

事象関連電位 P300 を用いた画像識別に関する実験的検討

遠藤 慎人[†] 小野 洋平[‡] 田口 亮[‡]

[†]武蔵工業大学大学院工学研究科 〒158-8557 東京都世田谷区玉堤 1-28-1

[‡]武蔵工業大学工学部生体医工学科 〒158-8557 東京都世田谷区玉堤 1-28-1

E-mail: [†]g0781315@sc.musashi-tech.ac.jp, [‡]ataguchi@sc.musashi-tech.ac.jp

あらまし 画像・映像においては人間の感覚に則した画質評価の数値化は困難であり、主観評価を用いることが多い。しかしながら、主観評価はその評価値のステップが荒く、また、評価に迷っている場合も強引に評価を下す必要があり、精度、信頼性に問題を含んでいる。主観評価をより細かな段階で、かつ、評価に迷っている状況等も把握できるようにするために、生体信号である脳波から画像評価を行うことを考える。本稿では、いわゆる「オドボール課題」で画像の識別・評価を行うことを考える。「オドボール課題」では、2つのクラスの画像を提示(高頻度提示と低頻度提示)し、低頻度提示画像の場合に「回数のカウント」または「ボタン押し」を行ってもらう。その際に、誘発される脳波である事象関連電位(ERP)により評価を行うことを考える。ERPは被験者の微妙なコンディションの変化(疲労、緊張感不足)やまばたき、眼球運動等のアーチファクトの影響で、その揺らぎが無視し得ない。ERPに関しては背景脳波よりも電位が小さいため、同期加算によって、無関係な背景脳波の除去を図っている。また、観測脳波の電圧値に対するしきい値処理で、まばたきや眼球運動から生じるアーチファクトの除去が行われてきた。しかしながら、ERP自身も被験者のコンディションにより揺らぐため、本来のあるべき波形特徴からずれている場合も少なくない。そのような波形を同期加算に用いることは、本来のERP特徴を弱めてしまい不適當である。本稿では、測定されたERPからアーチファクトも含め、同期加算に用いるのに不適當なERPを排除する方法を明らかにする。そのことによって、同期加算結果の向上を図り、正しいERP特徴解析を可能とする。

キーワード 事象関連電位, P300, 画像識別

Experimental studies on Image Distinction Using Event Related Potential P300

Masahito ENDO[†] Youhei ONO[‡] and Akira TAGUCHI[‡]

[†] Graduate school, Musashi Institute of Technology 1-28-1 Tamadutsumi, Setagaya-ku, Tokyo, 158-8557 Japan

[‡] Department of Biomedical Engineering, Musashi Institute of Technology

1-28-1 Tamadutsumi, Setagaya-ku, Tokyo, 158-8557 Japan

E-mail: [†]g0781315@sc.musashi-tech.ac.jp, [‡]ataguchi@sc.musashi-tech.ac.jp

Abstract We study the image/video evaluation method by using the electroencephalogram (EEG). "Oddball task" is used by evaluation of image/video. On oddball task, the "rare stimulus" and frequent stimulus" are given. Measured EEGs were analyzed by an averaging technique. In the results, amplitude of the event related potential (ERP) P300 becomes large when the "rare stimulus" is given. However, measured ERPs are affected by artifacts and background EEG. Moreover, ERP is changed according to the tired feeling and changing tension. Thus, it is necessary to reject unsuitable measured ERPs when using the averaging technique. In this paper, we propose the rejection method for unsuitable measured ERPs for the averaging technique.

