

ブレイン・マシン・インタフェース使用時における効率の良いトレーニング方法の模索

心理学科 12HP227 武井 幸太郎

(指導教員：長野 祐一郎)

キーワード：ブレイン・マシン・インタフェース、脳波、イメージ

序と目的

脳信号の読み取り・脳への刺激によって脳と機械のダイレクトな情報伝達を仲介するプログラムや機器の総称をブレイン・マシン・インタフェース(以下 BMI)という。近年は安価な脳波測定装置が徐々に市場に回りつつあり、中でも注目を集めているのが、Emotiv Systems 社の Emotiv EPOC(以下 Emotiv)という製品である。Emotiv は、科学的な研究への応用可能性が検討されており、既存の脳波計と同等の脳波を測定しうることが示されている(Kirill Stytsenko, Evaldas Jablonskis, Cosima Prahm, 2011)。しかし、Emotiv に限らず BMI は脳の状態を読み取るだけでは不十分で、実用上は使用者が脳の状態を機器にあわせてコントロールする必要がある。本研究では、Emotiv を用い、BMI 使用時における効率の良いトレーニング方法を模索することを目的とする。

方法

実験参加者：大学生 15 名(男 12 名、女 3 名)を実験参加者とした。平均年齢は 20.8 歳($SD=0.9$)であった。

要因計画：2(トレーニング方法：動作イメージ法、視覚イメージ法)×3(日)×3(回)の実験参加者内計画を用いた。

装置：Emotiv EPOC (Emotiv Systems 社製、以下 Emotiv)の BMI 機能を用いて停止もしくは前進を表す 2 種の脳波状態を識別することとした。制御結果のフィードバックは、無線で接続された模型戦車を用いた。Emotiv と模型戦車は、LabVIEW 開発環境により作成した専用プログラムにより接続された。

トレーニング方法：「押す」「止める」のイメージを想起してもらい操作させる動作イメージ法、2 種類の画像をイメージして操作させる視覚イメージ法の 2 種類を用いた。

心理指標：Betts, G.H. (1909) の Questionnaire upon Mental Imagery から「視覚」、「運動感覚」、「内臓感覚」の 3 つの感覚モダリティの評定を行った。また、主観的上達度と制御しやすさを VAS で回答を求めた。手続き：1 つのトレーニングにつき 1 日に 3 回課題を行ってもらい、日を空けて 7 日間実験を行った。トレーニング期間では、実験参加者の好きなように模型戦車を操作させた。評価期間は、最初の 1 分は前進を維持するように、後半の 1 分は停止を維持するように教示し、計 2 分間の脳波の制御情報を記録した。

結果

制御成績では、トレーニング方法の主効果が有意であった($F(1,14)=10.08, p<.01$)。つまり、動作イメージ法より視覚イメージ法のほうが制御成績が高いことが示された。また、日の主効果に有意傾向が見られた($F(2,28)=3.16, p<.10$)が、多重比較を行ったところ、すべての日において有意な差は見られなかった。心理指標では、視覚モダリティと視覚イメージ法の間には弱い相関が見受けられた($r=.38$)。

考察

制御成績では各トレーニング方法の制御成績に有意な差があり、動作イメージ法より視覚イメージ法の方が制御成績が高いことが示された。水島(1988)によると、短期記憶における言語記憶やイメージ記憶は、心的操作によって維持され、そして長期記憶の内容となることから、視覚イメージ法は、もともと心的操作により維持され長期記憶の内容となっている画像であったため、画像想起も容易であり制御成績が高くなったのではないかと考えられた。機械による識別に適した脳波を生じる視覚イメージ法を用いることによって、BMI の制御成績を日を重ねる必要なく向上させることができる可能性が示された。

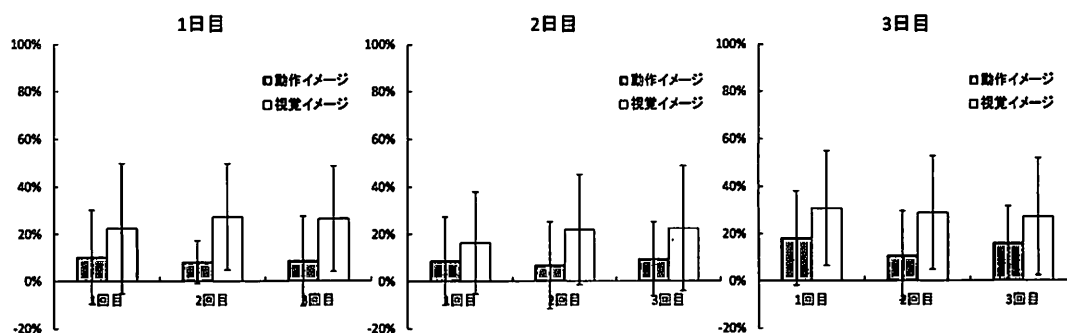


図1 各日・回における各トレーニング方法の制御成績

ブレイン・マシン・インタフェース使用時
における
効率の良いトレーニング方法の模索

学籍番号 12HP227

氏名 武井幸太郎

指導教員 長野祐一郎

序と目的

Science Fantasy(以下 SF)作品の中でよくみられる、操作ハンドルや操作レバー、コントローラーを使用せず、脳内に埋め込んだチップや、ヘッドセット型のデバイスを頭に装着し自身の思考だけで機械やゲームキャラクターを操作するという技術がある。このように脳内に埋め込んだチップまたはヘッドセット型のデバイスを頭に装着することで、脳信号の読み取り・脳への刺激によって脳と機械のダイレクトな情報伝達を仲介するプログラムや機器の総称をブレイン・マシン・インタフェース(Brain Machine Interface: 以下 BMI)という。BMI 技術は 1970 年代から現在まで研究が進められており、もはや SF 世界だけの技術ではなくなってきた。

