

参考文献

- 1) 足立 晋, 浮田昌昭, 石田進一郎, 他: 量子計数型X線撮影法の開発. 島津評論, **49**(3), 185-189, (1992).
- 2) 石田進一郎, 浮田昌昭, 佐藤敏幸, 他: 量子計数型X線撮影装置の開発. 島津評論, **51**(1), 5-9, (1994).
- 3) 木村和彦, 糸氏英一郎, 山崎克人, 他: 量子計数型X線撮影法による肺癌診断有用性. 肺癌, **33**(5), 720, (1993).
- 4) 木村和彦, 河野通雄, 糸氏英一郎, 他: 量子計数型X線撮影法による肺野結節影の検出能の評価. 日本医放会誌, **55**(5), 343-344, (1995).
- 5) 木村和彦, 糸氏英一郎, 山崎克人, 他: 新しいデジタル胸部X線撮影法の画像評価. 日本医放会誌, **56**(2), S160, (1996).

2. 画像変換—画質改善処理とその臨床評価—

Y R P C U R

木戸尚治
大阪府立成人病センター放射線診断科

1. はじめに

画像変換とは入力された画像を出力する際に、人間の視覚機能にあわせて見やすい画像にしたり補正をしたりする処理をいう。一般的には、階調処理や、周波数処理といった画質改善処理や画像の拡大・縮小・回転などの補正処理、あるいは後で述べるエネルギーサブトラクション処理のような複数の画像から出力画像を再構成する処理などがある。このような処理は、現在ではコンピュータを用いて行うため、画像変換を行うためには、FCR (Fuji computed radiography) をはじめとしたDR (digital radiography) システムがスクリーン/フィルム・システムに比べて有利である。

FCRは、富士写真フィルムにより開発されたデジタルX線画像システムであり、従来のスクリーン/フィルムに代えてX線画像情報記録能力を持つ輝尽蛍光体を塗布したイメージング・プレートをセンサーとして用いている。イメージング・プレートにX線が照射されるとイメージング・プレートの輝尽蛍光物質内にX線情報が記録され、次にこれを読み取り装置のレーザー・ビームでスキャンしてその情報を光信号として読み出す。またイメージング・プレートは消去光で情報を消して繰り返して利用することが可能である (Fig.1)。FCRシステムではこの光信号を電気信号に変換して、画像処理したのち、モニタに表示したり、レーザーイメージャを用いてフィルムに焼き付けて画像化している。また画像データは磁気ディスクや光ディスク等に記録し保存することが可能である。

FCRの利点としては、スクリーン/フィルムに比べて広いダイナミックレンジを持つこと、デジタル画像として画像処理が容易であること、保存・伝送に適していることがあげられている。またスクリーン/フィルムに比べて患者への被曝線量の低減化できることも利点としてがあげられていたが、これは画質が劣化する。一方で欠点は、空間解像度がスクリーン/フィルムに比べて劣ることや表示画像サイズの小さいことが問題とされてきたが、これは最新のFCR 9000では改善されている。ここではFCRの持つ特性を生かしたダイナミックレンジ・コントロール処理と、粒状性改善エネルギーサブトラクション処理について解説し、あわせてその評価について述べる。

2. 方法と結果

2-1 ダイナミックレンジ・コントロール処理

胸部単純X線写真では、ダイナミックレンジが限られているため、肺野部と縦隔部で適切な濃度を一枚のフィルム上で得ることは困難である。FCRは広いダイナミックレンジを持つが、これを一枚のフィルム上の限られた濃度範囲に表現することはやはり困難であり、一枚のハードコピーに肺野用の従来画像と縦隔用の周波数処理画像の二種類を組にして通常は表示する。ダイナミックレンジ・コントロール処理 (dynamic range control processing) は、非鮮鋭マスクを用いて平滑化した画像を原画像に対して重み付け加算することによりなされる (Fig.2)。この手法は、国立がんセンターの阿南らの「胸部用自己補償デジタルフィ

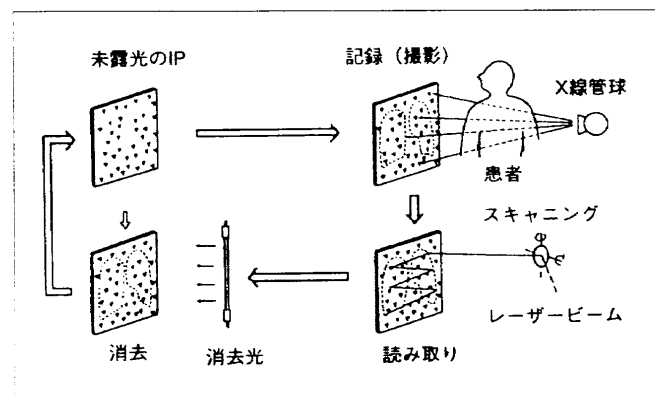


Fig. 1 Principle of imaging plate (IP).

