

エージェントシミュレーションの妥当性評価における統計分析

内藤 賢一[†] 寺野 隆雄^{††}

本研究では社会システムにおけるエージェントシミュレーションの妥当性評価問題について考察し、問題の解決を図る手法を提案する。(1) 競合する企業を表す意思決定エージェントの戦略パラメタを遺伝的アルゴリズムによって最適化すること; (2) この場合の目的関数を多目的に設定し、複数の目的を同時に最適化すること; (3) シミュレーションの前提を現実のマーケティング調査にあわせて設定し現実とのリンクをとること; (4) 得られた複数のシミュレーション結果について、個々の遺伝子の統計分析を通して、妥当性を検討すること。提案手法を用いた、企業行動のモデル化ならびにシミュレーション実験の結果により、市場において競合関係にある企業の戦略の決定とその頑健性・妥当性の検討が可能であることを示す。

Statistical Analysis to Evaluate Agent-Based Social Simulation

Kenichi NAITOH[†] Takao TERANO^{††}

This paper presents a novel approach to evaluate results of agent-based social simulation. Contrary to natural science areas, simulation of social phenomena does not have rigorous disciplines behind the model. Thus, the validation task is critical. Our approach is characterized: (1) Parameter tuning in a huge search space is carried out by Multi-Objective Genetic Algorithms (MOGAs), (2) Multiple results of simulation are attained via the MOGAs, and (3) The results are statistically analyzed by means of the solution populations. The method is applied to simulation of competing firms in a marketing domain.

1 序論

本研究では社会システムにおけるエージェントシミュレーションの妥当性評価問題について考察し、問題の解決を図る手法を提案する。社会システムにおけるシミュレーションにおいては結果の解の解釈難しく、解釈が不十分となり、結果のインパクトが弱くなる場合がある。

本研究では上記の問題点に対し、パラメータと目的関数との関係性について統計分析を行うことで結果の妥当性を向上させる解決策を提案する。この方法は進化計算手法を採用した場合に限られるが、遺伝子座と目的関数の関係性を見ることで結果に影響を与えている遺伝子座を確認することができる。

2 遺伝的アルゴリズムによるシミュレーションの最適化と評価手法

2.1 研究のアプローチ

本章では以下の2つのフェーズに分けて研究の内容を説明する。

- ・社会シミュレータの構築
- ・遺伝子座間の相関関係の検証

社会シミュレータ構築のフェーズ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。開発するシステムは企業が投資戦略を設定し、その戦略に基づき原材料を調達し、生産し、販売する。販売先の市場は耐久消費財市場で一般消費者である。消費者は投資戦略に基づいて生産された製品を購入し、代金を支払う。購入する際は企業から消費者に提供される価値の度

合いによってどの社の製品を購入するかを決める。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する。実装にあたっては進化計算を使った多目的最適化問題を解くシミュレータを構築する。

進化計算とは生物の進化のメカニズムをまねてデータ構造を変形、合成、選択する手法である。進化計算の代表例として遺伝的アルゴリズム (GA) や遺伝的プログラム (GP) がある。

本研究では遺伝的アルゴリズムを使って最適化を行う手法を採用する。遺伝的アルゴリズム最適化手法の特徴としてヒューリスティック法とランダム探索法を有効に組み合わせた手法であることを挙げる事ができる。両者をうまく作用させることで大域的に良い準最適解を効率的に探索することができる。本研究では遺伝子の一つ一つが企業の投資戦略の属性と対応しており、適応度は企業の達成目標に対応している。

遺伝子座間の相関関係の検証では前記シミュレータによって導き出された候補 (遺伝子) と適応度について分析する。まずはじめに、適応度の高い個体の感度分析を行う。ここで行う感度分析とは、適応度に対して影響の高い遺伝子座、適応度に対して影響の低い遺伝子座を見つけたことである。個体群がある程度収束した段階で適応度の高い最適候補の個体の遺伝子座のばらつきをみる。遺伝子座のばらつきが小さければその遺伝子座は収束して、適応度への影響は大きいと言える。遺伝子座とは図1に示すように記号列 (染色体) 上で1個の遺伝子が占める位置である。ばらつき的大小は標準偏差を基に判定する。

内藤 賢一[†] キヤノン販売株式会社 Canon Sales Co.,Inc, Tokyo, Japan

寺野 隆雄^{††} 筑波大学経営システム科学専攻 Graduate School of Business Sciences, University of Tsukuba

次に遺伝子座と適応度の関係性について相関分析を行う。ほぼ収束した段階の世代の個体を対象に相関係数を導き適応度に対する遺伝子座の有意性を検証する。更に遺伝子座と適応度について重回帰分析を行い前述の感度分析、相関分析と比較検証する。これにより、適応度に対する遺伝子座の影響度が明らかとなり、シミュレーション結果の解釈の妥当性が向上する。

