

## 放射線科学

### 医用画像 アナログ画像からデジタル画像へ

小寺 吉衛

#### はじめに

レントゲンが1895年にX線を発見してからすでに110年以上経ちますが、X線は医学の世界に画像あるいは治療の媒体としてすぐに取り入れられ、今日に至るまで綿々と利用されています。X線発見の翌1896年にはすでに骨折をX線写真で診断しており、また胃癌のX線治療の症例報告もあります。画像に絞って見てみますと、1896年に島津製作所がシアン化白金バリウム蛍光板を製作し、同年イーストマンコダック社もX線用ブロマイド紙およびタングステン酸カルシウム( $\text{CaWO}_4$ )を用いた蛍光板を製作しています。翌1897年にはドイツで両面塗布X線フィルムおよび両面塗布増感紙を製作しています。その後、単純写真には増感紙フィルム系が使われてきました。その間、フィルムは青色以下の波長の光に感度を持つレギュラータイプから緑色まで感度領域をのぼしたオルソタイプへ、増感紙は青色発光のタングステン酸カルシウムが中心であったのが、オルソタイプのフィルムにあわせて緑色発光のテルビウム賦活酸硫化ガドリニウム( $\text{Gd}_2\text{O}_2\text{S:Tb}$ )が主流となってきました。このように、長い期間、医用X線画像は増感紙フィルム系で撮影され、フィルムで診断されていました。画像としては完成度の高いシステムであったと考えます。これらフィルムで得られる画像をアナログ画像と呼んでいます。

#### アナログ画像からデジタル画像へ

1972年にイギリスのHounsfieldらによってX線CTが開発されました。1978年にはKrugerらによりDSA(digital subtraction angiography)が発表されています。1981年には富士写真フィルムからCR(computed radiography)の開発が発表されました。その後、FPD(flat panel detector)あるいは平面検出器と呼ばれるシステムも開発されました。これらは、増感紙フィルム系をアナログ画像と呼んでいたことに対してデジタル画像と呼ばれています。一口にデジタル画像と言っても、ここに挙げましたように、その種類はいろいろあり、特性も千差万別です。したがって、これらを一塊でお話することはできませんが、一つだけ

共通するものがあります。それは、データが数値で保たれているということです。したがって、コンピュータによる処理が可能で、ネットワークを介して通信や保管ができるということです。この特性については後述します。

上に書きましたように、1970 年代から 1980 年代にかけて、デジタル画像が次々に発表されました。その結果、デジタル画像のもつ利点を捉えた構想がいくつか発表されました。では、デジタル画像の利点とは何でしょうか。その可能性と問題点について、少し考えてみることにします。

## デジタル画像とは

デジタルの定義はいろいろあると思いますが、ここでは一般的なアナログ信号とデジタル信号の定義について考えてみます。アナログ信号とは連続的な変数値（通常は時間、画像では位置を表す変数を考えます）で表される値（関数値）のことをいいます。数学で書くなら、 $x$  を変数値としたときの関数値  $f(x)$  のことです。これに対して、デジタル信号は変数値が離散的で、かつ各々の関数値と変数値を有限な  $n$  進数で量子化した数値列のことをいいます。たとえば、変数値が連続的に変化する  $x$  であったとすると、これを離散的にする訳ですから、適当な間隔の  $x$  の値をとり、これを  $x_n$  とします。 $n$  は、1,2,3... のように一般に連続的な自然数を与えます。アナログ信号が  $f(x)$  で表される時、デジタル信号は  $f(x_n)$  で表されます。このように、変数値をデジタル化することを標本化(sampling)といいます。また、 $x_n$  の間隔を標本間隔といいます。次に信号の値である標本化された関数値を「有限な  $n$  進数で量子化」します。通常、この  $n$  には 2 を用います。すなわち 2 進数です。これは皆さんよくご存知のことと思います。2,4,8,16,32,64,128,256,512,1024,... という数値列ですね。これらはコンピュータの世界では bit に換算して表示されることも多く、ここに挙げた数値列では 1bit から 10bit までを表しています。先のデジタル信号の定義では、関数値と変数値を有限な  $n$  進数で量子化するとありましたが、変数値については必ずしもこの限りではないようです。しかし、関数値に対しては多くの場合 2 進数が適用されています。画像では関数値は階調と呼ばれ、一般的な医用画像に対しては 8bit(256 階調)から 14bit(16384 階調)程度の量子化が行われています。この違いは、設計するシステムの容量に依存しますが、もとの信号の持っている信号対雑音比(SNR)やダイナミックレンジの違い、後の演算処理の精度でも決まってきます。

