



網様体冷却による VR 酔い抑制

Suppressing Virtual Reality Motion Sickness by Cooling Reticular Formation in Brainstem

齋藤大智¹⁾, 浅野優²⁾, 木島竜吾¹⁾

Daichi SAITO, Yu ASANO, and Ryugo KIZIMA

1) 岐阜大学 工学部 (〒501-1193 岐阜県岐阜市柳戸 1-1, kogaku@t.gifu-u.ac.jp)

2) TIS 株式会社 (〒160-0023 東京都新宿区西新宿 8-17-1)

概要 : HMD で仮想空間を体験する際、車酔いに似た症状を発症することがある。これを VR 酔いと呼ぶ。また、視覚刺激によって、実際には自分は動いていないにもかかわらず、動いていると錯覚する感覚をベクションと呼ぶ。本研究では首筋への冷感及び、温感の提示による VR 酔いとベクションへの効果の検討を行った。その結果、冷感の提示により、VR 酔いと重心動揺が有意に低下した
キーワード : VR 酔い、平衡感覚、ベクション

1. はじめに

現在、仮想現実 (VR) を手軽に体験する手段として、頭部搭載型ディスプレイ (HMD) が広く用いられている。HMD は立体的かつ広視野な映像を提示し、ユーザーの動きを仮想空間に反映することで没入感のある体験を可能にする。一方で、HMD で移動映像を提示すると、車酔いに似た VR 酔いを引き起こすことがあり、これは普及の障壁となっている。

VR 酔いの発生機構はいまだ明らかではないが、仮説の一つとして感覚不一致説がある[1]。これは、身体の傾きや速さを感じるための前庭感覚や視覚といった感覚器官への入力のセットが、過去の経験から予測されたものと異なる場合に酔いが発生するという考え方である。特に、視覚情報によって実際には動いていないのに動いていると感じるベクション (視誘導性自己運動感覚) は、運動感覚を引き起こすため、VR 酔いの原因となり得る。ベクションの例としては、たとえば停車中の電車内で隣の電車が動いたときに、自分が動いたと錯覚するトレインイリュージョン[2]があげられる。ベクションは特に周辺視野への動的刺激によって発生することが知られており [3] , HMD では視野全体を映像で覆うため、ベクションが発生しやすい環境にある。

VR 酔いの評価には、主観的指標として Simulator Sickness Questionnaire (SSQ) が一般的に用いられる [4] 。これまでに、激しい運動の際に視野を制限したり [5] , ワープ移動を用いたりする [6] などの酔い軽減策が提案されているが、それらは視覚情報を減らすため没入感を損なってしまう。そこで本研究では、視覚情報を維持したまま

酔いを軽減する新たな手法を提案する。

2. 提案手法

氷を口に含むと車酔いが軽減されるという手法が民間療法としてある [7]。VR 酔いでは車酔いによく似た症状を発症するため、VR 酔いにおいてもこの手法に効果があると考えられる。しかし、この方法では温度制御や VR 体験中の氷の扱いが難しいため実用には向かない。そこで、冷却することで酔いが軽減される口内以外の体の部位を探した。嘔吐中枢は、延髄の背側毛様体に存在し、迷走神経、交感神経、運動神経などと関係している。近くには前庭神経の 1 次投射を受ける前庭神経核があり、毛様体とも神経の連絡がある。このことから、うなじ付近の首筋を冷却することで酔いが軽減されると予想した。この方法は [8] で既報であり、冷却部位は違うものの [9] によっても有効性が指摘されている。

3. 提案手法の効果の検討

実験 1 では、被験者に VR 酔いを誘発する映像を提示し、冷却装置を用いて酔いが軽減されるかどうかを検証した。

3.1 実験環境

HMD は Oculus VR 社の Oculus Rift DK2 を用いた。重心動揺計には任天堂社のバランス Wii ボードを用いた。これは、実験環境の構築が簡単であり、重心動揺の研究において用いられているため採用した。バランス Wii ボードを Bluetooth で PC と接続し、CoP のデータを 50[Hz] で送信した。仮想空間のコンテンツを図 3.1 に示す。これは、Unity Asset Store に配信されている Simple city pack