	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

図1 遺伝子座と適応度の関係

続いて適応度間の相関について分析する。本研究で構築するシミュレータは多目的問題に対応しており適応度が複数存在する。つまり、複数の目的関数を同時に最適化している。したがって、適応度間の相関を見ることでモデルの傾向を把握することが可能となる。例えば4つの目的関数を有するシミュレータの場合、目的関数1の適応度と目的関数2の適応度に強い相関関係があったとしたらシミュレータの結果は目的関数1および2の影響を大きく受けている可能性がある。少なくとも遺伝的アルゴリズムを実行する過程で個体群の分布は目的関数1及び2に傾く。このように適応度間の関係を把握することでシミュレーション結果の解釈においてモデルの傾向についての考察を加えることが可能となる。その結果やはりシミュレーション結果の妥当性向上に繋がる。

2.2 シミュレータの全体構成

ここではシミュレータの全体構成と流れを説明する。全体構成は図2のとおりである。ベースとなる方法は遺伝的アルゴリズム(GA:Genetic Algorithm)である。本シミュレータではGAを最適投資選択を探索するための最適化に使用している。

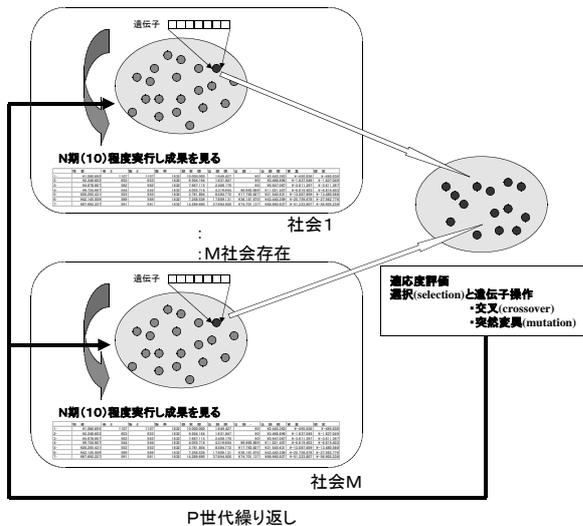


図2 シミュレータの全体構成

基本的な全体構成の流れは次のとおりである。複数の社会を発生させる。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を発生させる。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。評価結果を基にエージェントに対し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。

2.3 多目的問題への対応

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。多目的問題とは複数の目的関数の最適化を目的とした問題である。しかし、複数の目的関数を同時に最適化することができるとは限らない。例えば、企業活動についてこの問題を当てはめてみる。企業の活動目標についても単目的ということはない。多くの場合売上目標, 利益目標, シェア拡大, コスト削減など常に複数の目標を掲げて活動している。シェアを伸ばすために販売価格を大幅に下げると、販売単価が下がり売上、利益は減少する。売上を伸ばす為に、生産を大幅に拡大させると、在庫コストが膨らみ、利益を圧迫する。つまり2つないし3つの目標を同時に最適化するのは不可能なのである。

このような場合に役に立つ考え方がパレート最適性(Pareto Optimality)である。ある発生事象がパレート最適解となるのは、全ての評価関数に対してそれと同程度にあるいはそれ以上に好ましい発生事象が他に存在しないような場合である。パレート最適解は一般に複数存在し、パレート最適解集合を一括して求める手法が提案されている。

本研究では、その中で VEGA(vector evaluated genetic algorithms)[Schaffer 1985]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。図3に VEGA の基本概念を示す。

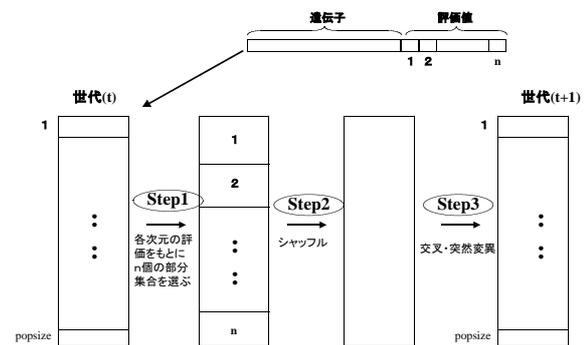


図3 VEGA の基本的概念図

2.4 タブー探索アルゴリズム

本研究では個体群がある程度収束した段階で適応度の高い個体(解候補群)の遺伝子座について感度分析を行う。複数の最適解候補を分析の対象として遺伝子座のばらつきを見る。ここでは、個体を格納するためのリストのようなものが必要となる。本研究では Tabu-GA(タブー探索アルゴリズム)を使用す

る。Tabu-GA(タブー探索アルゴリズム)は[倉橋,寺野 1999]によって提案された手法である。GA とタブー探索の統合は GA による関数最適化問題で研究されてきた。しかし提案されたほとんどの手法は GA によって大域的な解候補を探索し、タブー探索によって局所的な解を見つけるものであった。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ブ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、妥当性分析による解析対象の解集合とする。

