系 (complexity) の分野で、遺伝的アルゴリズムやカオス理論と並んで 1990 年代に注目を集めようになつた (e.g., Epstein & Axtell, 1996; Thomas & Seibel, 2000)。日本でも、生天目 (1998) や有田 (2000), 谷本・藤井 (2001) などの研究があり、寺野・倉橋 (2000) は、こうしたマルチエージェント・モデルの研

究を手際よく整理している。マルチエージェント型のシミュレーションに使用されてきたソフトウェアは、

- (a) 汎用の計算ソフト……Mathematica (Gaylord & D'Andria, 1998) など
- (b) 専用のシミュレータ……Swarm (米国 SantaFe 研究所), StarLogo (Resnick, 1997), KK-MAS (桑嶋他, 2004; Kuwahshima *et al.*, 2005; 稲水, 2006) など

に大別されるが、最近では (b) のような専用シミュレータの進歩とともに、それを使った研究が増えてきている。

しかし Thomas & Seibel (2000) のように、マルチエージェント型のシミュレーションを実用的に使ってサウスウェスト航空 (Southwest Airlines) の貨物オペレーションを改善することに成功したような OR 的な研究例は非常に少ない。ほとんどの研究は、人工社会のような比較的抽象的なモデルを作って、そこから様々な洞察を引き出すことを目指している。たとえば Epstein & Axtell (1996) は、エージェント (蟻) が食べる食糧 (砂糖) を配置した空間を人工社会に見立てた Sugarscape と呼ばれるモデルを分析して、交配、文化、戦争、疫病といった様々なインプリケーションを引き出している。

本稿でも、ある意味でコミュニケーション自体を餌とし、より多くの「アイデア」とコミュ

ニケートできるようなポジションを求めて移動するエージェントをモデル化した組織間競争モデルが分析される。このモデルは「コミュニケーション競争モデル」と呼ばれ、もともとは桑嶋・高橋(2001)によって、医薬品の研究開発プロセスの調査から着想されたものである。本稿でいうところの「合理モデル」については、Kuwashima, Takahashi, & Tamada (2005),あるいは医薬品の研究開発にもっとひきつけた桑嶋・高橋・玉田(2004)によって既に分析が行われている。本稿では、桑嶋他(2004)の「合理モデル」のシミュレーションのプロセスを詳細に再検討することで、均衡とロックインのもつ意味を吟味するとともに、これとは別に、合理性を逸脱したエージェントによって構成される「徘徊モデル」を構築し、両モデルのシミュレーション結果を対比して、合理的ではない人間行動のインプリケーションについて考察する。

II. コミュニケーションと イノベーション研究

まず、経営学においてコミュニケーションがどのように取り扱われてきたのか、イノベーション、研究開発との関係で整理しておこう(桑嶋, 2002)。経営学でイノベーションに関する体系的な研究が始まったのは、1960年代後半のことである。当初はイノベーションの包括的な成功要因を探る「グランド・アプローチ」が一般的であったが、1970年代後半からは、イノベーションのある特定の側面に焦点を絞った「フォーカス・アプローチ」が台頭してきた。その一つが、Allen (1977) を嚆矢としたコミュニケーション研究である。

Allen (1977) は、「コミュニケーションが研究開発のパフォーマンスを向上させる」という予想を立て、研究開発組織におけるコミュニケーションの実態調査を実施した。その結果、パフォーマンスの高いプロジェクトでは、低いものに比べて、プロジェクト内でも、プロジェ

クト・メンバー以外の社内同僚との間でも、コミュニケーション回数（接触量）が多いことがわかった。しかしこれはパフォーマンスの高いプロジェクトはそれだけ研究開発に多くの時間を投入しているために起こる現象で、投入時間当たりのコミュニケーション回数とパフォーマンスとの間には有意な関係は見られなかったのである。

そこで Allen は、外部とのコミュニケーションがパフォーマンスに結びつかないのは、各研究所や組織にはその組織固有の考え方や文化、あるいは用語などがあり、その違いがセマンティック・ノイズとなり、コミュニケーションを阻害するためではないかと考えた。ここでセマンティック・ノイズ (semantic noise) とは、コミュニケーションをとっている当事者間に共通概念が欠如していることが原因となって生じる「意味上の雑音」のことであり、解釈ミスを引き起こすと考えられている。とはいえ、研究所にとっては外部からの情報は必要不可欠である。そこで、研究所における技術者集団のコミュニケーション・ネットワークを詳細に調べたところ、集団のなかには、集団内の誰とでも何らかの形で接触している「スター」的な人間がいることが明らかとなった。こうして、組織にはコミュニケーションのキーとなるスター的な人間、「ゲートキーパー」(gatekeeper) が存在し、彼らが外部の情報と接触する頻度は、他の同僚とは明らかに異なっていることが見出されたのである。ここでゲートキーパーとは、直訳すれば「門番」のことであるが、経営学では、組織や企業の境界を越えて、その内部と外部を情報面からつなぎ合わせる人間のことを指している。さらに Allen は、このゲートキーパーが、一般の技術者と比べて、高度の技術専門誌を含めた読書量が圧倒的に多いということも明らかにしたのである。よりわかりやすくいえば、ゲートキーパーは、組織内の誰とでも何らかの形で接触しているいわばスター的な存在であるとともに、組織外部との接触もきわめて多い人間だったのである。

以上のこと整理すると、ゲートキーパーを中心とした次のような技術情報の流れが想定できる。

- ・ゲートキーパーは、外部と頻繁に接触することにより、外部情報を獲得する。
- ・ゲートキーパーは、高度な専門誌の内容をよく理解し、そうした情報を一般の技術者にわかりやすいように変換し、説明する。

こうして、組織内の一般技術者は、ゲートキーパーを介することで、セマンティック・ノイズに煩わされることなく、外部の最新の技術情報を獲得できる。

では、こうした重要な役割を果たすゲートキーパーとは具体的にどのようなプロフィールをもった人たちなのであろうか。ゲートキーパーと一般の技術者とを比較して、Allenはゲートキーパーの特徴として次の3点をあげている。

- ① ゲートキーパーは高度の技術達成者である。
- ② ゲートキーパーの大半は第一線の管理者である。
- ③ 技術系の経営者は、ちょっと気をつければ誰がゲートキーパーであるかを正確に見分けることができる。

ここで注目すべきは③である。実は、Allenが詳細なコミュニケーション調査の結果としてゲートキーパーであると判断した人と、マネジメントに対して「誰がゲートキーパーですか?」と質問して返ってきた答とは、90%以上一致していたのである。Allenおよびその後の関連研究より、ゲートキーパーの存在は研究開発のパフォーマンスにプラスの影響を与えるという結果が得られているが、経営者がこのようなゲートキーパーに報いるためには、骨をおってコミュニケーション調査まで行う必要はなく、多少組織内のコミュニケーションに敏感であればよいのである。

このAllenが提示した「ゲートキーパー」

という概念は、その後の多くの研究者を刺激し、研究開発組織を対象としたコミュニケーション研究が多数行われた。日本でも原田(1999)の研究などがある。そして、イノベーション研究それ自体は、コミュニケーション研究を含めた「フォーカス・アプローチ」に続き、1980年代半ばからは、特に製品開発のプロセスを詳細に分析する「プロセス・アプローチ」が台頭することになる。

プロセス・アプローチが生まれるきっかけとなった研究を行ったのが、竹内・野中(1985)である。この研究では、企業の競争力の源泉を探る視点から、新製品開発プロジェクトの事例分析を行い、スピードと柔軟さを同時に要求される製品開発においては、従来型の逐次段階的ないわゆる「リレー型」ではなく、プロジェクトのフェイズをオーバーラップさせた「ラグビー型」の方が有効であると主張した。

