

気象衛星センター技術報告（特別号Ⅱ-2）

# GMS システム総合報告

## Ⅱ データ処理解説編

その2



---

気象衛星センター

昭和54年3月

# 目 次

## 第 II-2 部

1. 画 像 準 備	加 藤 一 靖	(1)
2. 大 気 補 正	井 上 豊 志 郎	(7)
3. 風 計 算	浜 田 忠 男	(15)
4. 雲 頂 高 度	加 藤 一 靖	(43)
5. 海 面 水 温	阿 部 勝 宏	(59)
	山 本 孝 二	
6. 雲 量 分 布	阿 部 勝 宏	(83)
	小 野 田 仁	
7. 雲 解 析	長 谷 川 隆 司	(93)

## II-2 目 次

データ処理概要
データ集配信
通報局のデータ収集
テレメトリ，ハウスキーピング処理
コマンド処理
宇宙環境モニタ
軌道データ処理
姿勢データ処理
画像前処理
FAX 画像データの作成

# Contents

1. Pre-Processing of Image Data.....	Kazuyasu KATO...(1)
2. Empirical Atmospheric Corection.....	Toshiro INOUE...(7)
3. Cloud Wind Estimation System .....	Tadaaki HAMADA...(15)
4. Cloud Top Height Estimation System .....	Kazuyasu KATO...(43)
5. Sea Surface Temperature .....	Katsuhiro ABE...(59)
	Koji YAMAMOTO
6. Distribution of Cloud Amount .....	Katsuhiro ABĒ...(83)
	Hitoshi ONODA
7. Nephanalysis .....	Ryuji HASEGAWA...(93)

## II—1 Contents

An Introduction to the Data Processing System
Data Collection and Dessimation
Data Collection System
Telemetry and House-Keeping Data Processing
Command Processing
Space Environmental Monitor
Orbital Determination and Prediction
Attitude Data Processing
Initialization of Image Data
Mapping and Display of Image Data

# 1. 画像準備

## 1. Pre-processing of Image Data

### Abstract

The processing includes implantation of missing scan lines, blocking and sampling. Three kinds of sectorized image data such as segments, a full earth disk are provided. In our scheme of processing, imagery registration is applied to each sectorized image data. Precise attitude and orbital data are used for the registration.

The needed information such as orbital data, calibration tables to perform the image processing are also selected and copied to the Image Data File. Data placed on this file are commonly used by Cloud Top Height Estimation System (CTHES), Cloud Wind Estimation System (CWES), etc.

These files are used alternatively and are taken over by newly pre-processed image data for the succeeding routine operation such as CTHES, CWES.

### 処理概要

この処理の目的は VISSR (Visible and Infrared Spin Scan Radiometer) データ履歴ファイルを入力として、画像データを計算機処理に適するように変換してディスクバックに格納することである。画像データをサンプリングして処理に必要な各種画像、すなわち区分画像、16分割画像、全球画像を作成する。また、画像データを処理するのに必要な情報たとえば座標変換定数、可視/赤外キャリブレーション情報などを抽出して、各種画像と一緒にディスクバック（準備済画像データファイルまたは単に画像データファイルとよばれている）に格納する。このファイルは画像データを処理する業務の大部分で共通的に使用されている。

### 1. はじめに

画像データを処理する際に共通した処理、たとえばサンプリング、階調変換、画像データの切り出し、ディスプレイ装置への表示などは統合しておく必要がある。そのため画像処理共通パッケージとよばれるプログラムやルーチン群が整備されている。画像準備プログラムは画像処理共通パッケージの一つのプログラムとして開発

されたものである。これを使用した画像準備処理は画像データを処理する各業務（風計算処理、雲頂高度算出処理、精姿勢決定予測処理など）に先行して実施されている。

### 2. 処理方式

画像準備処理は基本的には VISSR データ履歴ファイルの内容を準備済画像データ・ファイルとよばれるディスク・バックに格納することである。その際、以下のような処理を行なう。

#### 2.1 地球中心画素の確保

VISSR データ履歴ファイルの最終ブロック（エラー情報ブロック）には地球中心画素 ( $I_0$ )、パラメータ部に地球中心ライン ( $J_0$ ) がある。画像準備処理では後述の各種画像を作成する場合の基準点としてこの ( $I_0$ ,  $J_0$ ) をもっている。 ( $I_0$ ,  $J_0$ ) は VISSR で撮像された地球像の中心であるので、地球像が VISSR 撮像画面内で偏位して撮像された場合でも、各種画像は常に地球の中心から画像データを切り出して作成されることになる。このようにすることによって、撮像時刻の異なる画像間の位置ずれを最少にすることができる。

( $I_0$ ) は赤外画像の場合、赤外センサーによってライン

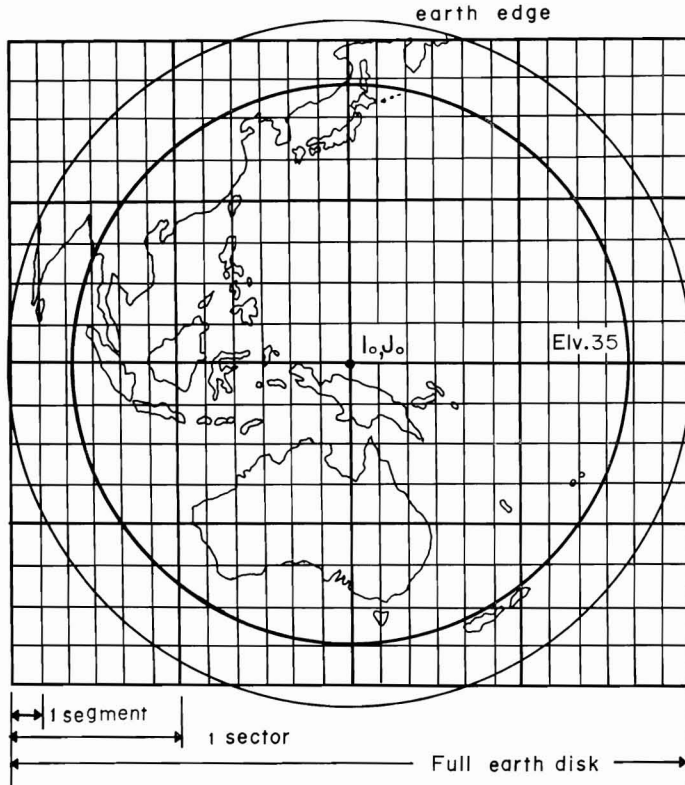
ごとに地球の東西端の画素番号を求め、それらを楕円近似することによって算出している。可視画像の場合も可視センサーによって同様な方法で行なうが、地球像の東西端が陰影のために常に検出できるとは限らないので、東端または西端の画素を結ぶ円弧から中心を推定している。これらの処理はデータ集配信処理で行なっている。一方、 $(J_0)$ は精姿勢決定予測処理で算出した予測値をもちいている。

## 2.2 画像パラメータ部の確保

画像処理に必要な情報（例えば、座標変換定数、赤外輝度レベル／等価黒体温度変換テーブル、など）はすべて VISSR データ履歴ファイルの画像パラメータ部に格納されている。画像準備処理ではそれらのパラメータを読み込んで、画像データ・ファイルの画像パラメータ部に格納している。

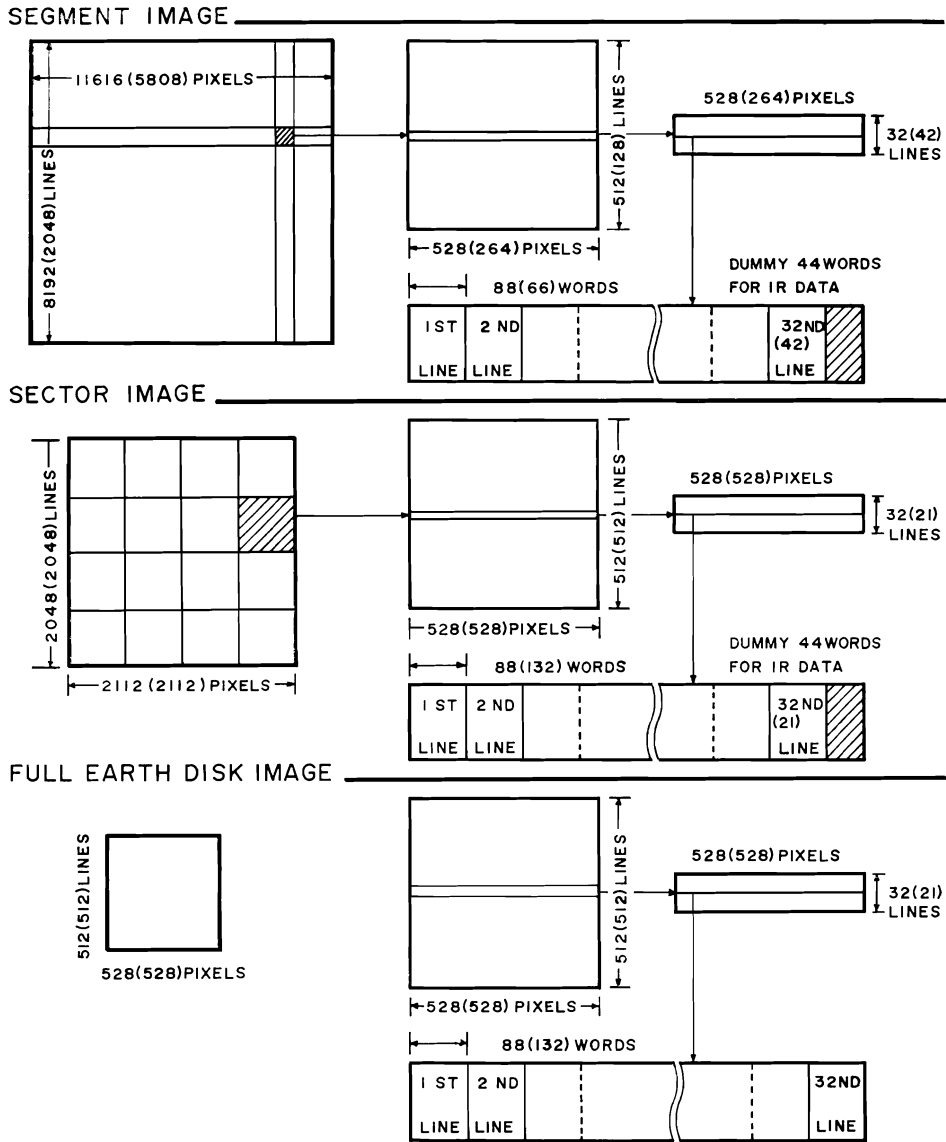
## 2.3 エラーラインの補間

VISSR で撮像された画像データの中には何等かの原因でラインが脱落する場合（ライン抜け）がある。数本のライン抜けについてはこれを補間したほうが画像データを IPC に表示した場合などに有効であるところから画像準備処理では補間処理を行なっている。ライン抜けがある場合には直前のラインをくり返して補充する方法をもちいている。可視画像は4ライン、赤外画像では1ラインまでこの方法で補間している。それ以上のライン抜けについては補間せずに可視画像では0、赤外画像では1レベルの画像データとして値を埋めている。これは大量のライン抜けの場合はむしろ明確にライン抜けであることを示して、画像データを処理する際に注意するようにしたものである。



**Fig. 1** Coverage of pre-processed image data. Three kinds of image data are generated through the Pre-Processing of Image Data. 1) The Segment Image Data maintain a full resolution and the whole image is divided into 352 segments. 2) The Sector Image Data are sectorized to 9 sectors. 3) The Full Earth Disk Image Data is also generated.

$(I_0, J_0)$  means the center of earth image which is estimated from the earth edge data, and from the precise attitude prediction data. The area of wind operation which is within satellite elevation angle 35 deg. is shown as a circle.



**Fig. 2** Number of line-pixel for pre-processed image data and their blocking format. The figures in the parenthesis express the case of infrared image data. The areal sizes to perform the pre-processing of the VISSR Original Image Data is shown on the left. Sampling and blocking procedure yeild the same number of pixels and lines for 3 types of image, as is shown in the center. Number of pixel and line in the block is shown on the right.

**2.4 各種画像データの作成**

VISSR データ履歴ファイルに格納されている画像データはブロック化、サンプリング等の処理によって一定の形式をもつ画像データに変換される。作成する画像の種類は区分画像(Segment Image), 16分割画像(Sector Image), 全球画像 (Full Earth Disk Image) とよば

れている三種である。Fig. 1 はこれらの画像の地球上の大きさを示したもので、図中の  $(I_0, J_0)$  は前述の基準点である。また、参考までに衛星仰角が  $35^\circ$  であるような位置を内側の内で示した(この円内は風計算処理で対象にする範囲)。

処理の対象となる VISSR の撮像範囲(可視; 13376

画素, 10000ライン: 赤外; 6688画素, 2500ライン)には画像データとして使用しない宇宙空間が含まれている。以下の記述では撮影範囲の指定を(A, B: C, D)と表現する。A, Bは可視の画素数, ライン数であり, C, Dは赤外の画素数, ライン数を示す。宇宙空間を除いた(11616, 8192: 5808, 2048)の範囲について画像準備処理を行なう。作成する各種画像の1枚の大きさはIPC (Image Processing Console)の表示能力(512ライン, 512画素)を考慮して設定されている。

以下, 各種画像の作成範囲, 画像データの形式等について述べることにする。Fig. 2はこれらを概念的に示したもので, 図中の数値で括弧内のは赤外画像に関するものである。上段, 中段, 下段にそれぞれ区分画像, 16分画像, 全球画像の場合を示した。同図では左端に作成の対象となる領域(地球像に相当), その中の斜線の領域は1枚の画像の相対的な大きさを示している。中央に1枚の画像の大きさ, 右端にそれを構成する1ブロックの大きさを示した。その形式は下端に示されており, 斜線の領域はダミー・データである。各種画像の地球上の大きさはFig. 1に示されている。

#### 1) 区分画像

VISSRの距離分解能はSSP(Sub-Satellite Point, 衛星直下点)で可視, 1.25km; 赤外, 5kmである。区分画像はこの分解能をそのまま保持しているのので, 画像の詳細な解析に適しているといえる。Fig. 2の上段の左端に示した地球画像に相当する領域(11616, 8192: 5808, 2048)は352枚の区分画像に分割される。1区分画像の大きさは(528, 512: 264, 128)である。この画像データは(528, 32: 264, 42)を1ブロックとしている。

#### 2) 16分割画像

対象とする領域は区分画像の作成で対象にする領域より東西にそれぞれ1区分画像分だけ大きい(12672, 8192: 6336, 2948)である。この領域をサンプリングして, Fig. 2の中段の左端の大きさ(可視, 赤外ともに2112, 2048)する。これを16に分割したものが16分割画像である。1分割画像の大きさは可視, 赤外とも(528, 512)となり, 1ブロックは(528, 32: 528, 21)になるようにしている。

#### 3) 全球画像

対象とする領域は16分割画像と同じであるが, これをサンプリングしてFig. 2の下段の左端の大きさ(可視, 赤外とも528, 512)にする。これが全球画像である。1ブロックの大きさ, 形式は16分割画像と同じである。

以上のような各種画像データは画像データ・ファイル

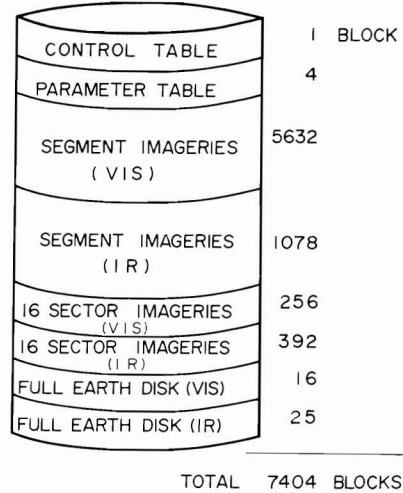


Fig. 3 Illustration of the Pre-Processed Image Data File (Image Data File) format. Segment, Sector, Full Earth Disk image data are composed of the blocks which are shown on the right side.

Storage medium	Disk pack
File organization and format	Sequential and standard label
Block length	12672 bytes
Number of block	7404 blocks
Number of block per track	1 block/1 track
File capacity	94 M-byte

Table 1 Characteristics of Image Data File.

にFig. 3に示したような順序で格納されている。Table 1にこのファイルの諸元を示した。

### 3. 処理モードおよび入力パラメータ

画像準備処理では作成する画像の種類, 範囲, 画像準備の基準点の選択が指定できるように以下のような処理モードおよびパラメータの指定(すべて入力カードの指定による)を設定している。

#### 1) 作成画像種別パラメータ

このパラメータをカードから入力することによって可視画像, 赤外画像のどちらか一方または両方の各種画像を作成することができる。画像処理にはVISSRデータ履歴ファイルの画像パラメータ部(座標変換定数などが格納されている)のみを使用する処理(ループフィルムによる風計算など)があるため, 各種画像を作成せず画像パラメータを画像データファイルに格納するような指定ができるようにしている。

## 2) 範囲指定モード

画像準備処理で対象にする領域のうち、必要な領域を画素番号、ライン番号で指定することができる。

## 3) 地球中心画素取得モード

地球中心画素 ( $I_0$ ) には二種類がある。一つは精姿勢決定予測処理による予測値 (VISSR データ履歴ファイルの画像パラメータ部にあり、 $I_e$  とする)、もう一つはデータ集配信処理が可視、赤外センサーから算出したものである (同上ファイルの最終ブロックにあり、前述の  $I_0$  である)。  $I_e, I_0$  のうちどれを使用するかを指定できるようにしたものである。通常は直接、画像から算出した  $I_0$  のほうが精度よく算出されていると考えられるので、これを使用している。

## 4) 地球位置ずれ指定パラメータ

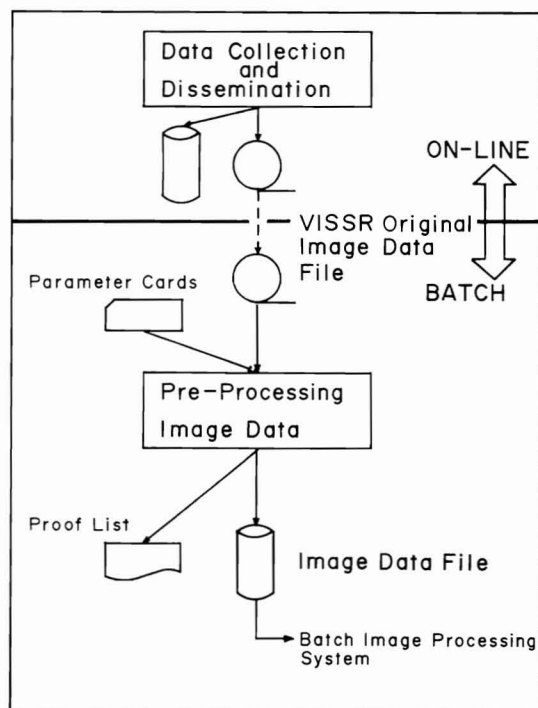
何等かの原因で地球像が VISSR の撮像範囲からずれて一部が欠損した場合、前述の  $I_0$  は使用できない。また、このようなずれは精姿勢決定予測処理の予測値の精度低下によることもあり、このような場合、 $I_e$  も使用できなくなる。つまり、画像準備の際の基準点が得られないため、画像準備処理が不可能になる。地球位置ずれ指定パラメータは、このような場合でも処理を可能にするパラメータである。パラメータ、つまり地球ずれの方向を指定すると、前述の基準点を使用せず、VISSR の撮像範囲の東端または西端から画像準備を行なうことができる。これにより作成する画像データに不必要な深宇宙領域の入り込みを最少限にすることができる。

## 5) 標準モード

通常、このモードで画像準備処理は行なわれる。したがって前項の1)~4)のモードおよびパラメータは使用せず、画像パラメータの確保、可視、赤外の区分、16分割、全球画像の作成が行なわれる。

## 4. 入出力データおよびインターフェイス

オンライン系計算機システムで作成された VISSR データ履歴ファイル (磁気テープ) は気象要素の抽出を主として行なうバッチ系計算機システムの最も重要な入力データである。画像準備処理はこのファイルを入力として画像データおよびその処理に必要な情報を一定の形式で画像データファイル (ディスクパック) に格納してい



**Fig. 4** Interface of Pre-Processing of Image Data. The VISSR Original Image Data File (magnetic tape) is formed by the Data Collection and Dissemination which resides on the on-line computer system. This file is passed to the batch computer system, and input to the Pre-Processing of Image Data. After the Image Data File (disk pack) is generated, this file is commonly accessed by an image processing system (cloud wind estimation, cloud wind estimation, cloud top height estimation are typical).

る。作成された画像データファイルは IPC を使用した業務処理すなわち風計算処理、雲頂高度算出処理、精姿勢決定予測処理の入力ファイルとなっている。Fig. 4 は入出力ファイルおよびインターフェイスを示したものである。画像データファイルはバッチ系計算機システムに現在4パック (予備として1パック) 装備され、スケジュールにしたがって周期的に使用されている。



## 2. 大気補正

### 2. Empirical Atmospheric Correction

#### Abstract

VISSR(Visible and Infrared Spin Scan Radiometer) infrared channel of GMS obtains radiances in  $10.5\sim 12.5\mu\text{m}$  region of the spectrum. The radiation in this spectral band is slightly attenuated by the atmosphere. Attenuation by water vapor far exceeds the other absorbers, carbon dioxide, ozone and aerosol.

An empirical correction method for the atmospheric absorption has been developed. The correction formula is expressed as function of water vapor content, zenith angle, brightness temperature and height of the emitting surface.

Statistical vertical temperature and dew point temperature profile data (GMS Standard Atmosphere, GMSSA) constructed for  $5^\circ$  latitude/longitude grid point within GMS covering area are used for this correction. This correction is performed for estimation of sea surface and cloud top temperature.

#### 1. 序 論

VISSR の赤外チャンネルは  $10.5\mu\text{m}\sim 12.5\mu\text{m}$  ( $950\text{cm}^{-1}\sim 800\text{cm}^{-1}$ ) のフィルター特性を持っている。観測された放射エネルギーは  $0\sim 255$  の輝度レベルに変換され、キャリブレーション処理によって温度（等価黒体温度、観測輝度温度）との対応がとられる。

観測輝度温度は、観測視野内の放射表面（海表面、雲頂）の温度そのものではなく、放射表面と衛星との間に介在する大気によって放射量が減衰し、実際の放射表面の温度と異なる。大気補正処理は、観測輝度温度に対して、大気による減衰分を見積り、補正し、真の放射表面温度を算定する処理である。

VISSR の赤外チャンネルは、いわゆる‘大気の窓’と呼ばれている波長領域を利用しており、他の波長領域に比して、大気中の分子による吸収が小さいとされている。この  $10.5\mu\text{m}\sim 12.5\mu\text{m}$  の波長域での吸収物質としては、水蒸気、炭酸ガス、オゾン、エアロゾル等が考えられている。各吸収物質による影響は、McClatchey et. al. (1972) によればオゾンは  $0.1^\circ\text{K}$  以下、炭酸ガス

は  $0.1\sim 0.2^\circ\text{K}$ 、エアロゾルは  $0.1\sim 0.5^\circ\text{K}$ 、水蒸気は  $0\sim 9^\circ\text{K}$  であり、その他、 $\text{CH}_4$ 、 $\text{N}_2\text{O}$ 、 $\text{HNO}_3$  等による吸収についても研究されているが、水蒸気による影響が一番大きいとされている。

ここでは大気中の吸収物質による吸収の理論的背景を述べ、大気補正処理を行なう補正近似式の導入について述べる。

#### 2. 放射理論

以下では、波長 ( $\mu\text{m}$ ) の代わりに波数 ( $\text{cm}^{-1}$ ) で考える。温度 ( $T$ ) と放射強度 ( $I$ ) の関係は波数表現のプランクの式で次のように表わせる。

$$I=B(\nu, T)=2hc^2\nu^3/\exp\left(\frac{hc\nu}{kT}\right)-1 \quad (1)$$

$k$  : ボルツマン定数

$h$  : プランク定数

$c$  : 光速

$\nu$  : 波数

$T$  : 絶対温度

VISSR 赤外チャンネルで観測する放射エネルギーと、

観測輝度温度  $T_{BB}$  との関係は、次式で表わせる。

$$N = \int_{\nu_1}^{\nu_2} \phi_\nu B(\nu, T_{BB}) d\nu \quad (2)$$

$\phi_\nu$ : フィルターの応答関数  
 $\nu$ : 波数 ( $\nu_1=800 \text{ cm}^{-1}$ ,  $\nu_2=950 \text{ cm}^{-1}$ )  
 $B$ : プランクの関数

次に、温度  $T_s$  の放射表面からのエネルギーの大気中の放射伝達を考える。この波数領域では、大気分子による散乱は無視できる。また、大気が局所的熱平衡にあると仮定すると、放射伝達式は次式で表わせる。

$$N' = \int_{\nu_1}^{\nu_2} \phi_\nu B(\nu, T_s) \tau(\nu, P_s) d\nu + \int_{\nu_1}^{\nu_2} \int_{\tau(\nu, P_s)}^1 \phi_\nu B(\nu, T(P)) d\tau(\nu, P) d\nu \quad (3)$$

$N'$ : 衛星が観測する放射表面温度  $T_s$  に対応する放射エネルギー

$P$ : 気圧

$P_s$ : 表面気圧

$T(P)$ : 気圧  $P$  での大気温度

$T_s$ : 表面温度

$\tau(\nu, P)$ : 気圧  $P$  から衛星までの透過率

透過率は、0~1の値を取る。 $\tau=0$  は、エネルギーがすべて吸収されて、全く透過しないことを示し、 $\tau=1$  は吸収されることなく、全エネルギーが透過することを示す。透過率は、波数およびエネルギーが通過する大気の光学的な厚さに依存する。大気の厚さを表わす量として、気圧を用い、気圧  $P$  のレベルから衛星までの透過率をここでは  $\tau(\nu, P)$  で表わした。

(3)式では、表面の射出率を1と仮定している。海水表面や厚い積雲の射出率は VISSR の赤外チャンネルの波数領域ではほぼ1と考えられている。

(3)式の右辺の第1項は、放射表面からの放射エネルギーが大気を通過し、衛星に到達するまでに、 $\tau(\nu, P_s)$  だけ吸収による減衰を受けることを示す。

また、(3)式の右辺の第2項は、大気中の各層に存在する吸収物質による放射エネルギーの全大気層からの総和を示す。

(3)式の左辺  $N'$  は、VISSR が観測する放射エネルギーである。したがって、観測輝度温度(等価黒体温度)は、(2)式の左辺に  $N'$  を代入し、等号を満たす  $T_{BB}$  を見つけることによって算定できる。(実際の温度変換については、キャリブレーション処理を参照されたい。)(2)、(3)式より、 $T_{BB}$  と  $T_s$  は  $\tau(\nu, P_s)=1$  の時以外一致しない。即ち、現実の大気のように、水蒸気等の吸収物質による減衰がある限り、 $T_{BB}$  と  $T_s$  は一致しない、 $T_{BB}$  と  $T_s$  の差  $\Delta T (=T_s - T_{BB})$  を見積り、 $T_{BB}$  に対して補正する処理が大気補正となる。

(3)式に現われる  $\tau(\nu, P)$  について更に考察する。波数  $\nu$  での透過率(単色光の透過率)は次式で表わせる。

$$\tau(\nu, P) = \exp(-k_\nu u) \quad (4)$$

$k_\nu$ : 波数  $\nu$  での吸収係数

$u$ : 光学的路程

$$u = \int_{z_p}^{z_{sat}} \rho(z) dz \quad (5)$$

$\rho(z)$ : 吸収物質の高さ  $z$  での密度

$z_p$ : 気圧  $P$  の高さ

$z_{sat}$ : 衛星の高さ

実際のフィルターはある波数の幅( $\Delta\nu$ )を持っているため透過率の計算は複雑になる。特に、VISSR の赤外チャンネルの波数領域では、炭酸ガス、オゾン、水蒸気の強い吸収線の中心から遠く、このような場合の透過率に関する統一された理論はまだ確立されていない。この波数領域での透過率の研究には、Roach and Goody (1958), Davis and Viezee (1964), Kyle (1969), Kunde and Maguire (1974) がある。また、Bignell (1970) は、この波数領域で、水蒸気圧に比例しかつ温度の減少とともに非常に大きな吸収があることを示した。これは水蒸気分子 dimer ( $(\text{H}_2\text{O})_2$ ) によるものと言われており、Lee (1973), Tomasi et. al. (1974) 等の研究がある。

VISSR 赤外チャンネルの波数領域で影響の大きい水蒸気に関する透過率は波数と温度の関数で次式のように表現できる。

$$\tau(\nu, T) = \tau_e(\nu, T) \times \tau_p(\nu, T) \times \tau_l(\nu, T) \quad (6)$$

$\tau_e, \tau_p$ : 水蒸気分子 dimer に基づく透過率

$\tau_l$ : 水蒸気吸収線による透過率

$$\tau_e(\nu, T) = \exp[-k_e(\nu, T)eu] \quad (7)$$

$k_e$ : 吸収係数

$k_e(\nu, T) = k_e(\nu, 296) \{1 - 0.02(T - 296)\}$

$e$ : 水蒸気圧

$u$ : 水蒸気分子の光学路程

$$\tau_p(\nu, T) = \exp\left[-k_p(\nu, T)u \frac{P}{P_0}\right] \quad (8)$$

$k_p$ : 吸収係数

$P$ : 大気層の平均気圧

$P_0$ : 標準大気圧

$\tau_l$  は、水蒸気吸収線による透過率で、バンドモデル、ラインバイライン等による計算が可能である。

McClatchey et. al. (1973) は、赤外波長領域での種々の吸収物質の実験的、理論的に得られた吸収線に関するパラメータを編集した。

Selby and McClatchey (1975) は、前述した吸収線パラメータを基に、 $0.25 \sim 28.5 \mu\text{m}$  ( $40,000 \sim 350 \text{ cm}^{-1}$ ) での透過率計算プログラムを開発した。これをもとに放射伝達式の各項の大きさを見積り Table 1 に示した。

**Table 1** Calculated Radiances and Other Parameters for U.S. Standard Atmosphere

U.S Standard Atmosphere	$\nu$ ( $\text{cm}^{-1}$ )	W (cm)	$T_s$ ( $^{\circ}\text{K}$ )	$T_{BB}$ ( $^{\circ}\text{K}$ )	$\Delta T(T_s - T_{BB})$ ( $^{\circ}\text{K}$ )	Other Parameters $\text{mW}/(\text{m}^2 \text{sr cm}^{-1})$				$\tau_s$
						$B(T_s)$	Measured $N'$	$B(T_s)\tau_s$	$\int B(T)d\tau$	
Tropical	830			295.0	5.0	126.2	117.7	65.4	52.3	0.518
	870	4.1	300.0	296.2	3.8	122.8	116.3	70.9	45.4	0.578
	910			296.5	3.5	115.7	109.7	70.3	39.4	0.608
Midlatitude	830			291.1	2.9	116.0	111.2	75.7	35.5	0.653
	870	2.9	294.0	292.0	2.0	112.6	109.2	80.3	28.9	0.713
	910			292.1	1.9	105.7	102.6	77.8	24.8	0.736
Subarctic	830			271.4	0.8	82.8	81.6	74.2	7.4	0.896
	870	0.9	272.2	271.7	0.5	79.7	79.1	74.5	4.6	0.934
	910			271.7	0.5	73.7	73.1	69.0	4.1	0.936
Subarctic	830			284.6	2.4	104.6	100.9	79.9	21.0	0.763
	870	2.1	287.0	285.4	1.6	101.4	98.9	83.1	15.8	0.819
	910			285.5	1.5	94.7	92.4	78.9	13.5	0.833
Subarctic	830			256.9	0.2	63.4	63.2	59.8	3.4	0.943
	870	0.4	257.1	257.0	0.1	60.7	60.6	58.8	1.8	0.968
	910			257.0	0.1	55.5	55.4	53.6	0.8	0.967

計算は、アメリカ標準大気 5 種類を選び、表面温度( $T_s$ )は大気最下層温度とした。VISSR 赤外チャンネルの波数域のうち、波数帯  $830 \text{ cm}^{-1}$  ( $\sim 12 \mu\text{m}$ ),  $870 \text{ cm}^{-1}$  ( $\sim 11.5 \mu\text{m}$ ),  $910 \text{ cm}^{-1}$  ( $\sim 11 \mu\text{m}$ ) について計算した。これは、同じ  $10 \mu\text{m}$  付近の窓領域でも放射特性が微妙に異なることを確かめるためである。Anding and Kauth (1970) は、この放射特性の違いを利用して、2チャンネルのデータから海面水温値算定法について議論している。

Table 1 で  $N'$  は衛星で観測される放射エネルギー強度。  $T_{BB}$  はこれをプランクの関数で変換した観測輝度温度、  $B(T_s)$  は表面温度に対応する放射エネルギー強度、  $\int B(T)d\tau$  は大気からの放射エネルギー強度、  $\tau_s$  は地表面から大気上端までの透過率、  $W$  は大気的全可降水量、  $\Delta T$  は与えた表面温度と観測輝度温度の差で、補正しなければならない温度を示す。可降水量が大きい程、つまり水蒸気量が多い程、補正温度値が大きいことがわかる。

以上のように、大気温度、水蒸気の鉛直温度分布が既知の場合は、観測輝度温度から放射表面温度は、理論的に(3)式を数値計算することにより推定が可能である。しかし、表面の射出率は完全に1ではないこと、エーロゾルの吸収による影響については不明な点もある。また、透過率の計算で、吸収係数の温度依存性、大気温度、吸

収物質の分布が不均質な実際の大气への応用には困難な点が多い。Weinreb and Neuendorffer (1973) はこの点を考慮した透過率計算法を示している。

また、水蒸気は、炭酸ガス等のように、大気中での分布が一樣ではなく、三次元的にみて偏在する。GMS のように、データの処理範囲が地理的に広大な場合には、全域にわたってゾンデ観測データを得ることはできない。したがって、放射伝達式を用いた大気補正処理は、困難である。精度には若干の問題が残るが、統計データを用いる近似式による大気補正処理方法を第1ステップとして開発した。

統計的な大気モデルとして GMSSA (GMS Standard Atmosphere) を作成した。これは大気温度と露点温度を 1000 mb, 850 mb, 700 mb, 500 mb, 300 mb, 200 mb, 100 mb, 圏界面について、1月~12月まで12か月分のデータを、( $50^{\circ}\text{N}$ ,  $90^{\circ}\text{E}$ ), ( $50^{\circ}\text{S}$ ,  $90^{\circ}\text{E}$ ), ( $50^{\circ}\text{N}$ ,  $170^{\circ}\text{W}$ ), ( $50^{\circ}\text{S}$ ,  $170^{\circ}\text{W}$ ) の四点で囲まれる範囲の緯経度  $5^{\circ}$  ごとの格子点について編集したものである。

### 3. 補正近似式

(3)式で  $N'$  に大きく影響を与えるものは、Table 1 を見ても分かるように透過率  $\tau_s$  である。透過率は、(4)式で分かるように光学的路程、即ち、幾何学距離と吸収物質の量に依存する。

このことから、大気補正処理の補正近似式では、可降水量 ( $W$ )、天頂角 ( $\theta$ )、放射表面の高度 ( $h$ )、および観測輝度温度 ( $T_{BB}$ ) をパラメータとして検討した。天頂角と高度は幾何学距離を規定し、可降水量は、吸収物質として一番大きな影響を持つ水蒸気量を規定する。観測輝度温度については、Smith et. al (1970) 等で補正パラメータとして利用されており、かつ直接の観測量であるためパラメータとして用いた。

各パラメータと補正温度値との関係は、放射伝達式を数値的に計算し、検討した。大気モデルとしてはGMSSAを使用し、放射表面温度としては、日本近海海況図集を用いた。(3)式の計算については、前項で述べたように種々の困難さがあるが、ここでは各パラメータと補正温度値  $\Delta T$  との関係調べ、関数形を決定することに主眼を置いたため、透過率の計算については(4)式で十分と考えた。

a) 天頂角パラメータの検討

天頂角が大きくなると、幾何学上の距離は大きくなる。limb darkening と呼ばれ、衛星直下点から遠ざかるにつれて、大気による減衰が大きくなる。Fig. 1 にこの様子を示す。ここで補正温度値とは、(3)式の右辺を計算する時に与えた日本近海海況図集からの読み取り値  $T_s$  と、(2),(3)式で計算した  $T_{BB}$  との差である。大気モデルはGMSSA の2月を用い、(10°N, 130°E), (10°N, 160°E), (25°N, 130°E), (25°N, 160°E), (40°N, 130°E) (40°N, 160°E) の格子点について天頂角を0°~60°

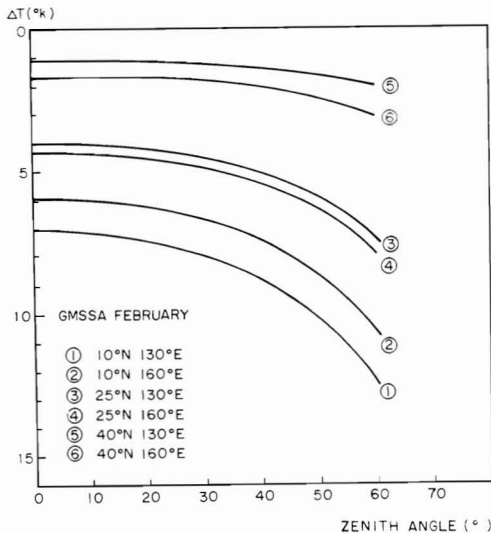


Fig. 1 Calculated correction temperature ( $\Delta T = T_s - T_{BB}$ ) as a function of zenith angle. Calculations are for GMSSA (GMS Standard Atmosphere) February.

まで変化させ計算した。

同様の計算を5月、8月、10月について行ない、これらのグラフから補正温度値  $\Delta T$  と天頂角  $\theta$  の関係について次のような関数形を考えた。

$$\Delta T(\theta) = \Delta T(0^\circ) \cdot f(\theta)$$

$f(\theta)$  としては微小部分を考えると  $\sec \theta$  だけ幾何学

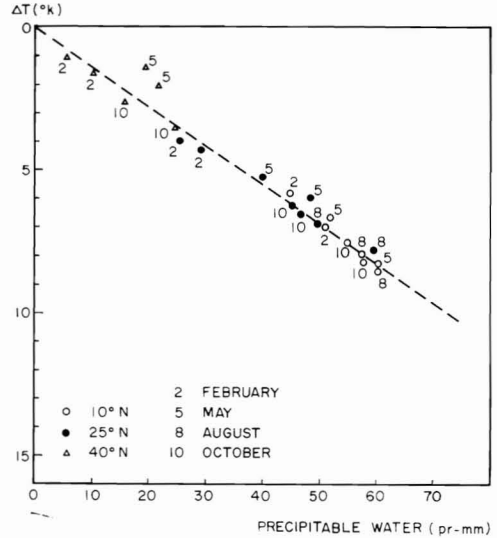


Fig. 2 Calculated correction temperature as a function of total water vapor content (precipitable water in mm). Calculations are for GMSSA. Good linearity is shown.

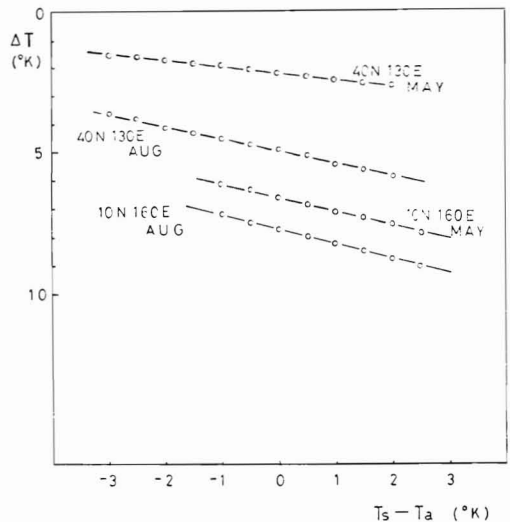


Fig. 3 Effect of temperature difference between surface and surface air ( $T_s - T_a$ ) on calculated correction temperature is shown. Calculations are for GMSSA.

距離が大きくなることから  $\sec \theta$  の関数であると考えられ

$$f(\theta) = a_1 \sec^2 \theta + a_2 \sec \theta + a_3$$

とおいた。

この式の妥当性を検討するために、最小二乗近似により  $a_1, a_2, a_3$  を推定し、その最大誤差および平均誤差を求めてみた。結果は次のようになった。

$$a_1 = -0.0808, a_2 = 0.8106, a_3 = 0.0155$$

最大誤差 0.295 (°K)

平均誤差 0.0745 (°K)

この結果から、上式の妥当性が示されたと考える。

b-1) 可降水量パラメータの検討

前項で天頂角の関数形  $f(\theta)$  が決定されたとして、次に  $\Delta T (\theta=0^\circ)$  の関数形を決める必要がある。これは水蒸気量が一番影響することが考えられる。可降水量を GMSSA より計算し a) で述べた格子点について、補正温度値と可降水量の関係を Fig. 2 に示す。

Fig. 2 より、北緯  $40^\circ$  の5月のデータ以外はきわめて良い線型関係にあることが分かる。線型性からずれの大きい原因を調べてみると、表面大気温度と表面温度の

差が大きいことがわかった。

表面大気温度と表面温度の差の補正温度値への影響を調べるために、放射表面温度値を表面大気温度を中心に变化させてみた。この結果を Fig. 3 に示す。表面温度の  $1^\circ\text{K}$  の変化に対して約  $0.5^\circ\text{K}$  の影響があることがわかる。しかし Fig. 2 の線型直線からのずれが大きいため、この温度差をパラメータとして考慮しても線型関係の精度の向上は望めなかった。

b-2) 観測輝度温度パラメータの検討

$\Delta T (\theta=0^\circ)$  の関数として可降水量  $W$  の線型関数で表現できそうであったが、線型性からのずれを補正するパラメータとして、観測輝度温度  $T_{BB}$  について検討する。ここでは、2月、5月、8月、10月の北緯  $10^\circ \sim 50^\circ$  での緯度  $5^\circ$  間隔、東経  $130^\circ, 145^\circ, 160^\circ$  の27格子点のデータ計108データを用いて検討を行なった。この結果を Fig. 4 に示す。図よりほぼ一意的に関数が決定できると考えられる。しかし  $290^\circ\text{K}$  以上では、 $T_{BB}$  が、ほとんど変化しないので可降水量パラメータによる補正温度値の推定が必要になる。この部分のデータを調べてみると、可降水量が大きく、可降水量パラメータとの線型性が

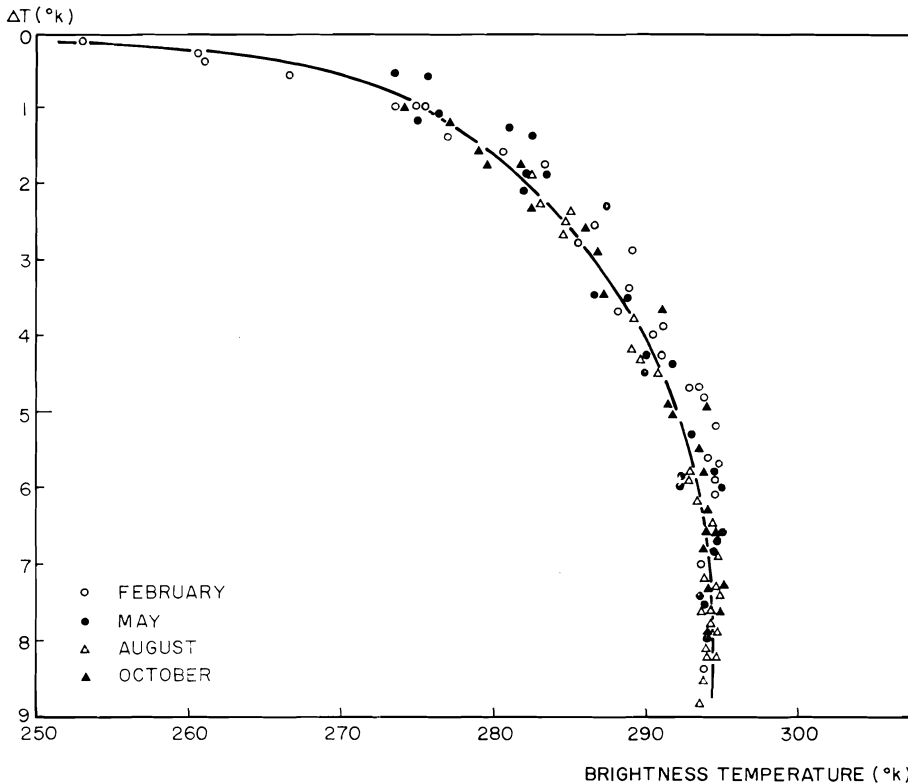


Fig. 4 Calculated correction temperature as a function of brightness temperature (equivalent black-body temperature) is shown. Calculations are for GMSSA.

良いことがわかった。

b-1) および b-2) から  $\Delta T(\theta=0^\circ)$  の関数形として次のような形を考えた。

$$\Delta T(\theta=0^\circ) = A(T_{BB}) \cdot f(W) + (1 - A(T_{BB}))g(T_{BB})$$

$\Delta T(\theta=0^\circ)$  天頂角  $0^\circ$  での補正温度値

$f(W)$  水蒸気量  $W$  との線型近似関数

$g(T_{BB})$   $T_{BB}$  の近似関数

$A(T_{BB})$   $0 \leq A(T_{BB}) \leq 1$  で,  $T_{BB} > 290^\circ\text{K}$  のときは1に近く,  $T_{BB} < 290$  のとき0に近いような  $T_{BB}$  の関数。

$f(W)$ ,  $g(T_{BB})$ ,  $A(T_{BB})$  の具体的な関数として次のような関数を想定した。  $f(W)$  については, Fig. 2 より  $W$  との線型性が強いことと, 原点を通ることから,

$$f(W) = a_4 W + a_5 W^2$$

とし,  $g(T_{BB})$  については Fig. 3 および Smith et al. (1960) での関数を参考にして,

$$g(T_{BB}) = a_6 - a_7 \ln(a_8 - T_{BB})$$

とした。また  $A(T_{BB})$  については

$$A(T_{BB}) = a_9 / \{(a_{10} - T_{BB})^2 + a_9\}$$

とした。これは  $a_9 \rightarrow 0$  のとき0で,  $a_9 \rightarrow \infty$  のとき1, しかも  $T_{BB} \rightarrow a_{10}$  の時1に近づくため条件を満たすと考えられる。

$a_1 \sim a_{10}$  までの係数について, 最小二乗近似法で推定した。その時の誤差は  $0.17^\circ\text{K}$  で, 最大誤差は  $1.15^\circ\text{K}$

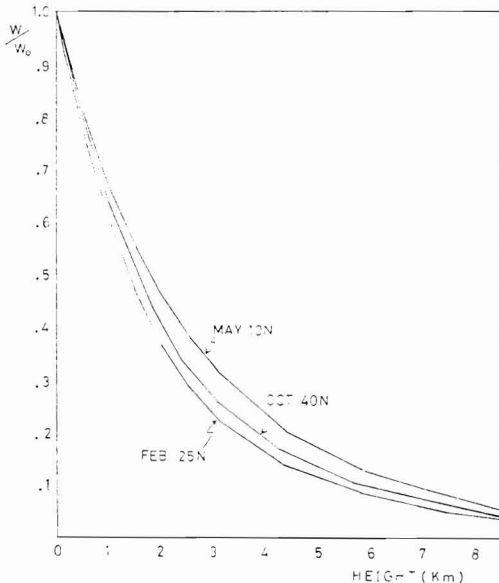


Fig. 5 Water vapor content normalized by total water vapor content ( $W_0$ ) as a function of height in km is shown. Calculations are for GMSSA.

であった。このことから上記の補正近似式は妥当であると思われる。

c) 高度パラメータの検討

今までは, 放射表面として, 海面のような高度が0と考えられる場合の補正について述べてきたが, 雲のように放射表面が高度を持っている場合の補正について考える

GMSSA の高度と水蒸気量の関係を調べた。これを Fig. 5 に示す。Fig. 5 の視察より高度  $h$  (km) での水蒸気量  $W(h)$  (mm) を次式で表わした。

$$W(h) = W_0 \exp(-a_{11}h^2 - a_{12}h)$$

$W_0$  高度で0の水蒸気量

$a_{11}, a_{12}$  は係数

$a_{11}, a_{12}$  を最小二乗法で近似した。この時の誤差は  $0.436$  (mm), 最大誤差は  $1.804$  (mm) であり, 妥当な近似であることを示している。

また, Fig. 2 より  $2$  (mm) の誤差は温度に換算して  $0.3^\circ\text{K}$  である。

以上より大気補正処理は, 観測輝度温度 ( $T_{BB}$ ), 天頂角 ( $\theta$ ), 水蒸気量 ( $W$ ), 高度 ( $h$ ), をパラメータとし次のような補正近似式を考えた。

$$\Delta T = (a_1 \sec^2 \theta + a_2 \sec \theta + a_3) \{ (a_4 W(h) + a_5 W(h)^2) A(T_{BB}) + (1 - A(T_{BB})) (a_6 - a_7 \ln(a_8 - T_{BB})) \}$$

$$A(T_{BB}) = a_9 / \{(a_{10} - T_{BB})^2 + a_9\}$$

$$W(h) = W_0 \exp(-a_{11}h^2 - a_{12}h)$$

$\Delta T$  は補正温度値 ( $^\circ\text{K}$ ),  $T_{BB}$  は観測輝度温度 ( $^\circ\text{K}$ ),  $h$  は高度 (km),  $\theta$  は天頂角 ( $^\circ$ ),  $W_0$

は地表から大気上端までの可降水量 (mm),

$a_1 \sim a_{12}$  は係数

$a_1 \sim a_{12}$  までの係数は, 高層観測地点の近傍で可降水量の計算ができ, 船舶による海面水温値が測定され, 衛星による観測輝度温度が算出できた時のデータをもとに, 回帰的に決定される。ただし, すべての係数を同時に決定することは困難であるため, 各パラメータごとに関数形をあらかじめ決定し,  $A(T_{BB})$  における係数を最後に決定する。

#### 4. 処理方式

前述したように, 真の放射表面の温度を算定する方法として, 可降水量, 観測輝度温度, 天頂角, 放射表面の高度の四つをパラメータとする統計的な補正近似式が使用されている。

補正式の係数および, GMSSA から計算された可降水量データは統計的射出更正\* データファイルに格納され

\* 現業用に開発されたプログラムでは, '大気補正' の代りに '射出更正' という言葉が用いられている。

ている。使用目的に合うよう、大気補正処理では三種類の近似式を用意した。即ち、海面温度の補正では、高度を0とした近似式を、雲頂温度を補正するには、高度の効果を考慮した近似式を、また、統計的水蒸気量の値がファイル障害等で得られなかった場合も考慮して、天頂角と観測輝度温度だけの近似式を考えた。

#### ① 簡易的補正

天頂角、観測輝度温度の関数

$$\Delta T = (a_1 \sec^2 \theta + a_2 \sec \theta + a_3)(a_4 - a_5 \ln(a_6 - T_{BB}))$$

#### ② 統計的補正式

天頂角、観測輝度温度、水蒸気量の関数。

$$\Delta T = (a_1 \sec^2 \theta + a_2 \sec \theta + a_3) \{ (1 - A(T_{BB})) \times (a_4 - a_5 \ln(a_6 - T_{BB})) + A(T_{BB})(a_7 W_0 + a_8 W_0^2) \}$$

#### ③ 高度を考慮した補正式

天頂角、観測輝度温度、水蒸気量、高度の関数。

$$\Delta T = (a_1 \sec^2 \theta + a_2 \sec \theta + a_3) \{ (1 - A(T_{BB})) \times (a_4 - a_5 \ln(a_6 - T_{BB})) + A(T_{BB})(a_7 W(h) + a_8 W(h)^2) \}$$

$$A(T_{BB}) = a_9 / \{ (a_{10} - T_{BB})^2 + a_9 \}$$

$$W(h) = W_0 \exp(-a_{11} h^2 - a_{12} h)$$

以上の三種類の補正近似式の各係数は、観測輝度およびゾンデ等の可降水量データから回帰的に決定され、統計的射出更正データファイルに統計的射出更正データファイル更新プログラムによって格納される。

### 5. 問題点および将来の展望

今回、天頂角、水蒸気量、放射表面の高度および観測輝度温度をパラメータとする補正近似式を考えたが、観測輝度温度は、天頂角および水蒸気量による影響を既に受けているため、独立のパラメータとはいえない。したがって将来は観測輝度温度を除き、他のパラメータを考慮した別の補正式を考える必要がある。

今回の大気補正処理での一番の問題点は、GMSSA と呼ばれる統計データを使用しているため、実際の大気とに違いがあることにある。GMSSA は12か月分用意されており、実際の大気に近いと思われる統計月を使用しているが、真の大気状態を表わせないための誤差がある。将来は、GMSSA に代わるものとして、ゾンデによる高層データ、軌道衛星からの鉛直温度、水蒸気算出値、航空機によるデータ等、可能な限りの情報を利用し、広範囲に渡って大気場を決定し、それを GMSSA の代わりの入力にすることが考えられている。

NOAA の VTPR データを用いた大気鉛直分布と海面温度を同時に決定する試みが Izawa and Inoue(1978) に示されている。

各パラメータの関数形を決定する時に、放射伝達式を GMSSA について解いたが、きわめて簡便な計算方式に基づいていた。例えば透過関数の計算についても、水蒸気の dimer あるいは、その他の吸収物質を考慮した計算や、実際の大気のような温度、吸収物質の不均質さを考慮した計算手法 (Weineb and Neuendorffer (1973) 等) を取り入れる必要がある。

一方、1981年12月打ち上げ予定の TIROS-N の5号機(NOAA-D)では、10 $\mu$ mの窓領域を10.5~11.5 $\mu$ mと11.5~12.5 $\mu$ mの二つのチャンネルに分け、これらのデータから海面水温を算定できるようになる。海面水温値を二チャンネルで算定する手法は、Anding and Kauth (1970) により提唱され、Prabhakara et. al. (1974)、McMillin (1975) によって議論、検証されている。この手法では、途中の大気中にある吸収物質の影響を考慮する必要がなく、精度よく ( $\pm 0.2^\circ\text{K}$ )、海面水温値が算出できるとされている。雲頂温度算出にも適用できる。

今回は、観測輝度温度と真の放射温度の差を大気の吸収による減衰で説明しようとし、放射表面の放射温度と温度計等による直接測定による温度との違い等については考慮していない。

‘大気の窓’と思われていた10.5 $\mu$ m~12.5 $\mu$ mでも熱帯などの水蒸気圧の高い地域(夏期赤道をはさむ南北20度の領域)では衛星直下点に近いにもかかわらず10 $^\circ\text{C}$ 近くの補正が必要である。水蒸気の dimer による吸収で説明ができる。しかし、水蒸気が多い時期に海面水温値を算定する際には注意が必要であることを示している。

### References

- Anding, D. and R. Kauth, 1970: Estimation of Sea Surface Temperature from Space. Remote Sensing of Environment, 1, 217-220.
- Bignell, K.J., 1970: The Water-vapor Infrared Continuum, Quarterly Journal of the Royal Meteorological Society, 96, 390-403.
- Cogan, J.L. and J.H. Willand, 1976: Measurement of Sea Surface Temperature by the NOAA 2 Satellite, Journal of Applied Meteorology, 15, 173-180.
- Davis, P.A. and W. Viezee, 1964: A Model for Computing Infrared Transmission through Atmospheric Water Vapor and Carbon Dioxide. Journal of Geophysical Research, 69, 3785-3794.
- Izawa, T. and T. Inoue, 1978: On the NOAA VTPR Infrared Sensing of the Atmosphere and Ocean Surface during the AMTEX Periods. Papers in Meteorology and Geophysics, 29, 35-

- 63.
- Kunde, V.G. and W.C. Maguire, 1974 : Direct Integration Transmittance Model. *Journal of Quantitative Spectroscopy and Radiative Transfer*, 14, 803—817.
- Kyle, T.G., 1969 : Calculations of Atmospheric Transmittance from 1.7 to 20  $\mu$ , *Journal of Quantitative Spectroscopy and Radiative Transfer*, 9, 1477—1488.
- Lee, A.C.L., 1973 : A Study of the Continuum Absorption within the 8~13  $\mu$ m Atmospheric Window, *Quarterly Journal of the Royal Meteorological Society*, 99, 490~505.
- Maul, G.A. and M. Sidran, 1973 : Atmospheric Effects on Ocean Surface Temperature Sensing from the NOAA Satellite Scanning Radiometer. *Journal of Geophysical Research*, 78, 1909—1916.
- McClatchey, R. A., W.S. Benedict, S. A. Clough, D.E. Burch, R. F. Calfee, K. Fox, L. S. Rothman, J.S. Garing, 1973 : AFCRL Atmospheric Absorption Line Parameters Compilation. Air Force Cambridge Research Laboratories, 1—67.
- McMillin, L. M., 1975 : Estimation of Sea Surface Temperatures from Two Infrared Window Measurements with Different Absorption. *Journal of Geophysical Research*, 80, 5113—5117.
- Prabhakara, C., G. Dalu, V.G. Kunde, 1974 : Estimation of Sea Surface Temperature from Remote Sensing in the 11 to 13  $\mu$ . *Journal of Geophysical Research*, 79, 5039—5044.
- Roach, W. T. and R.M. Goody, 1958 : Absorption and emission in the atmospheric window from 770~1,250  $\text{cm}^{-1}$ . *Quarterly Journal of the Royal Meteorological Society*, 84, 319—333.
- Selby, J.E.A. and R. A. McClatchey, 1975 : Atmospheric Transmittance from 0.25 to 28.5  $\mu$ m Computer Code LOWTRAN 3. Air Force Cambridge Research Laboratories, 1—92.
- Smith, W.L., P.K. Rao, R. Koffler and W. R. Curtis, 1970 : The Determination of Sea Surface Temperature From Satellite High Resolution Infrared Window Radiation Measurements, *Monthly Weather Review*, 98, 604—611.
- Tomasi, C., R. Guzzi and O. Vittori, 1974 : A Search for the e-Effect in the Atmospheric Water Vapor Continuum. *Journal of the Atmospheric Sciences*, 31, 255—260.
- Weinreb, P.W. and A.C. Neuendorffer, 1973 : Method to Apply Homogeneous-Path Transmittance Models to Inhomogeneous Atmospheres. *Journal of the Atmospheric Sciences*, 30, 662—666.



