

色彩画像解析とその応用

伊藤 貴康

(三菱電機中央研究所)

1. まえがき

色彩画像を解析する問題が、工業や科学技術の諸分野において扱われている。コンピュータによる色彩画像解析は、色彩画像の読み取り、色彩情報の認識、色彩情報の有効利用による画像解析、色彩画像の出力・表示といった段階を経て行う必要がある。コンピュータによる画像処理技術を用いて、このような解析過程を実現しようという試みか、筆者の研究室において行われている。

この論文では、まず、筆者の研究室における色彩画像解析システムについて簡単に紹介したのち、このシステムを用いて実際に行われたいくつかの応用を紹介する。応用におけるポイントは対話型画像解析機能の活用による処理の効率化、高速化、精密化といった点にあり、

<対象分野>としては

- カラー航空写真
- パターン検査
- パターンの対話的修整
- 色彩分離とカラーマッチング
- カラー情景の領域解析
- カラー図面の解析
- カラー印刷・製版

といったものが扱われたが、これらのいくつかについて論じる。

文献(1)～(6)において、色彩画像解析のための

- ・システム
- ・解析アルゴリズム

について述べたが、この論文においては、応用分野について述べ色彩画像解析の基本概念を求めた素材を提供する事を一つの目的としている。

2. 色彩画像解析とそのシステム

コンピュータによる色彩画像解析は、応用が期待され、また種々の処理モデルが考えられるが、図1に、一般的色彩画像解析の一つのモデルを示した。

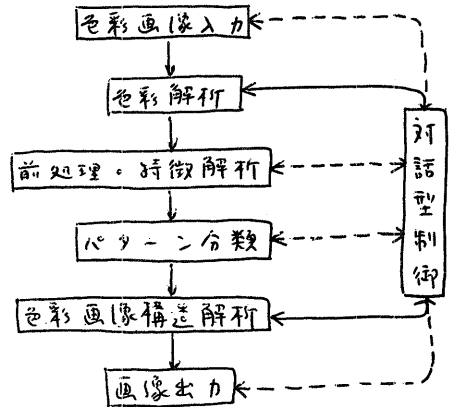


図1 色彩画像解析の一モデル

このような処理過程を実現するシステムの実験モデルが筆者の研究室において開発され、各種の応用にも適用されつつある。

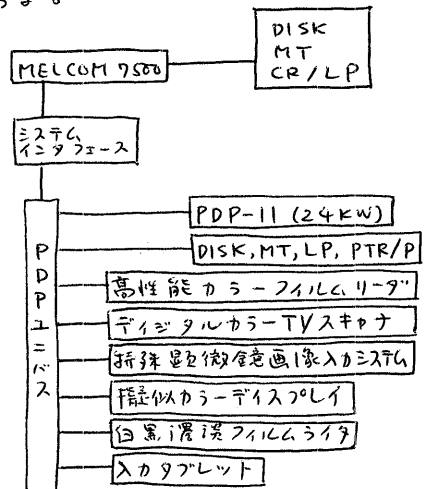


図2 三菱中研の色彩画像解析システム

図2のシステムについては、文献(1) - (6)にかなり詳しく紹介したので、ここでは、後述の各種の応用に関する説明を行う上で必要となる色彩画像入出力装置の主要な特性を表1～表5に示した。

測定対象	リバーカラーフィルム
測定フィルムサイズ	最大 125mm x 175mm
測定アパチャーサイズ	試料面上: 50 μ m x 50 μ m
測定濃度	光学濃度: 0.0D ~ 3.0D
濃度レベル分解能	256レベル/色
サンプリング間隔	50 μ m, 100 μ m, 200 μ m
データ読み取り速度	188k画素/秒
読み取り色数	4 (R, G, B, B/W) / 画素

表1 高性能リバーカラーフィルムリダの主要特性

サンプリング画数	256 x 256 画素
読み取り色数	3 (R, G, B) / 画素
量子化レベル	各色 8ビット/画素
画素読み取り速度	500kバイト/秒
MOSメモリ容量	192kバイト

表2 デジタルカラーTVスキャナの主要特性

読み取り分解能	0.5 μ m
対物レンズ倍率	40倍
“口数	3
光合成オパ	色彩効果法
自動焦点追従機能	0.3 μ m 以上
カラー情報入力	デジタルカラーTVスキャナ
最大試料サイズ	100mm x 100mm
試料テーブル	自動スライド機構

