

マルチエージェントシミュレーションの 経営分野への適用に関する試行実験

The Experiment Concerning Application of Multi Agent Simulation to Management

北村一弘[†] 戒野敏浩[‡]
Kazuhiro KITAMURA[†] Toshihiro KAINO[‡]

[†] 青山学院大学 大学院経営学研究科 経営学専攻 博士前期課程
(2006年9月終了、現在民間企業勤務)

[‡] 青山学院大学 経営学部

[†] Graduate School of Business Administration, Aoyama Gakuin Univ.

[‡] School of Business Administration, Aoyama Gakuin Univ.

要旨:

本報告では、人間が持つ“あいまい”な判断・行動ルールをうまく取り扱うことのできるマルチエージェントシミュレーションモデルを提案する。具体的には、エージェントの行動選択ルールにファジィ関係方程式を用いることにより、人間の行動に影響を及ぼす“価値観”等の“あいまい”な基準に基づいて行動するエージェントの記述を行う。そして、そのアルゴリズムをマルチエージェント・シミュレータ KK-MAS に組み込み、異なる価値観に基づき行動する労働者のモチベーション増減の試行実験に適用する。

1. はじめに

1.1 背景

現実社会をモデル化し、シミュレーションによる事象の分析・将来の予測を行う手法が着目されている[1]。なかでも複雑系[2][3][4][5]を背景とした、エージェントベースアプローチ等様々な名称で呼ばれる研究が進められており、特に、ローカルな相互作用から創発される大域的現象を観察し、メカニズムを解明する手段として優れている [6]マルチエージェントシミュレーションを利用した研究が活発に行われている。

社会科学の分野への適用[7][8]も盛んに行われている。例えば国内における組織研究の分野を例にすると、組織理論への適用[9]、創発現象の分析[10]を始めとする各種の成果が報告されているばかりでなく、適用にあたっての課題[11]等が報告されている。また、シミュレーションを実行するツールについても、比較的容易に取り扱うことができるシミュレータが開発[12]されているばかりでなく、普及に向けた活動が行われており、これらの利用方法[13]も紹介されている。これらのシミュレーション技術の存在は、一般のビジネス誌においても紹介[14][15]される機会もあり、企業活動において意思決定の支援ツール等として期待されていることが伺える。

しかし、経営分野の中心的な課題と考えられる組織・管理・戦略に係わる問題に対する適用例は少ない。その理由として、経営分野を初めとする社会科学分野では人間の行動を対象とすること

から、自然科学や工学の分野のように、実験等に基づく定量的な数値情報の利用や、実証された理論に基づく数式化が可能な場合とは異なる問題があると考えられる。また、定性的な情報を用いたモデリングやプログラミングの困難さがシミュレーション手法の適用を遠ざけていることが考えられる。

このため、1) 社会科学分野において取り扱われる情報の特長、2)シミュレーションにおける人間の行動(意思決定行為)の取扱いに着目し、現状の問題点を俯瞰する。

1.2 問題点

(1) 社会科学分野で取り扱われる情報

代表的な組織研究の分野に着目すると、例えば、企業の組織文化 [16]に代表されるように、組織の価値観[17]のような人間の嗜好に係わるような抽象的なものがあり、これが組織の行動に影響を与えていることが指摘されており、これまでも多数の実証研究が行われ [18][19]、各種のデータの蓄積が行われている。

社会科学分野において取り扱われる情報は、インタビュー、観察、内部記録文書の分析、質問票調査等の方法で収集されることが多く[20]、上記の研究もこれらの方法によって情報の収集が行われている。シミュレーションにあたっては、得られた情報を数値化・定式化する必要があるが、ここで職務満足度を評価する質問項目を例として、情報の種類を分類すると表 1.2-1 のとおりに

分類することができる[21][22]。

表 1.2-1 情報の種類の例

情報の種類	例 (職務満足度を評価する質問項目の例)																					
数値で表される情報	<p>【質問】 自分の仕事に満足するのは、全体の時間のうちのどれだけの割合ですか。</p> <p>【回答】 0%,10%,20%,...,100%</p>																					
数値+言葉で表される情報	<p>【質問】 全体として、自分の仕事に満足している。</p> <p>【回答】</p> <table style="width:100%; border:none;"> <tr> <td style="text-align:center;">1</td> <td style="text-align:center;">2</td> <td style="text-align:center;">3</td> <td style="text-align:center;">4</td> <td style="text-align:center;">5</td> <td style="text-align:center;">6</td> <td style="text-align:center;">7</td> </tr> <tr> <td style="text-align:center;">まったく</td> <td></td> <td></td> <td style="text-align:center;">ある程度</td> <td></td> <td></td> <td style="text-align:center;">まったく</td> </tr> <tr> <td style="text-align:center;">反対である</td> <td></td> <td></td> <td style="text-align:center;">そうである</td> <td></td> <td></td> <td style="text-align:center;">そうである</td> </tr> </table>	1	2	3	4	5	6	7	まったく			ある程度			まったく	反対である			そうである			そうである
1	2	3	4	5	6	7																
まったく			ある程度			まったく																
反対である			そうである			そうである																
言葉によってしか表されない情報	<p>【質問】 自分の仕事に満足することが、どのくらいありますか。</p> <p>【回答】 まったく ほとんど ときどき しばしば つねに ない ない</p>																					

資料出所：文献[21]pp.129、文献[22]pp.75 を元に筆者が表を作成

このように、社会科学分野において収集し、取り扱われる情報の種類は、“数値で表される情報”だけではなく、“数値+言葉で表される情報”、“言葉によってしか表されない情報”が多数を占めるものと考えられる。これらのうち、“言葉でしか表されない情報”は、表 1.2-2 の特徴[21]があり、処理を行うことや最適解を求めることが簡単ではないことが指摘されている。

一方、先に例示した組織研究における人間の持つ価値観等についても、今後の研究課題として、組織メンバー間の価値観のレベルまでの相互作用の分析の必要性について指摘されている[23]。このため、これらの情報をうまく処理することが可能となる手法が必要であるものと考えられる。

表 1.2-2 情報の取扱いの特徴

処理の困難さ	最適解を求める困難さ
<ul style="list-style-type: none"> ● 個人の主観によるところが多く個人差が大きい ● 感覚と言葉の結びつきは言葉に個人によってまちまちである ● 言葉による表現には幅があつて“曖昧さ”が避けられない 	<ul style="list-style-type: none"> ● 解のよさを測る基準によって解が存在しなかったり、無意味なものになったり、あるいは解がくるくる変わったりするというように、基準の取り方で解が決定しない。 ● よさの基準が複数個あつて、基準ごとに異なる最良解が得られ、どれが総合的な最良解であるかが定まらない。

資料出所：文献[21]pp.130 を元に筆者が表を作成

(2) エージェントの意思決定の取扱い

マルチエージェントシミュレーション手法の特徴は、自立した個々のエージェントが多数集ま

って、相互に依存し合っているシステムを取り扱うことが可能であり、エージェントの属性や行動ルールに各種の設定を行うことができる点にある。マルチエージェントによる研究はこれまで多数報告されているが、エージェントの行動モデルの部分に着目すると、人間が有する嗜好・感情・感性のような抽象的で曖昧な要素を考慮した行動選択メカニズム（意思決定行為）に着目した報告例は少ないことに気づく。

これは、「シミュレーションは現実の本質を精密に模擬するのではなく現実の本質を映し出す、できるだけ単純なものでなければならない」という KISS 原理[25]があること、「個々のエージェントへの入力 of 相互作用を表現するものでありシステム全体での相互作用を直接的に引き起こすものではない」こと[26]、「モデリング等が困難である」こと[27]等から、これらを考慮した報告[28]を少なくしているものと考えられる。

しかし、近年では意思決定行為に人間的な側面を取り込む重要性が指摘[29]されており、様々な理論・手法が提案されつつある。このため、人間が有する嗜好・感情・感性のような抽象的で曖昧な要素を考慮した処理手法が重要であるものと考えられる。

(3) 問題点の整理

以上のように、1) 社会科学分野における情報の取扱い、2) エージェントの意思決定の取扱い、に着目し、現状の問題点を俯瞰した。

この結果、社会科学の分野で取り扱われる情報は数値で表されるものが少なく、その取扱いが困難であることから、これらをうまく処理できる手法を適用すること、エージェントの意思決定部分のモデル化には人間がもつ嗜好・感情・感性等の要素を取り込むことが望ましいこと、そして複雑なプログラミングやモデリングを必要としない容易な手法によるシミュレーションを行えることが望ましいものと考えられる。

1.3 研究方法

本研究では、シミュレーション実験を適用する場として、昨今の企業における組織設計・制度設計上の話題をととして、企業組織の労働者のモチベーションを題材とする。そしてシミュレーション実験において解くべき課題を、「価値観(仕事に対する動機付け)が異なる労働者が存在する場合、彼らはどのように相互作用し、組織にどのような影響を与えるのか」と設定し、この課題を解決可能なよう、価値観(仕事に対する動機付け)が異なる労働者が存在する場合の労働者の相互作用をモチベーションの増減を指標として観察・議論できるようなモデルを設定し、シミュレーション実験を行う。

以降、第 2 章からシミュレーション実験の説明を行う。2.1 ではモデル作成の基本方針を示し、

モチベーションに関する理論のうち期待理論から、その鍵概念である「仕事」→「努力・遂行」→「成果」→「報酬・評価」→「満足」のプロセスを経てモチベーションの増減が発生することをモデルに取り込む。そして、期待理論では反映されていない労働者間の相互作用等を取り込み、モチベーション増減プロセスをモデル化する。2.2では、既存研究・文献及び現実社会での事象を参考として、労働者の特性(価値判断の要素・行動等)を設定について説明する。

2.3では、本研究における提案事項である、マルチエージェントシミュレーションにおいて、エージェントの行動選択メカニズム、すなわち意思決定部分を“曖昧な情報”をうまく取り扱うためのファジィ関係方程式を用いた手法を説明する。具体的には、ファジィ理論について、その基礎的な概念であるファジィ集合・ファジィ関係・ファジィ関係方程式について説明し、これらの手法によるモデリングの方法について、ある労働者が仕事をどのように評価して行動するのかを決定する場合を題材として、ファジィ集合・ファジィ関係の設定方法について具体例を挙げながらシミュレーションプログラムへの実装までのプロセスを整理する。そして、2.4でシミュレーション実行のための各種の条件を設定する。

第3章では、前章で設定した条件によるシミュレーション実験の結果を説明する。実験では、価値観(仕事に対する志向性)が相違するエージェント(労働者)を2種類とし、それぞれ10エージェントを1群としてシミュレーションを行う。そして、得られた実験結果から、シミュレーション終了時における各エージェント群の価値観の変化パターンから代表的な2種類のパターンを示したケースを取り上げ、シミュレーション中の各エージェント群の変化について、モチベーション増減を指標としてエージェント群の代表及びエージェント群全体の挙動を分析するとともに、実現象と比較・検討を行なう。

第4章において報告の結びとして、まとめと今後の課題について、エージェントのモデリング及びシミュレーションの妥当性の検証に関する考察を行う。

2. シミュレーション実験

2.1 シミュレーションモデルの作成

(1) モデルの設定にあたっての基本方針

本研究では、必要最低限の要素を取り出して簡略的なモデルの設定を行い、シミュレーションが成立するのかということに主眼を当てることとする。

具体的には、モチベーションに関する理論のうち期待理論を参考として労働者のモチベーション増減プロセスをモデル化するとともに、既存研

究・文献及び現実社会での事象を参考として労働者の特性(価値判断要素・行動等)を設定する。本研究におけるシミュレーションモデル設定の概要を図2.1-1に示す。次項から個々の詳細を記述する。