3 人工社会モデル

3.1 採用企業のモデル

本シミュレータでは競合する企業環境において企業戦略の獲得を進化の問題として扱う。そして「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」についてパラメータの因果関係について分析を行う。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(1995)は成功した企業を分析し、この顧客価値基準を業務の卓越性(Operational Excellence)顧客との親密さ(Customer Intimacy)製品リーダーシップ(Product Leadership)(Treacy 1995)以下の3つに分類した。更に、Robert S Kaplan and David P.Norton(2001)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。

製品・サービスの属性：品質，価格，時間，機能
顧客との関連性：サービス，顧客との関連性
イメージ：ブランドイメージ

[Kaplan,Norton 2001]

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(顧客との親密さ)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要求される。

上記の7つの要素には一つ一つレベルが存在する。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4はバリューカーブと呼ばれ企業が選択する顧客提4価値を定義し、要素別に自社が提供する価値のレベルを示し、他社の違いを明確化したものである。これを描くことで自社のポジショニングを明確にすることができる。[Kim 1997]

図4にバリューカーブに基づく顧客価値の明確化の例を示す。

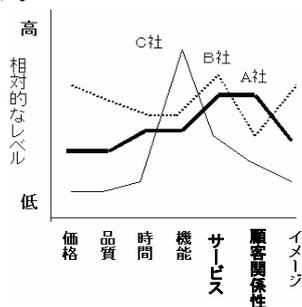


図4 バリューカーブに基づく顧客価値の明確化

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」、「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オペレーションを行う。

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。

3.2 採用市場のモデル

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、企業が上記のパリ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。

本シミュレータでは、消費者購買の各類型における購買行動の実証研究[池尾 1993]で使用された耐久消費財(家庭用電化製品)市場におけるこの各類型における実際の購買データを使用する。

各類型(クラスター)における製品購入結果(製品購入における各類型ごとの購買数)は以下の通りである。表5に製品別各クラスターの購入数を示す。

表5 製品別各クラスターの購入数

	クラスター-A 高関与 高判断力	クラスター-B 高関与 低判断力	クラスター-C 低関与 低判断力	クラスター-D 低関与 高判断力	合計
BSテレビ	31 47%	21 31%	12 18%	3 4%	67
電気ひげそり	3 6%	1 2%	9 18%	37 74%	50

上段:実数値
下段:占有率

3.3 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・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。

エージェントクラスは「企業エージェント」を用意した。他に顧客エージェントなども考えられるが今回のシミュレーションでは未実装である。

1エージェントに対し、100の社会を用意した。従ってエージェント数は100になる。エージェントの初期値はランダムに設定されるが、各個体の遺伝子の総和が42以下14以上になるように制限を加えた。これはある目的関数に対しては最適値を示す遺伝子が全て10になったり、全て1になったりするのを防ぐためである。そして、1社会に対し19社の競合他社を設定した。競合他社の遺伝子はランダムに設定した。

個々のエージェントの目的は 経常利益の最大化シェアの最大化の2つである。基本的なシミュレーションの流れは以下の手順で実行される。

- 遺伝子情報に従って各投資分野に対する投資額を決定
- 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
- 生産数から1個あたりの輸送費、材料費を計算
- 当期現金支出を計算し、借入額を決定
- 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
- 販売可能数量と需要の少ない方で売上計算
- P/L作成

