

伊勢型紙の感性データベース構築に関する研究

Construction of a Kansei Database of Ise Katagami

学位論文：博士(工学) 甲179

2002年3月

遠藤 善道

目 次

第1章 序論	1
1.1 伊勢型紙のデータベース化と問題点	1
1.2 本論文の課題	5
1.3 感性検索について	6
1.4 本論文の構成と概要	6
第2章 伊勢型紙の多義性評価	8
2.1 伊勢型紙紋様の多義性について	8
2.2 因子分析	9
2.3 実験方法	13
2.3.1 造形的用語の収集	13
2.3.2 紋様と造形用語の関係	13
2.3.3 多義性の可視化	14
2.3.4 可視化画像の妥当性の検証	14
2.3.5 伊勢型紙の多義性に関する考察	14
2.4 結果と考察	14
2.5 まとめ	22
第3章 明暗、テクスチャーレイヤーの分類と検索	23
3.1 レイヤーの分類方法と検索方法	23
3.2 画像の統計的解析法について	23
3.2.1 画像の統計的解析法	23
3.2.2 面積統計	25
3.2.3 ランレングス行列	26
3.2.4 フラクタル次元	27
3.2.5 重回帰分析	29

3.3 実験方法	30
3.3.1 目視分類	30
3.3.2 画像処理による特徴量計算	30
3.3.3 目視評価と画像処理評価の相関関係	31
3.3.4 検索実験	31
3.4 結果と考察	32
3.5 まとめ	39
 第4章 構造、ディテールレイヤーの分類と検索	 42
4.1 レイヤーの分類方法と検索方法	42
4.2 画像処理の構造的解析について	42
4.2.1 伊勢型紙の格子構造と単位構造	42
4.2.2 自己相関関数処理	43
4.2.3 格子構造の分類と検索	47
4.2.4 単位構造の分類と検索	48
4.3 実験方法	50
4.3.1 格子構造の分類	50
4.3.2 格子構造の検索	50
4.3.3 単位構造の分類	50
4.3.4 単位構造の検索	51
4.4 結果と考察	51
4.5 まとめ	59
 第5章 運動レイヤーの分類と検索	 60
5.1 レイヤーの分類と検索方法	60
5.2 画像処理方法	61
5.2.1 全方向周辺分布	61
5.2.2 「運動」の分類と検索	63

5.3 実験方法	64
5.2.1 全方向周辺分布を利用した「流れ」の解析	64
5.2.2 データの類似検索	64
5.4 結果と考察	64
5.5 まとめ	66
 第6章 結 論	 69
6.1 まとめ	69
6.2 今後の課題と展望	70
 参考文献	 71
 謝 辞	 73

第1章 序 論

1.1 伊勢型紙のデータベース化と問題点

三重県鈴鹿地方の伝統工芸として伊勢型紙[1]がある。この伊勢型紙の例を図 1.1 に示す。伊勢型紙とは、柿渋を塗り、強度と耐水性を持たせた和紙に、細かな紋様や図柄を

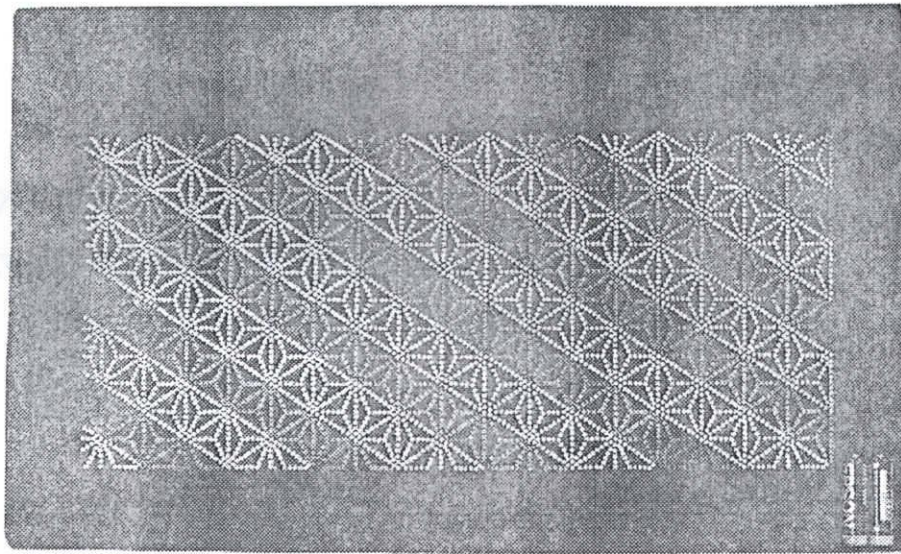


図 1.1 伊勢型紙の例

彫り抜いたものである。3枚の和紙を柿渋で張り合わせたものに、職人が彫刻刀で細かな紋様や図柄を彫り抜いて製作する。同図で白い部分が彫刻刀で彫られた孔である。この型紙は、反物を染色する際の版下として利用されている。反物の上に型紙を敷き、染色すれば孔の部分を、糊を置いてその後染色すれば孔以外の部分を染めることができる。最も細密なものでは3.3 cm (1寸) 角に900個以上もの穴を彫ったり、3.3 cm 幅に31本もの縞を彫るなど極めて高度な技術と熟練を要する。

伊勢型紙は伝統工芸であり、その素朴で繊細なデザインには愛好者も多い。また、着物の柄として製作されているが、洗練されたデザインが多く、他の工業製品やインテリアなどにも利用できると考えられる。しかし、型紙自身は消耗品として取り扱われ、使用後は廃棄されることが多い。着物離れが進むなかで型紙の需要の減少、後継者不足などで伝統の継承が危ぶまれている。このため、伊勢型紙資料館などが開設されている。しかし、そ

これらの活動は技術の伝承が主体であり、型紙自体について収集・管理をして体系的な分類や公開をしている例はほとんど見られない。現在の伊勢型紙を取り巻く状況の厳しさを考えたとき、将来に向けた伝承のためには型紙の保存、管理だけではなく、現代における活用法を積極的に考案し、産業界や社会に対して提案していくことが重要であると考え。

一般に繊維製品の製品企画を行う場合、全く新規に製品の開発を行うことはまれであり、ほとんどはこれまでに作成した製品群やファッション雑誌、業界誌などから新規企画のもととなるデザインを入手している。伊勢型紙については資料集などの形で若干の書籍が出版されている[1]。繊維製品の企画・デザインにCGやCADを使うことが普通になっているので、伊勢型紙を利用する場合は、書籍よりもコンピュータで利用できるデータベースとなっている方が望ましい。伊勢型紙をデータベース化することによって、その活用や研究が容易になり可能性が広がると共に、データベースを公開すれば、繊維産業以外の一般や産業界に幅広くその普及と利用を図ることが期待される。われわれは、デザインの洗練されていて、他の工業製品のデザインに応用可能である伊勢型紙を保存・活用するため、伊勢型紙のデータベースを構築することを企画した[2]。

今回構築しようとしているデータベースの機能を図1.2に示す。データベースは、図に示すように、(1)データを分類して保存する機能と、(2)保存しているデータの中から、一定の条件に合致するデータを抽出する検索機能が基本となっている。一般的なデータベースは、データ名や日付・キーワードなどをデータ本体に付加して保存する。検索する場合は、これら付加した言葉の中から条件に合致するものを抽出し、データ本体と共に検索結果として表示する。

このように、データベースで重要なことはデータの分類と検索であると考えられる。当初われわれは、伊勢型紙の紋様の名前やモチーフで分類と検索が可能であると考えた。しかし、このような方針でデータベースを企画した場合、次に挙げるいくつかの問題が発生した[2]。

(1) 紋様名に関する知識が失われている（普及していない）

江戸小紋や菊菱のように業界では良く知られている名前も、一般には知られていないことが多い。紋様の名前で分類・検索するシステムでは、型紙を分類する人が紋様の名前に精通していなければならない。また、利用する人も、同様に紋様の名前とそ

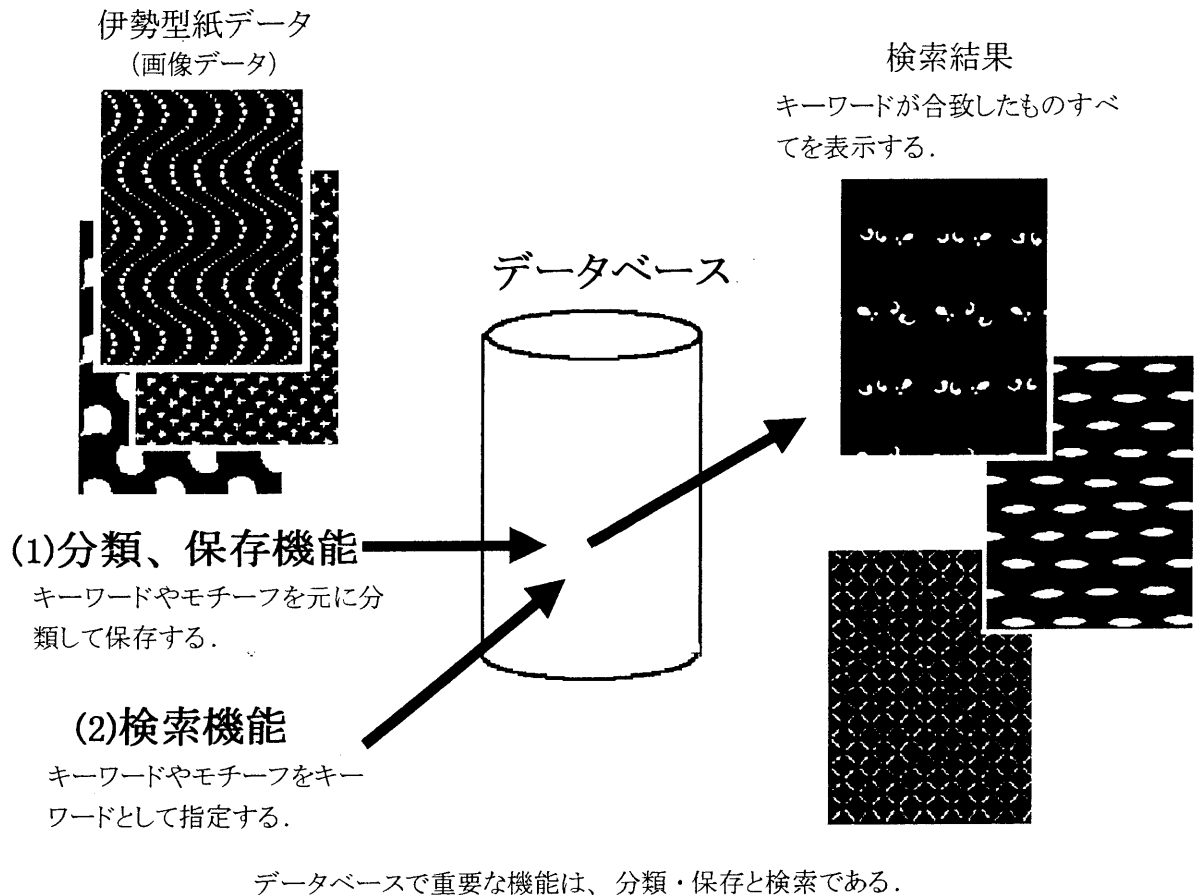


図 1.2 伊勢型紙データベースの機能

のデザインに精通していなければならない。このようなことは、繊維業界でも望むことはできないし、一般の工業デザインで利用する際にも難しいものとなる。

(2) モチーフが現代には存在しない

米俵や煙草入れのように、紋様のモチーフとなっているものが日常的に見られなくなっていたり、七福神などの吉祥紋様のように紋様が本来持っていた記号的意味が失われているなど、専門的知識がないと理解できない紋様が多い。モチーフの名前で分類・検索するシステムにおいても紋様名と同じように、モチーフに関する知識がなければ、利用することができない。

(3) モチーフと紋様の連想関係が失われている

綾杉紋のように、素材を様式化する中で、元になったモチーフが連想できないような形に変化している場合がある。そのような紋様では、紋様名とモチーフが対応しないため、名称による検索では検索者の求める印象に合った紋様が検索できない。また、デザイン的な特徴で紋様名を推定し検索することが難しい。

(4) モチーフが特定できない紋様がある

紋様の中には、幾何学的なデザインでモチーフが不明なものが多数存在する。これらの紋様を、モチーフに頼ってでは分類することも検索することもできない。

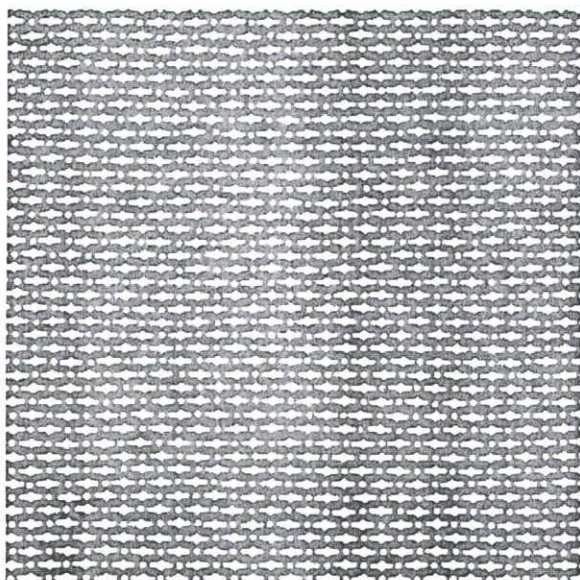
(5) 名称のない紋様がある

紋様の中には名称の不明なものが多数存在する。また、基本的な構成は同じであるが、描かれているモチーフの一部が異なるものや、同一の構成、モチーフで配置が異なるものなどバリエーションも多彩である。従って、名称やモチーフによって全ての紋様を分類・検索することには限界がある。

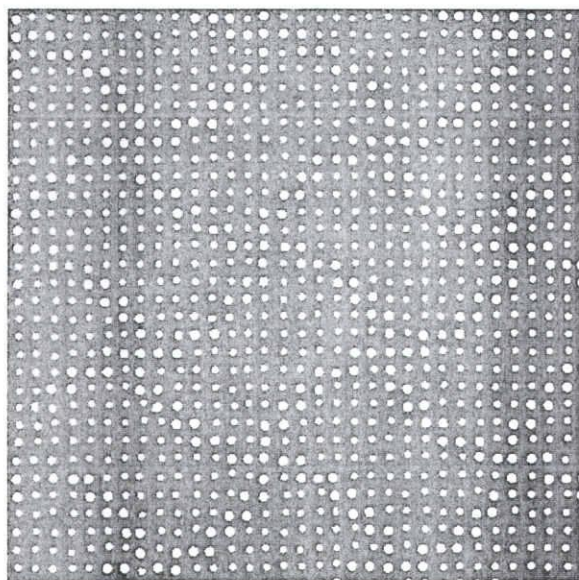
(6) 紋様を分類する際にいろいろな解釈が可能である

例えば菊をモチーフにした紋様であっても、そのパターン化の処理方法によって植物紋様として菊文に分類される場合と、菊菱文のように構成紋様として分類される場合がある。さらに、菊が主体であっても唐草と組み合わせると吉祥紋様として捉えられるなど、分類する場合にいろいろな解釈存在する。そのため伝統的な分類に基づく検索法では、紋様検索の手がかりとなる因子と紋様の対応関係が複雑になり、分類と検索の方法が特定しにくい。

伊勢型紙をデータベース化する場合には、これらの問題が発生する。紋様名やモチーフが分かりにくい型紙の例を図1.3に示す。図1.3の左は「なまこ」がモチーフとなっている。



「なまこ」がモチーフ
図の中の長方形と円を組み合わせたものが、
「なまこ」を図案化したもの。



「分銅」がモチーフ
図を離してみると、分銅がつながった図形
が見える。

図1.3 紋様名やモチーフがわかりにくい型紙の例

図中の矩形と丸が重なった図が「なまこ」である。図 1.3 の右は「分銅」がモチーフである。分銅を生活の中で利用することはほとんどない。従って、図の中に分銅を見つけることができない人も多い。

これらの問題を解決し、紋様に関する知識の乏しい現代人にとって検索しやすいデータベースとするために、次のことが重要であると考えられる。

(A) 紋様名に依存しない分類と検索が可能であること

検索し易いデータベースにするためには、伝統的に使用されてきた紋様名にこだわらず、現代人に理解しやすい検索方法を用いる必要がある。現代人が理解し易いように紋様名を新たに名付け、それを検索語とすることが考えられる。しかし、モチーフや由来を離れて命名しようとする、紋様名の根拠や基準をどこに求めるかが問題となり、命名が困難である。

(B) モチーフに依存しない分類と検索が可能であること

モチーフ名を基本とする分類では、モチーフと紋様の関係が失われていると、検索者の意図に対して適切な紋様を検索できない。このため、そのような紋様ではモチーフから離れて、純粹に紋様の造形的特徴を手がかりとして分類・検索したほうがデザイン的なイメージに結びつきやすいと考えられる。

(C) コンピュータを利用して分類と検索ができること

収蔵している伊勢型紙は約2万点ある。これらを目視で分類しては、分類者の主観や気分によって左右され安定した分類ができない。従って分類の効率化を図るためにも、コンピュータを利用する必要がある。

1.2 本論文の課題

前節で論じたように、伊勢型紙をデータベース化するために、文様名やモチーフを使うことはできない。そのため紋様の名前ではなく、例えば「繊細」などといった、その紋様から受ける印象を表現する言葉を用いて、検索者の感性で直接紋様を検索する方法が望ましい。前述のようにデータベースで重要なことは、分類と検索である。実用上最終目的は、伊勢型紙データベースを作成することにある。本研究は、伊勢型紙のデータベースを作成するために、伊勢型紙を印象（感性）で分類・検索する手法を研究開発し、伊勢型紙の感性データベースの基礎を構築する。

1.3 感性検索について

感性的評価を画像データベースに適用させる試みとして、TRADE MARK[3][4]とART MUSEUM[5]が知られている。TRADE MARKは、会社のロゴなどの商標的図形について分類と検索の研究を行っている。ART MUSEUMは、印象派の絵画についての感性検索を研究している。

これらの研究では、分類したい図形や絵画について画像処理を行い、その処理において得られた特定の数値を画像の特徴量として、分類や検索に利用している。TRADE MARKは、図形の周辺分布や、図形をフーリエ変換して得られる高周波成分や低周波成分を画像の特徴としている。一方、ART MEUSEUMは局所自己相関特徴という量を定義し、それを画像の特徴としている。

また、両研究ともに、目視価値と画像特徴量の関係を究明し、それを検索に利用している。それぞれ、課題とする対象に関して、適した特徴量の定義を行い分類と検索を行っていると言える。

画像処理方法は、統計的解析と、構造的解析に大別される[6]。この分類に従えば、TRADE MARKは構造的解析に、ART MEUSIUMは統計的解析に当たる。今回、課題として選択した伊勢型紙は、TRADE MARKが扱うロゴのようなデザインを、紙面全体に配置したものであるから、TRADE MARK、ART MEUSEUMの両方の性質を持っていると考えられる。

1.4 本論文の構成と概要

本論文は、次の6章より構成されている。

第1章は、これまで述べてきたように、本研究の背景と課題について述べている。

第2章は、伊勢型紙を鑑賞するときに、鑑賞者がどのような点に注目しているかを明らかにする。鑑賞者が、伊勢型紙の紋様を見たときに感じる印象には様々なものがあり、1つの紋様を見ても注目する点によっていろいろな印象を受ける。これを多義性という。まず、紋様に関してこの多義性がどのようなものであるかを明らかにした。伊勢型紙に関しては、5つの多義性が存在する。この多義性を、本研究では「レイヤー」という[2][7]。伊勢型紙の紋様について、5つのレイヤーは次の特徴を表す。

レイヤー1：明暗（明暗やコントラストを捉えたもの）

レイヤー2：テクスチャー（肌理（きめ）や疎密など全体的な感じを捉えたもの）

レイヤー3：構造（配列などの構造を捉えたもの）

レイヤー4：ディテール（部分的な形状を捉えたもの）

レイヤー5：運動（流れや動きなど視覚的な運動の存在を捉えたもの）

第3章では、2章で提案したレイヤーのうち、レイヤー1, 2についての分類と検索について述べる。レイヤー1, 2は伊勢型紙全体を見たときの印象であり、統計的な画像処理を応用することができる。本研究では、画像処理手法である面積統計量、ランレングス行列、フラクタル次元を画像特徴量とした。この量と官能検査値との相関関係を求め、伊勢型紙を分類・検索することを試みる。

第4章は、2章で提案したレイヤーのうち、レイヤー3, 4についての分類と検索について述べる。レイヤー3, 4は単位構造とその配置を表している。これは、文様の構造的解析を行うことでできる。これらをコンピュータで取り扱う方法について論じる。本研究では、構造解析に自己相関関数処理を利用している。自己相関関数処理した画像の輝点が、平面格子を、輝点で囲まれた部分が単位構造を表す。目視では抽出が難しい平面格子でも、簡単に抽出することができた。また、伊勢型紙は手彫りのため単位構造のばらつきが多く、そのままではパターンマッチングによる検索が難しいが、本手法により容易に検索できることを示す。

第5章は、2章で提案したレイヤーのうち、レイヤー5についての分類と検索について述べる。レイヤー5も、レイヤー3, 4と同じく紋様の構造解析である。本研究では、画像処理手法である周辺分布を全方向について求めることで解析を行い、分類・検索することができることを明らかにする。

第6章では、本研究の総括を行い、今後の展望について述べる。

第2章 伊勢型紙の多義性評価

2.1 伊勢型紙紋様の多義性について

本研究では、伊勢型紙の紋様のうち、小さな単位が繰り返されてできている紋様を扱う。このような紋様を鑑賞する場合、その紋様のどのような部分に注目したかによって鑑賞者が受ける印象が変わる。この印象は鑑賞者毎に違い、また、同じ鑑賞者でも注目する特徴を変えることによって違ってくる。すなわち、同じ紋様に関して複数の印象や感じ方が存在する。図2.1に伊勢型紙の例をあげる。図に見られるように、同じ型紙でも1つの紋様が

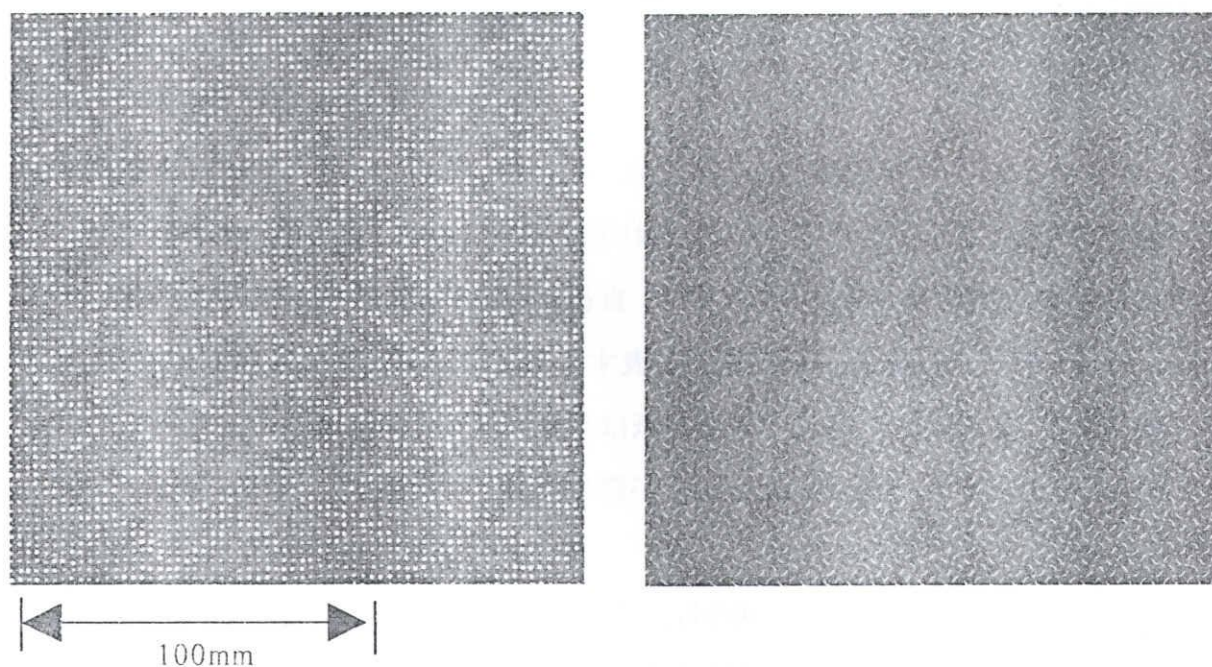


図2.1 伊勢型紙の多義性

点の集まりに見えたり、曲線が見えたり、風車様の模様が見えたり、「流れ」見えたりする。このことを本研究では、紋様の多義性という。紋様に多義性のある場合、1つの紋様の中にいくつかの印象を引き起こす特徴が存在すると考えられる。知覚心理学の分野ではこうした多義性について、類同や閉合、プレグナントなどいくつかの法則が明らかにされている[8]-[12]。

しかし、これまでの印象評価の研究事例においては、知覚対象の造形的特徴と印象を直接関係付けようとする試みが主流であった。鑑賞者が対象のどのような点に注目しているか

といった観点が欠如しては、異なる対象物を見た印象を比較するのに正しい関係性が導き出されるとは考えにくい。したがって、鑑賞者がどのように造形物を捉えているのか、そして選択された見方と印象評価段階における心理的イメージがどのような関係を持っているのかを調査することが必要であると考えられる。本研究は、伊勢型紙を感性的にどのように分類するかを研究課題としている[13]。このため、まず、伊勢型紙の多義性について明らかにし、どのような部分に鑑賞者が注目しているかを明らかにする必要がある[7][13]。

2.2 因子分析

因子分析とは、複数の観測できる変数に共通する要因、共通して影響を与えている要素、共通して説明できる要因を抽出する分析法である[14]–[16]。この要因を因子分析では「共通因子」という。例えば、幾つかの学科の試験成績データを因子分析し、数理解能力、言語能力などの因子を抽出する。そして、これらの因子により、各人の成績を再度評価するというように利用する。因子分析は、消費者の指向調査や意識分析など、社会学や心理学で利用されることが多い。前節で述べたように伊勢型紙には多義性がある。この多義性が因子分析で言う共通因子であるとする。本章では、図2.2に示すように、伊勢型

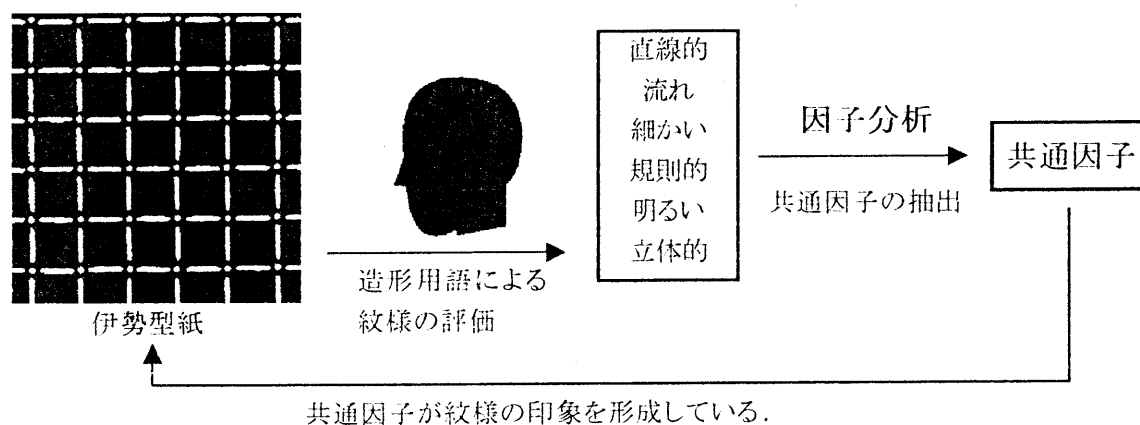


図 2.2 因子分析による共通因子の抽出

紙の文様を形成する共通因子を解明するために因子分析を利用する。以下に因子分析の手法を説明する。

表 2.1 に、伊勢型紙とその印象の強さについて、被験者らが付けた得点の例を表す。

表 2.1 伊勢型紙とその印象（説明のための例）

	細かい(x ₁)	規則的(x ₂)	暗い(x _i)
被験者a	5	1		4	
被験者b	4	2		4	
...					
被験者p	5	1		3	
...					

