

直線運動と回転運動が共存する場合のベクシオン効果

古賀 宥摩^{*1} 石津 航大^{*1*2} 松室 美紀^{*3} 橋口 哲志^{*4}
柴田 史久^{*1} 田村 秀行^{*5} 木村 朝子^{*1}

Effect of the Mixture of Linear and Circular Vection in Immersive Visual Space

Yuma Koga^{*1}, Kodai Ishidu^{*1*2}, Miki Matsumuro^{*3}, Satoshi Hashiguchi^{*4},
Fumihisa Shibata^{*1}, Hideyuki Tamura^{*5}, and Asako Kimura^{*1}

Abstract --- The aim of this paper is to analyze the mixing effect of linear vection (LV) and circular vection (CV) when perceiving both of them. Vection is a visual induced self-motion illusion caused by observing a moving pattern in certain direction. And it is classified with two types LV and CV by their moving direction; LV is rectilinear motion sense, and CV is rotational motion sense. Most studies focus on either LV or CV. Therefore, in this paper, we focused on both rectilinear and rotational directions and analyzed the relationship between LV and CV. Through the experiments where rectilinear and rotational visual stimulus coexist, we found that LV and CV strength are in a negative correlation, and the vection strength is obtained as vector sum of LV and CV strength measured under each condition.

Keywords: vection, spiral, optic flow, immersive display, virtual reality

1 はじめに

止まっている電車の中から、向かい側の電車が動き出す様子を観察した際、あたかも自分の乗っている電車が動き出したかのように感じる現象 [1] を経験したことはないだろうか。このような、一様に運動する視覚刺激を観察することによって引き起こされ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 [2], 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。ベクシオンは、例に挙げたような直線的な運動を知覚する直線運動感覚（Linear Vection; LV）と、自身が回転しているような運動を知覚する回転運動感覚（Circular Vection; CV）に分けられる [3].

ベクシオンを利用することで、実際の移動や運動を伴わずに運動感覚を表現・再現可能であるため、ベクシオンを誘発する工夫が数多くの映像コンテンツに活用されている [4]. また、ベクシオン強度と人工現実（Virtual Reality; VR）のコンテンツにおける臨場感は相関している [5,6]. そのため、ベク

シオンの発生傾向の分析やメカニズムの解明は、VR空間における表現力や臨場感の向上に繋がる。

ベクシオンに関する先行研究として、ベクシオン強度と視覚刺激の速度の関係が検討されている。直線運動をする視覚刺激に関して、Berthozら [7] は前後方向、Seyaら [8] は上下方向の視覚刺激によって引き起こされるベクシオン効果について検討している。彼らの結果は、視覚刺激の直線運動の速度が上がるほどLV強度が増加することを示している。同様に、Heldら [9] はRoll回転の視覚刺激によって引き起こされるCVに、Brandtら [10] はYaw回転の視覚刺激によって引き起こされるCVに着目し、CV強度と視覚刺激の回転運動の速度の関係について検討している。その結果、視覚刺激の回転運動の速度が上がるほどCV強度が増加することを示している。これらの研究から、LV強度は視覚刺激の直線運動の速度に、CV強度は視覚刺激の回転運動の速度に影響されることが明らかになっている。

一方で、回転しながら直進（以下、スパイラル運動）する視覚刺激を提示した際に引き起こされるベクシオンに着目した研究もある [11-13]. 例えばPalmisanoら [13] は、前進運動、Roll回転、そして、スパイラル運動をする視覚刺激によって発生するベクシオンへの視覚刺激の提示方法による影響を検討した。しかし、そのようなスパイラル運動における直線運動量と回転運動量の変化が、ベクシオンの知覚にどのように影響するかは検討されていない。

*1 立命館大学大学院情報理工学研究科

*2 現在、日本電産株式会社

*3 立命館大学情報理工学部

*4 龍谷大学理工学部

*5 立命館大学総合科学技術研究機構

*1 Graduate School of Information Science and Engineering, Ritsumeikan Univ.

*2 Nidec Corporation

*3 College of Information Science and Engineering, Ritsumeikan Univ.

*4 Faculty of Science and Technology, Ryukoku Univ.

*5 Research Organization of Science and Technology, Ritsumeikan Univ.

スパイラル運動をする視覚刺激により、回転しながら前進（後退）するベクション、つまり、LV と CV が統合されたベクションを誘発することができる。そこで、本研究では、スパイラル運動をする視覚刺激の直線方向、回転方向の速度を変化させた際に引き起こされる LV 強度と CV 強度の変化、そして、それらの LV, CV と、直線と回転が統合したベクション強度の間にどのような関係性が存在するのかを検討する。本稿では、その第 1 段階として、前進運動の LV と反時計回り（Roll 回転）の CV に着目して分析を行う。

どのような複雑な動きをする視覚刺激も、その動きは直線運動と回転運動の成分に分解することが可能であり、そこから引き起こされるベクションは、須らく LV と CV が統合されることにより生じる運動感覚であると捉えられる。そのため、本研究の結果は、複数の運動方向の成分を持った自己運動感覚の解明に繋がり、VR コンテンツ中の映像表現の設計指標として大きく貢献することができる。

実験 1 では、スパイラル運動をする視覚刺激の直線運動の速度と回転運動の速度を変化させた際の LV 強度と CV 強度を別々に測定し、それらの独立性の有無を分析する。実験 2 では、実験 1 と同様の状況で、直線と回転の統合的なベクション強度を測定し、その強度と実験 1 で測定した LV 強度と CV 強度の間にどのような関係性が存在するか考察する。

2 実験方法

2.1 広視野ディスプレイシステム

人間の視野は水平方向 180° 以上とされ [14]、ベクションを検討するにあたっては、視野全域に視覚刺激を提示することが重要である。ベクションと視野の関係について、Lestienne ら [15] や Johansson [16] は、周辺視野を含む広い領域へ視覚刺激を提示するほど、LV 強度が向上することを示している。また、CV に着目した研究 [10,17,18] においても、同様の知見が得られている。これらの研究に基づき、本研究では、実験参加者の広範な視野領域に視覚刺激を提示すべく、広視野ディスプレイシステム（図 1）を利用し、実験を行った。

同システムでは、小型ドーム（ジャパンドームハウス株式会社 7000 型ドームハウス）の壁面高さ 2.15m の位置に、3 台のプロジェクタ（パナソニック株式会社 PT-DW6300LK）が設置され、それぞれ 120° ずつ小型ドームの内壁面に歪み補正、ブレンディング補正が適用された映像を投影することで、天井を含む参加者の周囲 360° への映像提示を実現している。小型ドームの内壁面に映像を投影しているため、提示面には不連続点がなく、一様な視覚刺激の提示が可能である。

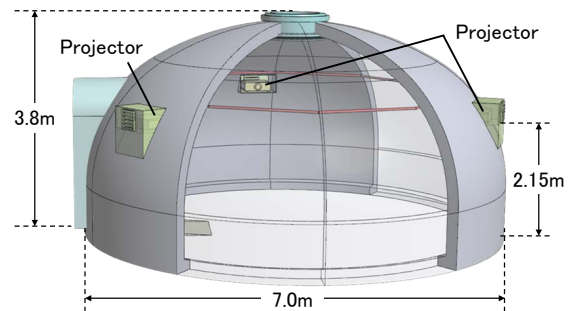


図 1 広視野ディスプレイシステムの外寸
Fig.1 Wide-field-of-view display system

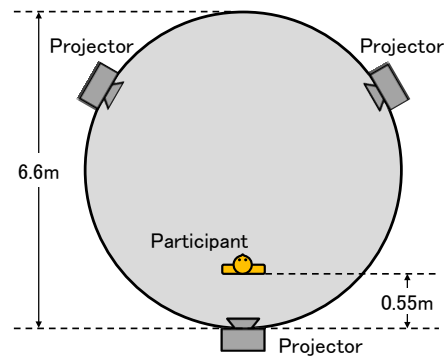


図 2 参加者の観察位置
Fig.2 Observation position of participant

一方で、前面投影方式を採用して全天周に視覚刺激を提示するため、プロジェクタから放射された光が実験参加者の目に差し込み、参加者が眩しく感じる可能性が考えられる。そこで、玉置ら [19] の手法に倣い、プロジェクタの座標系における参加者の頭部に黒色を投影することで、顔部分に光が放射されないように対処した。また、実験を行う際は、参加者の影が視覚刺激の提示面に映り込むことを避けるため、視覚刺激の観察は図 2 に示す位置で指定の直立姿勢を維持した状態で行わせた。