一般にいわれている標本化定理は、標本化された状態の数値列に対して定義されています。量子化された信号ではありません。標本化定理はアナログで提

示された信号をデジタル化するとき、標本間隔をどの程度にすれば良いかを決めるもので、「波形  $f(x)$  のもつ周波数成分の最大周波数が  $u_M$  であるとき、 $\Delta x = 1/2u_M$  で標本化すれば、波形  $f(x)$  は  $\Delta x$  で完全に表すことができる。」というものです。これ以上大きな間隔では信号はデジタル化したときに劣化してしまいます。理論的には、デジタル化された信号からもとのアナログ信号を復元するためには sinc 関数というマイナス成分を含んだ関数を用いて内挿していますので、実際に標本化された信号に対しては、物理的にマイナス成分を実現できませんので、標本化定理で決められた間隔では完全にもとの信号に戻すことはできません。

デジタル画像は、何らかの方法で画像の信号をデジタル化します。このとき、標本間隔が画素サイズになります。画質の観点から鮮鋭度には画素サイズの影響が大きいことは言うまでもありませんが、それ以外に、信号を検出する材料そのものもつ光学的ぼけの大きさや、信号を取り出すときの開口部の大きさ（これは必ずしも画素サイズとは一致しません）などが影響します。また、雑音特性は X 線の空間的なゆらぎによる量子モトルの影響が大きいのですが、これも開口面積が小さくなると、そこに入って来る X 線の数が減ることから雑音は大きくなります。したがって、X 線を検出する開口面積は画質に非常に大きく影響しますが、多くのデジタル画像装置にこの値が必ずしも明記されていないのが現状です。

### デジタル画像を取り巻く環境

デジタル画像が医療の世界に導入されたことで、いくつかの構想が出現しました。PACS (picture archiving and communication systems) と呼ばれるシステムもその一つです。PACS は 1982 年に米国で開催された SPIE (光工学国際学会) で Dwyer が使い始めたと言われています。調度 CR が発表された直後の学会で、いよいよ医用画像もデジタル化時代に突入したという期待感にあふれています。デジタル化前のアナログ時代の画像の取扱は、人手と保管場所のスペースの確保に各病院が四苦八苦していました。これが、デジタル画像では、すべてネットワークで転送し、サーバーや種々の記録装置に保管してもらえらる訳ですから、その期待は大きかったことと思います。しかし、この構想が出された 1980 年代は、コンピュータの能力がまだまだ低く、また、医用画像の容量が大きいことから、実現化するまで 20 年の歳月を要しました。これを解決したのは、コンピュータとネットワーク回線の処理能力の向上です。こうして、現在ではフィルムレス、完全デジタル化、を謳い文句にした病院も少なくありません。

フィルムレスのシステムでは、読影はフィルム以外のディスプレイ装置で行われます。一般には CRT 装置や液晶ディスプレイ(LCD)装置が用いられていますが、ともに高画素のものでは高額になります。また、すでに CRT 装置は生産が中止されていますので、これからは LCD 装置が中心になることが予想されますが、LCD 装置には視野角や残像といった CRT 装置ではあまり問題にならなかった特性もあります。私自身は、デジタル画像の読影はフィルムよりも LCD 装置の方がよいと考えています。もちろん、画質の点からは LCD 装置はまだまだフィルムに追いついていませんが、LCD 装置には階調を変化させたり、拡大や縮小といった操作も可能であり、今後新たな画像診断法を発展させる可能性を持っていると考えています。LCD 装置を導入するときの問題点として、その維持管理をどうするかという問題があります。大きな施設では数百台の LCD 装置を入れると思います。初期点検、毎日の点検、定期的な点検、誰がいつどのように行うのか、限られた予算と人材の医療施設では、今後大きな問題になることが予想されます。現在、工業会が中心となって、QAQC のためのガイドラインが出されています。また、ガイドラインの運用についても検討を始めています。

もう一つのデジタル画像の特徴は、画像処理が可能だということです。画質改善のための画像処理も多く発表されていますが、現在最も注目されているのは、1983 年にシカゴ大学の土井邦雄教授らが提案したコンピュータ支援診断システムいわゆる CAD(computer aided diagnosis)です。このシステムをネットワーク上に組み込むことにより、膨大な画像データを有効に利用できるようになると考えています。将来はネットワーク上に標準仕様として入っていると思います。

## おわりに

医用画像のデジタル化に伴う問題点と可能性について言及しました。デジタル化による問題点は多々ありますが、それを上回る可能性を持っているのがデジタル画像だといえます。その可能性を引き出すためには、今後も多くの研究を行っていく必要があります。

(名古屋大学医学部教授・保健学科放射線技術科学専攻)