

# 知識処理に基づく対話型足跡画像処理システム

## A KNOWLEDGE-BASED IMAGE PROCESSING SYSTEM FOR FOOTPRINT IMAGE

中川 裕義                      中村 納                      南 敏  
Hiroyoshi NAKAGAWA    Osamu NAKAMURA    Toshi MINAMI

工学院大学  
KOGAKUIN University

あらまし    多種多様な画像の性質の考えられる足跡画像を対象とし、知識を利用して、紋様抽出を行う処理手順を決定し実行するシステムについて報告する。足跡画像を扱った経験に基づき、処理の流れを機能的に分割、階層化しており、各処理単位をトップダウン式に充足させていくことにより、紋様抽出画像が得られる。また知識の曖昧性も認めることとし、曖昧な画像情報の属性値は  $0 \leq x \leq 1$  の任意の実数値を取り得る。従って、ルールを選択は確信度という尺度により評価された結果に基づいて行われ、候補となるルールの中で最も画像の性質に適応しているルールが選ばれる。以上のような推論方法により、柔軟な足跡画像処理手順の決定が可能となる。

Abstract    This paper describes an expert system which can construct pattern extraction algorithms for various kinds of footprint images using the knowledges on footprint images. The flow of footprint image processing is functionally divided into several processing units, and the object images can be obtained by executing each processing unit in a top-down style. Fuzziness of the knowledge, which is so-called certainty factor (CF), is introduced into the rules, and the selection of the rules is also executed based on CF.

### 1. まえがき

足跡は、犯罪捜査において有効な物的証拠の一つであるが、近年その量は膨大なものとなっている。それゆえ、人手を介さずに照合が行えるようなシステムを構築することは、照合処理の高速化の点から考えて非常に意義のあることである。

近年、専門家の知識を利用し画像処理を行うシステム、いわゆる画像処理エキスパートシステム<sup>1-4)</sup>の研究が活発に行われている。これまで筆者らも、知識を利用し採取場所・方法等の条件により様々な画像の性質が考えられる足跡画像から、分類に用いる紋様を鮮明に抽出する

足跡画像処理システムについて検討してきた<sup>5, 6)</sup>

本システムには、主に、従来より筆者らが足跡画像処理を実施してきた経験により得られた、画像処理手順と画像の性質に関する知識が蓄えられている。足跡画像処理の流れを小さな処理単位に機能的に分割する。各処理単位を逐次満足させていくことにより、最終目標を達成するものとする。プロダクション・ルールで記述された知識には表現の曖昧なものも含まれているため、各ルールは対象画像に対する確信度という尺度で評価される。また、推論機構は、対象としている処理単位に関するルール群の全てのルールの条件部を同時に参照し、確信度の最も

高いルールを選択する。

本論文では、以上のような推論方法により、様々な画像の性質が考えられる足跡画像に対し、処理要求を満足する画像処理手順を柔軟に決定し実行する足跡画像処理システムについて報告する。

以下、2. で本システムの概要について簡単に述べた後、3. で知識ベースの構築、4. で推論方法について説明する。更に、5. で画像処理実行部について述べ、最後に、6. で実験結果を示す。

## 2. システムの概要

本システムは、知識として、足跡画像処理手順に関する知識および足跡画像の性質（属性）を表現する画像情報に関する知識を持つ。また足跡画像処理をできるだけ効率的に実行することが可能なように、原画像から紋様抽出までの処理を複数の処理単位に分割している。更に、画像処理手順と処理可能条件の関係を十分に考慮した上でルールは記述されている。

基本的な処理の進め方は、システム利用者（以下単に利用者と呼ぶ）がシステムからの指示に促されながら、対象画像の性質、処理結果の可否、等をキーボードより入力していただくのである（一部自動化）。各処理単位を順次満足させていくことにより、紋様抽出に至る一連の足跡画像処理の流れを非専門家であっても容易に実施することができる。

