

令和 3 年 5 月 24 日現在

機関番号：32612

研究種目：挑戦的研究（萌芽）

研究期間：2019～2020

課題番号：19K21947

研究課題名（和文）同期する脳を用いた協働場の評価と創成 双方向脳神経科学の開拓研究

研究課題名（英文）Assessment and creation of collaborative space using synchronized brain &amp;#8211; Pioneering research of bidirectional neuroscience

研究代表者

三木 則尚（MIKI, NORIHISA）

慶應義塾大学・理工学部（矢上）・教授

研究者番号：70383982

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 5,000,000円

研究成果の概要（和文）：本研究の最終目的は、人と人との協働において生起される同期脳活動の、機序解明から協働場設計・評価への応用までを網羅する双方向脳神経科学という新奇学術分野の開拓である。そのため、脳活動計測を支援するICT専門家と、認知神経科学、心理学、メディアアートの専門家からなるユニークな研究グループを構成した。本研究期間においては、被験者に極めて低負荷に迅速に取り付け、かつ長時間計測可能なシステム、協調作業中における脳活動、相互作用についての実験、解析手法の開発、双方向脳神経科学検証の場となるメディアアートにおける脳波利用条件を明らかにした。いずれも、双方向脳神経科学の基盤技術となるものである。

研究成果の学術的意義や社会的意義

本研究の学術的意義は、人と人との協働において生起される同期脳活動の、機序解明から協働場設計・評価への応用までを網羅する双方向脳神経科学という新奇学術分野の開拓である。本研究チームの専門性が多岐にわたるように、極めて横断的な新しい学術分野である。本研究で得られた基盤的知見、技術がその発展に大きく貢献する。社会的な意義として、本研究により人と人とのインタラクション、協調に対する知見が得られることで、関係の評価、協調作業の効率の評価ができるだけでなく、それらの改善への指針を示し、また具体的な改善方法の確立につながる。以上のように本研究は、学術的にも社会的にも大きな意義を有する。

研究成果の概要（英文）：The ultimate goal of our work is to explore the new research domain, interactive neuroscience, which aims to understand the mechanism of synchronized brain activities in collaborative tasks and its application to design and assess of effective collaboration. This research is conducted by a unique team, which is composed of researchers in the field of ICT to support brain activity measurement, neuroscience, psychology, and media arts. During this funded period, we developed an EEG measurement system that can be set to the subjects in a very short time with a low load and can measure the EEG for a long period of time. Brain activities during the collaborative tasks were investigated by fNIRS and the effective method for the analysis was developed. How to utilize the EEG information for media art applications was experimentally assessed. These achievements are fundamental and indispensable for the research of interactive neuroscience.

研究分野：マイクロ・ナノ工学

キーワード：双方向神経科学 情報工学 神経科学 メディアアート マイクロ・ナノ工学 脳波 計測システム

### 1. 研究開始当初の背景

人と人のインタラクションにおいては、相手に対して社会的な関係性を持ち、相手の意図や次の行動を予想する。これらは相手の視線、行動、動きといった社会的信号を手掛かりとし、受け手がそれを社会性脳回路で判断し、次の社会的信号を表出する、といった「双方向性」の相互作用によって実現する。同時にそこでは多くの場合、意図や感情の共有がなされ、「同時性」という特徴も生起する。この状態を心理学では we-mode とも呼ぶ (引用文献①)。このモードでは認知主体が「私」から「私たち」に移り、他者の持つ情報へのアクセスが飛躍的に高まる。円滑な双方向の相互作用により、「楽しい」「驚き」といった感情を共有し身体的だけでなく、脳活動の同期が生じる。分担者の皆川は、母子相互作用における脳活動の同期、特に世界初となる乳児の同期脳活動を発見した。しかしこれまでの研究では、その発生機序や人間の生理・行動指標との関連性など包括的な観点から検討されてはいない。

研究代表者の三木は、マイクロ・ナノ工学を基盤として超低負荷に高品質な脳波計測が可能なシステムを開発した。皆川との共同研究を通じ、複数の参加者の協働中の脳波を計測し導出した「脳活動の同期の度合い」により、インタラクションの濃度、協働の効率を客観的に評価できる、そしてさらに工学的な観点に立つと、脳活動同期の結果をフィードバックすることで、より優れた協働の場の設計することができるという着想に至った。

