

実物体が誘導するフランカー干渉効果は自律神経活動と関連する Flanker Interference Effect Induced by Real Objects is Linked to Autonomic Nervous System Activation

土居裕和^{1,2}, 小俣貴宣³, 栗原貴之⁴, 山岸和子³, 柏井美貴子^{1,2}, 植田一博⁵
Hirokazu Doi^{1,2}, Takanobu Omata³, Takayuki Kurihara⁴, Kazuko Yamagishi³,
Mikiko Kashiwai^{1,2}, Kazuhiro Ueda⁵

¹国土館大学, ²長岡技術科学大学, ³ソニーグループ株式会社, ⁴ソニー株式会社, ⁵東京大学
Kokushikan University, Nagaoka University of Technology,
Sony Group Corporation, Sony Corporation, The University of Tokyo
doidoih@vos.nagaokaut.ac.jp

概要

行為者は、実物体に働きかけ、それを操作することができる。本研究では、このような実物体の「行為可能性 (actability)」の認知と自律神経活動との関連性を、フランカー課題と ECG 計測を併用して検証した。その結果、呈示刺激の「行為可能性」が高い条件でのみ、刺激物体に対する反応と自律神経活動との間に関連性がみられた。この結果は、実物体認知と、その表象 (二次元画像等) の認知には、異なる処理過程が関与する可能性を示唆している。

キーワード: 実物体, フランカー課題, 自律神経活動

1. はじめに

外界の知覚メカニズムは、環境や実物体と身体との継続的な相互作用を通じて進化してきた[1]。したがって、物体認知の過程を検証する上では、実際に相互作用を行うことが可能な、実物体を刺激として用いることが望ましい。

視知覚分野における先行研究の大半は、物体の二次元画像を実物体の代替として用いてきた。二次元画像の使用には、刺激呈示・実験の統制の容易性といったメリットがあることは言うまでもない。しかし、二次元画像は、実物体の表象の一種に過ぎない。このため、二次元画像が、実物体と等価な認知・脳機能活動を誘発するか否かは、必ずしも明らかではない[2]。

行為者は、実物体に働きかけ、それを操作することができる。このような実物体の「行為可能性 (actability)」は、実物体とその二次元画像を隔てる最も顕著な特徴の一つである[3]。実物体の「行為可能性」の認知に関して、Gomez ら [4]は、実物体 (実物のスプーン) とその二次元画像を刺激として用いたフランカー課題を実施し、実物体刺激は、二次元画像刺激に比べ、フランカー干渉効果を生じやすいことを示した。Gomez ら[4]は、二次元画像呈示と比較して、実物体呈示時に、その物体に対する「行為可能性」についての情報が強く活性化

されるために生じたと、この結果を解釈している。画像を呈示した場合は、視覚的な方向情報の干渉のみが生じる。これに対し、実物体を呈示した場合は、スプーンを把持するという行為の運動表象が活性化されると考えられる。このように、実物体条件では、視覚的な方向情報の干渉に加え、運動表象の干渉が生じるため、画像条件に比べフランカー干渉効果が大きくなるというのである。

ナイフ等、扱い方によっては使用者が怪我をする可能性がある物体は、操作に慎重を要する。したがって、実物体に対する「行為可能性」は、その物体の属性により制約を受けると考えられる。この点に着目し、本研究では、Gomez ら[4]のパラダイムを用いて、実物体の属性が「行為可能性」の認知に与える影響を検証した。

実験では、刺激として、Gomez ら [4]で用いられたスプーンに加え、操作にあたり慎重を要するキッチンナイフを呈示した。スプーン・ナイフを刺激として用いた際のフランカー干渉効果を、実物体条件・遮蔽条件・画像条件の3条件間で比較した。実物体条件・画像条件では、スプーン・ナイフの実物体とその二次元画像を刺激として呈示した。遮蔽条件では、実物体を刺激として呈示すると同時に、刺激と実験参加者との間に透明なアクリル板を配置した。これにより、視覚的な“見え”を実物体条件の場合とほぼ同一に保ちつつ、「行為可能性」の有無がフランカー効果を及ぼす効果を検証した。

慎重を要する物体の操作、とりわけ、扱いを間違えると怪我をする可能性がある物体の操作に際しては、リスクを負いながら巧緻な身体運動制御を行うため、覚醒度が高まると予想される。そこで、課題遂行中の被験者の心拍変動解析を行い、交感神経活動を反映して変動する LF/HF を定量化した[5]。各条件におけるフランカー干渉効果と LF/HF との関連性を分析することで、「行為可能性」の認知と自律神経活動との関連性を

