

## [研究助成 (A)]

## サイバー空間におけるラポール形成へ向けたシステム開発

2241028



研究代表者 (助成金受領者)	理化学研究所	研究員	宮田 紘平
共同研究者	東京大学 大学院総合文化研究科	教授	工藤 和俊
	お茶の水女子大学 文理融合 AI・ データサイエンスセンター	講師	土田 修平

## [研究の背景]

新型コロナウイルスの感染拡大により、三密の回避、ソーシャルディスタンスが推奨され、私達の交流の場は対面からオンラインへの移行を余儀なくされた。この取り組みは一定の効果を持ち、感染者数を抑えることに成功してきたが、感染拡大の長期化は孤独感・孤立感を高めることになった(コロナ下での人々の孤独に関する調査, 2022年2月, JST)。オンラインによる空気という媒介物の喪失、それを感じると身体性の制約は私たちのインタラクションの質、対人関係にどのような影響を与えたのだろうか。

同様の問題は、当該研究分野においても存在する。模倣・運動同期はラポール(心が通じる状態)形成を促すが、その神経メカニズムを明らかにするために、機能的磁気共鳴画像法(fMRI)や脳波(EEG)といった脳機能イメージング手法を使って、インタラクション中の2人の脳活動を同時記録する試みが行われてきた(Dumas et al., 2010; Miyata et al., 2021)。これまで個人間で脳活動が同期することが報告されてきたが、fMRIとEEG研究で一貫した知見に達していない。この背景として、イメージング手法で捉えられる神経活動の側面の違いに加えて、インタラクションの空間が異なることも要因として考えられる。EEG研究では基本的に対面だが、fMRI研究では装置の制約上オン

ラインによるインタラクションにせざるを得ない。これら空間の違いが脳活動に与える影響は未だ不明である。また、メタバースのようにサイバー空間が次世代のインタラクション空間として期待されているが、アバターという新しい身体性を得た時、対面と同じようにインタラクションできるのか。インタラクション空間がコミュニケーションの質や人間関係に及ぼす影響を理解することは、ヒトの社会性の理解、情報技術の開発、そして感染症との共存社会・デジタル社会におけるWell-beingに重要であるが、未だ不明である。

## [研究の目的]

本研究の大きな目標は、ヒトのインタラクション空間がコミュニケーション及びラポール形成に与える影響を明らかにすることである。最終的に、サイバー空間でもフィジカル空間と同様のインタラクションを生む諸条件を同定し、未来のコミュニケーションにおける機械とヒトの調和を目指す。

インタラクション空間の影響を明らかにするためには、インタラクション空間そのものを系統的に操作する必要がある。そこで本申請研究では、インタラクション空間を自由自在に操作可能なサイバー空間およびフィジカル・サイバー空間両方で同等に実施可能な実験課題の選

定など、実験実施のためのシステム開発を目的とした。

### [研究の内容]

本申請期間内での目標は、フィジカル空間と同等のサイバー空間および実験課題を開発することである。インタラクション空間の影響を検討するためには、課題、視野、聴覚情報など空間以外の諸条件を統制する必要がある。この統制が本研究において大きな課題であり、最終目標達成において非常に重要である。申請者はこれまでにヒトとAIの絆形成を目的とした技術開発に携わり、アバターを介した模倣インタラクション研究を行った経験をもつ (Numata et al., 2020)。対面での模倣は、意図が模倣者と被模倣者間で共有され、一体感や相手への親近感といったラポールが形成されるインタラクションである (Cirelli et al., 2014)。しかし、このときはモニターに映し出されるアバターとのインタラクションであった。今回は、より空間への没入感、身体性の高い仮想空間やアバターによる模倣インタラクションを課題として用いる。サイバー空間構築には、ヒューマン・コンピュータ・インタラクション分野を専門とする土田修平氏の協力を仰ぎ、実験課題については身体性研究を専門とする工藤和俊教授の協力を仰いだ。

### 開発方針と機材選定

当初、Meta Quest 3 と Unity を用いた自作システムの構築を想定していたが、より自然な刺激提示と課題動作の実現のため、採択後に発売された Apple Vision Pro を採用する判断を下した (図 1)。Vision Pro は、空間内での自然なハンドトラッキングと高精度な視線認識機能を備えており、従来のコントローラ型 VR よりもユーザーの没入感と操作直感性に優れている。これにより、実験参加者のシステム操作に対する学習コストを最小限に抑え、自然な動作を引



