

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 27 年 6 月 9 日現在

機関番号：11301

研究種目：挑戦的萌芽研究

研究期間：2013～2014

課題番号：25540050

研究課題名(和文)脳活動の同期と社会的相互作用の関連の検討

研究課題名(英文)Synchronization of brain activity during social interaction

研究代表者

川島 隆太(Kawashima, Ryuta)

東北大学・加齢医学研究所・教授

研究者番号：90250828

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 2,800,000円

研究成果の概要(和文)：超小型近赤外分光測定装置(NIRS)を用いて、背内側前頭前野の活動の同期現象をリアルタイムでモニター可能なシステムを作成し、個体間の社会的相互関係を実社会環境下で定量計測することが本研究の目的である。グループ・ディスカッション時、リズム集団歩行時の脳活動同調を計測した結果、集団インタラクションのあり方の違いに応じた脳活動同調の変化を捉えることに成功した。個人内の脳機能同定を主とする従来研究を越えた個人間の脳活動同調の評価が、共感やコミュニケーションの質などの集団における創発的状態の指標を与える可能性を示唆している。

研究成果の概要(英文)：The purpose of this study was to create a real time monitoring system for synchronization of the brain activity of the dorsomedial prefrontal cortex (DMPFC) while social communicative situations using newly developed ultra-small near infra-red spectroscopy. We measured synchronization of the DMPFC from a pair of subjects during discussion by a group of subjects and walking with group of subjects while listening to a rhythm. We found degree of synchronization was related to the quality of social interaction among subjects. The results indicate that our system enable us to determine evaluation of quality of communication and/or sympathy, at least, between a pair of subjects.

研究分野：脳科学

キーワード：脳計測 近赤外計測 背内側前頭前野 同期 コミュニケーション 共感

1. 研究開始当初の背景

応募者は研究代表者として JST 先端計測分析技術・機器開発事業(H21-H23)において、20 人までの脳活動を同時かつリアルタイム計測可能な超小型近赤外分光測定装置(1セット約 90 グラム)の開発に世界で初めて成功した。この装置を使ったパイロット実験により、実社会生活空間で行う集団での複雑な精神作業中に、背内側前頭前野の脳活動に同期現象が観察されることを発見した(次ページ図参照)。一個体の脳の領域間にこうした同期現象が現れることは、脳磁図、脳波などの解析(例えば He and Evans 2010)や、機能的 MRI の解析(例えば Roger et al. 2007)で良く知られており、同期する領域間の機能的な繋がりを示していると考えられている。応募者は、個体間の脳活動の同期現象は、個体間の何らかの社会的相互作用を表しているのではないかと発想した。実社会生活空間で複数の個体間の脳活動を同時計測し、その同期現象を観測する技術は世界的にも例がないものである。

実社会生活空間で複数の個体間の脳活動を同時計測し、その同期現象を観測する技術は応募者の研究グループのみが持つものであり、本研究の最大の特徴である。また、実社会空間で作業をしている個体間の社会的相互関係を、脳機能計測により定量化しようとする試みは、極めて斬新かつ独創的なものである。予想される結果としては、集団での作業効率が高い時に集団間の脳活動の同期割合が高くなること、コミュニケーションがうまくとれている個体間でのみ有意な脳活動の同期現象が認められることが観察できると考えている。本研究によって個体間の社会的相互関係が定量可能であることが証明できれば、学術的には、脳機能マッピング研究は、制約の多い環境下での個体の脳活動の測定から、ヒトを理解する上でより本質的な実環境下での集団の脳活動の研究にシフトできる。また、社会技術応用としては、学習、作業、運動などにおけるより良い(高効率な)集団作業環境構築が可能となると考えている。

2. 研究の目的

超小型近赤外分光測定装置(NIRS)を用いて、背内側前頭前野の活動の同期現象をリアルタイムでモニター可能なシステムを作成し、個体間の社会的相互関係を実社会環境下で定量計測することが本研究の目的である。

(1) グループ・ディスカッション時の脳活動同調

二者間の統制された非言語的/言語的インタラクション課題においては、相互作用の有無や質と、脳活動同調との相関が示されている。しかし、多人数間での日常的コミュニケーションにおける脳活動同調の可能性については、まだほとんど明らかにされていない。

い。

そこで、日常生活で行われるグループ・ディスカッションのような言語的集団コミュニケーション場面において、コミュニケーションの質が個人間の脳活動の関係性に与える影響を検討した。

(2) リズム集団歩行時の脳活動同調

最近の研究で、混雑状態での集団歩行時に、ゆるやかなリズム(70BPM)の提示が歩行の流れを改善することが示されている(Yanagisawa et al. 2012)。この現象は個人の歩行に関する単純な物理モデルで説明されている。我々は、このとき、身体的同調に加えて脳活動間にも同調が生じている可能性があるかと仮定し、検証を行うこととした。

