

乳房X線写真における一部欠損領域のある
腫瘍陰影の自動検出システムに関する研究

A study on automated detection systems
for mammographic masses
with a partial loss of region

学位論文：博士(工学) 甲177

平成14年1月

January 2002

畑中 裕司

Yuji Hatanaka

乳房 X 線写真における一部欠損領域のある 腫瘍陰影の自動検出システムに関する研究

畑中 裕司

岐阜大学大学院

工学研究科 電子情報システム工学専攻

〒 501-1193 岐阜県岐阜市柳戸 1-1

TEL: 058-293-2746, FAX: 058-230-1895

E-mail: hatanaka@fjt.info.gifu-u.ac.jp

指導教官： 藤田 広志 教授

要旨

本研究の目的は、乳房 X 線写真において一部領域が欠損した腫瘍陰影の自動検出法を開発することである。本論文は 5 章から構成されている。第 1 章では、本研究の背景と概念を述べる。第 2 章では、胸壁側に存在して、一部領域の欠損した腫瘍陰影の自動検出法について述べる。その手法では、欠損した腫瘍陰影を扇型腫瘍モデルによるテンプレートマッチングと濃度勾配による集中度特徴を用いて探索する。第 3 章では、厚い乳腺の辺縁領域に存在している一部領域の欠損した腫瘍陰影の自動検出法について述べる。厚い乳腺の辺縁領域を複数の探索領域に分割して、扇型腫瘍モデルを用いて腫瘍陰影を探索する手法である。第 4 章では、医師のマンモグラム読影自習データベースを用いて、医師の読影結果と CAD システムの検出結果の比較について述べる。最後に、第 5 章では本研究全体のまとめと今後の課題について議論する。

A study on automated detection systems for mammographic masses with a partial loss of region

Yuji Hatanaka

Graduate School of Engineering

Gifu University

Yanagido 1-1, Gifu 501-1193, Japan

Tel: +81-58-293-2746 Fax: +81-58-230-1895

E-mail: hatanaka@fjt.info.gifu-u.ac.jp

Thesis adviser: Professor Hiroshi Fujita

Abstract

The purpose of this study is to develop an automated method for detecting mammographic masses with a partial loss of region. This paper consists of five chapters. Chapter 1 introduces the background and overview of this study. Chapter 2 proposes an automated method for the detection of partial loss masses existing near the chest wall. The partial loss masses are detected by the template-matching technique using sector-shaped mass patterns and the concentration feature. Chapter 3 describes the approach for detecting partial loss masses existing around margins of thick mammary-gland. The searching areas are divided into four parts on margins of mammary-gland to search for the partial loss masses, which will be detected by sector-shaped mass patterns. Chapter 4 demonstrates the results of comparing the performance between physicians' interpretation and cancer detection by a mammographic computer-aided diagnosis (CAD) system. Finally, Chapter 5 summarizes all of these studies and discusses the further works.

<目次>

第1章 緒論	1
1. 1 乳がん検診の背景	1
1. 2 CADシステムの現状	1
1. 3 乳房X線写真のためのCADシステム	2
1. 4 本論文の目的および論文の構成	2
参考文献	3
 第2章 乳房X線写真の胸壁側に存在する 欠損腫瘍陰影の自動検出法	7
2. 1 緒言	7
2. 2 方法	9
2.2.1 対象画像	9
2.2.2 探索領域の決定	9
2.2.3 特徴量の算出	9
2.2.4 偽陽性候補の削除	13
2. 3 腫瘍モデルの形状の決定	14
2.3.1 扇型の中心角度の決定	15
2.3.2 扇型の直径の決定	16
2. 4 検出性能の評価実験	17
2.4.1 従来法と本手法との比較	17
2.4.2 従来システムと改良されたシステムの性能評価	18
2. 5 結言	20
参考文献	20
 第3章 乳房X線写真上の乳腺辺縁領域に存在する 欠損腫瘍陰影の自動検出法	23
3. 1 緒言	23
3. 2 方法	24
3.2.1 乳腺の辺縁領域に存在する欠損腫瘍陰影の探索方法	24
3.2.2 特徴量の計算	26
3.2.3 腫瘍候補の判定	29
3.2.4 偽陽性候補の削除	31
3. 3 結果	31
3. 4 結言	33
参考文献	33

第4章 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	35
4.1 緒言	35
4.2 方法	36
4.2.1 使用した症例	36
4.2.2 読影自習	36
4.2.3 マンモグラフィ CAD システム	37
4.2.4 医師と CAD の比較方法	38
4.3 結果と考察	38
4.3.1 読影経験別の診断能	38
4.3.2 症例別の医師と CAD システムの比較	40
4.3.3 所見別の医師と CAD システムの比較	45
4.3.4 異常症例全体による医師と CAD システムの比較	45
4.3.5 考察	46
4.4 結言	47
参考文献	47
第5章 結論	49
謝辞	51
本論文で用いた論文リスト	53
研究業績	55

第 1 章

緒 論

第1章 緒論

1.1 乳がん検診の背景

近年の食生活の欧米化に伴い、本邦における乳がんの罹患率が増加しており、少なくとも都市部では1990年代に女性のがんの第一位になっている[1]。マンモグラフィ（Mammography、乳房X線写真を用いた検査方法）による乳がん検診は、欧米諸国では検診精度の高さによって、有用な方法として実施されている。本邦では問診と触診を主体とした検診が行われてきた。しかし、早期の乳がんは触知で発見できないこともあり、診断にマンモグラフィは有用である。厚生省老人保健福祉局老人保健課長通知「“がん予防重点健康教育およびがん検診実施のための指針”の一部改正について」（2000年3月）によって、50歳以上の女性に対しては、2年に1回の視・触診とマンモグラフィ併用検診が事実上、原則化された。

本邦での精度の高いマンモグラフィを導入するため、1998年に6学会によって、マンモグラフィ検診精度管理中央委員会が設置された。そして、1999年3月より、マンモグラフィ検診精度管理中央委員会が医師に対して読影講習会を開くことによって、マンモグラフィの普及活動を行ってきた。2001年11月現在、読影講習会は33回実施され、講習会の修了者は約1,600名になるが、全国各地の検診において、読影医はまだ不足している。読影医の不足により、医師には短時間に効率よく、精度の高い読影を要求されているため、読影の補助を目的とするコンピュータ支援診断（CAD: computer-aided diagnosis）システムへの要望がますます大きくなると思われる[2-4]。

1.2 CADシステムの現状

CADシステムとは、放射線画像を初めとする医用画像に対して、コンピュータによって定量的に解析された結果を医師に提示し、診断を支援するシステムのことである。CADには、見落としやすい病変をコンピュータによって検出し、これを医師に提示することによって見落としを減少させることが目的のシステム[5-16]と、画像処理技術によって視覚的に診断を支援するシステムがある[17-19]。

第1章 緒論

病変をコンピュータによって自動認識させる CAD システムの研究対象には、乳房 X 線写真 [5-7]，胸部単純 X 線写真 [8, 9]，胸部 X 線 CT 像 [10-12]，胃 X 線 [13, 14]，乳房超音波断層像 [15]，眼底写真 [16] などがある．1998 年 6 月に米国 R2 technology 社のマンモグラフィ CAD システム「ImageChecker」が FDA（米国食品医薬品局）から臨床用装置としての認可を受け、本邦でも 2000 年 6 月に厚生省（現厚生労働省）の許可を受け、CAD システムとして初めて商品化された．

画像処理技術によって視覚的に診断を支援するシステムには、胸部単純 X 線写真を経時差分処理によって病変を強調表示するシステム [17, 18]，三次元医用画像によって仮想化内視鏡を生成するシステム [19] などがある．

1.3 乳房 X 線写真のための CAD システム

乳房 X 線写真のための CAD における腫瘍陰影の自動検出アルゴリズムに関して様々な報告がある．これまでに左右の乳房の濃度を比較することによって検出する手法 [19]，コントラスト補正し領域成長法を利用した手法 [20]，濃度勾配の集中度を利用した検出法 [21] などの報告がある．われわれの研究グループもこれまでにしきい値を適度に自動変化させて検出する手法（以下，従来法とする）[22, 23]を開発してきた．その後，さらに多くの症例に対して検出実験を行った結果，これらの手法では検出困難な腫瘍陰影が存在することが分かった．それは，胸壁付近に存在するために乳房の撮影時に全体が写らず一部領域の欠損した腫瘍陰影（以下，欠損腫瘍陰影とする）と，厚い乳腺と重なって腫瘍陰影と乳腺領域の境界が不明瞭な腫瘍陰影であった．厚い乳腺と重なる腫瘍陰影の自動検出アルゴリズムについては笠井らが報告している [24] が，処理時間が長いこと，偽陽性候補数（誤検出数）が多いことが問題となっていた．欠損腫瘍と厚い乳腺と重なる腫瘍陰影は，いずれも画像上で類円形をなさない特殊なパターンであるため，他の研究グループでも検出が困難であると考えられる．

1.4 本論文の目的および論文の構成

本論文は乳房 X 線写真における一部欠損領域のある腫瘍陰影の自動検出ア

ルゴリズムの開発に関して述べるものであり、胸壁側に存在する欠損腫瘍の自動検出アルゴリズムと、厚い乳腺と重なって境界が不明瞭な腫瘍陰影の自動検出アルゴリズムと、改良されたCADシステムを用いた検出結果と医師の読影結果との比較実験について述べる。

本論文では5章から構成されており、第2章、第3章、第4章の概要を以下に述べる。

まず、第2章では胸壁側に存在している欠損腫瘍の自動検出アルゴリズムについて述べる。対象となる欠損腫瘍陰影は扇型の一例であると考え、扇型腫瘍モデルを定義した。この手法は、扇型腫瘍モデルによるテンプレートマッチングと、濃度勾配による集中度特徴を基本として、欠損腫瘍を探索する。本章の後半では、扇型腫瘍モデルを決定するための実験内容と、従来のCADシステムに本章の手法を加えた新しいCADシステムの評価実験について述べる。

第3章では、厚い乳腺の辺縁領域に存在して一部の境界が不明瞭な腫瘍陰影の検出アルゴリズムについて述べる。4種類の扇型腫瘍モデルを探索領域ごとに使い分けて、腫瘍陰影を探索する。そして第2章で述べた手法と本章で述べた手法を従来のCADシステムに加えた新しいCADシステムを構築し、新CADシステムを用いた検出性能の評価実験について述べる。

第4章では、読影自習で提示された100枚(異常21症例、正常29症例)の乳房X線写真に対して、医師579人が解答した乳がんの読影結果とCADシステムの検出結果との比較・検討を行い、医師が検出困難な症例でもCADシステムは検出可能であることを示す。なお、本章で用いたCADシステムには、第2章、第3章で述べた新しい腫瘍陰影の自動検出法によって、真陽性率が90%まで向上した腫瘍陰影の自動検出アルゴリズムが含まれている。

最終第5章では、本論文の結論を示した上で、本論文で示したCADシステムの将来展望について述べる。

参考文献

1. The research group for population-based cancer registration in Japan : Cancer incidence and incidence rates in Japan in 1995: Estimates based on data from nine population-based cancer registries, Japan Journal of Clinical Oncology, vol. 30, no. 7, pp. 318-321, 2000.

第1章 緒論

2. 難波 清：日本における ImageChecker 試用試験, INNERVISION, vol. 14, no. 10, pp. 14-15, 1999.
3. 岩瀬拓土, 白和ひとみ, 藤田広志：マンモグラフィ CAD システム：岐阜大学開発のマンモグラフィ CAD システム・臨床試用リポート, INNERVISION, vol. 14, no. 10, pp. 23-25, 1999.
4. 縄野 繁, 藤川弘幸, 永井優一, 野畑 強：FCR-MMG による CAD システム・臨床試用レポート, INNERVISION, vol. 14, no. 10, pp. 30-33, 1999.
5. 長谷川玲：マンモグラム読影のための新しい道具, INNERVISION, vol. 14, no. 10, pp. 7-11, 1999.
6. 小畑秀文：マンモグラフィ CAD システム・技術レポート, INNERVISION, vol. 14, no. 10, pp. 26-29, 1999.
7. 松原友子, 藤田広志：乳癌画像診断のための CAD, 日本放射線技術学会雑誌, vol. 56, no. 3, pp. 324-331, 2000.
8. 桂川茂彦, 杜下淳次, 石田隆行, 土井邦雄：胸部単純写真の CAD, 日本放射線技術学会雑誌, vol. 56, no. 3, pp. 332-336, 2000.
9. 原 武史, 藤田広志, 吉村 仁, 松本常男：胸部 X 線写真における結節状陰影の自動検出 - 遺伝的アルゴリズムの適用 -, Medical Imaging Technology, vol. 15, no. 1, pp. 45-53, 1996.
10. 仁木 登：肺癌 CT 検診支援システム, 日本放射線技術学会雑誌, vol. 56, no. 3, pp. 327-340, 2000.
11. 山本眞司, 江 浩, 松本 徹, 館野之男, 飯沼 武, 松本満臣：肺がん検診用 CT (LSCT) 読影支援システム・技術レポート (臨床面も含めて), INNERVISION, vol. 14, no. 10, pp. 60-65, 1999.
12. Y. Lee, T. Hara, H. Fujita, S. Itoh and T. Ishigaki: Automated detection of pulmonary nodules in helical CT images based on an improved template-matching technique, IEEE Transaction on Medical Imaging, vol. 20, no. 7, pp. 595-604, 2001.
13. 長谷川純一：胃画像の CAD, 日本放射線技術学会雑誌, vol. 56, no. 3, pp. 341-344, 2000.
14. 福島重廣, 吉本康一：胃 X 線二重造影の画像理解システムの構築, 日本放射線技術学会雑誌, vol. 56, no. 3, pp. 418-427, 2000.
15. 福岡大輔, 藤田広志：三次元乳腺超音波画像のための CAD システムの開発, INNERVISION, vol. 14, no. 10, pp. 70-73, 1999.

16. J. Hayashi, T. Kunieda, J. Cole, R. Soga, Y. Hatanaka, M. Lu, T. Hara and H. Fujita: A development of computer-aided diagnosis system using fundus images, Proceedings of the 7th International Conference on Virtual Systems and MultiMedia (VSMM 2001), pp. 429-438, 2001.
17. 真田 茂, 佐藤浩史, 小林 健, 松井武司, 高島 力: 肺紋理を対象とした画像位置合わせ法—胸部X線画像の時間的差分法—, 日本放射線技術学会雑誌, vol. 56, no. 3, pp. 398-404, 2000.
18. 加野 亜紀子, 池添潤平, 安原美文, 藤田広志: 胸部集団検診X線画像を対象とした経時差分処理における新しい自動重ね合わせ法, 電子情報通信学会論文誌 D-II, vol. J83-D-II, no. 1, pp. 263-270, 2000.
19. 森 健策, 鳥脇純一郎: バーチャルエンドスコープ, 日本放射線技術学会雑誌, vol. 56, no. 3, pp. 349-354, 2000.
20. F. F. Yin, M. L. Giger, K. Doi, C. J. Vyborny, and R. A. Schmidt: Computerized detection of masses in digital mammograms: Automated alignment of breast images and its effect on bilateral-subtraction technique, Medical Physics, vol. 21, no. 3, pp. 445-452, 1994.
21. N. Petrick, H. P. Chan, B. Sahiner, and M. A. Helvie: Combined adaptive enhancement and region-growing segmentation of breast masses on digitized mammograms, Medical Physics, vol. 26, no. 8, pp. 1642-1654, 1999.
22. 金 華栄, 小畑秀文: 乳房X線像における悪性腫瘤陰影の自動検出, 電子情報通信学会論文誌 D-II, vol. J76-D-II, no. 2, pp. 288-295, 1993.
23. 松原友子, 藤田広志, 遠藤登喜子, 堀田勝平, 池田 充, 木戸長一郎, 石垣武男: 乳房X線写真における腫瘤陰影検出のためのしきい値法に基づく高速処理アルゴリズムの開発, Medical Imaging Technology, vol. 15, no. 1, pp. 1-13, 1997.
24. 松原友子, 笠井 聡, 関 和泰, 藤田広志, 原 武史, 遠藤登喜子: マンモグラムのためのコンピュータ診断支援システムの開発—腫瘤陰影の自動検出における低濃度領域抽出法の改善—, 日本乳癌検診学会誌, vol. 7, no. 1, pp. 87-101, 1998.
25. 笠井 聡, 松原友子, 藤田広志, 原 武史, 畑中裕司, 遠藤登喜子: マンモグラム上の乳腺領域周辺に存在する腫瘤陰影検出に特化したアルゴリズムの開発, 医用電子と生体工学, vol. 38, no. 2, pp. 111-117, 2000.

