

# 注意資源量が他者知覚の初期プロセスに与える影響 : Anterior N2 による検討<sup>1</sup>

加戸 瞭介

横山 武昌

武田 裕司

慶應義塾大学文学部 / 日本学術振興会

国立研究開発法人産業技術総合研究所  
ヒューマンモビリティ研究センター

国立研究開発法人産業技術総合研究所  
ヒューマンモビリティ研究センター

ヒトは視覚を通じた他者を知覚する能力(他者への感性)に優れると言われている。我々の研究から、余剰の注意資源が制限されている場合でもこの感性はみられることが示されている(加戸ら, 2019)。本研究では、余剰の注意資源がより制限された場合にも他者への感性が先行研究同様にみられるのかを検討した。他者への感性を反映する指標には、事象関連電位の中でも知覚の初期プロセスを反映すると考えられる anterior N2 を用いた。実験ではヒトを含む画像(ヒトあり刺激)と含まない画像(ヒトなし刺激)をランダムに呈示し、画像観察時の anterior N2 振幅の変化を観察した。また、画像観察時に課題遂行を必要とする条件としない条件を設けることで、注意資源量を操作した。その結果、課題を遂行した条件でもヒトあり刺激はヒトなし刺激に比べて anterior N2 振幅を増大させた。この結果は、余剰の注意資源が制限されていても他者への感性は発揮されることを示している。

Keywords: Event-related potential, anterior N2, attentional resources

## 問題・目的

ヒトは視覚環境下において他者を優先的に知覚する(他者への感性)ことができると考えられている(Binderman et al., 2010)。他者への感性を反映する事象関連電位としては後期陽性電位(LPP)などが知られているが、LPPは刺激のonsetから600 ms以降にみられるため、他者への感性の初期プロセスを検討する場合の最適な選択肢ではないといえる(Proverbio et al., 2009)。対して、anterior N2は比較的早い段階で誘発されるうえ、他者への感性を反映するという報告もなされている事象関連電位(加戸ら, 2019)のため、初期の知覚処理を検討するための指標として優れていると考えられている。

他者知覚に伴う注意資源量の変化という点に着目すると、余剰の注意資源量が減少する課題を設定した場合にも他者への感性がみられることが先行研究から示されている(加戸ら, 2019)。そこで本研究では、先行研究の手法を踏襲しつつ、より難度の高い課題を設定することで、注意資源量がさらに減少した場合にも他者知覚がなされる(=anterior N2振幅の増大がみられる)のかどうかを検討する。実験ではヒトが写っている画像刺激と写っていない画像刺激を呈示し、それぞれの画像刺激呈示時のanterior N2振幅を評価した。また、画像刺激呈示時に遂行中の注意資源量の異なる課題を設定することで注意資源量の変化が他者知覚の初期プロセスに与える影響を検討した。もし他者への感性が注意資源量の影響を受けにくいのであれば高難度の課題遂行時にも、ヒトが写っている画像刺激が呈示された際にanterior N2振幅が増大すると考えられる。

## 方法

**実験参加者**：38名(男性20名・女性18名;平均年齢21.9歳 ( $SD = 3.59$ )) の健康な成人が実験に参加した。いずれの実験参加者も加戸ら(2019)には参加していなかった。

**視覚刺激**：視覚刺激として感情刺激と標的刺激の2種類各200枚が用意された。このうち感情刺激は International Affective Picture System (IAPS) から選定され、ヒトの有無(ヒトあり・なし)×感情カテゴリ(中性・不快)に分類された(50枚×4カテゴリ)。標的刺激は著作権フリーのデータベースから花の画像と木の画像が選定された(各100枚)。なお、いずれの刺激も加戸ら(2019)と同様であった。実験では周囲に赤または緑の枠をつけた標的刺激を感情刺激の中央に配置したものを視覚刺激として呈示した。

**手続き**：Load課題(感情刺激に投入できる注意資源量少)とNo-load課題(感情刺激に投入できる注意資源量多)の2種類が用意された。いずれの課題でも注視点が1500 ms間呈示されたのちに刺激が26.6 ms間呈示され、その後マスク画像が1500 ms間呈示されるまでを1試行とした。Load課題では標的刺激の内容(花・木)と枠の色(赤・緑)の組み合わせを判別し、ボタン押しで反応することが求められた。No-load課題では反応は求められなかった。両課題ともに標的刺激を注視し、感情刺激は無視するように教示した。両課題ともに40試行×5ブロックで構成されており、組み合わせは異なるが同じ感情刺激と標的刺激が呈示された。

**ERP**：加算回数が不十分であったデータが除外され、36名(男性19名・女性17名)による分析を行った。視覚刺激のonsetから177 - 201 ms区間のFz(位置

は拡張10-20法に基づく)における平均電位を各条件で算出し、anterior N2の振幅とした。

**行動反応**：行動反応はLoad課題における正答反応時間および正答率が対象となった。

## 結果

**ERP**：前頭部(Fz)における平均ERP波形をFig. 1に示した。課題(2)×コンテンツ(2)×感情カテゴリ(2)の分散分析の結果、コンテンツの主効果  $F(1, 35) = 8.03, p = .008, \eta_p^2 = .187$  がみられた。つまり、ヒトなし刺激に比べてヒトあり刺激でより大きな陰性電位がみられた。

**行動反応**：先行研究の行動反応との被験者間計画による分散分析を実施したところ、正答反応時間および正答率ともに難度の主効果がみられた( $ps < .01$ )。すなわち本研究で設定したLoad課題は加戸ら(2019)のLoad課題に比べて難度が高いことが示された。この結果は、本研究では加戸ら(2019)に比べて、余剰の注意資源量が減少した条件(load課題)を設定できていたといえる。なお、正答反応時間および正答率ともに刺激由来の主効果および交互作用は見られなかった( $ps > .15$ )。

## 考察

本研究では、より注意資源量の制限された課題を設定した場合にも他者知覚に伴うanterior N2振幅の増大がみられるのかどうかを検証した。その結果、本研究で設定されたLoad課題遂行時にも先行研究と同様にヒトあり刺激提示時にanterior N2振幅の増大がみられていたことから、余剰の注意資源量が少ない場合にも他者の知覚がなされることが改めて示唆された。また、加戸ら(2019)では中性刺激の方が不快刺激に比べ

てanterior N2振幅の増大がみられていた一方で、本研究では同様の現象は確認できなかった。このことからanterior N2は注意が向きやすい刺激のなかでもヒトあり刺激のような他者知覚を反映する指標として有用であるといえる。

まとめると、anterior N2は他者知覚の初期プロセスを反映する頑健な指標であり、注意資源が制限されていても他者の知覚処理がなされることが示された。

## 脚注

<sup>1</sup>本研究はKato et al. (2020)にて掲載済み。

## 引用文献

Bindemann, M., Scheepers, C., Ferguson, H. J., & Burton, A. M. (2010). Face, body, and center of gravity mediate person detection in natural scenes. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance*, **36**, 1477-1485.

加戸瞭介・横山武昌・武田裕司 (2019) 注意資源量が他者への敏感性に与える影響：事象関連電位を用いた検討. 日本心理学会 第17回注意と認知合宿研究会, **9**, 名古屋.

Kato, R., Yokoyama, T., & Takeda, Y. (2020) Perceptual process for the early detection of humans remains intact even under a heavy attentional load: An ERP study. *International Journal of Psychophysiology*, **148**, 103-110.

Proverbio, A. M., Zani, A., & Adorni, R. (2008). Neural markers of a greater female responsiveness to social stimuli. *BMC neuroscience*, **9**, 56.

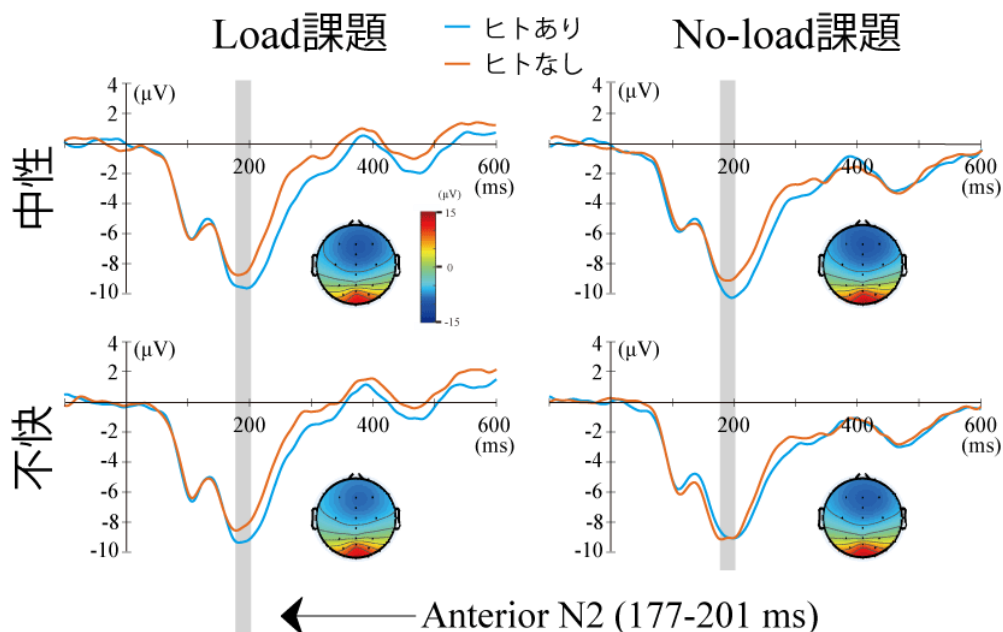


Fig. 1 区間平均振幅および177-201msの区間平均トポマップ  
<http://www.L.u-tokyo.ac.jp/AandC/>

# 瞳孔径変動量は注意状態を支える青斑核の一過性活動に影響される

山下 純平  
寺島 裕貴  
米家 惇  
丸谷 和史  
熊田 孝恒

NTT アクセスサービスシステム研究所  
京都大学大学院情報学研究科  
NTT コミュニケーション科学基礎研究所  
NTT コミュニケーション科学基礎研究所  
NTT コミュニケーション科学基礎研究所  
京都大学大学院情報学研究科

自動車運転などの作業中に注意状態が低下すると、致命的なヒューマンエラーにつながる恐れがあるため、外部から注意状態を推定することは非常に有用である。これまでの研究で、注意状態は青斑核ノルアドレナリン系 (LC-NE) の状態に影響されるため、LC-NE の活性度が低下すると増大する瞳孔径変動量から、注意状態低下を推定できることが示唆されている。しかし、LC-NE には持続性と一過性の2種類の活動が存在しており、瞳孔径変動量の増大がLC-NE のどちらの活性度低下をとらえているかは明確ではなかった。本研究では、LC-NE の持続性活動が低下すると成績が低下する一方で、一過性活動が低下すると成績が向上する高速逐次視覚呈示 (RSVP) 課題を用いて、瞳孔径の変動量がLC-NE のどちらの活動に影響されているか調べた。その結果、瞳孔径の変動量増大はRSVP課題の成績向上と正に相関しており、瞳孔径の変動量はLC-NE の一過性活動と関係している可能性が示唆された。

Keywords: attention, micro-pupillary unrest index, locus coeruleus-norepinephrine system, rapid serial visual presentation.

## 問題・目的

自動車運転などの作業中に注意状態が低下すると、致命的なヒューマンエラーにつながる恐れがあるため、外部から注意状態を推定することは非常に有用である。注意状態を支えている脳内メカニズムに、青斑核ノルアドレナリン系 (Locus Coeruleus and Norepinephrine system: LC-NE) がある。青斑核は、脳内のほぼ全領域に対してノルアドレナリンを投射する経路を持っており、これにより、刺激に対する応答程度、すなわち注意状態を調節していると考えられている (Aston-Jones & Cohen, 2005)。

瞳孔径は、このようなLC-NEの活動と相関することが知られている。そのため、瞳孔径を用いて、LC-NE が支える注意状態を推定できる可能性が報告されている。Yamashita et al. (2020) は、瞳孔径変動量を Micro-Pupillary Unrest Index (M-PUI) として定量化し、M-PUIの増大を注意状態低下の指標として用いる手法を提案している。Psychomotor Vigilance Taskを用いた検証の結果、M-PUIは注意状態 (ビジランス水準) を反映した反応時間 (RT) と正の相関を持っており、瞳孔径変動量の増大が注意状態 (ビジランス水準) 低下の指標となる可能性が示唆されている。

瞳孔径変動量の増大は青斑核に関連した注意状態の低下を予測したことから、青斑核の活動 (活性度) 低下を反映していると考えられる。しかしながら、LC-NEの活動には持続性と一過性の2種類が存在しており、瞳孔径変動量がどちらの活動を反映しているか明確ではなかった。

本研究では、高速に文字が切り替わりながら呈示される中で、2つのターゲットを検出することを求められる高速逐次視覚呈示課題 (RSVP課題) を用いて、瞳孔径変動量が反映するLC-NEの活動の種別を明らかにすることを目的とした。

RSVP課題では、睡眠はく奪が続き覚醒度が低下すると、2つのターゲット間の時間間隔 (Ia) にかかわらず、ターゲットの検出率が低下する (Gallegos et al., 2018)。LC-NEの活動のうち、持続性活動は、覚醒度と関連したものである。そのため、瞳孔径変動量の増大がLC-NEの持続性活動 (覚醒度) 低下を反映しているのならば、全てのIaにおいて、瞳孔径変動量の増大と、ターゲット検出率の間には負の相関がある (変動量の増大と検出率低下が結びつく) はずである。

一方、RSVP課題は、LC-NEのもう1つの活動である一過性の活動とも関係している。LC-NEの一過性の活動は、顕著な、あるいは課題に関連した刺激が出現した際に、その信号を瞬時に増強することに関与している。RSVP課題では、1つ目のターゲットに対して一過性活動を強く生じさせると、Iaが短い場合のみ、2つ目のターゲットの検出が阻害され、検出率が低下する (Wierda et al., 2012)。そのため、瞳孔径変動量の増大がLC-NEの一過性活動低下を反映しているのであれば、瞳孔径変動量と、2つ目のターゲット検出率の間に正の相関がみられる (変動量の増大と検出率向上が結びつく) はずである。加えて、その相関はIaが短い場合に強いはずである。

## 方法

**実験参加者** 20名（男性5名，女性15名，年齢20-43歳）が参加した。有効データは19名であった。

**装置** 実験参加者から60 cm離れたLCDディスプレイ（144 Hz, 27-in, 1920×1080 pixels）に刺激が呈示された。実験は暗幕中に行い，光源から薄暗い明かりを灯していた。SR Research Eyelink 1000を用いて，左眼の瞳孔径をサンプリングレート1000 Hzで計測した。

**刺激・手続き** 黒い背景の中央に，10個の文字（視角1°）が高速逐次呈示された（図1）。呈示された文字のうち，1文字は赤色（ターゲット1: T1）であり，残りは白色であった。白色の文字のうち，1つは数字（ターゲット2: T2）であり，残りはアルファベットであった。T1の出現タイミングはランダムであったが，T2はT1の2つ後（lag 2），4つ後（lag 4），6つ後（lag 6）のいずれかのタイミングで出現した。実験参加者は，T1およびT2を報告することを求められた。各lagは40試行あり，計120試行の課題を行った。

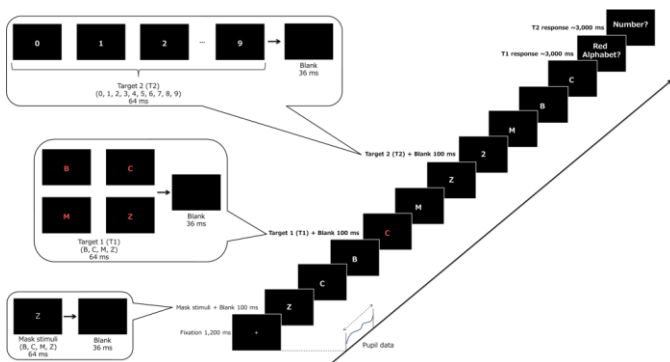


図1. 本実験のRSVP課題における1試行の流れ

**M-PUI算出** 文字の呈示開始直前の固視点呈示中（1200 ms）の瞳孔径を用いた。瞬目区間を無効区間として除外した。瞳孔径の時系列データを長さ50 msのハンギング窓で平滑化した後，その変動量を有効区間の長さで除算した値を全試行について算出し，その平均を実験参加者ごとのM-PUIとして算出した（図2，詳細はYamashita, et al. (2020) になった）。

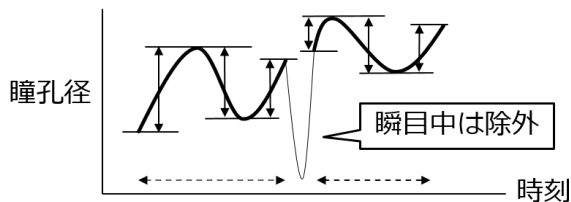


図2. M-PUIの算出方法。実線が瞳孔径時系列をあらわす。M-PUIは変動量（実線の矢印の長さ合計）を有効区間の長さ（破線の矢印の長さ合計）で除算することで算出された。

## 結果

全てのlagで，T1正答率（T1 correct）に比べ，T1正当後のT2正答率（T2|T1 correct）は低かった。各lagの

T2|T1 correctは，lag 2で68.9%，lag 4で77.2%，lag 6で78.0%であり，lag 2とlag 4の間にのみ有意な差が認められた ( $t(18)=2.59, p<.05$ )。

各lagにおける，各実験参加者の平均M-PUI（Mean M-PUI）と，T2|T1 correctの関係を図3に示した。すべての相関は正であり，Lagが短いほど相関は強かった。並び替え検定の結果，Lag 2においてのみ，平均M-PUI（Mean M-PUI）とT2|T1 correctの間に有意な正の相関が認められた ( $r=0.39, p<.05$ )。

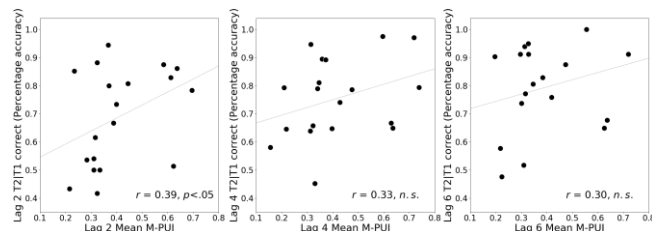


図3. 各lagにおける各実験参加者の平均M-PUI（Mean M-PUI）とT2|T1 correctの関係

## 考察

T1から200 ms以内に出現したT2の検出率は，T1から400 ms以上経ってから出現したT2の検出率に比べて低かった。このことから，特にlag 2において，青斑核の一過性活動と関連したT2の見落としが生じていたことが示唆された。

全てのlagにおいて，瞳孔径変動量（平均M-PUI）とT2|T1 correctとの間には正の相関があったが，有意な正の相関はlag 2においてのみ認められた。これらのことから，瞳孔径変動量は青斑核の一過性活動を反映していたことが示唆された。

## 参考文献

- Aston-Jones, G., & Cohen, J. D. (2005). AN INTEGRATIVE THEORY OF LOCUS COERULEUS-NOREPINEPHRINE FUNCTION: Adaptive Gain and Optimal Performance. *Annual Review of Neuroscience*, 28(1), 403-450.
- Gallegos, C., García, A., Ramírez, C., Borrani, J., Azevedo, C. V., & Valdez, P. (2018). Circadian and homeostatic modulation of the attentional blink. *Chronobiology International*, 36(3), 343-352. doi:10.1080/07420528.2018.1543315
- Wierda, S. M., Rijn, H. V., Taatgen, N. A., & Martens, S. (2012). Pupil dilation deconvolution reveals the dynamics of attention at high temporal resolution. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 109(22), 8456-8460. doi:10.1073/pnas.1201858109
- Yamashita, J., Terashima, H., Yoneya, M., Maruya, K., Koya, H., Oishi, H., Nakamura, H., Kumada, T., (2020). Pupillary fluctuation amplitude before target presentation reflects vigilance level in Psychomotor Vigilance Tasks. Manuscript submitted

# 異なる注意資源下での affective priming effect と後期陽性電位

朱安琪

筑波大学人間総合科学研究科

/産業技術総合研究所

武田裕司

国立研究開発法人産業技術総合研究所ヒューマンモビリティ

ティ研究センター/筑波大学大学院

This study examined how attention influences the affective priming effect in terms of temporal variation by measuring the LPP. Participants were required to pay their attention to an emotional picture (unpleasant/neutral) or a checkerboard picture which was presented simultaneously (a prime stimulus). After the presentation of the prime stimulus, an emotionally neutral target picture was presented. Participants were required to evaluate the target picture valence. The evaluation of the target pictures was more negative when processed by the unpleasant prime pictures. Furthermore, the affective priming effect was larger when they attended to the unpleasant picture. Notably, when participants allocated their attention to the emotional prime picture, a significant negative correlation between the magnitude of the priming effect and the LPP in the time epoch of 500-600 ms was observed. The result suggests that the allocation of attentional resources to the emotional picture would influence the relatively earlier processing, and it would result in the larger affective priming effect.

Keywords: Emotion, affective priming effect, attentional resources, late positive potential (LPP).

## 問題・目的

オブジェクトに対する価値判断は多くの場合、客観的なものではなく、その場の感情的文脈によって影響されがちである。実験的には、判断すべきオブジェクトの前に、不快な刺激(快)を提示した場合に、後続刺激の価値判断はよりネガティブ(ポジティブ)になることが知られている(affective priming effect; APE) (Gibbons et al., 2018)。また、APEは感情刺激が課題と無関連な場合、もしくは閾下提示された場合にも生じることから、自動的かつ多くの注意資源を必要としない特性があると考えられる(Goller, Khalid, & Ansonge, 2017)。一方、APEはプライム刺激に対する課題難度が上昇するにつれ、感情特徴に対する注意資源配分が少なくなり、最終的にAPEは弱くなることも報告されている(Sassi, Campoy, Castillo, Inuggi, & Fuentes, 2014)。感情刺激に対する注意がどのようにAPEに影響するのかについては、まだ十分には明らかにされていない。

本研究では、主観的な感情評定(SAM) (Bradley & Lang, 1994)および事象関連電位を用いて、注意プロセスがAPEに与える影響について検討する。後期陽性成分(late positive potential; LPP)は感情刺激に対する持続的注意の指標として知られている(Olofsson, Nordin, Sequeira, & Polich, 2008)。そこで本研究では、LPP成分を注意資源配分の時間的変化の指標として、感情刺激に対する注意とAPEの関係を検討した。もし、感情刺激に対する比較的早い処理段階での注意配分が大きなAPEを引き起こすのであれば、APEは初期のLPP振幅と相関すると考えられる。一方、比較的遅い処理段階での注意配分がAPEに影響するのであれば、APEは後期のLPP振幅と相関すると考えられる。

## 方法

**実験参加者:** 42名(男性25・女性17名)が実験に参加した。

**実験刺激:** 実験刺激(460 × 345 pixels)は2つの感情カテゴリー(unpleasant/neutral)に属するカラーのIAPS (Lang et al., 1997)写真と1枚のcheckerboard模様のカラー写真を使用した。また、5尺度の感情価評定質問紙(SAM)を使用した。

**実験課題:** 傾き検出課題と画像評定課題の2種類が設定された。また、感情刺激に対するattended条件とunattended条件の2条件が設定された。各試行の最初に、ディスプレイの中央に白色leftもしくはrightと書かれた教示画面が800 ms間呈示された。その後、ディスプレイの中央に白い注視点が500 ms間呈示された。注視画面呈示後に、感情刺激とcheckerboardが画面の左右に660 ms間呈示された。参加者は教示画面で指示された側の写真に注意を向けるように教示された。教示画面において指示された方向に感情刺激が呈示されていた試行をattended条件、checkerboardが呈示されていた試行をunattended条件とした。画像評定課題では、2枚の写真画像が呈示された直後に、500 msのブランク画面が続いた。その後、ディスプレイ中央にtarget (neutralカテゴリーのIAPS写真)刺激が1000 ms間呈示された。参加者はtarget刺激呈示後に、target画像について感情価評定を行った。時間制限はなかった。一方、傾き検出課題の場合は教示画面で指示された側の写真が3°傾いて呈示されていた。参加者はその傾きの方向をボタン押しで回答するように求められた。各実験参加者は1ブロックを40試行(画像評定課題: 30試行, 傾き検出課題: 10試行)として、10ブロックを行った。画像評定課題と傾き検出課題の呈示順序はランダムであった。Target刺激に対する感情

価評定値について注意条件 (2) × 感情刺激 (2) の2要因分散分析を行った。脳波の分析は画像評定課題を行なった試行に対してのみ実施された。感情刺激と checkerboard の onset から400-1100 ms 区間の頭頂-後頭頂部における平均電位を各条件で算出し、LPP の振幅とした。また、注意の時間的変化が APE に与える影響について調べるため、LPP を100 ms ごとの区間に分け、7つの区間での LPP 振幅と APE の相関関係を調べた。

## 結果

Target 刺激に対する感情価評定において、注意条件 (attended 条件 < unattended 条件) と感情刺激 (unpleasant < neutral) による主効果が認められた ( $F(1, 41) = 10.25, p < .01, \eta_p^2 = .20$ ) ( $F(1, 41) = 19.64, p < .001, \eta_p^2 = .32$ )。注意条件と感情刺激の相互作用も認められた ( $F(1, 41) = 11.59, p < .01, \eta_p^2 = .22$ )。下位検定を実施したところ、感情刺激が unpleasant の場合、target 刺激に対する感情価評定は attended 条件の方が unattended 条件と比べて有意に小さかった ( $p < .001$ )。Fig.1 (A) に頭頂-後頭頂部の平均 LPP 波形を示した。LPP の振幅について、注意条件 (2) × 感情刺激 (2) の分散分析の結果、感情刺激の主効果 ( $F(1, 41) = 31.77, p < .001, \eta_p^2 = .44$ ) が見られた。一方、注意条件の主効果 ( $F(1, 41) = 2.58, p = .12, \eta_p^2 = .06$ ) および注意条件と感情刺激の交互作用 ( $F(1, 41) = 2.36, p = .13, \eta_p^2 = .05$ ) は見られなかった。

また、7つの区間での LPP 振幅 (unpleasant-neutral) と感情価評定 (unpleasant-neutral) の APE について相関を調べたところ、attended 条件下での 500-600 ms の LPP 振幅が感情価評定との間にのみ有意な負の相関が見られた ( $r = -0.32, p = .039$ ) (Fig.1 (B))。

## 考察

本研究では異なる注意資源下で処理される感情刺激による APE と LPP について検証した。結果的に、感情刺激が unpleasant である場合に APE が見られた。また、unpleasant 刺激が高い注意資源下で処理された

場合に生じた APE は低い注意資源下で処理された場合より大きかった。LPP 振幅は注意資源量の多寡にかかわらず、感情刺激が unpleasant のときのほうが neutral と比べて、大きかった。7つの区間の LPP 振幅と APE の相関を調べたところ、500-600 ms 区間での LPP にのみ、APE は感情刺激が高い注意資源下で処理された場合に有意なネガティブ相関が見られた。これらの結果は、注意資源を多く割り当てることによる APE の促進が感情刺激消去後にも生じる持続的な注意の影響ではなく、感情刺激の比較的初期の処理段階に影響し、それが APE を強めていることを示唆している。

## 結論

感情刺激への注意資源の割り当ては、初期段階の処理を促進し、APE を高める効果を示した。

## 引用文献

- Bradley, M. M., & Lang, P. J. (1994). *Journal of Behavior Therapy and Experimental Psychiatry*, 25(1), 49–59.
- Gibbons, H., Seib-Pfeifer, L. E., Koppehele-Gossel, J., & Schnuerch, R. (2018). *Psychophysiology*, 55(4), e13009.
- Goller, F., Khalid, S., & Ansorge, U. (2017). *Frontiers in Psychology*, 8(453).
- Lang, P. J., Bradley, M. M., & Cuthbert, B. N. (1997). *NIMH Center for the Study of Emotion and Attention*, 39–58.
- Olofsson, J. K., Nordin, S., Sequeira, H., & Polich, J. (2008). *Biological Psychology*, 77(3), 247–265.
- Sassi, F., Campoy, G., Castillo, A., Inuggi, A., & Fuentes, L. J. (2014). *Quarterly Journal of Experimental Psychology*, 67(5), 861–871.

