

● 一般演題

Wavelet Packet解析の心電図への応用

— エントロピーを情報コストとする最良基底アルゴリズムによる —

与野市医師会 石川 康宏・渋谷 純一・生駒 賢治
阪 信

要 旨

情報エントロピー、理論次元などの情報コスト関数による最良基底アルゴリズムを判定基準として、心電図波形の wavelet packet 解析を試みた。元の心電図波形では、ノイズに隠されて判別の不能な上室性期外収縮における p 波や、心室性期外収縮の T 波に埋もれている p 波を、情報エントロピーや理論次元によるコストに基づく最良基底アルゴリズムにより、明瞭に検出できた。

最良基底アルゴリズムによる wavelet packet 解析は、心電図のノイズの除去、圧縮のみならず、p 波の検出、QT 間隔、ST 間隔、基線の等電位レベルなどの計測にあたり、科学的根拠に基づく最も確からしい特徴的な波形を抽出し、経験に基づく判定に代わる方法の一つになりうると考えられる。

はじめに

wavelet 解析では、信号を局在する小さな波、すなわち wavelet という「ものさし」で、同時に時間と周波数の2次元に分解して、解析することができる。また近年、目覚ましい発展を遂げた情報微分幾何学の成立には、二つの理論が大きな役割を果たしている。一つは、赤池情報理論であり、ここでは相対エントロピーとフィッシャー情報行列とが、本質的な意味をもつ。

他方、アインシュタインの一般相対性理論においては、重力場のポテンシャルを表す計量テンソルをフィッシャー情報行列と同様に扱う。

われわれは、心電図の wavelet packet 解析において、この分野の基本概念である情報エントロピーに基づく解析を判定基準に据えることで、分解された心電図情報のどこに、元のデータの特性が最もよく現れるのかを、最良基底アルゴリズムを用いて検討した。

1 方 法

時系列解析のための「ウェーブレット解析・スペクトル解析」(以下 MEM) は、プログラム言語 Java を使用して、著者の一人である石川が開発し、インターネットでオープンソースのフリーソフトウェアとして配布している (<http://www.uinet.or.jp/~ishiyasu/>)。

wavelet 解析に関しては、「Numerical Recipes in C¹⁾」の C 言語のソースコードを参考にした。wavelet packet 解析は、“Applied Wavelet Analysis with S-PLUS²⁾” に基づき、独自にプログラミングした。Wickerhauser による最良基底アルゴリズム、情報コスト関数³⁾ は、アルゴリズムに改良を加えてコードした。ECG のサンプルデータは、Harvard 大学と Massachusetts 工科大学のデータベースである MIT-BIH (<http://ecg.mit.edu/index.htm>) から入手した。

2 結 果

上室性期外収縮を呈する x_100.dat においては、Daubechies の 2, 4, 8, 12, 20 の N 次数の wavelet 基底関数 (以下 DaubN) を使用し、情報コスト関数により、最良基底アルゴリズムに

