

プラーク組織性状判別を目的とした血管内超音波信号のフラクタル解析とサロゲート検定

¹ 古賀崇了 ² 田中優毅 ^{2,1} 内野英治 ² 末竹規哲 ³ 廣高史 ² 松崎益徳

Takanori Koga Yuki Tanaka Eiji Uchino Noriaki Suetake Takafumi Hiro Masunori Matsuzaki

¹ 財団法人ファジィシステム研究所 ² 山口大学 ³ 日本大学

Fuzzy Logic Systems Institute

Yamaguchi University Nihon University

Abstract: The intravascular ultrasound (IVUS) method is used for diagnoses of coronary arterial diseases such as acute coronary syndromes. This paper reports a fractal analysis and a surrogate data analysis of radiofrequency (RF) signals obtained by the IVUS method. The experimental results show that the features, obtained by using the fractal analysis can be used for a computer-aided automatic tissue characterization of coronary plaque.

1 はじめに

心臓の筋肉に酸素や栄養を送る冠動脈の疾患は、血管内に堆積したプラークが破綻し、血管が詰まることにより引き起こされる。破綻し易い不安定プラークか、そうでない安定プラークかを判断するためには、プラークを構成する物質の組織性状（脂質・線維・石灰他）とその構造を詳細に把握する必要がある。冠動脈内のプラークの組織性状の判別は、主に、血管内超音波 (Intravascular Ultrasound: IVUS) 法 [1] によって得られる Radiofrequency (RF) 信号を解析することにより行われる。

本報告では、精度の良いプラーク組織性状判別法を実現するため、冠動脈プラークの各組織における構造の違いに着目した特徴量についての実験と検討を行う。ここでは、「プラークの各組織から反射して得られる RF 信号には、それらの組織の構造的複雑さに関する情報が含まれている」という仮定を設ける。RF 信号の複雑さを定量化するため、フラクタル解析 [2] を行い、そこから得られる相関指数や相関次元が組織性状判別における特徴量として利用できるか否かを検討する。

2 実験の概要

2.1 血管内超音波法

血管壁やプラークを構成する組織に当たって反射する超音波信号は、Radiofrequency (RF) 信号と呼ばれ、組織の性状に応じた様々な情報を有している。したがって、RF 信号を解析することで、プラークの組織性状を判別することができる。IVUS 法によって得られた RF 信号の一例を図 1(a) に示す。グラフの横軸は、超音波の血管内速度を基に、RF 信号が戻ってきた時間をプローブからの距離に換算したものである。グラフ

の縦軸は RF 信号の振幅を表す。図 1(b) は、B モード画像と呼ばれる血管断面画像であり、図 1(a) に示す RF 信号を輝度値に変換した後、血管周方向すべてについて表示したものである。

2.2 フラクタル解析とサロゲートデータ解析

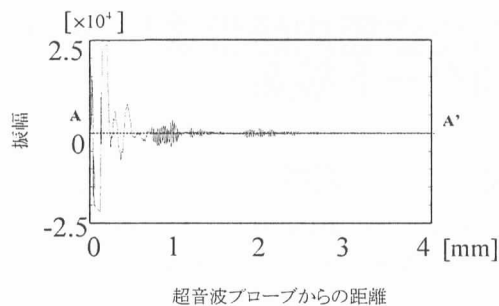
フラクタル解析を行う際には、1 変数の時系列信号として得られる RF 信号を、高次元空間における力学系アトラクタとして再構成する必要がある。本報告では、D. Ruelle と N. Packard らによって提案された、遅延座標系への変換法 [2] を用いる。この手法は、一定の遅延時間ごとの信号値を用いて、時系列信号を遅延座標系へ変換することにより、アトラクタの再構成を行う方法である。再構成されるアトラクタに対して、P. Grassberger と I. Procaccia らによって提案された、フラクタル解析の一種である相関積分法 [2] を適用する。さらに、RF 信号のランダムシャッフルサロゲートデータ [2] を作成し、モンテカルロ優位性検定による検定を行う。

3 実験結果と考察

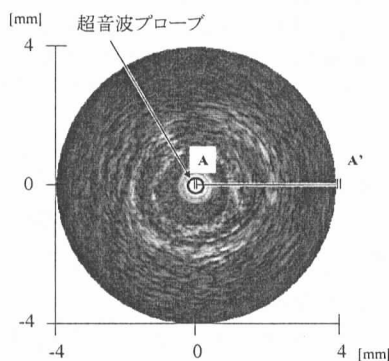
実験では、ウサギの冠動脈に IVUS 法を適用して得られた 4 枚の B モード画像を用いた。

