原 著

微小石灰化陰影像の形状解析による
マンモグラフィ用フィルムの延長現像の検討丸山敏則・山本秀樹¹⁾

岡山大学医学部保健学科

1) 岡山大学教育学部

論文受付
2005年6月3日論文受理
2005年11月14日

Code No. 531

緒 言

わが国では乳がんの早期発見のために、視触診とX線乳房撮影(以下マンモグラフィ)との併用検診が導入されている。しかし、マンモグラフィの導入率は5割にとどまり、厚生労働省はマンモグラフィの全面導入へと見直しを検討し、さらに対象年齢を50歳以上から40歳以上に引き下げよう提言した^{1,2)}。X線被曝を低減し、かつ高画質で診断に有用な写真を得ることがますます重要な課題となる。

この課題に対して、われわれはマンモグラフィにおいて、低線量X線照射されたフィルムに現像時間を延長したextended process(以下延長現像)を行い、できるかぎり高画質の写真を得る方法について提案してきた³⁾。ファントム実験によって、34℃、210秒の延長

現像における微小石灰化陰影像(以下微小陰影像)の濃度プロファイルはフィルム製造会社の推奨である34℃、90秒の標準現像処理を行った写真と顕著な差はなく、被曝を低減できることを確認した³⁾。しかし、少ない線量による延長現像処理が微小陰影像の形状に及ぼす影響については検討していない。

そこで、本研究では、画質をより正確に評価するために、微小陰影像の形状に着目して、デジタル画像処理による領域分割を行い、微小陰影像を抽出し、形状を計測する方法を提案する。ファントム実験において、低線量X線照射したフィルムに150秒、210秒の延長現像処理、高線量X線照射したフィルムに90秒の標準現像処理をそれぞれ行った。そして34℃、90秒の標準現像処理を行った写真とほぼ同程度の画質を保持す

Study of the Extended Process for Mammographic Film with Two-dimensional Shape Analysis of Micro-calcifications

TOSHINORI MARUYAMA, and HIDEKI YAMAMOTO¹⁾

Faculty of Health Sciences, Okayama University Medical School

1) Faculty of Education, Okayama University

Received June 3, 2005; Revision accepted Nov. 14, 2005; Code No. 531

Summary

This paper describes the extended development process(extended process) that compensates for the image quality of mammographic film exposed at a lower radiation dose. First, we developed films exposed to a phantom with several small particles that simulated micro-calcifications at high and lower radiation doses, respectively. Next, we evaluated the image quality of those films developed for the standard development time of 90 seconds, and for the extended development times of 150 seconds and 210 seconds. Then we extracted micro-calcification regions and calculated the areas, perimeters, and normalized areas of micro-calcifications by using image analysis. There was no significant difference in areas or shape measurements between the development times of 90 seconds and 150 seconds in obtaining the same high-quality images as the standard process. Therefore, we determined that the development time of 150 seconds was the most appropriate time. As a result, we achieved a 20% reduction in radiation dose by using the extended process for mammographic film.

Key words: Mammography, Extended process, Micro-calcification, Shape analysis, Image quality別刷資料請求先: 〒700-8558 岡山市鹿田町2-5-1
岡山大学医学部保健学科 丸山敏則 宛

ることのできる延長現像時間とX線量を求めた。

原画像であるX線画像においては、微小陰影部と周辺の背景でX線の吸収差が異なり濃度分布に差がある。また、微小陰影部のなかでも中心部とその辺縁において濃度分布に差があると考えられる。そこで精度よく微小陰影部の領域を描出するために、閾値には濃度平均値と標準偏差値の二つの値を使用し、さらに領域の抽出を2段階で行う方法を試みた。まず微小陰影部の辺縁より狭い領域である中心部分と陰影部の辺縁から離れた背景部分において3×3の小領域を移動させ、小領域の濃度平均値と標準偏差値から初期閾値を決定し、領域分割を行い、輪郭を抽出する。さらにこの抽出した輪郭を用いて、輪郭の内側と外側、すなわち陰影部と背景部に分けて再度閾値を決定した。そして二値化を行い、微小陰影部の領域を抽出し、面積、周囲長、規格化面積を算出した。

