

1) カラー/パワードプラ法の本音と Pitfall

GE 横河メディカルシステム
地挽 隆夫

【講演概要】

一般的に、信号を観測するにあたっては二つの側面があります。一方は周波数、もう一方が振幅（大きさ）です。超音波ドプラ法では、体内から戻ってきたエコー信号に二つの 90° 位相の異なる参照信号($\sin 2\pi f_0 t$, $\cos 2\pi f_0 t$)を掛け合わせることでドプラ信号成分を取り出しています（直交検波）が、そのドプラ信号成分の周波数（ドプラシフト周波数）を表示するのがカラードプラ法（速度表示）で、ドプラ信号成分の振幅を表示するのがパワードプラ（パワードプラ）です。

通常 FFT(fast Fourier transform)を用いてスペクトル表示を行うドプラ法では、まさにフーリエ解析によりドプラ信号成分に含まれる各周波数成分毎の強度分布を得ることができます。これに対し、カラー/パワードプラ法では一サンプルボリューム当たり（一ドプラセル）に充てられる観測時間が限られるため、多くの観測データを必要とする FFT は不向きです。いま、エコー信号からクラッタ成分（血流からの信号以外の不要な固定もしくは低周波成分）を取り除く MTI(moving target indication)フィルタを通過させた後の一対の直交検波出力を $I=A \cos(2\pi f_d t + \phi)$, $Q=A \sin(2\pi f_d t + \phi)$ で表現してみましょう。パルス繰返し周期 T 毎にサンプリングした (I, Q) を (I_0, Q_0) , (I_1, Q_1) , ... とすると、

$$I_i^2 + Q_i^2 = A^2 \quad (1)$$

$$\tan^{-1}\{(I_i Q_{i+1} - Q_i I_{i+1}) / (I_i I_{i+1} + Q_i Q_{i+1})\} = 2\pi f_d T \quad (2)$$

のように一組の I, Q から振幅 A が、また二組の I, Q からドプラシフト周波数 f_d が算出できることがわかります。ただし、実際には同一方向に 8 回程度以上の送受信を行って、 S/N を稼いでいます。(1)式がパワードプラの、(2)式がカラードプラ（速度表示）の基本式です。よく、パワードプラが表示しているのは周波数スペクトルの面積で、速度表示は周波数スペクトルの平均周波数であるという説明がされています。これは算出値の解釈という点では正しいのですが、実際には、周波数スペクトルから計算しているのではなく、(1)式、(2)式から計算しているわけです。

上述したように、「カラー/パワードプラ法では実際には周波数スペクトルを計算していない」という点が、本法の最大の Pitfall です。すなわち、MTI フィルタの効きが悪くクラッタが残っていても、逆に MTI フィルタが効き過ぎて血流信号まで削ってしまっても、それらの状況を周波数スペクトルで確認することができないまま、最終結果であるカラー表示に直接影響が出てしまうのです。さらにカラー/パワードプラ法の原理的なことにご興味がある方は、例えば次の文献をご覧ください。一章を私が執筆させていただきました。

腹部カラードプラ診断, 金原出版株式会社, 東京, 1998.

【質問】

通常のBモードも信号の振幅を表示しているモードと理解していますが、パワー Dopplerとはどこが違うのでしょうか？

【解答】

結論から申しますと、パワー Dopplerで行っている MTI 処理を止めてしまえば通常のBモードと同じになります。細かい点を言えば、Bモードでは階調性を出すために対数圧縮処理を行っていたり、パワー Dopplerでは一般的にはカラースケールを使った表示をしているといった点で違いはありますが、信号の振幅の大きさに応じた表示という点では、本質的には同じものと言えます。

Bモードの信号処理の解説では、多くの場合、「包絡線検波」によりエコー信号の振幅を取り出すといった説明がなされますが、直交検波の I, Q 出力の二乗和をとることで信号の振幅が取り出せることは、上の(1)式で述べた通りです。また、カラー／パワー Dopplerでは血流信号以外のクラッタ信号は不要成分となるため MTI フィルタで取り除くわけですが、通常のBモードでは実質部や血管壁などからのエコーも大切な信号です。MTI 処理を行わない場合、つまり、固定成分（直流成分）や低周波成分の信号成分に対しても(1)式は成立しますので、MTI フィルタを通さない I, Q 信号の二乗和はまさにBモード表示の振幅に相当するわけです。