



印鑑照合の自動化方式に関する研究

上田, 勝彦

(Degree)

博士 (工学)

(Date of Degree)

1990-03-16

(Date of Publication)

2015-04-07

(Resource Type)

doctoral thesis

(Report Number)

乙1410

(URL)

<https://hdl.handle.net/20.500.14094/D2001410>

※ 当コンテンツは神戸大学の学術成果です。無断複製・不正使用等を禁じます。著作権法で認められている範囲内で、適切にご利用ください。



神戸大学博士論文

印鑑照合の自動化方式に関する研究

平成2年1月

上田勝彦

印鑑照合の自動化方式に関する研究

内容梗概

計算機技術の急速な進歩により、一般社会における情報システム化が進むと共に、機械による個人照合技術の開発に対する要請が強くなってきた。そのため、IDカードと暗証番号の併用による方法をはじめ、印鑑、筆跡、顔、指紋、掌紋、音声などを用いた個人照合の自動化に関する研究が多く行われている。本論文は、個人照合の一手段として広く一般に行われている印鑑照合の自動化に関して、筆者が奈良工業高等専門学校で行ってきた研究成果をまとめたものである。全体を序論、結論を含め7章にて構成している。

第1章序論では、個人照合の自動化に関するこれまでの研究、特に印鑑照合の自動化に関する従来の研究と本研究の内容を概説し、本研究の意義および目的を明らかにする。

第2章では、本論文で自動化の対象としている印鑑照合処理に関して、その基礎的概念を与え、問題点の整理を行う。次いで、本研究において開発した自動印鑑照合・登録方式の全体構成および処理の流れについて、その概要を示す。そして、本研究全体を通じて最も基本的且つ共通的な問題であるシステム内部での印影の表現形態（多値の濃淡画像として取り扱うか、それとも2値画像として取り扱うかという問題）について考察する。更にこの検討結果に基づいて、本研究で採用する前処理法を具体的に示す。

第3章では、被照合印影の登録印影への位置合わせ法について述べる。印影枠図形の重心と、リングデータと呼ばれる重心を中心とする適当な半径の円周上の画素列とを用いた独自の方法を提案し、本位置合わせ法が他の方法と比べて高速、高精度な優れた方法であることを実験により確認する。

第4章では、登録印影と被照合印影との差異の程度を表す特徴量（以下、照合

変数という)の定義とその自動計測法について述べる。照合変数の定義に関しては、まず熟練者が行っている印鑑照合方法を分析して、文書鑑定や印鑑照合の実務分野で経験的に有効とされている印影の特徴を明らかにし、これらを自動計測可能な照合変数として定義する。そして定義した照合変数の真偽判別への有効性を実験により確認する。最後に、計測した照合変数による真偽判別方式について、実用化の条件を考慮した方式を提案する。

第5章では、以上の検討結果に基づいて第2章で示した印鑑登録・照合システムのシミュレーション・システムを構築して、照合実験を行った結果、および熟練者による照合実験の結果について述べる。そして両者の実験結果の比較から本照合方式の照合性能(真偽判別性能)評価を行い、本照合方式が優れた照合性能を有することを確認する。

第6章では、印鑑照合結果に影響を与える要因とその影響の大きさについて考察する。照合結果に影響する主な要因として、印肉の着肉状態に起因する印影品質と偽造印影の登録印影に対するパターン類似度をとり上げ、これらの要因が本論文で提案した自動照合方式、および熟練者による照合結果に与える影響について実験的に比較検討し、両者の照合特性の差異について分析する。更にその結果をもとにして、本自動印鑑照合方式の照合性能をより一層高めるための手がかりを得る。

第7章では、本研究で得られた成果を要約し、今後に残された課題について述べる。

目 次

第1章 序 論

1. 1	本研究の背景	1
1. 1. 1	本研究の社会的背景	1
1. 1. 2	本研究の工学的背景	4
1. 2	本研究の目的	7
1. 3	他の研究との関連	7
1. 4	本論文の概要	11

第2章 印鑑照合の基礎的概念と自動照合方式の概要

2. 1	緒 言	13
2. 2	印影生成のモデルと印鑑照合	13
2. 3	印鑑登録・印鑑照合方式の概要	16
2. 4	印影データ表現と前処理	19
2. 4. 1	印影データ表現	19
2. 4. 2	前処理	20
2. 5	結 言	22

第3章 印影の位置合わせ法の提案と位置合わせ誤差の検討

3. 1	緒 言	23
3. 2	位置合わせ法の提案	24
3. 2. 1	印影の図形中心の決定	24
3. 2. 2	回転角度の決定	27
3. 2. 3	位置合わせ処理	28
3. 3	位置合わせ誤差に関する実験的検討	30

3. 3. 1	印影データの作成	3 0
3. 3. 2	実験方法	3 2
3. 3. 3	実験結果	3 3
3. 4	位置合わせ誤差の照合結果への影響	3 4
3. 4. 1	実験方法	3 4
3. 4. 2	実験結果	3 6
3. 5	他の位置合わせ法との比較	3 7
3. 5. 1	比較の対象にする位置合わせ法の概要	3 8
3. 5. 2	比較実験の方法	4 1
3. 5. 3	実験結果	4 1
3. 6	本提案手法の性質と検討	4 2
3. 7	結 言	4 3

第4章 照合変数の定義とその自動計測法、および真偽判別方式

4. 1	緒 言	4 5
4. 2	熟練者の目視による印鑑照合方法の定性的分析	4 6
4. 3	照合変数の定義と自動計測法	5 0
4. 3. 1	比較顕微鏡法に基づく計測法と照合変数の定義	5 0
4. 3. 2	その他の計測法と照合変数の定義	5 4
4. 4	分散分析による照合変数の評価	5 5
4. 4. 1	印影データの作成	5 5
4. 4. 2	実験方法	5 6
4. 4. 3	実験結果と検討	5 8
4. 5	真偽判別方式の提案	6 1
4. 5. 1	正規化距離法	6 1
4. 5. 2	2群判別分析法	6 3

4. 6	結 言	6 5
第5章 自動印鑑照合実験と照合性能評価		
5. 1	緒 言	6 7
5. 2	照合性能評価法に関する基本的考え方	6 8
5. 3	照合実験の方法	6 8
5. 3. 1	自動照合実験の方法	6 9
5. 3. 2	熟練者による照合実験の方法	6 9
5. 4	照合実験の結果と検討	7 1
5. 5	類似度評価結果と照合結果との関係	7 3
5. 6	結 言	7 6
第6章 照合結果に影響する要因の実験的検討とその対策		
6. 1	緒 言	7 8
6. 2	照合結果に影響する要因	7 9
6. 3	実験方法	8 1
6. 3. 1	実験に用いる印影とその類似度評価	8 1
6. 3. 2	自動照合実験の方法	8 2
6. 3. 3	熟練者による照合実験の方法	8 2
6. 4	実験結果と検討	8 5
6. 4. 1	偽造印影の類似度と誤照合率	8 5
6. 4. 2	印影品質と第1種誤照合率	9 0
6. 4. 3	印影品質と第2種誤照合率	9 4
6. 5	本自動照合方式の照合性能を高めるための対策	9 6
6. 5. 1	照合性能向上のための基本的考え方	9 6
6. 5. 2	印影画像の品質識別法の提案	9 6

6. 5. 3 品質識別実験とその検討	101
6. 6 結 言	104
第7章 結 論	106
謝 辞	109
参考文献	110

第 1 章 序 論

1. 1 本研究の背景

1. 1. 1 本研究の社会的背景

個人を区別し、特定する問題は、昔から人間の社会生活において常に重要な問題である。そして現代では、社会機構の複雑化、情報化に伴って、ますますその重要性を増してきている。

個人を区別、特定する問題は、その個人に付随している固有の属性や所持品（表 1 - 1）を手がかりとして、肉体的存在としての個人とその履歴（記録、ファイル）との対応付けの問題である。表 1 - 1 に示した属性や所持品は、1、2、3、4 の順に、改変や偽造による不正使用が困難になるものと考えられる。しかし具体的にこの中のどれを用いるかということは、社会の慣習や環境、あるいは技術的難易度によって異なる。

個人の区別、特定の目的は、個人の所有するなんらかの権利の行使を正当化すること、あるいは個人の責任を追求することである。更にこの問題の生じる環境条件も考慮して個人の区別、特定の問題を、より具体的な問題に分類すると、個

表 1 - 1 個人の特定に用いられる属性・所持品

分 類	属 性 ・ 所 持 品
1. 間接的証拠としての所持品	印鑑, IDカード, 鍵 など
2. 固有の記憶情報	パスワード, 暗証番号 など
3. 習慣化した動作による生成物	署名, 筆跡 など
4. 肉体的な属性	顔, 指紋, 手の形状・寸法, 掌紋, 音声

人照合（確認）と個人識別の2つに分けられる。個人照合は、登録されている本人であるかどうかを確認するもので、銀行での取引や特別な領域への出入りの管理などで必要とされる。個人識別は、その個人が登録されている多数の人間の中の誰であるかを判定するものであり、犯罪捜査における指紋や筆跡の識別などがその代表例である。この2つの問題の相違点を、それらを自動化する観点から対比的に示すと表1-2のようになる。

本研究は、個人の所有物である印鑑を用いた個人照合の自動化に関する研究である。個人の所有物としての印鑑は前述のように、紛失、偽造の可能性があり、個人照合の方法として、適当かどうかという点について議論もある。しかし印鑑は、日本の社会習慣上および法律上、古くから認められており、署名や指紋の照

表1-2 個人識別と個人照合の概観的対比

対 比 項 目		個 人 識 別	個 人 照 合
識別・照合を困難にする雑音源のコントロール可能性		殆ど不可能	ある程度可能
分類カテゴリの限定性		直接比較されるカテゴリ数は2桁までであるが、対象は無限に近い	カテゴリの数は2で、極めて限定的
判定の重大性		誤りはあってもよいが、その確率について信頼できる評価法が必要	誤りは犯罪の成功を意味する。誤りは致命的であるから殆ど許されない
方の式要へ求	コストと時間	高コスト、長時間も許される	低コスト、短時間
	自動化	会話型の方法も許容される	必要
学習サンプル量		非常に少量	多量が可能

合に比べて実務上の重要性が高く、金融機関をはじめ、あらゆる分野で公的な個人照合の手段として用いられている。例えば銀行の場合、毎日大量の手形、小切手が交換提示され、その決済を迅速、能率的に処理することが要求されている。そのためには、各々その振出しの真偽を調査することはできない。また預金窓口での払戻しにおいて、不特定多数の顧客を相手に払戻請求書が果して真の預金者のものであるかどうかを確認することは困難である。そこで、印鑑照合によって個人照合に代えており、各種の預金規定では、熟練者が届出の印鑑と払戻請求書などの印影とを相当の注意をもって照合すれば事故があっても銀行は免責される旨の免責約款を設けている。つまり銀行事務の合理化、顧客への簡易・便益などの見地から、銀行は届出印鑑と当該印影とを相当の注意をもって照合する義務を負い、その注意義務を果せば、他に特別の事情がない限り、免責を受ける。しかし注意義務を怠り、偽造印影を見過して預金の払戻しなどを行えば、銀行は免責を受けられず、大きな損害を被ることになる。すなわち印鑑照合は業務上重要な意味を持つものであり、印鑑照合の方法、注意義務の程度、印鑑照合に関するトラブルの事例、裁判所の判例などについて多くの議論が行われている〔1, 2〕。しかし実際には、照合件数の多さから注意義務が完全に果されていない可能性があること、および照合に携わる係員も熟練者とは限らないことがあるなどの点が指摘されている〔3〕。更に裁判所の判例も具体的な訴訟に対して、銀行の免責の有無を判断しているだけであり、客観的、一般的に検出すべき偽造印影の範囲を示してはいない。

以上のように、印鑑照合は社会的に非常に重要な業務であり、その安全性を保証するためには、本来照合結果の信頼性が定期的に、実証的に検証される必要がある。しかし実際には、これは行われていないし、また実施することが困難である。ここに、客観的、機械的方法のみによって照合を行う、いわゆる自動印鑑照合に関する研究を行う理由の一つがある。他方、上に述べたように銀行などでは照合処理の件数の増大に伴って、人間による照合処理の負担が過大になっており、

その負担軽減および事務処理の合理化のために、機械による印鑑照合の自動化の実現が要望されている。

1. 1. 2 本研究の工学的背景

前項で述べた社会的背景と、最近の計算機技術の急速な発展と一般化に基づいて、印鑑処理の機械化に関する研究が多く行われた。その結果、印鑑台帳の電子ファイル化、および印影の伝送・照会を行う実用化システムが開発され [4]、実際に稼働している [5]。印鑑照合の自動化に関しては、三重野 [6] によって計算機による印鑑照合の可能性が示唆されたのが最初である。この研究は、光電濃度計と計算機を用いてテンプレートマッチングの手法により、従来人間の主観的判断によっていた真偽判別を、数値データをもとにして機械的に行う試みであった。更に照合処理の全てを自動化する最初の試みが田中ら [7] と筆者ら [8] により行われた。印鑑の自動照合処理の一般的な流れは、図 1-1 のように示すことができる [9]。ここで最も重要な処理は、位置合わせと照合（照合に用いる印影の特徴量と真偽判別方式）である。その後の印鑑照合の自動化に関する研究においては、これら個別技術の開発が重要であるとの認識のもとに、多くの研究が活発に行われてきた。

被照合印影と登録印影の位置合わせ処理は、印鑑照合において極めて重要な役割を果たし、位置合わせの性能が照合の性能を大きく左右する。従って、さまざまな位置合わせ法が提案されている。しかし印影枠の点対象性を前提条件としたり、特定形状の印影枠に限定したり、あるいは印影の欠損を考慮していないなど、一般性に欠けるものがある。また特別な条件を付与しない手法であっても、原理的に計算量が多いため、位置合わせに長時間を要する手法が多く、高速処理が求められる印鑑照合に適した高速・高精度で一般性のある位置合わせ法を開発する必要がある。

次に、機械的に計測可能な印影の特徴量の定義とそれらを用いた真偽判別の方

式の検討は、印鑑照合の自動化の研究において最も中心的で重要な課題である。しかし、従来提案されている方法の多くは、印影の特徴量を直感的に定義したものであり、その妥当性が明らかでなく、それらが真偽印影間の差異をどの程度表現しているかということに関する検討もほとんど行われていない。また真偽判別の方式に関しても、それらの真偽判別効果が客観的に明らかにされておらず、実用化のための条件を考慮していない場合が多い。従って研究を着実に進めるためには、根拠のある合理的な印影特徴量の定義、および実務分野の実状に合致した

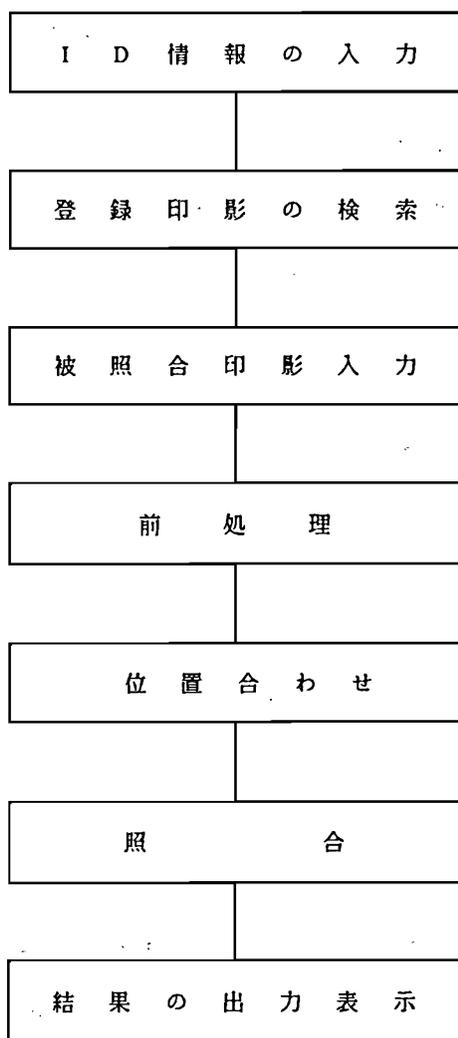


図 1 - 1 印鑑の自動照合処理の流れ図

照合方式の開発が重要である。またそれらの真偽判別効果についても、客観的、体系的に検討される必要がある。

更に、以上の個別技術の開発をもとにして構成した自動印鑑照合システム（図1-1）が、実用上要求される照合性能（真偽判別性能）を満たしているかどうかの検討も重要である。具体的には、印鑑照合の実務分野で要求されている照合性能の基準の明確化、問題の自動照合システムで検出可能な偽造印影の範囲の明確化、および実務上起こり得る印影の変動要因と照合結果との関係の明確化などである。これらの問題は、実用上非常に重要であるにもかかわらず、ほとんど検討されていない。すなわち開発された自動印鑑照合システムの実用性の可否を判断するための客観的な評価方法の確立が望まれている。

以上述べたように、実用的な印鑑照合の自動化技術の確立のためには、各個別技術の開発と共に現在人間が行っている印鑑照合についても十分に分析して、それらの成果をもとにして総合的、体系的に研究を進める必要がある。本研究は、このような立場から印鑑照合の自動化の問題を扱ったものであり、現在人間が行っている印鑑照合の方法、および照合能力を実際に調査し、これに基づいて具体的な自動印鑑照合方式を開発し、その照合性能および特性を明らかにしようとするものである。

本研究の成果としては、以下の6項目がある。

- (1) 印鑑照合向き的高速・高精度な印影の位置合わせ方式の開発
- (2) 熟練者の印鑑照合方法を参考にした印影の特徴量（照合変数）の定義と、その自動計測法の開発
- (3) 実務上の条件を考慮した真偽判別方式の開発
- (4) 客観的な照合性能の評価方法の提案と性能評価
- (5) 本提案方式と熟練者の印鑑照合特性、および正照合限界の明確化
- (6) 本提案方式の照合性能向上のための印影品質の機械的識別法の開発

1. 2 本研究の目的

近年、従来人間が行ってきた個人照合のための印鑑照合作業を、計算機を用いて自動化しようという試みが盛んに行われている。これらの研究の多くは、画像処理・パターン認識の分野で開発された技術をそのまま適用しようとするものであった。文字認識や画像認識など一般のパターン認識は、対象となる文字や画像を、それらの特徴によって、それらが属すべき概念集合の1つの要素に対応付ける操作である。これに対して、印鑑照合は登録・被照合両印影の同一性を判定する操作であり、本質的に異なる問題を含んでいる。またそれらが実際に使用される目的、環境も大きく異なる。

本研究の目的は、上のような問題点の相異、印影パターンそのものの特性、およびそれが使用される環境条件などを考慮して、高性能な自動印鑑照合方式を開発することである。更に開発した照合方式の有効性を客観的、実証的に検証すると共に、本照合方式と熟練者の印鑑照合特性の比較検討を行い、本方式の照合性能をより一層高めるための手がかりを得ることも重要な目的である。

1. 3 他の研究との関連

ここでは、印鑑照合の自動化を実現するために最も重要な印影の位置合わせ、照合に用いる印影の特徴量と真偽判別方式、およびこれらの個別処理を統合した自動印鑑照合方式とその性能評価に関して、他の研究との関連について述べる。

(1) 印影の位置合わせ

位置合わせとは、登録・被照合両印影を照合するために、両印影上の互いに図形的に対応する部分を2次元座標上で一致させる処理である。具体的には、被照合印影または登録印影のいずれか一方を、他方に重ね合わせるべく移動するために必要な平行移動量と回転量（位置合せパラメータ）を検出する。そして得られたパラメータをもとに、一方の印影を座標変換する。位置合わせパラメータの検出

法にはさまざまな手法が提案されているが、基本となるのは印影の回転中心と回転角度の検出である。具体的な手法としては以下のものが提案されている。

- ①登録印影と被照合印影の縦横両軸への平行投影像のフーリエ変換の類似度を利用する方法 [7]
- ②両印影の図形中心に関する周辺密度の相関を利用する方法 [1 0]
- ③両印影の図形中心を通る互いに直交する 2 直線上の画素列の一致度を調べる方法 [1 1]
- ④両印影から比較的小さな部分領域を抽出して、それらの対応関係を調べる方法 [1 2]
- ⑤印影枠上の画素の中で、図形中心に関して互いに点対称な関係にある画素の組を多数決により求め、これから印影中心を決定する方法 [1 3]
- ⑥矩形枠の印影に限定して、基準方向（水平または垂直方向）に対する印影枠の角度を求め、次いで枠の上下、左右の各辺から印影中心を決定する方法 [1 4]
- ⑦両印影の画線部のスケルトンを抽出して、これらのマッチングを利用する方法 [1 5]
- ⑧印影のエッジの方向ヒストグラムのマッチングを用いる方法 [1 6]

しかし、これらの手法の中には印影枠の点対称性を前提条件としたり [1 3]、特定形状の印影枠に限定したり [1 4]、あるいは印影枠の欠損を考慮していない [1 1] など、一般性に欠けると考えられるものがある。また、その他の各手法は原理的に計算量が多く、位置合わせに長時間を要する可能性がある。これは高速処理が要求される印鑑照合においては重大な問題点となる。

これに対して本論文では、印影枠図形の重心と、その点から適当な半径の円周上の画素列とを用いた位置合わせ法を提案する。本提案手法は、印影の局所的な情報を用いて位置合わせを行うので、高速処理が可能である。また本提案手法は、印影枠の欠損を識別できる機能を有しており、抽出された枠図形の重心を印影の中心として位置合わせを行うので、印影枠の形状や枠の欠損によらず、高精度な

位置合せが可能であるという特長がある。

(2) 印影特徴量と真偽判別方式

機械的に計測可能な印影の特徴量の定義とそれらを用いた真偽判別の方式の検討は、印鑑照合の自動化の研究において最も中心的で重要な課題である。従来提案されている主な手法としては、

- ①登録・被照合両印影の画素対応のマッチングを用いる方法 [6]
- ②両印影の縦横両軸への平行投影像のフーリエ変換の類似度を用いる方法 [7]
- ③あらかじめ粗照合により明らかな偽造印影を検出し、この段階で真正印影とされた印影に対して更に詳細照合を行う、いわゆる2段階照合方式 [17, 18]
- ④両印影画像のスケルトンの類似度による方法 [14, 15]
- ⑤印影を濃淡画像のまま取り扱い、まず被照合印影の線幅を登録印影の線幅に合わせるように、被照合印影の濃淡を補正した後、画素対応のマッチングをとる方法 [16] などがある。

これらは、従来のパターン認識分野における画像間の類似度評価に一般的に用いられている方法であるが、基本的に印影画像の全体的な類似度に基づく方法であったり [6, 7, 16~18]、印鑑照合においては重要な特徴とされている画線の線幅に関する情報を削除している [14~16] などの理由で、極めて類似した偽造印影の検出には問題があると考えられる。印鑑照合の自動化に関する研究においては、印影そのものの特性およびその目的を十分考慮して、根拠のある合理的な特徴量の選択を行う必要がある。

一方、文書鑑定や金融機関など印鑑照合の実務分野においては、長年の経験と研究に基づいて、印鑑照合の方法や真偽判別に有効な印影パターン特徴が明らかにされている [1, 2, 19, 20]。これらは、一部計測値を用いる場合もあるが、基本的には目視による主観的な判断に基づいた方法である。しかしこれらは印影そのものの特性を十分考慮した結果、確立されたものであり、印鑑照合の

自動化においても参考にすべきであると考えられる。このような立場から自動化を試みた例 [18] はあるが、2段階照合方式の粗照合の段階で概略形状の同一性の判定に取り入れられているにすぎない。

また、従来の研究における真偽判別の方法は、学習用サンプルとして真正・偽造印影をあらかじめ多数用意して、これらの登録印影に対する類似度を計算し、その分布に基づいて最適な真偽判別のしきい値を決定するものである。しかし実際の印鑑照合においては、偽造印影に関して事前にその性質を予測することはできない。従って印鑑照合の自動化においては、真正印影のみを学習用サンプルとする真偽判別の方法を検討する必要がある。

本論文では、従来のように直感的な自動化の方式ではなく、熟練者が行っている印鑑照合の方法および真偽判別に有効とされている印影特徴を参考にして、それらを自動化する方法、および真正印影サンプルのみを用いた学習方法を提案する。

(3) 自動照合方式の性能評価

前二項で述べた個別技術の開発をもとにして、それらを統合して印影の入力から真偽判別までを自動的に行う自動印鑑照合方式が提案されている [7, 8, 14~18]。実用的な観点では、これらさまざまな方式がどの程度の照合性能（真偽判別性能）を有しているかが最も重要である。従来提案されている方式はいずれも実際に照合実験を行って、その照合率を具体的に示している。しかし実験に用いている印影サンプルは、共通に利用できる印影データベースがないこともあって、各実験においてそれぞれ独自に準備されたものであり、照合率を決定する重要な要因と考えられる印影の品質や真偽印影間のパターン類似度などが不明である。また中には印影サンプルの数が極めて少数のものもある。従ってこの照合率から各方式の照合性能を比較、判断することは不可能である。更に実用化が可能となるためには、どの程度の照合性能を達成すればよいのかという最も基

本的な点についても明かではない。

本論文では、以上の問題点を解決するために、銀行員など熟練者の印鑑照合能力を基準とした客観的な照合性能の評価法を提案する。そして本評価法により、本論文で提案する自動印鑑照合方式の有効性について検討する。

1. 4 本論文の概要

本論文は、個人照合の手段として広く一般に行われている印鑑照合処理を自動化する方式の開発に関する研究成果をまとめたものである。

第2章では、まず印影生成のモデルを示し、それに基づいて印鑑照合の基礎的概念を与え、問題点の整理を行う。次いで、本研究において開発した自動印鑑照合方式、およびそれに対応した印鑑登録方式について全体的な処理の流れを示し、その概要を説明する〔21, 22〕。更に入力印影画像の前処理について述べる。前処理では、印影画像の雑音除去のための平滑化処理と濃淡の調整など、入力印影画像の整形を行う。濃淡の調整に関しては、後の照合処理の段階で、印影を2値画像として取り扱うか、それともかすれ、にじみなどの情報を保存した濃淡画像として取り扱うかにより、具体的な処理が異なる。ここでは、これらの点について考察し、印鑑照合に適した前処理法を明らかにする。

第3章では、印鑑照合に適した高速・高精度で一般的な印影の位置合わせ法を提案する。具体的には、印影枠の欠損を識別できる機能を有した印影枠図形の抽出法、および印影枠図形の重心から適当な半径の円周上の画素列のマッチングを利用した回転角度の検出法を提案する。そして本手法の位置合わせ精度を実験的に明らかにする。更に位置合わせ精度、および処理時間に関して、従来の手法との比較検討を行い、本手法の有効性を確認する〔23, 24〕。

第4章では、文書鑑定や銀行など印鑑照合の実務分野において熟練者が行っている印鑑照合の方法、および印影の真偽判別に有効とされている印影特徴を分析し、これらを自動計測可能な照合変数として定義する。そしてそれらの真偽判別

に対する有効性を実験的に確認する〔25～28〕。更に、実用上必須の条件である真正印影のみを学習用サンプルとする真偽判別法を提案する〔27, 30〕。

第5章では、第2章から第4章にわたって検討した処理法を統合して、第2章で示した自動印鑑照合方式のシミュレーション・システムを構成し、照合実験を行い、その照合性能の評価を行う。具体的には、自動印鑑照合方式の照合性能評価に関して、熟練者の照合能力を基準とした客観性のある評価方法を提案する。その方法に基づいて、実際に性能評価を行い、提案した自動照合方式の有効性を確認する〔29, 30〕。

