

## NOAA AVHRR 画像の3次元解析システム†

工 藤 純 一†† 野 口 正 一††

本論文は、米国気象衛星 NOAA により得られるマルチスペクトル画像の3次元解析システムの開発と、その応用について述べたものである。これは、波長帯域の異なる3枚の測定画像から3次元ヒストグラムを作成し、可視画像から得られる実際の現象とヒストグラムに表示されるクラスタの対応を地上の測定データと共に解析するものである。従来は、専門家が1枚ごとの画像判読を行っていたが、本システムは簡単なアドバースだけで、素人にも解析できることを可能にした。本論文では、NOAA 情報の可視化とヒストグラムを対応させるために2次元ヒストグラムと3次元ヒストグラムを作成する場合の処理方法について述べた。また、具体的な応用として、東北地方太平洋沿岸地域に発生する霧の認識とその範囲についての解析方法を述べた。本システムは、解析結果をマウス操作で指示するインタフェース機能により、実際の現象と3次元ヒストグラムのクラスタを対応させることができ、専門家とインタラクティブに検討することを可能にした。また、本システムで得られた解析結果の有用性を示す。

## 1. はじめに

米国の気象衛星 NOAA (National Oceanic and Atmospheric Administration)<sup>1)</sup> は、地球の気象と海洋観測を目的として現在 10 号と 11 号が、平均高度約 833 km、周期約 102 分で極軌道を回っている。東北大学理学部では、昭和 63 年度より NOAA データの常時受信、観測を開始し、この一部のデータは大型計算機センターにデータベース化されている<sup>2)</sup>。

NOAA AVHRR (Advanced Very High Resolution Radiometer)<sup>3)</sup> 画像は波長帯域の違いにより、CH1~CH4 あるいは CH5 までであるが、約 1.1 km 四方の実際の複雑な現象の情報を1画素に濃縮して表現している。これは、可視画像と赤外画像の2種類に分類でき、可視画像からは雲や雪などの特徴を判断した観測、赤外画像からは温度分布の観測を行うことができる。

従来、気象および海洋の専門家は、1枚ごとに衛星画像を判読したり、天気図と比較することにより雲の様子や気候を解析<sup>4)</sup> していた。特に極地での観測には大型計算機を駆使した解析の研究もある<sup>5)</sup>。

しかし、計測本来の意味からは、CH1~CH4 あるいは CH5 は同一対象物について同時に測定された情報なので、4次元あるいは5次元空間で判断する必要がある。実際は、計算機的能力、その解析手法などの問題により、多次元空間での画像処理の成果報告は少ない。

下山ら<sup>6)</sup> はボトムアップ手法により、LANDSAT-TM データの複数のバンドから画像を構成している主成分に着目して、任意の2つの成分を縦軸、横軸にとった2次元ヒストグラムを作成し、これに表示されるクラスタの分類を行っている。

3次元解析については、C. E. Livingstone<sup>7)</sup> らが雪の分類について3次元空間に出現するクラスタを楕円体と仮定して行ったが、実際にはこのとおりにならない。著者らは前報<sup>8)</sup> で、クラスタに関する処理を3次元ヒストグラムの情報を用いて行う方法を提案した。すなわち、3次元空間に出現するクラスタの頻度数の標準偏差を境界値とし、この結果をコンピュータ・ディスプレイに表示する方法の開発である。この方法によると、NOAA AVHRR 画像の場合クラスタの形状は、必ずしも楕円体にならないことが示される。

本研究ではさらにこの表示方法を発展させ、画像処理の観点から3次元空間内に表示されるクラスタを分類、分析するために、画像構成要素をトップダウン方式で解析する方法を新たに開発し、NOAA AVHRR 画像に関して次の点を考慮した実用的な3次元解析システムを提案する。

- (1) NOAA AVHRR 情報の任意の3つのチャンネルデータを直接 X, Y, Z 軸に対応させた3次元空間内でのヒストグラムの作成とその可視化。
- (2) NOAA 画像の3次元解析手法の提案。
- (3) 解析結果を専門家とインタラクティブに検討するためのインタフェース。

本手法の特徴は、3次元空間に画像構成要素がいくつかのクラスタとして集団を形成している状態を目で見ることができ、衛星情報以外のデータと対応させ

† Three Dimensional Analysis System of NOAA AVHRR Images by JUN-ICHI KUDOH and SHOICHI NOGUCHI (Research Center for Applied Information Science, Tohoku University).

†† 東北大学応用情報学研究センター

て、そのクラスタを分析できることである。また、ディスプレイに表示された解析結果を専門家と討論するための独自のインタフェースを作成した。

ここで、例題とした観測対象物は、毎年6月から9月にかけて東北地方太平洋沿岸に発生する霧の認識とその範囲にした。これには霧のために多発する海難事故を防止するための1つの対策方法の検討として、第二管区海上保安本部管轄の灯台からの観測データを使用した。

## 2. システム構築の基本方針

本システムを構築するための基本方針は、次の点に重点を置いた。

(1) EWS の活用とインタラクティブな検討を実現するユーザフレンドリなインタフェースの提案

このためのインタフェースの構成には、次の機能をもつソフトウェアシステムを新たに作成しなければならない。①データ入力機能、②画像解析機能、③表示機能、④結果のインタラクティブな検討用インタフェース機能、⑤ウインドウシステム、⑥マウス機能の各モジュールである。この中で⑤と⑥の機能は既存のものを活用した。図1にシステム構成の概略図を示す。

従来のグラフィックス表示は主にグラフィックス端末を使用しており、このため、表示画面の指示機能や表示結果の解析へのフィードバック機能などの作成、さらにソフトウェアの移植性については機種に依存するところが多く、困難な点があった。本システムでは

