

様々な直線運動と回転運動の共存時の視覚誘導性自己運動感覚に関する考察

松田 あゆみ^{*1} 古賀 宥摩^{*1*2} 松室 美紀^{*3}
柴田 史久^{*1} 田村 秀行^{*4} 木村 朝子^{*1}

Comparison and Evaluation of Vection Strength for Combination of Various Rectilinear and Rotational Motion Visual Stimuli

Ayumi Matsuda^{*1}, Yuma Koga^{*1*2}, Miki Matsumuro^{*3}, Fumihisa Shibata^{*1},
Hideyuki Tamura^{*4} and Asako Kimura^{*1}

Abstract - Vection is a visually induced self-motion illusion caused by observing a moving pattern in certain direction. Vection is classified into two types based on its moving direction: linear vection (LV; rectilinear motion sense) and circular vection (CV; rotational motion sense). In our previous study, we found a negative relationship between forward LV and counter-clockwise CV strength from the spiral-motion stimulus. Additionally, the integrated vection strength (i.e., the direction of self-motion to be evaluated is not specified) from the identical stimulus was consistent with a vector sum of LV and CV strength measured separately. In this paper, we investigated whether such tendency would be observed in other radial and rotational direction combinations. From the result, there was a negative correlation between LV and CV the negative relationship regardless of the combination of perceived LV and CV. The integrated vection strength was has a consistent tendency with the vector sum of LV and CV strength measured separately but there were slight difference according to the motion-direction of the stimulus.

Keywords : vection, spiral-motion, optic flow, vector sum

1. はじめに

視覚誘導性自己運動感覚（ベクション）とは、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のことである [1,2]. 例えば、止まっている電車の中で、向かい側の電車が動き出す様子を観察した際に、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ことがある [3]. この現象をベクションと呼び、視覚刺激の移動方向とは逆方向に自己運動を知覚することが知られている。

ベクションに関して様々な研究が行われてきた。例えば、ベクションに関連する脳の活動部位との関係 [4]、観測者の状態や観測状況ベクションの関係 [5] について検討がされている。さらに、視覚刺激とベクションの関係に関する研究も多く行われており、例えば、Brandt ら [6]

は、視覚刺激の提示範囲とベクションの関連、Held ら [7] や、Berthoz ら [8] は、ベクションと視覚刺激の移動速度の関係について検討している。特に移動速度に関しては、速度が増加するとベクションも増加することが示されている。

本研究では、視覚刺激の変化とベクションの強さの変化の関連について検討する。ベクションは、実際の移動や運動を伴わずに運動感覚の表現が可能であるため、娯楽施設におけるアトラクションや、映画等の映像コンテンツにおいて利用されている [9]. 視覚刺激の運動方向やその組み合わせにより、ベクションの強さがどのように変化するかを明らかにすることは、そのような映像コンテンツの設計指標として応用が期待できる。

ベクションは知覚する運動方向によって、直線運動感覚 (Linear Vection; LV) と回転運動感覚 (Circular Vection; CV) の2つに分けられ [10], それぞれ観測者の視線方向に対して3軸×2方向(直線:前後,左右,上下 回転: Roll, Pitch, Yaw) の6種類がある。Palmisano ら [11] は、これらを組み合わせ、直線運動、回転運動、回転しながら直進(以下、スパイラル運動)する視覚刺激の提示方法による影響を検討した。しかし、スパイラル運動における直線運動と回転運動の速度変化が、ベクション知覚にどのような影響を与えるかは検討されていない。

そこで我々は、前進運動を知覚する LV (前進 LV) と

*1: 立命館大学大学院 情報理工学研究科

*2: 現在, パナソニック株式会社

*3: 立命館大学 情報理工学部

*4: 立命館大学 総合科学技術研究機構

*1: Graduate School of Information Science and Engineering,
Ritsumeikan University

*2: Panasonic Corporation

*3: College of Information Science and Engineering,
Ritsumeikan University

*4: Research Organization of Science and Technology,
Ritsumeikan University

反時計回りの回転を知覚する CV (Roll 回転 CV) の組み合わせを用い、スパイラル運動する視覚刺激によって生起する LV と CV の強度が負の相関関係にあることを明らかにした [12]. つまり、直進速度と回転速度のどちらか一方の速度を上昇させると、対応する方向のベクション強度が増加するが、もう一方の強度は減少する. さらに、同様の視覚刺激により生じる、動きの方向性を指定しない“統合的なベクション強度”との関係性も合わせて分析した [12]. 結果、統合的なベクション強度は、同一の視覚刺激において測定された LV 強度と CV 強度のベクトル和と強い正の相関を持つことを示した.

しかし、前進 LV と Roll 回転 CV の組み合わせにのみ着目しており、LV と CV の関係を示すには限定的であった. そこで、本稿では、後退 LV と Roll 回転 CV、右移動 LV と Pitch 回転 CV、下降 LV と Yaw 回転 CV の 3 つの組み合わせに着目し分析を行う. 後退 LV は前進 LV よりもベクション強度が強いことが示されており [8,13], その結果が LV, CV, 統合的なベクションの関係性に影響を与える可能性がある. また、人間の視野は垂直方向に狭く、水平方向に広い [14], Pitch 回転と Roll 回転の知覚に違いが生じるか、右移動 LV と Pitch 回転 CV、下降 LV と Yaw 回転 CV の組み合わせに着目し検討する.

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°以上とされているため [14], 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、本実験では、実験参加者の広範な視覚領域に刺激を提示すべく、広視野ディスプレイシステム (図 1) を利用した. 本システムは、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) の内壁面に、3 台のプロジェクタ (パナソニック株式会社 PT-DW6300LK) が 120°ずつ映像を投影することで、参加者の周囲 360°への映像提示を実現している. なお、実験を行う際は、参加者には図 2 に示す位置で視覚刺激を観察させた.

2.2 視覚刺激

視覚刺激として、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のフローを使用した. Palmisano ら [11]

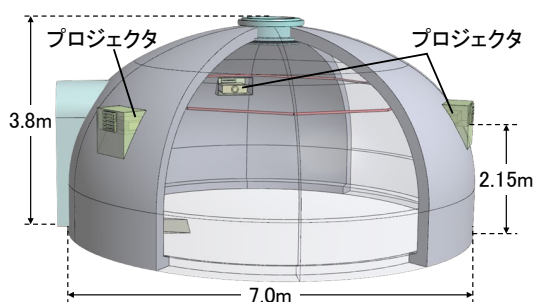


図 1 広視野ディスプレイシステムの外寸
Fig.1 Wide-field-of-view display system

や Howard ら [15] により示された通り、ベクション強度には観察者から刺激までの距離である奥行き情報が影響することがわかっている. 観察者の遠くに存在する刺激がベクション知覚により強く影響し、その影響は視覚刺激の移動方向により異なる, そのため、刺激の移動速度以外の要因がベクション知覚に影響を与えないために、刺激の奥行き情報を統一する必要がある. そこで、参加者の位置から等距離にドットを配置することにより、奥行き情報が統一可能である十分に長い円筒形の仮想物体 (直径 6.0m) を用いて視覚刺激を生成した. そ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 空間内で移動させた. 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の刺激を、回転させることで回転運動の刺激を表現可能にし、本研究で分析する直線運動と回転運動の組み合わせは円筒形の向きを変えることで表現可能にした. なお、両眼視差を利用した立体視による奥行き表現は行っていない.

各実験で用いる視覚刺激のフローを図 3 に示す. 実験 1 では、刺激の直線運動は参加者の後方から前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時計回り (Roll 回転) とした (図 3 (a)). すなわち、この刺激を提示することで、参加者に後退運動の LV (後退 LV) と反時計回りの CV (Roll 回転 CV) を知覚させた. 実験 2 では、図 3 (b) と図 3 (c) に示すような直線運動と回転運動の刺激を提示した. 図 3 (b) では参加者に右移動の LV (右移動 LV) と前転の CV (Pitch 回転 CV) を知覚させた. また、図 3 (c) では参加者に下降運動の LV (下降 LV) と左回りの CV (Yaw 回転 CV) を知覚させた.

