



身体自在化主観評価指標の開発

Development of subjective scales for JIZAI Body

山村浩穂¹⁾, 稲見昌彦²⁾, 杉本麻樹¹⁾, 北崎充晃³⁾, 佐藤徳⁴⁾

Hiroo Yamamura, Masahiko Inami, Maki Sugimoto, Michiteru Kitazaki, and Atsushi Sato

1) 慶應義塾大学 (〒 223-8522 神奈川県横浜市港北区日吉 3-14-1)

2) 東京大学 (〒 153-8904 東京都目黒区駒場 4 丁目 6 番 1 号)

3) 豊橋技術科学大学 (〒 441-8580 愛知県豊橋市天伯町雲雀ヶ丘 1 - 1)

4) 富山大学 (〒 930-8555 富山市五福 3190 番地)

概要: 著者らはバーチャルリアリティやロボティクスによりユーザーの随意性を保ったままに身体を拡張することを身体自在化と定義し、その主観評価指標の開発を試みている。身体自在化は身体所有感や行為主体感などの複数要素から評価を構成することが可能であると思料されるが、その要素としては様々な評価軸を考えることができる。本展示では身体自在化状態を表す体験をどのような主観評価指標で捉えることが可能かについて、開発中の評価指標を用いて主観評価手法の妥当性の検討を行う。

キーワード: 自在化身体, 主体感, 身体所有感, 身体化

1. はじめに

ロボティクス技術やメタバースの普及に伴い、実環境のロボットやサイバー空間におけるアバターは他者としての存在ではなく、自己としての人間を拡張するものとして捉えなおすことが可能となった。例えば、複数の身体を同時に制御する MultiSoma[1] など、身体・空間を拡張する技術は数多く挙げられる。稲見らは、このようなコンピューター/マシンがユーザーに内面化された状態の自在化身体を提唱し、その分類として超感覚 (Supersensory), 超身体 (Supersomatory), 幽体離脱/変身 (Possessory/Transformatory), 分身 (Duplicatory), 合体 (Fusionary) を挙げている。また自在化状態の特徴の一つとして、拡張された身体におけるコントロール可能な領域とコントロールができない領域を自由に行き来できることを挙げている [2]。こうした自在化身体は身体所有感 (特定の身体が自己に帰属している感覚) や行為主体感 (特定の動作が自分の意思で行った運動として帰属される感覚) などの複数要素から構成されているが、明確な構成要素は明らかになっておらず、これらの自在化状態を評価するための指標も確立されていない。これまでの自在化身体に関わる研究では、身体化質問紙 (Embodiment Questionnaire) [3], System usability scale(SUS)[4], NASA-TLX[5] 等の既存尺度から実験者が適宜、質問項目を利用・修正した主観評価指標が採用されてきた。しかしながら、実験ごとに異なる指標が使用されることで、各自在化状態を統一の基準で評価することができないという問題がある。

そこで本研究では、自在化身体の主観評価指標を開発することを目的とした。基準となる評価指標を作成すること

で、各自在化状態の比較が可能となる。自在化状態を表す体験をどのような主観評価指標で捉えることが可能かについて、自在化の構成要素を収集するとともに主観評価指標の妥当性を検証する。

2. 身体自在化主観評価指標の作成

身体自在化主観評価指標を作成するうえで、自在化の包括する範囲を検討した。既存の自在化身体に関連する研究では、ラバーハンドイリュージョン [6] 等の身体化質問紙を参考に評価指標が作成されてきた。しかし、「自在化」や「身体化」は社会科学や哲学といった広範囲の分野にまたがる用語である。そのため、本研究では身体化項目に加えて、社会受容性、システムに対する信頼性など、より広範囲な分野を包括可能な質問項目を検討した。また、自在化状態の特徴である、拡張された身体におけるコントロール可能な領域の自由な調節に関連する質問項目を追加している。