最近普及している汎用のエンジニアリング・ワークステーション（以下 EWS）を使用することにより、このような問題点の解決をはかった。すなわち、EWS で提供しているウインドウシステム、マウス機能を利用して、本システムでは、①～⑥の機能を実現するために、C言語で約 1,500 行のプログラムを作成した。

特に、解析結果の妥当性を専門家とインタラクティブに討論するための独自のインタフェースの提案として、本システムでは以下の機能を有する。①ディスプレイに表示された結果について、マウス操作の矢印表示により専門家が利用者の対象部分を特定できる機能。②その位置における画像情報はマウスをクリックすることにより数値として表示され、さらに3次元ヒストグラムにはその位置に相当する輝度空間をマークにより特定できる機能。③これを専門的な観点から検討するために、解析結果に衛星情報以外のデータ、例えば、地理情報を重ね合わせてマウスを用いて対象地点を指定したり、3次元ヒストグラムに対応させることが簡単にできる機能である。これらの機能により、専門家のアドバイスを解析に迅速にフィードバックできる。

## (2) 3次元解析手法

本システムで提案する3次元解析手法は、利用者が3次元ヒストグラムに表示されるクラスタの分類を容易に行えること、表示されたクラスタと衛星情報以外のデータの対応付けが正確にできることに重点を置いて、2次元解析を異なる組合せで2回行うことで実現した。これは、後述するように、3次元解析では  $256^3$  の情報量が本来必要となるが、本提案方式では  $2 \times 256^2$  の情報量を用いて等価な処理を可能としているので、解析→結果表示→解析へのフィードバックというターンアラウンド時間の大幅な短縮を実現した。

## 3. NOAA AVHRR 画像

NOAA AVHRR 画像は、CH1 ( $\lambda=0.58\sim0.68\ \mu\text{m}$ : 可視), CH2 ( $\lambda=0.73\sim1.10\ \mu\text{m}$ : 可視), CH3 ( $\lambda=3.55\sim3.93\ \mu\text{m}$ : 近赤外), CH4 ( $\lambda=10.5\sim11.5\ \mu\text{m}$ : 遠赤外), CH5 ( $\lambda=11.5\sim12.5\ \mu\text{m}$ : 遠赤外) のマルチスペクトル画像<sup>3)</sup>である。可視チャンネルで観測されるのは主に太陽光の反射光なので、夜間は観測できない。赤外チャンネルは主に地表面あるいは海表面からの赤外熱放射

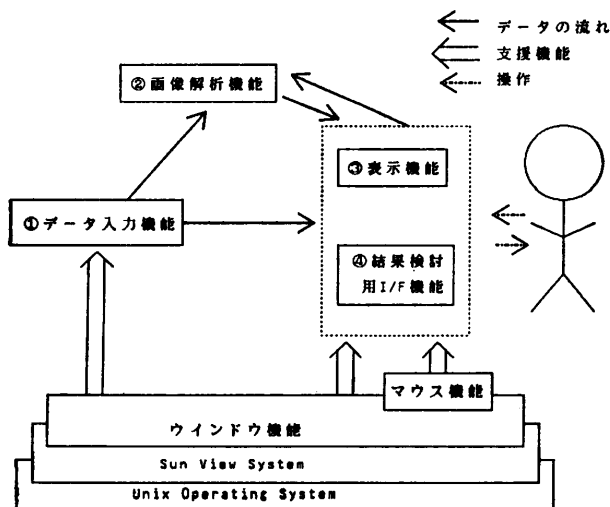


図1 システム構成の概略図

Fig. 1 The overview of our system.

量なので、表面温度分布の観測に利用できる。CH5は奇数号衛星に搭載されており、偶数号衛星のCH5の波長帯域はCH4の波長帯域と同様である。

本研究の対象地域は、東北地方を中心に $1024 \times 1024$ 画素（1画素は約1.1 km）の範囲である。今回は衛星画像から霧を抽出することが第一目的なので、霧が比較的多く発生しやすい朝に日本付近を通過する衛星を対象にすると、NOAA-10号になる。したがって、CH1からCH4までを対象チャンネルとした。これらの画像はいずれも幾何補正がされており、特にCH4は輝度温度補正もされている。

原データは1画素最大10ビットであるが、各チャンネルともに情報は10ビットのうちの一部に集中しており、他は0の値が入っている。このまま利用すると計算機のメモリ容量を大量に費やし、また、後述する3次元ヒストグラムの作成に必要なプログラム上の配列はこの値の3乗に相当する。本システムでの目的は画像構成要素の分類なので、各データの絶対値よりも相対的な関係が重要であると考え、計算機の処理効率を考慮して各チャンネルともに相対的なデータの位置を保ちながら10ビットを8ビットに正規化した。

また、原画像の縦横はそれぞれ1024画素に分割されているが、 $1152 \times 900$ ドットのディスプレイに解析結果と解析に用いるヒストグラムを同時に表示するために対象画像をすべて $512 \times 512$ 画素に間引いて使用した。

本研究で利用したデータは日本時間で、1989年8月4日午前7時6分の測定である。

### 3.1 1次元ヒストグラム

図2と図3に対象地域における各チャンネルのデータを256段階のグレーレベルで表示した画像とそのヒストグラムを示す。図2(a)はCH1、(b)はCH2、図3(a)はCH3、(b)はCH4である。CH1とCH2のヒストグラム分布は低レベルの輝度値に片寄っているので、このまま表示すると何も見えないので、ここでは、表示の際に例題で対象にしている霧あるいは雲が見えるように階調変換した。CH1~CH4の画像ノイズはほとんど認められなかった。