システム構成の略図を図1に示す。システムは大きく分けて3つの部分より成る。即ち、

### I) 知識ベース（ルールベース）

足跡画像に関する知識がプログラム・ルールで記述され蓄えられている。また、推論速度の高速化を図ることを目的とし、後述のよう

な処理の階層構造に従い、ルールは各処理単位で管理されている。そして、推論時には対象としている処理単位のルール群のみを参照するように制御されている。

### II) 手順推論部

利用者により対話形式で指定された処理要求を満足する画像処理手順を、対象画像の性質を評価した結果に基づき、ルールベース中のルールを参照することにより決定する。（現在、画像の性質の評価は、システムの自動評価によるものと利用者の入力を必要とするものとに分かれている。将来は、全ての評価を自動化する予定である。）

### III) 画像処理実行部

手順推論部において処理要求単位で決定された画像処理手順（プログラム・シーケンス）に従い、実際に画像処理を実行する。処理結果は利用者に示され、処理要求を満足する画像が得られたか否かが評価される。

## 3. 知識ベースの構築

エキスパートシステムを構築する上で、専門家の持つ知識を如何に整理し、知識ベースを構築するかがシステムの性能の優劣に係わってくる。本システムでは、足跡画像処理を複数の処理単位に機能的に分割すると共に、足跡画像の画質を表現する足跡画像情報（属性述語）を決定し、知識表現の形式化を図った。更に、各ルールには、分割された処理単位の各処理目標における画像の性質と行動部の関係を記述し、効率的な足跡画像処理が行えるように配慮している。以下、具体的に述べる。

### 3.1 処理の階層化

足跡画像は多種多様な画像の性質が考えられるため、紋様抽出に至る処理全体を一つの処理系列として扱うことは極めて困難である。従って、足跡画像処理をいくつかの処理単位に分割、階層化し、各処理単位ごとに目標を達成することのできる複数の手法を用意する。その手法中から適当なもの一つを選択する方法により、順次処理単位を満たしていき、最終的に足跡画像の紋様抽出が行えるようにすることが、処理の柔軟性の面からも非常に有効であると思われる。以下、足跡画像処理の分割について述べる。

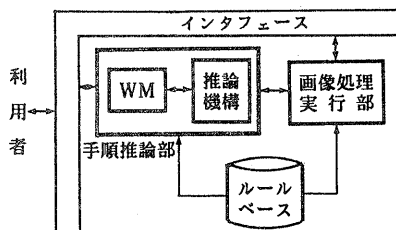


図1 システム構成図

従来より筆者らが行ってきた足跡画像処理の大きな流れは、図2の第1層に示されるように、(入力→)前処理→特徴抽出→認識・分類(→照合)

というような、一般的なパターン認識の手順に従っている。ここで、前処理では、原画像(濃淡画像)より足跡部のみを抽出した2値画像を作成する。また、特徴抽出では、前処理で作成された2値画像を、紋様を構成している図形プリミティブ(直線成分、円成分、等)に分解し、各図形プリミティブの記述を行う。認識・分類では、図形プリミティブの集合である紋様の種類を認識し、予め定められている分類表<sup>7)</sup>に従って分類する(なお、計算機による認識・分類の方法は現在検討中である)。

また、前処理、特徴抽出共に複数の処理単位に分割し(第2層参照)、各処理単位を全て満足させることにより、上位層の目標が達せられたものとする。

第3層は、足跡画像処理を行った経験より得られるノウハウが最も必要となる階層である。第2層の処理単位を処理要求と呼び、各処理要求を満足させる対象画像の性質に応じた処理手順(大まかな処理の流れ)が複数組用意されている。

第4層は、処理プログラム群であり、第3層において示された処理手順中の各処理が実行可能な複数の処理プログラムが置かれている。

以上のように、第1層から第4層に進むにつれて処理概念が抽象的なものからより具体的なものとなっている。分割、階層化された足跡画

像処理において、上位層の処理単位を満足させる下位層の処理単位を決定していく、即ちトップダウン式に処理を進めることにより、最終的に目標とする画像が得られることになる。