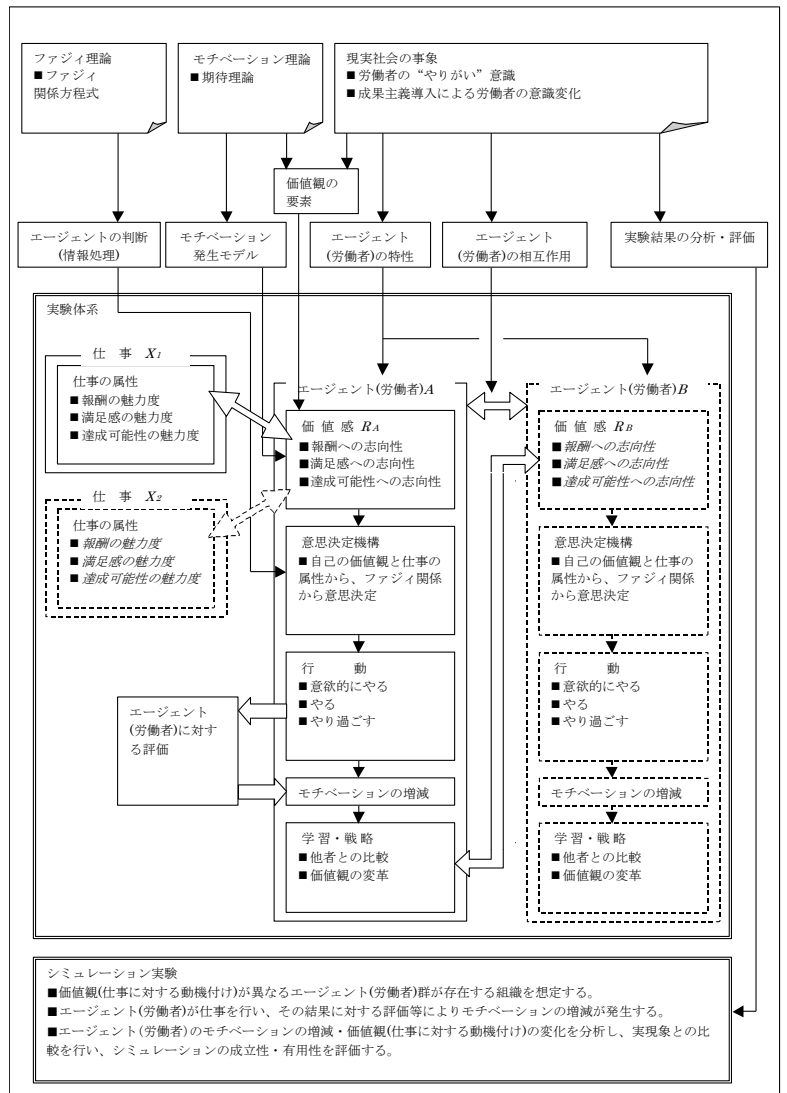


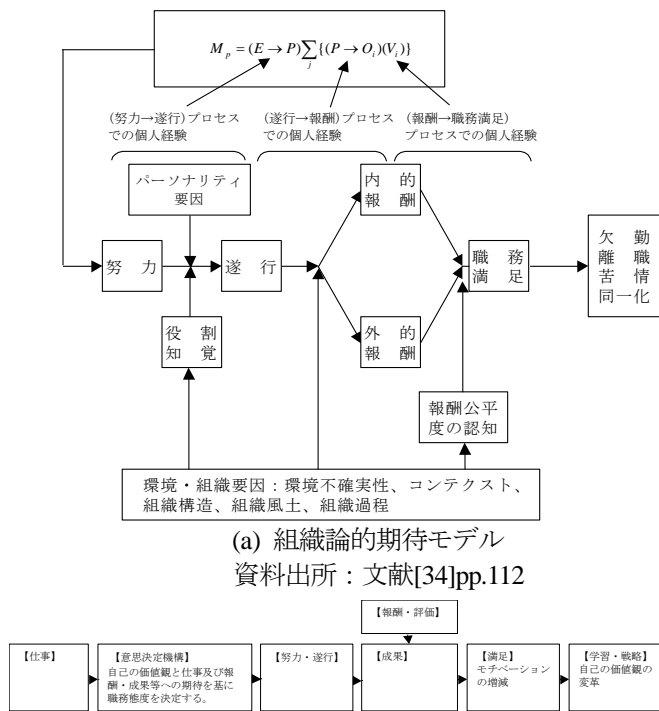
図 2.1-1 シミュレーションモデル作成の枠組み

(2) 期待理論からのモデルの設定

人間のモチベーションに関する理論は様々な議論が展開されている[30][31][32][33]。この中でも、期待理論は、詳細な理論的モデルの提唱や実証研究[34]は多数行われているが、実務家からの違和感があること[35]、期待理論自体が科学的な検証が不可能であること[36]等の指摘も行われているが、モチベーションについて考察するときにもっとも統合的なモデル[37]であるとされていることから、この期待理論を元にモデル化を行う。

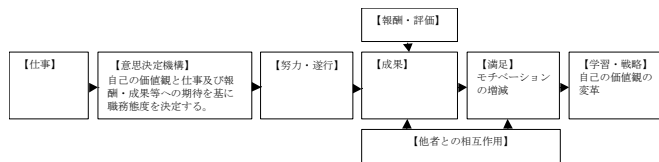
期待理論は、ヴルームによって展開された理論であり、モチベーション強度を、努力によって達成できる結果についての期待と結果の誘発性に分解してモデル化を行い、期待と誘発性の両方が高いときに人間の行動の強度は高まることなどを説明している。更に、このモデルは修正を加え

られ、組織論的期待モデルとして、図 2.1-2(a)に示すモデルが提案されている[34]。



(a) 組織論的期待モデル

資料出所：文献[34]pp.112



(b) シミュレーションに取り込むモデル

図 2.1-2 期待理論からの要素の取り込み

このモデルでは、モチベーションの構造を、(E→P)期待、(P→O_i)期待、報酬誘意性(V_i)という3要因の積和で定義されており、仕事状況での個人経験①(努力→遂行)プロセスでの個人経験、②(遂行→報酬)プロセスでの個人経験、③(報酬→職務満足)プロセスでの個人経験が、それぞれ(E→P)期待、(P→O_i)期待、報酬誘意性(V_i)という3要因にフィードバックするという仮定が付与されている。このように、代表的な期待理論を概観したが、主要な鍵概念は次のとおりであると考えられる。

- 「仕事」→「努力・遂行」→「成果」→「報酬・評価」→「満足」のプロセスを経てモチベーションの増減が発生すること。
- 「努力・遂行」にあたっては、労働者の仕事に対する動機付けすなわち価値観に基づいていること。

このため、本研究においては、図 2.1-2(a)に示した組織論的期待モデルを簡略化して、図 2.1-2(b)のプロセスを考慮することとする。また、期待理論では労働者自身の内部の状況を表現したものであり、労働者の相互作用等の要素が不足しているものと考えられるため、現実の現象を参考としてモデルに取り込むこととする。

次項に最近の代表的な話題を挙げ、その事象の概要とシミュレーションモデルに取り込む要素

を説明する。

(2) 現実の事象からの要素の取り込み

事例 1

(成果主義導入による問題点)

富士通株式会社では、社員のパフォーマンス向上を図る目的で、1993年頃から成果主義を導入したが、人件費の増大、愛社精神の低下、優秀な人材の流出、製品の品質の低下などの弊害が発生した。この制度が運用される過程での問題とその適応プロセスが整理されている[38]。その概要とモデルに反映する要素を表 2.1-1 に示した。

表 2.1-1 事例 1 からの要素の取り込み

事象の概要	モデルへ反映する要素
<p>初期(1993年)の段階では、①低い評価をつけられた社員の評価への不満、②目標管理制度の中での達成しやすい目標設定へのレベルの引き下げ(チャレンジ精神の欠如)、③売上高などの数値目標だけの重視(プロセスの軽視)といった問題点があった。</p> <p>以上の問題点を踏まえ、努力すれば評価に上がる可能性を示唆しながら、モラルアップを計ることを主眼として評価分布の変更が行われた(1998年)。この結果、目標を低く設定し、それをクリアすることを目的にした社員が増加した。すなわちほどほどに努力していれば差が大きくなり、失敗を恐れて高い目標に挑戦しようとする者がいなくなったことにより、生産性にかげりが出始めた。</p> <p>これらの事例から示唆される問題点は、以下のように整理されている。</p>	<p>労働者間の相互作用 労働者の価値観の変化</p>
<p>① 評価の公正さ、評価の指標、相対評価の分布、評価システムの煩雑さなど、評価システム自体から問題が発生する。</p>	
<p>② 目標管理制度の下で目標達成が評価に結びつく場合、労働者は、目標のレベルを引き下げることで目標を達成しようとする。</p>	労働者の価値観の変化
<p>③ 数値目標のみによって個人の業績評価を行おうとすると、評価対象となる数値目標を高める以外の活動に注力がされなくなるという問題が発生する。</p>	労働者の価値観の変化

資料出所：文献[38]pp.62-63 を元に筆者が表を作成

(2) 事例 2

(労働者のやりがい、モチベーション再生の提言)

株式会社野村総合研究所から、若者の働く意欲を再生できるかどうか、企業の競争軸の一つになるとの予測から、経営戦略としての若者のモチベーション再生が提案されている。これは、上場企業 20~30 代正社員に対してやりがいを感じる仕事、報酬等について調査が行われた結果によるものである。その概要とモデルに反映する要素を表 2.1-2 に示す。

表 2.1-2 事例2からの要素の取り込み

事象の概要	モデルへ反映する要素
<p>この調査結果では、<u>やりがいを感じる仕事</u>は、「報酬の高い仕事」が29.0%でトップであり、次に「自分だけにしかできない仕事」(22.0%)、「新しいスキルやノウハウが身につく仕事」(21.8%)、「自分の実績として誇れる仕事」(21.5%)が上位となっており、報酬以外では、“自分らしさ”の表現や、対外的に通用するスキルや実績を形成してキャリアアップすることが、仕事のやりがいにつながっている模様であると推定されている。</p> <p>また、同調査においては <u>お金以外の報酬として重視しているものは、「仕事自体の面白さや刺激」(44.5%)、「同僚や後輩から信頼されたり感謝されたりすること」(35.0%)、「顧客から感謝されること」(34.2%)、「上司から高い評価や承認が得られること」(26.6%)</u>が上位に挙がる結果となっている。</p> <p>これらの結果から、今後は報酬以外の面で若者にやりがいを感じさせることが、企業の経営戦略に効果的であるとし、若者のモチベーションを再生するための「2010年の経営戦略」として、次の三つが提案されている。</p>	<p>労働者の価値観</p>
<ol style="list-style-type: none"> 1. 仕事の動機につながるミッションの樹立：社員全員の求心力となり組織文化を培養するユニークなミッションを樹立すること。 2. 挑戦機会の増設：異なるワークスタイルやキャリア・オプションを許容し、必要であれば労務政策を大胆に見直したり、多元化したりすることも視野に入れること。 3. 周囲のモチベーションを生み出す人材の抜擢：周囲の人材のモチベーションを生み出す人間(モチベーションジェネレータ)を組織の中心に引っ張り出すこと。 	<p>労働者の価値観</p> <p>労働者間の相互作用</p>

