

エージェントと人間間の個体距離の適応行動

Adaptation behavior of personal distance between an agent and a user

西村 貴章¹ 明石 直也² 半田 守² 神田 智子^{1,2}

Takaaki Nishimura¹, Naoya Akashi², Mamoru Handa² and Tomoko Koda^{1,2}

¹ 大阪工業大学大学院情報科学研究科

¹ Graduate School and Faculty of Information Science and Technology,
Osaka Institute of Technology

² 大阪工業大学情報科学部情報メディア学科

² Department of Media Science, Faculty of Information Science and Technology,
Osaka Institute of Technology

Abstract: This paper describes adaptation behaviors of personal distance between a human and an agent in meta-verse. The result indicates that experiment participants try to maintain their comfortable personal distance by adapting their close phase between a virtual agent as the same as they do in the real world.

1. はじめに

人は目に見えない縄張りのような空間領域をもっており、日常的に、自分や他人がその空間に侵入しないよう、お互いに不快を避けて適切な対人距離を保っている [1,2]. Hall [3] はコミュニケーションの場面に適した対人距離を密接距離、個体距離、社会距離、公衆距離の4つの距離帯に分類した。密接距離(0~45cm)は、非常に親密でなければ維持できない距離帯であり、ハグなど身体的な接触のあるコミュニケーションやひそひそ話が行われる。個体距離(45~120cm)では、相手に触れる事が出来、相手の細かな表情の変化まで読み取れるため、友人や家族との会話などが行われる。社会距離(120~360cm)では、知人とのインタラクションが行われる。公衆距離(360cm~)は、顔の細かい表情や動きを感じ取れなくなる距離であり、個人的関係が希薄になり、講義など一方的なコミュニケーションが行われる。本研究では、これら4つの距離帯の中でも、最も身近で普段から関わりの深い、友人同士の会話に該当する個体距離に着目した。また、それぞれの距離帯には、人を中心として内側の境界である近接相、外側の境界である遠方相が存在する。個体距離の近接相(45~75 cm)は友人との対話時に、これ以上近付いて欲しくない境界、個体距離の遠方相(75~120 cm)は友人との対話時に、これ以上離れて欲しくない境界を表す。

近年、3次元仮想空間であるメタバース内でのエージェントを介したコミュニケーションの機会は増加している。メタバースでのエージェントを介した

コミュニケーションに関する研究に関心が高まっているものの、メタバースエージェントと人間間の距離に関する研究は初期段階である。我々の先行研究では、メタバース内でのアバター対アバターの距離に関する研究を行った。その結果、実世界同様にパーソナルスペース（個体距離の近接相の内側）が存在する [4] ことと、人は実体がないアバターに対しても身体性を持ち続けていることが示唆された [4]。

本研究では、メタバース内でのエージェントと実世界の人間間のインタラクションにおいても、適切な対人距離を保つことの重要性を示すことを目的とし、「人がメタバース内でも身体性を持ち続けているならば、エージェントとの個体距離を保つための人による距離の調整が行われるのではないか」という観点で、下記の2つの仮説を検証するため評価実験を行った。

- 仮説 1：人と同じ個体距離を保とうとするエージェントと対峙した場合に比べ、人と異なる個体距離を保とうとするエージェントと対峙した場合の方が、人のエージェントとの距離の調整回数、調整のために移動した総移動距離、調整にかかった所要時間が増加するという適応行動をとる。
- 仮説 2：人と同じ個体距離を保とうとするエージェントと対峙した場合に比べ、広い個体距離を保とうとするエージェントと対峙した場合、人は自らの個体距離の近接相を広く適応し、狭い個体距離を保とうとするエージェントと対峙した場合は狭く適応させる。

2. 実験

2.1. 実験システム

評価実験を行うにあたり、メタバースを Microsoft Visual C++及び DirectX SDK を用いて作成, エージェントや背景などは Metasequoia を用いて実装した。メタバース内の対峙エージェントは, 42 インチ LCD ディスプレイに映し出される。ディスプレイ台に設置した Microsoft Kinect センサーを用いて, 画面と実験参加者間の距離を測定し, 実験参加者の実世界での前後移動により, メタバース内を前後移動できる。

図 1 として実験風景, 図 2 として 42 インチ LCD ディスプレイに表示される対峙エージェントを示す。図 1, 2 ともに, 左図は実験開始時, 右図は実験参加者が対峙エージェントに接近時の様子である。