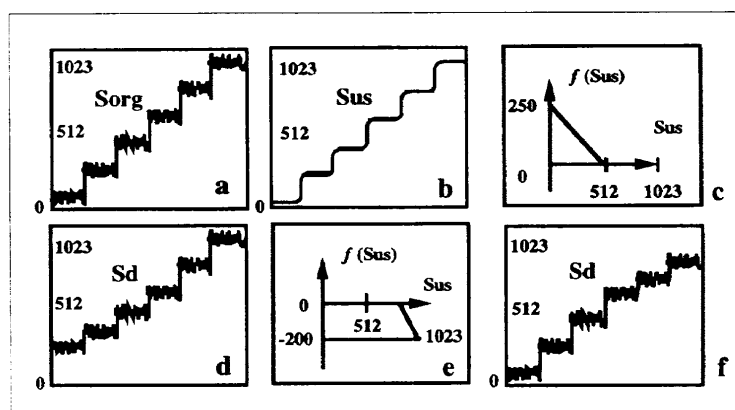


Fig. 2 Principle of dynamic range control processing.

ルタ」を参考にして一般化したものである。Fig.2の(a)は横軸がX線写真上における位置を示し、縦軸がその濃度値を表す。階段状の変化は肺野や縦隔部等の大きな解剖学的な構造物に対応し、各階段状の信号における細かな変化は血管影や間質性陰影等に対応する。(b)に示されるような平滑化処理

$$S_{us} = \sum S_{org} / M^2$$

を行うと、細かな陰影変化は平滑化される。この信号 S_{us} を(c)に示す関数で変換して、原画像 S_{org} に加算する処理を行うと(d)で示されるようなダイナミックレンジ・コントロール処理画像 S_d が得られる。

$$S_d = S_{org} + f(S_{us})$$

(d)の画像では、低濃度域が持ち上げられ、全体のダイナミックレンジは圧縮されている。しかし各階段上に存在する細かな信号は保存されており、この点が階調処理とは異なっている。また(c)の代わりに(e)のような関数を用いると、(f)で示されるような高濃度域がおさえられたダイナミックレンジ・コントロール処理画像を得ることもできる。このように、ダイナミックレンジ・コントロール処理により、縦隔部の濃度コントラストは改善するが、肺野部はできるだけオリジナルのコントラストの状態を保った画像を得ることができる(Fig.3)。

胸部単純X線画像におけるダイナミックレンジ・コントロール処理の有効性について3人の放射線科医がダイナミックレンジ・コントロール処理画像、高周波強調画像とオリジナルのスクリーン/フィルム画像に近いスタンダード画像を用いて視覚的な評価を行っ

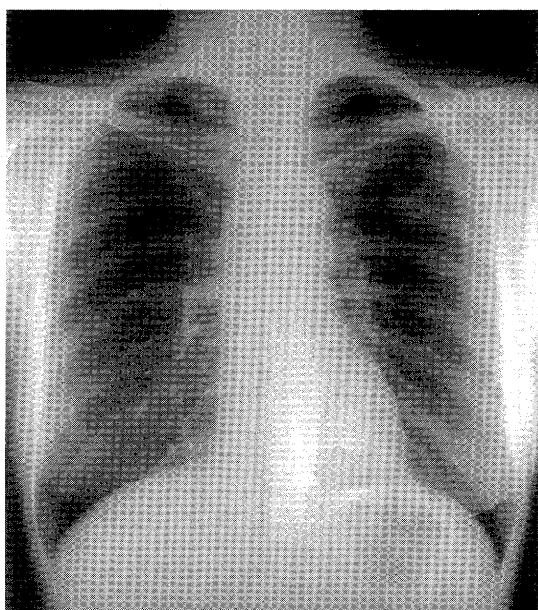


Fig. 3 Dynamic range control processed image, 55-year-old woman with adenocarcinoma. A faint pulmonary nodule is located in the left upper lung zone.