資料出所:「株式会社野村総合研究所ニュースリリース、2005.12.5」を元に筆者が表を作成

(3) シミュレーションモデルの設定

図 2.1-2 (a)で示したモチベーション理論を元にしたモデルに現実社会での事象を取り込んだモデルの構成を図 2.1-3 に示す。このモデルの概要は次のとおりである。

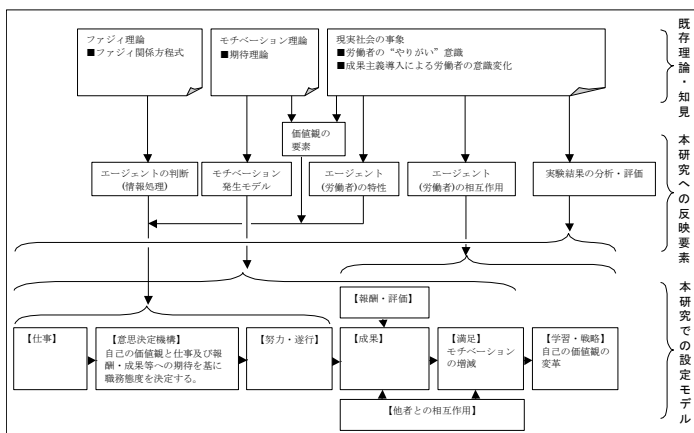


図 2.1-3 シミュレーションモデルの構成

まず、労働者に仕事が与えられる。次に、労働者は自己の価値観(仕事に対する動機付け)と仕事の報酬・成果等への期待を照らし合わせ、職務態

度(仕事の遂行における努力の度合い等)を決定して仕事を遂行する。そして、仕事で成果を上げると、報酬・評価が与えられる。この結果、労働者は満足感を覚えて自己のモチベーションを増加させる。但し、成果が出せない場合もあり、この場合は報酬・評価は与えられない。また、他の労働者と自己を比較し、場合によっては自己の価値観を変えることもある。

本研究では、このモデルを用いて、価値観(仕事に対する動機付け)が相違する労働者群を置き、彼らの仕事の遂行によるモチベーションの変化を観察する実験を行い、実験結果の分析・実現象との比較を行うことにより、シミュレーションの成立性及び有効性を確認する。

シミュレーションの要素である、労働者の特性(価値観の相違による仕事への動機付けの種類)、労働者の行動特性等は、既存研究・文献を元に設定を行う。次節に個々の要素の設定内容とその選定理由を説明する。

2.2 エージェントのモデリング

(1) エージェントの特性

労働者(以下、「エージェント」と記載する)の価値観(以下、「仕事に対する動機付け」を指す)のタイプは、組織が労働者に与えるインセンティブ[17]に対する現実的な労働者の志向を考慮することとし、第2節に示した事例及び労働意欲に関する既存の研究結果等[39]を参考とした。この結果、表 2.2-1 に示したように、①物質的なものを志向する、②精神的なものを志向する、③達成可能性を志向する、という3とおりの種類へ分類することが妥当であると考えられるため、これらの価値観を有するエージェントを実験に供する。

表 2.2-1 実験に供するエージェントの特性

特性	設定根拠	具体的なイメージ
①物質的な満足感を志向	次のような事例が認められることによる (事例2) ● 高い給料・立場が欲しい。 ● 上司から高い評価や承認が得られたい。	昇給や昇進のような具体的な報酬に対して強い関心があり、これらに価値の重点をおいて行動するような労働者
②精神的な満足感を志向	次のような事例が認められることによる (事例2) ● 仕事自体に面白さや刺激が欲しい。 ● 同僚や後輩から信頼・感謝されたい。 ● 顧客から感謝されたい。	“自分らしさ”の表現“のような事項に対して強い関心があり、これらに価値の重点をおいて行動する労働者
③達成可能性を志向	次のような事例が認められることによる (事例1) ● 高いリスクを回避する。	成果を達成するためには、リスクを回避するような労働者

これらの価値観を持つエージェントを現実の労働者に即して説明すると次のとおりとなる。まず、①の価値観を持つエージェントは、現在一般的に動機付けの対象として、組織が具体的に付与可能な昇給や昇進のような具体的な報酬に対し

て強い関心があり、これらに価値の重点をおいて行動するような労働者といえる。②は、事例2が示しているように、近年の若い世代の意識では、報酬に匹敵するほど“自分らしさ”の表現“のような、他者からは一体何のことか判らないような事項に対して強い関心があり、これらに価値の重点をおいて行動する労働者といえる。③は、達成可能性を志向するエージェントであり、事例2に見られたような、成果を達成するためには、リスクを回避するような労働者がこれに該当するといえる。

(2) エージェントの意思決定要素

エージェントは、与えられた仕事の魅力から行動を意思決定する。その判断の要素は、表 2.2-2 に示したように、①仕事に対する報酬、②仕事自体または付随する満足感、③仕事の達成の可能性の3点について判断を行わせるものとした。

判断要素はこれ以外にも多数あると考えられるが、本研究では、最も重視されている要素であると考えられることから①を想定し、事例2のように、近年では報酬のみが重要ではないことが明らかであるものと考えられることから②を想定した。そして、事例1から③を想定し、これらの組み合わせを設定した。

表 2.2-2 エージェントの意思決定要素

エージェントの判断要素	設定根拠	具体的なイメージ
① 仕事に対する報酬の魅力	最も重視されていると考えられること (事例2)	昇給や昇進に対する期待であり、これらが魅力的かどうかを判断する
② 仕事自体または付随する満足感	最近の調査結果が示唆していること (事例2)	仕事自体の面白さや刺激、顧客から感謝される等への期待であり、これらが魅力的かどうかを判断する。
③ 仕事の達成の可能性	最近の事例が示唆していること (事例1)	仕事の結果が得られるかどうかを判断する。

これらの判断要素を現実の労働者に即して説明すると次のとおりとなる。①「仕事の報酬の魅力」は、昇給や昇進に対する期待であり、魅力的かどうかを判断する。②「仕事自体または付随する満足感」は、仕事自体の面白さや刺激、顧客から感謝される等への期待であり、これらについて魅力的かどうかを判断する。③「達成の可能性」は、結果がもたらされる可能性についての判断である。

(3) エージェントの行動

仕事の魅力の判断に基づくエージェントの行動は、表 2.2-3 に示したように、①意欲的にやる、②やる、③やり過ぎは、仕事の魅力とエージェント自身の価値観に照らし合わせた場合、合致した場合は意欲的にやるであろうし、多くの場合は好き嫌い以前にやる必要があると考えられ

ることによる。また、エージェント自身の価値観と全く合致しない最悪の場合はやり過ぎす[40]こともあるものではないかと仮定する。ごす、の3通りと設定する。

表 2.2-3 エージェントの行動

行動	設定根拠
①意欲的にやる	自己の価値観に照らし合わせ、合致した場合は意欲的にやるであろうと考えられること
②やる	多くの場合は好き嫌い以前にやる必要があると考えられること
③やり過ぎす	エージェント自身の価値観と全く合致しない最悪の場合はやり過ぎすこともあるものではないかと考えられること

(資料 40)

(4) エージェント間の相互作用

エージェント間では、表 2.2-4 の相互作用があるものとする。

表 2.2-4 エージェントの相互作用

相互作用	設定根拠
①他者との比較	期待理論モデルでは、外界とのフィードバック関係が取り込まれていること (資料 34) 「他者の評価に不満を感じる」こと等の傾向が見られること (事例1)
②自己の価値観の变革	与えられた状況によっては行動の変化を示すこと (事例1)

これらの詳細は以下のとおりである。①他者との比較は、期待理論では個人の内面についての理論であり、外界との相互作用等が十分に網羅されていなかったが、近年の組織論的期待理論モデルでは、外界とのフィードバック関係が取り込まれている。また、先の事例1の中で見られたように、「他者の評価に不満を感じる」ことが挙げられていることから、各エージェントは自己と他者との比較を行うこととした。②自己の価値観の变革についても同様に、先の事例1において、与えられた状況によっては「ほどほどにしていればよい」等のような挙動の変化を示すことがあることから、場合によっては他者の価値観を模倣することが得策であるか否かの行動を行わせることが妥当であると考えられる。

2.3 エージェントの意思決定の定式化方法

(1) ファジ理論の適用

本研究では、マルチエージェントシミュレーションにおいて、エージェントの行動選択メカニズム、すなわち意思決定部分を“曖昧な情報”をうまく取り扱うことのできる新たな手法により記述することが提案のひとつである。このため、本研究では、これらの処理に最も適切であると考えられたファジ理論を適用することとし、これらの中でも比較的容易に定式化が可能であるが、これまでマルチエージェントシミュレーションには用いられていなかったファジ関係方程式を

用いた手法を提案する。

本節は、ファジィ理論について、その基礎的な概念であるファジィ集合・ファジィ関係・ファジィ関係方程式について整理する。そして、これらの手法によるモデリングの方法について、ある労働者が前節で設定した状況において意思決定を行う場合を題材として、ファジィ集合・ファジィ関係の設定方法について具体例を挙げながらシミュレーションプログラムへの実装までのプロセスを整理する。

(2) ファジィ理論の概念

本研究では、曖昧さを含む情報をうまく処理することができるファジィ理論[41]に着目し、エージェントの意思決定の記述にこれらの手法を適用する。近年、ファジィ理論はプラントや家電、ロボット等の制御やエキスパートシステムなど多様な分野で実用化されており、マルチエージェントシミュレーションにおいてもショック積分を用いた意思決定プロセスの適用例[26]がある。

本研究では行列式演算からなり、より直感的にわかりやすく、使いやすいファジィ関係方程式を用いる。ファジィ関係方程式は企業評価意思決定問題[42]や画像処理[43]等において良好な評価を受けている。以下では、本研究に用いる主要な定義を整理した[44]。

① ファジィ集合

人間の思考に伴う主観的な曖昧さを定量的に取り扱うための概念として、Zadehによりファジィ集合論が提案されている。通常の集合の場合、全体集合の各要素が、その集合に「属する」か「属さないか」の2通りの状態が存在するだけで非常に簡単である。ところが、自然界で見受ける物の集合には、対象とするものが、そのクラスに属するか否かを判定できる基準が明確に定まっていない場合が多い。

ファジィ集合は、通常の集合と異なり、属するかどうかに関する曖昧な状態を定量的に扱うために考案されたもので、属する度合いを[0,1]の値に対応させ、帰属度(メンバーシップ値)として表現するものである。ファジィ集合の定義を以下に示す。

[定義1] (ファジィ集合)

空間 X 上のファジィ集合 A は、

$$A: X \rightarrow [0,1] \quad (1)$$

なるメンバーシップ関数 A によって特性づけられる集合で、 $A(x) \in [0,1]$ は $x \in X$ が A に属する度合いを表す。

② ファジィ関係とファジィ関係の逆関係

ファジィ関係は、曖昧な関係をファジィ集合論的に扱い記述するものであり、例えば、「 x と y はほぼ等しい」、「 x と y は非常に似ている」等の集合をファジィ関係として定義される。ファジィ関係は、メンバーシップ関数により、次のように定義されている。

[定義2] (ファジィ関係)

