

Bayesian Network を用いたエージェント行動モデルの パラメータ取得手法の提案

～民間医療保険市場における消費者行動の分析を事例として～

A Method for Agent-based Modeling using Bayesian Network - Analysis of Consumer's Behavior in the Medical Insurance Market -

松本修¹ 宮崎真志² 高橋真吾³ 石野洋子⁴

M. Osamu¹, M. Masashi², T. Shingo³ and I. Yoko⁴

^{1,2,3} 早稲田大学

University of Waseda

⁴ 山口大学

University of Yamaguchi

概要— Agent-based Social Simulation は現実に近い領域のモデルであるほどエージェントの行動モデルのパラメータ同定が難しいという課題がある。我々は Bayesian Network (BN) を用いてこの課題を解決することを目的とする。実際にモデルを構築する対象として民間医療保険市場を設定する。民間医療保険の消費者行動モデルを構築し、そのパラメータに関わるアンケートを採り、アンケートデータに基づいて行動モデルに整合する BN を構築する。BN の確率推論を用いてパラメータ取得を行う。構築したモデルでシミュレーションを行い、民間医療保険市場における新たな知見を得る。

キーワード: ABM, Bayesian Network, 医療保険

1. はじめに

1.1. 研究背景

社会現象をはじめ、複雑性や異質性が存在するような対象を分析できる手法として Agent-based Social Simulation (ABSS) がある。この手法は現実の複雑な状況をモデル化するため、モデリングのための明確な方法論の確立には至っていない。そこには大きく2つの困難が存在する。

まずは自律的な活動主体であるエージェントの行動モデルの構築が難しい点が挙げられる。例えば「何かを購入する」という消費者の行動には様々な要因が関与している。価格を重要視するのかその他の要因を重要視するかは商品特性によって異なる。購入に影響を与える要素を分析目的に合わせて複数の要因の中から抽出する必要があるが、その選択は難しい[1]。

また行動モデルを決定できたとしても、パラメータの同定方法も確立されていない。基本的には、国勢調査などのアンケート結果や関連研究で得られた知見を基に、パラメータ値を同定することが望ましい。これらの方法が利用できない場合には、対象の現象を再現できるようなパラメータを探索する Calibration を実施する。ただし、Calibration は同定したいパラメータが増えるほど難しくなり、経験に頼る形で利用されている。

1.2. 関連研究

1.2.1. バーチャルグラウンディング手法

バーチャルグラウンディングとは、ABSS におけるパラメータ取得の困難性を解決するために生まれた手法である[2]。Agent-based Model (ABM) ではエージェ

ントの状態が一定とは限らないため、パラメータが動的に変化することがある。そういった時に、既に妥当性が検証されているモデルを用いて、その行動の流れを疑似体験させるようなアンケートを作成してパラメータを取得する。

従来は得ることができなかった動的なパラメータを取得できることがこの手法の強みである。しかし、行動モデルが既に構築できている場合は有効だが、研究の初期の段階でモデル化を行う際には適さない。

1.2.2. 石野による研究

石野は行動モデルにどの要素を採用すべきなのかを検討した上でシミュレーションを実施している[3]。始めに、民間利用保険についてのアンケート結果を Bayesian Network (BN) によって分析し、商品の持つ価値構造を明らかにしている。その中で、価格などの商品属性よりも誰から勧められたのかという加入経路の方が購買には強い影響を与えることを示している。分析後、価格を考慮せずに加入経路に注目した ABM を構築し分析を行った。

購買に強い影響を与える要因を示した上で ABM を構築しているため、行動モデルの妥当性を確保できているといえる。ただし、BN と ABM を分けて考えているためにパラメータを抽象的に設定しており、様々な状況で設定できるようなパラメータ設定方法は提示されていない。

1.2.3. Bayesian Network 手法

Bayesian Network (BN) とは複雑な因果関係の発生確率を定量的に表すことができる確率推論モデルである。有向非循環グラフで表現され、(1) ノードが確率変数を持っている。(2) ノード間に因果関係がある。

(3) 条件付き確率で定量化される。という 3 つの条件を持っている。BN を用いることで不確実性を含む事象の予測が可能となる。

1.2.4. BN を用いた MAS の研究

BN の発展型を用いて Multi Agent Simulation (MAS) と組み合わせた研究が少ないながらも存在する。町民の引越し先の効用を算出する行動モデル[5]や、自然災害時にどの交通手段を利用するのかを決定する行動モデル[6]が提案されている。これらの研究では、外部要因の影響を確率的に考慮しながら、エージェントの行動についての効用値を算出できるような行動モデルを構築している。

