

## 提示情報制御によるHAIにおける能動性の誘発

Inducing of activity in HAI by control of presenting information

古谷 純\*<sup>1</sup>      大本 義正\*<sup>2</sup>      西田 豊明\*<sup>2</sup>  
Jun Furutani      Yoshimasa Ohmoto      Toyoaki Nishida\*<sup>1</sup>京都大学工学部情報学科      \*<sup>2</sup>京都大学大学院情報学研究科  
Faculty of Engineering, Kyoto University      Graduate School of Informatics, Kyoto University

In this research, we aim as an ultimate goal to realize the agent with which people can be more creative in cooperation task like when they are with human. To realize it, there are various problems. Especially, it is more critical problem that people interact with today's agents passively unless people definitely recognize agents as communication targets. In this paper, to solve this problem, we intended to induce activity of people by letting the agent have the particular behavior. We did experiments in which people cooperate with agents which can present information whose level of abstraction is fixed. As a result, people were more active in cooperation with the agent which presents that of higher level. Thus, the agent can induce activity of people by teaching implicitly that it can understand the information whose level of abstraction is high.

## 1. はじめに

近年、ロボットやエージェントに関する様々な技術の向上により、人間がエージェントと協調的なインタラクションを通じて目的を達成すると言ったことが現実的になってきている。しかし、現時点では単純に命令に従うだけの道具のようなものであり、人間と協調的作業を行っても知的創造性というものは生まれない。

人間同士ではどうかと言うと、協調することには、三人寄れば文殊の知恵と言われるように、個々では生まれなかった考えが生まれたりするといったメリットがあると言われている。これは人間同士のコミュニケーションにおいて、相手に話すことで自身の考えがまとまり、発想が広がるといったことが起こりうるからである。実際、認知科学の分野では、研究・開発において複数人数で協力することで知的創造が可能であることが示唆されている。(植田ら [1])

知的創造性というのは、未知な環境で何が最適か分からない状況、例えば危険地における作業などにおいて非常に重要である。そこで本研究では、この人間同士が協調する際に生じる知的創造性を人間とエージェントで実現できないかと考えた。

これを実現するに当たっては様々な問題がある。その中のエージェントに求められる能力の例として、まず技術的な面では以下のものが挙げられる。自分の意見を相手に伝え、相手の意見を理解し、そして相手の意見を考慮したうえで自分の意見を再構築する能力。自身の考えを構築するための周囲の環境などの情報を認識する能力。組み立てられた行動を実際に行う能力などである。また、上述のものより根本にある問題として、現時点のエージェントに対するインタラクションは、人間がコミュニケーション対象として明確に認識していなければ受動的になってしまうといった問題がある。コミュニケーションを取ろうとしなければそもそも協調は不可能であるので、今回はこちらに焦点を当てた。

コミュニケーション対象としての認識につながる研究として、意思疎通性を向上させたもの (Huang ら [2]) や、人間からのエージェントに対する知覚を高めたもの (Buschmeier ら [3]) がある。

これらの研究ではエージェントが気を配っており、人間は受動的にコミュニケーションを行っている。本研究が最終的に目指すのは人間とエージェントの協調であり、そのためには能動的なコミュニケーションが重要であると考えられる。

以上のことから本研究では、人間同士が協調する際に生じるメリットを人間とエージェントで実現することを最終的な目的とし、本論文では人間がより能動的にコミュニケーションを取るエージェントの振る舞いを検討した。

## 2. 目標とするエージェント

## 2.1 エージェントの能力

1. で述べた本研究の目標とするエージェントを実現するための能力・機能を以下に詳細化する。

**環境認識・解釈能力** これは一般的なエージェントと同様に、単純に周囲からの情報をセンシングし、それによって得られた情報を解釈する能力である。ここには音声認識、映像認識等が含まれ、さらに与えられた指示がどんな意味であるか、周囲の環境がどのような状況であるか等を理解する能力や、相手モデル推測能力も含まれる。

**意見構築能力** 何らかの方針に従って置かれた状況に対して自身の目的等を構築する能力である。これによって単純に指示に従う道具のような存在ではなく、一つの主体としての存在へとつながる。

**行動生成能力** 定められた目的に対し、実際に行う行動を生成する能力である。同じ目的でも状況に応じてプランニングを柔軟に組み立てることが道具としてのエージェントの脱却に必要である。

**表現能力** 人間との対話のための情報提示や実際の動作を行う、出力部分である。対話は人間とのコミュニケーションにおいて非常に重要な役割を担う。ここでは単純に情報提示、行動を行うだけでなく、どのように情報提示するか、どのように動作するかという部分も含む。

