

本多 薫

山形大学人文学部

## 1. はじめに

従来、周波数解析といえばフーリエ変換を用いることが一般的であり、筋電図解析においても周波数成分を調べる有効な手段の一つとされている[1]。しかし、通常のフーリエ解析では時間情報が失われるため、筋電図を時系列の観点から解析することは難しい。また、このフーリエ変換に窓関数をかけて時間一周波数解析を可能にした短時間フーリエ変換では、窓幅が固定され、時間一周波数解像度が一定となるため、窓幅を定めるパラメータを解析する対象によって厳密に設定するなどの問題がある[2]。

本研究では効率的な時間一周波数解析を実現することで注目されているウェーブレット変換を取り上げ、動的な運動時における筋電図解析への応用を試み、従来主流であったフーリエ解析との比較を交えながらその有効性を検討する。

## 2. ウェーブレット変換

本研究のウェーブレット変換では、Gabor 関数を採用した。Gabor 関数は時間一周波数領域において最も局在性のよい関数であり、フーリエ変換の基底関数  $\exp(-i\omega t)$  に Gauss 窓をかけることにより得られる。また、サンプリング周波数を 1000Hz とし、Gabor 関数のパラメータとして、 $\gamma = 8$  とした。

## 3. 実験

### 3.1 実験 I (擬似データによる検証)

正弦波により非定常な擬似データを作成する。

$$f(t) = \begin{cases} 3 \sin 2 \omega t & (0 \leq t < 50) \\ 2 \sin 4 \omega t & (50 \leq t < 100) \\ 6 \sin 8 \omega t & (100 \leq t < 150) \end{cases} \quad (1)$$

(1)式は各正弦波を 1 秒ごとに出力する関数であり、周波数が変化する信号である。擬似的に生成された非定常信号をウェーブレット変換し、フーリエ変換との比較を交えながらその妥当性を検討する。

### 3.2 実験 II (筋電図解析)

本研究では動的な運動としてバーベル (1kg, 4kg) を用いた肘の屈曲運動を取り上げる。表面電極により筋繊維から発せられる活動電位を測定し、筋活動の有無やその強さを読みとる。測定には、2 個の正電極 (disc electrode) を 2~4cm の間隔で筋腹中央部に装着し、もう一方の負電極をその筋以外に装着する双極導出法を用いる。筋電波形をウェーブレット変換し、筋電図解析への有効性を検討する。

## 4. 結果および考察

### 4.1 擬似データによる検証

図 1 は (1) 式の波形をフーリエ変換した結果である。図 1 より、(1) 式に含まれている各関数の周波数値 2Hz、4Hz、8Hz は適切に示されていることが読み取れる。しかし、そのパワーの比率では、最も小さくなるはずの 4Hz 部分が、逆に最も大きい値となっており、解析結果が不適切であることが分かる。さらに、通常のフーリエ変換では時間情報が失われるため、1 秒ごとに推移する (1) 式の周波数変化を捉えることができないことがわかる。

一方、図 2 は (1) 式の波形をウェーブレット変換した結果である。図 2 より Sin の波形が一秒ごとに表れ、それぞれが 2Hz、4Hz、8Hz で適切に表現されていることが確認できる。また、フーリエ変換ではパワーの比率が不正確であったが、ウェーブレット変換では正確に表れていることが確認できる。

### 4.2 筋電図解析

非定常信号解析での有効性が示されたところで、実際にウェーブレット変換を用いて、動的な運動時

における表面筋電図の解析を行う。その一例として、バーベル 1kg および 4kg を用いたときの解析結果を図 3 に示す（横軸が時間、縦軸が周波数を示し、等高線は Power(筋電エネルギーの大きさ)を表す）。

図 3 のバーベル 4kg を考察する。0.55 秒から 0.65 秒区間に注目してみると、Power 8.5-9.0 で 27Hz 付近に表れているピークが、その 0.1 秒後には Power 5.5-6.0 で 33Hz 付近に推移していることが読み取れる。このように、ウェーブレット変換を用いて筋電図を解析することにより、動的に変化する筋電の周波数を時間情報と共に捉えることが可能であると考えられる。

次にバーベル 1kg と 4kg を比較する。両者の Power の最大値と周波数との関係に着目すると、重いバーベルを持ち上げるほど、高周波成分が強くなる傾向が読みとれる。特に 61Hz 以上の周波数が顕著に現われている。これより、筋繊維を収縮させるほど高周波成分は優位になることが分かる。