同表は、被験者aが評価項目 x_i (暗い) について4点の評価を付けたことを表す。因子分析では、 x_i について、平均 0.0、分散 1.0 になるように標準化したデータを扱う。標準化は、次の式(2.1)で行う。

$$y_{ip} = \frac{x_{ip} - \mu_i}{\sigma_i} \quad (2.1)$$

ここで x_{ip} は被験者pが評価項目iに関して付けた得点、 μ_i は x_i の平均、 σ_i は標準偏差である。また、以降、この標準化された y_{ip} を x_{ip} として扱う。

因子分析では、表2.1の評価結果について、次の式(2.2)の様な関係があると仮定する。

$$x_{ip} = b_{i1}f_{1p} + b_{i2}f_{2p} + \cdots + b_{im}f_{mp} + e_{ip} = \sum_k b_{ik}f_{kp} + e_{ip} \quad (2.2)$$

ここで、
 x_{ip} : 変数値 (観測値)、
 b_{ik} : 因子負荷量、
 f_{kp} : 共通因子 (因子得点)、
 e_{ip} : 独立因子 (独自因子)

である。式(2.2)では、被験者の評価結果 x_{ip} (変数値) のみ観測可能である。因子分析では、この観測可能な量から、式(2.2)で仮定した共通因子と独立因子を求める。

変数値 x_{ip} は標準化してあることから、データの個数をNとすると、平均、分散は

$$\begin{aligned} \mu_i &= \frac{1}{N} \sum_p x_{ip} = 0 \\ \sigma_i^2 &= \frac{1}{N} \sum_p (x_{ip} - \mu_i)^2 = \frac{1}{N} \sum_p x_{ip}^2 = 1 \end{aligned} \quad (2.3)$$

である。また、共通因子は変数値と同じく標準化されているものと仮定する。すなわち、

$$\begin{aligned} \mu(f_{kp}) &= \frac{1}{N} \sum_p f_{kp} = 0 \\ \sigma(f_{kp})^2 &= \frac{1}{N} \sum_p (f_{kp} - \mu(f_{kp}))^2 = \frac{1}{N} \sum_p f_{kp}^2 = 1 \end{aligned} \quad (2.4)$$

ここで、 $\mu(x)$ は平均を、 $\sigma(x)$ は標準偏差を求める処理である。また、独立因子について

は、式(2.5)のように平均が0であると仮定する。

$$\mu(e_{ip}) = \frac{1}{N} \sum_p e_{ip} = 0 \quad (2.5)$$

また、「各変数の独立性の仮定」として、次の式(2.6)の仮定を導入する。

$$\begin{aligned} \sigma(f_{kp}, f_{hp}) &= \frac{1}{N} \sum_p (f_{kp} - \mu(f_{kp}))(f_{hp} - \mu(f_{hp})) = \frac{1}{N} \sum_p f_{kp} f_{hp} = \delta_{kh} & \delta_{kh} &= \begin{cases} 1(k=h) \\ 0(k \neq h) \end{cases} \\ \sigma(e_{ip}, f_{kp}) &= \frac{1}{N} \sum_p (e_{ip} - \mu(e_{ip}))(f_{kp} - \mu(f_{kp})) = \frac{1}{N} \sum_p e_{ip} f_{kp} = 0 \\ \sigma(e_{ip}, e_{jp}) &= \frac{1}{N} \sum_p (e_{ip} - \mu(e_{ip}))(e_{jp} - \mu(e_{jp})) = \frac{1}{N} \sum_p e_{ip} e_{jp} = \frac{1}{N} \delta_{ij} \sum_p e_{ip}^2 \end{aligned} \quad (2.6)$$

式(2.6)は、共通因子同士、共通因子と独立因子、独立因子同士に相関がないことを表している。ここで、 $\sigma(a, b)$ はaとbの共分散を求める処理である。

いま、変数値同士の相関係数を求める。相関係数 r_{ij} は、

$$r_{ij} = \frac{\sigma_{ij}}{\sigma_i \sigma_j} \quad (2.7)$$

で求められる。ここで共分散 σ_{ij} は

$$\sigma_{ij} = \frac{1}{N} \sum_p (x_{ip} - \mu_i)(x_{jp} - \mu_j) \quad (2.8)$$

で求められる。式(2.7)は式(2.3)から、

$$r_{ij} = \frac{\sigma_{ij}}{\sigma_i \sigma_j} = \frac{\sum_p (x_{ip} - \mu_i)(x_{jp} - \mu_j)}{\sigma_i \sigma_j} = \sum_p x_{ip} x_{jp} \quad (2.9)$$

となる。因子分析では、式(2.2)の仮定をしているので、式(2.9)は

$$\begin{aligned} r_{ij} &= \sum_p x_{ip} x_{jp} \\ &= \sum_p \left(\sum_k b_{ik} f_{kp} + e_{ip} \right) \left(\sum_h b_{jh} f_{hp} + e_{jp} \right) \\ &= \sum_p \left(\sum_k b_{ik} f_{kp} \sum_h b_{jh} f_{hp} + \left(\sum_k b_{ik} f_{kp} \right) e_{jp} + \left(\sum_h b_{jh} f_{hp} \right) e_{ip} + e_{ip} e_{jp} \right) \end{aligned} \quad (2.10)$$

と変形できる。式(2.6)より、式(2.10)の

$$\text{1項目は} \quad \sum_p \left(\sum_k b_{ik} f_{kp} \sum_h b_{jh} f_{hp} \right) = \sum_k b_{ik} \sum_h b_{jh} \sum_p f_{kp} f_{hp} = \sum_k b_{ik} \sum_h b_{jh} \delta_{kh} = \sum_k b_{ik} b_{jk}$$

$$\text{2項目は} \quad \sum_p \left(\sum_k b_{ik} f_{kp} \right) e_{jp} = \sum_k b_{ik} \left(\sum_p e_{jp} f_{kp} \right) = 0$$

$$\text{3項目は} \quad \sum_p e_{ip} \left(\sum_h b_{jh} f_{hp} \right) = \sum_h b_{jh} \left(\sum_p e_{ip} f_{hp} \right) = 0$$

であるから、相関係数は

$$r_{ij} = \sum_k b_{ik}b_{jk} + \frac{1}{N} \delta_{ij} \sum_p e_{ip}^2 \quad (2.11)$$

のように表現できる。式(2.11)は行列を用いて

$$\begin{pmatrix} 1 & r_{21} & \cdots & r_{n1} \\ r_{12} & \ddots & & \\ \vdots & & & \\ r_{1n} & & & 1 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} b_{11} & b_{21} & \cdots & b_{1m} \\ b_{12} & \ddots & & \\ \vdots & & & \\ b_{n1} & & & b_{nm} \end{pmatrix} \begin{pmatrix} b_{11} & b_{12} & \cdots & b_{n1} \\ b_{21} & \ddots & & \\ \vdots & & & \\ b_{1m} & & & b_{nm} \end{pmatrix} + \begin{pmatrix} \frac{1}{N} \sum_p e_{1p}^2 & & 0 \\ & \ddots & \\ 0 & & \frac{1}{N} \sum_p e_{np}^2 \end{pmatrix} \quad (2.12)$$

$$\mathbf{R} = \mathbf{B}\mathbf{B}' + \mathbf{E}$$

と表現できる。tは転置行列を表す。

式(2.12)の行列Rは対称行列であるから、Rの固有値を大きい順に λ_i 、固有ベクトルを \mathbf{c}_i とすると、行列Rは、

$$\mathbf{R} = \lambda_1 \mathbf{c}_1 \mathbf{c}_1' + \lambda_2 \mathbf{c}_2 \mathbf{c}_2' + \cdots + \lambda_m \mathbf{c}_m \mathbf{c}_m' \quad (2.13)$$

の様にできる[17]。この固有値 λ_i を因子分析では寄与率という。寄与率が大きい方から積算したものを累積寄与率という。累積寄与率が0.8程度になるまで、固有値を大きいものからp個とり出し、それらが共通因子によるもの、残りが独立因子によるものとする。累積寄与率を考慮すると、式(2.13)は

$$\mathbf{R} = \lambda_1 \mathbf{c}_1 \mathbf{c}_1' + \lambda_2 \mathbf{c}_2 \mathbf{c}_2' + \cdots + \lambda_p \mathbf{c}_p \mathbf{c}_p' + \lambda_{p+1} \mathbf{c}_{p+1} \mathbf{c}_{p+1}' + \cdots + \lambda_m \mathbf{c}_m \mathbf{c}_m' \quad (2.14)$$

と表すことができ、

$$\begin{aligned} \mathbf{B}\mathbf{B}' &= \lambda_1 \mathbf{c}_1 \mathbf{c}_1' + \lambda_2 \mathbf{c}_2 \mathbf{c}_2' + \cdots + \lambda_p \mathbf{c}_p \mathbf{c}_p' \\ \mathbf{E} &= \lambda_{p+1} \mathbf{c}_{p+1} \mathbf{c}_{p+1}' + \cdots + \lambda_m \mathbf{c}_m \mathbf{c}_m' \end{aligned} \quad (2.15)$$

となる、さらに、

$$\mathbf{B} = (\sqrt{\lambda_1} \mathbf{c}_1, \sqrt{\lambda_2} \mathbf{c}_2, \cdots, \sqrt{\lambda_p} \mathbf{c}_p) \quad (2.16)$$

とすることができる。式(2.16)は相関係数行列Rから因子負荷量を求めることができることを示している。

一方、式(2.2)は行列を用いて次のように表現することができる。

$$\begin{aligned} \mathbf{x}_i &= \mathbf{B}\mathbf{f}_i + \mathbf{e}_i \\ \mathbf{e}_i &= \mathbf{x}_i - \mathbf{B}\mathbf{f}_i \end{aligned} \quad (2.17)$$

ここで、独立因子 \mathbf{e} の2乗を計算し、この量が最小になるように共通因子 \mathbf{f} を求める。なお、独立因子の2乗は、次式(2.18)の様に計算される。

$$\begin{aligned}\mathbf{e}_i' \mathbf{e}_i &= (\mathbf{x}_i - \mathbf{B} \mathbf{f}_i)' (\mathbf{x}_i - \mathbf{B} \mathbf{f}_i) \\ &= \mathbf{x}_i' \mathbf{x}_i - \mathbf{x}_i' \mathbf{B} \mathbf{f}_i - \mathbf{f}_i' \mathbf{B}' \mathbf{x}_i + \mathbf{f}_i' \mathbf{B}' \mathbf{B} \mathbf{f}_i \\ &= \mathbf{x}_i' \mathbf{x}_i - 2 \mathbf{x}_i' \mathbf{B} \mathbf{f}_i + \mathbf{f}_i' \mathbf{B}' \mathbf{B} \mathbf{f}_i\end{aligned}\quad (2.18)$$

この式(2.18)を \mathbf{f} で微分し、0と置く。

$$\frac{d(\mathbf{e}_i' \mathbf{e}_i)}{d\mathbf{f}_i} = -2 \mathbf{x}_i' \mathbf{B} + 2 \mathbf{f}_i' \mathbf{B}' \mathbf{B} = 0 \quad (2.19)$$

式(2.19)から $\mathbf{x}_i' \mathbf{B} = \mathbf{f}_i' \mathbf{B}' \mathbf{B}$ が求められる。この式の両辺の転置行列をとれば、 $\mathbf{B}' \mathbf{B} \mathbf{f}_i = \mathbf{B}' \mathbf{x}_i$ となり、さらに両辺にの逆行列を掛けると、 \mathbf{f} を次式のように求めることができる。

$$\mathbf{f}_i = (\mathbf{B}' \mathbf{B})^{-1} \mathbf{B}' \mathbf{x}_i \quad (2.20)$$

式(2.20)は、観測値 \mathbf{x}_i と先に求めた因子負荷量 \mathbf{B} から共通因子 \mathbf{f}_i が求まることを表している。因子分析では共通因子を求めた後に、観測項目を考慮して、共通因子の意味付けを行う。

2.3 実験方法

2.3.1 造形的用語の収集

紋様の多義性から受ける印象は、造形用語で表される。一般的に2次元の紋様の特徴を表すのに用いられる用語をアンケートによって収集し、美術書[18][19]などの文献調査の結果と合わせて、KJ法[20]により分類して代表的な造形用語を得る。

本研究では、伊勢型紙を対象とする。伊勢型紙は紺と白の模様であるので、色彩の関する用語は除外した。アンケートは大学生60名の協力を得る。

2.3.2 紋様と造形用語の関係

紋様を被験者に提示し、各紋様について前述の造形用語群の中から印象の強い語を5つ選択させる。印象の強い順に最上位のものを5点、最下位のものを1点と5段階に点数化して、その結果を因子分析により解析する。

被験者にできるだけ多くの紋様を提示することが望ましく考えられるが、被験者の負荷を考え提示する紋様は、資料庫にある伊勢型紙から任意に選んだ18点とする。

2.3.3 多義性の可視化

各紋様ごとに複数の共通因子を抽出する。ここでは、各共通因子の因子負荷量の数値で上位のものを2～5程度組み合わせる。これによって、共通因子の造形的特徴を解釈し、その特徴を表現する画像を作成する。

2.3.4 可視化画像の妥当性の検証

前節で作成した特徴を表現する画像は、ある程度恣意的な要素が入り込む可能性がある。また、作成した画像の意味する特徴が被験者に正しく伝わるような表現になっていない可能性もある。このため、可視化画像の妥当性を検証する必要がある。各画像を被験者に提示した後、前節で収集した造形用語群を用いて特徴を表現する用語を一つ選択させ、因子分析の結果で上位にあった用語が、作成した画像に対する印象評価においても上位に選ばれるかどうかを検証する。

2.3.5 伊勢型紙の多義性に関する考察

以上の方法で得られた画像を、その特徴によって分類し、伊勢型紙の紋様の多義的に対する特性を考察する。

2.4 結果と考察

2.4.1 造形的用語の収集

本研究で得られた造形用語を表 2.2 に示す。ここでは、26の造形用語群を得た。

表 2.2 収集した造形用語

A)角張った B)丸みを帯びた C)直線的 D)曲線的 E)流れ F)方向性 G)細かい	H)粗い I)規則的 J)不規則 K)明るい L)暗い M)立体的 N)連続	O)独立 P)まとまり Q)バラバラ R)均一 S)密集 T)くり返し U)濃い	V)淡い W)コントラスト X)ぼやけた Y)シンプル Z)複雑
--	--	--	--

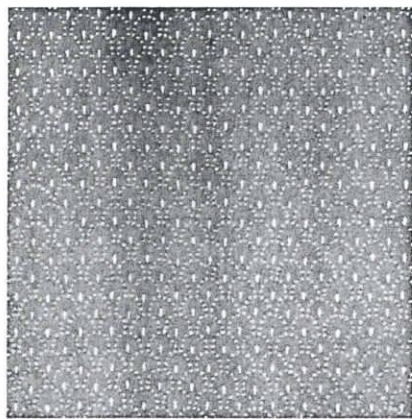
2.4.2 紋様と造形用語の関係と多義性の可視化

紋様を被験者に提示し、前述の用語群から、紋様から受ける印象に合う言葉を選ぶ。印象の強いものからその言葉に点数をつけて集計し、データを因子分析によって解析した。各々の紋様について複数の共通因子を抽出した結果の一例を図2.3に示す。1つの紋様から、幾つかの因子が抽出されるということが、紋様の多義性である。図2.3の原画像に関しては、表に示すように4つの因子を検出した。また、図2.4に共通因子と伊勢型紙の紋様から、その特徴を表現する画像を作成した例を示す。各画像の作成は、原画像と共通因子を比較し、フォトショップやイラストレーターなどの画像処理ソフトで作成した。特徴を表す画像の作成にあたっては、用語の組み合わせが各紋様においてどんな特徴を意味しているのかを十分考慮した。また、因子負荷量上位の数語の組み合わせだけでは解釈の可能性が複数考えられる場合は、解釈に採用する用語の数を見直したり、因子負荷量で負の値が大きい用語を考慮するなどして表現を決定した。

図2.4(a)の画像では「流れ」「方向性」を表現した。原画像には「∩」のような図形が見られる。この並びが「上方への流れ」を感じさせると考えた。(b)は「密集」「複雑」を表現する。原画像は「細かい点の集合」であり、これらが「何かが集合していて複雑」であると感じさせると考えた。(c)は「暗い」「濃い」を表現している。原画像は実験で用いた試料の中では比較的暗いイメージを与えるもののようであり、これを表現した。(d)は「規則的」「シンプル」を表現する。原画像に見られる「∩」のような図形が、斜め方向に規則的に並んでいることからこのような印象を受けると考えられる。これを画像で表現した。

図2.5に複数の共通因子を抽出した結果の別の一例を示す。図2.5の原画像については、5つの因子が検出された。また、図2.6に共通因子と原画像から作成した画像を示す。紋様ごとに検出された因子の数が違うということは、伊勢型紙の多義性がそれぞれの紋様によって違うということを表している。また、因子の上位に現れてくる言葉が違うということは、多義性に何らかの順位があることを表していると言える。

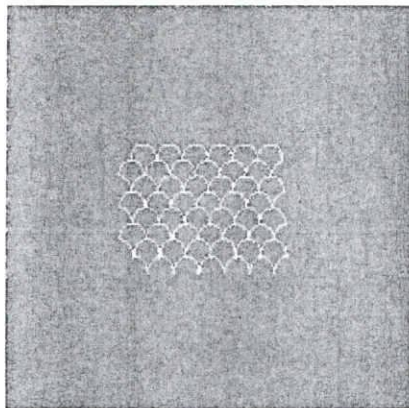
紋様の中には、用語の組み合わせと特徴の関係が明確に出ているものと、特徴が読み取り難いものが見られた。また、紋様によって分析結果の解釈や画像作成の容易さにばらつきが見られた。これは、紋様が単純で解釈の仕方が限られるか、複雑で解釈に幅があるかが影響しているものと考えられる。完成した画像の順位は主観的に見て妥当な結果となった。



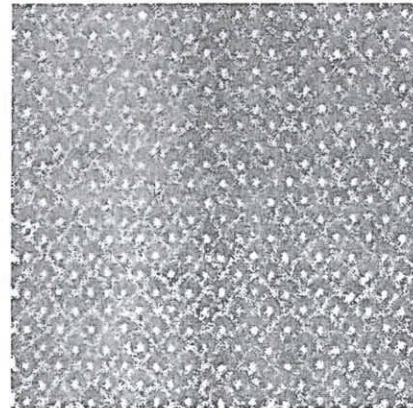
原画像
評価に用いた伊勢型紙

	共通因子1	共通因子2	共通因子3	共通因子4
累積寄与率	19.03	37.2	53.6	67.38
E.流れ	0.741	-0.106	-0.064	-0.046
F.方向性	0.4	-0.287	-0.123	0.107
S.密集	-0.048	0.76	0.057	-0.016
Z.複雑	-0.115	0.71	-0.015	0.005
L.暗い	-0.069	-0.164	0.855	0.071
U.濃い	0.04	0.236	0.65	0.319
I.規則的	-0.226	-0.256	-0.617	0.452
Y.シンプル	0.234	-0.103	-0.122	0.331
G.細かい	-0.831	0.045	-0.09	0.009
B.丸みを帯びた	-0.156	-0.441	0.003	-0.613
P.まとまり	0.045	-0.035	-0.164	0.166
D.曲線的	0.094	0.097	-0.147	-0.843
R.均一	-0.006	-0.218	0.01	0.035
T.くり返し	-0.134	0.052	-0.236	0.103
N.連続	0.25	-0.196	0.076	0.104

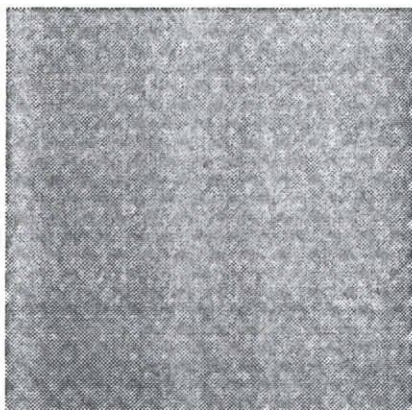
図 2.3 紋様と造形用語の関係 (1)



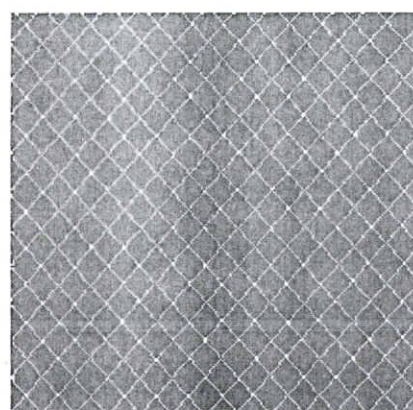
(a) 因子1から作成した画像
「流れ」や「方向性」を表現した。



(b) 因子2から作成した画像
「密集」や「複雑」を表現した。

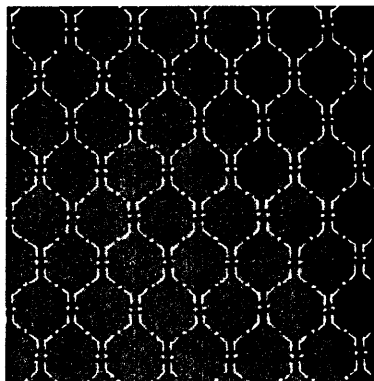


(c) 因子3から作成した画像
「暗い」や「濃い」を表現した。



(d) 因子4から作成した画像
「規則的」や「シンプル」を表現した。

図 2.4 多義性の可視化 (1)



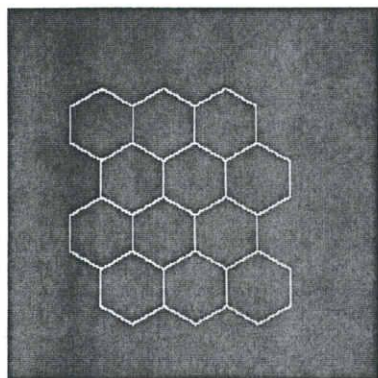
原画像

評価に用いた伊勢型紙

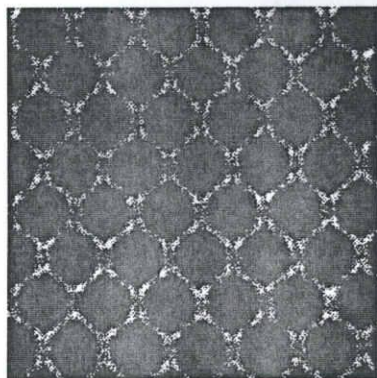
因子分析結果

	共通因子1	共通因子2	共通因子3	共通因子4	共通因子5
累積寄与率	15.42	27.65	39.13	49.06	58.73
Z.複雑	0.868	-0.023	0.01	0.128	-0.041
M.立体的	0.812	0.042	-0.053	-0.243	0.176
S.密集	0.608	-0.132	-0.086	0.353	-0.24
X.ぼやけた	-0.205	0.631	-0.17	-0.048	0.034
V.淡い	-0.072	0.544	-0.436	-0.358	-0.297
E.流れ	-0.126	0.045	0.776	0.035	-0.104
D.曲線	0.013	0.077	0.744	-0.11	-0.01
B.丸みを帯びた	-0.158	0.276	0.305	-0.051	-0.12
C.直線的	0.032	0.023	0.014	0.901	-0.067
G.細かい	-0.047	0.019	-0.176	0.547	0.215
T.くり返し	-0.041	-0.092	-0.137	-0.05	0.81
P.まとまり	0.138	-0.088	-0.017	-0.152	0.268
W.コントラスト	-0.026	0.036	-0.05	-0.054	-0.156
H.粗い	-0.047	-0.098	0.042	0.002	0.117
Y.シンプル	-0.053	0.171	0.211	0.064	-0.114
R.均一	-0.08	-0.008	0.018	-0.064	-0.106
A.角張った	0.194	0.192	-0.102	0.11	-0.018
I.規則的	-0.06	-0.786	-0.205	-0.068	0.018
N.連続	-0.198	-0.545	-0.244	-0.143	-0.607
F.方向性	-0.099	-0.157	0.003	-0.093	0.066
U.濃い	0.012	-0.026	-0.063	-0.056	0.115
L.暗い	-0.166	-0.003	-0.023	-0.232	0.239

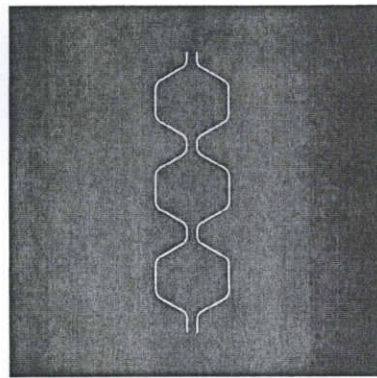
図 2.5 紋様と造形用語の関係例 (2)



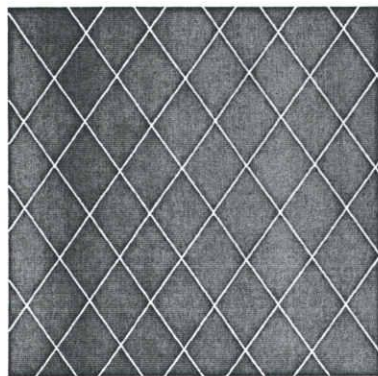
(a)因子1から作成した画像
「複雑」「立体的」「密集」を表現した。



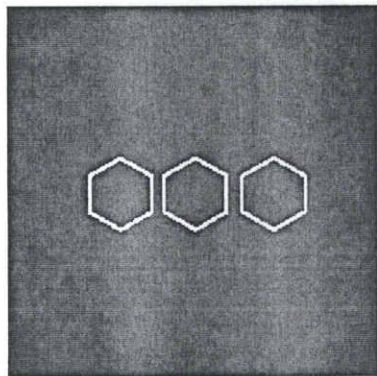
(b)因子2から作成した画像
「ぼやけた」「淡い」を表現した。



(c)因子3から作成した画像
「流れ」「曲線」「丸みを帯びた」を表現した。



(d)因子4から作成した画像
「直線的」「細かい」を表現した。



(e)因子5から作成した画像
「くり返し」「まとまり」を表現した。

図 2.6 多義性の可視化 (2)

2.4.4 可視化画像の妥当性の検証

図 2.7 に、紋様の多義性を可視化した画像の妥当性を検証した結果の例を示す。図の上段が作成画像と、その元になった言葉である。図の下段が作成画像を提示して得られた言葉である。下段に、画像作成に用いた言葉が入っており、作成画像の意図が伝わっていることが確認できた。いくつかの紋様においては、作成した画像の表現が不適切であることに起因するとみられる選択用語や選択順位の不一致があったが、ほとんどの紋様については用語、順位とも概ね表現の妥当性が確認することができた。

