

令和 3 年 6 月 7 日現在

機関番号：17102

研究種目：若手研究

研究期間：2018～2020

課題番号：18K15348

研究課題名(和文) 自閉症の色知覚と顔・情動処理異常：脳磁図による多階層レベル研究

研究課題名(英文) Color and emotional face perception disorder in autism: A multilevel study using magnetoencephalography

研究代表者

山田 絵美 (YAMADA, Emi)

九州大学・人文科学研究院・助教

研究者番号：60737310

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,200,000円

研究成果の概要(和文)：有色のサイン波格子縞刺激を用いて低次視覚レベルの色処理が後続する視覚処理に与える影響と色が情動顔の認知に与える影響を検討した。サイン波格子刺激に対する脳磁場反応を時間周波数解析を用いて検討した。1次視覚野(V1)から4次視覚野(V4)の腹側皮質で、刺激後300ms以降の20～80Hz帯域で色の主効果が有意であった。色の知覚処理がV1からV4まで継続されている、もしくはV1での反応がV4を変調していると考えられる。カラーの情動顔刺激を用い情動価を評定する心理実験を行った。怒り顔は色の違いによる影響がなかった。怒りは赤色という特定の色の印象が強く、他の色による影響を受けなかったと考えられる。

研究成果の学術的意義や社会的意義

自閉症(autism spectrum disorder: ASD)は視覚認知障害が指摘されており、この原因として1次視覚野の異常を指摘する研究が増えている。脳磁場反応を記録して色の知覚処理を検討した。有色のサイン波格子縞刺激に対する反応は、ガンマ帯域(20～80 Hz)で色の違いが有意となり4次視覚野まで継続した。この結果は、V1のガンマ帯域の反応が色知覚処理を担っていることを示唆する。ガンマ帯域はGABAの神経活動を反映しているとされており、ASDのV1異常はGABAの低下であると指摘されている。以上より、本結果はASDの色知覚障害の原因がV1に起因する可能性を支持するものと考えられる。

研究成果の概要(英文)：We investigate the effects of colour perception at the primary visual cortex on subsequent visual areas using chromatic sine wave gratings and the effect of colour on the recognition of emotional faces.

1) Time-frequency analysis conducted the magnetic field responses to sine wave grating, and the main effect of colour was significant in the 20～80 Hz band from 300 ms after stimulus onset in the ventral cortex of V1 to V4. 2) We evaluated the valence of emotion to the coloured emotional face by a psychological experiment. There was no effect of colour on angry faces. Since we have a strong conception that anger is red, it is thought to have been unaffected by other colours.

研究分野：認知神経科学

キーワード：脳磁図 色知覚 時間周波数解析 視覚認知 自閉スペクトラム症

### 1. 研究開始当初の背景

自閉症 (autism spectrum disorder: ASD) は行動や神経生理学的な研究により、細部の視覚情報処理に優れるが、顔などの全体的処理や運動知覚が障害されていることが分かっており、この視覚認知障害がASDの社会的コミュニケーション障害の基盤である可能性が指摘されている (Dakin & Frith, Neuron, 2005)。

ASDの視覚認知障害の原因として、Dinstein et al (Neuron, 2012) は1次視覚野 (V1) の視覚反応がASDでは不安定である (図1参照) と報告して以来、V1のブロップ系 (色知覚) に障害がある (Yamasaki et al, PLoS ONE, 2017) など、V1の異常を指摘する研究が増えている。また、心理行動実験ではASD児は定型発達児が好む黄色を忌避することが指摘されており (Grandgeorge & Masataka, Front Psychol, 2016)、色に対する独自の選好性があることが示されている。

色情報はV1以降、段階的に処理される。今まで、V1におけるブロップ障害が、その後の腹側路の視覚処理にどのように影響を与えるのか、神経生理学的検討はされていない。そこで、ASDの色知覚障害が顔・情動処理に与える影響を神経生理学的に検討する。

