

Referred Conference Paper

## 簡易脳波計を用いたリアルタイムな脳活動状態導出手法

林 剛史\* 福井 健太郎\* 宮田 章裕\* 重野 寛\* 岡田 謙一\*

本稿では、簡易脳波計を用いる人の思考の指標としてリアルタイムに脳の活動状態を導出する手法を提案する。簡易脳波計を用いる際には、ノイズ処理や脳波の個人差を考慮しなければならないため、リアルタイム処理が困難である。また、脳の活動と人の思考の関係を利用し、脳の活動を思考の指標とする場合、思考は時間幅のあるプロセスであるため、過去の脳の活動の影響を考慮しなければならない。そこで、本提案ではノイズを除去し、個人差を考慮し、時間幅を考慮することにより簡易脳波計よりリアルタイムに脳の活動状態を BA-Level (Brain Activity Level) という独自の指標で数値化する手法を提案する。提案概念を検証するために BA-Level を導出するプロトタイプシステムを用いた評価実験ではノイズの除去が確実に行われていること、時間幅を考慮して脳の活動状態を有効に提示できることを確認した。

## A Technique for Deriving Brain Activity States in Real-Time from the EEG

Takefumi HAYASHI\* Kentaro FUKUI\* Akihiro MIYATA\*

Hiroshi SHIGENO\* Kenichi OKADA\*

In this paper, we propose a technique for deriving brain activity states as an indicator of the thinking in real-time from the EEG (electroencephalogram). When we record the EEG in real-time, it is necessary to consider the noise and the individual variability of the brain wave. Also, when we assume the brain activity as an indicator of the thinking, it is necessary to consider the affection of the past brain activities. To address these issues, we propose a method to quantify the brain activity as the BA-Level (Brain Activity Level) in real-time by eliminating the noise, considering of the individual variability and treating the thinking as the process with the time-width. We ran experiments to evaluate our proposition using a prototype system, and concluded that the noise have been removed surely and to present the brain activity effectively using past EEG data.

### 1 はじめに

近年、脳波を用いて日常的な場面で脳の活動状態を指標として利用する研究が増えてきている。この場合、脳波を手軽に計測することができ、比較的自由に動くことのできる簡易脳波計で測定するのが適している。しかし、簡易脳波計で得られる情報は限られており、体を動かすことにより簡単にノイズが混入してしまう。また、脳波の個人差についても考慮しなければならないため、簡易脳波計で得られたデータをリアルタイムに処理することが困難である。脳の活動は人の思考と密接な関係があり [1][2], 思考の指標として脳の活動を用いる場合、人の思考は時間的に離散したものでなく、連続したものであるため、脳の活動を時間幅をもって捉えなければならない

い。従来の手法では脳の活動状態を捉える際にこれらの点を考慮しきれておらず、現状ではリアルタイムに簡易脳波計より脳の活動状態を導出するのが困難である。

そこで本研究では、ノイズを除去する、脳波の個人差を考慮するという処理を施し、脳の活動を時間幅を持って捉えることにより、簡易脳波計を用いてリアルタイムに脳の活動状態を導出する手法を提案する。本手法では「脳の活発度」を「BA-Level」として独自の指標で定義し、リアルタイムに脳の活動状態を数値化している。その際、過去の脳の活動を考慮し、過去の脳波データを使用している。また、提案を実現し簡易脳波計より得られた情報から脳の活動状態を BA-Level として導出するプロトタイプシステムを作成した。

以降 2 章では指標としての脳の活動状態の利用について述べる。3 章で簡易脳波計を用いたリアルタ

\* 慶應義塾大学 理工学部 情報工学科  
Department of Instrumentation(Information), Faculty of  
Science and Technology, Keio University

イムな脳活動状態導出手法を提案し、4章でプロトタイプシステムの実装について述べる。5章では予備実験、6、7章では提案概念を評価するための実験について述べ、最後に8章で本研究の結論と今後の展望について述べる。

