

7th MAS Competition

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

青山学院大学大学院 経営学研究科

(2006/09終了、現在民間企業勤務) 北村一弘

報告内容

1. はじめに
2. 実験内容・方法
3. 実験結果・考察
4. 結論・今後の課題

1. はじめに

1.1 目的・提案事項

1.2 提案理由

1.1 目的・提案事項

- シミュレーション手法の経営分野への適用
 - 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マルチエージェントシミュレーションに、ファジィ理論を組み合わせた手法の提案
- 提案事項
 - 行動選択ルールに合成ファジィ関係方程式を適用し、“あいまいさ”を取り扱う
 - “あいまいさ”として価値観を想定し、価値観に基づいて行動するエージェントを作成する

1.2 提案理由

- 経営の現場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が望ましい
- 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

2. 実験内容・方法

2.1 シミュレーションのモデル

2.2 エージェントのモデリング方法

2.3 シミュレーション実行内容

2. シミュレーション実験(方法)

- KK-MASによるシミュレーション実験を行い、実験結果と実現象との比較検討によって、本研究で提案した手法の成立性・有用性の議論を行う
 - 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題材として、労働者のモチベーションの問題を取り上げる。
 - 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なシミュレーションモデルを作成して実験を行う。

2. シミュレーション実験(内容)

- ① モチベーションに関する理論のうち最も適切であると考えられた期待理論の鍵概念及び実現象から必要な要素を取り込んでシミュレーションモデルを設定する。
- ② 労働者の特性・行動等について、既存研究・文献を元にして詳細を設定し、シミュレーションの実行内容を設定する。
- ③ ファジィ理論を用いる際の情報処理プロセスについて、プログラムに実装する方法を整理する。
- ④ 以上の手順によって作成したシミュレーションモデルで実験を行い、実験結果の分析と実現象との比較を行い、本手法の成立性及び有用性を検討するとともに、今後の課題を整理する。

2.1 シミュレーションのモデル

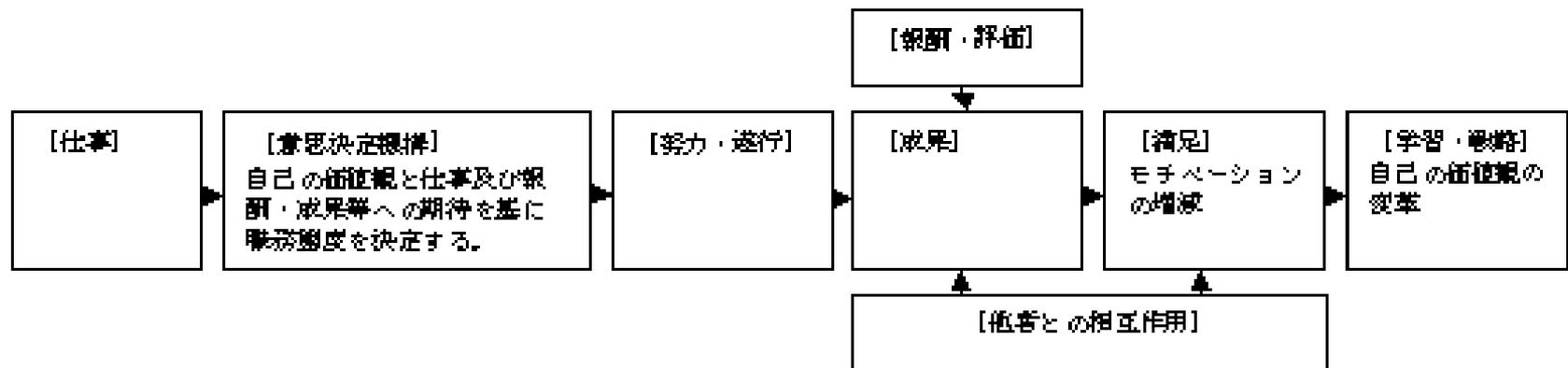
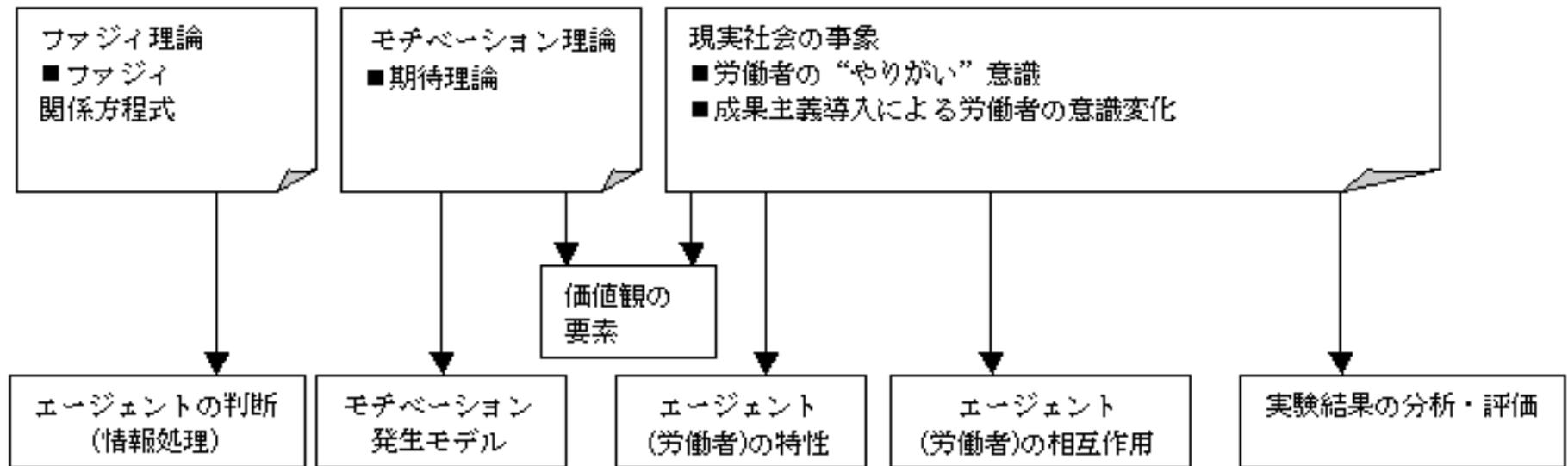
(1) シミュレーションのモデル

