

動物顔への注目行動と視線の偏りに関連する随伴陰性変動の予備的検討

犬塚 葵子¹⁾, 小熊 愛美²⁾, 軍司 敦子¹⁾

A preliminary study of the contingent negative variation (CNV) associated with attentional behavior and gaze bias toward animal faces.

Kiko INUZUKA¹⁾, Aimi OGUMA²⁾, Atsuko GUNJI¹⁾

1. はじめに

学校において求められる配慮とは、おもに授業や教材の創意工夫、環境調整である。したがって現在、思考のきっかけとなりそうな情報への気付きを促すために、学習環境や手続きの視空間的・時間的な構造化や、子どもの主体的な学びと報酬の結びつきを強化する適度な注意喚起が、授業形態や子どもへの声掛けなどに取り入れられている。そしてこの効果は、しばしば子どもの興味や意思、主張を反映した注目行動として現れることから（北ら, 2010; Kita et al. 2010, 2017; 佐久間ら, 2012; Gunji & Inagaki, 2014), 選好注視法や馴化-脱馴化法を用いることによって観察することができる。

選好判断では、注目行動として認められる1秒ほど前から、徐々に標的の方へ視線が偏るカスケード現象が、とりわけヒトの顔が判断対象である際に認められる（Shimojo et al., 2003; Simon and Shimojo, 2006). 一方で、カスケード現象は、動物の顔や図形など、ヒト顔以外の視覚情報でも生じる可能性が指摘されているが、依然として知見は少ない（大沼ら, 2013; 入戸野, 2007; 齊藤ら, 2015). そのような背景には、他の視覚情報に比べてヒト顔の認知は特有の発達を示すことがあることが考えられる。

ヒト顔は、コミュニケーションを支える社会性認知のために重要な視覚情報であり、これの認知によって、生後2か月で大脳の紡錘状回が顕著に増強することが報告されている（Tzourio Mazoyer et al., 2002). すなわち、ヒト顔に特有の認知発達が、視覚探索において優位にはたらきカスケード現象にも影響することが考えられる（Johnson et al., 1991). 一方で、両眼と口・鼻のパーツ配置に対する包括的な視覚情報処理が、他の事物に比べて優位に扱うよう後天的に発達することから（Pascalis et al., 2002), ヒト以外であっても顔構造をもつ動物等に対しては非顔に比べてカスケード現象が増強する可能性もある。ただし、この包括的な視覚情報処理は、例えば3端子のプラグソケットのような物までも顔構造として検出するため、顔の個体識別などの意味処理に先行すると解釈される（Buonocore et al., 2020). したがって、顔認知における視覚探索戦略には、ヒトという種に限定されることなく①顔パーツ配置に基づく包括的な視覚情報処理と、②顔の識別や意味の情報処理の両方あるいはいずれかに依存すると仮定できる。

そこで、ヒト以外の顔認知における注目行動とそれを制御する前頭葉機能の解析から、本研究では、動物の顔画像と「目のパーツが存在しない」動物の皮画像を注目するときの視線の動きや脳活

1) 横浜国立大学教育学部

2) 横浜市立上菅田笹の丘小学校

動を観察することで、ヒト以外の顔認知にも特異的な視覚探索ストラテジーが生じているか検討する。さらに、後天的に形成される社会性認知の観点から、ヒト顔と同様に両眼が顔の正面にある肉食動物と両眼が顔の側面にある草食動物の顔を刺激に用い、正面から捉えてもめの合い方が異なる顔への社会性認知の違いについても可視化できるか検討したいと考えている。

なお、行動の準備過程を神経生理学的に観察する指標には、脳波から算出した事象関連電位 (Event Related-Potentials: ERP) の一種である随伴陰性変動 (Contingent Negative Variation : CNV) を用いることとする。CNV は、条件付けのための警告刺激 (S1) の後に一定の間隔を空けて命令刺激 (S2) を提示し、S2 の教示にしたがって何らかの反応を行う予告反応課題によって、ヒト頭皮上の前頭部に誘発される緩やかな陰性成分であり、S1 提示後に生じるワーキングメモリ (WM) によるルールの保持や注意、覚醒水準、感覚や運動の準備などを反映すると考えられている (前田, 2011)。Cordones et al. (2013) は、S1 の教示にしたがって図形に注目する Pro サッケード条件と、S1 の教示とは異なる図形に注目する Anti サッケード条件での脳波を解析し、Anti サッケード条件では注目に至る潜時が延長するとともに、CNV 振幅も増大することを報告した。すなわち、運動制御が複雑になるにつれて脳機能への負荷も増大することが、CNV 成分形成に反映されると解釈された。

