

定性シミュレーションに基づく消費者教育支援システムについて

松尾徳朗[†] 伊藤孝行[†] 新谷虎松[†]

本論文では、商品を購入するユーザに対して、意思決定を訓練できる消費者教育用支援システムを提案する。買い手が不動産等の高価な商品を購入する際において、注意深く購入の意思決定をすると考えられる。本支援システムでは、定性シミュレーションおよび定量的な計算に基づいた計算結果をユーザに提供する。ユーザは、購入する商品の情報および自らの貯蓄額等の情報をシステムに入力する。システムはユーザの入力に基づきシミュレーション結果を出力する。本システムは定性シミュレーションモジュールおよび定量計算モジュールから構成される。定性シミュレーションでは、商品の価格の動向、利率の動向をシミュレーションする。定量計算モジュールでは、総支払額および支払い期間に関して計算する。シミュレーション結果および計算結果を統合しユーザに示すことで、ユーザは購入および意思決定の実感を持つことができる。本システムの有効性として、ユーザは簡単な入力によりシステムを利用可能な点、専門家でないユーザにとっても、シミュレーションの過程を理解しやすい点、総合的な出力結果に基づき意思決定が可能な点が挙げられる。

An e-Learning Support System for Consumers based on Qualitative Simulation

TOKURO MATSUO,[†] TAKAYUKI ITO[†] and TORAMATSU SHINTANI[†]

In this paper, we propose an e-learning support system (LSDM) for assisting a buyers' decision making by applying artificial intelligence technology. When buyers purchase an expensive item, they must carefully select it from many alternatives. The learning support system provides useful information that helps consumers to purchase goods. We employed qualitative simulations because the result of output of simulation is useful. It consists of a qualitative processing system and a quantitative calculation system. When buyers use the system, they first input goods information they want to purchase. The information input by buyers is used in the qualitative simulation. Next, they fill out a form concerned with the details of their budgets, the rate of loans, and several other factors. After that, the system integrates the results of simulation and the buyer's input data and proposes plans to help their decision process. The system has several advantages: buyers can use it by simple input on the Internet, they can understand process of simulation, and they can base their decision making on synthetic results.

1. はじめに

近年の電子計算機の汎用化にともない、計算機を利用した様々なタイプの教育支援ツールが開発されている。計算機を用いた教育工学において、応用人工知能技術は有望な適応領域であると考えられる³⁾⁶⁾。本論文では、人工知能技術の一領域である定性推論/定性シミュレーション技術を用いた、消費者の意思決定トレーニングのための教育支援システムに関して提案

する。

定性推論は、人間の定性的な思考過程を分析、モデル化し応用した問題解決システムに関する研究分野であり、定性シミュレーションは定性推論研究の一領域である⁵⁾。定性シミュレーションは、量に関する部分的な情報を用いて、与えられた動的システムの挙動を導出する技術である¹⁰⁾。定性シミュレーションを用いた教育応用に関して、学習者が物理現象を定性的にシミュレートし、物理現象の理解を助けるためのツールの開発に関するが盛んである⁸⁾。定性推論を教育に应用することには、次の2点の有効性が考えられる²⁾。一つ目は、教育の多くが、概念的な知識に関するものであると言う点である。あるメカニズムが存在する場合にメカニズムの概念的な理解が可能である。二つ目は、定性推論が定量的なモデルの基礎に位置づけら

[†] 名古屋工業大学大学院工学研究科情報工学専攻
Graduate School of Engineering, Nagoya Institute of
Technology
〒466-8555 愛知県名古屋市昭和区御器所町
TEL: (052)733-6550 FAX: (052)735-5584
email: tmatsuo@ics.nitech.ac.jp

れる点である。学習者が、動的なシステム等において関数に基づく理解ではなく、定性的な原理からのアプローチで理解しはじめることもある。

本論文では、経済現象をシミュレートすることにより、買い手が商品を購入する場合に、購入における意思決定を訓練するために定性シミュレーションを用いる。経済ダイナミクスには、定量的に表すことができない要素が存在するため、定性的手法を用いることでユーザを支援する。また、支払い金額および利率等に関しては、入力値を定量的に計算し、定性シミュレーションの結果と統合してユーザに出力結果を提供する。

