

ミラーニューロンシステムに基づいた Brain-Machine Interface における脳波と運動強度の関係性の検討

Investigation of the Relationship between Motor Intensity and EEG by Mirror Neuron System

学 上本 和広 (前工大) 学 吉岡 将孝 (前工大)
学 吉川 裕一郎 (前工大) 正 朱 赤 (前工大)

Kazuhiro Uemoto, Maebashi Institute of Technology
Masataka YOSHIOKA, Maebashi Institute of Technology
Yuichiro YOSHIKAWA, Maebashi Institute of Technology
Chi ZHU, Maebashi Institute of Technology

Recently, Brain-Machine Interfaces attract many researchers' attentions. Most of these BMI researches intend to assist the disabled person. The purpose of this study is the development of a novel BMI to more smoothly support the disabled person's life. In this paper, based on the concept and function of Mirror Neuron System, and we redesigned experiments to try to investigate EEG variations when subjects observe or image motion video.

Key Words: BMI, 運動強度, ミラーニューロンシステム

1 緒言

現在,日本は超高齢社会に突入し,2030年には65歳以上の人口の割合が40%を超えると予想されている。そこで問題となるのが,介護を必要とする人口の増加とそれに伴う介護者への負担増加である。これらの問題を解決するために医療・福祉機器の開発が急務とされており,近年では人間の生体信号を利用した機器が注目を浴びている。例として,人間の筋電位を用いたパワーアシスト装置が挙げられる。これは,介護者の負担の軽減や筋力が低下した人へのサポート装置として開発されているもので,人が筋力を発揮する時に発生する筋電位信号の大きさに応じた力を機械が発揮し,人間の負担を減らすものである。

しかし高齢化または障害により筋力を発揮できない人や,会話ができず外界とコミュニケーションをとることが困難な人たちが存在している。そのような人々を支援する技術として,近年脳の活動のみで機械を操作できる Brain-Machine Interface(BMI)が注目を集め,医療・介護現場への導入が期待されている [1][2][3]。

脳に直接電極を挿入する侵襲型 BMI では,John K.Chapin と Miguel A.L.Nicolelis らが,ラットやサル運動野に多数の電極を挿入し,学習を繰り返すことで運動野のニューロン集団を活動させるだけで,アームを動かすことに成功した [4]。さらに,近年ではヒトによる研究成果も報告されている [6]。この報告によると,ブラウン大学と MGH の科学者による BrainGate と呼ばれるプロジェクトで,四肢麻痺を持った被験者を対象に実験を行った。脳内に電極を直接埋め込み,電極から手を握ったり,肘を曲げたりといった運動意図を読み取りロボットアームを制御してボトルをつかみボトルの中に入っている水を飲むことに成功し,操作を繰り返し行い学習を重ねていくことで,より正確な動きを実現することができたと報告されている。

一方,非侵襲型 BMI では,操作者の意思を脳波から読み取り制御することに成功した脳波車いすや [7],脳波の視覚部位から操作者がどこを見ているのかを検知することでタイピングが行える脳波キーボードなどが報告されている [8]。

しかし,これらの研究はすべて,障害者の生活補助を目的に開発されており,脳波変化をトリガーとする ON/OFF 制御となっている。そこで本研究では,操作者の運動意図をより反映したロボット制御を可能とする BMI の開発を行う。

そのためには,人間の脳波と運動の関係性について調べることが必要不可欠である。現在,脳波と運動の関係性については,事象関連脱同期や運動した側と対側の計測点で β 波が減衰すると

