

定性シミュレーションを用いた経済教育支援機構について

An Economic Education Support System Using Qualitative Simulations

松尾 徳朗 新谷 虎松 伊藤 孝行
Tokuro MATSUO Toramatsu SHINTANI Takayuki ITO

*1 名古屋工業大学大学院工学研究科
Graduate School of Engineering, Nagoya Institute of Technology

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 [4]。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、経済教育支援システムを提案する。消費者が妥当性のある意思決定を可能となる教育支援システムに関して提案する [7]。

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 [6]。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 [8]。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盛んである [2][3]。定性推論を教育に応用することには、次の2点の有効性が考えられる [1]。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点である。定性推論を用いることで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となる。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は多い。本論文では、商品を購入する際に、学習者が社会現象を理解することを目的とした消費者教育支援システムを提案する。既存の定性推論/シミュレーションの教育への適用に関する研究で、物理ダイナミクス理解を支援するための教育応用に関する研究は多く存在しているが、社会現象を理解し、意思決定を訓練することが可能な教育支援システムについて定性シミュレーションが適用にされた研究は少ない。

本論文で提案するシステムでは、経済現象をシミュレートすることにより経済現象を概念的に理解できるように、購入における意思決定を訓練する際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。

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。挙動解析法では、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。しかし、経済環境などから影響を受ける税制などの動向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ほうが好ましいと考えられる。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定性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 [10]。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局的理解が実現可能となる。

本論文の構成を示す。第2章で、本論文で提案する消費者教育支援システム LSDM の概要を示す。第3章で定性シミュレーションのための定義および条件を説明する。第4章で、本論文で示したシステムのユーザインタフェースおよび出力例を示す。第5章で、本論文をまとめる。

2. LSDM: 消費者教育支援システム

2.1 システムの概要

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数値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

連絡先: 松尾徳朗, 名古屋工業大学大学院工学研究科, 466-8555
名古屋市昭和区御器所町, 052-733-6550, 052-735-5584,
tmatsumo@ics.nitech.ac.jp

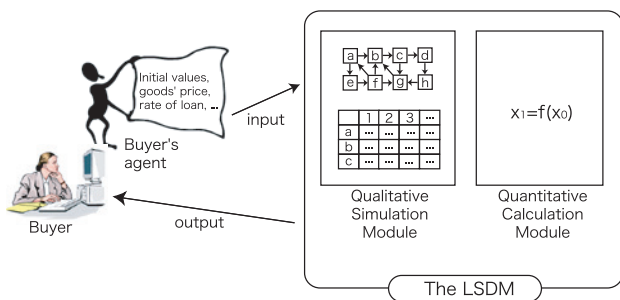


図 1: システムの概要

システムの概要を示す。つぎに本支援システムにおける定性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数値計算に関して示す。

本システムの目標は、定性シミュレーションおよび数値計算の結果をユーザに提供し、ユーザがシステムの出力結果に関して、繰り返し利用し試行錯誤をすることで購入の実感を持ち、また、より効果的な意思決定のために経済現象を理解できる支援システムを構築することである。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、数値計算可能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に基づき開発された支援システムは複雑な計算式に基づくことが多く、専門家でないユーザが予測の過程を理解しシステムを利用することは困難であると考えられる。本論文で提案するシステムは、定性的な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しやすい。

図 1 に、システムの概要を示す。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。次に、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。数値計算モジュールでは、購入した際の総支払額を計算する。数値モジュールの出力結果と数値計算の結果を統合しユーザに提供する。

2.2 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 [9]。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 [5]。本論文で示す研究においては、不動産など外部の経済環境によって価格が変化する商品を購入する場合を対象とする。商品購入に関して実感を持ち意思決定の訓練を通して経済現象の理解と妥当性のある意思決定をするための消費者教育支援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、次章で説明する。

表 1: 要因の例

Direct factors	Price of immovable items (quantitative)
	Total payments (quantitative)
	Loan rate (quantitative)
	Savings (quantitative)
	Installments (quantitative) etc.
Indirect factors	Exchange rate (quantitative)
	Tax system (qualitative)
	Business condition (qualitative)
	Financial system (qualitative) etc.