Keyword Event Related Potential, P300, Image Recognition

1. まえがき

画像・映像の評価は人間の感覚(主観)を数量化できることが望ましい。しかしながら、画像・映像において頻繁に用いられる評価であるSN比(PSNR)などでは、人間の感覚(主観)と数値が対応しないこともあり、よって、マルチメディア製品開発や符号化の標準化作業においては、画像・映像評価に主観評価が用いられてきた。

主観評価では、評価対象を「良い」、「普通」、「悪い」とい

ったような数段階で評価してきた[1]。しかし、評価に迷ったときでもいずれかの評価を下す必要があり、評価者の疑義の評価を正すこともできないなど、精度や信頼性に関して疑問が残る。よって、主観評価の精度・信頼性向上が望まれる。

本稿では、主観評価の信頼性向上と客観化を図るために、画像の評価(識別)に事象関連電位(ERP)を用いる事を考える。ERPは知覚や認知を起源として生じる誘発脳波の

ことで、この脳波によって画像・映像の評価法を確立したい。

ERPの測定にはオドボール課題[2]がよく用いられる。これは、2つ以上の異なる刺激を呈示し、その刺激を区別してもらうものである。刺激は出現頻度をランダムに呈示し、出現頻度が低い刺激のときにカウントやボタン押しをしてもらうのが一般的である。このカウントやボタン押しという行為によって、特徴的なERPが生じる。

いま、雑音を重畳した画像を低頻度に呈示し、雑音が重畳されていない画像を高頻度に呈示する。雑音を変化させながら複数回実験を行えば、人間が感じる雑音の下限量を知ることが可能となろう。人間が雑音を感じるか感じないかの境界的な領域での雑音量に対しては、低頻度に呈示されている画像を高頻度に呈示されていると画像と間違えてカウントする回数が増加することも考えられる。雑音の種類(ガウス雑音、インパルス雑音等)を変えれば、雑音の性質の違いによる人間の感じ方の差異を定量化できることになる。

ERPを用いた評価を行うためには、高頻度呈示画像に対するERPおよび低頻度呈示画像に対するERPそれぞれが、それぞれの特徴をしっかりと有すること要求される。特に、低頻度呈示画像に対するERPにおいて300ms付近の陽性ピーク(P300)が重要な波形特徴になっていることから、そのピークや潜時はできるだけ正確に測定したい。

ERPの場合、背景脳波よりも振幅が小さい。しかしながら、背景脳波は無相関であるため、同じ呈示画像のERPを同期加算することで、背景脳波の低減を図っている。しかしながら、ERP自身も被験者の緊張感不足や疲労等のコンディション変化によって、大きく揺らぐ場合も少なくない。さらに、まばたき、眼球運動によって、ERPはアーチファクトの影響を受ける。

これまで、アーチファクトの影響を受けたERPは測定されたERP波形の電圧値を用いたしきい値処理により、その影響を受けたERPをある程度排除してきた。しかしながら、被験者のコンディション変化や、微妙なアーチファクトに対しては何ら対策が施されていなかった。仮に、不適当なERPを同期加算で用いれば、本来の波形特徴が低減されてしまい、例えば、P300のピーク値、潜時の測定に支障が生じる。

本来、同期加算で背景脳波が除去されてERPのみが残るのは、背景脳波は無相関であり、ERPは同じ呈示画像に対して相関が高いことに起因する。しかしながら、同じ低頻度呈示画像に対するERPであっても、そのERP同士の相関値が必ずしも高くない。相関が低いERP同士の同期加算は避ける必要がある。そこで、本稿では、得られたERPにおいて同期加算に用いるのに不適当なERPを排除する方法を提案する。当然、アーチファクトの影響を受けたERPも排除可能となる。

提案する方法では、測定で得たERPに対して相関値を

基準に、他のERPとの相関が小さいものを徐々に排除する方法である。提案法を適用し、不適当なERPを排除して同期加算することにより、高頻度呈示画像および低頻度呈示画像に対し、それぞれの特徴を持つERPを得ることが可能となる。このように、相関値に着目して解析に不適当なERPを除き同期加算を行っていく方法を相関値選択型同期加算法と呼ぶ。

オドボール課題においては、低頻度呈示画像に対するERPと高頻度呈示画像に対するERPは十分に異なった特徴をもつ波形として観測される。よって、それぞれの呈示画像に対するERPの同期加算結果(平均ERP)に対して、個々のERPの識別を相関値を用いて行うことを考えれば、2つの平均ERPに対する相関値に十分な差異が生じるはずである。仮に、2つの平均ERPとの相関値に差が十分でないERPは低頻度呈示画像のERP特徴も高頻度呈示画像のERP特徴も、いずれも持っていないことになる。すなわち、そのERPを解析(同期加算)に用いることは不適当であり、よって、それを排除する。この考え方で不適当なERPを排除する方法を許容相関値法と呼ぶ。

