

報 文

反転重層法による類似画像評価ソフトの開発

高 橋 勝 美*¹Development of Evaluation Software for Similar Images by a
Reversal Superposition MethodKatsumi TAKAHASHI*¹

Software to evaluate similar images was developed for the purpose of detecting and arranging similar images between folders. In principle, after reversing one of the two images, the method of computing the degree of similarity from the number of dots produced between the images which overlapped was used. As a feature of this method, since image content was not taken into consideration, high-speed processing was expected. However, the demerit was that it was easy to evaluate incorrectly when the image brightness was extremely low, and when the proper threshold values differed for every field in the image content. Although performing a full automatic evaluation of similarity was unreasonable based on this principle, it turned out that there was sufficient practicality in the selection of similar candidates as a pretreatment for the final evaluation by a person.

緒 言

われわれが画像情報に接する機会は、銀塩写真術の発達と新聞や写真雑誌などの媒体によって飛躍的に増大した。これらの紙媒体による画像情報の伝播が社会の仕組みそのものに大きな影響を与えたことは周知の通りである。ところが、インターネット環境の整備、デジタルカメラの発達に伴って情報量は飛躍的に増大し、1画像の持つ価値はむしろ低下しているように感じられる。画像の情報としての価値を維持、あるいは高めていくためには、膨大な流通情報のなかから必要な画像を選択する技術、ならびに、再利用のための整理、蓄積技術が重要な要素となる。

単純な例としては、日常の必要性から集めた画像をその場その場でコンピュータ上に蓄積した結果、異なるフォルダに同じ画像が重複して存在するような場合が頻繁に起こり得る。これはストレージ資源の無駄遣いであるばかりか、再利用時の作業効率を落とす原因となる。

これらのことから、画像の類似性を判定して整理の一助とするソフトウェアの開発は今後の画像情報流通時代に不可欠のものと考えられる。しかし、画像の何を以って類似と見なすのか、その本質はまだ見えていない。検索キーなどのメタ情報に頼らず、画像そのものの特徴から

類似性を見いだすことはフラクタルを用いた横山らの研究^{1, 2)}、写像を用いた中越らの研究^{3, 4)}、および一部の電機系企業、光学系企業が手がけているに過ぎない。そこで筆者は数学的处理に頼らず、従来、銀塩写真の暗室処理で行ってきたレリーフフォト技法⁵⁾をコンピュータ上に置き換えることで機械的に2画像間の類似性を見いだす方法を考案、ソフトウェアとして開発したので報告する。

プログラミング

実際のプログラミングでは画像ファイルの検索、読み込み、表示、保存、その他、プログラムとして機能させるための付随的機能が不可欠だが、ここではそれらを省略し、できるだけ類似性判定に関わる部分だけを述べることとする。

なお、プログラミングにあたってはパーソナルコンピュータ用の市販汎用OSであるWindows XPと、その上で稼働する開発言語Delphi ver.5⁶⁻⁸⁾を用いた。開発途中でWindowsの最新版であるVistaが発売され、互換性の問題が生じたため、途中からOSをWindows Vista Home Premiumに変更し、動作確認はXP、Vista両者で行っている。

*¹ 情報科学研究室, 女子栄養大学: Laboratory of Information Science, Kagawa Nutrition University