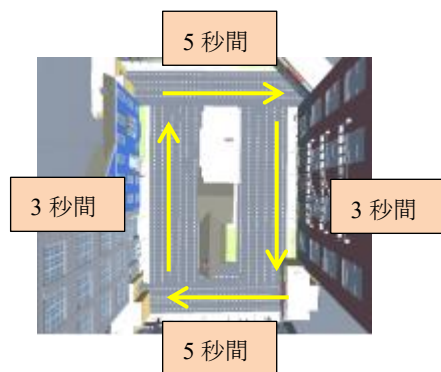


図 3.1 仮想空間のコンテンツ

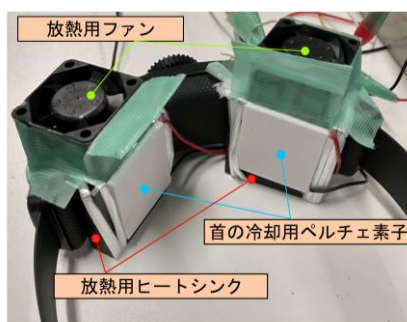


図 3.2 冷却装置

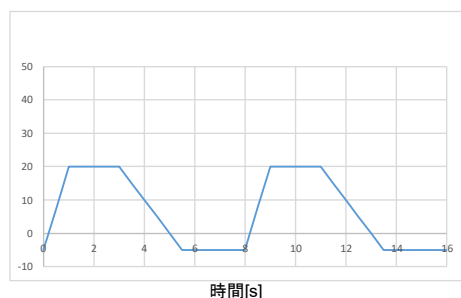


図 3.3 ペルチェ素子の表面温度の推移

plain という名のフリーのアセットを用いた仮想空間である。試行が始まると、カメラが 12 m/s で動き出し、試行が終わるまでその速度で道路を進み続ける。カメラがカーブに差し掛かる際には、ロール方向へ $216^{\circ}/s$ で回転を始め、5 秒後のカーブを曲がり切った際にちょうど 3 回転を終えるような動きをする。これは、実際に VR コンテンツで使われるような、レースゲームで障害物にぶつかり、車体が転がるような様子を再現している。1 周を 16 秒として 11 周行い、合計で 176 秒行った。

首筋を冷却する装置としては図 3.2 のようなものを開発した。この装置は、片面の熱をもう一方に移すペルチェ素子を 2 枚使用し、首を素子で覆うようにして冷却する。首に当たっていない面にはヒートシンクとファンを取り付け、素早く熱を逃がすことで、常に首を冷却し続けることを可能にした。被験者に冷却刺激を与える際には、13V で 2.0A の電流をペルチェ素子に流し、最低 -5°C まで冷

却できるようにした。ペルチェ素子の制御には、モータードライバーと Arduino を使用し、Unity からの信号をシリアル通信で伝えることで、仮想空間のカメラの運動に合わせてペルチェ素子の制御を行えるようにした。

3.2 実験の流れ

実験では以下の 3 試行を行った。

- 通常通り VR 体験をする
- 特定の場面のみ首筋を冷却する
- 常に首筋を冷却する

特定の場面のみ首筋を冷却する試行では、酔いやすいと考えられるカメラがカーブしながらロール回転を行う場面でのみ冷却刺激を提示した。図 3.3 にその際のペルチェ素子の表面温度の推移を示す。以下は実験の流れである。

はじめに、被験者は SSQ を回答した。次に、被験者は HMD を装着し、重心動揺計の上に立った。前述の映像の提示が行われ、その後再び SSQ を回答した。その後、被験者は、目を閉じて 30 秒間片足立ちを行った。さらに、映像終了後 5 分が経過したのち、SSQ に回答した。各試行間には 1 時間以上の休憩をはさみ、慣れや疲れの影響を無くすためにランダムな順番で試行を行った。実験の最中は、被験者への周囲の音の影響を無くすためにヘッドフォンを装着し、ホワイトノイズを流し続けた。

