

特集：乳房撮影におけるアナログ画像とデジタル画像の現状と将来 解説

乳房撮影技術の現状と将来 —乳房画像処理技術—

Present and Future of Breast Imaging Technology: Image Processing Techniques in Mammography

藤田 広志*

Hiroshi FUJITA*

要旨 画像情報のデジタル化は時代の流れであり、医用画像の分野においても例外ではない。その利点の一つに「画像処理技術」の適用性がある。この技術は、アナログ（フィルム）に比べて画質がまだ不十分であるとされている医療用デジタル画像を改善（“補完”）するとともに、アナログではできなかった信号（診断対象の病変）の強調処理などにも期待がもたれる。また、撮像機器（ハードウェア）の進化とともに、専用の画像処理手法の開発も進んでいる（エネルギーサブトラクションや断層画像が得られるトモシンセシスなど）。さらに、究極の画像処理として、コンピュータが病変部位の指摘や良悪性の鑑別処理を行い、医師がこれを第二の意見として利用する「コンピュータ支援診断（computer-aided diagnosis, CAD）システム」があり、マンモグラフィを含め一部の画像診断領域で実用化がすでに始まっている。本稿では、マンモグラフィのための画像処理技術と CAD の現状、問題点、および展望をまとめる。

Abstract Currently, the trend of utilizing digital image information is emerging in all fields, and the field of medical imaging is not an exception. One of the benefits of use of digital imaging is the potential of “image processing technology,” which may overcome or “compensate” the disadvantage of digital images used in current medicine whose image quality is not superior to, or in a sense even not yet similar to that of analog (film) images. In addition, this technology is expected to enable enhancement of the signal (disease(s) on an image). Specific image processing techniques are also undergoing developments with the progress in imaging modalities (hardware), such as energy subtraction and tomosynthesis to obtain tomographic images. Moreover, the computer-aided diagnosis (CAD) system is being developed as an ultimate image processing tool that can be used for obtaining a second opinion by a physician. CAD detects the possible locations of the diseases on the image and/or performs the process of classification based on their malignancy. The commercialization of CAD has commenced in several fields of diagnostic imaging, such as mammography. In this paper, image processing techniques for mammography and CAD have been reviewed. The issues that need to be solved and the future prospects of these modern technologies are also discussed.

キーワード：乳房 X 線画像, マンモグラフィ, 画像処理, デジタル画像, コンピュータ支援診断 (CAD)

Key words: breast X-ray image, mammography, image processing, digital image, computer-aided diagnosis (CAD)

1. はじめに

医療分野においても画像のデジタル化が急速に進んでいる。元来、CT 画像、MR 画像、核医学画像はコンピュータでデジタル的に生成されているが、利用頻度が最も多い一般の X 線画像においてはデジタル化が遅れていた。しかしながら、1980 年代当初に日本で最初に開発された CR (computed radiography) や最近のフラットパネル検出器 (flat panel detector) が、医療環境のデジタル化の流れの中で次第に普及するようになり、新しい医療施設では次第にデジタル画像が取り入れられるようになってきている。このような中で唯一普及が遅れているのが乳房 X 線画像（以下、マンモグ

ラフィ）であり、その普及率は約 30%に留まっている¹⁾。

マンモグラフィのデジタル化が遅れている原因には複数の要因があり、技術的には以下のような懸念が指摘される。

- 1) 微小石灰化のような微細な構造の描出に、空間分解能は十分か？
 - 2) わずかなコントラストしか呈しない腫瘍性病変の描出に、濃度分解能は十分か？
 - 3) 表示系の問題として、フィルムへ出力して診断するとき（ハードコピー診断）、高濃度領域の描出は十分か？
 - 4) 同じく表示系の問題として、モニターに表示して診断するとき（ソフトコピー診断）、輝度や解像度は十分か？
- などである。このように、従来のフィルム系に比べてディジ

タル診断系の描出能力はまだ十分ではないという疑問があり、各種の研究が進められている。また、これらの問題点の解決に対しては、ハードの改良や新規開発もあげられるが、画像処理技術で補完されることも強く望まれる。

本稿では、デジタルマンモグラフィにおける画像処理技術の現状と問題点について概説し、また、マンモグラフィ分野のコンピュータ支援診断 (computer-aided diagnosis, CAD) の最新の現状を解説する。最後に、これらの画像処理技術を利用した今後のマンモグラフィについてまとめと展望を述べる。

