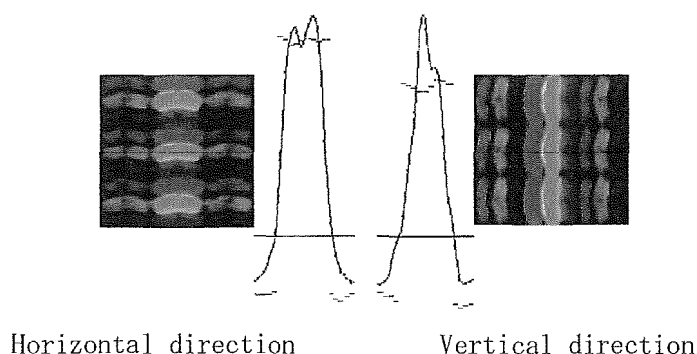


図D-1 画素の拡大図

カラー液晶ディスプレイでは、垂直方向でのMTF値が、水平方向のMTF値より若干高かった。図D-2に、1Mのカラー液晶ディスプレイで1画素幅のバーを表示した拡大図とそのときの波形を示す。カラー液晶ディスプレイのMTFを計算する場合に、人間の目の分光感度に合わせて赤、緑および青(RGB)のサブピクセルの値に係数を掛けた。人間の目の感度は、緑、赤および青の順に高いので、緑のサブピクセルの値にかける係数が最も大きい。水平方向では、RGBのサブピクセルの値は平均されるが、垂直方向ではRGBのサブピクセルの値は別々に計算されるので、垂直方向の波形では中心部は非常に高く、垂直方向のMTF値も高くなったと考えられる。



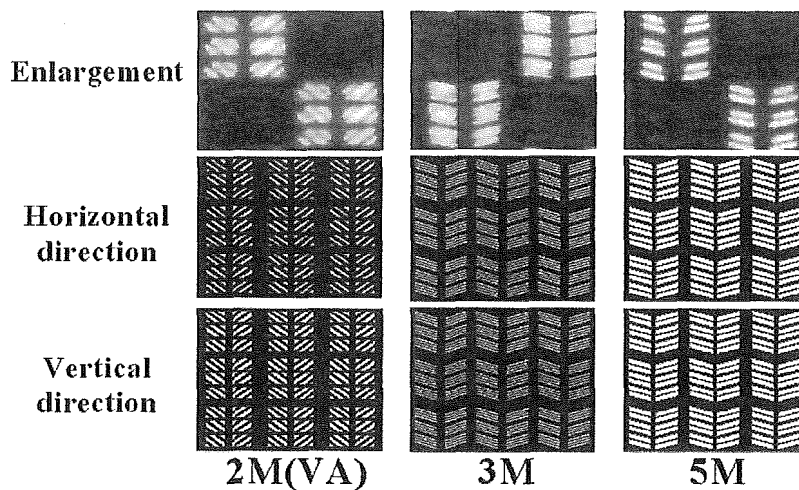
図D-2 カラーディスプレイの1画素幅のバーの拡大図と波形

#### D-1-3 液晶ディスプレイとCRTディスプレイの比較

液晶ディスプレイとCRTディスプレイでは、液晶ディスプレイのMTF値の方が高くなった。これはCRTでは電子ビームの偏向により制御しているので、電子ビームのスポットサイズや蛍光体の散乱が鮮鋭度低下の要因として挙げられる。

#### D-1-4 液晶動作モード

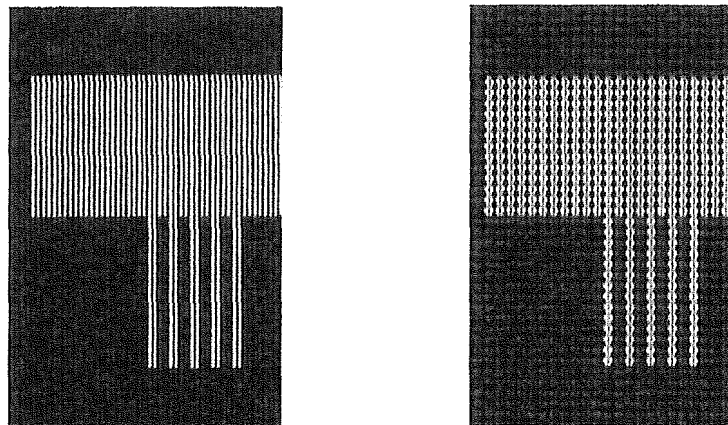
VA方式では水平方向と垂直方向のMTFは近い値となったが、IPS方式では垂直方向よりも水平方向のMTF値の方が高くなった。図D-3に2MのVA方式とIPS方式の3M、5Mの画素の拡大図と1画素幅のバーを表示した時の模式図を示す。2MのVA方式の1画素の形状は四角形である。この形状により水平方向と垂直方向のMTF値はほぼ同じになったと考えられる。IPS方式では1画素の形状が四角形ではないことによって、水平方向のバーの境界は直線であるのに対して垂直方向のバーの境界はジグザグになっている。このジグザグによりバーの境界はボケ、これが垂直方向のMTFが低下した理由であると  
考えられる。



図D-3 VA方式とIPS方式のサブピクセルの形状

#### D-1-5 アパーチャモジュレーション

アパーチャモジュレーションのディスプレイのMTF値はサブピクセルの面積比が1:1:1であるディスプレイのMTF値よりも高くなった。図D-4に3Mのディスプレイでバーパターンを表示したときの画像の一部を示す。アパーチャモジュレーションのディスプレイの画素の形状はそろばん状になっており、通常のディスプレイの画素の形状とは異なっていた。したがって、アパーチャモジュレーションのディスプレイで1画素幅のバーを表示した場合、他のディスプレイよりもバーの幅が実効的に細くなる。このため、MTF値が高くなったと考えられる。



開口面積比 1:1:1

開口面積比 2:4:1

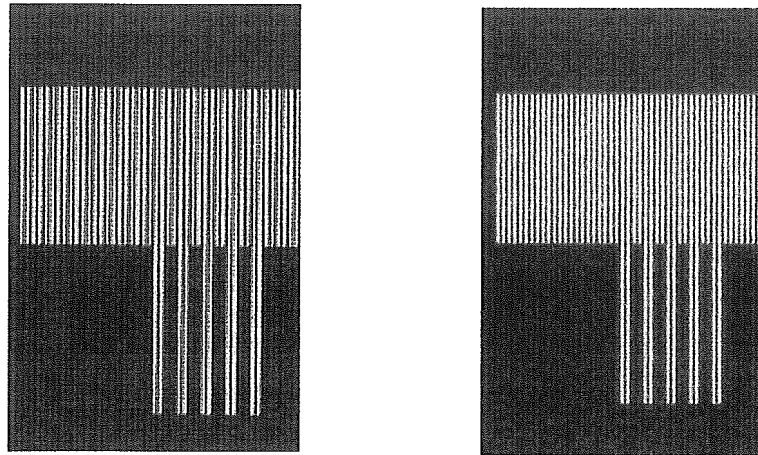
図D-4 アパーチャモジュレーション

#### D-1-6 液晶保護フィルタ

液晶保護フィルタを装備したディスプレイのMTF値はフィルタを装備していないディスプレイのMTF値と一致したが、これは液晶保護フィルタの透過率が非常に高いことによるものと考えられる。

#### D-1-7 アンチグレアフィルタ

アンチグレアフィルタをつけたディスプレイでは、MTF値が低下した。アンチグレアフィルタは照明や太陽光の映り込みを抑えるために、液晶の表面に細かな凹凸を作って光を拡散させている。これにより液晶パネルからの透過光も拡散してしまい、MTFは低下したといえる。図D-5にアンチグレアの有無による比較の画像を示す。この画像からもアンチグレアフィルタがある場合はボケていることが確認できる。