BMI は大きく分けて入力型 BMI と出力型 BMI の 2 つに分類される(川人,2010)。入力型 BMI とは機械をとおして感覚情報が脳に入力されるというもので、主に感覚器に障害がある人々のための BMI である。その代表されるものが人工内耳や人工網膜である。これらは手術を受けることによって装着が可能になる。人工内耳は電極が機械的にずれないように固定され、長期間にわたって安定な信号伝達が行われるため実用化にいたっているが、人工網膜は機械的に固定が困難なため長期間の安定な信号伝達が保障されておらず実用化にはいたっていない(川人,2010)。太田・徳田・笹川・竹内・西田・北口・瓶井・不二門・田野(2009)が開発を進めている人工網膜は、強膜にポケットを作り、そこに電極を格納して網膜の外から電気刺激する方式で、電気刺激効率は悪いが電極が機械的に安定しており、実用化が期待されている。出力型 BMI とは、脳の情報を読み出し機械に出力するもので、治療型 BMI と機能代償型 BMI に分かれる。治療型 BMI は脳と機械をつないで治療に役立つもので、すでに貴島・斉藤・加藤・平山・押野・平田・大崎・畑沢・吉峰(2006)によって疼痛患者を対象に実用化されている。具体的には、硬膜下に 2 週間留置された電極により電気刺激を行い、痛みを和らげる治療法である。機能代償 BMI は、失われた機能を補うためのもので、脊髄損傷や筋萎縮性側索硬化症のように運動やコミュニケーションが困難になった人々にとって必要なものである。コミュニケーションを補うものとして、長谷川・藤村(2014)が産業総合研究所で開発している BMI は、小型の無線脳波計で脳波のリアルタイム解析によって脳内の意思を解読し、その結果をアバター(CG キャラクター)に表出するというものである。この BMI 使用者のサブモニタにはさまざまなピクトグラムがその文字ラベルとともに提示されており、一度の選択で 8 種類のメッセージから 1 つを選択する方式で、多様な意思を表出するために 8 択を 3 回繰り返している。この方式であれば 8 の 3 乗で 512 のメッセージを表出することができるが、あらかじめメッセージを登録する必要がある。運動を補うものとして、平田・柳澤・松下・Morris・神谷・鈴木・吉田・佐藤・斉藤・貴島・後藤・影山・川人・吉峰(2012)は、治療目的で硬膜下電極を留置された疼痛患者の協力を得て、皮質脳波による義手のリアルタイムコントロールの実証実験を行っている。このように BMI の有効性は徐々に実証されつつある。ただし、現在これらの研究に使用されている機器類は、価格が高い、使用方法が難しい、装着感が悪い、電極が安定しないなどの問題があり、そのままエンタテインメント等へ転用することは難しいと思われる。

このような問題を受け、近年は安価な脳波測定装置が徐々に市場に出回りつつある。中でも近年注目を集めているのが、Emotiv Systems 社の Emotiv EPOC(以下 Emotiv)という製品である。Emotiv とは、脳信号を収集・処理するワイヤレスのヘッドセットで、装着者の脳波を全 14 チャンネルから測定し、ワイヤレスで PC に送ることができる。この装置は本来ゲーム等のエンタテインメントへの応用を目的に作成されたものだが、科学的な研

究への応用可能性が検討されている。その結果、Emotiv に内蔵されているジャイロセンサを用いて身体の動きによるノイズを除けば、Emotiv は既存の脳波計と同等の脳波を測定しうることが示されている(Kirill・Evaldas・Cosima, 2011)。Emotiv は出力型 BMI であり安価で電極も埋め込まなくてよいため、エンタテインメントなどへの応用範囲が広いと思われる。しかし、Emotiv に限らず BMI は脳の状態を読み取るだけでは不十分で、実用上は使用者が脳の状態を機器にあわせてコントロールする必要がある。したがって、BMI を効率よく利用するためには脳波をある程度自由にコントロールするためのトレーニングが必要である。また、エンタテインメントなどへの応用を考えた場合、誰でも簡単にトレーニングできる方法が望ましい。そのため、本研究では、Emotiv を用い、BMI 使用時における効率の良いトレーニング方法を模索することを目的とする。小杉・小谷・武者(2006)は、脳波を解析することにより、代数的な思考状態、幾何学的な思考状態、無思考状態を高い確率で識別できたと述べている。このような結果から、視覚イメージを用いる場合と、それ以外のイメージを用いた場合で脳波の状態が異なる可能性が示唆される。そこで、本研究では Emotiv において標準的に用いられる動作イメージを用いた場合と、視覚イメージを用いた場合で BMI の制御成績がどのように異なるのかを検討する。

方法

実験参加者

大学生 15 名(男性 12 名、女性 3 名)を実験参加者とした。平均年齢は 20.8 歳($SD = 0.9$)であった。

要因計画

2(トレーニング方法：動作イメージ法、視覚イメージ法)×3(日)×3(回)の実験参加者内計画を用いた。

装置

Emotiv EPOC (Emotiv Systems 社製、以下 Emotiv)を使用した。Emotiv は高解像度で、脳信号を収集・処理するワイヤレスのヘッドセットで、装着者の思考や表情などを脳が検出することにより発生した電気信号を AF3, F7, F3, FC5, T7, P7, O1, O2, P8, T8, FC6, F4, F8 の 14 チャンネルから集め、ワイヤレスで PC に送ることができる。各チャンネルの電極に電解液を浸し、左右のこめかみ部を基準電極として、実験参加者の頭に 14 チャンネルに対応した位置に装着した(図 1)。サンプリングレートは、各チャンネルともに 128Hz であった。

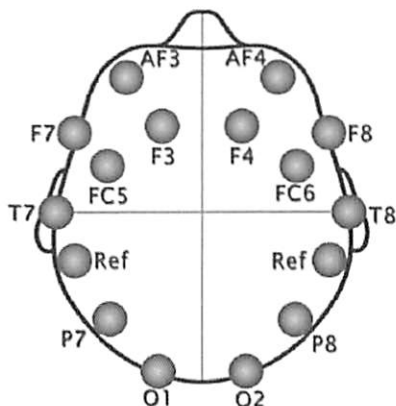


図1 Emotivにおける各チャンネル番号と位置関係



図2 Emotivを装着した様子

Emotivには装着者の感情や認知の状態が読み取れる BMI 機能が備わっていた。付属ソフトウェアである Emotiv Control Panel から、認知状態を判別する CognitiveSuite を用い、停止もしくは前進を表す 2 種の脳波状態を識別することとした。

BMI を使用するには、①特定の脳波状態の登録、②脳波状態の判別の二段階を経る必要がある。すなわち、特定の脳波状態を予め PC 側に登録しておくことで、今現在の脳波が登録されたどの脳波状態に最も類似しているかを判別することで、BMI 機能を提供する仕組みであった。

