

原木形状の自動計測（第1報）

画像処理による木口面の寸法計測

坂井正孝*¹, 吉田直隆*¹
島崎鶴雄*¹, 神子 昭*²

Automatization of Log Scaling I The Method of Recognizing Cross face shape Using Image Processing Techniquis

SAKAI, Tadayuki*¹, YOSIDA, Naotaka*¹
SIMAZAKI, Tsuruo*¹ and MIKO, Akira*²

Image processing technique was proposed to measure the minimum diameter of cross face in Siberian softwood (*Larix* sp. and *Picea jezoensis* Carr.). This technique can be applied to recognize cross face shapes of logs with bark or without bark. The measured values were compared with each actual measurement.

Results are summarized as follows:

- 1) The results of regression analysis between actual measurements and image processing measurements gave a gradient of regression line nearly 1.0 in all cases. The square root of unbiased estimate of population variance of diameter ranged from 1.35 to 4.58mm.
- 2) Slight measurement errors were observed in all cases.

シベリア産針葉樹原木の木口面の最小径を計測するため、画像処理手法を提案した。この処理方法は、樹皮付きおよび樹皮無しの木口面の形状認識に適應できる。この方法を用いて計測し、実測値と比較した。

その結果、次のことが明らかとなった。

- 1) 実測値と画像処理による値を回帰分析すると回帰式の傾きは、いずれの計測条件共ほぼ1に近い値が得られ、また、不偏分散の平方根は1.35~4.58の範囲内であった。
- 2) 寸法計測誤差は、いずれの計測条件共わずかに生じた。

1. 緒 言

本県の木材需給は外材に依存することが多く、特にソ連産針葉樹の輸入量は圧倒的に多く、その量は年間約1700千m³（全国輸入量の約27%）に達してい

る。これは、末口径20cm、長さ8mの原木（丸太）として換算すると約440万本となり、これら全量が手作業で検数されていることになる。その荷役作業はほとんどが陸取りで行われており、検数作業は、3

本報告は第37回日本木材学会(京都)で発表した

* 1 木材試験場

* 2 工業技術センター 中央研究所

～4名で構成された1ギャングが1日200～300m³を処理している^{2,3)}。今後、作業の安全性および小径木化による原木本数の量的増加などにより、これらの作業の自動化、省力化を図る必要性が生じてくると考えられる。

一方、原木形状の自動計測の現状は、機械的なデバイスを利用する方法⁴⁾、可視光線をしゃ断する光学的な方法等⁵⁻¹⁰⁾が考案、実用化されている。しかし、これらの計測方法は原木の樹皮の有無により計測誤差を生じ得る要因があり、他の計測法による可能性を検討することにした。

本報告では、製材木取りの自動化への適応も考慮して生産ライン等における種々の認識作業の自動化に効果を上げているデジタル画像処理技術¹¹⁾をとりあげ、樹皮付き原木の寸検に適應するための問題点とその解決処理手法の基本的な検討を行い、原木木口面の形状認識とJAS規格に準拠した最小径および最大径を検出する方法について検討した。

2. 実験方法

2.1 基礎実験

2.1.1 実験装置

形状認識システムの概要を第1図に示した。

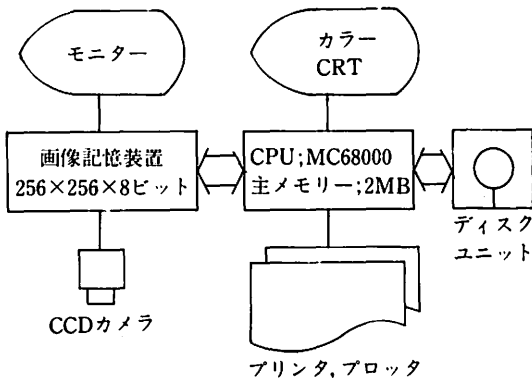


図-1 形状認識システムの概要

(a) 照明装置

照明は、市販の蛍光灯スタンド（ランプ；FL15，電源；AC100V）を安定性のよい直流電源（電源；DC24V，0.7A）で点灯できるように改良し、照度が約2 luxの実験室において木口面に対して2灯（約1600lux）で照射した。