2. マンモグラフィ画像処理

2.1 概論

ここで医用画像処理の利用について、まず注意すべき点を最初に述べたい。それは、画像処理は万能ではないということである。あとで画像処理を使ってうまく対処すれば良いだろう、と言う安易な撮影は決して許されない。なぜなら、医療用の X 線画像の撮影では、X 線被曝を伴うからである。

マンモグラフィの画像処理を説明するに当たり、ここでは次のように 3 つに分類することを試みる。これらは前処理 (pre-processing)、後処理 (post-processing)、および知識処理 (knowledge processing) である。前処理は画像形成の一部として、必要不可欠なものである。一方、後処理は、ユーザーによる任意のいわゆる画像処理に相当する。また、表示系への適応化にも用いられる。前処理と後処理については、次項で順に説明する。また、知識処理は画像処理と認識技術によるより高度な画像処理手法である。現在、コンピュータ支援診断 (CAD) システムがこれに相当するものであり、次章で説明する。

2.2 前処理

乳房を撮像するデジタル装置固有の特性 (欠点に相当するもの) の改善処理 (特に、製造メーカーによる) が、ここでは前処理と呼ぶものである。撮像センサーからの信号が A/D 変換された直後のデジタル画像には、次のような前処理 (補正と呼ぶべきもの) が必要である²⁾。これらは、画素単位のバラツキ (感度) の補正としてのオフセット補正やゲイン補正、あるいは X 線照射分布の不均一性の補正などのためである。さらに入力信号の対数 (Log) 変換を行う場合が多い。

GE 横河メディカルの場合には、装置、並びにメーカー側が行うし、自動キャリブレーションも行う。一方、日立メディコでは、これらを補償するソフトをユーザーが定期的な QC 項目として実行するものである。メーカーによって、その対処法が異なるようである。

次に、自動感度補正処理 (濃度適正化処理) がある。この処理は、検出器に入力された画像情報を漏らさずに、良品の画像を形成するための処理である。デジタル系の検出器は一般に広いダイナミックレンジ (露光領域) を有するため、その全体を均等に量子化すると濃度分解能が低くなるので、診断に必要な露光領域のみを取り出して量子化することが必

要である。これは、線形な特性曲線 (対数型もある) の傾きとその位置で決定される。CR では、ダイナミックレンジの指標値を L 値で、相対感度の指標値を S 値で表している。これらはマニュアル設定も可能である。

なお、画像構築に固有な処理で、前処理と言うより画像形成過程の一部に組み込まれた画像処理がある。それらは、CR におけるイメージングプレート (IP) の両面から潜像を読み取り画像を構築する処理、トモシンセシスにおける断面画像構築の処理、あるいはエネルギー差分処理などであり、撮像装置や手法に依存した画像形成が画像処理で行われるものである。

2.3 マンモグラフィの画像処理法

マンモグラフィにおいて現在使われている基本的でかつ代表的な画像処理法として、

- ①階調処理
 - ②ダイナミックレンジ圧縮処理
 - ③空間周波数処理
- がある。

「階調処理」は、入出力関係の調整、コントラストの適正化を行う処理である。増感紙—フィルムでは入出力特性 (特性曲線) はいわゆる S 字カーブ状であったが、デジタルでは直線や非線型などの形状もある。実際には、撮影部位に応じて使い分けがなされ、乳房撮影用の高コントラストタイプの増感紙—フィルムに近い形状が一般的に使われる (富士フィルム CR では T 階調)。Multiple WW/WL adjustments との名称で、組織平均化 (tissue equalization) アルゴリズムによって階調曲線を変化させ (ウィンドウ幅とレベル値をマルチプルに自動調整)、乳房の全体を明瞭に描出する処理 (soft tissue 強調) のようなものも提案されている (GE 横河メディカル)。

「ダイナミックレンジ圧縮処理」は、一画像表示で広い診断可視域を有する画像特性をもたせるための処理であり、“白とび”あるいは“黒つぶれ”で画像が見えにくい濃度域を見やすくする処理である。マンモグラフィでは、高濃度域を描出するように設定されている。よって、ダイナミックレンジ圧縮処理により、乳房内部の表現は変えずに、皮膚面や乳頭を明確に表現できる。企業によっては、周辺部コントラスト強調 (peripheral contrast enhancement, PCE) 処理と呼んで、skin line equalization を行う処理をするものもある (日立メディコ)。