① 波状態の登録

脳波を登録するには、CognitiveSuite の Training モードを用いた(図 3-1)。CognitiveSuite には、複数の脳波状態を登録可能であったが、今回は停止もしくは前進の 2 種類に限定し、BMI 機能による識別を行うこととした。停止・前進、の双方ともに、8 秒間の脳波を記録した。



図 3-1 Emotiv Control Panel の CognitiveSuite(Training モード)

② 脳波状態の判別

脳波状態の判別には、CognitiveSuite の Action モードを用いた。このモードでは、Emotiv で現在測定されている脳波が解析され、①で登録したどの状態に最も類似しているかを判別し、CurrentAction として表示された(図 3-2 では、現在の脳波状態が停止を意味する Neutral であることを示している)。

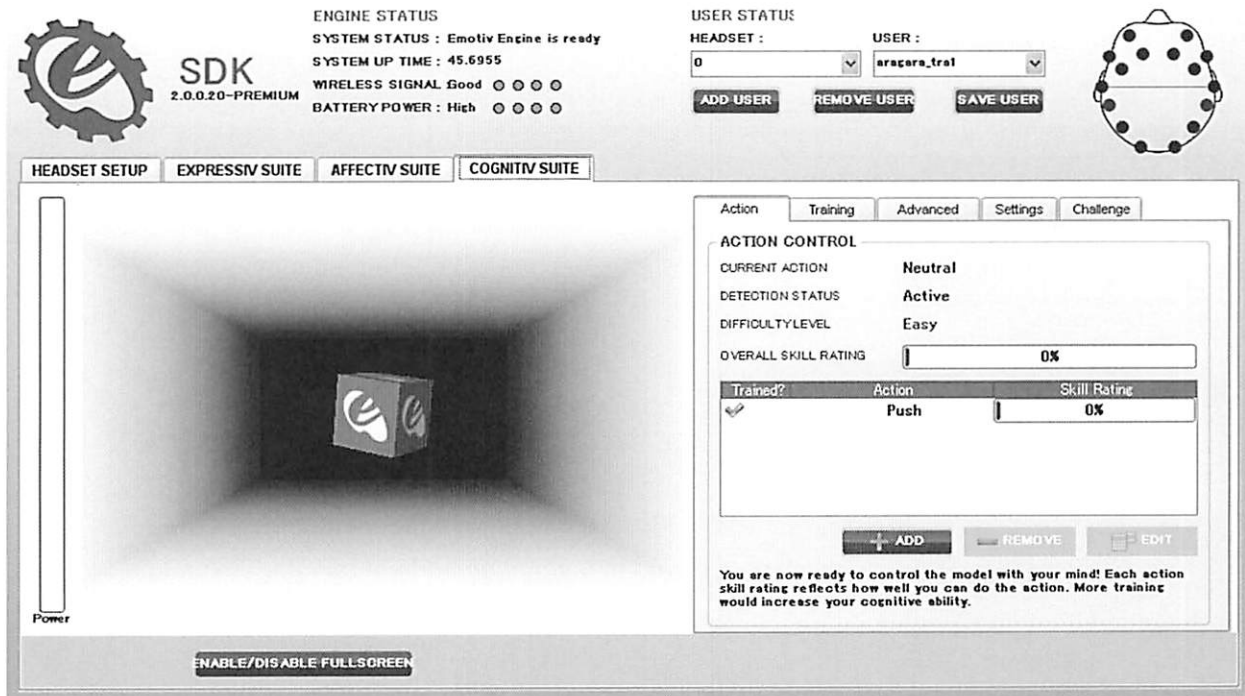


図 3-2 Emotiv Control Panel の CognitiveSuite(Action モード)

フィードバック制御プログラム

Emotiv で登録した脳波を模型戦車の制御に反映させるために、模型戦車制御プログラムを LabVIEW 開発環境により作成した。このプログラムは Emotiv Control Panel に表示される CurrentAction を、EmotivAPI(application interface)により中継し、その情報をもとに模型戦車を制御するものであった。模型戦車は、XBEE モジュールを用いた無線シリアル通信により制御されていた(図 3-3)。

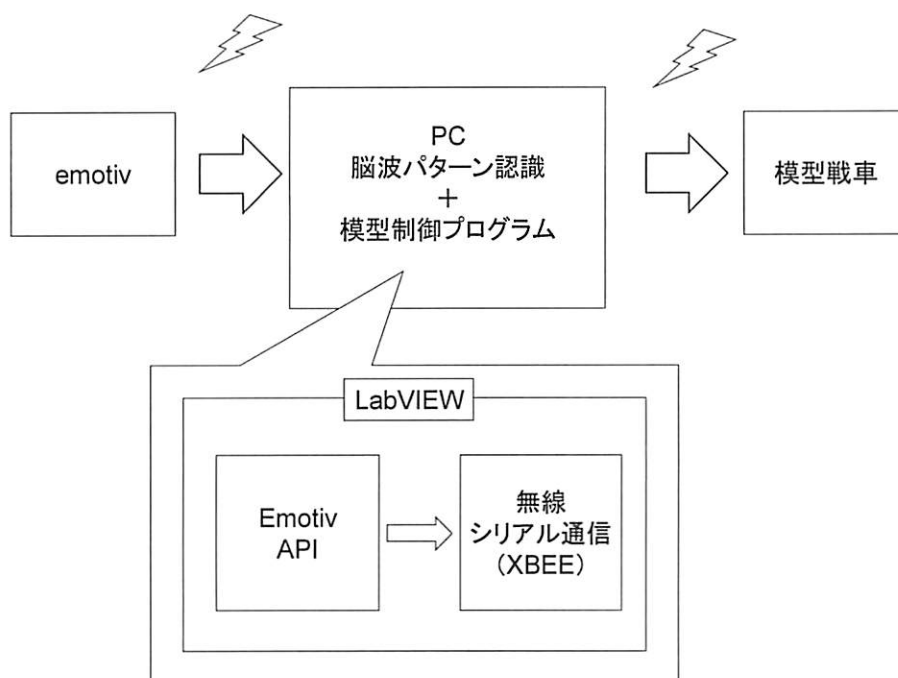


図 3-3 制御プログラム概要

LabVIEW から EmotivAPI にアクセスするために、LabVIEW Emotiv Epoc Interface (https://labviewhacker.com/doku.php?id=projects:lv_epoc_interface:lv_epoc_interface) を用いた。ソフトウェアには EmotivAPI 経由で登録した脳波の情報が取得され、PUSH(前進)状態にどれだけ類似しているかが制御率として 0~1 の値で示された(図 3-4)。PUSH 状態が 0 以外の時に、模型戦車のモーターを ON にした。

