

**科学研究費助成事業 研究成果報告書**

平成 29 年 9 月 3 日現在

機関番号：34310

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2013～2016

課題番号：25330272

研究課題名(和文) fNIRSによる新情報伝達法の研究

研究課題名(英文) Study on new information communication method using fNIRS

研究代表者

横内 久猛 (Yokouchi, Hisatake)

同志社大学・研究開発推進機構・嘱託研究員

研究者番号：00512732

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,800,000円

研究成果の概要(和文)：本研究では、非侵襲脳機能イメージング装置から得られる脳機能データを上位のイメージに変換してユーザ間でやりとりを行う。その基礎的検討として、fNIRS (functional near-infrared spectroscopy) を利用し脳機能データを取得し、ヒトとヒトとが協調作業を行う際に、脳のどの部分に関連するかを特定した。

二種類の実験を行ったところ、ヒトの協調作業においては種々の脳機能状態が存在することが示唆されたが、予測行動が非常に重要であり、それに関連する脳機能部位とネットワークが確認された。

研究成果の概要(英文)：The goal of this research is to develop a novel method to transfer the information between users using functional brain data derived by a non-invasive brain function imaging device. As a fundamental study, fNIRS (functional near-infrared spectroscopy) was used, and brain function data was acquired. The data was used to identify which parts of the brain are related when human and human cooperate. As a result of two kinds of experiments, it was suggested that various brain function states exist in human cooperative work. Predictive behavior is also very important, and related brain function sites and networks have been confirmed.

研究分野：脳機能情報処理

キーワード：fNIRS brain function communication method cooperative work tapping task

### 1. 研究開始当初の背景

近年、光トポグラフィ (fNIRS) を始めとする非侵襲型の脳機能イメージング装置の利用が進んでいる。川人らは、fNIRS と EEG を利用して人間の認識を理解しロボットの操作を行う研究などを行っており大きな成果を上げている (文献1)。また林らは、海馬から得られた細胞にロボットから得られる情報を刺激として与え学習させ、ロボットを制御する研究を行っている (文献2)。これらを背景に本研究では、この近年発展のめざましい非侵襲脳機能イメージング装置を利用して複数のユーザ間で脳機能イメージングデータを交換することで情報交換を行うシステムの構築とその検討を行う。交換する情報は装置から得られた時系列データを直接交換するのではなく、効果的に情報交換ができる上位のイメージを生成し利用する。

文献1) たとえば Honda ニュースリリース、  
<http://www.honda.co.jp/news/2006/c060524a.html>, 2006/05/24

文献2) Acquisition of Logicality in Living Neuronal Networks and its Operation to Fuzzy Bio-Robot System, Isao Hayashi et al., Proceedings of the 2010 IEEE Congress on Evolutionary Computation, 2010

### 2. 研究の目的

本研究では、非侵襲脳機能イメージング装置から得られる脳機能データを上位のイメージに変換してユーザ間でやりとりを行う。近年、非侵襲脳機能イメージング装置は多チャンネル化し、取得可能なデータ時間は、増加している。そのため、着目すべきデータがどこなのかを特定する必要がある。

本研究では、非侵襲脳機能イメージング装置のうち fNIRS (functional near-infrared spectroscopy) を利用し脳機能データを取得し、ヒトとヒトとが協調作業を行う際に、脳のどの部分に関連するかを特定した。これにより多様で多量なデータからどのデータに着すべきかが特定できる。本研究では、協調タッピング時における協調作業を対象とした。

### 3. 研究の方法

非侵襲脳機能イメージング装置として fNIRS を採用した。fMRI と比較して、実験設計に対する自由度が高く、複数人のユーザに対する実験を計画したためである。使用した機器は fNIRS (ETG-7100、日立メディコ製) である。サンプリング周波数は 10 [Hz] である。刺激提示には、雑音をできるだけ除去するためにノイズキャンセラー付イヤホン (ATH-ANC23、オーディオテクニカ) を使用し

た。刺激提示を行うプログラムを Presentation ソフト (Neurobehavioral system Inc.) を用いて作成し実行した。協調行動の一つに同期タッピング課題がある。協調行動は、他者との時間的なタイミング同期が重要な機能を果たすと考えられており、人間のタイミング制御機構を調べる同期タッピング課題を用いて研究が行われてきた。同期タッピング課題は、音刺激とそれに対する応答としてタップ動作を同期させる実験である。