次に、ファントム撮影においてそれぞれの現像条件で処理したフィルムが等しい濃度となるのに必要なX線量を測定した。なお本実験では、自動現像機の温度設定を34℃、36℃とした。34℃に対して36℃を選択したのは、過去の研究⁴⁾により末露光部の濃度に顕著な増加がみられずフィルムの感度上昇が図れたためである。また36℃、90秒での現像処理は、現像時間は延長されていないが被曝低減が見込まれるため、他の延長現像処理と同様に34℃、90秒での標準現像処理に対する比較対象とした。

1. 使用機材

X線撮影装置：Toshiba Mammography Unit MGU-10Q (Mo target/Mo filter) 東芝・東芝メディカルシステムズ株式会社製)

増感紙/フィルム：Kodak Min-R 2000 / Min-R 2000

自動現像機：Kodak X-OMAT 5000RA

現像補充液：ICM-D1

定着補充液：ICM-F1(以上コダック株式会社製)

光学顕微鏡：Olympus BH2(オリンパス株式会社製)

デジタルカメラ：Olympus 4040ZOOM(オリンパス株式会社製)、1/1.8型 インチ CCD固体撮像素子、総画素数413万画素

ファントム：model 11、厚さ4.5cm(CIRS社製)、脂肪/乳腺組織等価材(成分が50%/50%に合致)

感光計：Fuji 303(富士フイルムメディカル株式会社製)

濃度計：PDA-15(コニカミノルタ株式会社製)

2. ファントム実験

自動現像機の現像温度34℃、36℃と、処理時間90秒、150秒、210秒とをそれぞれ組み合わせ、6種類の

現像条件についてファントムを5枚ずつ撮影した。以下、フィルム製造会社の推奨である34℃、90秒処理を標準現像とする。増感紙/フィルムの組み合わせはKodak Min-R 2000 / Min-R 2000である。

また使用したフィルムの特性曲線(露光量-濃度曲線)を光センシトメトリ、すなわち感光計によって露光したフィルムを各現像条件で処理し、濃度測定を行うことにより求めた。

2-1 ファントム画像における微小陰影部の画像解析

本実験で使用した撮影装置はカセットフォルダの上にファントムを固定してあるため、フィルムカセットを出し入れするときにファントムが変動することはない。X線の入射角度、ファントム、フィルムの配置は常に同じ状態で撮影されている。撮影管電圧は28kV(半価層0.39mmアルミニウム当量)を使用した。そして、6種類の現像条件で処理したファントム写真の乳腺濃度が1.65となるように装置の管電流・時間積の値(mAs値)をそれぞれ調整した。乳腺濃度は、高輝度観察器が一般に使用され、乳腺内の組織をよりよく描出するのに濃度値が上昇しているため、マンモグラフィ検診精度管理中央委員会の新画像評価基準におけるスクリーン・フィルムシステムの推奨濃度の上限値1.65を選択した⁵⁾。

ファントム内には直径0.12mm、0.16mm、0.20mm、0.23mm、0.27mm、0.35mmの6種類の直径を有する炭酸カルシウム(CaCO_3)の粒子が埋め込まれ、診断における微小石灰化像を模擬している。それぞれの直径のグループは6個の粒子で構成され、中央に1個とその周囲に5個が配置されている。本研究では6個すべてが目視によって正しい位置に明瞭に観察できた直径0.23mmの微小陰影部を対象とした。

フィルム試料から6個の石灰化群の中央に位置する微小石灰化の陰影部を顕微鏡で拡大し、備え付けのデジタルカメラで撮影した。微小陰影部は、すべてファントム内の同じ微小石灰化を写したものである。

顕微鏡のレンズとデジタルカメラの光学ズームによって総合倍率は約10倍で画像を拡大している。この倍率で1ピクセル当たり約5 μm に相当する。カメラは顕微鏡に専用のマウントを装着し、顕微鏡のステージ上に焦点が合う固定焦点で撮影した。画像をコンピュータに取り込み、8ビットのグレースケール(0~255)に変換した。微小陰影部の辺縁より狭い領域である中心部と陰影部の辺縁から離れた背景部において、3×3の小領域を1画素ずつ移動させ、小領域の濃度平均値と標準偏差値を求めた。陰影部と背景部の濃度平均値と標準偏差値から初期閾値を決定し、二値化処理した。そして領域分割を行い、輪郭を抽出した。次に

