



呼吸情報を用いたインタラクティブ バーチャルセンサリールームの開発

Development of An Interactive Virtual Sensory Room Using Respiratory Information

大川和己¹⁾, 矢野博明²⁾

Kazuki OKAWA and Hiroaki YANO

- 1) 筑波大学 システム情報工学研究群 (〒305-8573 茨城県つくば市天王台 1-1-1, k_okawa@vrlab.esys.tsukuba.ac.jp)
2) 筑波大学 システム情報系 〒305-8573 茨城県つくば市天王台 1-1-1, yano@iit.tsukuba.ac.jp)

概要: 感覚過敏の人たちへの支援方法の一つとして、センサリールームの利用が知られている。本研究では、呼吸情報に着目しインタラクティブに照明が変化するバーチャルセンサリールームを開発した。評価実験として、心拍情報を用いることで副交感神経活動への影響を評価し、個人差はあるものの副交感神経活動優位の反応が生じ、システムの有効性が示唆された。

キーワード: 感覚過敏, センサリールーム, 呼吸

1. はじめに

近年, 自閉症スペクトラム(Autistic Spectrum Disorder. 以下 ASD と記す)や注意欠陥多動障害などに代表される発達障害に関する認知が広がるとともに社会的関心が高まっており, 発達障害児者への支援環境を整えることが求められている。ASD 児者は, 社会性の障害や強いこだわりを主症状としているが, 同時に感覚過敏の特性を併せ持っている割合が高い傾向にあることが報告されている[1]。

感覚過敏に対する支援方法の一つとして, 「センサリールーム」と呼ばれる大きな音や光などをやわらげた落ち着いた部屋の利用が知られており, バーチャル空間においてこれを再現する試みも行われている[2]。しかし, センサリールームの心理的効果についてはまだわからないことが多く, 経験や使用者の嗜好に合わせて設計されており, センサリールームに必要な要素がはっきりとしていないのが現状である。

これに対して本研究では, バーチャルなセンサリールームを構築し, 人間の反応を定量的に評価できる環境を構築することで, 必要な要素を抽出すること, そこにインタラクティブな要素を追加することでより有用なセンサリールームが実現できるのではないかと考えた。

そこで, 評価用システムとして本研究では HMD を用いてバーチャルなセンサリールームを構築した(図 1)。さらに, 深い呼吸が心身にもたらす効果に着目し, 呼吸情報を用いたインタラクティブシステムを開発した。評価実験

として健常者の心拍や皮膚電気活動を計測することでストレス評価を行い, 感覚過敏を有する人を対象とした実験への検討を行った。

2. システム設計

2.1 感覚過敏を有する人への調査

システムの設計を行うにあたって, 知的障害を伴わない感覚過敏を有する人 4 名を対象に, 本学学内のセンサリールームを模したバーチャルなセンサリールームを HMD(Head Mounted Display)で体験してもらい, センサリールーム全般に関するインタビューを行った。

センサリールームの大きさや, 配置された物体の数, 形, 光量や光の色などのパラメータを様々に変化させ, その印象を答えてもらったところ, センサリールームを利用する人は空間や光に強いこだわりを持っており, これにより精神的な安らぎを得ていることが推測された。

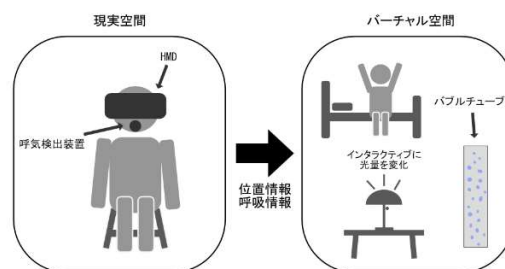


図 1: システム概念図

また、心拍や呼吸などの生理的指標のフィードバックがあることで、精神的な安らぎを得られるという回答があった。

2.2 バーチャルなセンサリールームの環境構成

一般的な建物の床から天井までの高さは2mから3mほどであるが、感覚過敏の人の多くは3m以上に高くすることで好ましい反応を示した。そこで本プロトタイプシステムでは、天井の高さを4mに設定した。