したがって、この CNV を視標としたヒト大脳における前頭葉機能の観察は、視覚探索ストラテジーを反映する客観的な定量評価法として BCI (Brain Computer Interface) 等への技術応用も期待できる。本研究ではその予備的検討として、健康な成人を対象に注目行動にともなうサッケードを基準とした眼球停留関連電位 (Eye-Fixation Related Potential: EFRP) の検出が可能か検討する (八木, 2012)。本システムを発展させ小児へ適用することができるようになれば、注目行動に要した時間や注視の手続き、脳反応などの解析から特別な教育的ニーズのある児童生徒の注意の状態や意図、興味までも可視化し、ひいては学習場面などにも応用できるかもしれない。さらに将来的には、児童生徒の「生きる力」へ向けた「自己決定」を促進する手掛かりの把握に役立てたいと考えている。

2. 方法

2-1. 対象

神経学的・精神医学的な既往歴のない右利きの成人 15 名 (女性 11 名, 男性 4 名) (21.7 ± 5.5 歳) を研究対象者とし、裸眼あるいは矯正視力が 0.7 以上で、画像刺激の識別に困難がないことを確認した。また、研究対象者の注意や認知、気分の状態を確認するため、自閉症スペクトラム指数を評定する Autism Spectrum Quotient (AQ) 日本語版と気分プロフィール検査の Profile of Mood States 2nd Edition (POMS 2) 日本語版、成人 ADHD の重症度を把握するための評価尺度として使用される Conners' Adult ADHD Rating Scales (CAARS™) 日本語版による質問紙調査を実施した。その結果、AQ 得点は 19.6 ± 7.5 (平均 \pm 標準偏差)、CAARS の DSM-IV 総合 ADHD 症状を示す H 項目の T 得点は 44.8 ± 21.2 、POMS2 の TMD 得点は 54.0 ± 13.2 であり、いずれも臨床域を示す者は含まれていなかった。

本研究の実施にあたっては、山梨大学医学部の生命科学・医学系研究の倫理規定とともに (2334)、研究協力機関である横浜国立大学の人を対象とする医学系研究の倫理規定にしたがい (人医-2021-05)、研究対象者には口頭と書面にて十分に説明をおこなったうえでインフォームドコ

ンセントを得た。

2-2. 刺激

研究対象者へ提示する画像には、市販の素材集（どうぶつ写真素材 DVD-ROM, マール社）に収録された肉食動物や草食動物の正面顔（肉食動物顔課題, 草食動物顔課題）と動物の皮（非顔課題）の画像を各々240種, 計720種を用いた。ただし, 愛着の個人差による影響を避けるため, 愛玩動物として代表的なイヌとネコの画像は刺激から除外した。刺激画像は, Photoshop CC 2021 (Adobe Inc.) を用いてグレースケールに加工し, 画像の中心を固視点の水平方向視野8度の位置に合わせて, 左右視野に2種の画像をそれぞれ提示した (Cordones et al., 2013) (Figure 1)。提示された画像1つあたりのサイズは視角4度内であった。刺激提示にあたっては, 17インチモニタ画面 (Precision 7760, Dell Technologies Inc.) の中央に黒色の固視点を灰色 (R: 128, G: 128, B: 128) 背景上に設け, Tobii Pro ラボ (Tobii Technology) により制御した。

2-3. 手続き



Figure 1. 各課題における刺激の例
各課題240種, 計720種の画像を組み合わせて刺激を作成した。

警告刺激 (S1) として, モニタ画面の中央に固視点 (+) を1900-2500 msの疑似ランダム間隔で提示した後, なにも画像が提示されない状態を370 ms間設けてから (Gap 区間), 画面中央の記号とともに命令刺激 (S2) を1000 ms間提示した (Figure 2)。研究対象者には, S1が提示されたら, 固視点 (+) を見たまま左右の画像のうち好きな方を決定し, S2が提示されたら, 記号が指示する方の画像を速やかに注目するように教示した (Figure 2)。S2で提示される記号は3種あり, ○の場合はS1で決定した画像の方を注目 (Pro サッケード条件), ×の場合はS1で決定した画像とは逆の方を注目 (Anti サッケード条件), ◆の場合は記号 (◆) への注目を維持 (コントロール条件) するよう求めた。その後, 刺激間間隔 (Inter Stimulus Interval: ISI) として, なにも画像が提示されない状態を2000 ms間設けた (Rest 区間)。この一連の提示を1試行とし, 1つの課題あたり各条件80試行, 3課題で計240試行を実施した。肉食動物顔課題と草食動物顔課題, 非顔課題の実施順は研究対象者間でカウンターバランスを行い, 課題間には休憩を設けた。また, 課題には出現しない画像を用いて, 事前に数分程度の練習課題を行った。