この抽出した輪郭を用いて、輪郭の内側と外側、すなわち陰影部と背景部に分けて再度閾値を決定するという処理を行った。

本研究で用いた二値化処理を次式に示す。

$$f(i,j) = \begin{cases} 1 & \text{if } \{f(i,j) > Th_{Ave} \text{ and } g(i,j) < Th_{SD}\} \\ 0 & \text{elses} \end{cases} \quad \dots\dots\dots (1)$$

$f(i,j)$ は座標 (i,j) を中心画素とする 3×3 の小領域の濃度平均値を表し、 $g(i,j)$ は (i,j) を中心画素とする 3×3 の小領域の標準偏差値を表している。 Th_{Ave} 、 Th_{SD} は濃度平均値と標準偏差値の閾値である。

画像処理全体の手順を Fig. 1 に示し、二値化における閾値の決定および画像処理の具体例を以下 1) ~ 10) に示した。

- 1) Fig. 2(a), (b), (c) に示すように、背景領域として 80×80 ピクセル、微小陰影像の中心領域として 32×32 ピクセルの画像を切り出す。
- 2) 中心と背景の領域内で 3×3 の小領域を 1 画素ずつ移動させる。
- 3) 3×3 の小領域の濃度平均値と標準偏差値を求めて、中心領域と背景領域の濃度平均値の平均と標準偏差および標準偏差値の平均と標準偏差をそれぞれ計算する。Fig. 2 を例にとると、中心領域の濃度平均値の平均と標準偏差は 228.1 ± 13.4 、標準偏差値の平均と標準偏差は 11.9 ± 8.2 となり、背景領域の濃度平均値の平均と標準偏差は 151.6 ± 20.8 、標準偏差値の平均と標準偏差は 18.8 ± 8.6 となった。Fig. 2(d), (e) は、求めた平均と標準偏差より算出したガウス曲線である。
- 4) 求めた平均と標準偏差から二値化のための閾値を決定する。濃度平均値の閾値は微小陰影部 228.1 と背景部 151.6 の中間値である 190、標準偏差の閾値は陰影部の平均値 11.9 に $2 \times$ 標準偏差分 (2×8.2) を加えた 28 とした。
- 5) 次に Fig. 2 の関心領域 (ROI) を Fig. 3(a) のように 100×100 ピクセルの画像として、 3×3 の小領域を 1 画素ずつ移動させ、小領域内の濃度平均値と標準偏差を中心画素の値とする (Fig. 3(b))。先に求めた閾値より、濃度平均値は 190 を超え、かつ標準偏差は 28 未満の画素は白、それ以外は黒になるように二値化する (Fig. 3(c))。
- 6) 二値化後ラベリングし、白の面積が最大のものを除外は黒く塗りつぶす (Fig. 3(d))。
- 7) ノイズ除去のため膨張処理、収縮処理を行う。膨

Fig. 1 Flowchart of image analysis.

張処理は、 3×3 のマトリクスの中心画素の値が 255 ならば、周囲 8 近傍を 255 とし、画像内の明るいオブジェクトを膨張させる処理である。また収縮処理は、マトリクスの中心画素の値が 0 ならば、周囲 8 近傍を 0 とし、画像内の明るいオブジェクトを収縮させる処理である。すべての対象物に対して、膨張 - 収縮 - 収縮 - 膨張の順に処理を行う (Fig. 3(e))。

8) 領域、輪郭抽出完了 (Fig. 3(f))。

9) 原画像 Fig. 3(a) に対して微小陰影像の輪郭を求めた画像 Fig. 4(a) において、輪郭線の内側 (微小陰影部) と外側 (背景部) に分ける (Fig. 4(b) および (c))。

10) 分けた画像 Fig. 4(b) および Fig. 4(c) に対して、2) および 3) の処理を施し、中心領域と背景領域の濃度平均値の平均と標準偏差および標準偏差値の平均と標準偏差をそれぞれ計算する。Fig. 4(b) お

a	
b	c
d	e

Fig. 2 Example of image for determining initial threshold.
 (a) Original image.
 (b) Background region.
 (c) Region of micro-calcification.
 (d) Gaussian curve of average gray level.
 (e) Gaussian curve of standard deviation.

a		b	
c	d	e	f

Fig. 3 Example of initial segmentation.
 (a) Original image [same as ROI of Fig. 2 (a)]
 (b) Local block.
 (c) Binary image.
 (d) Binary image after labeling.
 (e) Result of segmentation.
 (f) Result of contour.

Fig. 4 Example of final segmentation.