分析した。

スプーンに比べ、ナイフを操作する場合は、より精緻な運動制御を必要とするため、運動表象が強く活性化されると考えられる。また、「行為可能性」が高い実物条件では、他の二条件に比べ、運動表象の不一致に由来するフランカー干渉効果が生じやすい[4]。このため、実物条件においては、スプーン条件に比べナイフ条件で大きなフランカー干渉効果が生じるが、遮蔽条件・画像条件ではフランカー干渉効果における物体の種類の効果はみられないと予想した(仮説①)。

一方、物体に対して危険を感じ、緊張が高まっている状態では、運動表象が活性化されやすく、フランカー干渉効果が大きくなると考えられる。これに基づき、各条件におけるフランカー干渉効果の大きさと、交感神経活動を反映する LF/HF との間には正の相関があると予想した(仮説②)。

2. 方法

2.1. 実験参加者

右手利きの健常成人 25 名(女性 15 名;平均年齢 45.7 歳)が研究に参加した。書面でインフォームド・コンセントを得たのちに研究に参加してもらった。本研究の内容は、国士舘大学理工学部倫理委員会(R1-002 修正)およびソニー生命倫理委員会(管理番号 22-F-0016)の承認を受けた。

2.2. 刺激

実物体・遮蔽条件では、大きさやデザインが著しく異なるよう考慮し、MEARK 社製・カトラリーセットに含まれるスプーンとキッチンナイフを刺激として用いた。下に述べる画像条件の刺激作成時に金属表面への映り込みが生じないように、スプーン・キッチンナイフの表面につや消しスプレーを塗布したうえで使用した。

厚さ 3mm のアクリル板に非反射シート(黒)を貼るまじょうに貼り付け、その上に 3 本のスプーン、もしくはナイフのいずれかを等間隔(4.5cm)で接着した。3 本のスプーンもしくはナイフの内、中央の 1 本がターゲット、残りの 2 本がディストラクターである。ターゲットの向きは、左右のいずれかである。一致条件では、ターゲットとディストラクターが同じ方向を向いていた。これに対し、不一致条件では、ターゲットとディストラクターの向きが逆になっていた。一致条件と不

一致条件の刺激例を図 1 に示す。



図 1 一致条件(左)と不一致条件(右)の刺激例

画像条件では、実物体条件の各刺激の写真を、実験参加者の目線の高さから撮影した。実物体条件の刺激の“見え”を出来るだけ忠実に再現するため、プロカメラマンが実物体条件の刺激を撮影し、色調整を行った。

2.3. 手続き

実験参加者は、ECG 計測用のディスプレイ電極とヘッドホンを装着し、あご台で頭部を固定した状態で、液晶シャッターゴーグル PLATO を通して刺激を観察した。実験の様子を図 2 に示す。この状態で、フランカー課題と、課題遂行中の ECG 計測を実施した。フランカー課題終了後には、刺激に対する主観評価、質問紙による背景情報の収集等を実施した。

2.3.1. フランカー課題

各トライアル開始時には、液晶シャッターにより視野が遮蔽されていた。この状態で、10 秒間ホワイトノイズが流れた後、「持ち手の向きを回答してください」という合成音声(約 3.5 秒)による教示の直後に液晶シャッターが透明になり刺激が見える状態になった。実験参加者には、出来るだけ素早くターゲットの持ち手の向きを、右手に把持したマウスにより、右クリック、もしくは左クリックを通じて回答させた。実験参加者がクリックするか、もしくは、液晶シャッターゴーグルが透明になった後 1 秒が経過すると、液晶シャッターゴーグルが遮蔽され、次のトライアルに進んだ。

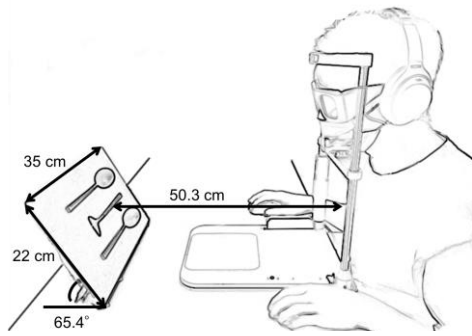


図2 フランカー課題遂行中の様子

実物体条件では、実験参加者から約 50.3cm の距離に角度をつけて配置したディスプレイを支持台として、スプーン、もしくはナイフを貼り付けた実物体刺激を呈示した(図2)。トライアル間の液晶シャッターゴーグル遮蔽時に、実験者が、実物体刺激を手動で入れ替えた。

