

直線運動と回転運動が共存する場合のベクシオン効果に関する分析と考察 (4) -前進運動と後退運動の比較-

松田 あゆみ^{†1} 古賀 宥摩^{†2} 松室 美紀^{†1} 柴田 史久^{†1} 田村 秀行^{†3} 木村 朝子^{†1}

立命館大学 情報理工学部^{†1} 同 大学院情報理工学研究科^{†2} 同 総合科学技術研究機構^{†3}

1 はじめに

一様に運動する視覚刺激を観察することで生起する運動感覚を視覚誘導性自己運動感覚 (ベクシオン) と呼び [1], 視覚刺激の移動方向と逆方向の自己運動を知覚することが知られている。また, ベクシオンは知覚する運動の種類によって, 直線運動感覚 (Linear Vection: LV) と回転運動感覚 (Circular Vection: CV) に分けられる。ベクシオンの利用により, 実際の運動を伴わず運動感覚が表現可能である。そのため, ベクシオンの発生傾向やメカニズムの解明は, VR コンテンツへの応用に期待されている。

我々の先行研究では, 直線運動と回転運動が共存する視覚刺激によって生起するベクシオンを, LV と CV に切り分けて評価することで, LV と CV の関係を分析してきた [2][3]。そこから, 一方のベクシオン強度を増加するよう視覚刺激の直進速度と回転速度のいずれかを変更すると, もう一方のベクシオン強度が減少する, つまり, LV 強度と CV 強度は, 負の相関関係にあることを示した。

LV に関する分析は, 前進方向の LV に着目した研究が多く, 後退方向の LV に関する研究は少ない。そこで, 本稿では, 後退 LV と Roll 回転 CV の関係について検討し, これらの結果を我々の先行研究 [2] の前進 LV と Roll 回転 CV の結果と比較する。これにより, 同一直線上の LV 方向の違いによって, LV 強度と CV 強度の影響度合いがどの程度変化するのかを解明する。

2 実験環境

2.1 広視野ディスプレイシステム

ベクシオンを分析するにあたり, 視野全域に視覚刺激を提示することが重要である。そこで, 本研究では, 図 1 に示す広視野ディスプレイシステムを使用し, 実験参加者へ視覚刺激を提示した。本システムは, 小型ドームの内壁面に, 3 台のプロジェクタが 120°ずつ映像を投影することで, 全天周への映像提示を実現している。なお, 参加者には指定の直立姿勢で視覚刺激を観察させた。

2.2 視覚刺激

視覚刺激には, 多くのベクシオン研究で使用され, 直線運動と回転運動の双方を認識できるランダムドット刺激を採用した。知覚する奥行き情報を統一するため, 円筒形の仮想物体 (直径 6.0m) を用いて刺激を生成した (図 2)。具体的には, 円筒形の内壁にランダムドットのテクスチャをマッピングし, VR 空間内を移動させた。

実験では, 視覚刺激の直進方向は実験参加者に対して後方から前方へのフローとし, 回転方向は直進方向に対して時計回り (Roll 回転) とした。すなわち, 参加者は視覚刺激により, 後退の LV と反時計回りの CV を知覚する。なお, 消失点の高さは小型ドームの床面から 1.6m の位置とし, 同一箇所には赤色の注視点を設けた。生成される視覚刺激のイメージを図 3 に示す。

3 実験内容

3.1 実験目的

視覚刺激の直進速度と回転速度が後退 LV と反時計回り CV の双方に与える影響について分析する。そこから, 我々の先行研究 [2][3] と同様, 後退 LV 強度と反時計回り CV 強度は負の相関関係であるかを確認し, 前進 LV と後退 LV では, LV 強度と CV 強度の関係性に差異が生じるのかを明らかにする。

実験 a では, 視覚刺激の回転速度が LV 強度に与える影響について検討する。実験 b では, 視覚刺激の直進速度が CV 強度に与える影響について検討する。

3.2 実験条件

本実験では, LV 強度を変化させる要因として視覚刺激の直進速度, CV 強度を変化させる要因として視覚刺激の回転速度を操作した。使用する視覚刺激の速度は, 直進速度を 0.0m/s, 4.0m/s, 8.0m/s, 16m/s の 4 段階とし, 回転速度を 0.0°/s, 4.0°/s, 8.0°/s, 16°/s の 4 段階とした。

ただし, 実験 a では 0.0m/s, 実験 b では 0.0°/s を除いた。そのため, 視覚刺激の提示パターンは, 実験 a では 3 (直進速度) × 4 (回転速度), 実験 b では 4 (直進速度) × 3 (回転速度) の 12 条件である。

3.3 実験課題と手続き

実験 a では, 最初に回転運動のみの視覚刺激を提示し, 実験参加者が CV を知覚した際に手元のボタンを押させた。この時間が CV の潜時となる。潜時が短いほどベクシオン強度が大きいことを示す。その後, 視覚刺激に直線運動を加え, 直線運動と回転運動が共存する視覚刺激を提示し, 参加者が LV を知覚している間, 手元のボタンを押し続けさせた。この刺激の提示後から最初にボタンを押すまでの時間が LV の潜時となる。40 秒後に画面を暗転する。以上を 1 試行とし, 各提示パターンにつき 3 試行, 参加者 1 人あたり 12 × 3 = 36 試行を行わせた。実験は, 提示パターン 12 試行ごとに 3 日に分けて行った。