本稿では相関値選択型同期加算による不適当なERP排除と、識別結果に基づく許容相関値による排除を併用して、適当なERPは残し、不適当なERPのみを排除する方法を明らかにする。

2. 脳波について

2.1. 事象関連電位

脳波には一定の事象生起に関係なく常にゆらいでいる自発性脳波(背景脳波)と、何らかの事象生起に関連して出現する誘発性脳波との2種類に分けられる。後者のものを事象関連電位(ERP)と呼ぶ。ERPには知覚(視覚・聴覚・体制感覚)を起源とする外因性と、認知、記憶、注意などといった心的事象に関わる内因性の2種類がある。本稿ではERPによって画像の識別・評価を行うことが目的であるから、認知に関係する内因性に着目し取り扱っていく。

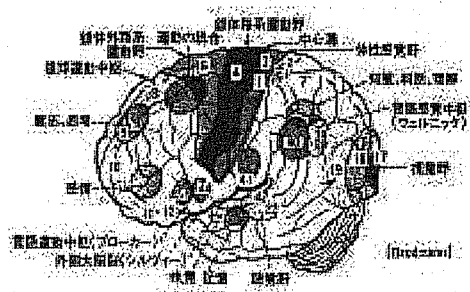


図1 大脳の機能局在

大脳の各領域における機能を図1に示す。視覚に関する刺激は後頭葉に伝わり、頭頂葉と協力して処理すること

で、人の顔や物の形などを認識している。よって、脳波の測定は後頭葉、頭頂葉の領域で行うことになる。

ERP はアーチファクトと呼ばれる脳波以外の影響を受けやすい。このアーチファクトには生体由来の内因性ものと、外部由来のものがある。

生体由来の内因性アーチファクトは、まばたきや眼球運動などが原因で混入してしまうので、測定中にまばたき等をする時間を設けることにより対処する。しかしながら、内因性のアーチファクトは完全に排除不可能なため、測定されたERP に対する後処理でアーチファクトの影響を受けた ERP を排除することも必要となる。

外部由来のアーチファクトは、電極の不良、装着不備などによって混入してしまうので、測定準備時に細心の注意を払うとことに対処する。

2.2. オドボール課題

2 種類以上の感覚刺激を、出現頻度を変えてランダムに呈示し、呈示頻度の低い方の刺激に応じて出現回数を数えさせたり、出現の度にボタンを押させたりする。これをオドボール課題と呼び、この出現回数を数えさせたり、ボタンを押させたりすることで、ERP に P300 という潜時 300msec 付近に陽性の反応波が現れる。

オドボール課題で測定されるERP 波形の例を図 2 に示す。呈示頻度の低い刺激に対するERP に P300 が現れている。P300 とは、刺激開始から 250~500msec のところに生じる陽性の反応波のことである。この P300 が人間の認知機能と関連した反応であると言われている。P300 の潜時とピーク値を正確にする測定することが脳波を用いた評価に不可欠である。

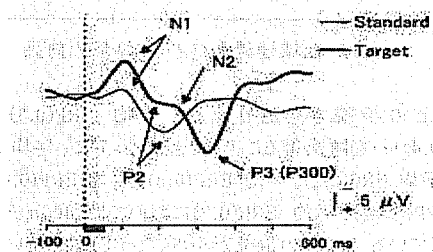


図 2 事象関連電位波形例 [2]

3. 方法

3.1. 実験条件

脳波の測定における電極は、国際臨床神経生理学学会連合の推奨する 10%法に基づき配置する。10%法は、鼻根から後頭結節までの長さ、および、左右の耳介前点間の長さを、それぞれ 10%を単位として電極の位置決めを行ったものであり、その配置図は図 3 のようになる。なお、図 3 では上部が鼻根に対応している。