10 期繰り返す

次にシミュレータに実装した各パラメータの計算式を表 6 に示す。

表 6 シミュレータの各パラメータ

各社の投資額	各社の遺伝子の総和×3,000,000÷各期待
投資配分	14 各社の遺伝子の総和 ÷ 42 遺伝子に基づいて比例配分
販売目標	(例: サービスに関する投資=サービス/遺伝子の総和) 前期の需要
輸送コスト	10000個未満の場合100×個数 100000個未満の場合(100×2/3)×個数 1000000個未満の場合(100/2)×個数 10000000個未満の場合(100/3)×個数 100000000個以上の場合(100/4)×個数
材料費	10000個未満の場合200 100000個未満の場合(200×2/3)×個数 1000000個未満の場合(200/2)×個数 100000000個未満の場合(200/3)×個数 1000000000個以上の場合(200/4)×個数 1個あたり100
在庫費用	投資可能金額×輸送コスト+材料費+在庫費用+人件費+賃料
当期現金支出	前期需要の1.2倍
総需要	生産数量+在庫数量
各社の販売可能数量	販売原価×(販売数量-固定費)/販売目標
販売原価	1.0+価格遺伝子/10.0
価格戦略の重み	販売原価×価格戦略の重み
販売価格	販売原価×販売数量
各社の売上	売上高-(原材料+固定費+営業経費)
営業利益	営業利益-金利
経常利益	総需要×製品別各クラスターの購入占有率
クラスターごとの需要	以下のクラスターごとの総和
価格投資に対する需要	クラスターAの需要×企業数 クラスターBの需要×価格遺伝子の値の総和を逆比例配分 クラスターCの需要×価格遺伝子の値の総和を逆比例配分×3乗/各遺伝子の3乗の総和 クラスターDの需要×価格遺伝子の値の総和を逆比例配分×4乗/各遺伝子の4乗の総和
品質投資に対する需要	以下のクラスターごとの総和 クラスターAの需要×品質遺伝子の値の3乗/各遺伝子の3乗の総和 クラスターBの需要×品質遺伝子の値の2乗/各遺伝子の2乗の総和 クラスターCの需要×品質遺伝子の値の1乗/各遺伝子の1乗の総和 クラスターDの需要/企業数
時間投資に対する需要	以下のクラスターごとの総和 クラスターAの需要×時間遺伝子の値の2乗/各遺伝子の2乗の総和 クラスターBの需要×時間遺伝子の値の3乗/各遺伝子の3乗の総和 クラスターCの需要×時間遺伝子の値の2乗/各遺伝子の2乗の総和 クラスターDの需要×時間遺伝子の値/各遺伝子の総和
機能投資に対する需要	以下のクラスターごとの総和 クラスターAの需要×機能遺伝子の値/各遺伝子の総和 クラスターBの需要×機能遺伝子の値/各遺伝子の総和 クラスターCの需要×機能遺伝子の値/各遺伝子の総和 クラスターDの需要×機能遺伝子の値/各遺伝子の総和
サービス投資に対する需要	以下のクラスターごとの総和 クラスターAの需要×サービス遺伝子の値の3乗/各遺伝子の3乗の総和 クラスターBの需要×サービス遺伝子の値の2乗/各遺伝子の2乗の総和 クラスターCの需要×サービス遺伝子の値/各遺伝子の総和 クラスターDの需要/企業数
顧客関係性投資に対する需要	以下のクラスターごとの総和 クラスターAの需要×顧客関係性遺伝子の値の4乗/各遺伝子の4乗の総和 クラスターBの需要×顧客関係性遺伝子の値の3乗/各遺伝子の3乗の総和 クラスターCの需要/企業数 クラスターDの需要×顧客関係性遺伝子の値/各遺伝子の総和
イメージ投資に対する需要	以下のクラスターごとの総和 クラスターAの需要×イメージ遺伝子の値/各遺伝子の総和 クラスターBの需要×イメージ遺伝子の値/各遺伝子の総和 クラスターCの需要×イメージ遺伝子の値/各遺伝子の総和 クラスターDの需要×イメージ遺伝子の値/各遺伝子の総和
各社の需要	価格、品質、時間、機能、サービス、顧客関係性、イメージに対する各需要の総和

次に図 7 消費者の購買の類型(クラスター)と各戦略(遺伝子座)の関係を示す。



図 7 消費者の購買の類型(クラスター)と各戦略(遺伝子座)の関係

- クラスター-A: 高購買関与と高判断力
- クラスター-B: 高購買関与と低判断力
- クラスター-C: 低購買関与と低判断力
- クラスター-D: 低購買関与と高判断力

3.4 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 オペレーションをステップ数(世代): 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: 2点交叉 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

個体群(Population Size): 20

社会数: 100

多目的問題対応:

VEGA(vector evaluated genetic algorithms)

4 シミュレーション実験結果

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述べる。
実験は BS テレビ市場, 電気ひげそり市場の 2 市場について行った。

まずはじめに 4.1BS テレビ市場における最適化において 2 つの目的の学習結果について述べる。続いて 4.2 パレト最適化について述べる。この 2 つの実験は本シミュレータの動作が正常に行われていることを示すものである。続いて、4.3BS テレビ市場における感度分析について述べる。4.4 では他の市場である電気ひげそり市場との比較を行う。4.5 では競合企業の設定を変更させた実験結果について述べる。

4.1 BS テレビ市場における最適化

BS テレビ市場において 2 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 8, 図 9 は各世代における最大値を表す。経常利益の最大化においては 578 世代で、シェア最大化においては 1238 世代で最大値に到達していた。最適値はすべての遺伝子パターンを 10^7 分実験した結果である。

全ての実験において目的関数は同じ値に収束している。このことから、GA による最適化は適切に動作していることがわかる。

さらに、各社会に投入する個体の遺伝子の初期値を変えて 5 回ずつ行った。経常利益, シェア共に 1500 世代までで最適値を見つけた。経常利益の平均値に関しては 300 世代までに最適値近傍まで探索が進んでいるがその後の学習は進行が鈍くなっている。シェア(販売数)に関しては 200 ~ 1200 世代で最適値を見つけている。平均値は徐々に改善が進んでいた。

