

# スパイラルオプティックフローによる無意識の頭部傾斜 Spiral Optic Flow Unconsciously Induces Head Tilt

粥川 奨<sup>1</sup>, 平田 貴士<sup>1</sup>, 川合 伸幸<sup>1,2,3</sup>

Tasuku Kayukawa, Takashi Hirata, Nobuyuki Kawai

<sup>1</sup>名古屋大学大学院 情報学研究科 心理・認知科学専攻, <sup>2</sup>中部大学 創発学術院, <sup>3</sup>科学技術振興機構 CREST

<sup>1</sup>Cognitive and Psychological Sciences, Graduate School of Informatics, Nagoya University,

<sup>2</sup>Academy of Emerging Sciences, Chubu University, <sup>3</sup>CREST, Japan Science and Technology Agency

kayukawa.tasuku.x1@s.mail.nagoya-u.ac.jp

## 概要

ヒトは外界からの視覚情報に基づいて姿勢を制御している。本研究ではスパイラルオプティックフローを用いて、視覚情報によって生じる頭部傾斜が無意識でも生じるかについて検討した。その結果、頭部は視覚刺激の回転方向と同方向に傾くということが判明した。頭部傾斜は視覚刺激の回転を知覚していない場合でも生じており、視覚情報が姿勢応答を無意識のうちに引き起こしていることを示唆している。

キーワード: optic flow, VR,vection, 姿勢制御, 頭部傾斜, 空間識失調

## 1. 背景

空間識とは、自分自身の身体と周囲の物体との相対的な位置や距離、自身の姿勢を把握する能力のことである。空間識は、視覚や前庭感覚などの感覚を統合することで成立しているが、航空機の操縦中など特定の場面において誤った空間識が形成されることがある。これは空間識失調と呼ばれ、航空死亡事故の主な原因の一つとされる[1]。パイロットにとって、自身の姿勢を正確に把握し操縦する機体を安定させることは必要不可欠な能力である。しかし、雲中など視覚情報が制限されるような状況では正確な空間識を維持できず、自機の傾きを誤認するリーン錯覚や雲の稜線から水平を誤認する水平線誤認錯覚などの錯覚が生じ、空間識失調に陥ると考えられている[2]。

このように視覚情報は空間識において大きな役割を果たしており、それは前庭感覚にも影響を与えることが知られている。自覚的視性垂直 (Subjective Visual Vertical: SVV) は垂直を保つように保持した棒と本来の重力軸との差から傾斜感を評価する検査方法である。これまでの研究では固視点を中心にロール回転する視覚刺激を与えると、視覚刺激の回転方向と同方向に SVV が傾斜した [3]。このことは、視覚的な入力の原因となり、身体の姿勢を誤認させる可能性を示している。

ヒトは網膜に映る連続的な像の変化を手がかりとし

て、動いているものを知覚したり、自身の動きを知覚したりする。Gibson (1966) はこのような網膜上における光学的な流れのことをオプティックフロー (optic flow) と呼んだ[4]。オプティックフローは、動いているものを見るとときと自身が動いているときの両方で生じる。特定の条件下では自身が動いているときのオプティックフローと周りが動いているときのオプティックフローが光学的に等価になることから、ヒトは自己運動を錯覚することがある。この現象は視覚誘導性自己移動感覚 (ベクシオン,vection) と呼ばれる。ベクシオンは通常、オプティックフローの方向とは反対方向への自己運動として知覚される。ヒトの姿勢制御システムは知覚された自己運動への補償反応として、体をオプティックフローと同方向に傾斜させる [5-6]。このような視覚情報がもたらす、身体の反応を視覚誘導性姿勢応答 (Visually Evoked Postural Responses: VEPR) と呼ぶ。

従来の VEPR 研究において、視覚刺激の回転知覚と姿勢応答の関係を調べた研究は存在せず、回転運動の知覚と姿勢応答に関係があるかは不明である。これを解明することは、旋回中にスパイラルオプティックフローを体験するパイロットの視覚情報による無意識の姿勢変動とその結果生じうる空間識失調の予防・対策につながることを考える。そこで、本研究では、直進運動と回転運動を組み合わせたスパイラルオプティックフロー [7] を用いて回転運動の知覚の有無と姿勢応答との関係を明らかにする。

