

土井 達也、吉田 悟史、早野 誠治、斎藤 兆古 (法政大)

Application of Discrete Wavelet Analysis to MCG

Tatsuya Doi, Satoshi Yoshida, Seiji Hayano, and Yoshifuru Saito (Hosei University)

1. まえがき

近年、SQUID 磁束計の開発に伴い、心臓内の活動電流により生じる磁界分布 (心磁図; Magnetocardiogram, 以下、MCG と略記) を体表面上で測定することが可能となった。この心磁図から心臓内の磁界源の位置・大きさ等を推定し、心電図では得られなかった心起電力情報を探す試みがなされている⁽¹⁾。また、従来から筆者等は、体表面上の局所的な磁界分布から心臓内の磁界源を推定する方法を提案、適用してきた⁽²⁾。

しかし、心磁図等から正確な心臓診断を行うためには、心臓内の磁界源の位置・大きさ等を推定するだけでなく、過去の臨床例との照合が不可欠となる。さらに、正確な診断を行うためには、生体の個体差を平均化するための膨大な臨床データが必然的になる。

近年、ウェーブレット変換は、画像データの圧縮、心電図のスペクトル解析等で用いられている⁽³⁻⁶⁾。特に、離散値系ウェーブレット変換は、画像データ等のデータ圧縮に用いられる⁽⁶⁾。

本稿では、離散値系ウェーブレット変換を用いたデータベース法による心磁図診断を行った。具体的には、離散値系ウェーブレット変換を用いて心磁図マップを圧縮し、圧縮された心磁図マップをデータベースとして用いる。

実際の心磁図マップに適用した結果、離散値系ウェーブレット変換を用いたデータベース法によって、正常か異常かの判別が可能であり、離散値系ウェーブレット変換が心磁図診断に有効であることが判明したので報告する。

2. 心磁図への離散値系ウェーブレット変換応用

<2.1> 離散値系ウェーブレット変換 本稿では、Daubechies の 4 次の Analyzing Wavelet を用いた離散値系直交ウェーブレット変換を用いる⁽³⁾。

簡単のため、8 次のデータベクトル X_8 の一次元ウェーブレット変換の例を考える。8 次のデータベクトル X_8 を

$$X_8 = [x_1 \ x_2 \ x_3 \ x_4 \ x_5 \ x_6 \ x_7 \ x_8]^T, \quad (1)$$

とする。8 次のデータベクトルの離散値系ウェーブレット変換に対して 3 回 (= $\log_2 8$) の線形変換が行われ、最初の変換は、

$$X' = P_8 C_8 X_8, \quad (2)$$

である。ここで、変換行列 C_8 は、

$$C_8 = \begin{bmatrix} c_0 & c_1 & c_2 & c_3 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ c_3 & -c_2 & c_1 & -c_0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & c_0 & c_1 & c_2 & c_3 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & c_3 & -c_2 & c_1 & -c_0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & c_0 & c_1 & c_2 & c_3 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & c_3 & -c_2 & c_1 & -c_0 \\ c_2 & c_3 & 0 & 0 & 0 & 0 & c_0 & c_1 \\ c_1 & -c_0 & 0 & 0 & 0 & 0 & c_3 & -c_2 \end{bmatrix}, \quad (3)$$

であり、 P_8 は、

$$P_8 = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 \end{bmatrix}, \quad (4)$$

である。(3)式の係数 c_0, c_1, c_2, c_3 は、Daubechies の 4 次の Analyzing Wavelet であり、

$$c_0 = \frac{1+\sqrt{3}}{4\sqrt{2}}, \quad c_1 = \frac{3+\sqrt{3}}{4\sqrt{2}}, \quad c_2 = \frac{3-\sqrt{3}}{4\sqrt{2}}, \quad c_3 = \frac{1-\sqrt{3}}{4\sqrt{2}}, \quad (5)$$

で与えられる⁽³⁾。また、(3)式の奇数行 (1,3,5,...行) は重み付きの積分演算に相当し、偶数行 (2,4,6,...行) は重み付きの微分演算に相当する⁽⁶⁾。