3. 研究の方法

(1) グループ・ディスカッション時の脳活動同調

4 人グループの大学生もしくは大学院生 6 組、計 24 名が実験に参加した。それぞれのグループの被験者はテーブルを囲んで着座し(図 1)、一種のしりとり課題を用いた測定セッションを行った。



図 1 グループ・ディスカッション実験の様子

1 セッションは 15 分間で、最初および最後の 5 分間はグループで回答順序自由の 2 文字しりとり課題を行い(コミュニケーション条件)、中央の 5 分間は個別に 2 文字しりとり課題の続きをシミュレーションした(独立条件)。コミュニケーション条件では、回答順は自由、協力してなるべく長い語が見つかることを目的とするよう指示をした。

社会認知およびコミュニケーションへの関与が示されている前頭前野内側部の活動を各グループのメンバ 4 名に対して超小型 NIRS で同時記録した。

計測データに対して、バンドパスフィルタ、アーティファクト除去、ダウンサンプリングの前処理を行ったうえで、グループ内の各ペアについて前頭前野内側部の活動変化の因果的関係を先行研究(Schippers et al., 2010)と同様に Granger causality (GC)解析で評価した。GC 解析の F 統計値に集団レベルの検定を適用し、グループ内でのコミュニケーションの有無が脳活動の関係性に与える効果を調べた。

ビデオから発話デコードし、被験者 i の発言数 = コミュニケーションへの貢献度；被験者 i の発言に続けて被験者 j が発言した時は、ペア (i, j) 間の対話密度とカウントした。その上で、集団 - 個別条件で有意差を示した時間スケールについて平均 WTC (集団 - 個別条件) を計算し、各グループ・セッション・フェーズでのコミュニケーション強度および発言数との相関を評価した。

(2) リズム集団歩行時の脳活動同調

25 名の被験者が実験に参加した。被験者は、半径約 2 m の環状のコースを数珠繋ぎになって歩行した (図 2、3)。

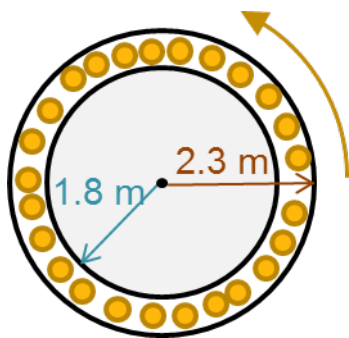


図 2 リズム集団歩行実験時の被験者の配置



図 3 リズム集団歩行実験の様子

計測は 8.5 分にわたるセッションを 4 回行った。各セッションはそれぞれ 90 秒のリズム有り条件とリズム無し条件を交互に 2 ブロック、また最初・最後とブロック間に 30 秒の休憩を含んだ (条件順序はセッション間でカウンタバランス) (図 4)。

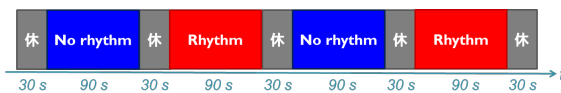


図 4 リズム集団歩行実験のタイムコース

リズム有り条件では 70 BPM のメトロノーム音を提示した。超小型 NIRS により、グループ内の連続する 5 名の前頭前野内側部の活動を同時計測した。

各歩行ブロックでの歩行流量はビデオ撮影記録に基づき算出した。計測を受けた各歩行者ペア間の脳活動同調は、時間周波数空間上で wavelet transform coherence (WTC) 解析 (Cui et al., 2012; Holper et al., 2012)

を用いて評価した。同調性指標のブロック内平均に集団レベルの検定を適用し、リズムの有無が脳活動同調に及ぼす効果を調べた。

4. 研究成果

(1) グループ・ディスカッション時の脳活動同調

被験者間の対話密度は、正規分布を示しており、しりとり言葉の繋がりやすい人と、難しい人のバラつきが存在していた (図 5)。

Exchange density among pairs

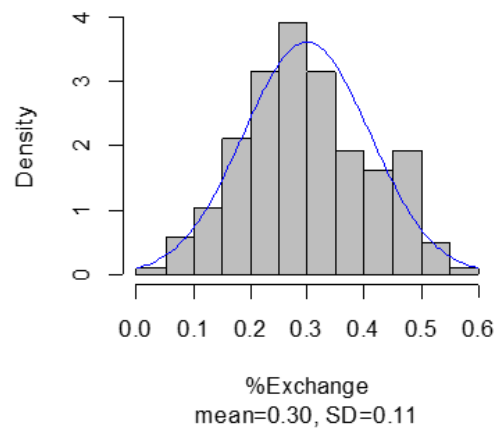


図 5 二者間の対話密度分布

複数の時間スケールで、平均 WTC の値が、コミュニケーション条件の方が、独立条件と比べて、有意に高かった ($P < 0.01$, FDR corrected) (図 6)。