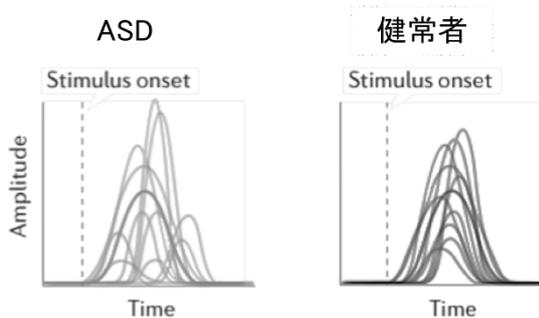


図1: V1の視覚誘発反応 (Robertson & Baron-Cohen, Nat Rev Neurosci, 2017) より一部引用)

ASDは視覚誘発反応の振幅、潜時ともに刺激への同期度が低い。

### 2. 研究の目的

色情報がV1以降の視覚処理経路でどのように処理されているのか時間周波数解析を用いて検討する。また、情動顔の認知に色情報が与える影響を検討する。

#### (1) 色の視覚処理の検討

視覚反応を処理段階ごと (V1からV4: 図2) に同定し、V1での反応が後続の視覚野にどのように継続されるのかを時間周波数解析を用いて検討する。

#### (2) 色が情動顔の認知に与える影響の検討

色はV1からV4までの腹側路で処理される (図2)。腹側路に含まれる紡錘状回には、顔に特異的に反応する領域 (Fusiform Face Area: FFA) がある (Kanwisher et al. J Neurosci, 1997)。V1での色知覚障害が顔の認知処理に影響するのか検討する。

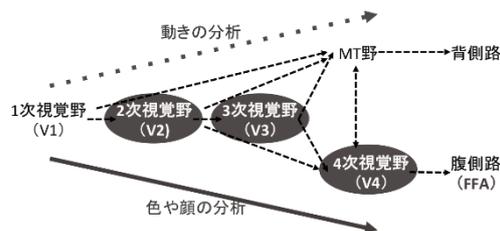


図2: V1以降の視覚処理経路

### 3. 研究の方法

本研究では、単純な視覚刺激を用いて (1) V1での色知覚処理が、V1以降の視覚処理経路にどのように継続されるのか、(2) 色が顔情動処理に与える影響を明らかにすることを目的とする。

#### (1) 脳磁図による視覚誘発反応の記録

視覚処理における3つの経路 (大細胞系、小細胞系、顆粒細胞系) を調べるために、各経路を選択的に刺激する色の組み合わせ (白/黒: 大細胞系、赤/緑: 小細胞系、青/黄: 顆粒細胞系) と空間周波数 (2.0 cpd、5.3 cpd) が異なるサイン波格子縞刺激を用いた。306チャンネル全頭型脳磁計 (Elekta社製 Neuromag) を用いて、視覚刺激観察中の脳反応及びボタン押しの行動指標を記録した。MNE-Pythonソフトウェア (Gramfort et al, Front Neurosci, 2013) を使用し、センサー波形を加算平均して誘発反応解析を行い、視覚誘発反応を同定した。その後、皮質上のV1からV4までそれぞれの活動を推定し、得られた時系列データを時間周波数解析した。

#### (2) カラーの情動顔刺激を用いた心理実験

カラーの中立顔から怒り顔、中立顔から幸福顔にモルフィングした顔刺激を用いて情動価を評定する心理実験を行った。参加者には使用した色の好みを評価するアンケートを実施した。

### 4. 研究成果

#### (1) 脳磁図による視覚誘発反応の記録

視覚処理における3つの経路 (大細胞系、小細胞系、顆粒細胞系) の視覚誘発反応を調べるため、サイン波格子縞刺激を用いて事象関連磁場 (Event-related Field: ERF) を記録した。右利き健常成人19名 (女性10名、平均年齢26.3歳、21~43歳) を対象としてデータを取得したが、2名は利き眼が左眼、1名はノイズが多かったため解析から除外した。

