

大域的オプティックフローの視線誘導効果 Effects of Global Optic Flow on Gaze Guidance

畑 美緒[†], 加藤 麻樹[†], 三嶋 博之[†]
Mio Hata, Macky Kato, Hiroyuki Mishima

[†]早稲田大学
Waseda University
81plus1.30@akane.waseda.jp

概要

対象の移動から生じる LOF が存在する環境下において、観察者の移動から生じる GOF が視覚的探索に与える影響について、GOF の速度の違いによる知覚の変化を検討した。その結果、GOF の速度は、視覚探索の反応時間には干渉しないものの、速い GOF はその外側あるいは周辺への注意を誘導すること、また、視覚探索活動を複雑化させる可能性が示唆された。

キーワード：optic flow (オプティックフロー), visual search (視覚探索), perception (知覚)

1. はじめに

ヒトや、視覚器官を有する動物が行為を制御するために必要な「動き」の視覚情報として、optic flow^[1] (以下 OF)がある。OF のうち、特に観察者自身の移動で生じる大域的な流動を global optic flow (以下 GOF), 観察者以外の対象の移動で生じる局所的な流動を local optic flow (以下 LOF) と呼ぶ (図 1)。これらの OF は、視覚を有する動物にとってアフォーダンスを持っており、動物はそれらを知覚することによって自身の行動を制御し環境に適応していると考えられる^[1]。

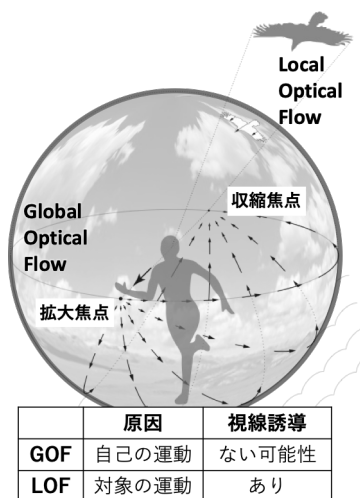


図 1. オプティックフロー知覚

先行研究から、ヒトにおいては、点群から成る規則的な OF が、行為者の注意を誘導することが知られている^[2-4]。単一の GOF がその中心に視線を誘導するものと解釈できる一方で、複数の OF、たとえば LOF と

GOF が同時に存在する場合、異なった結果がもたらされる可能性がある。動物にとって慣れ親しんだ GOF への視線誘導は、対象が生成する LOF への視線誘導等に何らかのかたちで干渉すると考えられる^[4]。

本研究は、OF による視線誘導においてこれまで検討されていない、LOF が存在する条件下で GOF が与える影響に注目し、ディスプレイ上に点群からなる GOF と LOF を呈示することで、視覚探索課題における GOF の効果を明らかにすることを目的とする。

2. 実験

実験参加者 実験参加者参加者は 22 名であった。

実験装置・計測項目 顎台で実験参加者の頭部を支持し、大型ディスプレイモニタ (55 インチ, ソニー製) で映像刺激を提示した。映像刺激に対して、参加者は Target の弁別を行い、十字型配列の Response Pad (RB-540, cedrus 社製, 以下キートン) で応答した。実験実行プログラムは PsychoPy を使用し、認知材料は、7500~8500 ms で作成された映像刺激 (表示サイズ: 約 1126 mm × 680 mm) であった。このとき、計測項目は Target が出現してから応答するまでの反応時間及び、視線計測装置 (Pupil Invisible, Pupil Labs 社製) で計測した視線運動データであった。

映像刺激 映像刺激は、画面中央の同一円周上に等間隔で 8 箇所配置されたプレイスホルダーのいずれか一つの中に、特定のタイミングで 2 種の数字が呈示された (図 2)。映像刺激の中で、点群を散布した円筒中心を等速で移動する画角を持たせた GOF は、画面中央部から継続して発生し、周辺部へと一定加速度で拡大するように見える点群であった。一方、LOF は、一定加速度で拡大する球状の点群として生成され、プレイスホルダーの一つにランダムに呈示された。課題は、プレイスホルダーのいずれかに表示される数字を視覚的に探索し、弁別した上で、数字に対応した 2 つのボタンを可能な限り早く押下することであった (図 2)。畑他 (2023) の視線の分析から、水平方向の視線運動と上下