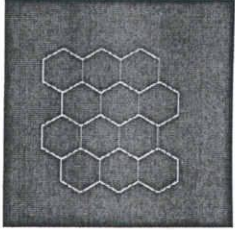
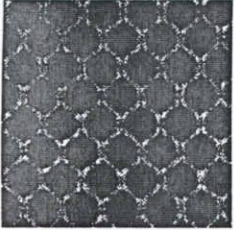
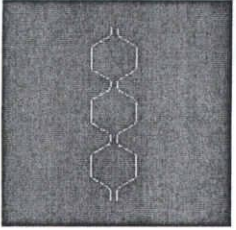
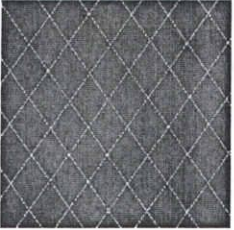

因子分析結果から作成した画像				
				
共通因子1（複雑、立体的、密集）から作成した画像。	共通因子2（ぼやけた、淡い）から作成した画像。	共通因子3（流れ、曲線的、丸みを帯びた）から作成した画像。	共通因子4（直線的、細かい）から作成した画像。	共通因子5（くり返し、まとまり）から作成した画像。
↓	↓	↓	↓	↓
まとまり <u>密集</u> 規則的 連続 くり返し <u>立体的</u> 独立 均一 角張った <u>複雑</u>	ぼやけた <u>淡い</u> 規則的 曲線的 粗い バラバラ	<u>流れ</u> <u>曲線的</u> <u>丸みを帯びた</u> くり返し 連続 シンプル 直線的 立体的 独立 まとまり	<u>直線的</u> 規則的 均一 流れ 方向性 連続 密集 角張った 粗い シンプル	シンプル 角張った 独立 <u>まとまり</u> 規則的 <u>くり返し</u> バラバラ 均一 直線的 連続

図 2.7 可視化画像の妥当性の検討結果

2.4.5 伊勢型紙の多義性に関する考察

前節で可視化した画像を検討した結果、その画像が表している特徴は次の5種類に分類できると考えられる。

- (a) 明暗やコントラストを捉えたもの
- (b) 肌理（きめ）や疎密など全体的な感じを捉えたもの
- (c) 単位構造の配列や紋様の構造を捉えたもの
- (d) 部分的な形状を捉えたもの
- (e) 流れや動きなどといった言葉で表すことが適当なもの

これらは、紋様の中からそれぞれ特定の特徴を取り出したものと見なすことができる。すなわち、これが伊勢型紙の多義性であると考えられる。

(a)、(b)は、紋様の全体から受ける印象を表していると考えられる。これは、紋様を全体的に見渡したときに、明るい印象を受けるとか、バラバラな印象などを喚起するものであると言える。

(c)、(d)は伊勢型紙の平面格子と単位構造のことであると考えられる。本研究で対象としている伊勢型紙の紋様は、小さな単位構造が紙面全体にわたって配置されたものであり、単位構造や平面格子が何らかの印象を喚起していると言える。

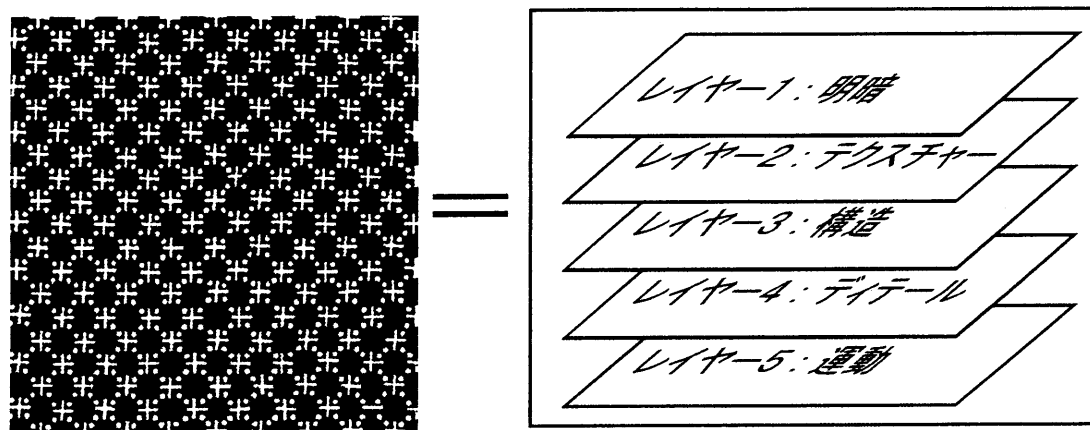
(e)は単位構造の形と、その配置の組み合わせによって喚起されるものである。試料の一部にはこのように表現することが適切であるものが見られた。

本研究では、コンピュータグラフィックスの分野で用いられている用語に準じ、これらを「レイヤー」と表現する。レイヤーとは本来「階層」を表し、コンピュータグラフィックスにおいてはレイヤーを重ねることで、画像を完成させる。本研究においては、同一の画像に対する鑑賞者の複数の見方（紋様の多義性）を意味するものとする。CGのレイヤーと同じように、5種類のレイヤーが一緒になって1つの紋様を構成していると考ええる。ただし、CGのレイヤーのように重なって一緒になるわけではない。図2.8に、本研究のレイヤーの概念を示す。本研究では、これらのレイヤーを、その特徴を代表する表現として、

レイヤー1：明暗（明暗やコントラストを捉えたもの）

レイヤー2：テクスチャー（肌理（きめ）や疎密など全体的な感じを捉えたもの）

レイヤー3：構造（配列などの構造を捉えたもの）



伊勢型紙紋様

紋様の多義性

紋様は5つのレイヤーより構成される。

(5つのレイヤーが合成されて1つの紋様を形成する。)

図 2.8 レイヤーの概念図

レイヤー4：デイテール（部分的な形状を捉えたもの）

レイヤー5：運動（流れや動きなど視覚的な運動の存在を捉えたもの）

の名称で呼ぶことにする。

以上論じてきたように、伊勢型紙を鑑賞した時、どのレイヤーに注目するかによって、型紙から受ける印象が変わると考えられる。すなわち、図 2.9 のように、レイヤー2に注目し

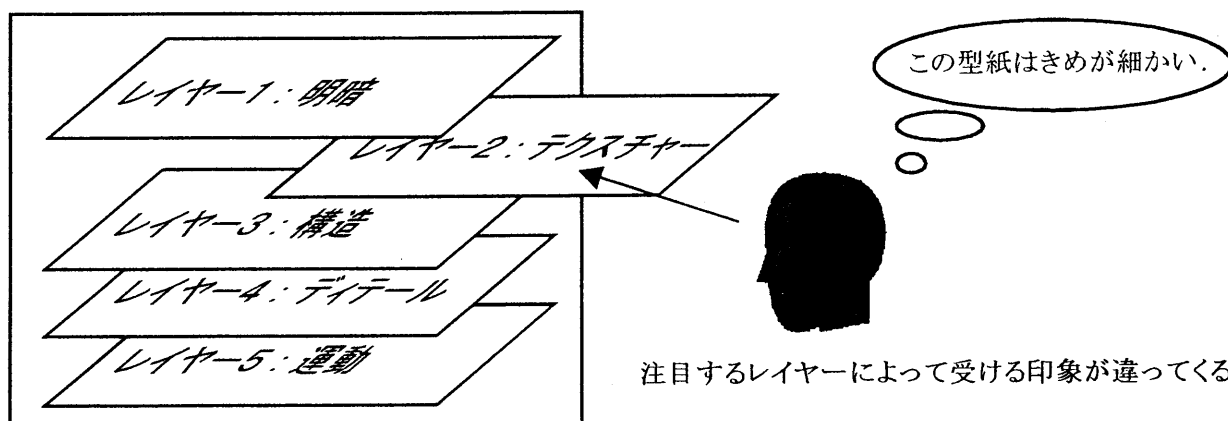


図 2.9 レイヤーと印象の関係

た場合は、紋様のきめ細かさを感じることになる。1章で述べたように、本研究では、伊勢型紙の感性データベースを構築することを課題としている。レイヤーが印象を喚起するものであることから、伊勢型紙のデータベースの構築に当たっては、このレイヤー毎に分類と検索ができるようになれば良いということになる。

2.5 まとめ

伊勢型紙の紋様には多義性がある。多義性とは、紋様を鑑賞する際に鑑賞者が注目する特徴である。本章では、伊勢型紙は、5種類の多義性があることを明らかにし、それらを「レイヤー」と表現することを提案した。本研究では、伊勢型紙の感性データベース構築を課題としている。従って、感性データベースを構築するためには、これらのレイヤーについて分類と検索を行えばよいことが明らかとなった。

第3章 明暗、テクスチャーレイヤーの分類と検索

3.1 レイヤーの分類方法と検索方法

前章で、伊勢型紙の多義性を表現するために「レイヤー」という概念を提案した。伊勢型紙の紋様については次の5つのレイヤー：

レイヤー1：明暗（明暗やコントラストを捉えたもの）

レイヤー2：テクスチャー（肌理（きめ）や疎密など全体的な感じを捉えたもの）

レイヤー3：構造（配列などの構造を捉えたもの）

レイヤー4：ディテール（部分的な形状を捉えたもの）

レイヤー5：運動（流れや動きなど視覚的な運動の存在を捉えたもの）

があることを示した。この多義性とは、伊勢型紙を鑑賞する際に鑑賞者が注目する特徴である。同じ伊勢型紙でも、どのレイヤーに注目するかによって伊勢型紙から受ける印象が変わってくる。伊勢型紙を分類する場合には、型紙について、レイヤー毎に特徴を抽出する必要がある。全ての伊勢型紙について、これらのレイヤーによる分類を目視観察により主観的に行っても良いのであるが、約2万点にも及ぶ資料があるので、ここではコンピュータを用いた画像処理を利用することを試みる。画像処理方法としては、多くの研究がなされている[21][22]が、これらは、統計的解析と構造的解析に大別される[23][24]。この区別に従えば、レイヤー1、2が統計的解析に、レイヤー3、4、5が構造的解析に相当する。レイヤー1、2は紋様全体を眺めて見た時の印象を表していると考えられる。このことから、本章では統計的解析手法を用いてレイヤー1、2における分類と検索を試みる[25]。

3.2 画像の統計的解析法について

3.2.1 画像の統計的解析法

レイヤー1の明暗やコントラストは、色の濃淡や明るさの度合を表す。本研究で用いる伊勢型紙は白黒の画像であるので、画像内部の白い部分の形状や総面積・分布に影響される量である。レイヤー2の「きめ」の概念については、日常的に「きめ細かい」とか、「きめが粗い」とかを用いるものの、はっきりした了解があるとは言えない。

本研究では、きめや密度的な感じについて、紙ヤスリの目の粗さのようなものを考えている。すなわち、紙ヤスリは、50番から、100番、400番～2000番と番手が上がっていくに従って、表面にある粒子状のものが見えなくなり均一になっていく。このような感じを「きめ、密度的な感じ」と考えている。但し、紙ヤスリの番手が「きめ、密度的な感じ」ではない。これと同様に、伊勢型紙において、塊のように感じられるものが見えるものをきめが荒い、塊が見えず均一に分散しているようなものをきめが細かいと表現する。

画像処理の統計的析方法としては、1) 輝度ヒストグラム、2) 面積統計、3) 同時生起行列、4) 差分統計量、5) ランレンジス行列、6) フラクタル次元などが研究されている[21]-[24][26]。これらの画像処理方法は、カラー、または、グレースケール画像を念頭において開発され応用されている。しかし、伊勢型紙は、白黒2値画像であり濃淡情報がない。伊勢型紙に応用するために、これらの手法を白黒2値画像に合わせて変形して用いることにする。なお、本研究ではこれらの手法の中から、面積統計量、ランレンジス行列、フラクタル次元を統計的解析法として用いる。

レイヤー1、2における分類と検索の概念を図3.1に示す。前述のように、レイヤー1はコントラストや明暗を表す。明暗は、暗いものから明るいものへと数直線上に伊勢型紙を並べることができる。レイヤー2についても同様で、きめの粗いものから細かいものへ

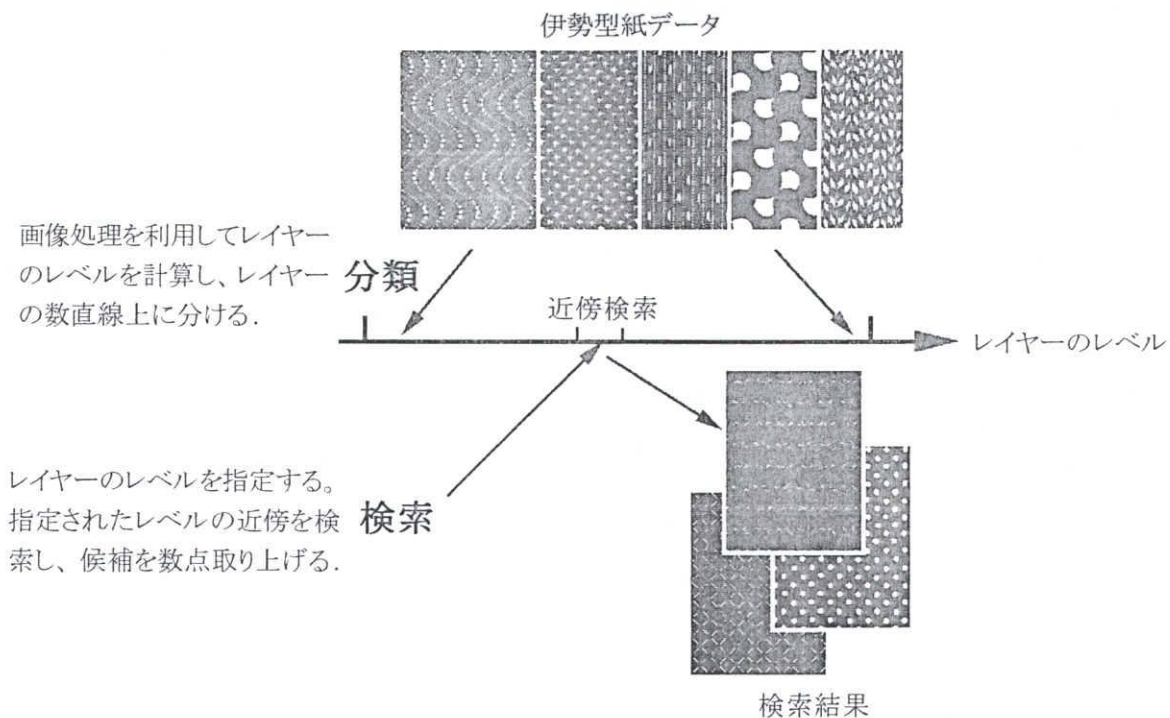


図 3.1 レイヤー1、2の分類と検索

と順に並べることができると考えられる。そこで、本研究ではこの分類を前述の画像処理法で行う。

データを数直線上に並べれば、データの検索は数値を指定し、数直線上で近いものを数点持ってくることで行うことができる。画像処理方法で求めた数直線上の値と、人が見て感じた値との相関関係を確立すれば、画像の感性検索が可能となる。以下に本研究で用いた画像処理法の説明を行う。

3.2.2 面積統計

図 3.2 のように、画像の中にある「物体 i 」について、その大きさを q_i とする。このとき、 q_i の個数、画像全体に占める占有率、大きさの平均、標準偏差などを面積統計量という。

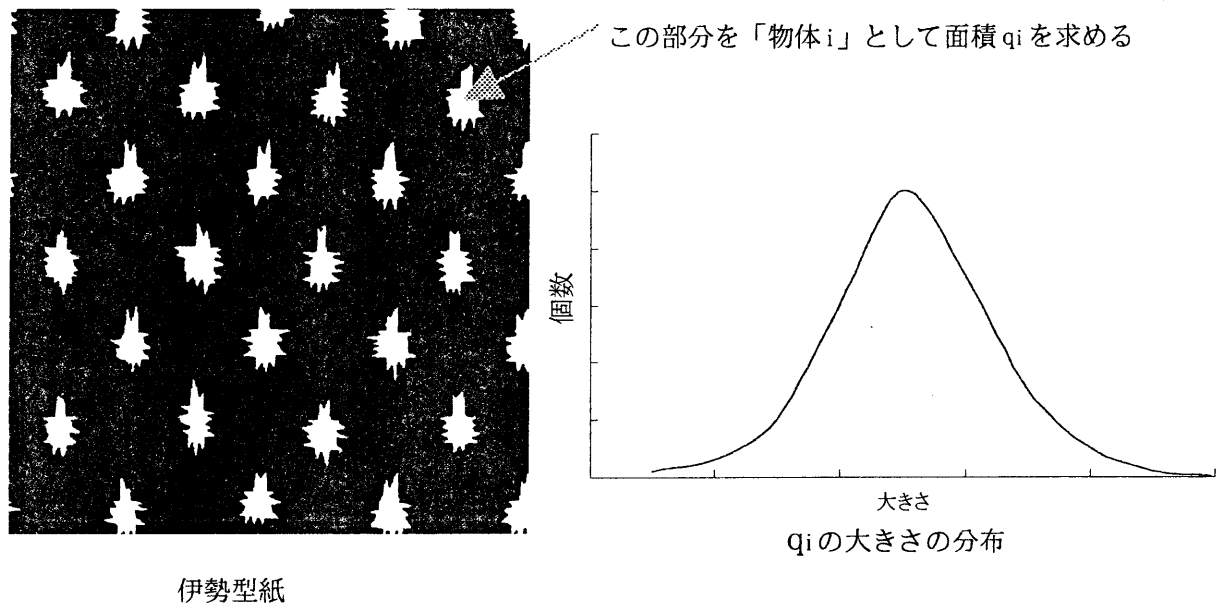


図 3.2 面積統計

本研究では次の量を用いる。

$$\text{物体の個数} \quad n \quad (3.1)$$

$$\text{面積の総和} \quad s = \sum q_i \quad (3.2)$$

$$\text{占有率} \quad a = 100 \times \sum q_i / A \quad (A \text{ は画像全体の面積}) \quad (3.3)$$

$$\text{平均 物体面積} \quad \mu = \sum q_i / n \quad (3.4)$$

$$\text{標準偏差} \quad \sigma = \sum (q_i - \mu)^2 / n \quad (3.5)$$

面積統計は、その求め方から分かるように、位置に関する情報を考慮に入れていない。このため、本研究が提案するレイヤー1、2のような全体的な特徴を表すのには都合がよい。しかし、位置の情報を処理しないために、「物体」が均一に存在していても、偏在していても同じ数値を算出するという問題もある。これらの問題は、別の統計量で対応する必要がある。

3.2.3 ランレンジス行列

画像内で、 θ 方向に輝度 i の点が j 個続く頻度を $p_{\theta}(i, j)$ とする。この $p_{\theta}(i, j)$ を要素とする行列をランレンジス行列という[21]。図 3.3 にランレンジス行列の例を示す。説明を簡単

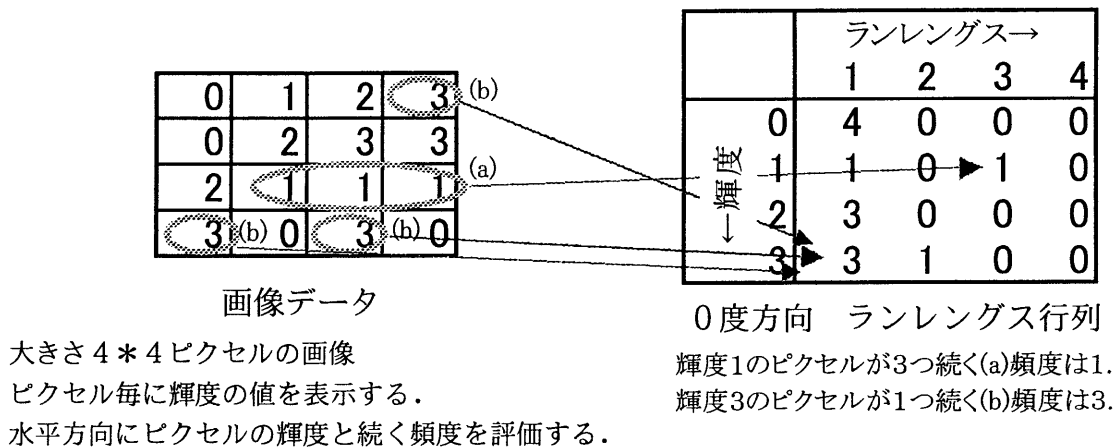


図 3.3 ランレンジス行列の説明

にするために図では、4 * 4ピクセルの画像を示している。この画像を水平方向に走査して、輝度と連続する距離を集計する。例えば、図中(a)で示す輝度1、長さ3の元素は1つであるから $p(1,3)=1$ となる。また、図中(b)で示す輝度3、長さ1の元素は3つあるから、 $p(3,1)=3$ となる。このようにして、すべての輝度と長さについて集計しランレンジス行列を作成する。

ランレンジス行列から、次の4つの量を算出し、それらによってテクスチャーの特徴を付ける。

$$\text{short runs emphasis} \quad \text{SRE} = \frac{\sum \sum \frac{P_{\theta}(i, j)}{j^2}}{\sum \sum P_{\theta}(i, j)} \quad (3.6)$$

$$\text{long runs emphasis} \quad \text{LRE} = \frac{\sum \sum j^2 P_{\theta}(i, j)}{\sum \sum P_{\theta}(i, j)} \quad (3.7)$$

$$\text{run length nonuniformity} \quad \text{RLN} = \frac{\sum_j \left\{ \sum_i P_{\theta}(i, j) \right\}^2}{\sum \sum P_{\theta}(i, j)} \quad (3.8)$$

$$\text{run percent} \quad \text{RPT} = \sum \sum P_{\theta}(i, j) / A \quad (A \text{ は画像全体の面積}) \quad (3.9)$$

Galloway らは、このランレングス行列から得られる統計量を使い画像分類を行って成果を上げた[27]。さらに、本研究では、 $p_{\theta}(i, j)$ の総和が1になるように正規化した行列 $q_{\theta}(i, j)$ を作る。この $q_{\theta}(i, j)$ から、エントロピーを次のような式によって求める。

$$\text{run length entropy} \quad \text{RLE} = - \sum \sum q_{\theta}(i, j) \log(q_{\theta}(i, j)) \quad (3.10)$$

これらの式(3.6)-(3.10)は、輝度のある画像を前提にした計算式である。伊勢型紙は白黒2値画像であるために、0と1を扱うだけの簡単な式に変形できる。実物のテクスチャーでは、 θ の方向を任意に取り、同じ輝度が続く距離を測ることができる。しかし、統計処理する画像は、量子化されているピクセルの集まりであるから、 θ の方向と、距離を評価するためには制限が出てくる。また、むやみに θ の方向を増やしても、算出する量が増えて、解析を複雑にするだけである。

本研究では、 θ として0度と90度方向を評価する。ランレングス行列から統計量を求める式を見て分かるように、処理する画像全体についての総和を計算している。このため、ランレングス行列は積分型統計量と言われており、本研究で提案するレイヤー1・2のような全体的な特徴を表すことができると考えられる。前述の面積統計では、「物体」の偏在を評価することができない。しかし、ランレングス行列において、0度方向と90度方向を評価することにより、物体が均一に存在するときと、偏って存在するときで値が違ってくるので、物体の偏在をある程度評価することができると考えられる。

3.2.4 フラクタル次元

テクスチャー解析の比較的新しい手法として、フラクタル次元が提案されて成果を上げている[28]。太田らは布の質感を特徴付けることにこのフラクタル次元用い、感性を扱う分野

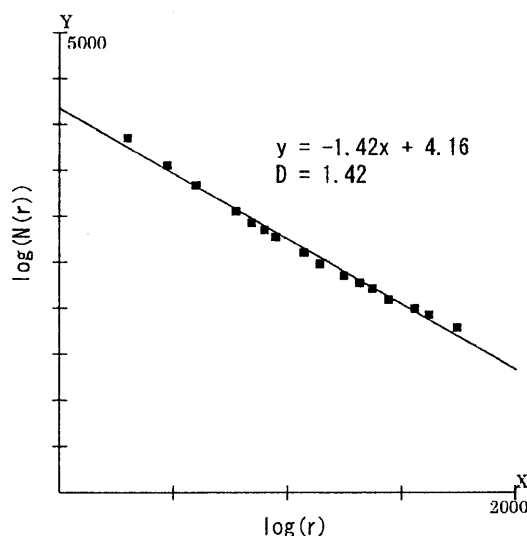
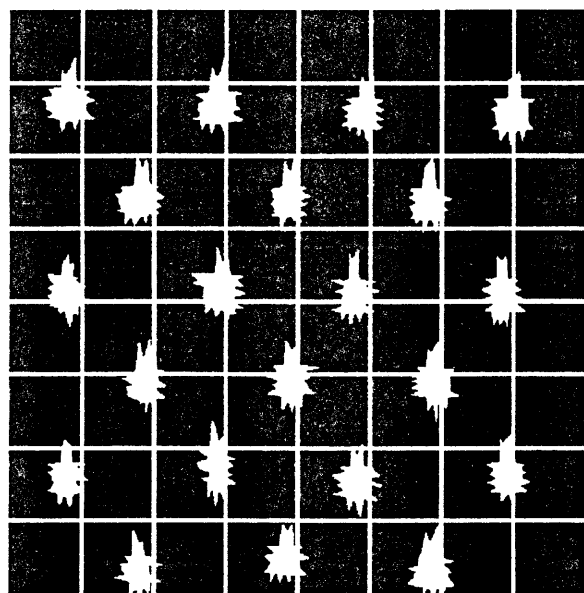
での有効性を示している[29]。

フラクタル次元とは、曲線の長さを測定する場合に、単位となる長さ ε を変えたときの曲線の長さ $L(\varepsilon)$ を求め、それらが、 $L(\varepsilon) = k\varepsilon^{-D}$ の関係にあるとき、この D の値のことを言う[30]。この定義を一般的に拡張し、ある物体を包含する場合、単位となる矩形 ε の大きさを変えたときに、その物体を包含するために必要な単位の個数 $N(\varepsilon)$ を求め、単位 ε とその個数 $N(\varepsilon)$ とに $N(\varepsilon) = k\varepsilon^{-D}$ の関係があるとき、この D の値をフラクタル次元と言う。フラクタル次元を求める方法は幾つか提案されており、コンピュータ処理も容易なことからよく用いられている[31]。伊勢型紙は白黒2値画像であるので、ボックスフル(Box Full)法を用いる[32][33]。

ボックスフル法では、フラクタル次元を次のように求める。図3.4のように、画像全体を均等に一辺が r のメッシュで区切る。このとき、一部でも物体が掛かるメッシュの数を $N(r)$ とする。 r を色々な値に変えたときの $N(r)$ を求める。 r と $N(r)$ が $N(r) = kr^{-D}$ の関係にある (k は定数) と仮定して、図のように D を最小自乗法より求め、これをフラクタル次元とする。

$$\text{フラクタル次元} \quad D = -\log(N(r))/\log(kr) \quad (3.11)$$

一部の論文では、 r の値を適当に取っているために、画像のメッシュ分割が均一でなくなる



上の図では $r=50$ ピクセルでメッシュを区切っている。少しでも「物体」が掛かっているメッシュの数を数える。この場合 $N(r)=52$ となる。

r をいろいろ変えたときの $N(r)$ を調べ、最小自乗法によってフラクタル次元を求める。

図3.4 フラクタル次元の求めかた

ような計算をしている。画像の分割が半端な場合は、 $N(r)$ の値が違ってくる。フラクタル次元を最小自乗法で求めているので、場合によっては、 $N(r)$ 値の大小で、回帰直線の傾きが若干違ったものになる。 r の取り方には若干の注意を要する。フラクタル次元も、画像全体から1つの値を求める手法であり、積分型統計量の1種であると言える。このため、本研究が提案するレイヤー1・2のような全体的な特徴を表すことができると考えられる。フラクタル次元は、その求め方から「物体」が均一に分布している時と、偏在して分布している時とで値が違ってくる。

