



潜水状態がベクションに与える影響

Influence of Diving Conditions on the Perception of Vection.

関公一朗¹⁾, 橋本悠希²⁾
KoichiroSEKI, YukiHASHIMOTO

- 1) 筑波大学 システム情報工学研究群 (〒305-8577 茨城県つくば市天王台 1-1-1 k_seki@vrlab.esys.tsukuba.ac.jp)
2) 筑波大学 システム情報系 (〒305-8577 茨城県つくば市天王台 1-1-1 hashimoto@iit.tsukuba.ac.jp)

概要: 本研究では, 潜水状態が視覚誘導性自己運動感覚 (以下ベクション) に与える影響を明らかにすることを旨とする. 潜水状態では擬似的な無重力状態になることから, 自己位置推定を平衡感覚よりも視覚情報に強く頼るため, ベクションの増加が予想される. そこで本稿では, 陸上状態と潜水状態でベクション刺激を 60 秒間提示し, 生じた自己運動感覚の強度をベクションの強度, ベクション潜時で評価し比較する.

キーワード: ベクション, HMD, 水中 VR, 自己運動感覚

1. 緒言

視覚誘導性自己運動感覚 (以下ベクション) とは, 静止している観測者に一様な方向に動く視覚刺激を提示すると, 観察者はその運動と反対方向に錯覚的に自己運動感覚を覚える現象である[1]. ベクションが生起する理由は, 複数の感覚器官から得られる運動情報の内, 視覚情報による自己位置推定の寄与率が高く, 視覚情報のみを提示した場合においても自己運動感覚が生起するためである[2].

これまでベクションの生起に関係する要因を明らかにする研究は陸上で数多く実施され, ベクション刺激のオプティカルフローの速度, 色, 密度が自己運動感覚に大きく寄与していることが判明した[3][4][5]. しかし, 水中でのベクションの知覚に関する研究は少なく, ベクション生起のメカニズムについては未知の部分が多い.

水中では浮力が働き, 身体の重さが軽減されるため, 筋肉や関節にかかる負荷が減少し, 体性感覚の感覚情報が減少する. また, 水中では体の向きや位置が自由に変えられるため, 重力方向の正確な認識が困難になり, 平衡感覚の感覚情報が減少する.

このことから, 水中では自己運動感覚の認識を陸上より視覚情報に頼ることが予想される. そのため, 水中ではベクション刺激により陸上よりも強い自己運動感覚が生起すると予想される.

先行研究として, Fauville らはベクション刺激による自己運動感覚の変化を陸上と水中で比較する研究を実施した[6]. その結果, 水中の実験参加者においてベクションが有意に強化され, 自己移動感覚が陸上よりも増加することが示された. また, 中村らは, 水中に設置された大型視覚

ディスプレイを用いてベクション刺激を提示した[7]. その結果, 視覚刺激の運動方向とは逆方向への自己運動感覚が知覚される現象が確認された. この結果から水中でのベクション刺激提示は通常のベクション実験と同様の効果を持つことが明らかになった. しかし, 前述の研究では体の一部が水面に出ている状態での検証であり, 潜水状態でのベクションについては検証されていない.

本研究では, 自己運動感覚の変化を陸上と潜水状態で比較し, 潜水状態がベクションの知覚に与える影響についての検証結果を報告する.

2. 実験装置 - 水中 VR システム

水中でのベクション刺激提示には, 我々がこれまでに開発したスキューバ訓練用水中 VR システムを用いた[8][9].

水中 VR システムの概要を図 1 に記す. ベクション刺激の提示には防水加工を施した HMD を使用した (以下 UWHMD). HMD は VirtualDive100 (VRM-100, 株式会社ジ