(b) 撮像デバイス

撮像デバイスは使用目的が図形計測、形状解析であることから、図形歪み、残像が少ない固体撮像デバイス（CCD）を選んだ^{12,13)}。

仕様は撮像素子がインターライン転送方式 CCD、画素数が横384×縦490，S/N比が50db，電源がAC100V，レンズがF1.4，1.6mmである。

(c) 画像記憶装置

画像記憶装置は CCD カメラからの画像信号を横256×縦256画素に標準化し、8ビット（256レベル）に量子化するものであり、2枚の画像メモリーを持っている。また、画像の取り込みおよび画像強調等にさいしては白黒モニターを見ながら行う。

なお、本装置の画素数は縦横方向ともカメラの画素数より少なくなっている。

(d) 演算処理装置

演算処理装置はマイクロコンピュータ（CPU；MC68000，クロック周波数；8 MHz，主メモリー；2 MB）で構成され、画像記憶装置の画像メモリー上のデータを主メモリーへ読み込んで種々の演算処理を行うとともに、画像記憶装置、外部入出力装置の制御管理（インタフェース；GP-IB）を行う。

なお、プログラム言語は BASIC（インタープリター方式）で構築し、実行時にはコンパイルしたモジュールを用いている。

(e) 外部入出力装置

記憶装置には画像メモリー上のデータ、演算処理過程でのデータあるいはプログラムを保存・記憶させるフロッピーディスク（640KB）を用いた。

出力装置には演算処理結果を出力するプリンタ、ヒストグラム等を作図する X-Y プロッタ、画像の擬似カラー等を表示するカラーグラフィックディスプレイから構成されている。

2.2 応用実験

2.2.1 供試材

供試原木の性状は、第1表に示す。供試材は、これら原木から製材機で厚さ、3 cmの円盤を切りだし、径をランダムに各々20体選んだ。

計測に際しては、まず樹皮付きのものを、次にこれらの試料を剥皮して用いた。

2.2.2 実験装置

2.1.1項に示した実験装置を用いた。

表-1 供試材の性状

	原木長さ (m)	末口径 (cm)	気乾比重	含水率 (%)
エゾマツ	2	13~18	0.47	19.6
カラマツ	2	13~18	0.65	31.1

3. 結果と考察

3.1 基礎実験

木口面の形状計測法の概要を第2図に示した。

3.1.1 画像の雑音除去

図-3は、観測画像の輝度（濃度）を高さにして3次元グラフィクス表示したものである。この観測画像は細かい信号のゆらぎ（雑音）がかなり含まれている。このように観測画像の生データには種々の雑音を受けており、そのまま認識操作を実行したならば、安定した処理ができなくなることが多くある。

したがって、認識操作を安定にするためには雑音を除去する必要があるが、この処理方法には各種のアルゴリズムが提案されている^{13-16,20)}。

本実験ではステップ状の信号を保持し、インパルス状の雑音を除去する特徴を持ち、前処理として幅広く活用されていることや処理時間の大小から判断

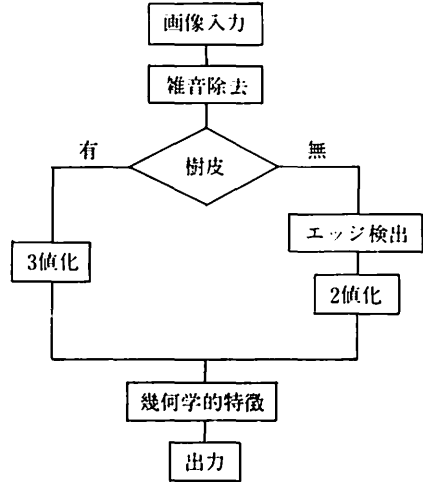


図-2 形状計測法の概要

してメディアンフィルタを用いることにした¹⁷⁾。メディアンフィルタの利用に際しては、観測画像の品質および輪郭生成精度に応じてウィンドウサイズを適切に設定する必要があるが、処理時間の点で小さいほうが望ましいということからサイズは3×3とした。