### 3. 風 計 算

#### 3. Cloud Wind Estimation System

##### Abstract

GMS Cloud Wind Estimation System (CWES) consists of three procedures, MM-1, MM-2 and FL procedures. In MM-1 procedure, an analyst manually selects target clouds on TV-screen and the clouds are automatically tracked through pattern matching technique using cross-correlation. In MM-2 procedure, an analyst manually selects target clouds and tracks the clouds, looking at superimposed images with 30 minute intervals in different colors on TV-screen. In FL procedure, an analyst manually selects and tracks target clouds on digitizer board, on which endless animated film with four earth disk images with 30 minute intervals is projected. These procedures include quality check of the vectors obtained, which takes threshold values determined by another investigations into account.

Surviving vectors of high reliability are displayed on TV-screen and/or graphic display, and checked on by an analyst. In this procedure, an analyst may reject unreliable vectors manually.

The product vectors to be reliable are reformatted by a computer into a WMO code form for teletype transmission to world-wide users within four hours after observation. These vectors are stored into magnetic tape to be archived, listed on line printer and plotted on maps with polarstereo and Mercator's projection.

The details of the processings of CWES system are described in the article.

##### 1. はじめに

GMS 風計算システム (Cloud Wind Estimation System ; CWES) は 30分間隔で得られる静止気象衛星画像から雲の移動量を求め、高層観測データのほとんど無い広範な海洋上、熱帯地方の風のデータとしようとするものである。現在はボーガスを埋めている数値予報に有効な初期値を与えるものとして期待される。

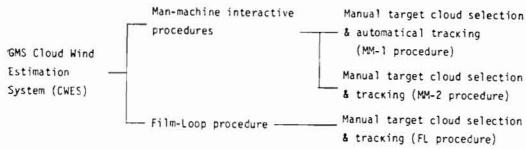
CWES システムは、大きく分けて計算機によるマンマシン方式とフィルムループ方式の2つがある。

追跡雲の選定 (雲指定) 方法としては画像を見ながら適当なものを選ぶ方法 (Manual target cloud selection) と画像の視察は行わず計算機がある判定基準を持って選定する方法 (全自動方式) とが考えられるが、CWES

ではすべて Manual 方式を採用している。

雲の追跡方式には、雲の移動の始終点とも人間が指定する方法 (Manual tracking) および計算機がパターンマッチングの技法により雲の追跡を行なう方法 (Automatic tracking) がある。マンマシン方式には、追跡の対象とする雲の始点のみマンマシン法で指定し雲の追跡を自動的に行なう MM-1 法と、雲移動の始終点ともマンマシン法で指定することにより追跡も人間が行なう MM-2 法とがある。フィルムループ法では Manual 追跡のみが可能であり FL-2 法あるいは単に FL 法と呼ばれる。いずれの方式でも雲の指定追跡は可視・赤外のいずれの画像でも行なうことができる。現在ルーチン業務ではマンマシン法では、00Z には可視、12Z には赤外画像を使用している。FL 法ではいずれの時刻も赤外画

**Table 1** The procedures of wind derivation in  
GMS Cloud Wind Estimation System.



像により追跡が行なわれている。雲の指定方式と追跡方式による CWES の処理方式の分類を Table 1 に示す。

これらの各方式で求められた画像上での雲の移動量は、その時の軌道・姿勢情報をもとに地球上の座標(緯経度値)に変換され風ベクトルが算出される。同時に赤外画像により雲頂の温度が算出され、高度に変換され付加される。ここまでの各処理過程では計算機内部における自動評価が行なわれ、不良ベクトルは削除される。

この様にして求められたベクトルは人間とグラフィックディスプレイまたは TV ディスプレイとの対話方式による品質管理が行なわれ、不良ベクトルの削除が行なわれる。また算出ベクトルを全球画像と同じ投影図上にプロットした図に重ねてフィルムループを投影し、不良

ベクトルの削除が行なわれる(プロジェクション法; PM 法)。

最終的に生き残ったベクトルが、オンライン系の計算機を経由して、国内外へ放送される。保存資料として MT, LP および XY プロッタによるメルカトル図が出力される。衛星センター内の解析用資料として、XY プロッタによるポーラステレオ図(北半球)が出力される。また1ヵ月毎に発行される観測月報に風ベクトルデータが掲載される。

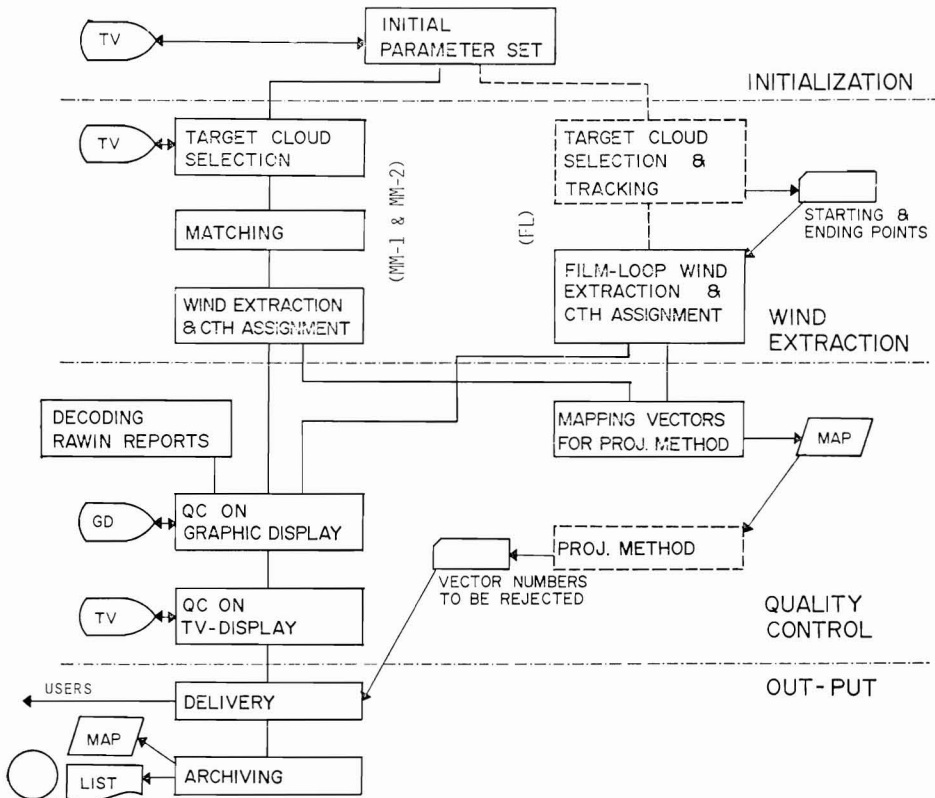
現業作業における雲指定点数は、MM-1, FL 方式それぞれ約200点、計400点程度であり、MM-2 法は通常現業的には行なわない補助的機能である。MM-1 法は主として下層雲の追跡、FL 法は上層雲の追跡を主体とした処理を行なっている。

GMS 風計算処理(CWES)の概略の流れを Fig. 1 に示す。

2. 入出力データと他処理とのインターフェース

(1) 入力画像データ

30分間隔の4枚の準備済画像を使用する。これらの画



**Fig. 1** General flow chart of CWES system. The 'CTH' means 'cloud top height.'

像は取得時刻順にそれぞれ Z 画像, A 画像, B 画像, C 画像と呼ばれる。このうち Z 画像は FL 法にのみ使用する。

#### (2) 高層観測データ

あらかじめ定めてある72観測地点（プログラム上では80地点まで与えることが可能）分の高層観測データを使用する。オンライン系のデータ集配信処理により、気象庁の ADESS (Automatic Data Editing and Switching System, 気象資料自動編集・中継装置) 経由で送られてきた高層観測データがオンラインバッチ共用ディスクバックに格納される。この中からあらかじめ定められた地点のもののみ選び出しデコードを行ない、グラフィックディスプレイによる品質管理処理で使用する。

#### (3) 風ベクトル配信データ

算出された風ベクトルは、国際通報式 SATOB (FM 88-VI) で定められたコードに編集され共用ディスクバックを経由して、オンライン系データ集配信処理により ADESS へ送信される。ADESS からはさらに国内外へ放送される。

#### (4) フィルムループ

30分間隔4枚 (Z, A, B および C 画像に相当) の HR-FAX の出力図から写真処理システムにより作成したフィルムループ (35 mm フィルム) が FL 法における雲の選定と追跡に使用される。CWES の品質管理のひとつであるプロジェクション法 (PM 法) にも使用される。

#### (5) 赤外関連データ

鉛直温度更新処理で1日2回更新される鉛直温度分布データ、海面水温算出処理で10日毎に更新される広域放射表面温度データ、および固定データである大気補正データの3種類のデータが、雲頂高度算出付加のために使用される。

#### (6) 保存用出力データ

算出風ベクトルの保存用資料として、保存用磁気テープ、ラインプリンタリスト、および XY プロッタによるメルカトル投影の地図上へのプロットデータが出力される。

#### (7) 雲解析用プロットデータ

衛星センター内の雲解析作業用として、XY プロッタによるポーラステレオ投影の地図 (北半球のみ) 上へのプロットデータが出力される。

### 3. 処理方式

#### 3.1 画像間の位置合わせと誤差

風計算の処理では時系列の複数の画像を使用しベクトルを算出したり、各種の表示を行なうため画像間の位置合わせが重要である。基本的には、画像パラメータに格

納されている軌道・姿勢予測データ等を使用して各画像毎に別々に座標変換を行なうことによって、画像上の座標から地球上の緯経度へ変換する。この場合に生ずる画面上の誤差は、軌道誤差については単に平行移動の誤差であるが、姿勢の誤差については地球を見る方向 (視線方向) の変化となるため大きな平行移動および回転の誤差となる。これらの公称誤差は総合して可視画像で4画素 (視線の角度で0.008度、衛星直下点で5 km に相当) 以内である。

上記の誤差を風ベクトル算出の場合について考えて見ると、30分間隔の画像間に可視画像で4画素の誤差があると衛星直下点 (SSP) で風速にして2.8 m/sec の誤差となる。しかしながら風ベクトルの算出は、画像間の移動量として表現されるものであるため、軌道・姿勢 (とりわけ姿勢) の変化傾向が良好に予測されていれば、位置合わせの誤差をさらに小さくできる。姿勢の変化は1日のオーダーでゆるやかに変化するものであり、変化傾向は十分に予測できる。したがって画像間の位置合わせによる誤差は SSP で、風速にして2.8 m/s より充分小さな値である。最近の調査によると可視1画素程度 (約1 m/s) と見積もられている。

TV ディスプレイへの画像の表示のときの画面上での位置合わせは、特に時系列重ね合わせの時に重要である。厳密には各区分画像毎に中心の緯経度を一致させ、かつ回転の誤差も補正すべきであるが、CWES では簡易的に次のように行なう。各時刻の140°E、赤道上の点が一一致するよう画像全体を平行移動して TV ディスプレイ上に表示する。各区分画像毎、16分割画像毎には位置合わせを行わず、また回転の効果は考慮しない。

#### 3.2 風計算初期設定処理と各プログラムのコントロール

風計算初期設定処理は、風計算の処理モード、マッチングの算出モード、自動評価基準値などのパラメータを初期設定用入力データカード、および TV ディスプレイによるマンマシン対話処理により与えるものである。ここで与えた初期設定値は一部を除いて風計算の処理途中では変更できない。このプログラムはマンマシン法の雲指定処理と一体となっており、風計算の他の処理の前に行なわれる。一度マンマシン法の雲指定処理に移行した後は初期設定処理へ戻ることはできない。

CWES システムの各プログラム間のインターフェース、コントロール、処理途中の風ベクトルに関するデータはすべて「風ベクトルファイル」を介して行なわれる。この項目では風ベクトルファイルについて説明した後で初期設定処理について述べる。

##### (1) 風ベクトルファイル

風ベクトルファイルはコントロールレコードと、風ベクトルの情報を格納するベクトルレコードから成っている。

コントロールレコードは、画像の取得時刻、雲指定点数、高度決定方法、自動評価基準値、各プログラムの終了状態などの各種コントロール情報が格納される。これらの情報は初期設定時および各処理過程において書込まれたり書換えられたりして、各処理間の情報の受渡しが行なわれる。

ベクトルレコードは、1レコード(150ワード)に1観測ベクトル(1雲指定点に関するベクトル)についての算出経過や結果が、各処理で書込まれたり書換えられたりしながら、最初の雲指定処理から最後の出力処理まで順次受渡されて行く。ベクトルレコードはMM-1, MM-2, FL法についてそれぞれ399, 199および399レコード用意されている。指定点総数はこの数まで許されるが、キャンセル点を除いた有効数はプログラム上それぞれ

**Table 2** Initial parameters used in CWES system.

```

1. Program control
   Basic program name: WIND-VECTOR-FILE *
2. Initial parameters
   Start date: Year, month, day, hour, minute
   Wind speed unit: m/sec, km/h, mph, ft/min
   Height unit: m, ft
   Language: Japanese, English
   Main program: WIND-VECTOR-FILE
   Subprogram: WIND-VECTOR-FILE, WIND-VECTOR-FILE
3. Parameters for automatic assessment
   Method: WIND-VECTOR-FILE
   Name: WIND-VECTOR-FILE
   Threshold: WIND-VECTOR-FILE
   Method: WIND-VECTOR-FILE
4. Cloud assessment
   Method: WIND-VECTOR-FILE
   Size: WIND-VECTOR-FILE
   Height: WIND-VECTOR-FILE
   Boundary: WIND-VECTOR-FILE
5. Parameters for automatic assessment in persistent words
   Threshold: WIND-VECTOR-FILE
   Method: WIND-VECTOR-FILE
6. Threshold for automatic assessment in persistent words
   Velocity: WIND-VECTOR-FILE
   Position: WIND-VECTOR-FILE
7. Check case and check check pattern
   Check case: WIND-VECTOR-FILE
   Check pattern: WIND-VECTOR-FILE
(*) Fixed by initial parameter set.
(**) Possible to replace a current value with another parameter value in man-machine interactive operations on TV-display upon occasion.
(No mark) Possible to replace a current value with another parameter value on TV-display only in process of initial parameter set.

```

れ 399, 100 および 200 に制限されている。

### (2) 初期設定処理\*

この処理は雲指定処理の冒頭で行なわれ、風計算の他のすべての処理が始まるまでに終了していなければならない。

初期設定の項目は Table 2 に示すとおりである。これらのすべての値は、プログラムの初期入力データカードとして入力することができる。

次にプログラムの冒頭で、テレビディスプレイ上に2ページにわたって初期入力データカードとして入力された値が表示される。解析者(風計算のオペレーションを行なう者)はこれらの値の確認を行なうが、変更の必要のある場合は、ANK(アルファニューメリックキー)を使用して修正を行なう。ただし表中に\*を付した項目については初期入力データカードの値を変更することはできない。キーボード使用ディスプレイは初期設定処理中は変更不可能であるが、雲指定処理に移行すれば変更可能である。

これらの初期設定データの表示の外に、画像の定義の良否を確認するために、Z, A, B および C-画像の撮像時刻(年, 月, 日, 時, 分)が表示される。Table 2 の\*を付した項目と画像の定義に誤りのある場合はここでは修正不可能である。この修正を行なうためには一度プログラムを終了させて初期設定データカードの修正を行ない、あらためて始めからやりなおす必要がある。画像の定義で時刻順が入れかわっている場合はマンマシン法フィルムループ法のそれぞれの「風ベクトルの算出と雲頂高度付加」のプログラムにおいて雲の始終点を入れかえて処理を行なうようになっている。

初期設定データはすべて風ベクトルファイルのコントロールレコードに格納され、風計算各プログラムへの情報の伝達やプログラムのコントロールに利用される。

### 3.3 マンマシン法における雲指定処理と風ベクトルの算出

#### (1) 画像表示方式

雲指定処理のために表示できる画像は、オリジナル分解能をもった区分画像、およびサンプリング画像である16分割画像と全球画像である。これらの画像はすべて準備済画像データファイルから読み込まれる。準備済画像データファイルの区分画像、16分割画像および全球画像(1画面 528 pixels×512 lines)から切り出され再編成され512 pixels×512 linesの大きさで表示される。取得画像に対するこれらの表示画像の概念はpixel方向の大きさが少し異なるだけで準備済画像のそれらとほとんど同

\* 初期設定処理の行なわれるプログラムは、雲指定処理プログラムである。



Fig. 2 A visible image with original spatial resolution displayed on TV-screen at 00 GMT, 19 July 1978. The cross mark indicates a selected point and the area surrounded by a rectangle is a template area.

じであるので「画像準備処理」の Fig. 1 を参照されたい。

通常は3台（白黒2台，カラー1台）の TV ディスプレイに次の画像を表示する。

③ ディスプレイ（1）—白黒—区分画像

このディスプレイには心らず雲の指定・追跡を行なう種類の画像（IR または VIS）の区分画像を表示する。異なる種類の区分画像を表示することはできるが、この場合追跡雲の選定（雲指定）作業はできない。可視区分画像の表示例を Fig. 2 に示す。

このディスプレイには次の補助的信息が表示される。

このディスプレイに付属したキーボードを使用して作業しているときには

- ・雲指定を終了した位置にクロスマーク
- ・ANK（アルファニューメリックキー），FK（ファンクションキー）または CD（カーソルダイヤル）からの入力コマンド
- ・ANK, FK または CD からの入力待ち表示（「MM-

1」または「MM-2」の文字表示）

・エラー情報。

ディスプレイ（2）のキーボードを使用中の場合には

- ・表示中の区分画像の中心緯経度値
- ・雲指定点の緯経度値（MM-2 の場合は 始点および終点の緯経度値）

④ ディスプレイ（2）—カラー—区分画像

このディスプレイには次の画像を表示できる。

i) 擬似カラー画像（IR または VIS）

各階調に異なる色を与えて表示する。

ii) 白黒（8階調）画像（IR または VIS）

擬似カラー表示の一種であるが、白黒灰色のみを与える。

iii) 時系列重ね合わせ画像（IR または VIS）

可視または赤外の A, B, C 3枚またはそのうちの2枚の画像に異なる色彩（赤，緑，青色各8階調）を与えて重ねて表示する。雲の変形，移動等の変化を直接視察することができる。

MM-2方式のときは、この表示画面により雲の追跡を行なう。始点・終点の画像が重ね合わせで表示されていなければMM-2法による雲の追跡作業を行なうことはできない。

iv) 可視・赤外重ね合わせ表示

同時刻の可視と赤外の画像に異なる色彩を与えて重ねて表示する。色の組合せと階調変換を工夫することにより雲の高度・厚さ等を容易に総合的に判断できる。

このディスプレイに表示される補助的情報は、ディスプレイ(1)と同様であり、キーボード使用中か否かによって表示される内容が異なる。結局ディスプレイ(1)とディスプレイ(2)の両方で、前項で述べた補助的情報がすべて表示される。

© ディスプレイ(3)一白黒一全球画像/16分割画像

このディスプレイには次の画像を表示できる。

i) 全球画像(VIS または IR)

MM-1の処理モードになっているときには雲指定画像(A, またはB画像); MM-2の処理モードになっているときには始点画像が表示される。

ii) 16分割画像(VIS またはIR)

MM-1の処理モードになっているときには雲指定画像(A, またはB画像), MM-2の処理モードになっているときには始点画像が表示される。ただしディスプレイ(1)および(2)に表示されている区分画像が含まれている16分割画像が表示される。この16分割画像には緯経線および海岸線が画面上に重ね合わせで表示される。

このディスプレイには次の補助的情報が表示される。

- ・雲指定点数(MM-1, MM-2の処理モード別)
- ・CDの入力待ち(ディスプレイ(1)およびディスプレイ(2)に表示する区分画像の指定待ち)
- ・エラー情報

TVディスプレイを2台使用する場合にはディスプレ

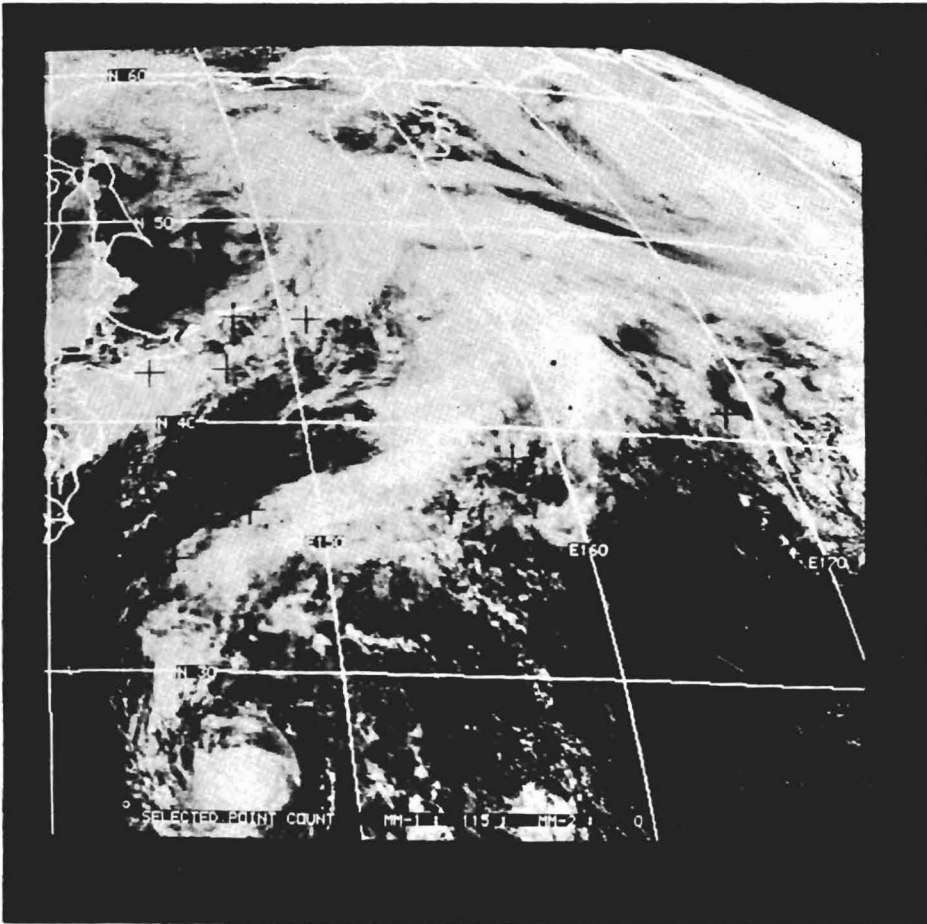


Fig. 3 (a) One of 16 visible sampled images, displayed on TV-screen for wind estimation. These image data are ingested at 00GMT, 19 July 1978. Cross marks are selected points for deriving winds in routine operation.

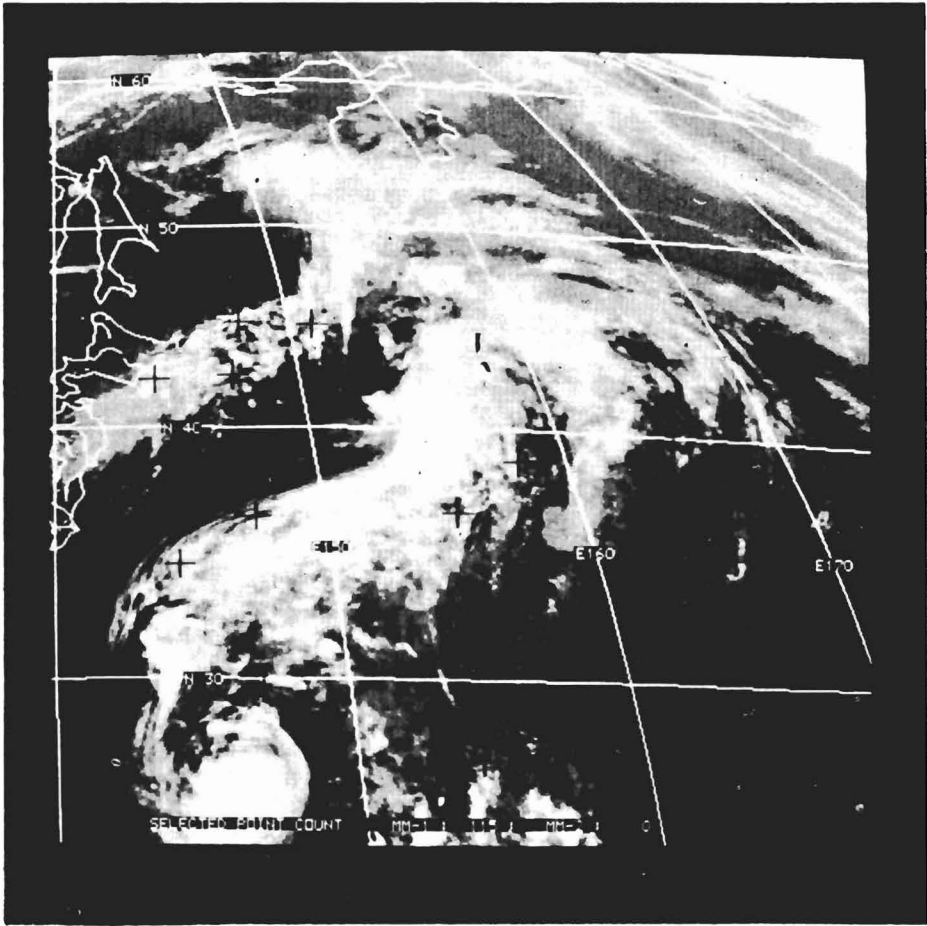


Fig. 3 (b) Same as Fig. 3 (a) but for one of 16 infrared images.

Table 3 Enhancement tables for displaying images on TV-screens in man-machine interactive procedures of CWES system.

Display console	Displayed color	Name of enhancement table*		Number of brightness levels			
		Fixed	Manual given	Visible		Infra-red	
				Input	Displayed	Input	Displayed
Monochromatic CRT	Black & White	M0	M1-M9	64	64	256	64
Color CRT	Pseud-color	C0	C1-C9	64	32	256	32
	Red	R0	R1-R9	64	8	256	8
	Green	G0	G1-G9	64	8	256	8
	Blue	B0	B1-B9	64	8	256	8

\* Enhancement tables described here are prepared for both visible image and infrared image individually. The 50 enhancement tables are prepared for each type of images and the 40 of these are possible to be manually given in man-machine interactive operation.

イ(3)は使用されず、したがって全球画像、16分割画像および上記の補助的情報を表示することはできない。またこのときこの画面からの表示区分画像指定もできない。16分割画像の表示例を Fig. 3 に示す。

## (2) 階調変換テーブルとその変更

風計算雲指定プログラムにおいて、各種画像を TV ディスプレイに表示するために階調変換テーブルを使用する。Table 3 に示すように表示の各種類について10枚の階調変換テーブルを持っており、そのうち1枚は固定テーブルとなっているが他の9枚はマンマシンの書替が可能である。可視画像用、赤外画像用としてそれぞれ50枚の階調変換テーブルを持っていることになる。

階調変換テーブルの変更は、風計算以外の処理(雲頂高度算出処理、姿勢決定予測処理のうちのランドマークマッチング処理)についても同じ方法で行なわれる。ただし階調変換テーブルの格納領域は各処理で持っているため、テーブルの枚数、名称は処理毎に異なっている。

変換の方法は、まず TV ディスプレイ(カラー階調変換テーブルの場合はディスプレイ(2)、白黒階調変換テーブルの場合はディスプレイ(1))に Fig. 4 に示す様

に階調変換テーブルをグラフで表示する。次にカーソルを操作し折線となっている部分を次々と指定することにより、変換曲線を任意に与えることができる。

## (3) 雲指定処理

追跡の対象となる雲の指定といくつかの必要な情報を入力する処理であって、風計算初期設定処理にひきついで行なわれる。両処理はひとつのジョブステップを構成しているが、一度雲指定処理へ移行したのちは再び初期設定処理へ戻ることはできない。

マンマシンにおける雲の指定(選定)・追跡の方法としては既に示した(Table 1)様に自動追跡法(マンマシン1点指定法、MM-1)と手動追跡法(マンマシン2点指定法、MM-2)がある。この両方法は雲指定作業の過程の中で何度でも変更できる。いずれの場合でも雲の指定は区分画像を次々に変更しながら行なう。区分画像の変更は、あらかじめプログラム内に組み込まれた5種類の表示順スケジュールのひとつ(初期設定で与える)による場合、全球画像または16分割画像でカーソルにより切出位置を指定する場合、および区分画像番号により表示画像を指定する場合の3つがある。2台のテレ

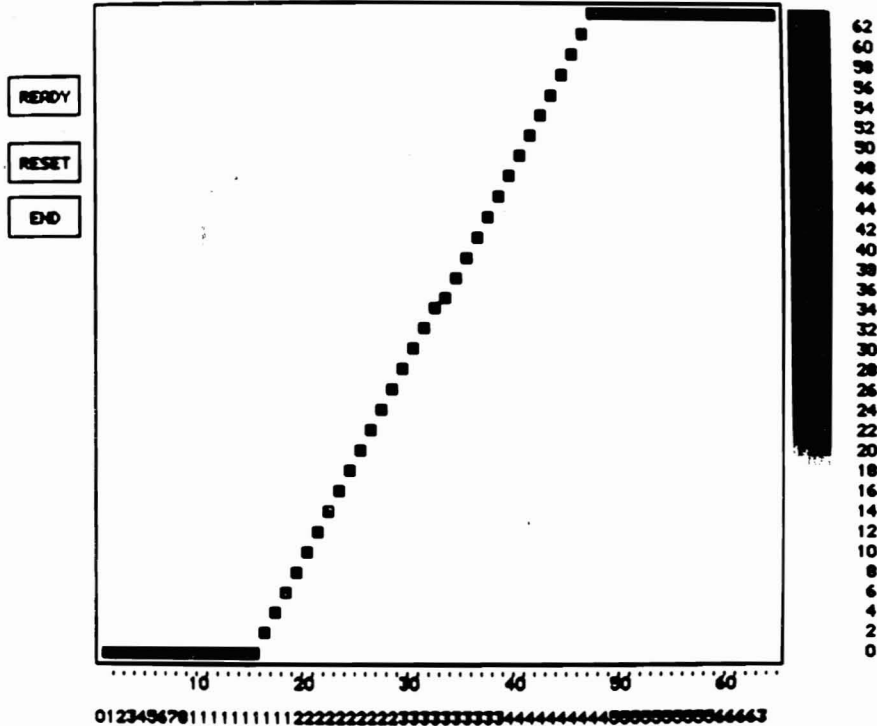


Fig. 4 An enhancement table depicted on TV-screen, which is used for displaying visible image on black-and-white TV-screen in target cloud selection procedures. An analyst may change the enhancement tables on TV-screen using cursor dials.



ビデオディスプレイによる処理の場合は第2の方法で区分画像の表示は行なえない。

テレビディスプレイ(1)―白黒―には、可視画像による雲の追跡を行なうときには可視区分画像を、赤外画像による雲の追跡を行なうときには赤外区分画像を表示して次に述べる雲の指定を行なう。MM-2法の場合はさらにディスプレイ(2)―カラー―に始終点の時刻の画像を含みかつ同じ種別(可視または赤外)の画像を時系列表示して雲の指定・追跡を行なう。

④ マンマシン1点指定法(MM-1)の雲指定点入力オペレータは、カーソルダイヤル、ファンクションキー(必要に応じて文字キー)を使用して、追跡雲の位置と雲頂高度の算出に必要な射出率の情報を入力する。オペレータが必要と判断した場合は、マッチング処理で得られる相関値配列(マッチングサーフェス)の保存指示を同時に行なう。これらの情報はすべて風ベクトルファイルのベクトルレコードの該当ワード位置に格納される。マッチングサーフェスのデータはマッチングサーフェスデータ保存ファイルに格納される。

⑤ マンマシン2点指定法(MM-2)の雲の追跡オペレータはカーソルダイヤル、ファンクションキー(必要に応じて文字キー)を使用して追跡雲の始点と終点の位置と雲頂高度の算出に必要な射出率の情報を入力する。これらの情報はすべて風ベクトルファイルのベクトルレコードの該当ワード位置に格納される。MM-2法の場合は雲の追跡もオペレータにより行なわれていることになるので、次のジョブステップであるマッチング処理での計算は行なわれない。

(4) マッチング処理

雲の指定点情報をもとに一定時間(通常30分)後あるいは一定時間前の画像から同一のパターンを見付け出して画像上の移動位置を算出する処理であり、すべての処理が計算機によって行なわれる。

MM-2法の指定点・追跡点に対しては計算機によるマッチング処理は行なわれない。

MM-1法のマッチング処理は、相互相関法により画像輝度レベル間の相関を求め画像上の移動位置を求める処理である。相互相関係数の配列(相関値配列)を算出する際に処理時間を節約するために高速フーリエ変換(fFT)を使用している。マッチングをとる方法として、1度サンプリング画像で粗いマッチング(Coarse matching)を行なって大まかな移動位置を求めておき、それを中心にサンプリングしない(オリジナル解像力の)画像を使用して補正マッチング(Fine matching)を行ない最終的な移動ベクトルを求める2段マッチング(Double matching)法を採用している。粗マッチング

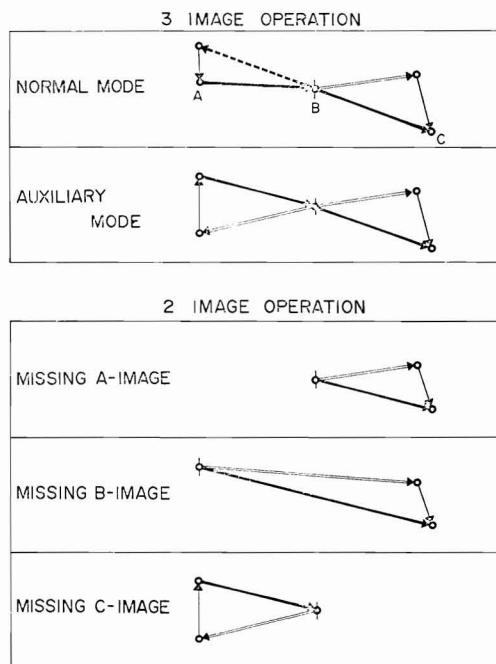
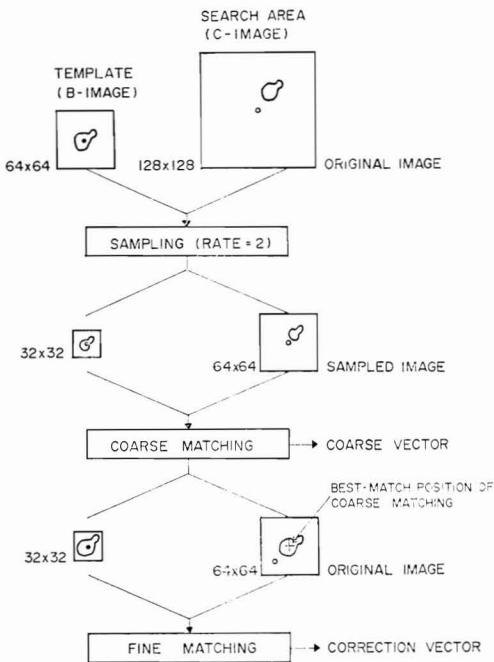


Fig. 5 The matching mode in CWES system. Usually three images (A, B and C) with 30 minute intervals are used for matching process. The mark "⊥" depicts a image used for target cloud selection. Vectors depicted by doublet are coarse ones, thin vectors are correction ones derived through fine matching procedures, and thick vectors are resultant vectors. The broken vector in normal mode is an inverse vector of resultant vector between B and C-image, and is replaced with the coarse vector between A and B-image.

を省略して補正マッチングのみで移動ベクトルを求める1段マッチング(Single matching)を最終ベクトルとすることはプログラム上不可能である。入力画像の枚数(2枚または3枚)により、Fig. 5に示す様なマッチング処理モードを有している。

相互相関法によるパターンマッチングの技法の概略については Appendix A に示す。風計算マッチング処理は、サーチエリアのサイズは64ピクセル×64ラインの大きさに固定されており、テンプレートエリアのサイズは32×32, 16×16 および 8×8 の3種類の中からオペレータが任意に選択でき、追跡雲毎に変更することも可能である。以下に、3画像入力の標準モード(Fig. 5のNormal mode)ときのB, C画像間の2段マッチングを例として粗マッチング、補正マッチングについて説明する(Fig. 6)。



**Fig. 6** The double matching scheme in CWES system. At first on sampling images a target cloud is tracked and a coarse vector of displacement is derived. Next on original spatial resolution images a correction vector is derived in similar procedure of the coarse matching. The procedures are called a coarse matching procedure and a fine matching procedure respectively. Sum of the coarse vector and the correction vector is a final result of cloud displacement. Double matching scheme is adopted in CWES system because rather large displacement may be derived in saving computer time.

#### ⑧ 粗マッチング (Coarse matching)

初期設定時縦横方向それぞれ別々に設定されているサンプリングレートによりサンプリングした後の画像について相互相関法によるマッチングを行なう。このサンプリングレートは初期設定時の値を処理途中に変更することはできない。

雲指定点を中心にしてB画像から初期設定で与えられたサンプリングレートでテンプレート画像(サンプリング後の大きさが $32 \times 32$ ,  $16 \times 16$ または $8 \times 8$ )を切り出す。次にB画像における雲指定点と同じ緯経度値の点を中心として、C画像からテンプレートと同じサンプリングレートでサンプリングして $64 \times 64$ の大きさの画像を切り出しサーチエリアとする。この2枚の画像から

Appendix A でのべる様にマッチング処理を行ない相関値配列を得る。その最大相関係数の位置が雲パターンの画像上での移動位置(lag-position)である。中心からこの位置までのベクトルが粗い雲移動ベクトル(Coarse vector)となる。

⑨ 補正マッチング (Fine matching) と画像上の移動ベクトルの算出

この処理過程ではいかなるサンプリングも行わずに画像間のマッチングを行なう。

粗マッチング過程と同じ雲指定点を中心にしてB画像からテンプレート画像( $32 \times 32$ ,  $16 \times 16$ または $8 \times 8$ )を切り出す。この大きさは粗マッチングのときと同じピクセル数とライン数であり、地球上での実際の大きさは粗マッチングのサンプリングレートだけ小さくなる。次にC画像から粗マッチングで得られた雲の粗い移動位置(Coarse vectorの先端)を中心に $64 \times 64$ の大きさに切り出しサーチエリアとする。この2枚の画像から同じくマッチング処理を行ない相関値配列を得る。その最大相関係数の位置が雲パターンの画像上での移動位置(lag-position)である。中心からこの位置までのベクトルが補正雲移動ベクトル(correction vector)となる。粗い雲移動ベクトルとこの補正雲移動ベクトルの和が、画像上での雲移動ベクトルとなる。

3枚の画像が入力している場合、Fig. 5に示した様に、B-A間のマッチングはB-C間と同様に2段マッチングを独立に行なう方法と、B-C間の最終マッチング結果のベクトルを逆向きにしてそれを予測ベクトルとし粗マッチングの代用とする方法がある。現業的には処理時間の節約のために後者を採用している。

2枚の画像のみ入力している場合は、それらの画像間で2段マッチングを行なう。

マッチングの処理過程を通じて、マッチングに使用されたテンプレート、サーチエリアのライン抜け(前のラインがくりかえし挿入される)の有無、相関値配列(マッチングサーフェス)の形状に対する評価を計算機内部で行ない不良ベクトルにフラッグをたてるか削除を行なう自動評価を行なう。この詳細については、他の自動評価も合わせて「3.5. 計算機による品質管理(自動評価)」の項目で述べる。

#### (5) 風ベクトルの算出と雲頂高度付加\*

\* 現業用に開発されたプログラムの名称は、前項の「マッチング処理」、この項目の「風ベクトル算出と雲頂高度付加」に対しそれぞれ「風ベクトル算出処理」「風ベクトル変換処理」が対応している。名称が幅湊(ふくそう)しているが本稿の分類の方が実際の処理を良く表現していると考えあえて変更した。

MM-1 方式でマッチングの処理を終了した各ベクトル、および MM-2 方式で雲の指定と追跡を終了した各ベクトルは画像座標系（ピクセルナンバー、ラインナンバー）上での移動量を表わしている。これらの各ベクトルの始点と終点の座標を地球上の座標（緯経度値）に変換し、風ベクトル（風向・風速あるいは東西成分・南北成分）を求めると同時に赤外画像から雲頂高度を算出し各ベクトルに付加するのがこの処理である。

#### ⑧ 風ベクトルの算出（座標変換）

MM-1 のマッチング処理あるいは MM-2 の雲指定処理を終了した各ベクトルの始点（MM-1 の雲指定点または MM-2 の始点雲指定点）と終点（MM-1 のマッチングにより求められた雲移動点または MM-2 の終点雲指定点）をそれぞれ別々にその時の軌道姿勢データ（準備済画像の画像パラメータ部に格納されている）をもとにして測地学的緯経度に変換し、緯度はさらに地心緯度に変換する。始点と終点の平均地心緯度と平均経度の点を地球半径とする球体近似を行ない、緯度差・経度差から移動距離の南北成分と東西成分を求める。さらに雲の移動距離、および方位角（風向に相当する）を算出する。ここで行なう球体近似は算出風ベクトルに対して有意な誤差をひきおこさないことは、プログラム開発の過程において検証済みである。

一方緯経度値への変換のときに同時に求めておいた始点終点それぞれの画像上の撮像時刻差（時間）で上記各値を割って、風ベクトルの南北成分、東西成分および風速を求める。

MM-1 方式で3枚の画像（A、B および C 画像）が入力している場合には A—B 間、B—C 間それぞれ別々にこの処理を行ない、1 回の雲指定点に対して時間的に連続する2つのベクトルを算出する。この場合 B—C 間で求められたベクトルが最終的に出力される風ベクトルとなる。A—B 間のベクトルは後述する自動評価のために使用される。

MM-2 方式の場合には1回の雲指定点（始点と終点）に対して1つのベクトルが算出される。

#### ⑨ 雲頂高度の付加

算出された風ベクトルの始点・終点の地球座標と同じ位置を中心とした赤外画像から雲頂高度を算出する。この処理は別項で述べる雲頂高度算出処理のために開発されたプログラムの一部を風計算処理に組込んだものである。詳細な処理方式については、「雲頂高度算出処理」の項目を参照されたい。ただし風計算処理では、雲頂高度算出の処理の部分についてマンマシン処理の部分は持っていない。また一部の機能は縮小されている。

風計算処理における雲頂高度の算出法としては、最低

温度法、最頻温度法（モード法）および平均温度法の3方式がある。算出のために切出す赤外画像の大きさは風計算の場合は17ピクセル×17ライン以下の大きさと与えることができる。これらの雲頂高度算出方式と切出し画像の大きさは初期設定時に与え、処理途中の変更はできない。

雲頂高度の算出はまず切出された赤外画像の輝度レベルのヒストグラムを作成し上述のいずれかの算出方式で雲頂の輝度レベルを求め、輝度温度変換テーブル（準備済画像上の画像パラメータに格納されている）により黒体放射温度（ $T_{BB}$ ）に変換する。さらにオペレータが雲指定時に与えた射出率から2層モデルにより雲頂の  $T_{BB}$  を修正する。この場合下層の温度として広域放射表面温度データを使用するが、陸上等で得られない場合は統計的鉛直温度分布データ（GMSSA データ\*）の1,000 mb の温度を使用する。次に水蒸気の吸収による大気補正を行ない雲頂温度  $T_c$  を算出する。GMSSA データを使用し雲頂高度（気圧高度  $P_c$  およびジオポテンシャル高度）に変換する。1雲指定点に対して各画像（通常は、MM-1 では A、B、C の3画像、MM-2 では始点と終点の2画像）について雲頂高度が算出される。時刻の遅い画像により算出されたものが最終出力として採用されるが、エラー等で算出されていないときは順次早い時刻のものが採用される。いずれの画像からも求められない場合は対象風ベクトルはこの時点で即時無条件で削除される。

風ベクトルの算出と雲頂高度付加の処理において、算出されたベクトルの時間的な変化（A—B 間、B—C 間）、雲頂高度の時間変化および雲頂高度算出に使用した赤外画像にライン抜けがあるか否かについて計算機内部での自動評価を行なう。この詳細については「3.5. 計算機による品質管理（自動評価）」の項目で述べる。

#### 3.4 フィルムループ法における雲の追跡と風ベクトルの算出

マンマシン法による処理では雲の指定から風ベクトルの算出まですべてデジタルデータによる処理が行なわれるが、フィルムループ法ではフィルムループ作成のための写真処理、オフラインの雲の追跡処理を経てから大型計算機に入力される。ここで風ベクトルが算出された後は、マンマシン法で算出されたベクトルとともに品質管理処理、出力処理等の後続の処理へ送られる。フィル

\* GMSSA データ（GMS Standard Atmosphere）；緯経度  $5^\circ$  毎に準備された鉛直温度分布データ（気候値）。北半球については U.S. NAVY（1970）、南半球については NCAR（1971）による。月毎に指定気圧面と地上データが準備されている。

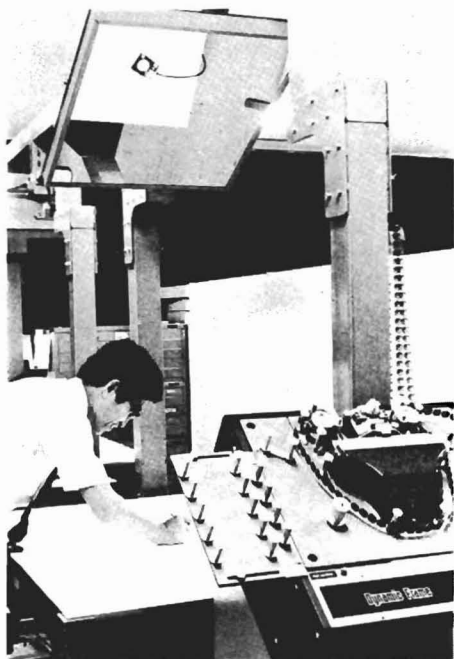


Fig. 7 Film-loop projector and digitizer board used for target cloud tracking in FL procedure.

フィルムループ法による風ベクトルの算出処理はアナログ処理とデジタル処理の結合された処理であると言える。

#### (1) フィルムループの作成

オンライン処理で作成される一定時間間隔（現業的には30分間隔）の4枚（時刻順にそれぞれ Z, A, B および C 画像で、あとの3枚はマンマシン法で使用するのと同じ画像）の HR-FAX 全球出力画像から取得時刻順にエンドレスのアニメーションフィルム（フィルムループ）を作成する。このフィルムループが雲追跡用画像データである。

フィルムループ作成の詳細については第1部の「写真システム」の項を参照のこと。

#### (2) 雲の追跡と雲追跡座標値カード（FL カード）の作成

フィルムループを映写装置（Fig. 7）にセットし座標数値化装置の上に投影する。座標数値化装置上にはあらかじめワークシートをはりつけておく。ワークシート上にはじめにベンチマーク（全部で13個）の始点と終点、つづいて追跡雲の始点と終点を記入する。ベンチマークおよび雲の種類によって鉛筆の色を変えて記入する。

追跡の作業を終了したら雲の種類別にカーソルによる始点・終点の数値化（ボード上の物理的位置）を行ないデータカードとして出力する。

これらのパンチカードの冒頭に FL 方式カードを、ベンチマークの識別あるいは追跡雲の分類のための識別カードをはさみ込んで FL カードデッキとし、大型計算機によるフィルムループによる風ベクトル算出と雲頂高度付加処理の入力データとする。

追跡雲の分類は雲頂高度の算出のために使用されるもので6種類ある。このうち4種類は赤外画像データから雲頂高度を算出するためのもので射出率値（現業的には1.0, 0.9, 0.8 および 0.7）が対応しており、オペレータの理解を助けるために雲形名（Cu, St, As および Ci）が対応させてある。射出率値は風計算処理の初期設定時に定められ、マンマシン法の場合と共通で使用され、処理途上での変更は許されない。残りの2種類は、特に絹雲における射出率値の設定の困難さおよび多層雲の処理を考慮してフィルムループ法のみにも与えられるもので、一定高度と圏界面高度を雲頂高度とするものである。一定高度は FL カードによりオペレータにより与えられ、圏界面高度は GMSSA データ内に格納されているものが与えられる。一定高度は1観測時に1つの高度のみ与えることができる。

#### (3) フィルムループ法における風ベクトルの算出と雲頂高度付加\*

この処理は大型計算機で行なわれ、基本的な処理はマンマシン法の場合と同じである。マンマシン法の場合は雲の移動ベクトルの始点と終点が画像座標（ピクセルナンバー、ラインナンバー）で与えられるのに対し、ここで述べるフィルムループ法の場合はディジタイザボード上の物理的座標値で与えられることと、雲頂高度算出方式に新たな2種類（一定高度、圏界面高度）が加わるところが異なっている。

##### ④ ベンチマークと画像座標への変換

ディジタイザ上の物理的座標値を画像座標に変換するためにオンライン系の FAX 作成処理のときに HR-FAX に挿入した13個の十字のマークがベンチマークである。これらのマークはいつも画像座標上の同一の位置に入っている。各指定点のディジタイザ座標値は近傍の3個のベンチマークから内挿して画像座標に変換される。

##### ⑤ 風ベクトルの算出（座標変換）

ベンチマークの座標値をもとにして画像座標に変換された始点・終点についてマンマシン法の場合と同じ方法で風ベクトルの東西成分、南北成分、風向、風速が算出される。

\* 現業用に開発されたプログラムの名称は「LF 変換処理」であるが、実際の処理内容をよく表現するよう名称を変更した。

### ㊦ 雲頂高度の付加

射出率が指定された追跡雲の場合はマンマシン法の場合と同じ方法でC画像における雲頂高度のみが算出され各ベクトルに付加される。この場合の雲頂高度算出法（最低温度法、最頻温度法あるいは平均温度法）および切出し赤外画像の大きさは風計算初期設定時に与えられ、マンマシン法と共通に使用される。また処理途上の変更はできない。

一定高度付加が指定されている追跡雲についてはFLカードの方式カードで与えられた高度を付加する。1回の観測について1個の一定高度のみ与えることができる。

圏界面高度付加が指定されている場合はGMSSAデータファイル内に格納されている圏界面高度が付加される。

雲頂高度が求められない場合はこの時点で即時無条件で対象風ベクトルは削除される。

フィルムループ法の風ベクトル算出と雲頂高度付加の処理において雲頂高度算出のために切出されたIR画像にライン抜けがあるか否かについて計算機内部で自動評価を行なう。この詳細については「3.5. 計算機による品質管理（自動評価）」の項で述べる。

### 3.5 計算機による品質管理（自動評価）

GMS風計算システム（CWES）では計算機内部で行なわれる品質管理（自動評価）とTVディスプレイやグラフィックディスプレイを使用してマンマシン的に行なう品質管理の機能を持っている。これらの方式としてはいくつかが考えられる（浜田ら、1978）が、本稿ではCWESシステムに採用されている品質管理の処理方式について説明する。CWESシステムで採用されている品質管理項目はTable 4に示す。マンマシン処理による

品質管理（manual quality control）については次項で述べる。

Table 4に示した5つの自動評価（automatic assessment）の項目のうちマンマシン法では(1)と(4)は「マッチング」の処理過程で、(2)、(3)および(5)は「風ベクトル算出と雲頂高度付加」の処理過程で行なわれる。フィルムループ法では(5)の赤外画像のライン抜けのチェックのみが自動評価の対象となっている。

品質管理結果を格納するためにマンマシン処理によるものも含めて1個の雲指定点に対して1ワード（36ビット）の品質評価結果を格納する領域（品質インデックス）が与えられている（Table 5）。各ビットに1項目の評価項目が対応しており、評価結果が「良」のときはそのまま（初期値0）、「不良」のときは1とする。一方初期設定時に各項目について品質評価の対象とするか否か（「不良」の判定のときにそのベクトルを削除するかどうか）をインデックスチェックパターンとして1ワードに与えておく。各評価の終了毎にインデックスチェックパターンと品質インデックスの論理積（AND）をとってひとつでも1となった場合は、そのベクトルを不良ベクトルとして削除する。ただし初期設定時に継続モードを指定した場合はADESS配信時のみ不良ベクトルの削除を行なう。

#### (1) 相関値曲面に関する自動評価

マッチングの処理過程で算出される相関値曲面（マッチングサーフェス）に関するパラメータに閾値を与えておいて評価する。評価の項目は、Table 5に示されているマッチングサーフェスに関する5つの項目で、①最大ピーク値、②最大ピーク位置の移動限界、③最大ピーク付近の尖鋭度、④最大ピークと2次ピーク位置間の距離、⑤最大ピークと2次ピークの値の差である。これらのパラメータについての詳細はAppendix Bに記述されている。Fig. B-1に示した説明図を参照されたい。

この評価は粗マッチング、補正マッチングそれぞれ実行したマッチングの回数だけ独立に行なわれる。各対象ビット毎に閾値と比較して不良とされたものについて品質インデックスの該当ビットを‘1’とし、インデックスチェックパターンと比較して両者とも‘1’である場合、すなわち品質インデックスとインデックスチェックパターン間の論理積ANDをとって0とならないときは、次に述べる場合を除いて削除対象ベクトルとなる。

相対ビット位置4および5の評価項目である1次ピークと2次ピーク間の距離とピーク値の差については組み合わせで解釈される。Table 6に示すようにこの両者とも閾値より小さい場合はビットオン（‘1’）となるが、ピーク値の差が大きい場合は距離差に関係なく「良」、

**Table 4** Quality control of CWES system.

Automatic assessment	
1)	The features of matching surface
2)	Picture-to-picture variation of cloud top heights
3)	Wind acceleration
4)	Checking on missing lines of the images used for matching process
5)	Checking on missing lines of IR images used for cloud top height assignment
Manual quality control	
- Using graphic display	
1)	Checking on horizontal consistency
2)	Comparison with rawin sonde winds
3)	Checking on the features of matching surface
- Using TV-display	
1)	Checking on reasonability of automatical tracking
- Using film-loop	
1)	Checking on identity of each result vector with film-loop displacement (Projection Method)

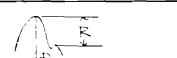
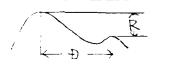


Table 5 A quality index word.

Bit	Meaning			
MSB	1	Missing line of IR images	For cloud-top height (CTH) assignment	
	2	Completion of checking on CTH variation		
	3	Checking on CTH variation		
4	4	Missing line of images used for matching process	For wind acceleration	
	5	Completion of checking wind acceleration		
	6	Checking on wind acceleration		
7	0	Dummy	Coarse matching 1	Indices for matching surface survey *
	8	Dominant peak value		
	9	Limited lag-position of dominant peak		
	10	Sharpness around dominant peak		
	11	Distance between lag positions		
12	Difference between peak values			
13	}	(Repeating bit positions, 7 to 12)	Fine matching 1	
19	}	(Repeating bit positions, 7 to 12)	Coarse matching 2	
25	}	(Repeating bit positions, 7 to 12)	Fine matching 2	
				30
LSB	31	Dummy	Manual indices	
	32	Dummy		
	33	Checking on winds in film-loop projection		
	34	Comparing with rawinsonde data		
	35	Checking on horizontal consistency		
	36	Flag requiring manual judgement**		

\* These parameters are described in Figure B-1.

\*\* Flag requiring manual judgement : In case of failing automatic quality control explained in Table 6, the flag is put on and the vector is sent to manual quality control process. In manual process, an analyst inspects matching surfaces, images and a resultant vector, and judges the vectors reliability.

Table 6 Automatic assessment on multiple peaks of a matching surface.

The view of matching surface with multiple peaks	Quality indices		Index check pattern			
	Distance (D)	Difference (R)	'11'	'10'	'01'	'00'
	1	0	PASS	PASS	PASS	PASS
	0	0	PASS	PASS	PASS	PASS
	1	1	FAIL	FAIL	FAIL	PASS
	0	1	(Sent to manual judgement*)			

\* At the same time cross-correlation matrix data are kept on disk pack.