本稿は、画像の識別・評価を脳波によって行うことが目的

であるから、後頭葉(O)と頭頂葉(P)に対応した電極位置を選択する必要がある。以下の検討は PO7、PO8 による測定結果を用いた。

オドボール課題における高頻度呈示画像を図 4(a)に示す「南の島」、低頻度呈示画像を図 4(b)に示す「富士山」とした。画像中心の黒い点は固視点で、眼球運動によるアーチファクトの混入を防ぐために、視点のターゲットとして設けた。

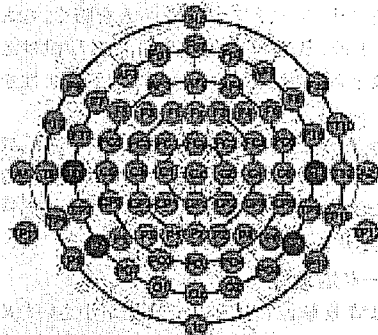
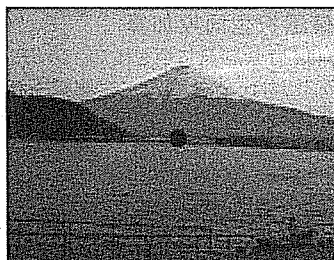


図 3 10%法による電極配置図



(a) 高頻度呈示画像(南の島)



(b) 低頻度呈示画像(富士山)

図 4 実験に用いた画像

今回のオドボール課題では、全く異なった 2 枚の画像を高頻度、低頻度に呈示することにした。仮に画像に重畳した雑音に対する影響を定量化するための実験を行うとすれば、本実験において、低頻度呈示画像に対して、「南の島」に雑音を重畳させたものを用いればよい。

この実験においては、高頻度画像と低頻度画像の呈示

頻度が 4:1 となるようにした。また、測定時間が長くなると被験者の疲労の影響が ERP に現れるために、これを考慮し 1 回の測定は、高頻度画像の呈示を 48、低頻度画像の呈示を 12、合計 60 の呈示とした。この測定を同じ日に休養を挟んで 2 回行い、2 回分の実験データ、すなわち高頻度画像に対して 96 個の、低頻度画像に対して 24 個のデータサンプルを取得した。

画像の表示には、画像と画像の間に灰色画像を設けての測定が一般的である。この灰色画像が表示された時にまばたきをさせ、アーチファクトの混入を防ぐ。なお、画像表示時間は 1 秒、灰色画像表示時間は 2 秒設けた。また、低頻度画像と高頻度画像の呈示順には規則性を持たせない。

P300 が重要な波形特徴であり、かつ、P300 が刺激開始から 250~500msec の間で生じることから、ERP の観測時間は刺激開始から 600msec とする。サンプリング間隔は 2msec としたので、サンプル数は 300 となる。

3.2. データ処理

ERP は背景脳波に比較して電位が小さいため、複数回の測定データを同期加算し、背景脳波の影響をなくすことが一般的である。しかしながら、図 5 のように、実際に観測された ERP には高周波成分が著しく重畳されていて、得られているデータ数が必ずしも充分でない時は、同期加算のみで低減することは困難である。よって、ERP の波形特徴を保持し、高周波の不要成分を除去するために低域通過型フィルタを用いる。

ここでは同期加算に先立ち低域通過型フィルタ処理を DFT 領域で行う。カットオフ周波数を 50Hz とし、さらに測定時のオフセットをなくすために直流成分も除去した。フィルタ処理により、図 5 の測定データ群は図 6 のようなデータ群へ改善される。

3.3. 相関値選択型同期加算

同期加算は、背景脳波に埋もれている ERP を明瞭にするために行う。これは、背景脳波が観測データごとに無相関であり、逆に、同じ呈示画像に対する ERP の相関が強いという仮定からである。しかしながら、まばたきや眼球運動から生じるアーチファクトや、被験者の疲労や緊張感の変化により同じ呈示画像に対する ERP も揺らぐことになる。実際、図 5 や図 6 の低頻度呈示画像に対する ERP を見ると、それら測定 ERP のばらつきが大きいことがわかる。同期加算法で ERP を求めるにあたり、仮に、不適当な ERP を含んでいれば、ERP の特徴を低減させてしまう。そこで、本稿では、得られている測定データ群から ERP としての特徴を持っていないものを排除する方法を提案する。残された ERP のみで同期加算を行うことで、正確な ERP 解析が可能になると考えられる。