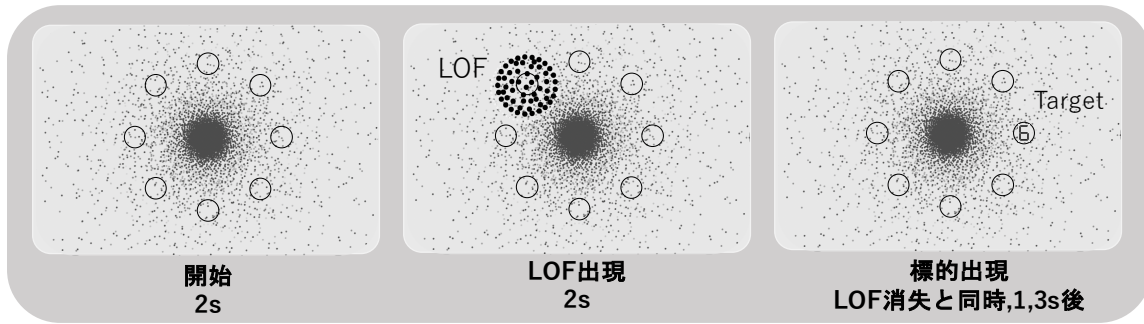


図2. 実験1の流れ

方向の視線運動の速度が異なることが示唆されており、さらに視線は LOF と GOF の焦点を含む軸に沿って、LOF が拡大する方向に誘導されることが示唆されたことから、「対角」条件を含む「一致, 90度, 対角」の3水準を使用した。よって、LOF の出現位置を図4のように設定した。結果として、映像刺激の要因は「GOF の速度」(0, 300, 1500 pixel/s : 以下0, 5, 25 と呼ぶ)、LOF が呈示されてから標的が呈示されるまでの「時間差」(3 水準: 0, 1, 3s), LOF と標的の呈示位置の「位置関係」(64 水準: プレイホルダーの組み合わせ)であった。刺激セットは、「位置関係」を LOF の呈示位置から課題発生位置が一致する位置を①とし、以降は距離に近い順に①~④の内、図4のよう①・③を除いた3水準を分析対象とした。GOF の速度要因の3水準においてランダムな組み合わせで作成された映像刺激72本(図3)をセットとしたものを1セクションとして、各2セクション設定し、計6セクション実施した。



図3. 実験1の位置関係の出現頻度

3. 結果

3.1. 反応時間に対する3要因分散分析

反応時間に対する3要因分散分析の結果(図4, 表1), 位置関係の主効果 ($F(2, 40) = 4.86, p < .05, \eta_c^2 = .007$), GOF の速度時間差の一次の交互作用 ($F(4, 80) = 4.66, p < .01, \eta_c^2 = .010$), GOF の速度と位置関係と時間差の二次の交互作用 ($F(8, 160) = 2.13, p < .05, \eta_c^2 = .006$) が有意であり, 時間差の主効果 ($F(2, 40) = 2.74, p < .10, \eta_c^2 = .006$) が有意傾向であった。それ以外の主効果, 交互作用は有意ではなかった。

下位検定の結果より GOF の効果について抜粋する

と, 速度5条件における対角条件下で0s条件 < 1s条件 = 3s条件であった。一方で, 速度25条件における対角条件下で0s条件 > 1s条件 = 3s条件, さらに速度25条件における0s条件下で一一致 < 90度 = 対角であった。そして, 速度0条件と速度5条件で差がなかった。

表1. 反応時間に対する3要因分散分析結果

| | df | F | p | η_c^2 |
|--------------------|-----|-------|-------|------------|
| GOF速度 | 2 | 1.666 | 0.202 | 0.008 |
| 残差 | 40 | | | |
| 位置関係 | 2 | 4.861 | 0.013 | 0.007 |
| 残差 | 40 | | | |
| 時間差 | 2 | 2.735 | 0.077 | 0.006 |
| 残差 | 40 | | | |
| GOF速度 * 位置関係 | 4 | 0.797 | 0.531 | 0.001 |
| 残差 | 80 | | | |
| GOF速度 * 時間差 | 4 | 4.657 | 0.002 | 0.01 |
| 残差 | 80 | | | |
| 位置関係 * 時間差 | 4 | 1.669 | 0.165 | 0.004 |
| 残差 | 80 | | | |
| GOF速度 * 位置関係 * 時間差 | 8 | 2.129 | 0.036 | 0.006 |
| 残差 | 160 | | | |

