

カルーネン・レーベ変換による カラー空中写真の領域抽出

藤 本 勉*・田 中 護*

Region Extraction of Color Aviation
Photography by Karhunen-Loeve Transformation

Tsutomu Fujimoto, Mamoru Tanaka

Abstract

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

The first results of this research we reported were regional division in color aerial photographs which were achieved by differences in luminance and chromaticity. We had many satisfactory results.

But this method strongly depends on the contents of the photographs and their types. Therefore, we tried another systematic method using Karhunen-Loeve transformation.

A color aerial photographs about 800 X 450 m in area was processed by this method .

As a result, it was realized that this method uses the luminance, the bluish-red features and the greenish features, in order to identify a region.

In this paper, several processed results are reported, including the extraction of a lake by isolating the greenish features as an example.

1. ま え が き

カラー空中写真の“読み取り”は、対象領域の分離、抽出と個々の対象域の存在する位置関係を認識することにより行なわれる。これはカラー空中写真に限らず我々が視るところの全ての画像についても同様である。

カラー空中写真の場合、これらの処理の過程においても種々の実用的な興味深い結果を提出する。ここに報告する湖抽出例の様に、対象領域を分離抽出した結果、直接計測が困難なものを、遠隔間接計測可能とする等、一連の処理過程の前段階ではあるが、実用的用途を有している。

これらの考察により、著者等はカラー空中写真中に含まれる対象領域の分離抽出に U-PIPS (宇部高専画像情報処理システム) を用いて、カラー空中写真の自動読み

取りの研究に取り組んでいる。

この研究の第一段として、カラー空中写真中の特定領域抽出を対象の明度及び色度を基にして行なう方法を既に報告²⁾し、十分に満足し得る結果を得ている。

しかし、この方法は対象に強く依存し、所謂 Problem Oriented であり、今少しシステムテックに分離抽出する方法を開発する必要がある。

一般に特定の領域とそれ以外の領域との区別は、何らかの異なった値を呈する特徴を見つけることによって行なわれる。

本報告では、この特徴(群)を Karhunen-Loeve 変換⁴⁾を行なうことにより、システムティックに求めている。すなわち、原写真を三原色信号に分解し、相関係数を求める。これにより、固有値及び固有ベクトルを求めて、Karhunen-Loeve 変換式を導出する。

*宇部工業高等専門学校 電気工学科

既報²⁾の約800×450mの地域を撮影したカラー空中写真を変換し、異った特徴を呈する領域を分離抽出している。以下、Karhunen-Loeve変換について論じ、続いてカラー空中写真の処理結果を述べる。

2. カラー空中写真の Karhunen-Loeve⁴⁾変換

カラー空中写真は赤(R)、緑(G)、青(B)の三原色信号に変換されるので、三次元の確率ベクトルと見なし得る。これを Π と書くと、

$$\Pi = [R, G, B]^T \quad (2, 1)$$

は、基底ベクトル Φ_k , $K=1, 2, 3$ の線形結合で表わすことができる。すなわち、

$$\Pi = \sum_{k=1}^3 x_k \Phi_k \quad (2, 2)$$

ここで、 Φ_k は三次元の直交正規な基底ベクトルである。すなわち

$$\Phi_k = [\phi_r(k), \phi_g(k), \phi_b(k)] \quad (2, 3)$$

$k=1, 2, 3$

$$\Phi_k \Phi_j = \begin{cases} 1 & (k=j) \\ 0 & (k \neq j) \end{cases} \quad (2, 4)$$

x_k は確率変数であり、原写真データにより得られた特徴であると考えられる。この特徴は(2, 2)式を逆変換して、

$$x_k = \Phi_k^T \Pi = [\phi_r(k), \phi_g(k), \phi_b(k)] \begin{pmatrix} R \\ G \\ B \end{pmatrix} \quad (2, 5)$$

$k=1, 2, 3$

として求められる。

次に Φ_k を決定する。(2, 5)式は三次元の原写真データに対して特徴も同次元である。そこで特徴の次元を減して、この場合1又2の特徴を用いて原写真データを推定することを試みる。推定に用いる特徴の数を m ($=1$ 又は 2)とすると、推定された原画像データ $\hat{\Pi}$ は

$$\hat{\Pi}_{(m)} = \sum_{k=1}^m x_k \Phi_k + \sum_{k=m+1}^3 b_k \Phi_k \quad (2, 6)$$