「空間周波数処理」は、鮮鋭度の改善を行う処理である。ボケマスク処理 (unsharp mask technique) とも呼ばれる。特定の周波数強調帯域とその強調度の設定により、処理の効果が変わる。周波数強調度を過度に上げ過ぎるとノイズ成分も強調するので注意が必要である。この処理法の進化的に、「多重解像度処理」が提案されている。これは平滑度の異なる複数のボケ像を利用するので、ボケマスク処理に比べてより高度な処理 (より自然な表現) が可能である (Fig. 1)。企業により呼称が異なり、マルチ周波数処理 (富士フィルムメディカル) や Hybrid 処理 (コニカミノルタエムジー) がこれに相当する。

ダイナミックレンジ圧縮処理や空間周波数処理 (あるいは

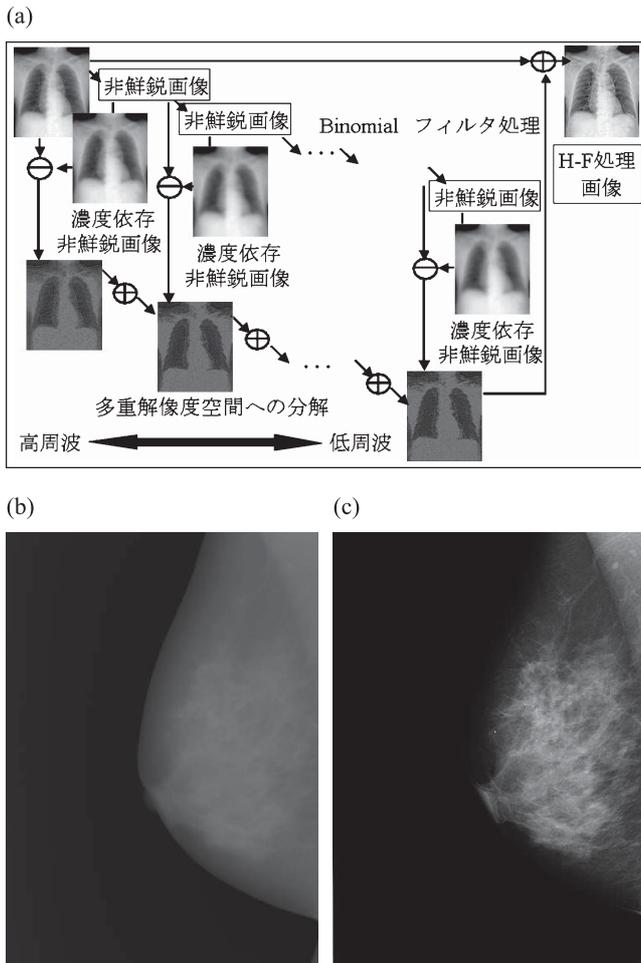


Fig. 1 多重解像度処理(ここでは Hybrid 処理と呼ばれるもの)の例 (a) アルゴリズム, (b) マンモグラフィ画像 (処理なし), (c) マンモグラフィ画像 (処理あり) (コニカミノルタエムジー (株) 梶大介氏提供).

多重解像度処理)の複合型の画像処理手法も提案されている(例えば, コニカミノルタエムジーの Hybrid 処理, GE 横河メディカルの Premium View (PV), コダックの Enhanced Visualization Processing (EVP)). また, 石灰化らしき場所を抽出し, その場所のみ強調を加えるような強調手法も提案されている(富士フイルムメディカルの PEM 処理). 意外と単純ながら有用な処理法に, 左右乳房自動位置合わせ処理や(コニカミノルタエムジーなど), 胸壁部分の白抜けを防止する自動黒化処理(富士フイルムメディカル)などがある.

さらに, 表示系がフィルムであるか(ソフトコピー)モニターであるか(ハードコピー)に応じて, それらに適応化するように画像を出力する処理手法も提案されている. 例えば, フィルム濃度の最大値 4.0 を十分に活かすべく処理として, 特性曲線の形状を考慮するものである(コニカミノルタエムジー).

注意すべき点は, 寺田らが述べているように, 「個々のパラメータの処理特性を十分に熟知した上で設定すべきで, 無作為に変更することは, 不適な画像の原因ともなる. 現在は機種に合った推奨処理パラメータが作成されているので, 画像が不良の場合は, 一旦推奨パラメータに戻すことが必要であ

る」³⁾.

マンモグラフィに使われている画像処理手法については, すでに多くの解説書や解説記事が出されているので, それらの文献を参照されたい^{4) 5)}. ただし, 企業によっては, 処理の効果は示すものの, 技術的な手法は説明されないケースがよくある. なお, 紙面の制約もあり, 画像処理例までは示せなかったが, これらは書籍などの文献をはじめ, 医療企業系のホームページなども参考にされたい (<http://fms.fujifilm.co.jp/fms/digital/fcr/index09.html> など).