第1章 緒論

第 2 章

乳房 X 線写真の胸壁側に存在する欠損腫瘤陰影の自動検出法

第2章 乳房X線写真の胸壁側に存在する欠損腫瘍陰影の自動検出法

2.1 緒言

マンモグラムCADにおける腫瘍陰影の自動検出アルゴリズムに関して様々な報告がある。これまでに左右の乳房の濃度を比較することによって検出する手法[1], コントラスト補正し領域成長法を利用した手法[2], 濃度勾配の集中度を利用した検出法[3]などの報告がある。われわれもこれまでにしきい値を適度に自動変化させて検出する手法[4, 5]を提案した。さらに厚い乳腺の周辺に存在して乳腺組織と腫瘍陰影との濃度に差が少ない腫瘍陰影を対象とした手法も提案した[6]。その後, さらに多くの症例に対して検出実験を行った結果, これらの手法では検出困難な腫瘍陰影が存在することが分かった。それは, 図2.1のように胸壁付近に存在するために乳房の撮影時に全体が写らず一部領域の欠損した腫瘍陰影(以下, 欠損腫瘍陰影とする)であった。通常の乳癌検診では, 内外斜位方向(MLO: medio-lateral oblique)撮影が主に行われ

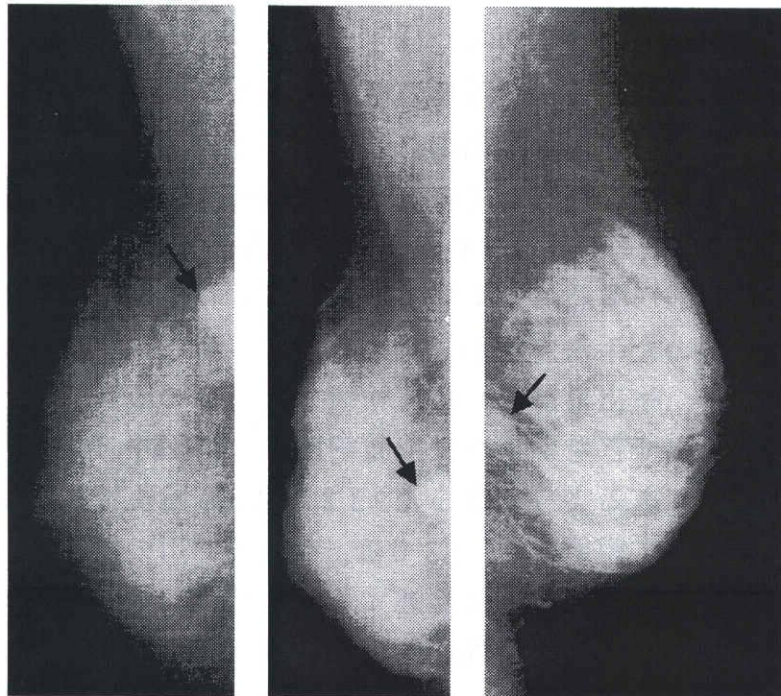


図 2.1 胸壁側に存在する欠損腫瘍の例。

第2章 胸壁側に存在する欠損腫瘍の自動検出法

ている．この撮影時には，胸壁の彎曲による病変の抽出漏れ（ブラインドエリア）を避けることができず，MLO撮影による画像では乳房の上部外側（胸筋領域に重なる領域）および乳房下部組織がブラインドエリアになりやすいとされている[7]．また，MLOを補完する目的で頭尾方向（Cranio-caudal: CC）撮影が一般の診断では用いられるが，MLO撮影とは異なる領域がブラインドエリアになりやすい問題点が依然として残る．よって，本研究で対象とする欠損腫瘍陰影はMLO画像とCC画像の両方に起こる可能性がある．このブラインドエリア付近に腫瘍陰影が存在する場合，腫瘍陰影の一部の領域が画像から欠損してしまうことがある．ブラインドエリアはポジショニングの問題であるため，工学的な技術での解決は非常に困難である．

ある施設で撮影されたデータベース（1,257症例4,623枚）の中に悪性の腫瘍陰影が208個あり，この中には欠損腫瘍陰影が8%（17個）存在した．このような欠損腫瘍陰影を検出対象としたとき，われわれの従来の検出システムでは59%（10/17個）しか検出できなかった．この理由として，従来の検出システムは，腫瘍陰影は画像上では類円形の構造であるという前提で検出アルゴリズムを開発しているが，欠損腫瘍陰影は画像上で類円形をなさないためであると考えられる．また，欠損腫瘍陰影の検出を対象とした国内外の研究者らによる報告は筆者らの知る限りではまだない．他の研究者らによる検出手法でも，腫瘍陰影は画像上で類円形の構造であるという大前提であると考えられ，このような腫瘍陰影の検出漏れの増加が予測される．

本研究では，胸壁側に存在している一部領域の欠損した腫瘍陰影（欠損腫瘍陰影）を検出するために，われわれの既に報告している検出手法[6]を応用した．すなわち，扇形腫瘍モデルによるテンプレートマッチングと濃度勾配による集中度を用いた手法を利用した．そして，新しい手法を従来の検出システムに組み込み，検出性能について検討した．この改良の結果，従来の検出システムでは検出できなかった欠損腫瘍陰影の12個中10個を改良した検出システムでは検出できるようになった．2.2では，本論文で用いる検出手法のアルゴリズムについて説明する．2.3では，本手法で用いた扇型腫瘍モデルの形状を決定した評価実験について記述する．また，2.4では，この検出法を用いたときの欠損腫瘍陰影の検出性能の評価実験とその結果について述べる．

2.2 方法

2.2.1 対象画像

本研究で使用する画像は、スクリーン／フィルム系を用いて撮影されたMLO及びCCの乳房X線写真を、レーザディジタイザ（Konica LD-5500）を用いてデジタル化したものである。サンプリング間隔は0.05mmあるいは0.1mm、濃度分解能は12bit、濃度レンジは0.0～4.0である。デジタル化後に乳房部分の辺縁（スキンライン）の自動抽出処理[8]を行い、フィルムの患者情報部分など乳房外の領域を除去した。検出対象とする通常の腫瘍陰影は直径5mm以上を想定している。腫瘍陰影の検出に関しては、サンプリング間隔0.05mmの高解像度は必要なく、処理時間短縮のためにサンプリング間隔0.4mm相当の画像に縮小した画像を利用した。

2.2.2 探索領域の決定

本研究で対象とする腫瘍陰影は胸壁付近に存在しているため、図2.2の太線のように幅20画素(8mm)の領域を探索領域とした。ただし、画像の上端と下端の30画素分の領域は検出処理において誤検出する傾向があったため探索領域としなかった。なお、われわれの1万枚以上の画像データベース中に、この除外した領域に存在する腫瘍陰影は1例しかなかった。次にPrewittフィルタを用いた胸筋領域の抽出処理[9]を行い、探索領域を図2.2のように胸筋を含む領域（Area A）と、胸筋領域を含まない領域（Area B）とに分割した。これは、乳房領域と胸筋領域とでは濃度値が異なり、また、それぞれの領域においては、腫瘍陰影と正常組織の濃度差が異なる。従って、それぞれ異なった検出条件を設定する必要がある。

2.2.3 特徴量の算出

本検出法では、厚い乳腺の辺縁領域に存在する腫瘍陰影の自動検出で提案した検出法[6]を応用し、(A)画素値の平均、(B)画素値の標準偏差、(C)扇型腫瘍モデルを利用したテンプレートマッチング、(D)濃度勾配を用いた集中度、からなる4つの特徴量を用いた。ここで、(A)、(B)、(D)の特徴量の算出には図2.3のA、Bに示す扇型マスクを利用した。腫瘍陰影の中心付近は濃度変化が少なく、(A)、(B)、(D)の算出結果に影響するため、中心を切り取った

第2章 胸壁側に存在する欠損腫瘍の自動検出法

形状とする。そして、扇型の中心を腫瘍陰影の候補点とした。

2.2.3.1 画素値の平均

図2.3のA, Bの黒色マスク領域における画素値の平均を算出する。腫瘍陰影は、基本的に他の組織よりも光学濃度が低いため、一定値以下を示す候補点は腫瘍候補ではないと判断し、(B), (C), (D)の算出は行わなかった。

2.2.3.2 画素値の標準偏差

図2.3のA, Bの黒色マスク領域における画素値の標準偏差値を算出する。領域に乳腺組織や血管を含む場合、濃度変化が大きくなるため、標準偏差値は大きくなる。したがって、標準偏差値が一定値以上である候補点は腫瘍候補ではないと判定し、(C), (D)の算出は行わなかった。

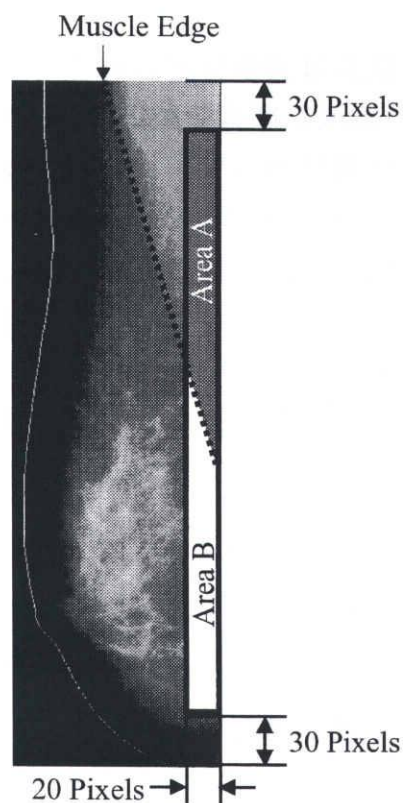


図2.2 欠損腫瘍の探索領域。Area A：胸筋領域上の探索領域。Area B：胸筋領域外の探索領域。

2.2.3.3 扇型腫瘍モデルを利用したテンプレートマッチング

図2.4のC, Dのような扇形状の画像を参照画像として, 図2.2の探索領域に対してテンプレートマッチングを行った. 扇型腫瘍モデルとの類似性の評価には, 規格化された相互相関係数による類似度[10]を用いた. 図2.4の参照画像は直径41画素でガウス分布状の画像を中心角120度で切り取った形状とした. この形状とした理由を以下に述べる.

典型的な腫瘍陰影は球状であると仮定する. 二次元画像で球が表現される時, 中心部は白, 辺縁部へ向かうにしたがって黒くなる. また, 辺縁部ではボケるため, 明確なエッジはないと考えられる. このことから, 腫瘍陰影は画像上でガウス分布に近似すると仮定した. 本研究では腫瘍領域の一部が画像から欠損している症例を検出対象としているため, ガウス分布画像を切り取った扇型として参照画像とした.

2.2.3.4 濃度勾配を用いた集中度

Sobelフィルタにより求めた濃度勾配を利用し, 集中度の算出を行った. 集中度 $C(i, j)$ を次式に示す.

$$C(i, j) = \sum_{x, y \in R} d(x, y) f(x, y) \quad (2.1)$$

ここで, $d(x, y)$ はSobelフィルタにより計算される濃度勾配の強度成分を示す. また, $f(x, y)$ は次式で定義される.

$$f(x, y) = \cos[\theta(x, y) + n \cdot \sin\{2\theta(x, y) - \pi\}] \quad (2.2)$$

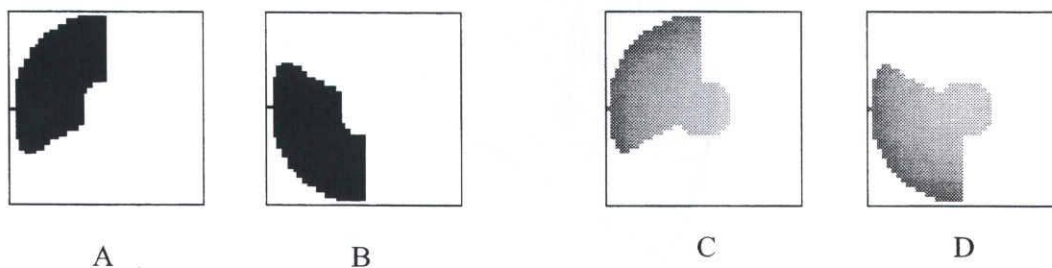


図2.3 3種類の特徴量の計算に使用した2つの扇型マスク

図2.4 テンプレートマッチングに使われた2つの参照画像

$f(x, y)$ は濃度勾配の方向成分に影響され、濃度勾配の方向成分がマスクの中心方向となるときの大きな値を示す．式(2.1)，(2.2)の各要素 $p(x, y)$ ， $d(x, y)$ ， $\theta(x, y)$ の関係を図2.5に示す． $p(x, y)$ は、扇型マスクR内にある画素を示す． $\theta(x, y)$ は、マスクの中心と $p(x, y)$ がなす角度と濃度勾配の方向との差である． n を6通りに変化させたときの $f(x, y)$ と $\theta(x, y)$ との関係を図2.6に示す．式(2.2)の中の“ n ”の値を大きくすると、角度 $\theta(x, y)$ の変化によって $f(x, y)$ の落ち込みが大きくなることが示されている． $n=0$ のとき、式(2.2)は \cos 関数となる．つまり、“ n ”によって、 $\theta(x, y)$ の変化による出力値 $f(x, y)$ の変化を調整することが可能である．本研究では実験的に $n=0.2$ と決定した．

$d(x, y)f(x, y)$ は濃度勾配が腫瘍の中心方向へ向き、かつその強度が大きいとき、大きな値となる．また、集中度 $C(i, j)$ は $d(x, y)f(x, y)$ が大きな値を示す成分が多いとき、大きな値を示す．

2.2.3.5 腫瘍候補の判定

まず、画素値の平均と標準偏差を算出し、それぞれが一定条件を満たす候補に対して、扇型腫瘍モデルを利用したテンプレートマッチング(類似度)と

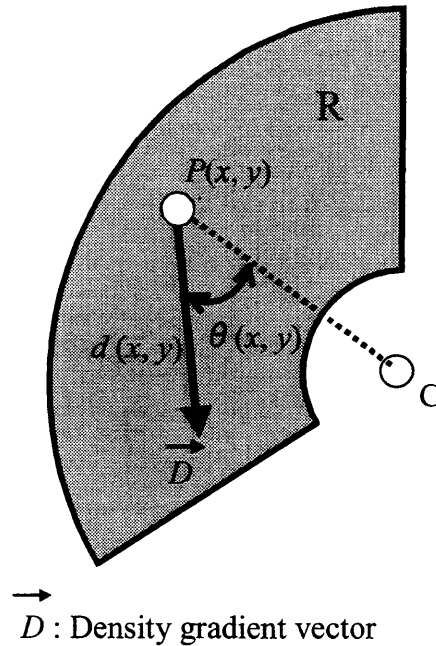


図2.5 集中度の計算のための要素

濃度勾配による集中度を算出した．腫瘍候補の判定には次の判定関数 $S(i, j)$ を用いた．

$$S(i, j) = R(i, j)C(i, j) \quad (2.3)$$

ここで $R(i, j)$ は乳房X線画像の画素値と参照画像の画素値との規格化相関係数である．本手法では1画像中に $S(i, j)$ が最高値を示す候補を腫瘍候補とした．われわれのデータベースにおいて，各1枚の画像中に複数の欠損腫瘍陰影が存在することはなかったため，検出される候補数は1画像あたり1個とした．ただし， $S(i, j)$ が一定値に満たない場合は腫瘍候補としなかった．

2.2.4 偽陽性候補の削除

本手法では類似度，濃度勾配による集中度を検出特徴量にしているため，微小な濃度変化による偽陽性候補がいくつか存在した．そこで本研究では，従来の検出法でも利用している二次統計量を用いた手法[11]を用いて，偽陽性候補の削除を行った．以下に二次統計量の詳細を述べる．

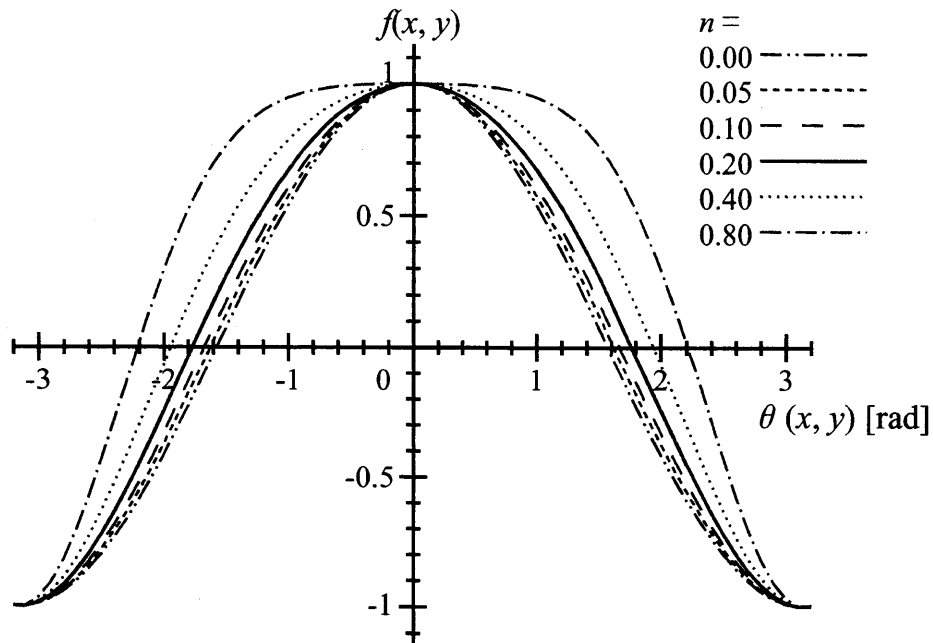


図 2.6 式(2.2)で定義した $f(x, y)$ の6つの“ n ”に対する曲線の例

第2章 胸壁側に存在する欠損腫瘍の自動検出法

今回用いた特徴量は，同時濃度生起行列から3つ，差分統計量から1つである．同時濃度生起行列からは，角度別2次モーメント (*ASM*)，逆差分モーメント (*IDM*)，エントロピー (*ENT*)である．

$$ASM = \sum_{i,j} Q(i,j) \cdot Q(i,j) \quad (2.4)$$

$$IDM = \sum_{i,j} \frac{Q(i,j)}{1+(i-j)^2} \quad (2.5)$$

$$ENT = -\sum_{i,j} Q(i,j) \cdot \log Q(i,j) \quad (2.6)$$

ここで， $Q(i,j)$ は行列である．*ASM*は，作成された行列要素の値のバラツキ方を示しており，行列の要素の値が集中しているほど大きくなるため，腫瘍陰影の場合は小さくなる傾向にあった．*IDM*は，行列の*i*と*j*における要素の差が小さいところに要素が固まっていると値は大きくなるため，腫瘍陰影の場合は大きな値を示す傾向にあった．*ENT*は，行列の要素に値が均等に割り当てられている場合ほど大きくなるため，腫瘍陰影の場合は大きな値を示す傾向にあった．また，差分統計量からはコントラスト (*CNT*) を用いた．

$$CNT = \sum_{i,j} k \cdot k \cdot P(i,j) \quad (2.7)$$

ここで， P は行列を示し， k は濃度差である．

本手法は形状解析による手法ではないため，索状影（線状な陰影）を削除する手法[12]は行わなかった．また，腫瘍陰影の領域の欠損があるため，検出候補のエッジ構造を利用して偽陽性候補を削除する手法[13]も行わなかった．さらに，本研究で対象としている領域が画像の端であり，検出された領域と同一領域が対側乳房に存在することはまれなため，左右乳房を比較することによる手法[14]も行わなかった．

2.3 腫瘍モデルの形状の決定

本研究で用いる扇型模擬腫瘍の最適な形状を求めるために，以下の2つの実験を行った．2.3.1では，扇型の中心角度を変えたモデルを6パターン用意し，

最適な中心角度の検討を行った。また、2.3.2では、扇型の直径を変えたモデルを5パターン用意し、最適な扇型の直径の検討を行った。

2.3.1 扇型の中心角度の決定

本手法で用いる模擬腫瘍および特徴量計算用マスクの扇型の角度を決定するための実験を行った。使用したデータベースは欠損腫瘍陰影28個を含む28枚と正常例307枚からなる335枚の乳房X線画像である。扇型のパターンは中心角60度、90度、120度、150度、および180度の6パターンを用意した。なお、直径は41画素とした。それぞれのパターンを使い、判定関数 $S(i, j)$ に対するしきい値を変化させながら検出性能を調べた。ここで用いたデータベースは同じであるが、検出対象の領域を図2.2で示していた範囲に限定して評価を行った。

