

## 胸部単純X線像からの線状影の抽出

木戸尚治<sup>1)</sup> 内藤博昭 田村進一<sup>2)</sup> 小塚隆弘<sup>1)</sup>

<sup>1)</sup> 阪大・医・放

<sup>2)</sup> 阪大・医・バイオ研・機能画像診断

胸部単純X線写真から、間質性陰影の特徴である線状影を抽出するための一手法を示し、また間質性陰影の客観的評価をするための指標を導入することを試みたので報告する。胸部単純X線写真における間質性陰影は日常臨床業務で接することが最も多いものであるが、読影の困難なものの一つである。そのために、ラプラシアン-ガウシアン状フィルタ処理をして二値化した画像に対して線状影判定処理をすることにより、線状影を抽出して視覚的に表示し、また客観的評価をするために指標を導入した。本手法を用いて、肺線維症例17ROIと正常例6ROIに対して実験を行いその有効性を確認した。

### Extracting linear shadows from chest radiographs

Shoji Kido<sup>1)</sup>, Hiroaki Naito, Shinichi Tamura<sup>2)</sup>, Takahiro Kozuka<sup>1)</sup>

<sup>1)</sup> Osaka University Medical School

Department of Radiology

1-1-50 Fukushima, Fukushima-ku, Osaka, Osaka 553

<sup>2)</sup> Osaka University Medical School

Division of Functional Diagnostic Imaging

4-3-57 Nakanoshima, Kita-ku, Osaka, Osaka 530

A method for extracting linear shadows from chest radiographs, which are a feature of one of interstitial lung shadow patterns, is discussed. Interstitial lung shadow patterns are a common clinical entity, but its diagnosis is one of most difficult problems for radiologists. By using the determination of linearity for binary images obtained from filtering digitized chest radiographs, linear shadows of lung radiographs are extracted. In order to aid radiologist's diagnosis, extracted images are displayed and indices are introduced. This method is evaluated for 17 ROIs of radiographs of lung fibrosis and 6 ROIs of normal radiographs. The results are expectable.

## 1. はじめに

胸部X線単純写真は、日常臨床業務においては、放射線科読影医にとって最も接することの多いものである。このなかでも肺の間質性陰影は、それを呈する疾患群の数が多く、特に慢性の経過をたどるような、びまん性肺疾患の多くは、間質性陰影を示すことが多い。

最近では、化学療法剤、免疫抑制剤、ステロイド療法に伴う免疫不全状態の時に生じるいわゆる“日和見感染”や、悪性腫瘍治療経過中に生じる癌性リンパ管症等、肺の間質性陰影の評価が治療に決定的な役割を果たすものも増加してきている。

しかし肺の間質性陰影は、そのパターンの種類が非常に多く、しかも陰影が淡いために評価が困難である。また読影に用いられる用語も必ずしも明確な基準に基いているわけではないことが多い。

このような事情で、読影医の評価にはかなり個人差があり、しかも同一人物においても時と場合により評価の異なることがある。さらに先に述べたように間質性陰影を表す表現はかなり定性的なものであり、読影医の相互評価を困難なものにしている。

以上のようなことから、読影医の診断を支援し、またその精度や客観性を高めるための指標を導入したりすることが必要であると考えられる。またそのような情報は、できるだけ視覚的に呈示される方が読影医の側にとっては利用しやすいと考えられる。

間質性陰影画像の特徴解析に関しては、フーリエ解析を用いた桂川、土井の手法<sup>1)</sup>が知られている。この手法では、肋骨による影響を避けるために、肋間に設定した6.4mm×6.4mmのROIが用いられている。この結果においては間質性陰影の3つのパターンがよく分類されているが、ROIが小さいため、必ずしも読影医にとって理解しやすいものであるとは限らない。

間質性陰影は基本的には、散布性の粒状影、多発輪状影、異常線状影に大別される<sup>2)</sup>。これ

らの陰影はそれぞれにそれを呈する特徴的な疾患群があり、読影上重要であるが、その区分を明確にすることがかなり困難である。

それで間質性陰影を不連続で散布性の分布を示す粒状影と、輪状影や線状影といった連続性陰影とに分けて、後者の連続性陰影をいわゆる線状影として抽出の対象にすることにした。