3.2.5 重回帰分析

本研究では、目視評価を目的変数、画像処理で求めた量を説明変数として重回帰分析を行う[34][35]。本研究において、この重回帰分析では、目視評価で求めたレイヤーのレベルの値を y 、画像処理で求めた特徴量を x_i とすると、

$$y = a_0 + a_1x_1 + a_2x_2 + \cdots + a_nx_n \quad (3.12)$$

という関係を求める。

重回帰分析とは次のようなものである。今サンプルが m 個あるとき、次のように行列を定義する。

$$\mathbf{y} = \begin{pmatrix} y_1 \\ y_2 \\ \vdots \\ y_m \end{pmatrix} \quad \mathbf{X} = \begin{pmatrix} 1 & x_{11} & x_{12} & \cdots & x_{1n} \\ 1 & x_{21} & \ddots & & \vdots \\ \vdots & & & & \\ 1 & x_{m1} & \cdots & & x_{mn} \end{pmatrix} \quad \mathbf{a} = \begin{pmatrix} a_0 \\ a_1 \\ \vdots \\ a_n \end{pmatrix} \quad \mathbf{e} = \begin{pmatrix} e_1 \\ e_2 \\ \vdots \\ e_m \end{pmatrix}$$

$$\mathbf{y} = \mathbf{Xa} + \mathbf{e} \quad (3.13)$$

ここで、 \mathbf{y} は目的変数の実測値からなるベクトル、 \mathbf{X} は説明変数の実測値からなる $m \times n$ 行列、 \mathbf{a} は係数行列ベクトル、 \mathbf{Xa} は式(3.13)のモデルでの予測値、 \mathbf{e} は実測値と予測値の誤差である。重回帰分析では、誤差が最小になるような係数行列 \mathbf{a} を求める。式(3.13)において誤差の2乗を E とすると、

$$\begin{aligned} E = \mathbf{e}'\mathbf{e} &= (\mathbf{y} - \mathbf{Xa})'(\mathbf{y} - \mathbf{Xa}) \\ &= \mathbf{y}'\mathbf{y} - \mathbf{y}'\mathbf{Xa} - \mathbf{a}'\mathbf{X}'\mathbf{y} + \mathbf{a}'\mathbf{X}'\mathbf{Xa} \\ &= \mathbf{y}'\mathbf{y} - 2\mathbf{a}'\mathbf{X}'\mathbf{y} + \mathbf{a}'\mathbf{X}'\mathbf{Xa} \end{aligned} \quad (3.14)$$

となる。ここで t は転置行列を表す。式(3.14)を \mathbf{a} で微分しそれを0と置けば、

$$\frac{\partial E}{\partial \mathbf{a}} = -2\mathbf{X}'\mathbf{y} + 2\mathbf{X}'\mathbf{X}\mathbf{a} = 0 \quad (3.15)$$

$$\mathbf{X}'\mathbf{X}\mathbf{a} = \mathbf{X}'\mathbf{y}$$

$$\mathbf{a} = (\mathbf{X}'\mathbf{X})^{-1} \mathbf{X}'\mathbf{y} \quad (3.16)$$

となり、係数行列 \mathbf{a} を求めることができる。

式(3.13)において、 \mathbf{y} は実測値、 $\mathbf{X}\mathbf{a}$ は計算で求めた予測値を表している。重回帰分析では、この実測値 \mathbf{y} と予測値 $\mathbf{X}\mathbf{a}$ の相関係数 r を求め、予測式の当てはまり具合を評価する。この相関係数 r のことを重相関係数という。また、変数 x_i 以外の変数の影響を除いたときの実測値 \mathbf{y} と x_i の相関係数を求める。この相関係数 r_{x_i} を重回帰分析では偏相関係数という。この偏相関係数の値は変数 x_i の予測式への影響度を表す。変数の中には相関が高いもの同士が含まれている場合がある。相関が高い変数を取り除く方法として、変数増加法、変数増減法などが開発されている[14][15]。

3.3 実験方法

3.3.1 目視分類

伊勢型紙を目視で、レイヤー1について10段階評価する。また、同様にレイヤー2についても10段階評価する。ここでは、10段階評価は次のように行う。なお、評価は5人で行った。

- 1) 試料全体 100 サンプルを概観して、10 段階のそれぞれを代表するようなものを限度見本として 10 サンプル抽出する。
- 2) 限度見本を基準に、試料を評価してそれぞれのレベルに分類していく。評価が難しいものがある場合は、無理に分類しない。
- 3) 分類してできた伊勢型紙の数のヒストグラムを見て、ヒストグラムが一様分布に近づくように、10段階のレベルを統合・分離して、再度試料を評価・分類する。

3.3.2 画像処理による特徴量計算

画像処理によって、面積統計量などの特徴量を求める。画像処理には、伊勢型紙を

200dpiの解像度で読み込み、ノイズを取り除いて2値化した画像を用いる。画像の解像度は、予備的な実験から200dpi程度で行うことが、処理面積の大きさ、物体の形状の表現を考慮して適当であると判断した。

面積統計量、ランレングス行列は512*512ピクセルの画像を処理して求める。また、同じ伊勢型紙から3カ所を任意に選んで画像処理を行い、その結果の平均値を特徴量とする。

フラクタル次元はボックスフル法を用いて求める。ただし、図形を均等に分割する必要があるために、約数の多い504*504ピクセルの画像を用いて処理する。

3.3.3 目視評価と画像処理評価の相関関係

目視評価を目的変数、画像処理で求めた量を説明変数として重回帰分析を行う。本研究において、この重回帰分析では、目視評価で求めたレイヤーのレベルの値を y 、画像処理で求めた特徴量を x_i とすると、

$$y = a_0 + a_1x_1 + a_2x_2 + \cdots + a_nx_n \quad (3.17)$$

という関係を求める。式(3.17)を求めた後は、コンピュータで画像処理を行えば、伊勢型紙の自動分類が可能となる。面積統計、ランレングス行列、フラクタル次元から算出される量は、次元や絶対値が相当に違う。このため、重回帰分析を行う前に、それら得られた値を標準化しておく。また、重回帰分析は変数増減法で行い、相関の高い説明変数を振り落とすようにする。目視で評価した紋様と、重回帰の結果を比べて、解析結果が妥当であるかどうかを検証する。

3.3.4 検索実験

レイヤー1, 2に関して、伊勢型紙の類似検索は、レイヤーのレベルを指定し、そのレベルに近いものを持つてくることで行う。式(3.17)で伊勢型紙を、図3.1のレイヤーの数直線上に配置する。この数直線上で近い位置に配置された伊勢型紙同士は印象が似ているものと考えられる。レイヤー1, 2についてレベル4.0と8.0を指定して検索を行い、印象が似たものが検索できるかどうかを検証する。

3.4 結果と考察

3.4.1 目視分類の結果

目視検査は、伊勢型紙を大きな机の上に並べ、レイヤー1の場合は、明るいものから暗いものへと並べ、それを10個のカテゴリーに分類した。レイヤー2についても同様に行った。目視検査で分類した伊勢型紙のヒストグラムを図3.5および図3.6に示す。図に示すように、一様分布に近い形に分類できた。また、レイヤー2については、判断を保留するようなものも数点あった。

3.4.2 画像処理による分類結果

面積統計、フラクタル次元、ランレンジ行列を求めた結果の例を図3.7に示す。

図に示すように、一つの画像について色々な特徴量が得られた。

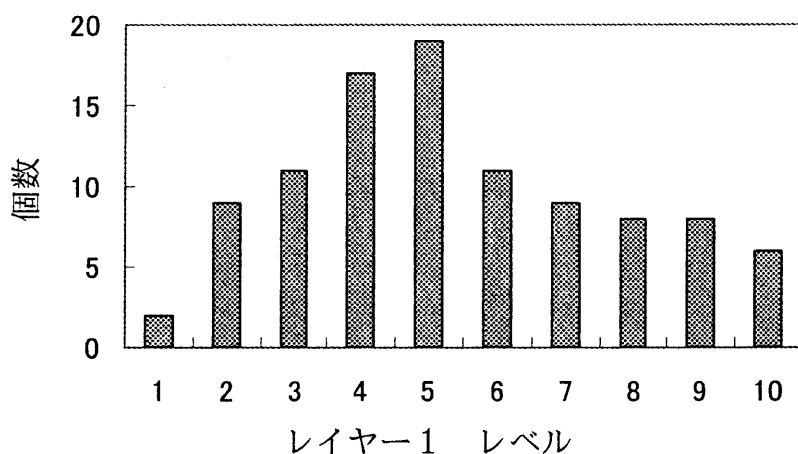


図3.5 目視検査によるレイヤー1のヒストグラム

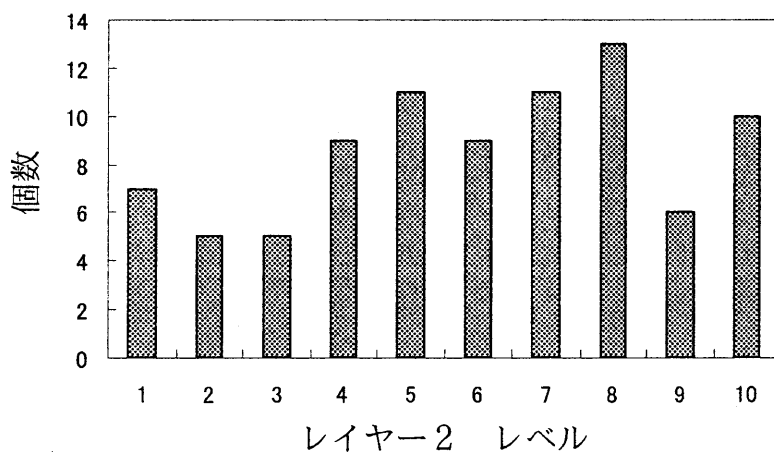
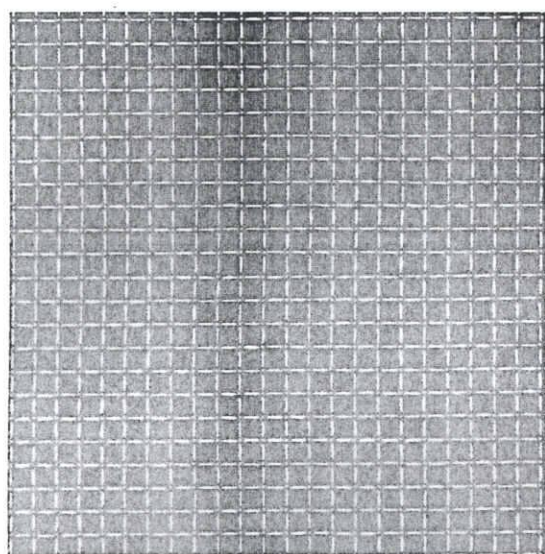


図3.6 目視検査によるレイヤー2のヒストグラム

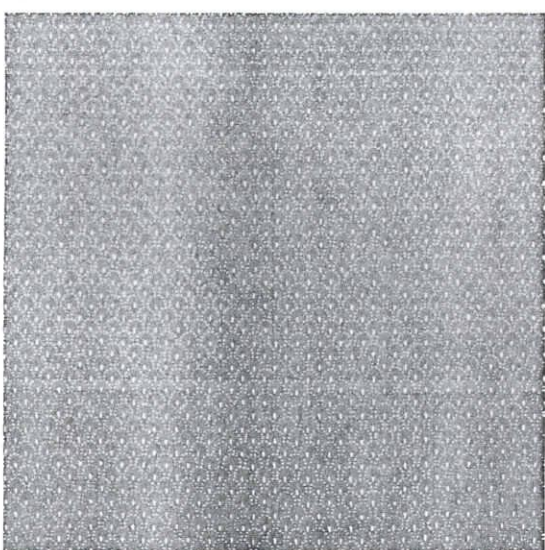
左の型紙を画像処理して得た特徴量



個数	330
面積の合計	36700
占有率(OCU)	14.0
平均(AVG)	112
標準偏差(STD)	68.4
SRE	0.05
LER	2680
RLN	1140
RPT	0.039
RLE	3.01
フラクタル次元(FRD)	1.43



個数	149
面積の合計	58600
占有率(OCU)	22.4
平均(AVG)	436
標準偏差(STD)	357
SEL	0.03
LER	3824
RLN	132
RPT	0.027
RLE	4.62
フラクタル次元(FRD)	1.52



個数	1832
面積の合計	36550
占有率(OCU)	13.9
平均(AVG)	19.8
標準偏差(STD)	11.3
SEL	0.07
LER	585
RLN	1720
RPT	0.077
RLE	3.39
フラクタル次元(FRD)	1.56

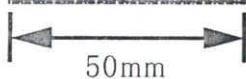


図 3.7 画像処理による解析結果の例

3.4.3 レイヤー1についての重回帰分析結果

レイヤー1について、目視評価と画像処理によって得た特徴量とで重回帰分析を行った結果を、式(3.18)に示す。

$$\begin{aligned} \text{Layer1 Level} = & -0.0011 \cdot \text{STD} + 0.21 \cdot \text{OCU} - 4.2 \cdot \text{SRE} + 0.50 \cdot \text{RLE} \\ & + 4.2 \cdot \text{FRD} - 4.2 \end{aligned} \quad (3.18)$$

ここで、 STD : 標準偏差(面積統計)
 OCU : 占有率(面積統計)
 SRE : 0度方向 short runs emphasis
 RLE : 0度方向 run length entropy
 FRD : フラクタル次元

である。

式(3.18)における重相関係数は0.94であり、高い値を示している。これは、目視評価におけるレイヤーのレベルと、画像処理から得られた特徴量をもとに式(3.18)で計算した値との相関が高いということで、解析が良好であることを表している。目視評価と重回帰分析による計算結果を比べた結果を図3.8に示す。図に示されるように、目視評価と計算結果が直線に乗っている。表3.1に重回帰式(3.18)の偏相関係数を示す。偏相関係数が大きいものほど重回帰式で大きな影響がある。表3.1に示すように、式(3.18)では、面積統計の占有率の偏相関係数が大きい。これは、文様の中に占める「物体」の面積が大きいほど

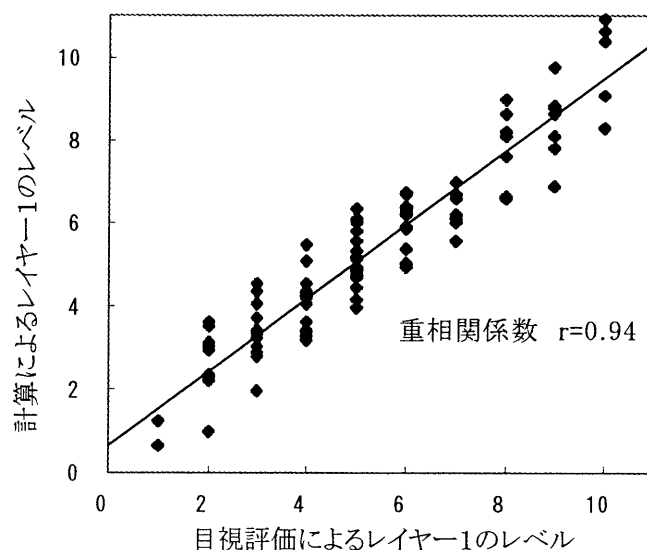


図3.8 レイヤー1について目視評価と計算結果の比較

表 3.1 重回帰式(3.18)の偏相関係数

変数名	偏相関係数
OCU	0.65
FRD	0.44
RLE	0.29
SRE	-0.24
STD	-0.24

偏相関係数の絶対値の大きいものから列挙。

偏相関係数が大きいものほど重回帰式の中で大きな影響がある。

レイヤー1のレベルが上がることを示しており、レイヤー1が明暗を表すレイヤーであることを考えると、妥当な結果となっている。

重回帰式(3.18)から求めた計算結果で、レイヤー1レベルの値が小さい方から順に並べたものを図3.9に示す。図3.9ではレイヤー1のレベルが0.65～10.34までの型紙を並べた。図に示すように、レベルが1.0程度違っただけでは、見た目にはあまり変わらないが、値が小さいものから大きいものまでを一覧すると、レイヤー1：明暗（明暗やコントラストを捉えたもの）で良く分類されていることが分かる。

以上のように、レイヤー1について重回帰分析結果は妥当であると考えられる。

3.4.4 レイヤー1についての類似検索結果

レイヤー1で、レベル4.0に近いものを図3.10(a)、レベル8.0に近いものを図3.10(b)に示す。レイヤー1のレベル4.0は暗い感じ、同じくレベル8.0は明るい感じがする。図に示すように検索結果は妥当であると言える。

3.4.5 レイヤー2についての重回帰分析結果

レイヤー2について、目視評価と画像処理によって得た特徴量とで重回帰分析を行った結果を、式(3.19)に示す。

$$\begin{aligned}
 \text{Layer2 Level} = & -0.0022 \cdot \text{AVG} + 0.0079 \cdot \text{STD} - 0.27 \cdot \text{OCU} - 42 \cdot \text{SRE} \\
 & - 0.0020 \cdot \text{RLN} + 190 \cdot \text{RPT} - 2.4 \cdot \text{RLE9} - 0.00007 \cdot \text{LRE9} \\
 & - 11 \cdot \text{FRD} + 30
 \end{aligned} \tag{3.19}$$

ここで、AVG： 平均(面積統計)

STD： 標準偏差(面積統計)

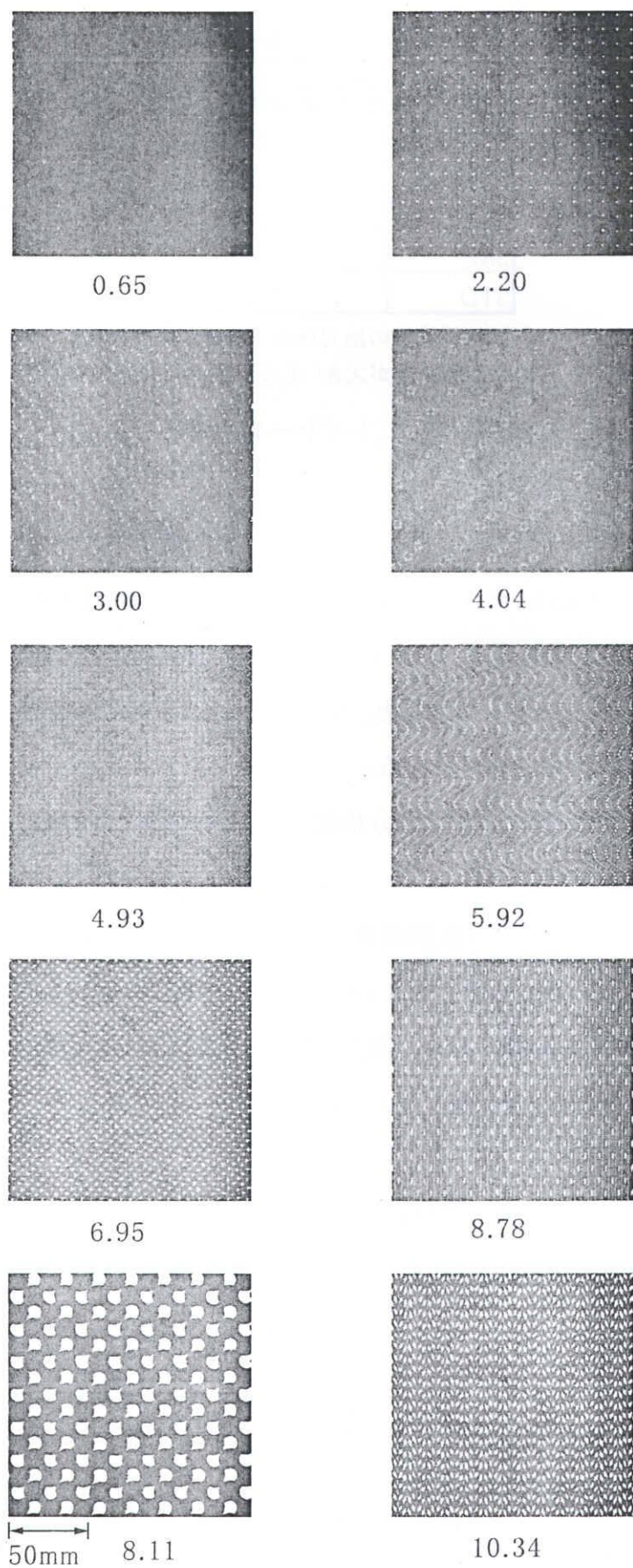
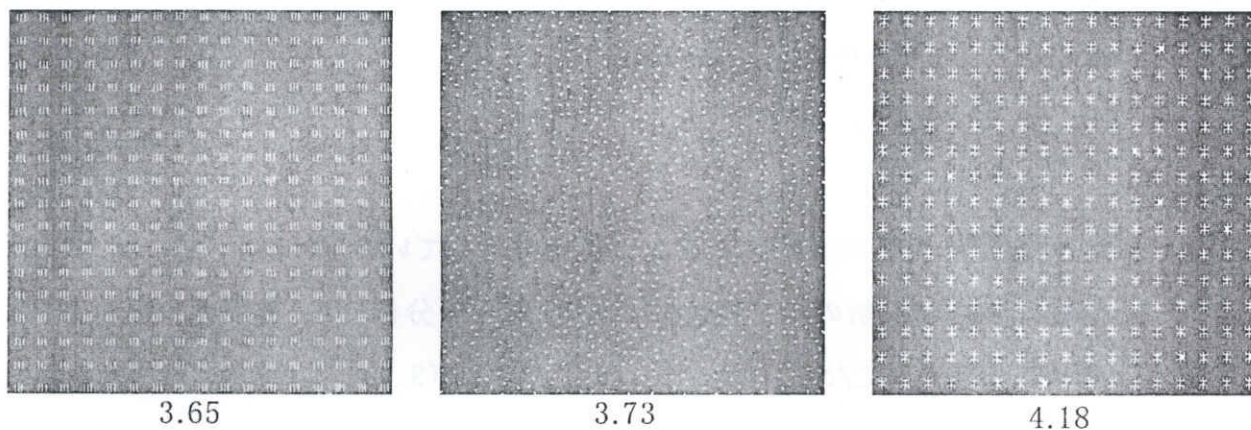


図 3.9 レイヤー1の計算結果

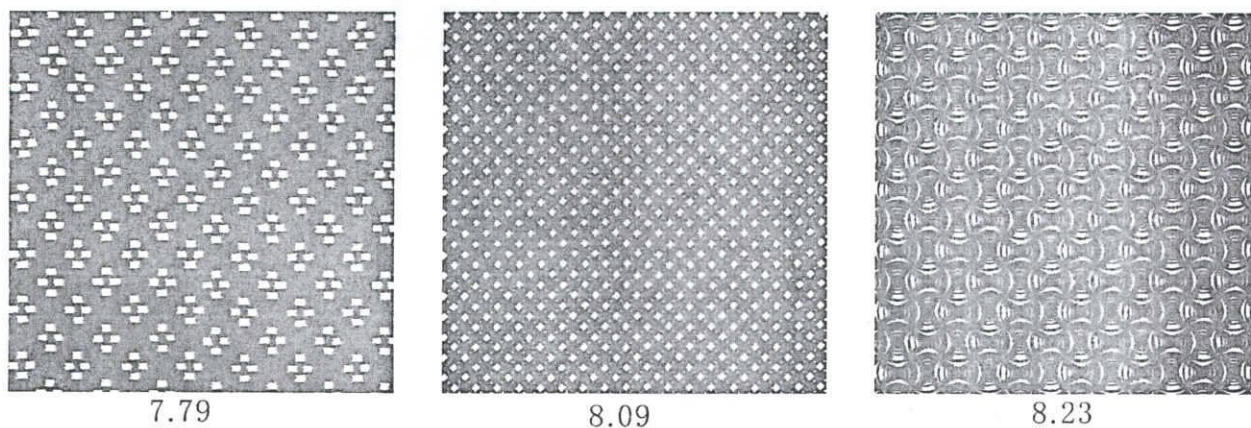
型紙の下の数値は重回帰式(3.18)で求めたレイヤーレベル。

レイヤー1は明暗を表す。レイヤーのレベルが小さいものから大きいものへと「明るく」なっている。



(a)レイヤー1でレベル4.0に近いもの

型紙の下の数値は計算で求めたレベルの値。
レイヤー1は明暗を表している。レイヤー1のレベル4.0は「暗い」感じがする。
同じような「明るさ」のものが検索できた。



(b)レイヤー1でレベル8.0に近いもの

レイヤー1のレベル8.0は「明るい」感じがする。
上段(a)の文様に比べて「明るい」感じがする。

図 3.10 レイヤー1の検索実験結果

OCU: 占有率(面積統計)
 SRE: 0度方向 short runs emphasis
 RLN: 0度方向 run length nonuniformity
 RPT: 0度方向 run percent
 RLE: 0度方向 run length entropy
 LRE9: 90度方向 long runs emphasis
 FRD: フラクタル次元

である。

式(3.19)における重相関係数は0.85であり、高い値を示している。レイヤー2についてもレイヤー1と同様に重回帰分析の結果は良好である。重回帰分析では、観測値と関係のない変数は回帰式には現れてこない。従って、式(3.18)と式(3.19)では使用される変数が違ってくる。

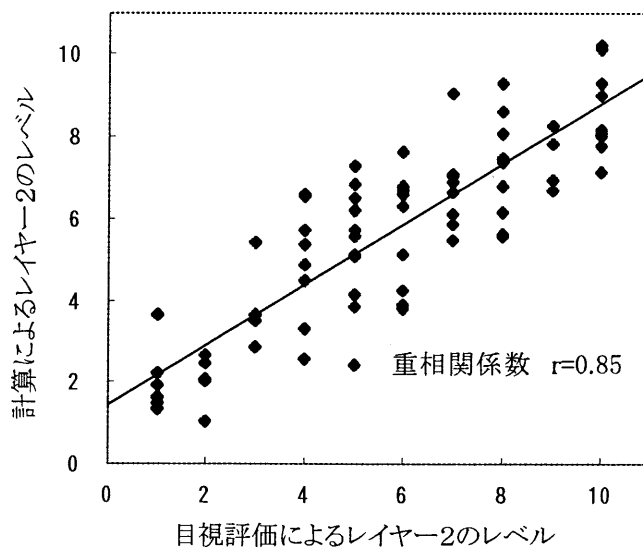


図 3.11 レイヤー2について目視評価と計算結果の比較

表 3.2 重回帰式(3.19)の偏相関係数

変数名	偏相関係数	変数名	偏相関係数
SRE	-0.73	FRD	-0.50
OCU	-0.60	STD	-0.35
RPT	0.65	RLN	-0.29
RLE9	-0.56	AVG	-0.17
LRE9	-0.51		

レイヤー2について目視評価と重回帰分析による計算結果を比べた結果を図3.11に示す。図3.11に示されるように、目視評価と計算結果が直線に乗っている。表3.2に重回帰式(3.19)の偏相関係数を示す。偏相関係数が大きいものほど重回帰式で大きな影響がある。表3.2に示すように、式(3.19)では、SER、OCU、RPT、RLE9、LRE9、FRDの偏相関係数が大きい。特にランレングス行列から求められる特徴量が多く含まれることから、レイヤー2の肌理や密度的な感じは、文様に含まれる「物体」の大きさや混み具合に影響されていることが分かる。

重回帰式(3.19)から求めた計算結果で、レイヤー2のレベルの値が小さい方から順に並べたものを図3.12に示す。図3.12ではレイヤー2のレベルが1.18～9.83までの型紙を並べた。こちらもレイヤー1と同様にレイヤー2：テクスチャー（肌理（きめ）や疎密など全体的な感じを捉えたもの）で良く分類されていることが分かる。

以上のように、レイヤー2についても重回帰分析結果は妥当であると考えられる。

3.4.6 レイヤー2についての類似検索結果

レイヤー2でレベル4.0に近いものを図3.13(a)、レベル8.0に近いものを図3.13(b)に示す。レイヤー2でレベル4.0は粗い感じ、レベル8.0はきめ細かい感じがする。今回の実験に使用した試料はの数が100点と少ないために、4.0などの値にちょうどあうものがなかった。試料を多く収集してゆけば、より満足のいく検索ができるものと考えられる。

