



乳腺超音波画像におけるCAD研究の現状と展望

岐阜大学教育学部技術教育講座¹⁾
岐阜大学大学院医学系研究科知能イメージ情報分野²⁾
福岡 大輔¹⁾ 藤田 広志²⁾

要旨：超音波の画像化技術の進歩は目覚ましく、乳房の詳細な解剖学的情報を高解像な画像でリアルタイムに描写し、提供できるまでになった。また、超音波診断装置の進化とともに、エラストグラフィのような専用の画像処理手法の開発も進んでいる。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)システムの研究も進められている。CADの実用化はマンモグラフィなどの画像診断ですでに実施されており、次には乳腺超音波画像のCADへの関心が高まっている。本解説では、乳腺超音波画像のための画像処理技術とCAD研究の現状、問題点および展望をまとめる。

はじめに

乳がんの早期発見は、乳房X線写真(以下、マンモグラフィ)による集団検診などによる取り組みがなされ、成果を収めている。近年では、さらなる検診の精度向上を図るため、超音波を利用した超音波併用検診の導入なども検討されている。

超音波診断は、これまでの病院内での質的診断としての超音波検査のみならず、集団検診などで病気を早期に発見するという存在診断への用途が拡大しつつある。超音波検査を存在診断に利用する場合、プローブ幅は数センチ程度と視野が狭いため、膨大な画像(リアルタイムに提示される超音波画像)から病変部を発見するためには、プローブを走査する検査者のスキルや経験が要求される。このため、さまざまな診断をコンピュータによる画像解析技術で支援する「コンピュータ支援診断(Computer-aided Diagnosis: CAD)」システムの開発が注目されている。CADシステムとは画像診断において、コンピュータによる画像解析結果を参考に行う医師による診断のことである。CADシステムから提供された客観的な情報を「第2の意見」として参照することで、診断能の向上、診断に対する経験差の緩和、読影負担の軽減などが期待されている。

1998年には世界最初の実用化CADシステムとして、R2 Technology社(現在はHologic社)がFDA(Food and Drug

Administration)の認可を得た。米国でマンモグラフィCADシステムが実用化(商用化)され、これを端緒として各種CADシステムの実用化が急速に進んでいる。マンモグラフィのほかにも、胸部単純X線写真や乳房MR、胸部CT、腹部CTなどのCADシステムも登場し、病変検出、良悪性鑑別、経時差分、類似画像検索などの機能で診断の支援を行っている¹⁾。乳腺超音波の分野においても、病変の良悪性鑑別を行うCADシステム(Medipattern社の「B-CAD」システム)が実用化に至っている。

CADシステムの機能は、病変が存在する位置をコンピュータが提示する病変検出(Detection)機能と、病変の良性・悪性などの客観的指標を提示する質的診断(Diagnosis)機能の2つに大別される。乳腺超音波を対象としたCADシステムにおいては、腫瘍像検出、および石灰化像の強調表示、腫瘍像の良悪性鑑別などが開発されている。また、その対象画像も、2次元Bモード画像や3次元ボリューム画像、エラストグラフィなどのカラー画像など多岐にわたる。本稿ではこれら乳腺超音波画像用CADシステムの研究の現状を解説し、臨床応用に向けた今後の展望について述べる。

1. 存在診断(病変検出)のためのCADシステム

対象画像から病変として疑われる候補領域を検出するためのCADシステムは、Computer-aided Detection (CADE)とも呼ばれる。乳腺超音波においては、対象画像から腫