$X \times Y = \{(x, y) | x \in X, y \in Y\}$ におけるファジィ関係 R は

$$\mu_R: X \times Y \rightarrow [0,1] \quad (2)$$

なるメンバーシップ関数 μ_R によって特性づけられた $X \times Y$ におけるファジィ集合 R であり、メンバーシップ関数 $\mu_R(x, y)$ は x と y の関係の度合いを表す。

また、ファジィ関係 R は

$$R = \{((x, y), \mu_R(x, y)) | (x, y) \subseteq X \times Y\} \quad (3)$$

と表される。

[定義3] (ファジィ関係の逆関係) [42]

ファジィ関係 $R \in L(X \times Y)$ に対して、 R の逆(または転置) R^{-1} を次のように定義する。ここで、 X 上のファジィ集合全体のクラスを $L(X)$ と記す。

$$R^{-1} \in L(Y \times X) \Leftrightarrow R^{-1}(y, x) = R(x, y) \quad (4)$$

ただし、

$$\forall (y, x) \in Y \times X \quad (5)$$

③ ファジィ関係方程式

ファジィ関係をシステムの解析に導入する場合、ファジィシステムの入力・出力に関しての記述が必要となる。図 2.3-1 は Q をファジィ入力、 T をファジィ出力とするファジィシステムを示す。

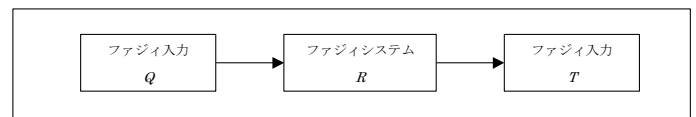


図 2.3-1 ファジィ入出力をもつファジィシステム
資料出所：文献[44]pp.47 を元に筆者作成

$X \times Y$ におけるファジィ関係 Q と $Y \times Z$ におけるファジィ関係 R に対して、 R と S の合成ファジィ関係 T は、次のように定義することができる。

[定義 4] (ファジィ関係の合成) [42]

Q を $X \times Y$ におけるファジィ関係とし、 R を $Y \times Z$ におけるファジィ関係とすると、 Q と R の合成は $X \times Z$ におけるファジィ関係となり、 $Q \circ R$ と記し、次のように定義する。

$$Q \circ R \Leftrightarrow \mu_{Q \circ R}(x, z) = \max_{y \in Y} \min(\mu_Q(x, y), \mu_R(y, z))$$

$$= \bigvee_{y \in Y} \{\mu_Q(x, y) \wedge \mu_R(y, z)\}. \quad (6)$$

ここで、ファジィ関係 Q と T が既知で、 R が未知のファジィ関係であるとき、

$$Q \circ R = T \quad (7)$$

をファジィ関係方程式という。また、この方程式を満足する R をファジィ関係方程式の解という。

[定義 5] (ファジィ関係方程式の解法) [42]

Q を $X \times Y$ における既知のファジィ関係とし、 T を $X \times Z$ における既知のファジィ関係とする。未知の $Y \times Z$ におけるファジィ関係 R が $Q \circ R = T$ で表されるファジィ関係方程式を充たすとき、このファジィ関係方程式の解 R は以下のように求められる。

$$R = Q^{-1} @ T \Leftrightarrow R(y, z) = \bigwedge_{x \in X} (Q^{-1}(y, x) \alpha T(x, z))$$

$$\Leftrightarrow \mu_R(y, z) = \min_{x \in X} [\mu_{Q^{-1}}(y, x) \alpha \mu_T(x, z)] \quad (8)$$

$$= \bigwedge_{x \in X} [\mu_{Q^{-1}}(y, x) \alpha \mu_T(x, z)].$$

ここで、 α は“含意(Implcation)”演算に該当し、次のとおりとする。

$$a \alpha b = \bigvee_{x \in [0,1]} \{x \mid a \wedge x \leq b\} = \begin{cases} 1(a \leq b) \\ b(a > b) \end{cases} \quad (9)$$

$$(a, b \in [0,1])$$

とする。

(3) ファジィ関係方程式によるモデリング

人間の意思決定、すなわち、ある情報に対するその評価、そしてその結果としての行動の関係は、図 2.3-2 に示す構造[45]であることが知られている。

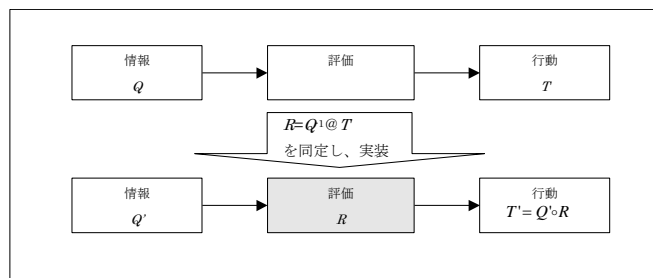


図 2.3.2 意思決定ルール R の同定とエージェントへの実装

このため、図 2.3-1 に示したファジィシステムモデルの構造を有していることから、ファジィシステムはエージェントの意思決定行為を表しており、言い換えればエージェントの価値観を表現しているものといえる。したがって、その関係はファジィ関係方程式(7)で $Q = T \circ R$ と記述することが可能となる。

そこで、図 2.3-2 のように、ある入力 Q とその出力 T からファジィ関係 R を同定しておく、新たな入力 Q' に対し適切な出力 $T' = Q' \circ R$ を得ることができる。すなわち、 R という固有の価値観にもとづく意思決定を行うことができるエージェントを作ることができる。また、ファジィの特徴である曖昧さ、すなわち主観的な言語による記述レベルの情報を処理させることが可能となる。以下では、手順について説明する。

① モデル化を行う現実の事象例

ある労働者が、任意の仕事に対する労働環境(成果に対する報酬・期待できる満足度・想定される達成可能性)をもとに、これらの計数データを主観的記述レベルの言語表現に変換して認識を行い、仕事を如何に行うか否かを判断しているものとし、この労働者の仕事遂行の価値観を考えていく。

この労働者は達成可能性が大きければ、報酬が大きく、多少のリスクがあっても仕事を意欲的に行う。しかし、労働者の判断基準、すなわち価値観の詳細は不明とする。ここで、この労働者がこれまでに扱った仕事の属性、労働者の行動が表 2.3-1 のとおりであったとする。

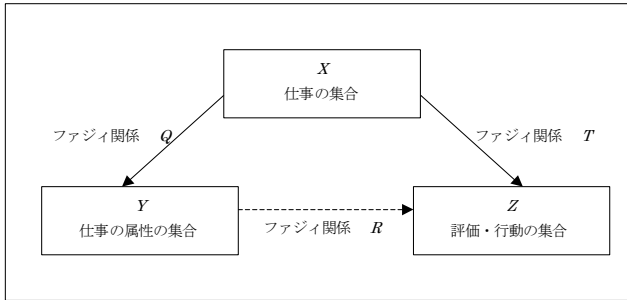
表 2.3-1 労働者の判断・行動例

仕事の属性	認識	評価・行動
報酬	良いな、	意欲的にやる
満足度	妥当だな	やる
達成可能性	いやだな	やりすぎず

② モデル化の手順

手順1 ファジィ集合の設定

労働者に与えられた仕事の集合を X 、仕事の属性の集合を Y とし、そのファジィ関係を Q とする。労働者の判断・行動の集合を Z とし、仕事の集合 Y とのファジィ関係を T とする。また、仕事の属性の集合と労働者の判断・行動の集合 Z とのファジィ関係を R とする。そして、これらの関係を、医療診断モデル等に用いられているファジィシステムを参考として、図 2.3-3 のとおりに設定する[46]。



資料出所：文献[46]を元に筆者作成

図 2.3-3 労働者に与えられる仕事とその属性、及び労働者の評価・行動のファジィ関係

$$\begin{aligned}
 X &= \{x_i \mid x_i (i=1,2,3,\dots,n), \text{ 労働者への仕事} \} \\
 Y &= \{y_j \mid y_j (j=1,2,3), \text{ 仕事の属性} \} \\
 &\quad y_1: \text{報酬}, \quad y_2: \text{満足感}, \quad y_3: \text{達成の可能性} \\
 Z &= \{z_k \mid z_k (k=1,2,3), \text{ エージェントの行動} \} \\
 &\quad z_1: \text{意欲的にやる}, \quad z_2: \text{やる}, \quad z_3: \text{やり過ぎず}
 \end{aligned}
 \tag{10}$$

X は労働者に与えられる仕事の集合であり、例えば職種が対象であれば、営業、研究・開発、渉外・総務・・・と表現できる。 Y はこれらの仕事の属性の集合であり、“報酬、満足感、可能性”となる。

X と Y のファジィ関係 $Q(x,y)$ は、仕事とその属性に対するエージェントの評価を表し、 X と Z のファジィ関係 $T(x,z)$ は、仕事とそれに対するエージェントの行動の関係を表す。そして、 Y と Z とのファジィ関係 $R(y,z)$ は、エージェントが仕事の属性である“報酬、満足感、可能性”に対して、“意欲的にやる、やる、やり過ぎず”の意思決定を行うプロセスであることを示す。

ここで、シミュレーションで模擬するエージェントについて、労働者が過去に行った行動等から式(2)及び式(3)で示したファジィ関係 $Q(x,y)$ 、 $T(x,z)$ を決定しておく、ファジィ関係 $R(y,z)$ は合成ファジィ関係式の解法を用いて $Q(x,y)$ と $T(x,z)$ から同定することができる。

ファジィ関係 $R(y,z)$ をプログラムに実装することで、シミュレーションにおいて、新たに評価の

必要が生じた仕事を発生させた場合、このエージェントが有する意思決定機構、すなわちファジィ関係 $R(y,z)$ に基づき、このエージェントの行動が決定される。

すなわち、固有の価値観を持つエージェントを作成することが可能となり、併せて、ファジィ関係 $Q(x,y)$ 、 $T(x,z)$ を設定するうえで、メンバーシップ値を用いて主観的な情報を数値化することから、曖昧な言語情報等を容易に取り込むことも可能となる。

手順2 ファジィ関係の設定

ファジィ関係 Q :

仕事の集合 X とその属性の集合 Y の関係

X は労働者に与えられる仕事の集合であり、例えば、仕事 1 とする。 Y は仕事 1 の属性の集合であり {報酬、満足感、達成可能性} とすると、 $X \times Y$ は次のとおりに記述される。

$$\begin{aligned}
 X \times Y &= \{(\text{仕事1, 報酬}), (\text{仕事1, 満足度}), (\text{仕事1, 達成可能性})\}
 \end{aligned}
 \tag{11}$$

ここで、労働者は仕事の {報酬、満足度、達成可能性} について、“良い、妥当、嫌だ”と認識するため、それぞれをメンバーシップ値で表現する必要がある。

報酬とメンバーシップ値の例を図 2.3-4 に示す。ここでは、労働者が過去に取り扱った報酬額から判断をしているものとし、過去の最大額の報酬額であった 50 万円で割ることにより $[0,1]$ に変換する例を示している。この処理により、例えば、10 万円はメンバーシップ値 0.2 で“嫌な案件”、50 万円ではメンバーシップ値 1 で“良い案件”と表現することができる。

