

## 進化計算を用いた企業シミュレーションの構築 —シミュレーション結果における感度分析に向けて—

内藤 賢一<sup>†</sup> 寺野 隆雄<sup>†</sup>

<sup>†</sup>筑波大学経営システム科学専攻 〒112-0012 東京都文京区大塚 3-29-1

E-mail: <sup>†</sup>{naitou, terano}@gssm.otsuka.tsukuba.ac.jp

あらまし 本論文では、エージェントベースの企業シミュレーションモデルについて報告する。このシミュレーションでは、各企業をエージェントとみなし、その特性を遺伝的アルゴリズムによって進化させる。従来、このようなモデルでは結果の妥当性においては十分な考察を得ることは困難であった。本研究では、シミュレーション結果の解の解釈において各エージェントのパラメータを統計的手法によって感度分析を行う手法を提案する。

キーワード エージェントベースモデル、遺伝的アルゴリズム、企業分析、シミュレーションの妥当性評価

## Agent-Based Modeling of Corporate Behaviors with Evolutionary Computation - Toward Validation of the Results of Agent-Based Simulation -

Kenichi NAITOH<sup>†</sup> Takao TERANO<sup>†</sup>

<sup>†</sup> Graduate School of Business Sciences, University of 3-29-1 Otsuka Bunkyo, Tokyo 112-0012 Japan

E-mail: <sup>†</sup>{naitou, terano}@gssm.otsuka.tsukuba.ac.jp

**Abstract** This paper describes an agent-based simulation model for analyzing corporate behaviors of competing firms. The simulator employs evolutionary computation to evolve the characteristics of the firms. So far, it is difficult to validate the simulation results of such complex models. To cope with the issue, this paper proposes Genetics-Based Validation method, which utilizes statistical techniques to analyze the sensitivity of agent parameters encoded into the chromosomes.

**Keyword** agent-based model, genetic algorithms, corporate behavior analysis, validation of simulation

### 1. はじめに

80年代後半から欧米を中心に複雑系が注目を浴びてきた。複雑系に関する研究は、複雑な物を細分化することなく複雑なまま扱うことによって系の構成要素とそれらの相互作用が系全体にどのような影響を及ぼすかという複雑系のメカニズムを明らかにしようという試みである。[1]このような複雑系の分析手法として、近年エージェントベースシミュレーション(agent-based simulation)が採用されるようになり、社会科学や経済学分野でも注目されるようになってきた。エージェントベースシミュレーションは社会を構成するエージェントの活動によって生じる相互作用によってエージェントが置かれた社会システムが創発する様子を観察することが可能となり、複雑な社会システムの特徴を解析することが可能である。

本研究の目的は

- ① 一般的な社会システムを、進化計算を用いて実装されたエージェントシステムでシミュレートするためのエージェントシステムのモデル化
- ② モデル化したシミュレーションの開発
- ③ シミュレーションの結果についての解の評価を行うことである。

### 2. 社会システムにおけるエージェントシミュレーション

社会システムにおけるエージェントシミュレーション研究では以下のようなものがある。

- ・ Echo [2]
- ・ Sugarscape [3]

これらは、社会現象の解明に大きく貢献してきた。しかし、人工社会モデルでは特性を示す解が唯一で

はなく複数存在する。また、従来のシミュレーションではルールやパラメータ依存の傾向が強く、実際の結果に合わせてパラメータ調整を行うという傾向が見られた。こうした問題に対して人工社会モデル TRURL では、遺伝的アルゴリズム (GA: Genetic Algorithm) の手法を取り入れ、タブー探索遺伝的アルゴリズムによってそれぞれのエージェントの性質を指標に沿って最適化する手法を考案した。

・人工社会モデル TRURL [4]