分担者の古川、寺澤らは、音楽という現象と複数の人間が形成する「場」に着目し、参加者の脳波を視覚化、聴覚化したものを他の参加者に認知させることで、参加者全員の心理的共振を生起する「場」を創出する新たなメディア芸術表現を実践、研究している。このような手法は、同期脳の誘導、フィードバックの有効な手段になり得る。

### 2. 研究の目的

以上の背景、共同研究に基づき、本研究の最終的な目標を、対象者への負荷を限りなく抑えた、脳活動の複数個体からの同時計測を核に、複数脳の同期現象とその機序を明らかにすること、とする。その機序の妥当性は、参加者の脳活動の同期、共振を生起する脳波音楽場における脳活動ダイナミクスを説明することで証明する。本研究ではさらに工学的な発想に基づき、脳の同期現象を評価指標として、複数参加者による協働場の評価と創成に挑戦する。本研究は、人と人との相互作用において初めて現れる双方向脳神経科学 (Interactive Neuroscience) と呼ぶべき新しい脳科学研究である。脳活動の計測・応用という工学、同期脳の機序を明らかにせんとする認知神経科学ならびに心理学、そして場の創成をもくろむメディアアート、実験音楽という、全く異なる領域の研究者が結集することによって初めて遂行できる研究であり、本研究グループが世界に先駆けて挑戦する意義がある。

本研究期間の目的を、複数人の脳活動を同時に、かつ低負荷に計測できるシステムの開発、脳同期に関する基礎的な実験、さらに、脳波音楽場の設計とする。

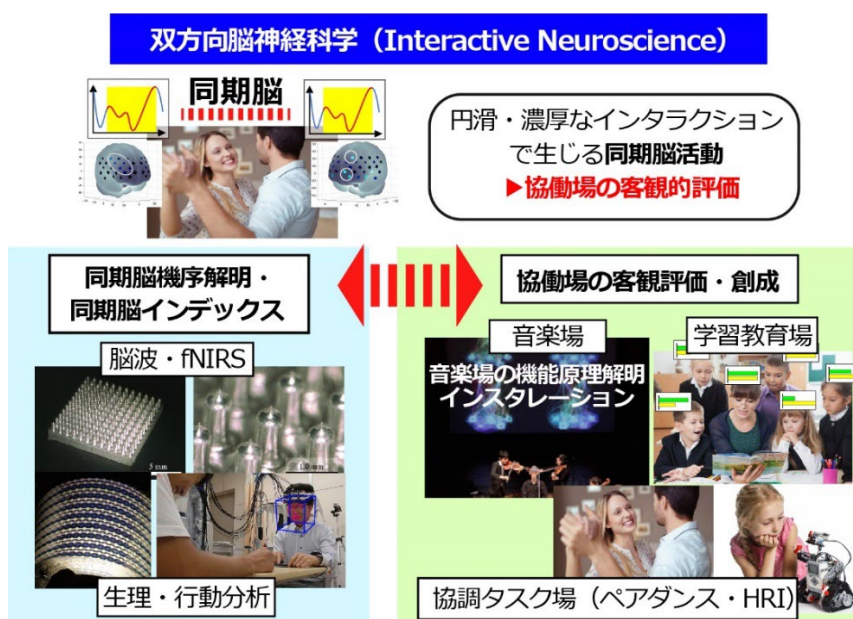


図1. 研究概要。同期脳機序解明を行うとともに、同期脳を用いた協働場の評価・創成に挑戦する。

### 3. 研究の方法

(1) キャンドル型脳波電極に加え、頭皮・電極界面を安定に維持する電極固定機構を開発し、対象者の動きにロバストなシステムを構築する。

(2) 協調タスク実験を通じて、同期脳データを収集する。

(3) 脳波音楽場を設計するため、音楽生成のために最適な脳波情報を実験的に明らかにする。

### 4. 研究成果

(1) 従来のウェット電極は、髪の毛を避ける、皮膚の前処理、電解ペーストなど、取り付け、ならびに計測中の負荷が大きかった。そこで、髪の毛を避け、かつ角質層を貫くキャンドル型微小針電極 (CME) を開発していたのだが、当初開発した CME は髪の毛を「多少」避ける必要があった (参考文献②)。そこで、CME の設計パラメータ、針電極間の距離、長さについて最適化することで、髪の毛を避けることなく、電極が角質層に到達し、脳波計測ができるようになった。

