

# ビジネスケースとエージェントモデルの シミュレーション・ログの統一的な記述モデル

## A Formal Description Model for Business Case and Simulation Log from Agent-based Model

菊地 剛正<sup>1</sup> 國上 真章<sup>2</sup> 高橋 大志<sup>1</sup> 鳥山 正博<sup>3</sup> 寺野 隆雄<sup>4</sup>

Takamasa Kikuchi<sup>1</sup>, Masaaki Kunigami<sup>2</sup>, Hiroshi Takahashi<sup>1</sup>, Masahiro Toriyama<sup>3</sup>, and Takao Terano<sup>4</sup>

<sup>1</sup>慶應義塾大学 <sup>2</sup>東京工業大学 <sup>3</sup>立命館大学 <sup>4</sup>千葉商科大学

<sup>1</sup>Keio University <sup>2</sup>Tokyo Institute of Technology <sup>3</sup>Ritsumeikan University <sup>4</sup>Chiba University of  
Commerce

**Abstract:** 組織におけるビジネス構造の転換を伴う経営意思決定を形式的かつ比較可能に表現するモデルとして、「経営意思決定記述モデル」(MDDM)が提案されている。当該モデルは、実際のビジネスケースやエージェントモデルのシミュレーション・ログを一定の共通形式で表現できる可能性が指摘されている。本稿では、企業組織の外部環境に対する認識の伝播を扱った実際のビジネスケースを MDDM を用いて記述した。更に、エージェント・ベースの組織シミュレーションモデルを構築し、シミュレーション・ログから生成された仮想ケースを同様に記述した。その上で、リアルなケースとバーチャルなケースの双方が相互比較可能であることを示した。

**Keywords:** agent-based simulation, business case, decision making, business structure

## 1. はじめに

社会的・組織的な現象や問題を理解し、システムのデザインへ繋げるための手法として、エージェントモデル(以下、「ABM」とする)とケーススタディを接地させるアプローチが提唱されている[1]。例えば、小林ら[2]は、企業組織の改善行動と逸脱行動は既定の規範から逸れるという点で同様の作動原理であるとの仮説のもと、ABMを構築している。シミュレーション結果から仮想的なケース(以下、「仮想ケースとする」)を生成し、実際のビジネスケース(以下、「実ケース」とする)との接地を図っている。但し、ケース間の比較・検証を行う際の概観性については改善の余地がある。

一方、ビジネス構造の転換を伴う経営意思決定を形式的かつ比較可能に表現するモデルとして、「経営意思決定記述モデル」(MDDM)が提案されている[3]。当該モデルは、ビジネスケースやエージェントモデルのシミュレーション・ログを一定の共通形式で表現できる可能性が指摘されている。

本稿では、企業組織の外部環境に対する認識の伝

播を扱ったビジネスケース[4]を MDDM を用いて記述する。更に、エージェント・ベースの組織シミュレーションモデルを構築し、仮想ケースを同様に記述した。その上で、実ケースと仮想ケースの双方が概観性をもって比較可能であることを示す。

## 2. 関連研究

### 2.1 MDDM

ビジネスケースにおける組織のビジネス構造の変化を扱うエージェントの意思決定を形式的かつ比較可能に表現するモデルとして、「経営意思決定表現モデル」(MDDM)が提案されている[3]。このモデルは、ビジネス構造、環境、エージェントの意思決定という3種類の要素からなる。これらの要素をフレーム内に配置し互いの関係に応じて結線することで、組織のビジネス構造の変化を伴う意思決定を、「決定図式」として記述する。

ここで、「ビジネス構造」コンポーネントは、組織の各階層(Strategic Layer, Middle Layer, Field Layer等)における「目的」シンボルと「資源」シンボルか

らなる。「環境」コンポーネントは、組織内外の「状態」シンボルとその変化からなり、時間の推移に沿って配置される。また状態の変化が生成する「イベント」シンボルも配置される。

エージェントの「意思決定」コンポーネントは、4つの端子を持つ素子で表す。上の2端子には、エージェントが観測する対象を、下の2端子には、エージェントが行動する対象を接続する。