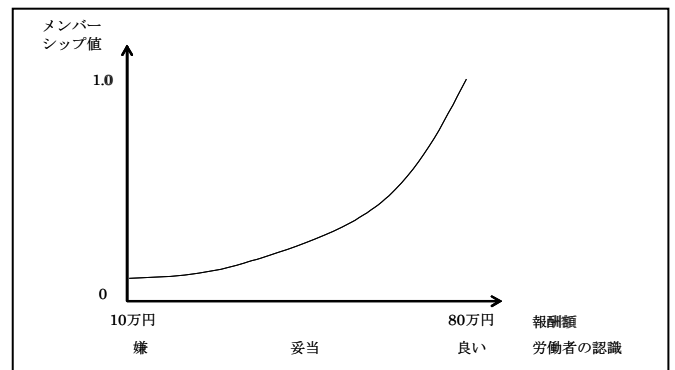


図 2.3-4 報酬額のメンバーシップ値への変換

満足度(20%~80%)についても同様に、この労働者は過去の体験から判断しているものとし、満足度を 80 で割ることにより $[0,1]$ に変換し、20% は 0.25 で“満足度が低い”ことを、80% は 1 で“満足度が高い”と認識していることを表す。

達成可能性 (20%~80%)についても同様に、この労働者は過去の体験から判断しているものと

し、可能性を 80 で割ることにより [0,1] に変換する。つまり 20% は 0.25 となり “達成可能性のリスクが低い” ことを表し、80% は 1 となり “リスクが高い” と認識していることを表す。

以上の手順により、順次、仕事 2、仕事 3 について、メンバーシップ値による変換を行うことによって、次のようなファジィ関係 Q を作成することができる。

$$Q(x, y) = \begin{matrix} & y_1 & y_2 & y_3 \\ \begin{matrix} x_1 & \text{仕事}_1 \\ x_2 & \text{仕事}_2 \\ x_3 & \text{仕事}_3 \end{matrix} & \begin{pmatrix} 1.0 & 0.8 & 1.0 \\ 0.5 & 0.8 & 0.8 \\ 0.2 & 0.8 & 0.4 \end{pmatrix} \end{matrix} \quad (12)$$

報酬 満足度 達成可能性

ここで、例えば、 $Q(x_1, y_1) = 1.0$ であるとすれば、これは仕事 1 に対する報酬の度合いを表現するものであり、この場合、労働者は “報酬額が大きい” と認識していることとなる。

ファジィ関係 T : 仕事の集合 X とエージェントの意思決定の集合 Z の関係

X は労働者に与えられる仕事の集合であり、例えば、仕事 1 とする。Z は労働者の判断・行動の集合であり、{意欲的にやる、やる、やり過ごす} とすると、 $X \times Z$ は次のとおりに記述される。

$$X \times Z = \{(仕事1, 意欲的にやる), (仕事1, やる), (仕事1, やり過ごす)\} \quad (13)$$

ここで、労働者の判断・行動のメンバーシップ値の例を図 2.3-5 に示す。ここでは、労働者は仕事に取り組む態度をその仕事の優先順位で評価を行い、それぞれの行動を [0,1] に変換する例を示している。労働者は仕事の優先順位をもとに、あるランクを境として、この上下では一切の仕事をやり過ごすか、意欲的に仕事をするが、これらの中間では漫然と仕事を行う度合いを示している。

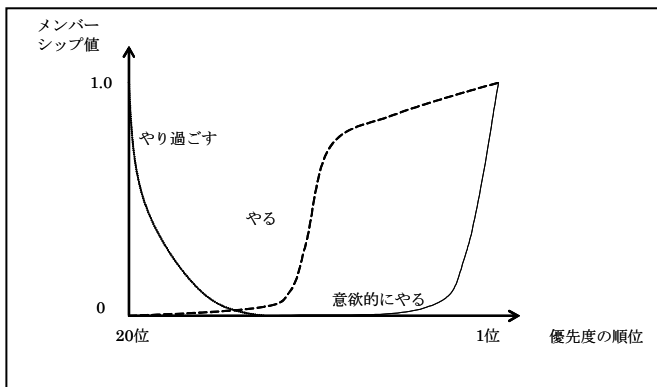


図 2.3-5 労働者の判断・行動のメンバーシップ値への変換

以上の手順により、順次各仕事である、仕事 2、仕事 3 について、メンバーシップ値による変換を行うことによって、次のようなファジィ関係 T を作成することができる。

$$T(x, z) = \begin{matrix} & z_1 & z_2 & z_3 \\ \begin{matrix} x_1 & \text{仕事}_1 \\ x_2 & \text{仕事}_2 \\ x_3 & \text{仕事}_3 \end{matrix} & \begin{pmatrix} 0.8 & 0.2 & 0.0 \\ 0.9 & 0.1 & 0.0 \\ 1.0 & 0.8 & 0.0 \end{pmatrix} \end{matrix} \quad (14)$$

意欲的にやる やる やり過ごす

ファジィ関係 R : 仕事の属性の集合 Y とエージェントの意思決定の集合 Z の関係

以上の関係から、仕事とその属性により、これらのファジィ関係を同定しておくことにより、新たに評価の必要が生じた仕事の属性を参照すれば、その仕事に対する評価を発生するようなエージェントを作ることができる。

$$R(y, z) = \begin{matrix} y_1 & \text{報 酬} & z_1 & z_2 & z_3 \\ y_2 & \text{満 足 度} & 0 & 0.1 & 0.3 \\ y_3 & \text{達成可能性} & 0.1 & 0.1 & 0.5 \\ & & 0.8 & 0.2 & 0.8 \end{matrix} \quad (15)$$

意欲的にやる やる やり過ごす

このエージェントの行動、仕事するか否かの判断(意思決定)は、ファジィ関係 R で表現可能であり、上述の T と Q との関係から、定義 5 のファジィ関係方程式を用いて、以下のように求められる。

$$R = Q^{-1} @ T = \bigwedge_{x \in X} [\mu_{Q^{-1}}(y, x) \alpha \mu_T(x, z)]. \quad (16)$$

ここで、 α 演算は、

$$a \alpha b = \bigvee_{x \in [0,1]} \{x \mid a \wedge x \leq b\} = \begin{cases} 1(a \leq b) \\ b(a > b) \end{cases} \quad (17)$$

$$(a, b \in [0,1])$$

このとき、先に示したような、過去の労働環境に対する意思決定者のルールが与えられたとする。

$$Q(x, y) = \begin{matrix} y_1 & y_2 & y_3 \\ \begin{matrix} x_1 \\ x_2 \\ x_3 \end{matrix} & \begin{pmatrix} 1.0 & 0.8 & 1.0 \\ 0.5 & 0.8 & 0.8 \\ 0.2 & 0.8 & 0.4 \end{pmatrix} \end{matrix}, (x, z) = \begin{matrix} z_1 & z_2 & z_3 \\ \begin{matrix} x_1 \\ x_2 \\ x_3 \end{matrix} & \begin{pmatrix} 0.8 & 0.2 & 0.0 \\ 0.9 & 0.1 & 0.0 \\ 1.0 & 0.8 & 0.0 \end{pmatrix} \end{matrix} \quad (18)$$

式(8)より

$$R(y, z) = Q^{-1} @ T$$

$$= \begin{matrix} y_1 & y_2 & y_3 \\ x_1 & \begin{pmatrix} 1.0 & 0.5 & 0.2 \end{pmatrix} \\ x_2 & \begin{pmatrix} 0.8 & 0.8 & 0.8 \end{pmatrix} \\ x_3 & \begin{pmatrix} 1.0 & 0.8 & 0.4 \end{pmatrix} \end{matrix} @ \begin{matrix} z_1 & z_2 & z_3 \\ x_1 & \begin{pmatrix} 0.8 & 0.2 & 0.0 \end{pmatrix} \\ x_2 & \begin{pmatrix} 0.9 & 0.1 & 0.0 \end{pmatrix} \\ x_3 & \begin{pmatrix} 1.0 & 0.8 & 0.0 \end{pmatrix} \end{matrix}$$

$$= \begin{matrix} y_1 & \text{報 酬} \\ y_2 & \text{満 足 度} \\ y_3 & \text{達 成 可 能 性} \end{matrix} \begin{matrix} z_1 & z_2 & z_3 \\ \begin{pmatrix} 0.8 & 0.1 & 0.0 \end{pmatrix} \\ \begin{pmatrix} 1.0 & 0.1 & 0.0 \end{pmatrix} \\ \begin{pmatrix} 0.8 & 0.1 & 0.0 \end{pmatrix} \end{matrix} \quad (19)$$

意欲的にやる やる やり過ぎず

となり、ファジィ関係 R 、すなわち判断・行動ルールが求められる。したがって、図 2.3-2 において、新たに $Q'(x, y) = (0.4 \ 1.0 \ 0.2)$ のような入力が行われた場合、エージェントの意思決定結果である $T'(x, z)$ は、式 2-20 に示した合成によって容易に求めることができる。この場合、労働者の行動は意欲的に仕事を行うことが決定される。

$$T' = Q' \circ R = (0.4 \ 1.0 \ 0.2) \circ \begin{matrix} z_1 & z_2 & z_3 \\ y_1 & \begin{pmatrix} 0.8 & 0.1 & 0.0 \end{pmatrix} \\ y_2 & \begin{pmatrix} 1.0 & 0.1 & 0.0 \end{pmatrix} \\ y_3 & \begin{pmatrix} 0.8 & 0.1 & 0.0 \end{pmatrix} \end{matrix}$$

$$= [(0.4 \wedge 0.8) \vee (1.0 \wedge 1.0) \vee (0.4 \wedge 0.8) \quad (20)$$

$$\quad (0.4 \wedge 0.1) \vee (1.0 \wedge 0.1) \vee (0.2 \wedge 0.1)$$

$$\quad (0.4 \wedge 0.0) \vee (1.0 \wedge 0.0) \vee (0.2 \wedge 0.0)]$$

$$= (0.4 \vee 1.0 \vee 0.4 \quad 0.1 \vee 0.1 \vee 0.1 \quad 0.0 \vee 0.0 \vee 0.0)$$

$$= (1.0 \quad 0.1 \quad 0.0)$$

③ シミュレーションプログラムへの記述

マルチエージェントシミュレーションにおけるエージェントの行動ルールは、式 2-19 で表現される。シミュレーションにおける計算は式 2-20 の演算式が加わるだけであるため、非常にシンプルで直感的にわかりやすいプログラムの記述で実行可能となる。

このように、固有の価値観を持つエージェントを作成することが可能となり、併せて、ファジィ関係 $Q(x, y)$ 、 $T(x, z)$ を設定するうえで、メンバーシップ値を用いることから、エージェントが持つ、仕事とその“報酬、満足感、可能性”の関係、仕事とそれに対する“意欲的にやる、やる、やり過ぎず”の関係のような主観的な情報を数値化することから、曖昧な言語情報等を容易に取り込むことが可能となる。

エージェントの価値観を表すファジィ関係 R は、現実の観察等をもとに、②で示した手続きに従って設定する必要があるが、本実験では恣意的

に任意の数値を与えて実験を行なう。

本実験では、それぞれのエージェントの価値観を表すファジィ行列 R は以下のとおりに与えており、シミュレーション開始直後の状態ではそれぞれ同数のエージェントが存在している。

価値観 A のエージェント

$$R_{\text{agent}_A} = \begin{matrix} y_1 & \text{報 酬} \\ y_2 & \text{満 足 感} \\ y_3 & \text{可 能 性} \end{matrix} \begin{matrix} z_1 & z_2 & z_3 \\ \begin{pmatrix} 0 & 0.1 & 0.3 \end{pmatrix} \\ \begin{pmatrix} 0.1 & 0.1 & 0.5 \end{pmatrix} \\ \begin{pmatrix} 0.8 & 0.2 & 0.8 \end{pmatrix} \end{matrix}$$

