



意思決定が眼球運動と手の到達運動に与える影響

Effects of Decision-making on Eye Movements and Reaching Movements

古川正太¹⁾、立花良¹⁾、松宮一道¹⁾

Shota FURUKAWA, Ryo TACHIBANA, Kazumichi MATSUMIYA

1) 東北大学 大学院情報科学研究科

(〒980-8579 仙台市青葉区荒巻字青葉 6-3-09, furukawa@cp.is.tohoku.ac.jp)

概要: 我々は、形成された意思決定に基づいて行為を行うため、これまで多くの研究が意思決定課題に関係する運動出力を対象としてきた。しかし、最近の研究は、意思決定の形成が意思決定に無関係な運動出力に影響を与えることを報告している。このような運動出力への影響は眼球運動のみに生じ、手の行動には生じないことが示されている。しかしこの結果は、手の行動がボタン押し行動に限定されており、意思決定の形成が意思決定に無関係な運動出力に与える影響が眼球運動に特化しているかどうかは不明確である。本研究では、意思決定に無関係な手の到達運動に意思決定が影響を与えるかを調べた。その結果、意思決定が手の到達運動の反応時間にも影響を与えることが示された。これは、意思決定信号が眼だけでなく手の運動出力にも流入することを示唆する。

キーワード: 意思決定、到達運動、反応時間

1. はじめに

我々は、感覚器官から知覚し認知した外界情報をもとに、どのような行為をすべきか意思決定を行い、意思決定直後には眼球運動などの運動出力（行動）を行う。例えば、視覚的な動きの方向を弁別する知覚的意思決定課題では、視覚運動方向の判断に関する意思決定の形成が完了した後に、眼球運動によって視覚運動方向を応答する[1]。

多くの研究は、意思決定課題に関係する眼球運動[2]や手の到達運動[3]を対象としている。これらの意思決定課題に応答するために実行される運動の反応時間は、意思決定形成に必要とされる視覚刺激への応答の累積によって影響される。さらに、手の到達運動に関しては、数字を用いた意思決定課題（例えば、5 より大きい数字であれば右のターゲットに、5 より小さい数字であれば左のターゲットに手を動かす課題）に応答するために手を動かすと、呈示された数字に依存して手の到達運動の軌跡が変わる。これらの運動出力は、形成された意思決定を反映したものであり、意思決定の形成が意思決定と無関係な運動出力に影響を与えることはないかと仮定されていた[2]。

しかし、最近の研究は、意思決定と無関係な眼球運動が眼球運動を行う前に形成された意思決定の影響を受け、意思決定と無関係な手の運動は影響を受けないことを示している[4]。この研究では、画面中央を固視した状況で

視覚運動方向の判断を行い、その後、その知覚的運動方向判断とは関係のない眼球運動を行った。このように意思決定課題と無関係な眼球運動を行ったにも関わらず、その眼球運動の反応時間が意思決定の影響を受けた。さらに、意思決定課題と関連のない手の行動として、手でボタンを押すという行動に変えた場合、ボタン押し行動の前に行った意思決定とボタン押し行動の相互作用は生じなかった。これらの結果は、意思決定と無関係な運動出力への影響は眼球運動に特化していることを示唆する。しかし、この研究で得られた結果は、手の運動がボタン押し行動に限定されているため、意思決定と無関係な運動出力への影響が眼球運動に特化しているかは明らかでない。

本研究では、この問題に対処するために、手のボタン押し行動ではなく、手の到達運動を用いて、意思決定課題と無関係な手の行動が意思決定の影響を受けるかどうかを調べた。もし意思決定と無関係な運動出力への影響が眼球運動に特化しているならば、意思決定課題と無関係な手の行動が到達運動であっても、手の行動は意思決定の影響を受けないことが予想される。

2. 実験方法

本研究では先行研究をもとに、ランダムドット運動刺激の運動方向弁別を意思決定課題として用い、意思決定が眼球運動と手の到達運動の反応時間にどう影響するか

を検討した[4]。本実験には4名が参加した。

2.1 実験装置

視覚刺激はヘッドマウントディスプレイ (Tobii Pro VR Integration; Tobii Technology, Danderyd, Sweden, リフレッシュレート 90Hz) に呈示され、眼球運動はヘッドマウントディスプレイに内蔵された眼球運動計測器 (サンプリング周波数 120Hz) で測定された。手の動きは力覚呈示装置 (Phantom; 3D Systems, Rock Hill, South Carolina, United States) で測定された。

