

# Predicting the Unpredictable

エージェント・ベースト・モデルの応用

## 創発のシミュレーション技術



エコシステム 主席研究員

**エリック・ボネイボ**

Eric Bonabeau

西 尚久／訳

複雑系科学は着実にビジネス領域へ浸透しつつある。本稿が紹介する「エージェント・ベースト・モデル」は、従来の調査・分析手法では解決できない問題に用いられ、望外の成果を上げ、導入企業の数が急速に増えつつある。「チョウが舞うと竜巻が起こる」というカオス理論の例えのように、小さな振る舞いが相互に作用し、集積すると、一見何の因果もなさそうな、大きな振る舞いを引き起こす現象、すなわち「創発」はビジネスのあらゆるところで見られる。この創発をシミュレーションし、管理するツールこそ、エージェント・ベースト・モデルである。

## ナスダックが採用した シミュレーション・ モデルの正体

かれこれ三年前、ナスダックにいささか厄介な問題が発生した。ナスダックでは株価の呼び値単位を現行の八分の一ドから一六分の一ドに変更し、将来は一〇分の一ド単位の一〇進法を導入する意向であった。

業界の間では、そうすれば売り手と買い手の交渉がもっと細かくできるようになり、売りと買いの呼び値の差が縮まるだろうという意見が大勢を占めていた。しかし、ナスダックの関係者は、一〇進法への移行がかえって悪い結果を招くのではないかと懸念していた。むしろ非効率だったり、抜け道が生じたりしないだろうか。

ナスダックの担当者たちは、それまで経済調査、金融モデルなどさまざまな研究を通じて、資本市場を分析してきた。しかし一〇進法への移行はまったく未知の分野であり、従来の分析手法ではどうにも手に負えず、システムに悪影響を及ぼさないことをどのように確かめればよいのか、皆目わからなかった。

ナスダックでは、ニューメキシコ州

サンタフェにあるコンサルタント会社、バイオス・グループと協力して、単位引き下げの影響をシミュレーションするコンピュータ・プログラムを開発した。

これはそんなよそこの代物とはわけが違う。取引仲介者、機関投資家、各種年金のファンド・マネジャー、デイトレーダー、「カジュアル・インベスター」と呼ばれるにわか投資家など、市場参加者数千人分の「仮想人格」をつくり出すものである。

ソフトウェア上の仮想人格、すなわち「エージェント」（「自律主体」とも表現される）は、それぞれ現実世界のさまざまな投資戦略に従って売買を行う。ナスダックは、この「エージェント・ベースト・モデル」と呼ばれる技法を用いることで、純粹数字の手法ではとうてい把握し切れない株式市場の動態をつかむことに成功した。

シミュレーションの結果はみな目の見張らせるものだった。株価の単位が小さくなると、適正価格の決定が難しくなってしまう、売りと買いの呼び値の差はむしろ広がってしまう。さらにテストを重ねたところ、ナスダックは一見不可解に見えるこの現象の正体をつかみ、一〇進法への移行計画をより現実的なものに進歩させた。

他に先駆けてエージェント・ベースト・モデルの効用に浴したののは、何もナスダックだけではない。

たとえば、百貨店のメイシーズではシミュレーション結果をデパート店舗の設計に生かしている。ヒューレット・パッカード（以下HP）では採用方針の変更が自社の企業文化にどのように影響するのか、エージェント・ベーストのシミュレーションを実施した。また、フランスのソシエテジェネラルでは、アセット・マネジメント・グループのオペレーショナル・リスクを測定するためにこの技法を採用した。

### 創発が発生する理由

エージェント・ベースト・モデルの威力を十分に理解するには、まず「創発」（emergence）の概念を知る必要がある。たとえば、交通渋滞について考えてみてほしい。渋滞は日常的な現象でありながら、実際にはきわめて複雑で謎が多い（囲み「創発とは何か」を参照）。

個人に焦点を当てると、それぞれのドライバーは法律（制限速度など）やエチケット（合流してくる車があれば、

#### Eric Bonabeau

マサチューセッツ州ケンブリッジにある戦略コンサルティング会社、エコシステムの主席研究員。複雑系科学のツールをビジネスチャンスの発見に応用している。電子メール・アドレスは [eric@icosystem.com](mailto:eric@icosystem.com)。

## 創発とは何か

企業のエグゼクティブ向けに創発を説明する時、まず次のようなゲームを思い浮かべてもらうことにしている。

ちょうど立食パーティのように、1つの部屋の中で多数の人が散らばって動いているとしよう。あなたはそのなかから内緒で2人、A氏とB氏を選んで、A氏が常に自分とB氏の間にいるように動くことにする。もし部屋にいる全員が同じ行動をすると何が起ころうだろうか。

