

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 29 年 6 月 7 日現在

機関番号：82626

研究種目：挑戦的萌芽研究

研究期間：2014～2016

課題番号：26540074

研究課題名(和文) 個人間の脳活動相関性に着目した協調作業効率の評価技術

研究課題名(英文) Evaluation of cooperative task performance based on electrophysiological measures

研究代表者

岩木 直 (Iwaki, Sunao)

国立研究開発法人産業技術総合研究所・自動車ヒューマンファクター研究センター・副研究センター長

研究者番号：70356525

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)：本研究では、対面した2名の被験者から同時に脳波信号を計測するシステムを用いて、(a) 2名の間で相互に視線のやり取りを行っている間の、両者間の脳波信号上の相互作用を明らかにし、さらに、(b) 対面する2者で、「協調的態度」あるいは「競争的態度」をとる同一のゲーム課題を実施し、その間の脳波信号の2者間の相関関係を明らかにすることを目的とした。この結果、(A) 対面被験者間の視線合わせにともなって、両者の自発脳活動間に同期した変化が生じること、(B) 対面して行う課題に協調して取り組み場合と競争的に取り組む場合とで、両者間の脳活動間の同期現象が有意に異なることを明らかにした。

研究成果の概要(英文)：The purpose of this study was, (a) to evaluate synchronization of spontaneous brain activities during nonverbal face-to-face interaction, specifically, eye-contact, and (b) to elucidate changes in synchrony in the brain activities while two subjects were engaged in cognitive tasks either cooperatively or competitively. The results indicate that (A) the inter-subject synchrony as measured in magnitude squared coherence in the beta-band (20 Hz) brain activity between the subjects were significantly increased during the periods when they contacted their eyes each other compared to those when their eyes were averted, and that (B) the inter-subject synchrony in alpha-band (8 - 13 Hz) activities was decreased during the periods when the two subjects were engaged in the cognitive task cooperatively compared to those when they perform the task competitively, while the synchronization in gamma-band (25 - 45 Hz) activities were increased when they perform the same task cooperatively.

研究分野：認知神経科学

キーワード：被験者間神経連関 非侵襲脳機能計測 協調作業 脳波ハイパースキャン

1. 研究開始当初の背景

複数の作業員による協調作業では、作業員間での目標の共有とその目標に向けた行為の作業員間の相互作用が欠かせない。これまでに、他者の行為を観察したり模倣したりする際の脳機能イメージング研究(例えば、M. Iacoboni et al, Science, 1999)により、他者の行為の知覚・認知に対応する脳部位が特定されると同時に、他者の行為や周囲環境の観察にもなって自己の運動が修飾される現象(例えば、C. Press et al. J. Neurosci., 2011) などが明らかになってきている。

一方、複数の作業員による協調作業では、『相手の行為の動的な認知→それに対する自分の行為の計画・実行→それに続く周囲環境の変化→相手の行為の変化』という他者間における行為・認知のループの中での相互作用が必要不可欠であるにもかかわらず、観察者側の認知・行動特性や脳活動のみがもっぱら注目され、協調作業中の被験者間における認知・行動を司る神経活動の間の相互作用(被験者間神経連関)や、その協調作業のパフォーマンスへの影響はまったく明らかにされていない。

2. 研究の目的

本研究提案では、申請者らがこれまでに確立してきた、非侵襲脳機能計測を用いて脳部位間の神経活動の因果関係を解析する技術を拡張し、模倣や協調作業における、被験者間の神経連関を明らかにすることを目的とした。

具体的な研究項目は、(a) 対面した2名の被験者から同時に脳波信号を計測するシステムを確立し、(b) 2名の間で相互に視線のやり取りを行っている間の、両者間の脳波信号上の相互作用を明らかにする、さらに、(c) 対面する2者で、「協調的態度」あるいは「競争的態度」をとる同一のゲーム課題を実施し、その間の脳波信号の2者間の相関関係を明らかにする。

3. 研究の方法

(1) 対面被験者の視線あわせ課題遂行中の脳活動相関計測実験

まず、対面する2名の被験者から、脳波(EEG)と眼球運動(EOG)を計32チャンネルずつ同期して計測するシステムを構築し、これを用いて、視線を「合わせる」(CONTACT条件)、「そらす」(AVERT条件)を繰り返す課題遂行中の脳波信号の計測を行った。実験では、16組の男性被験者ペアに対して、各被験者の頭皮上19点におけるEEG信号と上下・左右方向EOG信号を、サンプリング周波数1,000Hzで同時記録した。得られたデータは各個人ごとにWavelet変換を用いて時間周波数領域の信号強度に変換し、各被験者におけるCONTACT条件とAVERT条件の間の時間・周波数強度の差を統計検定するとともに、被験者間の脳波の強度コヒーレンス(magnitude

