

## 乳がん画像診断領域におけるコンピュータ支援診断 (CAD)

藤田広志<sup>†</sup>, 原 武史<sup>†</sup>, 松原友子<sup>††</sup>, 福岡大輔<sup>†††</sup>

<sup>†</sup>岐阜大学大学院医学系研究科知能イメージ情報分野・〒501-1194 岐阜市柳戸 1-1

<sup>††</sup>名古屋文理大学情報文化学部情報メディア学科・〒492-8520 稲沢市稲沢町前田 365

<sup>†††</sup>岐阜大学教育学部技術教育講座・〒501-1193 岐阜市柳戸 1-1

(2006年3月27日受理)

### Computer-aided Diagnosis (CAD) in the Field of Breast-cancer Image Diagnosis

Hiroshi FUJITA<sup>†</sup>, Takeshi HARA<sup>†</sup>, Tomoko MATSUBARA<sup>††</sup>, and Daisuke FUKUOKA<sup>†††</sup>

<sup>†</sup> Department of Intelligent Image Information, Graduate School of Medicine, Gifu University  
Yanagido 1-1, Gifu City, Gifu 501-1194, Japan

<sup>††</sup> Department of Information and Media Studies, School of Information Culture  
Nagoya Bunri University

Maeda 365, Inazawa-cho, Inazawa City, Aichi 492-8520, Japan

<sup>†††</sup> Technology Education, Faculty of Education, Gifu University  
Yanagido 1-1, Gifu City, Gifu 501-1193, Japan

(Received March 27, 2006)

**Abstract:** This paper reviews the developments of computer-aided diagnosis (CAD) for breast cancer. The current status of commercialization of the CAD is described. Then, the techniques for the detection of architectural distortion are mentioned. Clinical evaluations of mammography CAD as well as the analysis of mammary gland structure and the assessment of risk factor are also presented. Finally, both the development and current status of breast ultrasonography CAD are explained.

**Key words:** computer-aided diagnosis (CAD), computer-aided detection (CAD), breast-cancer image diagnosis, mammography, ultrasonography

#### 1. はじめに

乳腺疾患の画像診断には、マンモグラフィのほかに、超音波、MRI、X線CTなどのイメージングによる検査が用いられ、それぞれ目的に応じた利用法として有用性が認識されている。なかでもマンモグラフィは、一般の診断で乳房に主訴を有する患者に対する第一選択であると同時に、乳がん検診の手段としても（2000年3月に厚生省よりマンモグラフィ導入検診が勧告されている）、中心的な役割を担っている。このように、マンモグラフィの利用が急速に高まるなか、実際にはこの画像を診断（読影）できる専門医の不足が問題となり、その解決のために、現在、全国規模で読影講習会が行われている [1]。特に、集団検診で、一度に大量の画像を読影する場合、病変の見落としが起る可能性があり、そのために、コンピュータを利用した画像読影（画像支援診断）への期待が高まっている。また、一方で、デンスプレストが多いわが国の女性の乳房の画像診断には超音波画像も多く利用されている（特に、若年層が対象）。

本稿では、マンモグラフィCAD (computer-aided diagnosis) の開発とその商用化の現状、ディスプレイ病変の検出性能、マンモグラフィCADの臨床評価、乳腺構造解析とリスク評価、さらに、乳腺超音波画像CADの開発の現状を概説する。なお、本稿は文献2に掲載された解説原稿の内容の一部を更新して掲載するものである点をご了解いただきたい。

#### 2. マンモグラフィCADの現状

マンモグラフィCAD開発の歴史は古く、すでに多くの解説記事が各誌に掲載されている [2-5]。開発初期（1960、1970年代）の研究では、画像の支援診断というよりも、自動診断が目的であったと言える。わが国では、1980年代後半における木戸らによる研究があり、すでにデジタル撮像系 (IL-TV) を用いてCADシステムを構成していた [6]。これは、世界に先駆けたわが国における先進的なマンモグラフィCAD開発の研究と位置づけられる。

世界で最初にFDA (米国食品医薬品局) の審査に合格し、商品化に成功したCADシステムは、ベンチャー企業のR2テクノロジー社 (以下、R2社) 製で、「ImageChecker」と呼ばれる検診用のフィルムベースのマンモグラフィCADシステムである (1998年6月) [7, 8]。よって、1998年を記念すべきCAD元年と呼ぶことができる [3]。

同システムは、2001年4月から、乳がん検診 (少し遅れて一般診断にも拡大) における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なり (当初1件15ドル)、CADの普及に拍車がかかった。さらに、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 (最初はGE社の製品に対して) FDAの認可を取得している [7]。現在では、R2社は複数のデジタルマンモグラフィ装置製造の企業と提携している。なお、R2社のCADシステムの販売台数は、最近では2000台規模に達している。

