

身体性に基づいた高信頼な情報利用環境の構築

Human Recognition of Shared Environment in Real World HAI

内藤 久詞^{1*} 竹内 勇剛¹
Hisashi NAITO¹ Yugo TAKEUCHI¹

¹ 静岡大学大学院情報学研究科

¹ Graduate School of Informatics, Shizuoka University

Abstract: In face-to-face communication, we can confidently communicate through our bodies. Recently, agents have widely surfaced as existences that interact with humans, and several studies have investigated the formation of social relations with such agents. This research focuses on ‘sharing an environment’ when humans communicate with humans, and we adapt it to human and agent interactions. We examined the effects of sharing an environment in two cooperative task experiments in real/virtual worlds. We expect that sharing the same environment through a body affected the reliability of the information.

1 はじめに

人のコミュニケーション対象として、CG キャラクターやロボットなどといった「人以外のコミュニケーション対象（エージェント）」が誕生しつつある中、今まで存在していなかったこれらの存在とどのように付き合っていくべきかに関して数多くの研究がなされている。これまでは人の代わりにロボットを利用して仕事をさせてきていたが、今後はより自律性を有したロボットの登場と共に、ユーザの目的に合わせて振る舞い、協調的に作業を行なう場面が増加していくだろう。

現在、高度な情報通信機器として知られるドライブナビゲーション機器は、状況に合わせて様々な情報を提示する機能を有しており、一定の社会的機能を人間に代わって果たしている点において、エージェントの一例として考えることができる。しかし、しばしばカーナビをわずらわしい存在として思うことはないだろうか。

現状のカーナビによる「100メートル先を右折です」等の指示は、上空から全体を見降ろしているようないわゆる「鳥の視点」であり、ドライバーの視点から得られる情報と異なるため、曲がるべき交差点を瞬時にかつ正確に判断するのが難しい。このような情報は GIS (Geographic Information System) という電子的な空間記述に基づいた形式的な表現で提示されており、実世界の空間との対応付けがなされていないため、人に高い認知的負荷を与えていると考えられる。

一方で人による道案内では、「韓国料理店の手前を左」等のランドマークを利用した指示や、「その交差点を右」等の「あいまいな指示語」を用いた指示を行なう

ことが多い。このような指示方法は、地上から一部を見ているいわゆる「虫の視点」であり、ドライバーの視点から得られる情報と一致するため、認知的負荷が少ないのではないかと考えられる。つまり、情報伝達を行なう二者間の体の向きや視線などをできるだけ近づけ、置かれている場の状況・環境を共有することで、伝達すべき内容（言葉）の省略や指示語などのあいまいな言葉を用いた情報伝達を可能にしているまた人が道案内を行なうことで、実際に道案内をしている人がその場にいるという存在感がドライバーに与える影響は大きいものであると考えられる [1]。このような人対人のコミュニケーションにおける「情報の共有」と「身体を介した空間の共有」によって、情報の受け手の「行動の正確性」と「提示情報に対する理解度」が向上する結果が報告されている [2]。

そこで本研究では、実世界の作業空間内の情報を共有した実世界指向のインタラクションに着目し、情報機器から提供される情報が人に与える影響を調査することによって、人が適切に情報を認知して行動するためのシステムの設計デザインを検討する。

2 価値のある情報の提示方法とは

近年では音声認識やモーションセンサ、タッチディスプレイなどの新しい入力方法の誕生や、計算機の処理能力向上、小型化やネットワーク技術の発達などにより、ユーザの存在する実世界に共に情報が存在することにより同一環境からの情報提示が行なわれる「実世界指向インタラクション (Real World Oriented Interaction)」が実現されつつある。具体的な例として、形のない情報を直接触れることができるようにするタンジブルユーザ

*連絡先： 静岡大学大学院情報学研究科情報学専攻
〒432-8011 静岡県浜松市中区城北 3-5-1
E-mail:gs09039@s.inf.shizuoka.ac.jp

