

# 非侵襲脳活動制御による認知機能向上

研究代表者 松吉 大輔  
(理工学術院総合研究所 次席研究員)

## 1. 研究課題

これまでの申請者の研究では、物体や顔の視覚認知・記憶において不全が生じる認知神経メカニズムを検討してきた。しかし、不全の研究は飽くまでそれを健全に戻すという目標の前段階に位置づけられるべきであり、完全ではないにせよある程度メカニズムの理解が得られた現段階において、不全を健全に戻すための応用的・臨床的な試みを積極的に行っていくべきである。そこで本研究では、物体や顔の認知・記憶を向上させることを目標に、経頭蓋脳刺激・制御を用いた認知神経科学研究を行う。

視覚認識における重要な単位である物体の認知・記憶の減退は、我々の日常生活の活動の質を有意に低下させるほか、他者の顔が分からない相貌失認をはじめ、顔認知の不全は社会生活に甚大な影響を及ぼす。本研究では、ヒトの頭皮に取り付けた電子回路（負性抵抗）から、神経細胞外のインピーダンスを制御し、神経突起電流を変化させることによって認知・行動に影響を与える経頭蓋細胞外インピーダンス制御（transcranial extracellular impedance control: tEIC）により、物体や顔の認知・記憶の向上の可能性を検討する。

tEIC はこれまで自発電位にはほとんど影響を与えないまま誘発電位のみを変化させることができる（≒何か認知・活動が生じたときにのみ、脳波・神経活動に影響を与えられる）ことが分かっている（Matani et al., 2014）。しかし、これまでより高次な認知過程に対してどのような影響を与えるかというは未だ分かっていない。そこで本研究では、これまでの申請者が蓄積してきた顔研究・記憶研究を基礎として、tEICによる1) 記憶、2) 顔認知という2つの認知機能向上の可能性を探る。

これまでも、経頭蓋に脳の神経活動に影響を与える方法には、経頭蓋磁気刺激（transcranial magnetic stimulation: TMS）や経頭蓋直流刺激（transcranial direct current stimulation: tDCS）などがあるが、いずれも高価であったり、サイズが大きかったりといった実用上の問題のみならず、結局のところそれらは脳の活動を邪魔する「外乱」であるという原理的問題を抱えており、認知・行動を向上させるデバイスとなるには至っていない。しかし、tEICは脳の自然な活動を邪魔する事なく「変調」させるものであり、なおかつ小型化や安価な生産も可能であることから、原理的にも実用的にも大きな可能性を秘めている。

## 2. 主な研究成果

2016年度内に基礎的な実験環境・装置の整備と課題の選定が終了。2016年度後半にはヒト被験者を対象としてtEICが視覚記憶に与える実験を開始し、2017年度・2018年度と引き続いて

実験を行った。

視覚記憶を定量的に測定するため、本研究では変化検出課題を用いた。この課題では、被験者は瞬間的に呈示されるサンプル刺激（色パッチや形など）を記憶し、一定の遅延期間の後に呈示されるテスト刺激が、先に呈示されたサンプル刺激と同一であるか否かを答えるというものである（図1）。このような課題を行うと一般的に4個程度の物体しか記憶出来ず、ヒトの視覚記憶容量は極めて限られていることが示されてきた（Luck & Vogel, 1997; Cowan, 2001）。もちろん、この4個という数字はあくまで平均値であり、ヒトの記憶容量には大きな個人差が存在することが筆者の研究も含めて示されてきているが（Vogel et al., 2005; Matsuyoshi et al., 2014）、頭頂間溝（intraparietal sulcus）と呼ばれる頭頂葉の一領域の活動は人によって異なる視覚記憶容量をよく反映することが知られており（Todd & Marois, 2004; Matsuyoshi et al., 2010）、この変化検出課題によって測定される視覚記憶容量が神経生物学的にも妥当な実体を持つものであると推測される。