## 2 脳の活動状態の利用

人間は脳によってさまざまな事を考え、実行する。脳が活発に動いているときは集中して考えているときや、何かに強く関心をもったときである。一方、脳の活動が活発でないときはリラックスしているときである。よって、脳の活動状態を知ることができれば、人間の思考、関心などを推定する手がかりを得ることが可能となり、脳の活発度をひとつの指標として日常的な場面で用いると、さまざまなメリットが生じる。例えば、コミュニケーション中の相手の脳の活発度を知ることにより、自分の話に対する相手の興味を推定することができ、表情やジェスチャーだけでなく外見には表れにくい相手の反応も知ることができるようになる。プライバシーの問題から自分の脳の活発度を知られたくないということもあるが、考えている内容が分かるというわけではなく、脳の活発度から相手の反応を直感的に知ること、話題転換などよりスムーズにコミュニケーションを進めることができるようになる。さらに、自分で自分の脳の活発度を知ることによって自己学習をより効率的に進められるという利点も考えられる。このように、自分または相手の脳の活発度を知ることが、日常のさまざまな場面で役に立つものである。

### 2.1 脳波を利用した脳の活動状態の推定

脳の活動状態を調査する方法にはさまざまな方法があるが、その中でも脳波は比較的手軽に計測することができる。脳波とは、脳の活動に伴って頭皮上に生じる電位の事であり、脳の活動状態やさまざまな刺激に関連して電位変化を示す。脳波はその周波数帯域から、 $\delta$ 波 (1-4 Hz)、 $\theta$ 波 (4-8 Hz)、 $\alpha$ 波 (8-12 Hz)、 $\beta$ 波 (13-30 Hz) の4つに分類することができる。 $\alpha$ 波は目を閉じたり落ち着いた状態やぼんやりとした状態の時に優勢となり、 $\beta$ 波は興奮、緊張、集中など意識レベルの高い状態で観察でき、前頭部で顕著に観測される [1][3]。 $\beta$ 波帯付近の脳波は、思考を要する作業時に活発になり、思考を要しない作業時にはあまり出現しないという報告もある [1][2]。

これを利用して、脳波情報より人間の感情解析を行う感性スペクトル解析法が提案されている [4]。近

年では、簡易脳波計を用いて日常生活の中で脳の活動状態を指標として利用する試みも多く行われている [5][6][7]。脳波情報から導出した参加者の思考の状態を互いにアウェアできるコミュニケーションシステムや [5]、ウェアラブル機器で映像を記録する際に同時に脳波情報を記録し、この脳波情報を利用して映像を編集する研究や [6]、撮影したスポーツ映像の自動再生を作成する際に、撮影者の脳波情報をキーの1つとして利用している研究もある [7]。

## 3 簡易脳波計を用いたリアルタイムな脳活動状態導出手法の提案

簡易脳波計を用いて日常的な場面で脳の活動状態を利用する研究が増えてきているが、簡易脳波計から得られる情報が限られているため、医学用の脳波計で用いられている解析手法を用いることはできない。簡易脳波計は装着しても身体を自由に動かすことができるが、このことによりデータにノイズが混入してしまう。脳波強度の個人差についても考慮する必要がある。このためにリアルタイム処理が難しいという問題もある。さらに、脳の活動と人の思考の関係を利用し、脳の活動を人の思考の指標として用いる際には過去の思考の影響を考慮するため、脳の活動を時間的に離散したものでなく連続したプロセスであると捉えなければならぬ。しかし、従来の手法はこれらの点を考慮しきれていない。

そこで我々はノイズを除去し、個人差を考慮し、時間幅をもって脳波を処理することにより、簡易脳波計で得られた脳波情報からリアルタイムに脳の活動状態を導出する手法を提案する。

一般的な簡易脳波計では前頭部しか計測することはできないが、前頭部で検出することのできる $\beta$ 波は思考を要する作業を行うときに強く出現するという報告があるので [1][2]。思考の影響を受ける脳の活動状態を表す指標としてふさわしい。よって、本手法では脳の活発度を簡易脳波計で測定した脳波情報に基づいて導出する。

我々は、人が「どの程度頭を働かせているか」という脳の活発度をあらわす指標として **BA-Level(Brain Activity Level)** を定義し、脳の活動状態を数値化した。

### 3.1 ノイズ除去

まず、計測された脳波を周波数分解し、筋電やまばたきなどのノイズが非常に多い低周波数帯 (0-4 Hz) と、脳波自体が微弱な高周波数帯 (40-60 Hz) を除去する。また、使用する帯域に関しても、筋電など