2.2 実験刺激

視覚刺激として、ランダムドット運動刺激を用いた。ランダムドット運動刺激は仮想空間内で視距離 50cm の位置に呈示された。固視点を中心とする半径 1.5° から 10° の範囲内に 200 個の白いドット (直径 0.6° 、輝度 50cd/m^2) が呈示され、各ドットは $5^\circ/\text{s}$ の速さでランダムな方向に動いた。各ドットの Life-time は 0 から 150ms (0, 17, 33, 50, 67, 83, 100, 117, 133, 150ms) の間でランダムであった。ドットが動いている最中に呈示範囲内から出た場合、および Life-time に達した場合は、そのドットは呈示範囲内に再配置された。その際の配置位置はランダムであり、Life-time は 150ms とした。

ランダムドット運動刺激に含まれる 200 個のドットのうち同じ方向に動くドット数の割合 (コヒーレンス) は、3%、6%、12%、24%、48%であった。同じ方向に動くドットの運動方向は右か左であった。ランダムドット運動刺激のコヒーレンスは試行ごとにランダムに選ばれた。

2.3 実験条件

実験条件として、一致性条件、意思決定条件の2条件を用いた。一致性条件は、ランダムドット運動刺激の運動方向と、眼球運動あるいは手の到達運動の運動方向が一致する条件と一致しない条件であった。意思決定条件は、ランダムドット運動刺激の運動方向判断を行う条件と行わない条件の2つの条件であった。一致性は一つのブロック内で試行ごとにランダムに選ばれ、意思決定条件は一つのブロックで固定され、ブロックごとにランダムに選ばれた。

運動出力として、ランダムドット運動刺激を観察した後呈示されるターゲットに向かって眼を動かすか、手を動かすかはブロックごとに固定された。

実験参加者の課題は、意思決定あり条件では、呈示されたランダムドット運動刺激が左右どちらに動いたかを判断することだった (図 1)。意思決定なし条件では、左右判断をしなかった。両方の条件において、ターゲットへの眼球運動または手の到達運動をすることだった。

全試行数は 1,280 回であり、4 セッションに分割した。1 セッションに含まれるブロックは 4 ブロックで、合計 16 ブロックを行った。1 セッションごとに参加者は休憩を取った。

2.4 実験手続き

始めに固視点が呈示され、参加者の固視から 1s 後に、

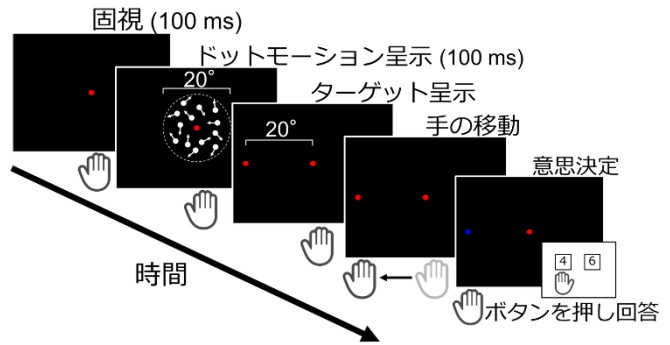


図 1: 実験手続き。図は、意思決定あり条件において手の到達運動で反応する場合の 1 試行の流れ。

ランダムドット運動刺激が 100ms 呈示された。この際、ランダムドット運動のコヒーレンスは 5 つのうちランダムだった。その後、画面の右左いずれかに赤いターゲットが固視点から 20° の位置に呈示され、参加者はターゲットへの眼球運動または手の到達運動を行った。眼球運動では、参加者はターゲットにできるだけ速く眼を動かした。手の到達運動では、ターゲット呈示後、固視点から眼は動かさず、ターゲットに右手を動かした。意思決定あり条件では、ターゲットの色が赤から青に変化した後、ランダムドット運動刺激が全体的に左右どちらに動いたかを判断した。判断後、弁別の正誤がフィードバックされた。意思決定なし条件では、呈示されたランダムドット運動刺激を無視し左右判断はせず、ターゲットへの眼球運動または手の到達運動を行った。