値の差が大きく距離差が大きい場合は後で行なわれるマニュアル品質評価へ送るために品質インデックスの36ビット目を '1' とし相関値配列をディスク上に保存して

おく。後者の場合はマニュアル品質評価のときにグラフィックディスプレイでマッチングサーフェスを視察しTVディスプレイ上で良否の判断をした上で36ビット目

のインデックスを '0' とすることができる。インデックスチェックパターンがこの2つの項目についてともに '0' のときは1次ピークと2次ピーク間の距離とピーク値の差に関して不良ベクトルの削除は行なわれない。

(2) 風ベクトルと雲頂高度の時間的連続性に関する自動評価

この自動評価のためには品質インデックスワードの第1～第6ビットが使用される。

③ マンマシン1点指定法による算出ベクトルの場合通常はA, B, C3枚の連続画像が入力するので、1個の追跡雲に対して時間的に連続した2つのベクトルと3つの雲頂高度が算出される。これらの2つのベクトル間のベクトル差が大きい場合および雲頂高度の変化が大きい場合は、異なる追跡雲とマッチングをとっていたり、衰退・発達等の変化の激しい雲を追跡の対象とした可能性があるため信頼性に欠けるものとみなし品質インデックスワードの対象ビット (第3および第6ビット) を '1'

とする。

雲頂高度算出のために切出した赤外画像にライン抜けがあった場合およびマッチングに使用したテンプレートあるいはサーチエリア画像にライン抜けがあった場合にはそれぞれ対象ビット (第1および第4ビット) が '1' となる。

また1個の指定雲に対して雲頂高度が1つ (A, BあるいはC画像) しか求まらないときと、ベクトルが1つ (A-B間あるいはB-C間) だけ算出される処理モードになっているときは、これらの項目の自動評価ができないことを示すために、それぞれ対象ビット (第2および第5) を '1' とする。

この項目の評価はマッチングに使用されたテンプレートとサーチエリア画像のライン抜けについては「マッチング」の処理過程で、その他については「風ベクトルの算出と雲頂高度の付加」の処理過程で行なわれる。

ライン抜けは赤外画像について2ライン以上、可視画

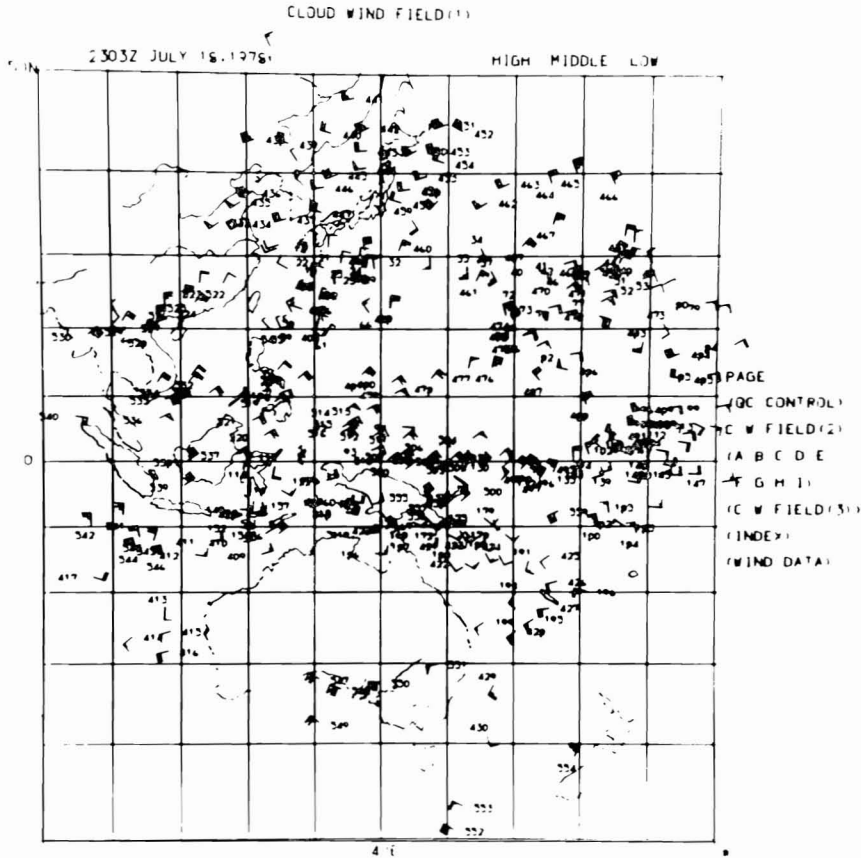


Fig. 8 Resultant wind vectors at 00 GMT, 19 July 1978, displayed on graphic display for checking on horizontal consistency of winds. Upper, middle or low-level winds an analyst prefer to inspect can be depicted individually.





マンマシン処理による品質管理は、グラフィックディスプレイ上に算出風ベクトル、高層観測データ、相関値曲面の表示を行なうもの、およびTVディスプレイ上に時系列重ね合わせ画像と算出風ベクトルを表示して行なうものの2つから成立っている。これらの品質管理の準備のために高層データ編集処理がある。

(1) 高層データ編集処理

算出風ベクトルと実際の高層観測風との比較を行なうために、オンライン計算機を経由して入力する高層電報をデコードしディスクバック上に格納する処理である。デコードの対象となるのは、あらかじめプログラム内で定数として与えられている高層観測点80点以内の高層電報の指定気圧面情報（A部）と特異点情報（B部）の高度（mb）、風向（度）および風速（m/s）である。

(2) グラフィックディスプレイによる品質管理

この品質管理は算出風ベクトルの空間的一貫性のチェック、高層観測風データとの比較および相関値曲面

の視察の3項目から成っている。前2者の処理ではオペレータによる判断で不良ベクトルの削除を行なうことができる。第3の相関値曲面の視察は、ベクトルの削除等の操作はできないが、TVディスプレイによる品質管理の際の操作の参考とする。

③ 空間的一貫性のチェック

この処理を行なうときのグラフィックディスプレイ表示画面の一例を Fig. 8 に示す。自動評価を通過したすべてのベクトル（継続モードの時には自動評価を通過しないものも含めてすべてのベクトル、以下同様）がメルカトル投影図上に表示される。上層雲、中層雲、下層雲（高度境界は初期設定時に与える）のベクトル、緯経線および海岸線の情報をそれぞれ独立に表示したり消去したりすることができる。ベクトルの番号を指定することによりその算出風ベクトルの位置、風向および風速の情報を表示することができる。オペレータはこれらの機能を使用して空間的一貫性のチェックを行ない、不良ベ

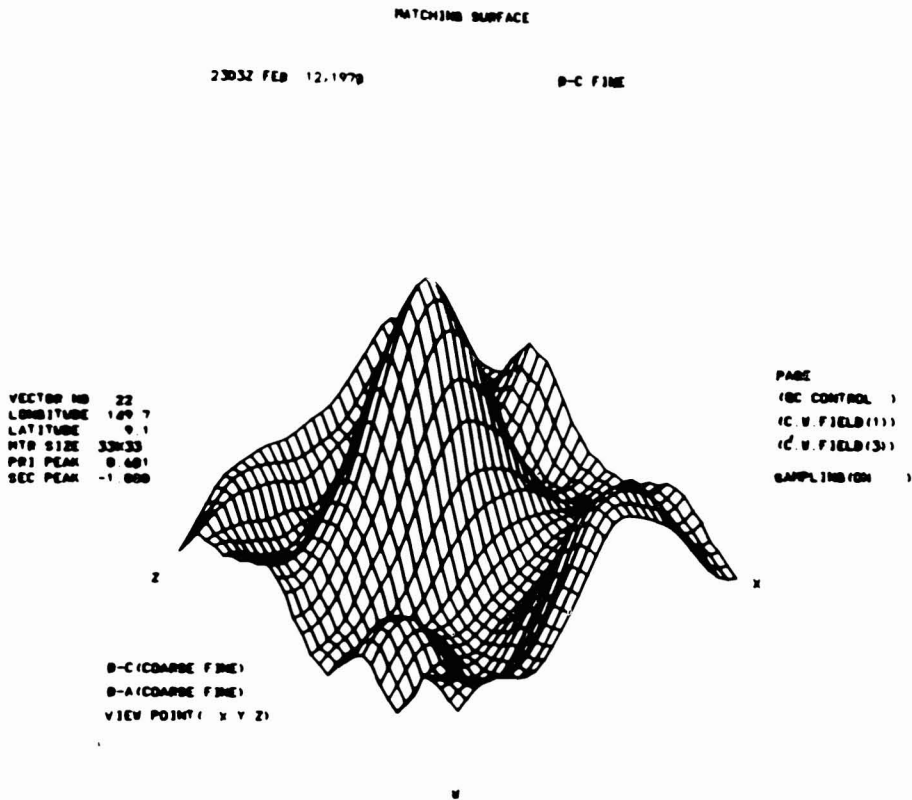


Fig. 10 A matching surface depicted on graphic display. An analyst inspects matching surfaces in routine operation to separate unreliable results. Referring to the inspection, an analyst may reject unreliable vectors in the procedure of quality control using TV-display. The selected target cloud shown in Fig. 11 has produced the matching surface.

クトルと判断した場合にはインデックス付加の操作を行ない品質インデックスの該当ビット (Table 5 の35ビット目) を '1' とすることができる。

⑥ 高層観測データとの比較チェック

表示画面を Fig. 9 に示す。この画面は9つのサブエリアから成っている。隣接するサブエリアは緯経度で  $10^\circ$  ずつ重なり合っている。各サブエリアは東西、南北とも  $40^\circ$  ずつの大きさを持っており、メルカトル投影の緯経線、デコードされた高層風データのある高層観測点およびサブエリア内にある自動評価を通過したすべてのベクトルが表示される。MM-1, MM-2 および FL のそれぞれの算出ベクトル、緯経線および海岸線の情報

をそれぞれ独立に表示したり消去したりできる。高層観測地点 (▲印で表示) をライトペンで指示すると高層風の鉛直分布 (指定面高度のみ) が矢羽根で表示される。ひきつづいて風ベクトルの番号をキーインすると両地点間の距離、風の東西・南北成分の差、高度差が風ベクトル算出高度および LBF 高度\* (Hubert *et. al.*, 1971) 別に表示される。オペレータはこれらの機能を使用して高層観測風との比較チェックを行ない、不良ベクトルと判断した場合にはインデックス付加の操作を行ない品質インデックスの該当ビット (Table 5 の 34 ビット目) を '1' とすることができる。

⑦ 相関値曲面の視察

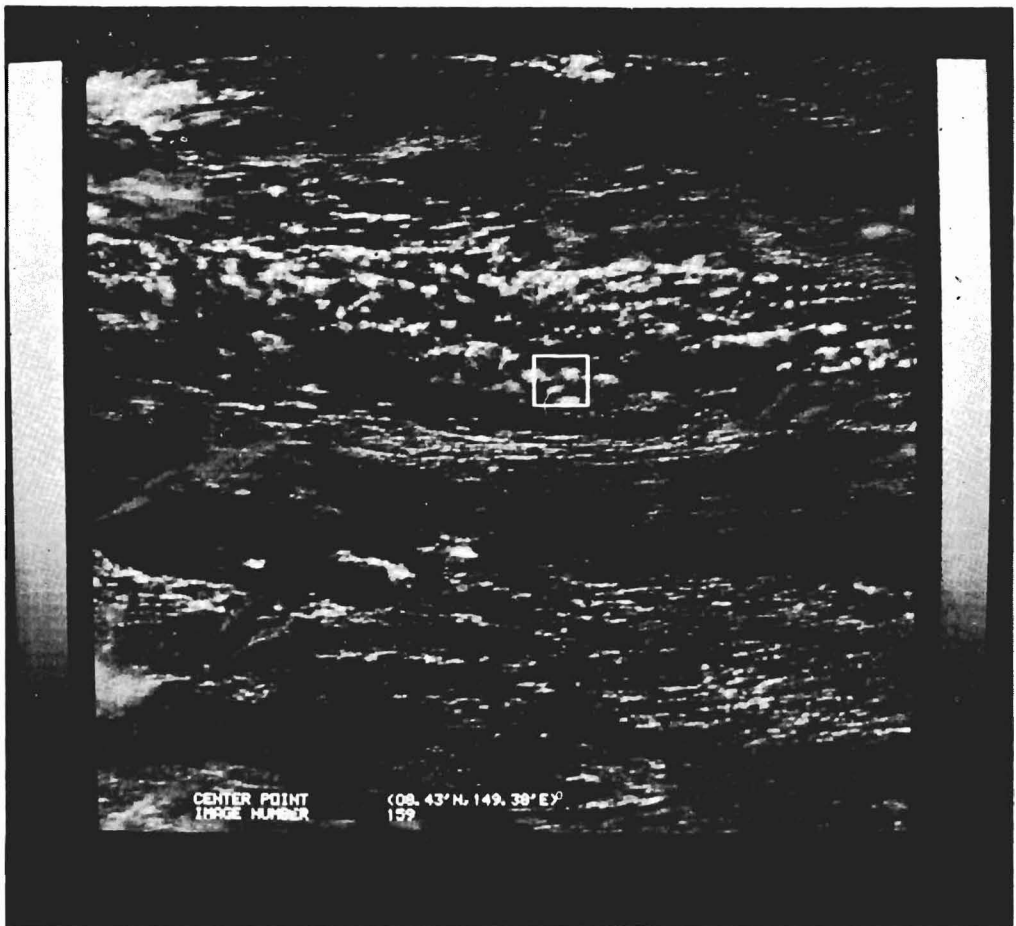


Fig. 11 A visible image with original spatial resolution depicted on TV-screen. The rectangle depicted in the Figure is selected target cloud, which produces a fine matching surface shown in Fig. 10.

\* LBF (Level of Best Fit); Hubert *et. al.* (1971) の導入した考え方で雲移動ベクトルの正確な高度が不明なので、近傍の高層観測風の hodograph 上で雲移動ベクトルと最も良く一致する高度を求め LBF とした。Hubert らはこの LBF 高度を推定高度として、オペレータが如何に良好な追跡雲を指定したかという調査を行なった。

この項目の表示画面は、相関値配列が保存されている風ベクトルが表示されるコントロール画面と、相関値曲面の表示を行なう画面の2種類がある。Fig. 10 にマッチングサーフェスの表示画面、Fig. 11 にその時の指定雲の表示された区分画像を示す。

ここで表示することのできる相関値曲面は雲指定時に相関値曲面保存の指示をしたものと、自動評価により保存の条件にあった相関値曲面である。1つの指定点に関連する相関値曲面は保存の条件に適合したものだけでなく必ずまとめて保存される(最大、A-B間、B-C間のそれぞれの粗、補正マッチングの結果の4個)。データを格納するディスクパック上の領域の制約から上記条件に適合したものうち雲指定番号の小さいものから40指定点分の相関値配列のみが保存される。

コントロール画面に表示されている風ベクトルの雲指定番号のひとつをキーインすると Fig. 10 に示すような相関値曲面が表示される。水平面からの俯角 $45^\circ$ となるような俯瞰(ふかん)図として表示され相関値の最大値を表わすピーク値の大きさは常に一定となるよう規格化されている。原点の位置(方位角)はライトペンの指示により変更できる。またその雲指定番号に属するすべての相関値曲面を粗、補正マッチングともライトペン指示により表示できる。

オペレータはこれらの機能を使用して相関値曲面の視察を行なうことができる。この結果は後述するTVディスプレイによる品質管理におけるインデックス操作の作業に反映される。

相関値曲面の視察は、ルーチン業務における品質管理の他に、風計算初期設定パラメータのうちの自動評価の基準値(Table 2 の第5項)の決定のために使用される。ルーチン業務開始前とその後変更の必要の生じたときにはテスト的雲指定を行ないすべての相関値曲面と雲指定画像の撮影を行なって人間の判断と自動評価結果が一致するように基準値を設定する。この作業についてはSMS画像による風計算国際比較で行なった方法(浜田ら、1978)で行なわれる。

### (3) TV ディスプレイによる品質管理

グラフィックディスプレイによる品質管理を終えた各ベクトルについて、TV ディスプレイを使用した品質管理が行なわれる。この品質管理に使用されるプログラムは「初期設定および雲指定」「風ベクトルの算出と雲頂高度付加」の2つでマンマシン法の各処理プログラムと同じものであるが、初期設定時に処理形態(初期モードあるいは品質管理モード\*)が決まるようになっている。

品質管理モードによる「初期設定および雲指定」処理で行なえる機能は初期モードにおける機能から MM-1 雲

指定処理の部分を除いたものである。この他に品質管理の機能として、算出風ベクトルの区分画像上への重ね合わせ表示と品質インデックス付加の機能を持っている。

この処理のためマンマシン法とフィルムルーフ法それぞれの「風ベクトル算出と雲頂高度付加」の処理で出力された風ベクトル算出結果リスト(ラインプリンタ)をオペレータの参考資料として使用する。

### ④ 算出風ベクトルの画像上への表示と品質インデックス付加

ディスプレイ(2)カラーに時系列重ね合わせによる表示を行なうようにしておく。雲指定番号をキーインすると算出風ベクトル(MM-1法の場合最終結果として採用されるもので通常はB-C間のベクトル)が表示され、画面はその指定雲が存在する区分画像が時系列重ね合わせで表示される。オペレータは実際の雲の移動とベクトルが一致しているかどうかを判断し品質インデックスのマニュアル判断のビット(第5表の36ビット目)を「1」としたり「0」とすることができる。このビットは自動評価でマニュアルの判断を要請されたものについては「1」となっており、オペレータが算出ベクトルが良好であると判断した場合は「0」とする。ルーチン業務では主としてこの処理のみを行なう。その他の場合は「0」となっており(初期状態のまま)、オペレータは算出ベクトルが不良と判断した場合には「1」とする。

Fig. 12 に算出ベクトルの表示例を示す。実際はカラーディスプレイ上に時系列重ね合わせ画像とさらに重ねてベクトルを表示するが、カラー写真の掲載はできないのでここでは白黒ディスプレイ上への表示例を示した。

### ⑤ 雲の追加指定

品質管理モード雲指定では MM-2 法による雲の追加指定を行なうことができる。この機能は自動評価の結果マニュアル判断が要請されたもので2次ピークの方が真の移動位置とみられるものについて MM-2 法によって指定をやりなおすのが目的である。算出ベクトルが自動評価で削除されて少なくなってしまう領域について特に行なわれる。フィルムルーフ法に比較して時間間隔が短くなる(30分または1時間、フィルムルーフ法の場合は1時間30分)ために指定位置誤差が多少大きくなる

\* 雲指定の処理形態;「初期モード雲指定」プログラム、「品質管理モード雲指定」プログラムは、現業用プログラムではそれぞれ「雲指定」プログラム、「チェック雲指定」プログラムと呼ばれている。本稿でも特に区別の必要のないときは「初期モード雲指定」プログラムは単に「雲指定」プログラムと称する。



**Fig. 12** A resultant vector superimposed with a visible image having original spatial resolution. Actually two or three images with 30 minute interval(s) are displayed simultaneously on the color TV-screen, and an analyst may reject unreliable results referring to the inspection of the matching surfaces in the procedure of quality control on graphic display. Color picture is replaced with the black-and-white picture for the convenience of printing here.

ことは避け難い。

品質管理モード雲指定処理終了後風ベクトルの算出と雲頂高度付加プログラムによりここで指定した MM-2 指定点のみについてベクトル算出を行ない既算出ベクトルに追加される。

### 3.7 フィルムループ投影による品質管理（プロジェクト法；PM 法）

この品質管理は、算出ベクトルがシステムのい貫して算出されているか否かの判定を行なうのが主な目的であり、マンマシン法、フィルムループ法の何れで算出されたベクトルについても処理を行なうことができる。

まず全球画像と同じグリidding上に算出された雲の移動ベクトルをプロットする。その図の上に重ねてフ

ィルムループ法の雲指定に使用したフィルムループを投影して雲の移動とベクトルの一致を検証するものである。

この処理はベクトル図作成のためのプロットテープ出力を行なう「PM 出力」処理と、それにひきつづいて行なわれるオフライン処理の「フィルムループ投影による風ベクトルのチェック」処理のふたつから成っている。

#### (1) PM 出力

マンマシン法とフィルムループ法で算出され自動評価を通過したすべてのベクトルを、全球画像と同じグリidding上にプロットするための MT(プロットテープ)を出力する。さらにこのプロットテープからプロット図を作成する処理である。

プロットされるベクトルはZ画像からC画像上への移動量に換算され、それらの画像の始終点間にベクトルを描く。ベクトルには雲指定番号が付加されている。グリッドニングの範囲はこのプログラムの初期データとしてカードで与えることができる。

(2) フィルムループ投影による風ベクトルのチェック  
この処理はオフラインで行なわれる。

PM 出力で作成された雲の移動ベクトル図上にフィルムループを投影する。オペレータは雲の移動をよく観察し、算出されているベクトルが投影されている雲の移動と一致しているか否かの判断を行ない、不良ベクトルと判断したものについてはチェックマークを付けておく。最後にチェックマークの付いたベクトル番号をカードにパンチして配信プログラムの初期データカードとして入力すると品質インデックスの該当ビット (Table 5 の33

ビット目) を '1' とすることができる。

3.8 出力処理

この処理は最終的に風ベクトルを配信し、保存するために行なわれる。時間的に制約のある国内外への配信のための処理を行なってから保存用の出力および衛星センター内解析作業用出力を行なう。

(1) 配信

国内外の利用者へ配信するために国際通報式 SATOB (FM 88-VI) の形式に編集し、オンラインパッチ共用ファイル上へ出力する。オンライン系データ集配信処理により気象庁の気象資料自動編集集中継装置 (ADESS) へ送信されそこから GTS 回線により放送されるとともに気象庁電子計算室へ送られる。

ここで配信の対象となるベクトルは、自動評価の項目で述べたようにインデックスチェックパターンと品質イ

Table 7 A part of wind list operationally derived from CWES system at 00 GMT, 19 July 1978.

NO.	LATITUDE (DEG, MIN)	LONGITUDE (DEG, MIN)	U (M/S)	V (M/S)	DIR. (DEG)	SPEED (M/S)	P. (MB)	TEMP. (C)	HEIGHT (KM)	QC	CLOUD TYPE (EMISSIVITY)	IRIMAGE	TEMPLATE SIZE
1	52.06N 52.12N	123.38E 123.33E	3.2 2.0	-6.9 -5.4	335 340	7.6 5.7	890	13.5	1.1	040100000000	CU (1.00)	C	32X32
8	41.07N 41.09N	127.30E 127.29E	1.0 1.3	-2.6 -4.8	327 345	1.9 5.0	760	8.1	2.4	040000000000	CU (1.00)	B	32X32
14	30.56N 30.55N	124.24E 124.20E	4.1 3.9	1.6 0.7	249 259	4.4 4.0	650	5.6	3.8	040000000300	CU (1.00)	C	32X32
15	31.25N 31.24N	124.43E 124.38E	4.6 4.1	1.6 2.5	251 238	4.9 4.8	730	10.3	2.8	240000000000	CU (1.00)	C	32X32
18	28.08N 28.10N	126.02E 125.58E	3.5 1.0	-2.1 -4.5	300 348	4.1 4.6	720	9.8	2.9	040001000001	CU (1.00)	C	32X32
20	27.15N 27.21N	129.21E 129.24E	-2.3 -1.9	-5.3 -7.6	23 14	5.8 8.0	650	7.6	3.8	040000000000	CU (1.00)	C	32X32
21	30.59N 31.05N	132.01E 132.01E	-0.3 1.8	-5.5 -4.7	3 339	5.5 5.0	660	6.3	3.6	040000000000	CU (1.00)	C	32X32
22	30.26N 30.28N	128.39E 128.38E	1.0 3.0	-2.0 -2.1	334 290	2.2 3.2	690	8.4	3.2	040001000001	CU (1.00)	C	32X32
23	28.06N 28.13N	135.42E 135.43E	-0.5 -0.8	-7.2 -8.0	4 6	7.2 8.1	720	11.9	3.0	040000000000	CU (1.00)	C	32X32
24	29.22N 29.27N	136.40E 136.41E	-0.6 -0.8	-5.5 -8.1	6 6	5.6 8.2	630	6.2	4.0	040000000000	CU (1.00)	C	32X32
25	28.56N 29.01N	133.50E 133.51E	-0.9 -0.7	-5.5 -6.3	10 7	5.6 6.4	690	10.2	3.3	040000000000	CU (1.00)	C	32X32
26	26.10N 26.13N	132.52E 132.52E	-0.1 -0.8	-2.9 -4.5	2 11	2.9 4.6	700	10.9	3.2	040000000000	CU (1.00)	C	32X32
28	28.24N 28.33N	137.32E 137.33E	-1.0 -1.4	-8.9 -9.6	7 8	9.0 9.9	730	11.8	2.8	040000000000	CU (1.00)	C	32X32
29	28.09N 28.17N	138.53E 138.52E	0.8 1.0	-3.9 -3.5	355 354	9.0 9.8	790	15.8	2.1	040000000000	CU (1.00)	C	32X32
32	30.29N 30.41N	142.27E 142.33E	-5.0 -4.8	-12.6 -11.8	22 22	13.6 12.8	650	6.9	3.7	040001000000	CU (1.00)	C	32X32
34	31.08N 30.57N	154.39E 154.45E	-5.5 -7.8	12.1 12.7	156 149	13.3 14.9	690	8.0	3.3	040000000100	CU (1.00)	C	32X32
35	28.39N 28.28N	152.38E 152.39E	-0.8 -3.1	11.6 12.2	176 166	11.6 12.6	710	9.3	3.1	040000000000	CU (1.00)	C	32X32
37	28.00N 27.49N	156.14E 156.21E	-6.2 -7.0	11.4 8.7	152 141	12.9 11.1	570	-0.7	4.8	040001000000	CU (1.00)	C	32X32
40	28.02N 27.59N	163.19E 163.28E	-8.4 -7.8	2.9 0.2	109 91	8.9 7.8	790	13.1	2.1	040000000000	CU (1.00)	C	32X32

ンデックスを比較して良好と判断されたベクトルのうち出力指定（このプログラムの初期カードで行なう）のある処理方式（MM-1, MM-2 あるいは FL）により算出されたベクトルである。この処理は初期設定の継続モード切換モードにかかわらず上記のように行なわれる。

このプログラムでは、PM 法で不良ベクトルと判断されたベクトルの雲指定番号が初期データカードとして入力され、上記の配信に先立って不良ベクトルの品質インデックスの該当ビット（第5表33ビット目）を‘1’とする処理が行なわれる。

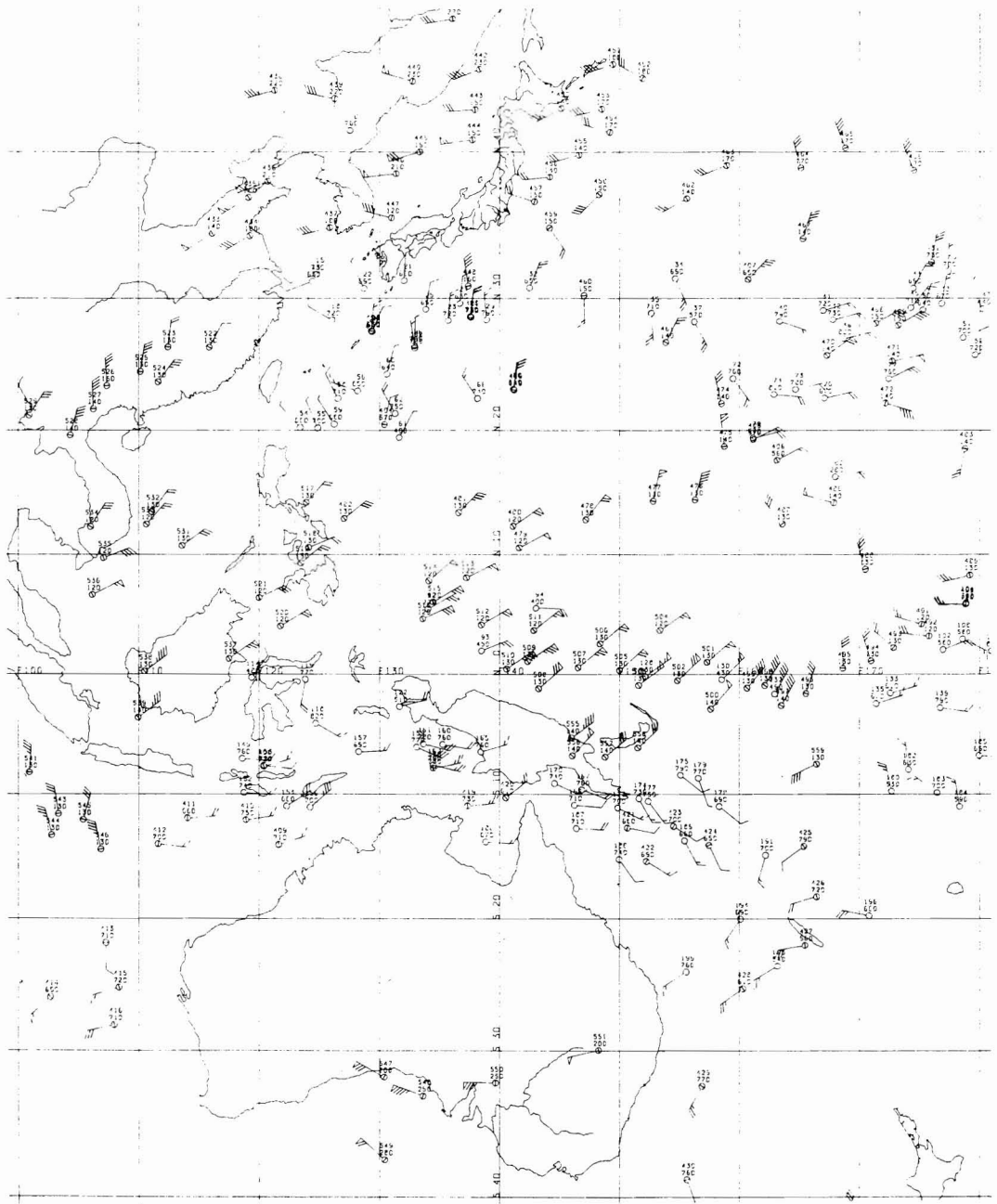


Fig. 13 Resultant winds plotted on a map with Mercator's projection, derived from CWES system at 00 GMT, 19 July 1978.

Table 8 Wind data list included in the "Monthly Report" issued by Meteorological Satellite Center every month.

CLOUD WIND VECTORS APRIL 1978

Table with columns: DAY GMT, LAT DEG, LONG DEG, DIR DEG, SPD M/S, P MB, T DEG, EM %, MTD, IMG. It contains two main sections of data, one for the first half of the month and one for the second half, with a 'NO REPORT' entry in between.

## (2) 保存用出力

風ベクトルの算出結果の保存のための出力と衛星センター内解析作業のための出力を行なう処理である。ここで出力されるベクトルは「継続モード」の場合は品質インデックスにかかわらずすべてのベクトル、「打ち切りモード」の場合は前記の配信の対象となったベクトルとマニュアル判断のフラッグ（第5表の36ビット目）のみで不良と判断されたベクトルである。ただし保存用磁気テープには途中まで結果の算出されているものも含めてすべてのデータが出力される。

ここで出力されるのは次の3種類のデータである。

## ④ 保存用磁気テープ

風ベクトルファイルのコントロールレコードを編集しなおしたものとベクトルレコードの結果の格納されているものすべて、および軌道姿勢の情報を2巻のMTにダブルファイルで出力する。前回までのデータに累積して出力される。

## ⑤ 風ベクトル算出結果リスト

結果のリストと、MM-1の法の場合は相関値配列の2次ピーク情報のリストがラインプリンタ上に出力される。出力例をTable 7に示す。

## ⑥ 風ベクトル図

XYプロッタによる風ベクトルのプロット図がメルカトル投影図上とホーラステレオ投影図上に出力される。上層・中層・下層（高度境界は風計算の初期設定時に与えられる）のベクトルが色別でプロットされる。各層別にプロットすることもできる。出力範囲はメルカトル投影図の場合は、風計算システムの処理領域全域（50°N~50°S, 170°W~90°E）、ホーラステレオの場合は北半球の部分のみ（赤道~50°N, 170°W~90°E）出力される。ホーラステレオ図は気象衛星センター内解析作業に使用するためのものである。Fig. 13にメルカトルの出力例を示す。

なお、この処理は、大型計算機によりXYプロッタ用コマンドテープを出力し、作図はオフラインで行なわれる。

風計算システムとしての出力は以上3種類であるが、利用者の調査・研究の資料とするため毎月発行される月報に1カ月分のすべてのデータ（配信されたデータ）がまとめて掲載される（Table 8に例を示す）。

## Appendix A 相互相関法によるパターンマッチング

雲を追跡する場合のパターンマッチングの方法としては相互相関法によるもの他、L<sup>p</sup>ノルム法、バイナリーマッチング法、SSDA (Sequential Similarity Detection Algorithm) 法（尾上ら、1976）等が考えられる。

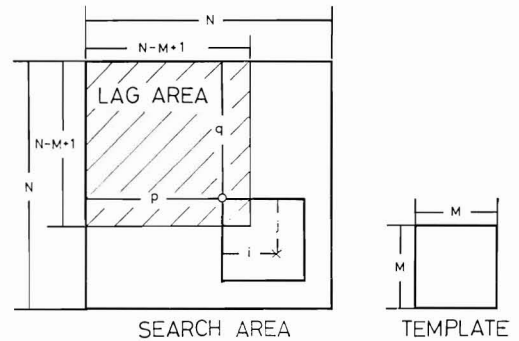


Fig. A-1 Schematics of the matching procedure using cross-correlation technique. The size of template area,  $M$ , is 8, 16 or 32, chosen by an analyst for each selected target cloud. The size of search area,  $N$ , is fixed to 64.

GMS 風計算システム (CWES) では自動的に追跡する手段として相互相関法を採用している。フィルムループ法ならびに MM-2 法はマニュアルによるパターンマッチングといえることができる。

## A.1 相互相関法によるパターンマッチング

この方式をひとことで表現すると、2枚の画像を重ねて対応する輝度レベル間の相関係数を、相互の位置を1画素ずつずらして求め、最大相関係数の位置を雲パターンの移動位置 (lag-position) とする方法である。

今、Fig. A-1 に示すように2枚の画像 (CWES システムでは通常30分間隔) からテンプレートエリアとサーチエリアを切出す。これらから次の式により相関係数の配列 (相関値配列) が算出される。

$$C(p, q) = \frac{\sum_{i=1}^N \sum_{j=1}^N (T(i, j) - \bar{T})}{\sqrt{\sum_{i=1}^N \sum_{j=1}^N (T(i, j) - \bar{T})^2}} \times \frac{(S(i+p, j+q) - \bar{S}(p, q))}{\sqrt{\sum_{i=1}^N \sum_{j=1}^N (S(i+p, j+q) - \bar{S}(p, q))^2}} \quad (\text{A-1})$$

$T(i, j)$ : テンプレートエリアの輝度レベル

$i, j = 1, 2, 3, \dots, N$

$S(i+p, j+q)$ : サーチエリアの輝度レベル

$i, j = 1, 2, 3, \dots, N$

$p, q = -\frac{N}{2}, -\frac{N}{2}+1, \dots, \frac{N}{2}-1, \frac{N}{2}$

$$\bar{T} = \frac{1}{N^2} \sum_{i=1}^N \sum_{j=1}^N T(i, j)$$

$$\bar{S}(p, q) = \frac{1}{N^2} \sum_{i=1}^N \sum_{j=1}^N S(i+p, j+q)$$

この様にして算出された相関値配列の最大値の位置



$(p_0, q_0)$  がマッチング位置となる。

(A-1) 式が通常用いられる相互相関配列の計算式であるが、テンプレートおよびサーチエリアの平均輝度レベルを考慮しない次の式による相関係数の算出も考えられる。

$$C'(p, q) = \frac{\sum_{i=1}^N \sum_{j=1}^N T(i, j) S(i+p, j+q)}{\sqrt{\sum_{i=1}^N \sum_{j=1}^N T(i, j)^2} \sqrt{\sum_{i=1}^N \sum_{j=1}^N S(i+p, j+q)^2}} \quad (A-2)$$

CWES システムではこの計算方式も可能であるが、雲の追跡に対する妥当性については未解決であり、当面現業用処理としては採用していない。

**A.2 相関計算におけるフーリエ変換の導入**

相関係数の計算は

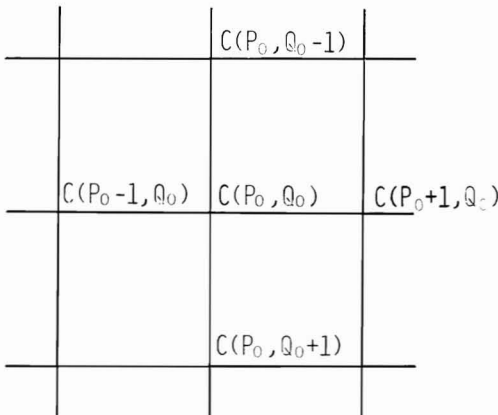
$$h(p, q) = \sum_{i=1}^N \sum_{j=1}^N x(i, j) y(i+p, j+q) \quad (A-3)$$

の形の演算すなわち「たたみ込み」の演算が主になっている。このたたみ込みの演算は  $N$  が増加するに従って処理時間が急速に増大する。処理時間の節約を目的として高速フーリエ変換 ( $fFT$ ) を導入して相関値配列の計算を行なう。

$fFT$  の考えは Cooley *et. al.* (1965) により考え出されたものであるが、CWES システムでのプログラミング技法等についてはここでは省略する。

**A.3 マッチングサーフェスの補間**

赤外画像の場合、衛星直下点における画素間隔は約 5 km であり、マッチングの位置もこの格子間隔で量子化されて算出される。30分間でこの間隔は、風速約 3 m/s に相当し必ずしも無視しえない。Smith *et. al.* (1973) は McIDAS システムにおいてマッチング位置を曲面補間して格子点の間に求める方法を採用した。この方法は最



**Fig. A-2** Lag-positions and correlation values used for interpolating peak position of a matching surface.

大相関係数  $C(p, q)$  となる相関値配列上の位置 (lag-position) を  $(p_0, q_0)$  とし、周辺の4個の格子点上の値を持つような楕円放物面で曲面補間を行ないその最大値の位置を格子点間に求めようとするものである (Fig. A-2)。

楕円放物面の式は一般的に

$$z - \gamma = \frac{(x - \alpha)^2}{a^2} + \frac{(y - \beta)^2}{b^2} \quad (A-4)$$

で表わされ  $\alpha, \beta, \gamma$  はそれぞれ頂点の位置および値を表わしている。 $(x, y)$  に格子点の位置、 $z$  に相関係数値を入れて5個の連立方程式を解くと未知数  $\alpha, \beta, \gamma, a$  および  $b$  を求めることができる。このようにして求められた lag-position  $(\alpha, \beta)$  と相関値の最大値  $\gamma$  は

$$\left. \begin{aligned} \alpha &= p_0 + \frac{c(p_0-1, q_0) - c(p_0+1, q_0)}{2\{c(p_0+1, q_0) - 2c(p_0, q_0) + c(p_0-1, q_0)\}} \\ \beta &= q_0 + \frac{c(p_0, q_0-1) - c(p_0, q_0+1)}{2\{c(p_0, q_0+1) - 2c(p_0, q_0) + c(p_0, q_0-1)\}} \\ \gamma &= -\frac{1}{8} \left[ \frac{\{c(p_0-1, q_0) - c(p_0+1, q_0)\}^2}{\{c(p_0+1, q_0) - 2c(p_0, q_0) + c(p_0-1, q_0)\}} \right. \\ &\quad \left. + \frac{\{c(p_0, q_0-1) - c(p_0, q_0+1)\}^2}{\{c(p_0, q_0+1) - 2c(p_0, q_0) + c(p_0, q_0-1)\}} \right] \end{aligned} \right\} \quad (A-5)$$

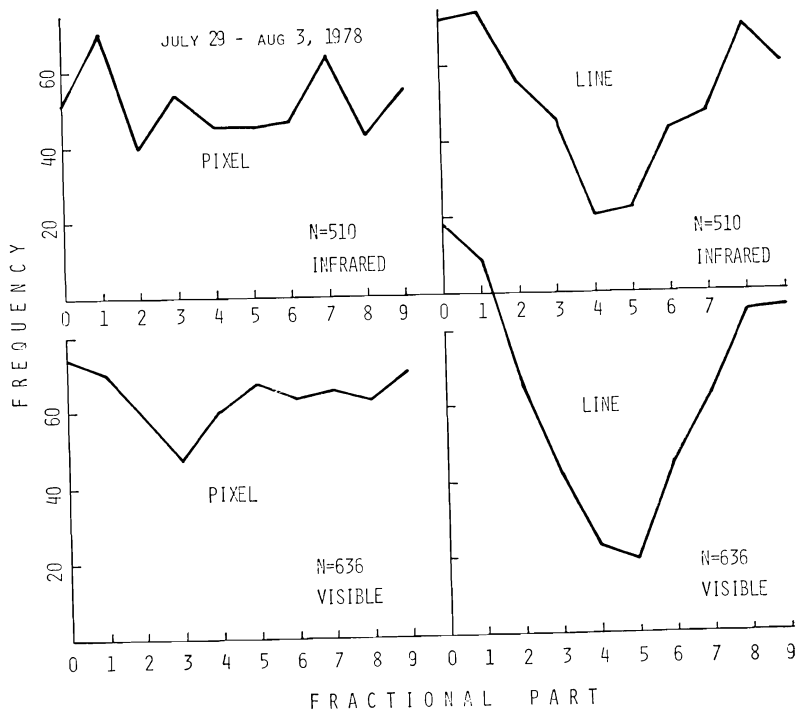
となる。補間された最大相関係数値  $\gamma$  は風計算システムでは利用していない。

このマッチングサーフェスの補間法について、現業における雲指定点を使用してその特性を調査した。雲の移動位置が適当にばらついているとすると補間された lag-position の小数以下の部分の分布が一樣になると考えられるので、小数第1位の値のヒストグラムをとったところ Fig. A-3 の様になった。可視画像、赤外画像とも同様な傾向を示しており、ピクセル方向 (東西方向) にはおおむね一樣な分布を示しているが、ライン方向 (南北方向) には分布に偏りがみられた。このことは、特にライン方向には補間は完全ではなく格子点付近に偏っていることを示している。しかしながら筆者らの調査の結果ではこの補間法は有効であり、特に赤外画像での算出の場合には欠かせないものである。現在のルーチン業務では、可視赤外いずれの画像の場合もこの方式を採用している。

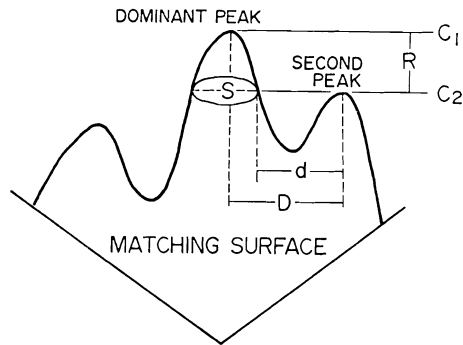
**Appendix B マッチングサーフェスの特徴を表わすパラメータ**

**B.1 マッチングサーフェス (相関値曲面)**

Appendix A で説明したような相関値配列上に相関値を鉛直方向にプロットしてできる曲面を三次元的に表示したものをマッチングサーフェスという。GMS 風計算システムの品質管理プログラムによりグラフィック



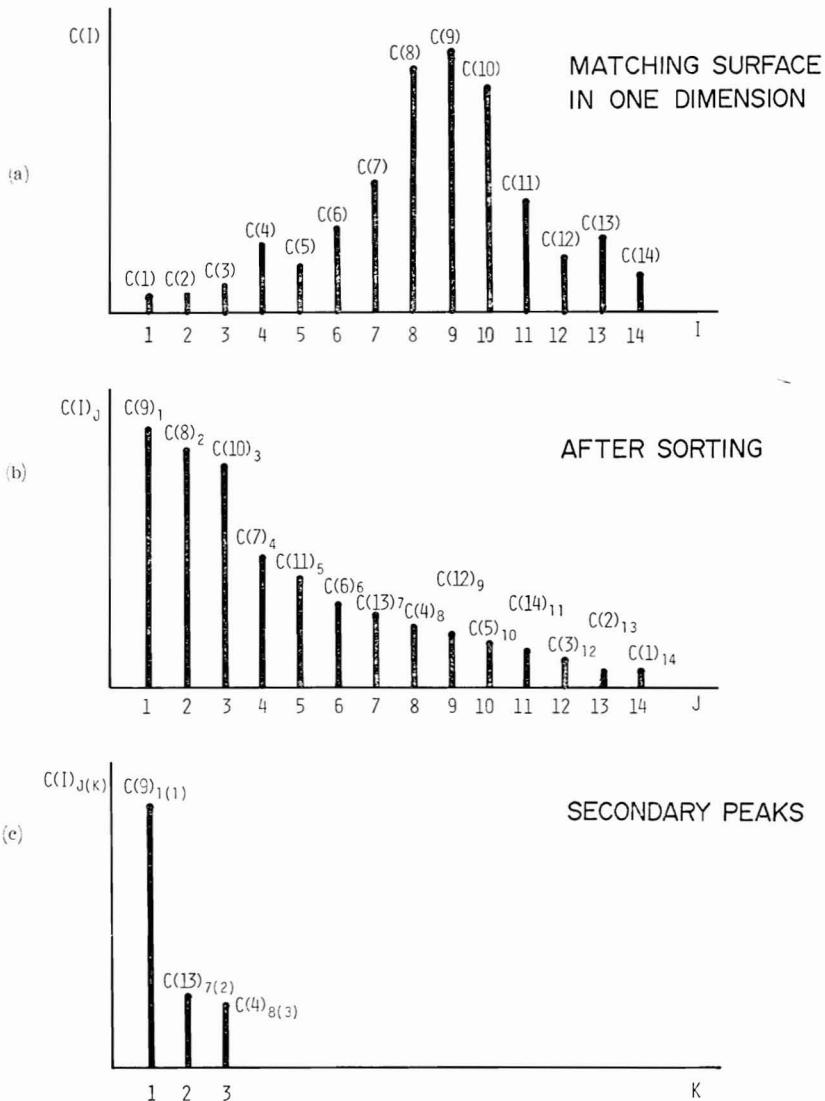
**Fig. A-3** Frequency distributions of the fractional parts of interpolated lag-values, which are derived in routine operations of CWES system during the period from 29 July through 3 August, 1978.



**Fig. B-1** Schematics of parameterization of the feature of a matching surface with multiple peaks. Parameters used for automatic assessment are the followings :

Peak value	$C_1$
Sharpness	$R^2/S$
The difference between values of dominant peak and second peak	$R = C_1 - C_2$
The distance between positions of dominant peak and second peak	$D$
Maximum lag value	

The "d" means distance from the dominant peak used for searching secondary peaks. The "S" means the area dominated by stronger peaks with respect to second peak.



**Fig. B-2** Schematic diagram of sorting correlation values for the purpose of deriving secondary peaks in case of one dimensional matching surface. After sorting correlation values, a value which does not occupy the next lag-position of dominant peak is adopted as a second peak, and so on.

ディスプレイ上に表示したマッチングサーフェスの例を本文 Table 10 に示した。

**B.2** マッチングサーフェスの形状のパラメータ化

このマッチングサーフェスの形状を人間が目で見てもパターンマッチングが良好であるか否かの判断が比較的容易にできる (Smith, *et. al.*, 1972, 浜田ら, 1977. 浜田ら, 1978)。したがってパターンマッチングの段階で不良マッチングを削除することは有効な品質管理といえることができる。

現業用システムとしては数 100 のマッチングサーフェスをひとつずつ目で良否判断を行なうことは時間的にも、資源の有効利用の面から見ても無駄が多い。 Wisconsin 大学の SSEC (Space Science and Engineering Center) で Suomi 教授らはマッチングサーフェスの形状をパラメータ化して、それを品質管理に利用することを考えた。

CWES ではこれらをもとにして次の 5 項目をパラメータとして品質管理を行なう (Fig. B-1)。

- i) ピーク値（最大相関係数値）  $C_1$   
 ii) ピーク付近の尖鋭度  $S_p = R^2/S$   
 iii) ピーク位置の移動限界  
 iv) ピーク値と2次ピーク値の差  $R = C_1 - C_2$   
 v) ピーク位置と2次ピーク位置間の距離  $D$

このうち iii) のピーク位置の移動限界はマッチングサーフェス上の周辺に最大相関値がみられるときはさらにその外側に移動位置がある可能性があることから考え出されたものである。このパラメータはさらに求めることのできる最大風速の限界を与えることにもなる。これらの5つの項目の値に閾値を与えて不良マッチングを自動的に削除する。閾値はあらかじめ調査をして定めておく。浜田ら(1978)が SMS 画像および GMS 画像により行なった結果では、計算機の評価（自動評価）と人間の評価を90%程度一致するように閾値の決定を行なうことが可能である。

自動評価の場合、ピーク値と2次ピーク値の差が小さいときは良否の判断が困難である。この差が小さく、両ピーク位置間の距離が大きいときはマニュアルの判断が要求される。ピーク値差が小さく、かつ両ピーク位置間の距離が小さいときはマニュアル判定も困難なので不良ベクトルとして削除される（本文 Table 6 を参照のこと）。

### B.3 2次ピークの求め方

2次ピーク値は「2番目に大きな相関値」ではなく、最大ピークから離れて存在する2番目のピーク値である。2次ピークの探査の方法は McIDAS システムで採用されている方法によって行なわれる。まず相関値をソートして大きい順に並べる。大きい方から探査して既に出現した格子点となり合わないものが見つかった場合それを2次ピークとする。

Fig. B-2に1次元の場合について例を示す。図の(a)で示すような相関値配列を持っているとする。これらを大きさの順にソートして図の(b)の様に並べ変える。このグラフを大きい方から探査して行ってとなり合わない格子点が現われたら2次ピークと見なす。(c)が2次ピークと判定されたものを表わしている。

ークと判定されたものを表わしている。

2次ピークの探査の際「となりの格子点」と見なす距離の限界 (Fig. B-1 の d) と探査する2次ピークの値 (相関係数値) の最低値を初期設定時に与えておく。

### 参考文献

- Cooley, J. W. and J. W. Tukey, 1965: An Algorithm for the Machine Calculation of Complex Fourier Series. *Mathematics of Computation*, **19**, 297—301.
- Hubert, L. F. and L. F. Whitney, 1971: Wind Estimation from Geostationary Satellite Pictures. *Mon. Wea. Rev.*, **99**, 665—672.
- NCAR, 1971: Climate of the Upper Air: Southern Hemisphere Vol. 1. NCAR Technical Notes/STR-58, May 1971.
- Smith, E. A. and D. R. Phillips, 1972: Automated Cloud Tracking Using Precisely Aligned Digital ATS Pictures. *IEEE Trans. on Computers*, **21**, 715—729.
- Smith, E. A. and D. R. Phillips, 1973: McIDAS Cloud Tracking System. Internal SSEC Report, University of Wisconsin.
- U. S. NAVY, 1970: Selected Level Heights, Temperature and Dew Points for the Northern Hemisphere. NAVIR 50-1C-52, Jan. 1970.
- 尾上守夫, 前田紀彦, 斉藤優 (1976): 残差逐次検定法による画像の重ね合わせ. *情報処理*, **17**, 634—640.
- 浜田忠昭, 田崎允一, 斉藤優 (1977): 静止気象衛星画像から有効な雲移動量を算出するための基礎調査—追跡に適する雲パターン—. *春季大会講演予稿集*, 日本気象学会, **31**, 109.
- 浜田忠昭, 田崎允一, 斉藤優, 野田忠彦 (1978): 静止気象衛星画像から有効な雲移動量を算出するための基礎調査 (その2) —パターンマッチングに関する自動評価—. *春季大会講演予稿集*, 日本気象学会, **33**, 89.

## 4. 雲 頂 高 度

### 4. Cloud Top Height Estimation System

#### Abstract

The Cloud Top Height Estimation System (CTHES) is developed to derive a cloud top and associated information by means of man-machine interactive scheme. The total radiation sensed by satellite (GMS, Himawari) is the sum of target cloud radiance and that from an underlying sea surface. The parameters needed to solve a radiation equation are, black body temperature ( $T_{bb}$ ) which is observed by the satellite, cloud emissivity ( $e$ ), underlying surface temperature ( $T_s$ ), corrected value ( $t$ ) taking the atmospheric attenuation into account.

$T_{bb}$  within a target cloud area is estimated by adopting a histogram analysis technique. Three kinds of statistical values (mode, mean, minimum) are derived, and one of them is regarded as  $T_{bb}$  of cloud.

The cloud emissivity assigned to target cloud is assumed to be a relationship between cloud type and cloud layer thickness, which is provided from empirical data.

The satellite derived sea surface temperature data are regarded as  $T_s$ .

A conversion of temperature into height is performed referring to climatological data, named GMSSA (GMS Standard Atmosphere). To simulate a real vertical temperature profile, the GMSSA data are modified as a daily operation (twice a day) based on air-mass analysis.

The corrected value,  $t$  is calculated from this data set.  $t$  is defined as a function of precipitable water, zenith angle, height of emitting surface.

The CTHES is mainly divided into two job groups considering the scale of cloud field. One is the Synoptic-Scale CTHES which aims to extract cloud top height from a large target cloud area, and to cover the northern hemisphere. The other is the Meso Scale CTHES which is designed to derive cloud top height from a small target cloud area, and to cover the vicinity of Japan.

The results are plotted by a machine plotter and serves as a input data for neph-analysis. The CTHES run four times a day on the routine basis.

#### 概 要

GMSSにおける雲頂高度算出処理(Cloud Top Height Estimation System, CTHES)は、GMSによる画像データから雲頂高度およびそれに関する情報をIPC (Image Processing Console)による解析者と計算機の対話型処理によって抽出するものである。雲頂高度の算

出原理は、基本的には雲領域の赤外画像データから等価黒体温度を求め、雲の射出率や大気による減衰の効果を補正して雲頂温度を算出する。雲頂温度は鉛直温度分布データを参照して雲頂高度に変換される。対象とする気象現象のスケールに応じて、測定領域の大きさ、雲領域を代表する雲頂温度の算出方法等を変える必要があることから、CTHESは総観スケールの雲頂高度の算出を

目的とした総観雲頂高度算出処理 (Synoptic Scale, CTHES) と中間ないし小規模スケールの雲頂高度の算出を目的とした局地雲頂高度算出処理 (Meso-Scale CTHES) の二つに分けられている。対象とする範囲は前者が  $50^{\circ}\text{N}\sim 5^{\circ}\text{N}$ ,  $90^{\circ}\text{E}\sim 170^{\circ}\text{W}$  ではほぼ北半球をカバーするのに対して、後者は日本附近に重点を置いた範囲となっている。

CTHES は現在, 1日4回, 00, 06, 12, 18Z の時間帯に運用されている。出力結果は雲解析業務に利用されている。

## 1. 入力データおよびインターフェイス

雲頂高度算出処理は赤外画像データにもとづく業務処理 (広域放射海面水温算出処理, 雲量分布算出処理), 雲解析業務, 画像準備処理とインターフェイスをもって。また, 雲頂高度算出ルーチンは風計算処理でも使用されている。

### 1.1 入力データ

#### 1) 画像データ

画像準備処理で作成した準備済画像データファイルにある画像データを使用している (第1章 画像準備 参照)

#### 2) 気団指定データ

温度-高度変換および大気補正量の算出に使用する鉛直温度分布データ (統計値) に関するデータである。雲解析業務では気団解析にもとづいて実際の気団分布にできるだけ近い形になるように統計値を選択している (気団指定という)。その結果は気団指定データとして鉛直温度更新処理の入力データとして使用されている。ここで使用する統計値は GMSSA データとよばれ緯経度  $5^{\circ}\times 5^{\circ}$  の格子点ごとに12か月分準備されている (後節 2.4 の3) 鉛直温度分布データを参照のこと)。

#### 3) 広域放射海面水温データ

広域放射海面水温算出処理で作成した旬平均の緯経度  $1^{\circ}\times 1^{\circ}$  格子点ごとの海面水温値が使用されている。これは雲領域と海面の区別などに必要な下層表面温度 (これについては後節 2.4 の5) 下層表面温度の項を参照のこと) としてもちいられる。

#### 4) 大気補正データ

赤外放射の大気による減衰の効果を補正するために使用されている (第2章 大気補正 参照)

### 1.2 出力データ

#### 1) 雲頂高度およびそれに関する情報

これらの情報は雲解析業務の解析資料として使用される。出力はラインプリンターに出力したデータ・リストと XY プロッターで作画した雲頂高度作画図の二種が

ある。その他にデータ保存やリカバリー処理のために磁気テープに出力されるものがある。

### 2) 鉛直温度分布データ

このデータは気団指定データにもとづいて, 1日2回 (00, 12Z), 鉛直温度更新プログラムによって作成される。このデータは他の業務処理 (風計算処理, 広域放射海面水温算出処理, 雲量分布算出処理) で温度/高度変換, 大気補正量の算出, 下層表面温度などにも使用されている。

## 2. 処理方式

### 2.1 放射モデル

衛星による観測輝度温度  $T_{BB}$  (Observed Brightness Temperature), 雲頂温度  $T_c$ , 下層表面温度  $T_s$ , それぞれに対応する黒体放射量を  $N(T_{BB})$ ,  $N(T_c)$ ,  $N(T_s)$  とする。雲の層厚は薄く一様であり, その射出率を  $e$ , 大気による減衰はなく, 赤外センサーの視野内はすべて同一の雲でおおわれているとする。下層表面から上向き

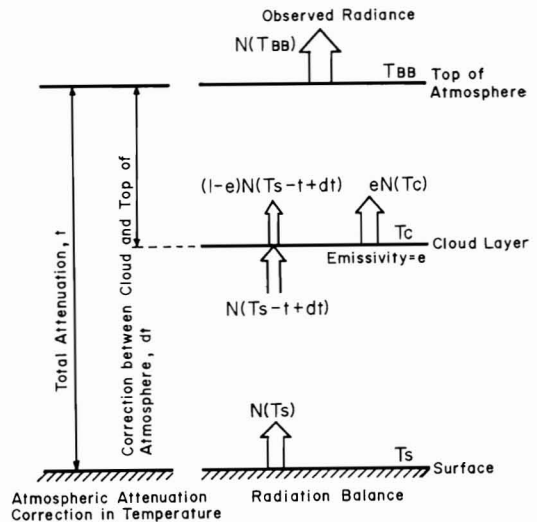


Fig. 1 Illustration of radiation balance equation. The correction ( $t$ ) is calculated using precipitable water based on climatological data. An underlying surface (temperature,  $T_s$ ) emits radiance  $N(T_s)$ . When it reaches to the bottom of cloud layer, the radiance decreases to  $N(T_s - t + dt)$  caused by atmospheric attenuation. It penetrates through the cloud layer (emissivity,  $e$ ), and upward radiance  $(1-e) \cdot N(T_s - t + dt)$  is re-emits from the cloud top. On the other hand, the cloud layer (temperature,  $T_c$ ) emits the upward radiance  $eN(T_c)$  originally. The total radiance sensed by satellite is the sum of two sources of radiance.

