



空間提示手法と指令入力手法の違いが VR 空間での 多重身体認知に及ぼす影響

芹澤尚舜¹⁾, 福地庸介¹⁾, ヤエム ヴィボル²⁾, 池井 寧³⁾, 西内信之¹⁾

1) 東京都立大学大学院システムデザイン研究科 (〒 191-0065 東京都日野市旭が丘 6-6, serizawa-masatoshi@ed.tmu.ac.jp, {fukuchi, nmishiuc}@tmu.ac.jp)

2) 筑波大学大学院 システム情報工学研究群 (〒 305-8577 茨城県つくば市天王台 1-1-1, yem@iit.tsukuba.ac.jp)

3) 東京大学大学院 情報理工学系研究科 (〒 113-8656 東京都文京区本郷 7-3-1, ikei@vr.u-tokyo.ac.jp)

概要: 一人のオペレータが複数の遠隔空間の代理身体を操作するシステムが可能となれば、時間効率向上等の観点から社会的意義が大きい。そこで複数空間の提示手法（同時提示、切替提示、透過提示）及び代理身体に対する指令の入力方法（ボタン、音声）に依存した、多重身体認知の特性解明を目的としてユーザスタディを行った。多重身体における身体性の評価には、主観評価による質問紙を用いた。質問紙で得られたデータを分析した結果、空間提示手法における透過提示が複数空間に存在する感覚を有意に向上させていることが確認された。

キーワード: 多重身体, 身体性認知, 多空間体験, ユーザインタフェース

1. 緒論

近年、高速大容量通信、超低遅延通信、多数同時接続といった特徴を持つ 5th Generation (5G) 移动通信システムの普及が進展している。この 5G を用いて、1 人のヒトが複数の遠隔空間に存在するロボットで作業を行うことを目指し、ローカルオペレータの知覚と運動制御を等価的に持った代理身体を、複数の遠隔空間に展開するシステムが可能となれば時間効率向上等の観点から社会的意義が大きい。このようなシステムの実現には、1 人のオペレータが複数のロボットを操作した際の多重身体認知について調査する必要があるが、現時点において十分な調査や議論がなされておらず、その特性はまだ解明の途上にあるといえる。

Kikuchi ら (2022)[1] はこの多重身体認知のためのシステム化を行い、Miura ら (2021)[2] は、VR 技術を用いて物理空間における身体を拡張し、1 人の人間と複数のアバタ (最大 4 体) を同時に同期した場合における行動と身体認知を検証している。その結果、身体の切り替えに要する時間の増大などの課題が確認された一方で、複数身体を用いることによる効率面での向上もみられた。しかし、未検証の項目として複数空間の提示手法及び遠隔地の代理身体に対する指令の入力手法が挙げられる。

そこで、本研究では二つの異なる遠隔空間を設定し、それらの空間の提示手法 (空間提示条件) と、アバタへの指令のための入力インタフェース (オペレーション条件) に条件を設け、それらを組み合わせたときの多重身体認知に関するユーザスタディを行う (図 1)。なお、様々な条件や状況を制御した任意空間の作成は仮想空間における空間構築の利便性が高く好ましいため、VR 空間において空間構築を行った。本来はデジタルツイン等のよりリアリティのある環境で



図 1: 実験時の遠隔身体システムのイメージ図

の実験が好ましいが、その前段階として VR 空間においてのシミュレーションを行う。それぞれの空間でタスクを行うことにより、空間の提示手法の違いや指令入力手法の違いに依存した多重身体認知の特性解明を本研究の目的とする。

2. 多重身体認知の評価実験

本実験では実験条件として、空間提示条件及びオペレーション条件の二つを設定した。二つの遠隔空間でそれぞれタスクを行うことにより、多重身体を如何にして認知するかを主観評価を用いて検討する。この主観評価により、実験参加者の多重身体認知が実験条件によって変調しうるかを検証することを目的とし、実験を行った。