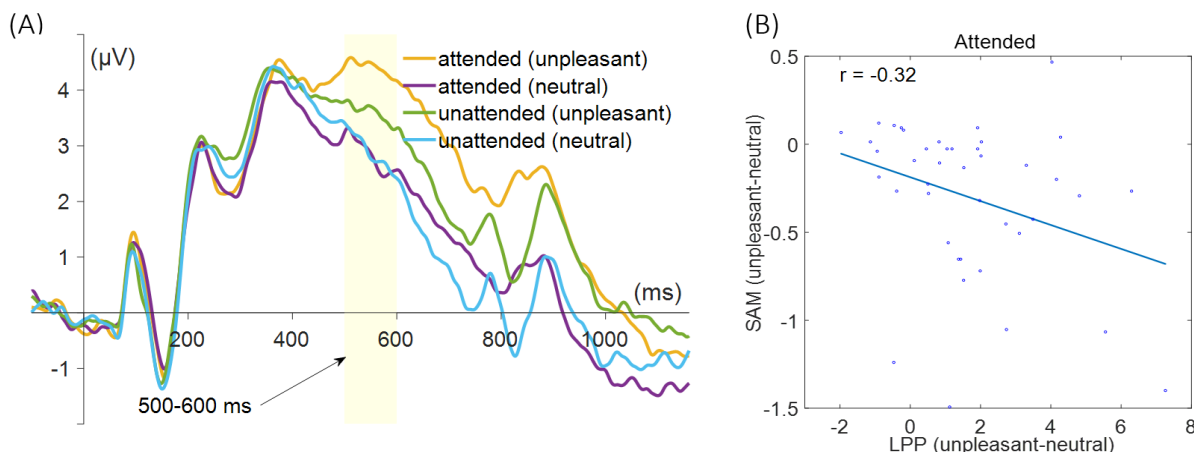


Fig. 1 (A) 条件ごとの平均振幅, (B) 500-600 ms の区間相関関係

# 視聴覚刺激における一体性の仮定が 同時性知覚の再較正に与える影響

宇野 究人  
横澤 一彦

東京大学大学院人文社会系研究科／日本学術振興会

東京大学大学院人文社会系研究科

視覚刺激と聴覚刺激が一定順序で連続提示されると、2 刺激に対する同時性判断が提示順序の方向へシフトする（同時性知覚の再較正）。視聴覚刺激が同一の発生源から生じているという推定（一体性の仮定）が同時性知覚の再較正に与える影響については明らかになっていない。本研究では感覚間協応（実験 1）及び男女の顔と声のマッチング（実験 2）を用いて、上記の問題について検討した。参加者は順応フェーズで交互に提示される視聴覚刺激を観察後、一対の視聴覚刺激の同時性判断を行った。順応フェーズの刺激系列は、一体性の仮定が成立する視聴覚刺激のペア内で視覚刺激が先行する場合（例：男性顔-男性声-女性顔-女性声...）と、聴覚刺激が先行する場合があった。同時性判断の結果から主観的同時点を算出したところ、いずれの実験でも順応フェーズの条件間で有意な差が見られた。この結果は、一体性の仮定により同時性知覚の再較正が調節されることを示している。

Keywords: audiovisual integration, timing perception, unity assumption.

## 問題・目的

視覚刺激と聴覚刺激の2刺激が提示されると、観察者は刺激間の時間ずれの大きさに応じて、これらの刺激が同時であると判断するか、あるいは異なるタイミングで提示されたと判断する。このような視聴覚の同時性知覚は、時間ずれの幅に対して固定されているわけではない。視覚刺激と聴覚刺激が一定順序で連続提示されると、2刺激に対する主観的同時点 (PSS) が提示順序の方向へシフトすることが知られている（時間的再較正, Fujisaki et al., 2004; Vroomen et al., 2004）。

Yarrow et al. (2011) は、視聴覚刺激の空間一致性が時間的再較正に影響するという知見を示した。彼らの実験では、参加者は注視点の左右から連続提示される視聴覚刺激に順応後、同時性判断課題を行った。順応刺激は、同じ場所では常に視覚刺激が聴覚刺激に先行する場合（左から音-右から光-右から音-左から光の繰り返し）と、同じ場所では常に聴覚刺激が先行する場合があった。その結果、順応刺激に応じたPSSのシフトが見られ、同じ場所から提示された刺激間の順序に従って時間的再較正が生じることが示された。

この結果は、視聴覚刺激が同一の発生源から生じているという推定（一体性の仮定）が時間的再較正に影響する可能性を示している。ただし、空間一致性には物理的なボトムアップの要因と、「空間的に一致しているということは同一発生源である可能性が高い」という推定（認知的な要因）のいずれも含まれるため (Spence, 2007)、一体性の仮定が物理的な要因とは独立して時間的再較正に影響するか否かはまだ明らかにされていない。そこで本研究では、視聴覚刺激間に存在する協応関係（実験1：視覚刺激の位置と聴覚刺激のピッチの高さの協応、実験2：男女の顔と声のマッチング）を用いて、空間一致性とは独立に一体性の仮定が時間的再較正に影響するかどうか検討した。

## 実験1

**目的** 視聴覚刺激の間には、「高音と高い位置の視覚刺激、低音と低い位置の視覚刺激が結びつきやすい」という協応関係が存在することが知られている (Spence, 2011)。実験 1 では、この協応関係に基づく時間的再較正が生じるか否かを検討した。

**参加者** 20名の参加者（女性13名、男性7名、年齢： $M = 21.9$ 歳、 $SD = 1.6$ 歳）が実験に参加した。

**手続き** 実験は暗室で行われ、視覚刺激はCRTモニター、聴覚刺激はヘッドフォンから提示された。実験は8つのブロックに分かれており、各ブロックには順応フェーズとテストフェーズが存在した。参加者は各ブロック内で、順応フェーズで60sの間連続提示される視聴覚刺激を観察後、テストフェーズにおいて55試行の同時性判断課題を行った。同時性判断の各試行の前には、順応刺激の提示が5sの間行われた。

順応刺激には2つのパターンがあり、2ブロックごとに変更された。視覚先行条件では、「高音（4000 Hzの正弦波）-低い位置の円-低音（1000 Hzの正弦波）-高い位置の円」という刺激系列が繰り返し提示された。すなわち、視覚刺激の位置と聴覚刺激のピッチの高さの協応関係に整合する視聴覚刺激をグループとみなせば、グループ内では必ず視覚刺激が聴覚刺激に先行して提示されるようになっていた。聴覚先行条件はその逆で、協応関係に基づくグループ内では必ず聴覚刺激が先行していた。なお、各刺激の提示時間は20msであり、刺激間のSOAは200msで固定されていた。参加者は順応フェーズの間、画面中央に提示される注視点に視線を合わせながら刺激を観察するように教示された。

同時性判断課題では、5sの順応刺激提示後に注視点の色が変化し、その後一対の視聴覚刺激（高音と高い位置の円、あるいは低音と低い位置の円）が提示さ

れた。参加者はこれらの刺激について、同時に提示されたか否かを判断して回答するよう求められた。視聴覚刺激の SOA は  $\pm 350, \pm 250, \pm 150, \pm 100, \pm 50, 0$  ms (プラス方向: 視覚刺激が聴覚刺激に先行) の 11 条件が設けられた。

**分析** 順応刺激の 2 条件それぞれについて、テスト刺激の各 SOA において「同時」と判断された割合をプロットし、正規分布関数でフィッティングを行った。このとき、調整済み決定係数が 0.5 を下回った 2 名の参加者は以降の分析から除外した。得られた正規分布の平均を主観的同時点 (PSS) と定義した。

**結果・考察** 各パラメータの推定値を Table 1 に示す。mean (PSS) について条件間で有意差が見られ ( $t(17) = 2.30, p = .035, d_p = 0.54$ )、視覚先行条件の方が聴覚先行条件に比べ、PSS の値が正の方向に大きくなっていた。この結果は、感覚間協応に整合する視聴覚刺激における提示順序に従って時間的再較正が生じるという予想と整合している。

$\sigma$  は条件間で有意な差が見られなかった ( $t(17) = 0.17, p = .869$ )、 $amplitude$  は視覚先行条件の方が有意に大きくなった ( $t(17) = 2.74, p = .014, d_p = 0.65$ )。このことは、同時性判断課題において「同時」と回答される割合が視覚先行条件の方が高くなったということを示唆している。

Table 1. 実験 1 のフィッティングにおけるパラメータ推定値。

条件	mean	sigma	amplitude
視覚先行	16.45 (10.33)	168.13 (14.89)	1.04 (0.02)
聴覚先行	4.36 (9.83)	169.35 (10.75)	1.02 (0.02)

Note: 平均値 (標準誤差)

## 実験 2

**目的** 実験 1 では、視聴覚刺激間の協応関係が時間的再較正に影響する可能性が示された。この知見がより複雑な視聴覚刺激においても一般化できるのか検討するため、実験 2 では男女の顔と声のマッチングを操作し、時間的再較正への影響について調べた。

**参加者** 32 名の参加者 (女性 14 名, 男性 18 名, 年齢:  $M = 21.4$  歳,  $SD = 1.9$  歳) が実験に参加した。サンプルサイズは実験 1 の効果量を元に再決定した。

**手続き** 全体の流れは実験 1 と同様であったが、視聴覚刺激として円と正弦波の代わりに男女の顔画像と声 (/a/ と発音時の音声) を使用した。顔画像は画面中央の注視点の左右に提示され、声はヘッドフォンからモノラルで提示された。順応刺激パターンにおける視覚先行条件では、「男性声 - 女性顔 - 女性声 - 男性顔」という刺激系列が繰り返し提示された。すなわち、同一話者 (性別) においては必ず視覚刺激が聴覚刺激に先行して提示されるようになっていた。聴覚先行条件はその逆で、同一話者においては必ず聴覚刺激が先行していた。なお、各刺激の提示時間は 120 ms に変更された (SOA は 200 ms で固定)。

同時性判断課題では一対の視聴覚刺激 (男性声と男性顔, あるいは女性声と女性顔) が提示された。視聴

覚刺激の SOA は  $\pm 400, \pm 320, \pm 240, \pm 160, \pm 80, 0$  ms の 11 条件に変更された。

**分析** 実験 1 と同様に正規分布関数によるフィッティングを行った。調整済み決定係数が 0.5 を下回った 1 名の参加者は以降の分析から除外した。

**結果・考察** 各パラメータの推定値を Table 2 に示す。Mean (PSS) について条件間で有意差が見られ ( $t(30) = 2.35, p = .026, d_p = 0.42$ )、視覚先行条件の方が聴覚先行条件に比べ、PSS の値が正の方向に大きくなっていた。この結果は、同一話者 (性別) の顔と声における提示順序に従って時間的再較正が生じるという予想と整合している。なお、 $\sigma, amplitude$  のいずれのパラメータについても、条件間で有意な差は見られなかった ( $\sigma: t(30) = 0.93, p = .361; amplitude: t(30) = 1.30, p = .203$ )。

Table 2. 実験 2 のフィッティングにおけるパラメータ推定値。

条件	mean	sigma	amplitude
視覚先行	-6.35 (11.27)	183.63 (12.34)	1.05 (0.02)
聴覚先行	-18.45 (9.48)	179.03 (11.87)	1.07 (0.01)

Note: 平均値 (標準誤差)

## 総合考察

視覚刺激の位置と聴覚刺激のピッチの高さの協応関係 (実験 1)、および男女の顔と声のマッチング (実験 2) が時間的再較正に影響することが示された。2 つの実験のいずれにおいても順応フェーズにおける視聴覚刺激間に空間的な一致/近接は存在せず、また、時間的にも全ての視聴覚刺激は均等に配置されていた。そのため、低次の物理的要因 (刺激間の時空間的な一致/近接) が時間的再較正に影響したとは考えにくい。以上を踏まえると、視聴覚刺激が同一発生源であるという推定 (一体性の仮定) が、時間的再較正に影響を与えたと考えられる。この結果は、無数の信号が存在する自然環境の中で、同じ発生源に由来すると考えられる信号間の非同期が脳内で選択的に補正されているという可能性を示唆するものである。

## 引用文献

- Fujisaki, W., Shimojo, S., Kashino, M., & Nishida, S. (2004). Recalibration of audiovisual simultaneity. *Nature Neuroscience*, 7, 773–778.
- Spence, C. (2007). Audiovisual multisensory integration. *Acoustical Science and Technology*, 28(2), 61–70.
- Spence, C. (2011). Crossmodal correspondences: A tutorial review. *Attention, Perception, & Psychophysics*, 73, 971–995.
- Vroomen, J., Keetels, M., De Gelder, B., & Bertelson, P. (2004). Recalibration of temporal order perception by exposure to audio-visual asynchrony. *Cognitive Brain Research*, 22, 32–35.
- Yarrow, K., Roseboom, W., & Arnold, D. H. (2011). Spatial grouping resolves ambiguity to drive temporal recalibration. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance*, 37, 1657–1661.



# 視聴覚コンテンツの印象の 調和・不調和が映像的没入感に与える影響

張 馨月  
浅野 倫子

立教大学 現代心理学研究科

立教大学 現代心理学部・現代心理学研究科

映画作りの現場では、戦争シーンで明るい音楽をかけるといった、印象が不調和な映像と背景音楽を合わせる手法がある。しかし、この手法が視聴覚コンテンツの主観的な印象、特に没入感に与える影響についての実証的研究はなされていない。そこで本研究では、視聴覚コンテンツの印象の調和・不調和が映像的没入感に与える影響を調べた。実験1では、ポジティブまたはネガティブな印象の映像および音楽を、調和または不調和になるように組み合わせさせて参加者に提示した。没入感の主観的強度（質問紙）と客観的強度（時間作成課題）、および視聴前後の参加者の感情変化を測定した。実験2では没入感の主観的強度と映像の印象を測定した。2つの実験の結果から、参加者はネガティブな視覚刺激により没入することや、感情には主に視覚情報の印象が影響したが、部分的に聴覚情報の印象も影響した（中和効果）ことがわかった。つまり、視聴覚コンテンツの印象の調和性は没入感に影響しなかったが、視聴者の感情には部分的に影響を与えた。

Keywords: counterpoint, cinematic immersion, incongruent audiovisual information, cross-modal processing.

## 問題・目的

映画の映像には通常音楽が伴っている。その音楽は一般的に映像の印象と一致したものだが、「音と画の対位法」という映像作りの技法では、あえて戦争シーンで明るい音楽をかけるといったように、映像と音楽の印象を対立させる。音と画の対位法がもたらす効果について、映画製作の分野では、あるシーンの支配的な雰囲気がそれによって中和されたり、逆転されたり、時には風刺や皮肉の効果がもたらされたりすると評価されている（Giannetti, 1993）。心理学分野では、音と画の対位法が用いられた映像作品のシーンが記憶にどのように影響を与えているかについての実験研究

（Boltz, Schulkind, & Kantra, 1991）はあるが、没入感および感情に与える影響については、まだ検討や実証がなされていない。そのため、本研究では、心理学的立場から映像（視覚情報）と音楽（聴覚情報）の印象の調和・不調和が映像的没入感と感情に与える影響を探索的に調べた。なお、本研究では、フローなどの先行研究（石村, 2014）を踏まえて、映像的没入感の特性を(1)集中、(2)自己意識の減退、(3)時間感覚の歪み(4)楽しむこと、の4つとした。

## 方法

**参加者** 学部生および大学院生32名が実験1、19名が実験2に参加した。

**刺激** 視覚刺激は映画の1シーンで、聴覚刺激はクラシックのピアノ曲であり、長さはいずれも2分30秒だった。さまざまな視覚刺激と聴覚刺激（それぞれ単独）の印象評定を行うという予備実験の結果を踏まえて、視覚刺激と聴覚刺激としてそれぞれ印象がポジティブなもの2つと、印象がネガティブなもの2つを選んだ。参加者に提示する刺激として、視覚刺激と聴覚刺激を両者の印象が調和、あるいは不調和になるように組み合わせさせた4つの視聴覚コンテンツを用意した

（VpAp：ポジティブな視覚刺激と聴覚刺激、VpAn：ポジティブな視覚刺激とネガティブな聴覚刺激、VnAp：ネガティブな視覚刺激とポジティブな聴覚刺激、VnAn：ネガティブな視覚刺激と聴覚刺激）。

**手続き** 実験1では、4つの視聴覚コンテンツを1つずつ参加者に視聴させ、それぞれに対する映像的没入感の強さと感情に及ぼす影響の大きさの違いを調べた。映像的没入感の測定には主観的指標と客観的指標を用いた。

(1)主観的指標：没入感を直接測定する1項目と間接的に測定する4項目で構成される、映像的没入感質問紙に記入させた。①直接的に没入度を測定するビジュアルアナログスケール（VAS）では、没入感の強さを問う100mmの直線の上で参加者自身の状態に合うところに×をつけて没入度を示すように求めた。②間接的に映像的没入感を測定する質問紙は、映像的没入感の特性に基づいて、石村（2014）のフロー体験チェックリストから4項目（「集中している」、「我を忘れている」、「時間を忘れている」、「楽しんでいる」）を抽出して作成した（7段階評定）。

(2)客観的指標：時間作成課題を用いて時間知覚の歪みを測定した。時間作成課題では、視聴覚コンテンツの視聴前および視聴中に、ビーブ音が鳴ってから5秒経ったと思う時点でキー押しをさせることで5秒を作成させた（各5試行）。視聴中と視聴前それぞれの平均作成時間の差分値を時間知覚の歪みの指標とした。

(3)参加者の視聴前後の感情の変化を測定するために、視聴直前と直後に織田ら（2015）の感情・覚醒チェックリスト（EACL；9因子；33項目；4段階評定）への回答を求めた。

実験2では、時間課題を除いて実験1と同様の視聴覚コンテンツを提示し、それに対する映像的没入感について調べた。さらに、EACLを転用した印象評価質問紙を用いて、（参加者自身の感情ではなく）視聴覚コンテンツに抱いた印象についても評価させた。

## 結果

**実験1** 没入感の主観的指標（フロー体験チェックリスト+VAS）、没入感の客観的指標（時間知覚の歪み）、および感情の変化（EACL視聴後－視聴前）についてそれぞれ視覚刺激（ポジティブ・ネガティブ）と聴覚刺激（ポジティブ・ネガティブ）を要因とする分散分析を行った。その結果、フロー体験チェックリストの項目「楽しんでいる」において、視覚刺激と聴覚刺激の印象の主効果が見られた（有意水準5%，FDR法による多重比較補正）。すなわち、視覚刺激或いは聴覚刺激の印象がポジティブである場合、参加者は視聴覚コンテンツをより楽しんでいた。その他の3項目、およびVASにおいては、いずれの主効果、交互作用も有意ではなかった。時間知覚の歪みを分析した結果、聴覚刺激の印象の主効果のみが有意になった。EACLの評定値を分析した結果、全9因子において視覚刺激の印象の主効果があり、「喜び」と「エネルギー覚醒」においては聴覚刺激の主効果があった。参加者の感情は主に視覚刺激の印象に影響され、喜びとエネルギー覚醒は聴覚刺激の印象にも影響された。具体的に、視覚と聴覚刺激の印象がポジティブの場合、視聴覚コンテンツに対する「喜び」と「エネルギー覚醒+」の評定値が高く、逆に刺激がネガティブの場合、視聴覚コンテンツに対する「エネルギー覚醒-」の評定値が低かった。また、「喜び」においては交互作用も見られ（Figure 1）、具体的には視覚刺激の印象がポジティブの場合、聴覚刺激の印象がネガティブだと、喜びの度合いはVpAp条件より低くなった。つまり、視聴覚コンテンツの不調和によって中和の効果がもたらされたと解釈できる。

**実験2** 実験1と同様の分散分析の結果、VAS、およびフロー体験チェックリストの項目「集中している」、「我を忘れている」、「楽しんでいる」において、視覚刺激の主効果が見られ、ネガティブ条件のほうがポジティブ条件よりも没入度、集中している程度、我を忘れている程度が高いことが示された。また、「楽しんでいる」において聴覚刺激の主効果も見られた。なお、交互作用はいずれも有意ではなかった。印象評価の結果、全9因子において視覚刺激の主効果があり、「恐怖」、「悲しみ」、「嫌悪」、「喜び」、「エネルギー覚醒+」、「エネルギー覚醒-」においては聴覚刺激の主効果があった。なお、交互作用はなかった。

両実験の結果を総括すると、映像的没入感には視覚刺激の印象によって影響されたが、視覚刺激と聴覚刺激の印象の調和・不調和によって影響されなかった。また、没入感の客観的指標である時間知覚は聴覚刺激の印象によって影響された。さらに、快感情において、視覚刺激と聴覚刺激の交互作用が見られた。

## 考察

両実験の映像的没入感の質問紙の評定値の分析結果によって、視聴覚コンテンツの印象の調和・不調和が

映像的没入感に影響を与えなかったことが示された。また、実験2では、参加者はポジティブな視覚刺激よりネガティブな視覚刺激に没入したことが分かった。つまり、視聴覚コンテンツの印象の調和性よりも、モダリティごとの印象が独立に没入感に影響する可能性が示唆された。

映像的没入感の客観的指標である時間知覚の歪みは、視聴覚コンテンツの調和・不調和ではなく、聴覚刺激の印象のみに影響された。この結果が上記の主観的指標の結果と異なった理由として、聴覚モダリティの時間解像度は視覚モダリティより高いことが考えられる（Shimojo et al.,2001）。

EACLを分析した結果、喜びなどの快感情においては視聴覚コンテンツの印象の不調和による中和の効果が見られた。すなわち、映画作成の現場で音と画の対位法がもたらすと考えられている効果のうち、印象の逆転や皮肉、風刺の効果は見られなかったが、中和効果は喜びの感情において確かめることができた。また、視聴覚コンテンツの印象は参加者自身の感情と比べて、視覚刺激と聴覚刺激により強く影響されたが、音と画の対位法がもたらすと考えられている中和や皮肉などの効果は見られなかった。

## 引用文献

- Boltz, M., Schulkind, M., and Kantra, S. (1991). Effects of background music on the remembering of filmed events. *Memory & Cognition*, 19(6), 593-606.
- Giannetti, L. (1993). *Understanding Movies*. 14 edition, ADDISON WESLEY Publishing Company Incorporated.
- 石村郁夫 (2014). フロー体験の促進要因とその肯定的機能に関する心理学的研究 風間書房.
- 織田弥生・高野ルリ子・阿部恒之・菊地賢一 (2015). 感情・覚醒チェックリストの作成と信頼性・妥当性の検討 心理学研究, 85(6), 579-589.
- Shimojo, S., Scheier, C., Nijhawan, R., Shams, L., Kamitani, K., & Watanabe, K. (2001). Beyond Perceptual Modality: Auditory Effects on Visual Perception. *Acoustical Science and Technology*, 22(2), 61-67.