一般的に商品購入において、複数の選択肢が存在する時、選択により買い手の効用が変化する。時間によって商品価格が変更する場合に関しては、どの商品をどのタイミングで購入するか意思決定が重要である¹⁴⁾。さらに、価格変動が複数の外部要因により影響を受ける場合や、予算(所得)に制限が存在する場合、問題は複雑になり意思決定は困難であると言える。本論文では、不動産購入に関してよりユーザの効用が増加するように、購入時期決定支援のためのシミュレーションモデルを提案する。長期的なスパンにおいて、購入の意思決定の重要な属性として、買い手の所得の増減、預金における利率、購入後のローンに関する利率、不動産(地価)予測、貨幣に関してインフレやデフレ傾向の程度等がある。

複雑な状況や因果関係を分析する方法として、有向グラフを用いた構造モデルが有効であり、システムの振る舞いを観測することが可能である。社会システムを定量的に解析する手法にシステム・ダイナミクスがある。システム・ダイナミクスは、大規模なシステムに関して、計算機を用いた挙動解析法である。本手法では、定量的な(数学モデル化可能な)システムに関して有効である。不動産購入における購入時期推定は定量的に扱うことが困難であるため、定性的な手法により推定を行う必要がある。本推定を実現するために、人工知能の一分野である定性推論技術を用いたシミュレーションを提案する。動的なシステムの挙動を、定性的な情報に基づいて予測する技術の研究として定性シミュレーション手法が挙げられる¹¹⁾¹⁵⁾。本手法により、定量的に数値化できない場合の挙動推定や、複雑な対象における挙動の大域的理解が実現可能となる。

本論文の構成を示す。第2章で所得と購入時期に関する例を示す。第3章で、本論文で提案する支援システムの概要を示す。第4章でシミュレーション手法を説明しシミュレーションのための定義を示す。第5章

で、シミュレーションで用いるモデルを示し、結果例をグラフとして示す。第6章で、本論文をまとめる。

2. 理想的な購入時期

本章では、購入時期に関しての2つの例を示す。購入時期に関しては、不動産価格が安いので購入するという意思決定をした場合最終的には支払い金額が増加する場合も存在する。例えば、不動産の価格が安い場合に、所得はないがローンを組むことで購入したとしても、ローンの利率が高ければ支払額の合計金額は多くなる可能性がある。一方、将来十分所得があり不動産を安く購入できると予測される場合でも、予測される時点が何十年も後であれば、ユーザにとって満足が得られない可能性もある。

過去の経済統計において、利率と物価に関して正の相関が観測されており、正の相関をギブソン・パラドックスと呼ばれている⁷⁾。本仮定においては、物価の上昇にともない利率は上昇する。一方、物価の下降にともなって、利率も下降する。本仮定に基づき図を用いて説明する。

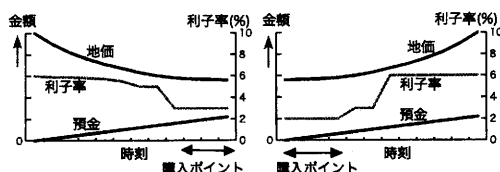


図1 理想的な購入時期

図3左は、地価が下降傾向にある場合の最適購入時期の例である。買い手が購入時期を早めた場合、高い利率でローンを組まざる得ない場合がある。所得がありローンを組む必要がない場合でも、不動産価格は高い。図3右は、物価が上昇傾向にある場合の最適購入時期の例である。購入時期を見送ってしまえば、地価およびローンの利率が上昇することが考えられる。ローンを組んでも購入した方が、支払い金額が少なくすむ場合が考えられる。

3. LSDM: 消費者教育支援システム

本章では、消費者の意思決定のための教育用アプリケーション(LSDM: e-learning support system for assisting consumers' decision making)に関して示す。本システムは、定性シミュレーションモジュールおよび定量計算モジュールから構成され、2つのモ

ジュールからの出力結果を統合してユーザに提供する。定性シミュレーションでは、計算値が“+”, “-”, “0”の定性値からなる。定性的手法では、数学モデルで表せないモデルに関するシミュレーションに優れている。以下、まずシステムの概要を示す。つぎに本支援システムにおけるシミュレーション手法を概説する。ここでは、定性シミュレーションおよび定量的計算に関して示す。

