

平成 30 年 6 月 20 日現在

機関番号：13904

研究種目：基盤研究(A) (一般)

研究期間：2014～2017

課題番号：26240043

研究課題名(和文) 多次元脳波データからの知覚・認知・感性類似度情報の抽出

研究課題名(英文) Decoding perceptual and cognitive information from multi-dimensional EEG data

研究代表者

中内 茂樹 (Shigeki, Nakauchi)

豊橋技術科学大学・工学(系)研究科(研究院)・教授

研究者番号：00252320

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 32,400,000円

研究成果の概要(和文)：本研究では、これまでの情報技術がその扱いを苦手としている視認性や画像理解度、嗜好や魅力などの感性価値判断など、知覚や感性情報を脳波から抽出し、それを新たな情報処理技術へ展開することを目的とした。脳波、SSVEP、瞳孔径を用いて、ひらめき、視認性、明るさ知覚、顔らしさ知覚などの感性情報抽出に成功した。

研究成果の概要(英文)：In this research, we extract perception and sensibility information such as visibility, image comprehension degree, sensibility value judgment such as taste and appeal, etc. from brain waves. Using EEG, SSVEP, pupil diameter, we succeeded in extracting sensibility information such as inspiration, visibility, brightness perception, face likeness perception and so on.

研究分野：認知神経科学

キーワード：脳情報デコーディング 認知状態推定 感性価値判断 脳波 瞳孔 SSVEP

## 1. 研究開始当初の背景

情報化社会を支える様々な技術を、情報利用の立場から捉え直す必要性、すなわち、認知、理解、意思決定、行動などを支える脳＝人間に対する科学的理解に立脚した情報技術という新しいパラダイムへの転換が強く求められている。この流れを最も象徴するのが、fMRI 等により計測された脳活動に対するデコーディング技術である。ブレークスルーとなった Kamitani & Tong (2005)を発端とし、最近ではより詳細でリッチな情報、例えば脳活動(Bold 信号)による動画情報の再構成が試みられている (Nishimoto et al., 2011)。こうした脳情報デコーディング技術の発展によって、まさしく認知状態や感性情報などの脳情報に基づく新たなコミュニケーション技術は、もはや夢物語ではなく、実現可能な基盤技術として認知されるようになった。例えば、この分野のトップジャーナル (Neural Network 誌) における “Communication and Brain” に関する特集号 (2014 年) や、また産学官による「応用脳科学コンソーシアム」はその象徴である。

本研究課題は、高時間分解能、計測の容易さ・可搬性などの側面から、特に実問題への応用が期待されている脳波に着目し、申請者らのこれまでの実績 (基盤(B)H19～21年; 基盤(B)H22～25年) を基盤として、脳情報デコーディング手法をさらに深化・発展させることを目的とする。上述の fMRI による知覚情報の再構成はまさしくセンセーショナルな出来事であるが、実問題の解決というよりも、むしろ脳情報デコーディング技術の進歩の象徴として捉えることができよう。

## 2. 研究の目的

本研究では、これまでの情報技術がその扱いを苦手としている視認性や画像理解度、嗜好や魅力などの感性価値判断など、知覚や感性情報を脳波から抽出し、それを新たな情報

処理技術へ展開することを目的とする。

## 3. 研究の方法

本研究では、様々な階層レベルの脳情報を抽出するために、知覚過程を反映した「視認性」、記憶や認知過程を反映した「画像理解度」、魅力や情動などの感性過程を反映した「感性的価値判断」をターゲット課題とした視覚実験をそれぞれ実施し、知覚・認知パフォーマンスデータあるいは感性評価データを計測する。また、それぞれの実験で用いた視覚刺激の物理的な情報として、画像特徴量 (例えば、輝度や色に関する画像統計量や空間周波数特性など) についても分析する。脳波計測実験では、これらの実験と同じ刺激、デザインに従い、課題遂行中の被験者の脳波を計測する。計測したデータを計測チャンネル毎の時系列データとして蓄積するとともに、これまでの研究から知覚・認知状態を反映する可能性が高いと考えられる事象関連電位、時間周波数表現の他、計測チャンネル間の時空間相関などの表現変換も行う。