第6章では、従来文書鑑定や銀行など印鑑照合の実務分野で指摘されている、照合結果に影響する要因について考察する。照合結果に影響する主な要因として、印肉の着肉状態に起因する印影品質と偽造印影の真正印影に対するパターン類似度を取り上げ、これらの要因が本論文で提案する自動照合方式、および熟練者による照合結果に与える影響について実験的に比較検討を行い、両者の照合特性の差異について分析する〔31～33〕。更にその結果をもとにして、本提案方式の照合性能を更に高めるための手がかりを得る〔39, 40〕。

第7章では、本研究で得られた成果を要約し、今後に残された課題について述べる。

第2章 印鑑照合の基礎的概念と 自動照合方式の概要

2.1 緒言

具体的な自動印鑑照合方式の提案および検討を行う前に、本論文で自動化の対象としている印鑑照合処理の基礎的概念、本論文で提案する自動化システムの全体像とその概要、および本論文全体にわたる共通の課題について、明確にしておく必要がある。本章では、これらの点について述べる。まず2.2節では押印という操作によって得られる印影の生成モデルを示し、これに基づいて印鑑照合処理の基礎的概念を与え、問題点の整理を行う。2.3節では第3章以下で述べる個別処理を統合した自動印鑑照合方式、およびそれに付随する印鑑登録方式について、その全体的な構成と処理の流れを概説すると共に、各個別処理の方式全体の中における位置付けを明らかにする。2.4節では具体的な照合方式を検討するにあたって、最も基本的且つ共通の課題である、印影を白黒2値の画像として取り扱うか、それとも多値の濃淡画像として取り扱うかという問題について考察し、本研究の立場を明らかにする。更にこの結果に基づいて、この問題と密接な関係にある印影画像の前処理法について本研究で採用する方法を示す。2.5節は本章のまとめである。

2.2 印影生成のモデルと印鑑照合

まず印鑑照合の問題を考える際に最も基本となる印影生成の過程について考察する。象牙、木、プラスチックなどの材料に所有者の名前が刻印されたものを印章と呼ぶ。例えば所有者が同姓であっても、印章に刻印された文字パターンは全て異なるという前提条件をおく。図2-1に示すように、一つ一つの印章に J_1 , J_2 , J_3 , \dots , J_L なる名称を付け、これらの集合を印章集合 A と呼ぶ。 A は刻印文字パターン集合である。印章の刻印文字を押印という操作によって、紙

に転写したものが印影である。これは、集合Aの要素 $J_1, J_2, J_3, \dots, J_L$ を印影パターン集合 Ω 上に写像したものであり、それぞれの印章に対応した印影は、集合 Ω において部分集合 $P_1, P_2, P_3, \dots, P_L$ を形成する。部分集合 $P_1, P_2, P_3, \dots, P_L$ の広がりや位置は押印の際、印肉の付着状態、押印の仕方、押印用紙の種類など多くの要因によるパターン変動を表している。印章集合Aと印影パターン集合 Ω は、印章の刻印パターンまたは印影パターンに対して定義された特徴軸によって作られる多次元特徴空間にある。また J_1 の偽造印章 J_{1F} が存在するとすれば、 J_{1F} は集合Aで J_1 のごく近傍に位置する。従ってその写像である集合 Ω の部分集合 P_{1F} も P_1 の近傍に位置する。

印鑑照合とは、例えば印章 J_1 の登録印影としてあらかじめ鮮明な印影 $p^{(1)}$

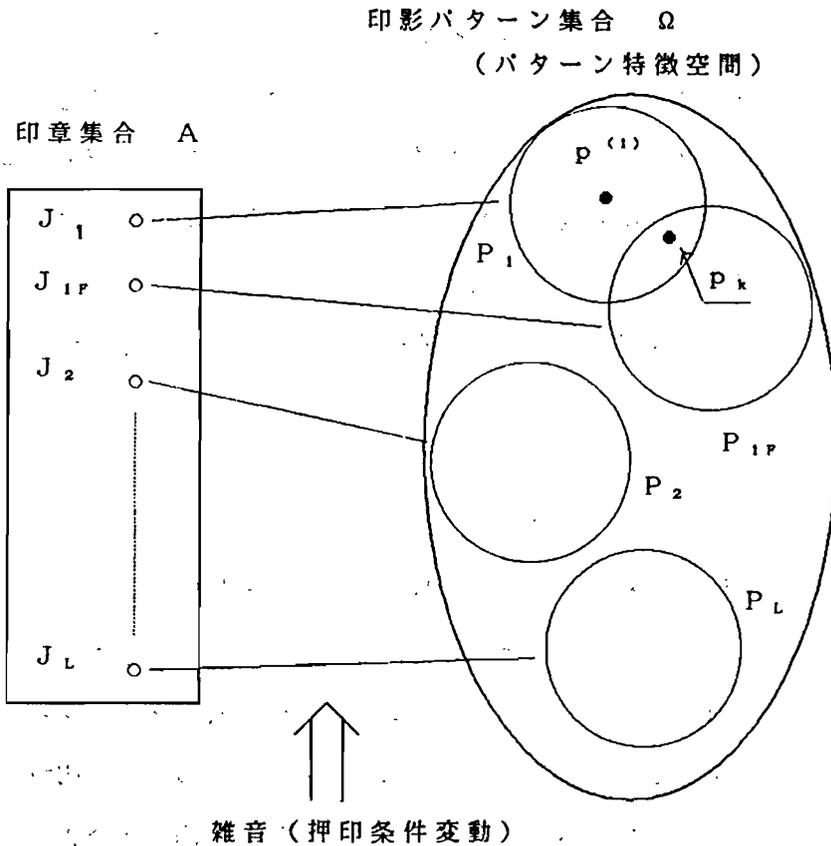


図2-1 印影生成のモデル

が与えられているとして、新たに J_1 による印影であるとして入力された被照合印影 p_k が、 J_1 の登録印影 $p^{(1)}$ と同一かどうかを、 $p^{(1)}$ と p_k との距離、および部分集合 P_1 の大きさを参考にして判定する操作であると定義する。図 2-1 に示した印影生成のモデルと印鑑照合の本質的な定義から、印鑑照合の自動化の問題を解決するための具体的な課題としては、以下のものが導かれる。

(1) 各印章 $J_1, J_2, J_3, \dots, J_L$ に対応する印影パターン集合 Ω における部分集合 $P_1, P_2, P_3, \dots, P_L$ の広がりをも最小にし、各部分集合の分離度を最大にするような特徴軸を選択すること、すなわち真偽判別に有効な印影特徴を見いだすこと。

(2) その場合の部分集合 $P_1, P_2, P_3, \dots, P_L$ の広がり大きさ、およびそれらの分離度（本質的な偽造印影の検出限界）を明らかにすること。

(3) 具体的に被照合印影 p_k が与えられたとき、誤判別を最小にするような真偽判別法を明らかにすること。

この他に、先の印影生成モデルの考察から直接導かれる課題ではないが、

(4) 登録・被照合両印影の微小なパターンの差異を検出する必要があるため、両印影を高精度に位置合わせする方法を見いだすこと。

などがある。

上の課題 (1)、(2)、(3) は図 2-1 で示した印影生成のモデルにおける A から Ω への写像の特性が明らかになれば、ほとんど解決される問題である。しかし、実際にはこの写像は多くの要因が複雑に絡み合っているため、これを客観的、定量的に明確化するのは困難である。一方、印鑑照合の熟練者は主観的ではあるが、長年の経験に基づいて最も効率的で信頼性のある照合方法を確立してきており、それは上の課題に対する一つの解決策を与えていると考えられる。従って本論文では、熟練者の照合方法をもとにして上記課題 (1) ~ (3) に対する検討を行うと共に (4) の解決策を与える。

2. 3 印鑑登録・照合方式の概要

第1章で一般的な自動印鑑照合処理の流れを示したが(図1-1)、ここでは、本論文で提案する自動印鑑照合方式とそれに付随する印鑑登録方式の全体的な構成および処理の流れの概要について述べる。

図2-2に、本論文で提案する自動印鑑登録・照合方式のブロック図を示す。以下、各システムについてその概要を説明する。

(1) 印鑑登録システム

図2-2(a)に示すように、まず登録したい印影のID情報(本研究では印章番号)をキーボードより入力する。以後、順次以下の処理を行う。

① 印影入力

当該印影をTVカメラからシステムに入力する。入力条件は、濃淡の階調数256階調、標本化密度10画素/mmである。また入力画像の大きさは、128×128画素である。従って実視野上での入力領域は12.8×12.8mmとなる。入力画像の大きさに関しては、本研究においては直径または1辺の長さが10mm程度の認印を実験対象としているので、処理の効率化のため上の値とした。実際には直径20mm、あるいは1辺の長さが30mm程度の役職印や団体印があるので、実用化の場合は画像サイズを大きくする必要がある。しかし画像サイズは、照合アルゴリズムの検討に本質的な影響を与えるものではなく、単に処理時間に影響するのみである。

② 前処理

前処理では、主に雑音除去、濃淡の調整など、入力印影画像の整形を行う。雑音除去は平滑化処理により行う。また濃淡の調整に関しては、後の照合段階で印影画像をどのような形で取り扱うかという方式全体に関わる問題を含んでいるので、2.4節で詳しく議論する。

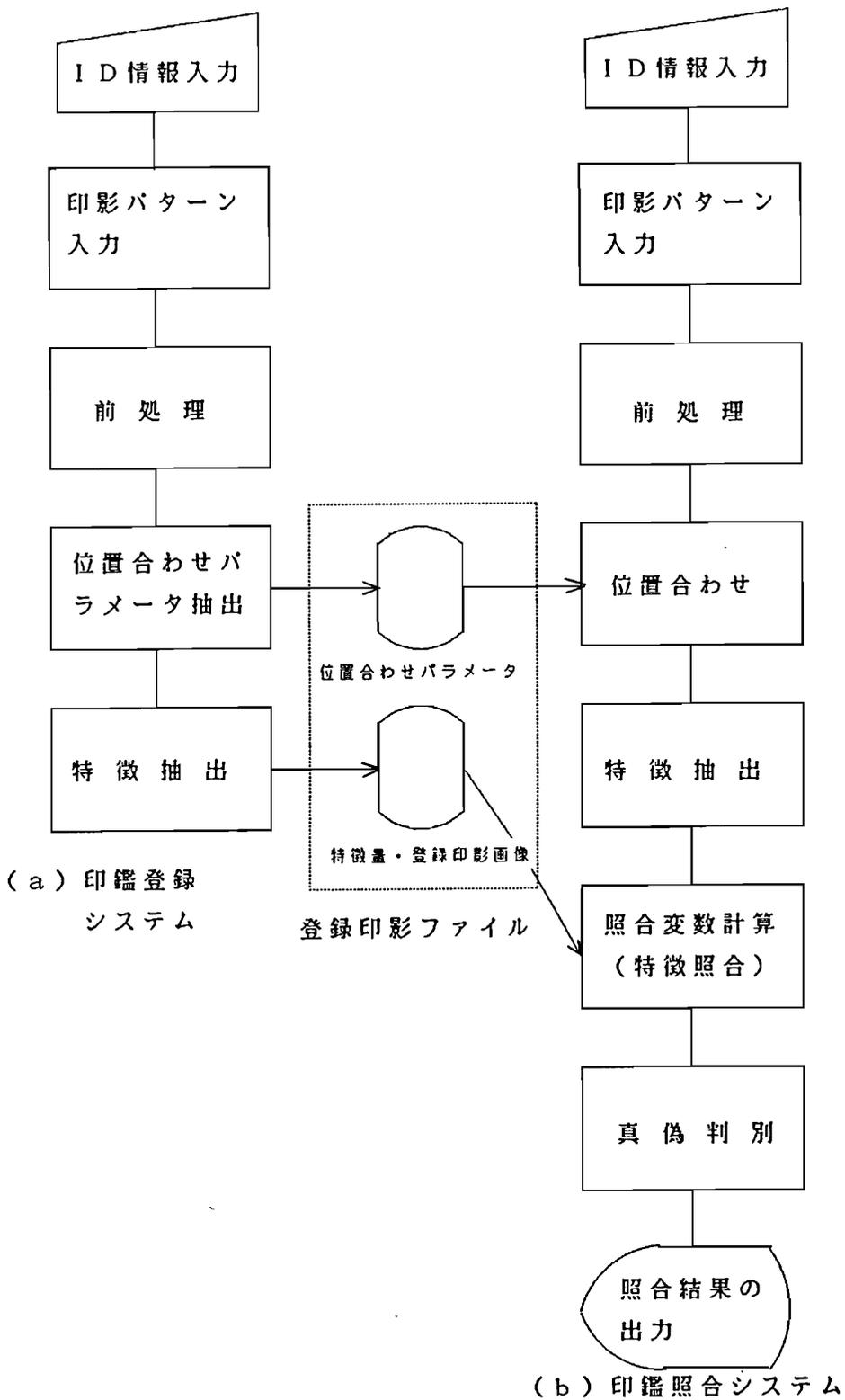


図 2-2 印鑑登録・照合方式のブロック図

③位置合わせパラメータの抽出

ここでは、照合システムにおいて照合前に被照合印影を登録印影に位置合わせする時に、基準となる登録印影の位置情報の抽出、およびそれらを登録印影ファイルに格納する処理を行う。

④特徴抽出

照合時の処理の高速化のために、あらかじめ登録印影の特徴を抽出して、それらを登録印影画像と共に登録印影ファイルに登録する処理を行う。この処理では、印影画線の線幅、方向係数、および位置など主として印影の局所的な特徴を抽出する。

以上の一連の処理によって、登録印影ファイルには照合時に必要となる位置合わせパラメータ、印影特徴、および登録印影画像が登録印影のID情報のもとに作成される。

(2) 印鑑照合システム

図2-2(b)において、ID情報の入力から前処理までは印鑑登録システムと同一の処理を行う。

①位置合わせ

ここでは、整形された被照合印影を、既に登録されている登録印影に位置合わせする。まず登録システムにおける位置合わせパラメータ抽出と同じ処理により、被照合印影の位置合わせパラメータを抽出する。そして最初に入力されているID情報に該当する登録印影の位置合わせパラメータとの比較により、被照合印影を登録印影に位置合わせする。

②特徴抽出

位置合わせされた被照合印影について、前記(1)の④と同一の方法で被照合印影の特徴抽出を行う。

③照合変数の計算

ここでは、特徴抽出の段階で抽出された登録・被照合両印影の局所的特徴、および両印影画像を画素単位に照合して、それらの偏差である照合変数を計算する。なお、この他に位置合わせの段階で得られた位置合わせパラメータの不一致率も照合変数として用いる。照合変数は両印影の差異の大きさを表し、真偽判別の基礎データとなるものである。

④真偽判別

上の照合変数を用いて、適当な学習用サンプルの性質からあらかじめ決定されている判別しきい値を基準として、被照合印影の当該登録印影との異同を判別する。

2. 4 印影データ表現と前処理

2. 4. 1 印影データ表現

2. 3節で述べた印鑑登録・照合システムで、対象とする印影をどのような形（濃淡の階調数、サンプル密度）で取り扱うかということは、全ての処理法に関わる基本的な問題である。この問題に関しては、基本的に2つの考え方がある。1つは、印影のかすれ、にじみなどの情報を保持した多値の濃淡画像として取り扱う方が良いとする考え方[16]、他の1つは、印影は本来白黒2値のパターンであること、および印影画像のデータ量が少なくて済むことから2値画像として取り扱う方が有利であるとする考え方[14, 15, 17, 18]である。前者は、当然印影画像が保持する情報量は多いが、現在のところこの濃淡情報をうまく利用する照合方法が不明である。また登録印影の件数が多い場合、後者に比べて印影画像のデータ量が多いため莫大な登録印影ファイルが必要になるという欠点がある。このことは実用化を考えた場合、非常に重大な問題となる。

また自動印鑑照合システムは、目視検査のために随時登録印影や被照合印影をCRT上に表示する機能が必要である。この場合、表示された印影画像が視覚的

に十分な品質を有していることが必要である。この観点から、金子は印影画像の濃淡の階調数およびサンプル密度と主観的な印影品質との関係について詳しく調査している [34]。その結果によれば、濃淡の階調数が2でサンプル密度が20画素/mmの場合が最良であり、階調数が2でサンプル密度が10画素/mmでも使用に耐え得るとしている。更にサンプル密度が10画素/mmの場合について階調数が128になると、かえって品質が悪く評価されることを示している。また筆者が種々の印影について、画線の線幅を調査したところ、最小0.2mm程度で、それ以下のものはなかった。

以上の諸観点から総合的に検討した結果、本研究では印影の入力は2.3節で述べたように、濃淡の階調数256、サンプル密度10画素/mmで行うが、前処理の段階で濃淡を2値化して、サンプル密度10画素/mmの白黒2値印影画像について照合を行うことにする。

2.4.2 前処理

前処理では、ビデオ系の雑音や押印紙面の粗さに起因する不規則な濃淡変動など高周波の雑音除去処理、および2.4.1節で検討した結果に基づいて濃淡の2値化処理を行う(図2-3)。

まず雑音除去処理では、図2-4に示す大きさ 3×3 の重み付き平滑化フィルタを入力印影画像全体に作用させる。

濃淡の2値化処理は、画像をその対象部分(印影の画線部)と背景部分の2つの領域に分割することである。これは、画像の認識目的と深く関わる問題であり、従来多くの手法が提案され、またそれらの比較検討も行われている[35]。本研究においては、種々の方法を検討した結果、大津により提案された判別基準に基づく自動しきい値決定法[36]を採用する。この方法は、画像の濃度ヒストグラムを基礎データとして、これを対象部分と背景部分の2つのクラスに分割したとき、そのクラス間分散が最大になるように分割のしきい値を決定する方法で

ある。この方法の特長は、しきい値の決定がノンパラメトリックな方法であり、しきい値決定の基準が明確であること、および最小 2 乗誤差の意味でも最適なしきい値を与え、原画像に忠実な 2 値化画像が得られることである。

この他に、前処理の段階で入力印影のパターン変動を正規化しようとする試みがなされている。例えば、印影を濃淡画像として取り扱う立場からは入力された被照合印影の線幅を登録印影の線幅に合わせるように被照合印影の濃淡を補正する方法 [16] があり、印影を 2 値画像として取り扱う立場からは被照合印影の濃淡の 2 値化の際、2 値化された被照合印影の平均線幅を登録印影の平均線幅に

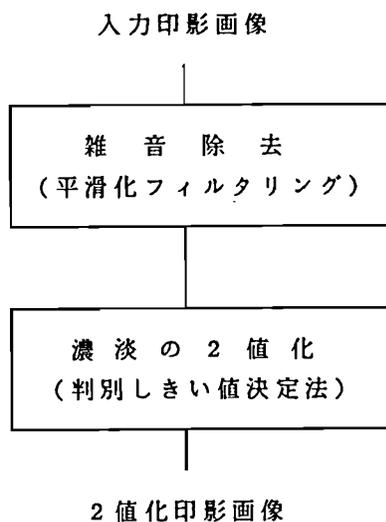


図 2 - 3 前処理のブロック図

1	1	1
1	2	1
1	1	1

図 2 - 4 雑音除去に用いる平滑化フィルタ

合わせるように2値化のしきい値を決定する方法[37]がある。しかし印鑑照合においては、印影の線幅は真偽判別のための重要な情報の1つであり[1, 2, 19, 20, 38]、これを前処理の段階で登録印影の情報のみに基づいて正規化するのは問題がある。従って本研究では、前処理ではなるべく原画像に忠実な2値画像を得ることとし、種々の要因によるパターン変動の対策は別途検討する方が良いという立場をとる[39, 40]。

2.5 結 言

本章では、印影の生成モデルを示し、これに基づいて印鑑照合の基礎概念およびその自動化を検討する際の本質的な課題を明らかにすると共に、本論文で提案する自動印鑑照合方式の全体的な構成について概説し、第3章以下で議論する各個別処理の位置付けについて述べた。更に、印鑑照合の自動化方式を検討する際、最も基本的、且つ共通的課題である印影画像の表現方法、およびそれと密接に関係する前処理法について考察し、本研究の立場を明らかにした。

第 3 章 印影の位置合わせ法の提案と 位置合わせ誤差の検討

3. 1 緒 言

印鑑照合は、文字認識など一般のパターン認識とは異なり、(1) 照合の基準となる標準パターンは登録印影として、あらかじめ1つに限定されている、(2) 照合の対象となる印影には大きな幾何学的変形がなく、むしろ偽造印影の検出のように微小なパターン変形を検出することが重要である、などの特徴がある。従って自動印鑑照合においては、被照合印影を登録印影に正確に位置合わせすることが重要である。このような理由から、印影の位置合わせに関して既に多くの研究が行われている [7, 10~16]。

しかし、これら従来方式は、特定の印影形状に限定した一般性に欠ける手法や、原理的に計算量が多く、位置合わせに長時間を要する手法である。また、各手法の位置合わせ誤差については、各々の立場で評価されているが、最も重要な問題である照合性能への位置合わせ誤差の影響についての検討はなされていない。

次に、自動照合の対象となる印影の品質について考える。この問題は、印影画像の品質に関する定量的な評価尺度が確立していない現段階では厳密な議論は困難であるが、例えば第6章(図6-1, 図6-7)に見られるような印肉のかすれが印影全体にわたっている低品質印影は、例え位置合わせが正しく行われたとしても、照合段階での真偽判別が困難な場合が多い。このことは文書鑑定の専門家によっても指摘されている [19, 20]。また、銀行などでの個人照合の手段としての印鑑照合を対象とする限りにおいては、押印時の条件変動をある程度抑えることが可能である。以上の諸点を考え合わせると、自動印鑑照合における印影の位置合わせ法としては、部分的に印肉のかすれやにじみを有する程度の比較的良品質の印影を正確、且つ高速に位置合わせできる手法が有効である。

本章では、まず3.2節において印影枠形状に依存せず、部分的な印影枠欠損

にも適応できる高速・高精度な位置合わせ法を提案する。3. 3節では、前節で提案した位置合わせ法の位置合わせ誤差を実験的に明らかにする。3. 4節では、3. 3節で明らかにした位置合わせ誤差の照合結果への影響の程度を実験的に明らかにする。3. 5節では、位置合わせ誤差および処理時間に関して、他の方法との比較を行い、本提案手法の有効性を示す。3. 6節では、本提案手法の性質について検討する。3. 7節は、本章のまとめである。

3. 2 位置合わせ法の提案

3. 2. 1 印影の図形中心の決定

印影は円、楕円、矩形などの形状の枠を常に有するという前提条件は一般に十分認められる。ここでは、この特徴を利用して印影の図形中心を決定する。

最初に、印影図形中心のx座標値の決定について述べる。まず図3-1(a)に示すように、2値化印影画像を水平両方向(左右方向)ラスタ走査し、印影の最外周点を検出する。元の印影が十分細かい間隔でサンプルされており、且つ

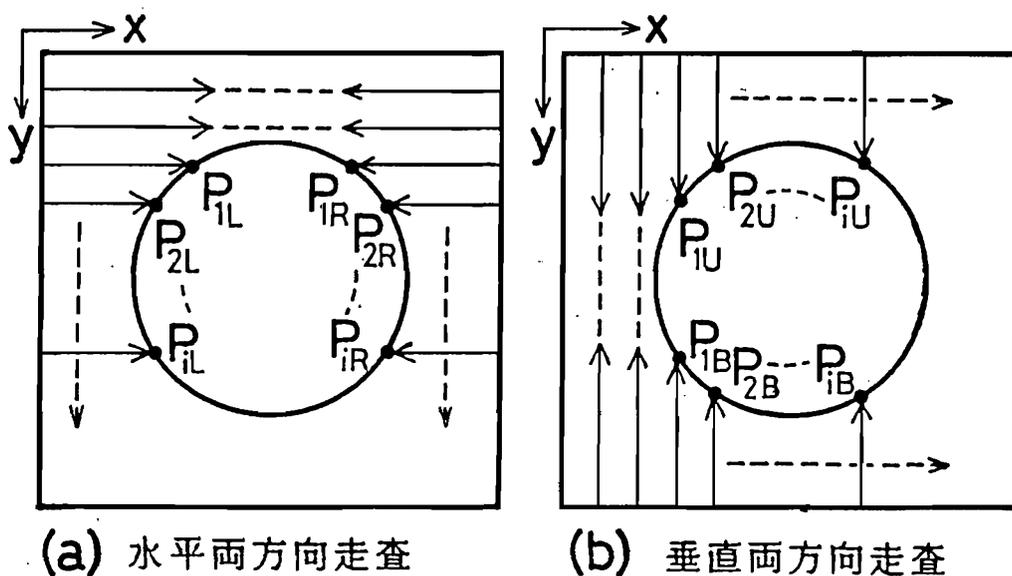


図3-1 印影枠図形抽出のための画像走査

印影枠に欠損がなければ、検出される最外周点列 $\{P_{iL}\}$ 、 $\{P_{iR}\}$ ($i=1, 2, \dots, n$) の x 座標値は比較的滑らかに変化する。しかし印影枠に欠損があれば、図 3-2 に示すように欠損箇所では x 座標値は急変する。この性質を利用して各走査において検出される最外周点が印影枠の縁点（以後、この点を枠構成点と呼ぶ）であるか否かを判定しながら、枠構成点のみを抽出する方法をとる。具体的には、図 3-1 (a) の画像走査において最初に検出された左右の最外周点 P_{1L} 、 P_{1R} は無条件に枠構成点とする。2 番目以降 i 番目に検出された最外周点 P_{iL} 、 P_{iR} については図 3-2 (A) に示すように、注目点 P_{iL} 、 P_{iR} の直前に枠構成点であると判定された最外周点 P_{L^*} 、 P_{R^*} の x, y 座標値をそれぞれ (x_{L^*}, y^*) 、 (x_{R^*}, y^*) とし、 K_1 、 K_2 を適当な定数として、 P_{iL} 、 P_{iR} が

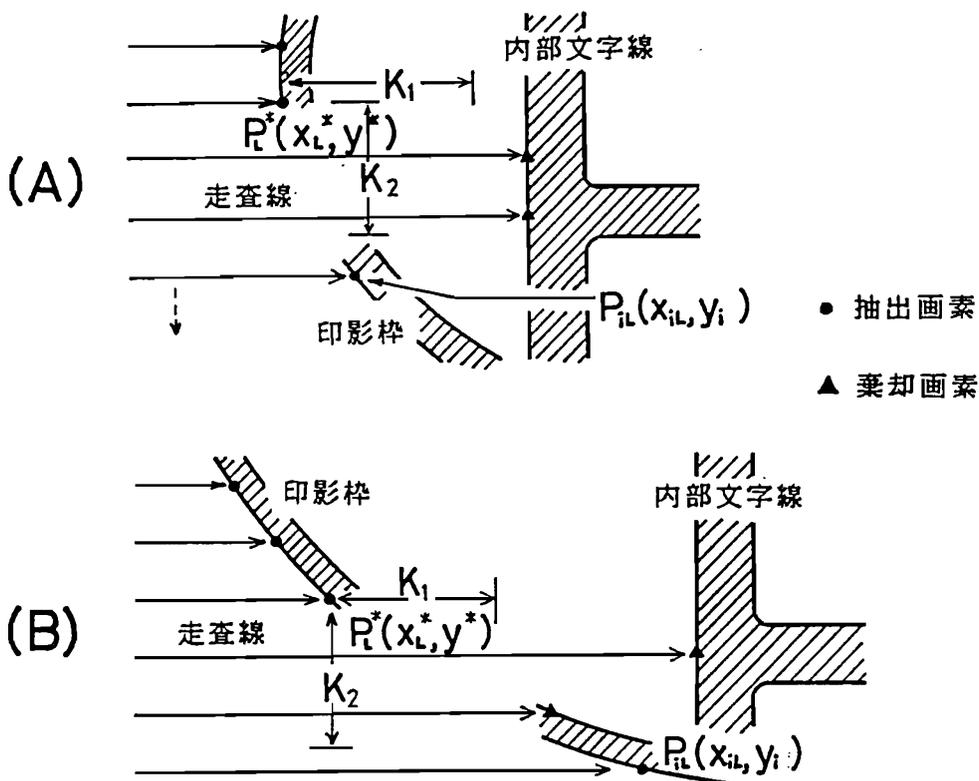


図 3-2 枠構成点の抽出 (右方向走査の場合)