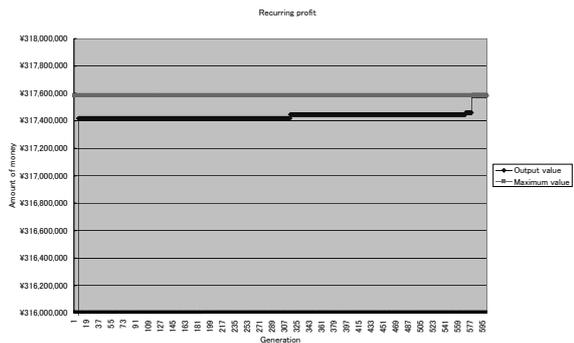


図 8 経常利益の最大化

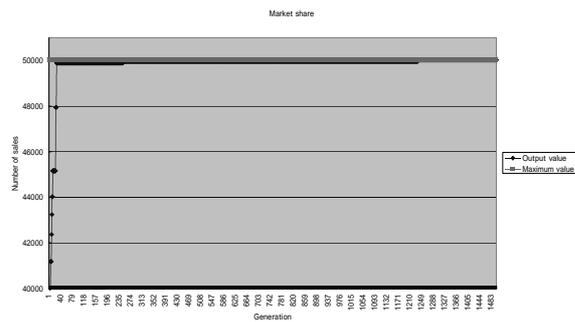


図9 経常利益の最大化

4.2 パレート最適性について

前章までは、個々の目的関数ごとに検証を行ってきた。この章では2つの目的関数のパレート最適性について検証する。検証方法は2つの目的関数を縦軸と横軸にとり散布図(パレート図)を作成した。世代が進むごとにより個体群が左下原点に向かって分布が移動しているかどうかを確認した。

1,50,500の各世代における全個体の分布をみると、各目的関数間においてパレート最適が世代ごとに進んでいることが解る。図10に2目的関数間のパレート図を示す。

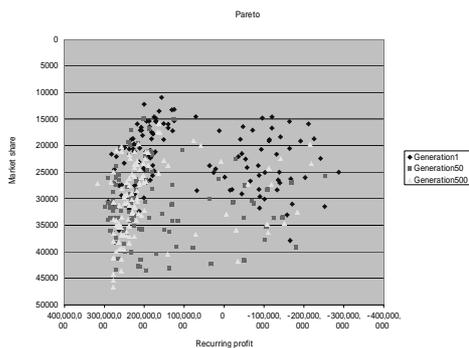


図10 経常利益最大化とシェア最大化パレート図

4.3 BSテレビ市場における感度分析

続いて、各目的関数における最適候補を格納しているタブーリストを見た。タブーの中には1~1500世代までの最適候補が格納されている。これを分析することによって適応度に対して影響のある遺伝子とそうでない遺伝子が解る。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。初期値を変えて5回行った計25サンプルを解析の対象とした。統計解析においてはSPSS Ver11.0J for Windowsを使用した。標準偏差の数値から経常利益では価格(標準偏差:0.00)がまったくばらつきがなく、次いでサービス(標準偏差:0.82)と顧客関係性(標準偏差:0.93)の順番でばらつきが少ない。価格は比較的高価格戦略(平均:7.0)、サービス(平均:6.8)および顧客関係性には他の戦略と比較して若干の投資増(平均:7.2)となった。価格戦略以外の標準偏差は0.81から1.35の間に収まっており、差はあまり見られなかった。シェアに関しては時間(標準偏差:0.0 平均:10.0)、サービス(標準偏差:0.0 平均:10.0)、顧客関係性(標準偏差:0.0 平均:10.0)共に投資増でまったくばらつきがなく、価格も(標準偏差:0.40 平均:4.96)とばらつきが少ない結果となった。ばらつきの少ない

遺伝子座は収束しているといことであり適応度に対して影響大であり、逆にばらつきの多い遺伝子は適応度に対する影響は少ない。このことから高額商品であるBSテレビ市場においては価格が経常利益額を決定づける重要なパラメータであるとともに、サービス、顧客関係性についても標準偏差の値から準決定要因となっているといえる。同様にシェアにおいても時間、サービス、顧客関係性がシェア(販売数)を決定づけているパラメータであり準決定要因として価格が次に重要視されているといえる。このようにタブーリストの中身を分析することで、目的関数に対して重要な遺伝子がわかる。表11, 12にタブーリスト中の5つの個体の遺伝子の平均値、分散、標準偏差を示す。

表11 経常利益最大化

	度数	最小値	最大値	平均値	標準偏差	分散
PRICE	25	7	7	7.00	0.00	0.00
QUALITY	25	3	7	4.88	1.130	1.277
TIME	25	3	6	4.44	1.366	1.840
FUNCTION	25	3	6	4.52	1.122	1.260
SERVICE	24	5	8	6.83	0.816	0.667
Relationship	25	5	8	7.24	0.926	0.857
Image Advertisement	25	4	8	5.12	1.013	1.027
有効なケースの数(リストごと)	24					

表12 シェア最大化

	度数	最小値	最大値	平均値	標準偏差	分散
PRICE	25	4	5	4.96	0.200	0.400
QUALITY	25	1	2	1.16	0.374	0.140
TIME	25	10	10	10.00	0.000	0.000
FUNCTION	25	1	6	3.36	1.440	2.073
SERVICE	25	10	10	10.00	0.000	0.000
Relationship	25	10	10	10.00	0.000	0.000
Image Advertisement	25	1	5	2.44	1.446	2.090
有効なケースの数(リストごと)	25					