これらをまとめたエージェントのモデルを図 1 で示す。

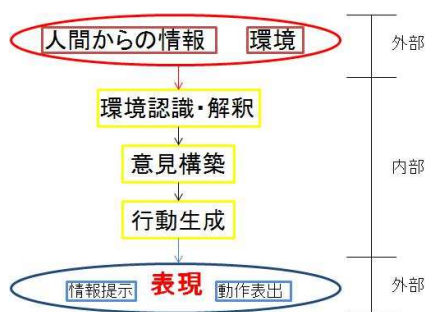


図 1: エージェントモデル

目標とするエージェント実現のために、本論文では人間と直接関わる表現能力に関して検討した。

## 2.2 適応される環境

本研究の目指すエージェントは、危険地での作業におけるパートナー、又は集団の一部として活動することを想定する。最適な行動が分からない未知の状況から始まり、単独で作業するよりも協調して作業した方がよく、さらにそれぞれの持つ情報が非常に重要となってくる環境において、知的創造性の生み出せるエージェントは活躍できると考えられる。

## 3. コミュニケーション実験

### 3.1 準備

どのようなエージェントが能動的なコミュニケーションに有効かについての知見を得るために、2.にて示した環境を簡易に表現した仮想空間で、簡易な人間とエージェントのコミュニケーション実験を行った。

ここではまず、エージェントの考え方や動き方というものを人間に理解させることが、コミュニケーション対象としての認識につながり、人間が能動的にコミュニケーションを取るようになることを考え、パートナーエージェントに行動の一貫性を持たせることで考え方や動き方を理解させようとした。

結果、行動の一貫性は理解される傾向があったが、能動性に差は見られなかった。この際、人間はエージェントに対し、単純な行動を示すような抽象度の低い指示を出すことが多かった。

ここでは行動の一貫性に注目したため、エージェントから発する情報は具体的な行動を示す程度の単純なものであった。そのため人間がその程度の情報でのやり取りしかできないと認識したために能動的にコミュニケーションが取れなかったのではないかと考えた。そこで、人間からの抽象度の高い目的志向や方針のような指示を解釈できると暗黙的に伝えることで、エージェントをより高度なコミュニケーション対象として認識すると考えた。その手法として、エージェントの提示する情報を制御して情報の解釈能力を伝えることを考えた。

ここで得られた知見をもとに行った実験について以下で説明する。

### 3.2 目的

エージェントに抽象度の高い情報を提示させることで人間に情報の解釈能力が伝わり、よりエージェントを高度な存在と見なし、能動的にコミュニケーションを取ろうとするという仮説を立てた。

結果として人間からも高い抽象度の情報が提示されるようになり、自らエージェントとコミュニケーションを取ろうとすると考え、これを検証した。

### 3.3 タスク設定

2.において述べた適応される環境を踏まえ、人間とエージェントのコミュニケーションを観察するために、クリアには協調が重要となる「潜入ゲーム」を作成した。このゲームでは、CGによって描かれた仮想空間内に散在する宝物を人間がアバターとなって集め、無事に脱出することを目的とする。人間一人とパートナーエージェント一体とで指示を出し合ったり情報を交換しながら進めていくというものである。

ここではコミュニケーションが起りやすいようにするために単独ではクリアが難しいように設定し、かつ様々な協調の形を実現できるよう何度か失敗しても再チャレンジ出来るようにした。具体的には人間とエージェントに移動速度や視野の違いを持たせ、一方にしか見えない仕掛けを設定し、また、ガードマンに捕まるとクリア失敗となるルールだが、数回までは捕まっても再チャレンジ可能にした。

### 3.4 ゲーム環境

喜多 [4] の研究にある「からだ的思考」を行うことができ、人間がより自然なコミュニケーションを行うことができるようにするために、以下のような環境を設定した。

円形に 8 枚の大型ディスプレイを配置した全方位ディスプレイを使用した。各画面に視野角 45 度ずつの CG 画面を貼り付けることで、実際に CG 空間にいるかのような体感が得られる環境を設定した。