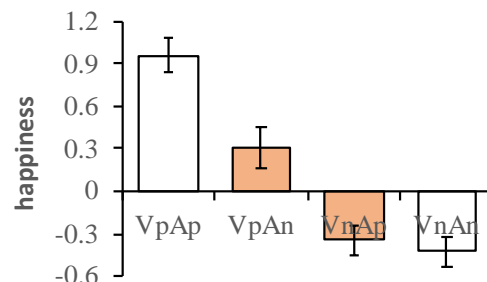


Figure 1. 視聴前後の「喜び」評定値の差分值（EACL視聴後－視聴前）（エラーバーは標準誤差）。

# 画像の情動性が注意配分と空間作業記憶に及ぼす影響

## -事象関連電位を用いた検討-<sup>1</sup>

李 月穎

神戸大学大学院 人文学研究科

喜多 伸一

神戸大学大学院 人文学研究科

**Abstract:** This article aims to investigate the interaction effects of emotional valence (negative, positive) and stimulus type (sticker, face) on attention allocation and information retrieval in spatial working memory (WM). The difference in recognition of emotional faces and stickers was also further explored. Using a high-resolution event-related potential (ERP) technique, a time-locked delayed matching-to-sample task (DMST) was employed that allowed separate investigations of target, delay, and probe phases. The results indicated that negative emotion can catch early attention in information encoding, which was indicated by the augmentation of the attention-related P200 amplitude. In the delay phase, the N170 component represents facial specificity and showed a negative bias against stickers. For information retrieval, the increase in the emotion-related late positive component (LPC) showed that positive emotion could damage spatial WM and consume more cognitive resources. Moreover, stickers had abilities to catch an individual's attention throughout the whole course of spatial working memory with larger amplitudes of the attention-related P200, the negative slow wave (NSW), and the late positive component (LPC). These findings highlight the role of stickers in different phases of spatial working memory.

**Keywords:** spatial working memory, event-related potential, emotion, attention, stickers, face

### 問題と目的

近年、インターネットになじんだスマホ世代において、文字ベースの非対面型コミュニケーションでは伝えることのできない顔の感情を表現するために顔文字や絵文字のようなステッカーが用いられている。

N170 は顔特異的事象関連電位成分と呼ばれ、顔を呈示したときに顔以外の刺激を呈示した時と比べて振幅が大きくなる(Bentin et al., 1996)。ただし、ステッカーの認知処理が顔認知と同様であるかという問題については検討されていない。そこで、ステッカーによって顔認知と表情識別に作業記憶に対する影響があるのかという問題について吟味するため、本研究では、課題無関連のネガティブとポジティブ感情を表現する顔画像とステッカーが、空間作業記憶に対する注意配分に及ぼす影響を、符号化・貯蔵・検索の3つの処理段階に分けて、事象関連電位を指標として検討する。誘発電位については、注意に関わる P200 と NSW、情動に関わる LPC、顔特異的 N170 成分を解析する。

### 方法

**参加者** 大学生22名(男性8名, 女性14名, 平均21.5歳)が実験に参加した。

**刺激** 視覚パターンテスト(Della Sala et al., 1999)が用いられ、ターゲット刺激は3×3の正方形のマトリクス(黒色セル1個, 白色セル8個)であった。プローブ刺激は3×3のマトリクス(黒色セル4個, 白色セル5個)であった。課

題無関連刺激はネガティブとポジティブ感情を表現する顔画像とステッカー各26枚を用いた。

**手続き** 実験開始前、被験者は、顔画像とステッカーは課題無関係である教示が与られるとともに、画面に提示されたターゲット刺激を記録することが求められた。固視点が提示されてから500ms後にターゲット刺激が1000ms呈示され、1600msの保持インターバルの後、プローブ刺激が呈示され、被験者はプローブ刺激が先に呈示されたターゲット刺激の黒色セルの位置に含まれていたか否かをボタン押しで2秒以内に判断するよう教示された。ターゲット刺激を呈示した前後30msに課題無関連刺激をランダムに挿入された。課題の半数の試行では、記憶刺激とプローブ刺激は一致であり、残りの半数の試行では不一致であった。実験の総試行数は2(感情価)×2(刺激タイプ)×13(繰り返し)×4(ブロック)の208試行であった。

**記録と分析** EEG および EOG は、両側マストイド(TP9, TP10) の平均を基準に再計算された。P200 の振幅は、165-235 ms における頂点に達する陽性電位を前頭部(F3, F4, Fz)において測定した。N170 の振幅は、150-200 ms における最大陰性電位の頂点振幅を頭頂部(P3, P4, Pz)において測定した。NSW は、頭頂部(P3, P4, Pz)で得られた総加算平均波形より、450-850 ms 間を分析区間として平均電位を求めた。LPC は、450-850 ms における前頭部(F3, F4, Fz)の総加算平均波形として算出した。刺激提示前100ms 平均電位をベースラインとして振幅を求めた。アーチファクトが混入した試行を除外して、課題別刺激別に加算平均を行った。

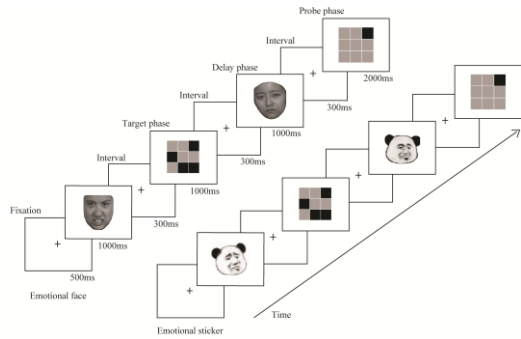


Fig 1. 試行の流れ

結果と考察

感情価(ネガティブ/ポジティブ)×刺激タイプ(顔/ステッカー)の2要因の参加者内分散分析を行った。符号化過程のP200振幅については、刺激の主効果 [ $F_{1, 21} = 5.824, p = 0.025, \eta^2 = 0.217$ ]が有意で、ステッカー(3.66 ± 1.23 μV)の時に顔(3.02 ± 1.25 μV)と比べてP200振幅が大きくなった。刺激と感情価と刺激の交互作用 [ $F_{1, 21} = 5.913, p = 0.024, \eta^2 = 0.220$ ]は有意であり、単純主効果を検定したところ、顔条件では、ネガティブ条件に比較してポジティブ条件で振幅が減少した。ポジティブ条件では、ステッカー条件に比較して顔条件で振幅が減少した。ネガティブな顔情報がより早い段階から注意を捕捉することが示唆された。

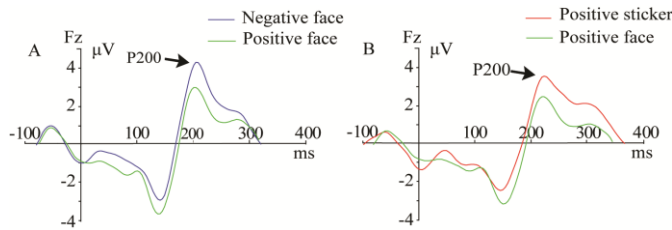


Fig 2. 符号化過程のP200波形

貯蔵過程のN170振幅については、感情価と刺激の交互作用 [ $F_{1, 21} = 5.608, p = 0.028, \eta^2 = 0.211$ ]が有意であり、単純主効果をは、ネガティブ条件においてステッカーよりも顔刺激においてN170の振幅が有意に大きくなった。N170の顔特異性が示された。またステッカーにおいて、ポジティブ条件に比べてネガティブ条件でN170振幅が大きくなった。表情認知とN170のかかわりを示唆された。貯蔵過程のNSWについては、刺激の主効果 [ $F_{1, 21} = 11.521, p = 0.008, \eta^2 = 0.354$ ]が有意であった。ステッカー(-1.03 ± 0.29 μV)のときに顔(-0.52 ± 3.0 μV)と比べてN170振幅が大きくなった。

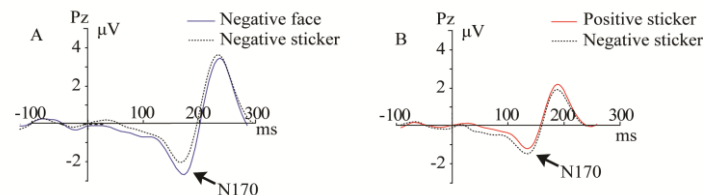


Fig 3. 貯蔵過程のN170波形

検索過程のLPCについては、刺激の主効果 [ $F_{1, 21} = 8.305, p = 0.003, \eta^2 = 0.454$ ]が有意であった。ステッカー(2.42 ± 0.19 μV)のときに顔(2.66 ± 0.21 μV)と比べてLPC

振幅が大きくなった。ポジティブな感情は、課題目標と無関連で課題遂行の妨げとなり、ワーキングメモリー課題遂行を妨害することが示された。

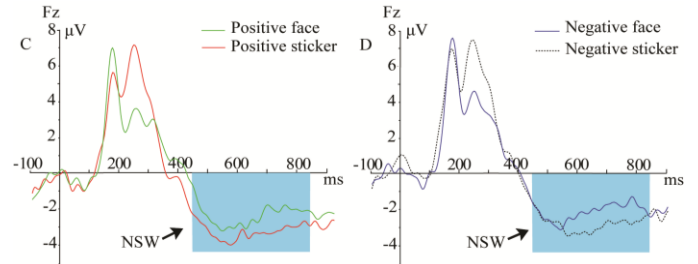


Fig 4. 貯蔵過程のNSW波形

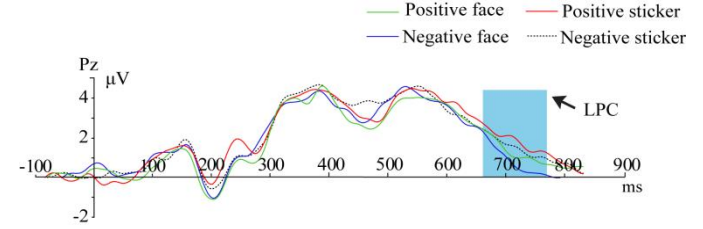


Fig 5. 検索過程のLPC波形

一方、顔と比較して、ステッカーが3つの段階にもより大きな脳波成分を誘発され、ステッカーは、空間作業記憶全過程に間に、注意を引きつける能力を持つことが示された。

結論

本研究では、ステッカーと顔画像が、空間作業記憶の符号化・貯蔵・検索の処理段階において注意に及ぼす影響を調べた。実験結果は、符号化段階ではネガティブな感情が注意を捕捉すること、貯蔵段階ではN170の顔特異性とステッカーが喚起するネガティブな感情に対する注意配分が影響を受けること、検索段階ではネガティブな感情が空間作業記憶を妨害することを示した。それとともに、ステッカーが空間作業記憶の3つの段階において注意を引きつける効果があることが明らかとなった。

脚注

<sup>1</sup> 本研究の内容は下記の論文で発表済みである。

Li, Y., Li, S., Ren, Y., Chen, J., & Yang, W. (2020). The modulation of spatial working memory by emotional stickers and facial expressions. *Frontiers in Psychology, 10*, 3082. doi: 10.3389/fpsyg.2019.03082

引用文献

Bentin, S., Allison, T., Puce, A., Perez, E., & McCarthy, G. (1996). Electrophysiological studies of face perception in humans. *Journal of Cognitive Neuroscience, 8*, 551-565. doi: 10.1162/jocn.1996.8.6.551

Della Sala, S., Gray, C., Baddeley, A., Allamano, N., & Wilson, L. (1999). Pattern span: A tool for unwinding visuo-spatial memory. *Neuropsychologia, 37*(10), 1189-1199. doi: 10.1016/S0028-3932(98)0015

# 視覚的ワーキングメモリに視線・表情が及ぼす影響

土井 菜穂  
大杉 尚之  
小林 正法

山形大学人文社会科学部  
山形大学人文社会科学部  
山形大学人文社会科学部

本研究は視線と表情が視覚的ワーキングメモリに及ぼす影響について明らかにすること、オンライン実験による頑健性を検討することを目的とした。視線手がかりと変化検出課題を組み合わせた Nie et al.(2018)(大学生対象の実験室実験)では、視線と一致する位置に呈示された刺激の変化検出感度が高まるが示されている。視線のみを操作した 2 つのオンライン実験の結果、クラウドワーカーでは、視線手がかりは変化検出感度に影響しなかったが、大学生では、視線手がかりにより変化検出感度が高くなるが示された。また、視線と表情を同時に操作した実験 3 の結果(大学生・オンライン)、怒り顔では、視線と一致する位置の検出感度が高くなったが、無表情と笑顔では視線による検出感度の変化は示されなかった。以上より、1) 視線手がかりが視覚的ワーキングメモリに及ぼす影響は、実験環境に依存すること、2) 怒り顔と組み合わせた場合は、促進効果が生じやすくなるが明らかとなった。

Keywords: visual working memory, gaze, facial expression

## 問題・目的

他者の視線や表情は注意の移動や記憶に重要な役割を果たす。例えば、視線方向と一致位置に提示されたターゲットは、逆の位置に提示されたターゲットより速く検出される (Driver et al., 1999)。この結果から、視線は自動的に注意の移動を引き起こすと考えられている。また、Nie et al. (2018)は、視覚的ワーキングメモリ内の刺激の保持に視線手がかりが及ぼす影響について検討した結果、視線手がかりと一致する条件における図形の変化検出感度(d-prime)が不一致条件及び中立条件に比べて高くなり、変化の有無を判断するまでの時間も短くなることを発見した。すなわち、視線手がかりと一致する位置において視覚的ワーキングメモリ保持を促進することが示された。

このように、視線手がかりは注意を自動的に誘導し、手がかりと一致する位置におけるターゲットの検出や視覚的ワーキングメモリ保持に影響する。一方、視線と表情の組み合わせの効果は検討されておらず、視覚的ワーキングメモリの保持に及ぼす影響は明らかになっていない。また、これまでの研究では実験室実験で大学生のみを対象としており、生態学的妥当性の検証も不十分である。そこで、本研究では視覚的ワーキングメモリ(WM)保持に視線と表情が及ぼす影響について、大学生とクラウドワーカー(CW)を対象にして検討した。

## 方法

### 実験1 視線が視覚的WMに及ぼす影響

**参加者** CW47名(実験1A)と大学生30名(実験1B)が参加した。

**刺激** 顔刺激として女性CGモデル6体を使用した。顔刺激は視線が左向き、右向き、正面向きになるように目の虹彩の位置を調節した。記憶項目としてAlvarez & Cavanagh(2004)で用いられた多角形6つを使用した。

**手続き** 各試行は注視点(500ms)、memory array(250ms)、ブランク(500ms)、顔刺激(1000ms)、probe(<2000ms)の順で提示された。顔刺激は、500ms間は正面向きの顔

(direct gaze)が提示され、後の500ms間で視線が変化した顔(gaze shift)が提示された。Gaze shiftは、視線が後に提示されるprobeの位置を示すvalid条件、逆方向を示すinvalid条件、正面を向いたままのneutral条件の3種類があった。参加者の課題は、memory arrayで提示された多角形を記憶し、probeと同一であるかどうかを判断することであった。視線と一致した位置にprobeが提示される確率は50%であった。全部で144試行が行われた。

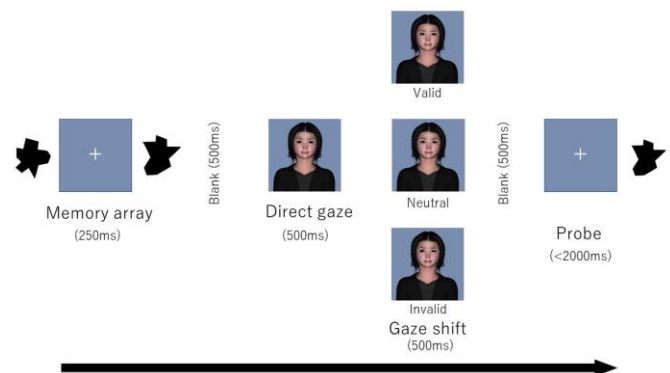


Figure 1. 実験1の手続き

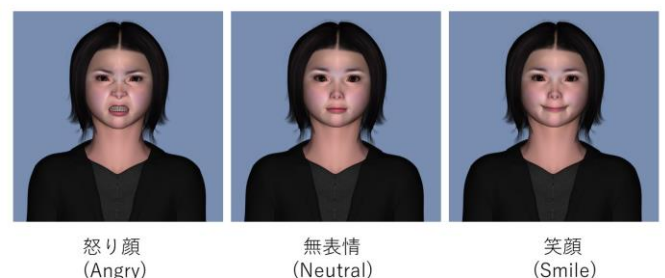


Figure 2. 実験2で用いた顔刺激の例

## 実験2 表情が視覚的WMに及ぼす影響

**参加者** CW50名(実験2A)と大学生29名(実験2B)が参加した。

**刺激** 表情を怒り顔(angry), 笑顔(smile), 無表情(neutral)になるように調整した。視線は正面を向いた状態であった。

**手続き** 顔刺激が1000ms間提示されるうち、はじめの500ms間はneutral表情の顔が提示され、後の500ms間でangryまたはsmileに表情が変化した顔か、neutral表情の顔が提示された。それ以外は、実験1と同様であった。

### 実験3 視線と表情が視覚的WMに及ぼす影響

**参加者** 大学生29名が参加した。

**刺激** 顔刺激は実験2のCGモデルのangry, smile, neutralそれぞれに対して、視線が左向き, 右向き, 正面向きになるように目の虹彩の位置を調節した。

**手続き** 顔刺激の視線と表情の両方が変化する以外は、実験1と同様の手続きだった。実験はangryブロック, smileブロック, neutralブロックがあり、それぞれ本試行が144試行あった。実験参加者は3ブロック合計432試行を行った。

## 結果

**実験1A(CW):** d-primeについて1要因3水準(valid, invalid, neutral)の参加者内分散分析を行った結果、主効果は有意ではなかった( $F(2,92)=0.26, p=.770, \eta_p^2=.006$ )。

**実験1B(大学生):** 同様の分析の結果、主効果が有意であった( $F(2,58)=7.29, p=.001, \eta_p^2=.201$ )。Holm法による多重比較を行った結果、valid条件はinvalid条件よりも高く、neutral条件はinvalid条件よりも高かった。

以上の結果、クラウドワーカーでは視線手がかりは変化検出感度に影響しなかったが、大学生では視線手がかりにより変化検出感度が高くなることが示された。

Table 1. 実験1の手がかりごとのd-primeの平均値

	Valid	Invalid	Neutral
1A(CW)	1.7	1.8	1.8
1B(大学生)	2.0	1.7	2.0

**実験2A(CW):** 1要因3水準(smile, angry, neutral)の分散分析を行った結果、主効果は有意ではなかった( $F(2,98)=0.42, p=.658, \eta_p^2=.008$ )。

**実験2B(大学生):** 同様の分析の結果、主効果は有意ではなかった( $F(2,98)=0.42, p=.658, \eta_p^2=.008$ )。

以上の結果、クラウドワーカーと大学生のいずれも表情手がかり単独では変化検出感度は影響を受けないことが示された。

Table 2. 実験2の表情ごとのd-primeの平均値

	Angry	Smile	Neutral
2A(CW)	1.8	1.8	1.9
2B(大学生)	2.1	2.0	2.0

**実験3(angry):** d-primeについて、表情ごとに視線の主効果を調べた。実験1と同様の分析を行った結果、手がかりの主効果は有意であった( $F(2,56)=4.48, p=.016, \eta_p^2=.138$ )。多重比較を行った結果、valid条件はinvalid条件よりも高かった。

**実験3(smile):** 同様の分析の結果、主効果は有意ではなかった( $F(2,56)=1.79, p=.177, \eta_p^2=.060$ )。

**実験3(neutral):** 同様の分析の結果、主効果は有意ではなかった( $F(2,56)=0.35, p=.709, \eta_p^2=.012$ )。

以上の結果より、怒り顔では視線手がかりにより変化検出感度が高くなったが、笑顔と無表情では有意な差は生じないことが示された。

Table 3. 実験3の表情と手がかりごとのd-primeの平均値

	Valid	Invalid	Neutral
Angry	2.6	2.2	2.4
Smile	2.7	2.5	2.6
Neutral	2.5	2.5	2.4

## 考察

日常場面に近い刺激と環境において視線と表情が視覚的ワーキングメモリに及ぼす影響について検討した。その結果、実験1のクラウドワーカーでは、視線手がかりは変化検出感度に影響しなかったが、大学生では、視線手がかりにより変化検出感度が高くなることが示された。これらの結果は、Nie et al(2018)の結果を完全に再現することはできなかった。その理由として、実験環境や機材の違いによるノイズの影響が挙げられる。したがって、視線手がかりが視覚的ワーキングメモリに及ぼす影響は参加者の属性や実験環境に依存する可能性がある。

また、表情(実験2)および視線と表情の組み合わせ(実験3)が視覚的ワーキングメモリ保持に及ぼす影響については、怒り顔を提示した場合に視線方向に選択的に注意を向け、記憶成績の促進が生じていたことが明らかになった。表情のみが変化する課題(実験2)では、表情の違いが視覚的ワーキングメモリ保持に影響を及ぼさなかったことから、視線と表情の両方の情報が項目の保持に作用する可能性がある。

以上より、1)視線手がかりが視覚的ワーキングメモリに及ぼす影響は、実験環境に依存すること、2)怒り顔と組み合わせた場合は、促進効果が生じやすくなることが明らかとなった。

## 引用文献

- Driver, J., Davis, G., Ricciardelli, P., Kidd, P., Maxwell, E., & Baron-Cohen, S. (1999). Gaze perception triggers reflexive visuospatial orienting. *Visual Cognition*, 6(5), 509-540.
- Nie, Q., Ding, X., Chen, J., & Concia, M. (2018). Social attention directs working memory maintenance. *Cognition*, 171, 85-94.

# ソーシャルロボットによる覚醒効果

原 航基

京都大学工学部情報学科

中澤 篤志

京都大学大学院情報学研究科

竹本 あゆみ

University of Latvia, Omron

In this paper, we show a potential to use a social robot to prevent participants from drowsiness and to keep them awaking. 25 participants were asked to perform Sustained Attention to Response Tasks (SART) and report the drowsiness level. When the system detected the drowsiness from the task reaction time or the self-reports, the social robot performed awakening alarms either 1) robot sound and movement (SAM), 2) robot sound (SR), 3) sound by speaker unit (SO), or 4) no stimulus (NS). The results indicate two findings. First, significant correlation was found between the Intra Individual Variability (IIV) of the task reaction time and the drowsiness levels. Second, the SAM group showed a significant awakening effect in contrast to other groups. Specially, in SR condition, the participants tended to answer that not drowsy although their IIV indicated their drowsiness.

Keywords: social robot, attention, awakening stimulus, drowsiness.