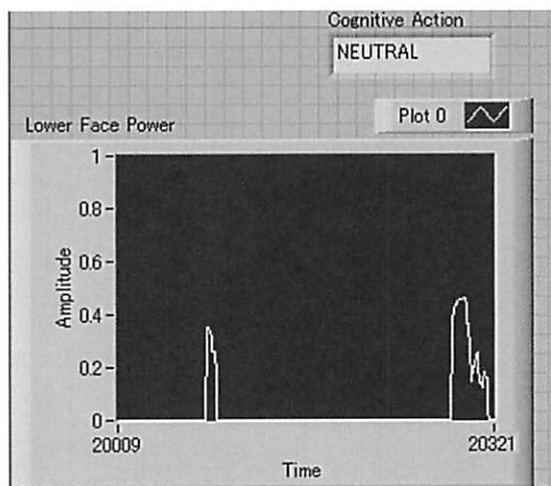


図 3-4 LabVIEW を用いた自作プログラム

実験課題

実験課題は、図 4 に示されるスケジュールで行われた。

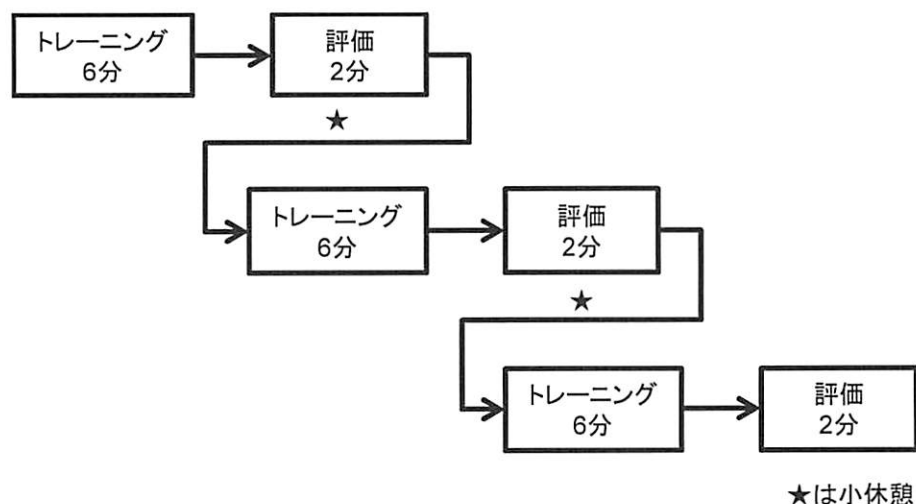


図 4 実験スケジュール

トレーニング期間は、自由に前進と停止を操作するように教示した。実験参加者は以下の述べる 2 種類のトレーニング方法を用い、模型戦車のコントロールを試みた。

トレーニング方法

動作イメージ法：CognitiveSuite のインストラクションに従い、前進と停止の 2 状態の脳波を実験参加者のイメージで Emotiv に登録し、トレーニング時に登録時のイメージを想起してもらい操作させる方法を用いた。

視覚イメージ法：実験参加者に 2 種類の画像を呈示し、前進と停止の 2 状態を登録し、トレーニング時に前進と停止の画像を想起してもらい操作させる方法を用いた。画像については、実験参加者に「一番好きなもの(動物、食べ物、キャラクター等)・芸能人」の画像をコンピュータを用いて検索させ、その中で一番気に入った画像を前進の画像として用いた。停止は実験者が用意した自然の画像を用いた(図 5)。



図 5 実験者が用意した画像

評価期間は、最初の1分は前進を維持するように、後半の1分は停止を維持するように教示し、計2分間の脳波の制御情報を自作ソフトウェアにより記録した。前進維持期間の制御率平均値(0~1)から、停止維持期間の制御率平均値(0~1)を引いた値を、制御成績として100分率に換算し、分析対象とした。これは100%に近いほど制御成績がよいことを意味する。

心理指標

実験参加者のイメージ能力を得点化するために、Betts, G.H. (1909) の Questionnaire upon Mental Imagery(以下 QMI)から「視覚」、「運動感覚」、「内臓感覚」の3つの感覚モダリティをとりだし、1~7段階で評定を行った。また、主観的上達度と制御しやすさを得点化するため100mmのvisual analog scale(VAS)を用いて回答を求めた。主観的上達度は「うまくできなかった(0)」から「うまくできた(100)」、制御しやすさは「やりづらかった(0)」から「やりやすかった(100)」であった。

手続き

初めに、本実験で得られたデータは全て平均化し、個人が特定されない様に統計的に処理すること、本実験で使用する機材及び課題は非侵襲的なものであり身体に影響を及ぼさないことを伝え、インフォームド・コンセントを得た。実験参加者には1つのトレーニングにつき1日に3回課題を行ってもらい、日を空けて7日間実験に参加してもらった。1日目から3日目は動作イメージ法を行い、4日目から6日目は視覚イメージ法を行った。7日目には総合的な内省報告をもとめた。Emotiv装着後、トレーニング方法に合わせてEmotivに2状態の脳波を登録した。登録した2状態は前進と停止の2状態であった。登録時は「これから〇〇の脳波を登録します。登録には8秒間かかります。まばたきや体の動きによるノイズを防ぐため、登録時はなるべく体を動かさず、まばたきをしないようにしてください。」と教示した。トレーニング期間では、実験参加者の好きなように模型戦車を操作させた。評価期間は、最初の1分は前進を維持するように、後半の1分は停止を維持するように教示し、計2分間の脳波の制御情報を記録した。休憩を入れながら2回目、3回目を行い、トレーニング終了後に内省報告をもとめた。