2.5 眼球運動と手の到達運動の分析方法

本研究では、ターゲットへの眼球運動と手の到達運動の反応時間を分析した。反応時間は、ターゲット呈示開始時から参加者が眼または手を動かすまでの時間と定義した。

2.5.1 眼球運動

眼球運動速度が $30^\circ/\text{s}$ を超えた時間を眼球運動の開始時間とした。ターゲットと反対方向に眼球運動した試行や、眼球の移動距離が水平 5° 未満の試行は分析から除外した。

2.5.2 手の到達運動

先行研究をもとに、ターゲットへの手の到達運動加速度が 0.5m/s^2 を超えた時間を手の到達運動の開始時間とした[5]。ターゲットと反対方向に手の到達運動をした試行、手の到達運動の距離が水平 5° 未満の試行、および眼球位置が固視点から水平 2° 以内に維持されなかった試行は分析から除外した。

3. 実験結果

3.1 眼球運動の反応時間

図 2 と図 3 は、眼球運動の意思決定なし条件と意思決定あり条件における、コヒーレンスと反応時間の Z スコアの平均を示す。赤い実線は一致条件、青い実線は不一致条件を示す。これらの結果は、実験参加者 1 名の結果

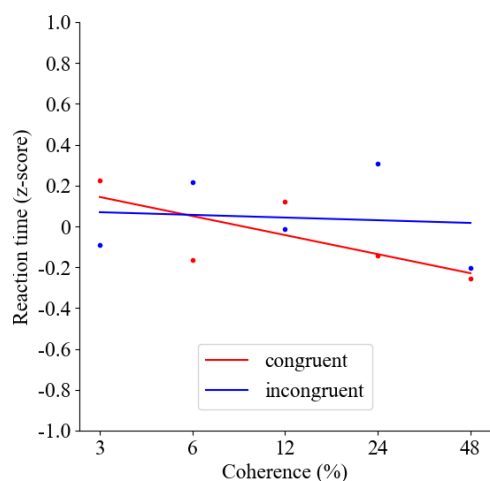


図 2: 眼球運動の意思決定なし条件における、コヒーレンスと反応時間の Z スコアの平均。

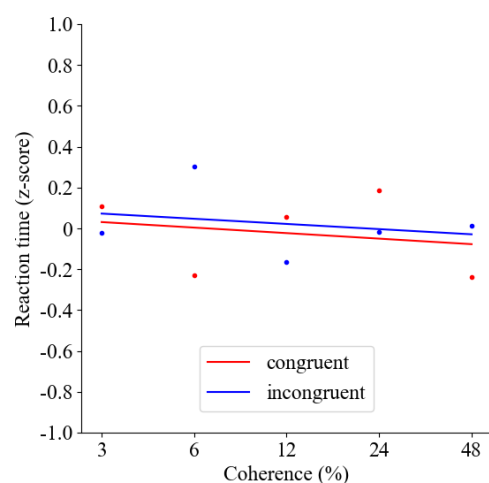


図 4: 手の到達運動の意思決定なし条件における、コヒーレンスと反応時間の Z スコアの平均。

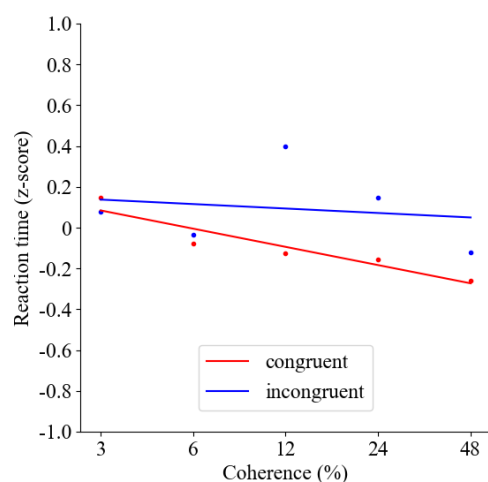


図 3: 眼球運動の意思決定あり条件における、コヒーレンスと反応時間の Z スコアの平均。

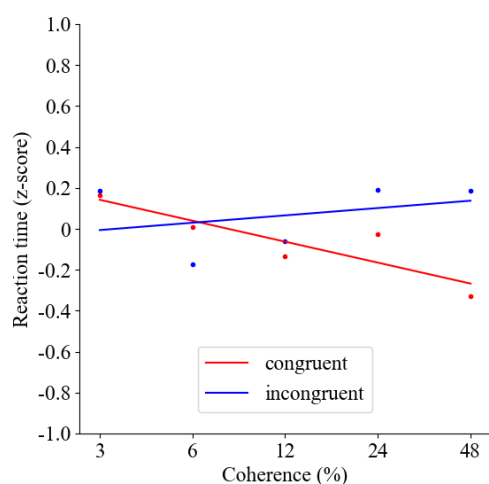


図 5: 手の到達運動の意思決定あり条件における、コヒーレンスと反応時間の Z スコアの平均。

を示す。結果の分析には、実験参加者 4 名分のデータを用い、コヒーレンス (3%, 6%, 12%, 24%, 48%) と一致性 (一致、不一致) の 2 要因分散分析を行った。その結果、意思決定なし条件では一致条件と不一致条件の間で眼球運動の反応時間に有意差と交互作用は見られなかった (図 2)。意思決定あり条件では、眼球運動の反応時間における一致性の主効果が有意であり ($F(1, 3) = 54.48, p < 0.01$)、交互作用も有意であった ($F(4, 12) = 3.90, p < 0.05$) (図 3)。これらの結果は過去の結果と一致している [4]。

3.2 手の到達運動の反応時間

図 4 と図 5 は、手の到達運動の意思決定なし条件と意思決定あり条件における、コヒーレンスと反応時間の Z スコアの平均を示す。赤い実線は一致条件、青い実線は不一致条件を示す。これらの結果は、実験参加者 1 名の結果を示す。結果の分析には、実験参加者 4 名分のデータを用い、眼球運動の反応時間と同様に 2 要因分散分析を行った。その結果、意思決定なし条件では一致条件と不一致条件の間で手の到達運動の反応時間に有意差は見

られなかった (図 4)。意思決定あり条件では、手の到達運動の反応時間におけるコヒーレンスの主効果が有意であり ($F(4, 12) = 9.75, p < 0.01$)、一致条件と不一致条件の間で手の到達運動の反応時間に交互作用も有意であった ($F(4, 12) = 6.24, p < 0.01$) (図 5)。これらの結果は、眼球運動の反応時間と類似した結果であった。

4. むすび