squared coherence)を計算して、さまざまな脳波帯域における被験者間の神経連関の解析を行った。

(2) 対面被験者の協調・競争課題遂行中の脳活動相関計測実験

さらに、2名の対面した被験者が「協調的」あるいは「競争的」な課題に従事している最中の2者間の脳活動連関の変化を調べるために以下の実験を行った。対面した2者は、(A)互いに協力してできるだけ一連の課題(50個のオブジェクトを用いたメンタルローテーション(心的回転)課題)を速く完遂する条件(協調条件)、あるいは(B)同じ課題を互いにスコアを競いながら遂行する条件(競争条件)を設定し、この課題を遂行中の2名の被験者のEEGとEOGの同時計測を行った。得られたEEGデータは、各自発脳波帯域(帯域:8~13Hz, 帯域:15~25Hz, 帯域:25~45Hz)ごとに2被験者間の強度コヒーレンス(magnitude squared coherence)を計算し、メンタルローテーション課題遂行中の協調-競争条件間の差を解析した。



図1 対面被験者の脳波同時計測実験

4. 研究成果

(1) 対面被験者の視線あわせ課題遂行中の脳活動相関計測実験結果

視線合わせ(CONTACT)/そらし(AVERT)実験では、CONTACT条件ではAVERT条件と比較して、各被験者の帯域(40Hz程度)自発脳活動強度が有意に増大する現象があることを明らかにした。これらの帯域脳活動強度の増大はとくに前頭(中前頭回)や頭頂-側頭部に配置された脳波センサで顕著に観察されており、ミラーニューロンシステムの関与が示唆される(S. Iwaki, Abstracts HBM2016, #1460)。

さらに、被験者間の脳波強度コヒーレンスの解析では、CONTACT条件ではAVERT条件に比べて、とくに帯域(20Hz程度)自発脳波において、視線の送り手(SENDER)の前頭部と視線の受け手(RECEIVER)の頭頂部および側頭部との間の強度コヒーレンスが有意に増加する現象が観測された。

(2) 対面被験者の協調・競争課題遂行中の脳活動相関計測実験結果

対面被験者間の協調・競争メンタルローテーション課題では、まず各被験者のとくに上頭頂部における帯域(30 Hz前後)自発脳活動強度と、課題遂行パフォーマンスとの間に有意な相関関係があること(メンタルローテーション課題遂行パフォーマンスがよいほど、上頭頂部における帯域脳活動強度が大きい)ことが明らかになった。これは、上頭頂部における視空間情報処理の効率が帯域脳活動に現れることを示唆している。

また、協調条件と競争条件の間で、両被験者間の脳波の強度コヒーレンスを比較したところ、帯域では両被験者の前頭・頭頂・側頭部間の強度コヒーレンスが協調課題で競争課題と比較して減少すること(図2(a))、帯域では両被験者の前頭・頭頂・側頭部間の強度コヒーレンスが協調課題で競争課題と比較して増加すること(図2(c))を明らかにした。

本研究では、(i) 対面した被験者間で視線合わせのような非言語的な情報交換を行う場合に、本来独立に生じている両者の自発脳活動間に同期した変化が生じること、(ii) 複数の参加者で同じ課題に取り組む際に、協調的な目標を与える場合と競争的な目標を与える場合とで、両者の間の脳活動間の同期現象が有意に異なること、を示した。

これまでの研究では、2者間の同期的な行動にともなって脳活動でも同期的現象が生じること(K. Yun et al., *Sci. Rep.*, 2014)が明らかにされているが、本研究の結果は、両者が非同期的に同一の課題に取り組む場合にも、両者間の脳活動の同期減少が生じることを示唆している。

対面被験者間の視線あわせ実験については、今後視線の送り手と受け手との間で、脳波データ間の因果関係がどのような構造になっているのか、さらにデータの解析を進める。協調・競争メンタルローテーション課題実験については、それぞれの被験者のパフォーマンスが、両者間の脳活動の連関性とどのような関係にあるのか明らかにするための検討を行う。

<引用文献>

- [1] Iacoboni M *et al.*, Cortical mechanisms of human imitation, *Science*, **286**: 2526-2528, 1999.
- [2] Press C *et al.*, Dynamic modulation of human motor activity when observing actions, *J. Neurosci.*, **31**: 2792-2800, 2011.
- [3] Iwaki S., Gamma-band synchrony while perceiving gaze direction during face-to-face interaction, *Abstracts of 22nd Annual Meeting of the Organization for Human Brain Mapping (HBM2016)*, #1460,