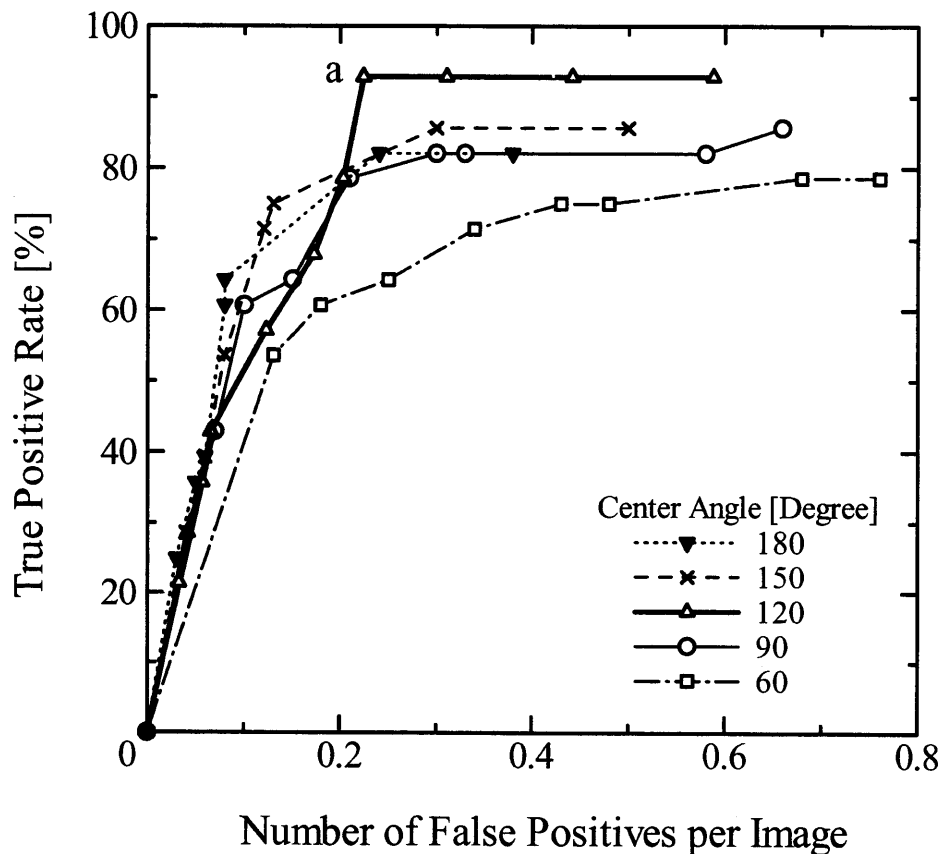


図 2.7 扇型モデルの角度（60,90,120,150,180 度）の変化による FROC 曲線の比較

結果をFROC (free-response receiver operating characteristic) [15] 曲線として図2.7に示す. 偽陽性候補数が少ない領域 (0.2個以下) では, 中心角が150度, 180度のときの結果が良好であった. しかし, 偽陽性候補数を少なくしてもっとも真陽性率が高かったのは中心角が120度の場合で, 真陽性率が93%のときに1画像当たりの偽陽性候補数が0.22個であった (図2.7のa点). この結果から, 扇型の中心角を120度と決定した.

2.3.2 扇型の直径の決定

前節と同様のデータベースを用い, 扇型の直径を決定する実験を行った. 扇型のパターンは直径31画素, 35画素, 41画素, 45画素, および51画素の5パターンを用意した. それぞれのパターンを使い, 判定関数 $S(i, j)$ に対するしきい値を変化させながら検出性能を調べた. 条件は2.3.1と同じである.

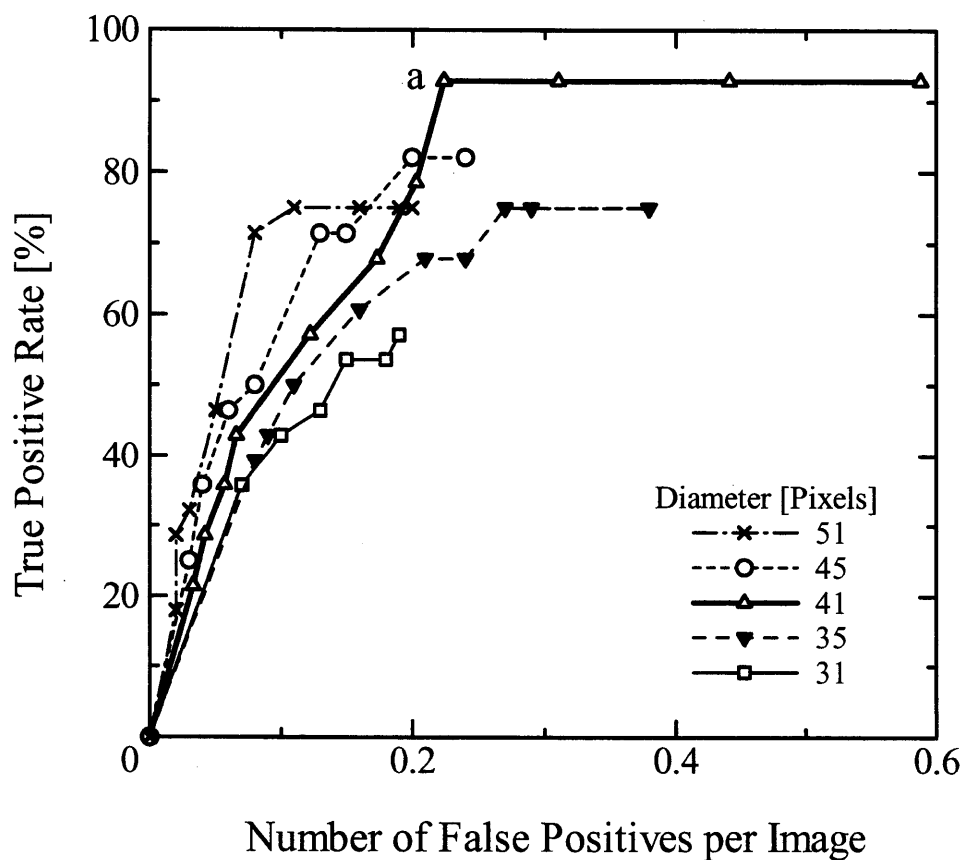


図2.8 扇型モデルの直径 (31, 35, 41, 45, 51 画素) の変化によるFROC曲線の比較

結果を図2.8に示す。直径が大きいほど、FROCカーブの立ち上がりが早くなる。すなわち、直径が大きいほど、偽陽性候補数が少なく、高い真陽性率が得られる結果となった。これは直径が大きくなると正常な乳腺構造による小さな濃度変化に影響した誤検出が少なくなるためであると考えられる。しかし、直径が大きくなることにより、対象とする腫瘍陰影との類似度が下がり、真陽性率が最も良いときよりも下がった。図2.8の結果から、直径41画素のときが最も良く、真陽性率が93%のとき、1画像当たりの偽陽性候補数が0.22個であり（図2.8のa点）、本手法では直径41画素で中心角が120度の扇型を採用した。

2.4 検出性能の評価実験

本手法の性能評価を行うため、2つの実験を行った。2.4.1では従来法の検出対象領域を本手法と同様に胸壁側に限定し、性能の比較を行った。2.4.2では従来の検出システムと本手法を加えて改良したシステムの性能の比較を行った。2.4.2での従来システムの検出対象領域は画像全体である。

2.4.1 従来法と本手法との比較

2.4.1.1 実験方法

従来法と本手法との検出性能の比較実験を行った。使用したデータベースは2.3と同様の335枚の乳房X線画像である。本手法と従来法とをFROCカーブを用いて比較した。従来法は乳房画像全体を検出対象としているため、本手法とは検出対象領域が異なる。そのため、乳房画像の胸壁側から20画素までの領域に重心のある検出候補、あるいは画像の胸壁側端に接している候補を集計対象とした。

2.4.1.2 結果と考察

図2.9に本手法と従来法とを比較したFROCカーブを示す。図2.9より、偽陽性候補数が0.12個以上のFROCカーブは従来法よりも本手法の方が偽陽性候補数を少なくして高い真陽性率が得られていることが分かる。本手法では真陽性率が93%のときに一画像当たりの偽陽性候補数が0.22個（図2.9のa点）であったが、従来法で同じ真陽性率になるときには偽陽性候補数が0.99個（第2.9図b点）となることから、従来法よりも本手法の方が偽陽性候補数を少なくして高い真陽性率が得られた。従来法では形状特徴量として円形度を用いているが、本研究で対象としている腫瘍陰影を検出可能にするには低

第2章 胸壁側に存在する欠損腫瘤の自動検出法

いしきい値設定をしなければならない。不整型で正常な乳腺構造の固まりも低い円形度となるが、本研究で対象としている腫瘤陰影を検出可能にするには低いしきい値設定をしなければならない。不整型で正常な乳腺構造の固まりも低い円形度となるため、誤検出が増加する。一方、本手法では形状に関する特徴量を用いていないため、そのような問題点は発生しない。ただし、滑らかな濃度変化のある領域に対しては従来法よりも誤検出が多くなる傾向にあった。

2.4.2 従来システムと改良されたシステムの性能評価

2.4.2.1 実験方法

従来システムに本手法を追加することによって改良された腫瘤陰影の自動検出システムの性能評価を行った。使用したデータベースは2.4.1と同様である。従来法のしきい値を変えることによって計算したFROCカーブとわれわれが通常用い

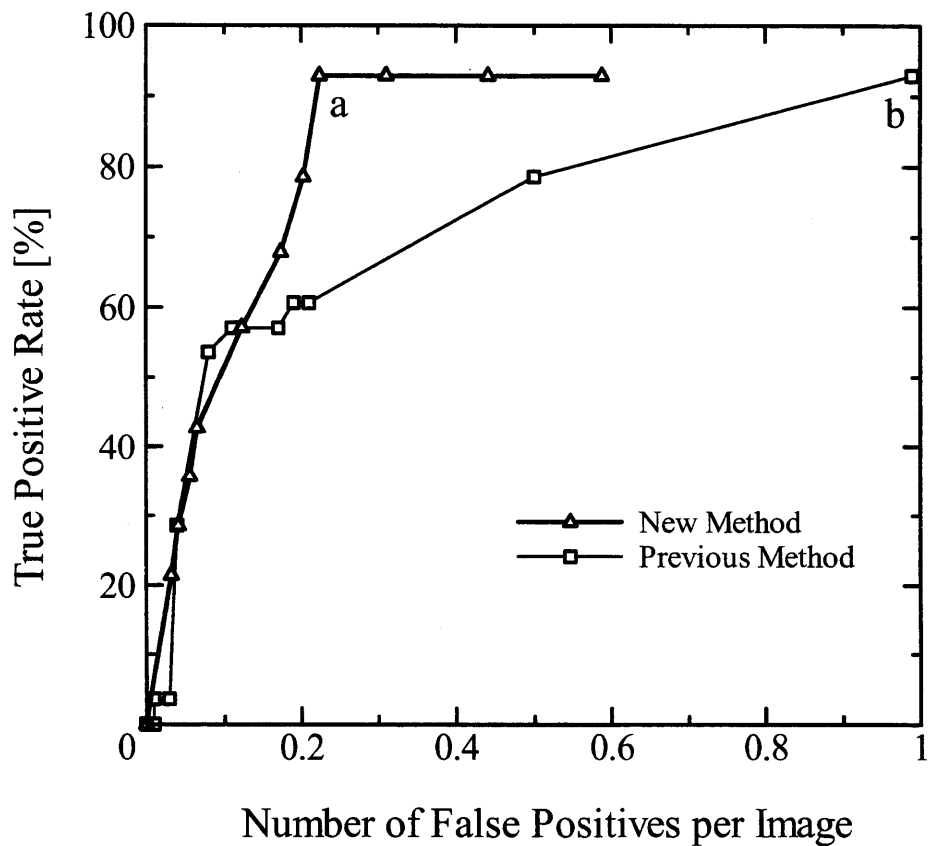


図 2.9 従来法と本手法との比較を示す FROC 曲線

ているしきい値設定に本手法を加えたFROCカーブを描き、本手法を追加したときの検出性能を評価した。

2.4.2.2 結果と考察

図2.10に従来法のしきい値を変えることによって計算したFROCカーブとわれわれが通常用いているしきい値設定(a点)に本手法を加えたFROCカーブを示す。図2.10の従来法の結果は画像全体を検出対象とした手法であるため、2.3.1のように局所的な集計ではない。a点では真陽性率が57%のとき、偽陽性候補数が0.88個であった。a点に本手法を加えて改良したシステム(b点)では、真陽性率が96%のとき、一画像当たりの偽陽性候補数が1.09個であった。従来法(a点)で検出できていなかった腫瘍陰影は12個であるが、改良されたシステムではそのうち10個が新たに検出可能となった。従来法のしきい値を変えることによって、改良されたシステムと同じ真陽性率まで向上

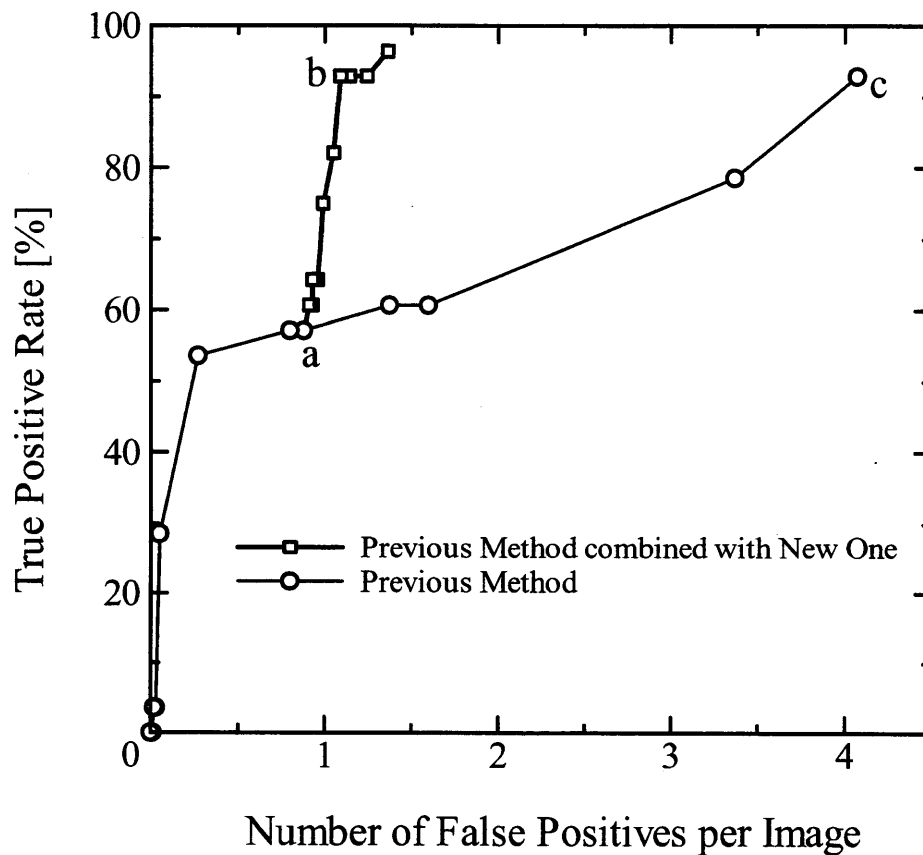


図2.10 従来システムと改良されたシステムのFROC曲線

第2章 胸壁側に存在する欠損腫瘍の自動検出法

するが、そのときの偽陽性候補数は4.07個となり、偽陽性候補数の多さの観点から見ると良い検出性能であるとはいえない。この結果から、改良されたシステムでは偽陽性候補数が約0.2個増加するが、真陽性率が約39ポイント(57%から96%)増加することが示された。

医師の検出能とCADシステムの検出能の比較を行った実験[2]では、医師がCADシステムを有効に利用できれば、医師の診断能が向上する可能性を示唆している。これより、真陽性率が100%でなくても、医師の診断の支援には有効であると考えられる。

2.5 結言

乳房X線写真において胸壁付近に存在し、一部領域の欠損した腫瘍陰影を検出する手法として、既報の検出手法[6]を応用した扇形状の腫瘍モデルを用いた検出法を利用した。この手法によって、従来法では検出困難であった欠損腫瘍陰影12個中10個の検出が可能となった。また、欠損腫瘍28個を含む335枚の乳房X線画像を用いて改良された検出システムの性能評価を行った。検出対象とする領域が胸壁側の局所領域に限定された本手法との検出性能を比較するために、従来手法の検出対象領域を胸壁側の局所領域に限定して、従来法と本手法とのFROCカーブを比較した。そのとき、本手法では真陽性率が93%のときに一画像当たりの偽陽性候補数が0.22個であったが、従来法で同じ真陽性率になるときには偽陽性候補数が0.99個となることから、従来法よりも本手法の方が偽陽性候補数を少なくして高い真陽性率が得られた。

また、従来法と本手法の結果を組み合わせることによる改良されたシステムを用いて性能評価したとき、偽陽性候補数が0.88個から1.09個に増加するが、真陽性率が57%から96%まで向上し、その有効性を示すことができた。

参考文献

1. F. F. Yin, M. L. Giger, K. Doi, C. J. Vyborny, and R. A. Schmidt: Computerized detection of masses in digital mammograms: Automated alignment of breast images and its effect on bilateral-subtraction technique, Medical Physics, vol. 21, no. 3, pp. 445-452, 1994.
2. N. Petrick, H. P. Chan, B. Sahiner, and M. A. Helvie : Combined adaptive enhancement and region-growing segmentation of breast masses on digitized mammograms, Medical Physics,

- vol. 26, no. 8, pp. 1642-1654, 1999.
3. 金 華榮, 小畑秀文: 乳房X線像における悪性腫瘍陰影の自動検出, 電子情報通信学会論文誌D-II, vol. J76-D-II, no. 2, pp. 288-295, 1993.
 4. 松原友子, 藤田広志, 遠藤登喜子, 堀田勝平, 池田 充, 木戸長一郎, 石垣武男: 乳房X線写真における腫瘍陰影検出のためのしきい値法に基づく高速処理アルゴリズムの開発, Medical Imaging Technology, vol. 15, no. 1, pp. 1-13, 1997.
 5. 松原友子, 笠井 聡, 関 和泰, 藤田広志, 原 武史, 遠藤登喜子: マンモグラムのためのコンピュータ診断支援システムの開発-腫瘍陰影の自動検出における低濃度領域抽出法の改善-, 日本乳癌検診学会誌, vol. 7, no. 1, pp. 87-101, 1998.
 6. 笠井 聡, 松原友子, 藤田広志, 原 武史, 畑中裕司, 遠藤登喜子: マンモグラム上の乳腺領域周辺に存在する腫瘍陰影検出に特化したアルゴリズムの開発, 医用電子と生体工学, vol. 38, no. 2, pp. 111-117, 2000.
 7. (社)日本医学放射線学会/(社)日本放射線技術学会 マンモグラフィガイドライン委員会: マンモグラフィガイドライン, pp. 5-13, 医学書院, 東京, 1999.
 8. 松原友子, 原 武史, 藤田広志, 遠藤登喜子, 岩瀬拓士, 堀田勝平: マンモグラムCADシステムにおける乳房スキンの自動抽出処理, 日本放射線技術学会雑誌, vol. 56, no. 3, pp. 480-485, 2000.
 9. 中川俊明, 笠井 聡, 原 武史, 藤田広志, 遠藤登喜子: 乳房X線写真における胸筋領域自動抽出法, 医用画像情報学会雑誌, vol. 18, no. 1, pp. 39-45, 2001.
 10. 森 健一: パターン認識, 3-4, 電子情報通信学会, 東京, 1993.
 11. 大塚 修, 笠井 聡, 畑中裕司, 藤田広志, 原 武史, 遠藤登喜子: 2次統計量を用いたマンモグラムCADシステムにおける腫瘍陰影の偽陽性候補の削除, 医用画像情報学会雑誌, vol. 16, no. 1, pp. 13-19, 1999.
 12. 笠井 聡, 藤田広志, 原 武史, 畑中裕司, 遠藤登喜子: マンモグラム上の腫瘍陰影自動検出アルゴリズムにおける索状影の偽陽性候補の削除, コンピュータ支援画像診断学会論文誌(インターネット論文誌: <http://www.toriwaki.nuie.nagoya-u.ac.jp/~cadm/Journal/index.html>), vol. 3, no. 2, pp. 1-7, 1999.
 13. 原 武史, 大塚 修, 藤田広志, 遠藤登喜子: マンモグラムCADシステムにおけるPrewittフィルタを利用した腫瘍陰影の偽陽性候補の削除, 日本放射線技術学会雑誌, vol. 56, no. 3, pp. 449-454, 2000.
 14. 笠井 聡, 藤田広志, 原 武史, 畑中裕司, 遠藤登喜子: 腫瘍陰影自動検出アルゴリズムにおける左右乳房画像の比較による偽陽性候補の削除, Medical Imaging Technology, vol. 16, no. 6, pp. 655-666, 1998.