(枠構成点棄却条件)

$$| x_{iL} - x_L^* | > K_1 \quad \text{または} \quad | x_{iR} - x_R^* | > K_1 \quad (3.1)$$

且つ

$$| y_i - y^* | < K_2 \quad (3.2)$$

を満たすときは、注目点 P_{iL} 、 P_{iR} を枠構成点ではないとして棄却し、満たさないときは枠構成点であるとする。棄却条件 (3.1) 式は、前記の x 座標値の急変を発見するための条件である。また P_{iL} 、 P_{iR} について同時に判定しているのは、後に述べる枠図形中心の計算の際、左右に枠構成点が存在しなければならぬからである。更に棄却条件 (3.2) 式は、図 3-2 (B) のように枠の傾斜が小さい部分に欠損がある場合、(3.1) 式だけで判定すると、途中で枠構成点でない判定された点が存在すると、以後正しい枠構成点が存在しても棄却されることがある。対象とする印影の枠欠損がそれほど大きくないと仮定すれば、 y^* と y_i との差がある程度大きくなれば、真の枠が存在する可能性が高いと考えて、再び最外周点 P_{iL} 、 P_{iR} を枠構成点として抽出するための条件である。

以上の操作を印影画像全体にわたって施し、枠構成点を抽出する。抽出された左右の枠構成点の x 座標値をそれぞれ $\{x_{jL}\}$ 、 $\{x_{jR}\}$ (但し、 j は枠構成点の抽出順を表し、 $j=1, 2, \dots, N$ であり、 N は左右それぞれの枠構成点数である) として、枠図形中心の x 座標値 X は

$$X = \frac{1}{2N} \sum_{j=1}^N (x_{jL} + x_{jR}) \quad (3.3)$$

で求められる。

枠図形中心の y 座標値 Y は、走査方向を図 3-1 (b) のように変更して、垂直方向に上記と同様の操作を行うことにより求められる。

得られた枠図形中心 (X, Y) と登録印影について、あらかじめ求められている図形中心 (X_0, Y_0) とを用いて、被照合印影の平行移動に関する位置合わせパラメータは

$$\Delta X = X - X_0, \quad \Delta Y = Y - Y_0 \quad (3.4)$$

となる。

3.2.2 回転角度の決定

ここでは、印影枠内の適当な半径の円周上の文字線の配置情報に基づいて、被照合印影の登録印影に対する回転角度を決定する方法について述べる。

図3-3に示すように、被照合印影を3.2.1節で求めた図形中心 (X, Y) から、適当な半径 r_1, r_2 の円周上を反時計回りにそれぞれ1周走査して、円周上の画素列を抽出する（以後、この2つの画素列をリングデータと呼ぶ）。半径 r_1 のリングデータを $C_1(i)$ ($i=1, 2, \dots, n_1$)、半径 r_2 のリングデータを $C_2(j)$ ($j=1, 2, \dots, n_2$) とする。 $C_1(i), C_2(j)$ は $C_1(i - n_1) = C_1(i)$ 、 $C_2(j - n_2) = C_2(j)$ なる周期性を有する。

この $C_1(i), C_2(j)$ を回転しながら、同様の方法で既に求められている登録印影のリングデータ $R_1(i), R_2(j)$ との不一致率 $p(k, l)$ を次式

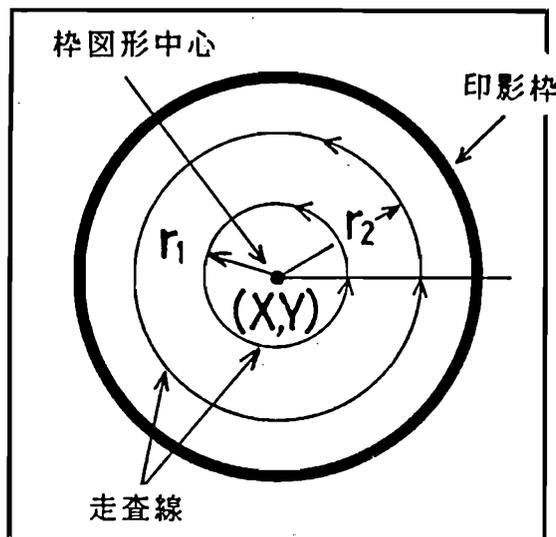


図3-3 リングデータの抽出

で計算する。

$$p(k, l) = \frac{1}{n_1 + n_2} \left\{ \sum_{i=1}^{n_1} R_1(i) \oplus C_1(i-k) + \sum_{j=1}^{n_2} R_2(j) \oplus C_2(j-l) \right\} \quad (3.5)$$

ここで、 k は $C_1(i)$ の移動量、 l は $C_2(j)$ の移動量であり、 \oplus は排他的論理和を表す。また $k = [(n_1/n_2) \cdot l]$ である ($[\]$ はガウス記号)。そして、 $p(k, l)$ の最小値

$$P_H = \min \{ p(k, l) \} \quad (3.6)$$

を与える $C_2(j)$ の移動量 l_m を求める。被照合印影の登録印影に対する回転の位置合わせパラメータは

$$\Delta \alpha = \frac{360}{n_2} \cdot l_m \quad (\text{deg.}) \quad (3.7)$$

で求められる。

3. 2. 3 位置合わせ処理

3. 2. 1 節および 3. 2. 2 節で求めた位置合わせパラメータ (3. 4) 式、(3. 7) 式を用いて、被照合印影に対して (3. 8) 式に示す座標変換を行うことにより、両印影が位置合わせされる。

$$\begin{bmatrix} x \\ y \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \cos \Delta \alpha & \sin \Delta \alpha \\ -\sin \Delta \alpha & \cos \Delta \alpha \end{bmatrix} \begin{bmatrix} x' - \Delta X \\ y' - \Delta Y \end{bmatrix} \quad (3.8)$$

ここで、 (x, y) は位置合わせ後の座標、 (x', y') は位置合わせ前の座標である。

この座標変換を行うと、位置合わせ前の印影の各画素の座標値に対して、位置合わせ後のそれらに対応する座標値は一般に整数値にならない。従って座標値の整数化によって画素欠損が生じ、ごま塩状の雑音が発生したり、印影のエッジ付

近に不用な黒画素が出現したりすることがある。これを補正するために、位置合わせ後の印影に、次に述べる整形処理を施す。

位置合わせ後の印影画像を $f(x, y)$ ($f(x, y) = 1$ (黒), または 0 (白)) とする。 $f(x, y)$ を 3×3 のマスクで左上からラスタ走査する。そして、注目点 $f(x_0, y_0)$ に対して次の処理を行う。

if $f(x_0, y_0) = 0$ and $N^{(8)} \geq 7$,

then $f(x_0, y_0) = 1$

if $f(x_0, y_0) = 1$ and $N^{(8)} \leq 1$,

then $f(x_0, y_0) = 0$

但し、 $N^{(8)}$ は注目点 (x_0, y_0) の 8 近傍点の画素の値を、図 3-4 のように定義したとき、

$$N^{(8)} = \sum_{k=1}^8 f_k$$

である。

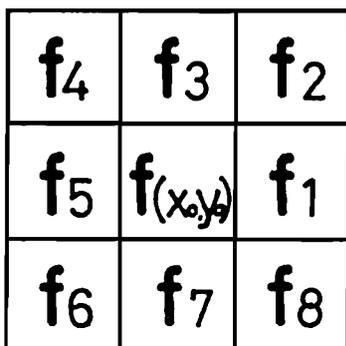


図 3-4 注目点 $f(x_0, y_0)$ の 8 近傍画素

3. 3 位置合わせ誤差に関する実験的検討

3. 3. 1 印影データの作成

(1) 登録印影

実験に使用する印章は、一般に認印として使用されている印章の形状を考慮して、3種類の枠形状（円、楕円、矩形）と、2種類の文字構造（文字の比較的複雑なものと同様なもの）とを適当に組み合わせた6種類である。これらを丁寧に押印して登録印影を作成した。図3-5に各登録印影を示す。なお各印章は以後、同図に示すA～Fの記号で呼ぶ。印章の大きさは、A、Bが直径10mm、C、Dは長径9.8mm、短径7.3mm、E、Fは1辺の長さが9.7mmである。また印影枠の歪は、A、Bが±0.1mmの真円度、C、Dは180°回転対称からのずれが最大0.5mm、E、Fは縦横の長さの差が最大0.1mmであった。

(2) 被照合真正印影

位置合わせ誤差の評価のために、登録印影の作成に用いたのと同じの印章を使用して位置合わせ実験用の印影を作成する。

印章A～Fごとに4名の被験者が各々10回押印して、合計240個の被照合真正印影を得た。押印の際、丁寧に押印するように指示したので、比較的良品の印影が多いが、多少のかすれやにじみのある印影も含まれている。図3-6に被照合真正印影の例を示す。

以上の各印影を、2.3節および2.4節で述べた方法でコンピュータに入力し、前処理を施して2値印影画像とした後、それぞれ登録印影・被照合印影ファイルに保存した。

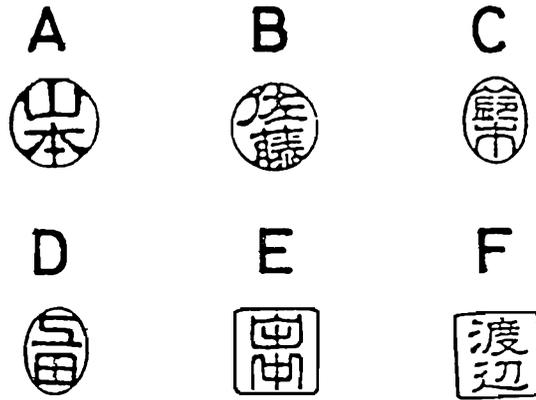


図 3 - 5 登録印影

	印 章					
	A	B	C	D	E	F
1						
2						
3						
4						
5						

テストサンプル No.

図 3 - 6 実験に用いる被照合真正印影サンプルの例

3. 3. 2 実験方法

実験の効率化のために、まず各登録印影画像について印影図形中心 (X_0, Y_0)、およびリングデータ $R_1(i)$, $R_2(j)$ を求め、これらを位置合わせのための基準値として登録した。なお、この処理で棄却条件 (3. 1) 式, (3. 2) 式の K_1, K_2 の値は次のようにして決定した。

すなわち、 K_1, K_2 の値を 5 ~ 30 の範囲で変化しながら、被照合印影について実際に枠抽出実験を行い、最も抽出誤りの少ない実験的な最適値として、 $K_1 = 10$ 、 $K_2 = 20$ とした。また $R_1(i)$, $R_2(j)$ を抽出する際の半径 r_1, r_2 の値は、本研究で対象とする印影画像の印影部分の大きさが大略 100×100 (画素) 程度であるので、抽出経路が印影枠外にはみ出さないようにするため、 $r_1 = 17$, $r_2 = 34$ とした。従って、 $R_1(i)$, $R_2(j)$ の長さ n_1, n_2 は各々 $n_1 = 102$, $n_2 = 204$ となり、(3. 7) 式より、回転角度の最小単位は約 1.76° となる。以上の条件は、被照合印影に対する処理においても同一である。

位置合わせ実験の手順としては、まず被照合印影の枠図形中心 (X, Y) を求め、平行移動に関する位置合わせパラメータ $\Delta X, \Delta Y$ を決定する。次いで、この中心に関するリングデータ $C_1(i)$, $C_2(j)$ を抽出し、登録印影のリングデータとのマッチングを行い、回転の位置合わせパラメータ $\Delta \alpha$ を求める。最後にこれらの位置合わせパラメータを用いて、被照合印影を登録印影に位置合わせする。

位置合わせ結果の評価は、次の 2 方法で行う。

(1) 登録・被照合両印影のテンプレート・マッチング率が最大となるように位置合わせを行った場合 (以後、これを最適位置合わせという) を最良の位置合わせ結果として、これと本提案方法による結果とを比較する。

(2) 位置合わせ結果の補助的な確認方法として、位置合わせ後の登録・被照合両印影の重畳画像をカラー CRT ディスプレイ上に表示して目視検査を行う。

3. 3. 3 実験結果

本提案手法による位置合わせ実験の結果を表3-1に示す。なお、同表の中で、平行移動誤差、および回転角度誤差とは、前節(1)の評価法における最適位置合わせ結果と、本手法による結果の差である。また、テンプレート・マッチング率、および最適テンプレート・マッチング率とは、それぞれ本手法、および最適位置合わせによる位置合わせ後の登録・被照合両印影のテンプレート・マッチング率のことである。更に、位置合わせ誤差零のサンプル数とは、前記の平行移動誤差、および回転角度誤差が共に零であったサンプル数である。

表3-1から明らかなように、今回実験の対象とした240個の被照合印影サンプルの中で、位置合わせ誤差が全く生じなかったものが118個あった。また、平行移動誤差がなかったものが138個あり、全サンプルが平行移動誤差±0.1mm以内であった。回転角度誤差については、±1.76°以内のものが238個、その中で誤差が零であったものが19.4個あった。結局、全サンプル中、238個が平行移動誤差±0.1mm以内、回転角度誤差±1.76°以内で位置合わせされた。残りの2個は、図3-6の印章DのサンプルNo. 3と4であり、いずれも平行移動誤差0.1mm、回転角度誤差3.52°であった。誤差が大きくなった理由としては、印章Dは文字の構造が簡単であるため、リングデ

表3-1 印影の位置合わせ実験結果

印影データ数：各40個，合計240個

印鑑名		A	B	C	D	E	F
評価項目							
平行移動誤差の最大値(mm)		0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1
回転角度誤差の最大値(deg.)		1.76	1.76	1.76	3.52	1.76	1.76
テンプレート・マッチング率(%)	最大	87.0	82.3	88.6	87.0	87.3	86.3
	最小	78.7	76.6	71.0	70.5	73.8	74.5
最適テンプレート・マッチング率(%)	最大	87.0	84.0	88.6	90.3	87.3	86.3
	最小	82.0	79.0	76.4	76.6	81.1	81.3
位置合わせ誤差零のサンプル数		26	18	18	8	26	22

ータも比較的単純なパターンとなる。その上、当該印影は下部に印肉のかすれがあり、リングデータに文字構造に関する情報が十分反映されていないためと考えられる（図3-7）。

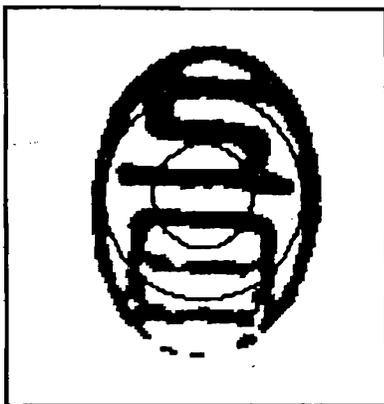
更に、印影枠の点対称からの歪が比較的大きい印章C、Dの位置合わせ誤差は、全体としては他の印章の印影と同程度であり、印影枠の非対称性の位置合わせ結果への影響はほとんどないものと考えられる。

3. 4 位置合わせ誤差の照合結果への影響

3. 3節では、本論文で提案する位置合わせ法の誤差を実験的に明らかにした。ここでは、本手法を第4章で述べる照合方式と組み合わせて簡単な照合実験を行い、照合結果から本手法の位置合わせ誤差について検討する。

3. 4. 1 実験方法

本実験に使用する登録・被照合真正印影は、3. 3節で使用したものである。この他に、図3-5に示した6種類の各印章を忠実に押印して得た印影を原版として機械彫刻により、6種類の偽造印章を複製し、これらを用いて3. 3. 1節



```

R=17 RING DATA :
-----
FFFFFFFFFFFFFFFFFFFFFFFFFFFFFFFFFFFFFFFFFFFFFFFF
FFFFFFFFFFFFFFFFFFFFFFFFFFFFFFFFFFFFFFFFFFFFFFFF
-----
R=34 RING DATA :
-----
IIIIIIIIIIFFFFFFFFFFFFFFFFIIIIIIIIIIIFGFFFFFFFF
FFFFFFFFFFFFFFFFFFFFFFFFIIIIIIIIIIIFFFFFFFFF
IIIIIIIIIIIIIIIFFFFFFFFFFFFFFFFFIIIIIIIIIIIIIIII
TTTTTTTTTTTTTFFIFFFFFFFFFFFFFFFFFFFFFFFFFTTTT

```

T : 1 (Black)
F : 0 (White)

図3-7 リングデータ抽出経路とリングデータの例

と同じ方法で合計 240 個の偽造印影を作成した。図 3-8 に本実験で使用する偽造印影の例を示す。

次に、本実験で採用する照合方式は、第 4 章 4. 3 節で述べる登録・被照合印影間の差異の大きさを表す照合変数を用いて、第 4 章 4. 5 節で述べる判別分析法により真偽判別を行う方法である。これらを組み合わせて図 2-2 (第 2 章) に示した照合システムを構成して照合実験を行う。本実験は、本論文で提案する位置合わせ法の評価を行うのが主な目的であるので、実験の簡単化のために前記の被照合真正・偽造印影サンプルをすべて学習用サンプルとして、A~F の各印章形状ごとに照合を行う。実験の手順としては、まず本位置合わせ法によって被照合印影を登録印影に位置合わせした後、照合を行う。次いで 3. 3 節の実験に

		印 章					
		A	B	C	D	E	F
テストサンプル No.	1						
	2						
	3						
	4						
	5						

図 3-8 実験に用いる被照合偽造印影の例

表3-2 照合実験結果の比較（誤照合数）

位置合せ法	誤りの種類	A	B	C	D	E	F	合計
本位置 合せ法	第1種誤り	1	1	4	5	0	0	11
	第2種誤り	1	2	2	2	3	2	12
最適位置 合せ法	第1種誤り	0	1	3	4	0	0	8
	第2種誤り	1	2	2	1	3	2	11
誤照合の 減少数	第1種誤り	1	0	1	1	0	0	3
	第2種誤り	0	0	0	1	0	0	1

において位置合わせ誤差を生じた真正印影を最適位置合わせにより、位置補正した後に再び照合を行う。そして、両者の照合結果の比較から、本位置合わせ法の位置合わせ誤差の照合結果への影響について検討する。なお、最適位置合わせを用いる照合においては、本来偽造印影に対しても同じ位置補正を行うべきであるが、本実験においては、本提案手法の位置合わせ誤差の照合結果への影響を大きく評価するために、真正印影に対してのみ位置補正を行う。

3.4.2 実験結果

照合実験の結果を表3-2に示す。同表において、第1種誤りとは真正印影を偽造印影と判定する誤り、第2種誤りとは偽造印影を真正印影と判定する誤りである。

この結果から明らかなように、本提案手法を用いた照合結果に対して、最適位置合わせを行った場合の誤照合数の減少は、第1種誤照合で3個、第2種誤照合で1個であった。第1種誤照合が改善された3個の印影は、図3-6の印章A、C、Dで、サンプルNo. がそれぞれ2、5、1の印影であり、いずれも本提案手法による位置合わせ誤差は、平行移動誤差0.1mm、回転角度誤差1.76°であった。また、3.3節の実験で誤差が大きかった図3-6の印章Dのサンプル

ルNo. 3, 4の印影も第1種誤照合を生じており、これらは最適位置合わせを行っても正しく照合されなかった。

次に第2種誤照合が改善された偽造印影は、図3-8の印章D、サンプルNo. 5の印影のみで、他の印章の印影については全く変化がなかった。この理由は、表3-1の結果において、印章Dの印影は他の印影と比べて位置合わせ誤差を生じたサンプル数が非常に多く、それらがすべて位置補正されたことにより、登録印影と被照合真正印影サンプルとの距離が全体として小さくなったため、正しく照合されるようになったものと考えられる。

位置合わせ誤差の照合結果への影響の程度は、照合に用いる印影特徴や照合方式によっても異なると考えられるが、以上の結果は、本提案手法を本実験で採用した照合方式と組み合わせて使用する限りにおいては、本提案手法の位置合わせ誤差によって誤照合となったサンプル数は高々4個 ($4 / 480 \doteq 0.83\%$) であり、本提案手法は照合結果に大した影響を与えておらず、照合結果の観点から見ても、自動印鑑照合用位置合わせ法として満足できるものである。

3. 5 他の位置合わせ法との比較

3. 3節および3. 4節において、本提案手法の位置合わせ誤差について実験的に検討を行い、本提案手法は自動印鑑照合用位置合わせ法として、十分な性能を有することを確認した。本節では、処理時間と位置合わせ誤差に関して、従来提案された他の主な位置合わせ法と本提案手法とを比較する。比較の対象とする他の手法は、図心に関する周辺密度を利用する方法[10]（以後、この位置合わせ法を「方法1」と呼ぶ）と、図心を通る直線上の画素列を利用する方法[11]（以後、この位置合わせ法を「方法2」と呼ぶ）である。この2つを選択した理由は、方法1は濃淡が4値の印影を対象とした方法であり、長時間を要するが、2値印影に対しても高精度な位置合わせが期待できること、また方法2は高速処理が可能と考えられるためである。

3. 5. 1 比較の対象にする位置合わせ法の概要

まず比較する2つの方法について、位置合わせパラメータ抽出の原理の概要を説明する。

(1) 方法1

まず図3-9のように、印影画像上にx y直交座標軸を設ける。そして印影部の最左右端のx座標値を x_1 , x_2 、同じく最上下端のy座標値を y_1 , y_2 とする。印影枠が 180° の回転対称性を有すれば、印影の回転中心の座標値(X , Y)は、その回転角とは無関係に

$$X = (x_1 + x_2) / 2, \quad Y = (y_1 + y_2) / 2 \quad (3.9)$$

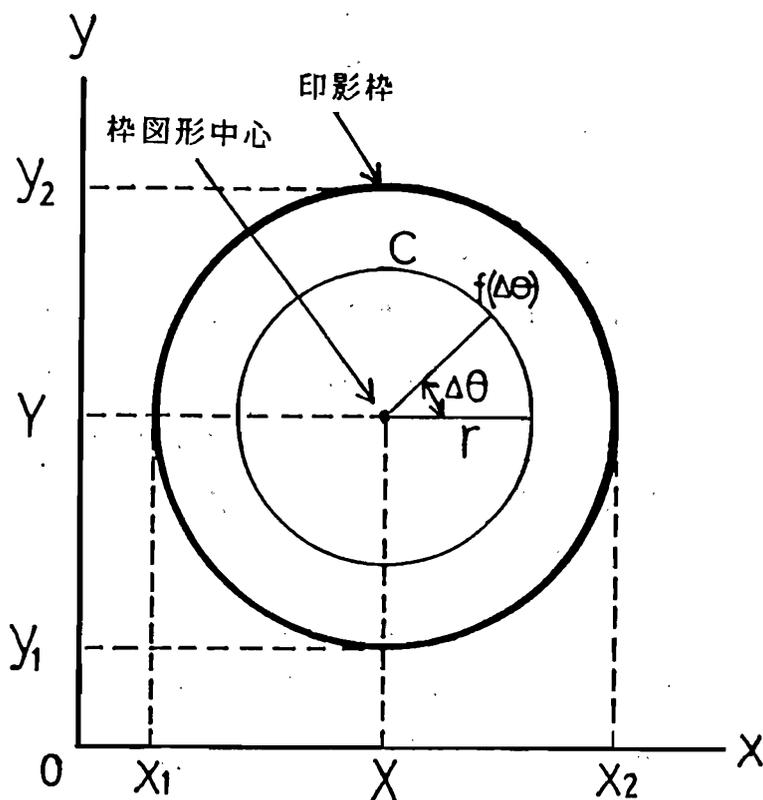


図3-9 枠図形中心の検出と周辺密度(方法1)

で表される。ここで、登録印影の回転中心の座標値を (X_0, Y_0) とすれば、被照合印影の平行移動に関する位置合わせパラメータは (3. 4) 式で与えられる。

次に、同じく図 3-9 に示すように、印影内に座標 (X, Y) を中心とする半径 r の円 C を定め、この円内に含まれる印影部分について周辺密度を求める。円 C を N 等分して、 N 個の各区間ごとに、その区間内に含まれる画素の濃淡総和量を計算して、これを周辺密度 f_n ($n=0, 1, \dots, N-1$) とする。 f_n は

$$f_n = f(n\Delta\theta)$$

となる。但し上式で、 $\Delta\theta = 2\pi/N$ である。

f_n を登録印影の周辺密度、 g_n を被照合印影の周辺密度とすると、両周辺密度の相互相関関数は

$$R(k) = \frac{\sum_{n=0}^{N-1} (f_n - \mu_f)(g_{n-k} - \mu_g)}{\sqrt{\sigma_f \cdot \sigma_g}} \quad (3. 10)$$

で与えられる。ここで g_n は $g_{n-N} = g_n$ なる周期性を有する。また

$$\mu_f = \sum_{n=0}^{N-1} f_n / N, \quad \mu_g = \sum_{n=0}^{N-1} g_n / N$$

$$\sigma_f = \sum_{n=0}^{N-1} (f_n - \mu_f)^2 / N, \quad \sigma_g = \sum_{n=0}^{N-1} (g_n - \mu_g)^2 / N$$

である。

被照合印影の回転角度に関する位置合わせパラメータ $\Delta\alpha$ は、 $R(k)$ の最大値を与える k を k_0 とすると

$$\Delta\alpha = k_0 \Delta\theta \quad (3. 11)$$

で与えられる。

(2) 方法 2

まず図 3-10 (a) に示すように、直交座標軸 x, y への印影画像の射影パターンを求める。そして適当なしきい値 k を設け、 k と射影パターンの交点の最左

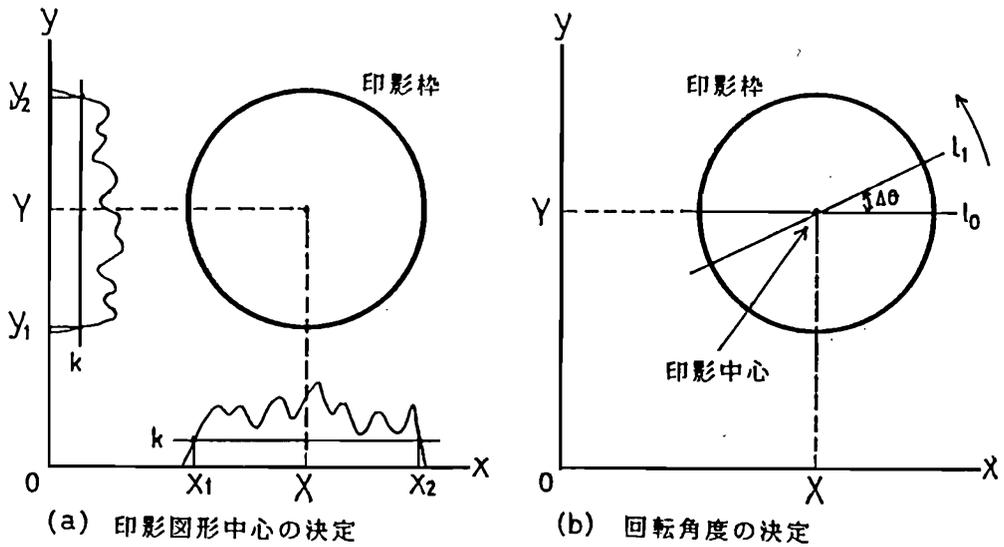


図 3 - 1 0 枠図形中心と回転角度の検出（方法 2）

右端 x_1 , x_2 、および最上下端 y_1 , y_2 を求める。これらをもとにして、方法 1 の (3. 9) 式と同じ処理を行うことによって、平行移動に関する位置合わせパラメータを決定する。