2.1 実験環境

本研究では Unity(version 2021.3.9f1) を用いて実験環境の構築を行い、構築した VR 空間を視認させるための HMD

には Meta Quest2 を使用した。

2.2 実験タスク

実験タスクは歩行タスクと分別タスクの二つを設定した。歩行タスクは代理旅行を模したタスクであり、オペレータによる指令を起因としてランダムに選出された地点へと自動歩行するものである。また、分別タスクは工場で生産され運搬されてくる製品のうち、不良品 (生成確率 40 %) を取り除くことを模したタスクである。

2.3 空間提示条件

実験における空間提示条件として同時提示, 切替提示, 透過提示の三つを設定した。同時提示は一つの没入空間にディスプレイを設置し, 非没入空間を表示する手法であり (図 2), 切替提示は没入及び視認空間共に一つのみの手法であり (図 3), 透過提示は空間内の物体全てに透過度を設定し, 両空間を重ねて表示する手法である (図 4)。なお, すべての条件において操作可能空間は一空間のみとした。そのため, 透過提示においては各々の空間における物体の透過度に差を設けることで, 実験参加者が操作可能空間を判別できるよう実装した。

2.4 オペレーション条件

オペレーション条件は歩行タスクにおいて, 歩行開始命令を発出するために使用される入力インタフェースの差異を示すものであり, ボタン入力, 1 人称音声コマンド, 3 人称音声コマンドの三つを条件とした。入力インタフェースがボタンの場合, コントローラのボタン押下に, 音声コマンドの場合, 発話に伴い歩行が開始される。音声コマンドでは自ら行動を開始する旨を発話する 1 人称条件と, アバタに対し歩行の開始を要請する 3 人称条件の二つを設定した。

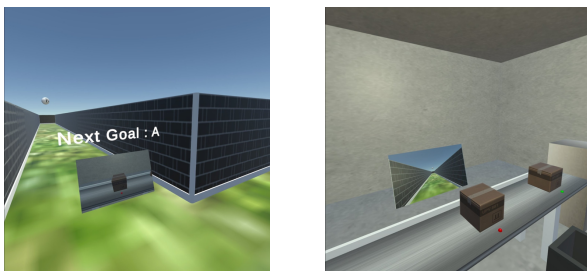


図 2: 空間提示条件 - 同時提示

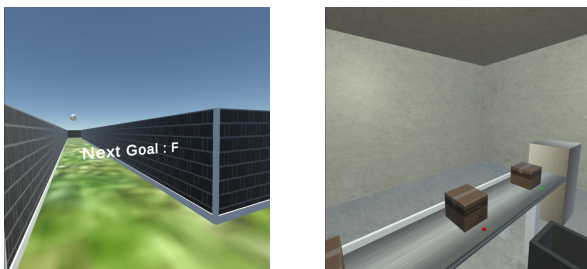


図 3: 空間提示条件 - 切替提示

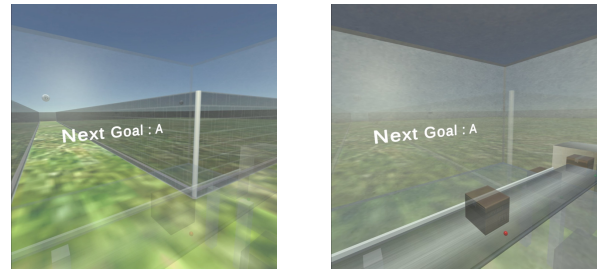


図 4: 空間提示条件 - 透過提示

2.5 評価項目

各実験条件ごとに, 身体性に関して質問紙による主観評価データの収集を行った。評価項目を表 1 に示す。Q1, Q2 が身体所有感, Q3, Q4 が運動主体感, Q5 から Q8 が自己位置感に該当する評価項目である。なお, この評価には 5 段階のリッカート尺度を採用し, 特に時間的な観点による評価を行った。