(2) エージェントの特性

2.1 (1) シミュレーションのモデル

- モチベーション発生のモデル
 - モチベーションに関する理論から期待理論に着目
 - 「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。
 - 期待理論のモデルで不足している、労働者間の「相互作用」をモデルに反映
- エージェント(労働者)の特性・行動
 - 既存研究・文献を元にして、価値観(仕事を持つ魅力への志向性)等のシミュレーション要素を設定

2.1 シミュレーションのモデル(モデルの概念)

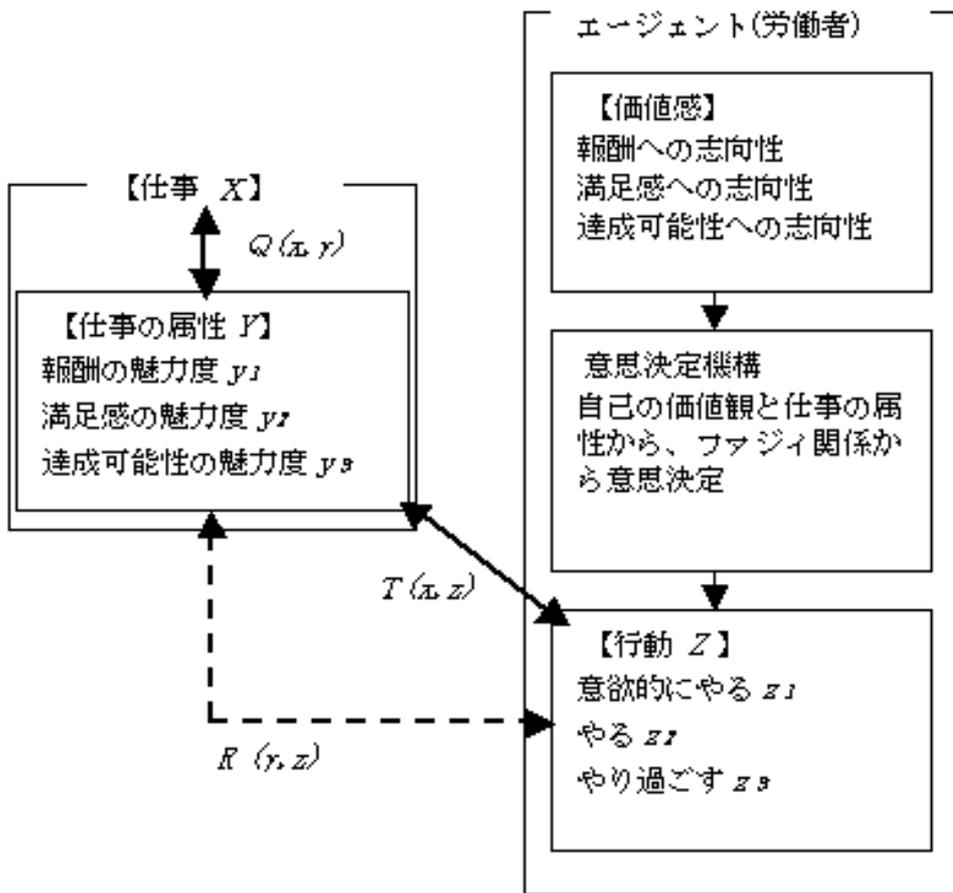


2.1 (2) エージェントの特性

- 異なる価値観を持つ、2通りのエージェントから成るグループを設定する。
- エージェントは状況によって、自分の価値観を変更する。
- 本実験では、よく見える側の価値観へと転向するよう設定する。
 - エージェントA: 達成可能性を重視し、場合によっては仕事をやり過ぎような利己的な労働者
 - エージェントB: 報酬を重視し、仕事の選り好みをしなような律儀な労働者

2.1 (2) エージェントの特性(意思決定メカニズム)

- エージェントの価値観に基づく行動 $R(y, z)$ を表現するため、ファジィ集合 X, Y, Z 、ファジィ関係 $Q(x, y)$ 、 $T(x, z)$ を設定



$X = \{x_i \mid x_i (i = 1, 2, 3 \dots, n), \text{ 労働者への仕事}\}$

$Y = \{y_j \mid y_j (j = 1, 2, 3), \text{ 仕事の属性}\}$

y_1 : 報酬, y_2 : 満足感, y_3 : 達成の可能性

$Z = \{z_k \mid z_k (k = 1, 2, 3), \text{ エージェントの行動}\}$

z_1 : 意欲的にやる, z_2 : やる, z_3 : やり過ごす

$$Q(x, y) = \begin{matrix} & \text{報酬} & \text{満足度} & \text{達成可能性} \\ \text{仕事}_1 & \mu_Q(x_1, y_1) & \mu_Q(x_1, y_2) & \mu_Q(x_1, y_3) \\ \text{仕事}_2 & \mu_Q(x_2, y_1) & \mu_Q(x_2, y_2) & \mu_Q(x_2, y_3) \\ \text{仕事}_3 & \mu_Q(x_3, y_1) & \mu_Q(x_3, y_2) & \mu_Q(x_3, y_3) \end{matrix}$$

$$T(x, z) = \begin{matrix} & \text{意欲的にやる} & \text{やる} & \text{やり過ごす} \\ \text{仕事}_1 & \mu_T(x_1, z_1) & \mu_T(x_1, z_2) & \mu_T(x_1, z_3) \\ \text{仕事}_2 & \mu_T(x_2, z_1) & \mu_T(x_2, z_2) & \mu_T(x_2, z_3) \\ \text{仕事}_3 & \mu_T(x_3, z_1) & \mu_T(x_3, z_2) & \mu_T(x_3, z_3) \end{matrix}$$