部屋に置かれた机や照明の直線的な形状に対して嫌悪感を示す人が多かった。そこで机や照明に使用する3Dモデルは角を丸めた直線的ではないものを使用することにした。

実在するセンサリールームの中にはバブルチューブと呼ばれる水を満たした透明な筒の下部に発生させた気泡をライトアップする器材が設置されているものがあり、その生理的効果も報告されている[3]。そこで本プロトタイプシステムにおいても、バブルチューブをCG上で再現することとした。

室内の照明の色については、体験者によってさまざまな嗜好を示した。しかし、黄色や赤色を好む人はおらず、青色や緑色などの寒色系の色が好まれる傾向にあった。本プロトタイプシステムでは、青色光を光源の色に設定した。

2.3 インタラクティブシステムの設計

これまでのセンサリールームはパッシブな設備によって快適に過ごしやすい環境を提供するものであったが、ユーザの状態のセンシングデータを用いて環境を変化させることで、ユーザの行動変容を促し、より過ごしやすい状況に誘導できる可能性がある。また、呼吸と心拍数の関係は自律神経と密接に連動しており、息を吸うときには心拍数が増加し自律神経活動が優位に、息を吐くときには心拍数が減少し副交感神経活動が優位になる[4]。そこで、本研究では、計測データとして呼気に着目し、長く呼吸を継続することで、より望ましい照明条件になるようなインタラクティブなセンサリールームの開発を行った。呼吸の乱れによって照明が明るくなることで呼吸の乱れに気付きやすくして、安定した呼吸の継続を促す。

具体的な照明の明度の変更アルゴリズムとしては、息を吐き始めた時刻から1秒かけて明度を下げ、その後も息を吐き続けている間はその明度を維持する。その後、1秒間で元の明度に戻すこととした。一般に成人が呼気に要する時間は1.5秒ほどと言われており、呼気にかける最小の時間を1秒間に設定し、息を長く吐くことで明度が低い落ち着いた照明を維持することを可能とする。

3. プロトタイプシステム構成

3.1 ハードウェア部

本システムは映像投影装置と呼吸検出装置からなる。本研究では、映像提示用HMDとしてVive Pro Eye (HTC Vive社)を使用した。また、鼻や口から出る呼吸を検出す

るための風量センサとしてD6F-V (OMRON社)を使用した。

呼吸検出装置は、空気の流速を計測するための風量検出部と、呼吸を一か所に収集するための呼吸収集部で構成した。風量検出部は、マスク越しに呼吸を収集することを想定して紙コップの底に穴をあけ風量センサの流速検出部に呼吸が集まるようにした(図2)。呼吸収集部は鼻と口を覆うような形状にし、鼻呼吸と口呼吸のどちらの場合においても息が計測できるようにした。

3.2 ソフトウェア部

HMDに表示するバーチャル空間はUnityを用いて作成した。また、風量センサとのデータのやりとりを行うために、UnityとC++プログラムによるTCP/IP通信を行った。Unity上で作成した部屋の3Dモデルを図3、バブルチューブを図4に示す。



図2：呼吸検出装置



図3：作成された部屋の3Dモデル

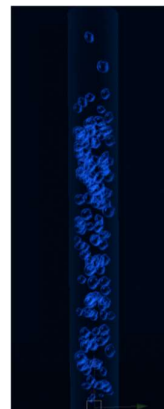


図4：バブルチューブ

4. 評価実験

開発したプロトタイプシステムの生理的効果の検討を行うために実験環境の構築と評価実験を行った。本実験では、感覚過敏の人による実証実験の前段階として感覚過敏をもたない健常者を対象に実験を行った。

4.1 計測装置

本実験では生理的指標として心電図(Electrocardiogram; ECG)の計測を行った。ECGの計測には、スポーツセンシング社のDSPワイヤレスECG/HRロガーを使用した。装着した電極から心電位を時系列データとして計測し、心拍変動(Heart Rate Variability; HRV)を算出した。HRVとは、ECG上のR波と次のR波の間隔(RR間隔; RRI)のゆらぎのことである。