この研究の流れを受け継ぎ、野中らと同様に企業の競争力と製品開発プロセスに焦点を当たながら、製品開発組織パターンとパフォーマンスとの関係について世界的な規模で定量的な実証分析を行ったのが、Clark & Fujimoto(1991)である。Clark & Fujimotoは、自動車産業を対象とした実証分析より、製品がもつ多様な製品属性の全体的な調和・一貫性を指すプロダクト・インテグリティ(product integrity)が重要な自動車の製品開発における有効な組織パターンの一つとして、「重量級プロダクト・マネジャー」制度を提示した。ここで重量級プロダクト・マネジャー(heavy weight product manager; HWPM)とは、製品のインテグリティを高めるために、部門間調整(内部統合)と製品コンセプト推進(外部統合)の二つの機能を兼ね備えた、強力なリーダーを指す。HWPMは、製品コンセプト作成の責任者でありながら、生産、営業、設計現場への影響力も強い。当該プロジェクトに関しては、各機能部門長よりも強い権限をもっており、単なる調整役にとどまらず、自らが創造したコンセプトをもとに、製品全体を強力にまとめ上げる。その

具体的なプロフィールとしては、「マルチリンク（設計、実験、工場など多様な組織間の橋渡しのために各組織の“方言”に熟達）」、「マルチディシプリン（幅広い知識ベース）」などがあげられ、高いコミュニケーション能力を背景として組織内外を統合する。

このように、経営学のイノベーション研究領域で言及される「ゲートキーパー」(Allen, 1977) や「重量級プロダクト・マネジャー」(Clark & Fujimoto, 1991) のようなコミュニケーション能力の高い「大エージェント」の存在が、クラスターと呼ばれる集団の形成にどのような影響を与えるのかを調べるために、最初、シミュレーション・モデルは構築された。

III. コミュニケーション競争モデル

1. モデルの概要

それでは、桑嶋他(2004), Kuwashima *et al.* (2005) にしたがって、まずは「コミュニケーション競争モデル」(communication competition model), 略して「ComCom モデル」について記述しよう。本稿では Swarm のコンセプトを継承し、なおかつ Swarm では必要だった Objective C 言語の知識がいらないシミュレータである KK-MAS (KK-Multi Agent Simulator)¹⁾ を使用する。このモデルの基本的なルールは簡単である。すなわち、

- ① エージェントは、より多くの「アイデア」とコミュニケーションできるようなポジションを求めて移動する。(このことでエージェントは単独でいるよりも、クラスターに参加することを選好する。)
- ② 複数のクラスターが存在する場合には、エージェントは、より多くの「アイデア」とコミュニケーションできるクラスターの方を選択する。(このことで、複数のクラスターが衝突した場合には、勝敗が生まれる。)

このようにある意味でコミュニケーション自

体を「餌」としている競争モデルにおいて、クラスターはどのように形成されてくるのか。そして、「大きな」エージェントを投入することでクラスター形成にどのような影響が現れるのか、ということが主たる問題関心となる。ここで「大きな」エージェントとは、文字通りサイズの大きなエージェントなのであるが、これが一般的にコミュニケーション能力の高いエージェントを意味することに注意してほしい。なぜなら、大きなエージェントは、より多くのエージェントと接触ができるようになるので、より多くのエージェントと直接コミュニケーションできるからである。この大きなエージェントは、前述の「ゲートキーパー(GK)」(Allen, 1977) や「重量級プロダクト・マネジャー(HWPM)」(Clark & Fujimoto, 1991) のコミュニケーション能力面をイメージして着想されている。

こうした単純化はシミュレーション分析につきものではあるが、批判を受ける短所にもなっている。しかし他方、現実世界では、たとえば研究開発や製品開発組織を対象として、組織化（組織の立ち上がり）プロセスを観測・測定すること自体がそもそも難しいし、ましてや、他の条件を一定とした上で、ある変数、ここでは「高いコミュニケーション能力」が組織化プロセスに与える影響を分析することはさらに難しくなる。ここに、コンピュータ・シミュレーションによる分析の意義が存在する。簡単なルールに則って行動するエージェントの中に、コミュニケーション能力の高い「大きな」エージェントを投入することで、

- (a) クラスター間の競争にどのように影響するのか。
- (b) クラスターの大きさ、コミュニケーションはどのように変化するのか。
- (c) 大きなエージェントはどのような役割を果たすのか。

という点にまずは着目して、シミュレーションを行ってみよう。

2. モデルの仕様

前述のように、ComCom モデルは、もともと桑嶋・高橋(2001)によって、医薬品の研究開発プロセスの調査から着想されたものなので、各エージェントは研究員のような主体で、「赤」「青」どちらかの研究テーマに従事していると仮定している。そこで、同色の二つのエージェント A と B の間がすべて同色のエージェントでつながっている時、それをパスと呼び、A と B は「コミュニケーション可能」とする。このとき、エージェント A から B に到達するまでに経由するエージェントの個数を「パス長」(path length) L と定義する。ただし、B 自体も数えるので、A と B が隣接している場合でも $L=1$ となる。また、いくつかパスがあった時には、そのうち最短のものをパス長 L と定義する。

次に、あるエージェントにとって、コミュニケーション可能な同色のエージェントの個数を $1/L$ で加重した合計個数を「有効アイデア量」(amount of effective idea) と定義する。ここで、 $1/L$ で加重するのは、パス長 L が大きくなるとアイデアのインパクトが弱まり、伝達にも時間がかかると考えられるためである。当然のことではあるが、同じクラスターに所属していても、そのクラスター内のポジションによって、エージェントの有効アイデア量の値は変わってくる。一般に、エージェントのポジションがクラスターの中央に近くなるほど、そのエージェントの有効アイデア量の値は大きくなる。

この有効アイデア量を使って、コミュニケーション競争モデルのルールを記述すると次のようになる。

- ① 各エージェントは、より大きな有効アイデア量を求めて移動する。
- ② 各エージェントが 1 期に移動できる距離は 0 または 1 である。
- ③ 各エージェントは距離 1 の範囲で他のエージェントをサーチする。逆にいえば、

距離 2 以上離れると、エージェントは他のエージェントを感知することはできなくなる。

- ④ 別の色のクラスターと接触したエージェントは、もし相手方に組した方が有効アイデア量が大きくなるのであれば乗り換える(つまり色が変わる)。

このルールの下では、エージェントはできるだけ大きなクラスターに参加することを選好するようになる。このルールは、桑嶋他(2004), Kuwashima *et al.* (2005) で使われていたもので、後の比較のために「合理モデル」(rational model) と呼ぶことにしよう。ただし、②③の性質から、本来は Simon (1957) の定義するような意味で、「限定された合理モデル」(bounded rational model) と呼んだ方が正確である。

こうした設定の下で、ComCom モデルでは、次の三つの指標が数値とグラフで表示される。

- ① 活動度 (activity rate): これは各ステップにおいて動いたエージェントの数を表したものである。 $t+1$ 期に出力される「活動度」は、 t 期のマップから $t+1$ 期のマップの状態に推移する際の活動量を表している。
- ② 合計有効アイデア量 (total amount of effective idea): これはクラスターを構成しているすべてのエージェントの有効アイデア量を合計したものである。格子モデルでは、クラスターの角で接触しているエージェントも同じクラスターの一員として扱う。
- ③ 平均クラスター規模 (mean cluster scale): クラスターを形成するエージェントの数をクラスター規模と呼ぶ。平均クラスター規模は、全エージェント数を「クラスター数」で割って求める。