では、ルールを少しだけ変えてみよう。自分が常にA氏とB氏の間にいるように動くことにする。これまた全員が同じようにするとすると、さてどうなるだろうか。

部屋には数十人いるとして、第1のゲームでは全員がルールどおりに動き出すと、何時間も部屋をぐるぐる回ることになる。何も知らない人が覗いたら、何とまでたらしめな動きにしか見えないことだろう。

第2のゲームでは、まったく違った結果になる。1分もしないうちに、全員が集まってだんご状態となり、ほとんど動かなくなる。外からは、全員が1つところに集合することを目的としていたように見える。

いずれの場合も、結果として表れる「ぐるぐる回り」や「だんご状態」という集合行動を、個々の行動から生じた創発と呼ぶ（このゲームのシミュレーションは、[www.icosystem.com/game](http://www.icosystem.com/game)で見ることができる）。

この単純なゲームから3つの教訓が得られる。

第1に、創発は予測不可能なことがあり、直感に反する結果となることも多いということ。

たとえば、先述の人数の半分が第1のゲームのルールに従い、残りの半分が第2のゲームのルールで動いたとしたら、どうなるだろうか。

第2に、個々の行動に小さな違いを加えるだけで集合行動はがらりと変わってしまうこと。

そして第3に、個々の行動と結果として生じる創発の間に論理的な関連性があるとは限らないこと。つまり、第1のゲームはだんご状態にならないのに、第2のゲームではそうなるのはなぜだろうか。

創発は、その全体を構成する部分部分の振る舞いとはまったく異なる独自の振る舞いを見せるのが普通である。たとえば、ドライバー1人ひとりの行動をいくら研究しても、交通渋滞の謎は解けない。

産業界に見られる創発の例としては、社員へのボーナスやインセンティブによって（時には間違った方向に）形成される組織全体の振る舞い、売り手と買い手の無数のやり取りによって価格が決まる自由市場の仕組み、無名の製品が大ヒットとなる消費者のクチコミ現象などが挙げられよう。

減速して場所を空けてやるなど）に従い——時には破り——ながら、目的地へと車を走らせる。そして渋滞は、これらの個人行動が集積されて自然発生的に引き起こされる、まったく異質な現象である。たとえば、高速道路の渋滞を観察すると、一台一台の車は前進しようとしているのに、全体としてはなぜか渋滞は後ろへと波及していくように見える。

創発は、学問のおもしろい話と違った類のものではない。産業界のさまざまな謎にも潜んでいる。

たとえば、自由市場における価格決

定の問題もその一例である。また、ボinasなどのインセンティブが時には社員の生産性を低下させたりする。キックボードのように、ほとんど宣伝していないにもかかわらず、突如大ヒットする製品がある。逆に、広告キャンペーンに何百万ドルもかけた製品が不発に終わることも珍しくない。些細な事務処理ミスが雪だるま式に影響して、巨額の損失を招き、金融機関を倒産に至らしめることもある。これらの理由は何か。

ここ数年、産業界にとっても社会全般にとっても、創発がもたらす意味合

いは無視できなくなっている。その理由の一つに、各国で都市化が進み、人口密度が高まったことが挙げられる。また、インターネットなどのIT（情報技術）のおかげで情報交換の密度も急上昇した。

このように人口や情報交換の密度が高まると、創発が起こる確率も高まる。そして企業社会においても、内部組織が複雑化すると同時に、社内外の連携が過密化している。たとえば、株式市場では、カジュアル・インベスターなどを含めた市場参加者の数が軒並み増え、デリバティブなど高度な金融商品



## 創発はコントロールできる

創発には、驚くべきもの、予測できないものが多い。

古典的な例では、ドイツの技師デートリッヒ・ブラースが1968年に発見した「ブラースのパラドックス」がある。彼は自動車の流れを綿密に調べ、高速道路の車線数を増やしてもラッシュアワーの渋滞が減るとは限らず、逆に悪化しうることを発見した。

実際、創発のなかには、理解し難い、直感に反するものが多い。たとえば、次のような例がある。

- あるスーパーでは、買い物が若干増えただけで、ある商品の売上げが激減してしまう。
- 社員へのボーナスを増額すると、その1年後、全社の業績が悪化する。
- 宣伝もしない地味な商品が、なぜか大ヒット商品に育つ一方、他社が数百万ドルの宣伝費を投じた派手な商品が姿を消していく。
- キャリアの長いプロを何十人も雇うと、会社全体の総合的なスキル水準はかえって急降下してしまう。

私は創発について長年研究してきた結果、これを解明する手段はただ1つ、高速道路を走るドライバーやスーパーの買い物客といった現実世界の人間を、1人ずつ個性ある存在としてモデル化したうえで高次元のコンピュータ・シミュレーションにかけるしか方法はないという結論に達した。

