

参加型シミュレーションによるユーザモデリング

村上陽平[†] 杉本悠樹[†] 石田亨[†]

避難誘導などの一対多のインタラクションが行われる仮想訓練システムでは、各エージェントの振舞いの多様性が重要となる。そこで本研究では、多様なエージェントのモデルを獲得するために、ユーザ参加型のシミュレーションを通じたユーザモデリングの手法を開発した。これにより、領域知識である既知の行動ルールを用いて、各ユーザのログデータの説明を生成することで、各ユーザの操作モデルを行動ルールの組み合わせにより特徴付けることが可能になる。

User Modeling by Participatory Simulation

YOHEI MURAKAMI,[†] YUKI SUGIMOTO[†] and TORU ISHIDA[†]

In virtual training for guidance based on one-to-many interaction such as direction giving for evacuations, diverse agent behaviors are essential to make the training realistic. Therefore, we developed a user modeling method based on participatory simulations to acquire diverse agent models. This method enables us to generate an explanation of the logs of agents controlled by human subjects. Each subject's operation model is characterized as combination of operation rules constituting the explanation.

1. はじめに

仮想訓練システムは、これまでパイロットの訓練などの個人作業の訓練に用いられていたが、近年、協調作業やリーダーシップの養成など、集団作業の訓練にも用いられ始めている^{(1),(14)}。これは、実世界で必要となる複数の被験者をエージェントにより代用することで、集団作業の訓練に伴う実施コストを削減することができるためである。ただし、このような訓練では、仮想空間内においてエージェントと学習者との間にインタラクションが発生するため、エージェントによる、説得力のある社会的インタラクションの実現が必要とされる^{(2),(4)}。

これまでエージェントの現実的なインタラクションは、非言語的な振舞いや、感情的な振舞い、発話といった表現の仕方をより実際の人間に似せることで実現されていた^{(1),(5),(6),(9)}。これは、従来のアプローチが協調作業などで見られる face-to-face のインタラクションに焦点を当てていたためである。一方、避難時の指示のように、一対多のインタラクションに基づく誘導方法の訓練では、避難者エージェントは感情表現だけで

なく、エージェントごとに多様に振舞うことも訓練を現実的なものにするために必要である^{(3),(15)}。これに対し、声量や動きの速さといった身体的な違いを再現することで行動の多様性を実現することは容易であるものの、性格の違いによる実現は困難である。

しかし、実世界では「君子危うきに近寄らず」や「虎穴に入らずんば虎子を得ず」といった格言が示すように、同じ状況であっても、性格により人それぞれ振舞いが異なることが多い。訓練をより現実的にするには、性格による多様なエージェントの振舞いを実現することも重要である。そこで本研究では、多様なエージェントを構築するために、エージェントをユーザが操作する参加型のシミュレーションを行い、その操作ログから多様なユーザの操作モデルを獲得することを目的とする。なぜなら、このようなシミュレーションでは、エージェントの振舞いがユーザによって完全に制御されるため、エージェントの行動モデル構築に操作モデルが有用であると考えられるからである。なお、ここでの操作モデルとは、エージェントの一人称視点でユーザが何を観測し、どのような操作を行ったかを表す操作ルールの集合と定義する。ここで我々が取り組んだ課題は次の二点である。

多様性の確保 ユーザの操作モデルの多様性を確保するには、多様な操作ルールが必要である。ただし、多様な操作ルールの中には、互いに両立する

[†] 京都大学大学院情報学研究所社会情報学専攻
Kyoto University
現在、西日本電信電話株式会社
Presently with NTT West

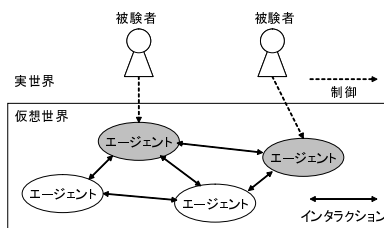


図1 参加型シミュレーションの概念図
Fig.1 Participatory Simulation

ことのない操作ルールも存在するため、モデルの構築時には、モデルの一貫性を保ちつつ操作ルールを選定しなければならない。

個性の獲得 訓練をより現実的なものにするために、エージェントの振舞いは、個々を特徴付ける個性を示す必要がある。そこで、ユーザ参加型のシミュレーションを行い、その結果得られたユーザの操作ログを用いて、各ユーザの操作モデルを獲得する。

以下、本論文では初めに参加型シミュレーションについて説明し、参加型シミュレーションを用いたユーザモデリングのプロセスについて述べる。次に本研究で用いる技術的な用語を定義し、それらの用語を用いて、仮説推論を利用したモデリング手法について説明する。最後に、避難者役のユーザの操作モデルを獲得するために、避難のドメインに提案手法を適用し、その有用性を確認する。