前述の線状影の候補をフィルタ処理により抽出して、それに対して線状影の判定処理を行い線状影の決定を試みた。またROIのサイズは大きくしてそれぞれ上肺野、中肺野、下肺野をカバーする程度とした。これは処理結果を表示するのに、小さなROIではそれを表示した時、医師の側が特徴をとらえにくいと考えたからである。

## 2. 間質性陰影の分類

先にも述べたように異常陰影は基本的には、散布性の粒状影、多発輪状影、異常線状影に大別される。

粒状影は粟粒結核や塵肺などで典型的に現れ、直径3mm以下の小粒状のものと、3mm～10mm以上の粗大粒状にわけられている。

多発輪状影は、膠原病性肺臓炎などで典型的にみられ、直径3mm以下の小輪状のものと、3mmを越える粗大輪状のものに分けられている。

異常線状影というのはKerley's line, tram line, 気管支血管周囲肥厚不整などである。間質性肺水腫、癌性リンパ管症などが代表的である。

当然のことながらこれらの陰影は、混在して表れる。特に粒状影と多発輪状影は混在することが多く、粒状輪状影(粒状網状影)といわれる。またX線写真は三次元の二次元への射影であるから、撮影方向に垂直な向きを持つ線状影のようなものは、粒状影として写る。

このように間質性陰影の特徴はかなり複雑であり、しかも陰影が淡くノイズとの区別が困難であるという問題点がある。

本手法においては特徴解析をするために、間質性陰影を不連続で散布性の分布を示す粒状影と、輪状影や線状影といった連続性陰影とに分けて、後者の連続性陰影をいわゆる線状影として抽出の対象にすることにした。

### 3. 処理の概要

処理の概要を Fig. 1 に示す。

#### 3.0 処理装置

本実験においては、NEC製PC-9801RA及び日本アビオニクス製TVイメージプロセッサ(TVIP-4100II EXCEL)を使用した。

#### 3.1 原画像の入力

原画像としては、胸部単純X線正面単純写真をCCDカメラを用いて入力した。入力された画像の濃淡レベルは8ビットである。またピクセルサイズは0.33mmに設定した。

#### 3.2 ROIの設定

入力された画像に対してROIの設定をモニター上で行った。ROIのサイズは、比較的大きくとり、上肺野、中肺野、下肺野をカバーするようにした。この様に比較的大きなROIを設定することにより、処理結果を表示した時に、理解しやすくなると考えられる。

#### 3.3 濃淡レベルの調整

胸部単純写真は、できる限り一定条件で撮影しても、同じ条件の写真にはならない。また入力の際の、シャカステンの光量により濃淡レベルにばらつきが生じる。これはしきい値処理のときに問題となるので、あらかじめ設定されたROI内での濃淡値の最小値を0とするように濃淡レベルを調整した。

#### 3.4 フィルタ処理

間質性陰影の線状影を抽出するためには本手法ではラプラシアン-ガウシアン状フィルタ(Fig. 2)を用いた。このフィルタは、一方向にのびた正の重みを持つ部分とその両側の負の重みを持つ部分からなり重みの総和が0とな

るように作成した。これを用いて特定の方向の線状影成分の抽出を行う。

フィルタは本来は、連続値を取るよう構成すべきであると考えられるが、処理の高速性を考慮してこの実験では、図に示すような二値的な幅を持つ次元二階差分形フィルタを使用した。

胸部単純X線写真における線状影は特定の方向性を持たない。従ってフィルタには、平面上のいろいろな方向性を持たさねばならない。本手法においては、水平、垂直、斜め2方向の4方向のフィルタ処理を行った。

本実験におけるフィルタのマトリックスサイズはピクセル数で $15 \times 15$ である。正の重みと負の重みの幅は、いくつかの症例に対して幅を変化させてみて肉眼的に最も陰影がよく拾われている幅に決めた。間質性陰影を表す陰影の幅の範囲はかなり広いが、本実験ではピクセルサイズと肉眼的所見の一致を重視して幅を決めた。幅は5ピクセル、即ち $0.33\text{mm} \times 5 = 1.65\text{mm}$ に設定した。この幅は実験を通じて変更をしなかった。