その結果を図-4に示した。図-4は図-3と比較して、フィルタリングされたためになんかなり雑音が除去されていることを示している。

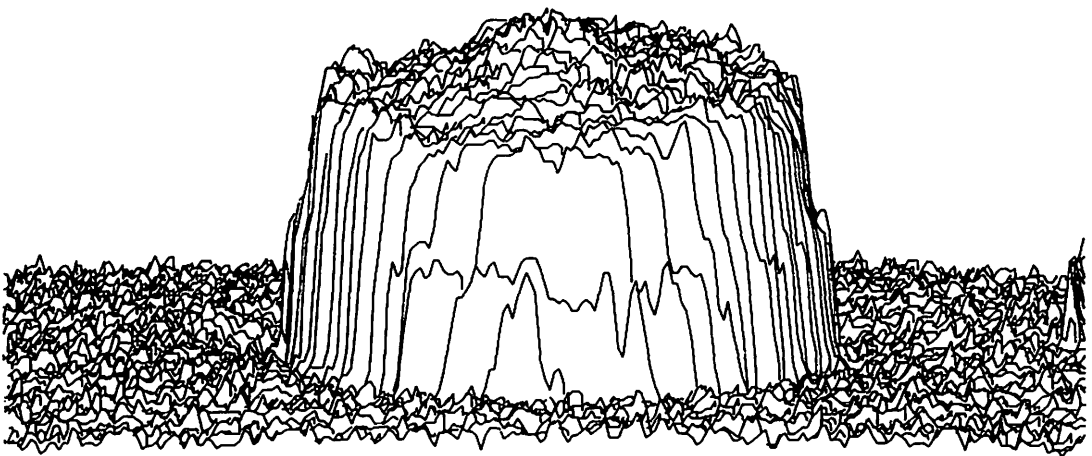


図-3 観測画像の濃度分布例

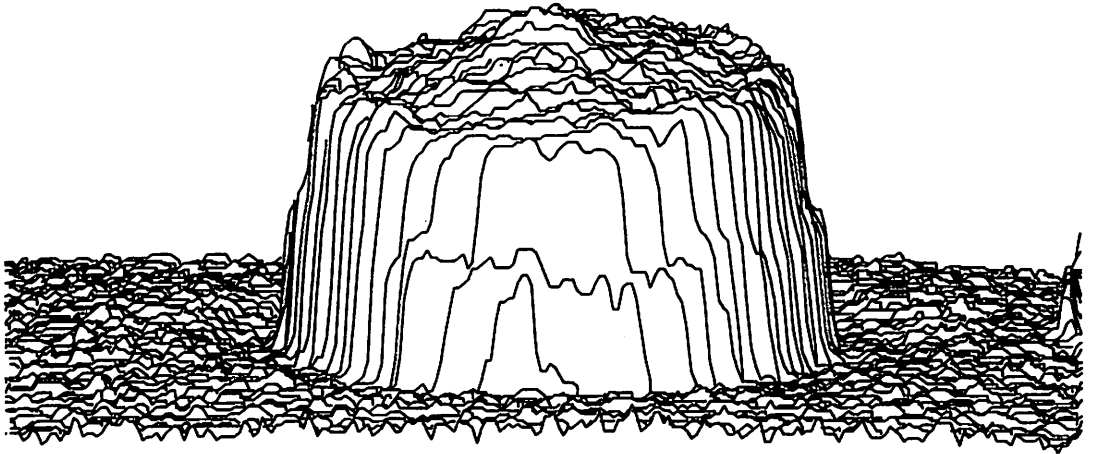


図-4 メディアンフィルタ処理後の画像の濃度分布例

3.1.2 樹皮有りの処理系

図-5は、樹皮有り画像の正規化されたヒストグラムを示している。このヒストグラムは双峰性を持ち、濃度値の集合を3つのクラスに分割できることを示している。ここではIのクラスが背景、IIのクラスが樹皮部、IIIのクラスが対象領域の木部に相当している。