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

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

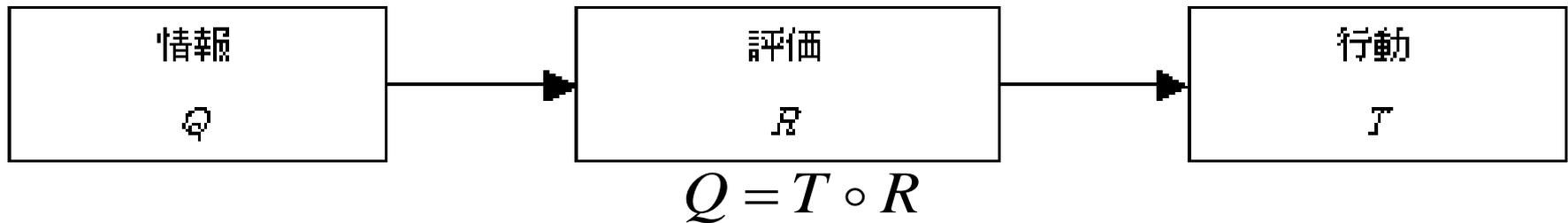
$$= \bigwedge_{x \in X} [\mu_{Q^{-1}}(y, x) \alpha \mu_T(x, z)].$$

2.2 エージェントのモデリング方法

- (1) ファジィ理論の概念
- (2) モデリングの方法
- (3) プログラムへの実装

2.2 (1) ファジィ理論の概念(ファジィ入出力)

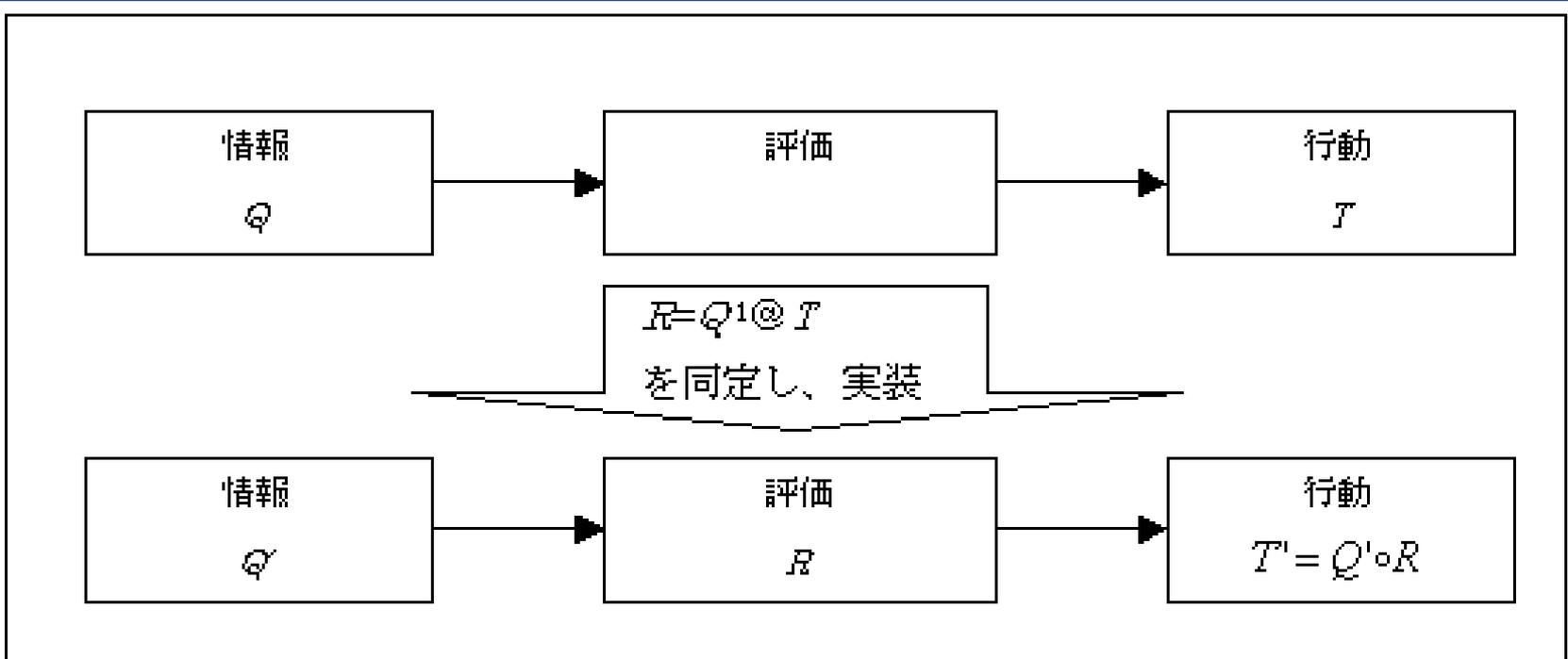
- ある情報に対するその評価と行動の関係は、ファジィシステムモデルの構造を有する



- ファジィ関係 R はエージェントの特性(固有の価値観に基づく意思決定機構)を示している。
- ある入力 Q とその出力 T からファジィ関係 R を同定しておくと、新たな入力 Q' に対し適切な出力を得ることができ、 R という固有の価値観をエージェントに与えられる
- また、ファジィ関係を作る際に言語等によってしか得られない曖昧な情報を取り扱うことが可能となる。

2.2 (1) ファジィ理論の概念(ファジィ入出力)