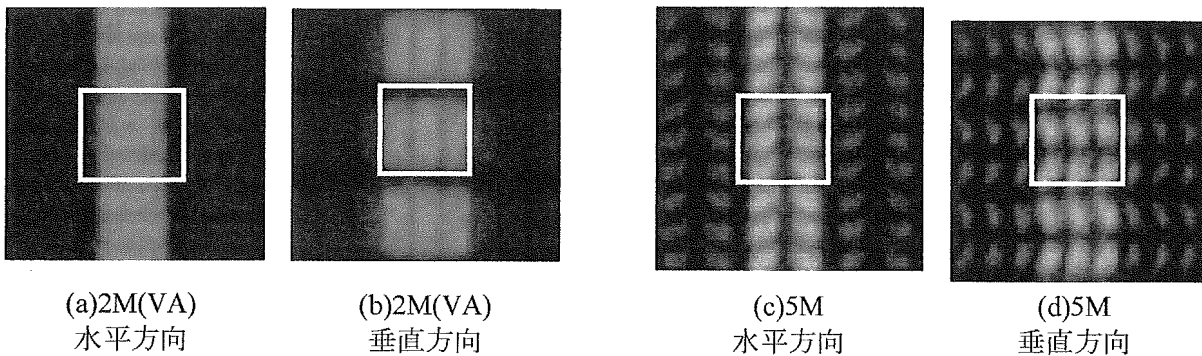


図D-5 アンチグレアフィルタの有無による比較  
 (a)アンチグレアフィルタ無 (b)アンチグレアフィルタ有

### D-2. Wiener Spectrum

雑音成分と共に周期成分が存在した。5Mのディスプレイを除くディスプレイでは低周波数領域において水平方向のみピークが現れた。例として2MのIPS方式と5Mのディスプレイで1画素のバーを表示したときの画素の拡大図を図D-6に示す。黄色い四角が1画素を示している。2M水平方向の3.6cycle/mmでのピークはこの1画素の周期の周波数と一致する。垂直方向の11cycle/mmでのピークはサブピクセルの周期成分であり、水平方向のピークの3倍の周波数でピークが出ている。5Mのディスプレイの水平方向では、1つの画素に2つの領域が配置されているので画素の周期の2倍の周波数でピークが出ている。垂直方向はサブピクセルの構造とピークの出る周波数が一致した。

アンチグレアフィルタの有無による比較では、アンチグレアフィルタをつけた時は周期成分のピークが低くなったがベースラインは上昇した。これは、フィルタによって光が拡散し周期成分にボケが生じたが、全体の雑音成分はアンチグレアフィルタの影響で増加したと考えられる。



(a)2M(VA)  
水平方向

(b)2M(VA)  
垂直方向

(c)5M  
水平方向

(d)5M  
垂直方向

図D-6 画素の拡大図

### E. まとめ

液晶ディスプレイ装置の物理的画質特性の測定に関する研究として4種類のモノクロ液晶ディスプレイと3種類のカラー液晶ディスプレイのMTFと、4種類のモノクロ液晶ディスプレイのウィナーズペクトルについて検討した。モノクロ液晶ディスプレイ、カラー液晶ディスプレイ共に画素数が多いほどMTF値が高い傾向が見られた。従来からモニタ診断として使用されているCRTディスプレイと液晶ディスプレイのMTFを比較した。その結果、液晶ディスプレイのMTF値はCRTディスプレイのMTF値よりも高かった。液晶ディスプレイには視野角を広くするため、あるいはコントラストを良くするために様々な液晶動作モードが存在する。このうち、医療用高精細ディスプレイで多く採用されているIPS方式とVA方式のディスプレイのMTFを比較した。VA方式では水平方向と垂直方向でMTFに差は見られなかったが、IPS方式では水平方向のMTF値が高くなった。これはそれぞれのサブピクセルの形状の違いによるものと考えられる。サブピクセルの面積が2:4:1となっているアパーチャーモジュレーション式パネルを採用したディスプレイでは、1画素の形状がそばん状になり、実効的に細くなることからMTF値は高くなった。液晶ディスプレイには、表面をキズ等から防ぐための液晶保護フィルタや、照明などの映り込みを防止するアンチグレアフィルタが装着できる。その

フィルタがMTFに与える影響について検討した。液晶保護フィルタの有無によるMTFの違いはなかった。アンチグレアフィルタをつけるとディスプレイのMTF値は低下することが分かった。

二次元フーリエ変換法を用いて液晶ディスプレイのウィナースペクトルを測定した。結果は雑音成分と共に周期成分が存在し、周期成分はサブピクセルの構造による周期と一致した。周期成分のピークが出ることでその付近のウィナースペクトル値も見かけ上持ち上げられてしまうため、今後はこの周期成分への対応が必要である。

本研究を通して、液晶ディスプレイの画質には画素の数や大きさの違いによる影響と、画素の形状や開口率、液晶動作モードによる影響があることが分かった。

### 3. 液晶モニタのマンモグラムの画質に関する検討

#### 【実験1】

#### A. 研究目的

モニタの解像度を明らかにし、その表示能がハードコピーより劣る場合には使用法を考慮することによりモニタ診断がハードコピー診断を超えることができるかを明らかにする。

#### B. 研究方法

ACR推奨マンモグラフィ精度管理用ファントムとJRS推奨ステップファントムの画像と臨床画像を対象とし、液晶モニタの表示画素数のみならず、その発光方式によりその評価が異なることもありうることから、国内主要モニタ取り扱いメーカー3社の1MP (1280×1024)・3MP (2048×1560)・5MP (2560×2048、1社のみモニタ表面にantiglare処理なし) -液晶モニタとハードコピーの表示能を比較評価した。

画像の撮影はSIEMENS社MAMMOMAT 3000、読取装置は富士フィルムメディカル社製FCR PROPECT CS (読取り50 $\mu$ m)、ハードコピーはDrypix7000 (書込み50 $\mu$ m・最高濃度4.0フィルム) により作成した。ファントム画像は平均乳腺線量1.5、2、3mGyの3種類、臨床画像は所見の有無と種類・乳房の構成の異なる8症例のMLOを採用した。

ファントム画像は通常のマンモグラフィ診断を想定した条件でモニタに表示し、画面fitとその2倍拡大表示による評価を行なった。モニタの明るさは450cd/m<sup>2</sup>とし、すべてのモニタを同一輝度、DICOM Part14に準じた同一階調とした。また、モニタの機種/メーカーが不明となるように、マスキングを実施した。室内照度は50luxとし、ハードコピーはマンモグラフィ用高輝度シャウカステンを用いた。

評価者は、マンモグラフィ検診精度管理中央委員会の読影評価A取得者12名が独立して評価した。制限時間は設けず、観察対象の種類と画像の順序はランダムに設定した。

画像評価法は以下のとおりである。

i) ファントム画像：日本医学放射線学会/日本放射線技術学会編マンモグラフィガイドライン 第9章 画像評価によった。

●ACR推奨マンモグラフィ用ファントム

- ・模擬線維の数 (Max 6点 0.5間隔)
- ・模擬石灰化 (Max 5点 0.5間隔)
- ・模擬腫瘍 (Max 5点、0.5間隔)

●JRS推奨マンモグラフィ用ステップファントム

- ・ステップ段数 (Max 10段)
- ・ステップ石灰化 (Max 10点 0.5間隔)
- ・ステップ腫瘍 (Max 10点 0.5間隔)

ii) 臨床画像：ハードコピーと比較して同等を0点とし、±2点までで線分上に記入。

- ・乳腺内コントラスト
- ・脂肪組織内コントラスト
- ・皮膚面コントラスト
- ・腫瘍 (存在)
- ・腫瘍 (情報)
- ・石灰化 (存在)
- ・石灰化 (情報)
- ・粒状性
- ・鮮鋭性