図2のCH1とCH2を比較すると、CH2では陸域が認められる。これはCH2の波長帯域の特性によるものであるが、例題では、海上に存在する霧の判断が主目的なので、陸域の情報は解析を複雑にすると考えて、CH1を主に使用した。CH1において、陸域は日本の海岸線および県境線のデータを重ね合わせる

ことによって判断できる。CH1のヒストグラムにはいくつかのピーク部分が認められるが、霧および雲は白く見えるので輝度値の大きなものが対象と考えられる。

図3のCH3、CH4は赤外画像なので素人には対象物の判別が難しい。CH3のヒストグラムの形状は、CH1やCH2に比べると複雑であり、いくつかの情報が重合していると考えられる。CH4は輝度温度に変換されているので、輝度値の大きなものは温度が高く、これは白く見える。

### 3.2 2次元ヒストグラム

2つの画像の相関をとった2次元ヒストグラムは、リモートセンシングを始め多くの分野で用いられている<sup>6),7),9)-11)</sup>。この方法は、1次元ヒストグラムで異なる情報が重合している部分を分離できるので大変有効な手段である。2次元ヒストグラムは縦軸と横軸にそれぞれの画像データの輝度値をとり、各々の輝度値における頻度数を3次元的グラフに表すが、本研究では、この頻度数を256段階のグレーレベルで表示した。

このようなグラフを作成する場合の最も重要な問題は、頻度数の取扱いである。256段階の変化は人間の目で区別することはできず、また、最大頻度数が256以上の場合はある基準を設定して正規化する必要がある。さらに、頻度数の小さい値の部分に存在する情報の抽出など、考慮しなければならない要因が多数あり、それによって表示される領域の形状や大きさも変化する。従来このような2次元ヒストグラムの取扱いは簡単な場合を除いて、専門家の経験や判断に頼るところが多かった。本研究においても霧を含むクラスタの判断は、専門家のアドバイスを受けた。

### 3.3 3次元ヒストグラム

本システムでは、3枚の画像の輝度値をそれぞれX、Y、Z軸に対応させ、3枚の画像情報のAND演算を行うことにより、3次元輝度空間に出現する頻度数の集まりをクラスタとし、これを表示するグラフを3次元ヒストグラムとする。

3枚の画像をそれぞれ画像1、画像2、画像3とする。画像の縦横に対応する画素番号を $x$ 、 $y$ で表し、その画素に対応する画像輝度値を $I_1$ 、 $I_2$ 、 $I_3$ とし、 $I_1$ 、 $I_2$ 、 $I_3$ によって得られる空間を3次元輝度空間とする。本システムで扱うNOAA AVHRR画像は $512 \times 512$ の画素数に分割しており、1画素当たりの輝度は256段階なので、 $(x, y)$ 、 $[I_1, I_2, I_3]$ の変域は(1)。

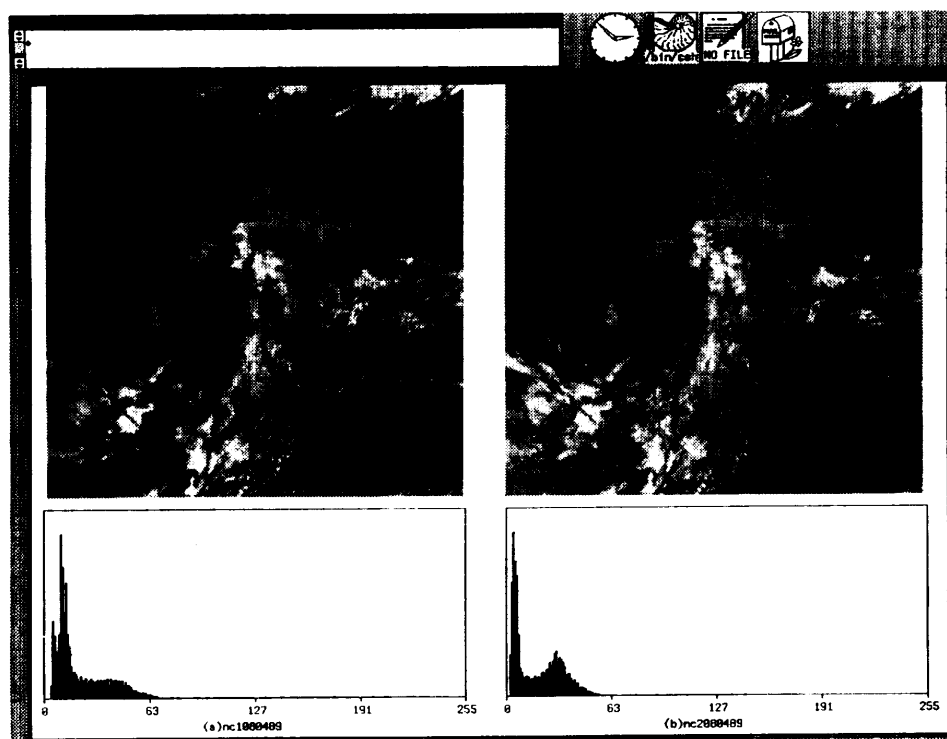


図 2 NOAA AVHRR 画像; (a)CH1, (b)CH2.  
Fig. 2 NOAA AVHRR images; (a)CH1, (b)CH2.