その後、2002年に2つの企業のマンモグラフィCADシ

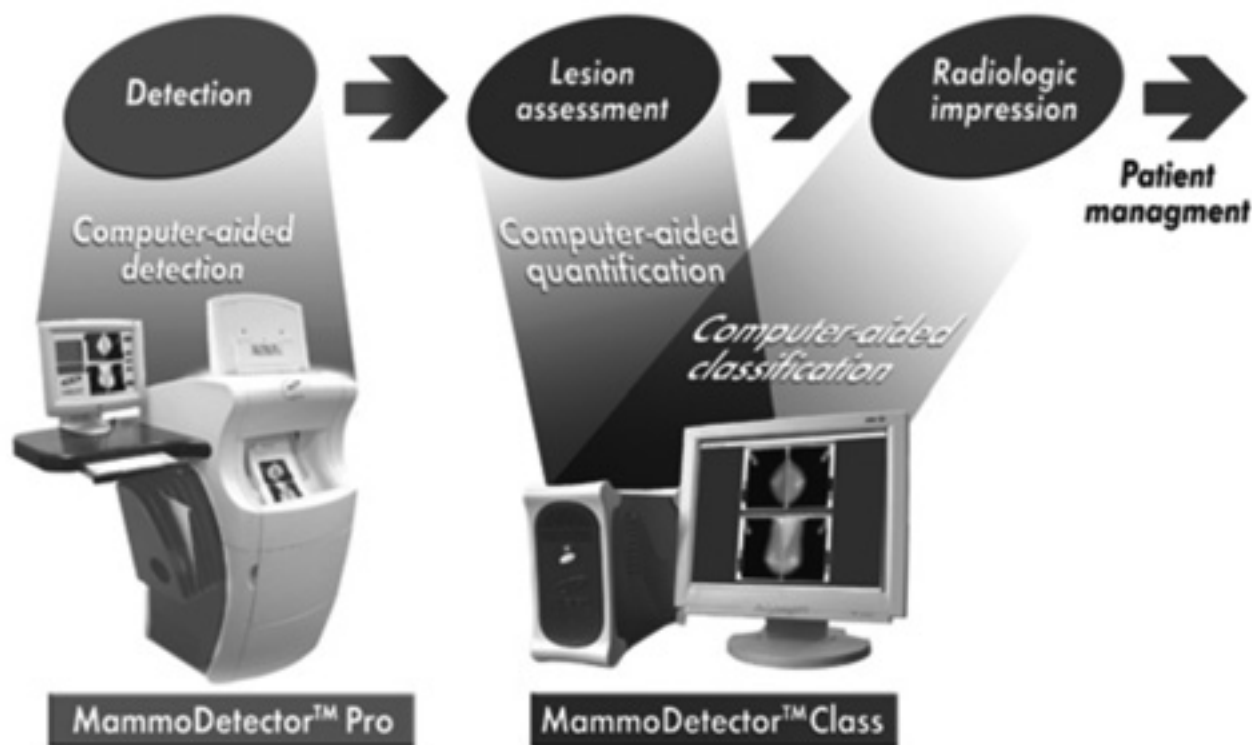


Fig.1 CADVision Medical Technologies 社製の検出と鑑別の両機能をもったマンモグラフィ CAD システム (FDA 未承認, 同社ホームページより引用)[14]

システムが FDA の承認を得て商用化されている。これらは、iCAD と CADx Medical Systems の CAD システムであるが、2003 年末には iCAD が CADx を買収している [9]。コダック社の CAD も、2004 年 11 月末に FDA 承認を得ている。また、富士写真フィルムは、CR 用のマンモグラフィ CAD システム [10] の販売を、欧州で最近開始している。さらに、コニカミノルタの CAD [11] の商用化も近いようである。

ここで、わが国における商用マンモグラフィ CAD システムの過去の経緯について述べる。

上記の 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 月に厚生省の薬事承認を得て販売を始めたが、すでに今日では販売を行っていない（その後、別の企業が R2 社の最新のシステムに対して薬事申請中である）。この事例は、残念ながら米国における CAD の成功例とは 180 度異なっており、これにはいくつかの原因が考えられる。例えば、販売企業の 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 [1]（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、約 20% で 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） [12]。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た。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 [5]。

また、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と考えられる（2003 年から、米国ではデジタルマンモグラフィ

の CAD 使用に対し保険点数の適用がなされている [13]）。さらに、米国では、医療訴訟に対する問題も大きいため、CAD の利用価値が評価されていると想像される。

2003 年の 12 月には、GE 社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。

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（腫瘍陰影と微小石灰化クラスタ）を単に検出（存在位置の指摘）するものであり、CAD の「D」を検出（Detection）の「D」として、コンピュータ支援検出（computer-aided detection: CAD）の意味で使用している。今後、検出した候補の良悪性の鑑別処理なども CAD システムに包含されるようになれば、D は診断（Diagnosis）の D に置き換わると予想される。鑑別処理も含んだ CAD システムについては、例えば、CADVision Medical Technologies は、すでに FDA に申請中であり（Fig. 1）、商品化まで、それほど遠くないと予想される（最近、シーメンス社が同社を取得している） [14]。また、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 システムも期待されている。

### 3. ディストーション検出における課題

上述のように、これまでに CAD システムとして商品化されているものは、腫瘍陰影と微小石灰化クラスタを検出対象としている。これら 2 つの病変以外にも重要なものが、構築の乱れ（architectural distortion）である。構築の乱れとは、正常の乳腺構築が歪んでいるものをいう [15]。正常の乳腺構築とは、左右対称で、乳頭に向かって放射状に配列する乳腺組織と、これに重なってクーパー靱帯の屈曲した濃度が見られるものを指し、そのような構築が歪んでいるものが構築の乱れに分類される。具体的には、一点から放射状にひろがるスピキュラ、局所的な乳腺実質の引き込み