ランダムドットは、黒色 (0.74cd/m²) の一様背景に白色 (10.2cd/m²) の円形ドットをランダムに配置して構成し、白色が占める密度を 20%とした. 全てのドットの直径は、視野角に換算して 2.0°となるように設定した. また、実験 1 における刺激の消失点は、小型ドームの床面から高さ 1.6m の位置とし、同一箇所注視点を設けた. 実験 2 の注視点位置は実験 1 と同様である. なお、実験中は指定の直立姿勢を維持させた状態で視覚刺激を観察させた.

2.3 評価方法

ベクション強度の指標には、我々の先行研究 [12] で用

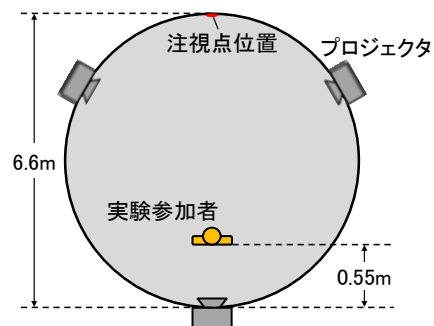


図 2 参加者の観察位置
Fig.2 Observation position of participant



図3 シミュレートされた視覚環境

Fig.3 Simulated visual environment

いた、ベクシオンを知覚するまでの時間（潜時）、知覚したベクシオン強度の主観報告（主観強度）を採用した。

潜時の測定には、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、広視野ディスプレイシステム内において 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、評価対象の方向へ動いていると感じている間、参加者に Wii Remote のボタンを押し続けさせた。視覚刺激の提示からボタンを押すまでの時間を潜時とする。主観強度として、ベクシオンを全く知覚していない場合を 0 とし、想定できる一番強いベクシオンを知覚した場合を 100 とした 101 段階で強度値を回答させた。

3. 実験1：後退と Roll 回転でのベクシオン強度の分析

3.1 実験目的

実験 1a, 1b において、視覚刺激の直進速度と回転速度が後退 LV と Roll 回転 CV の双方に与える影響について分析し、後退 LV と Roll 回転 CV の間にも負の相関関係が成り立つかを確認する。さらに、実験 1c では統合的なベクシオン強度について分析し、LV 強度と CV 強度のベクトル和との比較を行う。

これらの結果と、先行研究 [12] における前進 LV の結果を比較する。

3.2 実験条件

視覚刺激の直進速度と回転速度を操作した。使用する視覚刺激は、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。

実験 1a では 0.0m/s, 実験 1b 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 1a では 3（直進速度）× 4（回転速度）、実験 1b では 4（直進速度）× 3（回転速度）の 12 条件で、実験 1c では直進速度と回転速度の組み合わせから 0.0m/s × 0.0°/s 条件を除いた 15 条件である。

3.3 実験課題と手続き

実験 1a では、参加者にスパイラル運動をする視覚刺激を観察した際に引き起こされる LV 強度を評価させた。最初に回転運動のみの視覚刺激を提示し、参加者が CV を知覚した際に手元のボタンを押させた。このボタン押下までの時間を CV の潜時とした。その後、視覚刺激に直線運動を加え、スパイラル運動をする視覚刺激を提示した。参加者が後方へと移動しているように感じたら、手元のボタンを押させ、LV の潜時を測定した。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省略した。

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。

実験 1b では、参加者にスパイラル運動をする視覚刺激を観察した際に引き起こされる CV 強度を評価させた。手続きは、直線運動と回転運動の提示順を除き、実験 1a 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、主観強度を測定した。

実験 1c では、LV と CV を区別せず、スパイラル運動をする視覚刺激を観察した際に引き起こされる統合的なベクシオン強度を評価させた。参加者には、評価する運動方向を指定せず、自身が動いたと感じる強さを評価するよう指示した。そのため、初めからスパイラル運動をする視覚刺激を提示し、実験 1a と同様の手続きで統合的なベクシオンの潜時、主観強度を測定した。

3.4 実験参加者

共通の成人 13 名（男性 11 名、女性 2 名）が実験 1a, 1b に参加した。実験 1a, 1b と異なる成人 13 名（男性 11 名、女性 2 名）が、実験 1c に参加した。矯正含め、全員が正常視力を有していた。

3.5 実験結果

3.5.1 実験 1a

視覚刺激に直線運動を加える前の CV の潜時を図 4 (a) に示す。以降、図中の棒グラフは平均値を表し、図中のエラーバーは標準誤差を表す。参加者内分散分析を行った結果、回転速度の主効果 ($F_{(2,24)} = 8.709, p < .001, \eta_G^2$

= .101) 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、有意な差異があったペアを図中に記載した。以降、注釈がない場合、下位検定には Bonferroni 法を用いる。図 4 (a) 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。これは、回転速度が上がるにつれて CV 強度が高い状態で、LV を評価していることを意味する。

図 4 (b), (c) は直線運動を加え、スパイラル運動をする視覚刺激を提示した際の LV の潜時、LV の主観強度を示す。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。その結果、LV の潜時と主観強度において直進速度の主効果 (潜時: $F_{(2,24)} = 23.875, p < .001, \eta_G^2 = .294$, 主観強度: $F_{(2,24)} = 33.767, p < .001, \eta_G^2 = .078$) と回転速度の主効果 (潜時: $F_{(3,36)} = 3.780, p = .019, \eta_G^2 = .051$, 主観強度: $F_{(3,36)} = 5.728, p = .003, \eta_G^2 = .078$) と交互作用 (潜時: $F_{(6,72)} = 5.854, p < .001, \eta_G^2 = .096$, 主観強度: $F_{(6,72)} = 3.198, p = .008, \eta_G^2 = .026$) が有意であった。

回転速度の効果に着目すると、LV の潜時において直進速度 4.0m/s のときのみ、回転速度の単純主効果が有意であった ($F_{(3,108)} = 14.383, p < .001, \eta_G^2 = .148$)。LV の主観強度においては、視覚刺激の直進速度 4.0m/s ($F_{(3,108)} = 10.216, p < .001, \eta_G^2 = .084$) と 8.0m/s ($F_{(3,108)} = 2.770, p = .045, \eta_G^2 = .024$) で回転速度の単純主効果が有意であった。多重比較の結果を図中に記載する。図 4 (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

ることがわかる。この回転速度の影響は、主観強度における回転速度の単純主効果の効果量は、直進速度が小さい時により大きかったことにも示されるように、特に直進速度が低速のときに観察される。

3.5.2 実験 1b

視覚刺激に回転運動を加える前の LV の潜時を図 5 (a) に示す。これに対して参加者内分散分析を行った結果、直進速度の主効果 ($F_{(2,24)} = 6.940, p = .004, \eta_G^2 = .080$) が有意であった。4.0m/s 条件より 16m/s 条件において潜時が有意に短かったこと ($p = .003$) より、視覚刺激の直進速度が上がるほど LV 強度が増加したことが示される。

図 5 (b), (c) は回転運動を加え、スパイラル運動をする視覚刺激を提示した際の CV の潜時、CV の主観強度を示す。それぞれの結果に対して、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、CV の潜時と主観強度において、直進速度の主効果 (潜時: $F_{(3,36)} = 31.620, p < .001, \eta_G^2 = .323$, 主観強度: $F_{(3,36)} = 39.638, p < .001, \eta_G^2 = .436$)、回転速度の主効果 (潜時: $F_{(2,24)} = 59.721, p < .001, \eta_G^2 = .406$, 主観強度: $F_{(2,24)} = 99.649, p < .001, \eta_G^2 = .583$)、交互作用 (潜時: $F_{(6,72)} = 5.491, p < .001, \eta_G^2 = .096$, 主観強度: $F_{(6,72)} = 4.411, p < .001, \eta_G^2 = .065$) が有意であった。