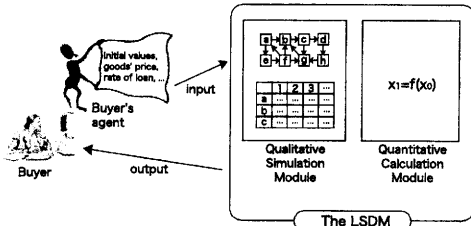


図2 システムの概要

3.1 システムの概要

本システムの目標は、定性シミュレーションおよび定量計算の結果をユーザに提供し、買い手が商品を購入する際意思決定の訓練が実現を可能にすることである。本システムでは、購入する商品に関して、将来の価格の動向および利率などを予測しユーザに擬似的な商品購入の意思決定を実感させる。近年、株価予測および金融商品の価格予測に関する研究が盛んである。多くの研究においては、定量的な数学モデルに基づいた予測が採用されている。多くの価格予測に関する研究が専門家のための予測モデルおよびシステムとして用いられている。本論文で示すシステムは、定性的手法を用いているため専門家でないユーザがシミュレーションの過程に関して理解可能である。

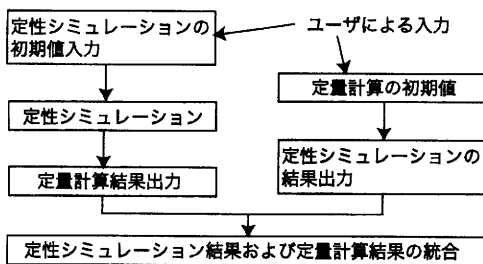


図3 LSDM の処理の流れ

図2は、システムの概要を示している。まず、ユーザは、シミュレーションのための初期値を入力する。初期値は、現在の商品の価格、利率、貯蓄額である。

表1 要因の例

直接的要因	不動産価格 (定量的), ローンの利率 (定量的), 貯蓄額 (定量的)
間接的要因	為替相場 (定量的) 税制 (定性的) 景気 (定性的) 融資政策 (定性的) など

ユーザの入力に基づき、定性シミュレーションモジュールでは商品の価格変動および利率変動の傾向を出力する。定量計算モジュールでは、購入した際の総支払額を計算する。定量モジュールの出力結果と定量計算の結果を統合しユーザに提供する。図3は、LSDMにおける入力から出力までの概要を示している。

3.2 定性シミュレーション

複雑な状況や原因と結果の関係を分析する手法として定性シミュレーションに基づく分析が有効である¹⁾¹²⁾。例えば、有効グラフを用いた因果モデルは、複雑な状況の分析に有効であり、分析するシステムにおいて動的な変化を分析することができる⁴⁾。本研究においては、家(不動産)の商品を購入する際に、買い手が購入に関して実感を持ち意思決定の訓練をするための消費者教育支援のためのシステムを構築した。不動産購入における意思決定は複数の要因に基づき変化すると考えられる。表1は、不動産購入の意思決定に関する直接的な要因および間接的な要因を示している。購入における意思決定の直接的な要因とは、不動産の価格、ローンの利率およびユーザの貯蓄額である。一方、意思決定の間接的な要因は為替相場、税制(住宅対象の減税政策等)、景気、住宅ローンのための融資政策などが挙げられる。このうち定量的に計算可能な要因もあるが、定量的に計算不可能な要因も存在するため定性シミュレーションを用いた分析が有効となる。

具体的なシミュレーション手法は、3章で説明する。

3.3 定量計算モジュール

本モジュールでは、商品の価格および利率やユーザの貯蓄額を計算するための計算式を用いる。将来の状況を予測する際に商品の価格および利率を知ることが重要であると考えられる。購入方法や代金の支払い計画をたてる際にも重要であると考えられる。

まず、ユーザの貯蓄額および商品の価格は意思決定において最も重要な要素である。例えば、貯蓄額が商品価格を上回る場合、ユーザは将来のローンの利率を知る必要はない。貯蓄額が商品価格を下回る場合、ユーザは(住宅)ローンを用いて代金を支払うことを

表 2 要因の定性的状態値

$[x(t)]$	状態値の説明
H	現在の状態値より高い状態値をとり得ない場合
M	現在の状態値より高い状態値もしくは低い状態値をとり得る場合
L	現在の状態値より低い状態値をとり得ない場合