## 4. 研究成果

### (1) ひらめきと脳波

ヒトがどのように視覚的情報を理解しているかの脳システムの理解と共に、ヒトの理解度を脳活動から抽出する技術の開発を目的として、二値化画像を用いて、脳のあいまい状態の研究をさらに進めて、答えがわかっていたときに答えを見せられたときの脳状態と、答えがわからなかったときに、答えを見せられたときの脳状態を比較して、「気づき」がどのように脳に表象されているかを脳波の周波数解析および信号源解析を用いて調べた。その結果、「気づき」への状態移行が、頭頂後頭におけるベータ帯域の活動と関係していることを明らかにした。

### (2) 視認性と SSVEP

本研究では、様々な階層レベルの脳情報を抽出するために、知覚過程を反映した「視

認性」をターゲット課題とした視覚実験と脳波実験をそれぞれ実施し、知覚・認知パフォーマンスデータを計測した。

まず、「視認性」に関わる重要な能力である有効視野に着目して、行動実験と脳波実験をそれぞれ行った。行動実験として、被験者の有効視野内の時間特性を測るため、ごく短時間で呈示される文字の種類とマーカーの位置を応答するよう被験者に教示した。そして、明滅の ON/OFF の比率を duty 比として、行動実験の提示時間の条件と対応させた明滅条件の刺激を用いて、SSVEP を発生させた。結果として 行動実験スコアと SSVEP パワーの間には有意な相関を確認できた。このように、行動実験スコアと SSVEP パワーの間には、有効視野内における時間特性が優れている被験者ほど行動実験タスクに対する SSVEP パワーは小さくなる関係が存在していることが分かった。

次に、複数物体への注意状態の脳波実験を行った。注意の抽出方法として、点滅刺激によって誘発される脳波成分である SSVEP を利用した。異なる周波数で明滅する 3 つの物体が時計回りに回転する刺激を見ている時の被験者の脳波から、被験者が 3 つのうちどの 2 つに注意を向けているかを推定可能であった。これらのことから、SSVEP により複数の移動対象の注意状態を抽出可能であり、SSVEP による注意対象の判別が可能であることが示唆された。

### (3) 明るさ知覚と SSVEP

本研究では、神経学的な手法から発光知覚に着目し、その脳内処理プロセスを解明することを目的として実験を行った。具体的には、明るさ知覚の変化のみで脳波成分 (SSVEP) と瞳孔反応に反映されるかを調査した。物体が発光しているように感じるといった知覚をグレア錯視と呼ばれる明るさ感の増強・発光錯視を使用することで実現し、脳波と瞳孔

反応と組み合わせた実験デザインによって低次と高次による処理を比較した。グレア錯視を視覚刺激としたときの脳波計測の結果は、グレア錯視条件では全ての輝度コントラスト条件では同程度の知覚輝度増強が確認できたにも関わらず、SSVEP 振幅は高コントラスト条件においてのみ有意に減少した。グレア錯視は中央輝度を変化させることによって、知覚カテゴリが白から輝き (発光知覚) へと変化する (Tamura et al., 2016)。つまり、色表現モードの遷移が知覚コントラストの減少を生じさせ SSVEP に影響した可能性がある。すなわち、発光知覚といった認知的な要素だけで得られた SSVEP は変調されたものであると考える。また、グレア錯視を見た時の瞳孔は SSVEP で差が見られた最も高い輝度条件でのみコントロールに比べて縮瞳していた。これは前述したような認知的な要素が最も高い輝度条件でのみ生じたといった仮説を支持するものである。瞳孔は明るさ感が増すことによって変化するのではなく、まぶしさや発光知覚といった認知的な要因に対し、より高次の皮質の影響を受けに変調されると考えられる。以上から、視覚野の低次で明るさの増強とは異なる神経経路での応答が高次皮質からのフィードバックを反映して変調されたことを示す重要な証拠となりうることを示唆された。

### (4) 顔らしさと脳波

本研究では、顔らしい物体を見たときの行動と脳活動の関連を調査し、顔らしさ認知がどの視覚処理段階で生じるかを明らかにした。ヒトの顔の視覚処理は 3 段階に分かれており、初めに物体の識別をおおまかに行う初期の視覚処理が行われ、顔であった場合にその顔のパーツ (目や鼻、口) の処理と輪郭とパーツの配置の処理が行われる。その後、表情や個人の識別が行われる。この 3 段階の処理時の活動と実際の認知の結果の関連を調査し、顔らしさの認知が視覚処理の初期段