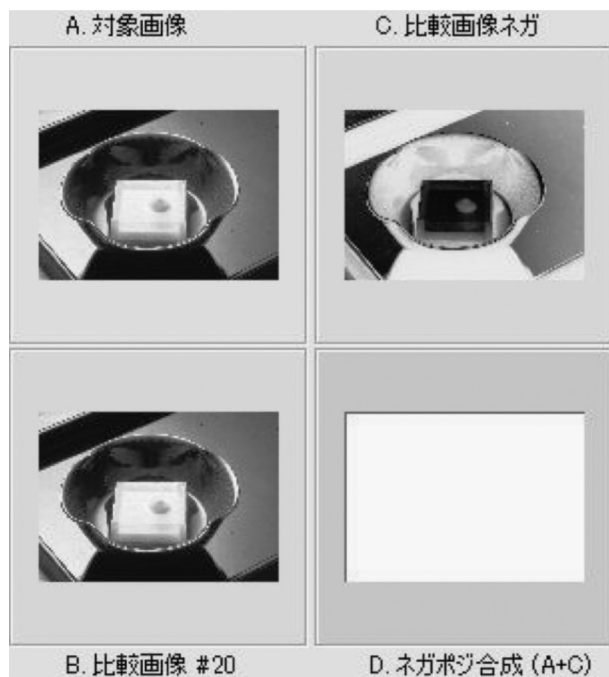


Fig. 1. Evaluation between the same images

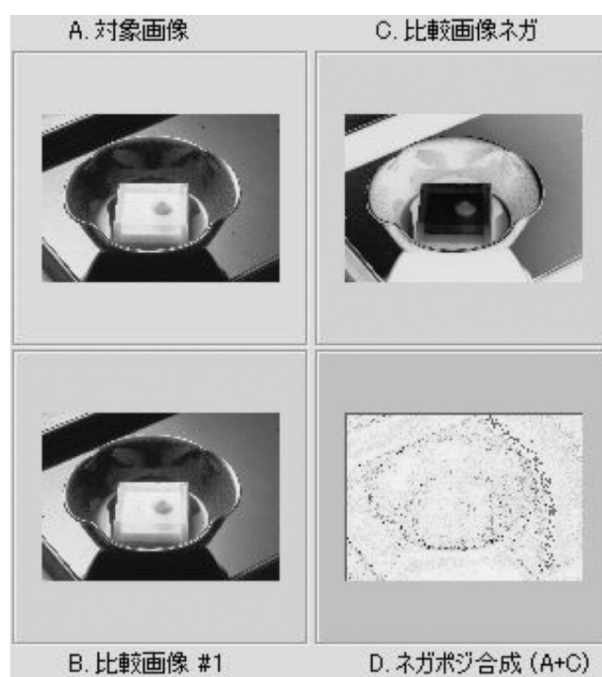


Fig. 2. Evaluation between similar images

原理と概要

銀塩写真の暗室技法のひとつに、レリーフフォト⁵⁾がある。ネガフィルムからポジフィルムを作成し、このネガとポジを重ね合わせる。この2者の画像は同一で、片方の黒部分はもう一方では透明部分となる。この2者を重ね合わせれば、全面黒色になる。これはカラー画像であっても同様で、補色同士の重ね合わせになる。この重ね合わせをずらしてやれば、ずらした太さの輪郭線が現れ、これを引き伸ばすことでレリーフのような印画が得られるものである。この技法をコンピュータ上で応用し、比較する2画像の一方を反転した後に重ね合わせ画像を合成する。同一画像であればコンピュータ上では白一色となり、相違があれば相違点が白以外のドットとなって表示される。このドットの数が全体の画素数に占める割合を求め、0%なら完全一致画像、あらかじめ定めた閾値以下なら類似画像と判定できる。この割合を100%から差し引いた値を類似度とした。

Fig. 1 ふたつのフォルダに存在する画像ファイルの、比較元となる画像を「対象画像」(A)、比較相手となる画像を「比較画像」(B)とし、(B)を反転した画像を(C)とする。この、(C)と(A)を合成して生じた画像(D)には相違点から生じるドットが見られず、類似度は100%、すなわち、完全に同一の画像と判定される。Fig. 2「対象画像」(A)はそのままに、比較フォルダを変更して別画像を「比較画像」(B)とした。これは対象画像の周囲を数ドット切りつめ、スキャン時に生じたゴミをスポッティングによって修正した補正済み画像である。周囲を切りつめた分、相対的に主題部分が大きくなっている。反転した(C)と(A)の合成結果、(D)



Fig. 3. Evaluation between different images

にはドットが生じ、その、(A)の画素数に対する割合は14%、すなわち、類似度86%と判定された。Fig. 3「比較画像」(B)を、料理としては同類であるが異なる写真に変更したところ、(A)に対するドットの割合は81%、すなわち、類似度19%と判定された。

