

Title	記号および身体動作を用いた人間のコミュニケーションに関わる大域的な神経基盤の脳波解析
Author(s)	藤原, 正幸
Citation	
Issue Date	2023-03
Type	Thesis or Dissertation
Text version	ETD
URL	http://hdl.handle.net/10119/18410
Rights	
Description	Supervisor: 橋本 敬, 先端科学技術研究科, 博士

氏名	藤原 正幸		
学位の種類	博士 (知識科学)		
学位記番号	博知第 326 号		
学位授与年月日	令和 5 年 3 月 24 日		
論文題目	記号および身体動作を用いた人間のコミュニケーションに関わる 大域的な神経基盤の脳波解析		
論文審査委員	橋本 敬	北陸先端科学技術大学院大学	教授
	藤波 努	同	教授
	Dam Hieu Chi	同	教授
	日高 昇平	同	准教授
	津田 一郎	中部大学	教授

論文の内容の要旨

Human communication is one of the most widely discussed topics, including interactions using physical motions and symbolic language. In this study, I aim to elucidate the neural mechanisms underlying human communication through symbols and physical motions by investigating the global neural activity involved in these interactions in terms of EEG-based synchronization processes.

In this thesis, I have investigated the neural activities especially for two communication tasks. One is the "symbolic communication" task, which was performed as a laboratory experiment based on experimental semiotics, and focuses on the process of understanding each other's intentions and the establishment of communication through the exchange of symbols. On the other hand, the "Look This Way" task was designed to require intentional switching of physical motions and to generate different motor intentions. This task required coordination of the physical motion of "rock-paper-scissors" followed by Congruent or Incongruent motions.

In the former task, I first examined (1) how the amplitude of the receiving event differed from the fixation event by comparing the time-frequency and topographic amplitudes. The results showed that the amplitudes of the theta and alpha bands from 0 to 500 ms and the gamma band around 600 ms immediately after receiving a symbolic message were significantly higher in receiving events than in fixation events in the whole brain. In addition, I analyzed the phase synchronization between the success and failure groups to investigate (2) the presence or absence of functional connectivity between brain regions that are expected to be important for understanding symbolic messages. The results reveal that the success group showed frontal-parietal phase synchronization at 600 ms in the first 12 trials, while the failure group showed asynchronous phase synchronization. These suggest that the amplitude of the low-frequency band is related to the processing of short-term and semantic memory, and that the gamma-band amplitude and its phase synchronization in the whole brain may reflect the cognitive process of binding and understanding the association between figure and meaning.

In the latter task, I investigated the differences in neural activity among the three conditions (Scramble, Congruent, and Incongruent) by performing high-resolution power analysis of neural activity associated with movements and EEG signals through the the Hyperscanning EEG-Motion-Gaze recording systems. As a result, significant differences were observed between the three conditions, especially between the Congruent and Incongruent conditions, at the left central electrode in the alpha band and at the right parietal electrode in the gamma band. In addition, there was no significant difference in the alpha band compared to the gamma band in the time-frequency power expression. Thus, I propose that the left frontal center region is related to the mirror neuron system, while in the right central parietal region, the alpha band may be associated with perception of other' s motion, and the gamma band with switching of social coordination.

At the end of this thesis, it is suggested that symbolic and embodied communication have in common a complex neural basis for communication involving multiple brain regions, including the frontal and parietal regions. In addition, gestural communication, which was not considered in this study, is positioned between symbolic and embodied communication. In order to clarify the neural mechanisms of symbolic and embodied communication, we proposed a working hypothesis of a unified neural mechanism that takes into account the involvement of multiple brain regions. To validate this hypothesis, we proposed a framework in which cognitive experiments are conducted using the constructed model as a virtual partner.

Keywords: synchronization, symbolic communication, motor intention, hyper-scanning EEG, Experimental Semiotics

論文審査の結果の要旨

人間は身体を用いたり記号を用いたりして他者とコミュニケーションをし、これはすべての社会生活の基礎をなしている。そのようなコミュニケーションがどのようにして成り立っているかのメカニズムは、心理学、認知科学、脳科学が長年追究し重要な知見が蓄積されてきているが、まだ完全に明らかになっていない。本研究では、記号および身体を用いた二者間のコミュニケーションの神経基盤について、神経活動の同期現象という観点から理解することを目的としている。

記号コミュニケーションでは、コミュニケーションシステムの成立過程を実現する実験記号論のパラダイムによる実験室言語進化実験の脳波計測データ（この実験構築とデータ取得自体は本研究によるものではない）に対し、脳波のパワーと位相同期解析を行った。その結果、短期記憶や意味記憶の処理に関係すると言われるシータ波・アルファ波帯の同期、および、社会的調整に関係するとされる右頭頂におけるガンマ帯の同期、および、前頭—右頭頂間の位相同期を発見した。後者の同期・位相同期は、図形と意味の関連性を結合し理解する認知過程を反映している可能性があることを示唆した。

身体コミュニケーションでは、あっちむいてホイというゲームを改変することで、指を振るという運動によるコミュニケーション行動について、脳波、身体運動、視線の3つを同時に計測する実験を行った。この実験では、指を相手と同じ方向に向ける条件（調整）と異なる方向に向ける条件（競合）という、運動はほぼ同じだが意図が異なる条件間で各電極での同期の差を比較した。その結果、ミラーニューロンシステムの活動と関係する左前頭中心部領域と他者運動の知覚に関与する右頭頂中心部領域のアルファ波

帯の同期、および、社会的協調への関与が示唆されるガンマ波帯域の同期に有意な差が見出された。

さらに、本論文では、神経同期を認知の基盤と考える理論を作るための基盤となる神経場モデルの計算実験と、様々なレベルでの神経同期からコミュニケーションを理解する枠組みの提案も行っている。

審査では、記号コミュニケーション、身体コミュニケーションの両方で右頭頂のガンマ波帯の振動を発見しており、これは、記号の送受信や身体運動という低次の認知活動ではなく、意味や意図の理解に関わる可能性を提示しているという新奇性のある知見を提示していることの学術的意義が高く評価された。

以上、本論文は、知識の表現・伝達・共有に非常に重要である記号・身体コミュニケーションの神経基盤を明らかにするという知識科学の基礎的な課題について、神経同期ダイナミクスの観点から新しい知見を示したものであり、学術的に貢献するところが大きい。よって博士（知識科学）の学位論文として十分価値あるものと認めた。