解析は、評価結果について、「モニタの種類」を母数因子とし、各「読影者」を変量因子とする、2元配置の分散分析による統計解析を行なった。

### C. 研究結果

1-①ファントム画像における、ハードコピーとの有意差検定（「-」は、有意差あり）

分散分析結果 Tamhane検定より

モダリティ	1MP-A	1MP-B	1MP-C	3MP-A	3MP-B	3MP-C	5MP-A	5MP-B	5MP-C
模擬線維	±	±	±	±	±	±	±	-	±
模擬石灰化	-	-	-	±	±	±	±	-	±
模擬腫瘍	±	±	±	±	±	±	±	±	±
模擬陰影合計	-	-	-	±	-	±	±	-	±
ステップ 段数	-	±	±	-	±	±	±	-	±
ステップ 石灰化	-	-	-	-	-	-	-	-	±
ステップ 腫瘍	-	-	-	-	-	-	-	-	-

1-②臨床画像における、ハードコピーとの有意差検定（「-」は、有意差あり）

WILCOXON検定より

モダリティ	1MP-A	1MP-B	1MP-C	3MP-A	3MP-B	3MP-C	5MP-A	5MP-B	5MP-C
乳腺内コントラスト	-	-	-	-	-	-	-	-	-
脂肪組織内コントラスト	-	-	-	-	-	-	-	-	-
皮膚面コントラスト	-	-	-	-	-	-	-	-	-
腫瘍（存在）	-	-	-	-	-	-	-	-	-
腫瘍（情報）	-	-	-	-	-	-	-	-	-
石灰化（存在）	-	-	-	-	-	±	-	-	-
石灰化（情報）	-	-	-	-	-	-	-	-	-
粒状性	-	-	-	-	-	-	-	-	±
鮮鋭性	-	-	-	-	-	-	-	-	-

2-①ファントム画像における、5MP-Cとの有意差検定（「-」は、有意差あり）

分散分析結果 Tamhane検定より

モダリティ	1MP-A	1MP-B	1MP-C	3MP-A	3MP-B	3MP-C	5MP-A	5MP-B
乳腺内コントラスト	-	-	-	-	-	-	-	-
脂肪組織内コントラスト	-	-	-	-	-	±	±	-
皮膚面コントラスト	-	±	-	-	±	±	-	±
腫瘍（存在）	±	±	±	±	±	±	±	±
腫瘍（情報）	-	-	-	±	±	±	±	-
石灰化（存在）	±	-	-	-	-	±	±	±
石灰化（情報）	-	-	-	-	-	-	±	±
粒状性	-	-	-	-	-	-	-	-
鮮鋭性	-	-	-	-	-	-	-	-

### D. 考察

全てのモニタにおいて、ハードコピーとモニタ間の画像の見え方には、有意な差が認められた。特に臨床画像評価においては有意差が認められた。

医療用モニタでも1MPモニタは他モニタと比べて有意に差があることがわかった。

総合的に判断すると、最も良いとされるモニタは、C社の5MPであると考えられた。C社の5MPモニタは、モニタ表面にAntiglare処理が施されていない仕様であった。

### E. 結論

本実験の結果では、モニタの表示能力は通常の表示法の1条件ではハードコピーには及ばないことが明らかとなった。多数のマンモグラムを読影する医師がモニタの表示能を理解せずこれを使用することがあれば、その診断能が低下することは明らかである。モニタ診断を導入するについてはこれらを明らかにし、正しい使い方・診断法を提案することが必要である。

## 【実験 2】

### A. 研究目的

医療用モニタの表示能力は、一定の条件ではハードコピーには及ばないが、モニタには拡大やコントラストの変更などの表示変更機能が備えられており、これを用いることにより表示能の拡大が期待できる。

この研究ではモニタの各種ツール（階調/コントラスト調整、拡大、強調処理など）操作を行なった場合、画像の評価が改善するかを明らかにする。

### B. 研究方法

実験 1 と同様の装置により作成した、ACR推奨およびJRSファントム画像（実験 1 と同様の線量）と、乳房の構成および所見の有無と種類の異なる18症例の臨床画像を対象とした。

評価法は実験 1 と同様とした。

モニタは実験 1 で最も評価の高かった5MP Antiglare処理の無い液晶モニタを採用し、輝度は500cd/m<sup>2</sup>、室内照度はモニタ前の机上での測定で20luxとした。

画像のモニタへの初期表示は、通常のマンモグラフィ診断を想定した条件とし、初期表示での評価と、各種ツールによる操作後の評価を行った。尚、モニタは、輝度/環境光により階調調整(DICOM Part14に準ずる)されている。

評価者はマンモグラフィ検診精度管理中央委員会の読影評価A取得者23名が独立して評価した。

### 【評価手順と評価法】

i) マンモグラフィ用ファントム画像を、試験者毎にランダムに3画像を表示し、実験 1 と同様の項目と評価法にて、各種モニタ操作の前後で評価した。

ii) 臨床画像18例を、実験 1 と同様の項目と評価法にて、各種モニタ操作の前後で評価した。

### C. 研究結果

結果 1. ①ファントム画像における、操作前後での点数比較と有意差検定

	模擬線維	模擬石灰化	模擬腫瘍	ステップ 段数	ステップ 石灰化	ステップ 腫瘍
操作前(点)	5.54667	4.03333	4.16667	9.06	3.77333	4.89333
操作後(点)	5.74667	4.10667	4.17333	9.76	6.99333	8.53333
有意差	+	+	+	+	+	+

結果 2. ②臨床画像における、ハードコピーとの点数比較と操作前後の有意差検定。

	コントラスト			腫瘍 (情報)	石灰化 (情報)	粒状性	鮮鋭性
	乳腺内	脂肪織内	皮膚面				
操作前 (点)	-0.42811	-0.50578	-0.18653	-0.36136	-0.4852	-0.19633	-0.48189
操作後 (点)	0.203	0.36067	0.46882	0.13611	0.0744	-0.01381	0.035
有意差	+	+	+	+	+	+	+

※有意差「+」にて有り

#### ・結果①より

操作を行うことで、全ての評価項目において点数が増加した。

#### ・結果②より

操作を行うことで、全ての評価項目において点数が増加した。

また、操作後は、粒状性を除く評価項目で、ハードコピーより良い評価となった。

#### D. 考察

ソフトコピー読影にあたり、階調/コントラストの調整や、拡大表示などの各種ツールを使用することは、必要不可欠なことであると同時に、機能を使用することによりハードコピー診断よりも見えやすくなるケースがあることもわかる。しかし、粒状性はハードコピーより評価が低く、その意味を考慮する必要がある。

#### E. 結論

デジタルマンモグラフィのモニタ表示能は、各種操作を加えなければハードコピーより低いことが明らかであり、各種操作を加えることは必須である。しかし、各種操作を加えることによりその表示能はハードコピーより良好となる可能性が高い。



## VI-3. デジタルマンモグラフィのモニタにおける画像表示能の検討

### A. 研究目的

ACRおよびJRSファントムを用いてシステム管理・精度管理が可能かを評価する。

### B. 研究方法

同一のACRおよびJRSファントム1組を用い、国内で稼動しているCR/DRシステムの画像を収集した。次に、収集した画像を各社モニタ表示し、当該ファントムを用いた精度管理が可能かを評価した。

画像収集は、(富士) Profect CS, (コニカ) PCM, Regius 190, (コダック) 850, (GE) 2000D, DS, (日立) Selenia, (シメックス) 3000 Novationで、Mo (モリブデン) ターゲットとMoフィルタ組合せ、設定管電圧28 kV, 照射線量1.5 Gy, 2.0 mGy, 2.5 mGyでそれぞれ1枚の画像を収集した。(1つのシステムで合計3枚の画像を収集した)

