

マンモグラムの画像処理の考え方

笹田 良治

富士写真フイルム株式会社 R&D 統括本部 ソフトウェア開発本部 画像技術部
〒101-0061 東京都中央区銀座 7-12-7
(2006年2月20日受理)

The Philosophy of Image Processings for Mammograms

Ryoji SASADA

Imaging Technology Div.
Software Development Management Div.
Research & Development Management Headquarters, Fuji Photo Film Co., Ltd.
7-12-7, Ginza, Chuo-ku, Tokyo 104-0061, Japan.
(Received February 20, 2006)

Abstract : As the Ministry of Health, Labour and Welfare is actively promoting mammography screening, the digitization of mammography has been advancing rapidly thanks to recent technology improvement. The digitization of mammography is expected to bring great advantages including higher efficiency in image storage and utilization, soft copy diagnosis and computer-assisted diagnosis. Still, however technology improves, it is a human being that reads an image and makes a final determination, and therefore "the image quality of mammograms" remains as one of the critical elements in mammography. There are many factors that affect the image quality of mammograms, including exposure conditions, exposure devices, input/output devices, image processings. This paper brings up image processings from among the factors and discusses the philosophy of image processings for mammograms.

Key words : Mammogram, Mammography, Image processing, Image quality

1. はじめに

わが国の乳がんの罹患率及び死亡率は年々増加している。厚生労働省は2000年から50歳以上を対象としたマンモグラフィ併用検診を導入する指針を出し、更に2004年にはその対象を40歳代に拡大した[1]。このような状況のもと、マンモグラフィの普及が強力に進められているが、それと同時に、昨今の技術の進歩によりマンモグラフィのデジタル化も急速に進んでいる。

マンモグラフィのデジタル化は、画像保管・利用の効率化、ソフトコピー診断やコンピュータ診断支援(CAD)の利用など、大きなメリットにつながる期待がある。しかし、いかに技術が進歩しようとも、画像を読影して最終的な判断を下すのは人間であり、“マンモグラムの画質”が最も重要な要素の1つであることに変わりはない。

デジタルマンモグラフィの画質に関わる要因は多岐に渡る(撮影条件、撮影装置、入出力デバイス、画像処理など)が、本稿では、特に画像処理を取り上げ、マンモグラムに適用される画像処理とその考え方について述べたい。

2. マンモグラムで利用される画像処理

画像処理の考え方について述べる前に、まず、図1の各画像処理の概要を、FCR(Fuji Computed Radiography)に記載されている画像処理[2, 3]を例にとり説明したい。

マンモグラムで利用される画像処理(画質に関する画像処理)は、次のように分類すると理解しやすいだろう。

①階調特性に関する画像処理

- ・自動感度補正処理
 - ・階調処理
 - ・ダイナミックレンジ圧縮処理
- ②解像特性に関する画像処理
- ・周波数処理
 - ・石灰化強調処理

なお、ダイナミックレンジ圧縮処理は、単純に階調特性に関する画像処理とはいえないものだが、ここではこのように分類した。その理由は後述する。

以下、各画像処理について説明する。

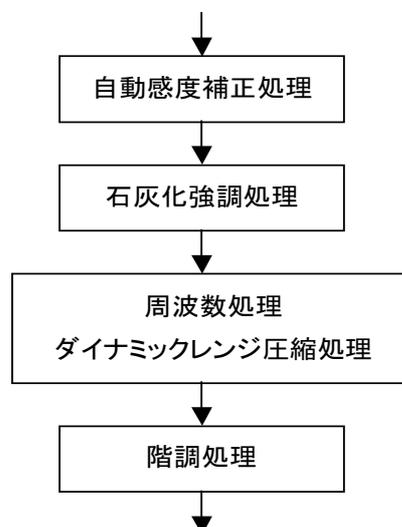


図1 マンモグラムで利用される画像処理

2.1. 階調特性に関する画像処理

2.1.1. 自動感度補正処理

自動感度補正処理は、ある程度撮影条件が変化しても、適切かつ一定の濃度／コントラストが得られるよう、画像を自動的に調整する機能である。

FCRには、EDR (Exposure Data Recognizer) と呼ばれる自動感度補正処理が搭載されており、本稿で紹介する画像処理の中では一番最初に実行される。そのため、その他の画像処理では、一定の濃度／コントラストに正規化された画像のみ扱えば済むことになる。