- 具体的には、以下の定式化により求めることができる。



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

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

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

2.2 (2) モデリングの方法

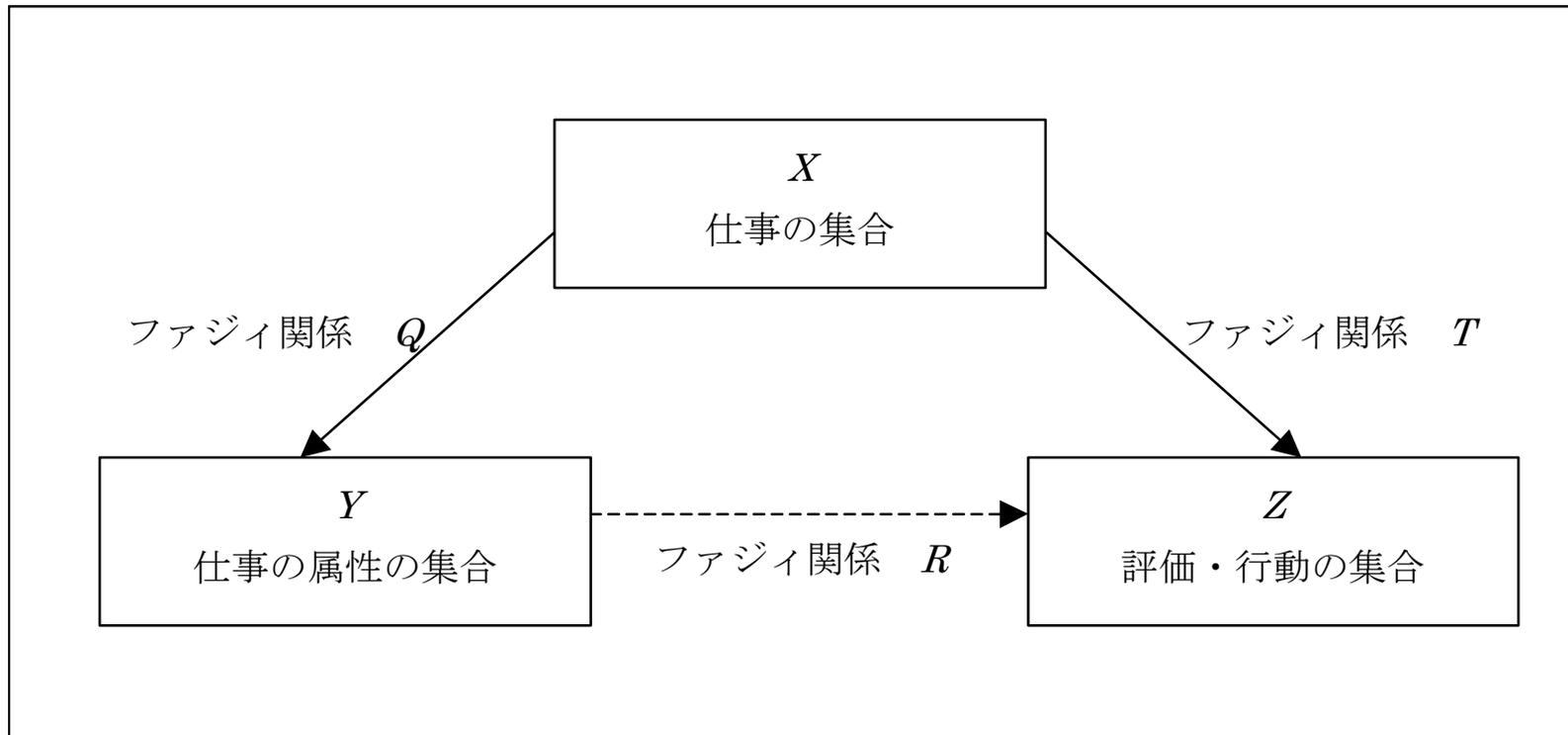
- ある労働者が、与えられた仕事について、その仕事の属性 (成果に対する報酬・期待できる満足度・想定される達成可能性) に対して、これらの計数データを主観的記述レベルの言語表現に変換して認識を行い、仕事を如何に行うか否かを判断しているものとし、この労働者の仕事遂行の価値観を考えていく。

2.2 (2) モデリングの方法(①前提条件)

- 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であるが、この労働者は次のような認識があるものとし、労働者の行動は次のとおりであったとする。
- この労働者の仕事に対する判断基準(価値観)の定式化の方法を考える。

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	やりすごす

2.2 (2) モデリングの方法(②ファジィ集合の設定)