ここに b_k は利用しなかった特徴 x_k の代りに用いるあらかじめ決定された値である。

この場合、推定誤差 $\Delta \Pi_{(m)}$ は

$$\Delta \Pi_{(m)} = \Pi - \hat{\Pi}_{(m)} = \sum_{k=m+1}^3 (x_k - b_k) \Phi_k \quad (2, 7)$$

となり、推定誤差分散 $\bar{\epsilon}_{(m)}^2$ は

$$\begin{aligned} \bar{\epsilon}_{(m)}^2 &= E \{ \|\Delta \Pi_{(m)}\|^2 \} \\ &= E \left\{ \sum_{k=m+1}^3 \sum_{j=m+1}^3 (x_k - b_k)(x_j - b_j) \Phi_k^T \Phi_j \right\} \\ &= \sum_{k=m+1}^3 E \{ (x_k - b_k)^2 \} \quad (2, 8) \end{aligned}$$

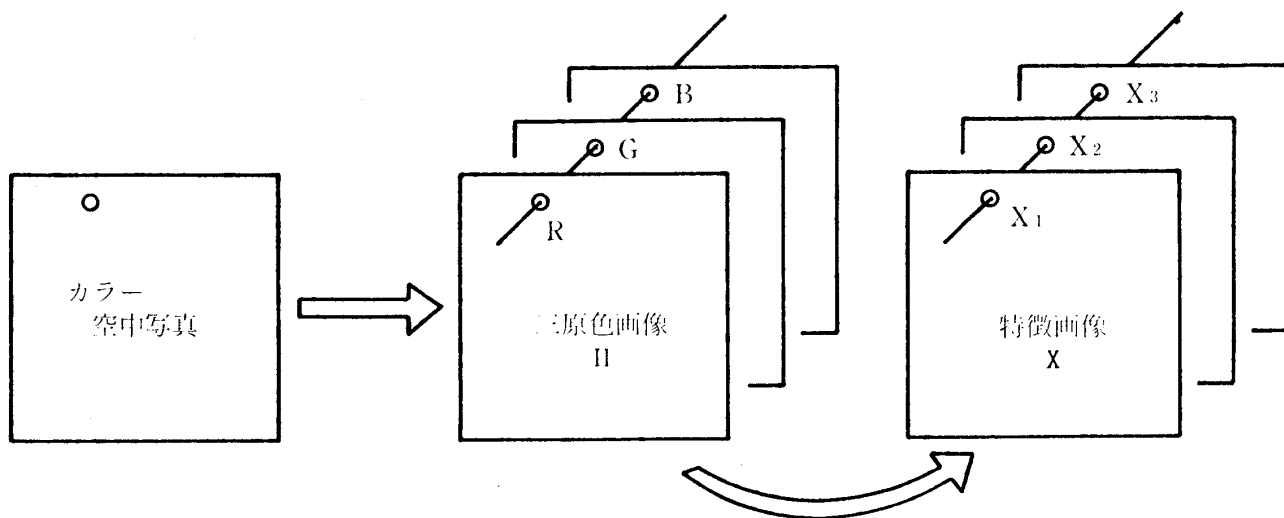
これを最小にするには、まず、利用しない特徴 x_k ($k=m+1 \sim 3$)の代りとして、その期待値を採用すべきである。なぜならば、(2, 8)式を b_k について微分し、0とおいて

$$\frac{\sigma}{\sigma b_k} \bar{\epsilon}_{(m)}^2 = -2(E\{x_k\} - b_k) = 0 \quad (2, 9)$$

これより、 b_k として $E\{x_k\}$ を得る。

よって、推定誤差分散 $\bar{\epsilon}_{(m)}^2$ は

$$\bar{\epsilon}_{(m)}^2 = \sum_{k=m+1}^3 E \{ (x_k - E\{x_k\})^2 \}$$



Karhunen-Loeve変換

図 2-1 Karhunen-Loeve変換

$$\begin{aligned}
 &= \sum_{k=m+1}^3 \Phi_k^T E \{ (\Pi - E \{ \Pi \}) (\Pi - E \{ \Pi \})^T \} \Phi_k \\
 &= \sum_{k=m+1}^3 \Phi_k^T \Sigma_{\Pi} \Phi_k \quad (2, 10)
 \end{aligned}$$