なお、EDRの基本的な流れは、以下の通りである。

- ① 関心領域を認識する。関心領域とは、照射野領域、被写体領域等である（撮影によって異なる）。
- ② 関心領域内のヒストグラムを解析して、正規化条件（いわば、ウィンドウ幅／中心）を決定する。
- ③ 正規化条件に基づいて、正規化処理（いわば、ウィンドウ処理）を行う。

2.1.2. 階調処理

階調処理は、撮影部位や診断目的等に応じて適切な階調特性が得られるよう、階調特性を変更する機能である。

FCRには、GP (Gradation Processing) と呼ばれる階調処理が搭載されており、本稿で紹介する画像処理の中では一番最後に実行される。そのため、その他の画像処理では、線形な階調特性の画像のみ扱えば済むことになる。

なお、GPでは、パラメータの変更により、以下の画像調整が可能となっている（図2）。

- ① GT；基本となる階調特性テーブルを選択する。
- ② GA；コントラストを調整する。
- ③ GC；コントラスト調整時の中心濃度を設定する。
- ④ GS；画像濃度を調整する。

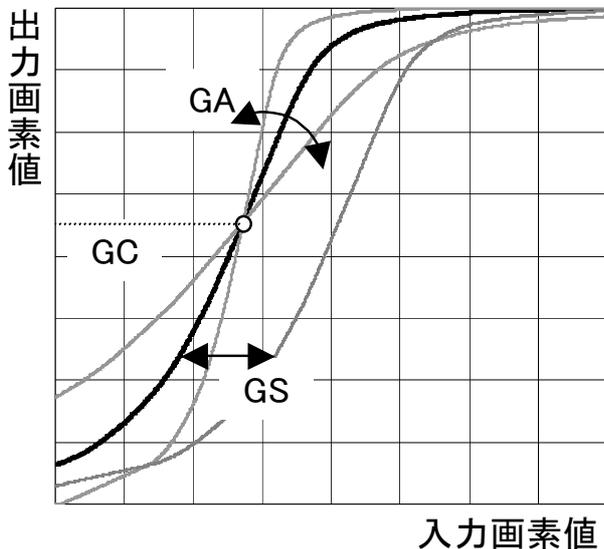


図2 階調処理

2.1.3. ダイナミックレンジ圧縮処理

ダイナミックレンジ圧縮処理は、広い範囲を同時に観察できるように、微細信号をそのまま残しつつ暗すぎて見辛い部分を明るくする（又は、明るすぎて見辛い部分を暗くする）機能である。

FCRには、MFP (Multi-Objective Frequency Processing) 機能の一部として、ダイナミックレンジ圧縮処理が搭載されている。その原理は図3に示す通りであり、非線形変換を用いてエッジを保存しやすい平滑化を行い、この平滑化

画像に基づいた圧縮処理を行っている。そのため、単なる平滑化処理を用いるよりも、エッジ付近でより自然な描出が可能となる。

なお、MFPのダイナミックレンジ圧縮処理では、パラメータの変更により、以下の画像調整が可能となっている。

- ① MDB；平滑化画像の周波数特性を調整する。
- ② MDT；画像濃度に対する圧縮度合を調整する。
- ③ MDE；全体の圧縮度合を調整する。

次に、ダイナミックレンジ圧縮処理を、階調特性に関する画像処理に分類した理由について述べる。

ダイナミックレンジ圧縮処理は、下式で表される。

$$Sproc = Sorg + D(Sus)$$

Sproc；処理画像、Sorg；原画像、

Sus；平滑化画像、D()；濃度変換関数

上式を書き直すと、次式となる。

$$Sproc = G(Sus) + (Sorg - Sus)$$

$$G(Sus) = D(Sus) + Sus$$

従って、ダイナミックレンジ圧縮処理は、低周波信号 (Sus) と高周波信号 (Sorg - Sus) を分離し、低周波信号 (Sus) を階調変換 (G) する、とも解釈することができる。

画像が視覚的にどのように見えるかは、低周波信号の影響が大きいいため、低周波信号に注目して、ダイナミックレンジ圧縮処理を階調特性に関する画像処理と捉えたと分かりやすい場合がある。