自在化身体の主観評価指標開発のために、自在化身体に関連する実験で使用された主観評価指標の文献調査を行った。調査はラバーハンドイリュージョン [6] や身体化に関連する研究論文 [3, 7] に加えて社会受容性 [8], 信頼性 [9] に関連する文献等を対象としている。各文献で用いられた質問文に加筆修正を行い自在化質問紙を作成した。質問紙は、上述した自在化身体の種類である、幽体離脱と変身を区分した 6 項目に加えて、共通質問項目と全体的な自在化状態を評価する項目 (自在化) の計 8 項目から構成されており、各項目には自在化の構成要素の候補となる下位要素が設定されている (表 1)。

表 1: 自在化候補要素と質問文の対応

分類	自在化候補要素	質問文
共通項目	反応	Q1 - Q3
	心地よさ	Q4
	しびれ	Q5
	位置感覚	Q6 - Q9
	身体所有感	Q10
	主体感	Q11
	存在感	Q12 - Q13
	切り替え	Q14 - Q17
	並列	Q18 - Q20
	自己性	Q21
	喪失感	Q22
	ストレス	Q23 - Q25
	信頼	Q26 - Q27
	変化した自分に対する好感度	Q28
社会受容性	Q29 - Q38	
超感覚	知性向上	Q39 - Q51
	多感覚情報統合	Q52
超身体	拡張	Q53 - Q55
	パフォーマンス	Q56
	集中力	Q57
	容姿変化	Q58
	触覚	Q59
	役割	Q60
幽体離脱	幽体所有感	Q61
	視点	Q62
	体外離脱	Q63
	移動	Q64
	触覚	Q65
	自己性	Q66 - Q67
変身	内部モデル	Q68
	容姿変化	Q69
	役割	Q70
	アフォーダンス	Q71
	好感度	Q72
分身	分身体所有感	Q73 - Q74
	分身主体感	Q75 - Q76
	分身体触覚	Q77
	マルチタスク	Q78 - Q80
	内部モデル	Q81 - Q82
	切り替え	Q83 - Q84
	並列	Q85
合体	共有身体所有感	Q86
	身体共有感	Q87
	身体融合感	Q88
	共有身体触覚	Q89
	共有主体感	Q90 - Q91
	融合主体感	Q92
	共感	Q93
	相手に対する好感度	Q94
自在化	随意性	Q95
	集中	Q96
	他者介入	Q97
	パラメータ拡張	Q98
	最小随意性	Q99
	アシスト	Q100

3. 身体自在化主観評価指標の提案

評価方法は、共通項目、自在化に加えて、各人が体験した自在化状態（超感覚、超身体、幽体離脱、変身、分身、合体）に対応する質問項目に対して、7段階のリッカートスケールで回答する。また、本質問紙ではロボットアームやVR空間におけるアバター等のユーザーの身体を拡張するシステムを包括して「拡張身体」と表記している。

3.1 共通項目

共通項目は全ての自在化状態に共通する項目である、15種類の自在化候補要素と、それに付随する計38の質問文から構成されている。身体化に関連する自在化候補要素として反応、心地よさ、しびれ、位置感覚、身体所有感、主体感、存在感が含まれている。また、自在化身体の特徴である、拡張身体のコントロール可能領域の自由な調節は、拡張身体と生得的な身体の自由な切り替え（切り替え）、拡張身体と生得的な身体の並列操作（並列）として、候補要素に組み込んでいる。喪失感、ストレス、信頼、変化した自分に対する好感度、社会受容性は自在化状態を表すシステムが社会実装された際に考慮すべき要素として評価指標に組み込んでいる。下記が共通項目に対応する質問文である。