階で既に行われていることを明らかにした。この処理は物体を見てから約 100ms という早さで行われ、我々が物体を意識する前より既に顔らしさの処理が行われていることが示唆される。この研究の成果は「顔らしさ」という顔の情報と、物体という情報の 2 つの情報を持つ状態をどのようにヒトが認知し、切り分けるのかというメカニズムの解明の手がかりとなったと考えられる。

#### 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 9 件)

1. 佐藤文昭, 鈴木雄太, 中内茂樹, 南哲人, 定常状態視覚誘発電位と瞳孔計測を用いた知覚交替情報の抽出に関する研究, 電子情報通信学会論文誌, Vol.J101-D, No.3, pp.607-614, (2018)
2. 二瓶裕司, 南哲人, 中内茂樹, パレイドリア現象における瞳孔径応答, 日本感性工学会論文誌, Vol.17, No.1, pp.169-175 doi: 10.5057/jjske.TJSKE-D-17-00051, (2017)
3. Higashi, H., Minami, T., Nakauchi, S., Variation in Event-Related Potentials by State Transitions, Frontiers Human Neuroscience, Vol.11(75), doi:10.3389/fnhum.2017.0007 (2017)
4. Nakajima, K., Minami, T., Nakauchi, S., Interaction between facial expression and color, Scientific Reports, Article number: 41019, doi:10.1038/srep41019, (2017)
5. 新海崇紘, 南哲人, 中内茂樹, 定常状態視覚誘発電位による複数移動対象への注意状態の推定, 日本感性工学会論文誌, Vol.15 (1), 特集「第 17 回大会」, pp.225-231 (2016)
6. Minami, T., Nakajima, K., Changvisommid, L., Nakauchi, S., The effects of facial color and inversion on the N170 event-related potential (ERP) component, Neuroscience, Vol.311, pp.341-348, doi: 10.1016/j.neuroscience.2015.10.019 (2015)
7. Nakajima, K., Minami, T., Nakauchi, S., Effects of facial color on the subliminal processing of fearful faces, Neuroscience, Vol.310, pp.472-485, doi: 10.1016/j.neuroscience.2015.09.059 (2015)
8. Yokota, Y., Minami, T., Naruse, Y., Nakauchi, S., Neural processes in pseudo perceptual rivalry: An ERP and time-frequency approach, Neuroscience, Vol.271, No.20, pp.35-44, doi: 10.1016/j.neuroscience.2014.04.015 (2014/6)
9. Nakajima, K., Minami, T., Tanabe, H., Sadato, N., Nakauchi, S., Facial color processing in the face-selective regions: an fMRI study, Human Brain Mapping, Vol.35, No.9, pp.4958-4964, doi: 10.1002/hbm.22535 (2014/4)

[学会発表](計 36 件)

1. Sato, F., Laeng, B., Nakauchi, S., Minami, T., Pupil dilation during perception of the Necker cube reflects the viewing-from-above bias., The European Conference on Visual Perception (ECCV2017, Berlin, Germany), p.10, (2017/8/27-31:8/28;Poster)
2. Suzuki, Y., Minami, T., Nakauchi, S., Pupil dilation reveals the implicit prior processing of the insight to the hidden image, Vision Sciences Society 17th Annual Meeting (VSS2017, St. Pete Beach, USA), p.54, (2017/5/19-25: 5/21; poster)
3. 中古賀 理, 東 広志, 村松潤哉, 中内茂樹, 南哲人, 瞳孔計測を用いたヒトの情動状態の評価, ヒューマンインフォメーション研究会(HIP), p.93-96 (2017/10/23-24;10/24 ; 京都テルサ; 口頭)
4. 龍 進吾, 東 広志, 村松潤哉, 中内茂樹, 南哲人, 情動誘発画像を用いた EEG・NIRS 信号の分類, ヒューマンインフォメーション研究会(HIP), p.39-42 (2017/10/23-24;10/23 ; 京都テルサ; 口頭)
5. 中島健太, 南哲人, 東 広志, 中内茂樹, 周辺視野における刺激周波数と SSVEP 応答の関係, ヒューマンインフォメーション研究会(HIP), p.35-38 (2017/10/23-24;10/23 ; 京都テルサ; 口頭)
6. 中古賀 理, 中内茂樹, 南哲人, 瞳孔計測を用いた視・聴覚の選択的注意と情動の関係, 日本心理学会第 81 回大会, p.123 (2017/9/20-22;9/21; 久留米大学; ポスター)
7. 二瓶裕司, 南哲人, 中内茂樹, パレイドリア現象における瞳孔径応答, 第 19 回日本感性工学会大会, p.