ここで、直進速度の効果に着目すると、潜時 (4.0°/s: $F_{(3,108)} = 26.437, p < .001, \eta_G^2 = .245$, 8.0°/s: $F_{(3,108)} = 17.591, p < .001, \eta_G^2 = .178$, 16°/s: $F_{(3,108)} = 4.509, p = .005, \eta_G^2 = .052$) と主観強度 (4.0°/s: $F_{(3,108)} = 14.631, p < .001, \eta_G^2 = .155$, 8.0°/s: $F_{(3,108)} = 29.733, p < .001, \eta_G^2 = .272$, 16°/s:

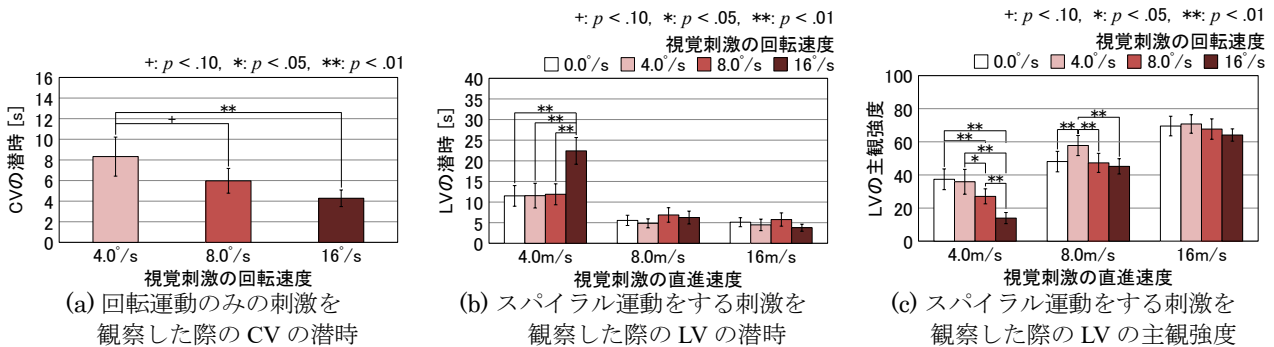


図 4 LV 強度と視覚刺激の直進、回転速度の関係

Fig.4 Relationship between LV strength and radial/ rotational velocity of visual stimuli

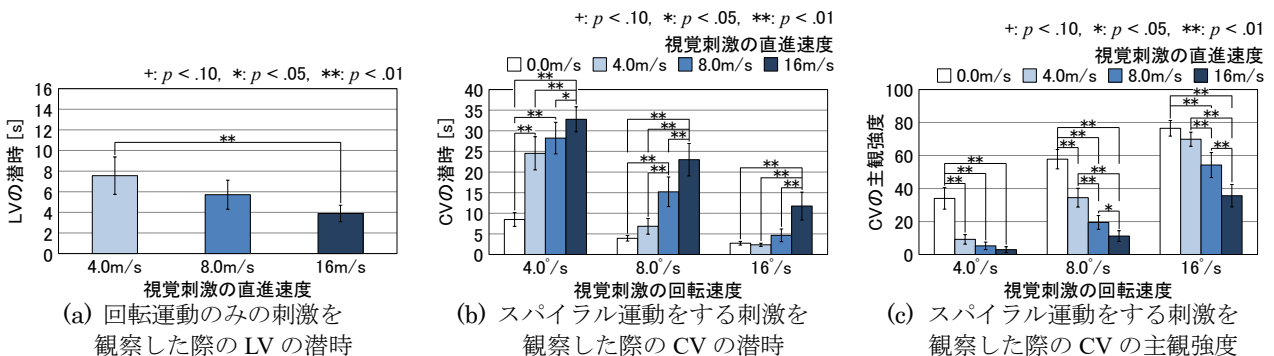


図 5 CV 強度と視覚刺激の直進、回転速度の関係

Fig.5 Relationship between CV strength and radial/ rotational velocity of visual stimuli

様々な直線運動と回転運動の共存時の視覚誘導性自己運動感覚に関する考察

$F_{(3,108)} = 23.537, p < .001, \eta_G^2 = .228$)において、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。多重比較の結果を図中に記載した。図5(b), (c)より、視覚刺激の直進速度が上がるにつれて、CV強度が減少していることが示される。主観強度における単純主効果の効果量より、直進速度への回転速度の影響とは異なり、回転速度が上がっても直進速度の影響は変わらないことが示される。ただし、潜時においては、回転速度が上がるにつれ、全体的に潜時が短くなるため、効果量は減少した。

3.5.3 実験1c

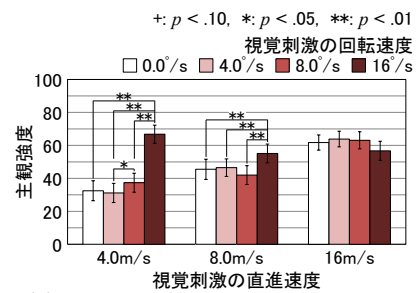
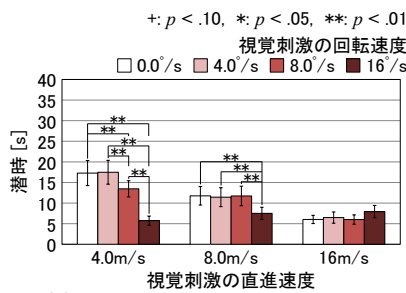
図6, 図7は、(a) 後退とRoll回転の統合的なベクションの潜時、(b) 主観強度を示す。図6は直進速度を横軸、回転速度を凡例とし、図7は回転速度を横軸、直進速度を凡例としている。

実験1cでは、0.0m/s × 0.0°/s条件を除いて実験を行ったため4(直進速度) × 4(回転速度)の参加者内分散分析を行うことができない。本実験の目的は統合的なベクション強度の分析であるため、先行研究[12]に習い、3(直進速度) × 4(回転速度)、4(直進速度) × 3(回転速度)の参加者内分散分析を行った。はじめに、回転速度の効果を確認するため、3(直進速度: 0.0m/s以外) × 4(回転速度)の参加者内分散分析を行った。その結果、潜時と主観強度において、直進速度の主効果(潜時: $F_{(2,24)} = 25.973, p < .001, \eta_G^2 = .152$, 主観強度: $F_{(2,24)} = 26.847, p < .001, \eta_G^2 = .155$), 回転速度の主効果(潜時: $F_{(3,36)} = 6.270, p = .002, \eta_G^2 = .072$, 主観強度: $F_{(3,36)} = 9.729, p < .001, \eta_G^2 = .073$), 交互作用(潜時: $F_{(6,72)} = 9.198, p < .001, \eta_G^2 = .091$, 主観強度:

$F_{(6,72)} = 19.583, p < .001, \eta_G^2 = .114$)が有意であった。

回転速度の効果に着目すると、直進速度が4.0m/s(潜時: $F_{(3,108)} = 19.759, p < .001, \eta_G^2 = .137$, 主観強度: $F_{(3,108)} = 37.445, p < .001, \eta_G^2 = .159$)と8.0m/s(潜時: $F_{(3,108)} = 2.806, p = .043, \eta_G^2 = .022$, 主観強度: $F_{(3,108)} = 4.153, p = .008, \eta_G^2 = .021$)の時、回転速度の単純主効果が有意であった。多重比較の結果を図中に記載した。図6より、4.0m/s, 8.0m/s条件では高速の回転を加えることにより統合的なベクション強度が増加することが示された。一方、16m/s条件では、回転速度の変化と統合的なベクション強度の変化に明確な関係は確認できなかった。

