

聴性誘発反応に対するマイコンの応用

江原義郎^{*}・内田利男^{**}・市川銀一郎^{**}
^{*}順天堂大学・医学部・中央電算機室 ^{**}順天堂大学・医学部・耳鼻咽喉科学教室

1. 目的

他覚的聴力検査法の1つとして、聴性誘発反応 (*auditory evoked response*) を利用したものがある。音刺激に対する誘発反応を検出し、これを聴力判定の指標とするこの方法は簡単な加算機の発達に伴い現在広く臨床的にも利用されているが、加算法による分析のみでは反応出現に対する安定性や幼児検査における誤陽性反応 (*false positive response*) 等多くの問題を残している。そこで筆者らは、これらの問題が特に顕著となる頭頂部緩反応 (*auditory slow vertex response* 以降 *SVR* と略す) の判定客観化を目的として現在まで各種デジタル処理法の開発を行ない報告してきた。デジタル処理法の主なものは、振幅度数分布、選択的加算法、パワースペクトル、瞬時パワースペクトル、パターンマッチング、デジタルフィルタ (非巡回型、巡回型) 等がある。これら分析法の開発は主として汎用ミニコンピュータ PDP11⁰ を用いて行ない、それぞれ *SVR* の性質を説明する興味ある結果が得られた。特にデジタルフィルタによる分析結果では、各種条件における *SVR* の反応出現率が大幅に改善され、他の聴性誘発反応 (*MLR: auditory middle latency response* 等) への応用も可能と思われた。そこでデジタルフィルタ等を検査室で可能にするため、現在マイクロコンピュータを用いたオンラインのデジタル処理システムを開発中である。今回は *SVR* に関する各種分析法の一部の紹介とマイクロコンピュータの応用について報告する。

2. 方法

2-1 検査条件

被検者: 成人 (覚醒および自然睡眠下の検査)
 幼児 (覚醒およびトリクロリール内服下の睡眠時検査)
音刺激: 域値 ~ 50 dB_{SL} (*sensation level*) の純音
刺激回数: 50 ~ 200 回程度
その他の条件はオーディオロジー学会測定法部会の規定による。

2-2 分析方法

① 振幅度数分布

全音刺激区間に対して振幅度数分布を求めこの統計分布の型と分散を求めた。

② パワースペクトル分析

各音刺激区間ごとのパワースペクトルを FFT (*fast Fourier transform*) を用いて求め、これを刺激回数分加算平均化して、平均パワースペクトルを求めた。

③ デジタルフィルタ

非巡回型デジタルフィルタ (*non-recursive digital filter*)

図1(A)に非巡回型デジタルフィルタのブロック図を示す。この方法は入力脳液系列とフィルタのインパルス応答系列のたたみ込み演算を、FFTを用いて高速に行なうものである。入力脳液系列 $\{X_n\}$ をフーリエ変換した $\{X_n\}$ とフィル

タの周波数特性 $\{H_n\}$ の積 $\{Y_n\}$ を求めこれを逆フーリエ変換することによってフィルタ出力系列 $\{y_n\}$ を求めた。サンプル数 N ($N=2^M$ ただし M は自然数) に対して掛算回数は $N(1+3\log_2 N)$ となるが、予め $\{H_n\}$ を求めておけば $N(1+2\log_2 N)$ で済む。SFRの分析においては各刺激区間内の脳波を入力系列としてその出力系列を求め、刺激回数分出力脳波系列の加算平均を行った。FFTをソフトウェアで行なう場合リアルタイム処理は不可能であり、マイクロコンピュータの場合は少なくともFFTの部分はアセンブリ言語等のサブルーチンを必要とする。

巡回型デジタルフィルタ (recursive digital filter)

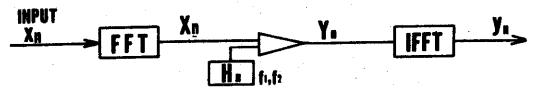
図1(B)に巡回型デジタルフィルタのブロック図を示す。巡回型デジタルフィルタは、次に示す入力パラメータの要求特性を満足するバターース型の対称型バンドパスフィルタをアナログ領域で設計し、これを双一次変換法 (bilinear transform) によりデジタルバンドパスフィルタにした。