- Q1. 体験中、自分が変化したように感じた
- Q2. 体験中と体験後の自分は同じであると思う
- Q3. 体験終了後も自分の能力が変化していると感じた
- Q4. 拡張身体は心地よかった
- Q5. 生得的な身体がしびれた / 動かない感覚があった
- Q6. 自分がVR空間にいるように感じた
- Q7. 自分が物理空間にいるように感じた
- Q8. 複数の場所（空間）に同時に存在するようになった
- Q9. 生得的な身体とは別の場所にいるように感じた
- Q10. 拡張身体が自分の身体（の一部）であるかのように感じた
- Q11. 自分が操作しているように感じた
- Q12. 生得的な身体がなくなったように感じた
- Q13. 生得的な身体が動かなくなったように感じた
- Q14. 別の身体へ容易に切り替えることができた
- Q15. 別の身体へ容易に注意を切り替えることができた
- Q16. 複数の視点を思うままに切り替えることができた
- Q17. 複数の自分の位置を自由に移動することができた
- Q18. 複数の身体を並行してコントロールすることができた
- Q19. 複数の身体に並行して注意を向けることができた
- Q20. 同時に複数の視点から見ているように感じた
- Q21. この拡張身体を自分であると思う
- Q22. 拡張身体でなくなった後、喪失感を感じた
- Q23. 拡張身体にストレスを感じた
- Q24. 拡張身体を使用するために精神的努力が必要だった
- Q25. 拡張身体を使用するために身体的努力を必要とした
- Q26. 拡張身体を信頼できる
- Q27. 拡張身体に親しんでいる
- Q28. 拡張身体の自分を好ましく思う
- Q29. 拡張身体で日常の生活をしたいと思う

- Q30. 拡張身体で儀礼的なイベントに参加したいと思う
 Q31. 拡張身体で他者が日常生活をすることが普通だと思う
 Q32. 拡張身体で他者が儀礼的な場面に参加することが普通だと思う
 Q33. これを頻繁に使用したいと思う
 Q34. これは役に立つと思う
 Q35. これを使用することに不安がある
 Q36. 拡張身体に興味がある
 Q37. 他人に勧めたいと思う
 Q38. 拡張身体を使用することはステータスになると思う

3.2 超感覚 -Supersensory-

人間の持つ認知機能の向上と生得的に持ちえない機能の獲得を可能とするシステム等が超感覚に分類される [2]. 超感覚分野は、2種類の自在化候補要素と、それに付随する計14の質問文から構成されている。基本的な知能の拡張を包括する要素として知性向上を取り入れている。また、感覚機能の向上に伴いより精度の高い感覚に重きが置かれ、多感覚情報の統合に変化が起きることが考えられる。こうした感覚機能の拡張に伴う認知変容を評価するために、多感覚情報統合を候補要素に取り入れた。下記が超感覚に対応する質問文である。

- Q39. 知性に関する能力が向上した
 Q40. 記憶力が向上した
 Q41. 発想力が向上した
 Q42. 論理的思考能力が向上した
 Q43. 言語的知能（文章生成、外国語習得など）が向上した
 Q44. 運動感覚的知能（運動が得意になる、手先が器用）が向上した
 Q45. 音楽的知能（リズム感、音感）が向上した
 Q46. 空間的知能（絵や図を描く、距離感の把握）が向上した
 Q47. 対人的知能（コミュニケーション能力）が向上した
 Q48. 博物学的知能（観察、分類能力）が向上した
 Q49. 内省的知能（メタ認知）が向上した
 Q50. 理解力が向上した
 Q51. 情報処理能力が向上した
 Q52. 実験の前後で環境の感じ方が変化した

3.3 超身体 -Supersomatory-

超身体ではロボティクスなどの技術を使って、身体能力・機能の拡張を行っている [2]. 能力・機能の拡張を包括する要素として、拡張、パフォーマンス、集中力に分類した。また、拡張に伴い変化した身体を自己と感じるかどうかを評価するために、容姿変化、触覚、役割を候補要素として取り入れた。超身体分野は、6種類の自在化候補要素と、それに付随する計8の質問文から構成されている。下記が超身体に対応する質問文である。

- Q53. より速いスピードで操作することが出来た
 Q54. より正確に操作することが出来た
 Q55. より心地よく操作することができた
 Q56. パフォーマンスが向上した

