

科学研究費助成事業（科学研究費補助金）研究成果報告書

平成24年 5月31日現在

機関番号：82401

研究種目：若手研究(B)

研究期間：2010～2011

課題番号：22700226

研究課題名（和文） 感性BMI 一観察している情動の脳内表現とその復号化一

研究課題名（英文） BMI for recognized emotion

研究代表者

長坂 泰勇（NAGASAKA YASUO）

独立行政法人理化学研究所・適応知性研究チーム・研究員

研究者番号：30339593

研究成果の概要（和文）：

本研究の結果から、先行提示される映像の種類によって、後続提示される情動映像への各脳領域の機能的な結合が変化することが示された。すなわち先行する社会的な文脈が後の刺激映像の認識に影響を与えることを脳活動から明らかにした。したがって情動を認識する際の脳の特異的な活動を推定パラメータとすることで、本研究の最終目標である感性 BMI 構築の足掛かりを得るに至った。

研究成果の概要（英文）：

The results in the present study showed that functional connectivity observed in monkeys' brains during watching other monkey's emotional expression (post-stimulus) was significantly changed depending on the stimulus (pre-stimulus) presented before the emotional expression. Thus, social context within the pre-stimulus affected the recognition of emotional expression presented in the post-stimulus; this process was found in different functional connectivity in the brain. Therefore, by applying the analytical methods and the results in the present study to construct a mathematical model, we would develop a BMI for emotional recognition, which is our final goal of the present project.

交付決定額

（金額単位：円）

	直接経費	間接経費	合計
2010年度	2,600,000	780,000	3,380,000
2011年度	500,000	150,000	650,000
年度			
年度			
年度			
総計	3,100,000	930,000	4,030,000

研究分野：総合領域 脳神経科学

科研費の分科・細目：情報学・感性情報学・ソフトコンピューティング

キーワード：情動認識 Brain-Machine Interface 多次元神経情報解析

1. 研究開始当初の背景

社会的な感情の認知は複雑な神経基盤の

もとに成立し、さまざまな脳領域間のネットワークによって構成される。近年ではサル

電気生理学的研究において、脳の様々な領域（頭頂皮質、視床枕、側頭野、前頭連合野）が社会的な情報を符号化していることが示されている（Fujii et al., 2007, Nishijo et al., 2007; Hoffman, 2007; Hosokawa & Watanabe 2007）。特に扁桃体、前頭眼窩野、前帯状皮質は単に情動のみを処理しているのではなく、情動行動の質や情動行動を表出している対象を符号化している（Kuraoka & Nakamura, 2006）。すなわちこれまで情動の発現・認知の働きのみが注目されてきたいくつかの脳領域が実際には異なるモダリティの情報を含む、より抽象的な情動を統合的に符号化している可能性が推測される（Whalen et al., 2001）。

日常の観察からも情動表出やその認知においてその抽象的な符号化を窺い知ることができる。たとえばサルは他個体の怒りや恐怖に伴う発声にすばやく反応することが散見される。他方、他個体の怒りや恐怖の原因が自己に無関係である状況では、速やかに注視を止め、中断した行動を再び継続する。すなわち情動認知は表出された情動の物理的な特性（表情や音声）にのみ帰するものではなく、個体を取巻く環境に大きく影響されていることが示唆される。そのような抽象度の高い情動の認知または発現は、その情報の多様性から複数の脳関連領域との相互連絡が不可欠である。たとえば本研究計画を立案するために行った準備研究(Nagasaka et al, 2008)によれば、サル脳複数領域のニューロン群が、各情動あるいは社会的文脈の付与について条件選択性を示すことが明らかになった。さらにそれらの細胞の中には、2つ以上の情動・社会的文脈カテゴリーに対し重複して反応する細胞はほとんど見られず、特定の情動-社会的文脈が組み合わされた映像に対して選択的に反応した。したがって本研究計画で推測している、抽象度の高い情報が複数脳領域において処理されていることの一部が明らかにされた。

