

平成 26 年 6 月 20 日現在

機関番号：14501

研究種目：若手研究(A)

研究期間：2010～2013

課題番号：22680022

研究課題名(和文)無意識・意識変換過程の脳活動計測

研究課題名(英文)Measurements of brain activity at the moment of an appearance of perceptual consciousness

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：90546582

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 19,800,000円、(間接経費) 5,940,000円

研究成果の概要(和文)：視覚刺激の意識表象が最初に発生するのは脳のどの領域か。ある研究によればそれは高次視覚野だが、1次視覚野や外側膝状体の関与を示す研究もあり、この問題への答えは未だ分かっていない。原因の1つは、意識表象が発生した「瞬間」の脳活動を計測することが技術的に困難であったためである。そこで本研究では、心理学の新しい技術を、時間分解能に優れた脳計測法と組み合わせ、この問題を検討した。結果、意識表象が脳内で最初に発生するのは高次視覚野であることを示す証拠を得た。

研究成果の概要(英文)：From which areas of the brain does a conscious representation of a visual stimulus emerge? This is a controversial issue because some studies reported a leading role of the higher visual areas in conscious perception, whereas others found neural correlates of consciousness in the primary visual areas and in the lateral geniculate nucleus. One reason for this controversy was the difficulty in isolating neural activity at the moment when a conscious percept emerges in the brain, excluding any bottom-up responses induced by stimuli. In this research program, we investigated this issue with a new approach that combined a new technique of psychology with a measurement of brain activity with a high temporal resolution. Our results revealed that the first neural activity related to perceptual consciousness emerges from the higher visual areas rather than the lower visual areas.

研究分野：認知神経科学

科研費の分科・細目：情報学・認知科学

キーワード：脳認知科学

### 1. 研究開始当初の背景

光には眼、音には耳。日常生活に溢れる様々な刺激を、我々の脳は固有の受容器を通して取り込んでいる。ただそのようにして脳に入ってくる知覚情報が全て我々の意識に上るものかといえば、そうではない。マスキングや注意など意識・無意識に関わる心理学の現象、さらに近年進歩しつつある脳神経科学の成果は、脳の中の膨大な感覚情報のうち、意識に上るものはほんの1部に過ぎないことを示している。言い方を変えれば、我々があるものを意識的に感知するに至るまでには、その前段階として様々な無意識的情報処理がなされている。

では意識を伴わない神経活動が意識的な知覚表象に変わる時、脳の中では何が起きているのだろうか？脳のどの場所に、どのようなパターンの活動が見られることによって、無意識が意識に変化するのだろうか？残念ながら、この問いに十分に答えた脳研究は未だ無い。いくつかの可能性が「仮説」として提唱されているだけである。

研究開始当時、視覚的意識認識の仕組みに関する典型的な説は「高次野説」と呼ばれるものであった。私たちが外界の視覚刺激（例えば物体）を見た時、その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（下側）の高次視覚野へと伝達され、最終的には前頭葉に到達する（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）。高次野説とは、「無意識の処理が意識的な表象へと変化するには、腹側野以上の高次野での神経活動が必要である」とする考え方である。つまり、V1の活動だけでは物体の意識的な認識は成立しない。この高次野説と類似した考え方として、高次野からV1へと向かうトップダウン経路が意識的認識の十分条件であるとする考え方もある（トップダウン説）。高次野説・トップダウン説どちらの説でも共通している点は、意識的認識の成立には高次野が主導的な役割を果たすことを想定している点である。つまりこれらの説では、意識の神経基盤（Neural Correlates of Consciousness、以下NCC）はV1ではなく、腹側野以上の高次な領域となる。

だが当時、ヒトを対象とした核磁気共鳴撮像法（fMRI）の研究は、これらの説とは一見反する結果を次々と報告していた。細かい実験手法は研究間で異なるものの、共通する結果は「V1のような低次な領域でも、意識的知覚内容と相関した活動パターンを示す」というものである。たとえば2005年に発表された論文では、両眼間闘争（Binocular Rivalry、以下BR）という方法を使って、このことを証明している。BRとは、互いに異なる2つの視覚刺激（たとえば人の顔の絵と風景の絵）を右目と左目にそれぞれ与えたとき、被験者の意識的な知覚がそれら2つの刺激の間で自発的に揺れ動く現象である。つまりある時には右目に与えられた刺激のみが主観的に「見

え」ており、また別の時には左目の刺激のみが意識に上る。この間外部からの入力刺激の変化は一切無いため、知覚表象の交代は完全に内的な現象になる。この主観的な意識表象の変化が起きている時のV1の活動を調べたところ、V1（あるいはV1より低次な外側膝状体と呼ばれる脳の場所）の活動も主観的な表象の変化と連動していることがわかった。このことはV1もNCCの一部であることを示しており、NCC = 高次野と考える前述の説にとっては、その想定に反する結果であった。