- Q57. 集中することができた
 Q58. 身体の形状が変化したように感じた
 Q59. 拡張身体で触れたときに感触を感じた
 Q60. 身体（の一部）の役割が変化したように感じた

3.4 幽体離脱 -Possessory-

幽体離脱では、バーチャルリアリティ（VR）などの技術を用いて人が身体とを感じる範囲について検討されている [2]. 生得的な肉体と意識が離れた状態（体外離脱状態）の身体を幽体と定義し、幽体に対する身体所有感、体外離脱状態での視点、自分であるとを感じる感覚（自己性）を候補要素に取り入れている。また、VR空間において生得的な肉体と異なる場所にVR身体が存在する場合に、意識がVR身体へと移る感覚（移動）と触覚を候補要素として取り入れている。幽体離脱分野は、6種類の自在化候補要素と、それに付随する計7の質問文から構成されている。下記が幽体離脱に対応する質問文である。

- Q61. 二つ以上の身体を持っているように感じた
 Q62. 身体と異なる視点で見ているように感じた
 Q63. 身体から自分が離れていくように感じた
 Q64. 自分の意識が拡張身体へ移っているように感じた
 Q65. 幽体で感触を感じた
 Q66. 幽体は自分であると思う
 Q67. 観測した身体は自分であると感じた

3.5 変身 -Transformatory-

変身においても幽体離脱と同様に人が身体とを感じる範囲について検討されている [2]. 幽体離脱との相違点として、変身では身体を生得的な姿から変形させるという点が挙げられる。本来の身体と異なる姿を持った場合に予想される変化を内部モデル、容姿変化、役割、アフォーダンス、好感度に分類して候補要素として取り入れている。変身分野は、5種類の自在化候補要素と、それに付随する計5の質問文から構成されている。下記が変身に対応する質問文である。

- Q68. 身体の動きを容易に予測することができた
 Q69. 身体の形状が変化したように感じた
 Q70. 身体（の一部）の役割が変化したように感じた
 Q71. 自分のできるものが変化したように感じた
 Q72. 自分に対する好感度が上昇した

3.6 分身 -Duplicatory-

分身では、時空間的に離れた場所に存在する対象の操作、自身が同時に離れた場所に存在する場合を想定している [2]. 一般的なVR空間上のアバターと生得的な身体との1対1の関係と異なり、複数の分身体を自己（の一部）とを感じるかを検証するために、所有感（分身体所有感）、主体感（分身主体感）、触覚、内部モデルを候補要素に取り入れた。また、分身体を用いた並列作業の可否と分身体からの自由な切り替えを取り入れている。分身分野は、7種類の自在化候補要素と、それに付随する計13の質問文から構成されている。下記が分身に対応する質問文である。

- Q73. 複数の身体を所有しているように感じた

- Q74. すべての分身体を自分の身体のように感じた
- Q75. すべての分身体をコントロールすることができた
- Q76. いくつかの身体のコントロールは自分が行っていないように感じた
- Q77. 分身体が触れたことによって感触を感じた
- Q78. 複数の行為を同時に行なっているように感じた
- Q79. サブタスク中もメインタスクを容易に継続することができた
- Q80. 複数のタスク間で簡単に注意を切り替えることができた
- Q81. 分身体の動きを容易に予測することができた
- Q82. 分身体の位置を容易に予測することができた
- Q83. 分身体を容易に切り替えることができた
- Q84. 分身体の視点を思うままに切り替えることができた
- Q85. 分身体を並行して操作することができた

3.7 合体 -Fusionary-

合体では、身体を融合し複数人で一つの身体を共有する共有身体の研究を行っている [2]。その形態は、共有と融合に区分され、各形態に対応する所有感と主体感を取り入れている。共有状態では、役割を分担した状態で一つの身体を共有した状態を指す（例；右手は相手が操作し、左手は自分が操作）。対して、融合状態では自他の区別がなくなった状態を指す。加えて身体共有によって、相手への認知が変化することが考えられるため、共感と相手に対する好感度を候補要素として取り入れている。合体分野は、8種類の自在化候補要素と、それに付随する計9の質問文から構成されている。下記が合体に対応する質問文である。