インタフェースの技術や、実世界内にコンピュータの生成する仮想物体や情報を付加する拡張現実 (Augmented Reality) の技術などがある (図 1)。



図 1: Wikipedia のコンテンツを表示する WIKITUDE

これらの技術は情報を形あるものとして捉えたり、人間の周囲を取り巻く環境の情報付加することによって実世界との対応性を実現している。しかし扱われる対象が自身に関する情報を提示しているにすぎず、人間がその対象や情報をどのように扱うかは深く言及されていない。例えば図 1 において 700 メートルと表示されているが、今いる場所からどれくらいかかるのか、どうやって行くべきかに関してはユーザーに委ねられている。しかし、我々は公式情報だけでなく「口コミ」情報を参考にするように、形式的な情報に加え第三者からの現場の情報をひとまとまりの情報として扱っているのではないかと考えられる。つまり、現場の情報を如何に共有するかが重要であり、その際、身体性を有したエージェントを介在させることによって、より適切な情報の解釈を促すのではないかと考えられる。そこで、このような場でコミュニケーションを行なう際、どのような種類があるかに関して、次章でエージェントとのコミュニケーション場について検討する。

3 コミュニケーションの場

現在では、CG による仮想的な身体を持つエージェントや、仮想世界に表現された自分の分身を介して仮想世界内でコミュニケーションを行なう方法も存在している。我々が有する身体を用いて直接的に干渉することができる環境を実世界、コンピュータによって構築された環境、または CMC メディアを介した環境を仮

想世界 (サイバーワールド) と定義した際、人とエージェントの身体が、それぞれ実世界と仮想世界に存在したと仮定した場合のコミュニケーションの場の分類を表 1 に示す。

3.1 分類 P におけるコミュニケーション

分類 P は、人とエージェントの両者の身体が実世界に存在している場合であり、特に実世界に存在するエージェントをロボットと呼ぶことが多い。これらのロボットは物理的な身体を持つことによって、人に臨場感を与えることができる。一方で実体エージェントの身体表現は仮想エージェントより制限されてしまう場合が多く、豊かな身体表現ができないといった欠点もある。しかし身体を用いて視線や指さしといった直接人や環境に働きかける行為や、指示語のような環境に対応した直接的な指示表現を組み合わせることによって、豊かな情報提示方法を実現できる。このように身体を介して実世界を共有することは、それ自体が互いのインタラクションでやり取りされる情報の信頼性を向上させる効果が期待される。図 2 は、コミュニケーションロボット「Robovie-IV」と人との会話の様子である。

3.2 分類 Q におけるコミュニケーション

分類 Q は、エージェントが CG などによって仮想世界に表現された身体を有している場合である。一方で人は実世界に存在しているため、仮想エージェントは実世界の人に直接働きかけることによってインタラクションを実現している。先行研究では仮想エージェントの様々な身体表現による社会的影響、促進の可能性が示唆されており、実世界での実現が困難と思われるような豊かな身体動作を用いて、実体エージェントとは違った形での情報提示方法を実現している [3]。

また、アパートのプレゼンテーションを通して、仮想エージェント、テキスト、音声の比較を行なった研究もある (図 3) [4]。そこではエージェントやテキストを表示するよりも、音声のみによるプレゼンテーショ

表 1: コミュニケーションの場の分類

		エージェント	
		実世界	仮想世界
人	実世界	P	Q
	仮想世界	R	S



図 2: Robovie-IV とのコミュニケーション

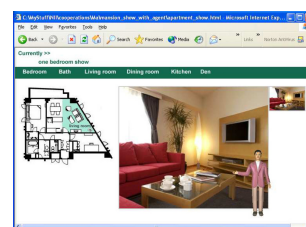


図 3: プレゼンを行なう仮想エージェント

ンの方が、プレゼンテーションの内容をより覚えている可能性が示されている。この結果から、本来理解すべきプレゼンテーションとエージェントやテキストが同じ仮想世界内に表現されていることによって注視が散漫になり、結果として評価の低下に繋がったのではないかと予測される。以上のことから、タスクが行なわれる環境とエージェントが存在する環境を考慮したインタフェース設計が重要であると考えられる。

3.3 分類 R におけるコミュニケーション

分類 R は、実世界にエージェントが存在する一方で、人の身体が仮想世界に存在する場合である。現在ではほとんど想定されないもので、実際の例は割愛する。しかしそれに近い状況として、戦場にいる兵士と、無線や遠隔操作ロボットを用いて他の場所にいる兵士との関係が挙げられる。戦場というある意味現実離れた世界に存在する兵士にとっては、その場からの情報が命を左右するほどの意味を持つ。そのため安全な場所でロボットを操作する兵士が、様々な技術を用いて戦場の状況を把握したとしても、互いの信頼関係がなければ他の場所の人からの情報というのはその場の情報に比べ、信頼性が低くなってしまおうと考えられる。