表3 特殊顕微鏡画像入力システムの主要特性

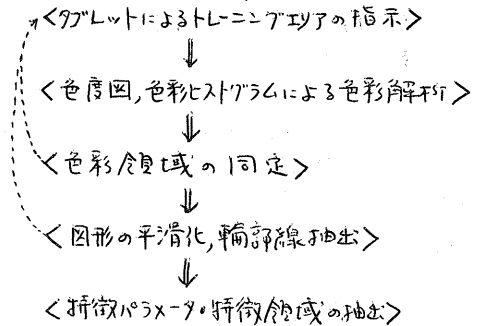
スポットサイズ	25, 50, 100, 200 (μ m)
濃度	0.0D ~ 2.5D
濃度レベル	64
フィルムサイズ	8" x 10"

表4 デジタルフィルムライターの主要特性

画素数	256 x 240
色数	15色 (相対16 $\frac{1}{2}$ 色)
制御	MOSリソグラフィメモリ, 文字パター発生

表5 擬似カラーディスプレイの主要特性

このシステムの上で各種の画像解析ソフトウェアが開発されているが、基礎となるのは、文献(4) - (8)において紹介してきた対話型色彩図形解析表示ソフトウェアである。たとえば、このソフトウェアを用いて



のような処理過程を実現する事が出来る。

しかし応用対象毎に、専用アルゴリズムおよびソフトウェアの開発も必要であった、以下の応用分野の議論においては、これらについて述べていく。

3. カラー航空写真の画像解析

リモートセンシングにおける地表の状況の解析のため、カラー情報を探知し有効利用しようという試みがある。カラー航空写真もその一つとして利用されつつあるが、このカラー航空写真を計算機により解析しようとする試みが筆者の研究室で行われており、ここでは、その基本アルゴリズムと解析の際に起った主要な問題点をこのように紹介したい。[詳細については、文献(10) - (13)を参照]

カラー航空写真は対象の場所から情報を効果的に反映するので、植生、地質、土地利用状況の認識等に利用されつつある。カラー航空写真には、リアルカラー写真とフォールスカラー写真があり、リアルカラー方式は対象の色彩を忠実に反映するのに対し、フォールスカラー方式は

特殊反感光特性を持ったフィルムを用いており、特定波長域に対して強制的に判読効果を上げる事ができる。

カラー航空写真を全体的に撮影し、土地利用現況の解析に活用する事業が国土地理院において行われている。解析の当面の目標は、土地利用現況図の作成とメッシュデータの作成にあるが、殆んど全ての解析を人手によって行っているのが現状である。カラー航空写真から土地利用現況図を作成する過程も画像解析の対象となるが、この過程は自動化を行うには余り複雑困難で、画像解析技術の現状では取扱えないと言っても過言ではない。

筆者の研究室では、このような現状に照らして、将来、対話型コンピュータ解析を行わせる所までの技術を確立したいという目的でいくつかの試みを行っており、その概要を紹介しよう。

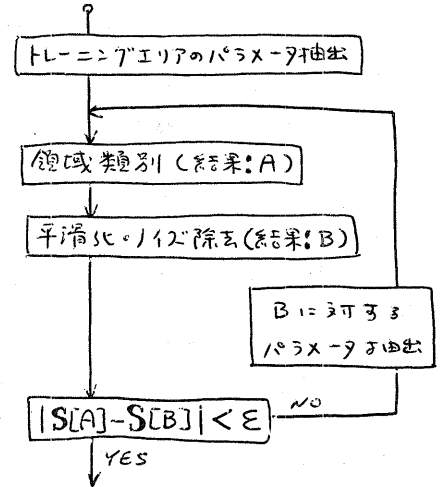
カラー航空写真は、一定の高度を定められたコースで飛行機により撮影されるが、飛行高度の変動、機体の傾斜、日照の状況、雲の状況、季節による変化、撮影カメラやフィルムの相違等によって同一地域の写真であっても得られた写真に対して、カラー濃度の較正や画像歪みの較正が必要となる。これは重要な問題で、ERTS衛星の写真解析においても各種論じられており、ここでは、画像の判別を対象とする画像解析について考へよう。

航空写真の画像解析に、特定の形状を持つ対象を見つけ出したり、道路の抽出を行わせるといった形状認識による地形解析の研究があるが、筆者の研究室では領域のクラスタリングという立場から以下に述べるような研究を行っている。