- (2017/9/11-13;9/11;筑波大学東京キャンパス;口頭)
8. 佐藤文昭, Bruno Laeng, 中内茂樹, 南哲人, 多義図形における知覚状態と瞳孔反応の調査(Pupil dilation during perception of a bistable figure reflects familiarity with perspective), 第40回日本神経科学大会, p.167 (2017/7/20-23;7/20;幕張メッセ;ポスター)
  9. Hirose, H., Nakauchi, S., Quantitative characterization of color vision using steady state visual evoked potentials, The European Conference on Visual Perception(ECVP2016, Barcelona, Spain), p.44, (2016/8/28-9/1:8/31;Poster)
  10. Nakakoga, S., Nihei, Y., Nakauchi, S., Minami, T., Pupillary response reflects the effect of facial color on expression, The European Conference on Visual Perception (ECVP2016, Barcelona, Spain), p.57, (2016/8/28-9/1:9/1; Poster)
  11. Nihei, Y., Minami, T., Nakauchi, S., Pupillary response to face-like processing, The European Conference on Visual Perception (ECVP2016, Barcelona, Spain), p.58, (2016/8/28-9/1:9/1;Poster)
  12. Ryu, S., Higashi, H., Tanaka, T., Nakauchi, S., Minami, T., Spatial smoothing of canonical correlation analysis for steady-state visual evoked potential based brain machine interface, Engineering of medicine and Biology Society (EMBC2016, Orland, USA), p.70 (2016/8/16-20:8/17; Poster)
  13. Nakauchi S., Perception of Materials and Surface Quality by Human Vision(Keynote), The 2016 International Conference on Advanced Informatics: Concepts, Theory and Application (ICAICTA2016), (2016/8/16-19:; 口頭)
  14. Suzuki, Y., Minami, T., Nakauchi, S., Pupil response is modulated by the recognition state in the hidden images, 20th annual meeting of the Association for the Scientific Study of Consciousness(ASSC-20th, Buenos Aires, Argentina), (2016/6/14-18:;Poster)
  15. Suzuki, Y., Shinkai, T., Higashi, H., Minami, T., Nakauchi, S., Mismatch between perception and neural response in glare illusion, Vision Sciences Society 16th Annual Meeting (VSS2016, St. Pete Beach, USA), (2016/5/13-18: 5/16; poster)
  16. 竹林優樹, 南哲人, 中内茂樹, 顔モーフ刺激が定常状態視覚誘発電位に与える影響, 日本視覚学会 2016 年夏季大会, pp.117-118 (2016/8/17-19:8/17; 朱鷺メッセ:新潟コンベンションセンター; ポスター)
  17. 中古賀理, 二瓶裕司, 中内茂樹, 南哲人, 低解像度顔刺激の表情認知における顔色の役割, 日本視覚学会 2016 年夏季大会, p.117 (2016/8/17-19:8/17; 朱鷺メッセ:新潟コンベンションセンター; ポスター)
  18. 二瓶裕司, 南哲人, 中内茂樹, 顔らしさ処理における瞳孔径応答, 日本視覚学会 2016 年夏季大会, p.117 (2016/8/17-19:8/17; 朱鷺メッセ:新潟コンベンションセンター; ポスター)
  19. 龍進吾, 東広志, 中内茂樹, 南哲人, 電極配置情報を利用した正準相関分析による定常状態視覚誘発電位の識別, 第39回日本神経科学大会, (2016/7/20-22;7/22; パシフィコ横浜; ポスター)
  20. 中古賀理, 二瓶裕司, 中内茂樹, 南哲人, 顔色が低解像度顔刺激における表情認知に及ぼす影響 ~眼球運動による解析~, 第39回日本神経科学大会, p., (2016/7/20-22;7/20; パシフィコ横浜; ポスター)
  21. Sasaki, G., Minami, T., Nakauchi, S., SSVEP modulation is caused by UFOV performance, Annual Conference on Clinical Neurophysiology and NeuroImaging 2015 - Joint Meeting of ECNS, ISNIP and ISBET (Munich, Germany), p.8, (2015/9/9-13: 9/10; poster)
  22. Suzuki, Y., Shinkai, T., Minami, T., Nakauchi, S., Investigation of brightness perception with glare illusion by SSVEP, The European Conference on Visual Perception (ECVP2015, Liverpool, UK), p.25, (2015/8/23-27: 8/25; poster)
  23. Nihei, Y., Minami, T., Nakauchi, S., An optimum stimulation method in SSVEP-Based researches and BCIs, The European Conference on Visual Perception (ECVP2015, Liverpool, UK), p.16, (2015/8/23-27: 8/24; poster)
  24. Shinkai, T., Minami, T., Nakauchi, S., Influence of crossing hemifields in Multiple Object Tracking, The European Conference on Visual Perception (ECVP2015, Liverpool, UK), p.24, (2015/8/23-27: 8/25; poster)
  25. Nakajima, K., Minami, T., Nakauchi, S., Face and background colour effect