- (a) Contour detected by initial threshold.
- (b) Region of micro-calcification.
- (c) Background region.
- (d) Gaussian curve of average gray level.
- (e) Gaussian curve of standard deviation.
- (f) Original image [same as ROI of Fig. 2(a)]
- (g) Binary image.
- (h) Binary image after labeling.
- (i) Result of segmentation.

よびFig. 4(c)において、中心領域の濃度平均値の平均と標準偏差は 223.6 ± 15.9 、標準偏差値の平均と標準偏差は 13.4 ± 8.2 となり、背景領域の濃度平均値の平均と標準偏差は 156.3 ± 24.2 、標準偏差値の平均と標準偏差は 20.9 ± 9.5 となった。Fig. 4(d), (e)は求めた平均と標準偏差より算出したガウス曲線である。これより再度閾値を決定する。濃度平均値の閾値は中心領域と背景領域の中間値である190、標準偏差は中心領域の平均値13.4に $2 \times$ 標準偏差分(2×8.2)を加えた30とした。Fig. 4(f) (Fig. 2(a)の関心領域と同一画像)に対して、再度決めた閾値で5)~8)の処理を施し、領域を抽出する。Fig. 4(i)が、抽出された領域の結果である。

以上の画像処理を各現像条件で処理されたそれぞれ5枚のフィルムに施し、Fig. 4(i)で示した最終的に抽出された領域に対して、面積、周囲長、規格化面積をそれぞれ求めた。面積は領域内の総ピクセル数、周囲長は縦・横方向の画素間の長さを1、斜め方向を2として計測したものである。規格化面積は周囲長の2乗

を面積で除した値である。したがって、この値が大きくなると輪郭が複雑になり形状が崩れていることを示している。

2-2 線量測定

ファントム撮影において異なる延長時間と現像温度で処理したフィルムの乳腺濃度が1.65となるのに必要な照射条件でのファントム表面への入射空中X線量を測定した。測定は乳房撮影精度管理マニュアルの平均乳腺線量における入射空中X線量の測定を参考に行った⁶⁾。以下、ファントム表面への入射空中X線量を照射X線量とする。

3. 結果

現像温度 34°C 、 36°C と、現像処理時間90秒、150秒、210秒とを組み合わせた6種類の現像条件における露光量 - 濃度曲線をFig. 5に示す。濃度はフィルムが光を透過する程度を表すもので、フィルムに入射する光の強さを透過した光の強さで除した値を常用対数

で表したものである．また露光量は相対露光量である．34℃，90秒の標準現像処理に対する未露光部の濃度増加は36℃，210秒で最大となり0.04であった．露光量 - 濃度曲線の任意の2点間の傾きを表す平均階調度は，34℃，90秒処理のときが最小で2.83，34℃，210秒処理のときが最大で3.00となった．任意の2点は，未露光部の濃度に0.25および2.00をそれぞれ加えた濃度点である．

ファントム実験では乳腺濃度を1.65としてフィルム試料を作成した．Fig. 5より，この濃度は露光量 - 濃度曲線において直線領域にあり，異なる現像条件でもほぼ同等のコントラストを示しているのが分かる．この濃度域では，フィルムの写真濃度と8ビットのグレースケールで表したデジタル画像の濃度との間には直線関係があることを報告しており³⁾，デジタル画像はフィルム写真の濃度情報をほぼ正確に反映している．

次に，各現像条件における微小陰影像の領域抽出の処理画像（一例）をFig. 6に示した．Fig. 6には増感紙を使用せずにX線露光のみにより撮影し，34℃，90秒現像処理を施したフィルムから得られた画像の結果も併せて示した．線量測定は行っていないが，乳腺濃度1.65を得るために，増感紙使用で34℃，90秒標準現像処理の撮影時の条件での照射を80回以上行った．Fig. 6の微小陰影像は，ファントム内の同じ微小石灰化を写したものである．すべてのファントム写真は同じ乳腺濃度になるように作成しており，デジタルカメラ撮影時のシャッタースピードと絞りはほぼ一定で撮影できた．そして8ビットのグレースケールで表したデジタル画像の濃度は，増感紙を使用して撮影したすべての写真でそれぞれほぼ同じ値であった．

