

令和 6 年 6 月 28 日現在

機関番号：32689

研究種目：基盤研究(C)（一般）

研究期間：2019～2023

課題番号：19K03373

研究課題名（和文）間隙通過時に利用される光学情報の種類が、移動経路の可制御性に与える影響

研究課題名（英文）Influence of optical information used when passing through the gap on the controllability of the travel path.

研究代表者

三嶋 博之（Mishima, Hiroyuki）

早稲田大学・人間科学学術院・教授

研究者番号：90288051

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 3,300,000円

研究成果の概要（和文）：電動車椅子を用いた間隙通過実験を実施した結果、間隙に接近する行為者の注視点の配分には偏りがあること、また、それら間の因果関係については特定できないものの、注視点の偏りと電動車椅子の軌道制御との間の関連性が示唆された。次に、人が環境中を移動する際に経験する視野全体の光学的流動（グローバルフロー）が視野内の対象物（ローカルフロー）の発見に対してどのような影響を及ぼすのかについて、コンピュータディスプレイ上に提示される刺激映像により検討を行った結果、ローカルフローのエッジの特定部分に視線が集まること、ならびに視線が集まる方向はグローバルフローの影響を受けていることが示唆された。

研究成果の学術的意義や社会的意義
移動時の軌跡が移動時の視線運動によって影響される可能性を示したこと、また、視線運動を誘導する光学的流動の特徴の一つについて示したこと。

研究成果の概要（英文）：The results of a gap-passing experiment using an electric wheelchair suggest that there is a bias in the distribution of the gazing point of an actor approaching a gap and that there is a link between the bias of the gazing point and the trajectory control of the motorized wheelchair, although the causal relationship between them cannot be determined. Next, we investigated how the optical flow of the entire visual field (global flow) experienced by a person as he or she moves through the environment affects the detection of objects in the visual field (local flow) by means of stimulus images presented on a computer display. The results suggest that the gaze is focused on a specific part of the edge of the local optical flow and that the direction in which the gaze is focused is influenced by the global optical flow.

研究分野：生態心理学

キーワード：間隙通過 光学的流動

1. 研究開始当初の背景

飛翔してくるボールを捕球する行動のように、空間的に離れた対象物とその観察者との接触に関する視覚制御をテーマとした研究が従来から行われてきた(Bootsma & Peper, 1992)。特に、野球の外野手がボールの落下点に「事前に」移動するために利用する視覚情報として、移動中に「ボールの仰角()の前額面への投射における変化(\tan)を等速に保つ」方略が、その数学的モデル(Optical Acceleration Cancellation; OAC model)とともに提案され(Chapman, 1968) その有効性が心理学的にも示された(Zaal, Bongers, Pepping, & Bootsma, 2012 等)。OAC モデルは、元来、飛翔するボールの矢状面での光学的挙動に関するものであったが、本研究ではこれを水平面での間隙への接近・回避運動に置き換えつつ適用することで、間隙通過の制御に利用される視覚情報の候補として活用できると考えた。また、OAC モデルをけん玉技能に適用した申請者らの研究(Ito & Mishima, 2018)では、けん玉を制御している情報が、行為者の技能水準や玉の軌道によって異なることが示唆された。これらを踏まえ、本研究において、間隙通過で利用されている視覚情報の特定の必要性と、その視覚情報が接近の状況や経験によって異なる可能性の着想に至った。

Bootsma, R. J., & Peper, C. E. (1992). Predictive visual information sources for the regulation of action with special emphasis on catching and hitting. (L. Proteau, & D. Elliott, Eds.), *Vision and motor control*. (pp.285-314), Amsterdam: Elsevier Science.

Chapman, S. (1968). Catching a baseball. *American Journal of Physics*, 36(10), 868–870.

Ito, M., & Mishima, H. (2018). Optical Information to Guide Head and Handle Movement While Playing Kendama, *Ecological Psychology*.

Zaal, F. T. J. M., Bongers, R. M., Pepping, G.-J., & Bootsma, R. J. (2012). Base on balls for the Chapman strategy: Reassessing Brouwer, Brenner, and Smeets (2002). *Attention, Perception, & Psychophysics*, 74(7), 1488–1498.