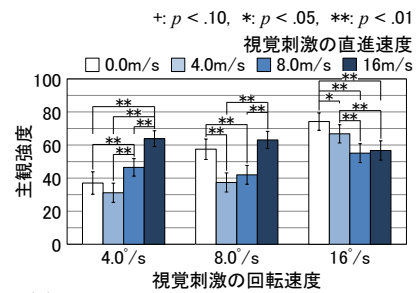
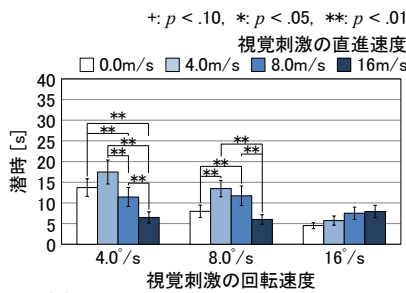
次に、直進速度の効果を確認するため、4(直進速度) × 3(回転速度: 0.0°/s以外)の参加者内分散分析を行った。その結果、直進速度の主効果(潜時: $F_{(3,36)} = 9.069, p < .001, \eta_G^2 = .094$, 主観強度: $F_{(3,36)} = 11.341, p < .001, \eta_G^2 = .096$), 回転速度の主効果(潜時: $F_{(2,24)} = 14.792, p < .001, \eta_G^2 = .133$, 主観強度: $F_{(2,24)} = 28.211, p < .001, \eta_G^2 = .140$), 交互作用(潜時: $F_{(6,72)} = 8.460, p < .001, \eta_G^2 = .102$, 主観強度: $F_{(6,72)} = 20.786, p < .001, \eta_G^2 = .138$)が有意であった。直進速度の効果に着目すると、潜時において、回転速度が4.0°/s ($F_{(3,108)} = 15.672, p < .001, \eta_G^2 = .122$)と8.0°/s ($F_{(3,108)} = 8.617, p < .001, \eta_G^2 = .071$)で直進速度の単純主効果が有意であった。また、主観強度では、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°/s: $F_{(3,108)} = 22.219, p < .001, \eta_G^2 = .115$, 8.0°/s: $F_{(3,108)} = 16.356, p < .001, \eta_G^2 = .087$, 16°/s: $F_{(3,108)} = 8.740, p < .001, \eta_G^2 = .049$)。多重比較の結果を図中に記載する。図7より、回



(a) 統合的なベクションの潜時

(b) 統合的なベクションの主観強度

図6 統合的なベクション強度と直進速度、回転速度の関係 (回転運動を凡例にした場合)
Fig.6 Relationship between vection strength and radial/ rotational velocity (When using the rotational velocity as a legend)



(a) 統合的なベクションの潜時

(b) 統合的なベクションの主観強度

図7 統合的なベクション強度と直進速度、回転速度の関係 (直線運動を凡例にした場合)
Fig.7 Relationship between vection strength and radial/ rotational velocity (When using the radial velocity as a legend)

転速度 4.0°/s, 8.0°/s 条件では低速の直線運動が加わるとベクション強度が減少し, 直線運動の速度が上がるにつれベクション強度が増加することが読み取れる. また, 主観強度の回転速度 16°/s 条件では直進速度が上がるにつれて統合的なベクション強度が減少することを確認した. これより, 統合的なベクション強度は運動速度が増加しても, 単調に増加しないことが示唆される.

3.5.4 ベクトル和との比較

先行研究 [12] と同様に, 実験 1a, 1b で取得した LV と CV の主観強度を用いて, 速度ごとに二乗和平方根を算出し (図 8), 統合的なベクション強度と比較する.

まず, 回転速度の効果を確かめるため, 図 8 (a) に対して, 3 (直進速度: 0.0m/s 以外) × 4 (回転速度) の参加者内分散分析を行った. その結果, 直進速度の主効果 ($F_{(2,24)} = 13.639, p < .001, \eta_G^2 = .187$), 回転速度の主効果 ($F_{(3,36)} = 14.876, p < .001, \eta_G^2 = .168$), 交互作用 ($F_{(6,72)} = 7.014, p < .001, \eta_G^2 = .051$) が有意であった. 直進速度 4.0m/s ($F_{(3,108)} = 22.809, p < .001, \eta_G^2 = .149$) と 8.0m/s ($F_{(3,108)} = 11.297, p < .001, \eta_G^2 = .080$) において, 回転速度の単純主効果が有意であった. 多重比較の結果を図中に記載した.

続いて, 直進速度の効果を確かめるため, 図 8 (b) に対して, 4 (直進速度) × 3 (回転速度: 0.0°/s 以外) の参加者内分散分析を行った. その結果, 直進速度の主効果 ($F_{(3,36)} = 8.326, p < .001, \eta_G^2 = .127$), 回転速度の主効果 ($F_{(2,24)} = 35.542, p < .001, \eta_G^2 = .229$), 交互作用 ($F_{(6,72)} = 10.042, p < .001, \eta_G^2 = .089$) が有意であった. 4.0°/s ($F_{(3,108)} = 19.836, p < .001, \eta_G^2 = .156$) と 8.0°/s ($F_{(3,108)} = 6.812, p < .001, \eta_G^2 = .060$) において直進速度の単純主効果が有意であった. 多重比較の結果を図中に記載した.

算出された二乗和平方根と測定された統合的なベクション強度を比較する. 回転速度に着目すると, 図 7 (a), 図 8 (a) に示される通り, 単純主効果が有意である直進速度の水準, そして, 直進速度が小さい方が効果量が大きいという特徴が一致している. また, 直進速度 (図 7 (b), 図 8 (b)) に着目すると, 回転速度が 16°/s において測定されたベクション強度にのみ単純主効果が有意であったが, 他の 2 条件の回転速度に比べ効果量は小さく, 両者に矛盾はないと考えられる. さらに, 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, 直線運動が増加すると強度が増加するという点が一致する. したがって, 後退 LV と Roll 回転 CV の組み合わせにおいても, 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.

3.6 考察

実験 1a, 1b より, 視覚刺激の回転または直進速度が上がるにつれて, 対応する方向のベクション強度が増加し, もう一方のベクション強度は減少することを確認した. この結果は, 先行研究 [12] と同様, 後退 LV 強度と Roll 回転 CV 強度は負の相関関係であることを示す.

また, 先行研究と比較すると, 直線運動のみを提示した際の LV の潜時が短く, 前進 LV よりも後退 LV が強く知覚されることが示された. さらに, スパイラル運動をする視覚刺激を提示した際の CV の潜時は, 回転運動が高速の場合, 後退 LV のみ, その強度の影響が確認された. 以上から, 前進 LV に比べ後退 LV が CV に与える影響が大きいたことが示される.

これは, 日頃の運動方向の頻度が関係していると考えられる. 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る. 一方で, 後退運動は頻度が少なく, 動きに集中すべき状況が多いため, 後退 LV は強く知覚されやすく, 処理の抑制が困難であったと考えられる. そのため, 同じ刺激速度であっても後退 LV を前進 LV よりも強く知覚し, CV に大きく影響を与えた.

実験 1c では, 統合的なベクション強度が後退 LV 強度と Roll 回転 CV 強度のベクトル和と一貫した傾向であることを確認した. 両者の相関を算出したところ, 非常に強い正の相関を示した ($r = 0.911, p < .001$). これは, 先行研究の前進と Roll 回転の組み合わせと同様の結果である.

また, 視覚刺激の提示は円筒形で行っており, 前進と後退は共に消失点を観察している. そこで, 注視点が消失点でなく, 回転速度の知覚に視野特性が影響する場合でも同様の結果が得られるかを実験 2 で検討する.