図 2(a), (b) は、線維性組織と脂質性組織について得られた 10 本の RF 信号に対して相関積分法を適用した際の、相関指数の収束の様子を示す。線維性組織の場合には遅延座標系の次元 m が 6 次元以上の高次元において相関指数の収束が確認された。一方、脂質性組織では m が 3 次元以上で収束が確認された。

通常、相関指数の収束値を相関次元としてフラクタル解析の結果とする。しかしながら、本研究で用いた RF 信号にはノイズが重畳しており、各組織ごとに単一の相関次元を求めることが難しい。そこで収束の挙



(a)



(b)

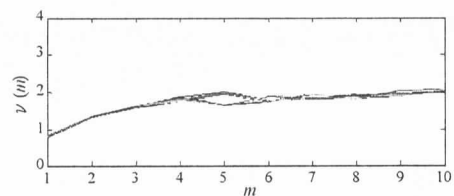
図 1: IVUS 法により得られる情報. 図中 A-A' の区間はそれぞれ対応する. (a)RF 信号. (b)B モード画像.

動を表す 10 次元分の相関指数 (図 2(a) および (b) における収束の挙動パターン) を特徴ベクトルとして用いる. 図 2(c) は, その得られた特徴ベクトルを, 線形判別分析により, 2 次元の線形部分空間へ射影したものである. 特徴ベクトルは, それぞれ個別の分布を形成しており, 提案する特徴量が組織性状判別に利用できる可能性が示された.

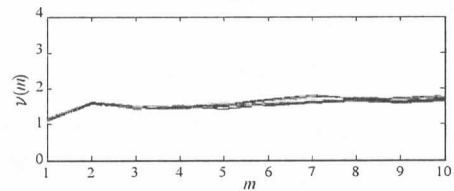
さらに, 4 枚の IVUS 画像の関心領域からサンプリングした合計 40 本の RF 信号について, オリジナルデータとランダムシャッフルサロゲートデータの比較を行った結果, すべての場合で有意差が認められた. これにより, RF 信号のフラクタル解析の信頼性が裏付けられた.

4 おわりに

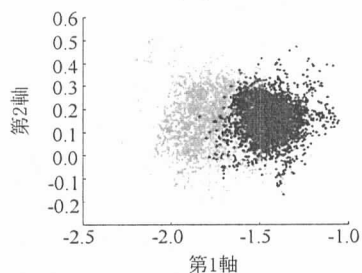
本報告では, IVUS 法によって得られる RF 信号のフラクタル解析およびサロゲートデータ解析を行った. 実験結果より, 相関指数の収束挙動をベクトル表現することにより, そのベクトルをプラーク組織性状判別に利用できる可能性が示唆された. 今後は, 相関指数を組織性状判別における特徴量とするための理論的考察と, さらに多くの IVUS データを用いた検証を行う



(a)



(b)



(c)

図 2: 各組織について得られた相関指数の一例. 横軸: 遅延座標系の次元 m . 縦軸: 相関指数 $\nu(m)$. (a) 線維性組織の解析例. (b) 脂質性組織の解析例. (c) 10 次元の相関指数の分布. 灰色の点と黒色の点はそれぞれ, 脂質性組織と線維性組織の特徴ベクトルを表す.

予定である.

本研究は, 文部科学省知的クラスター創成事業“やまぐち・うべ・メディカル・イノベーション・クラスター”(平成 16~20 年度)の援助の下に行われた.

参考文献

- [1] J. B. Hodgson, et al., “Clinical percutaneous imaging of coronary anatomy using an over-the-wire ultrasound catheter system,” *Int. J. Cardiac Imaging*, vol. 4, pp. 187-193, 1989.
- [2] 合原一幸 編: カオス時系列の基礎と応用, 産業図書, 2000.

問合せ先

〒753-8512 山口県山口市吉田 1677-1
 山口大学大学院理工学研究科
 内野英治 (うちのえいじ)
 Tel/Fax: 083-933-5699
 E-mail: uchino@yamaguchi-u.ac.jp