2. 研究の目的

本研究では、人が空間を移動する際に頻繁に直面する「間隙通過」場面に注目し、間隙通過の可否の判断や、間隙通過のための接近行動の制御のために使用される視覚情報を、シミュレーション実験と実環境実験を通じて特定する。

3. 研究の方法

研究方法は、主として電動車椅子を用いた実環境実験と、コンピュータディスプレイ上に光学的流動を生成して実験参加者に提示するシミュレーション実験との2つに分けられる。

実環境実験では、電動車椅子の初期位置に関する条件(正面・左側・右側)を変化させ、これら2つの条件が電動車椅子での間隙へのアプローチ軌道に対してどのような影響を与えるのかについて検討した。

シミュレーション実験では、コンピュータディスプレイ上で拡大するように見えるグローバルオプティックフローの提示の有無、弁別対象を呈示する位置、弁別対象に先行して呈示される局所的な光学的流動(ローカルオプティックフロー)の位置、ローカルオプティックフローが呈示されてから弁別対象が呈示されるまでの遅延時間、観察者の移動速度を独立変数として設定した。従属変数としては、対象が発見されるまでの反応時間、および注視点(視線運動)が計測された。

4. 研究成果

ここではシミュレーション実験の成果(畑・加藤・三嶋, 2023)について記載する。

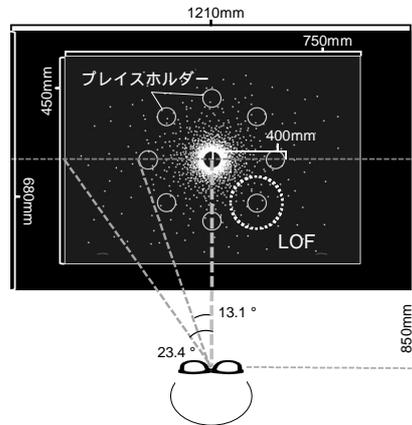
方法

実験参加者 視覚探索およびマウス押下の運動に問題のない大学生および大学院生 20 名(男性 13 名, 女性 7 名: mean age = 21.3 歳, $SD = 1.35$)

実験装置・実験環境 視線計測装置(Pupil Invisible, Pupil Labs 社製)ならびに顎台、大型ディスプレイモニタ(55 インチ, ソニー製, 画面サイズ: 1210 mm × 680 mm), 両利き対応マウス(G203, Logitech 製), PC(MacBook Pro, Apple 製) 昇降可能な机、および昇降可能な椅子を使用した。映像刺激内のローカルオプティックフロー(LOF), 弁別課題(以下, 課題)の呈示位置である 8 つのプレースホルダーが有効視野内に入るように、参加者の目とディスプレ

イとの距離を 850 mm に設定した (図 1). 反応のマウスは椅子の前の台の前方に置き , 動かないように固定された .

図 1 実験環境



認知材料は , 10.5 秒で作成された映像刺激 (表示サイズ : 約 750 mm × 450 mm) であった . 画面内の同一円周上の等間隔な 8 箇所に配置された円 (以下 , プレースホルダー) のいずれか一つの中に , 特定のタイミングで対称性のある 7 セグメントの数字 (6 または 9) が呈示される映像刺激を , MATLAB_R2021a を用いて作成した . ディスプレイの中央に映像刺激は表示され , その周囲に視線座標の基準として使用する April-tag (80 mm × 80 mm) が 10 個表示された . この April-tag は計測の補助として用いるものであり , 課題内容とは無関係であることを参加者に説明し , 十分な理解を得た . 表示する画面の背景は黒 (R27 , G27 , B27) , 点群は白 (R256 , G256 , B256) で示した . ディスプレイの反射によって参加者の姿が映り込むことを防ぐ目的とし , ディスプレイ背後の照明のみを点灯した .

画面中央部には , 一定加速度で拡大するグローバルオプティックフロー (GOF) をランダムな点群で示し , 一方で作成し呈示した . 一方 , 呈示される LOF は , プレースホルダーの内のいずれか一つにランダムに呈示される一定加速度で拡大する一重のリング状の点群であった .

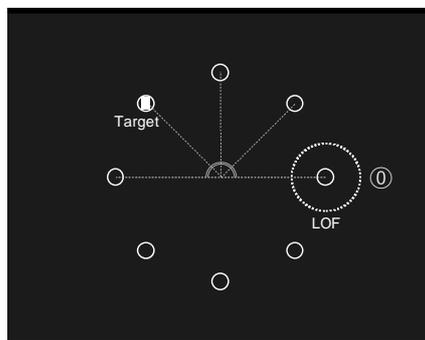
実験では , 「 GOF の有無 」 , 呈示した LOF が消失してから課題 (Target) が呈示されるまでの 「 時間差 」 , 「 LOF の呈示位置 」 , 「 課題の呈示位置 」 の 4 つの条件が操作された .