## 2. 方法

### 参加者

本研究は、合計 21 名 (女性 5 名, 平均 34.90 歳, SD = 12.66) の参加者が参加した。いずれの参加者も裸眼またはメガネ・コンタクトレンズなどの視力矯正により正常な視力を有した。実験開始前に実験の目的を説明し、書面にて実験参加の同意を得た。すべての実験手続

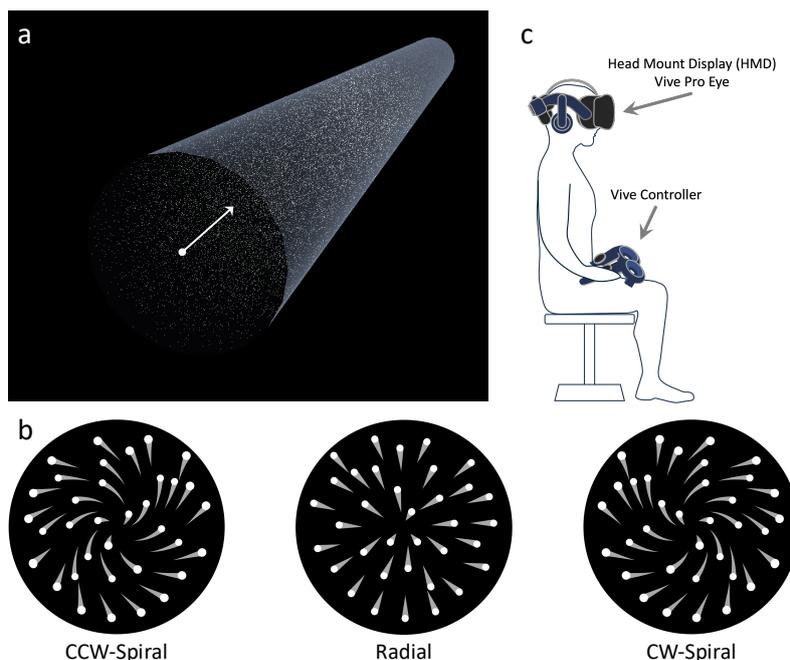


Figure 1 (a) 視覚刺激の俯瞰図 (b) 主観視点での見え方 (c) 実験環境の概略図

きは日本心理学会倫理規定に基づいて設計および実施され、名古屋大学の倫理委員会によって承認された(倫理番号: 240718-C-02-01)。

#### 実験装置

視覚刺激の提示には、ヘッドマウントディスプレイ(Head Mounted Display: HMD, [Vive Pro Eye, HTC])を使用した。このHMDは片目あたり1440 x 1600ピクセル(両眼合計2880 x 1600ピクセル)の解像度で90 Hzのリフレッシュレート、最大110°の視覚野を持つ有機ELディスプレイを備える。90 Hzのサンプリング周波数で頭部の傾きを記録した。また、コントローラー(Vive Controller, HTC)を用いて、オプティックフロー刺激の回転方向を回答させた。

#### 視覚刺激

視覚刺激はUnityエンジン(Unity 2021.3.8)において、C#を用いて3種類のオプティックフロー(Radial, CW-Spiral, CCW-Spiral)を作成した。すべての映像では、半径32 m、高さ800 mの円筒状のVR空間内に直径0.1 mの白球がランダムに80,000個配置された。Radial映像では、これらの球が観測者に向かって15 m/sの速度で直進運動する。CW-Spiral映像で提示される白球は、観測者に向かって15 m/sの速度で直進しながら時計回りに回転した。一方、CCW-Spiral映像で提示される白球は、直進しながら半時計回りに回転した。CW-SpiralおよびCCW-Spiral映像で回転する白球の角速度は、1.5, 3.0, 4.5 deg/sの3種類設定した。球が参加者に接近するの