第2章 胸壁側に存在する欠損腫瘤の自動検出法

15. 藤田広志，志村一男，白石順二，西原貞光，東田善治，山下一也（編者）：ROC解析の基礎と応用（放射線医療技術叢書8），日本放射線技術学会出版委員会，京都，1994.

第 3 章

乳房 X 線写真上の乳腺辺縁領域と胸壁側に存在する
欠損腫瘤陰影の自動検出法

第3章 乳房X線写真上の乳腺辺縁領域に存在する 欠損腫瘍陰影の自動検出法

3.1 緒言

乳癌の二大所見として、腫瘍陰影と微小石灰化像があげられる。多くの研究グループが腫瘍陰影の自動検出アルゴリズムを報告している[1-4]。われわれの研究グループでは、しきい値を適応的に変化させて腫瘍陰影を自動検出するアルゴリズムを開発してきた[5, 6]。この手法では、しきい値を変化させて、画像上から類円形の白い固まりを抽出することによって、腫瘍陰影を自動検出していた。しかし、6,000枚を越える多くの症例に対して検出実験を行ったところ、厚い乳腺の辺縁領域に存在する腫瘍陰影と、乳房の胸壁側に

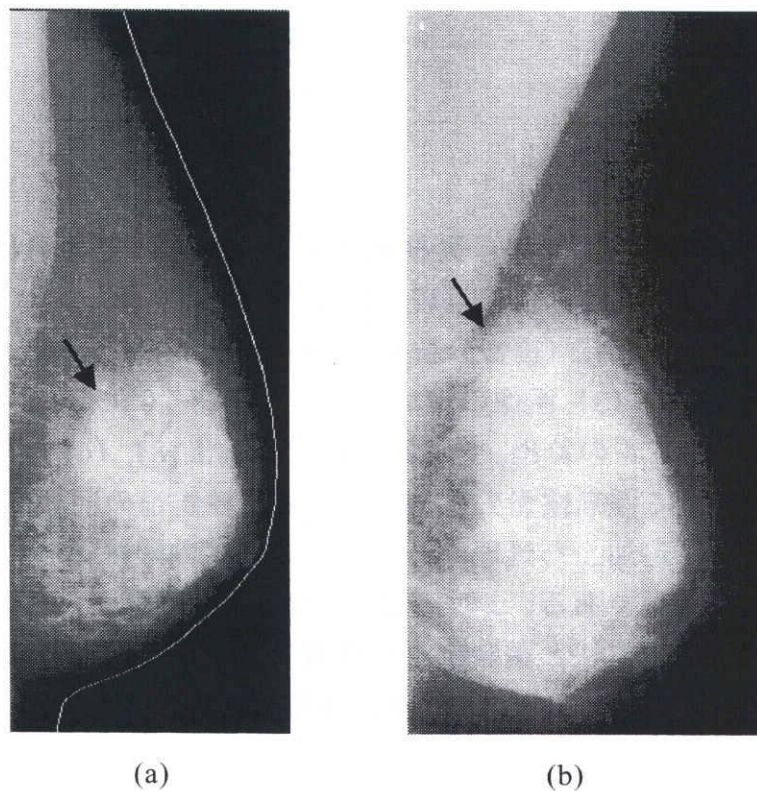


図3.1 しきい値に基づく手法で検出困難な厚い乳腺の辺縁領域に存在する腫瘍陰影。矢印は腫瘍陰影を示す。

第3章 乳腺辺縁領域に存在する欠損腫瘍の自動検出法

存在して一部の領域が画像から欠損している腫瘍陰影（以下、欠損腫瘍陰影）であった。検出に失敗する腫瘍陰影の例を図3.1に示す。図3.1は厚い乳腺と腫瘍陰影の画素値が近く、画像上では腫瘍陰影が類円形をなさないために自動検出できなかった例である。これまでに開発された腫瘍陰影の自動検出アルゴリズムでは、“腫瘍陰影は類円形である”と仮定した手法であったため、図3.1のような画像上では類円形をなさない腫瘍陰影の自動検出は困難であったと考えられる。

本章では、扇型腫瘍モデルによるテンプレートマッチングと濃度勾配による集中度特徴を用い、画像上で類円形をなさない、厚い乳腺の辺縁領域に存在する欠損腫瘍陰影の自動検出アルゴリズムを提案する。従来法、本手法、および第2章で述べた胸壁側の欠損腫瘍陰影の自動検出法による新しい検出システムを構築して、3,575枚の乳房X線写真による大規模な検出実験を行ったとき、真陽性率が従来システムの78%から93%に向上した。本章では、3.2で自動検出アルゴリズムの詳細について述べ、3.3では開発した手法の評価実験について述べる。

3.2 方法

本章で改善した腫瘍陰影の自動検出アルゴリズムの処理過程を図3.2に示す。従来の腫瘍陰影の自動検出処理は以下の8段階で構成される。すなわち、(1) 画像のデジタル化（画素分解能：0.05 mm，濃度分解能：12 bit），(2) 乳房領域の抽出[7]，(3) 画像の縮小（濃度分解能：0.05 mmから0.4 mm），(4) 濃度勾配ベクトルの算出，(5) 胸筋領域の抽出[8]，(6) 乳腺領域の抽出，(7) しきい値による腫瘍陰影の抽出，(8) 偽陽性候補の削除処理[9-13]である。本章で新たに追加した処理は、(9) 厚い乳腺の辺縁領域に存在する欠損腫瘍陰影の検出処理である。この追加した処理は3段階から構成され、腫瘍陰影の探索領域の決定方法と腫瘍陰影の探索方法を3.2.1と3.2.2で述べ、特徴量の算出について3.2.3で述べ、最後に偽陽性候補の削除処理を3.2.4で述べる。

3.2.1 乳腺の辺縁領域に存在する欠損腫瘍陰影の探索方法

図3.3に欠損腫瘍陰影の探索領域を示す。以下に探索領域の決定方法と欠損

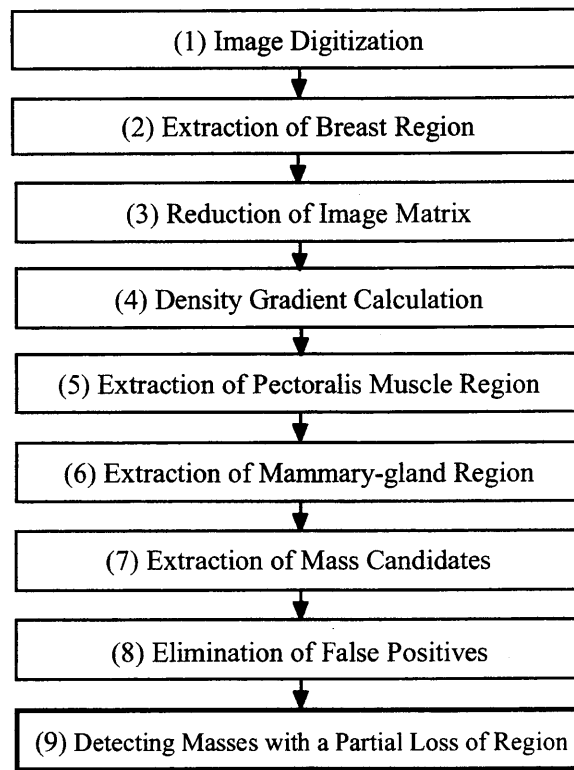


図 3.2 腫瘍陰影の自動検出処理．太枠は本章で追加した処理を示す．

腫瘍陰影の探索方法について述べる．

3.2.1.1 乳腺領域とその探索領域の決定

図 3.2 の (5) で抽出した胸筋領域の画素平均値を求め、その値をしきい値とする．胸筋領域を除去した乳房領域をしきい値によって二値化処理し、しきい値以下の白い領域を乳腺領域と定義した．ただし、内外斜位方向 (MLO: medio-lateral oblique, 図 3.1 はすべて MLO) 撮影でも胸筋領域が写らない画像と、頭尾方向 (CC: cranio-caudal) 撮影の画像は上記の方法で乳腺領域が決定できないため、従来手法[6]で用いている 120x120 画素のマスクを使った乳腺領域の抽出法を利用した．決定した乳腺領域に対して 20 画素分の収縮処理を行い、元の乳腺領域から収縮した領域を除去して残った (幅 20 画素の帯状となる) 領域を腫瘍陰影の探索領域とした．次に乳腺領域の重心 G を求め、図 3.3 のように Area A, Area B, Area C, Area D の 4 つの領域に分割する．

3.2.1.2 欠損腫瘍陰影の探索方法

第2章で述べた胸壁側に存在する欠損腫瘍陰影の検出では2方向の扇型腫瘍モデルを用いている。しかしながら、厚い乳腺の辺縁領域における腫瘍陰影の欠損する領域が乳腺の重心方向であるため、図3.4、図3.5のように用意された4方向の扇型マスクと扇型腫瘍モデルをArea AからArea Dの領域ごとに使い分け、腫瘍陰影の探索を行う。

探索領域ごとに扇型腫瘍モデル（図3.5のa）を使い分けた理由を以下の述べる。例えば、Area Aに右下方向の扇型腫瘍モデルを用いてテンプレートマッチングを行っても、腫瘍陰影と乳腺の画素値の差が小さいために、扇型腫瘍モデルと類似した領域が発生することはほとんどないからである。なお、扇型腫瘍モデルと扇型マスクの詳細については3.2.2で詳しく述べる。

3.2.2 特徴量の計算

本手法では、(a)画素値の平均、(b)画素値の標準偏差、(c)扇型腫瘍モデルを

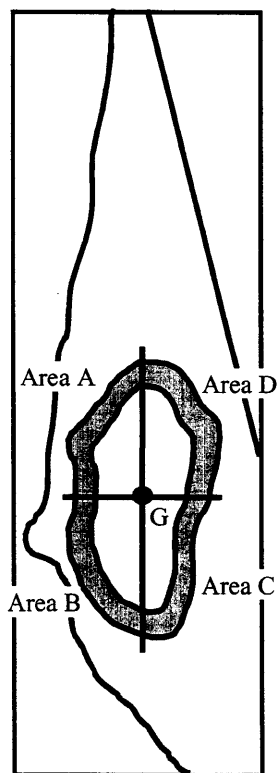


図 3.3 腫瘍陰影の探索領域.

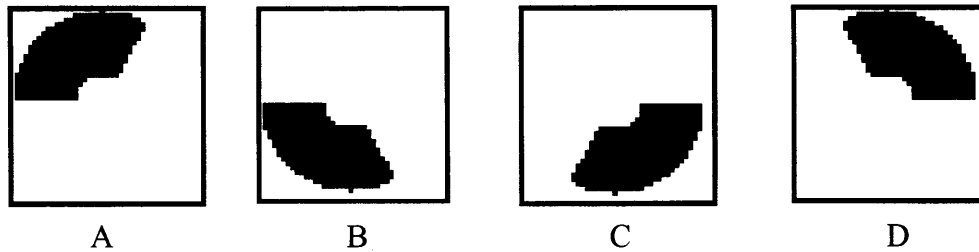


図 3.4 3 種類の特徴量の計算に使用した 4 つの扇型マスク

利用したテンプレートマッチング, (d) 濃度勾配を用いた集中度, からなる 4 つの特徴量を用いた。ここで, (a), (b), (d) の特徴量の算出には図 3.4 の A, B, C, D に示す扇型マスクを利用した。腫瘍陰影の中心付近は濃度変化が少なく, (a), (b), (d) の算出結果に影響するため, 中心を切り取った形状とする。そして, 扇型の中心を腫瘍陰影の候補点とした。

3.2.2.1 画素値の平均

図 3.4 の A, B, C, D の黒色マスク領域における画素値の平均を算出する。腫瘍陰影は, 基本的に他の組織よりも光学濃度が低いため, 一定値以下を示す候補点は腫瘍候補ではないと判断し, (b), (c), (d) の算出は行わなかった。

3.2.2.2 画素値の標準偏差

図 3.4 の A, B, C, D の黒色マスク領域における画素値の標準偏差値を算出する。領域に乳腺組織や血管を含む場合, 濃度変化が大きくなるため, 標準偏差値は大きくなる。したがって, 標準偏差値が一定値以上である候補点は腫瘍候補ではないと判定し, (c), (d) の算出は行わなかった。

3.2.2.3 扇型腫瘍モデルを利用したテンプレートマッチング

図 3.5 の E, F, G, H のような扇形状の画像を参照画像として, 図 3.3 の探索領域に対してテンプレートマッチングを行った。図 3.5 の参照画像は直径 41 画素でガウス分布状の画像を中心角 120 度で切り取った形状とした。扇型腫瘍モデルとの類似性の評価には, 規格化された相互相関係数による類似度 $R(i, j)$ を用いた。

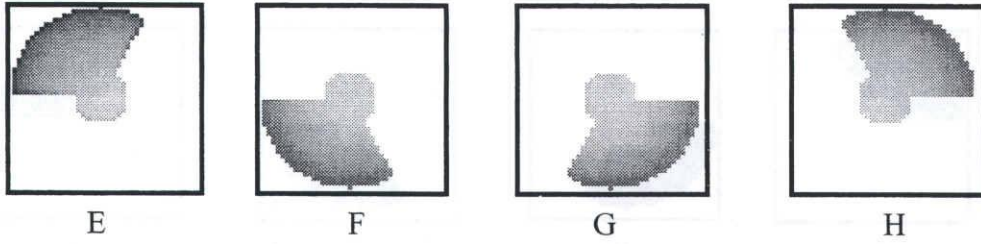


図 3.5 テンプレートマッチングに使われた4つの参照画像

$$R(i, j) = \frac{\sum \sum \{F(i+x, j+y) - \bar{F}\} \{T(x, y) - \bar{T}\}}{\sqrt{\sum \sum \{F(i+x, j+y) - \bar{F}\}^2} \sqrt{\sum \sum \{T(x, y) - \bar{T}\}^2}} \quad (3.1)$$

ここで、乳房画像のある点の濃度値を $F(i+x, j+y)$ 、対応する参照画像のある点の画素値を $T(x, y)$ とし、 \bar{F}, \bar{T} はそれぞれの領域の画素値の平均を示す。

3.2.2.4 濃度勾配を用いた集中度

Sobel フィルタにより求めた濃度勾配を利用し、集中度の算出を行った。集中度 $C(i, j)$ を次式に示す。

$$C(i, j) = \sum_{x, y \in R} d(x, y) f(x, y) \quad (3.2)$$

ここで、 $d(x, y)$ は Sobel フィルタにより計算される濃度勾配の強度成分を示す。また、 $f(x, y)$ は次式で定義される。

$$f(x, y) = \cos[\theta(x, y) + n \cdot \sin\{2\theta(x, y) - \pi\}] \quad (3.3)$$

$f(x, y)$ は濃度勾配の方向成分に影響され、濃度勾配の方向成分がマスクの中心方向となるときの大きな値を示す。式(1)、(2)の各要素 $p(x, y)$ 、 $d(x, y)$ 、 $\theta(x, y)$ の関係を図 3.6 に示す。 $p(x, y)$ は、扇型マスク R 内にある画素を示す。 $\theta(x, y)$ は、マスクの中心と $p(x, y)$ がなす角度と濃度勾配の方向との差である。これより、 $d(x, y)f(x, y)$ は濃度勾配が腫瘍の中心方向へ向き、かつその強度が大きいとき、大きな値となる。また、集中度 $C(i, j)$ は $d(x, y)f(x, y)$ が大きな値を示す成分が多いとき、大きな値を示す。

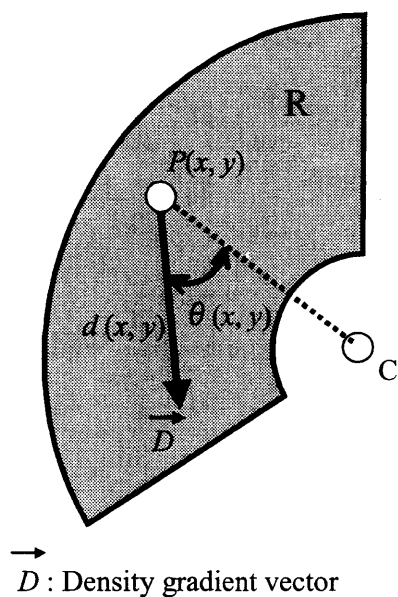


図 3.6 集中度の計算のための要素

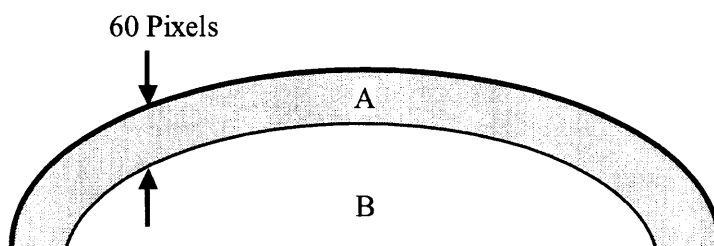


図 3.7 類似度算出のための乳房領域の分割

3.2.3 腫瘍候補の判定

3.2.3.1 類似度の算出

まず、画素値の平均と標準偏差を算出し、それぞれが一定条件を満たす候補に対して、扇型腫瘍モデルを利用したテンプレートマッチング(類似度)と濃度勾配による集中度を算出した。腫瘍候補の判定には次の判定関数 $S(i, j)$ を用いた。

$$S(i, j) = W(i, j)R(i, j)C(i, j) \quad (3.4)$$

ここで $W(i, j)$ は重み付け値であり、候補点が図 3.7 の領域 A であるときは、 $W=0.6$ 、候補点が領域 B のときは $W=1.0$ とした。図 3.7 で太線はスキンライン