このモデルは、以下の4要件を記述可能である：

- a) 組織におけるビジネス構造の階層性とその変化。
- b) ビジネス構造の階層におけるエージェントの位置づけ。
- c) エージェントの認知・作用対象の範囲・限界。
- d) エージェントの意思決定の時間的位置、順序関係。

当該モデルは、実際のビジネスケースやエージェントモデルのシミュレーション・ログを一定の共通形式で表現できる可能性が指摘されている。

以下、経営意思決定によるイノベーションの古典的な事例として、ホンダによる北米二輪車市場への進出過程のケース[4]を MDDM により記述する。本ケースの概要は以下の通りである：

- ・当初ホンダは、ライバル同様、大型高速のハイウェイ・バイク市場を攻略すべく目的・目標を設定していたが、営業成績が振るわなかった。
- ・現地マーケティング統括の川島氏は、現地民とのコミュニケーションから、小型・レクリエーション用のバイク市場が存在することを認知。東京本社に訴え、全社的な戦略を変更することに成功した。
- ・当該戦略転換が奏功し、北米ローエンド・バイク市場を攻略。更に上位市場へ進出する戦略を採り、遂には欧米のバイク市場で確固たる地位を築いた。

当該ケースは、ボトムアップ型の意思決定が行われたケースであることが見て取れる(図1)。

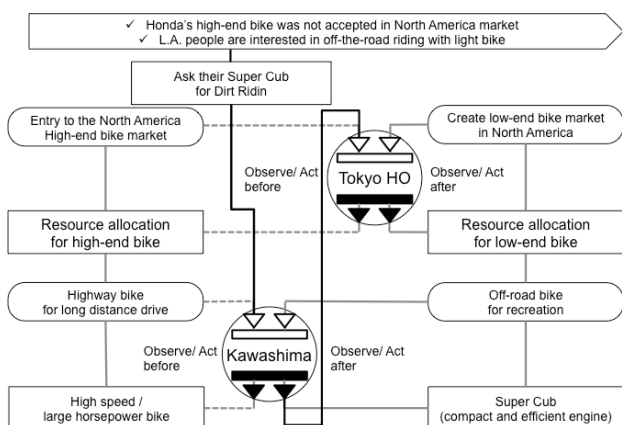


図1 MDDM を用いてホンダの北米二輪車市場への進出のケース[4]を記述した例。Field Layer から Strategic Layer を経由した意思決定が行われており、ボトムアップ型の意思決定が行われたケースであることが見て取れる。

## 2.2 ビジネスケースと ABM の接地

小林ら[2]は、組織の逸脱と改善にかかる ABM を構築し、ABM のシミュレーション・ログから生成した仮想ケースと実ケースのシナリオ・ストーリーの接地を図った。具体的には、実ケースから作成したケースの骨格を表す「テンプレート」を用いて、シミュレーション・ログを仮想ケースとして自然言語により記述し、実ケースとの比較を行った。結果として、仮想ケースと実ケースは比較可能であることを示した。但し、ケース間の比較は自然言語ベースで行われているため、1) 記述レベルをコントロールすることが難しい点、2) シミュレーション・ログを書き下す作業が煩雑である点、などについては改善の余地がある。

また、國上らは、MDDM を用いて、小林ら[2]の仮想ケースを書き下した[3] (図2)。MDDM は自然言語に比べ、抽象的な記述言語であり、概観性をもった形でケースを記述できる可能性がある。