シミュレーション内の仮想人格は、それぞれが意思決定を下し、周囲の行動に対応する。現実世界と同じく、無数の相互作用の結果として、シミュレーション内に集団的な振る舞いが表れてくるならば、分析・予測が可能であり、調整やコントロールも可能である。



も登場してきたため、市場の複雑性は数段高まっている。

創発は、まさしくその性質上、分析は困難を極め、ましてや予測するなどは論外であった。

スプレッド・シート、回帰分析、システム・ダイナミックス（複数の微分方程式を用いた技法で、ビジネス・シミュレーションによく使われる）といった従来手法では、創発を分析もしくは予測しようにもてんで歯が立たない。これらはいずれも、まず汎用性の高い方程式や枠組みをつくり、これを特定の状況に当てはめるといって、いわばトッ

プダウンの手法である。

しかし創発は、各個人の局所的で無手勝流の行動が影響し合うことで、ボトムアップ式に表出してくる現象である。個人個人、たとえば交通渋滞に巻き込まれたドライバー一人ひとりが、周囲の動きに応じて自らの行動を変えているため、それぞれが共鳴し合い、無数に折り重なっていく。この結果として引き起こされる集団の振る舞い、すなわち交通渋滞などは、トップダウン式の分析手法ではとらえようがないのだ。

創発のなかには一見不可解に思える

ものがある。ナスダックが呼び値単位を引き下げると、その意図に反して売りと買いの呼び値の差がかえって広がってしまう。また、高速道路の車線数を増やすと、逆にラッシュアワー時には渋滞が悪化する場合がある。これは、一九六八年にこの現象を発見したドイツのオペレーション・リサーチ研究者の名を取って「ブラースのパラドックス」と呼ばれている（囲み「創発はコントロールできる」を参照）。

このような不可解な現象に対し、たとえば「車線を増やすと渋滞がひどくなるのは当然のことである。車線変更

の回数が増えるため、他のドライバーが減速しなくてはいけなくなるからだ」などと、後から当て推量を唱えるのはやさしい。このように後知恵とは便利なものだが、ここで重要なのは、創発の一つひとつが独自の現象であり、しかも既存の常識と相反するため、その予測が難しいという点である。

これまで我々はさまざまな創発現象について研究してきたが、その経験から言えば、創発を分析・予測するには、ボトムアップ式のモデルを構築する以外術はない。

ボトムアップ式のシミュレーションの場合、株を取引する投資家や高速道路上のドライバーといった参加者一人ひとりの行動を、周囲の行動によって規定する。このように、個性を有した人格として個々の参加者をモデル化することで、現実をより正確に把握することが可能になる。

要するに、経験の長いファンド・マネジャーは、若輩のデイ・トレーダーと同じ理屈で株を売買するわけではないのだ。言い換えれば、エージェントを個性ある主体としてモデル化することで、現実世界の多様性が見極められるというわけだ。

そして、このように現実を正しく把握するツールが、近年かなり安価で利

用できるようになってきた。コンピュータ本体が低価格化し、それに伴ってモデリングの技法も進歩してきたためである。

## 消費行動をシミュレーションしコントロールする

コンピュータの利用が低コスト化しておかげで、もし現実世界で実験すれば極端に費用がかさみ、しかもリスクも高いシミュレーションを、シリコンの世界で子細にわたって調べられるようになった。

たとえば、人々がいろいろな店やショッピング・モールに立ち寄るパターンが、ビジネス上どのような影響を与えるのかを考えてみよう。小売業の場合ならば、売り場のレイアウトをどのように変更すれば、顧客の満足度を高め、財布のヒモが緩むのか。

リサーチャーがこの種の問題に取り組む場合、まずレジで集めた膨大なバーコード・データ（購入品目やその時刻など）といった既存情報を活用するほかにも、パコ・アンダーヒルのような専門家の知恵を借りることが考えられる。なお同氏は購買行動を緻密に観察する研究者として知られており、

Why We Buy（邦訳『なぜこの店で買ってしまうのか』早川書房刊）という著書が有名である。

同氏は、たとえばスーパーの入り口をくぐるとすぐさま右に曲がる買い物客の比率を正確に調べたり、混雑する通路の途中で人々がUターンする確率をはじき出したりしている。このような情報に基づいて、仮想買い物客で賑わうスーパーのエージェント・ベースト・モデルを作成することができる。そのシミュレーション結果によれば、店舗内のレイアウトによって、買い物客の支出額は最大二〇％も変化するという。

イギリスのスーパーマーケット・チェーン、セインズベリーでは、ロンドン西部地区にあるサウスリスリップ店のコンピュータ・モデルを作成した。同社はロンドンのコンサルタント会社シムワールドのウグル・ビルジ、ウィーン大学のジョン・キャステイの協力を得て、詳細を極めるモデルの開発に成功した。