結果

0～1の値で記録された前進と停止の値で平均化し、さらに前進と停止の差を算出し百分率に換算したものを制御成績とし図6に示した。

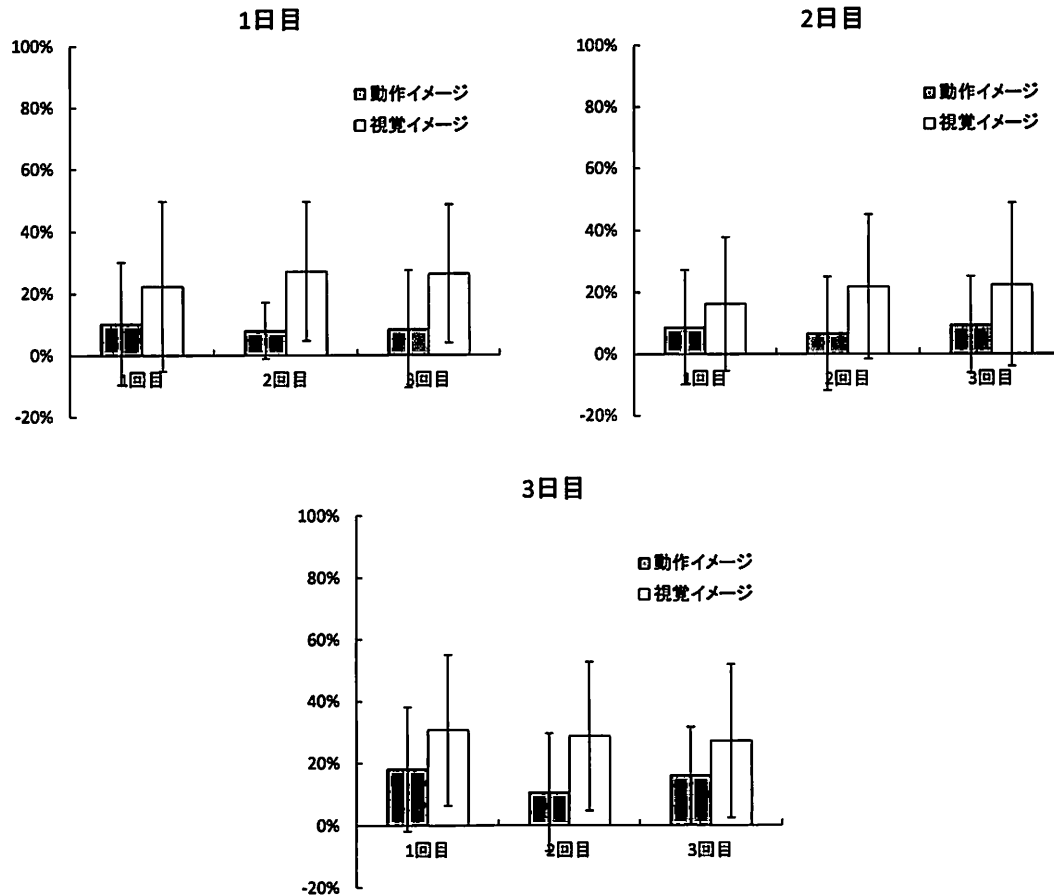


図6 各日・回における各トレーニング方法の制御成績

図6より、すべての日において動作イメージ法と視覚イメージ法の間には大きな差があり、動作イメージ法よりも視覚イメージ法のほうが制御成績が高く、視覚イメージ法に関しては回数を重ねるごとに制御成績が高くなっているように見受けられた。また、1日目と3日目を比較すると、各トレーニング方法とも1日目より制御成績が高くなっているように見受けられた。

制御成績を従属変数とし 2(トレーニング方法：動作イメージ、視覚イメージ)×3(日)×3(回)の参加者内計画による分散分析を行った。その結果、トレーニング方法の主効果が有意であった($F(1,14) = 10.08, p < .01$)。つまり、実験参加者のイメージでトレーニングさせる動作イメージ法より、画像を想起させてトレーニングさせる視覚イメージ法のほうが制御成績が高いことが示された。また、日の主効果に有意傾向が見られた($F(2,28) = 3.16, p < .10$)。そこで、Bonferroniの多重比較を行ったところ、すべての日において有意な差は見られなかった。その他の効果、交互作用は有意ではなかった(回： $F(2,28) = .53, n.s.$ ；トレーニング方法×日： $F(2,28) = .08, n.s.$ ；日×回： $F(4,56) = .65, n.s.$ ；トレーニング方法×回： $F(2,28) = 2.23, n.s.$ ；トレーニング方法×日×回： $F(4,56) = .07, n.s.$)。

次に、各トレーニング方法の主観的上達度に対する得点の平均値を算出し、図 7 に示した。

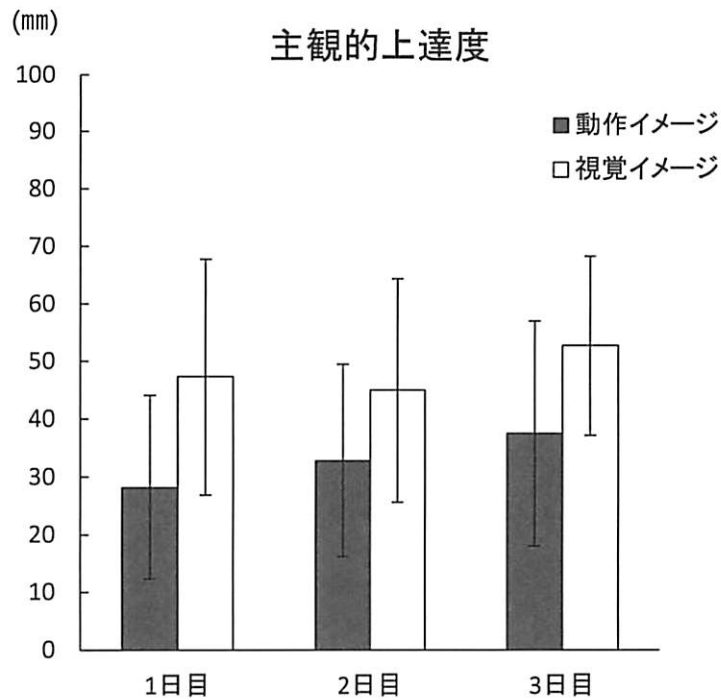


図 7 各日における各トレーニング方法の主観的上達度

図 7 より、各日において動作イメージ法より視覚イメージ法のほうが主観的上達度の得点が高く、各トレーニング方法の間に差があるように見受けられた。また、動作イメージ法をみると、日を経つにつれて得点が高くなっているように見受けられた。視覚イメージ法に関しては、動作イメージ法とは違い日を経つにつれ得点が高くなっているのではなく、2 日目で一度得点が低くなり、3 日目で得点が最も高くなった。

