

5 D-4

ウェーブレット解析を用いた脳波解析ファジィエキスパートシステム*

古沢実 阪井和男 向殿政男 依田潔†

明治大学理工学部情報科学科

概要

今まで医療機器でのみ可能だったデジタル脳波解析も、最近では家庭や職場などで手軽に使えるマシンが増えてきた。こうした計算機の低価格化と小型化は、研究の現場にも貢献されるだろう。しかし、その一方では専門家ではない普通の人にも自分の脳波がどういった状態をあらわしているのか自動的に解析、判断することが求められている。本研究では、最近注目されてきたウェーブレット解析を用いて、脳波の状態をファジィ推論するシステムを説明する。

1 はじめに

脳波とウェーブレット解析の特徴について説明する。本来脳波とはいくつかの振動の自由度を持っており、その振舞いはカオス的な揺らぎを持っている[2]。よって、脳波を固定のパターンで割り当てるといくことは所詮無理があり、ある程度の曖昧性を持って議論している。またウェーブレット解析についても同じようなことがいえる。連続ウェーブレットの場合、その基底が非直交系であるため結果にはかなりの連続的な広がりをもっており、脳波解析と同様に曖昧性が残る。この曖昧性をどう取り扱うかという点が重要な問題になる。

ウェーブレット解析の結果、脳波解析のパターンの知識の2つをファジィモデリングすれば、両者の関係が明確になるだろう。今回、脳波のウェーブレット解析のファジィ化(ファジィモデリング)について考えた。ウェーブレット関数にはさまざまなものが用意されそれぞれに一長一短がある。そのなかで、とくに脳波解析に適しているだろうと思われる Meyer の連続ウェーブレット解析を使った。

2 睡眠と脳波

睡眠とは脳の休息のために行われる脳の精神活動といわれている。よって睡眠時の活動とは精神的な活動であり、物理的な動作から読み取ることが非常に困難である。それに対し睡眠時の脳波は非常に流動的であり、刻々と変化している。本来睡眠は脳の活動であるわけだから、脳波の変化は直接睡眠の変化にも影響するという事になる。これは脳波の変化を解析すれば、睡眠のしくみの解明ができるといえる。

覚醒時に比べ、脳波の変化がよくあらわれる睡眠時の脳波を解析する。睡眠時の代表的な脳波としては、 α (アルファ) 波、 β (ベータ) 波、 δ (デルタ) 波、紡錘波など周波数帯域に分かれ、それぞれ「10ヘルツ程度の規則的な波」、「12ヘルツ以上の小さな速い波」、「0.5~4ヘルツの最もゆったりした波」、「13ヘルツ前後の波が幾つかまとまって出現し、開始から中ほどにかけて振幅が大きくなり、後半にかけて小さくなる波」と言語的に定義されている。

睡眠は、その眠りの浅い深いなどによって5つの段階に分けられている。段階1~4までをノンレム睡眠といい、数字が大きくなるにつれ眠りが深くなっていく。5番目の睡眠段階をレム睡眠といい、睡眠中であるにもかかわらず急速眼球運動をすることが特徴である。睡眠時の典型的な脳波の出現パターンとその移り変わりの図を図2、3に示す。[3],[4],[5]

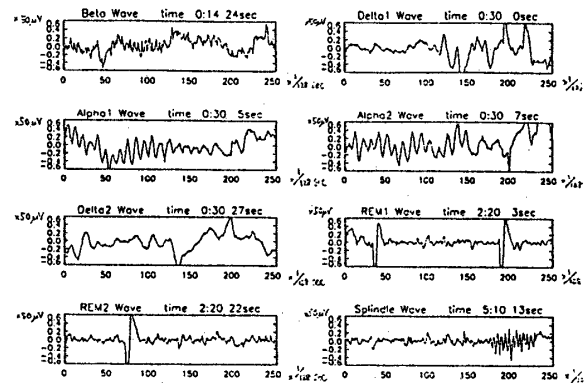


図2 典型的な脳波

睡眠段階	1	2	3	4	レム
α 波	○				○
β 波	○	○			○
δ 波	○	○	○	○	
紡錘波		○	○		
K複合波		○			
θ 波			○	○	

図3 一般の睡眠のパターン

3 Meyer のウェーブレット連続解析

ウェーブレット解析とは一言で言及すると、「時間の特定可能な周波数解析」である。関数 $f(t)$ のウェーブレット変換 $T_b(a, b)$ は $T_b(a, b) = \frac{1}{\sqrt{a}} \int_{-\infty}^{\infty} \phi\left(\frac{t-b}{a}\right) f(t) dt$ と定義される。ここに現れる二つのパラメータ $a (> 0)$ と b はともに実数で、変換の形からわかるように、それぞれスケールと位置に対応している。積分核を決める関数 ϕ はアナライジング・ウェーブレットと呼ばれ変換の性質を決定する。数学的にはこの関数の選び方には大きな自由度がある。

今回はこのアナライジング・ウェーブレットに Meyer の関数を使った [1]。この関数は複素関数でありグラフは次のようにな

*Expert system of Brain wave in terms of Wavelet analysis

†Kazuo Sakai, Minoru Furusawa, Masao Mukaidono, Kiyosi Yoda Meiji University

る。

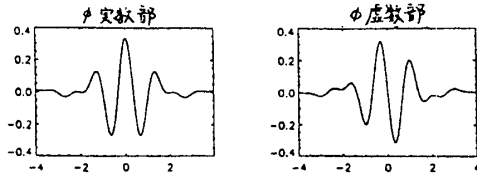


図4 meyerのφ

この項では上に示したMeyerのanalyzing waveletの性質を述べる。Meyerのウェーブレットはフーリエ空間でサポートコンパクトである。その結果

$$E_a = \sum_{b=-\infty}^{\infty} |T(a,b)|^2 \quad (b = \dots, -a, 0, a, \dots) \quad (1)$$