ただ、解の妥当性を判断することができず、結果の考察が不十分になる傾向が見られた。

### 3. Genetics based Validation

本研究では、遺伝的アルゴリズムを用いた最適化問題において収束後の遺伝子間の相関関係はどうなっているのかを遺伝子レベルで分析し解明する手法を提案し、解の妥当性の判定を行う手法を提案する。社会シミュレーションの結果に対して本手法 (Genetics based Validation) を用いることでその有効性を検証する。統計的解析により、遺伝子座と適応度の相関関係を見る。個体群がある程度収束した段階で遺伝子座と適応度の相関分析を行う。

|     | 遺伝子座 |   |   |   |   | 適応度 |   |          |
|-----|------|---|---|---|---|-----|---|----------|
| 個体1 | 9    | 0 | 8 | 5 | 3 | 1   | 5 | 58566104 |
| 個体2 | 6    | 7 | 3 | 2 | 9 | 3   | 2 | 57878912 |
| 個体3 | 1    | 2 | 0 | 0 | 7 | 4   | 4 | 60458803 |
| 個体4 | 7    | 2 | 0 | 3 | 5 | 3   | 2 | 62240039 |
| 個体5 | 2    | 2 | 6 | 5 | 4 | 3   | 3 | 62609950 |
| 個体6 | 8    | 3 | 2 | 5 | 5 | 7   | 3 | 67592345 |
|     |      |   |   |   |   |     |   | 74596458 |
|     |      |   |   |   |   |     |   | 66743643 |
| 個体M | 3    | 3 | 0 | 5 | 8 | 2   | 8 | 63409749 |

解の妥当性

## 4. シミュレータ構築手法

### 4.1. 全体構成

基本的な全体構成は以下のとおり

- ①複数の社会を発生させる。
- ②それぞれの社会の中に複数の個体を発生させる。

複数の個体の遺伝子は共通とする。中で1個体だけは各社会で別の遺伝子をもつ (エージェントA) を発生させる。

③各エージェントはモデルの記述に従って一定期間活動し、目的関数によって評価される。

- ④評価結果を基にエージェントAを選択および遺伝

子操作 (交叉, 突然変異) を行い、各社会に戻す。

選択及び遺伝子操作は各社会間で行われる。

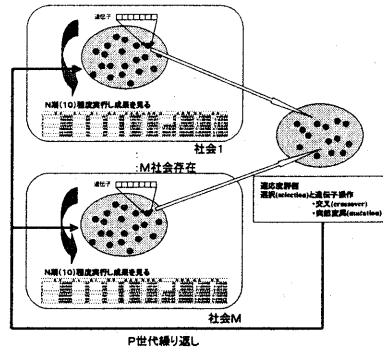


図 4.1 全体構成図

### 4.2. 多目的問題

本研究におけるエージェントシミュレーションでは多目的問題を扱う。ここでは、VEGA (vector evaluated genetic algorithms)[5]を採用し、多目的問題に対応した。VEGA はまず、個体群を目的関数の数に等しい部分個体集合に分割し、各目的関数値に応じて独立に個体を選択してそれぞれの部分集合を生成する。

そして、交叉及び突然変異は生成された個体集合をすべて合わせて一つの個体集合としたものに適応される。

### 4.3. タブー探索アルゴリズム

本研究で使用する Tabu-GA (タブー探索アルゴリズム) は倉橋ら[6]によって提案された手法である。ここで採用するタブー探索は直接解候補をマルチクラスターリストに格納する手法で、多目的関数に適している。本研究ではこのタブー探索アルゴリズムを各目的関数での最適解とパレート最適解を格納するために使用し、Genetics based Validation による解析対象の解集合とする。

基本的な流れは

- ①それぞれの目的関数ごとに適応度を計算。
- ②解候補をそれぞれの目的関数+パレート用のタブーリストに格納する。格納する際は解候補がタブーリストよりも適応度で優れているか、複数遺伝子のノルム  $d$  以上の場合更新する。

パレート最適解候補は適応度の変わりにパレート

優先の順位をランク方式で評価する。

③タブーリストに格納された個体を次世代エリート戦略として使用する。リスト中もっとも適応度の高い個体を突然変異させ、各目的関数の部分個体のもっとも適応度の低い個体と入れ替える。

④各目的関数の部分個体群ごとにトーナメント選択を行う。

⑤全個体を通して交叉及び突然変異を実行し、次世代の個体群を生成する。

## 5. 企業分析シミュレータの構築

企業分析シミュレータの構築では企業における顧客提供価値 (Value Proposition) 戦略の選択モデルを使って、特定の市場における最適投資戦略を探索するシステムを開発する。市場においては耐久消費財(家庭用電化製品)市場で行われた消費者購買の各類型における購買行動の実証研究のモデルおよびデータを参考として使用した。