ここに、 Σ_{Π} は原写真データの共分散行列である。

次に(2, 10)式を最小にする Φ_k は、 Σ_{Π} の固有ベクトルであることが知られている⁴⁾。

すなわち、 Φ_k は次式を満足する。

$$\Sigma_{\Pi} \Phi_k = \lambda_k \Phi_k \quad (2, 11)$$

ここに、 λ_k は Σ_{Π} の固有値である。

この結果、推定誤差分散の最小値 $\bar{\epsilon}^2_{(m)opt}$ は

$$\begin{aligned}
 \bar{\epsilon}^2_{(m)opt} &= \sum_{k=m+1}^3 \Phi_k^T \Sigma_{\Pi} \Phi_k \\
 &= \sum_{k=m+1}^3 \lambda_k \Phi_k^T \Phi_k \\
 &= \sum_{k=m+1}^3 \lambda_k \quad (2, 12)
 \end{aligned}$$

すなわち、原写真データを推定するのに利用しなかった特徴の固有値が、推定誤差分散として残存することが解る。これらの議論により、固有値の大きい特徴程、原写真データを推定するのに重要であることになる。次に特徴は相互に無相関であることが示される。

$$\begin{aligned}
 X &= [x_1, x_2, x_3]^T \text{とすると、共分散行列}\Sigma_x \text{は} \\
 \Sigma_x &= E \{ \{X - E(X)\} \{X - E(X)\}^T \} \\
 &= E \{ \{ \Phi^T \Pi - E(\Phi^T \Pi) \} \{ \Phi^T \Pi - E(\Phi^T \Pi) \}^T \} \\
 &= E \{ \Phi^T \{ \Pi - E(\Pi) \} \{ \Pi - E(\Pi) \}^T \Phi \} \\
 &= \Phi^T E \{ \{ \Pi - E(\Pi) \} \{ \Pi - E(\Pi) \}^T \} \Phi \\
 &= \Phi^T \Sigma_{\Pi} \Phi \quad (2, 13)
 \end{aligned}$$

$$\Phi = [\Phi_1, \Phi_2, \Phi_3] = \begin{pmatrix} \phi_r(1) & \phi_r(2) & \phi_r(3) \\ \phi_g(1) & \phi_g(2) & \phi_g(3) \\ \phi_b(1) & \phi_b(2) & \phi_b(3) \end{pmatrix} \quad (2, 14)$$

$$\Sigma_{\Pi} = \begin{pmatrix} \Sigma_{rr} & \Sigma_{rg} & \Sigma_{rb} \\ \Sigma_{gr} & \Sigma_{gg} & \Sigma_{gb} \\ \Sigma_{br} & \Sigma_{bg} & \Sigma_{bb} \end{pmatrix} \quad (2, 15)$$

により、 Σ_x は

$$\Sigma_x = \begin{pmatrix} \lambda_1 & 0 & 0 \\ 0 & \lambda_2 & 0 \\ 0 & 0 & \lambda_3 \end{pmatrix} \quad (2, 16)$$

すなわち、各特徴相互間は無相関であることがわかる。原写真データは、三原色信号間に相関 Σ_{Π} を有するので、例えば、画像処理を行なう場合、三原色信号を同時に処理を行なう必要があるが、Karhunen-Loeve変換後は個々の特徴の処理のみで十分であり、この面で有利であると

表3-1 共分散行列

	R	G	B
R	358.1	303.1	248.5
G	303.1	284.0	256.4
B	248.5	256.4	278.8

表3-2 相関係数

	R	G	B
R	1.0	0.9503	0.7864
G	0.9503	1.0	0.9112
B	0.7864	0.9112	1.0

表3-3 固有値及び固有ベクトル

j	1	2	3
λ_j	2.7670	0.2160	0.0170
$\phi_r(j)$	0.5716	-0.6516	-0.4986
$\phi_g(j)$	0.5974	-0.0860	0.7973
$\phi_b(j)$	0.5625	0.7536	-0.3401