行動選択肢を評価できるようなモデルを定義している点で有用な研究である。しかし、意思決定の評価を適切に実施したかどうかには焦点を当てた研究が多く、エージェントのパラメータ設定に関しては詳しく論じられていない。

2. 研究目的

本研究では、ABSS におけるエージェントの行動モデルについてのパラメータ取得を、BN を用いて実現する方法論を提案することを目的とする。事例研究として、1996 年施行の新保険業法によって急速に発展してきた民間医療保険市場を設定し、販売戦略上有効な示唆を与える。

研究の流れとしては、はじめに行動モデルのパラメータ取得を目的とした方法論を提案する。その後、適用事例として、対象市場の購買行動について ABM を構築してシナリオ分析を実施する。

3. パラメータ取得手法

3.1. 提案手法の狙い

エージェントの行動モデルについてのパラメータを取得することが主な狙いである。特に、従来はアンケート分析に用いられてきた BN を利用することで、それまで得ることができなかったような複雑なパラメータを取得することが一番の目的である。

3.2. 提案方法論

3.2.1. ABM の構築

対象とする社会現象についての ABM を構築する。ここではエージェントがある行動を実施するための行動要因の候補をあらかじめしぼっておく必要がある。次のフェーズで利用する BN は因果関係を表現する手法のため、どんな行動要因が行動結果を導き出すのかをイメージした行動モデルを構築することが重要である。

3.2.2. BN の構築

BN を構築する際にはアンケートデータや専門家の知識を利用して因果関係の仮説を立て、複数の構造を構築した上で AIC (赤池情報量基準) などの相対的な評価基準値が最も良い構造を採用している。

本研究の関心は ABM に合致した形でパラメータを取得できる BN の構築である。従来の構築手法では、行動モデルとして認められない構造が出てくる可能性が存在する。そのため新しい手順で構築を行う。

はじめに、構築した ABM におけるエージェントの行動モデルや従来研究などの知見から BN 構造についての仮説を立てる。BN を構築する際には、それぞれのノードの状態数はある程度そろえなければ良い結果が得づらいという経験に基づいて、ここでは 4 種類以上の状態を持つノードを採用する場合、複数のノードを用意して 1 つの「ノード群」とする。次に、仮説に基づいてアンケートを設計し実施する。最後に、結果を基に BN を構築する。BN 構造のうち、ノード群に属するノード同士は因果関係についての仮説を持たないため、全探索によって AIC が最も良い値を示す構造を採用する。他のノード間のすべての組合せについてはカイ二乗検定を利用し、10%有意で連関が認められ、かつ立案した仮説に合致したノード間をつなぐ。その後、ノード群に属さないノード同士の部分構造を評価するために対数線形モデルを実施する。新たに連関が認められた場合、カイ二乗検定でも有意で、かつ行動モデル上自然な解釈ができればそのノード間もつなぐ。

3.2.3. パラメータの取得

構築した BN で確率推論を実施してパラメータを取得する。確率推論とは、説明変数とするノード値が観測された時に、目的変数のノードが各状態を取り得る確率を算出する手法である。このパラメータによって、エージェントの行動要因となる状態が観測された時にそれぞれの行動がどのような確率で実施されるのかがわかることとなる。

4. 民間医療保険市場での適用

4.1. 民間医療保険市場に着目する理由

我が国では、1996 年施行の新保険業法によって、日本の生命保険会社と損害保険会社による第三分野保険 (医療保険やがん保険などの民間医療保険) への参入が初めて認められた。それまでは外資系企業に独占されていたが、日本企業の参入が解禁されたことで様々な民間医療保険が登場することとなった。また、マクロ経済的な見地からの、保険に対する消費者ニーズの変化も顕著である。近年、我が国では少子高齢化が進行し、経済成長率が鈍化しているため、保険マーケットは縮小している。消費者は高額な死亡保険を得ることよりも、医療・年金・介護など生きるサポートを目的としている生存保障を重視するようになった。