意欲的にやる やる やり過ぎず

価値観 B のエージェント

$$R_{\text{agent}_B} = \begin{matrix} y_1 & \text{報 酬} \\ y_2 & \text{満 足 感} \\ y_3 & \text{可 能 性} \end{matrix} \begin{matrix} z_1 & z_2 & z_3 \\ \begin{pmatrix} 0.8 & 0.4 & 0.2 \end{pmatrix} \\ \begin{pmatrix} 0.3 & 0.1 & 0.3 \end{pmatrix} \\ \begin{pmatrix} 0.3 & 0.3 & 0.2 \end{pmatrix} \end{matrix}$$

意欲的にやる やる やり過ぎず

これらのエージェントの特性を説明する。価値観 A のエージェントは、ファジィ行列において $y_3 R_{\text{Agent}_A} z_1 = 0.8$ 、すなわち達成の可能性と意欲的にやるという関係を大きくすることにより、達成の可能性が大きいことを重視し、これらの属性がある仕事に対して意欲的に取り組む特性を持たせている。また、 $y_3 R_{\text{Agent}_A} z_3 = 0.8$ として達成の可能性が高くても場合によっては、仕事をやり過ぎず特性も加えている。

一方、価値観 B のエージェントは、ファジィ行列において、 $y_1 R_{\text{Agent}_B} z_1 = 0.8$ 、すなわち報酬と意欲的にやるという関係を大きくすることにより、報酬を重視し、これらの属性がある仕事に対して意欲的に取り組む特性を持たせている。

2.4 シミュレーション方法

(1) シミュレーションの実行内容

前節で設定した条件によって実行するシミュレーションのフローを図 2.4-1 に示す。ある組織で命じられた仕事をこなしているエージェント群(労働者)があり、仕事をこなしていく過程で満足・不満足を生じ、モチベーションの増減が発生するものとする。

シミュレーションの1ステップでエージェントが実行する処理内容を次に示す。

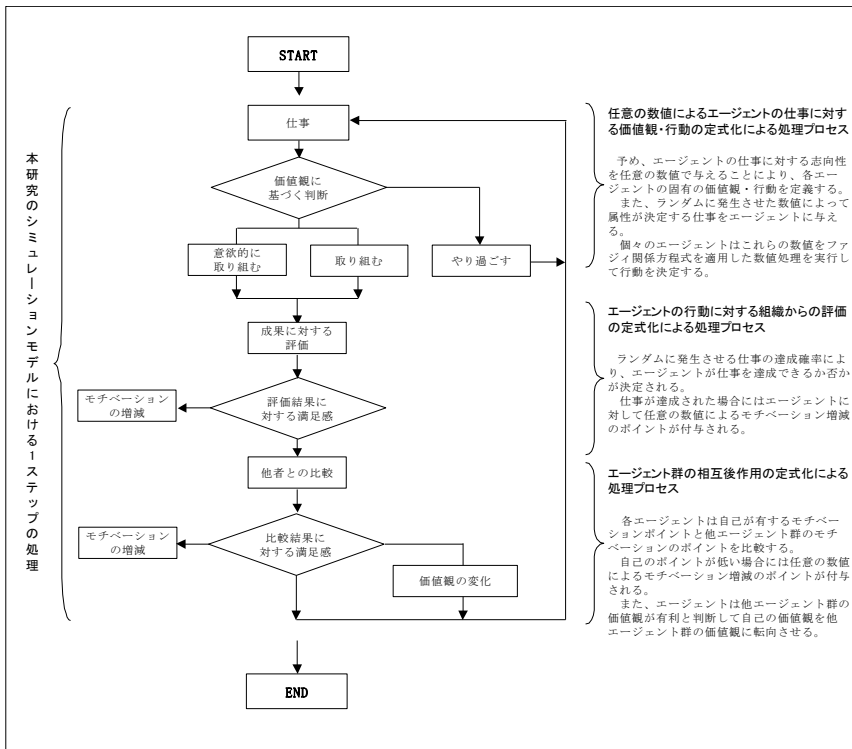


図 2.4-1 シミュレーションの実行内容

己の価値観を他エージェント群の価値観と同じになるよう変化する。

(2) シミュレーション実行のための設定条件

① 仮想空間の設定ルール

仮想空間はエージェントの活動環境であり、エージェントが仕事を与えられ、この処理を行う場である。シミュレーションにおける条件は、以下のとおり設定する。

- 仮想空間は 20×20 の格子状の空間で構成する。
- 仮想空間では、予め固有の価値観を与えた 2 種類のエージェントがそれぞれランダムな配置で 10 人づつ配置される。仕事はランダムな位置に 20 個発生する。

① エージェントに対する仕事の発生

仕事には、ランダムに数値化された属性(仕事に対する報酬、仕事自体または付随する満足感、仕事の達成の可能性)があり、仮想空間上にランダムに発生する。

② 仕事に対する行動の決定

エージェントは、仕事の属性に対し、自己の価値観により、“仕事に対する報酬”を重視するのか、“仕事自体または付随する満足感”を重視するのか、そして“達成の可能性”を重視するのかを判断する。そして、“意欲的にやる、やる、やり過ごす”から判断に応じた行動をとる。

③ 仕事の成果に対する評価

エージェントは決定した行動で仕事を行うが、達成可能性によっては成果を出せない場合もある。成果が挙げられた場合は報酬・評価が与えられる。

エージェントは与えられた評価に対して、意欲的あるいは普通に取り組む、成果が出せて評価された場合には満足するが、成果が出せず評価が得られなかった場合には不満足感を覚える。この結果、エージェントにモチベーションの増減が発生する。

④ エージェントの相互作用

エージェントは、与えられた報酬・評価について他エージェント群との比較を行い、自己の報酬・評価が高ければ満足するが、他エージェント群の報酬・評価が高い場合には不満足感を覚える。この結果、エージェントにモチベーションの増減が発生する。

また、他エージェント群の評価が高い場合は、自己の価値観を変革した方が有利と認識して自

② 仕事の発生ルール

仕事は“報酬の魅力、仕事自体または付随する満足感、達成の可能性”の属性があり、この属性は以下のルールを持つ

- 「仕事に対する報酬の魅力」は、ランダムに 0.2~1.0 の間の 0.2 きざみの 5 パターンで発生する。
- 「仕事自体または付随する満足感」は、ランダムに 0.2~1.0 の間の 0.2 きざみの 5 パターンで発生する。
- 「仕事の達成の可能性」は、ランダムに 20%~80% の間で、20% きざみの 4 パターンで発生する。また、その可能性の確率でその仕事は達成できない。

③ エージェントの行動ルール

各エージェントは、その廻りに予め指定された範囲を持ち、ランダムに移動するうちに、この範囲内に仕事があるとエージェントは以下の行動を行う。各ステップにおけるエージェントの行動ルールは以下のとおりとなる。

- 指定された範囲にある「仕事」について、その属性値とファジィ関係行列で与えられた自分の価値観とを比較し、自己の行動を決定する。
- 行動で「意欲的にやる」「やる」を選択し、かつ仕事が達成できた場合は、評価・報酬が与えられ、その結果としてモチベーションが高まるものとして+1 のポイントが発生する。達成できなかった場合は-1 とする。なお、モチベーションの初期値は 0 する。

- 行動で「やり過ごす」を選択した場合は、上述の処理及び以降の処理は行われない。
- また、他エージェント群のモチベーションのポイントと比較し、自分より下である場合は満足感を覚え、更にモチベーションが高まるものとして+0.05のポイントが発生する。逆の場合は-0.05とする。
- 更に、他エージェント群のポイントが自分より高い場合は、自己の価値観を変えることが有利であると認識し、他エージェント群の価値観を模倣する。

(3) シミュレーション結果の評価方法

シミュレーション実験では、価値観(仕事に対する志向性)が相違するエージェント(労働者)を2種類とし、それぞれ10エージェントを1群として300ステップ実施し、得られた実験結果から、シミュレーション終了時における各エージェント群の価値観の変化パターンから代表的なパターンを示したケースを取り上げる。

そして、シミュレーション中の各エージェント群の変化について、モチベーション増減を指標としてエージェント群の代表及びエージェント群全体の挙動を分析するとともに、実現象との比較・検討を行なう。

3. シミュレーション結果及び考察

3.1 シミュレーション結果例

図 3.1-1 にシミュレーション開始直後の状態を示す。格子を有する四角の枠のシンボルは、エージェントが活動する仮想空間を示している。枠内の○で示したシンボルはエージェントを示し、その色は価値観の違いを示しており、シンボル中の値はエージェントの仕事の成果に対する評価に起因するモチベーションのポイントを示している。また×で示したシンボルはエージェントに与えられる仕事を示している。

ここで、それぞれのエージェントの価値観を表すファジィ行列 R は先のとおりに与えており、シミュレーション開始直後の状態ではそれぞれ同数のエージェントが存在している。

次に、シミュレーション終了後の代表例を示す。図 3.1-2 ではそれぞれのエージェントの数は開始時とほぼ同数であるが、図 3.1-3 では、価値観 B のエージェントが減り、価値観 A のエージェントに変わったことを示している。

以下では、エージェントの価値観に変化がなかった図 3.1-2 の結果をケース 1、価値観の変更が生じた図 3.1-3 の結果をケース 2 としてそれぞれのケースのシミュレーション中のエージェントの変化について、モチベーションの増減の挙動を指標として分析を行う。

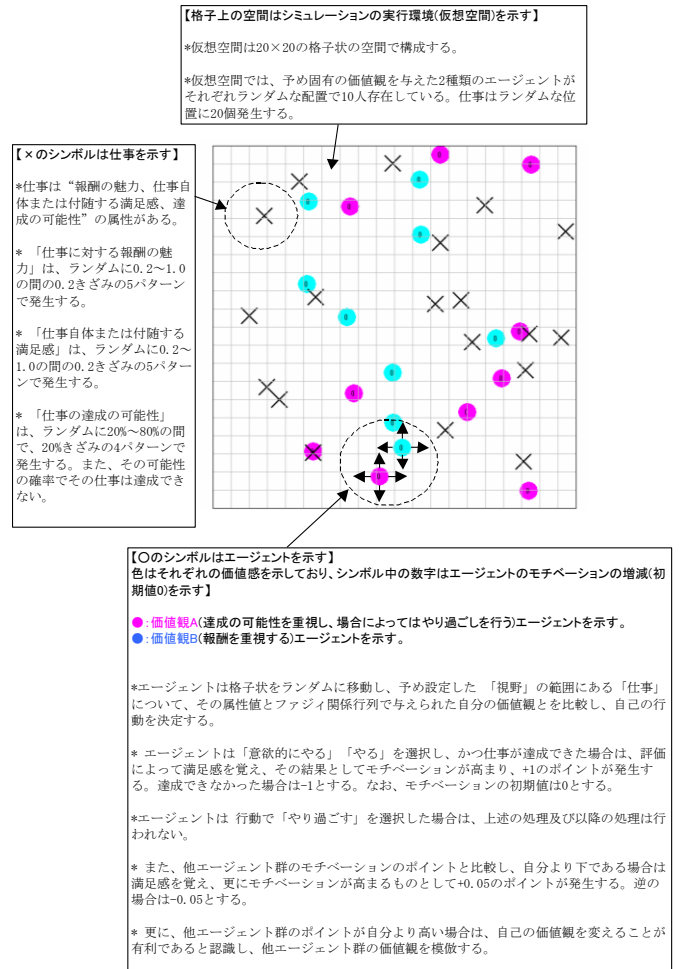


図 3.1-1 シミュレーション結果 (開始直後の状態)