ゲームにおける移動を圧力センサーを踏むことで行えるようにし、さらに 4 方向にキネクトを設置して 360 度自由に向きを変えてもジェスチャーを認識できるようにした。

以上のことにより、高い没入感と上半身の自由を得られる環境を設定した。

また、エージェントとの対話のために、無線イヤホン、無線マイクを使用した。以上の環境をまとめたものを図 2 で示す。

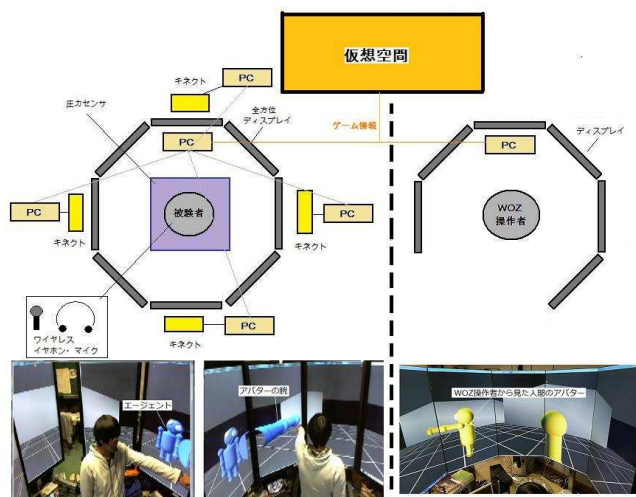


図 2: 上段：全体図，下段：実際の映像

### 3.5 コミュニケーション要素

現実において人間がコミュニケーションの際に用いているものと同じようにするため、音声と上半身のジェスチャーをゲーム内で用いることができるよう設定した。また、様々な振り舞いを持たせられるよう、エージェントは図 2 下段のように人間と同様な身体性を持たせた。

### 3.6 エージェント基本設定

一方的なコミュニケーションにならないようにするために、エージェントは人間に対して指示や提案を行う。それを行う条件として、エージェントにイベント(例:敵と遭遇)が発生したときに人間が何も行動をしない場合に限定した。また、人間からの指示を受けることができるが、それがエージェントの考える行動系列と異なる場合、再提案を行う。それが否定された場合、人間の指示に従う。

その際、設定上の事実や現時点でもっている情報による事実を根拠とし、エージェントが考える行動を提案、指示できるものとした(例:敵が近いので、左の部屋へ行きましょう)。本研究においてはこれらの制限の下、エージェントの操作を訓練された人間がWOZで行った。エージェントの発声においては、WOZ操作であることが悟られないよう操作者の声に抑揚を除去し、ロボットのような声聞こえるボイスチェンジャーをかけた。また、ジェスチャーにおいてはボタン操作でゲーム内で用いられると考えられる腕をあげて方向を示すだけの機能を持たせた。

### 3.7 仮説検証のための設定

仮説を検証するために、発する情報の抽象度が異なり、他の能力は全く同等な2種類のエージェントを用いた。一方は方針や目的志向などの抽象度の高い情報を提示し、もう一方は単純な行動を示すような抽象度の低い情報を提示するようにした。(以後、前者をエージェントA、後者をエージェントBと呼称する。)具体的には表1のような3段階に分け、Aが高、Bが低の情報を提示する。

表 1: 指示の分類

抽象度	分類基準	具体例
高	対象又は行動が具体的に定まっておらず、方針を示すような2文節以上の指示 行動又は対象を示すが、	多少の危険を無視して、 鍵の回収を最優先に、 逃げる。
中	明確な動きの内容が示されない指示 対象が定まっており、	出口へ向かって。 右の部屋へ。
低	明確な行動の内容を示す指示	その宝を取って。

ただし、抽象度の高い情報は、多くの意味を含有できるため、4種類に制限した。実際のゲーム中の発話と行動の例を図3で示す。

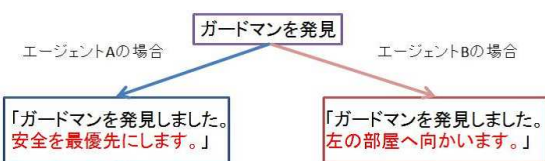


図 3: ゲーム中の発話例

### 3.8 実験手順

まずゲームの目的、ルール等の基本事項を書類にて説明し、パートナーエージェントのいないチュートリアルを行って操作等に慣れてもらった。その後、各エージェントをパートナーとして3ステージずつ行い、エージェントの変わり目、全ステージ終了時にアンケートの記入を行ってもらった。