2 回目の変換は、

$$X'' = P_8' C_8' X', \quad (6)$$

$$P_8' = \begin{bmatrix} P_2 & 0 \\ 0 & I_4 \end{bmatrix}, \quad C_8' = \begin{bmatrix} C_4 & 0 \\ 0 & I_4 \end{bmatrix}, \quad (7)$$

で行われ、3 回目の変換は、

$$X''' = P_8'' C_8'' X'', \quad (8)$$

$$P_8'' = \begin{bmatrix} P_2 & 0 \\ 0 & I_6 \end{bmatrix}, \quad C_8'' = \begin{bmatrix} C_2 & 0 \\ 0 & I_6 \end{bmatrix}, \quad (9)$$

で行われる。最終的に得られた X''' が、ウェーブレットスペクトラムとなる。

(2)-(9)式から、一次元ウェーブレット変換は、

$$X''' = (P_8'' C_8'') (P_8' C_8') (P_8 C_8) X_8 = W_8 X_8, \quad (10)$$

で与えられる。ここで、 W_8 は 8 次のウェーブレット変換行列と呼ばれる。

また、ウェーブレット逆変換は、

$$X = [W_8^T]^{-1} X''', \quad (11)$$

で得られる。

<2.2> 二次元ウェーブレット変換 二次元の離散値系

ウェーブレット変換は、

$$M' = W M W^T, \quad (12)$$

で与えられる⁽⁶⁾。ここで、 M' 、 M 、 W はそれぞれ、ウェーブレットスペクトラム、元の二次元データベクトル、ウェーブレット変換行列を表わす。

二次元のウェーブレット逆変換は、

$$M = W^T M' W, \quad (13)$$

で与えられる⁽⁶⁾。

<2.3>心磁図データの圧縮 図 1 に、二次元ウェーブレット変換による実際の心磁図マップのデータ圧縮の例を示す。図 1(a)に、正常な心臓の QRS 波開始より 30.0[ms]での心磁図マップを示す。図 1(b)は、図 1(a)の心磁図マップの二次元ウェーブレットスペクトラムを示す。図 1(b)中の原点が Mother Wavelet と呼ばれる部分であり、この Mother Wavelets 近傍にウェーブレットスペクトラムの大きい値が集中している。図 1(c)は、図 1(b)のウェーブレットスペクトラムから二次元ウェーブレット逆変換によって再現された心磁図マップを示す。図 1(d)は、6.25%の Mother Wavelets 近傍のウェーブレットスペクトラムから再現された心磁図マップを示す。図 1(d)の結果から、全体の 6.25%のウェーブレットスペクトラムからでも、元の心磁図マップ[図 1(a)]がほぼ再現される。従って、ウェーブレット変換によって元のデータに含まれる情報をほとんど失わずにデータ数を圧縮可能であることがわかる。

3. 心磁図診断への応用

本稿では、二次元ウェーブレット変換を実際の心磁図診断へ適用する。

図 2 は、ウェーブレット変換を用いたデータベース法による心磁図診断の例を示す。本稿では、8 人の正常な場合の心磁図マップをデータベースとして用いた。また、データベースを構成する各心磁図マップは、ウェーブレット変換によって元のデータの 6.25%に圧縮され、このデータベースと各患者の心磁図マップとの相関係数で評価する。図 2 において、横軸はデータベースの個数（8 人の正常例）、縦軸は患者との相関係数を示す。

図 2(a)および 2(b)は、正常な心磁図マップとデータベースとの相関係数を示す。図 2(c)-2(f)は、それぞれ RBBB, LBBB, WPW 症候群, 別例の WPW 症候群を示す。

図 2 に示すように、心臓に何等かの異常がある場合は、データベースとの相関係数は正常な場合と比べ、低い値となっている。従って、データベースとの相関を取ることで、正常か異常かの診断は可能である。

4. 結言

本稿では、離散値系ウェーブレット変換によって心磁図マップが圧縮可能であることを示し、データベース法による心磁図診断を行った。その結果、離散値系ウェーブレット変換を利用したデータベース法によって、正常か異常かの判別が可能であり、離散値系ウェーブレット変換が心磁図診断に有効であることが判明した。