同じ呈示画像から得られた ERP データ群において単純に同期加算を行い、平均 ERP(単純)を得る。この平均値 ERP に対して、全ての ERP データ個々の相互相関値を算

出する(相互相関値の範囲は-1~1)。相関値が、0.1 以下の ERP を排除し、残った ERP のみで再び同期加算を行い平均 ERP(0.1)を得る。平均 ERP(0.1)に対して、同期加算に用いた ERP データ個々との相互相関値を求め、今度は、相関値が 0.2 以下の ERP を排除する。残った ERP データのみで平均 ERP(0.2)を求める。

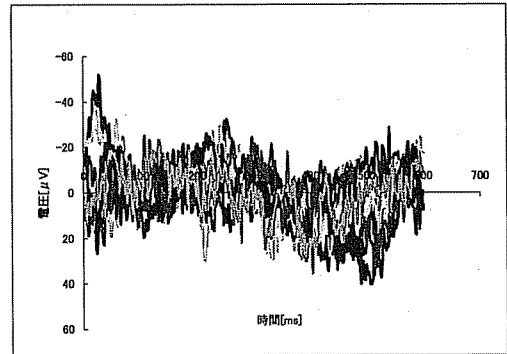


図 5 観測される ERP 波形

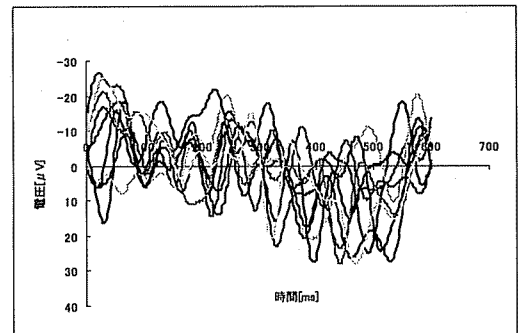


図 6 低域通過型フィルタ処理の効果

以上の手続きを繰り返し、平均 ERP(0.3)、平均 ERP(0.4)・・・を順次得ることができる。図 7 に、平均 ERP(単純)、平均 ERP(0.2)、平均 ERP(0.5)、平均 ERP(0.6)を示した。ERP(単純)、平均 ERP(0.2)においては 400ms~500ms に生じている P300 の電位が小さくなってしまっている。これは、同期加算に用いた ERP に不適当な ERP が含まれていることを意味する。一方、平均 ERP(0.5)、平均 ERP(0.6)では、P300 を正確に解析可能となっている。この提案する同期加算法を相関値選択型同期加算法と呼ぶことにする。

3.4. 許容相関値法

オドボール課題の場合は、低頻度呈示画像に対する ERP と高頻度呈示画像に対する ERP は顕著に異なった波形特徴を示す。よって、それぞれのクラスの前平均 ERP を用いて個々の ERP を相関値を指標として識別することを考えれば、個々の ERP が波形特徴を備えていれば、それぞれの平均 ERP に対する相関値の差異が大きくなると考えられる。すなわ

ち、それぞれのクラスの平均 ERP に対する相関値の差異がしきい値以下の場合(許容値以下の場合)は、その ERP はいずれのクラスの ERP 特徴も備えていないと判断し、その ERP を排除することを考える。この方法を許容相関値法と呼ぶ。