これらの背景より、この市場に着目した消費者の商品選択に関して活発な研究がなされていない。

4.2. 方法論の適用

4.2.1. ABM の構築

民間医療保険の購買行動について分析した結果、保険の加入状態の違いによって違いがあることと、そろそろ自分も民間医療保険に入る必要があるかもしれないと感じる「そろそろ感」が非常に重要であることが示唆されている[7]。加入を検討する要因は大きく分けて「ライフステージの変化」「他者からの口コミ」「健康への不安」「広告への反応」「既保険の満期」という 5 種類が存在することがわかった[8]。これらの加入要因を考慮することで、消費者行動を考慮した有効な広告戦略を分析できる。

4.2.2. モデル

消費者が相互作用を行う場としてレギュラーネットワークを構築する。消費者が経験したイベントを家族や友人に伝えることを相互作用としてモデル化している。このイベントとは、「テレビでがん保険に入るメリットを説明していた」という公共性の高い情報だけでなく、「申請が介護保険に入った」などの公共性の低い情報も伝えることを想定している。

消費者は「年齢」「ライフステージ」「ライフイベント閾値」「きっかけ」「加入保険」の5つの変数を有する。エージェントは「年齢」の増加に伴って「ライフステージ」が更新されていく。「ライフイベント閾値」は就職・結婚・子の誕生・子の進学・家の購入・子の独立・退職の7種類のイベントが発生する年齢を表す。アンケートによって得られた分布にしたがって、消費者毎に異なる年齢で各イベントを発生させる。また、消費者の加入要因のうち、ライフステージ以外の「ロコミ」「健康不安」「マスメディア」「既保険の満期」を経験したかどうかを履歴として保持するのが「きっかけ」である。医療保険市場には医療保険・がん保険・特定疾病保障保険・介護保険といった主契約としての保険とそのいずれかを特約として持つ生命保険の計8種類の商品が存在する。「加入保険」はこれらの保険商品への加入状態を示す。

消費者は「年齢更新」「イベントの発生」「加入検討」を毎ステップくり返すことで加入保険の状態を変化させる。消費者が「年齢更新」することで、ライフイベントの閾値に達した場合、ライフステージが更新される。「イベントの発生」では4種類のイベントが発生することで、エージェントの状態が更新されていく。年齢に依存した確率で「健康不安」を感じることもある。「ロコミ」は前ステップで加入を検討した消費者が一定の確率で隣人に検討を勧めることを指す。「営業員の訪問」はロコミの一種であり、「マスメディア」と同様に市場でランダムに発生する。これらは企業が消費者にアプローチする戦略を表現している。「既保険の満期」は保険加入後一定の期間が経つと発生する。「加入検討」では、消費者が持つ状態を基に、各種保険に加入する確率を算出する。本方法論で取得したいパラメータはこの加入確率であり、この値に基づいて各種保険への加入状態が変化していく。図1はこれらの流れを示した概念図である。

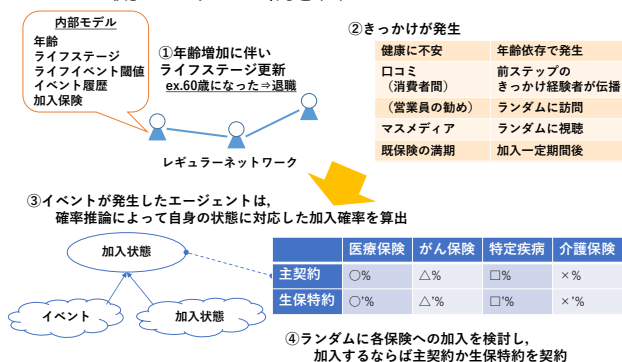


図1 モデル概要

4.2.3. 仮説 BN 構造

構築した行動モデルや従来の知見を用いて BN 構造に

ついて検討する。ある加入状態から次の加入状態への遷移を表現できるような、消費者の医療保険加入の心理的な因果構造に関する仮説を立案する。消費者が新たな医療保険の加入状態に至るには、5種類の要因と現在の加入状態を考慮する。また、そういったイベントを経験することでそろそろ感の醸成につながる。そろそろ感の有無は消費者が次に加入する保険の種類に影響を及ぼすと考えられる。以上の仮説は、現在の状態が加入検討や購買行動の原因となる因果関係を示している。