2.2 視覚刺激

視覚刺激として、多くのベクション研究で使用され、直線運動と回転運動の双方を認識できるランダムに配置された点群（ランダムドット）のフローを使用した。ベクション強度は視覚刺激の速度以外にも、視覚刺激の奥行き感の違いによって変化することが報告されている [20]。3次元空間全体にドットを配置した場合、放射状の移動では奥行き感が強く、Roll 回転では奥行き感が弱くなることが示されている [13]。そのため、3次元空間全体にドットを配置すると、測定時の統制を欠く可能性がある。

そこで、奥行き情報を統一するために、円筒形の仮想物体を用いて視覚刺激を生成した。具体的には、十分に長い円筒形（直径 6.0m）の仮想物体の内側にランダムドットのテクスチャをマッピングし、VR 空間で移動させた。この円筒形の仮想物体を平行移動させることで直線運動を、回転させることで回転運動の視覚刺激を表現することが可能である。

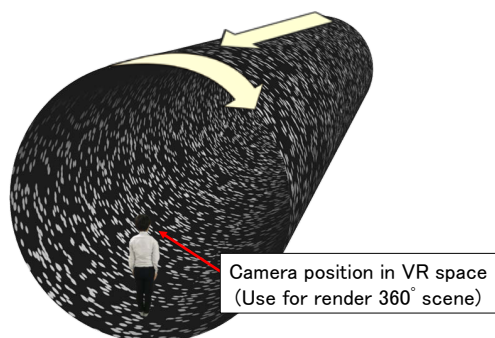


図3 シミュレートされた視覚環境
Fig.3 Simulated visual environment

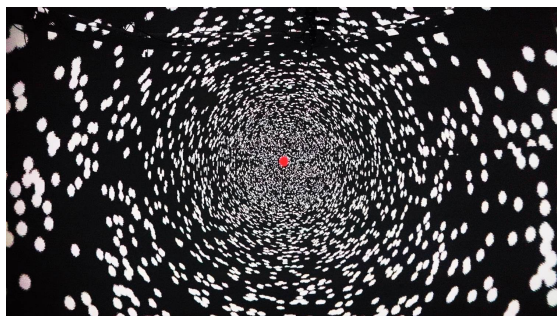


図4 小型ドームの壁面に投影した視覚刺激
Fig.4 Visual stimuli projected onto dome wall

本研究では、視覚刺激の直線運動は参加者の前方から後方へ流れるフローとし、回転運動は直線運動の移動方向に対して反時計回り（Roll回転）とした（図3）。すなわち、この視覚刺激を提示することで、参加者に前進運動のLVと反時計回りのCVを知覚させた。このVR空間内の観察位置における観察映像を、先述の方法で全天周に提示した。

視覚刺激は、黒色（ 0.74cd/m^2 ）の一樣背景にランダムに配置された白色（ 10.2cd/m^2 ）のドットで構成し、白色が占める密度を20%とした。このとき、ドットの大きさ（直径）は、参加者の真横に配置されるドットが、視野角に換算して 2.0° となるように設定した。また、視覚刺激の消失点は、小型ドームの床面から高さ1.6mの位置（参加者の目線の高さ）とし、同一箇所視線方向を固定するために赤色の注視点を設けた。実際に参加者が観察する視覚刺激の例を図4に示す。

2.3 評価方法

ベクシオン強度の評価方法として、先行研究で主に用いられている、ベクシオンが発生するまでの時間（潜時）、発生している間の時間（持続時間）、発生したベクシオンの強さを数値で回答させた値（主観強度）を採用した[6,20]。一般的にベクシオンが強くと発生すると、潜時は短く、持続時間は長く、主観強度の数値は大きくなることが知られている。

潜時と持続時間の測定には、Wii Remote（任天堂製 RVL-003）を利用した。Wii Remoteは、Bluetoothアダプタ（ELECOM製 LBT-UAN04C1BK）を用

いてPCと接続し、100Hzで安定してデータの送受信ができることを確認した。視覚刺激を提示後、参加者に、評価対象のベクシオンが発生している間、Wii Remoteのボタンを押し続けさせた。視覚刺激が提示されてからボタンを押すまでの時間が潜時、視覚刺激の提示終了までにボタンを押していた時間の総和が持続時間である。視覚刺激の提示時間は、文献[6]に倣い40秒とした。主観強度に関しては、ベクシオンが全く発生していない場合を0とし、想定できる最も強いベクシオンが発生した場合を100とした101段階で回答させた。

3 実験 1-a: 視覚刺激の直線運動と回転運動の速度がLV強度に与える影響の分析

3.1 実験目的

実験1では、LVとCVを別々に評価させることで、LV強度とCV強度が互いに影響し合うのか分析する。実験1-aでは、視覚刺激の回転運動の速度がLV強度に影響を与えるのか検討する。LV強度にCV強度が影響しないのであれば、視覚刺激の回転運動の速度が変動してCV強度が増減しても、LV強度は一定となり、影響するのであればLV強度は変化するはずである。

3.2 実験条件

LV強度を変化させる要因として、視覚刺激の直線運動の速度（直進速度）、CV強度を変化させる要因として、視覚刺激の回転運動の速度（回転速度）の2要因を設定した。実験1-aでは、直進速度を4.0m/s、8.0m/s、16m/sの3段階とし、回転速度を $0.0^\circ/\text{s}$ 、 $4.0^\circ/\text{s}$ 、 $8.0^\circ/\text{s}$ 、 $16^\circ/\text{s}$ の4段階とした。回転速度 $0.0^\circ/\text{s}$ 条件では、視覚刺激は直線運動のみとなるため、回転運動が共存しない条件である。視覚刺激の提示パターンは、直進速度3段階と回転速度4段階の組み合わせとなる $3 \times 4 = 12$ 通りとなった。

3.3 実験課題と手続き

実験1-aでは、スパイラル運動の視覚刺激を観察した際に発生するLVの強さを評価させた。ここで、直線運動と回転運動を同時に提示しても、LVの評価に注力するあまり、回転運動を無視し、CVが発生しないことが懸念される。そこで、最初に回転運動のみの視覚刺激を提示し、参加者にCVを知覚させてから視覚刺激に直線運動を加えて提示する。これにより、すべての提示パターンにおいて、CVが発生した状態でLVを評価していることが保証される。

回転運動のみの視覚刺激を提示した後、参加者にCVが発生した際に手元のボタンを押させた。ボタン押下までの時間をCVの潜時とし、各回転速度条件における、直線運動が共存しない場合のCV強度を測定した。ボタンが押された直後、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た。参加者に LV が発生している間、ボタンを押し続けさせ、LV の潜時と持続時間を測定した。そして、40 秒後に画面を暗転し、LV の主観強度を回答させた。なお、回転速度が 0.0°/s 条件の場合、視覚刺激に回転運動がないため、CV の潜時を測定する手順をスキップした。

以上を 1 試行としてカウントし、各提示パターンにつき 3 試行、参加者 1 人あたりにつき全 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。また、各試行間では、疲労による影響を排除するために十分なインターバルを設け、参加者の報告により運動残効が発生していないことを確認した。