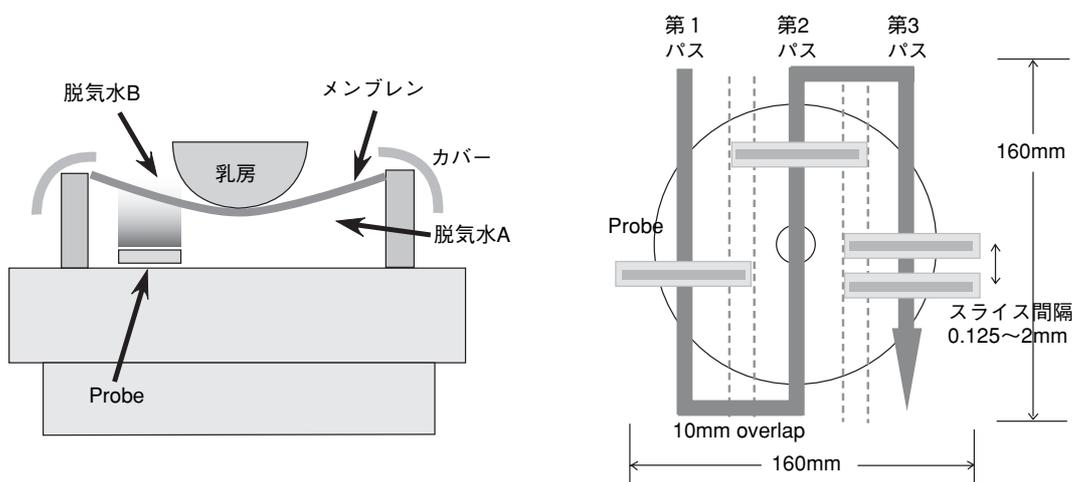


図1. 集団検診用乳腺ホールブレストスキャナ⁴⁾(日立アロカメディカル株式会社製 ASU-1004B)
左図：スキャナ装置(Side View)，右図：プローブの走査(Top View)

瘤や微小石灰化像などの病変である対象物を検出し、その位置などをマーカーなどで読影者に提示し、病変の発見を促すことが目的である。

ハンドヘルドプローブによる2次元のBモード画像による検査では、検査者がプローブ走査中に、病変存在に気づきフリーズボタンを押し画像が記録されるため、検査後の2次元Bモード画像に対し病変検出処理を施す必要性は低いと考えられる。このため、存在診断のためのCADシステムの対象は、3次元のボリュームデータに対する病変の検出や、ハンドヘルドプローブを対象としたリアルタイムな病変の検出を主な目的として開発されている。

超音波画像に対する病変の検出機能においては、画像の任意の部位が腫瘍など対象物の内部領域か否かを判別するための領域分割技術が主要要素技術となる。これは、超音波画像はエコー欠損や境界不明瞭などが生じるため、コンピュータによる領域分割は一意的に領域を定義することが困難で、領域同士の融合や過抽出(偽陽性候補)が生じるためである。

1) 全乳房撮影スキャナを対象としたCADシステム

著者らの研究グループでも、オクトソン方式のボリュームスキャナであるMAT-1を対象とした集団検診用CADシステム²⁾に始まり、これまでもいくつかの乳腺超音波CADシステムの研究報告を行っている。

現在開発中のシステムでは、図1に示すようにリニアプローブを水中で機械的に走査する全乳房撮影スキャナ(日立アロカメディカル株式会社製：ASU-1004Bスキャナ³⁾)を対象としたCADシステムを開発している⁵⁾。対象とするスキャナは水中に配置されたプローブ(幅約5cmリ

ニアプローブ)がメカニカルに駆動し、片側全乳房(16cm×16cmの範囲)を撮影する水浸式の装置である。幅5cm程度のリニアプローブで撮影される画像は、乳房を3つの部位に分割し自動撮影されるが、この3つの画像をつなぎ合わせ、1つのボリュームデータを生成し画像表示することができ、図2に示すようにBモード像(AXIAL断面)、Cモード像(CORONAL断面)、SAGITTAL断面を観察することができる。また、撮影したボリュームデータは対側乳房や過去画像を並べて表示でき、左右比較や過去画像比較などの比較読影を可能としている。このような全乳房撮影スキャナは、撮影者の手技に左右されず、誰が撮影しても同じような像を撮影できる(撮影の高い再現性)ことや、全乳房を記録保存できる(記録性の高さ)などのメリットがあり、今後の活躍が期待されている。

文献⁶⁾では腫瘍検出機能においては、図3に示すように、画像中のエッジに着目し腫瘍検出を行っている。通常、乳房の各組織(皮膚、脂肪、乳腺、胸筋)は水平方向に層のようになって構成されるため、正常乳房へエッジ検出を行うと深さ方向へのエッジに比べ、方位方向へのエッジが多く検出され、また、腫瘍が存在する場合には、エコーの欠損などの影響により深さ方向へのエッジが検出される。このため、われわれの研究グループでは、深さ方向へのエッジに代表されるような特定のエッジの組み合わせを検出することにより、腫瘍候補位置を決定し腫瘍候補領域を特定している。また、コンピュータによる候補検出が過抽出となる傾向にあり、この偽陽性候補を削除するため、検出した腫瘍候補領域の5つの画像特徴量(面積、平均濃度値、重心の位置、周辺領域との濃度差、縦横比)をもとに、ルールベース法と2次の