入力パラメータ

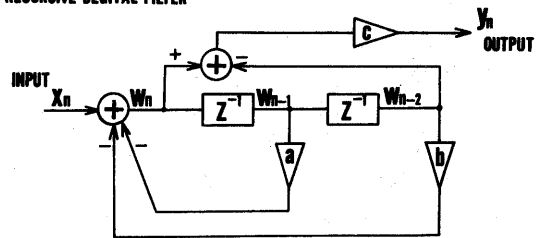
- a. サンプリング周波数 f_s (Hz)
- b. 遮断周波数 f_1, f_2 (Hz) ただし $f_1 < f_2$
- c. 阻止域周波数 f_a (Hz)
- d. f_a (Hz) における減衰量 ATT (dB)

この要求特性によってフィルタの次数および係数列 $\{a_n\}, \{b_n\}, \{c_n\}$ が決まる。式(1)に入力系列 $\{x_n\}$ と出力系列 $\{y_n\}$ の関係を示し、式(2)にZ変換 (Z-transform) を用いて伝達関数を示した。実際のフィルタリングでは、フィルタの次数に応じてこのブロック図を何段かカスケード接続して行なう。今回は検査室でのリアルタイム処理用にこの型のデジタルフィルタをマイコンを用いて試作した(図2参照)。図3にはマイクロコンピュータによるデジタルフィルタのブロック図を示す。点線内が今回用いたH68/TR(日立製)マイクロコンピュータで、左側はデータの入出力およびフィルタリングを行なう専用のプロセッサを試作したものである。このフィルタの動作は、まず希望するフィルタの要求特性をKey boardから入力しH68/TRを用いて次数および係数列 $\{a_n\}, \{b_n\}, \{c_n\}$ を求める。この係数はP.I.A (Peripheral Interface Adapter) を通じてフィルタのProg./Data Memoryに入力される。フィルタは、Adder (32bit), Multiplier (16x16 bit), Exp. Adder (8bit) 等をもっており、AD変換 (12bit)

(A) NONRECURSIVE DIGITAL FILTER



(B) RECURSIVE DIGITAL FILTER



$$W_n = X_n - aW_{n-1} - bW_{n-2} \quad \text{--- (1)}$$

$$Y_n = cW_n - cW_{n-2} \quad \text{--- (2)}$$

$$H_D(z) = \frac{c(1-z^{-2})}{1+az^{-1}+bz^{-2}} \quad \text{--- (2)}$$

図1. デジタルフィルタのブロック図

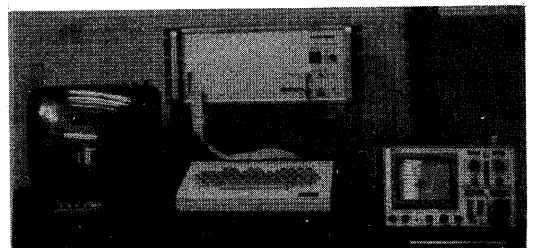


図2. マイコンによるデジタルフィルタ

された入力データは係数に応じてフィルタリングされ、出力は逐次D/A変換器により出力される。

3. 結果

(1) 振幅度数分布

図4に振幅度数分布の結果を示す。これは刺激回数200回、時間にして240秒の脳波の振幅度数分布である。なお下に、分散と標準偏差、および200回の加算波形を示した。振幅度数分布は音刺激あり、音刺激なしともほぼ正規型の分布を示しているが、0Hz近辺の値は音刺激の無い場合の方が音刺激を与えている場合よりも大きく、また分散は音刺激を与えている場合の方が音刺激を与えていない場合よりも大きくなっている。この結果により音刺激を与えることによって振幅の大きな、低い周波数(零交叉数の少ない)波が増すことが予想できた。