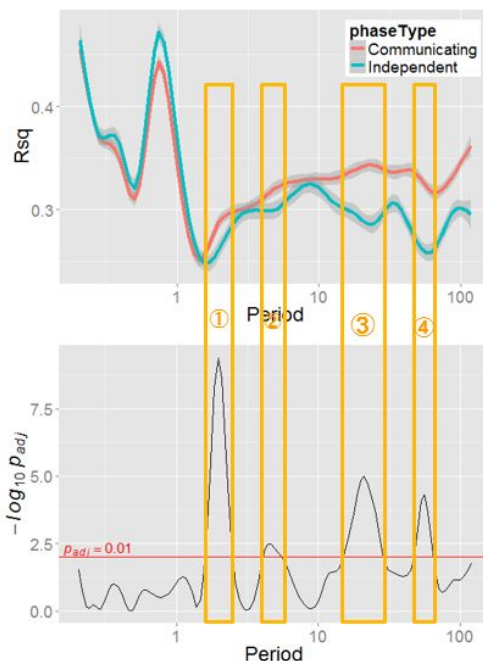


図 6 平均 WTC の値

緩やかな時間スケールで、ペア間での平均 WTC の値が対話密度と正相関した ($p = 0.002$) (図 7 上)。同じ時間スケールで、各個人の他メンバとの平均 WTC も、その人の

発言数と正相関した(図7下)。この結果は、コミュニケーションが密なほど、この時間スケールの脳同調が強いことを示唆する。

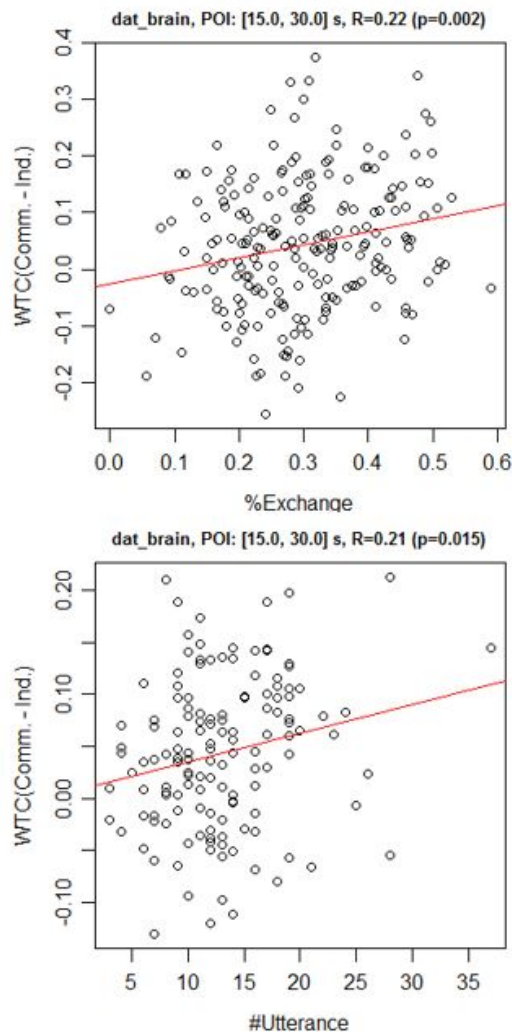


図7 対話密度(上)、発話量(下)とWTC値の相関

この緩やかな時間スケールにおける活動同調は、脳血流信号で固有に集団>個別の条件差が認められた。同調の上昇度合い(集団-個別)が、コミュニケーションの豊かさと相関していた。これらは、コミュニケーションを通じた「認知・情動的同調」の生成を反映していると解釈できる。この時間スケールは、fMRI 脳血流信号や脳波・脳磁図のパワー変動ほかで観察され、その機能的な重要性が注目されている自発的神経ダイナミクスの時間スケールに重なる。よって、自発的神経ダイナミクスを生む別々のネットワークに由来していると考えられる(Zuo et al., 2010)。