回転に関する位置合わせパラメータの検出は、以下のとおりである。

まず登録印影の回転中心を通る水平、垂直方向の直線上の画素列を求めておく。そして図 3 - 1 0 (b) に示すように、登録印影の水平方向の画素列を被照合印影の上に中心を合わせて重ね、微小角 $\Delta\theta$ ごとに回転させながら被照合印影の画素列との排他的論理和の計算を行い、不一致画素の総数が最小となる角度を回転に関する位置合わせパラメータとする。垂直方向の画素列は、確認のために用いており、水平方向画素列を用いて求められた角度 $+90^\circ$ で不一致画素数が同様に最小になるか否かをみている。

3. 5. 2 比較実験の方法

本実験に用いる印影は、登録印影として図3-5に示した6個を、また被照合印影としては図3-6における印章A～FのサンプルNo. 1の6個の印影である。これらの印影に対して、3. 5. 1節で述べた2つの位置合わせ法と本提案手法によって、位置合わせを行い、処理時間および位置合わせ誤差の比較を行う。位置合わせ誤差は、3. 3節と同じく最適位置合わせ結果を基準として算出する。また、位置合わせパラメータ決定後の座標変換処理は各手法すべて同一であるので、処理時間は位置合わせパラメータを決定するまでの時間で比較する。

次に、回転に関する位置合わせパラメータを決定する処理において、回転角度のきざみ幅は各手法によって独自に設定されているが、本実験においては、条件を統一するために、すべて本提案手法のリングデータの長さ $n_2=204$ に等しくした。方法2の回転中心決定のための射影パターンのしきい値は、5画素とした。

3. 5. 3 実験結果

比較実験の結果を表3-3に示す。同表の各項目は、すべて被照合印影6個の平均値である。

まず処理時間に関しては、本提案手法が最も短く、高速処理が可能であることを示している。

次に位置合わせ誤差に関して検討する。平行移動誤差は、本提案手法が最も小さく、方法2、方法1の順である。この結果は、本提案手法は抽出可能な印影枠図形全体を用いて、図形中心を決定しているのに対して、方法1は印影枠の外接点のみを、また方法2は前記外接点付近の平均座標値のみを用いているためと考えられる。

更に回転角度誤差については、方法1が最も誤差が小さく、本提案手法と方法2は同程度である。これは、方法1は周辺密度という多くの画素の累積パターン

表 3 - 3 処理時間と位置合わせ誤差の比較

位置合わせ法	処理時間* (Sec.)	位置合わせ誤差		テンプレート・ マッチング率 (%)
		平行移動(mm)	回転角度(°)	
本提案手法	5 1	0. 0	0. 5 9	8 6. 0
方 法 1	4 1 3	0. 5	0. 2 9	8 4. 7
方 法 2	5 6	0. 2	0. 5 9	8 5. 6

*) NOVA4/Xミニコンピュータ上でFORTRANプログラムによる結果

を用いているために、印影変動に影響されにくいことによると考えられる。

位置合わせ精度の総合的な評価量と考えられるテンプレート・マッチング率は、いずれの方法も大差ないが、若干本提案手法が優れている。

以上を総合すると、本提案手法はここで取り上げた2つの従来手法と比較しても自動印鑑照合用の位置合わせ法として優れた性能を有しているといえる。

3. 6 本提案手法の性質と検討

まず、本提案手法の印影中心位置の決定法について考察する。この過程で最も重要な問題は、印影枠の欠損に対する対策である。本提案手法は、検出された最外周点を(3. 1)式、(3. 2)式の判定条件によって、枠構成点か否かを逐次判定しながら枠図形を抽出するという簡単な方法であった。(3. 1)式、(3. 2)式におけるしきい値 K_1 、 K_2 は $K_1=1.0$ 、 $K_2=2.0$ として実験を行った。この条件は、それぞれ印影枠とその最近傍文字線との距離が1mm以上で、印影枠欠損の水平または垂直方向の大きさが2mmの場合に最も適合する(図3-2)。枠欠損が2mm以下の場合は、真の枠構成点をも除去する可能性があり、

2 mm 以上の場合は、印影枠内の文字線部の縁点を枠構成点であると誤判定し、中心位置決定に誤差を生じる可能性がある。本実験で用いた印影データの枠欠損の大きさは、水平または垂直方向に最大約 3 mm 程度（例えば図 3 - 6 の印章 A, No. 2）であった。実際の印影の枠線上では、この欠損長さは 3 ~ 6 mm 程度に相当し、印影枠全長に対しては約 10 ~ 30 % の割合である。本実験結果は、本提案手法がこの程度の枠欠損のある印影については、ほぼ正確に中心位置を決定できることを示している。

しかし、更に大きな枠欠損を有する印影に対しては、本手法の原理上大きな誤差を生じる可能性がある。この対策としては、印影枠の形状は単純なものが多く、本提案手法によって抽出された枠図形情報に基づいて欠損部の形状を推定し、完全な枠図形を復元した後、中心位置を決定する方法が考えられる。

次に、回転角度の決定法について考察する。本論文では、リングデータの抽出経路の半径 r_1 , r_2 の値を一定としたが、(3.7) 式から明らかなように r_1 , r_2 の値は印影をはみ出さない範囲で、なるべく大きくとる方が角度分解能が向上するという性質がある。従って、実際に大小さまざまな印影を対象とする場合には、印影枠の大きさに応じて r_1 , r_2 の値を変えることにより、全体として回転角度の決定精度を向上させ得ることが期待できる。更に、文字線部のかすれなどによる回転角度誤差の増大を防ぐために、(3.6) 式で示される P_M が、ある値以上の場合は r_1 , r_2 を変えてリングデータを抽出しなおすという方法も検討する必要がある。

3.7 結 言

本章では、印鑑照合の自動化を実現する上で必要となる被照合印影を登録印影に高速・高精度に位置合わせする方法として、印影枠図形とリングデータを用いた簡単な方法を提案した。そして提案手法の処理時間、位置合わせ誤差に関して種々の観点から実験的に検討を行った。その結果、本提案手法は、自動印鑑照合

用の位置合わせ法として優れた性能を有することが確認できた。また本提案手法を実用化した場合、その位置合わせ誤差を更に低減する方法についても考察した。

第4章 照合変数の定義とその自動計測法、および真偽判別方式

4.1 緒言

機械的に計測可能な印影特徴の定義と、それらを用いた真偽判別方式を明らかにすることは、印鑑照合の自動化の研究において最も中心的な課題であり、従来多くの提案がなされている [6, 7, 14~18]。

しかし、これらの方式は従来のパターン認識における一般的な画像間の類似度をもとにしたものであり、印鑑照合やその対象パターンである印影そのものに特有の性質を考慮した方式にはなっていない。また、それらの真偽判別への有効性についても十分検討されているとは言えない。一方、従来の文書鑑定や金融機関における印鑑照合の実務分野では、主観的ではあるが熟練者の長年にわたる経験に基づいて、印影の特性を十分考慮した真偽判別に有効な印影特徴および照合法が確立されている [1, 2, 19, 20]。

本章では、この熟練者の印鑑照合方法をもとにした照合方式について述べる。まず4.2節では、熟練者の印鑑照合方法を調査し、真偽判別に有効とされている印影特徴を明らかにする。そして、それらの自動化について検討する。4.3節では、4.2節の検討結果に基づいて、登録印影と被照合印影の差異の程度をよく表すと考えられる照合変数を定義し、それらの自動計測法を提案する。4.4節では、多数の印影サンプルについて4.3節の方法により、実際に照合変数を計測し、それらの真偽判別への有効性を分散分析により確認する。4.5節では、実用化の条件を考慮して、真正印影のみを学習用サンプルとする被照合印影の真偽判別方式を提案する。4.6節は本章のまとめである。

4. 2 熟練者の目視による印鑑照合方法の定性的分析

印影鑑定の分野では、印影の真偽判別の方法、および真偽判別に有効な印影パターン特性についてその考え方が一応確立されている。すなわち、松川 [19]、吉田 [20] は共に一般的な印影鑑定の方法として次の3つを挙げている。

(1) 重ね合わせ写真法。 比較対照する拡大印影を互いに重ね合わせて、印影画線の重なり具合いや、はみ出した画線の状態を検査する方法 (図4-1)。

(2) 幾何学的作図法。 比較対照する拡大印影の上に作図を行って、作図線と印影画線の位置関係や作図線間の距離、角度などを比較する方法である。作図の仕方によって、拡大印影の上に等間隔格子を作図する方法や印影画線の中心や線端を通る直線を描く方法などがある (図4-2)。

(3) 比較顕微鏡法。 比較顕微鏡を利用して、被検印影の左半面と対照印影の右半面、あるいは上下各半分を同一視野に現し、その接合部分の一致、不一致を検査する方法である (図4-3)。

一方、金融機関など印鑑照合の実務分野においては、上の3つの方法を参考にして、特別な器具を用いない簡易な照合方法が確立されており [1, 2]、一般的に認められている。すなわち、

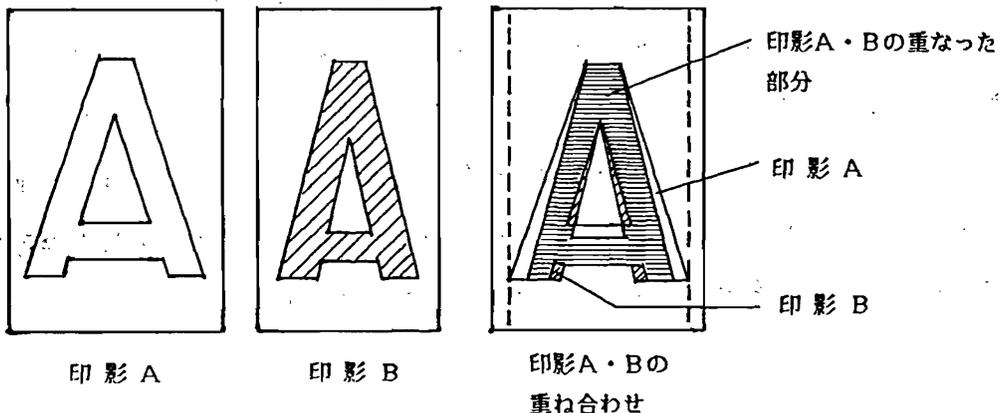
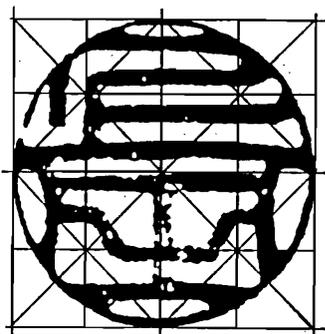
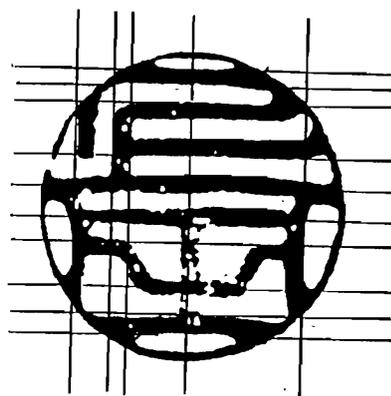


図4-1 重ね合わせ写真法



(a) 対称作図法



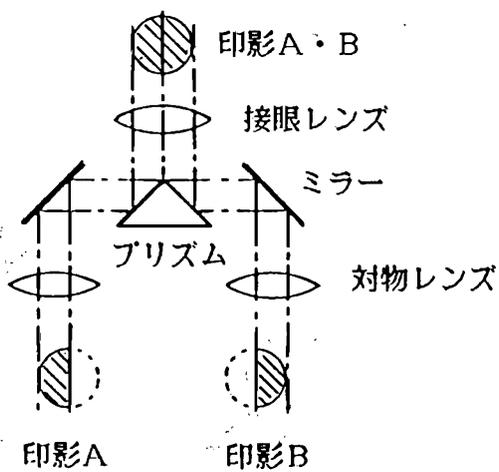
(b) 画線上作図法

図4-2 幾何学的作図法



印影A 印影B

(a) 顕微鏡画像



(b) 比較顕微鏡の構造

図4-3 比較顕微鏡法

(4) 平面照合法。 比較対照する印影を並べて、同時に目視により比較する方法であり、最も広く用いられている。

(5) 折り重ね照合法。 被照合印影を適当に折り曲げて登録印影の上に重ね合わせ、その接合部分の画線の対応関係、および全体として完全な印影になるか否かを検査する方法であり(図4-4)、原理的には(3)の比較顕微鏡法と同じ方法である。この方法は、実務においては(4)の平面照合の結果、更に詳細照合が必要と判断された場合に適用されるのが普通である。

上の各方法に共通した検査項目(真偽判別のよりどころとなる印影のパターン特性)としては、配字(画線の全体的構造)、書体、印影の輪郭(印影枠の大きさと形状)、画線の太さ、画線の形態などを挙げている。

以上列挙した印影の真偽判別法、および印影特性は、それぞれの専門分野において長年の経験と注意深い観察によって得られた結果であり、現在のところ最も信頼できるものと考えられる。従って本研究では、以上の方法、および印影特性に基づいた印影照合の自動化について検討することにする。

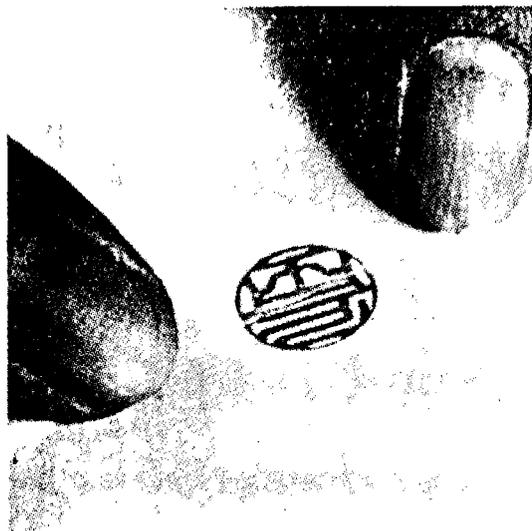


図4-4 折り重ね照合法

松川、吉田が挙げている(1)重ね合わせ写真法は、印影画線の不一致部の形状の分析は別として、基本的にはテンプレートマッチングで実現できる。また、(2)幾何学的作図法は、印影上に直線を作図する場合、印影の形状によって作図法を適応的に変更する必要がある、これを自動的に行うことは困難である。更に(3)比較顕微鏡法と(5)折り重ね照合法は共に同じ原理に基づく方法であり、精度の高い方法と考えられる。特に特別な器具を用いない印鑑照合の実務においては、(5)折り重ね照合法は精度の高い方法とされている[1]。また、これを自動的に行うことも比較的容易である。従って、本研究における印影特性の自動計測の方法としては、(1)重ね合わせ写真法、および(3)比較顕微鏡法(折り重ね照合法)に基づいた方法をとることにする。なお、(4)平面照合法は簡単な方法であるが、これは人間の高度なパターン認識能力に基づくものであり、用いている印影特性も明確に把握できないので、自動化の対象とはしない。

次に、自動計測化の対象とする印影の特性について述べる。先に述べた松川[19]、吉田[20]、宮地[1]、原[2]らが挙げている諸特性の中で、比較顕微鏡法(折り重ね照合法)における基準・被照合両印影の接合部分の画線の接続状態は、4.3節で定義する照合変数 C 、 D_p 、 D_w 、 D_d で直接計測することができる。また、配字、書体、画線の形態については、直接1:1に対応付けることは困難であるが、4.3節で定義する照合変数 P_m 、 M_t によって間接的に計測可能と考えられる。印影の輪郭は、4.3節で定義する照合変数 D_r によって計測可能である。更に画線の太さは、4.3節で定義する照合変数 D_a 、 D_w を通して計測可能である。最後に、重ね合わせ写真法における画線の重なり具合いやはみ出した画線の状態については、直接それらを計測することは困難であるが、既に挙げた8個の照合変数を通して総合的に計測可能と考えられる。

4. 3 照合変数の定義と自動計測法

ここでは、前節で検討した結果に基づいて、印影の異同に関する特性を自動計測可能な照合変数として定義すること、およびその計測法について述べる。

対象とする印影パターンは、濃淡が白黒2値の2値化パターンとする。比較対照の基準となる登録印影パターン、および被照合印影パターンをそれぞれ行列 $\{f(x, y)\}$, $\{g(x, y)\}$ ($f(x, y), g(x, y) = 1$ または 0) で表し、1で画線部、0で背景部を表すものとする。また、 $\{g(x, y)\}$ は $\{f(x, y)\}$ に位置合わせ(第3章)されているものとする。

4. 3. 1 比較顕微鏡法に基づく計測法と照合変数の定義

(1) 特徴点の組の抽出

図4-5に示すように、位置合わせされた2値化印影パターン上を左右の上から下方へ 45° の傾きで各方向同数、合計N本の走査線で走査する。そして、各走査線 l_n ($n=1, 2, \dots, N$) 上での印影画線部の縁点 $\{(B_i, H_i)\}$ ($i=1, 2, \dots, C_n$; C_n は走査線 l_n 上での縁点の組の数) を特徴点の組として抽出する。

(B_i, H_i) のy座標値 (Y_i, Y_i') を特徴点座標と呼び、特徴点座標の差の絶対値

$$W_i = |Y_i - Y_i'| \quad (4.1)$$

で表される W_i を線幅と呼ぶ(図4-5)。また、 (B_i, H_i) をそれぞれ中心とする $m \times m$ の比較的小さな正方領域を切り出し、この領域内の画線部のエッジを抽出する。そして最小2乗法により、このエッジの1次近似直線を求め、その傾き (θ_i, θ_i') を (B_i, H_i) における画線方向の方向係数とする(図4-5)。なお、走査を斜め方向に行う理由は、印影画線は一般に水平・垂直方向のものが多く、ほぼ正立して押印される場合が多いので、同一走査線数のもとでは、より多くの特徴点の組が抽出できる可能性が高いためである。

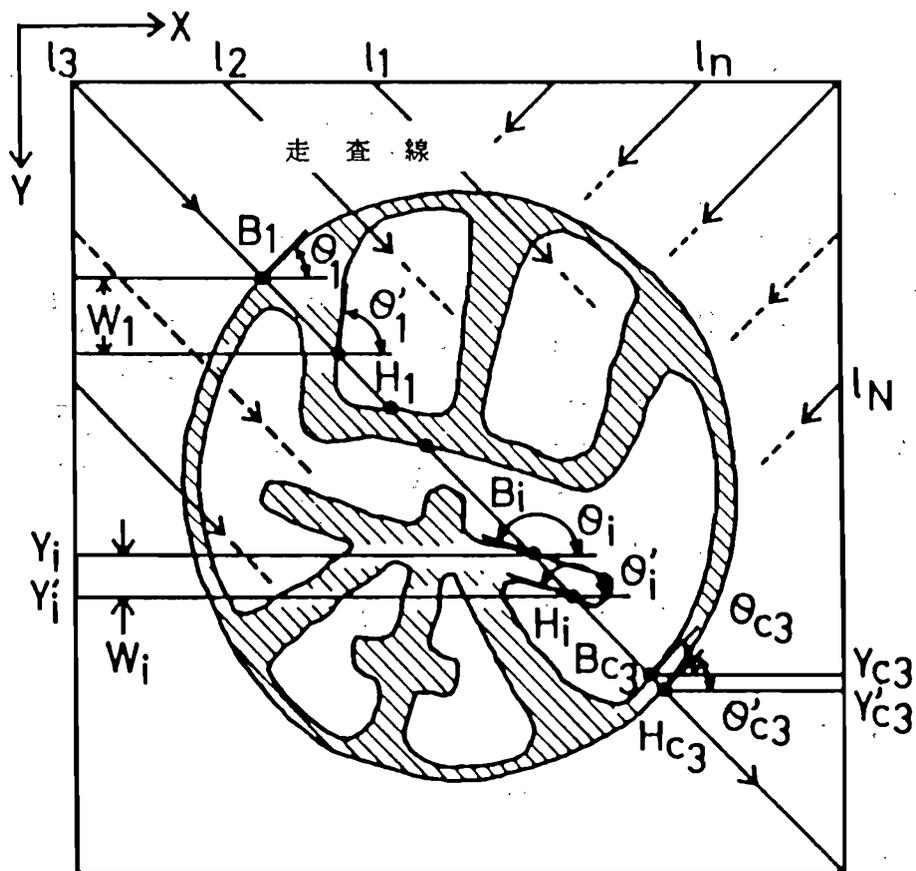


図4-5 特徴点の抽出

(2) 特徴点の組の対応付け

次に、登録・被照合両印影の接合部における画線の接続状態を調べるために、両印影の間で直接比較すべき特徴点の組の対応付けを行う。まず最初に、登録・被照合両印影の任意の n 番目の走査線 l_n 上において抽出された特徴点の組を、それぞれ $\{(B_i^{(r)}, H_i^{(r)})\} (i=1, 2, \dots, C_n^{(r)})$, $\{(B_j^{(e)}, H_j^{(e)})\} (j=1, 2, \dots, C_n^{(e)})$ として各走査線ごとに図4-6に示すように、各 $(B_i^{(r)}, H_i^{(r)})$ について、 $\{(B_j^{(e)}, H_j^{(e)})\}$ の中から、特徴点間の距離

$$d_{ij} = |Y_{j'}^{(e)} - Y_i^{(r)}| + |Y'_{j'}^{(e)} - Y'_i{}^{(r)}| \quad (4.2)$$

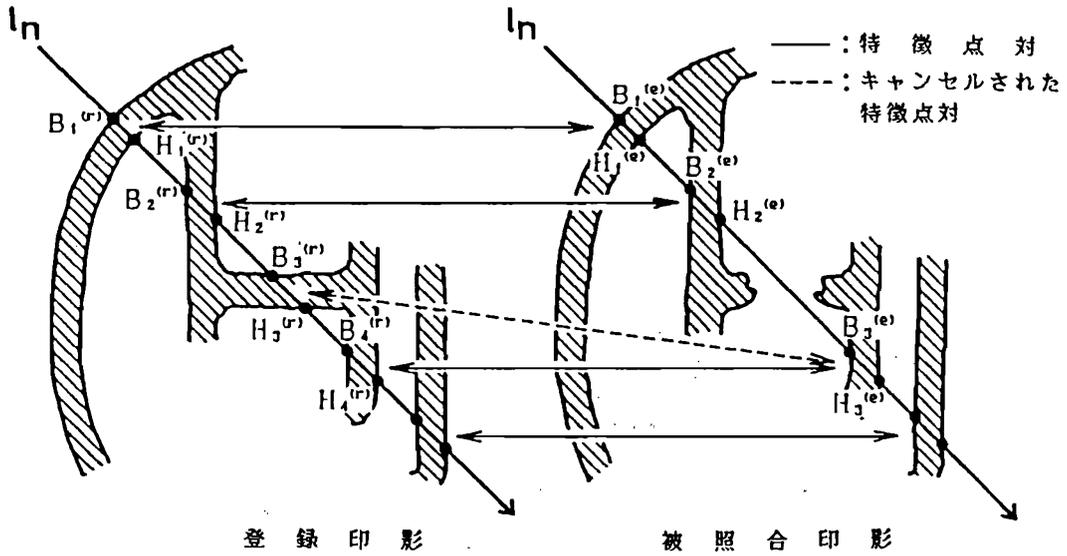


図4-6 特徴点の対応付け

(ここで $Y_i^{(r)}$, $Y_i'^{(r)}$ は $(B_i^{(r)}, H_i^{(r)})$ の特徴点座標であり、 $Y_j^{(e)}$, $Y_j'^{(e)}$ は $(B_j^{(e)}, H_j^{(e)})$ の特徴点座標である) が最小になるものを選び、これらの特徴点对とする。この対応付けにおいて、登録印影の2つ以上の異なる特徴点の組が被照合印影の同一の特徴点の組に対応付けられた場合は、その中の d_{ij} の小さい方と対を構成し、他を除去する。もし最小の d_{ij} が共に同じ値であるときは、 i の小さい方と対を構成する。また逆に、被照合印影の2つ以上の特徴点の組が共に等しい最小の d_{ij} でもって登録印影の同一の特徴点に対応付けられたときは、既に対を構成している特徴点の組を除いた残りの特徴点の組の中で j の小さい方と対を構成する。そしてすべての l_n について、走査線番号順にこの特徴点对の構成順位が k 番目であれば、それらの添字 i, j を $i = j = k$ ($k = 1, 2, \dots, N_{cp} : N_{cp}$ は特徴点对の総数) とする。

(3) 照合変数の定義

以上の準備のもとに、対を構成した特徴点の組について、両印影の接合部にお

ける画線の不一致度を表す照合変数として、以下の4個を定義する。

①特徴点对構成不能率C：上に述べた特徴点の組の対応付けにおいて、両印影について抽出された全特徴点の組の数に対して、対を構成できなかった特徴点の組の割合であり、次式で表す。

$$C = 1 - \frac{N_{cp}^2}{N_r \cdot N_e} \quad (4.3)$$

但し、 N_r 、 N_e はそれぞれ登録、被照合印影の特徴点の組の総数であり、

$$N_r = \sum_{n=1}^N C_n^{(r)}, \quad N_e = \sum_{n=1}^N C_n^{(e)}$$

である。

②特徴点座標の平均偏差 D_p ：両印影の接合部における画線位置のずれを表す変数であり、次式で表す。

$$D_p = \frac{1}{2 N_{cp}} \sum_{k=1}^{N_{cp}} (| Y_k^{(e)} - Y_k^{(r)} | + | Y'_k{}^{(e)} - Y'_k{}^{(r)} |) \quad (4.4)$$

③線幅の平均偏差 D_w ：両印影の接合部における画線の線幅の差異を表す変数であり、次式で表す。

$$D_w = \frac{1}{N_{cp}} \sum_{k=1}^{N_{cp}} | W_k^{(e)} - W_k^{(r)} | \quad (4.5)$$

但し、 $W_k^{(r)}$ 、 $W_k^{(e)}$ はそれぞれ登録、被照合印影の各特徴点の組について

(4.1)式で定義された画線の線幅である。

④方向係数の平均偏差 D_d ：両印影の接合部における画線の方向係数の差異を表す変数であり、次式で表す。

$$D_d = \frac{1}{2 N_{cp}} \sum_{k=1}^{N_{cp}} (| \theta_k^{(e)} - \theta_k^{(r)} | + | \theta'_k{}^{(e)} - \theta'_k{}^{(r)} |) \quad (4.6)$$