4. 実験 2: 右移動と Pitch 回転, 下降と Yaw 回転でのベクション強度の分析

4.1 実験目的

実験 2 では, 直線成分と回転成分の方向を変え, 実験

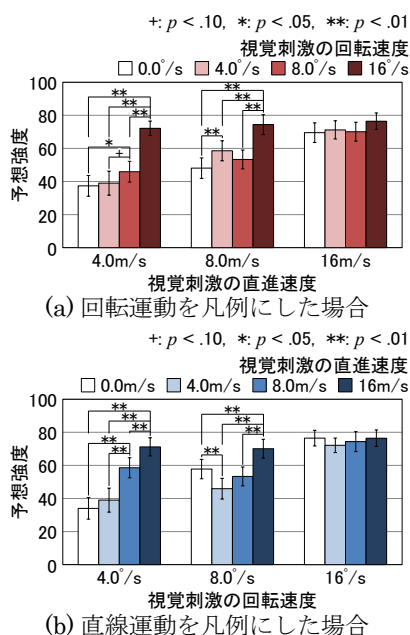


図 8 個別で測定した LV と CV 強度の二乗和平方根
Fig.8 The root-sum-square value of LV and CV strength measured respectively

1と同様の結果が得られるか分析を行った。実験2aでは、右移動LVとPitch回転CV、実験2bでは、下降LVとYaw回転CVの組み合わせに着目した。

4.2 実験条件

参加者は刺激の消失点を観察しないため、実験1に比べて、視覚刺激の速度を高く認識する。そのため、視覚刺激の直進速度を0.0m/s, 1.0m/s, 4.0m/s, 回転速度を0.0°/s, 4.0°/s, 16°/sの3段階とした。

4.3 実験の手続き

基本的な手続きは、実験1と同様であるが、スパイラル運動観察時のベクション強度は、主観強度のみ測定した。始めに同一の参加者を対象とし、LV, CVそれぞれの強度を測定した。その後、他の参加者を対象とし、統合したベクション強度を測定した。

LVのみ, CVのみを回答させる際は、それぞれ0.0m/s, 0.0°/sを除いたため、視覚刺激の提示パターンは、それぞれ2(直進速度)×3(回転速度), 3(直進速度)×2(回転速度)の6条件である。統合したベクション強度を回答させる場合は直進速度と回転速度の組み合わせから0.0m/s×0.0°/s条件を除いた8条件を用いた。

4.4 実験参加者

4.4.1 実験2a

LVとCVの測定には、実験1とは異なる成人13名(男性11名, 女性2名)が参加した。それとは異なる成人13名(男性11名, 女性2名)が統合したベクションの測定に参加した。

4.4.2 実験2b

LVとCVの測定には、実験1とは異なる成人13名(男性11名, 女性2名)が参加した。それとは異なる成人13名(男性10名, 女性3名)が統合したベクションの測定に参加した。

4.5 実験結果: 2a

4.5.1 LV, CVの個別評価

試行開始時に提示する回転, 直線運動のみの刺激でCV, LVを知覚しなかった1名のデータを実験結果から除外した。試行開始時に、回転, 直線運動をする刺激のみを観察した際のLV, CVの潜時を図9に示す。両運動とも、速度の増加により潜時が有意に減少した(CV: $t_{(11)} = 3.688$,

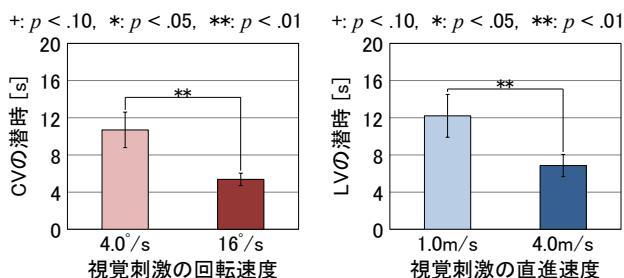


Fig.9 Onset latency when using radial/ rotational flow

$p = .004, d = 1.071, LV: t_{(11)} = 4.138, p = .002, d = .842$). つまり、両方向のベクションともに、速度が増加すると強度が増加した。

図10はスパイラル運動をする視覚刺激を提示した際のLV, CVの主観強度を示す。それぞれの結果に対して、参加者内分散分析を用い、直進速度と回転速度の影響を分析した。その結果、LV, CV共に、直進速度の主効果(LV: $F_{(1,11)} = 214.188, p < .001, \eta_G^2 = .712$, CV: $F_{(2,22)} = 39.510, p < .001, \eta_G^2 = .439$)と回転速度の主効果(LV: $F_{(2,22)} = 17.692, p < .001, \eta_G^2 = .342$, CV: $F_{(1,11)} = 147.525, p < .001, \eta_G^2 = .715$)が有意であった。交互作用は、CV強度のみで有意であった(LV: $F_{(2,22)} = 1.595, p = .225, \eta_G^2 = .025$, CV: $F_{(2,22)} = 4.107, p = .031, \eta_G^2 = .060$)。

LVへの回転速度の影響、CVへの直進速度の影響を調べるために、さらに分析を行った。交互作用が有意ではなかったLV強度は回転速度が16°/sのとき、他の速度より有意に評価が低かった($ps < .050$)。また、CV評価への直進速度の影響に注目すると、4.0°/s ($F_{(2,44)} = 10.599, p < .001, \eta_G^2 = .168$)と16°/s ($F_{(2,44)} = 34.485, p < .001, \eta_G^2 = .396$)の両方において、直進速度の単純主効果が有意であった。多重比較の結果を図中に記載する。これより、直進速度が上がると、CV強度が減少した。実験2aでは実験1bと異なり、CVの主観強度における直進速度の効果は回転速度が大きい場合に大きかった。これは、回転が低速の場合、全体的に小さな値であり、効果量が小さくなったためであると考えられる。

実験の結果、一方向への運動をする視覚刺激では、回転速度が上がるとCV強度が増加し、直進速度が上がるとLV強度が増加することが示された。また、スパイラル運動をする視覚刺激では、回転速度が上がるとLV強度が減少し、直進速度が上がるとCV強度が減少した。以上から、右移動とPitch回転の組み合わせでもLV・CV強度が負の相関関係にあることが示された。

4.5.2 統合的なベクションの評価

図11に、統合的なベクションの主観強度を示す。図11(a)は直進速度を横軸、回転速度を凡例とし、図11(b)は回転速度を横軸、直進速度を凡例とする。

実験1cと同様の理由で、2つの分散分析を行った。はじめに、回転速度の効果を確認するため、図11(a)に対

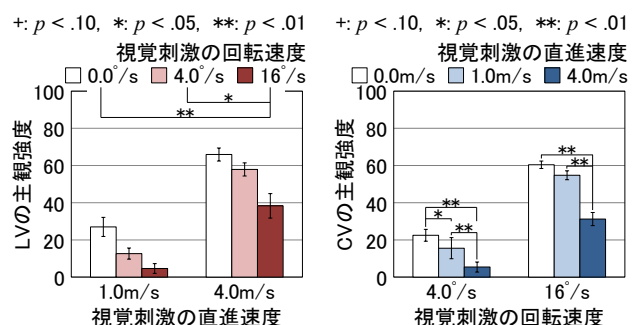


Fig.10 Strength rating when using spiral motion

して、2 (直進速度 : 0.0m/s 以外) × 3 (回転速度) の参加者内分散分析を行った。その結果、主観強度において、直進速度の主効果 ($F_{(1,12)} = 20.731, p < .001, \eta_G^2 = .149$)、回転速度の主効果 ($F_{(2,24)} = 6.865, p = .004, \eta_G^2 = .125$) と交互作用 ($F_{(2,24)} = 12.087, p < .001, \eta_G^2 = .094$) が有意であった。

分析の目的に添い、回転速度に着目し検定を行った結果、直進速度 1.0m/s で回転速度の単純主効果が有意であった ($F_{(2,48)} = 17.880, p < .001, \eta_G^2 = .203$)。多重比較の結果を図 11 (a) に記載する。直進速度 1.0m/s 条件では、高速の回転運動を加えたときのみ統合的なベクション強度が増加した。直進速度 4.0m/s 条件では、統合的なベクション強度の増減傾向を確認することができなかった ($F_{(2,48)} = 1.4793, p = .238, \eta_G^2 = .021$)。

次に、直進速度の効果を確かめるため、3 (直進速度) × 2 (回転速度 : 0.0°/s 以外) の参加者内分散分析を行った結果、主観強度において、回転速度の主効果 ($F_{(1,12)} = 16.037, p = .002, \eta_G^2 = .213$) と交互作用 ($F_{(2,24)} = 12.800, p < .001, \eta_G^2 = .078$) が有意であったが、直進速度の主効果 ($F_{(2,24)} = 2.468, p = .106, \eta_G^2 = .035$) は有意ではなかった。