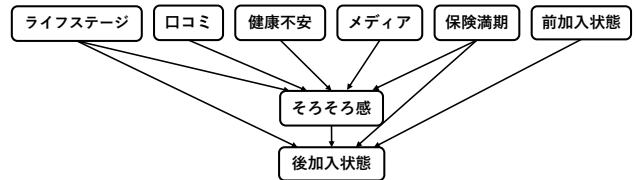


図2 仮説 BN 構造

4.2.4. アンケートの作成

想定した BN 構造に対応する形でアンケートを設計、実施した (2014年8月20日~25日)。サンプル数は以下の式で算出した。

$$n = \frac{N}{\left(\frac{CI}{2k}\right)^2 \times \frac{N-1}{p(1-p)} + 1}$$

N: 母集団 (平成26年1月1日現在の20歳以上男女103,510,000人), CI: 信頼区間0.1 (許容誤差の2倍), p: 母集団比率 (0.5の時サンプル数最大), k: 信頼度係数 (信頼度99%の時2.58) である。結果、n=660となった。少し多めにサンプル数は800とした。

また、医療保険市場の対象者は20歳以上の日本国民全員であるため、その縮図となるサンプルを確保するためにスクリーニングを行った。男女比、年齢比は総務省統計局平成26年1月1日現在のデータを参照した。また、各医療保険の加入率は生命保険文化センター実施の平成24年度生命保険に関する全国実態調査の世帯加入率の数字を参照した。

BN は経験的に各ノードの状態数がそろっている方が分析しやすいため、ライフステージと加入状態はライフステージ毎、加入状態毎にノードを分割して yes/no の2状態を取るようにした。つまり、ライフステージの場合、就職から退職までの7状態を1つのノードが持つのではなく、就職、結婚...毎に1つのノードが存在する。そのため、ライフステージだけで7つのノードがあることになる。それらのノードをまとめてノード群と呼ぶことにする。したがって、ライフステージ群、前加入状態群、後加入状態群と3つのノード群が存在することになる。

「そろそろ感」を直接質問しても期待する回答が得づらいと考え、「義理や人情で加入したか」「他の保険と比較したか」という質問でそろそろ感を代替し、「義理や人情で加入した」もしくは「他の保険と比較しなかった」場合、そろそろ感がないと定義した。

4.2.5. BN の構築

構築フローは以下の通りである。構築には BAYONET を用いた。

- ① 群であるノード（ライフステージなど）はノード間の因果関係の仮説がないため、AIC で構造を決める。
- ② 群以外のノードをカイ二乗検定する。
- ③ 行動モデル上想定しており、カイ二乗検定でも連関が認められたノードをつなぐ。ここでは有意水準 10%を採用している。
- ④ 対数線形モデルを用いて部分構造を評価する（口コミ、健康不安、メディア、保険満期、そろそろ感の 5 つのノードの構造を対象とする）。
- ⑤ カイ二乗検定で有意、かつ対数線形モデルの結果でも有意とされたノード間の連関について、行動モデル上自然な解釈ができる連関を採用する。

構築する BN 構造に関しても 3 種類の関係が存在する。ノード群の内側は因果関係に関する仮説が存在しない。そのため、因果関係を決定できる全探索を利用している。ノード群の外側同士、内側-外側というそれ以外のノードの関係については、因果関係の仮説を利用するためにカイ二乗検定を用いている。その後、ノード群の外側同士については交互作用も含めた妥当性を評価するために対数線形モデルを適用する。ノード群の内側-外側も含めた部分構造は、内側まで入れると内側の構造が全探索で決めた構造と異なるため適用できない。

図 3 は対数線形モデルの結果を独立モデルで表現したものである。「健康不安→メディア」はカイ二乗検定でも有意であり、対数線形モデルでも有意となった連関である。そして、「メディア→そろそろ感」はすでに仮定している矢印であり、「健康不安がメディアに影響を与え、メディアがそろそろ感を生み出す」と解釈可能なため採用した。「口コミ→保険満期」は口コミが保険満期に影響を与えたのか、その逆なのか解釈できないため採用しない。

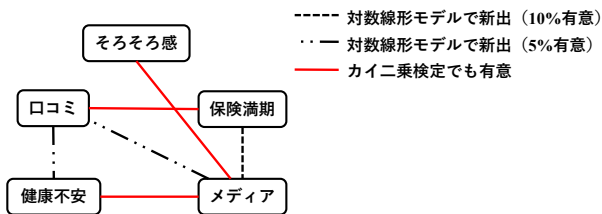


図 3 対数線形モデル実施結果

このフローにしたがって、完成した BN である。

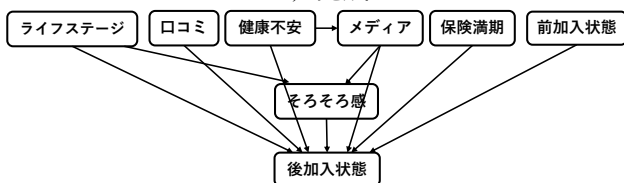


図 4 消費者行動の BN 構造

BN を構築することで、当初モデル化した行動モデルに対して追加する要素や削除する要素が存在する。対数線形モデルによって構造を評価した結果、エージェントが健康不安を感じる状態にいる時はメディア接触率を上昇させるように行動モデルを変更している。このメディア接触率の上昇割合は、健康不安ノードを