## 問題・目的

眠気は自動車事故の主な要因の1つとして考えられ、近年ではドライバをモニタリングし、眠気を検知するシステムの研究が盛んになされている。しかしドライバを覚醒させ、その覚醒を維持する刺激に関する研究は少ない。また先行研究では、覚醒刺激に同乗者との会話が挙げられるが、同乗者がいる環境を常に維持することは難しい。そこで本研究では、そうした覚醒刺激(アラーム)としてソーシャルロボットを用いることを提案し、ロボットの動作と音声、ロボットの音声、ディスプレイの音声、そしてアラームのない場合の覚醒効果を比較によって検証した。

しかしアラームを検証するにあたり、現在の研究の多くは、自己評価のような主観的指標を用いており、客観性に欠けると考える。そこで眠気を感じている際に見られる特徴の1つである、反応時間の個人内変動Intra Individual Variability(IIV)を用いて評価する手法を提案し、眠気の指標としてself-reportとIIVの2指標を用いた。

その結果、2指標の間で差異が見られたので、その差異の原因を考察する。

## 実験

### 被験者

被験者は25人(男性15人)で平均年齢は21.77歳の学生で、うち3人のデータを、データ不足やCommUの故障といった理由から除き、22人のデータで解析を行った。また実験前に睡眠質とロボットの使用経験に関するアンケートを行い、被験者間のロボットに関する知識や、睡眠習慣において大きな差がないことを確認した。

### 実験環境

モニタのサイズは、23インチであり、着席した被験者から60cm以上離れた位置に設置し、タスクの反応や眠

気の自己評価にはキーボードを使用した。またアラームには、モニタに内蔵されたスピーカーまたはソーシャルロボットであるCommUを使用した。CommUはアラームとして使用する実験でのみ、モニタの隣に設置した。

### 実験の流れ

モニタ中央に1~9までの数字をランダムにひとつ提示し、“3”以外の数字のときに数字キー1~4のいずれかをできるだけ早く押すように指示した。2trials毎に眠気レベルを尋ねる画面を最大で15s表示した。数字が800回表示した時点で1セッションを終了した。実験中に、数字に対する反応時間が閾値を超える、または自己評価で3回続けて“4”(すごく眠い)と回答した場合にアラームを与えた。また刺激間は必ず50trials間隔を開けるようにした。このとき閾値は開始50trialsの反応時間のデータを用いて、 $threshold = mean + 3 * S.D.$ と定めた。

アラームは以下の4種類であり、被験者は各アラームを1セッションずつ4日間でランダムな順で行った。

- SAM : ロボット+音声+動作
- SR : ロボット+音声
- SO : ディスプレイからの音声
- NS : アラームなし

実験後に、その日の睡眠時間と実験前の講義時間、SAM,SRについてのみCommUの視線を意識したかどうかの4段階の評価、また自由記述の感想を被験者に答えさせた。さらに、手遊び等のアラーム以外の眠気に対する影響を考慮するため、実験中の被験者の様子を解析した。このとき睡眠時間と講義時間には被験者間の差はあまり見られなかった。

## 結果

### IIV と self-report の相関性

アラームの影響を除くためNSのデータを用いてIIVとself-reportの相関を調べた。self-reportの各眠気レベルにおけるIIVを被験者毎に求めたところ、self-reportで眠気レベルが高い時はIIVの値も大きくなり、その間に相関係数0.332と有意な正の相関が見られた。しかしself-reportを真値とした、10trials毎のIIVによる識別では、False Positiveが高く、眠気が強いとき、IIVは高いが、IIVが高くとも眠気が強いと自己評価しているとは限らないことが分かった。

### アラームの評価

図1は1~50trial,51~100trialというように50trials毎に、各被験者でself-reportの平均を求め、その平均と標準偏差をアラームの種類毎に示したものである。

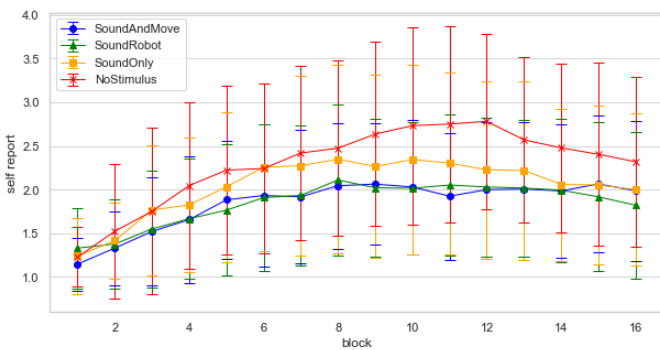


Figure 1. Mean drowsiness index by self-report across 16 subsections of 50 trials duration.

図1より、CommUを用いた群、SAMとSRにおいて、低い値で推移し、NSが最も高く、SOは中間の値を推移していた。

図2は同様の解析をIIVで行ったものである。

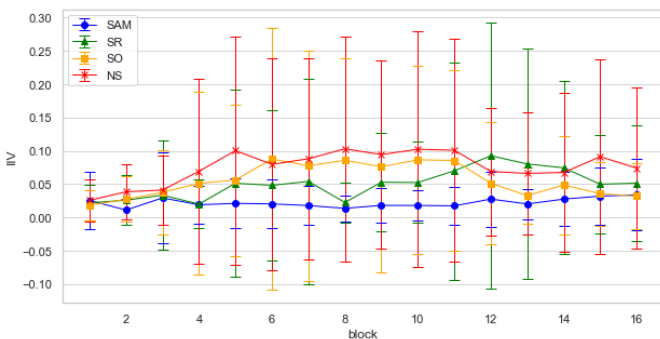


Figure 2. Mean drowsiness index by IIV across 16 subsections of 50 trials duration.

図2によると、NSが最も高く、SOがNSに沿うように推移し、SAMは低い値で維持されていた。一方で、SRは

徐々に増加し、最終的にSRとSOの最高値は同程度のものとなっていた。

またアラームの直前10trialsと直後10trialsでIIVを比較したところ、すべての群で減少傾向にあるが、T検定においてSAMでのみ有意な差が認められた。実験後のアンケートで、SRにおいて9人がCommUの視線の意識に関して、“全く気にならなかった”または“あまり気にならなかった”と回答したが、SAMでは4人と減り、“かつ”全く気にならなかった”は0人だった。

## 考察

IIV と self-report 正の相関が有意であることから、評価の指標として用いることは可能であると考えられる。

self-report では SAM と SR が被験者の覚醒維持効果が見られた。しかし IIV では SAM のみ被験者の覚醒維持効果があり、SR では維持効果が弱かった。

IIV と self-report の結果の際について我々は3つの可能性を提案する。1つ目は、単純に動作という刺激が追加されたため。2つ目は、ソーシャルロボットの動作にミラーニューロンが働いた、あるいは安静時にα波が優位になる視覚野を刺激した。3つ目は、ソーシャルロボットの視線を意識し、眠ってはならないと考えていた。特に3つ目はアンケートの結果とも一致する。

## 結論

本研究は、IIVを用いたアラームの客観的評価手法を提案し、この手法を用いてソーシャルロボットによる覚醒効果を検証した。結果として、IIVは効果の評価に用いることができることがわかった。さらにソーシャルロボットは、動作と音声の両方を用いることで覚醒効果が得られることが分かった。またその効果の理由は、ソーシャルロボットを監視者として認識し、眠ってはならないという意識を生むためである可能性がある。

## 引用文献

- Gottesman, C. and Williams, A.: Beware the watcher: The effects of direct gaze on attention to human faces, *Journal of Vision*, Vol. 9, No. 8, pp. 230–230 (2009).
- Ogilvie, R. and Wilkinson, R.: Behavioral versus EEG-based monitoring of all-night sleep/wake patterns., *Sleep*, Vol. 11 2, pp. 139–55 (1988).
- 小林隆史, 藤井達史, 紀ノ定保礼, 篠原一光, 蜂須賀知理, 柿崎勝: 同乗者との会話によるドライバの覚醒維持とメンタルワークロードへの影響の検討, *自動車技術会論文集*, Vol. 48, No. 2, pp. 457–462 (2017).



# 仮想空間内における仮想手の光点提示に対する身体所有感および自己受容感覚ドリフト

中山 友瑛  
片山 正純

福井大学大学院工学研究科知能システム工学専攻

福井大学学術研究院工学系部門知能システム工学講座

近年、人工身体や仮想身体に対する身体意識(身体所有感および運動主体感)が活発に研究されており、特に身体所有感の成立には身体の形態的類似性が重要な要因の一つである。この観点から、本研究では形態的類似性を構造的類似性と外見的類似性に分類し、構造的類似性は満たしているが外見的類似性が極めて低い2種類の仮想手(光点提示と骨格提示)に対する身体所有感および身体部位定位について調査した。実験1では、仮想手を見ながら学習課題を繰り返したときの身体意識について調査した。身体所有感の評定値の分布が双峰性を示したため、2群に分けて評価した。高い群では、骨格提示に対して初期段階から身体所有感が高い評定値となったが、光点提示では課題の繰り返しによって骨格提示と同程度まで上昇した。実験2では、仮想手を回転して提示して同様の課題を繰り返したときの身体所有感および身体部位定位について計測した。全参加者において身体所有感の評定値は実験1と比較して低くなったが、身体部位定位は仮想手方向にドリフトした。これらの結果は、外見的類似性が極めて低い仮想手に対しても身体所有感が成立する可能性があることを示している。

Keywords: virtual hand, point-light display, skeleton display, sense of body ownership, proprioceptive drift.

## 問題・目的

ゴム手錯覚において、ゴム製の手に対して身体意識が成立することが知られており(Botvinickら, 1998)、近年では仮想空間内の仮想身体に対する身体意識についても活発に研究されている。この一時的な身体意識は運動主体感と身体所有感に分類されている(Gallagher, 2000)。さらに、身体所有感の成立には、時間的同期性および空間的一致性だけでなく、形態的類似性も重要な要因である。そこで、本研究では、形態的類似性を、関節の数や関節の配置、指の長さなどの物理パラメータに関する構造的類似性と皮膚表面のテクスチャなどの特徴に関する外見的類似性に分類する。本研究では、構造的類似性は満たしているが、外見的類似性が極めて低い仮想手(光点提示と骨格提示)に対する身体所有感について調査した。さらに、仮想手が見えている状態での定位(視覚的身体部位定位)と見えていない状態での定位(自己受容感覚ドリフト)についても調査した。

## 方法

**実験1**: 右利きの18名(年齢 $21.7 \pm 0.82$ )が参加した。参加者の手・指運動をCyber GloveとFastrakにより計測し、モニタに表示した仮想手を同期して動作させた。ただし、実験中は参加者自身の手は見えないようにした。仮想手は、指先と関節の各位置に光点を配置した光点提示とその光点間を直線で結んだ骨格提示の2種類とした。実験は被験者内計画とし、仮想手の順番は参加者間でカウンターバランスをとった。まず、参加者は仮想手を見ながら右手の母指と示指の各指先の開閉動作を1分間実行し、その後表示した2つの小円板に各指先を合わせる学習課題を20試行を行った。その直後に身体意識に関するアンケート調査を実施した。このアンケート調査はKalckertら

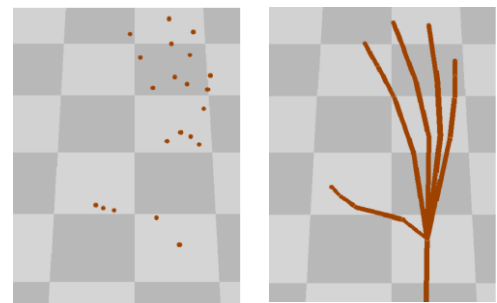


Figure 1. 仮想手(左: 光点提示, 右: 骨格提示)

(2012)のアンケート項目を一部改変して作成した。アンケート調査では-3点から3点までの7段階リッカード尺度で評価し、「非常に同意できる」を3点、「どちらとも言えない」を0点、「全く同意できない」を-3点とした。本研究では身体所有感と運動主体感のそれぞれの評定値が0より大きい場合には「成立している」と判断し、評定値が0以下の場合には「成立していない」と判断した。上記の学習課題とアンケート調査を1セットとして、3セット繰り返した。

**実験2**: 右利きの10名(年齢 $22.5 \pm 1.43$ )が参加した。ただし、1名が特異な傾向を示したためアウトライアとして除外した。実験1と同じ仮想手を回転して提示した。実験は被験者内計画とし、仮想手の順番は参加者間でカウンターバランスをとった。まず、参加者は実験1と同様の開閉練習とアンケート調査をおこない、その後実験1と同様の学習課題とアンケート調査を5セット行った。視覚的身体部位定位は、仮想手の表示前、仮想手を表示した直後(BP)、開閉練習後(AP)、学習課題の各セット後においてそれぞれ計測した。自己受容感覚ドリフトは全セット終了後に仮想手を表示しないで計測した(ND)。視覚的身体部位定位と自己受容感覚ドリフトのそれぞれの計測値は、仮想手の表示前に計測した位置との差分によって算出し、仮想手方向へのドリフト量を正とした。

## 結果

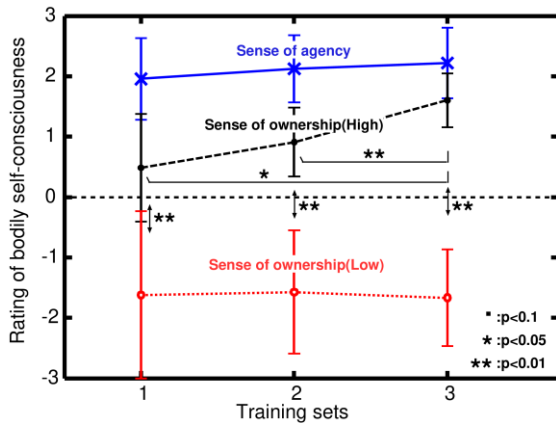


Figure 2. 光点提示における身体意識のアンケート結果

**実験1:** 運動主体感は両提示において初期段階から高い評定値となった。身体所有感については、仮想手の両提示における第3セットの評定値が双峰性を示したため、光点提示の第3セットの評定値が0より大きい群と0以下の群の2群に分けて評価した(高: 11名, 低: 7名)。仮想手の両提示に対する身体所有感は各セットにおける群間の評定値に有意差が認められた( $p < 0.01$ )。両提示において身体所有感の低い群では0より有意に低くなった( $p < 0.05$ )。一方、身体所有感の高い群では、骨格提示において初期段階から身体所有感が成立していたのに対して( $p < 0.05$ )、光点提示においては学習課題を繰り返すにつれて身体所有感が上昇し、第3セット目には骨格提示と同程度まで上昇した。

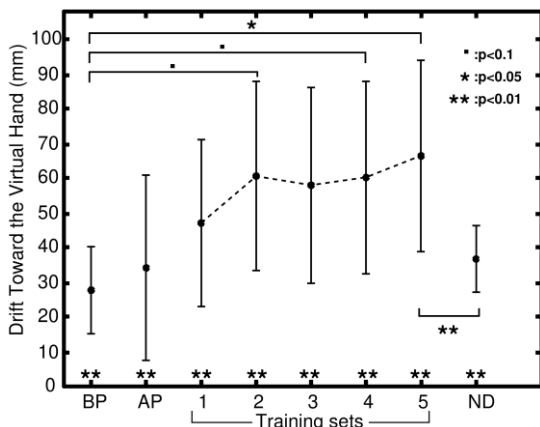


Figure 3. 光点提示におけるドリフト量の計測結果

**実験2:** 仮想手の両提示に関する運動主体感はAP以降の全ての段階で非常に高い評定値となった。一方、両提示における身体所有感は全ての評定値が0より低くなる傾向を示した。両提示における視覚的身体部位定位において、BP, AP, 各セットでのドリフト量が0より有意に大きくなっており( $p < 0.05$ )、セット毎に上昇していた。また、NDにおいてドリフト量が0より有意に大きい値をとっており( $p < 0.01$ )、自己受容感覚ドリフトが生じていた。さらに、両提示におけるNDでの自己受容感覚ドリフトのドリフト量は第5セットでの視覚的身体部位定

位のドリフト量と比較して減少した(光点提示:  $p < 0.1$ , 骨格提示:  $p < 0.01$ )。ただし、全セットのドリフト量において条件間での有意差は認められなかった( $p > 0.1$ )。

## 考察

我々の先行研究(Katayamaら,2016)において、外見的類似性の高いリアルな仮想手に対する身体意識を調査した結果では、学習課題を繰り返したときに身体所有感の評定値が上昇する群と低いままの群が存在した。低い群では「ゲームの手を操作しているようだ」と内観報告した参加者が少なからず存在した。これは、仮想手に対する身体所有感の感じ方が2通り存在していることを示唆している。この観点から、本研究においても評定値の度数分布が双峰性を示したため、2群に分けて評価した。

Tieriら(2015)は身体の不連続性が身体所有感を低下させることを報告している。本研究における仮想手の光点提示は光点間が不連続であるため身体の連続性を満たしていないが、運動課題の繰り返しにより連続性を満たしている骨格提示と同程度まで身体所有感の評定値が上昇した。これは、光点運動から生体運動を知覚したことにより脳内で光点間が補間された可能性がある。

外見的類似性が極めて低い仮想手に対しても、身体部位定位のドリフトと自己受容感覚ドリフトが生じた。これらのドリフト量に関して条件間に差がみられなかったことから、仮想手の連続性の有無による影響は見られなかった。また、身体所有感の不成立時にもドリフトが生じており、身体所有感と身体部位定位が独立していることを示唆しているため、運動主体感によってドリフトが生起している可能性も考えられる。

## 結論

本研究では、外見的類似性が極めて低い仮想手(光点提示と骨格提示)に対する身体所有感および身体部位定位について調査した結果、骨格提示だけで無く光点提示に対しても身体所有感が成立する可能性があることが示された。さらに、外見的類似性の極めて低い仮想手に対しても身体部位定位がドリフトすることが示された。

## 謝辞

本研究はJSPS科研費19K12729の助成を受けて実施した。

## 引用文献

- Botvinick, M. & Cohen, J. (1998). *Nature*, 391 (6669), 756.
- Gallagher, S. (2000). *Trends in Cognitive Sciences*, 4 (1), 14-21.
- Kalckert, A. & Ehrsson, H. H. (2012). *Frontiers in Human Neuroscience*, 6 (40).
- Katayama, M. & Akimaru, Y. (2016). In *Neural Information Processing of Lecture Notes in Computer Science*, 9950, 199-207, Heidelberg: Springer-Verlag.
- Tieri, G., Tidoni, E., Pavone, E. F. & Aglioti, S. M. (2015). *Experimental Brain Research*, 233 (4), 1247-1259.

# 周辺視野に呈示された自然画像の色判断における注意の効果の検討

大久保らな  
横澤一彦  
河邊隆寛

東京大学大学院人文社会系研究科

東京大学大学院人文社会系研究科

NTT コミュニケーション科学基礎研究所

周辺視野では色覚が乏しいにもかかわらず、全視野的な色経験が生じる。このような周辺視野における色知覚に対する注意の効果を検討した。自然画像の色を回答する色判断課題と（周辺課題）、注視点付近に継時的に呈示された文字の中から枠で囲まれた標的文字を回答する RSVP 課題を同時に遂行させた（中心課題）。RSVP 課題の呈示時間、すなわち課題の難易度は3水準あった。色判断課題において、画面中心から 9 / 13 / 17 / 21 / 25° の範囲の外側を選択的に無色化した自然画像に対して「フルカラー」という誤った判断がなされた割合（「カラー」回答率）に対し、有色範囲と中心課題の難易度を要因とする 2 要因分散分析を行った。呈示時間と有色範囲との相互作用の分析から、特定の偏心度において、中心課題の難易度が高いほどミックス画像を「カラー」と答えてしまう割合が増加することが示され、中心課題の注意負荷によって周辺視野における色知覚が変容する可能性が示唆された。

Keywords: peripheral vision, color perception, attention, visual awareness

## 問題・目的

周辺視野では中心視野に比べ色感度が低い (Curcio et al., 1990)。一方、我々は視野全体にわたって色のついた外界を知覚している (Cohen et al., 2020)。これを「汎視野の色知覚」と呼ぶ。周辺視野は中心視野より注意が向けられにくいいため、このような注意の空間的特性によって汎視野の色知覚が生起している可能性がある。これまでに自然画像の局所的な輪郭を減損させると、汎視野の色知覚が減少することが知られている (Balas & Sinha, 2007) が、注意などのトップダウン要因の関与については十分に検討されていない。

そこで本研究では、中心視野における注意課題の難易度が汎視野の色知覚に影響するか、特に、中心視野での注意負荷が低いほど、汎視野の色知覚が減少するかを検討する。具体的には、自然画像の周辺部領域を選択的にグレースケール化した画像に対して、参加者が「フルカラーだ」と回答してしまう割合として汎視野の色知覚を測定し、この「カラー」回答率が中心視野での注意課題の難易度が低いほど減少するかを明らかにする。

## 方法

中心視野での課題難易度と周辺視野知覚の関係を調べる方法として、注視点付近に注意を要求する中心課題と、画面周辺部に注意の影響を調べたい周辺課題で構成される二重課題法がある (Joseph et al., 1997)。

本研究では、注視点およびブランクがそれぞれ 500ms 表示された後、中心課題である RSVP 試行が開始した (図1)。周辺課題である色判断課題は、ターゲット文字のオンセットと同時に開始した。1試行の最後に、参加者は RSVP 課題の標的文字と、自然画像の色判断を、時間制限なしでキー押しにより回答した。

中心課題は、継時的に呈示される複数のアルファベットの中から、1つの標的文字（四角形の枠で囲まれた文字）を検出するという RSVP 課題であった。1試行に20~25個の文字が含まれ、標的文字は最初の文字から6番目~11番目のいずれかに出現した。1文字あたりの呈示時間は、83ms / 117ms / 150msの3水準が存在した。3水準の呈示時間は各96試行ずつ出現した。

周辺課題は、48° × 32° で呈示された自然画像の色を判断する課題であった。森林や野原の画像データベース (Geisler, & Perry, 2011) から選択された360枚の画像に対し、彩度を操作しないフルカラー条件、画面全体の彩度を0にするグレースケール条件、一部の領域のみ選択的に無色化するミックス条件を設定した。ミックス条件では、画像の中心部から、視角 9 / 13 / 17 / 21 / 25度の範囲にのみ色がつき、それより外の領域は無色化されていた。フルカラー条件とミックス条件の生起確率は等しく、それぞれ120試行ずつ出現した。グレースケール条件は、48試行出現した。

参加者は44名（平均22.0歳、うち男性26名、女性18名）で、色覚スクリーニングを行った。練習10試行の後、360試行からなる本試行が開始した。うち二重課題条件は288試行であった。

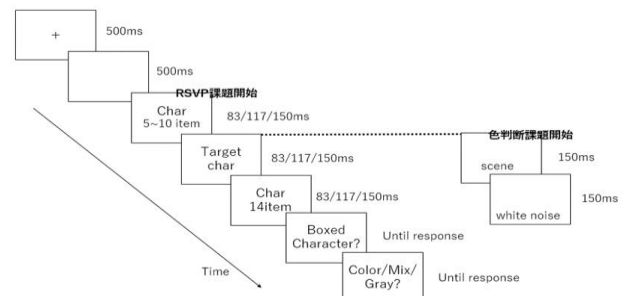


図1. 1試行の流れ

## 結果

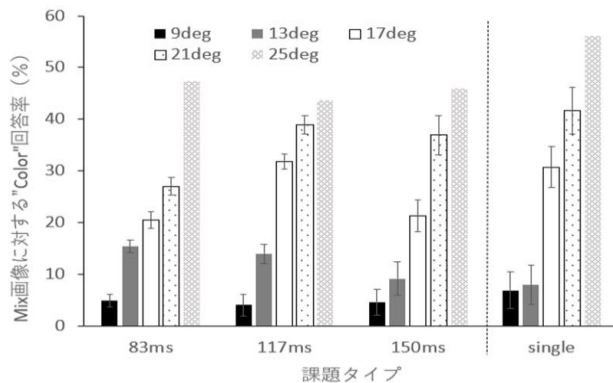


図2. ミックス画像に対する「カラー」回答率

以降の分析では、中心課題の難易度に応じた周辺課題の成績の変化について扱う。ミックス画像に対し「カラー」と誤って回答してしまう割合（「カラー」回答率）を図2に示した。なお、この分析ではRSVP課題で正答した試行のデータのみを用いている。また、図2では、色判断課題を単独で実施した72試行での「カラー」回答率を、“single”条件として、二重課題条件との比較のために記載した。二重課題時の「カラー」回答率に対して、中心課題の呈示時間（83 / 117 / 150ms）と周辺課題の有色範囲（9 / 13 / 17 / 21 / 25°）を参加者内要因とした2要因ANOVAを行った。

ANOVAの結果、呈示時間の主効果があった ( $F(2, 86) = 5.15, p = .008, \eta^2 = 0.006$ )。一方で、ポストホックt検定（ボンフェローニ法）を行ったところ、「カラー」回答率は、83msでは117msよりも低く ( $p = .011$ )、150msでは117msよりも低かった ( $p = .043$ )。すなわち、117msで最も「カラー」回答率が高く、汎視野の色知覚に対する線形な呈示時間の効果はみられなかった。また、有色範囲の主効果もみられた ( $F(4, 172) = 118.67, p < .001, \eta^2 = 0.525$ )。Balas & Sinha (2007)と同様に、有色範囲が大きいほど、ミックス画像に対する「カラー」回答率が高くなっていた。また、有色範囲と呈示時間の交互作用があった ( $F(8, 344) = 5.23, p < .001, \eta^2 = 0.025$ )。マスク幅の単純主効果は83ms ( $F(4, 516) = 52.84, p < .001$ )、117ms ( $F(4, 516) = 60.01, p < .001$ )、150ms ( $F(4, 516) = 66.00, p < .001$ ) でみられた。呈示時間の単純主効果は17度 ( $F(2, 430) = 10.97, p < .001$ ) と21度 ( $F(2, 430) = 11.19, p < .001$ ) でみられた。13度では有意傾向だった ( $F(2, 430) = 2.94, p = .054$ )。Ryan法による多重比較の結果、多くの条件間で有意差があった。特に、83ms ( $t(516) = 3.40, p < .001$ ) と117ms ( $t(516) = 3.22, p < .001$ ) では、9度より13度の方が高かったが、150msでは9度と13度の差がなかった ( $t(516) = 1.47, p = .14$ )。これは、有色範囲に応じて周辺視野領域における選択的な無彩色化に気づきにくくなる傾向が、中心課題での負荷が高い時に強まることを示している。

## 考察

本研究では、汎視野の色知覚を、周辺視野を選択的に無彩色化した画像に対して「フルカラーだ」と誤って認識してしまう程度として測定し、先行研究で示された汎視野の色知覚に対する有色範囲の効果を再現できた。重要なことに、中心課題の難易度、すなわち注意負荷によって、汎視野の色知覚が変化した。呈示時間の増加に応じて線形に汎視野の色知覚が変化するわけではなかったが、交互作用に関する分析より、9度から13度の有色範囲において、中心課題の負荷が高いときに、汎視野の色知覚が強められた。これは仮説を部分的に支持する結果である。このとき、中心課題が難しい場合でも中心課題に正答するだけの焦点的注意は向けられていた一方で、中心課題が易しい場合に比べて周辺課題に注意を向けにくかったことが予想される。したがって、周辺視野に対する注意量が低いときに汎視野の色知覚が強まった可能性がある。一方で、より大きな偏心度ではこのような傾向が確認されなかったことから、汎視野の色知覚に対する注意の効果は偏心度依存性である可能性がある。

本研究は、汎視野の色知覚、ひいては周辺視野での色意識が、注意というトップダウンの枠組みで変調されるということを初めて示した研究であり、周辺視野での色知覚の研究文脈上で重要な意義を持つものである。一方で、偏心度依存的な注意の効果の理由、および、課題難易度と注意の焦点化のどちらが汎視野の色知覚を変化させたかは本研究では明らかにできていない。本研究では約17度の偏心度までは色判断がチャンスレベル以上に可能であり、周辺視野の限定的な色覚感度を考えると、例えば周辺視野に複数呈示された色の平均や分散を知覚するアンサンブル知覚のような形で、周辺視野の色の有無を判断していた可能性がある (Bronfman et al., 2014)。周辺視野知覚における色の圧縮的な知覚が、偏心度依存的な注意の効果を説明するかもしれない。今後、どの視覚要因に対して注意が影響したのかを明らかにする必要がある。

## 引用文献

- Balas, B., & Sinha, P. (2007). “Filling-in” colour in natural scenes. *Visual Cognition*, 15(7), 765-778.
- Bronfman, Z. Z., Brezis, N., Jacobson, H., & Usher, M. (2014). We See More Than We Can Report: “Cost Free” Color Phenomenality Outside Focal Attention. *Psychological science*, 25(7), 1394-1403.
- Cohen, M. A., Botch, T. L., & Robertson, C. E. (2020). The limits of color awareness during active, real-world vision. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 117(24), 13821-13827.
- Curcio, C. A., Sloan, K. R., Kalina, R. E., & Hendrickson, A. E. (1990). Human photoreceptor topography. *Journal of comparative neurology*, 292(4), 497-523.
- Geisler, W. S., & Perry, J. S. (2011). Statistics for optimal point prediction in natural images. *Journal of Vision*, 11(12), 14-14.
- Joseph, J. S., Chun, M. M., & Nakayama, K. (1997). Attentional requirements in a ‘preattentive’ feature search task. *Nature*, 387(6635), 805-807.