なお、実験を開始する前に、参加者には LV と CV に関する説明を映像提示や体験を含め十分にを行い、各感覚への理解を深めさせた。さらに、実験方法を教示したうえで回答方法を十分に練習させ、LV と CV を分離して評価できることを参加者からの主観報告により確認した。合わせて、CV の評価に身体の傾き知覚の評価が混入することが懸念されるため [21]、参加者がこれらの違いを区別して CV のみを評価できることも主観報告により確認した。

3.4 実験参加者

成人 13 名 (男性 10 名, 女性 3 名) が実験 1-a に参加した。矯正を含め、全員が正常視力を有した。

3.5 実験結果

図 5 は視覚刺激に直線運動を加える前の CV の潜時の平均値を示す。以降、図中のエラーバーは標準誤差を表す。参加者内分散分析の結果、回転速度の主効果 ($F_{(2,24)} = 19.654, p < .001$) 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 より、視覚刺激の回転速度が上がるほど CV の潜時が短くなり、CV 強度が増加したことが示される。すなわち、参加者は視覚刺激の回転速度が上がるほど、強い CV が発生している状態で、LV を評価していたことを意味する。

図 6 は直線運動を加えた後の (a) LV の潜時、(b) 持続時間、(c) 主観強度の平均値を示す。それぞれに対して、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、持続時間、主観強度のすべてにおいて、直進速度の主効果 (潜時: $F_{(2,24)} = 33.529, p < .001$, 持続時間: $F_{(2,24)} = 40.638, p < .001$, 主観強度: $F_{(2,24)} = 98.484, p < .001$) と回転速度の主効果 (潜時: $F_{(3,36)} = 7.251, p < .001$, 持続時間: $F_{(3,36)} = 9.279, p < .001$, 主観強度: $F_{(3,36)} = 5.469, p = .003$) が有意であった。交互作用は、LV の潜時、持続時間では有意であったが

From Bonferroni test +: $p < .10$, *: $p < .05$, **: $p < .01$

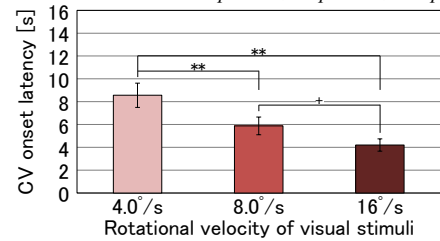
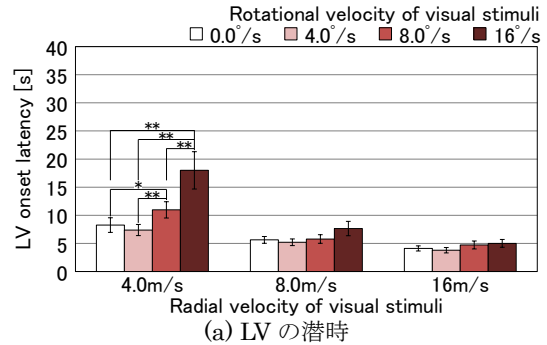


図 5 直線運動を加える前の CV 評価

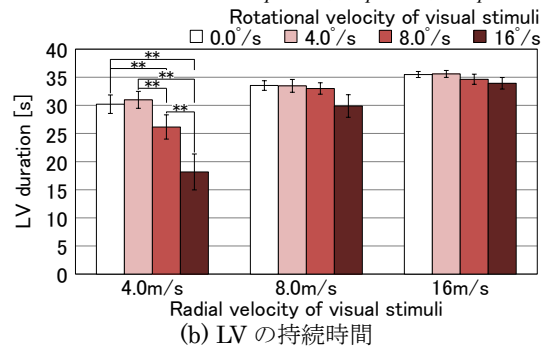
Fig.5 CV evaluation before adding radial flow

From Bonferroni test +: $p < .10$, *: $p < .05$, **: $p < .01$

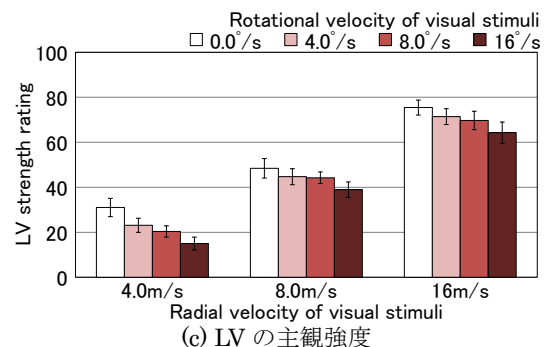


(a) LV の潜時

From Bonferroni test +: $p < .10$, *: $p < .05$, **: $p < .01$



(b) LV の持続時間



(c) LV の主観強度

図 6 LV 強度と視覚刺激の直進速度、回転速度の関係

Fig.6 Relationship between LV strength and radial/ rotational velocity of visual stimuli

(潜時: $F_{(6,72)} = 6.521, p < .001$, 持続時間: $F_{(6,72)} = 8.533, p < .001$), LV の主観強度では有意でなかった ($F_{(6,72)} = 1.099, p = .372$).

以降は、実験 1-a の目的に合わせ、回転速度の効果に関する検定を行う。潜時と持続時間ともに直線運動が 4.0m/s のとき、回転速度の単純主効果が有意であった (潜時: $F_{(3,108)} = 19.459, p < .001$, 持続時間: $F_{(3,108)} = 24.344, p < .001$)。Bonferroni 法による多重比較を行い、確認された有意差を図中 (図 6

(a)(b)に記載した。以上の結果は、回転速度の上昇によってLV強度が減少し、直進速度が低い場合にその効果がより顕著に表れることを示している。

さらに、交互作用が有意ではなかった主観強度において(図6(c))、回転速度の主効果の下位検定としてBonferroni法による多重比較を行った。結果として、 $0.0^\circ/\text{s}$ 条件と $16^\circ/\text{s}$ 条件間に有意差が確認された($p = .002$)。この結果は、視覚刺激の回転速度が上がることで、主観的にもLV強度が減少していたことを示す。しかし、その傾向への直進速度の影響は潜時や持続時間と異なり、参加者が主観的に違いを体感できるほど大きな効果ではなかったと考えられる。

図6(a)(b)(c)より、視覚刺激の回転速度が上がるにつれて、LV強度が減少することが示された。そして、図6(a)(b)から、直進速度が上がるほど、LV強度に与える回転速度の影響力が弱まることも読み取れる。ここで、図5で示した、回転速度が上がるほどCV強度が増加する結果と合わせて考えると、図6の結果は、スパイラル運動の視覚刺激によって発生するCV強度が増加するほど、LV強度が減少すると言える。また、直進速度が高くなり、スパイラル運動の視覚刺激によって発生するLV強度が増加すると、CV強度の影響力が弱まることを示した。

4 実験1-b: 視覚刺激の直線運動と回転運動の速度がCV強度に与える影響の分析

4.1 実験目的

実験1-bでは、視覚刺激の直線運動の速度がCV強度に影響を与えるのか検討する。CV強度にLV強度が影響しないのであれば、視覚刺激の直線運動の速度が変動してもCV強度は一定となり、影響するのであれば変化するはずである。

4.2 実験条件

実験1-bで用い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、回転速度を $4.0^\circ/\text{s}$ 、 $8.0^\circ/\text{s}$ 、 $16^\circ/\text{s}$ の3段階とした。実験1-aと異なり、回転運動のみの条件である直進速度 0.0m/s を含んだ。視覚刺激の提示パターンは、直進速度4段階と回転速度3段階の組み合わせとなる $4 \times 3 = 12$ 通りとなった。

4.3 実験課題と手続き

回転運動と直線運動の提示順が逆である点を除き、実験1-aと同様の手続きを用いた。はじめに、直線運動のみの視覚刺激を提示してLVの潜時を測定した後、回転運動を加え、CVの潜時、持続時間、主観強度を測定した。なお、直進速度が 0.0m/s 条件の場合、視覚刺激に直線運動がないため、LVの潜時を測定する手順をスキップした。