### 3.9 結果

ビデオ分析により、第2、第3ステージにおいて表出された能動的な指示の回数について、エージェントA、B別に有意水準 $\alpha=0.05$ でt検定を行ったものを表2でまとめる。表2よ

表 2: 能動的指示の回数に関するt検定

	エージェントA	エージェントB
平均	4.250	2.125
分散	11.92857143	4.696428571
t	3.188389742	
P(T <sub>i</sub> =t) 両側	0.015310896	
t境界値 両側	2.364624251	

り、エージェントA、B間で能動的な指示の回数に有意差が見られた。これはエージェントAに対して、より能動的にコミュニケーションを取ろうとしたことと表れだと考えられる。

また、ビデオ分析により、エージェントA、Bそれぞれの第2、第3ステージにおいて表出された合計の指示の内容に対し、有意水準 $\alpha=0.05$ として分散分析を行ったものを表3にて示す。交互作用においてp値が0.0498となり、有意差が見られ

表 3: エージェントA、Bと指示内容における分散分析の結果

項目	平方和	自由度	平均平方	F	p値
エージェント	0.5000	1	0.5000	0.583	0.4700
誤差	6.0000	7	0.8571		
指示内容	78.1250	1	78.1250	3.868	0.0899+
誤差	141.3750	7	20.1964		
交互作用	21.1250	1	21.1250	5.607	0.0498*
誤差	26.3750	7	3.7678		

た。ここでこの交互作用における単純主効果調べると、以下の表4のようになった。ここでは抽象度の高い指示に関するエージェントA、B間の作用を「高-エージェント」のように表記し、エージェントAに関する指示の抽象度の作用を「A-抽象度」と表記する。この結果から、エージェントAに対し、抽

表 4: 単純主効果

組み合わせ	平方和	自由度	平均平方	F	p値
高-エージェント	14.0625	1	14.0625	6.081	0.0272*
低-エージェント	7.5625	1	7.5625	3.270	0.0921+
誤差		14	2.3125		
A-抽象度	9.0000	1	9.0000	0.751	0.4007
B-抽象度	90.2500	1	90.2500	7.532	0.0158*
誤差		14	11.9821		

象度の高い指示をより多く表出していることが分かった。これは解釈能力が伝わったことと表れだと考えられる。

これらの結果を合わせると、エージェントAをBより高度なコミュニケーション対象として認識していると考えられる。

7段階のSD法を用いたアンケートにおいて、各エージェントに対する、指示の抽象度、協力のしやすさ、コミュニケーションのしやすさを調査した。しかし、各項目において有意差は見られなかった。

## 4. 議論

### 4.1 実験結果を受けて

上記のコミュニケーション実験結果、アンケート結果を統合すると、人間は相手（エージェント）から提示される情報の抽象度に合わせた指示を行おうとするが、アンケート結果からそれは無意識的に行われているのではないかと考えられる。ここで、この無意識的に行われているという部分について考えてみる。

無意識的ということとは、人間は実験の設定通り両エージェントを同等の能力を有するものとして認識していると考えられる。その上で前述のように提示する情報の抽象度に差が出ているということは、エージェントの提示の仕方に自然と影響されているからだと考えられる。しかし表 4 より両エージェントにおいて抽象度の低い指示の回数に有意差は見られず、抽象度の高い指示の回数において有意差が見られるということと、表 2 よりエージェント A に対して、より能動的にコミュニケーションを取ろうとしていたことを考慮すると、エージェント A のほうがよりコミュニケーション対象として認識されていたために抽象度の高い指示が多く表出されたと考えられることができる。

以上に述べた結果より、エージェントから提示される情報の抽象度を操作することで人間から提示される情報抽象度を制御でき、それに伴って能動的にコミュニケーションを行わせることの実現の可能性が示唆される。