# 色のミスマッチは視覚刺激の再認の時間を短縮する

川島 淨子  
高雄 元晴

東海大学情報理工学部情報科学科  
東海大学情報理工学部情報科学科

視覚性短期記憶において、色のミスマッチが色の視覚刺激(以後、色刺激と称する)の再認に及ぼす影響について研究した。先に呈示した色刺激の配置と後に呈示される色の配置が一致した場合(マッチ条件)と不一致の場合(ミスマッチ条件)で、再認までにかかる時間を比較した。その結果、ミスマッチ条件で有意に反応時間の短縮が見られた。第一の要因としては、色刺激の呈示時間1500msと300msの実験で1500msのみでこの現象が確認されたことから、1500msの間の視覚的注意で幾度も記憶の上書きが繰り返され、VSTMに消失しにくい頑健な表象が形成したことが関連したと推測する。また第二の要因としては、今回の色刺激がポップアウトのような顕著性の高い刺激であった可能性が考えられる。顔や図形を用いたこれまでの研究で一致した見解が見られていないミスマッチの再認に及ぼす影響について、本研究で初めて色のミスマッチにより、再認にかかる時間が短縮することを見出した。

Keywords: visual short-term memory, color, recognition, mismatch, popout.

## 問題. 目的

眼球内に入射した光は、網膜の最外層にある錐体でとらえられ、その分光分布から青、緑、赤の色として抽出される。その後、網膜内のニューロンにより情報処理される。その際、色に関する記憶は網膜においてごく短時間だけ視覚性感覚記憶(visual sensory memory: VSM)として保持される。網膜から伸びる視神経を通して脳に送られた色の情報は、第一次視覚野を経て脳の表層にある下側頭葉にある第四次視覚野に伝えられ、視覚性短期記憶(visual short-term memory: VSTM)として一時的に登録される。なお、VSTMは100-300msの間保持され、その後数十秒の間はVSTMとして保持されることが知られている。

VSTMに関する最初の色刺激と後で呈示する色刺激が一致の場合(以後、マッチ条件と称する)と不一致の場合(以後、ミスマッチ条件と称する)の再認にかかる時間を与える影響は、これまでのところ一致した結果は得られていない。形(顔、物体)、サイズを変えた刺激を用いた研究では、マッチ条件で再認するときと比べて、ミスマッチ条件で再認するときと比べて反応時間が長くなると報告されている(Downing, 2000)。また5つの図形に5色を組み合わせた刺激を用いた研究でも、同様の結果が報告されている(Liang & Hu, 2017)。一方で、課題とは無関係な無意味図形を呈示しながら、複数の文字の中から特定の文字を探し出す視覚探索課題では、探索課題の前に呈示された無意味図形を記憶していた場合に、探索課題時に呈示された無意味図形と課題前に呈示された無意味図形がミスマッチ条件であることで、マッチ条件のときと比べて視覚探索に掛かる時間が短くなることが報告されている(Tan & Zhao, 2014)。しかしながら、色刺激の再認に関しては、ミスマッチ条件における色刺激の再認にかかる時間の短縮に関する研究がこれまで行われてこなかった。そこで、本研究では、VSTMに及ぼす色図形の配置のミスマッチ条件の効果について検証することを目的とした。

## 方法

**実験参加者** 本実験には、心身ともに健康で正常な視覚を有する15名の男女大学生が被験者として参加した。15名の内、反応時間および平均正答率が標本平均±標本標準偏差の3倍値を超えていた各1名のデータを省いた13名(男性12名、女性1名、年齢幅[年齢±標準偏差: 22.6±2.0才])の結果を解析対象とした。また、別日に行った実験条件には2名が参加できなかったため、11名(男性10名、女性1名、年齢幅[年齢±標準偏差: 22.7±2.1

才])の結果を解析対象とした。

**装置** 視覚刺激は、縦横比5:4、解像度1280×1024ピクセルの17インチCRTモニターで呈示した。課題は心理学用実験制御プログラムソフトウェアSuperLab5を用いて作成した。実験はシールドルーム内にて行い、被験者は、モニターとの距離56cmの位置に座り、あご台であごの額を固定した。

**刺激と実験手続き** 色刺激と課題と実験手続きを図1に示す。

色刺激は、色刺激を用いて再認成績を確かめた研究の実験方法(Kardos & Toth, 2014)を参考に、彩度の高い5色、赤、黄、緑、シアン、紫のそれぞれが着色された5つの正方形であり、大きさは視角6.5°×6.5°であった。色刺激は黒の画面上に5つ呈示され、画面中央部から各色刺激の中心部までの距離は視角7.4~16.0°であった。色刺激の配置に関して、事前実験の内観より、画面の真上の位置は記憶しやすいという意見が多数を占めたため、時計回りに14°の位置、または、反時計回りに14°の位置を始点として、5つの色刺激を72°毎の位置に等間隔で配置した。両者は1実験あたり同数発生された。色刺激の配色は時計回りに赤、黄、緑、シアン、紫とし、色の配置のミスマッチ条件は5色のうちの2色のみ入れ替えて変化させ、マッチ条件、ミスマッチ条件は同数発生させた。

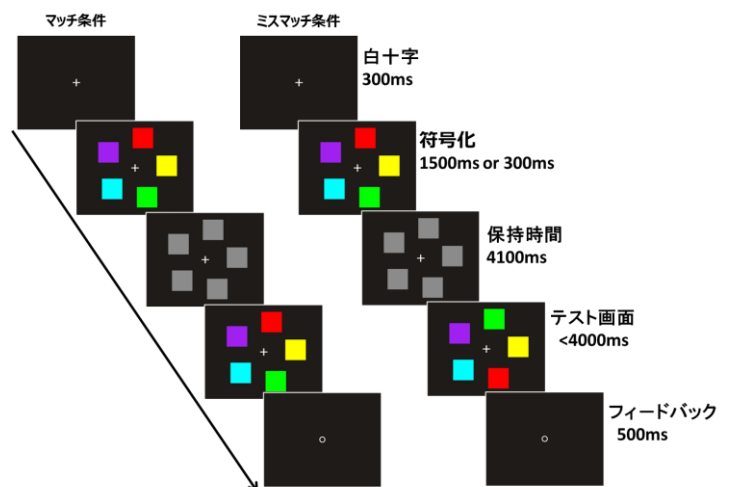


図1 実験フロー(vDMTSレイアウト(1500ms))

色刺激は視覚遅延見本合わせ(visual delayed match to sample: vDMTS)で呈示した。被験者には300ms間、画面中央の白十字を

注視させた。次に符号化画面として最初の色刺激を 1500ms 間呈示した。次に 4100ms 間、グレーの色刺激を同じ 5 箇所に呈示し、記憶を保持させた。その後再びテスト画面として 5 色の色刺激が呈示され、ここで被験者には最初の色刺激と後で呈示する色刺激が一致か不一致かを判定させた。一致ないし不一致の判断ができ次第、出来るだけ早く手元の応答パットのボタン(左:一致、右:不一致)を押させた。最後に、被験者の回答が正解か不正解かを画面中央に○、×の記号で表示しフィードバックを行った。これら一連の課題が 1 試行であり、実験は 1 ブロック 24 試行を 6 ブロック、合計 144 試行で構成した。被験者には、1 ブロック(24 試行)が終了すると、実験を続けて行うか否かを自身で選択させた。休息を設けることで疲労対策とした。

**データ解析** 統計解析は SPSS 19 (IBM、東京)を用い、呈示時間が 1500 ms と 300 ms で分け、それぞれで対応のある t 検定を行った。有意差水準は 5%未満とし、データはすべて平均±SE で示した。

## 結果

呈示時間が 1500ms の時のミスマッチ条件で有意に反応時間が短縮した( $t=4.420$ ,  $df=12$ ,  $P<0.001$ )。一方、呈示時間が 300ms の時には有意差は見られなかった( $t=1.453$ ,  $df=10$ , ns)。またマッチ条件およびミスマッチ条件の正答率はともに個人差が大きく、有意な差は 1500ms、300ms ともに見られなかった(それぞれ  $t=2.027$ ,  $df=12$ , ns;  $t=1.692$ ,  $df=10$ , ns)。

## 考察

先に呈示した色刺激の配置と後に呈示される色刺激の配置がマッチ条件とミスマッチ条件で、再認までにかかった時間を比較した結果、色刺激の配置のミスマッチにより再認にかかる時間が速まった。色の配置のミスマッチ条件で再認にかかる反応時間の短縮が呈示時間1500msの時のみにみられた要因として、色刺激の呈示時間の間の視覚的注意とポップアウト刺激が関連した可能性があると推測する。

第一の要因である視覚的注意は、実験後の被験者の内観で、全員が呈示時間の間は記憶の定着化を図るために、色の配置を覚える順や色の言語化など戦略をたてて実験に臨み、呈示時間300msでは時間が短く記憶の定着化は完全ではなかったと述べていることから、呈示時間1500msと300ms中の記憶の符号化の差異が要因として関与した可能性があると推測する。Rensink (2000)、Becker & Pashler (2000)は、視覚情報はVSMが減衰する前に注意を向けることによってVSTMの処理過程で表象となると報告しているおり、本研究において、色刺激の呈示時間1500msが視覚的注意により幾度も記憶の上書きが繰り返しVSTMに消失しにくい頑健な表象が形成するのに十分な時間となり、300msとは異なる結果をもたらしたと推測する。

第二の要因は、本研究の色刺激が、ポップアウト(Maljkovic & Nakayama, 2002)のような顕著性の高い刺激であった可能性が考えられる。ポップアウトとは対象が他の対象から非常に目立ちポップアウトして(「飛び出して」)知覚される現象であり、Lee & Yang (2002)のポップアウト現象を報告した実験では、刺激は陰影により立体に見えるシンプルな課題内容であり、かつ妨害刺激の数も少ないことがポップアウトを誘発することが明らかにされている。本研究の色刺激は5色のうちの2色のみを変化させたシンプルな課題内容である点が、のポップアウトを誘発する刺激の特徴と類似している。さらに、Lee & Yang (2002)は、ポップアウトは第二次視覚野で発生すると報告している。通常の色知覚が生じる視覚的情報処理過程は第四次視覚野であるため、本研究で色の記憶の再認を速めた要因として、色の情報の伝達経路において、第四次視覚野よりも前の第二次視覚野で再認されるこのポップアウト現象が関与したと考えられる。

## 結論

本研究では視覚刺激の配置が色の記憶に及ぼす影響について研究した。先に呈示した色刺激の配置と後に呈示される色刺激の配置がマッチ条件とミスマッチ条件で、再認までにかかった時間を比較した。その結果、色刺激の配置のミスマッチにより再認にかかる時間が短縮することを初めて見出した。

## 引用文献

- Downing PE. (2000). Interactions between visual working memory and selective attention. *Psychol Sci*, 11: 467-473
- Liang T., Hu Z. (2017). Liu Q. Frontal theta activity supports detecting mismatched information in visual working memory. *Front Psychol*, 8: 1821
- Tan J., Zhao Y., Wu S., Wang L., Hitchman G., Tian X., Li M., Hu Li, Chen A. (2014). The temporal dynamics of visual working memory guidance of selective attention, *Front Behav Neurosci*, 8: 345
- Kardos Z., Toth B., Boha R., File B., Molnar M. (2014). Age-related changes of frontal-midline theta is predictive of efficient memory maintenance, *Neuroscience*, 273: 152-162
- Rensink R.A. (2000). The dynamic representation of scenes, *Vis Cog*, 7: 17-42
- Becker M.W., Pashler H., Anstis S.M. (2000). The role of iconic memory in change-detection tasks. *Perception*, 29: 273-286
- Maljkovic V., Nakayama K. (1994). Priming of pop-out: I. role of features. *Mem Cog*, 22: 657-672
- Lee T.S., Yang C.F., Romero R.D., Mumford D. (2002). Neural activity in early visual cortex reflects behavioral experience and higher-order perceptual saliency, *Nat Neurosci*, 5: 589-597

# 機械学習を用いた頭部・眼球運動からのパーソナリティ推定

蟹江 大成  
山下 純平  
瀧本 祥章  
熊田 孝恒

京都大学大学院情報学研究科  
NTT アクセスサービスシステム研究所  
京都大学大学院情報学研究科  
NTT サービスエボリューション研究所  
京都大学大学院情報学研究科

本研究では、頭部・眼球運動と個人の心理状態・特性（特にパーソナリティ）の関係を明らかにすることを目的とした。眼球運動は、環境中の刺激からのボトムアップ情報やその時点でのゴール状態といったトップダウン情報に大きく影響されるが、さらには、個人差の影響も受けることが知られている。本研究では、眼鏡型計測デバイスを装着した被験者が紙文書の校閲課題を実施している間の頭部・眼球運動を計測し、そのデータからパーソナリティに関係する変数（潜在変数）を取得する機械学習の生成モデルを作成した。そして潜在変数を用いて生成データを観察し、頭部・眼球運動とパーソナリティの関係を調べた。その結果、頭部・眼球運動からパーソナリティの潜在変数を抽出することができ、また、潜在変数の変化にともなう生成データの挙動から、パーソナリティ特性に特徴的な頭部・眼球運動を特定することができた。

Keywords: eye movements, personality, big five, machine learning, GAN, InfoGAN.

## 問題・目的

眼球運動は、周囲の状況を知覚するために起こるだけでなく、その際の意図や興味、感情状態などによっても変化する。そのため、私たちは日常のインタラクションにおいて、他者の眼球運動を見ることで、相手の行動や感情を理解し、予測し、その意図や状態などを説明することができる。このことから、個人の心理特性や心理状態に対応した眼球運動が生起するということが予想される。実際、パーソナリティ特性によって眼球運動のパターンが変化し、同じようなパーソナリティ特性を有する人は似たような眼球運動を示すことが報告されている (Rauthmann et al., 2016)。

Hoppe や Berkovsky らは、機械学習を用いて、眼球運動からパーソナリティ特性の強さを分類し、予測できることを報告している (Berkovsky et al., 2019; Hoppe et al., 2018)。しかし、これらの研究の問題点として、特徴量を人手で作成しているため、事前に想定した単純な統計量しか、モデルに考慮させることができない点がある。また、質問紙によるパーソナリティスコア（特性値）を、連続値ではなくクラスとして扱っている（ある特性が強い・中程度・弱いなど）ため、連続的に特性値が変化した場合に、どのように頭部・眼球運動が変化していくのかを表現できない（クラス内での個人差を無視している）。

そこで本研究では、ニューラルネットワークを用いて、パーソナリティ潜在変数を抽出し、その潜在変数から、頭部・眼球運動の時系列データを生成する過程のモデリングを目指す。このようなモデルを用いることにより、パーソナリティ潜在変数と対応した、頭部・眼球運動の時系列データの疑似的な生成が可能になる。これにより、特徴量をあらかじめ仮定することなく、眼球運動とパーソナリティ特性の関係を考察できるようにすることが期待される。また、パーソナリ

ティ潜在変数を連続値として扱うことで、パーソナリティ特性のクラス分けに伴う、クラス内での個人差の問題が解消される。

## 方法

大学生14名（平均21.8歳）に対して事務作業を模した課題として紙文書の校閲課題を与え、その際の頭部運動および眼球運動を測定した。測定には、眼鏡型の眼電位計測装置 (JINS MEME) を用いた。ビッグファイブパーソナリティ質問紙 (TDPI) を用いて被験者ごとにスコアを算出した。潜在変数を獲得するモデルは、InfoGANを採用した。InfoGANは、機械学習の生成モデルのひとつであるGANを応用したものであり、測定データに似たデータを生成する過程で、その測定データに顕著な変数を潜在変数として自動的に獲得することができる。

## 結果

InfoGANによる学習で自動的に獲得された潜在変数が、パーソナリティ特性によるものなのかを評価した。縦軸に質問紙によって得られたパーソナリティスコア、横軸に獲得した潜在変数をとり散布図をプロットしたものが図1である。また、パーソナリティスコアと潜在変数の相関係数を表1に示す。これらの結果から、獲得したパーソナリティ潜在変数が誠実性であったことが示唆された。

表1. パーソナリティスコアと潜在変数の相関係数

Big 5	外向性	協調性	誠実性	神経症傾向	開放性
$r$	-0.179	-0.357	0.465	0.067	0.069

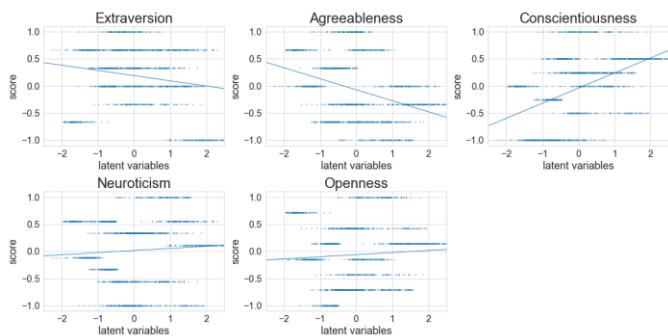


図1. パーソナリティスコアと潜在変数の関係性

InfoGANは、潜在変数を獲得するだけではなく、測定データを生成する過程も学習する。学習したモデルを用いてランダムにデータを生成した結果を図2に示す。これは、校閲課題中の頭部・眼球運動データの重要な性質を概ね捉えていると考えられ、学習がうまく進んだことが示唆された。

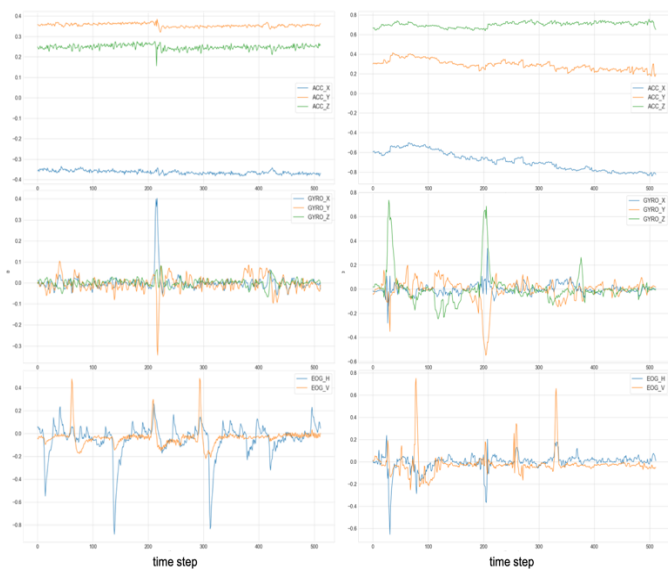


図2. 装置から得られた頭部・眼球運動データ (左) と InfoGANによって生成した頭部・眼球運動データ (右)  
(上: 加速度計, 中: 回転角速度, 下: 眼電位)

## 考察

誠実性を表していた潜在変数を変動させながら、学習後のInfoGANを用いて、頭部・眼球運動データを生成した。横軸を潜在変数の値、縦軸に加速度は平均値、回転角速度と眼電位は平均変化量を取りプロットした結果を図3に示す。加速度の図から、潜在変数の値が大きくなる(誠実性が高くなる)と、よりうつむくことが示唆される。眼電位の図から、潜在変数の値が小さくなる(誠実性が低くなる)と、視線がよく動くことが示唆される。つまり、誠実性が高いと、一貫して下をむいて校閲課題に取り組み、また、眼球を文書に沿って規則的に移動させている様子が示唆される。

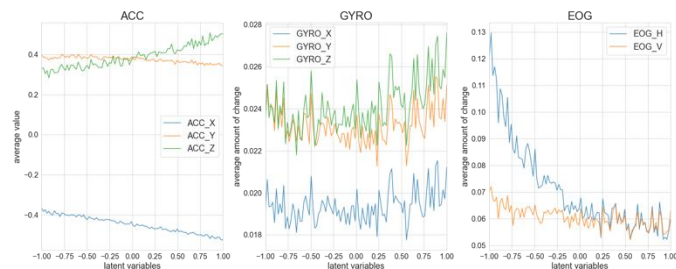


図3. 誠実性の潜在変数を変動させながら頭部・眼球運動データを生成させた際の各センサの平均値や平均変化量の変動

このように、パーソナリティ特性に関連した潜在変数を獲得し、その潜在変数を変動させながら生成させた頭部・眼球運動データを分析することによって、頭部・眼球運動とパーソナリティとの新たな関係性についての示唆を得ることができるようになる。

また、校閲課題中の頭部・眼球運動データから、InfoGANを用いて自動的に獲得できたパーソナリティ潜在変数が誠実性に関連するものだけであったことから、頭部・眼球運動に影響を与えるパーソナリティ特性が課題に依存する可能性が示唆された。

## 結論

本研究では、頭部・眼球運動とパーソナリティとの新たな関係性を考察するための方法として、機械学習の生成モデルを用いた方法を提案し、以下のような結論を得た。1) 頭部・眼球運動データから個人差の潜在変数を自動的に獲得できる。2) 頭部・眼球運動とパーソナリティ特性に連続的な相関を示す因子があり、潜在変数として現れる。3) 課題によって、頭部・眼球運動に影響を与えるパーソナリティ特性に差がある可能性がある。

本研究の課題としては、データ数が少なく汎化が十分ではない可能性があることや、波形である生成データから、運動の有無やその性質を特定する確立された方法がない(特に頭部運動)ために、生成データに対する分析が十分に行えていないことが挙げられる。今後は、以上のような問題を解消することを目指す。

## 引用文献

- Rauthmann, J. F., Seubert, C. T., Sachse, P. & Furtner, M. R. (2012). Eyes as windows to the soul: Gazing behavior is related to personality. *Journal of Research in Personality*, 46(2), 147–156.
- Hoppe, S., Loetscher, T., Morey, S. A. & Bulling, A. (2018). Eye movements during everyday behavior predict personality traits. *Frontiers in Human Neuroscience*, 12, 105.
- Berkovsky, S., Taib, R., Koprinska, I., Wang, E., Zeng, Y., Li, J. & Kleitman, S. (2019). Detecting personality traits using eye-tracking data. *Proceedings of the 2019 CHI Conference on Human Factors in Computing Systems*, 1–12.