図1 開発に使用した Apple Vision Pro

き出すことが期待される。開発環境については、Xcode を用いて開発を行った。

### フィジカル空間と同等のサイバー空間の開発

フィジカル空間については、所属研究室の実験室をモデルとした。実験室は心理実験用の部屋で、およそ 30 平米の部屋にシールドルーム 2 部屋や机などの家具が配置されている。サイバー空間をフィジカル空間に合わせて一からデザインすることは労力がかかるため、空間を 3 次元スキャンする方法を用いた。空間を Light Detection And Ranging (LiDAR) センサーと Apple 社が提供する RoomPlan API を用いて、壁・床・天井・家具などの空間を 3D スキャンする。このスキャンしたデータを元に仮想空間を構築した (図 2)。



図2 再構築された実験室全体のイメージ

スキャンによって取得した実空間の 3D データを、Vision Pro 上でイマーシブ (没入型) 表示できるように Xcode 上でシステム構築した。ユーザーが VR ゴーグルを装着すると、現実世界を置き換えるかのように仮想空間が 360 度の視界に広がり、あたかもその場所にいるかのような体験が得られる。さらに視点の移動や首の

回転に応じて、リアルタイムで視界が変化するようにし、ユーザーが空間内を自由に見回したり、歩き回ったりすることができるようにした。基本的にビデオシースルー機能で見られる空間とサイバー空間が近くなるように設定した。

#### サイバー空間での実験課題の開発及び動作記録

VRゴーグルをつけた状態で動き回することは可能であるものの、しばしばVR酔いが生じることが知られている (Chang et al., 2020)。VR酔いは乗り物酔いに似た症状であり、不快感、吐き気、倦怠感が引き起こされ、申請者自身も開発中に幾度も苦しめられた。一般的には、乗り物酔いと同様に、三半規管の平衡感覚と目から入る視覚情報の間の不一致によって生じると考えられている。そのため激しい動きや長時間の装着はVR酔いを引き起こしやすくなる。実験課題の選定にあたっては、ある程度自然かつダイナミックな運動ではあるものの、視野が大きく変化することのない課題である必要がある。

そこで実験課題として、2人の参加者が鏡のように動きを合わせるミラーゲームを手の動きで行うこととした。ミラーゲームは先行研究で開発・確立されている課題であり (Noy et al., 2011)、近年では仮想空間内でアバターを用いたミラーゲーム実験も行われている (Llobera et al., 2022)。この課題は先行研究との比較が可能であることに加え、フィジカル空間とサイバー空間で同等に実施することができるという条件を満たし、手の動きに限定することで視野の変化を最小限にすることができる。また、動作計測も Vision Pro 内蔵のセンサーで完結できるというメリットがある。

両手の動作を Vision Pro で記録・保存できるように開発を行った。Vision Pro 内蔵センサーを用いて手指の検出を行い、JSON ファイルで出力できるようにした。Vision Pro 上では、手の検知は映像のリフレッシュレートに依存し、60-90 Hz とその時々で変わってしまう。また高頻度でのデータ保存はシステムに負荷をかけ

るため、サンプリングレートは十分に手の動作を認識でき、安定してデータを取得できる 30 Hz とした。

#### [今後の展望と課題]

今回のフィジカル空間のスキャン方法ではサイバー空間に多少の歪みが生じていた (図3)。今回の実験室は、空間的に複雑な情報であったため、実際の運用にあたってはよりシンプルな実験室を利用することで、歪みを抑えられると考えられる。



図3 実際の実験室との比較

より精度の高い仮想空間の構築に加え、空間内で相手をどのように表示させるかというのが残された大きな課題である。フィジカル空間との比較を行うことを考慮すると、相手の見た目はそのまま表示できたほうが好ましい。Vision Pro にはユーザーの手の背景を切り取り、サイバー空間内にユーザーの実際の手を表示させる機能がある。同様の方法を用いて、目の前の人を切り出して、サイバー空間に切り出すことを試みたが、公式にサポートされた API がないため現状では困難であった。直接的なフィジカル空間とサイバー空間の比較を諦めて、アバターを利用することでサイバー空間内での比較が現実的な解決方法であると考えられる。アバターという身体性の影響を調べるためにも、実際の人の姿から徐々にかけ離れていくようなコントロール可能なアバターの作成を今後行う必要がある。