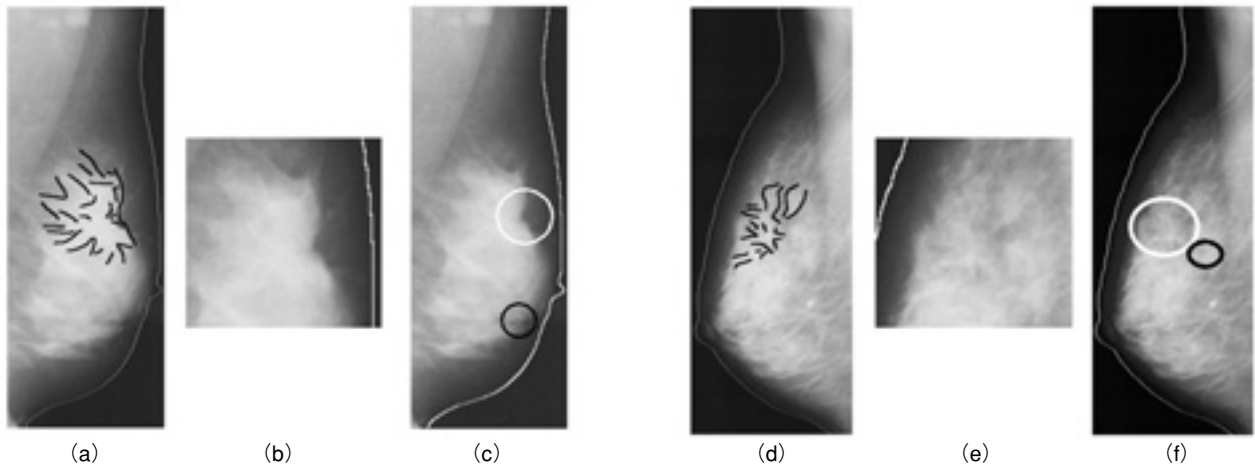


Fig.2 構築の乱れ領域の検出例

(a)は局所的な引き込み[18]、(d)は乳腺の集中[19]を伴う構築の乱れであり、専門医によるスケッチを示す。(b)と(e)は、それぞれ(a)と(d)の構築の乱れ領域の拡大画像である。また、(c)と(f)は、それぞれ(a)と(d)の検出結果である。白丸は真陽性候補、黒丸は偽陽性候補を示す。

(retraction),あるいは歪み(distortion)である。スピキュラを伴う腫瘍との違いは、境界が非常に不明瞭であったり、計測できるような腫瘍がなく、大きさの割に(特に、中心部)淡いなどの点が挙げられる。また、構築の乱れがあれば、カテゴリ4以上と判定される。

畑中らは、あるマンモグラム読影自習における乳がんの検出結果について、微小石灰化クラスタと腫瘍陰影の医師の感度は、それぞれ94%と82%と比較の高い値であるが、構築の乱れの感度は60%と低いことを示している[16]。このことから、微小石灰化クラスタや腫瘍陰影よりも構築の乱れの読影は難しいため、これら両者の病変よりも、むしろ構築の乱れを支援検出するCADシステムの必要性の方がより高いと言える。商用機などでは、構築の乱れも検出されるが、これは腫瘍陰影の候補として検出されるものである。Bakerらは、2つの商用機での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]。

しかしながら、構築の乱れを検出対象としたアルゴリズムの報告は少ない。筆者らは、構築の乱れは、「局所的な引き込み」と「乳腺の集中」の2つに大別できることに着目し、トップハット変換を用いた「局所的な引き込み」[18]と、平均曲率と集中度を用いた「乳腺の集中」[19]の検出法を提案している(それぞれの真陽性率は94%と84%であるが、1画像あたりの偽陽性数は3.8個と1.8個で、さらなる性能向上が必要である(Fig. 2))。また、Ayresらは、方向付けされたテクスチャ解析による検出法を開発している(真陽性率88%、1画像あたりの偽陽性数は15個)[20]。Tourassiらは、相互情報量を用いたCADシステムの有効性をROC解析で示しており、また、乳腺濃度に基づき、画像をfatty breast, fibroglandular breast, heterogeneous breast, およびdense breastに分類した場合、それぞれのAz値(ROC曲線下の面積)は、1.0,  $0.89 \pm 0.03$ ,  $0.78 \pm 0.05$ , および  $0.55 \pm 0.09$ であり、乳腺濃度が増加するとCADシステムの性能が悪くなると結論付けている[21]。これらの検出性能は、これまでさまざまな検出法が検討され、実用化レベルとなった微小石灰化クラスタや腫瘍陰影のCADシステムの「標準的」な性能値よりも格段に低い。すなわち、構築の乱れのCADシステムの現状は、正しく病変部を検出する手法を開発する初期の段階であると言える。

次の段階としては、1画像あたりの偽陽性数の減少が課

題となる。また、現在は、限られたデータベースを用いた研究室レベルの実験であり、今後は、臨床的な評価に発展させていく必要がある。なお、構築の乱れは、腫瘍陰影や微小石灰化クラスタよりもその出現の割合が低く、データベースの充実も課題の1つである。

#### 4. マンモグラフィ CAD における臨床評価

乳房X線写真のCADシステムの発売は1998年に始まったが、最終的な読影医の診断結果にどれだけ寄与できるかを示す論文は非常に限られている。米国においては、マンモグラフィCADシステムの販売にはFDAの認可が必要であり、その承認が一定の有効性を証明するとも言える。R2社[7]は、世界で初めてマンモグラムのCADシステムを販売した。現在は、バージョン8の販売を行っており、着実に販売台数を伸ばしているようである。特に、2003年から1検査19ドルのReimbursement(日本の保険点数計上にあたる)が認められたところから販売台数の伸びは顕著となった。このことはCADが一般的な診断行為として認知されたことを表していると言える。

