

## 科学研究費助成事業 研究成果報告書

令和 5 年 6 月 5 日現在

機関番号：12601

研究種目：若手研究

研究期間：2018～2022

課題番号：18K18137

研究課題名(和文) 拡張現実感による同行者提示が移動行動に与える影響

研究課題名(英文) Effects of augmented reality companion on movement behavior

研究代表者

濱田 健夫 (Hamada, Takeo)

東京大学・大学院情報学環・学際情報学府・特任講師

研究者番号：20784680

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,200,000円

研究成果の概要(和文)：本研究は拡張現実感によるバーチャルなパートナーの提示がジョギングの行動変容を促進するかを検証するものであった。バーチャルパートナーを見ながらのジョギング体験は、実際に人間と走る場合と同様に動機づけを高める傾向にあることがわかった。中でも見た目の可視性を点光源(主要な関節の動きのみを白球で表現)や手足アバター(手足以外の部位を透明で表現)に下げても、同様の動機づけ向上の効果が望める点は、安全確保のために周囲に注意を払う必要のある屋外の移動を伴うアクティビティのアバターデザインに必須の条件と考えられる。一方で人間が走る場合ほどパートナーのケーデンス(ピッチ)に近づくことはなかった。

研究成果の学術的意義や社会的意義

バーチャルな身体性については、先行研究のほとんどが没入型のVR技術を用いて自身のアバターを変化させるものである。それに対し本研究課題は実世界に重畳させるAR技術を用いて他者であるバーチャルパートナーが観察者に与える影響を明らかにした点でこれらと異なっており、より応用を意識した研究成果である。またパンデミック状況下においては、バーチャルに他者と運動することは、飛沫による感染リスクをおさえながらにして、精神衛生に良い影響を与える可能性がある。

研究成果の概要(英文)：This study examined whether an augmented reality virtual partner facilitates behavioral change in jogging. We found that the experience of jogging while seeing a virtual partner tended to increase motivation in the same way as when running with an actual human. The fact that the same motivational effect can be expected even when the visibility is reduced to a point-light (white balls representing only the movement of major joints) or limb-only avatar (transparent representation of parts other than limbs) is considered an essential condition for avatar design for activities involving outdoor movement that require attention to one's surroundings to ensure safety. This is considered to be an essential condition for avatar design for activities involving outdoor movement that require attention to surroundings for safety. On the other hand, the avatar did not get as close to the partner's cadence (pitch) as in the case of human runners.

研究分野：ヒューマンコンピュータインタラクション

キーワード：ケーラー効果 アバター バイオロジカルモーション知覚 内発的動機づけ 運動学習 スマートグラス ジョギング

科研費による研究は、研究者の自覚と責任において実施するものです。そのため、研究の実施や研究成果の公表等については、国の要請等に基づくものではなく、その研究成果に関する見解や責任は、研究者個人に帰属します。

### 1. 研究開始当初の背景

半導体技術の進展により、情報環境は急速にウェアラブル・IoT にシフトしており、人とコンピュータとが常に繋がる状況から相互の情報伝達が課題となっている。また人は移動し周囲を取り巻く環境は時事刻々と変化するが、これからの情報提示は、フィジカル空間における目的行動を妨げないよう環境に調和し、継ぎ目なくサイバー空間と融合することが望ましい。歩行やジョギングといった能動的に身体を動かし続ける移動は、安全のため自らの状態および周囲の環境に常に注意を払わなければならない、周囲の環境と調和していない情報端末に注意を向けることは危険を伴う。

### 2. 研究の目的

本研究では、共に移動するパートナーを観察することがランナーにどのような影響を与えるのかについて明らかにすることを目的とする。特に周囲に提示するパートナーの外見および振る舞いの違いによる影響を検証する。

### 3. 研究の方法

ジョギングをしながらバーチャルパートナーを観察して、その時のジョギングに対する内発的動機づけや認知負荷、パフォーマンスへの影響などを調べた。

健康上の問題がないと申告した 20 代から 50 代の被験者はスマートグラス (EPSON MOVERIO BT-300) を着用した上でジョギングを行った。この時具体的な数値でのペースの指定はせず、30 分間程度同じペースで走り続けられる無理のないペースで走るよう依頼した。スマートグラス上では基本的に通常の眼鏡と同様に周囲の実空間が見えているが、そこにバーチャルパートナーが走っている様子を重畳表示することができる。