### 3.2 足跡画像情報の決定<sup>8)</sup>

画像処理に関する知識を記述する場合、その記述内容には、処理目標と対象画像の性質に応じた処理、および、その実行可能条件を含むことが適当であると考えられる。そこで、各処理の実行可能条件を示すために、足跡画像の性質(属性)を表現するものとして足跡画像情報(属性述語)を決定する。本システムで対象とする画像は、唯一足跡画像と限定しているため、例えば、採取法、紋様種類、等のかかなり具体的な表現が使える、画像の性質の表現がより自然に行える。足跡に関する画像情報を大別すると次の3つに分類される(表1参照)。

- i) 足跡データ：採取場所、採取方法、等
- ii) 画像データ：濃淡画像の状態、等
- iii) パラメータ：画像サイズ、閾値、等

ここで、主にi)、ii)は、処理の流れを決定するとき使用され、iii)は、処理プログラムの整合性の検証等に用いられる情報である。また、中には鮮明度、雑音レベルといった、判断の基準が各個人によって異なるような曖昧な表現も含まれている。従って、これら曖昧な情報を評価する基準となる尺度を設ける必要がある(これについては、後で検討する)。

表1 足跡画像情報

	第1層	第2層 (処理要求)	第3層 (処理手順)	第4層 (プログラム)
足跡画像処理	前処理 ↓ 特徴抽出 ↓ 認識・分類	背景分離 -背景→足跡部→補正 分離抽出処理 ...	背景分離 -単位領域→雑音→候補領域→切り 抽出除去設定出し ...	単位領域抽出 PROG1
		特徴抽出 -... ...	足跡部抽出 -... ...	雑音除去 PROG2 → PROG3 PROG4 ...

図2 足跡画像処理の階層化

足跡データ
採取場所、採取方法、靴の種類、靴の形状、紋様有無、紋様種類、足跡サイズ、等
画像データ
濃淡画像(鮮明度、雑音レベル、雑音状態)、2値画像(線画、雑音の種類)、ラベル画像等
パラメータ
画像サイズ、階調、閾値、等

### 3.3 知識の記述

まず、ルールの記述形式について述べる。

i) ルールベース中のデータ構造は、3.1で述べたような処理の階層構造に基づき階層化されており、各処理単位毎にルール群を形成する。また各ルールは、二階層間のみを関係を記述する(図3参照)。

ii) 基本的に、条件部に処理目標(上位層の処理名)と処理実行可能条件、行動部に下位層の処理名が記されている(図4参照)。

iii) 各処理単位においては、処理対象となる画像の性質は、ほぼ類似の足跡画像情報で表現できる。従って、条件部を構成する足跡画像情報を統一し、同一の情報から適当なルールを選択することとする。

iv) 処理プログラムに関するルールには、そのプログラムを実行することにより変化する画像情報およびパラメータに関する情報が記される。

また、知識には曖昧なものがあるため、知識の記述においてもそれが十分に表現できるように考慮しなければならない。更に、推論機構においても、曖昧性を評価できるような推論方法をとらねばならない。ここでは、曖昧性を含む画像情報の表現法についてのみ述べることにする。

ここでいう曖昧なものとは、

1) 鮮明度、雑音レベル、等の評価基準が各個人によって異なるようなもの<sup>9)</sup>。

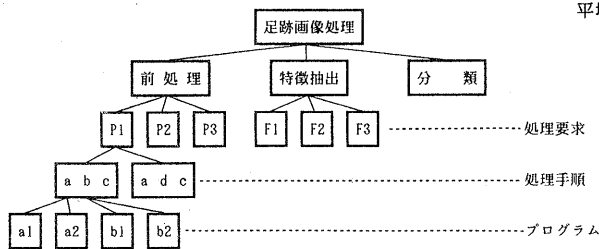


図3 データ構造

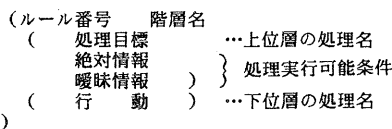


図4 ルール記述形式

2) ルール選択の上でのその情報の重要度。

の2種類が考えられる。そこで、足跡画像情報を大きく、絶対情報(ワーキング・メモリ(WM)内の情報と絶対に照合されなければならないもの)と曖昧情報とに分ける。曖昧情報には0.0~1.0の数値を与える。