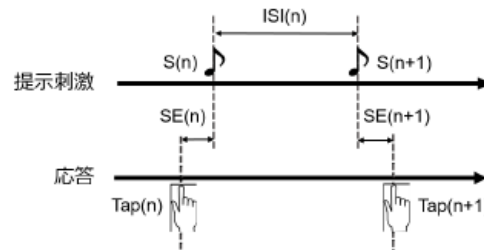


図1：同期タッピング課題

これまでの研究では、ISI (Inter Stimulus Interval) が一定であるリズム刺激に対しタイミングを同期する実験が行われてきた。これにより身体応答が刺激よりも数 10 [ms] 程度先行する、負の非同期現象が報告されている。人間は外的刺激に対して、予測的に応答することで、運動に伴う不可避なタイミングの遅れを考慮した同期挙動を実現していると考えられている。

しかし、社会生活におけるタイミングはこのような単純な一定周期な外的刺激ではなく、次のイベントが未知で予測し難い複雑な時間構造を持っている。人間は日常生活の中でそのような複雑な環境への適応を実現している。これらの複雑な外的刺激に適応するには、予測したタイミングと実際の刺激タイミングに対して自己の行動を制御し、合わせる必要がある。つまり、協調行動には、変化し続ける他者の動きを知覚して次のタイミングを予測し、その予測したタイミングと実際のタイミングのずれに対して自己の行動を制御する必要があると考えられる。武藤らにより、複雑な外的刺激に対する人間の適応行動を計測するため、ISI に外乱 (ホワイトノイズ) を加えた実験が行われた。この実験の結果から、外的刺激が単純な場合は自動的なタイミング制御機構が用いられ、複雑な場合はその刺激の認知の介入により、意識的な制御機構が存在し、その意識的機構と自動的機構を組み合わせることにより同期を達成している可能性が示唆されている。しかしながら、他者には意図が存在し、完全にランダムな動きではないと考えられる。

本研究では、ISI が常に一定ではなく、実験途中で変化する場合（実験 A）と段階的に変化する場合（実験 B）の二種類の実験を行った。

#### 実験 A :

被験者は 21~26 歳の健常者 31 名（男性 16 名、女性 15 名、右利き 29 名、左利き 2 名）で実験を行った。プローブは、前頭部(22CH)、両側頭部(各 24CH)に脳波電極配置の国際基準である国際 10-20 法に従って設置した。



図 2 : 測定チャンネル (実験 A)

提示音刺激には、100 ms、500 Hz の正弦波を用いた。被験者に課題内容について説明してから、実験を行った。課題は椅子に座った状態でイヤホンを装着し、目を瞑った状態で行う。課題に慣れるために、被験者は実験前に音刺激を聞いてタップ動作を行う練習をした。実験中は、音刺激に合わせて右人差し指でタップ動作を行う同期タッピング課題を遂行した。4 種類の ISI=800 ms、1 s、1.5 s、2 s をそれぞれ 30 回ずつ提示した。ISI の提示順序を変え、1 名の被験者につき 2 回の実験を行った。

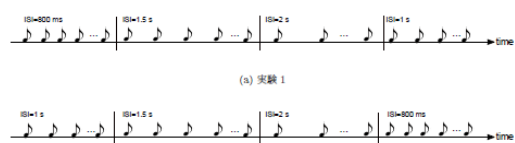


図 3 : 実験設計 (実験 A)

両実験の計測時間は 160 s である。後日、被験者の情報を得るため、EQS と Kikuchi's Scale of Social Skills: 18items (KiSS-18) の 2 種類のアンケートを実施した。EQS は情動知能を測定する EQ (Emotional Intelligence) テストを日本人向けに作成されたものである。KiSS-18 は社会的スキルを計測する。社会的スキルは一般的に対人関係を円滑にするスキルと定義されており、KiSS-18 は十分な信頼性と妥当性を持つ尺度として認められている。

