

脳波計測・処理システムの開発 (第一報)

Development of EEG Data Measurement and Processing System(NO.1)

中山 光 幸

Mitsuyuki NAKAYAMA

ABSTRACT

In order to clarify the property of learner's EEG and to improve a educational environment, EEG data measurement and processing system was developed. This system has important functions as a measurement system of living body. These functions are EEG Data Measurement, EEG spectrum analysis, calculation of EEG band spectrum, equal level contour graph and fractal dimension analysis of EEG signal. Utilizing personal computer as the main part of this system, EEG Data Measurement and Processing System has such advantages as the lower system cost and wide application.

§ 1. はじめに

近年の計測技術の進歩に加えて、パソコンの性能向上により、医療機関以外でも生体信号を手軽に測定・分析し、応用することが可能となってきた。生体信号の一つである脳波は1929年にドイツの精神医学者ベルガーによってはじめて導出・記録されて以来、これが人の精神活動や意識水準に対応して変化するという性質を有するために、現在では精神や意識状態の判定手段として広く利用されるに至っている¹⁾。

一般に、教育の場には教師・学習者・教育情報の三つが存在している。そこでは、学習者はある物理的環境下に置かれていると同時に、学習者固有の精神状態や健康状態、即ち“内部状態”にあると考えられる。そして、その場合の学習者がどのような教育環境に置かれているかと、学習者の内部状態が教育を受けるのに最適な状態にあるかどうかの二つは、教育効果を左右する重要な因子といえる。脳波を計測すれば、教育環境と学習者の内部状態との相乗効果としての学習者の精神活動・意識水準が捕らえられる。

そこで、筆者は学習者の脳波の特徴を明らかにして教育環境の改善に役立てる目的で、脳波計測・処理システムの開発を行った²⁾。本システムは生

体信号測定に必要な重要な機能を全て備えている。それらは、脳波計測・脳波スペクトル解析・脳波帯域成分計算・脳波等レベル線作図・脳波フラクタル次元解析等の機能である。本システムは、脳波の計測・解析にパソコンを利用したために、低価格で汎用性に富んだ脳波解析システムが実現できた。第一報では脳波計測・処理システムの中で脳波計測部・脳波スペクトル解析部・帯域成分計算部の開発結果について御報告する。

§ 2. 脳波計測・処理システム

脳波計測・処理システムの構成を(図1)に示した²⁾。脳波計測・処理システムは、①脳波計測部、②脳波定常性の検定部、③脳波スペクトル解析部、④帯域成分計算部、⑤等レベル線表示部、および⑥フラクタル次元解析部の六つの機能を持ったサブルーチンから構成されている。次に、各部の概要を簡単に述べる。

<脳波計測部>は、テレメータ方式を採用したために、被験者が作業あるいは運動している状態でも、脳波を測定できる特徴がある。<定常性検定部>は測定した脳波の中で定常性の成り立つデータ部分を抽出するために用いる。生体信号の一つ

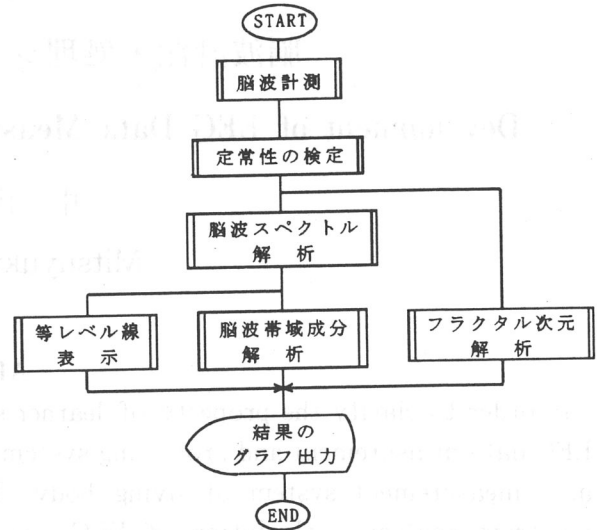
である脳波は、アーチファクトや疲労等のために、定常性を有しない。しかし、一般にデータ解析の際には定常性が成り立つと仮定して検討が成されるために、解析結果に誤差を含むという問題が生ずる。そこで、連の検定法を用いた脳波の定常性検定システムを開発した。＜脳波スペクトル解析部＞は、脳波データ数1024個を扱うことが可能である。本解析部は高速化を計るため、繰り返し計算部はマシン語で実行される。時間窓は、ハニング、ハミング等の他、本研究室で開発した折り返し田島窓³⁾が用意されている。＜等レベル線表示部＞は、脳波スペクトルを等高線表示することで、脳波の特徴を視覚的に理解しやすくしたものである。＜脳波帯域成分分析部＞は、スペクトル解析データを入力すると、帯域成分強度のグラフが出力される。＜フラクタル次元解析部＞は、P.Grassberger と I.Procacciaのアルゴリズムおよび高安氏のプログラムを参考として、相関次元解析プログラムを開発した⁴⁾。その機能は、脳波データを入力すると、2体相関関数の積分値のグラフとその傾きがフラクタル次元（相関次元値）として出力される。