### 5.1. 企業モデル

「ある市場に対してどのような顧客価値を提供する企業が発展するのか」企業の発展過程でのパラメータの因果関係を分析を行う。顧客価値は企業が顧客に対して提供する価値である。M.Treacy and Wiersemaはこの顧客価値基準を以下の3つに分類した。

業務の卓越性 (Operational Excellence)

顧客との親密さ (Customer Intimacy)

製品リーダーシップ (Product Leadership) [7]

更に、Kaplan and Nortonはこの3つの顧客価値基準を以下のような7つ要素で定義づけている。

①製品サービスの属性：品質,価格,時間,機能(選択)

②顧客との関連性：顧客との関連性,サービス

③イメージ：ブランドイメージ [8]

卓越した業務戦略を採る企業は、競争的な価格、顧客が認知する品質、および購入に関する短いリードタイムや納期厳守に秀でている必要がある。製品リーダーシップ戦略を採る企業は自社の製品とサービスの機能性、特徴および性能に秀でていなくてはならない。顧客関係重視戦略を採る企業では顧客との関係の質及び顧客に提供されるソリューションが完璧であること

が強調される。

| 卓越した業務戦略  |    |    |    |      |    |       |
|---|----|----|----|------|----|-------|
| 製品/サービスの属性  |    |    |    | 顧客関係 |    | イメージ  |
| 価格  | 品質 | 時間 | 機能 | ×    | ×  | ブランド  |
| 業務の卓越性 (Operational Excellence)                       |    |    |    |      |    |       |
| 競争的な価格、顧客が認知する品質、購入に関する短いリードタイム<br>(効率性重視: 低価格, 原価低減) |    |    |    |      |    |       |
| 顧客関係重視戦略  |    |    |    |      |    |       |
| 製品/サービスの属性  |    |    |    | 顧客関係 |    | イメージ  |
| ×   | ×  | ×  | ×  | サービス | 関係 | ブランド  |
| 顧客との親密さ (Customer Intimacy)                           |    |    |    |      |    |       |
| 顧客との関係、ソリューション<br>(個別具体的ソリューション重視)                    |    |    |    |      |    |       |
| 製品リーダーシップ戦略   |    |    |    |      |    |       |
| 製品/サービスの属性  |    |    |    | 顧客関係 |    | イメージ  |
| ×   | ×  | 時間 | 機能 | ×    | ×  | ブランド  |
| 製品リーダーシップ (Product Leadership)                        |    |    |    |      |    |       |
| 製品とサービスの機能性、性能重視<br>(新製品開発差別化重視: 研究開発)                |    |    |    |      |    |       |
|   |    |    |    |      |    | 差別化要因 |
|   |    |    |    | ×    |    | 一般要件  |

図 5.1 各顧客価値基準における差別化要因

上記一つ一つの要素にはレベルが存在する。例えば、価格であれば低価格、高価格。サポートサービスであれば遅い、速いなどである。顧客価値を決めるということは要素とレベルを定義することでもある。

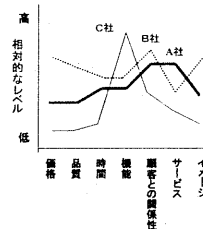


図 5.2 バリューカーブに基づく顧客価値の明確化

本シミュレータでは顧客提供価値を定義するパラメータ「品質」、「価格」、「時間」、「選択」(機能)、「顧客との関連性」、「サービス」、「ブランドイメージ」を1個体(1企業)の7つの遺伝子として使用し、GAを行う。上記の7つの要素はそれぞれのカテゴリにおける投資レベルを表し、1~10の整数値で表現される。1から10に従って重点的に投資することになり、投資金額もそれに比例して増大する。これらの各要素は企業が選択できる投資要素であり、個々の個体は競争優位を得るためにマーケットセグメントでどのように差別化していくかを投資レベルによって決定する。