- ① トレーニングエリアによる領域のクラスタリング
- ② 経年変化較正法
- ③ カラーテキストによる領域解析。

① トレーニングエリアによる領域のクラスタリング
 カラー航空写真の領域判別を行うに当たって現地調査等によって状況が分つてい

る場所がトレーニングエリアとして取り出され、このエリアに対するパラメータから与えられた画像全体に対する分類を行う方法があるが、この手法に直接的にクラスタリングの考えを用い、次のようなアルゴリズムを提案し、安定した結果を得ている。



($S[A]$, $S[B]$ は A, B の面積である)
 例えば、あるカラー航空写真の水田部分をトレーニングエリアとして取り、R, G, B の濃度ヒストグラムを用いたバンドスライス法を適用し分類すると、図3(a)の様なノイズ状の穴ぬきが起こっているが、上述の平滑化処理を数回繰り返すと図3(b)のような安定したクラスタリングの結果が得られている。

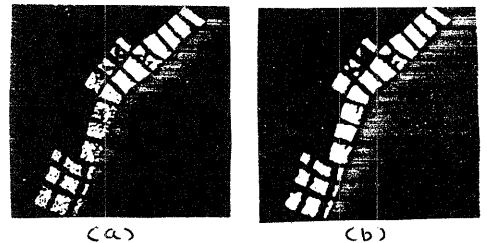


図3 トレーニングエリアによる領域クラスタリング

この手法はトレーニングエリアから得られた情報の不足を画像処理の手法により補正する方法である。画像処理の手法と統計的手法によりこのような補正を及ぼす事が今後必要と思われる。

[2] 経年変化校正法

カラー航空写真を解析し、土地利用図を作成する過程を自動するのは困難であるが、ある年度に対するカラー航空写真とそれに対する土地利用図が既に存在するとし、同一地域の写真を数年経過してから撮影し、過去のものと比較し相違を検出し、その変化部分を取り出し、その変化部分だけを解析し、土地利用図の更新を行うために、筆者により提案されたこの経年変化校正法である。

変化部分は、道路、建物、公園、農園、造成地、自然災害等がなり先験的に予測出来るので、それらを解析するソフトウェアを用意してお互利用状況を確認的に解析しようという試みである。カラー情報を用いて変化部分を検出アルゴリズムとして、例えばアダムス色差距離 ΔA を用いて造成地を検出した例を図4に示した。 $(\Delta A = |(\alpha - \beta) - (r - g)| + |g - b| + |b - r| - (b - r)|$ である。



(a) カラー写真 (t)



(b) カラー写真 (tu)



(c) 変化検出結果

(註) (a), (b) から (c) を得るには明度の全体的変化は除去し、ノイズ除去、平滑化も行った。

図4 経年変化校正法

[3] カラーテキストによる領域解析

カラー航空写真の画像解析を行うには、たとえカラー情報を用いても画素毎の濃度解析だけでは不十分である事を文献(12)に述べたが、これを克服するには、画像としての性質を用いる必要がある。カラー画像の場合、マインクロレベルでのテキストを定義し

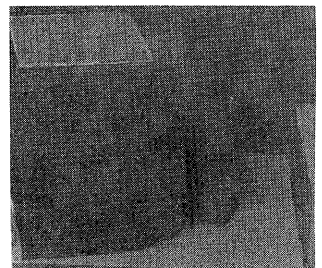
ることが容易であり、テキストキャプチャープログラムとテキストチャタースペースの概念を導入し、テキストチャによる領域分類、テキストエッジの検出を行う検討を始め好ましい結果が得られており、まもなく発表予定である。

4. カラー情景の解析

人間が視覚的にとらえる映像の多さ(か、カラー情景であり、このカラー情景の解析を行わせようという試みも研究的には興味のある対象である。カラー積み木の認識は、1968年~1970年の間にスタンフォード大学と(当時電子総研の)辻一谷知田により、簡単な試みが行なわれ兵争がある。これらの試みでは、単に色彩情報を用いたカラー積み木を識別するだけで、色彩解析にそれ程注意が払われていなかった。カラー積み木の認識においてカラー情報を有効に利用した場合の大きな特徴は、影の中へ埋もれたカラー積み木を色彩解析を行う事により取り出し、影の影響を除去するような領域の同定を行う点であり、最近このような立場からの試みも見られる。筆者の研究室では、対話型色彩図形解析表示ソフトウェアの応用として、あるいは、カラー航空写真解析ソフトウェアの応用として、簡単な処理が可能となった。SPIでは、人工知能ロボットの作業領域をオフィス情景のような自然の情景に逐次段階でカラー情報を積極的に利用している。