$X = \{x_i \mid x_i (i = 1, 2, 3, \dots, n), \quad \text{労働者への仕事}\}$

$Y = \{y_j \mid y_j (j = 1, 2, 3), \quad \text{仕事の属性}\}$

y_1 : 報酬, y_2 : 満足感, y_3 : 達成の可能性

$Z = \{z_k \mid z_k (k = 1, 2, 3), \quad \text{エージェントの行動}\}$

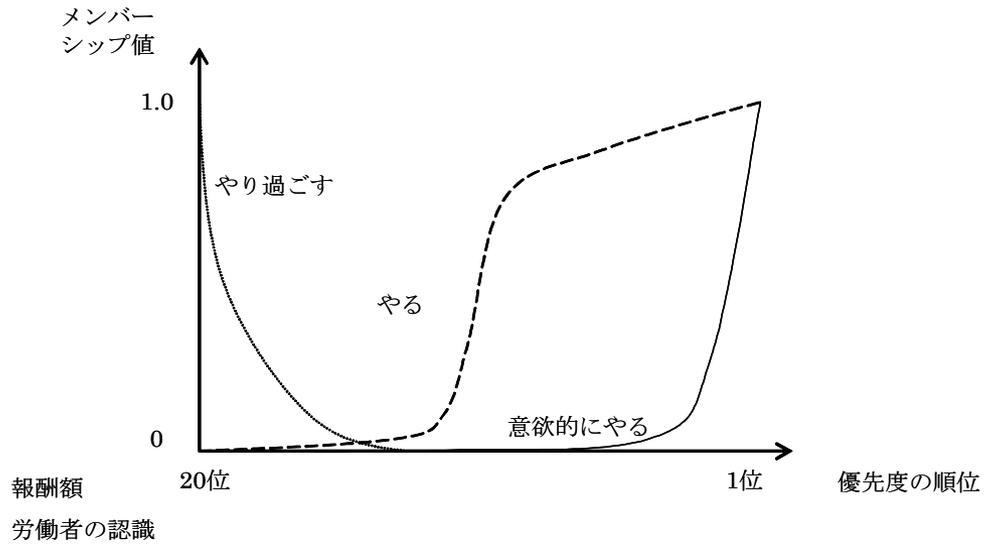
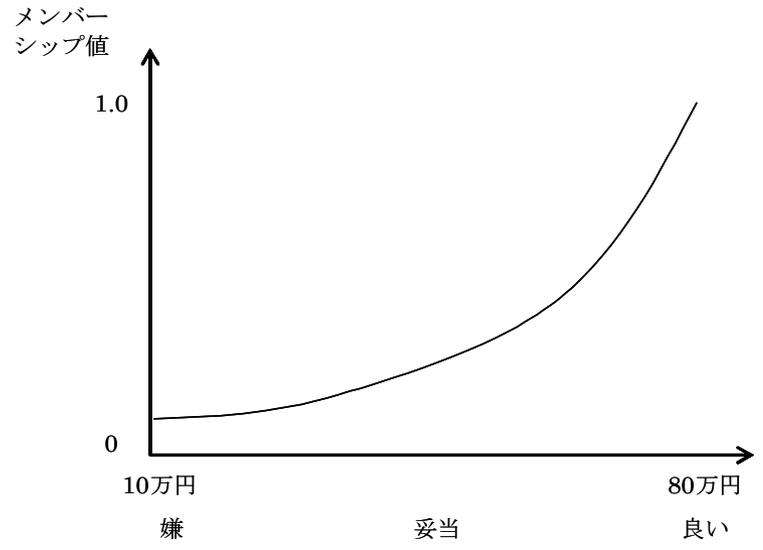
z_1 : 意欲的にやる, z_2 : やる, z_3 : やり過ぎ

2.2 (2) モデリングの方法(③メンバーシップ値の設定)

- 報酬、満足度、達成可能性を以下のルールによって $[0,1]$ に変換
 - 報酬は、報酬額 (10万円～50万円)は、仕事の属性の報酬額を50万円で割ることにより $[0,1]$ に変換する。
 - 10万円はメンバーシップ値:0.2で“小さい投資案件”、50万円はメンバーシップ値:1で“大きな投資案件”と認識することを表す。
 - 満足度(20%～80%)は、過去の体験値80で割ることにより $[0,1]$ に変換する。
 - 20%は0.25となり、“満足度が小さい”こと、80%は1となり“満足度が大きい”と認識することを表す。
 - 達成可能性 (20%～80%)は、過去の体験値80で割ることにより $[0,1]$ に変換する。
 - 20%は0.25で“達成可能性が小さい”ことを、80%は1で“達成可能性が高い”と認識することを表す。

2.2 (2) モデリングの方法(④ファジィ関係の設定)

$X \times Y$ = {(仕事1,報酬),(仕事1,満足度),(仕事1,達成可能性)} $X \times Z$ = {(仕事1,意欲的にやる),(仕事1,やる),(仕事1,やり過ごす)}



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

報酬 満足度 達成可能性

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

意欲的にやる やる やり過ごす

2.2 (2) モデリングの方法(⑤ファジィ関係の同定)

- 設定したファジィ関係 Q 、 T からファジィ関係 R を以下のとおり算出する。

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

$$R(y, z) = Q^{-1} @ T = \begin{matrix} & y_1 & y_2 & y_3 \\ \begin{matrix} x_1 \\ x_2 \\ x_3 \end{matrix} & \begin{pmatrix} 1.0 & 0.5 & 0.2 \\ 0.8 & 0.8 & 0.8 \\ 1.0 & 0.8 & 0.4 \end{pmatrix} \end{matrix} @ \begin{matrix} & z_1 & z_2 & z_3 \\ \begin{matrix} x_1 \\ x_2 \\ x_3 \end{matrix} & \begin{pmatrix} 0.8 & 0.2 & 0.0 \\ 0.9 & 0.1 & 0.0 \\ 1.0 & 0.8 & 0.0 \end{pmatrix} \end{matrix}$$

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

意欲的にやる やる やり過ぎ

2.2 (3) プログラムへの実装 ①

- シミュレーションのプログラムには、仕事の属性を示すファジィ関係 Q

$$Q(x, y) = (a_{11}, a_{12}, a_{13}, \dots, a_{1n})$$

- 労働者の価値観を示すファジィ関係 R が実装される。

$$R(y, z) = \begin{pmatrix} a_{11} & a_{12} & a_{13} & \dots & a_{1n} \\ a_{21} & a_{22} & a_{23} & \dots & a_{2n} \\ a_{31} & a_{32} & a_{33} & \dots & a_{3n} \\ \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & \\ a_{m1} & a_{m2} & a_{m3} & \dots & a_{mn} \end{pmatrix}$$

- ファジィ関係方程式を用いると、エージェントの特性を簡単な行列で記述することが可能となり、取り込む要素を増やす場合の拡張性に優れている。
- また、各種の環境の変化、学習機能を表現することも Q 、 R の行列の数値を変化させるだけで実行可能となる。