3.4 分類 S におけるコミュニケーション

分類 S は、人とエージェントの両者の身体が仮想世界に存在している場合である。このようにインタラクションを行なう方法として大きく 2 つに分けられる。

(a)：実世界に存在する身体がそのまま仮想世界の中に没入する方法

(b)：仮想世界内に表現された別の身体を用いる方法

(a) の例としては、実世界の中で没入型バーチャルリアリティ装置を用いて仮想世界を作り出し、その中に人が存在する方法が挙げられる (図 4)。この方法では自身の身体動作が直接仮想世界に働きかけることができるため、あたかも仮想世界に自分が存在しているかのように感じることができる。このような高度な技術を用いなくても、仮想世界内で実世界を精巧に模した映像をディスプレイに表示するだけで、擬似的に仮想世界でのコミュニケーションの場を位置づける方法もある。この方法によって、両者が仮想世界という同一環境を共有している感覚が創出される場合、互いの情報の信頼性は高まるのではないかと考えられる。

(b) の例としては、インターネットコミュニティで用いられる自分の分身となるキャラクター (アバター) を利用した方法が挙げられる (図 5) [5]。アバターは



図 4: マルチプロダクション 図 5: 仮想アバターを紹介
ディスプレイ D-vision たコミュニケーション

仮想世界でのコミュニケーションを実現するために限られた範囲での身体動作が可能であり、人はアバターを用いることによって仮想世界内でのインタラクションを実現することができる。しかし、アバターの操作はインタフェースを介することによって、自身の身体動作を直接伝えることができないため、自身は実世界に存在しているという意識が強く残る。そのため「仮想世界」と「実世界」の両世界がユーザが置かれている環境でどのように変化しているのか正確に説明するのは困難であると予測される。その結果アバターからの情報の扱い方に個人差が生じるため、情報の信頼性のある程度一意に保つためには様々な工夫が必要であると考えられる。例えば対話者の顔き・身振り等のノンバーバル情報と呼吸等の生体情報を仮想世界上でリアルタイムに表現するインタラクティブなアバターを用いることによって一体感が実感され、やり取りされる情報の信頼性が増すことが期待される。

3.5 環境を共有した協調作業

前節で述べたように、我々は人とエージェントの身体が存在する環境の違いによって、エージェントに対する印象や環境の捉え方が大きく変わることが予想される。Kidd らは、人は物理的に存在するロボットを本当に存在しているエージェントとして認識する反面、CG エージェントはあくまで仮想的な存在であるとして認識することを示している [6]。また、ディスプレイ上と実世界に身体を持つエージェントとのインタラクションとの比較において、エージェントの実世界での身体が存在がエージェントの評価を高めるという報告もある。一方でユーザのエージェントに対する評価は、エージェントの身体と達成される課題によって変化することも指摘されている [7]。

以上の議論から、本研究では実世界と仮想世界のエージェントとの協調作業実験を実世界と仮想世界の 2 つの課題を通して、同一環境を共有することによる協調作業の効率化の検証を行なう。特に本稿では、前節で述べた分類の中でも現在最も一般的になりつつある分類 P と Q の 2 つに関する調査を行なう。

4 エージェントとの協調作業実験

本章では、作業環境に応じたエージェントとの協調作業場面において、エージェントから提示された情報を受けてが信頼したものとして取り扱うための環境を構築するためにはどのようなインタラクション構造にすべきかを明らかにするための実験について述べる。

4.1 目的

実世界（分類 P）と仮想世界（分類 Q）の 2 つの課題環境に対して、エージェントの身体の違いと、情報の提示内容の違いが、人のエージェントに対する評価に影響を及ぼすのではないかとという仮説を立て、協調作業実験により検証を行なう。著者らが以前行なった実世界での実験では、人对エージェントのコミュニケーションにおいて、エージェントの身体表現（実体、仮想、音声）の違いが、人のエージェントが提示する情報に対する評価に与える影響について検証を行なった [2]。実験の結果、身体要因において実体水準の方が仮想やコンピュータ水準に比べ、指示に従う回数が有意に多かった ($F_{(2,42)} = 3.57, p < .05$) (図 6)。