このように、画像の持つ意味、内容は完全に無視して、ほぼ機械的に判定するために処理速度は速く、数千枚の画像を持つふたつのフォルダでクロス判定させても数分

以内で処理が完了した。もちろん、処理速度はコンピュータ性能に依存するが、Windows Vista に対応する最低限度の環境での結果である。ただし、処理速度を速めるために、画像の本来サイズに関わらず、一律に Fig. 1 ～ Fig. 3 の表示サイズ、最大 100×100 ドットまで縮小して比較すべきドットの数減らしてから比較処理を実行している。一方、極端に明るい、あるいは暗い画像、コントラストの少ない画像、図柄の複雑かつ微少な画像などでは、全く異なる画像同士を類似と判定する誤りが発生しやすい欠点もあった。

実際の画像への応用

実際の画像は同じサイズとは限らないし、トリミングによって縦横比も変化しているかも知れない。さらに、アナログ画像をデジタル化する際のスキャン条件の違いで明度やコントラストが改変されている場合も考えられる。また、元の画像を半分のサイズにトリミングしてしまった画像は、元の画像と同一画像と言うべきかどうか。本ソフト開発の目的は画像の由来を知ることではないので、たとえ元は同じ画像から出発しても、大きな改変が加えられれば、それは別画像と認識されるのが実際的である。したがって、元の画像イメージを変えない程度の修正や調整を乗り越えて同一、あるいは類似と判定できればいい。そのような方針から、1) 縁取りなどの周辺部対策、2) トリミングやリサイズ対策、3) 明度、コントラスト補正対策、の3点を考慮した。Fig. 4 はこれらの補正オプション機能を設定する画面である。

1) 周辺対策

印画をスキャナで取り込んだ画像では白い縁取りが残る場合がある。また、ネガをフィルムスキャナで取り込んだ画像ではネガのセット時にフォルダとの間に隙間ができて周辺に光が入ることもある。これらの影響を排除するためには、画像中心から何%を比較対象とし、残りの周辺部を比較から除外するかを設定できるようにすることが効果的である。さらに、背景が黒ベタ、白ベタなどの場合、相違は検出されにくいので比較結果が類似の方向に引きずられる。たいていの画像では、露出計内装カメラの露出計測範囲を見てもわかるように、主題の中心は画像中心から 30% 程度に分布するから、中心部で比較して周辺を除外することはこの影響を軽減するためにも有効と思われる。

2) 相違サイズ対策

画像をトリミングすれば、主題部分が相対的に大きくなり、また、カットの仕方によって画像の中心がずれるし、縦横比も変化する。これらによって元の画像と加工画像は異なるものと判定されるわけだが、現実的には同じ画像としたい場合が多い。しかし、元画像の半分以上を切り取ってしまったような場合、元画像は元画像として保存したい、つまり、元画像と加工画像を別の画像と判定した方がいい。これらの対策として、本ソフトではふたつの対策を試みた。ひとつは、ふたつの画像を重ね合わせる場合の中心を横方向、縦方向にずらしながら比較し、相違によるドットの数が最小となったところで判定することである。もうひとつは、「比較画像」を縮小・