### 4.2 エージェント実現のために

本研究では、エージェントがどう情報を提示することで能動的なコミュニケーションを実現できるかという部分に焦点を当てた。これは 2. の表現能力に位置する人間と直接接する部分の、特に情報提示の部分の設計指針に当たる。今回はエージェントは WOZ 操作にて行ったが、次の段階としてこの人間と直接接する部分の自動化が考えられる。というのも、ゲームにおいて使用したジェスチャー一つを取っても、発する情報によって大きく変化する。例えば「こちら」という言葉に対し、状況次第で共起する言葉には「部屋」や「室」、「ガードマン」などと、対象は様々あり、それによって取るべき動作は変化する。こういった動作を適切に行うことができればエージェントがより知的であると認識され、能動的なコミュニケーションの助けとなると考えられる。

現在は最低限コミュニケーション可能であり、十分な会話、思考ができるということを人間に理解してもらうために会話の時間を設けているが、このような協調的タスクにおいてはコミュニケーション可能で知的な存在だと認識されることは非常に重要であり、そう認識されるための言動の手法の検討が考えられる。その一つとして、今回のエージェントは相手の指示を承認するか再提案するかなどは機械的に行っていたが、エージェントの内部状態を直感的に人間に認識させる手法の研究 ([5]) や、エージェントの有効性を高める研究 ([6]) を参考に、表現能力を発展させるという方法が考えられる。

今回は触れなかったエージェント内部に関する部分において、環境認識は技術に頼るところが多く、解釈は人間の大量の語彙の認識や様々な環境についての学習をした上で解釈する必要があるなどと現時点では非常に難しい。

また、行動生成能力に関してだが、今回のような動的な環境におけるプランニングの研究として Molineaux ら [7] の研究がある。こういった研究を参考に、HAI における能動性を引き出せるプランニングの研究も将来課題として考えられる。

## 5. まとめ

本研究では、人間同士が協調することによって、個々では生まれなかった考えが生まれるようになるといったメリットを、人間エージェントで実現することを最終的な目標として掲げた。今回は能動的にコミュニケーションを取るべき対象として人間に認識されるエージェントの振る舞いを検討し、実際に仮想空間におけるゲームを用いてその方式を評価した。

事前の簡易な実験ではエージェントに行動の一貫性を持たせることで、エージェントの考え方や動き方の理解が容易になり、それがコミュニケーション対象としての認識につながり、能動的にコミュニケーションを取ろうとするという仮説を立てた。結果、エージェントの性格は理解される傾向があったが、人間の能動性に差は見られず、単純な行動の指示を多くするということが確認できた。

実験により得られた知見から、人間からの抽象度の高い目的志向や方針のような指示を解釈できると暗黙的に伝えることで、エージェントをより高度なコミュニケーション対象として認識するという仮説を立てた。そこではエージェントに抽象度の高い情報を提示させることで人間が提示する情報の抽象度を高くするという方式を考案した。そして実際に協調的タスクにてエージェントの提示する情報の抽象度に制限を与えて評価実験を行った。実験ではビデオ分析とアンケート調査の 2 つの評価を行い、エージェントが抽象度の高い情報を提示することで抽象度の高い情報を提示させることができ、能動的にコミュニケーションを取らせるという目的を達成していることを確認した。

## 参考文献

- [1] 植田一博: 研究・開発現場における協調活動の分析: 認知科学的視点から (1999).
- [2] Huang, L., Morency, L. and Gratch, J.: Virtual Rapport 2.0, Intelligent Virtual Agents, Springer, pp. 68-79 (2011).
- [3] Buschmeier, H. and Kopp, S.: Towards conversational agents that attend to and adapt to communicative user feedback, Intelligent Virtual Agents, Springer, pp. 169-182 (2011).
- [4] 喜多壮太郎: ひとはなぜジェスチャーをするのか, 認知科学, Vol. 7, No. 1, pp. 9-21 (2000).
- [5] Komatsu, T., Yamada, S., Kobayashi, K., Funakoshi, K. and Nakano, M.: Proposing artificial subtle expressions as an intuitive notification methodology for artificial agents' internal states, Proc. of the 32nd Annual Meeting of the Cognitive Science Society, pp. 447-452 (2010).
- [6] Leite, I., Mascarenhas, S., Pereira, A., Martinho, C., Prada, R. and Paiva, A.: "Why Can't We Be Friends?" An Empathic Game Companion for Long-Term Interaction, Intelligent Virtual Agents, Springer, pp. 315-321 (2010).
- [7] Molineaux, M., Klenk, M. and Aha, D.: Planning in dynamic environments: Extending HTNs with nonlinear continuous effects, Twenty-Fourth AAAI Conference on Artificial Intelligence (2010).