2. 参加型シミュレーション

参加型シミュレーションとは、仮想空間上で行われるマルチエージェントシミュレーションにおいて、一部のエージェントをユーザが完全に操作するものである。ユーザは、モニタを通じて、操作するエージェントの一人称視点で仮想世界を観測し、キーボード等のコントローラを用いてエージェントを操作する。このように仮想空間を人間とエージェントが共有することで、仮想空間内でエージェントとユーザのインタラクションを間接的に実現することができる(図1)。本研究では、仮想訓練システム上のエージェントが人間により操作される。

このような参加型シミュレーションを用いてユーザモデリングを行う利点として次の三点が挙げられる。

- 各被験者の操作履歴だけでなく、シミュレーション時に被験者が観測した環境の情報も、ログデータから算出し獲得することができる。
- シミュレーション時の被験者の画面を録画することで、被験者の状況を完全に記録することができ

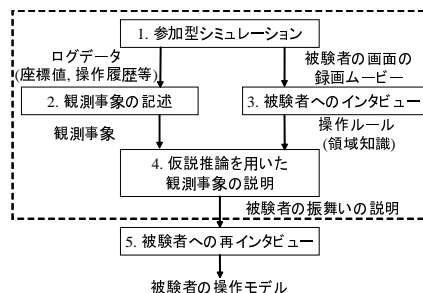


図2 モデリングプロセス
Fig.2 Modeling Process

る。録画した動画を被験者へのインタビュー時に利用することで、被験者から効果的に操作ルールを獲得する。

- 実験の参加者の不足を補うために、プログラムの制御するエージェントで、参加者を代用することができる。

本研究では、参加型シミュレーション後の一部の被験者へのインタビューにより得られた操作ルールを領域知識として用いて、シミュレーションで観測された被験者の振舞い(観測事象)を説明することで、各被験者の操作モデルを獲得する。ただし、インタビューで得られる操作ルール集合は複数の被験者から収集されるため、両立できない操作ルールが存在する可能性がある。そこで、モデリング対象の被験者によって、各操作ルールが利用されたかどうかを仮説とし、仮説推論により仮説を選択する。その結果、仮説推論により得られた解は、被験者により利用された操作ルールの無矛盾な組合せになる。このような参加型シミュレーションを通した、仮説推論によるユーザモデリングのプロセスを以下に示す(図2)。

- ステップ1 一部のエージェントを被験者が操作し、参加型シミュレーションを実施する。
- ステップ2 参加型シミュレーションのログデータから、観測事象となる被験者の振舞いを抽出し、述語論理により記述する。
- ステップ3 被験者の操作画面を録画した動画を用いて、一部の被験者にインタビューを行い、領域知識となる操作ルールを獲得する。
- ステップ4 領域知識と観測事象を用いて、被験者の振舞いを説明する。
- ステップ5 モデリング対象の被験者に対する質問を通して、生成された複数の説明から一意に説明を絞り込む。その説明に用いられた仮説から、被験者の操作モデルを獲得する。
- 本論文では、点線で囲まれた、説明による操作モデ

ル獲得の部分に焦点を当てる．

3. 問題の形式化

本章では、被験者の操作モデル獲得に仮説推論を適用するために、領域知識と観測事象を形式的に定義する．

3.1 用語の定義

本研究では、被験者は、操作しているエージェントの一人称視点で観測された世界を基に、自分の操作モデルに従って次の操作を決定していると仮定する．ここで被験者が観測した世界を S で表す． S は、世界を記述したリテラルの連言からなる．特に、時刻 t における記述を S_t と表す．なお、ここでの時刻とは、被験者の観測した世界 S が変化することに 1 進む離散値とする．一方操作モデルは、モデリング対象の被験者により実行される操作ルール集合 P と、操作ルール間の優先度に関する順序関係 \preceq との対 $\langle P, \preceq \rangle$ で表される． P は、被験者へのインタビューから得られた全操作ルールの集合 $Rules$ の部分集合であり、 \preceq は、直積集合 $Rules \times Rules$ の部分集合である． $Rules$ 内の各操作ルールを $rule_i, rule_j$ ($0 \leq i < j \leq |Rules|$) とすると、 $\langle rule_i, rule_j \rangle \in \preceq$ のとき関係は $rule_i \preceq rule_j$ と記述することもできる．

このような被験者の操作モデル獲得に仮説推論を適用するために、被験者の操作ルールや操作の選択方法といった、常に成り立つ知識を領域知識 Σ として定義し、 Σ 内の各知識を σ_k ($0 \leq k \leq |\Sigma|$) と記述する．一方、各操作ルールが被験者により利用されたかどうか ($rule_i \in P$) や、どのルールが優先されるか ($rule_i \preceq rule_j$) といった、必ず成り立つとは限らない、他と矛盾する可能性のある知識は仮説とし、仮説の集合を H で表す．さらに、参加型シミュレーションの開始時刻 0 から終了時刻 end までの被験者の振舞いを観測事象 G として与える．最終的に仮説推論により導かれた解 h から、被験者の操作モデル $\langle P, \preceq \rangle$ を構築する．なお、 h は H の部分集合である．