に放射される放射量  $N(T_s)$  のうち雲を透過する放射量は  $(1-e) \cdot N(T_s)$  である。雲自身から上向きに放射される放射量は  $e \cdot N(T_c)$  である。衛星では両者の和として観測され、その放射量  $N(T_{BB})$  は、

$$N(T_{BB}) = e \cdot N(T_c) + (1-e) \cdot N(T_s) \quad (1)$$

となる。(1)式が基本的な関係式である(なお放射量  $N$  については第2章 大気補正 参照)。

現用のモデルでは大気による減衰の効果の補正、すなわち大気補正がなされている。Fig. 1 にこのモデルの概念図を示した。大気補正量は表面から大気の上端までを  $t$ 、雲から大気の上端までを  $dt$  とすると表面から雲までのそれは  $t-dt$  となる。 $N(T_s)$  は雲に到達するときには減衰して  $N(T_s-t+dt)$  になり、雲を透過して上方に向う際には  $(1-e) \cdot N(T_s-t+dt)$  となる。一方、雲からの放射量は  $e \cdot N(T_c)$  であり、衛星ではこの二つの放射量の和が  $N(T_{BB})$  として観測される。実際には雲と大気上端との間に  $dt$  の大気補正量があるので、雲のある面では  $N(T_{BB}+dt)$  とみなすことができる。すなわち次式のようになる。

$$N(T_{BB}+dt) = e \cdot N(T_c) + (1-e) \cdot N(T_s-t+dt) \quad (2)$$

温度から放射量への変換またはその逆変換は Plank の式による(第2章 大気補正 参照)。

### 2.2 観測輝度レベルの等価黒体温度、放射量への変換

衛星で観測されるのは赤外センサーの輝度レベル(観測輝度レベル, Observed Brightness Level)である。それを観測輝度温度(等価黒体温度, Equivalent Black Body Temperature に相当)および放射量に変換する必要がある。これらの変換は、キャリブレーション処理で更正した変換テーブルが VISSR データ履歴ファイルに格納されているのでそれを参照して行なう(画像前処理 参照)。

輝度レベル  $i$  から変換された等価黒体温度を  $T(i)$  とすると、

$$T(i) = (T_{j+1} - T_j) \cdot (i - j) + T_j \quad (3)$$

$j$  は整数のレベル値であり、 $j+1 > i \geq j$ 、 $T_j$  は  $j$  に対応する等価黒体温度である。Fig. 2 はこれらの関係を図示したものである。一方、等価黒体温度から変換されたレベル値を  $L(T)$  とすると同様に次式が得られる。

$$L(T) = (T - T_n) / (T_{n+1} - T_n) + n \quad (4)$$

$n$  はレベル値で整数であり、 $T_{n+1} > T \geq T_n$  である。

輝度レベルから放射量への変換、およびその逆変換は放射量変換テーブルをもちいて同様な方法で行なわれる。放射量と等価黒体温度の変換は等価黒体温度変換テーブル、放射量変換テーブルをもちいて、等価黒体温度

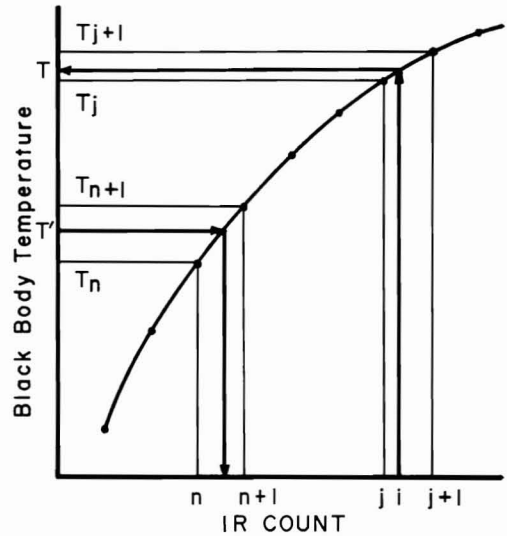


Fig. 2 Schematic diagram showing the relation of the digital count of infrared image data (IR) to equivalent black body temperature (T). The solid curve indicates the contents of conversion table.

から輝度レベルへ、輝度レベルから放射量のように行われる。

### 2.3 代表温度の算出

雲領域の等価黒体温度  $T_{BB}$  は1画素ごとに算出可能であるが、雑音の混入、測定値としての代表性等を考慮すると、ある大きさの領域(測定領域)を最もよく代表する  $T_{BB}$  を算出するほうが有意義である。このような温度を代表温度(representative temperature)といい、その領域の雲頂温度とみなして雲頂高度に変換している。

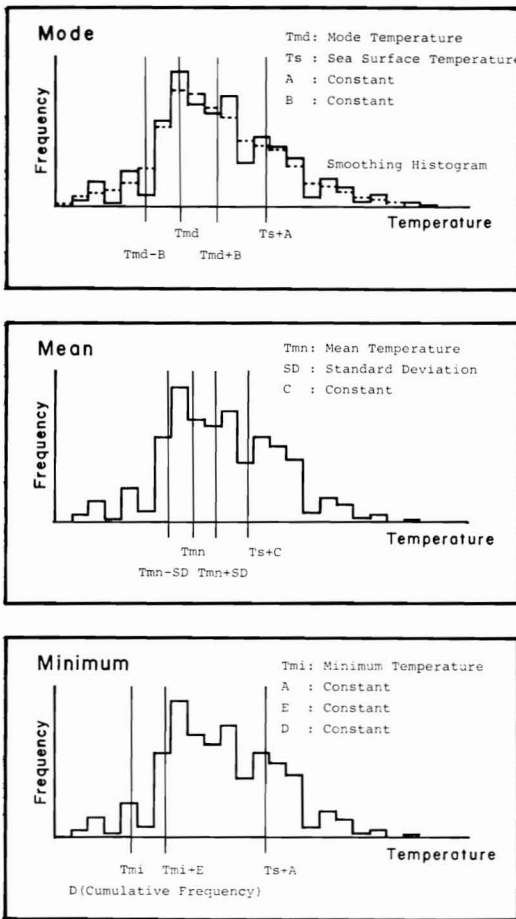
代表温度は、基本的には測定領域に含まれる画素の輝度レベルにもとずく輝度ヒストグラムを作成することによって算出される。(なお、以下では、輝度レベルを輝度温度として説明することにする)。

#### 1) 最頻温度法(モード法)

輝度ヒストグラムのモード値に対応する輝度レベルを算出し、それを  $T_{BB}$  に変換して代表温度とする方法である。輝度ヒストグラムは重み付きの平滑化を行なったものである。平滑化したヒストグラム  $f(i)$ 、モード値を求める操作を MODE、モード値(レベル)を  $L_{md}$ 、それに対応する代表温度を  $T_{md}$  とすると

$$T_{md} = T(L_{md}) = T(\text{MODE}_{i=1}^{i=\max} [f(i)]) \quad (5)$$

Fig. 3 の上段にモード法の例を示した。モード値と



**Fig. 3** The diagram showing how to estimate representative temperature over target cloud area. The Method (mode, mean, minimum) to determine representative temperature can be used by an analyst. For separating the cloud area and sea surface which are co-located within a target cloud area, a temperature of pixel is compared with the threshold value ( $T_s + A$ , for the mode;  $T_s + C$ , for the mean). A cumulative frequency derived from temperature interval between  $T_{md} - B$  and  $T_{md} + B$  is a kind of concentration factor around  $T_{md}$ .

The cumulative frequency constant ( $D$ ) counted up from the lowest temperature is set to eliminate an effect of noise. The constant ( $E$ ) is a kind of shape factor for indicating a gradient around the minimum temperature ( $T_{mi}$ ).  $T_{mi}$  is defined from  $D$ .

して適正であるかどうかを判定するための条件がいくつか設定されている。例えば測定領域内に海面が含まれている場合、高温側にも一つのモード値が得られることもある。これを除去するために下層表面温度  $T_s$  とパラメータ  $A$  の和より低温側にあるモード値を採用する。したがって(5)式の  $i_{max}$  は次式ようになる。

$$i_{max} = [L(T_s + A) + 0.5] \quad (6)$$

ただし、 $[ ]$  の記号はガウス記号である。モード法ではモード値を中心にある温度幅に入る画素数の全画素数に対する割合  $E(\%)$  を算出して、モード値の代表性を知る目安としている。温度幅  $B$  はパラメータとして与えられる。なお、平滑化したヒストグラム (Smoothing Histogram) を得る方法は、平滑化する個数を  $n$ 、重み係数を  $W(j)$  とすると

$$\begin{aligned} \bar{f}(i) = & \frac{1}{2} \sum_{j=1}^n \left\{ f\left(i + j - \left[\frac{n+2}{2}\right]\right) \right. \\ & \left. + f\left(i + j - \left[\frac{n+1}{2}\right]\right) \right\} \cdot W(j) \end{aligned} \quad (7)$$

で与えられる。 $W(j)$  の決め方は通常、 $W=3$  のとき  $W(1) \sim W(3)$  はそれぞれ 0.25, 0.5, 0.25;  $n=5$  のとき  $W(1) \sim W(5)$  はそれぞれ 0.11, 0.22, 0.34, 0.22, 0.11 としている ( $W(j)$  の和を1にする)。

このモード法は後述の総観雲頂高度算出処理の際の代表温度としてもちいられている。

## 2) 平均温度法

測定領域内の画素の平均輝度レベルを求め、それを  $T_{BB}$  に変換して代表温度とする方法である。Fig. 3 の中段に例を示した。平均値の算出で使用する画素はモード法と同様に  $T_s$  とパラメータ  $C$  の和より低温側にあるものである。そのレベル値  $j_{max}$  は次式で与えられる。

$$j_{max} = [L(T_s + C) + 0.5] \quad (8)$$

平均値  $T_{mn}$  は平滑化しないヒストグラムを  $f(i)$  とすると以下のように求められる。

$$T_{mn} = T \left( \frac{\int_{i=1}^{i=j_{max}} i \cdot f(i) di}{\int_{i=1}^{i=j_{max}} f(i) di} \right) \quad (9)$$

平均値法では標準偏差も算出する。そのためにまず輝度レベルの標準偏差  $SD(l)$  を次式から算出する。

$$\begin{aligned} SD(l) = & \left\{ \int_{i=1}^{i=j_{max}} (i - L(T_{mn}))^2 \right. \\ & \left. \times f(i) di \right\} / \left\{ \int_{i=1}^{i=j_{max}} f(i) di \right\}^{\frac{1}{2}} \end{aligned} \quad (10)$$

$SD(l)$  から等価黒体温度での標準偏差  $SD(t)$  への変換は平均輝度レベルの両側に  $SD(l)$  の幅をとり次式のように近似して求める。

$$\begin{aligned} SD(t) = & \frac{1}{2} \{ T(L(T_{mn}) + SD(l)) \\ & - T(L(T_{mn}) - SD(l)) \} \end{aligned} \quad (11)$$

## 3) 最低温度法



測定領域内の画素の最小輝度レベル(輝度レベルが小さい程低温である)を求め、それを  $T_{BB}$  に変換して代表温度とする方法である。最小輝度レベルとして単に全画素のうちの最小値を採用すると雑音等の影響で好ましくない。以下のようにして最小値を算出する。求める最低温度  $T_{mi}$  に対応する輝度レベルを  $k_{max}$  とすると

$$T_{mi} = T(k_{max}) \quad (12)$$

$k_{max}$  はパラメータ  $D$  を与えて次式から求める。

$$D = 100 \cdot \int_{i=1}^{i=k_{max}} f(i) di / \int_{i=1}^{i=256} f(i) di \quad (13)$$

すなわち、全画素のうち、観測された最小輝度レベルからパラメータ  $D$  で与えられた割合の画素数になるときの輝度レベルを最小輝度レベルとみなして  $T_{BB}$  に変換している。

最低温度法では最低温度の他に  $S$  値を算出する。 $S$  値とはパラメータ  $E$  として与えられた温度閾値より低温側に分布する度数の割合を示すもので、次式のように定義されている。

$$S = 100 \cdot \int_{i=i_1}^{i=i_2} f(i) di / \int_{i=1}^{i=256} f(i) di \quad (14)$$

ただし、 $i_1 = L(T_{mi})$ 、 $i_2 = L(T_{mi} + E)$  である。Fig. 3 の下段に最低温度法の例を示した。この方法は風計算処理、後述の局地雲頂高度算出処理の雲頂高度算出の際にもちいられている。

#### 2.4 雲頂高度の算出

雲頂高度を算出するためには代表温度の他に雲の射出率、大気補正、下層表面温度などを知る必要がある。以下に、現在もちいられている方式では、これらの変数がどのように与えられているかについて、まず説明する。

##### 1) 雲の射出率

雲層が十分に厚く均質である場合には射出率  $e$  を 1 としてもよく、(2)式の右辺第2項が 0 になる。すなわち、 $N(T_{BB} + dt) = N(T_c)$  として  $T_c$  を求めることができる。それ以外の場合には  $e$  を定量的に算出することは困難であるため、雲頂高度算出処理では次のような方式を採用している。

##### i) 統計的射出率

これは、今までに報告された射出率の実測値(例えば、文献1)にもとずいて、雲型、層厚別に射出率を一義的に定めたものである。IPC から測定しようとする雲の雲型(Ci, As, Ac, St, Sc, Cu)および層厚(厚, 並, 薄)を入力することによってテーブルが参照され、それに対応した射出率が得られるようにしている。薄い絹雲の場合は自動的に圏界面高度が雲頂高度として採用される。これは、このような雲が圏界面高度の近傍に出現しやすいといわれているからである(たとえば、文献2)。

##### ii) 射出率の直接入力

解析者が IPC から直接、射出率を入力することによって雲頂高度の算出が可能である(ただし、他の手段によって射出率を知る必要がある)。

##### iii) 射出率の算出

他の観測手段によって雲頂高度、および高層資料が入力できる場合、射出率を計算できるような機能がある。

(2)式を変形すると

$$e = \frac{N(T_{BB} + dt) - N(T_s - t + dt)}{N(T_c) - N(T_s - t + dt)} \quad (15)$$

ただし、 $T_c$  は鉛直温度分布データ(高層資料など)によって雲頂高度から温度へ変換した値であり、 $dt$  は雲頂高度から大気の上端までの大気補正量である。雲頂高度値および使用する鉛直温度分布データの指定は IPC から入力することができる。

##### 2) 大気補正

大気補正量の算出方法については第2章 大気補正に述べられているので、ここでは雲頂高度算出処理に特有なものについて述べる。

大気補正量は観測輝度温度  $T_{BB}$ 、高度  $h$  などの関数として与えられているので大気補正量が求まらなければ雲頂高度が算出できず、雲頂高度が求まらなければ大気補正量を決定できないことになる。これを避けるために雲が大気の上端または地表面にあるときの大気補正量を初期値として雲頂高度を求め、その高度における大気補正量を求めていくというくり返し計算を行なう。第  $i$  番目のくり返し計算で、放射量  $N$  の等価黒体温度への変換を  $N^{-1}(N)$ 、鉛直温度分布データによる温度から高度への変換を  $H(T)$  とすると(2)式は以下のようになる。

$$T_{ci} = N^{-1} \left( \frac{1}{e} (N(T_{BB} + dt_{i-1}) - (1-e) \times N(T_s - t + dt_{i-1})) \right) \quad (16)$$

$$h_i = H(T_{ci}) \quad (17)$$

$t$  は大気上端を初期値にしたときに 0 である。 $dt_i$  は第  $i$  番目のくり返し計算で、高度  $h_{i-1}$  における  $T_{BB}$  での大気上端までの大気補正量である。 $T_{ci}$  は  $i$  番目のくり返し計算で算出された雲頂温度である。

くり返し計算の収束の判定条件は  $dt_i$  に着目し、前回との差がある定数以下(例えば  $1^\circ\text{C}$ )になるときに収束とみなしている。

##### 3) 鉛直温度分布データ

鉛直温度分布データは温度/高度変換や大気補正量の算出などに使用されている。現状では高層観測資料が即時的に利用できないこと、観測点が少ないことなどから雲頂高度算出処理では GMSSA (GMS Standard

Atmosphere) とよばれる統計値を使用している。この統計値は資料<sup>2)3)</sup>にもとずいて作成したもので、50°N~50°S, 90°E~170°W の範囲について緯経度 5°ごとの格子点(21×21 格子点)で12か月分の鉛直温度分布データが用意されている。データの内容は1000, 850, 700, 500, 300, 200, 100 mb の各指定気圧面での高度、気温、露点温度である。また、雲頂高度算出処理では網雲の雲頂高度値として圏界面高度値も使用するので、圏界面についても指定気圧面と同様なデータを GMSSA に加えている。この種のデータはかなり乏しいため、現在は 140°E に関する資料<sup>4)</sup>を経度方向に変化は少ないとみなして、同じ緯度では同じ圏界面をもつという仮定のもとに作成したものである。以上のデータは北半球、南半球にわけて磁気テープ(GMSSA 北半球データファイル, GMSSA 南半球データファイル)に格納されている。

#### 4) 下層表面温度の参照

(2)式の  $T_s$  として基本的には広域放射海面水温算出処理で求めた海面水温値(緯経度 1°×1° 格子点で算出されている)がもちいられる。測定点の位置が海上にある場合には至近の格子点の海面水温値を参照する。陸上に測定点がある場合、陸地の  $T_s$  を算出することが困難であるため次のような方法を採用している。測定点を中心にしてらせん状に格子点を参照してゆき、海上にある格子点に達したときその格子点の海面水温値を  $T_s$  としてもちいる。ある格子点数だけ参照しても海上にある格子点に達しない場合、鉛直温度分布データの最下層(1,000 mb)の気温を  $T_s$  とする。この格子点数は海面水温値が求まっている格子間隔と鉛直温度分布データの格子間隔(5°×5°)の比の2乗になり、この場合25個の格子点を参照している。

なお、以下にのべる二点指定法の場合、または IPC から  $T_s$  を直接入力したときにはその値が  $T_s$  とみなされるため、上記のような方法によらない。

#### 5) 一点指定法, 二点指定法

雲頂高度の算出は測定領域を指定することによって行なわれる。これを一点指定法という。この場合、 $T_s$  として海面または鉛直温度分布データの最下層(1,000 mb)の温度が自動的にもちいられる。 $T_s$  はこのような温度である必要はなく、温度が既知であるような下層表面温度であってもよい。例えば二層構造をもつ雲領域の場合、下層にある雲の雲頂高度を算出してこれを  $T_s$  とすることができる。すると上層にある雲はこの  $T_s$  を使用してその雲頂高度を算出することになる。このような場合、測定領域として下層、上層の二つの雲領域を指定したことになるので、これを二点指定法という。これらの

方法の選択は IPC から指令することができる。

#### 6) 雲頂温度の気圧, 高度への変換

雲頂高度算出あるいは雲の射出率の算出で使用する鉛直温度分布データは測定点に最も近い格子点のデータが参照される。また、高層観測資料を使用する場合は IPC から観測地点番号を入力することによって、そのデータを参照することができる。

温度から高度への変換、 $H(T)$ ; 高度から温度への変換、 $H^{-1}(h)$  とする。また、鉛直温度分布データは指定気圧面に関するものなので、指定気圧面間で補間する必要がある。補間の際、指定気圧面間では温度と高度は比例し、高度と気圧の対数は比例するという仮定がもちいられている。指定気圧面  $i$  と  $i+1$  での温度を  $T_i, T_{i+1}$ 、高度を  $h_i, h_{i+1}$  とすると、 $h_i = H(T_i)$ 、 $h_{i+1} = H(T_{i+1})$  である。 $T_i$  と  $T_{i+1}$  の間にある温度  $T$  の高度への変換は次式のようになる。

$$H(T) = h_i + \frac{h_{i+1} - h_i}{T_{i+1} - T_i} (T - T_i) \quad (18)$$

また、 $h_i$  と  $h_{i+1}$  の間にある高度  $h$  の温度への変換は  $T_i = H^{-1}(h_i)$ 、 $T_{i+1} = H^{-1}(h_{i+1})$  となるので次式で与えられる。

$$H^{-1}(h) = T_i + \frac{T_{i+1} - T_i}{h_{i+1} - h_i} (h - h_i) \quad (19)$$

同様に気圧  $P$  から高度  $h$  への変換を  $H(P)$ 、高度から気圧への変換を  $P(h)$  とする。二つの指定気圧面の気圧を  $P_i, P_{i+1}$  およびその間の気圧を  $P$  とすれば次式が得られる。

$$H(P) = h_i + \frac{h_{i+1} - h_i}{\ln P_{i+1} - \ln P_i} (\ln P - \ln P_i) \quad (20)$$

$$P(h) = \exp \left[ \ln P_i + \frac{\ln P_{i+1} - \ln P_i}{h_{i+1} - h_i} (h - h_i) \right] \quad (21)$$

以上のような変換式によって鉛直温度分布データから雲頂温度、雲頂高度、雲頂高度での気圧を相互に変換することができる。

### 3. 処理の構成

ルーチン的に行なわれる雲頂高度算出処理およびそれに関連した処理について以下に述べることにする。

#### 3.1 総観雲頂高度算出処理

この処理は大規模な気象現象の解析に適した雲頂高度を算出することを目的としている。測定領域の大きさは IPC から変更できるが一応、赤外画素(日本附近で約 7 km)で17ライン×45画素\*(120×120 km<sup>2</sup>)程度として

\* 赤外画像データは2,500ラインに対して6,688画素となっている。したがって、17ラインは15画素に対応している。

いる。この領域内に含まれる雲領域の代表温度を求めるためにヒストグラム解析が行われ、モード値を標準的な代表温度としている。

対象とする範囲はほぼ北半球全域にわたるので、IPCにはそれに応じた画像が表示される。処理の結果はデータ・リスト、およびXYプロッターで作画した雲頂高度作画図であり、これらは雲解析業務で使用されている。

3.2 局地雲頂高度算出処理

中間および小規模な気象現象の解析に適した雲頂高度の算出を目的としている。測定領域の大きさは赤外画素で9ライン×23画素(60×60 km<sup>2</sup>)程度である。代表温度としては最小値をもちいている。

対象とする範囲は主として日本附近であり、IPCにも可視オリジナル空間分解能(日本附近で約1.7 km)で画像データを表示する。処理の結果はデータ・リストのみで、雲頂高度作画図は出力しない。データ・リストには測定領域内の等価黒体温度および雲頂温度を1画素ごとに出力したもの(温度マトリックスという)が含まれる。

総観、局地雲頂高度算出処理には本質的な処理方式の差異はない、測定領域の大きさ、代表温度の算出方法、処理する領域、出力形式等に若干の相違があるだけである。

3.3 その他の処理

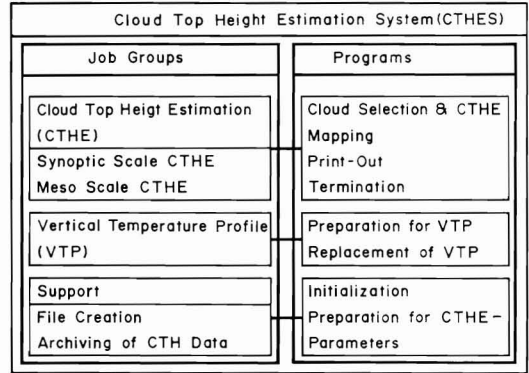


Fig. 4 Soft-ware construction of the Cloud Top Height Estimation System (CTHES).

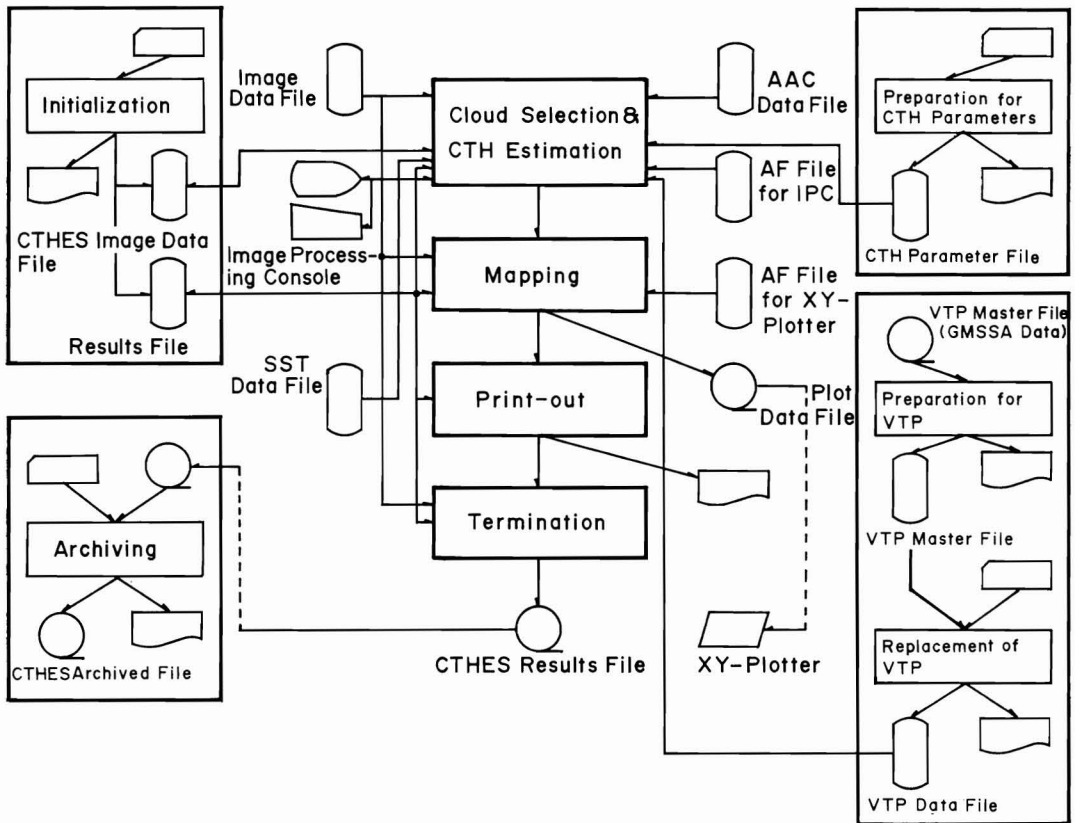


Fig. 5 Functional block diagram of the Cloud Top Height Estimation System (CTHES).

ルーチン的に行なわれる処理は前述の二つ以外に鉛直温度更新プログラムによる鉛直温度更新処理, 保存データ累積プログラムによる保存データ累積処理があるが, これらについては次節で改めてのべることにする。

#### 4. プログラムの構成と機能

雲頂高度算出処理を構成するジョブ・グループは雲頂高度ジョブ・グループ, 鉛直温度ジョブ・グループ, サポート・ジョブ・グループの3つである。ジョブ・グループはまたいくつかのプログラムから構成されている。

Fig. 4 に構成図を示した。Fig. 5 に雲頂高度算出処理の処理の流れ図を示した。

##### 4.1 雲頂高度ジョブ・グループ

IPC をもちいた計算機と解析者の対話型処理 (Man-Machine Interactive Processing) によって, 雲頂高度とそれに関する情報を得るためのジョブである。総観および局地雲頂高度算出処理に大別され, 各々のジョブは雲指定プログラム, 作画プログラム, 出力プログラム,

終了化プログラムから構成されている。

##### 4.1.1 雲指定プログラム

このプログラムは IPC との対話型処理を行なうためのもので, 以下のような機能をもっている。

###### 1) 対話

解析者によるプログラムへの指令は IPC の操作卓にあるキーボード, ファンクションキー等によって行なわれ, プログラムによる応答は IPC の表示部 (TV-ディスプレイ) に表示される。

###### 2) 画像表示

画像準備処理によって作成された準備済画像データ・ファイルから必要な範囲の画像データを切り出し, 雲頂高度編集済画像データ・ファイルに格納している。このファイルから画像データが IPC に表示される。ファイルに格納する際の方法として一定の領域について自動的に画像を準備する自動画像準備と, 解析者の指令にしたがって準備するものがある。自動画像準備で作成される画像は以下のものである。

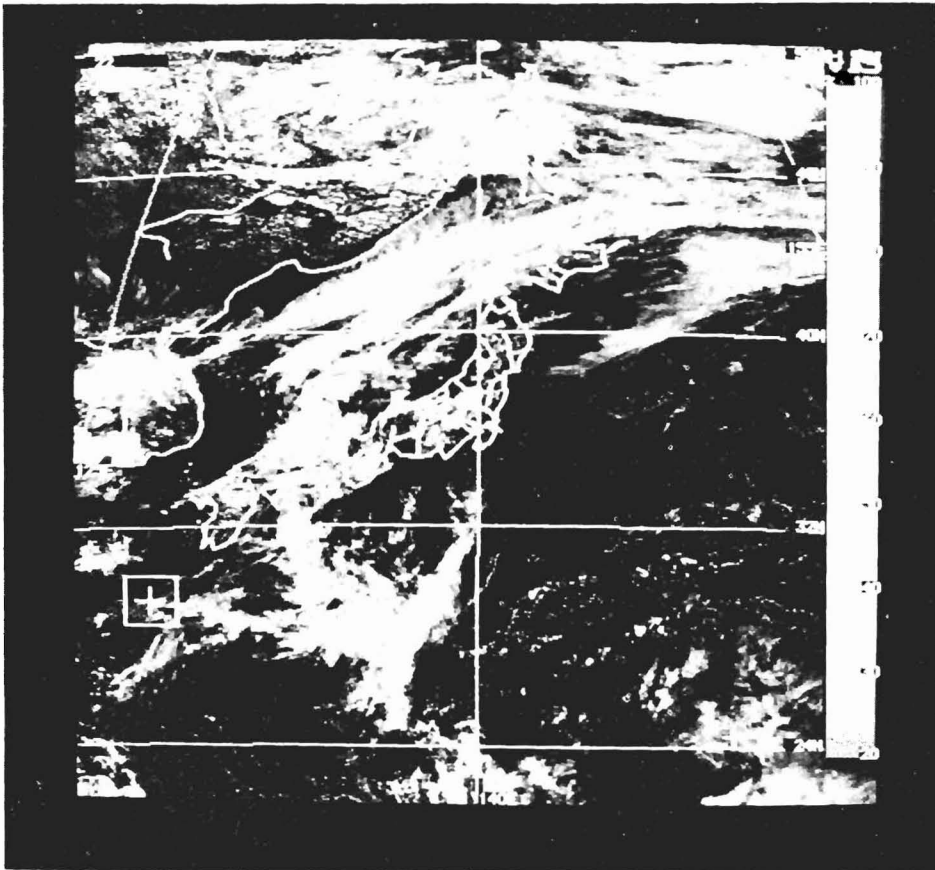


Fig. 6 A sample of image data (visible) displayed on the Image Processing Console (IPC) through the Cloud Selection and Cloud Top Height Estimation program.

・総観雲頂高度用区分画像

北半球をほぼ8分割した大きさの領域を区分画像(512ライン×512画素)としたものである。8画面準備されており、赤外オリジナル空間分解能(星直下点で約5 km)を保持している。Fig. 6 にその例を示した。

・局地雲頂高度用区分画像

日本附近を8分割したもので、可視オリジナル空間分解能(衛星直下点で約1.25 km)を保持する区分画像であり、8画面準備されている。

解析者の指令にしたがって準備される画像については後節 4) にのべる。

表示可能な画像の種類は以下のものが選択できる。

- ・可視および赤外画像の白黒表示
- ・可視および赤外画像の擬似カラー表示

これは画像データの輝度レベルに特定の色を割り当てて表示するもので、Pseudo-Color Transformation とよばれている方法である。

- ・可視・赤外画像のカラー重ね合わせ表示

可視、赤外画像に3原色のうちそれぞれ1色を割り当て、重ね合わせて表示するもので、False-Color Transformation とよばれている方法である。

3) 付属情報の挿入

以下のような情報を解析者の指令にしたがって、表示中の画面に挿入することができる。

- ・緯経線
- ・海岸線
- ・グレー/カラースケール
- ・雲指定番号
- ・雲頂温度
- ・雲頂高度

4) 表示データの準備

前項1) でのべた自動画像準備は雲頂高度算出処理で対象にする領域が定まっていること、その領域をくり返えして表示することが多いこと、IPC の表示能力から表示に要する時間が無視できないこと等から考え出された機能である。自動画像準備によって作成された区分画像に挿入する海岸線データも、同様に、前もって自動的に準備される。解析者が必要に応じて、任意の領域を任意のサンプリング率で区分画像として作成することも可能である。この場合、緯経線、海岸線データはそのたびごとに作成される。

5) 階調/カラー変換テーブル作成

解析者の指令によって、表示する画像の階調変換テーブル、擬似カラー変換テーブルを任意に変更することができる。

6) 雲頂高度算出

キーボード、ファンクション・キー等から入力された情報にもとずいて、雲頂高度を算出する機能である。入力する主な情報は以下のようなものである。

- ・測定点(雲指定点)

表示されている画像上で測定しようとする雲の位置にカーソルダイヤルを合わせ、センド・ポジション・キーによって入力する。また、キーボードから緯経度値または VISSR フレーム座標値(ライン番号, 画素番号)を入力することも可能である。

- ・代表温度決定アルゴリズム

代表温度を求める際のアルゴリズム, すなわちモード法, 最低温度法, 平均温度法の指定をする。

- ・雲の射出率
- ・雲型とその雲層の大きさ
- ・下層表面温度
- ・鉛直温度分布データ

GMSSA, 高層観測資料のどちらを使用するかを指定する。

Cloud types and thickness	Emissivity	Legend
Cirrus	Thin	—(%)
	Medium	—
	Dense	60
Altostratus	Thin	—
	Medium	70
	Dense	90
Altostratus	Thin	50
	Medium	80
	Dense	90
Cumulus	Thin	80
	Medium	90
	Dense	100
Stratocumulus	Thin	30
	Medium	70
	Dense	90
Stratus	Thin	60
	Medium	80
	Dense	100
not specified	—	*

Fig. 7 Empirical cloud emissivity and cloud type, cloud layer thickness. Inspecting image data displayed the IPC, an analyst makes a decision as to cloud type and its thickness. The emissivity is assigned to to the target cloud.

The legend related to cloud type and thickness is shown on the right side. These are plotted on the Cloud Top Height Chart.

### ・雲頂高度値

射出率を算出するときに雲頂高度値を入力する。

ここで使用される射出率と雲型、雲層の関係を示すテーブルの例を Fig. 7 に示した。射出率を入力しなければ、雲型と雲層を解析者が指定することによって自動的に射出率が設定されることになる。

### 7) 出力制御

雲頂高度ジョブ・グループを構成するプログラム、すなわち雲指定、作画、出力、終了化の各プログラム間の制御ルートは雲指定プログラムで変更することができる。制御ルートによって雲頂高度算出処理の終了の仕方が異なる（出力されるものも異なる）。

#### ・総観雲頂高度算出処理終了

雲指定、作画、出力、終了化の各プログラムがすべて実行される。出力および作成されるものは雲頂高度値プロット・ファイル、雲頂高度作画図、総観雲頂高度データ・リスト、雲頂高度値ファイル（磁気テープ）である。

#### ・局地雲頂高度算出処理終了

作画プログラムを除いた、雲指定、出力終了化の各プログラムが実行される。出力および作成されるものは局地雲頂高度データ・リスト、雲頂高度値ファイルである。

#### ・中途出力

処理の途中でデータ・リストを出力できるようにしたもので、指定、出力の各プログラムが実行される。出力されるものは総観または局地雲頂高度データ・リストである。

#### ・中断または消去

雲指定プログラムのみが実行され、出力されるものはない。中断の機能は処理の実行中に何等かの障害によって処理を中断する必要がある場合に対処できるようにしたものである。中途出力または中断による処理終了は使用しているファイルの管理もそれに依って行なうので、終了以前に得たデータの保存が保証されている。したがって、処理の再開、続行が容易に行なえる。それに対して消去による処理終了はデータ、ファイル等をすべて初期状態にもどしているため、終了以前に得たデータの保存の保証はない。

### 4.1.2 表示画面および操作

雲指定プログラムでは対話型処理が中心となるので、以下に表示画面とその操作についてのべることにする。

#### 1) 準備情報表示画面

画像データ、海岸線データの準備状況を知るためのものである。表示項目の主なものは準備の状態、準備画像領域の中心緯経度、雲指定点数（測定点数）などである。

通常は自動画像準備によって区分画像が作成されるが、解析者が作成する場合は準備指令を KB (Key-Board) から入力する。この指令は準備すべき区分画像の中心緯経度、ライン、画素方向の表示解像度等を打鍵することによって実行される。準備情報表示画面は KB または FK (Function Key) を打鍵することによって表示することができる。

#### 2) 画像表示画面

前節 4.1.1 の 2) で述べた画種が表示できる。画像データは次のような変換を経て IPC に表示されている。赤外または可視画像データの輝度レベルを画像データ・ファイルの画像パラメータ部にある等価黒体温度変換テーブルまたはアルベド変換テーブルによって温度、アルベドに変換する。次に、雲頂高度固定データ・ファイルにある階調/カラー変換テーブルによって表示輝度レベル、表示カラーに変換して、IPC に表示している。

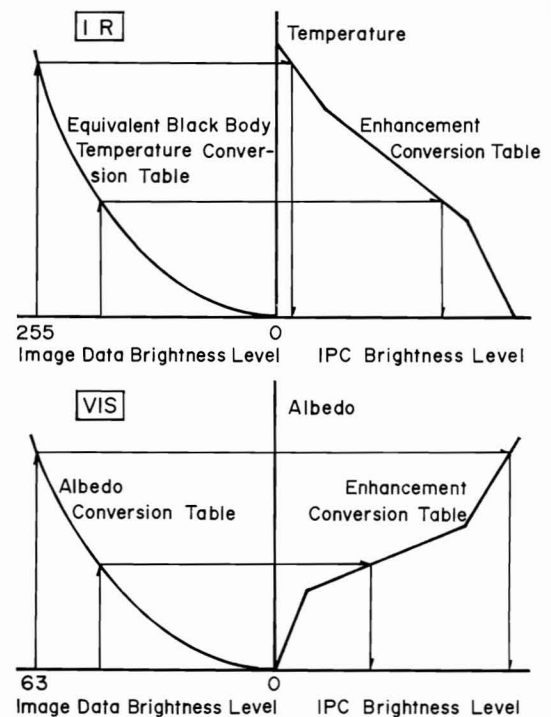


Fig. 8 Schematic diagram of IPC brightness level/image data brightness level conversion. Image data brightness level (IR or VIS count) is converted to the IPC brightness level through two conversion tables (equivalent black body temperature/albedo conversion table and enhancement conversion table). The enhancement conversion table is constructed by an analyst on the IPC arbitrarily.

Fig. 8 はこれらの変換の過程を示したものである。画像前処理で行なうキャリブレーション処理、可視チャンネル・ノーマライズ処理によって、等価黒体温度、アルベド変換テーブルが更新されるので、表示輝度レベル、表示カラーと等価温度、アルベドの関係は一定に保持することができる（ここでいうアルベドは本来の意味のアルベドとは若干、異なるので、可視輝度レベルの相対的な値とするのが妥当）。

画像の表示は表示指令で行なう。この指令は白黒またはカラー画面、表示する準備画像の領域名、画種（可視または赤外）、表示カラーまたはカラー変換テーブルにつけられた番号を入力することによって実行される。

### 3) 雲頂高度算出結果表示画面

IPC から解析者が入力したデータにもとずいて、雲頂高度およびそれに関連する情報が表示される。

雲指定を行なう場合、測定領域に対応した大きさのグラフィック・カーソル (Graphic Cursor) を目的とする雲領域にポジショナー (Positioner; X, Y 軸方向にグラフィック・カーソルを移動させるためのもの) で合致させ、センド・ポジションキ (Send Position Key) を打鍵する。雲指定の終了した位置にはクロス・マークが表示される。

雲頂高度算出に必要な情報を次のような指令によって入力、または変更することができる。

#### ・算出指令

代表温度決定アルゴリズムと領域サイズを指定する。

#### ・座標入力指令

グラフィック・カーソルによる方法の他に雲指定点の中心緯経度、領域の大きさを入力することによって雲指定ができる。

#### ・再表示指令

すでに算出の終了している雲指定点について算出結果を再表示させることができる。

#### ・削除指令

すでに指定されている雲指定点の算出結果を削除することができる。

#### ・射出率入力指令

雲領域の射出率を直接、入力することができる。また、圏界面高度の参照を指示することができる。

#### ・雲型入力指令

雲領域の雲型および射出率を入力することができる。

#### ・高度入力指令

雲領域の雲頂高度値を入力することができる。

#### ・鉛直温度指令

参照すべき鉛直温度分布データを指定することができる。

#### ・下層面入力指令

下層表面温度値を直接入力することができる。

算出結果は表示画面の下部に雲指定点番号、代表温度決定アルゴリズムの区別、雲型、射出率、雲頂高度値が簡易情報として表示される。指令によってさらに雲指定点の位置、下層表面温度、雲頂温度、領域サイズ、等が詳細情報として表示することができる。

### 4) スケール挿入画面

スケールは挿入指令によって、表示画像の右端に表示される。スケールの種類は次のようなものである。

#### ・温度・スケール

赤外画像データを白黒または擬似カラー表示するときに表示できるもので、一定間隔の温度スケールに対する表示輝度テーブルが表示される。

#### ・アルベド・スケール

可視画像データを白黒、単色カラー、擬似カラー表示するときに表示できるもので、一定間隔のアルベド・スケールに対する表示輝度テーブルが表示される。

#### ・温度・擬似カラー・テーブル

赤外画像データの擬似カラー表示 (55色以下) するときに表示できるもので、一定間隔の表示カラー・テーブルに対する温度値が表示される。

#### ・アルベド・擬似カラー・テーブル

可視画像データを擬似カラー表示するときに表示できるもので、一定間隔の表示カラー・テーブルに対するアルベドが表示される。

#### ・温度・アルベド・スケール

可視、赤外画像データの重ね合わせ表示するときに表示できるもので、一定間隔の温度、アルベド・スケールに対する表示カラー・スケールが表示される。

以上のようなスケールを表示することによって表示画像中にある雲領域の温度またはアルベドに関する情報を視覚的に判断することができる。

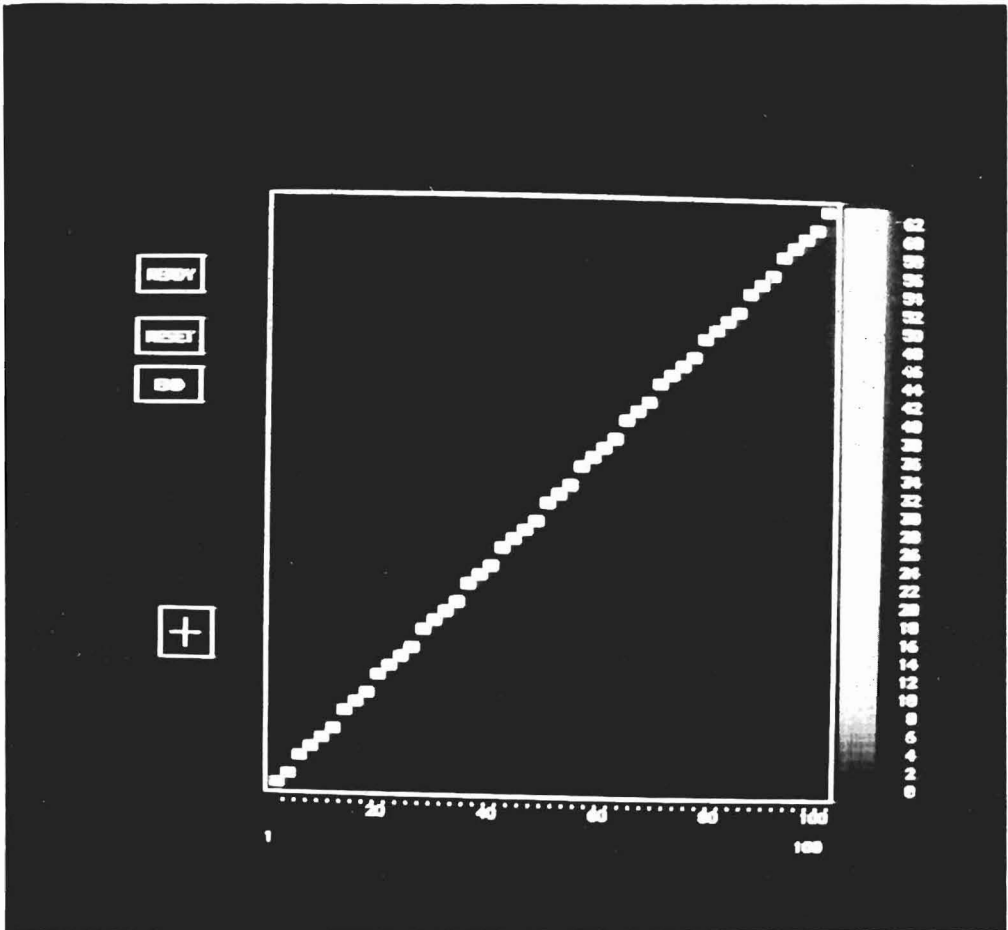
### 5) 緯経線挿入画面

FK または KB からの緯経線挿入指令によって、表示画像内に緯経線を挿入することができる。緯経線の間隔は表示画像の範囲によって自動的に選択される。表示色 (白または黒) も指定することができる。

### 6) 海岸線挿入画面

FK または KB からの海岸線挿入指令によって、表示画像中に海岸線を挿入することができる。自動画像準備の対象となる区分画像領域の海岸線データは雲頂高度海岸線データ・ファイルに自動的に準備されている。画像準備指令によって新たに作成する区分画像についてはその都度、作成される。

### 7) 変換テーブル表示画面



**Fig. 9** A sample of enhancement conversion table display. Image data brightness level are converted to the IPC brightness level through this table. The Cloud Selection and Cloud Top Height Estimation Program allows an analyst to distort the shape of this relationship for improving the contrast of the target cloud.

KB からの変換テーブル作成指令によって、階調変換テーブル、擬似カラー変換テーブルを表示する。表示後はカーソル・ダイヤルによって変更すべき座標点を入力し、変換テーブルを更新することができる。変換テーブル作成の方法によって、雲領域の周辺部の強調、ある温度範囲にある雲領域のみ (Thermal Slice) の表示などができる。この表示例を Fig. 9 に示した。

#### 8) 終了画面

解析者から終了状態 (正常, 中断, 中途出力, 中止) に応じて終了指令が出され、雲頂高度算出処理が終了する。それ以外に、一定の時間を経過した場合 (処理時間が限定されているため)、画像データの撮像年月日の指定に誤りがある場合には自動的に処理が終了し、この画面が表示される。

#### 4.1.3 雲頂高度作画プログラム

総観雲頂高度で算出した雲頂高度値に関する情報を XY プロッターに出力するための磁気テープを作成する処理である。この磁気テープは XY プロッターにかけられ、雲頂高度出力図となる。この処理ではまたラインプリンターに地図の形式で雲頂高度に関する情報が出力され、XY プロッターの出力内容を確認することができるようにしている。

作画する図法は 2 千万分の 1 のポーラステレオ図法でアジア太平洋天気図 (Ⅱ) と同じである。作画する内容は測定点の位置に雲型、雲頂高度、雲頂温度、観測輝度温度、標準偏差、射出率である。Fig. 10 にその例を示した。また、雲型の記号は Fig. 7 に示したようなものである。



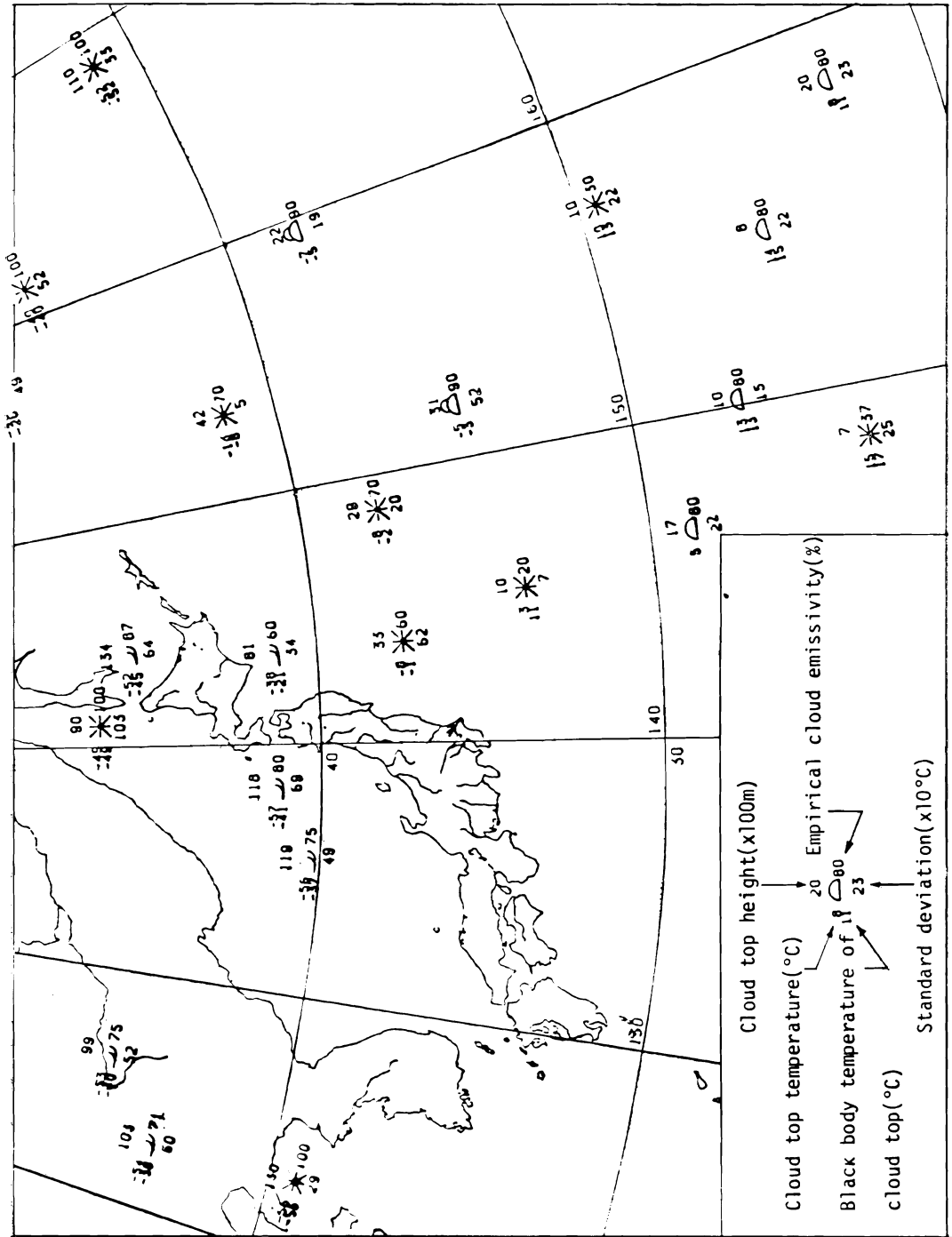


Fig. 10 After the operation of the Synoptic-Scale CTHES is completed, the results are plotted on this chart by a machine plotter (four times a day).

その他に緯経線、緯経度値、海岸線およびタイトル、観測日時を作画する。XYプロッターで作画する内容の選択は作画レベルの指定という機能によって行なうことができる。例えば作画に必要な緯経線、海岸線などを格納したファイルが使用不能になったとき、作画は不可能になるので、作画レベルを指定する（カード入力）ことによって対処することができる（この場合には緯経線、海岸線は作画されない）。

#### 4.1.4 雲頂高度出力プログラム

総観または局地雲頂高度算出処理の結果を編集してラインプリンターに出力するものである。主な出力内容は次の通りである。

##### ・雲指定情報

指定点ごとに算出結果および関連する情報を出力したものである。主な項目は指定点の位置、雲型、雲頂高度、雲頂温度、等価黒体温度、測定領域の大きさ、標準偏差、射出率、下層表面温度、代表温度決定アルゴリズムなどである。

##### ・ヒストグラム

測定領域内に含まれる画素の等価黒体温度のヒストグラムにもとずいて階級値、度数を出力する。階級数は21個で通常はモード値が階級の中心に位置するように出力される。

##### ・温度マトリックス

局地雲頂高度算出処理のとき出力されるもので、測定領域内に含まれる画素の等価黒体温度およびそれに対応した雲頂温度値のマトリックス（スキャン・ライン方向に10個、画素方向に33個）が出力される。また、マトリックスの四角に当る緯経度値も出力する。

##### ・雲指定点リスト

撮像開始時刻、雲頂高度算出処理開始時刻、および使用したファイルの作成時刻を出力する。また、雲指定点のうちで新しく指定されたもの、更新されたもの、消去されたものを区別して出力する。また、参照した鉛直温度分布データの区別（GMSSA、高層観測資料）、代表温度決定アルゴリズムの区別にしたがって雲指定点番号を出力する。

##### ・雲頂高度決定パラメータ

使用した雲頂高度決定パラメータをすべて出力する。出力内容はファイル障害、中途出力かどうの判定等によって変更される。なお、雲指定点に関連した情報の出力順序は北から南、西から東へソーティングされている。

#### 4.1.5 雲頂高度終了化プログラム

雲頂高度算出処理の結果が格納されている雲頂高度計算値ファイルと使用した画像データおよびその処理に必

要な情報（座標変換パラメータ、等価黒体温度変換テーブルなど）が格納されている準備済画像データ・ファイルを入力として、雲頂高度値ファイル（磁気テープ）に必要な情報を出力するプログラムである。この処理によって、雲頂高度算出に関する情報のうち、保存の必要があるデータはすべて磁気テープに記録され、一連の雲頂高度算出処理が終了することになる。

#### 4.2 鉛直温度ジョブ・グループ

雲頂温度を高度、それに対応する気圧への変換、大気補正量の算出に必要な鉛直温度分布データの登録、更新を行なうジョブ・グループである。このグループは次の二つのプログラムから構成されている。Fig. 5の右側にこの処理の流れ図が示されている。

##### 4.2.1 鉛直温度更新プログラム

統計値を使用することによる精度低下をできるだけ抑えるために、気団解析にもとずいて気団の差異による鉛直温度分布の相違を温度／高度変換時に考慮する方式を採用している。気団解析は雲解析業務で数値予報の結果などにもとずいて1日2回なわわっている。この結果にもとずいて鉛直温度分布データを更新する処理を鉛直温度更新処理という。ここで作成されたデータは風計算処理、広域放射海面水温算出処理、雲量分布算出処理で使用されている。

この処理は以下のような機能をもっている。

##### ・鉛直温度分布データの更新

Fig. 5の右下に処理の流れ図を示した。鉛直温度固定データファイルにはGMSSAデータが格納されている。気団解析の結果は $5^{\circ} \times 5^{\circ}$ 格子ごとにGMSSAデータのうちのどの月のものを使用するかを指定したカード（気団指定カードという）にパンチされる。ファイルからこのカードで指定された月の鉛直温度分布データを読み出し、鉛直温度分布データファイル（VTP Data File）に格納する。この処理は1日2回（現在は00, 12Z）行なわれる。それぞれの結果を残すために鉛直温度分布データファイルは2個用意され、交互に使用されている。

##### ・高層観測資料の格納

気団指定カードによる鉛直温度分布データの他に高層観測資料を直接、カードから入力することによってGMSSAと同様に使用できる。入力する内容は観測地点番号、位置（緯経度値）高層観測資料等である。これらのデータを参照する場合はIPCから高層観測資料を使用する命令と観測地点番号を入力する。

##### ・入力カードチェック機能

入力されるデータカードに誤りがあると鉛直温度分布データの内容も誤ったものになる。これを避けるためにファイルを作成する前に一度内容をラインプリンターに

出力し、チェックできる機能を備えている。内容に誤りがないことを確認した後、改めて鉛直温度分布データ・ファイルを作成することになる。

#### ・磁気テープへの出力

ファイル障害に備えて鉛直温度分布データファイルの内容を磁気テープに出力することができる。この磁気テープを入力として鉛直温度分布データファイルを復元する。

#### 4.2.2 鉛直温度固定データ作成プログラム

このプログラムは GMSSA データを格納した北半球および南半球のマスターファイル（磁気テープ）の内容を鉛直温度固定データファイルに格納するためのものである。ここで作成されたファイルは鉛直温度更新プログラムの入力となる。Fig. 5 の右側下段に処理の流れを示した。

#### 4.3 サポート・ジョブ・グループ

このグループは次の3つのプログラムから構成される。

##### 4.3.1 雲頂高度初期化プログラム

雲頂高度編集済画像データ・ファイル、雲頂高度計算値ファイルの創成を行なうものである。雲頂高度算出処理の初期に実行される。Fig. 5 の左上に処理の流れを示した。

##### 4.3.2 雲頂高度固定データ作成プログラム

雲頂高度算出処理で使用する固定データは固定値として扱うのは無理であり、最適な値を求めるための試行を要するものが多い。そのため更新の頻度が多い固定値を一括し、それらの変更が容易に行なえるようにしている。Fig. 5 の右側上段にこのプログラムの処理の流れを示した。カードから次のようなデータを入力する。

#### ・雲頂高度決定パラメータ

これについては改めて後述する。

#### ・雲型/射出率テーブル

Fig. 7 に示したような雲型とその雲層に対応した統計的な射出率のテーブルである。

#### ・区分画像指定テーブル

自動的に画像準備を行なうべき領域の中心の緯経度値、サンプリング率等のテーブルである。

#### ・階調/カラー変換テーブル

画像の表示の際に使用する階調/擬似カラー変換テーブルである。

これらのデータは雲頂高度固定ファイルに格納され、雲頂高度雲指定プログラムで使用される。

#### 4.3.3 雲頂高度保存データ累積プログラム

雲頂高度算出処理の出力結果は雲頂高度値ファイルに格納されている。その主な内容はファイル・コントロール情報、座標変換パラメータ、等価黒体温度変換テーブル、放射量変換テーブル、雲頂高度決定パラメータ、雲指定点に関する詳細情報および雲領域の赤外輝度データ等である。

これらの結果は1回の処理ごとに出力される。これらを累積して再び磁気テープに格納するために、このプログラムが使用される。

## 5. 雲頂高度決定パラメータ

雲頂高度決定パラメータとよばれている各種の定数には以下のようなものがある。

#### ・代表温度の算出に必要な定数

前節2.3で述べた定数  $A, B, C, D$  が含まれている。

#### ・ファイルに障害が発生した場合の対応の仕方に関する定数

・測定領域内にエラー・ラインを除いた有効な画素数が占めるべき割合

・ヒストグラムの平滑を行なうときに必要な定数

・大気補正をしたときの収束条件

・大気補正の際に行なうくり返し計算の回数、および初期値（大気の上限または地表面）

これらの定数は雲頂高度固定データ作成プログラムによって更新することができる。

## References

- 1) Allen, J.R. (1971) : Measurement of Cloud Emissivity in the 8~13  $\mu$  Waveband. J. Appl. Met., Vol. 10, 260—265.
- 2) Kuettner, J. (1959) : The Band Structure of the Atmosphere. Tellus, Vol. 11, No. 3, 267—294.
- 3) Selected Level Height, Temperature and Dew Point for the Northern Hemisphere. NAVIR 50-1C-52, Jan. 1970, U.S. NAVY.
- 4) Climate of the Upper Air : Southern Hemisphere. NCAR Technical Notes/STR-58, Vol. 1, May 1971.
- 5) IGY Aerological Cross-Sections II, Part II, Along 140°E. Japan Meteorological Agency, 1958.

