

マンモグラフィにおける乳房下端自動抽出の試み

山本絵夢^{1) 2)}, 近藤啓介¹⁾, 今花仁人²⁾, 大谷真由美²⁾, 吉田彩子³⁾,
岡崎美紀³⁾, 佐々木香奈³⁾, 布川優³⁾, 加藤真奈³⁾,
木村小春³⁾, 坂井鈴子³⁾, 坂井修二³⁾

1) 駒澤大学大学院 医療健康科学研究科

2) 日本医療科学大学 保健医療学部 診療放射線学科

3) 東京女子医科大学病院 中央放射線部

乳腺密度解析精度の向上を見据え、マンモグラフィ画像上で乳房下端を自動抽出する手法を検討した。乳房下端をその描出パターンに応じて定義し、視覚評価と自動抽出結果を比較した。いずれのパターンでも判定の誤差は 0[%]から 4.49[%]の範囲に収まり、高い精度で抽出できたことを確認した。標準偏差が最も高かった尻すぼみ型は視覚評価での判定が難しく、これによりバラツキが発生したと考えられる。なお、乳頭が下部に描出されている画像や乳房が下垂した画像は正しく抽出できないが、影響は限定的である。

1. 緒言

マンモグラフィ検査は乳がん検出において重要性の高い検査である。しかし、乳腺密度の高い乳房（高濃度乳房）においては、正常乳腺と乳がんとはほぼ同じ X 線減弱を持つことから、画像コントラストがつきにくく乳がんの検出感度は低下する。また、高濃度乳房であるほど乳がん罹患率が高いことも知られており、高濃度乳房への関心は高い。

任意型検診としてマンモグラフィを行っている米国では、50 州のうち 27 州で乳腺濃度の通知が法制化されている。わが国においても、2017 年 3 月に日本乳癌検診学会・日本乳癌学会・日本乳がん検診精度管理中央機構が共同で『対策型乳がん検診における「高濃度乳房」問題の対応に関する提言』¹⁾ を出すなど、乳腺密度の評価に対する関心が高まっている。

一方で、2014 年に発表された ACR BI-RADS 5th edition ではこれまでの規定と異なり乳腺の割合を示す規定値が記載されていない²⁾。これは各装置

での画像処理条件の違いにより統一的な割合を示すことが困難であり、乳腺密度を主観的に判断することが困難であることが要因として考えられる。すなわち、主観的な評価では読影ごとに乳房構成の判定が異なる恐れがあり、リスクを正しく評価することが困難であると考えられる。実際に、2018 年 3 月に厚生労働行政推進調査事業費補助金厚生労働科学特別研究事業「乳がん検診における乳房の構成（高濃度乳房を含む）の適切な情報提供に資する研究」班より『乳がん住民検診における「高濃度乳房」への対応について』として乳房構成を検診受診者に一律に通知することは望ましくないとする文書³⁾ が出されている。

これらの問題を解決するために、乳腺密度の評価にソフトウェアなどを用いる研究が近年進んできた。乳腺濃度評価に一定の客観性を示すことは、受診者が自らの乳腺濃度を認識することで乳がんのリスクやマンモグラフィで病変が正常乳腺に隠されてしまう危険性を理解する上で有用である⁴⁾と考えられる。

そして現在、乳腺密度をマンモグラフィ画像から自動で解析するソフトがメーカー各社からリリース^{5) 6) 7)}されている。現存するソフトは「乳房内乳腺」として評価するものが多いが、いずれのソフトにおいても大胸筋領域は乳房領域から除外されるものの、乳房下部の軟部組織は乳房領域に含めて計算されている。乳房下端についての明確な定義はなされていないが、乳房下部組織を計算範囲に含めてしまうと計算結果が過小評価されるおそれがある。乳腺下部を乳房領域から除外することで乳腺密度をより高い精度で解析できれば、Dance の式の c -factor に代入することで個人の乳腺被曝線量算出も実現できる可能性がある⁸⁾。

そこで本研究では乳腺密度解析の精度向上の為に、乳房下端について定義した上でマンモグラフィ画像上で乳房下端を自動抽出する手法を検討した。

2. 乳房下端の定義

乳房は被検者によってその大きさや形が様々である。inframammary fold を十分に伸展させた状態でポジショニングしたとき、マンモグラフィにおいて乳房から乳房下部の軟部組織へ移行するまでのスキンラインの描出には次の4タイプが存在する(図1~図4)。

- 急峻型：乳房の膨らみから下部軟部組織への移行が急峻。下部のスキンラインは直線的である。
- 平滑型：乳房の膨らみから下部軟部組織への移行が滑らか。下部のスキンラインは直線的である。
- 凹凸型：下部軟部組織が乳頭側へ張り出し、凹凸を繰り返すスキンラインを持つ。
- 尻すぼみ型：下部軟部組織が胸壁側へ徐々に抜けており、スキンラインは下に向かってすぼんでいる。