評価指標として隣り合ったRR間隔の差の二乗の平均値の平方根(RMSSD)を用いた。一般に、RMSSDは副交感神経機能を反映すると考えられている[5]。

4.2 実験方法

実験は、20歳前半の健康な男性3名に対し行った。実験では、プロトタイプシステム(Interactive Sensory Room)と、Interactive Sensory Roomから呼気に連動した光の明滅を行うインタラクティブなシステムを取り除いたセンサールーム(Sensory Room)、Sensory Roomでの光源の色を白色光に変更し明るさを高く設定した部屋(Bright Room)の3条件を用意し、それぞれ4分間映像を実験参加者に提示した。実験参加者の様子を図5に示す。

実験の流れとして、Bright Room(条件1)、Sensory Room(条件2)、Interactive Sensory Room(条件3)の順に映像が提示され、それぞれの条件の実験終了後には2分から3分ほどの休憩をした。3条件すべてにおいて、実験参加者は呼気検出装置を装着し、呼吸方法についての指示は行わなかった。



図5: 実験参加者の様子

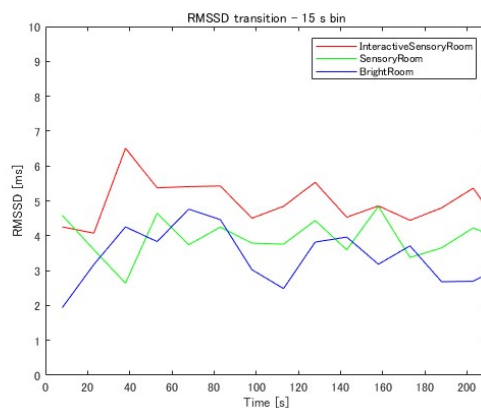
4.3 実験結果

計測時間を15秒ごとに区切りその区間でのRRIデータに対して、RMSSDを求め時系列にしたものをそれぞれ図6に示す。

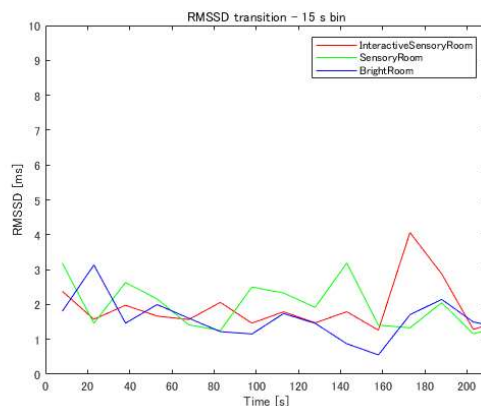
実験参加者毎に3条件でのRMSSDの時系列データで分散分析を行った。有意水準は0.05とした。実験参加者Aでは有意差が認められ($F(2,39)=18.630, p<0.001$)、実験参加者Bでは有意差は認められず($F(2,39)=1.407, p=0.257$)、実験参加者Cでは有意差が認められた($F(2,39)=18.420, p<0.001$)。

有意差が認められた実験参加者Aと実験参加者CのデータでBonferroniによる多重比較法を用いて有意水準を $0.05/3=0.016$ に調整し群間ごとの有意差を調べた。その結果実験参加者Aでは、条件1と条件2で有意差は認められず($p=0.116$)、条件2と条件3で有意差が認められ($p<0.001$)、条件1と条件3でも有意差が認められた($p<0.001$)。実験参加者Cでは、条件1と条件2で有意差は認められ($p<0.01$)、条件2と条件3で有意差が認められ($p<0.01$)、条件1と条件3でも有意差が認められた($p<0.001$)。

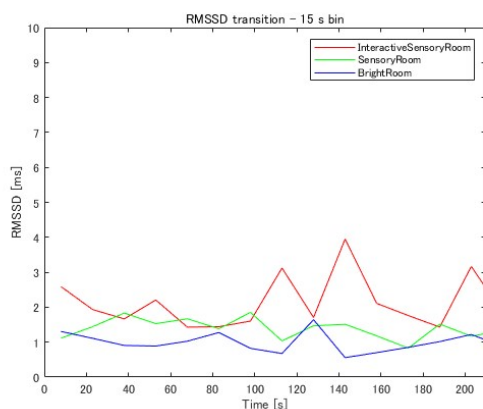
実験終了後に各実験参加者に実験中に感じたことについてインタビューを行った。その結果を表1に示す。