主観的上達度を従属変数とし、2(トレーニング方法: イメージ、画像)×3(日)の分散分析を行った。その結果、トレーニング方法の主効果が有意であった($F(1,14)=16.09, p<.01$)。つまり、動作イメージ法より、視覚イメージ法のほうが主観的上達度の得点が高く、動作イメージ法よりも視覚イメージ法のほうが主観的上達度が高いことが示された。その他の効果、交互作用は有意ではなかった(日: $F(2,28)=1.36, n.s.$; トレーニング方法×日: $F(2,28)=.42, n.s.$)。

次に、各トレーニング方法の制御しやすさに対する得点の平均値を算出し、図 8 に示した。

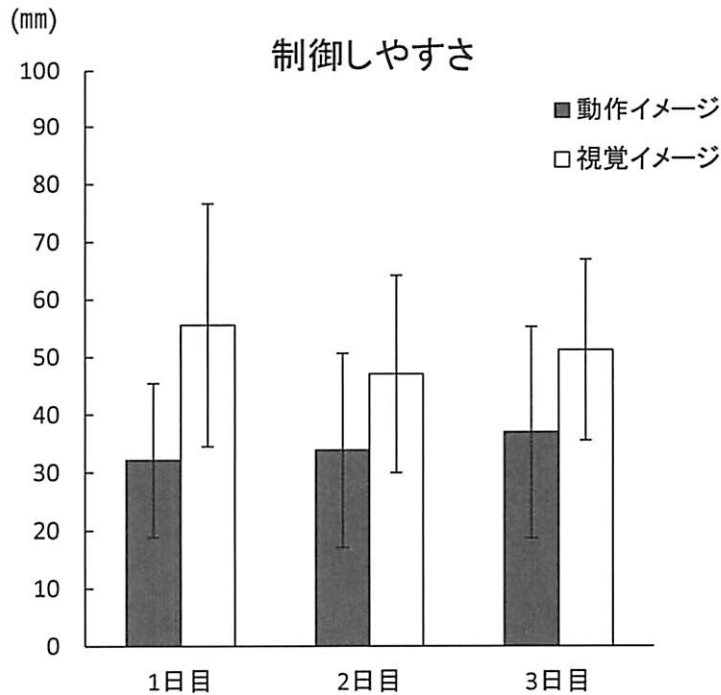


図 8 各日における各トレーニング方法の制御しやすさ

図 8 より、各期間において動作イメージ法より視覚イメージ法のほうが制御しやすさの得点が高く、各トレーニング方法の間に差があるように見受けられた。また、動作イメージ法をみると、日が経つにつれて得点が高くなっているように見受けられた。視覚イメージ法に関しては、各日において 1 日目の得点が最も高かった。2 日目で得点が低くなったが、3 日目で得点が再び高くなった。

制御しやすさを従属変数とし、2(トレーニング方法:動作イメージ、視覚イメージ)×3(日)の分散分析を行った。その結果、トレーニング方法の主効果が有意であった($F(1,14)=23.52, p<.01$)。つまり、動作イメージ法より視覚イメージ法のほうが制御しやすさの得点が高く、動作イメージ法より視覚イメージ法のほうが制御しやすいことが示された。その他の効果、交互作用は有意ではなかった(日: $F(2,28)=.41, n.s.$; トレーニング方法×日: $F(2,28)=1.33, n.s.$)。

次に、QMI 視覚モダリティ得点と動作イメージ法制御成績の関係性を図 9 に示した。

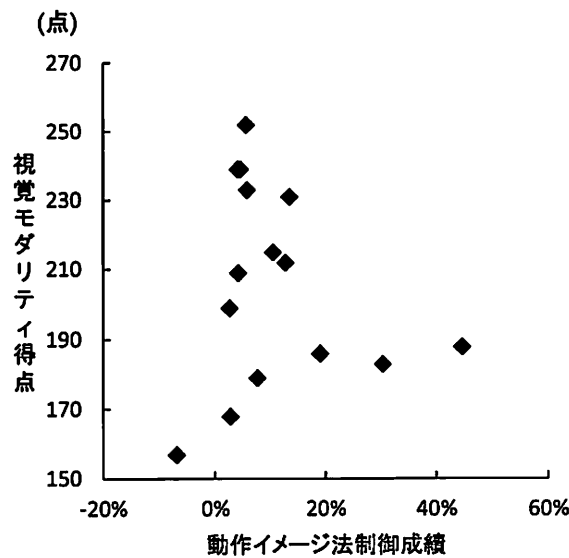


図 9 視覚モダリティ得点と動作イメージ法制御成績の散布図

図 9 より、QMI 視覚モダリティ得点と動作イメージ法制御成績の間には明確な関係性はないように見受けられた。ピアソンの相関係数を算出したところ、有意な相関は得られなかった($r = -.13$, n.s.)。

同様に、QMI 運動感覚モダリティ得点と動作イメージ法制御成績の関係性を図 10 に示した。

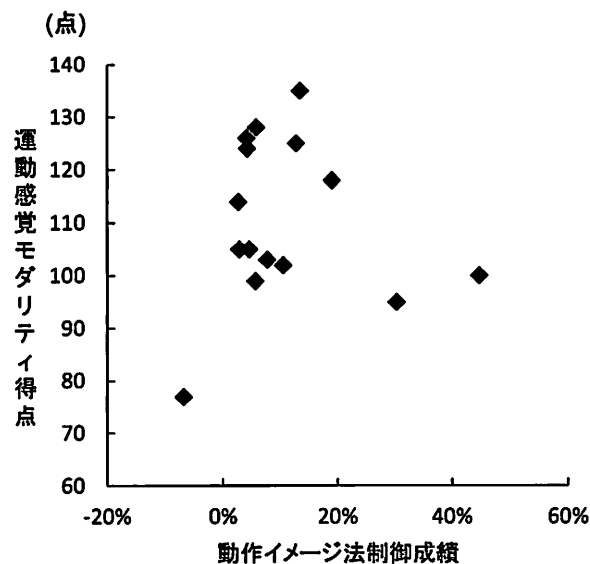


図 10 運動感覚モダリティ得点と動作イメージ法制御成績の散布図

図 10 より、運動感覚モダリティ得点と動作イメージ法制御成績の間には関係性がないように見受けられた。同様に相関係数を算出したところ、有意な相関は得られなかった($r = -.02$, n.s.)。