対象モニタは、(TOTOKU)、(東洋テクニカ)、(ナオ)、(GE)、(シメックス)、(NEC)で、3MP, 5MPモニタとし、あとで、1MPと2MPを追加した。

評価はマンモグラフィの読影と撮影に習熟した医師と技師7名により、2-3名のグループで協議制による評価とした。評価法は日本医学放射線学会/日本放射線技術学会編マンモグラフィガイドライン 第9章 画像評価によった。

室内は約100lux、輝度は500cd/m<sup>2</sup>とした。

### C. 研究結果

別表に示すように、100% (実寸大) 表示では、5MPでもACRファントム画像の評価がS/Fの基準を満たさないものもあり、130%、160%と拡大するにつれて基準に達しないものは減少し、160%では全画像が基準をクリアできた。5MP、3MP、2MP、1MPモニタの評価を比較すると、画素数が小さくなるに従い、ACRファントム画像の評価は低下し、3MPでは160%に拡大しても基準に達しないものもみられた。

JRSファントムは拡大しても基準に達しなかった。また、評価には画像作成法による影響が強くみられることが判明した。

### D. 考察

本実験から、ACR推奨マンモグラフィ用ファントムとJRSファントム画像で、品質管理の基準を決定することは困難であり、基準決定には、診断能を評価する長期的な実験、検証の積み重ねが必要であることが討議された。

### E. 結論

ACR推奨ファントム画像の評価は、実寸大では5MPでもS/Fシステムの基準に達しなかった。

評価は拡大するにつれて改善し、5MP-160%拡大画像では全画像がS/Fシステムの基準に達した。3MP-160%では基準に達しないものもあった。モニタ診断では、拡大やコントラストの変更などにより評価が上がる事が判っている。しかし、160%拡大によってもACRファントム画像の評価がS/Fの基準に達しないモニタでの診断では、その診断能の低下が強く危惧される場所である。

# 5MPモニタの評価結果

モニタ	表示縮率%(対実寸)	156評価			STEPファントム評価		
		線維	腫瘤	石灰化	分離段数	石灰化	腫瘤
		4	3	3	10	4	5
1	100	×	△	×	×	×	○
2	100	○	△	○	○	×	○
3	100	○	○	○	×	×	○
4	100	○	○	○	×	×	○
5	100	○	○	○	×	△	△
5*	100	○	○	○	×	○	○
6	100	△	○	○	×	×	△
7	100	○	○	○	○	○	○
8	100	○	△	○	○	○	○

モニタ	表示縮率%(対実寸)	156評価			STEPファントム評価		
		線維	腫瘤	石灰化	分離段数	石灰化	腫瘤
		4	3	3	10	4	5
1	130	△	○	○	×	×	○
2	130	○	△	○	○	△	○
3	130	○	○	○	×	×	○
4	130	○	○	○	×	△	○
5	130	○	○	○	×	○	△
5*	130	○	○	○	×	○	○
6	130	○	○	○	×	○	△
7	130	○	○	○	○	○	○
8	130	○	○	○	○	○	○

モニタ	表示縮率%(対実寸)	156評価			STEPファントム評価		
		線維	腫瘤	石灰化	分離段数	石灰化	腫瘤
		4	3	3	10	4	5
1	160	○	○	○	×	○	○
2	160	○	○	○	○	○	○
3	160	○	○	○	×	×	○
4	160	○	○	○	×	△	○
5	160	○	○	○	×	○	△
5*	160	○	○	○	×	○	○
6	160	○	○	○	×	○	△
7	160	○	○	○	○	○	○
8	160	○	○	○	○	○	○

×=3箇所以上NG等  
△=2箇所までNG等  
○=全てOK等

# 3MPモニタの評価結果

モニタ	表示縮率%(対実寸)	156評価			STEPファントム評価		
		線維	腫瘤	石灰化	分離段数	石灰化	腫瘤
		4	3	3	10	4	5
1	100	×	×	×	×	×	○
2	100	×	×	×	○	×	○
3	100	○	○	△	×	×	○
4	100	○	△	○	×	×	○
5	100	○	○	○	×	△	×
5*	100	○	○	○	×	○	○
6	100	×	△	△	×	×	×
7	100	○	○	○	○	○	○
8	100	○	△	○	○	○	○

モニタ	表示縮率%(対実寸)	156評価			STEPファントム評価		
		線維	腫瘤	石灰化	分離段数	石灰化	腫瘤
		4	3	3	10	4	5
1	130	×	△	×	×	×	○
2	130	△	○	△	○	×	○
3	130	△	○	○	×	×	○
4	130	○	△	○	×	△	○
5	130	○	○	○	×	○	×
5*	130	○	○	○	×	○	○
6	130	△	○	○	×	△	×
7	130	○	○	○	○	○	○
8	130	○	○	○	○	○	○

モニタ	表示縮率%(対実寸)	156評価			STEPファントム評価		
		線維	腫瘤	石灰化	分離段数	石灰化	腫瘤
		4	3	3	10	4	5
1	160	×	○	○	×	×	○
2	160	○	○	○	○	△	○
3	160	○	○	○	×	×	○
4	160	○	△	○	×	△	○
5	160	○	○	○	×	○	×
5*	160	○	○	○	×	○	○
6	160	○	○	○	×	○	×
7	160	○	○	○	○	○	○
8	160	○	△	○	○	○	○

×=3箇所以上NG等  
△=2箇所までNG等  
○=全てOK等

## 2MPモニタの 評価結果

モニタ	表示縮 率%(対実 寸)	156評価			STEPファントム評価		
		線維	腫瘤	石灰化	分離段数	石灰化	腫瘤
		4	3	3	10	4	5
1	100	0	0	0	3	0	4
2	100	2	2	2	0	0	4
3	100	3	0	3	0	0	2
4	100	1	0	0	0	0	4
5	100	4	2	3	0	0	0
6	100	1	1	1	0	0	0
7	100	4	2	4	4	1	4
8	100	2	0	2	0	0	4

モニタ	表示縮 率%(対実 寸)	156評価			STEPファントム評価		
		線維	腫瘤	石灰化	分離段数	石灰化	腫瘤
		4	3	3	10	4	5
1	130	2	0	2	3	0	4
2	130	4	2	4	0	0	4
3	130	4	0	4	0	0	4
4	130	4	0	3	0	0	4
5	130	4	2	4	0	2	2
6	130	4	1	4	0	1	0
7	130	2	4	4	4	1	4
8	130	3	0	4	4	4	4

モニタ	表示縮 率%(対実 寸)	156評価			STEPファントム評価		
		線維	腫瘤	石灰化	分離段数	石灰化	腫瘤
		4	3	3	10	4	5
1	160	1	0	2	3	0	4
2	160	2	3	4	0	0	4
3	160	4	1	3	0	0	2
4	160	4	0	4	0	0	4
5	160	4	3	4	0	3	1
6	160	3	2	4	0	4	0
7	160	4	4	4	4	3	4
8	160	3	0	4	0	3	4

## 1MPモニタの 評価結果

モニタ	表示縮 率%(対実 寸)	156評価			STEPファントム評価		
		線維	腫瘤	石灰化	分離段数	石灰化	腫瘤
		4	3	3	10	4	5
1	100	0	0	0	3	0	3
2	100	3	0	1	0	0	3
3	100	0	0	2	0	0	0
4	100	0	0	1	0	0	2
5	100	3	1	3	0	0	0
6	100	0	3	2	0	0	0
7	100	3	0	3	3	0	3
8	100	0	0	2	0	0	3

