



感覚過敏当事者が VR 体験時に直面する困りごと に関する基礎検討

松本啓吾¹⁾, 加藤路瑛²⁾, 畑田裕二³⁾, 鳴海拓志^{1,4)}

1) 東京大学大学院情報理工学系研究科 (〒 113-0033 東京都文京区本郷 7-3-1, {matsumoto, narumi}@cyber.t.u-tokyo.ac.jp)

2) 感覚過敏研究所 (〒 103-0003 東京都中央区日本橋横山町 6 - 14 日本橋地下実験場, info@crystalroad.jp)

3) 東京大学大学院情報学環 (〒 113-0032 〒 113-0033 東京都文京区本郷 7-3-1, hatada@cyber.t.u-tokyo.ac.jp)

4) JST さきがけ

概要: VR の普及に伴い, 多様な感覚特性を持つ方が VR を体験する機会が増えている. しかし, 感覚過敏を持つ方は HMD の装着等に伴う刺激に不快感を得たり, VR 酔いを強く感じやすかったりと, 感覚や知覚に関する困難が生じやすいことが想定される. そこで, 本調査では非定型な感覚特性の方を対象とした VR 体験に関する Web アンケートを実施した. その結果, ユーザが主体的に感覚入力を調整できないことが不快感や否定的な感情を生起させていることが示唆された. また, 得られた回答を計算神経科学における知見に基づいて整理し, 非定型な感覚特性を持つ人に特有な VR 体験について考察した.

キーワード: 感覚特性, 自由エネルギー原理, 計算神経科学, ダイバーシティ

1. はじめに

バーチャルリアリティ(VR)は, エンタテインメントから教育, 医療まで, 多岐にわたる分野でその有用性が認識されており, その活用範囲は日々拡大している. しかし, この新たな技術を全ての人が快適に利用できるわけではない. 例えば, 感覚過敏を持つ人々にとっては, 現状の VR 体験にはさまざまな困難さが伴うと考えられる. 感覚過敏とは, 特定の感覚刺激に対して過敏な反応を示す状態である. こうした感覚特性を持つ当事者は, ヘッドマウントディスプレイ(HMD)の装着に伴う触覚刺激や, 提示される光や音などの視覚・聴覚刺激に対して不快感を抱く可能性がある. また, 視覚や前庭感覚の過敏さは, VR 酔いを引き起こす可能性も考えられる. これまでの多くの VR 研究では, 平均化された感覚特性を前提とした感覚情報提示手法の開発や評価が行われてきた. しかし, 個人々の感覚特性を考慮しない感覚情報提示は, 効果の個人差を生むとともに, 特定の特性を持つ人たちに VR の使用を忌避させることにも繋がる. 個人々の特性への最適化は, HCI 分野において多様性に対処するための重要な要素 [1] とされており, VR 分野においても同様である. 特に教育や医療向け VR のような多様な感覚特性をもつユーザの利用が想定される VR システムやアプリケーションでは, 個人々の感覚特性に配慮することが求められる. 多様な人々に VR の価値を提供していくためには, これまで中心的に行われてきた平均的な感覚特性を前提とした知見の収集に加えて, 極端な特性を持つ人々に対する受容性や対応策を明らかにし, 誰もがその価値を享受できる VR システムの設計を検討していく必要がある. このような背景を踏まえ, 本研究では, 感覚過敏傾向当事者をはじめとする非定型な感覚特性を持つユーザ

が VR 体験の際にどのような困難を感じるのかを明らかにするための Web アンケート調査を実施した. 収集したデータを臨床心理学や計算神経科学の知見に基づいて分析することで, 感覚特性と VR 体験がどのように相互作用し, それがユーザにどのような影響を与えるのかについて理解を深めることを目指す.