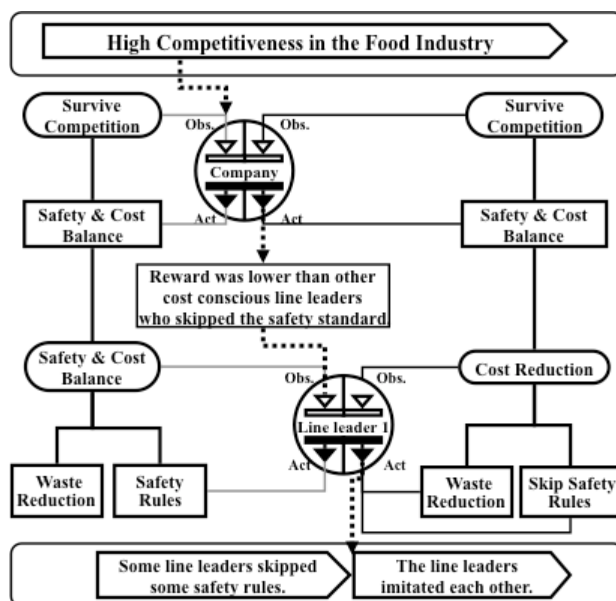


図2 ABM のシミュレーション結果から記述された仮想ケース[2]の一部を MDDM を用いて書き下した例[3]。当該 ABM は、食品業界の製品製造現場でのコスト削減と安全性のトレードオフの問題に注目。上記ケースは、過当競争の下、現場ではライン間で原価低減を最優先とするような模倣学習が行われ、結果として安全性が軽視されてしまったものであり、企業組織の逸脱行動を表現している。

本稿では、これらの成果を参照し、ABM のシミュレーション・ログを MDDM により直接書き下す。自然言語を介さず、統一性を持った形で実ケースと仮想ケースが比較可能であることを示す。

### 3. モデル

#### 3.1 概要

本稿では、「組織の環境認識モデル」[5]を参照してABMを構築する。当該モデルは、Axelrodのタグモデル(文化の流布モデル)[6]を元に、組織構成員の外部環境の認識伝播を表現したモデルである。拡張の方向性は、エージェントの性質と空間構造の2つである: 1) 通常のタグモデルでは考慮されていなかった、各エージェント固有の性質として、認知バイアスや、環境変化を認知するエージェントであるか否か、を表現すること。2) 各エージェントは、セル状の空間構造ではなく、コミュニケーション・ネットワークによって繋がりを持つこと。

#### 3.2 エージェント

##### 3.2.1 構成員とその属性

本稿で扱う組織は、 $N$ 人の構成員からなるとする。

$$Or = \{a_i; i = 1, \dots, N\}$$

更に、各構成員が持つ目的及び手段をタグモデルにより表す(図3)。構成員 $a_i$ が持つ目的の集合 $Obj_i$ は、

$$Obj_i = (obj_{i1}, obj_{i2}, \dots, obj_{im}), obj_{ik} \in \{1, 2, \dots, l\}$$

$a_i$ が持つ手段の集合 $Res_i$ は、

$$Res_i = (res_{i1}, res_{i2}, \dots, res_{im}), res_{ik} \in \{1, 2, \dots, l\}$$

である( $m$ : 要素数,  $l$ : 代替特性)。但し、

$$\dim Obj_i = \dim Res_i = m$$

とする。提案モデルは、MDDMにおける目的シンボル、そのために必要な手段シンボルを数字列として抽象的に表現したものである。ここで、目的 $Obj_i$ と手段 $Res_i$ の組みをビジネス構造 $Str_i$ とする:

$$Str_i = (Obj_i, Res_i)$$

また、ビジネス構造の要素 $str_{ik}$ は、その構造を保持している時間

$$t_{ik} \in T_i, T_i = \{t_g; g=1, \dots, 2m\}$$

を持つ。ここでシミュレーション1stepあたりの保持期間の増分は、 $\Delta t_{ik} = 1/100$ とする。



図3 構成員の目的・手段と外部環境のモデル化。

##### 3.2.2 環境認識主体

構成員のうち、環境変化を認識するものを「環境認識主体」とする。そして、このような構成員の属

する階層が 1) 上層(トップ), 2) 中間層(ミドル), 3) 下層(ボトム), それぞれに偏在しているケースを考える。このように考えるのは、例えば、組織の上層が環境の変化を認識し、その認識を構成員に共有させようとする場合と、下層がそうしようとする場合とでは、認識が伝播される際に要求される組織の諸条件が異なると考えられるためである。