(2) リズム集団歩行時の脳活動同調

歩行流量は、リズム有り条件とリズム無し条件を比較し、リズム有り条件では流量が有意に向上することを確認した(図8)。

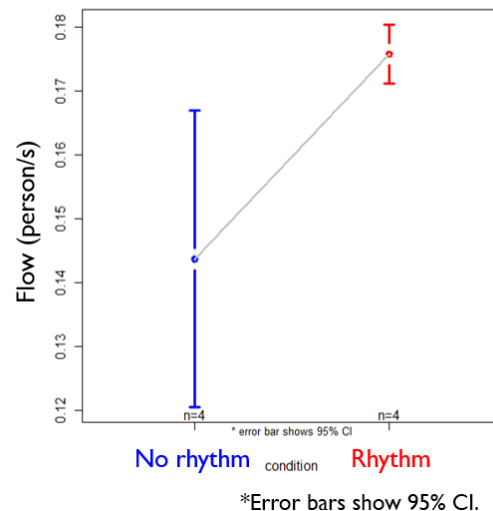


図8 平均歩行流量

歩行動作に起因する周波数(約1 Hz)とは切り離された緩やかな時間スケールの周波数帯(約0.1 Hz)において、リズム提示による脳活動同調の有意な促進が観察できた(P=0.026)(図9)。

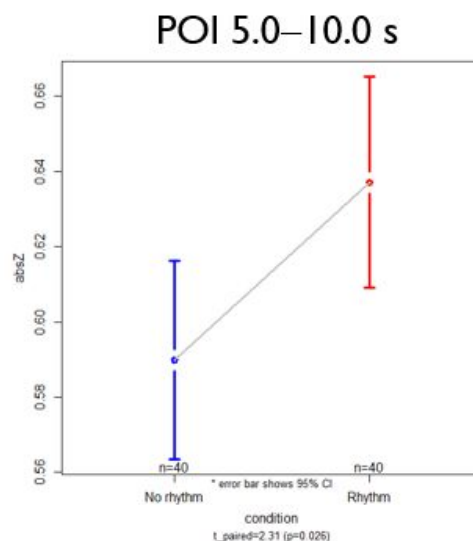


図9 平均WTC値

混雑歩行時のスローリズム提示が、歩行の物理特性だけでなく、脳活動の同調も生じさせることを見出した。緩やかな時間スケールでの同調は、認知的・脳ネットワーク的な処理に起因することが示唆される。おそらく、変動する渋滞状況に応じた協同的な評価・意思決定を反映しているものと推測する。

これらの研究成果により、超小型NIRSシステムが、集団インタラクションのあり方の違いに応じた脳活動同調の変化を捉えるのに有効であることが示めされた。得られている結果は、個人内の脳機能同定を主とする従来研究を越えた個人間の脳活動同調の評価が、共感やコミュニケーションの質などの集団における創発的状態の指標を与える可能

性を示唆している。

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕(計 1件)

- (1) 野澤孝之, 川島隆太. 超小型NIRSを用いた集団コミュニケーション時の脳活動同調の計測. 第14回計測自動制御学会システムインテグレーション部門講演会(SI2013) 講演論文集. pp.1989-1991 2013 (査読有)

〔学会発表〕(計 7件)

- (1) Kawashima R. Real time monitoring of one's state of mind during communication. 17th World Congress of Psychophysiology. 2014.09.23. 広島国際会議場(広島)(招待講演)
- (2) 渡邊琢磨, 秋澤由佳, 加納慎一郎, 高橋信, 三浦直樹, 川島隆太. NIRS装置を用いたインタフェース評価に関する研究(1)遠隔コミュニケーションの評価. ヒューマンインタフェース2014. 2014.09.09~12. 京都工芸繊維大学(京都)
- (3) 小川剛史, 比嘉貴大, 堀内友翔, 三浦直樹, 高橋信, 川島隆太. NIRS装置を用いたインタフェース評価に関する研究(2)超小型NIRS装置を用いた同時計測による評価. ヒューマンインタフェース2014. 2014.09.09~12. 京都工芸繊維大学(京都)
- (4) 野澤孝之, 川島隆太. コミュニケーションと集団脳活動同調. 計測自動制御学会システム・情報部門学術講演会(SI2014). 2014.11.21~23. 岡山大学(岡山)
- (5) Takahashi M, Shirai F, Haga K, Kawashima R. Multi-person NIRS Measurement for Estimating Empathetic Brain Behavior. The 19th Annual Meeting of the Organization for Human Brain Mapping. 2013.06.13~20. Seattle (USA)
- (6) Nozawa T, Kawashima R. Collective Brain Synchrony in Real-life Social Situations: Measured Using Ultra-compact fNIRS. Tenth International Conference on Flow Dynamics (ICFD2013). 2013.11.25~27. 仙台国際センター(仙台)
- (7) 宮崎敦子, 田中文久, 野澤孝之, 井出祐昭, 川島隆太. Relationship between Listening to Music from Brain Activity and Social Communication in Real-time. 日本音響学会2013年秋季研究発表会. 2013.09.25~27. 豊橋技術科学大学(豊橋)

6. 研究組織

(1) 研究代表者

川島 隆太 (KAWASHIMA, RYUTA)
東北大学・加齢医学研究所・教授
研究者番号: 90250828