

## 2017年度 博士研究員研究成果報告書

氏名 (所属研究室) 田中 靖人 (理工学研究科 礎礎研究室)

研究課題 プリズム順応を利用した運動イメージの学習転移とそのリハビリ応用

研究期間 2017年4月1日～2018年3月30日

研究成果概要

Brain Machine Interface (BMI) は、脳 (Brain)の神経信号を利用して、機械 (Machine)つまりコンピュータやロボットなどの人工のシステムを動かすための「境界」 (Interface) とその仕組みを研究する分野である。BMIが機能するためには、脳から神経信号を取り出し、それを有効な情報としてマシン (ロボット) に送る、つまり脳とマシンを「通信」させることが必要である。

逆転メガネによる、左右視野の反転視覚：近年、逆転視覚による視覚系の可塑性の研究が盛んになってきた。我々は、片方の視野に特異的に学習した視覚記憶が、左右逆転メガネによって反対視野 (例、右視野効果が左視野) へ転移することを示した。こうした、左右の皮質半球をまたがる可塑性が、視覚野だけでなく、他の領域、例えば運動野や体性感覚野においても、成立するものであろうか？

パラダイム：当研究では、こうした運動制御に関連した脳活動が、①自らの運動を観察しながら自発的に運動を遂行した場合の脳活動パターンと、②左右反転プリズム眼鏡を着用し、視野を逆転させながら、自発的運動課題を遂行したときの、脳活動パターンを比較することにより、反転した視覚情報によって引き起こされる身体像の反転が、運動野にどのような影響を与えるかを調べた。我々は、視覚野で生じたような、皮質をまたいだ脳活動の転移を、運動野や体性感覚野でも生じることを予測した。

## 2. 実験方法

### 2.1 実験機器

脳波計はBiosemi社のActive2を使用した。脳波のチャンネルは16チャンネル、計測周波数は2096Hzであった。信号は60Hzのノッチフィルタにより電源ノイズを除去した後、0.04~200Hzのバンドパスフィルタを用いて、この帯域の信号を解析した。

2.2 解析方法：解析は、Matlab/Simlink (Mathwork) を使用した。脳波と筋電、モーションキャプションの統合解析には、データ統合ソフトKinealyzer (キッセイコムテック) を使用した。脳波計測は、標準10-20法に従った16チャンネル(Fp1, Fp2, F3, Fz, F4, C3, Cz, C4, P3, Pz, P4, O1, Oz, O2, T7, T8)計測であった。周波数は2096Hz、信号は $60.0 \pm 0.5$ ,  $120 \pm 0.5$ Hzのノッチフィルタにより電源ノイズを除去し、0.04~200Hzのバンドパスフィルタを用いて、この帯域の信号処理した後、eeglabを用いて独立成分分析 (Independent Component Analysis: ICA)[17]を行なった。

2.3 被験者：関西学院大学生4人と筆者の計5人であった。本研究は関西学院大学倫理委員会より「人を対象とする医学系研究倫理審査」に基づき審査を受け、関西学院大学学長より承認されている。

2.4 課題：(1) 安静課題:被験者は閉眼状態で安静にしていた。(2) 自動運動課題：下肢

(右)を制止位置から、30度回転上昇。同時に自分の動きを観察した。2秒に一回の頻度で、50回繰り返した。(3)自動運動プリズム課題：下肢(右)を制止位置から、30度回転上昇。同時に自分の動きを左右逆転プリズムを使用して観察する。2秒に一回の頻度で、50回繰り返した。(4)自動運動課題2回目：下肢(右)を制止位置から、30度回転上昇。同時に自分の動きを観察した。2秒に一回の頻度で、50回繰り返した。

### 3. 結果

図2Aに自発運動を行なったときのICA分布を示す。複数の独立成分領域(コンポーネント)にて、領域特異的な脳波賦活が見られた。例えば、第8コンポーネントでは、後頭葉視覚野に活動が見られ、第11コンポーネントでは、Cz付近に活動が見られた。Czは下肢の受容野が存在する付近の脳部位として知られている。加えて、第16、第12コンポーネントでは、頭頂葉及び体性感覚野付近に相当するPz付近に賦活が見られた。また、第9、第10、第12コンポーネントでは、前頭前野、補足運動野に相当する部分の賦活が見られた。これらのうち、主要コンポーネントについて、周波数解析(高速フーリエ変換)を行なった。その結果、視覚野、第一次運動野、及び体性感覚野に於いて、アルファ帯域(10Hz付近)のパワーが上昇した。それに対して、前頭前野では、ベータ帯域(20Hz付近)の活動増加が見られた。