直進速度に着目すると、回転速度 4.0°/s でのみ直進速度の単純主効果が有意であった (4.0°/s: $F_{(2,48)} = 10.400, p < .001, \eta_G^2 = .105$, 16°/s: $F_{(2,48)} = 1.835, p = .171, \eta_G^2 = .020$)。多重比較の結果を図 11 (b) に記載する。直進速度が高速の場合、低速の場合より統合的なベクション強度が高かった。

以上の結果から、一方が低速の際に、もう一方の運動が高速で加わった場合のみ、統合的なベクション強度が増加することが示された。

4.5.3 ベクトル和との比較

続いて、個別に取得した LV と CV の主観強度の二乗和平方根を、速度ごとに算出した (図 12)。統合的なベクションと同様の傾向があるかを調べるために、同様の分散分析を行った。

回転速度の効果を確かめるため、2 (直進速度 : 0.0m/s 以外) × 3 (回転速度) の参加者内分散分析を行った。その結果、直進速度の主効果 ($F_{(1,11)} = 115.304, p < .001, \eta_G^2$

= .407)、回転速度の主効果 ($F_{(2,22)} = 3.873, p = .036, \eta_G^2 = .090$)、交互作用 ($F_{(2,22)} = 28.088, p < .001, \eta_G^2 = .275$) が有意であった。直進速度 1.0m/s ($F_{(2,44)} = 20.955, p < .001, \eta_G^2 = .295$) と 4.0m/s ($F_{(2,44)} = 4.020, p = .025, \eta_G^2 = .074$) の両方において、回転速度の単純主効果が有意であった。多重比較の結果を図 12 (a) に記載する。図 11 (a) と比較すると、1.0m/s 条件ではともに高速の回転運動が加わると統合的なベクション強度は増加する、さらに、4.0m/s 条件ではともに回転速度が変化しても統合的なベクション強度は増加しないという点が一致している。しかし、二乗和平方根でのみ中程度の効果量を持つ回転速度の単純主効果が観察された。この点については、後に考察を行う。

続いて、直進速度の効果を確かめるため、3 (直進速度) × 2 (回転速度 : 0.0°/s 以外) の参加者内分散分析を行った結果、直進速度の主効果 ($F_{(2,22)} = 9.088, p = .001, \eta_G^2 = .171$)、回転速度の主効果 ($F_{(1,11)} = 134.238, p < .001, \eta_G^2 = .393$)、交互作用 ($F_{(2,22)} = 36.752, p < .001, \eta_G^2 = .329$) が有意であった。直進速度の単純主効果は、回転速度 4.0°/s において有意であり ($F_{(2,44)} = 36.455, p < .001, \eta_G^2 = .400$)、16°/s において有意傾向であった ($F_{(2,44)} = 2.783, p = .073, \eta_G^2 = .048$)。多重比較の結果を図 12 (b) に記す。図 11 (b) と比較すると、4.0°/s 条件では高速の直線運動が加わると統合的なベクション強度は増加し、16°/s 条件では直進速度が変化しても統合的なベクション強度は増加しないという点が一致している。回転速度が高速の際は、二乗和平方根でのみ単純主効果が有意であったが、その効果量は小さく、両者に矛盾がないといえる。

以上より、有意差が認められた箇所において、一部異なる傾向を確認したが、概ね矛盾は生じていない。したがって、右移動 LV と Pitch 回転 CV の組み合わせにおいても、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た。

4.6 実験結果: 2b

4.6.1 LV, CV の個別評価

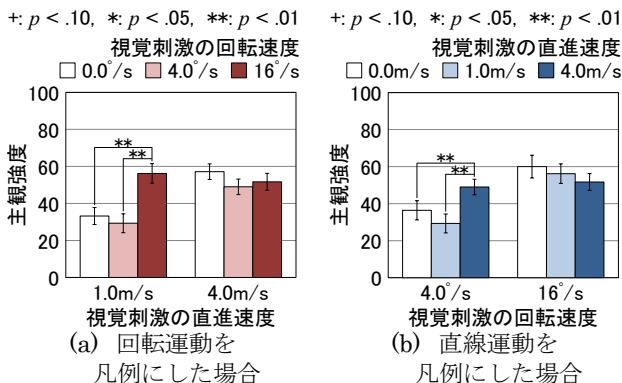


図 11 統合的なベクション強度と直進、回転速度の関係
Fig.11 Relationship between vection strength and radial/ rotational velocity of visual stimuli

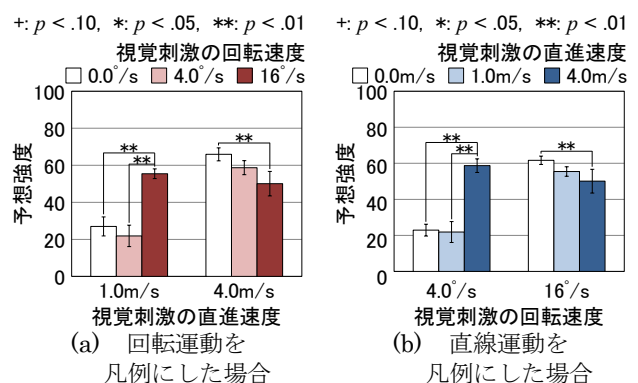


図 12 個別で測定した LV と CV 強度の二乗和平方根
Fig.12 The root-sum-square value of LV and CV strength measured respectively

試行開始時に回転、直線運動をする刺激のみを観察した際の LV, CV の潜時を図 13 に示す。両運動とも、速度の増加により潜時が有意に減少した (CV: $t_{(12)} = 3.624, p = .003, d = .993$, LV: $t_{(12)} = 4.540, p < .001, d = 1.071$)。つまり、両方向のベクションともに、速度が増加すると強度が増加した。

図 14 はスパイラル運動をする視覚刺激を提示した際の LV, CV の主観強度を示す。それぞれの結果に対して、参加者内分散分析を用い、直進速度と回転速度の影響を分析した。その結果, LV, CV 共に、直進速度の主効果 (LV: $F_{(1,12)} = 123.506, p < .001, \eta_G^2 = .686$, CV: $F_{(2,24)} = 36.920, p < .001, \eta_G^2 = .552$) と回転速度の主効果 (LV: $F_{(2,24)} = 33.917, p < .001, \eta_G^2 = .304$, CV: $F_{(1,12)} = 100.567, p < .001, \eta_G^2 = .678$) が有意であった。交互作用は、CV では有意であったが ($F_{(2,24)} = 3.704, p = .040, \eta_G^2 = .031$), LV では有意でなかった ($F_{(2,24)} = 1.467, p = .251, \eta_G^2 = .009$)。

LV への回転速度の影響、CV への直進速度の影響を調べるために、さらに分析を行った。交互作用が有意ではなかった LV 強度は、回転速度が 16°/s のとき、他の速度より有意に評価が低かった ($ps < .050$)。また、CV への直進速度の影響に注目すると、4.0°/s ($F_{(2,48)} = 25.449, p < .001, \eta_G^2 = .358$) と 16°/s ($F_{(2,48)} = 32.674, p < .001, \eta_G^2 = .417$) の両方において直進速度の単純主効果が有意であった。多重比較の結果を図中に記載する。これより、直進速度が上がるにつれて CV 強度が減少した。実験 2a 同様、CV の主観強度においては、直線速度の効果は回転速度が上がるにつれて増加した。

実験の結果、一方向への運動をする視覚刺激では、回転速度が上がると CV 強度が増加し、直進速度が上がるると LV 強度が増加することが示された。また、スパイラル運動をする視覚刺激では、回転速度が上がると LV 強度が減少し、直進速度が上がるると CV 強度が減少した。