### 処理アルゴリズム

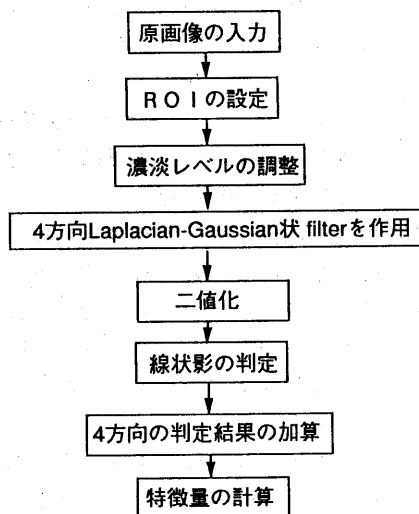


Fig. 1

### 3.5 二値化

フィルタ処理された結果に対して、しきい値による二値化を行った。このしきい値の決め方もフィルタの幅の決定と同じく、しきい値を変化させてみて肉眼的所見と一致する値を選んだ。このしきい値も実験を通じて変更しなかった。フィルタ処理画像  $F = \{f_{i,j}\}$ 、しきい値処理結果を  $B = \{b_{i,j}\}$ 、しきい値を  $t$  とする時、 $f_{i,j} \geq t$  ならば  $b_{i,j} = 255$  とし、 $f_{i,j} < 0$  ならば  $b_{i,j} = 0$  とする。

### 3.6 線状影の判定処理

線状影判定処理アルゴリズムを Fig. 3 に示す。線状影の判定処理はフィルタ処理された4方向の処理画像に対して別々に行う。これは4方向の画像を加算してから判定すると方向が特定しにくくなり、誤った方向に判定してしまう確率が高くなるためである。

処理画像には、ノイズが多く含まれ、また粒状影と線状影が混在している。しかも線状影も完全に連続的であるとは限らないために、得られた画像は dot が散布性に分布したパターンをとることになる。

この画像から線状影のみを抽出するためにサーチライン法を用いた。これは画像平面上における直線的な線分を検出する方法である<sup>(3,4)</sup>。具体的には、まず画像上に特定の方向  $\theta$  と長さ  $L_s$  を持つサーチラインを設定する。そしてこのサーチライン上の  $b_{i,j} = 255$  の値を持つピクセルの個数を計測する。この個数が一定のしきい値  $T_s$  を越えれば線状影と判定する。線状影と判定された場合、サーチライン上のピクセルが不連続であるならばピクセル間の補間を行う。次にサーチラインの方向  $\theta$  を変化させて同様のことを行い  $\theta$  が  $360^\circ$  になるまで繰り返す。このことを ROI 内の指定されたピクセルに対して実行する。

本実験においては、ROI 内のすべてのピクセルに対して上記の操作を行っているが、実用的には必ずしもすべてのピクセルに関して調べる必要はないと思われる。このことに関して

は現在検討中である。またサーチラインの長さ  $L_s$ 、しきい値  $T_s$  及び方向  $\theta$  の値に関しては後述する。

### 3.7 特徴量の計算

間質性陰影の客観的評価を行うためには、特徴量を定量的に表す指標が必要となる。読影医が間質性変化の程度を表すものとして日常の読影において用いているものは、かなり定性的である。このなかで線状影の分布密度や線状影の太さなどは比較的定量化しやすく、指標も作りやすい。これに対して輪状影といったテクスチャの性質に属するようなものは定量化がしにくく、適当な指標を見つけるのが困難であると考えられる。

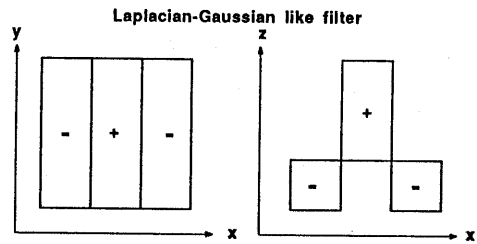


Fig. 2

### 線状影判定アルゴリズム

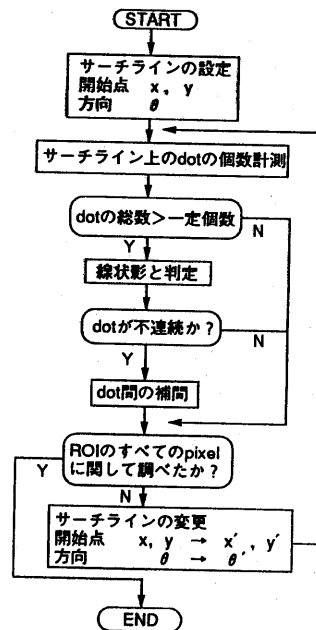


Fig. 3

本手法においては、Fig. 4 に示すように、3つの指標を導入した。このなかで密度  $d$  は線状影の分布密度を表し、平均幅  $w_a$  は線状影の太さを表す指標である。これに対して複雑さ  $e$  はテクスチャの性質を表す指標として導入した。