4.4 他市場との比較

続いて、BSテレビ市場と電気ヒゲソリ市場との比較実験を行った。経常利益最大化に関しては両市場とも価格についてのばらつきがなく適応度に対して影響度が大きい。ただ、経常利益最大化のためにはBSテレビ市場は比較的高価格戦略を採り、電気ヒゲソリ市場では低価格戦略を採っている。BSテレビ市場におけるシェア拡大のためのポイントとしては時間、サービス、顧客関係性への要求が強く顧客との関係が重要視される。一方電気ヒゲソリ市場ではこういった顧客との関係よりは製品の品質、機能といった目に見える情報が重要視される傾向にある。相対的に各市場において価格の決定要因としての重要性は高いが、それ以外の準決定要因では各市場とも特性が確認できた。このことから本分析方法は市場による特性を反映させた形で目的関数に対して重要な遺伝子座を分析することができるものであると考える。

表13に各市場ごとにタブーリスト中の5つの個体の遺伝子座の平均値、標準偏差を示す。

	BSテレビ市場		電気ヒゲソリ市場	
	平均値	標準偏差	平均値	標準偏差
経常利益最大化				
Price	7.00	0.00	4.00	0.00
Quality	4.88	1.13	6.76	0.44
Time	6.44	1.36	6.40	1.83
Function	4.52	1.12	4.08	0.28
Service	6.83	0.82	8.24	1.36
Relationship	7.24	0.93	7.88	1.42
Image Advertisement	5.12	1.01	4.56	0.51
シェア最大化				
Price	4.96	0.20	1.08	0.28
Quality	1.16	0.37	10.00	0.00
Time	10.00	0.00	3.36	3.87
Function	3.36	1.44	9.84	0.37
Service	10.00	0.00	1.32	1.60
Relationship	10.00	0.00	6.40	4.17
Image Advertisement	2.44	1.45	9.64	0.49

表13 2つの市場の比較

続いて、同様にパレートタブーについても遺伝子座と適応度の関係を分析した。前回同様、初期値を変えて5回シミュレーションを実行し、計25サンプルを解析の対象とした。

BS テレビ市場では顧客関係性(平均値:9.76 標準偏差:0.52)が投資贈, 価格(平均値:4.32 標準偏差:0.48)とばらつきが少なく影響が大きい。電気ヒゲソリ市場では価格(平均値:2.00 標準偏差:0.00)が低価格, 品質(平均値:10.0 標準偏差:0.00)が投資増とばらつきがない。次いで機能(平均値:9.68 標準偏差:0.63), イメージ(平均値:9.68 標準偏差:0.56)がばらつきが少なくとも投資増という結果になった。ここでは経常利益最大化とシェア最大化で収束している遺伝子がパレートにも影響を与えていることがわかる。

表14にパレートタブーリスト中の5つの個体の遺伝子の平均値、標準偏差を示す。

表14 2つの市場における比較(パレートタブー)

パレート	BSテレビ市場		電気ヒゲソリ市場	
	平均値	標準偏差	平均値	標準偏差
Price	4.32	0.48	2.00	0.00
Quality	3.52	3.33	10.00	0.00
Time	8.08	2.77	4.36	2.78
Function	4.00	2.00	9.68	0.63
Service	8.88	2.33	1.64	1.04
Relationship	9.76	0.52	4.64	2.86
Image Advertisement	3.04	1.84	9.68	0.56

5 妥当性分析結果

本章では4章でのシミュレーションの実験結果に基づき、結果の妥当性分析を行う。分析は変数間の多面性を考慮にいれながら解析が必要があるため多変量解析の手法を用いた。使った手法は相関分析、重回帰分析、グラフィカルモデリングである。

グラフィカルモデリングは遺伝子座相互間においてによる共分散構造分析を行うために使った。グラフィカルモデリングは因果関係を分析する手法として開発された。変数間の関係を分析するためには、重回帰分析が用いられてきたが重回帰分析では説明変数間の関係を考慮せず、目的変数と説明変数の関連を解析の主目的としている。一方、説明変数間の関連性は主成分分析により分析することができる。しかし、主成分分析はいくつかの主成分(合成変数)の構成により、低い次元でデータを解釈するためには有効であるが、説明変数間の絡み合いを調べるには十分とはいえない。変数間の因果関係がはっきりしているならばパス解析を用いることも可能であるが、事前にはっきりしていない場合にはパス解析を用いることはできない。グラフィカルモデリングは事前にはっきりしていない因果関係や変数の絡み合いをデータに基づいて探索的にモデル化して、その妥当性を検証することが可能である。[日本品質管理学会 99]

前章においては遺伝子座と適応度の関係をタブーリストを使って分析してきた。

ここではBSテレビ市場における1000~1500世代の遺伝子全体を分析の対象として統計解析を行う。1000~1500世代を対象に分析を行う理由としては実験の結果全ての目的関数において1500世代までに最適値が収束していること。1000~1500世代の全個体の総数が50000となりサンプル数としても十分であると判断したためである。

