

U-PIPS によるカラー空中写真の領域分割

藤 本 勉*. 田 中 護*

Region Segmentation of Color Aerial Photography by Using the Ube Technical College Picture Information Processing System, U-PIPS

Tsutomu Fujimoto. Mamoru Tanaka

Abstract

The authors are studying the analysis of color aerial photographs by using the Ube Tech. College Picture Information Processing System, U-PIPS.

A lot of results of this research they reported were mainly concerning with the regional segmentation in color aerial photographs which were achieved by chromatic characteristics and by the Karhunen-Loeve transformation which produced mutually orthogonal trigonometric color photographs.

In this paper, they propose another regional segmentation method in color aerial photographs which is done by synthesizing many Gaussian distribution functions in order to approximate histograms of K-L transformed photographs and by separating each distribution.

A color aerial photograph which includes a drainage lake of a machine factory is processed in this proposed method as an example and several results are reported.

1. ま え が き

著者らは、宇部高専画像情報処理システム (Ube Technical College Picture Information Processing System, U-PIPS) を用いて、カラー空中写真の解析の研究を行っている。写真中の色相、明度、彩度の違いに基づいて湖沼部を分離抽出して、その面積や周辺長を計測する方法^{1),2)}、Karhunen-Loeve 変換により相互に独立な原色画像に原画像を変換し、原色画像を個別に処理し同じ湖沼部を分離抽出する方法^{3),4)}について研究し、多くの興味深い結果を得、これらについては既に報告している。いずれの場合も抽出すべき対象の形状は既知のものであり、分離手法の有効性は、分離抽出された結果と分離すべき対象域の既知の形状との一致性により評価された。その結果、効率的に対象域を分離するには、色彩情報に加えて、対象域の形状に関する知識を計算機に与える必要

があることが解った。即ち対象域の色彩学的特徴のみでは不十分であることが判明した。一方、海洋汚染や、森林の植生分布等を解析するには、対象の形状に関する知識はとぼしい。この場合、分離の根拠を大部分色彩学的特徴の相違に求めなければならない。分離抽出結果の評価は、現地調査等他の手段による結果と対応させなければならないので簡単には出来ないが、非常に興味ある課題である。さらに分離手法についても、既報の Karhunen-Loeve 変換を反復的に行う方法では分離が後述のように早い段階で出来なくなる可能性がある。そこで、本報では、原色画像の一般に多峰性を呈すヒストグラムを多くのガウス分布曲線を合成することにより、モデル化し特定の領域の特徴値がばらついて分布しているために、個々のガウス分布をしているものとして、夫々の分布に対応する領域を分離抽出しようとする方策を提案するのである。以下この手法の概要と得られた結果について述べる。

* 宇部工業高等専門学校電気工学科

2. カラー空中写真の領域分割

2.1 領域分割法の概説

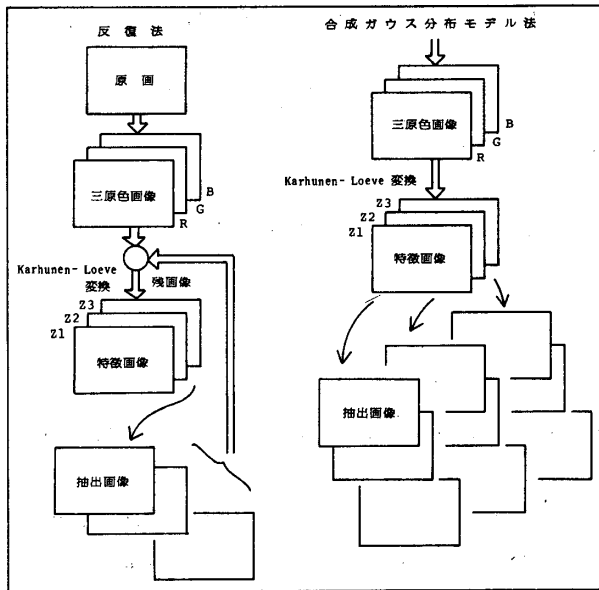


図 2.1 領域分割法の概説

解析の行われる、約 $800 \times 450\text{m}$ の範囲を撮影したカラー空中写真はU-P. I. P. Sのドラムスキャナにより 384×256 点の赤 (R), 緑 (G), 青 (B) の3原色に分解して取り込まれる。その際、試料の反射率に対する光電変換出力が3原色間で異なっているため、3次の補整を行う。補整後は、3原色は無彩色に対して等しい値を有す反射率(百分率)として格納される。カラー空中写真に対して、この3原色間には、多大の相関が存在し単一の原色画像のみの処理を行うことは出来ないため、相関性の少ない他の3原色、例えば、明度、色相、彩度に変換する。本報では相互に独立な新たな3原色に Karhunen-Loeve 変換により変換する。そのためにまず、3原色間の相互相関係数行列を求め、次いで Karhunen-Loeve 変換式を導出する。このようにして得られた、新たな3原色画像 Z_1, Z_2, Z_3 は相互に独立であり、夫々の原色に対する特徴を有していることになる。これらの特徴はヒストグラムを描くと一般に多峰性の曲線となり、数個の特徴群が認められる。特定の特徴を適当ないき値を設けて分離すると、それに対応する領域が分離抽出できることになる。