1) の場合について、鮮明度を例にとり説明する。鮮明な画像の濃度ヒストグラムは、図5(a)のように高いピークと長い裾野が特長であり、不鮮明な画像の濃度ヒストグラムは、図5(b)のように小さな山状の形状をとる。従って、ヒストグラムのピークの鋭さを評価することとし、評価方法としては、ヒストグラムの最大ピーク値と平均濃度値の頻度との差を要素数で正規化した値(E)により、図6のような関数により得られる値を採ることとした。即ちEは、

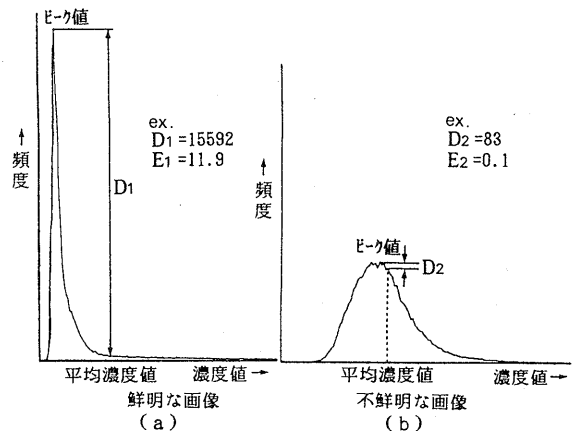


図5 濃度ヒストグラム

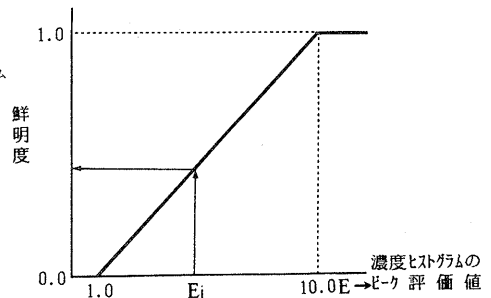


図6 鮮明度

$$E = \frac{F_p - F_a}{N_p} \times 100 \quad \dots (1)$$

E : 評価値  
 F<sub>p</sub> : 最大ピーク値  
 F<sub>a</sub> : 平均濃度値の頻度  
 N<sub>p</sub> : 画素数

この関数により、高、中、低、というようなレベルを数値で表現できる。言い換えると、

もし …、鮮明度が 0.5 (中) 程度、…、  
 ならば …。

というような表現が可能となる。

2) に関しては、ルール中のある情報が行動部を実行する条件としての重要度を示すものとして 0.1~0.9 の重みを付ける。即ち、2) のタイプの情報は、YES/NO(1/0) で評価されるようなものであるため、ある情報が1(0)であることの重要性が低い場合、ルール中の情報には0.7(0.3)程度の値を記入する。これにより、たとえその情報が0(1)であってもルール中の情報との差が小さくなり確信度の低下が抑えられる。

推論機構によって、対象画像を評価した値とルールに記述された属性値との差が評価されることにより確信度が算出され、確信度の最も高いルールが選択される(確信度の算出方法は後述する)。

#### 4. 推論方法

手順推論部の説明として、ルール起動の条件となる情報の入力方法、足跡画像処理の流れに従う推論の制御方法、確信度計算に基づくルールの選択方法、の3項目について述べる。

##### 4.1 情報の入力方法

本システムでは、システムの推論効率の向上および推論実行途中で入力の指示が出される煩わしさを極力避け、利用者にとってのマンマシン・インタフェースの向上を目的とし、情報の一括入力を行っている。