### 5.2. 市場モデル

企業が選択すべき顧客提供価値は市場の特性や競合他社の動向に大きく影響を受ける。ここで重要となる点は、企業が上記のバリューカーブに基づく顧客

価値提供戦略を採ったとき顧客はどのように反応するかということである。そこで、消費者反応（選択）過程解明の消費者行動研究のモデルを組み込むことにした。池尾は消費者反応（選択）過程における消費者の情報探索の視点から体系的なモデルを提案した。「購買関与度」と「品質判断力」の2つの消費者側要因から消費者を類型化し、消費者行動およびそれに適合する戦略を提示している。購買関与度とは購買決定や選択に関して消費者が感じる心配や関心の程度であり、品質判断力は、どの程度まで要約された情報ならば、自分のニーズと関連づけて処理できるかを表す概念である。

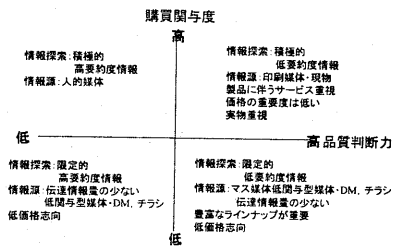


図 5.3 購買関与度と品質判断力による購買行動分類 【池尾 93】

更に、この消費者購買の各類型における購買行動の実証研究を耐久消費財(家庭用電化製品)市場で行っている。本シミュレータではこの各類型における実際の購買データを使用する。クラスター分析の結果（製品購入における各類型ごとの購買数）は以下の通り。

表 5.4 製品別各クラスターの購入数

|            | クラスター1<br>高関与<br>高判断力 | クラスター2<br>高関与<br>低判断力 | クラスター3<br>低関与<br>低判断力 | クラスター4<br>低関与<br>高判断力 | 合計 |
|------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|----|
| BSテレビ      | 31<br>15.7            | 21<br>12.2            | 12<br>22.0            | 3<br>17.1             | 67 |
| ラジカセ       | 12<br>18.3            | 8<br>14.2             | 38<br>25.6            | 20<br>19.9            | 78 |
| 電気<br>ひげそり | 3<br>11.7             | 1<br>9.1              | 9<br>16.4             | 37<br>12.7            | 50 |

上段：実数  
下段：期待値

### 5.3. シミュレーションモデル

これまで述べてきた企業モデルと市場モデルを組み込んだシミュレータを構築し、実行した。エージェントモデルは以下のようなものである。個々のエージェントの目的は①経常利益の最大化②キャッシュフローの最大化③シェアの最大化④借入金の最小化である。基本的なシミュレーションの手順は以下の手順で実行する。

(1) 遺伝子情報に従って各投資分野に対する投資額を決定

- (2) 前期の需要または前年の販売数から今期の販売目標を決定
- (3) 生産数から1つあたりの輸送費、材料費を計算
- (4) 当期現金支出を計算し、借入額を決定
- (5) 各クラスター(消費者購買の各類型)ごとに顧客需要を計算
- (6) 販売可能数量と需要の少ない方で売上計算
- (7) B/S作成
- (8) 10期繰り返す

各パラメータの計算式を以下に示す。

投資額: 前年投資額 \* (1.0 + (各社の投資(遺伝子の数値) \* 2.0) / 100)

前年の投資額 \* 投資係数 (各社の投資比率 1.21 ~ 3.1)

各社の投資 (遺伝子の数値 \* 3,000,000 \* 各期倍)

投資配分: 遺伝子に基づいて配分

販売目標: 前期の需要

輸送コスト: 1000 個未満 100, 10000 個未満 66(100\*2/3),

10000 個未満 66(100\*2/3), 10000 個未満 50(100/2),

100000 個未満 33(100/3), 100000 個以上 25(100/4)

材料費: 1000 個未満 2000, 10000 個未満 133(200\*2/3)

10000 個未満 100(200/2), 100000 個未満 66(200/3)

100000 個以上 50(200/4)