本研究では、意思決定形成に無関係な眼球運動と手の到達運動に、各運動前に行った意思決定が影響を与えるかどうかを調べた。その結果、眼球運動と手の到達運動両方について、意思決定が意思決定と無関係な運動出力の反応時間に影響を与えることが分かった。

これまで意思決定と無関係な運動出力への影響は眼球運動に特化していると考えられていた。これは手のボタン押し行動の前に行った意思決定がボタン押し行動に影響を与えないことを根拠としていた。しかし、本研究では、手のボタン押し行動ではなく、手の到達運動を用い

て、意思決定と無関係な手の行動に影響を与えるかどうかを調べた結果、手の到達運動については眼球運動と同様に意思決定が影響を与えることが明らかになった。これらの結果は、意思決定信号が眼だけでなく手の運動出力にも流入することを示唆している。

本研究では、ランダムドット運動刺激の運動方向と眼球運動および手の到達運動の方向が平行だったため、一致条件の時にはランダムドット運動刺激のコヒーレンスが高いほど運動方向に注意が強く向けられ、その結果、眼と手の反応時間も短くなった可能性がある。今後の課題として、注意の影響を受けない実験条件で検証する必要がある。

参考文献

- [1] Shadlen, M. N., & Newsome, W. T. (1996). Motion perception: seeing and deciding. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 93(2), 628-633. doi: <https://doi.org/10.1073/pnas.93.2.628>
- [2] Glimcher, P. W. (2003). The neurobiology of visual-saccadic decision making. *Annual Review of Neuroscience*, 26, 133-179. doi: <https://doi.org/10.1146/annurev.neuro.26.010302.081134>
- [3] Song, J. H., & Nakayama, K. (2009). Hidden cognitive states revealed in choice reaching tasks. *Trends in cognitive sciences*, 13(8), 360-366. doi: <https://doi.org/10.1016/j.tics.2009.04.009>
- [4] Joo, S. J., Katz, L. N., & Huk, A. C. (2016). Decision-related perturbations of decision-irrelevant eye movements. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 113 (7), 1925-1930. doi:10.1073/pnas.1520309113
- [5] Armstrong, I. T., Judson, M., Munoz, D. P., Johansson, R. S., & Flanagan, J. R. (2013). Waiting for a hand: saccadic reaction time increases in proportion to hand reaction time when reaching under a visuomotor reversal. *Frontiers in Human Neuroscience*, 7, 319. doi:10.3389/fnhum.2013.00319