## 5. まとめ

フーリエ変換では動的に変化する非定常信号を解析するにあたり、時間情報を失うのみならず、解析の正確さが欠けていることが確認された。一方、ウェーブレット変換を用いた解析では、時間に伴い変化する周波数、およびその大きさを知ることができ、非定常信号を適切に解析することができた。次にウェーブレット変換による筋電図解析を試みた。その結果、動的な運動時における急激な変化を示す筋電波形の振幅および周波数を時間情報と同時に捉えることができ、急激な変化を示す筋電図解析に有効であることが分かった。また、非定常性を有する他の生体信号の解析においても有効な手段であると考えられる。

## 参考文献

- [1] 才籾栄一, 金田嘉清, 岡田誠, 高橋修:「表面筋電図による筋力推定」, 総合リハビリテーション, Vol.24, No.5, pp.423-430, 1996.
- [2] R.K.ヤング:「ウェーブレット—信号処理とシステム推定への応用—」, トップラン, 1997.

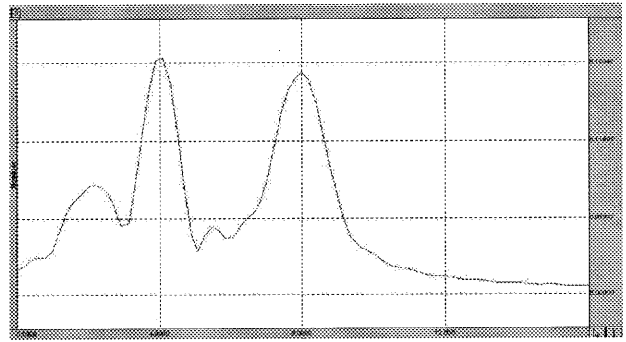


図 1 擬似データの解析結果 (フーリエ変換)

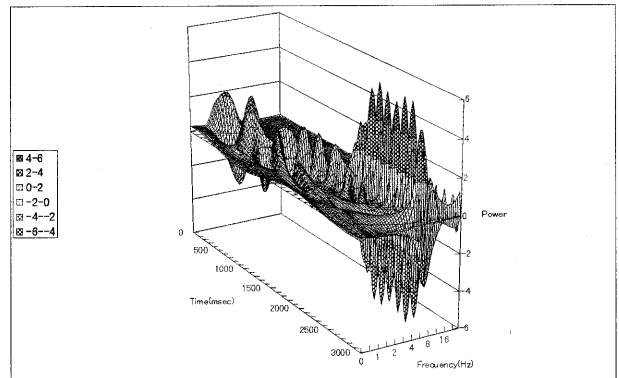
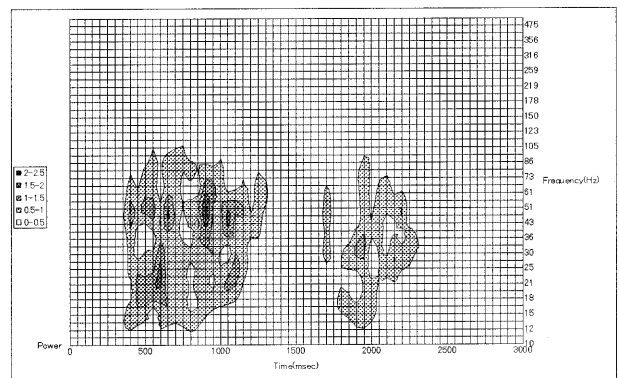
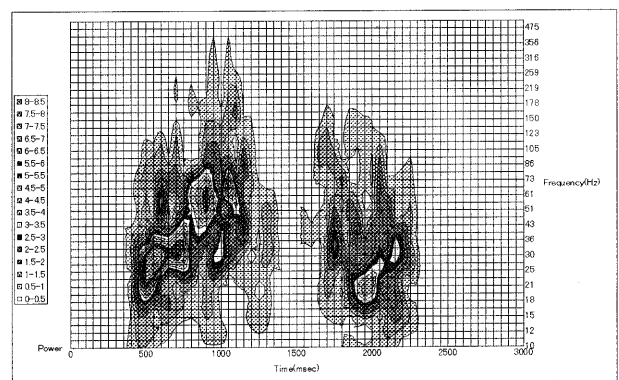


図 2 擬似データの解析結果(ウェーブレット変換)



バーベル : 1 kg



バーベル : 4 kg

図 3 ウェーブレット変換による筋電図解析結果