# 未就学児のひらがな習得と音韻意識: 追跡および大規模調査に基づく発達過程と評価基準の検討

奥村 安寿子

一橋大学森有礼高等教育国際流動化機構 / 日本学術振興会

北 洋輔

一橋大学森有礼高等教育国際流動化機構 / University of Helsinki

北村 柚葵

九州大学芸術工学府

大山 帆子

東京都立永福学園

櫻井 晴子

立教大学大学院現代心理学研究科

浅野 倫子

立教大学現代心理学部

文字の読みとその基盤になる認知能力は未就学期から発達が進み、日本語では多くの子どもが就学前からひらがなの読みを獲得する。筆者らの追跡研究ではさらに、就学前年にひらがな清音の読み獲得が不完全であると、1年生時の読み困難リスクが高かったことから、本研究では未就学児(4-6歳)の大規模調査により清音獲得の達成要因を検討した。読み獲得の重要な基盤として音韻意識を指摘した先行知見に基づき、調査では2種類の音韻意識課題(分解・抽出)を実施し、清音の読み獲得(40/45文字以上)に必要な発達水準とその予測性を検討した。その結果、単語中の全位置(語頭・語尾・語中)で音韻抽出が可能なのが、清音獲得の達成を最も強く予測した。このことから、未就学期の発達過程として、単語からのモーラ抽出能力がほぼ完成した後に、あるいはそれと並行して清音全ての読み獲得が可能になることが示唆され、本研究で得られた基準値と合わせて、読み困難の早期スクリーニング法の確立に寄与することが期待される。

Keywords: 読み発達, 未就学児, 文字知識, 音韻意識, ひらがな

## 問題・目的

読み書きの正式な指導は通常、初等教育で始まる。しかし、多くの幼児は就学前から文字の読みを獲得し始め、ひらがなの清音では大多数が就学前年までに完了する(太田ら, 2018)。未就学期の文字知識は、就学後の読み困難を予測することが示されており、筆者らの縦断研究では、就学前年に読めた清音が40/45文字未満であった児の80%以上が、小学校1年生時の音読速度検査で読字障害の基準に該当した(Okumura et al., in prep)。

一方で、文字の読みは音韻意識の獲得に依存することも指摘されている。音韻意識とは、単語を構成する言語音を音節や拍などに分解し、それらを同定、抽出、操作する能力と定義される(原, 2001)。ひらがなの読み獲得と音韻意識については、分解と抽出は読みに先立って発達が進み、読み獲得は語頭音抽出の部分的な獲得の後に始まることが示されている(天野, 1970)。しかしながら、清音の完全な読み獲得に係る音韻意識の影響や両者の関係性については検討されていない。

そこで本研究では、4-6歳の未就学児を対象に文字の読みと音韻意識(分解・抽出)に関する大規模調査を行い、先行研究から示された清音の通過基準(40/45文字以上)の達成における、音韻意識の寄与と必要な発達水準を明らかにすることとした。

## 方法

**参加者** 日本国内の幼稚園・保育園に在園する1415名(男児728, 平均月齢 $68 \pm 5.58$ , 51-81ヵ月)が参加した。

**課題と手続き** 全参加者について、個別・対面形式で清音の音読および音韻意識課題を実施した。清音の音読では、45文字をランダム順に並べた表を提示し、1文字ずつ声に出して読むよう求めた。音韻意識課題では、清音のみからなる2または3モーラの名詞12語(各6語)を口頭提示した。各刺激語について、まず単語を言いながら手をたたき(分解)、続いて指定した位置のモーラを言うよう求めた(抽出)。抽出位置ごとの問題数は、語頭・語尾(2モーラ:各3問, 3モーラ:各2問)、語中(3モーラ:2問)であった。

**分析方法** 清音の音読では、正読数を記録した。分解課題では拍手の回数が正しかった単語数、抽出課題では正しいモーラを口頭で回答できた単語数をそれぞれ正答数とした。清音の到達基準は、筆者らの先行研究に従って40文字とし、正読数が基準未満ならば「不完全」、以上ならば「獲得」とした。この清音の獲得状況(不完全・獲得)を独立変数とし、月齢、性別、分解の獲得(不完全・獲得)、および抽出の獲得(不完全・獲得)を説明変数とした2項ロジスティック回帰分析を行い、分解および抽出の基準値、ならびに未就学児の清音獲得に対する音韻意識の寄与を検討した。

表1. 各課題成績の記述統計

課題	M	SD	範囲	歪度
清音の音読	33.91	16.34	0-45	-1.16
音韻意識: 分解	11.38	1.50	1-12	-2.93
音韻意識: 抽出	9.43	3.90	0-12	-1.54

## 結果

清音の音読と音韻意識課題の結果を表1に示した。分解課題で全参加者の78%が満点であった一方、抽出は右寄りの分布ではあるが、正答が0問の児が10-12問に次いで多かった。そこで、回帰分析では、分解の獲得基準を正答11問(未満:不完全, 以上:獲得)とした。抽出については、設定可能な全基準値(1-12問正答)について、年齢、性別、分解を含めた回帰モデルを比較したところ、モデルの当てはまりの良さを示すAIC (Akaike Information Criterion) が11問で最小となったため、抽出も正答11問(未満:不完全, 以上:獲得)を基準とした。

表2は、上述した分解・抽出の獲得基準を用いた、清音獲得の2項ロジスティック回帰分析の結果を示す。Hosmer-Lemsho検定 ( $p = .40$ ) およびMcFaddenの疑似 $R^2$  (.264) より、モデルの適合度は良好と判断された。表1より、いずれの変数も清音の獲得を有意に予測し、月齢が高い、女兒、分解および抽出を獲得できていると、清音の獲得の達成比率が高くなることが示された。オッズ比は抽出の獲得が最も高く、全モデルパターンにおける寄与率と増分 (McFaddenの疑似 $R^2$ ) の比較でも (dominance analysis; Azen, et al. 2009), 抽出が一貫して他の変数を上回った。

そこで、抽出と清音の獲得について分割表を作成し(表3), 抽出の獲得状況に基づく予測精度を求めたところ、清音の獲得基準に達していない児は多くが抽出も不完全であり(感度: .740), 達している児はおおむね抽出も獲得していることが示された(特異度: .813)。

## 考察

4-6歳の未就学児において、清音の読みが40文字以上獲得されているか否かは、通過基準を正答数11/12問以上とした音韻抽出の獲得状況から最も強く予想された。本研究の課題構成に基づく、未就学期に清音

表2. 清音の獲得に対する各変数の予測性

説明変数	調整済みオッズ比 [95%信頼区間]	p 値
月齢	1.05 [1.02-1.07]	.0002
性別	2.00 [1.53-2.63]	< .0001
分解の獲得(基準: $\geq 11$ 問)	2.17 [1.49-3.17]	< .0001
抽出の獲得(基準: $\geq 11$ 問)	9.77 [7.40-12.9]	< .0001

注: 2値変数は清音, 分解, 抽出(獲得=1, 不完全=0), 性別(男児=0, 女児=1)とした。

表3. 音韻抽出および清音の獲得の分割表

抽出の獲得	清音の獲得(基準: 40文字以上)		
	不完全	獲得	行計
不完全 (<11問)	347 (25)	177 (13)	524 (37)
獲得 ( $\geq 11$ 問)	122 (8)	769 (54)	891 (63)
列計	469 (33)	946 (67)	1415

注: カッコ内は参加者全体に占める割合 (%) を示す。

の読み獲得をほぼ完了するには、2-3モーラ語の全位置(語頭・語尾・語中)において音韻抽出が可能であることが、重要な達成要因と解釈できる。従って、音韻抽出の発達は、清音の獲得開始(天野, 1970)のみならず、完了に至る上でも重要であり、後者の達成にはより高い抽出能力を要することが示唆された。

これらより清音の読み獲得は、単語からのモーラ抽出能力がほぼ完成した後に、あるいはそれと並行して完了すると考えられる。その背景として、語中や語尾の音韻表象が確立することで、生活や遊びで目にする単語中の全ての文字を音(モーラ)と結びつけることができるようになり、文字同士の区別や文字-音対応の効率が大幅に向上することで、清音45文字の読み獲得に至ることが想定される。一方、音韻抽出が不完全であると、文字-音対応が進みにくく、文字の視覚的特徴等に依存して覚えざるを得ないことで、読める文字数が増えにくくなると考えられる。

従って、未就学期の読み評価では、就学前年までに読める清音の数を確認し、基準に達していない場合は、音韻抽出の評価や指導を進めることが有効と考えられる。ただし、抽出成績が基準未満、さらには正答が0問でも清音を獲得できていた児が一定数いた。そのため、上記とは異なる読みの発達過程や、その要因となる発達および認知特性についても検討する必要がある。

## 結論

未就学児における清音の獲得状況は、音韻意識の発達水準と強く関連し、全ての清音が読める段階に至るには、音韻抽出能力の完成が重要であることが示唆された。本研究の知見と得られた基準値は、読み困難の早期発見および支援に寄与することが期待される。

## 引用文献

- 天野清 1970 語の音韻構造の分析行為の形成とかな文字の読みの学習 教育心理学研究, 18, 12-25.
- Azen, R. & Traxel, N. 2009 Using Dominance Analysis to Determine Predictor Importance in Logistic Regression, *Journal of Educational and Behavioral Statistics*, 34, 319-347.
- 原恵子 2001 健常児における音韻意識の発達 聴能言語学研究, 18, 10-18.
- 太田静佳・宇野彰・猪俣朋恵 2018 幼稚園年長児におけるひらがな読み書きの習得度, 音声言語医学, 59, 9-1

# オントロジーによる心理実験データベースの作成

上田 祥行  
大塚 幸生  
齋木 潤

京都大学こころの未来研究センター  
京都大学大学院人間・環境学研究科  
京都大学大学院人間・環境学研究科

Up to now, many studies have been conducted in experimental psychology. Some of these studies have dealt with the same phenomenon, and meta-analysis of these studies has been used to examine the validity of the phenomenon. However, many of them only confirm the presence or absence of the phenomenon, and do not summarize the data to allow for flexible further examination of the effect from various aspects (e.g., the region where the experiment was conducted, the age, race, and native language of the participants). Therefore, we propose the creation of a database of psychological experiments using ontology. An ontology is a method used in information science to describe the relationship between concepts in a certain domain. In this study, using the Stroop task as an example, we have constructed an ontology that can be a platform for a database. Aggregating past findings based on this structure enables us to summarize these findings in flexible perspectives. Since the basic structure can expand to different tasks used in psychological experiments, it can be applied not only to the Stroop task but also to all kinds of psychological experimental research.

Keywords: cultural difference, executive attention, Stroop effect, ontology, research database.

## 問題・目的

ヒトが、世界をどのように捉えているのかを知るためには、基礎的な知覚 (外界の情報をどのように取り込むか) と高次の思考 (その情報から世界をどのように構築し、認識するか) の両方を考える必要がある。さらに、ヒトは、その情報処理を生態環境や行動環境に適応させることで、生物学的な豊かさを獲得してきたことを考えると、基礎的な知覚と高次の思考に、文化や環境 (国、人種、街並み、使用言語、社会構造、歴史、宗教など) を含めた重層的で多角的な議論が不可欠である。しかし、一人の研究者や一つの研究グループが、あらゆる種類の心理実験を世界中で行うのは極めて困難である。そこで、過去に様々な地域・方法で行われた研究を柔軟な形で比較・検討できるようにプラットフォーム化したデータベースを構築することを目指す。これにより、時間と労力を少なくしながら、ヒトの認知と環境の相互作用についての仮説を獲得し、これに基づいた精巧な行動実験を行うことが可能となる。

これまででもメタ分析として、ある課題における過去の研究結果の集約は行われているが、多くの場合、現象の有無を確認するに留まっており、様々な面 (例えば、実験が行われた地域や参加者の年齢、人種、使用言語) から効果を柔軟に検討できる形になっていない。本研究では、情報学で用いられてきたオントロジーを援用する。オントロジーでは、あるドメイン (ここでは心理プロセス) 内の概念と概念の関係をモデル化し、記述する。ここにそれぞれの研究が行われた地域や方法、参加者のデモグラフィックデータ (年齢・人種・居住地・言語・心理疾患等)、課題成績を含有することにより、様々な切り口から差異を検証できるようにすることが本研究の提案である。心理プロセスの概念間の関係性をモデル化した研究はあるが (例えば Poldrackら (2011) の Cognitive Atlas)、研究結果を含め

たデータベースはなく、このことが過去の知見を網羅するための一つの障壁となっている。

本研究では、心理実験の課題として頻繁に用いられる Stroop 効果 (例えば、赤色のインクで書かれた“青”の文字と、青色のインクで書かれた“青”の文字に対して、インクの色を答えるなど、課題に無関係の情報が課題に関係している情報と不一致である場合には、一致の場合よりも解答が遅くなるという現象; Stroop, 1935) をもとにオントロジーを構築する。Stroop 効果は、色と文字の組み合わせだけでなく、感情を使ったものなど課題のバリエーションが豊富であり、心理実験だけでなく、臨床場面など、世界各地で頻繁に実施されている。また、課題の中には、参加者の文化的背景によって効果が異なるものがあることも報告されており (Ishii et al., 2003 など)、本研究が意図するデータベース構築の足掛かりとするのに適した題材である。

## 方法

開発環境として、オープンソースオントロジーエディタである Protégé 5.5.0 (<https://protege.stanford.edu/>) を使用した。

実験心理研究論文の構造に関わる部分である「研究論文」「実験」「人」をクラスとして設定した。また、各論文が持っている特徴を体系化し、柔軟な検索に対応できるように、「実施地域」や「使用言語」、「課題」「反応方法」などの実験手続きに関わる部分と、「職業」「疾患」「利き手」「第一言語」などの実験参加者に関わる部分をそれぞれクラスとして設定した。今後、Stroop 課題からの拡張することを考え、「心理効果 (Psychological Effect)」をクラスとし、「ストロープ効果 (Stroop Effect)」はこのクラスのインスタンス (クラス内の個体) とした。各クラスのインスタンスは、PubMed で “Stroop” をキーワードに検索し、該当した論文から構成した。

オントロジーにおいて、関係性は3つのデータ、つまり「主語 (domain)」「述語 (property)」「目的語 (range)」、の組み合わせによって表現される。本研究で規定したクラス間の関係性を Figure 1 に示す。Figure 1 の左上に示された部分では、心理実験の結果を報告した「実験心理研究論文」は、「心理実験」を「含んだ」ものであるということが記述されている。同様に、Figure 1 の上部では、「実験心理研究論文」は「心理効果」を「調査対象としている」ことが記述されている。以下、「心理実験」は「実験参加者」を「集めて」行われること、「実験参加者」はある「職業」を「身分として持って」いたり、ある「身体・心理疾患」を「疾患として有して」いたりすることが示されている。

さらに、本研究では、各心理実験で報告されている実験結果を属性 (パラメータ) としてこの構造に含める。Figure 1 では、緑の四角でこの属性を示す。つまり「心理実験」は「反応時間」や「正答率」、「Stroop効果の効果量」をパラメータとして持っていることが記されている。また、「実験参加者」の「年齢」もパラメータとして含めることが可能である。

### 考察

この構造を利用することで、実験が実施された国・地域と実験の結果を結合することが可能となる。これによって、ある国・地域で実施されたStroop効果の大小を一覧にまとめることが可能なデータベースとなる。また、Figure 1 に示すように、国や地域でまとめるだ

けでなく、実験参加者の職業や身体・心理疾患、年齢で実験結果をまとめたり、実験で使用された言語や反応の方法 (キー反応か口頭反応か) などで実験結果をまとめたりすることができる。これによって国や地域ごと、あるいは実験参加者の特性ごとの結果の頑健性を確認できるだけでなく、実験方法による結果の一貫性などを確認することができ、再現性の検討にも資することができる。

本研究で提案されたオントロジー構造はStroop効果に限定されるものではなく、拡張性を持っている。Stroop効果は「心理効果」のクラスのインスタンスであり、調査対象とする心理効果が変化しても、このオントロジーの構造は変化するものではない。そのため、課題を超えて、実施された国や地域の結果を集約したり、職業や疾患などの影響を検討したりすることが可能である。しかし、実際に対象の論文から各クラスのインスタンスを設定し、入力するにはかなりの時間が見込まれるため、実用化していくためにはデータ収集のための工夫が必要になる。

### 引用文献

Poldrack, R. A., Kittur, A., Kalar, D., Miller, E., Seppa, C., Gil, Y., et al. 2011 The cognitive atlas: Toward a knowledge foundation for cognitive neuroscience. *Frontiers in Neuroinformatics*, 5, 17.

Stroop, J. R. 1935 Studies of interference in serial verbal reactions. *Journal of Experimental Psychology*, 18, 643–662.

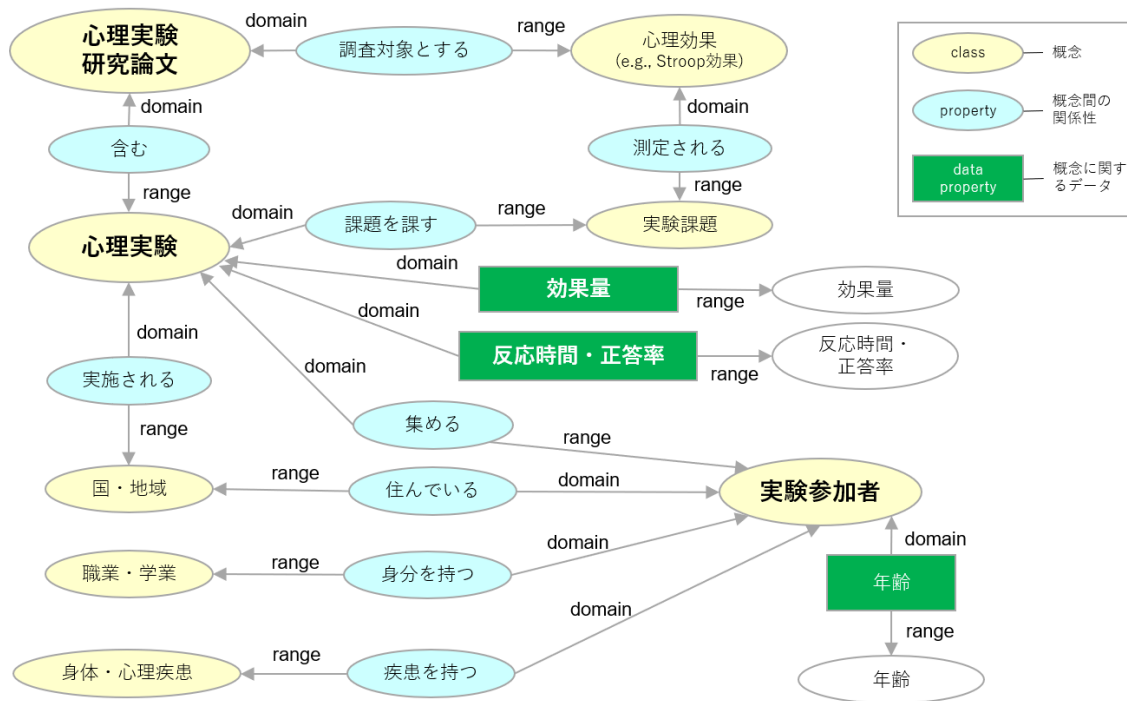


Figure 1. An ontology structure of the Stroop task. Three-word sets consisting of class and property represent the relationships between concepts. The domain denotes the subject and range denotes the predicate (therefore, relationships in the upper left is indicative of “research paper consists of experiments”).

# 他者と行う共同探索が統計学習に与える影響

坂田 千文  
上田 祥行  
森口 佑介

京都大学文学研究科  
京都大学こころの未来研究センター  
京都大学文学研究科

Object layouts repeatedly shown in visual search are accumulated in memory and become cues for the target (i.e., contextual cueing effect). In this study, we examined whether a target that a friend searched for, alongside the participant searching for another target, captured attention, and afterwards it was searched faster in learned layouts. Pairs of friend participants were assigned to the joint-no-one's-target group and the joint-friend's-target group, and individuals who participated alone were assigned to the single group. Exemplars of three target category (i.e., bird, shoe, and tricycle) were shown among familiar objects. In the learning phase, participants searched for one target category. In the subsequent transfer phase, the joint-no-one's-target group searched for the target that no one had searched for in the learning phase, while the joint-friend's-target group searched for the friend's target. The single group searched for no-one's target. The results showed the contextual cueing effect in the learning and transfer phases, and the magnitude of the effect was comparable across the groups. An exploratory analysis revealed that the effect in the end of the learning phase was correlated with that of the beginning of the transfer phase only in the joint friend's-target group. This suggests that the learned contexts were utilized when searching for the friend's former target and provides preliminary evidence that the friend's target might be attended more intensely.

Keywords: joint action, shared attention, statistical learning, contextual cueing, joint visual search.