は、2 mまでとした。したがって視点からの距離が2-32 mの範囲内にある白球を表示した。Figure 1a, bに視覚刺激の概略を示す。

#### 実験環境

実験開始前に実験者はコントローラーの操作と刺激について教示を行った。実験はイスに着席した状態で実施した。参加者には、背を軽く伸ばして故意に体を動かさず、ディスプレイ中央を見るよう教示した。参加者は両手に一つずつコントローラーを握り、手を膝に乗せた状態で課題を実施した。Figure 1cは実験環境の概略を示す。

#### 手続き

本実験は1ブロック7試行で構成された。各ブロックには2つの回転方向(CW-Spiral・CCW-Spiral)と3つの回転速度(1.5 deg/s・3.0 deg/s・4.5 deg/s)に0 deg/s(Radial)を加えた7条件が各1試行ずつ含まれた。これを4ブロック繰り返し、各実験条件は計4回実施された(全28試行)。刺激の提示順序は各ブロック内で無作為に並べ替えられた。なお、いずれの条件においても直線移動速度は15 m/sであった。

HMD上では、黒い背景に多数の白点がある静止画像を10秒間表示した後、白点を動かすことでRadialオプティックフロー刺激(回転なし)を提示した。CW-Spiral・CCW-Spiral条件の場合は、放射オプティックフローの提示開始から5-10秒後にオプティックフローの回転が始まり、スパイラルオプティックフロ

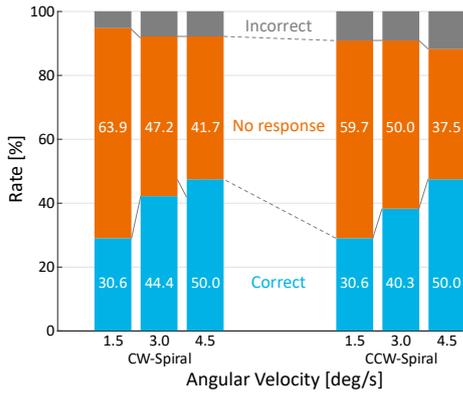


Figure 2 回転知覚課題の結果の割合を 30 秒間提示した。本実験における課題はスパイラルオプティックフローの回転運動を発見し、左右どちらかのコントローラーのキーを押して反応することであった。参加者には HMD 上に映されたスパイラルオプティックフローの回転を見つけ、時計回り (CW-Spiral) なら右手のキーを、反時計回り (CCW-Spiral) なら左手のキーを押すよう指示した。また、回転を発見できなかった場合はキーを押す必要はないと教示した。

### 3. 結果

回転知覚課題の結果と頭部の傾きについて分析を行った。参加者 21 名のうち、急激な動きが見られた 2 名を除いた 19 名を分析の対象とした。

#### 回転知覚課題

回転知覚課題のデータについて、回答がない試行を No response、回転を正しく認識した試行を Correct、誤って認識した試行を Incorrect に分類し、条件ごとにそれぞれの割合を算出した。Figure 2 に Correct / No response / Incorrect の割合を示す。CW-Spiral・CCW-Spiral のいずれの条件においても、回転速度の上昇とともに正答率が上昇する傾向が見られた。

#### 頭部傾斜

頭部運動のデータについて、ロール軸での頭部傾斜を算出した。Radial 条件 (0 deg/s) では映像オンセット時点の頭部位置をベースラインとし、CW-Spiral・CCW-Spiral 条件では映像の回転オンセット時点の頭部位置をベースラインとして、刺激提示中の頭部の傾斜量を算出した。計測データのうち、Radial 条件については映像刺激のオンセットから 30 秒間を分析対象とし、その他の条件についてはオプティックフローの回転オンセットから提示終了までの 30 秒間を分析対象とした。

Figure 3a は頭部回転のデータを条件ごとに参加者間で平均し得られた頭部傾斜の変化を示す。Figure 3a より、Radial 条件ではわずかに右側への頭部傾斜が認められた。CW-Spiral 条件では右側への頭部傾斜が、CCW-Spiral 条件では左側への頭部傾斜がそれぞれ見られた。

