

# 和音と単色の感覚間協応に関する検討

熊倉 恵梨香  
横澤 一彦

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

高い音ほど明るい色が結びつけられやすいといった、感覚特徴同士の非恣意的な連想関係を感覚間協応という。感覚間協応を実証する手法として、ある感覚刺激に対し他の感覚の刺激セットの中から相対的に一致すると思うものを選択させる方法が用いられてきた。しかしこうした選択頻度は、ある感覚特徴から他方の感覚特徴をどのくらい強く連想するかという協応関係の強さを必ずしも反映していない。そこで本実験では和音と単色のペアを1組ずつ呈示し、その一致度を回答させ、参加者が特徴同士について一致もしくは不一致と有意に判断可能かを調べた。その結果、参加者の和音と色のペアの一致/不一致の判断はいくつかのペアについては有意となり、和音と色の感覚間協応の先行研究から予測される結果と合致はしていたものの、全てのペアで有意とはならず、これまで協応が存在するといわれてきた感覚特徴同士の連想関係について再考する必要があることが分かった。

Keywords: Cross-modal correspondences, Triad-color, Judgment of congruency

## 問題・目的

高い音ほど明るい色が選ばれやすいといった、感覚特徴同士の非恣意的な連想関係を感覚間協応という。感覚特徴間に協応が存在するか否かの検討には、一般的にある感覚刺激に対して他の感覚の刺激セットの中から相対的に一致すると思うものを選択させる方法が用いられてきた。例えばGriscom (2015)は、三和音に対して明度の低い色と高い色、ないしは彩度の低い色と高い色を呈示し、どちらが一致するかを参加者に二択で選択させた。その結果、協和性（響きの良さ）が高く評定された三和音ほど明度の低い色よりも高い色が、彩度の低い色よりも高い色が選択される傾向があることを明らかにした。このことから、和音の協和性と色の明度/彩度との間に非恣意的な連想関係、すなわち協応が存在すると結論づけた。

しかし、協和性の高い和音に対して相対的に明るい色や鮮やかな色が選択されやすいとき、それは協和性の高い和音と明るい色/鮮やかな色との協応関係が強いということの意味しない。なぜならその選択頻度は、選択されなかった色との関係に依存した結果であり、ある和音から色が連想される強さ、すなわち協応関係の強さを必ずしも反映しているわけではないからである。協応関係の強さを調べるためには、和音と色のペアの個別の一致度を調べる必要がある。

本実験ではこれについて、三和音刺激と色の刺激を用いて検討した。本研究ではまず第1実験として三和音の協和性を好ましさの指標を用いて調べた（三和音の好ましさは、その和音の協和性をよく反映する; Bidelman & Krishnan, 2011）。その上で、第2実験として、Griscom (2015)と同じ色刺激のセットを用いて、三和音と色のペアそのものの一貫性を評定させる課題を実施した。もしGriscom (2015)における和音に対する色の選択傾向が和音の協和性と色の明度/彩度との協応関係の強さを反映しているならば、協和性の高い和音では明度/彩度の低い色との一致度が低くなり、協和性の低い和音では明度/彩度の高い色との一致度

が低くなると予測される。一方、もし和音に対する色の選択傾向が相対的に選択した結果に過ぎないのであれば、協和性の高い和音と明度/彩度の低い色との一致度や、協和性の低い和音と明度/彩度の高い色との一致度は低くなるとは限らないと予測される。

## 方法

### 参加者

**実験1 和音の好ましさの評定** 30名（男性20名、女性10名、平均年齢21.4歳、 $SD = 1.07$ ）が参加した。この30名は、一致度評定実験、および同じ和音刺激を用いた別の実験を行なった後に抜き打ちでこの実験に参加した。

**実験2 和音と色の一貫性評定実験** 24名（男性12名、女性12名、平均年齢21.1歳、 $SD = 0.90$ ）が参加した。

### 刺激

**和音刺激** B3からB4の1オクターブ内の純音で構成された長三和音（C,F<sup>2</sup>,G<sup>1</sup>）、短三和音（Am<sup>1</sup>, Dm, Em<sup>2</sup>）、増三和音（Caug,Faug,Gaug）、減三和音（Adim,Ddim,Fdim）の計12種類を用いた。

**色刺激** BCP37色（Palmer & Schloss, 2010）を用いた。この色セットには高彩度Saturated、低彩度Muted、高明度Light、低明度Darkの4種類で示された8種類の色相に加えて無彩色5種類が含まれていた。

### 方法

**実験1 和音の好ましさの評定** 和音12種類が1回ずつ参加者に呈示された。参加者はその和音を聴いてどの程度好きだと感じたかを「全く好みではない（-200）」から「とても好みである（+400）」の401段階で評定した。和音刺激は参加者が好ましさを決定して次の試行に進むまで呈示された。

**実験2 和音と色の一貫度評定実験** 和音12種類とBCP37色の全ペアがランダムに1組ずつ参加者に呈示された。参加者はそのペアが「合う」と感じる程度を「一致していない (-200)」から「一致している (+200)」の401段階で評定した。和音刺激と色刺激のペアは参加者が一致度の評定を決定して次の試行に進むまで呈示された。

## 結果

**実験1 和音の好ましさの評定** 和音の好ましさの評定値を表1に示した。参加者内1要因分散分析の結果、和音の好ましさは増三和音と減三和音が共に最も低く、次いで短三和音、長三和音の順に有意に高かった。Bidelman & Krishnan (2011)では本実験とは異なる長、短、増、減三和音を用いて協和性の評定を行っており、その評定の順序は本実験と一致していた。このことから、参加者の和音4種への好ましさの判断は、各和音の協和性の高低を反映しているものと考えられる。

好ましさの評定値が0よりも有意に高かった/低かったのは長三和音、増三和音、減三和音の3種類であった ( $t(29) = -7.56, p < .01$ ;  $t(29) = 3.18, p < .01$ ;  $t(29) = 2.84, p < .01$ )。すなわち、参加者は長三和音を好ましい(協和性が高い)和音、増三和音と減三和音を好ましくない(協和性が低い)和音として判断していたと考えられる。以下の分析では、この長三和音、増三和音、減三和音のみに絞って分析を進める。

**実験2 和音と色の一貫度評定実験** 和音4種類に対する高彩度色と低彩度色、高明度色と低明度色の一貫度をそれぞれ表1に示した。各ペアの一貫度評定値について0との間に有意差が見られるかをt検定を用いて調べた。高彩度色と低彩度色については、長三和音と高彩度色の一貫度が0より有意に高く ( $t(23) = 2.51, p < .05$ )、増三和音および減三和音と高彩度色の一貫度が0より有意に低かった ( $t(23) = -2.94, p < .01$ ;  $t(23) = -4.85, p < .01$ )。高明度色と低明度色については、長三和音と高明度色の一貫度が0より有意に高く ( $t(23) = 3.14, p < .01$ )、低明度色の一貫度が0より有意に低かった ( $t(23) = -2.19, p < .05$ )。

表1 各和音の好ましさの評定値、および和音と色の一貫度の評定値 (太字: 0との間に有意差)

	和音の種類				
	長三和音	短三和音	増三和音	減三和音	
和音の好ましさ (協和性)	<b>94.18</b>	19.56	<b>-35.77</b>	<b>-38.26</b>	
和音と色の一貫度	高彩度色	<b>28.78</b>	-5.26	<b>-33.79</b>	<b>-23.11</b>
	低彩度色	3.88	-1.98	4.75	2.17
一致度	高明度色	<b>29.57</b>	10.45	-8.44	-12.33
	低明度色	<b>-21.31</b>	-11.84	6.59	0.64

## 考察

実験1より、長三和音は協和性の高い和音、増三和音と減三和音は協和性の低い和音として判断されていたことが示された。先行研究 (Griscom, 2015) では、協和性が高い和音ほど明度/彩度の低い色よりも高い色が選択される傾向があった。この選択傾向が和音と色の協応関係の強さを反映しているならば、協和性の高かった長三和音では低明度色と低彩度色との一貫度が低く、協和性の低かった増三和音と減三和音では高明度色と高彩度色との一貫度が低くなると予測された。

実験2の結果はその予測を部分的に支持するものであった。まず和音と色の彩度の関係については、協和性の低かった増三和音と減三和音では予測通り高彩度色との一貫度が有意に低かった。しかし、協和性の高かった長三和音において低彩度色との一貫度が低いという予測は支持されなかった。長三和音と高彩度色との一貫度は有意に高かったことと合わせて考えると、これらの結果は、彩度の高い色が協和性の低い和音では連想されず協和性の高い和音から連想されるという協応関係が存在することを示唆する。次に和音と色の明度の関係については、協和性の高かった長三和音では予測通り低明度色との一貫度が有意に低かった。しかし、協和性の低かった増三和音と減三和音において高明度色との一貫度が低いという予測は支持されなかった。長三和音と高明度色との一貫度は高かったことと合わせて考えると、これらの結果は、協和性の高い和音が明度の低い色ではなく高い色を連想させるという協応関係が存在することを示唆する。

このように、和音と色のペアについて一貫度を答えさせるという課題を用いることで、和音の協和性と高彩度色、ならびに協和性の高い和音と色の彩度との間に協応関係が存在していることが明らかになった。相対的な選択のされやすさという指標を用いた先行研究 (Griscom, 2015) で示唆されていた和音と色の協応関係と比べると、整合的だが部分的な支持にとどまるので、我々が有する協応関係は限定的なものである可能性が高い。和音と色に限らず感覚特徴間の協応関係について論じる際には、その一貫度の高さについても考慮することで、より現実的な現象を捉えることができるといえよう。

## 引用文献

- Bidelman, G., Krishnan, A. (2011). *NeuroReport*, 22(5), 212-216.
- Griscom, S. (2015). *UC Berkeley Electronic Theses and Dissertations*, 1-89.
- Palmer, S. E., Schloss, K. B. (2010). *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 107(19), 8877-82.

# Individual differences in regularities of grapheme–color associations in synesthesia (共感覚色を規定する文字要因の個人差)

**Daisuke Hamada**

Graduate School of Human and Environmental Studies, Kyoto University

**Hiroki Yamamoto**

Graduate School of Human and Environmental Studies, Kyoto University

**Jun Saiki**

Graduate School of Human and Environmental Studies, Kyoto University

Recent studies in grapheme–color synesthesia has revealed that grapheme–color correspondences have been shown to be systematically associated with grapheme properties, including visual shape difference, ordinality, and frequency. However, the contributions of grapheme factors differ across individuals. In this study, we applied multilevel analysis to test whether individual differences in regularities of grapheme–color associations could be explained by individual styles of processing grapheme properties. These processing styles are reflected by the type of synesthetic experience. Specifically, we hypothesized that processing focusing on ordinality or familiarity (closely related to frequency) would be associated with associator synesthetes. The analysis revealed that ordinality and familiarity factors were expressed more strongly among associators than among projectors. This finding suggests that grapheme–color associations are partly determined by the type of synesthetic experience.

Keywords: grapheme–color synesthesia, regularity of grapheme–color association, individual difference, synesthetic experience, multilevel analysis

## Introduction

Grapheme–color synesthesia is a neurological phenomenon where visual perception of letters and numbers stimulates perception of a specific color. Grapheme–color pairs are consistent in individuals, and idiosyncratic between individuals. For example, when shown the letter “B”, one individual may report blue, another green, and others yellow. The several grapheme properties affect synesthetic grapheme–color correspondence: visual shape similarity and ordinality (positions in a grapheme sequence) for hue of synesthetic colors, and grapheme frequency for luminance of synesthetic colors [1].

However, there are individual differences in such regularities [1]. The previous study showed that shape similarity factors were expressed more strongly among projectors that perceive associated colors visually in external space than among associators that perceive colors in internal space (“in my mind’s eye” or “in my head”) [2]. This result was predicted based on a model for projectors in which cross-activation between graphemes and color processing areas is involved in the feature-component level of graphemes (lines, curves, etc.). However, this explanation does not consider associator synesthetes, who seem to rely less on low-level visual features, and more on conceptual processing of graphemes [3].

This study aimed at obtaining evidence for the following hypotheses: Because ordinality and familiarity

reflect not lower-level perceptual property but higher-level conceptual properties of graphemes, associators tend to show strong effects of ordinality and familiarity on synesthetic colors.

## Methods

### Participants

Twenty-six Japanese synesthetes (19 women, 7 men; age range = 18–22 years) participated in the experiment. Synesthetes were classified as either projector or associator on the basis of the Illustrated Synesthetic Experience Questionnaire (ISEQ [4]) (16 associators, 6 undetermined, and 4 projectors).

### Color matching experiment using a CRT monitor

#### *Visual stimuli and Procedure*

For the 26 Latin letters, the color coordinates (CIE  $L^*a^*b^*$ ) of each synesthetic colors were determined by a color-matching task using a CRT monitor. The participant was asked to adjust the color of the displayed reference patch so that it best matched their perceived synesthetic color of the test character.

### Data preparation

To measure data at the within-person level, we used the same method as previous studies [1, 5]. First, we computed hue distances (Euclidean distance in the  $a^*b^*$  chromaticity plane), and luminance distances (difference of  $L^*$  values in CIE  $L^*a^*b^*$  coordinates) between grapheme pairs. Next, we compared each synesthetic color difference measure with three dependent measures

of grapheme difference: visual shape difference [6], ordinality difference (the difference between the positions of two letters in the alphabet sequence, divided by their sum), and grapheme familiarity difference [7]. There were 325 English alphabet letter pairs, excluding doubles of the same letter. We computed separate values for the hue, and luminance distance of each pair. To measure between-person individual differences, we used the ISEQ [4] to measure the subjective synesthetic experience on the projector–associator continuum.

### Analysis

Individual differences in regularities of grapheme–color associations was investigated using techniques of multilevel analyses. Two dependent variables (hue and luminance distance) were separately modeled. The multilevel modeling was defined as:

$$\text{Level 1} \quad Y_{ij} = \beta_{0j} + \beta_1(\text{shape.diff.})_{ij} + \beta_2(\text{ord.diff.})_{ij} + \beta_3(\text{fam.diff.})_{ij} + r_{ij} \quad (1)$$

$$\text{Level 2} \quad \begin{aligned} \beta_{1j} &= \gamma_{10} + \gamma_{11}(\text{syn.ex.})_j + \mu_{1j} \\ \beta_{2j} &= \gamma_{20} + \gamma_{21}(\text{syn.ex.})_j + \mu_{2j} \\ \beta_{3j} &= \gamma_{30} + \gamma_{31}(\text{syn.ex.})_j + \mu_{3j} \end{aligned} \quad (2)$$

In level 1 (the within-participant level),  $Y_{ij}$  was the distance for an alphabetical letter pair  $i$  in participant  $j$  as a dependent variable.  $\beta_{0j}$  was the mean distance in participant  $j$  as an intercept.  $(\text{shape.diff.})_{ij}$ ,  $(\text{ord.diff.})_{ij}$ , and  $(\text{fam.diff.})_{ij}$  were values of the shape, ordinality, and familiarity difference, respectively, for alphabetical letter pair  $i$  in participant  $j$ .  $\beta_1$ ,  $\beta_2$ , and  $\beta_3$  were respectively slope 1, slope 2, and slope 3 of the impacts of the shape, ordinality, and familiarity difference on a distance.  $r_{ij}$  was the variance of distance for letter pair  $i$  around the mean of participant  $j$  as a residual error.

In level 2,  $\beta_{1j}$ ,  $\beta_{2j}$ , and  $\beta_{3j}$  were the value of slope 1, slope 2, and slope 3 in participant  $j$ , respectively.  $\gamma_{10}$ ,  $\gamma_{20}$ , and  $\gamma_{30}$  were the mean of slope 1, slope 2, and slope 3 across participants, as the intercept.  $(\text{syn.ex.})_j$  was the value of synesthetic experience in participant  $j$ .  $\gamma_{11}$ ,  $\gamma_{21}$ , and  $\gamma_{31}$  were the slope of the impact of synesthetic experience on  $\beta_{1j}$ ,  $\beta_{2j}$ , and  $\beta_{3j}$ , respectively.  $\mu_{1j}$ ,  $\mu_{2j}$ , and  $\mu_{3j}$  were the variance in an individual's slope mean around the grand mean.

### Results and Discussion

The ordinality difference for the hue distance and the familiarity for the luminance distance were significantly

predicted by the synesthetic experience ( $\gamma_{21}$  for hue distance:  $B = 2.30$ ,  $p < .01$ ;  $\gamma_{31}$  for luminance distance:  $B = 1.47$ ,  $p < .05$ ). Results showed that the impact of the ordinality and familiarity was expressed more strongly with associator-like than projector-like experiences. This finding indicates that regularities of grapheme–color associations in associators are determined by processing conceptual characteristics of graphemes.

Table 6  
Model Results for the hue and luminance distance.

parameter	HUE DISTANCE			LUMINANCE DISTANCE		
	B	(SE)	p	B	(SE)	p
<b>Fixed effects</b>						
<i>Intercept</i>						
$\gamma_{00}$ (mean of distance)	56.60	(2.98)	0.00 **	27.26	(1.12)	0.00 **
$\gamma_{10}$ (mean of slope1: shape-diff )	5.11	(1.00)	0.00 **	0.02	(0.62)	0.98
$\gamma_{20}$ (mean of slope2: ord-diff)	12.16	(2.30)	0.00 **	-3.01	(0.87)	0.00 **
$\gamma_{30}$ (mean of slope3: fam-diff)	5.31	(2.64)	0.05 *	-0.67	(1.46)	0.65
<i>Slope</i>						
$\gamma_{11}$ (syn-ex $\rightarrow$ slope1: shape-diff)	0.42	(0.32)	0.18	-0.04	(0.25)	0.87
$\gamma_{21}$ (syn-ex $\rightarrow$ slope2: ord-diff)	2.30	(0.79)	0.00 **	-0.51	(0.31)	0.10
$\gamma_{31}$ (syn-ex $\rightarrow$ slope3: fam-diff)	0.70	(0.96)	0.47	1.47	(0.67)	0.03 *
<b>Random effects</b>						
$r_{ij}$ (Level 1 variance)	857.01	(101.36)	0.00 **	396.58	(31.31)	0.00 **
$\mu_{0j}$ (Level 2 variance)	218.04	(80.07)	0.01 **	29.73	(7.37)	0.00 **
$\mu_{1j}$ (slope1 variance: shape-diff)	6.77	(6.81)	0.32	1.19	(1.83)	0.51
$\mu_{2j}$ (slope2 variance: ord-diff)	83.32	(47.00)	0.08	0.35	(10.02)	0.97
$\mu_{3j}$ (slope3 variance: fam-diff)	74.52	(57.27)	0.19	9.19	(18.27)	0.62

\* $p < .05$ , \*\* $p < .01$ .

### Conclusion

Multilevel analysis revealed that the greater the tendency toward associator characteristics a synesthete showed, the greater the impact of ordinality and familiarity to synesthetic colors. The results partly support our predictions, and suggest that the kinds of grapheme properties individual synesthetes process in childhood are important in the formation of grapheme–color associations.

### Reference

- [1] Watson, M. R., Akins, K. A., & Enns, J. T. (2012). *Psychon. Bull. Rev.*, 19, 211–217.
- [2] Brang, D., Rouw, R., Ramachandran, V. S., & Coulson, S. (2011). *Neuropsychologia*, 49, 1355–1358.
- [3] Ramachandran, V. S., & Hubbard, E. M. (2001). *Journal of Consciousness Studies*, 8, 3-34.
- [4] Skelton, R., Ludwig, C., & Mohr, C. (2009). *Cortex*, 45, 721-9.
- [5] Asano, M., & Yokosawa, K. (2011). *Frontiers in Human Neuroscience*, 7, 757.
- [6] Gibson, E.J. (1969). Englewood Cliffs, NJ: Prentice Hall.
- [7] Amano, S., & Kondo, T. (1999). Tokyo: Sanseido.

# 聴覚刺激と同時提示された視覚刺激の再認 ～顕著性と課題関連性の影響～

小西 慶治

東京大学大学院人文社会系研究科

熊倉 恵梨香

東京大学大学院人文社会系研究科

横澤 一彦

東京大学大学院人文社会系研究科

異なる感覚モダリティの情報処理は互いに影響を及ぼし合う。例えば、視覚検出課題を行う際にそれとは無関連な聴覚刺激を提示すると、提示しない場合に比べて反応時間が早くなることが知られている (Bernstein, Rose & Ashe, 1970)。本研究では、聴覚刺激の種類による視覚記憶課題への影響を調べた。顔の記憶課題を課し、音高と音圧を操作した純音も同時に提示することで再認成績への影響を調べ (実験 1、単一課題)、特定の音高に対する検出課題も課すことにより音の課題関連性を操作した (実験 2、二重課題)。その結果、実験 1、2 の両方で大きな音が、実験 2 では、課題に関連な高さの音が再認成績を向上することがわかった。音の大きさと課題関連性の交互作用は認められなかったことから、顕著性の高い音や、遂行中の課題にとって重要な音と同時に提示された視覚刺激の処理は促進され、それらの影響は独立であることが示された。

Keywords: accessory stimuli, attentional boost effect, cross-modal perception

## 問題・目的

感覚間相互作用とは、ある感覚モダリティでの出力がそれとは別の感覚モダリティに入力があつたことにより、単独の出力と比べて変容することを指す。例えば、Bernsteinら(1970)は視覚刺激の弁別反応課題を行う際に、課題には無関連な純音を提示した際には、提示しない場合に比べて反応時間が早くなり、音の大きさが大きい場合に効果が大きくなることを報告した。課題自体には無関連なはずの聴覚刺激によって視覚刺激の処理が促進されることがうかがえる。

一方で同じ聴覚刺激でも、観察者にとっての意味によって視覚刺激への作用の仕方が異なることも報告されている。JiangとSwallow (2014)は実験参加者に顔刺激の記憶課題を課すと同時に音を提示し、音の弁別反応課題を行った。したがって、特定の音は重要であり、別の音は重要でないという構図が出来上がることになる。結果は重要な音と同時に提示された顔は重要でない音と提示された顔と比べてよく再認されるというものであった。これは現在の行動に重要な刺激が覚醒度を高めるためだと説明することができる (Aston-Jones & Cohen, 2005)。感覚間相互作用はそれぞれの感覚器官に入力された特徴の意味によっても決まるのかもしれない。

本研究ではどのような聴覚刺激が視覚刺激の処理を促進するのかを目的とした。このため、聴覚刺激として高さ・大きさの異なる4種類の純音を用意し、これらを視覚刺激と同時に提示し、記憶処理にどのような影響を及ぼすかを調べた。先行研究から、大きな音は顕著性が高く、同時に提示された視覚刺激の処理を促進すると考えられる (実験1)。一方、高さに関しては弁別課題において重要となる場合にのみ視覚刺激の処理を促進すると考えられる (実験2)。この際、完全に課題無関連な音の大きさが重要な音により誘発される覚醒度に影響する可能性を考慮して、これらが同時に存在しうる条件下で検討を行った。

## 方法

**実験参加者** 実験1では8名、実験2では20名が参加した。

**刺激** 視覚刺激は日本人の有名人の顔156枚で、男女半数ずつであった。顔の選定は年代性別の異なる本報告の筆者3名の協議により決定した。聴覚刺激は高さ(高/低)と大きさ(大/小)との組み合わせで定義される純音4種類であった。これら4種類の音は容易に聞き分けることができた。

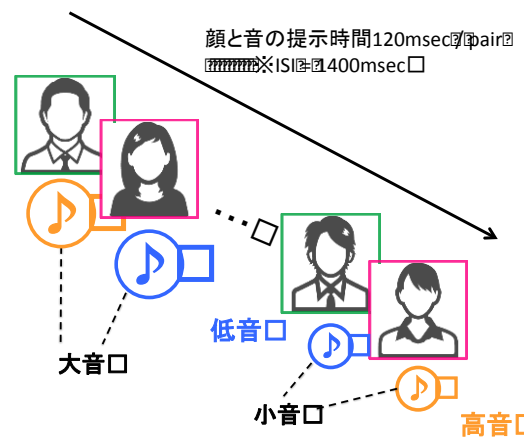


図1 実験の模式図。1試行 156枚の顔が提示された。

**実験手続き** 参加者は図1のように順次提示される顔のうち、特定の性別の顔のみを記憶した。実験1では同時に提示される音に関しては無視するように教示された (単一課題)。実験2では同時に提示される純音の高さに注目し、標的があった場合はキー押しをすることになっていた (二重課題)。覚えるべき顔の性別、標的を決定する音の高さは参加者間でカウンターバランスを取った。1セットは156試行で各顔が一度ずつ提示され、提示順を変えて3セット行われた。各有名人は3

回提示されたことになるが、いずれも特定の種類の音と共起していた。約1分後に再認課題が行われた。記憶した顔と新しい顔とが同時に提示されるので、いずれが記憶にあるものかを強制二肢選択で回答した。

## 結果

**実験1 単一課題** 表1に実験1における再認率をまとめた。参加者ごとに再認率を算出し顔×音の高さ×音の大きさの3要因分散分析を行った。顔の主効果( $F(1,7) = 14.2, p = .007$ )、音の大きさの主効果( $F(1,7) = 23.4, p = .002$ )、顔と音の大きさとの交互作用( $F(1,7) = 6.5, p = .039$ )がそれぞれ有意となった。その他の交互作用は統計的に有意とはならなかった。Holm法により顔ごとに多重比較を行ったところ、覚えるべき顔の再認率について、音の大きさによる差は認められなかったが( $t(7) = 0.6, p = .56$ )、無視してよい顔について、小音と同時に提示された顔が大音と比べて再認率が低いことが分かった( $t(7) = 6.2, p = .001$ )。

表1 実験1(単一課題)の再認率の結果( $N = 8$ )。下段の斜体は標準偏差

	音の種類□			
	高大音□	高小音□	低大音□	低小音□
覚えるべき顔□	0.89	0.88	0.89	0.87
	<i>0.09</i>	<i>0.09</i>	<i>0.08</i>	<i>0.10</i>
無視すべき顔□	0.86	0.69	0.80	0.68
	<i>0.11</i>	<i>0.14</i>	<i>0.06</i>	<i>0.14</i>

**実験2 二重課題** 表2に実験2における再認率をまとめた。参加者ごとに再認率を算出し顔×音の標的性×音の大きさの3要因分散分析を行った。ここでの標的性とは、音の弁別反応課題において、標的となっていたかそうでなかったかの区別である。顔の主効果( $F(1,19) = 12.9, p = .002$ )、音の標的性の主効果( $F(1,19) = 4.9, p = .040$ )、音の大きさの主効果( $F(1,19) = 12.6, p = .002$ )がそれぞれ有意となったが、交互作用はいずれも認められなかった( $F$ 値最大となるものが、顔×大きさの交互作用で、 $F(1,19) = 0.9, p = .36$ )。

表2 実験2(二重課題)の再認率の結果( $N = 20$ )。下段の斜体は標準偏差

	音の種類□			
	目標大音□	目標小音□	非目標大音□	非目標小音□
覚えるべき顔□	0.86	0.84	0.85	0.81
	<i>0.12</i>	<i>0.14</i>	<i>0.10</i>	<i>0.11</i>
無視すべき顔□	0.82	0.75	0.79	0.73
	<i>0.11</i>	<i>0.15</i>	<i>0.14</i>	<i>0.14</i>

## 考察

実験1において、無視してよい顔にもかかわらず、大音と同時に提示された顔の再認率は覚えるべき顔と同程度となっていた。これは大音が覚醒度を高め、同時に提示された視覚刺激の記憶処理を促進したと解釈できる(Kahneman, 1973)。

実験2においても、大音と同時に提示された顔の再認率は小音と比べて高くなっていたが、交互作用は認められなかった。無視してよい顔の処理は大音により促進されたが、実験1と比べると影響が小さかった可能性がある。Lavie (2005)によると、負荷が高い場合には課題無関連な情報が主課題に及ぼす影響が小さくなるとされる。実験2では二重課題による負荷のために、記憶課題とは無関係な大きさの情報の影響が小さくなったと解釈できる。

また、音の大きさは実験1では影響を及ぼさなかったが、実験2では再認率に影響を及ぼすようになった。重要なのは、顔の課題と音の課題は同時に行われるという点以外で無関連であるということだ。にもかかわらず、音の検出課題に関係する音と同時に提示された顔は促進効果を受けると考えられる。Jiang と Swallow (2014)は、視聴覚刺激のどちらかが標的であった場合に処理がまとめて行われ、視覚情報を無視して聴覚情報のみに注意する、あるいはその逆のような処理はできないと状況を報告した。実験2の結果もおおむねこの状況に整合すると考えられる。

これまで見たように、視覚刺激の記憶に対し促進効果をもつ聴覚刺激は、顕著性の高いもの、またはその時の行動にとって重要なものである(音の検出課題における標的特徴)ことがわかり、これは先行研究の知見に違わないものであった。しかしながら、これらの交互作用は認められなかった。完全に課題無関連な音の大きさ特徴は、重要な特徴による促進効果を妨害することなく、独立に視覚情報処理を促進していたことになる。ここから、新たに顕著性による促進と課題関連性による感覚横断的な促進作用は別のメカニズムに基づく可能性が高いことが分かった。

## 引用文献

- Aston-Jones, G., & Cohen, J. D. (2005). *Annual Review of Neuroscience*, 28(1), 403–450.
- Bernstein, I. H., Rose, R., & Ashe, V. (1970). *Psychonomic Science*, 19(2), 113–114.
- Jiang, Y. V., & Swallow, K. M. (2014). *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance*, 40(6), 2348–2360.
- Kahneman, D. (1973) *Attention and effort*. Englewood Cliffs, NJ: Prentice-Hall.
- Lavie, N. (2005). *Trends in Cognitive Sciences*, 9(2), 75–8

# 触覚知覚・記憶におけるオノマトペの影響

辻 健太  
渡邊 淳司  
今井 むつみ

慶應義塾大学 環境情報学部  
NTT コミュニケーション科学基礎研究所  
慶應義塾大学 環境情報学部

要旨 言語が知覚、記憶、認識に影響を与えることは広く知られているが、触覚記憶における言語の影響を示した研究はまだ数が少ない。触覚の記憶は視覚や聴覚に比べて減衰がはやく、曖昧であり、触覚を表現する語彙も限定的で、多くはオノマトペで表される。本研究はオノマトペが触覚記憶にどのように影響を与えるのかを検討した。