モニタ	表示縮 率%(対実 寸)	156評価			STEPファントム評価		
		線維	腫瘤	石灰化	分離段数	石灰化	腫瘤
		4	3	3	10	4	5
1	130	1	0	1	3	0	3
2	130	2	1	2	0	0	3
3	130	2	0	3	0	0	0
4	130	0	0	1	0	0	2
5	130	3	1	3	0	1	0
6	130	4	1	4	0	1	0
7	130	3	2	3	0	1	0
8	130	0	0	2	0	1	3

モニタ	表示縮 率%(対実 寸)	156評価			STEPファントム評価		
		線維	腫瘤	石灰化	分離段数	石灰化	腫瘤
		4	3	3	10	4	5
1	160	1	0	1	3	0	3
2	160	2	3	3	0	1	3
3	160	3	0	3	0	0	2
4	160	0	0	3	0	0	3
5	160	3	2	3	0	2	0
6	160	3	2	3	0	2	0
7	160	3	2	3	3	3	3
8	160	1	0	3	0	3	3



## ACR推奨ファントムの実物等大画像の評価

モニタ	表示縮 率%(対実 寸)	5MP			3MP			2MP			1MP		
		線維	腫瘍	石灰化	線維	腫瘍	石灰化	線維	腫瘍	石灰化	線維	腫瘍	石灰化
1	100	×	△	×	×	×	×	0	0	0	0	0	0
2	100	○	△	○	×	×	×	2	2	2	3	0	1
3	100	○	○	○	○	○	△	3	0	3	0	0	2
4	100	○	○	○	○	△	○	1	0	0	0	0	1
5	100	○	○	○	○	○	○	4	2	3	3	1	3
5*	100	○	○	○	○	○	○						
6	100	△	○	○	×	△	△	1	1	1	0	3	2
7	100	○	○	○	○	○	○	4	2	4	3	0	3
8	100	○	△	○	○	△	○	2	0	2	0	0	2

## ACR推奨ファントムの130%大画像の評価

モニタ	表示縮 率%(対実 寸)	5MP			3MP			2MP			1MP		
		線維	腫瘍	石灰化	線維	腫瘍	石灰化	線維	腫瘍	石灰化	線維	腫瘍	石灰化
1	130	△	○	○	×	△	×	2	0	2	1	0	1
2	130	○	△	○	△	○	△	4	2	4	2	1	2
3	130	○	○	○	△	○	○	4	0	4	2	0	3
4	130	○	○	○	○	△	○	4	0	3	0	0	1
5	130	○	○	○	○	○	○	4	2	4	3	1	3
5*	130	○	○	○	○	○	○						
6	130	○	○	○	△	○	○	4	1	4	4	1	4
7	130	○	○	○	○	○	○	2	4	4	3	2	3
8	130	○	○	○	○	○	○	3	0	4	0	0	2

# ACR推奨ファントムの160%大画像の評価

モニタ	表示縮 率%(対実 寸)	5MP			3MP			2MP			1MP		
		線維	腫瘍	石灰化	線維	腫瘍	石灰化	線維	腫瘍	石灰化	線維	腫瘍	石灰化
1	160	○	○	○	×	○	○	1	0	2	1	0	1
2	160	○	○	○	○	○	○	2	3	4	2	3	3
3	160	○	○	○	○	○	○	4	1	3	3	0	3
4	160	○	○	○	○	△	○	4	0	4	0	0	3
5	160	○	○	○	○	○	○	4	3	4	3	2	3
5*	160	○	○	○	○	○	○						
6	160	○	○	○	○	○	○	3	2	4	3	2	3
7	160	○	○	○	○	○	○	4	4	4	3	2	3
8	160	○	○	○	○	△	○	3	0	4	1	0	3

## VI-4. フィルムと3M液晶モニタの読影比較—石灰化病変—

はじめに

検診マンモグラフィの導入によって乳腺非触知石灰化病変が発見される機会が増加している。非触知石灰化病変は理学的所見が乏しいうえに、超音波診断でも所見を認めない事があり、精査機関においては、診断 (Diagnositic) マンモグラフィ単独で臨床診断や生検の必要性を決定しなければならない場合が多々ある。一方で、各分野で画像診断の電子化が展開される中で、診断 (Diagnositic) マンモグラフィにおいてもモニタ診断の臨床的導入が可能であるか明らかにしてゆく必要がある。

### A. 研究目的

乳腺非触知石灰化病変の診断 (Diagnositic) マンモグラフィに対し、フィルムと3M液晶モニタ (LCD) で観察した場合の読影精度について比較検討する。

### B. 研究方法

#### B.1. 対象

対象は、診断 (Diagnositic) マンモグラフィが撮影された非触知石灰化病変でマンモトーム針生検または外科的手術によって病理診断の得られた62症例62病変である。最終病理診断は良性28例、悪性が非浸潤性乳管癌 24例を含む34例である。

#### B.2. 撮影方法

撮影装置はSimens MAMMOMAT3000で、フィルムはKodak MIN R 2000を用いた。48症例で拡大スポット撮影が追加された。

#### B.3. 液晶モニタ (LCD) 観察条件

モニタ読影のためにフィルムを全例でデジタイズした。使用したデジタイザーはコニカ社製LD5500で、読取の条件は、画素数3496×4680 (画素サイズ50 $\mu$ m)、階調12ビット、濃度範囲 0-3.5である。観察に用いた液晶モニタはDOME社製C3-GRAYで表示画素数1536×2048、表示階調8ビットであり、輝度500cd/m<sup>2</sup>で観察を行った。両側のML0、CC、拡大スポット像を画面サイズにフィットさせて表示し、2面モニタで観察した。デジタイズされたフィルムの余白部を画面上でマスクするために黒紙をモニタに貼り付けた。観察の際は、拡大、移動、階調変更は許可した。

#### B.4. フィルム観察条件

フィルムの観察にはマンモグラフィ専用高輝度高輝度シャウカステンを使用した。フィルムの余白部はマスクし、両側ML0、CC、拡大スポット像を観察した。観察には、シャウカステンに設置されているルーペの使用を許可した。

#### B.5. 読影実験

精査機関で乳腺画像診断を専門とする放射線科医4名によって読影実験を施行した。各読影者毎に、フィルム読影2回および3M液晶モニタ (LCD) 読影2回の計4回の読影を行った。各読影実験間には、1ヶ月以上の間隔を空けた。症例毎に石灰化の存在する関心領域を判定用紙にて読影者に提示した。判定項目は石灰化病変についての確診度、カテゴリー判定および方針判定である。確診度については良悪性の確診度を0-100%までの連続スケールで評価し、カテゴリー診断はマンモグラフィガイドラインで用いられている五段階で評価を行った。また、方針判定については、石灰化の今後の臨床的方針について、1年後のスクリーニング検査、1年以内の精査経過観察、要生検の3段階で評価をし回答を行った。