(乳房と背景の境界)を示し、スキンラインから60画素までの領域を領域A、それ以外の乳房領域を領域Bとした。領域Bに比べてスキンライン付近の乳腺の正常構造では、背景トレンドの影響によって、 $R(i, j)$ の値が大きくなる傾向にあったため、重み付け関数 W を用いた類似度を定義した。

われわれのデータベースにおいて、欠損腫瘍陰影が示す類似度 $S(i, j)$ の値は各画像中で上位40点までに含まれるため、上位40点に満たない候補点は除外した。ただし、 $S(i, j)$ が一定値に満たない場合は腫瘍候補としなかった。

3.2.3.2 候補領域の決定

検出された候補点が隣接している場合、一つの候補として結合する。また、上下左右の端の候補点から20画素だけ大きくした方形領域(図3.8)を候補領域として決定した。

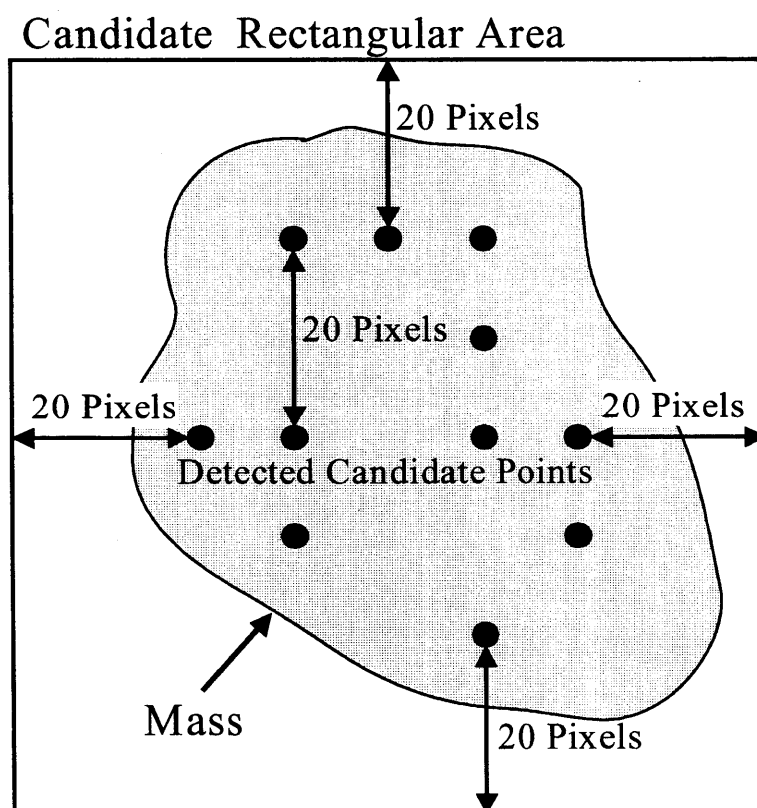


図3.8 結合された候補点を含む方形領域

3.2.4 偽陽性候補の削除

本手法では類似度，濃度勾配による集中度を検出特徴量にしているため，微小な濃度変化による偽陽性候補がいくつか存在した．そこで本研究では，従来の検出法でも利用している二次統計量を用いた手法[9]を用いて，偽陽性候補の削除を行った．今回用いた特徴量は，同時濃度生起行列から，角度別2次モーメント，逆差分モーメン，エントロピーを用い，そして，差分統計量からはコントラストを用いた．

さらに，左右乳房を比較することによる偽陽性候補の削除処理[10, 11]を行った．今回用いた特徴量は，(1)左右の同一領域による相関係数，(2)差の絶対値，(3)強度成分の差の絶対値の平均，(4)強度成分に基づく相関係数，(5)アンシャープマスクフィルタ[14]画像における相関係数，(6)アンシャープマスクフィルタ画像における差の絶対値の平均，(7)Smoothed-Difference 統計量[15]，(8)ランレングス行列[16, 17]を用いた特徴量である．

3.3 結果

本手法の有効性を示すために，腫瘍陰影が存在する画像120枚（腫瘍陰影：120個）と正常例3,455枚によって構成される計3,575枚の画像を用いて検出実験を行った．このときの検出結果を表3.1に示す．本章で用いたデータベ-

表3.1 二つの方法を用いたときの真陽性率（Sensitivity）と一画像あたりの偽陽性候補数（FPs）． All images：従来法を用いたときの検出結果． Two method combined：改良されたCADシステムによる検出結果．

	Sensitivity [%]		No. of FPs /image	
	Previous method	New method	Previous method	New method
・ All images (120 masses)	78	-	1.2	-
Mammary-gland margin (27 masses)	70	74	-	0.81
Near chest wall (10 masses)	40	80	-	0.28
・ Two methods combined (120 masses)		93		1.9

第3章 乳腺辺縁領域に存在する欠損腫瘍の自動検出法

スは、がん専門施設で1996年7月から1999年8月までに撮影された症例から無作為に集め、臨床現場での実用を想定して構築している。データベース中には、欠損腫瘍陰影が全体の31% (37個) 存在している。その内訳は、厚い乳腺の辺縁領域に存在する欠損腫瘍陰影が27個 (全体の23%)、そして、胸壁側に存在する欠損腫瘍陰影が10個 (全体の8%) である。

まず、従来法で検出実験を行ったとき、真陽性率が78%で、一画像あたりの偽陽性候補数が1.2個であった。従来法による厚い乳腺に存在する辺縁領域の欠損腫瘍陰影だけを検出の対象にした真陽性率は70%であった。また、胸壁側に存在する欠損腫瘍陰影の従来法による真陽性率は40%であった。一方、データベース中で領域の欠損していない腫瘍陰影は83個であるが、83個の腫瘍陰影だけを検出の対象としたときの真陽性率は86% (83個中71個を正しく検出) であった。このことより、従来法では欠損腫瘍陰影の検出が困難であることが、実験結果からいえる。

次に、本章で述べた厚い乳腺の辺縁領域に存在する欠損腫瘍陰影の自動検出法を用いて、検出実験を行った。厚い乳腺の辺縁領域に存在する欠損腫瘍陰影を検出の対象にしたときの、本手法による真陽性率は74%であった。しかし、従来法で検出できなかった欠損腫瘍陰影8個中6個を本章で述べた検出法では正しく検出できた。

また、胸壁側の欠損腫瘍陰影の第2章で述べた方法での真陽性率は80%であり、従来法の真陽性率40%を上回った。このことより、扇型腫瘍モデルによるテンプレートマッチングと濃度勾配による集中度特徴を組み合わせた検出方法が、従来法よりも欠損腫瘍陰影の自動検出に対しては有用であるといえる。

最後に、従来法、第2章の検出法、および本章で述べた検出法を組み合わせ、新たな腫瘍陰影の自動検出システムを構築した。新しい自動検出システムを用いて検出実験を行ったとき、真陽性率は93%で、一画像あたりの偽陽性候補数が1.9個であった。この結果より、偽陽性候補数が増えるが、新検出システムでは従来法から15ポイントの真陽性率が向上し、腫瘍陰影の検出漏れの減少に本手法は有用であるといえる。

3.4 結言

厚い乳腺の辺縁領域に存在する欠損腫瘍陰影の自動検出のために、扇型腫瘍モデルによるテンプレートマッチングと濃度勾配による集中度特徴を用いた検出法を開発し、従来法で検出できなかった欠損腫瘍陰影を、本手法で新たに検出できるようになった。従来の腫瘍陰影の自動検出システムに第2章の手法と本手法の追加を行い、新しい腫瘍陰影の自動検出システムを構築した。新しい腫瘍陰影の自動検出システムを用いて3,575枚の乳房X線画像データベースに対して検出実験を行ったとき、一画像あたりの偽陽性候補数が1.2個から1.9個に増加するが、真陽性率が78%から93%まで大きく向上した。この結果より、本手法がわれわれのCADシステム上で有用であると結論づける。

参考文献

1. F. F. Yin, M. L. Giger, K. Doi, C. J. Vyborny, and R. A. Schmidt: Computerized detection of masses in digital mammograms: Automated alignment of breast images and its effect on bilateral-subtraction technique, *Medical Physics*, vol. 21, no. 3, pp. 445-452, 1994.
2. N. Petrick, H. P. Chan, B. Sahiner, and M. A. Helvie: Combined adaptive enhancement and region-growing segmentation of breast masses on digitized mammograms, *Medical Physics*, vol. 26, no. 8, pp. 1642-1654, 1999.
3. W. Qian, L. Li, and L. P. Clarke: Image feature extraction for mass detection in digital mammography: Influence of wavelet analysis, *Medical Physics*, vol. 26, no. 3, pp. 402-408, 1999.
4. H. Kobatake, M. Murakami, H. Takeo, and S. Nawano: Computerized detection of malignant tumors on digital mammograms, *IEEE Transaction on Medical Imaging*, vol. 18, no. 5, pp. 369-378, 1999.
5. 松原友子, 藤田広志, 遠藤登喜子, 堀田勝平, 池田 充, 木戸長一郎, 石垣武男: 乳房X線写真における腫瘍陰影検出のためのしきい値法に基づく高速処理アルゴリズムの開発, *Medical Imaging Technology*, vol. 15, no. 1, pp. 1-13, 1997.
6. 松原友子, 笠井 聡, 関 和泰, 藤田広志, 原 武史, 遠藤登喜子: マンモグラ

第3章 乳腺辺縁領域に存在する欠損腫瘤の自動検出法

- ムのためのコンピュータ診断支援システムの開発-腫瘤陰影の自動検出における低濃度領域抽出法の改善-, 日乳癌検診学会誌, vol. 7, no. 1, pp. 87-101, 1998.
7. 松原友子, 原 武史, 藤田広志, 遠藤登喜子, 岩瀬拓士, 堀田勝平: マンモグラムCADシステムにおける乳房スキンラインの自動抽出処理, 日本放射線技術学会雑誌, vol. 56, no. 3, pp. 480-485, 2000.
 8. 中川俊明, 笠井 聡, 原 武史, 藤田広志, 遠藤登喜子: 乳房X線写真における胸筋領域自動抽出法, 医用画像情報学会雑誌, vol. 18, no. 1, pp. 39-45, 2001.
 9. 大塚 修, 笠井 聡, 畑中裕司, 藤田広志, 原 武史, 遠藤登喜子: 2次統計量を用いたマンモグラムCADシステムにおける腫瘤陰影の偽陽性候補の削除, 医用画像情報学会雑誌, vol. 16, no. 1, pp. 13-19, 1999.
 10. 笠井 聡, 藤田広志, 原 武史, 畑中裕司, 遠藤登喜子: 腫瘤陰影自動検出アルゴリズムにおける左右乳房画像の比較による偽陽性候補の削除, Medical Imaging Technology, vol. 16, no. 6, pp. 655-666, 1998.
 11. 二村 仁, 畑中裕司, 大塚 修, 原 武史, 藤田広志, 遠藤登喜子, 岩瀬拓士: マンモグラムCADシステムにおける腫瘤陰影の検出法, 医用画像工学会研究会(JAMIT Frontier'99)講演論文集, pp. 22-27, 1999.
 12. 笠井 聡, 藤田広志, 原 武史, 畑中裕司, 遠藤登喜子: マンモグラム上の腫瘤陰影自動検出アルゴリズムにおける索状影の偽陽性候補の削除, コンピュータ支援画像診断学会論文誌(インターネット論文誌: <http://www.toriwaki.nuie.nagoya-u.ac.jp/~cadm/Journal/index.html>), vol. 3, no. 2, pp. 1-7, 1999.
 13. 原 武史, 大塚 修, 藤田広志, 遠藤登喜子: マンモグラムCADシステムにおけるPrewittフィルタを利用した腫瘤陰影の偽陽性候補の削除, 日本放射線技術学会雑誌, vol. 56, no. 3, pp. 449-454, 2000.
 14. 岡部哲夫, 瓜谷富三編: 医用画像工学(医用放射線科学講座14), 医歯薬出版, 東京, pp. 141-144, 1997.
 15. 高木幹雄, 下田陽久監修: 画像解析ハンドブック, 東京大学出版局, 東京, pp. 690-691, 1991.
 16. 森 俊二, 坂倉梅子: 画像認識の基礎[II]-特徴抽出, エッジ検出, テクスチャー解析-, オーム社, 東京, pp. 198-199, 1990.
 17. 画像処理標準テキストブック編集委員会: イメージプロセッシング<画像処理標準テキストブック>, 財団法人画像情報教育振興協会, 東京, pp. 154-155, 1997.

第 4 章

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

第4章 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

4.1 緒言

最近、医用画像の多くの分野で、コンピュータ支援診断 (computer-aided diagnosis : 以下, CAD) システムの開発が活発に行われている [1-4]. 特に, R2 Technology 社の ImageChecker は, 世界で初めて商品化されたマンモグラフィ用のコンピュータ支援検出 (computer-aided detection) システムとして注目を集めている [5].

われわれも, マンモグラムにおける総合的なCADシステムの開発を行っており, 微小石灰化クラスタ [6-7] と腫瘤陰影 [8-10] の自動検出アルゴリズムは, 高い検出能を示している. そして, 最近ではCADシステムを研究室レベルでの実験から臨床レベルの実験へ発展させている [11].

また, CADシステムの有効性に関する検討についてもいくつか報告されている [12-14]. Chanらは微小石灰化クラスタ検出を対象とし, ROC曲線によってCADの効果を確認している [12]. 国内ではNawanoらが5人の医師によるフィルムのための読影結果とCADを用いた読影結果をROC曲線で解析した [13]. われわれの研究グループでも, 40人の医師の読影結果とCADの検出結果との比較検討や, 医師1名を対象としたCADの有無に対してROC解析の結果を報告している [14]. しかしながら, これらの報告では, 対象とする医師の数やデータ数が必ずしも十分ではないため, 評価結果の信頼性が高いとはいえず, さらに多くのCAD評価実験の報告が望まれている.

本章では, 第8回日本乳癌学会総会 (2000年5月) に行われたマンモグラム読影自習にて参加した医師579名の読影結果を参考に, その自習で用いた症例と同一画像をわれわれが開発中のCADシステムで処理を行った検出結果との比較検討について述べる. そのとき, 医師とCADシステムの検出結果の論理和を計算すると, 合計の感度はほぼ100%になったので, 以下に詳細に述べる.

表4.1 マンモグラムの読影枚数で表示した579名の医師の読影経験

Number of reading mammograms	Number of physicians
0	89
1 - 100	109
101 - 500	151
501 - 1000	103
1001 -	127

4.2 方法

4.2.1 使用した症例

医師の読影自習とCADシステムの乳がんの検出性能の検討に用いたマンモグラムは、MLO方向から撮影された50症例（100乳房）であり、正常79乳房と異常21乳房（微小石灰化6乳房、腫瘍陰影14乳房、構築の乱れ6乳房、各々が重複しているケースが6乳房存在）からなる。これらの画像はすべて熟練した複数の専門医によって、マンモグラフィガイドライン[15]に基づいたカテゴリーと所見（微小石灰化、腫瘍陰影、構築の乱れ）が確定済みである。

4.2.2 読影自習

読影自習の専門別参加者数の内訳を表4.1に示す。その内訳は、外科医が419名、放射線科医が17名、放射線技師が8名、産婦人科医が6名、その他（職種が無回答であった参加者を含む）が129名であり、約8割が外科医であった。表4.1に参加者の読影経験をマンモグラムの読影枚数として示す。なお、表4.1中の「0」には無記名も含まれる。表4.1より、読影経験の少ない医師が多いといえる（1,000枚以下の医師が78%）。

医師は、左右の乳房にそれぞれの判定を行い、5段階のカテゴリー分類の1つをマークシートに記載する。このカテゴリー分類は、ACRのBreast Imaging Reporting and Data System[16]を日本に合うように改編し作成されたマンモグラフィガイドライン[15]に基づいており、「カテゴリー1：異常なし」、「カテゴリー2：良性」、「カテゴリー3：良性、しかし、悪性を否定できず」、「カテ

表4.2 本実験で用いた症例に対するCADシステムの性能

	True-positive rate	No. of false positives per image	True-negative rate
Clustered microcalcifications	83% (5/ 6)	0.72 (72/100)	62% (58/94)
Mass	93% (13/14)	1.94 (194/100)	16% (14/86)
Architectural distortion	83% (5/ 6)	2.02 (202/100)	16% (15/94)

ゴリー4：悪性の疑い」,「カテゴリー5：悪性」の5段階からなる. なお, 読影に用いたフィルムは教育用のデータベースとして作成されたものであり, デジタル化したフィルムを高濃度域の出力(光学濃度3.0以上)にも対応したレーザフィルムイメージャ(Konica Li-62P)で専用フィルムに出力して利用した.