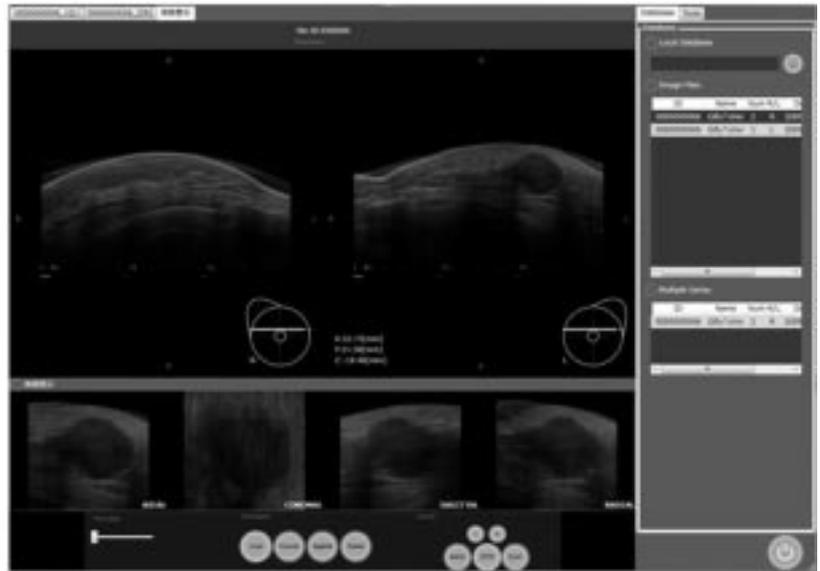
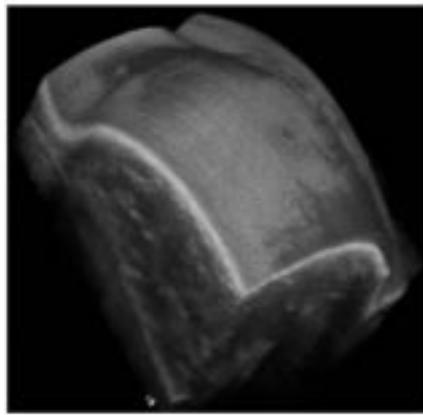


図2. 超音波ボリュームデータとホールブレストビューワ画面⁴⁾

右図の画面の上部はAXIAL両側乳房画像，下部は病変部の多断面再構成画像。左図はボリュームレンダリング画像を示す。

判別分析により偽陽性候補の削除を行っている。正常86乳房，異常23乳房(36個の腫瘍を含む。内訳は悪性腫瘍16例，線維腺腫5例，嚢胞15例)の109例を用いた実験において，本検出システムの性能は真陽性率80.6%(29/36)であり，そのときの偽陽性数は1乳房あたりの3.8個であった^{5,6)}。検出結果画像の1例を図4に示す。また，腫瘍検出機能により検出される候補領域について，良悪性の鑑別システムも開発している⁷⁾。

機械的な走査機構により乳房の広い範囲を撮影するAutomated Breast Ultrasound (ABUS)として，SomoVu(U-systems社，現在はU-Systems, a GE Healthcare Company)