結果から、実世界の環境から得られる情報を対象としたインタラクションを、行動を共にしながら行なう実世界上の協調作業課題では、実世界に身体を有するエージェントに対する評価が高くなると考えられる。

実世界の実験では、「人—エージェント—課題」が全て実世界で統一している場合において、エージェントの指示に従う回数が最も多くなった。次に課題が仮想世界内で行なうものであった場合、人は実世界に存在するが課題は仮想世界内であるため、エージェントの身体性が重要になる。そこで本章では仮想世界で行なう課題を設定することで、この問題の検証を行なう。具体的には実世界、仮想世界のエージェントのどちらの情報を受容しやすいか、また、仮想世界内で表現された方位を用いた絶対的な情報と、画面の向きに対して

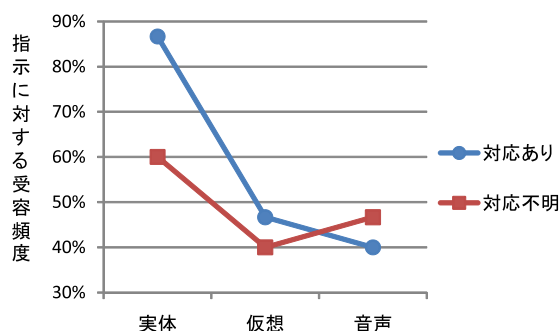


図 6: 実世界課題の実験結果



図 7: 課題画面

図 8: 実験環境

の方向を示す相対的な情報のどちらを受容しやすいか観察を行なう。仮想エージェントでの実験画面を図 7 に、実験環境を図 8 に示す。

4.2 方法

被験者は 18 歳～22 歳までの情報学系の大学・大学院生 34 名（男性 19 名、女性 15 名）である。被験者はユーザ没入型の視点で仮想世界に表現された迷路において、エージェントと一緒に簡単な宝探しゲームを行なう。エージェントは宝があるとされる場所まで道案内を行なう。迷路を進んでいくと途中で分かれ道に到達する。分かれ道では、まず音によって現在いる位置からどの方向に宝があるかを正確に知らせる情報を提示する。その後、エージェントがどちらの道を進めばよいかに関する情報を提示する。音による情報と、エージェントによる情報が一致しない際に、被験者はどちらの情報を信じ指示を受容するのか観察を行なう。

4.3 条件

「エージェントの身体要因」と「情報要因」の 2 要因である（表 2）。身体要因は、「実体」、「仮想」の 2 水準とする。実体水準では牛のパペットを用いる（図 9）。仮想水準では牛の 3D モデルを使用する（図 10）。実体エージェントは、レゴマインドストーム NXT を用いて首と腕を動かす骨組みを作り、その上に牛のパペットを被せることで身体動作を実現した。仮想エージェントは実体と同じような外見と身体動作をするモーションを作成し、ディスプレイ上に表示した。

表 2: 実験条件

		エージェントの身体要因	
		実体	仮想
情報要因	相対	条件 A	条件 C
	絶対	条件 B	条件 D



図 9: 実体エージェント 図 10: 仮想エージェント

情報要因は「相対」、「絶対」の2水準とする。相対条件では、自分(画面)の向きに対して相対的な方向である「9時の方に向かえ」といった情報を提示する。絶対水準では仮想世界に表現された迷路内で絶対的な基準である方位を決めておき、「東の方に向かえ」といった情報を提示する。相対水準での指示方法は、被験者の視点から得られる情報に対して右か左かを指示しているものであり、エージェントが被験者の立場(環境)に応じた情報提示方法である。一方絶対水準での指示方法は、仮想世界内を基準としており、被験者の環境と直接対応していない情報提示方法であるため、認知的負荷が大きくなることが想定される。よって1章のカーナビの事例に近い条件を上記のように設定した。