3.2 領域知識

被験者の操作モデル獲得に仮説推論を適用する場合、領域知識は、被験者へのインタビューによって獲得された操作ルールと、被験者の操作の選択に関する知識、そして仮説によって生じる矛盾を防ぐための制約知識から構成される．

本研究では、操作ルールを条件-動作ルールとして記述する．被験者は、条件部の全てのリテラルが充足するときに、動作部の操作を行う．具体的な行動ルールの記述例を例 1 に示す．

例 1 (条件-動作ルールによる操作ルールの記述)．

$rule_1$:
if $Near(x, self), Noop(x), Noop(self)$ then $Initiate(walk)$

$rule_2$:
if $Near(x, self), Walk(x), Noop(self)$ then $Initiate(walk)$

$rule_3$:
if $Near(x, self), Noop(x), Noop(self)$ then $Initiate(turn)$

$rule_1$ は、「操作しているエージェント ($self$) の停止中 ($Noop$) に、近く ($Near$) のエージェント x も立ち止っていれば ($Noop$)、そのエージェントを追い越すよう歩かせる ($Initiate(walk)$)」という操作ルールである．次に $rule_2$ は、「操作しているエージェントの停止中に、近くのエージェント x が歩いていれば、そのエージェントに付いて行くよう歩かせる」という操作ルールである．最後の $rule_3$ は、「操作しているエージェントの停止中に、近くのエージェント x も立ち止っていれば、周囲を見回すよう旋回させる ($Initiate(turn)$)」という操作ルールである．なお、定数 $self$ は被験者の操作するエージェントを指す．

次に、被験者の操作選択に関する知識について定義する．

定義 1 (被験者の操作の可能性 1: 操作の選択 σ_1)．
被験者の観測した世界 S_t において適用可能 ($Applicable$) なルールの中で、被験者は優先度の最大な操作ルール $rule_i$ を利用する．その結果、時刻 t において被験者は $rule_i$ の動作部の操作を行う ($Do(action(rule_i))$)．なお、 $Applicable$ と Do は、それぞれ操作ルールの条件部が充足したことで、動作部の操作を行ったことを示す述語である．また、関数 $action$ は、操作ルールの動作部で被験者が起動したエージェントの機能を値として返す．

$$(\exists rule_i (rule_i \in P \wedge rule_i = \max_{\preceq} \{rule_j | Applicable(rule_j, S_t)\})) \Rightarrow Do(action(rule_i))$$

定義 2 (被験者の操作の可能性 2: 操作の継続 σ_2)．
被験者は時刻 t よりも前に行った操作を、時刻 t においても継続して行うことがある．このような被験者の操作を示す述語として $Continue$ を利用する．

最後に、仮説によって生じる振舞いの矛盾を防ぐために制約知識を導入する．今回用いる制約知識は、被験者の操作ルールに関する以下のものである．

定義 3 (制約知識 σ_3)．

被験者の利用する操作ルール P のうち、条件部の等しい全ての操作ルールは、その動作部の操作も等価である．なお関数 $condition$ は、操作ルールの条件部であるリテラルの集合を値として返す．

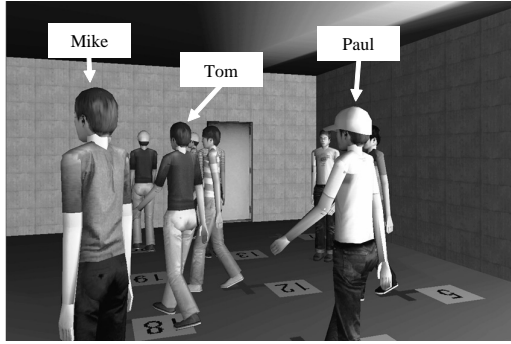


図3 時刻 $T-1$ におけるエージェント John の視界
Fig. 3 Agent John's View at $T-1$

$$\begin{aligned} & \forall rule_i, rule_j (rule_i, rule_j \in P \wedge \\ & \quad (condition(rule_i) = condition(rule_j)) \\ & \quad \Rightarrow (action(rule_i) = action(rule_j))) \end{aligned}$$

3.3 観測事象の記述

観測事象 G は、被験者の観測した世界 S が変化すると共に観測される。したがって、時刻 t における観測事象を G_t とすると、観測事象 G, G_t はそれぞれ次のように定義することができる。

定義 4 (観測事象 G) .

$$G \equiv (G_0 \wedge \dots \wedge G_t \wedge \dots \wedge G_{end})$$

定義 5 (時刻 t における観測事象 G_t) .