4.4 実験参加者

実験1-aと同じ成人13名である。実験1-aと実験1-bの実実施順序のカウンターバランスをとった。

4.5 実験結果

図7は視覚刺激に回転運動を加える前のLVの潜時の平均値を示す。参加者内分散分析の結果、直進速度の主効果($F_{(2,24)} = 22.490, p < .001$)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7より、直進速度が上がるほどLVの潜時が短くなり、LV強度が増加したことが示される。すなわち、参加者は視覚刺激の直進速度が上がるほど、強いLVが発生している状態で、CVを評価していることを意味する。

図8は回転運動を加えた後の(a)CVの潜時、(b)持続時間、(c)主観強度の平均値を示す。それぞれに対して、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、持続時間、主観強度すべてにおいて、直進速度の主効果(潜時： $F_{(3,36)} = 18.624, p < .001$ 、持続時間： $F_{(3,36)} = 30.948, p < .001$ 、主観強度： $F_{(3,36)} = 33.117, p < .001$)、回転速度の主効果(潜時： $F_{(2,24)} = 48.505, p < .001$ 、持続時間： $F_{(2,24)} = 90.274, p < .001$ 、主観強度： $F_{(2,24)} = 280.232, p < .001$)、交互作用(潜時： $F_{(6,72)} = 10.391, p < .001$ 、持続時間： $F_{(6,72)} = 9.523, p < .001$ 、主観強度： $F_{(6,72)} = 3.520, p = .004$)が有意であった。

以降は、実験1-bの目的に合わせ、直線速度の効果に関する検定を行う。潜時と持続時間においては、回転速度 $4.0^\circ/\text{s}$ (潜時： $F_{(3,108)} = 33.372, p < .001$ 、持続時間： $F_{(3,108)} = 40.860, p < .001$)と $8.0^\circ/\text{s}$ (潜時： $F_{(3,108)} = 9.752, p < .001$ 、持続時間： $F_{(3,108)} = 15.082, p < .001$)において直進速度の単純主効果が有意であった。CV強度の主観強度においては、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($4.0^\circ/\text{s}$: $F_{(3,108)} = 22.186, p < .001$, $8.0^\circ/\text{s}$: $F_{(3,108)} = 30.649, p < .001$, $16^\circ/\text{s}$: $F_{(3,108)} = 11.626, p < .001$)。各結果の単純主効果が有意であった条件に下位検定としてBonferroni法による多重比較を行い、各結果において確認された有意差を図中(図8(a)(b)(c))に記載した。以上の結果は、直進速度の上昇によってCV強度が減少し、回転速度が小さい場合にその効果がより顕著に表れることを示す(図8(a)(b)(c))。

図7より、直進速度の上昇によってLV強度が増加することが示されているため、図8の結果はスパイラル運動の視覚刺激によって発生するLV強度が増加するにつれてCV強度が減少すると言える。そして、その効果は回転速度が上がり、スパイラル運動の視覚刺激によって発生するCV強度が増加するほど小さくなることを示した。

5 実験1の考察

From Bonferroni test +: $p < .10$, *: $p < .05$, **: $p < .01$

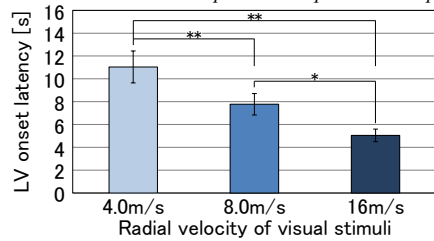
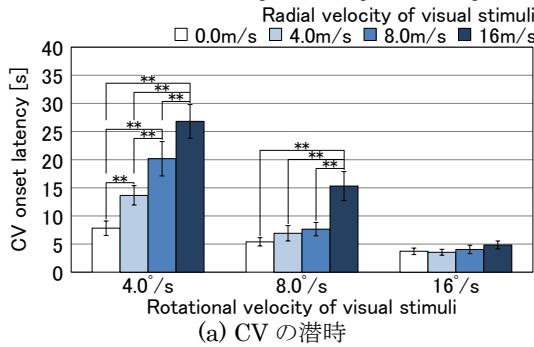


図7 回転運動を加える前のLV評価

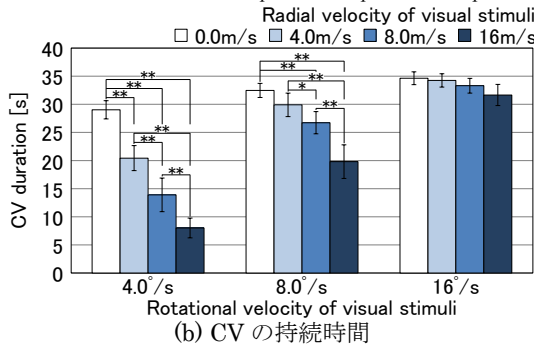
Fig.7 LV evaluation before adding rotational flow

From Bonferroni test +: $p < .10$, *: $p < .05$, **: $p < .01$



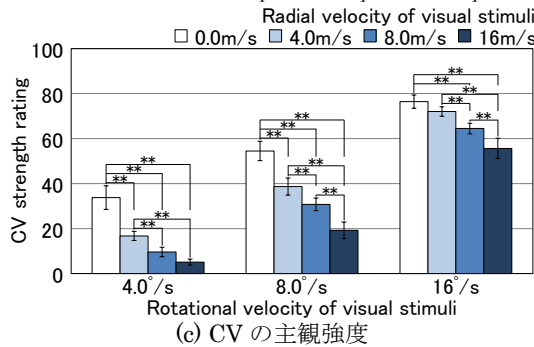
(a) CVの潜時

From Bonferroni test +: $p < .10$, *: $p < .05$, **: $p < .01$



(b) CVの持続時間

From Bonferroni test +: $p < .10$, *: $p < .05$, **: $p < .01$



(c) CVの主観強度

図8 CV強度と視覚刺激の直進速度、回転速度の関係
Fig.8 Relationship between CV strength and radial/ rotational velocity of visual stimuli

これは実験1-aで確認したLVへの影響と同様の傾向であるが、主観強度にも交互作用が確認できたという点に違いがあった。このことから、回転速度の違いによって直進速度の影響力が増減する現象は、参加者が明確に知覚できるほど大きな影響であったと考えられる。また、確認できる条件間の有意差の数から、直進速度がCVに与える影響は、回転速度がLVに与える影響より大きいことが示唆された。

実験1-aでは、視覚刺激の回転速度が上がるにつれて、CV強度が増加し(図5)、LV強度は減少することを示した(図6(a)(b)(c))。同様に、実験1-bでは、視覚刺激の直進速度が上がるにつれて、LV強度が増加し(図7)、CV強度は減少することを明らかにした(図8(a)(b)(c))。これらの結果を合わせて考えると、CV強度が増加するほどLV強度が減少し、LV強度が増加するほどCV強度が減少することを表している。すなわち、実験1において、LV強度とCV強度は互いに影響し合い、その関係は負の相関関係にあることを示した。

負の相関関係が生じる理由にはいくつかの可能性が挙げられる。第1に、処理すべき情報の次元が増加したことにより、各情報の処理に割り当てられる認知資源が減少した可能性である。例えば、回転運動のみであれば、2次元平面上の運動の処理のみである。そこに、直線運動という奥行き情報の処理が加わることで、直線運動を処理するための認知資源が必要となる。その結果、直線運動への認知資源が増えた分LV強度が増加し、回転運動の処理に割り当てられる認知資源が減少し、その分CV強度が減少してしまったと考えられる。