Keywords: 異感覚協応、触覚、記憶、オノマトペ

## 問題・目的

われわれは五感を使って外界の情報を得ている。知覚はほとんどが無意識で自動的に処理されるが、実はトップダウンの知識や他感覚からの干渉影響を受けるということは周知の事実である。視覚と聴覚は結びつきが強く、McGurk 効果をはじめ相互に干渉する例は多くあるが、触覚も他の知覚の影響を受ける。例えば視覚が触覚に影響を与える例として rubber-hand illusion (Ehrsson et al., 2005) が、触覚が聴覚からも影響される例として parchment-skin illusion (Jousmäki & Hari, 1998) などが知られている。

では言語情報は触覚に影響を与えるのだろうか？多感覚統合・協応で近年音象徴が注目を集めている。音象徴は言語の音と指示対象の間に「類似性」を感じる現象であり、オノマトペは音象徴性を明示的に含む。音象徴は言語・認知の身体性という点で注目されているが、具体的にどのようなメカニズムで音と視覚、触覚、味覚などの異感覚の間で協応がおき、類似性を感じるのかはまだ明らかではない。本研究では、触覚に焦点を当て、オノマトペが触覚の知覚と記憶に及ぼす影響について検討する。触覚の記憶も、他の視覚モダリティにおける記憶と同様、感覚記憶（触覚レジスタ）が存在し、その情報の保持期間は 0.8 秒程度であるとされている。触覚レジスタにおいて注意を向けられた情報が短期記憶へと移行するが、触覚の短期記憶は刺激提示から 5 秒から 10 秒ほどたつと急速に低下し、それ以降は緩やかに低下すると報告されている (Bliss et al., 1966)。ここから、触覚の短期記憶は保持期間が 5 秒から 10 秒の短い期間とそれ以降の期間の 2 つに分かれているといわれている。前者は触印象の減衰過程と呼ばれ、保持時間中に干渉課題を付加した場合も成績の低下がみられず、マスキングの影響が見られる。一方で後者の過程はリハーサルや干渉課題の有無によって影響を受ける。

以上から触覚の記憶は、保持期間が 1 秒未満の触覚レジスタと 1 秒から 10 秒程度の触印象の減衰過程、それ以降の短期記憶、長期記憶の 4 つに分かれていると考えられている。本研究は触ってから数秒で大きく低下してしまう触覚の記憶がどのようにオノマトペの音象徴の影響を受けるのか（あるいは受けないのか）、またそれが保持の時間に影響を受けるのかを検討する。

## 実験

### 被験者

日本語母語者 20 人 (男性 14 人、女性 6 人、平均 21.8 歳、19 歳から 27 歳までの範囲)

### 実験刺激と手続き

渡邊他 (2011) の刺激を参考にしながら予備実験を経て 1 セットが 3 種類の触覚刺激 (ターゲット、シミラー、フィラー) とシミラーの刺激に合うオノマトペ (S-オノマトペ) とフィラーの刺激に合うオノマトペ (F-オノマトペ) の 2 種類のオノマトペから構成される刺激を 10 セット用意した。各セットには最初に触る刺激 (ターゲット)、ターゲットと触覚が似ている刺激 (シミラー)、似ていない刺激 (フィラー) の 3 種類の刺激がある。1 グループにつき、触った時に視覚情報は得られないように刺激は箱の中に置かれた。実験は二日にわたって行われた。どちらの日もターゲットを触り、その後二つのテスト刺激を触った後、二つのテスト刺激をさわって、それぞれの刺激とターゲットとの類似性を 7 段階で評定した。テスト刺激はフィラーに対して、最初に触ったターゲットと同一の刺激がペアになった場合と、シミラーと組み合わせられたペアがあり、ランダムな順で提示された。実験の流れは図 1 に示す。被験者は 2 グループに割り振られ、1 秒条件の被験者はターゲットを触った直後 (一秒後) に次の 2 つを触り、

10秒条件の被験者はターゲットを触ってから約10秒後に次の2つを触った。

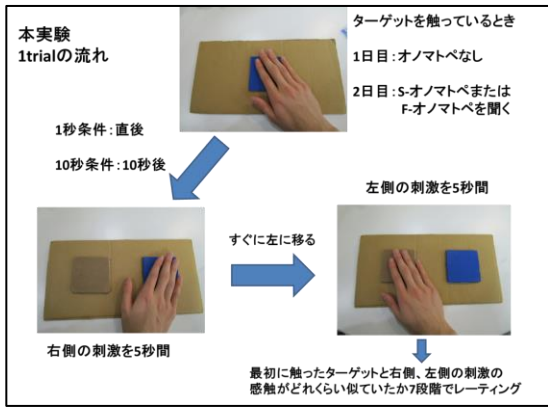


図1 実験の流れ

音象徴が触覚の記憶に影響を与えるなら、S-オノマトペを聞いたときはターゲットとシミラー、ターゲットとターゲットの類似度の点数が上がり、F-オノマトペを聞いたときはターゲットとフィルターの類似度の点数が上がるはずである。また、触覚の短期記憶の先行研究から、1秒条件の被験者よりも10秒条件の被験者の方がオノマトペによる変化が大きいことを予測した。

## 結果

類似度評定値を従属変数として2（保持時間）×4（ペアの種類：TT, TF1, TS, TF2）×3（オノマトペなし、音象徴適合・不適合）の反復測定分散分析を行った。テストの際、フィルター刺激はターゲット刺激と組み合わせられた場合もシミラー刺激と同一であるが、前者の場合はF1、後者はF2として別扱いにした。保持時間による有意な差はなく、また有意な交互作用もみられなかったため、保持時間をつぶして4（ペアの種類）×3（オノマトペ：なし、音象徴適合、不適合）の反復測定分散分析をしたところ、有意な交互作用が得られた ( $F(4.699, 183.279) = 8.865, p < .001$ )。

音象徴の適・不適がそれぞれ音象徴なしの場合に比べてどのように異なるかを見るために、S-オノマトペを聞いたとき、F-オノマトペを聞いたときそれぞれの点数に対し、オノマトペなしの点数との差分を出した。差分スコアに4（ペア）×2（オノマトペ適合・不適合）の反復測定分散分析をするとペア×オノマトペで有意な交互関係が得られた ( $F(2.319, 90.455) = 6.689, p < .001$ )。どのペア（T→T、T→F1、T→S、T→F2）でオノマトペの効果が出ているのか調べるため、それぞれのtargetに対して多重比較を行ったところ、ターゲット-フィルターペアではT→T、T→F1ともに音象徴不適合群の間に有意差はなかったが、シミラーとフィルターペアでは、T→SとT→F2)において有意差が見られた(ともに $p < .001$ )。

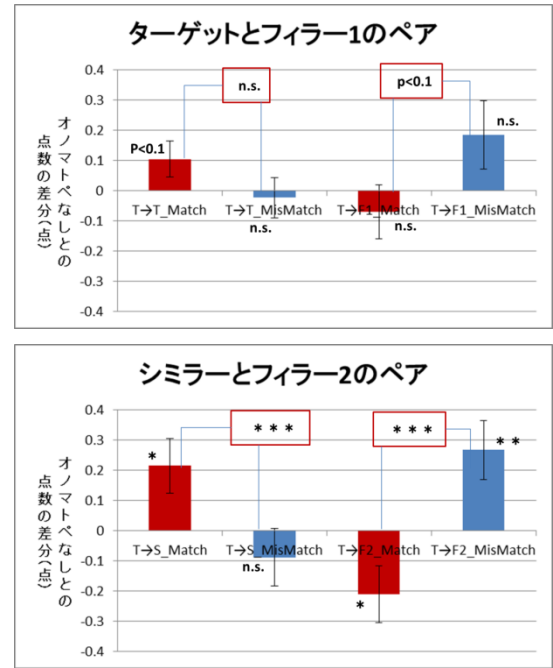


図2 オノマトペ適合・不適合の類似性評定への影響 上パネル：ターゲット対フィルター；下パネル：シミラー対フィルター

## まとめと討論

オノマトペの音象徴性は触覚の記憶に影響を与えることがわかった。ただしその効果はテスト刺激の触覚がターゲットと似ているが同一素材ではない場合に限られており、音象徴的に適合していれば記憶された類似性は増幅され、不適合の場合には類似性は減少することが確認された。保持時間が触った直後（一秒後）でも、しばらくのラグがあっても同様にオノマトペの効果はかわらなかったことから記憶された触覚は触っている時点、つまりエンコーディングの時点でオノマトペの影響を受け、それが保持されると考えられる。

## 引用文献

Ehrsson, H.H., Holmes, N.P., & Passingham, R.E. (2005). Touching a rubber hand: feeling of body ownership is associated with activity in multisensory brain areas. *J. Neurosci.* 25 (45): 10564–73.

Jousmäki, V & Hari, R. (1998). Parchment-skin illusion: sound-biased touch. *Current Biology*, 8, R190-R191

Bliss, J.C., Crane, H.D., Mansfield, P.K. et al. (1966). *Perception & Psychophysics*, 1: 273-283.

渡邊淳司、加納有梨紗、清水裕一郎、坂本真樹.(2011). 触感覚の快・不快とその手触りを表象するオノマトペの音韻の関係性. *日本バーチャルリアリティ学会論文誌*, Vol.16, No.3



# 空間的視点取得における前後判断と左右判断の非対称性

武藤 拓之  
松下 戦具  
森川 和則

大阪大学大学院人間科学研究科／日本学術振興会

大阪大学大学院人間科学研究科

大阪大学大学院人間科学研究科

空間的視点取得とは、エージェント (e.g., 他者) の位置を基準に物の空間的位置関係を把握する認知過程である。空間的視点取得において、前後方向の判断と左右方向の判断では用いられる方略が異なることが知られている。本研究は、エージェントの形状 (e.g., 左右対称性) がこの方略差に影響する可能性を5つの実験で検証した。実験の結果、(1) エージェントの対称な軸に関する視点取得において視点変換方略が優勢となること、(2) エージェントの非対称な軸に関する視点取得において心的走査方略が優勢となること、(3) 前後が曖昧な人型のエージェントは対面バイアスを生じさせ、不要な視点変換を誘発すること、(4) 前後対称なエージェントに対する前後判断は、左右対称なエージェントに対する左右判断よりも困難であること、および (5) その困難さは視点取得者の想像力の低さで予測できることが明らかになった。これらの結果は、前後方向と左右方向の空間的視点取得の際に要求される認知処理の共通点と相違点を示している。

Keywords: spatial cognition, spatial perspective taking, egocentric perspective transformation, mental scanning, strategy differences

## 問題・目的

空間的視点取得とは、特定のエージェント (e.g., 他者) の位置を基準に物の空間的位置関係を把握する認知過程である。対象となるエージェントは必ずしも人である必要はなく、椅子のような、固有の座標系を持つ物体でも良い (Surtees, Noordzij, & Apperly, 2012)。空間的視点取得において、前後方向の判断と左右方向の判断では異なる方略が用いられることが知られている (e.g., Michelon & Zacks, 2006)。左右判断の際は、頭の中で自分の視点を回転させて、エージェントの視点と自分の視点を一致させてから判断が行われる (視点変換方略) ため、自分の向きとエージェントの向きの差 (角度) が大きいほど反応時間が長くなる。一方、前後の判断はエージェントの視線をなぞるだけで行える (心的走査方略) ため、角度の影響を受けにくい。

先行研究では、エージェントとして主に人やドールが用いられてきたが、これらのエージェントの形状は、左右に関して対称であるのに対し、前後に関しては非対称であった (e.g., 顔のある側が前)。したがって、前後判断と左右判断の方略差は判断の方向ではなくエージェントの形状の左右対称性と前後非対称性に由来する可能性がある。そこで本研究は、エージェントの形状 (対称性) が空間的視点取得の方略に与える影響を検証するために5つの実験を行った。

## 方法

### 実験参加者

実験参加者は合計60名 (女性30名) であり、実験1から実験5のそれぞれに12名 (女性6名) ずつ参加した。

### 刺激と手続き

中央にエージェント、その周囲に4本の柱が置かれた部屋の俯瞰画像を刺激として用いた (図1)。柱は4本

中1本が青色で、残りの3本が白色であった。エージェントは、実験1では椅子 (前後非対称かつ左右対称)、実験2では右側に手すりの付いた椅子 (前後も左右も非対称)、実験3では右手が黒い人型の物体 (前後対称かつ左右非対称)、実験4では右側が黒い物体 (前後対称かつ左右非対称)、実験5では前側が黒い物体 (前後非対称かつ左右対称) であった (図2上段)。エージェントが実験参加者と同じ方向 (奥側) を向いている画像 ( $0^\circ$ ) と、そこからエージェントおよび4本の柱が  $\pm 45^\circ \cdot \pm 90^\circ \cdot \pm 135^\circ \cdot 180^\circ$  回転した画像を作成した。

実験参加者は、刺激中のエージェントの位置を基準として青い柱がどの方向にあるのかをなるべく速く正確に回答した。前後判断課題では、青い柱が前後どちらにあるのかをテンキーの「8 (前)」か「2 (後ろ)」を押して回答した。左右判断課題では、青い柱が左右どちらにあるのかをテンキーの「4 (左)」か「6 (右)」を押して回答した。前後判断課題と左右判断課題の実施順序は参加者間でカウンターバランスした。各課題において、 $0^\circ \cdot 45^\circ \cdot 90^\circ \cdot 135^\circ \cdot 180^\circ$  の5条件が64試行ずつランダムな順序で行われた。2つの課題が終了した後で、実験参加者はそれぞれの課題で用いた方略を実験者に報告し、最後に日本語版AQ質問紙 (若林・東條・Baron-Cohen・Wheelwright, 2004) に回答した。

## 結果と考察

### 実験1：椅子

エージェントとして椅子を用いたところ、前後判断課題でも左右判断課題でも角度が大きくなるにつれて反応時間が増大したが ( $ps < .001$ )、そのスロープは前後判断課題よりも左右判断課題の方が急であった ( $p < .001$ ; 図2)。この結果は先行研究の結果と整合しており、左右判断課題では視点変換方略、前後判断課題では心的走査方略が優勢な方略であることを示している。

### 実験 2：右側に手すりのある椅子

椅子の右側に手すりを加えたところ、前後判断と左右判断における反応時間のスロープの差は実験1よりも減少した ( $p = .006$ ; 図2)。この結果は、エージェントの形状における非対称性が心的走査方略を促進することを示唆している。

### 実験 3：右手が黒い人型の物体

実験3では、前後対称で右手が黒い人型の物体をエージェントとして用いた(図2)。実験の結果、前後判断は左右判断よりも長い反応時間を要したが ( $p < .001$ )、前後判断と左右判断で反応時間のスロープに差は認められなかった ( $p = .968$ )。加えて、 $0^\circ$ 条件と $45^\circ$ 条件において左右判断よりも前後判断のエラーが多かった ( $ps < .012$ )。この結果は、前後が曖昧な人型のエージェントを見るとそれが自分の方を向いていると錯覚してしまい(対面バイアス)、その結果として低角度条件において不要な視点変換が誘発された可能性を示唆している。また、AQの想像力得点が高い(i.e., 想像力が低い)人ほど前後判断 ( $r = .66, p = .020$ ) と左右判断 ( $r = .64, p = .026$ ) の平均反応時間が長いことが示された(図3)。

### 実験 4：右側が黒い物体

実験3のエージェントから頭部と左腕を除去したエージェントを用いたところ、実験3で見られた対面バイアスが消失した ( $p = .298$ ; 図2)。この結果は、人型のエージェントが対面バイアスを誘発するという見解を支持している。また、前後判断の反応時間は左右判断よりも一貫して長く ( $p < .001$ )、反応時間のスロープは左右判断よりも前後判断の方が急であった ( $p = .017$ )。これらの結果から、前後非対称な形状を持つエージェントに対する前後判断は視点変換方略を促進するが、この時の視点変換の認知的負荷は左右対称なエ

ージェントの左右を判断する時よりも大きいことが示された。また、想像力が低い人ほど前後判断の平均反応時間が長かった ( $r = .71, p = .001$ ; 図3)。

### 実験 5：前側が黒い物体

実験5では実験4と全く同一の刺激を用いたが、黒い部分が前側であると参加者に教示した。実験の結果は実験1と同様のパターンを示した(図1)。この結果は、実験3・4の結果がエージェントの新奇性では説明できないことを示している。

## 総合考察

本研究は、エージェントの形状の対称性が空間的視点取得の方略に影響する可能性を5つの実験で検証した。実験の結果、(1) エージェントの対称性が視点変換方略を促進し、(2) エージェントの非対称性が心的走査方略を促進することが示された。また、(3) 前後が曖昧な人型のエージェントは対面バイアスを生じさせ、不要な視点変換を誘発すること、(4) 前後対称なエージェントに対する前後判断は、左右対称なエージェントに対する左右判断よりも困難であること、および(5) その困難さは視点取得者の想像力の低さで予測できることが明らかになった。これらの結果は、前後方向と左右方向の空間的視点取得の際に要求される認知処理の共通点と相違点を示している。

## 引用文献

Michelon, P., & Zacks, J. M. (2006). Two kinds of visual perspective taking. *Perception and Psychophysics*, 68, 327–337.  
 Surtees, A. D. R., Noordzij, M. L., & Apperly, I. A. (2012). Sometimes losing your self in space: Children's and adults' spontaneous use of multiple spatial reference frames. *Developmental Psychology*, 48, 185–191.  
 若林 明雄・東條 吉・Simon Baron-Cohen・Sally Wheelwright (2004). 自閉症スペクトラム指数 (AQ) 日本語版の標準化——高機能臨床群と健康成人による検討—— *心理学研究*, 75, 78–84.

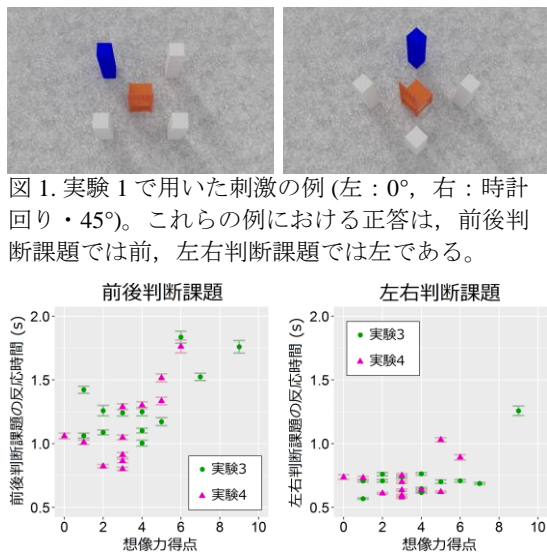


図 1. 実験 1 で用いた刺激の例 (左:  $0^\circ$ , 右: 時計回り・ $45^\circ$ )。これらの例における正答は、前後判断課題では前、左右判断課題では左である。

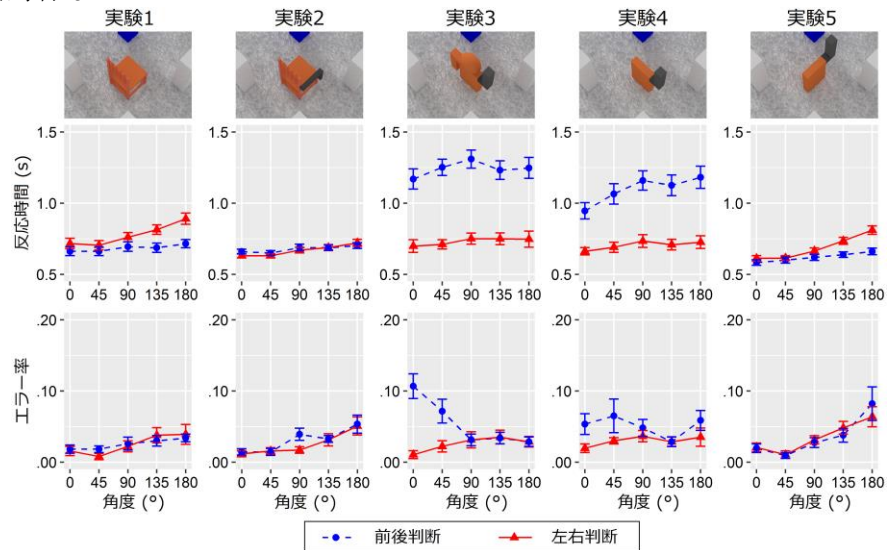


図 2. 上段：それぞれの実験で用いたエージェント (時計回り・ $45^\circ$ )。中段：条件ごとの平均反応時間。下段：条件ごとの平均エラー率。エラーバーは標準誤差を表す。

# グラデーションによる明るさ錯視と図形の三次元的曲面性

小林 勇輝  
松下 戦具  
森川 和則

大阪大学大学院人間科学研究科  
大阪大学大学院人間科学研究科  
大阪大学大学院人間科学研究科

白い誘導領域に囲まれたグレーの検査領域は、黒い誘導領域に囲まれたグレーの検査領域よりも暗く見える。この「明るさの対比効果」は、誘導領域のさらに外側に、グラデーションを付与することによって強化される (Agostini & Galmonte, 2002)。この現象が起こるメカニズムはいまだ明らかではないが、グラデーションによって生まれる、刺激への凹面・凸面としての知覚 (Ramachandran, 1988) がこの現象と関連している可能性があった。そこで本研究では、ステレオスコープを用いて、刺激に三次元的な曲面性を与えたときの検査領域に対する明るさ知覚を測定した。結果として、図形が凹面として知覚される際には、対比効果が相対的に弱まることが明らかとなった。凹面の刺激に対しては、「光が当たっている」という見え方がなされにくかったことから、照明の解釈が本研究の結果と関連していると考えられる。

Keywords: Optical illusion, lightness perception, Binocular stereopsis

## 問題・目的

ある表面に対する明るさの知覚は、その表面に隣接する領域の輝度に影響を受ける。たとえば、白い領域に囲まれた灰色の表面は、黒い領域に囲まれた灰色の表面よりも暗く感じられる。これは明るさの対比効果としてよく知られた現象である。

Agostini & Galmonte (2002) は、図形の周囲にグラデーションを付与することによって、対比効果が強まるという現象を発見した。図 1 において、2つの十字型図形の中心に位置するグレーのパッチ (検査領域) と、その周囲の白い領域 (誘導領域) はいずれも同じ輝度であるが、左図の検査領域にはより強い対比効果が働き、右図の検査領域よりも暗く知覚される。

この現象の原因はいまだ明らかではない。グラデーションに対してわれわれが三次元的な曲面性を知覚する (Ramachandran, 1988) という知見をもとに、本研究では知覚上の三次元的な曲面性が対比効果の強化と関連する可能性を検証した。

## 方法

**実験参加者** 18名 (うち女性7名) が参加したが、ステレオスコープによる立体視ができなかった2名 (ともに男性) を分析から除外した。

**装置** CRTディスプレイに提示された刺激を、ステレオスコープを用いて観察した。実験中、部屋を照らすものはディスプレイのみだった。

**刺激** 実験では、図 2(a)のような図形に奥行きを加えたものが刺激として用いられた。正方形のランダムドット枠は両眼像の融合を促進するためのもので、両眼視差はなかった。中央のパッチを囲む X 字型のグラデーション図形には視差によって三次元的な曲面性が与えられ、深い凹面、浅い凹面、平面、浅い凸面、深い凸面の5条件が用意された (図 2b; 図形の中央部と二つのパッチは参照枠と同じ奥行きで、周辺アーム部分の奥行きが操作された)。

**手続き** 実験参加者に与えられた課題は、右上に提示されるグレーのパッチの輝度をマウスホイールで調整し、刺激中央のパッチと同じ輝度にするのであった。調整が完了次第、左クリックで次の試行に移ることができた (試行間ブランクは0.5秒)。中央のパッチの輝度はいずれの試行においても  $52.0 \text{ cd/m}^2$  であった。実験全体は40試行 (曲面性5条件×上昇・下降系列2通り×繰り返し4回) で構成されていた。また、実験参加者には、実験が終わったのちに、提示された凹面、凸面の刺激それぞれにおいて、中央の白い部分が「光を発している」ように感じたか、「光を受けている」ように感じたかを尋ねた。なお、実験参加

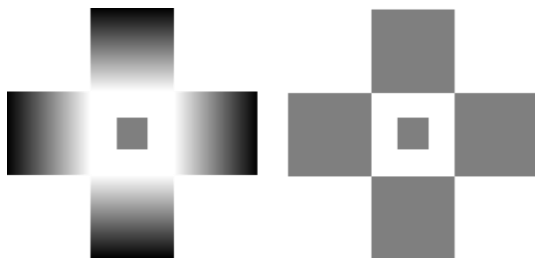


図 1 対比効果強化の例。

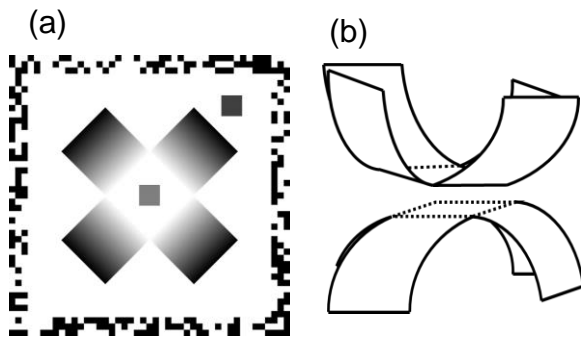


図 2(a)刺激例。いずれの条件でも刺激の二次元像は同じであった。(b)凹面, 凸面の十字型図形のイメージ。上が凹面, 下が凸面を示す(上から観察したとき)。

者の半数は, 同様の刺激に対してまぶしさを評定するセッションを先に行っていたが, 本稿では言及しない。

## 結果

中央のパッチに対して知覚された輝度 (i.e., 右上のパッチの調整結果) の平均値を条件ごとに算出した (図 3)。いずれの条件においても物理的な輝度である  $52.0 \text{ cd/m}^2$  よりも暗い輝度が知覚され, グラデーションによる対比効果の強化自体は一貫して確認することができた。これらのデータに対して 1 要因分散分析を行ったところ, 図形の曲面性による有意な主効果が見られた ( $F(4, 60) = 4.42, p = .003$ )。この主効果についてライアン法に基づく多重比較を行ったところ, 深い凹面条件においては, 平面条件・浅い凸面条件よりも中央パッチが明るく知覚されていた (それぞれ,  $t(60) = 3.76, p < .01$ ;  $t(60) = 3.46, p < .01$ )。つまり, 深い凹面条件のとき, 対比効果は弱かった。

また, 実験後に尋ねた「刺激が光を受けているように見えるか, 光を発しているように見えるか」という質問では, 凸面においてはそれぞれの回答が同数だったのに対し (発:5 名, 受:5 名, わからない 6 名), 凹面

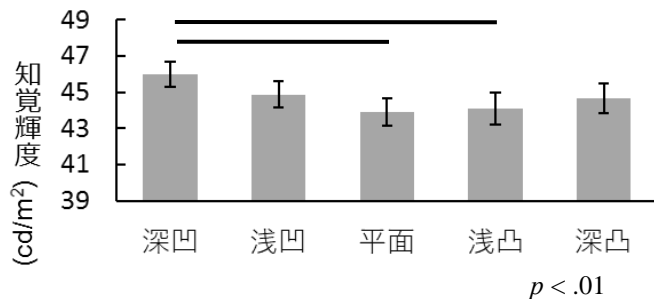


図 3 中央のパッチに対する知覚輝度。エラーバーは標準誤差, 横線は始点と終点のデータ間の有意差を示す。

においては光を受けているという回答が少なかった (発: 10 名, 受: 1 名, わからない 5 名)。

## 考察

本研究では, 図形の二次元像が同じであっても, その図形に対して感じられる三次元上の曲面性によって, 中央のパッチに対する明るさ知覚が変わることが示された。パッチを囲む図形が凹面として提示されたときには, 平面や凸面として提示されるときに比べて中央のパッチに働く対比効果が相対的に弱まった (i.e., 明るく知覚された)。この結果は, Agostini & Galmonte (2002) が示した対比効果の強化が, グラデーションによる三次元的曲面性の知覚と関連している可能性を示している。

ではなぜ図形が凹面として知覚されるとき, 対比効果は弱まったのだろうか。これには図形に当たる照明への知覚が関与している可能性がある。チェッカーシャドウ錯視 (Adelson, 1995) が示すように, われわれは光が当たっていないと感じられる表面を明るく知覚する。実験後に行った質問の結果から考えると, 凹面の刺激は, 光が当たっていると見られにくい刺激であった。このような照明の解釈が, 今回の結果の原因として考えられる。

しかしながら, 今回の実験からは, この効果が, 図形の曲面性とグラデーションの相互作用によって生まれたものであるのか, 曲面性単体によって生まれたものであるのかは明らかではない。また, アームを曲面にせず, 奥行きのみを操作した条件も試みる必要があるだろう。本研究で確かめられた凹面性による明るさ知覚への効果は, 従来の知見からは説明できない現象であるがゆえに, 今後も研究が必要となる。

## 引用文献

- Adelson, E. H. (1995). Checkershadow illusion, Retrieved from [http://web.mit.edu/persci/people/adelson/checkershadow\\_illusion.html](http://web.mit.edu/persci/people/adelson/checkershadow_illusion.html) (February 13, 2017).
- Agostini, T., & Galmonte, A. (2002). A new effect of luminance gradient on achromatic simultaneous contrast. *Psychonomic Bulletin & Review*, 9(2), 264-269.
- Ramachandran, V. S. (1988). Perceiving shape from shading. *Scientific American*, 259(2), 76-83.