したがって、経験的にしきい値 t_1 , t_2 を決定することによって、I, II, IIIのクラスが分離(3値化)

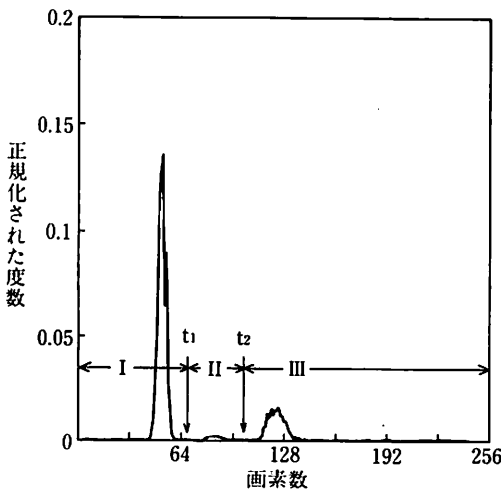


図-5 濃度値のヒストグラム

できるが、実際には、ヒストグラムから客観性を持たせた正確な谷底(しきい値に相当)を検出するのは困難であることが多く、自動的にしきい値を選定することは難しい。

そこで、本実験では大津のアルゴリズム¹⁰⁾を適用した。

このアルゴリズムの概要はI, II, IIIに分けられたクラス間の分散が最大となるように最適しきい値の組を選定するものである。このしきい値の組を求めるために動的計画法(ダイナミック・プログラミング)によって解法した結果を図-6に示した。これは、濃度で示すと0~67が背景、68~102が樹皮部、103以上が木部に相当することを示している。

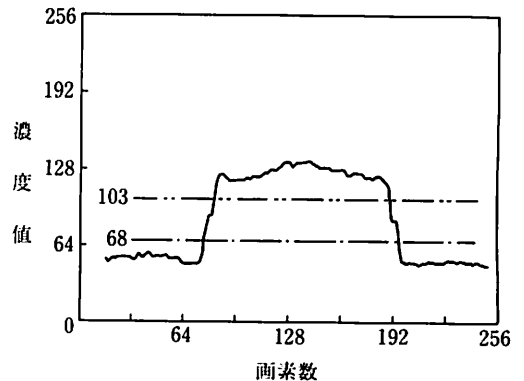


図-6 濃度値としきい値の関係

したがって、入力画像を $IP(x, y)$ とすると、木部を抽出した2値画像 $JP(x, y)$ は、次式により得られる。

$$JP(x, y) \begin{cases} 1 : IP(x, y) \geq 103 \\ 0 : IP(x, y) < 103 \end{cases}$$

3.1.3 樹皮無しの処理系

図-7(a)図は、樹皮無しのある水平方向の画像データの一例を示したものである。これは、濃度値が約48以下が背景、約104以上が木部に相当していることを示している。したがって、3.1.2項で述べた方法を用いて、2値化すれば木部領域を抽出することができる。しかし、この方法は、プログラミングが難しいことや予めパラメータを設定しておかなければならない欠点がある¹⁸⁾。

このようなことから、本実験では、木口面画像が閉曲していることや背景から木部にかけて濃度値が急激に変化していることに着目して、画像の濃度関数を微分(差分)することによって画像の輪郭(エッジ)を検出することを試みた。