WMには、図7に示すように、予め全ての画像情報名がおかれている、システム起動時は、属性値欄は空白である。利用者により対象画像

が指定されると、システムは画像の性質の調査を始め、逐次WMに書き込んでいく。調査方法として、自動評価可能なもの(3.3で述べたような関数で評価されるもの、画像サイズ、階調数のような簡単な操作で分かるもの)、および、利用者との対話により得られるものに分かれる。WMは処理プログラムに関するルールが選択される度にルールの記述内容に従って書き換えられる(3.3, IV参照)。

##### 4.2 推論制御方法

ルールは、処理の階層構造に従い階層化されており、各処理単位毎にルール群を形成し管理されている(図3参照)。従って、現在対象としている処理単位に関するルール群のみを参照するため、推論速度の高速化が図れる。

推論は、目標とする上位層の処理単位を満足させる下位層の処理単位を決定する作業の繰り返しである。図8を利用し具体的に述べる。

- i) 原画像入力後、無条件に足跡画像処理の流れとして第1層の処理順序が示される。
- ii) 最初の処理目標として前処理を指定すると、WM内の値より判断され2値画像作成のための一連の流れ(副目標、第2層)が示される。(副目標が全て満たされて初めて目標が満足されたことになる。)

以上は、足跡画像処理の概念的な流れを制御している。

- iii) 第2層の各項目を処理要求と呼び、システムはこの処理要求単位で具体的な画像処理手順を決定していくことになる。ある処理要求(目標)を満足させる処理手順(抽象的な表現で表された処理の流れ、副目標、第3層)の候補の中から、画像の性質から判断し、最も適当であろうと思われる処理手順を大まかな処理の流れ

画像情報名		属性値
絶対情報	画像サイズ階調数 :	
曖昧情報	鮮明度雑音レベル :	

図7 ワーキング・メモリ

として採用する。

iv) 大まかな処理の流れが決定した後に、具体的な処理プログラム（第4層）の決定を行う。処理手順の各処理（目標）に対応する複数の処理アルゴリズム群（副目標）の中から、画像の性質から判断し適当な処理アルゴリズムを選択する。ここで処理アルゴリズムとしたのは、関連性の強い複数のプログラムが一組となって目標を満足するものが存在するためである。

v) iv) において処理アルゴリズムが決定されることにより、一組のプログラム・シーケンスが決定され画像処理が実行される。

vi) 画像処理結果が十分なものであればiii) の目標が達せられたことになり、ii) の目標を満足させるために次の処理要求について推論を行う。

vii) 全ての処理要求が満たされるとii) の目標（ここでは前処理）が満足されたことになり、次に特徴抽出を新たな目標として設定し、同様の推論が行われる。

#### 4.3 ルール選択方法

4.2で述べたように、画像処理手順の決定は、先ず画像の性質から判断して大まかな処理

手順を決定し、次に各処理における具体的な処理アルゴリズムを決定するという順序で行われる。ここではルールを選択方法について述べる。推論機構は、対象としている処理単位に関するルール群の全てのルールについて同時に条件部の評価を行う。そして、その中で最も確信度の高いルールを選択する（実際は、第2位まで保存している）。