## 問題・目的

散らかった部屋の中で他者と一緒に別々の物を探索するとき、他者が探しているものに目を留めることがある。しかし、それはどの程度注意を引き、それがどこにあったのかについてはどの程度記憶されるだろうか？他者と一緒にPC画面を見る場面において、呈示されたドットが他者の視線停留位置であると教示されると、そこに注意が向きやすい (Gobel et al., 2018)。ただの妨害刺激と違って、他者が探しているという知識により他者の標的刺激は注意を引き、探索空間に関する記憶に影響を与える可能性が考えられる。

複数の妨害刺激の中から標的刺激を探索することを繰り返すと、標的刺激と妨害刺激の配置が文脈として学習され、探索時間が短縮する。これは文脈手がかり効果と呼ばれる (Chun & Jiang, 1998)。Conci and Müller (2012) によると、妨害刺激 (T) の中に標的刺激 (左または右向きのT) と似た刺激 (上または下向きのT) が含まれるとき、文脈が学習された後に上または下向きのTを新たな標的刺激として探索しても、文脈手がかり効果は変わらずに観察された。一方で、日常物体を用いた課題では、妨害刺激に対する探索は速まらなさとされている (Vö & Wolfe, 2012)。本研究ではこのパラダイムを用いて、他者の標的刺激が注意を引くものとして他の物体よりも強く学習されるかを検討した。

## 方法

参加者はJoint群かSingle群として、ペアまたは一人で課題を行った。Joint群には友達同士の18ペア、Single群には18人が参加した。

刺激には日常物体が用いられた。参加者は3種類の標的カテゴリ (i.e., 鳥、三輪車、靴) から各々異なるカテゴリを標的として割り当てられた。各試行では、13

個の妨害刺激と3種類の標的カテゴリから1個ずつの計16個がモニタ上に呈示された (図1)。参加者は割り当てられた標的カテゴリを探し、その左右向きを解答した。全刺激の位置とidentityが保持されて呈示されるRepeated条件と、標的刺激の位置とidentityのみが保持され、妨害刺激はランダムに呈示されるControl条件が設けられた。これらの試行を学習フェイズとして、16試行からなるブロックを25ブロック行った。

その後、Joint群をさらに2つの群に分け、一方の参加者は学習フェイズでどちらも探さなかった標的カテゴリを探索するように教示され (Joint-no-one's-target群)、もう一方はパートナーの探索した標的カテゴリを探索するように教示された (Joint-partner's-target群)。Single群には前者と同じ教示をした。これらの試行をテストフェイズとして、10ブロック行った。

探索課題の後、記憶課題が行われた。探索場面が呈示され、参加者はどの程度見覚えがあると感じるかを7件法 (1 = 全く見覚えがない、7 = とてもよく見覚えがある) で回答した。

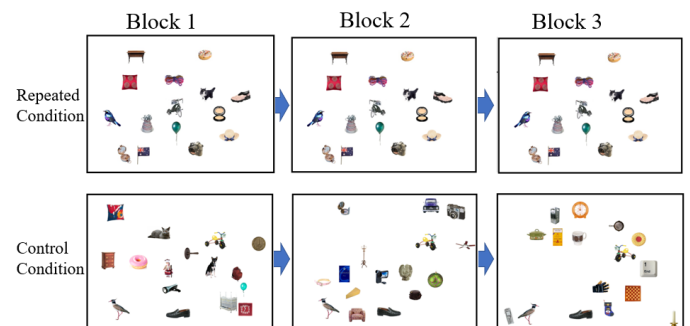


図1. 上段は Repeated 条件の探索画面の例、下段は Control 条件の探索画面の例。

## 結果

反応時間が3秒以上および0.2秒以下であった試行のデータを除外し、参加者が正答した試行のみを分析対象とした。5ブロックの平均値を1エポックとして算出した反応時間を図2に示す。

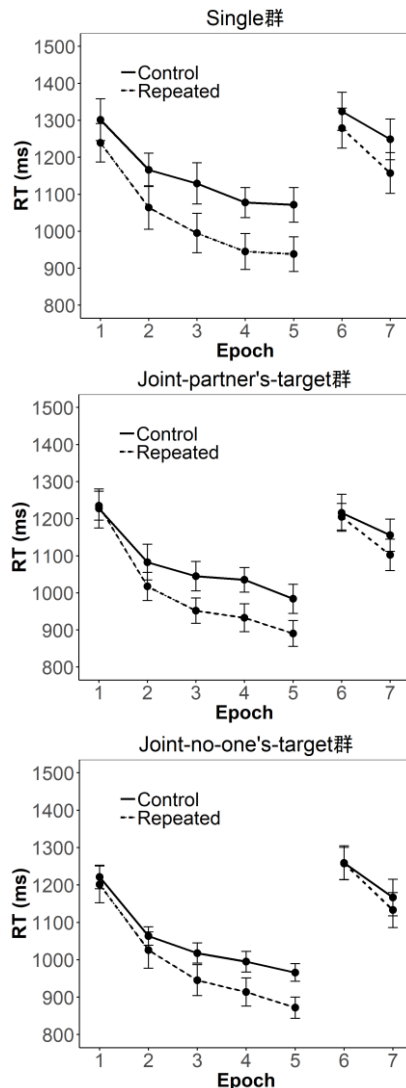


図2. 平均反応時間のグラフ。エラーバーは標準誤差。

学習フェイズの文脈がかり効果について検討するため、1から5エポックの反応時間を従属変数とした分散分析(群×反復×エポック)を行った。その結果、反復とエポックの交互作用が有意だった( $F(4, 204) = 10.82, p < .001, \eta_p^2 = .18$ )。下位検定の結果、1エポック目では反復の効果が見られなかったが、2エポック以降では見られた。群による交互作用は見られなかった。

同様に、テストフェイズにおける反応時間を分析すると、反復とエポックの交互作用が見られた( $F(1, 51) = 4.14, p = .047, \eta_p^2 = .75$ )。下位検定の結果、変更直後の6エポック目では、変更前の物体の配置系列を反復することによる効果はなかった。その後の7エポック目において反復の効果が見られた。しかし、この効果と群との交互作用は見られなかった。

探索的分析として、Repeated条件とControl条件の差について、学習フェイズの最後である5エポック目と

テストフェイズの最初である6エポック目の相関を各群で調べると、Joint-partner's-target群にのみ有意な相関が見られた( $r = .75, p < .001$ )。

## 考察

分析の結果、テストフェイズの最初の文脈がかり効果は学習フェイズの開始時点と同程度にしか現れないことが分かった。標的刺激の変更直後から文脈がかり効果が観察されたConci and Müller (2012)では、変更後の標的刺激(縦向きのT)が変更前の標的刺激(横向きのT)と似ていたため、変更後の標的刺激が学習フェイズでも注意を引いていたと考えられる。これに対し、本研究の標的刺激はお互いに異なる視覚的特徴を持っていたため、これらの刺激が注意を引くことは起こりにくかったと考えられる。

一方で、Joint-partner's-target群にのみ、学習フェイズの文脈がかり効果が大きいほどテストフェイズの文脈がかり効果も大きいという相関が見られた。これは、友達が探索していた刺激を新たに探索する際には、学習フェイズで学習した情報がテストフェイズでそのまま使用されていた可能性を示唆している。この結果は、一緒に探索していた他者の標的刺激の情報が注意を引くものとしてより強く学習されるという仮説と整合するものである。

## 結論

本研究では、文脈がかり課題を用いて、他者の標的刺激が注意を引くものとして他の物体よりも強く文脈の中で学習されるのかを検討した。学習された文脈の中では、他の妨害刺激と同様に、他者の標的刺激に対する探索が速まることは見られなかった。しかし、探索的分析の結果、他者の標的刺激が文脈の中でより強く学習される可能性が示唆された。

## 引用文献

- Chun, M. M., & Jiang, Y. 1998 Contextual cueing: Implicit learning and memory of visual context guides spatial attention. *Cognitive Psychology*, 36, 28-71.
- Conci, M., & Müller, H. J. 2012 Contextual learning of multiple target locations in visual search. *Visual Cognition*, 20, 746-770.
- Gobel, M. S., Tufft, M. R., & Richardson, D. C. 2018 Social beliefs and visual attention: how the social relevance of a cue influences spatial orienting. *Cognitive science*, 42, 161-185.
- Vö, M. L. H., & Wolfe, J. M. 2012 When does repeated search in scenes involve memory? Looking at versus looking for objects in scenes. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance*, 38, 23-41.

# 視覚探索課題間に生じる非目的指向的な眼球運動の特性

竹本 あゆみ<sup>1</sup>

University of Latvia, OMRON

中澤 篤志

京都大学大学院情報学研究科

熊田 孝恒

京都大学大学院情報学研究科

When performing a task, the eye movements can provide much information such as the person's interests, cognition, perceptions, and mental states. This study investigated the functions and mechanisms of non-goal driven eye movements, defined as eye movements induced when looking at visual stimuli on a display without engaging in a specific task or looking at a display without any visual stimuli or tasks. The results indicated that significant difference between purposive and non-goal driven eye movements were observed. Searching and scanning saccade mainly dominate purposive eye movements.

Keywords: non-purposive eye movement, task difficulty, mind-wandering

## 序論

我々は、起きているほとんどの時間において目を動かしている。それは、知らない道でカフェを探すなど、何か目的をもち動かすことが多い（目的指向眼球運動）。しかし、いつも通る道をぼんやり歩くときのように特に目的がない場合でも、我々の目は運動を行っている（非目的指向眼球運動）。このような、非目的指向の眼球運動の特徴やメカニズムについては、目的指向眼球運動と比べ、あまり調べられていない。そこで、今回我々は、非目的指向眼球運動、特に探索タスクが終わった直後の非目的指向眼球運動について目的指向眼球運動と比較した。

## 実験と解析

**被験者** 実験に参加した13人中、解析に必要な眼球運動データが計測できなかった2人を除き、11名(男性:7人、平均年齢:22.4±1.37)のデータを解析に用いた。

**刺激・手続き** 探索画面の刺激は49個のディストラクター(L)とターゲット(T)1個から構成されていた(Fig. 1)。課題難易度について、ターゲットを±90度傾けたもの(Difficult)、±45または135度傾けたもの(Easy)の2種類を設けた。被験者は、ターゲットの向きをキー押しにより報告した。探索画面が提示されてから被験者がキーを押すまで、または提示後1分経過するまで探索画面が提示された(TP: task period)。その後、視覚刺激のない画面(B)または直前の視覚探索タスクと同じ画面(S)を10秒間提示した(A-TP: After-task period)。探索後画面においては、探索を行う必要はなく、そのことを被験者にも教示した。その後、被験者に課題への集中しているのかどう

かを2択で質問した(思考プローブ)。各被験者は199試行(ただし、1名のみ240試行)をおこなった。

**データ解析** TP、A-TP-S、A-TP-Bにおいて、サッカードの頻度・振幅、眼球運動の遷移パターン、眼球停留位置の分布を各被験者で算出した。

**眼球運動の遷移パターン** 眼球運動の遷移パターンについて、まず連続した3つの停留位置( $X_{k-1}$ ,  $X_k$ ,  $X_{k+1}$ )を移動する2つのサッカード( $X_{k-1} \rightarrow X_k$ ,  $X_k \rightarrow X_{k+1}$ )がなす角度( $\beta_k$ )を算出し、その角度の大きさに応じて眼球運動の遷移を5つに分類した。パターン1 = { $\beta_k : 0 \leq \beta_k < 36$ }、パターン2 = { $\beta_k : 36 \leq \beta_k < 72$ }、パターン3 = { $\beta_k : 72 \leq \beta_k < 108$ }、パターン4 = { $\beta_k : 108 \leq \beta_k < 144$ }、パターン5 = { $\beta_k : 144 \leq \beta_k < 180$ }。さらに、 $X_k$ における停留時間、サッカード( $X_{k-1} \rightarrow X_k$ )の振幅( $\alpha_{k-1}$ )およびサッカード( $X_k \rightarrow X_{k+1}$ )の振幅( $\alpha_k$ )を算出し、2つのサッカードの振幅の比( $\alpha_{k-1}/\alpha_k$ )を求めた。

**眼球停留位置の分布** 眼球停留位置の分布について、モニターの中心座標から各停留位置までの距離( $d$ )を算出し、{ $d : (N-1) \times 3.43 \text{ (cm)} \leq d < N \times 3.43 \text{ (cm)}, (N=1,2,\dots,11)$ }を満たすような固視点の個数をカウントし各Nの値において割合を求めた(Fig. 2参照)。

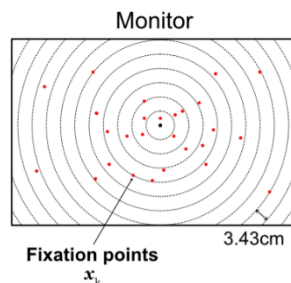


Fig. 2 Gaze distribution

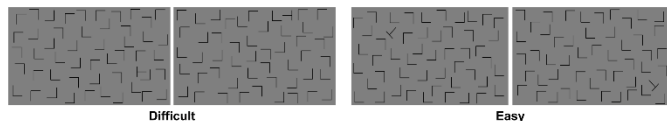


Fig. 1 Exaple of task displays

## 結果と考察

**サッカー頻度と振幅** まず、サッカー頻度についてTPはA-TP-S/Bに比べてサッカー頻度が高く、さらにTPではDifficult条件で、より高頻度にサッカーが生じた。サッカーの振幅においてもTPはA-TP-S/Bよりも振幅が大きかった。さらにTPではDifficult条件で、より大きな振幅を導くことが確認できた。しかし、A-TP-S/Bではタスクの難易度に応じた影響はみられなかった。さらに、集中状態の影響を確認したところ、TPではサッカー頻度および振幅に対して集中状態の影響はみられなかった。しかし、A-TP-S/Bにおいて、集中を報告した試行に比べ非集中報告した試行ではサッカーの頻度が低下した。以上の結果より、目的による眼球運動の制御は集中状態の変化の影響に比べて強いと考えられ、目的による制御が存在するTPにおいては、眼球運動はタスク難易度に大きく影響を受けるが、目的による制御が存在しないA-TP-S/Bにおいては、集中状態の影響が眼球運動に大きく表れると考える

### 眼球運動の遷移パターンおよび眼球停留位置の分布

TPにおいては探索に必要と考えられるパターン2、3がA-TP-S/Bに比べて頻発していることが明らかになった。一方で、A-TP-S/Bにおいてはパターン5の180度後方に戻るサッカーがTPに比べて頻発していることが分かった。難易度が高い探索遂行時(TP)またはその直後のA-TP-Sではパターン1の出現する割合は低下し、代わりにパターン3及び4の出現する割合が増えることが分かった。しかし、それぞれのパターンの出現割合に対する集中度の影響は見られなかった。さらにTPにおいては $\alpha k-1/\alpha k$ で、パターン1では $\alpha k-1$ が $\alpha k$ に比べ顕著に大きいがパターン5においてはほぼ同じ大きさであることが分かった。しかし、A-TP-S/Bで顕著に傾向が異なり、A-TP-SではTPと同様にパターン5では $\alpha k-1/\alpha k$ の値が小さいが、A-TP-Bにおいては、そのような傾向は見られず、パタ

ーン2、3において $\alpha k-1/\alpha k$ の値が顕著に大きくなることが分かった。これらの値においてタスクの難易度や集中状態への影響は見られなかった。さらに、視線の分布においてはA-TP-S/BはTPに比べ画面中央部に眼球が停留しやすいことが明らかになった。以上の結果より、目的指向眼球運動において、眼球運動の遷移パターンはタスクの難易度に応じて顕著に異なることが分かった。従来の研究では、効率よくターゲットを探索するためにスキャンをするように眼球は遷移すると報告されており<sup>11</sup>、高難易度のタスク中では同様のことが起きていると考える。さらに、低難易度のタスクにおいてはターゲットがポップアウトしていることから、ターゲットを発見した時に引き起こされると報告されている修正サッカー<sup>12</sup>が頻発すると考えられる。

## まとめ

目的指向型と非目的指向型の眼球運動は顕著に異なることが分かった。目的指向型において視覚探索の難易度が高くなる画面を探索するための眼球運動が増加するが、難易度が低いと修正サッカー様の眼球運動が増えることが分かった。一方で、非目的指向型の眼球運動では、集中状態がサッカー頻度に顕著に反映されることが分かった。さらに、視線を画面の中心に保つため180度後方にもどるサッカーが頻発することがわかった。

## 引用文献

- Hooge, I. T. C., & Erkelens, C. J. (1996). Control of fixation duration in a simple search task. *Perception & Psychophysics*, 58(7), 969-976.
- Becker, W., & Fuchs, A. F. (1969). Further properties of the human saccadic system: eye movements and correction saccades with and without visual fixation points. *Vision research*, 9(10), 1247-1258.



# 補助運動はテンポの維持に貢献するか？

小西 慶治  
門上 莉子  
横澤 一彦

東京大学大学院人文社会系研究科  
東京大学文学部  
東京大学大学院人文社会系研究科

音楽の演奏場面では、しばしば頭部や前腕の揺動や足踏みなどの補助運動を伴う。これらは楽器の操作や発声とは直接関係ないように思えるが、音楽に不可欠な外部リズムへの同期や一定テンポの維持に対し貢献しているのだろうか。本研究では、音楽経験者及び未経験者を対象に、一定間隔の刺激列を先行提示し、心の中でカウントを維持し続ける課題を実施した。数カウント毎にキー押しを求め心内テンポを測定した。同時に、補助運動の有無を操作し、心内テンポへの影響を検討した。心内テンポの同期誤差は、経験者では補助運動によらず小さく、未経験者では補助運動によって大きくなった。変動性は、補助運動により小さく、音楽経験によらなかった。つまり、補助運動はばらつきを抑制すると同時に、未経験者のテンポ逸脱を助長した。経験者はこの弊害を克服していると考えられ、トレーニングにより補助運動を上手に利用できるようになる可能性がある。

Keywords: Rhythm reproduction, Musical expertise, Sensorymotor synchronization

## 問題・目的

本研究の目的は3つある。第一に補助運動（感覚同期運動）が、リズム維持に及ぼす影響を調べることである。音楽シーンではしばしば、アーティストが頭部や前腕部、あるいは全身を揺動させることでリズムを取っているところを見かける。これは、主たる演奏や歌唱を補助するための動作と考えられるが、意外にも感覚運動同期の文脈で議論は進んでいない（Repp & Su, 2013）。したがって、本研究では基本的なリズム生成課題を用いて、補助運動のテンポ維持成績への影響を検討した。

第二の目的は、音楽トレーニングと補助運動との関係性を調べることである。テンポ維持の正確性は音楽経験に影響を受けることが知られており（Repp, 2005）、初学者にとってテンポを正確に維持することは主たる課題の一つである。補助運動は日本の学校現場においてその有効性が議論に上がっているとの報告があり（千葉ら, 2018）、音楽未経験者にとって補助運動が有効かどうかは実践上重要な問いであろう。そこで、音楽経験と補助運動の交互作用に着目することで、間接的にこの問いについて議論することを試みた。

第三の目的は、テンポ維持における提示モダリティの影響である。従来からメトロノームなど音を手掛かりにテンポ維持のトレーニングが行われているが、これには演奏音や発声音との交絡が危惧される。この問題に呼応して近年、振動型の無音メトロノームデバイス（Soundbrenner Pulse, Soundbrenner社）が開発されている。感覚運動同期の研究では視覚または聴覚でリズム刺激を提示することが大半であるが、リズム知覚に運動野や聴覚野が関与するとの知見を反映して、視覚よりも聴覚の方で知覚安定性が高い（Repp, 2005）など提示モダリティの影響は無視できない。そこでリズムを聴覚で提示した場合に、聴覚で提示した場合と比べて同等のリズム維持が行えるかどうかを検討した。

## 方法

**実験参加者** 音楽経験者10名、音楽未経験者13名が参加した。すべての参加者が右利きであった。  
**刺激と装置** 聴覚刺激としてブロック調の音をヘッドホンから、触覚刺激としてSoundbrenner Pulseを通じてそれぞれ提示した。Soundbrennerは腕時計型のデバイスで、補助運動を行う方の手首（後述）に装着した。

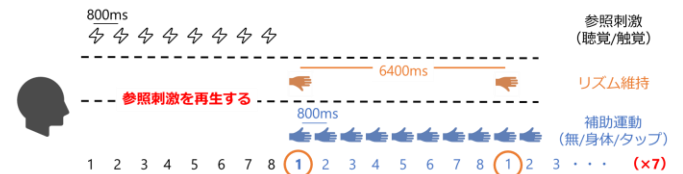


図1. 課題の模式図。

**実験手続き** 参照刺激の提示から開始した。聴覚または触覚に提示され、800ms間隔で8回であった。参加者の課題は参照刺激の提示終了後に引き続きその間隔を脳内で反芻し、8カウントごと（理想は6,400ms）に10度キーボードを押下することであった（図1）。このキーボード押下の時間間隔をPCで記録し、心内テンポとした。補助運動なし条件では、もう片方の手は膝の上に置き動かさないよう指示した。また、身体フィードバック条件では膝を叩く動作を、タップ条件ではタッチパッドをタップする動作を、心内テンポのカウントと同じタイミングで行うことを求めた。参照刺激と補助運動とを変え、さらにテンポ維持と補助運動の手を入れ替え、各2試行ずつ、計24試行行った。

**実験計画** 従属変数は、心内テンポの平均間隔と標準偏差の二つであった。独立変数は、参加者内要因として、参照刺激のモダリティ（聴覚/触覚）、および補助運動の違い（無/右身体FB/左身体FB/右タップ/左タップ）、ならびに参加者間要因として音楽経験（有/無）の合計3要因であった。

## 結果

心内テンポの平均間隔について3要因混合計画分散分析を行ったところ、音楽経験の主効果が有意傾向 [ $F(1, 18) = 3.72, p = .07, \mu_p^2 = .17$ ], 補助運動 [ $F(1, 18) = 3.57, p = .02, \mu_p^2 = .17$ ], モダリティ [ $F(1, 18) = 7.00, p = .01, \mu_p^2 = .28$ ]の主効果がそれぞれ有意であった。また、音楽経験と身体運動の交互作用も有意であり [ $F(4, 72) = 2.95, p = .03, \mu_p^2 = .14$ ], 単純主効果の検定によると、左右の身体FB条件および左右のタッチパッド条件において、音楽経験なしの参加者の心内テンポが他の条件よりも短縮する傾向にあった。すなわち、音楽経験のある参加者は補助運動がある場合でもない場合と同様に参照刺激のテンポを維持することができている一方、音楽経験のない参加者は補助運動があることで、テンポが早まることがわかった。

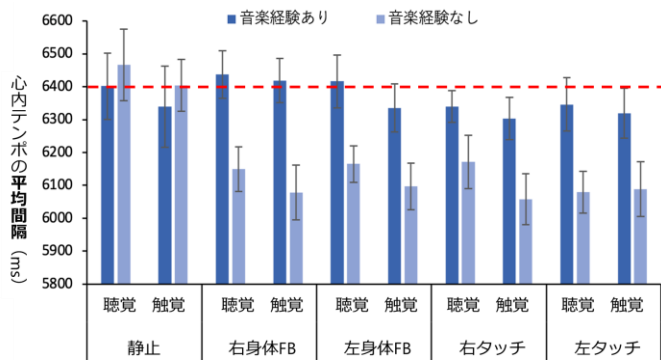


図2. 心内テンポの間隔の平均. 参照刺激を完全にトレースすると、6400msである。エラーバーは標準誤差

また、心内テンポの標準偏差について3要因混合計画分散分析を行ったところ、音楽経験 [ $F(1, 18) = 5.60, p = .03, \mu_p^2 = .24$ ], 補助運動 [ $F(4, 72) = 23.85, p < .001, \mu_p^2 = .57$ ]の主効果が有意であった。多重比較によると、左右の身体FB条件および左右のタッチパッド条件において、補助運動のない条件と比べて標準偏差が小さかった。すなわち、音楽経験のある参加者の方が心内テンポの変動性が小さく、音楽経験の有無によらず、補助運動があることによって変動性が小さくなった。

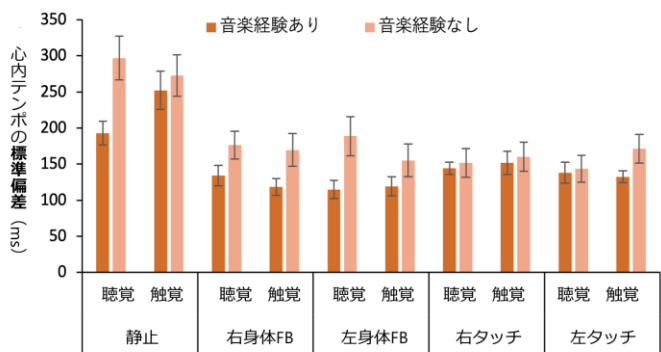


図3. 心内テンポの間隔の標準偏差. エラーバーは標準誤差

## 考察

補助運動がリズム維持に及ぼす効果については、心内テンポの標準偏差が小さくなったことから、補助運動を行うことは、カウントのばらつきを抑えることに貢献すると考えられる。これは、細分化利得 (subdivision benefit; Repp, 2003) と関係があると考えられる。これは、一定時間を知覚する際、定期的な外部刺激の挿入によって小さく分割されると、外部刺激のない場合と比べて変動性が小さくなる現象のことであるが、本研究の状況でも補助運動によってテンポ維持の間にイベントが挿入されることによって、反応間隔の安定化が生じた可能性がある。

一方で、心内テンポの平均間隔に対しては、補助運動は悪影響を及ぼし、本来維持すべきリズムよりも早くなっていた。これは、リズム維持とテンポ維持の二重課題による妨害効果と考えられ、音楽未経験者はリズム維持に慣れていないために負荷が大きい課題となり、不正確な心内テンポとなったと考えられる。逆に音楽経験者にとってはリズム維持の負荷が低いので、妨害効果は生じなかったのだろう。補助運動は音楽未経験者にとっては一長一短あるため、初学者のトレーニングに有効かどうかには慎重になる必要がある。

続いて、参照刺激の提示モダリティについては、触覚刺激を用いると、聴覚刺激を用いた場合よりも心内テンポの間隔が短くなるのが分かった。すなわち、触覚メトロノームとして利用するには注意が必要である。これは、単に聴覚刺激でテンポを聞くことが多いことによる慣れによって部分的に説明できるだろう。ただし、触覚刺激によるリズム知覚は刺激部位によって精度が異なるという報告もあるため (Keller et al., 2011), 通常用途を想定して手首に装着したが、装着部位によっては聴覚刺激と同等のテンポ指示器として利用できるかもしれない。

## 引用文献

- 千葉・芳賀・山内. (2018). 「揺れる合唱」に関する一考察：自然な演奏と学級経営の両立を図るために 北翔大学短期大学部研究紀要, 56.
- Keller, P. E., Ishihara, M., & Prinz, W. (2011). Effects of feedback from active and passive body parts on spatial and temporal parameters in sensorimotor synchronization. *Cognitive Processing, 12*, 127–133.
- Repp, B. H. (2003). Rate Limits in Sensorimotor Synchronization With Auditory and Visual Sequences: The Synchronization Threshold and the Benefits and Costs of Interval Subdivision. *Journal of Motor Behavior, 35*, 355–370.
- Repp. (2005). Sensorimotor synchronization: A review of the tapping literature. *Psychonomic Bulletin and Review, 12*, 969–992.
- Repp, & Su. (2013). Sensorimotor synchronization: A review of recent research (2006–2012). *Psychonomic Bulletin and Review, 20*, 403–452.