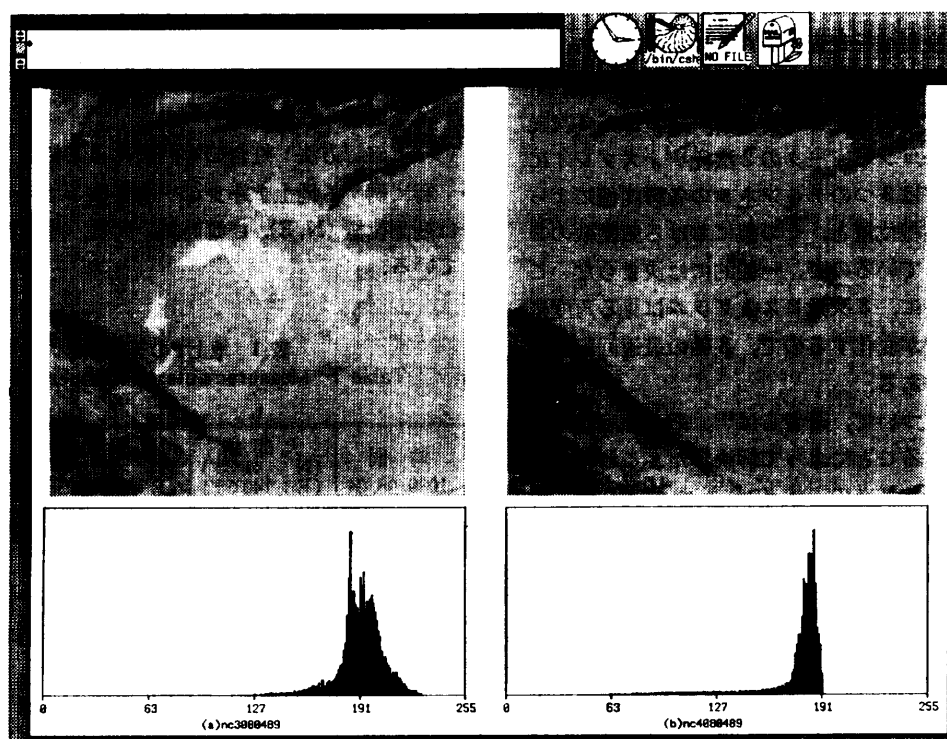


図 3 NOAA AVHRR 画像; (a)CH3, (b)CH4.  
Fig. 3 NOAA AVHRR images; (a)CH3, (b)CH4.

(2)式のようになる。

ここで、( ) は画像の縦横に対応する座標、[ ] は画像1, 画像2, 画像3に対応する輝度値を表とする。

$$(0, 0) \leq (x, y) \leq (511, 511) \quad (1)$$

$$[0, 0, 0] \leq [I_1, I_2, I_3] \leq [255, 255, 255] \quad (2)$$

3枚の画像において、輝度値がそれぞれ  $\alpha_1, \alpha_2, \alpha_3$  となる画素の数  $P$  は  $(x, y)$  と  $[I_1, I_2, I_3]$  の対応関係を利用して(3)式で表され、これは画像平面を走査することによって得られる。

$$P[\alpha_1, \alpha_2, \alpha_3] = \sum_{x=0}^{511} \sum_{y=0}^{511} \delta\{\alpha_1, I_1(x, y)\} \cdot \delta\{\alpha_2, I_2(x, y)\} \cdot \delta\{\alpha_3, I_3(x, y)\} \quad (3)$$

ただし、

$$[0, 0, 0] \leq [\alpha_1, \alpha_2, \alpha_3] \leq [255, 255, 255] \quad (4)$$

画素数が  $512 \times 512$  であることより、 $P$  の変域は(5)式となる。

$$0 \leq P \leq 512 \times 512 \quad (5)$$

ここで、 $\delta[i, j] \equiv \delta_{ij}$  は Kronecker's Delta である。

$P$  の分布は画像構成要素に対応しており、これは3つのチャンネルの物理的な特性に依存している。したがって、3次元輝度空間内における  $P$  の分布は(4)式の  $\alpha_1 \sim \alpha_3$  の全変域を走査することにより得られ、この分布が解析に重要である。

この場合の主な問題点は2つある。第1は、3次元ヒストグラムをコンピュータの2次元ディスプレイに描くために、 $P$  は3つのチャンネルの各輝度値によって与えられる座標位置と、その値における頻度数の2つの情報を表しているの、一義的には決まらないことである。第2に、3次元ヒストグラムは見る角度により、その形状が変化するので、3軸の最適回転角度を求める必要がある。

第1の問題について、著者らは<sup>11)</sup>、 $P$  の頻度数にしい値を適用することによって解決した。これは、 $P$  の値によってクラスタの形状や大きさが変化するので、クラスタ分類点の最適値を決めるために、 $P$  の値とそれによって実際の3次元輝度空間に分布する点の関係を12シーンの NOAA AVHRR 画像について、CH1~CH4の中から任意の3つのチャンネルを選び、24種類のケースについて統計処理から求めた結果、標準偏差が1つの基準に成り得ることが分かったので、本システムでもこれを適用した。詳しくは、文献11)を参照されたい。

後述する例題では(3)式の  $P$  の値が2以上のものについてヒストグラムを作成することになる。この条件を適用しない場合は、3次元ヒストグラムを表示するためのプログラムルーチンは(4)式より  $\alpha_1 \sim \alpha_3$  の変域に相当する256の3乗回の計算が必要であるが、例題では8151回で済んだ。これは3次元空間に表示される点の数を意味している。後述する3次元解析では、3次元空間に存在する点の絶対座標値が必要なので、 $256^3$  の情報量を必要とするが、本研究では  $2 \times 256^3$  の情報量で等価な解析を行う方法を開発した。