長期間の安定的な脳波計測には、電極と頭皮の安定的な接触が不可欠である。そのため、従来の脳波電極では、ペーストを用いた固定や、ヘッドセットにより電極を押し付けるなど、可能な限りの固定を目指してきた。しかしながら、ヒト皮膚は異物に長時間接触すると不快感、痛みを感じるようになってきている。それにより床ずれなどを防止している。例えばヘッドフォンを装着して 2 時間の映画を鑑賞するとき、視聴者は数回ヘッドフォンの位置をずらしていた。そこで発想を転換し、電極に違和感を持つとすぐに、被計測者が自由に電極位置を動かせる脳波計測システムの開発を目指した。これは、上記の髪の毛を避ける必要のない CME 開発により初めて可能となったコンセプトである。ヘッドフォンに、図 2 に示すように電極を取り付けるヘッドセット型脳波計測システムを開発した。このとき、バネによる押しつけ力を調整することで、電極による違和感が、耳へのヘッドフォンによる違和感よりも小さくなるように設計している。この機構により、取り付け、すなわち脳波計測の開始までに要する時間が 30 秒以下となり、また計測中にヘッドセットの位置を動かしてもすぐに計測が再開できた。この脳波計測システムを用い、2 時間の映画視聴中の脳波を計測し、映画の内容と脳波を対応、比較することができた。本成果は、二者間、複数者間の同期脳を明らかにするために、複数の実験参加者の脳波計測に貢献する。



図 2. 30 秒で取り付け可能で、2 時間の継続的脳波計測が可能な脳波計測ヘッドセット

(2) 二者での協調作業における脳活動や心拍の同期性およびそれらの相互作用について検討するために、二者がコンピューター上で家具配置ゲームをする際の脳活動を、近赤外分光

(fNIRS) を用いて計測した。今回は特に自然な環境で明確なゴールや同調動作を伴わない協調作業について着目し、二者が協調する協調条件と単独条件を 2 回ずつ行い、比較を行った。二者が協調しているときに右の側頭頭頂接合部 (TPJ: Temporo-Parietal Junction) と協力相手の前頭部の脳活動に強い同期が見られた。また顔向けなどの社会的信号に応じた同期活動の抽出にも成功した。さらに信頼性高い信号の前処理や同期評価ができるように、シミュレーション研究を行うなど新しい解析手法を開発した。本成果は同期脳の機序を明らかにする大きな礎となる。

聴覚呈示などによる疑似心拍が魅力度、緊張度などの感情価に影響を与えることが知られてきた。本研究では疑似心拍を触覚呈示することで緊張度がどのように変化するか、それは個人の内受容感覚特性でどのように異なるかを検討した。その結果、触覚で遅い心拍呈示をした場合に、心拍や心拍変動係数が有意に変化し、緊張度の操作が可能であることが示された。しかし、その傾向は内受容感覚特性によって異なり、内受容感覚が高い群は心拍が遅くなるが、低い群では逆に早くなることが明らかになった。本成果は、同期脳により評価した協調作業や、場にフィードバックする手法の一つである。

(3) ERP (事象関連電位) は、メディアアートの分野では、測定精度と測定時間の要件のため、まだ普及していない。研究目的のERP測定では、防磁環境とメディカルグレードの機器を用いて複数回測定を行うのが標準的ではあるが、メディアアートのパフォーマンスでは、そのように理想的な環境を準備することは不可能である。そこで、インタラクティブ・メディア・アートにおけるERPの現実的な使用可能性を検証するために、DIY品質の脳波アンプ(Open-BCI Cyton board)と新規に開発された乾式電極を用いて、磁気ノイズの多い通常環境下でP300検出の測定時間を検証した。その結果、2回程度の試行が必要であることが確認され、そのためには1分半ほどの刺激提示時間が必要であることがわかった。1分半の測定時間は、自然科学における実験時間としては非常に短い、インタラクティブアートの中で体験されるディレイタイムとしてはかなり長い。そこで、この「待ち時間」の間に、 $\alpha$ 波や $\beta$ 波、P300の出現などの視聴覚的な演出を挿入することで、インタラクティブ性を高める必要があることが、改めて認識された。

#### <引用文献>

- ① Gallotti, M. and Frith, C., Social cognition in the we-mode, Trends in Cognitive Science, 17, 2013, 160-165
- ② Miki, N., Yoshida, Y., Kudo, Y., Iwatani, C., and Miki, N., Design and characterization of an EEG-hat for reliable EEG measurement, Micromachines, 11, 2020, 635