#### B.6. 解析方法

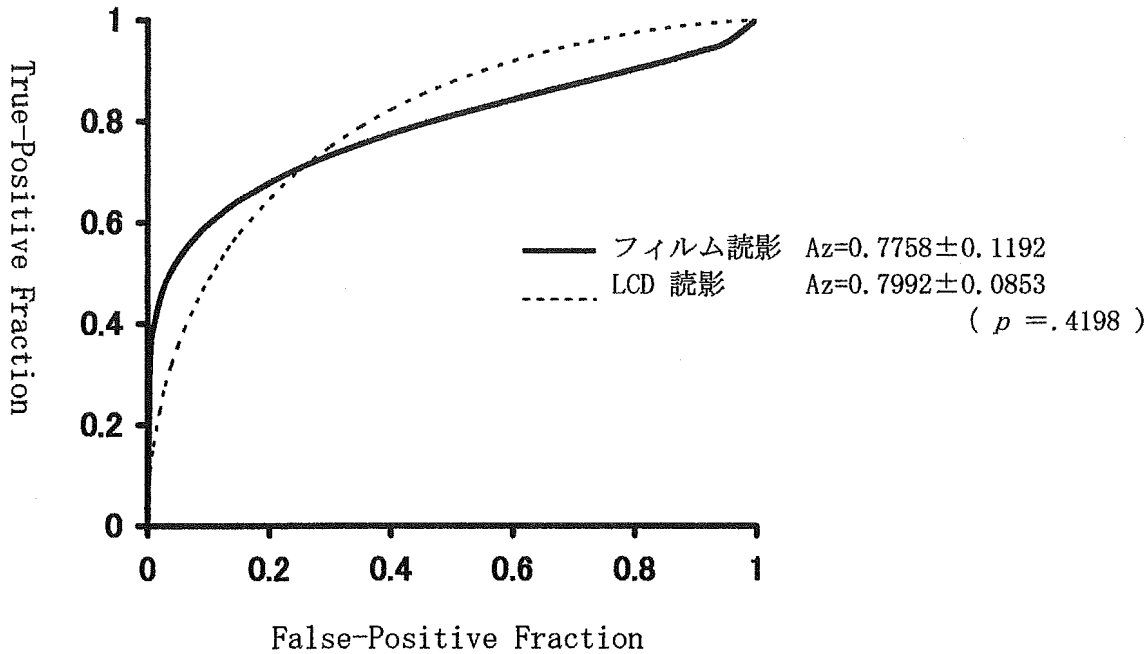
確診度をROC解析法によって評価し、診断精度の指標としてROC曲線下面積を用いた。また、確診度50%以上、カテゴリー4以上、要生検を陽性基準とし、判定方法ごとに感度・特異度を算出した。更に、同一読影者内 (intraobserver) ・読影者間 (interobserver) の一致度を相関係数またはCohen 法・Fleiss法を用いた $\kappa$ 値によって評価した。これらについて、有意水準を0.05としてフィルム・3MLCD観察間の有意差検定を施行した。

C. 研究結果

C.1. 確診度のROC 解析

ROC曲線下面積はフィルム読影が0.7758、LCD読影が0.7992で、LCD読影が高かったが、両者に有意差は認めなかった。

図1. 確診度のROC曲線



C.2. 感度

確診度による感度は4名全員でLCD読影の方が高かった(図2)。また、その4名の平均値(表1)は、有意差( $p = .001$ )をもってLCD読影の方がフィルム読影より高かった。カテゴリー判定による読影者別の感度は(図3)、他の判定方法より読影者間のばらつきが低い傾向であった。これは、日常より汎用している評価方法であるために、その学習効果によることが原因と考えられた。4名全員でLCD読影の方が高かったが、全員の平均値(表1)では有意差は認めなかった( $p = .175$ )。方針判定による感度(図4)は、1名でLCD読影の方が高かったが、他の3名ではフィルム読影、LCD読影の値が全く同値であった。平均値(表1)では、有意差は認めなかった( $p = .248$ )。

図2. 確診度による読影者別の感度  
(陽性基準: 確診度50%以上)

図3. カテゴリー判定による読影者別の感度  
(陽性基準: カテゴリー4以上)

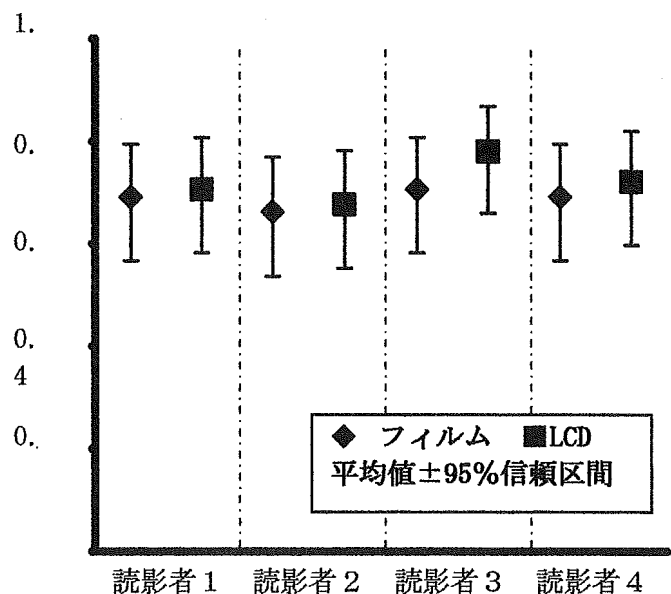
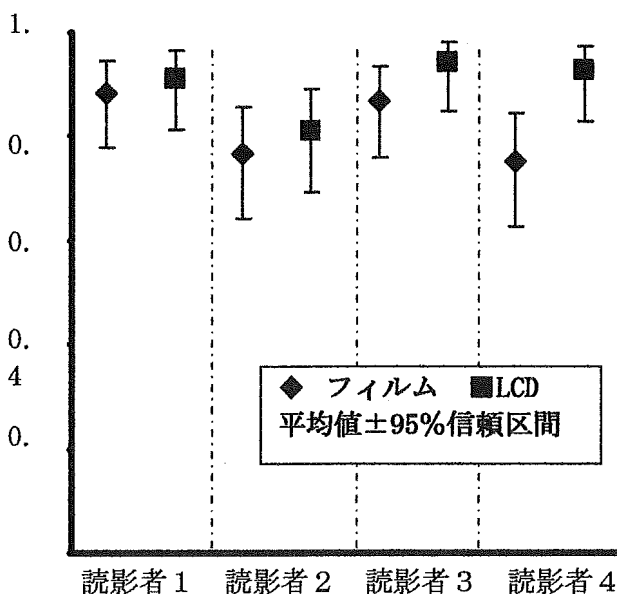


図4. 方針判定による読影者別の感度

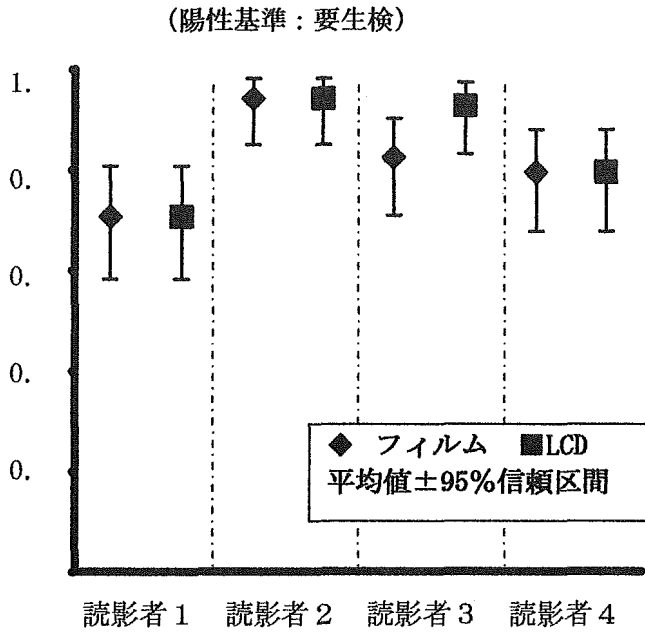


表1. 読影者4名の感度平均値

判定方法	感度平均値		p値
	フィルム読影	LCD読影	
確診度	81.6%	89.7%	.001
カテゴリー判定	68.8%	72.1%	.175
方針判定	81.6%	84.2%	.248