レイヤー1、2についての類似検索は良好な結果を得た。

3.5 まとめ

レイヤー1：明暗（明暗やコントラストを捉えたもの）とレイヤー2：テクスチャー（肌理（きめ）や疎密など全体的な感じを捉えたもの）を、画像処理の手法である面積統計量、ランレングス量、フラクタル次元から求めることができた。

これらの量は、いずれもコンピュータを利用して機械的に算出できるものであり、個人差や、気分などの状態に左右されない。また、機械的にできるので、多くの型紙を分類するのに役立つ。型紙の検索は、画像処理によって得られた数値によって行うことができた。分類や検索結果は感性とよく合うものであった。

本研究によって、レイヤー1、2について、分類と検索方法を確立することができた。

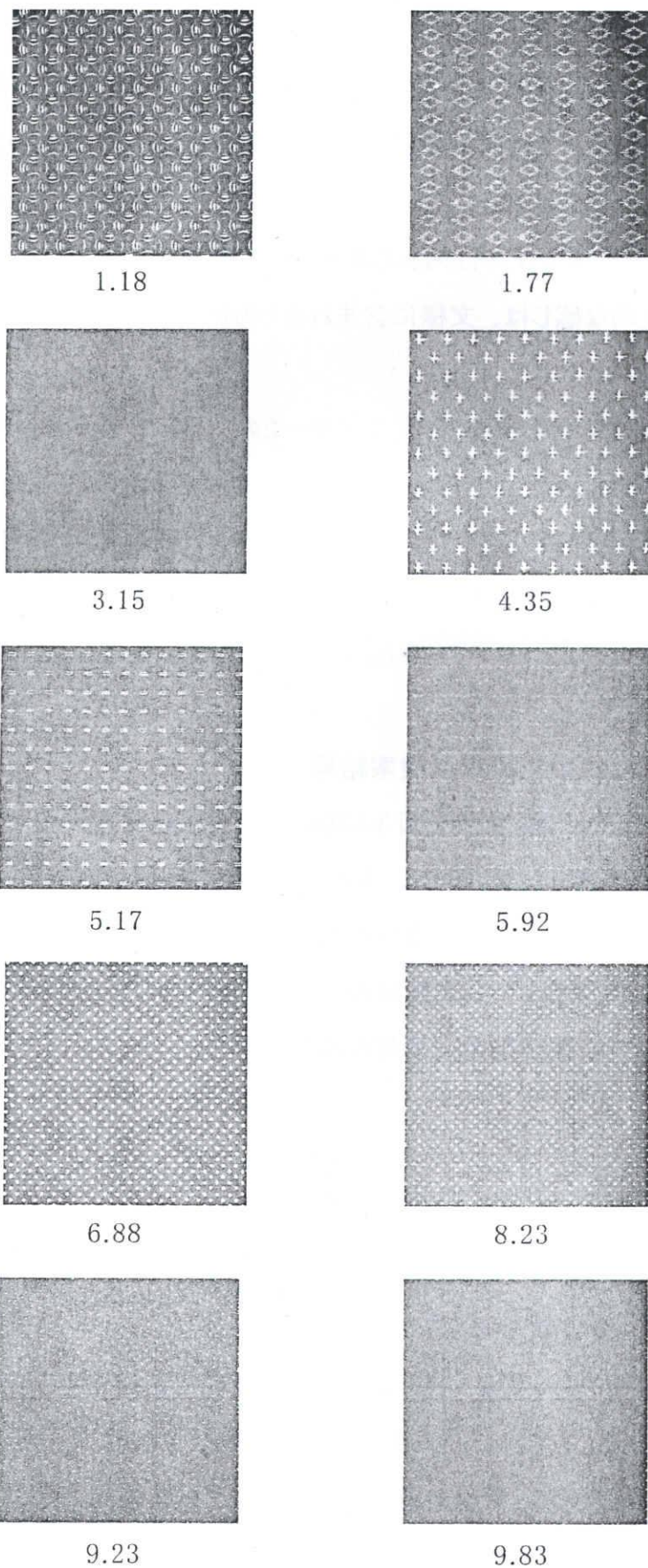
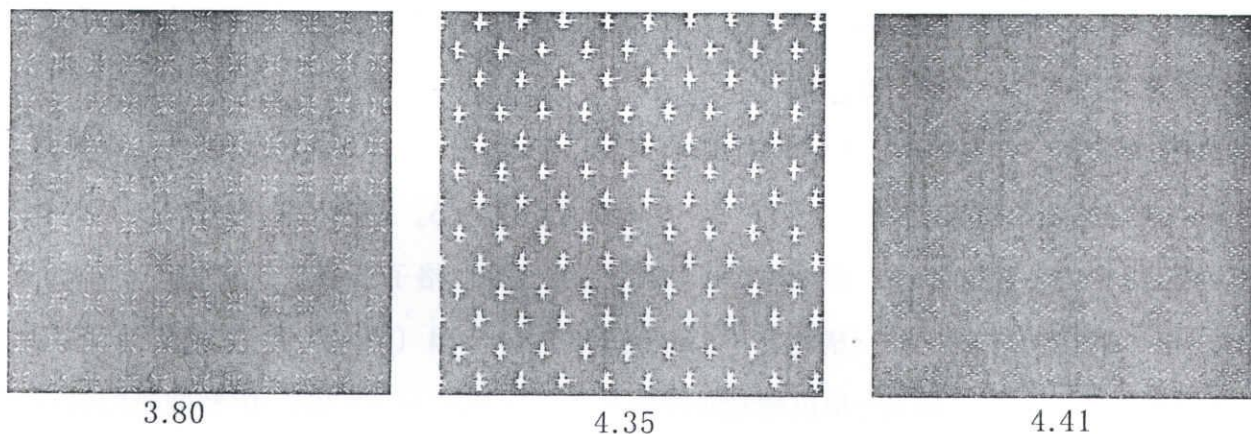


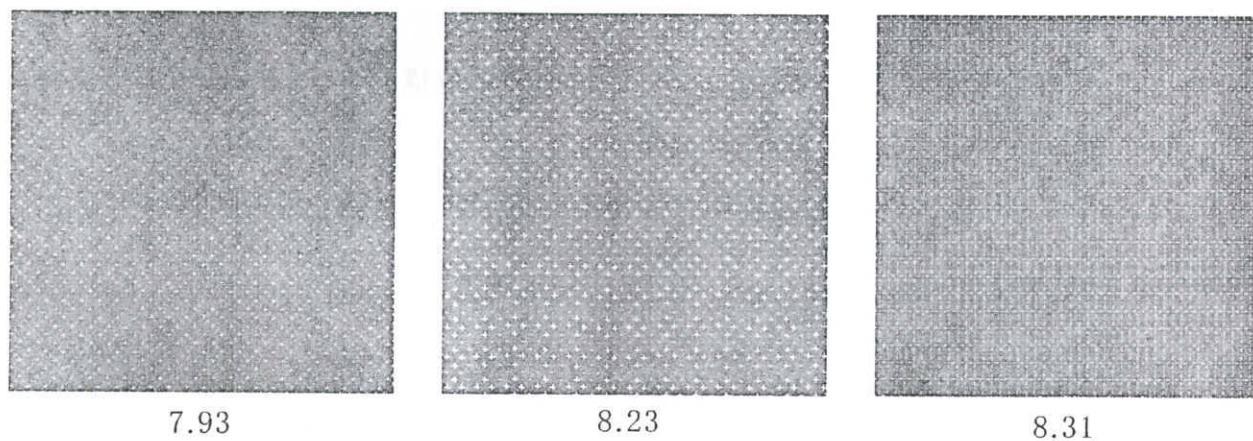
図 3.12 レイヤー2の計算結果

型紙の下の数値は重回帰式(3.19)で求めたレイヤーレベル。

レイヤー2はきめを表す。レイヤーのレベルが小さいものから大きいものへと「きめ細かく」なっている。



(a)レイヤー2でレベル 4.0 に近いもの
 型紙の下の数値は計算で求めたレベルの値.
 レイヤー2は肌理を表している. レイヤー2のレベル 4.0 は「きめが粗い」感じがする.
 同じような「肌理」のものが検索できた.



(b)レイヤー2でレベル 8.0 に近いもの

レイヤー2のレベル 8.0 は「きめ細かい」感じがする.
 上段(a)の文様に比べ「肌理細かい」感じがする.

図 3.13 レイヤー2の検索実験結果

第4章 構造、ディテールレイヤーの分類と検索

4.1 レイヤーの分類方法と検索方法

第2章で、伊勢型紙を分類し、感性データベースを構築するために、「レイヤー」という概念を提案し、第3章では、レイヤー1、2に関して、画像処理の統計的解析を用いた分類・検索方法について論じた。

伊勢型紙には、いろいろな種類の紋様があるが、本研究では、小柄な紋様で、周期性を持っているものを対象として、データベースの構築を試みる。文様の最小繰り返し単位を単位構造といい、単位構造が置かれている場所を格子点、格子点の並び方を格子構造という。格子構造がレイヤー3（構造）、単位構造がレイヤー4（ディテール）に相当する。固体物理学では、格子構造と単位構造を合わせて平面構造という[36]。伊勢型紙の紋様を1つずつ丁寧に観察すれば、正しい平面構造、すなわち、格子構造と単位構造を求めることができる。しかし、長橋らが指摘するように、不慣れた観察者や、平面構造をよく理解していない者にとっては、構造を捕らえにくい紋様も多い。その上、本研究では、所蔵する数万点にも及ぶ伊勢型紙を分類・整理しなければならない。このため、1つ1つの紋様について、丁寧に観察することは難しい。格子構造や単位構造をコンピュータの支援を得てなるべく簡単に抽出する方法が必要である。

本章では、レイヤー3、4を、画像処理の構造的解析手法を用いて分類と検索を行う方法を検討する[37]。

4.2 画像処理の構造的解析について

4.2.1 伊勢型紙の格子構造と単位構造

伊勢型紙の格子構造と単位構造の例を図4.1に示す。格子構造は2つの基本並進ベクトルと、そのなす角度で決定される[36]。基本並進ベクトルの意味を図4.2に示す。格子構造については、固体物理学によって研究されており、格子の中に対称軸が幾つあるかを基準に、5つの格子類型があることが明らかにされている。それらは、斜交格子、六方格子、面心長方形格子、長方形格子および正方形格子に分類されている。固体物理でこれらの分類は重要な意味をもつ。

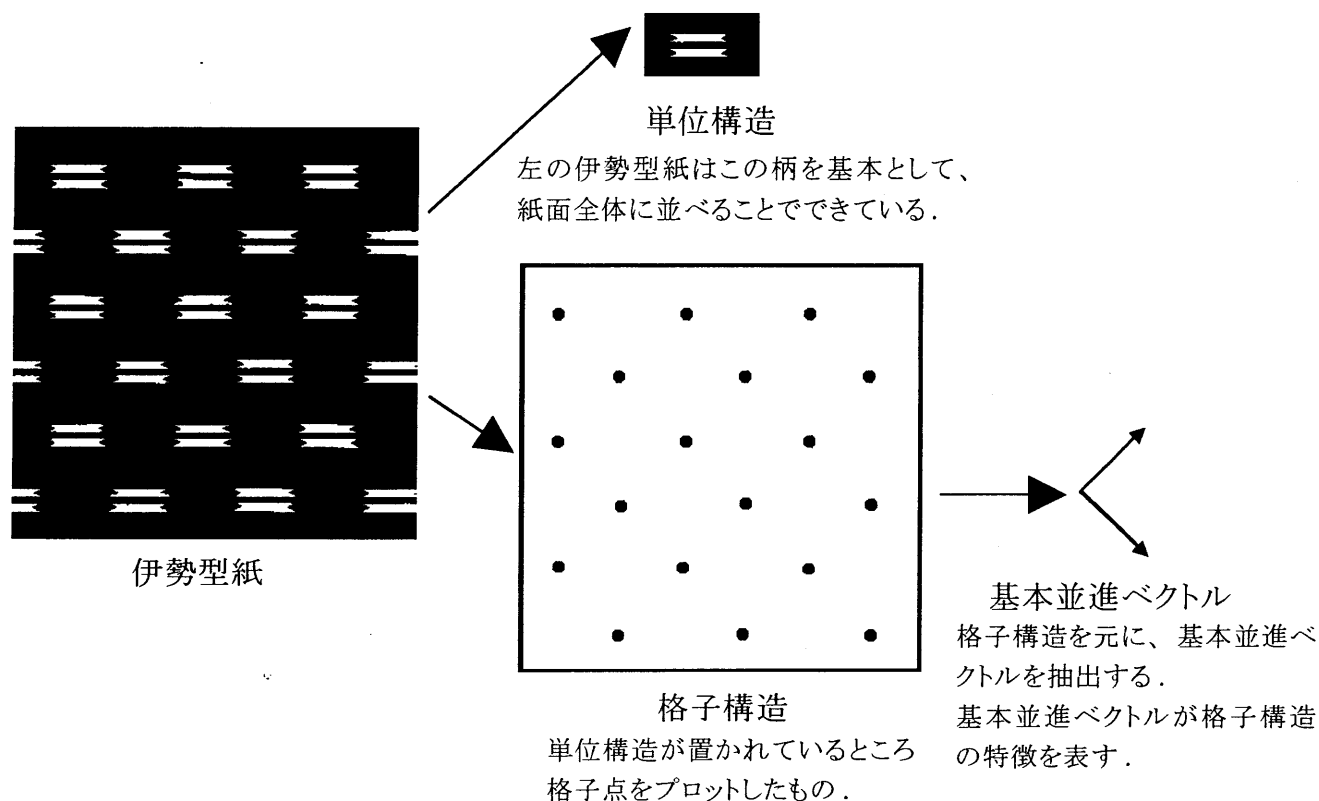


図 4.1 伊勢型紙とその単位構造、格子構造

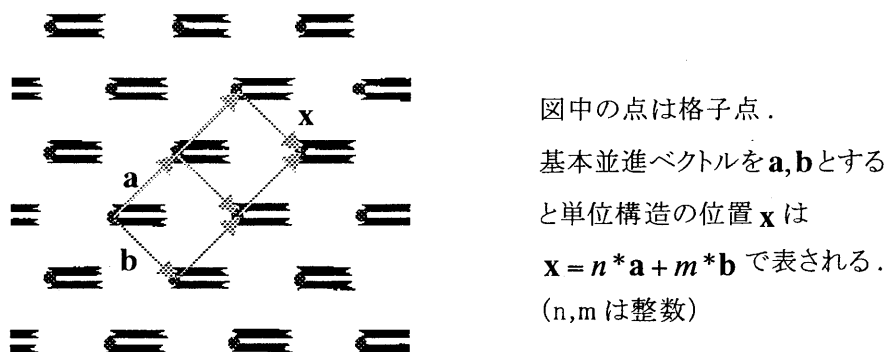


図 4.2 基本並進ベクトルの意味

しかし、本研究のように感性データベースでは、人の感性がそれほど厳密でないことから、基本並進ベクトルのなす角度や、大きさのわずかな違いはあまり問題にならない。また、伊勢型紙は手彫りであるため格子点には微妙なずれがある。そこで、微妙なずれを無視して、画像全体にわたる平均的な格子点や単位構造を求める必要がある。

4.2.2 自己相関関数処理

伊勢型紙のような繰り返し画像の構造を評価し、格子構造や単位構造を抽出するとき、

フーリエ変換を行い、パワースペクトルを求め特徴を抽出する方法がよく用いられる[38][39]。フーリエ変換は、周期などを求める代表的な手法である。伊勢型紙をフーリエ変換した例を図4.3に示す。図4.3(b)は、4.3(a)の原画像をフーリエ変換してパワースペクトル

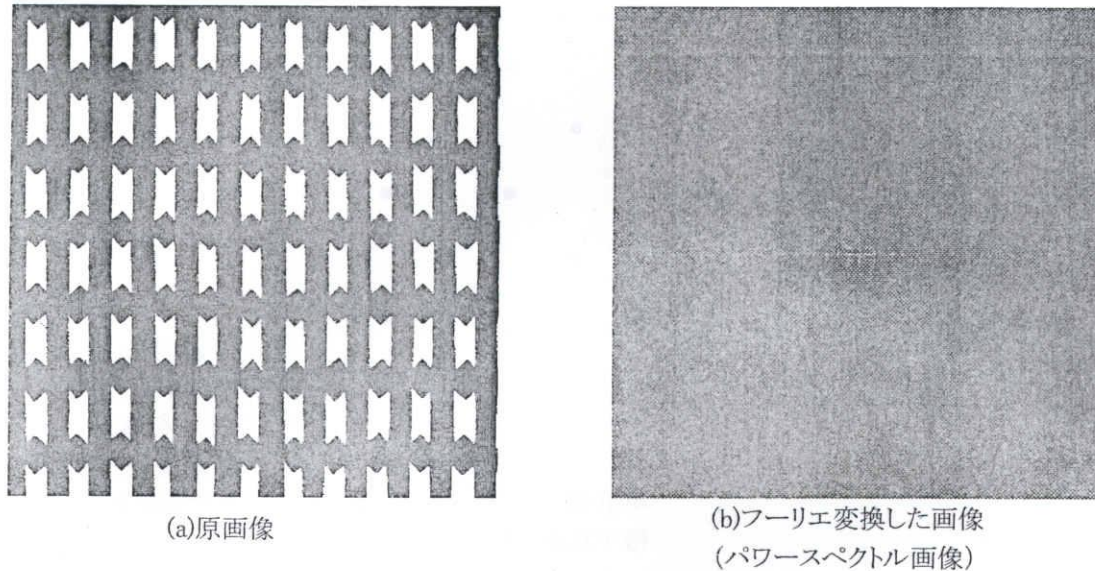


図4.3 伊勢型紙をフーリエ変換した画像

を求めたものである。図4.3に示すようにフーリエ変換は、原画像を変換してもう一枚の画像を作る処理方法であるため、処理によって作られた画像から何らかの情報を読みとらねばならない。フーリエ変換で求められるパワースペクトルの位置は波数であり、周期や格子を求めるには、その逆数を計算しなければならない。また、今回用いる伊勢型紙のような2値画像は、矩形波のような立ち上がりがあり、基本周波数に倍音が重なって、輝点が幾つも現れる。このため、格子構造や単位構造を求めることが難しい。さらに、直感的に格子構造や単位構造が分からないことも問題である。

フーリエ変換と同様の画像変換に、自己相関関数処理がある。自己相関関数処理は、データのノイズを取り除くことや、繰り返し周期を求めるために利用されてきた[40][41]。

2次元の関数 $f(x, y)$ が与えられているとき、自己相関関数は次の式(4.1)で計算される。

$$g(u, v) = \frac{1}{A} \iint f(x, y) f(x-u, y-v) dx dy \quad (4.1)$$

ここで、 $A = g(0, 0)$ である。

自己相関関数処理のイメージを図4.4に示す。自己相関関数処理は、同じ画像を (u, v) だ

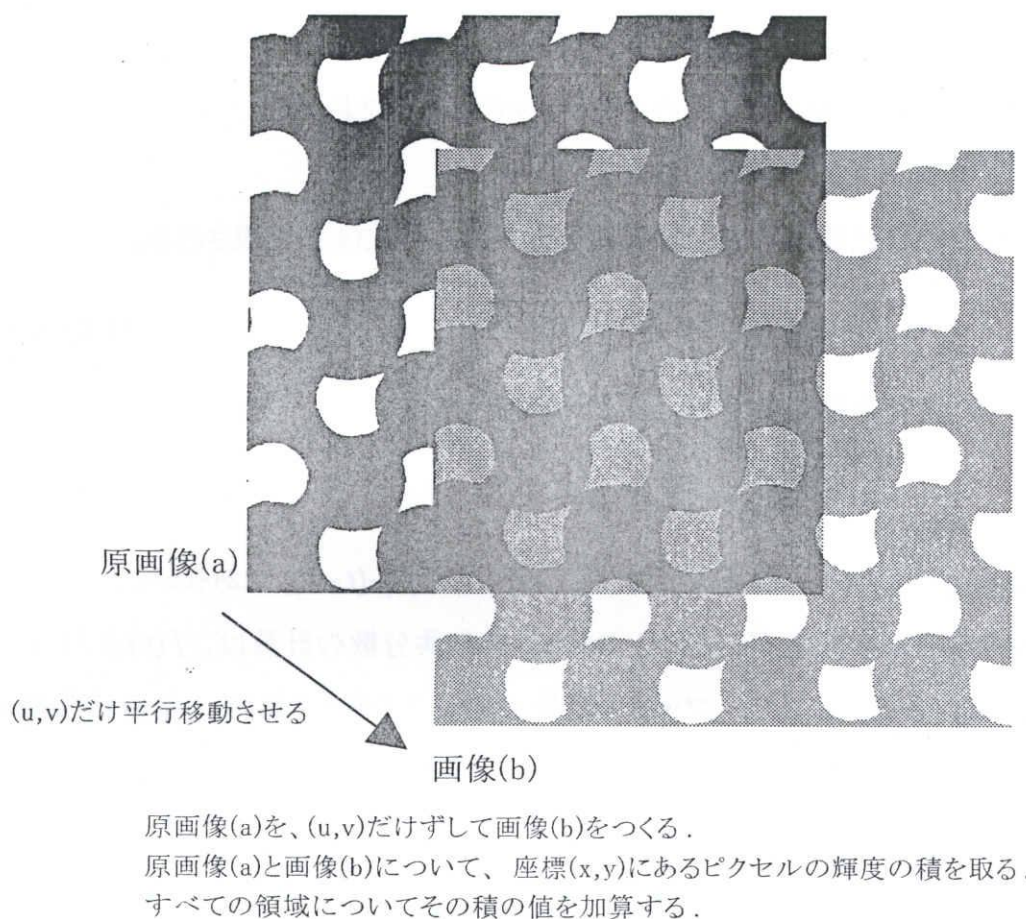


図 4.4 自己相関関数処理のイメージ

けずらしてすべての画素の乗算を行い、その後総和を求めるという計算である。式(4.1)と図 4.4 から分かるように、繰り返し紋様において、 n 周期ずれたときに輝点が生ずる。自己相関関数処理をした画像の輝点の座標は波長を表している。輝点が波長を表していることから、自己相関関数処理した画像から、格子点を求め、格子構造を抽出することができる。さらに、格子点で囲まれた部分を切り出せば、自己相関関数処理された単位構造を抽出できる。

自己相関関数は、その計算過程で、全画面の領域について積分を行っている。このため、手彫りによる微妙なゆらぎや、スキャナーに起因するノイズを無くすることができる。しかも、倍音などの余分な情報がないことから、自己相関関数は格子構造と単位構造を求めるのには非常に都合がよいと考えられる。

自己相関関数の計算式(4.1)が示すように、これをそのまま計算すれば非常に計算コストがかかる。しかし、自己相関関数はフーリエ変換とウィナー・ヒンチンの定理でつながって

いる[42]。

ウィナー・ヒンチンの定理とは、次のようなものである。なお、ここでは、記述を簡単にするために、1次元の数式で説明する。

標準化していない自己相関特徴を自己共分散といい、式(4.2)で表される。

$$g(t) = \int f(\tau) f(\tau - t) d\tau \quad (4.2)$$

一方、よく知られた畳み込み演算は、式(4.3)で表される。

$$f_1(t) \otimes f_2(t) = \int f_1(\tau) f_2(t - \tau) d\tau \quad (4.3)$$

式(4.3)の $f_1(\tau) = f(\tau)$, $f_2(\tau) = f(-\tau)$ とすれば、 $f(\tau - t) = f(-(t - \tau))$ であるから、式(4.2)と式(4.3)は同じものであることが分かる。つまり、自己共分散の計算は、 $f(\tau)$ と $f(-(t - \tau))$ の畳み込み演算である。ここで、フーリエ変換の演算子を F とすれば、畳み込み演算のフーリエ変換は、式(4.4)のように、それぞれの関数のフーリエ演算の積となることが知られている。

$$F(f_1(x) \otimes f_2(x)) = F(f_1(x)) F(f_2(x)) \quad (4.4)$$

これらのことを、式(4.2)に当てはめると、式(4.2)は次式のように表現することができる。

$$F(g(t)) = F(f(t) \otimes f(-t)) = F(f(t)) F(f(-t)) \quad (4.5)$$

なお、 $f(t)$ が実関数であるとき、 $F(f(-t)) = F^*(f(t))$ が成り立つ(* は共役複素数)。 $X(\omega) = F(f(t))$ と表現すれば、 $X(-\omega) = X^*(\omega)$ 、 $X(\omega) X^*(\omega) = |X(\omega)|^2$ であり、式(4.5)は式(4.6)のようになる。

$$F(f(t)) F(f(-t)) = F(f(t)) F^*(f(t)) = X(\omega) X^*(\omega) = |X(\omega)|^2 \quad (4.6)$$

式(4.6)は、元の関数 $f(t)$ のパワースペクトルを表している。この関係を用いて式(4.5)の逆変換を式(4.7)のように求めれば、式(4.2)は次のように求めることができる。

$$g(t) = \int f(\tau) f(\tau - t) d\tau = F^{-1}(|X(\omega)|^2) \quad (4.7)$$

これがウィナー・ヒンチンの定理である。

この後、 $g(0)$ の値で正規化すれば自己相関関数が求められる。フーリエ変換には良く知られたFFTを使うことができ、従って簡単に自己相関関数の計算を行うことができる。

4.2.3 格子構造の分類と検索

本研究では、伊勢型紙をスキャナーで読み込み画像データとして保存する。画像データは拡大、縮小が容易であるから、格子構造の大きさを自由に変えることができる。このことから、本研究では、2つの基本並進ベクトルの大きさの比を s 、なす角度を θ とし、これを格子構造のデータとした。この (s, θ) をX軸、Y軸の座標として空間を作る。本研究ではこの空間を格子構造の空間と呼び、伊勢型紙の画像データをこの格子構造の空間に配置することで分類を行う。本研究で用いた格子構造の分類方法と検索方法を図4.5に示す。