3. コンピュータ支援診断 (CAD)

3.1 コンピュータ支援診断 (CAD) の定義

コンピュータ支援診断 (computer-aided diagnosis, CAD) とは, コンピュータの解析結果を「第 2 の意見 (second opinion)」(ただし, いわゆる医師によるセカンドオピニオンとは異なる)として利用して診断を行う「医師による画像診断」である⁶⁻⁹⁾ (Fig. 2). これは古くからある自動診断 (computer-automated diagnosis, これも CAD と略せる) とはまったく異なる概念であり, その使用にあたっては十分な注意が必要である¹⁰⁾.

CAD に期待されるものは, 医師の画像診断の正確度の向上, 医師間(施設間)の診断結果のバラツキの減少, 診断時間の短縮による生産性の向上などである.

CAD を実現するための装置 (コンピュータシステム), すなわち CAD システムは, 医師に病変の可能性のある位置をマーカー (例えば, ▲や*のような印で) で画像上に指示したり (computer-aided detection), あるいは良悪性の鑑別結果などの定量的な解析データ (確率のような数値データ) を提示したり (computer-aided differentiation) する.

3.2 マンモグラフィ CAD の実用化

診断用画像における世界最初の実用機は, 米国のベンチャー企業である R2 Technology (以下, R2 と略す) 社の開発によるマンモグラフィ CAD システムが (フィルムをデジタル化する方式), 米国 FDA (食品医薬品局) の審査を 1998 年に検診用の CAD システムとしてパスし, 「ImageChecker System」という名の商品として米国内で販売が開始されたものである^{11) 12)}. よって, この年を「CAD 元年」と呼ぶこと

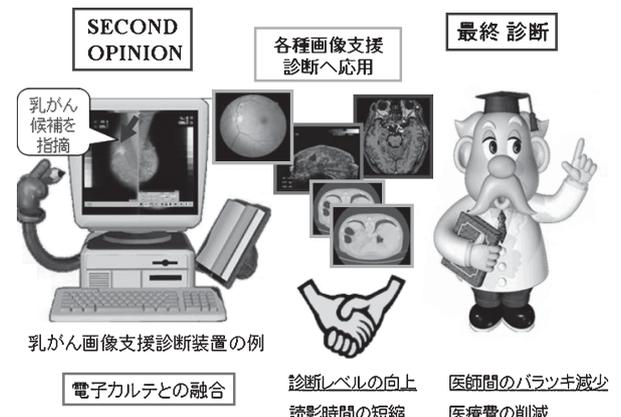


Fig. 2 コンピュータ支援診断 (CAD) の概念図

がある。さらに、2001年4月からは、米国における乳がんの集団検診で、CADの利用に対して特定の保険会社からの医療報酬の請求が承認されるようにまでなり(当初1件15ドル)、マンモグラフィCADの急速な普及につながった。2002年の4月には、同社のCADは、デジタルマンモグラフィのためのCADとしてもFDAの認可を取得している。このR2社のシステムだけでも、すでに1800台規模の販売実績があるという。最近の米国では、乳がん検診のマンモグラフィの約25%は、CADを利用して読影されていると聞く。

R2社に遅れてFDAの審査にパスしたのは、Intelligent Systems Software(後にiCAD社に社名変更)とCADx Medical Systems社のマンモグラフィCADシステムで、これらは2002年初頭に実用化に成功している(2003年末にはiCAD社がCADx社を買収)¹³⁾。

大手企業としては、コダックのCADが、2004年11月末にFDAの承認を得ている。また、富士写真フイルムは、CR専用のマンモグラフィCADシステムの販売を最近ヨーロッパで開始している。同社の高精細・高感度化を実現させた両面読み取り機構で50ミクロンサンプリングのCRとCADとのマッチングには、今後の期待がもたれる。さらに、コニカミノルタのマンモグラフィCADの商用化も近いようであるが、入力画像の画質の改善をまず重要視しているために、位相コントラスト技術をマンモグラフィシステムに取り入れたPCM(phase contrast mammography)装置¹⁴⁾にCADが連動すると予想される。このPCMイメージングでは、実効的に25ミクロンという世界最小の画素サイズを実現しており、従来の増感紙—フィルム系に匹敵しているため、その高画質への期待が大きい。

なお、わが国では、2003年の12月に、GE横河メディカルのデジタルマンモグラフィ専用のCAD(R2社製)の薬事申請が認可されており、現時点では国内で利用可能な唯一の商用マンモグラフィCADである¹⁵⁾。