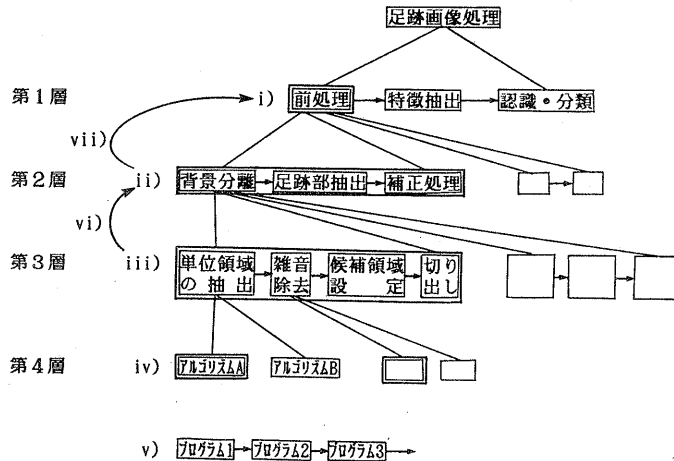
確信度の導入の基本的な考えは以下の通りである。

i) 対象としている処理単位のルール群の全ルールを対象とし、対象画像から得られた情報（WM中に蓄えられている）とルールの条件部の情報が照合される。

ii) ルール中の絶対情報のうち、1つでも照合されないものが存在した場合には、そのルールは推論対象から外される。

iii) 曖昧情報が完全に照合されない場合、すなわち、WM中の値とルールに記述されている値に差がある場合そのルールの確信度は低下することとなる。

iv) 確信度のマイナス量はWM中の値とルール中の値との差に関係してくる。実際の確信度の計算式は、



i), ii)等は本文中の i), ii), ...の説明に対応している。太枠で囲まれたものは選択された処理単位である。

図8 推論過程

$$Cf = 1.0 - \frac{\sum_{i=1}^{Nf} |V_{wi} - V_{ri}|}{Nf} \quad \dots (2)$$

Cf : 確信度

$V_{wi}$  : i 番目の曖昧情報の WM 中の値

$V_{ri}$  : i 番目の曖昧情報のルール中の値

$Nf$  : ルール中の曖昧情報の数

であり、ルール群中で最も確信度の高いルールが選択される。

v) 最終的なプログラム・シーケンスの確信度は、第3層および第4層で選択されたルールに使用される全ての曖昧情報により(2)式と同様に算出され、その結果は第2位まで保存される。

## 5. 画像処理実行部<sup>10)</sup>

画像処理実行部では、手順推論部において決定されたプログラム・シーケンスに従い、実際に画像処理を行う。

### 5.1 画像処理実行

各処理プログラムを実行するためには、入出力画像名の指定や各種パラメータ値の設定を行う必要がある。本システムでは、処理プログラム名、入出力画像名およびパラメータ値の記された実行ファイルを作成し、それを基に画像処理を行う。具体的に述べると、

i) 入出力画像名は、ルール中に示された入出力画像数に従い指定される。例えば、入力画像1枚、出力画像1枚のプログラムの場合、入力画像名が“FILE”であるとすると出力画像名は“FILE\_1”となり、次のプログラムの入力画像名が“FILE\_1”となる。また入力画像1枚、出力画像2枚のプログラムの場合には、出力画像名が“FILE\_1A”、“FILE\_1B”と指定される。パラメータ値は、WM中の値より設定可能な、画像サイズおよびルール中に記されるプログラムの処理選択スイッチの値は、最初に実行ファイルに設定する。2値化時の閾値のような、別の処理結果に基づくパラメータ値は最初空欄にしておき、処理後に設定される。

ii) プログラム・シーケンスの順番に従い画像処理プログラムが起動され、実行ファイル中の

入出力画像名、パラメータ値に従い画像処理が実行される。

### 5.2 処理結果の表示および評価

各処理要求単位で決定されたプログラム・シーケンスによる画像処理が一通り終了した時点で、処理結果が表示される。処理結果を利用者が視察により評価し、システムからの問い合わせに対し、結果が満足のいくものであるか否かが入力される(処理結果の評価も将来は逐次自動評価に置き換えていき、利用者の負担を軽減する予定である)。処理結果が十分なものであると判断された場合には、次の処理要求に対する画像処理手順の推論を行う。不十分なものであると判断された場合には、以下の手順により別の画像処理手順の決定が行われる。

i) 実行された処理手順の各処理段階で得られた処理結果を順番に利用者に示す。

ii) 利用者は不十分であると思われる処理を指摘する。

iii) その処理に対する処理アルゴリズムを別の処理アルゴリズム(処理アルゴリズム群の中で確信度2位のもの)へ変更する。

iv) 変更されたプログラム・シーケンスの確信度と、最初の推論時に得られた第2位の確信度をもつプログラム・シーケンスの確信度を比較し、確信度の高い方の処理を実行する。




v) 処理結果を表示する。

以下、満足のいく処理結果が得られるまで同じ手順を繰り返す。

## 6. 実験結果

本システムは現在ルール数約120、処理プログラム数約60が用意されている。対象とする足跡画像は、ゼラチンシート、石膏、写真撮影の3種類の採取方法により得られたものである。