格子構造の分類に当たっては、次の処理を行う。

1)伊勢型紙の画像を自己相関関数処理する。

自己相関関数処理は前節で説明したように、伊勢型紙の画像をフーリエ変換しパワースペクトル画像を作成し、その画像を逆フーリエ変換することで行う。

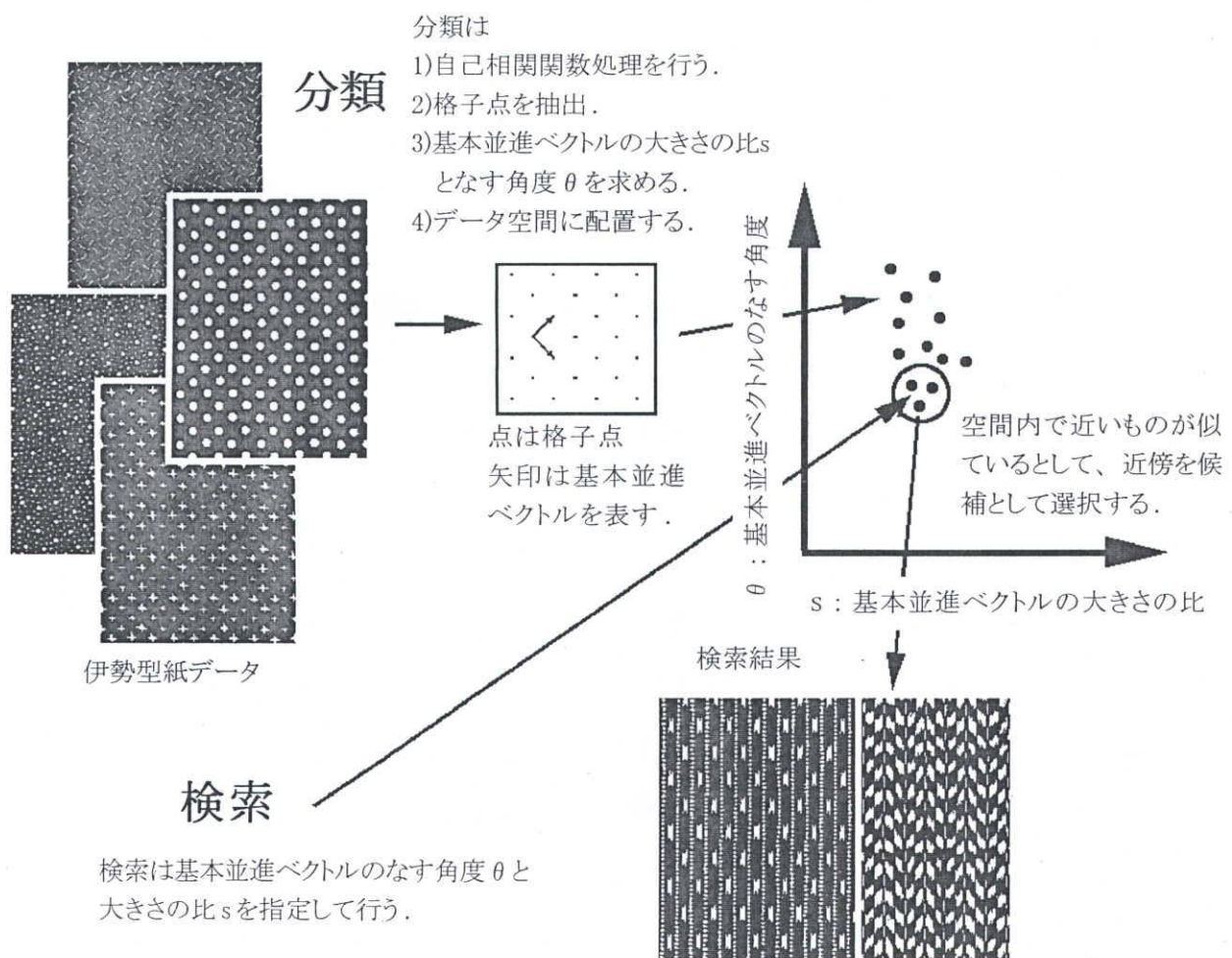


図4.5 格子構造の分類と検索

- 2)(1)で作成した画像から格子点を求める。
- 3)格子点から、格子構造の基本並進ベクトルを求め、そのベクトルのなす角度 θ と大きさの比 s を計算する。
- 4)基本並進ベクトルの大きさの比 s となす角度 θ を、画像データに付加して保存する。
- 5)データを格子構造の空間に配置する。

格子構造の空間で近い距離にあるもの同士は、基本並進ベクトルの大きさの比と、そのなす角度が同じようなものである。すなわち、格子構造が似ていると言うことができる。このことを利用して、格子構造の検索を行う。具体的には次の処理を行う。

- 1)基本並進ベクトルの大きさの比となす角度を指定する。
- 2)格子構造の空間内で、指定した座標の近傍にあるデータを選択する。
- 3)選択したデータの元になった画像を提示する。

4.2.4 単位構造の分類と検索

本研究で扱う伊勢型紙の紋様には周期性があり、その最小の繰り返し単位を本論文では単位構造と言う。1つの紋様からは色々な形の単位構造を切り取ることができる。また、伊勢型紙は手彫りであるため、単位構造の大きさと位置が微妙にゆらいている。伊勢型紙の紋様から単位構造を切り出すときにはこれらの点に配慮し、簡単な方法で平均的なものを取り出すことができる必要がある。

本研究で用いた単位構造の分類方法と検索方法を、図4.6に示す。分類は画像データから単位構造を取り出し集積することで行う。具体的には次の処理を行う。

- 1)前節と同様に伊勢型紙の画像を自己相関関数処理し格子点を求める。
- 2)格子点から、格子構造の基本並進ベクトルを求める。
- 3)自己相関関数処理した画像の原点を中心にして、基本並進ベクトルが作る四辺形で画像を切り取り単位構造データとする。
- 4)この単位構造データを、拡大または縮小して100*100ピクセルの大きさにして保存する。

本研究では、単位構造そのものではなく、自己相関関数処理した画像から求めた単位構造を蓄積する。

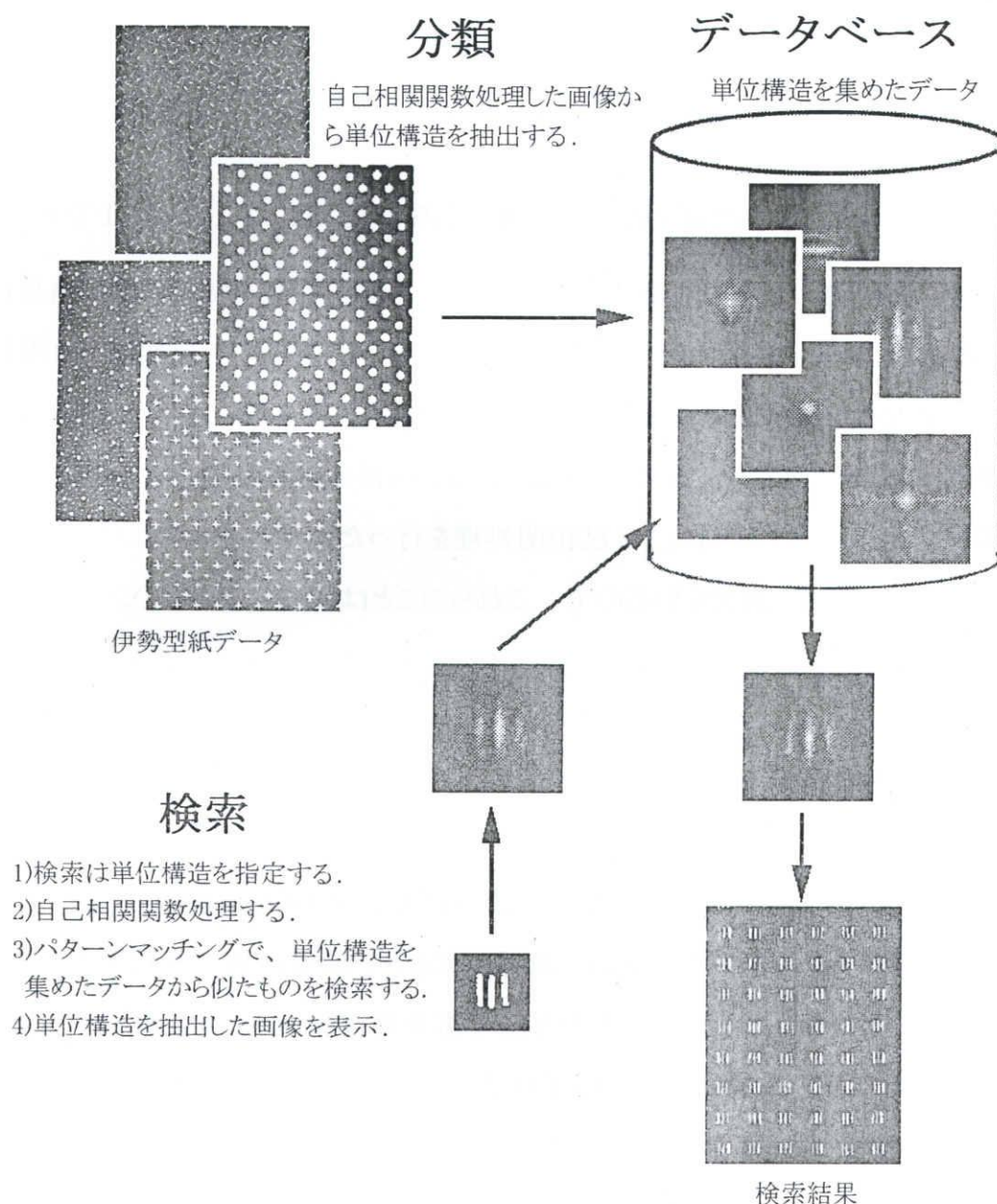


図 4.6 単位構造の分類と検索

次に単位構造の検索は、分類し蓄積した画像と、検索したい画像を自己相関関数処理した画像との類似検索をすることによって行う。画像同士の類似度を評価する方法としては幾つか提案されている[43]-[46]。代表的な手法としてパターンマッチングがある[43]。本研究でもこの方法を用いることにする。なおパターンマッチングとは次のような方法である。

いま、画像 F 、 G があるとする。この画像 F が X 方向に M 画素、 Y 方向に N 画素のサイズであるとき、ピクセルの要素 $f(x,y)$ を並べて、 $M \times N$ 次元のベクトル \mathbf{f} を作る。同様に、画像 G に対して \mathbf{g} を作る。画像の類似度 r を、式(4.8)のようにベクトルのなす角度の余弦

で定義する。

$$r = \cos(\theta) = \frac{(\mathbf{f}, \mathbf{g})}{\|\mathbf{f}\| \|\mathbf{g}\|} \quad (4.8)$$

ここで、 (\mathbf{f}, \mathbf{g}) はベクトル \mathbf{f} と \mathbf{g} の内積を表す。定義から類似度 r は、 $-1 \leq r \leq 1$ である。 \mathbf{f} と \mathbf{g} が同じ方向にあるとき、つまり、全体的に輝度だけが違う場合、 \mathbf{f} と \mathbf{g} のなす角度は 0 となり、類似度は 1 となる。また、 $\mathbf{f} = -\mathbf{g}$ であるような場合、 \mathbf{f} と \mathbf{g} のなす角度は 180 度となり、類似度は -1 となる。文字認識などにこのパターンマッチングを応用する場合は、雑音除去、画像内での文字の大きさ、傾きなどを揃えたり、内積の計算に重み付けを行う必要がある。本研究では、前述のように、自己相関処理を行った画像の中心部分から、単位構造を抽出し画像の大きさを揃えているので、これらのことは問題にならない。

4.3 実験方法

4.3.1 格子構造の分類

自己相関関数処理を利用して、伊勢型紙の格子構造を求めることができるかどうかを実験する。画像は、伊勢型紙を 200dpi の解像度で読み込み、ノイズを取り除いて2値化したものを用いる。画像の大きさは、処理面積、紋様の大きさ、計算にFFTを利用することを考慮し、 512×512 ピクセルとした。前述の方法で格子構造 (s, θ) を求める。

一方、伊勢型紙の紋様を目視観察し、格子構造を求める。画像処理を利用して求めた格子構造と、目視観察によって求めた格子構造を比較して、その2つが一致するかどうか検討する。

4.3.2 格子構造の検索

前述の格子構造の空間 (s, θ) の中で、任意に選んだデータとそのデータの近傍に配置されたデータを数点選ぶ。それぞれ、画像処理前の格子構造を比べて、任意に選んだデータの格子構造と近傍に配置されていたデータの格子構造が類似しているかどうか検討する。

4.3.3 単位構造の分類

自己相関関数処理を利用して、伊勢型紙の単位構造を求めることができるかどうか検討す

る。画像は格子構造の抽出実験で利用したものを用いる。画像を自己相関関数処理し、前述の方法で単位構造を抽出する。一方、目視観察により、伊勢型紙から単位構造を抽出する。この単位構造を自己相関関数処理し、先に求めた単位構造データと比較し、合致するかどうかを画像間の相関係数 r を求めて検討する。

4.3.4 単位構造の検索

単位構造を抽出して蓄積したデータの中から、任意に1つデータを選ぶ。パターンマッチングの手法を利用して、このデータと相関係数が高い単位構造のデータを数点選ぶ。これらの単位構造の元になった画像とを比較して、単位構造の類似検索が可能かどうかを検討する。

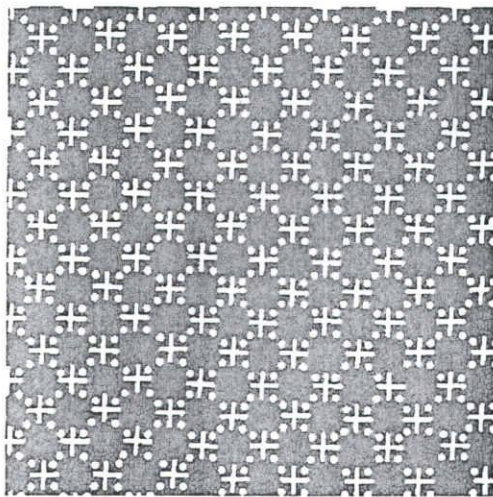
4.4 実験結果と考察

4.4.1 格子構造の分類結果

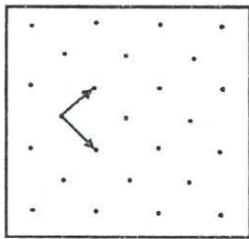
伊勢型紙とその自己相関関数処理をした画像、画像の格子構造と基本並進ベクトルの例を図4.7に示す。自己相関関数処理画像の周辺がぼやけているが、これは有限の大きさの画像をFFTで処理したことに起因する。図4.7(a)の伊勢型紙について、「※」印のように見えるものを単位構造、その中心を格子点として格子構造を求めた。また、格子構造から図のように基本並進ベクトルを求めた。図4.7(b)の自己相関関数処理画像には、いくつかの輝点が現れている。この輝点を格子点としてプロットする。同様にプロットした図から基本並進ベクトルを求めた。同図から分かるように、(a)(b)両者の格子点と基本並進ベクトルは良く一致している。

図4.8に判断が難しい格子構造の例を示す。図4.8の型紙は「風車」のような図形が単位構造である。平面構造をよく理解していない者は、図4.8(a)のような図形を単位構造と考え、この図から格子構造を求める。しかし、図4.8(a)を格子点に並べても、もとの図はできない。正しい単位構造は図4.8(b)であり、この図をもとに格子構造を求める必要がある。一方、原画像を自己相関関数した画像とこの図から求めた格子構造を図4.8(c)に示す。自己相関関数処理した画像からは容易に正しい格子構造を求めることができる。

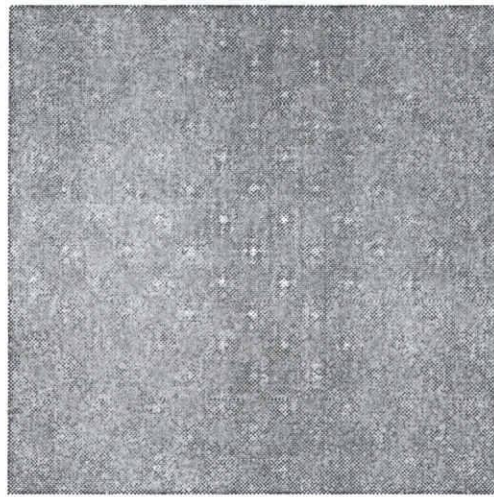
図4.9の伊勢型紙は、明確な単位構造を持っている。また、その配列も明確であるが、



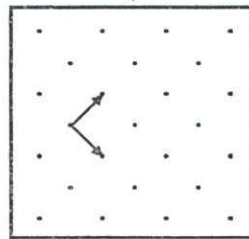
伊勢型紙



(a) 原画像から目視観察で求めた格子構造
※印のように見えるものを単位構造として、
中心点をプロットした。
矢印は、格子点から得た基本並進ベクトル。



自己相関関数処理画像



(b) 自己相関関数処理画像から求めた格子構造
図中の輝点をプロットした。
矢印は輝点から得た基本ベクトル。
(a)の格子点、基本並進ベクトルと一致している

図 4.7 原画像と自己相関関数処理後の画像

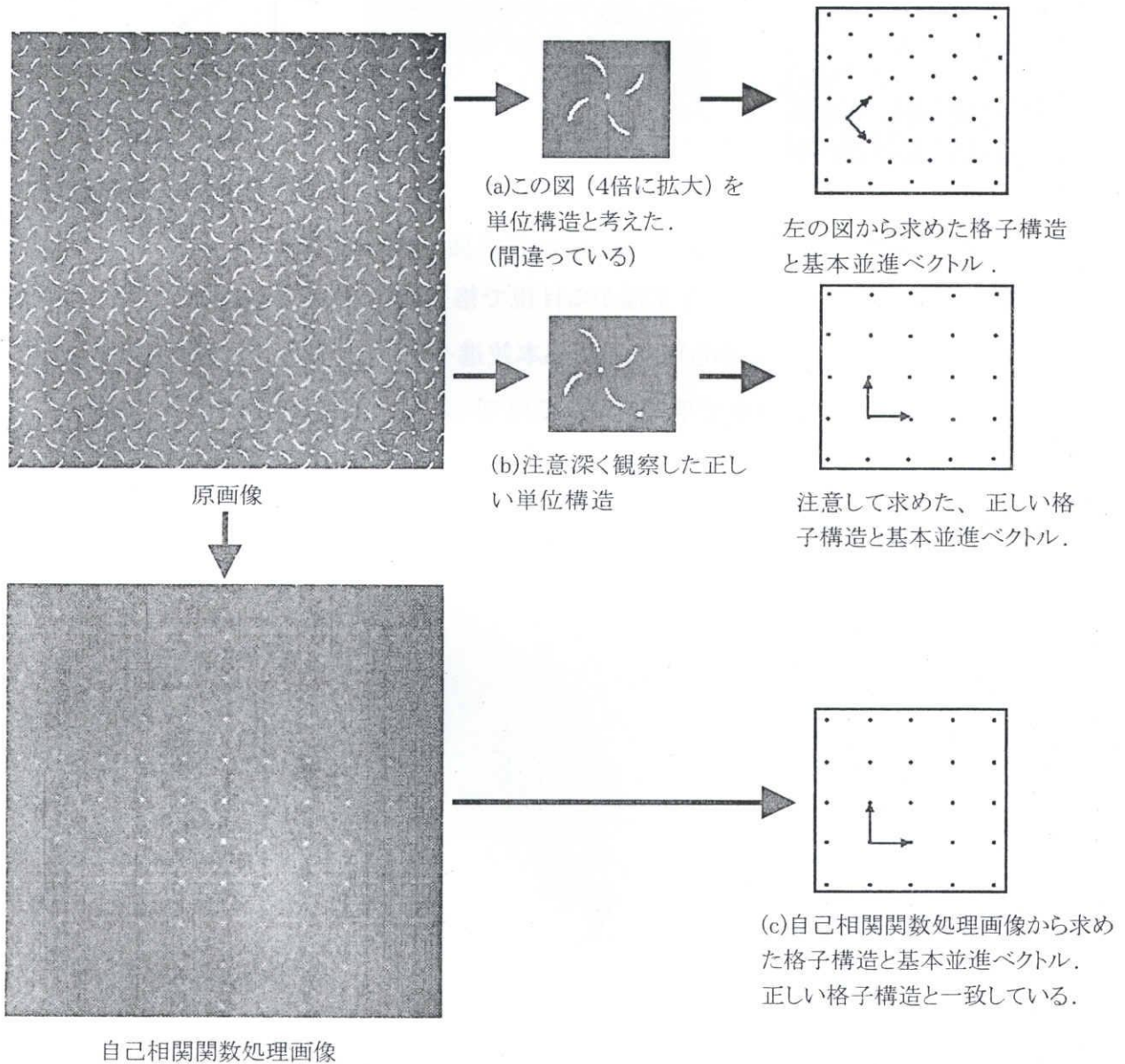


図 4.8 間違いやすい平面格子の例

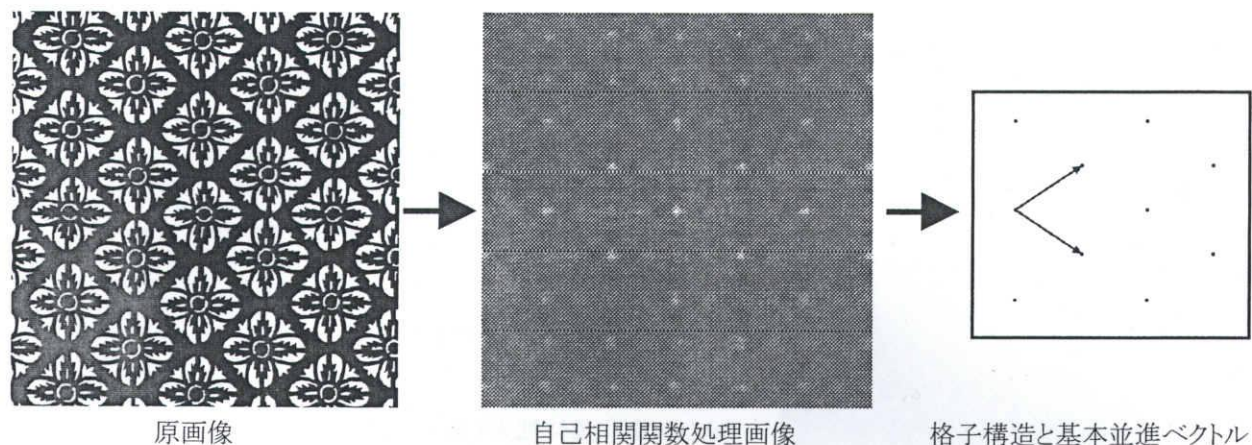


図 4.9 伊勢型紙、自己相関関数処理画像、格子構造の例 (1)

位置が微妙にずれている。このような文様から目視で格子構造を抽出する場合、すべての単位構造の中心を求め、それらから平均的な基本並進ベクトルを得なければならない。本手法では、画像処理の計算の中で平均を求める処理をしているので、このような手間を省くことができた。

図 4.10 は格子模様の伊勢型紙である。この格子は、小さな孔が集まってできているが、

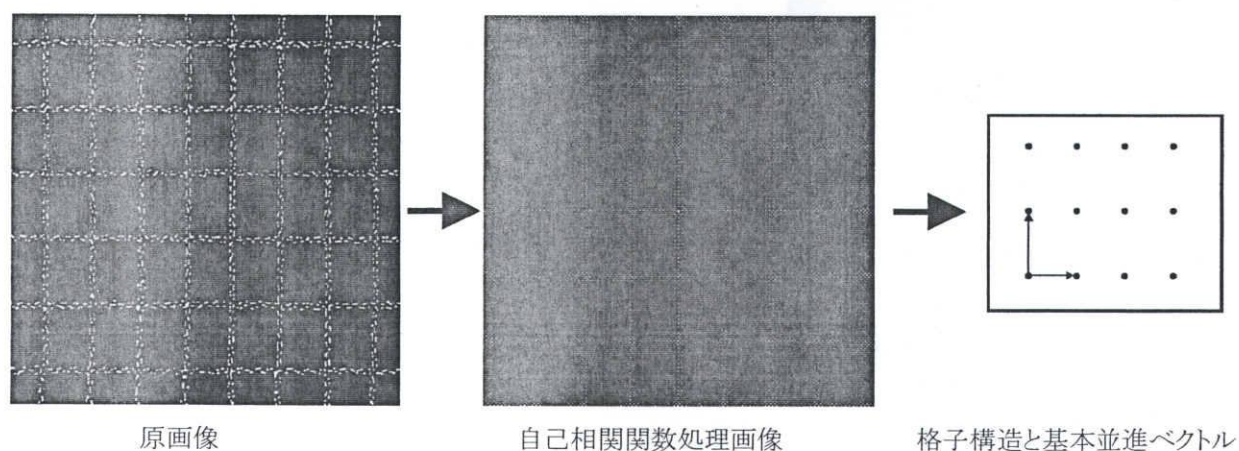


図 4.10 伊勢型紙、自己相関関数処理画像、格子構造の例 (2)

孔は周期的に並んでいるわけではない。したがって、厳密な意味での単位構造を持たない。このような文様の場合でも、本手法では目視観察と同じ格子点、格子構造を求めることができた。

以上により、目視で求めた格子構造と、自己相関関数処理画像から求めた格子構造は良い一致を示していると言える。

4.4.2 格子構造の検索結果

基本ベクトルの大きさの比と角度で作る格子構造の空間に、伊勢型紙から求めたデータの分布を図4.11に示す。今回用いた伊勢型紙は、基本並進ベクトルの大きさの比が1.0、

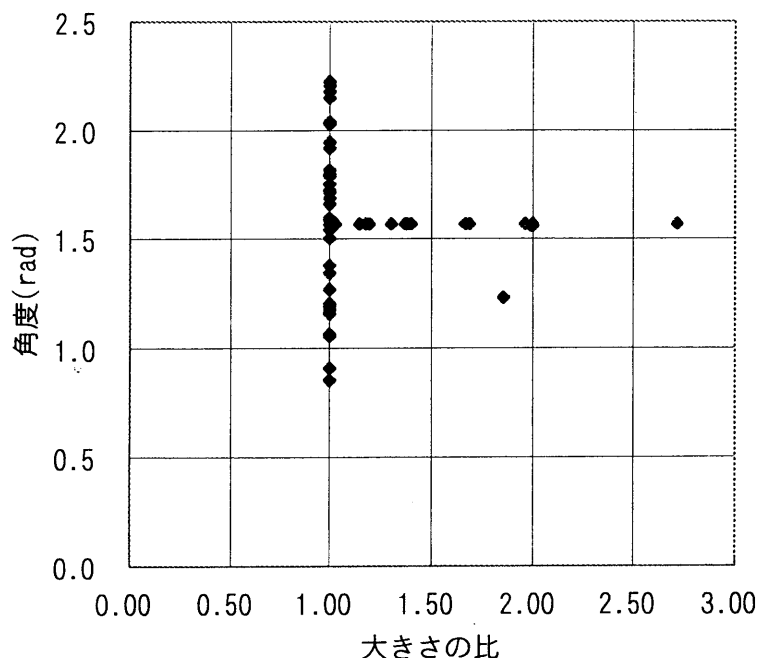
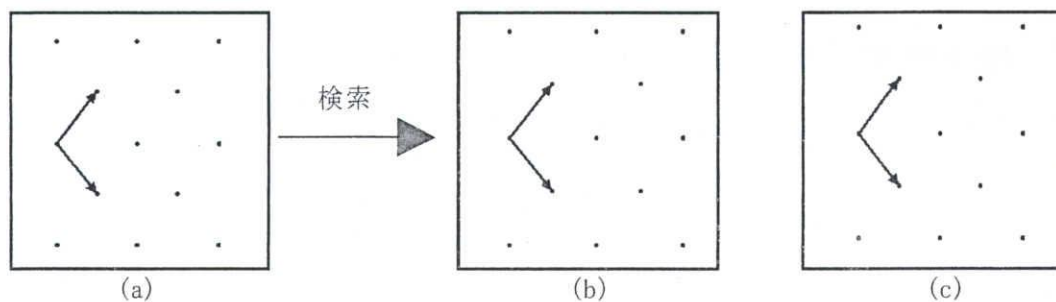


図 4.11 格子構造の空間内のデータの分布

なす角度が1.57rad (90度) のものが多かった。もともと、伊勢型紙は反物を染める際に使用する版下として作られている。このため、基本ベクトルのなす角度に90度が多いと考えられる。現代の洋服に用いられる織物の格子模様は、服を作った際にスマートに見せるために縦長に作られている。基本ベクトルの大きさの比が1ということは、格子が正方形をしているということであり、これは伊勢型紙の特徴であると言える。

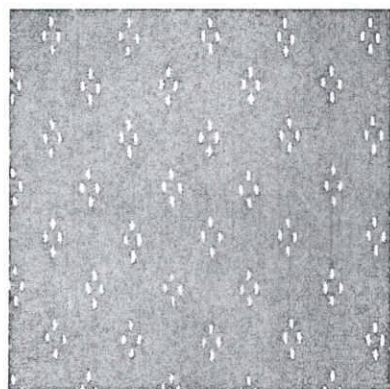
任意の格子構造を選び、それに近い格子構造の検索を行った結果、格子構造を求めた伊勢型紙を図4.12に示す。選んだ格子構造とほとんど同じ格子構造のデータを検索することができた。図に示すように伊勢型紙の単位構造は全く違うので、伊勢型紙のみを観察しては同じ格子構造を見つけ出すことは難しい。しかし、本手法では容易に検索することができた。

基本並進ベクトルの大きさの比を1.3、角度を90度と指定して、格子構造の検索を行っ

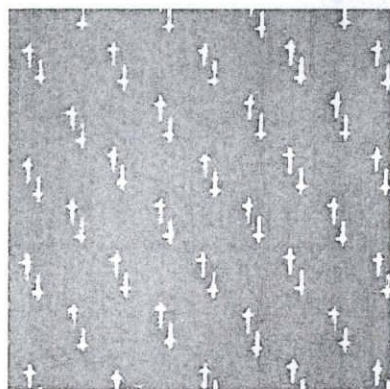


検索用格子と基本並進ベクトル
この格子構造に近いものを検索する.