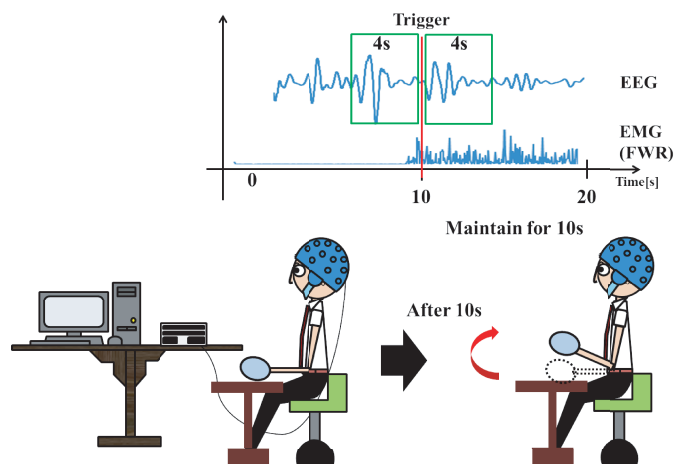


Fig.1 Schematic diagram of experiment

ということが報告されている [9][10]。

また,脳と筋との関係に関する研究として筋収縮の際,筋の長さが変化しない等尺性運動における脳-筋間コヒーレンスは広く研究が行われており [11],約 15–30[Hz] の β 帯域で計測点 C_3 に限局した部位において,高い相関があることが確認されている。さらに,等張性運動においても,腕を持ち上げる以前の-1.5秒~-0.5秒にかけて,計測点 F_3 , C_3 , C_z の広範囲の部位において,15–30[Hz] の β 帯域で相関がみられたことが報告されている。

しかし,これまで脳波と運動強度の関係性については未だ明確な報告がされていない。この脳波と力の関係性を明らかにすることは,操作者の運動意図をより反映したロボット制御を行う上で非常に有益であると考えられる。

2 これまでの研究

2.1 実験設計

本研究ではこれまでに,脳波と力の関係性を明らかにするために,1,3,5,7[kg]の4つの重さの異なる重りを用いた実験

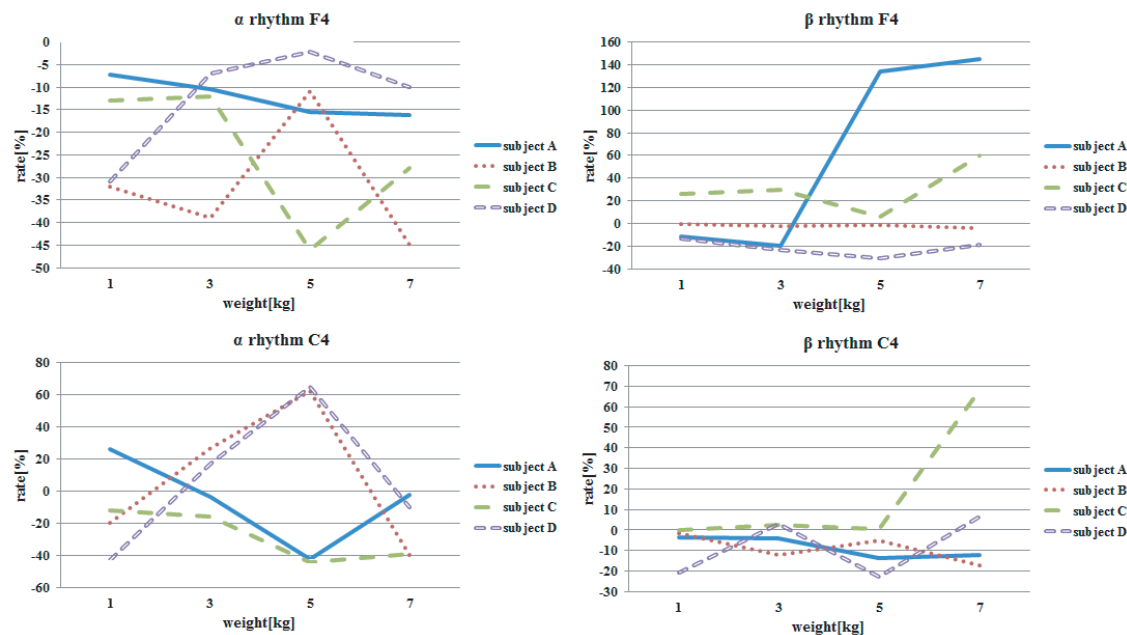


Fig.2 Experimental results of α and β rhythm

を行った．計測点は国際 10-20 法を用い，運動野周辺の F_3 , F_4 , C_3 , C_4 とした．被験者は，開眼状態で重りを持った左手を台の上に置き安静にする．10 秒後に左手で重りを持ち上げ，そのまま 10 秒間維持する（図 1）．解析では，持ち上げた瞬間の筋電の立ち上がりをトリガーとして，前後約 4 秒間ずつのデータを取り出し，それぞれ運動前の脳波データ，運動中の脳波データとして用いた．この実験では 4 人の被験者に実験を実施し，その脳波データに対して解析を行い，運動前 (PM:pre-motion) と運動中 (IM:in-motion) それぞれの平均値を求め，運動前から運動中の変化率を算出し，各計測点毎に運動に伴う変化を見た．変化率 (TR:Transition rate) は式 (1) で表される．変化率が正の場合は，運動中の脳波が運動前よりも増加することを意味し，負の場合には減少することを意味する．