第2の問題については、例えば、3軸を分解能1度で自由回転させた場合の表示パターンは360の3乗通り存在するので、最適回転角度については今後の課題とし、今回は表示されるクラスタがよく分離されている状態を目安とすると、例題では、X, Y, Zの3軸を原点に対してそれぞれ  $-10^\circ, 145^\circ, -10^\circ$  回転させた。

#### 4. NOAA AVHRR 情報の可視化とヒストグラムの対応

##### 4.1 霧の認識

気象学的には、視界 1,000 m 以下の雲を霧と区別しているが<sup>12)</sup>、本研究で対象としている霧は、次のような条件である。

- (1) 時期：6月から9月
- (2) 地域：三陸沿岸
- (3) 確認方法：灯台の専門官による観測。

霧に関する地上データの一部を表1に示す。表1では観測位置(N, E), 観測時刻, 天候, 視界(m)を示している。

表1 地上での天候観測  
Table 1 Measurements of weather on land.  
(視界 m)

| 時 間          | 大 間 崎<br>(N: 41°33')<br>(E: 140°55') | 尻 屋 崎<br>(N: 41°26')<br>(E: 141°28') | 金 華 山<br>(N: 38°17')<br>(E: 141°34') |
|--------------|--------------------------------------|--------------------------------------|--------------------------------------|
| 1989. 08. 04 |                                      |                                      |                                      |
| 6:15         |                                      |                                      | 霧 (500m)                             |
| 6:22         | 霧 (200m)                             |                                      |                                      |
| 6:25         |                                      | 霧 (200m)                             |                                      |
| 7:06         | NOAA-10 通過                           |                                      |                                      |
| 7:15         |                                      |                                      | 曇 (1,000m)                           |
| 7:22         | 霧 (200m)                             |                                      |                                      |
| 7:25         |                                      | 霧 (300m)                             |                                      |

## 4.2 画像観察

図2(a)はCH1で白く見えるものが霧や雲であると推定できる。これは、輝度値30以上に対応している。図3(a)のCH3の波長帯域は中間赤外で窓と呼ばれており、反射赤外と熱赤外の両方を兼ね備えている。後述する理由より、画像の白い方が温度の高い傾向を示す。図3(b)のCH4は遠赤外で輝度温度に補正されている。画像の白い方は温度が高い。

## 4.3 2次元解析による対応

2次元解析において、CH1と熱赤外の値が温度に比例したCH4の組合せでも解析は可能であるが、NOAA衛星CH3の昼間使用は従来から困難<sup>13),14)</sup>とされていたので、本システムでは以下に述べる方法でCH3と他のチャンネルを組み合わせた解析方法により、CH3の昼間使用の可能性を見出した。

図4はCH1とCH3の2次元解析の結果である。左側の画像はCH1に日本の海岸線県境線および緯度経度のデータを重ねたものである。表1より、大間崎(N: 41°33', E: 140°55')では、時刻6:22と7:22は霧と観測されたので、NOAA-10が飛来した7:06は霧であると推定できる。図4で十字カーソルは大間崎の位置にある。この位置は下段の数値で確認できる。また、この位置におけるCH1とCH3はそれぞれnc1080498, nc3080498であり、その輝度値はそれぞれ54, 208であった。

右のグラフは、X軸にCH1、Y軸にCH3をとった2次元ヒストグラムであり、その頻度数は黒から白へのグレーレベルで表示している。ただし、表示を見やすくするために最小頻度は白にしてある。左の画像において十字カーソルで指定した大間崎、および霧が観測された尻屋崎の位置における輝度情報が2次元ヒストグラムにおいて円でマークされており、このマークが属するクラスタは霧に対応すると考えられる。この場合の頻度数の取扱いは、マークが属するクラスタが明確になるように2次元ヒストグラムの最大頻度数の1/10までを0~255段階にし、それ以上の頻度数を255に固定した。その結果、この2次元ヒストグラムは、いくつかのクラスタに分類できることが分かった。

図4において霧が属するクラスタは後述する理由により、CH3では輝度値の高い部分に現れる。このクラスタの最適領域決定については、2次元ヒストグラムの頻度数の取扱いにより、その形状や大きさが変化するるので、本来ならば気象の専門家の知識が必要とな

り、そのクラスタの複雑な形状を認識する方法が必要となるが、ここでは、マークされたポイントをすべて含むクラスタが霧に対応するクラスタであると考えた。

本システムでは霧の定性的な認識を目的としており、その画像領域に占める割合というような定量的な分析は対象としていないので、対象クラスタの領域は、第一近似として、2次元ヒストグラムに表示される対象クラスタの各チャンネルの範囲をカーソルで指定することにより得られる1つの四角形領域として決定した。

## 4.4 霧認識の定性的理論

図4はCH3の効果を利用して霧を画像情報と対応させた結果である。図4でマークされた位置の輝度値はCH3で208であるが、図4の左側の画像で北緯38°東経135°を中心とする白い部分の輝度値は、CH3で127以下の値であった。厳密に霧と雲の違いをCH3で証明するのは困難であるが、いま、本研究で対象としている霧に関する主な条件を雲と比較して整理すると表2になる。表2の条件でCH3において、霧の輝度値が雲より大きい理由を以下に考察する。

一般に、大体波長4 $\mu\text{m}$ を境にして、これより短い「反射赤外」とそれより長い「熱赤外」では全く特性が異なるので、この両方の性質を持っているCH3の特性は複雑<sup>15)</sup>である。昼間は太陽高度が高いので、太陽からの反射が支配的になり、CH3を用いて対象物を識別することは困難になる。

このケースは朝7時6分の測定なので、太陽の高度がまだ低く、太陽からの反射も小さいと考えられるので、対象物自体からの熱放射による表面温度がCH3の強度(輝度値)に比例すると考えられる。