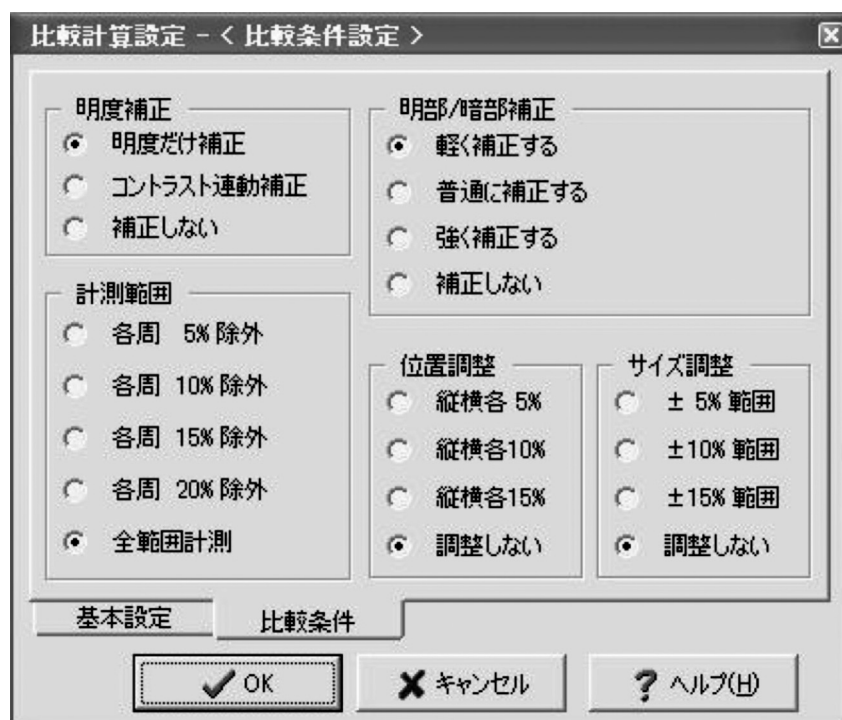


Fig. 4. Setting window of the adjustment before evaluation

拡大しながら比較し、同様に最小値を基に判定することである。このふたつを組み合わせることで、切り取られた画像と元画像の類似性が判定できる。しかし、単純に考えても、一辺100ドットの10%を振れ幅としても縦横 $10 \times 10 = 100$ 回の比較計算が必要になり、中心遷移と拡大・縮小を組み合わせればさらにその自乗倍の計算が必要になる。これは実際のでないで、求められる精度の範囲で自動的に間引かれるようにした。また、遷移幅、拡大・縮小幅も縦横それぞれに15%を限度とし、それ以上の極端な加工を施した場合は別画像と判定されるようにした。

3) 明度、コントラスト補正対策

画像加工ソフトなどで画質補正した場合はもちろんのこと、単純なトリミングでも明度の変化が生じる。背景が暗い画像で主題が明るい場合、主題を強調するために背景の一部をトリミングするのはよくあることである。その場合、加工後の画像は全体として明度が上がる。多くの画像ではそれらが判定に及ばず影響は小さいと思われるが、時として、その影響で誤判定が生じる場合が考えられる。これを防止するために、「対象画像」と「比較画像」の明度、あるいは明度とコントラストが同じになるようにあらかじめ「比較画像」を補正して比較計算できるようにした。

アプリケーションソフトとしての機能

上記のように「比較画像」を反転、「対象画像」と合成することによる比較ルーチン、誤判定を少しでも減じるための対策オプションにより、ふたつの画像の類似性を判定する本ソフトの根幹部分は構築できた。しかし、実際上は、同じフォルダ内に同じ画像が存在することは希であり、そのような場合は本ソフトを用いるまでもなく比較は楽な作業である。本ソフトの使用目的はふたつの異なるフォルダ間、あるいは階層構造の各サブフォルダ間で類似画像を検出することにある。そこで

- 「対象画像」は、それが存在するフォルダ内で容易に交換可能なこと
- 「比較画像」は、それが存在するフォルダを指定し、個々の画像は指定しないこと
- 「比較画像」の存在するフォルダ配下のサブフォルダも比較対象とすること

とし、比較処理は

- ステップ実行：「対象画像」と「比較画像」の一組だけを比較処理する
- 自動実行：「対象画像」を固定し、「比較画像」にフォルダ内の全画像を交換しながら比較処理する
- クロス実行：「対象画像」にフォルダ内の全画像を交換しながら自動実行を行う。