GOF 有条件では , 映像の背景として GOF を常に呈示し , GOF 無条件では , 黒の背景を使用した . LOF が消失したと同時にもしくは一定時間が経過した後に Target の数字が呈示され , その時間間隔は , 0 (同時) , 1 , 3 , 5 秒であった .

課題の呈示位置は完全にランダムであり , その位置関係が LOF の呈示位置から近い順に ① ~ ④ とラベリングした . ① は LOF と課題の呈示位置が一致する場合であり , ② は最も遠方で , 画面中央を挟んで ① と対角の位置であった (図 2). プレースホルダーを配置した円の直径を 1 としたときの LOF の呈示位置 (①) と ① ~ ④ との直線距離は , それぞれ $\cos(3/8)$, $\cos(2/8)$, $\cos(1/8)$, 1 であった .

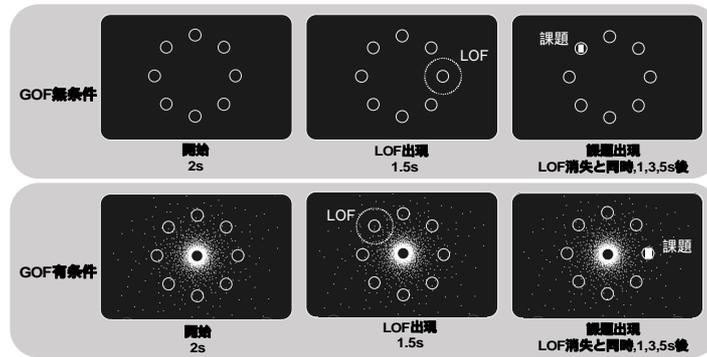
「 GOF の有無 」 (2 水準) , LOF が呈示されてから課題が呈示されるまでの 「 時間差 」 (4 水準) , LOF と課題の呈示位置の 「 位置関係 」 (5 水準) について , ランダムな組み合わせで作成された映像刺激 64 本をセットとしたものを 1 セクションとして , GOF の有条件と無条件を各 2 セクション設定し (図 3) , 計 4 セクション , 256 施行を実施した . 試行順は実験参加者ごとにランダム化した .

図 2 実験要因の位置関係の例



Note. LOF と課題 (Target) の呈示位置はランダム化された .

図3 実験の流れ

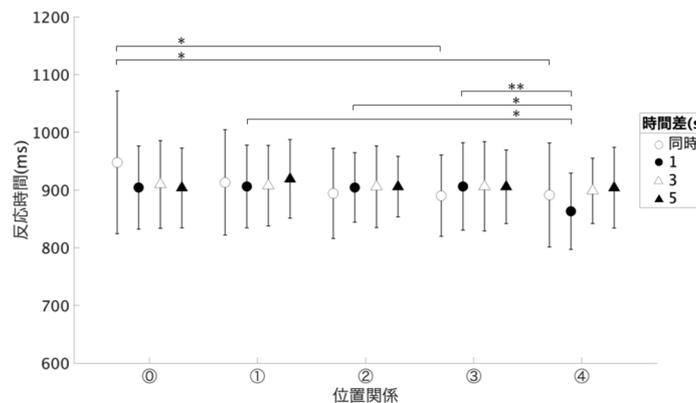


Note. 一つの映像は 10.5 秒で構成された。映像の開始から 2 秒後に LOF が出現し、1.5 秒かけて拡散して消失する。消失と同時にあるいは 1, 3, 5 秒後に課題が呈示され、その間参加者は探索を行う。参加者は、数字を発見するとできる限り早く、数字 (6・9) に対応したマウスクリックで応答した。

実験手続き 参加者は、視線計測装置を着用し、モニターの中央に映された映像刺激内に呈示される数字 (6 または 9) を探索し、それを発見した際に素早く数字に対応するマウスボタンを押下することを求められた。参加者は利き手で、6 の場合を左クリック、9 の場合を右クリックで応答した。

結果

図4 「位置関係」と「時間差」の交互作用



Note. * $p < .05$, ** $p < .01$, エラーバーは標準偏差

反応時間に対する 3 要因分散分析の結果、「位置関係」の主効果 ($F(4, 76) = 4.37, p < .01, \eta^2_G = .016$) と、「位置関係」と「時間差」の交互作用が有意であった ($F(12, 228) = 3.23, p < .001, \eta^2_G = .024$) (図 4: Holm 法により調整)。

「位置関係」の主効果について多重比較を行なったところ、位置関係 ① と ③ ($t(19) = 3.16, p < .05$)、① と ④ ($t(19) = 3.59, p < .05$) において有意であった (Holm 法により調整)。すなわち、① の位置関係の方が、③ や ④ よりも平均的に反応時間が短かった。