センサーレベルのバタフライプロットを図3に示す。脳波による先行研究と同様の結果が得られた。大細胞系を選択的に刺激する白/黒のサイン波格子縞刺激では空間周波数が5.3 cpdに対して大きな誘発反応があり、小細胞系の赤/緑のサイン波格子縞刺激では空間周波数が2.0 cpdに対して大きな誘発反応があった。顆粒細胞系の青/黄のサイン波格子縞刺激では2.0 cpdで大きな誘発反応が確認された。

センサーデータから推定した皮質上の活動分布とV1の時系列データを図4 Aに示す。V1の時系列変化はセンサー波形と同様の傾向を示し、白/黒の5.3 cpd、赤/緑の2.0 cpdで大きな誘発反応が確認された。V1の時系列データをMorlet waveletsを用いて時間周波数解析して得られた induced response を図4 Bに示す。刺激の空間周波数に関係なく、色によって刺激呈示後200 ms以降の induced response の反応が異なっていることが確認された。V1からV4までそれぞれの induced response 反応を色と刺激の空間周波数の2要因で permutation cluster test を実施したところ、刺激呈示後の300 ms前後の20 Hz以上で色の主効果が確認された ( $p < 0.05$ ) (図4 C)。色の主効果はV1だけでなく、腹側路のV2からV4まで同じ時間帯と帯域で確認された。

神経伝達物質を計測できるMRスペクトロスコピー (MRS) による研究では、ASDのV1のGABAは健常者より低下している (Robertson et al, Curr Biol, 2016) ことが示されている。本研究の結果では、GABAによる神経伝達を反映するとされるGamma帯域で色が処理されていることが示唆された。以上より、ASDのV1における色知覚障害が、後続の色知覚処理にも継続されているため、ASD独自の色の嗜好性が生じると考えられる。

## (2) カラーの情動顔刺激を用いた心理実験

色が情動顔認知に与える影響を調べるために、カラーの中立顔から怒り顔、中立顔から幸福顔にモルフィングした顔刺激を用いて情動価を評定する心理実験を行った。色の影響を明瞭にするためにオリジナルの色に加えて、赤、緑、青を強調した画像とモノクロの画像の全5種を用いた。右利き健常成人11名 (女性6名、平均年齢26.2歳、21~37歳) を対象に実施した。

幸福顔の青と赤が強調された刺激で情動価の評価が低下した。中立顔や怒り顔では色の違いによる情動価の評価に変化はなかった。また、参加者には好きな色を回答してもらっていたが、好きな色との相関は確認されなかった。

色と情動イメージの関係を調査した先行研究では、「青は悲しみ」、「赤は怒り」と青と赤には固定の情動が想起される傾向にあった。青と赤が強調された幸福顔の刺激で幸福度の評価が低下したのは、情動と色の固定イメージの影響を受けたためではないかと考えられる。

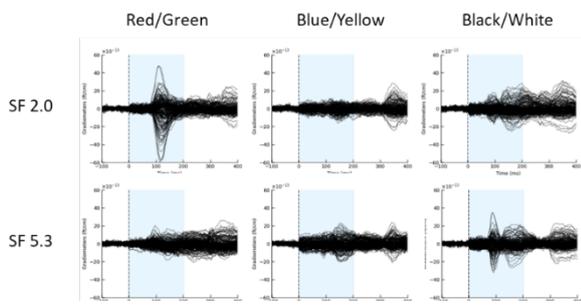


図3: センサーのバタフライプロット刺激が呈示されている期間を水色で示す

V1の時系列データをMorlet waveletsを用いて時間周波数解析して得られた induced response を図4 Bに示す。刺激の空間周波数に関係なく、色によって刺激呈示後200 ms以降の induced response の反応が異なっていることが確認された。V1からV4までそれぞれの induced response 反応を色と刺激の空間周波数の2要因で permutation cluster test を実施したところ、刺激呈示後の300 ms前後の20 Hz以上で色の主効果が確認された ( $p < 0.05$ ) (図4 C)。色の主効果はV1だけでなく、腹側路のV2からV4まで同じ時間帯と帯域で確認された。