2. 関連研究

2.1 感覚特性

かすかな音を感知するのが難しい人, 小さな音に敏感な人, にぎやかな場所が好きな人, 騒がしい場所から離れたがる人などがいるように, 感覚刺激の解釈や反応は個人々によって異なる. こうした, 感覚刺激に対する解釈や反応の特性は感覚特性と呼ばれる. 臨床心理学では, 感覚特性を説明する代表的なモデルとして Dunn の感覚処理モデル [2] が知られている. Dunn の感覚処理モデルでは, 感覚処理傾向を神経学的閾値の連続体と行動反応・自己調節の連続体の二軸によって説明する. 神経学的閾値とは, ニューロンまたはニューロン系が反応するのに必要な刺激量のことであり, 高閾値から低閾値までの連続体として表現される. 行動反応・自己調節とは, ある刺激に反応する傾向のことであり, 能動的な反応から受動的な反応までの連続体として表現される. 神経学的閾値の連続体と行動反応・自己調節の連続体の二軸によって感覚処理傾向は 4 象限に分類され, 高閾値かつ受動的な反応を示す象限は低登録, 高閾値かつ能動的な反応を示す象限は感覚探求, 低閾値かつ受動的な反応を示す象限は感覚過敏, 低閾値かつ能動的な反応を示す象限は感覚回避と分類される. 感覚処理モデルに基づいて感覚特性を測定する質問票として感覚プロフィール [3] や青年・成人

感覚プロフィール [4] などが提案されている。こうした質問票では、各象限について 2σ の範囲外の特性を持ち、かつ、日常生活において感覚にまつわる困難を抱える人を非定型な感覚処理を持つ人と定義している。

感覚特性は個人間で異なるだけでなく、同一個人内においてもそれぞれの感覚が異なる感覚特性を持つことがある（例：視覚は感覚過敏傾向を示し、内臓感覚は低登録傾向を示す）。また、個人内変動が見られ、体調や周辺環境によって感覚特性が変化することが知られている。

医学的にはこうした非定型な感覚処理傾向は発達障害に関連する症状として捉えられており、精神疾患の診断・統計マニュアル第5版 (DSM-5) おいて、自閉スペクトラム症 (Autism Spectrum Disorders : ASD) の診断基準の一部に、「感覚入力に対する感受性あるいは鈍感性、あるいは感覚に関する環境に対する普通以上の関心」が示されている。また、非定型な感覚処理傾向は自律神経失調症やうつ病、PTSD などの精神疾患によっても誘発されることが知られている。ASD や ADHD、精神疾患などは併発する可能性があるものの、こうした特性や疾患を持つ方々の一定数が非定型な感覚特性を持つと推定される。また、定型と非定型の境界領域の感覚特性を持つ人は非定型な感覚特性を持つ人よりも大幅に多いと考えられている。

2.2 感覚特性と自由エネルギー原理

計算神経科学において、知覚と運動を統一的に説明しようとするモデルが自由エネルギー原理 [5] である。自由エネルギー原理では、生物は外界における物体の大きさや運動といった外界の隠れ原因や隠れ状態についての想定である「信念」に基づいて、得られるであろう感覚入力を「予測信号」として生成する。そして、この予測信号と実際に得られた「感覚信号」と比較した上で、その差である予測誤差を最小化するように外界についての「信念」を更新する。このような推論を繰り返すことにより、隠れ原因・状態の推定結果としての知覚が得られる。また、自由エネルギー原理では運動についても知覚と同様の枠組みで説明を行なう。従来は、運動野が出力した信号が脊椎を介して筋に運動指令を出して筋が収縮することで運動が行われると考えられてきた。これに対し、自由エネルギー原理では、運動野が出力する信号は筋感覚の「予測信号」であり、これと筋からの「感覚入力」とを脊椎の反射弓において比較した上で、両者の差である予測誤差を最小化するように筋運動を行うと考える。これにより、知覚と運動は予測誤差の最小化という同一の定式化を行うことができる。

「感覚信号」と「予測信号」はニューロンの活動によるノイズが含まれる。したがって、感覚信号と予測信号の差である予測誤差の評価は信号の精度によって変わり、予測誤差に基づいて信念を更新する際は精度補正が行われていると考えられている。自由エネルギー原理では、この精度補正は神経伝達物質によって行われていると考えられている。自由エネルギー原理では精度補正によって注意から多感覚統合 [6] や自己意識 [7] といった認知機能を説明してい

る。こうした知見を踏まえると、自由エネルギー原理の枠組みでは精度補正によって非定型な感覚特性について説明できる。すなわち、感覚過敏は極端な精度補正により予測信号の精度が低下し、予測誤差が縮小せず「信念」が過剰に更新される状態であると考えられる。一方、低登録は感覚信号の精度が低いため予測誤差がほぼ生じず「信念」が更新されない状態であると考えられる。自由エネルギー原理の詳細は、『自由エネルギー原理入門』 [8] や『能動的推論』 [9] などに詳しい。