また, 対峙エージェントに個体距離を設定すると, 対峙エージェントは, 実験参加者との距離に応じて前進後退する。実験参加者が移動したとき, 実験参加者が対峙エージェントの遠方相より遠くにいる場合は対峙エージェントが前進し, 近接相より近くにいる場合は対峙エージェントが後退する。



図 1. 実験風景(左: 初期位置, 右: 接近時)



図 2. 実験画面上の対峙エージェント
(左: 初期位置, 右: 接近時)

2.2. 実験手順

実験参加者は 19 歳~22 歳の大学生 34 名である。

実験参加者は, 図 1 左のように, 初期位置 (42 インチ LCD ディスプレイから 2.6m) に立つ。

初めに, 実験参加者へ「あなたは, 静かな公園を散歩中に, 親しい友人を見つけました。画面に映るエージェントを親しい友人とみなし, 立ち話をする

場面をイメージしてください」と教示し, 続いて実験システムの操作方法を説明し, 前後移動の練習をしてもらった。

次に, 実験参加者自身の, 個体距離の近接相および遠方相を測定する。実験参加者に対する教示は, 近接相の測定時は「会話する時, これ以上エージェント (親しい友人) に近づきたくないと思う位置まで移動して下さい。’, 遠方相の測定時は「これ以上エージェントから離れたら会話が続けられなくなると思う位置まで移動して下さい。」とした。

続いて, 個体距離の異なる 3 体の対峙エージェント (1.同距離 /2.近距離 /3.遠距離) と相互接近実験を行う。測定した実験参加者の個体距離の近接相および遠方相の数値に, 下記に示すように, 数を乗じることで 3 体の対峙エージェントに異なる個体距離を設定する。

- ・同距離エージェント: 実験参加者の 1 倍
- ・近距離エージェント: 実験参加者の 0.67 倍
- ・遠距離エージェント: 実験参加者の 1.3 倍

前節 2.2.で述べたように, 個体距離が設定された対峙エージェントは, 実験参加者が移動したとき, 設定された個体距離を保とうとして前進後退する。

相互接近実験における, 実験参加者に対する教示については, 「ここからはエージェントが前後に移動します。そのエージェントとの適切な距離を見つける実験を 3 回行います。あなたは納得いくまで前後移動をして距離を調整してください。」と告げた後, 近接相の測定時と同様に「会話する時, これ以上エージェント (親しい友人) に近づきたくないと思う位置まで移動して下さい。」と告げた。

各条件での相互接近実験中, 計測データは, 実験参加者の距離の調整回数, 総移動距離, 所要時間, 実験参加者と対峙エージェントとの最終的な距離の 4 つである。各条件の実験後に, 7 段階評定(1:全くそう思わない 7:非常にそう思う)の主観評価アンケートを実施した。評価分類は, 対峙エージェントに感じた好感度, 親身度, 類似性, 圧迫感, 距離の調整しやすさ, 参加者の距離調整への根気度, 最終的な距離への満足度の 7 つである。

相互接近実験と主観評価アンケートを 1 人の実験参加者につき 3 条件繰り返し行った。尚, 3 体の対峙エージェントの提示順は, 順序効果を相殺するため, ランダム順とした。

また, 3 条件での実験終了後, 実験システム全体の評価のため, 没入感や臨場感の主観評価アンケートを行った。

3. 結果・分析

本章では、エージェントとの距離の調整行動、個体距離の近接相、主観評価アンケートの分析結果を示す。対象としたのは、実験参加者 34 名の内、個体距離が極端に広い 3 名、狭い 3 名の計 6 名を除外した 28 名のデータである。尚、対人距離の調整回数のみ、分析対象 28 名のうち、1 名のデータが欠損していたため除外し、27 名のデータを分析対象とした。

3.1. エージェントとの距離の調整行動

仮説 1 を検証するため、調整行動の 3 つの指標である 対峙エージェントとの距離の調整回数、調整のために移動した総移動距離、調整にかかった所要時間について、それぞれ対峙エージェント間で多重比較を行った。調整回数、総移動距離の多重比較結果を図 3,4 として示す。

実験参加者と同じ個体距離を保とうとする同距離エージェントと比べ、異なる個体距離を保とうとする近距離エージェントおよび遠距離エージェントに対して 3 つの指標が増加していれば、仮説 1 を支持する結果が得られたといえる。