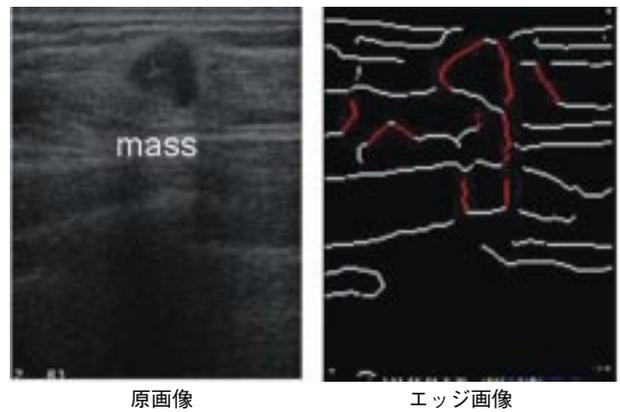


図3. エッジに基づいた腫瘍像の検出⁵⁾

左図は原画像，右図はエッジ検出後の画像を示す。

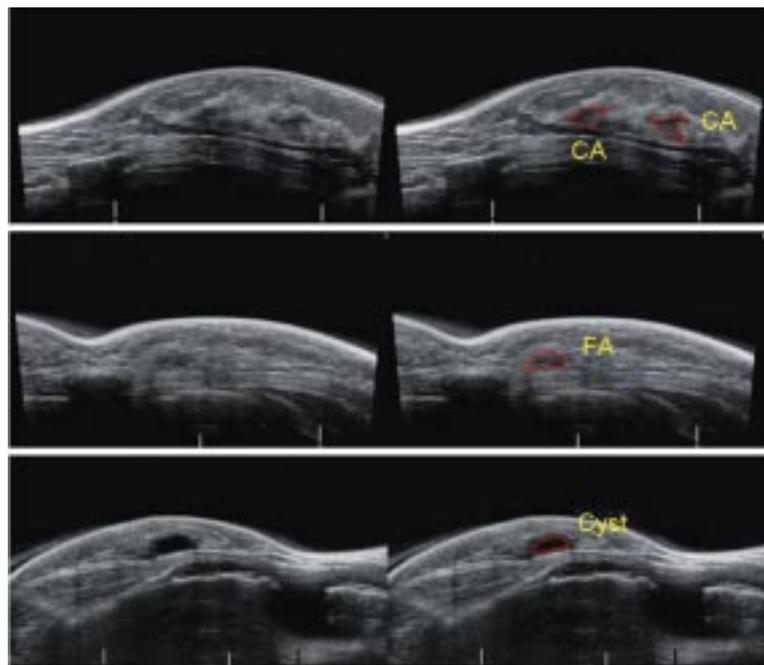


図4. CADによる病変の検出結果の1例⁴⁾
左図は原画像，右図は処理後画像を示す。

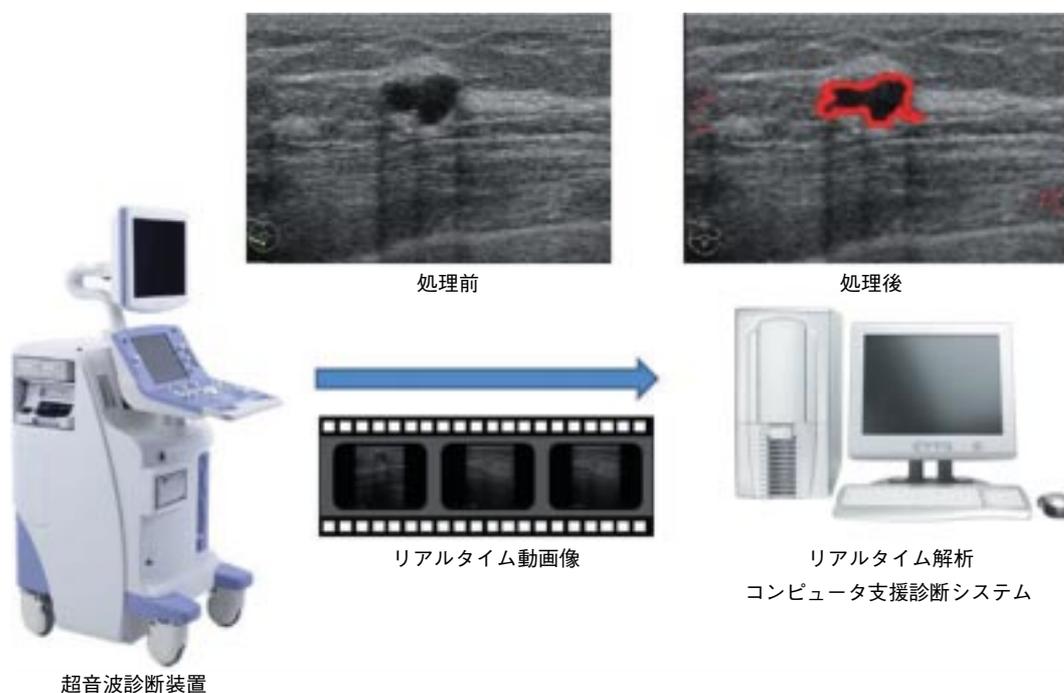


図5. ハンドヘルドプローブを対象としたリアルタイムCADシステムの概要⁴⁾

やACUSON S2000 (Siemens Healthcare社)がよく知られており、これらの装置では片側乳房を2,3回のパス(スキャン)に分割し撮影することができる⁸⁾。Moonらの研究グループは、SomoVuにより撮影された画像を対象にCADシステムを開発している。良性58例、悪性78例、正常37例で実験を行ったところ、開発されたCADシステムは、感度が100%, 90%, 70%のとき、1パスあたりの偽陽性数はそれぞれ17.4個、8.8個、2.7個であった⁸⁾。また、Tanらの研究グループも、ニューラルネットワークを用いたABUS用CADを開発している⁹⁾。