3. Web アンケート調査

2023年3月25日から4月30日までWebアンケートを実施した。Webアンケートの所要時間は全体で15分程度であった。アンケート回答者に対して謝金は支払わなかった。本アンケート調査は、東京大学大学院情報理工学系研究科倫理審査委員会の承認（審査番号 UT-IST-RE-230112-2）のもと行われた。

3.1 対象者

感覚過敏や感覚鈍麻などの感覚特性の自覚がある18歳以上で、1度でもVRを体験したことがある方をアンケート対象者とした。アンケート対象者は、感覚過敏研究所¹や感覚過敏の当事者コミュニティである「かびんの森²」を運営する第二著者が中心となり、TwitterなどのSNSで募集した。

3.2 質問項目

アンケートでは、最初にデモグラフィックデータとして性別と年齢、感覚特性に関連する診断歴、感覚特性についてのアンケート、VR体験についての質問を行った。次に、自閉スペクトラム症 (ASD)、注意欠如・多動症 (ADHD)、学習障害 (LD)、精神疾患 (うつ病、PTSD、統合失調症など) についての診断歴について尋ねた。また、感覚特性を調査する質問として、直接質問法によって感覚過敏および感覚鈍麻 (低登録) を問う独自に設計した設問を用いた。感覚特性についての代表的な質問票としては、上述した感覚プロフィールや青年・成人感覚プロフィールなどが用いられることが多い。しかし、これらの質問票は著作権の関係で対面での利用に限定されていることから、本研究では使用しなかった。さらに、VR体験について、HMD、モーションコントローラ、モーションプラットフォーム、CAVEシステムの体験の有無、頻度、体験時間について複数選択式で回答させた。最後に、自由記述での回答項目として、VR体験に対する肯定的および否定的な感想、VRを体験した際に心地よく感じたことや楽しかったこと、VR体験時の感覚特性に関連する困りごとや不快に感じたこと、辛かったことなどについて、いくつか例示を行いながら尋ねた。感覚特性に関する実際のアンケート項目は付録に掲載している。

¹<https://kabin.life/>

²<https://kabin.life/kabinnomori>

表 1: 感覚過敏および感覚鈍麻（低登録）だと思うと回答された感覚とその分布（複数回答可）

感覚	感覚過敏	感覚鈍麻（低登録）
視覚	51	7
聴覚	76	1
嗅覚	46	5
味覚	24	5
触覚	3	5
前庭感覚	39	16
固有感覚	-	30
内臓感覚	22	17

4. 結果と考察

4.1 アンケート回答者

全有効回答者 84 名うち、性別について 17 名が男性、54 名が女性と回答した。性別について未回答者は 13 名であった。年齢についての有効回答数は 69 名で、回答者の年齢は 18 歳から 60 歳までで、平均年齢は 33.5 ± 11.5 歳であった。自閉スペクトラム症（ASD）、注意欠如・多動症（ADHD）、学習障害（LD）、精神疾患（うつ病、PTSD、統合失調症など）の診断を受けていると回答したのは 66 名であった。このうち、ASD は 35 名、ADHD は 36 名、LD は 6 名、うつ病、PTSD、統合失調症などの精神疾患は 37 名であった（複数選択可のため重複あり）。本調査のリミテーションとして、既往歴等については参加者の自己申告によるものであることが挙げられる。

4.2 VR 体験の許容時間

VR を体験できると回答した時間について、9 名が「全く体験できない」、21 名が「5 分くらい」、19 名が「15 分くらい」、14 名が「30 分くらい」、10 名が「1 時間くらい」、12 名が「それ以上」と回答した。

4.3 感覚特性に関する結果

回答者が感覚過敏あるいは感覚鈍麻（低登録）だと思うと回答した感覚について、その分布を表 1 に示す。リミテーションとして、感覚特性について直接質問法を用いて回答させたため、回答者によって感覚特性の程度が異なることが考えられる。

4.4 VR 体験の際の感覚に関連する回答結果

自由回答で得られた感覚に関連する肯定的な回答および否定的な回答を感覚ごとに分類した。回答を分類する際は、眩しさ（視覚）やうるささ（聴覚）など単一の感覚に関連すると考えられるものは単一の感覚として、VR 酔いなど感覚間の不一致によるものについては該当する感覚（今回は視覚と前庭感覚）に分類した。分類結果を表 2 に示す。これらの感覚のうち、否定的な回答数が多く寄せられた視覚、聴覚、触覚、前庭感覚について、それぞれ回答の詳細を紹介した上で、計算神経科学の知見に基づいた考察を試みる。