反復法においては、夫々の特徴画像のヒストグラムの全ての鞍部にいき値を設け原画像を分割し対応する領域を抽出する。抽出された領域は原画像から削除される。

残りの原画像を再び分割するためには、残画像の相互相関係数行列、Karhunen-Loeve 変換式、特徴画像と手続きを反復し、再び特徴画像のヒストグラムを描いて鞍部をいき値に画像を再分割する。この様な手続きを繰り返して画像を、同種の特徴を有す小画像群に細分化して行く。このようにして得られた小画像は、原画像を構成している要素群となる。この方法は最も合理的ではあるが、非常に計算時間の掛る相互相関の計算を多数回繰り返す必要がある。また、カラー空中写真の場合既述の処理例のように、3原色間の相関はほとんど1に等しく、頭初に於て抽出された領域を除外した残画像に於ても、やはり相関係数の値は1に近く、それ故に Karhunen-Loeve 変換式も大幅には変化しない。よって早い段階でヒストグラムに鞍部が認められなくなり画像の再分割が出来なくなる可能性がある。

一方、合成ガウス分布モデル法においては次のような考察に基づいている。一般にカラー空中写真中には分割されるべき複数の領域が、事実認められる。これらの領域中に在る画素の Karhunen-Loeve 変換値(特徴値)は、ある値を中心にとらついて分布している。これらのばらつきが合成されて全体として特徴画像のヒストグラムを形成しているものと考えられる。個々の分布を本法ではガウス分布でモデル化した。分割されるべき領域の個数は一般には特定できないので、ヒストグラムを合成するに十分な個数のモデルを試行錯誤的に作成することにした。特徴画像のヒストグラムを複数のガウス分布モデルにより近似し、分布モデルの標準偏差の値を元に分割すべきいき値を決定する。モデルの合成に今の所、多くの時間を必要とするが、3原色画像から一度の Karhunen-Loeve 変換で、多くの要素画像群に分解することが出来る。

2.2 合成ガウス分布モデル法による領域分割実験⁵⁾

付録に述べているU-P. I. P. Sのドラムスキャナは実験に先立ち、J. I. S. 標準色票の無彩色明度スケールを測定することにより、光電変換特性を明らかにする。測定データから最小自乗法により、光電変換電圧に対する試料の反射率を求める近似式を得る。赤、緑、青の3原色変換電圧 V_R, V_G, V_B に対する試料反射率 Y_R, Y_G, Y_B は次式となった。

$$\left. \begin{aligned} Y_R &= 45.6926 - 4.8505 V_R \\ &\quad + 0.0204 V_R^2 + 0.0023 V_R^3 \\ Y_G &= 49.4441 - 5.4530 V_G \\ &\quad + 0.0468 V_G^2 + 0.0023 V_G^3 \\ Y_B &= 41.9281 - 5.1304 V_B \\ &\quad + 0.0599 V_B^2 + 0.0067 V_B^3 \end{aligned} \right\} (2 \cdot 1)$$

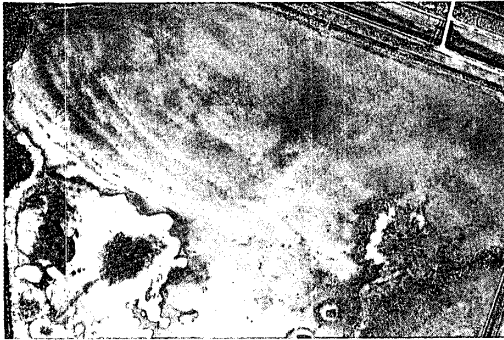


写真 2. 1 カラー空中写真

実験に使用したカラー空中写真を写真 2・1 に示している。同写真は工場排水池の一部であり、左側下部より右側上部に向って水深が深くなるにつれて、緑色域が広がっている。左側下部には島状に茶褐色を呈している湖底の露出した部分がある。同写真は海洋等の汚染状況を撮影した空中写真と同種のものであり、領域分割の結果を直ちに汚染の程度に結びつけることは、現地調査等の結果と対応させないと、出来ないが、我々が対象物の形態に関する先見的知識を有している家屋、道路、湖等の場合に較べて純粋に特徴の値のみによる分割を試みる事が出来るので、実験例として取り上げた。

補整の結果得られた試料の反射率からは、その平均値を差引き、変動分 Y_R, Y_G, Y_B のみに対する 3 原色画像間の相互相関係数行列を求めた。この値から Karhunen-Loeve 変換式を導出した。相関係数行列及び変換式を次に示す。