言える。

3. Karhunen-Loeve変換によるカラー空中写真の領域抽出¹⁾

写真3-1に示す約800×450mの地域を撮影したカ



写真3-1 カラー空中写真
原画縮尺1/8047.0

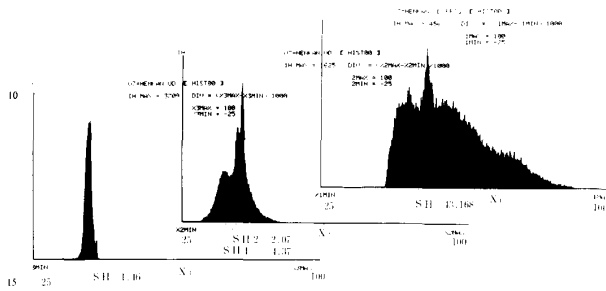


図 3-1 ヒストグラム

ラー空中写真を U-PIPS (宇部高専画像情報処理システム) により, 384×256 点に分解して処理を試みた。写真データは, 平均値を減じて交流分に直し, その後共分散行列及び, 相関係数を求めた。この値より固有値, 固有ベクトルを求めた。これらの結果を表 3-1~表 3-3 に示している。次に Karhunen-Loeve 変換式は, 固有ベクトルを, $\sum |\phi(j)| = 1$ になるように正規化して, 次式を得た。

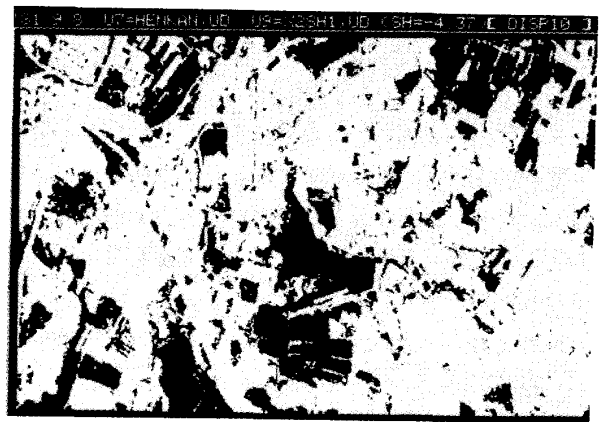
$$\begin{pmatrix} x_{1i} \\ x_{2i} \\ x_{3i} \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 0.3301 & 0.3450 & 0.3248 \\ -0.4370 & -0.0577 & 0.5053 \\ -0.3048 & 0.4873 & -0.2079 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} R_i \\ G_i \\ B_i \end{pmatrix} \quad (3, 1)$$

ここに, 添字 i は画素の順序を表わしている。 $i = 1 \sim 98,304$ (全画素数)。この変換式により全画素を変換し, ヒストグラムを描いて, 特徴のいき値を決定する。ヒストグラムを図 3-1 に示す。同図中において分布に明確な谷が数箇所存在する。先ず x_1 について, いき値を $SH = 43.168$ に選んで出力したものを出力画 3-1 に示す。この場合, (3, 1) 式からわかるように x_1 特徴は三原色値の和になっており, すなわち明度情報を表わしている。このため, 同出力画には, 道路等の明るい部分, 湖や, その周辺に広がる森林等の暗い部分が特徴的に抽出されている。

次に x_2 特徴について, いき値をヒストグラムの谷の $SH_1 = -4.37$ 及び $SH_2 = -2.07$ に選んで出力したものを出力画 3-2 及び 3-3 に示す。同様に (3, 1) 式から, この特徴は

$$x_{2i} \doteq -0.5R_i + 0.5B_i \quad (3, 2)$$

となっており, 赤成分のみが強く存在する領域については, その値は負に大きく, 又青成分の領域については正に大きく, 赤と青が同時に存在するマゼンダ領域については, 0 に近い値を取る。よって同出力画においては畑地等の青成分領域や, ごくわずかであるが, 赤色を呈し

出力画 3-1 x_1 出力、 $SH = 43.168$ 出力画 3-2 x_2 出力、 $SH = -4.37$

ている家屋の屋根等が抽出されている。

次に x_3 特徴について $SH = 1.16$ とした場合を出力画 3-4 に示している。この特徴は

$$\begin{aligned} x_{3i} &\doteq -0.25R_i + 0.5G_i - 0.25B_i \\ &= \frac{1}{4} (-R_i + 2G_i - B_i) \\ &= \frac{1}{4} \{ (G_i - R_i) + (G_i - B_i) \} \quad (3, 3) \end{aligned}$$