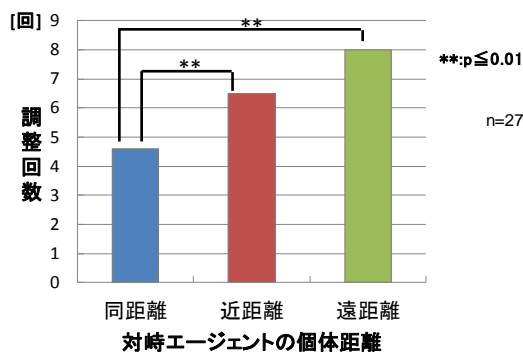


図 3. 距離の調整回数の多重比較結果

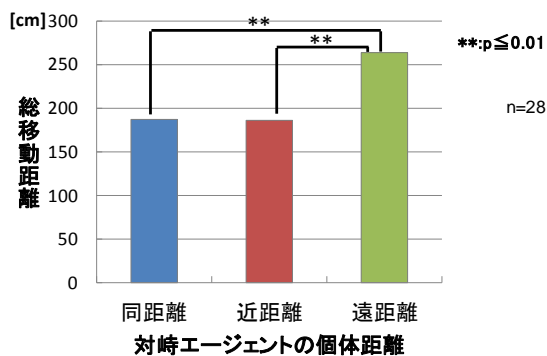


図 4. 総移動距離の多重比較結果

図 3 に示すとおり、実験参加者によるエージェントとの距離の調整回数の平均は同距離エージェントで 4.59 回、近距離エージェントで 6.48 回、遠距離エージェントで 8.00 回となり、同距離エージェントと近距離エージェント ($p \leq 0.01$)、同距離エージェントと遠距離エージェント ($p \leq 0.01$) の間で有意差が見られ、実験参加者と同じ個体距離を保とうとする同距離エージェントと比べ、異なる個体距離を保とうとする近距離エージェントおよび遠距離エージェントに対して調整回数が増加しているため、調整回数については、仮説 1 を支持する結果が得られたといえる。

図 4 に示すとおり、総移動距離の平均値は、同距離エージェントで 188cm、近距離エージェントで 186cm、遠距離エージェントで 264cm となり、同距離エージェントと遠距離エージェント ($p \leq 0.01$)、近距離エージェントと遠距離エージェント ($p \leq 0.01$) の間で有意差が見られ、同距離エージェントと遠距離エージェント間では仮説 1 を支持する結果が得られたが、同距離エージェントと近距離エージェント間では得られなかった。

調整にかかった所要時間については、3 体のエージェント間で有意差が見られなかった。平均は、同距離エージェントは 17.5 秒、近距離エージェントは 18.6 秒、遠距離エージェントは 24.8 秒だった。

3.2. 個体距離の近接相の比較

仮説 2 を検証するため、実験参加者の個体距離の近接相と近距離エージェントとの最終的な距離間、実験参加者の個体距離の近接相と遠距離エージェントとの最終的な距離間で、それぞれ t 検定による比較を行った結果を図 5 として示す。

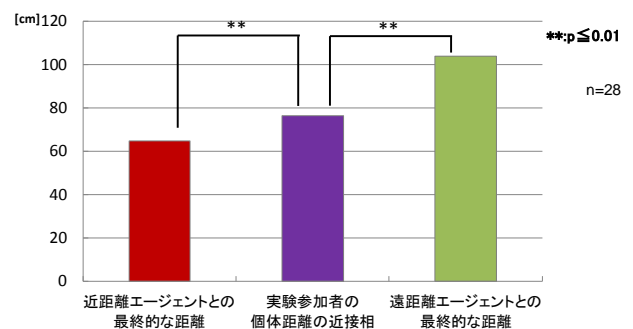


図 5. 実験参加者の個体距離の近接相と最終的な距離の比較結果

図 5 に示すとおり，近距離エージェントとの最終的な距離(平均 64.9cm)と参加者の個体距離の近接相(平均 76.7cm)間($p \leq 0.01$)，参加者の個体距離の近接相と遠距離エージェントとの最終的な距離(平均 104cm)間($p \leq 0.01$)について，有意差が見られた。

よって，実験参加者は自身の個体距離の近接相を，近距離エージェントに対しては狭く適応させ，遠距離エージェントに対しては広く適応させており，仮説 2 を支持する結果が得られた。

3.3. 主観評価分析

表 1 に示すように，主観評価アンケートの質問項目を 7 つの評価分類に分け分析を行った。エージェントに対する好感度，エージェントの親身度，エージェントに感じた類似性，エージェントからの圧迫感，距離の調整しやすさ，参加者の距離調整への根気度，最終的な距離への満足度について，それぞれ対峙エージェント条件間で多重比較を行った結果を図 6 に示す。