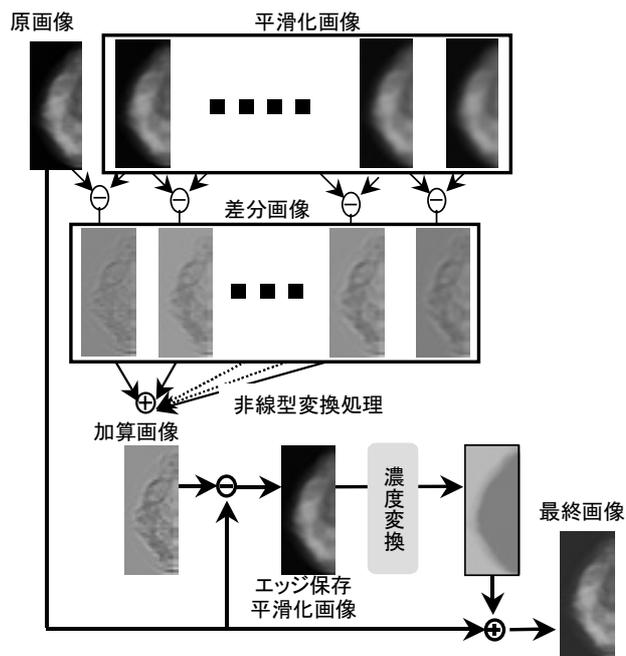


図3 MFPダイナミックレンジ圧縮処理のブロック図

2.2. 解像特性に関する画像処理

2.2.1. 周波数処理

周波数処理は、撮影部位や診断目的等に応じて適切な解像特性が得られるよう、画像を強調する機能である。

FCRには、MFP (Multi-Objective Frequency Processing) 機能の一部として、周波数処理が搭載されている。その原理は図4に示す通りであり、複数の周波数成分を抽出して独立に強調を行っている。そのため、イコライザで自由に音質を調整できるように、画質を調整することができる。

なお、MFPの周波数処理では、パラメータの変更により、以下の画像調整が可能となっている。

- ① MRB；強調信号の周波数特性を調整する。
- ② MRT；画像濃度に対する強調度合を調整する。

③ MRE；全体の強調度を調整する。

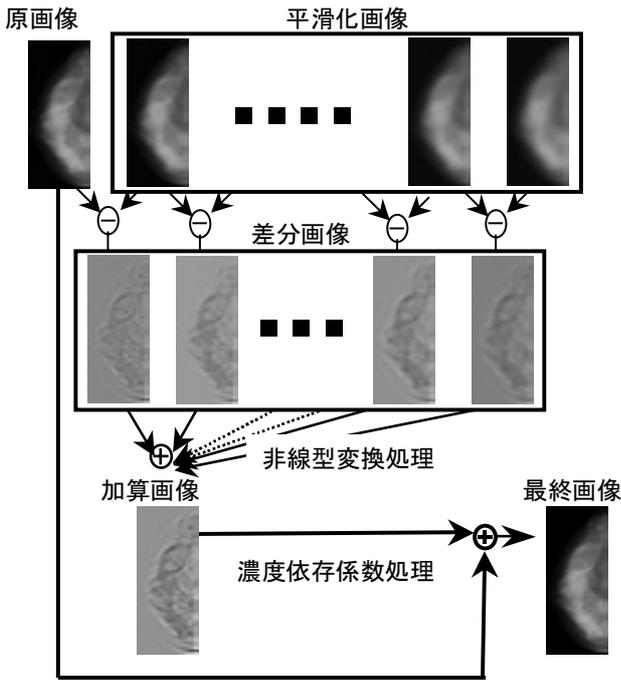


図4 MFP周波数処理のブロック図

2.2.2. 石灰化強調処理

石灰化強調処理は、石灰化陰影を観察しやすくするために、石灰化陰影と思われる部分を特異的に強調する機能である。

FCRには、PEM (Pattern Enhancement for Mammography) と呼ばれる石灰化強調処理が搭載されている。PEMの原理は図6に示す通りであり、エッジ検出処理と孤立点検出により、石灰化陰影と思われる部分を抽出して強調している。そのため、単なる周波数処理に比べて、ノイズの強調を抑えつつ石灰化陰影を強調することができる(図5)。