2) リアルタイムCADシステム

著者らの研究グループでは、乳腺超音波診断装置におけるリアルタイム病変検出システムの開発を進めている。近年では「顔認識」、「笑顔検出」や「目つぶり検出」など高度なパターン認識と各種分類を搭載したデジタルカメラも実用化されている。リアルタイムCADシステムの研究では、このような高速な画像処理やパターン認識技術の、超音波画像への適用を検討している。

図5に示す開発したシステムは、超音波画像を超音波診断装置からビデオ信号により、リアルタイムに画像処理(1画像あたりの処理時間は30ms以下)し、病変として疑われる無エコーまたは低エコー領域を強調表示(病変の辺縁を自動トレース)することができる。画像処理部分は、撮影条件による影響を低減するための画像の規格化と、領域抽出処理、特徴解析処理により構成されてお

り、このシステムでは、病変候補の辺縁を強調表示することにより、スピキュラ性などの形状特徴の視認性を高めるための描出を可能としている。初期の実験として臨床例へ適用したところ領域描出能は86.7%(26/30症例)の性能が得られている¹⁰⁾。

3) 微小石灰化像の視認性向上のためのシステム

乳腺分野において、微細石灰化を示唆する点状高エコーが明瞭に視認性を向上することを目的とした処理も開発されている。神山ら¹¹⁾は、log-CFAR(Contrast False Alarm Rate)を用いて、石灰化の視認を妨げている乳腺構造物を画像から消去し、石灰化のみを残すフィルタを開発している。また、最終的な出力画素を、画像の青色成分にオーバーレイ表示し強調表示を行っている。Bモード画像でスペックルや周囲組織の影響で見つけづらいとされる微細石灰化の視認性を向上させるための機能として期待されている。

2. 質的診断(良悪性鑑別)のためのCADシステム

対象画像から腫瘤などの対象物の特徴を解析し良悪性鑑別を行うためのCADシステムは、先に述べたCADeとの機能を区別するためCADxとも呼ばれる。一般的に、良悪性鑑別を行うCADxシステムは2次元または3次元画像から、腫瘤とその近傍の領域を決定し、その画像特徴量を算出し、判別器により判別を行うというアプローチが取られ、ヒトが診断する場合に用いる診断基準を画像

特徴量としてコンピュータ上で再現し数値化したのち、統計に基づいた判別や人工知能を用いた判別技術の1つであるニューラルネットワークなどで判別を行う。主に用いられる画像特徴量としては、腫瘤形状に関する情報、その位置情報、その領域の濃度(輝度)に関する情報として、テクスチャ情報や超音波特有のエコー特徴に関する情報などが用いられる。

現在、Medipattern社のB-CADにおいては、Bモード画像から腫瘤領域の輪郭を自動検出し、腫瘤の形態解析とBI-RADSに基づいたレポート作成支援を行うシステムを開発しており、FDAの認可が得られた唯一の乳腺超音波CADシステムとして実用化に至っている。良悪性鑑別のためのCADシステムについては、これまでも国内外で多くの研究報告がある。

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¹²⁾、Horsch, Drukkerらの研究グループでは腫瘤形状、位置、テクスチャ、後方エコー特徴により良悪性鑑別を試みている^{13~17)}。さらに、Changら^{18,19)}の研究グループにおいても、腫瘤の良悪性鑑別について活発に研究を行っている。また、Moonら²⁰⁾の研究グループでは、スペックパターンの解析を用いて良悪性鑑別を試みしており、147症例(良性76症例、悪性71症例)に対して実験を行い、感度83.1%(59/71)、特異度85.5%(65/76)で、ROC曲線下面積であるAz値0.91の性能を得ている。