一方で、今回の開発中に Apple 社から Spatial Persona 機能のベータ版が公開された。Spatial Persona とは、Apple 社の Facetime といったビデオ通話機能を発展させた機能であり、Vision Pro を装着しているユーザーの空間内に相手のアバター（現時点では頭部と手のみ）を表示させる機能である。相手が実際には存在しない場合でも、より空間を共有している感覚を味わうことができる。

また、同じ部屋にいる人が Vision Pro を装着している場合は相手の視線や表情をみることができないが、Vision Pro でユーザーの視線や表情を読み取り、ゴーグルを装着している人の上にスキャンしたユーザーのアバターを重ねて表示させ、視線や表情を反映させることができる。これらの機能を応用することができると思われる。

これらの課題を解決したのち、今後行動実験を実施し、EEG の 2 個体同時記録実験を実施する予定である。以下に現在計画している具体的な実験例をあげる。

#### 計画している実験例

2 人の参加者が空間内で向かい合い、手を自由に動かすミラーゲーム課題を行う。各試行は 1 分として、最初と最後の 20 秒は相手の動きが見えないようにし、中間の 20 秒で相手の動きが見えるようにする。この中間の 20 秒については、参加者 A と B がお互いに合わせる条件、参加者 A が参加者 B に合わせる条件、参加者 B が参加者 A に合わせる条件の 3 条件とする。

空間については被験者間条件として、フィジカル空間（VR ゴーグルなし）条件、シースルー（フィジカル空間がそのまま見える）条件、仮想フィジカル空間（フィジカル空間ベースとした空間）条件、サイバー空間（フィジカル空間情報から色などの情報を除いた無機質な空間）条件を設定する。

行動データは Vision Pro 内蔵センサーを用

いて手指の動作を検出、記録を行う。お互いの空間内に動きを反映させるために光学的 3 次元動作解析装置を用いて外部カメラによって記録し、その情報を相手の空間内に反映させる。行動データの記録と合わせて EEG の同時計測を行う。ラポール形成については、インタビューと主観的評価尺度（例：相手への親近感、理解感、一体感）を用いる。

仮説として、実際に空間を共有しているフィジカル空間条件で、ラポール関連の指標は最も高く、サイバー空間条件になるに従って、場の共有感が減少し、ラポール関連指標も低下すると予想される。同様のパターンが、「手の軌跡の重なり度」といった運動協調のパフォーマンスや 2 人の脳活動間の機能的結合の強さにも見られることが予想される。

これら空間の統制による行動・神経活動変容、主観的評価との関係性を明らかにし、離れた場所にながら場の共有感をつくる環境構築に資する研究へ発展させる。

#### [引用文献]

- Chang, E., Kim, H. T., & Yoo, B. (2020). Virtual reality sickness: a review of causes and measurements. *International Journal of Human-Computer Interaction*, 36(17), 1658–1682.
- Cirelli, L. K., Einarson, K. M., & Trainor, L. J. (2014). Interpersonal synchrony increases prosocial behavior in infants. *Developmental science*, 17(6), 1003–1011.
- Dumas, G., Nadel, J., Soussignan, R., Martinerie, J., & Garnero, L. (2010). Inter-brain synchronization during social interaction. *PLoS one*, 5(8), e12166.
- Llobera, J., Jacquat, V., Calabrese, C., & Charbonnier, C. (2022). Playing the mirror game in virtual reality with an autonomous character. *Scientific Reports*, 12(1), 21329.
- Miyata, K., Koike, T., Nakagawa, E., Harada, T., Sumiya, M., Yamamoto, T., & Sadato, N. (2021). Neural substrates for sharing intention in action during face-to-face imitation. *NeuroImage*, 233, 117916.
- Noy, L., Dekel, E., & Alon, U. (2011). The mirror game as a paradigm for studying the dynamics of

two people improvising motion together. Proceedings of the National Academy of Sciences, 108(52), 20947-20952.

- Numata, T., Sato, H., Asa, Y., Koike, T., Miyata, K., Nakagawa, E., Sumiya, M., & Sadato, N. (2020). Achieving affective human–virtual agent communi-

cation by enabling virtual agents to imitate positive expressions. Scientific reports, 10(1), 5977.

[成果の発表, 論文など]

該当なし