「位置関係」と「時間差」の交互作用について多重比較を行なったところ、同時条件下において、位置関係 ① と ③ ($t(19) = 3.62, p = .018$)、① と ④ ($t(19) = 3.22, p = .041$) の差が有意であった。すなわち、同時条件下では、① の位置関係の方が③ や ④ よりも平均的に反応時間が長かった。また、1 秒条件下において、位置関係 ① と ③ ($t(19) = 3.13, p = .044$)、① と ④ ($t(19) = 3.50, p = .022$) および、② と ③ ($t(19) = 3.93, p = .009$) の差が有意であった (図 4: Holm 法により調整)。これは、1 秒条件下では、位置関係 ① が、③ や ④ と比べ平均的に反応時間が短かったことを示している。

位置関係 ① の条件において、「GOF の有無」、「LOF と課題の位置関係 (8 水準)」の 2 要因分散分析を行なったところ、GOF の主効果が有意傾向であった ($F(1, 19) = 3.89, p = .063, \eta^2_G = .008$)。多重比較の結果、有意傾向であった ($t(19) = 1.96, p = .063$)。すなわち、中心を挟んで対角位置まで探索を必要とする条件下では、GOF 有条件の方が、無条件よりも反応時間が短い可能性が示唆された。

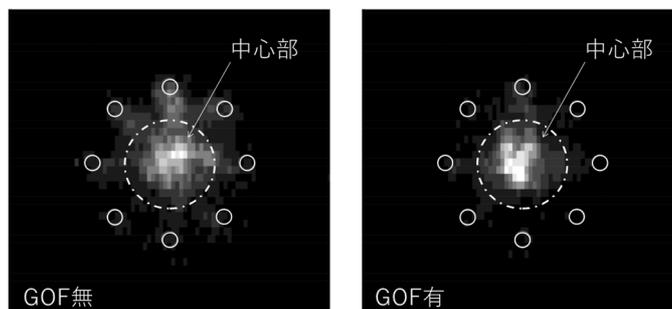
GOF が視線運動に及ぼす効果を分析するために、120 Hz でサンプリングされた視線データのうち、測定できていなかった参加者 2 名を除いて、18 名分のデータ (視線座標) を利用した。

画面を「中心部」と「周辺部」に分割し、エリアごとに視線データの有無を判定した上で、各参加者内で累積した。中心から LOF または課題呈示位置までの距離の半分を半径とした円の内側を「中心部」と定義し、その外側を「周辺部」とした。GOF の有無を要因として、中心部にある視線の個数と周辺部の視線の個数に対してクロス集計を行い、階層ベイズロジスティック回帰分析を行った（久保，2012；松浦，2016；照井，2010）。中心部における視線頻度の事後分布を推定するにあたり以下のモデルを仮定した。

$$p(\beta_1, \beta_2, s, \{r_i\} | Y) \propto p(Y | \beta_1, \beta_2, \{r_i\})p(\beta_1)p(\beta_2)p(s) \prod_i p(r_i | s) \dots\dots\dots(1)$$

式(1)で、 $p(\beta_1, \beta_2, s, \{r_i\} | Y)$ は中心部における視線頻度の事後分布（ Y は中心部における視線の頻度データ）、 $p(Y | \beta_1, \beta_2, \{r_i\})$ はモデルの尤度、 $p(\beta_1)$ は切片の、 $p(\beta_2)$ は GOF の有無の事前分布、 $p(s)$ は個体差を示す無情報事前分布（超事前分布）、 $p(r_i | s)$ は個体差 r_i の階層事前分布である。R (4.2.2) および RStan (2.26.13) を用い、MCMC サンプリング (iteration = 5000; warmup = 2500; thinning = 1) を行って式(1)の事後分布を推定したところ収束を確認した ($\hat{R} < 1.02$)。このとき GOF の有無の効果に関する係数の平均値は 0.62, 95% CI [0.61, 0.63] であり、0 から十分に離れていることから GOF の効果があること、具体的には GOF 有条件の方が GOF 無条件と比べ、視線が中央に引き寄せられているといえる (図 5)。