ただこれらV1と意識との関係を強調する研究が、即座に高次野説・トップダウン説の否定につながるかと言えば、そうではない。高次野説側からの反論にもあるように、意識と連動したV1の活動は高次野からの伝播信号を反映しているだけ、という可能性も残されているからである。実はヒトの脳活動を測る際に通常用いられるfMRIは、高い空間分解能を持つ一方で時間分解能には制限がある。脳の電気活動ではなく、それに伴う血流変化を測っているため、ミリ秒単位で変動する脳活動をリアルタイムで追うことが出来ない。よって、V1がNCC的な挙動を示したとしても、それがV1内部の神経活動から生じたものなのか、それとも（NCCの本体である）高次野からの伝播信号を反映しているだけなのか、最終的に判断が難しいのである。このように「脳のどこで意識的表象が発生するか」という問題に対して高次派・低次派それぞれを支持する研究結果が飛び交い、最終的な結論は論争中、というのが研究開始当初の状況であった。

### 2. 研究の目的

そこで本研究では、心理物理学の新しいテクニックを脳活動計測法と組み合わせ、無意識的な神経活動が意識的な表象（視覚イメージ）へと変化する時の脳活動を記録・観察することを目的とした。特に先行研究の経緯から意識的表象が出現する「瞬間」に注目し、その瞬間脳の「どこで」「どのような」脳反応が起きているか、その時空間パターンを検討した。

### 3. 研究の方法

目的欄で掲げたように、本研究計画では意識的な知覚表象が発生した瞬間の脳活動に焦点を当てる。このための第1の条件として、まず「視覚（外部）入力是一定にして、主観的表象だけを内的に発生させる方法」を用いる必要がある。具体的には上述の両眼間闘争（BR）などである。BRでは、入力刺激の変化は一切無いにも関わらず、意識的な知覚表象が自発的に入れ替わる。よってこれら知覚交代の変動と相関する脳活動が観察された場合、それは外的な刺激に駆動されたボトムアップな脳反応（無意識・意識両方の神経活動が混ざったもの）ではなく、主観的な知覚表象の発生・変化に関わる脳反応であることが

言える。つまり純粋に「意識」に関わる内的な脳活動を単離するためには、ボトムアップ（外部駆動的）な脳反応の要素を排除しなければならない。

第2の条件としては、時間分解能に優れた脳活動の計測手法を用いる必要がある。前述のように fMRI などの時間分解能に制限がある手法を用いると、脳におけるリアルタイムな情報の流れが分からなくなり、先行研究における高次派・低次派間の論争を解決させることができない。ヒトを対象とした場合、具体的には脳波（EEG）・脳磁図（MEG）などの手法が主力となる。

だが、ここで技術的なジレンマが生じる。時間分解能に優れた脳波・脳磁図で神経反応を捉える場合、その神経反応を引き起こす源となった事象（イベント）の時間を正確に特定しなければならない（それをしなければ、複数のトライアル間のデータを加算した時、様々なタイミングで起こる色々な脳反応が混ざってしまい、何を見ているのかわからなくなる）。外から刺激を与える通常の実験の場合であれば、刺激を与えたタイミングを時間的なゼロ点として、そこからの神経活動を記録・加算平均すれば問題ない（誘発反応、あるいは事象関連脳反応という）。だが今回の場合、特定しなければならないのは意識的な表象が発生・変化したタイミングである。上に記した通りこれは完全に内的なイベントになる（なる必要がある）ため、それがいつ生じたかを実験者が客観的に特定するのは非常に困難になる。意識表象が生じたタイミングを被験者にボタン押しで報告させる、といった方法もあるが、あまり得策ではない。主観表象の発生からボタン押しまでの時間間隔が常に一定である保証はどこにも無く、トライアル間で少なくとも数百ミリ秒の変動は免れないからである。この「時間分解能を上げたいが、意識的表象の内的発生タイミングが特定できない」というジレンマが、今まで意識的認識が成立した「瞬間」の脳活動を記録する際の、大きな障害となってきた。

そこで本研究では Continuous flash suppression (CFS) という手法を使って、このジレンマを回避した。CFS とは、BR の変形版であり、片方の眼には高速で変化するノイズ刺激（10Hz 程度）を、もう片方の眼には静止画を提示する手法である（BR では両眼とも静止画を提示する）。この場合、意識表象を巡った闘争が両眼間で起きるものの、高速で変化するノイズ刺激の方が圧倒的に優勢となり、意識に上り易い。よって静止画の方は片方の目に長期間（30 秒程度）提示されているにも関わらず、まったく意識には上らず無意識の入力となる。本来は意識下に追いやられた静止画が後の知覚にどのような影響を及ぼすかを調べるための手法であるが、本研究ではこの CFS を、意識的認識の発生タイミングを特定する手段として用いた。