図5(a)

カラー積み木の情景の例



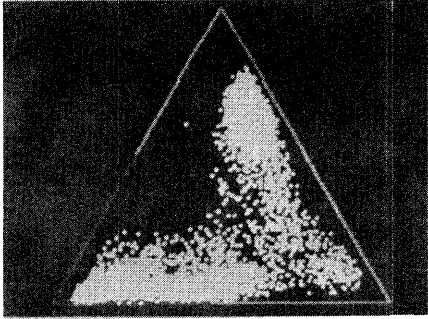


図5(b) (a)の色度図分布

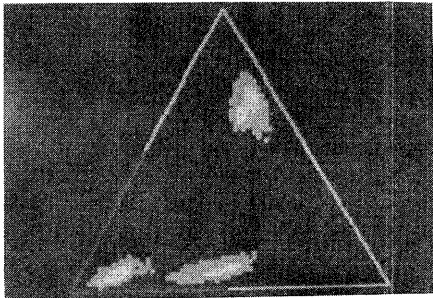


図5(c) (b)の灰度による分布

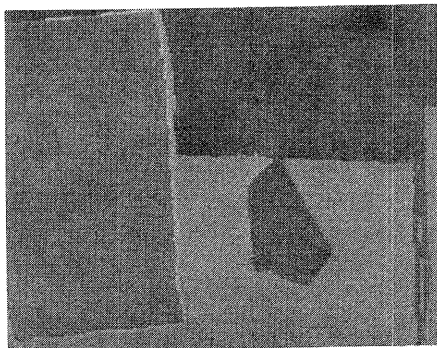


図5(d) カラー情報による領域
類別の例

これまでのカラー情景の解析は、極めて学術的色彩の濃いものであったが、物流系統における物の分類や工場内における異常の監視（爆発、発火とその規模・形）、炎の大きさ・形状の監視等今後、工業応用も拡大していく事と予想される。

5. 色彩効果法によるパターン検査

色彩効果法というのは、パターンとの欠陥認識のために筆者が考案した方法で、その基本原理を図6に示した。この場合、RとGに着色された2つのパ

ターンを光学的に合成し、パターンマッチングを取ったときに生じる色彩効果——欠陥がR, Gに着色——を利用して欠陥認識を行わせる方式を取っている。

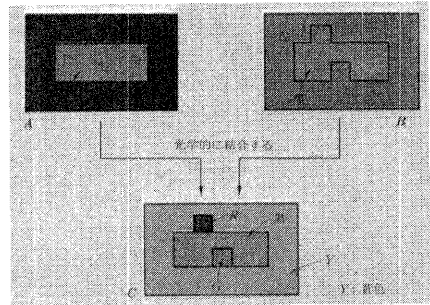


図6 色彩効果法によるパターン識別
の原理図

色彩効果法では、画像を人工的に着色し、複合し特定の色彩効果を出し、色彩の検知・分離によりパターン欠陥を認識しようという方法である。この方法の応用がいくつか考案されているが、図7には色彩効果法の一例であり、この場合、多数決判定の方式も加味される事になり、どの試料の欠陥傷か凸状傷かという性質も認識できるようになっている。

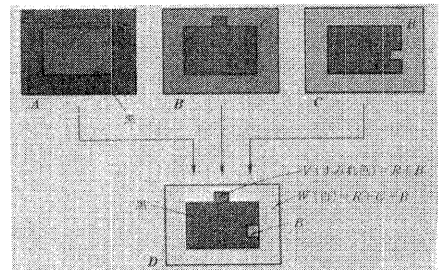


図7 7色色彩効果法の例

色彩効果法によるパターン識別法は、色彩の有効利用による認識の良い例であるが、複数個のパターンを合成すると実際にはパターンズレが起り問題となる。そこでこの境界問題を扱うために、色彩効果法に適した境界処理方式が筆者により考案されている。これらおよび色彩効果法の詳細については参考文献(15)

この色彩効果法を実現する特殊顕微鏡機構がLSIパターン欠陥認識のために試作され、その光学系の基本仕様を巻3に与えた。パターン検査システムとしてのブロック図は、図8の如くである。