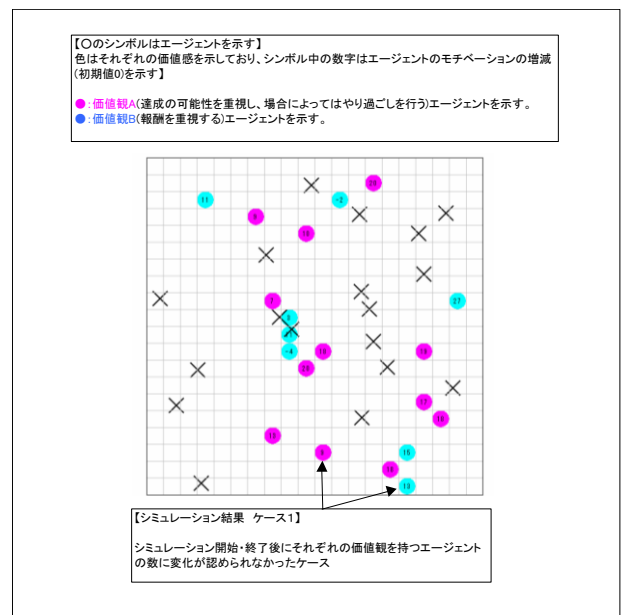


図 3.1-2 シミュレーション結果 (終了後の状態: ケース 1)

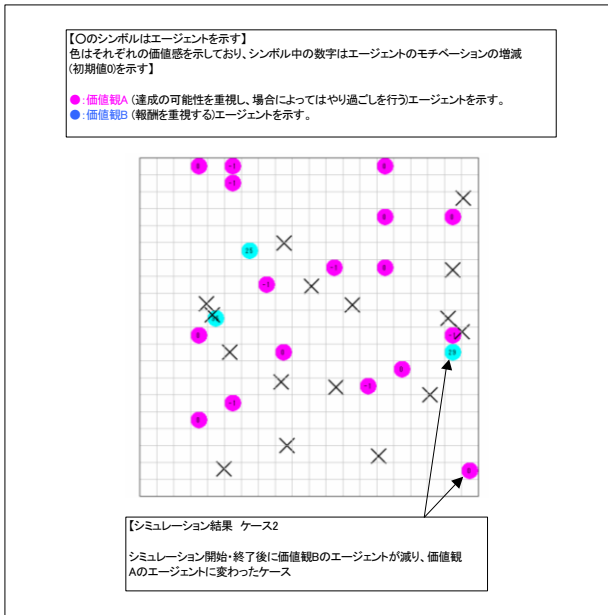


図 3.1-3 シミュレーション結果
(終了後の状態：ケース 2)

3.2 エージェントの挙動

(1) 代表エージェントの挙動

図 3.2-1~2 にそれぞれの価値観 A, B をもつエージェントから 2 名を取り出し、代表エージェントの挙動を示す。図中の横軸はシミュレーションのステップ数を示し、縦軸には仕事の成果に対する評価に起因するモチベーションの増減を、初期値として与えた 0 からの変化を示している

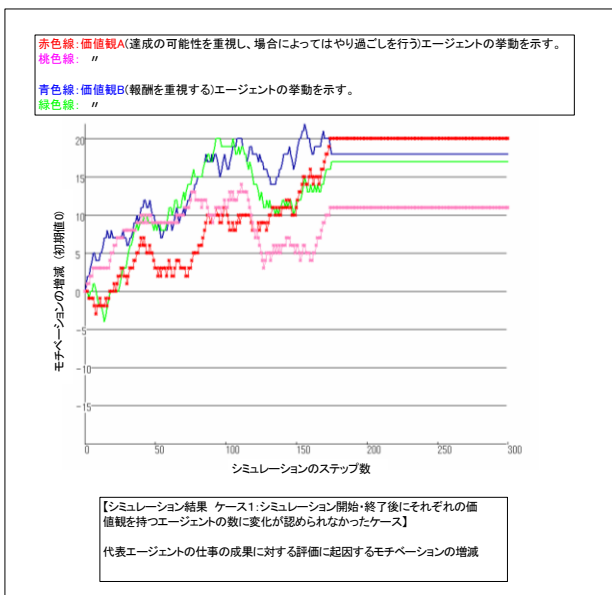


図 3.2-1 シミュレーション結果
(代表エージェントの挙動：ケース 1)

図 3.2-1~2 のエージェントの仕事への評価によるモチベーションのポイント変化における全体的な傾向として、殆ど変化がないものが価値観

A、頻繁に増減を繰り返しているものが価値観 B の特性を示している。

これは、価値観 A ではエージェントの行動に「やり過ぎ」を与えているので、「いやな仕事の自発的やり過ぎ→評価なし→満足/不満足なし→モチベーション増減なし」の様子を反映していることによる。一方、価値観 B では、仕事のやり過ぎを殆どしないため、「仕事の遂行→成果の有無→評価→評価に対する満足/不満足発生→モチベーション増減発生」の様子を反映している。

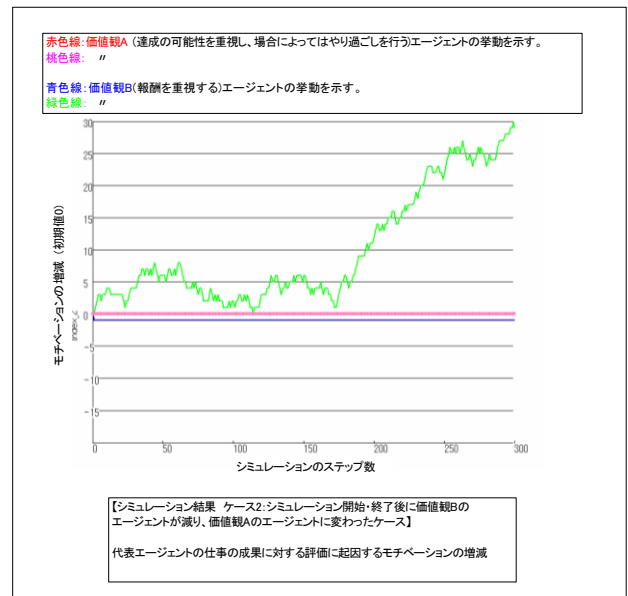


図 3.2-2 シミュレーション結果
(代表エージェントの挙動：ケース 2)

図 3.2-1 の例では、エージェント A 群はシミュレーション開始直後から、自己の価値観 A をエージェント B 群の価値観 B に変えて行動し、170 ステップあたりから再度価値観 A に変化させた挙動を示しており、エージェント B 群は殆ど自己の価値観を変化させておらず、エージェント A 群のように 170 ステップあたりで価値観 A に変化させた挙動を示している。

図 3.2-2 の例では、エージェント A 群の代表者は両者ともに自分の価値観を変化させずに行動している。一方、エージェント B 群の代表者の一人は開始直後に価値観を変更し、もう一人は当初の価値観を変えずに行動した挙動を示している。

(2) エージェント群での挙動

図 3.2-3~4 に、それぞれのエージェント群毎の挙動を示す。指標として、エージェントの仕事への評価によるモチベーションのポイントについてエージェント群の平均を示している。

図 3.2-3 の結果では、図 3.2-1 に代表的エージェントを示したが、平均値においても、その挙動とほぼ同様な挙動を示している。エージェント A 群は、開始直後から自己の価値観を B 群の価値観へ変化させ、その後従来の価値観 A へと変化させ

ていったが、相対的に高いポイントを有していたエージェント B 群がシミュレーション期間を通じて高い結果となっている。

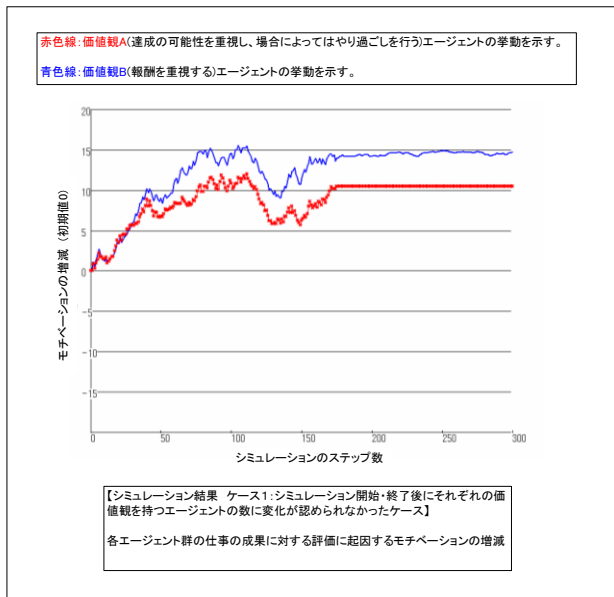


図 3.2-3 シミュレーション結果
(エージェントの平均挙動：ケース 1)

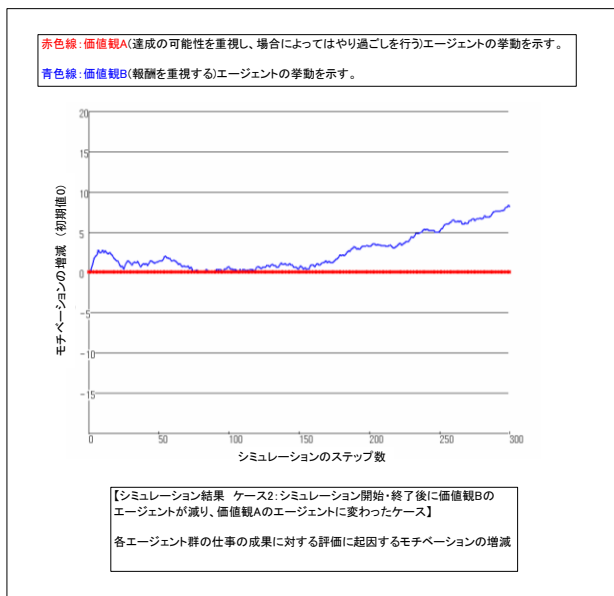


図 3.2-4 シミュレーション結果
(エージェントの平均挙動：ケース 2)

図 3.2-4 の結果では、逆にエージェント B 群が A 群の価値観に変化し、全体的にモチベーションの増減が乏しい挙動を示したが、エージェント B 群のうち、価値観を変えなかった少数の B 群のエージェントのポイントが高くなり、彼らが B 群全体の平均を底上げする結果となっている。これは、図 3.1-3 のスナップショットが示しているように、3 人のエージェントが高い数値を示していることから理解できる。

4.4 シミュレーション結果の考察

第 3 章で設定したシミュレーションモデルにおけるシミュレーション実験で得られた結果の概要を示したが、エージェントの価値観の変化、モチベーション増減の挙動等を観察可能であることを示唆した。

得られた結果のうち、ケース 2 の例を現実在即して解釈すると、達成可能性を重視する価値観 (A) を持ち、場合によっては仕事をやり過ぎするような利己的なエージェント (A) と報酬を重視する価値観 (B) を持ち、仕事選り好みしないような律儀な労働者 (B) が同数存在していても、このケースのように労働者 (B) が転向して価値観 (A) となり、怠惰で利己的なエージェントになったように、ある条件によっては一方の価値観へ転向して行くことが示唆される。これは、実現象で認められたような、成果主義の導入のようなきっかけで、組織のモラルまでが低下し、生産性にまで影響を及ぼす結果となった組織における労働者の変化に近いものを示唆しているものと考えられる。