以上から、下降と Yaw 回転の組み合わせでも LV・CV 強度が負の相関関係にあることを確認した。

4.6.2 統合的なベクションの評価

図 15 に統合的なベクションの主観強度を示す。図 15 (a) は直進速度を横軸、回転速度を凡例とし、図 15 (b) は回転速度を横軸、直進速度を凡例としている。

実験 1c と同様の理由で、2 つの分散分析を行った。は

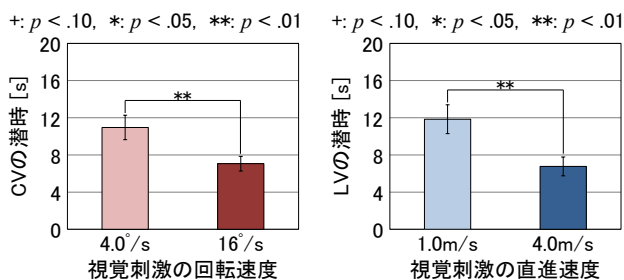


Fig.13 Onset latency when using radial/ rotational flow

じめに、回転速度の効果を確かめるため、図 15 (a) に対して、2 (直進速度 : 0.0m/s 以外) × 3 (回転速度) の参加者内分散分析を行った。その結果、主観強度において、直進速度の主効果 ($F_{(1,12)} = 60.552, p < .001, \eta_G^2 = .249$) と交互作用 ($F_{(2,24)} = 13.023, p < .001, \eta_G^2 = .117$) が有意であり、回転速度の主効果は有意でなかった ($F_{(2,24)} = 1.091, p = .352, \eta_G^2 = .021$)。

分析の目的に添い、回転速度に着目し検定を行った結果、直進速度 1.0m/s で回転速度の単純主効果が有意であった ($F_{(2,48)} = 8.690, p < .001, \eta_G^2 = .118$)。多重比較の結果を図 15 (a) に記載する。直進速度 1.0m/s 条件では、高速の回転運動を加えたときのみ統合的なベクション強度が増加した。直進速度 4.0m/s 条件では、統合的なベクション強度の増減傾向を確認することができなかった ($F_{(2,48)} = 1.813, p < .174, \eta_G^2 = .027$)。

次に、直進速度の効果を確かめるため、3 (直進速度) × 2 (回転速度 : 0.0°/s 以外) の参加者内分散分析を行った結果、直進速度の主効果 ($F_{(2,24)} = 11.767, p < .001, \eta_G^2 = .103$)、回転速度の主効果 ($F_{(1,12)} = 15.470, p = .002, \eta_G^2 = .106$) と交互作用 ($F_{(2,24)} = 20.948, p < .001, \eta_G^2 = .133$) が有意であった。

直進速度に着目すると、回転速度 4.0°/s でのみ直進速度の単純主効果が有意であった (4.0°/s: $F_{(2,48)} = 29.577, p < .001, \eta_G^2 = .207$, 16°/s: $F_{(2,48)} = 2.184, p = .124, \eta_G^2 = .019$)。多重比較の結果を図 15 (b) に記載する。直進速度が高速の場合、低速の場合より CV の主観強度は高かった。

以上の結果から、一方が低速の際はもう一方の運動が高速で加わった場合のみ、統合的なベクション強度が増加することが示された。

4.6.3 ベクトル和との比較

続いて、個別で取得した LV と CV の二乗和平方根を、速度ごとに算出した (図 16)。統合的なベクション強度と同様の傾向であるかを調べるために、同様の分散分析を行った。

回転速度の効果を確かめるため、2 (直進速度 : 0.0m/s 以外) × 3 (回転速度) の参加者内分散分析を行った。その結果、直進速度の主効果 ($F_{(1,12)} = 32.008, p < .001, \eta_G^2 = .325$)、回転速度の主効果 ($F_{(2,24)} = 17.760, p < .001, \eta_G^2 = .127$)、交互作用 ($F_{(2,24)} = 24.416, p < .001, \eta_G^2 = .201$) が

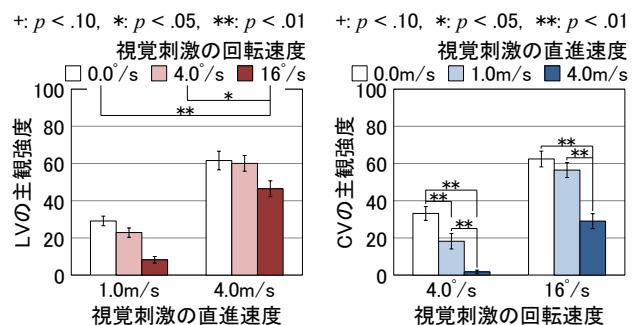


Fig.14 Strength rating when using spiral motion

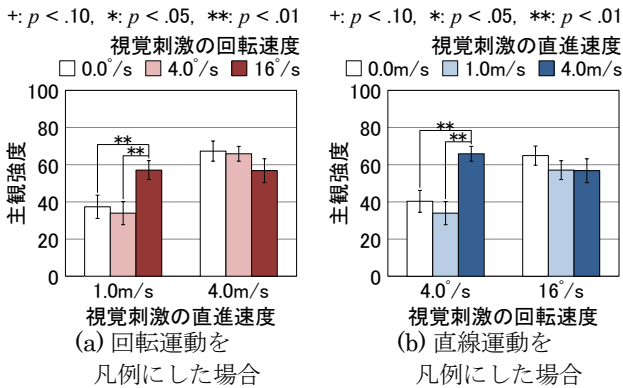


図 15 統合的なベクシオン強度と直進、回転速度の関係
Fig.15 Relationship between vection strength and radial/ rotational velocity of visual stimuli

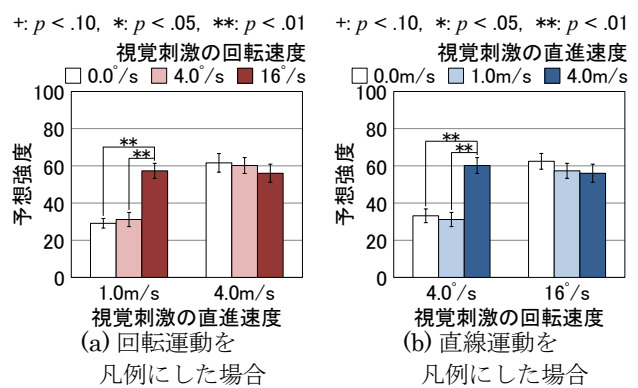


図 16 個別で測定した LV と CV 強度の二乗和平方根
Fig.16 The root-sum-square value of LV and CV strength measured respectively

有意であった。直進速度 1.0m/s でのみ、回転速度の単純主効果が有意であった (1.0m/s: $F_{(2,48)} = 42.106, p < .001, \eta_G^2 = .302, 4.0m/s: F_{(2,48)} = 1.423, p = .251, \eta_G^2 = .014$)。多重比較の結果を図 16 (a) に記載した。図 15 (a) と比較すると、1.0m/s 条件ではともに回転運動が加わると統合的なベクシオン強度は増加する、さらに、4.0m/s 条件ではともに回転速度が変化しても統合的なベクシオン強度は大きく変化しないという点が一致している。

続いて、直進速度の効果を確かめるため、3 (直進速度) × 2 (回転速度: 0.0°/s 以外) の参加者内分散分析を行った結果、直進速度の主効果 ($F_{(2,24)} = 6.251, p = .007, \eta_G^2 = .137$)、回転速度の主効果 ($F_{(1,12)} = 79.233, p < .001, \eta_G^2 = .316$)、交互作用 ($F_{(2,24)} = 31.088, p < .001, \eta_G^2 = .200$) が有意であった。直進速度の単純主効果は、回転速度 4.0°/s でのみ、有意であった (4.0°/s: $F_{(2,48)} = 23.810, p < .001, \eta_G^2 = .288, 16°/s: F_{(2,48)} = 1.040, p = .361, \eta_G^2 = .017$)。多重比較の結果を図 16 (b) に記載した。図 15 (b) と比較すると、4.0°/s 条件ではともに直線運動が加わると統合的なベクシオン強度は増加し、16°/s 条件ではともに直進速度が変化しても統合的なベクシオン強度は大きく変化しないという点が一致している。