図 1 : バーチャルパートナーの視認性  
左から順に全身、光点、手足のみアバター

周囲の安全を確保する目的で、バーチャルパートナーの視認性について全身、主要な関節位置を表す光点、手足のみの可視化の 3 つを用いて評価を行った (図 1)。ここで光点アバターは、主要な関節の位置を表す点光源の動きのみでも、人間の歩行、走行、ダンスとして認識できるとする先行研究結果 [Johansson, 1973] に基づく。また手足のみのアバターについては、VR 空間内で観察者と同期して動く手足 (白い手袋と靴下) だけのアバターを背後から観察すると、アバターの手足の間の透明空間に見えない身体が補間され、錯視的な身体所有が生じることが報告されている [Kondo et al., 2018]。つまり、このような視覚情報をあまり含まないアバターデザインは、ジョギングをするバーチャルパートナーの動きのような、実空間における単純で周期的な動きを提示するのにも適していると考えられる。

パフォーマンスの向上を促す目的から、ケーラー効果 (Köhler effect) を生じさせるべく、パートナーの振る舞いを変化させた。つまり、被験者よりもパートナーの方がわずかに能力的に優れていると感じさせるよう、常に被験者の前にパートナーを配置し、障害を生じさせずらいと報告されている 1 分あたり 180 歩のケーデンス (脚の回転数) とした。ジョギングの後にはアンケートと半構造化インタビューへの回答を依頼した。

#### (1) 実験 1 : 人間のパートナーとバーチャルパートナー (屋内環境)

被験者 39 名は体育館の中をジョギングで周回した。被験者間計画で条件は人間のパートナーと走る場合、スマートグラスに映るバーチャルパートナー (視認性の異なる 3 種類) と走る場合、一人で走る場合を設けた。アンケートに用いた指標は、条件ごとの運動強度の統制を確認する目的の知覚された運動強度 (RPE) のほか、認知負荷 (NASA-TLX)、内発的動機づけ (IMI Interest/Enjoyment、Pressure/Tension) そしてケーラー効果の影響を測る目的のパートナーとの集団凝集性 (Team perception) および知覚された能力差 (Ability discrepancy) であった。さらに客観的指標として各条件のケーデンスを撮影した映像から計数した。

#### (2) 実験 2 : バーチャルパートナーの視認性 (屋外環境)

被験者 12 名は歩道の一定区間をジョギングで往復した。被験者内計画で条件はスマートグラスに映る視認性の異なるバーチャルパートナーの 3 つである、つまり全身アバター、光点アバター、手足のみアバターを見ながらジョギングするというものであった。評価に用いた指標は知覚された運動強度を除いて実験 1 と同一であった。

#### 4. 研究成果

##### (1) 実験1の結果

ジョギングに対する内発的動機づけを構成するうちの楽しさの指標 (IMI Interest/Enjoyment) について、一人で行うときよりもパートナーと共に行う時の方が高く、有意差も認められた(図2)。またケーラー効果の指標の一つである、被験者の感じるパートナーとの集団凝集性と能力差はバーチャルパートナーよりも人間のパートナーの方がその幅が高く、有意差も認められた。しかし、バーチャルパートナーも被験者より能力が高いと評価をされた。ケーデンスについては、バーチャルパートナーよりも人間のパートナーの方が被験者のケーデンスを近づけさせており、有意差も認められた。そのほか、知覚された運動強度、認知負荷、内発的動機づけを構成するうちの緊張の指標 (IMI Pressure/Tension) についてはいずれも有意差は認められず、バーチャルパートナーの視認性の間での有意差はどの指標に対しても認められなかった。