在庫費用: 1 個あたり 100

当期現金支出: 投資可能金額 + 輸送コスト + 材料費 + 在庫費用 + 人件費 + 賃料

総需要: 前回需要 \* α α=1.1

各社のシェア: 販売価格に対し逆比例配分を行い、投資レベルによる重みを反映

各社の販売可能数量: 生産数量 + 在庫数量

販売原価: (材料費 + 輸送コスト + 固定費) / 販売目標

販売価格: 販売原価 + 戦略の重み分

各社の売上: 販売価格 \* 販売数量

営業利益: 売上高 - (原材料 + 減価償却費 + 固定費 + 営業経費)

経常利益: 営業利益 - 金利

### 5.4. GA パラメータ

GA オペレーションに関するパラメータ設定について述べる。GA オペレーションを行うステップ数: 100 ~ 1500, 選択: トーナメント選択, 突然変異: 突然変異確率 0.1, 交叉: 交叉確率 0.1, タブーリスト数: 各目的関数+1, タブーリスト格納数: 5, Population Size: 40 (社会数), 投資資金: 42,000,000 から 126,000,000

## 6. 実験結果

### 6.1. BS テレビ市場

本章では先に説明したシミュレータによって実験した結果について考察する。BSテレビ市場において4つの目的関数それぞれのシミュレーション結果を示す。図 6.1～図 6.4 までは各世代における最大値(最小値)を表す。経常利益の最大化、キャッシュフロー最大化および借入金の最小化においては180回程度の世代で、シェア、借入金においては150回、55回程度でそれぞれ最大値、最小値に到達していた。

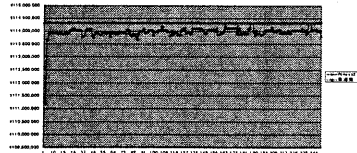


図 6.1 経常利益の最大化

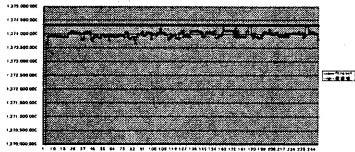


図 6.2 キャッシュフローの最大化

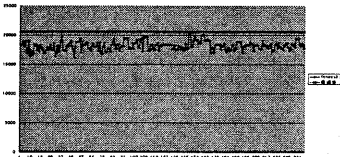


図 6.3 シェアの最大化

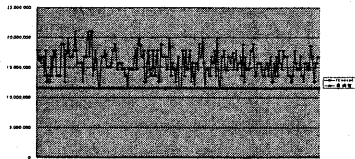


図 6.4 借入金の最小化

### 6.2. Genetics based Validation 分析 (BS テレビ)

続いてタブーリストに格納されている個体(5つ)を遺伝子座ごとに平均値、分散、標準偏差を出す。タブーリストには各目的関数における最適候補を格納している。標準偏差の数値から経常利益は価格(標準偏差:0.00)とサービス(標準偏差:0.84)はばらつきが少ない。価格は高価格戦略(平均:1.0)、サービスには投資増(平均:9.2)となった。キャッシュフローにおい

ても同様に価格は高価格戦略(標準偏差:0.00 平均:1.0)、サービスには投資増(標準偏差:0.84 平均:9.2)となり値にばらつきが少ないという結果が出た。シェアに関しては比較的個別要因の影響は少ないが、選択(標準偏差:1.1 平均:1.8)、イメージ(標準偏差:1.0 平均:2.0)に伴い投資減。借入金に関しては価格と時間にそれぞれ高価格戦略(標準偏差:0.0 平均:1.0)、投資減(標準偏差:1.0 平均:2.0)といった結果となった。このように各遺伝子座の標準偏差と平均値を見ることで結果に対しどの遺伝子がどのような影響を及ぼしているかが解る。

表 6.5 Tabu1 (経常利益最大化)

| 記述統計量 | 度数 | 最小値 | 最大値 | 平均値  | tabu1 |       |
|-------|----|-----|-----|------|-------|-------|
|       |    |     |     |      | 標準偏差  | 分散    |
| GENE1 | 5  | 1   | 1   | 1.00 | 0.00  | 0.00  |
| GENE2 | 5  | 5   | 10  | 9.00 | 2.24  | 5.00  |
| GENE3 | 5  | 1   | 10  | 7.60 | 3.91  | 15.30 |
| GENE4 | 5  | 1   | 10  | 4.20 | 4.44  | 19.70 |
| GENE5 | 5  | 8   | 10  | 9.20 | 0.84  | 0.70  |
| GENE6 | 5  | 2   | 10  | 7.20 | 3.90  | 15.20 |
| GENE7 | 5  | 1   | 10  | 3.80 | 3.56  | 12.70 |