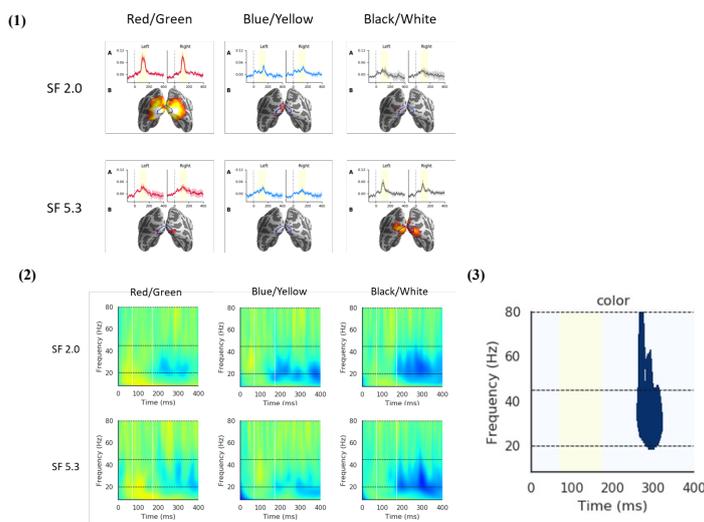


図4: 電流源推定の結果

(1) センサー情報から電流源を推定した結果。全脳の図は各刺激に対するピーク反応を示した時の脳活動 (2) V1の時系列データを時間周波数解析して求めた induced response 反応 (3) V1の2要因のPermutation testの結果。300ms前後の濃い色の部分が色の主効果が有意になった箇所である。20~80 HzのBetaからGamma帯域にかけて色の主効果が確認できた。

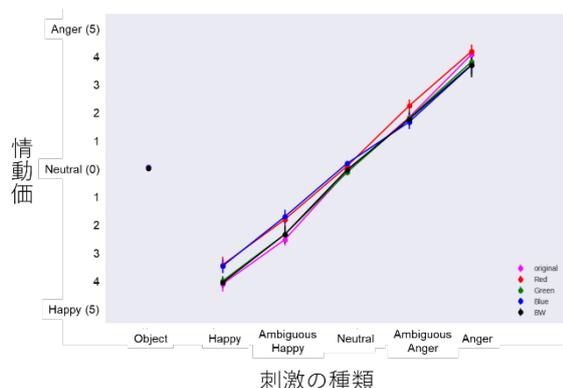


図5: 各刺激に対する情動の評価

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計1件（うち査読付論文 1件 / うち国際共著 0件 / うちオープンアクセス 0件）

1. 著者名 Komatsu Sahoko, Yamada Emi, Ogata Katsuya, Horie Shizuka, Hakoda Yuji, Tobimatsu Shozo	4. 巻 725
2. 論文標題 Facial identity influences facial expression recognition: A high-density ERP study	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Neuroscience Letters	6. 最初と最後の頁 134911 ~ 134911
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1016/j.neulet.2020.134911	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

〔学会発表〕 計1件（うち招待講演 0件 / うち国際学会 0件）

1. 発表者名 山田 絵美, 山崎 貴男, 竹田 昂典, 緒方 勝也, 飛松 省三
2. 発表標題 ヒト 1 次視覚野における神経振動の時間周波数特性：脳磁図を用いた検討
3. 学会等名 第49回日本臨床神経生理学会学術大会
4. 発表年 2019年

〔図書〕 計0件

〔産業財産権〕

〔その他〕

6. 研究組織

氏名 (ローマ字氏名) (研究者番号)	所属研究機関・部局・職 (機関番号)	備考
---------------------------	-----------------------	----

7. 科研費を使用して開催した国際研究集会

〔国際研究集会〕 計0件

8. 本研究に関連して実施した国際共同研究の実施状況

共同研究相手国	相手方研究機関
---------	---------