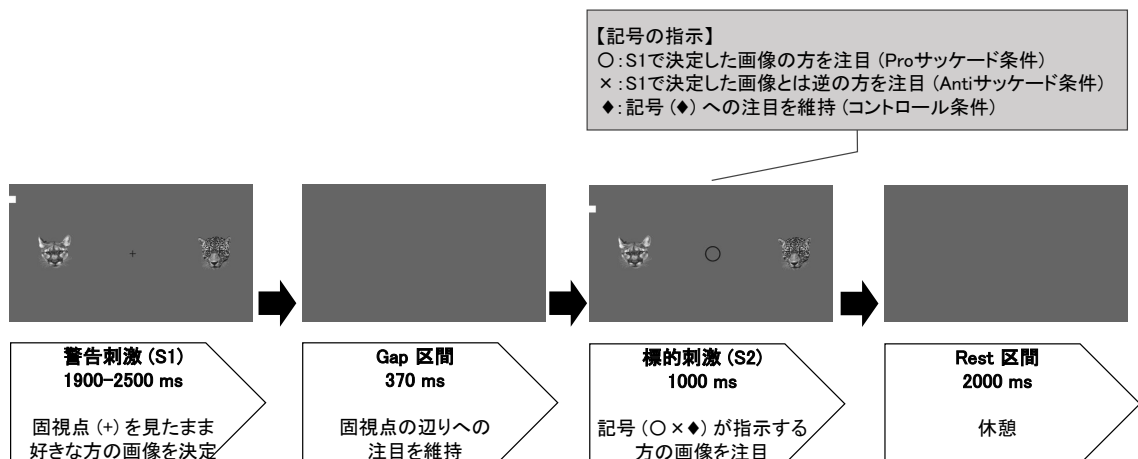


Figure 2. 刺激提示の手続き (1 試行)

2-4. 記録

課題実施中に、研究対象者がモニター画面上で注視した領域と脳波を同時に記録した。

注視領域は、眼球運動計測装置 (Tobii Pro グラス 3 および Tobii Pro ラボ, Tobii Technology) を用い、サンプリング周波数は 100Hz で記録した。実施に先立っては、研究対象者の瞳孔反射より注視領域を算出するためのキャリブレーションを行った。

脳波は、国際 10-20 法に基づく 10 部位 (PO7, O1, Oz, O2, PO8, F3, Fz, F4, Cz, Pz) より鼻尖基準にて脳波計 (TOKAI Orb, 東海光学株式会社) を用いて導出した (Figure 3)。サンプリング周波数は 1000Hz とした。

2-5. 解析

注視領域データは、左右視野 8 度に提示した 2 種の画像を解析対象領域 (area of interest: AOI) として眼球運動計測装置 (Tobii Pro ラボ, Tobii Technology) を用いて算出した。AOI へ視線が 120 ms 以上停留した場合に注視とみなし、その開始時間の情報を脳波データに統合した (OrbView_AOI, 東海光学株式会社)。

脳波データは、EMSE (Source Signal Imaging Inc.) を用い、 $\pm 50 \mu V$ を超える脳波データをアーチファクト混入区間として解析対象から除外した後、さらに EOG 補正法を用いて眼球運動によるアーチファクトを除去した。注視領域の解析から得られた開始時間の直前 20 ms 以内に生じたサッケード電位の頂点を注目開始時点 (0 ms) と設定し、条件毎に加算平均処理をおこなった。その結果、電極不良や体動等のアーチファクト除去によって加算対象が 30 試行未満となったデータを解析対象から除き、研究対象者 7 名のデータを解析対象とした。1 試行あたりの解析窓は、-1800 ms ~ +700 ms の 2500 ms 間とし、-1800 ms ~ -1700 ms 間をベースラインとした。