さらに QMI 内臓感覚モダリティ得点と動作イメージ法制御成績の関係性を図 11 に示した。

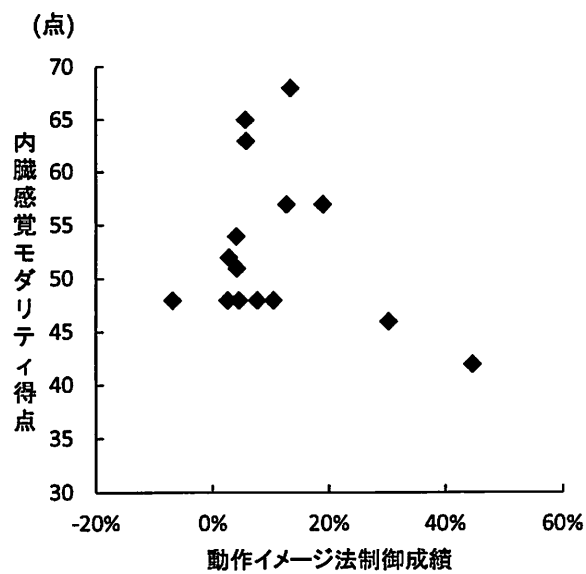


図 11 内臓感覚モダリティ得点と動作イメージ法制御成績の散布図

図 11 より、内臓感覚モダリティ得点と動作イメージ法制御成績の間には関係性がないように見受けられた。同様に相関係数を算出したところ、弱い負の相関が得られたが、統計的に有意ではなかった ($r = -.26, n.s.$)。

次に、QMI 視覚感覚モダリティ得点と視覚イメージ法制御成績の関係性を図 12 に示した。

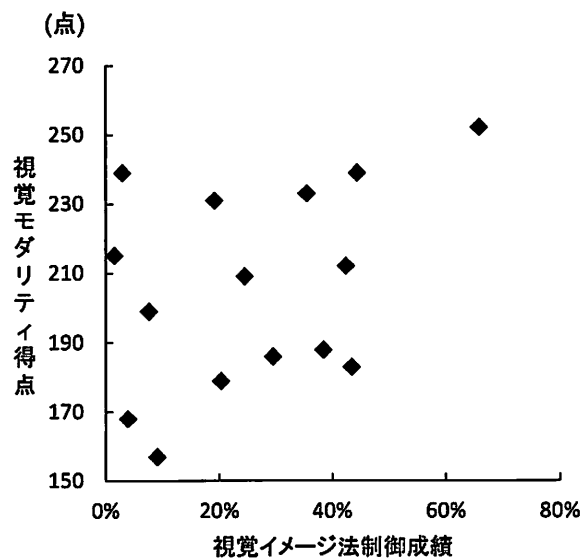


図 12 視覚感覚モダリティ得点と視覚イメージ法制御成績の散布図

図 12 より、視覚モダリティ得点と視覚イメージ法制御成績の間には得点が高いほど、制御成績が高くなる関係性があるように見受けられた。相関係数を算出したところ、弱い正の相関が得られたが、統計的に有意ではなかった ($r = .38, n.s.$)。

同様に、QMI 運動感覚モダリティ得点と視覚イメージ法制御成績の関係性を図 13 に示した。

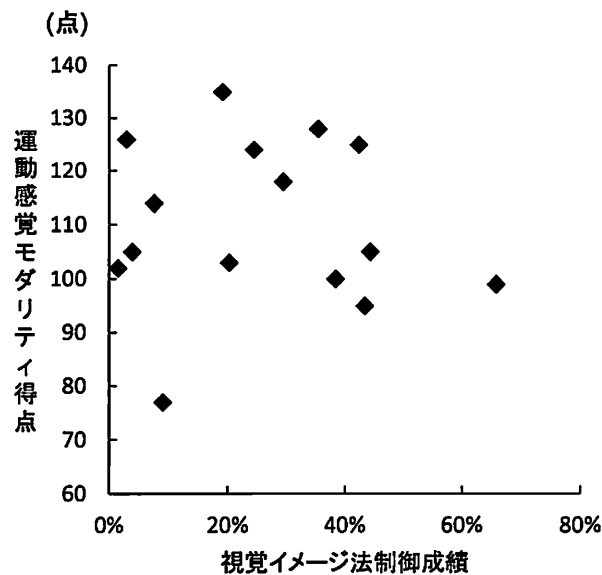


図 13 運動感覚モダリティ得点と視覚イメージ法制御成績の散布図

図 13 より、運動感覚モダリティ得点と視覚イメージ法制御成績の間には関係性がないように見受けられた。相関係数を算出したところ、有意な相関は得られなかった($r = -.05$, n.s.)。

さらに、QMI 内臓感覚モダリティ得点と視覚イメージ法制御成績の関係性を図 14 に示した。

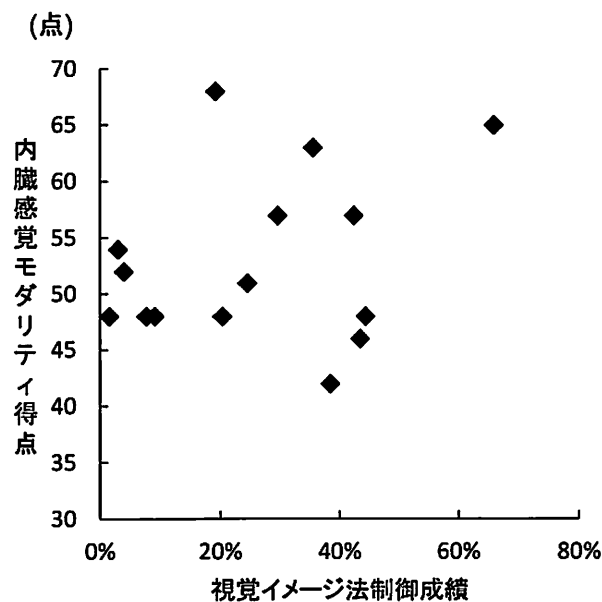


図 14 内臓感覚モダリティ得点と視覚イメージ法制御成績の散布図

図 14 より、内臓感覚モダリティ得点と視覚イメージ法制御成績の間には関係性がないように見受けられた。相関係数を算出したところ、弱い正の相関が得られたが、統計的に有意ではなかった($r = .26$, n.s.)。