既に述べたように、各エージェントは「赤」「青」どちらかの研究テーマに従事していると

仮定されているので、ここでは、大エージェントの効果を調べるために、大エージェントを「赤」テーマだけに投入し、「赤」テーマがエージェント獲得に有利になるかどうかを確認してみよう。ここで「大エージェント」とは、前述のように、より多くのエージェントと接触、すなわち直接コミュニケーションできる文字通り「大きな」エージェントである。ただし、大エージェントを投入したからといって、単純にクラスター内の他のエージェントの有効アイデア量が大きくなるわけではないことに注意がいる（桑嶋他, 2004）。

そこで、空間の設定として、種別を「格子モデル」、大きさを 20×20 、端点処理を「ループする」として、具体的に次の二つのケースを比較しよう。

【ケース 1】 長さ 1 の赤いエージェント 10 個、青いエージェント 10 個。

【ケース 2】 赤いエージェントは長さ 1 が 8 個に長さ 3 が 2 個の計 10 個、青いエージェントはケース 1 と同様に長さ 1 のものが 10 個。

ただし、クラスターの形成は、シミュレーション開始時のエージェントの初期配置に大きく影響される。KK-MAS のデフォルトでは、システムが勝手に乱数を発生させることになっているが、今回は、シミュレーションを行う前に、乱数シード値を KK-MAS の実行環境設定で指定してから行うこととする。具体的には、各ケースで乱数シード値を 1~30 まで 1 ずつ増やしながら計 30 回試行し、各試行で 300 期まで各期の「平均クラスター規模」「合計有効アイデア量」を記録することにした。

3. 合理モデルのシミュレーションの結果

こうした設定で行った桑嶋他(2004)のシミュレーションの結果は、次のようにになった。まず、当初、ケース 1 と比べれば、ケース 2 では、大エージェントを抱える赤陣営の方が青陣営に比べて競争を有利に進めると予想してい

た。ところが結果は、第 1 表の左側（合理モデル）のように、むしろ赤陣営の方が弱くなってしまった。300 期目の結果を比較すると、すべて小エージェントだけであったケース 1 の場合の、赤陣営のエージェントの平均個数は 10.07 個とほぼ 10 であったが、赤陣営の二つの小エージェントを大エージェント二つに入れ替えると、赤陣営の平均はかえって 7.70 個に低下してしまったのである。平均値の差は有意でこそなかったものの ($t = 1.633; p = 0.108$)、むしろ成績が悪くなってしまった。シミュレーションの経過を観察してみると、これは、大きなエージェントがすぐに相手方に寝返ってしまうことが原因であった。

結果 1a. ケース 1 と比べて、ケース 2 で、大エージェントを抱える赤陣営の方が青陣営に比べて強くなったことはなかった。むしろ傾向としては、赤陣営の方が弱くなっていた。

大エージェントの投入は勝敗には影響しないことがわかったので、次に赤陣営、青陣営にかかるらず、全体で見ることにして、各期における平均クラスター規模を 30 回の試行で平均して求めると、第 1 図のようになった。これによると、大エージェントを投入したケース 2 の方が平均クラスター規模は早く立ち上がる傾向にあることがわかる。ただし、300 期には、どちらのケースでも平均クラスター規模は 6 個強になっており、その差は縮まっている。つまり、大エージェントの投入により、より大きなクラスターが形成されるようになるのではなく、より速くクラスターが形成される傾向があることになる。

同様に、各期における合計有効アイデア量を 30 回の試行で平均して求めると、第 2 図のようになる。これによると、平均クラスター規模で見たときと同様に、大エージェントを投入したケース 2 の方が合計有効アイデア量は早く立ち上がる傾向がある。ただし、300 期には、どちらのケースでも合計有効アイデア量は 100 強になっており、その差は縮まっている。これ

第1表 300期目の赤エージェントの個数

乱数 シード値	合理モデル				徘徊モデル				
	ケース1		ケース2		大エージェント投入で 多数派が逆転	ケース1		ケース2	
	すべて 小エージェント	大エージェント 2投入	すべて 小エージェント	大エージェント 2投入		大エージェント 2投入	大エージェント 2投入	大エージェント投入で 多数派が逆転	
1	14	13				17	20		
2	8	2				17	0	赤逆転負け	
3	9	12	赤逆転勝ち			20	20		
4	13	4	赤逆転負け			20	20		
5	20	3	赤逆転負け			11	0	赤逆転負け	
6	20	8	赤逆転負け			20	0	赤逆転負け	
7	17	17				20	20		
8	14	2	赤逆転負け			0	0		
9	4	0				0	0		
10	10	10				17	0	赤逆転負け	
11	20	13				18	20		
12	6	12	赤逆転勝ち			0	0		
13	12	16				6	0		
14	0	4				0	20	赤逆転勝ち	
15	4	0				0	0		
16	9	4				0	0		
17	0	10				0	0		
18	6	4				20	20		
19	13	6	赤逆転負け			8	0		
20	20	8	赤逆転負け			20	0	赤逆転負け	
21	9	17	赤逆転勝ち			20	0	赤逆転負け	
22	8	8				0	20	赤逆転勝ち	
23	8	5				9	20	赤逆転勝ち	
24	13	0	赤逆転負け			12	0	赤逆転負け	
25	8	13	赤逆転勝ち			0	20	赤逆転勝ち	
26	9	15	赤逆転勝ち			17	20		
27	0	0				0	0		
28	13	8	赤逆転負け			0	0		
29	12	11				0	0		
30	3	6				0	0		
平均	10.07	7.70	赤逆転勝ち 5			9.07	7.33	赤逆転勝ち 4	
標準偏差	5.87	5.35	赤逆転負け 8			8.83	9.80	赤逆転負け 7	
平均値の差 等分散	$t=1.633$ $F=0.038$	$p=0.108$ $p=0.847$				$t=0.720$ $F=2.446$	$p=0.475$ $p=0.123$		

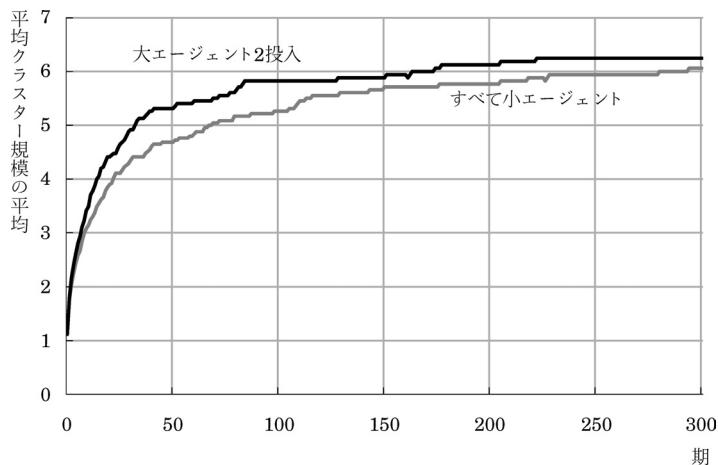
はクラスター規模を反映したものと考えられる。

結果2a. 大エージェントが投入されることで、ケース1よりもケース2の方が、より速くクラスターが形成され、合計有効アイデア量の立ち上がりが速くなる。しかし形成が速いだけで、最終的には、ケース1と比べてケース2の方が平均クラスター規模が大きくなるわけではないし、合計有効アイデア量が大きくなるというわけでもない。