注. タイプ3の2乗和を使用しています

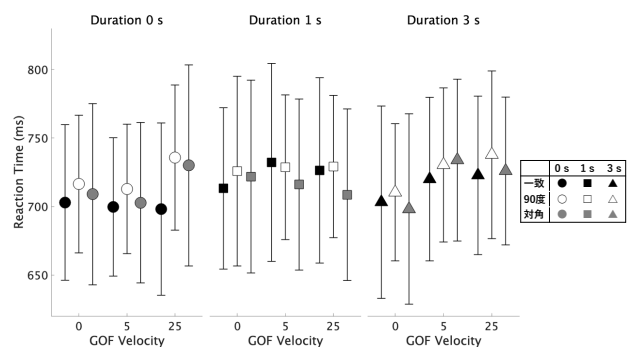


図4. 位置関係・時間差の交互作用 (エラーバーは標準偏差)

3.2. 視線運動データに対する分析

3.2.1. 階層ベイズロジスティック回帰分析

GOF が視線に及ぼす効果を分析するために, 19名(正しく測定できていなかった参加者3名を除く)の視線データを利用し, 階層ベイズロジスティック回帰分析を行った。画面の中心からプレイホルダーまでの

距離の半分を半径とした円の内側を「中心部」、その外側を「周辺部」と定義し、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。GOF の速度を要因として、中心部にある視線の個数と周辺部の視線の個数について階層ベイズロジスティック回帰分析を行った^[5-7]。MCMC サンプリング (iteration = 10000; warmup = 5000; thinning = 1; treedepth = 20) を行って事後分布を推定したところ収束を確認し ($\hat{R} < 1.007$)、速度 0 条件を基準としたとき、速度 5 条件の効果の係数の平均値は 0.249, 95% Bayesian CI [0.246, 0.253] であり、速度 25 条件の効果の係数の平均値は 0.048, 95% Bayesian CI [0.045, 0.052] であった。GOF の速度条件によって異なった効果があることが確認され、それぞれの係数の信頼区間が重なっていないことから、速度 5 条件、速度 25 条件、速度 0 条件という順に視線が中央部に集まっていることが確認された (図 5)。

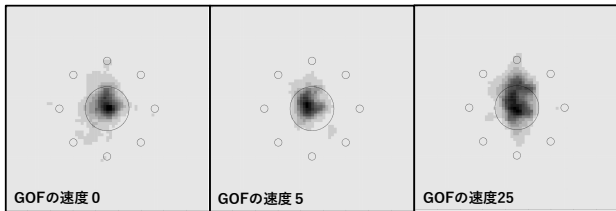


図 5. GOF の速度条件ごとの視線のヒートマップ

3.2.2. 時系列的解析

GOF や LOF などの「イベント」が視線に及ぼす効果を分析するために、視線運動データについて時系列解析であるサンプル・エントロピー (Sample Entropy, 以下 SEn) の解析^[8-9]と、リカレンス・プロット (Recurrence Plot, 以下 RP) への再帰定量化分析 (Recurrence Quantification Analysis, 以下 RQA) を行った^[8,10]。このとき、イベントの区切りは、試行が開始してから GOF のみが呈示されている 2 秒間 (GOF 条件), LOF が呈示されてから消失するまでの 2 秒間 (LOF 条件), LOF が消失してから課題が呈示され参加者が回答するまでの任意の時間 (END 条件) で区切られた (図 2 参照)。

3.2.2.1 エントロピー解析

Embedding dimension = 1; Tolerance = 0.05 によって、算出された各実験参加者の SEn について、「イベント」(3 水準) と「GOF の速度」(3 水準) と「XY 座標」(2 水準) の 3 要因に対して分散分析を行った結果 (表 2, 図 6), イベントの主効果 ($F(2, 36) = 5.57, p < .01, \eta_c^2 = .012$), GOF の速度の主効果 ($F(2, 36) = 9.79, p < .001, \eta_c^2 = .003$) が有意であり、それ以外の主効果および交