観測事象 G_t は、エージェントを通して、被験者がどのような世界を観測し、どのようにエージェントを操作したかが記述される。時刻 t における被験者の操作を A_t で表す。具体的に A_t は、被験者がある操作を行うことを意味する Do で表現されたりテラルか、ある操作を継続することを意味する $Continue$ で表現されたりテラルのいずれかである。

$$G_t \equiv (S_t \Rightarrow A_t)$$

これらの観測事象はログデータから時系列に沿って獲得され、述語論理で記述される。仮想空間という性質上、ログデータはエージェントの座標値や向き、被験者のキー入力から構成される。例えば、参加型シミュレーションにおいて、ある被験者の操作するエージェント John が歩き出した時刻を T とする。時刻 $T-1$ において、エージェント John の視界が図3で、かつ John が立ち止っており、被験者が John を歩かせようと操作しているとき、 G_{T-1} は次のように記述される。
例 2 (観測事象 G_{T-1} の記述).

$$\begin{aligned} & Near(Mike, John) \wedge Near(Paul, John) \wedge Far(Tom, John) \wedge \\ & Noop(Mike) \wedge Walk(Paul) \wedge Walk(Tom) \wedge ToLeft(Paul) \wedge \\ & ToLeft(Mike) \wedge Forward(Tom) \wedge InFrontOf(Paul, John) \wedge \\ & InFrontOf(Mike, John) \wedge InFrontOf(Tom, John) \wedge \dots \wedge \\ & Noop(John) \Rightarrow Do(walk) \end{aligned}$$

なお、例2 で用いた述語は次の4種類に分けられる。
距離 $Near(x, y), Far(x, y)$: エージェント x はエージェント y の近く/遠くにいる。

位置関係 $InFrontOf(x, y)$: 被験者の操作するエージェントから見て、エージェント x はエージェント y の前にいる。

向き $Forward(x), ToLeft(x)$: 被験者の操作するエージェントから見て、エージェント x は前/左を向いている。

動作 $Noop(x), Walk(x)$: エージェント x は立ち止って/歩いている。

4. 操作モデルの獲得

これまで述べてきた領域知識と観測事象を用いて、仮説推論¹⁰⁾ により被験者の操作モデルの獲得を試みる。具体的には、操作ルールと被験者の操作に関する領域知識 Σ と、被験者の利用する操作ルールとそのルール間の優先順序に関する仮説 H を用いて、観測事象 G を説明する。これにより以下の3つの条件を満たす解の仮説集合 h を求める。なお本研究では、 h から導かれる、優先度付きの操作ルール集合 $\langle P, \preceq \rangle$ が、被験者の操作モデルを表す。

- (1) $h \cup \Sigma \vdash G$
- (2) $h \cup \Sigma$ が無矛盾。
- (3) h の部分集合が上記の条件を満たさない。

定義4により G が、時系列に沿って得られた観測事象 G_t の連言であることから、1番目の条件は、証明可能性の推移則を適用して $h \cup \Sigma \vdash G_0, \dots, h \cup \Sigma \vdash G_t, \dots, h \cup \Sigma \vdash G_{end}$ と変換できる。さらに、定義5により G_t は $S_t \Rightarrow A_t$ であるから、演繹定理を適用して、 $h \cup \Sigma \cup \{S_t\} \vdash A_t$ を示せば良い。例えば、例2で示した観測事象 G_{T-1} の証明は、 $h \cup \Sigma \cup \{S_{T-1}\} \vdash Do(walk)$ に変換される。この論理式の説明の構造を図4に示す。ただし、 $Rules$ は例1で示した $\{rule_1, rule_2, rule_3\}$ であり、一方、仮説集合 h として、 G_0, \dots, G_{T-2} の証明から $h_{T-2} = \{rule_3 \in P\}$ が既に得られていると仮定する。図4に示す説明構造の生成プロセスは次のとおりである。

- (1) $Do(walk)$ の証明には σ_1 より、 $action(rule_i) = walk, rule_i \in P$, そして $rule_i = \max_{\preceq} \{rule \mid Applicable(rule, S_{T-1})\}$ が全て真であることを示さなければならない。
- (2) $action(rule_i) = walk$ が成り立つために、動作部の操作が $Initiate(walk)$ である $rule_1, rule_2$ が $rule_i$ の候補となる。
- (3) $rule_i$ に $rule_1$ を代入した場合。

- (a) $rule_1 \in P$ を証明するために, H から $rule_1 \in P$ を選定する. しかし, これでは P に含まれる $rule_1$ と $rule_3$ の条件部が等しく, 各ルールの動作部の操作が等価ではないので, σ_3 が成り立たずバックトラックする.
- (4) $rule_i$ に $rule_2$ を代入した場合.
- (a) $rule_2 \in P$ を証明するために, H から $rule_2 \in P$ を選定する.
- (b) $rule_2 = \max_{\preceq} \{rule \mid Applicable(rule, S_{T-1})\}$ を証明するために, H から $rule_1 \preceq rule_2$ と $rule_3 \preceq rule_2$ を選定する.
- (c) $h_{T-1} = \{rule_2 \in P, rule_3 \in P, rule_1 \preceq rule_2, rule_3 \preceq rule_2\}$ が得られる.