5.1 遺伝子座と適応度の相関関係について

遺伝子座間及び適応度(各目的関数+パレート)の相関分析の結果を下記に示す。

500世代(1000~1500世代)における全個体のデー

タを基に相関分析を行った。

経常利益最大化

すべての遺伝子座に対し、価格(-0.733)は有意性が高い。顧客関係性(0.12), 時間(0.117), サービス(0.114)はその他の遺伝子座よりも若干有意性が高いという結果が出た。

シェア最大化

すべての遺伝子座に対し顧客関係性(0.610)がもっとも有意性が高く、次いでサービス(0.278), 時間(0.226), イメージ(0.194)に有意性が認められた

パレート

顧客関係性(-0.487)がもっとも有意性が高く、次いでサービス(-0.252), 時間(-0.223), 価格(-0.222)の順番に有意性が認められた。

5.2 遺伝子座と適応度の重回帰分析

続いて、各適応度を従属変数とし遺伝子座を独立変数とした重回帰分析を行った。ここでは各遺伝子座と適応度個々の関係性を検証する。

各適応度の調整済み R2 乗係数は表15のようになった。

表15 各適応度の調整済み R2 乗係数

	R	R2 乗	調整済みR2乗
Recurring profit	0.754	0.568	0.568
Market share	0.839	0.704	0.704
Pareto	0.799	0.639	0.639

各目的関数の調整済み R2 乗係数は経常利益最大化が0.568, シェア最大化が0.704, パレートが0.639という結果になった。

標準化偏回帰係数の値から経常利益最大化については価格(-0.678)以外は大きな影響を受ける遺伝子はなかった。シェア最大化に関しては顧客関係性(0.830)がもっとも有意性が高く、次いでサービス(0.553), 時間(0.528)となった。パレートも同様に顧客関係性(-0.756)がもっとも有意性が高く、次いでサービス(-0.579), 時間(-0.560)という結果になった。

表16に重回帰分析の実験結果を示す。

表16 重回帰分析の結果

	Recurring profit		Market share		Pareto	
	標準化係数	t	標準化係数	t	標準化係数	t
Price	-0.678	-218.995	0.185	72.345	0.014	-4.990
Quality	0.123	36.009	0.355	125.933	-0.455	-145.752
Time	0.147	43.058	0.528	187.037	-0.560	-179.489
Function	0.112	33.256	0.289	74.966	-0.332	-107.489
Service	0.147	42.718	0.553	193.820	-0.579	-183.477
Relationship	0.128	37.975	0.830	298.078	-0.756	-245.572
Image Advertisement	0.131	38.986	0.185	66.657	-0.341	-111.435

5.3 適応度と適応度の重回帰分析

続いて、パレートを従属変数とし2つの目的関数を独立変数とした重回帰分析を行った。ここでは2つの目的関数がパレートに与えている影響を検証する。

調整済み R2 乗係数は0.840で標準化偏回帰係数の値は経常利益最大化(-0.449)シェア最大化(-0.747)であった。

5.4 遺伝子座と適応度のについてのグラフィカルモデリング

本章ではCGGMを用いて共分散選択を行いフルモデルを作成した。CGGM(Conversational Graphical Gaussian Modeling)は量的変数に基づく解析ソフトとして芳賀敏郎が開発したものである。ここでは上記のソフトウェアを参考にして廣野元久が作成された解析ソフトG-GM for Windowsを使用した。

BS テレビ市場を対象に視覚的にこれらの遺伝子座と適応度の関係構造を分析した。分析にあたっては偏相関係数の絶対値の値を指定して辺の切断を行っていく自動選択オプションを使った。たとえば自動切断のオプションパラメータが 0.14 だとすると切断候補の辺の値が 0.14 未満の場合自動的に辺を切断し、次の切断候補の辺の値を確認し、また 0.14 未満の場合は切断するステップを繰り返す。

自動切断基準 0.20 の場合には、価格と経常利益最大化に強い関係性が見られ、この関係は他の遺伝子座及び適応度からは独立していた。シェア最大化は顧客関係性、サービスとの結びつきが強く、顧客関係性、サービスの相互間の関係性も強かった。自動切断基準を 0.30, 0.35 と上げていくとシェア最大化と各遺伝子座の関係においては顧客関係性、サービスに加え時間との関係性が見えてきた。

この結果は 5.1 遺伝子座と適応度の相関関係について および 5.2 遺伝子座と適応度の重回帰分析と一致する。

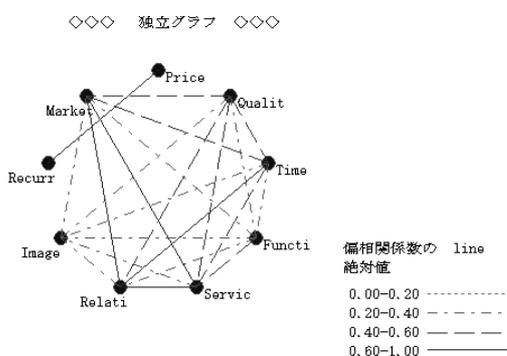


表 17 遺伝子座と適応度間におけるグラフ (自動切断基準 0.20)