$$TR = \frac{IM - PM}{PM} * 100 \quad (1)$$

2.2 実験結果

4 人の被験者の解析結果をまとめると（図 2）， α 波において，被験者 A, B では計測点 F_4 で，被験者 C では計測点 F_4 , C_4 で重りが重くなるに従って変化率が負の方向に高くなる傾向が得られた．被験者 D については，変化率は重りを通して負の値となっていたが，重りが重くなるにしたがって負の変化率が低くなる傾向がみられた．

β 波においては，被験者 A では計測点 C_4 ，被験者 B では計測点 F_4 , C_4 で，被験者 D では計測点 F_4 で重りが重くなるにしたがって変化率が負の方向に高くなる傾向が得られた．被験者 C では，計測点 F_4 , C_4 ともに重りが重くなるにしたがって正の変化率が高くなるという，他の被験者ではみられなかった傾向が得られた．

これらの結果から，重りが重くなるにしたがって負の変化率が高くなるという傾向は，被験者間・計測点間で差異があるといえる．また，変化率の値も被験者や計測点で異なる値であり， β 波における被験者 C の結果で示した，他の被験者ではみられなかった傾向も得られた．

以上のことから，計測点や重りを持ったときに，個人差や計測環境などによる影響と考えられる被験者間での異なる変化がみ

れたが，脳波と力の関係についていくつかの特徴的な傾向がみられたと考えられる．これらの結果より，脳波から力情報を抽出することができるという可能性が示唆されたといえる．

しかし，BMI は本来障害者の生活支援を行うための技術である．そのため，運動をイメージしたときの脳波から運動強度に関する情報を抽出する必要があると考えられる．そこで本研究では，運動形成に関与すると言われている人間の Mirror Neuron System に注目した．

本稿では，運動をイメージしたときの脳波から運動強度に関する情報を抽出するために，Mirror Neuron System を用いた実験設計を検討する．今回は第一段階として，運動と Mirror Neuron System の関係性を調査した．第 2 章では Mirror Neuron System について説明する．第 3 章では，Mirror Neuron System を用いた実験設計について述べ，第 4 章でその解析結果および考察を述べる．

3 Mirror Neuron System について

Mirror Neuron は共感によって活性化する神経細胞である．近年の研究により共感だけでなく様々な身体・精神の能力発達に関係していることも明らかにされている [13]．また，Mirror Neuron は運動の遂行・観察・模倣によっても活性化するとされており，活性化することによって脳波の μ 波帯域の減衰が見られる．行動の観察・模倣は運動行動の学習と向上に必要不可欠であるため，Mirror Neuron System は運動能力の成長のための重要なシステムであるとされる．Mirror Neuron System と運動に関する研究として，運動の観察における運動イメージの有無が， μ 波の減衰にどのような影響を及ぼすのかについて調べた研究がある [14]．この研究では，まず右手の運動の映像を被験者に観察させ，そのときの脳波を取得する．次に同じ映像を観察しながらその映像と同じ運動を被験者にイメージさせ，そのときの脳波を取得する．この 2 つの脳波を比較すると，運動の映像を観察しているときよりも，観察と同時にイメージを行ったときの方がより大きな μ 波の減衰が生じているという結果が得られている．