上記のプロセスを参加型シミュレーションの終了時刻まで続けることで, John を操作した被験者の操作モデルを獲得することができる. 操作モデルを獲得する関数 OperationModel のアルゴリズムを Algorithm1 に示す.

関数 OperationModel の目的は, 引数として与えられた時刻 t までの観測事象を矛盾なく説明する, 被験者の極小な操作モデルを求めることである. ここでの矛盾とは, 条件部が等しく動作部の異なる操作ルールが, 被験者の利用する操作ルールの集合 P の中に存在することを意味する. したがって, 本アルゴリズム

$$S_{T-1} = \{Near(Mike, John) \wedge Near(Paul, John) \wedge \dots \wedge Noop(Mike) \wedge Walk(Paul) \wedge \dots \wedge Noop(John)\}$$

$$A_{T-1} = Do(walk), h_{T-2} = \{rule_3 \in P\}$$

$$Rules = \begin{cases} rule_1 : \text{if } Near(x, self), Noop(x), Noop(self) \text{ then Initiate(walk)} \\ rule_2 : \text{if } Near(x, self), Walk(x), Noop(self) \text{ then Initiate(walk)} \\ rule_3 : \text{if } Near(x, self), Noop(x), Noop(self) \text{ then Initiate(turn)} \end{cases}$$

$$H = \{rule_1 \in P, rule_2 \in P, \dots, rule_1 \preceq rule_2, rule_2 \preceq rule_1, rule_3 \preceq rule_2, \dots\}$$

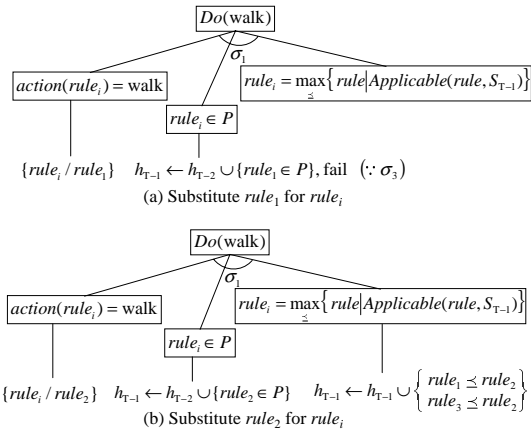


図4 $h \cup \Sigma \cup \{S_{T-1}\} \vdash Do(walk)$ の説明
Fig. 4 Explanation of $h \cup \Sigma \cup \{S_{T-1}\} \vdash Do(walk)$

Algorithm 1 OperationModel(t) return (P, \preceq)

```

1:  $t$  /* 時刻 */
2:  $P$  /* 被験者の利用する操作ルールの集合 ( $P \subseteq Rules$ ) */
3:  $\preceq$  /* 操作ルールの優先度に関する順序関係 */
4:  $S_t$  /* 時刻  $t$  における被験者の観測した世界 */
5:  $A_t$  /* 時刻  $t$  における被験者の操作 */
6: if  $t < 0$  then
7:   return  $(\{\}, \{\})$ 
8: end if
9:  $(P, \preceq) \leftarrow$  OperationModel( $t-1$ )
   /* 被験者の操作が時刻  $t-1$  と同じ場合 */
10: if  $A_t = Continue$  then
11:   return  $(P, \preceq)$ 
12: end if
   /* 被験者の操作が時刻  $t-1$  と異なる場合 */
   /*  $P$  内の操作ルールから適用可能な操作ルールを選択 */
13: if choose  $p \in \{rule \mid Applicable(rule, S_t), A_t = Do(action(rule))\} \cap P$  then
14:    $\forall r \in \{rule \mid Applicable(rule, S_t)\}$  に対し,  $p$  が
      $r \preceq p$  となるように  $\preceq$  を更新する
15:   return  $(P, \preceq)$ 
16: end if
   /*  $P$  以外の操作ルールから適用可能な操作ルールを選択 */
17: if choose  $p \in \{rule \mid Applicable(rule, S_t), A_t = Do(action(rule))\} \setminus P$  then
18:    $P \leftarrow P \cup \{p\}$ 
19:   if Inconsistent?( $P$ ) then
20:     fail
21:   end if
22:    $\forall r \in \{rule \mid Applicable(rule, S_t)\}$  に対し,  $p$  が
      $r \preceq p$  となるように  $\preceq$  を更新する
23:   return  $(P, \preceq)$ 
24: end if
25: fail

```

Algorithm 2 Inconsistent?(P) return boolean

```

1: if  $\exists p_i, p_j (p_i, p_j \in P \wedge (condition(p_i) = condition(p_j)) \wedge \neg (action(p_i) = action(p_j)))$  then
2:   return true
3: end if
4: return false

```

では, P が更新されるたびに, Algorithm2 を用いて P 内に矛盾がないかを確認する (ステップ 19). P の要素は関数 choose を用いて非決定的に選択されるため, 矛盾が発生した場合は, choose で選択されなかった他の候補が選択される. なお, choose で選択する候補が存在しなかった場合は, 関数 choose は false を返す.