三原色画像間相互相関係数行列

$$\begin{matrix} & Y_R & Y_G & Y_B \\ \begin{matrix} Y_R \\ Y_G \\ Y_B \end{matrix} & \begin{pmatrix} 1 & 0.9611 & 0.9043 \\ 0.9611 & 1 & 0.9306 \\ 0.9043 & 0.9306 & 1 \end{pmatrix} \end{matrix} \quad (2 \cdot 2)$$

Karhunen-Loeve 変換式

$$\begin{pmatrix} Z_1 \\ Z_2 \\ Z_3 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 0.3335 & 0.3366 & 0.3298 \\ -0.3552 & -0.1413 & 0.5035 \\ -0.3767 & 0.4970 & -0.1263 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} Y_R \\ Y_G \\ Y_B \end{pmatrix} \quad (2 \cdot 3)$$

変換式について若干考察を加える。 Z_1 については、

$$Z_1 \doteq \frac{1}{3} (Y_R + Y_G + Y_B) \quad (2 \cdot 4)$$

となっており、原写真の明度情報を抽出したものになっている。 Z_2 については、赤色 (Y_R) 及び青色 (Y_B) に強く依存しており、赤色の領域に対しては負に大きく、青色の領域に対しては正に大きい値を取る。 Z_3 については、緑色及び赤色に強く依存している。これらは既報の結果と比較して、 Z_1 については変る所はないが、 Z_2 について Y_G 、 Z_3 については Y_R への依存性が強く出ている所が特徴的である。

次に、 Z_1, Z_2, Z_3 のヒストグラムを描き、これに近似する合成ガウス分布モデルを作成する。作成の手順について説明する。各 $Z_i, i = 1, 2, 3$ に対するガウス分布モデル

$$\begin{aligned} &MM_i(NMR, 1) \exp \\ & \{ [Z_i - MM_i(NMR, 2)]^2 / MM_i(NMP, 3) \} \\ & \quad \quad \quad i=1, 2, 3 \quad (2 \cdot 5) \end{aligned}$$

NMP: モデルの番号 1 ~ NN

の 3 個のパラメータ $MM_i(NMR, j) j=1, 2, 3$ を近似誤差の自乗を最小にするように試行錯誤的に決定する。前述のように、モデルの個数 NN は原写真中に含まれる分割されるべき領域の個数に等しいが、本例のようにこの個数が特定できない場合には、自動的にモデルを生成するのが難しいので、先ず、人為的に生成したモデルでヒストグラムを粗近似する。この為には、会話形式でパラメータの修正を行う方が好都合であるので、マイコンのディスプレイに、ヒストグラム、モデル曲線及び残存誤差を表示させて行った。即ち、ヒストグラムの肩の部分に注目して、この部分が酷似するようにモデルを修正して行く。十分に適合した所でヒストグラムから、このモデルを差引き残留しているヒストグラムについて、再び肩の部分に注目して次のモデルの修正を行う。この手続きを繰返して原ヒストグラムに粗近似の合成ガウス分布モデルが作成される。このままでは、この合成モデルの近似精度は低いので、次に、図 2・2・1 ~ 2・2・3 に流れ図を示す、試行錯誤的なパラメータ修正プログラムで最適合成モデルを近似する。プログラムはメインプログラムと、近似誤差自乗を計算するサブルーチン RMS 及び修正されたパラメータを表示するサブルーチン DISPLAY から成る。マイコンとの会話による操作の結果、 Z_1 については 6 個、 Z_2 については 5 個そして Z_3 については 4 個のガウス分布モデルを近似している。個々のモデルについて 3 個のパラメーターを修正する必要があるため、全体としてはかなりの数のパラメーターを操作しなければならない。近似誤差の自乗を計算する

際、個々のモデルの影響はヒストグラム全体に及ぶことはない。よって、ヒストグラム全体に亘って誤差計算をする必要はない。そこで、各モデルの中心 MM_i (NMR, 2) から標準偏差 $\sqrt{MM_i (NMR \cdot 3)}$ の ± 2 倍の範囲のみで近似の成否を判定することにした。こうすると第3番目のパラメータを修正した場合、誤差計算をする範囲が変わるので、誤差の比較が出来なくなり不都合であるので、誤差計算の範囲は、会話操作の結果の値、即ち自動修正を始める時の値に固定することにした。