# 心理学と人称の問題

川津茂生

国際武道大学体育学部

心理学における人称の問題を考察していくと、三人称化する科学的な心理学の枠を乗り越えていく、哲学的な思索が必要となってくる。その問題を生活という基盤まで遡っていくときに、二人称的なものをも含む哲学的な心理学の視野が開ける。そこにおいて、人称の理論というものが、一つの根本的な理論として出現していかねばならない。

Keywords: 人称 生活 心理学 哲学

## 生活することから見た人称問題

心理学において人称の問題は2つの領域で出現する。1つには意識と脳の問題がある。すなわち、一人称の意識が三人称である脳からどのようにして出てくるかという問題である。2つ目に、病的な心理状態における人称的対立の問題がある。すなわち、自己における一人称的なものが、他者からやってくる三人称的な自己イメージと対立した場合の苦悩をどのように和らげていくかという問題である。これらの2つの問題はどちらも、対立を媒介とする二人称によって理論的に解決していくであろう、というのが川津のこれまでの主張である。

心理学は現代では主に科学的な方法で研究されている。しかし、科学的な方法というものはすでにその方法のうちに、人称の問題に対する方法論的な立場を取ってしまった。というのも科学は基本的に一切を対象化するのであるから、要するに三人称化していくのである。ところが、人称の問題を掘り下げていくことは、この全てを三人称化する方法自体を再検討していくことになるから、科学的な方法それ自体の基盤を切り崩していく可能性が出てくる。すなわち、科学する主体である科学者また科学的心理学者の立っている場所また基盤を再検討し直すことになっていく。科学の前提そのものを問い直していくこのような作業は、当然のことながら哲学的なものとならざるを得ない。

哲学的に人称の問題を考えていく場合には、我々が生活人であるということそれ自体から出発していくことが必要になる(川津, in print)。というのも、人称的なスタンスが個々人において形成されてくる現場は、その人の生活そのものであり、人称の問題に対する立場というものは、そういった生活の具体性の中からしか出現してこないからである。

生活の中では、対象化ということに対して、その対極にある方法として「対面化」(あるいは、二人称化)ということが考えられる。この場合対面すること自体をどこまでも対象化していくならば、対面状況の対象化は可能である。しかしその時、対面化する姿勢はすでに一步背景に退いてしまっている。しかし、対面するという事に留まれば、対象化する方法こそが一步背景に退くことになる。

ところが、対面化状況での最も深刻な問題は、対面

する相手との間の愛の関係になっていく。したがって、そこにおける問題はもはや科学的な知の問題ではなく、倫理の問題である。というのも、愛の問題とは優れて人称的な問題なのである。

ここにおいて、倫理的なブレイクスルーが知的なブレイクスルーになっていくという、根本的に哲学的な解決の方向性が見えてくる。言い換えるなら、倫理的なまた人格的な成長を通してのみ見えてくる全く新しい知の世界がある。科学的な知というものは、一般的には科学者の人格的な成熟度とは関係なく、知性の成熟によってのみ展開していく。しかし、科学が行き詰まった現代では、新しい知は倫理的な人格的な成熟を伴ってのみ拓けてくる地平によってしか発見できないのである。というのも、私のいう「先駆的二人称」

(川津, 2007) という概念はそういった倫理的なブレイクスルーによってのみ、意味が理解できるものなのである。

しかし、そこにはある一定の論理性も出現していく。その論理性は倫理性の成熟を伴いつつ出現する論理性であって、そこには截然とした論理と倫理の分離はないのである。

自己犠牲を伴う愛というものが自己において成長していくときに、知的な視野も成長していき、新たな地平が開けていく。人称の一般理論というものはそういった形でしか理解されないものなのである。そのようにして得られる知識は公共客観的には確認できないという批判も可能であろう。しかし、そういった新たな知の地平が多く古典的な著作の示す人類共通の知的遺産である一定の哲学的な見方と照応していくときに、いわゆる科学的なエビデンスとは全く異なるけれども、歴史的な文脈の中での別の意味でのエビデンスを持ち始め、一定の強い確実性を有するようになる。そしてそういったものこそが、今必要とされている真のブレイクスルーなのである。

自己が一人称を捨てて二人称になっていくということは、そのことを知的に、また言葉の上で理解できたとしても、それは真の理解とは言えない。それはそうになっていくというプロセスを自分自身が経験していくときに初めて納得できていく事柄なのである。それを命題の複合として理解できたとしても、それだけでは実際はそれがどういうことなのか、全く理解できない。ところがそれをそのように経験によって理解していくときに、そこにある確実な弁証法的な論理性が現

れ、しかも、その論理性によって、それ以前の知的な世界までもが変貌していくのである。しかもそれは私秘的なことではなくて、客観的なサポートを歴史の中に溢れるほど持っているのである。

倫理の中にしかない論理というものが、人称の理論として表現できるというのが私の主張である。そしてまた、心理学における人称の問題は、この方法を用いなければその本質的な解決はあり得ないというのが私の主張である。

対象化していく知性は、「対面化」していく知性によって補完されねばならない。人称の言葉で言えば、三人称化する知性は、二人称の知性によって補完されていくのである。ということは三人称化する知性の背後にある論理性も、二人称の論理性を出現させるものである歴史性あるいは時間性の中に展開する弁証法的な論理によって補完されていくということである（川津, 2016）。しかもこの弁証法的な論理は、自己がその基盤である人称性の問題で悪戦苦闘する経験の成熟の中ならその経験の持つ論理性として出現するのである。

このようにして三人称化する知性が、二人称的なものによって補われ、またさらには一人称的なものをも包含していくときに、そこには人称の理論というものが現れてこなければならない。その理論は対象化を基盤とした科学的な心理学の枠を大きくはみ出していく。それ故そういった理論は哲学的となり、心理学に

留まるとすれば、それは哲学的な心理学と呼ばれねばならない。

すなわち、人称の一般的な理論が哲学的心理学として出現することが期待されているのである。そこにおいてはいわゆる科学的なエビデンスはもちろん認められるが、それとは全く次元の異なる歴史的なエビデンスが承認されねばならない。それは簡単に言えば、自己の倫理的なまた人格的な経験の成熟の中にあるロゴス的なものが現れるときに、それが多くの古典的な哲学、文学、宗教の作品と照応し呼応していくということからくる明証性（エビデンス）でもある。

そういった性格の異なるエビデンスを統合して全体的な知的世界を作ることはこれまでは困難であった。しかし、そのような全体的な知的世界を、人称の理論がとりわけ一般的な人称の理論というものが構築していくことが、今可能となりつつあるのである。

## 引用文献

- 川津茂生 (2007) 先駆的二人称から見た存在 国際基督教大学 教育研究 49 21-29  
川津茂生 (2016) 二人称の問題 国際武道大学研究紀要 第31号 117-122  
川津茂生 (in print) 生活の中の人称 (仮題)

# 自然画像中の顔と手はいかに眼球運動を誘導するか

新美 亮輔

新潟大学人文学部

It is well known that face draws visual attention, yet its interactions with other objects in natural scenes are not well understood. Here the author examined eye movements during free observations of natural scenes containing human figures, with systematically controlling faces and hands. The faces were fixated as fast as a salient central object in scenes without human figure. In general, the hands were fixated after faces. The critical finding was that fixations to hands were modulated by other objects. The hands were fixated more often and quickly when they were looked at by the owner, or when the hands interacted with other objects (e.g., playing piano). The results indicated that interactions among objects are critical to guide visual attention while observing human figures.

Keywords: natural images, scene perception, person perception, hand, face, eye movements, attention.

## 問題・目的

顔が注視されやすいことは視覚探索課題などによりたびたび示されてきた。では、より日常的な、人物を含む自然画像の観察時に、注意はどう誘導されているのだろうか。情景観察時の視線計測を行った研究から、顔を除いた身体も早く注視されることや、画像内の人物が注視している対象に視線が移動しやすいことなどが知られている (Bindemann et al., 2010; Zwicker & Vö, 2010)。自然な情景には顔以外にも多数の物体が含まれるため、その影響を考慮に含める必要がある。

この研究では、特に手に着目した。手を含む顔以外の身体部位は、顔ほどではないが視覚的注意に影響することがいろいろな形で示されている (e.g., Morrisey & Rutherford, 2013)。そこで、顔と手の位置を統制しながら、主要な人物1人を含む自然画像の自由観察時の視線計測を行うことで、顔や手がどのように視線の移動に影響を与えているのかを探索的に検討した。

## 方法

**参加者** 17名が実験に参加した。有効な視線データの割合が低かった等の理由で4名を除き、13名のデータを分析対象とした。

**刺激** 自然情景画像6条件を用いた (Figure 1; 各条件24画像、計144画像)。Object条件では1つの明確な中心的物体が含まれ、これをAOI (area of interest) とした。人物像は含まれなかった。Face条件では顔AOIがあり、手はなかった。Resting Hand条件とInteracting Hand条件は手AOIを含み、顔を含まなかった。Resting Handは何もしていない手で、Interacting Handは物を持つなど物体と相互作用している手だった。2つのFace+Hand条件では、各情景に顔と手の2つのAOIがあった。すべてのAOIは、物体・顔・手を囲む正方形で、5.4°四方の大きさだった。8種類のAOIは、画像中心からの距離の平均および標準偏差をほぼ均等にそろえた。

**装置** 情景刺激は液晶ディスプレイに表示された。視距離を固定するため、あご台を用いた。参加者の視線はGazeParser/SimpleGazeTracker (Sogo, 2013) を用いて計測し、サンプリングレートは120 Hzだった。

**手続き** 参加者の課題は情景画像を自由に観察することだった。各試行ではまず画面中央に小さな点が現れ、参加者がキーを押すと試行が始まった。十字の

### Single-AOI Scenes



### Face+Hand Scenes



Figure 1. 実験で用いられた情景画像の例。AOIを赤枠で示す。

注視点が1秒間表示され、参加者はこの注視点を必ず注視するよう教示された。注視点は、その後に提示される情景刺激中のAOIから必ず9.3°の距離に位置するよう提示された。注視点が消えると、情景画像が10秒間提示された。その後、25%の試行では情景画像があった領域内のランダムな位置に赤いドットが提示され、参加者はこれを見つけたらできるだけ早くキーを押すように教示された。これは参加者の飽きを防ぐためのダミー課題であった。600 msのブランク画面をはさみ、次の試行に移った。各参加者は全144画像を1回ずつ観察した。半数の72試行の後、休憩をとることができた。

## 結果と考察

情景画像提示中10秒間 (1200サンプル) の視線位置を分析した。50%以上のサンプルで視線位置が計測できなかった試行 (0.7%) は分析から除外した。連続する2サンプルでの視線移動が0.5°未満の状態が50 ms以上連続した場合を注視として検出した。

Table 1. 各 AOI の平均総注視時間および平均注視潜時

AOI	Fixation Time (ms)	Latency (ms)
Object	3104	1951
Face		
w/o Hand	2962	1636
w/ Rest. Hand	2627	1726
w/ Int. Hand	2596	1702
Rest. Hand		
w/o Face	882	3726
w/ Face	549	4554
Int. Hand		
w/o Face	1396	3020
w/ Face	755	3798

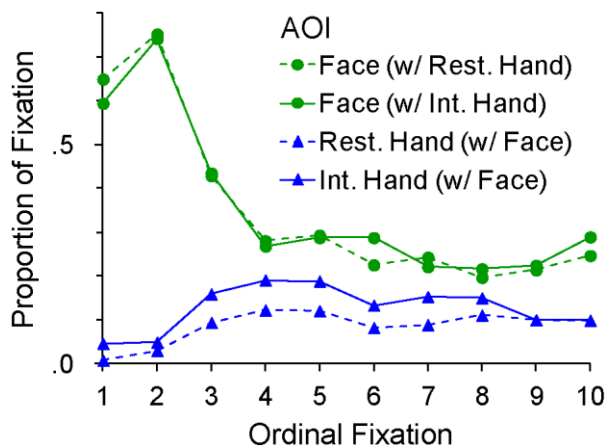


Figure 2. Face+Hand 条件での各 AOI の注視順別注視率

まず、AOI ごとに総注視時間と注視潜時（情景提示開始から AOI 中への最初の注視が始まるまでの時間）を分析した（Table 1）。総じて、顔 AOI は長く・早く注視されており、しかも同じ情景中に手が存在するか否かに影響を受けなかった。このことは、顔が手に対して優先的に注視されること意味している。手 AOI への注視は顔の存在に強く影響を受けていた。Face+Hand 条件で、注視の順序ごとに各 AOI がどの程度の割合で注視されていたかを調べると（Figure 2）、まず最初（1～3 番目の注視）に顔が注視され、その後（3～5 番目）手への注視が増えていることがわかる。

手の動作（Rest./Int.）も注視時間・潜時に有意な影響を与えていた。顔の有無にかかわらず、Interacting Hand AOI は Resting Hand AOI よりも長く・早く注視された（Table 1, Figure 2）。

Interacting Hand が注視されやすいのはなぜだろう。物を持っている手は複雑な形状となり、さらに AOI が手以外の物も含むため、AOI 内の知覚的

顕著性が高い可能性がある。そこで Itti et al. (1998) の顕著性を全 AOI について比較したが、Resting Hand と Interacting Hand で差はなかった。Interacting Hand は、その手の持ち主が視線を向けている可能性が高く、その視線が観察者の注視を誘導したかも知れない。そこで、Face+Hand 条件の Interacting Hand について、顔が手に視線を向けている画像（8）とそうでない画像（16）に分けたところ、前者で手の注視率が高かった。しかし Interacting Hand の優位性は顔がない情景でも見られたので、手の持ち主の視線の効果だけに帰することはできない。

このように、手への注視に影響する要因は多い。そこで、Face+Hand 条件の有効な 426 試行の手 AOI 注視潜時を被説明変数とし、顔 AOI 注視潜時・顔と手の距離・手 AOI 顕著性・手の動作（Rest./Int.）・手に視線が向いているか否かを固定効果、参加者をランダム効果として GLMM によりモデル推定したところ、顔 AOI 注視潜時と手 AOI 顕著性以外はモデルに寄与していた。モデルによる予測は実際の手 AOI 注視潜時と  $r = .45$  の相関を示した。

## 結論

顔と手の関係や手と他の物体との関係が視線の移動に影響することがわかった。複雑な自然画像の知覚を理解するには、特定の物体の影響だけでなく、物体間の相互作用を考慮することが重要だと言える。

## 謝辞

本研究はJSPS科研費26780412の助成を受けた。

## 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.
- Itti, L., Koch, C., & Niebur, E. (1998). A model of saliency-based visual attention for rapid scene analysis. *IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence*, 20, 1254-1259.
- Morrisey, M. N., & Rutherford, M. D. (2013). Do hands attract attention? *Visual Cognition*, 21, 647-672.
- Sogo, H. (2013). GazeParser: an open-source and multiplatform library for low-cost eye tracking and analysis. *Behavior Research Methods*, 45, 684-695.
- Zwicker, J. & Vö, M. L.-H. (2010). How the presence of persons biases eye movements. *Psychonomic Bulletin & Review*, 17, 257-262



# 顕著性とアンサンブルは眼球運動に同時に機能する

熊切 俊祐  
上田 祥之  
齋木 潤

京都大学大学院人間・環境学研究所

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・環境学研究所

視覚探索において、顕著性のような局所的な情報を頼りに探索を行うのは視覚的構造の制限を鑑みれば極めて合理的である。一方で、ヒトはシーン全体に分布する情報をアンサンブル情報として瞬時に計算でき、このような大局的情報が視覚探索に用いられているのかは自明ではない。本研究では顕著性とアンサンブルが何時如何にしてヒトの探索行動に影響するのかを検討した。先の研究結果では、画面の左右に配置された複数の刺激の得点を数える課題において、眼球運動はまず顕著性に誘引された後に徐々にアンサンブルの影響を受けることが示唆された。この時1つの刺激には色と他より大きな得点が付与されており、色付き刺激が物理的、価値的観点から過剰に顕著になってしまった可能性があった。今回の実験では全ての刺激を等価値にした結果、第一サッケードが顕著性に誘引されることはなく、視覚的顕著性とアンサンブルが同時に機能していることが示唆された。

Keywords: eye movement, visual search, saliency, saccade, ensemble.

## 問題・目的

ヒトの眼球の視神経の分布には偏りがあり、網膜の分解能は一樣ではない。中心窩と呼ばれる網膜の中でも視神経の集中した分解能の高い箇所では結ばれた像のみがその詳細な情報を知覚することができる。この視覚系の制限のために、我々は対象の詳細な情報を得る際には眼球を動かし、対象を中心視で捉える必要が生じる。このような視覚的制約を踏まえると、視野中における顕著性の高い箇所に視線を向け、詳細情報を獲得する選択を行うのは合理的である(Itti & Koch,2000)。

一方、Chong & Treisman(2005)らによれば、人間は視野中に存在する複数のものの大きさ、色相、方位、表情といった情報の平均や分散を瞬時に、正確に計算することが可能であり、このような画面全体に分布する情報をアンサンブル情報という。このような機能が人間の視覚システムに備わっているにも関わらず、探索において用いられているのかは自明ではない。視野全体に分布する情報は、そもそもどこに注視するかに関係なく抽出できる情報であるから、眼球運動を制御するシステムはそれを使うことはないという仮説も十分に成り立ちえる。しかし仮にアンサンブル情報が探索における眼球運動に影響しているとすれば、それはどのような機能的な意味を持っているのだろうか。本研究に先行する研究では、視覚探索における眼球運動はまず顕著性に誘引され、数回のサッケードの後にアンサンブルが影響することが示唆された。しかし、その際の顕著性刺激には視覚的顕著性の他に、実験課題における価値が付与されていたため視覚的・価値的に過剰に顕著になっていた可能性がある。そこで本研究においては純粋な視覚的顕著性の影響を検討する。

## 方法

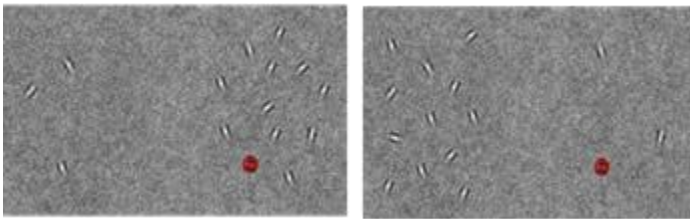
**参加者** 20名の大学生、大学院生が実験に参加した。全員が裸眼、ないし矯正した正常な視力を有していた。その内、1名はデータ書き出し不良のため解析から除外した。

**刺激** 視覚刺激には、視角約0.5度、ランダムな方位のガボールパッチを用いた。視覚刺激は無色(白黒)、赤、緑、青の4種類を用意し、モニター画面の端から左右視角約16度までの領域にそれぞれ条件毎に複数個ランダムな配置(左右それぞれの領域を7×5の視覚約3度四方のセルで区切り、表示する個数分のセルをランダムに選出、更にそのセル中にてジッターをかけた。)で呈示した。点数は全て1点として教示した。この時、有色(赤、緑、青)の刺激は3種類のうち1種類が画面に1つのみ、画面上で最も顕著性が高い箇所として呈示された。背景にはピンクノイズを用いた。

**手続き** 始めに画面中央に「+」という注視点が1000ms表示された後、刺激画面が呈示された。参加者の課題は左右の領域に存在する刺激に設定された点数を計上し、その合計が丁度18点ある方の領域をキーボードの左右の矢印キー(←、→)で回答することであった。また、18点を超える画面の条件は存在しなかったが、両領域とも18点未満の条件では参加者は下矢印キー(↓)で回答するように教示された。回答後には直ちに正誤のフィードバックを1000ms表示した。正解の場合は「Correct」、不正解の場合は「Incorrect」と表記した。参加者には、「正確さを最重要視し、その範疇で、できる限り早く回答を行うように」との教示がなされた。全180試行の実験は9試行20ブロックに区切られており、一つ前のブロックでの平均の回答時間に3sを加えた時間を次のブロックでの、刺激画面を呈示

してから回答までの制限時間として設定した。初期の制限時間は20秒に設定した。なお、参加者には制限時間の具体的な教示はしなかった。制限時間を超えた場合、直ちに画面に1000msの間「Time Up」と表示され、次の試行へと進んだ。試行条件は180試行がランダムな順番で設定された。また、9試行毎に視線のキャリブレーション、36試行毎に参加者の裁量で休憩時間を設けた。本実験開始前には練習を9試行分を行った。この際の条件選出はランダムであり、回答の制限時間は20秒であった。実験全体の所要時間は約60分であった。

**条件** 条件は大きく分けて2種類あった。「正解の領域と顕著性が高い(色付き)刺激が存在する箇所との対応」という要因に対して、「一致、対応ありの条件 (Congruent条件)」と「不一致、対応なしの条件 (Incongruent条件)」を用意した。また、ベースラインとして、「顕著性の高い刺激が左右どちらにも存在しない条件」を設定した。加えて、片方の画面のみを数えて画面間で視線が移動しない状況を考慮して「左右どちらも18点に満たないもの」をフィラーとして用いた。これは、例えば機械的に常に片方の画面だけを数え正誤の判断をするようなストラテジーを排する目的があった。



(a) Congruent 条件 (b) Incongruent 条件

Figure 1. The timeline and conceptual diagram of experiment.

## 結果

参加者のサッケード回数と視線が正解の画面を見ていた割合をFigure 2.に示した。第1回目のサッケードにおいて、Congruent条件の方がIncongruent条件よりも成績が上であった。また両条件において、1点差の

### 眼球運動の正答率

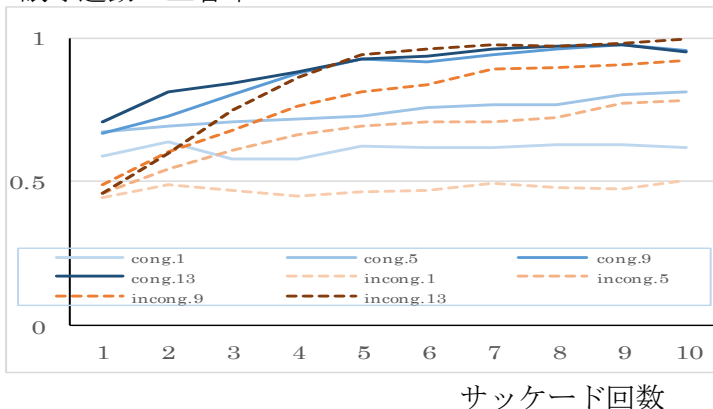


Figure 2. The results of experiment

条件では、サッケード回数増加による視線の正答率の上昇はみられなかった。5点差以上の条件ではサッケード回数増加に伴う正答率の上昇がみられた。第一サッケードにおいて、Congruent条件での各点差における有意差は生じなかった。また、Incongruent条件において各条件と50%の指標間には有意差が生じなかった。

## 考察

第一サッケードに関して、Congruent条件においては正解の画面へ眼球運動が向いているのに対し、Incongruent条件における眼球運動の向きはChance Levelと差が無かった。これは顕著性刺激と数の多い画面との間で眼球運動の決定において対立が生じていることが示唆される。

加えて、Congruent条件において点差が1点の条件は、5点差以上の条件と比較しても有意差がなく、参加者は、Congruent条件において第一サッケードの時点で正解の画面を判断しているといえる。

またIncongruent条件において、十分に早く眼球運動の方向が変化し、正解の画面へと移動していることから、アンサンブル情報を利用した探索に関しては数回のサッケードもしくは時間の経過を経て眼球運動に反映されることが考えられる。これは先行研究の結果をより補強するものである。

## 結論

アンサンブルを利用した視覚探索を利用することが可能な本研究において視覚的顕著性情報とアンサンブル情報が同時に利用されている可能性が示唆された。

## 引用文献

- Chong, S., and Treisman, A. (2005). Statistical processing: computing the average size in perceptual groups. *Vision Research*, 45, 891–900.
- Itti, L., and Koch, C. (2000). A saliency-based search mechanism for overt and covert shifts of visual attention. *Vision Research*, 40, 1489–1506.

# 拡張現実提示時の中心視負荷と情報処理特性について —両眼・単眼提示の RSVP 課題による比較—

北村 昭彦

大阪大学大学院 人間科学研究科, 学振特別研究員 DC2

紀ノ定 保礼

大阪大学 大学院 人間科学研究科

木村 貴彦

関西福祉科学大学 健康福祉学部

篠原 一光

大阪大学大学院 人間科学研究科

佐々木 隆

(株)東芝 研究開発センター マルチメディアラボラトリー

奥村 治彦

(株)東芝 研究開発センター マルチメディアラボラトリー

堀田 あいら

(株)東芝 研究開発センター マルチメディアラボラトリー

近年、現実世界に情報を重ねて提示する技術である拡張現実 (Augmented reality: AR) が注目されている。AR 像と現実世界の間に奥行き差がある場合でも、単眼式 AR では奥行き知覚が曖昧となるため注意の奥行き移動が緩和され、視覚的情報を処理できる範囲、すなわち有効視野が広がることが示されてきた。しかし、負荷が低い状況では AR 像の両眼、単眼提示間で有効視野の大きさに差が見られなかったため、本研究では AR 像を長時間観察するような負荷が高い場合の有効視野について AR 像の両眼、単眼提示で比較した。両眼または単眼に AR 像で連続してアルファベットを提示し、その中の輝度が高いものを検出させた。同時に視野周辺部で起こる輝度変化を検出させた。結果、輝度変化検出率は常に単眼提示の方が高く、有効視野は広がることが示された。負荷が高い場合現実世界に十分な量の注意を配分できなくなり、注意の奥行き移動の有無という観察条件間の注意の配分の効率の差が明確になると考えられる。

Keywords: useful field of view, monocular presentation, augmented reality, RSVP, optical see-through.

## 問題・目的

近年、新たな情報提供手段として拡張現実 (Augmented reality; AR) が注目されている。ARとは現実世界に直接情報を重ねて提示する手法の総称である。これにより視線移動をせずに情報を取得でき、安全性が向上すると期待されている。しかし、AR使用時にはARとして与えられる像 (AR像) と現実世界との間に奥行き差が発生する。そのため注意の奥行き移動が発生して注意が消費され、視覚的情報を処理できる範囲である有効視野が狭くなる。

この問題についてはAR像を単眼に対して提示することで解決できることが示されてきた。AR像を単眼提示すると奥行き感が曖昧となる (Sasaki, Hotta, Moriya, Murata, Okumura, Horiuchi, Okada, Ogawa, & Nagahara, 2010)。これによって現実世界との間の注意の奥行き移動が緩和され、有効視野が両眼提示時よりも広く保たれる。

これまでの研究ではAR像の読み取りが簡単で、AR像から現実世界へ注意を移動させやすい状況では、有効視野においてAR像の両眼、単眼提示の差は見られないことが示されてきた (北村・紀ノ定・木村・篠原・佐々木・奥村・堀田, 2016)。そこで本実験では視野中心部にAR像として提示される課題を長時間観察しなければならないような負荷が高い状況での有効視野を両眼、単眼提示で比較した。

## 方法

**実験参加者:** 奥行き知覚が正常な男性7名、女性5名 (平均年齢 21.4 歳,  $SD = 0.6$ ) が実験に参加した。

**装置:** ハーフミラーおよび液晶ディスプレイを用いて AR 像を実験参加者から 150 cm の位置に提示した。また AR 像と現実世界間で注意の奥行き移動が必要な状況を作成するため、実験参加者から 300 cm の位置にスクリーンを配置した。偏光装置を用いて、AR 像は両眼または利き目に提示した。

**刺激:** 本実験では RSVP(Rapid serial visual presentation)課題 (Kikuchi, Sekine, & Nakamura, 2001) を行った。AR 像として Z 以外の 25 種類のアルファベット (視角  $0.8^\circ \times 0.8^\circ$  以内) が視野中心部にランダムな順番で提示された。1 試行の中で各アルファベットは一回しか提示されなかった。24 個は輝度が  $2.1 \text{ cd/m}^2$ , 1 個は輝度が  $8.0 \text{ cd/m}^2$  であった。この輝度が高いアルファベットをターゲットとして検出させた。どのアルファベットがターゲットになるかはランダムであった。

また、輝度変化検出課題用の刺激としてスクリーン上に AR 像を中心として直径  $7.5^\circ$  (離心率小) と

15.0°（離心率大）の同心円上にそれぞれ4つずつ、90°ごとに視角にして直径0.4°の光点が計8個配置された。全試行で光点の内の一つが11.5cd/m<sup>2</sup>から5.2cd/m<sup>2</sup>に輝度低下した。実験参加者はこの輝度変化を検出してキー押しで反応した。

**手続き：**Figure 1に実験手続きを示した。RSVP課題では試行の初めに「Ready?」の文字が提示された。テンキーの5を押下すると「+」記号が500ms提示された。続いてAR像でアルファベットが25個連続して提示された。一個あたりの提示時間は85msで間にブランクはなかった。その内一つだけある輝度の高いアルファベットを検出し、試行終了後に口頭で回答した。

同時に実験参加者は輝度変化検出課題を行った。輝度変化を検出したら可能な限り早く、正確にキー押しを行った。輝度変化を検出できなかった場合、キーを押さないように教示した。RSVP課題の刺激の提示終了後1000ms以上経ってもキー押しがなかった場合、輝度変化を検出できなかったものとし、全ての刺激が消え、次の試行を開始した。

輝度変化はターゲット提示の前と後のいずれかのタイミングで発生した。前者をマイナス条件、後者をプラス条件とし、ターゲットより一つ前または後のアルファベットの提示開始と同時に輝度変化が起こることをそれぞれ-1, 1と表記すると、輝度変化は-7, -6, -3, -2, 2, 3, 6, 7のいずれかのタイミングで発生した。このターゲット提示から輝度変化発生までの時間の差をLagと表記する。

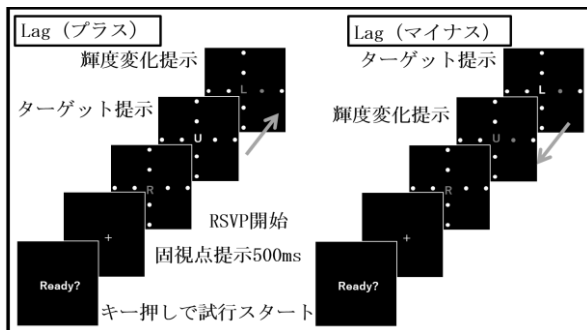


Figure 1 実験手続き

## 結果

Figure 2に有効視野の広さを示す輝度変化検出課題の検出率について示した。RSVP課題のヒット試行の内、輝度変化を検出できた割合を「輝度変化検出率」とした。この値について角変換を行い、観察条件×離心率×Lagの3要因分散分析を行った。

観察条件およびLagの主効果が有意であった（観察条件,  $F(1, 11) = 6.92, p < .05$ ; Lag,  $F(2.82, 31.00) = 32.93, p < .001$ ; 離心率,  $F(1, 11) = 0.11, n.s.$ ）。いずれの交互作用も有意ではなかった（ $n.s.$ ）。

全てのLagおよび離心率の条件で輝度変化検出率は単眼の方が両眼よりも高かった。また、Lagについて多重比較を行ったところ、Lag -7, -6 < Lag -3, -2, 2, 3, 6, 7; Lag -3, -2 < Lag 2, 3, 6であった（ $p < .05$ ）。したがって、Lagがマイナスの条件ではLagが短くなるにつれて輝度変化検出率が高くなっていき、Lagがプラスの条件では輝度変化検出率に差は見られなかった。

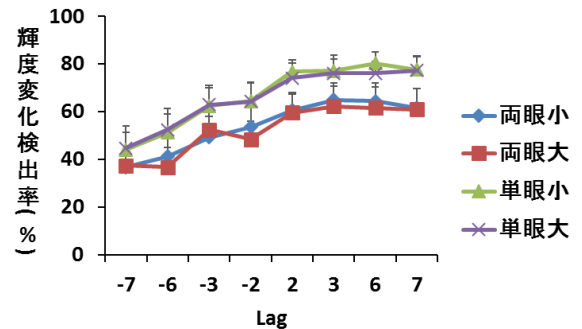


Figure 2 輝度変化検出課題の検出率  
エラーバーは標準誤差を示す。

## 考察

輝度変化検出率において、全てのLag、離心率条件で単眼条件の方が両眼条件よりもヒット率が高く、視覚的注意をAR像に向け続けなければならないような負荷の高い状況では単眼条件の方が有効視野は広がることが示された。両眼条件では主課題であるRSVP課題に注意を向け続けていることから、輝度変化を検出するために注意の奥行き移動が必要になり、背後（現実世界）に十分な量の視覚的注意を配分できない。一方、単眼条件では注意の奥行き移動が必要なくなり、AR像に注意を向けていても現実世界に注意を配分しやすいという利点が明確になる。以上からAR像による中心視課題の負荷が高い場合、単眼提示の方が周辺視野での効率的な情報処理が可能であると考えられる。

## 引用文献

- Kikuchi, T., Sekine, M., & Nakamura, M. 2001 Functional visual field in a rapid serial visual presentation task. *Japanese Psychological Research*, 43, 1-12.
- 北村昭彦・紀ノ定保礼・木村貴彦・篠原一光・佐々木隆・奥村治彦・堀田あいら 2016 両眼式及び単眼式拡張現実提示時における中心視負荷が視野周辺の情報処理に与える影響 ヒューマンインタフェースシンポジウム2016論文集, 417-422.
- Sasaki, T., Hotta, A., Moriya, A., Murata, T., Okumura, H., Horiuchi, K., Okada, N., Ogawa, M. & Nagahara, O. (2010). *Hyperrealistic Display for Automotive Application. SID Symposium Digest of Technical Papers*, 41, 953-956.