国内において長澤らは、Bモード画像を対象とした良悪性鑑別用CADシステムを開発し、ソフトウェア(ソフトウェア名: CadTs-I)の公開を行っている²¹⁾。腫瘤の領域抽出後に、抽出された領域とその周辺について、形状、位置、エコー特徴、テクスチャ特徴に基づいた特徴パラメータを画像から算出し、良悪性鑑別を行っている。腫瘤形状については縦横比、円形度、複雑度など10個の特徴パラメータを算出し、位置情報として、皮膚表面、乳腺実質上端、大胸筋膜上端などと、腫瘤の位置関係を定量化している。エコー特徴については、解析領域を腫瘤内部、輪郭、後部、外側、上部などの複数の領域に分割し、合計18個の特徴パラメータを計算している。また、テクスチャ特徴については解析領域を腫瘤内部、上部の2領域として濃度同時共起行列から算出されるそれぞれ48個の特徴パラメータ、位置として3つの特徴パラメータを算出している。これら多数の特徴パラメータの中から、統計的手法であるステップワイズ判別分析を用い独立性の高い判別に有効な特徴パラメータを選び出し判別器で判別を行っている。

文献²²⁾によると、椎名らの研究グループではエラストグラフィから弾性スコアの推定するCADを提案してい

る。提案されている手法は、Bモード像の低エコー域内のひずみの平均値と標準偏差、ひずみ画像の低ひずみ域内のひずみの平均値と標準偏差、低ひずみ域と低エコー域の面積比を算出し、判別分析により弾性スコアを推定している。89%の精度で弾性スコア推定が可能であり、診断精度は感度67%、特異度100%、正診率84%と報告されている²³⁾。また、Changら²⁴⁾の研究グループも、良悪性鑑別を行うCADシステムを開発しており、エラストグラフィからHSV(Hue, Saturation, Value)変換後の色相(Hue)画像から特徴量を抽出し、ニューラルネットワークを用いて良悪性鑑別を行っている。180症例(良性113症例、悪性67症例)を対象に実験を行い、感度85.1%、特異度83.2%の性能を得ている。

3. 臨床応用および臨床評価

CADの実用性という点で臨床評価²⁵⁾を考えると、先行するマンモグラフィCADでは、前向き研究(Prospective study)としては、文献^{26~31)}などの大規模な臨床評価があり、症例数は1万前後から多いものでは10万を超えるものまである(ただし、検診画像であるから正常症例が圧倒的に多い)。癌の検出性能(最大で19.5%の検出率の増加²⁶⁾)ではマンモグラフィCADの有効性を示すものが多いが、その代償としてrecall rateや生検数も増えていることが多い。逆に、文献²⁷⁾と、後ろ向き研究(Retrospective study)ではあるが文献³²⁾では、CADを利用してもその有益な効果はなかったとする論文もあり、論文発表当時議論を呼んだ。特に、文献³²⁾は有名なジャーナルに掲載されたためにその反響は大きく、マスコミでも取り上げられ、当時米国ではCADへの保険適応を取りやめるという騒ぎまで起きている。しかしながら、これらの研究の検証方法の問題点が多々指摘されており³³⁾、CADの臨床評価研究の難しさが現れる結果ともなった。

現状の乳腺超音波CADでは研究レベルでの臨床例を用いたシステムの性能評価は行われているものの、先行するマンモグラフィのような大規模なデータベースにより評価された報告例はなく、マンモグラフィCADの臨床応用や臨床評価に比べ、遠く及ばないのが現状である。やはり、マンモグラフィCAD同様に乳腺超音波CADにおいても、CADの有用性の代償としてのrecall rateや生検数の増加も想定されるため、今後、乳腺超音波の大規模な臨床評価は必要である。