このようにCADシステムを利用した診断が一般的になると、その効果の評価に興味が出る。CAD研究の初期の段階では、研究者自らが性能評価を行っていたが、販売が始まれば、多くの場合にはシステムを導入したユーザーによる評価が行われる。

システムの評価方法には、プロスペクティブな評価とレトロスペクティブな評価があり、臨床的な有効性を問うには、プロスペクティブな実験が望ましい。Freerらは、最初に「プロスペクティブ」にCADの性能評価の研究を報告している[22]。ここでは、1年以上の間に撮影された1万2000例以上の検診画像を用いて実験を行っており、コンピュータなしの読影を行った後、コンピュータの検出結果を参考にした読影をもう一度行い、要精検率、陽性予見率(positive predictive value)、がんの検出率について、システムの有効性を検討している。そして、CADシステムを用いることによって、要精検率が6.5%から7.7%に上昇するが、陽性予見率は38%と変化がなく、その結果、19.5%ががんの検出数が向上したと結論づけている。さらには、初期のがんの検出については、73%から78%に向上した。この例は、米国の商用のシステムを使用した報告であるが、

このほかにも約2400症例を用いた研究中の (noncommercial) システムの評価も報告されている [23].

コンピュータを用いた読影と二重読影との比較を評価した報告もある [24]. ここでは、腫瘤陰影の読影について、1名の医師による読影、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おり、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名による読影性能を十分に改善すると結論づけている。さらには、読影者間に存在する読影結果のバラツキを減らすCADシステムの効果に関する報告もある [25].

国内においても性能評価が行われている。Nawano (縄野) らは、CRシステムを用いたマンモグラフィCADシステムの最初の報告を行っている [26]. ここでは、5人の医師が読影実験を行い、フィルムだけの読影よりもコンピュータの指摘を参考にした場合の方が、検出性能が有意に改善されたとしている。また、CADシステムの検出位置と医師の診断結果を単純に比較することによって、CADシステムが医師の読影に寄与できる可能性を検討した研究も報告されている [16, 27].

これらに反して、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。Gurらは、約12万枚の検診マンモグラムとCADシステムを用いて、24名の放射線科医の読影結果について統計的に調査している [28]. CADシステムを用いることで、乳がんの検出率はわずかに上昇したものの、統計的な有意差は示されなかった。また、3年間に8,000例以上の読影を行う医師においては、要精検率、がん発見率ともにCADシステムを用いることでわずかに低下したが、これも有意差はないとしている。また、微小石灰化の自動検出結果については評価をしているものの、腫瘤陰影については、医師の検出結果を改善させるだけの精度がまだないとしている。さらには、乳がん検診が(米国においては)普及しており、繰り返し受診者が増加したため、検出が困難と言える小さな陰影が増加しつつあると述べている。

CADシステムが医師の読影に寄与することは自明なことであるが、よい影響を維持するためには、システムに入力する画質の均質化、システムを用いる医師の読影能力の向上が重要である。

画質に関しては、米国においてはMQSA (mammography quality standards act) の基準に則った施設が検診業務を行うため、撮影される画像の画質や装置の管理について基準が保たれていると考えられる。日本国内においても、マンモグラフィ検診精度管理中央委員会 [1] が主導で診療放射線技師に対する撮影講習会、医師に対する読影講習会が進められている。

医師の読影能力もCAD全体の結果を左右する。これは、システムが必ず出力する偽陽性 (false positive) を医師が適切に正常陰影として判断し、要精査としないために重要である。つまり、CADシステムの使用法と、その利点・欠点を十分理解した場合に、CADシステムが最大限に効果を発揮できるのである。医師、技師、開発者において、正しいCADシステムの利用に関する指針の作成や知識の普及が今後必要となるであろう。

## 5. 乳腺構造とリスク評価

乳腺実質の濃度は、年齢や個人により大きな差があり、一般に若年者、未産婦者では乳腺実質が非常に高濃度で均一である。加齢とともに乳腺の退縮と脂肪置換が進み、実質内での濃度が不均一となり、最終的にはほとんど脂肪組

織に置換される。この加齢性変化は個人差が大きい。

マンモグラムの視覚的な乳腺実質濃度に関する解析基準はいくつか提案されている。また、乳腺実質濃度は乳がん発生のリスクと強い関連があるとされており、乳腺実質濃度の自動解析法の開発も進められている。