# 課題に関連する処理が価値駆動的な注意捕捉を生じさせる

峯 知里  
齋 木 潤

京都大学大学院人間・環境学研究科／日本学術振興会  
京都大学大学院人間・環境学研究科

報酬と連合した刺激特徴は注意を捕捉する (Value-Driven Attentional Capture: VDAC)。本研究では、VDACにおける特徴と報酬の連合が古典的条件づけのみで説明可能か否かを明らかにするため、連合形成時の反応の必要性を検討した。実験1では、文字の弁別課題で色と報酬の連合を形成し (学習課題)、その後の視覚探索課題でVDACが評価された (テスト課題)。実験2と3では、学習課題のみを変更した。刺激は実験1と同様であったが、参加者は報酬記憶課題を行った。その結果、参加者が文字に対する反応を行わない場合には、VDACが消滅した。しかし、実験3で参加者に文字弁別課題の内容を明示して報酬記憶課題を行った場合には、VDACがみられた。以上の結果、本研究では反応すること (motor response) は特徴と報酬の連合に必要でないが、課題に関連した処理が特徴と報酬の連合に必要であることを明らかにした。このことは、VDACにおける特徴と報酬の連合が、古典的条件づけのみでは不十分であることを示唆する。

Keywords: attentional capture, monetary reward, motor response.

## 問題・目的

報酬と連合した刺激特徴 (例: 色) は視覚的注意を捕捉する (Value-Driven Attentional Capture: VDAC, e.g., Anderson et al., 2011)。VDACは数多くの研究で報告されてきたが、VDACにおける特徴と報酬の連合 (報酬学習) のメカニズムは明らかにされていない。近年の研究では、連合学習の枠組みを参照し、VDACにおける特徴と報酬の連合が古典的条件づけによって生じていることを主張している (e.g., Le Pelley et al., 2015)。古典的条件づけでは、参加者の自発的な反応が前提とされていないのに対し、先行研究では、特徴と報酬の連合が反応選択を要する課題 (例: フランカー課題, Mine & Saiki, 2015) の中で形成されていた。そのため、課題を達成するために、参加者の自発的な反応 (例: キー押し) が不可欠であった。

そこで本研究では、連合を形成する報酬学習時の反応 (motor response) の必要性に着目し、VDACを生じさせる特徴と報酬の連合が、古典的条件づけのみで説明可能か否かを明らかにすることを目的とした。

実験1では、先行研究の追試として、文字の弁別課題を用いて色と報酬の連合を行い (学習課題)、後の視覚探索課題でVDACを検証した (テスト課題)。実験2と3では、反応の必要性を検討するため、学習課題のみを変更した。用いた刺激及び試行の流れは実験1と同様であったが、参加者は文字弁別課題の代わりに、報酬記憶課題を行った。さらに、実験3では、参加者に実験1の文字弁別課題の内容を明示し、刺激と反応のマッピングに関する知識が特徴と報酬の連合に及ぼす影響を検討した。VDACは、テスト課題の反応時間 (高報酬条件 vs. 低報酬条件) に差がみられるか否かで評価された。本実験で特徴と報酬の連合に反応が必要であれば、実験1のみでVDACがみられると予想した。

## 方法

**実験参加者** 大学生・大学院生65名 (実験1: 22名, 実験2: 22名, 実験3: 21名) が実験に参加した。

**刺激・手続き** 学習課題 (48試行×5ブロック: 計240試行) とテスト課題 (48試行×4ブロック: 計192試行) を行った。各試行は、注視点 (300ms/400・500・600ms)、ブランク (500-1500ms)、課題 (文字弁別/報酬記憶, 600ms, 視覚探索, 1500ms)、ブランク (1000ms)、フィードバック (1500ms)、ブランク (1000ms) で構成された (Figure 1, 2)。

**学習課題 (文字弁別/報酬記憶課題)** 刺激としてアルファベット (20文字) を使用した (4文字×5ブロックに分類)。実験1では、文字の弁別課題において、参加者は画面上に提示された色付き文字 (マゼンタ・イエロー・シアンのいずれか) の弁別を行った (例: “A” か “B” ならzキー, “C” か “D” ならmキー, Figure 1)。文字に付加された色は、それぞれ報酬の条件と連合していた (高報酬, 低報酬, 報酬なし)。正答試行のみ、高報酬条件では75%で高報酬 (約550~650円)、25%で低報酬 (約150~250円) がフィードバック画面で提示された。低報酬条件では、この割合が反転した (高報酬25%, 低報酬75%)。報酬なし条件では、すべての試行でアスタリスク (“\*\*\*\*”) が提示された。

実験2と3では、一部を除き実験1と同じ刺激を用いて報酬記憶課題を行った。参加者は、フィードバック画面に提示された金銭報酬の最大値と最小値の両方を記憶することが求められた。そのため、文字が提示されている画面では、反応 (文字弁別及びキー押し) をする必要がなかった。報酬は、実験1と同様に文字の色に依存していた。各ブロック終了後、報酬記憶テスト (再認課題) が実施された。参加者はブロック内に出現した報酬の最大値と最小値の両方を答えた。さらに実験3では、文字弁別課題の内容 (実験1で用いた刺激と反応のマッピング) を参加者に知らせた。すべ

ての実験で、参加者には色と報酬の対応関係が明示されなかった。

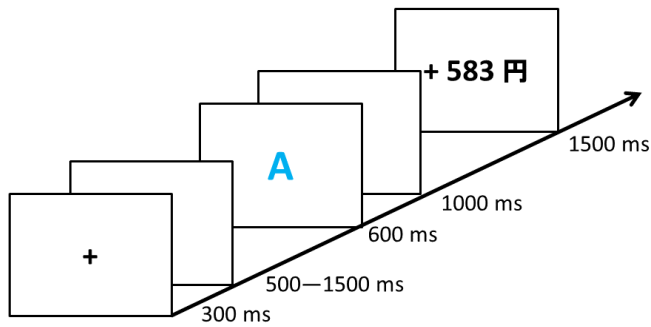


Figure 1. 学習（文字弁別／報酬記憶）課題 1 試行の流れ

**テスト課題（視覚探索課題）** 刺激として、2種類の図形（円・ひし形）を用いた。各試行では、画面上に一つの異なる形（ターゲット）を含む6つの図形が円環上に提示された（Figure 2）。参加者は、ターゲットの内側に含まれた線分の方角（水平・垂直）を判断した。3分の2の試行（高報酬条件・低報酬条件）では、デストラクタのうちの1つに学習課題で報酬と連合した色が付加された（報酬デストラクタ）。残り3分の1の試行では、すべての刺激が同じ色であった（デストラクタなし条件）。フィードバック画面では、参加者に正解または不正解のみを知らせた。

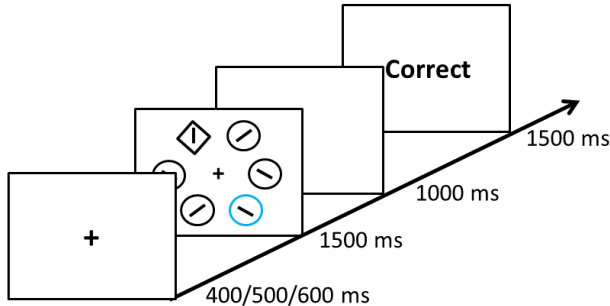


Figure 2. テスト（視覚探索）課題 1 試行の流れ

## 結果

実験1と3で、正答率がチャンスを下回った参加者（各1名）のデータ、平均±3標準偏差を外れた試行は分析から除外された。実験1の学習（文字弁別）課題では、先行研究と同様、報酬の影響がみられなかった（e.g., Mine & Saiki, 2015）。実験2と3の学習（報酬記憶）課題の正答率は、それぞれ95.7%（実験2）、92.9%（実験3）であった。

テスト課題の試行は、学習課題の報酬条件（高報酬・低報酬・報酬なし）をもとに分類された。各報酬条件の反応時間について、参加者内1要因分散分析を行った。その結果、すべての実験で主効果が認められた（実験1:  $F[2, 40] = 19.4, p < .001, \eta_p^2 = .493$ ; 実験2:  $F[2, 40] = 5.38, p = .009, \eta_p^2 = .212$ ; 実験3:  $F[2, 40] =$

$10.5, p < .001, \eta_p^2 = .345$ , Table1)。Shaffer法による下位検定の結果、実験1と3では高報酬と低報酬の間に有意な差が示された（実験1:  $t[20] = 3.69, p = .002$ ; 実験3:  $t[20] = 2.79, p = .011$ ）。一方、実験2では差が認められなかった（ $t[20] = 0.73, p = .476$ ）。誤回答率は、すべての実験で条件間に有意な差がみられなかった。

Table 1. テスト課題の反応時間（標準誤差）（単位は ms）

	高報酬	低報酬	デストラクタなし
実験 1	760 (27.6)	738 (28.0)	710 (24.5)
実験 2	767 (21.5)	762 (21.5)	739 (21.4)
実験 3	767 (26.6)	744 (24.6)	719 (22.5)

## 考察

本研究では、VDACを生じさせる特徴と報酬の連合が古典的条件づけのみで説明可能か否かを明らかにするため、反応の必要性を検討した。その結果、実験1で、参加者が文字に対する反応（文字弁別課題）を行った場合には、テスト課題で高報酬条件の反応時間が低報酬条件よりも有意に遅延し、VDACがみられた。一方、実験2で参加者が報酬記憶課題を行い、文字に対して反応を行わなかった場合には、VDACが消滅した。しかし、実験3で文字弁別課題の内容（実験1の刺激と反応のマッピング）を参加者に明示した場合、VDACが確認された。以上の結果から、反応すること（motor response）は、特徴と報酬の連合に必要なことが明らかにされた。また、実験2の結果から、単なる特徴と報酬の対提示では連合形成及びVDACには不十分であり、VDACにおける特徴と報酬の連合は、古典的条件づけのみでは十分に解釈できないことが示唆された。

## 引用文献

- Anderson, B. A., Laurent, P. A., & Yantis, S. (2011). Value driven attentional capture. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 108, 10367–10371.
- Le Pelley, M. E., Pearson, D., Griffiths, O., & Beesley, T. (2015). When goals conflict with values: Counterproductive attentional and oculomotor capture by reward-related stimuli. *Journal of Experimental Psychology: General*, 144, 158–171.
- Mine, C., & Saiki, J. (2015). Task-Irrelevant Stimulus-Reward Association Induces Value-Driven Attentional Capture. *Attention, Perception, & Psychophysics*, 77, 1896–1907. doi: 10.3758/s13414-015-0894-5

# 文脈の操作が凶器への注意捕捉に与える影響

武野全恵  
北神慎司

名古屋大学大学院環境学研究科  
名古屋大学大学院環境学研究科

凶器の存在に注意が引き付けられ、周辺情報の記憶成績が低下する現象を凶器注目効果という。その生起メカニズムについては、凶器による情動覚醒あるいは凶器の存在が文脈不一致であることが関係するといわれており、これまで多くの記憶研究が行われた。しかし、注意側面からの研究は圧倒的に少ない。そこで本研究では、凶器への注意捕捉が文脈一致不一致の操作によってどのように変化するかを検討した。実験では特定アイテムの視覚探索を行い、ディストラクタの属するカテゴリで文脈を操作した。ディストラクタがすべて同じカテゴリの時が文脈一致、異なるカテゴリの物体を1つ含む時を文脈不一致とし、さらに凶器の有無を操作した。その結果、文脈不一致の非凶器物体は注意を捕捉したが、文脈不一致の凶器への注意は文脈の影響をほとんど反映しなかった。したがって、凶器注目効果での注意の捕捉は、凶器が脅威の対象であるために生じる可能性が示唆された。

Keywords: object, visual attention, attentional capture, weapon focus.

## 問題・目的

犯罪現場などに居合わせたとき、銃や包丁といった凶器が存在すると、その凶器に注意が引きつけられ、犯人の顔や服装といった周辺の情報の記憶成績が低下する凶器注目効果という現象がある (Loftus, Loftus, & Messo, 1987)。この現象の生起メカニズムを説明する有力な説明仮説として、新奇性説 (unusualness hypothesis) と情動覚醒説 (arousal hypothesis) が挙げられる。新奇性説では、凶器が周辺の文脈に不一致な存在であるために注意を引きつけることによって、周辺情報に注意が向けられなくなるために凶器注目効果は生じると説明される。情動覚醒説では、凶器や犯罪によって情動が覚醒し、注意の狭まりが生じたことが周辺情報の符号化を阻害すると考えられる。両説についてこれまで数多くの研究が、特に記憶観点から行われてきたが、注意観点からの研究は少ない。その数少ない凶器注目効果の注意研究として、Flowe, Hope & Hillstrom (2013) と Hope & Wright (2007) が挙げられる。Flowe et al. (2013) は、文脈一致、文脈不一致、文脈不一致でありかつ凶器という3種類の物体のいずれかを呈示し、その物体とは反対の位置へ視線を逸らす(アンチサッカード) 実験を行い、反応時間を測定した。Hope & Wright (2007) は同様の3種類の物体のいずれかが出現する場面を用意し、その物体から離れた位置に出現する情報に対する反応時間を測定した。両者の結果では、文脈不一致な物体と凶器が出現するときは文脈一致の物体が出現するときと比べて反応時間が同程度遅くなった。この結果から、凶器に対する注意の捕捉は文脈不一致であることによって引き起されるため、新奇性説が支持されたと解釈された。

しかしこれらの研究では、凶器は常に文脈に不一致であり、文脈一致である場合の注意の捕捉については検討されていない。脅威刺激の研究では、凶器は中性刺激よりも注意を捕捉することが示されている (Carlson, Fee, & Reinke, 2009)。そのため凶器注目効果

における注意の捕捉が生じる原因が、凶器が文脈に不一致であることに帰結するとは言い切れない。

そこで、本研究では凶器注目効果において凶器に注意が引きつけられる原因を明らかにするため、凶器や物体に対する注意が文脈の一致不一致の操作によってどのような影響を受けるのかを検討した。実験課題として視覚探索課題の一つである追加妨害刺激法を用いた。実験1では、ディストラクタに文脈一致である凶器、文脈不一致である凶器以外の物体、文脈不一致である凶器のいずれかが含まれる条件が、これらを含まない条件よりも反応時間が遅れるか否かを検討した。また、実験2では文脈の効果を弱めた場合、実験1と同様の結果が得られるか否かを確認した。反応時間の遅れがあれば、それぞれの物体に注意が捕捉されたとみなされ、その遅れが大きいほど注意が長く引き付けられたといえる。

## 方法

**実験参加者** 実験1・2に大学生各32名が参加した。外れ値等を除いた分析には、実験1では28名、実験2では31名が対象となった。

**実験デザイン** 実験では凶器の有無と文脈の一致・不一致を操作した。条件は、非凶器・文脈一致条件、凶器・文脈一致条件、非凶器・文脈不一致条件、凶器文脈不一致条件の4つであった。

**刺激** 楽器・掃除・警察・台所・文房具・スポーツの6つのカテゴリに関連する物体をそれぞれ選出した。楽器・掃除カテゴリから2種類ずつ、その他の4つのカテゴリからは6種類ずつの凶器以外の物体を選んだ。さらに、凶器でありかついずれかのカテゴリに当てはまる物体として銃と包丁を選び、計30種類の物体を選出した。これらは1種類につき4パターンの画像が用意され、すべて大きさが約2.1° × 2.1°となるグレースケール画像に加工された。

**実験手続き** 1試行の流れをFigure 1に示した。初めに注視点が500ms呈示された後、警察・台所・文房具・スポーツのうちいずれかのカテゴリが単語で

2000ms呈示された。その後、6つの物体が呈示される探索画面へと切り替わった。参加者には、楽器あるいは掃除カテゴリの物体(ターゲット)をできるだけ早く検出し、対応するキーを押して反応するよう求めた。また、参加者が教示に従っているかを確認するために、キー押しを押さずにいるターゲット無しの探索画面がまれに出現した。

ターゲットありの探索画面は、1つのターゲットと5つのディストラクタで構成された。ディストラクタは事前に呈示されたカテゴリ内から選ばれ、探索画面の文脈を形成した。文脈不一致の場合には異なるカテゴリから選ばれた物体が1つだけディストラクタに含まれ、これが文脈不一致な物体となった。この物体がない場合を文脈一致、ある場合を文脈不一致として文脈の操作を行い、さらにディストラクタ内に凶器が含まれるか否かも操作した。

実験は各条件80試行と32のターゲットなし試行の全352試行で構成された。1回の実験は4ブロックに分けて行われた。文脈に関するカテゴリは実験1ではブロック毎に切り替わり、実験2では毎試行ランダムに切り替わった。これにより、実験1よりも実験2の方が文脈の効果が弱くなるようにした。

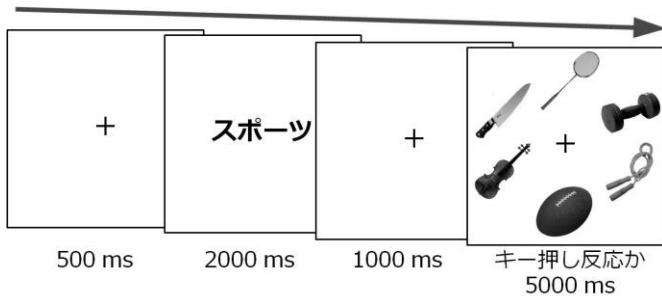


Figure 1. 1試行の流れ

## 結果

各実験のターゲットに対する反応時間の平均を算出し、グラフに示した (Figure 2)。

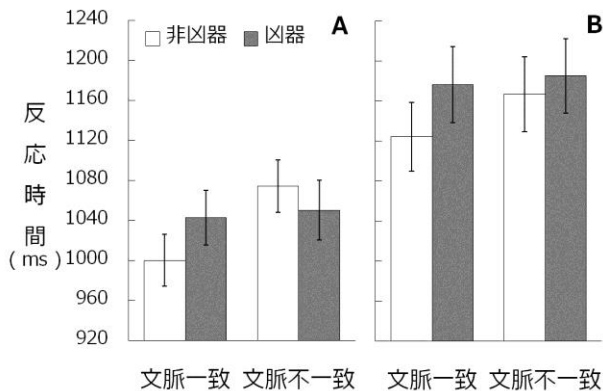


Figure 2. 各実験条件における平均反応時間。エラーバーは標準誤差を示す。A は実験 1 の結果を示し、B は実験 2 の結果を示す。

実験の結果、実験1では凶器の有無と文脈の間の交互作用が有意であった ( $F(1, 27) = 7.01, p < .05, \eta^2 = .013$ )。実験2では、交互作用は有意傾向であった ( $F(1, 30) = 2.89, p < .10, \eta^2 = .002$ )。そのため、各実験結果に対し単純主効果の分析を行ったところ、同様の結果が得られた。文脈一致の場合は凶器が有るときに反応時間が遅れた (実験1,  $F(1, 27) = 7.72, p < .01, \eta^2 = .023$ ; 実験2,  $F(1, 30) = 9.41, p < .05, \eta^2 = .002$ )。また、凶器なしの場合は文脈不一致の物体があるときに反応時間が遅れた (実験1,  $F(1, 27) = 41.21, p < .001, \eta^2 = .069$ ; 実験2,  $F(1, 30) = 7.57, p < .01, \eta^2 = .012$ )。しかし凶器ありの場合には文脈の効果はなかった (実験1,  $F(1, 27) = 0.12, n.s., \eta^2 = .001$ ; 実験2,  $F(1, 30) = 0.38, n.s., \eta^2 = .001$ )

## 考察

実験1・2の結果から、文脈不一致である場合には、物体の種類に関わらず、注意が捕捉されるといった先行研究と一致する結果が示された。一方で、文脈一致である凶器は注意を捕捉することが示され、凶器が脅威刺激として注意を引きつける性質を持つことが示唆された。これに加えて凶器が存在する場合は、文脈一致と文脈不一致の間に有意差がなかった。これは、凶器注目効果での注意の捕捉は、凶器が文脈に不一致であることによって生じるという先行研究の解釈を否定する結果である。むしろ、実験1・2で変動させた文脈の効果の強さが (実験1,  $\eta^2 = .069$ ; 実験2,  $\eta^2 = .012$ )、凶器にはほとんど影響しなかった (実験1,  $\eta^2 = .001$ ; 実験2,  $\eta^2 = .001$ ) ことから、凶器への注意の捕捉は、凶器自体が脅威の対象であるために生じている可能性が高いことが推察できた。

本研究は、物体が文脈に不一致であること (新奇性説) と、凶器が脅威刺激であること (情動覚醒説) の両方が注意の捕捉を引き起こすことを示した。さらに、凶器注目効果での凶器への注意の捕捉には、文脈の影響よりも凶器が脅威の対象であることが関係する可能性を示した。

## 引用文献

- Carlson, J. M., Fee, A. L., & Reinke, K. S. (2009). Backward masked snakes and guns modulate spatial attention. *Evolutionary Psychology, 7*(4), 534–544.
- Flowe, H. D., Hope, L., & Hillstrom, A. P. (2013). Oculomotor examination of the weapon focus effect: Does a gun automatically engage visual attention? *PLoS ONE, 8*(12), e81011.
- Hope, L., & Wright, D. (2007). Beyond Unusual? Examining the Role of Attention in the Weapon Focus Effect. *Applied Cognitive Psychology, 21*(7), 951–961.
- Loftus, E. F., Loftus, G. R., & Messo, J. (1987). Some Facts About “Weapon Focus.” *Law and Human Behavior, 11*(1), 55–62.



# 視線の送り手の道徳違反が注意誘導および選好判断に与える影響

白井 理沙子

関西学院大学大学院文学研究科

小川 洋和

関西学院大学文学部

道徳違反を行う人物の挙動は、集団や自己への脅威を回避するための有効な手がかりとなる。本研究は、視線の送り手が持つ道徳違反に関する情報が注意誘導およびその後の選好判断に与える影響を検討した。人物の情報操作のため、特定の顔画像と情報（道徳違反/道徳遵守/中性）を繰り返し対呈示する手続きの後、視線手がかり課題を実施した。視線手がかり課題では、特定の情報を意味づけた顔画像の視線移動方向と一致もしくは不一致した位置に物品（キッチン用品/文房具）が呈示された。参加者は物品のカテゴリを判断し、視線手がかり課題の最後のブロックでは、加えて物品の好ましさを評価した。その結果、全体として視線による注意誘導および視線方向の物品に対する選好の上昇が認められた。しかし顔画像と関連した道徳違反のサブカテゴリ（転覆・危害・欺瞞・墮落・背信）ごとに、視線による選好の変化を確認した結果、一部のサブカテゴリ（転覆・墮落）と関連した視線は選好に影響する一方で、危害・欺瞞・背信と関連した視線は選好に影響しなかった。これは視線の送り手の道徳違反の種類により選好判断に異なる影響を及ぼすことを示唆している。

Keywords: morality, gaze cueing, liking effect.

## 問題・目的

道徳違反を行う人物を素早く検出し、その挙動に注意を向けることは、集団や自己への脅威を回避するのに役立つ。Haidt (2001) は、ヒトが進化の過程で異なる5つの道徳基盤と呼ばれる認知モジュール（権威/転覆・ケア/危害・公正/欺瞞・神聖/墮落・忠誠/背信）を獲得し、それに基づいて道徳的判断を行うようになったとする道徳基盤理論を提案した。この理論から考えると、道徳違反となる他者の行動を効率的に認識するために、各道徳基盤に特有の知覚・認知処理が存在している可能性がある。そこで本研究では、5つの道徳基盤のそれぞれと関連した道徳違反を犯した人物の視線移動が私たちの認知処理に与える影響を検討した。

これまで他者の視線の移動は、観察者の注意を誘導し（視線手がかり効果）、さらに視線方向に位置する物品の選好を上昇させる可能性が示唆されてきた (Bayliss, Paul, Cannon, & Tipper, 2006)。本研究は、視線の送り手に道徳違反に関する情報を連合させることによって、道徳違反を犯した人物の視線が、注意誘導や選好判断にどのような影響を与えるかを検討する。

## 方法

**実験参加者** 実験参加者は20名（男性6名 女性14名）であった。平均年齢は20.40歳、年齢範囲は18～28歳であった。

**実験刺激** Chicago Face Database (Ma, Correll, & Wittenbrink, 2015) から顔画像30枚を使用した。短文を3種類（道徳違反/道徳遵守/中性）各10文作成した。道徳違反の10文は、転覆・危害・欺瞞・墮落・背信の5つの道徳基盤のカテゴリに関連するものであった。標的的刺激としてキッチン用品および文房具の画像を各120枚準備した。

### 実験手続き

**連合課題** 短文が持つ情報を顔画像の人物に意味づけるために、特定の短文と中性的な顔画像とをペアにし、1ペアにつき4回繰り返し画面上にランダムな順番で呈示した (Figure 1)。実験参加者の課題は、短文の内容を呈示された人物が行っているところをイメージすることであった。

**視線手がかり課題** 連合課題の終了後、視線手がかり課題を実施した (Figure 2)。顔画像を画面の中央に呈示し、1,500 ms後に顔画像の視線が右と左どちらかに移動した。視線の移動から500 ms後に視線の方向と一致した位置、もしくは不一致な位置に物品が呈示され、参加者はその物品がキッチン用品か文房具かをキー押しで判断することを求められた。一致した位置に物品が呈示される条件を視線一致条件、不一致な位置に呈示される条件を視線不一致条件とした (Figure 2A)。また、顔画像と連合した情報によって、顔画像のカテゴリを道徳違反・道徳遵守・中性の3種類に分類した。本試行は720試行であり、3ブロックに分かれていた。

第3ブロックのみ、物品のカテゴリの判断を行った後、物品の評価課題の画面が呈示された (Figure 2B)。

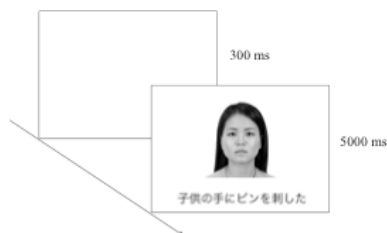


Figure 1. 連合課題の流れを示す。

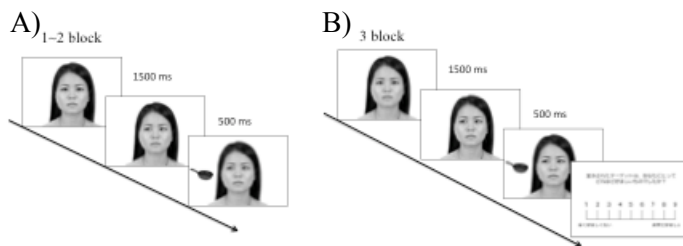


Figure 2. 視線手がかり課題の手続きを示す。A) 視線手がかり課題の1~2ブロックの流れを示している。実験参加者は呈示された物品のカテゴリ判断を行う。B) 視線手がかり課題の第3ブロックの流れを示している。実験参加者は呈示された物品のカテゴリ判断を行った後、物品の好ましさを評価する。

画面上には1.「全く好ましくない」~9.「非常に好ましい」というラベルが呈示され、参加者は直前に呈示されていた物品の好ましさを評価した。

## 結果と考察

視線一致・不一致条件における顔画像の種類ごとの平均反応時間を算出し、顔画像の種類(道德違反・道德遵守・中性)による視線手がかり効果への影響を確認した。その結果、すべての顔画像の種類において視線手がかり効果が生起し、その効果量は条件間で違いがなかった。これは、顔と連合させた情報は視線による注意誘導に影響しないことを示している。

Figure 3Aは視線一致・不一致条件における顔画像の種類(道德違反・道德遵守・中性)ごとの物品の好ましさの程度を示したものである。視線による選好の変化が顔画像の種類によって異なるかを確認した結果、全体として視線方向の物品に対する選好の上昇が認められ、その効果量は条件間で違いがなかった。しかし、視線による選好の変化を道德違反のサブカテゴリごとに確認した結果、一部のサブカテゴリ(転覆・墮落)と関連した視線は選好に影響する一方で、危害・欺瞞・背信と関連した視線は選好に影響しないことが示された(Figure 3B)。これは、人物に連合させた道德違反の種類によって、人物の視

線が選好判断に及ぼす影響が異なっている可能性を示しているといえる。

## 結論

本研究の目的は道德違反を犯した人物の視線が私たちの自動的な注意誘導および選好判断に与える影響を明らかにすることであった。その結果、人物に与えられた道德違反に関する情報に関わらず視線手がかり効果が観察された。また、転覆・墮落の道德基盤に関わる違反を犯した人物の視線は選好を上昇させた一方で、危害・欺瞞・背信に関わる違反を犯した人物の視線によっては選好の上昇が引き起こされなかった。これらの結果は視線の送り手の道德違反の種類によって私たちの選好判断に及ぼす影響が異なっていることを示している。

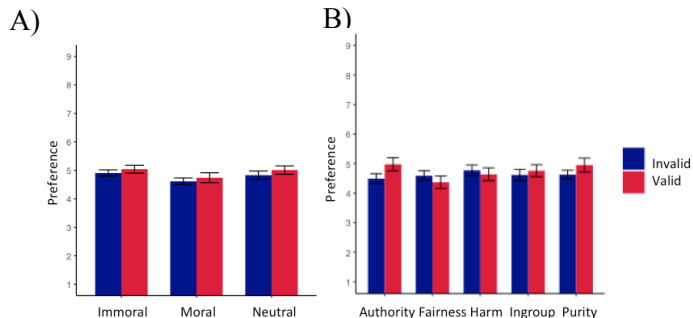


Figure 3. 物品の評価課題に関する結果を示す。A) 顔画像と連合した情報(道德違反・道德遵守・中性)および視線方向の違いによる物品の好ましさを示す。B) 顔画像と連合した道德違反のサブカテゴリ(転覆・欺瞞・危害・背信・墮落)および視線方向の違いによる物品の好ましさを示す。

## 引用文献

- Bayliss, A. P., Paul, M. A., Cannon, P. R., & Tipper, S. P. (2006). Gaze cuing and affective judgments of objects: I like what you look at. *Psychonomic Bulletin & Review*, 13(6), 1061–1066.
- Haidt, J. (2001). The emotional dog and its rational tail: a social intuitionist approach to moral judgment. *Psychological Review*, 108(4), 814.
- Ma, D. S., Correll, J., & Wittenbrink, B. (2015). The Chicago Face Database: A Free Stimulus Set of Faces and Norming Data. *Behavior Research Methods*, 47, 1122–1135.