#### 3.3 外部環境

本稿では、構成員の目的・手段と同様、外部環境をタグモデルで表現する(図3)。外部環境 $Env$ は、

$$Env = (e_1, e_2, \dots, e_{2m}), e_k \in \{1, 2, \dots, l\}$$

である。但し、

$$\dim Env = 2m$$

とする。なお、 $Env$ は当初の外部環境を表す $Env\_before$ と変化後の環境を表す $Env\_after$ を持つ。

#### 3.4 ネットワーク

##### 3.4.1 構成員間のネットワーク

タグモデルでは、エージェントをセル状の空間構造に配置し、近接サイト間でのみ相互作用を行っていた。提案モデルは、ある構成員 $a_i$ とその構成員が持つ $C_i^{formal}$ と $C_i^{informal}$ から選択された構成員

$$a_j \in C_i^{formal} \cup C_i^{informal}$$

の間で相互作用が行われるものとする(3.5.1節で詳述)。ここで、 $C_i^{formal}$ は構成員 $a_i$ が公式コミュニケーション・ネットワークで繋がる構成員の集合であり、 $C_i^{informal}$ は非公式コミュニケーション・ネットワークで繋がる構成員の集合である。なお、公式コミュニケーションと非公式コミュニケーションにおいて、認識の伝播のしやすさには差異はないものとする。

##### 3.4.2 外部環境-環境認識主体間ネットワーク

外部環境と環境認識主体の間で相互作用が行われるものとする(3.5.2節で詳述)。

#### 3.5 相互作用

##### 3.5.1 構成員間の相互作用

構成員 $a_i$ と $a_j$ のビジネス構造の近さは、数字列のハミング距離で表し、数字列の中的一致した割合 $r_{ij}$

$$r_{ij} = \frac{\sum_{k=1}^{2m} \alpha_{ijk}}{2m}, \alpha_{ijk} = \begin{cases} 1(str_{ik} = str_{jk}) \\ 0(otherwise) \end{cases}$$

(以下、類似度という)に応じて相互作用をおこす。2人のビジネス構造が近いほど相互作用がおき易く、相互作用をすればするほど、よりビジネス構造が近くなるモデルである。ここで相互作用とは、 $a_i$ と $a_j$ の間で、 $str_{ik} \neq str_{jk}$ のとき、(i)  $str_{ik}$ を $str_{jk}$ によ

って、または、(ii)  $str_{jk}$  を  $str_{ik}$  によって、置き換えることをいう。(i)と(ii)のどちらの置換がなされるかは、 $a_i$  と  $a_j$  の組織構造上の上司・部下関係を判定した上で、後述の「認知バイアス」と「上意下達の割合」を勘案して決定される。

#### (a) 認知バイアス

タグモデルでは、前述の類似度に応じた確率でタグの要素が書き換わり、文化の伝播を表現していた。

提案モデルでは、構成員が長期にわたってもっているビジネス構造は変わりづらく、また、組織も「環境認識の変わりづらさ」[7][8]を持つという前提から、構成員間のビジネス構造の伝播確率を以下のように定義する。構成員  $a_i$  が持つビジネス構造  $str_{ik}$  を構成員  $a_j$  が持つビジネス構造  $str_{jk}$  に伝播させる確率を  $p_{ijk}$ 、類似度を  $r_{ij}$ 、 $str_{jk}$  を保持している期間を  $t_{jk} \in T_j$  とすると、

$$P_{ijk} = r_{ij} \frac{K}{1 + (K/p_0 - 1)e^{-v_{in} t_{jk}}}$$

なる関数を作業仮説として提示する。ここで、感度パラメータ  $v_{in}$  を「慣性」とし ( $v_{in} \in I$ ,  $I = \{i; 0 < i < 1\}$ ),  $p_0 = K = const.$  とする。

#### (b) 上意下達の割合

相互作用を行う2人の構成員  $a_i$  と  $a_j$  が決定した後、 $a_i$  と  $a_j$  の上司・部下関係 (4.2.1 節で示す構成員のナンバー) が参照される。そして、認識の伝播の方向が次のように決定される：1) 上司から部下へ、確率  $r_{id}$ 、2) 部下から上司へ、確率  $1-r_{id}$ 。ここで、確率  $r_{id}$  を「上意下達の割合」とする。

### 3.5.2 外部環境-環境認識主体間の相互作用

提案モデルでは、組織の側から外部環境を操作することは考えない。すなわち、外部環境は環境認識主体と相互作用を行うことで認識を伝播させるが、その逆は取り扱わないこととする。

ここで、外部環境  $E$  の  $k$  番目の要素を構成員  $a_i$  に伝播させる確率  $p_{iEk}$  は、

$$p_{iEk} = r_{iE} = \frac{\sum_{k=1}^{2m} \beta_{iEk}}{2m}, \quad \beta_{iEk} = \begin{cases} 1 (str_{ik} = e_k) \\ 0 (otherwise) \end{cases}$$