た。その結果、縦隔の正常構造および、肺野の網状・粒状陰影、肺腫瘍陰影、骨異常陰影ではダイナミックレンジ・コントロール処理画像の方がダイナミックレンジ・コントロール処理を行っていないスタンダード画像よりも描出能が優れていることが示された。またダイナミックレンジ・コントロール処理画像は気管の描出能に関しては高周波強調画像に比べて劣っていたが、胸椎、肺腫瘍陰影の描出能に関しては高周波強調画像よりも優れていた。さらに高周波強調画像とダイナミックレンジ・コントロール処理画像は縦隔の描出能に関しては同様に優れているが、高周波強調画像では肺野陰影が強調されるため、肺野の微細病変の診断は困難であると考えられた¹⁾。またこのダイナミックレンジ・コントロール処理高精細ライフサイズ画像(空間解像度0.1mm, 4000×5000画素)とスクリーン/フィルム画像の比較を微細な間質性病変の症例を用いて12人の放射線科医が読影実験を行った。ROC解析の結果からはダイナミックレンジ・コントロール処理高精細ライフサイズ画像とスクリーン/フィルム画像の診断能に有意差は認められなかった²⁾。このようにしてダイナミックレンジ・コントロール処理画像では、縦隔部ではスクリーン/フィルム画像に比べて描出能に優れており、しかも肺野部はスクリーン/フィルム画像とほぼ同等な描出能が得られた。また、ダイナミックレンジ・コントロール処理高精細ライフサイズ画像ではスクリーン/フィルム画像と同等な診断能が得られた。

2-2 粒状性改善エネルギーサブトラクション処理

エネルギーサブトラクション処理は骨や軟部組織などでX線吸収特性が異なることを利用して、2種類の画像から荷重演算法により骨陰影を消去したり逆に骨陰影のみの画像を作成したりする画像処理法である(Fig.4)。エネルギーサブトラクション法の撮像の仕方には、2つの異なるX線エネルギーを照射する2回曝射法もあるが、通常よく用いられるのは1回曝射法である。1回曝射法ではFig.5のように、2枚のイメージング・プレートの間に銅などのフィルタをはさんでX線を照射して、この2枚のイメージング・プレートか

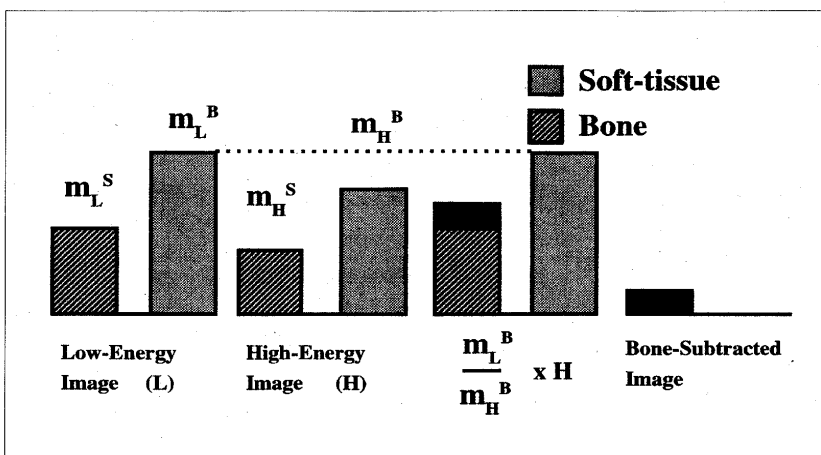


Fig. 4 Principle of the single-exposure dual-energy subtraction method.

ら得られた低圧高圧の2種類の画像から骨部消去画像と軟部組織消去画像を作成する。特に骨部消去画像は肋骨陰影が除去されているので、肺野での結節陰影が見やすくなり見落としが減少し、肺癌検診などに有用である。1回曝射法によるエネルギーサブトラクション法は、撮影装置が簡単であり、体動によるアーチファクトがないという利点があるが、通常撮影X線量では画像の粒状性が良くないという欠点がある。

粒状性を改善したエネルギーサブトラクションのアルゴリズムの概略をFig.6に示す³。従来のエネルギーサブトラクション処理法ではフィルタの前後の2枚のイメージング・プレートから得られた画像をそのまま用いて骨部消去画像と軟部組織消去画像を得ていたが、新しい方法では第1段階として軟部組織消去画像のほかに粒状性を改善した重み付き可算平均画像をつくる。この画像はサブトラクション像の粒状性を改善していくプロセスにおける基準画像となる。このような重み付き平均画像($A(x, y)$)は、低エネルギー画像のノイズを N_L 、高エネルギー画像のノイズを N_H としたとき、次のような式で求められる。

$$A(x, y) = \alpha \times H(x, y) + \beta \times L(x, y) \\ \alpha = (N_L)^2 / ((N_H)^2 + (N_L)^2), \quad \beta = (N_H)^2 / ((N_H)^2 + (N_L)^2)$$

