

## 科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 30 年 6 月 1 日現在

機関番号：14501

研究種目：若手研究(A)

研究期間：2014～2017

課題番号：26700011

研究課題名(和文) 意識認識における前行性神経信号の役割の解明

研究課題名(英文) Elucidation of a role of feedforward neural signal in conscious perception

研究代表者

野口 泰基 (NOGUCHI, YASUKI)

神戸大学・人文学研究科・准教授

研究者番号：90546582

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 19,300,000円

研究成果の概要(和文)：ヒトの脳は外界からの知覚入力を、どのようにして意識表象に変換しているのか？この問題は神経科学における重要な未解決問題である。ある研究者は脳の広範な領域における集団的な神経活動が意識表象の発生に重要であると考えている。他の研究者は、脳の高次野から低次野へと伝達されるフィードバック信号が鍵であると考えている。本研究において我々は、刺激提示後の比較的遅い段階で発生するフィードフォワード信号(第2前行性信号)に注目し、それが意識知覚表象の発生において果たす役割を実証した。

研究成果の概要(英文)：How does the human brain convert sensory inputs into conscious percepts? This is an unsolved and controversial issue in neuroscience, because some researchers argued that the conscious percepts emerge from collective neural activity over a broad region in the brain while others argued that they emerge from feedback signals from higher to lower brain regions. Here we focused on feedforward (rather than feedback) neural signals at a long latency (about 200-300 ms after a stimulus onset) and showed its critical role in conscious perception.

研究分野：認知神経科学

キーワード：認知科学

1. 研究開始当初の背景

日常生活で「知覚」といった場合、それは「意識」を伴うことが前提になっている。つまりスクリーンに映る鮮やかな赤（視覚）や腕をつねった時の痛み（痛覚）など、「それらを感じている」という実感を伴う感覚（意識的感覚）が、日常的な意味での「知覚」である。だが近年の研究は、それら意識知覚が発生する以前に、我々の脳では様々な情報処理（神経活動）が行われることを示している（Dehaene et al., 2001, *Nature Neuroscience*, vol. 4, 752-758）。実感を伴わないこのような機械的情報処理は「無意識」と呼ばれ、意識的知覚表象が発生するための前提条件となっている。

では無意識が意識的表象に変わる時、脳の中では何が起きているのだろうか？ただの電気信号に過ぎないニューロンの神経活動が、どのようにして生き生きとした感覚へと変わるのか？この「意識の脳内メカニズム」を巡る問題は認知科学・神経科学・心理学等にまたがる大きなテーマであり、未だ明確な答えは得られていない。数々のモデルが「仮説」として提唱されているだけである。

ここでモデル間の細かい違いを無視すれば、従来の諸説は以下の2系統に分類できる。1つ目は、「脳の複数領域にまたがる連合的な神経活動が、意識的表象を発生させる」という説である（連合説）。視覚的な物体認識を例にとると、外界の刺激情報は主として脳の最後端の1次視覚野（V1）から側頭葉にある腹側の高次視覚野を経由し、前頭葉に到達する（このV1 腹側野 前頭葉への経路をボトムアップ経路と呼ぶ）。連合説では特に高次野（腹側野と前頭野）間の連合的・同期的な神経活動（図1）が、意識表象の発生に重要な役割を果たすと考えられている（Tononi & Koch, 2008, *Annals of the New York Academy of Sciences*, vol. 1124, 239-261.）。

意識の脳内メカニズムに関する2つ目の説は、高次野から低次野への逆行性信号（フィードバック信号）を重視する立場である（逆行性信号説。図2）。低次野から高次野へと駆け上がる前行性信号（フィードフォワード信号）は意識表象を生む必要条件だが、それだけでは機械的な情報処理であり、意識表象とはなり得ない。その信号が逆流してトップダウン方向の情報の流れが形成された時、無機質な神経活動が意識的な「感覚」に変わる、という考え方である。前頭・頭頂葉から視覚野への信号を想定する立場（Dehaene et al., 2006, *Trends in Cognitive Neurosciences*, vol. 10, 204-211）や、視覚野内部の回帰性信号を想定する立場（Lamme, 2000, *Trends in Neurosciences*, vol. 23, 571-579）があるが、どちらも逆行性信号が意識への鍵となっている。