表 6.6 Tabu2 (キャッシュフロー最大化)

| 記述統計量 | 度数 | 最小値 | 最大値 | 平均値  | tabu2 |       |
|-------|----|-----|-----|------|-------|-------|
|       |    |     |     |      | 標準偏差  | 分散    |
| GENE1 | 5  | 1   | 1   | 1.00 | 0.00  | 0.00  |
| GENE2 | 5  | 5   | 10  | 8.20 | 2.05  | 4.20  |
| GENE3 | 5  | 1   | 10  | 7.60 | 3.71  | 13.80 |
| GENE4 | 5  | 1   | 8   | 3.00 | 3.08  | 9.50  |
| GENE5 | 5  | 8   | 10  | 9.20 | 0.84  | 0.70  |
| GENE6 | 5  | 2   | 10  | 7.20 | 3.90  | 15.20 |
| GENE7 | 5  | 1   | 10  | 5.80 | 4.09  | 16.70 |

表 6.7 Tabu3 (シェア最大化)

| 記述統計量 | 度数 | 最小値 | 最大値 | 平均値  | tabu3 |       |
|-------|----|-----|-----|------|-------|-------|
|       |    |     |     |      | 標準偏差  | 分散    |
| GENE1 | 5  | 4   | 8   | 5.40 | 1.67  | 2.80  |
| GENE2 | 5  | 3   | 10  | 8.40 | 3.05  | 9.30  |
| GENE3 | 5  | 1   | 10  | 6.20 | 4.76  | 22.70 |
| GENE4 | 5  | 1   | 3   | 1.80 | 1.10  | 1.20  |
| GENE5 | 5  | 6   | 10  | 9.00 | 1.73  | 3.00  |
| GENE6 | 5  | 2   | 10  | 8.20 | 3.49  | 12.20 |
| GENE7 | 5  | 1   | 3   | 2.00 | 1.00  | 1.00  |

表 6.8 Tabu4 (借入金最小化)

| 記述統計量 | 度数 | 最小値 | 最大値 | 平均値  | tabu4 |       |
|-------|----|-----|-----|------|-------|-------|
|       |    |     |     |      | 標準偏差  | 分散    |
| GENE1 | 5  | 1   | 1   | 1.00 | 0.00  | 0.00  |
| GENE2 | 5  | 1   | 6   | 2.80 | 2.17  | 4.70  |
| GENE3 | 5  | 1   | 3   | 2.00 | 1.00  | 1.00  |
| GENE4 | 5  | 1   | 5   | 2.20 | 1.64  | 2.70  |
| GENE5 | 5  | 1   | 10  | 4.20 | 3.70  | 13.70 |
| GENE6 | 5  | 1   | 5   | 1.80 | 1.79  | 3.20  |
| GENE7 | 5  | 1   | 4   | 2.00 | 1.22  | 1.50  |

### 6.3. 他市場との比較

電気ヒゲソリ市場、ラジカセ市場の実験結果と比較してみた。3市場とも価格についてのばらつきがなく高価格戦略を採る結果となった。これはモデルの設定の段階で価格の影響を他のパラメータよりも大きくしたことが原因と考えられる。ただ、シェアに関しては平均値を見る限り 電気ヒゲソリ、ラジカセ、BS テレビ