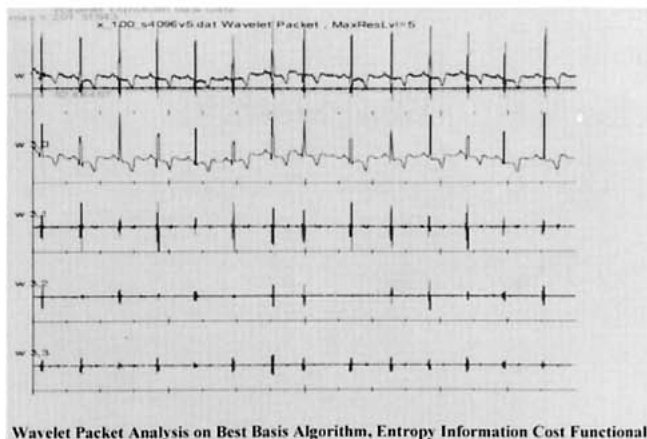


図1 最良基底アルゴリズムによる wavelet packet 解析

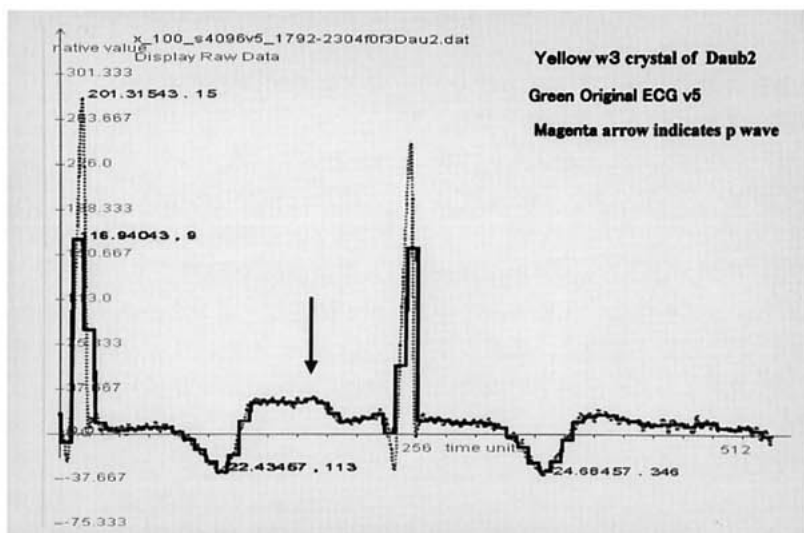


図2 p波が鮮明となった第三次近似関数

基づき最適な組み合わせのなかで、最もオリジナルなデータの特徴を示すと考えられる近似関数について検討した。

データ数で正規化したコストでの最小コストは、w3,0のDaub8 ($-2.06E+07$)であった。理論次元では、最小コストは、w3,0 Daub4 (71.2762)であり、2番目に小さなコストは、w3,0 crystal Daub2 (75.85771)であった。理論次元での最良基底アルゴリズムでの最小コストの総和は、Daub2で最小であり、2番目に小さ

いコストの総和は、Daub4であった。

図1は、wavelet packet解析でのエントロピー情報コスト関数のDaub2におけるMEMでの画像である。最上段のグラフは、元のデータである。w3,0 w3,1 w3,2 w3,3と表示されているが、これがレベル5までの分解のうち、コストを最小にする組み合わせである。図2は、同データのwavelet解析で、元のデータは破線で、w3,0 crystal Daub2 (f3)は実線で表示されている。上室性期外収縮の一部だが、w3,0の実線

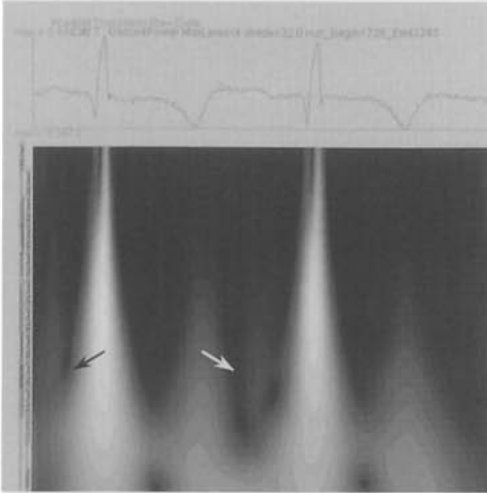


図3 図2と同一部位の連続 wavelet 解析
(白い矢印が鮮明となったp波)

には、元のデータではノイズに隠されていたp波が矢印の箇所に認められる。

また、元のECGに比して、基線の位置、等電位レベル、STレベル、T波の開始点と終点などの特徴が鮮明になっている。図3は、この部分について、連続 wavelet 変換を Gabor4 Power という wavelet を使って施行した。縦軸は周波数、横軸は時間を表す。白い矢印の部分にノイズに隠されていたp波が認められる。黒い矢印は、直前のQRSでのコントロールのp波である。さらに、心室性期外収縮の多発する x_119.dat でも、同様な方法で、T波の中に隠れているp波を証明できた。

3 考 察

wavelet 解析は、時間と周波数の2次元に分

解して信号を解析するが、wavelet packet 解析では、さらに詳細に周波数に関する解析が可能である。wavelet packet 分解されたこのブロックに、最もオリジナルな波形の特性が現れるのかにつき、情報エントロピーをコストとする最良基底アルゴリズムをもって決定した。

われわれの方法は、isoelectric level, T onset and T offset, J-point, p波の位置などに関しては、有効であった。したがってST間隔、QT間隔の計測に、科学的な根拠を与えることが可能になりうると考えられる。

今後、われわれの方法でQRS波のlate potentialなどのfragmented activityを解析することも、心疾患の病態・病状を解明するうえで意義のあることと考えられる。

【謝 辞】

wavelet packet 解析、最良基底アルゴリズムなどで有益な助言を下された Washington 大学数学科の M. Victor Wickerhauser 教授、ECG のデータの使用を快諾下さった Massachusetts 工科大学の George Moody 教授、そして終始研究を見守って下さった慶應義塾大学内科の故和田孝雄客員教授、そして本研究会での発表にご尽力いただいた埼玉医科大学内科の松本万夫先生に深謝します。

文 献

- 1) Press WH, et al. Numerical Recipes in C, 2nd ed. Cambridge University Press ; 1997. p.591.
- 2) Andrew Bruce, Hong-YeGao. Applied Wavelet Analysis with S-PLUS. Springer ; 1996. p.110-41, 251-65.
- 3) Wickerhauser MV. Adapted Wavelet Analysis from Theory to Software. A K Peters, Ltd. ; 1994. p.273-98.