## 5. 海面水温

### 5. Sea Surface Temperature

#### Abstract

Using GMS VISSR IR data, an objective, and automatic derivation of SST is operationally performed every ten days.

VISSR scans cloudy as well as cloud free area. In order to retrieve SST, data over clear area should be exclusively extracted. For the daily retrieval of SST, a composite IR data observed every 6 hours is analyzed by the histogram method. But still there are areas where SST can not be obtained from one day data because of cloud cover. Therefore, the SST data retrieved during 10 days is used and the synthetic analysis procedure is applied to select representative SST data checking against the first guess SST field. The representative SST data is compared with the adjacent data before being merged with the SST field. The data which is found anomalous is rejected and no longer used in the analysis. The rejected area SST value is estimated from the passed SST data and the climatological SST. The final set of SST field is obtained, and this becomes the next first guess SST field.

#### 1. はじめに

気象衛星の赤外放射データによる客観的、自動的、かつ全球的海面水温算出の運用は、主にアメリカで極軌道衛星によって行なわれてきた。

日本では、この極軌道衛星による海面水温計算モデル(GOSSTCOMP)のアルゴリズムを基に静止気象衛星(GMS)の特性をいかした海面水温算出法を検討してきた。この問題解決のために、擬似データによるシミュレーションやアメリカの静止衛星(SMS)の赤外データを用いたアルゴリズムの調査を行なった。

衛星で測定される赤外データには、海洋上では晴天領域の海面データと同様、雲領域のデータが混在している。そこで当然のことながら、GOSSTCOMPでは、1日のデータから全領域の海面水温算出を行なっているので雲が卓越して1日のデータでは算出されない領域が多く見出される。一方、GMSシステムでは、1日6時間毎4回のVISSR赤外合成データから先ずその1日間の平均海面水温を抽出する。GOSSTCOMPと同様、雲

領域が卓越して1日の合成データだけから算出されない領域がある。そこで、短い期間での海面水温変化が小さいという海洋の特性をいかした10日間程度の時間的合成いわゆる時間的選別処理を施し、10日間の代表的海面水温を算出することを目的としている。

#### 2. GMS 海面水温処理システム

GMSによる海面水温処理システムの流れを Fig. 1 に示す。

海面水温算出は、日処理、旬処理、月処理から構成される。

日処理は、1日6時間ごとに観測された4回のVISSR赤外データを用い、緯経度1度区域のヒストグラムからその区域の1日間平均の海面水温を抽出する。

旬処理は、日処理で雲領域が卓越して海面水温が求められない区域の欠点を補ない、基準温度場のデータを考慮してその旬期間の代表的海面水温を求める。さらに、回りの測定値と比較して品質の良くないデータは排除する。次に、排除された区域の海面水温値は、回りの

SST COMPUTATION MODEL

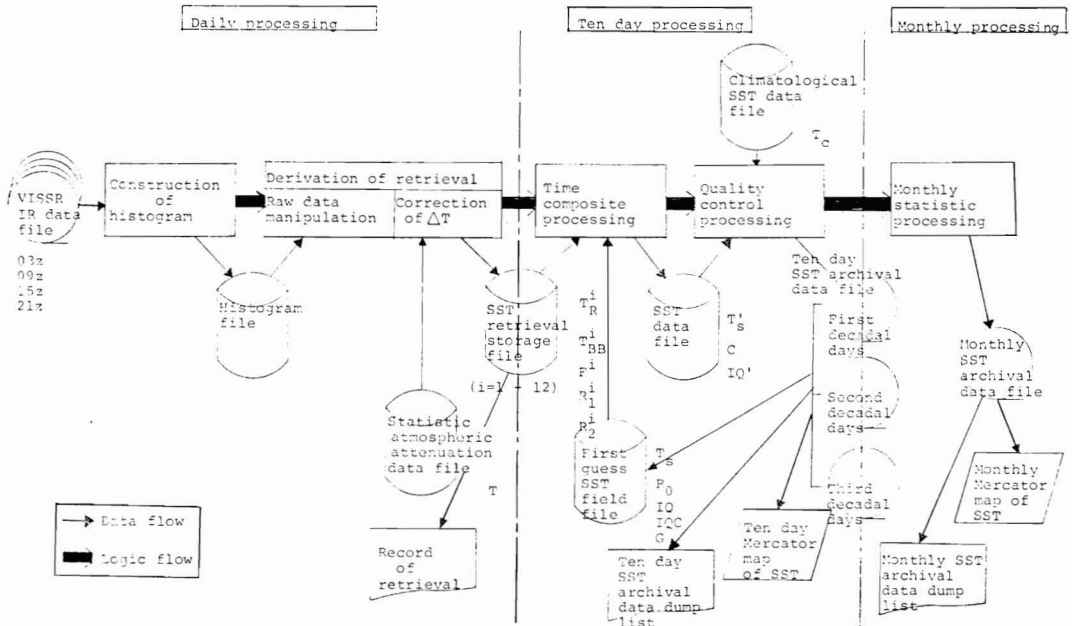


Fig. 1 General flow diagram for sea surface temperature computation model

品質の良い海面水温および気候値により推定し、全処理領域の海面水温を算出する。この算出海面水温場が、次の基準温度場となる。

月処理は、上旬、中旬、下旬の海面水温値から月平均海面水温値を求める処理である。

2.1 海面水温の放射測定

すべての物体は、その温度に応じた強さの赤外エネルギーを放射している。その物体が黒体であるならば、プランクの法則によって物体の表面温度を求めることができる。

衛星高度に到達する上向きの放射量は、次式で表わすことができる。

$$N_1 = \int_{\lambda_1}^{\lambda_2} \phi_{\lambda} \epsilon_{\lambda} B_{\lambda}(T_s) \tau_{\lambda}^{\uparrow} d\lambda + \int_{\lambda_1}^{\lambda_2} \int_{-\tau_{\lambda}^{\uparrow}}^1 \phi_{\lambda} B_{\lambda}(T_a) d\tau_{\lambda} d\lambda \quad (1)$$

$N_1$ : 衛星で測定される上向きの放射量

$\lambda$ : 波長

$\phi_{\lambda}$ : フィルター関数

$B_{\lambda}(T)$ : プランクの関数

$\tau_{\lambda}^{\uparrow}$ : 地表から衛星高度までの透過率

$\tau_{\lambda}$ : 大気透過率

$T_s$ : 放射面における絶対温度

$T_a$ : ある大気層の絶対温度

$\epsilon_{\lambda}$ : 放射物質の射出率

ただし、散乱効果は小さいので無視している。

第1項は、不透明な表面(地表面、海面、厚い雲)からの放射であり、第2項は、大気中のガスや光学的な微粒子に起因する放射である。

一方、GMS に搭載されている VISSR の赤外チャンネルに用いられている波長  $\lambda$  は、大気窓領域である  $10.5 \sim 12.5 \mu$  であり、海面の射出率  $\epsilon_{\lambda}$  は 1.0 に非常に近い黒体である。VISSR の赤外検知器へ入射する放射量  $N_2$  は、雲のない場合、次式で表わすことができる。

$$N_2 = \int_{10.5}^{12.5} \phi_{\lambda} B_{\lambda}(T_{BB}) d\lambda \quad (2)$$

$T_{BB}$ : 等価黒体温度

VISSR 赤外検知器へ入射した放射量  $N_2$  は、量子化され 256 の輝度レベルに変換され、輝度・温度変換テーブルを用いて、輝度から等価黒体温度(この場合は、海面水温  $T_s$ )が求まる。

しかしながら、VISSR の赤外チャンネルの波長  $10.5 \sim 12.5 \mu$  は大気窓領域ではあるが、水蒸気による吸収もあり、この効果の補正、即ち大気補正を行なう必要がある。大気補正量を  $\Delta T$  とすると、"真"の海面水温は次式で表わすことができる。(\*)大気補正の項を参照のこと)

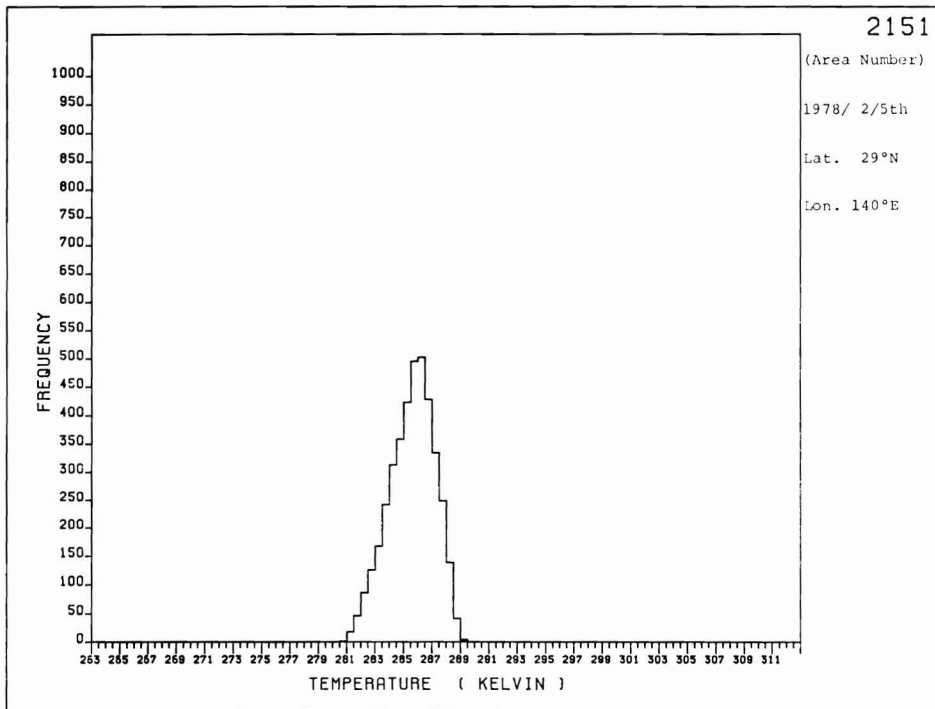


Fig. 2 Clear area data histogram or uniform cloud data histogram

$$T_s = T_{BB} + \Delta T \quad (3)$$

2.2 1日間の平均海面水温抽出

晴天領域において、ランダム・ノイズだけが赤外画像データに影響を及ぼすような温度場のヒストグラムは、Fig. 2 のように正規分布となる。このヒストグラムの算術平均、あるいはモード・クラスを決定すれば、その領域での場の平均的な温度が得られる。

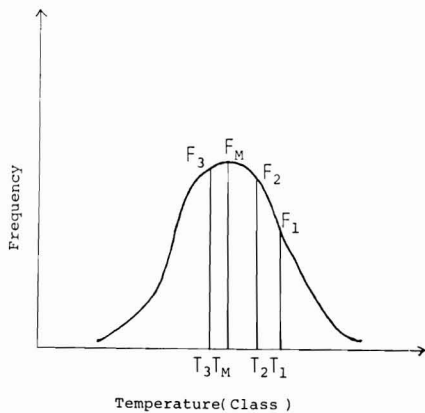


Fig. 3 Gaussian distribution

今、ヒストグラムの度数分布が Fig. 3 のように正規分布をしている場合、それは次式で表わすことができる。

$$F_i = \frac{a}{\sqrt{2\pi}\sigma} \exp \left( -\frac{(T_i - T_M)^2}{2\sigma^2} \right) \quad (4)$$

- $F_i$  : 第  $i$  クラスの度数
- $T_i$  : 第  $i$  クラスの温度
- $T_M$  : モード・クラスの温度
- $\sigma$  : 標準偏差
- $a$  : 定数

(4)式より、任意の3クラスの温度とその度数を知れば、ヒストグラムのモード・クラスに対応する温度は次式で決定できる。

$$T_M = \frac{1}{2} \cdot \frac{(T_3^2 - T_1^2) \ln F_1/F_2 + (T_1^2 - T_2^2) \ln F_1/F_3}{(T_3 - T_1) \ln F_1/F_2 + (T_1 - T_2) \ln F_1/F_3} \quad (5)$$

ところが実際には、ほとんどの領域では雲が存在するので、雲領域データと海面領域が混在してヒストグラムは正規分布とはならない。これらのヒストグラムから、いかにして海面水温を抽出するかが問題である。Fig. 4 は、雲と海面のデータが混在した温度ヒストグラムであり、ほとんどの領域のヒストグラムが何らかの形でこの

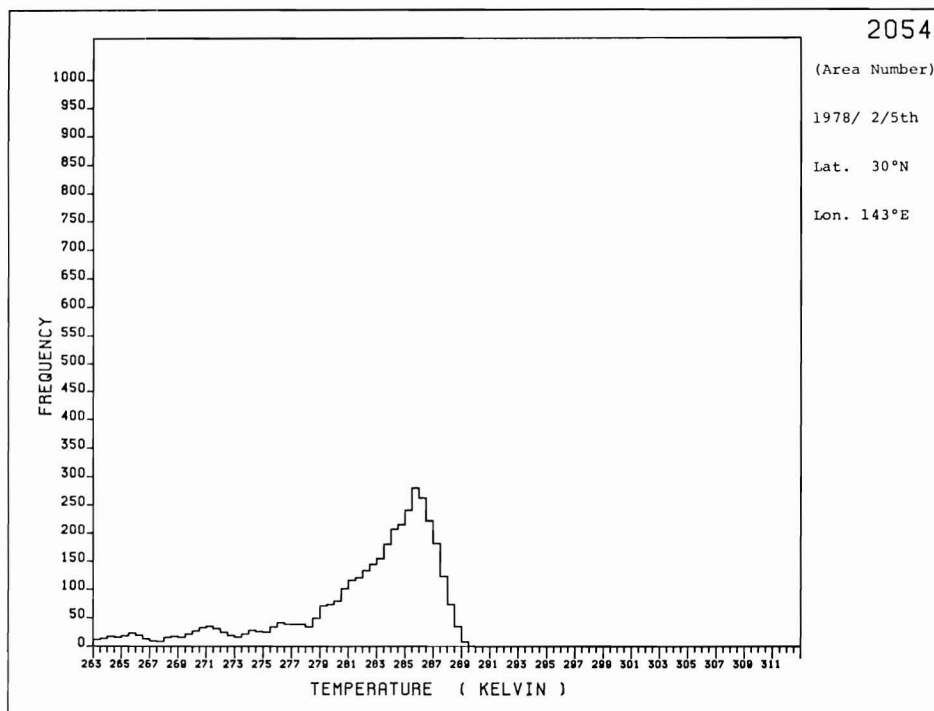


Fig. 4 Cloud contaminated data histogram

様な形状を示す。

通常、雲の温度は低く、ヒストグラムの高温側は晴天領域（海面領域）の分布を示すと仮定してよいので、高温側の3つのクラス温度と度数を用いて(5)式から海面水温を抽出することができる。

GMS システムでは、VISSR 赤外データを基に温度ヒストグラムを作成し、1日間の平均の海面水温（抽出海面水温）を求めている。

この抽出海面水温の算出処理は、処理の流れとして二段階になる。第一は、緯度  $50^{\circ}\text{N}\sim 49^{\circ}\text{S}$ 、経度  $90^{\circ}\text{E}\sim 171^{\circ}\text{W}$  の緯経度  $1^{\circ}$  区域毎に温度ヒストグラムを作成することであり、第二は、各区域毎に抽出海面水温を算出し、その結果を第  $i$  日目のデータとして10日間累積する処理である。後者は、ヒストグラムの形状をチェックし、抽出観測輝度温度 ( $T_{BB}$ ) を抽出し、これに大気減衰量を補正し、抽出海面水温を求める。

なお、各区域毎の海面水温データは、その区域の中心における値と見なす。従って、海面水温データは格子点データとして与える。

### 2.2.1 ヒストグラム作成

衛星の赤外放射計を利用して海面水温を抽出する際に雲は障害となるが、移動ないし消滅する場合が多いので、ある時間帯で雲のため海面水温が抽出できない時で

も、他の時間帯では晴天領域が卓越し抽出可能となる。GMS システムでは、晴天領域のヒストグラムをできるだけ多く取得するため1日4回 (03, 09, 15, 21 GMT) の VISSR 赤外データから得られたヒストグラムデータを累積し、この合成ヒストグラムから1日間の平均的な海面水温を求めている。Fig. 5 は、これらヒストグラ

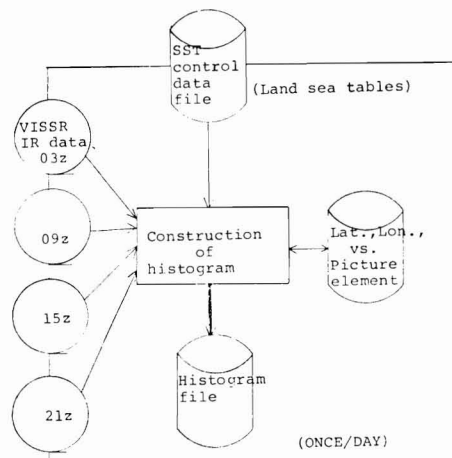
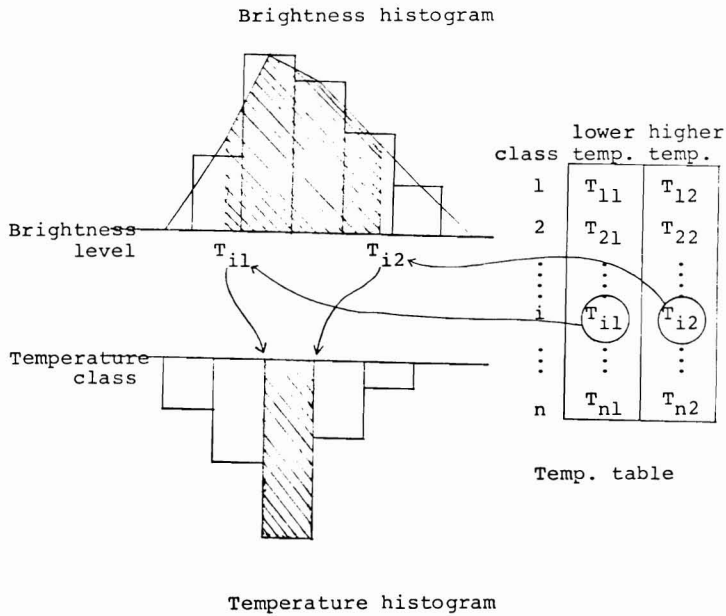


Fig. 5 Flow diagram for the synthesis of IR data observed 4 times a day



(Shaded portion of each histogram is corresponded)

Fig. 6 IR brightness histogram vs. temperature histogram

ム作成の処理を表わしたものである。

この場合に問題となるのは、各時間帯の画像の位置合わせ、および輝度レベルと温度との関係の変化である。前者については、各時間帯の画像関連データにある姿勢、軌道等の位置の情報から、VISSRの画像データの画素エレメントと地球上の緯度・経度の関係を示す緯経度画素対応表を作成し、位置の補正を施す。後者に対しては、温度レベルで作成した輝度ヒストグラムデータを、Fig. 6のように輝度レベルと温度レベルの対応を考慮した温度ヒストグラムに変換することによって、キャリブレーションの変化においても影響を受けないようにしている。

この温度ヒストグラムへの変換により、複数画像データを利用しての合成ヒストグラムの作成が可能になる。また、海面領域のみを注目すればよいので、全ヒストグラムは不要で、ヒストグラムデータ量を減らすことができる。

2.2.2 観測輝度温度データ抽出

各緯経度1度区域毎に作成された第*i*日目の温度ヒストグラムをヒストグラムファイルから読み込み、ヒストグラムのスムージングを行ない、その形状をチェックする。

さらに、(5)式によりヒストグラムの二次分布を作成し、その形状チェックを行なって、抽出観測輝度温度( $T_{BB}$ )を抽出する。これらのチェックテストの結果 (Table 1)を第*i*日目データとして累計データファイルに格納する。Fig. 7に観測輝度温度データ抽出の処理

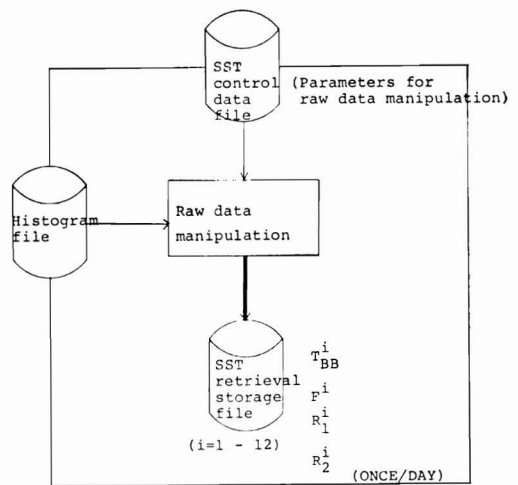


Fig. 7 Flow diagram for raw data manipulation



を表わす.

(1) 原ヒストグラム形状チェック

温度ヒストグラムの形状から、抽出観測輝度温度データを求めるためのテストを行なう。この内、(a)を除くチェックテストを行なうに際し、赤外画像データに含まれる高周波数のノイズを除去するため、ヒストグラムをスムージングする。( \* 印の値は、経験的に求めた値)

以下に7つのテストの概略を示す.

(a) 有効データ数テスト

原ヒストグラムにおいて、全クラスの全度数  $S_{T0}$  が、ある基準  $N_p^*$  以上であること.

$$S_{T0} \geq N_p^* \tag{6}$$

(b) Gross Contamination テスト (GCT)

スムージングされた原ヒストグラムについて、基準温度  $T_{GCT}^*$  以上の累積度数  $S_1$  が、全クラスの全度数  $S_{T1}$  に対して  $\theta_{GCT}^*$  以上であること。(Fig. 8 参照)

$$\frac{S_1}{S_{T1}} \times 100 \geq \theta_{GCT}^* \tag{7}$$

基準温度  $T_{GCT}$  は、海面水温の低温限界値から決める.

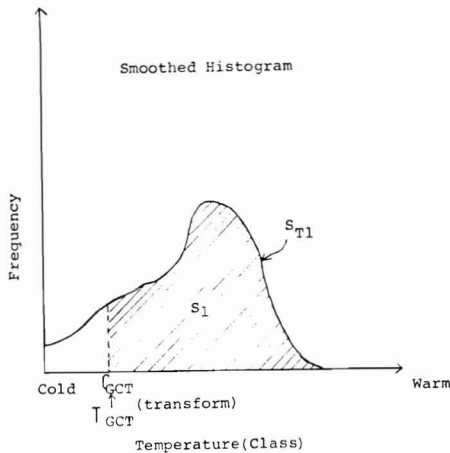


Fig. 8 Gross contamination test

(c) スムージングされた原ヒストグラムのモード決定テスト

スムージングされた原ヒストグラムについて、高温側から検索し、ヒストグラムの有効モードが求められること.

(d) Mode Percent テスト (MPT)

スムージングされた原ヒストグラムにおいて、モード決定法に基づき決定されたモード・クラス  $C_{m1}$  より高温側の累積度数  $SS_1$  が全度数  $S_{T1}$  に対して  $\theta_{MPT}^*$  以上であること。(Fig. 9 参照)

$$\frac{SS_1}{S_{T1}} \times 100 \geq \theta_{MPT}^* \tag{8}$$

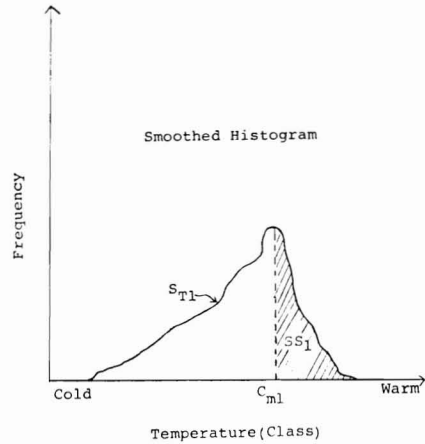


Fig. 9 Mode percent test

(e) Data Histogram Mode テスト (DHMT)

スムージングされた原ヒストグラムのモード・クラス  $C_{m1}$  の度数  $histo(C_{m1})$  が、全クラスの全度数に対して  $\theta_{DHMT}^*$  以上であること。(Fig. 10 参照)

$$\frac{histo(C_{m1})}{S_{T1}} \times 100 \geq \theta_{DHMT}^* \tag{9}$$

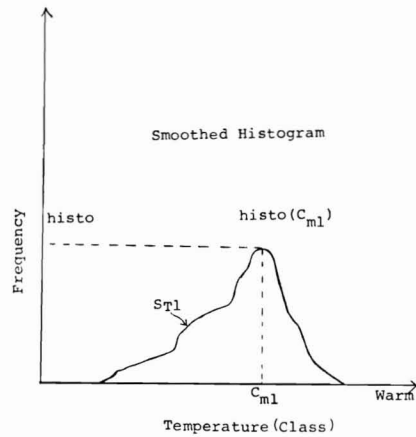


Fig. 10 Data histogram mode test

(f) Warm Side Range テスト (WSRT)

Warm side range を決定する低温側からの累積度数  $P_{w*}^*$  によって決まる Warm side range クラス  $C_w$  とモード・クラス  $C_{m1}$  との差が、 $C_{w1}^*$  と  $C_{w*}^*$  の範囲にあること。(Fig. 11 参照)

$$C_{w1}^* \leq C_w - C_{m1} \leq C_{w*}^* \tag{10}$$

(g) Stratus テスト (STT)

モード・クラス  $C_{m1}$  と、Cold side range を決定する低温側からの累積度数  $P_{c*}^*$  によって決まる Cold side

range のクラス  $C_k$  との差が, Warm side range クラス  $C_w$  と  $C_{m1}$  の差より大きいこと. (Fig. 11 参照)

$$C_w - C_{m1} \leq C_{m1} - C_k \quad (11)$$

(2) モード推定ヒストグラムチェック

スムージングされた原ヒストグラムから任意の3つのクラスを  $n$  個抽出し, (5)式から  $n$  個のモード・クラス  $T_M$  を計算する. 高温側の  $n$  個の  $T_M$  を用いて作られる新しいヒストグラムをモード推定ヒストグラム (Mean

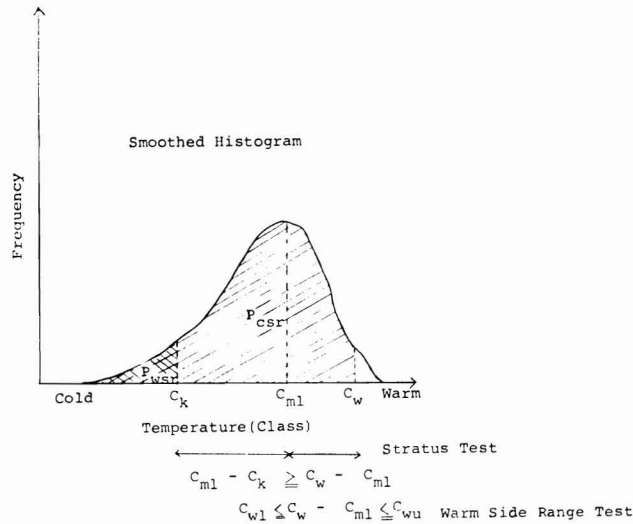


Fig. 11 Warm side range test and stratus test

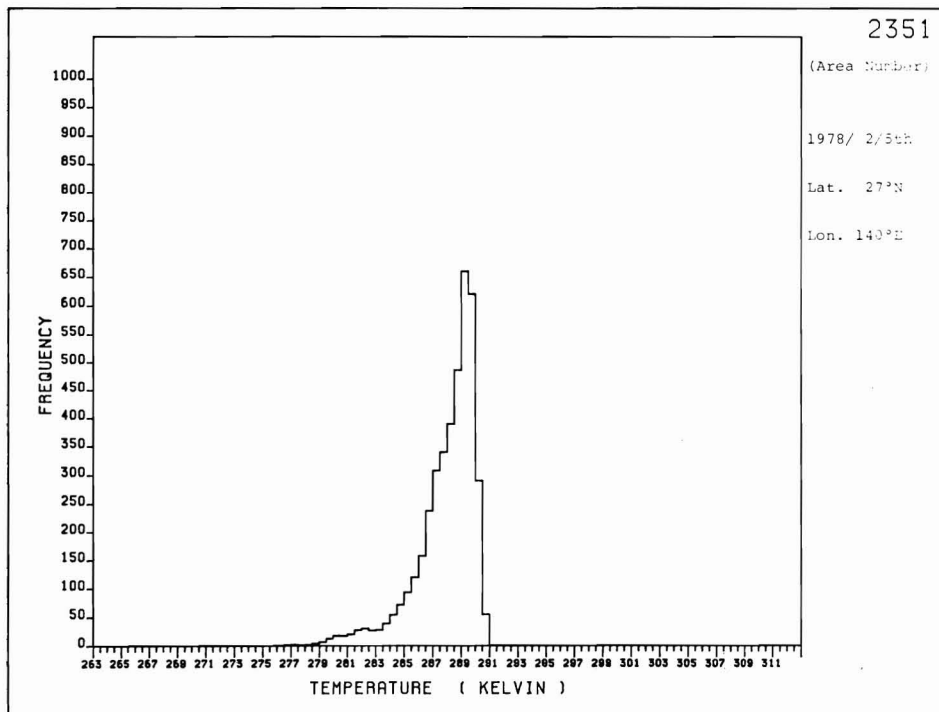


Fig. 12 Clear area data histogram

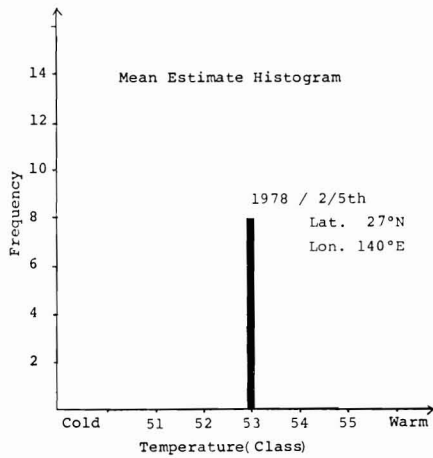


Fig. 13 MEH for Fig. 12

Estimate Histogram : MEH) と称し, 原ヒストグラム  
の正規分布状態の度合を表わす. 高温側のクラスを用い  
るのは, 雲の影響を小さくするためである.

Fig. 13 は, Fig. 12 より作成した晴天領域における  
MEH である.

Fig. 15 は, Fig. 14 より作成した雲領域と海面領域  
が混在した時の MEH である.

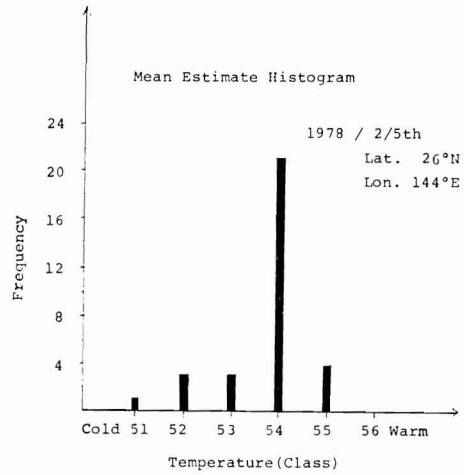


Fig. 15 MEH for Fig. 14

この MEH の分布の形状から, 4つのチェックテス  
トを行ない, 抽出観測輝度温度データを求める. (\*印の  
値は, 経験的に求めた値)

以下 4 につのテストの概略を示す.

(a) MEH Deviation テスト

MEH 計算をするため, 低温側からの累積度数 up\* か

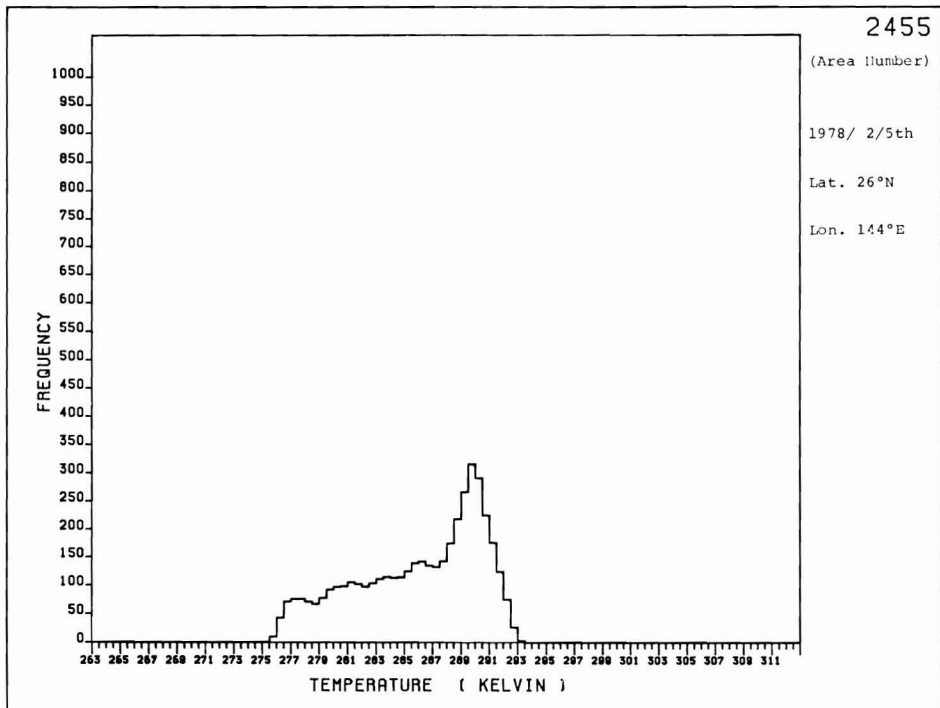


Fig. 14 Cloud contaminated data histogram

ら計算範囲の上限クラス  $C_u$  を決定し、さらに、モード・クラス  $C_{m1}$  からのクラス差  $low^*$  より下限クラス  $C_1$  を決定し、 $C_u$  から  $C_1$  の全ての3クラスの組み合わせに対し MEH を計算する。この際、 $C_u - C_1$  が20クラスを越える時、 $C_u - C_1 = 20$  クラスとなるように  $C_u$  を低温側に再設定する。MEH 作成時の標準偏差が、 $\sigma_i^*$  と  $\sigma_u^*$  の範囲にない MEH の作成は失敗したものとし、このテストによりデータは棄却される。(Fig. 16 参照)

$$\sigma_i^* \leq \sigma \leq \sigma_u^* \quad (12)$$

$$\sigma = \sqrt{\frac{1}{2} \cdot \frac{(C_j - C_i) \cdot (C_i + C_j - 2C_{m1})}{\ln(f_i/f_j)}}$$

$f_i$ : 第  $i$  クラスの度数

$C_i$ : 第  $i$  クラスの温度

$C_{m1}$ : モード・クラスの温度

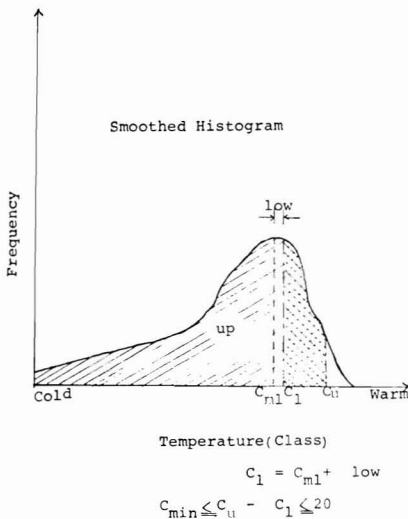


Fig. 16 MEH deviation test

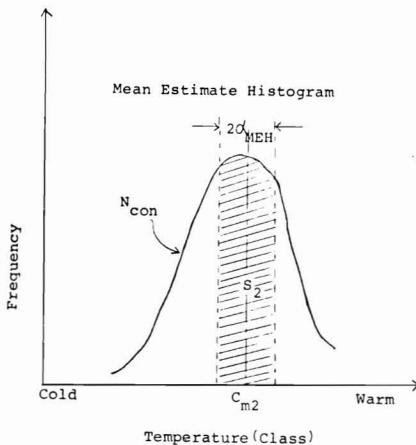


Fig. 17 MEH percent test

(b) MEH Percent テスト (MEHPT)

MEH ヒストグラムのモード・クラス  $C_{m2}$  を中心とした MEH 平均範囲  $2\alpha_{MEH}^*$  内の合計度数  $S_2$  が、3つのクラスによる  $T_M$  計算に使用した全組み合わせ数  $N_{con}$  に対し、パラメータで指定した値  $P_{MEH}^*$  以上であること。(Fig. 17 参照)

$$\frac{S_2}{N_{con}} \times 100 \geq P_{MEH}^* \quad (13)$$

(c) Retrieval Deviation テスト (RDT)

MEH のモード・クラス  $C_{m2}$  を中心として MEH 平均範囲  $2\alpha_{MEH}^*$  内に含まれる値の計算時に求められた標準偏差の平均値  $\bar{\sigma}$  が、 $\sigma_{min}^*$  と  $\sigma_{max}^*$  の範囲内にあること。

$$\sigma_{min}^* \leq \bar{\sigma} \leq \sigma_{max}^* \quad (14)$$

$$\bar{\sigma} = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^m \sigma_i^2}{m}}$$

$\sigma_i$ : 3 クラスにより計算された  $T_M$  の標準偏差

$m$ :  $2\alpha_{MEH}^*$  範囲内のデータ数

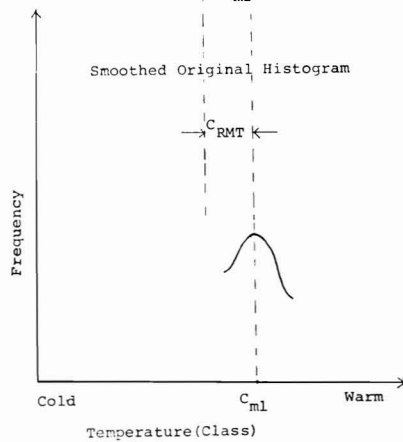
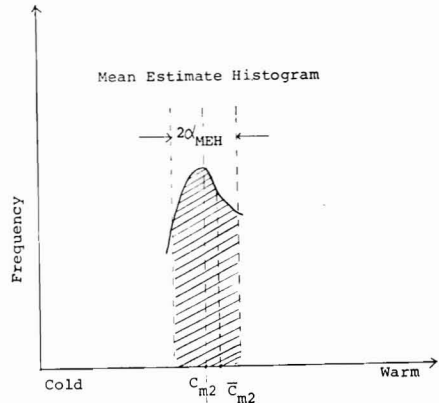


Fig. 18 Retrieval mode test

d) Retrieval Mode テスト (RMT)

MEH のモード・クラス  $C_{m2}$  を中心とする平均範囲  $2\alpha_{MEH}^*$  における平均値として求められたクラス  $C_{m2}$  が、原ヒストグラムのモード・クラス  $C_{m1}$  からあるクラス  $C_{RMT}^*$  を減じた値よりも大きいこと、(Fig. 18 参照)

$$\bar{C}_{m2} \geq C_{m1} - C_{RMT}^* \quad (15)$$

以上の原ヒストグラムの形状、およびモード推定ヒストグラム (MEH) の形状チェックのテスト結果が、Table 1 の算出チェック・フラグに書き込まれ、抽出観測輝度温度データ算出の参考とする。

(3) 信頼性パラメータ

算出されたデータの信頼性に関するパラメータとして次の2種類を定義する。( \*印は、経験的に求めた値)

a) 信頼性パラメータ:  $R_1$

信頼係数  $R_1$  は、原ヒストグラムの有効データ数  $S_{T0}$  と MEH の平均範囲  $2\alpha_{MEH}^*$  内の累積度数の割合に依存するものとする。(大きい程、信頼性が高い)

$$R_1 = \{1.0 - W_{R1}(1.0 - x)\} \{1.0 - W_{R2}(1.0 - y)\} \quad (16)$$

$$x = \frac{S_{T0}}{a_R}$$

$S_{T0}$ : 原ヒストグラムの有効データ数  
 $a_R$ : 有効データ数の飽和値

$$y = \frac{m_1}{m_2}$$

$m_1$ : MEH 平均範囲内累積度数  
 $m_2$ : MEH 作成の全組み合わせに対する全度数

$W_{R1}^*$ : 基準温度  $T_{GCT}$  以上の累積度数に対する

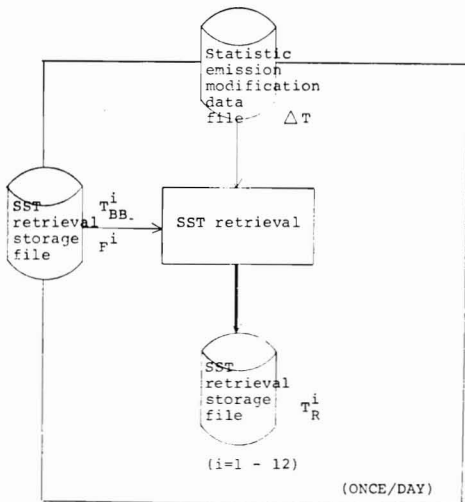


Fig. 19 Flow diagram for sea surface temperature retrieval

る重み

$W_{R2}^*$ : MEHPT のパーセント値に対する重み

(b) 信頼性パラメータ:  $R_2$   
 信頼度  $R_2$  は、MEH 平均範囲  $2\alpha_{MEH}^*$  内データに対する推定  $\sigma$  の平均  $\bar{\sigma}$  とする。(小さい程、信頼性が高い)

$$R_2 = \bar{\sigma} \quad (17)$$

$R_1, R_2$  は、共に累計データファイルに格納され、後述の『時間的選別処理』の際、使用される。

Table 1 Check flag list for SST retrieval

Bit	Contents	Judgement	
		0	1
0	Retrieval	exist	reference value
1	Black body temperature	exist	none
2	Land or Sea	sea	land
3	Read error	normal	read error
4	Efficient data number	accept	reject
10	Gross contamination test	accept	reject
15	Mode determination test	normal	abnormal
16	Mode percent test	accept	reject
17	Data histogram test	accept	reject
18	Warm side range test (upper limit)	accept	reject
19	" (lower limit)	accept	reject
20	Stratus test	accept	reject
25	MEH determination test	normal	abnormal
26	MEH percent test	accept	reject
27	Retrieval deviation test (upper limit)	accept	reject
28	" (lower limit)	accept	reject
29	Retrieval mode test	accept	reject
30	Maximam slope test (MS)	accept	reject
31	MEH/MS comparison test	accept	reject
33	Atmospheric correction at time composite processing (T.C)	use	unuse
34	Warm side gross error check at T.C	accept	reject
35	Cold side gross error check at T.C	accept	reject

5~9, 11~14, 21~24, 32 bit : Unuse  
 33~35 bit : Time composite processing results

2.2.3 抽出海面水温算出

算出された(算出チェック・フラグ Table 1 を参照)抽出観測輝度温度 (Raw retrieval= $T_{RB}$ ) に大気減衰補正を施し, 抽出海面水温値(以後, 抽出データ:  $T_R$  と称する)を求める. Fig. 19 に抽出海面水温算出の処理を示す.

2.3 時間的選別処理

抽出観測輝度温度データの算出で実行した一連のチェック・テストを通過した抽出データは, 処理区域が十分に晴れており, 雲の影響が少ない場合のヒストグラムから得られる. しかし, 一様な雲頂温度の下層雲などのヒストグラムは, 海面領域のヒストグラムと同じ様な形状となる. また, 絹雲などの透過性の薄い雲や, 赤外放射計の瞬時視野内に雲が混入した場合のヒストグラムも同じ様な形状となり, 一連のチェック・テストを通過した“雲の影響を受けた”データが抽出される場合がある.

ある基準温度場 (First Guess SST Field) をベースにし, 各格子点における温度変化を考慮して抽出データの品質をチェックして複数個の抽出データから晴天時のデータを選別する. 海水の熱容量は大きく, 10日間程度の海面水温変化が小さいことを利用し, この期間の選別された晴天時の抽出データから平均的な海面水温値を求める.

この一連の処理が, 時間的選別処理 (Time Composite Processing) である. Fig. 20 は, 時間的選別処理を表わしたものである.

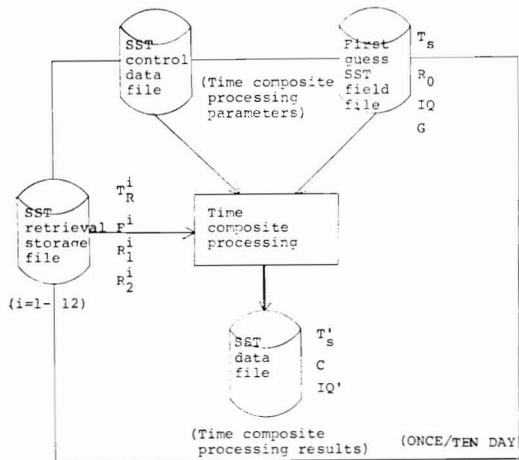


Fig. 20 Flow diagram for time composite processing

2.3.1 スタティック・チェックによる抽出データの選別

基準となる海面水温場 (First Guess SST Field) に対し, 海面水温の短期間の変化は小さいので, 抽出データは一定の範囲内に存在すべきであるという考えに基づき, 基準温度場の海面水温値と抽出データを比較する. この差が, ある閾値を越えた場合には, そのデータは雲等の影響を受けているか, または大気減衰効果の補正が悪いとして抽出データは除去される.

抽出データの選別は, Fig. 21 に示したように, 基準温度場の海面水温の変化が移流効果の大きさと, 海面水温の季節変化量によって決まる許容範囲内に存在するかどうかを比較して行われる. 移流効果の大きさは, 空間的温度勾配  $G$  ( $^{\circ}\text{K}/100\text{ km}$ ) で定義する.

このテストをスタティック・チェックと称し, 次の2つのチェックのいずれもハスしないと, そのデータは信頼性のないものとして捨てられる. (\*印の値は, 経験的に求めた値)

- (1) 低温限界のチェック (Cold Side Gross Error Check : CSGEC)

$$T_R^i > T_s - \text{Max}(G, \alpha_c + \beta_c \cdot g^*(t_i, t_s, t_e)) \quad (18)$$

$T_R^i$ : 第  $i$  日目の抽出データ ( $^{\circ}\text{K}$ )

$T_s$ : 基準温度場の海面水温 ( $^{\circ}\text{K}$ )

$G$ : 基準温度場の温度勾配 ( $^{\circ}\text{K}/100\text{ km}$ )

$g^*(t_i, t_s, t_e)$ : 時間的重み関数

これは, パラメータ  $ds$  と  $g(ds)$ ,  $g(ds+1)$ , ...,  $g(ds+8)$  によって以下の様に決定される.

$$g^*(t_i, t_s, t_e) = \begin{cases} g(ds) & [t_i] - \left[ \frac{t_s + t_e}{2} \right] \leq ds \\ g(ds+i) & ds+i < [t_i] - \left[ \frac{t_s + t_e}{2} \right] \leq ds+i+1 \\ & (i=0 \sim 7) \\ g(ds+8) & ds+8 < [t_i] - \left[ \frac{t_s + t_e}{2} \right] \end{cases}$$

[ ] ガウス記号

$t_i$ : 第  $i$  日目の抽出データの日時

$t_s$ : 基準温度の作成開始日時

$t_e$ : 基準温度場の作成終了日時

$\alpha_c, \beta_c$ : 放射計の特性によって決まる定数

- (2) 高温限界のチェック (Warm Side Gross Error Check : WSGEC)

$$T_R^i < T_s + \text{Max}(\gamma_w^*, G) \quad (19)$$

$\gamma_w^*$ : WSGEC の高温限界の下限

$\text{Max}(\gamma_w, G)$ :  $\gamma_w$  と  $G$  の大きい方を使用する (温度勾配  $G$  については, 『品質管理処理』の項を参照のこと)

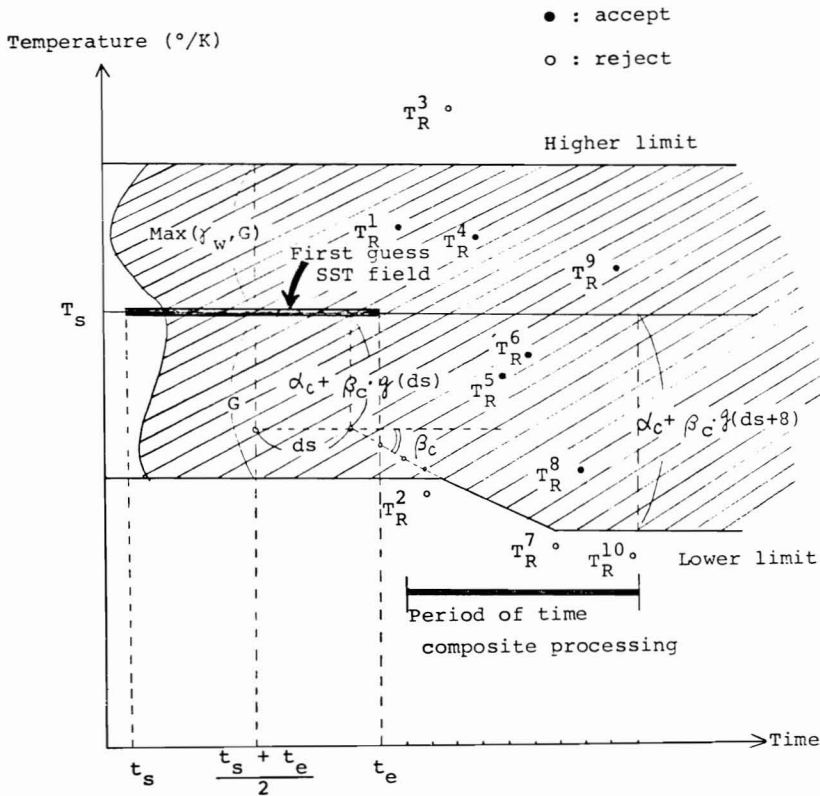


Fig. 21 Static check illustration

2.3.2 選別放射海面水温と信頼度計算

時間的選別処理で求められる平均温度は、抽出データが存在する場合、抽出データが存在しない場合、および陸地の場合に応じ算出方法が異なる。この場合、信頼度の値も考慮して算出方法を変えている。

基準温度場の信頼度が高く、抽出データが存在する場合には、正常にスタティック・チェックが行われたと考えられるので、スタティック・チェックによって選別された抽出データだけの平均値を求め、これを『選別放射海面水温』と定義する。平均値の計算は、各抽出データ毎に計算された信頼性パラメータ ( $R_1, R_2$ ) によって決定される重みによる“重み付き平均”によって求める。一方、ある定められた期間に1個(1日間)も抽出データがなかった場合は、その格子点の基準温度場の温度で代用する。

基準温度場の信頼度が低く、抽出データが存在する場合は、基準温度場の温度と抽出データの信頼度の重みを考慮した平均を計算する。一方、選別された抽出データが存在しない場合には、データなしとする。

陸地のデータの場合には、陸地であることが明記される。

2.4 品質管理処理

質の良い基準温度場が作成できれば、時間的選別処理で信頼度の高い選別放射海面水温の算出が可能となる。

品質管理処理は、スタティック・チェックを通過して

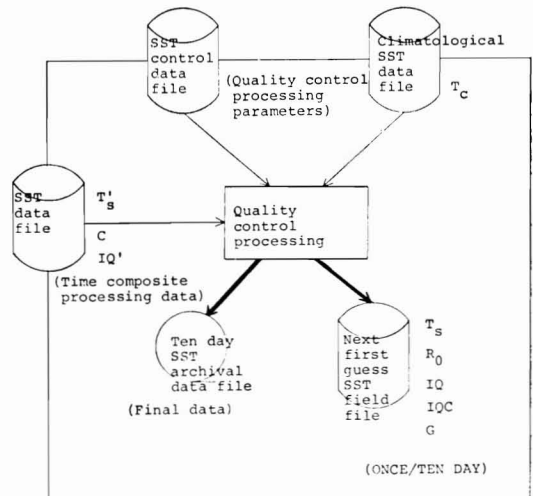


Fig. 22 Flow diagram for quality control processing

きた選別放射海面水温の品質を再評価し、欠測点などの格子点データを回りの品質の良いデータと気候値から推定して新しい基準温度場を作成する処理である。Fig. 22 は品質管理処理を表わしたものである。

2.4.1 ダイナミック・チェック

選別放射海面水温データを基に、回りの空間的温度場の平均値と比較すること等により、品質の悪い格子点データを除去する処理であり、注目している格子点を取りまく測定データの範囲を決定する処理と近傍データ排除テストがある。

(1) サーチ領域決定

ある格子点データの海面水温は、この格子点の周囲に存在する海面水温の重み付き平均で計算できると仮定する。この時、格子点の周囲の計算に用いる範囲を決定するのを『サーチ領域決定処理』と呼ぶ。測定データの範囲を限定するのに、海面水温の温度勾配が注目している格子点への影響範囲の決定に使用される。

格子点  $(\varphi, \lambda)$  の緯度方向の水平温度勾配を定義する。( \* 印の値は、経験的に求めた値 ) ( Fig. 23, Fig. 24 を参照の事 )

$$G_{\varphi}^{\pm k} = \frac{\sum_{k=1}^{N^*} (w_k^q)^* \cdot M_{\varphi} |T_s(\varphi, \lambda) - T_s(\varphi \pm (k-1)\Delta\varphi, \lambda)| S_{\varphi}^{\pm k}}{\sum_{k=1}^{N^*} (w_k^q)^* S_{\varphi}^{\pm k}} \quad (20)$$

$$G_{\lambda}^{\pm k} = \frac{\sum_{k=1}^{N^*} (w_k^l)^* \cdot M_{\lambda}(\varphi) |T_s(\varphi, \lambda) - T_s(\varphi, \lambda \pm (k-1)\Delta\lambda)| S_{\lambda}^{\pm k}}{\sum_{k=1}^{N^*} (w_k^l)^* S_{\lambda}^{\pm k}} \quad (21)$$

$G_{\varphi}^{\pm k}$  : 緯度方向の水平温度勾配

$G_{\lambda}^{\pm k}$  : 経度方向の水平温度勾配

$(w_k^q)^*$  : 温度勾配計算の距離  $k$  の重み

$N^*$  : 温度勾配計算の重みの個数

$M_{\varphi}$  : 緯度方向の距離ファクター

$$M_{\varphi} = 1/100 \text{ (}^{\circ}/\text{km)}$$

$M_{\lambda}(\varphi)$  : 緯度  $\varphi$  における経度方向の距離ファクター

$$M_{\lambda}(\varphi) = 1/100 \cdot \sec \varphi \text{ (}^{\circ}/\text{km)}$$

$T_s(\varphi, \lambda)$  : 緯度  $(\varphi, \lambda)$  における基準温度場の海面水温 ( 前回の算出放射海面水温 )

$\Delta\varphi$  : 緯経度格子点間の緯度間隔

$\Delta\lambda$  : 緯経度格子点間の経度間隔

$S_{\varphi}^{\pm k}$  : 緯度  $(\varphi, \lambda)$  の格子点に対して緯度方向に  $\pm k$  番目の格子点  $(\varphi \pm (k-1)\Delta\varphi, \lambda)$  における陸地の判定

$$S_{\varphi}^{\pm k} = \begin{cases} 0 \cdots (\varphi \pm (k-1)\Delta\varphi, \lambda) \text{ 格子点} \\ \text{が陸地} \text{ のとき} \\ 1 \cdots (\varphi \pm (k-1)\Delta\varphi, \lambda) \text{ 格子点} \\ \text{が陸地以外} \text{ のとき} \end{cases}$$

$S_{\lambda}^{\pm k}$  : 緯度  $(\varphi, \lambda)$  の格子点に対して経度方向に  $\pm k$  番目の格子点  $(\varphi, \lambda \pm (k-1)\Delta\lambda)$  における陸地の判定

$$S_{\lambda}^{\pm k} = \begin{cases} 0 \cdots (\varphi, \lambda \pm (k-1)\Delta\lambda) \text{ 格子点} \\ \text{が陸地} \text{ のとき} \\ 1 \cdots (\varphi, \lambda \pm (k-1)\Delta\lambda) \text{ 格子点} \\ \text{が陸地以外} \text{ のとき} \end{cases}$$

ここで、 $\sum_{k=1}^N S_{\varphi}^{\pm k} = 0$ 、 $\sum_{k=1}^N S_{\lambda}^{\pm k} = 0$  のときに、これらの独立した方向の温度勾配  $G_{\varphi}^{\pm k}$ 、 $G_{\lambda}^{\pm k}$  が求められないとする。

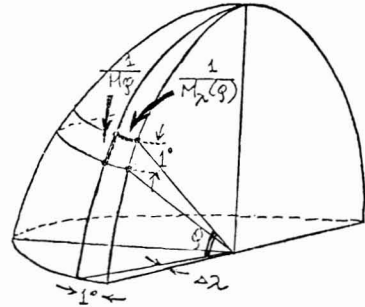


Fig. 23 Scale factors for latitude and longitude

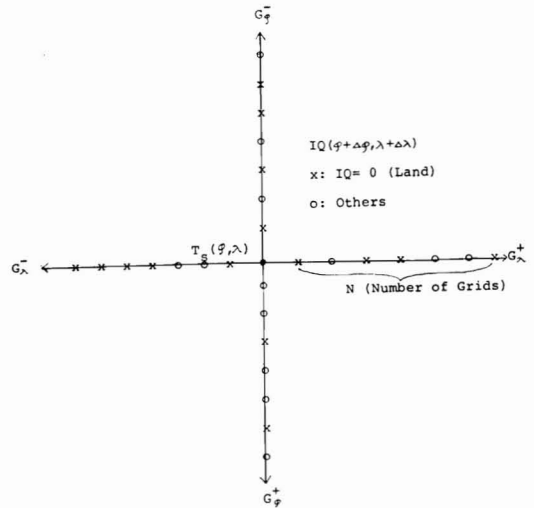


Fig. 24 Illustration of grids to compute gradients

今、上記の方法で各方向の温度勾配が求めると、それぞれの方向のサーチ距離を次式で定義し、Fig. 25 のようにサーチ領域を求める。この領域内の格子点のデータ



のみが、近傍排除テスト(Adjacent Data Rejection Test)に使用される。

$$D_{\bar{\varphi}}^{\pm} = \frac{K^*/100}{[G_{\bar{\varphi}}^{\pm} \cdot 100/s^*] + 1} \quad (22)$$

$$D_{\bar{\lambda}}^{\pm} = \frac{K^*/100}{[G_{\bar{\lambda}}^{\pm} \cdot 100/s^*] + 1} \quad (23)$$