の順番で高価格の割合が進んでいる。ラジカセ市場では時間への要求が高いのと電気ヒゲソリ市場では製品の機能そのものへの関心が高い傾向が見られた。

表 6.9 3 市場における比較

| BSカラーテレビ市場   |      |      | ラジカセ市場 |      |       | 電気ヒゲソリ市場 |       |      |
|--------------|------|------|--------|------|-------|----------|-------|------|
| 経常利益         | 平均値  | 標準偏差 | 平均値    | 標準偏差 | 平均値   | 標準偏差     | 平均値   | 標準偏差 |
| tabu1        |      |      |        |      |       |          |       |      |
| 価格 GENE1     | 1.00 | 0.00 | 1.00   | 0.00 | 1.00  | 0.00     | 1.00  | 0.00 |
| 品質 GENE2     | 9.00 | 2.24 | 3.20   | 3.90 | 9.60  | 0.55     | 9.60  | 0.55 |
| 時間 GENE3     | 7.50 | 3.91 | 5.60   | 3.35 | 5.60  | 3.21     | 5.60  | 3.21 |
| 選択(機能) GENE4 | 4.20 | 4.44 | 8.80   | 0.45 | 8.80  | 0.71     | 8.80  | 0.71 |
| サービス GENE5   | 9.20 | 0.84 | 5.60   | 3.35 | 4.80  | 1.48     | 4.80  | 1.48 |
| 顧客関係性 GENE6  | 7.20 | 3.90 | 10.00  | 0.00 | 4.80  | 3.58     | 4.80  | 3.58 |
| イメージ GENE7   | 3.80 | 3.56 | 2.60   | 2.30 | 7.20  | 2.17     | 7.20  | 2.17 |
| キャッシュフロー     |      |      |        |      |       |          |       |      |
| tabu2        |      |      |        |      |       |          |       |      |
| 価格 GENE1     | 1.00 | 0.00 | 1.00   | 0.00 | 1.00  | 0.00     | 1.00  | 0.00 |
| 品質 GENE2     | 8.20 | 2.05 | 3.20   | 3.90 | 9.60  | 0.55     | 9.60  | 0.55 |
| 時間 GENE3     | 7.80 | 3.71 | 5.60   | 0.45 | 5.60  | 3.21     | 5.60  | 3.21 |
| 選択(機能) GENE4 | 3.00 | 3.08 | 5.60   | 3.35 | 4.80  | 1.48     | 4.80  | 1.48 |
| サービス GENE5   | 9.20 | 0.84 | 10.00  | 0.00 | 4.80  | 3.58     | 4.80  | 3.58 |
| 顧客関係性 GENE6  | 7.20 | 3.90 | 2.60   | 2.30 | 7.20  | 2.17     | 7.20  | 2.17 |
| イメージ GENE7   | 5.80 | 4.09 |        |      |       |          |       |      |
| シェア          |      |      |        |      |       |          |       |      |
| tabu3        |      |      |        |      |       |          |       |      |
| 価格 GENE1     | 5.40 | 1.67 | 6.20   | 1.30 | 7.80  | 1.48     | 7.80  | 1.48 |
| 品質 GENE2     | 8.40 | 3.05 | 3.40   | 0.55 | 10.00 | 0.00     | 10.00 | 0.00 |
| 時間 GENE3     | 6.20 | 4.76 | 9.40   | 0.55 | 1.60  | 1.34     | 1.60  | 1.34 |
| 選択(機能) GENE4 | 1.80 | 1.10 | 2.40   | 1.34 | 10.00 | 0.00     | 10.00 | 0.00 |
| サービス GENE5   | 9.00 | 1.73 | 9.80   | 0.45 | 2.00  | 1.22     | 2.00  | 1.22 |
| 顧客関係性 GENE6  | 8.20 | 3.49 | 9.60   | 0.85 | 1.60  | 0.85     | 1.60  | 0.85 |
| イメージ GENE7   | 2.00 | 1.00 | 3.40   | 1.52 | 5.80  | 0.89     | 5.80  | 0.89 |
| 借入金          |      |      |        |      |       |          |       |      |
| tabu4        |      |      |        |      |       |          |       |      |
| 価格 GENE1     | 1.00 | 0.00 | 1.00   | 0.00 | 1.00  | 0.00     | 1.00  | 0.00 |
| 品質 GENE2     | 2.80 | 2.17 | 1.40   | 0.55 | 2.80  | 1.92     | 2.80  | 1.92 |
| 時間 GENE3     | 2.00 | 1.00 | 3.00   | 1.00 | 1.60  | 0.89     | 1.60  | 0.89 |
| 選択(機能) GENE4 | 2.20 | 1.64 | 2.20   | 1.64 | 2.20  | 1.30     | 2.20  | 1.30 |
| サービス GENE5   | 4.20 | 3.70 | 2.60   | 2.07 | 2.40  | 1.14     | 2.40  | 1.14 |
| 顧客関係性 GENE6  | 1.80 | 1.79 | 2.40   | 2.19 | 2.00  | 1.41     | 2.00  | 1.41 |
| イメージ GENE7   | 2.00 | 1.22 |        |      |       |          |       |      |