互作用は有意ではなかった。

表 2. SEn に対する 3 要因分散分析結果

| | 自由度 | F | p | η_c^2 |
|--------------------|-----|-------|-------|------------|
| EVENT | 2 | 5.571 | 0.008 | 0.012 |
| 残差 | 36 | | | |
| XY | 1 | 1.15 | 0.298 | 0.001 |
| 残差 | 18 | | | |
| GOF速度 | 2 | 9.794 | <.001 | 0.003 |
| 残差 | 36 | | | |
| EVENT * XY | 2 | 0.548 | 0.583 | 0.000 |
| 残差 | 36 | | | |
| EVENT * GOF速度 | 4 | 0.803 | 0.527 | 0.000 |
| 残差 | 72 | | | |
| XY * GOF速度 | 2 | 0.168 | 0.846 | 0.000 |
| 残差 | 36 | | | |
| EVENT * XY * GOF速度 | 4 | 0.81 | 0.523 | 0.000 |
| 残差 | 72 | | | |

注. タイプ3の2乗和を使用しています

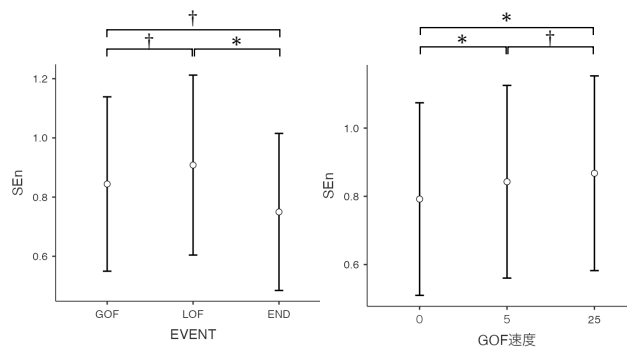


図 6. EVENT・GOF の速度の主効果

(* $p < .05$, ** $p < .01$ (Holm 法). エラーバーは信頼区間)

3.2.2.2 再帰定量化分析

各実験参加者の RP ($r = 0.05$; Euclidean norm; No normalization of the data) に対する RQA によって Recurrence rate (RR) が算出された。

表 3. RR の分布

| | GOF/0 | GOF/5 | GOF/25 | LOF/0 | LOF/5 | LOF/25 | END/0 | END/5 | END/25 |
|-------------|-------|-------|--------|-------|-------|--------|-------|-------|--------|
| N | 19 | 19 | 19 | 19 | 19 | 19 | 19 | 19 | 19 |
| 平均値 | 0.193 | 0.205 | 0.201 | 0.224 | 0.243 | 0.227 | 0.206 | 0.206 | 0.196 |
| 中央値 | 0.171 | 0.184 | 0.191 | 0.204 | 0.218 | 0.204 | 0.159 | 0.151 | 0.176 |
| 標準偏差 | 0.082 | 0.093 | 0.107 | 0.134 | 0.139 | 0.149 | 0.107 | 0.118 | 0.111 |
| 最小値 | 0.067 | 0.049 | 0.058 | 0.053 | 0.036 | 0.048 | 0.053 | 0.037 | 0.047 |
| 最大値 | 0.377 | 0.406 | 0.477 | 0.650 | 0.649 | 0.695 | 0.409 | 0.445 | 0.408 |
| シャピロ=ウィルクのW | 0.954 | 0.950 | 0.941 | 0.853 | 0.903 | 0.863 | 0.939 | 0.933 | 0.947 |
| p値 | 0.456 | 0.400 | 0.274 | 0.008 | 0.054 | 0.011 | 0.249 | 0.197 | 0.353 |

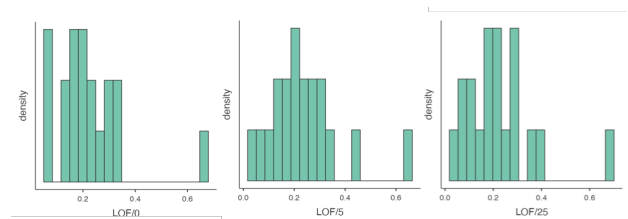


図 7. LOF 条件のデータ分布

RR に対して、「イベント」(3 水準) と「GOF の速度」(3 水準) の 2 要因について、分布を確認したと

ころ, EVENT 要因の LOF 条件において, シャピロ=ウィルクの W が有意, あるいは有意傾向となった (表 3, 図 7).

4. 考察

4.1. 反応時間に与える影響

GOF の速度要因は, 反応時間について主効果がなかったことより, 必ずしも GOF の速度が探索活動の反応時間というパフォーマンスに干渉するとはいえないだろう. ただし, 速度のある GOF は時間差との交互作用が認められたことで, LOF が消失してから Target が出現するまでの時間差が異なるとその効果が異なることが確認された.