Figure 3b は CW-Spiral・CCW-Spiral の各速度条件で最後の 1 秒間の頭部傾斜のデータを抽出し、ベースラインからの変化量の平均値を示したものである。各条件のスパイラルオプティックフローによって引き起こされる頭部傾斜を検討するため、回転速度と回転方向を要因とする 2 要因参加者内の分散分析を行った。頭部傾斜の変化量を比べるため、CCW-Spiral のデータについては得られた平均値の絶対値を利用した。結果として、回転速度の有意な主効果 ( $F(2, 36) = 8.58, p < .01$ ) が得られ、回転速度の条件間で頭部傾斜の変化量が異なることが示された。一方、回転方向の主効果 ( $F(1, 18) = 0.86, p = .37$ ) と交互作用 ( $F(2, 36) = 0.40, p = .68$ ) については有意でなかった。

頭部傾斜の変化が回転の知覚によって変化するかを検討するため、No response と Correct の際の頭部傾斜の変化をそれぞれ Figure 4a と Figure 4b に示した。回転速度による頭部傾斜の変化量を検討するため、Figure 3b と同様に、最後の 1 秒間の頭部傾斜のデータを No

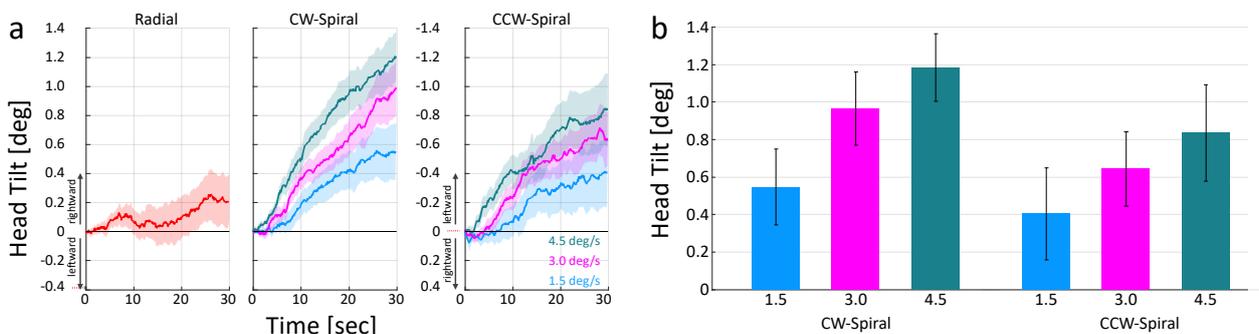


Figure 2 (a) 頭部傾斜の変化の加算平均 網掛け部は標準誤差を示す  
(b) 最後 1 秒間におけるベースラインからの変化量の平均 エラーバーは標準誤差を示す

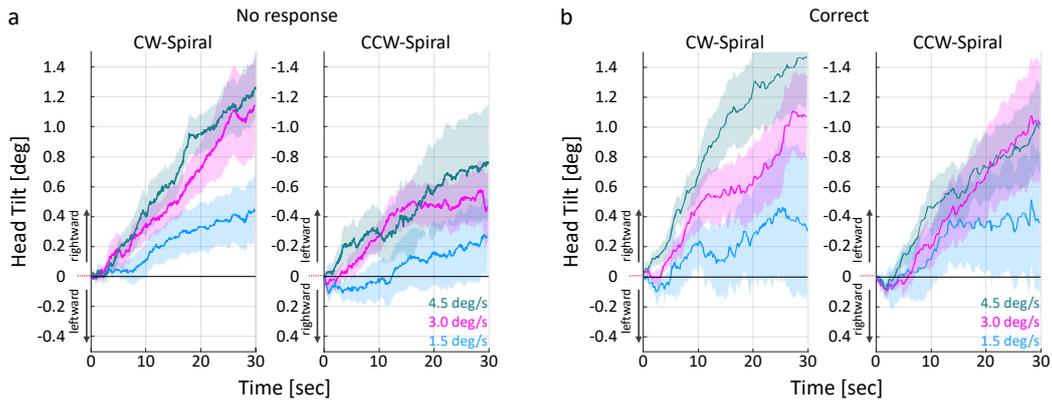


Figure 3 (a) 頭部傾斜の変化 [No response] (b) 頭部傾斜の変化 [Correct]