たとえば、買い物客がどの棚で何秒立ち止まるかなど、ビデオカメラで克明に記録した結果、牛乳を買うのに費やす時間は平均五秒にすぎないが、ワインを選ぶ場合には九〇秒かけるといったことがわかった。

このエージェント・ベースト・モデルのなかでは、買い物客はそれぞれ異なる買い物リスト（レジのバーコード・データから作成している）を持っている。

モデリング・ソフトウェアは、仮想人格が店内を歩いて買い物を進めると同時に、店内各所の顧客密度とレジの待ち時間を常時はじき出す。こうすれば、店舗レイアウト（冷凍食品の棚をどこにするかなど）によって店内の混雑度がどのように変化するのか、簡単にシミュレーションできる。

もちろん、顧客の利便性を高めることだけが目的ではない。スーパーの店長は、混雑する二つの売り場、たとえば精肉売り場とパン売り場をわざと離して、二点を移動する間の衝動買いを狙う。また、セール品やサンプルを置く場所として、混雑する場所をあえて設けておきたいという場合もある。

さらに、買い物客の心理を考慮することも大切だ。野菜売り場は入り口近くに設置して、新鮮な野菜や果物で買い物客の目を引くのも一策だろう。

セインズベリーではエージェント・ベースト・モデルのおかげで、店舗レイアウトに影響を与える要素をうまくバランスさせながら検討することができた。ただし、このモデルにはまだ改善の余地もある。たとえば、若年層の

買い物客は年配者よりも買い物時間が短いといった要素を反映させるには至っていない。

とはいえ、当座のシミュレーション結果だけでも、セインズベリーがその事業に関する洞察を深めるにはきわめて有効であった。またこのモデルは驚くべき現象をいくつか明らかにした。たとえば、店内の混雑が増すと、ワインの売上げが下がってしまうのだ。店内に混雑箇所が増えると、買い物客の足は奥のワイン売り場まで届かなくなるからである。

同じく小売業で、エージェント・ベースト・モデルを使って店内レイアウトを検討した会社がある。百貨店のメイシーズでは、レジやサービス・カウンターの場所をどこにするのか、特に悩んでいた。

そこで、プライスウォーターハウス・クーパーズ（当時はクーパーズ・アンド・ライブランド）の協力によって仮想店舗をつくり、店内レイアウトだけでなく、スタッフ数（つまり各売り場の販売員の数）も自在に調整できるモデルを作成した。

このエージェント・ベースト・モデルの大きな利点は、メイシーズが現実世界で店の評判を落とすといったリスクを負うことなく、いろいろなレイア

ウト、さまざまな方法をデジタル空間で実験できることにあった。

消費財メーカーの場合、少し違った視点においてエージェント・ベースト・モデルに興味を示している。プロクター・アンド・ギャンブルやユニリーバといった企業ならば、自社製品の販促につながる棚のレイアウトとはいかなるものか、知りたいところだろう。

また、エージェント・ベースト・モデルは、スポーツ・スタジアム、ショッピング・センター、遊園地などの設計をリニューアルする際にも生かせる。遊園地の例としては、ブルッキンクス研究所のロブ・アクステルとジョシュ・エプスタインが手掛けた某テーマパークのエージェント・ベースト・モデルがある。

これは、実際の入場者に関する統計調査、待ち時間の測定、アンケート調査など、膨大な実データを利用したものである。これらのデータのおかげで、楽しみ方も期待度もまちまちなテーマパークの利用客集団に関する、緻密なモデルを構築することに成功した。たとえば、四人家族のニーズ（乗り物六回、ホットドッグ四本、綿菓子二本、トイレの利用三回など）と、デートを楽しむティーン・エイジャーのカップルのそれとは大きく異なる。

エージェント・ベースト・モデルは

このような情報を取り入れて、顧客満足度と売上増という目標をバランスさせる。この種のモデルならば、数学的技法や純然たる統計処理だけでは解明できなかった複雑な問題（営業時間を三〇分延長したらどうなるか、乗り物の運転時間を八秒半短くしたらどうなるかなど）を追求することができる。