ゲーム開始から分岐点を通過し、宝箱を発見するまでを1試行とする。被験者は身体要因のいずれかの水準のもとで、情報要因の2水準をそれぞれ2試行1セットを1セットずつ、計4試行2セットを行なう。情報要因の各水準において、始めの1試行目では音による情報とエージェントの指示はすべて一致するようにすることで、被験者とエージェントの信頼関係の形成を図る。2試行目の特定の分かれ道において音による情報とエージェントの指示が異なるようにする。エージェントの指示は全て正しいものとする。例えば1試行目の分かれ道において、宝箱の場所は観察地点から左の方向にあったとし、ヘッドフォンの左から音を出すようにする。それに対し正解のルートは右であるため、エージェントは右のルートを選択させる指示を出す。

身体要因を被験者間要因、情報要因を被験者内要因とし、身体要因の各水準において17人の被験者を割り振り、半分の被験者が「相対」→「絶対」の順序で実験を行なった。

4.4 観察項目

情報要因の各水準の2試行目において、音による情報とエージェントの指示が異なった際に、被験者がエージェントの指示を受容するかどうかを観察する。また身体性の違いによるエージェントの信頼性の印象を調査するためのアンケートを行なわせる。アンケート項

目は調査に必要な4項目と、直接関係のない7項目からなり7段階(1~7点)で評価させる。分析に用いた4つの質問項目を表3に示す。

4.5 結果

実験結果を図11に示す。指示に従った場合を“1”に従わなかった場合を“0”として得点化し、その得点について分散分析を行なうことでデータ分析を行なった。分析の結果、交互作用は観察されなかった($F_{(2,32)} = 0.59, n.s.$)。また、身体要因においては有意な差はみられなかった($F_{(2,32)} = 1.52, n.s.$)。しかし、グラフから若干実体の方が受容しやすい傾向が観察された。情報要因においては、相対水準の方が絶対水準より指示に従う回数が有意に多かった($F_{(2,32)} = 5.31, p < .05$)。

次に、アンケート結果は4つの質問項目に対する被験者の解答を条件別で比較したもの(Q1~Q4)と、各被験者のQ1, Q3, Q4の点数とQ2の点数を反転した点数の平均をその被験者のエージェントに対する信頼性の印象(信頼性に関する印象)として条件間で比較したものからなる。各項目について t 検定の分析の結果、Q1, Q3, Q4, 信頼性に関する印象において有意な差が観察された(*: $p < .05$, **: $p < .01$)。

4.6 考察

エージェントの身体要因の主効果では、仮想世界の課題において、エージェントの身体がどのように存在するかについては直接指示の受容頻度に有意差が観察されなかった。しかし、実体エージェントによる指示に若干受容しやすい傾向が観察されたことから、直接被験者の行動に影響を与えないけれども、エージェントの印象に関しては差が生じる可能性が示唆されている。

次にアンケート調査の結果、実体エージェントの方が仮想エージェントより有意に良い印象が得られている。これは被験者にとって情報の質が水準間で異なっており、指示を無視するという行動レベルでは有意な差が生じなかったのではないかと解釈することができる。このことから、課題が行なわれる環境に関係なくエージェントの身体が自分と同じ環境に存在すること

表 3: アンケート項目

Q1: ウシくんの指示は正しいと感じた
Q2: ウシくんの指示を無視しようとした
Q3: ウシくんの指示は根拠があると感じた
Q4: この後も課題をする場合、ウシくんの指示を信じれば課題が達成できると感じた