の3種類の方法が選択できるようにした。



Fig. 5. Main window of similar images evaluation software

こうして同一、あるいは類似と判定された画像ファイルは、多くの場合重複を避けるために削除するか、別フォルダに集めて整理するであろう。したがって、ファイル削除、ファイル移動の機能を本ソフトウェアに持たせ、本ソフトだけで類似性判定から画像整理までの処理が完結することを目標とした。また、スキャナで取り込んだ画像の中には、縦横が間違った画像、斜めに取り込まれた画像、裏表逆の画像などが存在することが多い。そこでそれらをあらかじめ補正するための画像回転と鏡像反転機能も必要となる。ただし、本ソフトは画像加工が目的ではないし、大切な元画像が誤った加工画像に置換されることもあってはならない。したがって、回転と鏡像反転の対象は「対象画像」のみとし、保存せず、比較処理の前処理としてその場限りのものとした。完成した本ソフトの画面を Fig. 5 に示す。

結 果

判定成績

完成した本ソフトを用い、種々の分野の写真について類似性を判定したところ、機械類など、輪郭のはっきりした画像については、同じ画像から出発した加工画像ではほぼ 90% 以上の類似度を示し、満足できる結果であった。人物の場合、ポートレートのようにアップのものは同様の結果が得られたが、集合写真では個々の人物の違いまでは認識しにくく、異なる画像から出発した画像も類似度 70% 程度を示すことがあった。しかし、本ソフトは処理のスピードと簡易性に重点を置いたものであり、画像内容は判定基準に無いことを考慮すれば問題のない結果である。

明度の影響と補正効果

次に、料理の写真を用い、画質調整の結果が類似度判定にどう影響するか、周辺対策や明度・コントラスト補正対策効果の有無について検討した。用いた写真を Fig. 6 に示す。L 列は比較的暗い、ローキートンの写真、

U 列は通常のトーンで、料理写真の代表的色相である茶色を基調としたもの、H 列は比較的明るいハイキートンで、加工により白飛びが起こっているものである。画像編集ソフトを用い、この 3 種をそれぞれ元画像の前後 6 段階の明度に等間隔で調整した。これらの 4 段階目、すなわち元画像を「対象画像」とし、L、U、H の各列内で比較した。それらの結果を Table 1 としてまとめた。

いずれの列も、比較処理に補正を加えていないものは類似度が低かった。ただ、興味深いのはローキーである L 列については明度を落とした 1～3 番画像の類似度が、明度を増した 5～7 番画像より高くなり、逆にハイキーである H 列は明度を増した 5～7 番画像の方が高い類似度を示すことであった。U 列の類似度は僅差でランダムに分布している。これらの偏差を補正する目的で極端な明部、極端な暗部を比較計算から除外する「明部・暗部補正」を中程度に加えた (a) 項目では類似度の利得は全体に低くなったが明度に引きずられる偏差傾向は変わらず、この補正は現状では無駄に思えた。

次いで、「対象画像」の画像全体の平均明度に「比較画像」の平均明度を揃えてから比較する「明度補正」をコントラスト連動で実施した (b)。類似度の利得は格段に上昇し、L 列の 1 番画像を除き、3、5 番画像を中心とするカマボコ型の類似度を示した。実験に供した画像は元々、明度を変更しただけなのでこの補正によりすべて同じ類似度になるのが理想であるが、最初の加工で失われた情報は見かけ上補正を施しても完全に元通りにはならないから、これは順当な結果である。

「明部・暗部補正」と「明度補正」を重ねて施したところ、「明度補正」だけよりも類似度の利得は低いものの、無補正時に見られた「対象画像」の明度に引きずられた偏差は全く解消している。ただ、これは「明度補正」ですで見られる傾向で、両者を重ねた相乗効果の有無はわからない。いずれにせよ、「明部・暗部補正」は単独では類似度の利得を低下させるだけだったが、「明度補正」と併せて用いることで効果を発揮することはわかっ