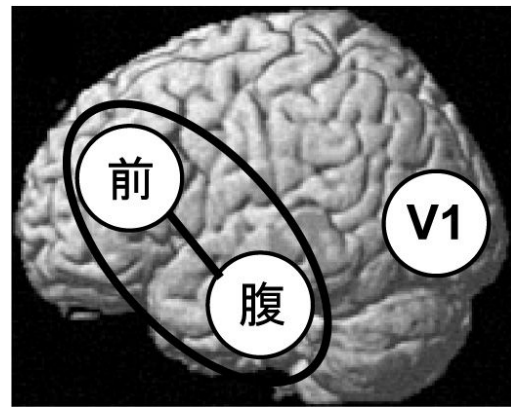


図1. 意識知覚の連合説

脳の複数領域にまたがる連合的な神経活動が、意識的表象を発生させる。視覚の場合、特に側頭葉の視覚腹側経路（腹側野）と前頭野間の連合的・同期的な神経活動が、意識表象の発生に重要な役割を果たすと考えられている。

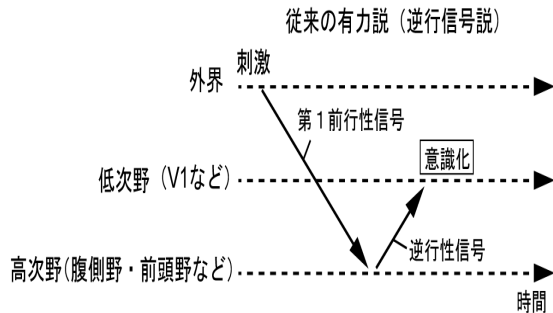


図2. 意識知覚の逆行性信号説

低次野から高次野へと駆け上がる前行性信号（フィードフォワード信号）が逆流してトップダウン方向の情報の流れが形成された時、意識的な知覚表象が発生する。

2. 研究の目的

上記2種類の従来説に対し、本研究では第3の説を提唱する。すなわち、「高次野からの逆行性信号の後に発生する第2の前行性信号が意識表象を発生させる」とする考え方である（図3）。

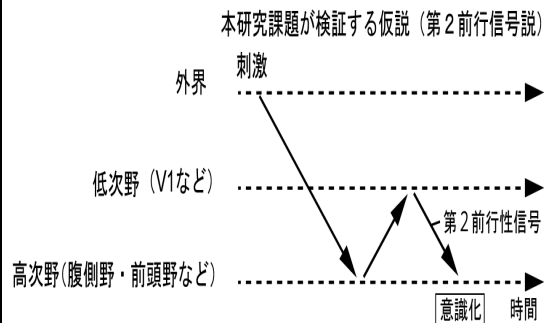


図3. 本研究が検証する仮説

低次野から高次野へと駆け上がる前行性信号が逆流してトップダウン方向の情報の流れが形成され、さらに第2の前行性信号が発生した時に意識知覚が発生する。

この説は、筆者らが行ってきた研究の結果に基づいている。脳磁計 (MEG) を用いた 2012 年の研究 (Noguchi et al., *Journal of Cognitive Neuroscience*, vol. 24, 1983-97.) において、筆者らは「無意識が意識に切り替わる瞬間」の脳活動を選択的に記録した。結果、意識表象発生時の神経活動は (1) 高次野からの逆行性信号、(2) 低次野から高次野への前行性の神経信号、という 2 段階から成ることが示された。そして被験者が意識表象の出現を報告した反応時間から推定すると、意識知覚の発生と直結しているのは (2) の前行性信号であった。つまりこの結果によれば、逆行性信号の出現は意識表象の必要条件ではあるが、十分条件ではない。逆行性信号の後に出現する第 2 の前行性信号が意識の本体ということになる。

以上を整理すると、通常の視覚認識は (a) 第 1 の前行信号・(b) 高次野からの逆行信号・(c) 第 2 の前行信号、という 3 プロセスからなる。そして意識と直結するのは、従来説で重視されている (b) ではなく (c) である。この新しい仮説の妥当性を検証することが、本研究の目的である。

### 3. 研究の方法

「研究の目的」欄に記載の通り、本研究の目的は意識的知覚認識における新しい説 (第 2 前行信号説) を検証することである。具体的には以下の 3 つのアプローチを用い、新説の是非を多角的な観点から検証する。

#### (1) 心理学的アプローチ

第 2 前行信号説の特徴の 1 つは、ある刺激の意識化の前に前行性の神経反応が 2 度発生するという点である。このことは、従来説では説明が困難な新しい心理現象を予測する。たとえば、視覚刺激を短時間に 2 つ提示する状況を考える。もし第 2 前行信号説が正しければ、この場合、第 1 刺激 (S1) の第 2 前行信号と第 2 刺激 (S2) の第 1 前行信号が並走する期間が存在し得ることになる (図 4)。つまり S1 の意識化前に、S1 と S2 の前行信号同士が相互作用を起こす可能性が出てくる。