2.3 数値計算

数値計算モジュールでは、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した回る場合、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 は分割支払いする際の一回の支払額である。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、支払額 X は下の式で表すことができる。

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

LSDM は、以上の計算式で計算された数値計算の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。

3. 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。

3.1 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。ここでは、因果モデル（構造モデル）に関して以下に定義を示す。

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。

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。

表 2: 要因の定性的状態値

$[x(t)]$	Qualitative states
H	LOW: In the next step, $[x(t)]$ is not lower than in the current step.
M	BOTH: In the next step, $[x(t)]$ is lower or higher than in the current step.
L	HIGH: In the next step, $[x(t)]$ is not higher than in the current step.

- 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。

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。

表 3: ノードの状態の変化傾向

$[\delta x(t)]$	Qualitative changing state
I	$[x(t)]$ is increasing.
S	$[x(t)]$ is stable.
D	$[x(t)]$ is decreasing

- 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。

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。

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。

表 4: 影響の方向

$D(x, y)$	Direction of effects
+	When x 's state value increases, y 's state value also increases. / When x 's state value decreases, y 's state value also decrease.
-	When x 's state value decreases, y 's state value increases. / When x 's state value increases, y 's state value decreases.

表 5: 影響の伝播速度

$V(x, y)$	Transmission speed
V_0	Node x 's value gives an effect to node y 's value immediately.
V_1	Node x 's value gives an effect to node y 's value slowly.
$V_?$	The speed is unknown.

- 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?は変化方向が一位に決定できない場合である。

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

4. ユーザーインターフェース

本システムの入力および出力に関するユーザーインターフェースを示す。入力画面では、定性シミュレーションおよび数値計算のための初期値などを入力する。出力画面は、ユーザが入力した初期値および条件に基づき定性シミュレーションおよび数値計算がなされ、計算結果が提供される。図2は定性シミュレーションのための因果関係モデルのノードおよびアークに関する条件および初期値を入力する際の画面である。まず、ユーザは”node A to node B”のようにグラフのノードを定義し入力する。次に、各ノードの性質を決定するために、ユーザはチェックボックスを選択することで各アークの影響の方向を決定する。ユーザは、ラジオボタンを選択することで各アークの影響の伝播速度を決定する。ローンの利子率および支払額を計算するためにユーザは図3に表されるインタフェースにおいて、テキストボックスにユーザの予算などのデータを入力する。ユーザの入力に基づき数値計算モジュールは総支払額、分割払いの際の支払い回数、分割払いの際の支払額などを計算する。