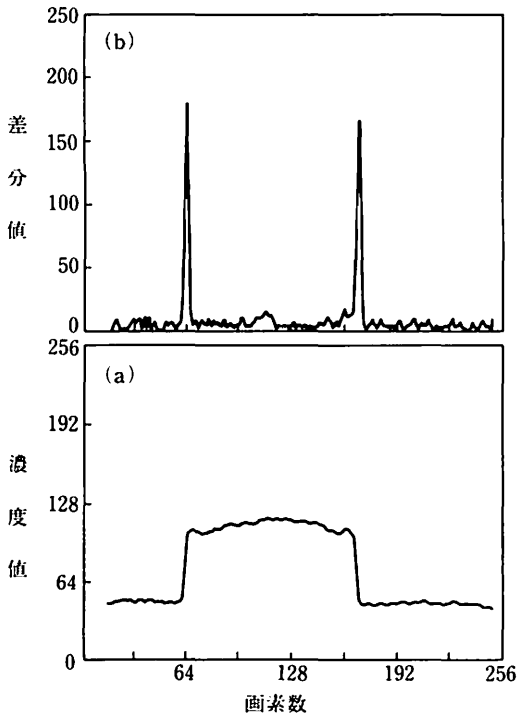


図-7 濃度値と差分値の関係

-1	0	1
-2	0	2
-1	0	1

-1	-2	-1
0	0	0
1	2	1

Sx Sy

図-8 ソーベル・オペレータのマスク

図-8には、エッジ検出性能が他のオペレータと比較して優れていると言われているソーベル・オペレータを示した^{16,19)}。なお、オペレータ S_x は垂直方向、 S_y は水平方向の境界が検出できることを示している。

差分計算は次のとおりである。まず、入力画像の画素 $IP(x, y)$ の 3×3 近傍を取りだし、 3×3 近傍の各画素の値とオペレータ S_x, S_y の積和を SX, SY とし、次式より出力画像 $JP1(x, y)$ を得た。

$$JP1(x, y) = |SX| + |SY|$$

その結果を第-7(b)図に示した。これは、濃度が急激に変化する部分と差分値のピークがほぼ一致していることを示している。

また、図-9には、この差分値を3次的に表示した。したがって、次式より木部領域を抽出した2値画像 $JP2(x, y)$ が得られる。

$$JP2(x, y) = \begin{cases} 1 : \text{ピーク値の内側} \\ 0 : \text{ピーク値の外側} \end{cases}$$

3.1.4 幾何学的特徴の抽出

(a) 画像の幾何学的な補正

(a, a) 縦横比の測定

撮像デバイスに CCD カメラを使用していることから、撮像デバイスに起因する歪みは大きな問題とはならない。しかし、画像記憶装置に画像データとして取り込まれる画素の縦横比が $1/1$ でないことから、歪んだ画像となる。これを補正するために、予め試料と同一撮影条件で円(直径 150mm)を観測し、水平および垂直方向のフェレ径を求めた^{20,21)}。