(a)  $d$ : 密度 これはROIの総ピクセル数  $a$  に対して、線状影と判定されたピクセル数の和  $w$  の比である。密度  $d$  が大きいほど線状影の分布密度が高い。

(b)  $e$ : 複雑さ これは線状影と判定されたそれぞれの図形の周囲長  $p_{mi}$  (線状影の周囲長  $a_{pmi}$  と線状影が交差することにより形成される穴の周囲長  $h_{pmi}$  の和) の二乗をそのピクセル数  $a_i$  で割ったものに、重み  $w_{ti}$  を掛けてたし合わせたものである。抽出された線状影は、大きさにかんがりのばらつきがあるので、線状影全体のピクセル数に対する各線状影のピクセル数の比を重み  $w_{ti}$  として掛けた。複雑さ  $e$  はテクスチャの複雑さと相関する。

(c)  $w_a$ : 平均幅 これは線状影と判定されたそれぞれの図形のピクセル数  $a_i$  の2倍をその周囲長  $a_{pmi}$  で割ったものに、 $e$  で定義した重み  $w_{ti}$  を掛けてたし合わせたものである。平均幅  $w_a$  は線状影の太さと相関する。

### INDEX

<p><math>d</math> : density</p> <p>linear shadow / ROI</p> <p><math>e</math> : complexity</p> $e = \sum_{i=1}^n \left( \frac{pm_i^2}{a_i} \times wt_i \right)$ <p><math>w_a</math> : width average</p> $w_a = \sum_{i=1}^n \left( \frac{2a_i}{apm_i} \times wt_i \right)$
---

Fig.4

## 4. 実験結果と考察

### 4.1 実験に用いた写真

実験には、大阪大学医学部附属病院中央放射線部で撮影された、胸部単純X線正面写真を用いた。肺線維症例は7例でそれに対して設定したROIは17個、正常例は3例でそれに対して設定したROIは6個である。ROIは右肺野の上肺野、中肺野、下肺野をそれぞれ含むように設定した。

ROIのサイズはCCDカメラからの入力時には $190 \times 190$ とし、フィルタ処理はこのROIにて行った。線状影の判定は $180 \times 180$ のROIで行った。また特徴量の計算は $150 \times 150$ のROIで行った。

線状影判定用ROIおよび特徴量計算用ROIでは、辺縁部を切り捨ててROIのサイズを縮小させた。これはフィルタ処理の際の無効部や周辺部のノイズを避けるためである。

得られた画像をFig. 5のa, bに示す。この画像には肋骨の陰影も含まれている。肋骨辺縁除去アルゴリズムも開発しているが、完全には肋骨陰影を抽出できていない。また間質性陰影と肋骨陰影の重なりによって、肋骨辺縁除去によりむしろ逆効果になることも考えられる。従って以下では肋骨陰影も含めたまま処理をすすめている。

### 4.2 特徴量の計算結果

設定された各ROIで、特徴量の計算を実行した。計算結果の平均値に関して、縦軸と横軸をそれぞれ密度  $d$  と複雑さ  $e$ 、密度  $d$  と平均幅  $w_a$  としたグラフをFig. 6のa, bに示す。グラフ中のbinとはラプラシアン-ガウシアン状フィルタ処理をした後、二値化しただけで線状影判定処理を行っていないものである。線状影判定処理のところで述べたサーチラインの長さ  $L_s$  としきい値  $T_s$  の組合せは、本実験においてピクセル数で40,36と40,32と60,48の3通りである。サーチラインの方向は5°刻みに変化させた。グラフ中の数値、例えば40365はこれらのパラメータを表している。

肺線維症例においては密度  $d$ 、複雑さ  $e$ 、平均幅  $w a$  といった指標の平均値が正常例に比べて大きくなっている。

次に肺線維症例と正常例の計算結果の点群が二つの群に分離されているかを調べた。このために縦軸と横軸の指標の平均値の  $\pm 2\sigma$  を取り、それぞれの領域が重なるかどうかを計算した。結果はどのパラメータの場合も重なることはなく、よく分離されていることが示された。