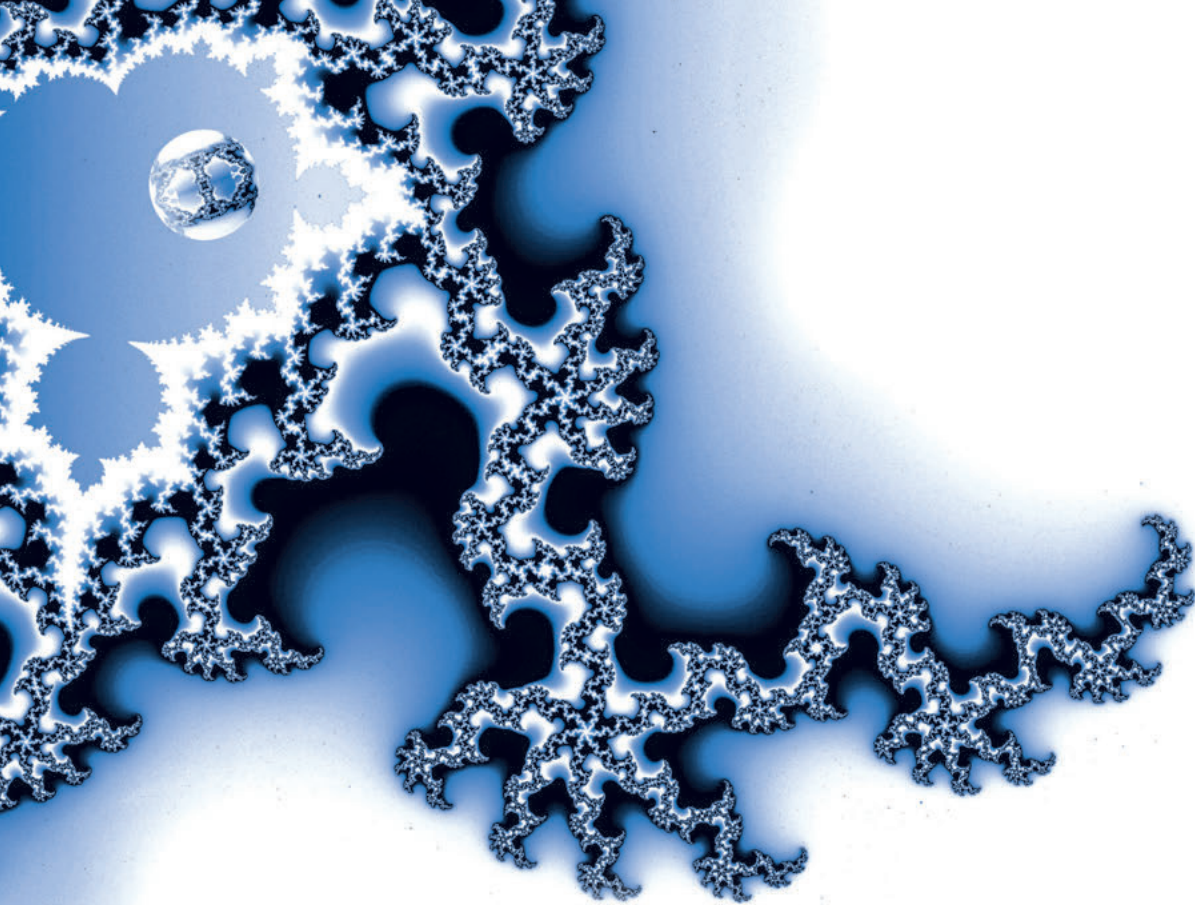
おまけに、モデル化の作業を通じて新しいアイデアも生まれてきた。たとえば、利用客全員に、乗り物やアトラクションの待ち時間を常時表示する携帯端末を持たせてみてはどうかなどである。

## 組織のジレンマを 解消する

エージェント・ベースト・モデルから考察できるのは、何も顧客行動だけではない。社員たちの行動もシミュレーションできる。ある大手消費財メーカーでは、ヨーロッパ各国の地域マネジャーへのインセンティブ・システムをこの技法を用いることで大きく改善させた。

それまで同社では、欠品回数に基づいて地域マネジャーへの報奨を決めて





いた。その数が少ないほど高い報奨にあずかれるという仕組みである。しかしこのルールだと、地域マネジャーたちが必要量よりも多く本社に発注するようになり、特に賞味期限の短い商品の場合、多大なコスト増を招いていた。

しかも、期限切れによる廃棄を減らすために、たとえばデンマークの地域マネジャーが必要量より多く見積もっていた場合には、大量の在庫をデンマークからイタリアまで急送させるといったこともしばしばであった。それゆえ、各国マネジャーの行動が全社の利益へと結びつくようなインセンティブ・システムがどうしても必要だったのである。

これは、想像以上に厄介な問題であった。現行のインセンティブ・システムのままでは当然死蔵在庫が増えてしまいが、かといって全社業績によってインセンティブを決めるのも賢明な策とはいえなかった。自分の力と無関係な要因によってボーナスの額が決まるのは、だれもが嫌がるからだ。

では、どのような行動に報奨を与えるべきなのか。そして、新しいインセンティブ・システムが死蔵在庫といった非生産的な現象を生じさせないことをどのように確かめればよいのか。

ここで、エージェント・ベースト・モデルが役買った。各国の地域マネジャーのボーナス査定基準として、欠品回数だけでなく、倉庫代を加味したのである。たった一つの変更で、サプライチェーン全体のコストが数%下がり、年間で数百万ドルの節約となった。要するに、各地域マネジャーのローカルな行動と会社全体のグローバルな業績とを、エージェント・ベースト・モデルが結びつけたのである。

