

加算平均波形をマザーウェーブレットとした ウェーブレット変換による単一誘発脳電位分析

1 M-2

井上 朋紀 志堂寺 和則 松永 勝也
九州大学大学院システム情報科学研究科

1 はじめに

ウェーブレット変換 (wavelet transform) は、時間周波数解析を行うことができる方法として多くの分野、特に信号処理のあらゆる分野で使われている。その中でも、生体信号処理、特に脳波解析の分野においてもいくつかの応用が見られる^[1]。

人間の頭皮上で測定される事象関連電位 (ERP, event-related potential) のうち、刺激提示後、潜時約 300ms に出現する陽性成分は P_{300} と呼ばれている。 P_{300} は、人間の心理過程と対応した脳のより高次の機能を反映して変動する成分だといわれている。通常、 P_{300} は数十回から数百回の試行において記録した脳波を、刺激が提示された時点をそろえて重ねあわせ、各時点における平均値を求める加算平均処理を行って求める。しかし、 P_{300} 波形の特徴は刺激ごとに変化するため、個々の試行における P_{300} 波形の特徴については加算平均処理では分析できないという問題がある。

そこで本研究では、個々の試行における P_{300} を分析するために、各試行の事象関連電位を加算平均した波形をマザーウェーブレット (analyzing wavelet) としたウェーブレット変換-ウェーブレット逆変換 (WT-IWT) のフィルタを構成した。そして、 P_{300} 成分を含む脳波データを作成したフィルタで処理し、得られた波形と元の波形を比較した。

2 マザーウェーブレットの作成

$\psi(t)$ がマザーウェーブレットとなるためには許容条件 (admissibility condition) を満たさなければならない。本質的に $\psi(t)$ はバンドパス信号であり、許容条件は次のように表される^[2]。

$$\int_{-\infty}^{\infty} \psi(t) dt = 0 \quad (1)$$

分析の対象である脳波は、成人男性 1 名 (23 歳、

Single ERP analysis by using wavelet transform whose mother-wavelet is based on an averaged ERP response

Tomonori INOUE, Kazunori SHIDOJI and Katsuya MATSUNAGA

Graduate School of Information Science and Electrical Engineering, Kyushu University

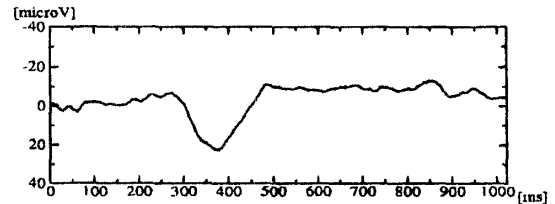


図 1 サンプル波形の加算平均処理波形

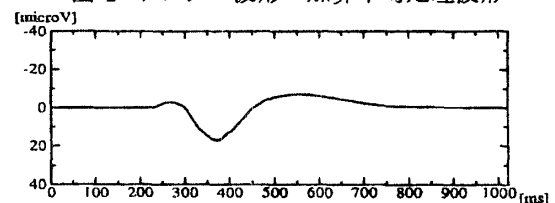


図 2 図 1 を基に作成したマザーウェーブレット

学生) を被験者として、据え置き型周辺視反応時間測定装置^[3] を使用中に測定した。刺激提示後 1 秒間の脳波をサンプリング間隔 2ms で AD 変換し分析した。

マザーウェーブレットを分析の対象とする P_{300} に近い形状にすると P_{300} を明確にとらえることができる^[1]。そこで、分析の対象となる波形の平均的な特徴を組み込むため、マザーウェーブレット $\psi(t)$ は、分析の対象となる脳波データのうち、比較的良好な P_{300} 成分を含むと確認できるデータを選択して加算平均した波形 (図 1) を基にして、(1) 式の許容条件を満たすものを作成した (図 2)。

3 ウェーブレット変換と逆変換

分析したい信号 $f(t)$ の連続ウェーブレット変換とウェーブレット逆変換は次のように定義される^[2]。

$$W_f(a, b) = \int_{-\infty}^{\infty} f(t) \psi_{a,b}^*(t) dt \quad (2)$$

$$f(t) \simeq \frac{1}{C} \int_{-\infty}^{\infty} \int_{-\infty}^{\infty} W_f(a, b) \psi_{a,b}(t) \frac{da db}{a^2} \quad (3)$$

ここで、 $\psi^*(t)$ は $\psi(t)$ の複素共役である。また、 $\psi_{a,b}(t)$ は

$$\psi_{a,b}(t) = \frac{1}{\sqrt{a}} \psi\left(\frac{t-b}{a}\right) \quad (4)$$

であり、 a はスケールパラメータ、 b はシフトパラメータと呼ばれる。 C は係数であり、 $\psi(t)$ が規格化条件

$$\|\psi\|^2 = \int_{-\infty}^{\infty} |\psi(t)|^2 dt = 1 \quad (5)$$

を満たしているときは1となる[2]。一般に $\psi(t)$ の各基底関数 $\psi_{a,b}(t)$ が非直交であるため、(3)式は等号とならないが、(5)式を満足させることで両辺の誤差を小さくすることができる。