CNV 成分の検出には、緩やかに陰性へ偏位する CNV の早期成分として -1700 ~ -300 ms (CNV1 成分) と、注目開始直前に急激に陰性へ偏位する CNV の後期成分として -300 ~ 0 ms (CNV2 成分) の平均振幅を前頭部 (F3, Fz, F4) で求めた (Cordones et al., 2013)。得られた値は、IBM SPSS Statistics Version 27 (IBM 社製) を用いて成分毎、電極毎に、課題要因 (3: 肉食

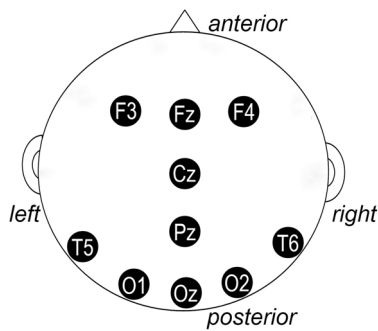


Figure 3. 電極配置図

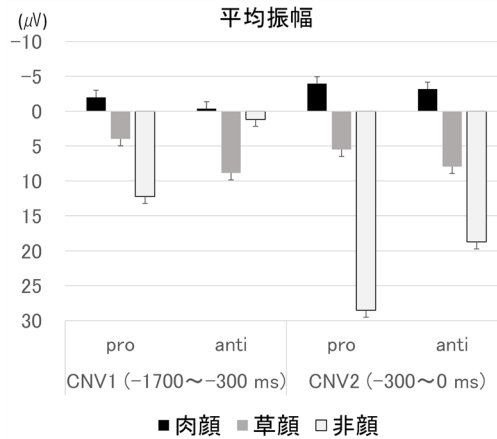


Figure 4. 前頭部 (F3) における CNV の平均振幅 (n=7)

動物顔, 草食動物顔, 非顔) とサッケード要因 (2: Pro サッケード, Anti サッケード) の 2 要因について繰り返しのある分散分析を行った.

さらに, 注意や認知特性, 精神状態などの心理特性と前頭葉における準備状態の関連について分析するため, 各成分の平均振幅について心理検査の各得点との相関係数を求めた.

3. 結果

前頭部における記録部位 F3, Fz, F4 の加算平均波形について, 注目開始時点に先行して緩やかな陰性偏位を示す CNV 成分が顔条件で視認された.

CNV1 成分および CNV2 成分の平均振幅を Figure 4 に示す. 各成分の振幅について, 記録部位毎に課題要因とサッケード要因の統計検定を行ったところ, F3 における CNV2 成分振幅で課題要因に主効果が認められた ($p=.0024$). Tukey 法による多重比較の結果, 肉食動物顔条件 ($p<.001$) および草食動物顔条件 ($p=.014$) の振幅は, 非顔条件よりも有意に大きかった. その他の部位, 条件間に有意差は認められなかった.

そこで, F3 における各成分振幅について, 心理検査の得点との相関を求めたところ, CNV1 成分では, 肉食動物顔条件の振幅と AQ 得点間に有意な負の相関と ($r=-.781, p=.001$), 草食動物顔条件の振幅と AQ 得点間に負の相関のある傾向を示した ($r=-.524, p=.054$). CNV2 成分では, 肉食動物顔条件の振幅と AQ 得点と ($r=-.560, p=.037$), 草食動物顔条件の振幅と AQ 得点間 ($r=-.534, p=.049$) に有意な負の相関を示した. 他の心理検査との相関を示す尺度は認められなかった.

4. 考察

4-1. 選好注視にともなう CNV

サッケードに基づいた注目行動に至る脳の準備状態は, 指定された図形や色等への注目行動において CNV 成分として検出される (Cordones et al., 2013; Nikolaev et al., 2018; Van Humbeeck et al. 2013). 本研究では, 研究対象者による選好判断で生じた注目行動においても,