ビジネスシステムの抜本的な改革のために、エージェント・ベースト・モデルを用いた企業もある。

製薬業界では新薬開発のコストが急上昇しており、R&D（研究開発）そのものの見直しを迫られているところが多い。問題の一つに、新薬開発チームがバイアスのかかった決定を下して



しまつ、いわゆる「わがままチーム症候群」と呼ばれるものがある。

たとえば、客観的に見れば中止すべきプロジェクトを続行させてしまつた新薬開発チームの評価はその成否によつて決まるばかりか、チーム・メンバーがプロジェクトに執着してしまつからでもある。この種の非生産的な行為が開発を遅らせ、コストを上昇させる。そこである大手製薬会社では、臨床実験の初期段階から、新薬開発の一部の作業をオープンな市場で調達するといふアイデアが浮かんできた。

私はこのアイデアやその他の可能性を調べるために、エコシステムの同僚の力を借り、あらゆる方面の関係者をモデル化したエージェント・ベースト・モデルを開発した。製薬会社の社員だけでなく、R&Dを請け負う可能性のある人々、つまり契約研究機関（臨床試験の実施を専門とする会社）、顧問役となる学者、ライバル企業の研究者まですべてを含めたのである。

このシミュレーションの結果、各関係者の性向、具体的には、モチベーション、リスク許容度、コスト構造などすべてが異なるため、製薬会社が開発作業をオープンな市場で調達しても採算が合わないことが判明した。

次に製薬会社は、社内外を問わず関

係者のネットワークをつくり、名案が生まれてくるようなインセンティブ、たとえば、開発した薬物分子全体の成功に連動してボーナスを支給するといったアイデアを考えた。

これを再びモデル化した結果、この方式であれば同社が最近発見した薬物分子のリスク調整後の価値を二倍以上にできるだろう、という見通しが立った。同社はこの結果に従つて、新しい方法の初期臨床実験を現実に試してみることにした。

社の採用方針を変えると、企業文化にどのような影響が出てくるのか。エージェント・ベースト・モデルはこのような予測にも応用できる。たとえばキャップジェミニ・アーンスト・アンド・ヤングのビジネス・イノベーション・センターでは、実験プロジェクトとしてHP社員に関するエージェント・ベースト・モデルを構築した。

HPの人材採用方針は、経験よりもロイヤルティを重んじるのが数十年來の伝統だった。同社の場合、新卒者を中心に、HPの社風に溶け込みそうな人材を選ぶことに力点を置いてきたし、実際多くの社員たちがHP一筋というキャリアであった。しかし、昨今労働市場にも変化が訪れ、転職が当たり前になると、HPにはどんな

影響が及んでくるのか懸念されるところだった。

しかもHPは、ちょうどサービス事業に重点を移しつつある時期で、実力と経験を備えたコンサルタントを雇い入れたと考えていたが、そのような人材と生え抜きのエンジニアとを比べると、ロイヤルティの面でかなり劣る。

シミュレーションは、同社の懸念を裏つけるものだった。たとえば、これまで何社も渡り歩いてきた「その道のプロ」を雇い入れた場合、早晚社員たちは給料の高い会社へと移籍するようになり、結局はそれによるコストがかさんでしまふ。

さらに驚くべきことに、経験は豊富だがロイヤルティの低い人材を雇うと、長期的にはHPの社員たちのスキル水準も全体として下がってしまうという結果が出た。このようなスキルの低下は、採用方針を突然変えた場合、特に著しい。一年、二年と段階的に移行していくほうがまだましである。

シミュレーションでわかったことはほかにもある。資料室やITシステムなど、転職する社員のスキルを社内に残すような手段に投資したほうが、採用方針を変更した場合の悪影響をかなり抑えられる。

現実を実施するとすると、社員一人

ひとりを長い目で育成する、たとえば、社内ですさまざまな事業・職務を経験させるといったHPの伝統を大転換させる必要にも迫られるだろう。言うまでもなく、離職率が高ければ人材育成の意義は薄れるからである。

エージェント・ベースト・モデルの応用分野として注目されているのは、オペレーショナル・リスクの評価である。これは、かつて大和銀行、住友銀行（現三井住友銀行）、ベアリングズ、キダー・ピーボディなどが巨額の損失を被ったこともあり、金融機関の悩みの種として急浮上してきたものだ。

銀行は、市場リスクや信用リスクについてはすでに効率的かつ体系的な方法を確立しているが、オペレーショナル・リスクの評価および監視となると、まだ手探りにある。この仕事は難解極まりないのは、ちよつとしたミスや不正行為がどのようにシステムに影響し、どのように破滅的な損失を引き起こすのか、当の組織が明確に把握していないからである。あたかも一本の木が送電線に倒れかかっただけで、いくつもの州が停電に陥る、そんなイメージである。