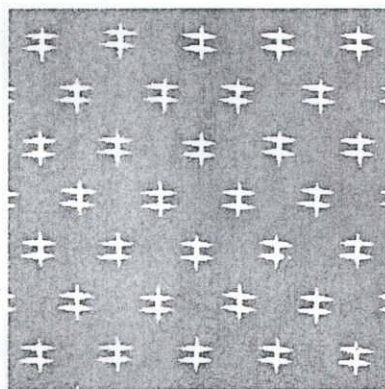
検索結果
同じような格子を検索できた.



(a)の元になった画像



(b)の元になった画像

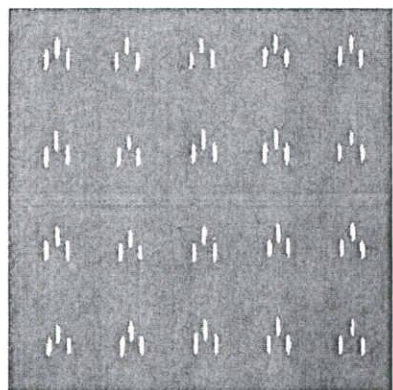
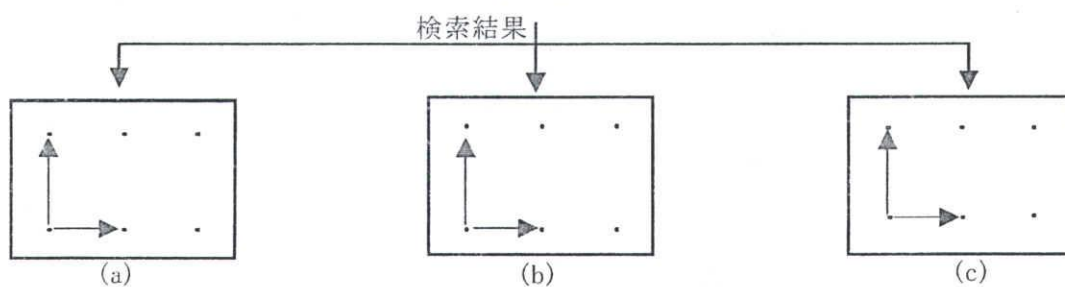


(c)の元になった画像

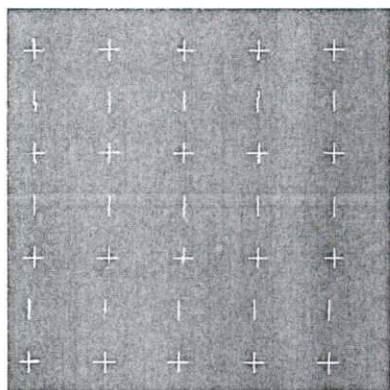
格子構造の元になった画像も、単位構造の配置が似ている

図 4.12 格子構造の検索実験結果

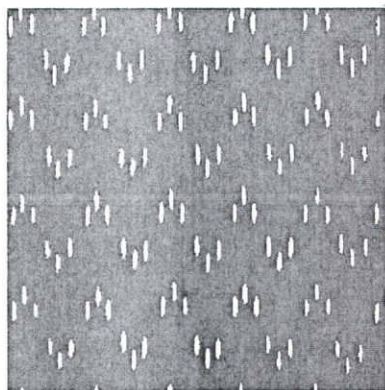
基本ベクトルの大きさの比(s)=1.3
角度(θ)=90度を指定して検索する.



(a)の元になった画像



(b)の元になった画像



(c)の元になった画像

格子構造の元になった画像も、単位構造の配置が似ている.

図 4.13 格子構造の検索実験結果

た結果を図 4.13 に示す。検索された格子構造の大きさは若干違う。しかし、画像データは拡大、縮小が容易にできるので、この点については問題ではない。同図に示すように、同じような格子構造を検索することができた。格子構造を求めた伊勢型紙の単位構造や格子構造の大きさが違うので、伊勢型紙のみのデータではこのような検索は難しいが、本手法では容易であった。

4.4.3 単位構造の分類結果

伊勢型紙と、その自己相関関数処理をした画像から求めた単位構造データと、目視観察で求めた単位構造、それを自己相関関数処理したものを図 4.14 及び図 4.15 に示す。これらの画像は、自己相関関数処理を施しているのので、見た目には同じかどうか判断し辛いですが、画像同士の相関係数は0.9以上と非常に高かった。これは、本手法で求めた単位構造と目視観察で求めた単位構造が良く一致していることを示している。相関係数が1.0とならないのは、伊勢型紙の単位構造にばらつきがあるため、目視で選んだ単位構造が平均的な単位構造と形が微妙に違っていたものと考えられる。

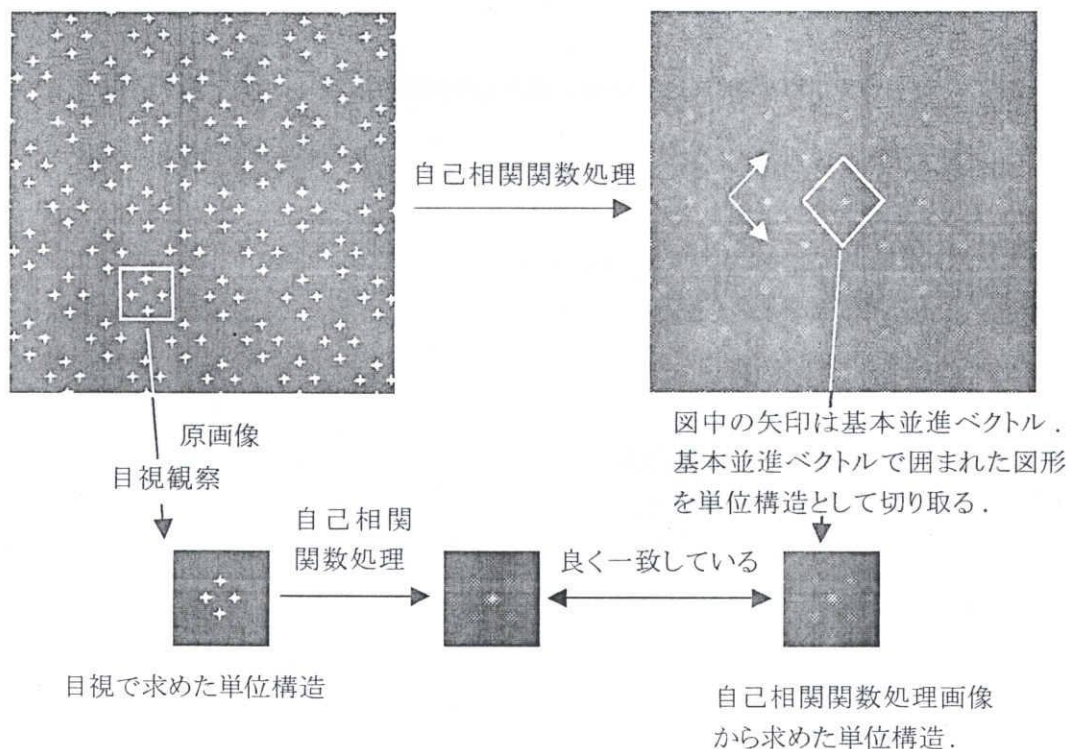
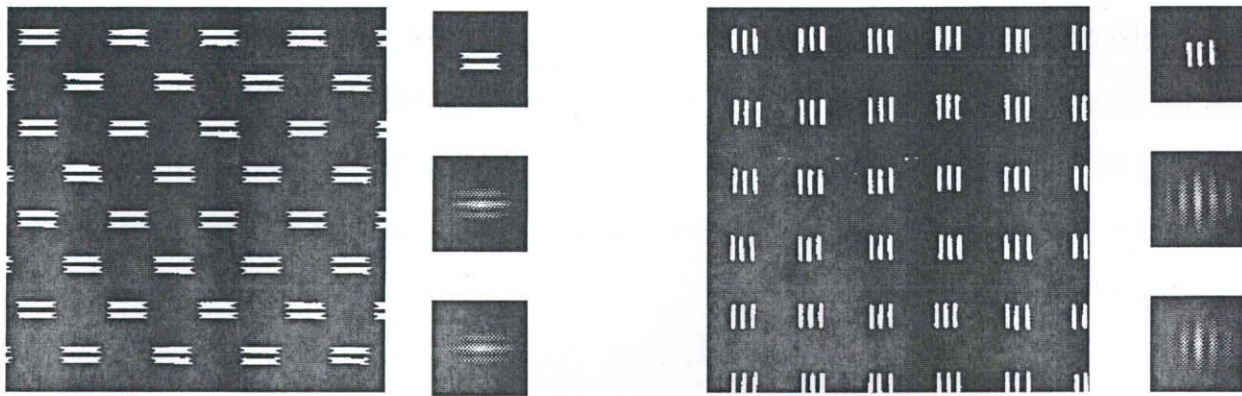


図 4.14 目視観察と自己相関関数から求めた単位構造の比較



左：原画像

右：上から順に、目視観察で求めた単位構造、それを自己相関関数処理した画像、

原画像を自己相関関数処理し、求めた単位構造。

目視観察から求めたものと本手法で求めたものは良く一致している。

図 4.15 目視観察と自己相関関数処理から求めた単位構造の比較

4.4.4 単位構造の検索結果

図4.16に検索に用いた単位構造を示す。図中(a)は検索したい単位構造、(b)はそれを自己相関関数処理した画像である。さらに(b)を元に、伊勢型紙より分類して蓄積した単位構造のデータの中から、相関が高い単位構造を(c)に示す。また、(d)に(c)の画像の元になった単位構造を示す。(d)はいずれも「+」の形をしており単位構造の検索が良くできている

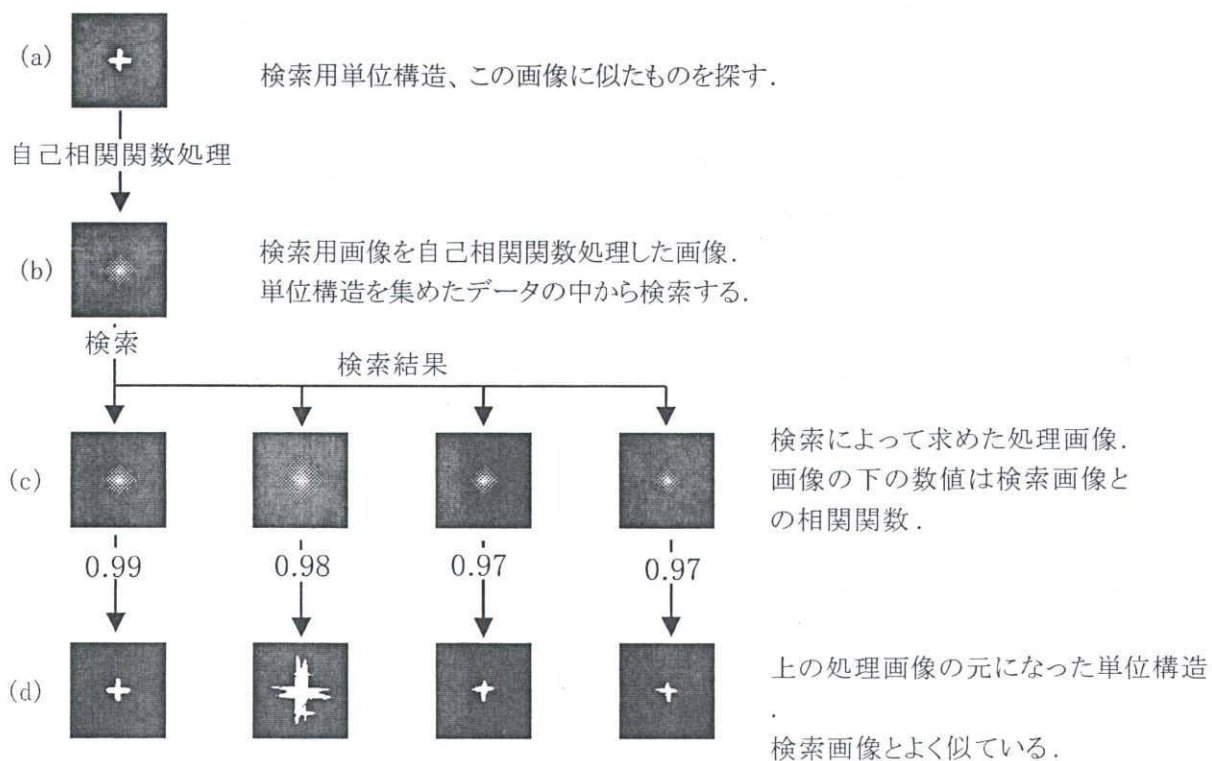


図 4.16 単位構造の検索結果

ことを示している。なおこれらの単位構造の大きさはまちまちである。これは、自己相関関数処理を行い、単位構造を抽出してから、データの大きさを一定にしたことに起因する。元の単位構造の大きさに関わらず、同じような形状を検索できていることを表しており、本手法の検索方法が有効であることを示している。

以上より、自己相関関数処理を用いて、伊勢型紙の格子構造の分類と検索、単位構造の分類と検索が可能であることが分かった。

4.5 まとめ

伊勢型紙の感性データベースを構築するに当たって、レイヤーという概念を提案した。このうちレイヤー3が格子構造、レイヤー4が単位構造を表し、この2つで平面構造を作る。本研究では、自己相関関数処理を利用することで、格子構造の分類と検索、単位構造の分類と検索を容易に行うことができた。

第5章 運動レイヤーの分類と検索

5.1 レイヤーの分類と検索方法

レイヤー5（運動）は「流れや動きなど視覚的な運動の存在をとらえたもの」である。しかし、伊勢型紙は静止画であるので、物理的な流れや運動があるわけではない。ここで表現している「流れや運動」とは、紋様を構成している単位構造やその一部が均等に配置されておらず、粗密があるために、視覚的に強く方向性を感じるような造形的特徴のことである。

「流れ」を感じることができる伊勢型紙の例を図5.1に示す。図では、紋様が斜め方向に並んでいるように感じられる。これは、紋様を構成する単位構造が非対称であるために方

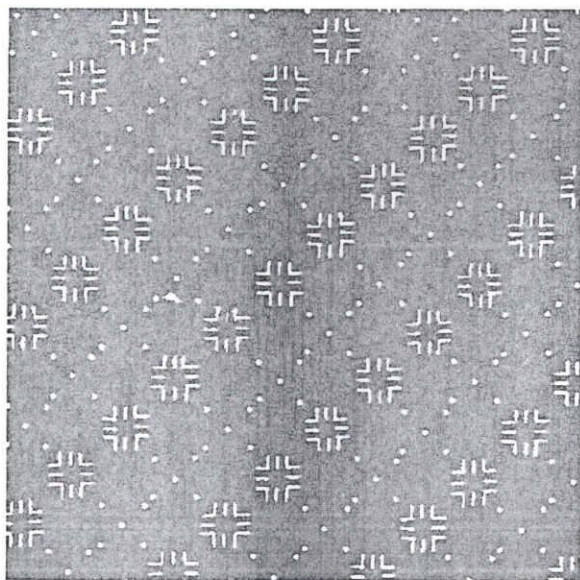


図 5.1 「流れ」のある伊勢型紙の紋様

向性が感じられると考えられる。

別の例を図5.2に示す。図では水平・垂直の格子模様を感じることができる。これは、点列が水平・垂直方向に並んでいるために、その方向に「流れ」を感じることができる。

このように、レイヤー5は型紙の中のある種の構造を表している。しかし、この「流れ」を解析するためには、3章、4章で利用した解析手法は利用できない。3章で利用した面積統計およびフラクタル次元は積分型統計量であるため、方向に関する情報を得ることができない。ランレングス行列は方向を評価することが可能であるが、同じ輝度の点がどのくら

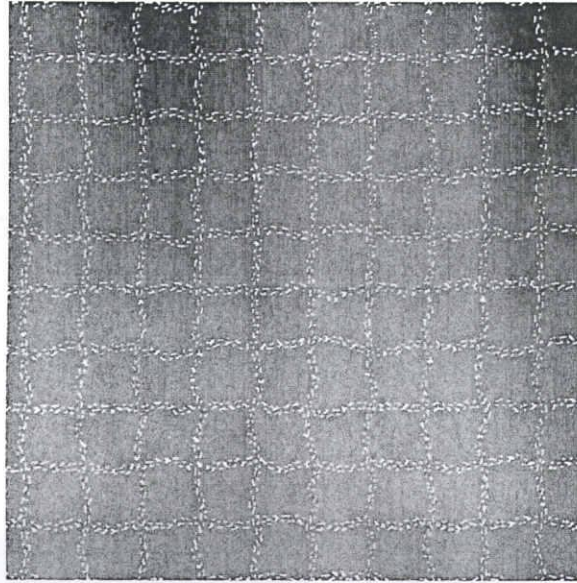


図 5.2 「流れ」のある伊勢型紙の紋様

いの距離並んでいるのかを評価するために、図5.2の様に小さい点列の並びで流れを構成している場合には無力である。また、4章で利用した並進ベクトルは、流れの方向を表しているという意味づけられなくはないが、一つの紋様でいろいろな方向の流れを感じるができるものがあるので、必ずしも適切な方法とは言えない。

本章では、レイヤー5を、前章とは違う画像処理の手法を用いて分類と検索を行う方法を検討する。

5.2 画像処理方法

5.2.1 全方向周辺分布

本章では、画像処理の一手法である周辺分布を利用して、「流れや運動」の解析を行う。周辺分布とは、一方向に画素を走査し、その画素の輝度を集計したものを言う[47]。水平方向の周辺分布 q_y は、画像の座標 (x, y) における輝度を p_{xy} とするとき、

$$q_y = \sum_x p_{xy} \quad (5.1)$$

で計算される。なお、走査する方向は水平・垂直方向がよく利用される。周辺分布は文字認識や欠陥部分抽出に用いられている[46][48]。周辺分布の例を図5.3に示す。同図は水平方向に集計した周辺分布で、水平方向に走査して孔が多く並んでいる位置にグラフのピークが出ている。

本研究では、周辺分布を0度から179度まで集計する。各角度毎に周辺分布の標準偏

差を計算し、角度一周辺分布の標準偏差のグラフを作成する。このグラフを、ここでは全方向周辺分布と言うことにする。図5.3の紋様について、30度方向に周辺分布を集計した結果を図5.4に示す。図5.3と図5.4を比べて分かるように、ある方向に画像を走査して紋様を構成する単位構造やその要素が並んでいる場合、図5.3のように周辺分布のばらつきが大きくなり、逆にそれらが揃っていない場合には図5.4のようにばらつきが小さくなる。周辺分布データのばらつきが大きければ、その標準偏差の値は大きくなる。従って、全方向周辺分布でピークの位置が流れの方向であると言うことができる。

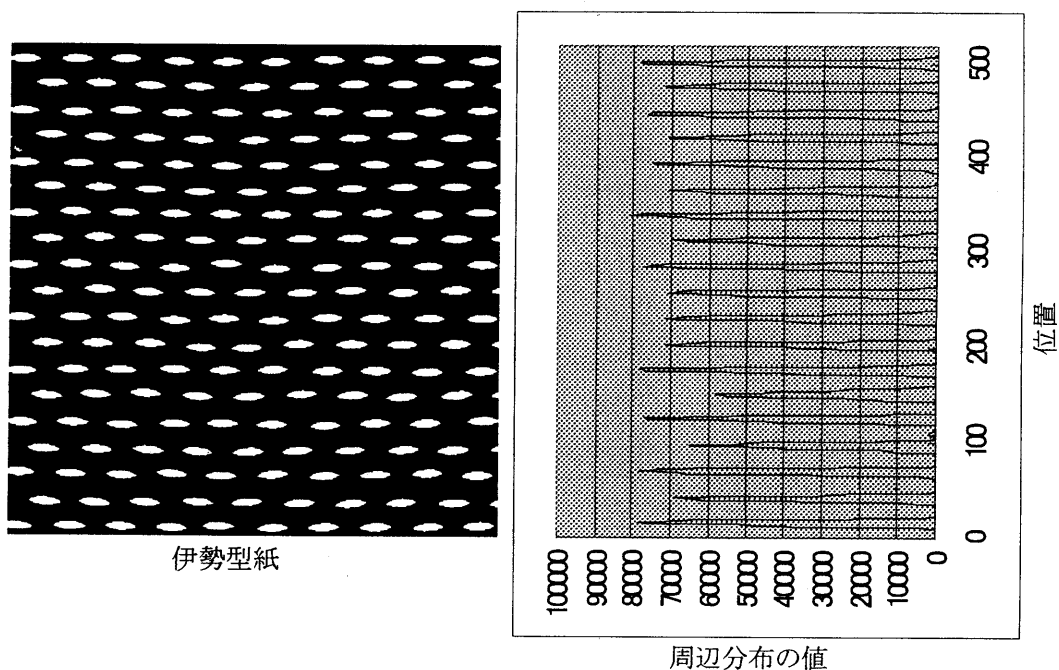


図 5.3 周辺分布の例（水平方向に積分した値）

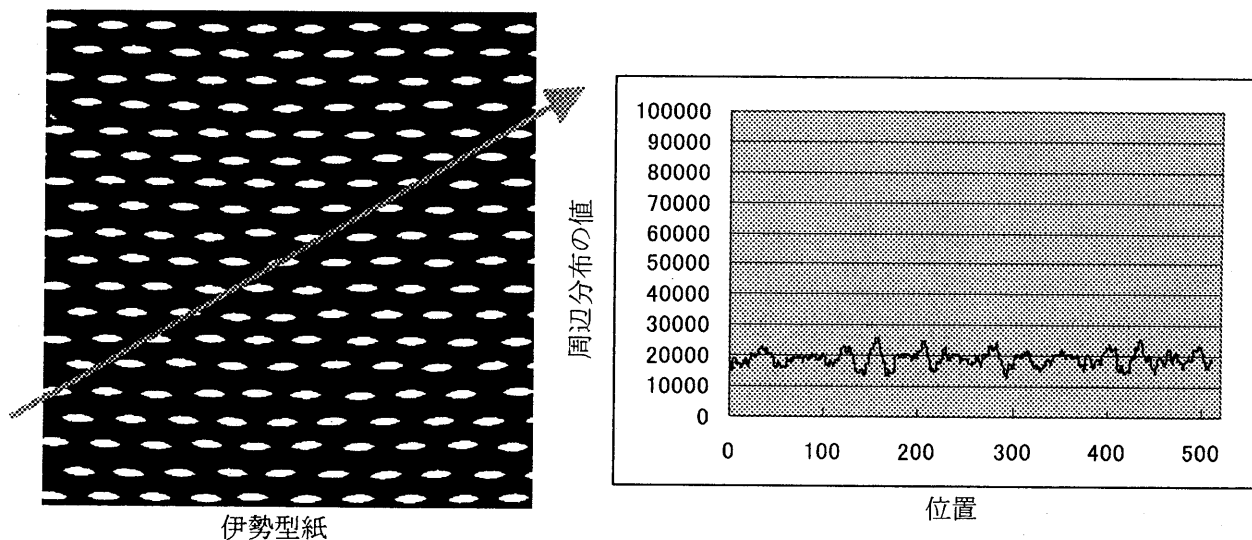


図 5.4 30 度方向の周辺分布

5.2.2 「運動」の分類と検索

本研究で用いた「運動」の分類と検索方法を、図 5.5 に示す。分類は画像データから全方向周辺分布を計算し集積することで行う。

検索は、分類し蓄積したデータと、検索したい画像から求めた全方向周辺分布との類似検索をすることによって行う。類似度を評価する方法としては幾つか提案されているが、本章でも第4章で利用したパターンマッチングを利用する[17]。なお本章では、パターンマッチングを次のように行う。

いま、全方向周辺分布データ f, g があるとする。このデータを180次元のベクトルと考えベクトル f, g を作る。画像の類似度 r を、式(5.2)のように、ベクトルのなす角度の余弦で定義する。

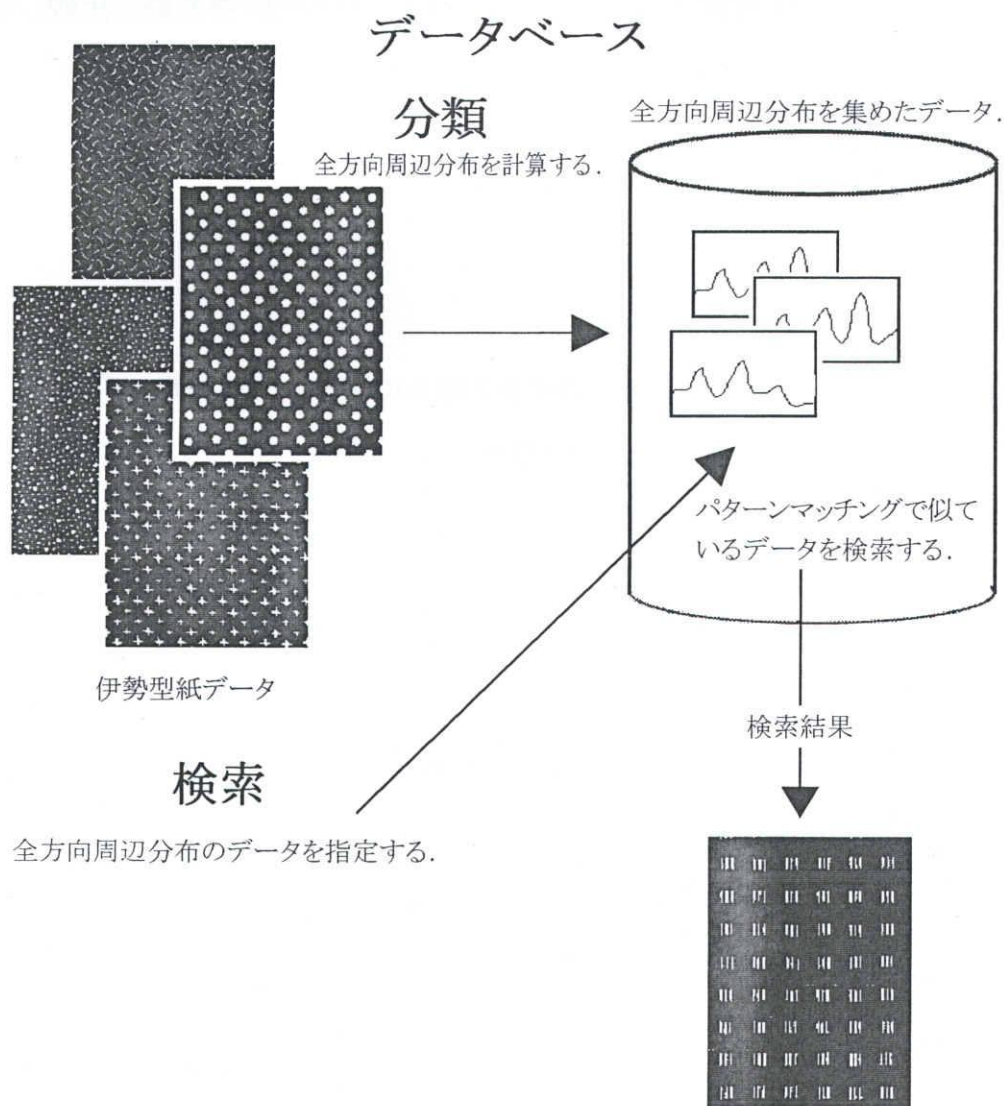


図 5.5 単位構造の分類と検索

$$r = \cos(\theta) = \frac{(\mathbf{f}, \mathbf{g})}{\|\mathbf{f}\| \|\mathbf{g}\|} \quad (5.2)$$