考慮に入れる必要がある。つぎに、ローンの利率は重要な要素である。ここでは、金利は固定であると仮定する。利率が低く支払い回数が少ない場合、総支払額はローンを組まず購入する場合と大差はないと考えられる。一方、ローンの利率が高い場合や長期に渡り支払いを続ける場合は総支払額は多くなる。

ここでは、一般的な単純な計算式に基づき住宅ローンの利率を計算する。まず元金 G_0 は、 $G_0 = G$ と定義する。ただし G はローンの総支払額である。元金 G_1 は、 $G_1 = (1+r)G_0 - X = (1+r)G - X$ として定義する。ただし、 r は固定金利であるローンの利率、 X は分割の回数である。一般的に、 i 期における残金は以下の式で表すことができる。

$$G_i = (1+r)^i G - \frac{(1+r)^i - 1}{r} X$$

買い手は、 N 回の分割で支払うと仮定する。 N 期目に支払額が終了するとすると、総支払額 P は下の式で表すことができる。

$$P = \frac{rG}{1 - \frac{1}{(1+r)^N}}$$

LSDM は、以上の計算式で計算された定量的な計算結果および定性シミュレーションモジュールで計算されたシミュレーション結果を合わせてユーザに提供する。買い手は、商品購入において支払額や将来の価格の動向に関して状況を認識でき、意思決定において適切な戦略を持つための訓練が可能である。

4. LSDM におけるシミュレーション手法

本章では、まず因果モデルに関して定義を示す。次に不動産購入時期予測の定性シミュレーションのための因果モデルを示す。

4.1 因果モデルにおける定義

定性的なシミュレーションには、因果関係を示した因果モデル（構造モデル）を用いる。因果モデルは有向グラフとして示され、グラフの各ノードおよびアークはそれぞれ状態値および変化の方向をもつ⁹⁾。ここ

表 3 ノードの状態の変化傾向

$[\delta x(t)]$	変化傾向の説明
I	状態値が増加しているとき
S	状態値が一定のとき
D	状態値が減少しているとき

表 4 影響の方向

$D(x, y)$	影響の方向の説明
+	x の状態値が増加すると y の状態値も増加する
-	x の状態値が増加すると y の状態値は減少する

では、因果モデル（構造モデル）に関して以下に定義を示す。

4.1.1 定性的状態値

ノードは時刻ごとに状態値を持つ。不動産購入時期予測のための因果モデルにおいて、「減税政策」などがノードとして考えられるが、定量的な表現は困難である。グラフのノードに関して、基準を設定せず、3種類の定性値を定義する。

定義 1 (要因の定性的状態値) ノード x の時刻 t における、定性的状態値 $[x(t)]$ は、表 2 に分類される。

4.1.2 状態の変化傾向

ノードの状態の変化方向を定性的に示す。ノードの状態値の定性的時間微分に相当し、3種類の定性値で定義する。

定義 2 (状態の変化傾向) ノード x の時刻 t における状態の変化傾向 $[\delta x(t)]$ を表 3 に定義する。

4.1.3 影響の方向

以下、ノード間を結ぶアークに関して定義する。原因ノードの状態の変化が結果ノードの状態に与える影響の方向を定義 3 で示す。

定義 3 (影響の方向) 原因ノード x から結果ノード y への影響の方向 $D(x, y)$ を表 4 のように 2 種類に分類する。

4.1.4 影響の伝播速度

影響の伝播速度は定義 1～3 の性質とは異なり、因果モデルに依存する。影響の伝播速度を定義 4 で示す。

定義 4 (影響の伝播速度) 原因ノード x から結果ノード y への影響の伝播速度 $V(x, y)$ を表 5 の 3 種類に分類する。

影響伝播において、瞬時にフィードバックされない系において、 V_0 のアークの処理が全て終了したところで、1 単位時間進める。次の単位時間で、遅れて伝播される影響に関して処理を行う。

4.1.5 複数影響の加算

因果モデルにおいて、複数のノードからの影響が存

表 5 影響の伝播速度

$V(x, y)$	影響の伝播速度の説明
V_0	x の状態値の変化が瞬時に y の状態値の変化を引き起こすとき
V_1	x の状態値の変化から一定時間遅れて y の状態値の変化を引き起こすとき
V_i	V_0 か V_1 が不明であるとき