ユーザが入力を完了した後に図4に示されるように結果が

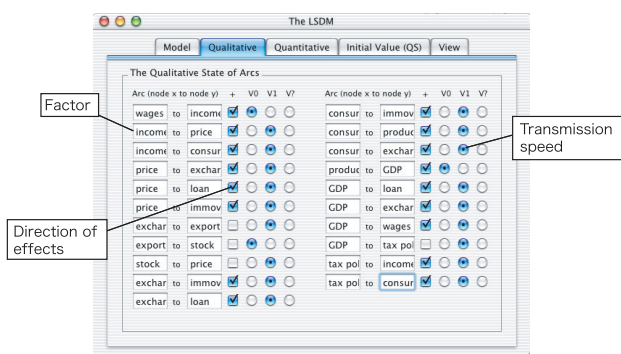


図 2: 定性シミュレーションのための初期値入力

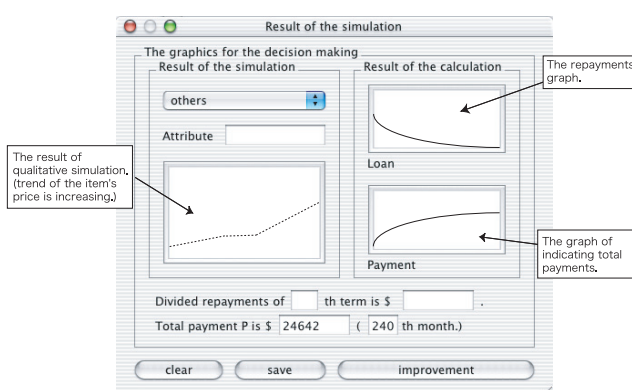


図 4: 出力結果

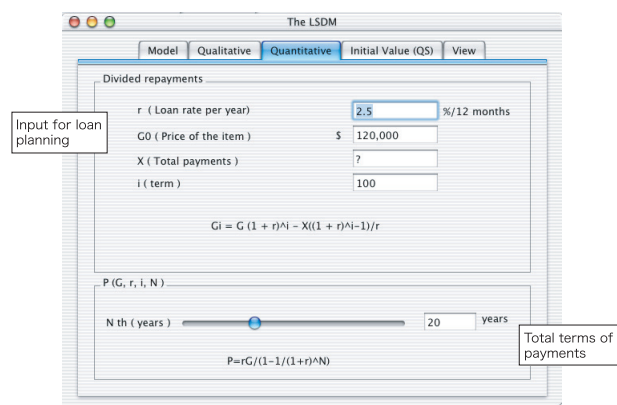


図 3: 数値計算のための初期値および条件入力

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。

参考文献

- [1] Bredeweg, B., Forbus, K.: "Qualitative Modeling in Education", AI magazine, Vol. 24, No. 4, pp.35-46, American Association for Artificial Intelligence, 2004.
- [2] Forbus, K. D., Carney, K., Harris, R. and Sherin, B. L.: "A Qualitative Modeling Environment for Middle-school Students: A Progress Report", in the proceedings of International Workshop on Qualitative Reasoning, 2001.
- [3] Forbus, K. D.: "Helping Children Become Qualitative Modelers", Journal of the Japanese Society for Artificial Intelligence, Vol. 17, No. 4, pp.471-479, 2002.
- [4] Leelawong, K., Wang, Y., Biswas, G., Vye, N., Bransford, J. and Schwartz, D.: "Qualitative Reasoning Techniques to Support Learning by Teaching: The Teachable Agents Project", in the proceedings of International Workshop on Qualitative Reasoning, 2001.
- [5] Kuipers, B.: "Qualitative Reasoning", The MIT Press, 1994.
- [6] Russell, S., Norvig, P.: "Artificial Intelligence - A Modern Approach-", second edition, Pearson Education International, 1995.
- [7] Matsuo, T., Ito, T., Shintani, T.: "A Qualitative/Quantitative Model-Based e-Learning Support System in Economic Education", in the 19th National Conference on Artificial Intelligence (AAAI-2004), 2004. (to appear)
- [8] 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
- [9] 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
- [10] 淵 監修, 溝口, 古川, 安西 共編: "定性推論" 共立出版, 1989年

出力され、線グラフとして定性シミュレーションおよび数値計算結果が提供される。本章で示す例では、定性シミュレーションは 200 ステップ実施された。グラフの横軸は時間を示すものであり、縦軸は商品の価格の動向を示すものである。数値計算におけるグラフに関して、上のグラフ（図 4 の右上）は、ローンの残金を示すグラフである。下のグラフ（図 4 の右下）は、総支払額を示すグラフである。3. で示した初期値を用いた場合、将来商品の価格および利率は増加する結果を得た。シミュレーション結果より、将来商品を購入すべきではないと推測できる。なお、ユーザが"improvement"ボタンを押すことで、異なる初期および条件のもとで再シミュレーションが可能であり、試行錯誤により、より効果的に意思を決定することが可能である。

5. おわりに

本論文では、定性シミュレーションおよび数値計算を統合した消費者教育用の支援システムを提案した。ユーザがシステムを繰り返し利用することで、経済現象を理解し、より妥当性のある意思決定ができる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、消費者の意思決定を訓練する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