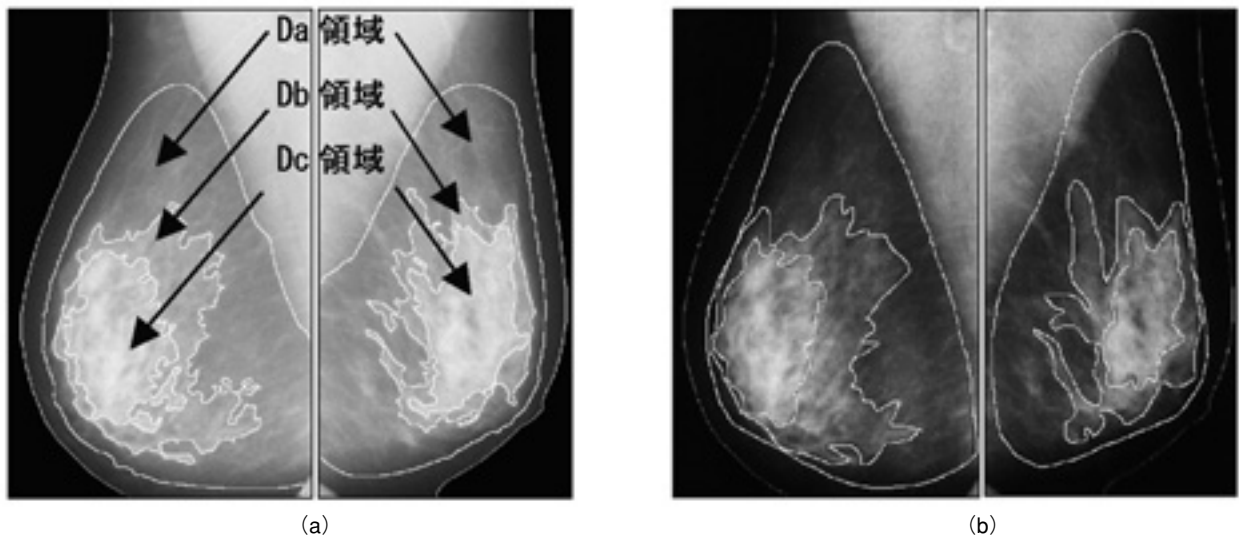
1976年、Wolfeは明らかな乳管パターンと異形の2因子の量的分布状況により、マンモ・ゼロラジオグラフィを、N1 (異形がほとんどなく、主に脂肪で構成され、乳管は認められない)、P1 (乳頭側に全乳房量の1/4以下の明らかな乳管があり、主に脂肪で構成され、また、乳管の薄い帯が四分區間にひろがっている場合もある)、P2 (全乳房量の1/4以上の範囲を占めている明らかな乳管パターンが多く認められる)、DY (異形が多く認められ、しばしば根底にある明らかな乳管パターンは不明瞭) の4パターンに分けることを提案した [29]. また、明らかな乳管パターンは乳がん発生の危険性の指標になりうることを述べ、その程度に従い、N1, P1を危険性が低いグループ、P2, DYを危険性が高いグループとしている。Tahocesらは、マンモグラムをWolfeの提案する4パターンに自動分類するため、判別分析を用いたアルゴリズムを構築し、4パターンごとに放射線科医の分類との一致率を示している [30].

Boydらは、マンモグラムにおける濃度を定量化することによる6分類法 (NONE, <10%, 10~25%, 25~50%, 50~75%, >75%) を提案し、この分類と乳がん発生との関係についても述べている [31]. さらにByngらは、この6分類を自動化するため、ヒストグラムの歪みとフラクタル次元を用いた手法を開発し、医師の分類結果との比較から、その有効性を示している [32].

Liらは、遺伝子の突然変異体の保有者と発がんの危険性が低いと思われる女性のマンモグラムを、関心領域内のテクスチャ解析の結果から分類する手法を提案している。また、その分類精度を用いて、解析に有効な関心領域の大きさと位置の検討を行っている [33]. また、Weiらは、マンモグラムのdense領域とMR画像の乳腺量には強い相関があることを示している [34].

Wolfeの分類法は、欧米人の乳房に基づいており、欧米人と比べるとdense型であると言われる日本人の乳房に必ずしも適しているとは言えない。そこで遠藤らは、ACR (American college of radiology) のBI-RADS (breast imaging reporting and data system) を改変した形で、乳房の構成に関する記載として、乳腺含有量を、脂肪性、乳腺散在、不均一高濃度、高濃度の4段階に分けることを提唱した [35]. これは、乳がん発生の危険性に着目したものではなく、乳房内の乳腺実質の量と分布に関する評価で、病変が正常乳腺に隠されてしまう危険性の程度を示すものである。しかし、定義が抽象的であり、実際に用いるとなると各個人で評価が一致しない可能性がある。そこで宮城らは、この分類法を、本来乳腺が存在したと思われる範囲を大胸筋濃度を基準とした3段階の濃度で塗り分け、それぞれの面積比で全体の濃度評価を行うという客観的・定量的な表現に置き換えることを提案している。また、それにより、評価者内および評価者間の一致率が改善したと報告している [36]. 松原らは、この分類基準に基づくマンモグラムの自動分類法を構築し、医師の分類との高い一致率から、その有用性を示している (Fig. 3) [37]. また、Nagataらは、この手法で定量化された乳腺濃度と乳がん発生の危険性との関連について述べている [38].

現在、マンモグラフィの検診への導入においては、年齢別に検診方法が提唱されているが、乳腺含有量を再現性良く評価できれば、マンモグラフィ上で病変の隠れる危険性



**Fig.3** 乳腺実質濃度のコンピュータによる自動解析の例  
 以下の基準による乳腺実質濃度評価[36]に基づく自動分類法による乳房領域の分割結果[37](a)と医師のスケッチの結果(b)。コンピュータによる領域分割と医師のスケッチの結果は、ほぼ同等である。

- Da: 最も脂肪に近い濃度で、乳腺の含有率が10%未満と考えられる。
- Db: うっすらと白く見える濃度で、がん病巣がこの中にあれば識別が可能である。乳腺の含有率が10%以上50%未満と考えられる。
- Dc: 白く見える濃度で、がん病巣がこの中に隠されてしまう可能性が高いと思われる。目安として大胸筋部分の最も白い濃度に相当する。乳腺の含有率が50%以上を占めると考えられる。