また、一部の転向しなかった少数のエージェント (B) が全体を底上げしたような結果についても、先の話題で期待されていたような『周囲のモチベーションを生み出す人材』のように、一部の少数の人間が組織全体を底上げして引っ張っていくような可能性も期待できることも示唆しているものと考えられる。

しかし、ここで行った実験では、同一条件でのシミュレーションにおいても、エージェントの挙動は実行毎に異なる結果となってしまいうことも確認されたため、各パラメータの設定等の調整が必要であることも示された。

4. まとめと今後の課題

4.1 まとめ

本研究ではシミュレーション手法の経営分野への適用を目的として、人間がもつ嗜好・感情・感性等のような実際の問題で課題となる曖昧さを取り扱うことが可能で、かつ実現象の分析・予測を既存の技術を組み合わせたシミュレーション手法により容易に実施する方法を提案することを主たる目的とした。この目的を達成するために、研究方法はシミュレーション実験を行い、実験結果と実現象とを比較・検討することで本研究の提案の成立性・有用性の確認を行った。

この結果、簡易なシミュレーションにおいても、実現象を模擬できることを示唆していると言える。また、従来は連続的に測定不可能な人の内面の挙動を時系列的に可視化することが可能となり、様々な影響を詳細に分析することが可能となるであろうことを示唆した。

4.2 今後の課題

(1) エージェントのモデリング

本研究ではエージェントの意思決定モデルにファジィ関係方程式を用い、現実の問題で取り扱わなければならない“曖昧さ”をうまく処理できるように設定した。本研究で実施したプロセス毎に個々の検討を行うと以下のとおりとなる。

エージェントのモデリングについては表 4.2-1 に示した事項が指摘されている[11]。本研究においては、エージェントのモデル化については、単純化を図るために学習メカニズムの取り込みは行っていないが、エージェントの知識表現として“曖昧さ”をうまく処理することのできるファジィ理論を適用している。本研究で用いたファジィ関係方程式のモデルは、企業評価システム[42]や画像処理[43]、エキスパートシステム[47]等でその有用性が評価されているモデルであるが、同じように“曖昧さ”を取り扱うことのできるショケ積分を用いたモデル[26]との評価検証を行う必要がある。またファジィ関係を設定する上でのメンバーシップ値のとり方についても引き続き検討が必要であろう。

表 4.2-1 エージェントモデリングのガイドライン

項目	内容
学習メカニズムの選択	シミュレーション結果はエージェントの学習メカニズム(進化戦略・学習分類子システム・強化学習など)に敏感であるため、選択には細心の注意が必要であること。
知識表現の実装	シミュレーション結果はエージェントの知識表現に敏感であるため、選択には細心の注意が必要であること。
学習メカニズムと知識表現の関係	両者を考慮し、適切なものを選択すること。

資料出所：文献[11]を元に筆者が表を作成

(2) シミュレーション結果の妥当性の検証

シミュレーション結果の妥当性については、表 4.2-2 に示した手法がある[11]。本研究の妥当性検証にあたっては、理論的検証・外的検証が考えられる。まず、理論的検証であるが、本研究のシミュレーション実験では、モチベーションを取扱い、既存の理論を元にしてモデル化を試みた。しかし、かなりの部分を単純化しているため、その妥当性については組織心理学・組織理論の専門家による検証が必要であるものと考えられる。

外的検証であるが、本研究では実現象を参考としたが、シミュレーション実験体系自体が単純であるため、実世界を忠実に再現するのは困難であるものと考えられるため、今後検討が必要であると考えられる。

表 4.2-2 シミュレーション結果の妥当性の主要な検証方法

検証方法	内容
理論的検証	充分かつ正確に実際の組織やその特徴を概念化できているかを専門家が検証する。
外的検証	シミュレーションの方法が実世界とマッチしているか、あるいは本質的なところは同じであるかどうかを実例をもとに検査する。
クロスモデル検証	あるモデルの結果が他のモデルでも同じかどうかを複製することによって検査する。
クロスエレメント検証	エージェントの1つの設計要素だけが異なる場合の結果を比較する。

資料出所：文献[11]を元に筆者が表を作成

謝 辞

実験で用いたマルチエージェントシミュレーション用パッケージソフトウェアである KK-MAS を無償でご提供いただいた(株)構造計画研究所に心から感謝いたします。

参考文献

1. ナイジェル・ギルバート, クラウス・G・トロチュイ(著), 井庭崇, 岩村拓也, 高部陽平(訳):”社会シミュレーションの技法 政治・経済・社会をめぐる思考技術のフロンティア”, 日本評論社,(2003).
2. M・ミッチェル・ワードロップ(著), 田中三彦, 遠山峻征(訳):”複雑系”, 新潮社,(1996).
3. 山影進, 服部正太:”コンピュータの中の人口社会 マルチエージェントシミュレーションモデルと複雑系”, 共立出版,(2002).
4. エプスタイン, アクステル(著), 服部正太・木村香代子(訳):”人口社会 複雑系とマルチエージェントシミュレーション”, 共立出版,(1999).
5. 和泉潔:人口市場 市場分析の複雑系アプローチ, 森北出版,(2003).
6. ロバート・アクセルロッド(著), 寺野隆雄(監訳):”対立と協調の科学 エージェント・ベース・モデルによる複雑系の解明”, ダイアモンド社,(2003).
7. ロバート・アクセルロッド, マイケル・D・コーエン(著), 高木晴夫(監訳), 寺野隆雄(訳):”複雑系組織論-多様性・相互作用・淘汰のメカニズム”, ダイアモンド社,(2003).
8. 時永祥三, 池田欽一:”エージェント理論による企業行動分析 遺伝的プログラミングアプローチ”, 白桃書房,(2005).
9. 例えば, 出口弘:”組織理論におけるエージェ

- ントベースアプローチ” ,組織科学,Vol.34, No.2,pp.23-35,(2000).
10. 例えば,寺野隆雄,倉橋節也:” エージェントシミュレーションによる社会的インタラクションの分析” ,組織科学,Vol.34,No.2,pp.23-35,(2000).
 11. 例えば,高玉圭樹:” 社会組織シミュレーションにおける妥当性検証:エージェントのモデリングから始めよう” ,組織科学,Vol.39,No.1,pp.15-25,(2005).
 12. 玉田正樹:” 日本発マルチエージェント・シミュレータのご紹介” ,計測自動制御学会システム工学部会・人口知能工学部会共催研究会,(2001).
 13. 北中英明:” 複雑系マーケティング入門 マルチエージェント・シミュレーションによるマーケティング” ,共立出版,(2005).
 14. エリック・ボナバー:” 複雑系の意思決定モデル,” ダイヤモンド・ハーバード・ビジネスレビュー,september2003,pp.149-159,(2003).
 15. エリック・ボナバー:” 創発のシミュレーション技術,” ダイヤモンド・ハーバード・ビジネスレビュー,october2002,pp.151-161,(2002).
 16. 例えば,シャイン・E(著),清水紀彦,浜田幸雄(訳):” 組織文化とリーダーシップ” ,ダイヤモンド社,(1989).
 17. 例えば,伊丹敬之,加護野忠雄:” 経営学入門” ,日本経済新聞社,(2003).
 18. 例えば,加護野忠雄:” 日本企業における組織文化と価値の共有について” ,組織科学,Vol.31,No.2,pp.4-11,(1997).
 19. 例えば,金井壽宏,松岡久美,藤本哲:” コープこうべにおける「愛と協同」の理念の浸透 -組織の基本価値が末端にまで浸透するメカニズムの探求-” ,組織科学,Vol.31,No.2,pp.29-39,(1997).
 20. 佐藤郁哉:” 組織と経営について知るための実践フィールドワーク入門” ,有斐閣,(2002).
 21. 中島信之,竹田英二,石井博昭:” 社会科学の数理 ファジィ理論入門” ,裳華房,(1994).
 22. E.F.ストーン(著),鎌田真一,野中郁次郎(訳):” 組織行動の調査方法” ,白桃書房,(1980).
 23. 沼上幹:” 20世紀の経営学「科学」化からの脱却” ,一橋ビジネスレビュー,2000. WIN,pp.22-37,(2000).
 24. 生天目章:” マルチエージェントと複雑系” ,森北出版,pp.33,(1997).
 25. 前出 5 ,pp.5
 26. 高萩栄一郎:” ショケ積分における社会シミュレーション,” 第19回ファジィシンポジウム,pp.191-194,(2003).
 27. 成瀬継太郎,木下正博,横井浩史,嘉数侑昇:” 感情を模した内部状態を持つエージェント系における人口社会の形成” ,信学技報HIP2003-36,pp.39-44,(2003).
 28. 藤井公司,高橋貞夫:” MASにおける興味や感情を持ったエージェントモデルの提案” ,信学技報 AI2004-82,pp.13-18,(2005).
 29. 例えば,猪原健弘:” 認識・感情・意思決定特集 特集にあたって” ,オペレーションズ・リサーチ,Vol.46,No.2,pp.66,(2001).
 30. 上田泰:” 組織行動研究の展開” ,白桃書房 pp.95-117,(2003).
 31. ステファン・P・ロビンス(著)・高木晴夫(監訳):” 組織行動のマネジメント,”ダイヤモンド社,pp.72-93,(1997).
 32. 坂下昭信:” 経営学への招待(改訂版),” 白桃書房,pp.175-187,(2000)
 33. 林伸二:” 組織心理学” ,白桃書房,pp.115-151,(2000).
 34. 坂下昭信:” 組織行動研究,” 白桃書房,pp.97-120,(1985).
 35. 金井壽宏:” 経営組織,” 日本経済新聞社, pp.63-64,(1999).
 36. 高橋伸夫:” 虚妄の成果主義-日本型年功制復活のススメ,” 日経 BP 社, pp.145-154,(2004).
 37. 金井壽宏:” 経営組織,” 日本経済新聞社, pp.63-64,(1999).
 38. 労働政策研究・研修機構:” 企業の経営戦略と人事処遇制度等に関する研究の論点整理,” pp.55-65,(2004).
 39. 玄田有史,神林龍,篠崎武久:” 成果主義と能力開発:結果としての労働意欲” ,組織科学,Vol.34,No.3,pp.18-31,(2001).
 40. 高橋伸夫:” 組織の中の決定理論” ,朝倉書店,pp.129-149,(1993).
 41. L. A. Zadeh. Fuzzy sets. Information and Control, 8(3):338-353, June 1965.
 42. 和泉孔二:” ファジィ論理システムによる多変量解析モデルとその企業評価への応用” ,日本経営工学会誌,36/1,54-59(1985).
 43. 延原肇,高間康史,廣田薫:” 各種ファジィ関係式に基づいた画像圧縮・再構成,電気学会論文誌 C, Vol.121-C, No. 6, pp. 1102-1113, (2001).
 44. 井上洋,天笠美智夫:” ファジィ理論の基礎” ,朝倉書店,(1997).
 45. H・Aサイモン(著),倉井武夫,稲葉元吉(訳):” 意思決定の科学” ,産業能率大学出版部,(1979).
 46. 戒野敏浩:” ファジィ入出力システムを用いた企業評価モデル” ,大阪府立大学経営工学科第3講座卒業論文
 47. 田中功,吉川弘道,皆川勝:” ひびわれ診断エキスパートシステムへのファジィ関係式の適用” ,土木学会第51回年次学術講演会講演概要集,CS-143,pp.286-287,(1996).