但し、 $(\theta_k^{(r)}, \theta_k'^{(r)})$ 、 $(\theta_k^{(e)}, \theta_k'^{(e)})$ はそれぞれ登録、被照合印影の各特徴点における方向係数である。

4. 3. 2 その他の計測法と照合変数の定義

ここでは、4. 3. 1 節で定義した照合変数の他に、主として重ね合わせ写真法に基づいた印影の全体的な差異や配字状態、書体、および印影の大きさなどの差異を表す照合変数を定義する。

⑤平均半径偏差 D_r : 登録、被照合印影のそれぞれについて、印影中心から印影枠の最外周縁点（第3章で述べた枠構成点）までの距離の一周にわたる平均値 $r^{(r)}$ 、 $r^{(e)}$ を印影の平均半径と呼ぶ。平均半径偏差は、それらの相対誤差として

$$D_r = | r^{(e)} - r^{(r)} | / r^{(r)} \quad (4. 7)$$

で定義する。 D_r は印影の大きさの差異を表す照合変数である。

⑥平均線幅偏差 D_a : 印影画線全体の平均線幅は近似的に

$$\bar{W} = 1 / (1 - Q / A) \quad (4. 8)$$

で表される [4 1]。ここで A は黒画素の総数、 Q は図4-7に示すように隣接する4つの画素がすべて黒である数である。いま、登録・被照合両印影について (4. 8) 式により定義される平均線幅をそれぞれ \bar{W}_r 、 \bar{W}_e として、平均線幅偏差は

$$D_a = | \bar{W}_e - \bar{W}_r | \quad (4. 9)$$

で定義される。

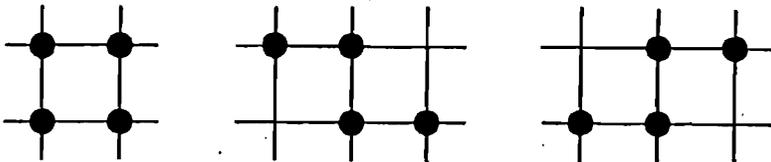


図4-7 4つの隣接画素

⑦リングデータ不一致率 P_H : 第3章の(3.6)式で示されるリングデータの不一致率の最小値 P_H であり、位置合わせの段階で既に求められている。これは主として、両印影の画線の配置状態の差異を表す照合変数である。

⑧画線部不一致率 M_t : 登録・被照合両印影間のテンプレート・マッチング率を

$$M = \frac{\sum_x \sum_y g(x, y) \wedge f(x, y)}{\sum_x \sum_y g(x, y) \vee f(x, y)}$$

とする ($0 \leq M \leq 1$)。画線部不一致率 M_t は

$$M_t = 1 - M \quad (4.10)$$

で定義する。これは、印影画像の画線部の全体的な不一致率を表す照合変数である。

4.4 分散分析による照合変数の評価

前節で定義した8個の照合変数が、印影の真正・偽造の差異をどの程度表しているかを統計的に評価するために、実際の印影について照合変数を測定して、そのデータをもとに分散分析を行った。

4.4.1 印影データの作成

実験に使用する印章の準備は、第3章と基本的に同じ方法による。すなわち印章の形状は、3種類の枠形状(円、楕円、矩形)と2種類の字画構造(字画構造の複雑なもの、簡単なもの)とを適当に組み合わせた6種類である。これら6種類の形状のそれぞれについて、各1個の印章を製作し、これらを真正印章とした。各印章にAA, BA, ..., FAと記号を付ける。また偽造印章としては、上の各真正印章をできる限り丁寧に各6回押印して得た印影を原版として、自動彫刻機により複製した。これらにそれぞれの真正印章に対応してAB1~AB6,

BB1～BB6, …, FB1～FB6と記号を付ける。以上の印章による印影例を図4-8に示す。作成した印章を比較的丁寧に各々30回押印して、実験に使用する印影サンプルを得た。なお、照合の基準となる登録印影は、各真正印章をできる限り丁寧に押印して得た。これらの印影サンプルを、2.3節で述べた方法でコンピュータに入力した。

4.4.2 実験方法

4.4.1節で作成した印影サンプルを用いて、各形状ごとにそれぞれの登録印影を基準として、当該真正・偽造印章による印影サンプルについて、4.3節で定義した8個の照合変数を測定した。測定の手順としては、まず入力された被照合印影に対して前処理(2.4節)を行い、登録印影に位置合わせ(第3章)する。次いで照合変数の測定を行う。そして各照合変数について、各真正・偽造印章対ごと(AA-AB1, AA-AB2, …, FA-FB6)、および各形状ごと(AA-AB1～AB6, BA-BB1～BB6, …, FA-FB1～FB6)の真正・偽造2水準の一元配置分散分析[42]を行った。

なお照合変数の測定の際、4.3.1節で述べた特徴点抽出のための走査線数Nは各方向5本、合計10本とした。また、各走査線間の距離は水平、あるいは垂直方向に25画素間隔で設定した。このように設定した理由は、上記の走査線間隔は、2.3節で述べた入力条件から実視野上では2.5mmとなり、十分な細かさであると考えられる。また、印影画像上での実際の印影領域が大略100×100(画素)程度であることから、各方向5本の走査線ではほぼ印影領域全体にわたって特徴点の抽出が可能であると考えられるためである。しかし、実際に更に大きな印影をも対象とする場合は画像サイズを今よりも大きくする必要があるから、Nも増加する必要がある。

また、4.3.1節における方向係数の計算のための正方領域の大きさmに関しては、実際の印影についてmの値を5～21の範囲で変化しながら方向係数を

測定した結果、最も安定で且つ画線の方向に近い値を与える実験的な最適値として、 $m = 11$ とした。

A	AA	AB1	AB2	AB3	AB4	AB5	AB6
							
B	BA	BB1	BB2	BB3	BB4	BB5	BB6
							
C	CA	CB1	CB2	CB3	CB4	CB5	CB6
							
D	DA	DB1	DB2	DB3	DB4	DB5	DB6
							
E	EA	EB1	EB2	EB3	EB4	EB5	EB6
							
F	FA	FB1	FB2	FB3	FB4	FB5	FB6
							



真正印影



偽造印影

図4-8 実験に使用する印章による印影の例

4. 4. 3 実験結果と検討

各照合変数について、真正・偽造2水準の一元配置分散分析を行った結果のF比の値を表4-1に示す。表4-1において、各形状ごとに上から第1～6行目が真正印章と各偽造印章ごとの印影サンプルについての照合変数のF比を、また第7行目は、真正印章と6個の全偽造印章群の印影サンプルに対するF比を示している。F比が大きいことは、その照合変数の真偽印影間の差異が同一印章による印影間の差異に比べて大きいことを意味する。

表4-1において、印章の形状によるF比の大小を見てみると、印章A, E, FではF比の大きい照合変数が多い。しかし、印章C, Dでは全体的にF比が小さくなっている。この理由としては、印章C, Dは図4-8に示すように、他の印章と比較してその大きさが小さく、かつ楕円形であるために押印時に濃淡の偏りが生じやすい。その上、印章Cは画線が全体的に細いので画線の途切れが生じやすい。また印章Dは画線構造が簡単なため、特徴点の数が少なく、照合変数の値が濃淡の変動の影響を受けやすいことなどが考えられる。更に、これらのことが原因となって登録印影への位置合わせの際の誤差が大きくなる傾向がある(第3章)などのためと考えられる。

次に、照合変数ごとにそのF比の大きさを見ると、全体を通してF比が大きいのは、 M_t , D_r , D_p , D_w の4個である。しかし、前記の4個も各偽造印章ごとのF比の比較からわかるように、偽造印章によっては、F比の値が有意水準5%のF比の限界値 $F(1, 58, 0.05) = 4.2$ より小さくなる場合がある。反対に全体を通してF比の小さい D_a , P_m も偽造印章によっては、8個の照合変数の中で最大のF比を与えることがある(例えば、表4-1の中でCA-CB6, EA-EB3の D_a 、EA-EB2, EA-EB4, EA-EB6の P_m)。これは同じ方法で作られた偽造印章であっても、各々の偽造印章によって真正印章との差異の程度や差異の現れ方が異なることを意味していると考えられる。また、全照合変数の中で特徴的なのは D_r である。 D_r は既に述べたように、全体を通

してF比が大きい、特に印章A、Fにおいて顕著である。他の印章においては、印章の組合せによってF比が極端に変化する傾向が認められる。この原因は主として、偽造印章作製の際、用いられる印材の大きさに元々若干のバラツキがあるために、偶然その大きさが真正印章と一致する場合やそうでない場合があるため

表4-1 照合変数のF比

形状	真・偽印章対	C	D _p	D _w	D _d	D _r	D _n	P _n	M _t
A	AA-AB1	52.0	247.5	164.5	26.8	1452.2*	114.9	294.4	316.8
	-AB2	143.7	560.5	295.1	67.9	4474.8*	288.8	700.3	1222.1
	-AB3	68.6	159.9	80.7	21.0	1500.1*	158.3	67.4	315.5
	-AB4	83.3	282.7	197.7	33.2	1185.4*	223.7	414.2	596.4
	-AB5	94.8	358.4	119.7	18.4	2334.7*	13.5	156.3	594.1
	-AB6	27.3	711.0	140.4	86.8	4542.3*	(2.9)	817.8	1456.6
	AA-AB1~AB6	93.6	261.1	203.8	54.6	585.6*	69.0	149.6	359.2
B	BA-BB1	(0.2)	(2.9)	7.9	(1.0)	47.8*	17.0	(0.1)	33.1
	-BB2	(1.1)	74.8	43.1	33.2	1521.4*	(1.0)	30.9	262.7
	-BB3	(0.6)	223.4	65.5	33.3	2753.0*	(2.3)	144.4	597.8
	-BB4	(0.5)	196.3	72.4	87.2	1976.9*	(1.2)	218.6	668.0
	-BB5	18.9	131.0	71.8	47.7	1350.0*	10.5	48.0	188.3
	-BB6	7.8	42.8	19.7	53.0	755.1*	(1.2)	31.3	212.2
	BA-BB1~BB6	(0.1)	79.3	64.1	41.2	88.3	(0.2)	40.3	116.3*
C	CA-CB1	(0.3)	23.3	4.4	21.4	273.3*	(0.1)	(3.7)	51.7
	-CB2	7.6	26.1	15.4	20.6	54.4	15.3	31.0	65.2*
	-CB3	28.6	110.0	75.6	40.2	111.0*	6.9	82.9	97.7
	-CB4	5.2	246.9	102.6	50.3	1626.7*	(2.0)	22.2	149.9
	-CB5	6.0	199.5	36.1	32.9	1314.2*	4.6	221.4	277.7
	-CB6	4.1	4.3	(1.0)	(0.2)	7.4	49.5*	(1.9)	5.0
	CA-CB1~CB6	9.6	46.8	27.5	29.5	43.6	(1.4)	28.2	85.7*
D	DA-DB1	12.2	14.1	17.1*	(3.2)	(0.0)	(0.3)	(2.0)	7.1
	-DB2	(0.1)	(1.5)	(3.0)	(1.4)	19.5*	(0.1)	(1.2)	6.8
	-DB3	35.8	20.6	24.2	7.9	46.8*	(2.5)	(0.2)	18.0
	-DB4	73.8	80.1	77.4	(3.5)	87.6*	8.5	30.3	72.7
	-DB5	6.4	16.4	32.7*	9.4	(0.8)	(0.6)	(1.8)	4.0
	-DB6	(0.7)	9.2	10.0	4.2	150.8*	25.9	6.4	13.0
	DA-DB1~DB6	13.8	31.1*	28.0	4.5	25.0	4.2	(0.0)	29.4
E	EA-EB1	24.6	116.8	16.1	18.0	109.1	13.0	30.4	173.4*
	-EB2	17.6	53.4	25.3	26.6	(0.6)	(0.6)	166.1*	114.4
	-EB3	43.0	84.2	111.6	4.1	(0.7)	185.2*	37.2	110.2
	-EB4	52.2	58.8	22.1	38.2	106.9	2.0	164.8*	131.1
	-EB5	73.7	219.6	81.5	26.0	616.7*	63.3	82.1	295.0
	-EB6	38.5	89.7	29.1	(1.1)	6.9	17.0	166.6*	142.2
	EA-EB1~EB6	52.3	72.7	41.5	16.2	12.8	6.9	101.3	125.9*
F	FA-FB1	51.2	216.1	42.6	16.8	1125.4*	15.7	96.4	333.1
	-FB2	31.7	157.4	57.5	(3.3)	1190.0*	(1.8)	50.9	194.1
	-FB3	42.6	192.4	28.9	9.3	1768.8*	27.6	99.6	340.5
	-FB4	(1.0)	53.8	14.1	8.6	1180.5*	79.8	22.6	121.9
	-FB5	16.7	83.7	18.6	(2.0)	881.8*	11.6	68.9	268.4
	-FB6	(1.6)	88.6	9.1	4.0	886.1*	13.1	67.6	190.8
	FA-FB1~FB6	25.5	162.7	42.3	12.1	693.8*	22.0	95.3	379.9

(注) *印は8個の照合変数の中でF比が最大のものを示す。

()印はF比が有意水準5%のF比の限界値(各偽造印章毎の場合はF(1,58,0.05)=4.2、全偽造印章群の場合はF(1,208,0.05)=3.9)よりも小さいものを示す。

と考えられる。事実、今回の実験に使用した印章の印面の直径（楕円形の場合は長径、矩形の場合は1辺の長さ）を実際に測定して、F比の大きさとの関係を調べたところ、F比の小さい真正・偽造印章の間では、その大きさのずれは高々0.3mm以下であったのに対し、F比の大きい印章の間では、そのずれが最大約0.6mmであった（例えばAA-AB6）。

結局、今回の実験で用いた印影サンプルについては、全ての印章の組合せにおいて大きなF比を与える照合変数はない。しかし、全ての印章の組合せにおいてF比が有意水準5%の分散分析におけるF比の限界値（ $F(1, 58, 0.05) = 4.2$ ）より小さくなる照合変数もない。同じことが各形状ごとの真正・全偽造印章の組合せにおいても言える。すなわち、比較対照する真偽印章の組合せ、および印章の形状によって、その差異をよく表す照合変数は異なっており、しかも4.3節で定義した全ての照合変数は何らかの真正・偽造印影間の差異を表していると言える。

また、これらの照合変数の中には、統計的に互いに強い相関関係があり、結果として冗長な照合変数の組合せになっているものがあるかもしれない。これを調べるために、各形状ごとに照合変数の全ての組合せについて、それらの間の相関係数を計算した（その一例を表4-2に示す）。その結果、全体として相関が高かったのは $D_p - D_w$ の組合せであり、5種類の形状（A, B, C, D, F）において相関係数が0.9以上であった。これは、 D_p と D_w の関係が（4.1）式、（4.4）式および（4.5）式の関係にあることから予測できる結果であり、これらは確かに画線の線幅の変動に対しては強い正の相関があることが予想されるが、画線位置の変動に対しては互いに独立と考えられるため、現段階では両方とも採用する。

表 4-2 照合変数間の相関係数の例 (BA - BB1 ~ BB6 の場合)

	C	D _p	D _w	D _d	D _r	D _s	P _m	M _t
C								
D _p	0.82							
D _w	0.85	0.96						
D _d	0.18	0.39	0.31					
D _r	0.19	0.36	0.19	0.36				
D _s	0.53	0.66	0.67	0.28	0.30			
P _m	0.48	0.72	0.62	0.42	0.48	0.61		
M _t	0.41	0.72	0.57	0.58	0.66	0.60	0.81	

4.5 真偽判別方式の提案

ここでは、前節までに述べた照合変数の測定値に基づいて、被照合印影を真正、あるいは偽造のいずれかに判別する具体的方法として、照合変数の値によって決まる正規化距離の分布に基づく真偽判別法（以下、正規化距離法と呼ぶ）を提案する。更に、第5章で述べる照合実験においては、本提案方法の他に、比較のために判別分析法も実験の対象にするので、判別分析法についても簡単に説明する。

4.5.1 正規化距離法

印鑑照合では、事前にその性質を把握できるのは真正印影に限られるという制限がある。従って、ここでは真正印影サンプルのみを学習用サンプルとする真偽判別方法を提案する。

真偽判別のための基礎データは、ある登録印影に対して、それと同一の印章（真正印章）を n 回反復押印して得た学習用印影サンプルについて、 p 個の照合変数 X_1, X_2, \dots, X_p を測定して得られる測定値 $\mathbf{X} = \{X_{\alpha i}, \alpha = 1, 2, \dots, n, i = 1, 2, \dots, p\}$ である。ここで、 α は印影サンプル番号、 i は照合変数番号である。この \mathbf{X} について、各照合変数ごとにその平均値、および標準偏差を

$$\left. \begin{aligned} \bar{X}_i &= \frac{1}{n} \sum_{\alpha=1}^n X_{\alpha i} \\ \sigma_i &= \left[\frac{1}{n} \sum_{\alpha=1}^n (X_{\alpha i} - \bar{X}_i)^2 \right]^{1/2} \end{aligned} \right\} \quad (4.11)$$

として、正規化照合変数

$$\mathbf{x} = \{X_{\alpha i} / \sigma_i\} = \{x_{\alpha i}\} \quad (4.12)$$

を得る。そして p 次元空間における正規化距離

$$D_{\alpha} = \left(\sum_{i=1}^p x_{\alpha i}^2 \right)^{1/2} \quad (4.13)$$

を求める。正規化照合変数 \mathbf{x} は元々、被照合印影の登録印影に対する距離であるから、(4.13) 式で示される D_{α} は図 4-9 に示すように、原点に比較的近い所に分布する。これに対して偽造印影を含む被照合未知印影は広い範囲に分布すると考えられる。そこで、この D_{α} の分布の平均値、および標準偏差

$$\left. \begin{aligned} \bar{D} &= \frac{1}{n} \sum_{\alpha=1}^n D_{\alpha} \\ \sigma_D &= \left[\frac{1}{n} \sum_{\alpha=1}^n (D_{\alpha} - \bar{D})^2 \right]^{1/2} \end{aligned} \right\} \quad (4.14)$$

から、真正印影の限界距離 D_T を

$$D_T = \bar{D} + a \cdot \sigma_D \quad (4.15)$$

(a は任意の定数)

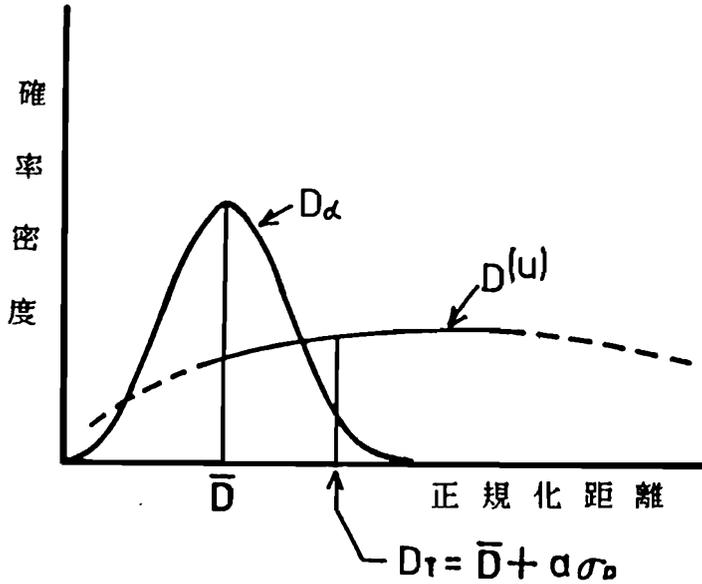


図 4 - 9 正規化距離分布のモデル

によってあらかじめ求めておく（図 4 - 9）。そして、被照合未知印影サンプル $X^{(u)}$ に対しては、(4. 1 1) 式の σ_i に基づいて (4. 1 2)、(4. 1 3) 式と同じ計算によって正規化距離 $D^{(u)}$ を求めて、

$$D^{(u)} \leq D_T; \text{真正}$$

$$D^{(u)} > D_T; \text{偽造}$$

と判定する。この方法は、R. N. Nagel らが署名の自動照合において提案した考え方 [4 3] に基づいている。

4. 5. 2 2 群判別分析法

判別分析法そのものについては、多変量解析に関する書籍で詳しく説明されている [4 4] ので、ここでは測定された照合変数と線形判別関数との関係について簡単に述べる。

真偽判別のための基礎データは、ある登録印影に対して、それと同一の印章 ($k = 1$)、および出現する可能性のある類似の異種印章（偽造印章） ($k = 2$)

をそれぞれ n_k 回反復押印して得た学習用印影サンプルについて、 p 個の照合変数 X_1, X_2, \dots, X_p を測定して得られる値 $\mathbf{X} = \{X_{\alpha i}^{(k)}, \alpha = 1, 2, \dots, n_k, i = 1, 2, \dots, p, k = 1 \text{ (真正印影)}, 2 \text{ (偽造印影)}\}$ である。ここで、 α は印影サンプル番号、 i は照合変数番号である。この測定値 \mathbf{X} が $k = 1$ 、または $k = 2$ の 2 つのカテゴリのいずれかに属する標本値と考えると、 \mathbf{X} の分布から各カテゴリに属する印影サンプルの誤判別確率が最小になるように線形判別関数を求める。具体的には、各カテゴリごとの \mathbf{X} の平均ベクトル、および分散共分散行列を

$$\begin{aligned} \bar{\mathbf{X}}^{(1)} &= \frac{1}{n_1} \sum_{\alpha=1}^{n_1} \mathbf{X}_{\alpha}^{(1)}, & \bar{\mathbf{X}}^{(2)} &= \frac{1}{n_2} \sum_{\alpha=1}^{n_2} \mathbf{X}_{\alpha}^{(2)} \\ \Sigma &= \frac{1}{n_1 + n_2 - 2} \sum_{k=1}^2 \sum_{\alpha=1}^{n_k} (\mathbf{X}_{\alpha}^{(k)} - \bar{\mathbf{X}}^{(k)})' \cdot (\mathbf{X}_{\alpha}^{(k)} - \bar{\mathbf{X}}^{(k)}) \end{aligned} \quad (4.16)$$

とする。ここで、 $()'$ は転置ベクトルである。各カテゴリに属する \mathbf{X} の分布が正規分布であると仮定すると、線形判別関数は (4.16) 式を用いて

$$\begin{aligned} z &= \mathbf{X} \Sigma^{-1} (\bar{\mathbf{X}}^{(1)} - \bar{\mathbf{X}}^{(2)})' - \frac{1}{2} (\bar{\mathbf{X}}^{(1)} - \bar{\mathbf{X}}^{(2)})' \\ &\quad \cdot \Sigma^{-1} (\bar{\mathbf{X}}^{(1)} - \bar{\mathbf{X}}^{(2)})' \end{aligned} \quad (4.17)$$

と求められる。ここで Σ^{-1} は Σ の逆行列である。また、判別しきい値は

$$t = \log(C(1|2)P(2)/(C(2|1)P(1))) \quad (4.18)$$

$C(1|2)$: $k = 2$ のサンプルを $k = 1$ に属すると誤判別したときの損失。

$C(2|1)$: $k = 1$ のサンプルを $k = 2$ に属すると誤判別したときの損失。

$P(1), P(2)$: それぞれ $k = 1$, および $k = 2$ の先験確率。

である。そして、被照合未知印影サンプルについては、該当する登録印影との間で同じようにして得られる照合変数の測定値 $\mathbf{X}^{(U)} = \{X_i^{(U)}, i = 1, 2, \dots,$

p} を (4. 17) 式の X に代入して得られる値 $z^{(U)}$ から

$$z^{(U)} \geq t ; k = 1 \text{ (真正)}$$

$$z^{(U)} < t ; k = 2 \text{ (偽造)}$$

と判定する。

この方法は、あらかじめ各印影サンプルが属するカテゴリーが与えられているとき、それらの判別誤り確率を最小にするように線形判別関数を決定するので、未知印影サンプル集合の統計的性質が学習用サンプルと同じであれば、未知サンプルに対しても誤照合率が小さくなることが期待できる。しかし、印鑑照合では、現実に出現する可能性のある偽造印影を事前にすべて把握することは不可能である。従って、実際の印鑑照合システムにこの考え方をそのまま適用するのは問題がある。本論文では、実験に使用する印影サンプルに対する最良の照合率の目安を得るという意味で、この方法を用いる。

4. 6 結 言

本章では、文書鑑定分野における印影鑑定や金融機関での印鑑照合の方法を調査して、それらの分野で熟練者が経験的に明らかにしてきた真偽判別に有効な印影特性を、自動計測可能な照合変数として定義した。そして、それらの真偽判別への有効性を確かめるために、多くの印影について実際に照合変数を測定し、真正・偽造2水準の一元配置分散分析を行った。その結果、それらが確かに真正・偽造の差異を表していることが確認できた。また、上記の照合変数をもとにした真偽判別方法として、真正印影サンプルのみを学習用印影サンプルとする正規化距離法の提案を行った。本提案手法は、偽造印影の性質が事前に把握できないという制限のある実際の印鑑照合に適合した方法である。

更に、本章で提案した照合変数、およびその計測法は、一部 (D_a , M_t) を除いて印影の局所的な差異を測定するという方法であり、また P_m , D_r は印影の位置合わせの際、既に得られていることなどから、位置合わせも含めた照合システ

ム全体としては、比較的高速な処理が可能であり、多量の文書処理が必要とされる分野での自動印鑑照合システムに適した方法であると考えられる。

第5章 自動印鑑照合実験と照合性能 評価

5.1 緒言

第2章で、印鑑照合処理の基礎的概念、その自動化システムの全体像、および本論文で採用する印影の入力条件と前処理について述べた。第3章では、被照合印影の登録印影への位置合わせ法について提案し、その精度について検討した。また、第4章では、熟練者の照合方法を参考にして真偽判別に有効な照合変数の定義とその計測法、および真偽判別方式について提案した。本章では、以上の各処理手法を統合した自動印鑑照合システムのシミュレーション・システムを構成して、実際に多数の印影サンプルを用いて照合実験を行い、本論文で提案する照合方式の照合性能に関して、熟練者の照合能力をもとにして検討する。

照合性能に関しては、従来提案されたさまざまな照合方式について、その照合率が実験的に示されている [7, 8, 14~18]。しかし、実験に用いた印影データは各実験において独自に準備されたものであるため、各方式の照合性能を直接比較することは不可能である。また、実用的な観点から、どの程度の照合性能が要求されるのかという最も基本的なことについても明らかではない。

本章では、まず5.2節にて自動印鑑照合方式の照合性能評価の方法に関して、本論文での基本的な考え方を述べる。5.3節では、本研究において行った照合実験の方法、および照合性能評価の方法について述べる。5.4節では、本提案方式、および銀行員による照合実験の結果について述べ、両者の照合結果の比較検討を行う。5.5節では、まず本実験に用いた偽造印影の真正印影に対するパターン類似度を、銀行員によって実務上の立場から評価した結果について述べ、この結果をもとにして5.4節の照合結果を再度検討し、本提案方式の照合性能に関してその実用化の可能性を検討する。5.6節は、本章のまとめである。

5. 2 照合性能評価法に関する基本的考え方

本論文で対象としている自動印鑑照合システムなど個人照合の自動化システムが実際に社会に受け入れられるためには、提案される自動化システムの誤り率、すなわち本人が拒否される誤り率（第1種誤照合率）と、詐称者が受け入れられる誤り率（第2種誤照合率）が十分に小さいことが重要である。中でも前者の誤りは他の手段で救う方法があるが、後者は十分に小さい誤り率でなければならない。それでは十分小さい誤り率とは、一体何%以下のことをいうのか。この問いに対する明確な基準は、現在のところ存在しない。また仮にこの基準が明確化されており、ある提案手法の誤り率が独自の印影サンプルを用いて示されたとしても、印影サンプルに共通性がないため、客観的な性能評価ができない。本論文では、以上の問題点を解決し、できる限り客観的に実用性の可否を判断するための評価手法として、以下の方法をとる。