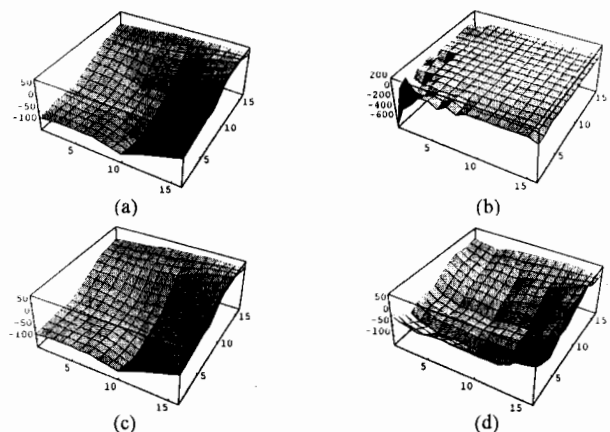


図 1 離散値系ウェーブレット変換を用いた実際の心磁図マップの圧縮。正常な場合、QRS 波開始より 30.0[ms]。(a)元の心磁図マップ、(b)ウェーブレットスペクトラム、(c)すべてのウェーブレットスペクトラムから再現された心磁図マップ、(d)全データ数の 6.25%のウェーブレットスペクトラムから再現された心磁図マップ。

Fig. 1. An example of MCG data compression by means of the wavelet transformation. (a) An original MCG map, (b) a wavelet spectrum of (a), (c) a reproduced MCG map from the 100% spectrum in (b), and (d) the reproduced MCG map from the 6.25% spectrum in (b), respectively.

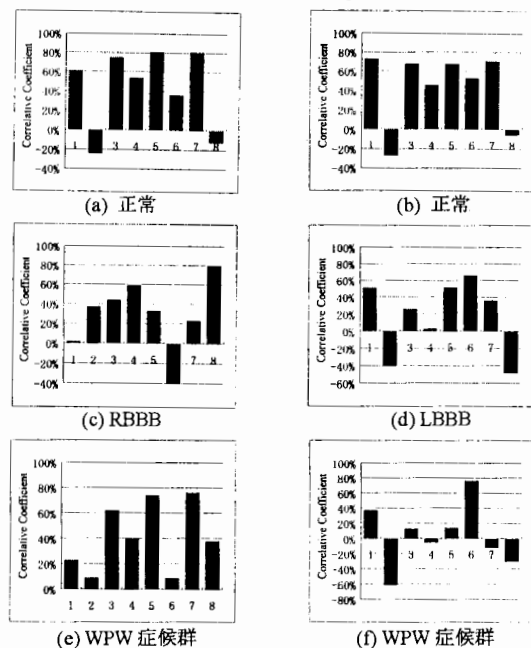


図 2 データベース法による心磁図診断。(a)-(f)は、それぞれ、正常例、別の正常例、RBBB、LBBB、WPW 症候群、別の WPW 症候群とデータベースとの相関係数を表わす。

Fig. 2. Examples of the MCG diagnosis by means of the data base approach. (a) The correlative coefficient between the data base and normal heart. Similarly the correlative coefficients to the other normal (b), RBBB (c), LBBB (d), WPW syndromes (e), and the other WPW syndromes (f), respectively.

参考文献

- (1) H. Mori and Y. Nakaya, *Biomagnetism* '87, 82-89 (1988).
- (2) 吉田悟史、土井達也、斎藤兆吉、電気学会マグネティクス研究会資料、MAG-95-142 (1995).
- (3) J. Daubechies, *Comm. Pure and Appl. Math.* 41, 909-996 (1988).
- (4) 山田道夫、電子情報通信学会誌、Vol. 76, No. 5, 518-528 (1993).
- (5) N. V. Thakor, G. Xin-Rong, S. Yi-Chun, and D. F. Hanley, *IEEE Trans. on Biomed. Eng.*, 40, 1085-1094 (1993).
- (6) D. E. Newland, "Random Vibrations. Spectral & Wavelet Analysis", Longman Scientific & Technical, 3rd Edit. (1993).