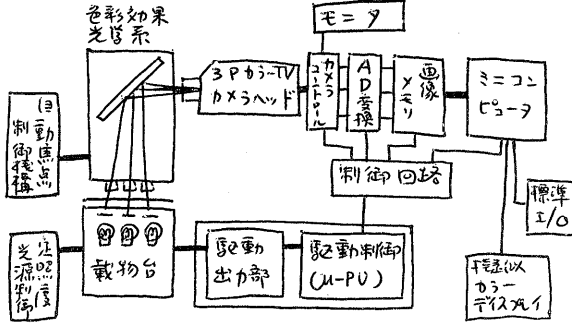


図8 色彩効果法による特殊顕微鏡入力システムの構成図

なお、3つある対物レンズのどれかをカットオフする事も可能であり、資料としては、透過光だけでなく反射光も読み取れる様になっている。LSIマスクパターンの場合 $1\mu\text{m} \sim 5\mu\text{m}$ 程度の傷であれば、この試作装置により、色彩効果法の原理で欠陥検査が原理的には可能と考えられる。[実用化に当たっては、システムの安定性、速度の面で改良が必要であろう。]

アルゴリズムとしては、色彩効果法による識別は、色分離の難いアルゴリズムを必要とするが、自動焦点制御による色調の変動、カラーTVカメラからの信号の下安定性から高度なカラー情報フラスタリングアルゴリズムの開発が進められている。

6. 医療におけるカラー画像解析

医療の分野でも、各種の診断に医用画像処理が問題とされ活発に研究されている。X線画像のフォールスカラーテラスプレイが積極的に実用化される段階があるが、ここでは医療写真や検査対象の中で色彩画像としてとらえられるものについて考える。色彩情報が判読に重要な役割を果たす医療画像として、白血球の自動分類、眼底写真の判読、胃内視鏡写真

、膀胱鏡写真の判読のようなものが色彩画像解析の対象と考えられる。

これらの中でも、白血球の自動分類が、最も実用レベルに達しており、米国においては製品の発売も開始されている。

白血球像は、図9(a)に示したようなものであるが、白血球核は紫色、白血球の細胞質は淡青色、赤血球は橙色に染色しており、色彩の利用により白血球の抽出が効果的に行える。実際白血球と赤血球の部分の色彩解析を行い、色度図に表示すると図9(b)、(c)のようになり、色彩によりうまく分離できる可能性がある。しかし、色度図による分類では、明度情報が反映されないため、適用性が狭い。そこで、文献(2)、(5)、(6)に提案された説明されている色彩空間のグイナミック射影とそれを用いたクラス分けを用いると信頼性の高い分類が出来る事が知られている。しかしそれでも不具合な場合が多く、そのような場合は、カラー航空写真の解析の際に述べたようなテキスチ解析が必要である。

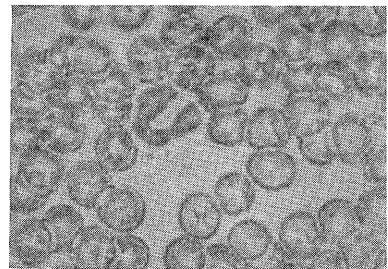


図9(a) 白血球像の列

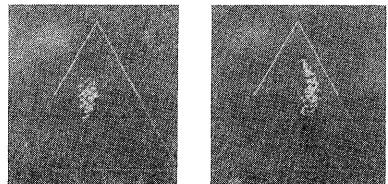


図9(b) 白血球部の色度分布
図9(c) 赤血球部の色度分布

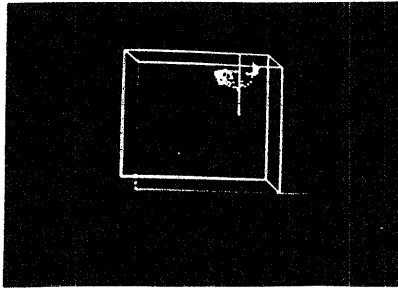


図10 ギャイナミック射影による分布と判別



図11(a) 白血球像の抽出

図11(b) ノイズ処理の結果

7. 色彩分離とその応用

これまで述べてきた応用において、色彩の解析とそれによる色彩分離が重要な役割を果たしてきているが、ここでは色彩分離が主たる目的となる応用例について考えてみよう。例としては、