### C.3. 特異度

特異度に関しては感度に比し、読影者間や、判定方法によって値のばらつきが認められた。読影者2においては確診度やカテゴリー判定による特異度が高いにもかかわらず、方針判定による特異度は低く、このことは要生検と考える判定基準が必ずしも良悪性診断の基準と同じではないことが示唆される。このように、現況では、非触知石灰化病変の方針判定については、各読影者それぞれの判定基準が根底にあることが伺える。フィルム読影とLCD読影との間には、判定方法にかかわらず有意差は認めなかった(表2)。



図5. 確診度による特異度

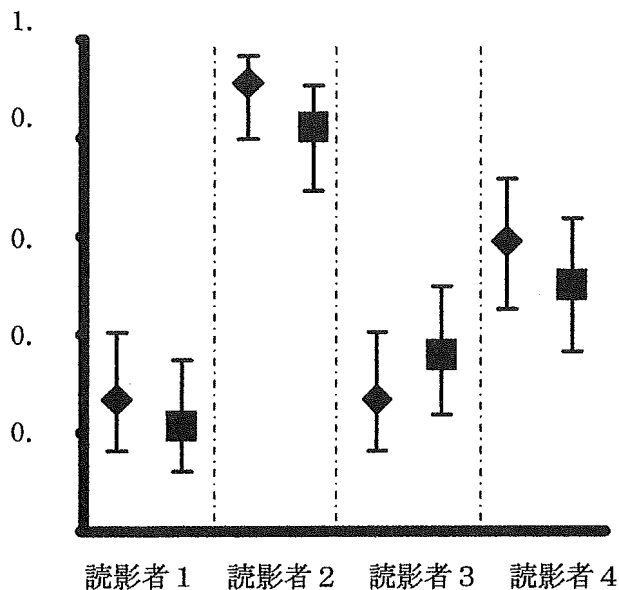


図6. カテゴリー判定による特異度

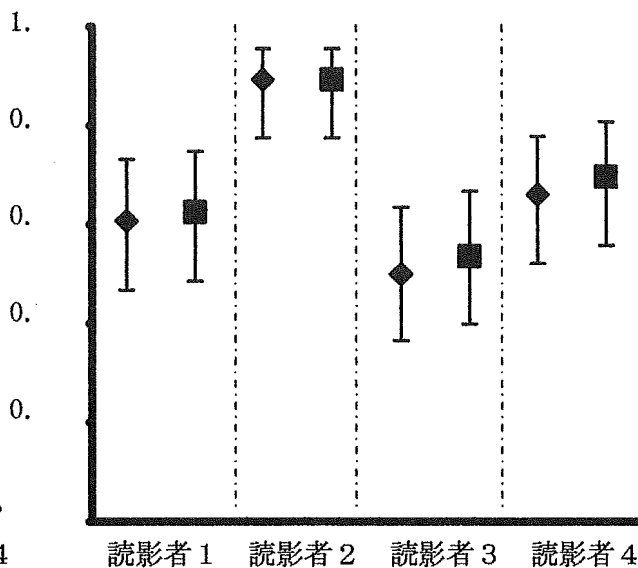


図7. 方針判定による特異度

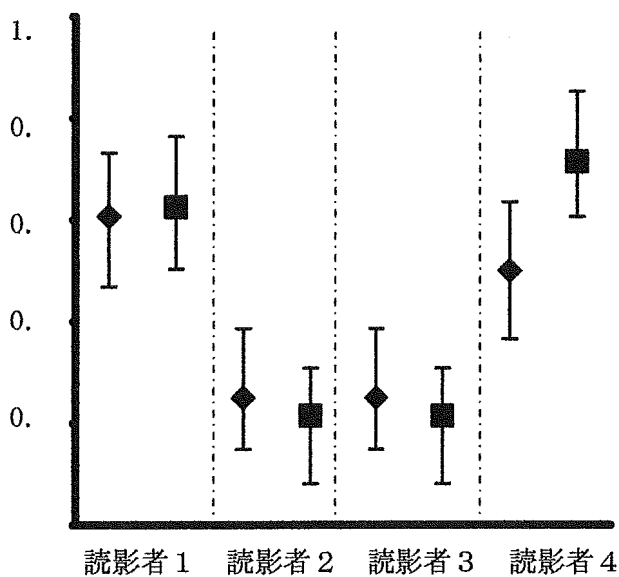


表2. 読影者4名の特異度平均値

判定方法	感度平均値		p値
	フィルム読影	LCD読影	
確診度	50.9%	47.3%	.35
カテゴリー判定	66.5%	68.8%	.62
方針判定	40.2%	44.2%	.328

C.4. 同一読影者内 (intraobserver) ・読影者間 (interobserver) の一致度

同一読影者内における一致度 (表3、表4) については、確診度、カテゴリー判定、方針判定いずれの判

定方法においてもLCD読影の方が相関係数または $\kappa$ 値が低かったが、フィルム読影との間に有意差は認めなかった。読影者間の一致度（表5）においては、カテゴリー判定でLCD読影が、方針判定でフィルム読影の方が高かったが、いずれも有意差は認めなかった。また、カテゴリー判定をカテゴリー1と2、カテゴリー3、カテゴリー4と5の三段階で同じ解析を追加した。当然3段階にした方が、従来の五段階より $\kappa$ 値は高く、一致度は高くなった。同じ三段階判定の方針判定と比較すると、同一読影者内・読影者間の一致度のいずれにおいても、カテゴリー判定三段階の方が高かった。特にLCD読影においてはカテゴリー判定と方針判定の読影者の一致度において有意差を認めた ( $p=0.009$ )。

表3. 確信度の同一読影者内における一致度：相関係数による解析

	相関係数 (平均値)		p値
	フィルム読影	LCD読影	
平均値	0.818	0.757	0.196
95%信頼区間	(0.763, 0.872)	(0.703, 0.812)	

表4. カテゴリー・方針判定の同一読影者内における一致度：Cohen法による $\kappa$ 値解析

	$\kappa$ 値		p値
	フィルム読影	LCD読影	
カテゴリー判定			
五段階	0.540	0.517	0.053
三段階*	0.601	0.580	0.056
方針判定			
三段階	0.540	0.517	0.63

$\kappa$  値による一致度  $\kappa=0.0$ : poor,  $0.0<\kappa\leq 0.20$ : slight,  $0.40<\kappa\leq 0.60$ : fair,  $0.60<\kappa\leq 0.80$ : substantial,  $0.80<\kappa\leq 1.00$ : almost perfect

\*カテゴリー1と2、カテゴリー3、カテゴリー4と5の3段階で解析

表5. カテゴリー・方針判定の読影者間の一致度：Fleiss法による $\kappa$ 値解析

	$\kappa$ 値		p値
	フィルム読影	LCD読影	
カテゴリー判定			
五段階	0.343	0.386	0.486
三段階*	0.446	0.471	0.722
方針判定			
三段階	0.325	0.282	0.617

\*カテゴリー1と2、カテゴリー3、カテゴリー4と5の3段階で解析 (#) 有意差あり ( $p=0.009$ )

#### E. 結論

乳腺非触知石灰化病変の診断 (Diagnostic) マンモグラフィでは、背景に読影者間における特異度や方針判定にばらつきが存在しているものの、3MLCD観察に起因する読影精度の低下はないと考える。今回検討していない存在診断を除けば、石灰化病変に限っては診断 (Diagnostic) マンモグラフィの3MLCDの臨床的導入が可能と思われた。

## 4. カラーモニタにける色の表示に関する検討

### A.研究目的

研究目的は、日本人男性の約5%に存在する色弱者（色盲）の人達にも見易いカラーモニタの表示法を検討し、色覚バリアフリーを実現するためのカラーモニタの表示法の指針をまとめることである。

### B.研究方法

既に、各種団体、個人で検討されてきた色覚バリアフリーを目指したカラー表示について、インターネットを含めた文献的情報を収集し、カラーモニタを用いた色覚バリアフリーを実現する方法の検討を行った。