2.6 実験参加者及び実験手順

実験中の風景を図 5 に示す。実験は, 本学の正常な大学生及び大学院生 20 名 (男性 15 名, 女性 5 名, 平均年齢 22.00 ± 1.18, 20-24 歳) を対象に, 参加者内計画で実施された。また, 実験は図 6 に示す手順により実施された。なお, 本実験は東京都立大学 日野キャンパス 研究倫理審査委員会の承認 (承認番号 h23-044) を受けて実施されたものである。

表 1: 質問紙における主観評価項目

Q1	歩行タスクを行っているアバタの手が常に自分の身体であるように感じた
Q2	分別タスクを行っているアバタの手が常に自分の身体であるように感じた
Q3	歩行タスクを行っているアバタの手を常に自分で制御しているように感じた
Q4	分別タスクを行っているアバタの手を常に自分で制御しているように感じた
Q5	自分の身体が同時に二つの異なる空間に存在しているような感覚が常に生じた
Q6	自分の身体がそれぞれの空間を行き来しているような感覚が常に生じた
Q7	自分の分散した身体が同時に二つの異なる空間に存在しているような感覚が常に生じた
Q8	歩行タスク空間と分別タスク空間が融合した一つの空間に存在しているような感覚が常に生じた



図 5: 実験中の様子

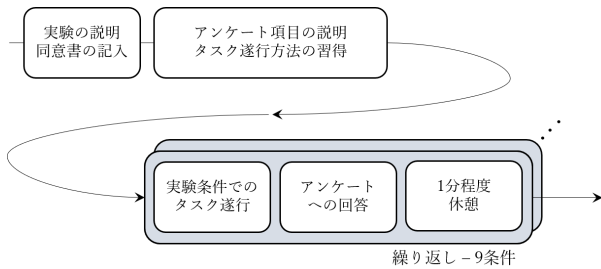


図 6: 本実験における実験手順のフロー

3. 実験結果

実験により得られた質問紙の主観評価データについて、二元配置分散分析及び三元配置分散分析を行った。

3.1 運動主体感に関する評価項目の分析結果

運動主体感に関して得られた主観評価データを図 7 に示す。運動主体感は表 1 における Q3 及び Q4 が該当項目であり、これらは対象とするタスクのみが異なるものである。よって、タスクを一つの要因として考慮した場合における運動主体感の評価値分析を行うため、二つの実験条件に加えタスクを一つの要因とした参加者内の三元配置分散分析を行った。その結果、交互作用は見られず、タスクにのみ主効果がみられた ($F(1, 19) = 19.5582, p = 0.003$)。主効果が確認されたタスクについて t 検定を行った結果、歩行タスクが分別タスクと比較し有意に評価値が低くなることが確認された ($p < 0.05$)。

3.2 自己位置感に関する評価項目の分析結果

自己位置感に関する評価項目は表 1 における Q5 から Q8 が該当項目であるが、ここでは二空間に同時に存在する感覚 (Q5) 及び空間を行き来する感覚 (Q6) の二項目について注目する。Q5 及び Q6 について得られた主観評価データをそれぞれ図 8, 図 9 に示す。各項目について、二つの実験条件を要因とした参加者内の二元配置分散分析を行った。分析の結果、Q5 については交互作用が有意でなく、空間提示条件にのみ主効果が確認された ($F(2, 38) = 12.2226, p = 0.0001$)。主効果がみられた空間提示条件において Holm 法を用いた多重