合わせて、強い刺激には注意が向けられやすく、より多くの認知資源をかけて処理が行われやすい。認知資源をより多くかけて処理を行った方向への感度は高くなり、その分ベクシオンを感じやすくなる一方、資源をかけていない方向への感度は低くなり、ベクシオンを感じにくくなるだろう。つまり、強い刺激に認知資源をかけて処理を行った分、共存する弱い刺激への資源の割り当てが減ったことにより、2つのベクシオン強度の間に負の相関関係が生じたと推測される。

ここで、Kitazakiら[22]は、図地分化と紐づけて、注意を向けていない運動成分がベクシオンを誘発することを報告している。彼らの研究では、正反対の動きをする2種類のドット刺激を用いているため、双方の刺激に対応したベクシオンが同時に発生することはない。そのため、注意を向けられなかった刺激が“地”と認識され、ベクシオンを誘発した。一方で、我々の研究では、ドット刺激は直線運動と回転運動の両成分を同時に有し、ドット群が図と地に分離されることはない。このように、異なる方向の運動成分を同時に有する状況では、より強い刺激が注意を奪うことにより、その処理にかかる認知資源の分配に偏りが生じるため、ベクシオンの発生において強い刺激が優位に働くと考えられる。

第2に、直交方向の動きが加わることにより、移動量の見積もりに狂いが生じた可能性である。人間

は刺激の全体的な処理を行う傾向がある。たとえ、異なる方向に運動する視覚刺激が与えられても、全体としてそのベクトル和方向に動いていると感じるほどである [23,24]。よって、スパイラル運動をする視覚刺激の中から直線、回転運動を正確には抽出できず、その結果、LV, CV 強度も変化したと考えられる。この点に関しては、本研究の結果のみでは答えが出せないため、今後の検証が必要である。

また、実験 1-a では、視覚刺激の直進速度が十分に高い場合、実験 1-b では、回転速度が十分に高い場合、もう一方の運動の速度がベクション強度に与える影響は、非常に小さくなることを確認できる。つまり、片方の移動感覚が強くなり過ぎると、もう片方の影響がなくなることが示される。Zohary ら [23] は、複数方向に移動するドット刺激を観察した際に、1 方向の刺激の動きが極端に大きい場合、全体としてその刺激の運動方向へ動いているように知覚されやすいことを示している。ベクションの発生においても同様に、片方の視覚刺激が速くなり過ぎた場合に、もう片方の刺激の影響が非常に小さくなったために、交互作用が有意になったと考えられる。

実験 1 の手続きでは、たとえ視覚刺激に回転運動を加えたとしても、各条件における視覚刺激の直進速度は一定であり、その逆もまた然りである。つまり、視覚刺激の直線方向、回転方向の移動量は変化していない。それにも関わらず、回転速度が上がることで LV 強度が、直進速度が上がることで CV 強度が減少した。このような負の相関関係性は、VR 環境において臨場感を演出するために利用可能な新たな知見である。

6 実験 2: 視覚刺激の直線運動と回転運動の速度が統合的なベクション強度に与える影響の分析

6.1 実験目的

視覚刺激の直進速度と回転速度を変化させ、スパイラル運動の視覚刺激によって発生する直線と回転が統合したベクション強度の変動傾向を確認する。そして、本研究ではこれを“統合的なベクション”と呼び、その強度と LV および CV の各強度の間どのような関係性が成り立つかを考察する。

6.2 実験条件

実験 1 と同様、視覚刺激の直進速度と回転速度の 2 要因を設定した。直進速度を 0.0m/s, 4.0m/s, 8.0m/s, 16m/s の 4 段階、回転速度を 0.0°/s, 4.0°/s, 8.0°/s, 16°/s の 4 段階とした。0.0m/s × 0.0°/s 条件の場合、ベクションは発生しない。そのため、視覚刺激の提示パターンは、直進速度 4 段階と回転速度 4 段階の組み合わせから 0.0m/s × 0.0°/s 条件を除いた $4 \times 4 - 1 = 15$ 通りとなった。

6.3 実験課題・手続き

実験 2 では、LV と CV を区別せず、スパイラル運動の視覚刺激を観察した際に発生する統合的なベクションを評価させた。参加者には、評価させる運動感覚を指定せず、自身が動いたと感じる強さを評価するように教示した。そのため、段階を踏まずに初めから、スパイラル運動をする視覚刺激を提示し、実験 1 と同様の手続きで統合的なベクションの潜時、持続時間、主観強度を測定した。

なお、実験を開始する前に、参加者には統合的なベクションに関する説明を映像提示や体験を含め十分に行い、実験方法を教示したうえで回答方法を十分に練習させた。

6.4 実験参加者

実験 1 に参加した 5 名を含む成人 16 名（男性 13 名、女性 3 名）が実験 2 に参加した。矯正を含め、全員が正常視力を有した。

6.5 実験結果

一部の条件でベクションが発生しなかった 1 名のデータを実験結果から除外した。図 9, 図 10 は、(a) ベクションの潜時、(b) 持続時間、(c) 主観強度の平均値を示す。図 9 は直進速度を横軸、回転速度を凡例としており、直線運動のみの視覚刺激 (0.0°/s 条件) で発生するベクション強度の結果が含まれる。同様に、図 10 は回転速度を横軸、直進速度を凡例としており、回転運動のみの視覚刺激 (0.0m/s 条件) で発生するベクション強度の結果が含まれる。

はじめに、回転速度の効果を確かめるため、図 9 (a)(b)(c) に関する分析を行った。0.0m/s × 0.0°/s 条件が存在しないため、それぞれに対して、直進速度 (3; 0.0m/s 以外) × 回転速度 (4) の参加者内分散分析を行った。結果として、潜時、持続時間、主観強度のすべてにおいて、直進速度の主効果 (潜時: $F_{(2,28)} = 13.376, p < .001$, 持続時間: $F_{(2,28)} = 23.119, p < .001$, 主観強度: $F_{(2,28)} = 42.167, p < .001$), 回転速度の主効果 (潜時: $F_{(3,42)} = 8.954, p < .001$, 持続時間: $F_{(3,42)} = 6.730, p < .001$, 主観強度: $F_{(3,42)} = 52.546, p < .001$), 交互作用 (潜時: $F_{(6,84)} = 4.250, p < .001$, 持続時間: $F_{(6,84)} = 3.079, p = .009$, 主観強度: $F_{(6,84)} = 12.090, p < .001$) が有意であった。

回転速度がベクション強度に与える影響について確認するため、実験結果に対して回転速度の単純主効果の検定を行った。結果として、潜時は 4.0m/s ($F_{(3,126)} = 15.854, p < .001$) で回転速度の単純主効果が有意であり、8.0m/s ($F_{(3,126)} = 2.278, p = .083$) は有意傾向に留まった。持続時間は 4.0m/s ($F_{(3,126)} = 11.058, p < .001$) と 8.0m/s ($F_{(3,126)} = 3.407, p = .020$) で回転速度の単純主効果が有意であった。主観強度はすべての直進速度において、回転速度の

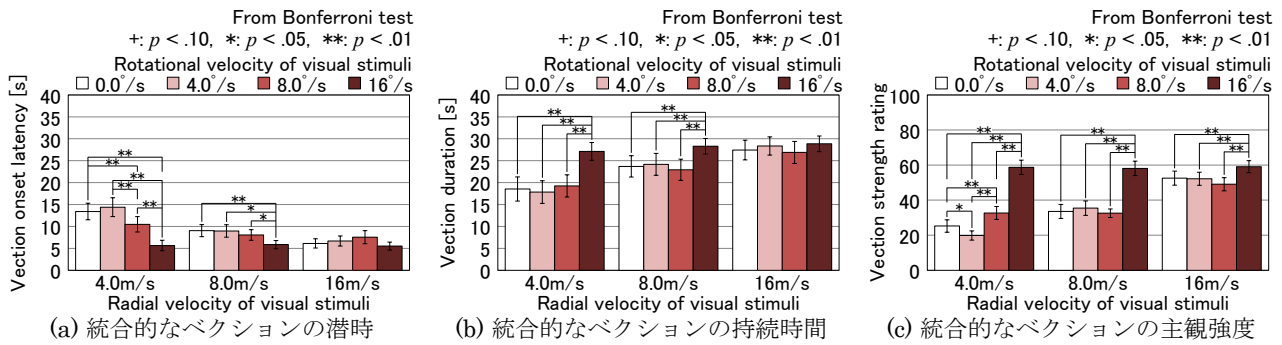


図9 統合的なベクション強度と視覚刺激の直進速度，回転速度の関係（回転運動を凡例にした場合）

Fig.9 Relationship between vection strength and radial/ rotational velocity of visual stimuli (When using the rotational velocity of visual stimuli as a legend)