ここで α と β はそれぞれ高エネルギー画像と低エネルギー画像に対する重み係数である。第2段階ではこの重み付き平均画像と従来法の骨部消去画像を用いて、軟部組織消去画像($B_n(x, y)$)を作る。

$$B_n(x, y) = A(x, y) - S(x, y)$$

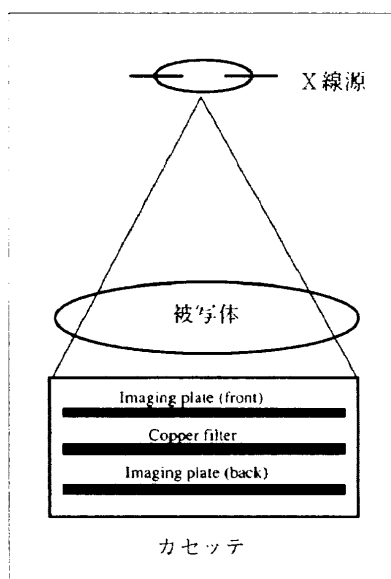


Fig. 5 Schema of x-ray detection system of the single-exposure dual-energy subtraction method. A copper filter (0.8mm thick) is sandwiched between two imaging plates in the cassette.

第3段階では、この軟部組織消去画像($B_n(x, y)$)と重み付き平均画像($A(x, y)$)から骨部消去画像($S_n(x, y)$)を作成する。

$$S_n(x, y) = A(x, y) - B_n(x, y)$$

この中間過程の平滑化画像を作るときに、骨部信号では骨のエッジに高周波成分を持つことに着目して、エッジを劣化させることなく平滑化を行うエッジ保存平滑化処理を行っている。このようなプロセスにより粒状性の改善がみられるが、さらにフィルタのパラメータを少しずつ変えながら繰り返し処理を行うと、より粒状性の改善されたサブトラクション画像を得ることができる(Fig.7)。

粒状性を改善したエネルギーサブトラクション画像の評価に関して述べる。最初にナイロン製の模擬結節を付加した胸部ファントム画像を用いて10人の放射線科医が参加して読影実験を行った。この結果では、胸部単純X線写真のみを用いて読影した場合より、胸部単純X線写真とエネルギーサブトラクション画像(骨部消去画像)の両方を用いて読影した場合の方が検出能力が高いことが示された。さらに従来画像よりは、粒状性を改善した画像とともに読影した方がより検出能が高まることも示された⁴⁾。また肺に複数の結節を持つ臨床例を用いて14人の放射線科医が参加した読影実験も行った。この結果は、AFROC (Alternative free-response receiver operating characteristic)解析により評価した。結果は模擬結節の場合と同様に、胸部単純X線写真のみを用いて読影した場合より、胸部単純X線写真とエネルギーサブトラクション画像(骨部消去画像)の両方を用いて読影した場合の方が検出能力が高く、また従来画像よりは、粒状性を改善した画像とともに読影した方がより検出能が高まることが示された⁵⁾。この粒状性を改善したエネルギーサブトラクション処理機構を組み込んだFCR 9501 ESが実用化されている。

3. 結 論

CTやMRI等の画像診断法の進歩にも関わらず、胸

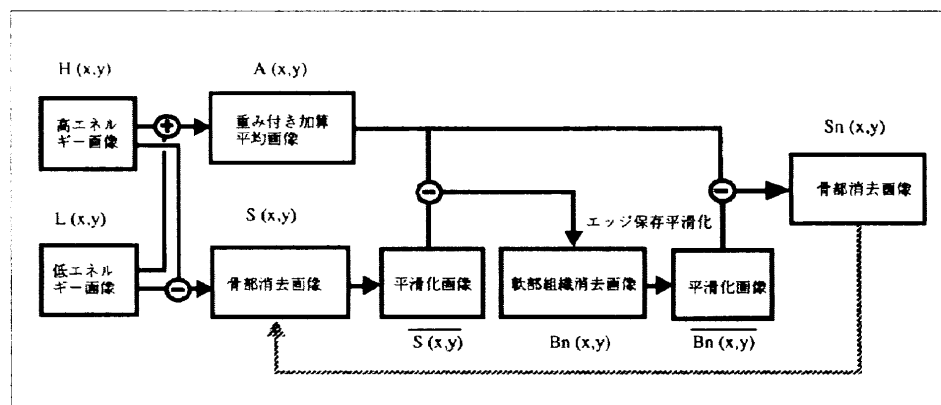


Fig. 6 Overall schema of the noise reduction algorithm of the single-exposure dual-energy subtraction method.