半数の被験者 (20/39) が一人で走っている時の退屈さを訴えていたが、パートナーと走っている時の退屈さに言及した被験者はほとんどいなかった。体感時間に対する回答もパートナーと走っている時に時間経過を早く感じた被験者がほとんどであった (32/39)。またバーチャルパートナーに対して一緒に走る仲間と見なした被験者が約三分の一 (12/39) いた。半数以上の被験者 (23/39) にとってはジョギングの快適性の観点で人間のパートナーが最良と好まれ、バーチャルパートナーが最良と回答したのは三分の一程度 (14/39) であった。一方で、バーチャルパートナーに求める機能の観点では、三分の一の被験者 (15/39) が応援やコーチング等のサポートを挙げていた。

##### (2) 実験2の結果

IMI Interest/Enjoyment について、全身アバターが他のアバターに比べて高く、有意差も認められた。ケーデンスについては全身アバターが他のアバターに比べてより被験者のケーデンスを近づける傾向があったが、有意差は認められなかった。そのほか、認知負荷、IMI Pressure/Tension、パートナーとの集団凝集性と能力差については、いずれも有意差は認められなかった。

半数の被験者 (6/12) が無意識のうちにバーチャルパートナーを無視してジョギングを行っていた。三分の一の被験者 (4/12) は全身アバターに対して注意を惹きつけることから安全性の不安を述べた一方で、光点や手足のみアバターに対しては周囲の環境の確認しやすさを指摘した。また三分の一の被験者 (5/12) がバーチャルパートナーと動きを合わせたことを報告し、バーチャルパートナーに対して被験者のジョギングのフォームを改善するような動きを望んだ。さらに少数ながら自分の動きが光点アバターと手足のみアバターの動きに反映されたと感じた被験者も観察された (2/12)。

##### (3) 考察

###### バーチャルパートナーとのジョギング体験

本研究で実施した2つの実験結果によると、バーチャルパートナーとのジョギング体験は一人で行うよりも楽しくジョギングに没頭させるものであると考えられる。パートナーがいる方が内発的動機づけの楽しさのスコアが高い結果については、エクササイズを取り入れたビデオゲーム (エクサゲーム) に関する先行研究 [Banos et al., 2016; Monedero et al., 2015] の結果と一致する。しかし、被験者のコメントからは、慣れない場所、体育館という非現実的な環境で短時間走ったことで、一人で走る時は周囲に気を取られるのに対し、人間やバーチャルパートナーと一緒に走る時はパートナーの存在にだけ集中すればよかったことが示唆された。

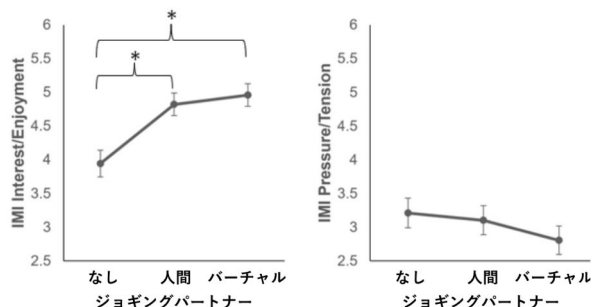


図2: パートナーの条件ごとの内発的動機づけ (IMI Interest/Enjoyment) のスコア

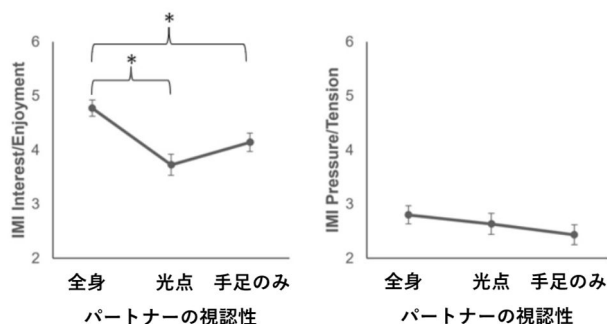


図3: バーチャルパートナーの視認性の条件ごとの内発的動機づけ (IMI Interest/Enjoyment) のスコア

人間のパートナーはバーチャルパートナーよりも被験者に感じさせる能力差が大きかったが、これには例えば人間のパートナーでは足音や息遣いなどの視覚情報とは別の情報も提示されていたのに対し、バーチャルパートナーは視覚情報のみを提示していたために、バーチャルパートナーの能力を認識するための情報が不十分であった可能性がある。また人間のパートナーが被験者のケーデンスを変化させたが、これは足音によって生じる引き込み現象を報告した先行研究[Van Dyck et al., 2015]の結果と一致する。つまり、バーチャルパートナーに対して足音を付加することで同様に観察者のケーデンスを変化させられる可能性がある。