まず実用化が可能な誤り率の範囲を明らかにするためには、現在社会で一般的に認められている方法、すなわち熟練者の印鑑照合能力を実際に調査し、その誤り率を測定するのが合理的である。そして上の調査に用いたのと同じ印影サンプルを用いて提案する自動印鑑照合方式による照合実験を行い、誤照合率を求め、これらの結果を相互に比較検討する。以上の方法によって、実用上要求される誤照合率の基準の目安が得られると共に、印影サンプルの共通性がある程度保障され、提案される自動照合方式の照合性能を実用化の観点から客観的に評価することが可能になると考えられる。

5. 3 照合実験の方法

実験に使用する印影サンプル、および照合の基準となる登録印影は、4. 4. 1節で作成したものをそのまま利用する。以下、これらの印影サンプルを使用した自動照合実験、および熟練者による照合実験の方法について述べる。

5. 3. 1 自動照合実験の方法

まず4. 5. 1節で提案した正規化距離法による照合実験においては、各形状ごとに、真正印章による印影30個の中で、前半10個を学習用サンプル、残りの真正印影20個と全偽造印影を照合用未知サンプルとして照合を行い、学習用、照合用未知サンプルに対する誤照合率を計算する。真偽判定の際、(4. 15)式の真正印影の限界距離 D_T を決めるための定数 a は、その値を1. 0~3. 0の間で0. 5刻みに変化して実験を行った。もし真正印影サンプルの正規化距離 D_α の分布が正規分布であるならば、上の値はそれぞれ真正印影の棄却率(第1種誤照合率)31. 7, 13. 4, 4. 55, 1. 20, 0. 27%に対応する棄却域 D_T を与える。

次に、参考実験として行う2群判別分析法(4. 5. 2節)による照合実験においては、各形状ごとに、真正、偽造印章による各30個の印影の中で、それぞれ前半10個、合計真正印影10個、偽造印影60個を学習用サンプル、残りを照合用未知サンプルとして照合を行い、正規化距離法による照合実験と同様に誤照合率を計算する。真偽判定の際の判定しきい値 t は(4. 18)式に示したように、 $C(1|2)$, $C(2|1)$, $P(1)$, $P(2)$ の値により決定される。しかし、現段階でこれらの値を合理的に決定することは困難であるので、一応、 $C(1|2) = C(2|1) = 1$, $P(1) = P(2) = 1/2$ とした。従って $t = 0$ である。

以上2つの方法とも、学習用サンプルの数が統計学的に考えて少ないと思われるが、現実に印鑑照合が必要とされる場面においては同一印章による多数の印影サンプルを得ることが困難と考えられるため、上のサンプル数とした。

5. 3. 2 熟練者による照合実験の方法

本照合実験に用いる印影サンプルは、照合用未知サンプルのみであり、4. 4. 1節で作成された元の印影である。すなわち各形状ごとに真正印影サンプルとし

て、自動照合実験で用いる真正印影の照合用未知サンプル全てを、また偽造印影サンプルとしては、同様に照合用未知サンプル各20個の中から、それぞれ前半10個を選択した。偽造印影サンプルの数が、自動照合実験で使用するサンプル数より少ないのは、被験者の労力的負担などから考えてこの程度が限界であると思われるためである（印影サンプルの全数は、真正印影が $20 \times 6 = 120$ 個、偽造印影が $10 \times 6 \times 6 = 360$ 個、合計480個である）。また、登録印影も、4.4.1節で作成されたものをそのまま使用した。

本実験における照合用未知サンプルは、照合途中で同一形状印影同士の相互比較を避けるために、1枚のカードに1個ずつ貼り付け、それらを不規則に並べて、1枚ずつ順次当該形状の登録印影と照合する方法をとる。被験者は9名の銀行員であり、営業店窓口担当者、および事務センターに勤務する者である。そして、全員が日常印鑑照合業務を担当している熟練者である。被験者は、照合用未知サンプルの中に真正、偽造印影が混在していることは知っているが、それ以外の情報は与えられていない。具体的な照合の方法は、日常業務で行っている方法に準ずることとして、被験者の自由に任せる。照合の結果は、真正、偽造のいずれかで答えさせる。

以上の照合実験とは別に、自動印鑑照合の研究において、対象とすべき偽造印影の登録印影に対するパターン類似度の範囲を把握するために、今回の実験で用いる偽造印影の真正印影に対する類似度を、銀行員の実務経験、および法廷における判例などに基づいて主観的に評価する実験を行う。具体的には、各印章をできる限り丁寧に押印して得た印影を、上の被験者に提示して、表5-1に示す基準に基づいて各偽造印影の真正印影に対する類似度を答えさせる方法をとる。

表5-1の評価基準から明らかのように、類似度4または5と判定された印影の真偽判別性能を議論することは、印鑑照合の実務的な観点では本質的な問題ではなく、むしろ類似度3以下の偽造印影をどの程度確実に検出できるかが重要な問題であると思われる。そこで、まず今回用意した照合用未知サンプル全体に対

表5-1 偽造印影の主観的類似度評価の基準

類似度評価量	評価基準
5	同一印影であると確信がある
4	同一印影であると思われる（大変酷似しており、実務上同一印影と見なしても免責 ^(*) されるとと思われる）
3	僅かな相違点があるが、見誤るおそれがある（免責は微妙である）
2	明らかに相違している（照合誤りがあれば、免責されない）
1	一見して相違点の方が目につく

(*)：預金口座開設の契約などにおいては通常免責条項があり、その中で印鑑照合に関して「相当の注意をもって照合したにもかかわらず、事故が起きた場合は金融機関は免責される」としている。

する照合結果について一般的な比較検討を行う。次いで類似度3以下の印影に対する照合結果について比較を行い、それに基づいて本論文で提案する自動照合方式の実用化の可能性に関して検討を行うことにする。

5.4 照合実験の結果と検討

正規化距離法、2群判別分析法、および銀行員による照合実験における、全照合用未知サンプルに対する誤照合率を表5-2に示す。正規化距離法、判別分析法では学習用サンプルに対する誤照合率も算出したが、照合方式の適否の評価に意味をもつのは照合用未知サンプルに対する結果であるので、ここでは省略する。また、正規化距離法は真正印影の限界距離（棄却域） D_T によって誤照合率が変化するが、各方式の比較においては便宜上、第1種、第2種誤照合率がほぼ等しくなる $1.5\sigma_D$ の結果を用いることにする。表5-2を要約すると次のようになる。まず各照合法について特徴的なことは、

(1) 正規化距離法においては、真正印影の限界距離 D_T を決定する係数 a を一定としても、印章の形状によって第1種誤照合率に大きな変動がみられる。また、正規分布を仮定したときの理論的な棄却率とも一致していない。これは、学習用

表 5 - 2 照合結果（誤照合率）

照 合 印 章	誤照合率の 種 類	判 別 分析法	正 規 化 距 離 法					銀行員による照合 (9名の平均値)
			1.0 σ_D	1.5 σ_D	2.0 σ_D	2.5 σ_D	3.0 σ_D	
AA-AB1~AB6	第1種誤照合	0.0	45.0	25.0	20.0	20.0	15.0	34.4
	第2種誤照合	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	1.7
BA-BB1~BB6	第1種誤照合	0.0	20.0	15.0	10.0	5.0	5.0	49.4
	第2種誤照合	14.2	10.0	11.7	12.8	15.6	15.6	4.3
CA-CB1~CB6	第1種誤照合	15.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	46.7
	第2種誤照合	24.2	23.3	31.7	38.9	45.6	54.4	21.1
DA-DB1~DB6	第1種誤照合	5.0	15.0	5.0	0.0	0.0	0.0	65.6
	第2種誤照合	30.0	55.6	68.3	73.9	87.8	93.3	20.6
EA-EB1~EB6	第1種誤照合	10.0	30.0	10.0	5.0	5.0	0.0	73.3
	第2種誤照合	3.3	0.0	1.7	10.6	21.7	32.2	11.9
FA-FB1~FB6	第1種誤照合	0.0	40.0	35.0	30.0	20.0	5.0	54.4
	第2種誤照合	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	6.1
平均誤照合率	第1種誤照合	5.0	25.0	15.0	10.8	8.3	4.2	54.0
	第2種誤照合	11.9	14.8	18.9	22.7	28.4	32.6	11.0
真偽全サンプルに対する平均誤照合率		10.9	15.8	18.5	21.5	26.4	29.8	21.8

誤照合率の単位は (%)

サンプルの数が10個と少ないために、照合用未知サンプルの性質を十分反映していないことによると考えられる。

(2) 銀行員による照合の結果は、すべての印章において第1種誤照合率が非常に高く、第2種誤照合率が低くなっている。これは印鑑照合の実務においては、第2種誤照合は重大な損害を受けることになるのに対して、第1種誤照合は他の手段でその正当性を確認できるという状況の中で習慣づけられた特性であると考えられる。

次に、3つの照合結果を比較すると、

(3) 照合用未知サンプル全体に対する総合的な誤照合率では、判別分析法が最も優れ、次いで正規化距離法、銀行員の順である。しかし第2種誤照合率を重視して評価すると、判別分析法と銀行員は同程度であり、正規化距離法が最も劣る。また表5-2には示されていないが、銀行員による照合実験において最良の結果を与えた被験者の平均誤照合率は、第1種誤照合率29.2%、第2種誤照合率8.1%、最悪の照合結果を与えた被験者の平均誤照合率は、第1種誤照合率70.0%、第2種誤照合率14.7%であった。照合性能の比較に関しては、5.5節で更に検討する。

(4) 印章の形状による誤照合率の変化は、3つの照合法とも同様な傾向を示しており、印章C、Dにおいて誤照合率が高くなっている。更に第2種誤照合を生じた偽造印章について、その誤照合率の内訳を各偽造印章ごとに見ると、表5-3に示すようになる。同一形状であっても、誤照合率が印章によって大きく変動していることがわかる。このことは、印章の形状、および偽造印影の登録印影に対する類似度の微妙な変化が真偽判別に大きく影響していることを示している。印章の形状による誤照合率の変化の理由としては、印章C、Dは他の印章と比較して、その大きさが小さく、その上印章Cは画線が全体的に細いため、微妙な相違点を比較し難いこと、および印章Dは画線構造が簡単なため、比較すべき特徴点が少ないことなどによるものと考えられる。

5.5 類似度評価結果と照合結果との関係

今回の照合実験に用いた各偽造印章の当該真正印章に対する類似度の主観評価結果を表5-4に示す。同表から明らかなように、36個の全偽造印章の中で18個が類似度4以上と評価された。この評価結果は、5.4節で述べた形状による効果も含めた真偽判別の難易度の評価と解釈することができる。そこで、

表 5 - 3 第 2 種誤照合率の内訳

(a) 判別分析法

印 章	誤照合率	印 章	誤照合率	印 章	誤照合率
BB 1	80.0	CB 6	60.0	DB 5	40.0
BB 5	5.0			DB 6	15.0
CB 1	25.0	DB 1	45.0	EB 1	10.0
		DB 2	40.0		
		DB 3	10.0		
		DB 4	30.0		
CB 2	55.0			EB 2	5.0
CB 4	5.0			EB 4	5.0

(b) 正規化距離法 ($D_T = \bar{D} + 1.5 \sigma_D$ の場合)

印 章	誤照合率	印 章	誤照合率	印 章	誤照合率
BB 1	70.0	DB 1	83.3	EB 1	3.3
		DB 2	96.7	EB 6	3.3
CB 1	46.7	DB 3	60.0		
CB 2	40.0	DB 4	16.7		
CB 3	6.7	DB 5	83.3		
CB 6	96.7	DB 6	70.0		

(c) 銀行員による照合

印 章	誤照合率	印 章	誤照合率	印 章	誤照合率		
AB 1	4.4	CB 5	28.9	EB 4	13.3		
AB 2	1.1	CB 6	43.3	EB 5	15.6		
AB 3	3.3			EB 6	7.8		
AB 5	1.1	DB 1	24.4	FB 1	4.4		
BB 1	4.4	DB 2	34.4				
		DB 3	15.6			FB 2	10.0
		DB 4	17.8			FB 3	6.7
		DB 5	24.4			FB 4	5.6
BB 5	5.6	DB 6	6.7			FB 5	2.2
BB 6	15.6			FB 6	7.8		
CB 1	18.9	EB 1	10.0				
CB 2	14.4			EB 2	14.4		
CB 3	5.6			EB 3	12.2		
CB 4	15.6						

誤照合率の単位は (%)

表5-4 偽造印影の主観的類似度評価の結果

印章番号	類似度評価量	印章番号	類似度評価量
AB1	4	DB1	4
AB2	3	DB2	5
AB3	4	DB3	4
AB4	3	DB4	3
AB5	3	DB5	4
AB6	2	DB6	4
BB1	5	EB1	4
BB2	1	EB2	3
BB3	1	EB3	4
BB4	1	EB4	3
BB5	4	EB5	3
BB6	3	EB6	3
CB1	4	FB1	4
CB2	4	FB2	3
CB3	4	FB3	4
CB4	3	FB4	3
CB5	4	FB5	3
CB6	4	FB6	2

この結果は被験者9名の合議に基づく判定結果である。

表5-3と表5-4の結果とを比較すると、表5-4において類似度4以上と評価された印章が表5-3に含まれる割合は、判別分析法が15個中11個、正規化距離法が13個中11個、銀行員による照合では31個中18個といずれも高くなっている。更に表5-3では3つの照合法とも、類似度4以上と評価された印章の第2種誤照合率が全体として高い傾向が認められる。また前節で述べたように、印鑑照合の実務から考えて、類似度4以上の偽造印章を検出することは本質的な問題ではなく、むしろ類似度3以下の偽造印章を確実に検出できることが重要な問題であると思われる。

そこで、表5-4における類似度3以下の18個の偽造印章による照合用未知サンプルについて、第2種誤照合率を再集計した結果が表5-5である。再集計に際して、判別分析法は識別関数の決定のために真正、偽造両サンプルを用いて

表 5 - 5 類似度 3 以下の偽造印影サンプルを用いた場合の誤照合率

誤照合率の 種 類	判 別 分析法	正 規 化 距 離 法					銀行員による照合 (9名の平均値)
		1.0 σ_D	1.5 σ_D	2.0 σ_D	2.5 σ_D	3.0 σ_D	
第1種誤照合	2.5	25.0	15.0	10.8	8.3	4.2	54.0
第2種誤照合	3.3	0.6	1.1	4.1	7.2	10.6	6.9
平均誤照合率	3.1	5.0	3.6	5.3	7.4	9.4	25.7

誤照合率の単位は (%)

いるので、改めて18個の偽造印章による学習用サンプルによって識別関数を求め、照合実験を行った。

表5-5の結果について、3つの照合法を比較すると、総合的な誤照合率の低さでは判別分析法、正規化距離法、銀行員の順となっている。しかし第2種誤照合率では、正規化距離法が最も優れている。また銀行員による照合結果との比較においても、第1種、第2種誤照合率とも相当低い値が得られており、学習用サンプルの得やすさを併せて考慮すると、正規化距離法は実用的な自動印鑑照合法として、十分可能性のある方法と考えられる。

5. 6 結 言

本章では、自動印鑑照合方式の客観的な照合性能評価の方法に関して基礎的な考察を行った。そしてその考え方に基づいて、本論文で提案した自動印鑑照合方式の照合性能に関して、日常印鑑照合業務に携わっている銀行員の照合能力の調査結果をもとにして検討を行った。

その結果、比較的良好品質の印影で、対象とする偽造印影の真正印影に対する類似度を、金融機関などの実務分野で通常検出できなければならないとされている範囲に限定すれば、本論文で提案した正規化距離法の照合性能は、銀行員の照合

能力よりも優れていることが確認できた。また、今後の自動印鑑照合の研究において対象とすべき偽造印影の範囲についても、ある程度の見通しを得ることができた。

第6章 照合結果に影響する要因の 実験的検討とその対策

6.1 緒言

第5章で、比較的良好品質の印影を用いて日常印鑑照合業務に携わっている銀行員の照合能力をもとに、筆者が提案する正規化距離法による自動照合方式の照合性能評価を行い、本提案方式は銀行員と同程度以上の照合性能を有することを明らかにした。しかし実際の印鑑照合においては、同一の印章であっても押印条件など種々の要因により、多様な品質（印肉のにじみ、かすれ、印影のずれなど）の印影パターンが生じたり、登録印影に極めて類似した偽造印影が出現する可能性がある。これらは照合結果に大きな影響を及ぼすと考えられ、それらに対する対策の必要性が指摘されている〔9〕。印影品質の変動に対する対策の1つとして、被照合印影の線幅を登録印影の線幅に合わせるように、被照合印影の濃淡を補正して照合する方法〔16〕が提案されている。しかし印鑑照合においては、印影の線幅も重要な特徴の1つであり〔38〕、これを無条件に正規化するのは問題がある。

上に述べた低品質印影や登録印影に極めて類似した偽造印影が、実際に照合対象になる可能性は低いと考えられる。しかし、印影品質や真偽印影間の類似度などの要因が、提案される自動照合法や人間による照合結果に、実際どの程度の影響を与えるかという点を明らかにすることは、それぞれの照合方法の信頼性を明らかにするという意味で重要である。従来、これらの点に関して定量的、実証的に明らかにされた例がない。これらの点を明らかにし、本提案方式の照合性能を更に高め、適応範囲を拡大するためには、まず本提案方式と熟練者の照合特性の差異を分析し、その結果に基づいて具体的な対策を検討していくのが合理的である。

本章では、以上の考え方に基づいて、偽造印影の登録印影に対するパターン類

似度および印影品質を系統的に変化しながら、第5章と同様、本提案方式と銀行員による照合実験を行い、両者の照合特性の差異、および真偽印影間のパターン類似度と印影品質の変動による両者の正照合限界を明らかにする。そして、その結果に基づいて、本提案方式の照合性能、および適応範囲を更に高めるための対策を提案する。まず6.2節では、照合結果に影響すると考えられる物理的要因を分類・整理する。そして、印影品質と真正・偽造印影間のパターン類似度が、検討の対象とすべき重要な要因であることを明らかにする。6.3節では、要因分析の実験に用いる印影データの作成と実験方法について述べる。6.4節では、本提案方式および銀行員による照合実験の結果について述べる。そして両者の照合結果の印影品質、および類似度依存性について比較検討し、両者の照合特性の差異を明らかにする。6.5節では、6.4節の結果に基づいて、本提案方式の照合性能を更に高めるための一方策として、照合前に被照合印影の各部の品質を機械的に識別する方法を提案する。6.6節は、本章のまとめである。

6.2 照合結果に影響する要因

同一印章による印影でも押印条件によっては、その表現形態が大きく異なることは広く知られている事実である。ここでは、文書鑑定[19, 20]の分野を始め、種々の立場から指摘されている照合結果に影響する要因について整理・分類し、本研究において検討すべき要因について考察する。

照合結果に影響を与える主な物理的要因は表6-1のように分類される。表6-1には各物理的要因の印影表現形態への主要効果も併せて示してある。物理的要因は大別して、同一印章であっても印影パターン変動の原因となるものと偽造印影の真正印影に対するパターン類似度に分類される。印影パターン変動の要因は更に押印条件(表6-1における要因1~4)と印章それ自身の経年変化に分類できる。

実際の被照合印影は、これら多数の物理的要因が複雑に影響し合った結果とし

表6-1 照合結果に影響する物理的要因

	要 因	詳 細 要 因	印 影 表 現 へ の 効 果
印す影るの要因現形態に影響	1. 押印の仕方	(a) 着肉状態 (b) 押印圧 (c) 押印方向 (d) 押印のずれ、二重押印	(a) 画線の肥大(にじみ)、かすれ (b) 同上 (c) 濃淡の偏り(局所的肥大、かすれ) (d) 形状の崩れ、重なり
	2. 紙 質	(e) 表面の平滑性、吸湿性	(e) 画線の肥大、かすれ
	3. 押印台の質	(f) 硬・軟、弾力性	(f) 画線の肥大、かすれ、変形
	4. 印肉の種類	(g) 粘性	(g) 画線の肥大
	5. 経年変化	(h) 印章の欠損、摩耗 (i) 宿肉	(h) 変形 (i) 画線の接触、偽画線の出現
その他	6. パターン類似度	(j) 偽造印影の登録印影に対する形状の類似度	(j) 影響なし ^(*)

(*) 同一印章による印影変動には影響しないという意味であり、印章の形態そのものは当然印影の表現形態に反映する。

て生成される。しかし、各要因を任意に制御しながら印影を生成することが困難であるため、個々の要因ごとに、それらと照合結果との関係を調べることはできない。また、これらの要因の中には、実務上その変動をある程度抑えることが可能なものも含まれている。例えば、紙質は押印用紙を指定することにより、統一できるし、押印台も印鑑照合が必要となるような場合には、重大な印影変形を伴う極端なものが使用されることは少ないと考えられる。また印肉の種類については、一般にネーム印と呼ばれる印章に使用されているインキなどを別とすれば、種類の違いによる印影変動はそれほど大きくはないと考えられる。更に経年変化は、印章それ自身の変化であるので照合段階では対処できず、むしろ定期的に印鑑登録を行う以外に方法はない。結局、日常対象となる被照合印影の変動要因としては、押印の仕方が最も大きいと考えられる。吉田[20]は、表6-1における1~4の各要因の印影変動への影響の程度を実験的に調査しており、そこ

も押印の仕方、特に印肉の着肉状態（紙面への着肉量の大小）が印影に最も大きな影響を与えるとされている。

また印鑑照合の最も基本的な目的は偽造印影の発見であるから、真正・偽造印影間のパターン類似度も重要な要因と考えられる。

以上の検討のもとに本研究では、要因分析の具体的な検討対象として、表6-1の押印の仕方、特に印肉の着肉状態による印影変動（印影品質）と偽造印影の真正印影に対するパターン類似度を上げる。

6. 3 実験方法

6. 3. 1 実験に用いる印影とその類似度評価

印章の形状は10種類で、各形状ごとにまず最初に1個の印章を作製し、以後わずかずつ変形を加えながら順次5個の印章を作製した。そして最初の印章を真正印章、その他をそれぞれ類似度の異なる偽造印章とした。これら各印章を6名の男性被験者に着肉過剰の状態から日常押印している程度の注意でもって自由に5回連続押印させ、各印章について30個の印影サンプルを得た。連続押印回数を5回としたのは、吉田[20]の実験によれば、1回の着肉で連続押印した際に、もはや印影が現れないと判断される回数は、男性で6~7回、女性で5~9回であるとされていることによる。押印の際、被験者の順番は、別の印章に変わる度に1番ずつ繰り上がるようにした。

作成された印影の中には、表6-1の詳細要因(d)による印影のずれ、および2重押印に相当するものはなかった。従って、今回の実験に用いる印影サンプルは、主として表6-1の詳細要因(a)~(c)に起因する印肉の着肉状態による印影品質の変動を含んだサンプルと考えることができる。印影サンプルの一例を図6-1に示す。押印順位1番目の印影は着肉過剰による”にじみ”、4~5番目の印影は着肉過小による”かすれ”を含む印影であり、押印順位2~3番目は比較的良好品質の印影である(6名の被験者による変動はほとんど認められな

かった)。またこれとは別に、各真正印影を丁寧に押印することによって、照合の基準となる登録印影を得た。更に、6. 3. 2節の自動照合実験において使用する学習用サンプルとして、各真正印章ごとに10個の良品質印影を作成した。

偽造印章作製時には、真正印章に対する類似度を任意に制御できなかったため、照合実験に先立ち、第5章で述べたのと同様、銀行員の実務経験、および法廷における判例などに基づいて偽造印章の真正印章に対するパターン類似度の主観評価実験を行った。具体的には、各印章をできる限り丁寧に押印して得た印影を、8名の被験者（全員が印鑑照合の実務経験を有する銀行員であり、営業店窓口担当者、および事務センターに勤務する者である）に提示して全員の合議により、表5-1（第5章）の基準に基づいて各偽造印影の真正印影に対する類似度を答えさせる方法をとる。

以上の方法による類似度評価の結果を表6-2に示す。今回用意した偽造印章の中では、類似度5と評価されたものはなかったが、実際の印鑑照合においては、類似度3以下の偽造印影を確実に検出することが最も重要な問題であるので、このことはそれほど重要ではないと考えられる。

6. 3. 2 自動照合実験の方法

第4章で提案した正規化距離法によって、照合を行う。本実験においては、まず6. 3. 1節で作成した各真正印章の学習用サンプル10個を用いて、真正印影の限界距離 D_T を決定する。その際、(4. 15)式の定数 a の値は、第5章における照合実験と同様、 $a = 1.5$ とした。次いで被照合未知サンプルの照合を行い、類似度別、品質（押印順位）別に誤照合率を算出した。

6. 3. 3 熟練者による照合実験の方法

本実験における被照合未知サンプルとしては、6. 3. 1節で作成した元の被照合印影をそのまま使用した。各形状ごとに真正印影サンプルとして、30個す

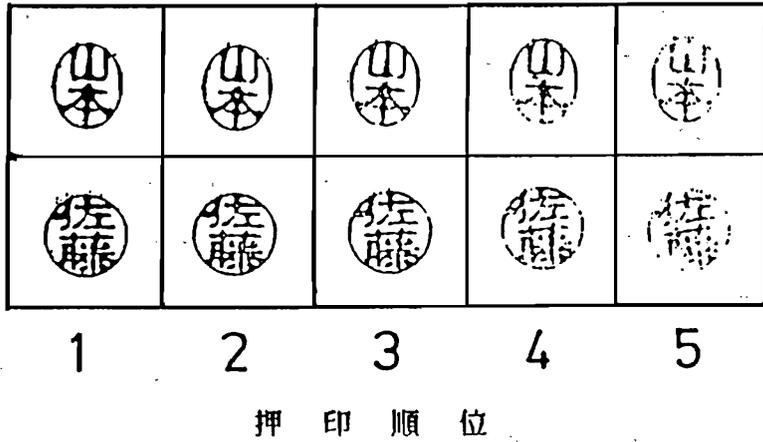


図6-1 実験に使用した印影の例

表6-2 偽造印章の主観的類似度評価の結果

類似度	印 影 例		印章数	印影数
	真 正	偽 造		
4			2	60
3			4	120
2			17	510
1			27	810

べてを、また偽造印影サンプルとしては各印章の印影サンプル30個の中から最初の2名の押印者による10個の印影（各押印順位の印影はそれぞれ2個）を選択した。サンプル数をこのように制限したのは、第5章で述べたのと同様、被験者の労力的負担から考えて、この程度が限界であると思われるためである（印影サンプルの全数は、真正印影： $30 \times 10 = 300$ 個、偽造印影： $10 \times 5 \times 10 = 500$ 個、合計800個）。6.3.1節で述べたように、押印者の順番は印章によって周期的に変化しているため、選択された偽造印影全体の中には、各押印者による印影がほぼ均等に含まれている。登録印影も6.3.1節で作成したものをそのまま使用した。被照合印影は照合途中で同種類の形状の印影同士の間を相互比較を避けるために、1枚のカードに1個ずつ貼りつけ、形状、類似度、品質とも不規則に並べて、1枚ずつ順次当該形状の登録印影と照合する方法をとる。