私は、フランスのソシエテジェネラルのアセット・マネジメント事業のオペレーショナル・リスクを分析・定量



化するため、前出のバイオス・グループ、キャップジェミニ・アーンスト・アンド・ヤングの研究陣と共に、エージェント・ベースト・モデルを使ってみた。

このシミュレーションでは、同行の行員たちをそれぞれ仮想人格化し、仕事を処理する過程では、相互に影響し合うようにモデルを設計した。過去のデータから、彼らがよく犯すミスは、たとえば、ゼロの数を間違える（一〇〇〇とすべきところを一万ととしてしまうなど）、ある国の通貨とユーロを取り違えるといった些細なことであるのはわかっていた。

実際にシミュレーションしてみると、この種のケアレ・ミスが破滅的な損失につながるの、特定の状況においてだけであった。たとえば、八月に金融市場が激しく動くような時である。その理由は、シミュレーションの結果を細かく見れば自ずとわかる。

市場の動きが激しくなると取引量が増えるうえに、だれもが時間に追われて書類を見直す余裕を失い、ミスの数は一挙に増える。そして八月、問題は悪化する。多数の行員、なかでも休みの取りやすいベテラン行員が長期休暇でいなくなるからである。

シミュレーションでは、オーバーワ

ーク気味の新興トレーダーが一つのミスを犯す。それは、ある銘柄を売るべきところを、逆に買ってしまったのだ。そのうえ、管理職以下全員が忙しく、だれもこのミスに気がつかなかった。こうして買い注文の書類が事務に戻ったが、そこにいたのは夏休みのアルバイトで、当然このミスに気づかず、そのまま処理してしまった。数日後にミスが発覚した時、株価は急落しており、数百万ドルの穴が開いてしまった。という次第である。

このシミュレーションでは実際の市場データを用いている。おかげで破滅の元凶を見つけるだけでなく、現実世界における発生率も推定することができた。破滅的な損失はシミュレーションでもめったに起こらなかったが、何千回、何万回とシミュレーションを重ねることで、ミスが破滅へと発展していく過程が再現され、そこから同行のオペレーション・リスクに関する正確なデータが収集された。

ソシエテジェネラルでは、このデータに基づいてリスクを最小化する方法、たとえば休暇制度の変更など、あれこれテストし、損失に備えてどれくらいの引当金を積んでおくべきかを算定した。

現在のところ、ほとんどの金融機関

にオペレーション・リスクを正確に測定する方法がなかったため、各国の当局は、安全を期して万一の際の引当金をかなり大きく見積もっておくよう義務づけている。アセット・マネジメント事業を展開している金融機関がオペレーション・リスクを正確に把握できれば、引当金の分を投資に回せるようになり、保険料も安くなるため、年間で数百万ドルという金額が自由になるだろう。

以上、HP、製薬会社、ソシエテジェネラルの組織行動に関する研究について説明してきたが、大きな教訓が一つある。

エージェント・ベースト・モデルに対する批判に次のようなものがある。モデルの開発者は人間行動の複雑な心理的側面を理解する必要があるが、いわゆる「人間的側面」の数値化に誤りがあるとしてもない結果が出てしまうというのだ。「クズを入れてもクズしか出ない」というものだ。たしかにエージェント・ベースト・モデルの精度は前提条件やデータの精度によって決まるのは間違いない。

しかし、概算的、もしくは近似的なシミュレーションにも大きな意義がある。たとえばHPでは、会社のさまざまな要素（採用方針、離職率、総合的な

スキル水準など）がいかに絡み合うのかを、モデル化によって定性的に把握した。

これに比べると、私自身が手掛けた製薬会社のシミュレーションはより緻密なもので、同社は事業を深く理解するだけでなく、事業の方向性を予測し、立案し、調整し、管理できるようになった。

要するに、エージェント・ベースト・モデルをどのように活用すべきかは、やり方やデータ次第なのである。そして逆のこともいえる。つまり、モデルの利用目的に適したデータを入れなければならないのである。

## 広がる応用範囲

「我々が知識のうちに失ってしまった知恵はどこか。我々が見聞のうちに失ってしまった知識はどこか」

これはT・S・エリオットが一九三四年に書いた『岩』という詩の一節であるが、いまでも遜色なく通用する。現代人は情報の海に溺れつつあり、有益な知識が増えたわけでもなく、ましてや賢くなったともいえない。

メイシーズは、時刻入りのPOSデ



ータに基づいて売り場の実態をそっくり再現させることに成功した。とはいえ、情報を知識へと転換させるのは、一筋縄にはいかない。このような作業には、エージェント・ベースト・モデルなど、やはりボトムアップ式のアプローチが適している。データから集団の振る舞いを表出させるような、創発的な要素が隠れている場合、特にそうである。