4つのタイプ別に乳房下端を下記のように定義した。

- 急峻型：乳房の勾配が収束する最下端の高さ
- 平滑型：乳房の勾配が収束する最下端の高さ
- 凹凸型：スキンラインが胸壁側へ最も凹んでいる高さ
- 尻すぼみ型：勾配の傾きが変化する高さ

この定義を基に、視覚的に乳房下端とみなせる高さに対して自動抽出が可能なプログラムを検討した。

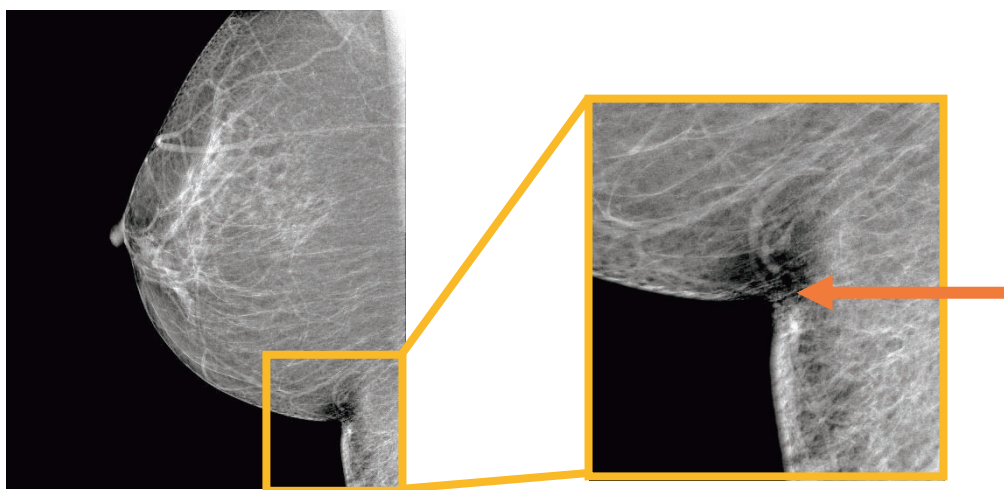


図1. 急峻型の例と定義した乳房下端の高さ(矢印)

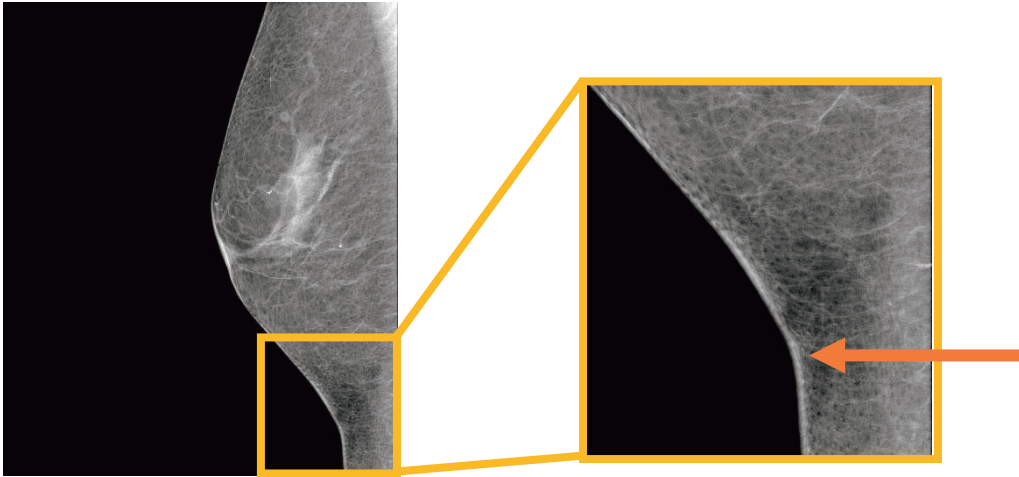


図 2. 平滑型の例と定義した乳房下端の高さ (矢印)