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計0件

〔学会発表〕 計14件（うち招待講演 4件 / うち国際学会 4件）

1. 発表者名 Kawana, T., Yoshida, Y., Kudo, Y., & Miki, N.
2. 発表標題 EEG-Hat with Candle-like Microneedle Electrode
3. 学会等名 IEEE EMBC 2019 (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Minagawa, Y.
2. 発表標題 What optical imaging tells us about typical and atypical neurocognitive development
3. 学会等名 NIR 2019 (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Xu, M., Morimoto, S., Hoshino, E., & Minagawa, Y.
2. 発表標題 Dissociating the behavior-specific neural couplings during a naturalistic cooperation task
3. 学会等名 NIR 2019 (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 皆川泰代
2. 発表標題 fNIRS の特性を考慮した適切な実験計画と解析
3. 学会等名 第22回日本光脳機能イメージング学会シンポジウム「近赤外分光法における皮膚血流の影響とその対応」(招待講演)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 皆川泰代
2. 発表標題 社会的相互作用における二者間・内の脳機能結合：行動の自動推定とGLMの適用
3. 学会等名 日本心理学会第83回大会，日立製作所冠シンポジウム「心理学における脳科学－基礎と臨床をつなぐfNIRS研究」（招待講演）
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 森本智志，徐鳴鎬，星野英一，皆川泰代
2. 発表標題 協調ゲーム中における脳活動の二者間相互作用についての解析手法
3. 学会等名 光脳機能イメージング学会第22回学術集会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Yoshida, Y., Onomoto, T., Kawana, T., Hoshino, E., Minagawa, Y. & Miki, N.
2. 発表標題 EEG Measurement Using Candle-Like Dry Microneedle Electrode
3. 学会等名 SICE 2019 (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 立花岳志，Janis Theiss，鈴木奈々，皆川泰代，三木則尚
2. 発表標題 ウェアラブル端末を用いた心拍の触覚的バイオフィードバック
3. 学会等名 第10回マイクロ・ナノ工学シンポジウム
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 吉田有里, 小野本 壮志, 川名 拓己, 森本智志, 星野 英一, 皆川 泰代, 三木則尚
2. 発表標題 キャンドル型微小針電極を用いた2者同時脳波計測によるwe-mode の評価
3. 学会等名 第10回マイクロ・ナノ工学シンポジウム
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 川名拓己, 吉田有里, 三木則尚
2. 発表標題 帽子型脳波計を用いた事象関連電位の計測
3. 学会等名 第10回マイクロ・ナノ工学シンポジウム
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 阿原秋貴子, 川名拓己, 三木則尚
2. 発表標題 記憶力向上のための脳波フィードバック方法の探索
3. 学会等名 第10回マイクロ・ナノ工学シンポジウム
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 善場祐貴, 吉田有里, 小野本壮志, 川名拓己, 三木則尚
2. 発表標題 超音波を用いたキャンドル型微小針電極の製作プロセス改善
3. 学会等名 第10回マイクロ・ナノ工学シンポジウム
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 森本智志
2. 発表標題 行動レベルの相互作用に着目したfNIRS二者同時計測データ解析
3. 学会等名 LSDCOMシンポジウム「社会的相互作用の神経基盤研究その最前線」(招待講演)
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 三井颯人, 寺澤洋子, 濱野峻行, 柴玲子, 三木則尚, 古川聖
2. 発表標題 脳波音楽におけるERP測定に関する検討
3. 学会等名 先端芸術音楽創作学会(JSSA)第41回研究会
4. 発表年 2020年

〔図書〕 計0件

〔産業財産権〕

〔その他〕

-

#### 6. 研究組織

	氏名 (ローマ字氏名) (研究者番号)	所属研究機関・部局・職 (機関番号)	備考
研究分担者	古川 聖 (FURUKAWA KIYOSHI) (40323761)	東京藝術大学・美術学部・教授  (12606)	
研究分担者	寺澤 洋子 (TERASAWA HIROKO) (70579094)	筑波大学・図書館情報メディア系・准教授  (12102)	
研究分担者	皆川 泰代 (MINAGAWA YASUYO) (90521732)	慶應義塾大学・文学部(日吉)・教授  (32612)	

#### 7. 科研費を使用して開催した国際研究集会

〔国際研究集会〕 計0件



8 . 本研究に関連して実施した国際共同研究の実施状況

共同研究相手国	相手方研究機関
---------	---------