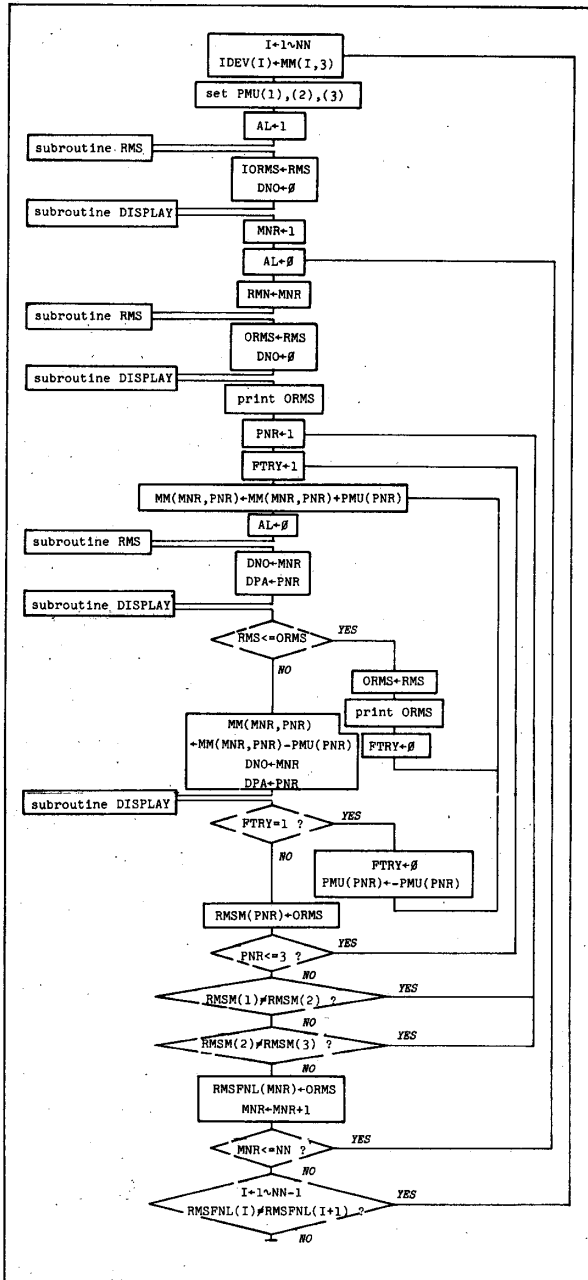


図 2. 2. 1 自動探索プログラム (メイン)

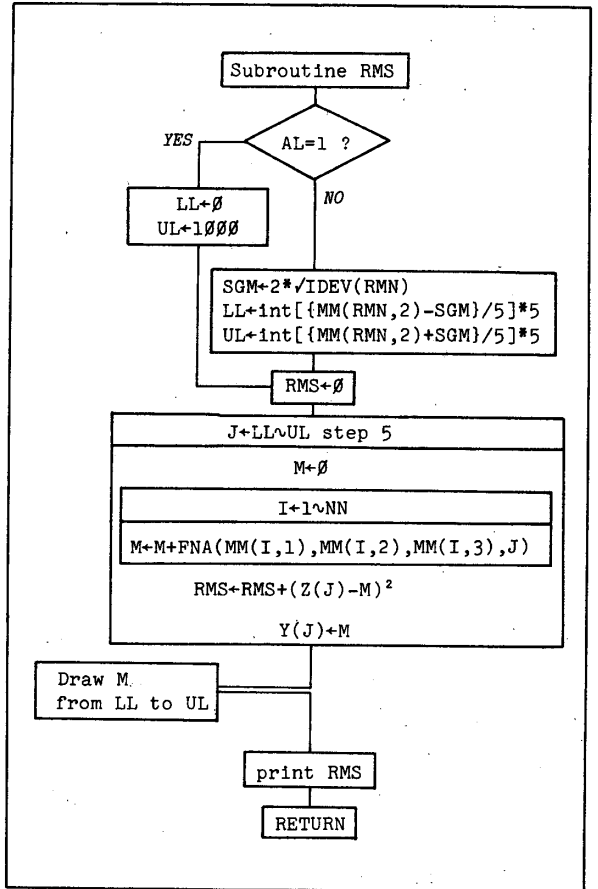


図 2. 2. 2 誤差計算プログラム (RMS)

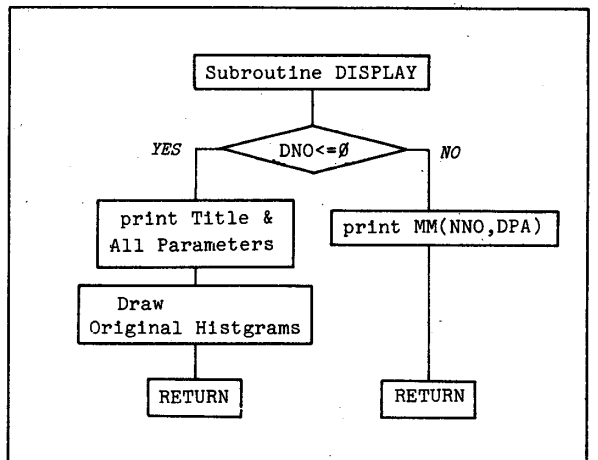


図 2. 2. 3 表示プログラム (DISPLAY)

プログラムの説明をする。ヒストグラムデータは配列 $Z(J)$, $J=1, 1000$, (5) に (2, 5) 式のガウス分布モデルのパラメータは MM_i (NMR, j) $j=1, 2, 3, i=1, 2, \dots, NN$ (NN は Z_1 については 6, Z_2 は 5, Z_3 は 4) に代入して開始する。各パラメータの修正ステップ幅は PMU に、近似誤差を計算する範囲を決める初期の分散