1 とした際にメディアノードを目的変数とした確率推論を実施して決定する。

また、構築した BN 構造は「就職」がどのノードともつながらなかった。そのため、どの保険の加入要因にもなっていないといえる。当初、就職というライフステージに変化する際に何らかの保険に加入する傾向があると想定していた。しかし、加入要因ではないと考えられるため、エージェントが取りうるライフステージとしてモデル化しないこととする。

4.2.6. パラメータの取得

構築した ABM で必要なパラメータは「ある瞬間のエージェントの状態に対応する各保険の加入確率」である。エージェントが持つ変数のすべての状態を考慮すると、6 種類のライフステージと 8 種類の加入状態を含めて、 2^{18} 種類の組合せが存在する。得られたグラフ構造を用いて確率推論を実施してパラメータを取得する。説明変数であるきっかけと前加入状態の計 18 ノードを観測済みと仮定することで、目的変数である後加入状態の計 8 ノードの条件付き確率がどのように変化するかを求めた。

5. シミュレーション実験

保険商品への加入は高額な買い物であり、その検討を頻繁に行うことは考えづらい。シミュレーションでは加入検討を行う一連のステップを半年ごとに行うこととし、それを 5 年間くり返す。これを 1 試行として 100 試行を行った。

5.1. 妥当性検証

本研究では従来とは異なる方法で BN 構造を構築しているため、問題のない結果が得られるのかを確認する必要がある。そのために従来の構築手法の結果を利用して、提案手法と同様にパラメータを取得してシミュレーションを実施する。図 5 は各保険の加入率を 100 試行分プロットしたものである。点線は 100 試行の平均値を、実線はアンケートで得られた実際の加入率を示している。左側が提案手法で構築した BN を、右側が従来手法で構築した BN をそれぞれ利用した結果である。

100 試行のうちのいずれかの試行でアンケート結果を生成できるのかが重要な指標となる。どちらの BN を用いても約 4 種類の保険でアンケート結果を生成できており、同等の結果が得られるといえる。

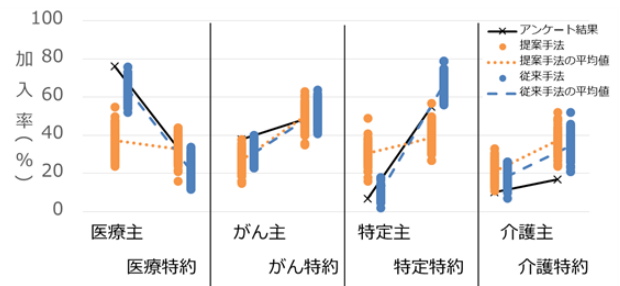


図 5 提案手法 BN 利用 (左) と従来 BN 利用 (右) の結果

5.2. シナリオ設定

本モデルでは 6 種類のライフイベントが発生するが、現実におけるそれらの詳細な発生割合を得ることは難

しい。そこで、特定のイベントのみ発生する6つの状況を考える。それらの状況に対して販売戦略を適用するために2種類の実験を行う。近年の保険業界では広告費に対してどのように投資するのかという広告販売戦略分析、思い切って広告費をゼロにした場合の効果を検討する営業員分析という2種類の分析を実施した。本稿では後者の営業員分析を詳細に記載する。

営業員分析では、広告投下も営業員活動も両方向う戦略と広告投下をゼロにする戦略の2つを比較して加入率の変化を分析する。広告投下率と営業訪問確率の値は、アンケート上で実際に加入に結びついた割合を設定しておく。

表 1. 営業員分析のパラメータ

	広告投下率	営業訪問確率
通常戦略	4.5%	7.7%
広告費ゼロ戦略	—	7.7%

5.3. 実験結果

6つの状況に対して2つの戦略を適用した計12シナリオを100試行ずつ実施した。各シナリオの最終的な加入率の平均値を図6に示す。発生するライフイベントごとに各保険の加入率を見ると特徴的な結果が2つ存在する。