表 6 複数影響による変化傾向の加算

+	I	S	D
I	I	I	?
S	I	S	D
D	?	D	D

在する場合、影響の加算として次に定義する。ここでは、2つのノードからの影響における加算を示す。図4は、2つの影響の加算の例を示している。ノード x_1 および x_2 の影響が加算され、ノード y は影響の加算に基づき状態値が決定される。

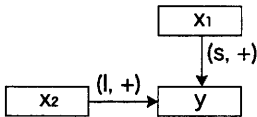


図 4 複数影響の加算

定義 5 (複数影響による変化傾向の加算) あるノードに複数のアークからの影響が及ぶ場合、状態の変化方向は表6で定義する。ただし、表6では、影響の方向が+の場合を示している。表中の?は変化方向が1位に決定できない場合である。

5. シミュレーション

5.1 本シミュレーションのための因果モデル

図5はシミュレーションで用いる因果関係を示したモデルである。各アークの添字に関して、 $(D(x, y), V(x, y))$ を示している (ただし、上の定義で示した通り、 $D(x, y)$ は原因ノード x が結果ノード y に与える影響を示し、 $V(x, y)$ は影響の速度)。例えば、 $D(x, y)$ が+の場合、 x が増加すれば y も増加する。一方、 $V(x, y)$ に関して、 V_0 の場合は即座に影響が伝播する場合である。 $V(x, y)$ が V_1 のとき、遅れて影響が伝播する場合である。図5に示した因果モデルにおいては、資金増加すれば瞬時に所得増加するとして、資金から所得へのアークには V_0 を付した。さらに、輸出量が増加すれば瞬時に在庫数は減少するとして、輸出量から在庫数へのアークには V_0 を付した。

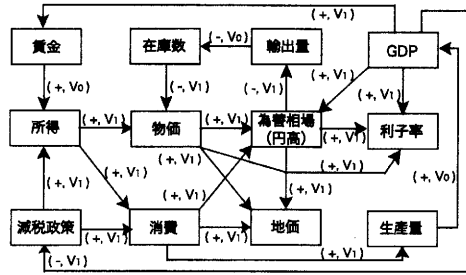


図 5 定性シミュレーションのための因果モデル

同様に生産量から GDP へのアークにも V_0 を付した。それ以外の影響の伝播はすべて V_1 であると考えられる。例として、物価から金利へのアークを考える。ギブソン・パラドックスに基づき $(+, V_1)$ が付されている。単位時刻遅れてから影響があることを示している。

一般的に、グラフのノード間の相関は経済統計のデータに基づいている。本モデルにおいて、以下を仮定する。

- ・ GDP が増加すれば資金が増加。
- ・ 所得が増加すれば消費が増加。
- ・ 輸出量が増加すれば在庫は減少。
- ・ GDP が減少すれば (所得税等の) 減税政策を実施。

以上の仮定に基づいて、図5の因果モデルを作成し、購入時期予測のための定性シミュレーションにおいて、本因果関係モデルを用いる。

5.2 シミュレーション出力例

図5を用いてシミュレーションを行った結果に関して示す。本シミュレーションにおいては、初期値を表7とした。本初期値は1975年の経済状況の複数の要因に基づき決定した。因果モデルでの複数影響の加算において、定性値を得られない場合は、ある確率のもとで定性値を決定した。ある確率 p_D に基づき、" +" または " - " を決定する。本シミュレーションにおいては、 p_D は、ランダム値を適用した。以上の条件の下で、200単位時間計算を行った。本シミュレーションの結果は、図6に、折れ線グラフとしてあらわした。グラフにおける折れ線は、地価の変化を示している。縦軸は、価格の上昇・下降を示し、横軸は時間経過を示している。ユーザには、定量計算モジュールで計算された総支払額および支払い期間に関する情報および価格動向および利子率に関する定性的にシミュレーションされた結果 (グラフ) が提供される。