に由来する瞬間的で非常に大きなノイズを除去するため、周波数分解された各周波数帯でノイズと考えられる強度を実験的に測定し、閾値を設けることによりノイズを判定し、除去する。

### 3.2 1 サンプルの脳波データの抽出

ノイズの除去を施した後のデータの中から、思考の影響を受ける脳の活動を的確に捉えることのできる  $f_{low}Hz \sim f_{high}Hz$  のデータを抽出し、平均したものを 1 サンプルの脳波データとする。

一般に  $\beta$  波は思考と密接な関係があると認知されているが [1][2],  $\beta$  波とよばれる周波数帯は広く (13 - 30 Hz), 思考を要する作業でもその内容により優勢になる帯域が異なることを経験上確認している。よって、簡易脳波計で得られた脳波情報より思考を反映した脳の活動を捉える際に  $\beta$  波とよばれる周波数帯全てを用いるのが適していない可能性がある。そこで我々は、思考を要し脳の活動が活発になるタスクを被験者に課すことにより、簡易脳波計で脳の活動状態を的確に表すことのできる周波数帯  $f_{low}Hz \sim f_{high}Hz$  を実験的に計測し、導出した。この詳細については 5 章で述べる。

### 3.3 個人差の考慮

本手法では脳波強度の個人差を考慮し、脳波データの最高値と最低値を人ごとに定義し、強度の範囲を自動的に検出する。これにより相対的に思考状態を数値化する。ここで、最高値とは「思考」などにより「脳の活動が活発なとき」、最低値とは「脳の活動が活発でないとき」の脳波データのことである。また、最低値と最高値を常に監視し、リアルタイムに変化させている。

### 3.4 時間幅の考慮

本手法では、各瞬間において最新  $N$  サンプルの脳波データを用いて脳の活動状態を数値化する。このように、現在だけでなく過去のサンプルも利用する理由は、思考の変化が短期的なものではなく時間幅のあるプロセスであるからで、脳の活動状態を思考の指標として用いる場合、時間幅を考慮して脳の活動を捉えることにより、長期的な思考の変化具合を捉えることができる。また、取り除ききれなかった瞬間的なノイズの影響を減らすという意味もある。

そして過去の  $N$  サンプルの脳波データを等価に扱うのではなく、新しいサンプルほど重みが大きくなるように重み関数を掛け、これをその瞬間の BA-Level と定義する。BA-Level の導出方法は次に示す通りである。

$$BA-Level(x) =$$

$$\frac{\sum_{i=0}^{N-1} (N-i) Power(x-i)}{\sum_{i=0}^{N-1} (N-i) (Power_{max} - Power_{min})}$$

この際、各パラメータは以下のものを表している。

- $N$  : 使用する最新脳波サンプル数
- $x$  : 脳波データのサンプル ID
- $Power(x)$  : ID が  $x$  の脳波データの強度
- $Power_{max}$  : 脳波データのサンプル ID が  $x$  の時の脳波データの最高値
- $Power_{min}$  : 脳波データのサンプル ID が  $x$  の時の脳波データの最低値
- $BA-Level(x)$  : 脳波データのサンプル ID が  $x$  の時の BA-Level

なお、用いる過去サンプル数  $N$  の値は、人の思考の変化をどのくらいの粒度で捉えるかに依存している値であり、計測者の作業内容によって最適値は変化する。例えば、自動車を運転している時のように、秒単位で重要なイベントが発生する場合、 $N$  を小さくして秒単位での脳の活動の変化を捉える必要がある。一方、コミュニケーション時のように、過去の会話の内容を受けて思考する、という場合には、 $N$  を大きくしてより過去の影響を考慮する必要がある。

## 4 プロトタイプシステムの実装

### 4.1 脳波データの取得

我々は、簡易脳波計から得た脳波情報より脳の活発度を BA-Level としてリアルタイムに推定するプロトタイプシステムを作成した。

本システムでは脳波を計測する際に、IBVA Technology 社のヘッドバンド型簡易脳波計 IBVA を利用した。この装置は頭部に小型センサを装着するだけで前頭部の脳波を計測することができ、脳波計から PC へ無線でデータ転送を行うため、計測者は自由に動き回ることができる。PC では脳波計から得たデータに 128 ポイントで高速フーリエ変換し、約 0.87 sec / sample という速度でデータを記録している。