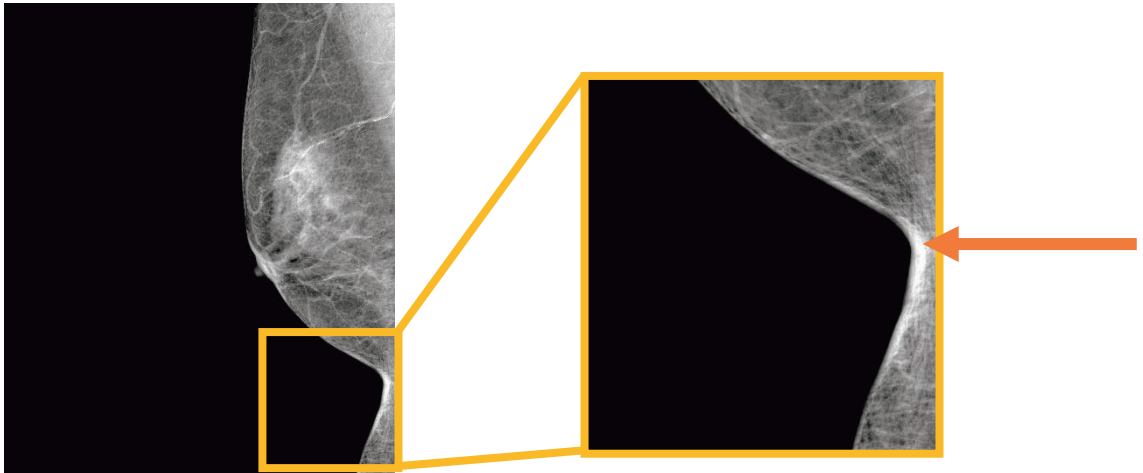


図 3. 凹凸型の例と定義した乳房下端の高さ (矢印)

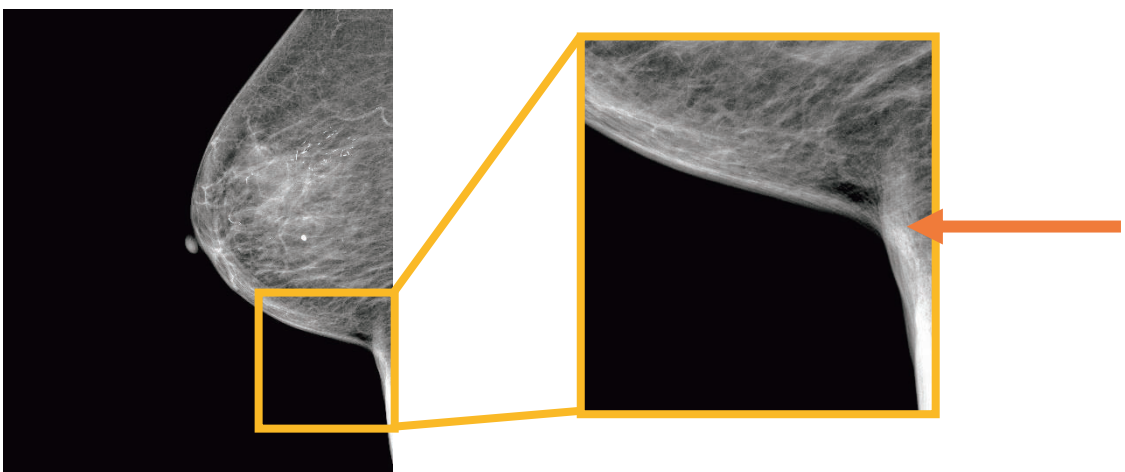


図 4. 尻すぼみ型の例と定義した乳房下端の高さ (矢印)

3. 方法

3.1. 臨床画像の取得及び視覚評価

東京女子医科大学病院にて 2018 年 10 月から 2021 年 3 月までに検査を実施した 19 症例, 25 枚の乳房画像に対して実施した. 画像は全て乳房 X 線撮影装置 (Senographe Essential, GE Healthcare, S0702, S/N: 658520BU2) にて撮影した. マンモグラフィ技術認定を持つ診療放射線技師 1 名が画像を汎用性モニターで観察し, 前述の定義に基づいて視覚的に乳房下端とみなした高さを記録した.