#### 実験 B:

実験 B では、提示刺激間隔が規則的に遅くなる音を提示し、それにタップ動作のタイミングを合わせる課題を与えた。予め、刺激提示

間隔は徐々に遅くなることを明示して実験を行うことで、タイミングの予測を可能としながらも周期的で単純な刺激ではない外的刺激を提示した。この実験課題を用いてタイミング同期に関わる行動と脳機能について検討を行った。被験者は、21 歳~23 歳の健常者 20 名（男性 10 名、女性 10 名：全員右利き）で実験を行った。計測したプローブのチャンネル (CH) 配置は前頭部 (47CH)、後頭部 (47CH)、頭頂部 (22CH) である。

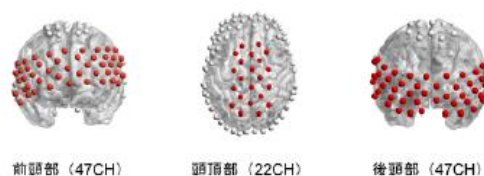


図 4 : 測定チャンネル (実験 B)

音刺激は 0.1[s]、500[Hz]の sin 波を用いた。時間設定は、rest30[s]、task21[s]とした。実験中、モニターに「+」画面を表示した。提示音刺激は、Rest は 0.5[s]間隔の周期的な音、task は、広くなる間隔を 0.5[s]増加させ、前の刺激間隔よりも次の刺激間隔が広くなる音とした。これにより、提示刺激間隔が徐々に広くなる音に対し、タイミングを合わせる際の脳活動および応答時間を計測した。被験者は、イヤホンを装着し、椅子に座った状態で課題を行った。実験中は「+」画面を注視し、提示される音刺激にできるだけタイミングを合わせるようにボタンを押すよう指示した。また、rest は一定周期の音刺激で、task 中は徐々に音刺激が遅くなることをあらかじめ伝え、音と音の間に自らリズムをとること、体動を最低限に抑えるためボタンを押す人差し指以外の部位を過度に動かすことを禁止した。また、実験後に磁気計測を行い、プローブが実際に設置されていた位置を取得した。

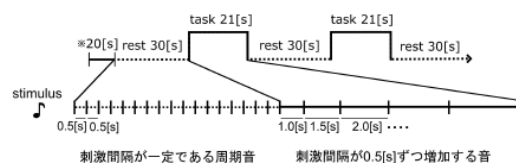


図 5 : 実験設計 (実験 B)

## 4. 研究成果

### 実験 A の成果 :

協調性の指標とした EQS と KiSS-18 スコアの結果から、両アンケートで上位 5 名の被験者の活性部位を検討した。共通して活性部位として挙げられたのは、上側頭回であった。

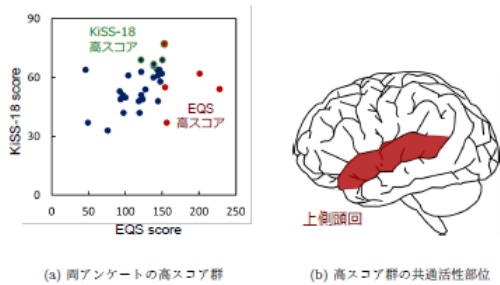


図6：アンケート結果と関連部位

上側頭回は聴覚野の一部であり、また社会的認知にも関わると言われている。ウェルニック野の一部でもあり、発話リズムの理解にも関連する。

一方、ISI 変化後から変化前の Degree の差分から被験者を分類した結果、10 種類のグループに分類された。このうち、先に注目された上側頭回が活性部位に含まれるグループは4グループであった。これらの4グループに注目したところ、アンケートや行動データに関しては、グループ間で有意差は見られなかった。脳機能から検討すると、脳機能の活性部位や結合先は、グループ間で異なっていた。

脳の状態が異なることから、上側頭回が活性していたといえども、グループ間で異なるリズム処理を行っていたことが考えられる。また、一部のグループは上側頭回と一次体性感覚野との連携が見られた。これは、より音刺激を聞きタップ動作を行ったことを示唆している。また、一部のグループは、前頭部が活性し、上側頭回と前頭前野背外側部との連携が見られた。これは、タイミング同期の処理は高次機能の関連を示唆している。