なお、PEMでは、パラメータの変更により、以下の画像調整が可能となっている。

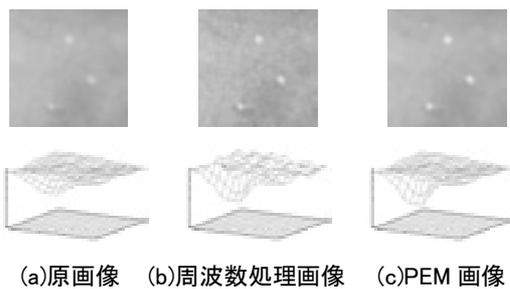


図5 PEMの適用例

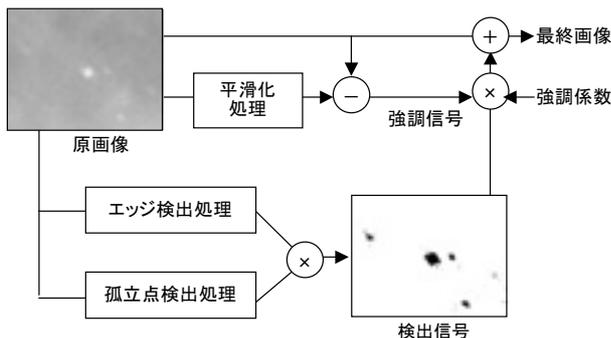


図6 PEMのブロック図

- ① PRN：強調する周波数を調整する。
- ② PTE：エッジ検出処理の検出感度を調整する。
- ③ PTC：孤立点検出処理の検出感度を調整する。
- ④ PRE：全体の強調度を調整する。

3. マンモグラムの画像処理の考え方

デジタルマンモグラフィは未だ普及の途上であり、唯一絶対の考え方が固まっているわけではない。その考え方も日々変化(進化)していくであろう。しかし、最も重要かつ基本となるのは、「従来のフィルムマンモグラムに近い画像を作ること」と思われる。デジタルならではの特徴を生かした画像処理を考える上でも、まずはこの画像がベースになるのではないだろうか。

以下、2章で紹介した各画像処理をマンモグラムに適用する際の考え方を述べてみたい。なお、本章では幾つかの例を挙げているが、あくまで1例であり、撮影装置や撮影条件の違い、観察環境(シャウカステン)の明るさ等、読影医の好み等、様々な条件によって、画像調整されるべきことをお断りしておく。

3.1. 階調特性に関する画像処理

3.1.1. 自動感度補正処理

自動感度補正処理においては、以下の点が重要であろう。

- ① 乳腺濃度(光学濃度)が一定であること。
- ② 乳腺内のみならず皮膚面まで描出されること。
- ③ 全体のコントラストが一定であること。

FCRの自動感度補正処理(EDR)では、以下の方法により、上記3点に対応している(図7)。

- ① ヒストグラム解析により、概ね乳腺部分に相当すると思われる画素値を S_{min} として検出し、 S_{min} を所定値 Q_{min} に変換する。これにより、乳腺濃度がバラつきのを抑えることができる。
- ② ヒストグラム解析により、概ね皮膚面と直接X線の境界部分に相当すると思われる画素値を S_{max} として検出し、 S_{max} を所定値 Q_{max} に変換する。これにより、皮膚面の飽和(黒飛び)を抑えることができる。
- ③ 基本的には、上記方法で正規化処理を行うが、全体のコントラストがバラつかないように、ラチチュード(いわば、ウィンドウ幅)を所定範囲に丸めた条件で正規化処理を行う。

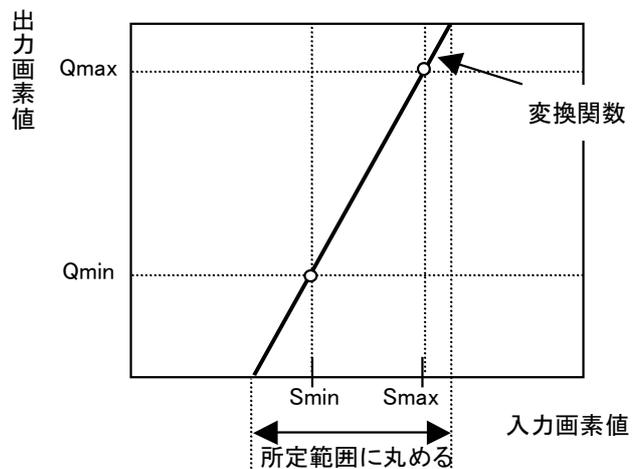


図7 自動感度補正処理の例

3.1.2. 階調処理

階調処理においては、フィルムマンモグラムに近い階調特性を実現することが重要であろう。このとき、階調処理の階調特性だけでなく、ディスプレイやフィルム等の出力媒体の階調特性を考慮することを忘れてはならない。