# 認知要求に対する回避バイアス

蔵富 恵  
繁樹 博昭  
村山 航

高知工科大学情報学群

高知工科大学情報学群

University of Reading, Department of Psychology / 高知工科大学

本研究の目的は、高い認知要求に対する回避バイアスを明らかにすることであった。これまでの研究では、労力のかかる認知要求が避けられることが示されている。しかし、これらの研究では条件別の平均値を比較していることから、課題要求による遂行成績の低下を避けることが回避バイアスを導いているのかといった生起メカニズムまでは明らかにされてこなかった。そこで本研究では、一般化線形混合モデルを用いて、認知要求の回避バイアスを導く要因を検討した。参加者の課題は、各試行の最初に呈示されるカードデッキのうちいずれかを自由に選択し、そのデッキ側に呈示される数字に対して、色に基づいた課題を行うことであった。一つのデッキではタスクスイッチ頻度を高く（高要求デッキ）、もう一方のそれを低くした（低要求デッキ）。実験の結果、直前試行の遂行成績に関わらず、高要求デッキの選択率が低くなることが明らかとなった。これは、回避バイアスは課題要求そのものを回避することによって生起することを示唆している。

Keywords: avoidance, mental effort, cognitive control, cognitive demand

## 問題・目的

われわれは、様々な行動の中から適応的な選択をするときには、利得だけではなく、損失を考慮する (Kahneman & Tversky, 1979)。それゆえ、損失が生じる事態には、できるだけ最小限の作業量や労力で済む行動を選択する (Hull, 1943)。

このような行動選択は、身体的な労力だけではなく認知的な労力においても確認されている。Kool et al. (2010) は、タスクスイッチの頻度の異なる二つのカードデッキに対する選択率を用いて、認知要求の高いカードが避けられることを示した。具体的には、二つのカードのうち一つのカードではタスクスイッチの頻度が高く（高要求デッキ）、もう一方のカードでのそれは低くした（低要求デッキ）。参加者は、各試行前にいずれかのカードを選択し、大小判断あるいは偶奇判断を行うことが求められた。その結果、低要求デッキがより選択され、高要求デッキが避けられることが明らかとなった。つまり、高要求デッキを避けることにより、労力を最小限にするために生じた回避行動であることを示唆した。

一方、Kool et al. (2010) の結果は、高要求により遂行成績が低下し、課題要求よりむしろ、成績が低下することを回避したことが反映したとも解釈することができる。そこで、本研究では、認知要求に対して生じる回避バイアスが、認知的労力の高い課題要求そのものを回避しているのか、成績低下を避けることにより生じたものかを明らかにするため、カード選択の反復あるいは切り替えを従属変数とする一般化線形混合モデルを用いた検討を行った。条件毎に平均化された値を用いる線形モデルとは異なり、一般化線形混合モデルでは、分析対象が全試行となるため、より詳細な検討を行うことができる (Murayama et al., 2014)。もし、課題要求そのものに対して回避バイアスが働いているのであれば、高要求デッキ選択後には、デッキを

切り替え、低要求デッキ選択後には同じデッキが反復して選択されることが予測される。一方、成績低下を避けることが回避バイアスを生起させているのであれば、直前試行が誤答のときには、そのデッキが切り替えられることが予測される。

## 方法

**参加者** 18歳から30歳の成人40名 ( $M = 24.4$ 歳)。

**刺激** 2種類のカードとして青色の柄とオレンジ色の柄のカードを用いた (図1)。カード選択後に呈示される数字には5を除く1から9の数字いずれかを用いて、それらの色は赤色あるいは青色であった。刺激の呈示および反応の記録は、JavaScriptおよびjsPsych (de Leeuw, 2015) を用いて行われた。

**手続き** 各試行の始めに左右に並べられた2枚のカードと中央下にスタートボタン (■) が呈示された。被験者の課題は、スタートボタンをクリック後、左右いずれかのカードを自由に選択し、選択したカード上に800 ms間呈示される数字に対して、できるだけ速くできるだけ正確にキー押しをすることであった。キー

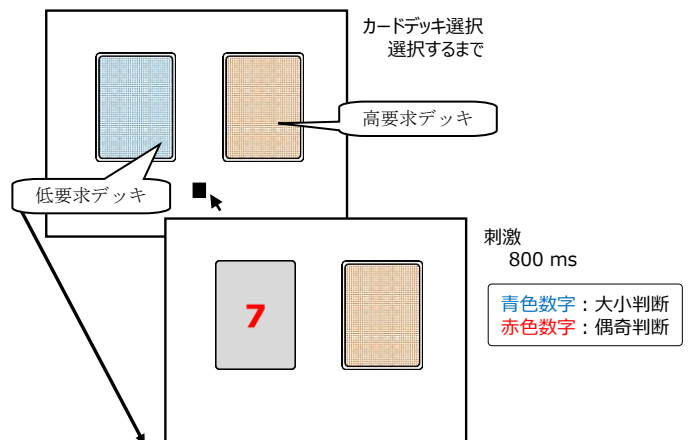


図1 1試行の流れ

押しには左右いずれかの矢印キーを用いた。数字の色によって課題が異なり、青色の数字が呈示されたときには、その数字が5より大きい小さいかの大小判断課題を行い、赤色の数字が呈示されたときには、その数字の偶奇判断課題を行った。これら一連の流れを1試行とし、連続して400試行を行った。参加者には30分間続けて集中して行うことを教示した。

カードデッキによって、呈示される数字の色の切り替わり頻度を変え、タスクスイッチの頻度を操作した。一つのカードデッキでは、数字の色が切り替わる確率が90%であったのに対して、もう一方のカードデッキでは、その確率は10%であった。従って、前者のカードデッキでは、タスクスイッチ頻度が高い高要求デッキとなり、後者のカードデッキではそれが低い低要求デッキとなった。これらのデッキの頻度についての情報は、被験者には与えられず、試行毎に自由に選択することが求められた。

**カードデッキ選択の分析** 低要求デッキの選択率をチャンスレベルと検定により比較した。また、カードデッキの選択において、デッキの反復 (0 = 反復, 1 = 切替) を従属変数、直前デッキの反復 (0 = 反復, 1 = 切替)、直前のデッキ (0 = 低要求, 1 = 高要求)、直前試行の正答 (0 = 正答, 1 = 誤答)、直前試行におけるタスクスイッチ (0 = 反復, 1 = 切替)、直前試行の課題 (0 = 偶奇判断, 1 = 大小判断) を独立変数とする一般化線形混合モデルを用いた。

## 結果

**カードデッキ選択** 各参加者から得られた低要求デッキの選択率をもとに、チャンスレベルとの比較を行った。その結果、低要求デッキ選択率 (65.5%) は、チャンスレベルよりも高く、高要求デッキが回避されていることが明らかとなった ( $t(39) = 2.78, p = .008$ )。

一般化線形混合モデルの分析の結果、実験を通して、同じカードデッキが反復して選択されることが示された ( $b = -4.42, SE = 0.30, Z = -14.64$ )。また、図2に示すように、低要求デッキ選択後にはデッキが反復し、高要求デッキ選択後にはデッキが切り替えられることが示された ( $b = 0.80, SE = 0.09, Z = 8.91$ )。さらに、カードデッキの選択は、直前試行の遂行成績によって、変化しないこと ( $b = -0.08, SE = 0.12, Z = -0.72$ ) が明らかとなった (表1)。

**反応時間** 反応時間を従属変数、タスクスイッチと選択デッキを独立変数とする線形混合モデルによる分析を行った。その結果、課題が反復するよりも、課題が切り替わる時に反応時間が長くなるスイッチコスト

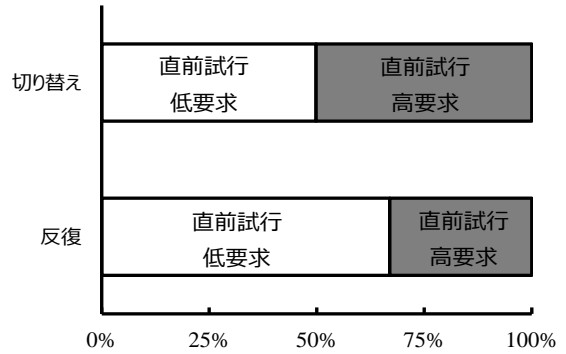


図2 直前試行後のカード切り替え及び反復率

トが得られた ( $b = 59.5 \text{ ms}, SE = 2.77 \text{ ms}, t = 21.49$ )。さらに、低要求デッキよりも高要求デッキにおいて反応時間が長くなった ( $b = 15.8 \text{ ms}, SE = 3.27, t = 4.82$ )。また、交互作用が見られ ( $b = -23.9 \text{ ms}, SE = 2.79 \text{ ms}, t = -8.54$ )、高要求デッキよりも低要求デッキでスイッチコストが大きいことが示された。

**誤答** カード選択後の課題の正誤 (正答 = 0, 誤答 = 1) を従属変数とし、タスクスイッチと選択デッキを独立変数とする一般化線形混合モデルによって分析した。その結果、課題が切り替わることにより、誤答率も上昇することが明らかとなった ( $b = -0.28, SE = 0.04, Z = 7.25$ )。また、高要求デッキよりも低要求デッキにおいてスイッチコストが大きくなることが示された ( $b = -0.09, SE = 0.04, Z = -2.34$ )。

## 結論

本研究は、認知要求に対する回避バイアスの生起メカニズムを明らかにすることであった。実験の結果、高要求デッキよりも低要求デッキがより選択される回避バイアスが確認された。さらに、高要求デッキ選択後には、そのデッキとは反対のデッキが選択され、低要求デッキ選択後には、同じデッキが反復されることが明らかとなった。また、誤答後にカードを切り替える傾向は見られなかった。これは、認知要求に対する回避バイアスが、遂行成績の低下を避けているのではなく、課題そのものの要求を回避していることを示唆している。

## 引用文献

- Hull, C. L. (1943). *Principles of behavior*. New York, NY: Appleton-Century.
- Kool, W., McGuire, J. T., Rosen, Z. B., & Botvinick (2010). Decision making and the avoidance of cognitive demand. *Journal of Experimental Psychology: General*, 139, 665-682.
- Murayama, K., Sakaki, M., Yan, V. X., & Smith, G. M. (2014). Type I error inflation in the traditional by-participant analysis to metamemory accuracy: A generalized mixed-effects model perspective. *Journal of Experimental Psychology: Learning, Memory, and Cognition*, 40, 1287-1306.

表1 一般化線形混合モデルによるデッキ選択の固定効果

	Estimate	SE	Z	
(切片)	-4.417	0.302	-14.64	***
直前試行のカード	0.797	0.089	8.91	***
直前試行の正誤	-0.084	0.117	-0.72	
直前のタスクスイッチ	0.142	0.085	1.67	
直前のカード切り替え	2.084	0.080	26.19	***
直前試行の課題	0.127	0.072	1.76	

\*\*\*  $p < .001$

# 低圧低酸素状態での行為制御： Post-error slowing への影響<sup>1</sup>

石松 一真

滋慶医療科学大学院大学医療管理学研究科

高度 14,000ft 未満の低圧低酸素環境が認知機能に及ぼす影響には一定した見解が得られていない (Legg et al., 2016). エラーを検出し、その後の行為を制御する能力は、更なるエラーを防ぐ上でも重要である。本研究では、低圧低酸素状態がエラー後の行為制御を反映する post-error slowing (Rabbitt, 1966) に及ぼす影響を Sustained Attention to Response Task (SART) を用いて検討した。参加者 18 名が低圧室内で 941hPa (2,000ft), 697hPa (10,000ft), 596hPa (14,000ft) の気圧高度 3 条件に曝露され、SART を実施した。結果、941hPa 条件では post-error slowing (PES) がみられたが、697hPa 及び 596hPa 条件では PES はみられなかった。SART パフォーマンスには高度条件間で有意差がみられなかったものの、低圧低酸素状態ではエラー後の行為制御 (i.e., PES) が低下する可能性が示された。

Keywords: human error, error detection, post-error action control, hypoxia, barometric altitude.

## 問題・目的

連邦航空局やオーストラリア民間航空局の規則では、与圧されていないキャビンで酸素補助なしで飛行できる高度は、それぞれ14,000ft, 10,000ftとされている。14,000ft 以上の低圧低酸素環境では、急性/慢性的な認知機能の低下が生じることが知られている (Taylor et al., 2016)。一方、14,000ft 未満の低圧低酸素環境では、認知機能の低下がみられたとする研究とみられないとする研究が混在している (Legg et al., 2016; Petrassi et al., 2012)。

2000年から2005年にヨーロッパで発生したヘリコプター事故の原因の70%近くは、パイロットの判断や行為の失敗によるものであった (European Helicopter Safety Team, 2010)。post-error slowing (PES) は、エラー後に反応時間が遅延する現象であり、エラー直後の行為制御プロセスとして知られている (Rabbitt, 1966)。

行為の失敗を検討可能な実験課題の1つに Sustained Attention to Response Task (SART, Robertson et al., 1997) がある。SARTの主な指標は、コミッション・エラー (no-go刺激への反応)、オMISSION・エラー (go刺激への非反応)、go刺激に対する反応時間であり、コミッション・エラーは反応抑制、オMISSION・エラーは持続的注意を反映する指標とされている。

そこで本研究では、SARTを用い、低圧低酸素状態がエラー後の行為制御 (i.e., PES) に及ぼす影響を明らかにすることを目的とした。

## 方法

**参加者** 事前にメディカルチェックを受けた19歳から36歳までのアスリート18名 (平均年齢22.6±4.4歳)。参加者は事前に口頭及び書面によるインフォームドコンセントを受けた。

本研究は、The Regional Committee for Medical and Health Research Ethics, Oslo, Norway の承認を得て実施した。

**実験機器** 実験は低圧室 (Aeroform, Poole Dorset, UK) にて実施した。実験課題は、参加者から64cm離れた位置に設置された27in. LCD (Samsung SyncMaster SA350) に提示され、刺激提示の制御や反応時間等の記録にはSuperLab 4.0 (Cedrus Corporation, San Pedro, California, U.S.) を使用した。

**実験課題** SARTを使用した。SARTでは、1から9までの数字がLCDの中心に1つずつ提示された。数字は25回ずつ提示され、合計225試行から構成された。数字の提示時間は250msであり、その後900msのマスク刺激が提示された。数字は一定のペースで提示され、参加者にはgo刺激 (1, 2, 4-9) が提示された場合にはできるだけ素早く正確にキー押し反応をすること、no-go刺激 (3) が提示された場合には反応しないことが求められた。

**実験条件** 酸素正常条件 [2,000ft (941hPa)] 及び低圧低酸素2条件 [10,000ft (697hPa), 14,000ft (596hPa)] の合計3条件を設定した。

**手続き** 18試行の練習ブロック終了後、参加者は低圧室に入室し、椅子に着座した。実験中はノイズキャンセリングヘッドフォン (Bose A20, Bose Corporation, Massachusetts, U.S.) を装着した。高度条件の遂行順序は参加者間でランダムとし、10名は酸素正常条件から、8名は低圧低酸素条件から開始した。低圧低酸素条件の実施順序は参加者間でランダムとし、低圧低酸素条件開始前には7.5分間の順応時間を設けた。

**データ分析** SARTの指標として、コミッション・エラー、オMISSION・エラー、go刺激に対する平均反応時間 (100ms以上の反応時間の平均) を算出した。高度条件間の比較には一要因分散分析を使用した。PESの分析には、反応時間 (Z-score) を使用し、no-go刺激への反応が生じた試行の直前、直後の試行の反応時間の平均値を参加者ごとに算出した (Dutilh et al., 2012)。PESの検討は高度条件ごとに行い、分析にはt検定を用いた。

統計分析にはSPSS (version 22.0 for Windows, IBM Corporation) を使用した。

## 結果

**SARTパフォーマンス** コミッション・エラー, オミッション・エラー, 平均反応時間を高度条件間で比較した (Table 1). 結果, いずれの指標においても条件間で有意差はみられなかった ( $p > .05$ ).

Table 1. Means and standard deviations on the SART performance by barometric altitude.

Barometric altitude (hPa)	Commission Error	Omission Error	Mean RT (ms)
941	17.1±5.3	1.9±2.4	330±41
697	16.1±5.7	3.2±4.6	314±55
596	16.9±5.9	1.5±2.3	318±50

**Post-error slowing** 全ての高度条件のデータについて基準を満たした15名を分析対象とした。

条件ごとにコミッション・エラーが発生した前後の試行の反応時間を比較した (Figure 1). 地上レベルに該当する941hPa条件では, エラー直後の反応時間は, エラー直前に比べて, 有意に長かった [ $t(14) = 3.68, p = .002$ ]. 697hPa及び596hPaの低圧低酸素条件では, エラー直前と直後の反応時間に有意差はみられなかった [それぞれ  $t(14) = 0.66, p = .521$ ;  $t(14) = 1.62, p = .127$ ].

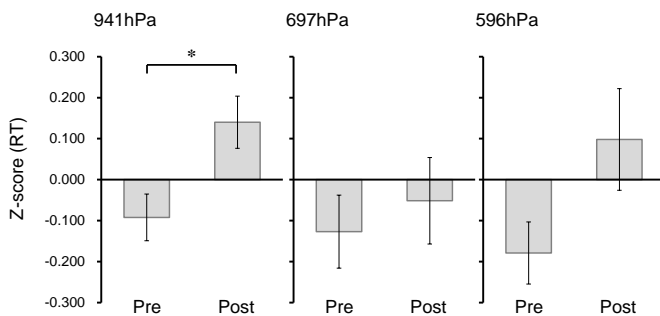


Figure 1. Mean RTs before and after error trials at barometric altitudes. Error bars indicate one standard error of the mean. The asterisk indicates the  $p$  value:  $p < .05$ .

## 考察

**SARTパフォーマンス** いずれの指標においても低圧低酸素条件と酸素正常条件との間で顕著な差はみられなかった. コミッション・エラーは反応抑制を, オミッション・エラーは持続的注意を反映する指標であることから, 高度10,000ftから14,000ftの低圧低酸素状態では, 反応抑制や持続的注意に機能低下が生じない可能性が示された. これらの結果は, 高度14,000ft未満の低圧低酸素環境では認知課題の成績に低下がみられないとしたLegg et al. (2016) を支持するものであった.

**Post-error slowing** 酸素正常条件では, コミッション・エラー直後の反応時間は, 直前に比べて遅延し, 先行研究と同様にPESが確認された. 一方, 低圧低酸

素条件では, コミッション・エラー直後と直前の反応時間に顕著な差はみられず, 酸素正常条件とは異なりPESが確認されなかった.

低圧低酸素条件でPESが生じなかった理由のひとつに, 低圧低酸素状態によるエラーモニタリング機能の低下が考えられる (e.g., Asmaro et al., 2013). これらの結果は, 低圧低酸素状態では, エラー後の行為制御が低下する可能性を示している.

## 結論

高度10,000ftから14,000ftの環境を模擬した低圧低酸素状態では, 持続的注意や反応抑制を反映するSARTパフォーマンスは維持されたものの, エラー直後の行為制御 (i.e., PES) は, 酸素正常状態と比べて低下する可能性が示された.

## 脚注

<sup>1</sup>本研究の一部はICP2016にて発表した.

## 引用文献

- Asmaro, D., Mayall, J., & Ferguson, S. (2013). Cognition at Altitude: Impairment in executive and memory processes under hypoxic conditions. *Aviat Space Environ Med*, 84(11), 1159-1165.
- Dutilh, G., van Ravenzwaaij, D., Nieuwenhuis, S., van der Maas, H. L. J., Forstmann, B. U., & Wagenmakers, E.-J. (2012). How to measure post-error slowing: A confound and a simple solution. *Journal of Mathematical Psychology*, 56(3), 208-216.
- European Helicopter Safety Team (EHEST). (2010). EHEST analysis of 2000-2005 European helicopter accidents. European Aviation Safety Agency (EASA) Safety Analysis and Research Department. Retrieved from <http://easa.europa.eu/essi/ehest/category/publication-type/reports-and-analysis>
- Legg, S. J., Gilbey, A., Hill, S., Raman, A., Dubray, A., Iremonger, G., & Mündel, T. (2016). Effects of mild hypoxia in aviation on mood and complex cognition. *Appl Ergon*, 53, Part B, 357-363.
- Petrassi, F.A., Hodkinson, P.D., Walters, P.L., & Gaydos, S.J. (2012). Hypoxic hypoxia at moderate altitudes: Review of the state of the science. *Aviat Space Environ Med*, 83(10), 975-984.
- Rabbitt, P. M. (1966). Errors and error correction in choice-response tasks. *J Exp Psychol*, 71(2), 264-272.
- Robertson, I.H., Manly, T., Andrade, J., Baddeley, B.T., & Yiend, J. (1997). 'Oops!': Performance correlates of everyday attentional failures in traumatic brain injured and normal subjects. *Neuropsychologia*, 35(6), 747-758.
- Taylor, L., Watkins, S. L., Marshall, H., Dascombe, B. J., & Foster, J. (2016). The impact of different environmental conditions on cognitive function: A focused review. *Front Physiol*, 6, 372.

# 成績にもとづくフィードバックによる認知制御の促進

上田 祥行  
齋木 潤

京都大学こころの未来研究センター  
京都大学人間・環境学研究科

私たちは課題を行うとき、課題に必要な情報に注意を向け、不要な情報を抑制することでパフォーマンスを上げることができる。この認知制御の能力には個人差があることが知られている (Ueda, Kikuno, Yamamoto, & Saiki, Society for Neuroscience 2015)。本研究では、個人の行動成績の履歴にもとづいた訓練によって、その人の認知制御に関する能力を上昇させることができるかどうかを検討した。その結果、自身の成績にもとづいて課題の難易度が変化した群では、そうでない群に比べて、効率的に認知制御課題の成績を促進させることに成功した。この結果は、認知制御機構の効率的な訓練を提案するとともに、この方法を用いることで、認知制御能力の個人差の背後にあるメカニズムを解明することに資する可能性を示唆している。

Keywords: cognitive control, executive function, executive attention, behavioral feedback, individual difference.

## 問題・目的

複雑な行動を遂行するために情報のアップデートや注意の切り替えを行う能力は、認知制御や実行機能と呼ばれている (Miyake & Friedman, 2012)。これは、課題に必要な情報に注目し不必要な情報の干渉を抑制する能力や、不快な情動が起きないように制御する情動調整の能力とも関係していると考えられている (Schmeichel, 2007)。認知制御はいくつかの課題を用いて調べられており、この能力には個人差があることが知られている (Stroop, 1935; Eriksen & Eriksen, 1974; Bush & Shin, 2006)。認知制御が不得手な人が、複雑な課題の遂行や複数の課題の遂行を円滑にしたり、情動調整を上手く制御したりするためには、認知制御能力を高める必要がある。

これまで、課題の遂行を妨げるような不必要な情報が現れる環境で課題に習熟すると、そうでない環境で習熟した場合に比べて、認知制御能力が向上することが示されている (Gratton, Coles, & Donchin, 1992)。しかし、課題の遂行を妨げるような情報が存在する課題はしばしば困難であり、訓練に時間もかかる。一律に同じ環境でトレーニングを行うよりも、個々人の能力に合った訓練環境を構築することで、より効率的な訓練を行うことが可能になるのではないだろうか。

そこで本研究では、過去の課題成績の履歴にもとづいて課題の難易度を設定することによって、効率的な認知制御の促進を達成できるかどうかを検討した。認知制御能力を検討できる課題はいくつか提案されているが、本研究では Bush & Shin (2006) によって提案された多資源干渉課題 (Multi-Source Interference Task: MSIT) を用いた。この課題を用いた理由として、課題中の脳機能計測を用いても個人差が検出できるほど頑健であり、実際に Ueda, Kikuno, Yamamoto, & Saiki (2015) でも先行研究と同程度のパフォーマンスが得られることが確かめられているためである。MSITの成績の履歴にもとづいて課題の難易度を変化させた場合と、ランダムに難易度が変化する課題に繰り返し取り組んだ場合とで、成績の上昇度を比較した。

## 方法

**実験参加者** 京都大学の大学生・大学院生 31 名が実験に参加した。フィードバック群に 15 名、統制群に 16 名がランダムに割り当てられた。統制群の参加者のうち、エラー率の高い 1 名の参加者が分析から除外された。

**刺激および装置** 視覚刺激として、アラビア数字の 0, 1, 2, 3 の 4 種類が用いられた。参加者の反応はキーボードのテンキーを用いて記録された。

**課題** 参加者の課題は、呈示された 3 つのアラビア数字の中から異なる数字を見つけて、その数字をキー押しで報告することであった。報告されるべき数字は「1, 2, 3」のいずれかであり、「0」は妨害刺激としてのみ用いられた。報告されるべき数字は、それぞれテンキーの「1, 2, 3」のキーと対応していた。参加者は、右手でキー押しするように教示され、「1」のキーを押すときには人差し指で、「2」のキーを押すときには中指で、「3」のキーを押すときには薬指で、反応するように求められた。課題中はこれらの指を対応するテンキーの上に置いておくように教示された。

課題には、統制条件と干渉条件の 2 種類があった。統制条件では、報告されるべき数字の呈示位置とテンキーの位置が一致しており、なおかつ妨害刺激は反応する必要がない「0」が呈示された (例えば「100」や「020」など)。干渉条件では、報告されるべき数字の呈示位置とテンキーの位置が必ず不一致であり、かつ妨害刺激は他の試行で反応する必要がある「1, 2, 3」のいずれかであった (例えば「212」や「311」など)。刺激は 1.75 秒ごとに変化し、参加者は新しい刺激が呈示されたら、できるだけ早く正確に、異なる数字を見つけて解答するように教示された。

**フィードバック方法** 成績に基づくフィードバックを行うために、フィードバック群では、干渉条件の試行の後、現在の試行を含まない干渉条件の正答した直近 8 試行と統制条件の正答した直近 8 試行の反応時間の差を算出し、現在の試行を含めた干渉条件の正答した直近 8 試行と統制条件の正答した直近 8 試行の反

応時間の差と比較した。このとき、現在の試行を含めた反応時間の差が、これを含まない反応時間の差よりも小さければ、次の試行で干渉条件が提示される確率を3%減少させた。一方、反応時間の差が大きかったり、干渉条件の試行に誤答したりした場合には、次の試行で干渉条件が提示される確率を3%増加させた。

統制群では、干渉条件の試行に正答した場合、ランダムに干渉条件の提示確率を3%増加もしくは減少させた。

**手続き** 参加者は、初めに20試行の練習課題を行ってから、192試行を1ブロックとする8ブロック計1536試行の本実験に取り組んだ。本実験開始時には、干渉条件の提示確率は50%であり、96試行が経過した時点から、成績に応じて、干渉条件の提示確率を変化させた。また、いずれの条件においても最後の96試行は干渉条件の提示確率が50%であった。

## 結果

干渉条件と統制条件の反応時間の差分が大きいくほど妨害刺激の干渉効果が大きかったことを示しており、認知制御能力が高いほど、差分は小さくなる (Bush & Shin, 2006)。本実験開始直後の96試行の干渉効果の大きさから、終了直前の96試行の干渉効果の大きさを引いたものをトレーニングの効果量として算出した。各群のトレーニング効果量をFigure 1に示す。

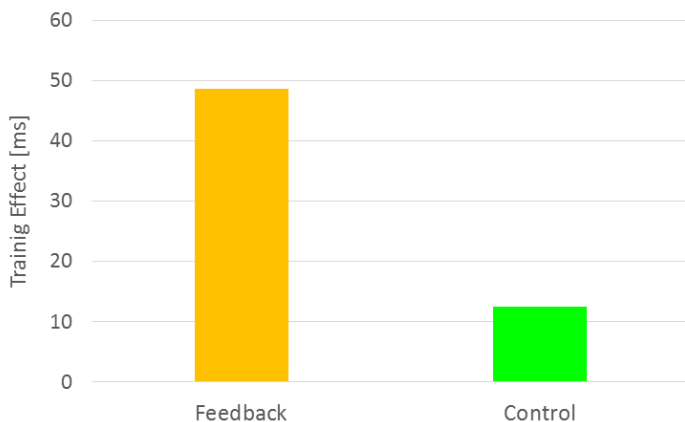


Figure 1. Training effects of feedback manipulation and control manipulation. Bars show standard errors.