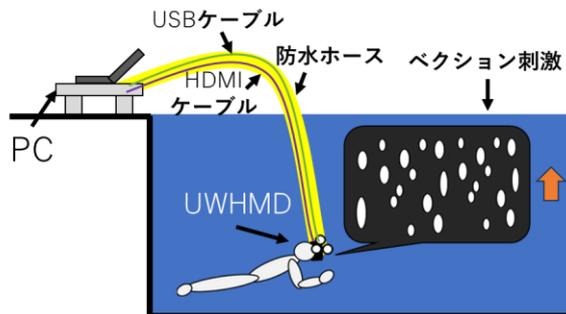


図 1: 水中 VR システム図

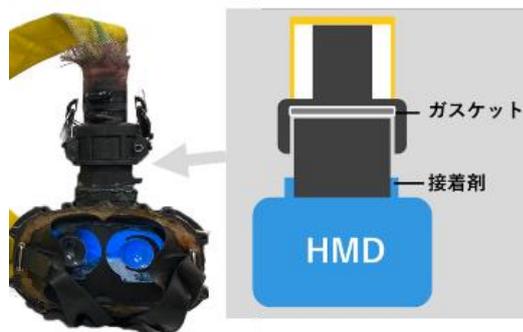


図 2 : UW-HMD の防水構造

ャパンディスプレイ)をダイビングマスクと一体化した防水ケース(図2)に取り付け製作した。防水ケース内部のガスケットを用いることで水が浸入することを防いだ。

3. ベクシオン映像

ベクシオン刺激の映像は Unity を用いて提示した。カメラの位置を原点とする半径 6m の円の中に、25 個のパーティクルを一様分布で生成した。生成は 0.1 秒ごとに行った。その際、生成したパーティクルを 1.3m/s の速度で下から上へ垂直方向に等速で移動させた。また、背景は Unity の fog 機能を用いて黒色の霧を再現し、カメラとの距離が離れるほど霧がかかった色合いになるように処理を施した(図3)。

また、映像は実験参加者の頭部の動きに合わせて連動して変化するように設定した。これは、HMD 内のジャイロセンサーの傾きを検知し、Unity のカメラとリアルタイムで同期させることで実装した。

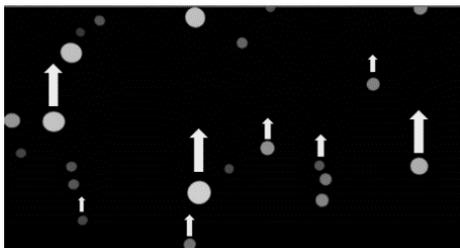


図 3 : ベクシオン映像

4. 実験内容

4.1 実験目的

潜水状態がベクシオンの知覚に与える影響を明らかにすることを目的とする。「潜水状態では自己運動感覚の推定を視覚情報に頼るため、水中ではベクシオン強度が増すと仮説を立て、陸上と潜水状態においてベクシオン刺激を提示し、その際の自己運動感覚の変化を計測した。

ベクシオン強度を測定する指標としてベクシオンの強度を示すベクシオン強度、ベクシオン潜時の 2 つの指標の変化を検証した。

4.2 ベクシオンの計測指標

ベクシオンの知覚強度の計測指標として、ベクシオン潜時及び主観的強度を用いる。

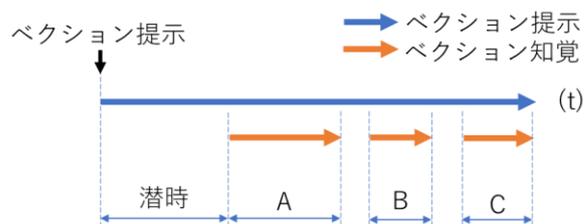


図 4 : ベクシオン潜時及び知覚時間

・ベクシオン強度

ベクシオン強度は、実験参加者に生じた移動感覚の主観的な強度である。実験参加者は 101 段階のリッカートスケール(0 を全く感じなかった, 100 をとても強く感じた)を用いて回答した。この指標の数値が高いほど、ベクシオンを強く知覚したと言える。

・ベクシオン潜時

ベクシオン潜時とは、ベクシオン刺激提示後に実験参加者が移動感覚を知覚するまでに要した時間である(図4)。

ベクシオン潜時が短いほどベクシオンを強く知覚したと言えることが先行研究から判明している[10]。

4.3 実験参加者

裸眼で片眼 0.3 以上、両眼 0.7 以上の視力を有した成人男性(23 歳)1 名を募集した。

4.4 実験状況

地上と水中の実験環境を統制するため、実験参加者には陸上と水中の両方でうつ伏せの姿勢で正面を向いてもらった。その際、姿勢を安定させるため、顎台を使用した。潜水時、身体が浮き上がってしまわないよう、実験参加者の腰にはウェイトベルトを取り付けた。また、右手には実験に用いるスイッチを持たせた(図5, 図6)。



図 5 : 実験時の様子(陸上)



図 6 : 実験時の様子(水中)

4.5 実験手順

まず、実験参加者が水中で1分間呼吸ができることを確認した。水中での呼吸にはタンクレススキューバダイブシステム (blue3Nemo BLUE3, Inc) を用いた。