その結果、水平方向のフェレ径(H)は112画素、垂直方向のフェレ径(V)は137画素となった。した

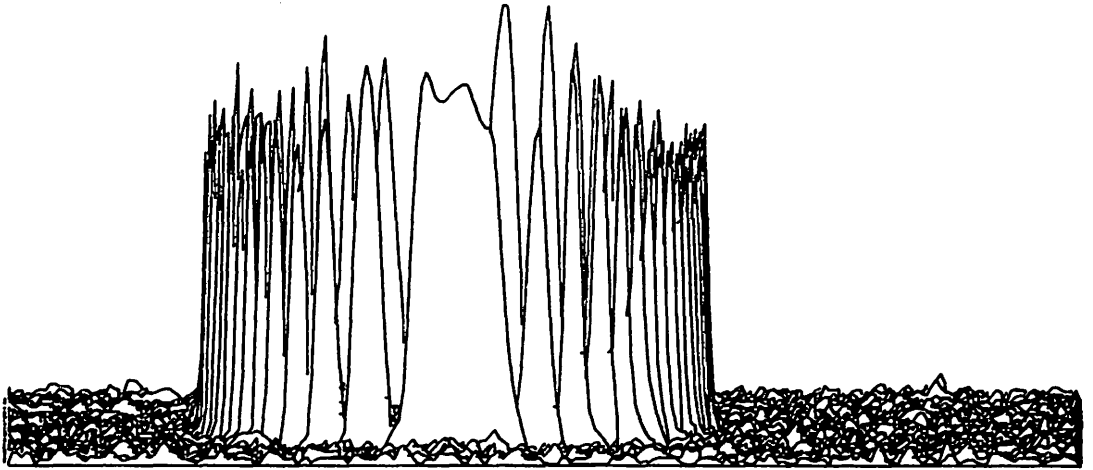


図-9 差分値の分布例

がって、本実験装置の縦横比 (V/H) は137/112となる。

(a, b) 1画素当たりの長さの測定

寸法計測するために、予め同一撮影条件で円 (直径 150mm) を観測し、1画素が何mmに相当するかを決定した。

その結果、水平方向は1.095 mm/画素、垂直方向は1.339 mm/画素となり、計測精度としては十分であると考えられる。

(b) 対象領域の座標系の検出

対象物の形状を表現するためには、対象領域 (木部) と他の領域 (樹皮、背景) を分離し、境界領域を構成している各々の画素が持つ座標系を求めなければならない。

本報告では、しきい値および差分処理した2値画像をラスタ走査しながら対象領域の最上部の1点 (始点) を見付け、つづいて、始点から右回りに境界点を8連結数に従って追跡し、それぞれ画素の座標を求める方法を用いた^{20,21)}。

但し、この時の座標原点は画像の左上端となる。

(c) 重心の検出

原木の直径を計測する場合、木口面の中心点を通る径²²⁾となることから、本実験では画像の重心を木口面の中心 (原点) と仮定した。

2値画像 IP の重心は次式より求められる^{13,16)}。

木部の0次モーメントすなわち面積は、

$$M_{00} = \sum \sum IP(x, y)$$

y 軸についての1次モーメントは、

$$M_{10} = \sum \sum x \cdot IP(x, y)$$

x 軸についての1次モーメントは、

$$M_{01} = \sum \sum y \cdot IP(x, y)$$

が得られる。

したがって、重心 (X_0, Y_0) の座標は、

$$X_0 = M_{10} / M_{00}$$

$$Y_0 = M_{01} / M_{00}$$

と計算できる。

3.1.4(b)項で求めた座標系は画像の左上端が原点であることから、重心が原点となるように座標変換を行う。

(d) 最小径および最大径の計測

第10図に木部領域の各境界座標を重心 O を原点として幾何歪みを除去した座標系に変換したものを示した。

最小径を検出する場合、まず、点 P_j の座標 (x_j, y_j) を求める。そのためには、境界線上の点 P_1 の座標 (x_1, y_1) と原点 O $(0, 0)$ が与えられていることから、2点 P_1, O を結ぶ直線の式 $y=f(x)$ を得て、この直線の延長線と境界線との交点を求める。その点が $P_j(x_j, y_j)$ となる。次に、2点 P_1, P_j 間の距離 (径) を求める。したがって、最小径は、始点 P_0 から境界線上にある全ての点の径を順次求め、これらの