今回、 $a = a_i = 2^i (i = 0, 1, \dots, 6)$ とし、 b はサンプリング間隔(2ms)でシフトするようにした。

4 フィルタ処理

4.1 フィルタの構成

WT-IWTによる個々の試行の P_{300} を抽出するフィルタの構成をおこなった。必要なスケールを選択し、そのスケールに含まれる情報のみを逆変換することによって雑音が含まれている原波形から P_{300} 成分を抽出した。スケール a_i の成分のみを逆変換したときの波形は、(3)式から

$$f_{a_i}(t) = \int_{-\infty}^{\infty} W_f(a_i, b) \psi_{a_i, b}(t) \quad (6)$$

と求められる。サンプル波形に対し、図2の波形をマザーウェーブレットとしてウェーブレット変換した後、各スケールパラメータ $a_i (i = 0, \dots, 6)$ のそれぞれの成分のみをウェーブレット逆変換した波形の一例を図3に示す。図3から、 a_3 以降のスケールでは雑音成分が多く振幅が小さいため、300ms辺りの P_{300} 成分もほとんど含んでいないと考えられる。したがって、 a_0, a_1, a_2 のスケールの成分のみをウェーブレット逆変換するようなフィルタを次式のように構成した。

$$f(n) = \frac{1}{C} \sum_{i=0}^2 f_{a_i}(n) \quad (7)$$

$f(n)$ はフィルタ処理後の波形を表している。

4.2 フィルタ処理結果

4.1節で構成したフィルタを用いて、 P_{300} の各試行における分析を行った。図4(a)に示した原波形をフィルタ処理した結果を図4(b)に示す。原波形に存在していた雑音(高周波成分)は、フィルタ処理後除去されている。また図4(b)では P_{300} の頂点潜時がはっきりとわかる。

この結果、加算処理波形を基にしたマザーウェーブレットにおいて P_{300} の抽出が良好にできることがわかった。

5 まとめ

ウェーブレット変換と逆変換によってフィルタを構成し、単一誘発脳電位の P_{300} 成分を抽出した。 P_{300} 成分を抽出するために、分析対象の各試行の脳波の加算平均波形を基にした許容条件を満たすマザーウェーブレットを作成した。そして、作成したマザー

ウェーブレットを用いたWT-IWTフィルタを構成した。その結果、構成したフィルタによって各試行における P_{300} 成分を抽出する事ができた。

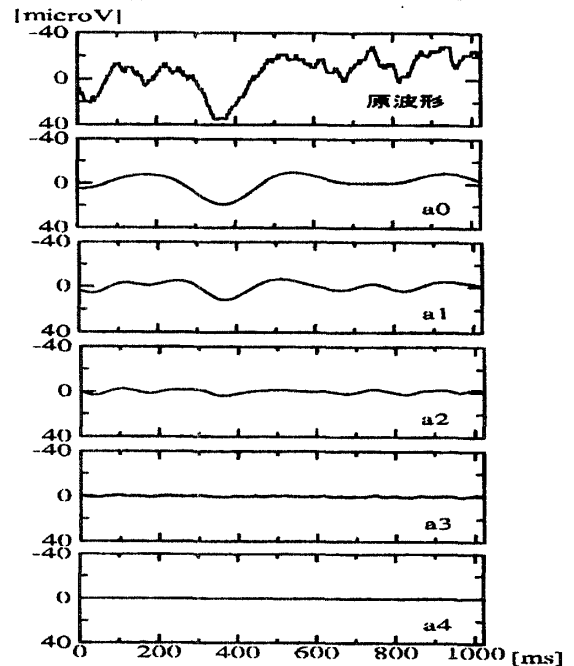


図3 各スケールごとの逆変換(a_5 以降は省略)

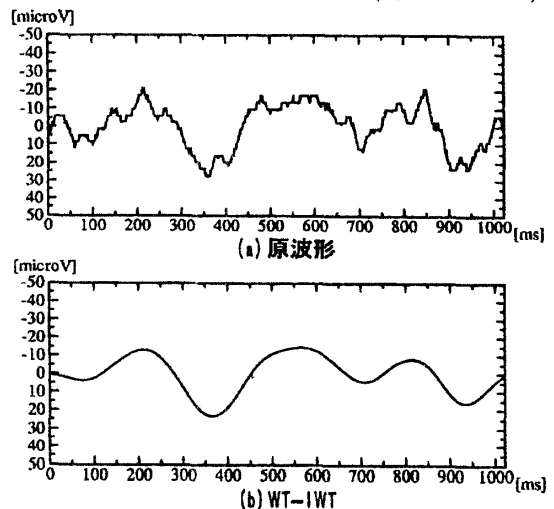


図4 (a) 原波形と (b) WT-IWT の結果

参考文献

- [1] 中村政俊, 久富康一, 杉剛直, 西田茂人, 池田昭夫, 柴崎浩: ウェーブレット変換による P_{300} 単一試行記録処理, 第15回計測自動制御学会九州支部学術講演会予稿集, pp.355-358, 1996.
- [2] 佐藤雅昭: ウェーブレット理論の数学的基礎 第I部 第II部, 日本音響学会誌 47巻6号, pp.405-423, 1991.
- [3] 早見武人, 野瀬康弘, 志堂寺和則, 北村文昭, 松永勝也: 周辺視反応時間測定装置の開発, 日本交通心理学会第54回大会発表論文集, pp.31-32, 1996.