視覚に関する不快な体験の回答 57 件のうち、44 件が VR 酔いに関わるもの、8 件が眩しさに関わるものであった。VR

表 2: 感覚ごとの肯定的/否定的な回答数（複数回答可）

感覚	肯定的な回答数	否定的な回答数
視覚	21	57
聴覚	8	14
嗅覚	1	1
味覚	0	0
触覚	3	15
前庭感覚	7	43
固有感覚	12	3
内臓感覚	0	2

酔いは定型な感覚特性を持つユーザにも生起するが、非定型な感覚特性を持つユーザは多感覚統合においても適切な精度補正が困難であるため感覚間の不一致を敏感に知覚し、定型な感覚特性ユーザよりも酔いやすいことが考えられる。眩しさについては「眩しく感じるがあった」（回答者 13、以下 P13 などと記載）や「眩しくなって周囲がみえなくなる」（P29）などの回答から、常にというよりはある状況において眩しく感じた経験に不快感を抱いたことが推測される。これは、非定型な感覚特性を持つユーザは視覚のダイナミックレンジが狭いことによると考えられる。他方、「リアルよりも画質や色彩設定など映像的な調整はしやすいのではないかと思う」（P38）という回答も報告され、非定型な感覚特性を持つユーザにとっては、適切に調整された VR は感覚の困難さを感じさせないだけでなく、現実の困りごとの解消にも繋がることを示唆される。

聴覚に関する不快な体験の回答 14 件のうち、6 件が「音が大きくて耳が痛くなった」（P51）など音量に関わるものであった。他方、聴覚に対する肯定的な回答として、「音量も調節できるので自分好みの世界になったのが楽しかった」（P1）といった回答が見られた。これらの回答も上述の画質や色彩設定の調整と共通する意見であり、VR においては受け取る刺激量を「信念」に適合する形で自ら調整できることが予測誤差の減少に繋がり、「自分好み」な快適で感覚の困難さを感じさせない体験の実現に繋がることを示唆している。

触覚に関わる否定的な回答 15 件では、「最も不快なのはヘッドセットの装着感」といった回答など、HMD を装着する際の触覚刺激に対する不快感が多くを占めた。一方、「製品によって鼻にゴーグルがかかる部分に不快感がある」（P22）といった回答や「不織布マスクはつけませんが、VR 機器は問題無し」（P52）といった回答など、製品や付属品によって不快感が異なることが示唆される回答がみられた。

前庭感覚に関わるものとしては、「動きが自分でコントロールできないもの、動きが大きいものは吐き気がする」（P5）といった VR 酔いに関連する回答が大半を占めた。前庭感覚は主体的に調整することが困難な感覚であるため、非定型な感覚特性を持つユーザにとって VR 酔いなどの前庭感覚に関する不快感はより困難を伴う可能性が考えられる。

こうした回答以外にも、「視界を手で覆う動作が取れないため急な光から防御する手段がないこと」(P42)、「音が怖くて耳を塞ぎたい時、両手はコントローラーを持っているためすぐに塞ぐことはできない。」(P59)、「装置を外さない限り容易に逃れられないのが若干怖いと感じる」(P82)など、感覚刺激を遮断したり回避することができないことを問題とする意見も見られた。こうした回答の背景には、主体的に環境に介入する手段がないことにより、感覚信号を予測信号に近づけ予測誤差を縮小できないことに伴う主観的な感情として不快感や否定的な感情が生起していたことが考えられる。

さらに、「音や映像に飲み込まれてしまい、自分の感覚が消え去ってしまった」(P37)といった回答や、「身体感覚から切り離された感覚が、他からコントロールを受けている感じがしてイライラしてきた」(P45)など、身体感覚が消失するという回答も一部見られた。これは、VR体験において現実よりも強度および頻度の高い感覚入力が行われたこと、および、感覚過敏当事者に特有な極端な精度補正による予測信号の減衰により自己意識が低下したことが原因だと推察される。