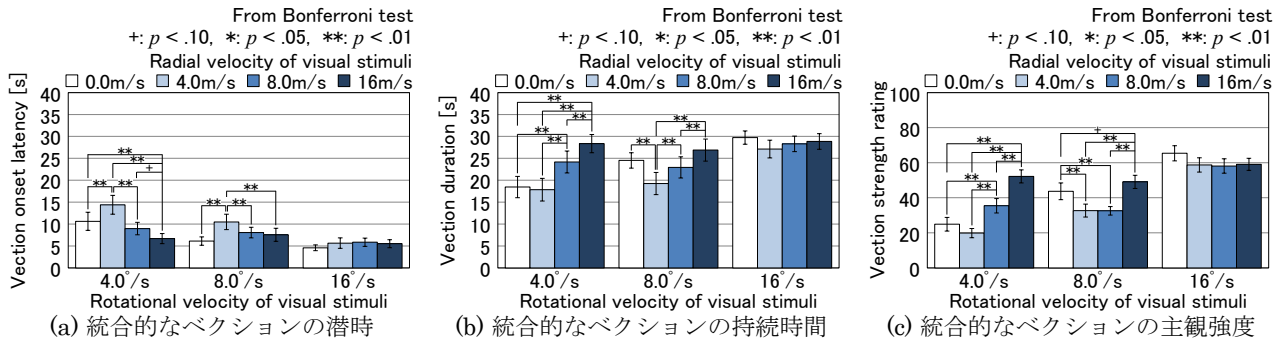


図10 統合的なベクション強度と視覚刺激の直進速度，回転速度の関係（直線運動を凡例にした場合）

Fig.10 Relationship between vection strength and radial/ rotational velocity of visual stimuli (When using the radial velocity of visual stimuli as a legend)

単純主効果が有意であった (4.0m/s: $F_{(3,126)} = 56.315, p < .001$, 8.0m/s: $F_{(3,126)} = 28.220, p < .001$, 16m/s: $F_{(3,126)} = 3.337, p = .022$).

Bonferroni 法による多重比較を行った結果，得られた有意差を図中 (図9 (a)(b)(c)) に記載した．図9 (a)(b)(c) より，直進速度 4.0m/s と 8.0m/s において，最も回転速度の高い 16°/s 条件で，他の回転速度よりベクション強度が大きいことが示された．しかし，回転速度が上がるほどベクション強度が増加するという関係は明確に示されなかった．特に，主観強度 (図9 (c)) の直進速度が低い 4.0m/s 条件では，弱い回転運動 (4.0°/s) が加わると強度が減少することが伺える．さらに，潜時と持続時間 (図9 (a)(b)) の 16m/s 条件においては，強度の増加が認められなかった．

続いて，直進速度の効果を確かめるため，図10 (a)(b)(c) で示した各指標に対して，直進速度 (4) × 回転速度 (3; 0.0°/s 以外) の参加者内分散分析を行った．結果として，潜時，持続時間，主観強度のすべてにおいて，直進速度の主効果 (潜時: $F_{(3,42)} = 6.151, p = .002$, 持続時間: $F_{(3,42)} = 9.415, p < .001$, 主観強度: $F_{(3,42)} = 13.833, p < .001$)，回転速度の主効果 (潜時: $F_{(2,28)} = 28.808, p < .001$, 持続時間: $F_{(2,28)} = 18.607, p < .001$, 主観強度: $F_{(2,28)} = 109.279, p < .001$)，交互作用 (潜時: $F_{(6,84)} = 3.196, p = .007$, 持続時間: $F_{(6,84)} = 4.840, p < .001$, 主観強度: $F_{(6,84)} = 12.276, p < .001$) が有意であった．

直進速度がベクション強度に与える影響について確認するため，直進速度の単純主効果の検定を行った．その結果，潜時，持続時間，主観強度のすべてにおいて，4.0°/s (潜時: $F_{(3,126)} = 9.617, p < .001$, 持続時間: $F_{(3,126)} = 14.180, p < .001$, 主観強度: $F_{(3,126)} = 28.064, p < .001$) と 8.0°/s (潜時: $F_{(3,126)} = 3.012, p = .033$, 持続時間: $F_{(3,126)} = 5.844, p < .001$, 主観強度: $F_{(3,126)} = 9.354, p < .001$) で直進速度の単純主効果が有意であった．

Bonferroni 法による多重比較を行い，得られた有意差を図中 (図10 (a)(b)(c)) に記載した．図10 (a)(b)(c) より，8.0°/s 条件で回転運動の視覚刺激に低速 (4.0m/s) の直線運動が加わるとベクション強度が減少し，4.0°/s 条件で高速 (16m/s) の直線運動が加わるとベクション強度が増加することがわかる．そのため，回転速度が上がるほど統合的なベクション強度が単調増加するとは言えない．また，16°/s 条件では増減傾向を確認することができなかった．

6.6 考察

実験2で利用した視覚刺激である各ドットの単位時間あたりの移動量は，直線運動方向と回転運動方向の移動量のベクトル和に近似する．ベクション強度は視覚刺激の速度と関連することから [7-10]，実験2で測定された統合的なベクション強度は，LV強度とCV強度のベクトル和になると考えられる．ここで，実験で使用した視覚刺激の移動方向は，前

進運動と反時計回りのベクションが発生する方向の組み合わせであるため、それぞれ1方向の直線成分と回転成分を有している。そして、ドット全体の直線運動方向と回転軸は平行であるため、視覚刺激の直線成分と回転成分は、微視的には互いに直交する運動成分である。そこで、LVの主観強度(図6(c))とCVの主観強度(図8(c))より、視覚刺激の速度ごとに、LV強度とCV強度の二乗和平方根を算出し、その傾向を観測した(図11)。

図9(c)、図10(c)(統合的なベクションの主観強度)と図11(a)(LVとCVの主観強度の二乗和平方根)を比較する前に、図11(a)(b)に対して、実験2と同様の検定を行う。まず、回転速度の効果を確かめるため、図11(a)に対して、直進速度(3; 0.0m/s以外)×回転速度(4)の参加者内分散分析を行った。結果として、直進速度の主効果($F_{(2,24)} = 37.633, p < .001$)、回転速度の主効果($F_{(3,36)} = 44.016, p < .001$)、交互作用($F_{(6,72)} = 19.362, p < .001$)が有意であった。回転速度の単純主効果の検定を行った結果、すべての直進速度において、回転速度の単純主効果が有意であった(4.0m/s: $F_{(3,108)} = 71.219, p < .001$, 8.0m/s: $F_{(3,108)} = 29.964, p < .001$, 16m/s: $F_{(3,108)} = 6.201, p < .001$)。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。