CNV 成分を検出することができた。とりわけ前頭部で、注目を開始する直前の CNV 後期成分が、非顔課題に比べて肉食動物および草食動物の顔課題で有意に増大した。

視覚認知には、顕著性にとまらうボトムアップ処理と、予め把握した視覚情報や知識、意図や標的に基づくトップダウン処理がある（小川，2007）。本研究では、予め警告刺激（S1）の時点で視野内の情報を把握し選好判断をしていることから、命令刺激（S2）が提示されたときのサッケードにはおもに標的へのトップダウン処理が同期して生じていると考えられる。視覚性のトップダウン処理には、まずは注意を制御する前頭葉外側前頭前皮質（lateral prefrontal cortex: LPFC）やサッケードを制御する前頭眼野（the frontal eye field, FEF）が、その後に空間注意を制御する頭頂連合野が賦活されることが、サルの実験から報告されている。さらに FEF の賦活や V4 野を増強することも報告された（Moore & Armstrong, 2003）。同様にヒトにおいても、CNV の前期成分は前頭前野および補足運動野の、CNV の後期成分は一次運動野や一次感覚野、側頭葉、大脳基底核、視床、前帯状回の関与が報告されていることから、とりわけ後期成分は運動準備電位（Bereitschaftspotential: BP）を反映すると考えられてきた（Hamano et al., 1997）。しかし、運動のない条件でも同様に賦活されることから、運動準備に加えて命令刺激（S2）への予期的注意を反映し、視床から大脳皮質への投射によっても引き起こされると考えられるようになった（Brunia and van Boxtel, 2001; 前田, 2011）。したがって、本研究において顔課題で顕著に賦活された CNV2 成分は、サッケードに関する運動準備とともに、命令刺激（S2）へ備えた標的に対する予期的注意の増強が反映されていると考えられる。すなわち、ヒト以外の顔を認知する際にも、他の視覚情報に比べてワーキングメモリによる記憶保持を促進した可能性が示唆される（Buonocore et al., 2020）。

4-2. 注目行動に反映される性格傾向

CNV が増大した顔課題について、注意や認知特性、精神状態などの心理特性との関連性を分析するため、本研究では、AQ と POMS 2, CAARS の得点を用いた。各質問紙はそれぞれ、自閉症スペクトラムや気分プロフィール、成人 ADHD の重症度を評定するものである。ただし、本研究の研究対象者に臨床域を示すものは含まれなかったため、それぞれの特性に認められる認知や行動の項目数をあくまで自覚的な性格傾向の指標として参照した。

その結果、自閉症スペクトラムに認められる認知や行動がある場合の項目数が増加するにつれ、顔課題で CNV の早期成分、後期成分ともに増大し、他の性格傾向には CNV 振幅との相関は認められなかった。自閉症スペクトラム症のある場合、個人差は大きいものの、顔の識別が苦手だったり顔を見るときの注視領域が定型発達と異なったりすることが報告されている（北ら, 2010; Kita et al. 2017; Gunji & Inagaki, 2014）。そのような背景から、AQ には、コミュニケーションを支える社会性認知に関わる質問項目が多く、ヒト顔認知の発達を反映した行動様式によって得点が影響を受けるところがある。したがって、本研究において顔課題の CNV と AQ 得点に相関を示したことは、ヒト以外の顔を見るときであっても①顔パーツ配置に基づく包括的な視覚情報処理とともに、②顔の識別や意味の情報処理において、自閉症スペクトラム症のある人と共通した視覚情報の探索ストラテジーを持つ可能性を示唆するとも考えられる。

5. まとめ

本研究では、注目を判断する時点ではなく、実際に視線を動かすサッケード時点に同期した注目行動に至る前頭葉の準備状態を反映した脳波の随伴陰性変動（CNV）を検出した。その結

果、非顔に比べて顔に対して、注目する直前の CNV 成分が顕著に増大することを見出した。注目行動と脳機能データの同時収集によって、行動観察や質問紙調査だけでは把握しにくい視線カスケード現象の発生機序を客観的に探る実験システムの一部を築くことができたといえる。一方で、CNV 成分は認められたものの、加算平均波形の全般的な陽性偏位等の要因により CNV の平均振幅値が一部、陽性を示すなど、脳波データに混入するサッケードにともなった眼球運動アーチファクトへの対処を含めて、解析方法には依然として課題が残った。今後は、注目に至る視線の軌跡や対象への視線の停留の特徴と CNV の様相を対応させることによって、非侵襲的な眼球運動計測のみで前頭葉の準備状態を把握できるようデータを蓄積し、子どもを対象とした環境整備のための調査など社会実装へつなげていきたいと考えている。

6. 謝辞

本研究の一部は、日本学術振興会科学研究費 (21H00887) による助成を受けました。本研究をすすめるにあたり、実験の準備および実施にご協力くださった関口真央氏に心より御礼申し上げます。