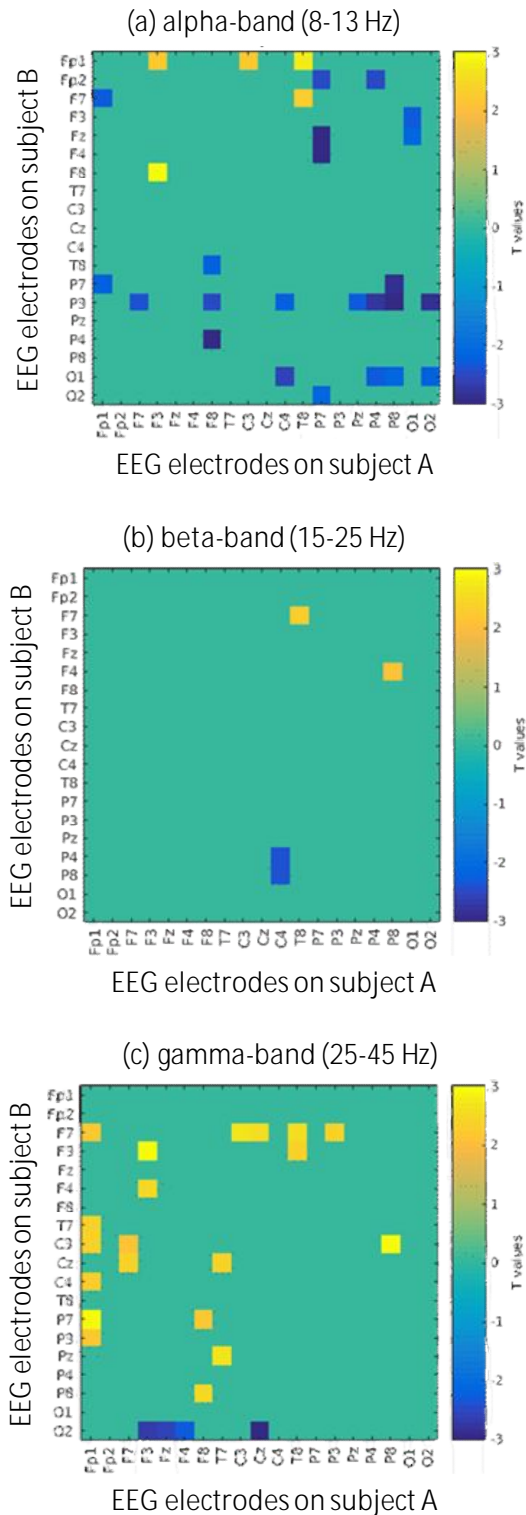


図2 対面被験者による協調・競争メンタルローテーション課題遂行中に両被験者から同時計測した脳波信号の強度コヒーレンス解析結果。協調条件で競争条件に比べて強度コヒーレンスが増加した脳波センサ対を黄色、減少したセンサ対を青色で示す。カラーバーは増減の効果を示すT値。各センサ対で条件間の統計的有意差が $p < 0.01$ (uncorrected)のもののみ表示。

2016.

- [4] Yun K. *et al.*, Interpersonal body and neural synchronization as a marker of implicit social interaction, *Scientific Reports*, **2**: 959, 2012.

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 6 件)

1. Nishimura K., Aoki T., Inagawa M., Tobinaga Y., Iwaki S., Individual differences in mental imagery tasks: a study of visual thinkers and verbal thinkers, *Neurosci. Comm.*, **2**: e1126, 2016. (査読有)
DOI: <http://dx.doi.org/10.14800/nc.1126>
2. Kimura K., Kimura M., Iwaki S., Temporal prediction modulates the evaluative processing of “good” action feedback: An electrophysiological study, *Psychophysiol.*, **53**: 1552-1559, 2016. (査読有)
DOI: 10.1111/psyp.12697
3. Kaida K., Itaguchi Y., Iwaki S., Interactive effects of visuomotor perturbation and an afternoon nap on performance and the flow experience, *PLoS One*, **12**: e0171907, 2016. (査読有)
DOI: 10.1371/journal.pone.0171907
4. Ueno D., Masumoto L., Sutani K., Iwaki S., Latency of modality-specific reactivation of auditory and visual information during episodic memory retrieval., *Neuroreport*, **26**: 303-208, 2015. (査読有)
DOI: 10.1097/WNR.0000000000000325
5. Nishimura K., Aoki T., Inagawa M., Tobinaga Y., Iwaki S., Brain activities of visual thinkers and verbal thinkers: a MEG study, *Neurosci. Lett.*, **597**: 155-160, 2015. (査読有)
DOI: 10.1016/j.neulet.2015.03.043
6. Iwaki S., Visualization of human cognitive processing by MEG, *Proc. XXXI URSI General Assembly and Scientific Symposium*, **31**: 1-4, 2014. (査読有)
DOI: 10.1109/URSIGASS.2014.6930115

[学会発表](計 16 件)

1. S. Iwaki, Parietal gamma-band activity reflects individual performance in the 3-D mental rotation, 20th Intl. Conf. on Biomagnetism, 2016 年 10 月 1 日, Seoul (Korea).
2. S. Iwaki, Gamma-band synchrony while perceiving gaze direction during face-to-face interaction, 22nd Annual Meeting of the Organization for Human Brain Mapping, 2016 年 6 月 26 日, Geneva (Switzerland).
3. 岩木 直, 脳波を用いた実環境における注意リソース配分, 計測自動制御学会ラ

イフエンジニアリング部門シンポジウム, 2016 年 11 月 3 日, 大阪国際交流センター (大阪府・大阪市).