本研究では，この運動の観察やイメージと Mirror Neuron System の関係性に注目し，運動をイメージしたときの脳波から

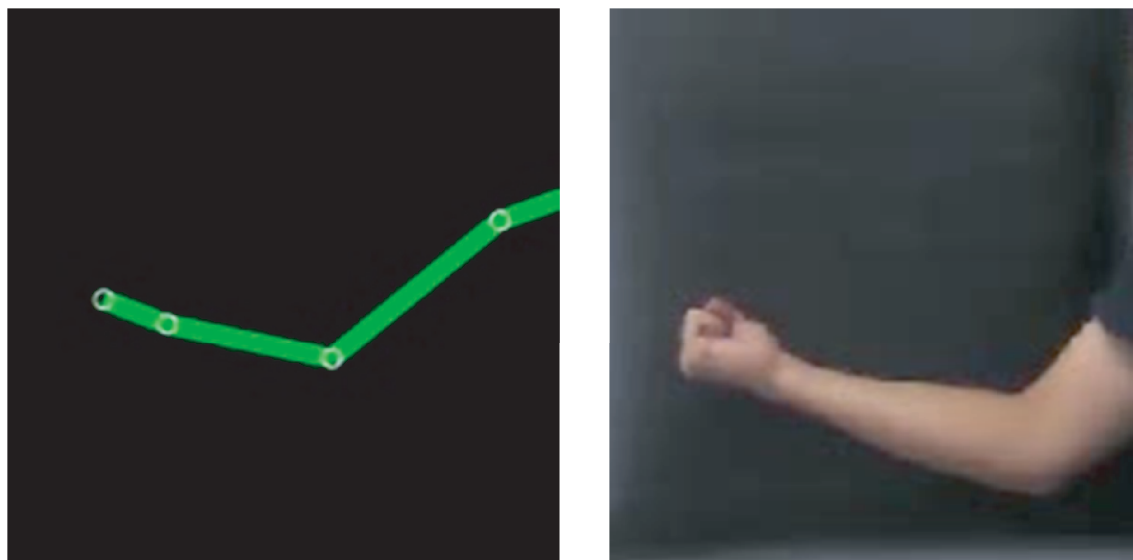


Fig.3 Video content(Left:Kinect,Right:Arm)

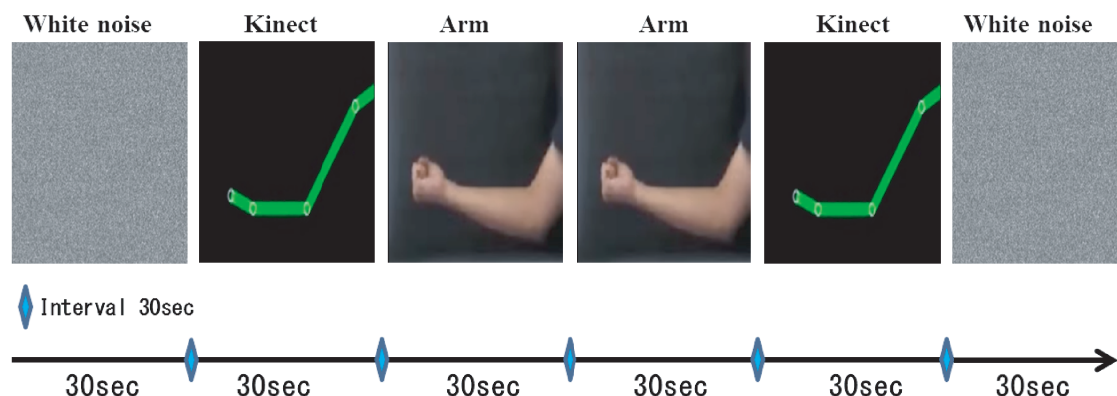


Fig.4 Schematic diagram of experiment

運動強度に関する情報を抽出するために、運動の観察やイメージと脳波変化を反映できる Mirror Neuron System を導入した新たな実験設計を検討する。

4 Mirror Neuron System を用いた実験設計

今回の実験の目的は、運動観察による脳波変化を見ることと、運動観察において観察者と観察対象との間での共感度合いによって、脳波にどのような差が生じるかを確認することである。共感の反映を確認するために、今回実験を実施した被験者 A,B の2名のうち、被験者 B は観察対象となる運動映像の映像本人とした。また、被験者 A には後述する実験内容に関する情報は与えず、観察対象となる運動映像の映像本人である被験者 B には実験内容に関する情報を与えて実験を行い、共感度合いによる脳波変化を観察する。

具体的な実験内容としては、被験者に3種類の映像を観察させる。1つ目の映像は Visual White noise の映像である。この映像を観察しているときの μ 波を基準として、その他2つの映像を観察しているときの μ 波と比較する。2つ目の映像は Kinect による実際の運動の映像の運動軌道を表した映像(図3の Left)である。この映像を観察させる意図は、実際の運動とまったく同じ運