の程度を判断でき、個々に適した検診方法の選択が可能となる。また、乳腺実質濃度の解析結果に基づき、病変部の検出アルゴリズムで用いる特徴量やパラメータなどを変えれば、発がんの危険性を考慮したCADシステムの開発が期待できる。さらに、CADシステムで、病変部の箇所だけでなく乳腺実質濃度の解析結果を提示できれば、医師は発がんの危険性を考慮した読影が可能となる。

## 6. 乳腺超音波画像のCADの現状

乳腺の超音波画像は、高周波探触子の開発によって微小な病変の描出も可能となり、乳腺疾患診断で揺るぎない地位を保っているマンモグラフィに十分対抗できるようになり、超音波独自の情報を提供できるまでになった。また、三次元ハンドプローブや乳房全体(ホールブレスト)を撮影できるような走査機構を有する装置も開発され、今日では、超音波を用いた乳腺疾患の集団検診も行われている。このような背景から、超音波を用いた乳腺疾患診断を対象としたCADシステムの開発への期待が高まっている。以下、乳腺超音波画像のCADシステムの現状と研究動向についてまとめる。

乳がんの重要な画像所見には、微小石灰化像と腫瘍像がある。乳腺超音波断層像では、非常に細かい微小石灰化像はほとんど描出されないため、主な対象は腫瘍となる。また、現在、開発されているシステムを目的別に分類すると、二次元Bモード画像を対象とした良悪性鑑別(質的診断)システムと、集団検診を対象とした腫瘍検出(存在診断)システムの2つに大別される。

日本国内においては、長澤らが腫瘍領域の形状および良悪性の解析システムについて研究を行っており[39]、プロトタイプソフトウェアの配布も行っている。また、三次元超音波断層像についても研究が行われている。福岡らは、腫瘍像の自動検出[40]、およびその良悪性鑑別と3次元表示[41]について実験を行っている。秋山らも診断支援システムの構築を試みている[42]。海外においては、Chenら

によるニューラルネットワークを用いた良悪性鑑別法[43]、Horschらによる後方エコーの程度により悪性、嚢胞、充実性の良性陰影の分類を試みる方法[44]などが報告されている。さらに、Changらは二次元、および三次元のシステムを構築しており[45]、超音波画像では難しいとされている微小石灰化の解析についても試みている。また、米国のU-Systems社では、すでに商用システムのデモンストレーションを始めている[46]。

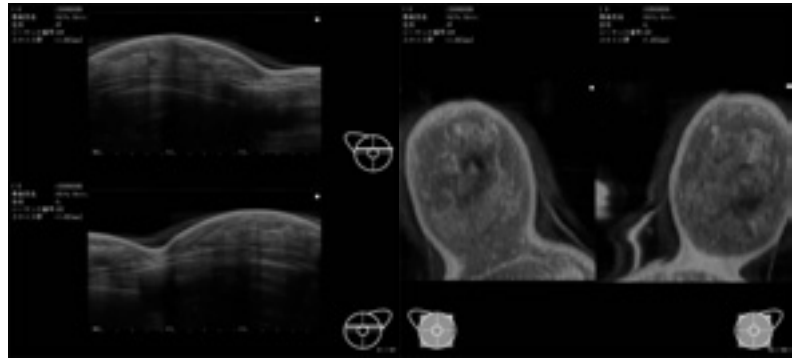
多くの研究は、二次元平面内の腫瘍領域について処理を行っているが、文献の[40-42, 44]では、三次元画像において腫瘍領域の自動検出とその形状の鑑別を試みている特徴がある。

いずれの研究においても、最も重要な部分を占める技術は、腫瘍像の領域分割法である。これは、濃淡画像においては非常に基本的であるにもかかわらず、決定的な解法を定めることができず、他の多くのCAD技術においても直面する問題の1つである。超音波診断は、X線などの他の撮影法と異なり、音響の反射により撮影を行うため、エコーの欠損や、エコーの不均一を伴う。このような場合には、腫瘍像の領域の特定が困難となり、体積などの特徴を計測するためには、何らかの領域推定を行う必要がある。その手法として、判別分析を用いて2つの領域(背景と腫瘍領域)に分割する方法が一般的であるが、スプライン曲線を用いて辺縁を補間する方法もある。文献の[41]では、動的輪郭抽出法を三次元的に用いて三次元画像中に腫瘍領域を特定する手法を述べている。いずれにしても、これら領域分割方法は最終的な良悪性鑑別結果に大きな影響を与えるため、適切な領域推定手法が重要である。

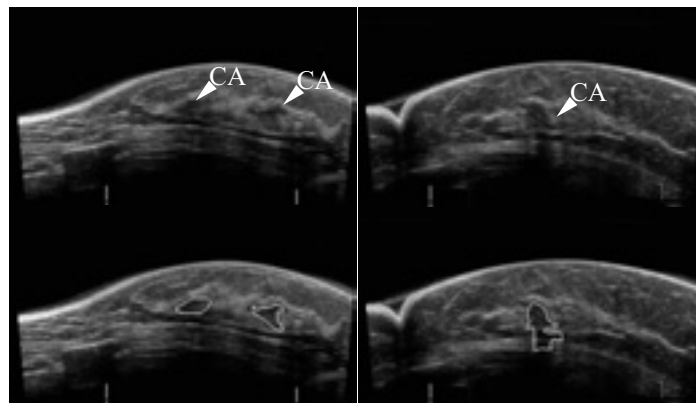
また最近では、集団検診用乳房超音波画像を対象としたCADシステムの開発も進められている。超音波診断は40歳代を含む若年層の早期乳がん発見に期待が高く、今後、集団検診などに多く利用されると予想される。われわれの研究グループにおいては、集団検診用装置(Aloka ASU-1004)を用いたホールブレスト画像の自動生成と、CADシステムによる病変検出処理の開発を行っている(Fig. 4)。集団