を作ると、これはおおざっぱに言って、 $\phi_{a,b}(\xi)$ のサポートである $\frac{2^{n+1}\pi}{3} \leq |\xi| \leq \frac{2^{n+3}\pi}{3}$ の範囲のエネルギーに対応する。もちろんウェーブレットは周波数軸の上で広がりをもった関数であるから、フーリエ解析のような周波数解析を行なうことには限度がある。一方、スペクトルのベキ則はデータ関数の相似性と基底関数の相似性によるから、ウェーブレットスペクトルにもフーリエスペクトルと同様に現れる。

4 脳波ウェーブレット解析

脳波のような各周波数帯域毎に特徴づけられている波形にはウェーブレットは有効である。さらにその波形がどこでという場所の特定がウェーブレット解析では可能である。その波形が各周波数毎に時間軸上でどのような振舞いをしているか解析可能である。図2で挙げた睡眠時の特徴的な各脳波のウェーブレット解析の結果は次のようになる(図5)。この図はx軸をaとし、 $|T(a,b)|^2$ の濃度を示したものである。

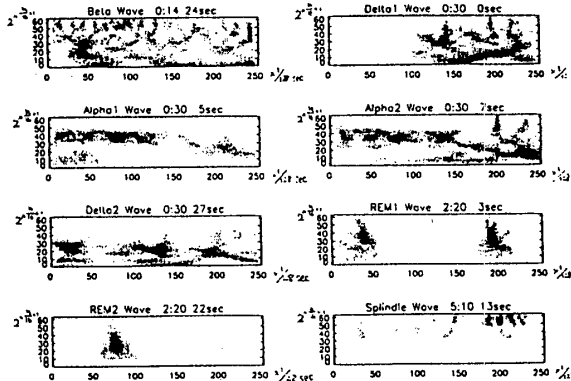


図5 脳波のウェーブレット解析

5 パターンマッチング

この解析結果をファジィモデリングする[6]。ウェーブレット解析から得られた結果の時間軸からのパターンマッチングを考える。それぞれの脳波の特徴としてウェーブレット係数の4, 8, 16[Hz]で切ったものを用意した。この3つの結果をファジィメンバシップ関数とする。ここで4, 8, 16[Hz]の帯域を δ, α, β とす

る。実際に0:30(7sec)の脳波をしめす。

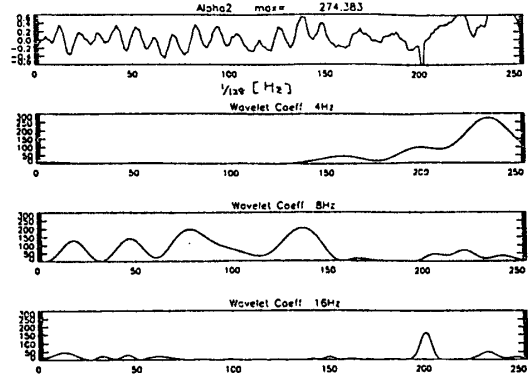


図6 時間軸からのメンバシップ関数の例

このパターンから睡眠時の脳波の分類をする。睡眠脳波を区間mで区切り、n番目のパターンを抽出するとすると、i番目の脳波の一致度は次のような式を使う。

$$y_{\delta,i} = \frac{\text{面積}(\mu_{\delta \text{波},n} \cap \mu_{\delta \text{波},i})}{\text{面積}(\mu_{\delta \text{波},n} \cup \mu_{\delta \text{波},i})}, y_{\alpha,i} = \frac{\text{面積}(\mu_{\alpha \text{波},n} \cap \mu_{\alpha \text{波},i})}{\text{面積}(\mu_{\alpha \text{波},n} \cup \mu_{\alpha \text{波},i})} \quad (2)$$

$$y_{\beta,i} = \frac{\text{面積}(\mu_{\beta \text{波},n} \cap \mu_{\beta \text{波},i})}{\text{面積}(\mu_{\beta \text{波},n} \cup \mu_{\beta \text{波},i})} \quad (3)$$

さらに全体的一致度として次の式を求める。

$$y_i = \max\{y_{\delta,i}, y_{\alpha,i}, y_{\beta,i}\} \quad (4)$$

解析した結果は次のようになる。図2の典型的な脳波のパターンとそれが出現する前後1分間の睡眠パターンとのマッチングをとると次のようになる。

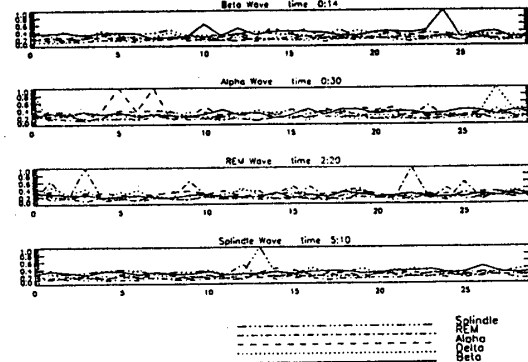


図7 パターンマッチングの結果

参考文献

- [1] 数理科学「特集・ウェーブレット信号の新しい表現」(1992)
- [2] 津田一郎 著 computer today「脳の情報処理とカオス」(1989)
- [3] 時実利彦、藤森開一、島岡安雄 著「新脳波入門」(1970)
- [4] 井上昌次郎 著 共立出版社「脳と睡眠人はなぜ眠るか」
- [5] 星官望、石井直宏、塚田実、井出英人 著 森北出版株式会社「生体情報工学」(1988)
- [6] 本多中二、大里有生 著 オーム社「ファジィ工学入門」(1989)