このような前行性信号の刺激間相互作用は、従来説では予測し得ないものである。たとえば逆行信号説の場合、S1 への逆行性信号が S2 の前行性信号と時間的に重なることは有り得る。だがそれは逆向きの信号同士のいわば「衝突」であり、相互作用というよりは一方が他方を抑制・上書きするかたちになる (図 5)。実際、逆行性マスキングという現象が知られており、ターゲット (S1) の提示直後 (約 100 ミリ秒以内) にマスク (S2) を同位置に提示すると、ターゲットの意識認識が妨害される (Kahneman, 1968, *Psychological Bulletin*, vol. 70, 404-425)。

対して第 2 前行信号説では、S1 の意識化前に、S1 と S2 の前行信号同士の相互作用が起こり得る。これにより従来のような抑制で

はなく、新しい形の刺激間作用が見られる可能性がある。たとえば辛うじて知覚が可能な刺激 (輝度コントラストの低い刺激など) を S1 として提示した場合、S1 周囲に S2 を後続提示することによって、S1 の検出頻度が上昇するかも知れない。つまり前行信号同士の相互作用により、抑制ではなく「促進」が起こり得るのである。もしこのような (従来説では説明不能な) 現象が起これば、新しい説を支持する 1 つの根拠になる。

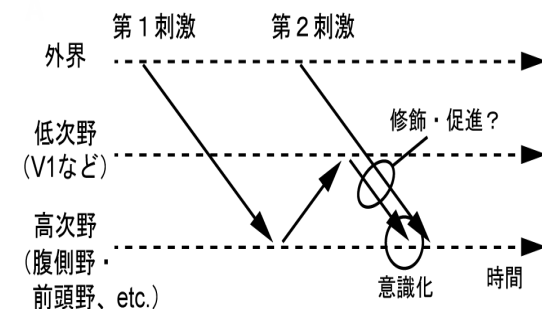


図 4. ふたつの刺激が連続提示された場合の処理の流れ図。もし第 2 前行信号説が正しければ、第 1 刺激 (S1) の第 2 前行信号と第 2 刺激 (S2) の第 1 前行信号が並走する期間が存在する。

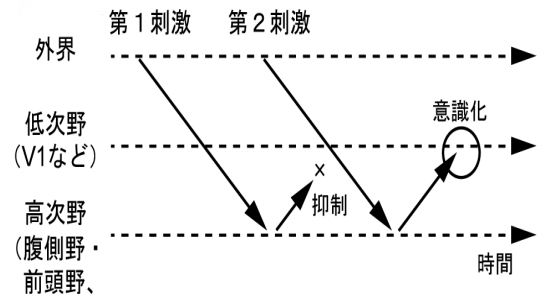


図 5. ふたつの刺激が連続提示された場合の処理の流れ図。逆行信号説の場合、S1 への逆行性信号が S2 の前行性信号と時間的に重なることは有り得るが、それは逆向きの信号同士の「衝突」であり、一方が他方を抑制・上書きすることが予想される。S1 の第 2 前行信号と S2 の第 1 前行信号が並走する期間は存在しない。

#### (2) 脳反応計測アプローチ

(1) の心理学的アプローチは新説を検証する 1 つの手法ではあるが、脳からの神経信号を観察するものではない。第 2 前行信号と意識表象の直接的な関連を調べるには、実際にヒトの脳からの神経反応を記録する必要がある。特に本研究では神経活動の時間的情報が必要になるため、脳磁計あるいは脳波 (EEG) を主な手法とする。(1) で開発した心理学的パラダイムを脳反応計測と組み合わせ、意識表象の最終的なトリガーとなる要因は何か (逆行性信号か? 前行性信号か?) を

調べる。

### (3) 脳刺激アプローチ：

第2前行信号の意識知覚における役割を調べるには、その因果関係を探るのが最も直接的な方法である。第3のアプローチでは経頭蓋的磁気刺激（transcranial magnetic stimulation, TMS）などの脳刺激を用い、第2前行信号の発生を妨害した時の影響を調べる。低次野から高次野へと四方八方に拡散する前行信号を選択的に妨害するのは技術的な困難を伴うが、先の実験結果（Noguchi et al., *Journal of Cognitive Neuroscience*, vol. 24, 1983-97.）などから、第2前行信号の発生タイミングや発生場所に関しては、ある程度の推測が可能である。それらの情報をもとにTMS（特に効果が強力な連発式 TMS・rTMS）を脳に与え、第2前行信号の発生を妨害が刺激の意識化を阻害するかを調べる。これによって新説の是非を因果的観点から検証する。