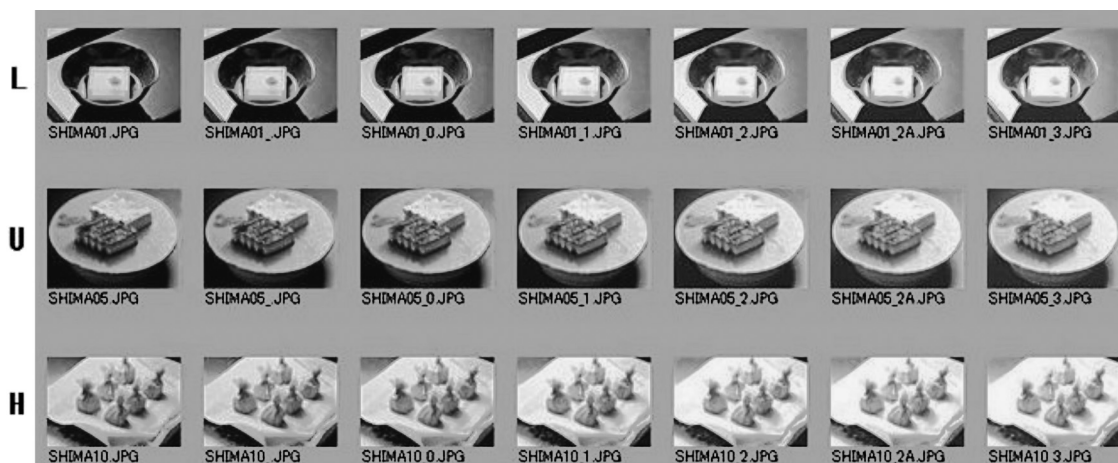


Fig. 6. Example of the images which changed brightness step-by-step

Table 1. Effect of the Adjustment before evaluation between the Images of Different Brightness

	Adjustment				
	Non	Penumbra (a)	Brightness (b)	a + b	a + b + Ambits
Image L. Similarity					
00001	043 %	015 %	067 %	051 %	040 %
00002	043 %	017 %	063 %	042 %	038 %
00003	042 %	016 %	064 %	043 %	043 %
00005	037 %	018 %	059 %	052 %	046 %
00006	027 %	010 %	050 %	048 %	040 %
00007	031 %	008 %	040 %	045 %	034 %
Image U. Similarity					
00001	033 %	012 %	054 %	043 %	037 %
00002	028 %	012 %	053 %	046 %	039 %
00003	032 %	020 %	064 %	061 %	054 %
00005	032 %	020 %	061 %	059 %	056 %
00006	030 %	018 %	051 %	049 %	045 %
00007	034 %	017 %	043 %	042 %	040 %
Image H. Similarity					
00001	028 %	006 %	074 %	061 %	061 %
00002	028 %	007 %	075 %	063 %	066 %
00003	038 %	018 %	082 %	075 %	076 %
00005	043 %	018 %	080 %	073 %	076 %
00006	043 %	019 %	073 %	064 %	068 %
00007	044 %	019 %	067 %	055 %	059 %

た。しかも、単独で用いた場合と併用した場合は利得低下の度合いも併用の方が改善されている。

周辺除外の効果

L, U, H 列のすべてについて、周辺部は背景であり、次いで食器、中心部に料理がある。この周辺部を比較計算から除外すれば、本来の比較対象である料理部分の影響が大きくなり、効果的と考えられる。前項の補正に加えて15%の周辺部除外を実施した結果、L 列では利得が低下したものの1～7番画像間の差が少なくなり、理想的な状態に近づいたように見える。U 列も同様で、3, 5番画像の利得低下がその前後より大きく、結果、差が少なくなっている。ところが、H 列ではこうしたことは言えず、周辺部の除外は画像の内容によって適当な場合とそうでない場合が分かれることがわかった。

考 察

類似性の最終判定は使用者が行うことが前提であり、そのためには、類似性の無い画像が類似と判定されるのは許されることである。むしろ、類似の画像が排除されることが無いような運用を考えることが重要である。すなわち、類似度何パーセントからを類似と判定するか決定する閾値の設定が重要な要素となる。現在、閾値は使用者の指示で自由に決定されるが、経験上、画像の内容分野ごとに適正な閾値がありそうなのがわかっている。さらに情報を蓄積し、「対象画像」の内包する情報から