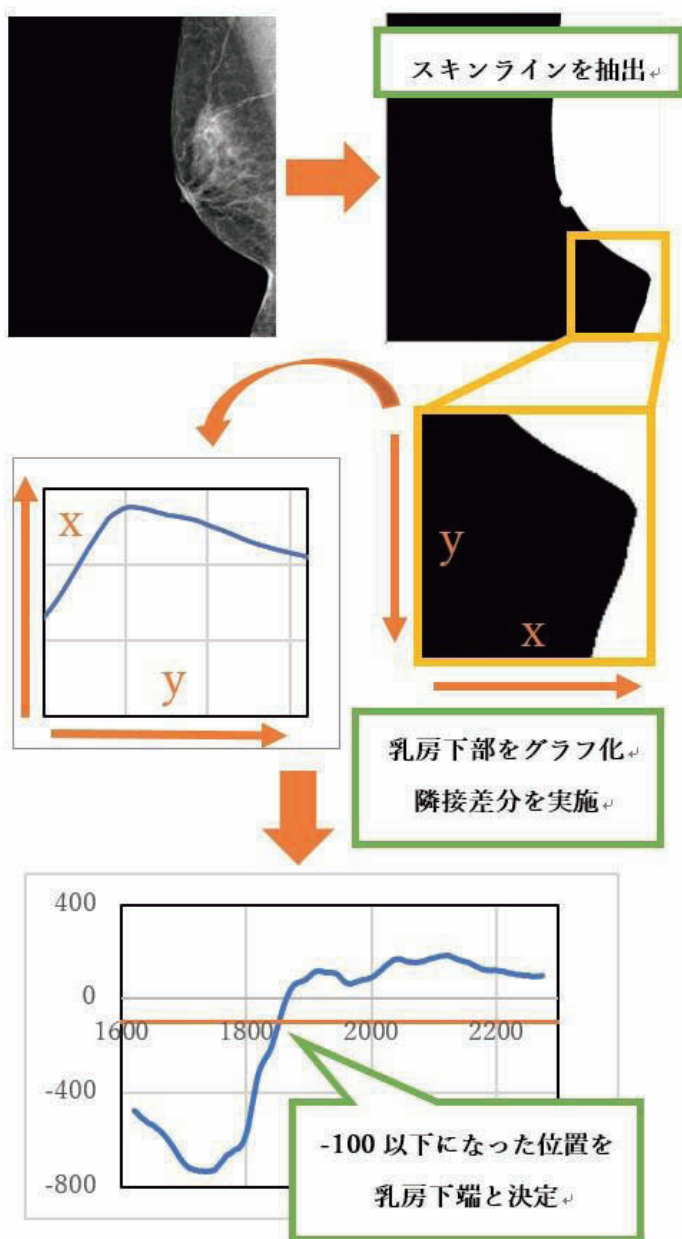


図 5. プログラムの概要図

評価した画像は分類した 4 タイプ各 5 枚に加えて乳房下端描出の無い画像 5 枚 (いずれも右乳房 3 枚, 左乳房 2 枚) である. なお, 下端描出の無い乳房は描出最下端位置と自動抽出結果を比較したが, 真の乳房下端はより下部にあると推測され, 本論文では乳房下端とは表現しない.

3.2. 自動抽出プログラムの作成

自動抽出プログラムの概要を図 5 に, フローチャートを図 6 に示す.

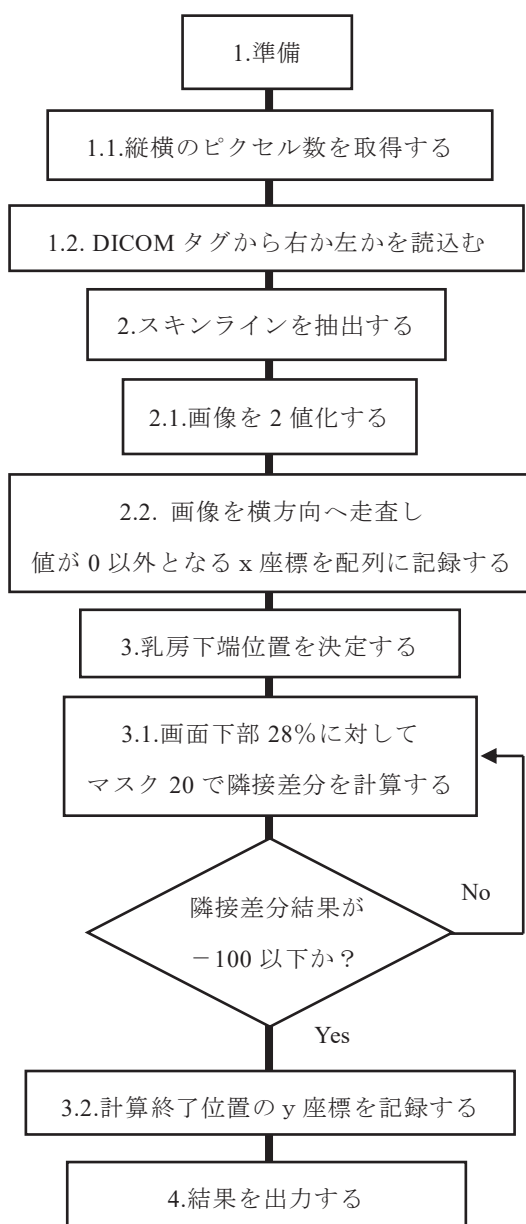


図 6. プログラムのフローチャート

乳房下端の自動抽出は ImageJ でマクロを作成し実施した。はじめに、画像を2値化してスキラインを抽出した。スキラインの位置記録を右乳房では (x, y), 左乳房では (w - x, y) とした。wは横のマトリクスサイズである。

次に、スキラインを関数と見立て、画面の下部28%に対して関数の傾きを計算した。スキラインは細かなゆらぎがあることを考慮してマスクサイズ20で隣接差分を実施した。注目位置より上部20画素のx座標の和から、注目位置より下部20画素のx座標の和を差分した。隣接差分の計算結果が-100以下となった位置で計算を終了し、この位置を乳房下端と定めた。