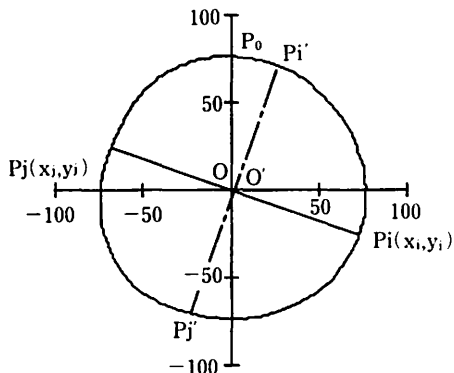


図-10 木部領域の形状例

中で最小のものとなる。

次に、JAS規格に準じて最小径に直角となる径(最大径)²²⁾を検出する場合について述べる。

最小径が得られたならば、この線分の中点O'を求め、この点を通して $y=f(x)$ に直交する直線の式を得る。次に、この直線と境界線との交点Pi, Pjが求められることから、最大径は点Pi, Pj間の距離となる。

3.2 応用実験

まず、観測画像を3.1.1項の雑音除去、次に供試材が樹皮有りの場合は、3.1.2項の3値化処理、樹皮無しの場合は、3.1.3項の差分処理を施し、3.1.4項で述べた手法から木口面の寸法計測を行った。

図-11に実測と画像処理による計測の一例を示

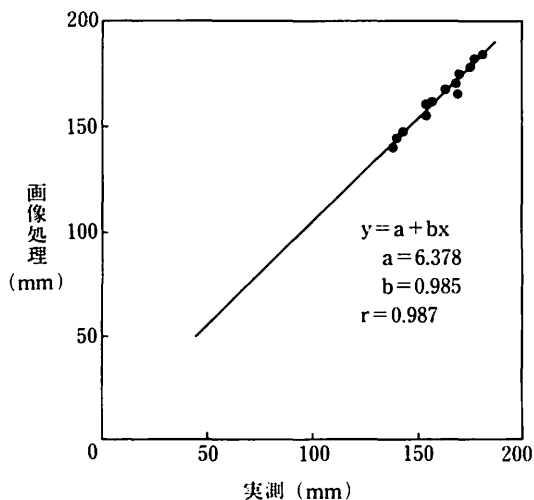


図-11 実測と画像処理の関係の例

注) 供試材;カラマツ, 樹皮;無

表-2 寸法計測結果

		カラマツ	エゾマツ
樹皮有り	回帰式の傾き	0.966	0.965
	回帰式のY軸切片	2.731	0.318
	相関係数	0.987	0.979
	不偏分散の平方根	2.439	4.581
	実測と画像との差	2.781	5.014
樹皮無し	回帰式の傾き	0.985	1.023
	回帰式のY軸切片	6.375	-1.701
	相関係数	0.987	0.998
	不偏分散の平方根	2.476	1.348
	実測と画像との差	-3.923	-1.762

注) 単位位: mm
計測数: 20

し、表-2に総括したものを示す。

回帰分析の結果、樹皮有りの回帰式の傾きは、両樹種共約0.965、樹皮無しの場合、エゾマツが0.985、カラマツが1.023を示し、ほぼ1に近い値を得た。また、不偏分散の平方根は、樹皮付きのエゾマツが4.58、カラマツが2.44、樹皮無しのエゾマツが1.35、カラマツが2.48を示した。ちなみに各計測条件共相関係数は約0.98以上であった。

また、実測値と画像処理による値の差を求めると樹皮有りの場合は、実測値よりも小さくなる傾向を示した。これは、しきい値が影響したと考えられる。

樹皮無しの場合、実測値と画像処理による値の差を求めてみると実測値よりも大きくなる傾向を示した。これは、差分処理の影響と推察できる。なぜなら、差分値のピークは、濃度が急激に変化する中間部に生じるため、実際のエッジ部と画像処理して得られたエッジ部の間に差ができる。これが、寸法誤差となったと考えられる。

いずれの演算も BASIC で処理しているため、かなりの時間を要したが、寸法誤差に関しては、補正値を与えることにより、かなり改善されるものと考えられる。

以上の結果から、提案した手法を運用することによって、木口面の寸法計測が可能であることが示された。

4. 結 論

木口面の形状を認識するための画像処理手法を提案し、シベリア産針葉樹を対象にして、自動的に木口面の最小径等を求める方法について実験的に検討を行った。その結果、次のことが明らかになった。