(a)



(b)



(c)

**Fig.4 集団検診用乳房超音波 CAD の開発[40,41,47]**

- (a) 集団検診用乳房超音波装置 (アロカ社製スキャナ ASU-1004)  
 (b) ホールブレスト画像の生成 左図は両側乳房 B モード画像, 右図は両側 C モード画像.  
 (c) 病変検出結果の一例 図中の上は原画像, 下は検出結果画像.

検診においては、膨大な超音波断層画像が撮影されるため CAD の果たす役割は重要であり、その期待も大きい [47].

## 7. おわりに

乳腺疾患の画像診断のための CAD システムは、マンモグラフィ CAD を中心に、今後、ますます発展・進化していくのは間違いない。上記の一般的なマンモグラフィ CAD と超音波 CAD の研究開発以外にも、①デジタルトモシンセシス (tomosynthesis) マンモ画像 (断層画像による三次元乳房像の構築が可能) [48]や、位相コントラスト・マンモ画像 [49, 50]への CAD の適用の研究、②解析処理アルゴリズムではあるが CAD と呼んで FDA の認可を得ている乳腺 MRI の CAD システム [14]、③ X 線 CT 画像における CAD 開発の一環の研究として、胸部疾患の CT 画像検査時に、同時に乳腺疾患も (もし存在すれば) 自動検出する [51] (多臓器病変部位の自動検出型 CAD) [52]などがある。また、このような CAD システムが、検診や一般診療でいかに役立つかの臨床的な有効性を検証するための評価研究が、わが国においても急務であることを追記する。

## 謝 辞

本研究で紹介した研究の一部は、文部科学省知的クラスター創生事業：岐阜・大垣地域ロボティック先端医療クラスターにおける「画像診断支援システムの開発」プロジェ

クト (代表：岐阜大学大学院・藤田広志)、文部科学省科学研究費補助金特定領域研究 (代表：東京農工大学大学院・小畑秀文)、厚生労働省がん研究助成金 (縄野班) によるものです。