視覚評価で乳房下端とみなした高さ自動抽出の結果を比較し、その誤差を求めた。誤差の評価は視覚評価で判定した高さ[pixel]と自動抽出で計算した高さ[pixel]の差分を、縦のピクセル数に対する百分率として示した。

4. 結果

各タイプにおける視覚評価と自動抽出結果の誤差を分析し、表1～表2と図7に示した。

解析した25枚の画像全てで誤差は0[%]～4.490[%]の範囲に収まり、高い精度で抽出することが出来た。標準偏差が最も高かったのは尻すぼみ型であった。一方で、凹凸型の標準偏差は低かった。

表1. 視覚評価と自動抽出結果の誤差[%] (全データ)

No.	急峻型	平滑型	凹凸型	尻すぼみ型	下部描出無し
1	0.131	0.087	0.087	1.656	0.915
2	2.005	1.046	1.133	0.044	0.959
3	1.264	2.398	0.785	0.044	0.262
4	1.308	1.090	0.436	3.618	0.915
5	3.139	0.000	0.697	4.490	1.308

表2. 各パターンにおける誤差の分布

	誤差最大値[%]	誤差最小値[%]	誤差平均[%]	標準偏差
急峻型	3.139	0.131	1.569	0.988
平滑型	2.398	0.000	0.924	0.868
凹凸型	1.133	0.087	0.628	0.350
尻すぼみ型	4.490	1.656	1.970	1.821
下部描出無し	1.308	0.262	0.872	0.339