閾値を自動設定できる方法を検討したい。多田ら⁹⁾は人間の直感的な画像の分類過程を模したデータベースの階層的分類法と判別分析を組み合わせた視覚感性のモデル化手法により、画像群を最適検索空間に配置する試みを行っている。こうした分類手法によって画像をあらかじめ分野別に分類することができれば閾値を動的に最適化できるものと期待される。

集合写真などで異なる写真同士が誤った類似判定になる例がある問題の原因としては次のことが考えられる。すなわち、集合写真では図柄が細かい、別の言い方をすれば1画像に含まれる輪郭延長が長いことから、ちょっとした相違部分でも単純な画像よりドットが多く現れやすく、また、ちょっとした一致でもドットが消失しやすい。現状では画像の全画素数を分母として類似度を算出しているため、細かい図柄の画像ではちょっとした一致・不一致の影響が類似度に大きく影響するものと考えられる。

画像の内容分野によって閾値が異なるというのも同じ原因によると推測される。図柄の粗密に影響を受けない算出方法として、分母に輪郭延長ドット数を用いることも今後検討すべき課題である。それでは、実際問題として、輪郭延ドット数をどのように計測するのか。まだ構想段階ではあるが、レリーフフォト技法そのものが適用できると考えている。「対象画像」と、それ自身を反転した画像を重ね合わせると完全一致して真っ白の画像となる。ところが、これを上下に1ドット、左右に1ドット

トずらして重ね合わせると輪郭がドットとなって現れる。このドット総数が、すなわち、輪郭延長と同値である。これを分母とし、「対象画像」と反転した「比較画像」の不一致ドット数を分子とすれば不一致度を求めることができ、100%から不一致度を差し引けば類似度となる。この方法では、1回の比較ごとに「対象画像」の反転と重ね合わせ処理が加わるため処理速度の低下が予想されるが、相違サイズ対策のために行った繰り返し比較に較べれば格段に負荷は少なく、充分な実用速度が得られるものと期待している。また、中川¹⁰⁾は、医用画像への応用を目的として、局所的なパターンマッチングと主成分分析を組み合わせて類似画像の検索の可能性を検討しているが、局所的パターンマッチングの手法は本研究においても類似度判定の精度向上に寄与するかも知れない。中川の研究では乳房X線画像の腫瘍陰影など、パターンとして概要は類似であっても一部の病変部位に差があるような画像を用いている。こうした画像で十分な判別が可能となれば、よりコントラストがあり、輪郭のはっきりした一般の画像で判別成績をあげることは比較的容易であると考えられる。今後、本ソフトへの局所的パターンマッチング技法導入も検討したい。

以上のことから、画像の図柄構造を全く考慮しないで機械的な反転と合成によって類似性を完全に把握しようとする試みには無理があることがわかった。そもそも、利用分野、目的によって「類似」の意味は異なる。医療分野であればレントゲン写真の一部の陰影変化は重要であるが、インターネットのようなグローバルな場での検索であれば、胸部レントゲン写真か四肢のレントゲン写真か、といった、画像全体の構造が重要になる。機械類の写真では輪郭が重要であるが、分野によっては面のグラデーションがより重要になる。本研究の反転重層方式では面のグラデーションは検出し得ない。反面、最終判断を人間が行う前提でその候補をピックアップする、という考え方であれば使い勝手、処理速度など、充分実用になるものであった。そのためには見落としが起きないよう、たとえ類似性の無い画像が候補に混入するとしても閾値を低めに設定すべきこと、閾値自動算出が可能になればさらに使い勝手が増すことがわかり、この動作原理による類似度判定ソフトの開発は実用面から期待できるものと考えられた。