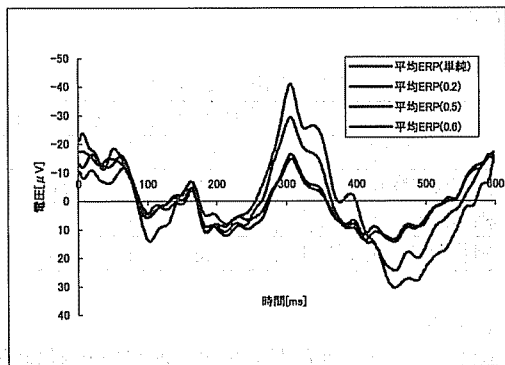


図 7 相関値選択型同期加算波形

4. 結果および検討

低頻度呈示画像に対する ERP と高頻度呈示画像に対する ERP の単純な同期加算結果を図 9 に示す。図から低頻度呈示画像に対する ERP の 450msec 付近に陽性の反応が見られ、P300 が確認される。高頻度呈示画像に対する ERP に対しては P300 が見られない。

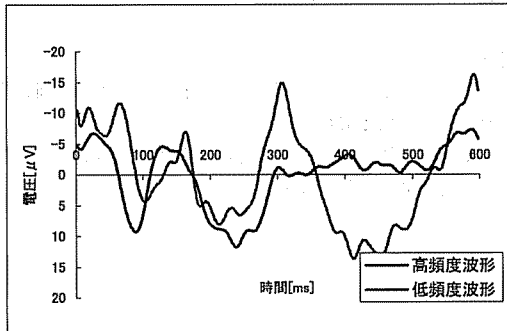


図 8 同期加算結果

4.1. 相関値選択型同期加算の適用

個々の低頻度呈示画像に対する ERP が低頻度呈示画像に対する ERP 特徴を、個々の高頻度呈示画像に対する ERP が高頻度呈示画像に対する ERP 特徴を、それぞれ持っているかを検証してみる。平均 ERP(単純)を用いて、同期加算算出に用いた個々の ERP データに対して相互相関値を指標に、高頻度呈示画像に対する ERP か低頻度呈示画像に対する ERP かの識別を行う。

この場合、被験者 A に対しては 68%、被験者 B に対しては 70% のデータしか正しく識別が行われない。被験者 A で

言えば 32%、被験者 B で言えば 30% の ERP データが、それぞれの呈示画像に対する ERP 特徴を持っていないことがわかる。

そこで、本稿で提案した相関値選択型同期加算法を適用し、不適当な ERP の排除を試みる。図 9 において、平均 ERP(0.2)、平均 ERP(0.5)、平均 ERP(0.6)を用いて、それぞれ平均を求める際に用いた ERP データに対して高頻度呈示画像に対する ERP に属するか低頻度呈示画像に対する ERP に属するかの識別を行った結果を図示している。被験者 B に対しては平均 ERP(0.5)で 100%の識別が行われている。一方、被験者 A においては、平均 ERP(0.6)において 99%となり、平均 ERP(0.5)では 82%と、まだ不適当なデータを十分に排除できない。

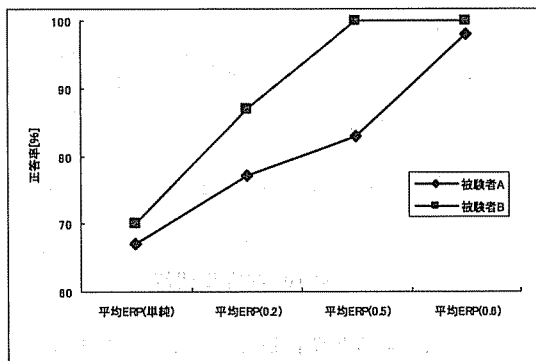


図 9 相関値選択型同期加算法

表 1 相関値選択型同期加算法で残ったサンプル数

	被験者 A	被験者 B
平均 ERP(単純)	118	118
平均 ERP(0.2)	90	77
平均 ERP(0.5)	58	40
平均 ERP(0.6)	42	26

相関値により ERP を排除することで、同期加算に用いるサンプル数は減少していく。被験者 B においては平均 ERP(0.5)を算出するのに用いたサンプル数は 40 で、被験者 A においては平均 ERP(0.6)を算出するのに用いたサンプル数は 42 であり、共に、3分の2弱の ERP が不適当な ERP と判断されたことになる。