以上のことから, 0s 条件下で, 速度 5 条件では GOF が対角までの視線の動きに影響を与えない一方で, 速度 25 条件では GOF が対角までの視線の移動に干渉していると考えられる.

4.2. 視線運動に与える影響

階層ベイズロジスティック回帰分析の結果より, GOF の速度要因の水準によって, 中央部への視線の集まり方が異なっていることが示された. 具体的には, 速度のある GOF が呈示された場合, 速度のない GOF が呈示される場合と比べ GOF の中央部への視線が集まり, GOF の速度が速いほど速度の遅い GOF と比べ, GOF の中央部への視線が集まらなかった. これは, GOF に含まれている「情報」が影響していると考えられる. GOF の「動き」が発生した場合, 「動かない」GOF に対して情報が付加されるため, GOF に視線が誘導される. したがって, GOF の発生位置 (進行方向) である中央に注意が向けられた可能性がある. しかし, GOF が動く場合において, GOF の情報はその動きの「速度」によってさらに異なってくるだろう. 本実験で設定した速度 25 条件の GOF の視線への干渉の仕方として, GOF 拡散方向に戻す効果あるいは GOF の外側に留める効果があると考えられる. つまり, 遅い GOF はその中心に視線を誘導する一方で, 速い GOF は中心だけでなく, その外側あるいは周辺へ視線を誘導する可能性が示唆された. これは, GOF の中心に視線を誘導することが確認されている先行研究^{2,4)}に対して矛盾する結果ではなく, GOF の速度によって GOF の効果が異なることを示唆している.

また, エントロピー解析より, 速度 25 条件の GOF はエントロピーを増大させることがわかり, 探索活動が

複雑になっている可能性が示唆された.

これらのことから, 反応時間という全体的なパフォーマンスに対して GOF の速度が影響しなかったにも関わらず, 視線運動に対する GOF の速度の効果が異なったことから, GOF の速度に適応した探索活動が調整され, その調整の結果として探索活動が複雑化した可能性があるといえる.

また, 再帰定量化分析により, GOF の情報に LOF が重ねて呈示されたときに, 再帰率が個人によって異なることが示唆された. これは, 新たに発生した LOF への視線が誘導される人, されない人がいることを示している. よって, GOF の中央は視線を誘導するものの, その視線誘導効果の維持が個人によって異なる可能性を示唆している. 今後, 再帰定量化分析によって環境を知覚する探索活動の個人差およびその適応の違いを示す可能性がある.

5. 謝辞

本研究は, JSPS 科研費 24KJ2113 の助成を受けた研究の一部であり, 謝意を表します.

文献

- [1] Gibson, J.J. (1966). *The Senses Considered as Perceptual Systems*. Houghton Mifflin Company.
- [2] Higuchi, Y., Inoue, S., Endo, T., & Kumada, T. (2019). Task-irrelevant optic flow guides attention in visual search. *Attention, Perception, & Psychophysics*, 81, 1327-1345. <https://doi.org/10.3758/s13414-018-01646-8>
- [3] von Mühlenen, A., & Lleras, A. (2007). No-Onset Looming Motion Guides Spatial Attention. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance*, 33, 1297-1310. <https://doi.org/10.1037/0096-1523.33.6.1297>
- [4] 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フローと局所的オブジェクフローの相互作用. *認知科学*, 30(3), 1-7.
- [5] 久保 拓弥 (2012). データ解析のための統計モデリング入門—一般線形モデル・階層ベイズモデル・MCMC. 岩波書店
- [6] 松浦 健太郎 (2016). *Wonderful R 2 Stan と R でベイズ統計モデリング*. 共立出版
- [7] 照井 伸彦 (2010). シリーズ〈統計科学のプラクティス〉2 R によるベイズ統計分析. 朝倉書店
- [8] 児玉謙太郎・清水大地・安田和弘 (2021). 非線形時系列解析による動作の質の評価と表現: 医療・スポーツ分野への応用. *バイオメカニズム学会誌*, 45(4), 227-238.
- [9] Richman, J. S., & Moorman, J. R. (2000). Physiological time-series analysis using approximate entropy and sample entropy. *American journal of physiology-heart and circulatory physiology*, 278(6), H2039-H2049.
- [10] Anderson, N. C., Bischof, W. F., Laidlaw, K. E., Risko, E. F., & Kingstone, A. (2013). Recurrence quantification analysis of eye movements. *Behavior research methods*, 45, 842-856.