2.2 (3) プログラムへの実装 ②

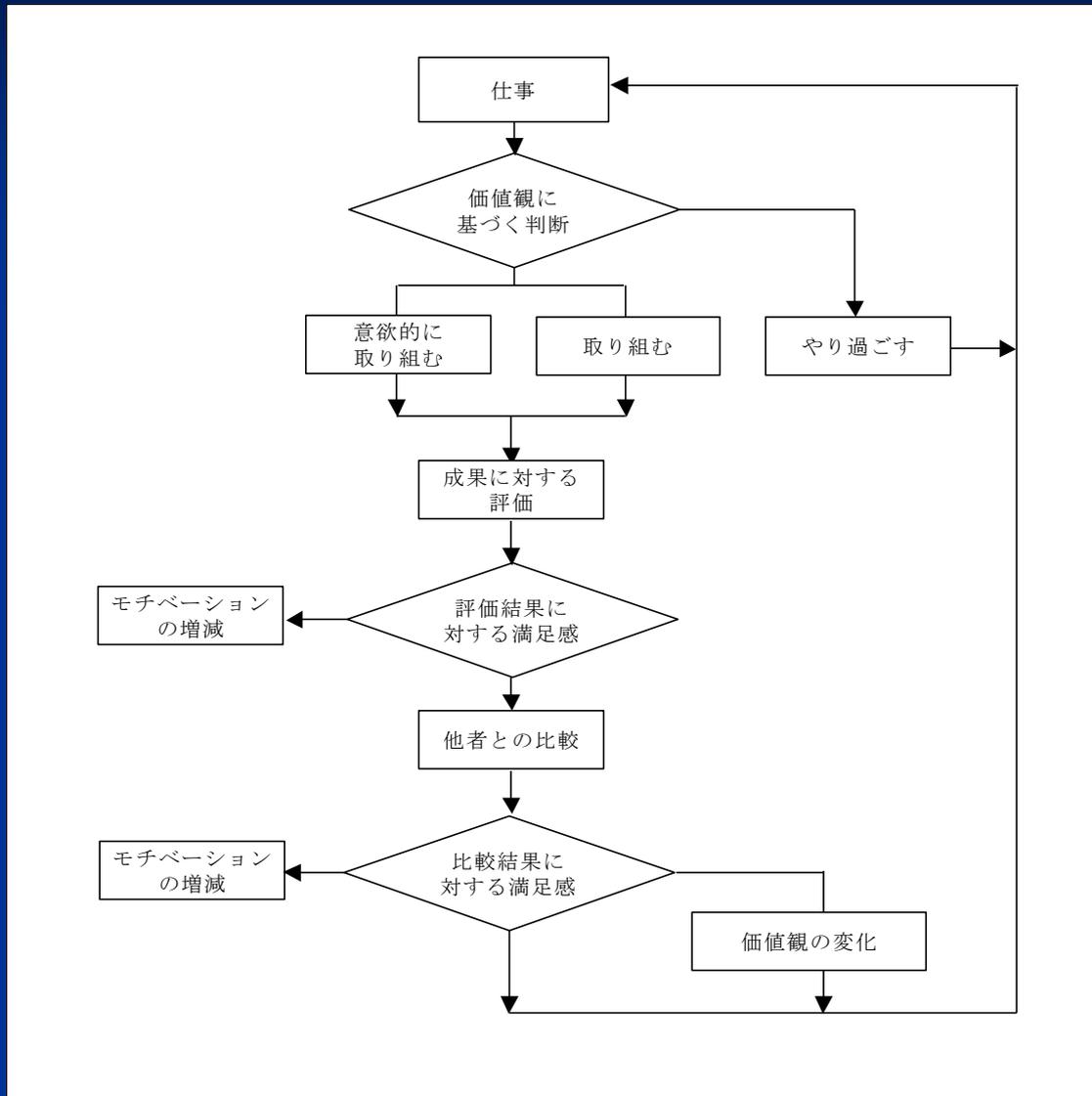
- 上述の例を元にして例を示すと、次のような属性を持った仕事を与えられた場合、 $Q'(x, y) = (0.4 \quad 1.0 \quad 0.2)$
- 以下の処理が行われることとなり、プログラムでは *min-max* 計算の実行処理を記述しておく必要がある。

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

2.3 シミュレーションの実行内容

- (1) 実行内容(1ステップのフロー)
- (2) 実行方法・評価方法

2.3 (1) 実行内容 (1ステップのフロー)



2.3 (2) 実行方法・評価方法

■ 実行方法

- 実験は300ステップ実施する。
- 価値観(仕事に対する動機付け)が相違するエージェント(労働者)を2種類とする。
- エージェントは、それぞれ10エージェントのグループとする。

■ 評価方法

- シミュレーション終了後のエージェントの価値観の変化パターンを観察する。
- 各エージェントのからのモチベーションの増減(初期値0)を比較する。

2.3 (2) 実行方法・評価方法

$$R_{agent_A} = \begin{matrix} & & z_1 & z_2 & z_3 \\ y_1 & \text{報酬} & \left(\begin{matrix} 0 & 0.1 & 0.3 \\ 0.1 & 0.1 & 0.5 \\ 0.8 & 0.2 & 0.8 \end{matrix} \right) \\ y_2 & \text{満足感} & \\ y_3 & \text{可能性} & \end{matrix}$$

意欲的にやる やる やり過ぎ

価値観Aのエージェントの特徴

- 達成の可能性と意欲的にやるという関係を大きくし、達成の可能性が大きいことを重視することを表現。

$$y_3 R_{Agent_A} z_1 = 0.8$$

- また、達成の可能性が高くても場合によっては、仕事をやり過ぎ特性を表現している。

$$y_3 R_{Agent_A} z_3 = 0.8$$

$$R_{agent_B} = \begin{matrix} & & z_1 & z_2 & z_3 \\ y_1 & \text{報酬} & \left(\begin{matrix} 0.8 & 0.4 & 0.2 \\ 0.3 & 0.1 & 0.3 \\ 0.3 & 0.3 & 0.2 \end{matrix} \right) \\ y_2 & \text{満足感} & \\ y_3 & \text{可能性} & \end{matrix}$$