- on facial expression perception, The European Conference on Visual Perception (EVP2015, Liverpool, UK), p.14, (2015/8/23-27: 8/24; poster)
26. Nakauchi, S., Minami, T., Extracting the attentional status via SSVEPs: The cases of tracking the multiple moving objects and estimating the useful field of view (Invited), The 11th Asia-Pacific Conference on Vision (APCV2015, Nanyang Executive Centre, NTU, Singapore), (2015/7/10-12: 7/12; 口頭)
  27. 中島加恵, 南哲人, 中内茂樹, 表情知覚に及ぼす顔色の効果:背景色の効果と比較して, 第20回日本顔学会大会フォーラム顔学2015, p.133 (2015/9/12-13:9/12; 中京大学; ポスター)
  28. 新海崇紘, 南哲人, 中内茂樹, 定常状態視覚誘発電位による複数移動対象への注意状態の推定, 第17回日本感性工学会大会, p.15, (2015/9/1-3: 9/1; 文化学園大学 新都心キャンパス; 口頭)
  29. Sasaki, G., Minami, T., Sakai, H., Nakauchi, S., UFOV performance is reflected in the modulation of SSVEP, 第38回日本神経科学大会, p.167, (2015/7/28-31: 7/28; 神戸国際会議場; ポスター)
  30. Takebayashi, Y., Nihei, Y., Minami, T., Nakauchi, S., Effects of facial color and expression in the face processing: A steady state visual evoked potentials study, 第38回日本神経科学大会, p.167, (2015/7/28-31: 7/28; 神戸国際会議場; ポスター)
  31. Suzuki, Y., Shinkai, T., Minami, T., Nakauchi, S., Effect of the brightness enhancement with glare illusion on the neural activity, 第38回日本神経科学大会, p.167, (2015/7/28-31: 7/28; 神戸国際会議場; ポスター)
  32. Nihei, Y., Minami, T., Nakauchi, S., Brain activity related to the judgment of the face-likeness: Correlation between EEG and face-like evaluation, International Conference of Global Network for Innovative Technology(Ignite2014, Penang, Malaysia), pp.26-31 (2014/12/15-16, 口頭)
  33. Shinkai, T., Minami, T., Nakauchi, S., Extraction of the covert divided attention by steady-state visual evoked potential, Association for the Scientific Study of Consciousness(ASSC18, Brisbane, Australia), p.67 (2014/7/16-19, Poster)
  34. Azuma, K., Minami, T., Nakauchi, S., SSVEP is modulated by dynamical change of object recognition state, Association for the Scientific Study of Consciousness(ASSC18, Brisbane, Australia), p.66 (2014/7/16-19, Poster)
  35. 二瓶裕司, 南哲人, 中内茂樹, 顔らしさ判断を反映する脳活動:脳波と顔らしさ評定値の相関, 第37回神経科学学会, p.442(2014/9/11-13:9/13;パシフィコ横浜;ポスター)
  36. 新海崇紘, 南哲人, 中内茂樹, 定常状態視覚誘発電位による複数移動対象の追跡, 第37回神経科学学会, p.420(2014/9/11-13:9/12;パシフィコ横浜;ポスター)
6. 研究組織
- (1)研究代表者  
中内 茂樹 (NAKAUCHI SHIGEKI)  
豊橋技術科学大学・大学院工学研究科・教授  
研究者番号:00252320
  - (2)研究分担者  
北崎充晃 (KITAZAKI MICHITERU)  
豊橋技術科学大学・大学院工学研究科・教授  
研究者番号:90292739
- 南 哲人 (TETSUTO MINAMI)  
豊橋技術科学大学・エレクトロニクス先端融合研究所・准教授  
研究者番号: 70415842
- 東 広志 (HIROSHI HIGASHI)  
豊橋技術科学大学・大学院工学研究科・助教  
研究者番号:70734474