4. S. Iwaki, K. Rana, L.M. Vaina, Neural substrate of shifting visual-spatial attention during task-switching, 2016 Annual Meeting of the Society of Neuroscience, 2016 年 11 月 12 日, San Diego (USA).
5. 岩木 直, 対面する他者視線の知覚とともに脳活動, 第 31 回日本生体磁気学会, 2016 年 6 月 9 日, 金沢文化ホール (石川県・金沢市).
6. 岩木 直, 高精度脳活動解析技術と実環境での認知・行動評価への応用, ヒューマンストレス産業技術技術会第 29 回講演会, 2016 年 3 月 9 日, 産業技術総合研究所関西センター (大阪府・池田市).
7. S. Iwaki, Correlation of gamma-band brain activities with subjective confidence in the 3-D object perception from motion, 2015 Annual Meeting of the Society for Neuroscience, 2015 年 10 月 17 日, Chicago (USA).
8. 岩木 直, 非侵襲脳活動計測技術と疲労評価への応用の可能性, 第 17 回日本感性工学会大会, 2015 年 9 月 1 日, 文化学園大学 (東京都・東京).
9. S. Iwaki, Mental fatigue measurement as application software on consumer devices, 第 38 回日本神経科学大会, 2015 年 7 月 28 日, 神戸国際会議場 (兵庫県・神戸市).
10. 岩木 直, マルチモーダル・ニューロイメージングでみるヒト高次視覚情報処理と脳計測応用技術, 日本学術会議 総合工学委員会・機械工学委員会合同計算科学シミュレーションと工学設計分科会 心と脳など新しい領域検討小委員会, 2015 年 7 月 16 日, 日本学術会議 (東京都・東京).
11. S. Iwaki, T. Sato, Y. Takeda, M. Akamatsu, Prediction of individual performance from offline cognitive task-related EEG measures, 21st Annual Meeting of the Organization for Human Brain Mapping, 2015 年 6 月 14 日, Honolulu (USA).
12. 岩木 直, 脳磁界計測と脳波を用いた実環境での認知・行動パフォーマンスの評価, 第 30 回日本生体磁気学会大会, 大雪クリスタルホール (北海道・旭川市).
13. 岩木 直, 佐藤稔久, 武田裕司, 赤松幹之, 認知課題を用いた個人ごとの自動車運転制御能力の予測技術, 自動車技術会 2015 年春季大会, 2015 年 5 月 20 日, パシフィコ横浜 (神奈川県・横浜市).
14. 岩木 直, 事象関連自発脳活動変化を指標とした 3 次元空間処理パフォーマンスの予測, 第 54 回日本生体医工学会大会, 2015 年 5 月 7 日, 名古屋国際会議場 (愛知県・名古屋市).
15. S. Iwaki, H. Kou-Shimazaki, Neural

activities in the prefrontal and parietal cortices during mental arithmetic: an MEG study, 生体医工学シンポジウム 2014, 2014年9月26日, 東京農工大学(東京都・小金井市).

16. S. Iwaki, S. Bonmassar, J.W. Belliveau, Interaction between the dorsal and ventral visual subsystems while perceiving 3-D object shape from 2-D motion: an MEG-fMRI study, 19th Intl. Conf. on Biomagnetism, 2014年8月26日, Halifax (Canada).

〔図書〕(計 2件)

1. 岩木 直, フレグランスジャーナル社, 香りと五感 -香りで五感の機能と有用性を増進する, 2016, pp. 57-67.
2. S. Iwaki, CRC Press/Taylor & Francis, Biomagnetics – Principles and Applications of Biomagnetic Stimulation and Imaging, 2015, pp. 89-119.

〔産業財産権〕

出願状況(計 0件)

取得状況(計 0件)

〔その他〕

ホームページ等

<http://staff.aist.go.jp/s.iwaki/>

6. 研究組織

(1)研究代表者

岩木 直 (IWAKI, Sunao)

国立研究開発法人産業技術総合研究所・自動車ヒューマンファクター研究センター・副研究センター長

研究者番号：70356525

(2)研究分担者

()

研究者番号：

(3)連携研究者

()

研究者番号：

(4)研究協力者

()