まとめ

超音波診断装置のこれまでの技術的進歩において、超音波画像自体の描出能は飛躍的に向上し、また近年で

は、ホールブレストスキャン、エラストグラフィなど有効な情報を提供するまでに至っている。今後、新たな診断ツールとしてコンピュータによる診断支援の実用化が望まれている。現状の乳腺超音波CADシステムの研究では、ホールブレストのボリューム画像からの病変検出やリアルタイム病変検出、微小石灰化像の強調表示、各種良悪性鑑別処理が開発されている。これらは研究段階ではあるものの、臨床例への適用が行われ、良好な結果が報告されている。しかしながら、先行するマンモグラフィCADで報告されているように、大規模な臨床評価は現段階では行われていない。今後さらなるCADの性能の向上と大規模な臨床評価が望まれる。現状の乳腺超音波CADはやはり万能なシステムというわけではなく、次の2つの点において超音波特有の克服すべき課題が残されている。(1)境界不明瞭やエコー欠損などの領域が含まれる画像であっても、ヒトは医学的な知識や経験に基づいて推察し診断することができるが、現状のCADシステムではそれが難しい。(2)超音波検査の撮影パラメータの設定において、装置間や施設間、撮影者などでばらつきも大きく、画像のバリエーションが膨大で、CADシステムの診断能に影響を及ぼす可能性がある。これらは現状の超音波CADシステムが直面している課題である。今後、より高度で知的な処理を可能とするために、コンピュータにおける医学的知識の獲得など技術的な進歩が必要である。

診断性能の向上や読影負担の軽減に貢献する乳腺超音波CADシステムの開発は急務であり、そのためには実用化まで視野に入れると医工連携のみならず、産官学連携での取り組みが重要である。医師の立場からも、また患者の立場からも、われわれがCADの大きな恩恵を受ける時代がすぐそこまで近づいていることは間違いない。

【文献】

- 1) 藤田広志, 石田隆行, 桂川茂彦監修: 実践 医用画像解析ハンドブック 6.1 CADの定義, 歴史と現状(藤田広志). 東京, オーム社, 2012; pp.518-533
- 2) 福岡大輔, 原 武史, 藤田広志, 他: 超音波断層像における腫瘍像の自動検出法. 医用画像情報会誌 1997; 14(3): 148-154
- 3) 伊藤壽夫: “乳癌超音波自動検診システムについて”. 医用画像情報会誌 2006; 23(2): 75-78
- 4) 福岡大輔, 藤田広志: 乳腺超音波画像のためのコンピュータ支援診断システム, 超音波TECHNO 2010; 22(3): 31-34
- 5) Ikedo Y, Fukuoka D, Hara T, et al: Development of a fully automatic scheme for detection of masses in whole breast ultrasound images. Medical Physics. 2007; 34(11): 4378-4388

- 6) 池戸祐司, 福岡大輔, 原 武史, 他: 全乳房超音波画像における腫瘍像自動検出システムのための左右乳房画像の比較による偽陽性削除法. 電子情報通信会論誌 D 2008; J91-D(7): 1923-1926
- 7) Lee GN, Fukuoka D, Ikedo Y, et al: Classification of benign and malignant masses in ultrasound breast image based on geometric and echo features. Digital Mammography, E.A.Krupinski (Ed.), Springer Lectures Notes in Computer Science (LNCS) series 2008; LNCS5116: 433-439
- 8) Moon WK, Shen YW, Bea MS, et al: Computer-aided tumor detection based on multi-scale blob detection algorithm in automated breast ultrasound images. IEEE Trans Med Imaging 2013; in press
- 9) Tan T, Platel B, Mus R, et al: Computer-aided detection of cancer in automated 3D breast ultrasound. IEEE Trans Med Imaging 2013; in press
- 10) 田中じゅん, 南里和秀, 米山昌司, 他: 乳腺超音波検査におけるQFAの開発とその評価. 超音波検技 2011; 36(6): 632-633
- 11) 神山直久, 岡村陽子, 掛江明弘, 他: 微細石灰化の視認性を向上させるための超音波画像処理に関する考察. 超音波医 2009; 36(1): 39-48
- 12) Chen CM, Chou YH, Han KC, et al: Breast lesions on sonograms: Computer-aided diagnosis with nearly setting independent features and artificial neural networks, Radiology 2003; 226(2): 504-514
- 13) Horsch K, Giger ML, Venta LA, et al: Computerized diagnosis of breast lesions on ultrasound. Med Phys 2002; 29: 157-164
- 14) Drukker K, Giger ML, Horsch K, et al: Computerized lesion detection on breast ultrasound. Med Phys 2002; 29: 1438-1446
- 15) Drukker K, Giger ML, Mendelson EB: Computerized analysis of shadowing on breast ultrasound for improved lesion detection. Med Phys 2003; 30: 1833-1842
- 16) Drukker K, Giger ML, Vyborny CJ, et al: Computerized detection and classification of cancer on breast ultrasound. Acad Radiology 2004; 11: 526-535
- 17) Horsch K, Giger ML, Vyborny CJ, et al: Performance of computer-aided diagnosis in the interpretation of lesions on breast sonography. Acad Radiology 2004; 11: 272-280
- 18) Chang RF, Wu WJ, Moon WK, et al: Support vector machines for diagnosis of breast tumors on US images. Acad Radiology 2003; 10: 189-197
- 19) Chang RF, Wu WJ, Tseng CC, et al: 3-D snake for US in margin evaluation for malignant breast tumor excision using mammatome. IEEE Trans Infor. Technol in Biomed 2003; 7: 197-201
- 20) Moon WK, Lo CM, Chang JM, et al: Computer-aided classification of breast masses using speckle features of automated breast ultrasound images. Med Phys 2012; 39(10): 6465-6473
- 21) 長澤 亨: http://tnr.kendai.jp/nagasawa/nagasawa_top.php, 2013/6/1 0:00
- 22) 石田隆行, 桂川茂彦, 藤田広志監修: 医用画像ハンドブック 第6編7.3超音波エラストグラフィとCAD(山川誠). 東京, オーム社, 2010; pp.1188-1192
- 23) 山川 誠, 椎名 毅, 伊藤吾子, 他: 超音波エラストグラ