動軌道の物体を観察した場合と実際の人間の運動の映像を観察した場合とでは、どのような差が出るのかを確認することである。3つ目の映像は人間の実際の運動の映像(図3の Right)である。

さらに、図4で示すように映像を観察する順番が結果に影響を与えないようにするために、Visual White noise, Kinect, 実際の運動の順で観察したあと、その逆の順となる実際の運動, Kinect, Visual White noise の順でも観察させ、これを1セットとしている。また、観察する各映像間で30秒のインターバルを設けた。

5 実験結果

被験者 A, B の結果をそれぞれ図5, 6で示す。

被験者 A の結果から、Kinect の映像を観察したときの μ 波は Visual White noise を観察したときよりも増加していることがわかる。しかし、実際の運動を観察したときの μ 波は Visual White noise を観察したときよりも減衰している。以上のことから、たとえ実際の運動と同じ運動軌道でも、人間の腕ではない Kinect の映像では μ 波は減衰していないということがわかる。

被験者 B の結果をみると、Kinect の映像を観察したときの μ 波は被験者 A とは異なり、Visual White noise を観察したときよりも減衰していることがわかる。実際の運動を観察したときの μ 波においては被験者 A と同様、Visual White noise を観察し

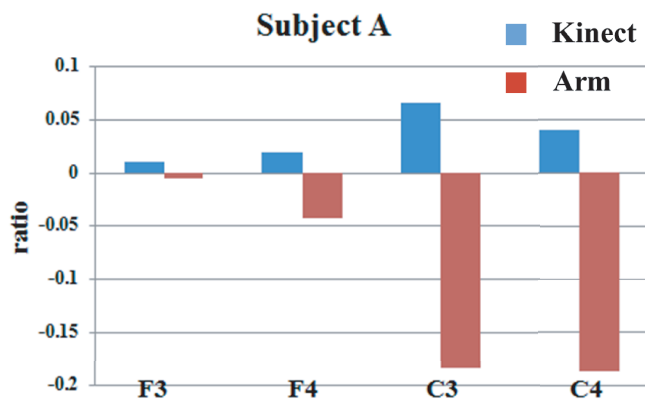


Fig.5 Experimental results of Subject A

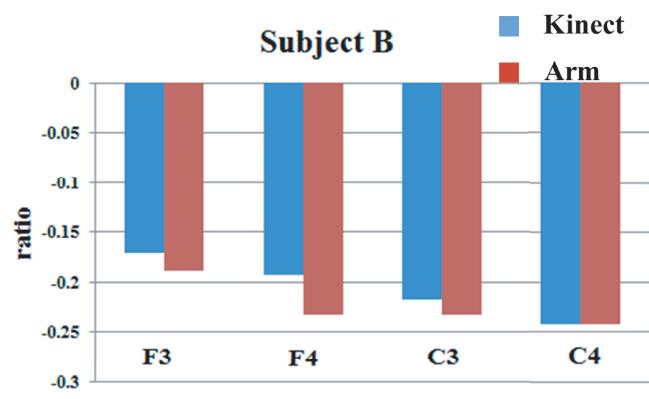


Fig.6 Experimental results of Subject B

たときよりも減衰している。さらに被験者 A と B の結果を比較すると、被験者 A よりも観察対象となる運動映像の映像本人である被験者 B の方が μ 波の減衰が大きいということがいえる。

6 考察

6.1 Kinect 観察時について

被験者 B の Kinect 観察時の結果は被験者 A とは異なり、 μ 波の減衰が見られた。この結果から、上述した通り被験者 B は観察対象となる運動映像の映像本人であるため、Kinect の映像を観察したときにその映像を通して実際の運動をイメージすることができたために μ 波の減衰が生じたのではないかと考えられる。一方で被験者 A は Kinect の映像を観察したときにその映像の意味、つまり実際の運動をイメージすることができなかったために μ 波の減衰は見られなかったのではないかと考えられる。

6.2 実際の運動観察時について

実際の運動を観察したときの μ 波は、被験者 A, B とともに Visual White noise を観察したときよりも減衰した。しかし、減衰の度合いは被験者 B の方が大きいという結果になった。この結果から、実際の運動を観察したときに、観察対象となる運動映像の映像本人である被験者 B の方が被験者 A よりも共感することができたためより大きな μ 波の減衰が生じたのではないかと考えられる。