7. 参考文献

- Brunia CH, van Boxtel GJ. Wait and see. *International Journal of Psychophysiology*. 2001. 43(1): 59-75.
- Buonocore A, Dimigen O, Melcher D. Post-Saccadic Face Processing Is Modulated by Pre-Saccadic Preview: Evidence from Fixation-Related Potentials. *Journal of Neuroscience*. 2020. 40(11):2305-2313.
- Cordones I, Gómez CM, Escudero M. Cortical dynamics during the preparation of antisaccadic and prosaccadic eye movements in humans in a gap paradigm. *PLoS One*. 2013. 8(5): e63751.
- Gunji A, Inagaki M. Noninvasive detection of face perception specificities in children with autism spectrum disorders. *Japanese Psychological Research*. 2014. 56:91-102. Review.
- Hamano T, Lüders HO, Ikeda A, Collura TF, Comair YG, Shibasaki H. The cortical generators of the contingent negative variation in humans: a study with subdural electrodes. *Electroencephalography Clinical Neurophysiology*. 1997. 104(3): 257-268.
- Johnson MH, Dziurawiec S, Ellis H, Morton J. Newborns' preferential tracking of face-like stimuli and its subsequent decline. *Cognition*. 1991. 40(1-2):1-19.
- Kita Y, Gunji A, Sakihara K, Inagaki M, Kaga M, Nakagawa E, Hosokawa T. Scanning strategies do not modulate face identification: eye-tracking and near-infrared spectroscopy study. *PLoS One*. 2010. 5(6):e11050.
- 北洋輔, 軍司敦子, 佐久間隆介, 他 5 名. 自閉症スペクトラム障害のある児に対する Social Skill Training の客観的評価. *精神保健研究*. 2010. 23:81-87.
- Kita Y, Gunji A, Sakuma R, Goto T, Okumura Y, Inagaki M. Training Attention to the Other's Need Improves Helping Behaviors in Children with Autism Spectrum Disorder: A Behavioral Analysis Using a Two-dimensional Motion Capture System. *Frontiers in*

- Education. 2017. 2:e50.
- 前田薫. 随伴陰性変動. *Health and Behavior Sciences*. 2011. 9(2): 77-83.
- Moore T and Armstrong KM. Selective gating of visual signals by microstimulation of frontal cortex. *Nature*. 2003. 421(6921): 370-373.
- Nikolaev AR, Meghanathan RN, van Leeuwen C. Refixation control in free viewing: A specialized mechanism divulged by eye-movement-related brain activity *Journal of neurophysiology*. 2018. 120(5): 2311-2324.
- 入戸野宏. 新奇図形パターンを用いた視線カスケード効果の検討. 日心第71回大会発表論文集. 2007. pp.597.
- 小川正. サル大脳皮質におけるボトムアップ型注意とトップダウン型注意の神経メカニズム. *VISION*. 2007. 19(2): 97-106.
- 大沼卓也, 荒木茂樹, 坂井信之. ワインボトルを用いた視線のカスケードモデルの検討. *感情心理学研究*. 2013. 21(Suppl): 18.
- Pascalis O, de Haan M, Nelson CA. Is face processing species-specific during the first year of life? *Science*. 2002. 296(5571):1321-1323.
- 齊藤俊樹, 大谷昌也, 金城光. 視線のカスケード現象は選好判断以外でも起きるのか. *認知科学*. 2015. 22(3): 463-472.
- 佐久間隆介, 軍司敦子, 後藤隆章, 北洋輔, 小池敏英, 加我牧子, 稲垣真澄. 二次元尺度化による行動解析を用いた発達障害児におけるソーシャルスキルトレーニングの有効性評価. *脳と発達*. 2012. 44:320-326.
- Shimojo S, Simion C, Shimojo E, Scheier C. Gaze bias both reflects and influences preference. *Nature Neuroscience*. 2003. 6(12):1317-1322.
- Simon C and Shimojo S. Early interaction between orienting, visual sampling and decision making in facial preference *Vision Research*. 2006. 46: 3331-3335.
- Tzourio-Mazoyer N, De Schonen S, Crivello F, Reutter B, Aujard Y, Mazoyer B. Neural correlates of woman face processing by 2-month-old infants. *Neuroimage*. 2002. 15(2):454-461.
- Van Humber N, Schmitt N, Hermens F, Wagemans J, Ernst UA. The role of eye movements in a contour detection task. *Journal of Vision*. 2013. 13(14): e13267.
- 八木昭宏. 脳波, 誘発電位, 事象関連電位, 眼球停留関連電位への道. 2012. 30(1): 53-65.