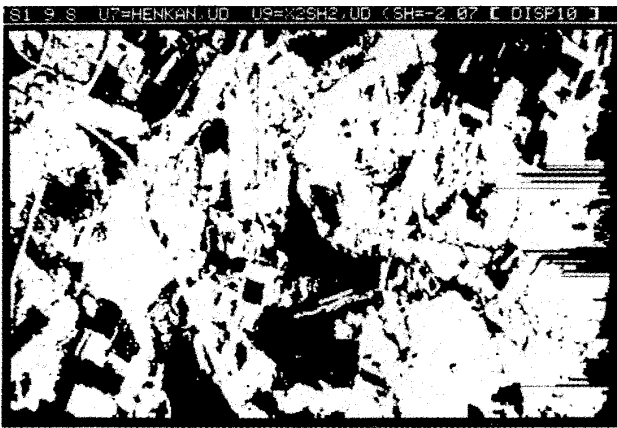
となる。よって緑色成分のみ存在する領域においては大きい値を取る。このため同出力画においては緑色を呈している湖面が特徴的に抽出されている。

本出力画については, 既報の手法を適用して, さらに処理を続けた。

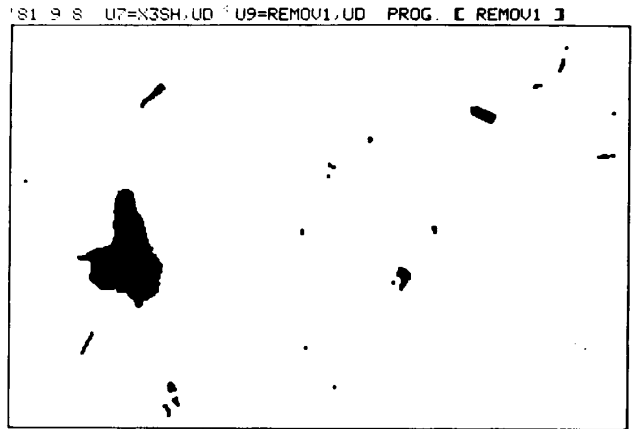
先ず, 雑音を除去したものを出力画 3-5 に示す。次に輪郭線を作図したものを, 出力画 3-6 に示す。さらに, 湖の部分に指定し, 湖面のみを抽出して, これの周辺長及び面積を求めた。結果を出力画 3-7 に示す。