また各現像条件につき5枚ずつ処理されたファントム写真より求めた微小陰影像の面積，周囲長，規格化面積の平均値の結果をTable 1に，照射X線量すなわち各現像条件と形状の関係を表すグラフをFig. 7に示した．面積は34℃，36℃の210秒の延長現像処理においては他の現像条件に比して大きな値となった．周囲長は36℃，150秒処理よりその値が大きくなった．規格化面積も概して延長時間が長くなり，照射X線量が少なくなると値が大きくなる傾向を示した．

最後にTable 2に，各現像条件における照射時間と測定した照射X線量，すなわちファントム表面への入射空中X線量を示した．同一温度で時間が延長されるほど，照射X線量は少なくなった．また温度が高いほど照射X線量は少なくなった．

4. 考 察

本研究では，現像温度34℃，36℃について，低線

Fig. 5 Characteristic curves at developing temperature of 34 and processing times of 90, 150, and 210 sec and at 36 and 90, 150, and 210 sec.

量X線照射したフィルムの150秒，210秒延長現像処理の写真と，高線量X線照射したフィルムの34℃，90秒標準現像処理の写真と比較し，標準現像処理とほぼ同程度の画質を保持することのできるX線量と延長現像条件を求めた．現像温度34℃，36℃と，現像処理時間90秒，150秒，210秒とを組み合わせた6種類の現像条件で処理したファントム写真の微小陰影像については，0.23mmの微小石灰化群の6個すべてが目視によって正しい位置に明瞭に識別できている．画質評価を客観的に行うため，微小陰影像の形状に着目して，各現像条件につきそれぞれ5枚のファントム写真の画像解析を行った．微小陰影像の面積，周囲長，規格化面積を計測項目とし，5枚の平均値を求めて，34℃，90秒標準現像処理の結果と比較した．各項目の値が標準現像処理した写真と比して差があることは少ないX線量による延長現像処理の影響が微小陰影像の描出すなわち画質に現れていると考えられる．

Table 1およびFig. 7より，まず面積は34℃，36℃の210秒処理での値が他の条件よりも顕著に大きくなった．34℃，90秒標準現像処理の面積値1457.2に対して，36℃，90秒処理，34℃，150秒処理，36℃，150秒処理ではその差は100ピクセル前後であるが，210秒処理では200ピクセル前後と顕著に大きくなっている．面積は微小陰影像の大きさを端的に表す値であ

Fig. 6 Results of image processing.

(a) (f) The phantom was exposed with screen.

(g) The phantom was exposed without screen.

Table 1 Results of shape measurements.

Phantom entrance skin exposure dose $\times 10^{-4}$ [C/kg]	Developing temperature [°C]	Processing time [sec]	Area [pixels]	Perimeter [pixels]	Normalized area [-]
1.96	34	90	1457.2	219.6	33.6
1.76	36	90	1517.8	234.6	38.3
1.56	34	150	1363.0	220.5	36.5
1.46	36	150	1385.6	251.2	46.2
1.32	34	210	1663.8	247.8	37.4
1.23	36	210	1646.4	268.2	44.1

る．この値が大きいことは描出が不十分となっている可能性が高い．次に，周囲長は 36°C ，150秒処理よりその値が大きくなった． 34°C ， 36°C それぞれの210秒処理の面積が，標準現像処理の面積と200ピクセルほど差があるのに対して， 36°C ，150秒処理と標準現像処理との面積の差は72ピクセルと小さく， 36°C ，150秒処理の面積は標準現像処理と顕著な差はなかった．しかし， 36°C ，150秒処理の周囲長が標準現像処理より30ピクセル以上大きくなったことは同じ大きさで抽出された微小陰影像の輪郭に凹凸が多く形状の崩れを表しているといえる．また，規格化面積は概して延長時間が長くなり，照射X線量が少なくなると値が大きくなる傾向を示した．規格化面積は周囲長の2乗を面積で除した値である．それぞれの現像条件での面積がほぼ一定ならば，周囲長が大きくなると規格化面積も大きくなり，規格化面積の変化は周囲長の変化と同様の傾向を示すことになる．したがって面積と周囲長の二つの値で評価すると， 36°C ，90秒処理および 34°C ，150秒処理の面積は，標準現像処理に対してそれぞれ60ピクセル，90ピクセル程度の差であり，また周囲長の差は10ピクセル，1ピクセルで，面積，周囲長ともに顕著な差はない．そして規格化面積も標準現像処理の33.6に対して 36°C ，90秒処理の38.3および 34°C ，150秒処理36.5となり顕著な差はない．これらのことより， 34°C ，150秒処理までが標準現像処理と同等の画質を保持できていると考えられる．