表 1. 主観評価分析の質問項目と評価分類

No.	正負	質問項目	評価分類
1	正	エージェントに対して好感が持てた	好感度
2	負	エージェントの行動が不快だった	
3	正	エージェントが近づくことに抵抗を感じなかった	
4	正	私の行動に合わせてエージェントが動いてくれたと感じた	親身度
5	正	エージェントが私に気を使っていると感じた	
6	正	エージェントと対人距離に関する意思疎通ができた	類似性
7	負	エージェントの行動に対し共感できなかった	
8	正	エージェントから圧迫感を感じた	圧迫感
9	負	エージェントとの距離を調整しづらいと感じた	調整しやすさ
10	正	エージェントとの距離を根気強く調整した	根気度
11	負	最終的な距離に納得していない	満足度

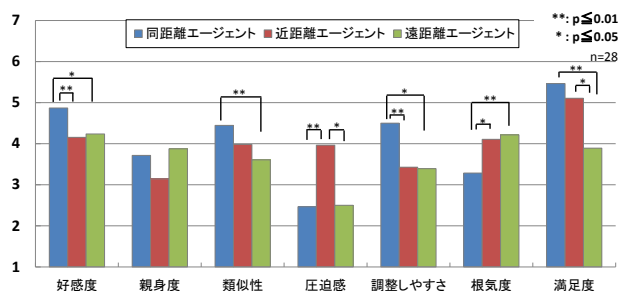


図 6. 主観評価アンケートの多重比較結果

図 6 より，エージェントに対する好感度は同距離エージェントで 4.87，近距離エージェントで 4.15，遠距離エージェントで 4.24 となり，同距離エージェントが近距離エージェントよりも有意に高く ($p \leq 0.01$)，同距離エージェントが遠距離エージェントよりも有意に高い ($p \leq 0.05$) ことから，実験参加者は異なる個体距離を保とうとするエージェントよりも同じ個体距離を保とうとするエージェントに対して，高い好感度を抱くということが分かる。

エージェントの親身度については対峙エージェント条件間で有意差が見られなかった。

参加者がエージェントに感じた類似性は同距離エージェントで 4.45，近距離エージェントで 3.98，遠距離エージェントで 3.61 となり，同距離エージェントが遠距離エージェントよりも有意に高い ($p \leq 0.01$) ことから，実験参加者は自身より広い個体距離を保とうとするエージェントよりも，同じ個体距離を保とうとするエージェントに，高い類似性を感じるという。

エージェントからの圧迫感は同距離エージェントで 2.46，近距離エージェントで 3.96，遠距離エージェントで 2.50 となり，近距離エージェントが同距離エージェントよりも有意に大きく ($p \leq 0.01$)，近距離エージェントが遠距離エージェントよりも有意に大きい ($p \leq 0.05$) ことから，実験参加者は同距離エージェントと遠距離エージェントに比べ，狭い距離を保とうとする近距離エージェントに対して，大きな圧迫感を覚えたことが分かる。

参加者の感じた距離の調整しやすさは同距離エージェントで 4.50，近距離エージェントで 3.42，遠距離エージェントで 3.39 となり，同距離エージェントが近距離エージェントよりも高く ($p \leq 0.01$)，同距離エージェントが遠距離エージェントよりも高い ($p \leq 0.05$) ことから，異なる個体距離を保とうとするエージェントよりも同じ個体距離を保とうとするエージェントのほうが，距離を調整しやすいということが分かる。

参加者の距離調整への根気度は，同距離エージェントで 3.29，近距離エージェントで 4.11，遠距離エージェントで 4.21 となり，同距離エージェントよりも近距離エージェントが大きく ($p \leq 0.05$)，同距離エージェントよりも遠距離エージェントが大きく ($p \leq 0.01$) ことから，同じ個体距離を保とうとするエージェントよりも，異なる個体距離を保とうとするエージェントに対して，人は根気強くエージェントとの距離を調整していることを示唆する。

最終的な距離への満足度は，同距離エージェントで 5.46，近距離エージェントで 5.11，遠距離エージェントで 3.89 となり，同距離エージェントが遠距離エージェントよりも有意に高く ($p \leq 0.01$)，近距離エージェントが遠距離エージェントよりも有意に高い ($p \leq 0.05$) という結果が得られた。よって，人は広い個体距離を保とうとするエージェントと対峙した場合よりも，同じ個体距離を保とうとするエージェントおよび狭い個体距離を保とうとするエージェントと対峙した場合のほうが，最終的な距離に満足しているということが分かる。