この周辺長及び面積は共に既報の明度, 色度を基にした抽出結果より小さく計測されている。

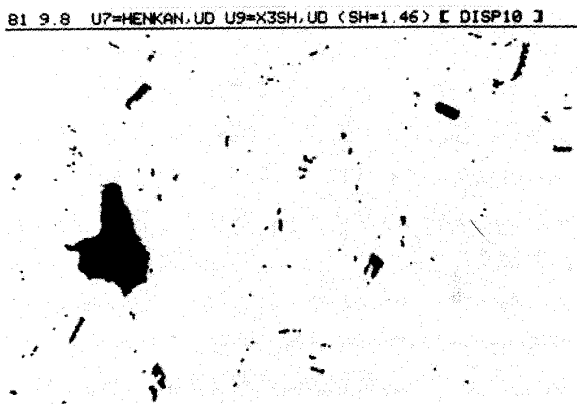
原写真中に含まれる異なる領域を抽出し, 細分化する



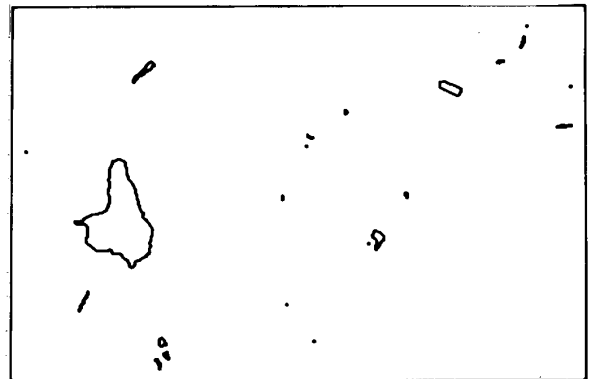
出力画 3-3 X₂出力、SH=-2.07



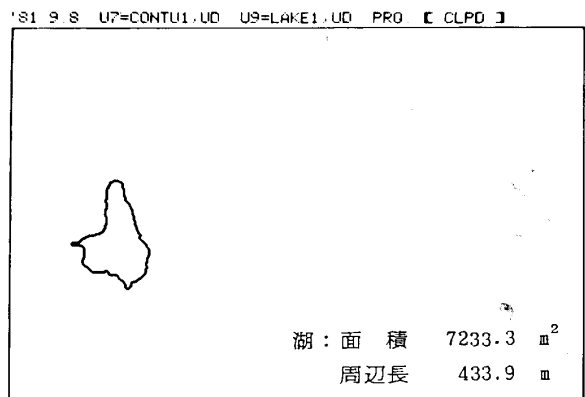
出力画 3-5 雑音除去



出力画 3-4 X₃出力、SH=1.46



出力画 3-6 輪郭線出力



出力画 3-7 湖の抽出及び計測

一つの試みとして、現段階で抽出されている部分を除去し、残存している部分について改めて共分散行列、相関係数、固有値及び固有ベクトルを求めて、再度 Karhunen-Loeve 変換式を求めた。原写真データから、出力画 3-4 を除去した後に得られた相関係数を表 3-4 に固有値及び固有ベクトルを表 3-5 に示す。

これにより、Karhunen-Loeve 変換式は次式を得た。

$$\begin{pmatrix} x_1 \\ x_2 \\ x_3 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 0.3302 & 0.3451 & 0.3247 \\ -0.4356 & -0.0589 & 0.5055 \\ -0.3059 & 0.4873 & -0.2068 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} R \\ G \\ B \end{pmatrix} \quad (3, 4)$$

本変換式で残存している全画素を変換し、ヒストグラムを描いた。比較のため x₃特徴を図 3-7 に原写真データの場合の分布と共に、示している。本分布には明確な谷が存在せず、いき値の決定が困難であるが、一例として、いき値 SH を 0.0 に設定した場合の出力画を出力画 3-7 に示している。この場合、前述の処理では抽出できなかったもう一つの湖の部分が抽出されている。

表 3-4 相関係数

	R	G	B
R	1.0	0.9532	0.7873
G	0.9532	1.0	0.9128
B	0.7873	0.9128	0.1

表 3-5 固有値及び固有ベクトル

j	1	2	3
λ_j	2.7706	0.2153	0.0141
$\phi_r(j)$	0.5717	-0.6503	-0.5004
$\phi_g(j)$	0.5976	-0.0879	0.7970
$\phi_b(j)$	0.5622	0.7546	-0.3383

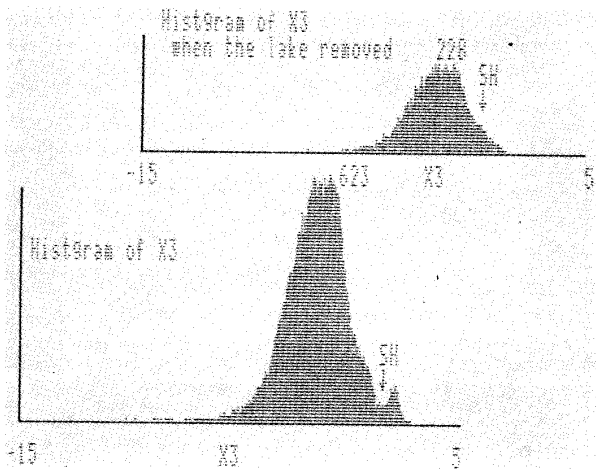
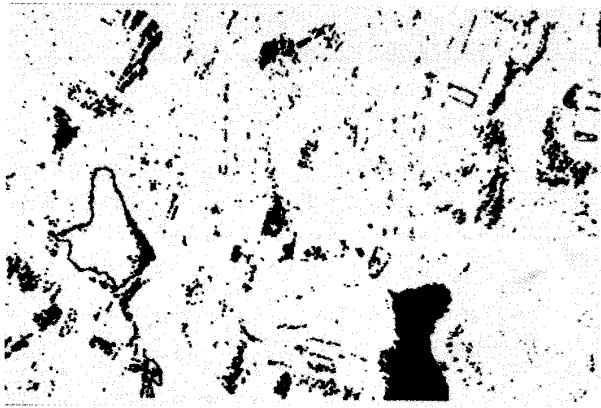