(2) パワースペクトル分析

音刺激区間(この例では1.2秒)を解析区間とし刺激回数で平均化したパワースペクトル分析の結果を示す(ただし音刺激なしの場合は、音刺激に同期したトリガパルスを用いて計算した)。ただしパワースペクトルはそれぞれ最大値を100として正規化してある。図5に示す音刺激のない場合、50、100、150回と平均化の回数を増すに従って10Hz近辺の波帯域のエネルギーが多くなる、しかし図6に示すように、音刺激50dBでは、3Hz近辺の波帯域のエネルギーが多くなっている。これは前述の振幅度数分布による分析結果をスペクトル解析によって明らかにしたものと言える。

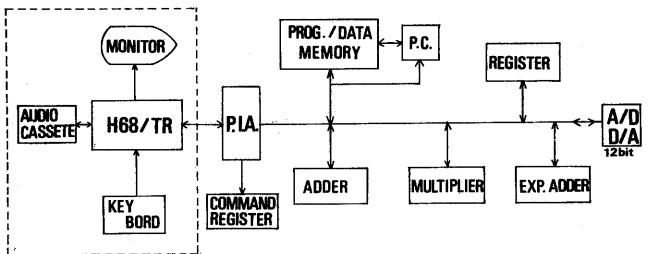
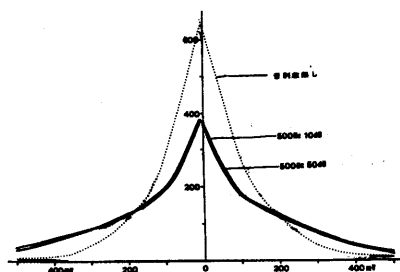


図3. マイコンによるデジタルフィルタのブロック図



EVOKED RESPONSE	VARIANCE X10 ⁴	STANDARD DEVIATION
XXXXL	193	139
10dB	491	222
50dB	406	223

(振幅の単位はアンプの出力値mVとなっている)

図4. 振幅度数分布と加算波形

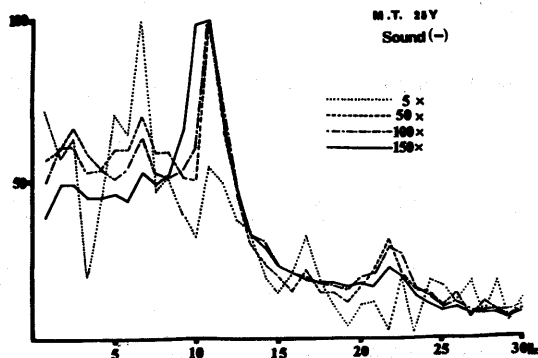


図5. 音刺激なしのパワースペクトル

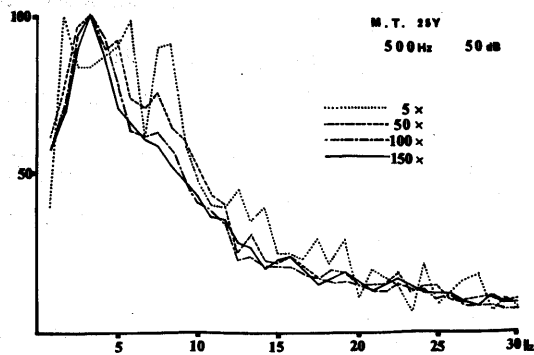


図6. 50dB音刺激時のパワースペクトル

(3) デジタルフィルタによる分析

図7にデジタルフィルタ(非巡回型)を用いてSVRの検出を行った一例を示す。フィルタは種々の帯域を検討し現在まで最も良く反応を検出できる3-9 Hz帯域の結果であり、フィルタを用いずに加算平均を行ったものと、フィルタ追加後加算平均を行ったものとを比較検討した。図7(A)に示す成人SVRでは覚醒時において、フィルタなし、フィルタなしともに典型的なSVRの反応パターンを示しているが、睡眠ステージ2ではフィルタなしで反応検出は困難である、しかしデジタルフィルタを用いることにより反応検出ができた。図7(B)に示す幼児SVRでは、覚醒、睡眠ともにフィルタなしで反応検出が困難な例であるが、デジタルフィルタを用いることにより、明瞭な反応を検出することができた。