次に、実験参加者にベクシオン映像 (図3) を視聴させ、パーティクルが2重に表示される、ぼやけて見えるなどの問題がないことを確認した。その際に、必要に応じてUWHMDの瞳孔間距離を調整した。

また、実験参加者にベクシオン刺激を視聴中、移動感覚を感じた際にスイッチを押すように指示した。

実験は以下の①から⑧の流れで実施した。

- ①実験参加者は陸上で静止状態を保つ
- ②陸上で1分間のベクシオン刺激提示
- ③ベクシオン潜時、ベクシオン知覚時間回答
- ④実験参加者は潜水状態で静止状態を保つ
- ⑤水中で1分間のベクシオン刺激提示
- ⑥ベクシオン潜時、ベクシオン知覚時間回答
- ⑦5分間の休憩
- ①から⑦の手順を4回繰り返す
- ⑧実験終了

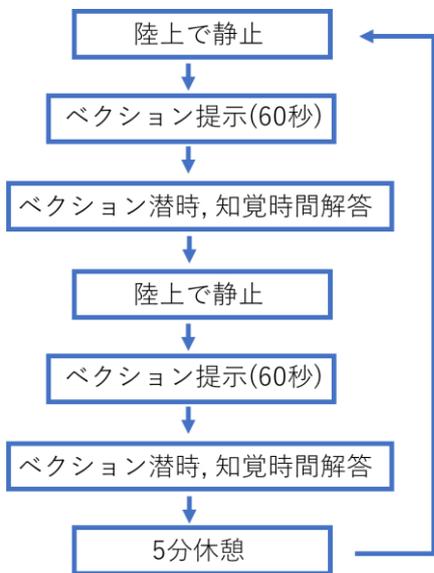


図7: 実験手順

5. 実験結果

5.1 ベクシオン強度

ベクシオン強度の計測結果を表1, 図8に記す。図8の横軸は試行回数, 縦軸はベクシオン知覚強度である。図8から1, 2, 3, 4試行目の結果において, 水中でのベクシオン知覚強度は陸上よりも高い傾向が見られた。特に2試行目では顕著な差が見られた。

表1: ベクシオン強度

	1回目	2回目	3回目	4回目	5回目
陸上	55	50	50	50	55
水中	60	65	55	55	55

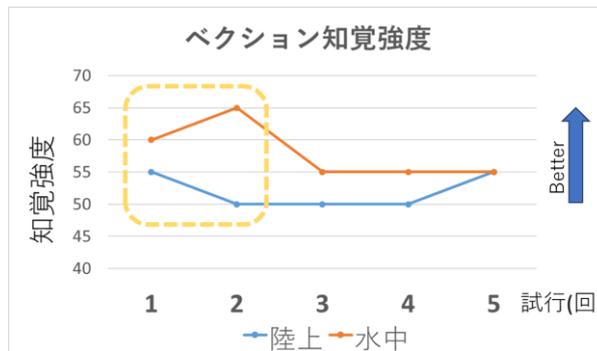


図8: ベクシオン強度

5.2 ベクシオン潜時

ベクシオン潜時の計測結果を表2, 図9に記す。横軸は試行回数, 縦軸はベクシオン潜時である。図9から4回目以外の試行全てにおいて, 水中のベクシオン潜時は陸上より短かかったことが確認できた。

表2: ベクシオン潜時

	1回目	2回目	3回目	4回目	5回目
陸上(秒)	10.16	8.02	5.38	4.92	7.43
水中(秒)	3.58	4.21	4.68	4.92	6.65