## 6.4. 全遺伝子データの相関

ここではカラーテレビ市場での実験結果を基に遺伝子座と各 fitness の関係を調べるために 1500 世代の全遺伝子情報を使用した。相関係数における Z 変換を行い各 fitness に対する遺伝子座の優位性を検証した。

$\rho$  : 相関係数  $n$  : 標本集団

$$Z = \frac{1}{2} \log \frac{1+\rho}{1-\rho} \sim N \left( 0, \frac{1}{n-3} \right)$$

$$\Delta Z = \frac{1}{2} \log \frac{1+\rho_1}{1-\rho_1} - \frac{1}{2} \log \frac{1+\rho_2}{1-\rho_2}$$

$\Delta Z$  は近似的に平均 0, 分散  $\frac{2}{n-3}$  の正規分布に従う

$$\left| \frac{\Delta Z}{\sqrt{\frac{2}{n-3}}} \right| > 2 \text{ は } 5\% \text{ 優位である。}$$

### 6.4.1. fitness1(経常利益)

すべての遺伝子座に対し、遺伝子座 1(価格)は優位性が高い。逆に、遺伝子座 4(機能)および遺伝子座 7(イメージ)は他の遺伝子座よりも優位性が低いという結果が出た。

### 6.4.2. fitness2(キャッシュフロー)

キャッシュフローも経常利益と同様の結果が得られたが、経常利益よりも価格の優位性が高いことが解った。

### 6.4.3. fitness3(シェア)

シェアに関しては遺伝子座 1(価格)がもっとも優位性が高く、次いで遺伝子 2(品質), 遺伝子 6(顧客関係性)に優位性が認められた。

### 6.4.4. fitness4(借入金)

ここでも遺伝子座 1(価格)がもっとも優位性が高かった。ここでは経常利益およびキャッシュフローとは違い、価格は正の相関があった。

## 7. 考察と今後の課題

このように遺伝子座と fitness の関係を見るということは出てきた解の妥当性を判断するということになる。本論では、各目的関数における遺伝子座の感度分析について述べてきた。今後は 4 つの fitness におけるパレート最適性や遺伝子座間についても同様な実験を行ってみたい。企業分析シミュレータについては、fitness が価格の影響を受けやすいものに設定されているため、収益性だけでなく本来の企業分析で使われる、安定性, 成長性, 生産性をモデル化しバランスの取れた企業分析シミュレータを構築したい。

## 文 献

- [1] 井庭崇, 福原義久, 複雑系入門, NTT 出版 1998.
- [2] Hraber, P., Jones, T., and Forrest, S.: *The Ecology of Eco, Artificial Life* (1996)
- [3] Epstein, J. and Axtell, R.: *Growing Artificial societies*, Brookings Institution Press, The MIT Press (1996)
- [4] 倉橋節也, 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, 計測自動制御学会論文集 Vol.35, No.11, 1454/1461 (1999).
- [5] J.D.Schaffer: Multiple Objective Optimization with Vector Evaluated Genetic Algorithms, *Proceeding of the First International Conference on Genetic Algorithms and Their Applications*, Lawrence Erlbaum Associates, Inc., Publishers, 1985, pp.93-100
- [6] 倉橋節也, 寺野隆雄: エージェントシミュレーションによる共同分配規範モデル, 電子情報通信学会論文誌 D-I Vol. J84-D-I No.8 1160/1168 (2001).
- [7] M.Treacy and Wiersema, *The Discipline of Market Leaders: Choose Your Customers, Narrow Your Focus, Dominate Your Market*, 1995 (大原進訳 No.1 企業の法則)
- [8] Robert S Kaplan and David P. Norton, *The Strategy Focused Organization: How Balanced Companies Thrive in the New Business Environment*, Harvard Business School Press, 2001 (櫻井通晴訳 戦略バランストスコアカード)