### 4.2 BA-Level の導出

本システムでは、実際の計測に先立ち、BA-Level を求めるために必要な各パラメータを決定するためのキャリブレーションタスクを行う。まず各周波数



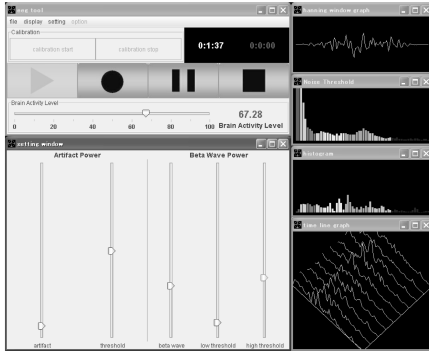


図 1: BA-Level 導出システムインタフェース

帯でのノイズの強度の閾値を設定するため、故意に筋電位などのノイズを生成させ、1 サンプルの脳波データを数値として取得できるようにする。次に計測者の脳波データの最高値・最低値を計測するため思考を要するタスク・思考を要しないタスクを課す。キャリブレーションにより各パラメータを決定した後、実際の計測を開始する。

簡易脳波計から得られた脳波を解析し、脳の活発度を BA-Level として数値化するプロトタイプシステムのインタフェースは図 1 に示す通りである。本システムでは計測中の脳波の波形や BA-Level の値をリアルタイムに表示することができる。

## 5 予備実験：使用する周波数帯域の決定と検証

### 5.1 周波数帯域の決定の実験と結果

この実験の目的は BA-Level を導出する際に使用する脳波の周波数帯域  $f_{low} \sim f_{high} Hz$  を決定することである。

被験者 60 名 (19 - 25 歳の学生) に対して「脳の活動を要するタスク」として「論理思考」、「脳の活動を要しないタスク」として「リラックス」の各タスクを課した。タスクの時間はどちらも約 4 分間であり、各タスク中の脳波を測定し、解析した。

なお、「論理思考」を脳の活動を要するタスクとして選んだのはこの実験に先立って行われたさまざまなタスク中の脳波計測の実験の結果を考慮しているものである。

「リラックス」時の各周波数帯の脳波強度を解析したところ、14 Hz 以下は強度が強くなっていた。これ

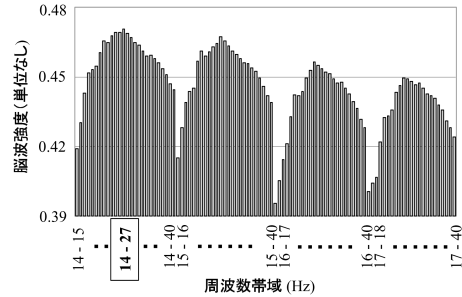


図 2: 論理思考時の各周波数帯の脳波強度 (予備実験, 60 人の平均)

は、リラックス時に  $\alpha$  波があらわれるという報告と一致している [1][3]。本手法では「脳波強度の強いほど脳の活動が活発である」と判定しており、「リラックス」時にも強度が強くなる帯域を使用するのが適切でないと判断した。14 Hz 以上の帯域から「論理思考」時の脳波強度が最大となる帯域を調査したところ、図 1 のようになり、「論理思考」時の脳波強度が最大となる帯域は  $f_{low} = 14Hz \sim f_{high} = 27Hz$  であり、この帯域が思考の影響を反映する脳の活動を的確に表す周波数帯であると決定した。

### 5.2 検証実験と結果

決定した周波数帯域で脳の活動を的確にあらわすことができているのか検証実験を行った。被験者 60 名 (19 - 25 歳の学生) に対して「質疑応答」、「会話」、「リラックス」のタスクを課し、各タスク中の BA-Level を求めた。「質疑応答」タスクは口頭で知識問題に回答する、「会話」タスクは 3 人で相談しながら論理問題を解く、とより日常的な場面を想定しており、脳の活動が活発になるであろうと予想したタスクである。なお、本実験で BA-Level 導出の際に用いた過去サンプル数は  $N = 1$  である。