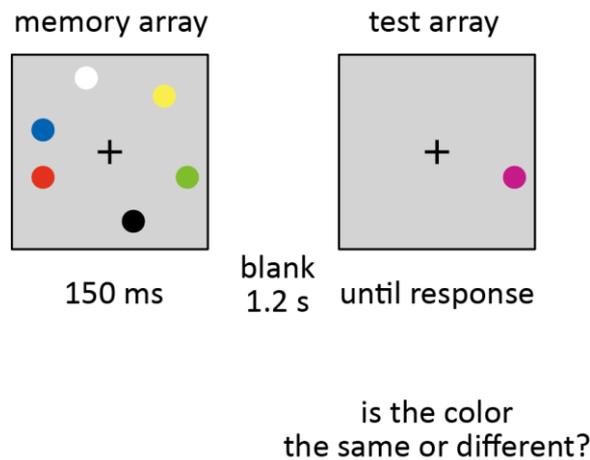


図1 視覚記憶を測定する変化検出課題

本研究（特に2018年度）では、このような現状を踏まえ、視覚記憶を担うと考えられる頭頂葉を tEIC のターゲットとする研究を展開した。これまでに、1) サンプル刺激呈示中にタイムロックした tEIC 適用、2) 記憶刺激保持中（遅延期間中）にタイムロックした tEIC 適用、3) タイムロックなしで課題実行中（1 試行中、すなわち刺激呈示から遅延期間、反応画面呈示中の全てを含む期間）の tEIC 適用という3タイプの実験を行い、tEIC 適用による視覚記憶成績の変調が生じうるか否かを検討した。その結果、条件1・2においては特段 tEIC 適用有無による記憶成績の特段の変化は確認されなかったものの、条件3において tEIC 適用有無による記憶成績の変化の可能性が示されたので、本稿ではその一部を報告する。

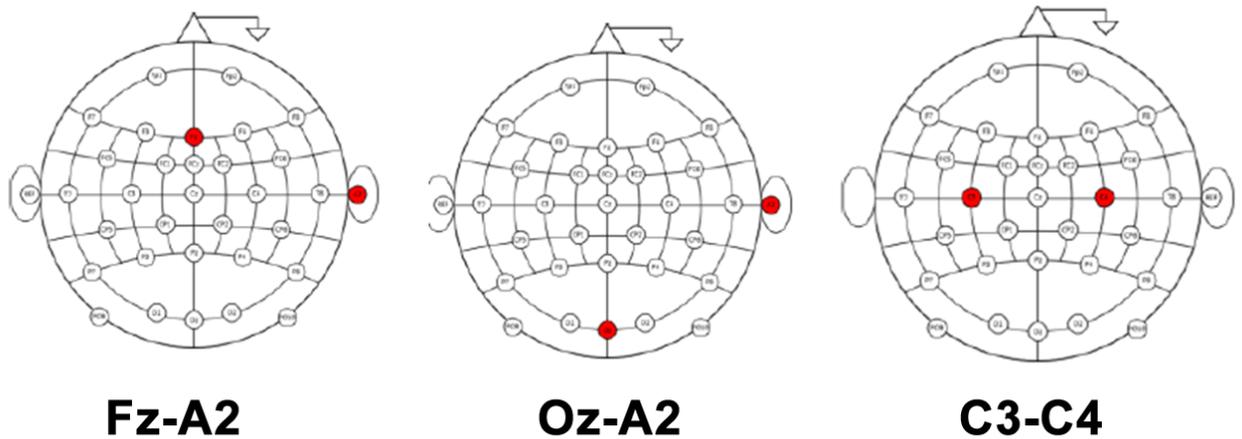


図 2 tEIC を適用する位置

条件 3 において tEIC による記憶成績の変化の有無を検討するため、記憶領域からは離れているため tEIC による影響が観察されないであろう統制位置として Fz-A2、tEIC により記憶成績に（正の）影響を与えるであろう接続として頭頂間溝を含む Oz-A2、左右半球間干渉により記憶成績に（負の）影響を与えるであろう接続として C3-C4 の 3 位置を対象とした実験を行った。その結果、事前の予測通り Fz-A2 では tEIC 適用の有無による記憶成績の変化は観察されなかったものの、半球間を跨ぐ接続の C3-C4 では記憶成績の有意な低下、頭頂間溝を含む Oz-A2 では記憶成績の向上傾向、が確認された（未発表のため図は省略）。