2. 研究の目的

扁桃体、前頭眼窩野、前帯状皮質は解剖学的な関連をもっており、社会行動、特に情動に関わる行動に、これらの脳領域が機能的に密接な関係を保ち一つのシステムとして駆動していることが容易に推測される。したがってこれまで個々に検討されてきた各領域の機能特性を同時に同一の課題を使って検討することが急務な課題である。この課題を達成するためには、単一細胞記録の結果を寄せ集めていただけでは限界がある。そこで本研究課題では全頭を ECoG 電極で覆い、さらに ECoG 電極で迫ることのできない領域には単一細胞記録用電極を慢性的に留置して LFP を記録し、脳活動を一網打尽に記録

する。

また先行研究では刺激統制に固執するあまり、抽象度の高い刺激を用意することができなかった。よって記録された脳の活動が刺激の物理的特性に依拠しているのか（刺激選択性）、観察者の情動の変化を捉えていたものなのか明確になっていない。また一方で、情動表出そのものを切り出して刺激として使用しており、自然環境で観察される状態とはかけ離れた状況で実験を行ってきた。そこで本研究課題では情動刺激のパターンを以前に比べ大幅に増やし、一方で社会的文脈を刺激に付加することで、抽象度が高くしかも自然に近い情動刺激の呈示を可能にする。他者の情動の認知や自己の情動の発現は、これまで扁桃体を中心に主に破壊実験や脳機能画像法によって検討されてきた。しかしそれらの成果は、脳損傷による情動反応の変化や、「情動刺激」として提示された「単純化された」刺激に対する反応として記述されるにとどまっている。情動は本来、より自然な状況で広範且つ詳細に検討されるべきダイナミックな認知活動である。そこで本研究では最新の技術を駆使することで、個体を取り巻く社会（環境）を広く統制し、情動に関わる複数の脳領域の活動を検討する。

ところで脳の複数領域の統合過程を明らかにするとき、これまでは各領域の反応の時空間的な相関を検討することが常であった。しかし今日では相関だけではなくその因果関係をも明らかにすることが要請されている。そこで本研究では、記録された脳活動から観察していた刺激映像を推定するモデルを構築し、そのモデルの各電極に対するウェイトを時空間的に検討することで領域間の反応の時間的推移を明らかにし、領域間の因果関係を推測する。したがってこのモデルがどの程度実際の脳の統合過程と類似しているのかが問題となる。本課題ではこの問題を解決するために複数個体を被験体として実験を行い、それぞれの個体ごとにモデルを構築する。その個体ごとのモデルを比較することで、モデルの一般化を試みる。さらに構築されたそれぞれのモデルを使用して、モデル構築に用いた同一個体についてリアルタイム予測の可否を検討する。すなわち情動のブレイン-マシンインターフェース(BMI)を形成する。これまでの BMI は、主に感覚情報や運動情報を取り扱ってきた。近年になりヒト ECoG を用いて顔の性別・感情を off-line で復号化する研究(Tsuchiya et al., 2008)や、ヒト MRI で情動的な音声情報の認知を復号化する研究等 (Ethofer et al. 2009) が発表されたが、これも上記の脳の刺激選択性と抽象度の問題を十分に克服するに至っていない。また BMI が要求する即時性についても、まったく解決されていない。本課題ではこれ

らの問題を解決しつつ、さらに BMI の次のステップである情動（感性情報）の抽出、感性 BMI の構築を目指す。

3. 研究の方法

本研究では主に3つの課題を行うことを計画した。本研究課題では脳複数領域から脳活動を記録するため、皮質においては皮質脳波（ECoG）計測手技によって、脳深部領域においては単一細胞記録手技によって記録する。本課題の目的には二つの手技を同一個体内で併用する必要があるが、その技術は未だ確立されていない。したがって課題1は本研究課題達成のための基盤となる記録技術の確立である。課題1と並行して映像観察実験を実施し、その際の被験個体の脳活動を記録する（課題2-1）。また記録された脳活動をもとに被験個体の観察していた刺激動画を推定するモデルを構築する（課題2-2）。予測モデル構築後、再度映像観察実験を行い、予測モデルを on-line で利用し、サルが観察している刺激動画のリアルタイム予測の可否を検討する（課題3）