ドライバーやその運転に関する情報をいくら集めたところで、交通渋滞の真相を知ることではできない。コンピュータ・シミュレーションなどの技法によって、初めて真相が浮かび上がってくる。

エージェント・ベースト・モデルはまだ馴染みの薄い技法だが、一部の企業では、複雑な問題を分析するために導入し始めつつある。事実、研究者の間では、創発が起こる状況においてはエージェント・ベースト・モデルがその真相の解明に貢献すると認識されている。

たとえば、かつてプライスウォータールハウス・クーパーのエマージェント・ソリューションズ・グループに在籍していたウインズロウ・ファレルとそのチームは、二〇世紀フォックスからの依頼で、この技法を用いて映画フ

ァンの行動を解析した。プロジェクトの目的は、映画ファンのクチコミを誘い、映画がメガヒットになる確率を最大化させる公開時期をはじき出すことだった。

また企業戦略の問題も、特にゲーム理論も援用させることで、モデル化に適した分野である。

数年前、ゲーム理論は経済学の一分野として注目を浴び、戦略に関する研究活動を根底から覆すかもしれないとまでいわれていた。しかし、そこにも限界はあり、期待は尻すぼみになった。ゲーム理論はたしかにフレームワークとしては優れているが、ビジネスの現場はゲーム理論だけで何とかなるような代物ではなかった。

そこで、エージェント・ベースト・モデルを手にした研究者たちは、ゲーム理論はいったん忘れて、ひたすらコンピュータでゲームを動かし、複数の競合企業が他社を学習し、状況に適応していくという相互作用から、どのような創発が生まれてくるのかを調べ始めた。

我々エコシステムでも、以前にエージェント・ベースト・モデルを組んでインターネット・サービス・プロバイダの市場を調べたことがある。このシミュレーションは、無料プロバイダの





出現だけでなく、それがビジネスとして不安定であることまで予言していた。つまり、無料サービスを最初に始めた企業は広告収入でたっぷり利益を上げ、いったんはライバルに差をつけるが、ライバルが同じ手を使って月額使用料を下げていくと、ついには市場が成立しなくなり、最終的には料金が上昇していく。

エージェント・ベースト・モデルの威力を甘く見てはならない。分野によっては抜本的な変革をもたらす可能性がある。

私は会計士や監査役といった聴衆の前で、ソシエテジェネラルのモデルの成果を発表したことがあるが、その時、私も聴衆も突如として悟った。エージェント・ベースト・モデルは、単に組織内のリスクを測定するにとどまらず、まさに事の本質を知る方法である。なぜなら、実際にミスや不正行為を働くのは、プロセスではなく、個々の社員だからだ。

たとえば、「集金プロセスが、請求書を発行するプロセスのエラーの影響を受けた」などと持って回った言い方をすると、「新米の経理マンが顧客に間違った請求書を送ってしまった」と述べたほうが自然であり、また正確でもある。

エージェント・ベースト・モデルは、既存のスパレッド・シートやビジネスプロセスに偏重した思考法を払拭させるパラダイム・シフトであり、間違いなくビジネス・リスクの評価法を革新させるだろう。また監査の分野では、今後五年もしくは一〇年のうちにエージェント・ベースト・モデルが一般化するだろう、と私は予想している。

さらに、エージェント・ベースト・モデルをまったく新しい分野に応用している研究者もいる。現実世界の出来事をシミュレーションするのではなく、ネット空間に新しい現実を登場させようというのだ。

たとえば、ある商品の最低価格をインターネットで探して歩く「買い物ロボット」が一例である。この種のエージェントがより賢くより高度化していけば、人間の代わりに情報を集め、交換し、解釈してくれるようになるだろう。もしかすると価格交渉まで任せられるようになるかもしれない。

IBMワトソン研究センターのジェフリー・キーファートのチームは、先の買い物ロボットをはじめ「価格設定ロボット」（売り手側が他店の価格より安くするために用いる）などのソフトウェア・エージェントを集めた大規模なコンピュータ・モデルを構築し、市

場に表れる創発の仕組みを解明しようとしている。

創発の研究にエージェント・ベースト・モデルを活用しているのは、何も産業界に限らない。たとえば、考古学者や社会学者はこの技法を使って、古代文明の興亡について、その造詣を深めようとしている。また、疫学者は病気の伝染の実相を解明しようとしている。これ以外にも、アメリカ軍は戦闘方法について研究しているし、アメリカ政府も密輸の取り締まりを効率化するために、南米からフロリダに運び込まれる麻薬の流れをシミュレーションしている。

実にいろいろな分野の研究者が、かつては解明不可能と思われた問題の分析にエージェント・ベースト・モデルを利用し始めている。ただし、このツールがもたらした最大の意義は、人間が織り成す複雑な世界を「見下ろす」という既成の前提を破壊したところにある。

(HBR二〇〇二年三月号より)