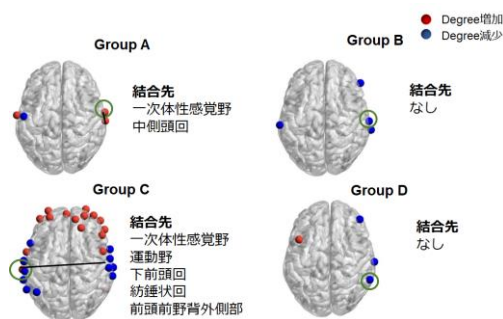


図7：活性チャンネルと結合度

以上のことから、協調性が高いと考えられるグループは上側頭回が活性し、複数の脳機能状態が存在することが示唆された

実験 B の成果：

実験 B では、測定した 116ch を部位とみなして集団解析を行った。まず、領域間の相関を求め、全体のうち、上位 15% の相関を有するものを機能的な結合があるものとし、ネッ

トワークを構築した。このネットワークにおいて各部位が他の部位とどの程度の接続があるかを degree として算出した。さらに、被験者ごとに 116ch 分存在する degree 値を主成分分析により 11 主成分に次元削減した。11 主成分の寄与率は 81% であった。これを特徴量として、被験者の脳機能データをクラスタリングにより 2 クラスに分類した。

各クラスターの傾向を検討したところ、SE の平均値からクラスター A は刺激提示より応答が遅い傾向がみられ反応的に応答し、クラスター B では早い傾向が見られ予測的に応答していたことが推察された。また脳機能ネットワークの傾向として、クラスター A では左前頭部にネットワークの中心性の高い領域があり、クラスター B ではそれに加えて左頭頂、左後頭、右側頭にも中心性の高い領域が見られた。

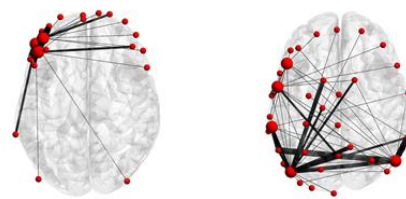


図8：2種類の脳機能ネットワーク

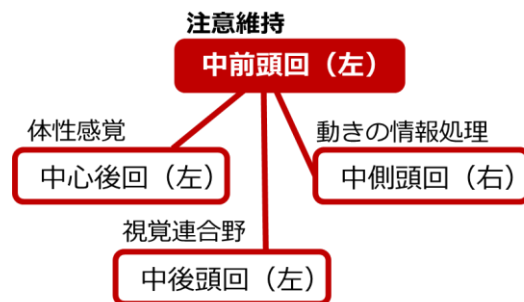


図9：クラスター A の脳機能ネットワーク

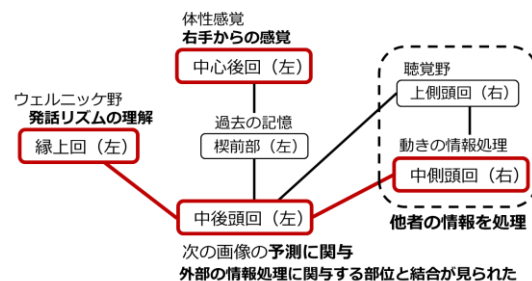


図10：クラスター B の脳機能ネットワーク

脳機能からも、クラスター A は、提示刺激をよく観察し模倣していたことが示唆され、一方、クラスター B は次の刺激を予測して能動的に応答していたことが示唆された。これらのことから、同じ刺激に対しても、反応的に応答する人と予測的に行動する人が

いることが考えられ、タイミング同期には予測行動だけでなく、模倣行動も関与していることが推察された。

模倣行動には、中前頭回（左）と下前頭回三角部（左）を中心とするネットワークの形成が必要であり、また中前頭回（右）を情報伝達の媒介とする必要があることが示唆された。

さらに、中後頭回（左）は視覚情報の処理だけではなく予測行動と関連があることが推察され、予測行動時には、中前頭回（左）、中心後回（左）、縁上回（左）、中後頭回（左）と中側頭回（右）を中心とするネットワークの形成が必要であると示唆された。