また, 極小な操作モデルを求めるために, 関数 OperationModel は, 時刻 $t-1$ で求めた P を用いて, 時刻 t の被験者の操作の説明を試みる (ステップ 13-16). 時刻 $t-1$ で求めた P だけでは, 時刻 t の被験者の操作を説明できなかった場合に, 新たな操作ルールを選択する (ステップ 17-24). 万が一, 全ての候補で説

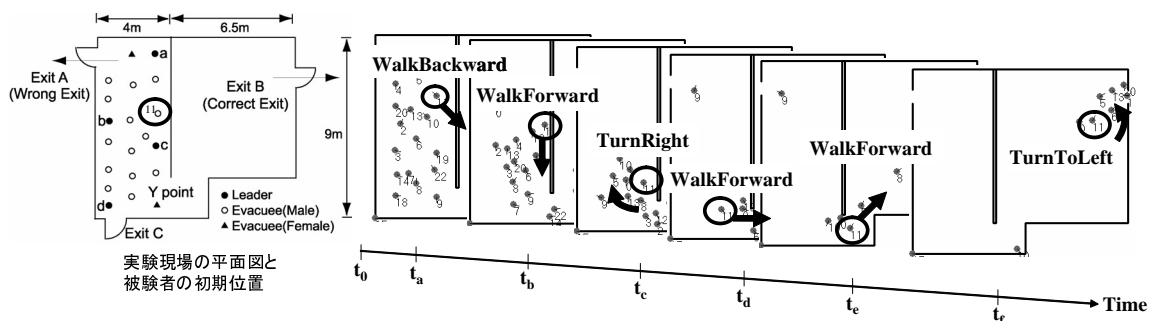


図 6 エージェント 11 を操作した被験者の操作ログ (各時刻のスクリーンショットは、参加型シミュレーション後のインタビューで、被験者から操作ルールを獲得した場面と対応する)

Fig. 6 Operation History of Subject Operating Agent 11

明できなかった場合は fail を行い、時刻 $t-1$ の P を再度求め直す。

5. 応用例

本章では、提案したモデリングプロセスを避難誘導というドメインに適用し、その有用性について述べる。

5.1 避難ドメイン

仮想空間における避難誘導訓練に必要な避難者エージェントの構築のために、本研究で提案したモデリングプロセスを、参加型シミュレーションで避難者役を行った被験者の操作モデルの獲得に適用した。具体的には、実世界で行われた避難誘導に関する統制実験¹²⁾を例題として用いた。図 6 の左側に実験の行われた地下室の構造と、避難者と誘導者の初期位置を示す。出口 C (ExitC) は全ての被験者と誘導者が入室後閉められ、避難の開始とともに出口 A (ExitA) と出口 B (ExitB) が開けられる。出口 A は全ての避難者から認識可能だが、出口 B は、最初の時点で誘導者しかその存在を知らない。避難者は誘導者によって出口 B に避難誘導される。



図 5 FreeWalk を用いた参加型シミュレーションの様子
Fig. 5 Participatory Simulation by FreeWalk

本研究では、まず実験の環境を三次元仮想空間プラットフォームである FreeWalk⁸⁾ 上に再現した。次に、16 体の避難者エージェントのうち 12 体を人間の操作するエージェントに置き換え、参加型シミュレーションを 3 回行った (図 5)。参加型シミュレーションから得られたログデータに対し、提案手法を用いて避難者エージェントを操作した被験者の操作モデルを獲得する。なお、残りの誘導者エージェントと避難者エージェントの振舞いは、シナリオ記述言語 Q で記述したシナリオにより制御した^{3), 7)}。

5.2 モデリング手法の適用

避難者エージェント 11 (図 6 の円で囲まれたエージェント) を操作した被験者の操作ログを用いて、提案したモデリングプロセスを実施した。領域知識の操作ルールには、6 人の被験者へのインタビューから得られた、以下の 18 個の操作ルールを用いた。

- Rule1: 動いている人の方を向く。
- Rule2: 誘導者が見えなければ、周囲を見回したり、後ろに下がったりして誘導者を探す。
- Rule3: 大勢の人が向いている方向に向かう。
- Rule4: 出口が見えないとき、周囲を見回して出口を探す。
- Rule5: 誘導者を見かけたら、その誘導者に近づく
- Rule6: 近くの誘導者に付いていく。
- Rule7: 混雑しているところに向かう。
- Rule8: 誘導者の動きを観測する。
- Rule9: 誘導者が向かった方向に向かう。
- Rule10: 大勢の人が向かった方向に向かう。
- Rule11: 歩いている前方に混雑があると立ち止まる。
- Rule12: 同じ方向に向かっている近くの人が歩けば前を進む。
- Rule13: 同じ方向に向かっている近くの人が立ち止まれば歩くのを止める。