- Q86. 共有身体が自分の身体であるかのように感じた
- Q87. 相手と一つの身体を共有しているように感じた
- Q88. 相手と融合して一つの身体になっているように感じた
- Q89. 拡張身体が触れたことによって感触を感じた
- Q90. 相手と一緒に身体をコントロールしているように感じた
- Q91. 相手と協力して身体をコントロールしているように感じた
- Q92. 相手と一体になって身体をコントロールしているように感じた
- Q93. 相手の動きを容易に想像することができた
- Q94. 相手に対する好感度が上がった

3.8 自在化

自在化では自在化状態となることで獲得できる独自の拡張要素とその要件を候補として取り入れている。自在化分野は、6種類の自在化候補要素と、それに付随する計6の質問文から構成されている。下記が自在化に対応する質問文である。

- Q95. 意図通りに拡張身体が動いたと感じた
- Q96. 操作に集中が必要だと感じた
- Q97. 誰かが拡張身体を操作していると感じた
- Q98. 調整できるパラメータが増えたと感じた
- Q99. 少ないパラメータで思い通りに操作できた
- Q100. アシストされていることに気づかなかった

4. むすび

本論文ではバーチャルリアリティやロボティクスによりユーザーの随意性を保ったまま拡張することを身体自在化と定義し、その主観評価指標の開発を目的に身体自在化の候補要素を検討した。先行研究をもとに55種の自在化候補要素と、それらに対応する計100の質問を提案した。今後は、検討した質問紙をもとに分析を行い、質問数の削減と自在化状態に対する要素の重みを解析する必要がある。また、より多様な実験に適応可能となるように質問文をより汎用性の高い形に修正することが考えられる。

謝辞

本研究は、JST 戦略的創造研究推進事業 ERATO JPM-JER1701, JST 次世代研究者挑戦的研究プログラム JPM-JMJP2123 の支援を受けたものである。

参考文献

- [1] Miura, R., Kasahara, S., Kitazaki, M., Verhulst, A., Inami, M., Sugimoto, M: Multisoma: Distributed embodiment with synchronized behavior and perception, In Augmented Humans Conference 2021, pp. 1-9, 2021.
- [2] Inami, M., Uriu, D., Kashino, Z., Yoshida, S., Saito, H., Maekawa, A., Kitazaki, M: Cyborgs, Human Augmentation, Cybernetics, and JIZAI Body, Augmented Humans 2022, pp. 230-242, 2022.
- [3] Peck, T. C., Gonzalez-Franco, M: Avatar embodiment. a standardized questionnaire, Frontiers in Virtual Reality, 1, 575943, 2021.
- [4] Brooke, John and others: SUS-A quick and dirty usability scale, Usability evaluation in industry, Volume 189, pages 4-7, 1996.
- [5] Hart, S. G., Staveland, L. E: Development of NASA-TLX (Task Load Index): Results of empirical and theoretical research, Advances in psychology, Vol. 52, pp. 139-183, 1988
- [6] Botvinick, M., Cohen, J: Rubber hands ‘feel’ touch that eyes see, Nature, 391(6669), 756-756, 1998.
- [7] Matthew R. Longo, Friederike Schüür, Marjolein P.M. Kammers, Manos Tsakiris, Patrick Haggard: What is embodiment? A psychometric approach, Cognition, ISSN 0010-0277, Vol 107, pp. 978-998, 2008
- [8] Venkatesh, V., Davis, F. D: A theoretical extension of the technology acceptance model: Four longitudinal field studies. Management science, 46(2), 186-204, 2000.
- [9] Jian, J. Y., Bisantz, A. M., Drury, C. G: Foundations for an empirically determined scale of trust in automated systems, International journal of cognitive ergonomics, 4(1), 53-71, 2000.