一方、表2よりこのケースの霧は数十 $\mu\text{m}$ ~100 $\mu\text{m}$ 以上の直径の水滴から構成されているのに対し、雲はこれより直径の小さい氷の粒子から構成<sup>16)</sup>されているので、霧の温度は雲の温度よりも高い。したがって、CH3では霧の輝度値は雲よりも大きくなると考えら

表2 本研究における霧と雲の比較

Table 2 Comparison between fog in this case and cloud.

| 特 性 | 霧                       | 雲                   |
|-----|-------------------------|---------------------|
| 構 造 | 水 滴                     | 氷 粒                 |
| 温 度 | 高 い                     | 低 い                 |
| 粒 径 | 数十~100 $\mu\text{m}$ 以上 | 10 $\mu\text{m}$ 以下 |

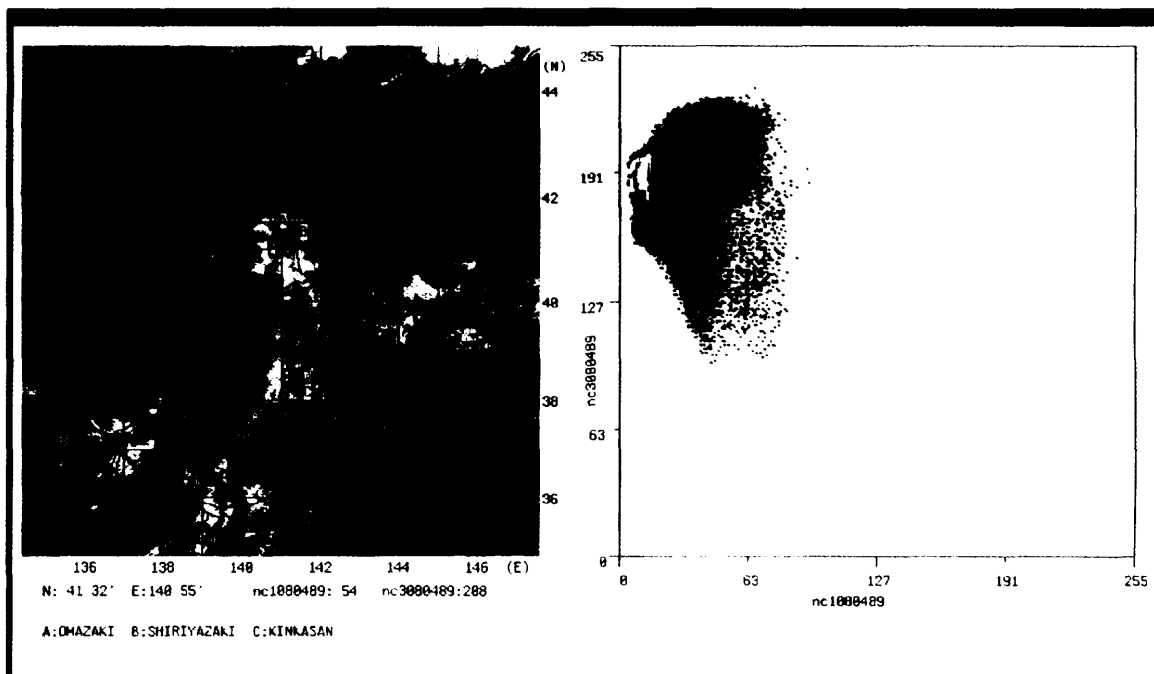


図 4 CH1 と CH3 による 2 次元解析結果  
Fig. 4 Results of two dimensional analysis of CH1 and CH3.

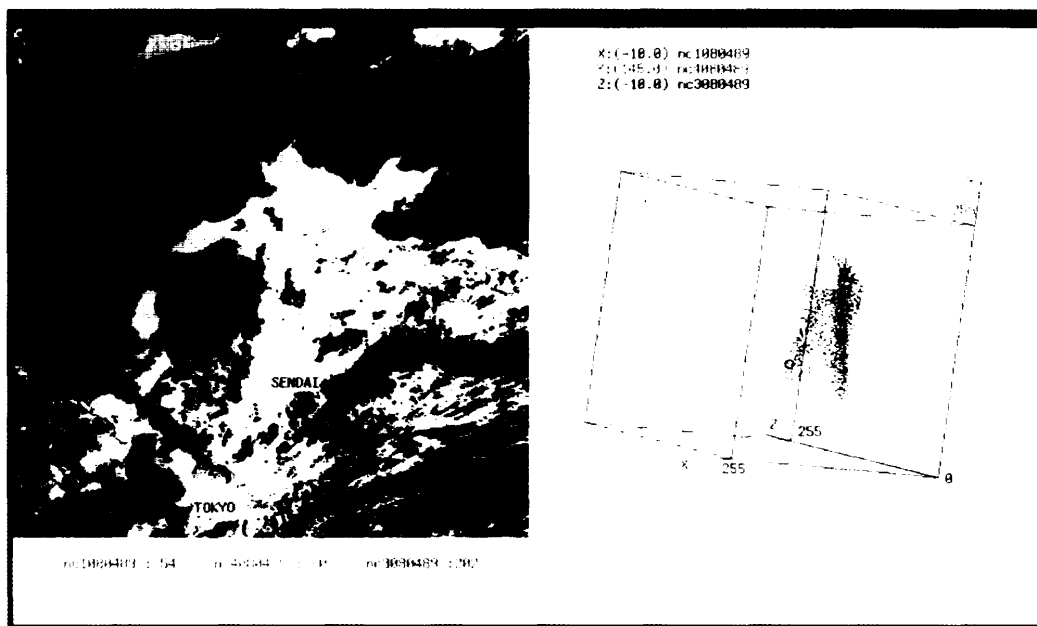


図 5 CH1, CH3, CH4 による 3 次元解析結果と結果検討用マウス・インタフェース  
Fig. 5 Results of three dimensional analysis of CH1, CH3 and CH4, with mouse interface to discuss.