$K^*$ : 1方向のサーチ領域のとりうるべき最大距離(km)

$s^*$ : スケーリング・ファクター

[ ]: ガウス記号

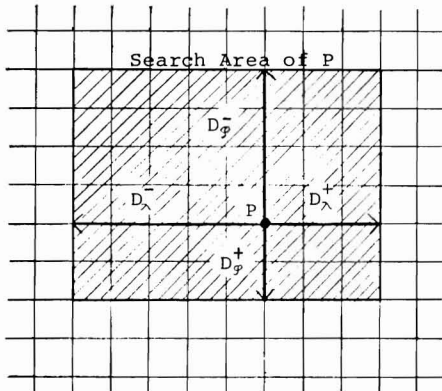


Fig. 25 Search area of P determined by 4 direction thermal gradients

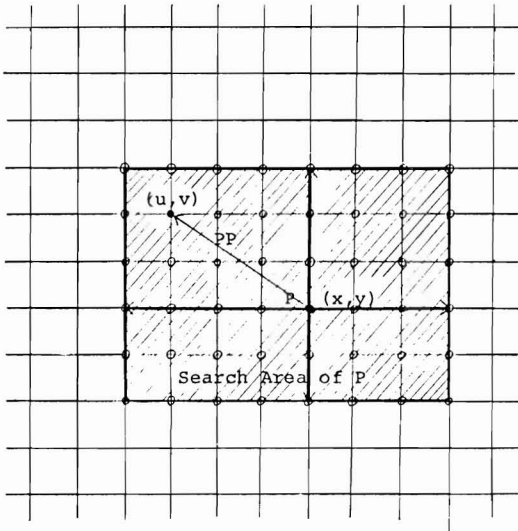


Fig. 26 Relationship between  $(x, y)$  and  $(u, v)$  at search area

(2) 近傍データ排除テスト

Fig. 26 に示すように、サーチ領域内のすべての選別放射海面水温の格子点データを用いた重み付きの温度平

均値と、注目している格子点の選別放射海面水温値の比較を行ない、この差が小さい格子点データは品質の良いデータとして抽出する。このテストは複数回繰り返し、より品質の良いデータだけを抽出する様に考慮している。

今、格子点  $(x, y)$  に注目して考えてみる。

注目している  $(x, y)$  から離れて存在する測定点は、近接測定点に比してその影響度が小さいと考えてよい。サーチ領域内の各格子点  $(u, v)$  の重みを次式で定義する。

$$W_{uv} = \frac{C_{uv}}{GG_{uv} \cdot PP^{r^*}} \quad (24)$$

$C_{uv}$ : 格子点  $(u, v)$  の選別放射海面水温データの信頼度

$r^*$ : 通常 (=2)

$GG_{uv}$ : 空間的温度勾配

$$\begin{cases} GG_{uv} = 1 & G_{uv} < 1 \text{ の時} \\ GG_{uv} = G_{xy} & G_{uv} < G_{xy} \text{ の時} \\ GG_{uv} = G_{uv} & \text{その他の時} \end{cases}$$

これらの制限は、格子点  $(u, v)$  が  $(x, y)$  より小さな重みを持つようにするためである。

$PP$ : 格子点  $(x, y)$  から  $(u, v)$  までの距離

空間的温度勾配  $G_{\bar{\varphi}\bar{\lambda}}$  は、(20), (21) 式より緯経度両側の四方向に対して独立に勾配を求め、緯度方向と経度方向の二乗和の平均より計算する。

$$G_{\bar{\varphi}\bar{\lambda}} = \frac{\sqrt{(G_{\bar{\varphi}}^+ + G_{\bar{\varphi}}^-)^2 + (G_{\bar{\lambda}}^+ + G_{\bar{\lambda}}^-)^2}}{200} \quad (^\circ\text{K}/100\text{km}) \quad (25)$$

これらの重み  $W_{uv}$  を、 $(u, v)$  の基準温度場との温度変化量に乗じて、サーチ領域内の平均変化量  $S_{xy}$  を求める。

$$S_{xy} = \frac{\sum [W_{uv}(T'_{s uv} - T_{s uv})]}{\sum W_{uv}} \quad (26)$$

$\sum$ : 注目している格子点  $(x, y)$  を除く、サーチ領域内のすべての合計を表わす記号

$T'_{s uv}$ : 選別放射海面水温データ

$T_{s uv}$ : 基準温度場の海面水温

注目している格子点  $(x, y)$  の選別放射海面水温データの合否の判定は、次の3つの条件により行なう。

(I)  $|T'_{s xy} - T_{s xy}| < (d_1^n)^*$  (27)

(II)  $C_{xy} \geq (d_2^n)^*$  (28)

(III)  $|S_{xy} - (T'_{s xy} - T_{s xy})| < (d_3^n)^*$  (29)

$n = 1 \sim N$  (通常3回繰り返し)

ケース(I):  $S_{xy}$  が存在しない場合(注目している格子点  $(x, y)$  以外に、サーチ領域内に選別放射海面水温データが1つも無い)に

は、(I), (II) の判定条件を1つでも満足すれば合格となる。

ケース(II) :  $S_{xy}$  が存在する場合は、(I), (II), (III)

**Table 2** Information for quality control execution (IQ)

Case	No.	Condition			I Q	Judgement
		I	II	III		
1 Existenc of good derived sea surface temperature within search area ( $S_{xy}$ : existence)	A	○	○	○	290	accept
	B	○	○	×	272	accept
	C	○	×	○	270	accept
	D	×	○	○	271	accept
	E	○	×	×	221	accept
	F	×	○	×	222	accept
	G	×	×	○	220	accept
	H	×	×	×	201	reject
2 None of good derived sea surface temperature within search area ( $S_{xy}$ : nonexistence)	I	○	○	/	280	accept
	J	○	×	/	211	accept
	K	×	○	/	210	accept
	L	×	×	/	200	reject

IQ : Identification number

の判定条件が、1つでも満足すれば合格となる。

以上の  $(d_1^*)$ ,  $(d_2^*)$ ,  $(d_3^*)$  の閾値は、次第に厳しく設定し、これを  $N$  回 (通常3回) 繰り返す。最終的な算出温度作成情報 IQ を Table 2 のように設定する。

実際のデータ (1978年2月上旬) を用いた算出温度作成情報 IQ (Table 2 参照) の、繰り返しの回数の違いによる推移状態を Table 3 に示す。

**2.4.2 欠測格子点海面水温推定 (最終マージ)**

一連のテストを通過してきた品質の良いデータを用いて、今回算出できなかった欠測格子点の海面水温を気候値との変動量を考慮して推定する。このようにして求められた全処理領域の温度、信頼度、算出温度作成情報、品質管理付属情報 (以前に品質の良いデータが得られた日からの日数)、空間的温度勾配が、次回の基準温度場となる。

Table 4 に、算出方法の一覧を掲げる。

最終的に、Table 4 の  $T_s$  を算出放射表面温度 (陸上にも気候値から地表面温度が存在するので、海面水温と地表面温度の総称とする) と称し、海面の温度の時を特別に、『算出放射海面水温』と称する。

**3. 海面水温出力**

**3.1 日出力結果**

(1) 抽出データ出力 (ラインプリンター)

1日間の使用 VISSR, ヒストグラム, および 抽出デ

**Table 3** An example for the change of "IQ"

Lat.	No.	Lon.	130°E	131°E	132°E	133°E	134°E	135°E	136°E
30°N	N=1		270	270	101	221	270	101	101
	N=2		270	270	101	221	270	101	101
	N=3		220	270	101	221	270	101	101
29°N	N=1		270	101	101	270	290	290	270
	N=2		270	101	101	221	290	290	270
	N=3		201	101	101	201	271	271	201
28°N	N=1		270	290	290	290	290	290	290
	N=2		270	290	290	290	290	290	290
	N=3		270	222	271	271	290	290	271
27°N	N=1		290	290	290	290	290	290	290
	N=2		290	290	290	290	290	290	290
	N=3		290	271	271	271	290	271	290
26°N	N=1		290	290	290	290	290	290	290
	N=2		290	290	290	290	290	290	290
	N=3		290	271	271	290	222	271	271

No.	N=1 (first pass)	N=2 (second pass)	N=3 (third pass)
$d_1$	1.0	0.7	0.5
$d_2$	3.0	2.0	0.7
$d_3$	0.90	0.95	0.96

Table 4 Final merge set table

Final Merge Set					
Information of $T_s$	Derived Sea Surface Temperature	Reliability of $T_s$	Additional Information of Q.C		Thermal Mean Gradient
IQ	$T_s$ ( $^{\circ}$ /K)	$R_0$ ( $0 \leq R_0 \leq 1$ )	IQC (Day)		G ( $^{\circ}$ k/Km)
High Quality	$210 \leq IQ \leq 290$ or minus(Man Check)	$T'_s$ (Time Composite SST)	1.0	$210 \leq IQ^P \leq 290$	Others
Rejection Data	$W_{xy} < \sum W_{uv}$ $W_{xy}^* = 0$ $W_{xy} \geq \sum W_{uv}$ $W_{xy}^* = W_{xy}$	$\frac{c_1 W_c (T_c - T_{xy})}{W_{xy} + W_{uv} + W_c}$ $+ \frac{[W_{uv} (T_{R uv} - T_{uv})]}{W_{xy} + W_{uv} + W_c}$ $+ T_{xy}$	$\frac{W_{xy} + W_{uv}}{2}$	NNN (Period at Time Composite Processing)	$IQC^P$ (Previous IQC at FGF) $+ NNN$
Land	0	$T_c$ (Climatological Surface Temp.)	0.0	$IQC^P + NNN$	
					$G^P$ (Previous G)

ータ等の全処理領域の算出結果を一覧表にしたリストで、Table 5 の形式でラインプリンター用紙に印字される。

Table 5 Record of retrieval

```

/INIT      1   2   5  -00000  1
RAW RETRIEVAL
          50.0N-49.0S, 90.0E-171.0W  INT=( 1.0, 1.0)

VISSR     FROM 78.02.01 15:33
          TC   78.02.01 20:33
OPERATION  78. 2.16 12:32

```

```

-----
I TOTAL NUMBER                I 10000 I
-----
I CALCULATED HISTOGRAM        I 7861 I (LAND)           I 2139 I
-----
I NO READ ERROR                I 7861 I (READ ERROR)     I 0 I
-----
I TBB(FOUND)                   I 6576 I (NOT FOUND)      I 1285 I
-----
I TBB(ACCEPTED)               I 1961 I (REJECTED)       I 4615 I
-----
I T(EMISSION MODIFIED TBB)    I 1961 I (READ ERROR)       I 0 I
-----

```

### 3.2 旬出力結果

#### (1) 海面水温旬結果(磁気テープ)

旬の、時間的選別・品質管理処理結果等の詳細情報を1格子点ごとに全処理領域について保存しておくファイルである。1格子点の詳細情報をTable 6に示す。

#### (2) 海面水温旬結果リスト(ラインプリンター)

旬の詳細結果が格納されている海面水温保存データファイルの内容を、必要に応じて緯経度格子点ごとにラインプリンターに打ち出させ、内容の確認を行ない人間による品質管理の情報として利用するのに役立させる。Fig. 27(a), 27(b), 27(c)は、実際にラインプリンター用紙に印字された海面水温旬結果である。

**Table 6** Detailed contents for one grid point of ten day SST archival data file

1	Derived radiant sea surface temperature	T S	Information of this ten day processing (Next First Guess SST Field)
2	Reliability of TS	R O	
3	Information for TS	I Q	
4	Quality control information for TS	I Q C	
5	Average gradient at the grid point	G	Information of previous ten day processing (First Guess SST Field)
6	Previous radiant sea surface temperature	T S P	
7	Reliability of TSP	R O P	
8	Information for TSP	I Q P	
9	Quality control information for TSP	I Q C P	
10	Previous average gradient	G P	Information of time composite processing
11	Estimated SST at T.C.P	E T S	
12	Maximum retrieval at T.C.P	E T M X	
13	Minimum retrieval at T.C.P	E T M N	
14	Total number of retrievals at T.C.P	E R T N	
15	Number of accepted retrievals at T.C.P	E R A N	
16	Cold side gross error check value	E L C	
17	Warm side gross error check value	E L M	Used data information of the 1st day
18	Used data number	N T D	
19	Retrieved radiant surface temperature	T R 1	
20	Retrieved equivalent black body temperature	T B B 1	
21	Flag of retrieval test	F G 1	
22	Retrieval reliability function	R <sub>11</sub>	Used data information of the 11th day
23	Average estimated deviation of histogram	R <sub>12</sub>	
24	Same	}	
68			
69	The 11th TR	T R 11	
70	The 11th TBB	T B B 11	
71	The 11 FG	F G 11	
72	The 11th R1	R 1 11	
73	The 11th R2	R 2 11	
74	reserve		Information of climatological sea surface temperature data
78			
79	Climatological SST at this ten day	T C T	
80	Standard deviation of TCT	S D C T	
81	Climatological SST at next ten day	T C N	
82	Standard deviation of TCN	S D C N	
83	reserve		
99			

T.C.P : Time Composite Processing



\*\*\*\*\*  
 BSST QUALITY CONTROL PROCESSING DUMP LIST  
 \*\*\*\*\*

	129E00				130E00				135E00							
50N00:	2600	2604	2608	2612	2616	2620	2624	2628	2632	2636	2640	2644	2648	2652	2656	2660
	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	48	48	48	48	48	48	48	48	48	48	48	48	48	48	48	48
	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15
49N00:	2608	2611	2614	2617	2620	2624	2627	2630	2633	2636	2640	2644	2648	2652	2656	2660
	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	48	48	48	48	48	48	48	48	48	48	48	48	48	48	48	48
	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15
48N00:	2624	2626	2631	2633	2636	2638	2643	2645	2648	2649	2650	2651	2652	2654	2655	2656
	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	48	48	48	48	48	48	48	48	48	48	48	48	48	48	48	48
	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15
47N00:	2640	2641	2643	2644	2646	2648	2649	2651	2652	2654	2656	2657	2658	2659	2660	2662
	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	48	48	48	48	48	48	48	48	48	48	48	48	48	48	48	48
	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15
46N00:	2656	2658	2659	2660	2661	2662	2663	2664	2665	2666	2667	2668	2669	2670	2671	
	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	48	48	48	48	48	48	48	48	48	48	48	48	48	48	48	48
	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15
45N00:	2672	2673	2674	2675	2676	2677	2678	2679	2680	2681	2682	2683	2684	2685	2686	2687
	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	48	48	48	48	48	48	48	48	48	48	48	48	48	48	48	48
	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15
44N00:	2688	2687	2686	2685	2684	2683	2682	2681	2680	2679	2678	2677	2676	2675	2674	2673
	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	48	48	48	48	48	48	48	48	48	48	48	48	48	48	48	48
	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15
43N00:	2704	2703	2702	2701	2700	2699	2698	2697	2696	2695	2694	2693	2692	2691	2690	2689
	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	48	48	48	48	48	48	48	48	48	48	48	48	48	48	48	48
	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15
42N00:	2720	2718	2717	2716	2715	2714	2713	2712	2711	2710	2709	2708	2707	2706	2705	2704
	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	48	48	48	48	48	48	48	48	48	48	48	48	48	48	48	48
	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15
41N00:	2736	2734	2732	2731	2729	2728	2729	2731	2732	2734	2735	2736	2737	2738	2739	2740
	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	48	48	48	48	48	48	48	48	48	48	48	48	48	48	48	48
	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15

Fig. 27 (c) Ten day SST archival data 5 items dump list

(3) 海面水温旬等温线图 (自動作画図)

海面水温  $T_s$  の等温線を旬ごとにメルカトル地図上に

Fig. 28 は、2.4.2 の最終マージで設定した算出放射

X-Y 作画機で書かせたものである。

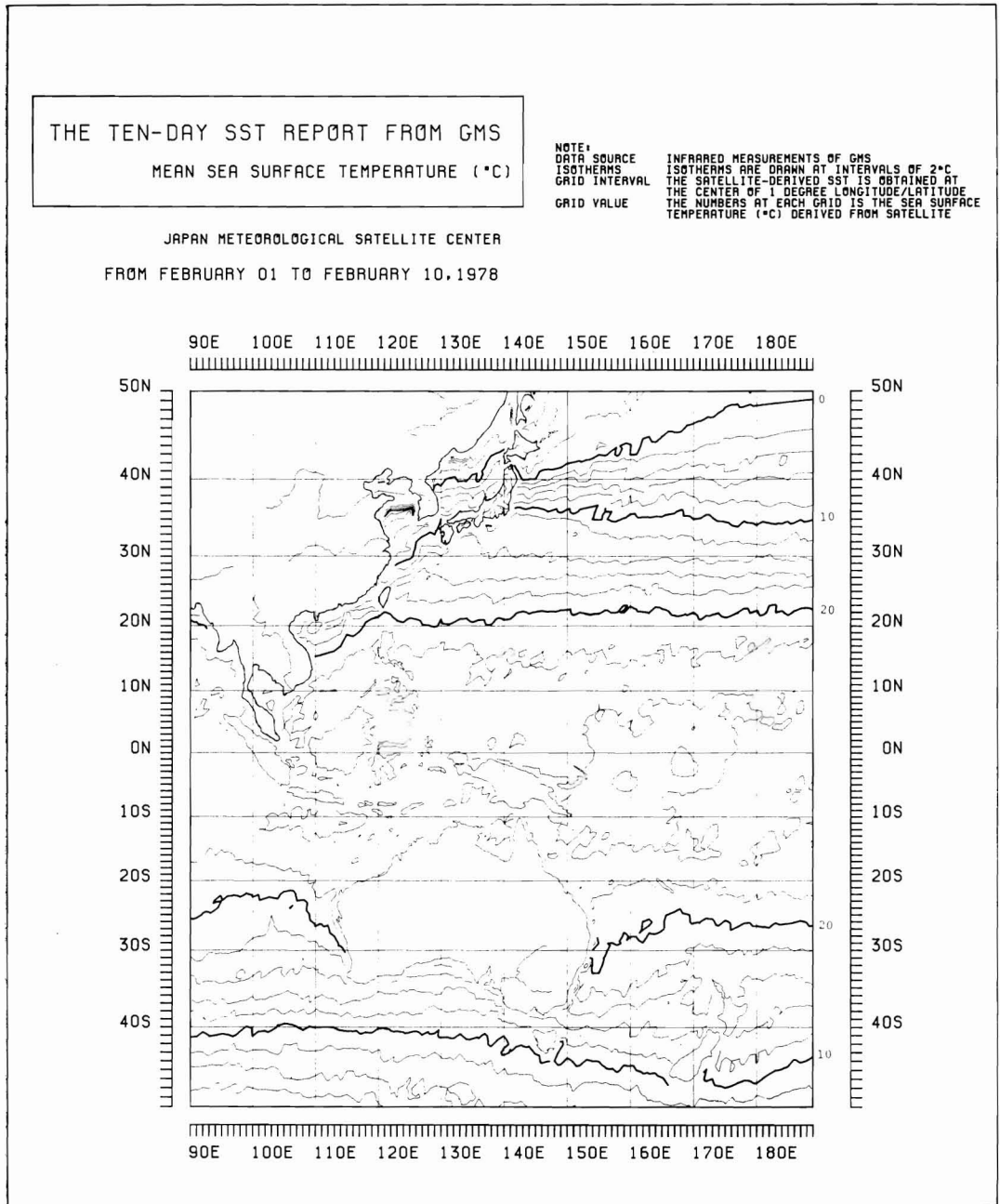


Fig. 28 Ten day mean SST map (1978, Feb., The first ten day)

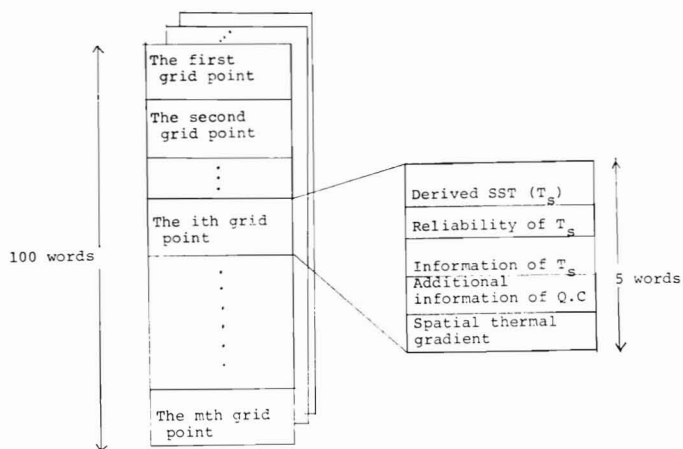


Fig. 29 First guess SST field file illustration

(4) 次旬用基準温度場の作成（ディスクバック）

2.4.2の最終マージで設定した算出放射海面水温 ( $T_s$ )、信頼度 ( $R_0$ )、算出温度作成情報 ( $IQ$ )、品質管理付属情報 ( $IQC$ )、空間的温度勾配 ( $G$ ) を、海面水温旬保存データファイル（磁気テープ）から抜き出して、次旬用の基準温度場（First Guess SST Field）を作成する。Fig. 29 は、この基準温度場の内容が格納されるファイルを図示したものである。

3.3 月出力結果

(1) 海面水温月結果（磁気テープ）

旬処理で作成された、上、中、下旬の海面水温旬保存データファイルを用いて、月の平均値を計算し、その月

の処理結果を旬保存データファイルと同一型式で格納しておくファイルである。1格子点ごとの詳細情報を Table 7 に示す。

(2) 海面水温月結果リスト（ラインプリンター）

月の処理結果が格納されている海面水温月保存データファイルの内容を、必要に応じて緯経度格子点ごとにラインプリンターに打ち出すためのリストである。出力形式は、旬保存データファイルと同一である。（Fig. 27(a) 27(b), 27(c) 参照）

(3) 海面水温月等温線図（自動作画図）

月平均の算出放射海面水温の等温線を、Fig. 30 のようにメリカトル地図上に作画させたものである。



**Table 7** Detailed contents for one grid point of monthly SST archival data file

1	Derived radiant sea surface temperature	T S	Information of this monthly processing	Information of the used data
2	Reliability of TS	R O		
3	Information for TS	I Q		
4	Quality control information for TS	I Q C		
5	Average gradient at the grid point	G	Information of the previous monthly processing	
6	Previous radiant sea surface temperature	T S P		
7	Reliability of TSP	R O P		
8	Information for TSP	I Q P		
9	Quality control information for TSP	I Q C P		
10	Previous average gradient	G P	Information of the monthly statistic processing	
11	Standard deviation for TS	S D T S		
12	Maximum TS	T S M X		
13	Minimum TS	T S M N		
14	Used data number	N T D		
15	Previous used data number	N T D P		
16	Difference (TS-TSP)	D T S P	Information of the first ten day processing	
17	reserve			
18	The first ten day derived SST	F T S		
19	Reliability of FTS	F R O		
20	Information for FTS	F I Q		
21	Quality control information for FTS	F I Q C	Information of the middle ten day processing	
22	Average gradient at the first ten day	F G		
23	The middle ten day derived SST	M T S		
24	Reliability of MTS	M R O		
25	Information for MTS	M I Q		
26	Quality control information for MTS	M I Q C	Information of the last ten day processing	
27	Average gradient at the middle ten day	M G		
28	The last ten day derived SST	L T S		
29	Reliability of LTS	L R O		
30	Information for LTS	L I Q		
31	Quality control information for LTS	L I Q C	Information of the last ten day processing	
32	Average gradient at the last ten day	L G		
33	reserve			
78				
79	Difference (TCT-TCTP)	D T C P		
80	reserve			
99				

TCT : Climatological SST at this month

TCTP : Climatological SST at the previous month

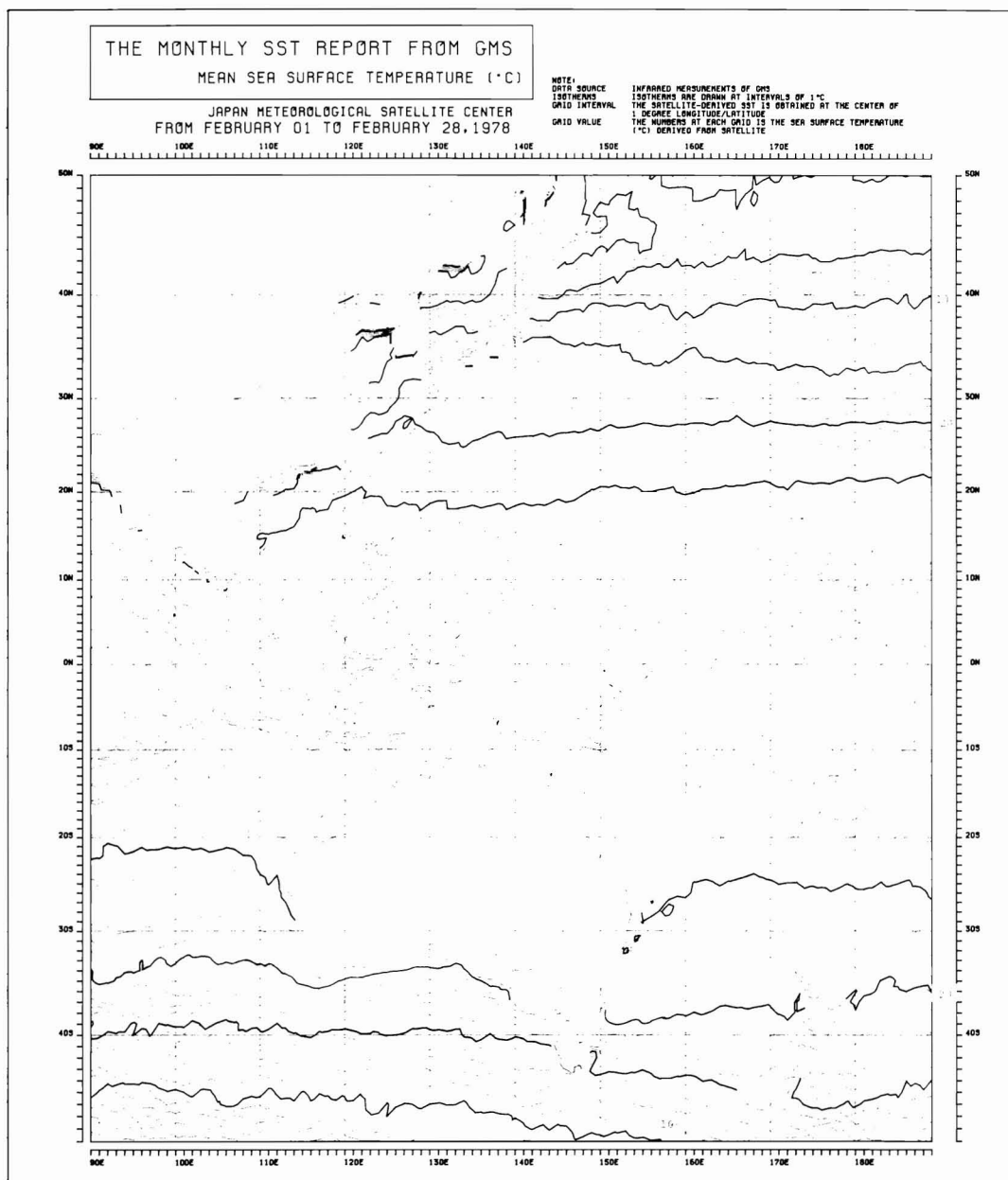


Fig. 30 Monthly mean SST map (1978, February)

## References

- Braun, C., 1971: Limits on the accuracy of infrared radiation measurements of sea-surface temperature from a satellite. NOAA Technical Memorandum NESS 30, 28 p.
- Brower, R.L., H.S. Gohrband, W.G. Pichel, and C.C. Walton, 1976: Satellite derived sea-surface temperature from NOAA spacecraft. NOAA Technical Memorandum NESS 78, 74 p.
- Burch, D.E., 1970: Investigation of the absorption of infrared radiation by atmospheric gases. Semi-Annual Technical Report, Philco-Ford Corp., Contract No. F19628-69-C-0263 (AD 702117), 26 p.
- Davis, P.A., and W. Viezee, 1964: A model for computing infrared transmission through atmospheric water vapor and carbon dioxide. J. Geophys. Res., 69, 3785-3794.
- Kunde, V.G., 1965: Theoretical relationship between equivalent blackbody temperatures and surface infrared radiometer. NASA sp-89, pp. 23-36.
- Leese, J., W. Pichel, B. Goddard, and R. Brower, 1971: An experimental model for automated detection measurement and quality control of sea-surface temperatures from ITOS-IR data. University of Michigan Press, 625-646.
- Maul, G.A., and M. Sidran, 1973: Atmospheric effects on ocean surface temperature sensing from the NOAA satellite scanning radiometer. J. Geophys. Res., 78, 1909-1916.
- McMillin, L.M., and P.Q. Wark, 1973: Satellite infrared soundings from NOAA spacecraft. NOAA Technical Report NESS 65, 112 p.
- Rao, P.K., 1974: An evaluation of May 1971, satellite-derived sea surface temperature for the southern hemisphere. NOAA Technical Report NESS 69, 13 p.
- Rao, P.K., W.L. Smith, and R. Koffler, 1972: Global sea-surface temperature distribution determined from an environment satellite. Mon. Wea. Rev., 100, 10-14.
- Smith, W.L., P.K. Rao, and W.R. Curtis, 1970: The determination of sea surface temperature from satellite high resolution infrared window radiation measurements. Mon. Wea. Rev., 98, 604-611.
- Tarpley, D.J., 1975: Automated measurement of sea surface temperature from a geostationary environmental satellite. NOAA/NESS Unpublished Memorandum.
- Warnecke, G.M., L.M. McMillin, and L.J. Allison, 1969: Ocean current and sea surface temperature observations from meteorological satellites. NASA Technical Note D-5142, 47 p.
- 渡辺貫太郎, 1969: 表面水温における問題点, 海と空, 45, 99-122.
- 渡辺貫太郎, 1972: 宇宙からの表面水温の観測. 水温の研究, 17, 2-11.
- 山本孝二, 荒井浄, 阿部勝宏, 三木芳幸, 1977: 人工衛星赤外資料による海面水温の検出. 沿岸海洋研究ノート, 15, 29-36.

## Appendix (i)

## Used file names

- (1) Histogram file: ヒストグラムファイル
- (2) SST retrieval storage file: 海面水温累計データファイル
- (3) Statistic atmospheric attenuation data file: 統計的大気減衰データファイル
- (4) SST data file: 海面水温データファイル(時間的選別処理結果)
- (5) Climatological SST data file: 海面水温の気候値データファイル
- (6) First guess SST field file: 基準温度場ファイル
- (7) Lat., Lon., vs. Picture element file: 緯経度画素対応ファイル
- (8) SST control data file: 海面水温固定データファイル(陸地占有率, パラメータ値他)
- (9) Ten day SST archival data file: 海面水温旬保存データファイル
- (10) Monthly SST archival data file: 海面水温月保存データファイル

## Appendix (ii)

## Explanation table of SST names

名称	英語名	記号	内容
抽出観測輝度温度	Raw retrieval	$T_{BB}$	温度ヒストグラムから抽出された等価黒体温度
抽出海面水温(抽出データ)	Retrieval	$T_R$	抽出観測輝度温度に大気補正を施した海面水温値
選別放射海面水温	Estimated mean sea surface temperature	$T'_s$	時間的選別処理で求められた海面水温値
算出放射海面水温	Derived sea surface temperature	$T_s$	品質管理処理で算出された最終海面水温値

## 6. 雲 量 分 布

### 6. Distribution of Cloud Amount

#### Abstract

An automatic derivation of cloud amount is operationally executed every five days by using GMS VISSR infrared data.

Transforming infrared brightness histogram data, high, low layer and total cloud amount are obtained by counting temperature histogram frequency corresponded with each layer.

It is separated from two layers at 400 mb height level and the threshold temperature value is determined by the vertical temperature profile data.

These data is utilized for information of heat balance of the atmosphere.

#### 1. はじめに

地球の熱収支を論じる上で、雲量分布の取得は非常に重要である。一般的には、中緯度地帯を例にとると、地球からの長波放射では、上層雲は冷却効果があり、下層雲は放射冷却を抑える働きをすと言われ、一方、短波放射では、下層雲は日射をさえぎり、冷却効果を起こす。

このように熱収支を推算する上で雲量は重要であり、このことが長期予報精度の向上へと進むなど気象への利用度が注目されている。

雲量分布は、主として地上の気象観測所などに限られており、広大な海上や砂漠では、ほとんどデータの取得が行なわれていない。GMSの赤外放射データの輝度情報によって、広範囲にわたる雲量の分布状態を知ることができる。

長期予報への利用を考慮して、400 mb 高度面を境にし、上層と下層の雲量に分け、半旬ごとに緯経度5度毎の平均雲量を求める。

#### 2. 雲量分布処理システム

GMSによる雲量分布処理システムの流れを Fig. 1 に示す。

雲量分布算出は、日処理、半旬処理、月処理から構成される。

日処理は、1日6時間ごとに観測された4回のVISSR赤外データを用い、緯経度1度区域のヒストグラムから、その区域の1日間の平均の雲量を求める。

半旬処理は、利用者である長期予報への情報として、日処理で求められた雲量から5日間の緯経度5度ごとに空間的な平均雲量を算出する。

月処理は、1ヶ月6～7半旬のデータから緯経度5度ごとの月平均雲量値を求める処理である。

#### 2.1 日雲量算出処理

雲量の抽出処理は、海面水温抽出処理と並行して実施され、抽出計算は全て計算機によって自動的に行なわれる。すなわち、海面水温抽出の際に緯経度1度ごとに作成された温度ヒストグラム (Fig. 6 を参照) から、海面水温抽出の場合とは逆に、海面水温データを除き、1日間平均の雲量抽出が行なわれる (海面水温抽出では高温部が着目されたが、この処理では低温部が注目される)。この抽出の過程では、あらかじめ準備された閾値 (各緯経度格子点毎に、海面水温、注目している高度における温度値が求められている) が参照される。

抽出された雲データは、その温度によって上層雲 (400 mb 以上) と下層雲 (400 mb 未満) に分けられる。

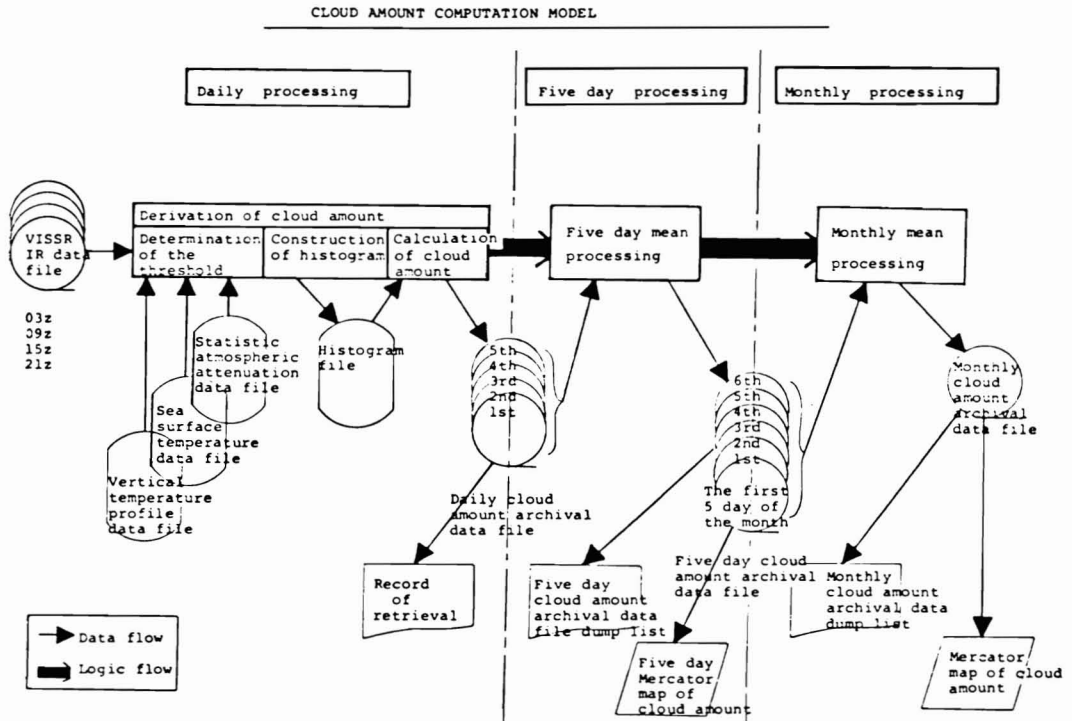


Fig. 1 General flow diagram for cloud amount computation model

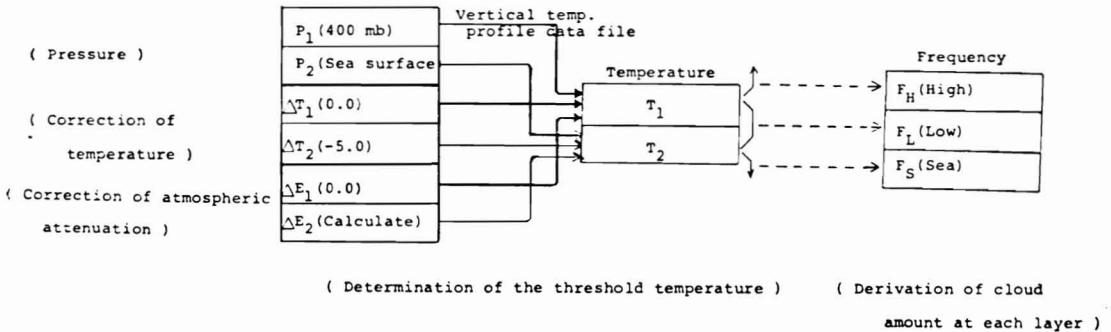


Fig. 2 Illustration of the threshold temperature determination

雲量は、北緯50度～南緯49度、東経90度～西経171度における緯経度1度ごとに上層雲量、下層雲量および全雲量として計算する。雲量計算は、海洋上についてのみ行なわれる。陸上部分の雲量については、陸地表面温度の日変化が大きいことや、植生の違いなどによる射出率の変化への対応、等々に問題が残されていて、閾値の設定が困難なため、現在、抽出処理から除かれている。

なお、気象衛星による観測方法上、上層雲の下に下層雲が存在する時は下層雲の抽出は困難となり、透過性の雲の存在により本来の高度の雲量と異なるなど、従来の地上からの雲量観測値とは性質が異なることに注意しな

ければならない。

2.1.1 400 mb 高度における閾値温度決定

雲量抽出日処理では、GMSの覆域下の海上の雲量を緯経度1度間隔で求めている。そこで、雲量分布の閾値は区域毎に異なるので、雲量分布データの算出に先立って各格子点の閾値を決定しておく必要がある。

Fig. 2 のように、海面水温、鉛直温度分布および大気減衰補正により、格子点毎の閾値温度  $T_1$ 、 $T_2$  を決定する。

2.1.2 雲量の計算

決定された閾値温度により、対応する温度ヒストグラ

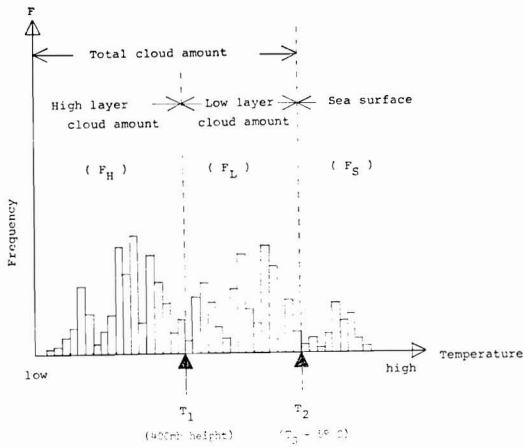


Fig. 3 Illustration of cloud amount derivation at each layer

の観測度数を数えることによって、上層雲量、下層雲量および全雲量を計算する。(Fig. 3 を参照)

全雲量  $S_T$  を次式で表わす。

$$S_T = \frac{F_H + F_L}{F_H + F_L + F_S} \times 10 \quad (1)$$

$F_H$  : 上層雲に対する観測度数

$F_L$  : 下層雲に対する観測度数

$F_S$  : 海面水温から  $5^\circ\text{C}$  を引いた温度以上の観測度数

上層雲量  $S_H$  は、

$$S_H = \frac{F_H}{F_H + F_L + F_S} \times 10 \quad (2)$$

下層雲量  $S_L$  は、

$$S_L = \frac{F_L}{F_H + F_L + F_S} \times 10 \quad (3)$$

となる。

### 2.2 半旬雲量算出処理

半旬雲量算出処理は、日雲量算出処理で求められた5日間の緯経度1度区域のデータを用いて、緯経度5度ごとの空間的な平均雲量分布データ（上層雲量、下層雲量、全雲量）を計算するものである。（陸上を除く）

### 2.3 月雲量算出処理

月雲量算出処理は、半旬雲量算出処理で求められた緯経度5度ごとの6~7半旬の空間的雲量分布データを用いて、月平均の雲量分布（上層雲量、下層雲量、全雲量）を計算するものである。（陸上を除く）

## 3. 雲量出力

### 3.1 日出力結果

#### 3.1.1 雲量抽出データリスト（ラインプリンター）

1日間の使用 VISSR, ヒストグラム, および 雲量抽出データ等の全処理領域の算出結果を一覧表にしたリストであり, Table 1 の形式でラインプリンター用紙に印字され出力される。

### 3.2 半旬出力結果

#### 3.2.1 雲量半旬結果（磁気テープ）

半旬の緯経度1度ごとの全処理領域（陸地は除く）の上層雲量, 下層雲量および全雲量を保存しておくファイルである。1格子点のファイルの内容を Table 2 に示す。

Table 1 Record of retrieval

```
***** ICG100 --- CLOUD COVER ARCHIVAL FILE DAILY REPORT ***** DATE:78, 7,13 PAGE 1
>
>*****
```

```
REPDATE 5
RAW DATA (1)0033/00 Z (2)0833/00 Z (3)1533/00 Z (4)2033/00 Z
DATA NO.= 50,0A=49,0S, 90,0E=171,0A INT=(1.0, 1.0)
VISIB FROM 78,07,12 02:33
TO 78,07,14 20:33
ORIENTATION 78, 7,13 17:33
```

TOTAL NUMBER	1	20000	1
CALCULATED HISTOGRAM	1	7861	(LAND) 1 2139
NO READ ERROR	1	7861	(HEAD ERROR) 1 0



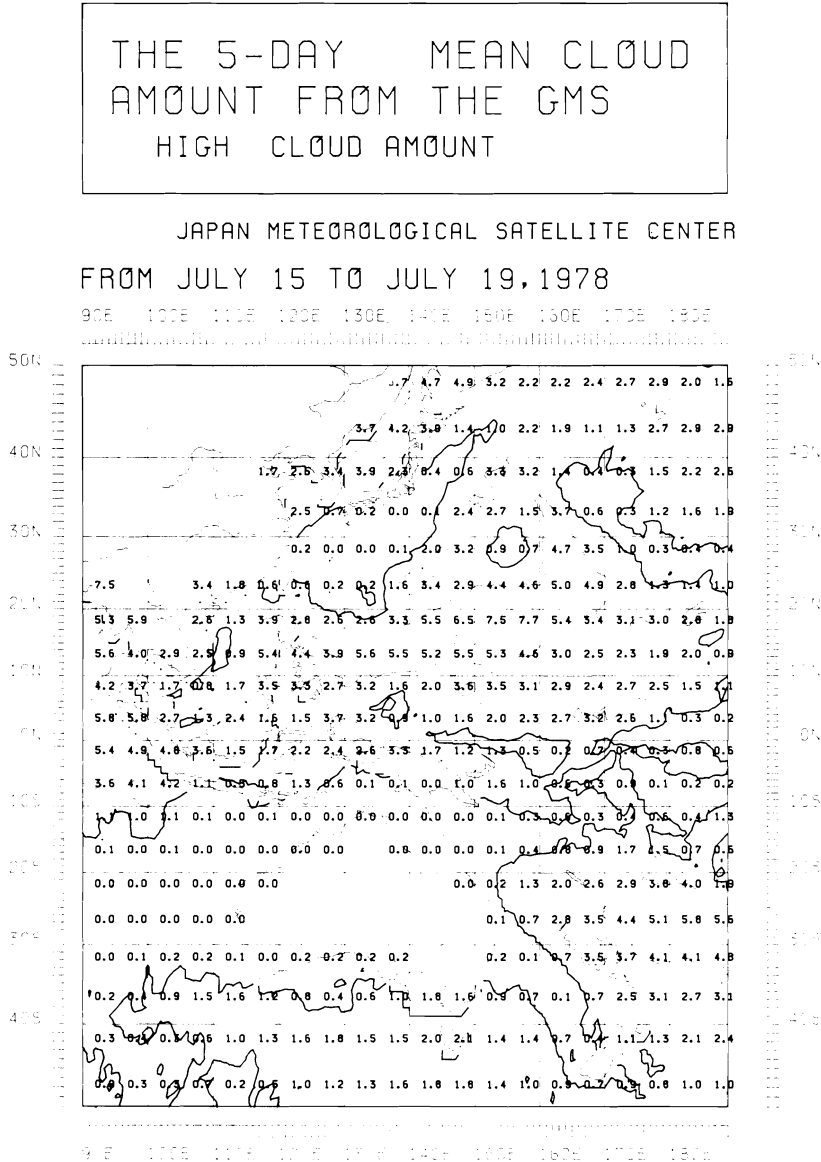




ンターに打ち出させ、内容の確認を行ない、人間による品質管理の情報として利用するのに役立つ。これら実際の半旬雲量データを用いてラインプリンター用紙に印字させた結果が Fig. 4(a), 4(b), 4(c) である。

3.2.3 半旬等雲量分布図(自動作画図)

半旬の緯経度5度平均の上層雲量(Fig. 5(a)), 下層雲量(Fig. 5(b)) および全雲量(Fig. 5(c)) の等雲量線をメルカトル地図上にそれぞれ自動作画機で書かせたものである。



NOTE:  
DATA SOURCE INFRARED IMAGERY OF THE GMS  
DEFINITION (1) CLOUD AMOUNT FROM THE GMS IS DEFINED AS A RATIO OF NUMBER OF CLOUD DATA PIXELS TO THE NUMBER OF TOTAL PIXELS WITHIN 1° LONGITUDE/LATITUDE TARGET AREA  
(2) LOW CLOUD AMOUNT IS OBTAINED BY USING CLOUD PIXELS ABOVE THE 400 MB PRESSURE-HEIGHT TEMPERATURE (T400), AND HIGH CLOUD AMOUNT IS OBTAINED BY USING ONES BELOW THE T400  
(3) TOTAL CLOUD AMOUNT IS OBTAINED BY USING TOTAL CLOUD PIXELS (LOW CLOUD AND HIGH CLOUD)  
GRID POINT VALUE A NUMBER IN RED IS THE SPACE-AVERAGED CLOUD AMOUNT OBTAINED AT EACH GRID OF 5 DEGREE LONGITUDE/LATITUDE

Fig. 5(a) Five day mean high cloud amount map

THE 5-DAY MEAN CLOUD  
AMOUNT FROM THE GMS  
LOW CLOUD AMOUNT

JAPAN METEOROLOGICAL SATELLITE CENTER

FROM JULY 15 TO JULY 19, 1978

90E 100E 110E 120E 130E 140E 150E 160E 170E 180E

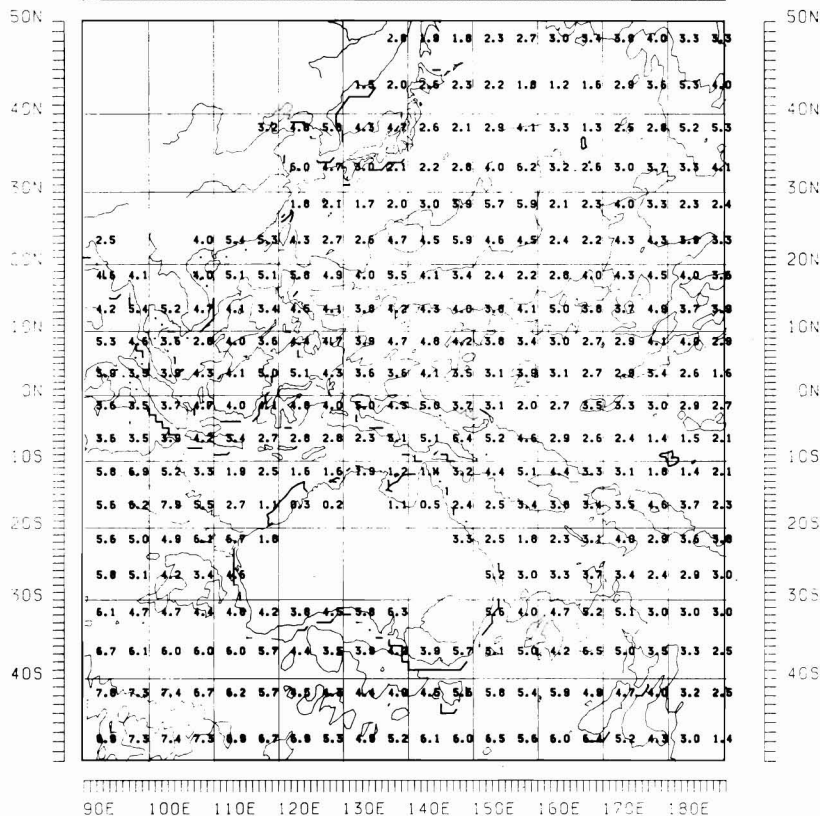


Fig. 5 (b) Five day mean low cloud amount map



### 3.3 月出力結果

#### 3.3.1 雲量月結果(磁気テープ)

半旬処理で作成された第1半旬～第6半旬(8月のみは7半旬)の雲量保存データファイルを用いて、月の平均値を計算し、その月の処理結果を半旬保存データファイルと同一型式で格納しておくファイルである。(Table 2 参照)

#### 3.3.2 雲量月結果(ラインプリンター)

月の雲量が格納されている雲量保存データファイルの内容を、必要に応じて緯経度格子点ごとにラインプリンターに打ち出すためのリストである。出力形式は、半旬保存データファイルと同一である。(Fig. 4(a), 4(b), 4(c) 参照)

#### 3.3.3 月等雲量分布図(自動作画図)

月の緯経度5度平均の上層雲量、下層雲量および全雲量の等雲量線をメルカトル地図上にそれぞれ作画させたものである。(Fig. 5(a), 5(b), 5(c) 参照)

### References

Koffler, R., A.G. Decotiis, and P.K. Rao, 1973 :  
A procedure for estimating cloud amount and  
height from satellite infrared radiation data.

Mon. Wea. Rev., 101, 240—243.

Lo, R.C., and D.R. Johnson, 1971 : An investigation of cloud distribution from satellite infrared radiation data. Mon.

Wea. Rev., 99, 599—605.

Rao, P.K., 1970 : Estimating cloud amount and height from satellite infrared radiation data. NESC 54.

### Appendix

#### Used File Names

- (1) Histogram File : ヒストグラムファイル
- (2) Statistic Atmospheric Attenuation Data File : 統計的大気減衰補正データファイル
- (3) Vertical Temperature Profile Data File : 鉛直温度データファイル
- (4) Sea Surface Temperature Data File : 海面水温データファイル
- (5) Daily Cloud Amount Archival Data File : 日雲量保存データファイル
- (6) Five Day Cloud Amount Archival Data File : 半旬雲量保存データファイル
- (7) Monthly Cloud Amount Archival Data File : 月雲量保存データファイル

## 7. 雲 解 析

### 7. Nephanalysis

#### Abstract

In this chapter, outline of nephanalysis made in MSC is described.

Nephanalysis is prepared using GMS picture and significant weather information derived from digital data and analogue data processing.

The nephanalysis chart is transmitted on facsimile broadcast channel for the benefit of users not only domestic but overseas.

In addition, satellite meteorological analysis information is prepared and sent to JMA headquarters.

#### 1. はじめに

気象衛星センター (MSC : Meteorological Satellite Center) では、GMS から送られてくる画像をもとに、各種の画像処理によって出力されるデジタルデータおよびアナログデータを気象学的に解析し、その結果を雲解析図と衛星気象解析報に表現することによって気象業務関係者に提供する。

雲解析図は雲解析を総合して得られる雲の最適解釈を表現した図とガイダンス情報 (Guidance Information 略称 GI) とから成り立っている。衛星気象解析報 (Satellite Meteorological Analysis Information) は雲解析の結果得られた情報のうち、雲解析図の中では十分表現できない主として国内気象官署の実況把握および予警報等の精度向上に役立つ情報を内容としている。

雲解析図は現在アメリカでは作成されていないが、イギリス、西ドイツ、ソ連、オーストラリアなどの主要国では作成され、気象解析や航空気象関係者の有効な情報として利用されているようである。本章では MSC における現業作業として行う雲解析の概略について述べる。

#### 2. GMS 画像

GMS によって取得される画像は、高分解能 FAX (HR-FAX) として緯経線、海岸線を挿入して出力さ

れ、gray scale は32階調である。

#### 2.1 可視画像と赤外画像

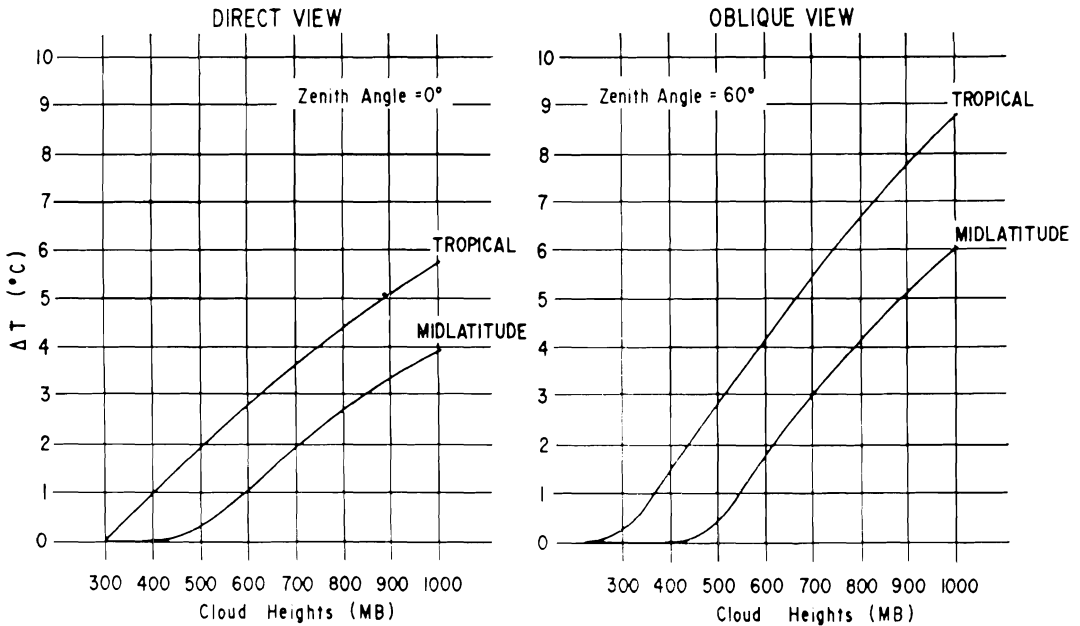
VISSR (可視・赤外放射計、Visible and IR Spin Scan Radiometer) で観測される雲画像には可視と赤外の画像がある。

##### (1) 可視画像

VISSR の可視検出器の補捉波長は  $0.55\sim 0.75\mu\text{m}$  の電磁波にあたり、雲や地球表面からの反射光を測定する。測定される輝度レベルは64階調で、写真上で白い部分は反射が強く、黒い部分は反射が弱い領域である。反射輝度はセンサーと雲および地球表面、太陽高度と雲との相対位置、雲および地球表面の反射率に関係する。雲の反射率は雲の厚み、雲の粒子の相と分布状況、雲表面の性質等に関係する。可視画像は日中のみに出力されるが、季節により出力回数は異なり、夏季には6時や18時にも出力される。また冬季には太陽高度が低くなるため、高緯度では画像が暗くなる。

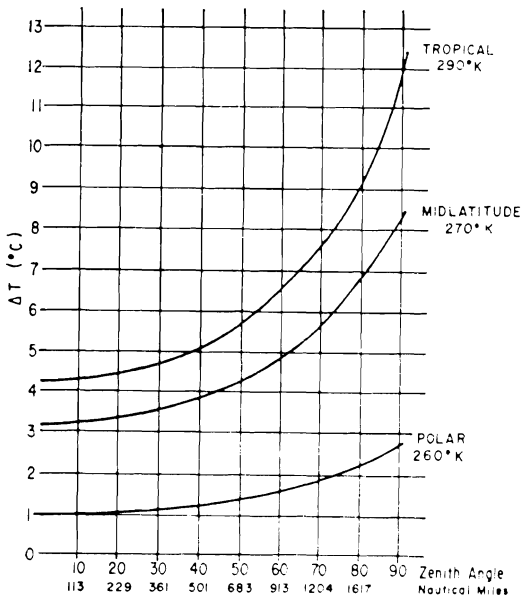
##### (2) 赤外画像

赤外画像は雲や地球表面から射出される赤外放射量を大気の窓領域 ( $10.5\sim 12.5\mu\text{m}$ ) を通して測定された温度情報として視覚的な写真の濃淡に変換した画像で、256階調のレベルを有する画像上では暖かい表面は黒く、冷たい表面は白くみられる。赤外画像により雲の高さを求める場合には、雲の射出率、瞬時視野、および炭酸ガス

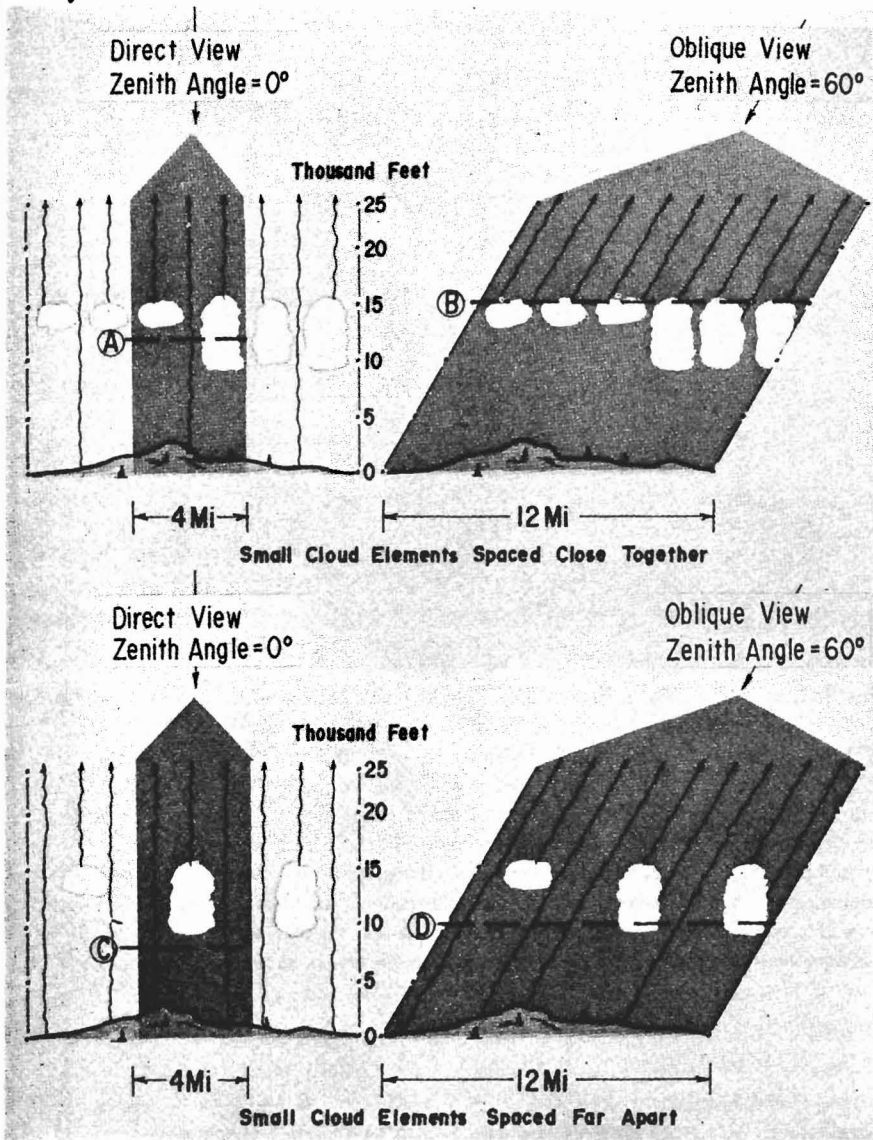


### LIMB DARKENING WHEN VIEWING CLOUDS

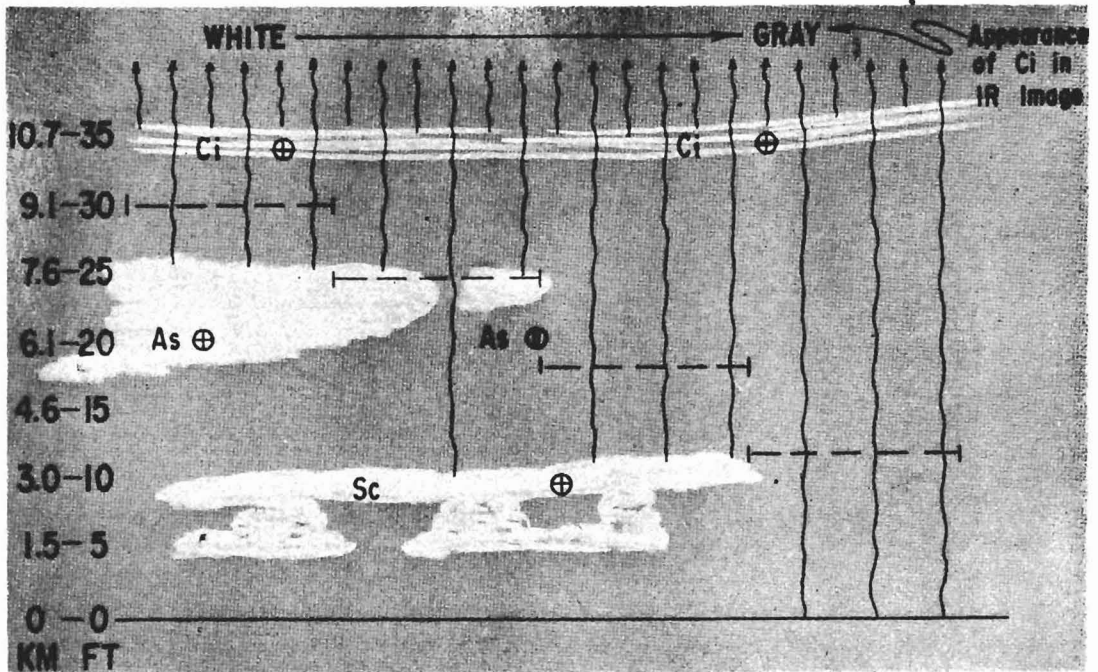
**Fig. 1** This figure shows the error introduced in cloud top temperature as radiation path length increases. Graphs are presented for both direct and oblique views. The curves represent typical air masses for the tropics and mid-latitudes. When the satellite sensor is pointing straight down, (direct view) there is no error if the clouds are at or above 300 millibars. For the same case, clouds at 1,000 millibars will appear to be 4°C colder than they actually are at mid-latitude and 6°C colder in the tropics. The errors become greater for oblique-viewing angles. These curves are based on a model and are calculated from data obtained from ITOS-1. They are applicable to the NOAA/ITOS series.