4. 合理モデルの結果の再検討：均衡とロッキン

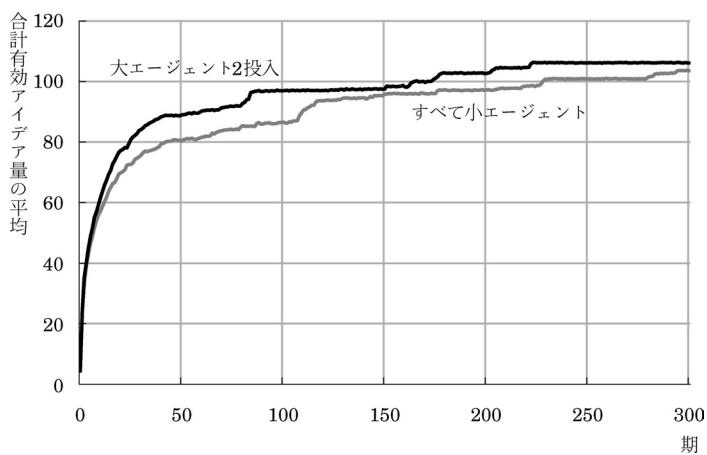
以上が、桑嶋他(2004)で報告されているシミュレーションの結果である。それでは、なぜ大エージェントの投入で、より速くクラスターが形成されるようになったのであろうか。そこで、シミュレーションのプロセスを詳細に再検討する作業が行われた。この結果、判明した理由は、当初予想していなかった大エージェントの意外な振る舞いにあった。実は、当初、ケース2では、大エージェントが核となって、そのまわりに、ケース1より大きなクラスター

第1図 合理モデル 平均クラスター規模の平均



出所) 桑嶋他 (2004) 図4

第2図 合理モデル 合計有効アイデア量の平均



出所) 桑嶋他 (2004) 図5

が形成されると予想していた。ところが実際には、大エージェントはほぼ常にクラスターの境界上に位置していたのである。より正確に記述すれば、大エージェントはほぼ常時、クラスターの表面に露出していた。

例外的だったのは、乱数シード値=12の試行のときだけで、大エージェントの周りを9個の小エージェントが取り囲むようにしてぐるぐる回る現象が観察された。しかしこの場合でも、正確には、大エージェントは露出していたことになるし、大エージェントを核にクラスターが形成されたというよりも、小エージェン

トが大エージェントの動きを封じていたと記述する方が正しい。そして、この乱数シード値=12の試行を除けば、大きなクラスターが形成されると、大エージェントはクラスターの中央ではなく、クラスターの境界上を、まるでアメーバの触手のようにクラスターから突き出るような動きをしながら周辺のエージェントをかき集めたために、クラスターの形成が速くなったのである。

結果3a. ケース2では、大エージェントはクラスターの境界上に位置して、ほぼ常時、

クラスターの表面に露出して周りをぐるぐる回り、まるで触手のような動きをしながら周辺のエージェントをかき集めていた。

活動度で見ると、ケース1のすべて小エージェントのケースでは、30試行のうち7試行（乱数シード値=6, 8, 12, 13, 14, 18, 23）、ケース2の大エージェント2投入のケースでは、30試行のうち6試行（乱数シード値=4, 9, 18, 19, 22, 28）が、300期になる前に、活動度が0になっている。つまり全20エージェントが活動を停止したのである。これは、エージェントが現在のポジションから移動するとかえって有効アイデア量が低下してしまうために、現在のポジションに留まり続けるために起こる現象で、「均衡」状態に対応している。

この場合、エージェントは局所最適なポジションで停止するわけだが、このことはナッシュ均衡の概念と密接に関係している。ナッシュ均衡では、たとえば、battle of the sexesのような簡単な行列ゲームでも、局所最適で複数均衡があり、こうした事実から出発して、近年のゲーム理論では均衡概念の refinement が中心テーマの一つになっていたことは良く知られており、最近の進化ゲームの議論の出発点にもなっている。さらに本稿のモデルのように、エージェントが動き回るマルチエージェントのシミュレーションの場合、行動空間が文字通りの「空間」になっていることに気が付ければ、ナッシュ均衡の場合、均衡点の定義は本質的に self-enforcing（自己拘束的）と同義であるので、それが「現在のポジション（=均衡点）に留まり続ける」という「停止」の現象になって現れることがわかる。

それ以外の試行では活動度は0にはならないが、その場合でもいくつかのクラスターは「均衡」に到達している。正確にいえば、「均衡」の概念はクラスターについてのもので、すべてのクラスターが均衡状態に達したときに、全体の活動度が0になるのである。整理がしやすい「すべて小エージェントのクラスター」

第3図 均衡状態のクラスターの形状例

クラスター規模	均衡状態のクラスターの形状例	形状が観察された乱数シード値の例
4		
6	(a) (b)	(a) 3, 8 (b) 9, 18
8		4, 5, 7
9	(a) (b)	(a) 20, 22, 26 (b) 3, 6, 15, 16
10	(a) (b)	(a) 5, 17 (b) 7, 10
13		4
15	(a) (b)	(a) 5 (b) 14
16		6
20		14

について、シミュレーションの観察結果を整理すると、第3図のようになる。クラスター規模が、4, 6, 8, 9, 10, 13, 15, 16, 20の場合には、均衡状態となるクラスターの形状が少なくとも一つは存在し、時間をかけてそのいずれかの形状に到達し、クラスターは「均衡」する。それに対して、クラスター規模が1, 2, 5のクラスターは常に形状を変えながら「ランダム・ウォーク」をすることになる。そのいずれでもない、クラスター規模が3, 7, 11, 12のクラス

ターは、活動度が0になるわけではないが、ある領域の範囲内にエージェントが封じ込められ「ロックイン」の状態になる。

もともとゲーム理論や心理学実験の世界では、Rapoport & Chammah (1965) に代表されるようにロックインの概念を使ってきており、それはプレイヤーの行動がある部分集合に封じ込められた（“lock in” の辞書的な意味での日本語訳）場合に使用されている。この考え方は、Arthur (1994) のロックインの概念とも同じで

第2表 合理モデル/ケース1（すべて小エージェント）のクラスターの分布（300期目）

乱数 シード値	クラスター規模（300期目）																				クラスター数
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	
1	3										1										4
2		1	1	1						1											4
3			1	1						1											3
4				1							1										2
5			1									1									2
6		1											1								2
7	2	1								1											4
8			2							1											3
9	1	1		1	1																4
10	2	1								1											4
11			1	1						1											3
12		2	2																		4
13	1			2																	3
14																	1				1
15	1			1	1																3
16	1				1	1															3
17	2	1								1											4
18			2						1												3
19	2	2	1																		5
20										1	1										2
21	2	2	1																		5
22	1	2								1											4
23	3			1																	4
24	1	3	1																		5
25	1				1	1															3
26	1	2								1											4
27										1	1										2
28	1	2		1	1																5
29									1		1										2
30	1					1	1														3

均衡

ロックイン

ランダム・ウォーク

活動度0

サイズ14, 17, 18, 19のクラスターは観察できなかった。

ある。本稿のモデルの場合、行動空間は文字通りの「空間」になっているので、エージェントの行動が行動空間の部分集合に封じ込められた場合、ロックインと呼んでいる。たとえば、

- ① クラスター規模 3 のクラスター……位置的に固定した 2×2 の 4 個のセルの範囲内で 3 個のエージェントが移動し続ける状態が続く。
- ② クラスター規模 7 のクラスター……位置的に固定した 3×3 の 9 個のセルの範囲内で、真ん中の 1 個のエージェントの周りを残り 6 個のエージェントが移動し続ける。
- ③ クラスター規模 11 のクラスター……位置的に固定した 3×3 の 9 個のエージェントの周りを残り 2 個のエージェントがうろつき続ける。
- ④ クラスター規模 12 のクラスター……位置的に固定した 2×2 の 4 個のエージェントの周りを、残り 8 個のエージェントがうろつき続ける。