さらに最適なパラメータを決定するために、 $a$ 、 $b$  のグラフにおいて、線状影判定処理をした場合の  $\pm 2\sigma$  で囲まれた面積を、線状影判定処理をしなかった場合の  $\pm 2\sigma$  の面積で除算をして規格化したものを次式のように分散比と定義して比較を行った。

$$\frac{(4\sigma_x \times 4\sigma_y)}{(4\sigma_{xbin} \times 4\sigma_{ybin})} : \text{分散比}$$

その結果を Fig. 6 の  $c$ 、 $d$  に棒グラフとして示す。肺線維症の症例においては、密度  $d$  と複雑さ  $e$ 、密度  $d$  と平均幅  $w a$  のいずれの場合においても  $\pm 2\sigma$  の面積から計算される分散比が大きくなっている。一方に、正常例においては、 $\pm 2\sigma$  の分散比は 1 にほぼ等しいかむしろ

小さくなっている。

このことは線状影判定処理をした場合の指標値は、それをしなかった場合の指標値に比べて、肺線維症の症例ではグラフにおける指標値の分布が広がっているのに対して、正常の症例では、その分布の広がりの程度が変わらないかむしろ小さくなることを示している。

#### 4.3 考察

特徴量の計算結果に関する以上の結果から、フィルタ処理をして二値化しただけの場合よりも、本手法で示される線状影判定処理を行った場合の方が間質性陰影の特徴をより良く表しているのではないかと考えられる。

フィルタ処理して二値化しただけの場合は、間質性陰影の特徴を表す指標値は、肺線維症の症例と正常の例で 2 群によく分離される。しかしその分布の広がりに関しては、肺線維症の症例の場合かなり集中する傾向にある。これは線状影とは考えられない粒状影やノイズなどを抽出しているためであると考えられる。特にフィルタ処理の際に拾われるノイズの影響が大きいと考えられる。

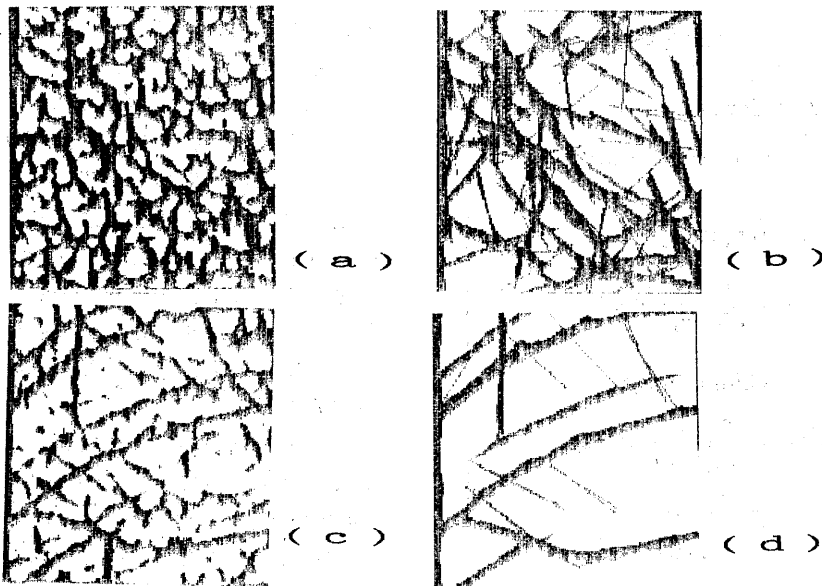


Fig. 5 線状影判定処理の結果

肺線維症例 : (a) 線状影判定処理なし (b) 線状影判定処理あり (60485)  
 正常例 : (c) 線状影判定処理なし (d) 線状影判定処理あり (60485)

フィルタ処理して線状影判定処理をした場合は、しなかった場合と同様に指標値は2群によく分離されている。またその分布の広がりに関して、肺線維症の症例の場合は線状影判定処理をしなかったものに比べて、処理をしたものでは指標値の分布に広がりがある。これは粒状影やノイズをひろうことを抑えたためであると考えられる。