遮蔽条件では、実物刺激と実験参加者との間に、透明なアクリル板を設置した。画像条件においては、IO-DATA 社製・15.6 インチのディスプレイに各条件の刺激画像を呈示した。画像刺激の大きさは、実物体と同じになるよう調整した。

呈示条件(3; 実物体条件, 画像条件, 遮蔽条件) x 物体(2; スプーン, ナイフ) = 6 条件を、休憩を挟んで 1 ブロックずつ実施した。各ブロックでは 40 トライアルを実施した。各ブロックの所要時間は約 10 分だった。

2.3.2. ECG 計測

無線型生体計測装置(Biosignal Plux)を用いて、3 点誘導により ECG を 16bit, 1kHz で計測した。陽極を右鎖骨上、陰極をわき腹、基準電極を左鎖骨上にサージカルテープで固定した。刺激呈示用 PC と接続した Arduino UNO から出力した電圧信号を、カスタムメイドのトリガーデバイスを用いて生体計測装置に入力し、刺激と ECG 信号との同期を取った。

2.3.3. 分析

すべての条件で行動データを収集できた 23 名のデータを分析対象とした。各条件における正解トライアルの反応時間データから、2SD を基準として外れ値を除外した。その後、下式にしたがって、各条件におけるフランカー干渉効果を定量化した。

$$Interference = \frac{RT_{incong} - RT_{cong}}{RT_{incong} + RT_{cong}} \times 100$$

RT_{incong} : 不一致条件の平均 RT

RT_{cong} : 一致条件の平均 RT

すべての条件で ECG 信号を計測できた 19 名を対象に ECG 解析を行った。各ブロックの開始後 30 秒から 9 分 30 秒までの ECG データを切り出し、0.5-100Hz のバンドパスフィルターをかけた後、R 波を検出した[5]。目視および適応的なカットオフ値により、R 波の誤検出をクリーニングした上で、心拍変動解析により各ブロックにおける LF/HF を高速フーリエ変換により計算した。LF の周波数帯域は 0.04-0.15Hz, HF の周波数帯域は 0.15-0.4Hz に設定した。

統計分析では、フランカー干渉効果と LF/HF の条件間差を、呈示条件(3) x 物体(2)の二元配置分散分析により、有意水準を 5% に設定して検定した。また、条件ごとに、フランカー干渉効果と LF/HF との相関分析を行った。

3. 結果

各条件におけるフランカー干渉効果を図 3 に示す。分散分析の結果、仮説①に反して、スプーン条件において、ナイフ条件よりも有意に大きなフランカー干渉効果がみられた ($F_{1,22} = 5.85, p = 0.024, \eta_p^2 = 0.21$)。呈示条件の主効果と、物体条件 x 呈示条件の交互作用は有意ではなかった。

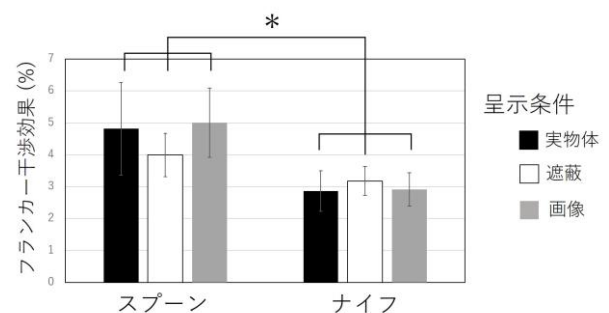


図3 各条件におけるフランカー干渉効果。

エラーバーは標準誤差を表す。* $p < .05$ 。

各条件における LF/HF を図 4 に示す。ナイフ操作時にスプーン操作時よりもより高い緊張を感じるという予想に反し、分散分析の結果、スプーン条件において、ナイフ条件よりも有意に大きな LF/HF が観察された ($F_{1,18} = 4.98, p = 0.039, \eta_p^2 = 0.22$)。呈示条件の主効果と、物

体条件 x 呈示条件の交互作用は有意ではなかった。

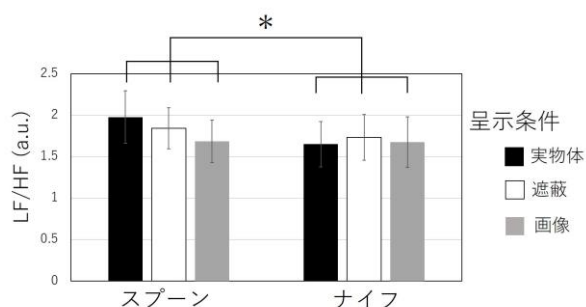


図4 各条件における LF/HF.