Fig. 7 Images of the chest phantom with a nylon nodule in the left upper lung zone. Left image is an original image and right image is a bone-subtracted image.

部単純X線写真の重要性は変わらず、胸部疾患のスクリーニングとして重要な位置を占めている。検査にかかる費用や時間等を考慮すれば、第1選択はやはり胸部単純X線写真であり、これで異常が疑われる場合にCT検査を施行するというのが妥当である。FCRの登場により胸部単純X線写真の領域においてもデジタル画像の利用が一般的になりつつある。FCRでは画像がデジタルであるという特性を生かして、さまざまな画像変換が可能である。ダイナミックレンジ・コントロール処理や粒状性改善エネルギーサブトラクション処理のような画像変換処理は、従来のスクリーン/フィルム画像の持つ情報に加えてさらに診断に有用な情報を放射線科医に提供すると考えられる。

参考文献

- 1) Ikezoe J, Takeuchi N, Kido S, et al.: Dynamic range control processing of digital chest images. *Acta. Radiol.*, **37**, 107-115, (1996).
- 2) Ikezoe J, Kohno N, Takeuchi N, et al.: Interpretation of subtle interstitial chest abnormalities: conventional radiography versus high-resolution storage phosphor radiography. *Radiology*, **197**(P), 340-341
- 3) Ito W, Shimura K, Nakajima N, et al.: Improvement of detection in computed radiography by new single-exposure dual-energy subtraction. *Proc. SPIE*, **1652**, 386-396, (1992).
- 4) Kido S, Ikezoe J, Naito H, et al.: Single-exposure dual-energy chest images with computed radiography: evaluation with simulated nodules. *Invest Radiol*, **28**, 482-487, (1993).
- 5) Kido S, Ikezoe J, Naito H, et al.: Clinical evaluation of pulmonary nodules with single-exposure dual-energy subtraction chest radiography with an iterative noise-reduction algorithm. *Radiology*, **194**(2), 407-412, (1995).

3. 画像計測・理解—CADの臨床導入—

Symposium

桂川茂彦
岩手医科大学医用工学室

1. はじめに

近年のデジタル画像技術の発達により、現在では単純写真から血管造影像に至るまで、ほぼ全ての放射線画像のデジタル化が可能になってきている。しかし、CR(computed radiography)に代表される単純写真のデジタル画像は、スクリーン・フィルム系のアナログ画像と同等もしくはそれ以下の画像情報しか現在の技術では与え得ないので、デジタル画像を単に表示するだけでは、画像診断を行う放射線科医にとって、デジタル技術の導入によって診断が容易になったとは思われない。したがって、単純写真のデジタル画像を診断にとって真に役立つものにするためには、本シンポジウムの他演者が述べているような高度な画像処理技術および、画像の伝送および蓄積を迅速に行うPACSなどの開発が重要である。さらに、画像情報の定量化(計測)および解析(理解)を行い、その結果を“第2の意見”として画像診断へ積極的に利用しようとするコンピュータ支援診断(computer-aided diagnosis; CAD)システム¹⁻⁴⁾の開発は、デジタル画像の特徴を最大限に利用した技術として不可欠であると考えられる。

CADの一般的アプローチは次の2つに大別される。一つは、胸部単純写真における結節状陰影の検出に見られるように、異常陰影のありそうな箇所をコンピュータが検出して表示し、見落としが起らないように注意を喚起する。他の一つは、心胸郭比の計測のように、病巣についての定量的尺度を求めて、読影の際に客観的情報として提供することである。したがって、コンピュータの分析結果を画像診断に用いることで、見落としによる誤診を減少させ、また、主観的判断による思い違いを防止することができれば、画像診断の正確度の向上と、再現性の改善が期待される。このように、CADの目的はコンピュータが放射線科医の役割を置き換えることではなく、放射線科医の読影がやりやすくなるように援助することにある。したがって、CADの基本的思想と方針は、従来から自動診断と呼ばれていたものとは根本的に異なるものであることに注意する必要がある。

放射線画像情報の定量化の試みは、1970年代から炭鉱夫塵肺症の重症度を自動分類する研究が数多くなされてきた^{5,6)}。最近では、デジタルラジオグラフィおよび画像処理技術の急速な発展に伴い、CADの分野