3.3 マンモグラフィCADの普及に向けて

3.3.1 技術的課題

マンモグラフィCADにおける微小石灰化クラスタと呼ばれる病変の検出では、検出率(真陽性率)は100%に近いものが得られており、これに対しては医師からの信頼も厚く(しかし、100%ではないので、決して自動診断には成り得ない点に注意)、間違っってコンピュータが指摘する偽陽性の数も医師からは読影にはほとんど問題はないと言われる程度である(画像1枚あたり0.2個程度のように)。

一方、もう一つの病変である腫瘤陰影の検出率にはまだ問題があり、偽陽性数も必ずしも医師の要求を満足する程には少なくはない(真陽性率80%で、画像1枚当たりの偽陽性数は0.8個程度)。

さらに、マンモグラフィで発見すべき病変には、これら2つの病変の他に、正常の乳腺構築が歪んでいる「構築の乱れ」というものがある。あるマンモグラム読影自習における医師の乳がんの検出結果について、微小石灰化クラスタと腫瘤陰影の医師の感度は、それぞれ94%と82%と比較的高い値で

あったが、構築の乱れの感度は60%と低かったことを示している報告がある¹⁶⁾。このように、微小石灰化クラスタや腫瘤陰影よりも構築の乱れの読影は難しいため、これら両者の病変に加え、構築の乱れを支援検出するCADシステムの必要性がより高い。商用機などでは構築の乱れも検出されるが、これは腫瘤陰影の候補として検出されたものである。Bakerらは、2つの商用機による実験で、構築の乱れの真陽性率は50%に満たないことを示し、構築の乱れに特化した検出法の必要性を述べている¹⁷⁾。現在、構築の乱れを自動検出するCADアルゴリズムの開発がいくつかの研究グループで進められているが¹⁸⁾、まだ実用機に組み込む段階には至っていない。

これらのすべてのCADシステムでは、乳がんに関係する病変候補を単に検出(存在位置を指摘)するものであり、CADの「D」は検出(Detection)の「D」として、コンピュータ支援検出(computer-aided detection)の意味で使用されている。今後、検出した候補の良悪性の鑑別処理などもCADシステムに組み込まれるようになれば、「D」は診断(Diagnosis)の「D」に置き換わると言える。また、良悪性鑑別の性能向上などを目的として、類似症例を医師に提示するライブラリー形式の検索型CADシステムの研究・開発もされている¹⁹⁾。

CADのさらなる機能や要望としては、総合的なCADシステムへの発展(現在は、画像情報のみを利用するものがほとんどであるが、他の医学的な情報の活用や統合)、自己学習機能、より高速処理化、より安価なシステムの実現などがある。

3.3.2 性能評価

実験室レベルのCADの性能評価には、ROC(receiver operating characteristic)解析が良く使われる²⁰⁾。これは、FDAの認可申請書類にも含まれる要求という。商品化ともなると、さらに臨床試験として、R2社がFDAの認可申請に用いた実験資料は、実に膨大なものであったようである²¹⁾。

また、マンモグラフィCADシステムの臨床的有用性の評価はすでにたくさん報告されているが、特に良く引用される論文がある。それは、R2社のCADシステムを利用して1万を超える大量な症例で臨床試験を行ったもので、乳がんの検出率が約20%向上したと報告している²²⁾。あるいはCADは、検診における見落としの症例の77%を正しく指摘していたと報告した論文もある²³⁾。一方、マンモグラフィCADシステムの有効性はまだ見出せないとする報告もある²⁴⁾。わが国では、このような大規模実験の報告はまだなく、CADの臨床的有用性を示す評価実験が行われることが急務である。

CADの開発と評価実験には、データベースの構築は必要不可欠である。公開される共通の画像データベースも重要であり(複数存在する)、大規模であることが望まれる。良い画像データベースを取得したところが、汎用性のある良質のCADシステムを開発でき得るといっても過言ではない。米国では、NCI(National Cancer Institute)による胸部CT画像のために国家規模のLung Imaging Database Consortiumがあるが²⁵⁾、このような取り組みも欠かせない。

3.3.3 わが国の現状

ここで、わが国における商用マンモグラフィ CAD システムの現状について述べる。R2 社のフィルムベースの CAD システムは、国内における某企業が、2000 年 2 月に当時の厚生省の薬事承認を得て販売を始めたが、残念ながらすでに撤退した。