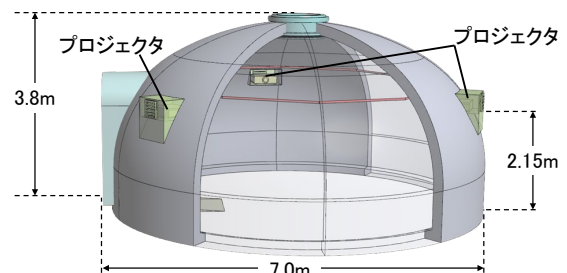


図 1 広視野ディスプレイシステムの外寸

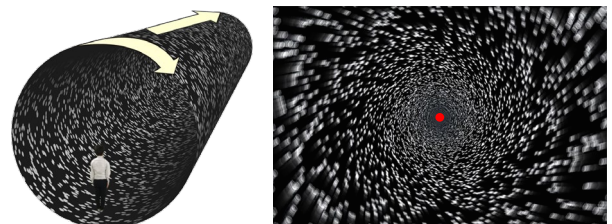


図 2 構築する視覚環境

図 3 視覚刺激のイメージ

“Analysis of the Mixture of Linear and Circular Vections in Immersive Visual Space (4) - Comparison of Forward and Backward Moving Visual Stimuli -”

^{†1} College of Information Sci. and Eng., Ritsumeikan University

^{†2} Graduate School of Information Sci. and Eng., Ritsumeikan University

^{†3} Research Organization of Sci. and Tech., Ritsumeikan University

実験 b の手続きは、直線運動と回転運動の提示順を除き、実験 a と同様である。初めに直線運動のみの視覚刺激を提示し、LV の潜時を測定した。その後、回転運動を加え、CV の潜時を測定した。

3.4 実験参加者

成人 12 名（男性 10 名，女性 2 名）が参加した。矯正含め、全員が正常視力を有していた。

4 実験結果

4.1 実験 a

視覚刺激に直線運動を加える前の CV の潜時の平均値を図 4 に示す。以降、図中のエラーバーは標準誤差を表す。これに対して参加者内分散分析を行った結果、回転速度の主効果 ($F_{(2,22)} = 8.023, p < .001$) が有意であった。そこで、下位検定として Bonferroni 法による多重比較を行い、確認された有意差を図中に記載した。

図 5 は、直線運動と回転運動が共存する視覚刺激を提示した際の LV の潜時の平均値を示す。これに対して直進速度 (3) × 回転速度 (4) の参加者内分散分析を行った。結果として、LV の潜時は直進速度の主効果 ($F_{(2,22)} = 24.115, p < .001$)、回転速度の主効果 ($F_{(3,33)} = 3.550, p = .025$)、交互作用 ($F_{(6,66)} = 4.508, p < .001$) が有意であった。LV の潜時は直線運動が 4.0 m/s ($F_{(3,99)} = 11.597, p < .001$) のときのみ、回転速度の単純主効果が有意であった。下位検定として Bonferroni 法による多重比較を行い、確認された有意差を図中に記載した。図 4 より、視覚刺激の回転速度が上がることで CV 強度が増加し、図 5 より、特に直進速度の小さい 4.0 m/s 条件では、回転速度が上がると LV 強度が減少することが示される。

続いて、前進 LV を用いて同様の実験を行った先行研究 [2] の結果と比較する。CV の潜時に関しては、その傾向と数値に大きな差異はない。LV の潜時に関しては、前進 LV では 4.0 m/s 条件にて、8.0 °/s の潜時が 0.0 °/s、4.0 °/s よりも有意に長かったのに対し、後退 LV では 16 °/s のみが他の回転速度の潜時よりも長いという結果になった。

4.2 実験 b

図 6 は、視覚刺激に回転速度を加える前の LV の潜時を示す。参加者内分散分析の結果、直線速度の主効果 ($F_{(2,22)} = 6.995, p = .005$) が有意であった。Bonferroni 法による多重比較を行い、確認された有意差を図中に記載した。

図 7 は、直線運動と回転運動が共存する視覚刺激を提示した際の CV の潜時の平均値を示す。これに対して、直進速度 (4) × 回転速度 (3) の参加者内分散分析を行った。結果として、CV の潜時は直進速度の主効果 ($F_{(3,33)} = 26.461, p < .001$)、回転速度の主効果 ($F_{(2,22)} = 50.183, p < .001$)、交互作用 ($F_{(6,66)} = 4.412, p < .001$) が有意であった。すべての回転速度で直進速度の単純主効果が有意であった (4.0 °/s: $F_{(3,99)} = 22.621, p < .001$, 8.0 °/s: $F_{(3,99)} = 13.939, p < .001$, 16 °/s: $F_{(3,99)} = 3.217, p = .026$)。下位検定として Bonferroni 法による多重比較を行い、確認された有意差を図中に記載した。図 6 より、視覚刺激の直進速度が上がるほど LV 強度が増加し、図 7 より、それに伴い CV 強度が減少することが示される。