次に、左右反転プリズムメガネを着用しながら、同様の下肢自発運動課題を行なった。その結果、著しい違いが現れた。まず後頭葉視覚野の活動は、左右のバランスが崩れ左半球に偏りが見られた(図3A, 第6、第12コンポーネント)。さらに、主に前頭葉において、賦活活動が、反対側半球、即ち右半球に局在した(第3、第9、第11コンポーネント)。とりわけ、前頭前野、第一次運動野、体性感覚野、全てにおいて右半球中心の賦活が見られた第11、及び第14コンポーネントは注目に値する。これは、視野の左右反転という視覚情報の反転が視覚野だけでなく、体性感覚野や運動野皮質活動の転移をも引き起こした、と解釈できるからである。周波数解析においても、局在したコンポーネントでは、いずれもアルファ帯域のパワーが上昇した。

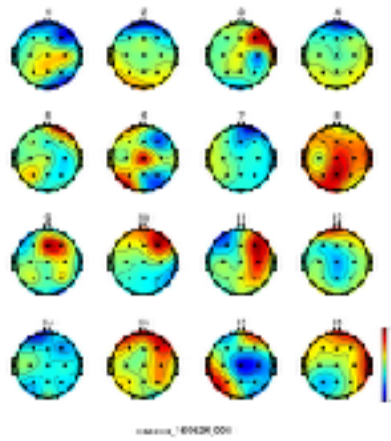
最後に、左右反転プリズムメガネの着用を辞めた後の、順応効果を調べるために、メガネを脱着した直後、同様の下肢の自発的屈曲課題を行なった。驚くべきことに、多くのコンポーネントにおいて、前頭葉でも(第1、第3、第4、第7コンポーネント)、頭頂葉でも(第4、第14、第16コンポーネント)、そして後頭葉でも(第8コンポーネント)、反対側優位の賦活が残っていた。これは、運動指令の部位と言われる第一次運動野の賦活はCzで変わらない(第11、第16コンポーネント)ことを考え合わせた場合、反転プリズムによって賦活された反対側半球の賦活が、主に前頭前野と体性感覚野にて保存されたことを示す。興味深いことに、周波数解析においては、アルファ帯域の賦活が保存されたのは、体性感覚野のコンポーネント(第14、第16コンポーネント、図4B)のみであり、前頭前野及び一次運動野においては、アルファ帯域の賦活は消滅した(第3、及び第11コンポーネント)。

### 4. 議論と結論

この研究では、被験者が自分の右足を観察しながら自発的に動かす自発的運動課題を遂行した場合と、左右逆転プリズムにて自分の下肢を観察しながら動かす場合の脳波を計測し、プリズムなしの脳波とどのように異なるのかを解析した。その結果、逆転メガネ装着によって(1)運動野皮質の活動が、反対側に移動し、(2)視覚領野、運動野いずれにおいても、アルファ帯域脳波が増強された。(3)運動野の転移は、メガネを外して、再度、同様の自発運動課題を行なったときにも、継続した。こうした結果は、運動イメージが、逆転メガネ装着時に記憶として作用し、装着後も少なくとも数分は継続した、作業記憶的なものであるこ

とを示唆する。

A)



B)

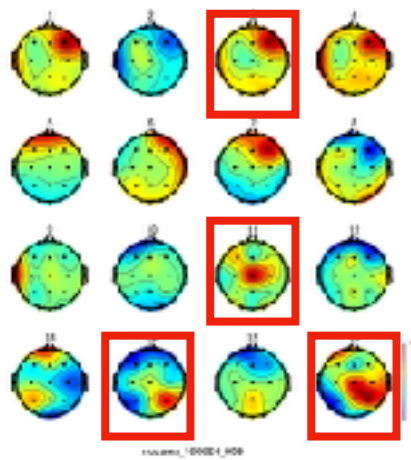


図1. (A) プリズム装着時の自発運動課題の時の脳波解析の結果。 (B) プリズム装着後の自発運動課題の時の脳波解析の結果。