**Fig. 2** This figure shows the error introduced in the earth's surface temperature as the radiation path length increases. The graphs here show the range of maximum errors to be expected between the case where the satellite sensor is pointing straight down (zenith angle=0) and the case where the sensor is viewing the earth's horizon (zenith angle=90°). The curves are for surface temperatures of tropical, mid-latitude and polar regions. The scale on the bottom relates the corrections to the distance from the satellite subpoint of each datum point along a scan line. For example, when the satellite views the earth's surface 900 nautical miles on either side of the satellite subpoint track at mid-latitude, the sensor measures a temperature of 265°K rather than an actual temperature of 270°K.



**Fig. 3** This schematic diagram shows how cloud element size and viewing angle make clouds appear warmer and lower than they actually are. The horizontal dashed lines, identified by letters, represent the cloud-top heights as they might be derived from the two cloud fields shown. The cloud fields on the left and right-hand side of the diagram are identical. Only the viewing angle and field of view changes. The cloud-top height measurements observed for a broken cloud layer with closely spaced, thick and thin, opaque cloud elements appear at the top of the figure. When these clouds are viewed directly (nadir angle=0), the SR measures both cloud-top and ground radiation; thus, the height of the clouds appears to be at a lower level (A). The same clouds, viewed at an oblique angle (top, right), appear to be higher (B) due to the absence of ground radiation. At the bottom of the figure, the clouds are spaced farther apart. Here the ground contributes more energy and the clouds appear warmer and lower (C, D). The numerical values for height changes shown here are for purposes of illustration only.



**Fig. 4** This diagram shows the affect of lower cloud on radiation emitted by a uniform layer of thin cirrus. It is assumed that no large temperature inversion is present. The vertical wavy lines represent schematically the source of the radiation reaching the satellite sensor. The horizontal dashed lines represent the height of the cirrus tops computed on the basis of the integrated temperature received by the SR. The horizontal lines are of equal length and represent the smallest distance that the IR sensor can resolve. As the clouds below the cirrus become less in amount and lower, the cirrus appears progressively grayer and warmer in an IR display. The heights and gray shades shown here are for illustration purposes only, but are considered representative of changes that actually can occur. Cirrus can appear to be as low as 10,000 feet if it is almost transparent, and occurs where the surface below is sufficiently warm.

や水蒸気の吸収の効果 (Fig. 1, Fig. 2) などの問題を考慮しなければならない。赤外画像は季節、昼夜に関係なく出力されるが、冬季の高緯度では、地表面付近と上・中層の温度差が小さくなるため、雲の存在や雲形の判断に支障をきたすようになる。

## 2.2 画像をみる際の留意事項

VISSR で観測された地球像は各種 FAX 画像として出力されるが、その工程で種々の問題点を生ずる。その原因には、VISSR によるもの、S/DB によるもの、MSC 内の処理によるものなどがある。画像をみる際にはこれらの点について理解した上で、解析を行なう必要がある。ここでは解析にあたって、特に考慮しなければならない事項について以下にのべる。

### (1) グリッドニングの誤差

GMS-I は打ち上げ当初、スピニング軸が機械軸に対してよく分傾いていたためにグリッドニングのずれが生じた

が、その後ソフトウェアの改良により目標の最小 3 ~ 4 km に落ちついている。

### (2) 分解能

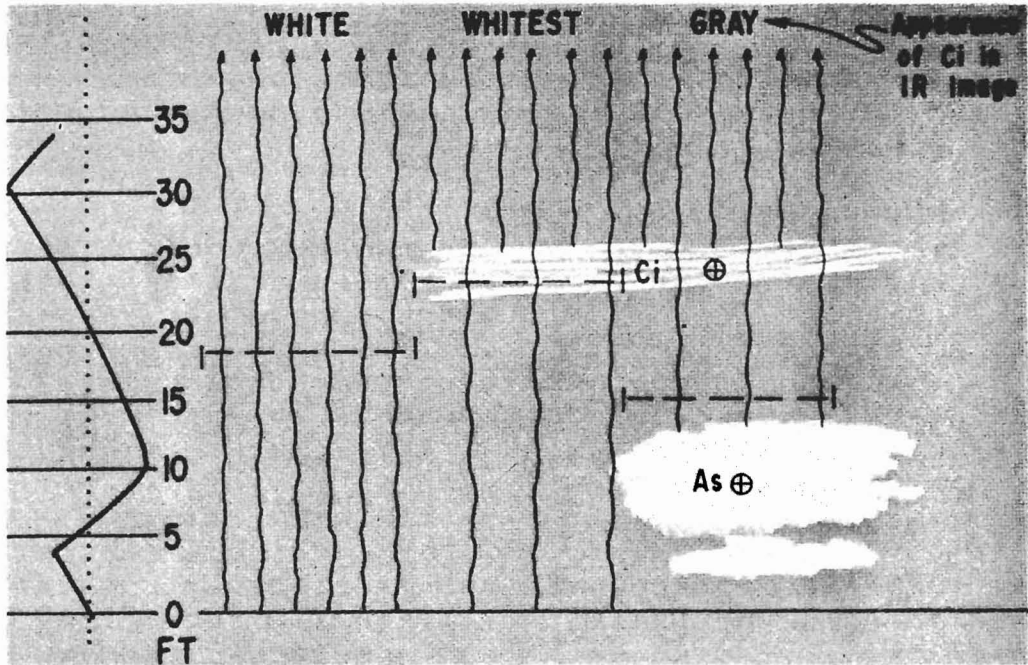
VISSR により物体を識別する大きさの最小単位は瞬時視野で決まり、その大きさが距離分解能となる。

GMS の生データの分解能は衛星直下点で可視 1.25 km, 赤外 5 km であるが、日本 (東京) 付近では可視で東西方向 1.3 km, 南北方向 1.8 km, 赤外で東西方向 5.2 km, 南北方向 7.0 km の分解能になる。この解像力の差は常に留意しておかなければならない。

### (3) 瞬時視野

赤外の瞬時視野内に異った温度をもつ放射体があると、測定値は積分された放射量となる。したがって、薄い雲がある場合、観測された放射量は、雲の下の放射体からの放射の影響をうけ、雲頂温度に対応する黒体放射量より大きくなる。このため観測された放射量から算出





**Fig. 5** This diagram shows a uniform, thin cirrus layer over a cloud layer that is warmer than the earth's surface. The dashed horizontal cloud height lines and the schematic representation of radiation follow the same convention as in Fig. 4. The schematic sounding curve on the left indicates the strength of the inversion for this example. The ground temperature shown is the same as the temperature at 500-mb. In this example the cirrus over the cold ground appears whiter than the ground alone. The cirrus is now grayer when over low cloud, rather than whiter as shown in figure 4.

される黒体温度は実際の雲頂温度より高くなる（雲頂高度が低くなる）ので注意を要する。（Fig. 3, 4, 5）

(4) 画像スケールによる分解能

可視円形画像は VISSR 画像の画素をサンプリングし、分解能を  $1/2$  におとしている。その他の画像は生データと同じ分解能である。

(5) その他

地球が球形であるため画像の歪みや場所による分解能の違い、斜めにみる雲の実際の位置とのずれ、大気屈折の影響などがあるが、円形画像では補正されていない。ポーラステレオ投影変換画像においても分解能をある程度均質化させているだけで補正はされていない。

2.3 各種画像とその特徴

写真解析に用いられる画像は円形画像、部分画像、ポーラステレオ投影変換画像の三種類で、いずれも昼間は可視と赤外、夜間は赤外が出力される。

(1) VISSR 観測時刻と出力画像

VISSR 観測時刻と出力される画像の種類を第1表に示してある。

(2) 円形画像の特徴

VISSR で観測されたままの全地球画像で、可視の円形画像では、画素をサンプリングして縮小処理するので、分解能は  $1/2$  におちており、直下点での分解能は 2.5 km となる。赤外円形画像は VISSR データと同じ分解能で、直下点では 5 km である。

円形画像の特徴としては

- i) 全球規模を一目でみられるので、総観規模以上のじょう乱に伴う雲システムの把握ができる。
- ii) すべての画像に先立って入手されるので、防災上重要な雲システムの解析および雲解析図に表現される解析対象雲システムや雲域を決定するのに用いられる。
- iii) 雲頂高度計算や風計算のための指定雲の検討に適している。
- iv) 熱帯じょう乱に伴う雲システムや南北両半球の相互作用の解析に適している。

(3) 部分画像の特徴

部分画像は VISSR 画像の日本付近を中心として、可視、赤外とも拡大処理をして、作成される。解像度は

VISSR 画像のオリジナルの分解能を有し、日本付近で東西  $1/760$  万、南北  $1/1100$  万の縮尺となっている。

部分画像は以下にあげる項目に適している。

- i) 総観規模や中間規模のじょう乱に伴う雲システムの解析
- ii) 中小規模じょう乱やシビヤーストームに伴う雲や雲システムの詳細解析
- iii) 拡大画像のため雲形の判定
- iv) 日本付近に接近または上陸する熱帯じょう乱の解析
- v) 霧、積雪、海水などの局地現象の解析
- vi) 円形（赤外）画像に次いで出力されるので、気象衛星解析報（3.6 のべる）に反映される。
- vii) 通常雲解析図はポーラーステレオ投影変換画像を用いて作成されるが、その出力が遅いので、雲解析図の下書きとして用いられる。

(4) ポーラーステレオ投影変換画像の特徴

VISSR 画像データの地球画像は日本付近を中心にしたポーラーステレオ投影画像に変換した HR-FAX として出力される。縮尺率はアジア太平洋天気図に合わせて、 $1/2000$  万になっている。ポーラーステレオ投影変換画像の特徴は

- i) 雲解析図の原図となる。

ii) JMHFAX で送られてくる各種解析図と同じサイズなので、気象要素（例えばうず度分布など）と雲や雲システムとの対応をみるのに便利である。

iii) 総観規模じょう乱に伴う雲システムの解析に適している。

3. 雲解析

雲解析では VISSR 雲画像をもとに MSC 内で得られるデータや部外から得られる気象データを用いて第 3.2 節でのべる各種解析を行い、気象じょう乱に伴う雲や雲システムの特徴を解析し、その結果から大気立体構造とその推移を理解するための情報が抽出される。

雲解析に使用されるデータは MSC 内で作成されるデータと部外データに大別される。部内データには画像一次処理の結果として GMS のデジタルデータをアナログデータに変換した雲画像と画像二次処理データとして GMS のデジタルデータから気象学的物理量を測定して得られた結果がある。部内データおよび部外（気象）データをそれぞれ Table 1, 2 と Table 3 に示す。これらのデータを用いて行う解析は予備解析、本解析、補助解析、総合解析および再解析に大別される。

予備解析は本解析を誤なく能率的に行うために解析の方法などについて検討する。

Table 1. MSC Processed Data (1)

Type of Picture	Picteure		Film Loops (Period in hr)	Data available frequency (per day)	Observation Time (GMT)
	Print	Film			
		10inch 70mm			
Full-disk	IR			10	00, 03, 06, 09, 1030, 12, 16, 18, 21, 2230
	VIS			5 or 3	00, 03, 06, (09), (21)
			IR (72)	1	(3-hour interval)
			IR (15)	2	(30-minute interval)
Northern Hemisphere			IR (36)	3	(3-hour interval)
Sectorized	IR			8	00, 03, 06, 09, 12, 16, 18, 21
	VIS			5 or 3	00, 03, 06, (09), (21)
		IR		10	00, 03, 06, 09, 1030, 12, 16, 18, 21, 2230
		VIS		5 or 3	00, 03, 06, (09), (21)
			IR VIS	8 5 or 3	00, 03, 06, 09, 12, 16, 18, 21 00, 03, 06, (09), (21)
			VIS		(1-hour interval)*
Polar-stereo	IR			4	00, 06, 12, 18
	VIS			2	00, 06

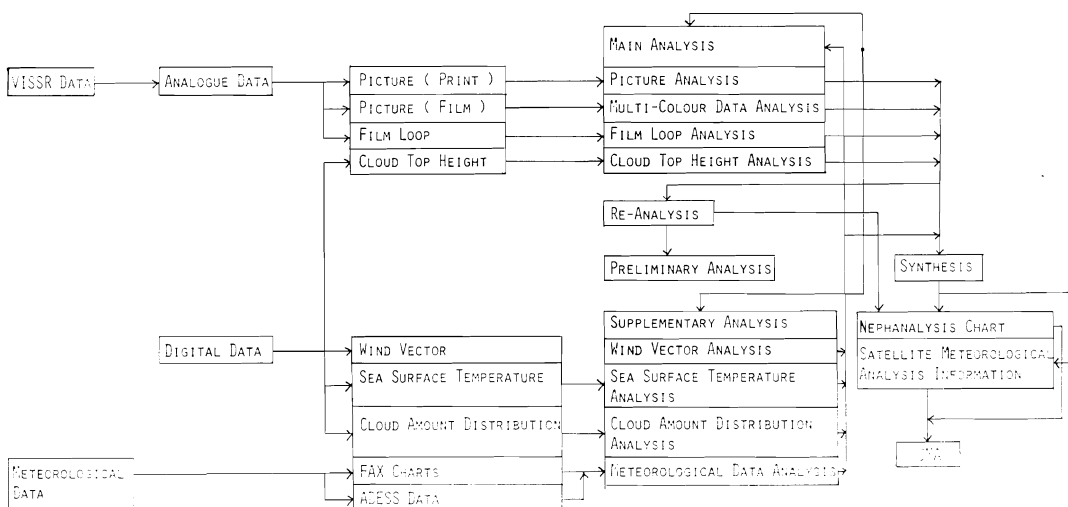
\* Available only in special observation period

**Table 2.** MSC Processed Data (2)

Type of Date	Data Format	Data available frequency (per day)	Observation Time (GMT)	
Cloud Top Height Data	Synoptic	Chart Grid Print Map	4	00, 06, 12, 18
	Meso	Grid Print Map	4	00, 06, 12, 18
Wind Vector Date	Chart Grid Print Map	2	00, 12	
Sea Surface Temperature Date	Chart	(Every 10 days)		
Cloud Amount Date	Chart	(Every 5 days)		

**Table 3.** Meteorological Date and Charts received from JMA

Type of Date	Category	Detail (Region of interest)
FAX Charts	Observation	Radar map, Plotted chart
	Analysis	Surface and Upper level analysis charts Vorticity and P-velocity analysis charts and others
	Forecast	Same as those above but for prognosis
ADESS Data	Surface Weather Report	(Region II and V)
	Upper Level Weather Report	(Region II and V)
	Aircraft Report	(Northwestern Pacific)
	Radar Report	(Japan)
	Weather warning	(Northwestern Pacific)



**Fig. 6** Flow diagram of nephanalysis

本解析では各種雲画像の解析と雲頂高度解析を行って、雲や雲システムの特徴を把握する。

補助解析では本解析における雲解析結果の信頼性を高めるため、画像二次処理データ(雲頂高度データを除く)や気象データを用いて、気象じょう乱の特徴や大気状態を把握する。

総合解析では各種解析結果を総合的に解析し、雲や雲システムに対する最適雲解析をうる。その結果は最終的には雲解析図や衛星気象解析報として表現される。雲解析図は JMHFAX を介して気象官署、航空、船舶、電力、漁業関係者などの利用者に提供される。衛星気象解析報は電話 FAX を通じて気象庁予報課に伝達される。これらの雲解析についてのフローチャートを Fig. 6 に示す。

### 3.1 予備解析

予備解析では本解析における各種解析を有効に、効率よく行うため、これまでの解析結果や最新の各種データによって、解析の着眼点や問題点を十分検討し、あらかじめ解析の構想を練っておく。

また雲頂高度計算のための気団解析やルーフフィルムによる風計算のための追跡雲の検討も行う。予備解析で行う解析の具体例を次にあげると

(1) 過去の画像からの連続性および気象解析から注目すべきじょう乱に伴う雲や雲システムを把握し、本解析で解析すべき雲や雲システムの優先順位を決める。

(2) 本解析における解析方法と解析の着眼点について検討する。具体的には、マルチカラーデータ解析やルーフフィルム解析ではどの雲や雲システムに着目して解析すべきか検討する。

(3) 雲頂高度計算のための気団指定

(4) ルーフフィルムによる風計算の指定雲の検討

(5) 補助解析における着目点の検討

#### 3.1.1 気団指定

気象官署や航空関係者などにとっては、VISSR によって得られる雲頂温度よりも雲頂高度の方が利用しやすいので、温度は高度に変換されるようになった。

温度から高度への変換に用いる鉛直温度分布データは鉛直温度分布データファイルに格納されており、気団指定することによって更新される。気団指定の方法は GMSSA (GMS Standard Atmosphere: 鉛直温度プロファイルの月ごとの気候値) のどの月のデータを用いるべきかをカードで指定する方法 (GMSSA 月指定法) と特別な気団のデータや実測高層観測データ、数値予報データなどを考慮した高層観測データをカード入力する方法があるが、当面は GMSSA 月指定法を用いる。

(1) GMSSA 月指定法

雲頂高度計算領域である  $50^{\circ}\text{N}\sim 50^{\circ}\text{S}$ ,  $90^{\circ}\text{E}\sim 170^{\circ}\text{W}$  の範囲で、緯度、経度 5 度ごとに、数値予報 500mb 24 時間予報 (FAX 図) の等温線と気団解析時の月の GMSSA 500mb 等温線とを用いて図式に差をとり、差に対応する GMSSA 月を求めて「格子点ラベルデータ」のフォーマットにしたがって、カードハンチし、気団指定を行う。  $25^{\circ}\text{N}$  以南から南半球については、その月の GMSSA をそのまま用いる。また 500mb の温度が 1, 2 月の GMSSA より低い場合や 7, 8 月の GMSSA より高い場合には対応する GMSSA の資料がないので、温度-高度 ( $T_c-H_c$ ) 対応図 (500mb の温度別にまた対象地域 (大陸、日本付近、海洋の三地域) 別にあらかじめ分類された図) から雲頂温度を雲頂高度に変換する。

#### (2) 傾圧帯の扱い方

傾圧帯は温度傾度が大きく、GMSSA 月指定法では大きな誤差が生ずる可能性があるが、当面は GMSSA 月指定法で行い、資料蓄積後の調査によって改良する予定である。気団指定は 1 日 4 回雲頂高度値の算出にあたり行われるべきものであるが、3 時、15 時 (日本時) については、当面 6 時間前に指定した気団をそのまま用いることにする。しかしながら、特に冬季前線通過の際など、6 時間に  $5^{\circ}$  以上変化することもあり、補正を行う必要があるが、目下の所、今後の調査、改良にゆだねられている。

#### 3.1.2 ルーフフィルムによる風計算のための指定雲の検討

ルーフフィルムを媒体として風ベクトルを算出する際、風の場に追従する適当な追跡雲を上層、下層別を選び出さなければならない。したがって、雲形の決定、指定雲の選択にあたっては、FAX 天気図により総観場の状態を把握し、また各種雲画像およびルーフフィルムにより雲の分布および雲の移動と総観場との関係性を把握しておかなければならない。

雲指定に適当な雲

風を計算する際のトレーサーとして有効な雲の選択には、

(1) 雲が周辺の風と同一な動きをする。

(2) 雲の寿命が追跡時間より長い。

ことが条件として必要で、これら 2 つの条件に適合する雲としては、GMS の機能 (30 分ごとに観測された 1 時間半の間の 4 枚の連続する IR 画像から作成されたルーフフィルムを用いることおよび IR 画像の分解能が直下点で 5 km で、日本付近で約 7 km であることなど) から判断すると、

(1) 大きさが 20 km 程度で、鉛直方向への発達の小さ

い積雲（下層雲の測定）

(2) 大きさが20km程度の層積雲（下層雲の測定）

(3) 広がり小さい絹雲（上層雲の測定）

などがある。

### 3.2 本解析

本解析では解析者のパターン認識による各種雲画像の解析（写真解析，マルチカラーデータ解析，ループフィルム解析）と雲頂高度データの解析により，雲や雲システムの構造を把握する。各解析にあたっては，雲や雲システムに対して一貫性をもって解釈し，前の解析との間に不連続を生じないように行う必要がある。本解析で得られる結果のうち，雲形，雲パターン，雲頂高度，雲量および雲解析に関する情報などは雲解析図（GIを含む）や衛星気象解析報に表現される。

#### 3.2.1 写真解析

写真解析はGMSの画像を用いて各種スケールのじょう乱を把握し，雲や雲システムおよび海水域などの解析

を行うことである。解析結果は雲解析図や衛星気象解析報の基本的データとして利用者に提供される。第2節でのべられた各種画像の特徴に応じて各スケールの雲システムを分割し，その中に含まれる雲パターンを抽出し，雲形，雲量の解析を行い，気象じょう乱に伴う雲の特徴を把握する。

##### 3.2.1.1 雲システムの解析

各種画像解析をもとに気象解析を参照して各種じょう乱の立体構造を把握する。また過去の雲解析との連続性を考慮しつつ，雲システムを抽出し，解析する。解析結果は，雲解析図や衛星気象解析報に反映される。解析にあたっては，夜間は赤外画像だけであるため，解析が困難となる場合があるが，雲システムの連続性や赤外画像から得られる情報を駆使して，昼夜の解析に極端な不連続が生じないようになされなければならない。

##### 3.2.1.2 雲パターンの解析

各種気象じょう乱に対応した雲システムには特有な雲

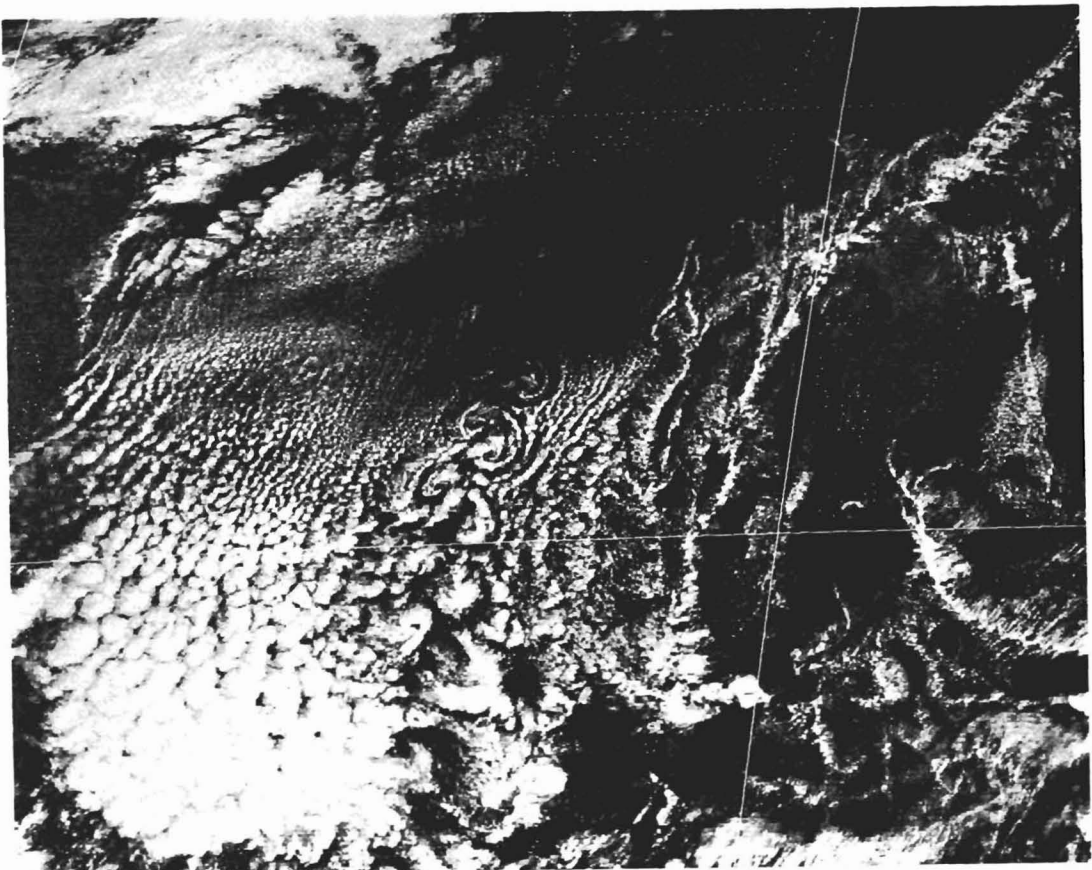
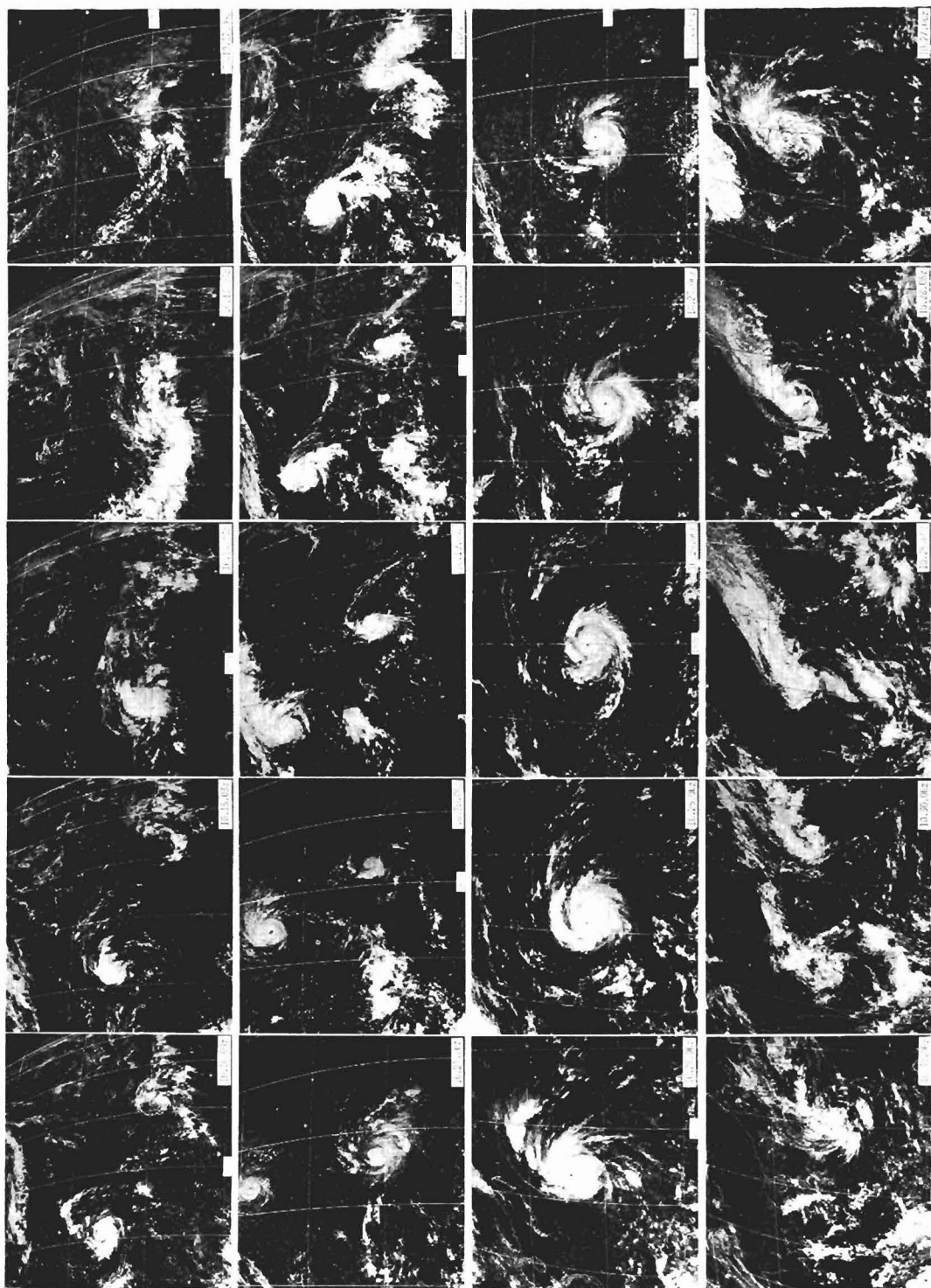


Fig. 7 Karman Vortex observed in the lee of Cheju Island. Visual imagery for 0200 GMT 9 Nov. 1977



**Fig. 8** The evolution of cloud distribution associated with Typhoon Rita 7826 Visual imagery from 0400 GMT 12 Oct. 1977 till 0600 GMT 27 Oct. 1977



**Fig. 9** Evolution of cloud pattern associated with growing stage of extratropical cyclone Infrared imagery from 1200 GMT 18 Mar. 1978 till 0000 GMT 26 Mar. 1978 Visual imagery from 0000 GMT 21 Mar. 1978 till 0000 GMT 24 Mar 1978

パターンがみられ、それぞれじょう乱の特徴を示唆している。雲パターンの特徴については“NESC 51”(1974)や“WMO Technical Note No. 124”(1973)に詳しく記述されているので参照して頂きたい。ここでは、日本付近でよくみられる代表的な雲パターンを解析する際の着目点について述べる。

(1) うず状パターン

うず状パターンを示すじょう乱としては、台風（熱帯低気圧）、閉塞後の低気圧、コンマ形雲、冬季日本海に

発生する小うずや済洲島や屋久島の風下に発生するカルマンうず (Fig. 7) などがある。

i) 台風（熱帯低気圧）

静止衛星のデータがもっとも有効かつ効果的に使用される領域は、赤道を中心とした低緯度地帯であり、従って台風（熱帯低気圧）の解析、予報には極めて有用である。

イ. 中心位置の決定

・眼があるか、あればその形状の解析と中心の決定。

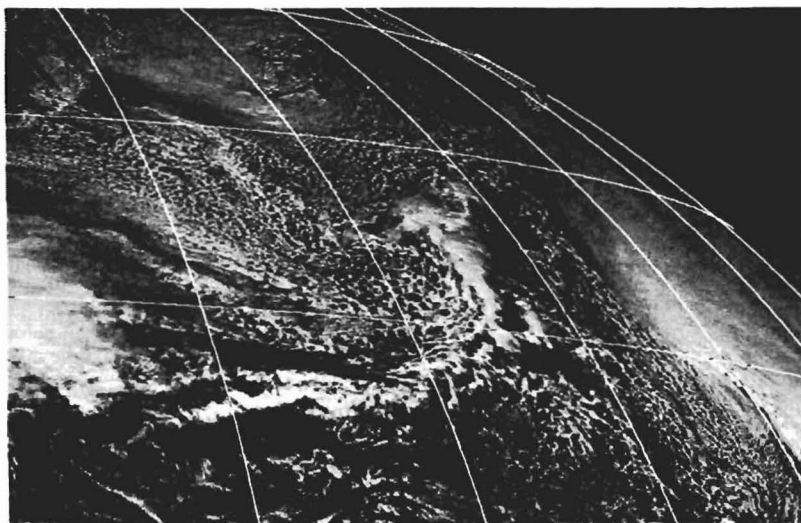


Fig. 10 Comma shaped cloud. Visual imagery for 0200 GMT 17 Nov. 1977

なければならず巻パターンと中心付近の積雲列の形状から中心の推定。

・マルチカラーデータ解析やループフィルム解析を参考にして中心を決定する。

ロ. 強さとその予想の解析 (Dvorak 法による)

- ・うず状パターンの解析
- ・中央の雲域の特徴 (CF) の解析
- ・外側雲バンド (BF) の解析
- ・絹雲の吹出し状態の解析
- ・進行方向の環境や気象状態の把握
- ・台風の強さ (T ナンバー) の決定
- ・最大風速 (CI ナンバー) の決定

ここで、Dvorak 法の概略をのべるが詳しくは Dvorak (1973, 1975) を参照されたい。

熱帯低気圧に伴う雲は、低気圧循環固有のものと同環境との相互作用によるものからなり、その変化過程はいくつかのモデルにまとめられ、標準的な変化をたどるとみられる。このモデルからのずれは環境の差あるいは変化に起因し、それは雲構造と其の変化として現われる。熱帯低気圧の発達段階に相当する雲構造を 8 階級の T ナンバーで表わす。この T ナンバーは中心部の特徴 (CF: Central Features) と雲バンドの特徴 (BF: Banding Feature) の 2 つの指数の和として定義される。また CI ナンバーは CF, BF, 雲の鉛直発達状況の過去一日の変化傾向の大きさに応じ一定数を T ナンバーに加減して、現在の CI ナンバー値と変化速度をうる。CI および T ナンバーから最大風速と最低気圧をうる。T および CI ナンバーはそれぞれ予想値についても求められる。なお

詳細は参考文献を参照されたい。

ハ. 移 動

- ・雲パターンから求められる中心を追跡し検討する。
- ・マルチカラーデータ解析やループフィルム解析を参考にして検討する。

ニ. そ の 他

・台風周辺の雲域、特に注目すべき積雲や積乱雲のクラスターの解析

・太平洋高気圧の縁辺部にみられる積雲列などの解析  
Fig. 8 に台風の一生に伴ってみられる雲パターンの一例をのせてある。

ii) 温帯低気圧

・成長段階に伴う各雲パターンの変化  
ジェット気流に対応した絹雲、暖気の流入を示唆する絹雲の広がり、前線に伴う雲バンドのふくらみ、ドライ・スロット、暖域内の雲列やクラスター、中心付近の雲列、循環中心、寒気移流に伴う対流性雲などの解析 (Fig. 9)。

・各雲システムの境界の判定

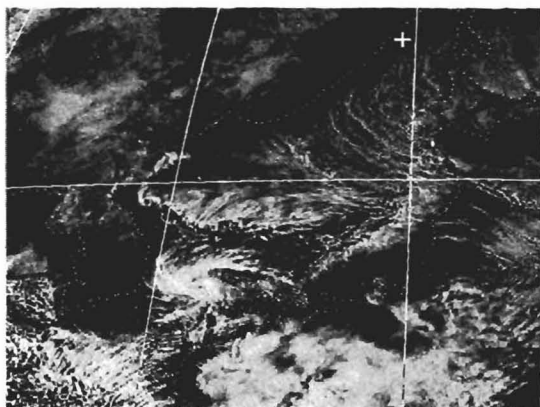
iii) コンマ形雲

正うず度移流極大 (PVAMAX) 域における力学的な上昇気流で強化された対流活動によって生ずるコンマ形をした雲パターンで、積乱雲の雲頂で形成された輝やいた層状の雲塊である (Fig. 10)。

この雲パターンを解析する際には、次の 4 点を検討する。

- ・積雲や積乱雲で構成された雲塊
- ・風下の晴天域の有無

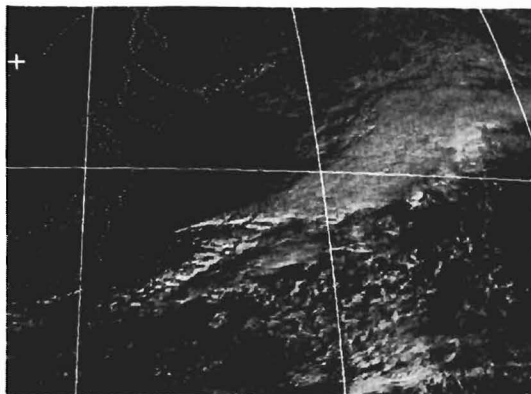




**Fig. 11** Train of tiny vortex over the western Japan Sea and a vortex associated with mesoscale cyclone off Sanin. Visual imagery for 0600 GMT 16 Feb. 1978

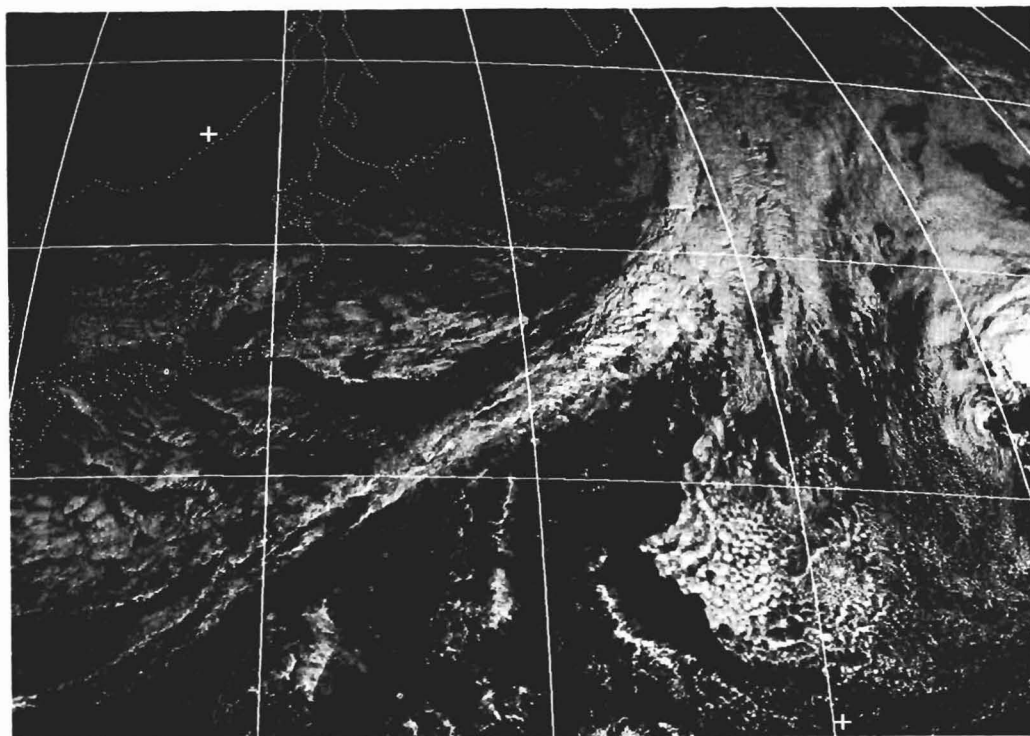
た積雲や積乱雲は、日本海中部や北海道西方海上で発生し、大雪をもたらすことがある (Fig. 11). この雲パターンを解析する際に、下記の3点を検討する.

- ・小うずの検出、追跡
- ・発達した積雲や積乱雲域



**Fig. 13** Cloud line of cumuli-nimbus off Sanriku. Visual imagery for 0000 GMT 30 Dec. 1977

- ・500mb のうず度分布や流れとの対応
  - ・地上低気圧との対応
- iv) 冬季日本海に発生する小うず  
冬季寒気場内に発生する小うずを伴った帯状の発達し



**Fig. 12** Cloud band associated with a cold front running southwest-ward, from the center of a cyclone off Kamchatka peninsula. Visual imagery for 0000 GMT 18 Dec. 1977

- ・周囲の積雲や積乱雲の雲列

## (2) バンド状雲パターン

雲バンドは明瞭な長軸をもつ、ほぼ連続的な雲で、少くとも長さとの幅の比は 4:1 で、幅は緯度  $1^\circ$  よりも大きい。ここでは、下記の特徴を伴う雲バンドの例について述べる。

### i) 寒冷前線に伴う雲バンド (Fig. 12)

- ・発達した積雲、積乱雲の雲列やクラスター (Fig. 13)
- ・雲バンド上の絹雲系の雲
- ・ブルーラインやロープラインの存在 (Fig. 14).

### ii) 活発な停滞前線に伴う雲バンド (Fig. 15).

- ・幅広い雲バンド上にみられる前線活動に対応するバンドのふくらみの時間変化
- ・雲バンドのふくらみとコンマ形雲との対応関係
- ・ジェットに対応する絹雲の広がり

## (3) ジェット気流

ジェット気流近傍の対流圏上部における鉛直方向と水平方向の大気の流れはジェット気流近傍にある絹雲の分布に反映される。絹雲はジェット気流の赤道側でジェット気流が高気圧性曲率の流れに転ずる領域に卓越する。ジェット気流に伴う絹雲の特徴は次のようなものである。

- ・長い絹雲の線状の影

・鮮明な境界をもつ高気圧性曲率の絹雲の広がり (Fig. 16)

- ・長いバンド状絹雲

- ・絹雲の筋 (ストリーク) (Fig. 17)

- ・トランスパース・ライン (Fig. 18)

## (4) 積雲系の雲列

積雲系の雲が線状に結合した列でその幅は緯度  $1^\circ$  未満。

### i) 寒気場内にみられる積雲系の雲列

発達した積雲や積乱雲の雲列を Fig. 19 に示す。また走向の異なる雲列の存在することもある。

### ii) 暖域内に発生する積雲系の雲列やクラスター

毛筆の穂先状 (人蔘状) をした雲域や顕著な雲列やクラスターの存在、発達過程に着目する。

## (5) セル状パターン

衛星画像上には、しばしばオープンセル状とクローズド・セル状の雲パターンがあらわれる。これらの雲パターンから寒気移流場および海洋上の寒帯前線後面にある寒気内の低気圧性、高気圧性の流れの場を識別できる。地上の風向、風速および大気の安定度の指標にもなる

(Fig. 20).

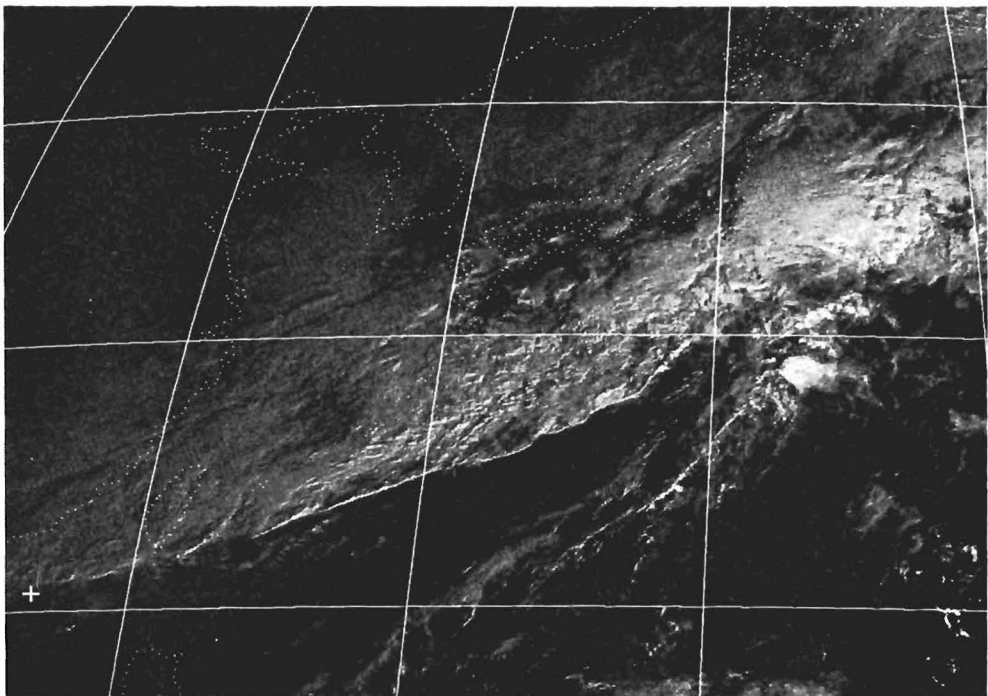
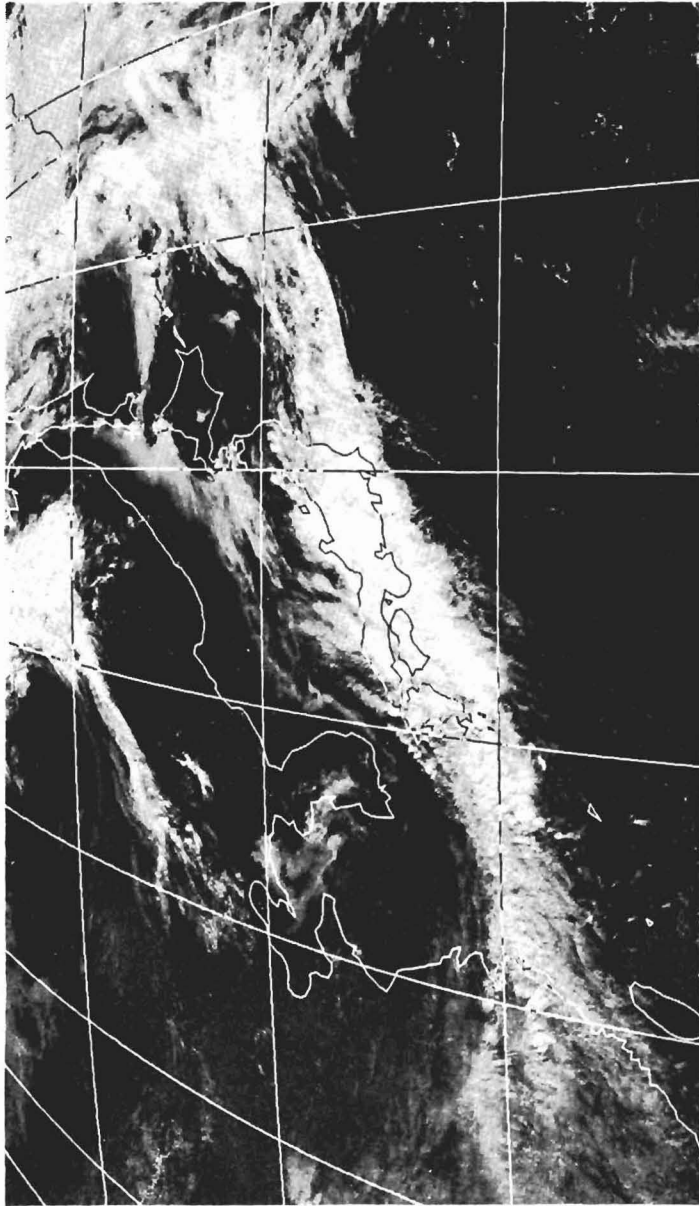
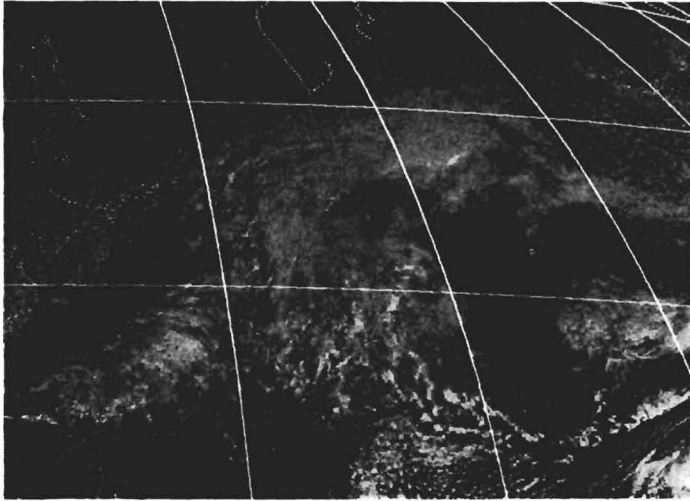


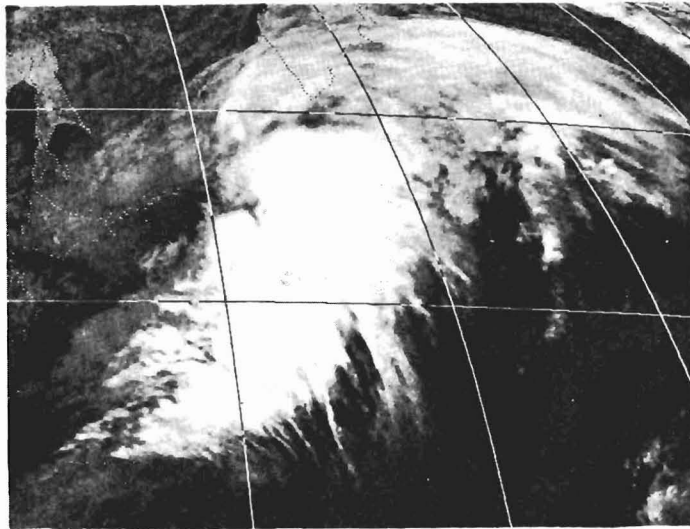
Fig. 14 Ropecloud extending from south of Honshu island to Formosa. Visual imagery for 0000 GMT 1 Jan. 1978



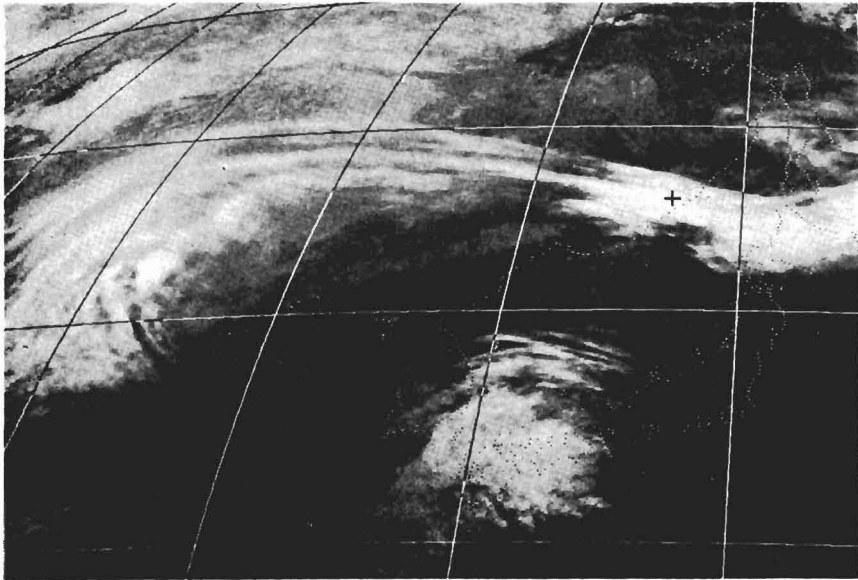
**Fig. 15** Cloud band associated with Baiu-front over Japanese island. Visual imagery for 0000 GMT 23 June 1978



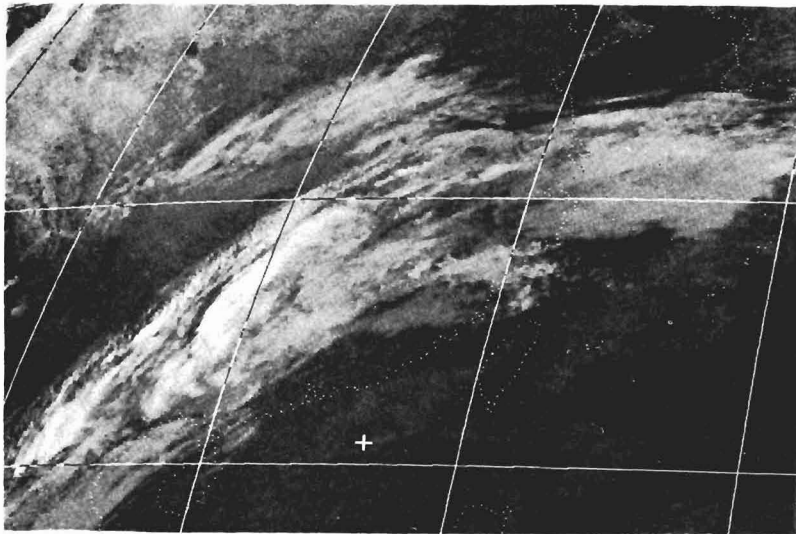
**Fig. 16** a. Cirrus shield over Kamchatka Peninsula. Visual imagery 0000 GMT 17 Dec. 1977



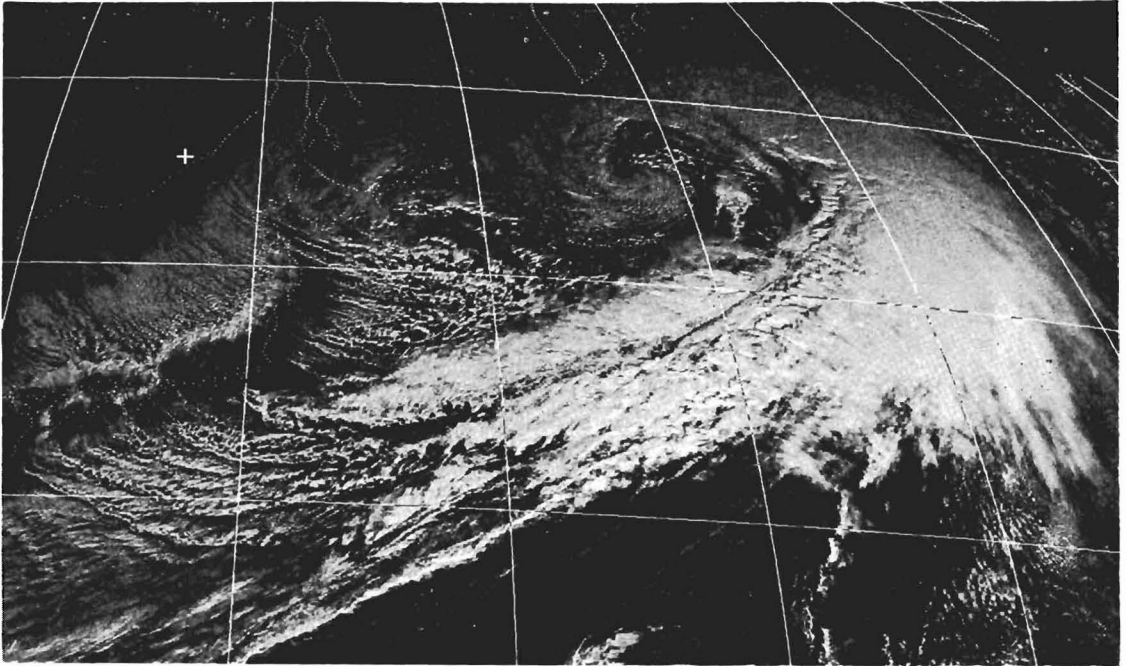
**Fig. 16** b. Same as a except for Infrared imagery 1200 GMT 17 Dec. 1977