3.3 実験結果

被験者は 20 代の男性 16 名である。SSQ は、実験後のスコアから実験前のスコアを引いたものを使用する。検定には、SSQ と重心動揺でそれぞれ Holm 法による多重比較を行った。SSQ のグラフを図 3.4 に示す。首筋を冷却した試行では、どちらも酔いの症状の軽減が見られた。特定の場面のみ首筋を冷却した試行では、常に冷却する試行と比べてふらつき感が改善している傾向がみられるが、全てのスコアにおいて、明確な差は見られなかった。実験終了後 5 分後の SSQ のグラフを図 3.5 に示す。全ての試行で酔いが回復している様子が見られ、首を冷却して試行中に酔いを軽減したことにより、大きな副作用が現れるといったことはないと言える。実験中の重心動揺を図 3.6 に示す。全ての試行間に有意差はなかったが、対策なしの試行と比較して、特定の場面のみ首筋を冷却した試行は重心動揺が低下している傾向にある。実験後の重心動揺を図 3.7 に示す。ここでもすべての試行間に有意差は見られなかったが、特定の場面のみ首筋を冷却した試行にのみ重心動揺が低下している傾向がみられる。

4. 提案手法とベクションの関係

実験 1 では、首筋を冷却する VR 酔い対策の有効性と安全性を明らかにした。そして、提示方法を変えたとしても、酔い軽減の効果が大きな違いがないことが分かった。しかし、特定の場面のみ首筋を冷却する試行で重心動揺