ただし、 (\mathbf{f}, \mathbf{g}) はベクトル \mathbf{f} と \mathbf{g} の内積を表す。

定義から類似度 r は、 $-1 \leq r \leq 1$ である。 \mathbf{f} と \mathbf{g} が同じ方向にあるとき、つまり、同じ格好をしているとき、 \mathbf{f} と \mathbf{g} のなす角度は 0 となり、類似度は 1 となる。また、 $\mathbf{f} = -\mathbf{g}$ であるような場合、 \mathbf{f} と \mathbf{g} のなす角度は 180 度となり、類似度は -1 となる。

5.3 実験方法

5.3.1 全方向周辺分布を利用した「流れ」の解析

伊勢型紙のデータについて全方向の周辺分布を作成し、各角度毎に標準偏差を計算して全方向周辺分布のグラフを作成する。このグラフと元になった伊勢型紙を比較して、グラフが、「流れ」や「運動」を表しているか考察する。グラフが流れを表していれば、レイヤー5に関して分類ができたと言える。伊勢型紙は、200dpi、 600×600 ピクセルの画像を用いる。

5.3.2 データの類似検索

データの類似検索は、全方向周辺分布のグラフ同士のパターンマッチングで行う。グラフのデータを180次元のベクトルと考え、2つのベクトルのなす角が小さいものを全伊勢型紙のデータから選び出す。特定の方向に流れている型紙を検索する場合には、その方向のみにピークを持つグラフを作成して、そのグラフを元に前述と同じ類似検索を行う。

5.4 結果と考察

5.4.1 全方向周辺分布を利用した「流れ」の解析結果

伊勢型紙と全方向周辺分布のグラフの例を図 5.6 ～ 5.9 に示す。図 5.6 では 45 度の方向に流れを感じる。グラフでもその印象と同じように 45 度の方向にピークの値がある。図 5.7 では、紋様に方向性を感じない。この場合、グラフにもピークが現れていない。図 5.8 では、水平方向に単位構造が並んでいる。グラフでも同じ傾向が出ている。図 5.9 では、 0 度、 45 度、 90 度、 135 度の方向に「流れ」を感じることができる。グラフでもその方向

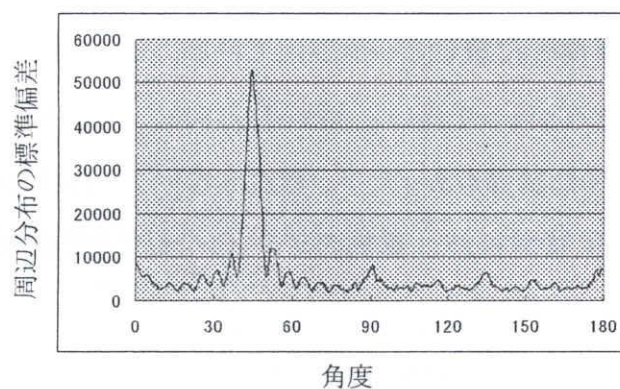
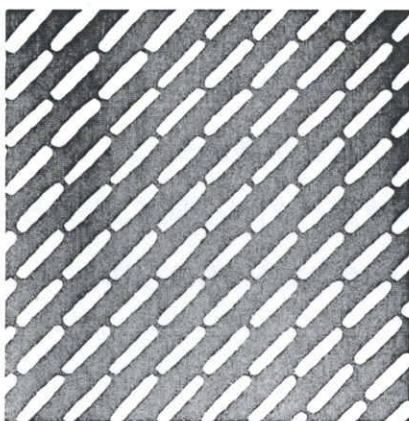


図 5.6 全方向周辺分布(1) 45度方向の「流れ」が抽出できた

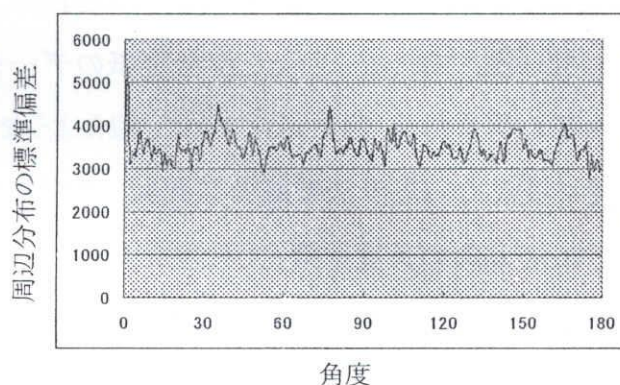
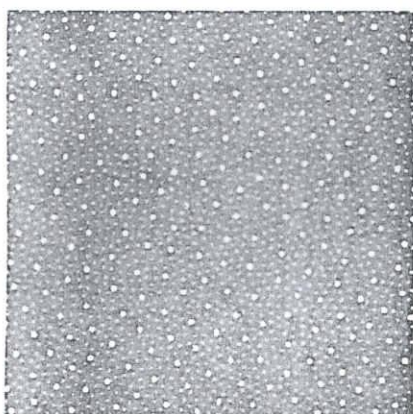


図 5.7 全方向周辺分布(2) 「流れ」は抽出できない

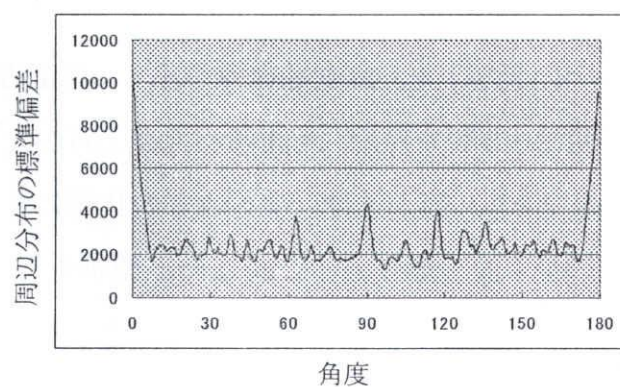
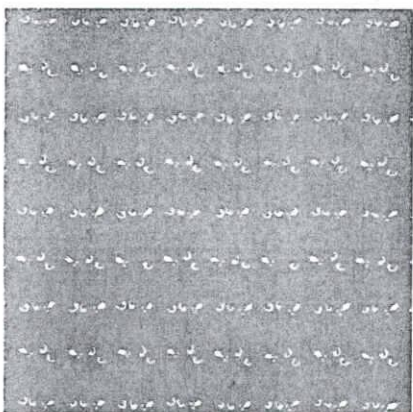


図 5.8 全方向周辺分布(3) 0度方向の「流れ」が抽出できた

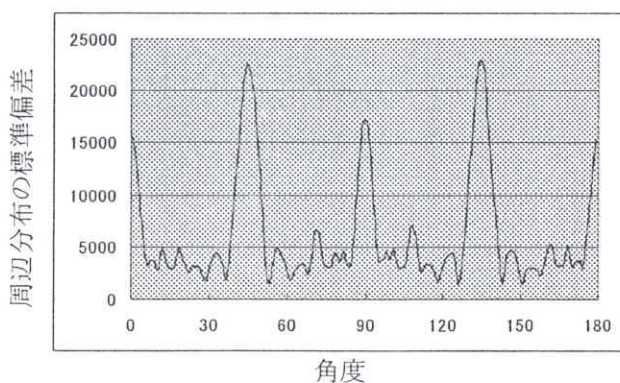


図 5.9 全方向周辺分布(4) 0,45,90,135度方向の「流れ」が抽出できた

と同じ角度の位置にピークが出ている。このように、全方向周辺分布が「流れ」を表すことができると言って良い。流れの方向は、0、45、90、135度が多かった。それ以外の角度を持つ紋様もあったが、数は少ない。これは、4章の並進ベクトルと同じことであるが、もともと伊勢型紙が、着物のデザインとして作られているためであると考えられる。

5.4.2 データの類似検索の結果

図 5.10 に伊勢型紙とその全方向周辺分布を示す。図の型紙では、45 度、135 度、0 度、90 度の方向に流れがある。このデータを検索データとしたグラフと類似した全方向周辺分布のデータ、その元となった伊勢型紙のデータを図 5.11 に示す。r の値は式 5.1 で求めた余弦の値である。図に示すように、似たようなグラフが検索結果として出てきており、かつ、その元になった伊勢型紙の「流れ」も似たような感じのものとなっている。

また、45 度方向の角度を指定した検索に利用したグラフを図 5.12 に示す。その結果を図 5.13 に示す。すべての検索結果で 45 度方向の流れが検出できている。このように、良好な結果を得ていると言うことができる。

5.5 まとめ

レイヤー5（運動）を、画像処理の手法である全方向周辺分布を用いて求めることができた。この量は、3章で利用した画像特徴量と同じく、コンピュータを利用して機械的に算出できるものであり、個人差や、気分などの状態に左右されない。また、機械的にできるので、多くの型紙を分類するのに役立つ。型紙の検索は、全方向周辺分布のパターンマッチングを持ちいることで実施することができた。分類や検索結果は感性とよく合うものであった。

本研究によって、レイヤー5について、分類と検索方法を確立することができたと言える。

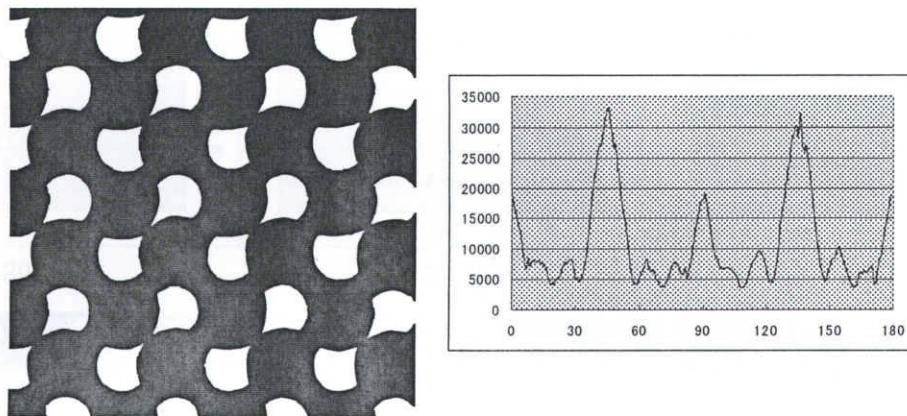


図 5.10 検索実験に用いた伊勢型紙とその全方向周辺分布

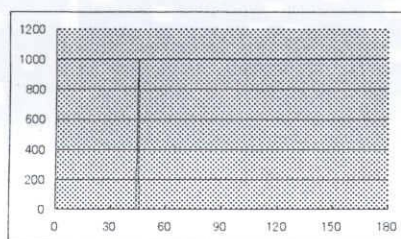
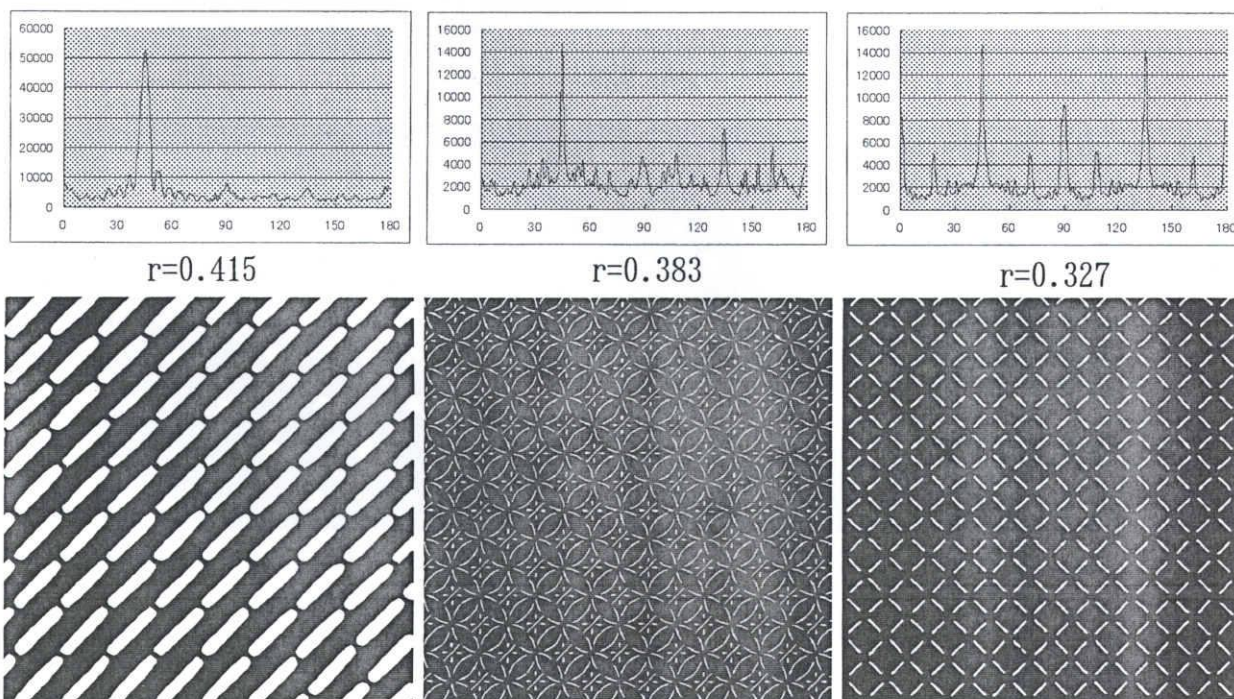


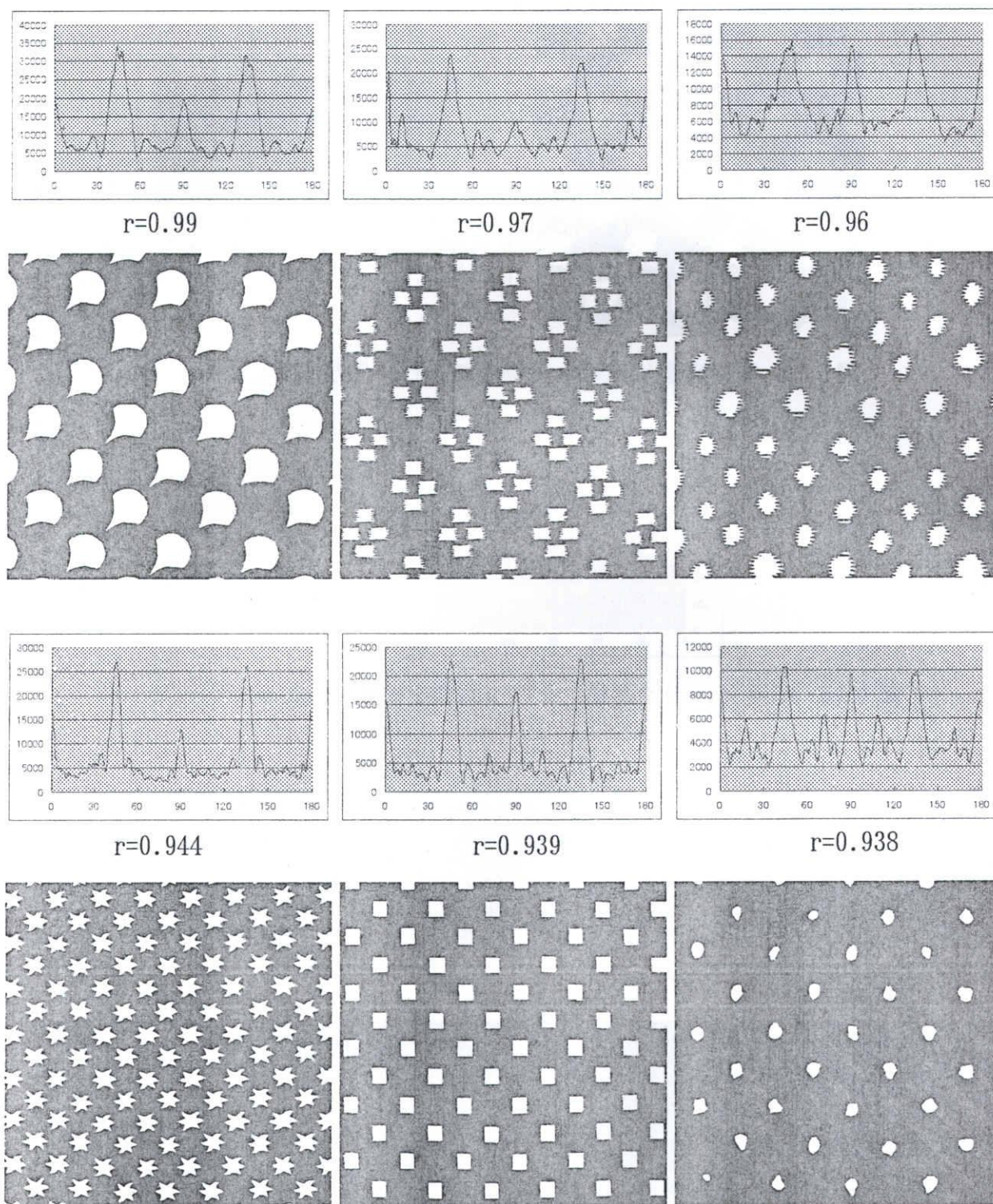
図 5.12 45 度方向の「運動」を持つ画像を検索するためのデータ



上段：検索されたデータ、 r は式(5.2)で求めた値

下段：全方向周辺分布を求めた画像

図 5.13 角度指定での検索結果



上段：検索されたデータ、 r は式(5.2)で求めた値。

下段：全方向周辺分布を求めた画像。

図 5.11 類似検索結果

6章 結 論

6.1 まとめ

鈴鹿地方に伝わる伊勢型紙はその洗練された紋様により、現在でも人気がある。伊勢型紙を繊維産業やそれ以外の工業デザインに利用するために、データベースを作ることを企画した。当初、データベースは伝統紋様の名前とモチーフで分類と検索が可能であると考えた。しかし、伊勢型紙の紋様名などは現代ではなじみのないものであり、この方法での分類は不可能であった。また、工業デザイナーが紋様を検索する際には、名前などよりも、「こんな感じ」といった感性を手がかりにして検索できた方が使い勝手がよいと考られる。以上のことから伊勢型紙の感性データベースを構築することを企画した。データベースで重要なことは、データの分類と検索方法である。本論では、伊勢型紙の感性データベースを構築するために、コンピュータを利用した紋様の分類と検索方法について研究を行った。

まず、伊勢型紙の多義性について解明した。本研究が課題とする伊勢型紙について多義性は5つあり、本論ではそれをレイヤーと呼称した。

それらは、次のようなものである。

レイヤー1：明暗（明暗やコントラストを捉えたもの）

レイヤー2：テクスチャー（肌理（きめ）や疎密など全体的な感じを捉えたもの）

レイヤー3：構造（配列などの構造を捉えたもの）

レイヤー4：ディテール（部分的な形状を捉えたもの）

レイヤー5：運動（流れや動きなど視覚的な運動の存在を捉えたもの）

なお、レイヤー1、2は伊勢型紙の紋様の全体から受ける印象を表す。レイヤー3、4は伊勢型紙の格子構造と単位構造を表している。また、レイヤー5は単位構造の特徴的な並び方を表している。

レイヤー1、レイヤー2について、画像処理手法である面積統計量、ランレングス行列、フラクタル次元を用いることで、分類と検索を行うことができることを示した。

レイヤー3、レイヤー4については自己相関関数処理を利用し、固体物理学で言う平面構造を理解していない者にとっても簡単に分類と検索ができることを示した。

レイヤー5については、周辺分布を全方向について求めることで、特徴を抽出、検索を

行うことができた。

画像処理を用いて画像から特徴を抽出する方法、また、その特徴と人の感性を結びつける研究は以前から多くなされている。本研究はこれらの研究成果を踏まえ、伊勢型紙に特化した特徴の抽出、さらには文様の分類と検索についての研究を行い、伊勢型紙の感性データベースを作る基礎技術を確立することができた。

6.2 今後の課題と展望

本研究で、伊勢型紙の感性データベースを作るための基礎的な技術を確立することができた。今後はこの技術を元に、本格的なデータベースを構築していく予定である。現在収蔵する伊勢型紙は約2万点ある。これらはまだデータ化されていないため、まず、これらのデジタル化を進めてゆく。現在はインターネットを利用する時代であり、構築したデータベースをインターネット上に公開することも検討している。こうした事業を行っていく場合、文様のデータをどのような形式で保存するのか、ネットワークで公開する場合、文様データのファイルサイズをどの程度にするかなど、様々な実用面での問題が発生する。これらの問題も漸次解決してゆきたい。本研究の成果を用いてデータベースを構築してゆく予定である。

伊勢型紙と同じ繊維産業に織物製造業がある。この業界でも、織物デザインは伊勢型紙と同じように消耗品的な扱いを受けている。このため、同じような織物デザインを每期、同じように苦勞しながら作っている。織物デザインは、伊勢型紙にはない色の情報や陰影、毛羽といった特殊な条件も含んでいる。また、経糸と緯糸でできているために、格子模様が中心であるなど、デザインの的にも伊勢型紙とは違う。本研究の成果を元にこれらを研究し織物デザインデータベースを構築してゆきたい。

参 考 文 献

- [1]伊勢型紙技術保存会編：「図録伊勢型紙」，伊勢型紙保存会，1994
- [2]佐藤弘喜，遠藤善道：「伊勢型紙データベースにおける感性検索システムの構築」，名古屋造形芸術大学紀要，Vol.6，p77-88，2000
- [3]加藤俊一：「画像対話型商標・意匠データベース TRADE MARK」，電子情報通信学会誌，Vol.J72-DII，No.4，p535-544，1989
- [4]加藤俊一：「次世代データベースとマルチメディア対話技術」，情報管理，Vol.32，No.3，p193-211，1989
- [5]栗田多喜夫：「印象語による絵画データベースの検索」，情報処理学会論文誌，Vol.33，No.11，p1373-1383，1992
- [6]谷口慶治：「画像処理工学」，共立出版，p101-102，1996
- [7]佐藤弘喜：「多義的文様の視覚認知におけるレイヤー構造」，デザイン学研究，Vol.48，No1，p77-84，2001
- [8]ロバート・L・ソルソ：「脳は絵をどのように理解するか 絵画の認知科学」，新潮社，1997
- [9]N・ウェイド：「ビジュアル・アリュージョン 知覚における絵画の意味」，ナカニシヤ出版，1991
- [10]メッツガー：「視覚の法則」，岩波書店，1968
- [11]G・カニツア：「カニツア視覚文法ーゲシュタルト知覚論ー」，サイエンス社，1985
- [12]斉藤勇監修：「認知科学重要研究集1 視覚認知」，誠信書房，1995
- [13]佐藤弘喜：「視覚イメージの階層構造に関する研究」，デザイン学研究第46回研究発表大会概要集，p26-27，1999
- [14]児玉正憲：「多変量解析」，牧野書店，1998
- [15]大野高裕：「多変量解析入門」，同友館，1998
- [16]田中豊：「多変量統計解析法」，現代数学社，1983
- [17]児玉正憲：「多変量解析」，牧野書店，p207-210，1998
- [18]国立国語研究所：「形容詞の意味・用法の記述的研究」，秀英出版，1972
- [19]磯貝芳郎：「色彩と形態」，福村出版，1974
- [20]川喜田二郎：「発想法 創造性開発のために」，中央公論社，1967
- [21]高木幹雄：「画像解析ハンドブック」，東京大学出版会，p517-538，1991
- [22]森俊二：「画像認識の基礎[I][II]」，オーム社，1986

- [23]谷口慶治：「画像処理工学」，共立出版，p101-102，1996
- [24]安居院猛：「知的画像処理」，昭晃堂，p46-49，1994
- [25]遠藤善道：「伊勢型紙の明暗とテクスチャーに関するデータベース構築」，
デザイン学研究，Vol48，No.3，p113-118，2001
- [26]遠藤善道：「画像処理による不織布のむらの評価技術」，日本繊維機械学会誌，
Vol.49，No.10，pp59-65，1996
- [27]M.M.Galloway：「Texture analysis using gray level run length」，Compt.
Graphics Image Processing，Vol4，P-172-179，1975
- [28]吉沢達也：「フラクタル次元と低次統計量とを用いたテクスチャの自動分類」，
情報処理学会，Vol.31，No.7，p1027-1037，1990
- [29]太田健一：「テキスタイルデザインの視覚的特徴」，繊維機械学会誌，
Vol.50，No.3，p58-65
- [30]谷口慶治：「画像処理工学」，共立出版，p104-106，1997
- [31]金子博：電子情報通信学会誌，Vol.J70D，No.5，p964-972，
- [32]松下貢：「医学・生物学におけるフラクタル」，朝倉書店，p26-31，1992
- [33]小澤一雅：「パターン情報数学」，森北出版，p158-204，1999
- [34]有馬哲：「多変量解析のはなし」，東京図書，p37-78，1997
- [35]大野高裕：「多変量解析入門」，同友館，p63-80，1998
- [36]キッテル（宇野良清訳）：「個体物理入門」，丸善，p3-p5，1998
- [37]遠藤善道：「伊勢型紙の格子構造および単位構造を利用した完成データベース構築」
デザイン学研究，Vol.48，No.3，p119-124，2001
- [38]長橋宏：「知的画像処理」，昭晃堂，p47，1994
- [39]高木幹雄：「画像解析ハンドブック」，東京大学出版会，p524-528，1991
- [40]田中弘：「画像処理応用技術」，工業調査会，p63-83，1991
- [41]堀川明：「ランダム変動の解析」，共立出版，p99-149，1983
- [42]赤池弘次：「生体のゆらぎとリズム」，講談社サイエンティフィック，p22-24，1997
- [43]森健一：「パターン認識」，電子情報通信学会，p1-24，1990
- [44]小澤一雅：「パターン情報数学」，森北出版，p19-33，1999
- [45]田中弘：「画像処理応用技術」，工業調査会，p78-83，1991
- [46]河田聡：「画像データ処理」，CQ出版，p205-220，1994
- [47]田中弘：「画像処理応用技術」，工業調査会，p45-46，1991
- [48]谷口慶治：「画像処理工学」，共立出版，p248-253，1997

謝 辞

本論文をまとめるに当たり、適切かつ親切なご指導をいただきました岐阜大学工学部応用情報学科 小鹿丈夫教授に心から感謝の意を表します。また、先生には本論文以外にも、10年来様々な研究、技術指導、学会などでお世話になりました。あわせて感謝いたします。

本研究の契機を提供していただき、研究を共同で行っていただいた名古屋造形芸術大学 佐藤弘喜氏、ご支援をいただいた筑波大学芸術学群 原田昭教授に感謝いたします。

本研究を大学で遂行するに当たり、許可とさまざまな支援をしていただいた岐阜県繊維試験場 元場長 佐竹一良氏に感謝いたします。

本研究やその他の技術的内容でお世話になりました岐阜大学工学部応用情報学科 木島竜吾講師、田川和義氏、研究室のみなさん、岐阜県生産情報技術研究所、岐阜県製品技術研究所の皆さんに感謝いたします。

2002年3月