4.2.3 マンモグラフィCADシステム

本研究で用いたCADシステムの検出性能を表4.2に示す. CADシステムの検出性能は, 微小石灰化クラスタ, 腫瘍陰影, 構築の乱れの所見ごとに別々に算出し, 微小石灰化クラスタの所見6個中5個を検出した. 同様に, CADシステムが腫瘍陰影の14個中13個を, 構築の乱れの6個中5個を検出した. これらの検出結果を得るまでの過程を以下に述べる. CADシステムでは, まず, マンモグラムをサンプリング間隔 $50\ \mu\text{m}$, 濃度分解能 12 bit, 濃度レンジ 0~4.0 でデジタル化し, その後, 微小石灰化クラスタと腫瘍陰影をそれぞれの専用アルゴリズム[6-10]により検出する. 微小石灰化クラスタの自動検出アルゴリズムには, 3重リングフィルタによる濃度勾配解析を使用し[6], スクリーン/フィルム系の非線形な特性を考慮したコントラスト補正処理を前処理として行っている. また, 腫瘍陰影の自動検出アルゴリズムには乳房領域を複数の適応的なしきい値を用いて腫瘍陰影を抽出する手法を用いている[8]. さらに, 厚い乳腺と重なる領域の不明瞭な腫瘍陰影や胸壁側に存在して領域の一部が欠損した腫瘍陰影の検出のために, 第2章, 第3章で述べた扇型腫瘍モデルを使った手法も用いている[9-10]. また, 読影自習で用いたマンモグラムは複数の施設で撮影されており, その条件により画質が異なっていた. 過去に微小石灰化クラスタ22個を含む170症例の画像データベースでパラメータを設定したとき, CADシステムは微小石灰化クラスタの22個中

第4章 医師とCADの検出結果との比較

22個を検出し、1画像当たりの偽陽性候補数は1.0個であった[14]。そのパラメータ設定を用いて、今回の異なる100症例に対して検出実験を行ったとき、微小石灰化クラスタ6症例中4症例が検出され、そのときの1画像当たりの偽陽性候補数が0.58個であったが、われわれのこれまでの報告[7]に比べて検出性能が僅かに劣る結果であった。そこで本研究では、微小石灰化クラスタの存在する画像6枚すべてを用いて検出アルゴリズムのパラメータを微調整した[8]。一方、腫瘍陰影の検出は微小石灰化クラスタと比較すると画質の差による影響が少ないため、過去にある一施設のデータで調整した検出パラメータをそのまま変更せずに使用した。微小石灰化クラスタに関してはこれまでに報告した検出性能[7]とほぼ同等であったが、腫瘍陰影に関しては、真陽性率を高くするように設定した検出パラメータであったため、偽陽性候補数が比較的多くなっている[8]。なお、構築の乱れの検出アルゴリズムは現在開発中であるため、腫瘍陰影の検出アルゴリズムを用いて検出処理を行い、腫瘍陰影の結果とは別に集計した。

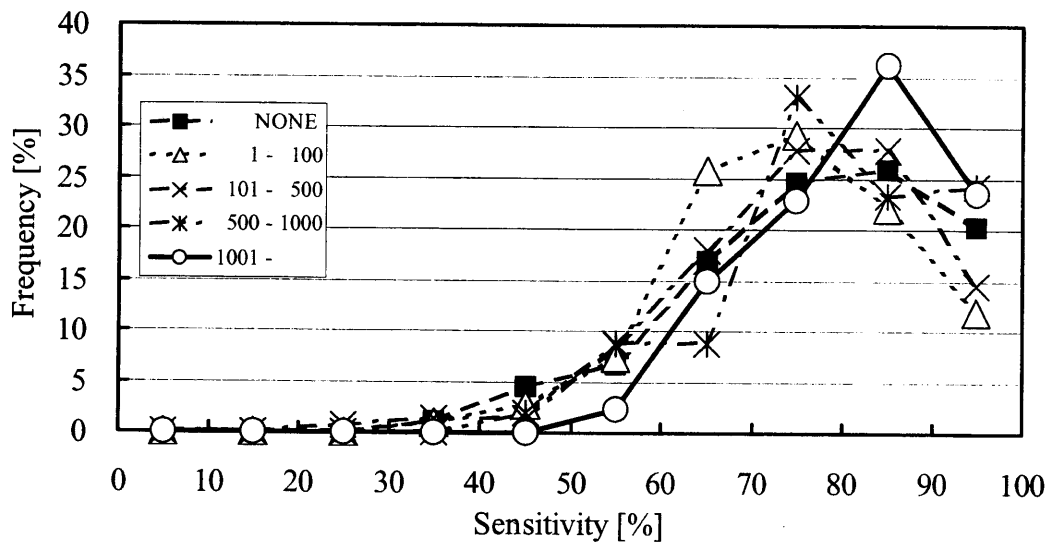
4.2.4 医師とCADとの比較方法

次に、医師とCADとの比較方法について述べる。医師は5段階のカテゴリー・カテゴリーで解答しているため、異常例を3以上と解答している場合は正解、2以下の場合は不正解とした。症例毎に対する感度は、カテゴリー3以上と解答した医師の数を医師の総数579で除算して算出した。この値はある症例に対する医師579人の正解率（すなわち、平均感度）を示し、この数値が低いほど、医師にとってカテゴリー分類が困難な症例であるといえる。続いて、医師一人に着目し、CADの結果と照合して、「医師だけが検出している症例」、「医師とCADがともに検出している症例」、「CADのみが検出している症例」、「医師もCADも検出できなかった症例」に4分類する。そして、この分類を579人すべての医師に対して行う。なお、医師とCADの結果比較は腫瘍陰影、微小石灰化クラスタ、構築の乱れのそれぞれに分けて行った。

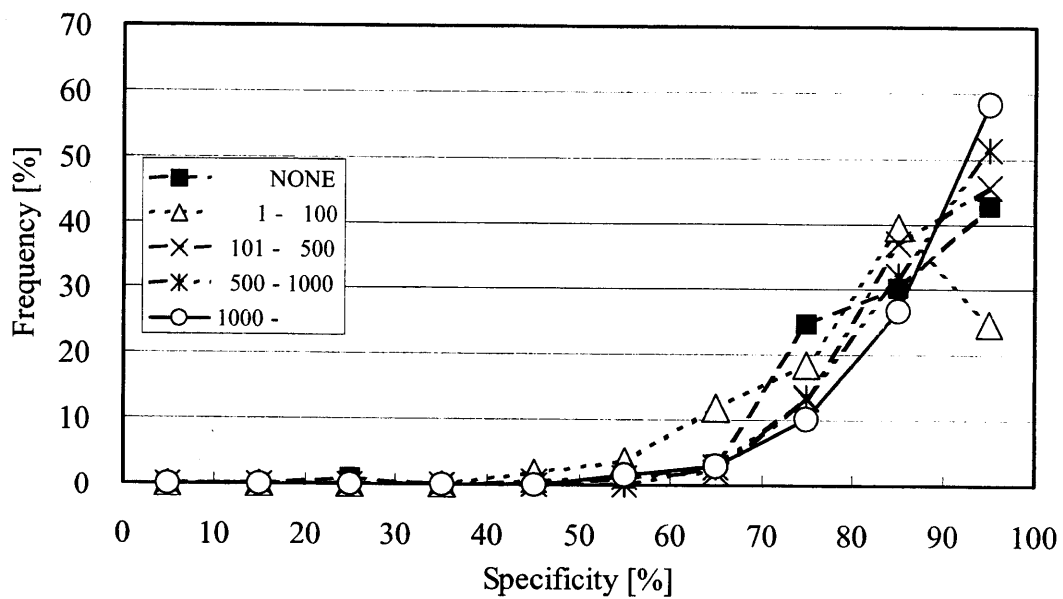
4.3 結果と考察

4.3.1 読影経験別の診断能

図4.1のaに読影経験別の感度、図4.1のbに特異度を示す。図4.1のaの感



(a)



(b)

図4.1 医師の経験別の感度(a)と特異度(b). (a)と(b)の両方は医師の経験が高いほど高くなる.

第4章 医師とCADの検出結果との比較

度では、読影経験の増加によって、グラフが右上がりになった。これより、読影経験が多いほど、良好な感度であるといえる。また図4.1のbの特異度でも、読影経験の増加によって、グラフが右上がりとなった。これより、特異度に関しても、読影経験が多いほど良い結果であるといえる。

4.3.2 症例別の医師とCADシステムの比較

表4.3に、症例別の医師の平均感度とCADシステムの検出結果を示す。全症例に対する医師の平均感度は76%であり、CADは90%(19/21)である。ただし、Image No.21の症例において、CADシステムは腫瘍陰影を正しく検出しているが、微小石灰化クラスタは検出できていない。微小石灰化クラスタの医師の平均感度は85～99%と比較的安定した高い値であるが、腫瘍陰影と構築の乱れの平均感度は32～99%とバラツキがある。表4.3で、症例の医師の平均感度は80%以上か60%以下に二分され、60%以下であれば医師の判断が困難な症例と見なし、医師の平均感度が60%以下の症例を灰色で示した。医師の平均感度が60%以下と低い症例が8症例あったが、そのうち7症例をCADシステムは検出した。このことより、医師が見落としやすい病変でも

表4.3 医師の感度とCADシステムの検出の比較。平均が60%以下の感度を灰色の影で示してある。

Image No.	Breast cancer	Ave. of Sensitivities (%)	CAD	Image No.	Breast cancer	Ave. of Sensitivities (%)	CAD
1	M	95	○	12	C	85	○
2	M	97	○		D		○
	C		○	13	M	99	○
3	D	48	○	14	D	58	○
4	M	89	×	15	C	97	○
5	M	99	○	16	M	54	○
	C		○	17	M	44	○
6	D	32	○	18	D	56	×
7	C	85	○	19	M	60	○
8	M	93	○	20	M	91	○
9	M	89	○				
10	M or D	82	○	21	M	97	○
					C		×
11	M	59	○	Average		76	

C : clusterd microcalcifications
M : mass
D : architectural distortion

○ : detection by CAD
× : no detection by CAD

CADシステムは検出可能であるといえる。

図4.2に、医師の平均感度は低いですがCADシステムは検出した例を示す。図4.2の(a)は、矢印の箇所に腫瘍陰影が存在するが、医師の平均感度が44%であった画像である。CADシステムが検出した領域を楕円で示すが、腫瘍陰影が正しく検出されている。ただし、1つの(スキンライン側)偽陽性がある。また、図4.2の(b)は矢印の箇所に構築の乱れが存在する症例であり、医師の平均感度は32%と最も低い。CADシステムの検出結果のうち、2箇所は偽陽性であるが、構築の乱れを正しく検出している。

一方、医師の平均感度は高いが、CADシステムでは検出できなかった2症

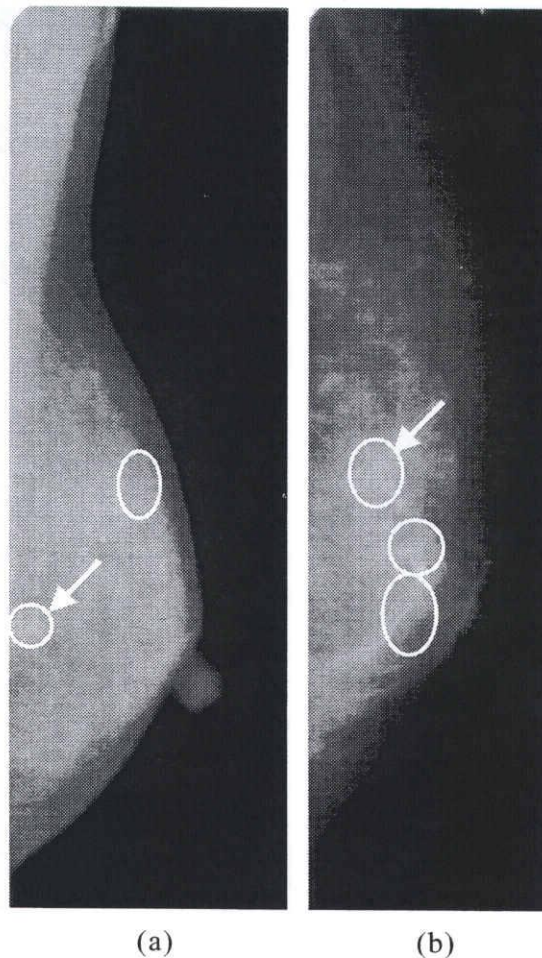


図4.2 医師の感度が低いですがCADシステムで検出した症例を黒矢印で示す。(a)フィルム端に存在する腫瘍陰影、(b)構築の乱れ。

第4章 医師とCADの検出結果との比較

例を図4.3に示す。図4.3の(a)は、矢印の箇所に腫瘍陰影が存在する症例で、医師の平均感度が89%であるが、CADシステムでは見落とされた。CADシステムは楕円で示す領域を検出したが、これは偽陽性である。図4.3の(b)は、腫瘍と重なって微小石灰化クラスタが確認される症例で、医師の平均感度が97%である。CADシステムでは腫瘍陰影は検出しているが、微小石灰化クラスタは見落としている。他のデータベースでも、腫瘍上の微小石灰化クラスタが見落とされる症例があるため、現在、専用の検出アルゴリズムを構築中である[17]。しかし、これらの症例は多くの医師が指摘しているため、医師の読影補助とするCADの考え方からは大きな問題ではない。

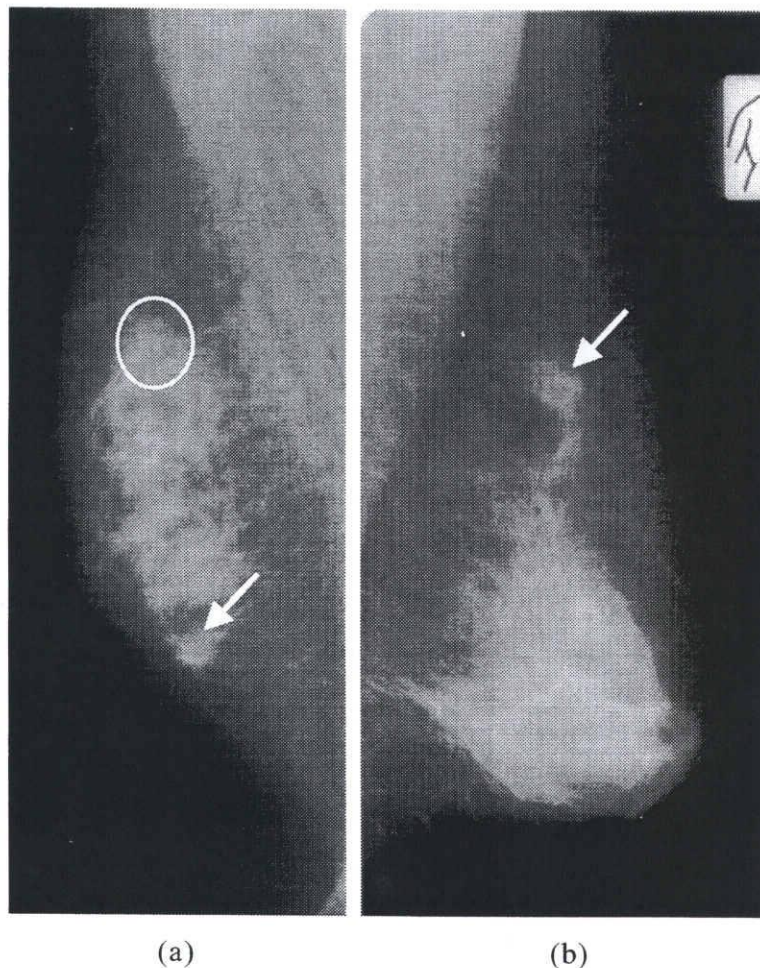


図4.3 医師の感度は高いがCADシステムで見落としした症例。(a)腫瘍陰影、(b)微小石灰化クラスタ。

図4.4は構築の乱れの症例であるが、医師の平均感度も56%と低く、かつCADシステムでも検出できなかった例である。図4.4は、乳腺上方部分が全体的に歪んでいる例である。図中の○印は、われわれのCADシステムが指摘した候補を示し、矢印は読影自習で正解とした病変が構築の乱れとして反映されていた箇所を示す。われわれが開発した腫瘍陰影の検出アルゴリズムは、乳腺構築の一部の局所領域が歪んでいる構築の乱れの検出が可能である。

そこで、今回は腫瘍陰影の検出アルゴリズムによる構築の乱れの検出結果を集計した。しかしながら、図4.4のような広い領域の歪みは検出できないため、構築の乱れのための専用検出アルゴリズムの開発が必要である。