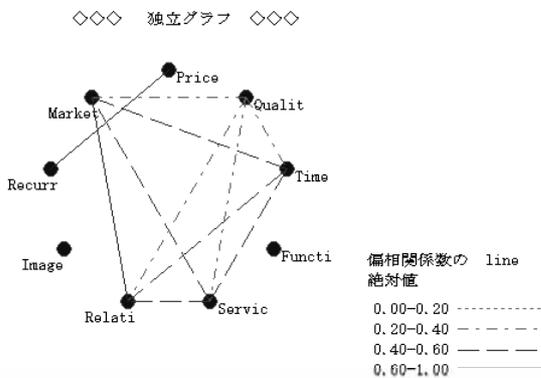


表 18 遺伝子座と適応度間におけるグラフ (自動切断基準 0.30)

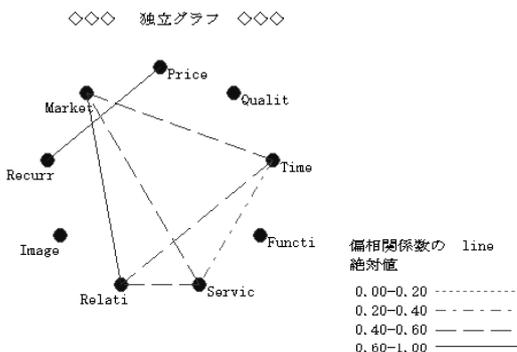


表 19 遺伝子座と適応度間におけるグラフ (自動切断基準 0.35)

6 妥当性分析についての考察

6.1 遺伝子と適応度について

以上の実験結果を基に遺伝子と適応度の関係性について考察を加える。

経常利益最大化に関しては BS テレビ市場における感度分析、相関分析、重回帰分析およびグラフィカルモデリングともに価格の影響が大きくその他の遺伝子座の影響は低く有意性は認められなかった。シェア最大化では相関分析および重回帰分析ともに顧客関係性の影響が大きく次いでサービス、時間の順番であった。これは BS テレビ市場における感度分析とも一致する。パレートでは相関分析および重回帰分析ともに顧客関係性の影響が大きく次いでサービス、時間の順番であった。

パレートの結果は図 8 消費者の購買の類型(クラスター)と各戦略(遺伝子)の関係と比較すると影響度の大小はあるものの有意性順序は合致している。

遺伝子と目的関数の関係を見ることで目的関数に影響を与えている遺伝子を確認することができた。

6.2 適応度と適応度について

適応度と適応度の相関関係を見ることで、モデルへの影響を検証し、結果への影響を考慮する。表 20 の相関行列より適応度間の相関をみるとパレートに対して経常利益最大化 (-0.538) シェア最大化 (-0.801) となっておりシェア最大化の方が有意性が高いことがわかる。重回帰分析でも同様の結果であった。本論文では GA オペレーションによって 2 つの目的関数を最適化しているが、さらに多くの目的関数を最適化場合がある解を解釈する上で目的関数間の影響度を考慮する必要がある。たとえば、複数の目的関数のうち 2 種類の目的関数の傾向が近い場合など遺伝子の分布がその目的関数に引っ張られる場合がでてくる。[内藤,寺野 2003]

7 結論と今後の課題

本論文では、エージェント・ベース・モデリングにおける妥当性評価問題について考察した。そして、遺伝的アルゴリズムによって得たエージェントの意思決定特性を分析するために、遺伝子座と適応度の関係を調べるという手法を提案した。特に、遺伝子座の感度分析手法は、エージェントが複数の目的関数を持ち、最適化の結果、解がパレート境界上に分散しているような場合に有用であることを企業の競争モデルの実験によって確認した。この考え方は、「遺伝的手法による妥当性評価」というエージェント・ベース・モデリング全般に適用可能な手法に発展させることが可能であり、今後は、この観点から研究を進める予定である。

また、本論文で例題に用いた競合企業のシミュレーションモデルは、Balanced Score Cards (BSC) の概念をエージェントの意思決定に採用している。そのため、経営情報学の立場からは、このモデルを用いて BSC 概念の有効性に関するより詳細な分析が可能である。

参考文献

[池尾 1993] 池尾恭一,家電製品における消費者の業態選択,マーケティング・ジャーナル 48 号,日本マーケティング協会,P15-28, 1993 年

[倉橋,寺野 1999] 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年

[内藤,寺野 2003] 内藤賢一, 寺野孝雄:市場競争のエージェントシミュレータと遺伝的アルゴリズムによる評価, 第 30 回知能システムシンポジウム予稿集, 計測自動制御学会, 2003

[Kim 1997] W.C.Kim R.Mauborgne *Value Innovation:The Strategic Logic of High Growth*,Harvard Business Review Jan-Feb1997

[Schaffer 1985] 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.

[Kaplan,Norton 2001] 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 戦略バランススコアカード)

[M.Treacy and Wiersema 1995] 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)

[日本品質管理学会 99]日本品質管理学会編 グラフィカルモデリングの実際, 1999