第一報では前半の報告として、脳波計測・処理システムの各構成部分の中で、①脳波計測部、②脳波定常性の検定部、③脳波スペクトル解析部、④帯域成分計算部の四つについて以下に述べる。

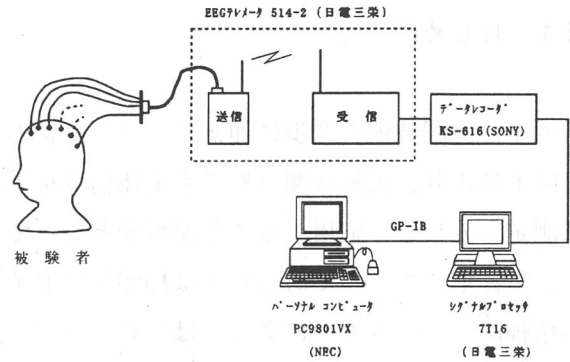
2.1 脳波計測部

(図2)に脳波計測部の構成を示す。脳波計測部は、テレメータ方式を採用しているために、被験者が作業あるいは運動している状態で、脳波を測定できる利点がある。

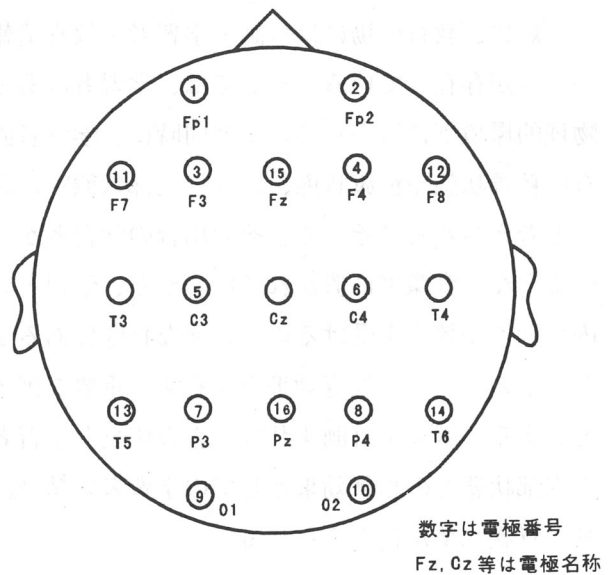
脳波計測部は、脳波テレメータ514-2 (日電三栄)、データレコーダKS-616 (SONY)、シグナル・プロセッサ7T16 (日電三栄)、パソコンPC9801VX (日本電気)で構成されている。ここでは、シグナル・プロセッサをデータ収集・転送用として、また、パソコンをデータ解析用として使用している。脳波計測は、単極誘導法で電極配置は(図3)に示す国際式10/20法によるF3、F4、C3、C4、P3、P4、O1、そしてO2の8チャンネル構成となっている。被験者の頭部に装着した電極で検出された脳波はテレメータ方式で無線伝送され、データレコーダに記録された後、シグナル・プロセッサにより分解能8ビット、サンパ



(図1)脳波計測・処理システムの構成



(図2)脳波計測部の構成



(図3)国際式10/20法による電極配置図

脳波計測・処理システムの開発（第一報）

リング周波数150[Hz]でAD変換し、デジタル信号として収集される。次いで、そのデータは、GP-IBバスを経てパーソナル・コンピュータに転送されて、必要に応じてフロッピーディスクに保存される。本計測システムはテレメータ方式のため、被験者の自由度が大きい状態で計測できるという利点がある。

2.2 定常性の検定部

～連を用いた脳波の定常性検定システム～

生体信号は、アーチファクトや疲労のために、統計解析の前提である定常性を有しない。しかし、データ解析の際には定常性が成り立つと仮定して検討が成されるために、解析結果に誤差を含むという問題が生ずる。定常性の検定に関しては筆者の知る限りでは、合原等が検討を行った例があるのみである⁹⁾。そこで、連の検定法を用いた脳波の定常性検定システムを開発し、本システムを脳波データに適用して、その有効性を確かめた。

定常性の検定には、ピアソル、バンダット等の連の検定法を用いた⁹⁾。連とは、『信号を観測した場合に、異なった観測区間で続く同一性質を持った観測値の列』と定義される。例えば、コインを投げたとき、表を+で裏を-として、+または-の一方の状態が続くところを連とする。観測値列に生じる連の数は、その観測値が定常であるかどうかの目安を与えるものである。連の検定法を応用した定常性の検定方法のアルゴリズムを以下に述べる。

- 1) 脳波時系列データを任意の偶数グループ数Nに等分割し、各グループ内の脳波データ振幅値の標準偏差を算出する。
- 2) 全グループの標準偏差の平均を求め、各グループの標準偏差が平均以上なら+、平均以下なら-とする。
- 3) +と-の数が等しいことを確認し、+あるいは-のどちらか一方の状態が続くところを一つの連とし、連の数を数える。
- 4) 有意水準 α をあらかじめ決定して、連の分布表から、 $r[N/2; 1-\alpha/2]$ と $r[N/2; \alpha/2]$ を求めて、区間内であれば定常、区間外であれば非定常と判定する。