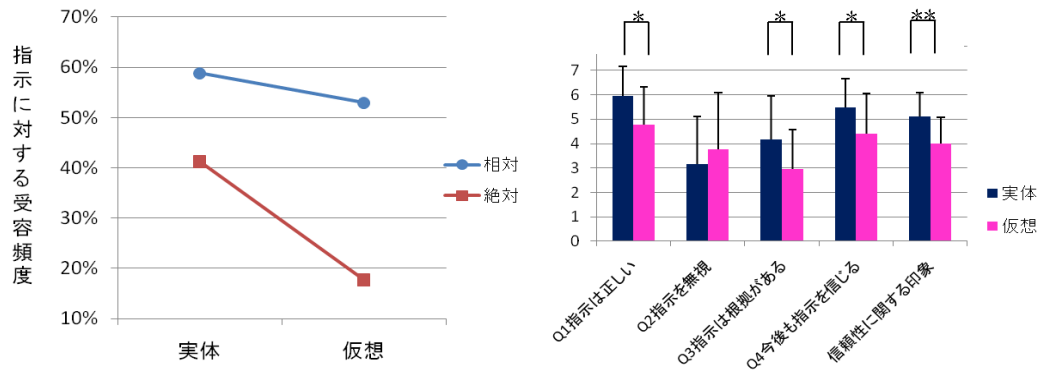


図 11: 仮想世界課題の実験結果

によって、指示の内容が同じであっても指示の受け手にとっての情報の質が変化する可能性があり、それによって受け手の行動に影響を与えることが推測される。

一方、情報要因においては、自分を基準とした相対的な指示の方が、仮想世界内の方角を基準とした絶対的な指示よりも受容頻度が高くなるという結果が得られた。このことから、仮想世界内の方角による絶対座標を基準とした場合、まず自分がどちらの方角に向いているかを確かめる必要があるため、認知的負荷がかかると推測される。一方で画面の向いている方向（自分の位置）を基準とした場合、即座に指示を解釈できるため、認知的負荷が少ないと推測される。よってエージェントによる指示を聞いた際に、認知的負荷を伴う絶対座標による指示を解釈するのを避けて、直観的な音による指示に従う被験者が多くなったため、有意な差が観察されたのではないかと考えられる。

5 おわりに

本稿ではエージェントの身体性と、情報の環境との対応性がエージェントの信頼性へ与える影響を調査するために、人が実世界に存在した状態において、実世界と仮想世界の2つの課題を通して実験を行なった。得られた知見から、エージェントインタラクションへの適応に関する指針を以下に示す。

- 実世界の協調作業では、実体エージェントを用いることによって、ユーザは提示された情報をより採用しやすくなる
- 仮想世界の協調作業では、実体・仮想エージェントのどちらを用いても、情報の採用頻度に有意な差は生じない。しかし印象に関しては実体エージェントの方が高くなる
- ユーザの現場（視界）環境に対応した指示を用いることによって、ユーザは提示された情報をより採用しやすくなる

高信頼な情報利用環境を構築するためには、作業内容に応じて、ユーザが置かれている環境、提示される情報、エージェントの身体性を適切に設定する必要がある。そうすることによって提供される情報のメタ情報が暗黙的に推定・確定しやすくなり、情報が価値あるものとして受け手に利用されると考えられる。これまでのユーザがコンピュータから情報を任意に引き出すような方法ではあまり意識されてこなかった情報の提供のされ方、言い換えれば情報を受けてが信頼したものとして取り扱うための環境を構築する方法を検討することが、今後の HAI 研究の課題である。

参考文献

- [1] 新垣紀子, 野島久雄, “人はいつ道を尋ねるのか：ナビゲーションにおける外的資源としての他者”, 認知科学, Vol.5, No.3, pp.49-58, 1998.
- [2] 内藤久詞, 河村真吾, 竹内勇剛, “実世界指向インタラクションに基づく情報提示手法の提案”, 電子情報通信学会論文誌, Vol.J92-A, No.11, pp.840-851, 2009.
- [3] 鈴木聡, 山田誠二, “擬人化エージェントによるオーバーヘッドコミュニケーションのユーザの態度への影響”, 情報処理学会論文誌, Vol.46, No.4, pp.1093-1100, 2005.
- [4] Prendinger, H., Ma, C., and Ishizuka, M., “Eye movements as indices for the utility of life-like interface agents”, A pilot study, Interacting with Computers, Vol.19, No.2, pp.281-292, 2007.
- [5] Taylor, T. L., “Living Digitally: Embodiment in Virtual Worlds”, The Social Life of Avatars: Presence and Interaction in Shared Virtual Environments, pp.40-62, 2002.
- [6] Kidd, C. and Breazeal, C., “Effect of a Robot on User Perceptions”, IEEE/RSJ International Conference on Intelligent Robots and Systems (IROS' 04), pp.3559-3564, 2004.
- [7] Shinozawa, K., Naya, F., Yamato, J., and Kogure, K., “Differences in Effect of Robot and Screen Agent Recommendations on Human Decision-Making”, International Journal of Human-Computer Studies, Vol.62, pp.267-279, 2005.