FCRの階調処理では、フィルムマンモグラムに近い階調特性を実現するために、マンモグラム用の階調特性テーブルが用意されている。そのため、図8の例（最高濃度4.0のフィルムプリントの例）に示すように、フィルムマンモグラムに近い表現が可能となっている。

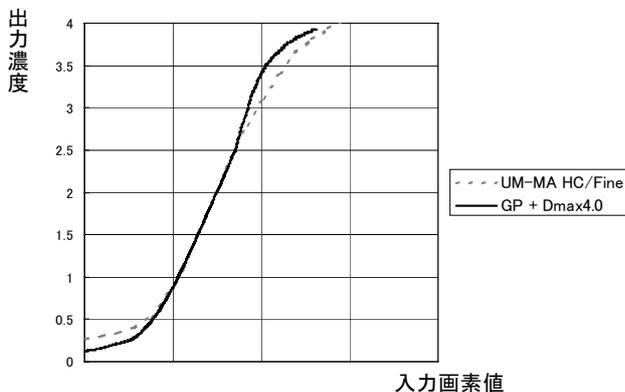


図8 階調処理による階調特性の例

3.1.3. ダイナミックレンジ圧縮処理

ダイナミックレンジ圧縮処理においては、特に見辛いと考えられる皮膚面付近を観察しやすくすることが重要であろう。そのため、暗い部分を明るくする処理を行う。画像濃度が高い部分の低周波信号だけを変化させるため、低～中濃度部分の情報や、高濃度部分の高周波情報は変化しないことになる。

ダイナミックレンジ圧縮処理を、階調特性に関する画像処理と捉えてグラフ化すると、画像の変化が分かりやすい。図9に、ダイナミックレンジ圧縮処理を適用した場合と適用しない場合の（低周波信号の）階調特性の例を示す。なお、ダイナミックレンジ圧縮処理以外の条件は図8と同一であり、階調処理や出力媒体の階調特性も考慮したグラフとなっている。

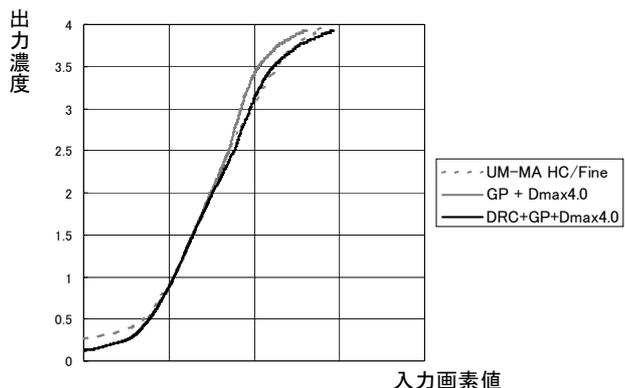


図9 ダイナミックレンジ圧縮処理による(低周波信号の)階調特性の例

3.2. 解像特性に関する画像処理

3.2.1. 周波数処理

周波数処理においては、フィルムマンモグラムに近い解像特性を実現することが重要であろう。しかし、MFPの周波数処理は、単純なフィルタ処理とは異なり、画素毎の画像濃度や局所コントラストによって強調度合が変化する。

従って、階調処理のように単純にグラフ化してフィルムマンモグラムと比較することができない。結果として、視覚的な画像評価にかなりの部分頼らざるを得ないが、ポイントとなる点は下記のようなものであろう。

- ①腫瘍陰影を観察しやすいよう、低周波成分を適切に強調すること。
- ②石灰化陰影やスピキュラを観察しやすいよう、高周波成分を適切に強調すること。
- ③強調のしすぎにより、粒状が問題となったり、全体に硬い印象の画像にならないこと。

MFPの周波数処理では、①②に対応するため、低周波成分と高周波成分をバランスよく強調すると同時に、特に高周波成分を強く強調する強調特性が用意されている。なお、両面読取技術[4]による画質向上により、高周波を強めに強調しても、粒状等の弊害が従来よりも少なくなっている。