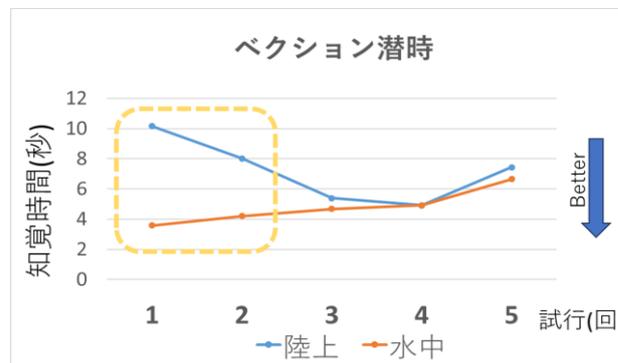


図9: ベクシオン潜時

6. 考察

6.1 ベクシオン強度

結果から, 5回の試行においてベクシオン強度は陸上よりも水中の方が強い傾向が得られた。

本実験の結果は, 潜水状態では擬似的な無重力状態になることから, 自己位置推定を前提感覚よりも視覚情報に頼り, 自己運動感覚の知覚強度が増加する予想と一致する。

そのため, 潜水状態でベクシオン刺激を提示することで陸上よりも強い自己運動感覚が生起する可能性が示唆されたと言える。

3, 4, 5回目の試行では, 水中での知覚強度が低下したこと確認できた。これは, 試行を重ねることで疲労が蓄積し, 水中での呼吸が困難になった結果, 呼吸に集中せざるを得ず, 映像視聴にリソースを割くことができなくなり, 移動感覚を知覚しにくくなったことが原因として考えられる。

6.2 ベクシオン潜時

結果から, 4回目以外の試行全てにおいて, 水中のベク

ション潜時が陸上より短いことが確認できた。ベクション潜時が短いほどベクションを強く知覚したと言えることが先行研究から判明している[10]。そのため、5.2ベクション潜時の結果と5.1ベクション強度の結果は一致すると言える。この結果から、潜水状態は陸上に比べて自己運動感覚がより生起しやすい可能性が示唆されたと言える。

7. 結言

本研究では、潜水状態がベクションの知覚に与える影響を明らかにすることを目的とし、陸上と潜水状態でのベクション潜時、ベクション知覚強度を計測した。

成人男子(23歳)1名から5試行分のデータを取得した結果から、ベクション潜時は潜水条件で短く、ベクション強度は水中条件の方が強い傾向が見られた。

本研究の実験結果は、潜水状態では擬似的な無重力状態になることから、自己位置推定を前庭感覚よりも視覚情報に頼り、自己運動感覚の知覚強度が増加する予想と一致する。

今後の予定として、今回の結果は1名分のみであり、統計解析が実施できなかったため、今後は10名以上のデータを収集し、水中と陸上でのベクション強度の有意差を検定する。また、異なるベクション刺激を提示した際に生じる自己運動感覚の強度についても検証する。具体的には、上下左右方向からオブジェクトフローが流れる映像を提示し、その際にベクションの生起に与える影響を計測する。

8. 謝辞

本研究はJSPS科研費23K28118の助成を受けたものである。

参考文献

- [1] “Optokineticausgeloste,Bewegungswahrnehmungen,und,optokinetischerNystagmus”JournalofPsychologicalNeurology,41,pp.273-308 (1930) Fischer,M.H&Kormmülle,
- [2] ベクションの多感覚性について-視覚にとどまらないダイナミクス-日本音響学会誌 76 巻 1 号 p. 46-52 小特集-VirtualReality (VR) に関連したマルチモーダル技術・研究-(2020) 妹尾武治
- [3] 視覚運動パターンの知覚経験が視覚誘導性自運動知覚に与える影響 社団法人映像情報メディア学会技術報告 ETechnicalReportVol33, No45, pp. 71-75HI2009-136, CE2009-72 (2009) 畠山忠士, 根岸一平, 金子寛彦
- [4] 周辺視野領域における視覚刺激の空間周波数が落下感にもたらす影響の検討 第27回日本バーチャルリアリティ学会大会論文集(2022) 岩崎果帆, 坂本雄児
- [5] カラフルすぎる刺激はベクションを抑制するか 映像情報メディア学会技術報告 ITETechnicalReportVol. 39, No. 43HI2015-69 (2015) 小川将樹, 妹尾武治
- [6] The efect of water immersion on vection in virtual reality (2021) GéraldineFauville, AnnaC.M.Querioz
- [7] 水中での視覚心理実験のための刺激提示装置開発およびそれをを用いた水中での自己身体誘導運動知覚実験 日本福祉大学全学教育センター紀要(2019) 中村信次
- [8] 水中で使用可能な有線型 HMD の開発及び基礎的性能の検証 第23回日本バーチャルリアリティ学会大会論文集(2018) 初鹿デニック, 長田一馬, 橋本悠希
- [9] バーチャル海中遊泳システムの遅延低減及びトラッキング精度向上 ロボティクス・メカトロニクス講演会(2023) 関 公一朗, 橋本 悠希
- [10] 直線運動と回転運動が共存する場合のベクション効果 TVRSJ Vol.24 (2019) 古賀, 石津