1) 樹皮有りの木部を抽出するためには、大津らの判別法に基づく自動しきい値選定法の利用が有効である。

2) 実験値と画像処理による値を回帰分析すると回帰式の傾きは、樹皮の有無にかかわらずいずれの計測条件共ほぼ1に近い値が得られ、また、不偏分

散の平方根は1.35~4.58mmの範囲内であった。

3) 寸法計測誤差は、樹皮の有無にかかわらずいずれの計測条件共わずかに生じた。

今後、計測精度、処理速度等を上げるための対策については、更に検討する必要がある。

5. 謝 辞

実験に際し、様々な面でご指導下さった富山大学工学部電子工学科長谷博行氏およびインテック㈱杉山勝己氏に深く感謝し、お礼申し上げます。

文 献

- 1) 富山県林政課：木材需給と木材工業の動向，昭和63年2月。
- 2) 島崎鶴雄，坂井正孝，吉田直隆：未発表資料，昭和59年10月。
- 3) 杉原彦一，ほか8名：港湾における外材原木処理のシステム化に関する研究，木材研究・資料，No15，81-140（1980）。
- 4) 中田欣作：マイクロコンピュータによる最適木取り試験，木材学会北海道支部講演集，No15，1983，p.5-8。
- 5) 日本木材学会，木材切削研究会編：木材の自動計測に関する研究要旨，東京，1987，p.23。
- 6) 村田光司，西田勝美：ITVカメラによる丸太の自動計測（I），第37回日本木材学会大会要旨集，京都，1987，p.154。
- 7) 杉原彦一：原木丸太の自動計測法の開発，昭和56年科学研究費補助金研究成果報告書，昭和57年3月。
- 8) 杉原彦一，ほか4名：原木計測の自動化（I），木材工業，37（10），14-19（1982）。
- 9) 杉原彦一，ほか5名：原木計測の自動化（II），京都大学農学部演習林報告，No54，227-235（1982）。
- 10) 黒田紀雄，ほか4名：原木計測の自動化（III），京都大学農学部演習林報告，No55，317-325（1983）。
- 11) 例えば木股雅章，伝田匡彦，油谷直毅：1/2インチCSDイメージセンサーの開発，映像情報，17（4），19-23（1985）。
- 12) 例えば安藤護俊，柿木義一，稲垣雄史：三次元姿勢計測によるプリント板実装部品検査装置，映像情報，17（12），20-23（1985）。
- 13) 木内雄二：“画像認識のはなし”，日刊工業新聞社，1984，p.162。
- 14) 安居院猛，中嶋正之：“コンピューター画像処理”広済堂産報出版，1984，p.172。
- 15) 金子正秀，ほか7名：“デジタル画像処理技術”，日本工業技術センター，1983，p.202。
- 16) 長尾真：“画像認識論”，コロナ社，1983，p.187。
- 17) 鳥生隆，後藤敏行，山本英一郎：メディアンフィルタ特性と輪郭抽出の最適化，電子通信学会論文誌，J68-D（4），489-495（1985）。
- 18) 大津展之：判別および最小2乗基準に基づく自動しきい値選定法，電子通信学会論文誌，J63-D（4），349-356（1980）。
- 19) 坂根茂幸，田村秀行：画像処理アルゴリズムの概観（3），電子技術総合研究所彙報，44（7/8），56-68（1980）。
- 20) 田中芳秋：“画像処理サブルーチン・パッケージ SPIDER USER'S MANUAL”，共同システム開発㈱，1985，p.III-586。
- 21) 田中芳秋：画像処理サブルーチン・パッケージ，共同システム開発㈱。
- 22) 林野庁監修：“素材・製材等の日本農林規格解説並に材積表”，1972，p.35-40。