意欲的にやる やる やり過ぎ

価値観Bのエージェントの特徴

- 報酬と意欲的にやるという関係を大きくし、報酬を重視することを表現。

$$y_1 R_{Agent_B} z_1 = 0.8$$

3. 実験結果・考察

3.1 シミュレーション実行例

3.2 シミュレーション結果の分析

3.3 考 察

3.1 シミュレーション実行例(①開始直後)

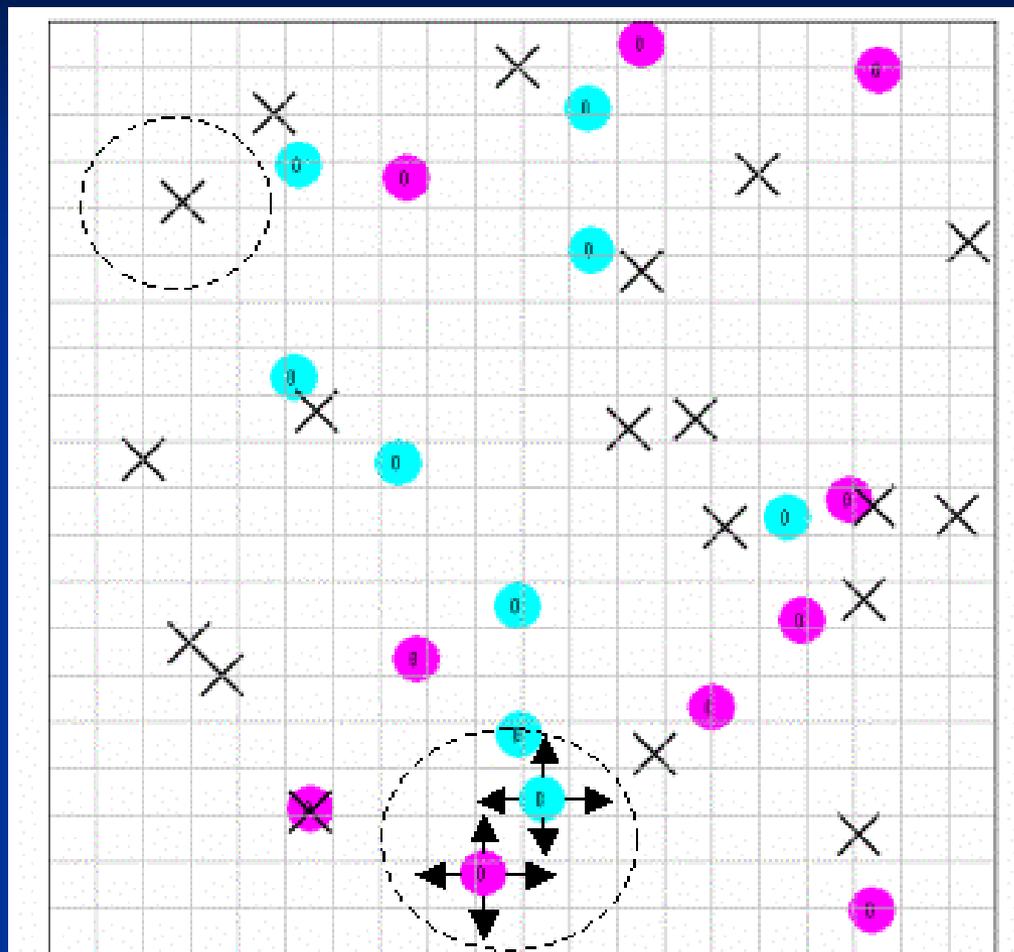
【格子上の空間はシミュレーションの実行環境(仮想空間)を示す】

*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人存在している。仕事はランダムな位置に20個発生する。

【×のシンボルは仕事を示す】

*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”の属性がある。



【○のシンボルはエージェントを示す】

色はそれぞれの価値観を示しており、シンボル中の数字はエージェントのモチベーションの増減(初期値0)を示す】

●: 価値観A(達成の可能性を重視し、場合によってはやり過ぎを行う)エージェントを示す。

●: 価値観B(報酬を重視する)エージェントを示す。

3.2 結果の分析

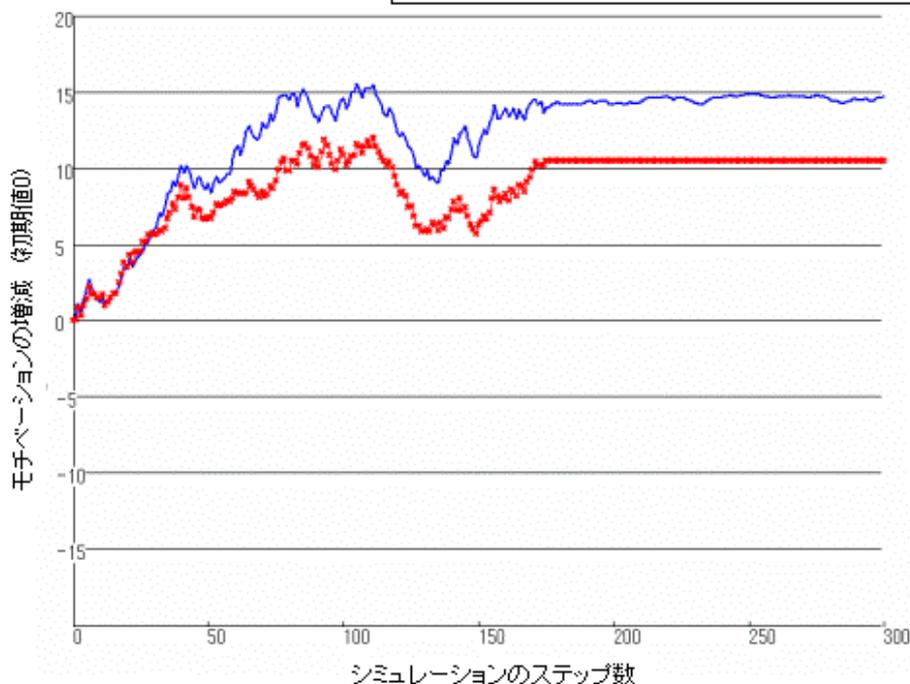
- シミュレーション終了時における各エージェント群の価値観の変化パターンから代表的な2種類のパターンを示したケースを取り上げる。
 - ケース1: 価値観の変化が認められなかったケース
 - ケース2: 一方の価値観へ変化したケース($B \rightarrow A$)
- シミュレーション中の各エージェント群の挙動について、モチベーションの増減を指標としてエージェント群の代表及びエージェント群全体の挙動を分析及び実現象との比較を行う。