これら以外の、クラスター規模 14, 17, 18, 19 のクラスターは、今回のシミュレーションでは観察できなかった。第 2 表では、ケース 1（すべて小エージェントのケース）の 30 試行すべてについて、300 期目でのクラスターの分布を整理している。この表からわることは、ランダム・ウォークのクラスターが 300 期たってもまだ残っている乱数シード値 = 2, 3, 5, 11, 24 の 5 試行については、300 期以降もさらにシミュレーションを続けると、別の状態に変化する可能性が残されていることである。しかし、それ以外の 15 試行については、たとえ活動度が 0 にならなくても、既にすべてのクラスターが「均衡」または「ロックイン」の状態にあり、これ以上シミュレーションを続けても、その状態は変化しないことになるのである。

IV. マルチエージェントが可能にする徘徊モデル

1. 合理モデル対徘徊モデル

すべてのクラスターが「均衡」または「ロックイン」の状態にあり、シミュレーションをそれ以上続けても状態が変化しないことは、はたして望ましい状態なのであろうか。そこで、シミュレーションの利点を生かして、いつまでたっても均衡しないモデルを作り、これまでの合理モデルと比較してみよう。これまでの合理モデルは、多少くどい表現をすると、次のようなモデルだった。

合理モデル (rational model): エージェントは、現在ポジションも含めて、移動可能なポジションの中で、もっとも有効アイデア量の高くなるポジションに移動する。

したがって、エージェントが現在のポジションから移動するとかえって有効アイデア量が低下してしまうときには、現在のポジションに留まり続ける現象が発生する。これが「均衡」をもたらす。それに対して、今度は次のようなモデルを考える。

徘徊モデル (wandering model): エージェントは、現在ポジション以外の移動可能なポジションの中で、もっとも有効アイデア量の高くなるポジションに移動する。つまり、移動可能な場所がある限り、必ず移動する。

徘徊モデルは、合理モデルに比べて、短期的には明らかに劣ったパフォーマンスしかもたらさないはずのモデルである。なぜなら、現在のポジションにとどまっていた方が、有効アイデア量が高くなるような場合でも、あえて現在のポジションを捨てて、他へと移動してしまうからである。実際、徘徊モデルのように設定すると、いつまでたっても活動度が下がらず（=いつまでたっても活動度が 0 になることはない）、均衡しなくなってしまう。そして、大きなクラスターがまるでアメーバのような動き方をする

ようになる。

そこで合理モデルのときと全く同じ条件で、徘徊モデルのシミュレーションを行ってみよう。シミュレーションの結果、合理モデル同様に、大きなエージェントを投入したことで、赤陣営が強くなったということはなかった。既に掲げてある第1表の右側（徘徊モデル）にも示されているように、300期目の結果を比較すると、すべて小エージェントだけであったケース1の場合の、赤陣営の平均は9.07個であったが、赤陣営の二つの小エージェントを大エージェント二つに入れ替えると、赤陣営の平均はかえって7.33個に低下してしまった。これは合理モデルと同じ傾向である。平均値の差は有意でこそなかったものの($t=0.720; p=0.475$)、むしろ成績が悪くなってしまったのである。実際、第1表からもわかるように、ケース1では赤陣営が過半数を占めていたにもかかわらず、ケース2になって赤陣営に大エージェント2個を投入した結果、赤陣営が逆に少数派になってしまったのは7試行にもなる。これは、ケース1で赤陣営が少数派だったが、ケース2になって赤陣営に大エージェント2個を投入した結果、赤陣営が逆転して多数派になった試行数4を上回っている。これも合理モデルと同様の傾向で、シミュレーションの経過を観察してみると、これは、大きなエージェント 자체

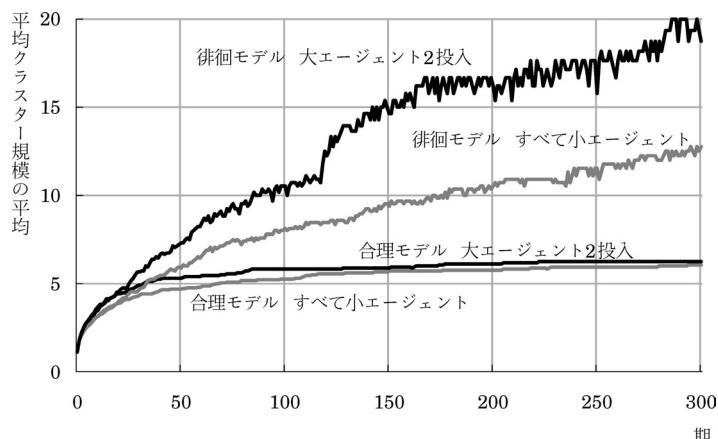
がすぐに相手方に寝返ってしまうことが原因であった。

結果1b. 合理モデルと同様に、徘徊モデルでも、ケース1と比べて、ケース2で、大エージェントを抱える赤陣営の方が青陣営に比べて強くなかったことはなかった。むしろ傾向としては、赤陣営の方が弱くなっていた。

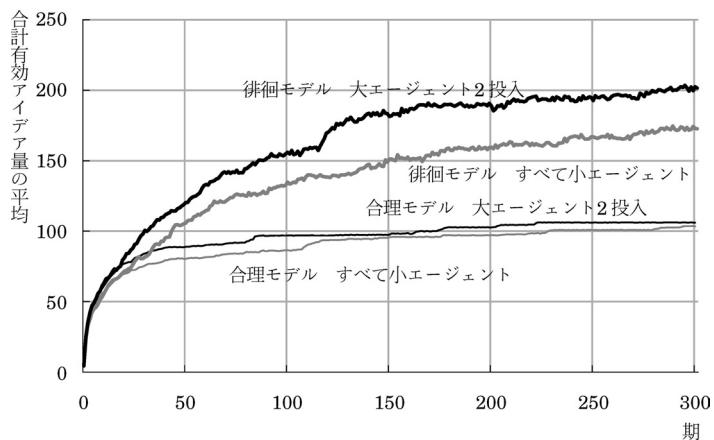
これで、合理モデル同様に、大エージェントの投入が勝敗には影響しないことがわかったので、赤陣営、青陣営にかかわらず、全体で見ることにして、各期における平均クラスター規模を30回の試行で平均して求めると、第4図のようになる。この図には比較のために合理モデルのときの第1図を重ね合わせてあるが、合理モデルと比較して、徘徊モデルの平均クラスター規模は圧倒的に大きい。300期には、合理モデルでは平均クラスター規模が6個強だったものが、徘徊モデルではケース1で12個強と2倍、さらにケース2では20個近くになっている。つまり徘徊モデルでは大エージェントを投入すると、初期配置にかかわらず、300期ではほぼ一つのクラスターに集約されるようになるのである。

同様に、赤陣営、青陣営にかかわらず、全体で見ることにして、各期における合計有効アイデア量を30回の試行で平均して求めると、第

第4図 徘徊モデル対合理モデル 平均クラスター規模の平均



第5図 徘徊モデル対合理モデル 合計有効アイデア量の平均



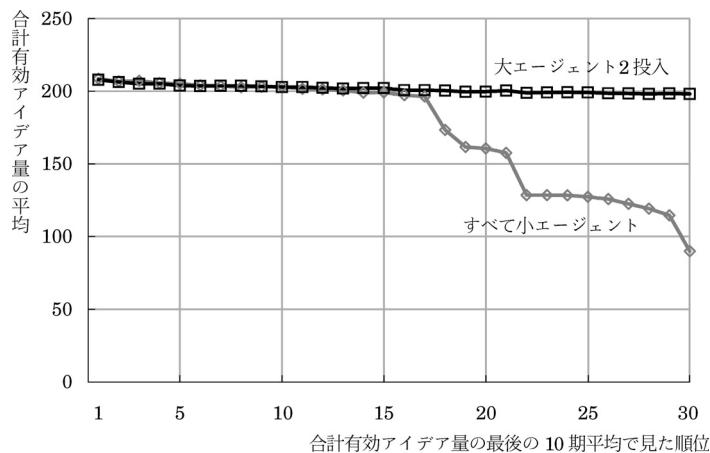
5図のようになる。この図には比較のために合理モデルのときの第2図を重ね合わせてあるが、合理モデルと比較して、徘徊モデルの合計有効アイデア量は圧倒的に大きい。これは徘徊モデルの方が圧倒的にクラスター規模が大きいからである。300期には、合理モデルでは合計有効アイデア量が100強だったものが、徘徊モデルではケース1で170強、さらにケース2では200強になっている。つまり徘徊モデルの方が、合計有効アイデア量は2倍にもなるのである。