図 5 視線の分布のヒートマップ



考察

反応時間について、LOF と課題の呈示場所との「位置関係」のうち、①での反応時間が長く、②での反応時間が短かったことについて検討する。

先行研究 (Higuchi et al., 2019) では、本研究での GOF に相当するものが参加者の視線を呈示場所またはその中心に誘導する効果が確認されていた。一方、本研究では、GOF が呈示される場合は画面中央に発生源が固定されており、それとは別に LOF が一重のリング状に拡散していく点群として呈示された。その結果、LOF の輪郭もしくはそれが拡大する方向に視線を誘導していること、さらには、LOF は消失後もその外側・輪郭に注意を誘導し、特に、画面内において対角の位置（画面中央を挟んで反対側）にあるプレースホルダーに視線を誘導していた可能性が示唆された。このような LOF の視線誘導効果については、本研究で用いられた LOF が一重のリング状であったことも影響していると考えられるが、LOF がその消失後も視線誘導の残効を持っていた可能性については、消失してしまう LOF の「像」ではなく、像の消失後も持続する LOF の「意味」を参加者が知覚していた可能性を示唆している。これは Gibson (1979) の主張する不変項の知覚を検証するための糸口となる現象であり、今後の検討が必要である。

次に、本研究における GOF の効果について検討する。参加者の視線は、GOF が呈示された場合、GOF の存在する画面の中心に分布していたことが確認された。これは、先行研究 (Higuchi, et al., 2019) と同様に、GOF による視線誘導効果を示している。

また、本研究の条件においては、画面の中央に視線を誘導する GOF が存在していても LOF による視線誘導が生じ、かつ、GOF の存在は視覚探索の時間を大きく遅延させることはなかった。これは、GOF が LOF の効果や探索活動を阻害はしないことを示唆する結果であり、GOF と LOF に関する知覚の機序を考える上で興味深い。

さらに、位置関係 の条件において、GOF が探索時間を短縮する傾向が示されたが、これは、画面中央に存在する GOF は、LOF との相互作用により、GOF を挟んで LOF の呈示場所から対角側へと視線を効率的に誘導することを示唆する。これを GOF と LOF の運動から解釈するならば「GOF の流動と LOF の流動が平行となるような領域に視線誘導が起きた」と考えられるかもしれない。

Gibson, J.J. (1979). *The Ecological Approach to Visual Perception*. Houghton Mifflin Company.
 Higuchi, Y., Inoue, S., Endo, T., & Kumada, T. (2019). Task-irrelevant optic flow guides attention in visual search. *Attention, Perception, & Psychophysics*, 81, 1327-1345.
 畑 美緒・加藤 麻樹・三嶋 博之 (2023). 探索における大域的オブジェクティブフローと局所的オブジェクティブフローの相互作用 認知科学 30 370-76

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計1件（うち査読付論文 1件/うち国際共著 0件/うちオープンアクセス 1件）

1. 著者名 畑 美緒、加藤 麻樹、三嶋 博之	4. 巻 30
2. 論文標題 探索における大域的オブティックフローと局所的オブティックフローの相互作用	5. 発行年 2023年
3. 雑誌名 認知科学	6. 最初と最後の頁 370 ~ 376
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.11225/cs.2023.014	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている（また、その予定である）	国際共著 -

〔学会発表〕 計3件（うち招待講演 0件/うち国際学会 0件）

1. 発表者名 畑 美緒、畑 晴太郎、村野 良太、岩浅 巧、加藤 麻樹、三嶋 博之
2. 発表標題 ダーツボードの色と周辺の状況が投擲のパフォーマンスに与える効果
3. 学会等名 人類動態学会57回大会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 畑美緒、加藤麻樹、三嶋博之
2. 発表標題 視線は拡大する局所的オブティックフローの外縁に誘導されるのか
3. 学会等名 日本認知科学会
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 畑美緒、三嶋博之
2. 発表標題 視覚探索におけるオブティックフローの影響
3. 学会等名 日本認知心理学会
4. 発表年 2022年

〔図書〕 計0件

〔産業財産権〕

〔その他〕

-

6. 研究組織

	氏名 (ローマ字氏名) (研究者番号)	所属研究機関・部局・職 (機関番号)	備考
研究分担者	古山 宣洋 (Furuyama Nobuhiro) (20333544)	早稲田大学・人間科学学術院・教授 (32689)	
研究分担者	友野 貴之 (Tomono Takayuki) (00845703)	札幌学院大学・心理学部・准教授 (30103)	

	氏名 (ローマ字氏名) (研究者番号)	所属研究機関・部局・職 (機関番号)	備考
研究協力者	畑 美緒 (Hata Mio)		

7. 科研費を使用して開催した国際研究集会

〔国際研究集会〕 計0件

8. 本研究に関連して実施した国際共同研究の実施状況

共同研究相手国	相手方研究機関
---------	---------