が他と比べて小さい傾向にある。したがって、その手法がベクションを軽減しているのではないかという仮説を立て、実験 2 ではその仮説を検証した。

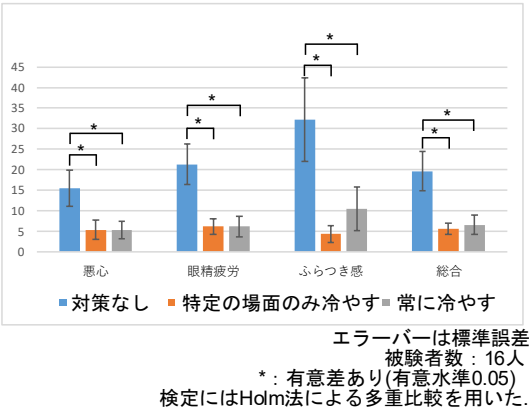


図 3.4 VR 酔い対策と SSQ の関係

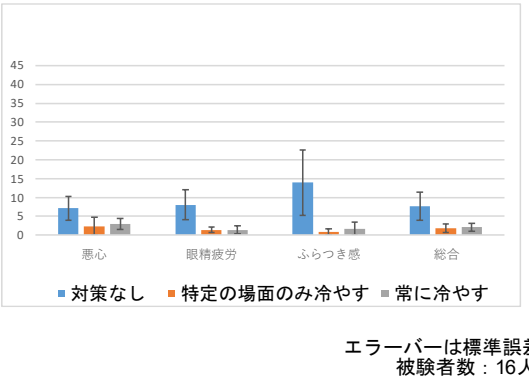


図 3.5 VR 酔い対策と 5 分後の SSQ の関係

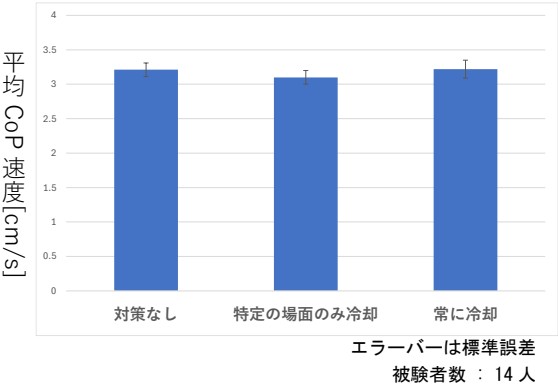


図 3.6 VR 酔い対策と重心動揺の関係

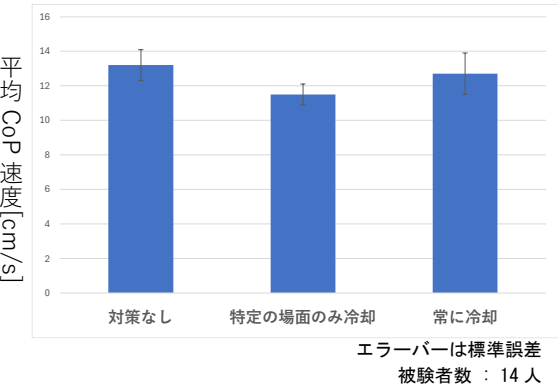


図 3.7 VR 酔い対策と実験後の重心動揺の関係

4.1 実験環境

実験に使用した HMD、仮想空間のコンテンツは実験 1 と同様である。実験 2 では重心動揺に体の揺れが現れやすい並進方向の運動を被験者に提示した。提示した運動を図 4.1 に示す。試行が始まると、カメラが 0.5Hz で前後に往復運動をする。初めは小さい振幅でカメラが揺れ始め、徐々に振幅を大きくしていく。5 秒後に振幅が最大になると、今度は徐々に振幅を小さくする。この 10 秒間の運動を 6 回繰り返す、計 1 分間の映像を被験者に提示する。

4.2 実験の流れ

実験では以下の 3 試行を行った。

- 通常通り VR 体験をする
- 特定の場面のみ首筋を冷却する
- 常に首筋を冷却する

特定の場面のみ首筋を冷却する試行では、10 秒間の運動のうち、初めの 2 秒と最後の 2 秒を除いた 6 秒間のみ最低 -5℃になるようにペルチェ素子を冷却する。以下は実験の流れである。

はじめに、被験者は SSQ を回答した。次に、被験者は HMD を装着し、重心動揺計の上に立った。前述の映像の提示が行われ、その後再び SSQ を回答した。映像が終了した後、被験者はすぐに目を閉じて 30 秒間片足立ちを行った。その後、ベクション強度を 0 から 100 で評価するアンケートを行った。各試行には 10 分以上の休憩をはさみ、慣れや疲れの影響を無くすためにランダムな順番で試行を行った。実験の最中は、被験者への周囲の音の影響を無くすためにヘッドフォンを装着し、ホワイトノイズを流し続けた。

4.3 実験結果

被験者は 20 代の男性 14 名である。重心動揺のグラフを図 4.1 に示す。実験後の重心動揺のグラフを図 4.2 に示す。Holm 法による多重比較を行った結果、特定の場面のみ首筋を冷却する試行では、実験中の重心動揺が低下していることが明らかとなった。一方で、実験後の重心動揺には大きな変化は見られなかった。これは、試行時間が短いために、アフターエフェクトが現れるほど長時間ベクションを体験できなかったためだと考えられる。ベクション強度のアンケートのグラフを図 4.3 に示す。3 試行間で明確な差は見られなかったが、冷却する時間によってベクション強度が低下することが示唆された。

5. 考察

本研究から、うなじ付近の首元に冷感刺激を与えることで、VR 酔いの症状を軽減できることが明らかになった。さらに、冷感刺激を工夫することで、ベクション強度を下げることなく、VR 酔いの症状を軽減できることが示唆された。さらに、実験 1 では、SSQ のスコアは冷感刺激の提示によって優位に低下したものの、重心動揺には有意差が現れなかったことから、VR 酔いの変化を重心動