- フィとCAD. 第15回コンピュータ支援画像診断学会大会論文集 2005 ; 271-272
- 24) Chang RF, Shen WC, Yang MC, et al : Computer-aided diagnosis of breast color elastography, Proc. of SPIE Medical Imaging-Computer-Aided Diagnosis 2008 ; 6915 : 69150I1-69150I9
- 25) 藤田広志 : コンピュータ支援診断(CAD)の現状概観. 日放射技会誌 2007 ; 63(12) : 1389-1395
- 26) Freer TW, Zlissey MJ : Screening mammography with computer-aided detection: Prospective study of 12,860 patients in a community breast center. Radiology 2001 ; 220(3) : 781-786
- 27) Gur D, Sumkin JH, Rockette HE, et al : Changes in breast cancer detection and mammography recall rates after the introduction of a computer-aided detection system. J Natl Cancer Inst 2004 ; 96(3) : 185-190
- 28) Birdwell RL, Bhandolkar P, Ikeda DM : Computer-aided detection with screening mammography in a university hospital setting. Radiology 2005 ; 236(2) : 451-457
- 29) Morton MJ, Whaley DH, Brandt KR, et al : Screening mammograms: Interpretation with computer-aided detection? prospective evaluation. Radiology 2006 ; 239(2) : 375-383
- 30) Dean JC, Ilvento CC : Improved cancer detection using computer-aided detection with diagnostic and screening mammography: Prospective study of 104 cancers. AJR 2006 ; 187(1) : 20-28
- 31) Ko JM, Nicholas MJ, Mendel JB, et al : Prospective assessment of computer-aided detection in interpretation of screening mammography. AJR 2006 ; 187(6) : 1483-1491
- 32) Fenton JJ, Taplin SH, Carney PA, et al : Influence of computer-aided detection on performance of screening mammography. N Engl J Med 2007 ; 356(14) : 1399-1409
- 33) Ciatto S, Houssami N : Computer-aided screening mammography. N Engl J Med, 2007 ; 357(1) : 83-85
-

Present status and prospects of CAD studies on breast ultrasound imaging

Department of Technology Education¹, Faculty of Education, Gifu University
Department of Intelligent Image Information², Graduate School of Medicine, Gifu University
Daisuke FUKUOKA¹, Hiroshi FUJITA²

Advances in ultrasound imaging technology have led to remarkable improvements in image quality, thus greatly enhancing the use of this modality. High-resolution ultrasound now allows excellent, real-time depiction of anatomic details in the breast. Specific image processing techniques, such as elastography, are also being developed as medical ultrasound devices are improved. Moreover, a computer-aided diagnosis (CAD) system is being developed as a state-of-the-art image processing tool that can be used for obtaining a second opinion by a physician. CAD detects the possible locations of disease on an image and/or performs classification based on malignancy. CAD systems are now available commercially for several fields of diagnostic imaging, such as mammography, and as a consequence CAD for breast ultrasound imaging has gained a lot of interest. This article reviews image processing techniques and CAD studies of breast ultrasound imaging, and discusses remaining issues that need to be resolved, together with future prospects.

Key Words : computer-aided diagnosis, computer-aided detection, CAD, breast US