(a) 実験参加者 A



(b) 実験参加者 B



(c) 実験参加者 C

図 6 : RMSSD の時間変化

表 1 : 実験後インタビュー

(a) 実験参加者 A

BrightRoom	自分の息の音が気になった。呼吸のリズムを意識してしまった。
SensoryRoom	実験開始数十秒後に注意が散漫になり、別のことを考えていた。
Interactive SensoryRoom	実験中に眠気を感じた。

(b) 実験参加者 B

BrightRoom	特になし。
SensoryRoom	特になし。
Interactive SensoryRoom	呼吸で明るさが変わるため、呼吸のタイミングがずれる感覚があった。息をしているのに明るさが変化しない時があり違和感を覚えた。

(c) 実験参加者 C

BrightRoom	特になし。
SensoryRoom	実験後半で疲れを感じた。
Interactive SensoryRoom	他の条件と比較して実験時間が短く感じた。

5. 考察

図 6 において、実験参加者 A の Interactive Sensory Room, Bright Room では、やや右肩下がりの変化が見られ副交感神経の低下が見られた。これより、本プロトタイプシステム内に長時間いることへのストレスが発生していると考えられる。この要因としては 2 つ挙げられる。1 つ目として、HMD と呼吸検出装置、センサを取り付けた状態では体の締め付けが強く、HMD を支える首への負担も大きい。そのため、長時間装置を取り付けることへの身体的ストレスがあったと考えられる。2 つ目として、体験としての退屈さが挙げられる。バーチャル空間上で、動的に変化するものはバブルチューブと照明の光量のみであり、実験参加者はバブルチューブに対しては大きな興味を示しておらず、実験が進むにつれ退屈さを感じ精神

的ストレスが発生したと考えられる。呼吸収集装置の呼吸収集部の形状の改善や、HMD の重量の軽量化を行うことで身体的なストレスの軽減をし、バブルチューブの気泡の浮き上がり方をより現実のものに近づける、動的にライトアップされる光の色を変化させる等のバブルチューブの CG 上の見た目を改善することで精神的ストレスの軽減を行い、より長期的にバーチャルセンサリールームを利用することができると考えられる。

実験参加者 A, C では、条件 2 と条件 3 の RMSSD の間に有意差が認められた。このことから、インタラクティブシステムが副交感神経優位に働いたと考えられる。これには、インタラクティブシステムによる深呼吸の促進や退屈感の低減が要因として挙げられる。

6. まとめと展望

本研究では、呼吸情報を用いたインタラクティブなバーチャルセンサリールームのプロトタイプ開発を行った。また、ECG センサを使用した実験を行い、生理的指標を用いたストレス評価を行うことで有効性を検証した。本プロトタイプシステムを使用することで、副交感神経活動が増加しストレスが軽減したと考えられる実験参加者がいた一方で、効果が明確でない実験参加者もいた。

本研究の今後の課題としてインタラクティブシステムの改善が挙げられる。本プロトタイプシステムでは、呼吸の始まりを検出することで光量を変化させていたが、呼吸が終了したときの情報を含めた光量の変化をさせることで、吐く息の長さに意識が向くようになり、より理想的な深呼吸を促すことができると考えられる。

今後の展望としては、複数人通信システムを導入しバーチャルセンサリールーム内での協調作業空間の構築を行う。感覚過敏を有する人と定型発達者が協調作業を行う際、感覚過敏を有する人が安心して作業する環境の実現を目指す。

参考文献

- [1] 高橋 智, 増淵 美穂: アスペルガー症候群・高機能自閉症における「感覚過敏・鈍麻」の実態と支援に関する研究—本人へのニーズ調査から—, 東京学芸大学紀要, 総合教育科学系, Vol.59, pp.287-310, 2008
- [2] Harwood, H. A Virtual Reality-Based Calm Room for Children with Autism Spectrum Disorder.
- [3] 藤澤憲: バブルチューブを活用した多重感覚環境が知的障害生徒及び健全生徒の生理的指標に及ぼす効果と発達支援の意義. 発育発達研究, 2021, 90: 37-45.
- [4] 田中美智子ほか: "意識的腹式呼吸がもたらす高齢者の自律神経反応及びホルモン変化." 形態・機能 10.1, 2011, 8-16.
- [5] 高瀬凡平: 心拍変動でなにがわかるか. 日本集中治療医学会雑誌, 2005, 12.2: 89-92