また指標値の分布に広がりがある方が特徴をさらに解析する場合には、分類をしやすくなり有利であると考えられる。

本実験の結果からは、サーチラインの長さとして60ピクセル、しきい値として48ピクセルが最も適当と考えられる。

Fig. 7のグラフは、線状影判定処理をしていない場合と、サーチラインの長さを60ピクセル、しきい値を48ピクセルとして線状影

判定処理をした場合の指標値の計算結果である。長方形の枠は肺線維症における $\pm 2\sigma$ の領域を示している。

## 5. むすび

本論文においては、胸部単純X線写真から、間質性陰影の特徴解析のために線状影抽出を行った。このためにラプラシアン-ガウシアン状フィルタ処理をした二値画像に対して、線状影判定処理を行った。また客観的評価をおこなうために導入した指標の計算結果も示した。本手法で導入した密度 $d$ 、複雑さ $e$ 、平均幅 $w$   $a$ という指標は、間質性陰影を客観的に評価するのに有効であると考えられる。また抽出された線状影を視覚的に表示することにより読影医の診断を支援することが可能であると考えられる。

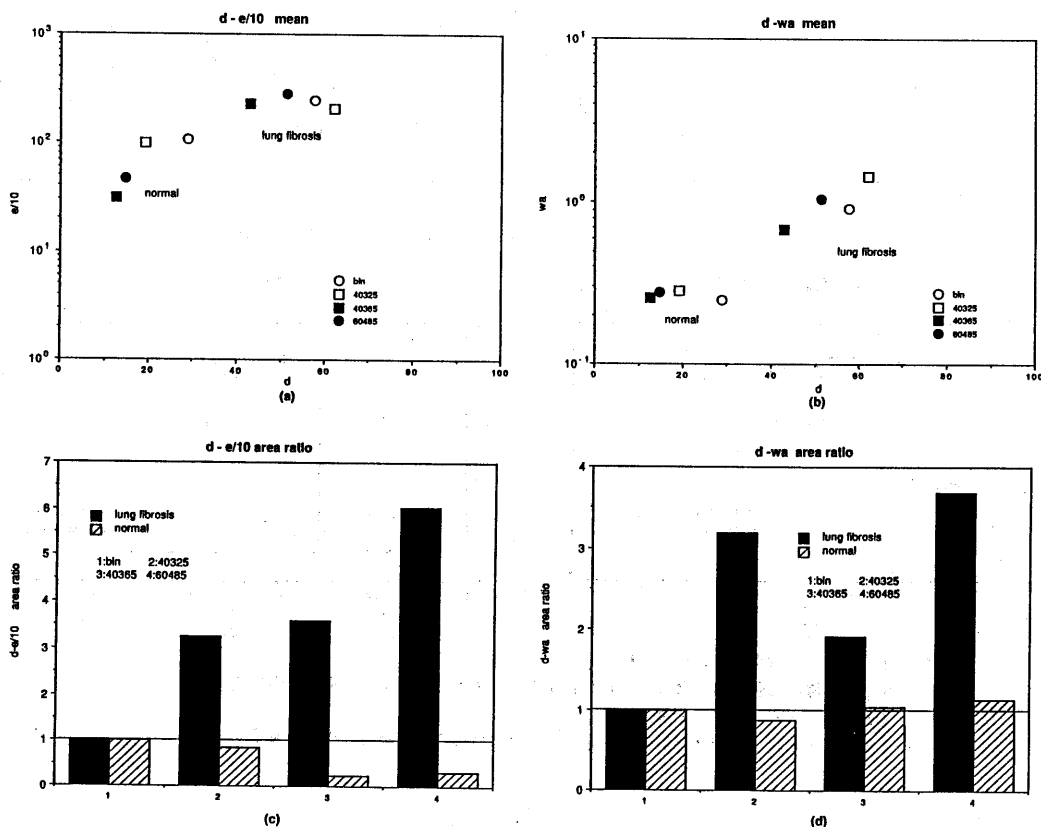


Fig. 6 特徴量の計算結果 肺線維症例と正常例の平均値と分散比  
 平均値： (a) 密度 $d$ と複雑さ $e$  (b) 密度 $d$ と平均幅 $w$   $a$   
 分散比： (c) 密度 $d$ と複雑さ $e$  (d) 密度 $d$ と平均幅 $w$   $a$

本手法においてはサーチラインの長さ  $L_s$  や、しきい値  $T_s$  等のパラメータをあらかじめ決定しておけば、ROIの設定後、特徴量の計算と判定結果の表示までは自動的に実行できる。