この事例は、残念ながら米国における CAD の成功例とは 180 度異なっている。これにはいくつかの原因が考えられる。例えば、当時のこの企業の CAD への理解や知識の不足、マンモグラフィに対する当時の日本の状況の悪さ（検診にマンモグラフィの導入が始まったばかりで、撮影手技、撮影装置、画質などに多くの問題点があった）などが考えられる。しかし現在では、マンモグラフィ検診精度管理中央委員会²⁶⁾ (1997 年設立) の活発な活動により、これらの諸問題はかなり改善されるようになってきている。また、システムの販売価格も、検診施設で採用するには相当高価であったことや、マンモグラフィではまだフィルムが主体であり（デジタル系の利用率は、当時で約 20% であり、CR が中心）、フィルムデジタイザを伴う不便さの問題は大きい（余分な人件費が必要）。そこで、デジタルマンモグラフィ撮像装置の普及が望まれる。CAD は、直接デジタル画像を対象とすることで、初めて有効性が増すと言っても過言ではない。

前述したように、2003 年の 12 月には、GE 横河メディカルのデジタルマンモグラフィ専用の CAD (R2 社製) の薬事申請が通っており、現時点では国内で利用可能な唯一の商用マンモグラフィ CAD である。本装置を利用して CAD の有効性を示した後藤の論文が最近、出されている²⁷⁾。

3.3.4 CAD 導入によるコストパフォーマンス

米国のように、CAD の使用に対する「保険」による支援がないと、その利用はなかなか進まない。CAD 普及には、わが国でもこの保険での補助が、最重要項目の一つである。また、米国では、放射線科医 1 名による単独の読影であるため、CAD の導入効果はより大きいと考えられ、さらに、医療訴訟に対する問題も大きいので、CAD の利用価値が高く評価されると想像される。

次に、わが国の検診における医師 2 名によるいわゆる二重読影と、医師がマンモグラフィ CAD を用いた読影結果との比較を評価することも重要である。Karssemeijer らの研究では、腫瘍陰影の読影について、1 名の医師のみによる読影、二重読影、および 1 名の医師が CAD システムを用いた読影の比較を行っている²⁸⁾。その結果、CAD システムを用いた読影は二重読影には劣るものの、医師 1 名のみによる読影性能を十分に改善すると結論づけている。

類似の研究報告は、二重読影を検診で採用している欧州の国を中心にこれからも出てくると予想されるが、CAD の利用が保険点数に反映されないわが国の現状では、また、自治体レベルで検診に予算が投入されにくい社会情勢を考えると、医師の 1 名を CAD に置き換えることがもしできるならば、マンモグラフィ CAD の普及に繋がるのは間違いないと言える。どのように CAD を効果的に利用すればこのことが達成され

るかの検討も含めて、今後の研究結果を待ちたい。

医師は CAD の特徴を良く理解して使うことも、非常に重要な要素であり、このような観点からの CAD 研究も必要である。実際、医師の CAD への反応は、実に千差万別である！²⁹⁾

4. デジタルマンモグラフィ時代の画像処理

マンモグラフィに関係するある企業関係者の意見として、「市場においては、デジタル画像に対しアナログ画像の延長上の画像を求める方が多いように感じられます。読影医の先生方の診断用「脳内データベース」を適用するのに必要なことなのかなと思っております。一方で、デジタルマンモグラムにはアナログでは得られなかった、デジタルならではの情報もあると思っており、これが新しい診断情報として活用されるようになるというなと考えています。デジタル画像の特徴が受け入れられる環境に早くなればと願っている次第です」がある。意識変革、技術革新により、早期にデジタルマンモグラフィの導入が進むことが望まれ、画像処理の果たす役割は大きいと考える。

Pisano らは³⁰⁾³¹⁾、最適なデジタルマンモグラフィ診断のためには、複数の処理画像を提示する必要性を提案している。具体的には、検診用画像、石灰化を評価するための画像、および腫瘍を評価するための画像で、処理画像も含めて 3 つの異なる画像提示が必要になる。このような処置は、ソフトコピー診断によって初めて達成できるものである。よって、モニターの解像度と台数、さらにその性能にも依存するものとなる。実際には、ローミングやズーム処理なども使われると考えられるので、このような画像処理とその医師への提示を、使い勝手良く、短時間にできるかが重要になる。

また、CAD の役割も同時に重要で、「コンピュータによって検出された病変部の位置に対して、部分的に最適な画像処理を行うようなやり方により、放射線科医が多くの操作をすることなく、貴重な読影時間を短縮し、そして理想的な画像表示フォーマットが症例のすべての画像について使用されることを保証して、理想的に画像を見ることが出来る。」³¹⁾