延長時間が長くなり，照射X線量が減ると面積が大きくなる傾向となった原因としては，延長現像における感度上昇に伴う雑音の増加などが考えられる．雑音の増加が粒状に影響を及ぼし，顕微鏡で拡大することによってその影響が形状の変化として捉えられたのではないかと考える．

今回の実験結果より，画質を保持し，最も被曝を低減できる現像条件は 34°C ，150秒の延長現像処理であった．その場合，標準現像処理と等しい乳腺濃度を得るための照射X線量は， 34°C ，150秒の延長現像処理では $1.56 \times 10^{-4} \text{ C/kg}$ となり， 34°C ，90秒の標準現像処理における $1.96 \times 10^{-4} \text{ C/kg}$ に比して，20.4%の照射X線量の低減が図れることが明らかになった．

なお本研究では，脂肪/乳腺組織の成分割合が50%/50%である1種類のファントムに対して実験を行ったものである．乳腺組織の含有率が異なれば画質を保持できる延長現像時間も変化し，照射X線量の低減率も異なってくると予想される．

今回，画質評価として用いた画像解析において，小領域の濃度平均値と標準偏差値を用いて，2段階の閾値設定を行って領域を抽出した．ファントム画像における微小陰影像の画像解析の処理例で示したように，

Fig. 7 Relationship between phantom entrance exposure dose and shape measurements of micro-calcification. (a) Area, (b) Perimeter, (c) Normalized area. Error bars represent maximum and minimum values.

Table 2 Phantom entrance exposure dose for six processing conditions.

Developing temperature [$^{\circ}\text{C}$]	Processing time [sec]	Phantom entrance skin exposure dose $\times 10^{-4} \text{ C/kg}$
34	90	1.96
36	90	1.76
34	150	1.56
36	150	1.46
34	210	1.32
36	210	1.23

最初に微小陰影像の中心部の濃度から求めた標準偏差値の平均11.9より初期輪郭の内側で求めた標準偏差値の平均は13.4と大きくなり、微小陰影像の中心部に比べて微小陰影像の辺縁付近での濃度のばらつきが大きいことを示している。したがって、中心部の濃度情報のみで閾値を決定して微小陰影像の領域を抽出するより、辺縁に近い領域の濃度情報を含めて再度閾値を決定した本手法は、X線写真の情報を反映した微小陰影像の領域が抽出できていると考えられる。そして、目視では捉えることができなかった低線量撮影、延長現像における画質の差を形状計測によって確認することができた。また過去に報告した³⁾一次元的な濃度プロファイルでは確認できなかった画質の差が二次元的な形状評価を行った本手法により確認することができ、本手法が客観的な画質評価に有効であったといえる。

本研究では、温度を上昇させることによってフィルム感度の感度が上昇し、被曝を低減することができることに着目して、34℃に対して36℃を選択して実験を行った。Table 2に示すように、温度上昇による照射X線量の低減は大きい。また延長時間の短縮を図ることができる。現像条件によって被曝低減を考える場合、各現像温度での画質が保持できる延長現像時間の限界値を調べることは重要である。

また今回の実験で撮影したフィルムにはブッキー撮影によるグリッドラインが見えるものがあつた。処理したフィルムはグリッドラインの影響の少ないものを選んだが、グリッドラインを除去する画像処理のアルゴリズムを検討するのが今後の課題の一つとなる。

最後に、本研究では可能な限り実物に近い状態として、増感紙を除去した状態で撮影し、微小陰影像の形状や面積を把握しようと試みた。しかし本実験で作成したフィルムの乳腺濃度1.65を得るためには、増感紙を使用し、34℃、90秒の標準現像処理の撮影時の照射を80回以上行わなければならなかった。また増感紙なしで撮影したフィルムの画像は、Fig. 6(g)に示すように増感紙使用に比べてコントラストが低く、微小陰影部と周辺の濃度差が小さい画像となった。増感紙を使用して撮影したフィルムと同じ画像処理を行うと、領域抽出が容易ではなかった。機器への負担が非常に大きかったため3枚の試料の結果となるが、面積、周囲

長、規格化面積の平均値は、1454.7ピクセル、315.0ピクセル、67.61となった。面積は領域内の総ピクセル数、周囲長は縦・横方向の画素間の長さを1、斜め方向を2として計測したものである。抽出された微小陰影像の形状はかなり崩れたものとなった。このようなコントラストの低い画像に対しては画像処理のアルゴリズムを検討する必要があると考えられる。