本研究では、非侵襲脳機能イメージング装置から得られる脳機能データを上位のイメージに変換してユーザ間でやりとりを行う。その基礎的検討として、fNIRS を利用した脳機能データから、ヒトとヒトとが協調作業を行う際に、脳のどの部分に関連するかを特定した。実験 A と B の二種類の実験を行った。両実験に共通した結果は得られなかったが、ヒトの協調作業においては種々の脳機能状態が存在することが示唆された。実験 B から模倣ネットワークと予測ネットワークが発見されたが、いわゆる協調作業時の脳機能状態は予測ネットワーク状態であろう。実験 A から、協調の度合いが高い結果がアンケートから得られた群の脳機能も、予測ネットワークに近いと考えられる。このように、協調作業時には、予測行動が非常に重要であり、それに関連する脳機能部位とネットワークが確認された。

## 5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕（計 0 件）

〔学会発表〕（計 9 件）

1) 水野 めぐみ、日和 悟、廣安 知之、"fNIRS を用いた協調行動時の脳機能ネットワークの検討"、日本ヒト脳機能マッピング学会 第19回大会、2017年3月9日、京都大学百周年時計台記念館（京都府・京都市）

2) 村上 晶穂、横内 久猛、日和 悟、廣安 知之、"fNIRS を用いたヒトの協調時の脳活動の検討"、日本ヒト脳機能マッピング学会 第18回大会、2016年3月7日、京都大学桂キャンパス船井鉄良記念講堂（京都府・京都市）

3) Akiho MURAKAMI、Hisatake YOKOUCHI、Satoru HIWA and Tomoyuki HIROYASU、"An fNIRS study of cooperativeness during synchronized tapping task"、Society for Neuroscience, San Diego (U. S. A.)

4) 村上 晶穂、後藤 真櫻、横内

久猛、廣安 知之、"協調タッピング課題における脳活動の検討-他者モデルを有する機械系に対する人の脳活動の検討-"、日本ヒト脳機能マッピング学会 第17回大会、2015年7月2日、毎日新聞オーバルホール(大阪府・大阪市)

5) Akiho MURAKAMI、Mao GOTO、Hisatake YOKOUCHI and Tomoyuki HIROYASU、"Brain activities during synchronized tapping task"、37th Annual International Conference of the IEEE Engineering in Medicine and Biology Society (EMBC '15)、2015年8月28日、Milan(Italy)

6) Utako YAMAMOTO、Mao GOTO、Hisatake YOKOUCHI and Tomoyuki HIROYASU、"Brain Activity during Cooperative Work Determined by Simultaneous fNIRS measurement in Two People and the Effect of Different Social Skills on Cooperative Task Performance"、World Automation Congress (WAC) 2014、2014年8月6日、Hawaii(U. S. A.)

7) Utako YAMAMOTO、Mao GOTO、Hisatake YOKOUCHI and Tomoyuki HIROYASU、"A study of multiple brain activities during cooperative work by simultaneous fNIRS measurement"、Organization for Human Brain Mapping (OHBM 2014)、2014年6月10日、Hamburg(Germany)

8) Tomoyuki HIROYASU、Mao GOTO、Utako YAMAMOTO and Hisatake YOKOUCHI、"A Preliminary Study of Interaction Effects on Brain Activity during Cooperative Work using fNIRS"、IEEE International Conference on Systems, Man, and Cybernetics SMC 2013、2013年10月16日、Manchester (England)

9) 後藤 真櫻、山本 詩子、横内 久猛、廣安 知之、"協調作業による相互作用が脳活動に及ぼす影響のfNIRSを用いた基礎的な検討"、生体医工学シンポジウム2013、2013年9月21日、九州大学伊都キャンパス（福岡県・福岡市）

〔図書〕（計 0 件）

〔産業財産権〕

○出願状況（計 0 件）

○取得状況（計 0 件）

〔その他〕

なし

## 6. 研究組織

(1) 研究代表者

横内 久猛 (YOKOUCHI, Hisatake)

同志社大学・開発推進機構・嘱託研究員

研究者番号：00512732

(2) 研究分担者

廣安 知之 (HIROYASU, Tomoyuki)  
同志社大学・生命医科学部・教授  
研究者番号：20298144

(3) 連携研究者

なし

(4) 研究協力者

村上 晶穂 (MURAKAMI, Akiho)  
後藤 真櫻 (GOTO, Mao)