で与えることとする。

### 3.6 パフォーマンス

組織のパフォーマンスを以下のように定義する。

$$performance = \frac{1}{N} \frac{1}{2m} \sum_{i=1}^N \sum_{k=1}^{2m} \gamma_{ik}$$

$$\gamma_{ik} = \begin{cases} 1 (str_{ik} = e_k) \\ 0 (otherwise) \end{cases}$$

この定義から、シミュレーション時間全体において、構成員間での認識の一致度合いが高く、外部環境と組織の認識の一致度合いが高いほど、パフォーマンスが高くなるようになっている。なお、後述のシミュレーションでは、組織の階層 (トップ、ミドル、ボトム) 毎に当該計数を算出する。

## 4. デモンストレーション

### 4.1 パラメータ及びシミュレーション設定

3 章で説明したモデルを用い、下表のパラメータによりシミュレーションを行った(表1)。

表1 本稿のシミュレーションで用いたパラメータセット。

パラメータ名	(a) トップダウン型	(b) ボトムアップ型
エージェント数 $N$	15	同左
目的・手段集合の要素数 $m$	3	同左
代替特性 $l$	2	同左
慣性 $v_{in}$	0.001	同左
認識伝播に係る定数 $p_0$	1.0	同左
認識伝播に係る定数 $K$	0.05	同左
上意下達の割合 $r_{id}$	60%	同左
組織階層	4	同左
環境認識主体	トップ, 3エージェント (agent#01, #02, #03)	ボトム, 3エージェント (agent#08, #10, #12)
非公式ネットワーク	なし	環境認識主体-トップ間 (トップ: agent#01)

ここで、エージェント数  $N$ : 15, 組織階層: 4 (トップ: 上位2階層, ミドル: 第3階層, ボトム: 第4階層), 目的・手段集合の要素数  $m$ : 3, 上意下達の割合  $r_{id}$ : 60%, とした。さらに、ボトムアップ型の意思決定プロセスを表現するために、環境認識主体はボトムの3エージェント(agent#08, #10, #12)とし、それぞれトップ(agent#01)と非公式ネットワークで繋がる設定とした (図4)。

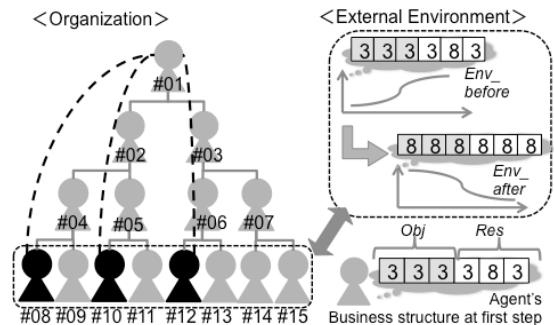


図4 組織階層の模式図及びシミュレーション設定：ボトムアップ型の意思決定プロセス

## 4.2 シミュレーション結果

サンプルシミュレーションの結果を示す。下図は組織階層毎のパフォーマンスの推移である(図5)。

初期ステップでは、環境認識主体であるボトム構成員を通じて外部環境が組織内に伝播していく(例えば、agent#08のビジネス構造が最初に外部環境と完全一致するのは13step)。そのため、20step程度まではボトムのパフォーマンスが先行して向上している。その後、環境認識主体(agent#08, #10, #12)とトップ(agent#01)の間の非公式コミュニケーション・ネットワークを通じ、外部環境がトップに伝播する(agent#01のビジネス構造が最初に外部環境と完全一致するのは45step)。更にトップからミドル、ボトムへ上意下達によりビジネス構造が共有されていく(主に50step以降)。最終的には、88stepにて、全構成員のビジネス構造が新たな外部環境と一致した。