続いて、直進速度の効果を確かめるため、図11(b)に対して、直進速度(4)×回転速度(3; 0.0°/s以外)の参加者内分散分析を行った。結果として、直進速

度の主効果($F_{(3,36)} = 17.206, p < .001$)、回転速度の主効果($F_{(2,24)} = 96.124, p < .001$)、交互作用($F_{(6,72)} = 13.079, p < .001$)が有意であった。直進速度の単純主効果の検定を行った結果、4.0°/s($F_{(3,108)} = 32.776, p < .001$)と8.0°/s($F_{(3,108)} = 13.411, p < .001$)において直進速度の単純主効果が有意であり、16°/s($F_{(3,108)} = 2.294, p = .082$)は有意傾向に留まった。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9(c)と図11(a)、図10(c)と図11(b)をそれぞれ比較したところ、図9、図10で有意差が認められた箇所において、矛盾が生じていないことがわかる。特に、回転運動の効果に着目した図9(c)と図11(a)では、低速の直線運動4.0m/sにおいて、直線運動のみの0.0°/s条件よりも低速の回転運動を加えた4.0°/s条件でベクション強度が減少している点、そして、中速の8.0°/s条件と高速の16°/s条件の回転運動を加えた際に、ベクション強度が増加している点が一致する。また、中速から高速の直線運動の8.0m/s条件と16m/s条件において、他の回転速度に比べて高速の回転運動である16°/sを加えた条件で強度が増加している点が一致する。同様に、直線運動の効果に着目した図10(c)と図11(b)においては、回転運動の視覚刺激に低速(4.0m/s)の直線運動が加わるとベクション強度が減少し、高速(16m/s)の直線運動が加わると増加する点が一致する。そして、実験2の主観強度(図9(c)、図10(c))とLV強度とCV強度の二乗和平方根(図11(a)(b))の相関を算出したところ、 $r = 0.959$ という非常に高い有意な正の相関を確認した($p < .001$)。このことから、統合的なベクション強度は、各条件において知覚されるLV強度とCV強度のベクトル和と同様の傾向になることが示される。

視覚刺激の移動方向の知覚に関する研究では、直交する2方向へ移動する刺激を同時に観察した場合の主観的な知覚を検討している。Curranら[24]は、知覚する視覚刺激の移動方向とその速さは、提示された2方向のベクトル平均となることを示した。本研究の結果は、彼らの研究における、主観的な刺激の移動知覚の結果と一貫しており、刺激運動の知覚とベクションの知覚の一貫性を示す。

7 むすび

スパイラルやカーブといった複数の方向成分を持つ運動感覚を体験させるVRコンテンツは数多く存在する。一方で、このような直線と回転が統合したベクションを扱った研究は少なく、直線方向と回転方向のどちらかに着目した研究が殆どである。少数の研究は直線運動と回転運動を同時に提示するスパイラル運動の視覚刺激によって引き起こされるベク

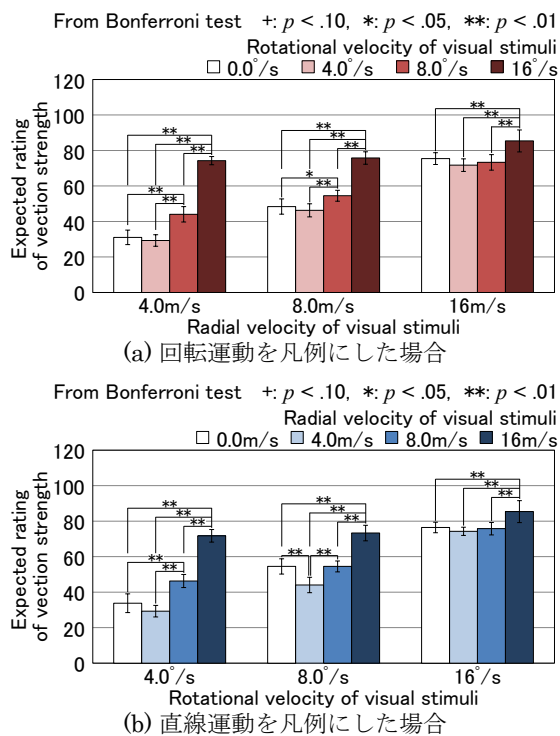


図11 実験1で測定したLVとCV強度の二乗和平方根
Fig.11 The root-sum-square value of LV and CV strength measured in Experiment 1

ションに着目している。しかし、これらの研究においても、視覚刺激の直線運動量と回転運動量の変化がベクシオンの知覚にどのような影響を与えるかは検討されていない。そこで、本研究では、スパイラル運動をする視覚刺激の直進速度と回転速度を変化させた際の LV 強度と CV 強度の変化、そして、LV、CV と統合的なベクシオンの関係性について検討した。本稿では、その第 1 段階として、前進運動の LV と反時計回り (Roll 回転) の CV の組み合わせについて着目し、これらの関係について分析した。

実験 1 では、スパイラル運動をする視覚刺激を観察した際に発生する LV と CV を別々に評価し、LV と CV が互いに影響し合っているのか分析した。結果として、実験 1-a では、視覚刺激の直進速度が一定にも関わらず、視覚刺激の回転速度が上がるにつれて、CV 強度が増加し、LV 強度は減少することを示した。同様に、実験 1-b では、視覚刺激の直進速度が上がるにつれて、LV 強度が増加し、CV 強度が減少することを明らかにした。これらの結果は、LV 強度と CV 強度は互いに影響し合うことを表している。また、その関係は負の相関関係にあるという新たな知見を得ることができた。

実験 2 では、LV と CV を切り分けずに 1 つの運動感覚として扱った統合的なベクシオン強度が、視覚刺激の直進速度と回転速度の変化によってどのように増減するのかを確認し、その LV、CV 強度との関係性について分析した。結果として、統合的なベクシオン強度は、実験 1 の各条件で測定した LV 強度と CV 強度のベクトル和と同様の傾向になることを示した。この傾向は、主観的な視覚刺激の移動知覚の結果と一貫しており、視覚刺激の運動の知覚とベクシオンの知覚の一貫性を示す。また、この結果は、複数の運動方向が同時に知覚される場合、各方向のベクシオン強度も、主観的な“見え”と同様の方法で統合されている可能性を示す。

ただし、特に CV に関しては、重力方向との関係で、姿勢や回転方向の変更によりその特性が異なることが知られている。そのため、本研究の知見が他方向の運動感覚の組み合わせに対しても適応可能であるかは、さらなる検討が必要である。

本研究の知見は、例えば VR コンテンツを設計し、直線運動の視覚刺激の途中で回転運動を提示することを想定した場合、発生していた LV が弱まってしまうことを意味する。しかし、回転運動を提示する前に強い LV を発生させる、もしくは直線運動に意識が行くような工夫をすることで、LV 強度が減少しにくくなることも同時に示している。つまり、同じ映像であっても提示の仕方次第で知覚する運動感覚が大きく変わることが示唆される。