表 1 は各タスク中の BA-Level の 60 人の平均値とその標準偏差を示したものである。各タスクにおける BA-Level の平均値を比較すると、会話タスクや質疑応答タスクの値がリラックスタスクよりも高くなっている。また、各タスク間の Wilcoxon 符号付順位検定の値を調査したところ、危険率 1 パーセント以下で有意であった。よって、脳の活動が活発になるであろうと予想したタスクにおいて BA-Level の値も高く、脳の活動が少ないであろうリラックスタスクでは BA-Level の値が小さくなっており、こ

タスク	リラックス	質疑応答	会話
平均	22.78	55.53	59.90
標準偏差	9.65	8.88	9.20

これらの値に有意な差が認められたので、決定した周波数帯が思考の影響を反映した脳の活動を的確にあらわしていることが確認できた。

## 6 実験 1 : ノイズ除去の検証

### 6.1 実験内容

本実験の目的は、提案したノイズ除去の方法でノイズが除去できるかを確認することである。

1名の被験者(23歳の学生)に脳波計を装着して、2分間机上の作業をしてもらった。作業中にノイズが混入するような動作を被験者が行ったらその時間と内容について記録した。実験中の脳波強度をノイズ除去を施す、施さないで解析・比較した。なお、被験者はあらかじめノイズ生成の実験を行っており、ノイズ除去のための閾値については測定済みである。

### 6.2 実験結果と考察

図3は実験中の被験者の脳波強度(14-27Hzの平均)の推移を示したものであり、図中の破線はノイズ除去を施さない場合、実線はノイズ除去を施した場合を示している。

図3でノイズ除去を施すことにより著しく強度の強いデータがなくなっていることが分かる。また、強度が強くなっている時間帯は被験者が伸びをする、体を大きく左右に動かすなどノイズが混入すると考えられる動作をした時間とほぼ重なっているため、混入したノイズを確実に除去できていると分かった。よって、提案したノイズ除去手法は有効であると確認することができた。

## 7 実験 2 : 時間幅を考慮する有効性の評価

### 7.1 実験内容

本実験の目的は、時間幅を考慮して脳の活動状態を提示することの有効性を評価する事である。

本提案ではBA-Levelを導出する際に、過去の脳の活動の影響を考慮し、過去Nサンプルを用いることにより時間幅を考慮している。Nの値は計測者の作業内容によって変化する値であり、本実験では遠隔コミュニケーションの場での使用を想定して実験

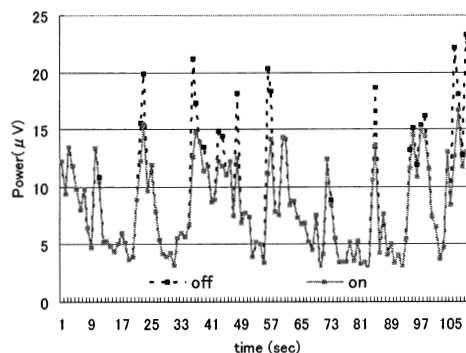


図 3: 実験中の脳波強度の推移 (実験 1)



図 4: 脳の活発度をあらわす映像の例 (実験 2)

を行った。遠隔コミュニケーション時には、興味をもって自分の話を聞いている、もしくは興味がなく眠たいなどの反応を知ることが難しいが、脳の活発度を自分の話に対する反応の指標として用いることにより、自分の話に対する相手の反応を直感的に知ることができるようになる。

被験者 20 名 (21-24 歳の学生) に対して本システムを用いて相手の脳の活発度を観察しながら 2 人で会話してもらったタスクを課した。会話相手との間に仕切りを設けたので、被験者は直接相手の顔を見ることはできない。被験者には相手の脳の活発度をあらわす映像を見ながら会話してもらった。被験者の脳の活発度は、装着した簡易脳波計より得られた脳波情報より BA-Level として導出し、図 4 のように映像に 10 段階に反映される。また、積極的に頭を働かせてもらうため、会話の内容は 2 人で意見を 1 つに導出してもらうものとし、会話する時間も制限した。会話の内容が興味のあるものだったら脳の活動が活発になるので、被験者には相手の脳の活発度を自分の話に興味があるかどうかの指標と考えてもらった。また、時間幅を考慮せず BA-Level を導