被験者は、6.3.1節で述べた偽造印影の類似度評価実験に参加した8名の銀行員である。照合の具体的方法および照合のための所要時間は、実務における照合に準じて行うように指示した。照合の結果は、真正、偽造、および照合不能のいずれかで答えさせる。また照合実験に際して被験者に対しては、照合用未知サンプルの中には真正、偽造印影が混在していること以外、照合用未知サンプルに関する情報は一切与えなかった。

但し、今回の実験では、使用する印章が本実験の趣旨に合致する印章なのかどうかを、実務上の立場から評価してもらうために、前述のように類似度評価実験を先に行ったので、照合実験の際、被験者は真偽印影間の差異の程度や差異の現れやすい部分などについて、既に若干の予備知識を有していることになり、照合結果は予備知識が全くない通常の照合に比べていくらか良くなる可能性がある。従って、銀行員の本来の照合能力を調べるためには、印影サンプルに関する予備知識が全くない状態で照合を行うべきであり、照合実験の後で類似度評価を行うのが妥当であろう。しかし今回の照合実験は、類似度評価実験から約1週間後に

行ったので、類似度評価実験による予備知識の照合結果への影響はそれほど大きくないと考えられる。また仮に無視できない影響があるとして実験手順を修正した場合でも、銀行員の照合結果が悪くなることはあっても良くなることはないから、本自動照合方式の価値を減ずることはない。

6. 4 実験結果と検討

ここでは、実際に照合実験を行った結果について検討し、照合結果から本提案方式と熟練者の照合特性を明らかにする。なお以後の議論において、銀行員の誤照合率はすべて8名の平均値で示す。

6. 4. 1 偽造印影の類似度と誤照合率

まず、6. 3. 1節で得られた偽造印影の類似度と、第2種誤照合率との関係を図6-2に示す。なお同図には参考のために、第1種誤照合率も併せて示している(図中、類似度軸のG)。図から明らかのように、両照合法とも類似度の増加と共に第2種誤照合率が単調に増加しており、ほぼ同様な傾向を示している。しかし自動照合結果は、すべての類似度にわたって第2種誤照合率が低く、形状の差異の検出能力が高いと言える。また図6-2で特徴的なことは、銀行員による結果は類似度3で誤照合率が急増しているのに対して、自動照合の結果は類似度3まで誤照合率は漸増傾向を維持し、類似度4で急増しているという点である。すなわち6. 3. 1節で述べた偽造印影の類似度の主観評価実験で、銀行員が類似度3(「誤照合すれば免責が微妙である」、すなわちほぼ確実に検出すべき類似度)と判定した印影を自ら大きな割合で誤照合している。これに対して自動照合法は、表5-1(第5章)の類似度基準から見て妥当な結果を与えているように思われる。

銀行員による類似度の主観評価と照合実験の結果のこのようなずれの原因は、次のように考えられる。類似度評価実験は、非常に鮮明な印影を8名の銀行員が

詳細に比較検討するという方法で行われた。それに対して照合実験は、多様な品質の印影を対象としていること、登録印影以外に比較の対象がないこと、および日常の照合業務とほぼ同等な短時間（1件当たり約数秒程度）で判定していることなど、照合条件が悪い。そのために微小な形状の差異を検出できなかったためと思われる。この点を確認するために、銀行員の照合実験で用いた照合用未知印影サンプルの中から類似度3と4の偽造印影、およびそれに対応する真正印影を選

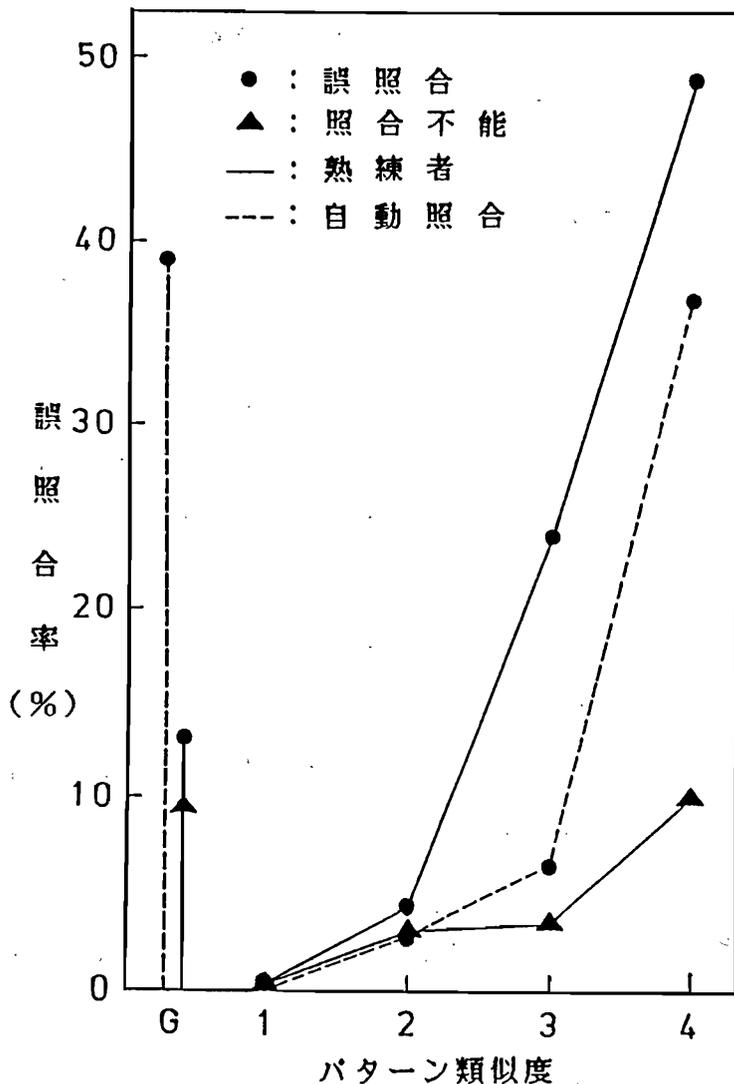


図6-2 パターン類似度と誤照合率の関係

表6-3 照合方法による第2種誤照合率の比較（銀行員による照合）

類似度	種 類	通常の照合（図6-2の結果）	詳細照合（照合時間制限なし）
3	誤照合率	24.1%	13.8%
	照合不能率	3.4%	3.1%
4	誤照合率	48.8%	43.8%
	照合不能率	10.0%	12.5%

び、照合時間の制限を取り除き、できる限り詳細に検査するという方法（但し特別な器具等は用いない）で同じ被験者によって、再度照合実験を行った。その結果は表6-3に示すように、照合不能率はほとんど変化がなかったが、第2種誤照合率は類似度3および4で各々約10%、5%の改善が見られ（但しこの実験では、第1種誤照合率が約2~3%上昇した）、類似度3の第2種誤照合率の低下が著しく、上の推定を裏づけている。

次に両照合法の照合結果の差異について考察する。図6-2において、両照合法の第2種誤照合率が最も大きく異なるのは類似度3の点である。本実験において使用した印章の中で、類似度3と評価された偽造印章は表6-2に示したように4個であった。そこで、この4個の印章の照合用未知サンプルに対する両照合結果の比較を行った。その結果を各印章による良品質の印影例と共に表6-4に示す。同表から明らかなように、自動照合法は銀行員と比べて、いずれの印影に対しても第2種誤照合率が低い。また印章の違いによる第2種誤照合率は、両照合法とも印章A3とAA2の誤照合率が、A2、A4と比べて低い傾向がある。これは表中の真偽印影例の目視による比較でも容易にわかるように、A3とAA2は各々の真正印章に対する形状の差異が、他の2つと比べて全体的に大きいため、判別が容易であることによる。

表 6 - 4 類似度 3 の偽造印影に対する照合結果の内訳

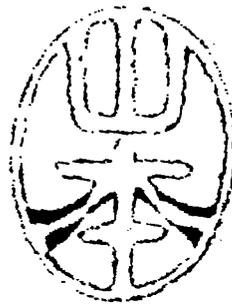
印影例 (良品質)		銀行員による結果		自動照合の結果	
真正	偽造	第2種誤照合率	照合不能率	第2種誤照合率 ⁽⁺⁾	正規化距離の平均値 ⁽⁺⁺⁾
 A1	A2 	45.0 %	1.3 %	10.0 % (6.6)	21.52
	A3 	9.8 %	5.0 %	0.0 % (0.0)	22.38
	A4 	26.3 %	1.3 %	20.0 % (20.0)	18.52
AA1 	AA2 	15.3 %	6.3 %	0.0 % (0.0)	35.16

(+) 上段は、銀行員による照合実験に用いた10個の印影サンプルに対する値であり、下段()内は、30個全てのサンプルに対する値である。
 (++) 銀行員による照合実験に用いた10個のサンプルの平均値である。



$m_t=68.0\%$

A1-A2



$m_t=73.9\%$

A1-A4

図 6 - 3 位置合わせ後の不一致画素の表示

また、両照合法を通して第2種誤照合率が高い印章A2とA4に関しては、銀行員の場合はA2の誤照合率が高く、自動照合の場合は逆にA4が高くなっている。この理由は、次のように考えられる。すなわち目視ではA2、A4とも印影の上部（文字”山”の部分）はほとんどA1との差異が認められない。しかし印影の下部（文字”本”の”ハ”の部分）は、A4がA2よりもA1に対する差異が顕著であり、銀行員の目視照合においては判別が容易であったと思われる。他方、自動照合においては、A2がA4よりも照合用未知サンプルの正規化距離 $D^{(U)}$ の平均値が大きくなっており（表6-4）、判別が容易であることを示している。この点を更に詳しく調べるために、印章A1、A2、およびA4の良品質印影を計算機に入力して濃淡の2値化を行った後、A2、A4の各印影を、画素対応のマッチング率が最大になるように、A1に位置合わせを行った。位置合わせ後のA1-A2、およびA1-A4の各組合せの差分画像（不一致画素）、および最大マッチング率 m_t を図6-3に示す。同図から明らかのように、A1に対するA4は局所的に大きな不一致部分が見られるが、画像全体としてのマッチング率はむしろA2よりも大きく、画素対応の意味でA4は真正印影A1に近いと判定される結果になったと考えられる。

以上の事実から、照合結果から見た両照合法の特徴として、真偽印影間の類似度が比較的大きい場合、照合時間が比較的短時間に制限された銀行員による照合では、たとえ局所的であっても登録印影との形状の差異がより大きく現れた偽造印影の方が判別し易い。また自動照合法では、逆に局所的な形状の差異が小さくても画素対応の意味で印影の全体的な差異の程度が大きい偽造印影の方が判別し易いという傾向が認められる。しかし、本実験では、印章の製作の都合上、類似度3に属する偽造印影の数が少数で、形状も特定のものに集中した。従って、上の傾向が種々の形状の印章一般について成り立つか否かということについては、更に多種類の形状の印章について、同様な検討を行う必要がある。

最後に、図6-2に示した第1種誤照合率は、自動照合の結果が銀行員による

結果と比べて極めて高くなっており、本自動照合法の実用性という観点からは、問題点を有している。これは主として印影品質に起因すると考えられるので、6.4.2節で詳しく検討する。

6.4.2 印影品質と第1種誤照合率

図6-4に印影品質（押印順位）と第1種誤照合率の関係を示す。まず自動照合の結果は、押印順位1～3番目までは誤照合率は低いが、押印順位4、5番目で急激に増加する。特に押印順位5番目では誤照合率100%であり、印肉のか

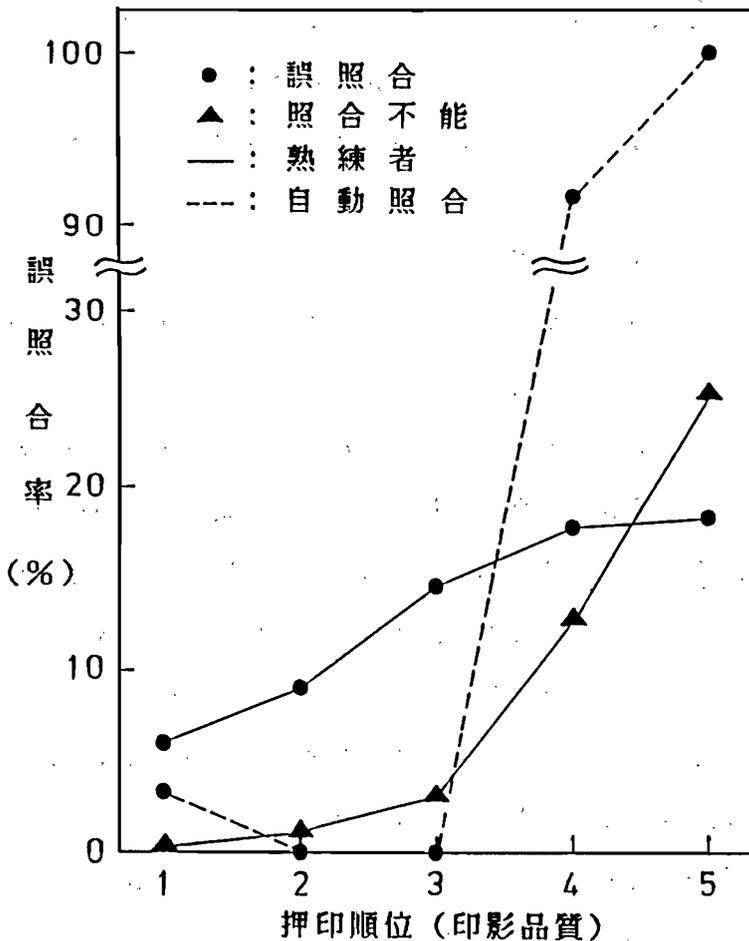


図6-4 印影品質（押印順位）と第1種誤照合率の関係

すれによる影響が大きく現れている。

このような品質依存特性を示す理由について考察する。(4.15)式で示される真正印影の限界距離 D_T を決定するための学習用印影サンプルは、登録印章の形状が忠実に表現されたものを用いるべきであるという考えから、比較的良品の印影を用いた。これに対して照合用未知サンプルには、種々の品質の印影が含まれている。これら各サンプル集合の正規化距離分布の例を図6-5に示す。図6-5(a)は、学習用サンプル10個の正規化距離分布であり、同図(b)は、同じ真正印章の照合用未知サンプル30個の正規化距離分布である。図6-5(a),(b)の比較から明らかなように、学習用サンプルは相対的に正規化距離の小さい所に分布しており、従って D_T も小さな値になる($D_T=17.194$)。これに対して照合用未知サンプルは、押印順位2、3番目の良品印影は学習用サンプルとほぼ同じ位置に分布するが、押印順位1番目の印影は着肉過剰のため印影の線幅が太くなる。また押印順位4、5番目の印影は着肉過小のため、印影画線の線幅が細くなったり、欠落したりすることにより、登録印影との間の

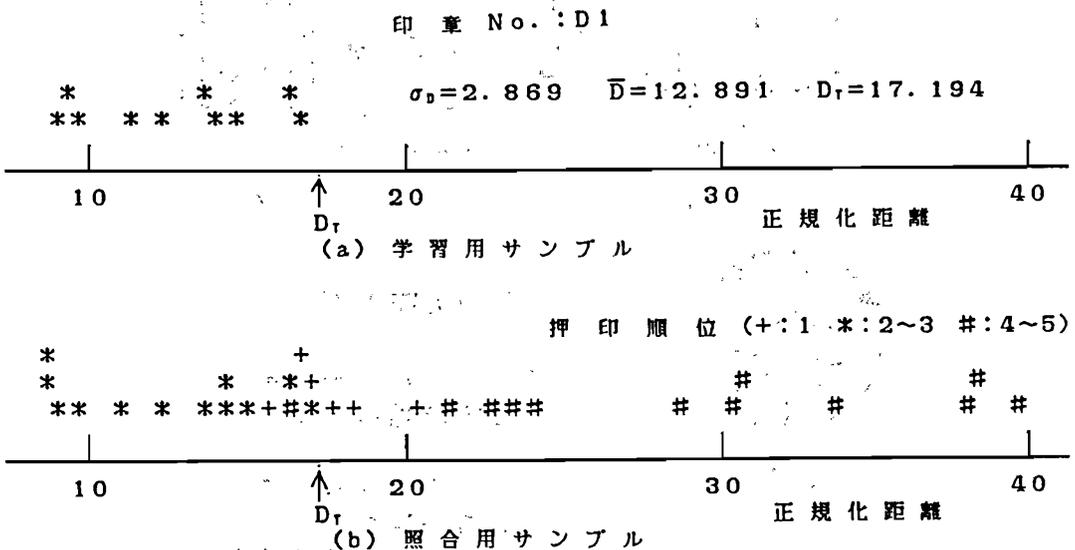
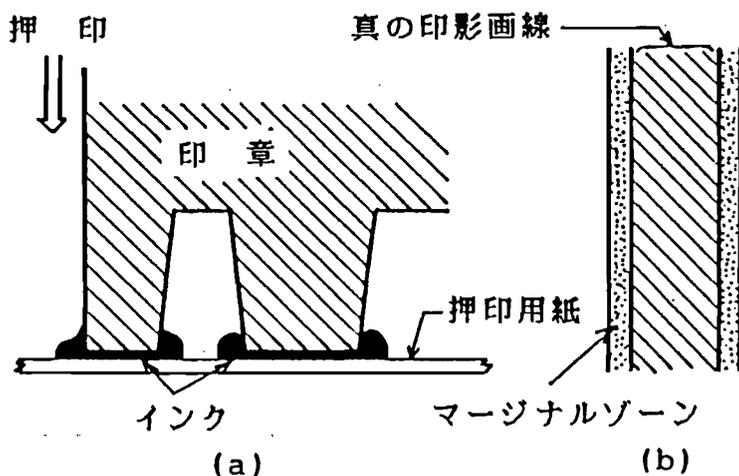


図6-5 真正印影サンプルの正規化距離分布の例

正規化距離が大きくなる。図6-5(b)の例では、押印順位4、5番目は1個を除いてすべて誤照合となることを示している。

他方、図6-4において銀行員の第1種誤照合率は、押印順位と共に漸増しており、押印順位1番目の着肉過剰の印影が最も誤照合率が低いことが特徴的である。この理由は、被験者の意見を総合して考察した結果、押印順位1番目の印影は印肉のにじみにより線幅が太くなっているが、着肉過剰印影の特徴であるマージナルゾーン（図6-6に示すように、印肉が印章の刻印部よりはみ出して真の印影画線周辺にできる濃度の高い部分）が現れている印影が多く、これを参考にして真の印影画線部を推定して照合できること、印影画線の相互配置関係は明確にとらえることができること、および印肉のにじみがあるため、かえって注意を



- (a) 押印時の断面図
- (b) マージナルゾーンを有する印影画線のモデル
- (c) マージナルゾーンを有する印影の例
(コントラスト強調画像)

図6-6 マージナルゾーンの発生と印影例

集中して照合していることなどによると考えられる。また押印順位4、5番目の印影は第1種誤照合率、照合不能率が共に高くなっている。特に照合不能率の増加が著しい。これは熟練者の場合でも、ある程度以上の印肉のかすれによる印影画線の欠落に対しては、対策がないことを示している。

次に、押印順位4、5番目の印肉のかすれを有する印影に対する、銀行員と自動照合法の差異について考察する。図6-7に自動照合において誤照合となった真正印影の中で、銀行員が正しく照合した印影、誤照合した印影、および照合不能とした印影（いずれも5名以上の銀行員が該当する判定をした印影）の例を示す。同図（b）、（c）は押印順位4番目、（d）は5番目の印影である。図6-7からわかるように、銀行員が正しく照合した印影、および誤照合した印影は、かすれ部分が多いが、なお鮮明な部分を残している。それに対して銀行員が照合不能とした印影は全体がかすれている。この点について被験者の意見を求めたところ、印影にかすれがある場合、主として良品質部分を照合対象としており、か



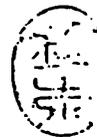
(a)



(b)



(c)



(d)

- (a) 登録印影
- (b) 熟練者によって正照合された印影
- (c) 熟練者によって誤照合された印影
- (d) 熟練者によって照合不能とされた印影

図6-7 自動照合において誤照合された同一印章による印影例

すれが全体にわたっている場合は照合不能とするなど、印影品質をもとにして照合の重点領域を考慮しながら判定しているとのことであった。これに対して、本自動照合法では印影品質を考慮することなく常に印影全体を照合対象としている。また本自動照合法は第2章で述べたように、入力印影の濃淡を2値化した後、照合を行っている。このため、銀行員が目視した元の印影では低濃度ながらも存在していた画線が、濃淡の2値化によって消失し、印影形状の変動を生じる場合がある。今回の実験で使用した元の真正印影とその2値化印影の比較を行ったところ、押印順位1～3番目の印影では濃淡の2値化による形状の変動はほとんど認められなかった。しかし、押印順位4、5番目の印影ではほとんどすべての印影において、部分的ではあるが2値化による画線の消失が認められた。これらの照合方法の違いが図6-4に示した両者の照合結果の差となって現れたものと考えられる。

以上の実験結果は、良品質印影に限定すれば、「本自動照合法は銀行員の照合能力よりも優れている」という第5章の結果が、異なった印影集合についても成り立つということを示している。しかし、品質が低下した印影に対しては問題が残る。特に印肉のかすれに対する対策が必要であることを示している。この点を改善する方法としては、両者の照合特性の検討から明らかなように、照合前にあらかじめ被照合印影各部の品質を識別し、その結果に基づいてマージナルゾーンを除去したり、印肉のかすれが大きく、印影画線が元々変動していたり濃淡の2値化によって画線が消失する可能性のある部分を照合対象から除外するなど、照合対象領域を適応的に制御して照合する機能を付加するのが有効であると考えられる。また、照合判定の際、品質不良などによる照合不能のカテゴリーを設けることも重要であろう。

6. 4. 3 印影品質と第2種誤照合率

図6-8に印影品質と第2種誤照合率の関係を示す。図から明らかなように、

両照合法とも押印順位 2、3 番目の良品質印影に対する誤照合率が最も高く、その前後で若干低下する傾向を示している。この理由は、対象としている印影は元々登録印影とは形状が異なる偽造印影である上、印肉のにじみ（押印順位 1 番目）やかすれ（押印順位 4、5 番目）のために、登録印影との形状の差異が更に大きくなることによる。また押印順位 4、5 番目の印影に対する自動照合の結果は、誤照合率 0% と極めて低くなっている。これは、本自動照合方式の偽造印影検出能力によると考えるよりも、むしろ 6. 4. 2 節で検討したように、かすれによる品質低下のために正規化距離が大きくなったことによると考える方が妥当であろう。従って、両照合法の偽造印影検出能力の比較は、良品質印影について行うのが合理的である。いずれにしても、押印順位 1 番目の印影を除いた各品質の印影に対して、自動照合結果が銀行員による結果よりも優れており、6. 4. 1 節で述べたように、本自動照合方式の偽造印影検出能力は銀行員よりも優れていると言える。

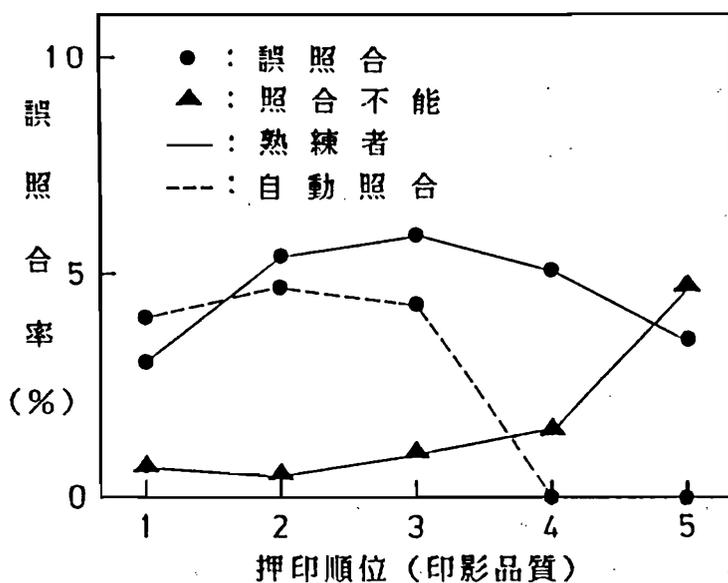


図 6 - 8 印影品質 (押印順位) と第 2 種誤照合率の関係

6. 5 本自動照合方式の照合性能を高めるための対策

6. 5. 1 照合性能向上のための基本的考え方

6. 4 節では、印鑑照合の結果に影響する各種物理的要因の中で、実用上最も重要であると考えられる印肉の着肉状態に起因する印影品質と真正・偽造印影間のパターン類似度に関して、それらを系統的に変化しながら照合実験を行った。その結果、本論文で提案した正規化距離法による自動照合方式は、熟練者と比較して、押印順位4、5番目の印肉のかすれを伴う低品質真正印影の拒否率が極めて高いことが明らかになった。この理由は、図6-5に示したように、これらの印影は、印肉のかすれによって登録印影に対する正規化距離が極めて大きくなることによる。

一方、既に6. 4 節で述べたように、かすれを伴う低品質印影に対する本提案方式と熟練者の照合方法の基本的な差異は、熟練者の場合は良品部分に重点を置いて照合しており、低品質部分が多い場合は照合不能とするなど柔軟な方法をとっているのに対して、本提案方式は常に印影全体を照合対象としている点である。従って本提案手法を、その優れた偽造印影検出能力を保持したまま、広範囲の印影品質変動に適応できるように改善するためには、本提案方式に品質識別機能を付加して、入力された被照合印影を照合する前に、被照合印影各部の品質を識別し、その結果に基づいて良品部分のみを照合対象領域として照合するのが合理的であると考えられる。

以下においては、上に述べた考え方に基づく照合性能向上のための対策の第一歩として、被照合印影画像の品質識別法について検討する。

6. 5. 2 印影画像の品質識別法の提案

鮮明な文字画像、不鮮明な文字画像の特徴は、その濃度ヒストグラムに顕著に現れる。従って本研究においては、この特徴を利用して印影画像各部の品質識別を行う。すなわち印影画像の各部分領域の濃度ヒストグラムの特徴によって、印

影画像の各部を、①文字部と背景部のコントラストが十分な良品質部分（但し、これには印肉のにじみ部分も含まれるが、図6-4に示したように、にじみによる影響はそれほど大きくはないので、現段階ではにじみ部分の識別は検討しない）、②文字部と背景部のコントラストが不十分、あるいは文字部の濃淡変化が大きいかすれ部分、③文字部の存在しない背景部分の3つに類別する。品質識別の処理の流れを図6-9に示す。まず被照合印影画像を適当な大きさの部分画像に分割し、各部分画像について正規化濃度ヒストグラムを作成する。そしてこのヒス