4.2. 許容相関値法の適用

次に許容相関値法により不適切な ERP データの排除を試みる。

平均 ERP(単純)を低頻度呈示画像および高頻度呈示画像それぞれの ERP データから算出する。個々のデータに対して、2つの平均 ERP と相関値を求め、その差がしきい値以下の場合、その ERP データは排除する。

図 10 に示され結果より、被験者 A に対しては許容値が 0

の時は 68%の正答率であったが、許容値を 0.3 とすることで 95%まで増加する。このとき、残っているサンプル数は 37 である。

一方、被験者 B は許容値 0 であるときの正答率が 70%で、許容値を 0.3 にしても 82%までしか上がらない。その際、残っているサンプル数は 66 である。

許容相関値法によっても不適当な ERP の排除は可能であるが、相関値選択型同期加算法より劣る。そこで、以下では 2 つの方法をハイブリッドした方法(ハイブリッド法)の検討を行う。

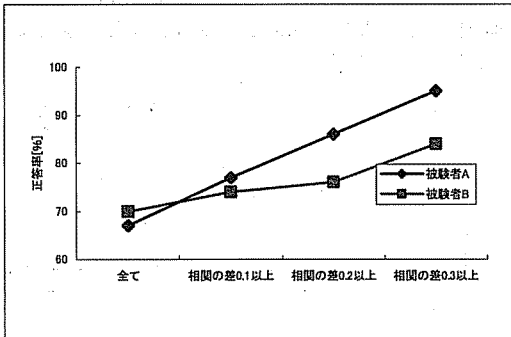


図 10 許容相関値

表 2 許容相関値法で残ったサンプル数

	被験者 A	被験者 B
全て	118	118
相関の差 0.1 以上	90	98
相関の差 0.2 以上	59	85
相関の差 0.3 以上	37	66

4.3. ハイブリッド法の適用

ここでは、相関値選択型同期加算法による不適切な ERP の排除と許容相関値法による不適切な ERP の排除を併用する。具体的には平均 ERP(0.2)を用いて、許容相関値法を適用する。識別結果を図 11 に、排除されずに残ったサンプル数を表 3 に示した。

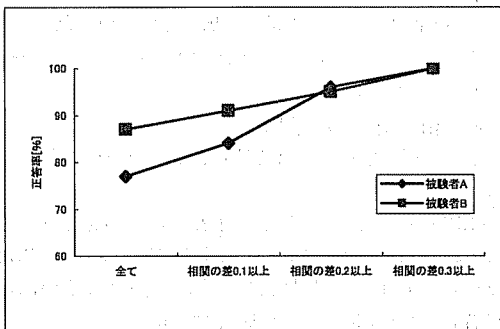


図 11 ハイブリッド法(平均 ERP(0.2)を使用)

被験者 A,Bともに許容値を 0.3 とすれば 100%の正答率を得ている。残ったサンプル数は被験者 A が 28、被験者 B が 44 である。被験者 B に対しては相関値選択型同期加算法では 100%の正答率が得られたときのサンプル数が 40 であったので、ハイブリッド法の方が適当なサンプルの不要な排除を防いでいるものと考えられる。

表 3 ハイブリッド法で残ったサンプル数

	被験者 A	被験者 B
全て	90	77
相関の差 0.1 以上	69	70
相関の差 0.2 以上	45	57
相関の差 0.3 以上	28	44

5. むすび

本稿ではオドボール課題を用いて ERP により画像評価を行うことを前提に、得られた ERP サンプルから同期加算法に用いるのに不適当なサンプルを排除する方法を提案した。

同期加算法によって、背景脳波のみが除去できるのは ERP 自身の相関が高いことが前提になっている。しかしながら、測定で得られた ERP 同士の相関は必ずしも高くなく、相関の強いサンプルのみを残す方法を 2 つ明らかにした。

今後は提案法の妥当性を具体的な P300 の解析を通じて行う。さらに、オドボール課題によって、人間の雑音に対する感覚の定量化を行う。

文献

- [1] 三宅洋一, “デジタルカラー画像の解析・評価, 東京大学出版会, 2000.
- [2] 入戸野 宏, “心理学のための事象関連電位ガイドブック, 北大路書房, 2005.