今回の実験ではゼラチンシートにより採取された、256×512画素、各画素8ビットの足跡画像で、背景部分の雑音の特にひどいもの約10種類に対し処理を施した。その処理結果の一例を図9に示す。

また、現在紋様抽出が可能な足跡は、直線、円、曲線成分により構成されているものに限られており、, , 等のパターンを含

む足跡に対する紋様抽出方法については検討中である。

### 7. むすび

本論文では、曖昧性を認め柔軟性をもたせたルールの記述形式により、対象とするルール群の中で最も確信度の高いルールを選択するという推論方法により、画像処理手順を決定する足跡画像処理システムについて報告した。

今後の課題として、

- 1) 新たな処理手法の開発による画像処理能力の充実。
  - 2) 画像の性質および処理結果に対する評価方法の検討。
  - 3) 紋様の種類に基づく自動分類の検討。
  - 4) すりへり、傷等を認識し足跡の同定を行うような、いわゆる鑑識の専門家のもつ知識の導入についての検討。
- 等が挙げられる。

### 謝辞

本研究を進める上で御協力頂いた、香川哲也、鈴木孝彰の両氏、および、日頃熱心に御討論頂く研究室諸氏に深く感謝の意を表します。

### 参考文献

- 1) 折田, 金崎, 小沼, 高藤: “画像処理エキス

パートシステムの検討”, 信学技報, PRU86-49, pp.73-81(1986).

2) 田村, 坂上, 久保, 佐藤: “D I A - E x p e r t システム意味処理部の試作(1)”, 情処学CV研資, CV43-2(1986).

3) 久保, 坂上, 田村: “D I A - E x p e r t システム意味処理部の試作(2)”, 情処学CV研資, CV43-3(1986).

4) 末田, 他: “画像処理エキスパートシステム”, 東芝レビュー, 40巻5号, pp.403-406(1985).

5) 中川, 香川, 鈴木, 中村, 南: “知識処理に基づく足跡画像処理に関する一検討”, 昭62信学総全大, pp.5-85(1987).

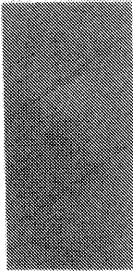
6) 中川, 中村, 南: “足跡画像処理エキスパートシステムの構築に関する検討”, 昭62人工知能学会全大, 8-3, pp.419-422(1987).

7) 橘 嶸: “足跡取扱規則等の解説”, 立花書房.

8) 田村, 坂上: “画像解析エキスパート・システムのための3種の知識”, 信学技報, PRL83-49, pp.27-40(1983).

9) 長橋, 中津山, 西塚: “ファジィ的屬性述語による画像処理のエキスパート化について”, 信学技報, PRU86-52, pp.9-16(1986).

10) 坂上, 田村: “処理モジュールの構造的知識を利用した画像処理プログラム自動生成システム”, 情処学論, Vol.26, No.4(1985).



原画像



2値画像

### 処理手順

処理要求	処理手順	確信度
背景分離	画像強調→単位領域抽出→雑音除去→足跡候補領域設定	0.7
足跡部抽出	紋様候補領域決定→切り出し→ヒストグラム処理→閾値決定処理→2値化	0.8

### 直線セグメント抽出結果一例

(セグメント番号 (始点座標) (終点座標) 平均線幅 角度)

(15 (100 124) (145 174) 7 139)

(188 (331 186) (394 176) 4 100)

(200 (381 142) (393 144) 4 102)

### 円成分抽出結果

(円番号 (中心座標) 内径 外径)

(1 (179 97) 15 20)

### 主な情報

採取方法	エラチンシート
紋様有無	有
鮮明度	0.2
濃度安定度	0.1

図9 処理結果例