対応のないt検定を行ったところ、訓練の効果はフィードバック群で統制群よりも有意に大きかった ( $t(28) = 2.14, p = .041$ )。また、正答率について同様にトレーニング効果量を算出し、対応のないt検定を行ったところ、両群の間に有意な差は見られなかった ( $t(28) = 0.40, p = .69$ )。このことは、反応時間に見られたトレーニング効果が、正確さとのトレード・オフによるものではないことを示唆している。

次に、各群の反応時間の推移をFigure 2に示す。2 (フィードバック方法) × 2 (干渉条件) × 16 (エポック) の3要因の分散分析を行ったところ、2次の交互作用が有意傾向であった ( $F(15,420) = 1.66, p = .057$ )。下位検定の結果、統制条件では、フィードバックの効果は見ら

れなかったが、干渉条件では、3ブロック目からフィードバック群において有意に反応時間が減少していた。

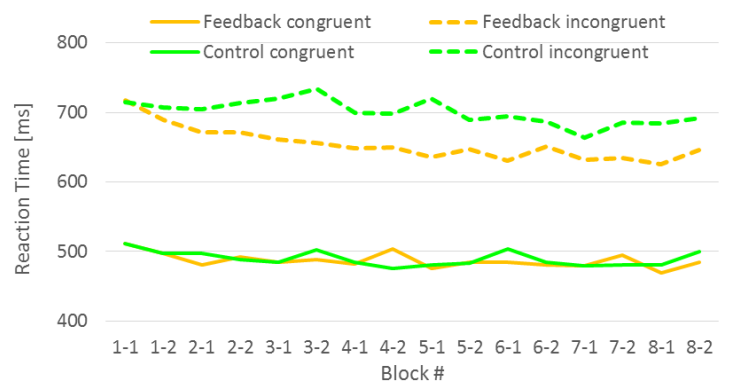


Figure 2. Transition of reaction times in the feedback training and control conditions.

## 考察

本研究は、認知制御能力の効率的な訓練を行うために、過去の課題成績の履歴にもとづいたフィードバックを行い、認知制御の促進が生じるかどうかを検討した。その結果、参加者に明示的な教示を与えることなく、認知制御課題の成績を促進させることに成功した。このことは、個々人の能力に合った訓練環境を構築することで、効率的に能力の学習が行える可能性を示唆している。

しかしながら、本研究は極めて初歩的な結果であり、成績にもとづくフィードバックの効果を明確に示すには、いくつかの検討が必要であると思われる。第1に、このフィードバックが個々人の成績の履歴にもとづいたものであり、他の学習者では効率的な能力の促進を伴わないかを検討する必要がある。第2に、この学習によって得られた能力が、情動調整を含む認知制御一般に拡張されるものであるかを検討する必要がある。

認知制御は、脳内の背外側前頭皮質 (DLPFC) や背側前部帯状回 (dACC) の賦活と関連していることが示されており (Bush & Shin, 2006; Ueda et al., 2015)、本研究で用いた手法によってこれらの部位の脳活動や機能的結合性にも変化をもたらす可能性が考えられる。今後、これらの神経基盤の変化についても検討していく。

## 参考文献

- Bush, G., & Shin, L. M. 2006 The Multi-Source Interference Task: an fMRI task that reliably activates the cingulo-frontal-parietal cognitive/attention network. *Nature Protocols*, 1(1), 308-313.
- Miyake, A., & Friedman, N. P. 2012 The nature and organization of individual differences in executive functions: Four general conclusions. *Current Directions in Psychological Science*, 21(1), 8-14.



# Oculofeedback による注意向上訓練

惠本 序珠亜  
平田 豊

中部大学大学院工学研究科  
中部大学工学部ロボット理工学科

眼球運動には、多くの脳領域と密接にかかわっている。特に、不随意に発生するマイクロサッカド (MSC) と注意の関連が示されたことで、MSC に基づいて人の注意状態を客観的に評価できると期待されている。脳から抽出した情報を被験者にフィードバックし、その情報を被験者が意識的に処理することで、脳活動を自己制御する Neurofeedback という手法がある。MSC に基づいて推定した自覚の難しい注意状態を、知覚可能な感覚刺激としてフィードバックすることで、被験者の注意自己制御能力を訓練できる可能性がある。我々は眼球運動と関わる脳活動を自己制御する新たな体系として、眼球運動をフィードバックする Oculofeedback を提案する。MSC に基づく注意状態をフィードバックする Oculofeedback 実験を実施し、MSC 発生特性の変調とそれに伴う注意の向上を検証した。

Keywords: Visual attention, Microsaccade, Posner Task.

## 問題・目的

日常生活において、リソースの限られた注意を最大限活用するには、注意を制御して多くの注意対象へ最適に注意を配分する能力が重要となる。このような注意は関連する脳活動を自己制御する能力を訓練することで向上可能であると考えられる。近年、脳活動を自己制御する手法として Neurofeedback が活発に研究されている。Neurofeedback は被験者の脳活動を知覚可能な感覚刺激としてフィードバック (FB) することで、被験者による特定の脳活動の意識的な操作を促す。特定の脳活動と脳機能に対応付けることで、脳機能の自己制御能力の訓練可能性が示されている (Shibata et al., 2011) ことから、FB を用いて注意の自己制御能力を訓練することも可能であると考えられる。一方、マイクロサッカド (MSC) という眼球運動がヒトの注意を反映するとして注目されている。特定の MSC 発生特性とヒトの注意状態の関連 (Engbert et al., 2003) が示されていることから、MSC に基づいて注意状態を推定することが出来ると考えられる。以上のことから、MSC に基づいて推定した注意状態を FB することによる、注意の自己制御能力訓練の実現が期待できる。我々はこのような訓練手法を Oculofeedback として提案する。

Oculofeedback は、計測した眼球運動から注意状態を推定し、推定した注意状態を被験者に知覚可能な感覚刺激として FB することで、被験者の注意の自己制御能力を訓練する。具体的には、被験者に注意を要する課題を提示、課題遂行中の被験者から眼球運動を計測、眼球運動から注意状態を推定、注意状態を反映する刺激を FB、という手順を実行する。上記手順の課題や FB 方法は実験・訓練目的に応じて決定する。被験者は課題と FB を繰り返し与えられることで、課題中の注意状態の変化を学習する。そして、学習を続けることで注意の自己制御能力が向上するものと期待される。

本研究では Oculofeedback による注意の自己制御能力訓練の実現可能性を吟味するための実験を実施し、特

定の注意状態と対応する MSC 発生特性の FB による変調とそれに伴う注意の向上を評価した。

## 方法

**被験者** 6名が1日3回、4日間 (計12回) の実験に参加した。

**装置** EyeSeeCam (EyeSeeTec 社) を眼球運動計測装置として使用し、Mac Pro の OSX 上で自作の刺激提示プログラムを動作させ、29インチのディスプレイ (LG 社製、型番29UM67-P) により視聴覚刺激を提示した。MSC のリアルタイム検出は、これまでに開発した畳み込みニューラルネットワーク (Emoto and Hirata, 2016) により行った。

**手続き** 被験者は次のような Posner 課題において、できるだけ早く Target に反応するよう指示された。反応は Target に対するアンチサッカドとした。Figure 1 に Posner 課題に使用した視覚刺激の例を示す。左から順に Fixation, Cue, Target 刺激とする。Fixation と Cue は画面中央に表示し、Target は中央から  $12.4^\circ$  離れた左右どちらかに表示した。各指標の大きさは、Fixation が視野角  $0.73^\circ$ 、Cue が横  $0.61^\circ$  縦  $0.98^\circ$ 、Target が  $0.73^\circ$  である。



Figure 1 Posner 課題に使用した視覚刺激の例

課題の画面は次のように切り替えた。まず、Fixation を 1.5 から 2.5 秒の間のランダムな時間表示した。その後、Cue を 2.0 から 2.5 秒の間で同様にランダムな時間表示し、Target を 1 秒間表示した。表示する Target の方向を指す Cue を Valid Cue、逆を Invalid Cue とする。Target の表示方向は課題開始時にランダムに決定し、Valid Cue を 8 割、Invalid Cue を 2 割の割合で表示するように設定した。

課題終了時に注視点と同心の二つの白い円を被験者に表示し、次のようなFBを与えた。すなわち、Cueが表示されてから $t_1$ 秒以上 $t_2$ 秒未満の間にMSCが発生していた場合、スピーカから音を鳴らすと同時に、同心円の内側の円を大きくし、発生しなかった場合は刺激を与えなかった。被験者は、このFBを多く発生させるよう指示された。このようなFBにより、 $t_1$ から $t_2$ の区間におけるMSC発生頻度が増加すると考えられる。また、先行研究において、Cue表示後にMSC発生率が増加する区間 (MSC Enhancement Interval, MEI) において発生するMSCと注意の関連が示唆されている (Engbert et al., 2003)。よって、このようなFBによってMEIにおけるMSC発生率を増加させることで、被験者の注意の向上が期待できる。

FBの基準とする区間は、予備実験においてMSC発生率の増加を確認した $t_1=0.7$ 、 $t_2=0.9$ とした。MSC発生によるFBが10回与えられた時点で実験を終了した。

## 結果

6名の被験者のうち3名は、比較対象としてランダムなFBを与え(ランダム群)、他の3名には上述したFBを与えた(FB群)。FBの基準とした区間はCue表示後0.7秒から0.9秒の区間であったが、実験結果では0.2秒から0.3秒でのMSC発生率の増加が確認されたことから、この区間をMEI<sub>result</sub>とした。被験者Eの3回目の実験は実施しなかったことから、以下の図では欠損値とした。

Figure 2にMEI<sub>result</sub>におけるMSC発生率の推移を示す。図の上段がランダム群、下段がFB群の被験者である。被験者A、Bで発生率が変わらない傾向が、A、B以外で発生率の増加が見られる。また、Figure 3にMEI<sub>result</sub>でのMSC発生方向の推移を示す。Cueと同方向に発生したMSC (congruent) を黒、逆方向 (incongruent) を灰色で示した。被験者Eで発生方向がcueに影響されなくなる傾向がみられる。E以外でMSCがcongruentとなる傾向がみられる。Figure 4にリアクションタイム (RT) の推移を示す。被験者Aで増加、Eで減少、A、E以外で変化がない傾向がみられる。

## 考察

FB群の3名中3名でMSC発生率が増加し、そのうち1名で発生方向の変化が見られたことから、FBによりMSC発生特性が変調したと考えられる。特に、発生率と方向に変化が見られた被験者Eでは、RTの減少傾向がみられることから、MSC発生特性変調に伴う、注意の向上が誘発されたものと考えられる。

## 結論

Oculofeedbackを提案し、これによる注意の自己制御能力訓練の実現可能性を吟味するための実験を実施することにより、MSC発生特性の変調とそれに伴う注意の向上を評価した。FBを与えた全被験者 (3名) でMSC発生特性の変調が確認され、そのうちの1名でそれに伴う注意の向上が示唆されたことから、Oculofeedbackの有効性が裏付けられる。今後は、より多くの被験者の注意の自己制御能力を訓練可能とす

る、最適な実験パラダイムを検討し、実証する計画である。

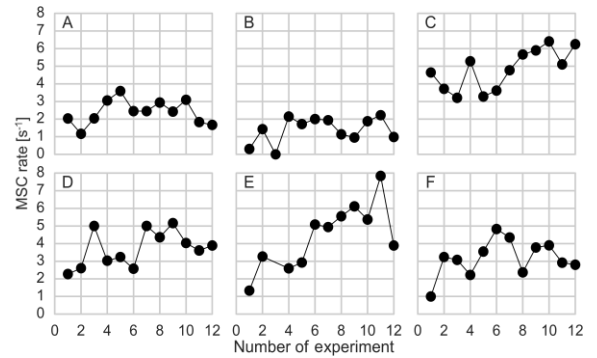


Figure 2 実験回数に対する MEI<sub>result</sub>における MSC 発生率の推移

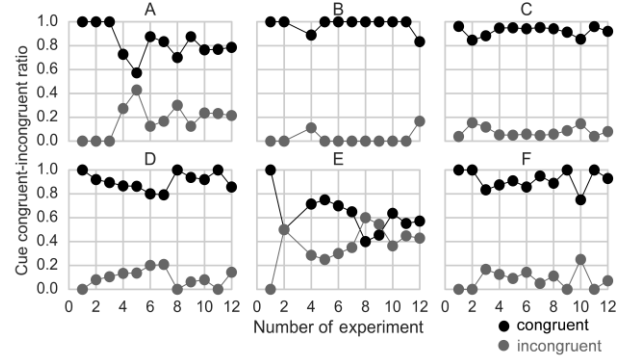


Figure 3 実験回数に対する MEI<sub>result</sub> において発生した congruent/incongruent-MSC の割合の推移

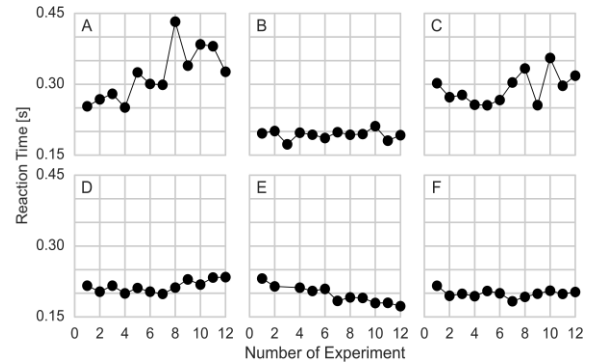


Figure 4 実験回数に対するリアクションタイムの推移

## 引用文献

- Shibata, K., Watanabe, T., Sasaki, Y., Kawato, M. 2011 Perceptual Learning Incepted by Decoded fMRI Neurofeedback Without Stimulus Presentation. *Science*, Vol. 334, Issue 6061, pp. 1413-1415.
- Engbert, R., Kliegl, R., 2003 Microsaccades uncover the orientation of covert attention. *Vis. Res.*, Vol. 43, Issue 9, pp. 1035-1045.
- Emoto, J., Hirata, Y., 2016 Convolutional Neural Network for Microsaccade Detection, *The 30th Annual Conference of the JSAI*, 4L1-3.

# 珠算熟達者の記憶課題における 全脳の神経ネットワークの解明

江部 正周

慶應義塾大学大学院 政策・メディア研究科

青山 敦

慶應義塾大学 環境情報学部

今井 むつみ

慶應義塾大学 環境情報学部

珠算(そろばん)の熟達者は、10桁以上もの数の正確な記憶や暗算など、数的処理に特異的な能力を持つ。fMRIでの研究では珠算熟達者は上頭頂小葉など空間系の脳領域に特異的な活動が見られることが示されたが、それらの領域間の神経ネットワークについては明らかにされていない。本研究では、珠算熟達群(珠算の有段者13名)、対照群(珠算未経験者13名)を対象として、数字と文字と空間配置の記憶課題時の脳波を計測した。その結果、珠算熟達群の数字の記憶の条件での記憶できた桁数が有意に多く、その際の1秒未満の潜時の全脳における位相同期による神経ネットワークで、前頭領域から後頭領域にかけてのグローバルな神経ネットワークが見られた。これらの結果より、珠算熟達者の数字における特異的な記憶力は、早い潜時におけるグローバルな神経ネットワークが基盤になっていることが明らかになった。

Keywords: 珠算, 熟達化, 位相同期, 脳波

## 問題・目的

珠算(そろばん)の熟達者は、そろばんを物理的に操作することに熟達しているだけでなく、「心的そろばん(mental abacus)」と呼ばれるそろばんのイメージを操作することによって、10桁以上の数字を記憶し、逆からも変わらない速度で読み上げられるなど、数的処理に特異的な能力を持つことが知られている(Hatano and Osawa, 1983)。この「心的そろばん」を支持するようにfMRIでの脳機能計測の研究では、そろばんの未経験は数を記憶する際にブローカ野など言語系の脳領域が活動するのに対し、珠算熟達者は上頭頂小葉などの空間系の脳領域が活動することが明らかにされた(Hanakawa et al., 2003)。しかしながら、これらの研究は珠算熟達者に特異的な脳活動部位を明らかにしたものの、それらの領域間の神経ネットワークは明らかにされていない。

本研究では、ワーキングメモリや脳の領域間の神経ネットワークの基盤となることが示されている $\theta$ 波帯域(4-7Hz)の位相同期(phase synchronization)を指標に、珠算熟達者と対照者の数の記憶の神経基盤について明らかにすることを目的とした。

## 方法

### 実験協力者

珠算熟達者群13名(男性10名, 平均年齢 $24.1 \pm 7.3$ 歳)、対照群13名(男性10名, 平均年齢 $21.1 \pm 1.7$ 歳)が本研究に参加した。熟達者群は全国珠算教育連盟の暗算の段位が平均8段(10段6名, 9段3名)である。全員右利き, 色

覚特性などなく健康で, SFC実験・調査倫理委員会の定めた手順に従い参加の同意を得た。

### 刺激と手順

実験刺激は数字(1-9のアラビア数字)・文字(アルファベットの大文字)・空間配置(Xをランダムに配置)の3種類からなり, すべての課題を同一視野角度の格子状の四角形内に配置し, 視覚的に均一になるようにした。

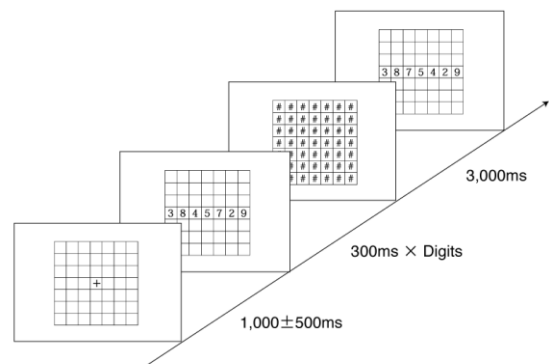


図1. 数字条件の実験刺激. 実験環境では黒背景に灰色字。

手順は図1に示した通り, 注視点の後, 桁数 $\times 300$ msのターゲット刺激を呈示し, 3,000msすべてのマス目を#で塗りつぶしマスクしている間, ターゲット刺激を覚えてもらい, 最後に同じ桁数の刺激が始めに呈示されたターゲット刺激と同一であるかをマウスのボタン押しで回答してもらった。なお, ボタン押しに速度は求めず, なるべく正確に回答してもらった。

これらの課題を1ブロック10回として、数・文字・空間配置の課題をランダムな順番に1ブロックずつ計30回呈示した。そして短い休憩をはさみ、これを合計3回行い、数・文字・空間配置の課題をそれぞれ10×3回行った。また、桁数は事前に記憶できる最大桁数を調べた。

## 脳波計測

脳波計測には64チャンネルの独Brain Products社製actiCHamp(アクティブチャンネルアンプ)を使用した。

## 解析

下処理として1Hzのハイパスフィルターと、眼電に相関する独立成分のみを除外した。Vinck et al. (2011) によって示された位相同期の指標であるWeighted Phase Lag Indexによって、領域間のネットワークを形成すると言われる $\theta$ 波(4-7Hz)帯域のベースラインと比較して有意な神経ネットワークを見た。

## 結果

### 行動実験

事前に行った各実験協力者の記憶課題における最高桁数の条件ごとの成績を図2に示す。記憶課題時の最高桁数を数字、文字、空間の3条件について、それぞれ熟達者と対照者の2群でウィルコクソンの順位和検定をかけ、FDRで多重比較補正した。その結果、数字条件では熟達者の最高桁数が有意に高く( $p < .01$ )、文字条件、空間条件については有意ではなかった( $p > .05$ )。

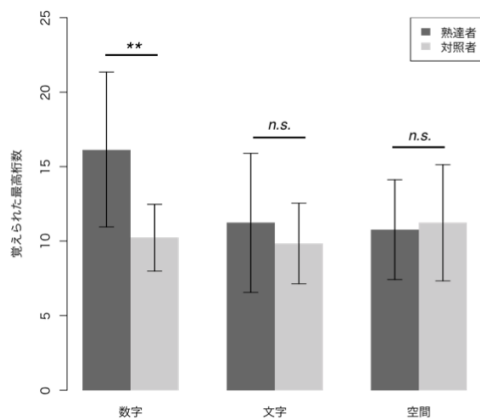


図2. 数字・文字・空間条件での覚えられた群ごとの最高桁数。

### 位相同期による神経ネットワーク

行動実験で有意な差が見られた数字条件において、ベースラインと有意な位相同期による神経ネットワークを図3に示す。珠算熟達者は200-400msの潜時で前頭領域から後頭領域における位相同期による神経ネットワークが見られるのに対して、対照者はこのような広範な位相同期による神経ネットワークは見られない。

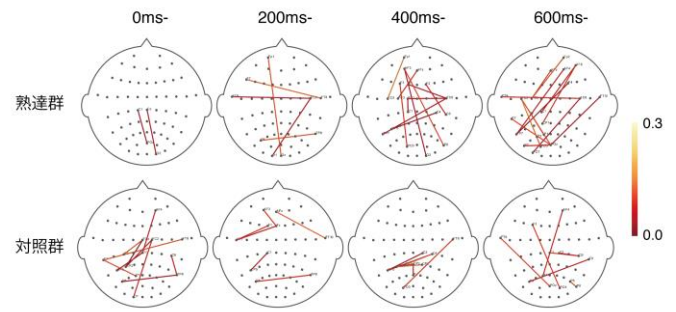


図3. 数字条件における200msごとの位相同期ネットワーク

## 考察

Hatano and Osawa (1983)の先行研究と一致して、本研究においても数字条件のみで特異な行動実験の結果が見られたことは、本研究の実験手順の妥当性を示している。

位相同期による神経ネットワークでは、ワーキングメモリの中央実行系を担う前頭領域と、低次の情報を処理する後頭領域とのグローバルな位相同期による神経ネットワークが見られることは、大きな桁数を記憶する際に、入力された情報を効率的に処理する神経ネットワークが形成されていると考えられる。

## 結論

これらの結果により、珠算熟達者の数的処理における特異的な記憶・操作能力は、中央実行系を司る前頭から、低次の情報を処理する後頭領域への神経ネットワークが形成されていることによるものであることが明らかになった。

本研究は、珠算熟達者における神経ネットワークを明らかにした初めての研究である。

## 引用文献

- Freunberger, R., Werkle-Bergner, M., Griesmayr, B., Lindenberger, U., and Klimesch, W. (2011). Brain oscillatory correlates of working memory constraints. *Brain research*, 1375:93–102.
- Hanakawa, T., Honda, M., Okada, T., Fukuyama, H., and Shibasaki, H. (2003). Neural correlates underlying mental calculation in abacus experts: a functional magnetic resonance imaging study. *Neuroimage*, 19(2):296–307.
- Hatano, G. and Osawa, K. (1983). Digit memory of grand experts in abacus-derived mental calculation. *Cognition*, 15(1-3):95–110.
- Vinck, M., Oostenveld, R., van Wingerden, M., Battaglia, F., and Pennartz, C. M. (2011). An improved index of phase-synchronization for electrophysiological data in the presence of volume-conduction, noise and sample-size bias. *Neuroimage*, 55(4):1548–1565.

# 風景画印象を構成する、知覚・認知・感情的処理の経時変化

若林 正浩  
内藤 智之

大阪大学大学院生命機能研究科  
大阪大学大学院医学系研究科

視覚芸術作品の処理には、少なくとも知覚的処理、認知的処理、感情的処理の3つの処理経路が存在すると考えられている。これまでこの3つの処理経路の時間特性についてほとんど検討されていない。本研究では刺激画像の提示時間を操作することで3つの処理の時間変化を検討した。被験者は、30枚の風景画に対し、長時間提示(5s)と短時間提示(100ms)の2つの条件について形容詞対を用いた印象評定を行った。印象評定に用いた形容詞は、明るい-暗い(知覚的処理)、美しい-醜い(認知的処理)、楽しい-悲しい(感情的処理)であった。知覚的処理、感情的処理では、長時間提示と短時間提示で評定スコアに有意な差が見られなかった。一方で、認知的処理においては、長時間提示の際のスコアが短時間提示と比べ有意に大きかった。この結果は、知覚的処理、感情的処理は100ms以下の短い時間で起こり安定するが、認知的処理の安定には比較的長い時間が必要なことを示唆する。

Keywords: aesthetic experience, time course, perception, cognition, emotion.

## 問題・目的

視覚芸術作品に対する感性判断を、相互作用する複数の処理経路を含むプロセスとするモデルが提案されている(Marin & Leder, 2016)。先行研究によれば、視覚芸術作品に対する美的経験は知覚的、認知的および感情的処理の3つの処理から成るとされており(Leder, Belke, Oeberst, & Augustin, 2004; Redies, 2015)、それぞれの処理経路の経時変化について多くの考察がなされている。しかし、これらの処理経路の時間特性を実証的に検討した研究はほとんど存在しない。

本研究では、絵画刺激の提示時間を変化させた場合、知覚、認知、感情的印象がどのように変化するかを評価することで知覚的、認知的、感情的処理の時間変化の実証的検証を行った。

## 方法

**実験参加者** 大学生 54名 (男性 15名、女性 39名) が本実験に参加した。

**刺激** 風景画 30枚を視覚刺激として用いた。

**手続き** 3種類の形容詞対による印象評定課題を行った。実験参加者は18人ずつ、実験1、2、3の3つの実験に分類された。実験1では“明るい-暗い”、実験2では“美しい-醜い”、実験3では“楽しい-悲しい”の形容詞対に対して評定を行うよう教示された。これらの形容詞は、先行研究(Wakabayashi et al., in prep)において、各処理経路とよく対応されることが明らかとなっているものである(知覚

的処理: 明るい-暗い、認知的処理: 美しい-醜い、感情的処理: 楽しい-悲しい)。実験参加者は各刺激を短時間提示条件、長時間提示条件の二度評定した。

CRT上に注視点が提示されたのち(1000ms)、視覚刺激として絵画が提示された(図1)。絵画の提示時間は100ms(短時間提示条件)もしくは5000ms(長時間提示条件)であった。その後MASK刺激が提示され(1000ms)、印象評定用のスケールバーが提示された。実験参加者は視覚刺激である絵画の印象を7段階で評定した。刺激の提示順、長時間提示/短時間提示の順は実験参加者によってランダムであった。実験参加者は本試行の前に練習試行を行った。練習試行で用いた刺激と形容詞は、本試行と異なるものを使用した。

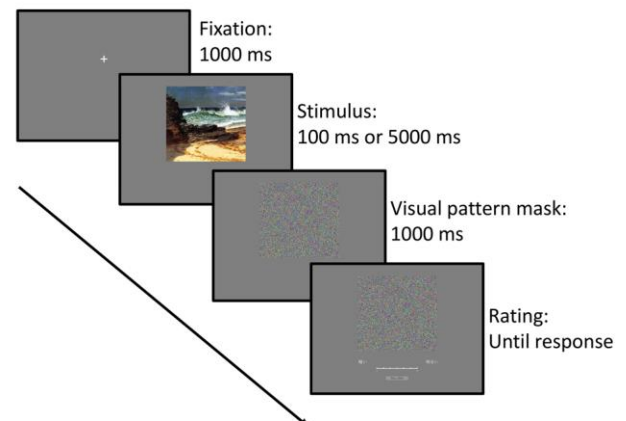


図1. 試行の流れ

## 結果

長時間呈示条件と短時間呈示条件の印象評定平均得点を図2に示す。実験1(明るい-暗い)、実験3(楽しい-悲しい)では、呈示時間の印象評定得点に対する影響は見られなかった ( $F(1, 17) = 2.68, p = .120, \eta_G^2 = .024$ ;  $F(1, 17) = 3.06, p = .100, \eta_G^2 = .161$ )。一方で、実験2(美しい-醜い)では、長時間呈示条件において有意に印象評定得点が高かった ( $F(1, 17) = 18.89, p < .001, \eta_G^2 = .526$ )。

本研究では各実験参加者が同じ絵画を二度評定しているため、長時間呈示条件/短時間呈示条件の順序が結果に影響を及ぼしている可能性が考えられる。刺激提示順の影響を検討するため、印象評定得点について呈示順序(長時間条件が先/短時間条件が先) × 呈示時間条件(長時間呈示/短時間呈示)の被験者内2要因分散分析を行った。実験1、2、3のいずれにおいても呈示順序と呈示時間条件の間に交互作用は見られなかった ( $F(1, 17) = 0.64, p = .436, \eta_G^2 = .020$ ;  $F(1, 17) = 0.003, p = .959, \eta_G^2 < .001$ ;  $F(1, 17) = 3.21, p = .091, \eta_G^2 = .092$ )。

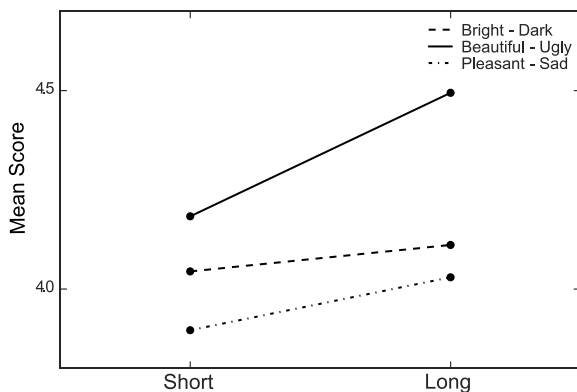


図2. 長時間呈示条件と短時間呈示条件の平均得点。美しい-醜い(実線)において、長時間呈示条件と短時間呈示条件で有意な差が見られた。

## 考察

印象評定得点について、全ての実験において呈示順序と呈示時間条件の間に交互作用が存在しなかったことは、呈示順序がいずれかの呈示時間条件に特有の影響を与えることがなかったことを示唆している。そのため、本実験のデザインは刺激

提示時間が印象評定得点に与える影響を検討するために妥当なものであると考えられる。

実験1(明るい-暗い)、実験3(楽しい-悲しい)では、100msと5000msで印象評定値に有意な差が見られなかった。これは、知覚的処理、感情的処理が相対的に早い潜時で行われ、刺激呈示後100ms時点ですでに印象形成が安定していることを示唆している。一方で、実験2(美しい-醜い)では刺激提示時間の有意な主効果が観察された。これは認知的処理が他の処理系に比べて処理潜時が長く、刺激定時後100ms以降も認知的処理が継続していることを示唆する。先行研究では、知覚的処理は、認知的処理に先行する処理経路であるため短潜時での処理が指摘されていることと高い整合性を示す。

Redies (2015)の視覚芸術経験モデルにおいて、感情処理は、知覚的処理と認知的処理の双方の出力に対する処理系であると考えられている。感情的処理が100ms以下の早いタイミングで完了するという本研究の結果は、感情的処理経路は認知的処理経路に比べ、知覚的処理経路との結びつきが強い可能性を示唆する。

## 結論

本研究の結果から、知覚的処理と感情的処理は早い潜時で完了し、認知的処理には比較的長い処理時間が必要であることが明らかとなった。この結果は、先行研究の仮説とよく一致する。また、本研究の結果は知覚的処理と感情的処理が強く結びついている可能性を示唆する。

## 参考文献

- Leder, H., Belke, B., Oeberst, A., & Augustin, D. (2004). A model of aesthetic appreciation and aesthetic judgments. *British Journal of Psychology*, 95, 489–508.
- Marin, M. M., & Leder, H. (2016). Effects of presentation duration on measures of complexity in affective environmental scenes and representational paintings. *Acta Psychologica*, 163(January), 38–58.
- Redies, C. (2015). Combining universal beauty and cultural context in a unifying model of visual aesthetic experience. *Frontiers in Human Neuroscience*, 9(April), 218.
- Wakabayashi, M., Kitaguchi, M., Sato, H., & Naito T. (in preparation)

# 情動喚起が有効視野に及ぼす影響

増田奈央子  
園田直子

久留米大学大学院心理学研究科  
久留米大学文学部心理学科

本研究の目的は、情動喚起が有効視野に及ぼす影響を検討することである。刺激につけられた感情価と覚醒度の評価値(標準化された値)を基に分類したときと参加者が実際に喚起した感情価と覚醒度の値(個人ごとの評価値)を基に分類したときでは、情動が有効視野に与える影響が異なる結果になるか検討した。有効視野測定課題として、中心課題と周辺課題を同時に提示する二重課題を用い、情動喚起刺激として IAPS の画像 40 枚を用いた。有効視野の広さの指標は周辺課題の正答率を用いた。その結果、標準化された値を用いたとき不快刺激は快刺激より周辺課題の正答率が低かった。個人ごとの評価値を用いたとき不快・高覚醒と快・低覚醒刺激は不快・低覚醒と快・高覚醒刺激より周辺課題の正答率が低かった。これらの結果から、標準化された値を基に分類したときは感情価が、個人ごとの評価値では感情価と覚醒度が有効視野に影響を与える情動要因であることが考えられる。

Keywords: emotion, valence, arousal, useful field of view, subjective rating.