5. 結 語

本研究は、低線量で撮影したマンモグラフィ用フィルムに延長現像処理を施すことにより、高線量で撮影し標準現像処理を施したものと同程度の画質を得るための現像条件と照射X線量について検討したものである。画質を客観的に評価するために、形状に着目した画像解析による評価法を提案した。微小陰影像の形状解析により画質を評価したところ、一方向の濃度プロファイルでは確認できなかった現像条件の違いによる画質の差を、二次元的な形状解析によって確認することができ、この手法が有効であることが明らかになった。その結果、延長現像処理によって被曝低減が可能となり、延長現像処理は極めて有用な撮影方法であることが明らかになった。

以下にその内容を要約する。

延長現像処理した乳房撮影用フィルムの画質を、微小石灰化陰影像の形状に着目して、面積、周囲長、規格化面積によって客観的に評価した。実験として、自動現像機の現像温度を34℃、36℃、低線量X線照射したフィルムの150秒、210秒延長現像処理の写真を、高線量X線照射したフィルムの90秒標準現像処理の写真と比較し、標準現像処理とほぼ同程度の画質を保持することのできるX線量と延長現像条件を求めた。その結果、34℃、90秒の標準現像処理とほぼ同程度の画質を保持し、被曝を最も低減できるのは、34℃、150秒の延長現像処理であり、照射X線量は、 1.56×10^{-4} [C/kg]となった。そして34℃、90秒の標準現像処理における照射X線量 1.96×10^{-4} [C/kg]に比して、20.4%の照射X線量の低減が図れることが明らかになった。

臨床に応用するうえで、脂肪/乳腺組織の成分割合に対応した照射X線量と延長現像条件を求めることが臨床に応用するうえで今後の検討課題であると考えられる。

参考文献

- 1) <http://www.asahi.com/health/cancer/07.html>
- 2) がん検診に関する検討会：乳がん検診及び子宮がん検診の見直しについて がん検診に関する検討会中間報告。(2004)。
- 3) 丸山敏則、山本秀樹：延長現像におけるマンモグラフィ用フィルムの画質評価。日放技学誌，60(11)，701-710，(2004)。
- 4) 丸山敏則、後藤佐知子、東 義晴、他：マンモグラフィ用フィルムにおけるextended-cycle processの基礎的研究 - コントラスト、相対感度 - 。日放技学誌，53(11)，1697-1704，(1997)。
- 5) <http://www.mammography.jp/mammo/oshirase4-1.html>
- 6) 日本放射線技術学会放射線撮影分科会：乳房撮影精度管理マニュアル。(社)日本放射線技術学会，京都，(1997)。

図表の説明

Fig. 1 画像処理の流れ図

Fig. 2 初期閾値決定例

- (a) 原画像
- (b) 背景領域
- (c) 微小石灰化領域
- (d) 濃度平均値 (グレーレベル) のガウス曲線
- (e) 標準偏差値のガウス曲線

Fig. 3 初期領域分割の例

- (a) 原画像 (Fig. 2 a) のROIと同じ)
- (b) 局所ブロック
- (c) 二値化像
- (d) ラベリング後の二値化像
- (e) 領域分割の結果
- (f) 輪郭

Fig. 4 最終領域分割の決定例

- (a) 初期閾値で決定された輪郭
- (b) 微小石灰化領域
- (c) 背景領域
- (d) 濃度平均値 (グレーレベル) のガウス曲線
- (e) 標準偏差値のガウス曲線
- (f) 原画像 (Fig. 2 a) のROIと同じ)
- (g) 二値化像
- (h) ラベリング後の二値化像
- (i) 領域分割の結果

Fig. 5 現像温度34℃, 処理時間90, 150, 210秒と, 36℃, 90, 150, 210秒における特性曲線

Fig. 6 画像処理の結果 (一例)

- (a)~(f) 増感紙を使用して撮影されたファントム
- (g) 増感紙を使用せずに撮影されたファントム

Fig. 7 ファントム表面への入射空中X線量と微小石灰化陰影の形状の関係

- (a) 面積, (b) 周囲長, (c) 規格化面積
- エラーバーは最大値と最小値を示す。

Table 1 形状計測の結果

Table 2 6種類の現像条件におけるファントム表面への入射空中X線量