3.4. 実験終了後アンケートの結果

実験システム全体で没入感や臨場感が得られたかどうか評価するため、実験終了後、7段階主観評価(1:全くそう思わない 7:非常にそう思う)を行った。

Q2「エージェントが実際に前後に移動しているように感じた」では比較的高い評価が得られた(5.32)が、Q1「エージェントが実際に目の前にいるように感じた」(4.32)、Q3「私が3D仮想空間を移動しているように感じた」(4.11)では、7段階評価の中央値を少し上回る程度という結果になった。

4. 考察

4.1. 距離の調整行動の分析結果の考察

図3, 4より、人は自身と異なる個体距離を保とうとするエージェントに対して、調整回数、総移動距離を増加させる適応行動が示唆された。ここで、仮説1を支持する結果が得られなかった部分についての考察を行う。

総移動距離の同距離エージェントと近距離エージェント条件間で有意差が見られなかった原因として、近距離エージェントは他2条件に比べて個体距離の遠方相が小さく、対峙エージェントが狭い距離を保とうと前進する距離が大きいため、対峙エージェントの方から距離を詰められる分、実験参加者の総移動距離が小さくなったことが考えられる。

所要時間で対峙エージェントによる有意差が見られなかった原因としては、実験参加者内でのばらつきが大きかったことが挙げられる。対峙エージェントとの最終的な距離を、対峙エージェントの条件によらず、試行錯誤する人、即決する人など、実験参加者の性格的な特性によって大きく傾向が別れたのではないかと考えられる。

4.2. 主観評価アンケート分析結果の考察

図6より、エージェントに対する好感度および距離の調整しやすさについては、実験参加者は異なる個体距離を保とうとするエージェントよりも同じ個体距離を保とうとするエージェントに、高い評価を与えた。距離調整への根気度については、同じ個体距離を保とうとするエージェントよりも、異なる個体距離を保とうとするエージェントに対して、人は根気強く対人距離を調整していることが示唆された。これは、客観的指標で支持された個体距離の適応行動を参加者の主観評価からも支持しているといえる。

エージェントの親身度については対峙エージェント条件間で有意差が見られなかった。これは、今回

の実験では、立ち話をする想定で行ったものの、実際に行ったのはエージェントとの距離の調整のみであるため、エージェントから親身さを感じるほど、深いインタラクションではなかったためではないかと考えられる。

エージェントに感じた類似性については、実験参加者は自身より広い個体距離を保とうとするエージェントよりも、同じ個体距離を保とうとするエージェントに、高い類似性を感じるといえる。

エージェントからの圧迫感については、人は同距離エージェントと遠距離エージェントに比べ、狭い距離を保とうとする近距離エージェントに対して、大きな圧迫感を覚えたことが分かる。また、平均値を見ると有意差は出ていないものの、同距離エージェントよりも広い距離を保とうとする遠距離エージェントのほうが圧迫感が0.04差でわずかに大きく、同距離エージェントに感じた圧迫感が3条件中、最も小さく、実験参加者にとって楽だったと考えられる。また、特に狭い距離を保とうとする近距離エージェントに対して、強い圧迫感を感じたという結果は、メタバース内でも人は実世界同様に身体性を持ち続けていることを示唆している。

最終的な距離への満足度については、人は広い個体距離を保とうとするエージェントと対峙した場合よりも、同じ個体距離を保とうとするエージェントおよび狭い個体距離を保とうとするエージェントと対峙した場合のほうが、最終的な距離に満足しているということが分かる。平均値を見ると、最終的な距離に対する満足度が最も高いのは実験参加者自身と同じ個体距離を保とうとする同距離エージェントであるが、自身より狭い個体距離を保とうとするにもかかわらず近距離エージェントとの最終的な距離への満足度も高くなった。これは、対峙エージェントを実験参加者の親しい友人であると教示しているためだと考えられる。

以上より、主観評価分析の結果、エージェントに対する好感度、エージェントに感じた類似性、エージェントからの圧迫感、距離の調整しやすさ、参加者の距離調整への根気度、最終的な距離への満足度の6項目において、人は自身と異なる個体距離を保とうとするエージェントよりも、同じ個体距離を保とうとするエージェントに対して良い評価を与える傾向があることが示唆された。