5. むすび

本研究では、非定型な感覚特性を持つ方に焦点を当て、彼らがVR体験の際にどのような困難を感じるのかを明らかにすることを目的とした予備的なWebアンケート調査を実施した。また、得られた回答をもとに非定型な感覚特性を持つ方のVR体験について計算神経科学の知見に基づく考察を試みた。その結果、VR体験における不快感や否定的な感情は、主体的に感覚入力を調整することができず、その結果として予測誤差を縮小できないことが原因となって生じていることが示唆された。また、非定型な感覚特性を持つ方に見られたVR酔いやVR体験中の身体感覚の消失について感覚信号や予測信号の精度補正による説明を試みた。このような考察は、非定型な感覚特性を持つ方々がVR体験において直面する課題を理解する上で重要であり、今後のVR技術の改善やアクセシビリティの向上に役立つ可能性がある。今後、定型な感覚特性の方を対象としたアンケートを実施し、今回得られた結果と比較することで感覚特性とVR体験の関係について体系的な考察を行いたいと考えている。本研究が、VR体験における障害要因の理解と、その解決に向けた第一歩となることを期待している。

謝辞 本研究の一部はJST ACT-X(JPMJAX22AG)とJST さきがけ(JPMJPR22S9)の助成を受けた。

付録 web アンケート調査で用いた感覚特性に関する設問

- 感覚過敏だと思ふ感覚をすべて選んでください(複数選択可){ 視覚, 聴覚, 嗅覚, 味覚, 触覚, 前庭感覚(例: 乗り物酔いをしやすいなど), 内臓感覚(例: 腹痛やお腹に不快感があるなど), 特になし, (任意入力) }

- 感覚鈍麻(低登録)だと思ふ感覚をすべて選んでください(複数選択可){ 視覚, 聴覚, 嗅覚, 味覚, 触覚, 前庭感覚(例: 片足立ちなどでバランスをうまくとれないなど), 固有感覚(例: 力加減がわかりづらい, 物をよく落とすなど), 内臓感覚(例: お腹が空いていることに気づかずご飯を食べるのを忘れがちなど), 特になし, (任意入力)}
- VRを体験した際に心地よく感じたことや楽しかったことなどがあれば教えてください。例: 華やかな色彩のバーチャル環境に好感を抱いた。バーチャル空間内の音やBGMに好感を抱いた。バーチャル空間内で身体を動かすことを楽しく感じた。心地よく感じたことや楽しかったことなどがなかった場合は「なし」と回答してください。
- VRを体験した際に感覚特性に関連してなにか困ったことや不快に感じたこと、辛かったことがあれば教えてください。例: まぶしかったり、見えづらかったりした。音や声が聞き取りにくく感じた。バーチャル空間内での移動が不快に感じた。困ったことや不快に感じたこと、辛かったことがなかった場合は「なし」と回答してください。

参考文献

- [1] Constantine Stephanidis and Anthony Savidis. Universal access in the information society: methods, tools, and interaction technologies. *Universal access in the information society*, Vol. 1, pp. 40–55, 2001.
- [2] Winnie Dunn. The impact of sensory processing abilities on the daily lives of young children and their families: A conceptual model. *Infants & Young Children*, Vol. 9, No. 4, pp. 23–35, 1997.
- [3] W Dunn. Sensory profile: User's manual san antonio. *TX: The Psychological Corporation*, 1999.
- [4] Catana Brown, Nona Tollefson, Winnie Dunn, Rue Cromwell, and Diane Filion. Adult sensory profile. *American Journal of Occupational Therapy*, 2002.
- [5] Karl Friston. The free-energy principle: a unified brain theory? *Nature reviews neuroscience*, Vol. 11, No. 2, pp. 127–138, 2010.
- [6] Jakub Limanowski and Karl Friston. Attentional modulation of vision versus proprioception during action. *Cerebral Cortex*, Vol. 30, No. 3, pp. 1637–1648, 2020.
- [7] Jakub Limanowski and Karl Friston. Attenuating oneself: An active inference perspective on “selfless” experiences. *Philosophy and the Mind Sciences*, Vol. 1, No. I, pp. 1–16, 2020.
- [8] 乾敏郎, 阪口豊. 自由エネルギー原理入門: 知覚・行動・コミュニケーションの計算理論. 岩波書店, 2021.
- [9] トーマス・パー, ジョバンニ・ベッツェーロ, カール・フリステン. 能動的推論: 心, 脳, 行動の自由エネルギー原理. ミネルヴァ書房, 2022. 乾敏郎 訳.