値 $MM_j(i, 3) j=1, 2, 3 i=1 \sim NN$ は IDEV に保存する。先ず、第 1 モデルの第 1 パラメータから修正を始める。初回の試行で誤差が増加した場合は反対方向に修正を行って誤差最少のパラメータを探索する必要があり変数 FTRY はこの目的のための変数である。パラメータ修正毎に、誤差計算範囲内の全モデルの合成値を計算して、 $Y(J)$ に代入し、ヒストグラムとの誤差 RMS を計算する。パラメータの最適値が探索されると、次に、第 1 モデルの第 2 パラメータの最適値を探索する。以下同様に全部のモデルの全部のパラメータを修正する。全て終わると、再び第 1 モデルの第 1 パラメータの修正を反復し、以下同様に同じ操作を反復する。この様にして全モデルの全パラメータの修正を行い、最終時における近似誤差がさらに減少しなくなるまで続行する。このようにしてガウス分布モデルを作成する。これらのモデルは、それぞれ同一の領域に属す画素の特徴値がばらついて存在しているものと考えられる。他のモデルとの重なりが少い場合には個々の領域を分離して、同種の特徴を有する領域のみを分離抽出することが出来る。重なりが多い場合

には、何らかの評価基準により分離する必要がある。

2・3 領域分割結果及び考察

図 2・3～2・5 に、このようにして得られた結果を示している。図 2・3 の Z_1 について、合成モデルはヒストグラムの中央付近にのみ作成したが、この範囲に於て非常に良い近似を得ている。各モデルに対応するガウス分布式を同図中に示している。第 3 モデルの成分は非常に強く次いで第 1 モデルが強く存在することが解る。第 2 モデルについては、これを分離することは不可能であろう。領域分割の一例として、第 1 及び第 6 モデルについて、その標準偏差の ± 2 倍の範囲を抽出した結果を同図中に示している。抽出画像は、白黒 2 値画像であるので、抽出された画素数を数えることにより簡単に同領域に含まれる面積を求めることが出来る。この値を同時に示している。いずれの場合も隣接するモデルの領域を含んで抽出している。