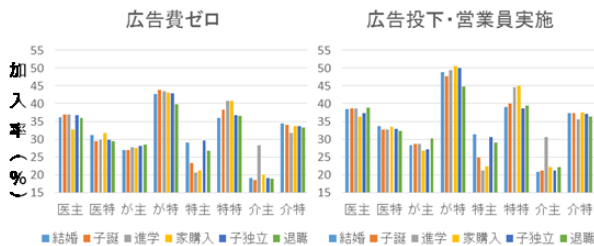


図 6 営業員戦略間の平均加入率の比較

広告費をゼロにした場合、多くの保険で加入率が低下している。ただし、がん保険主契約のみほぼ差がない。つまり広告投下をやめたとしても加入率に影響はないといえる。がん保険を売り出す際には、広告に頼る必要がないという新しい知見である。がんという病気が身近になってきたことで、外部からの情報の有無にかかわらず、がん保険への加入が行われるようになったと考えられる。

また、進学シナリオ・子どもの独立シナリオでは他のシナリオよりも戦略シナリオ間の違いが出にくくなっている。つまり、他の4つのシナリオよりも広告の効果小さい。子どもが進学・独立するようなライフステージに差し掛かる消費者へのアプローチとしては、広告を的確に広めることよりも営業員活動を中心に据えるべきである。

6. 結論

6.1. 本研究のまとめ

本研究では、BNを用いてエージェントの行動モデルについてのパラメータを取得する方法論を提案した。行動モデルに基づいたBNを新しい手順で構築することができた。また、提案した方法論を用いて民間医療

保険市場の分析モデルを構築した。方法論を適用することで、従来は得ることができなかった複雑なパラメータを導入したABMを用いた分析が行えるようになった。これにより、がん保険を売り出す際には広告費をかけすぎる必要がなくなってきたことや、子どもが進学や独立するライフステージの変化にある消費者に効果的な営業員活動を行えるかが重要であることなど、医療保険市場における新たな知見が得られた。

6.2. 今後の課題

今回提案する方法論の中で新しいBN構築の方法も提案している。しかし、ノード群内と部分構造の妥当性は保証されているものの、ノード群の内側-外側という関係についてはカイ二乗検定しか行っておらず、妥当性は必ずしも保証されていない。今後は構造全体の妥当性検証を行える方法の開発が必要である。

今回構築したABMでは、主契約か特約のどちらかにしか加入できないため、8種類の保険すべての加入率を再現することはできていない。今後は、現実の加入率を再現できるような行動モデルを構築する必要があるといえる。

参考文献

- [1] 高橋真吾: 社会システムの研究動向3-評価・分析手法(1)-モデルの解像度と妥当性評価, 計測と制御, 52-7, 582/587 (2013).
- [2] Kotaro Ohori, Mariko Iida, Shingo Takahashi: Virtual Grounding for Facsimile Model Construction Where Real Data Is not Available, SICE Journal of Control, Measurement, and System Integration, 6-2, 108/116 (2013).
- [3] Ishino, Yoko: Analysis and Modeling of Customer-Perceived Value of Medical Insurance Products, Agent-Based Approaches in Economic and Social Complex Systems VII, Agent-Based Social Systems Volume 10, 115/127 (2013).
- [4] 繁榎算男, 植野真臣, 本村陽一: ベイジアンネットワーク概説, 培風館 (2006)
- [5] V. Kocabas and S. Dragicevic, "Bayesian networks and agent-based modeling approach for urban land-use and population density change: a BNAS model", Journal of Geographical Systems, 15-4, 403/426 (2012).
- [6] Yang Shen, Sifeng Liu, Zhigeng Fang, Mingli Hu, "Modeling and simulation of stranded passengers' transferring decision-making on the basis of herd behaviors", Kybernetes, 41-7/8, 963/976 (2012).
- [7] 石野洋子: 消費者調査データに基づいたエージェントの内部モデルの検討, 第5回社会システム部会研究会, 197/200 (2014).
- [8] 栗林敦子: 生命保険マーケティングにおける『クチコミ』の可能性, ニッセイ基礎研 REPORT 2008.4, (2008).
- [9] 平成24年度 生命保険に関する全国実態調査, 生命保険文化センター (2012).