課題1) 皮質脳波計測および単一細胞記録の併用のための記録技術の確立

課題2-1) 社会的文脈中の情動を認識中のサル複数脳領域の活動の記録

申請者はこれまで単一細胞記録用電極を単一個体の脳に同時に40本以上挿入し慢性的な記録を行った経験を持ち、さらに所属研究室では6か月以上安定記録可能な64チャンネルECoGの開発に成功している。したがって課題1)は、ECoG電極のデザインおよびその埋設手技について検討すればよく、短期間で終了すると思われたが、被験動物にかなりの負担を生じさせることが明らかになったので、脳の片半球をECoG電極で覆うのみで課題を行った。

実際の実験場面では、ヘッドフリーアイトラッカー（HFET）とモーションキャプチャスーツを装着したニホンザルを頭部、胸部、上肢を自由に動かせるようにチェアに固定し、サル全面に呈示される様々な映像刺激を観察させた。刺激として用いられる映像には6条件設定した。これらはサルの全身およびその感情表出を誘導している社会的文脈とともに撮影された映像である。社会的文脈とはヒトや他個体のサルとの相互交渉場面であり、情動の表出が何故、誰に向かって生じたのか表現された。2.5秒間のランダムノイズ画面の後に1.5秒間、社会的文脈刺激が呈示される（pre-stimulus）。その後、サルの情動表出刺激（post-stimulus）を3秒間提示した。刺激映像はサル前面に設置されたビデオモニター上に投影されるが、モニター上に投影された同種サルを観察しているサルが、

実際のサルを観察している場合と同様な行動変容を生じることが確認されており（Nagasaka et al., 2008）、ビデオ映像の有用性は既実証されている。

ところで同様な課題を用いた先行研究では、あらかじめサルに凝視点を凝視する課題を訓練し、その凝視点を呈示する刺激中に付加することで、サルが刺激を観察していることを保証していた。一方で凝視課題自体が、刺激によって生起するはずの本来の活動を低減させる可能性も指摘されている（Bell, et al., 2003）。そこで本研究課題ではHFETを導入し、サルの観察行動を記録することで凝視課題を排除し、この問題点を克服した。なお本研究では2頭のニホンザルを被験個体とし、実験の遂行には研究室所属の技術補佐員の支援を受けた。

課題2-2) サルが観察していた刺激動画を推定するモデルの構築

課題3) 観察刺激のリアルタイム予測と感性BMIの構築

課題2-2)を達成するために、まず課題2-1)で収録された脳活動データ（皮質電極からのECoG）を刺激条件、凝視点等によって分類し、それぞれの変数を取捨選択しながら、刺激動画を推定するモデルを構築した。このモデル構築には申請者所属研究室のZenas C. Chao博士から技術的な協力を得て議論を進めている。ただし後続する課題3)では、観察刺激のリアルタイム予測を実現させなければならないため、解析がoff-lineで遂行される課題2-2)においても、リアルタイムで実現可能な解析法を確立しなければならない。このために推定の精度をある程度にとどめる（犠牲にする）ことによって、計算時間の短いアルゴリズムを構築している。

現在は、課題2-2)のモデル構築に予想以上の時間がかかっており、課題2-2)に設定したリアルタイム予測が可能なモデルを構築するに至っていない。しかし、このモデルが構築できた後には、リアルタイム予測可能モデルの構築も可能となると考えられる。その後、課題3)のリアルタイム予測実験へと進行する予定である。

4. 研究成果

実験から得られたデータを解析したところ、信号の振幅をデータとして用いた場合、見ている刺激映像の予測精度は、ある実験では80%（チャンスレベルは33%）以上に達していた。一方で、感情や社会的文脈といった高次認知活動については、予測精度はチャンスレベルと同等であった。そこで各電極間のGranger因果を計算し映像刺激ごとに比較したところ、感情や社会的文脈の条件間で有意な差が検出された。これらの実験から、(1)

ビデオ映像観察中のサル脳の視覚応答や聴覚応答、すなわち初期知覚過程に関しては、いくつかの電極から得られた ECoG 信号の振幅のみによって、検討が可能であることが示唆された。一方 (2) 感情や社会的な文脈の認知といったより高次の認知機能については、振幅の変化からは検討が不可能であり、複数の電極間 (脳領域間) の機能的関係性の変化によって捉えることが可能であることが示唆された。そこで実験計画を練り直し、実験とデータ解析を繰り返しながら、最終的な実験課題および実験刺激を設定した。