エラーバーは標準誤差を表す。* $p < .05$.

各条件におけるフランカー干渉効果と LF/HF との無相関検定を行った。探索的分析であるため、有意水準の補正は行わなかった。その結果、スプーン実物呈示条件でのみ、両変数間に有意な相関がみられた。スプーン実物条件とナイフ実物条件の散布図と回帰直線を図5に示す。仮説②に反して、他の条件では有意な相関はみられなかった。

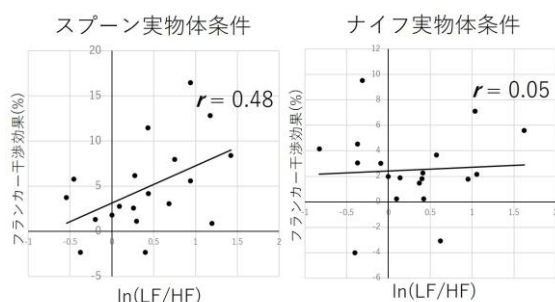


図5 実物条件におけるフランカー干渉効果と LF/HF の散布図と回帰直線

4. 議論

本研究では、フランカー課題を用いて、実物体の属性が、実物体への「行為可能性」の認知に与える影響を検証した。その結果、フランカー干渉効果と LF/HF は共にスプーン呈示時に、ナイフ呈示時よりも大きくなった。また、スプーン実物呈示時には、フランカー干渉効果と LF/HF との相関が認められた。

フランカー課題では、仮説①で想定していたような呈示条件の効果は見出されなかった。その一方、スプーン実物条件のみで、LF/HF とフランカー干渉効果の間に正の相関が見出された。遮蔽条件・画像条件では、物体の種類に関わらず、このような相関は見出されなかった。この知見は、「行為可能性」が高い実物体の認

知過程が、自律神経活動と関連している一方で、「行為可能性」が低い環境下では、物体認知と自律神経活動とのカップリングが生じにくい可能性を示唆している。これを踏まえると、実物体認知と、その表象（二次元画像等）の認知には、異なる処理過程が関与する可能性が考えられる。

自律神経活動の中枢である扁桃体は、意識下の刺激に反応することで、迅速な適応的応答を実現している [6]。これと本研究の知見を踏まえると、実物体とその表象（実物体の二次元画像等）に対する反応の違いが最も鮮明に現れるのは、意識下処理においてであると予想される。実物体の意識下呈示法と自律神経活動計測を併用することで、実物体認知に関する新知見が明らかになることが期待される。

交感神経の指標となる LF/HF は、予想に反してスプーン実物条件でナイフ実物条件よりも大きくなった。また、フランカー干渉効果は、ナイフよりもスプーンで大きくなった。これらはいずれも、仮説に反する結果である。また、フランカー干渉効果と LF/HF との相関もナイフ実物条件では認められなかった。これらの原因は判然としないが、実験で用いたナイフ刺激が、日常生活で用いられるキッチンナイフだったことが、結果に影響している可能性がある。今後の研究では、より明確に危険性を感じさせるアーミーナイフ等を刺激として用い、呈示する物体の知覚的特徴（大きさ等）をより厳密に統制する必要があると考えられる。

文献

- [1] Gibson, J.J. (1954) "A theory of pictorial perception." *Audiov. Commun. Rev.* Vol. 2, pp. 3-23
- [2] Cisek, P. and Kalaska, J.F. (2010) "Neural mechanisms for interacting with a world full of action choices." *Annual. Rev. Neuroscience.* Vol. 33, pp. 269-298.
- [3] Snow, J. C. & Culham, J. C. (2021). "The treachery of images: How realism influences brain and behavior." *TICS*, Vol. 25, No.6, pp. 506-519.
- [4] Gomez, M.A., Skiba, R.M., Snow, J.C. (2018). "Graspable Objects Grab Attention More Than Images Do." *Psychol Sci.* Vol. 29, No. 2, pp. 206-218.
- [5] Task Force of the European Society of Cardiology and the North American Society of Pacing and Electrophysiology. (1996) 'Heart rate variability. Standards of measurement, physiological interpretation, and clinical use.', *Eur Heart J*, Vol. 17, No. 3, pp. 354-81.
- [6] Šimić, G., Tkalčić, M., Vukić, V., Mulc, D., Španić, E., Šagud, M., Olucha-Bordonau, F.E., Vukšić, M.R., Hof, P. (2021). "Understanding Emotions: Origins and Roles of the Amygdala." *Biomolecules.* Vol. 11, No. 6, art.no. 823.