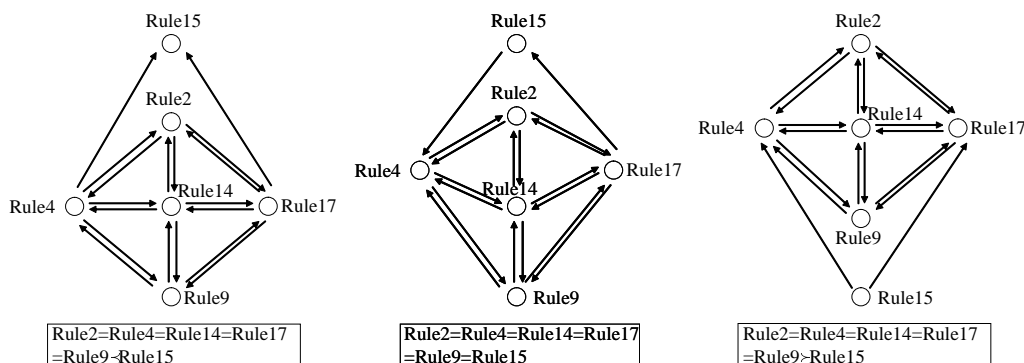


図 7 P_1 の操作ルール間の優先順序
Fig. 7 Priority among Rules in P_1

- Rule14: 前にいる人について行く .
- Rule15: 歩いている前方に混雑があるとすり抜けて前に行こうとする .
- Rule16: 歩行中に前の人が立ち止まると追い抜こうとする .
- Rule17: 出口が見えれば出口の方に向かう .
- Rule18: 出口に向かう前に再度周囲を見回す .

この結果、表 1 に示すように、4 種類の操作ルールの集合が得られた。この内 P_1 のみが、エージェント 11 の操作者のインタビューから得られた操作ルールの集合と一致した。一方、 P_1 に含まれる操作ルール間の優先順序は、図 7 に示すように 3 種類獲得された。図 7 では、操作ルール間の優先順序を矢印で示しており、その矢印の向きは優先順序の高い方を表す。ただし、 $Rule1 \leq Rule2$ かつ $Rule2 \leq Rule1$ の関係が $Rule1 = Rule2$ と等価であることから、両方向に延びた矢印は、優先順序が等しいことを意味する。

操作ルールの実行選択にこれらの優先順序を用いると、インタビューで得られた操作ルールの実行順序を説明することができた。具体的には、図 6 の操作ログから算出された、被験者の世界 $S_{t_a}, S_{t_b}, S_{t_c}, S_{t_d}, S_{t_e}, S_{t_f}$ において、発火可能なルール $\{Rule2, Rule14, Rule17\}, \{Rule4, Rule9, Rule14\}, \{Rule2, Rule4\}, \{Rule2, Rule4, Rule14\}, \{Rule9, Rule14, Rule17\}, \{Rule15\}$ に対し、図 7 の優先順序関係に基づき、Rule2, Rule9, Rule4, Rule14, Rule17,

Rule15 がそれぞれ選択され、インタビューの結果と一致した。

6. おわりに

エージェントを用いた仮想訓練システムをより現実的なものにするには、エージェントの振舞いを視覚的に忠実に再現するだけでなく、多様なエージェントモデルを構築することも必要である。本研究では、多様なエージェントモデルの構築に向けた、最初のステップとして、エージェントを操作した被験者の操作モデルを獲得することを目的として、以下の二つの課題に取り組んだ。

多様性の確保

各操作ルールが、モデリング対象の被験者によって利用されたかどうかを仮説とし、仮説の矛盾のない選択を保証する仮説推論に基づいたモデリングプロセスを確立した。このプロセスにより、モデルの一貫性を保ちながら、多様な操作ルールを用いて被験者の操作モデルを構築することが可能になった。

個性の獲得

参加型シミュレーションのログデータを用いて各被験者の操作を説明することで、個々の操作モデルを獲得することが可能になった。説明に用いられた操作ルールの組合せとルール間の優先順序により、各被験者は特徴付けられる。

避難のドメインにおいて、提案手法により求められた複数の操作モデルの中に、インタビューにより得られた操作ルールとそのルールの実行順序を説明可能なモデルが存在することが確認された。したがって、今後の課題として、得られた複数の操作モデルから一意に操作モデルを決定する手法を開発することが挙げられる。

表 1 エージェント 11 を操作した被験者の利用した操作ルール集合
Table 1 Operation Model of Subject Operating Agent 11

P	操作ルールの集合
P_1	$\{Rule2, Rule4, Rule9, Rule14, Rule15, Rule17\}$
P_2	$\{Rule2, Rule4, Rule9, Rule14, Rule16, Rule17\}$
P_3	$\{Rule2, Rule4, Rule14, Rule15, Rule17, Rule18\}$
P_4	$\{Rule2, Rule4, Rule14, Rule16, Rule17, Rule18\}$