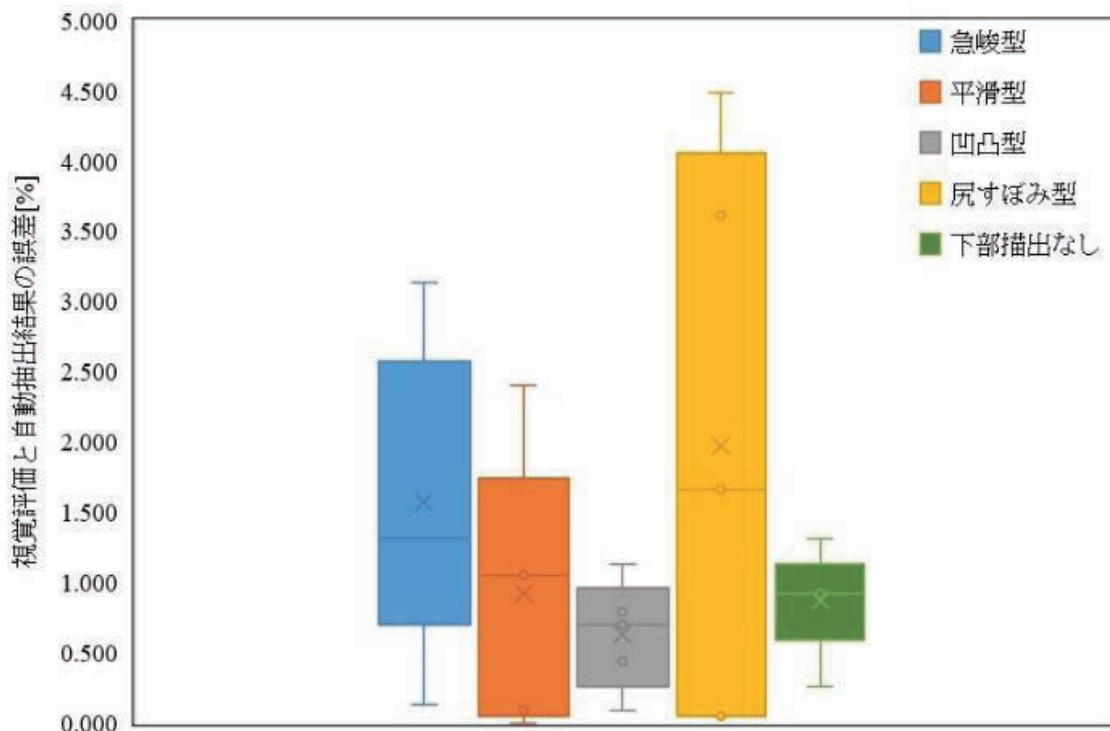


図7. 各パターンにおける誤差の分布

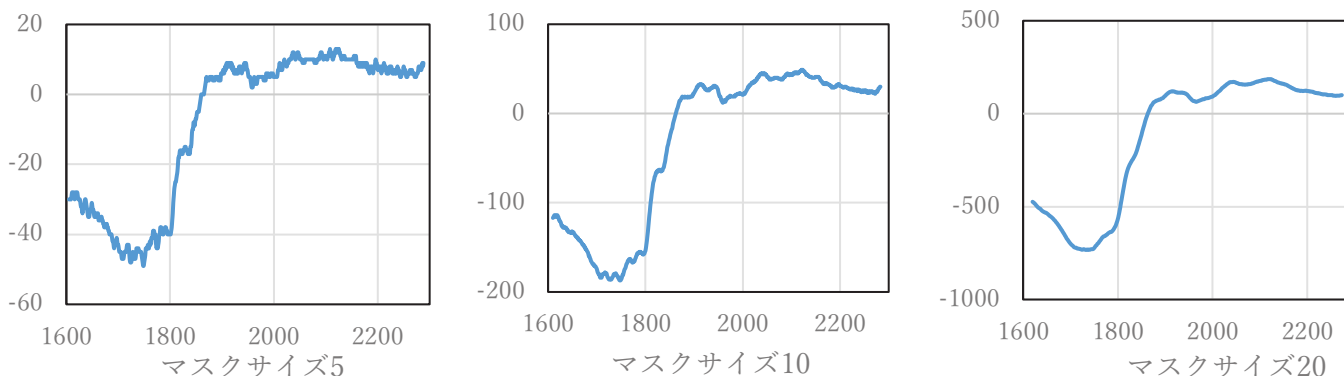


図8. 異なるマスクサイズで隣接差分を行った結果

5. 考 察

自動抽出プログラムにおいて乳房下部計算領域の設定は複数の臨床画像を観察し、経験則を基に決定した。ポジショニングによって乳房下端が描出される位置は画像によって異なる。計算領域に乳房上部をより多く含めると乳頭ラインが含まれるおそれがあり、スキんラインの極端なゆらぎから正しい抽出が出来ない。一方、より少ない領域で計算した場合は乳房が上部に描出されている画像で乳房が計算領域に含まれないおそれがある。

これらを考慮し計算領域を下部 28%としたところ、取得したデータのほぼ全てで正しく抽出することが出来た。

また、マスクサイズは数パターンに変更しながらスキんラインのゆらぎの影響を観察したところ、ゆらぎを十分に無視できるマスクサイズ 20 が適当と判断した (図8)。

隣接差分の結果が 0 に近づくということは乳房下部の勾配が落ち着き平坦な部分へ移行したことを意味する。しかし尻すぼみ型のような乳房では

勾配は必ずしも 0 とはならない。これを考慮して閾値は 0 ではなく -100 とした。

本研究において視覚評価と少ない誤差で乳房下端領域を抽出できたのは上記の条件値の設定が適切であったことを裏付けている。

標準偏差は尻すぼみ型で最も高い結果となった。これは視覚評価での乳房下端の判定が難しいことが原因であると考えられる。今回尻すぼみ型の乳房下端は勾配の傾きが変化する高さで定義した。しかしこれを視覚的に判断するのは難しく、設定した高さが目標の高さより上下した可能性がある。一方で、標準偏差が最も低かった凹凸型の乳房下端はスキンラインが胸壁側へ最も凹んでいる高さで定義しており、これは一意的に判断しやすい。したがって標準偏差の違いは視覚評価のバラツキに影響を及ぼしたと考えられる。

本研究で使用したプログラムは乳房下部計算領域を 28% に設定した。しかし、下部 28% に乳房が含まれない画像や乳頭が下部 28% に含まれている画像は正しい計算が出来ない。また、乳房が極端に下垂した状態で撮影された画像も正しい計算が出来ない。正しい計算が出来ない画像例を図 9 に示す。下垂した乳房の画像では乳房下部の胸壁側上方に乳房下端が描出される。スキンラインの読み取りは 2 値化画像を乳頭側から胸壁側へ向かって x 軸方向へ走査した。走査線上で最初に 0 以外の画素値を観測した位置をスキンラインとすることから、下垂乳房より胸壁側のスキンラインは読み取れず、乳房下端は下垂乳房接線上に切り取られることになる。しかし、極端なケースでない限り大きな誤差は生まれず、極端なケースならば inframammary fold の描出が不適切でポジショニング不良に伴う再撮影となる可能性が高い為、影響は限定的であると考えられる。本研究は乳腺密度解析を視野に入れた研究であることから x 軸方向の走査を乳頭側から胸壁側に向かって設定した。逆の場合、下垂した乳房領域全てを乳房領域から読み

飛ばしてしまうからである。しかし、乳房下端領域抽出のみに限定して考えれば、胸壁側からの走査の方が精度は向上する可能性がある。

本研究の limitation として、視覚評価は 1 名の診療放射線技師が行っており、視覚評価の個人のバラツキについて考慮されていない点が挙げられる。本研究での視覚評価は定めた乳房下端の定義に基づいて判断を行ったが、定義に拘らず複数名の読影医や診療放射線技師に乳房下端を評価してもらい自動抽出結果と比較すれば、臨床的視点との差異をより正確に反映できると考える。