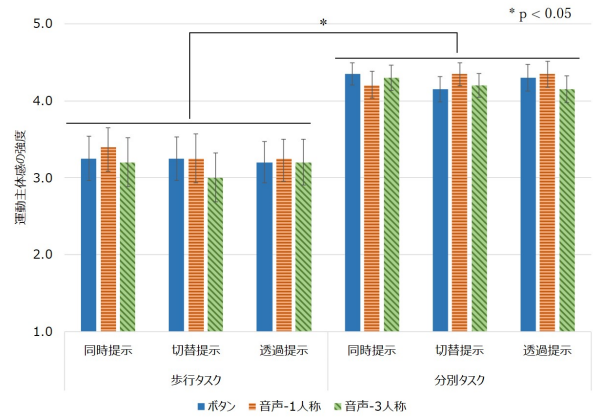


図 7: 運動主体感に関するデータ分析結果

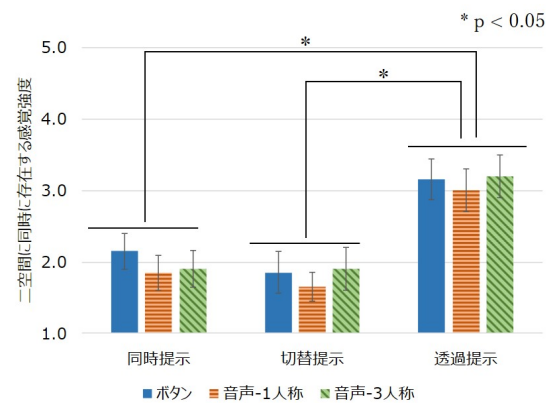


図 8: 二空間に同時に存在する感覚に関するデータ分析結果

比較を行った結果、透過提示が同時提示、切替提示と比較し有意に評価値が高くなることが確認された ($p < 0.05$)。また Q6 について、分析の結果、交互作用が有意でなく、空間提示条件にのみ主効果が確認された ($F(2, 38) = 42.5633, p = 0.0000$)。主効果がみられた空間提示条件において Holm 法を用いた多重比較を行った結果、透過提示が同時提示、切替提示と比較し有意に評価値が低く ($p < 0.05$)、切替提示が同時提示と比較し有意に評価値が高くなることが確認された ($p < 0.05$)。

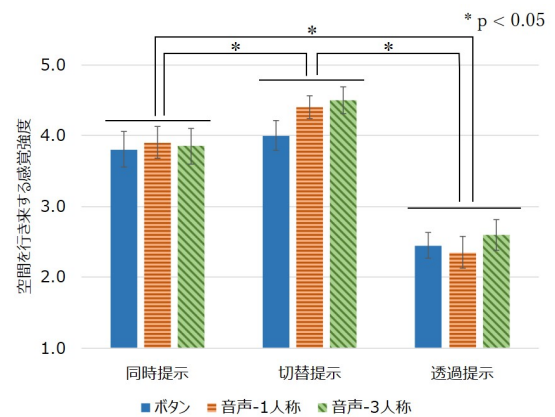


図 9: 空間を行き来する感覚に関するデータ分析結果

4. 考察

本研究では空間提示条件及びオペレーション条件が多重身体認知へ及ぼす影響を調査した。実験で得られた主観評価データを解析した結果を踏まえ、考察を行う。

4.1 運動主体感に関する考察

実験の結果、空間提示条件及びオペレーション条件が運動主体感に影響を与えることは確認されなかった。M. Wegner (2003)[3] は運動主体感 (意識的な意図) が、自らの思考が行動の直前に意識及び意図に現れ (事前性)、かつ思考と行為結果が一致し (一貫性)、その行為において顕著な代替の原因を伴わないとき (排他性) に経験されるものであると指摘しており、この三原則が保持されたとき、ヒトはその行動の行為主体者を自分自身に帰属させると論じている。今回の実験で採用した実験条件はこれら三つの原則に影響を与えるものでないため、結果に有意な影響を与えなかったと推測される。その一方でタスクには主効果が確認された。本実験で採用している主観評価の質問紙では時間的な観点による評価を行っており、歩行タスクは分別タスクと比較しインタラクションの頻度が低いという性質を持つため、タスク間における操作時間の差が要因となり、分別タスクにおける評価値が有意に高くなったと考えられる。