れる。

#### 4.5 3次元解析

3.3 節で述べたように、本システムの特徴の1つは3次元ヒストグラムの表示に関して、その処理効率を向上させたことである。利用者の主な目的が3次元ヒストグラムに表示されるクラスタから対象クラスタを抽出することであるならば、3次元解析の目的は対象クラスタにおけるX、Y、Z各軸の範囲を決定することであると考えることができる。この方法には3次元ヒストグラムから直接その範囲を指定する方法が考えられる。この方法の欠点は、利用者が操作している過程を、3軸が自由に回転できる状態で、リアルタイムで表示しなければならないことである。したがって、この機能をディスプレイで見ながら実行するために、単純に考えると、 $360^{\circ}$ のパターンと $256^3$ の情報量が必要であると考えられる。

これに対して本システムでは、まず、表示パターンについては3.3 節で述べた3軸の最適回転角度に関連するので、ここでは3次元ヒストグラムの作成方法に従った。次に、3次元解析に必要な情報量は、各座標軸の範囲が(2)式より0~255なので $256^3$ となる。ここで、3次元ヒストグラムでの対象クラスタが他のクラスタと区別されて表示されることに着目すると、そのクラスタが(X-Y)軸、(Y-Z)軸、(Z-X)軸の各2次元輝度平面に投影された状態では、出現する頻度数をグレーレベルで表示することにより、これらの集団がいくつかのクラスタとして表示され、この場合各平面で扱う情報量は $256^2$ となる。この例題では霧を観測した位置が分かっているので、その位置における各チャンネルの輝度値を用いて、霧情報が各2次元輝度平面でポイントとして特定できる。このポイントが属するクラスタの輝度値の範囲を各座標について求める。これは2次元解析を意味しており、これを異なる組合せで2回行うことにより、すなわち、 $2 \times 256^2$ の情報量で対象クラスタの3軸の範囲が特定できるので、 $256^3$ の情報量を扱った場合とはほぼ等価な結果が得られる。また、結果として表示される3次元ヒストグラムでは、クラスタ間の相対的な位置関係が直観的に理解できるので、単独で2次元解析を行った場合に比べるとはるかに優れている。

本研究では、このようにして得られた3軸の輝度情報を3次元ヒストグラムに入力して、その部分を色違いで表示させ対象クラスタを特定する方法を開発した。

例題では、霧と雲の温度差はCH4に明確に表れなければならない。図4ではCH3の効果により霧と雲を区別したが、CH4の温度の効果を追加し、それらの共通部分から霧を抽出したのが図5である。

図5の3次元ヒストグラムはいくつかのクラスタに分類できることが分かる。霧に関する各チャンネルからの輝度情報は共通部分集合として、3次元ヒストグラムでは黄色の部分で表示され、他のグレーの部分と区別できる。この結果は、左側のCH1の可視画像に黄色で塗りつぶしてある。この結果は、表1で霧を観測した大間崎、尻屋崎を含んでいたの、画像処理の観点からは、同一情報と考えられ、これが、霧の範囲に相当すると考えられる。また、後述するように専門家とインタラクティブに検討した。

この図からCH1の画像構成要素には霧のほかに雲の存在することが分かった。なお、この図では、日本の海岸線と県境線を赤色でCH1に重ねて表示した。

### 5. 解析結果を専門家とインタラクティブに検討するためのインタフェース

#### 5.1 インタフェースの基本的な考え方

利用者が計算機に不慣れでも、操作が簡単で、自分が現在行っている操作過程およびその結果が常に可視化できる状態ならば解析作業に集中できると考え、EWSのウィンドウ機能とマウス機能を利用したインタフェースを提案している。

本システムは、主に前述の画像データベース<sup>2)</sup>の利用者を対象としているので、NOAA画像解析システム開発の第一段階として、解析結果が妥当かどうかを専門家とディスプレイを見ながら討論できる機能の作成に重点を置いた。

画面構成が複雑になると、それに伴って操作も複雑になるので、ウィンドウ構成は必要最小限を考え2つにした。1つはコンピュータからのメッセージおよび衛星情報以外のデータ入力を行うためのコンソール用ウィンドウをディスプレイの左上隅に最小限の大きさに配置した。もう1つは、解析結果を表示するためにディスプレイの中央に大きなウィンドウを設定し、この中に解析結果と3次元ヒストグラムを配置した。このウィンドウの操作はマウスだけを用いて行い、後述するように解析結果を専門家とディスプレイを見ながら討論して、解析にフィードバックする情報を得るものである。

## 5.2 専門家との討論

図5の3次元解析結果をディスプレイ上で専門家と討論するために、マウスで左側の画像上に矢印を動かし、マウスボタンを押すことにより、その位置における3次元ヒストグラムの対応位置を円でマークする機能を作成した。その結果、図5の左下側の白い部分(矢印)は3次元ヒストグラムでは霧と判断したクラスタとは別のクラスタに含まれることが明確に分かった。また、このクラスタは霧が属するクラスタよりもY軸(CH4: 温度情報)の値の小さい方に位置するので、温度が低いことも分かった。