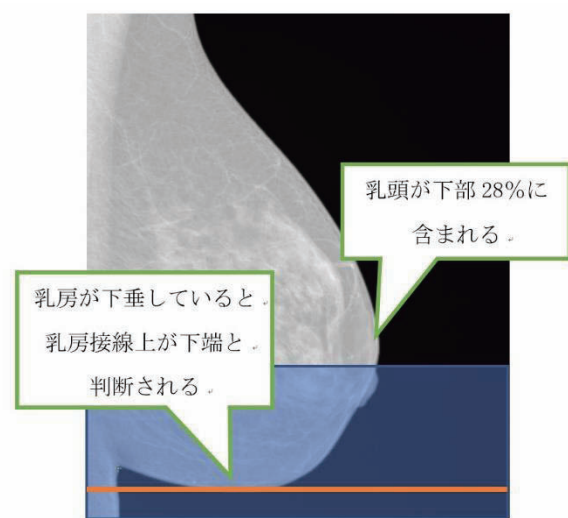


図 9. 解析困難な症例画像

6. 結語

マンモグラフィにおける乳房下端位置を、その描出タイプ別に定義し、乳房下端の自動抽出プログラムを作成した。視覚評価との相関は高く、プログラムの精度は良好であった。視覚評価は個人によってバラツキが発生することから、追加研究として複数名の観察者が評価することでより臨床的視点との差異を反映できると考えられる。

7. 謝辞

本研究のデータ解析に際し、ご協力頂きました株式会社ネットカムシステムズの俣野公志先生に厚く御礼申し上げます。

付 録 乳房下端抽出マクロ

```
//1.準備
//1.1.画像の縦と横の pixel 数を取得する
//原画像を選択
selectWindow("gengazou.raw");
//解析用にコピーを作成する
run("Duplicate...", "title=kaiseki2");
w = getWidth();
h = getHeight();

//1.2.DICOM タグから右か左かを讀込む
LorR = getInfo("0020,0062")

//2.スキンラインを抽出する
//2.1.2 値化する (内側が計算領域になる)
setAutoThreshold("Default dark");
setThreshold(1500, 65535);//閾値を設定
setOption("BlackBackground", true);
run("Convert to Mask", "method=Default
background=Dark black");

//2.2.画像を横方向へ走査し値が 0 以外となる x 座
標を配列に記録する
//2.2.1.タテをインデックス値とした配列を作成す
る
RinsetsuSabun = newArray(h);
RinsetsuStart = 0;
RinsetsuEnd = 0;
RinsetsuResults = 0;
RinsetsuMask1 = 0;
RinsetsuMask2 = 0;
BreastBottom = 0;

//2.2.2.左右に応じた解析をする
//2.2.2.1.右の乳房を解析する
if(LorR == " R ") { //右の乳房の場合
//各 y について、画素値が 0 以外となる x の値を
記録していく
for(y=0; y<h; y++){
for(x=0; x<w; x++){ //左から右へ走査
//画素値が 0 かどうか判定
if(getPixel(x,y) == 0) {
//画素値が 0 の場合はなにもしない
}
else{
//画素値が 0 以外の場合は配列のインデックス
y に記録
RinsetsuSabun[y] = x;
//右の場合は x を記録
break;
}
}
}
}
//2.2.2.2.左の乳房を解析する
else { //左の乳房の場合
//各 y について、画素値が 0 以外となる x の値を
記録していく
```

```
for(y=0; y<h; y++){
for(x=w; x>0; x--){ //右から左へ走査
//画素値が 0 かどうか判定
if(getPixel(x,y) == 0){
//画素値が 0 の場合はなにもしない
}
else{
//画素値が 0 以外の場合は配列のインデックス
y に記録
RinsetsuSabun[y] = w - x;
//左の場合は (w - x) を記録
break;
}
}
}
}

//3.乳房下端位置を決定する
//3.1.画面下部 28% に対してマスク 20 で隣接差分
を計算する
//3.1.1.隣接差分開始位置の設定
RinsetsuStart = Math.floor(h * 0.72 + 20);
//3.1.2.隣接差分 (最大) 終了位置の設定
RinsetsuEnd = h - 20;
//3.1.3.マスクサイズを 20 として (注目位置より上
部 20 画素の x 座標の和) — (注目位置から下部 20
画素の x 座標の和) を計算する
for(y=RinsetsuStart; y<=RinsetsuEnd; y++){
RinsetsuMask1 = RinsetsuSabun[y - 20] +
RinsetsuSabun[y - 19] +
RinsetsuSabun[y - 18] +
RinsetsuSabun[y - 17] +
RinsetsuSabun[y - 16] +
RinsetsuSabun[y - 15] +
RinsetsuSabun[y - 14] +
RinsetsuSabun[y - 13] +
RinsetsuSabun[y - 12] +
RinsetsuSabun[y - 11] +
RinsetsuSabun[y - 10] +
RinsetsuSabun[y - 9] +
RinsetsuSabun[y - 8] +
RinsetsuSabun[y - 7] +
RinsetsuSabun[y - 6] +
RinsetsuSabun[y - 5] +
RinsetsuSabun[y - 4] +
RinsetsuSabun[y - 3] +
RinsetsuSabun[y - 2] +
RinsetsuSabun[y - 1];

RinsetsuMask2 = RinsetsuSabun[y] +
RinsetsuSabun[y + 1] +
RinsetsuSabun[y + 2] +
RinsetsuSabun[y + 3] +
RinsetsuSabun[y + 4] +
RinsetsuSabun[y + 5] +
RinsetsuSabun[y + 6] +
RinsetsuSabun[y + 7] +
RinsetsuSabun[y + 8] +
RinsetsuSabun[y + 9] +
RinsetsuSabun[y + 10] +
RinsetsuSabun[y + 11] +
```



```
RinsetsuSabun[y + 12] +  
RinsetsuSabun[y + 13] +  
RinsetsuSabun[y + 14] +  
RinsetsuSabun[y + 15] +  
RinsetsuSabun[y + 16] +  
RinsetsuSabun[y + 17] +  
RinsetsuSabun[y + 18] +  
RinsetsuSabun[y + 19];
```

```
RinsetsuResults = RinsetsuMask1 - RinsetsuMask2;
```

```
//計算結果を出力する
```

```
print(RinsetsuResults, y);
```

```
makeRectangle(RinsetsuResults, y, 1, 1);
```

```
setPixel(RinsetsuResults, y, 255);
```

```
//3.1.4.計算終了位置の設定（計算結果が-100 以下  
となったら終了）
```

```
if(RinsetsuResults < -100){
```

```
}
```

```
//3.2.計算終了位置の y 座標を記録する
```

```
else{
```

```
BreastBottom = y;
```

```
break;
```

```
}
```

```
}
```

```
//4.結果を出力する
```

```
print("Results");
```

```
print("BreastBottom",BreastBottom);
```

```
waitForUser("End","End.");
```