また、③に対応するため、単に全体の強調度合を調整するだけでなく、画像濃度が低い場合は高い場合よりも弱めに強調する。この技術は古くからあるものだが、依然としてX線画像に対して有効な手法である。

3.2.2. 石灰化強調処理

石灰化強調処理も、MFPの周波数処理同様、単純にフィルムマンモグラムと比較することができないが、ポイントとなる点は下記のようなものであろう。

- ①石灰化陰影を観察しやすいよう、高周波成分のみを適切に強調すること。
- ②強調のしすぎにより、強調される部分と強調されない部分の差異などが不自然にならないこと。
- ③検出感度を上げすぎて、石灰化陰影以外の信号（ノイズ等）が強調されて問題とならないこと。

PEMでは、①に記したように、低周波成分を強調する必要はなく、高周波成分のみを強調すればよい。

また、PEMのように、処理のかかる部分とかからない部分が極端に切り替わるような特殊な画像処理では、②③に記したような点に注意を払うことが、他の画像処理よりも重要となる。PEMの検出感度や強調度合の調整は、画像処理の効果を引き出しつつも、リスクを最小限に抑えることを特に重視する必要がある。石灰化陰影は周波数処理によっても強調されるため、周波数処理で物足りない分を少し補ってやるくらいのつもりで調整すると失敗が少ないだろう。

3.3. 画像処理間関係について

全ての画像処理は多かれ少なかれ相互に関連している。このことは、時折忘れられてしまうように思われるため、ここで特記しておきたい。

画像処理間関係で最も分かりやすいのは、周波数処理と石灰化強調処理の関係だろう。例えば、腫瘍陰影を見やすくするために、周波数処理の強調度合を強めたとする。このとき、元々十分に描出されていた石灰化陰影が過度に強調されてしまうかもしれない。この場合は、石灰化強調処理を弱める検討が必要となる。

更に、周波数処理と石灰化強調処理は、階調処理とも関係が深い。例えば、全体的な見え方を調整するために、階調処理でコントラストを上げる画像調整を行ったとする。このとき、元々十分に描出されていた腫瘍陰影又は石灰化陰影のコントラストが上がり、過度に強調されてしまうかもしれない。この場合は、周波数処理や石灰化強調処理を弱める検討が必要となる。

これらの例のように、特に関係の深い画像処理に関しては、一方の画像処理のパラメータを調整した場合に、他方の画像処理のパラメータを調整する必要がないかどうか、必ず検討する必要があることに留意いただきたい。

4. おわりに

本稿では、従来のフィルムマンモグラムに近い画像を作るという基本方針に従い、マンモグラムの画像処理の考え方を述べてきた。これは、ハードコピー診断にもソフトコピー診断にも共通して適用できる考え方であろう。

しかし、今後、ソフトコピー診断やコンピュータ診断支援 (CAD) の利用が普及していくに従い、更に進んだ考え方を構築していく必要がある。例えば、目的 (検出か鑑別か)、病変の種類、装置の種類などによって、好ましい画像が異なるため、複数の処理画像を簡単に表示できるようにすべきとの報告がある[5]。また、このことは、単に新しい画像処理技術を開発するだけでなく、既存の画像処理技術をいかに使いこなすかということの重要性も示唆し

ている。

どのような画像処理をどのように活用するのが良いか、今後も皆様とともに検討し、少しでも理想に近いマンモグラフィシステムを実現できるよう微力ながら貢献していきたい。

5. 参考文献

- [1] 厚生労働省老健局老人保健課長：「がん予防重点健康教育及びがん検診実施のための指針」の一部改正について。老老発第 0427001号, 2004.
- [2] 山田雅彦：CRにおける画像処理(1)。INNERVISION, 15(12), 81-87, 2000.
- [3] 山田雅彦：CRにおける画像処理(2)。INNERVISION, 15(13), 84-91, 2000.
- [4] 荒川哲, 他：高画質マンモグラフィ用 FCR システム。日本放射線技術学会雑誌, 59(6), 697-699, 2003.
- [5] Pisano ED et al. : Radiologists' Preferences for Digital Mammographic Display. Radiology, 216(3), 820-830, 2000.