このように徘徊モデルでは、合理モデルと比べて、圧倒的に大きなクラスターが形成されることになるが、同時に、ケース1とケース2の差も大きくなっている。合計有効アイデア量についても同様である。しかし、これは大エージェントの投入により、より大きなクラスターが形成されるようになったのではない。実は、第4図からも、小エージェントだけのケース1では、300期ではまだクラスター形成の途中であり、平均クラスター規模がまだ増加傾向にあることが読み取れる。合理モデルと同様に、大エージェントを投入したケース2の方が平均クラスター規模は早く立ち上がる傾向があるのである。同様に第5図でも、大エージェントを投入したケース2の方が合計有効アイデア量は早く立ち上がる傾向が見える。

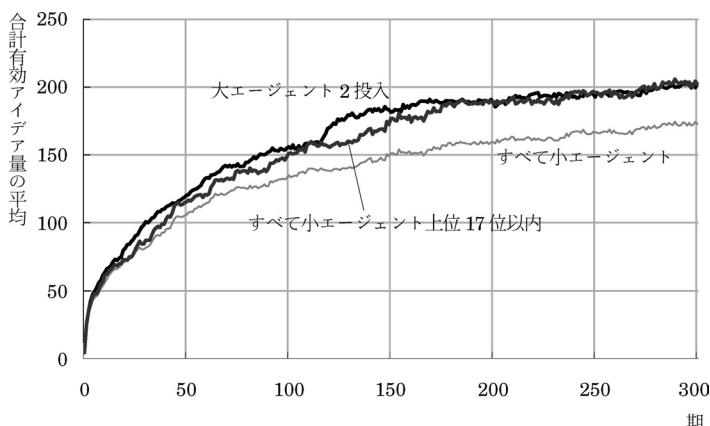
それでは、本当に、徘徊モデルのケース1では、300期でもまだクラスター形成の途中経過しか見ていないのであろうか。そこで、合計有効アイデア量を使って、そのことを分析してみよう。ここで平均クラスター規模を使わないのには理由がある。徘徊モデルでは、平均クラスター規模は単調に増加しないで、上下に変動しながら増加する傾向がある。これは、徘徊モデルでは、一旦はクラスターを形成したエージェントが、時々1個だけ波しぶきのように離れ、また集団にくっつく現象が起こるためである。しかし、実際にはクラスターが分断されたのではなく、エージェントが時々1個だけ波しぶきのように離れただけでも、平均クラスター規模は半分になってしまう。このように平均クラスター規模は徘徊モデルの場合、振れが大きく、あまり実態を反映していないことがある。それに対して、合計有効アイデア量は比較的安定しているので、こちらを使うのである。

そこで、今度は300期の最後の10期、すなわち291期から300期の合計有効アイデア量を平均して、それで30の試行をケース1、ケース2の内で、それぞれ順位づけてみるとしよう。すると第6図が得られる。この図からわかるように、実は、「すべて小エージェント」のケース1でも、30試行中、上位17番目の試行までは、「大エージェント2投

第6図 徘徊モデル 合計有効アイデア量の最後の10期平均



第7図 徘徊モデル 合計有効アイデア量の平均の比較



入」のケース2と同じ合計有効アイデア量なのである。ところが、ケース1の場合にはそれ以降の試行では、300期までに、まだ一つのクラスターを形成するに至っていないのである。つまり、ケース1では、300期ではまだ半分の試行で、クラスター形成の途中で打ち切られた状態で観察していることになる。

実際、ケース1の上位17番目の試行までだけで、合計有効アイデア量の平均を計算すると、第7図のようになり、「大エージェント2投入」のケース2と比べて、立ち上がりが遅いだけであることがより鮮明にわかる。そこで、結果を次のようにまとめよう。

結果2b. 合理モデルと同様に、徘徊モデルでも、大エージェントが投入されることで、ケース1よりもケース2の方が、より早くクラスターが形成され、合計有効アイデア量の立ち上がりも速くなる。しかし形成が速いだけで、結果的には、ケース1と比べてケース2の方が、平均クラスター規模が大きくなるわけではないし、合計有効アイデア量が大きくなるというわけでもない。

おそらく、もっと時間をかけば、ケース1でも、すべての試行でクラスターは一つになるのだろうが、現在のコンピュータでは、既に計算時間が限界にきており、数千期のシミュレー

ションを行うことは現実的ではない。そして、

結果3b. 合理モデルと同様に、徘徊モデルでも、大エージェントはクラスターの周辺部に位置して、ほぼ常時、クラスターの表面に露出して周りをぐるぐる回っていた。徘徊モデルではクラスター自体の形も変化し続けるので、クラスター全体が、まるでアメーバが触手を伸ばすような動きをしながら周辺の大エージェントをかき集めていた。

合理モデルでも徘徊モデルでも、シミュレーション結果2a, 2bは、大きなエージェントの投入はクラスターの形成・立ち上げを迅速にするという点で効果があることを示している。したがって、桑嶋・高橋(2001)が取り上げた製薬会社メルクの事例のように、特に、時間との競争をしているような研究開発においては、大きなエージェントの投入は効果が大きい可能性が高い。

2. 均衡かチャレンジか

合理モデルに比べて、短期的には明らかに劣ったパフォーマンスしかもたらさないはずの徘徊モデルが、結果的には、圧倒的に高いパフォーマンスをもたらしている。現在ポジションにとどまっていた方が、有効アイデア量が高くなるような場合でも、あえて現在のベスト・ポジションを捨てて、他へと移動してしまうという行動が、結果的には高パフォーマンスをもたらすのである。

シミュレーションのプロセスをグラフィカルな画面で視覚的に確認できるのがマルチエージェント型のシミュレータの特長である。「徘徊モデル」という名称は、実は、エージェントの動き方を見て付けられた。均衡を拒絶し、現在のポジションにとどまっていた方が有効アイデア量が高くなるような場合でも、あえて現在のポジションを捨てて、他へと移動してしまう徘徊モデルにおいては、いつまでたっても活動度が下がらず(=いつまでたっても活動度が0になることはない)、大きなクラスターはまる

でアメーバのような動きをするようになる。大きなエージェントは、そのクラスターの周辺で露出しながら、時々クラスターから突き出して、まるでアメーバの触手のような役割を果たすことになる。それに対して、合理モデルにおいて均衡とロックインが支配する世界は、まるで死の世界のように見える。まさに「生」対「死」、あるいは「有機的」対「無機的」という対比を連想させる。そして

結果4. 合理モデルに比べて徘徊モデルでは圧倒的に大きなクラスターが形成され、さらに合計有効アイデア量も圧倒的な高水準に達する。

徘徊モデルでは、大きなクラスターがまるでアメーバのような動き方をするようになるので、時間はかかるても、周囲のエージェントを次々と吸収し、結局はより規模の大きなクラスターを形成してしまうからである。