ラフィ検診の「個別化」を目指す新たな乳がん
検診システム, 日本乳癌検診学会誌, 24 (1),
2015.

[6] Ashwini Kshirsagar et al. : QuantraTM 2.2
Software Design Intent and Clinical Performance,
2020.

[7] Johannes Georg Korporaal et al. : White Paper
Insight BD Automated and integrated breast density
assessment for objective classification, 2019.

[8] D.R.Dance, C.L.Skinner, K.C.Young, J.R>. Beckett
and C.J. Kotre : Additional factors for the estimation
of mean glandular breast dose using the UK
mammography dosimetry protocol, Phys. Med. Biol.
45, 3225-3240, 2000.

References

[1] 日本乳がん検診精度管理中央機構 : 対策型乳
がん検診における「高濃度乳房」問題の対応に
関する提言, 2017.

[2] Sickles EA et al. : ACR BI-RADS
Mammography 5th edition. In: ACR BI-RADS
Atlas, Breast Imaging Reporting and Data System.
Reston, VA, American College of Radiology ; 2013.

[3] 厚生労働行政推進調査事業費補助金厚生労働
科学特別研究事業「乳がん検診における乳房
の構成(高濃度乳房を含む)の適切な情報提供に
資する研究」班 : 乳がん住民検診における高濃
度乳房への対応について, 2018.

[4] 篠原範充 : 乳腺濃度を客観的に提示する手法
への期待と課題, 日本乳癌検診学会誌, 28 (1),
2019.

[5] 難波 清 他 : 全自動式三次元乳腺密度測定
ソフト『ボルパラ TM』の導入によるマンモグ

A Trial of Automatic Extraction of the Bottom of the Breast in Mammography

Emu Yamamoto¹⁾²⁾, Keisuke Kondo¹⁾, Masato Imahana²⁾, Mayumi Otani²⁾, Ayako Yoshida³⁾, Miki Okazaki³⁾,
Kana Sasaki³⁾, Yu Nunokawa³⁾, Mana Kato³⁾, Koharu Kimura³⁾, Suzuko Sakai³⁾, Shuji Sakai³⁾

1) The Graduate School of Medical and Health Sciences, Komazawa University

2) Department of Radiological Technology, Faculty of Health Sciences, Nihon Institute of Medical Science

3) Department of Radiological Service, Tokyo Women's Medical University Hospital

Summary

In order to improve the accuracy of mammary gland density analysis, we investigated a method for automatically extracting the lower edge of the breast on mammography images. The lower edge of the breast was defined according to its rendering pattern, and the results of visual evaluation and automatic extraction were compared. It was confirmed that the error of the judgment was within the range of 0[%] to 4.49[%] in any pattern, and the extraction was performed with high accuracy. It was difficult to judge visually the narrowed-back type, which had the highest standard deviation, and it is thought that this was the cause of the variation. Images in which the nipple is drawn at the bottom and images in which the breast droops cannot be extracted correctly. However, its impact is limited.