### 4. 研究成果

まず(1)の心理学的アプローチでは上の予測通りの現象（前行信号同士の促進的相互作用）を発見した。具体的には、輝度コントラストの低い縞模様（ガボールパッチ。S1）を短時間提示し、被験者は縞模様の方向を二択で答える（右または左）。S1のコントラストが低いと課題の正答率は60パーセント弱にとどまるが、ここで後続刺激としてS1周囲の領域の輝度を上昇させると（S2）、正答率が65パーセント程度にまで上昇した。つまりS2の提示によって、S1の意識知覚が促進された。この結果は第2前行信号説の予測と合致しており、それを裏付けるものである（Xia, Morimoto, Noguchi, 2016, *Journal of Vision*, vol. 16, 3）。

また研究開始当初は企図していなかったが、前行性信号と意識知覚との関係を示唆する心理現象が他にもいくつか見つかった。たとえば2015年の論文で報告した現象では、連続フラッシュ抑制（Tsuchiya & Koch, 2005, *Nature Neuroscience*, vol. 8, 1096-101）によって意識的認識が出来なくなった刺激を物理的に画面から消去した。すると逆説的なことに、その刺激の意識表象が一瞬だけ出現することを発見した。その時の脳反応をMEG計測によって調べたところ（(2)脳反応計測アプローチ）、意識表象発生時に特徴的な波形を実際に観察した。これらの結果は「刺激の物理的消滅」という外界からの信号が、脳内では逆に意識表象の「出現」を促したことを示す（offset-triggered conscious perception）。無意識表象を意識表象に変換する最終的なトリガーの1つはボトムアップ（前向き）信号にあることを示唆し、意識認識における前向き信号の役割を支持する結果と言える（Noguchi, Kimijima, Kakigi, 2015, *Cortex*, vol. 65, 159-172）。

最後に(3)の脳刺激アプローチについて

述べる。実際に交付された予算の規模からrTMSの購入は困難であったため、予定を変更して経頭蓋的電気刺激（transcranial current stimulation。脳内に直流性または交流性の電気刺激を与える手法）を導入した。特定の脳部位に特定のタイミングで電気刺激を与えると、スクリーン上に提示された視覚刺激の認識能力が有意に変動することを発見した。電気刺激波形を変えつつ実験を繰り返したところ、電気刺激が作用したのは脳内の前行性信号であるという結果を得た。現在データをまとめ、英文国際誌への投稿を準備している。

### 5. 主な発表論文等

（研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線）

〔雑誌論文〕(計10件)

Xia Y., Morimoto Y., Noguchi Y. (2016) Retrospective triggering of conscious perception by an inter-stimulus interaction. *Journal of Vision*, 16(7):3. DOI: 10.1167/16.7.3

Tachibana R., Noguchi Y. (2015) Unconscious analyses of visual scenes based on feature conjunctions. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance*, 41(3):639-48. DOI: 10.1037/xhp0000045

Noguchi Y., Kimijima, S., Kakigi, R. (2015) Direct behavioral and neural evidence for an offset-triggered conscious perception. *Cortex*, 65:159-172. DOI: 10.1016/j.cortex.2015.01.017

〔学会発表〕(計4件)

野口 泰基、口の動的変化による目の微表情変化の抑制、日本基礎心理学会、2014年12月06日～2014年12月07日、首都大学東京（東京都）

横山 武昌、安原 秀和、澁木 慎太郎、大平 英樹、野口 泰基、喜多 伸一、表情判断における全体処理の役割、第14回注意と認知研究会、2016年03月13日～2016年03月15日、ホテルサンルートプラザ名古屋（愛知県）

〔図書〕(計1件)

野口 泰基 他、新曜社、発達科学ハンドブック 8 脳の発達科学（榊原洋一・米田英嗣編）、2015、317（担当ページ 106-114）

〔その他〕

ホームページ等

<https://sites.google.com/site/yस्कногу/>

6 . 研究組織

(1)研究代表者

野口 泰基 (NOGUCHI, Yasuki)

神戸大学・大学院人文学研究科・准教授

研究者番号：9 0 5 4 6 5 8 2