図 2・4 の Z_2 については、若干近似の精度は低いが、ほぼ同程度の大きさの第 1, 2, 3 モデルが存在してい

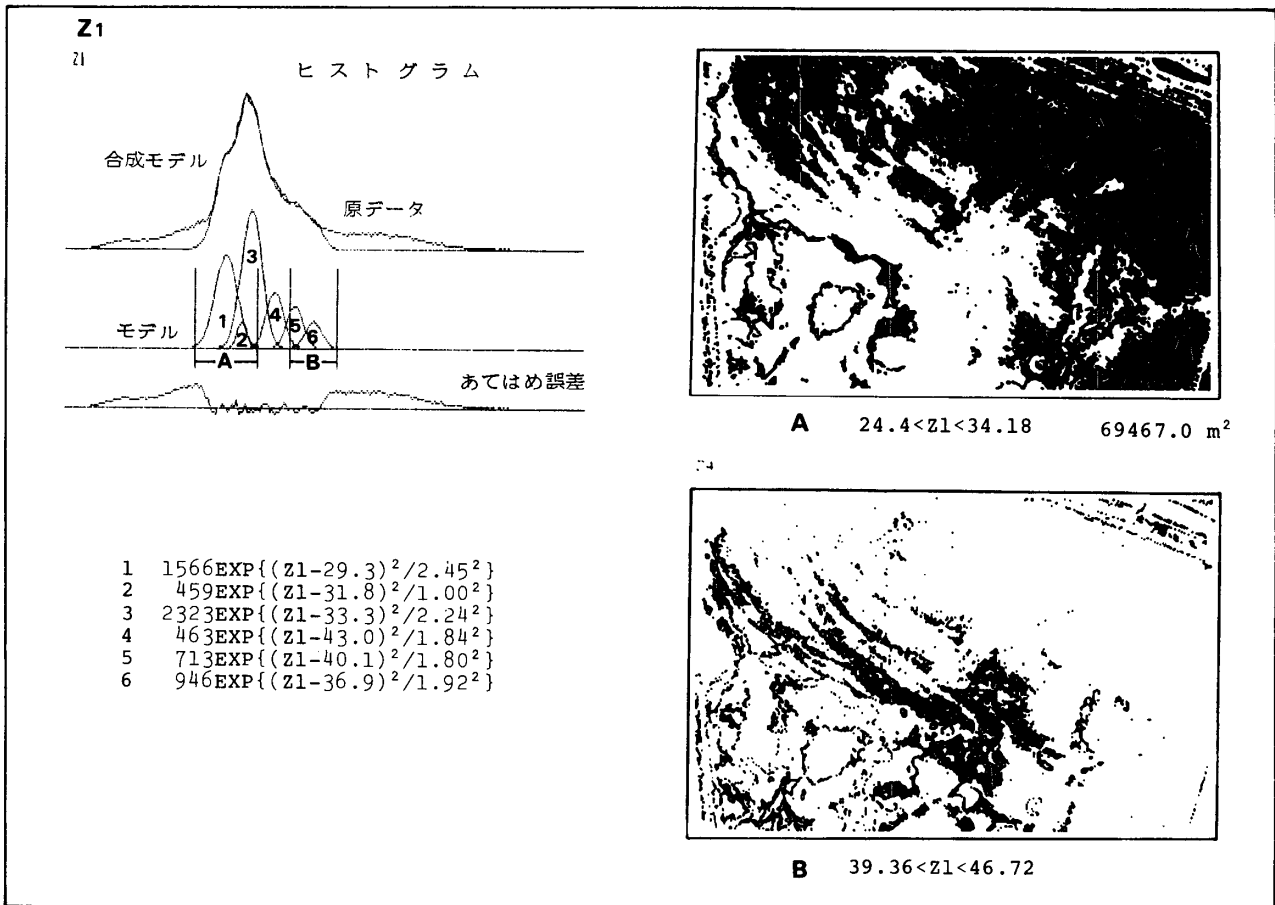


図 2.3 分割処理結果 (Z_1 特徴画)

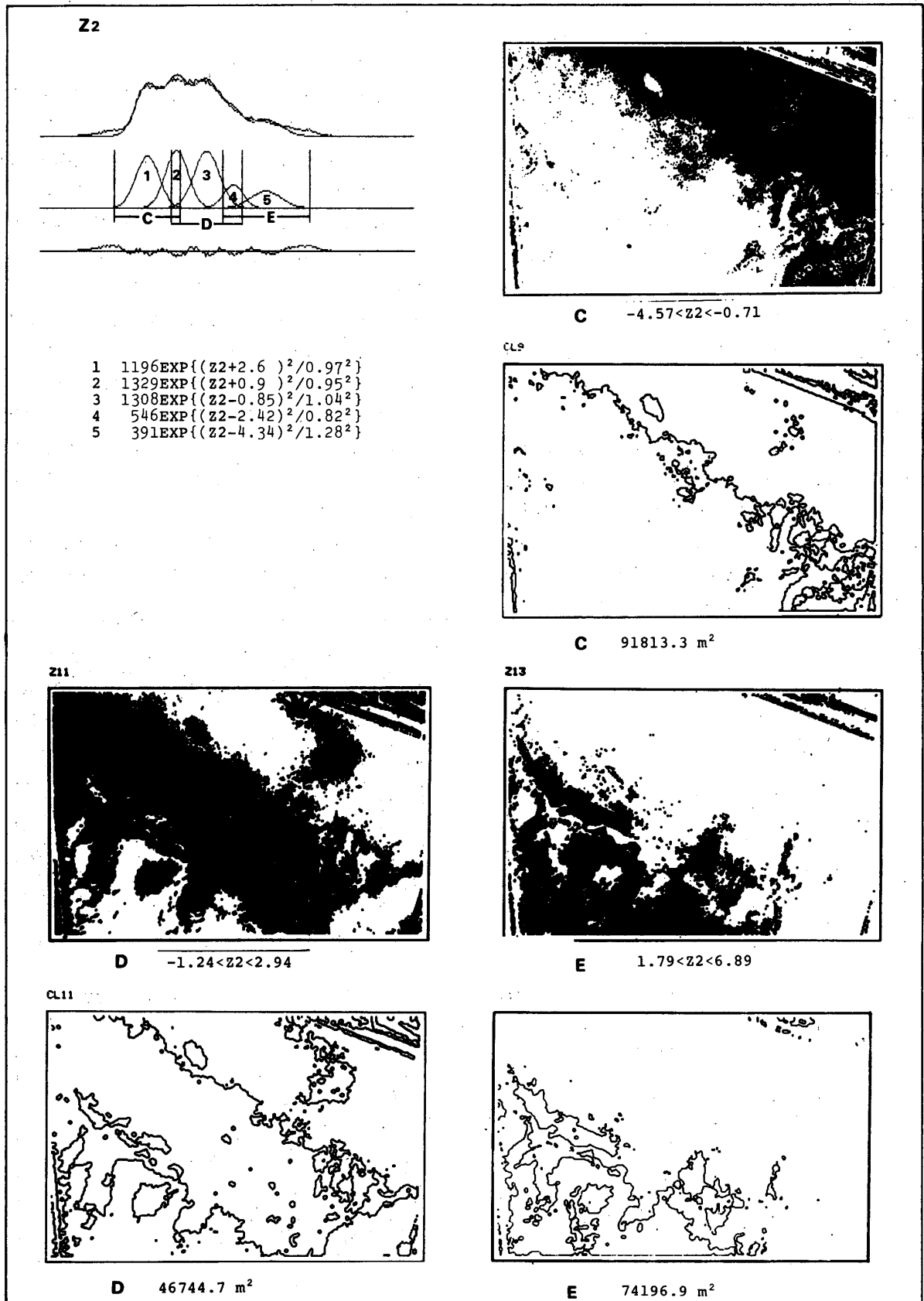


图 2. 4 分割処理結果 (Z₂特徴画)