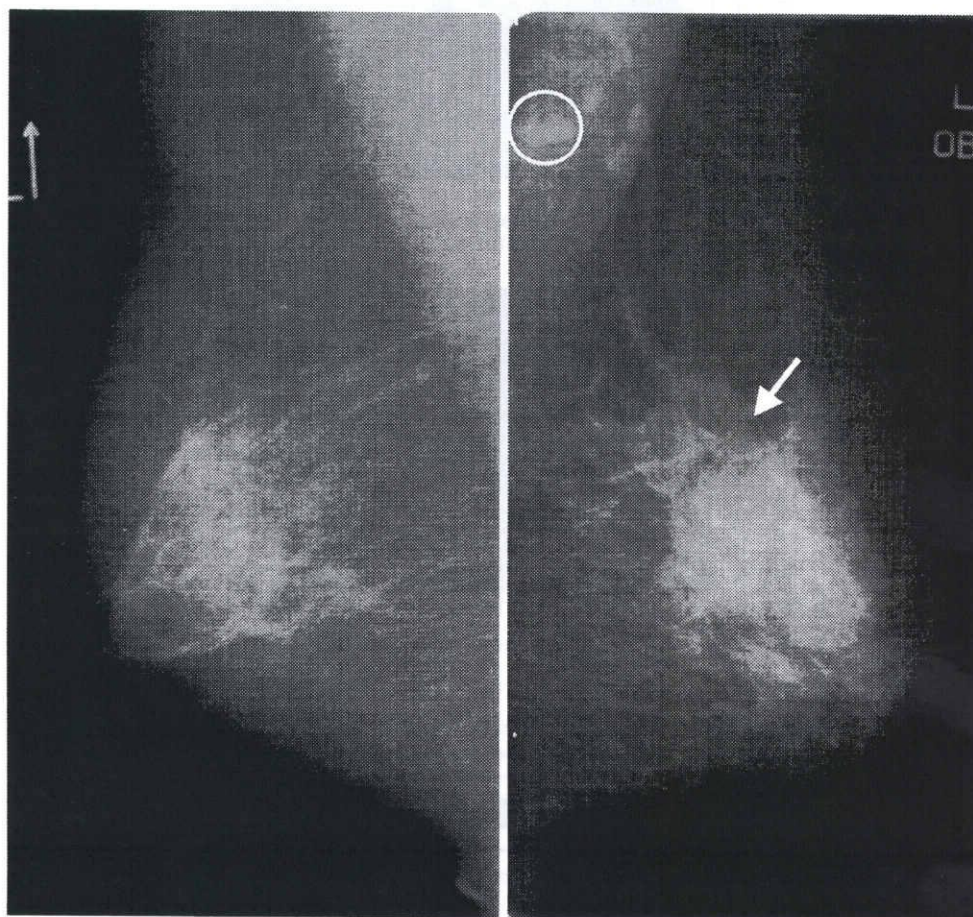


図4.4 医師の感度が低くCADシステムでも見落とした構築の乱れの症例。われわれのCADシステムではまだ構築の乱れに対応していない。

第4章 医師とCADの検出結果との比較

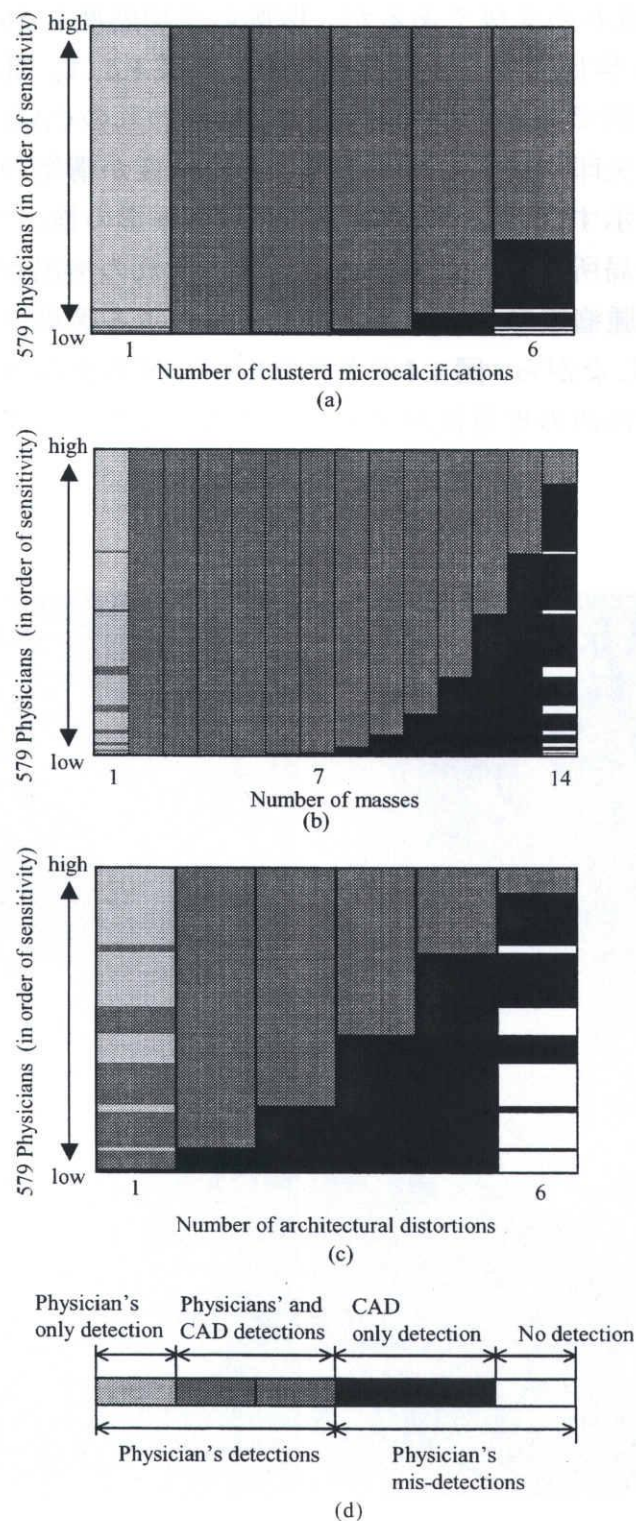


図4.5 医師579人の病変別の検出症例数／未検出症例数の分布。(a)微小石灰化クラスター。(b)腫瘤陰影。(c)構築の乱れ。(d)グラフの各色の説明。

4.3.3 所見別の医師とCADシステムの比較

医師別の3つの所見別のそれぞれの検出数とCADシステムの検出数との関係を、図4.5に示す。縦軸は579の各の医師の感度を高い順に表しており、横軸は各病変の個数である。微小石灰化クラスタ、腫瘍陰影、構築の乱れのすべてに関して、感度の低い医師が見落とした症例に対して、CADシステムは検出した症例数が多いといえる。

4.3.4 異常症例全体による医師とCADシステムの比較

図4.6に、病変別の医師の平均感度とCADシステムの検出率の比較を示す。微小石灰化クラスタ、腫瘍陰影、構築の乱れのそれぞれに対して、医師のみが検出した症例、医師とCADシステムの両方で検出した症例、CADシステムのみが検出した症例、どちらも検出できなかった症例の4者の比率を示している。微小石灰化クラスタの医師の平均感度は93.5%で、CADシステムの

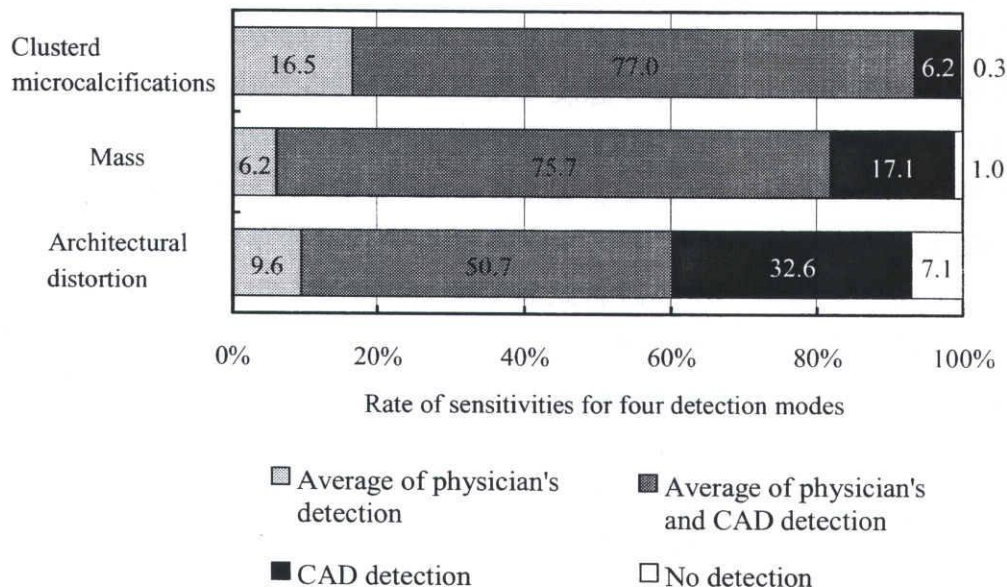


図4.6 4種類の感度(検出率)の分布。3本のグラフは微小石灰化クラスタ、腫瘍陰影、構築の乱れの各病変別の感度(検出率)。グラフの数値は医師のみが検出した症例に対する感度の平均、医師とCADが共に検出した症例に対する感度の平均、CADのみが検出した検出率の平均、医師もCADも検出できなかった症例数の取りこぼし率の平均。

第4章 医師とCADの検出結果との比較

みが検出している割合は6.2%であった。単純に、CADシステムの指摘により医師の見落としがなくなったとすると、医師の平均感度は99.7%に向上する。同様に、腫瘍陰影の平均感度は81.9%から99.0%に、構築の乱れの平均感度は60.3%から92.9%へ向上することが期待できる。これは、実際に医師がCADシステムの結果を参考にしたのではなく、単純な論理和による計算値であるが、医師が効率よくCADシステムの検出結果を参考にすれば、平均感度は大きく向上する可能性を示していると考ええる。

4.3.5 考察

われわれはこれまでに、医師1名を対象にして、CADシステムの結果を参考にした場合と参考にしない場合の医師によるROC実験を行った[11]。このとき、CADシステムを参考にした場合の方が良好な診断結果が得られた。このことから、CADシステムが提示する偽陽性候補の特徴などを、医師があらかじめ熟知した上で利用すれば、医師の診断能向上につながると考えられる。

これまでにわれわれは40名の医師とCADシステムの検出性能の比較を報告している[14]。40名の中には読影経験・技術が十分でない医師が含まれている可能性がある。1名の医師の感度と特異度がそれぞれの平均に与える影響は2.5% (1/40) であるが、本研究では医師の数が579名であり、医師1名の感度と特異度が平均値に与える影響は0.17% (1/579) と小さく、より信頼性の高い結果が得られたといえる。マンモグラフィ検診精度管理中央委員会が実施しているマンモグラフィ読影試験では100症例を用いているが、今回の読影自習では半数の50症例を用いた。しかしながら、今回は半数の症例数にすることによって読影時間を少なくしたため、579名の医師の読影結果が得られたと考える。

また、本研究では従来は報告されていない症例別の感度を算出し検討した結果、医師の平均感度が60%以下であった症例をCADシステムが検出していることが明らかとなった。

今後は、実際に医師にCADシステムの結果を提示しながらの読影実験を行い、CADシステムが医師の感度と特異度に与える影響を検討する必要がある。

4.4 結言

医師のマンモグラム読影自習データベースを用いて、医師の読影結果とCADシステムの検出結果の比較を行った。その結果、579人中の60%以下の医師が見落とした症例のうち、CADシステムは微小石灰化クラスタと腫瘤陰影の病変をすべて正しく検出できた。

本研究では、CADシステムの結果は医師に提示されないため、CADシステムの直接的な有効性は示されていないが、CADシステムの検出結果と医師の検出結果の論理和を計算すると、合計の感度はほぼ100%になり、経験の少ない医師でも高い感度を得られる可能性が示された。

参考文献

1. 鳥脇純一郎, 舘野之男, 飯沼 武編: 医用X線像のコンピュータ診断. シュプリ
ンガー・フェアラーク東京, 東京, 1994.
2. 特集: CAD元年 (1998 in USA). INNERVISION, vol. 14, no. 10, pp. 2-
82, 1999.
3. 特集: 次世代医用画像技術. 電子情報通信学会論文誌, vol. J83-D-II, no. 11,
pp. 3-429, 2000.
4. CAD技術論文特集号. 日本放射線技術学会雑誌, vol. 56, no. 3, pp. 318-
509, 2000.
5. 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, vol. 56, no. 3, pp. 355-358, 2000.
6. 平子賢一, 藤田広志, 原 武史, 遠藤登喜子: 乳房X線写真における微小石灰化
検出フィルタの開発—濃度こう配と3重リングフィルタ解析に基づく手法. 電子
情報通信学会雑誌, vol. J78-D-II, no. 9, pp. 1334-1345, 1995.
7. 平子賢一, 藤田広志, 原 武史, 遠藤登喜子: コントラスト補正処理と可変リン
グフィルタ解析を導入した微小石灰化クラスタ検出法. Medical Imaging
Technology, vol. 14, no. 6, pp. 665-679, 1996.
8. 松原友子, 笠井 聡, 関 和泰, 藤田広志, 原 武史, 遠藤登喜子: マンモグラ
ムのためのコンピュータ支援診断システムの開発—腫瘤陰影の自動検出における
低濃度領域抽出法の改善. 日本乳癌検診学会誌, vol. 7, no. 1, pp. 87-101,
1998.

第4章 医師とCADの検出結果との比較

9. 畑中裕司, 原 武史, 藤田広志, 笠井 聡, 遠藤登喜子, 岩瀬拓士: 乳房X線写真の胸壁側に存在する欠損腫瘍陰影への扇型モデルによる自動検出法. 医用電子と生体工学, vol. 39, no. 4, pp. 305-311, 2001.
10. Yuji Hatanaka, Takeshi Hara, Hiroshi Fujita, Satoshi Kasai, Tokiko Endo and Takuji Iwase: An automated detection method of mammographic masses existing around thick-mammary-gland and near chest-wall regions, Proceedings of the 15th International Symposium and Exhibition on Computer Assisted Radiology and Surgery (CARS2001), pp. 527-532, 2001.
11. 白和ひとみ, 服部寿史, 荒井保明, 富樫健二, 岩瀬拓士, 中島地康, 原 武史, 藤田広志: マンモグラフィにおけるコンピュータ診断支援システムの性能評価. 日本乳癌検診学会誌, vol. 9, no. 2, pp. 219-224, 2000.
12. H. P. Chan, K. Doi, C. J. Vyborny, R. A. Schmidt, C. E. Metz, K. L. Lam, T. Ogura, Y. Wu, and H. MacMahon: Improvement in radiologists' detection of clustered microcalcifications on mammograms: The potential of computer-aided diagnosis. Investigative Radiology, vol. 25, no. 10, pp. 1102-1110, 1990.
13. S. Nawano, K. Murakami, N. Moriyama, H. Kobatake, H. Takeo, and K Shimura: Computer-aided diagnosis in full digital mammography. Investigative Radiology, vol. 34, no. 4, pp. 310-316, 1999.
14. 福岡大輔, 原 武史, 遠藤登喜子, 篠原範充, 藤田広志, 池田 充, 太田豊裕, 吉村 仁: 乳房X線写真における医師の読影と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, vol. 56, no. 3, pp. 436-442, 2000.
15. 日本医学放射線学会/日本放射線技術学会 マンモグラフィガイドライン委員会編: マンモグラフィガイドライン. 医学書院, 東京, 1999.
16. American College of Radiology: Breast imaging reporting and data system. Second Edition, 1995.
17. X. Zhang, T. Hara, H. Fujita, T. Iwase, and T. Endo: Detection of clustered microcalcifications in masses on mammograms by artificial neural networks. Proceedings of SPIE -The International Society for Optical Engineering, Medical Imaging 2001 processing, 4322, pp. 1735-1742, 2001.

第 5 章

結 論

第5章 結論

本論文では、われわれの従来のマンモグラムCADシステムにおける腫瘍陰影の自動検出アルゴリズムで問題となっていた、胸壁側と厚い乳腺の辺縁領域に存在する一部の領域が欠損した腫瘍陰影の自動検出法について述べた。さらに、マンモグラムCADシステムの検出結果と医師の読影結果との定量的な比較を行った結果について述べた。

本章において本研究成果を総括し、本論文の結論とする。

第1章では、乳がん検診の現状、CADシステムの開発状況、および、マンモグラムCADシステムの開発状況について述べた。本研究のCAD分野における位置付けを明確にし、本論文の動機、目的について記述した。

第2章では、従来の腫瘍陰影の自動検出システムで問題であった、胸壁側に存在して、一部領域の欠損した腫瘍陰影の自動検出アルゴリズムについて述べた。領域の欠損している腫瘍陰影は扇型の一例であると考え、扇型腫瘍モデルを定義した。扇型腫瘍モデルと類似する領域を探索するために、(1)濃度の平均値、(2)濃度の標準偏差値、(3)扇型腫瘍モデルによるテンプレートマッチング、および(4)濃度勾配による集中度を検出特徴量として計算した。従来法に本手法を加え、腫瘍陰影の自動検出システムの改良を行った。改良されたシステムの性能を評価するために、335枚の乳房X線画像を用いて検出実験を行った。検出対象とする領域が限定された本手法と画像全体を検出対象領域とした従来法との性能の比較を行うために、従来法の検出対象領域を胸壁側の局所領域に限定したとき、同じ真陽性率で従来法と本手法の結果を比較すると、本手法の結果の方が偽陽性候補数が少なかった。また、従来法の検出結果に本手法の結果を加えたとき、一画像当たりの偽陽性候補数が0.88個から1.09個に増加するが、真陽性率が57%から96%まで向上した。この結果より、本手法はわれわれのCADシステムの性能向上に有効であると結論付けた。

第3章では、従来の腫瘍陰影の自動検出システムで問題となっていた、厚い乳腺の辺縁領域と胸壁側に存在している、一部領域の欠損した腫瘍陰影の自動検出アルゴリズムについて述べた。このような欠損腫瘍陰影の自動検出のために、扇型腫瘍モデルによるテンプレートマッチングと濃度勾配による集中度特徴を用いた検出法を開発し、従来法で検出できなかった欠損腫瘍陰影を、本手法で新たに検出が可能となった。従来の腫瘍陰影の自動検出システムに本手法

第5章 結論

の追加を行い、腫瘍陰影の自動検出システムを改良した。改良された腫瘍陰影の自動検出システムを用いて3,575枚の乳房X線画像データベースに対して検出実験を行ったとき、一画像あたりの偽陽性候補数が1.2個から1.9個に増加するが、真陽性率が78%から93%まで大きく向上した。この結果より、本手法がわれわれのCADシステム上で有用であると結論付けた。

第4章では、医師のマンモグラム読影自習データベースを用いて、医師の読影結果とCADシステムの検出結果の比較について述べた。医師とCADの検出結果を比較したとき、医師が見落としやすい病変でも、CADシステムはある程度正しく検出できることが確認された。本章の比較では、CADシステムの結果を医師に提示していないため、CADシステムの直接的な有効性は示されていないが、CADシステムの検出結果と医師の検出結果の論理和を計算すると、合計の感度はほぼ100%になり、経験の少ない医師でも高い感度を得られる可能性が示された。

今後の課題として、腫瘍陰影の自動検出アルゴリズムの各処理性能の向上と、知的処理を用いた改良が望まれる。また、乳房X線写真のためのCADシステムが医師に対してどの程度役に立てるかを考慮した、大規模な実験が望まれる。今後、本研究がコンピュータ支援診断システムと画像処理技術に対して役立つことを期待する。

謝 辭

謝辞

本研究を遂行するにあたり，懇切なるご指導とご鞭撻を賜りました岐阜大学工学部の藤田廣志教授，原 武史助教授に心より厚くお礼を申し上げます。

本論文の作成にあたり，ご指導とご鞭撻を賜りました岐阜大学工学部の後藤宗弘教授ならびに池田尚志教授に深く感謝致します。

本研究の遂行にあたり，画像データの提供，有益な助言やご指導を賜りました国立名古屋病院放射線科の遠藤登喜子先生，愛知県がんセンター病院乳腺外科の岩瀬拓士先生に心より感謝致します。

また，機器の提供，数々のご指導を賜りましたコニカ（株）の松井美楯氏，吉村仁氏，加野亜紀子氏，笠井 聡氏に深謝致します。

本研究の共同研究者としてご協力頂いた，名古屋文理大学情報文化学部
の松原友子講師，岐阜工業高等専門学校電気情報工学科の福岡大輔助手，岐阜
大学工学部応用情報学科藤田研究室の卒業生である李 勝蘭氏，大塚 修氏，
ならびに岐阜大学工学部応用情報学科藤田研究室の篠原範充氏に深謝致しま
す。数々の有益なご討論を頂いた岐阜大学工学部応用情報学科藤田研究室の
皆様に感謝致します。

謝辭

本論文で用いた論文リスト

本論文で用いた論文リスト

第2章

・ 畑中裕司, 藤田広志, 原 武史, 李勝蘭, 遠藤登喜子: 乳房X線写真における腫瘍陰影の自動検出—一部領域の欠損した腫瘍陰影への対応—, 医用画像情報学会, vol. 17, no. 1, pp. 40-44, 2000.

・ Yuji Hatanaka, Hiroshi Fujita, Takeshi Hara, Shenglan Li and Tokiko Endo: An automatic detection algorithm for masses with a partial loss of region on mammograms, Proceedings of the 5th International Workshop on Digital Mammography (IWDM 2000), pp. 205-211, 2001.

・ Yuji Hatanaka, Takeshi Hara, Hiroshi Fujita, Satoshi Kasai, Tokiko Endo and Takuji Iwase: Development of an automated method for detecting mammographic masses with a partial loss of region, IEEE Transactions on Medical Imaging, vol. 20, no. 12, pp. 1209-1214, 2001.