類似画像判定ソフトは、光学系企業、電機系企業、ネットワーク系企業などから数種類が発表されているが、その原理が公開されることは希である。オンラインソフト、GraphicsCompare¹¹⁾はその画面から画像同士の重層によって判定していると思われる。本研究のような反転を行っているかどうかは不明であるが、キーワードやデータベースを利用せず、画像データ同士の比較だけで類似性判定を行う、珍しい例であった。このソフトにしろ本研究にしろ、特徴は輪郭に依拠した類似性判断をしていることであり、そのことが輪郭の複雑な、要素の多くあ

る画像、および極端に要素の少ない、面が主題となる画像での判定がしにくいという欠点になっている。しかし、輪郭は主に明度変化と色相変化から形成されることを考えれば、頻度の高い色相や最暗部と最明部の画像全体に対する構成比を判定材料に加えることで欠点を補うことができるものと思われる。料理の写真において色相を平均すると、ほとんどの料理が同じ乾いた土の色になり、料理毎の差異は消失する。そこで、平均することなく、出現頻度の高い色相をいくつかの色相群に分類してその比を求めることで直感的な色の印象を数値化できると考えられる。これにより輪郭依拠の欠点を補完することで、比較的短い期間での実用的ソフトウェア開発が期待できる。

要 約

フォルダ間にまたがって存在する類似画像を検出し、画像データを整理することを目的に、類似画像判定ソフトを開発した。動作原理として、比較対象の画像と比較される画像のうち、比較される画像を反転してから比較対象の画像と合成、相違点によって生ずるドットの数に基づき類似度を算出する方法を採用した。本法の特長として、画像内容を考慮しないことから機械的な高速処理が期待できる一方、明度が極端に偏った（特に低明度の場合）画像では誤判定しやすいこと、画像内容の分野ごとに適正な閾値が異なること、などの短所も見つかった。

本原理に全面依存して類似性の全自動判定を行うには無理があるものの、人間が行う最終判定の前処理として、類似候補のピックアップには充分な実用性があることがわかった。

謝 辞

本研究遂行にあたり、貴重なサンプル写真を提供していただいた本学の島崎とみ子准教授に感謝します。

文 献

- 1) 横山貴紀, 渡辺俊典, 菅原 研, 上野芳郎: フラクタル符号に基づく構造的な類似性抽出手法の提案. 電子情報通信学会技術報告, PRMU2001-285, pp.105-112, 2002
- 2) 横山貴紀, 渡辺俊典, 菅原 研: フラクタル符号の写像対応に基づく特徴量と類似検索について. 映像メディア学会技術報告, Vol. 26, No. 54, pp.29-32, 2002
- 3) 中越智哉, 佐藤 健: 画像のグルーピングとグループ間類似度に基づく主観的類似検索. 情報処理学会論文誌, Vol. 42, No. SIG_1 (TOD_8), pp.21-31, 2001
- 4) 中越智哉, 佐藤 健: 画像特徴量空間から類似性空間への写像を利用した類似画像検索. 情報処理学会研究報告. CVIM, [コンピュータビジョンとイメージメディア], Vol. 99, No. 29, pp.9-16, 1999
- 5) 吉岡哲志: 写真部員のための写真読本オンライン版, <http://www.fujita-hu.ac.jp/~syosioka/tokuhon.html>
- 6) Borland International: Delphi コンポーネント開発者ガイド. ボーランド(株) (1995)
- 7) Inprise Corporation: Borland Delphi 5 開発者ガイド. イ

- ンプライズ(株) (1999)
- 8) Borland International: Turbo Pascal 6.0 プログラマーズガイド. (株)ボーランドジャパン (1990)
 - 9) 多田昌裕, 加藤俊一: 階層的な判別分析を利用した感性的な類似画像検索システム. DBSJ Letters Vol. 1, No. 2, pp.1-4, 2001
 - 10) 中川俊明: 局所的なパターンマッチングによる画像検索法. 電子情報通信学会論文誌 (D-II), J85-D-II(1), pp.149-152, 2002
 - 11) 一零式製作所: 類似画像検索ソフト GrapicsCompare, <http://homepage2.nifty.com/sakushi/>