具体的には、まず片目に高速ノイズ刺激を、

もう一方の目に Gabor patch（白黒の縞模様）などの簡単な静止画刺激を 1 秒程度提示する。当然 Gabor は意識下に追いやられるが、その後、高速ノイズのみを消去する（Gabor はそのまま持続的に提示）。するとノイズによる抑制が解かれるため、今まで「見えて」いなかった Gabor が不意に意識に上る。この時被験者が感じる Gabor の出現（onset）は純粋に主観的なイベントであり、Gabor の物理的な onset によるものではない。よってこの「主観的 onset」への脳反応は、ボトムアップ反応とは区別できる（条件 1 の達成）。さらに Gabor の主観的 onset を引き起こしたのは、高速ノイズの消去という客観的に時間特定が可能なイベントである。ゆえに今まで障害となってきた条件 2 も満たしていることになる。

#### 4. 研究成果

このような手法を用いて意識的な知覚表象（Gabor patch の視覚イメージ）が発生した瞬間の脳活動を記録したところ、意識表象の最初の発生場所は腹側系の高次視覚野であることを示す証拠を得た（「5. 主な発表論文等」の雑誌論文）。これらの結果は、従来の研究の問題点であった時間分解能という制限をクリアする形で得られた証拠であるため、「意識は脳のどこで生まれるか？」という問題に一石を投じた成果であると言える。

また上記の成果が得られた後は、意識化される刺激を Gabor patch（白黒の縞模様）からより高次なもの（ヒトの顔や、その他日常風景で見かけるような複雑な形）へと変化させ、上記の結果の一般化（意識的表象の発生における腹側高次視覚野の主導的役割が、どのような刺激の意識化においても見られるか、という問題の検討）を試みた。まず前段階として、それら高次な視覚情報が無意識状態において脳内でどのように表現（エンコード）されているかを、主に脳波・脳磁場計測を行うことによって調べた。その結果、顔や視線、さらには道具といった高次な視覚刺激は、Gabor patch のような単純な視覚刺激と異なり、無意識状態でもその情報の多く（顔の向きや上下・視線の左右や移動方向など）が脳活動に影響を与えていることが示された。これらは無意識知覚における高次な情報処理能力を示す結果であり、無意識処理と意識処理の境界線を規定する上での重要な知見であると考えられる（「5. 主な発表論文等」の雑誌論文・・・）。

#### 5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕(計 11 件)

Suzuki M., Noguchi Y., Kakigi R. (2014) Temporal dynamics of neural activity underlying unconscious processing of manipulable objects. *Cortex*, 50:100-114.

(査読有)

10.1016/j.cortex.2013.09.005

Yokoyama T., Noguchi Y., Kita S. (2013) Unconscious processing of direct gaze: Evidence from an ERP study. *Neuropsychologia* 51(7):1161-1168. (査読有)

10.1016/j.neuropsychologia.2013.04.002.

Suzuki M., Noguchi Y. (2013) Reversal of the face-inversion effect in N170 under unconscious visual processing. *Neuropsychologia* 51(3):400-409. (査読有)

10.1016/j.neuropsychologia.2012.11.021

Noguchi Y., Yokoyama T., Suzuki M., Kita S., Kakigi R. (2012) Temporal dynamics of neural activity at the moment of emergence of conscious percept. *Journal of Cognitive Neuroscience* 24(10):1983-97. (査読有)

10.1162/jocn\_a\_00262

〔学会発表〕(計15件)

野口泰基、刺激の消滅信号(オフセット信号)による意識表象の誘発、日本基礎心理学会第32回大会、2013年12月7日、金沢市文化ホール

野口泰基、鈴木恵美、柿木隆介、ヒト背側経路における道具刺激の無意識的処理回路、第36回日本神経科学大会、2013年6月20日、国立京都国際会館

横山武昌、野口泰基、喜多伸一、直視の無意識知覚処理：事象関連電位を用いた検証、2012年11月3日、日本基礎心理学会第32回大会、九州大学医学部百年講堂

鈴木恵美、野口泰基、無意識知覚における倒立顔効果の消失、第34回日本神経科学大会、2011年9月17日、パシフィコ横浜

Megumi Suzuki, Yasuki Noguchi、A disappearance of the face inversion effect in unconscious visual processing、The 15th annual meeting of the ASSC (Association for the Scientific Study of Consciousness)、2011年6月11日、京都大学 時計台記念館

野口泰基、意識的視覚表象発生時の脳磁場反応計測、生理学研究所研究会「視知覚の理解へ向けて -生理、心理物理、計算論による探求-」、2011年5月19日、自然科学研究機構 岡崎コンファレンスセンター

野口泰基、柿木隆介、意識的視覚表象発生時の脳活動の時間的動態、第33回日本神経科学大会、2010年9月3日、神戸コンベンションセンター

〔その他〕

ホームページ等

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

6. 研究組織

(1) 研究代表者

野口 泰基 (NOGUCHI, Yasuki)