## 【参考文献】

- [1] 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/>
- [2] 藤田広志, 原武史, 松原友子, 他: 乳がん画像診断領域におけるコンピュータ支援診断, シンポジウム「がん検診における CAD の現状と将来」より, 日本がん検診・診断学会誌, 13(2), 116-124, 2005.
- [3] 土井邦雄, 他: CAD元年 (1998 in USA) - コンピュータ支援診断システム, 21 世紀への始動 -, INNERVISION, 14(10), 1-82, 1999.
- [4] 藤田広志: マンモグラフィ CAD システムの現状 (特集論文/CAD 最前線), Med. Imag. Tech., 21(1), 27-33, 2003.
- [5] 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.
- [6] 木戸長一郎, 遠藤登喜子, 堀田勝平: 乳癌検診に対する DMR (Digital Mammo-Radiography) の意義, 癌と化学療法, 15(5), 1665-1670, 1988.
- [7] <http://www.r2tech.com/>
- [8] 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.
- [9] <http://www.issicad.com/>
- [10] 武尾英哉: CR 画像を対象とした乳がん候補陰影検出システム, 医用画像情報学会雑誌, 21(1), 72-78, 2004.
- [11] 加野亜紀子: 乳がんの画像診断を支援するコンピュータ自動解析システムの開発, 医用画像情報学会雑誌, 21(1), 79-83, 2004.
- [12] 長尾育子: コンピュータ支援診断システムを使用した検診マンモグラムの読影経験, CADM (コンピュータ支援画像診断学会) News Letter, No.40, 12-13, 2004.
- [13] 長谷川玲: 最新情報・今後の動向—マンモグラフィ用 CAD—, 日本放射線技術学会雑誌, 59(6), 681-686, 2003.
- [14] 藤田広志: エキスパートによる RSNA 最新レポート 10: CAD (コンピュータ支援診断) システムの最新動向, INNERVISION, 19(3), 28-31, 2004.
- [15] 東野英利子, 角田博子, 秋山太: マンモグラフィ診断の進め方とポイント, 金原出版 (株), 東京, 2001.
- [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] 山崎大輔, 松原友子, 藤田広志, 他: 乳房 X 線画像における構築の乱れ領域の自動抽出法, 医用画像情報学会雑誌, 19(2), 69-72, 2002.
- [19] 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.
- [20] F. J. Ayres and R. M. Rangayyan: Detection of architectural distortion in mammograms using phase portraits, Proc. of SPIE, 5370, 587-597, 2004.
- [21] G. D. Tourassi and C. E. Floyd, Jr.: Performance evaluation of an information-theoretic CAD scheme for the detection of mammographic architectural distortion, Proc. of SPIE, 5370, 59-66, 2004.
- [22] T.W.Freer and 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] M.A.Melvie, L.Hadjiisk, E.Makariou, et al.: Sensitivity of noncommercial computer-aided detection system for mammographic breast cancer detection: Pilot clinical trial, Radiology, 231(1), 208-214, 2004.
- [24] 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.
- [25] Y. Jiang, R. M. Nishikawa, R.A.Schmidt, et al.: Potential of computer-aided diagnosis to reduce variability in radiologists' interpretations of mammograms depicting microcalcifications, Radiology, 220(3), 787-794, 2001.
- [26] S.Nawano, K.Murakami, N.Moriyama, et al.: Computer-aided diagnosis in full digital mammography, Invest. Radiol., 34(4), 310-316, 1999.
- [27] 福岡大輔, 原武史, 遠藤登喜子, 他: 乳房 X 線写真における医師の読影と CAD システムの検討結果との比較, 日本放射線技術学会雑誌, 56(3), 436-442, 2000.
- [28] 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.
- [29] J.N.Wolfe: Breast patterns as an index of risk for developing breast cancer, AJR, 126(6), 1130-1139, 1976.
- [30] P. G. Tahoces, J. Correa, M. Souto, et al.: Computer-assisted diagnosis: The classification of mammographic breast parenchymal pattern, Phys. Med. Biol., 40(1), 103-117, 1995.
- [31] N. F. Boyd, J. W. Byng, R. A. Jong, et al.: Quantitative classification of mammographic densities and breast cancer risk: Results from the Canadian national breast screening study, J. Natl. Cancer Inst., 87(9), 670-675, 1995.
- [32] J. W. Byng, N. F. Boyd, E. Fishell, et al.: Automated analysis of mammographic densities, Phys. Med. Biol., 41(5), 909-923, 1996.
- [33] H. Li, M. L. Giger, Z. Huo, et al.: Computerized analysis of mammographic parenchymal patterns for assessing breast cancer risk: Effect of ROI size and location, Med. Phys., 31(3), 549-555, 2004.
- [34] J. Wei, H.P. Chan, M. A. Helvie, et al.: Correlation between mammographic density and volumetric fibroglandular tissue estimated on breast images, Med. Phys., 31(4), 933-942, 2004.
- [35] 遠藤登喜子, 岩瀬拓士, 大貫幸二, 他: 検診マンモグラムにおける読影所見の記載方法 Reporting System, 日本乳癌検診学会誌, 7(1), 71-73, 1998.
- [36] 宮城由美, 岩瀬拓士, 岩田広治, 他: マンモグラフィにおける乳腺実質濃度評価の一致率に関する検討, 日本乳癌検診学会誌, 10(2), 179-184, 2001.
- [37] 松原友子, 土本多美子, 原武史, 他: 乳腺実質濃度の評価に基づくマンモグラムの自動分類法, 医用電子と生体工学, 38(2), 93-101, 2000.
- [38] C. Nagata, T. Matsubara, H. Fujita, et al.: Mammographic density and the risk of breast cancer in Japanese women, British Journal of Cancer, 92(12), 2102-2106, 2005.
- [39] <http://www.takasaki-u.ac.jp/~nagasawa/>
- [40] 福岡大輔, 原武史, 藤田広志, 他: 乳房超音波断層像における腫瘍像の自動検出法, 医用画像情報学会雑誌, 14(3), 148-154, 1997.
- [41] T.Hara, D.Fukuoka, H.Fujita, et al.: Development of CAD system for 3D breast ultrasound images, Digital Mammography (Proc. of 6th International Workshop on Digital Mammography: IWDM 2002), ed. by H-O Peitgen, 368-371, Springer, Berlin, 2003.
- [42] 程相勇, 秋山いわき, 王怡, 他: 超音波 3 次元画像を用いた乳腺腫瘍診断システム, 電子情報通信学会論文誌 D-II, J 81-D-II(6), 1402-1410, 1998.
- [43] C.M.Chen, Y.H.Chou, K.C.Han, et al.: Breast lesions on sonograms: Computer-aided diagnosis with nearly setting-independent features and artificial neural networks, Radiology, 226(2), 504-514, 2003.
- [44] K.Horsch, M.L.Giger, L.A.Venta, et al.: Computerized diagnosis of breast lesions on ultrasound, Med. Phys., 29(2), 157-164, 2002.
- [45] R.F.Chang, W.J.Wu, W.K.Moon, et al.: Support vector machines for diagnosis of breast tumors on US images, Acad. Radiol.,

- 10(2), 189-197, 2003.
- [46] <http://www.u-sys.com/>
- [47] 藤田広志, 原武史, 福岡大輔, 他: 乳腺超音波画像における CAD (特集: CAD の最新動向と読影現場への導入の可能性), 映像情報 MEDICAL, 36(4), 410-414, 2004.
- [48] 大島由起子: Full Field Digital Mammography 新世紀のアプリケーションへ, 日本放射線技術学会雑誌, 59(6), 676-680, 2003.
- [49] M.T.Freedman, S.-C.B.Lo, C.Honda, et al.: Phase contrast digital mammography using molybdenum X-ray: Clinical implications in detectability improvement, Proc. SPIE: Medical Imaging; Physics of Medical Imaging, 5030, 533-540, 2003.
- [50] 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.
- [51] 金子和博, 周向栄, 原武史, 他: 確率のアトラスに基づく 3次元体幹部 CT 画像からの乳腺領域の自動抽出, 信学技報, MI 2005-84 (2006-01), 73-76, 2006.
- [52] 小畑秀文: 多次元医用画像の知的診断支援—日本初の文部科学省科研費による CAD 大型プロジェクト, 特集 CAD 最前線 (CAD 2004), INNERVISION, 19(10), 10-13, 2004.