4.2 自己位置感に関する考察

二空間に同時に存在する感覚及び空間を行き来する感覚では、空間提示条件にのみ主効果がみられた。空間と身体との位置関係は没入感や視覚に与える影響が有意に働くことが推測でき、空間の提示手法という視覚に大きく影響を与える実験条件が実験参加者の空間知覚に対して有意に影響を与えたと考えられる。一方でオペレーション条件は視覚に影響を与えず、条件間の差異も空間提示条件と比較し微小であったために、結果に有意な影響を与えなかったと考えられる。

透過提示は歩行タスク空間と分別タスク空間の二つの空間に同時に没入できるという特徴を持つものである。二空間に同時に存在する感覚では、没入空間が一空間のみの条件である同時提示及び切替提示と、没入空間が二空間である透過提示との間で有意差がみられていることから、没入可能空間の数が有意に評価値を高くする影響を及ぼしたと推測される。二つの空間を同等の視野角で同時に視認でき、かつ二つの空間に同時に没入できる感覚が有意に生じたことから、システムにおける空間提示手法において透過提示の有用性が確認された。

空間を行き来する感覚では、没入空間が二空間である条件 (透過提示) と比較し、一空間である条件 (同時提示、切替提示) で有意に評価値が高くなることが確認されたことから、先ほどと同様に没入可能空間の数が有意に影響を及ぼすと推測される。また、有意差が確認された同時提示-切替提示に関して、同時提示はディスプレイによって他方の空間を視認できるため、認知可能空間が二空間であるという特徴を持つ一方、切替提示における認知可能空間は一空間のみである。このことから、同時提示における他方の空間

を認知できるという特徴が、空間を行き来する (テレポートする) 感覚を薄れさせたと推測され、同時提示と比較し切替提示の評価値が有意に高くなったと考えられる。

4.3 透過提示の限界

最後に透過提示の限界について考察する。先行研究で4体のアバタを同時に操作する状況で実験が遂行されていることや、労働生産性や多様な体験における時間効率の向上などの多角的な観点から、今後のシステムにおいて対象となる遠隔空間の数が三空間以上と増加していく可能性が考えられる。このような状況が発生した場合、透過提示を用いるシステムにおいて、重ねて見える空間の数が増加するにつれて認知負荷も増大することから、オペレータの情報処理に混乱が生じる可能性が考えられる。さらに、透過度を調整することで重ねられた空間の視覚的識別にはある程度の限界 (閾値) があると推測されるため、重ねて視認される空間が増加するにつれて没入感は徐々に減退すると考えられる。以上のことから、本実験において空間提示条件における透過提示が有意に影響を与えた主観評価項目における評価値が、本実験で採用した遠隔空間の数に強く依存するものであると考えられる。

5. 結論

本研究は VR 空間において、空間提示条件及びオペレーション条件に依存した多重身体認知の特性を解明することを目的として行った。結果として、空間提示条件が空間と身体との位置関係に有意に影響を及ぼすことが確認され、その中でも透過提示の有用性が示唆された。今後の展望として、遠隔空間の数を増加した場合における多重身体認知の調査及び透過提示の限界の探索などに応用される可能性があると考えている。

謝辞

本研究は東京都立大学ローカル 5G プロジェクトおよび電気通信普及財団の助成を受けたものである。ここに謝意を表す。

参考文献

- [1] Y.Kikuchi et al. Dual Robot Avatar: Real-time Multispace Experience using Telepresence Robots and Walk Sensation Feedback including Viewpoint Sharing for Immersive Virtual Tours, SIGGRAPH '22, pp.1-2, 2022.
- [2] R.Miura et al. MultiSoma: Distributed Embodiment with Synchronized Behavior and Perception, Proc. Augmented Humans '22, pp.1-9, 2021.
- [3] Wegner DM: The mind's best trick: how we experience conscious will. TRENDS in Cognitive Sciences, Vol. 7, No. 2, pp.65-69, 2003.