考察

本研究は、EmotivのBMI機能を用い、模型戦車操作における効率の良いトレーニング方法を模索することを目的とした。

まず、制御成績では各トレーニング方法の制御成績に有意な差があり、動作イメージ法より視覚イメージ法の方が制御成績が高いことが示された。また、日の主効果に有意傾向がみられたが、多重比較の結果、有意差は認められなかった。VASで回答を求めた心理指標の主観的上達度と制御しやすさについては、どちらも各トレーニング方法に有意な差があり、動作イメージ法より視覚イメージ法の方がうまくでき制御しやすいことが示された。これらのことから、BMI使用時におけるトレーニング方法は、動作イメージ法よりも視覚イメージ法の方が有効な手立てとなり制御しやすいトレーニング方法であると考えられ、かつ、日や回の効果はないため、日や回を重ねる必要がないことが示された。

各イメージ能力得点と各トレーニング方法における制御成績の関係性に関しては、視覚モダリティ得点と視覚イメージ法制御成績に、統計的に有意ではなかったものの、弱い正の相関が見受けられた。このことから、本研究では実験参加者数が少なかったために、有意とはならなかったが、視覚モダリティ得点と視覚イメージ法制御成績の間にはある程度の関連性があるのではないかと考えられた。

内省報告より、脳波登録時において、視覚イメージ法は「人物の仕草や表情」「顔や手といったポイント」「森の景色と光、湖面に映っていた景色」など、画像の細部をイメージする視覚的なものが多く、動作イメージ法は「前に進んでいるイメージ」「止まれと命令するイメージ」「人が走るイメージ」などと言語的・運動的なものが多かった。水島(1988)によると、短期記憶における言語記憶やイメージ記憶は、何らかの心的操作によって維持され、そして長期記憶の内容となると述べている。このことから、視覚イメージ法は、実験参加者が好きな芸能人やモノといったもともと心的操作により維持され、長期記憶の内容となっている画像であったため、画像想起も容易であり制御成績が高くなったのではないかと考えられる。しかし、停止で用いた画像に関しては、実験者が用意したものであったため、心的操作がされておらず、画像想起が容易ではなかった可能性がある。このことから、停止で用いる画像も、あらかじめ心的操作されているものを用いる必要があるのではないかと考えられる。また、Michel(1989)は、言語作業中の α 波の振幅は、視覚作業中よりも小さいと述べている。このことから、言語的なイメージを含む動作イメージ法は、脳波登録時の α 波が視覚イメージ法よりも小さく、それに加え日を重ねるごとに「自転車で前に進むイメージ」から「車輪が回るイメージ」や「止まれと命令するイメージ」から「いろいろ考え頭を休めないイメージ」など、イメージが変容してしまい登録時の脳波と類似しなかったため制御成績が低くなったのではないかと考えられる。また、実験参加者のイメージが変容しないよう動作イメージ法において、「自分が走るイメージをしてください」「自分が止まっているイメージをしてください」などとイメージを特定のものに固定しておく必要があるのではないかと考えられる。

以上の結果から、機械による識別に適した脳波を生じる視覚イメージ法を用いることによって、BMIの制御成績を日を重ねる必要なく向上させることができる可能性が示された。

今後の課題として、視覚イメージ法において停止での提示画像の心的操作、動作イメージ法においてイメージの統制をする必要がある。イメージ能力得点と各トレーニング方法における制御成績の関係性についてより詳しく調べるために、実験参加者の人数を増やす必要があることも示された。また、本研究では視覚イメージと動作イメージの比較検討を行い、動作イメージ法より視覚イメージ法のほうがBMI使用時において有効なトレーニング

の手立てとなる可能性が示された。しかし、感覚イメージはそれら2つだけではないので、他の感覚イメージとの比較検討も行う必要があると考えられる。

引用文献

- Betts, G.H. (1909). The distribution and functions of mental imagery. *Teachers' College Columbia University Contributions to Education*, 26, 1-99.
- 平田雅之・柳澤琢史・松下光次郎・Morris Shayne・神谷之康・鈴木隆文・吉田毅・佐藤文博・斉藤洋一・貴島晴彦・後藤哲・影山悠・川人光男・吉峰俊樹 (2012). ブレイン・マシン・インターフェースによる機能支援:リアルタイムロボットアーム制御とワイヤレス完全体内埋込装置の開発 脳神経外科ジャーナル 21(7), 541-549.
- 川人光男 (2010). 脳の情報を読み解く BMI が開く未来 朝日新聞出版 pp12, 41.
- Kirill Stytsenko,・Evaldas Jablonskis,・Cosima Prahm (2011). Evaluation of consumer EEG device Emotiv EPOC Mei:CogSci Conferences
- 貴島晴彦・斉藤洋一・加藤天美・平山東・押野悟・平田雅之・大崎康宏・畑澤順・吉峰樹 (2006) 求心路遮断痛に対する一次運動野刺激療法の除痛機序 日本疼痛学会誌 21(3), 111-115
- 小杉幸夫・小谷泰則・武者利光 (2006). 知能情報科学シリーズ 脳型情報処理・非ノイマン処理への道・森北出版株式会社 pp.15-17.
- Michel Denis (1979). *LES IMAGES MENTALES*. (ミシェル・ドゥニ 寺内礼(監訳) 兵藤宗吉・三上典生・大久保政憲・富田正二(訳) (1989).イメージの心理学・心像論のすべて・pp60.
- 水島恵一 (1988). イメージ心理学 大日本図書株式会社 pp23.
- 太田淳・徳田崇・笹川清隆・竹内陽一・西田健太郎・北口善之・瓶井資弘・不二門尚・田野保雄 (2009). 網膜下埋込み方式のための光制御機能を内蔵した分散型人工視覚デバイス映像情報メディア学会技術報告 33(30), pp21-24.