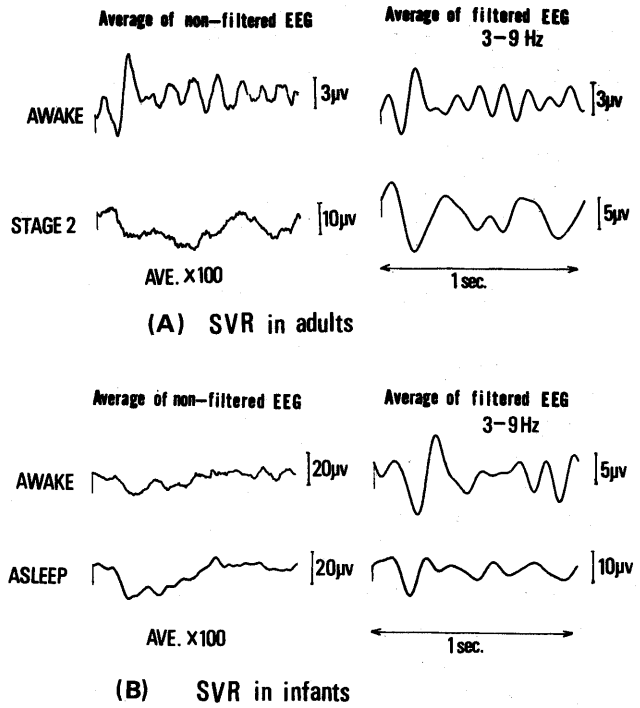


図7. デジタルフィルタによるSVRの検出(非巡回型)

図8は、デジタルフィルタ(巡回型、遮断周波数9, 12 Hz, 4次)を用いてα波帯域成分の変動を分析した結果である。音刺激のない場合(图中NS)では振幅の増減を繰り返しているが、60 dBの音刺激を与えると振幅が抑制された。これは音刺激によるα波の抑制現象を、デジタルフィルタで明らかにしたといえる。

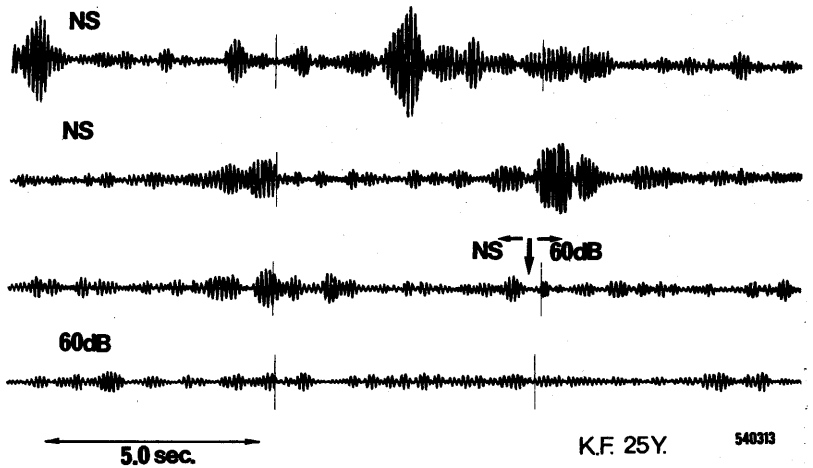


図8. 音刺激によるα波帯域成分の変動(巡回型フィルタによる分析)

(文献)

- (1) 江原・真島・市川: 聴性誘発反応分析法の検討 第17回日本ME学会大会 予稿集 p.154 (1978)
- (2) 江原・真島・市川: デジタルフィルタによる聴性誘発反応の分析 第18回日本ME学会大会 予稿集 pp.332-339 (1979)
- (3) 江原・市川他: デジタルフィルタによる聴性誘発反応の分析 - 睡眠時検査 - 第10回日本脳波前電医学会学術大会 予稿集 p.51 (1980)