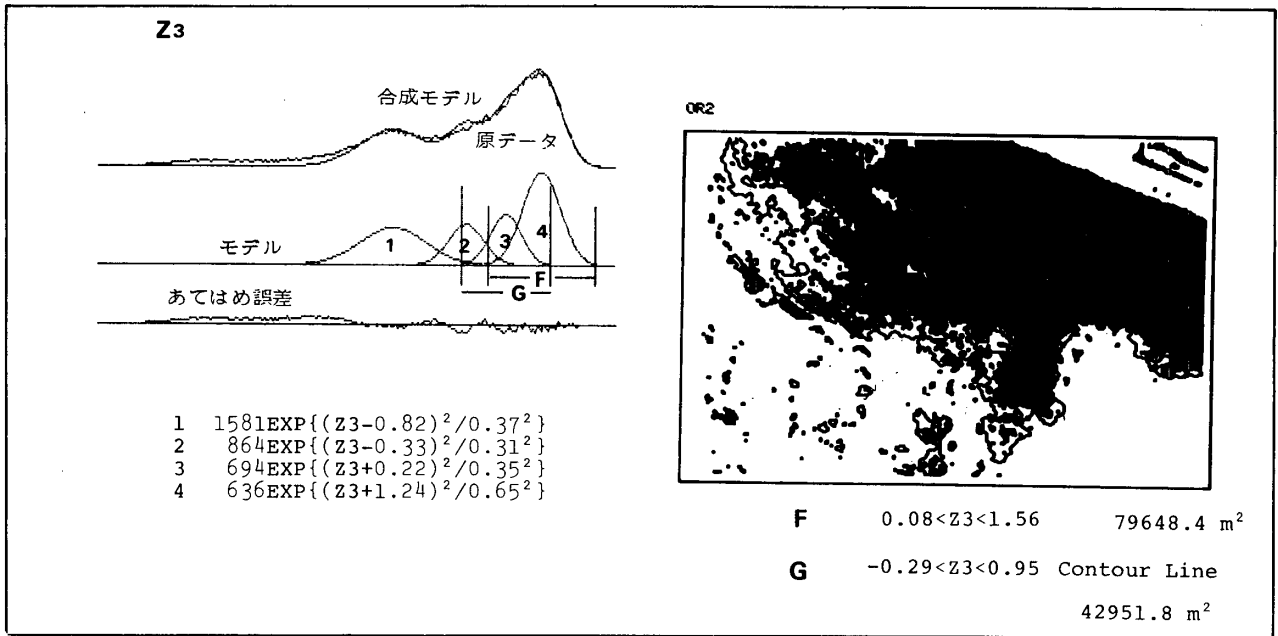


図 2.5 分割処理結果 (Z₃特徴画)

る。図中に示す領域を抽出し、さらに、既報の手法により、孤立点除去及び輪郭線作図を行った結果を示している。

図 2・5 の Z₃ について、図中の F の領域については、抽出後、孤立点を除去、G の領域については孤立点除去後、輪郭線を作図し重ねて表示している。

いずれも、分離抽出された画像に論理演算を施し、表示すれば、また興味深い結果が呈示されるであろう。

3. 問題点についての議論およびむすび

以上カラー空中写真の領域分割の方法として、既に報告している反復法の考察と、本報において提案した合成ガウス分布モデル法及びその分割結果について述べた。

分割処理の成否は、一般に我々が経験的な知識として得ている対象物の形状との合致を基に評価することが多く、本法のように単に原写真の有す色彩学的特徴の利用のみでは、カラー空中写真のように自然の状態を撮影した写真の場合、満足の得られる分割は出来ないことが多く、否定的評価がなされ易い。そこで本報では合成ガウス分布モデルによる特徴画像のヒストグラムの近似可能性を中心に論ずる為、原写真の中に我々が形状を知っている対象物が含まれていない工場排水池のカラー空中写真を実験例として取り上げた。

特徴画像のヒストグラムを多数のガウス分布モデルにより合成する事は、ヒストグラムがかなり良く近似され

ていることから妥当であると思われる。

この近似の精度は作成するモデルの個数が増加するにつれて向上するが同時に処理量が飛躍的に増大するので適当な個数で妥協せざるを得ない。そのため、分離抽出することを希望する領域を他の方法により特定し、ヒストグラムの全域ではなく、対応する画素の特徴値の部分のみを正確に近似するモデルを作成すれば良からう。例えば、海洋汚染調査等の場合には、前述のように汚濁の程度とその色彩学的特徴の対応付けをする必要がある。