網がけ部は標準誤差を示す

response/Correct のそれぞれで 2 要因分散分析を実施した。No response / Correct での分散分析では、各条件の 4 試行で一度も No response や Correct でなかった参加者が存在するため、6 条件のうち一つでも値の欠損がある参加者を取り除いて実施した。分析の結果、No response では、回転方向 ( $F(1, 10)=0.40, p=.54$ ) と交互作用 ( $F(2, 20)=1.82, p=.19$ ) は有意でなかったものの、回転速度の主効果 ( $F(2, 20)=2.80, p=.08$ ) では有意傾向が見られた。Correct では、回転方向 ( $F(1, 5)=0.00, p=0.99$ )、交互作用 ( $F(2, 10)=0.01, p=.99$ ) のいずれも有意ではなかったが回転速度の主効果 ( $F(2, 10)=2.33, p=.078$ ) の有意傾向が見られた。また、回転知覚の有無が頭部傾斜に影響を与えているかを判断するため、No response と Correct で参加者間 3 要因分散分析を行ったが、回転知覚の主効果は有意でなかった ( $F(1, 15)=1.21, n.s.$ )。

#### 4. 考察

本研究では、直進しながら回転するスパイラルオプティックフローによって生じる頭部傾斜と回転知覚との関係を検討した。

回転知覚課題の No response / Correct に関わらず、頭部は回転方向と同じ方向に傾斜している。したがって、ヒトは視覚情報によって無意識のうちに姿勢を変えていると考えられる。こうした無意識な姿勢変化は、自身の正確な姿勢の把握を困難にするため、空間識失調を引き起こす可能性がある。

頭部は、CW-Spiral・CCW-Spiral の両条件で視覚刺激の回転方向と同じ方向に傾いた。これは、画面中央を中心にロール回転するオプティックフローを提示した Tanahashi et al. (2007) の実験結果と一致する[6]。VEPR が知覚された自己運動の補償反応であるということ踏まえると、CW-Spiral・CCW-Spiral のオプティックフ

ローによって、直進しながら回転するというようなベクションが生じている可能性がある。しかしながら、回転知覚課題の結果から 1.5 deg 条件では No response が 60% を超えている。松田ら (2020) の研究においても、スパイラルオプティックフローでは回転のベクションが知覚されにくくなることが示されており、回転のベクションが生じていたかについてはさらなる検討が必要である[7]。

Figure 3b において回転速度の主効果が有意であったことから、回転速度を早くすることでより大きな頭部の傾きが惹起される可能性が示唆された。より大きく頭が傾くことで前庭器官への入力に変化し、自身の姿勢や方向を誤認することで、空間識失調を促進する可能性が考えられる。視覚刺激の回転速度と頭部の傾きの関係についてはさらなる検討が必要である。

#### 5. 参考文献

- [1] Gibb, R., Ercoline, B., & Scharff, L. (2011). Spatial disorientation: decades of pilot fatalities. *Aviation, Space, and Environmental Medicine*, 82(7), 717-724.
- [2] 田村敦, & 田所慎. (2019). 空間識失調と航空医学. *Equilibrium Research*, 78(4), 242-253.
- [3] Brandt, T., Wist, E. R., & Dichgans, J. (1975). Foreground and background in dynamic spatial orientation. *Perception & Psychophysics*, 17(5), 497-503.
- [4] Gibson, J. J. (1966). The senses considered as perceptual systems. Houghton Mifflin.
- [5] Bronstein, A. M. (1986). Suppression of visually evoked postural responses. *Experimental Brain Research*, 63, 655-658.
- [6] Tanahashi, S., Ujike, H., Kozawa, R., & Ukai, K. (2007). Effects of visually simulated roll motion on vection and postural stabilization. *Journal of NeuroEngineering and Rehabilitation*, 4(1), 1-11.
- [7] 松田あゆみ, 古賀宥摩, 松室美紀, 柴田史久, 田村秀行, & 木村朝子. (2020). 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. *ヒューマンインタフェース学会論文誌* 22(2), 101-112.

本研究は、JST CREST「生体マルチセンシングシステム究明と活用技術の創出」事業の補助を受けて行われた。