表 2: 実験 2 のアンケート結果

	評価の平均値 (低: 1 - 高: 6)	
	時間幅あり	時間幅なし
相手の映像の変化がはげしかった	2.1	5.0
自分の話に興味があるかわかりにくい	2.7	4.8
会話に集中できた	4.6	2.35

出し、相手の脳の活発度を提示するという条件でも実験した。

なお、本実験で BA-Level 導出に使用した過去サンプル数は  $N = 7$  であり、会話時の脳の活動状態の変化をあらわすサンプル数を選ぶ少数での実験の結果に基づくものである。

## 7.2 実験結果と考察

表 2 は、会話後に相手の脳の活動状態をあらわす映像について被験者に対して行ったアンケートの結果である。

「相手の脳の活動状態の変化が激しかった」、「自分の話に興味があるかわかりにくい」という項目に対しては時間幅を考慮しない方が評価が高かった。これは、時間幅を考慮しないことより、「驚き」や「ひらめき」など短期的な思考の影響を反映した脳の活動を捉え、相手の反応が激しくなってしまう、自分の話に対して興味を示したか判断することができなくなってしまったためであると考えられる。「会話に集中できた」という項目は時間幅を考慮した方が評価が高くなった。時間幅を考慮することにより、相手の反応を脳の活動状態よりコミュニケーションの妨害にならずにあらわせたことが分かる。

これらの結果より、時間幅を考慮しないと会話している際の相手の反応を的確に反映することができないということが言え、時間幅を考慮して脳の活動状態を提示する提案手法の有効性が確認された。

## 8 結論

本稿では、簡易脳波計を用いて脳の活動状態を人の思考の指標としてリアルタイムに導出する手法を提案した。簡易脳波計を用いることでノイズ処理を施す必要があり、個人差を考慮するためにリアルタイム処理が困難であった。また、脳の活動を人の思考の指標として用いる際には、思考を時間幅のあるプロセスと捉え過去の脳の活動の影響を考慮しなければならなかった。

そこで我々はノイズを除去し、個人差を考慮し、過去の脳波情報を利用して脳の活動を時間幅をもって

捉えることにより、簡易脳波計で得られた脳波情報からリアルタイムに脳の活動状態を BA-Level とし、数値化した。脳の活動状態を導出する際の使用周波数帯域は実験より 14 - 27 Hz に決定したが、60 人の計測結果という点で信頼性の高い値である。プロトタイプシステムを利用した評価実験ではノイズを有効に除去できている事、時間幅を考慮して脳の活動状態を提示する事の有効性が確認された。

本研究は簡易脳波計を用いた脳の活動状態の導出を実現しており、実験では遠隔コミュニケーションの場を想定して会話相手の脳の活動状態を提示したが、これ以外にも日常の様々な場面への応用が期待できる。例えば、会議において自分の意見に対する反応よりスムーズに話題転換をできるようになり、教育の場に導入すれば演説者の発言に対する聴衆の直感的な反応を得ることができるようになると考えられる。今後は、本手法を応用させるより具体的な場面を想定し研究を進めていくべきであると考えている。

## 参考文献

- [1] 加藤象次郎, 大久保堯夫: 初学者のための生体機能の測り方, 日本出版サービス (1999).
- [2] Giannitrapani, D.: The Role of 13-Hz Activity in Mentation, *The EEG of Mental Activities*, pp. 149-152 (1988).
- [3] 小杉幸夫, 武者利光: 電子情報通信工学シリーズ 生体情報工学, 森北出版株式会社 (2000).
- [4] Musha, Terasaki, H. and Ivanitsky: Feature Extraction from EEG Associated with Emotions, *Artif Life Robotics*, pp. 15-19 (1997).
- [5] K. Fukui, A. M. and Okada, K.: Implementation of Avatar Mediated Communication Environment with Thinking Awareness, *SCIS & ISIS2004 THE-7*, pp. 116-120 (2004).
- [6] 相澤清晴, 石島健一郎, 椎名誠: ウェアラブル映像の構造化と要約: 個人の主観を考慮した要約生成の試み, 電子情報通信学会論文誌, No. 6, pp. 807-815 (2003).
- [7] Nakamura, Ichimura, O. M.: A System for Automatic Replay Creation for Using Sports Replay and EEG, *CollabTech*, pp. 52-57 (2005).