半球を跨ぐ C3-C4 接続における成績低下は、これまで他の課題においても同接続において成績低下・反応時間遅延が見られる傾向と合致しており、左右半球接続によって後頭から前頭への情報伝達を阻害しているためと考えられる。一方、Oz-A2 は視覚的短期記憶を担う視覚野から後部頭頂にかけての領域を広く tEIC 適用し負性抵抗によって神経伝達が行われやすくなっているために記憶成績向上傾向が見られたものと考えられる。

### 3. 共同研究者

渡邊克巳（基幹理工学部・表現工学科・教授）

眞溪歩（東京大学・情報理工学系研究科・准教授）

### 4. 研究業績

#### 4.1 学術論文

- Hagiwara, A., Hori, M., Kamagata, K., Warntjes, M., Matsuyoshi, D., Nakazawa, M., Ueda, R., Andica, C., Koshino, S., Maekawa, T., Irie, R., Takamura, T., Kumamaru, K., Abe, O., & Aoki, S. (2018). Myelin measurement: Comparison between simultaneous tissue relaxometry, magnetization transfer saturation index, and t1w/t2w ratio methods. *Scientific Reports*, 8:10554.
- Matsuyoshi, D., & Watanabe, K. (2018). Intrinsic equivalence between developmental prosopagnosia questionnaires. *bioRxiv*: 267351.

#### 4.2 総説・著書

- 松吉大輔 (印刷中) 「視覚的記憶」 日本視覚学会 (編) 『図説視覚の事典』 朝倉書店

#### 4.3 学会発表

- Matsuyoshi, D., & Watanabe, K. (March 7-9, 2019). The magical number 10: Limited but efficient human face recognition. International Convention of Psychological Science (ICPS 2019), Paris, France. [ポスター発表]
- Chen, N., Matsuyoshi, D., Watanabe, K. (August 30-September 2, 2018). Is red more attractive? Clothing color effect on female body attractiveness. International Association of Empirical Aesthetics Congress (IAEA2018), Toronto, Canada. [ポスター発表]
- Chen, N., Matsuyoshi, D., Watanabe, K. (July 13-16, 2018). Color-shape association modulates recognition efficiency. The 14th Asia-Pacific Conference on Vision (APCV 2018), Hangzhou, China. [ポスター発表]
- 松吉大輔・渡邊克巳 (2018年12月26日-27日) 「機械学習により質問回答から顔記憶成績を予測する」 第3回新学術研究領域「顔・身体学」領域会議, 沖縄県市町村自治会館 (沖縄県那覇市) [ポスター発表]
- 松吉大輔・渡邊克巳 (2018年11月30日-12月2日) 「ヒトは自身の顔記憶能力に対する洞察を持つか: 相貌失認質問紙間の本質的等価性」 日本基礎心理学会第37回大会, 専修大学 (神奈川県川崎市) [ポスター発表]

#### 4.4 学会および社会的活動

- 顔認知研究データならびに解析コードの公開 (N=1035)  
[https://github.com/dicemt/matsuyoshi\\_selfreport\\_facerecognition](https://github.com/dicemt/matsuyoshi_selfreport_facerecognition)

### 5. 研究活動の課題と展望

新たな原理に基づいて装置を開発し、その効果を検討しようとする本研究は、既存のパラダイムやツールを用いる研究と比較して格段に挑戦的な内容となっている。現在認識している課題には tEIC を設置・適用する時空間的な組み合わせの爆発がある。これに対しては、設置の空間位置は既存の研究・モデルを元にしつつ、時間窓を操作により1つずつ (尤もらしいものか順に) 効果の有無を探索するアプローチを取る。また、現状ではあわせて脳波も取得しており、測定コストが高く複数の条件で被験者からデータを取得する際のコストが大きくなっているため、脳波測定なしでの実験を検討している。