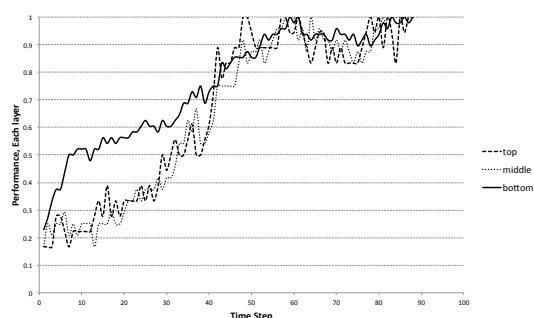


図5 ボトムアップ型の意思決定プロセスにおける組織階層毎のパフォーマンスの推移。

## 4.3 MDDM による書き下し

シミュレーション結果を MDDM により書き下したものが下図である(図6)。

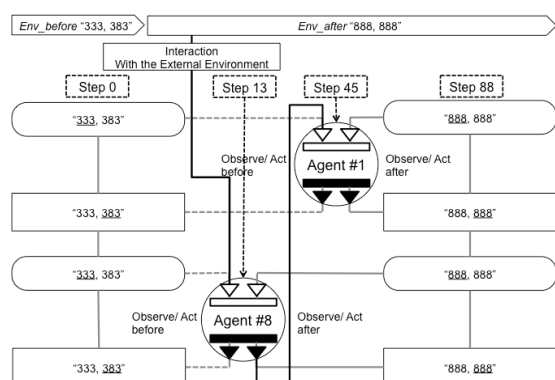


図6 MDDM を用いて組織の環境認識モデル[5]のシミュレーション・ログを書き下した例。2.1 節で示したホンダのケースの書き下し例と同様、ボトムアップ型の意思決定が行われたケースであることが見て取れる。

ここでは、環境認識主体である agent#08 とトップを構成する agent#01 に注目し、決定図式を記述した。4.1.2 節で示したホンダのケースと同様、1)ボトムが新たな外部環境を認識し、2)トップを通じて全社のビジネス構造を一様化させた、ボトムアップ型の意思決定が行われたケースであることが見て取れる。

## 5. さいごに

本稿では、ビジネス構造の変化を伴う組織構成員の意思決定を表現する MDDM を用い、ビジネスケースと ABM において、生成されたストーリーやシナリオが一定の形式で表現可能か検証を行った。具体的には、1) 企業組織の外部環境に対する認識及びその階層間伝播を扱ったビジネスケースのストーリー[4]と、2) 先行研究[5]を元に構築した同様の主題を持つ ABM のシミュレーション・ログ、を書き下すことにより、両者が統一的な形式にて、対比可能であることを確認した(図1; 図6)。このように、リアルなケースとバーチャルなケースは、一定の概観性をもって相互比較可能である。

今後の課題は以下の通りである: 1) 他のビジネスケースや ABM においても本稿と同様に適用可能であるか検証を行うこと、2) 本稿はビジネスケースと ABM を対象としたが、今後はゲーミングをも含めた手法間におけるストーリーやシナリオの共有可能性を探ること。

## 参考文献

- [1] 寺野隆雄, 小山友介: “ゲーミフィケーション:世界をゲームとしてデザインする,” 計測と制御, Vol.54, No.7, pp.494-500, 2015.
- [2] 小林知巳, 高橋 聡, 國上真章, 吉川厚, 寺野隆雄: “エージェントシミュレーションでケースを説明する,” Proc. JAWS 2012, 2012.
- [3] 國上真章, 菊地剛正, 寺野隆雄: “ビジネスケースの経営意思決定を記述するための形式モデル,” Proc. JAWS 2018, 2018.
- [4] Christensen, C., M.: “The Innovator's Dilemma: When New Technologies Cause Great Firms to Fail,” Harvard Business School Press, 1997.
- [5] 鳥山正博, 菊地剛正, 山田隆志, 寺野隆雄: “エージェントシミュレーションを用いた組織構造最適化の研究 -スキーマ認識モデル-,” 電子情報通信学会誌, Vol.J92-D, No.11, pp.1919-1926, 2009.
- [6] Axelrod, R.: “The Dissemination of Culture: A Model with Local Convergence and Global Polarization,” *Journal of Conflict Resolution*, Vol.41, pp.203-326, 1997.
- [7] 加護野忠男: “組織認識論,” 千倉書房, 1988.
- [8] 沼上幹, 軽部大, 加藤俊彦, 田中一弘, 島本実: “組織の<重さ>,” 日本経済新聞社, 2007.