### C.研究結果

- ・実際の照明条件や使用状況を想定して、どのような色覚の人にもなるべく見分けやすい配色を選ぶこと
- ・色だけでなく、形の違い・位置の違い・線種や塗り分けパターンの違いなどを併用し、利用者が色を見分けられない場合にも確実に情報が伝わるようにすること
- ・利用者が色名を使ってコミュニケーションすることが予想される場合、色名を明記すること
- ・背景色と文字、グラフ等の色が自由に変更できること
- ・文字や画面を大きく出来ること
- ・フォントを自由に変更できること
- ・色だけに意味を持たせないこと
- ・白黒モニタでも分かるようにすること
- ・文字化けしないようにすること
- ・誤操作しても元の状態に戻すことが出来る手段を提供すること
- ・時間と共に変化する内容については、ユーザーが制御できるようにすること
- ・非テキスト情報等の全てのマルチメディア情報に対する代替情報は、その表現と同期させること
- ・統一的な操作環境を提供すること
- ・色盲のユーザーの利用環境が再現できるソフトが利用できること

### D.考察

#### 1) 医療現場で色覚バリアフリーが話題に上らなかった理由

まず第1には、呼称の問題があったと思われる。一つ間違えば、差別用語とも受け取られかねないので、医療現場ではついつい及び腰になっていたものと思われる。「色盲」という表現が用いられていたが「色弱者」という用語が最近では用いられつつある。

第2には、色盲の人達が声を上げなかったからであると思われる。色盲の人達が声を上げなかった一つの理由は、遺伝するからであろう。色盲は伴性劣性遺伝で、男性のみに発症し、女性は保因者となる。自分は色盲であることを納得し、社会生活上も問題なく過ごせていても、子供や孫の事を考えると、おいそれと自分が色盲であるとは名乗れないのであろう。

第3の理由としては、大半は実害無く過ごせているからであろう。医療現場では、多分、今まで色の問題でクレームを出されたことは無いのではないかと。これは、上記の第2の理由とも関連していると思われるが、配色の好き嫌いを別とすれば、現状の病院でもそれなりに対応出来ているのであろう。ただし、色盲の人は、「XXですね。」と言って、色盲でない人なら確かめないようなことまで確認している可能性はある。

色盲は日本人では概ね男性の5%とされているので、例えば20人集まれば、一人は色盲がいることになる。今までに周りの人の中で、ある男性が色盲であると気付いた人はいないだろうと思われる。それぞれの感じ方を、個性であると割り切れれば、誰がどの様に感じても、それはそれで良しとされるのだろう。

第4には実際の施設建設や機器の導入に当たっては、コストがかかると思われているのではないかと推測される。特に、老健施設などの建築経験を持つ経営者は、“XXバリアフリー＝金が掛かる”式に考えるようである。また、色覚バリアフリーについて知らない人にとっては、どの様なものか理解出来ないで、当然余分な経費が不必要であることも理解出来ず、「分かりません。出来ません。」式の対応になってしまう。

今一つの理由として、医学部の受験資格に「色盲でないこと」という条件が長らく付いていたので、ある程度以上の年代の医師の中には、色盲の人が存在せず、医師はある特殊な偏った集団を形成しており、色については別の角度からの見方が出来ない集団であったからであるとも思われる。

#### 2) 色とは

「色とは、物の性質ではなく、我々の眼が受容した光の波長別強度情報をもとに脳が作り出す感覚である。個人差はあるものの、我々は最大で360nm～830nmの範囲の波長の電磁波を光として認識することができる。波長の異なる光は異なる色として知覚される。」もっと分かり易く言えば、ヒトは混合すると白くなるモニタ系の色と、混合すると黒くなる印刷系の色の区別が出来ないのである。これは、赤、緑、青の3種類のセ

ンサーの組み合わせで色を知覚しているからである。どんなに粗末な装置で聞いても、ピアノとバイオリンの音の区別が出来る聴覚との著しい違いである。トランペットのように音を出すこと自体が難しい楽器もあるが、どんな名手が弾こうが、猫が鍵盤を踏みつけたただけであろうが、ピアノはピアノの音しか出せず、バイオリンの音にはならない。周波数分析を行っている音の世界と、3種類のセンサーで感知する色の世界とは、根本的に成り立ちが異なるのである。

### 3) 色盲の人の見え方

まず、認識しておかなければならないのは、色盲のヒトが決して白黒の世界に住んであるわけではないということである。ごく稀に、白黒しか識別出来ないU型色盲（全色盲）もあるが、大半はP型（第1色盲：赤錐体が機能しない）ないしはD型（第2色盲：緑錐体が機能しない）で、それなりの色相差を認識出来る。また、各色盲のシミュレーションソフトもインターネット等で配布されており、使用する色の組み合わせで、見にくい人がいるかどうかを確認することも出来る。

色相の美しさは、ヒトの感じ方により千差万別であるが、大まかには色盲のヒトの見え方も、その範疇で考えれば良いと思われる。少々乱暴ではあるが、白黒でコピーしても必要な情報が伝わっていれば、色盲のヒトにも判読出来ることになり、色覚バリアフリーが実現出来ていると考えられよう。

### 4) 見易い色の組み合わせ、見難い色の組み合わせ

ここで、何よりも注意したいのは、色盲のヒトが見難い組み合わせは、遠くから見たり、小さな文字と背景色であれば、我々にも見難い色の組み合わせであり、逆に色盲のヒトに見易い組み合わせは、我々にも見易い組み合わせであることだ。

文字色と背景の色の組み合わせに配慮するのは、言うまでもなく当然の事であろう。しかし、最近パソコンのモニタが優秀になり、安易に色を使い過ぎる傾向がある。すべての人が色についての経験を積み、色覚バリアフリーに配慮した色の使い方が出来るようになるのであろうが、現在は、真に見易い配色が広く行き渡る過渡期であろう。ホンの少し、色に気を配れば、見易い配色になるであろう。前記のシミュレーションソフトを使うのも一つではあるが、もっと簡便に行うには、白黒表示をしたり、少し離れてモニタなり、印刷物を見て情報を読み取れるかどうかを検討すれば、概ね見当がつくであろう。

### 5) 色盲の人が見難い事例

ランプやLEDが一つしかなく、色で動作状態を区別する電気器具や1灯式の信号機は見難い。インターネットのホームページでも、文字の読みにくいものも少なくない。字が小さく、配色が不自然で、何とも見難いホームページの多いのには閉口する。著者が見難いと言うことは、著者以上に見難いと感じる人が、他にも多数いると言うことであろう。

### 6) 見易くする工夫

例えばグラフでは、パステルカラーを止めて、境界に線を入れ、ハッチングを併用し、凡例は図中に入れるようにすれば、白黒表示でも分かるグラフになる。文字を併用し、色の名前を各項目に記載すれば、色の区別が出来ない人でも、たとえ白黒表示でも、対応出来るようになる。つまり、情報に冗長性を持たせることがポイントである。

## E. 結論

医療情報システム全般にとって、色弱者の人たちにとっても正しく判断できる『色覚バリアフリー』の重要性を考慮する必要がある。色弱者が、医療従事者や患者として、システムに関わる可能性があるからである。そのため、以下のような点に考慮した表示系を構築するべきである。

- 1、色だけに頼った情報伝達をしない。例えば、白黒でコピーしても内容が正しく伝わるように工夫する。
- 2、色の差で情報伝達をする場合は、それが正しく伝わるか、複数の色覚タイプでチェックする。

## 文献

JIS X 8341-3

高齢者・障害者等配慮設計指針—情報通信における機器、ソフトウェアおよびサービス—  
第3部：ウェブコンテンツ