4.3.実験システムについての考察

実験終了後アンケート結果より、実験システムの没入感・臨場感について、Q2「エージェントが実際に前後に移動しているように感じた」では比較的高い評価が得られた(5.32)ため、エージェントが前後移動している感覚は与えられたものと思われる。しかし、Q1「エージェントが実際に目の前にいるように感じた」(4.32)、Q3「私が3D仮想空間を移動しているように感じた」(4.11)では、7段階評価の中央値を少し上回る程度という結果になった。今回の実験では、対峙エージェントが直立不動で平行移動するものだったため、主観評価アンケートの自由記述欄でも、「対峙エージェントが直立不動で移動することに違和感がある」という内容の意見が多く見られた。また、同距離エージェントとの相互接近実験に対して近距離エージェントとの相互接近実験では「自分の移動スピードが上がった」というものがあった。これは、実際には移動スピードは変わっていないが、対峙エージェントの歩くモーションが無い場合、対峙エージェントの移動によって接近しているのか、それとも自分の移動によって接近しているのか、判別がつかず、「自分の移動スピードが上がった」ように感じたものと推測される。よって、対峙エージェントの歩くモーションを追加、さらに、背景・影など、遠近感を感じられるように改善、また、実験中の実験参加者の様子を見てみると、最初のメタバースでの移動に慣れるための練習の際に横方向への移動を行おうとしたり、移動可能かどうか訊いたりする実験参加者が34名中8名程見られたため、横方向への移動の実装を行うことも、没入感や臨場感を向上させると期待できる。

5. おわりに

本研究では、メタバース内のエージェントと実世界の人間間の個体距離の適応行動として、距離の調整行動に着目した仮説1と、調整後の距離に着目した仮説2を検証するため、人と同じ個体距離を持つエージェント、人より広い個体距離を持つエージェント、人より狭い個体距離を持つエージェントとの相互接近実験を行い、評価分析を実施した。

評価分析の結果、仮説1の検証から、人は自身と異なる個体距離を持つエージェントと対峙したとき、距離の調整回数を増加させ、広い個体距離を持つエージェントに対して総移動距離を増加させることがわかった。仮説2の検証では、対峙エージェントの個体距離が自身より狭い場合は、自らの個体距離の近接相を狭く適応させ、逆に対峙エージェントの個体距離が自身より広い場合は自らの個体距離の近接

相を広く適応させることがわかった。

また、主観評価分析ではエージェントに対する好感度、エージェントに感じた類似性、エージェントからの圧迫感、距離の調整しやすさ、参加者の距離調整への根気度、最終的な距離への満足度の6項目において、人は自身と異なる個体距離を保とうとするエージェントよりも、同じ個体距離を保とうとするエージェントに対して高い評価を与えることが示唆された。

以上より、実世界同様に人はメタバース内でも身体性を持ち続けており、メタバースエージェントに対して個体距離の適応行動を行うことがわかり、メタバースにおけるエージェントを介したコミュニケーションの際に適切な対人距離を保つことの重要性が示唆された。

本研究の成果は、異なる文化圏に住む多数の人がそれぞれの個体距離を持ち行動するメタバースにおいて、対人距離を適切に調整するエージェントを用いることで、異なる個体距離を持つ相手とのコミュニケーションを円滑に進めることに役立つものと考えられる。また、本研究では普段から最も関わりの深いことを理由に、友人同士の会話などが該当する個体距離に着目したが、ビジネスに適した距離帯である社会距離など、他の距離帯についての研究を進めることで、状況や相手との関係に応じた適切な距離をとるエージェントが開発できるものと思われる。

今後は、実験システムの没入感・臨場感の向上を目指して、対峙エージェントの歩くモーションを追加、背景・影など、遠近感に関する改善、横方向への移動の実装などを行いたい。さらに、エージェントと対話を行いながらの実験、多人数会話での実験、エージェントと人のF陣形の検証などを行うことが期待される。

…

謝辞

本研究の一部は、科学研究費補助金（基盤(C)23500266)の助成を受けたものである。

参考文献

- [1] エドワード・T・ホール: 沈黙のこぼれ, 南雲堂, pp.232, (1966)
- [2] 渋谷昌三: 人と人との最適距離, 日本放送出版協会, pp.11-49, (1990)
- [3] エドワード・T・ホール: かくれた次元, みすず書房, pp.165-175, (1970)
- [4] 佐々木理, 和田幸司, 神田智子: メタバースアバタの属性がパーソナルスペースの形状に及ぼす効果分析, HAI シンポジウム 2011, (2011)