## 問題・目的

不快な刺激を見たとき快刺激や中性刺激に比べて注意が向きやすく(e.g., Sussman, Heller, Miller, & Mohanty, 2013), 有効視野が狭くなる(e.g., Harada, Hakoda, Kuroki, & Mitsudo, 2015)ことが示されている。

有効視野とはあるものを見ながら同時に他のものを見ることができる範囲をさすといわれている(藤原, 2011)。

また、刺激につけられている評価値と個人が評価した値では異なることが示されている(加藤, 2014)。つまり、画像を見たときの情動評価には個人差があることが指摘されている。

そこで本実験では、評価方法が異なると有効視野に及ぼす情動要因の影響関係が異なって検出されるかどうかを検討する。本実験において2つの評価値を区別するために IAPS の評価値に基づいて刺激につけられている評価値を「標準化された値」、刺激の提示によって喚起された参加者の評価値を「個人ごとの評価値」と呼ぶことにする。

## 方法

実験参加者：大学生 22 名 (男性 6 名, 女性 16 名)が実験に参加した。平均年齢は 20.8 歳(SD=0.94 歳)であった。

装置：刺激はノートパソコン(SVT131B11N, Sony)を用いて提示し、実験制御は Cedrus 社製の SuperLab5.0.5 で行った。

刺激：画像刺激として IAPS (International Affective Picture System; Lang, Bradley, & Cuthbert, 2008)より選択した画像刺激 40 枚を使用した。

課題：実験課題は、中心課題と周辺課題からなってい

た。

中心課題は、画面中央に提示される“C”または逆向きの“C”に対し、“C”の開口部が右ならばテンキーの 6 のキーを、左ならば 4 のキーを押すことであった。その際、実験参加者はなるべく早く正確に押すことが求められた。

周辺課題は、画面周辺に提示される数字を答えることであった。

手続き：実験参加者は顎台を用いて顎と頭を固定し、パソコン画面から 57cm 離れたところから刺激を観察してもらった。まず背景が白色のモニタ画面中央に“+”の注視点が示された画面が提示された。テンキーの数字ならばどのキーでも良いので押すと、注視点が 500ms 間提示された後、画像刺激が画面中央に 500ms 間提示された。刺激が消える 50ms 前に画面中央に再び注視点が現れ刺激が消えた後に、中心課題と周辺課題を同時に 150ms 間提示された。その後、中心課題の“C”は注視点に変化し、周辺課題の数字は消失した。“C”が提示されてから実験参加者が反応するまでを中心課題の反応時間として測定した。ただし、3000ms 以上反応がない場合は誤反応として、注視点を画面から消した。

次に周辺課題についての質問を画面に提示し、質問への回答に該当するキーを入力してもらった。その後、画像から喚起される感情価と覚醒度の評価を行ってもらった。評価が終わると再び注視点を提示し、次の試行を行ってもらった。

練習試行は 10 試行行った。本試行は 40 試行行い、そのうち、周辺課題の数字が提示されない試行が 8 試行あった。また、刺激の提示順序はランダムであった。中心課題の“C”の開口部の向き、周辺課題の数字および位置もすべてランダムな順序で実験を行った。

## 結果

分析1では、標準化された値を基に刺激を分類し分析を行った。分析2では、個人ごとの評価値を基に刺激を分類し分析を行った。

中心課題の正答率と周辺課題の正答率を分析対象とし、周辺課題に関しては、中心課題に対する反応が正しかった試行のみを対象に分析を行った。感情価と覚醒度の情動要因が有効視野に及ぼす影響を検討するために、感情価(不快・快)と覚醒度(低覚醒・高覚醒)の2要因分散分析をそれぞれ行った。

中心課題において分析1では、感情価の主効果および覚醒度の主効果、感情価と覚醒度の交互作用は有意でなかった。分析2においても感情価の主効果および覚醒度の主効果、感情価と覚醒度の交互作用は有意でなかった。

分析1・2どちらも感情価や覚醒度が中心課題に影響を及ぼさないことと、すべての条件において正反応率が90%を超えていたことから、参加者の注意が中心に向いていたと判断してよいと考えられる。

分析1の各刺激における周辺課題の正答率の平均値をFigure1に示す。周辺課題において、分析1では感情価の主効果が有意傾向であった( $F(1,21)=3.03, p=.10, \eta^2=0.01$ )。不快刺激は快刺激より正答率が低かった。しかし、覚醒度の主効果と感情価と覚醒度の交互作用は示されなかった(覚醒度:  $F(1,21)=0.49, ns, \eta^2=0.00$ ; 感情価×覚醒度:  $F(1,21)=0.06, ns, \eta^2=0.00$ )。

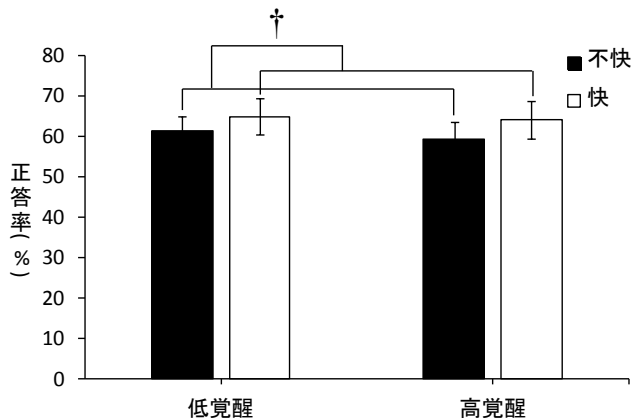


Figure1. 各刺激における周辺課題の正答率の平均値 (エラーバーはSE) (分析1)

分析2の各刺激における周辺課題の正答率の平均値をFigure2に示す。分析2においては感情価の主効果が有意であった( $F(1,21)=9.01, p=.01, \eta^2=0.02$ )。不快刺激は快刺激より正答率が低かった。また感情価と覚醒度の交互作用が有意であった( $F(1,21)=11.35, p=.00, \eta^2=0.04$ )。下位検定を行った結果、不快・高覚醒刺激と快・低覚醒刺激が快・高覚醒刺激(それぞれ  $p<.01, \eta^2=0.12$ ;  $p<.10, \eta^2=0.03$ )、不快・高覚醒刺激が不快・低覚醒刺激より ( $p<.05, \eta^2=0.07$ ) 正答率が低かつ

た。しかし、覚醒度の主効果は有意でなかった ( $F(1,21)=0.37, ns, \eta^2=0.00$ )。

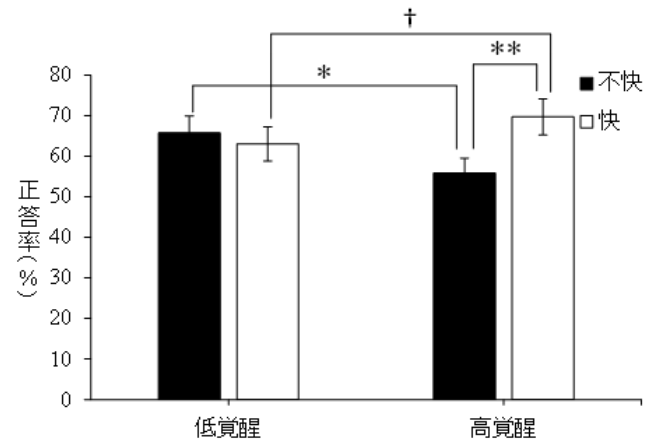


Figure2. 各刺激における周辺課題の正答率の平均値 (エラーバーはSE) (分析2)

## 考察

本実験の結果から、標準化された値を用いた分析(分析1)では、不快刺激は快刺激より周辺課題の正答率が低かった。この分析から、不快刺激は快刺激より有効視野が狭くなることが示された。不快刺激が快刺激より有効視野が狭くなることは野畑・箱田・二瀬(2005)でも報告されている。

個人ごとの評価値を用いた分析(分析2)では不快刺激は高覚醒度刺激が低覚醒度刺激より、快刺激は低覚醒度刺激が高覚醒度刺激より周辺課題の正答率が低かった。この分析から、不快刺激においては覚醒度が高い刺激は低い刺激より有効視野が狭くなることが考えられる。一方、快刺激においては覚醒度が低い刺激は高い刺激より有効視野が狭くなるという結果が得られた。

以上の結果から、評価方法が異なると有効視野の縮小に与える情動要因が異なる結果になるという結果が得られた。標準化された値では感情価のみが有効視野の縮小に影響を与えるという結果になる。一方、個人ごとの評価値を用いて分析すると感情価と覚醒度の交互作用を起こすという効果が得られるということが示された。覚醒度の影響を捉えるためには個人評価を用いる必要があるといえよう。

なぜ、標準化された値では覚醒度の効果が示されなかったかについては、評価の個人差が考えられる。標準化された値と個人ごとの評価を比較したとき、感情価に関しては個人差があまり見られないが、覚醒度に関しては個人差が大きいことが報告されている(加藤, 2014)。このことから、覚醒度を扱う場合、個人の評価を用いたほうが有効視野に対する情動の効果を正確に捉えることができているのではないかと考えられる。



# 潜在的態度の変化に対する魅力的な顔の効果

西村 友佳  
小川 洋和

関西学院大学大学院文学研究科  
関西学院大学文学部

Wang et al. (2015) suggested that the presence of attractive another person brings out the moral behavior because the positive feeling arose. Then, does the presence of attractive people influences implicit moral attitude? In this study, we tested whether repetitive exposure to attractive people influences implicit moral attitude as well as explicit behavior. Before and after participants were exposed to a sequence of 100 attractive female face images, their implicit moral attitudes were measured with the Implicit Association Test (IAT). Also, their positive and negative affect states were measured with Japanese version of positive and negative affect schedule (PANAS). The results showed that the IAT-score significantly decreased after the repetitive exposure to the attractive faces. The PANAS score of negative affect also significantly decreased. However, the correlation between the amount of the change of the negative affect and the change of the implicit morality was not significant. These results suggest that independent of the affective state, the implicit moral attitude is affected by the repetitive exposure to attractive females.

Keywords: Facial attractiveness, morality, IAT.

## 問題・目的

道徳的判断やそれに伴う行動は他者の存在によって影響を受けることが知られている (Bhagal, Galbraith, Manktelow, 2016; Grimalda, Pondorfer, & Tracer, 2016; Wang, Xia, Xu, Ru, Mo, Wang, & Mo, 2015)。例えば Wang et al. (2015) は魅力的な他者が呈示されることによって、魅力度の低い他者が呈示されたときよりもポジティブ感情が生起し、道徳的な行動が引き出されることを示した。

では、魅力的な他者の存在は潜在的な道徳態度にも影響を及ぼすのだろうか。本研究は、魅力的な他者の顔写真が連続呈示される前後で潜在的な道徳態度が変化するかを、潜在連合テスト (Implicit association test; IAT) を用いて検討した。IAT とは、二重カテゴリー分類課題を通してターゲットと属性の連合の強さを測定し、ターゲットに対する潜在的な態度を検討する方法である (Greenwald, McGhee, & Schwartz, 1998)。本研究では、自己と道徳的属性の連合の強さを潜在的な道徳態度の指標として測定した。加えて、ポジティブ情動項目、ネガティブ情動項目それぞれ 8 項目で構成されている簡易気分評定尺度である日本語版 PANAS (佐藤・安田, 2001) を用いて気分状態の変化を検討した。魅力的な他者の存在は顕在的な行動だけでなく潜在的な道徳態度にも影響するのであれば、魅力的な他者が連続呈示されることによって自己概念と道徳的属性の連合の強さが変化すると予測される。

## 方法

### 実験参加者

関西学院大学の学生 80 名 (男性 40 名、女性 40 名) が本実験に参加した。平均年齢は 19.88 歳であった。

### 実験材料

語句刺激と画像刺激を用いた。自己及び他者概念を表す語句をそれぞれ 5 つずつ用意した。また、道徳的及び非道徳的属性を表す言葉を Haidt (2007) の道徳基盤理論における 5 つの基盤に含まれる形容詞からそれぞれ 10 個ずつ選び和訳、名詞化した。画像刺激として魅力的な女性の画像 10 枚と家画像 10 枚を使用した。女性の画像は Google 画像検索から 100 枚選出し、予備実験で魅力度を測定した。予備実験において、実験参加者は画面上に呈示された女性の魅力度を 0 点から 100 点の間で 1 点刻みで評価した。

### 手続き

本実験は事前テストセッション、画像観察セッション、事後テストセッションの 3 つのセッションで構成された。

### 事前テストセッション

IAT を用いて自己と道徳の潜在的な連合の強さを測定した。実験参加者は中央に呈示された語句が画面上部に呈示されているどのカテゴリーに属するかを、キー押しによって出来るだけ早く正確に回答した。Figure 1 で示した例では、「孝行」は道徳のカテゴリーに属する語句であるため、実験参加者は F キー (左) を押した。カテゴリーの左右の位置は実験参加者によってカウンターバランスを取った。画面中央に語句が呈示されてから実験参加者が反応するまでの時間と反応の正誤を記録し、これらを元に IAT 得点を算出した ( $D_4$ -measure; Greenwald et al., 2003)。

IAT を実施した後、日本語版 PANAS を配布した。実験参加者は各項目が現在の自分の状態にどれ程当てはまるかを 6 段階で回答した。



Figure 1. IATテスト画面の一例。孝行は道徳的カテゴリーに属する語句なので、左側のキー（F）を押す。

### 画像観察セッション

N-back 課題を実施した。このセッションの課題は魅力的な女性の画像、または家画像のどちらかを観察することであった。画像は1枚ずつ画面中央に連続呈示され、実験参加者は呈示された画像が1つ前に呈示された画像と同じものかどうかをキー押しによって回答した（1-back 課題）。画像の呈示時間は1秒、呈示回数は100回であった。

### 事後テストセッション

事前テストセッションと同様であった。

## 結果

Figure 2は事前テストセッションと事後テストセッションにおけるIAT得点である。得点が高い程、自己と道徳の潜在的な連合が強いことを意味している。画像条件毎に2要因2水準の分散分析を行なった結果、魅力的な女性の画像が呈示された条件で画像呈示前後の主効果が有意であった ( $p = .04$ )。実験参加者の性別の主効果は見られなかった ( $p = .84$ )。

Figure 3は事前テストセッションと事後テストセッションにおけるネガティブ気分状態得点である。得点が高い程、ネガティブ気分状態が強いことを意味している。画像条件毎に2要因2水準の分散分析を行なった結果、魅力的な女性の画像が呈示された条件で画像呈示前後の主効果が有意であった ( $p = .01$ )。しかし、ネガティブ気分状態の変化とIAT得点の変化に相関は見られなかった。

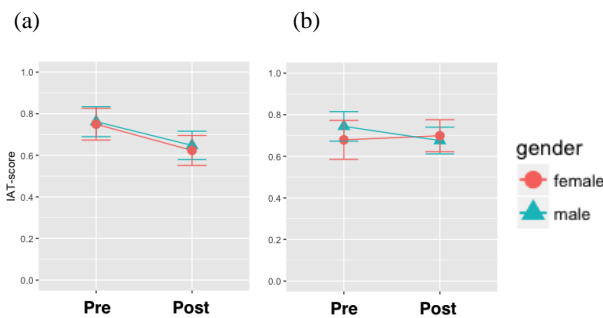


Figure 2. 事前テストセッション（Pre）と事後テストセッション（Post）におけるIAT得点。（a）はN-back課題で魅力的な女性の画像が呈示された条件、（b）は家画像が呈示された条件である。

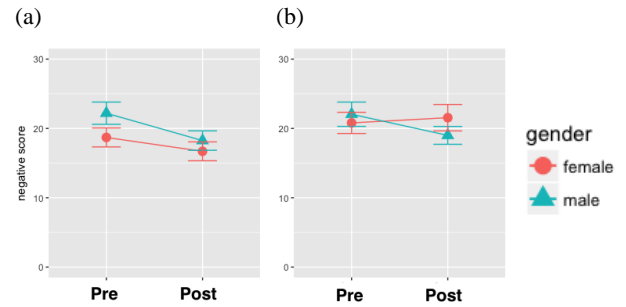


Figure 3. 事前テストセッション（Pre）と事後テストセッション（Post）におけるネガティブ気分状態得点。（a）はN-back課題で魅力的な女性の画像が呈示された条件、（b）は家画像が呈示された条件である。

## 考察

男性参加者においても女性参加者においても、魅力的な女性の画像を連続提示した後で潜在的な道徳態度が低下した。ネガティブ気分状態が減少したものの、道徳態度と気分状態の変化量に相関関係は見られなかった。これは、魅力的な他者の存在による潜在的態度の変化は気分状態の変化によるものではないことを示唆している。

また、本研究での魅力的な女性の画像の呈示方法はWang et al. (2015) と異なっている。Wang et al. (2015) は道徳行動を測定している間にも魅力的な女性の画像を呈示していた。しかし、本研究は潜在的な道徳態度を測定する際、顔画像を同時呈示していなかった。魅力的な顔を潜在的な道徳態度の測定場面でも呈示することで、魅力的な他者に見られていることが道徳態度の変容に重要なのかを検査することができるだろう。

## 結論

本実験の結果から、魅力的な女性の画像を連続呈示することで潜在的な道徳態度は弱まることが明らかになった。また、潜在的な道徳態度の変容に感情状態は関与していない可能性が示された。今後、魅力的な人物の顔写真に含まれるどのような要因が潜在的な道徳態度に影響しているのか、さらに検討していく必要がある。

## 引用文献

- Understanding and using the implicit association test: I. an improved scoring algorithm. *Journal of Personality and Social Psychology*, 85, 197-216.
- Grimalda, G., Ponderfer, A., & Tracer, D. P. (2016). Social image concerns promote cooperation more than altruistic punishment. *Nature Communications* 7, doi:10.1038/ncomms12288.
- Haidt, J. (2007). The new synthesis in moral psychology. *Science*, 316(5827), 998-1002.
- Wang, J., Xia, T., Xu, L., Ru, T., Mo, C., Wang, T., & Mo, L. (2015). What is beautiful brings out what is good in you: The effect of facial attractiveness in individuals' honesty. *International Journal of Psychology*, 10.1002/ijop.12218

# サイモン課題における反応時間と反応強度

西村 聡生  
横澤 一彦

安田女子大学心理学部  
東京大学大学院人文社会系研究科

本研究では、サイモン課題において反応時間と反応強度が反映する認知制御特性について検討した。参加者は、左右どちらかに呈示される刺激の形に基づき左右のボタン押しを行った。刺激と同側の反応は逆側の反応よりもはやく（サイモン効果）、サイモン効果は反応時間が長くなるにつれ減少していった。反応強度は反応時間にかかわらず、刺激と反応の位置関係には影響されなかった。また、刺激と反応の特徴の系列分析において、反応時間では片方の特徴のみが繰り返されもう片方は変化する場合、両特徴とも反復したり変化する場合に比べて反応が遅延する部分反復コストがみられた。一方、反応強度においては、それぞれの特徴の反復による増大が、もう片方の特徴の反復によらず観察された。反応のはやさには反応選択段階での認知処理が、反応の強さには刺激知覚や反応実行に関する認知処理が、それぞれ強く反映されるのかもしれない。

Keywords: Simon effect, stimulus-response compatibility, response force, RT distribution analysis, sequential effect.

## 問題・目的

左側に提示された刺激に左側のキー押しで反応する場合のように刺激と反応の位置に適合関係があると、左側の刺激に右側のキー押しで反応するような不適合な場合に比べて反応がはやく正確である。この刺激反応適合性による影響は刺激位置が反応選択に無関係な場合にもみられ、サイモン効果として知られている

(Craft & Simon, 1970; 西村・横澤, 2012)。サイモン効果は、呈示された刺激が自動的に特徴を共有する反応を活性化することによる反応選択段階での反応競合により生じると考えられており、時間経過に伴い減少する (De Jong, Liang, & Lauber, 1994) ことから反応競合は過渡的であることが示唆される。また、ある試行における刺激や反応の特徴の組み合わせは、後続の試行における反応時間に影響する (Hommel, Proctor, & Vu, 2004)。このように反応時間は、認知情報処理の主要な指標として広く使われてきたが、反応強度もまた認知情報処理を反映することが示唆されている

(Stahl & Rammsayer, 2005)。本研究では、サイモン課題を用いて、反応競合や特徴反復が反応速度と反応強度に及ぼす影響を比較検討した。

## 反応強度測定の確認

### 方法

12名が参加した。実験は暗室で行った。刺激呈示の制御および反応の記録には、Cambridge Research Systems社製VSG 2/5を使用した。反応は、共和電業製小型圧縮型ロードセル (LMA-A-50N) で測定した。各試行は、十字の注視点を黒背景に白色でディスプレ

イの中央に900ms, 1,200ms, または1,500ms間呈示することで開始した。続いて注視点にかわり白色の円を標的刺激として100ms間呈示した。その後背景画面を1,900ms間呈示し、次の試行を開始した。参加者は利き手で反応装置を持ち、標的刺激が呈示されたら親指で装置を押すことで反応した。参加者は、14試行の練習後、84試行の実験ブロックを3ブロック行った。各実験ブロックには、標的刺激が呈示されないキャッチトライアルが12試行ずつ含まれた。最初の実験ブロックは特別な教示を行わない統制ブロックとした。第二、第三ブロックのうち一方は以前のブロックに比べてさらに速く反応するよう教示した速ブロック、もう一方はさらに強く反応するよう教示した強ブロックとした。速ブロックと強ブロックの順番は、カウンターバランスをとった。

### 結果と考察

反応装置にかかる力が、計測開始 (標的刺激呈示) 時よりも 50cN 大きい値に達した時間を反応時間とし、反応装置にかかる力が最大になったときのその力を反応強度とした (Stahl & Rammsayer, 2005)。反応時間について、教示 (3; 統制, 速, 強) を参加者内要因とした分散分析を行ったところ主効果が有意であり ( $p < .001$ )、速ブロック (236ms) で統制 (265ms) や強 (265ms) ブロックよりも速く反応していた。反応強度についても同様の分散分析を行ったところ、教示の主効果が有意であり ( $p < .001$ )、強ブロック (955cN) で統制 (621cN) や速 (583cN) ブロックよりも強く反応していた。

速ブロックでは反応時間でのみ、強ブロックでは反応強度でのみ、促進効果がみられたことから、反応速

度と反応強度は独立しており、本研究で使用する反応装置でこれらを測定可能であることが確認された。

## 方法

10名が参加した。各試行は、十字の注視点を黒背景に白色でディスプレイの中央に1,500ms間呈示することで開始した。注視点の消失後、画面の左右いずれかに白色の標的刺激（円または正方形）を100ms間呈示した。続いて背景画面を1,900ms間呈示したのち、次の試行を開始した。参加者は、標的刺激の形状に従い、左右の反応装置をそれぞれの手の親指でできるだけ速く正確に押すよう求められた。16試行の練習後、80試行の実験ブロックを4ブロック行った。

## 結果

**【反応時間】** サイモン効果とその時間特性を検討するために、反応時間分布解析 (De Jong et al., 1994) を行った。参加者ごとに、適合条件、不適合条件それぞれで反応時間を短い順に並べ、反応の速さに基づき五分位階級に分けた。適合性 (2; 適合, 不適合) と五分位階級 (5; 反応時間が短い方から順に 1~5) を参加者内要因とした分散分析を行ったところ、適合性の主効果 ( $p < .005$ )、五分位階級の主効果 ( $p < .001$ )、交互作用 ( $p < .001$ ) いずれも有意だった。反応時間が遅延するに伴い、サイモン効果は減少、消失した。

また、直前の試行との刺激特徴の変化/反復に基づく系列効果 (Hommel et al., 2004) について検討するため、標的刺激の形状の直前の試行との関係 (2; 反復, 変化) と標的刺激の位置の直前の試行との関係 (2; 反復, 変化) を要因とした2要因の分散分析を行ったところ、交互作用のみが有意であった ( $p < .001$ )。前の試行と標的刺激の形状、位置ともに同じ場合あるいはともに異なる場合は、どちらか片方のみ同じ場合よりも反応時間が短かった。

**【反応強度】** 反応時間と同様の分析を行った。分布解析では、適合性の主効果、五分位階級の主効果、交互作用いずれも有意でなかった ( $F_s < 1$ )。適合条件 (421cN) と不適合条件 (419cN) の間に反応強度には違いがみられず、反応時間による影響もみられなかった。

系列効果について検討したところ、反応時間とは逆に、刺激の形状 ( $p < .05$ ) および位置 ( $p < .05$ ) の主効果が有意であったが、交互作用は有意でなかった ( $F < 1$ )。標的刺激の形状あるいは位置が直前の試行と同じ場合には反応強度は強かったが、この効果はもう片方の特徴が反復するか変化するかによっては影響されなかった。

**【誤答率】** 適合条件 (1.3%) で不適合条件 (5.0%) よりも有意に誤答率が低く ( $p < .05$ )、3.7%のサイモン効果がみられた。

## 考察

反応時間では、先行研究と同様の結果が得られた。すなわち、サイモン効果は反応時間が長くなるにつれて減少、消失した。また、前の試行と完全に同一の、あるいは完全に異なる刺激が提示された場合には、部分的に特徴を共有する刺激が提示された場合よりも反応が速かった。反応強度では、反応競合や反応時間による影響はみられなかったが、刺激の位置や形状が繰り返された場合には、これらの組み合わせによらず反応が強かった。これらの結果から、反応時間と反応強度は、サイモン課題において認知情報処理における異なる面を反映すると考えられる。反応時間は、刺激や反応の特徴間の組み合わせに敏感であり、反応選択における認知的競合をよく反映することが示唆された。一方反応強度は、反応競合 (Miller & Róüast, 2016) や特徴間の組み合わせの影響は受けず、刺激特徴の反復による影響を受け、また本実験では刺激の形状の異同は反応の異同と完全に一致していたことから、刺激知覚や反応実行における認知処理をよく反映するのかもしれない。反応時間だけでなく、反応強度のような他の反応要素の検討は、認知情報処理の総合的な解明にとって重要であると考えられる。

## 引用文献

- Craft, J. L., & Simon, J. R. 1970 Processing symbolic information from a visual display: Interference from an irrelevant directional cue. *Journal of Experimental Psychology*, 83, 415-420.
- De Jong, R., Liang, C.-C., & Lauber, E. 1994 Conditional and unconditional automaticity: A dual-process model of effects of spatial stimulus-response correspondence. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance*, 20, 731-750.
- Hommel, B., Proctor, R. W., & Vu, K.-P. L. 2004 A feature-integration account of sequential effects in the Simon task. *Psychological Research*, 68, 1-17.
- Miller, J., & Róüast, N. 2016 Dissociations of spatial congruence effects across response measures: an examination of delta plots. *Psychological Research*, 80, 805-820.
- 西村聡生・横澤一彦 2012 空間的刺激反応適合性効果 *心理学評論*, 55, 436-458.
- Stahl, J., & Rammsayer, T. H. 2005 Accessory stimulation in the time course of visuomotor information processing: Stimulus intensity effects on reaction time and response force. *Acta Psychologica*, 120, 1-18.