ところで、「徘徊モデル」の「現在のポジションにとどまらない」という性質自体が、直ちにあることを連想させた。それは、実際の日本企業の行動様式を分析する際に用いられる「変化性向」の概念である。変化性向とは、もともと日本企業のぬるま湯的体質を解明するために、高橋(1989)が最初に提唱した「体感温度仮説」において使われ始めた概念である。現状に甘んじることなく変化を求める傾向、現状を打破して変化しようとする傾向、これを変化性向と呼んだ。そして、組織メンバーが現状を打破して、変化をもたらそうとする意欲がどの程度あるのかを表す指標として「体温」を定義し、これで組織のメンバーの組織人としての変化性向を測定した。他方、お湯の温度に相当する「システム温」は、組織のシステムとしての変化性向であり、組織のシステムがメンバーの変化を受け止め、あるいは促す仕組み、制度にどの程度なっているのかを表す指標と定義した。体感温度仮説とは、この体温とシステム温との温度差で、ぬるま湯感が説明できるというもので、ぬるま湯と感じるかどうかは、組織人とし

ての体温をベースとした体感温度の問題なのだと考えられている。既に1万人以上のデータによって体感温度仮説が成り立つことが検証されており、こうした一連の研究成果は高橋(1993; 1997)にまとめられている。

この変化性向の概念は、チャレンジの概念と密接に結び付いたもので、外発的には動機づけられていないのに、組織に貢献している「ぬるま湯」現象が日本企業で多く観察されるということは、まぎれもなく、日本企業に勤める多くの従業員が、少なくとも動機づけの場面においては、近代経済学的な期待効用原理の世界ではなく、チャレンジに重きをなす未来傾斜原理の世界に住んでいるということを示している。その点で、近代経済学的な均衡の世界観とは別の世界観を形作る概念としても変化性向は注目されるのである。今回のシミュレーションで、「合理モデル」と「徘徊モデル」を比較することにより、均衡するよりもあえてチャレンジすることの方が、時間はかかるても、結局は高いパフォーマンスをもたらすことになるという可能性が示されたことになる。

V. 現場レベルの改善提案の横展開の効用

シミュレーション分析でも、従来のシステム・ダイナミクスなどでは、要素間の関係・結びつきが変化することで、システム全体の振る舞いがどのように変化するのかを調べるのであって、個々の要素のルールを変化させることは、そもそも分析の対象ではなかった。しかし、マルチエージェント・シミュレーションの世界では、個々の要素のルール自体に関心が注がれる。しかも、個々のエージェントの簡単なルールからシステム全体の振る舞いを予測すること自体が難しく、多数のエージェントの集合行動は、個々のエージェントの行動を累積したものと全く異なるものになる(生天目, 1998)。実際、本研究でも事前の予想と実際のシミュレーション結果は相当程度異なっていたのである。そして、本研究の合理モデルと徘徊モデル

の比較が示しているように、個々のエージェントのレベルでの合理的な行動が、システム全体の効率性をもたらすわけではない。あるいは、局所的な「知恵」を各エージェントの簡単なルールとして書き表せるような場合でも、すべてのエージェントのルールに反映させて、全体的な振る舞いを観察するまでは、システム全体として望ましい結果をもたらすのかどうかもわからない。そのことは、非常に少ないOR的な応用例として冒頭にもあげたサウスウェスト航空の貨物オペレーション改善事例(Thomas & Seibel, 2000)にも妥当する。

サウスウェスト航空は基本的に旅客航空であり、貨物収入は全体収入のわずか2~3%にすぎないが、貨物オペレーションでは問題を抱えていた。貨物室スペースは、平均すると重量的にも容量的にも満載時の約7%程度しか使われていなかつてもかかわらず、便によっては運ばなくてはならない貨物の量が多く、やりくりする貨物室スペースが不足して、貨物の積み下ろしに時間がかかり、飛行機の出発が遅れたのである。さらに貨物が一泊してかなり高い料金の空港施設を使うことまであった。そこで、積荷目録を作成する運送貨物事務所に対応した運送貨物エージェント(freight agent)と飛行機の脇にいてベルトコンベアで貨物の積み下ろしをする作業員(ramp personnel)に対応したランプ・エージェント(ramp agent)をエージェントとして組み込んだシミュレーション・モデルが作られた。まず、サウスウェスト航空の実際のデータを用いて、貨物オペレーションを再現できることを確認した上で、運送貨物エージェントのルールを、現場から提起される問題点や提案を取り入れて書き直してみて、シミュレーションで全体的な効率性がどのように変化するかを分析したのである。

たとえば same-plane strategy は、従来のように最短経路で貨物を輸送することにこだわらず、回り道をしてもいいから、なるべく積み替えなくとも済むように同じ飛行機に貨物を載せっ放しにしておくという(日本の航空会社で

は昔から当たり前になっている) ルールである。当然のことながら、貨物の輸送コストは最短経路で運んだ時に最小になる。しかし実際には、ほとんど貨物室が空であっても飛行機は飛ばさなくてはならない。飛行機を飛ばす以上、貨物室が空であろうと満杯であろうと、飛行機を飛ばすコストに大差はなく、貨物を回り道させてもコスト的にはさほど問題にならない。問題なのは貨物の積み替え時間の方である。このルールでシミュレーションを行うと、ボトルネックになっていたロサンゼルスからフェニックスへの直行便は、貨物量が従来の 5 分の 1 に激減し、ボトルネックが解消された。さらに、一泊する貨物量もシステム全体で約 5 分の 1 に激減したのである。

ここから、マルチエージェント・シミュレーションの OR 的応用の特徴を抽出できる。まず、各エージェントのルール自体は簡単であっても、システム全体では複雑になりすぎて、数学的に定式化したり解いたりすることが難しいケースを扱っているということである。そしてそのような場合、最適性を議論する前提になるべき代替案もしくは選択肢のごく一部しか、われわれにはわかっていないということである。わかっているのは現実のオペレーションのデータとせいぜい部分的な改善提案程度である。そこで、①現実のオペレーションを再現できる程度のシミュレーション・モデルを構築し、②エージェントのルールのレベルでの代替案を局所的に探索し、③それが全体的な効率向上につながるかどうかを確認することが選ばれる。要するにサウスウェスト航空では、現場レベルの改善提案を運送貨物エージェントのルールに可視化して横展開することで、創発的に「積荷目録記載戦略」(strategies for manifesting) を作り上げていく作業をシミュレーションで行っていたのである。

そこには、局所的な問題から学んで代替案を学習していくプロセスを大切にし、その局所的な代替案が、全体的な効率性にどのような影響を及ぼすのかを調べることが重要であるという

教訓がある。これは現場レベルでの終わりなき改善活動こそが唯一の解決策であると主張していることに等しい。実際、本稿の研究では、合理モデルで到達した均衡状態よりも、いつまでも均衡に到達しないでフラフラとエージェントが動き回っている徘徊モデルの方が、圧倒的にパフォーマンスが良かったのである。

付録: ComCom.abs について

本稿で取り上げたルールの他にも、ComCom.abs では次の 3 種類のルールを用意している。

- (a) 方向性ルール「ルール 1」: 各エージェントは、同じ大きさの有効アイデア量をもたらすポジションがいくつかある時には、できるだけ右下に移動する。
- (b) 凝集性ルール「ルール 2」: 一つのクラスターを構成するすべてのエージェントは同じ方向に移動する。その際の「方向」はクラスター全体の多数意見にしたがう。
- (c) ランダム・ルール「ルール 3」: 各エージェントは、ランダムに移動する。