次に個々のモデルの分離可能性について、本例については各モデルの分布が複合しており、これを分離するには、多変量解析等の手法により誤って分離することにより生ずる危険性を評価して、最適な分離を決定する方策が考えられる。しかし、例えば、Z₁特徴画の第 2 モデルのように完全に他のモデルの中に含まれてしまうような場合には、その分離は不可能である。この場合には Z₁に加えて、Z₂、Z₃からの抽出域との論理積を取ることであり、目的を達し得るであろう。

さらに、合成モデルを本法のように試行錯誤的に行うと、最適モデルを求めるに要する時間が非常に長く掛る。これについても、もっと短時間で行える方策を考える必要がある。

以上、論じたように、ここに提案した合成ガウス分布モデルによる領域分割値については、解明すべき問題が多く残っている。これらの点については現在研究を進めているので、近い機会にその結果を報告する予定である。

4. 参考文献

- 1) 藤本, 田中: U-PIPS によるカラー航空写真の自動読み取りの試み, 昭和55年電気四学会中国連大, P 153 (1980)
- 2) 藤本, 田中: U-PIPS によるカラー空中写真情報の処理, 宇部高専研究報告, 27, P 49 (1981・3)
- 3) 藤本, 田中: カラーネン・レーベ変換によるカラー空中写真の領域抽出, 昭和56年電気四学会中国連大, P 54 (1981)
- 4) 藤本, 田中: カラーネン・レーベ変換によるカラー空中写真の領域抽出, 宇部高専研究報告, 29, P 69 (1983・3)
- 5) 藤本, 田中: カラー空中写真の領域分割の一方, 昭和57年電気四学会中国連大, P 99 (1982)
- 6) U-PIPS の詳細については, 例えば,

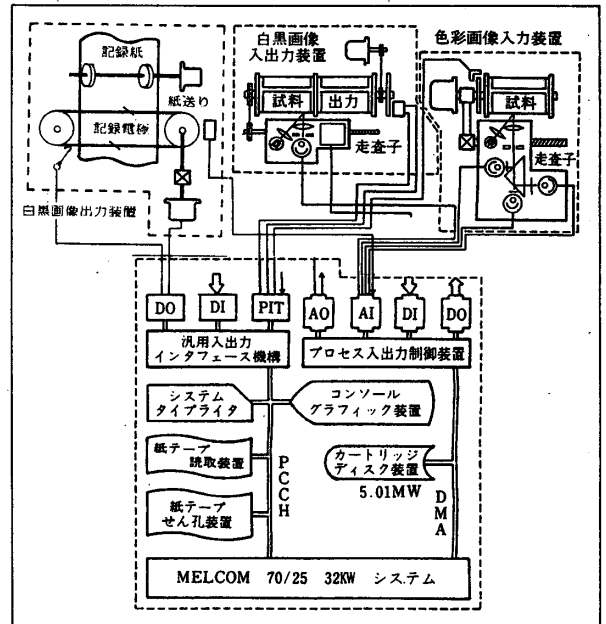
藤本, 田中: 簡易色彩画像処理装置の改良と二, 三の処理結果について, 宇部高専研究報告, 26, P 51 (1980), 昭和53年度電気四学会中国連大, 61711, (1979)

付録, 宇部高専画像情報処理システム (U-P.I.P.S.)⁹⁾ 本システムの概要については既に報告しているが, 著者等が, 画像情報処理を行うため, MELCOM 70/25 を中心に構築したものである。画像データの入出力は, 画素の位置決め精度の高さ, 低雑音性, 情報発生速度が遅いので, ミニコンとの速度整合の容易さ, 主に静止画像の処理が主要課題である等の理由により, 初期よりメカニカルスキャナを有すファクシミリ送受信機を用いている。出力画像は, グラフィック表示装置に出力していたが, ハードコピーを簡単に取りたいので最近専用の静電記録形の白黒画像出力装置を設置している。

本報告は, 付図1に示す構成図中の色彩画像入力装置にカラー空中写真を貼付し, ミニコンに取り込み, 処理結果は上述の白黒画像出力装置及びグラフィック表示装置に出力した。本文中に用いた分割出力画はグラフィック表示装置に出力されたものをカメラで撮影したものである。主な仕様は付表1に示す。

本報告の実験を行うに当たり, J. I. S. 標準色票無彩色明度スケールを用いて測定した, 色彩画像入力装置の光電変換特性を付図2に示している。これより最小自乗法により, 本文(2・1)式の3次補整式を求めた。

(昭和58年9月13日受理)



付図1 宇部高専画像情報処理システム (U-PIPS)

付表1 主な仕様

試料寸法	95×73mm
走査線間隔	0.213mm
画素間隔	0.238mm
画素数	460点/走査点
走査線数	343本
全画素数	157,780点
入力時間	約7分40秒
A/D変換	サンプルホールド 付符号+11ビット

付図2 光電変換特性