- ① 色ムラの検知
- ② 橋梁パターンにおける色彩分離
- ③ カラー土地利用図の領域分離

がある。

色ムラの検知は、通常、一様な着色がなされているべき部分の色彩が着色ムラを検知する問題であるが、本来、定められた(ゆるやかな)色調変化を許すべきところか、不規則な変化を起しているかを検知する場合がある。応用としては、塗装や印刷がある。色ムラの検知のアルゴリズムとしては、

- ・ バンドスライズ法
- ・ 標準カラーチャートの値との比較
- ・ 統計的判別関数による分離

を色彩分離の基本アルゴリズムとして採用し、色彩変化の軌跡としては、色度図や色彩空間のギャイナミック射影を用いる方法がある。明度情報加問題となる際には、色彩空間のギャイナミック射影が適している。なお画像としての色ムラを強調的に見るには、擬似カラーディスプレイや画像のオミド微分あるいはオミド2回微分を取りその結果を擬似カラーディスプレイする方法を用いる必要がある。

着色体の表面状況が複雑な変化をしているときは、光の当たり方や受光部の位置によって問題が生じ、手元ミクロレベルの色ムラが対象となる場合には、着色体の微細構造パターンが関係する事もあり、必ずしも簡単に済ませられない場合もある。

橋梁用の色彩解析は、既述のアナログ的手法による装置が商品として登場しているが、色ムラやノイズから来る色ムラやパターン欠陥が生じると、画像解析の手法を適用し、信頼性の高い色彩分離をしたという要求がある。更にパターンの修正・編集を要する事もあり、そのような目的には、後述の対話的画像修正システムとしてとらえる必要がある。

カラー航空写真を解析した結果は、カラー土地利用図として出図され、利用されている。このカラー土地利用図を讀み取り、例えば、緑地の占有率や市街地の占有率を求めると人手により行われているが、この過程を自動化するの色彩分離および色彩画像解析の応用として興味がある。アプロクとして2つあり、1つは現在利用されているカラー土地利用図そのものを画像解析させようとするもので、この場合、カラー色合やデータだけでなくテキストパターンによる色合や、地価算を示す文字も記入されているため、その程度容易ではない。他の方法はカラー土地利用図を画像解析しやろう

書き換えてもらう方法で、この場合、処理としては、基本的には色分離の処理が行われるとすると、色の塗り替え、正色化に伴う色数増加問題となる。印刷のカラーチャートの場合には自動分解を統計的判別関数を用いて行わせると64色以上の分離が行える結果が得られているが、色鉛筆のようなもので、人手よりも、色塗りの場合、かなりのバラツキが起り、現在、十数色程度が限度と言えよう。

8. 対話型カラー画像修正システムの応用

コンピュータによる色彩画像解析の特徴は、(アナログ処理に比べた場合)画像の記憶が行える事から、画像の修正、編集、パラメータによる計量化等といった解析が行える事がある。

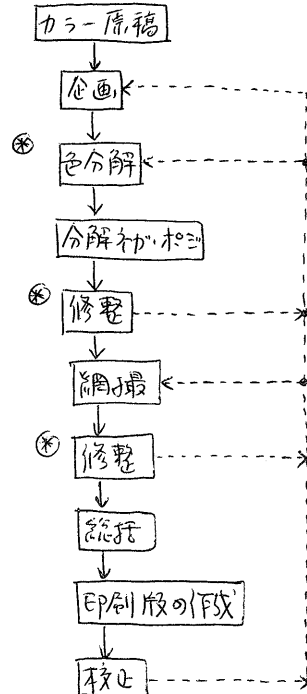
これらの機能を基にした応用として次のようなものがある：

- ① カラー設計図面の修正・改訂
修正情報や指定のカラー情報を用いて表現されている場合が実用的である
- ② カラー印刷・製版への応用
カラー印刷物の配色・色彩管理だけでなく、カラー製版における修整・編集・色彩管理等のいわゆるシフトワーク過程の自動化への応用があり、これについては以下で少し詳しく述べる
- ③ 照明システムの設計・評価
カラー照明システムの設計・評価段階において、色彩の調和、配色の評価・解析・設計といった面への応用がある。これは現実のシステムの状況をカラー写真撮影し、計算機へ入力し、対話型で解析を行う場合とモデルをもとにして設計を行う場合とが考えられる。