ノースカロライナ大学医学部の Pisano 教授は、CAD マンモグラフィの表示に関する将来の動向として、ある書籍の中で次の様に述べている³¹⁾。「インテリジェントワークステーション」³²⁾ が有望であろう。このような読影システムはまだ商品として利用可能ではないが、何年後には利用できそうである。特に、関心領域の迅速な画像処理と注釈機能ができる非常に速い CAD が実現するであろう。例えば、もし CAD システムが石灰化クラスターの存在を示せば、石灰化陰影を検出するためにその関心領域に自動的に適用された最良の画像処理アルゴリズムによって、病変の可能性のある部分を画像上に円で囲んだ領域と一緒に見ることが出来る。もし、その後、読影者がその領域を拡大観察しようとするれば、システムは石灰化検出用の最適アルゴリズムから石灰化描出（鑑別）用の最適アルゴリズムに自動的に切り替えることができるであろう。このように、ハードコピーであるフィルムだけでは

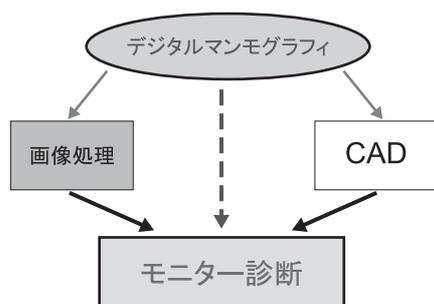


Fig. 3 画像処理, CAD, およびモニター診断の有効利用が重要

出来ない多機能化がモニター診断では可能になり, CAD を使うとソフトコピーによる読影結果がフィルムよりも勝る可能性がある。よって, ソフトコピー (モニター) 診断は, デジタルマンモグラフィが導入・利用される新時代において, 「画像処理+ CAD」機能を最大限に活用させる有効な手段となってくる (Fig. 3)³³⁾。

5. まとめ

- ①マンモグラフィ診断領域では, まだアナログからデジタルへの移行期であり, 今後のデジタルの利用が進むに従い, より役立つ (デジタルの特性を活かした) 次世代型の画像処理法の開発が望まれる。
- ②デジタルマンモグラフィが普及し, CAD の臨床的有効性の評価が進むにつれ, CAD が本格的に普及し, 診断能の向上が期待される。
- ③デジタルマンモグラフィは, モニターを利用して画像処理と CAD をいかに有効に利用するか, その有効性が依存している。

謝 辞

本内容は, 日本放射線技術学会・日本写真学会共同開催シンポジウム「乳房撮影におけるアナログ画像とデジタル画像の現状と将来」(2005.7.2 開催)で講演した内容に基づいており, 開催者関係各位, 並びに貴重な資料や情報を提供いただきました岐阜大学大学院医学系研究科・後藤裕夫先生, 国立病院九州医療センター・井手口忠光氏, 安城更正病院・澤田道人氏, 滋賀医科大学医学附属病院・松尾 悟氏, さらにコニカミノルタエムジー・加野亜紀子氏はじめ, 富士フィルムメディカル, GE 横河メディカル, 日立メディコ, コダックなどの関係者に対しまして, ここに深く感謝申し上げます。

参 考 文 献

- 1) 堀田勝平, デジタル画像管理 (撮影技術と品質管理の誌上講座: 第 10 回), *INNERVISION*, **20**(12), 84-90 (2005).
- 2) 高橋直人, FPD における画像処理, *映像情報 Medical*, **38**(2), 162-167 (2006).
- 3) 寺田 央, 四戸 徹, 撮影技術の標準化と向上に向けて: デジ

タルマンモグラフィの現状も含めて, *INNERVISION*, **20**(1), 9-12 (2005).