我々は、その手法の一つとして、被験者への再インタビューが有効であると考えている。解仮説を二手に分け、一方の解仮説を用いて説明できるような、ログデータには無かった新しい状況設定とその時のエージェントの操作を作成する。その後、作成された操作によるエージェントの振舞いを被験者に見せながら、エージェントの振舞いに関してインタビューを行う。このようなインタビューを繰り返すことで、最終的に一つの操作モデルに絞り込んでいくことが可能である。

一方、今回提案手法を適用した被験者のログデータからは、4種類の説明の候補を生成することができたが、事前のインタビューにより獲得した操作ルールが十分でなければ、ログデータの説明を生成することができない場合も考えられる。説明を生成できなかった場合、新たな操作ルールを獲得する方法や、どのような操作ルールが存在する可能性があるかを推定する方法を開発することも今後の重要な課題である。

謝辞 京都大学の杉万俊夫教授、中西英之助手に多大な御協力を頂きましたことをここに感謝します。また、本研究は、日本学術振興会科学研究費 基盤研究(A)(15200012, 2003-2005)の補助を受けました。なお、FreeWalk/Qは、科学技術振興機構、戦略的創造研究推進事業の「デジタルシティのユニバーサルデザインプロジェクト」により開発されました。

参 考 文 献

- 1) Cassell, J., Bickmore, T., Campbell, L., Vilhjalmsson, H. and Yan, H.: Human Conversation as a System Framework: Designing Embodied Conversational Agents, *Embodied Conversational Agents* (Cassell, J., Prevost, S., Sullivan, J. and Churchill, E.(eds.)), MIT Press, pp.29-63 (2000).
- 2) Cavazza, M., Charles, F. and Mead, S.: Interacting with Virtual Characters in Interactive Storytelling, *Proc. of the First International Conference on Autonomous Agents and Multi-agent Systems*, pp.318-325 (2002).
- 3) Ishida, T.: Q: A Scenario Description Language for Interactive Agents, *IEEE Computer*, Vol.35, No.11, pp.54-59 (2002).
- 4) Johnson, W., Rickel, J. and Lester, J.: Animated Pedagogical Agents: Face-to-Face Interaction in Interactive Learning Environments, *International Journal of Artificial Intelligence in Education*, Vol.11, pp.47-78 (2000).
- 5) Lester, J., Towns, S., Callaway, C., Voerman, J. and FitzGerald, P.: Deictic and Emotive Communication in Animated Pedagogical Agents, *Embodied Conversational Agents* (Cassell, J., Prevost, S., Sullivan, J. and Churchill, E.(eds.)), MIT Press, pp.123-154 (2000).
- 6) Marsella, S. and Gratch, J.: A Step Toward Irrationality: Using Emotion to Change Belief, *Proc. of the First International Conference on Autonomous Agents and Multi-agent Systems*, pp.334-341 (2002).
- 7) Murakami, Y., Ishida, T., Kawasoe, T. and Hishiyama, R.: Scenario Description for Multi-Agent Simulation, *Proc. of the Second International Joint Conference on Autonomous Agents and Multiagent Systems*, pp.369-376 (2003).
- 8) Nakanishi, H.: FreeWalk: A Social Interaction Platform for Group Behaviour in a Virtual Space, *International Journal of Human Computer Studies*, Vol.60, No.4, pp.421-454 (2004).
- 9) Pelachaud, C., Carofiglio, V., Carolis, B., Rosis, F. and Poggi, I.: Embodied Contextual Agent in Information Delivering Application, *Proc. of the First International Conference on Autonomous Agents and Multi-agent Systems*, pp.758-765 (2002).
- 10) Poole, D.: Theorist: A Logical Reasoning System for Defaults and Diagnosis, *The Knowledge Frontier* (Cercone, N. and McCalla, G.(eds.)), Springer-Verlag (1987).
- 11) Rickel, J. and Johnson, W.: Virtual Humans for Team Training in Virtual Reality, *Proc. of the Ninth International Conference on Artificial Intelligence in Education*, pp.578-585 (1999).
- 12) Sugiman, T. and Misumi, J.: Development of a New Evacuation Method for Emergencies: Control of Collective Behavior by Emergent Small Groups, *Journal of Applied Psychology*, Vol.73, No.1, pp.3-10 (1988).
- 13) Sukthankar, G., Mandel, M., Sycara, K. and Hodgins, J.: Modeling Physical Capabilities of Humanoid Agents Using Motion Capture Data, *Proc. of the Third International Conference on Autonomous Agents and Multi-agent Systems*, pp.344-351 (2004).
- 14) Traum, D. and Rickel, J.: Embodied Agents for Multi-party Dialogue in Immersive Virtual Worlds, *Proc. of the First International Conference on Autonomous Agents and Multi-agent Systems*, pp.766-773 (2002).
- 15) Wray, R. and Laird, J.: Variability in Human Behavior Modeling for Military Simulations., *Proc. of Behavior Representation in Modeling and Simulation Conference* (2003).