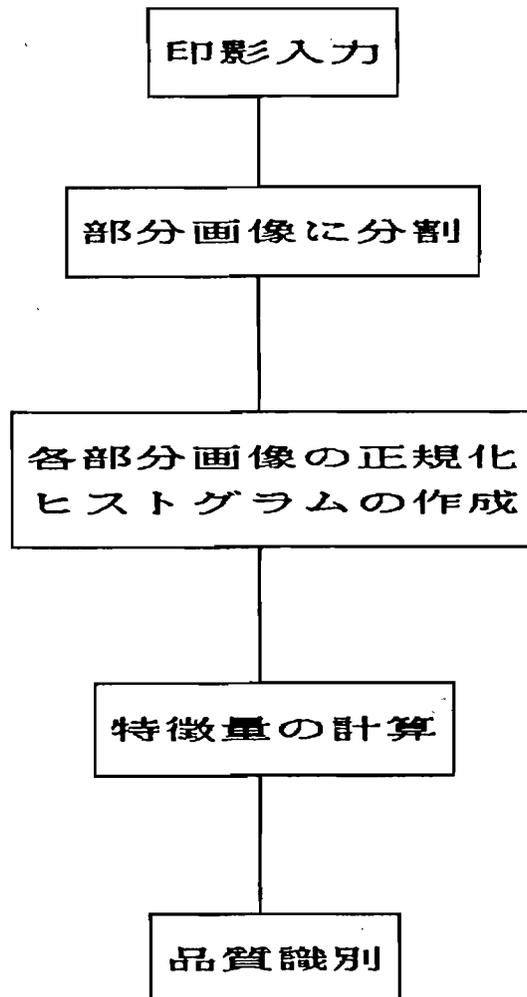


図6-9 品質識別処理の流れ図

トグラムの特性値を用いて判別分析法によって、上の3つの品質クラスに類別する。以下、具体的な各処理について述べる。

1) 画像分割と正規化濃度ヒストグラムの作成

まず図6-10に示すように、画像サイズ $M \times M$ 、濃淡レベル L の濃淡印影画像を m 等分して $m \times m$ の部分領域に分割する。そして各部分領域について、濃度レベル i の画素数を n_i 、全画素数を $N = n_1 + n_2 + \dots + n_L$ として、正規化濃度ヒストグラム

$$p(i) = n_i / N \quad (6.1)$$

を作成する(図6-11)。(6.1)式は濃度の確率分布と見なすことができる。次にこの $p(i)$ の分布から判別基準に基づく自動しきい値決定法[36]により、部分領域内の画素を文字部 C_1 、背景部 C_2 の2つのクラスに分類するしきい値 k を求める(図6-11)。この k は、判別分析で用いられる基準(クラスの分離度)を最大にする意味で最適な値である。

2) 特徴量の定義と品質識別

以上の準備のもとに、①良品質部、②かすれ部、③背景部の特徴を表す正規化ヒストグラムの特性値として、以下の6個を定義する。

まずコントラスト評価量として、

(a) 全分散:

$$\sigma_T^2 = \sum_{i=1}^L (i - \mu_T)^2 p(i) \quad (6.2)$$

ここで、 μ_T は部分画像の全平均濃度レベルである。

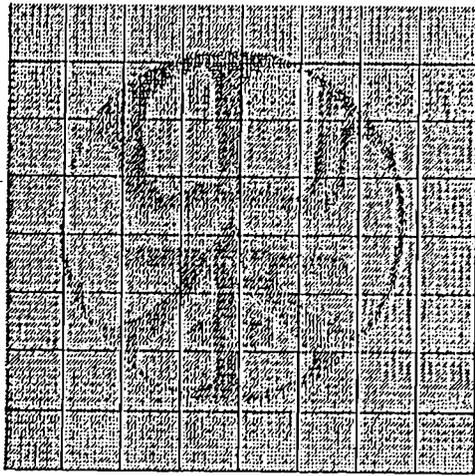


図 6 - 1 0 部分画像への分割

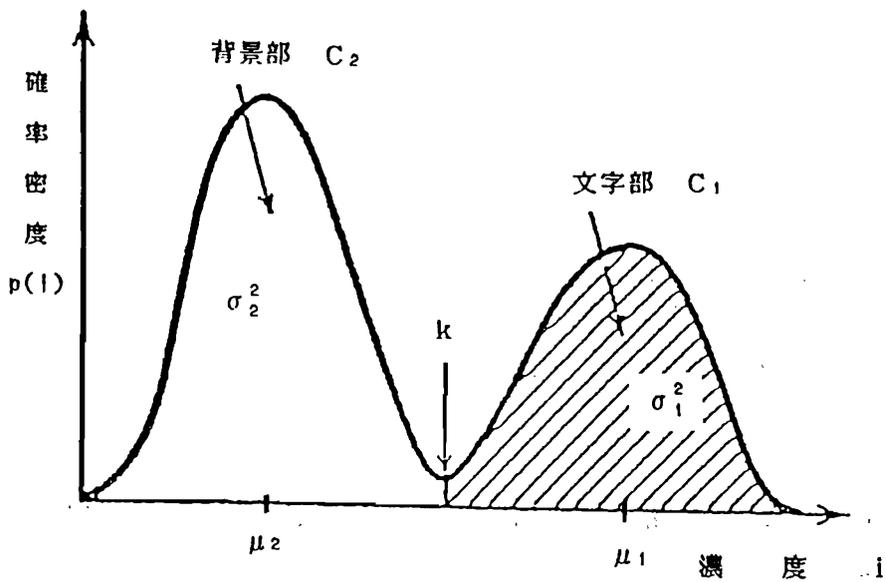


図 6 - 1 1 正規化濃度ヒストグラム

(b) クラス間分散：

$$\sigma_B^2 = P_1 (\mu_1 - \mu_T)^2 + P_2 (\mu_2 - \mu_T)^2 \quad (6.3)$$

ここで、 P_1 、 P_2 はそれぞれクラス C_1 、 C_2 の生起確率、また μ_1 、 μ_2 はそれぞれクラス C_1 、 C_2 の平均濃度レベルである。

(c) 分散比：

$$\eta = \sigma_B^2 / \sigma_T^2 \quad (6.4)$$

(d) クラス間濃度レベル差：

$$\mu_D = \mu_1 - \mu_2 \quad (6.5)$$

また濃度変動（ノイズ）評価量として、

(e) クラス C_1 の分散：

$$\sigma_1^2 = \sum_{i=k+1}^L (i - \mu_1)^2 p(i) \quad (6.6)$$

(f) クラス C_2 の分散：

$$\sigma_2^2 = \sum_{i=1}^k (i - \mu_2)^2 p(i) \quad (6.7)$$

以上6個の特性値を用いて、3群判別分析法 [44] により、各部分領域を3つの品質クラスに類別する。

6. 5. 3 品質識別実験とその検討

ここでは、前節で提案した品質識別法によって実際の印影画像の品質類別を行い、その妥当性について検討する。

1) 実験方法

本実験で対象とする印影画像は、画像サイズ256×256、濃淡8ビットである。また画像分割数 m は、 $m = 8$ とした。従って部分画像の数は64個であり、部分画像サイズは32×32である。そして6. 5. 2節で述べた方法によって、各部分領域を3つの品質クラスに類別する。

まず適当な印影画像の部分領域を主観的判断によって3つの品質クラスに分類して、各品質クラスごとに各々20個の部分領域を選択し、これらを学習用サンプルとして識別関数を決定する。そして6個の印章をそれぞれ着肉過剰の状態から5回連続押印して得た30個の印影、合計1920部分領域を品質識別用サンプルとして、識別実験を行う。更に、この実験結果と人間の主観評価の結果との比較検討を行う。

2) 実験結果および検討

本実験結果の一例を図6-12に示す。同図(a)は入力濃淡画像を、また同図(b)は、(a)の2値化画像を示している。図6-12は、3つの品質クラスの中で、かすれと判定された部分領域を矩形で示している。また何も表示されていない領域はすべて、文字線が存在する部分は良品質、文字線の存在しない部分は背景部と判定された。図から明らかなように、目視による判定では、かすれとされてもよい部分が本提案手法では検出されていない場合があるが、全体としては妥当な結果を与えていると考えられる。また図6-12(b)に示すように、2値化による画線の消失部分はほぼ、かすれ領域として検出されており、6. 4. 2節で指摘した2値化による、かすれ部分の消失の影響を軽減できる可能性がある

る。

次に、上と同様な方法により求めた品質識別用サンプル全体に対する品質識別結果を、表6-5に示す。同表は、本提案手法による識別結果と人間の目視による主観評価結果との関係を示したものである。同表から明らかなように、主観評価において良品部、および背景部と判定された部分領域は、本提案手法においてもほとんど同じ判定がなされている。主観評価において、かすれと判定された部分領域は、本提案手法においては、識別結果が3つの品質クラスに広く散布している。しかし、本提案手法を自動印鑑照合システムに組み込む場合は、良品部と判定された部分領域のみを照合対象とするので、背景部と誤判定された部分領域は照合結果に関係しない。従って照合の際、問題となるのは、良品部と判定された部分領域のみである。このように考えると、実質的な一致率は約94%となり、本提案手法は主観評価結果と十分一致する識別結果を与えており、自動印鑑照合システムにおける印影品質識別法として十分機能するものと考えられる。

今後、この品質識別法を、本論文で提案した正規化距離に基づく照合方式(図2-2)に組み込み、図6-13に示すような品質評価機能を有する自動印鑑照

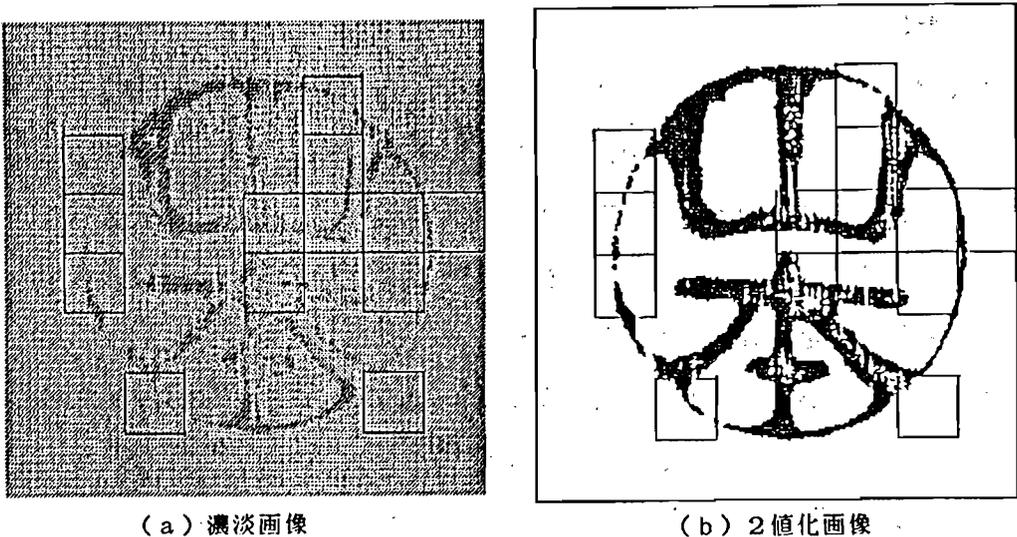


図6-12 品質識別結果の例(かすれ部分領域)

表 6 - 5 品質識別結果（主観評価結果との関係）

		本品質評価法による評価結果			平均一致率 (%)
		良品質	かすれ	背景	
主観評価	良品質	628	38	0	94
	かすれ	29	367	69	79
	背景	0	0	789	100

全部分領域数：1920. 全平均一致率：93%

合方式を実現する予定である。図 6 - 1 3 に示す照合方式は、まず被照合印影の前処理（平滑化処理）の後、6. 5. 2 節で述べた方法によって印影各部の品質評価を行い、“かすれ・背景”部分を識別する。位置合わせ、照合処理においては、品質識別の結果をもとに“かすれ・背景”部分を除いた良品質部分を処理対象とする。また、品質識別の結果、かすれ部分がある程度大きい場合は、照合不能としてリジェクトする。

このような処理方式に変更することにより、印肉のかすれによる影響をある程度軽減でき、熟練者と同様に品質変動に対して柔軟に適応することが可能になるものと考えられる。併せて、背景部分を照合対象から除外することにより、処理の高速化にも寄与できる。

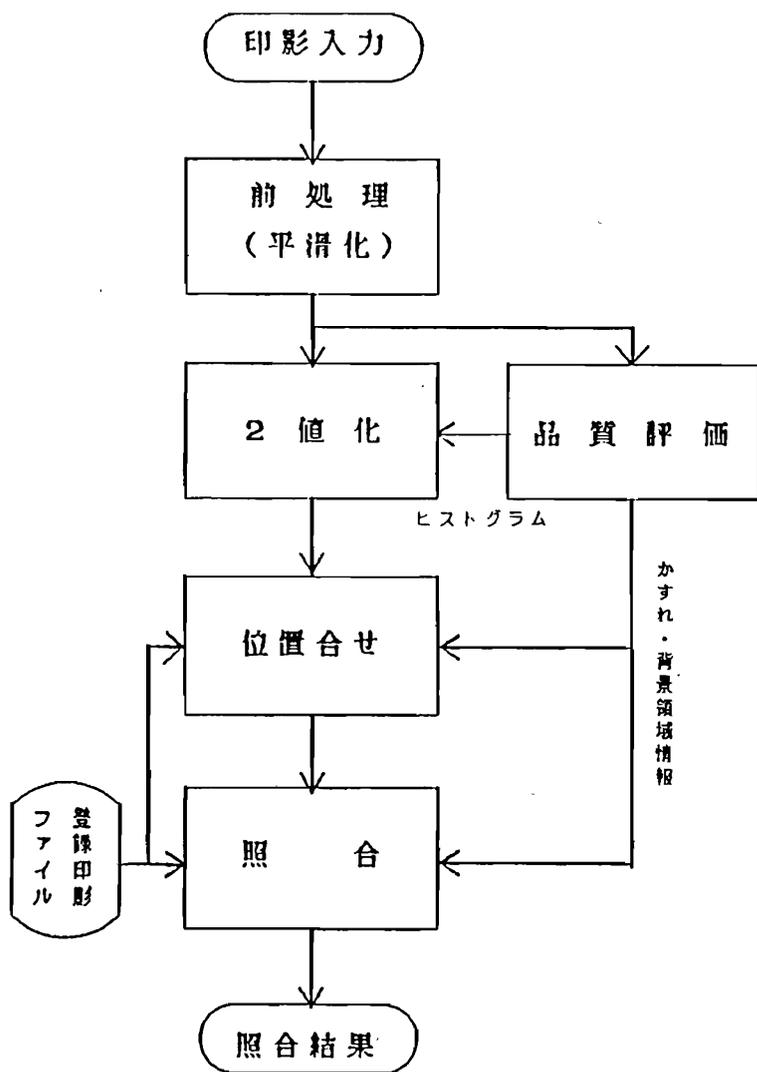


図6-13 品質識別機能を有する自動印鑑照合システム

6.6 結言

本章では、印鑑照合に大きな影響を与えると考えられる真偽印影間のパターン類似度と印影品質に関して、それらを系統的に変化しながら、本提案方式および銀行員による照合実験を行い、両者の照合特性について比較検討した。その結果、本提案方式は偽造印影検出能力は銀行員よりも優れているが、印肉のかすれを伴う低品質真正印影の拒否率が極めて高いことが確認された。実際の印鑑照合にお

いては、本章で対象とした押印順位4、5番目の印影に相当する低品質印影が出現する可能性は低いですが、本提案方式の印影品質変動に対する適応範囲を拡大し、照合性能を更に高めるためには、この点を改善する必要がある。そのためには、本提案方式に印影品質の識別機能を付加して、被照合印影の品質に応じて照合対象領域を適応的に制御するのが合理的であると考えられる。

更に本章では、以上の結果に基づいて、被照合印影各部の品質を機械的に識別する方法を提案し、その品質識別結果の妥当性を実験的に検討したところ、ほぼ満足できる結果が得られ、本提案方式の照合性能を更に向上させ得る見通しを得た。

第 7 章 結 論

本論文は、個人照合の自動化の一環として、従来人間が行っていた印鑑照合処理の自動化を目的として、被照合印影の登録印影への位置合わせ手法、印鑑照合に有効な印影特徴量ならびに真偽判別方式に関して考察すると共に、これらをもとにして構成した自動印鑑照合システムの照合性能評価に関する研究の成果をまとめたものである。

本研究で得られた主要な成果を以下に要約する。

(1) 印鑑照合の自動化を実現する上で必要となる被照合印影を登録印影に高速・高精度で位置合わせする手法に関して、印影枠図形の重心とリングデータと呼ばれる重心を中心とする適当な半径の円周上の画素列とを用いる独自の手法を提案した。そして、本提案手法の処理時間、位置合わせ誤差に関して実験的に検討を行った結果、本提案手法は、自動印鑑照合用の位置合わせ法として優れた性能を有することが確認できた。

(2) 熟練者が行っている印鑑照合の方法を分析して、文書鑑定や印鑑照合の実務分野で経験的に有効とされている印影の特徴を参考にして、これらを自動計測可能な照合変数として定義した。具体的には、画線の線幅、位置、方向に関する量、印影の大きさに関する量、画線の配置状態に関する量など、8種類を定義した。そして、6種類の形状の印章と、それらに極めて類似した偽造印章を各形状について6個用意して作成した真正・偽造印影サンプル各々180個、1080個について、上記の照合変数の測定を行い、各照合変数ごとに真正・偽造2水準の一元配置分散分析を行ったところ、すべての照合変数が真正・偽造の差異を表していることが確かめられた。

(3) 真偽判別方式に関して、印鑑照合では文字認識など一般のパターン認識とは異なり、事前に対象パターンの性質を把握できるのは、真正印影に限定されるという制限がある。この特殊事情を考慮して、真正印影のみを学習用サンプルと

する正規化距離法と呼ばれる判別方式を提案した。

(4) 以上の研究成果に基づいて、これらを統合した自動印鑑照合システムのシミュレーション・システムを構成して、その照合性能評価を行った。まず照合性能評価に関しては、従来の研究では独自に用意した印影サンプルについての照合率が示されているが、これでは客観的な実用性の可否の判断が不可能なことを指摘した。そして、現在印鑑照合業務に携わっている熟練者の照合能力を、提案される自動照合方式の照合性能評価の基準とするのが合理的であることを示した。以上の考え方に従って、本論文で提案した自動照合方式と銀行員による照合実験を行い、両者の照合結果を比較したところ、本提案方式は比較的良好品質の印影に対しては、銀行員よりも優れた照合性能を有することが確認できた。

(5) 自動印鑑照合の問題を取り扱う際、考慮すべき重要な要因として、従来経験的に指摘されていた偽造印影の登録印影に対するパターン類似度と印影品質が照合結果に与える影響について、実証的に若干の法則性を確認することができた。特に熟練者と比較した本提案方式の特長、および問題点を具体的に示すことができ、本提案方式の照合性能を更に高めるために解決すべき点が明らかになった。すなわち印肉のかすれを有する低品質真正印影に対する第1種誤照合率を改善する必要性が示された。

(6) 前項の結果に基づいて、本提案照合方式の照合性能向上のための具体的対策の第一歩として、被照合印影各部の品質識別法を提案した。そして、実際の印影画像について本手法による品質識別実験を行った。その結果を人間の主観評価の結果と比較したところ、両者の結果はほぼ一致することが確認され、本品質識別法を本論文で提案した自動照合方式に組み込むことにより、印影品質変動にも柔軟に適応できる高性能な自動照合方式の実現の可能性が示唆された。

今後に残された検討課題としては、以下のものがある。

(a) 品質識別機能を有する自動印鑑照合方式の実現と照合性能評価：

本論文で提案した正規化距離法に基づく自動印鑑照合方式と品質識別法を統合

した自動照合方式を実現し、その照合性能が熟練者の照合能力と比較して十分満足できるものかどうかを確認する必要がある。

(b) 本提案方式を、実用的な小型・低価格の印鑑照合端末装置としてインプリメントする必要がある。

〔 謝 辞 〕

本論文をまとめるにあたり、神戸大学大学院自然科学研究科システム科学専攻高森 年 教授（工学部計測工学科）には、暖かいご援助と適切なお指導、ご教示を賜った。また、同システム科学専攻 峯本 工 教授（同計測工学科）、ならびに同知能科学専攻 北村新三 教授（同計測工学科）には、本研究について熱心なお指導を頂くと共に有益なお助言を賜った。これらの先生方に心より感謝の意を表する。

某銀行事務管理部および同支店窓口業務担当の皆様には、本研究に関して、実務分野の立場から多くの有益なお助言を頂き、また業務多忙の中を快く印鑑照合実験にご協力頂いた。ここに深く感謝の意を表する。

本論文は、筆者が奈良工業高等専門学校で行ってきた研究をまとめたものである。その間、理解あるご配慮、ご鞭撻を頂いた奈良工業高等専門学校 櫻井 洸 前校長、中西義郎 校長 をはじめ、同電気工学科ならびに同情報工学科の諸先生方に厚くお礼申し上げます。

神戸大学名誉教授 柴田圭三 先生、同 若林信生 先生をはじめ、同工学部計測工学科の諸先生方には、筆者が神戸大学大学院修士課程在学中、種々ご指導を賜ると共に、修了後も機会あるごとに励ましのお言葉を頂いた。ここに厚くお礼申し上げます。

最後に、大阪電気通信大学工学部 石桁正士 教授、ならびに甲南大学名誉教授 西川喜良先生には、筆者が情報工学分野の研究を始める契機を与えて頂き、終始暖かい励ましのお言葉を頂いた。ここに厚くお礼申し上げます。

[参 考 文 献]

- (1) 宮地邦明：“印鑑照合の方法と活用法”，銀行実務，8，pp.80-81（1981，8）。
- (2) 原 秀企：“印鑑照合”，銀行実務，11，pp.62-65（1976，11）。
- (3) 石井、北原、堀内：“当座取引における印鑑届と印鑑照合の実務”，銀行実務，6，pp.112-119（1981，6）。
- (4) 芳賀 知：“印鑑照会システム”，沖電気研究開発，50，2，pp.77-78（1983，9）。
- (5) 田口裕行：“東海銀行が開発した新印鑑照合システム”，銀行ビジネス，17，13，pp.76-79（1983，10）。
- (6) 三重野博司：“重ね合わせによる印鑑の鑑定実験と考察”，情報処理，16，3，pp.205-211（1975，5）。
- (7) 田中、相賀：“印影の自動照合”，情報処理学会第19回全国大会，5F-3（1978，8）。
- (8) 上田、中村：“印影パターンの自動照合”，情報処理学会第19回全国大会，5F-5（1978，8）。
- (9) 金子 透：“印鑑の自動照合”，電子通信学会誌，69，2，pp.168-170（1986，2）。
- (10) 金子 透：“図心に関する周辺密度を利用した印影の位置合わせ”，電子通信学会論文誌（D），J67-D，1，pp.133-140（1984，1）。
- (11) 森下、下郷、首藤：“印影照合におけるパターン位置正規化の一実験”，昭和58年度電子通信学会総合全国大会，1498（1983，3）。
- (12) 森下、天満：“部分領域マッチングによる印影パターンの位置正規化”，情報処理学会第28回全国大会，2N-1（1984，3）。

- (13) 武田、田畑、花野井：“不完全な点対称画像のパターンマッチング—印影照合への応用—”，電子通信学会論文誌（D），J 6 9 - D, 4, pp.542-548（1986，4）。
- (14) T. J. Fan and W. H. Tsai：“Automatic Chinese Seal Identification”，Comput. Vis. Graph. and Image Processing, 25, 3, pp.311-330（1984，3）。
- (15) S. Lee and J. H. Kim：“Seal Imprint Verification Using Attributed Stroke Graph Matching”，Technical Report TR-88-32, Dept. of Computer Science, KAIST, Seoul, Korea（1988，6）。
- (16) H. Iwase, T. Mima and T. Toriu：“Automatic Verification of Seal Impression”，IEE Conf. Publ., 265, PP.25-29（1986）。
- (17) 前田、柴山：“画像照合方式とその評価実験”，昭和58年度電子通信学会総合全国大会，1499（1983，3）。
- (18) 渥美、広垣：“印鑑照合装置”，沖電気研究開発，51, 1, pp.47-52（1984，3）。
- (19) 松川武雄：“文書鑑定”，東京法令出版（1975，10）。
- (20) 吉田公一：“文書鑑定の基礎と実際”，立花書房（1983，9）。
- (21) 上田、中村：“コンピュータによる印鑑の自動照合”，SICE関西支部シンポジウム（これからのマンマシンインターフェイス）論文集，pp.127-132（1983，10）。
- (22) K. Ueda and Y. Nakamura：“Automatic Verification of Seal-Impression Pattern”，Proc. of 7th Int. Conf. on Pattern Recognition, 2, pp.1019-1021（1984，8）。
- (23) 上田、中村：“自動印鑑照合におけるパターン位置合わせの一方法”，電子通信学会論文誌（D），J 6 8 - D, 11, pp.1910-1917（1985，11）。

- (24) 上田、中村：“自動印鑑照合におけるパターン位置合わせ法の比較”，昭和59年度電子通信学会総合全国大会，1557（1984，3）。
- (25) 上田、中村：“局所情報を用いた印影の自動照合”，電子通信学会技術研究報告，PRL82-6（1982，5）。
- (26) 上田、中村：“多重走査法による印影の自動照合”，情報処理学会第25回全国大会，4B-4（1982，10）。
- (27) 上田、中村：“印影の自動照合実験とその解析”，電子通信学会技術研究報告，PRL83-19（1983，6）。
- (28) 上田勝彦：“印鑑照合における印影パターン特性の自動計測”，電子通信学会論文誌（D），J69-D，6，pp.931-939（1986，6）。
- (29) 上田、中村：“自動印鑑照合システムの照合性能評価”，情報処理学会第31回全国大会，5N-2（1985，9）。
- (30) 上田勝彦：“自動印鑑照合実験と銀行員の照合能力との比較”，電子情報通信学会論文誌（D），J70-D，7，pp.1374-1382（1987，7）。
- (31) 上田、中村：“印影パターン照合に影響する要因とその解析”，情報処理学会第32回全国大会，4N-9（1986，3）。
- (32) 上田勝彦：“人間と機械照合法の印鑑照合特性の比較検討”，SICEヒューマンインターフェイス部会第6回研究会（1988，1）。
- (33) 上田勝彦：“印影パターン照合に影響する要因に関する実験的検討”，電子情報通信学会論文誌（D-II），J72-D-II，1，pp.66-75（1989，1）。
- (34) 金子 透：“印影パターンの符号化法”，電子通信学会技術研究報告，IE79-12（1979，5）。
- (35) 森、大津：“認識問題としての2値化と各種方法の検討”，情報処理学会イメージプロセッシング研究会資料，15（1977，11）。

- (36) 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決定法”，電子通信学会論文誌(D)，J 6 3 - D, 4, pp.349-356 (1980, 4)。
- (37) 上田、中村：“線幅を正規化する濃淡の2値化法”，電子通信学会論文誌(D)，J 6 5 - D, 6, pp.805-806 (1982, 6)。
- (38) 尾上守夫他：“画像処理ハンドブック”，p.590, 昭晃堂(1987, 6)。
- (39) 上田勝彦：“品質評価機能を有する自動印鑑照合法に関する検討—印影画像の品質評価—”，昭和63年度電子情報通信学会秋季全国大会，D-120 (1988, 9)。
- (40) 上田勝彦：“濃度ヒストグラムの特性値に基づく印影画像の品質識別”，奈良工業高等専門学校研究紀要，No.24, pp.59-62 (1989, 3)。
- (41) M. R. Baltz:“The IBM 1975 Optical Page Reader”, IBM J. Res. & Dev., 2, 7, pp.354-367 (1968, 9)。
- (42) 河口至商：“多変量解析入門II”，pp.3-12, 森北出版(1978, 4)。
- (43) R. N. Nagel and A. Rosenfeld:“Computer Detection of Freehand Forgeries”, IEEE Trans. Comput., C-26, 9, pp.895-905 (1977, 9)。
- (44) 河口至商：“多変量解析入門I”，pp.79-91, 森北出版(1973, 6)。