本文中で取り上げているのは「基本ルール」と呼んでいるもので、これは ComCom.abs では「ルール 0」に対応している。これらのルールは、ある意味で利己的な「基本ルール」に対して、エージェントが迷ったときには、リーダーの指示する方向・方針・戦略にしたがうという「方向性ルール」、あるいは、特に事情がない限りは(つまり他のクラスターと接触しない限りは)、所属するクラスターの全体の多数意見にしたがって、同じ方向に移動する「凝集性ルール」という組織論的な意味づけが考えられている。

こうした背景から、ComCom.abs では、基本ルールを含めて、方向性ルール、凝集性ルール、ランダム・ルールの四つのルールから二つを選んで、それぞれをもっているエージェント

の間で対戦もしくは競争させることもできる。さらに、ルールを途中で変えられるので、どのようなルールの組み合わせが望ましいのかを試行錯誤しながら考えることができる。実は、どのような組織戦略が良いのか、これまでのところあまり知られていない。現場の知恵を生かす形で、創発的な組織戦略をシミュレーションで色々と実験しながら生み出していければ面白い。今までのところ、とりあえず大きなクラスターを形成するのが目的ならば、凝集性ルールで、できるだけ多くの周辺のエージェントをかかり集めて、大きな、しかし中身の詰まっていない骨格だけのようなクラスターを作り、それから基本ルールでクラスターの引き締めにとりかかるというのが、強い組織作りには向いているような感触が得られている。

また、ComCom.abs は、現在のパソコンの処理スピードと比較すると、まだ重たいプログラムである。リアルタイムで観察していると動きが鈍くなる。そこで、一旦はログ・ファイルを作成させて、後でそれを再生する方法をお勧めする。ログ・ファイルとは計算結果を格納するもので、これを使えば、速くシミュレーションの結果を再生させることができる。シミュレーションを実行する前に、次のような設定が必要になる。

- ログ・ファイルを格納するためのフォルダを作成する（名称は自由）。
- KK-MAS を起動する。
- [設定]-[実行環境設定] さらに [ログファイル]-[設定] で①のフォルダを指定する。
- シミュレーションを実行する。

ログ・ファイルを再生するには、[エクスプローラ]-[フォルダ] で①のフォルダを開いてからファイルをクリックすると KK-MAS が起動するので、KK-MAS のウィンドウで [再生]-[再生]。あるいは、KK-MAS のウィンドウで [ファイル] でファイルをクリックしてから、[再生]-[再生]。

- 1) (株)構造計画研究所のホーム・ページ <http://mas.kke.co.jp/> から KK-MAS 試用版をダウンロードして使うことができる。KK-MAS を教育目的で使用する場合には、無料貸与もされている。また ComCom.abs は次の URL からダウンロードできる。 <http://mas.kke.co.jp/output/200610.zip>

参考文献

- Allen, Thomas J. (1977) *Managing the Flow of Technology: Technology Transfer and the Dissemination of Technological Information within the R&D Organization.* MIT Press, Cambridge, Mass. (中村信夫訳『“技術の流れ”管理法』開発社, 1984).
- 有田隆也 (2000) 『人工生命』科学技術出版。
- Arthur, W. Brian (1994) *Increasing Returns and Path Dependence in the Economy.* University of Michigan Press, Ann Arbor, Mich.
- Clark, Kim B. & Takahiro Fujimoto (1991) *Product Development Performance: Strategy, Organization, and Management in the World Auto Industry.* Harvard Business School Press, Boston, Mass. (田村明比古訳『製品開発力』ダイヤモンド社, 1993).
- Epstein, Joshua M. & Robert Axtell (1996) *Growing Artificial Societies: Social Science from the Bottom up.* Brookings Institution Press, Washington, D.C. (服部正太・木村香代子訳『人工社会—複雑系とマルチエージェント・シミュレーション—』構造計画研究所/共立出版, 1999).
- Gaylord, Richard J. & Louis J. D'Andria (1998) *Simulating Society: A Mathematica Toolkit for Modeling Socioeconomic Behavior.* Springer-Verlag, New York.
- 原田勉 (1999) 『知識転換の経営学』東洋経済新報社。
- 稲水伸行 (2006) 「マルチエージェントシミュレータを使ったゴミ箱モデルの再検討」『行動計量学』Vol. 33, No. 2, pp. 141-157.
- 小嶋仲夫 (1997) 「HTSによるリード化合物の探索」コンビナトリアルケミストリー研究会編『コンビナトリアルケミストリー』化学同人, pp.

- 204–216.
- 桑嶋健一 (2000) 「ゲートキーパー」 高橋伸夫編著『超企業・組織論』有斐閣。
- 桑嶋健一 (2002) 「新製品開発研究の変遷」『赤門マネジメント・レビュー』 Vol. 1, No. 6, pp. 463–496, <http://www.gbrc.jp>.
- 桑嶋健一・高橋伸夫 (2001) 「グローバル研究開発とコミュニケーション能力—製薬産業を例として—」『国際ビジネス研究学会年報』 Vol. 7, pp. 87–97.
- 桑嶋健一・高橋伸夫・玉田正樹 (2004) 「研究開発パフォーマンスとコミュニケーション—マルチエージェント・シミュレーションと事例分析を通して—」『研究 技術 計画』 Vol. 19, No. 3–4, pp. 214–225.
- Kuwashima, Kenichi, Nobuo Takahashi, & Masaki Tamada (2005) "An analysis of organizing process of R&D projects: Multi-agent simulation and case study," *Annals of Business Administrative Science*, Vol. 4, No. 2, pp. 9–20.
- 生天目章 (1998) 『マルチエージェントと複雑系』 森北出版。
- Rapoport, Anatol & Albert M. Chammah (1965) *Prisoner's Dilemma: A Study in Conflict and Cooperation*. University of Michigan Press, Ann Arbor, Mich. (廣松毅・平山朝治・田中辰雄訳『囚人のジレンマ』啓明社, 1983).
- Resnick, Mitchel (1997) *Turtles, Termites, and Traffic Jams: Explorations in Massively Parallel Microworlds*. MIT Press, Cambridge, Mass.
- Simon, Herbert A. (1947; 1957; 1976; 1997) *Administrative Behavior: A Study of Decision-Making Processes in Administrative Organization*. Macmillan, New York. 3rd and 4th eds. Free Press, New York. (松田武彦・高柳暁・二村敏子訳『経営行動』ダイヤモンド社, 第2版の訳 1965; 第3版の訳 1989).
- 高橋伸夫 (1989) 「日本企業のぬるま湯的体質」『行動計量学』 Vol. 16, No. 2, pp. 1–12.
- 高橋伸夫 (1993) 『ぬるま湯的経営の研究』 東洋経済新報社。
- 高橋伸夫 (1997) 『日本企業の意思決定原理』 東京大学出版会。
- 竹内弘高・野中郁次郎 (1985) 「製品開発プロセスのマネジメント」『ビジネス レビュー』 Vol. 32, No. 4, pp. 24–44.
- 谷本潤・藤井晴行 (2001) 「複雑系科学に基づく大學—学会モデルによるアカデミックソサエティの盛衰予測に関する研究—大学における講座制と研究効率に関する一考察—」『研究 技術 計画』 Vol. 16, No. 3–4, pp. 176–183.
- 寺野隆雄・倉橋節也 (2000) 「エージェントシミュレーションと人工社会・人工経済」『人工知能学会誌』 Vol. 15, No. 6, pp. 966–973.
- Thomas, Chuck R., Jr. & Fred Seibel (2000) "Adaptive cargo routing at Southwest Airlines," *Embracing Complexity: A Summary of 1999 Colloquium on the Application of Complex Adaptive Systems to Business*. Ernst & Young, Cambridge, Mass., pp. 73–80.
- (高橋)東京大学大学院経済学研究科・経済学部教授
(桑嶋)筑波大学大学院ビジネス科学研究科助教授
(玉田) 株式会社構造計画研究所