・ 畑中裕司, 原 武史, 藤田広志, 笠井 聡, 遠藤登喜子, 岩瀬拓士: 乳房X線写真の胸壁側に存在する欠損腫瘍陰影への扇型モデルによる自動検出法, 医用電子と生体工学, vol. 39, no. 4, pp. 305-311, 2001.

第3章

・ Yuji Hatanaka, Takeshi Hara, Hiroshi Fujita, Satoshi Kasai, Tokiko Endo and Takuji Iwase: An automated detection method of mammographic masses existing around thick-mammary-gland and near chest-wall regions, Proceedings of the 15th International Symposium and Exhibition on Computer Assisted Radiology and Surgery (CARS 2001), pp. 527-532, 2001.

第4章

・ 畑中裕司, 松原友子, 原 武史, 篠原範充, 藤田広志, 遠藤登喜子: 医師のマノ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, vol. 58, no. 3, 印刷中, 2002.

本論文で用いた論文リスト

研究業績

研究業績

原 著：

1. Tomoko Matsubara, Hiroshi Fujita, Takeshi Hara, Satoshi Kasai, Osamu Otsuka, Yuji Hatanaka and Tokiko Endo: New algorithm for mass detection in digital mammograms, Proceedings of the 12th International Symposium and Exhibition on Computer Assisted Radiology and Surgery (CARS98), pp. 219-223, 1998.
2. 笠井 聡, 藤田広志, 原 武史, 畑中裕司, 遠藤登喜子: 腫瘍陰影自動検出アルゴリズムにおける左右乳房画像の比較, Medical Imaging Technology, vol. 16, no. 6, pp. 655-666, 1998.
3. 大塚 修, 笠井 聡, 畑中裕司, 藤田広志, 原 武史, 遠藤登喜子: 2次統計量を用いたマンモグラムCADシステムにおける腫瘍陰影の偽陽性候補の削除, 医用画像情報学会雑誌, vol. 16, no. 1, pp. 13-19, 1999.
4. 笠井 聡, 藤田広志, 原 武史, 畑中裕司, 遠藤登喜子: マンモグラム上の腫瘍陰影自動検出アルゴリズムにおける索状影の偽陽性候補の削除, コンピュータ支援画像診断学会論文誌, vol. 3, no. 2, pp. 1-7, 1999.
5. 畑中裕司, 藤田広志, 原 武史, 李 勝蘭, 遠藤登喜子: 乳房X線写真における腫瘍陰影の自動検出—一部領域の欠損した腫瘍陰影への対応—, 医用画像情報学会雑誌, vol. 17, no. 1, pp. 40-44, 2000.
6. 笠井 聡, 松原友子, 藤田広志, 原 武史, 畑中裕司, 遠藤登喜子: マンモグラム上の乳腺領域周辺に存在する腫瘍陰影検出に特化したアルゴリズムの開発, 医用電子と生体工学, vol. 38, no. 2, pp. 111-117, 2000.
7. Yuji Hatanaka, Takeshi Hara, Hiroshi Fujita, Satoshi Kasai, Tokiko Endo and Takuji Iwase: An automated detection method of mammographic masses existing around thick-mammary-gland and near chest-wall regions, Proceedings of the 15th International Symposium and Exhibition on Computer Assisted Radiology and Surgery (CARS2001), pp. 527-532, 2001.
8. Yuji Hatanaka, Hiroshi Fujita, Takeshi Hara, Shenglan Li and Tokiko Endo: An automatic detection algorithm for masses with a partial loss of region on mammograms, Proceedings of the 5th International Workshop on Digital Mammography (IWDM-2000), pp. 205-211, 2001.
9. Shenglan Li, Takeshi Hara, Yuji Hatanaka, Hiroshi Fujita, Tokiko Endo and Takuji

研究業績

- Iwase: Performance evaluation of a CAD system for detecting masses on mammograms by using the MIAS database, Medical Imaging and Information Sciences, vol. 18, no. 3, pp. 144-153, 2001.
10. Junichiro Hayashi, Takamitsu Kunieda, Joshua Cole, Ryuji Soga, Yuji Hatanaka, Miao Lu, Takeshi Hara and Hiroshi Fujita: A development of computer-aided diagnosis system using fundus images, Proceedings of the 7th International Conference on Virtual Systems and MultiMedia (VSMM 2001), pp. 429-438, 2001.
 11. Yuji Hatanaka, Takeshi Hara, Hiroshi Fujita, Satoshi Kasai, Tokiko Endo and Takuji Iwase: Development of an automated method for detecting mammographic masses with a partial loss of region, IEEE Transactions on Medical Imaging, vol. 20, no. 12, pp. 1209-1214, 2001.
 12. 畑中裕司, 原 武史, 藤田広志, 笠井 聡, 遠藤登喜子, 岩瀬拓士: 乳房 X 線写真の胸壁側に存在する欠損腫瘍陰影への扇型モデルによる自動検出法, 医用電子と生体工学, vol. 39, no. 4, pp. 305-311, 2001.
 13. 畑中裕司, 松原友子, 原 武史, 篠原範充, 福岡大輔, 藤田広志, 遠藤登喜子: 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, vol. 58, no. 3, 印刷中, 2002.

資 料:

1. 村木啓一, 畑中裕司, 松井清和, 藤田一彦: DSP を用いた信号解析装置の試作研究, 岐阜工業高等専門学校 情報処理教育・研究報告, vol. 23, pp. 63-66, 1996.
2. 二村 仁, 畑中裕司, 大塚修, 原 武史, 藤田広志, 遠藤登喜子, 岩瀬拓士: マンモグラム CAD システムにおける腫瘍陰影の検出法, 医用画像工学研究会 (JAMIT Frontier'99) 講演論文集, pp. 22-27, 1999.
3. 二村 仁, 畑中裕司, 原 武史, 藤田広志, 遠藤登喜子, 岩瀬拓士: マンモグラム CAD システムにおける腫瘍陰影の偽陽性候補の解析, 医用画像工学研究会 (JAMIT Frontier'2000) 講演論文集, pp. 134-137, 2000.
4. 原 武史, 畑中裕司, 藤田広志, 遠藤登喜子, 岩瀬拓士: マンモグラム上で領域が欠損した腫瘍陰影の自動検出, 電子情報通信学会技術研究報告 (MI2001), vol. 100, no. 597, pp. 1-4, 2001.

5. 二村 仁, 笠井 聡, 畑中裕司, 原 武史, 藤田広志, 遠藤登喜子, 岩瀬拓士 : マンモグラムCADシステムにおける腫瘍陰影の偽陽性候補の分類とその特徴解析, 電子情報通信学会技術研究報告 (MI2001), vol. 100, no. 597, pp. 17-22, 2001.
6. 畑中裕司, 月山佳大, 原 武史, 藤田広志, 笠井 聡, 遠藤登喜子, 岩瀬拓士 : 乳房X線写真の乳腺辺縁領域に存在する欠損腫瘍陰影の自動検出法, 電子情報通信学会技術研究報告 (MI2002), 印刷中, 2002.
7. 篠原範充, 畑中裕司, 原 武史, 松原友子, 福岡大輔, 中川俊明, 牛場洋明, 藤田広志, 岩瀬拓士, 遠藤登喜子 : 乳房X線写真におけるコンピュータ支援診断の性能評価に関する研究, 電子情報通信学会技術研究報告 (MI2002), 印刷中, 2002.

研究発表 :

1. 山越賢乗, 畑中裕司, 宮本椒光 : 鋭い指向特性を持つコニカル状超音波放射体, 平成7年度電気関連学会北陸支部連合大会, 福井 (1995.9).
2. Tomoko Matsubara, Hiroshi Fujita, Takeshi Hara, Satoshi Kasai, Osamu Otsuka, Yuji Hatanaka and Tokiko Endo: New algorithm for mass detection in digital mammograms, 12th International Symposium and Exhibition on Computer Assisted Radiology and Surgery (CARS 98), Tokyo (1998.6).
3. 畑中裕司, 藤田広志, 原 武史, 遠藤登喜子 : 乳房X線画像の乳腺辺縁領域に存在する腫瘍陰影の新たな検出法, 第17回日本医用画像工学会大会, 東京 (1998.7).
4. 畑中裕司, 松原友子, 原 武史, 藤田広志, 遠藤登喜子, 笠井聡, 吉村仁 : テンプレートマッチング法を用いた乳腺辺縁領域に存在する腫瘍陰影の検出, 平成10年度日本エム・イー学会東海支部学術集会, 名古屋 (1998.10).
5. 池田 充, 藤田広志, 原 武史, 畑中裕司, 李 鎔範, 遠藤登喜子, 鈴木聡長, 池田 卓, 大内憲明, 岩瀬拓士, 吉村 仁, 加野亜紀子 : 集団検診データベースのCAD解析, 厚生省がん研究助成金・鳥脇班・平成10年度第2回班会議, 東京 (1998.11).
6. 二村 仁, 畑中裕司, 大塚 修, 原 武史, 藤田広志, 遠藤登喜子, 岩瀬拓士 : マンモグラムCADシステムにおける腫瘍陰影の検出法, JAMIT Frontier '99, 豊

研究業績

- 橋 (1999.1).
7. 大塚 修, 原 武史, 畑中裕司, 藤田広志, 遠藤登喜子: マンモグラム CAD システムにおけるソーベルフィルタを利用した腫瘍陰影の偽陽性候補の削除, 医用画像情報学会平成 10 年度春期 (第 123 回) 大会, 大阪 (1999.1).
 8. 畑中裕司, 二村 仁, 原 武史, 藤田広志, 遠藤登喜子: 乳房 X 線写真の乳腺辺縁領域に存在する腫瘍陰影検出アルゴリズムの改良, 第 18 回日本医用画像工学会大会, 東京 (1999.7).
 9. 二村 仁, 畑中裕司, 藤田広志, 原 武史, 遠藤登喜子, 岩瀬拓士: 乳房 X 線写真における腫瘍陰影の偽陽性候補の削除と性能評価, 第 18 回日本医用画像工学会大会, 東京 (1999.7).
 10. Shenglan Li, Yuji Hatanaka, Hiroshi Fujita, Takeshi Hara and Tokiko Endo: Automated detection of mammographic masses in MIAS database, JAMIT Annual Meeting '99, Tokyo (1999.7).
 11. 畑中裕司, 藤田広志, 原 武史, 遠藤登喜子: 欠損のある類円形信号の抽出法の開発とその乳房 X 線画像への適用, 平成 11 年度電気関連学会東海支部連合大会, 春日井 (1999.9).
 12. 畑中裕司, 藤田広志, 原 武史, 遠藤登喜子: 一部欠損したマンモグラム上の腫瘍陰影の自動検出, 平成 11 年度日本エム・イー学会東海支部学術集会, 名古屋 (1999.10).
 13. Shenglan Li, Yuji Hatanaka, Hiroshi Fujita, Takeshi Hara and Tokiko Endo: Performance evaluation of CAD for detecting mass in mammograms by MIAS database, 平成 11 年度日本エム・イー学会東海支部学術集会, 名古屋 (1999.10).
 14. 二村 仁, 畑中裕司, 原 武史, 藤田広志, 遠藤登喜子, 岩瀬拓士: マンモグラム CAD システムにおける腫瘍陰影の偽陽性候補の解析, JAMIT Frontier 2000, 東京 (2000.1).
 15. Yuji Hatanaka, Hiroshi Fujita, Takeshi Hara, Shenglan Li and Tokiko Endo: An automatic detection algorithm for masses with a partial loss of region on mammograms, The 5th International Workshop on Digital Mammography(IWDM-2000), Toronto, Ontario, Canada (2000.6).
 16. 藤田広志, 原 武史, 畑中裕司, 篠原範充, 福岡大輔, 松原友子, 松井美楯, 吉村 仁, 笠井 聡: 検診データの CAD 解析, 厚生省がん研究助成金・遠藤班・平成 12 年度第 1 回班会議, 名古屋 (2000.6).

17. 池田 充, 遠藤登喜子, 藤田広志, 原 武史, 畑中裕司, 吉村 仁, 笠井 聡:
マンモグラム読影自習の結果とCADの比較, 厚生省がん研究助成金・長谷川班・
平成12年度第1回班会議, 東京 (2000.7).
18. 畑中裕司, 二村 仁, 原 武史, 藤田広志, 遠藤登喜子: 乳房X線写真における
扇型腫瘍モデルを用いた腫瘍陰影の自動検出法, 第19回日本医用画像工学会大
会, 大阪 (2000.8).
19. 二村 仁, 畑中裕司, 原 武史, 藤田広志, 遠藤登喜子, 岩瀬拓士: 乳房X線写
真における腫瘍陰影の偽陽性候補の解析, 第19回日本医用画像工学会大会, 大
阪 (2000.8).
20. 畑中裕司, 原 武史, 藤田広志, 遠藤登喜子, 岩瀬拓士: 扇型腫瘍モデルを用い
た乳房X線写真における一部欠損した腫瘍陰影の検出法の開発, 2000年電子情
報通信学会ソサエティ大会, 名古屋 (2000.9).
21. Takeshi Hara, Yuji Hatanaka, Hiroshi Fujita, Tokiko Endo, Takuji Iwase and Satoshi
Kasai: Development of an automatic detection algorithm for mammographic masses
with a partial loss of region, Radiological Society of North America (RSNA2000),
Chicago, Illinois, USA (2000.11).
22. 原 武史, 畑中裕司, 藤田広志, 遠藤登喜子, 岩瀬拓士: マンモグラム上で領域
が欠損した腫瘍陰影の自動検出, JAMIT Frontier 2001, 那覇 (2001.1).
23. 二村 仁, 笠井 聡, 畑中裕司, 原 武史, 藤田広志, 遠藤登喜子, 岩瀬拓士:
マンモグラムCADシステムにおける腫瘍陰影の偽陽性候補の分類とその特徴解
析, JAMIT Frontier 2001, 那覇 (2001.1).
24. 畑中裕司, 藤田広志, 原 武史, 遠藤登喜子, 岩瀬拓士: マンモグラムにおける
腫瘍陰影の自動検出システムの開発, 日本放射線技術学会第57回総会学術大会
(JMCP2001), 神戸 (2001.4).
25. 畑中裕司, 原 武史, 藤田広志, 遠藤登喜子, 岩瀬拓士: 扇型腫瘍モデルを用い
た乳房X線写真上の腫瘍陰影の自動検出法の開発, 第40回日本エム・イー学会
大会, 名古屋 (2001.5).
26. 藤田広志, 原 武史, 福岡大輔, 笠井 聡, 畑中裕司, 中川俊明, 篠原範充, 松
原友子, 張 学軍, 加藤雅大, 山崎大輔, 青柳宏昭, 遠藤登喜子, 岩瀬拓士, 加
野亜紀子, 吉村 仁: 乳がん画像のためのコンピュータ支援診断 (CAD) システ
ム, 第40回日本エム・イー学会大会, 名古屋 (2001.5).
27. Yuji Hatanaka, Takeshi Hara, Hiroshi Fujita, Satoshi Kasai, Tokiko Endo and Takuji
Iwase: An automated detection method of mammographic masses existing around

研究業績

- thick-mammary-gland and near chest-wall regions, 医用画像情報学会平成13年度夏季（第130回）大会，名古屋（2001.6）.
28. 篠原範充，畑中裕司，原 武史，藤田広志，岩瀬拓士，遠藤登喜子：マンモグラムにおける医師の読影とCADシステムの検出結果，医用画像情報学会平成13年度夏季（第130回）大会，名古屋（2001.6）.
29. 国枝孝光，藤田広志，原 武史，安藤和宏，曾我竜介，畑中裕司，小川和美，林純一郎，ジョシュアコール：医療画像診断のための高度知能情報システムの開発，平成12年度 ソフトピアジャパン共同研究成果報告会，大垣（2001.6）.
30. Yuji Hatanaka, Takeshi Hara, Hiroshi Fujita, Satoshi Kasai, Tokiko Endo and Takuji Iwase: An automated detection method of mammographic masses existing around thick-mammary-gland and near chest-wall regions, 15th International Symposium and Exhibition on Computer Assisted Radiology and Surgery (CARS 2001), Berlin, Germany (2001.6).
31. 畑中裕司，原 武史，藤田広志，笠井 聡，遠藤登喜子，岩瀬拓士：テンプレートマッチングと濃度勾配による集中度を用いた乳房X線写真上の腫瘍陰影の自動検出法の開発，第20回日本医用画像工学会大会，名古屋（2001.7）.
32. 畑中裕司，篠原範充，原 武史，藤田広志，遠藤登喜子：マンモグラフィ読影自習における医師とCADシステムの検出結果の比較，第20回日本医用画像工学会大会，名古屋（2001.7）.
33. 曾我竜介，畑中裕司，原 武史，藤田広志，国枝孝光，林純一郎，ジョシュアコール：眼底写真における血管の形状解析，第20回日本医用画像工学会大会，名古屋（2001.7）.
34. 松原友子，畑中裕司，笠井 聡，原 武史，藤田広志，遠藤登喜子，岩瀬拓士：マンモグラムCADにおける腫瘍陰影の偽陽性候補削除処理，第20回日本医用画像工学会大会，名古屋（2001.7）.
35. Junichiro Hayashi, Takamitsu Kunieda, Joshua Cole, Ryuji Soga, Yuji Hatanaka, Miao Lu, Takeshi Hara and Hiroshi Fujita: A development of computer-aided diagnosis system using fundus images, The 7th International Conference on Virtual Systems and MultiMedia (VSMM 2001), Berkeley, USA (2001.10).
36. 藤田広志，原 武史，畑中裕司，篠原範充，遠藤登喜子，吉村 仁，笠井 聡，福岡大輔，松原友子：マンモグラムCADシステムによるデンスプレストの解析，厚生省がん研究助成金・遠藤班・平成13年度第2回班会議，名古屋（2001.11）.

37. 月山佳大, 畑中裕司, 原 武史, 藤田広志, 遠藤登喜子, 岩瀬拓士: マンモグラ
ム CAD における腫瘍陰影の偽陽性候補削除アルゴリズムに関する研究, 日本放
射線技術学会第 29 回秋期学術大会, 名古屋 (2001.11).
38. 畑中裕司, 月山佳大, 原 武史, 藤田広志, 笠井 聡, 遠藤登喜子, 岩瀬拓士:
乳房 X 線写真の乳腺辺縁領域に存在する欠損腫瘍陰影の自動検出法, JAMIT
Frontier 2002, 別府 (2002.1).
39. 篠原範充, 畑中裕司, 原 武史, 松原友子, 福岡大輔, 中川俊明, 牛場洋明, 藤
田広志, 岩瀬拓士, 遠藤登喜子: 乳房 X 線写真におけるコンピュータ支援診断の
性能評価に関する研究, JAMIT Frontier 2002, 別府 (2002.1).