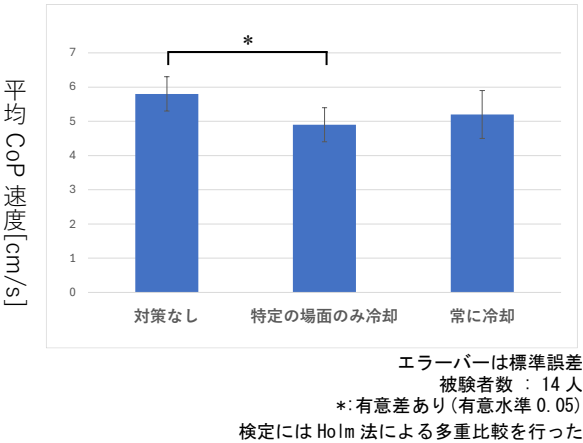


図 4.1 VR 酔い対策と重心動揺の関係

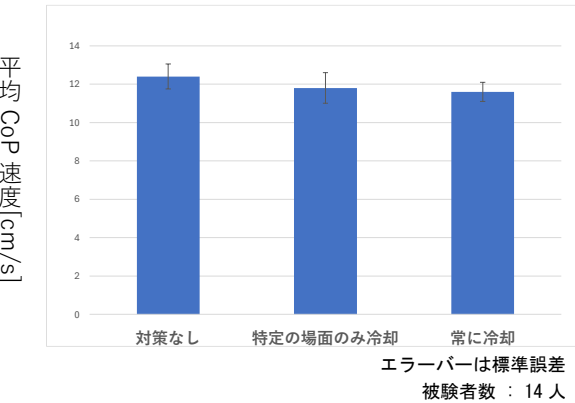


図 4.2 VR 酔い対策と実験後の重心動揺の関係

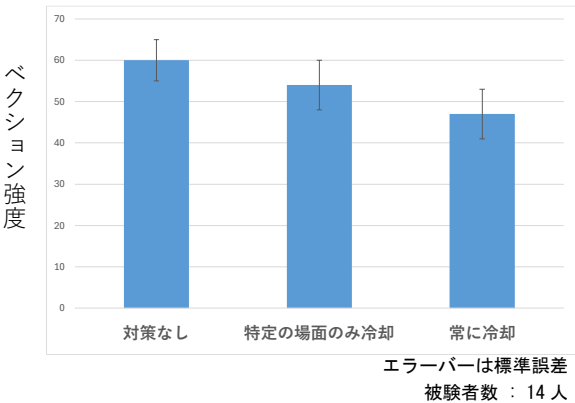


図 4.3 VR 酔い対策とベクション強度の関係

揺の指標である平均 CoP 軌跡長で測定することはできないと言える。また、ベクションに関しても、周期的な冷却刺激を提示する場合は、重心動揺の低減が見られたが、常に冷却刺激を提示する場合は、重心動揺の低減が見られなかった。そして、ベクション強度に関してはいずれの試行においても有意差が見られなかった。したがって、これらはベクションに伴う体動の大きさと主観的な運動感覚

の大きさの関係は薄いということを示している。

6. むすび

本研究により短時間の VR 体験において首筋を冷却して VR 酔いを軽減する手法は、短時間において安全性が確保されており、副作用の無い方法であり、十分な効果を発揮することが明らかとなった。また、ベクションに伴う体動を臨場感の低下なしで軽減することができるため、激しい非自己運動を立ちながら体験した場合に転倒の危険が少なく、今までの HMD では安全上実用に向かなかった表現を可能にすることができると言える。

参考文献

- [1] Reason, J. T. Brand, J. J.: Motion sickness. Academic Press. 1975
- [2] Takeharu Seno, Haruaki Fukuda: Stimulus meanings alter illusory self-motion (vection)-experimental examination of the train Illusion, Seeing and Perceiving 25 巻 6 号, pp.631-645, 2012.
- [3] 瀬川かおり, 氏家弘裕, 岡嶋克典, 斎田真也: “ オプティカルフローによる自己移動速度知覚に距離手がかりが及ぼす影響 ”, 日本バーチャルリアリティ学会論文誌, Vol. 8, No.1, pp. 111 - 117, 2003.
- [4] Kenedy RS, Simulator Sickness Questionnaire (SSQ) : An enhanced method for quantifying simulator sickness The International Journal of Aviation Psychology 3, 203-220, 1993.
- [5] Fernandes, A. S. and Feiner, S. K. Combating VR sickness through subtle dynamic field-of-view modification, IEEE Symposium on 3D User Interfaces(3DUI), pp. 201-210 2016.
- [6] Bozgeyikli, E., Raji, A., Katkoori, S., and Dubey, R., Point & Teleport Locomotion Technique for Virtual Reality, Proceedings of the 2016 Annual Symposium on Computer-Human Interaction in Play (CHI PLAY '16), pp. 205-216, 2016.
- [7] 予期せぬ揺れが原因 車酔いの簡単な予防法（横浜市立みなと赤十字病院耳鼻咽喉科めまい・平衡神経科新井基洋部長） <https://medical.jiji.com/topics/2259> 最終確認: 2025 年 7 月 17 日
- [8] 浅野優: “運動と VR ヘッドセット利用時の酔いの関係”, 2021 年度修士論文, 岐阜大学自然科学技術研究科知能理工学専攻, 2021.
- [9] 川村大樹, 坂田信親: “皮膚表面冷却による VR 酔い症状緩和の研究”, 情報処理学会インタラクショナル 2024 論文集 pp. 60 – 67 2024.