このような応用の中で、筆者の研究室では、カラーフィルムリターが、フィルムライターとディスプレイが

簡易型ながら利用出来る事から、かなり進んだ検討が行われており、その結果をもとにして、基礎的な考察を行おう。

カラー製版の工程は次の様になっている。



この過程を対話型カラー画像修正により、自動化しようとするのが目的であるが、併せて印を付けた印所の自動化が当面の目的である。

これを行うには

- (1) コンピュータによるパラメータ設定等の指令がうまく行える色分解機(カラーフィルムリター)が必要であり、またフィルムライターも必要である
- (2) 修整・編集作業を対話型カラーディスプレイを用いて行う為、高解像度カラーのカラーディスプレイが必要である
- (3) 印刷製版の場合画像に対する要求が高いため高分解能のフィルムリターが用いられ、その為大容量の画像データを記憶する必要があるディスプレイの手法が必要である
- (4) 製版工が持っている知識および伝統的な製版プロセスの見直し

によるコンピュータ向き製版過程，工程の確立も必要である。

これらに対する基本技術が確立されよう。整備されよう。

9. あとがき

色彩画家や色彩情景は，人間の視覚世界のあらゆる面を現われ，広範な応用が期待されるが，本文では，筆者の研究室において実験的に取り扱われて来た例を中心とした色彩画像解析の応用とそれと具体化するアルゴリズムとを問題点について論じてきた。その他工業計測，物理観測，生物・生体観測，化学的現象の観測等いろいろの応用が考えられるが，これらが実用化され具体化されるには，パターン情報処理の他の応用と同じような経済性の確保からの制約が下まいるのが現状である。

視覚映像・画像の殆んど全てが色彩画像である事を考えたとき，コンピュータによる画像情報処理技術の確立には，色彩画像解析技術の確立が不可欠である。急務であると筆者は考えている。文庫(1) - (6) に述べた色彩画像解析のシステム概念，アルゴリズムについての考えと更に，本文におけるような応用分野の開拓が，このような観点からの画像解析技術の確立に鍵を握るべきであると筆者は考えている。

本文で紹介した画像解析の研究開発は，三菱電機中央研究所パターン情報グループの方々の協力を得て進められているものであり，関係者の方々に謝意を表したい。

参考文献

- (1) T. Ito, "Towards color picture processing", Computer Graphics and Image Processing, vol. 2 (1973)
- (2) T. Ito, "Color picture processing by computer", Fourth Intl Joint Conference on Artificial Intelligence

(1975)

- (3) 伊藤, 「計算機による色彩図形認識の諸問題」, 信学会パターン認識と学習研究会資料 (1974-7)
- (4) 伊藤, 「計算機による色彩図形情報処理」, 三菱電機技報, vol. 48, no. 8 (1974-8)
- (5) 伊藤, 「色彩図形認識とそのソフトウエア」, 三菱電機技報, vol. 49, no. 11 (1975-11)
- (6) 伊藤, 「コンピュータによる色彩画像処理」, (NIKKEI ELECTRONICS 1975.12.29)
- (7) 伊藤他, 「色彩図形解析表示システムとその応用」, エレクトロニクス, 昭和49年10月号 (1974-10)
- (8) 伊藤他, 「パターン処理システム - 色彩図形解析表示システム」, 三菱電機技報, vol. 49, no. 3 (1975-3)
- (9) 伊藤他, 「計算機による色彩解析とその応用」, 信学会パターン認識と学習研究会資料 (1975-6)
- (10) 伊藤, 「カラー航空写真の計算機による解析」, 「計測」, vol. 25, no. 11 (1975-11)
- (11) 伊藤他, 「カラー航空写真の計算機処理」, 日本航空宇宙学会誌 (1976-2)
- (12) 伊藤他, 「カラー航空写真の計算機処理(1)」, 信学会画像工学研習(1976-2)
- (13) 伊藤他, 「カラー航空写真の計算機処理(2)」 (発表予定1976)
- (14) 伊藤他, 「色彩効果法によるLSIマシンのパターン認識」, 信学会全国大会 (1976-3)
- (15) 伊藤, 「色彩効果法によるパターン認識」 (発表予定1976)
- (16) 伊藤他, 「ディジタルカラーTVマシンの色彩画像入力併用性」, 信学会全国大会 (1976-3)
- (17) 村田他, 「自動色分解装置」, 三菱電機技報, vol. 46 no. 2 (1972)
- (18) 坂井他, 「計算機による色彩画像処理」, カラー画像(家工学コンピュータ)
- (19) 辻他, 「色情報による3次元物体認識」, 信学会 (1971)
- (20) 色彩科学協会「色彩学ハンドブック」(1962)