人間のパートナーはバーチャルパートナーよりも集団凝集性が高いと評価されたが、これは人間のパートナーと低忠実度の人型アバターのパートナーとのエクササイズを比較した先行研究[Feltz et al., 2014]の結果とは一致しなかった。これには人間のパートナーを実験者が務めたことで、事前に被験者とコミュニケーションをとっていたことが影響した可能性がある。つまり実験設定を改めて、例えば自己紹介を通じてパートナーと名前などの個人の基本情報を共有することで結果が変化するものと考えられる。

バーチャルパートナーは、運動習慣のない人だけでなく、気軽にジョギングを楽しむ人にも適したパートナーといえるかもしれない。バーチャルパートナーはジョガーに楽しみを与えるが、ジョガーにプレッシャーを与えたり、運動強度や認知負荷を増加させたりすることはないことが示唆された。また光点や手足のみのアバターではなく、全身アバターがジョガーの楽しみを最も大きくすることが示唆された。さらに、バーチャルパートナーと一緒にジョギングすることで、ジョギングのケーデンスが理想的なケーデンス(1分あたり180歩)と一致し、怪我のリスクを低減できる可能性がある。実験後のインタビューでは、被験者がアバターの動きに合わせていることが多いというコメントがあった。したがって、バーチャルパートナーは、楽しみながらジョギングを習慣化することが期待できる。

#### カジュアルジョガーのためのバーチャルパートナーデザインガイドライン

実験1と2の結果に基づき、今後バーチャルパートナーをデザインする上での2つの次元を特定した。それが、視覚的魅力的なバランスと動きの同期性である。以下ではその詳細について説明する。

ジョギングは環境情報に応じてバーチャルパートナーの身体の見方を適応的に選択できることが示唆され、アバターデザインの可能性を広げることができた。つまりバーチャルパートナーがはっきりと見える屋内では、身体の見え方を下げて被験者のモチベーションは向上した一方で、日中の屋外では、身体の見え方が高い方が被験者のモチベーションは高くなった。これは、被験者のコメントからもわかる通り、日中の屋外では必ずしもバーチャルパートナーを見ることができないことが原因であると思われる。背景環境とバーチャルパートナーのコントラストが十分な場合や、歩行者や障害物に注意する必要がある場合は、視認性を低くすることでより安全なジョギング体験を設計できる可能性がある。また、晴天の中、整備されたランニングコースを走るような場面では、全身アバターで仮想パートナーの視認性を高めることで、モチベーションの向上が期待できる。

被験者の中には、自分のパフォーマンスを確認するために、バーチャルパートナーに自分の動きを合わせてほしいと回答した人がいた。興味深いことに、どちらの実験でも、少数ながらも自分の動きに合わせてアバターが動くと考えた被験者がおり、ジョギングが単純なリズム運動であることを考えると、意図せず自分のケーデンスをバーチャルパートナーに合わせたのかもしれない。バーチャルパートナーの動きをジョギングの動きに合わせて表示することは、自分を他人の視点から観察する外部映像を作ることによって、パフォーマンスの向上につながるため、合理的であるといえる。

#### (4) 限界と今後の展望

どちらの実験でも、「30分間安全にジョギングができる人」、つまり、少なくともカジュアルにジョギングできると見なせる人を被験者として募集した。その理由は、本研究のターゲットユーザーはカジュアルにジョギングをする人たちであると同時に、運動不足の人たちでもあり、ジョギング運動による怪我の可能性を抑えるために、少なくともカジュアルにジョギングをする人たちをリクルートすることを目指したためである。しかし、ジョギングをする頻度について質問しても、実際のジョギング経験値を把握することはできなかった。さらに、毎日ジョギングするような人は、本研究結果とは異なるフィードバックを提供する可能性があり、今回の研究の範囲外ではあるが、今後の研究において彼らの経験を調査する必要がある。

ユーザーによって、脚だけ、腕の振りだけなど、異なる体の部位に専ら注目する場合もある。今回の2つの実験では、3つのアバターデザインを先行研究に基づき作成したが、これ