7 結言

運動をイメージしたときの脳波から運動強度に関する情報を抽出するために、今回は第一段階として、運動と Mirror Neuron System の関係性を調査した。その結果、運動映像との共感度合いが高いほどより大きな μ 波の減衰が生じるという可能性が示唆されたといえる。

今後は運動の映像に運動強度に関する情報を付加することで、実際に運動することなく脳波から運動強度に関する情報を抽出することを目指す。また、最終段階として運動をイメージしたときの脳波から運動強度に関する情報を取得する必要があるため、運動の観察およびそれに伴う Mirror Neuron System による μ 波の減衰が、運動強度を含んだ運動のイメージを行う訓練になり得るかという点にも着目して研究を進めていく。

References

- [1] Niels Birbaumer, and Leonardo G. Cohen " Brain-computer interface:communication and restoration of movement in paralysis ", J Physiol 579.3, pp.621-636, 2007.
- [2] Jonathan R. Wolpaw, Niels Birbaumer, Dennis J. McFarland, Gert Pfurtscheller, and Theresa M. Vaughan " Brain-computer interfaces for communication and control ", Clinical Neurophysiology 113, pp.767-791, 2002.
- [3] Justin C. Sanchez, Jose C. Principe, Toshikazu Nishida, Rizwan Bashirullah, John G. Harris, and Jose A. B. Fortes, " Technology and Signal Processing for Brain-Machine Interfaces ", IEEE vol.2 pp.29-40, 2008.
- [4] J.K.Chapin, M.A.L.Nicolelis, " Real-time control of a robot arm using simultaneously recorded neurons in the motor cortex ", Nature vol.2 No.7, 1999.
- [5] M.A.L, Nicolelis, J.K.Chapin, " Controlling Robots with the Mind ", Scientific American, pp.46-53, 2002.
- [6] Leigh R.Hochberg, Daniel Bacher, Beata Jarosiewicz, and Nicolas Y.Masse, " Reach and grasp by people with tetraplegia using a neurally controlled robotic arm ", Nature 485, 2012.
- [7] 独立行政法人理化学研究所, " 脳波で電動車いすをリアルタイム制御 ", プレスリリース, <http://www.riken.jp/rworld/info/release/press/2009/090629/detail.html>, 2009.
- [8] 山田 奨治, " 脳波キーボードの入力速度向上手法と評価 ", 電子情報通信学会論文誌, '96/2 Vol.J79-A No.2 pp.329-336, 1996.
- [9] Lei Qin, Lei Ding, and Bin He, " Motor imagery classification by means of source analysis for brain-computer interface applications ", J.Neural Eng. 1(2004), 135-141, 2004.
- [10] Dennis J. McFarland, Laurie A. Miner, Theresa M. Vaughan, and Jonathan R.Wolpaw, " Mu and Beta Rhythm Topographies During Motor Imagery and Actual Movements ", Topography volume 12, Issue3, pp.177-186, 2000.
- [11] 柳田 隼, 伊賀崎 伴彦, 林田 祐樹, 村山 伸樹, " 等張性収縮時の脳-筋ウェーブレットコヒーレンス解析 ", 電子情報通信学会, MBE106(506), pp.25-28, 2007.
- [12] Jun Kong, Hiroyuki Shimada, Kim Boyer, Joel Saltz, Metin Gurcan, " A New Multiresolution Analysis Framework for Classifying Grade of Neuroblastic Differentiation ", OSU BMI Technical Report:OUSBMI TR n02 2007.
- [13] Lindsay M. Oberman, Jaime A. Pineda and Vilayanur S. Ramachandran, " The human mirror neuron system: A link between action observation and social skills ", Soc Cogn Affect Neurosci, pp. 62-66, (2007)
- [14] Sakiko Ogoshi, Yasuhiro Ogoshi, Tomohiro Takezawa and Yoshinori Mitsuhashi, " Mu rhythm suppression during the imagination of observed action ", Engineering in Medicine and Biology Society (EMBC) 35th Annual international Conference of the IEEE, pp. 4310-4313, (2013)