先行研究 [2] の結果と比較すると、すべての直進速度において、後退 LV の潜時は前進 LV の潜時よりも 1~3 秒程度短かった。また、CV の潜時に関しては、前進 LV では観察されなかった 16 °/s における単純主効果が有意であった。さらに、8.0 °/s では前進 LV の際にはなかった、8.0 m/s の直進速度による潜時の増加が有意であった。

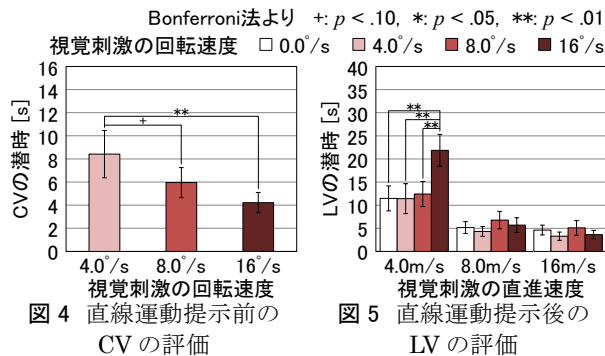


図 4 直線運動提示前の CV の評価

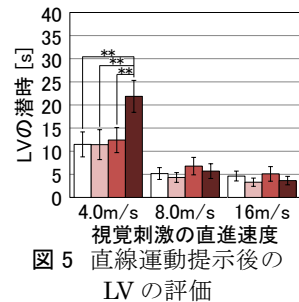


図 5 直線運動提示後の LV の評価

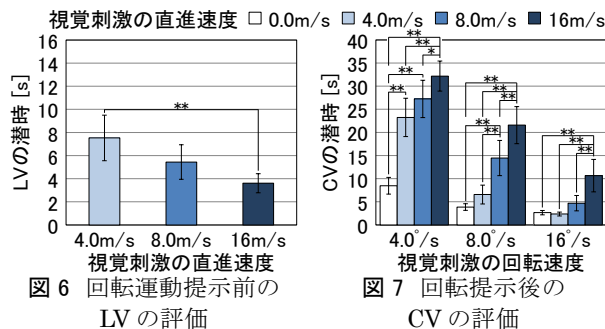


図 6 回転運動提示前の LV の評価

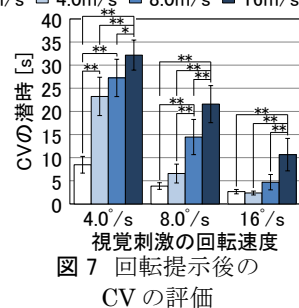


図 7 回転提示後の CV の評価

5 考察

実験 a, b の結果より、先行研究 [2][3] と同様、後退 LV 強度と反時計回り CV 強度は互いに影響し合い、負の相関関係であることが示される。

前進 LV と後退 LV を知覚する場合にはいくつか差が見られた [2]。後退 LV の潜時が比較的短いことは、前進 LV よりも後退 LV が強く知覚されることを示唆する (図 6)。前進運動は日頃体験する場面が多く、その感覚が不要な場合は無視することに慣れていていると考えられる。一方で、後退運動は慣れていないため、同じ刺激速度であっても、後退 LV は強く知覚されやすかったと考えられる。

以上の前進、後退 LV の特徴より、後退 LV は前進 LV と比較し、CV に与える影響が大きく、回転速度に影響を受けにくいという結果が得られたと推測される。

6 むすび

本稿では、直線運動と回転運動が共存する視覚刺激によって知覚する後退 LV と反時計回り CV の関係について分析した。結果として、この LV 強度と CV 強度も先行研究と同様、互いに影響し合い、負の相関関係を持つことを示した。また、前進 LV と反時計回り CV を知覚する場合に比べ、後退 LV が反時計回り CV に与える影響が大きくなることが示された。

参考文献

- [1] S. Palmisano, R. S. Allison, M. M. Schira, and R. J. Barry: "Future challenges forvection research: definitions, functional significance, measures, and neural bases," *Frontiers in Psychology*, Vol. 6, No. 193, pp. 1 - 15, 2015.
- [2] 古賀, 石津, 橋口, 柴田, 田村, 木村: "直線運動と回転運動が共存する場合のベクション効果に関する分析と考察", 情報処理学会研究報告, Vol. 2017-HCI-175, No. 16, pp. 1 - 8, 2017.
- [3] 古賀, 石津, 橋口, 柴田, 田村, 木村: "直線運動と回転運動が共存する場合のベクション効果に関する分析と考察 (2)~直線と回転の運動方向についての拡張実験~", 情報処理学会研究報告, Vol. 2018-HCI-176, No. 4, pp. 1 - 8, 2018.