さらに、矢印が示す白い部分とその周囲の黄色い部分を比べると、まず、NOAAは地球の上から物体に対する太陽光の反射や放射量を観測しているので、陸と雲のように物体がオーバーラップしている場合は、常に高度の高いものが結果として表示される。次に、一般に高度が高いところに存在する雲は温度が低い<sup>16)</sup>ことを考慮すると、矢印が示す白い部分は、その周囲の霧と判断した黄色い部分よりも高度の高いところに位置する雲だということが分かった。この矢印の位置における各画像の輝度値は下段の数値で確認でき、これは3次元ヒストグラムの3軸の色と対応している。

このように、専門家とインタラクティブに討論することにより、図5の矢印の部分は、例題で対象としている霧と異なることが明確に分かった。本システムを用いた解析結果は、専門家の判断とも一致した。

## 6. おわりに

高性能エンジニアリング・ワーク・ステーションとC言語を用いて、NOAA AVHRR画像の3次元解析システムを開発し、霧の認識を行った。その結果、霧の判断とその範囲は専門家の判断と一致した。

1回の解析時間は、2次元解析、3次元解析ともに2分以内であった。今後は、霧に関する知識を整理して自動化を試みる予定である。

**謝辞** 本研究を行うにあたり、貴重な灯台観測データを提供してくださった第二管区海上保安本部の背戸義郎部長、坂東保課長に感謝いたします。また、NOAA AVHRR画像の提供と解析結果の討論をしてくださった東北大学理学部川村宏助教授、ならびに東北大学選鉱製錬研究所小川浩助手に感謝いたします。

## 参考文献

- 1) Barnes, J. C. and Smallwood, M. D.: TIROS-N/NOAA Series Direct Readout Services Users Guide, U. S. Department of Commerce of NOAA (1982).
- 2) 松沢 茂, 神長裕明, 川村 宏, 小畑征二郎: NOAA 画像データベースの自動登録方式, 第40回情報処理学会全国大会論文集, pp. 837-838 (1990).
- 3) Lauritsen, L., Nelson, G. J. and Porto, F. W.: Data Extraction and Calibration of TIROS-N/NOAA Radiometers, NOAA Technical Memorandum NESS 107 (1979).
- 4) 浅井富雄: 中小規模擾乱に関する研究—その一断面—, 天気, Vol. 29, No. 7, pp. 677-700 (1982. 7).
- 5) 山内 恭, 田中信也, 川口貞夫, 芳野赴夫: NOAA-6による温度分布及びオゾン全量の観測, 第2回 MAP シンポジウムプロシーディングス, pp. 184-191 (1981).
- 6) 下山泰志, 秋山 實, 水野時夫: 領域分割による土地利用データ更新手法の開発, 日本写測学会平成2年度年次講演会, pp. 81-84 (1990. 5).
- 7) Livingstone, C. E., Singh, K. P. and Gray, A. L.: Seasonal and Regional Variations of Active/Passive Microwave Signatures of Sea Ice, *IEEE Trans. Geosci. Remote Sensing*, Vol. GE-25, No. 2, pp. 159-173 (Mar. 1987).
- 8) 工藤純一, 野口正一: NOAA AVHRR 画像の3次元ヒストグラムに関する研究, 画像電子学会誌, Vol. 20, No. 1, pp. 2-9 (1991).
- 9) Bright, D. S., Newbury, D. E. and Marinenko, R. B.: Concentration-Concentration Histograms: Scatter Diagrams Applied to Quantitative Compositional Maps, Newbury, D. E. ed., *Microbeam Analysis-1988*, NBS, pp. 18-24 (1988).
- 10) Kennett, R. G. and Li, F. K.: Seasat Over-Land Scatterometer Data, Part II: Selection of Extended Area Land-Target Sites for the Calibration of Spaceborne Scatterometers, *IEEE Trans. Geosci. Remote Sensing*, Vol. GE-27, No. 6, pp. 779-788 (1989).
- 11) 工藤純一, 佐々木義治, 吉野健二: X線マイクロアナライザーのイメージシステム, 画像電子学会誌, Vol. 18, No. 5, pp. 313-318 (1989).
- 12) 井上 敏, 小谷正雄, 玉虫文一, 富山小太郎: 岩波理科学辞典 (1965).
- 13) 高木幹雄: 気象衛星 (NOAA) 受信システム, 航水研ノート, 空と海, No. 6, pp. 51-63 (1983).
- 14) 赤枝健治, 武田喬男: NOAA 7号の AVHRR チャンネル3のデータの雲解析への利用について—機械的原因によるデータ変動の実態とその除

去一, 天気, Vol. 30, No. 1, pp. 53-58 (1984).

15) 堤 捨男: リモートセンシングに関連した赤外線応用技術, FOP, No. 58-2, pp. 3-11 (1983).

16) Hackforth, H. L.: *Infrared Radiation*, McGraw-Hill Book Company, Inc. (1960).

(平成2年8月20日受付)

(平成3年2月12日採録)



工藤 純一 (正会員)

昭和55年秋田大学鉱山学部卒業.

昭和62年東北大学大学院工学研究科博士課程修了. 工学博士. 東北大学選鉱製錬研究所助手, (株)マックスブレイン等を経て, 平成3年4月

東北大学大型計算機センター助手. 主として画像処理の研究に従事. 画像電子学会会員.



野口 正一 (正会員)

昭和5年生. 昭和29年東北大学

工学部電気工学科卒業. 昭和35年

同大学大学院博士課程修了. 工学博

士. 昭和46年東北大学電気通信研

究所教授. 昭和59年東北大学大型

計算機センター長. 平成2年東北大学応用情報学研究

センター長. 主として情報システム構成論, 知識処理

に関する研究に従事. 著書「情報ネットワーク理論」

(岩波), 「知識工学基礎論」(オーム社) など.