参考文献

- [1] T. Seno and H. Fukuda: “Stimulus meanings alter illusory self-motion (vection) - Experimental examination of the train illusion,” *Seeing and Perceiving*, Vol. 25, pp. 631 - 645, 2012.
- [2] S. Palmisano, R. S. Allison, M. M. Schira, and R. J. Barry: “Future challenges for vection research: Definitions, functional significance, measures, and neural bases,” *Frontiers in Psychology*, Vol. 6, Article. 193, pp. 1 - 15, 2015.
- [3] M. H. Fischer and A. E. Kornmüller: “Optokinetisch ausgelöste bewegungswahrnehmung und optokinetischer nystagmus,” *Journal für Psychologie und Neurologie*, Vol. 41, pp. 273 - 308, 1930.
- [4] 徳永康祐, 小川将樹, 池畑 諭, 増田知尋, 妹尾武治: “日本のアニメーション作品に見られるベクシオンシーンのデータベース作成と、心理実験による評価”, 日本バーチャルリアリティ学会論文誌, Vol. 21, No. 1, pp. 35 - 47, 2016.
- [5] B. E. Riecke, J. Schulte-Pelkum, M. N. Avraamides, M. von der Heyde, and H. H. Bühlhoff: “Cognitive factors can influence self-motion perception (vection) in virtual reality,” *ACM Transactions on Applied Perception*, Vol. 3, No. 3, pp. 194 - 216, 2006.
- [6] 妹尾武治, 永田喜子: “没入傾向とベクシオン強度は相関するか? 没入感に関する挑戦的研究”, 日本バーチャルリアリティ学会論文誌, Vol. 21, No. 1, pp. 3 - 6, 2016.
- [7] A. Berthoz, B. Pavard, and L. R. Young: “Perception of linear horizontal self-motion induced by peripheral vision (linearvection) basic characteristics and visual-vestibular interactions,” *Experimental Brain Research*, Vol. 23, pp. 471 - 489, 1975.
- [8] Y. Seya, H. Shinoda, and Y. Nakaura: “Up-down asymmetry in vertical vection,” *Vision Research*, Vol. 117, pp. 16 - 24, 2015.
- [9] R. Held, J. Dichgans, and J. Bauer: “Characteristics of moving visual scenes influencing spatial orientation,” *Vision Research*, Vol. 15, No. 3, pp. 357 - 365, 1975.
- [10] T. Brandt, J. Dichgans, and E. Koenig: “Differential effects of central versus peripheral vision on egocentric and exocentric motion perception,” *Experimental Brain Research*, Vol. 16, Issue. 5, pp. 476 - 491, 1973.
- [11] S. Pitzalis, S. Sdoia, A. Bultrini, G. Committeri, F. D. Russo, P. Fattori, C. Galletti, and G. Galati: “Selectivity to translational egomotion in human brain motion areas,” *PLoS ONE*, Vol. 8, Issue. 4, pp. 1 - 13, 2013.
- [12] J. Kim and Sieu: “A new spin on vection in depth,” *Journal of Vision*, Vol. 14, No. 5, pp. 1 - 10, 2014.
- [13] S. Palmisano, S. Summersby, R. G. Davies, and J. Kim: “Stereoscopic advantages for vection induced by radial, circular, and spiral optic flows,” *Journal of Vision*, Vol. 16, No. 14, pp. 1 - 19, 2016.
- [14] 三橋哲雄, 矢野澄男, 畑田豊彦: “画像と視覚情報科学(映像情報メディア基幹技術シリーズ)”, コロナ社, p. 172, 2009.
- [15] F. Lestienne, J. Soechting, and A. Berthoz: “Postural readjustments induced by linear motion of visual scenes,” *Experimental Brain Research*, Vol. 28, pp. 363 - 384, 1977.
- [16] G. Johansson, “Studies on visual perception of locomotion,” *Perception*, Vol. 6, No. 4, pp. 365 - 376, 1977.
- [17] I. P. Howard and T. Heckmann “Circular vection as a function of the relative sizes, distances, and positions of

two competing visual displays,” *Perception*, Vol. 18, No. 5, pp. 657 - 665, 1989.

- [18] 大西 仁, 望月 要, 杉本裕二: “重心動揺を指標としたサラウンド・ディスプレイの視覚的効果の測定”, 電子情報通信学会論文誌 B, Vol. J86-B, No. 1, pp. 45 - 56, 2003.
- [19] 玉置純也, 村上和人: “眩しくないプロジェクタシステムの提案”, 情報処理学会研究報告, CVIM 研究会報告 2008, No. 36, pp. 43 - 46, 2008.
- [20] 妹尾武治, 清水隆哉: “単眼・両岸観察及び利き目・非利き目観察とベクション強度の関係”, 日本バーチャルリアリティ学会論文誌, Vol. 22, No. 4, pp. 553 - 556, 2017.
- [21] S. Tanahashi, H. Ujike, and K. Ukai: “Visual rotation axis and body position relative to the gravitational direction: Effects on circular vection,” *i-Perception*, Vol. 3, No. 10, pp. 804 - 819, 2012.
- [22] M. Kitazaki and T. Sato: “Attentional modulation of self-motion perception,” *Perception*, Vol. 32, No. 4, pp. 475 - 484, 2003.
- [23] E. Zohary, M. O. Scase, and O. J. Braddick: “Integration across directions in dynamic random dot displays: Vector summation or winner take all?,” *Vision Research*, Vol. 36, Issue. 15, pp. 2321 - 2331, 1996.
- [24] W. Curran and O. J. Braddick: “Speed and direction of locally-paired dot patterns,” *Vision Research*, Vol. 40, Issue. 16, pp. 2115 - 2124, 2000.

(2018年9月3日受付)

[著者紹介]

古賀 宥摩 (非正会員)



2017年3月立命館大学情報理工学部メディア情報学科卒業。現在、同大学院情報理工学研究科博士前期課程在学中。視覚誘導性自己運動感覚(ベクション)の研究に従事。

石津 航大 (非正会員)



2016年3月立命館大学情報理工学部メディア情報学科卒業。2018年3月同大学院情報理工学研究科博士前期課程修了。現在、日本電産株式会社所属。在学中、視覚誘導性自己運動感覚(ベクション)の研究に従事。

松室 美紀 (非正会員)



2008年お茶の水女子大学文教育学部卒業。2013年名古屋大学大学院情報科学研究科博士後期課程単位取得退学。博士(情報科学)。名古屋大学大学院情報科学研究科心理・認知科学専攻研究員を経て、2018年より、立命館大学情報理工学部特任助教。推論、問題解決、機器使用時のユーザの認知プロセスに興味があり、認知アーキテクチャを用いた認知プロセスのシミュレーション、心理実験を用いた研究に従事。

橋口 哲志 (正会員)



2005年職業能力開発総合大学校福祉工学科卒業。2007年九州工業大学大学院生命工学研究科博士前期課程修了。2013年九州大学大学院芸術工学府博士後期課程修了。立命館大学情報理工学部メディア情報学科特任助教を経て、現在、龍谷大学理工学部助教。博士(工学)。触覚ディスプレイ、バーチャルリアリティ、複合現実感の研究に従事。本学会論文賞受賞。

柴田 史久 (正会員)



1996年大阪大学大学院基礎工学研究科博士前期課程修了。1999年同研究科博士後期課程修了。大阪大学産業科学研究所助手を経て、2003年4月より立命館大学理工学部助教。同大学情報理工学部准教授を経て、現在、同教授。博士(工学)。モバイルコンピューティング、複合現実感等の研究に従事。本学会複合現実感研究委員会幹事。IEEE、電子情報通信学会、情報処理学会、ヒューマンインタフェース学会等の会員。本学会学術奨励賞・論文賞、ヒューマンインタフェース学会論文賞を受賞。

田村 秀行 (正会員)



1970年京都大学工学部電気工学科卒。工業技術院電子技術総合研究所、キャノン(株)等を経て、2003年4月より立命館大学理工学部教授。同情報理工学部教授を経て、現在、同総合科学技術研究機構教授。工学博士。1997年より2001年まで、MRシステム研究所にて「複合現実感研究プロジェクト」を率いた。本学会フェロー、元理事、現在、評議員、複合現実感研究委員会顧問。編著書「Mixed Reality」(Ohmsha & Springer)「コンピュータ画像処理」(オーム社)など。電子情報通信学会フェロー、IEEE、ACM、情報処理学会等会員。本学会、情報処理学会、ヒューマンインタフェース学会の論文賞、人工知能学会功労賞等を受賞。

木村 朝子 (正会員)



1996年大阪大学基礎工学部卒。1998年同大学院基礎工学研究科博士前期課程修了。同大学助手、立命館大学理工学部助教授、科学技術振興機構さきがけ研究員等を経て、2009年4月より立命館大学情報理工学部メディア情報学科准教授。現在、同教授。博士(工学)。実世界指向インタフェース、複合現実感、ハプティックインタフェースの研究に従事。電子情報通信学会、情報処理学会、ヒューマンインタフェース学会、ACM、IEEE 各会員。本学会学術奨励賞・論文賞、ヒューマンインタフェース学会論文賞、情報処理学会山下記念研究賞等受賞。