このような試行錯誤のもと、最終的には社会的な文脈を付加した映像 A (怒りまたは中立のサル、人、または相手なし) の後に、恐怖または中立を表出するサルの映像 B を提示し、その映像刺激を観察中のサル 3 頭の脳から 128ch-ECoG データを記録した。なお解析には、映像 B 提示中の脳活動のみを使用し、映像 A の種類でそれを比較した。これによって視・聴覚刺激の違いによって直接的に生じる脳活動の変化を排除し、直前に観察される映像 A の効果 (すなわち社会的情動文脈) を検討することが可能である。これまでの感情認知研究のほとんどは、視聴覚情報による脳活動の変化と感情認知による脳活動の変化とを明確にすることはできなかった。本課題によってその問題点を克服できたことは、大変意義がある。

128ch-ECoG データは膨大であり、特に多数の電極間の機能的な結合を検討するためには、新たな解析手法の開発が必要となった。そこで、その解析手法の開発に重点をおいて進められた。最終的な解析手法は以下の通りである。まず独立主成分分析によってデータの次元を圧縮した。これによって次元を圧縮し、また共線性情報を排除でき、さらに重要な時空間情報 (信号の周波数と電極位置) の抽出が可能となった。次に有向伝達関数 (DTF) を用いることによって、当課題に関係のある皮質領野を同定した。すなわち、記録電極 (または当該脳部位) を独立に扱うのではなく、機能的関係性 (functional connectivity) を単位として、そのネットワークが条件に伴いどのように変化していったのか、その時間-条件的変遷を検討した。これまでも多くの実験で多電極計測が利用されてきたが、その解析法は端緒にすぎたばかりである。その解析法を本研究で確立したことは今後の研究を推進する上で大変重要な成果である。本研究の結果から、(3) 観察された社会的文脈の違いによって異なる脳ネットワークが賦活することが明らかになった。さらに後続提示される全く同じ刺激に対するネットワークが、先行提示される社会的文脈の違いによって、全く変化することを確認するに至った。すなわち中立の映像 A が

先行するときと比べ、怒りの映像 A が先行する場合に、後続映像 B 観察中の脳の各領域に強い機能的な結合が見られることが示された。これにより先行する社会的な文脈が後の刺激映像の認知に影響を与えることを脳活動から明らかにした。また (4) 時間-周波数解析の結果、主に 2 つのパターンが検出された。すなわち、20Hz 付近で見られるベータ波と、80Hz 付近で見られる高ガンマ波が特徴的に見られた。たとえばベータ波においては、社会的文脈の条件によらず pre-stimulus 提示中に観察されたが、post-stimulus 提示中には恐怖の感情が提示中のみ観察された。またこのような傾向は高ガンマ波においても同様であったが、ベータ波が比較的持続する状態に対して、高ガンマ派は短時間観察された。

今後、情動を認識する際のこのような脳の特異的な活動を推定パラメータとすることで、本研究の最終目標である感性 BMI 構築が、可能であり、本研究ではその足掛かりを得るに至った。

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 0 件)

[学会発表] (計 2 件)

① Zenas C Chao, Yasuo Nagasaka, and Naotaka Fujii (2012) Mining intercortical connectivity underlying social modulation, The Japanese Neuroscience Society Annual meeting (Nagoya), 2012. 09. 18-21

② Zenas C Chao, Yasuo Nagasaka, and Naotaka Fujii (2012) Mining intercortical connectivity underlying social modulation, Society for neuroscience annual meeting (San Diego), 2012. 10. 13-17.

[図書] (計 1 件)

① Book chapter:

Zenas C Chao and Naotaka Fujii (in press) Mining spatio-spectro-temporal cortical dynamics: a guideline for offline and online electrocorticographic analyses
Subtitle: Mining cortical dynamics from ECoG data.

[産業財産権]

○出願状況 (計 0 件)

○取得状況（計0件）

〔その他〕

本研究で得られた一部のデータは、実験の説明と共に、<http://neurotycho.org/>にて公開されている。

6. 研究組織

(1) 研究代表者

長坂 泰勇 (NAGASAKA YASUO)

独立行政法人理化学研究所・適応知性研究チーム・研究員

研究者番号：30339593

(2) 研究協力者

Zenas C. Chao (Zenas C. Chao)

独立行政法人理化学研究所・適応知性研究チーム・研究員

研究者番号：30532113