図 3-2 出力画 3-4 除去後、再変換



出力画 3-8 X3出力、SH=0.0 再処理

4. 議論及びむすび

以上 Karhunen-Loeve 変換によるカラー空中写真の領域分離抽出の結果について述べた。

既に報告している、対象領域の示す明度及び色度を基にする方法²⁾に対して、本法は特徴相互間が無相関であるので、各特徴を個別に処理することが出来る。したがっ

て各特徴について分離した結果を同時に呈示すれば写真をその構成要素に分解出来るので、明度及び色度を同時に処理する既報のものに比べて、処理が容易であると言える。

実際の問題として、本報に於いては x_3 特徴を利用した結果を中心に述べたが、このように単一の特徴、すなわち、元来三次元ベクトルであるカラー写真を、一次元のスカラー量で処理出来ることがわかる。

次に Karhunen-Loeve 変換式について論ずると、前章で述べたように、変換式 (3, 1) は近似的に

$$x_1 = \frac{1}{3} (R + G + B) \quad (4 \cdot 1)$$

$$x_2 = \frac{1}{2} (-R + B) \quad (4 \cdot 2)$$

$$x_3 = \frac{1}{4} \{ (G - R) + (G - B) \} \quad (4 \cdot 3)$$

となる。これらの係数は、OHTA³⁾ 他が種々のカラー写真について調査した結果と一致しているが、これはカラー空中写真を含む自然画像の場合、三原色信号間の相関が非常に強いためであり、三原色信号間の相関が全て 1 の場合完全に (4, 1) ~ (4, 3) 式が成立する。したがって、本報で取り扱っているカラー空中写真の場合も、変換式を (4, 1) ~ (4, 3) 式に固定して処理しても大略、同一の結果が得られることが想像され、非常に時間のかかる相関係数の導出を省くことも可能となる。しかし、このことは再処理の過程を困難なものとする。すなわち、変換後のヒストグラムの谷にいき値を求めて、特徴を 2 分する。その後、残存領域について再び Karhunen-Loeve 変換を実施するが、前述のように、相関係数はやはり 1 に近い値を取るため、(3, 4) 式のように (4, 1) ~ (4, 3) 式とほぼ同様な変換式となり、やはり同様なヒストグラムを描くことになる。このため再処理をするいき値が決定できなくなることが考えられる。よって、多重に分割するには、多大な時間を要するこれらの手続きより、最初に求めたヒストグラムから、異なる特徴を持つ複数の領域を同時に分離する方が望しいと思われる。

最後に本法を適用した結果は x_3 特徴の場合を除いて、我々が分離抽出を期待するところの、畑、道路、家屋等の具象的概念とは必ずしも一致していない。これは、これらのものが単純に色や明るさの違いのみでなく、その輪郭線の形状に関する知識等も考慮しなければならないからで、簡単に本法のような線型変換では不十分なことを示しているからである。

しかし、対象を変えて、例えば海洋の汚染調査等に適用すれば、より興味深い結果が期待できるものである。

これらの応用については現在実験を進めているので、近い機会に報告する。

参 考 文 献

- 1) 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年電気四学会中国支部連合大会講演論文集，P54 (1981)
- 2) 藤本・田中：U-PIPSによるカラー空中写真情報の処理～湖の写真測量への応用，宇部高専研究報告27号 P49(1981)，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年度電気四学会中国支部連合大会講演論文集 P153 (1980)
- 3) Y. OHTA et.al : Color Information for Region Segmentation, Computer Graphics and Image Processing 13, PP 222-241 (1980)
- 4) Keinosuke Fukunaga : Introduction to Statistical Pattern Recognition, Academic Press (1972)
- 5) 岡本定夫：色彩画像の最適特徴抽出に関する研究，宇部高専電気工学科卒研論文集，昭和55年度藤本研究室 (1981)

(昭和57年9月16日受理)