# 異なる身体部位の表象基盤の共有性に関する検討

光松秀倫

名古屋大学大学院情報科学研究科

大脳の運動前野は、身体運動に関する視覚表象と運動の準備の両方に関わる領域であり、各身体部位はそれぞれ異なる領域で表象されている。この表象領域の分離性は完全ではなく、手と口の表象領域は運動前野の腹側部でオーバーラップしていることが報告されている。これは、食べ物を手で掴んで口に運ぶ霊長類の行動特徴が反映されたものと考えられる。視覚運動系の脳領域のこうした構造が、心理学的にどのように影響するのかは分かっていない。本研究では、手と口の機能的な協調関係が互いの視覚処理を促進すると予測して、身体部位間の視覚的プライミング実験を行った。その結果、開いた口のプライム刺激は、手の甲の知覚を促進したが、手のひらの知覚は促進しなかった。さらに、足の甲にも促進効果が見られたが、足の裏には見られなかった。この口と手の視点の組合せは、他人の摂食を観察する時の視点と一致する。したがって、このプライミング効果は、他人の行為を理解するミラーニューロンシステムの働きが関与したことが示唆された。促進効果が、手の甲だけでなく足の甲にも見られたことは、この効果が意味的処理ではなく、視覚的な促進効果であったことが示唆された。すなわち、手のひらと甲を区別する視覚特徴（爪、表面の凹凸）と足の甲と裏を区別する視覚特徴が類似していたことに起因すると考えられた。

Keywords: somatotopy, mouth, hand, mirror neuron, visual priming, view dependence

## 問題・目的

大脳の運動前野は、身体運動に関する視覚表象と運動の準備の両方に関わる領域であり、各身体部位はそれぞれ異なる領域で表象されている。この表象領域の分離性は完全ではなく、手と口の表象領域は運動前野の腹側部でオーバーラップしていることが報告されている(Wolfensteller, Schubotz, & von Cramon, 2007)。これは、食べ物を手で掴んで口に運ぶ霊長類の行動特徴が反映されたものと考えられる。サルの運動前野腹側部 (F5) の単一ニューロンの応答特性を調べた研究によると、サル自身が目前の物を掴む時と他人が掴むのを観察した時の両方に応答するミラーニューロンが存在する(Gallese, Fadiga, Fogassi, & Rizzolatti, 1996)。F5には、こうした把持動作の他に、食べ物を口に入れる動作に応答するミラーニューロンも存在する(Ferrari, Gallese, Rizzolatti, & Fogassi, 2003)。また、把持動作のミラーニューロンの応答特性には、観察視点の依存性がある(Caggiano et al., 2011)。視覚運動系の脳領域のこうした構造が、心理学的にどのように影響するのかは分かっていない。

本研究では、手と口の機能的な協調関係が互いの視覚処理を促進すると予測して、身体部位間の視覚的プライミング実験を行った。具体的には、開いた口の正面の画像は、他人が食べ物を口に運ぶのを観察する時の視点と一致する手の甲の知覚を促進すると予測した。また、この促進効果において、手のアイデンティティが重要なのか、手の視覚情報に存在する解剖学的・視覚的特徴が重要であるかを区別するため、比較刺激として、足の画像を用いた。手のひらと甲を区別

する視覚特徴(爪の有無、凹凸面など)は、足を区別する場合にも、ある程度共通であると考えられる。

## 実験

### 方法

**刺激** 刺激には先行刺激と後続刺激の2つがあった。先行刺激を1秒提示し、直後に後続刺激を提示した。後続刺激は参加者が反応するまで提示された。先行刺激には3種類あり、1つ目は、プラス記号(+)、2つ目は、開いた口の画像、3つ目は閉じた口と開いた口の連続提示(各刺激0.5秒間提示)であった(図1a)。後続刺激として、手、或いは足が提示された(図1b)。手と足の刺激は、それぞれ4種類、合計8種類であった。手については、右手か左手か、甲か手のひらかの組み合わせで4種類あった。足についても、右か左か、甲か裏かの組み合わせで4種類であった。各身体部位画像の大きさは、12cm × 12cmの正方形に収まる大きさであった。



図1a. 第1刺激の例（閉じてから開く口）



図1b. 第2刺激の例（手のひら、手の甲、足の裏、足の甲）

**課題** 被験者は、後続刺激の身体部位がどちらの面(手の甲・掌、或いは足の甲・裏)であったかに応じてキーボード上の2つのキーを選択して押した。2つのキーは、参加者の右手と左手の人差し指で押した。計8種類の後続刺激は、2つのグループ(4種類ずつ)に分けられ、それぞれ異なるキーが割り当てられた。すなわち、手の甲と足の甲を1つのキーに割り当て、掌と足の裏をもう1つのキーに割り当てた。各被験者がどちらの刺激反応マッピングに割り当てられるかはランダムに決められた。11名の学生が実験に参加した。

## 結果

手と足の刺激の反応時間のデータ(図2a, 図2b)について、それぞれ2要因(第1刺激3水準×第2刺激2水準)の分散分析を行った(第1刺激の3水準は、(1)プラス記号、(2)開いた口、(3)閉じてから開く口であり、第2刺激の2水準は(1)手のひら、(2)手の甲、或いは(1)足の裏、(2)足の甲であった。分析の結果、手と足の両方のデータとも、2要因の交互作用が有意であった、 $F(1,10) = 52.13, p < 0.01, F(1, 10) = 30.08, p < 0.01$ 。プラス記号条件、すなわち、先行する身体文脈がない条件に比べて、開いた口を先行提示した条件では、手と足の両方とも、甲側の知覚が促進された。

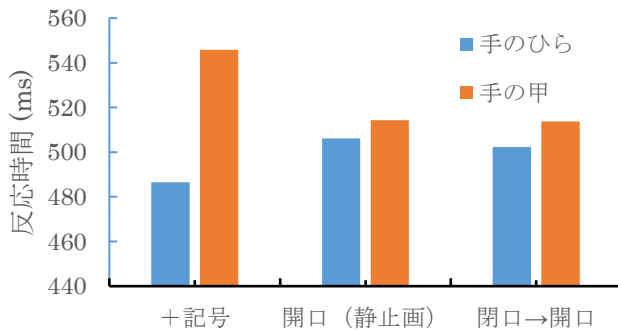


図2a. 第1刺激と手に対する反応時間の関係

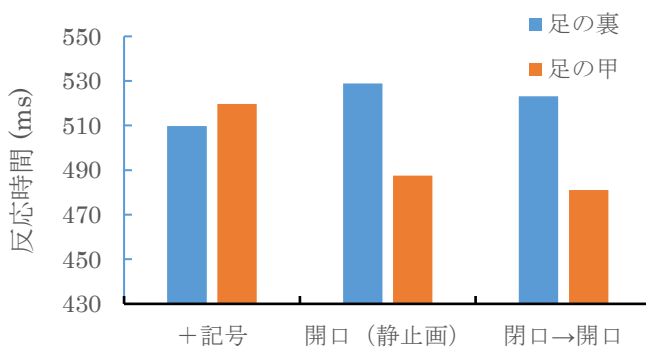


図2b. 第1刺激と足に対する反応時間の関係

## 考察

正面の視点からの開いた口の先行刺激は、後続する手の甲の知覚を促進したが、手のひらの知覚は促進しなかった。この口と手の視点の組合せは、他人の摂食を観察する時の視点と一致する。つまり、摂食する時には手のひらを自分の口に向けるのであり、手の甲を口には向けない。これを他人の視点からは、口と手の甲が観察される。

このプライミング効果は、他人の行為の観察・理解を担うミラーニューロンシステムが関与したことが考えられる。視点の依存性は、ミラーニューロンの応答特性として報告されており、刺激のアイデンティティよりも視覚特徴に対して応答したものである。

本実験の促進効果が視覚特徴処理を反映したという証拠は、視点依存性の存在だけではない。促進効果が手の甲だけでなく足の甲にも見られたことは、この効果が意味的処理ではなく、視覚的な促進効果であったことが示唆された。すなわち、手のひらと甲を区別する視覚特徴(爪、表面の凹凸)は、足の甲と裏を区別する場合にも共通である。

本研究において、口と手の表象は、運動前野腹側部で共有されており、その構造が視覚的プライミングを生起させたと考えられた。しかし、そのアイデンティティ情報は不完全で、身体部位をいくつかの視覚特徴として表象している可能性が示唆された。

## 参考文献

- Caggiano, V., Fogassi, L., Rizzolatti, G., Pomper, J. K., Thier, P., Giese, M. A., & Casile, A. (2011). View-Based Encoding of Actions in Mirror Neurons of Area F5 in Macaque Premotor Cortex. *Current Biology*, *21*(2), 144-148. doi: 10.1016/j.cub.2010.12.022
- Ferrari, P. F., Gallese, V., Rizzolatti, G., & Fogassi, L. (2003). Mirror neurons responding to the observation of ingestive and communicative mouth actions in the monkey ventral premotor cortex. *European Journal of Neuroscience*, *17*(8), 1703-1714.
- Gallese, V., Fadiga, L., Fogassi, L., & Rizzolatti, G. (1996). Action recognition in the premotor cortex. *Brain: a journal of neurology*, *119*, 593-609. doi: DOI 10.1093/brain/119.2.593
- Wolfensteller, U., Schubotz, R. I., & von Cramon, D. Y. (2007). Understanding non-biological dynamics with your own premotor system. *Neuroimage*, *36*, T33-T43.

# 自動制御オブジェクトに対する操作主体感の維持： 目標指向行動とオブジェクト応答の影響

中島 亮一  
上田 彩子  
日根 恭子  
岩井 律子  
熊田 孝恒

東京大学・理化学研究所 理研 BSI-トヨタ連携センター  
理化学研究所 理研 BSI-トヨタ連携センター  
東京電機大学・理化学研究所 理研 BSI-トヨタ連携センター  
理化学研究所 理研 BSI-トヨタ連携センター・京都大学  
京都大学・理化学研究所 理研 BSI-トヨタ連携センター

自動制御されたシステムを操作すると、主体感（自分が操作しているという感覚）は低下する。その状況下で、主体感を維持させることは可能だろうか。本研究では、行為の目標となるゴールの存在が、主体感に影響するかを検討した。実験では、画面上を移動する黒い円をキー押しによってゴール付近、あるいは自由な位置に停止させる課題を行い、主体感を測定した。その際、キー押しとは無関係にボールが停止する試行（自動制御試行）が存在することを教示した。その結果、ゴールが明示されると、自動制御オブジェクトに対する主体感の低下が軽減された。さらに、自分の操作に対するオブジェクト応答が、それが課題となる制御とは無関係（今回は、キー押しに応じて円が白く瞬く）でも、操作主体感に影響するかを検討した。その結果、瞬き有条件では無条件よりも主体感は高かった。つまり、自動制御オブジェクト操作に対する主体感を維持させることは可能である。

Keywords: Sense of agency, Automatic control, Goal-directed action, Object response

## 問題・目的

人は外界に対して行動を起こし、それに対する反応・結果を受け取っている。その際、外界で起こった結果が、自分の行動によるものだという「主体感」が生じる（Haggard & Chambon, 2012）。本研究では、道具などの操作に対する主体感のことを「操作主体感」と呼ぶ。近年、様々な道具の操作が、自動制御システムに置き換えられている（例えば自動運転車）。これは、自ら操作をしなくてよいため、道具利用者を楽にする。一方、操作自体を楽しむという側面からは、自分が操作しているという操作主体感は重要な要因であり、操作主体感の喪失は問題である。

そこで本研究では、自動制御時における操作主体感を維持させるために有効な要因を検討した。特に、運転をはじめとする様々な操作においてよく起こりうる要因として、目標指向行動（例：ブレーキの場合、目標とする空間に車を停止させる）、漸進的な結果の現れ方（例：ブレーキを踏むと徐々に減速して停止する）に焦点を当て、それらが操作主体感の主観評価に与える影響を検討した。さらに、自動制御されたオブジェクトが自分の行為に対して応答を返すと、それが主体感に影響するかを検討した。

実験1では、自動制御課題（ボタン押しをしてもらうが、それとは無関係にボールが停止する課題）における、目標指向行動と漸進的な結果表出が主体感に与える影響を検討した。実験2では、オブジェクト応答が自動制御オブジェクトの操作に対する主体感に与える影響を検討した。

## 実験

### 方法

実験1に26名（20-23歳）、実験2に24名（19-23歳）が参加した。

実験では、実験参加者は、画面の左側から黒い円刺激（直径100 pixels）が右方向へ移動するのを観察した（図1）。そして、適切なタイミングでキーを押して、その円刺激にブレーキをかけるという課題を行った。円刺激が停止した後、実験参加者は、円刺激を停止させるという結果に対し、どの程度自分が関与したか（主体感評定値）を、実験1では、1（まったく関与していない）～100（自分が停止させた）、実験2では0～10の数値入力によって回答した。

実験1は、2（ゴールの有無）×2（停止という結果の現れ方）のブロック間デザインであった。ゴールの有無については、ゴールなし（自分の好きなタイミングで円刺激にブレーキをかける）、ゴールあり（円刺激を150 pixels四方の四角形の枠の近くに停止させるように、適切なタイミングでブレーキをかける）という条件が存在した。また、結果の現れ方については、ブレーキが利き始めると、すぐに停止する条件、徐々に減速して停止する条件が存在した。各ブロックでは、キー押しとは無関係に停止する試行を45試行、キー押しすると100ms後にブレーキがかかる試行をキャッチ試行として15試行、ランダムな順序で行った。参

加者には、事前に、キー押しとは無関係に円刺激が停止する自動制御試行が混ざっていることを教示した。自動制御時には、円刺激はゴールの中心から300 pixels以内のランダムな位置に停止した。

実験2では、ゴールあり・減速して停止ブロックの課題を行った。参加者のキー押しとは独立にブレーキがかかる自動制御試行が90試行、キャッチ試行が15試行であり、ブロック内でランダムな順序で行った。自動制御試行のうち、半数の試行では、キー押しの瞬間に黒い円刺激が白く瞬き、半数の試行では、黒のままであった。キャッチ試行では、円刺激は黒のままであった。自動制御時には、円刺激はゴールの中心から250 pixels以内のランダムな位置に停止した。

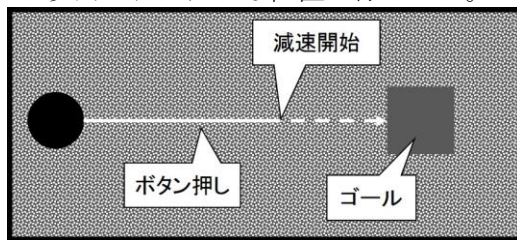


Figure 1. Examples of the stimuli: Goal-present and Gradual-stop condition. The circle stopped independently of the keypress.

## 結果と考察

Table 1に、各実験における各条件の主体感評定値をまとめたものを示す。

**実験1** キャッチ試行である手動制御試行における主体感評定値を分析した。ゴールがある条件において低い評定値となった [ $F(1, 25) = 5.39, p = .02$ ]。これは、ゴールの存在により、課題成績が明確になった結果だと考えられる (Wen et al., 2015) さらに、徐々に減速する条件で低い評定値となった [ $F(1, 25) = 97.33, p < .001$ ]。漸進的に効果が現れる場合、行為と効果の時間的な結合が曖昧になるため、主体感が低下したと考えられる。また、全体的に自動制御試行における評定値は、手動制御試行よりも低かった。その上で、自動制御試行について、ゴールあり条件で、主体感評定値は高かった [ $F(1, 25) = 38.9, p < .001$ ]。また、減速して停止する条件における評定値が、すぐに停止する条件よりも高かった [ $F(1, 25) = 20.8, p < .001$ ]。つまり、自動制御試行では、手動制御とは逆の結果となった。

**実験2** 全体的に自動制御試行における評定値は、手動制御試行 (キャッチ試行) よりも低かった。その上で、キー押しに対する円刺激の応答 (白く瞬く) の有無における主体感評定値を比較したところ、オブジェクト応答があると、オブジェクト操作に対する操作主体感は上昇した [ $t(23) = 3.15, p = .004$ ]。また、追加実験により、この効果は、オブジェクトが白く瞬いたことで参加者の注意をひきつけたために起こったことで

はないことを確認した。さらに、このオブジェクト応答による主体感の上昇は、手動制御試行だと明示されている状況では起こらないことも明らかになった。

## 考察

実験1の結果より、目標指向行動、漸進的な結果表出という要因は、手動制御における操作主体感を低下させる一方、自動制御における主体感を上昇させることが明らかになった。よって、これらの要因は、自動制御時の操作における主観的な主体感の維持に有効だと考えられる。

さらに、実験2の結果より、キー押しという行為に対して、オブジェクトが応答を示すと、それが操作自体には無関連であっても、操作主体感を上昇させることが明らかになった。

これらの結果は、自動制御試行における操作主体感に特異的である (手動制御試行とは異なる結果である)。主体感の生起には、行為の予測と実際の結果を比較し、さらにその時の状況を考慮し、解釈する必要がある。本研究で焦点を当てて検討した要因は、特に、行為の主体を自分に帰属させるか、自動制御システムに帰属させるかという解釈部分に影響を与えていると考えられる。つまり、主体感を生み出す機序における最終段階 (解釈の段階) に作用する操作を行うことで、自動制御オブジェクトに対する操作主体感を錯覚的に生み出すことは可能だと考えられる。

Table 1. Subjective ratings of sense of control in each experiment ( $M \pm SE$ )

(a) 実験 1			
		漸次停止	直後停止
自動制御 試行	ゴールあり	52.4 ± 2.4	48.1 ± 2.7
	ゴールなし	35.9 ± 2.5	24.4 ± 2.5
手動制御 試行	ゴールあり	58.2 ± 4.3	84.9 ± 2.8
	ゴールなし	67.2 ± 3.2	89.5 ± 2.6

(b) 実験 2			
		瞬きなし	瞬きあり
自動制御試行		5.8 ± 0.3	6.1 ± 0.2
手動制御試行 (キャッチ試行)		6.9 ± 0.2	—

注：実験1は1~100、実験2は0~10で評定

## 引用文献

- Haggard, P. & Chambon, V. (2012). Sense of agency. *Current Biology*, 22, R390-R392.
- Wen, W., Yamashita, A., & Asama, H. (2015). The influence of goals on sense of control. *Consciousness & Cognition*, 37, 83-90.



# 認知機能と脳のネットワーク

今水 寛

東京大学大学院人文社会系研究科・ATR 認知機構研究所

脳は巨大な情報ネットワークとみなすことができ、さまざまな認知・運動機能は、このネットワークによって紡ぎ出されている。近年、安静にしているときの fMRI 脳活動から、個人のネットワークを解析し、ネットワークと個人の特性の関係を解明する研究が増えている。私たちは、安静時の活動から脳内の領域と領域の繋がり方を調べ、個人ごとの繋がり方のパターンを作成した。パターンの違いから、その人が作業記憶の訓練を受けたときに、どれくらい成績が良くなるかを、高い精度で予測することに成功した。この研究を中心に、さまざまな精神疾患における認知機能の変容、ニューロフィードバックによって、機能の低下を防止・回復させるための基礎的な試みについて紹介する。

Keywords: brain networks, resting-state fMRI, working memory, psychiatric disorders, neurofeedback.

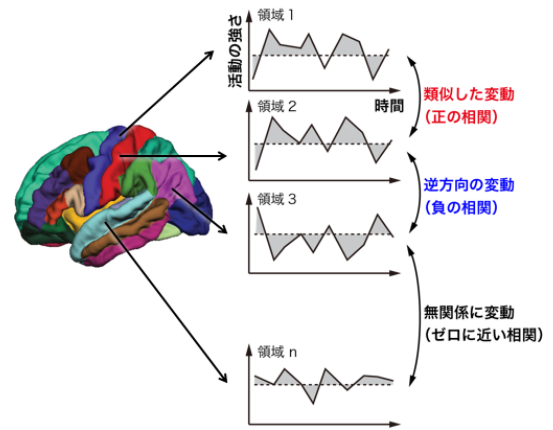
## 問題・目的

従来の心理学や神経科学で、実験参加者に光や音などの刺激を与え、刺激によって誘発される脳活動を計測することで、脳や心の機序を解明する方法が主流であった。しかし、ヒトの脳は外界からの刺激がほとんど遮断されて、安静にしているときにも、絶えず自発的に活動している。脳は体の中で最もエネルギーを消費する器官であり、安静時でも体全体の20%程度のエネルギーを消費している。暗算などかなり「頭を使う」作業をしているときでも、安静時から5%エネルギー消費が増えるだけとされている (Raichle, 2011)。最近の認知神経科学では、このような安静時の脳活動が注目されている。5~10分間の安静状態の自発脳活動を計測し、脳領域間の結合性や脳のネットワーク構造を推定する研究が急速に進展している。この進展の背景には、機能的磁気共鳴画像 (fMRI) 装置の普及と、大量データの解析技術の進歩がある。自発脳活動のネットワーク構造から引き出される情報は、個人の脳年齢、性格・嗜好性、過去の経験、認知機能の個人差、神経・精神疾患など多岐に渡り、その応用が期待されている。本稿では、その基礎と応用について概観する。

## 安静時脳活動と脳のネットワーク

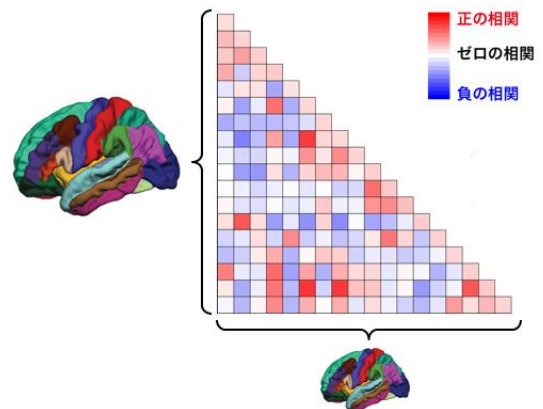
実験参加者に「体を動かさない、特定のことを考え続けない」と指示して、fMRI装置の中で5~10分間安静にしてもらう。この間約2秒に一回ずつ、脳の上から下まで血流画像を計測する。このようにして得た画像から、脳の様々な領域の血流の時間波形を求める (図1)。領域ごとの時間波形を2つずつ組にして、波形の相関を求める。同じような時間波形 (正の相関) をしている領域同士は、互いに密に繋がっているが、互いに無関係な時間変化 (相関がほぼゼロ) をしている領域同士は、繋がりがほとんどないと考えられる。また、一方の領域の活動が上がれば、他方の領域

の活動が下がる (負の相関) ような領域同士は、互いに抑制関係にあると考えられる。



【図1】さまざまな脳の領域の時間変化の相関

2つの領域同志の相関を、リーグ戦の対戦表のように並べると、脳全体の繋がり方をパターンとして表すことができる (図2)。ヒトであれば、基本的なパターンはほぼ同じであるが、個人によって微妙なパターンの違いがある。このパターンの違いから、前述のように年齢、性格・嗜好性など、さまざまな個人差を読み出す研究が進んでいる。



【図2】脳の領域間の繋がり方をパターンとして表す

## 作業記憶の上限を予測する

我々は、上記のようなパターンの違いから作業記憶の上限を予測することを試みた(Yamashita, Kawato, & Imamizu, 2015). 具体的には、17人の実験参加者に、fMRI装置の中で5分間安静にしてもらい、脳活動を計測した。別の日に、同じ参加者に作業記憶トレーニングをしてもらった。コンピュータ画面に次々に文字を出した。参加者は、提示された文字が3つ前の文字と同じならばボタンを押すように指示された。これは3バック課題と呼ばれ、連続した3つの文字を次々に覚える必要があり、比較的難しい作業記憶課題である。約90分間トレーニングを行うと、次第に成績は向上し、やがて成績は上限に達するが、この上限は個人によって異なる。

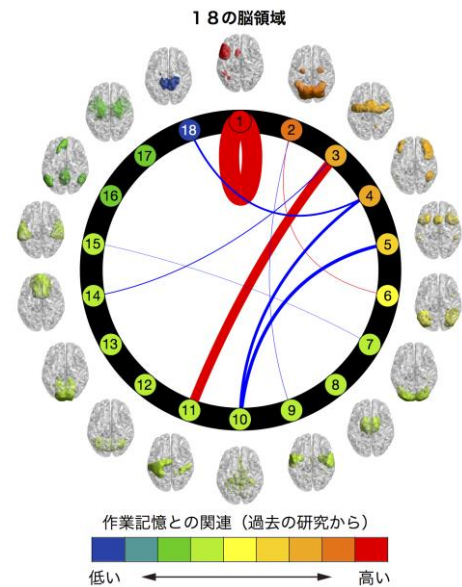
脳活動の解析において、脳の領域を18の領域に分割した。これは、解剖学的な区分ではなく、機能的な区分である。Brain Mapデータベースというものがあり(www.brainmap.org)、過去に行われた8,000以上の実験の脳活動データが保存されている。先行研究は、このデータに対して独立成分分析という統計的な手法を用いて、いくつ独立な成分があるかを抽出した(Laird et al., 2011)。その結果、18の領域に区分できることを明らかにしている。本研究では、この領域区分に従い、それぞれの領域における脳活動の5分間の時間波形を求め、前述の方法で、領域間の繋がり方のパターンを、個人ごとに求めた。

このパターンから、作業記憶の上限を予測するモデルを構築する。このモデルは、線形回帰モデルであるが、脳の領域を18としているので、領域同志の相関は、18から重複を許して2つ取る組み合わせの数(171)だけある。これだけ次元が高くなると、線形回帰モデルでよく使われる最小二乗法では、もはや処理しきれないので、スパース線形回帰法という機械学習の手法を用いる必要がある。この方法は、それぞれの説明変数(この場合は領域同志の相関)が、結果(この場合は上限)にどれくらい影響を与えるかを考慮し、あまり影響を与えない説明変数を除外することで、効率的に線形回帰を行うことができる。

17人それぞれについて、安静時の脳活動から予測した成績の上限と、実際にトレーニングを行ったところ、予測と実際の上限がほぼ等しく、全体として高い精度(73%)で予測できていた。

次に、上限を予測するために重要な手がかりとなったのが、脳のどの領域とどの領域の繋がりであったかを調べた(図3)。重要な手がかりとなった9つの繋がりを示している。円の周辺は18の脳の領域、領域の色はその領域がどれくらい作業記憶で活動するか(作業記憶との関連度・過去の研究データから算出(Laird

et al., 2011))を示している。領域と領域を繋ぐ9本の線の太さは、予測にとっての重要度を示している(太いほど重要)。線の色は、赤が正の相関、青は負の相関を示している。重要度が最も高いのは、従来、作業記憶に関連すると言われていた領域①内の繋がりであったが、それだけでは半分程度の予測しかできない。その他にも、注意の方向を定める領域③と、ボタンを押すための手の運動に関連する領域⑩の繋がり、作業記憶に関連する領域(赤～オレンジ)とあまり関連しない領域(緑～青)の抑制関係(6本の青い線)も重要な役割をしていることが解った。



【図3】成績の上限を予測する際に重要な手がかりとなった脳領域の繋がり(円の中の線)。線が太いほど重要な手がかりとなったことを示す。赤は正の相関、青は負の相関を示す(文献から(Yamashita et al., 2015))。18の領域の色(時計回りに赤-オレンジ-緑-青)は、作業記憶との関連性の強さを示す(文献(Laird et al., 2011)から)。

## さまざまな精神疾患と認知機能

作業記憶は、さまざまな精神疾患で低下することが知られている。疾患における作業記憶のメタ解析を行った研究によれば、統合失調症、うつ、強迫性障害の順に課題成績が低下している。我々は、この作業記憶の予測モデルを、さまざまな精神疾患の安静時の脳活動に適用して、疾患による作業記憶の低下を再現できるか検討した。このようなことを行う背景には、脳の機能的な結合と認知機能の関係が、健常者やさまざまな疾患で連続しているのか、それとも不連続に変化しているのかを検証するという目的がある。

我々が入手できたデータの中で、統合失調症のデータには、安静時の脳活動の他にも、個人ごとの作業記

憶の成績が含まれていた。そこで、まず統合失調症について解析したところ、患者個人の課題成績を統計的に有意に予測することができた。具体的には、一般的な認知機能などを統制した上での偏相関の値が、 $\rho = 0.25$  ( $P = 0.033$ )という予測精度であった。

次に、統合失調症、うつ、強迫性障害、アスペルガー一症候群における安静時の脳活動から作業記憶能力を予測したところ、この順番で低い成績を予測した。特に、統合失調症、うつ、強迫性障害については、過去のメタ解析から、低下の効果を求め、モデルが予測した効果量と比較した。その結果、モデルの効果量の95%信頼区間内に、それぞれの疾患のメタ解析の効果量が入っており、低下の順番だけでなく、低下の程度も定量的に予測できていた。

以上の結果は、健常者で作成した作業記憶の予測モデルが、さまざまな疾患における作業記憶に汎化することを示唆している。健常者とさまざまな疾患において、脳の結合と認知機能は不連続に変化するものではなく、生物学的に見て連続していることを示唆している。

## 結合ニューロフィードバック

これまで紹介してきた方法は、認知機能の低下をもたらす、脳の機能的な結合を特定することに役立つ。そして、結合が特定されれば、認知機能が低下している人の結合パターンを健常な人の結合パターンに誘導することで、回復を図ることが期待される。我々はそのような方法の基礎技術として、脳の機能的な結合をニューロフィードバックで変化させる「結合ニューロフィードバック」の開発に取り組んでいる(Megumi, Yamashita, Kawato, & Imamizu, 2015)。

具体的には、fMRI装置で、脳内2カ所の活動の時間変化を14秒間計測した。14秒間計測された脳活動の時間変動の相関を計算し、その結果を実験参加者にスコアとして知らせた。変動の相関が高ければ高いほどスコアも高くなるようにした。実験参加者は、次の14秒でスコアがより高くなるように試行錯誤の努力をした。これを1日平均40分、4日間行ったところ、日を重ねるに連れてスコアが上昇し、学習効果があることが解った。

この学習によって様々な領域同士の繋がりがどのように変化したか調べるため、4日間の学習の直前、直後、2ヶ月後のそれぞれで、5分間安静にしているときの脳活動を計測した。その結果、繋がりを変化させる学習を行った領域同士では、学習直前よりも直後の方が変動の類似性は高くなっていた。2ヶ月間トレーニングを行わなくても、相関はそのまま維持されてい

た。また、2つの領域を含むネットワーク同士の類似性も高くなっていることが解った。

## まとめと今後の展望

大都市交通網のどこかで事故がおきると、広い範囲で交通の流れが変わる。同様に、脳のどこかで障害がおきると、ネットワーク内の情報の流れが変わり、時として認知・運動機能に影響を及ぼす。このとき、1) ネットワークのどの部分の障害があるかを見つけ出し、2) 情報の流れを適切に調整・修復する必要がある。1)に相当するのが、前半で紹介した安静時の脳活動から認知機能を予測する手法であり、精神疾患や加齢によって低下した認知機能の原因となっている結合を特定するのに役立つ。2)に相当するのが、最後に紹介した結合ニューロフィードバックである。結合ニューロフィードバックは、開発途上の技術であり、結合の安定した変更、認知機能への影響など、今後解決しなければならない問題が残されている。

## 引用文献

- Laird, A. R., Fox, P. M., Eickhoff, S. B., Turner, J. A., Ray, K. L., McKay, D. R., et al. (2011). Behavioral interpretations of intrinsic connectivity networks. *Journal of cognitive neuroscience*, 23(12), 4022-4037.
- Megumi, F., Yamashita, A., Kawato, M., & Imamizu, H. (2015). Functional MRI neurofeedback training on connectivity between two regions induces long-lasting changes in intrinsic functional network. *Frontiers in Human Neuroscience*, 9, 1-14.
- Raichle, M. E. (2011). The restless brain. *Brain Connectivity*, 1(1), 3-12.
- Yamashita, M., Kawato, M., & Imamizu, H. (2015). Predicting learning plateau of working memory from whole-brain intrinsic network connectivity patterns. *Scientific Reports*, 5, 7622.