現在のところまだ間質性陰影の程度と指標の相関に関しては十分に評価していない。今後、読影医の評価との比較やCTから得られるデータとの比較により指標と判定結果表示の妥当性に関して調べる必要があると思われる。さらに陰影の高次の特徴も抽出していきたいと考えている。

また今回はCCDカメラを用いたが、解像度の点などから、レーザーイメージスキャナを用いたり、現在普及しつつあるCRを用いた方法を試みることも検討しなければならない。

参考文献

- 1) S. Katuragawa, K. Doi, H. MacMahon, : Image feature analysis and computer-aided diagnosis in digital radiography. Med. Phys. 15(3), pp 311-319 (May/June 1988)
- 2) 厚生省特定疾患肺線維症調査研究班, 昭和49, 50, 51年度研究会報告-診断基準・疫学分科会
- 3) 田村進一編著, FAのための画像処理技術, 工学研究社, 1988
- 4) S. Tamura, M. Uga, and T. Ono, : Straight line extraction for wafer alignment. IEEE Computer Vision and Pattern Recognition '83, pp 285-290, 1983

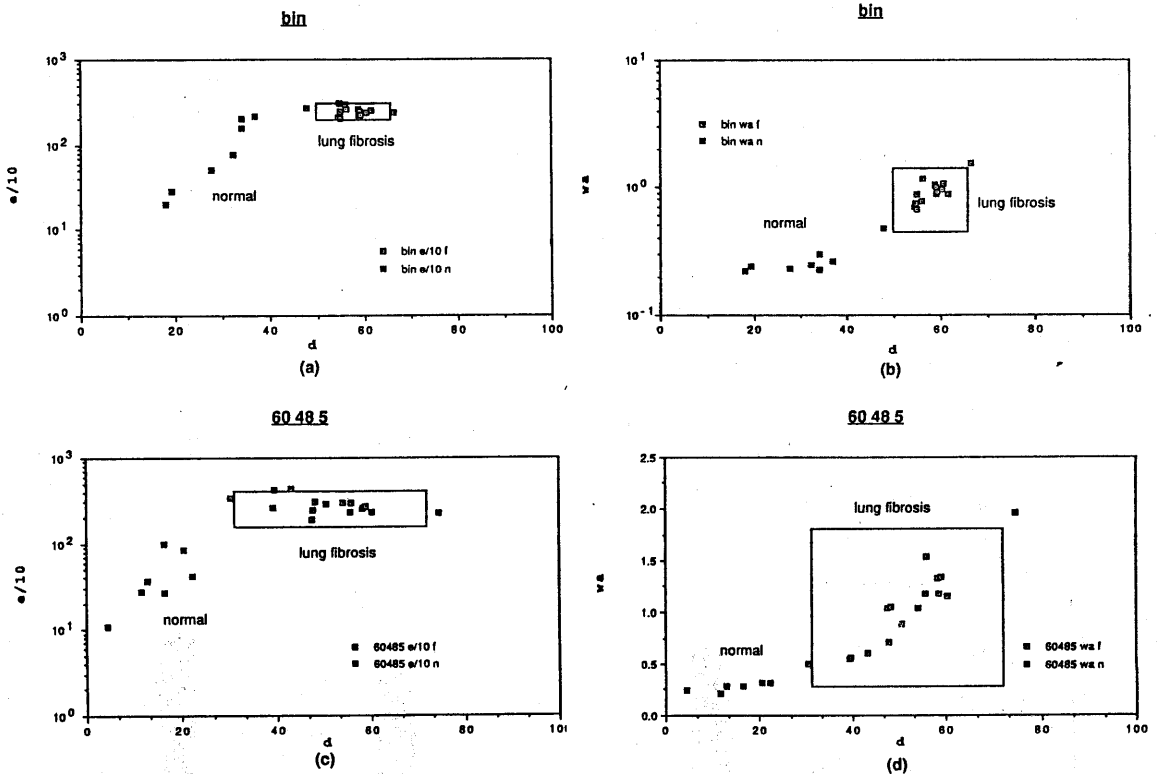


Fig. 7 特徴量計算結果の比較

bin: 線状影判定処理なし    60485:  $L_s = 60, T_s = 48, \Delta\theta = 5^\circ$

(a), (c) 密度  $d$  と複雑さ  $e$

(b), (d) 密度  $d$  と平均幅  $w$     枠は肺線維症例の場合の  $\pm 2\sigma$  を示す