以上より、有意差が認められた箇所において、矛盾は生じていないことがわかった。したがって、下降 LV と Yaw 回転 CV の組み合わせにおいても、統合的なベクシオン強度は、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た。

4.7 考察

4.7.1 LV, CV の個別評価

実験 2a, 2b では、視覚刺激の回転速度が上がるにつれて、CV 強度が増加して LV 強度は減少すること、直進速度が上がるにつれて、LV 強度が増加して CV 強度は減少することを確認した。これらの結果より、実験 1 同様、軸方向が異なっても、LV 強度と CV 強度は、互いに影響し合い、負の相関関係を持つことを示した。

4.7.2 統合的なベクシオン強度

右移動と Pitch 回転、下降と Yaw 回転の組み合わせで

も、統合的なベクシオン強度は LV 強度と CV 強度のベクトル和と同様の傾向であることを確認した。その間には、非常に強い正の相関があった (右移動: $r = 0.953, p < .001$, 下降: $r = 0.980, p < .001$)。ただし、右移動と Pitch 回転の組み合わせでは、統合的なベクシオンと LV, CV 強度のベクトル和に一部異なる傾向を確認した。これは、人間の視野特性が影響していると考えられる。

回転運動を正確に知覚するには、Pitch 回転は垂直方向の、Yaw 回転は水平方向の視野角が重要となる。その一方、人間の視野領域は垂直方向に狭く、水平方向に広い。実験 2a における、Pitch 回転をする視覚刺激は、中心視野のみで観察した場合、参加者の前面における下から上へのフロー、背面における上から下へのフローで表現される。参加者は自身の前方の垂直方向に約 125°、水平方向に約 200°程度しか認識できないため、Pitch 回転を回転運動ではなく下から上への直線運動と捉えた可能性が高い。実際に、実験 2a の LV, CV の個別評価では、直線運動に低速の回転運動が加わると、参加者が CV を知覚していなかった。また、多数の参加者から「斜め方向に移動する感覚が発生した」とのコメントを取得した。一方、統合的なベクシオン強度は、評価させる運動感覚を指定せず、参加者には自身が動いたと感じる強さを評価させた。そのため、LV, CV の個別評価では斜め方向に移動する感覚が含まれず、統合的なベクシオンの評価には、斜め方向に移動する感覚も評価された可能性が高い。この違いにより、統合的なベクシオンと LV, CV 強度のベクトル和のグラフに誤差が生じたと考えられる。

それに対して、下降と Yaw 回転の組み合わせでは、人間の視野特性は水平方向に広いため、視覚刺激の直線運動と回転運動を正確に捉えることができた。そのため、切り分けて評価された LV, CV 強度のベクトル和と統合的なベクシオン強度のグラフが非常に近似したと考えられる。

5. むすび

我々は、様々な運動方向を組み合わせた視覚刺激を用

いて、先行研究 [12] において示された前進 LV, Roll 回転 CV, およびその統合的なベクションの関係性が観測されるかを確認した。

実験 1 では、後退と Roll 回転を知覚する視覚刺激を、実験 2 では、右移動と Pitch 回転を知覚する視覚刺激、または下降と Yaw 回転を知覚する視覚刺激を提示した。そして、各視覚刺激によって発生する LV 強度, CV 強度, 統合的なベクション強度を測定した。

結果、先行研究と同様に直線運動と回転運動の組み合わせによらず 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であることを明らかにした。また、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ョン強度も同様に、組み合わせによらず、切り分けて測定した 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。

さらに、各方向の組み合わせを詳細に比較した結果、LV と CV の互いへの影響の強さや、そのベクトル和と統合的なベクション強度との関係性に、若干の差異が観察された。これは、人間の視野特性や、日常の運動経験と関連すると考えられる。

本研究から、様々な運動方向の組み合わせでの LV, CV の関係が確認された。カーブやスパイラルなど直線と回転が混ざり合う複雑な動きをする視覚刺激を観察した際のベクション強度は、両方向への運動速度の単純な合算とはならず、各方向への速度が互いに影響し合うことは映像コンテンツの作成において重要な点である。さらに、日常経験や視野角などがベクション強度へ影響するという、本研究の結果から示唆される知見は、映像の見せ方の設計指標になると考えられる。

参考文献

- [1] Palmisano, S., Allison, R. S., Schira, M. M., Barry, R. J.: Future challenges for vection research: definitions, functional significance, measures, and neural bases; *Frontiers in Psychology*, Vol. 6, pp. 1-15 (2015).
- [2] Dichgans, J., Brandt, T.: Visual-vestibular interactions: effects on self-motion perception and postural control; *Perception. Handbook of Sensory Physiology*, Vol. 8 (Held, R., Leibowitz, H. W., Teuber, H. L. eds.), Springer, Chap.25 (1978).
- [3] Seno, T., Fukuda, H.: Stimulus meanings alter illusory self-motion (vection) - experimental examination of the train illusion; *Seeing and Perceiving*, Vol. 25, No. 6, pp. 631- 645 (2012).
- [4] de Jong, B. M., Shipp, S., Skidmore, B., Frackowiak, R. S. J., Zeki, S.: The cerebral activity related to the visual perception of forward motion in depth; *Brain*, Vol. 117, pp. 1039 - 1054 (1994).
- [5] 森将輝, 妹尾武治: 身体姿勢の違いがベクションに及ぼす影響; 日本バーチャルリアリティ学会論文誌, Vol. 22, No. 3, pp. 391- 394 (2017).
- [6] Brandt, T., Dichgans, J., Koenig, E.: Differential effects of central versus peripheral vision on egocentric and exocentric motion perception; *Experimental Brain Research*, Vol. 16, pp.

476 - 491 (1973).

- [7] Held, R., Dichgans, J., Bauer, J.: Characteristics of moving visual scenes influencing spatial orientation; *Vision Research*, Vol. 15, No. 3, pp. 357 - 365 (1975).
- [8] Berthoz, A., Pavard, B., Young, L. R.: 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).
- [9] 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ョ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).
- [10] Fischer, M. H., Kormmüller A. E.: Optokinetisch ausgelöste bewegungswahrnehmung und optokinetischer nystagmus; *Journal für Psychologie und Neurologie*, Vol. 41, pp. 273-308 (1930).
- [11] Palmisano, S., Summersby, S., Davies, R. G., Kim, J.: Stereoscopic advantages for vection induced by radial, circular, and spiral optic flows; *Journal of Vision*, Vol. 16, No. 14, pp. 1-19 (2016).
- [12] 古賀宥摩, 石津航大, 松室美紀, 橋口哲志, 柴田史久, 田村秀行, 木村朝子: 直線運動と回転運動が共存する場合のベクション効果; 日本バーチャルリアリティ学会論文誌, Vol. 24, No. 1, pp. 31-41 (2019).
- [13] Bubka, A., Bonato, F., Palmisano S.: Expanding and contracting optic-flow patterns and vection; *Perception*, vol 37, No. 5, pp. 704-7111 (2008).
- [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] Howard, I. P., Heckmann, T.: 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).

(2019 年 10 月 31 日受付, 2020 年 1 月 27 日再受付)

著者紹介

松田 あゆみ



2019 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。

古賀 宥摩



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。2019 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、パナソニック株式会社所属。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



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。

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授。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。日本バーチャルリアリティ学会複合現実感研究委員会幹事。IEEE, 日本バーチャルリアリティ学会, 情報処理学会等の会員。日本バーチャルリアリティ学会学術奨励賞・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



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, キヤノン(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。日本バーチャルリアリティ学会フェロー, 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, 情報処理学会等の会員。本学会, 情報処理学会, 日本バーチャルリアリティ学会の論文賞, 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。情報処理学会, 電子情報通信学会, 日本バーチャルリアリティ学会, ACM, IEEE 各会員。日本 VR 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を受賞。