- 4) 山下一也, 速水昭宗 (編集), 診療放射線技術 (上巻), 改訂第 11 版, 南江堂, 東京, 2004.
- 5) 岡部哲夫, 藤田広志 (編著), 医用画像工学, 第 2 版, 医歯薬出版, 東京, 2004.
- 6) 藤田広志, 医用画像のためのコンピュータ支援診断システムの開発の現状と将来, *日本写真学会雑誌*, **66**(5), 484-490 (2003).
- 7) 藤田広志 (ゲストエディタ), CAD 特集, *医用画像情報学会雑誌*, **21**(1), 6-142 (2004).
- 8) 藤田広志, デジタルマンモグラフィの CAD システム, *DIGITAL MEDICINE*, **5**(6), 48-51 (2005).
- 9) 藤田広志, CAD の実用化と普及に向けて, *新医療*, **33**(1), 95-102 (2006).
- 10) 土井邦雄, コンピュータによる医用画像の定量的分析: 自動診断とコンピュータ支援診断の共通点と相違点, *医用画像情報学会雑誌*, **21**(1), 8-10 (2004).
- 11) <http://www.r2tech.com/>
- 12) 長谷川玲, 世界で初めて商品化されたマンモグラフィ用 CAD — ImageChecker —, *日本放射線技術学会雑誌*, **56**(3), 355-358 (2000).
- 13) <http://www.icadmed.com/>
- 14) 本田 凡, デジタル位相コントラスト乳房撮影技術の基礎的考え方, *医用画像情報学会雑誌*, **21**(3), 230-238 (2004).
- 15) 守部芳生, セノグラフ 2000D における CAD の応用, *INNERVISION*, **19**(12), 28-29 (2004).
- 16) 畑中裕司, 松原友子, 原 武史他, 医師のマンモグラム読影自習における乳がん検出と CAD システムの検出結果との比較, *日本放射線技術学会雑誌*, **58**(3), 375-382 (2002).
- 17) J. A. Baker, E. L. Rosen, J. Y. Lo *et al.*, Computer-aided detection (CAD) in screening mammography: Sensitivity of commercial CAD systems for detecting architectural distortion, *AJR*, **181**, 1083-1088 (2003).
- 18) 市川徹子, 松原友子, 原 武史他, マンモグラムにおける乳腺の集中を伴う構築の乱れ領域の自動検出法, *電子情報通信学会論文誌 D-II*, **J87-D-II**(1), 348-352 (2004).
- 19) 土井邦雄, コンピュータ支援診断 (CAD), 基礎概念, 現状, および将来の可能性. *日独医報*, **48**(1), 8-20 (2003).
- 20) 白石順二, CAD 研究に役立つ ROC 解析, *医用画像情報学会雑誌*, **21**(1), 30-38 (2004).
- 21) 長谷川玲, 世界で初めて商品化されたマンモグラフィ用 CAD — Image Checker® —, *日本放射線技術学会雑誌*, **56**(3), 355-358 (2000).
- 22) T. W. Freer, M. J. Ulissey, Screening mammography with computer-aided detection: Prospective study of 12,860 patients in a community breast center, *Radiology*, **220**(3), 781-786 (2001).
- 23) R. L. Birdwell, D. M. Ikeda, K. F. O'Shaughnessy *et al.*, Mammographic characteristics of 115 missed cancers later detected with screening mammography and the potential utility of computer-aided detection, *Radiology*, **219**(1), 192-202 (2001).
- 24) D. Gur, J. H. Sumkin, H. E. Rockette *et al.*, Changes in breast cancer detection and mammography recall rates after the introduction of a computer-aided detection system, *J. Natl. Cancer Inst.*, **96**(3), 185-190 (2004).
- 25) <http://imaging.cancer.gov/programsandresources/InformationSystems>
- 26) 特定非営利活動法人マンモグラフィ検診精度管理中央委員会ホームページ, <http://www.mammography.jp/>
- 27) 後藤裕夫, 各種画像診断における最新の進歩—Mammography—

- CAD の臨床応用を中心に, 医用画像情報学会雑誌, **22**(3), 198–202 (2005).
- 28) N. Karssemeijer, J. D. Otten, A. L. Verbeek *et al.*, Computer-aided detection versus independent double reading of masses on mammograms, *Radiology*, **227**(1), 192–200 (2003).
- 29) A. H. Klym, J. L. King, L. Hardesty, The effect of routine use of a computer-aided detection system on the practice of breast imagers: A subjective assessment, *Acad. Radiol*, **11**(6), 711–713 (2004).
- 30) E. D. Pisano, E. B. Cole, S. Major *et al.*, Radiologists' performances for digital mammographic display. *Radiology*, **216**(3), 820–830 (2000).
- 31) E. D. Pisano, Image display: Softcopy and printed film basics of digital mammography display. In *Digital Mammography* (E. D. Pisano, M. J. Yaffe, and C. M. Kuzmiak (eds.)), Lippincott Williams & Wilkins, Philadelphia, USA, 2004, 同訳本 (デジタルマンモグラフィ, 笠井, 本田, 寺田監訳, オーム社, 東京, 2004).
- 32) K. Doi, M. L. Giger, R. M. Nishikawa *et al.*, Computer-aided diagnosis of breast cancer on mammograms, *Breast Cancer*, **4**, 228–233 (1997).
- 33) 藤田広志, デジタルマンモグラフィの CAD—CAD はモニター診断の救世主たりうるか?—, *映像情報 Medical*, **37**(12), 1220–1224 (2005).