# 矢印刺激がマウス操作時間に与える影響

光松秀倫

名古屋大学大学院情報学研究科

運動する矢印図形の方位が別の運動図形に向けられると追跡知覚が生じる。先行研究では、マウスカーソルを操作して、妨害刺激を避けながら目的地に向かう課題において、画面中の矢印がカーソルに向けられると課題遂行時間が長くなることが報告された。この遅延効果は、恐怖刺激に対する反応の遅延と説明された。別の説明として、矢印は注意を自動的に制御するため、行為の意図した位置に注意が向くのを妨害した可能性がある。その場合、自動的注意の時間特性から、マウスの反応潜時を遅延させると予測した。本実験では、画面上にランダムに配置された 15 個の動く矢印を避けながら目的地に到着するカーソル操作課題を用いて、反応潜時とマウス運動時間を区別して測定した。矢印の方位は、カーソルに向く条件と目的地に向く条件があった。その結果、遅延効果は、反応潜時ではなく運動時間に見られたことから、注意による説明は支持されなかった。

Keywords: animation, arrow, mouse, motion, attention

## 問題・目的

運動する矢印図形の方位が別の運動図形に向けられると追跡知覚が生じる(Gao et al., 2010)。Buren et al.(2016)は、マウスカーソルを操作して、標的に向かう課題(カーソル到達課題)において、画面中の矢印(課題非関連刺激)がカーソルに向けられると課題遂行時間が長くなることが報告された。この遅延効果は、恐怖刺激に対する反応の遅延と説明された。

Buren et al.(2016)の実験方法にいくつか問題がある。1つは、1試行の時間を測定するのに、連続10回の小試行の遂行時間を加算したことである。これは、統計的に効果を検出しやすくするための実験手法と考えられる。さらに、実験参加者数を、Gao et al.(2010)の実験4より4倍多い40人に増やして、検出力を高めた。それにもかかわらず、統計的に有意傾向しか見られなかった。

もう1つは、マウスの反応潜時と移動時間を区別していないので、どちらに効果があったのか不明な点である。恐怖による遅延効果の説明とは別の説明として、矢印は注意を自動的に制御するため、行為の意図した位置に注意が向くのを妨害した可能性がある。その場合、自動的注意の時間特性から、マウスの反応潜時を遅延させると予測した。

本実験では、1試行で1反応という一般的な実験手法で、かつ参加者数を極端に多くしなくても効果が生起する実験手法を提案し、現象の頑健性を検証した。また、もし注意による説明が正しければ、以下のことが予測される。(1)遅延現象は運動時間よりも反応潜時に起因する(実験1)。(2)矢印は位置を移動しなくて

も、矢印の方位知覚は阻害しないので、矢印は運動しなくても遅延効果は生じる(実験2)。(3)矢印の項目数が少ないと矢印間の方位の不一致が低減されるので方位による遅延効果はより大きくなる(実験3)。

## 実験1

実験1では、1回の到達課題の反応潜時と操作時間を分けて測定した。矢印は接触を避けるべき課題関連刺激とした。

## 方法

**刺激** 黒い画面に白い正方形の外枠(一辺10.5cm)が提示された。外枠の1つの対角線の片方に白い円(直径2mm)、もう片方に白い四角(一辺4mm)が描画された。15個の矢印(一辺7mmの2つの白い線分の端が60度の角度で結合した図形)が外枠内にランダムに配置された。矢印図形は50msごとにランダムな方向に2mm移動した。矢印の向きには3条件(円に向く、円に垂直、四角に向く)があった。

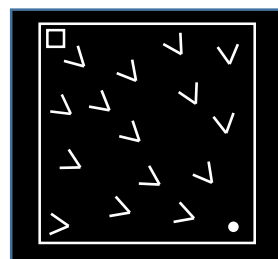


図1. 刺激の概略

**課題** 課題は刺激の円(カーソル)の位置をマウスで操作し、四角(ゴール)に当てることであった。円が矢印と外枠に接触せずに、できるだけ速く当てることが求められた。接触した場合は、その試行が中止された。

矢印の方位と運動方向は無関係であることは事前に知らされた。試行が終わると黒い背景が5秒間提示され、次の試行の刺激が提示された。

**デザイン** 実験参加者は、矢印の3つの方位条件のすべてに参加した。各条件は、32回繰り返し、合計試行数は96であった。条件の提示順序はランダムであった。本番前に15試行の練習を行った。実験参加者は16名であった。

## 結果

反応潜時は、カーソル条件(722ms)、ゴール条件(741ms)、垂直条件(736ms)で有意差は見られなかった、 $F(2,30)=1.29, p>0.2$ 。

カーソル速度は、カーソル条件(9.54cm/s)がゴール条件(9.97cm/s)より遅くなった、 $t(15)=2.25, p<0.05$ 。

## 考察

遅延効果は、反応潜時ではなく、操作速度に見られたことから、注意による説明は支持されなかった。

## 実験 2

実験 2 では、矢印の位置を固定した。カーソル条件では方位だけが変化した。

## 方法

矢印の位置を固定したこと、垂直条件がないこと以外は実験 1 と同じであった。

## 結果

反応潜時は、カーソル条件(610ms)、ゴール条件(611ms)、で有意差は見られなかった、 $t(24)=0.17, p>0.8$ 。

カーソル速度は、カーソル条件(11.63cm/s)、ゴール条件(11.75cm/s)、で有意差は見られなかった、 $t(24)=0.82, p>0.4$ 。

## 考察

矢印の位置固定は、矢印の方位知覚に影響しないか、むしろ促進した可能性があるにも関わらず、遅延効果が消失した。注意による説明は支持されなかった。

## 実験 3

実験 1 と実験 2 では、各矢印間の方位の不一致があった。実験 3 では不一致を低減するために矢印の項目数を 1～3 とした。不一致が低減されると矢印の方位の効果は大きくなると予測した。

## 方法

項目数を減らしたことと、垂直条件がないこと以外は実験 1 と同じであった。

## 結果

反応潜時は、項目数1条件で、カーソル条件(591ms)、ゴール条件(565ms)、で有意差は見られなかった、 $t(24)=3.36, p<0.01$ 。

カーソル速度は、方位の主効果のみが有意であった、 $F(1,24)=5.71, p<0.05$ 。カーソル条件は18.66cm/sで、ゴール条件は18.89cm/sであった。

## 考察

項目数の減少により複数の矢印の方位の不一致を低減させると、遅延効果も低減した。注意による説明は支持されなかった。

## 総合考察

本実験では、遅延効果の頑健性と注意による説明を検証した。その結果、先行研究の実験手法を改良し、遅延効果の頑健性が確認された。注意による説明は、3つの実験で検証した。その結果、遅延効果が反応潜時でなく移動時間に起因すること、矢印の方位知覚とは独立の要因に現象の生起が依存することが分かった。これらから、注意による説明は支持されなかった。

## 引用文献

- Gao, T., McCarthy, G., & Scholl, B. J. (2010). The wolfpack effect: Perception of animacy irresistibly influences interactive behavior. *Psychological Science*, 21, 1845–1853.
- van Buren, B., Uddenberg, S., and Scholl, B. J. (2016). The automaticity of perceiving animacy: Goal-directed motion in simple shapes influences visuomotor behavior even when task-irrelevant. *Psychonomic bulletin & review*, 23, 797-802.

# バーチャルリアリティで変わる身体と心

北崎充晃

豊橋技術科学大学 大学院工学研究科  
情報・知能工学系

バーチャルリアリティ (VR) は、感覚入力や運動出力に介入を行い、人工的な刺激を用いて知覚・認知的には現実と同じ体験を創出するものとされる。これまで没入提示や多感覚提示によって高い現実感を目指す研究が行われてきたが、近年では、錯覚や複合感覚などの認知処理を活用することでリアリティを超える新しい体験を提供する研究も盛んである。特に、自分の身体を変えられることができるのは VR の特徴の 1 つである。私たちの認知は自己身体や他者の身体に強く影響を受ける。VR はその身体をある程度自由に変更することができることから、これを利用して、私たちがどのような身体に適應することができるのか、それに所有感や行為主体感をもてるか、それによって私たちの知覚や認知がどのように変わるかが調べられている。本稿ではこれらについていくつかの研究を概観する。

Keywords: Virtual Reality, Augmented Reality, Cross-modal Perception, Embodied Cognition, Sense of Body Ownership, Sense of Agency.

## はじめに

人は古来化粧や入れ墨をして自己身体を改変し、またさまざまな服を着て自らを着飾ってきた。時に人は自分の外見にコンプレックスを抱き、変えたいと願う。それが化粧やファッションの原動力となり、また過度なダイエットや美容整形手術にも関係する。バーチャルリアリティ (VR) を用いると、身体改変を容易に、かつ自在に行うことが可能である。このような背景から、現在、VRを用いた身体所有感や身体改変の研究が興隆している。本稿では、VRの基本的な潮流を説明した後、VRによる身体改変の研究やそれによる認知行動変容の研究に焦点を当てて解説する。

## リアリティを超えるVR

知覚の情報処理モデルでは、感覚入力を脳が処理することによって知覚表象・知覚世界が創られると考える。VRの基本的な考え方は、この感覚入力を人工的に生成したり、操作したりすることで、現実の知覚表象と同じような感覚を創り出すことと言える。そのためには、物理的リアリティ要因として、人工的な入力をいかに感覚入力に近づけるか、時空間精度を上げるかという問題と、心理的リアリティ要因として脳の処理をいかに効果的に利用するかという問題がある。

物理的リアリティ要因は、VR装置の時空間解像度や通信速度、CGのモデリングやレンダリングの性能に依存する。一方、心理的リアリティ要因は、脳の処理に依存することから心理学や認知神経科学の知見が活用される。

VRでは単独あるいは複数のモダリティの感覚刺激を提示することで、別のモダリティに影響を与える複合感覚 (cross-modal perception) 現象が活用されている。自己運動の知覚はその例の 1 つである。オプティックフロー (視覚刺激) のみから自己運動感覚が生じることをベクション (vection) という (北崎・佐藤,

2008)。オプティックフローに足裏振動を組み合わせると歩行体験を創出することもできる (北崎・佐藤, 2008; Kitazaki, Hamada, Yoshiho, Kondo, Amemiya, Hirota, & Ikei, 2019)。また、HMDを装着して、歩行時の方向転換角度や速度のゲインを気づかれないように操作し、狭い範囲でも広い空間を歩いているように認知させる方法 (redirected walking, Razaque, Swapp, Slater, Whitton, & Steed, 2002; Steinicke, Bruder, Jerald, Frenz, & Lappe, 2010) や、触覚も利用して歩行方向の錯覚を起こして無限に広い空間を歩いているように認知させる方法 (Matsumoto, Ban, Narumi, Tanikawa, & Hirose, 2016) も歩行に関する複合感覚現象の応用である。

手の動きに対してカーソルの視覚的な動きや形のみを変化させることで触覚を体験させる疑似触覚 (pseudo haptics) は複合感覚現象活用の代表例である (Lecuyer, 2009)。

食体験については多くの複合感覚現象があり、VRに利用されている。ポテトチップスを食べるときに提示する音を変えることで、食感が変わるという知見 (Zampini, & Spence, 2004) に基づいて、咀嚼を検出し同時に操作した音を骨伝導で提示するAR食感ディスプレイが開発されている (小泉・田中・上間・稲見, 2013)。このARシステムは、せんべいやポテトチップスなどの通常の食体験のみならず、ワームの形をしたグミに鳴き声のような音を提示することであり得ない食体験も作り出している。また、食物に異なる匂いや映像を同時提示して味覚を変化させる研究もある (鳴海・谷川・梶波・廣瀬, 2010)。

このような複合感覚を用いたVRはある意味リアリティを超える新しい体験を創出していると言える。本章の身体変容に関する研究も、リアリティを超えるVR研究の流れにある。

## VRによる身体の変容

ラバーハンド錯覚 (Rubber Hand Illusion) は、偽の身体部位が自分の身体部位のように感じられる現象 (身体所有感の錯覚) である (Botvinick, & Cohen, 1998)。被験者の手を衝立で隠し、目の前にゴム手袋やマネキンの手を置く。実験者は、隠された本当の手とゴム手袋の両方を筆で同時になぞる。筆の動きがゴム手袋 (視覚) と本当の手 (触覚) で同期している場合、被験者がゴム手袋を見ているとそれがまるで本当の手のように感じ、そのゴム手袋の位置に触覚を感じる。この感覚は質問紙による主観評定で測られ、また行動評価として、本当の手の位置がゴム手袋の方向にずれて知覚される固有受容感覚のドリフトで測られる。また、VRの腕を提示した実験では、実際の腕の3倍の長さまで身体所有感が生じる (Kilteni, Normand, Sanchez-Vives, & Slater, 2012)。

ラバーハンド錯覚の方法を全身に適用することで全身所有感の錯覚を誘発することもできる (Ehrsson, 2007; Lenggenhager, Tadi, Metzinger, & Blanke, 2007)。HMDを装着した被験者はビデオカメラを通して自分や他人の背中、あるいは直方体を目の前に観察した。そして、自分の背中を棒でつかれるのと同様に映像の中の自分や他人の背中、直方体がつつかれた。同期してつかれている条件では、目の前の自分や他人の身体に所有感が生じ、前方に固有受容感覚による自己位置がずれる (体外離脱体験; Out-of-body experience)。



Figure 1. Schematic of Experiment 1 of Kondo et al (2018).

目の前に大きな鏡を配置し、自分の運動とVRアバタの運動が同期することでも身体所有感が誘発できる (Gonzalez-Franco, Perez-Marcos, Spanlang, & Slater, 2010)。この現象では、身体所有感の生成に行為主体感に関わっていると考えられる。アバタの運動が同期しないと身体所有感は生じないか、低減する。なお、身体運動を同期させない方法としては、記録しておいた他人の運動を再生する方法と200msから2s程度の遅延を入れる方法がある。アバタの身体を全て提示せず両手 (手袋) と両足 (靴下) のみを提示し、被験者の身体運動と同期させることでも身体所有感を誘発す

ることができる (Figure 1, Kondo, Sugimoto, Minamizawa, Hoshi, Inami, & Kitazaki, 2018)。このとき、被験者は手と足を補完した透明な身体が見えるような感覚を得て、全体に所有感を持つ。なお、透明な身体への所有感は全身アバタに対する所有感と有意な差がない強度であった。

実際の腕よりも長い腕にも所有感が生じることを前述したが、手足のみの透明身体の手法を用いて、手の位置のみを変えることで長い腕に所有感を誘発することもできる (Figure 2, 近藤・上田・杉本・南澤・稲見・北崎, 2019)。前方の広い空間のランダムな位置に提示したボールにリーチングする課題を行ったところ、10分程度の中に徐々に長い方の腕をより多く使うよう行動の変化が見られた。また、長い腕の側の近い位置の時はむしろ反対側の腕でリーチングする傾向も見られた。これらは、非常に短時間で変容した身体に順応し、それを自由自在に使いこなすようになることを示唆している。

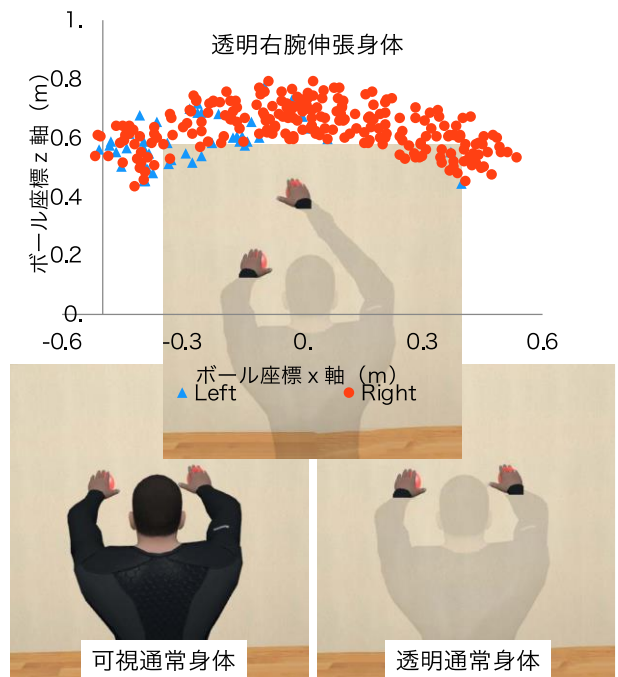


Figure 2. Schematic of results of 近藤ら (2019).



Figure 3. Schematic of finger-arm re-association.

身体運動同期を用いる身体所有感の生成では、身体運動とアバタの運動の同期が重要である。一方、運動のタイミングや角度変化のみを等しくして、右手の親指をアバタの左腕に対応させることでも、弱い身体所有感を誘発することができる (Figure 3. Kondo, Tani, Sugimoto, Minamizawa, Inami & Kitazaki, 2020)。つまり右手の親指を動かすとバーチャルな左腕が動く体験を続けると、その左腕が自分の左腕のように感じる、これは身体の階層 (指と腕) と身体の左右を超える身体部位の再連合と言える。

このように、視覚と触覚の統合、あるいは視覚と身体運動の同期の方法を用いて、自己身体の見え方を変え、それに対して身体所有感や行為主体感が生じるのか、それによって認知や行動が変化するかについて多くの研究がなされている。

## VRによる心の変容

自己身体のイメージを変えるVRを体験することで、社会的認知が変わる (概論として, Maister, Slater, Sanchez-Vives, & Tsakiris, 2015)。顔に対する視覚の同時刺激で顔の皮膚色を変えることで異人種への潜在的偏見が減少する (Fini, Cardini, Tajadura-Jiménez, Serino, & Tsakiris, 2013)。皮膚色を変えた腕へのラバーハンド錯覚体験でも潜在的偏見が減少する (Maister, Sebanz, Knoblich, & Tsakiris, 2013)。また、全身運動を用いて身体運動同期を行う方法でも同様の異人種への潜在的社会的態度の変容が報告されている (Peck, Seinfeld, Aglioti, & Slater, 2013)。

自分のアバタの顔を魅力的にすると、異性により接近し雄弁になるプロテウス効果が報告されている (Nick, & Bailenson, 2007)。HMDを装着し、スーパーヒーローのように自ら街の上空を飛び回る体験をすると、HMDを外した後に他者への援助行動が促進される (Rosenberg, Baughman, & Bailenson, 2013)。この援助行動の促進は、VRの中で援助行動を体験するかしないかではなく、自分の力で飛び回るか乗り物に乗って受動的に飛ぶかの違いに依存する。つまり自分がそのような超人的能力を持っていることを体験することが重要である。

ラバーハンド錯覚と同様に視覚と触覚の同時刺激を行うが、アバタ身体が見えず何も無い空間を筆でなぞられると、自分が透明になった感覚が得られる (Guterstam, Adbulkarim, & Ehrsson, 2015)。この透明身体条件とアバタが裸になっている条件との比較がなされ、目の前で多数の人に見つめられているとき透明身体条件では緊張・不安が抑制された。

二人の被験者がカメラをつけたHMDを装着し、相手の視点から自分を見て、お互いに握手をすると、相手と身体が入れ替わった感覚が生じる (Petkova, & Ehrsson, 2008)。VRで苦悩する自分とそれに対処するカウンセラーの身体を交互に体験するシステムが開発されている (Osimo, Pizarro, Spanlang, & Slater,

2015)。その研究では、カウンセラーの身体がフロイト (Sigmund Freud) に改変されると気分が改善した。

このように自分の見ためを変えることで認知が変わる知見が多数得られている。

## むすび

身体改変、およびそれによる心と行動の変化について多くの研究が行われている。その基礎としては、人の認知が自己身体や他者身体に強い影響を受けるといふ心理学の知見がある。それに基づいて、VRはバーチャルな身体を変えることで、人の認知や行動を変えることを目指している。さらに、この方法を用いることで、我々は人が将来ロボティクスやVRで新しい身体を持つようになった時に、どのような心理・認知特性を有し、どのような社会になるかを客観的に推定できるようになる。それは未来志向の心理学と言える。

## 謝辞

本研究の一部は、JST ERATO JPMJER1701 (稲見自在化身体プロジェクト) の補助を受けて実施された。

## 引用文献

- 北崎充晃, 佐藤隆夫 (2008). 視覚からの自己運動知覚と姿勢制御, 心理学評論, 51, 287-300.
- Kitazaki M., Hamada, T., Yoshiho, K., Kondo, R., Amemiya, T., Hirota, K., and Ikei, Y. (2019). Virtual walking sensation by pre-recorded oscillating optic flow and synchronous foot vibration. *i-Perception*, 10(5), 1-14.
- Razzaque, S., Swapp, D., Slater, M., Whitton, M. C., and Steed, A. (2002). Redirected walking in place. *Proceedings of EGVE 2002 (Eurographics Workshop on Virtual Environments 2002)*, 123-130.
- Steinicke, F., Bruder, G., Jerald, J., Frenz, H., and Lappe, M. (2010). Estimation of detection thresholds for redirected walking techniques. *IEEE Transactions on Visualization and Computer Graphics*, 16(1), 17-27.
- Matsumoto, K., Ban, Y., Narumi, T., Tanikawa, T., & Hirose, M. (2016). Curvature manipulation techniques in redirection using haptic cues. *IEEE Symposium on 3D User Interfaces 2016*, 105-108.
- Lecuyer, A. (2009). Simulating haptic feedback using vision: A Survey of research and applications of pseudo-haptic feedback, *Presence: Teleoperators and Virtual Environments*, 18, 39-53.
- Zampini, M., & Spence, C. (2004). The role of auditory cues in modulating the perceived crispness and staleness of potato chips. *Journal of Sensory Science*, 19, 347-363.

- 小泉直也・田中秀和・上間裕二・稲見昌彦(2013).  
Chewing JOCKEY -咀嚼音提示を利用した食感  
拡張装置の検討-, 日本バーチャルリアリティ学  
会論文誌, 18(2), 141-150.
- 鳴海拓志・谷川智洋・梶波崇・廣瀬通孝 (2010). メタ  
クッキー: 感覚間相互作用を用いた味覚ディス  
プレイの検討, 日本バーチャルリアリティ学会論文  
誌, 15(4), 579-588.
- Botvinick, M., & Cohen, J. (1998). Rubber hands 'feel'  
touch that eyes see. *Nature*, 391, 756.
- Kilteni, K., Normand, J-M., Sanchez-Vives, M. V., Slater,  
M. (2012). Extending body space in immersive virtual  
reality: A very long arm illusion. *PLoS ONE*, 7(7):  
e40867.
- Ehrsson, H. H. (2007). The Experimental Induction of Out-  
of-Body Experiences. *Science*, 317 (5841), 1048.
- Lenggenhager, B., Tadi, T., Metzinger, T., & Blanke, O.  
(2007). Video ergo sum: manipulating bodily self-  
consciousness. *Science*, 317(5841), 1096-1099.
- Gonzalez-Franco, M., Perez-Marcos, D., Spanlang, B., &  
Slater, M. (2010). The contribution of real-time mirror  
reflections of motor actions on virtual body ownership  
in an immersive virtual environment. *Proceedings of  
IEEE Virtual Reality 2010*, 111-114.
- Kondo, R., Sugimoto, M., Minamizawa, K., Hoshi, T.,  
Inami, M., & Kitazaki, M. (2018). Illusory body  
ownership of an invisible body interpolated between  
virtual hands and feet via visual-motor synchronicity.  
*Scientific Reports*, 8(1), 7541.
- 近藤 亮太, 上田祥代, 杉本麻樹, 南澤孝太, 稲見昌  
彦, 北崎充晃(2019). 見えない長い腕: 四肢先端  
の視覚運動同期による四肢伸張透明身体への所  
有感生成と行動変容. 日本バーチャルリアリティ  
学会論文誌, 24(4), 351-360.
- Kondo, R., Tani, Y., Sugimoto, M., Minamizawa, K.,  
Inami, M., & Kitazaki, M. (2020). Re-association of  
body parts: Illusory ownership of a virtual arm  
associated with the contralateral real finger by visuo-  
motor synchronicity, *Frontiers in Robotics and AI:  
Virtual Environments*, 7:26.
- Maister, L., Slater, M., Sanchez-Vives, M. V., & Tsakiris,  
M. (2015). Changing bodies changes minds: owning  
another body affects social cognition. *Trends in  
Cognitive Sciences*, 19(1), 6-12.
- Fini, C., Cardini, F., Tajadura-Jiménez, A., Serino, A. &  
Tsakiris, M. (2013). Embodying an outgroup: the role  
of racial bias and the effect of multisensory processing  
in somatosensory remapping. *Frontiers in Behavioral  
Neuroscience*, 7:165.
- Maister, L., Sebanz, N., Knoblich, G., & Tsakiris, M.  
(2013). Experiencing ownership over a dark-skinned  
body reduces implicit racial bias. *Cognition*, 128, 170-  
178.
- Peck, T. C., Seinfeld, S., Aglioti, S. M., & Slater, M.  
(2013). Putting yourself in the skin of a black avatar  
reduces implicit racial bias. *Consciousness and  
Cognition*, 22, 779-787.
- Nick, Y. & Bailenson, J. (2007). The Proteus Effect: The  
Effect of Transformed Self-Representation on  
Behavior. *Human Communication Research*. 33 (3):  
271-90.
- Rosenberg, R. S., Baughman, S. L., & Bailenson, J. N.  
(2013). Virtual superheroes: Using superpowers in  
virtual reality to encourage prosocial behavior. *PLoS  
ONE*, 8(1), e55003.
- Guterstam, A., Adbulkarim, Z., & Ehrsson, H. H. (2015).  
Illusory ownership of an invisible body reduces  
autonomic and subjective social anxiety responses.  
*Scientific Reports*, 5:9831.
- Petkova, V. I., & Ehrsson, H. H. (2008). If I were you:  
Perceptual illusion of body swapping. *PLoS ONE*  
3(12): e3832.
- Osimo, S. A., Pizarro, R., Spanlang, B., & Slater, M.  
(2015). Conversations between self and self as  
Sigmund Freud – A virtual body ownership paradigm  
for self counselling. *Scientific Reports*, 5:13899.