らのデザインがジョギング中のモチベーションを誘発するためのミニマムスタンダードであるかは不明である。例えば、下半身・上半身のみのアバターデザインや足跡のみのアバターデザインも、ジョギングのモチベーションと安全性を両立させるために実用的であるかどうかについては、今後の研究課題である。さらに、完全に不透明なアバターを光学シースルーディスプレイに表示することは現在の技術では不可能であるため、今後の研究では、ユーザーの快適性やスマートグラスと比較して限られた視野角とのトレードオフを考慮しながら、ビデオシースルーヘッドマウントディスプレイでのジョギング経験に対するアバターの不透明度の影響を調査する必要がある。

#### 参考文献

- [Johansson, 1973] Johansson, G. (1973). Visual perception of biological motion and a model for its analysis. *Perception & psychophysics*, 14, 201-211.
- [Kondo et al., 2018] Kondo, R., Sugimoto, M., Minamizawa, K., Hoshi, T., Inami, M., & Kitazaki, M. (2018). Illusory body ownership of an invisible body interpolated between virtual hands and feet via visual-motor synchronicity. *Scientific reports*, 8(1), 7541.
- [Banos et al., 2016] Banos, R. M., Escobar, P., Cebolla, A., Guixeres, J., Alvarez Pitti, J., Lisón, J. F., & Botella, C. (2016). Using virtual reality to distract overweight children from bodily sensations during exercise. *Cyberpsychology, Behavior, and Social Networking*, 19(2), 115-119.
- [Monedero et al., 2015] Monedero, J., Lyons, E. J., & O'Gorman, D. J. (2015). Interactive video game cycling leads to higher energy expenditure and is more enjoyable than conventional exercise in adults. *PLoS one*, 10(3), e0118470.
- [Van Dyck et al., 2015] Van Dyck, E., Moens, B., Buhmann, J., Demey, M., Coorevits, E., Dalla Bella, S., & Leman, M. (2015). Spontaneous entrainment of running cadence to music tempo. *Sports medicine-open*, 1(1), 1-14.
- [Feltz et al., 2014] Feltz, D. L., Forlenza, S. T., Winn, B., & Kerr, N. L. (2014). Cyber buddy is better than no buddy: A test of the Köhler motivation effect in exergames. *GAMES FOR HEALTH: Research, Development, and Clinical Applications*, 3(2), 98-105.

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計0件

〔学会発表〕 計5件（うち招待講演 2件 / うち国際学会 3件）

1. 発表者名 Takeo Hamada, Ari Hautasaari, Michiteru Kitazaki, and Noboru Koshizuka
2. 発表標題 Solitary Jogging with A Virtual Runner using Smartglasses
3. 学会等名 2022 IEEE Conference on Virtual Reality and 3D User Interfaces (VR) (国際学会)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 Takeo Hamada
2. 発表標題 Living with Ubiquitous Avatars
3. 学会等名 CNCC 2019 (招待講演)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Takeo Hamada, Ari Hautasaari, Michiteru Kitazaki, Noboru Koshizuka
2. 発表標題 Exploring the Effects of a Virtual Companion on Solitary Jogging Experience
3. 学会等名 IEEE VR 2020 (国際学会)
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 Takeo Hamada, Michiteru Kitazaki, and Noboru Koshizuka
2. 発表標題 Social Facilitation with Virtual Jogging Companion on Smartglasses
3. 学会等名 ACM SIGGRAPH ASIA 2018 (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 濱田健夫
2. 発表標題 バーチャルリアリティの現実適用
3. 学会等名 日本社会心理学会第6回春の方法論セミナー「社会心理学者のためのVR入門」(招待講演)
4. 発表年 2019年

〔図書〕 計0件

〔産業財産権〕

〔その他〕

-

6. 研究組織

氏名 (ローマ字氏名) (研究者番号)	所属研究機関・部局・職 (機関番号)	備考
---------------------------	-----------------------	----

7. 科研費を使用して開催した国際研究集会

〔国際研究集会〕 計0件

8. 本研究に関連して実施した国際共同研究の実施状況

共同研究相手国	相手方研究機関
---------	---------