3.2 結果の分析(エージェント群の挙動)

- 仕事の成果に対する組織からの評価によって発生するモチベーション増減のエージェント群毎の平均値

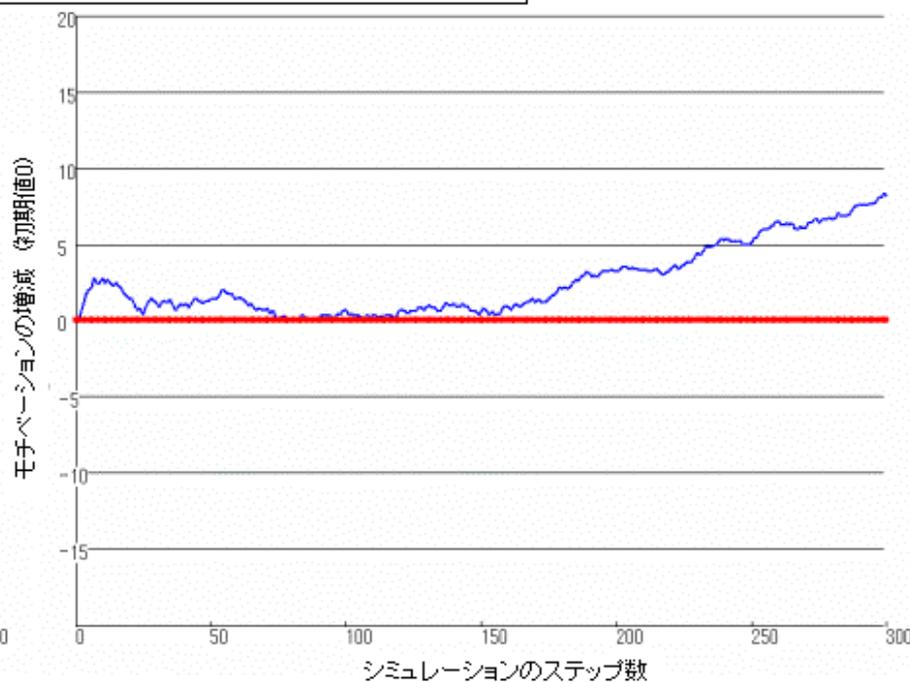
赤色線: 価値観A(達成の可能性を重視し、場合によってはやり過ぎを行う)エージェントの挙動を示す。

青色線: 価値観B(報酬を重視する)エージェントの挙動を示す。



【シミュレーション結果 ケース1:シミュレーション開始・終了後にそれぞれの価値観を持つエージェントの数に変化が認められなかったケース】

各エージェント群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増減



【シミュレーション結果 ケース2:シミュレーション開始・終了後に価値観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ケース】

各エージェント群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増減

3.2 結果の分析(エージェント群の挙動)

- ケース1における各エージェント群の挙動
 - 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た
 - 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た挙動を示している。
- ケース2における各エージェント群の挙動
 - 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
 - エージェントB群のうち、価値観を変えなかった少数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を示している。
 - これは、終了後の例のケース2の結果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。

3.3 考察

- 得られた結果のうち、ケース2の例を現実に即して解釈する

- ① 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ごすような利己的な労働者(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、この実験ケースのように労働者(B)が転向して価値観(A)となり、利己的な労働者になったように、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。

3.3 考察

- ② 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。
- ③ また、一部の価値観を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、現実社会の話題で期待されているような『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現象の発生も期待できることを示唆しているものと考えられる。

4. 結論と今後の課題

4.1 結論

4.2 今後の課題

4.1 結 論

- シミュレーション実験の結果、部分的にはあるが、実現象で見られた事象をシミュレーションで表現できる可能性があることを示唆した。
- 従来の方法で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)

- 本実験では、エージェントの意思決定の表現として“曖昧さ”を処理することのできるファジィ理論を適用した。
- ファジィ関係方程式のモデルは、先行研究等でその有用性が評価されているモデルであるが、同様な手法であるシヨケ積分を用いたモデル等との評価検証を行う必要性がある。
- 本実験では、ファジィ関係を設定する上で任意の恣意的な値を使用したか、実際の問題におけるメンバーシップ値の測定方法等も引き続き検討が必要がある。

4.2 今後の課題(②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、“理論的検証”、“外的検証”、“クロスモデル検証”、“クロスエレメント検証”等の手法がある。
- 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。

4.2 今後の課題(②妥当性の検証)

■ 理論的検証

- 本研究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が、かなりの部分を単純化している。
- 妥当性について、組織心理学・組織理論の専門家による検証が必要である。

■ 外的検証

- 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。
- 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。