このアルゴリズムに基づいて、連の検定法による脳波の定常性検定システムを開発した。

そして、国際式10/20法で測定した成人男子の脳波について、データ数 $M=512$ 、グループ数 $N=32$ 、有意水準 $\alpha=5[\%]$ として検定を行った。本検定システムの適用によって、アーチファクトの少ない脳波データ部分を抽出することが可能となった⁷⁾。

2.3 脳波スペクトル解析・帯域成分計算部¹⁾

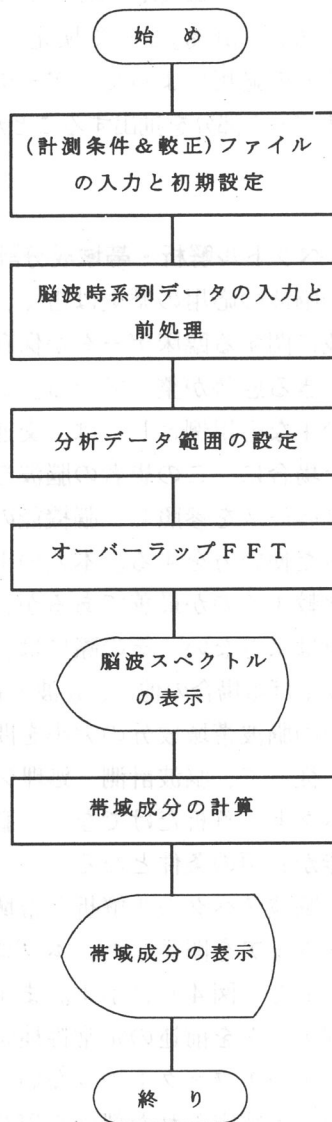
医学での脳波の応用の歴史は古く、そのために多くの脳波に関する臨床データが保存され、いつでも利用できる態勢が整っている。これらのデータベースの主な応用例としては、交通事故で頭部を打撲した場合に、この患者の脳波を計測して過去のデータベースを参照し、脳機能の異常を判定するといった使い方をする。本人の正常時の脳波データと比較するのが最善であるが、一般のデータでも支障は来さない。その際には、脳波の時間波形を取り上げる場合の他に、 δ 波・ θ 波・ α 波・ β 波の四つの脳波帯域成分の大きさを問題にすることが多い。従って、脳波計測・処理システムには、脳波のスペクトル解析だけでなく、脳波帯域成分出力の機能が必須の条件となる。

そこで、脳波スペクトル解析と帯域成分計算を行うソフトウェアを開発した。本プログラムのフローチャートを(図4)に示す。まず、計測した脳波時系列データを前述の定常性検定部によって検定して、アーチファクトの少ない、区間定常性を備えていると判定された部分を256サンプル抽出し、これを分析用脳波時系列データとして用いる。計算に先だって、データの補正・直流分の除去等の前処理を行い、次いでデータ数256、スライド数16、分割グループ数17の条件でオーバーラップFFTし、17グループの脳波の周波数成分を約0.6[Hz]の分解能で算出する。次いで、その周波数成分から各グループ毎に δ 波・ θ 波・ α 波・ β 波の四つの脳波帯域成分を求める。

上に述べたように、脳波の応用の目的は脳の機能の異常の発見にあるといえる。これに対して、脳の機質的な異常の検査にはCTスキャナが用いられている。

§ 3. まとめ

教育環境の改善を目的として脳波計測・処理シ



(図4) 脳波のオーバーラップFFT及び帯域成分の計算プログラムフローチャート

システムを開発した。本システムによって、各種学習環境下での脳波の特徴を検討することが可能となった。今後の課題としては、本システムを音環境や精神作業が学習者の脳波に及ぼす影響の研究に応用すること、処理速度の高速化を計ること、大量のデータ解析を可能にすることがあげられる。

最後に本研究を進めるに当たっては、東京工業大学清水康敬教授に御指導を頂いた。ここに記して深甚なる謝意を表するものである。

参考文献

- 1) 中山、高木；“音環境が学習者の脳波に及ぼす影響に関する基礎的検討”、電子情報通信学会教育工学研究会(1993) ET92-121.
- 2) 中山、清水他；“脳波データ計測・処理システムの開発”、信学会全国大会(1997) D-15-46.
- 3) 中山；“折り返し窓のサイドローブ特性に関する一考察”、信学会全国大会(1991)A-59.
- 4) 中山、清水他；“音環境脳波のフラクタル性について”、通信学会ソサエティ大会(1996) D-496.
- 5) 合原他；“ランジュバン方程式を用いた脳波の定常性検定”、信学技報(1993)MBE93-43.
- 6) A.G.ピアソル、J.S.ベンダット；“ランダムデータの統計的処理”、培風館(1985) 396.
- 7) 中山、清水他；“連を用いた脳波の定常性検定に関する検討”、信学システムソサエティ大会(1997)D-7-15.

(受理年月日 1998年9月28日)