表 7 シミュレーションの初期値

変化傾向	要素 (ノード)
上昇	賃金, 所得, 物価, 消費, 輸出量, 為替相場, 在庫数, 生産量, 地価, GDP, 利子率
下降	減税政策

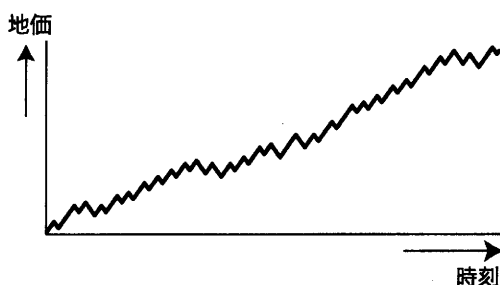


図 6 地価に関する定性シミュレーションの結果

6. おわりに

本論文では、定性シミュレーションおよび定量的な計算手法を統合した消費者教育用の支援システムを提案した。ユーザが商品を購入する際の意思決定をトレーニングするための教育支援システムに関して新規に提案した。既存の研究において、物理教育における定性シミュレーションの利用に関して多く提案されている。物理系の理解において定性シミュレーションは有効である。一方、消費者の意思決定のための教育支援に関する研究は存在しない。因果関係を示した構造モデルに基づくシミュレーション手法とシミュレーション結果の教育への利用は有効であると考えられる。因果関係のモデルを用いたシミュレーションを行うことで、学習者はシミュレーションのプロセスを理解できる。また、定性シミュレーションは、不確定な変数が存在する場合にもシミュレーション可能であり、初期値も単純な値を入力することで実行可能である。そのため、計算機に不馴れな学習者でも操作が可能であると考えられる。

本研究の最終的な目標は、初等教育および中等教育における経済教育である。今後の課題として、ユーザインターフェースの整備および因果モデルの作成における支援モジュールの整備が考えられる。

参考文献

- 1) Agell, N., Aguado, C. J., A Hybrid Qualitative-Quantitative Classification Technique Applied to Aid Marketing Decisions, proc. of 11th International Workshop on Qualitative Reasoning, 2001.
- 2) Bredeweg,
- 3) Chen, S. A., Wang, J., Yang, C. S.: "Constructing Internet Futures Exchange for Teaching Derivatives Trading in Financial Markets", in the proceedings of International Conference on Computers in Education, Vol.2, pp.1392-1395, 2002.
- 4) Kuipers, B., Qualitative Reasoning, The MIT Press, 1994.
- 5) Russell, S., Norvig, P.: "Artificial Intelligence -A Modern Approach-", second edition, Pearson Education International, 1995.
- 6) Weir, R. S. G.: "The Rigours of On-Line Student Assessment Lessons from E-Commerce", in the proceedings of International Conference on Computers in Education, Vol.2, pp.840-843, 2002.
- 7) 浅子, 村: "利子率と物価水準: 日本におけるギブソン・パラドックスについて", 大蔵省財政金融研究所 (現財務省財務総合政策研究所)「フィナンシャル・レビュー」3月, 1991年
- 8) 浅海, 竹内, 大概: "物理系における因果関係の理解を支援するための対話方法", 電子情報通信学会論文誌, D-II, Vol. J80, No.10, pp.2848-2859, 1997年
- 9) 大川, 畑, 薦田: "類型パターンを用いた時間スケール多重化定性シミュレーション", 電気学会論文誌 C, Vol.114, No.11, pp.1141-1147, 1994年
- 10) 西田: "定性推論の考え方とその知的問題解決への応用", 情報処理学会誌, Vol.32, No.2, pp.105-117, 1991年
- 11) 西田: "定性推論の諸相" 朝倉 AI らいぶらり, 朝倉書店, 1993年
- 12) 畑, 大川, 薦田: "定性シミュレーションにおける逆シミュレーション方式", 電気学会論文誌 C, Vol.115, No.11, pp.1369-1376, 1995年
- 13) 松尾, 伊藤, 新谷: "定性シミュレーションに基づく購入時期予測支援における因果モデルについて" 平成15年度電気関係学会東海支部連合大会論文集, p.251, 2003年
- 14) 松尾, 伊藤, 服部, 新谷: "商品購入におけるユーザの意思決定のための定性シミュレーションモデル" 日本ソフトウェア科学会第20回記念大会, 2003年
- 15) 淵 監修, 溝口, 古川, 安西 共編: "定性推論" 共立出版, 1989年