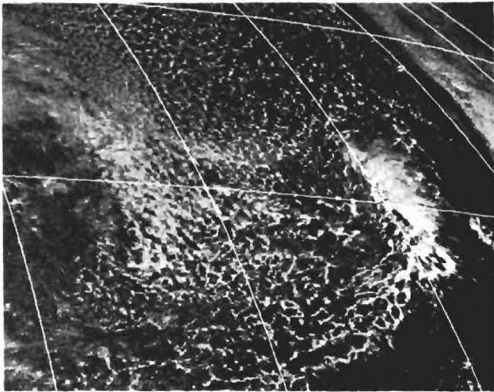
**Fig. 17** Cirrus streak extending from Mongolia to Hokkaido. Infrared imagery 0000 GMT 15 Dec. 1977



**Fig. 18** Transverse cloud lines extending from Southwestern China to Central China. Infrared imagery for 0000 GMT 24 Dec. 1977



**Fig. 19** Lines of cumulus and cumuli nimbus associated with cold air outbreak behind developed cyclone. Visual imagery for 000 GMT 26 Dec. 1977



**Fig. 20** Open cell and closed cell pattern in the southeast sea off Kamchatka Peninsula. Visual imagery for 0000 GMT 30 Dec. 1977

i) オープン・セル

寒冷前線後面の気温と海面水温の温度差の大きい不安定な寒気場内に存在し、環状またはU字状の雲の壁が、雲がないかごく少い領域を囲んでセル状の積雲で形成される。このパターンについては次の3点に着目する。

- ・オープン・セルの形状、大きさ

- ・ enhanced Cu やコンマ形雲の存在の有無

- ・ オープンセル状パターン領域の推移

ii) クローズド・セル

寒冷前線後面の気温と海面水温との温度差の小さい寒気場内に存在し、雲がないか、ごく少ない領域がほぼ多角形の雲域を囲んでいるのが特徴である。下層の弱い対流混合と下安定な気層の上限は沈降性逆転によって抑制されるため層積雲または積雲で形成されている。

(6) 山岳波状雲 (Fig. 21)

地形障害のためできた波状雲は、うねうねしたバンド状で幅は2~3マイルから20マイルまでであり、各バンドは等間隔に並んでいる。層積雲か高積雲で形成されている。山岳波に伴う乱気流は山の風下に起り、下流にゆくにつれて衰弱する。この波状雲は存在場所規模、持続時間などに着目する。

3.2.1.3 雲形および地球表面の状態

可視・赤外画像から各種の雲を判別する際に参考になる雲の特徴を以下にあげる。

i) 絹雲系の雲

- ・ 薄い絹雲系の雲
- ・ 濃密な絹雲系の雲

- ① 雲頂高度が高く、温度が低いので地表や下層雲との

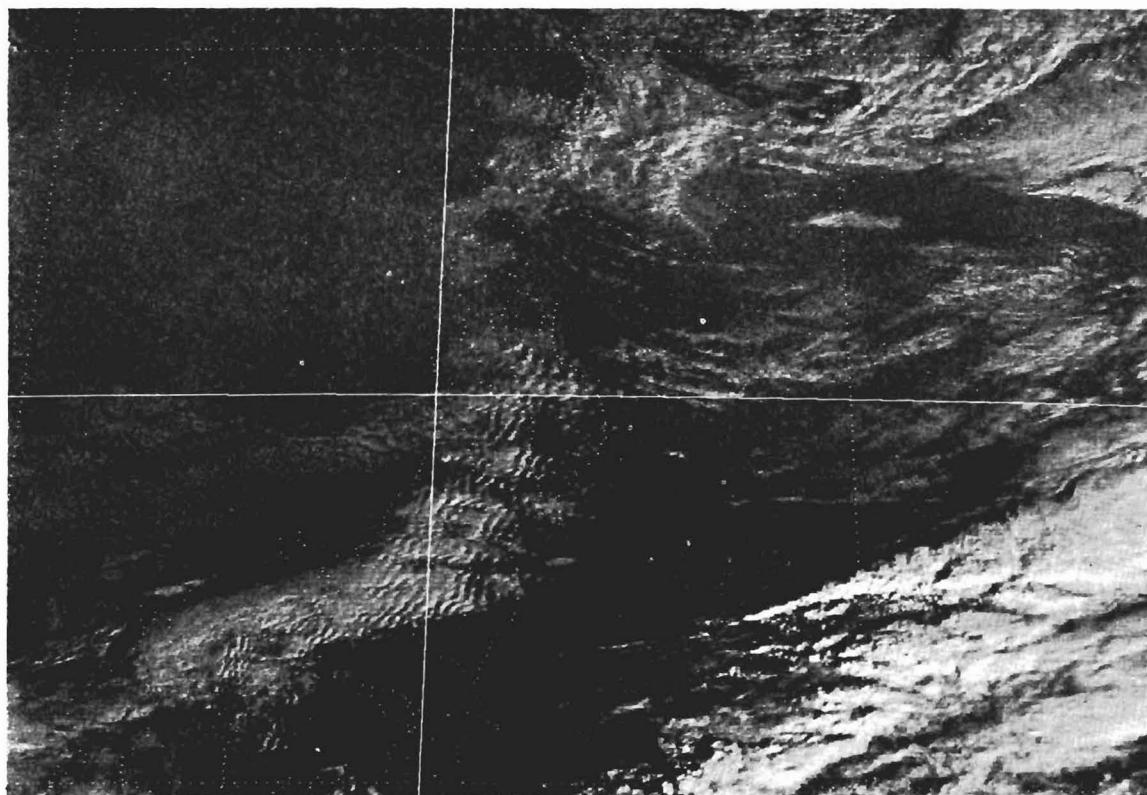


Fig. 21 Wave cloud in Tohoku. Visual imagery for 0000 GMT 30 Dec. 1977

温度差が大きく、可視より赤外で明瞭である。ただし、冬季のシベリアや中国東北区地方では地表との温度差が小さくなるため、全般に白くなり絹雲の判別が困難になる。

② 一般に射出率が小さいため、絹雲系の雲の下にある中・下層雲や地表からの放射量も積算されるので実際より高温に観測され、中層雲との区別が困難になることがある。

③ 薄い絹雲の場合：アルベドが小さく雲のない所とのコントラストが小さくなるため可視では識別が難しいが、赤外では識別しやすい。

④ 可視では雲の影がみられる場合があり、それにより絹雲の存在を識別できることもある。

#### ii) 中層雲

一般に中層での層状の雲と積雲状の雲は分解能の関係で区別できないので、中層の雲全般を表わす。

① 中層雲は総観規模じょう乱に伴うことが多いが、通常はその上が絹雲系の雲におおわれているため、じょう乱の縁や孤立した中層雲や絹雲の隙間から透けてみえるものだけが識別できる。また上にある絹雲系の雲が赤外

ではより白くみえるので下層に中層雲の存在を推定できる場合がある。

② 射出率は絹雲系の雲より大きい、1より小さいことが多い。高積雲は分解能の関係で、一般に層状にみえ高層雲との区別はできない。

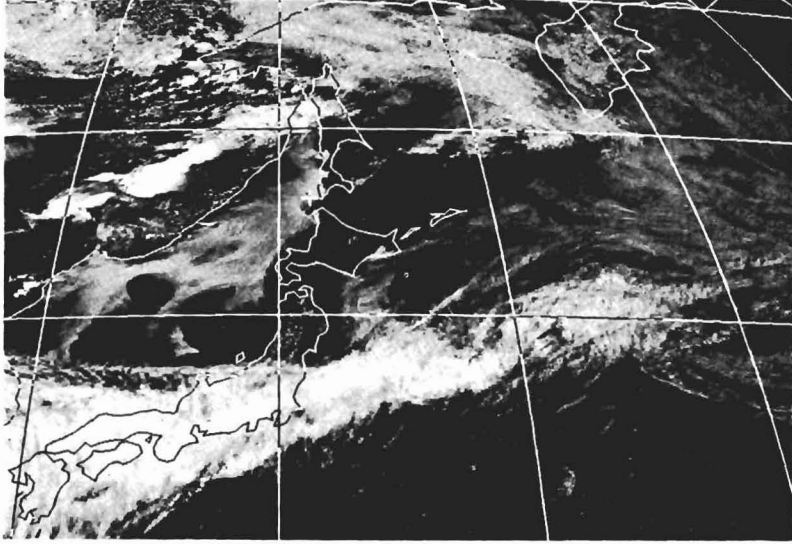
③ 一様な表面をした白または灰色の雲にみえ、一般に広範囲に広がったり、バンド状になったりしている。対流現象がある場合には、雲頂の変化は影や裂け目としてみられる。この雲域で輝度の最も強い部分は降水を伴っていることが多い。

#### iii) 積雲

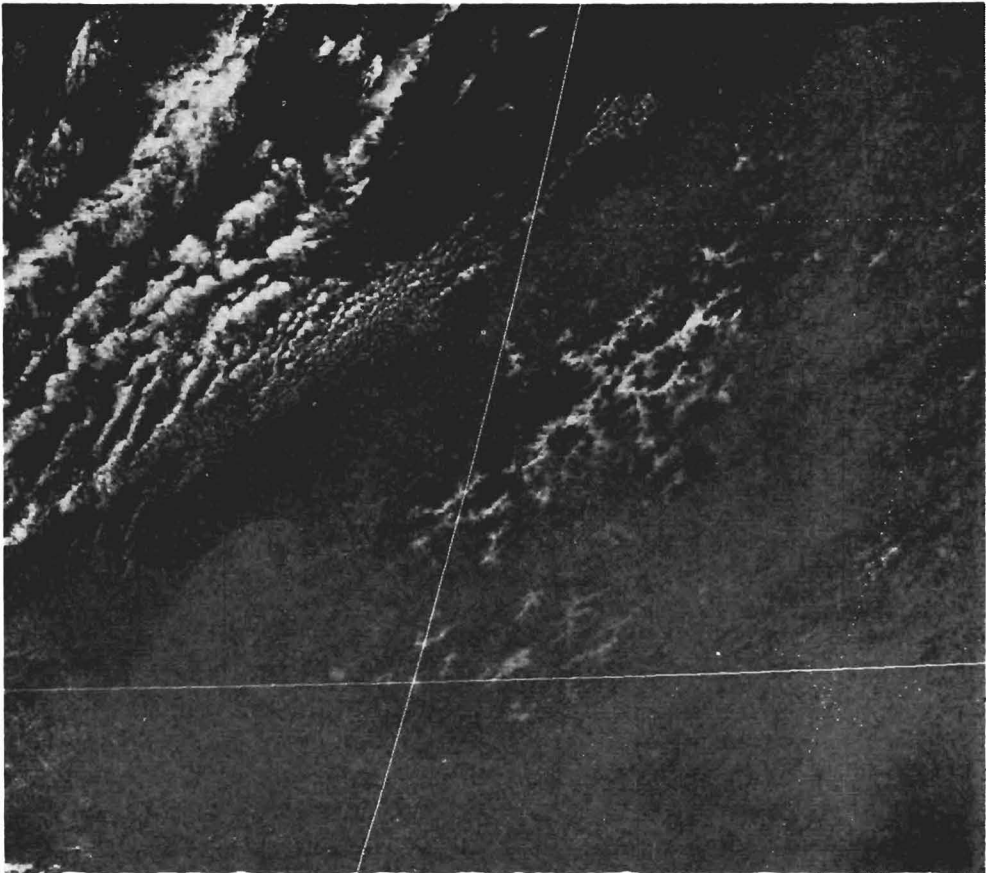
- ・発達していない積雲
- ・かなり発達した積雲および無毛積乱雲
- ・羽毛状絹雲を伴った積乱雲

① 可視、赤外とも積雲の外観は似ている。発達した積雲や積乱雲は可視では影をつくり、凸凹した外観をしている。赤外でも相対的な温度差により可視同様凸凹にみえ、輝度から対流の強さや積雲の鉛直方向への発達程度が決められる。

② 発達した積雲は非常に凸凹しており、線状、バンド



**Fig. 22** Widespread fog over northern Japan Sea, Southeast of Hokkaido, and Kamchatka peninsula. Visual imagery for 0600 GMT 24 June 1978



**Fig. 23** Valley fog in south China. Visual imagery for 0100 GMT 18 Nov. 1977



状、セル状のパターンを構成することが多い。

③ 晴天積雲のように小さい積雲は分解能以下で一般には判定できない。

④ 積乱雲はしばしば一方の縁が明瞭で際立っており、その反対側では羽毛状絹雲が広がっている。最盛期の積乱雲は可視、赤外ともに明るい、崩壊期では可視の白さが時間とともにおちてくる。

⑤ 層状の雲から突き出た積乱雲は影がみられるので識別できる。

#### iv) 層積雲

① セル状パターンは可視、赤外とも同様の外観をしているが、雲頂温度が高いため赤外では判別しにくい場合がある。

② 団塊状の球状雲で一般に集合した大きな広がりをもっていることが多い。相対的に明るい球状の雲が、輝度の小さい雲と交互に結合した形をしている場合にはクロード・セルパターンとよばれる。厚さに変化があるので、可視では輝度に変動があるが、逆転におさえられ雲頂高度が一樣のため、赤外では輝度に変動がない。

#### v) 霧と層雲 (Fig. 22, 23)

雲写真から霧と層雲の区別はできない。

① 可視、赤外ともになめらかに一樣にみえるが、可視では縁が鋭く明瞭であり、赤外では雲頂高度が低いので灰色にみえる。夜間には、霧（層雲）の領域とその周囲との温度差が小さくなるため、薄い霧（層雲）の判別は困難な場合が多い。

② 霧や低い層雲域の形は海岸線や峡谷などの地形の輪郭を表わすことが多い。

#### vi) 積雪

① 可視では地表より白く、輝度の差は植生、積雪の変態の相、太陽の照度などによって異なる。

② 積雪の区域は山や谷の輪郭を示す樹枝状のパターンを除くと滑らかである。

③ 積雪は移動しないので、長時間同じパターンがみられるので判明できる。

#### vii) 海水 (第24図)

① 可視では灰色にみえ、境界ははっきりしている。

② 赤外では一樣にみえ、灰色から白にみえる。

③ 海水の縁はゆっくりであるが変化するので、数日間にわたって同じ場所の画像を比べることによって海水の消長がわかる。

#### viii) 地球表面

① 地球の表面温度の日変化は陸地の方が海より大きい。そのため、赤外画像で見ると、昼間は陸地が海より黒く見え、夜間は陸地の方が白くみえる。夜間より昼間の方が陸地と海面の輝度の差が大きい。

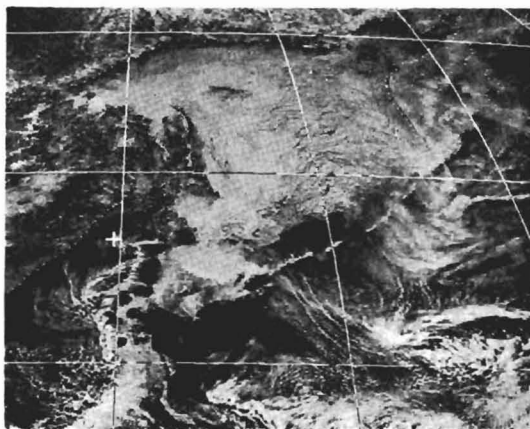


Fig. 24 Sea ice over the Okhotsk Sea. Visual imagery for 0300 GMT 24 Feb. 1978

② 冬季、高緯度においては可視画像では太陽高度の関係で、また赤外画像では陸地と雲との温度差が小さいために両者の識別が難しくなる場合がある。

#### 3.2.1.4 雲量の解析

雲量の解析は、雲解析図において雲システムや雲域として区分された領域内の雲量を表示し、利用者の雲解釈に役立つ情報とするために行う。夜間の解析においては可視画像がなく赤外画像のみで解析を行うため、下層雲の雲量の把握が困難な場合がある。雲量は次の4階級に分類されている。すなわち、

OPN (Open) : 雲がないか少ない (雲量 < 20%)

MOP (Mostly Open) : 雲が少ない (雲量 20~50%)

MCO (Mostly Covered) : だいたい雲におおわれている (雲量 50~80%)

CVD (Covered) : 雲におおわれている (雲量 > 80%)

#### 3.2.2 マルチカラーデータ解析

マルチカラーデータ解析ではGMSのアナログデータ(画像)をマルチカラーデータシステムと呼ばれる装置を用いて雲や雲システムおよび地球表面の現象を強調表示し、客観的に定量的にこれらの特徴を把握する。

マルチカラーデータシステムでは、可視および赤外の画像(フィルム)から電子的な方法により、画像の階調(濃淡)に応じて、擬似カラーでブラウン管上に表示する。マルチカラーデータ解析の入力データとして使用される画像のグレースケールは32階調で表現されている。マルチカラーデータシステムは画像の強調、拡大表示、特定情報の測定の機能を持っており、フォールスカラーシステムとマルチカラーシステムとからなる。フォールスカラーシステムは画像の濃淡を12(白、シアン、濃青、淡青、オレンジ、黄、茶、オリーブ、赤、紫、マゼ

ンダ、黒)の擬似カラーに割り当てて表示する。マルチカラーシステムは2~3枚の画像に赤、緑、青の2~3色を割り当て、それぞれ最大12階調に分割し、重ね合せて表示する。

マルチカラーデータ解析では主として次のことを行う。

(1) 気象じょう乱に伴う雲システムを強調表示し、雲システムの特徴を解析する。

(2) 特定の領域内における、ある階調の雲の割合を測定し、定量解析をする。

(3) 赤外と可視の画像を重ね合わせ、雲システムの鉛直構造を解析し、雲形の識別を行う。

(4) 上記の解析を毎観測時のデータにより時系列解析を行う。

(3) 時系列画像を重ね合わせ表示し、雲や雲システムの推移を解析する。

マルチカラーデータ解析は全般解析とじょう乱別解析に分けられる。

### 3.2.2.1 全般解析

解析対象領域内の雲頂温度(赤外)、輝度(可視)の水平分布とその変化などに関する雲システムの特徴について解析する。

全般解析での強調表示は、画一的に行うことにより、解析結果の時・空間的な連続性が保たれ、a) 雲や雲システムの推移の解析、b) 雲や雲システムの水平、鉛直構造の解析を行う。

#### (1) フォールスカラー解析

フォールスカラー解析システムの強調表示による解析としては次のことが行なわれる。

i) 雲構造の解析 a) 雲の全体的なパターンの把握、b) 多層構造の雲域の識別、c) 多層雲域内の温度分布、輝度分布、d) 高気圧性曲率をもった絹雲の広がり、e) うず巻の雲構造(循環の中心)、f) 前線性雲バンドの雲構造、g) 寒気移流場、暖域内の対流雲、h) バンド状構造の雲、i) 積乱雲クラスター

#### ii) 雲域の変化の解析

a) 雲や雲システムの時間変化

#### iii) 特定雲域の強調表示の例

集中豪雨・タービュレンスなど、災害に結びつく現象と密接な対応のある積乱雲の雲列やクラスターの雲頂付近の温度に多くの階調を割り当てることによって、高度の高い所を呼び上げることができる。

また霧や層雲の分布を詳しく知りたい場合には、低い雲の温度に大部分の階調を割り当てる。

上、中、下層雲を3通りに分けたい場合、ある温度以下(発達した積雲や積乱雲など)、またある温度以上(霧

や層積雲など)の雲の占める領域を知りたい場合、階調を3階調ほどに落して、ある温度帯に割りあてると、コントラストがはっきりして、雲の分離が明瞭になる。

#### (2) マルチカラー解析

2~3枚の画像の重ね合せによって雲域の立体構造とパターンの時間変化を解析する。

##### i) 赤外と可視画像の重ね合せ

赤外と可視の画像を重ね合せることによって、雲の鉛直的な構造の把握や雲形の判別ができる。例えば赤外に赤を、可視に緑を割り当てて重ね合せることによって、重ね合わさった領域は黄色になる。この種の方法によって、高くて薄い赤外のみによりうつつの絹雲は赤に、低くて可視では明るく、赤外では暗い下層雲は緑に、高くて厚い多層雲や鉛直方向に発達した雲は黄色で表現されるため、a) 雲形の判別、b) 上層雲と下層雲の組み合わせ、c) 前線上の雲分布の傾斜などを解析する。

##### ii) 赤外画像の時系列の重ね合せ

前々回、前回、今回観測された画像(例えば前々回は青、前回は赤、今回は緑を割り当てる。)を重ね合せることによって、a) 雲域の移動、b) 雲パターンの変化状況などを解析する。

##### iii) 特定雲域の強調表示

フォールスカラー解析の場合と同様に、注目すべき特定の雲域に多くの階調を割りあてて、雲構造を強調表示することができる。

### 3.2.2.2 じょう乱別解析

全般解析で着目した雲域の中から、特定の雲域を選択し、詳細な解析を行なう。対象とすべき雲域としては、i) これまでに着目してきた雲域、ii) 発達中あるいは発達が予想される雲域、iii) シビアウェザーを伴っているあるいは予想される防災上重要な雲域などがある。解析法としては、前述のマルチカラー解析システムの機能を活用する。

#### (1) 偏西風帯における解析

(1-1) 解析の対象となる雲システムは次のようなものが考えられる。

##### i) 低気圧や前線帯に伴う雲システム

a. 絹雲の広がりとその極側の境界

b. 多層構造

c. 中心付近の積雲活動域

d. うず巻内の小じょう乱

e. 前線性雲バンドのふくらみ

f. 前線性雲バンド内の積雲活動域

g. 積雲活動域(暖域内、低気圧後面の寒気移流域)

##### ii) 中間規模じょう乱に伴う雲システム

a. 例えば北海道西岸沖低気圧、土佐沖低気圧、発生

初期の台湾低気圧など。

b. 停滞前線上の小低気圧

iii) 北東気流に伴う雲域

iv) コンマ形雲や輝度の明るい活発な積雲

a. コンマ形雲

b. 積雲活動域

v) 季節風下の雲

a. 積雲による小渦（日本海などに現れる）

b. 積雲による顕著な雲バンド

c. 積雲列の走向や発生位置

vi) その他

a. 日本付近の積雲活動域（亜熱帯高気圧の縁辺部にみられる積雲列など）

b. 地球表面の状態（海水域や積雪域など）

(1-2) フォールスカラー解析では、選択された雲システムに対し、a) 雲構造の解析 b) 雲域の変化の解析 c) 特定な雲域の限定 d) 地球表面の状態の解析を行う。

(1-3) マルチカラー解析では、a) 雲構造の解析とその時系列解析 b) 雲域の移動とパターンの変化の解析を行う。

(2) 熱帯じょう乱の解析

(2-1) 解析の対象となる雲や雲システムは次のようなものが考えられる。

i) 台風（熱低）に伴ううず巻

a. うず巻の形状の特徴

CDO\*, CF, BF

b. うず巻の中心位置の決定

ii) ITCZ および ITCZ 上のじょう乱に伴う雲

(2-2) フォールスカラー解析

i) 台風に伴ううず巻

a) 台風の形状の特徴の強調表示。例えば、眼が絹雲でおおわれて、不明瞭な場合、眼の壁（eye wall）をつくる積乱雲の雲頂温度より、海水面からの射出を含む眼ではやや高温となるので、積乱雲雲頂付近を強調表示することによって、眼をはっきり認めることの可能な場合もある。

b) 台風の中心位置決定（眼が明瞭な場合、不明瞭な場合）

c) 台風の強度パラメーターの時系列解析。①Dvorak 法による T ナンバーの決定、②特定領域内の特定レベルの雲の占有率の時系列解析——台風を囲む同一短形内で同一特定レベルの雲の占有率（台風の発達過程をみるバ

ラメータ）の時系列解析。

d) 台風の構造の特徴を示す同一レベルの時系列解析。同一 threshold または同一 gray scale に表示されたカラー分布の時系列解析。

ii) ITCZ および ITCZ 上のじょう乱

a) 熱帯じょう乱クラスターの検出

非発達か前台風段階のクラスターかの判定\*\*。

b) 偏東風波動じょう乱の検出

c) ITCZ の変動

(2-3) マルチカラー解析

i) 台風の強度パラメーターの時系列変化

Pattern Extraction（特定な雲域をカバーするために任意の図形を作成）の機能を用いて、任意の領域（例えば台風中心を中心とした同心円）を抽出し、さらに特定レベルの雲域の占有率の時間変化から、台風の発達過程を示す強度パラメータを求める。

ii) 台風の移動

前々回（例えば青を指定）、前回（赤）、今回（緑）の時系列解析により、台風の移動を把握する。

iii) 台風の進行方向を示唆する雲システムの把握。

数枚の画像につき台風中心を合せて主たる雲システム（CF、BF）の回転や進行を示唆する現象（先駆的な積雲、積乱雲）の時系列解析をする。

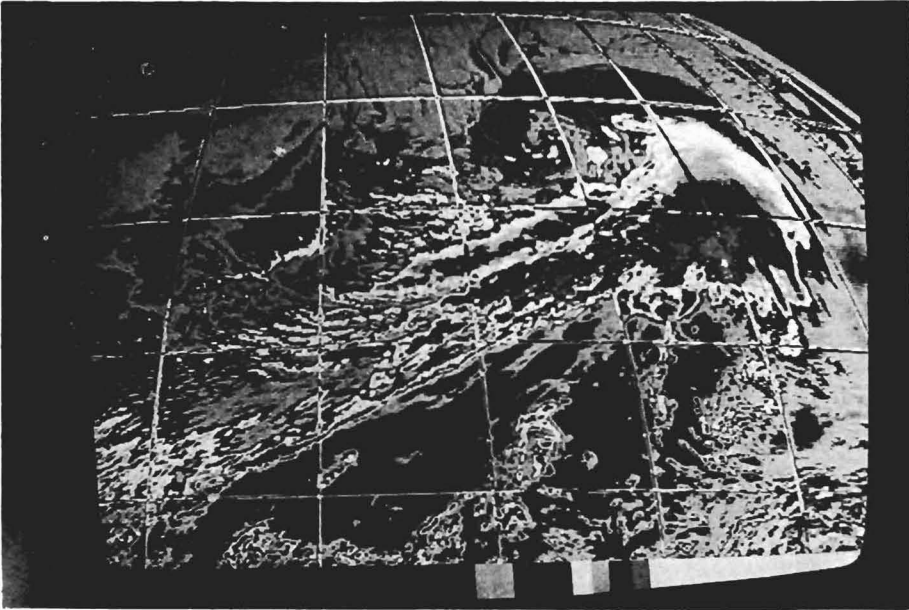
3.2.2.3 マルチカラーデータ解析の限界

マルチカラーデータ解析はマルチカラーデータ解析システムを用いて画像の濃淡を測定するため、マルチカラーデータシステムの濃度分解能と画像の濃淡に対する品質管理の精度によっておのずとマルチカラーデータ解析の限界が決められる。マルチカラー解析システムの濃度分解能は赤外画像で表現される温度幅を  $-80^{\circ}\text{C} \sim +30^{\circ}\text{C}$  とし赤外データの HR-FAX への64階調の濃度変換が線型で、0～2の濃度を64階調で表現しているとみなすと、MSC 所有のマルチカラーデータシステムでは高温部領域では約  $3.5^{\circ}\text{C}$ 、低温部領域では約  $1.7^{\circ}\text{C}$  の温度分解能がえられるようになっている。

一方画像上では、同じ物理的特徴に対しては、同じ濃度で表現されていなければならない。すなわち赤外データと可視データの表わす物理的特性に対する濃度の順序は、GMS のキャリブレーションテーブル（季節に応じて変わる）にしたがって、濃度差が等しく画像に表現されていなければならない。したがって、マルチカラーデータ解析における画像の濃淡が画像ごとに異なると解析結果の客観性、定量性および連続性に対する信頼性がそ

\* Central Dense Overcast

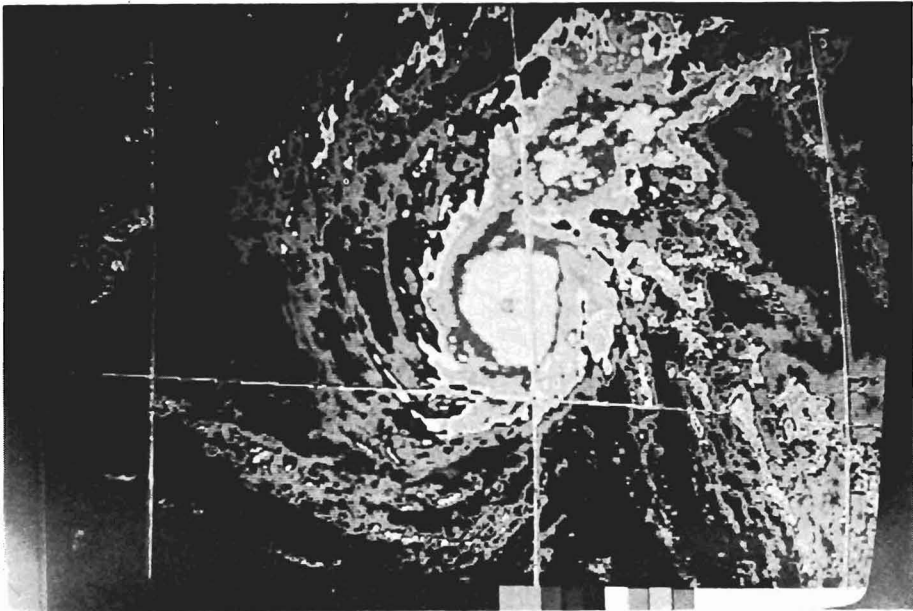
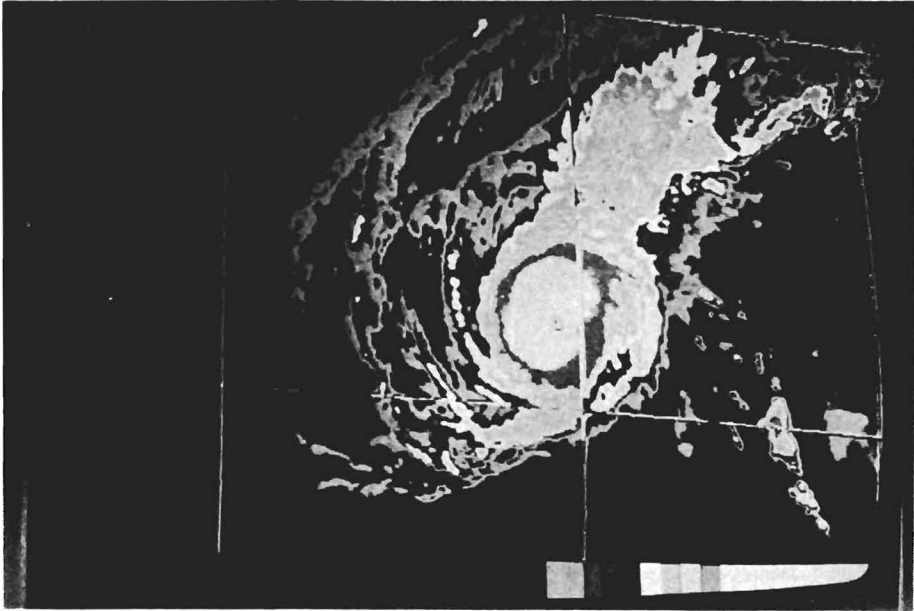
\*\* Gray (1976) の判定基準による。



**Fig. 25** Same as Fig. 19 except for enhanced image by false color system. Lines of cumulus embedded within strong cold air outbreak and developed cyclone.



**Fig. 26** Same as Fig. 12 except for enhanced image by false color system. As gray scale slicing is mainly applied to the cloud with lower temperature, Warm cloud in the southwestern part of cold front is obscure.



**Fig. 27 a, b** Enhanced image by false color system showing Typhoon Mary 1977. Gray scale slicing is mainly applied to the cloud with lower temperature in a. The cloud area in the Northnortheast of Typhoon appears different from other cloud as it is warmer than other cloud. Note that distinction is not possible in b where no enhancement is applied.



**Fig. 28** 6 hour change of cloud top temperature pattern associated with active cold front on 28 Feb. 1978 Data with temperature below  $-22^{\circ}\text{C}$  on 1200 GMT and 0600 GMT are taken.

こなわれるので、画像の濃淡に対する品質管理は極めて重要なものとなってくる。

マルチカラーデータ解析の例は、カラー表示されてはじめて意味があるものであり、白黒の写真ではその特徴を明瞭に表現することは不可能である。ここでは強調表示の例(4)時系列解析(移動)の例を示すにとどめた。(Fig. 25, 26, 27, 28)

### 3.2.3 ループフィルム解析

一定の時間間隔で出力された数枚から数十枚の画像をループ状にしたフィルム(ループフィルム)をスクリーン上に投影すると、直観的に三次元的な雲や雲システムの移動、時間変化を把握(四次元解析)することができ、重要な情報をうるることができる。

#### 3.2.3.1 ループフィルム解析の特徴

① ループフィルムではスチール写真で分かりにくい雲や雲システムの時間変化を直観的に把握することができる。

② 各層の雲の動きは、その層の大気の流れと高い相関があるので、各層の雲を分離することができ、また各層の雲の相対的な動きから三次元的な大気の流れの場を

把握し、それによってじょう乱の性質や一般場のシャワーなどを知ることができる。

③ 雲や雲システムの動きから気象じょう乱の移動を支配している一般場の流れや作用中心を知ることができる。

④ 雲や雲システムの動向から収束域、発散域、合流域、分流域、発生・発達域、消滅域や高・低気圧性じょう乱に伴う循環域などを知ることができる。

⑤ 積雪・地形など静止しているものや霧や層雲・海水など動きの遅いものと雲を直観的に分離することができる。

#### 3.2.3.2 各種ループフィルムの特徴

通常時の解析に用いられるループフィルムは第1表に示したように、1.5時間(風)、36時間、72時間、可視の4種類がある。次にそれぞれのフィルムの特徴をのべる。

##### (1) 1.5時間(風)ループフィルム\*

イ. 30分間隔の画像で作成されるループフィルムであるので、時間変化が少なく、小さな雲や雲システム(寿命の短いもの)の追跡にすぐれている。

ロ. 1時間半という短時間のループフィルムであるため、総観規模の雲システムの追跡にはあまり適さない。

ハ. 赤外画像によって作成されたループフィルムであるため、上層雲の移動、変化の把握には特に適しているが、下層雲の解析にはやや難点がある。

##### (2) 36時間ループフィルム

イ. 1日半のループフィルムであるため、中間規模や総観規模の雲システムの追跡ができる。

ロ. じょう乱の発生や発達に伴う雲システムの解析に適している。

ハ. 3時間間隔での画像によるループフィルムであるため、時間変化の細かいメソスケール以下の現象に伴う雲や雲システムの変化の把握には難点がある。

##### (3) 72時間ループフィルム

イ. 3日間のループフィルムであるため、総観規模の雲システムの追跡に適している。

ロ. 長波や超長波のじょう乱に伴う雲システムを追跡することによって、大規模な場の把握ができる。

ハ. 熱帯じょう乱やITCZの監視に適している。

ニ. 円形画像を用いて作られているので、南半球におけるじょう乱の監視や南北両半球の相互干渉の実態を把握できる。

\* 1.5時間ループフィルムは本来風ループフィルムとして風ベクトル算出用に作成されたものであるが、同時に雲解析用としても極めて有効な解析資料となる。

## (4) 雲解析用可視ルーフ

イ. 可視部分画像を用いるので、空間分解能（衛星直下点で 1.25km）がよく、また赤外画像と異なり、下層雲の解析には特に適している。

ロ. 部分画像であることから、中間規模以下のじょう乱の検出や推移をみるのに適している。

ハ. 雪、地形、霧、層雲、海氷など静止しているものや動きの遅いものを雲と分離するのに適している。

ニ. 日中の画像だけであるので、追跡時間

が限られ、時間により太陽高度が異なるため同一条件のもとで画像をみるることができない。

## 3.2.3.3 各種ルーフフィルムによる解析

前節で述べた各ルーフフィルムの特徴を反映した解析を以下に記述する。

## (1) 1.5 時間ルーフフィルム

## イ. じょう乱の循環中心の解析

台風や発達した温帯低気圧の循環の中心を解析する。

特に、写真解析やマルチカラーデータ解析では中心位置を決めることの困難な、明瞭な眼をもたない台風や発生・発達初期の熱帯低気圧の循環中心を求めることができない。また、a) 発生初期の温帯低気圧、b) 上層 vortex の上層雲の循環、c) 冬季日本海にみられるメンスケールのうず状パターンの循環中心など地上天気図に表現されていない段階のじょう乱の中心を把握し、予想上重要な情報をひきだす。

ロ. 三次元的な大気の流れを解析する。

上・中・下層の雲の動きを知ることによって、三次元的な大気の流れを解析する。

a) 収束、発散の場を知り、じょう乱の構造や発生、発達の段階を解析する。

b) 鉛直シャーの程度を知ることによって、傾圧性や寒気暖気の移流の状況を解析する。また、台風近傍での上層風場を知り、台風の発達状況を把握する。

c) メソスケールのじょう乱に伴う雲システムを知り、じょう乱の構造を知ったり、異常気象に伴う現象を解析する。

d) ジェット気流はそれに伴ってみられる絹雲によりその大体の位置がわかるが、ルーフフィルム解析からさらに位置および風速の強さを確かめられる。

e) 地形性の雲や重力波的要因によって発生した雲は一般風とは異った方向に動くのでこれらの雲を識別する。

## (2) 36時間ルーフフィルム

イ. 中間規模以上のスケールをもつじょう乱に伴う雲システムの解析

## a) 温帯低気圧

前線波動に伴うバルジ状雲システムの形成から発達、閉塞段階を経て衰弱するまでの温帯低気圧の生涯について解析する。上、中、下層の雲システムの移動をみることによって、じょう乱の三次元的な構造を解析する。

## b) 熱帯低気圧

熱帯低気圧の中心位置の追跡や移動を直観的に把握するばかりでなく、発生初期における雲域の増減、積乱雲の発達状況、絹雲の out flow の変化、台風の眼の変化、中心付近の濃密な雲域や中心に巻き込んでいる雲バンドの変化、台風圏外の積乱雲クラスターの消長など台風の発達状況を知り、偏西風帯の雲システムとの相互作用について解析する。

ロ. 多層になった雲システムを分離し、移動、変化を解析する。

二重あるいは三重になった雲は、それぞれの雲の移動が異って見えるので分離することができる。

i) 絹雲の広がりやストリークの下にある中・下層雲や霧を分離する。

ii) スコールラインに伴って現われる Tapering cloud pattern (筆の穂先状をした雲パターン) について積乱雲別と絹雲とその移動をみることによって分離できる。

iii) 積雪域、冷たい地表面や海氷域を移動する上層雲を分離する。

## (3) 72時間ルーフフィルム

## イ. 大規模場の解析

北半球天気図と併用し、総観規模のじょう乱に伴う雲システムの推移をみることによって、大規模な場を把握し、その変化について解析する。

ロ. 南北両半球の大気相互作用を知り、ITCZ の動向、台風の発生、発達さらに亜熱帯高気圧の動向、ヒマラヤ南まわりのジェットの状態、梅雨期や夏季などの大規模場の解析

ハ. 南半球における大規模な場の把握とじょう乱の追跡

## (4) 可視ルーフフィルム

## イ. 下層の雲や雲システムの解析。

a) 冬季寒気吹き出し時の日本海にみられる積雲列やメソスケールのうず状雲の解析。

b) 発生初期のじょう乱の把握。

c) 大規模な積雲や層積雲（クロズド・セルやオープン・セル）の分布状況やその変化の解析。

ロ. 霧や層雲域、積雪域、海氷域の識別。

## 3.2.4 雲頂高度解析

画像処理コンソールを用いて雲を指定し、算出された

雲頂高度はラインプリンター（LP）および XY プロッターによって出力される。雲頂高度には総観規模じょう乱に伴う雲域の活動度や特徴を示す総観雲頂高度と防災上重要なシビアウェザーを伴うメソスケールの積雲や積乱雲の対流活動度をみる局地雲頂高度とがある。雲頂高度解析では出力された雲頂高度値の中から、雲や雲システムの特徴を表わす情報として適切なものを選択する。それらは雲解析図に記入されるとともに、衛星気象解析報における重要な資料として利用者に提供される。なお、雲頂高度を求める方法とその問題点については第4章を参照されたい。

#### 3.2.4.1 各種データの性質と利用法

##### (1) 総観雲頂高度

総観雲頂高度は指定点を中心にして約 150km 平方の領域（切り出し領域）をカバーする一定サンプル数の温度値の最多モード値の温度を高度変換して得られたものである。総観雲頂高度は総観規模のじょう乱に伴う雲域の特徴を示すものであるから、その切り出し領域は同質の雲によって占められていること、およびかなりの広がりをもつことが必要である。

##### (2) 局地雲頂高度

局地雲頂高度は指定点を中心にして約 50km 平方領域をカバーする一定サンプル数の温度の最小値（最低値）を高度変換して得られたものである。局地雲頂高度はシビアウェザーを伴うメソスケールの積乱雲クラスターや積雲列などの特徴を示すものであるから、最低温度すなわち最高雲頂高度を求める。しかしながら、積雲や積乱雲のライフサイクルは1時間未満であることが多く、一般には観測時の状況そのままのデータが利用時に適用されるものではなく、この情報は対流活動のインデックスとして使用するものと考えべきものである。

##### (3) 標準偏差

標準偏差は雲頂高度のパラッキ（凹凸）の程度を示す一つのインデックスで、対流性（lumpy）か層状（smooth）かの一つの目安になる。しかし、凹凸がなくても一様な高度の傾きのある場合や多層雲になっている場合などでは、標準偏差が大きくなるので、必ずしも凹凸の情報を示しているとはいえない。なお、凹凸のインデックスとしてこのほかいくつかのパラメータ（例えば、S 値や E 値など）も考えられているが、現在の雲解析には直接反映されていない（第4章を参照されたい）。

##### (4) ヒストグラム

最多モード値を中心にして左右にそれぞれ10段階の合計21段階に分けた度数分布が数字で出力されており、これによって切り出し領域内の画素の温度分布の正規分布からのずれやピークの状況（2次ピークはあるかなど）

などから、切り出し領域内に海面が含まれていたり、多層の雲域を含んでいないかなどを検討できる。

#### 3.2.4.2 雲頂高度解析雲領域

雲頂高度を求めるべき雲域を総観雲頂高度、局地雲頂高度についてのべる。

##### (1) 総観雲頂高度

###### i) 偏西風帯のじょう乱に伴う雲域

イ、極側の縁が明瞭な高気圧性曲率もつ絹雲の広がり  
a) 前線上のふくらみ b) 閉塞点付近にみられる絹雲の広がり c) 前線帯から離れてみられる絹雲の広がり

###### ロ、比較的幅広い前線性雲バンド

a) 停滞前線に伴う雲バンド b) 前線上の中間規模じょう乱に伴う雲域 c) 活発な塞冷前線に伴う雲バンド d) 閉塞前線に伴う雲バンド

###### ハ、寒域内の正うず度移流に伴う雲域

a) コンマ形雲 b) 輝度の明るい活発な積雲

###### ニ、背の低い低気圧に伴う雲域

a) 四国沖低気圧に伴う雲域 b) 関東南東沖の背の低い低気圧に伴う雲域 c) 北東気流に伴う関東、東北の雲域 d) 発生初期の東支那海低気圧に伴う雲域

###### ホ、中国大陆にみられる組織的な雲域

###### ii) 熱帯じょう乱に伴う雲域

熱帯じょう乱に伴う雲は積乱雲、積雲であり、基本的には局地雲頂高度が主体となるが、かなりの広がりをもつ雲バンドや中心付近の濃密な雲域については総観雲頂高度を求めている。

##### (2) 局地雲頂高度

###### i) 積乱雲クラスター域

a) 海上における顕著なクラスター b) 大雨を伴う日本陸上のクラスター c) 航空路上の積乱雲 d) 熱帯じょう乱に伴う積雲や積乱雲のクラスター

###### ii) 積雲域

a) 冬季寒気の吹出し時に日本海にみられる積雲群、メソスケールのうず巻

###### b) 組織的な積雲域

###### iii) 団塊状の絹雲

一般に絹雲は射出率が小さく、変動も大きいので雲頂高度には誤差がでやすいが、団塊状の絹雲から局地雲頂高度を求め、乱気流域やジェット気流の高さを知ることができる。

#### 3.2.4.3 雲解析図に記入される雲頂高度

雲解析図に記入されるべき雲頂高度データは雲や雲システムの特徴を十分に表現できるように、次のような対象雲域が特に優先される。

イ、雲システムの発達、衰弱の時間変化をみるため、前回観測時に対象とした雲域。



ロ. 新たに発生あるいは発達しつつあり、今後組織化が予想される雲域。

ハ. 重要雲域（例えば、シビアウェザーを伴うとみられる雲域）。

ニ. 航空機の運航上重要とみられる雲域。

#### 3.2.4.4 衛星気象解析報に用いられる雲頂高度

衛星気象解析報の性格からみて国内気象官署にとって重要な雲頂高度が用いられる。そのために、防災上重要な大雨・雪、シビアウェザーを起こす積乱雲クラスター、予報上重要な大陸や黄海、東支那海のトラフに伴う雲システム、日本付近のじょう乱の発生・発達に伴う雲システムなどの雲頂高度およびその時間変化についての情報もり込まれる。

### 3.3 補助解析

補助解析には画像二次処理データ解析と気象データ解析がある。これらの解析は雲画像の解析のみでは得られない気象じょう乱の特徴や大気の状態を把握することによって本解析における雲解析結果の信頼性を高めるために行う。

#### 3.3.1 画像二次処理データ解析\*

画像二次処理データを用いて気象じょう乱や大気状態を解析し、雲や雲システムと対応づけて、その特徴を把握する。

##### 3.3.1.1 風ベクトル解析

MM法およびLF法（第3章参照）で計算された風ベクトルはラインプリンターおよびXYプロッター（ホーラステレオ）で出力される。これらの風ベクトルは30分間隔の4枚の画像を用いた雲の移動から算出されるもので、第3章で述べられているように、主として小積雲や層積雲の移動から計算するMM法と、主として絹雲などの上層雲の移動から計算するLF法がある。これら2つの方法により得られる風ベクトルは時・空間的に平滑化されたものであるため、レーウィンゾンドの風以上にメソスケール以下のじょう乱の影響を含まない総観規模の風を代表しているとみられる。したがって、風ベクトル図から三次元的な流線解析を行うことによって、大気の流れを把握し、

a) 極大風域、b) 水平・鉛直シャー、c) じょう乱に伴う循環、d) 収束域、発散域、e) 変形場、中正点などを解析する。

##### 3.3.1.2 海面水温解析（第5章参照）

全球規模で毎毎に作成される広域海面水温と黒潮域対象の狭域海面水温の各分布図は大気大循環の研究のための基礎資料、大気、海洋間の相互作用による気団変質効

果の研究、台風の発生予想などに用いられるほか、日々の雲解析作業の中で次のように利用される。

a) 寒気の流出に伴い海洋上で広範囲に形成されるセル状雲パターンは気温と水温との差の大小によって、オープンセルあるいはクローズドセルとしてみられるなど、雲の生成原因に関する解析。

b) 雲システムから見られる台風の発達衰弱の解析。

c) 東支那海や四国沖に発生する低気圧に伴う雲システムの発達の解析。

#### 3.3.1.3 雲量分布解析（第6章参照）

5日平均の緯経度 $2^\circ$ 格子点の雲量が上層、下層に分けて出力される。このような雲量分布データは地球の熱収支を求めるために有用で、長期予報、大気大循環の研究に適用されるが日々の雲解析作業においては、大規模な流れの場を把握し、解析の連続性を保つために有効なデータである。上層、下層についてそれぞれの特徴に応じた解析が行なわれる。

##### i) 上層

イ. 超長波や長波の解析、ブロッキング現象などを把握する。

ロ. ITCZの平均的な活動状況の解析。

ハ. 太平洋高気圧の推移の解析。

##### ii) 下層

イ. 停滞前線の変動の解析。

ロ. ITCZの平均的な活動状況の解析。

ハ. 太平洋高気圧の推移の解析。

#### 3.3.2 気象データ解析

各種雲解析に一貫性、連続性をもたせ、適切な雲解析を行うために、気象データ解析を行い、大気の立体構造を把握する。また雲頂高度データの計算に必要な気団指定用データを作成するため、気象データによる気団解析を行う。このためにFAX図やADESSデータによって、次の点に着目して気象データ解析を行う。

i) 気象じょう乱や大気の状態を解析し、着目すべき雲や雲システムに対する特徴や雲の生成に関する情報を得る。

ii) 各種解析結果に疑問や矛盾があるときに検討する。

iii) 雲形判別のための参考資料としての天気分布を把握する。

iv) 雲頂高度計算のための気団指定用データを作成する。

##### 3.3.2.1 各種FAX図の解析

FAX図は雲や雲システムの構造や生成原因としての

\* 雲頂高度解析を除く

三次元的な大気の流れや状態を理解するために解析される。

i) 初期値の検討

ii) じょう乱の立体構造を把握する。

iii) 天気分布との対応をみる。

ここでは雲解析を行うにあたり、特に着目すべき気象要素について以下にのべる。

(1) 地上天気図

地上天気図は豊富な観測値にもついた多様な要素が含まれており、雲解析を行うにあたり、最も参考にされる資料である。地上天気図は大気の立体構造の反映されたものであるから、上層天気図とも関連づけながら解析する。

イ. 各種気象じょう乱と雲や雲システムとの対応についての把握

ロ. 雲解析における参考資料としての天気分布および雲形の把握

(2) うず度分布図

うず度は保存性があり、雲システムの発達過程に密接な関係があるので、雲システム解釈上重要な物理量であり、雲解析上極めて有効な役割を有する。うず度と雲システムとの対応を示す典型的な例としてコンマ形雲がある。

(3) 鉛直流分布

総観規模の雲システムの形成、発達には上昇流と密接な関係があるので、うず度分布、温度分布、水蒸気量分布などとの対応をみながら解析する。

(4) ジェット気流

ジェット気流は予報上、航空業務上特に重要であり、雲画像上でも特徴ある雲パターン（例えばトランスパースラインや Ci ストリークなど）としてみられることから、ジェット解析は極めて重要なものとなる。またシビアウェザーを伴う積乱雲クラスターや積乱雲列と下層ジェット気流との対応について把握する。

(5) 温度場

温度場から大気の傾圧性を知ることができ、また他の資料（高度場、風ベクトル）と併用することによって寒気暖気移流の場を把握できるので、雲システム（例えば前線波動上のふくらみ、オープンセルやクローズドセル発生域など）との対応について解析する。

(6) 水蒸気量分布図

上昇流域であっても水蒸気量が少なければ、総観規模での雲システムとしての発達は考えられない。水蒸気量分布（FAX 図上では 700mbT-Td およびその他の高層天気図から解析）はうず度、鉛直流、温度場などと併用して、雲システムとの対応について解析する。また下

層の水蒸気量分布から湿舌の状況を把握し、集中豪雨を伴う雲システム形成の場を解析する。

(7) トラフとリッジ

トラフやリッジの近傍には特徴のある雲や雲システムがみられるため、500mb 天気図からトラフとリッジを検出し、他の解析資料も併用して、雲システムとの対応を解析する。

(8) 等高線（高層風）

各高層天気図から各等圧面におけるトラフ、リッジや流れの場を把握し、雲システムとの対応について解析する。

3.3.2.2 アデスデータの解析

アデスデータには地上（海上）気象観測、高層気象観測、レーダー観測などのデータがある。これらのデータは平常時には雲解析を行う際の参考となる気象実況の把握と雲解析結果の確認のための参考資料となるが、異常気象時にはさらに高層資料やレーダー観測の解析結果なども雲解析のための参考資料となる。

3.4 総合解析

総合解析は各種解析で得られた結果を総合的に解析することによって雲や雲システムに対する最適な雲解析を行うために行う。その結果は雲解析図と衛星気象解析報に表現される。総合解析にあたっては次の事項に留意して行う。

i) 予備解析による雲や雲システムの解析優先順位にしたがって、解析結果を総合する。

ii) 予備解析時には把握しえなかった変化の激しい雲や雲システムに対しては本解析で得られた各種解析結果をもとに総合する。

iii) 雲や雲システムに対する雲解析上の一貫性と連続性がくずれた場合や各種解析結果に矛盾が生じた場合には統一した見解にまとめる。



























iv) 得られた雲解析結果を雲解析図や衛星気象解析報に表現する方法について検討する。

v) 雲解析図、衛星気象解析報の作成。

3.5 雲解析図

前節までに述べた各種解析結果を総合し、雲の最適な解釈として表現した図が雲解析図である。雲解析図の原図は原則として 2,000 万分 1 ポーラーステレオに投影変換された画像を用い、解析領域はおおよそ 50°N~5°N, 90°E~170°W の範囲である。雲解析図は雲の特徴を直接、間接に表現することによって、雲や雲システムを媒体にして、気象じょう乱の特徴や大気構造を利用者に伝達するものである。

雲解析図は 1 日 4 回 (00Z, 06Z, 12Z, 18Z)、JMH FAX で放送され、これにより気象官署、防災業務関係

- (i) Symbols
-  — Thick Cirriform Cloud
  -  — Thin Cirriform Cloud
  -  — Middle Level Cloud
  -  — Undeveloped Cumuliform Cloud
  -  — Cumulus Congestus or Cumulonimbus without Cirrus Plume
  -  — Cumulonimbus with Cirrus Plume
  -  — Stratocumuliform Cloud
  -  — Stratus and/or Fog
  -  — Cirriform Cloud
  -  — Cirriform Cloud
  -  — Cirriform Cloud
  -  — Cirriform Cloud
  -  — Cirriform Cloud
  -  — Cirriform Cloud
  -  — Cirriform Cloud
  -  — Cirriform Cloud
  -  — Cirriform Cloud
  -  — Cirriform Cloud
  -  — Cirriform Cloud
  -  — Cirriform Cloud
  -  — Cirriform Cloud
  -  — Cirriform Cloud
  -  — Cirriform Cloud
  -  — Cirriform Cloud
  -  — Cirriform Cloud
  -  — Cirriform Cloud

Note: \*—When more than one type of cloud exists, cloud type symbols are shown from left to right (or from up to down) within the boundary in a decreasing order of cloud amount.

When the lower cloud area can be clearly identified through the upper cloud area, the lower cloud area within the boundary is shown by broken lines.

\*\*—Cloud amount is more than 80% unless particularly specified.

Fig. 29 a) Abbreviation and Symbols used in the nephanalysis

## (ii) Cloud Amount

- OPN (open) : Cloud amount is less than 20%  
 MOP (mostly open) : Cloud amount is between 20% and 50%.  
 MCD (mostly covered): Cloud amount is between 50% and 80%.  
 CVD (covered) : Cloud amount is more than 80%.

## (iii) Others

- UNKNOWN : Extence of cloud is unknown.  
 OPEN CELL: Open Cellular Clouds  
 CLSD CELL: Closed Cellular Clouds

## (iv) Symbolic Letters

- (A), (B), (C): These symbolic letters refer to the corresponding items of Guidance Information.

Note: The Guidance Information given on the nephanalysis charts supplements the information on the cloud systems on the charts. For example, information such as the change of cloud conditions and of cloud systems in time derived from successive GMS observations is given as Guidance Information.

**Fig. 29 b)** Abbreviation and Symbols used in the nephanalysis

者、航空、船舶、交通、電力機関、漁業関係者などに対し、有効な気象情報として提供される。

## 3.5.1 雲解析図の要件

前にのべたように雲解析図はGMS データから抽出された有効な気象情報を利用者に伝える媒体であり、以下に掲げる要件を備える必要がある。

## (1) 国際性

利用者は国内だけでなく、国外でも利用されること、および国際協力の点からも記号、用語などは原則として国際慣習に従う。ガイダンス情報は英文とする。

## (2) 客観性

利用者に雲解析上混乱を与えないように、解析に対しては客観性、一貫性が保たなければならない。

## (4) 連続性

雲や雲システムの解析について不連続があってはならない。しかしながら、日中は可視と赤外の画像を用いて解析するのに対し、夜間は赤外画像のみで解析を行うので、上層雲の下に存在する中、下層雲や下層雲などの識別が困難な場合があるので、昼間と夜間の解析である程度の不連続が生ずることはやむえない。

## (5) 適確な表現

## (6) 簡明な表現

## 3.5.2 雲解析図の表現法

各種解析で得られた情報を総合した結果は利用者が容易に理解できるように、雲解析図上にはできるだけ簡明に表現される必要がある。このため解析結果は以下にのべる輪郭線、記号、略語、符号、数値およびガイダンス情報によって表現される。(Fig. 29 参照)

## (1) 輪郭線による表現

輪郭線は雲システムの構造および特定の気象現象を示唆する雲形や雲形の組み合わせの境界を表わし、輪郭線の中には雲形、雲量、雲頂高度などが記入される。輪郭線の種類としては次のようなものがある。

## a) 細い実線：雲域の境界を示す。

b) 太い実線：厚い雲を伴い組織的に広がった雲量が80%以上の雲域を示し、線に沿って内側に、ステップを付す。

c) 波状曲線：活発な対流活動があると判断された雲量が80%以上の雲域の境界を示す。

d) 破線：雲が多重構造をしており、上の雲の層を通して下の雲の境界が明瞭に識別でき、雲システムを理解

するのに都合がよい場合に用いる。

- e) 突起付破線（便宜上の呼称）による表現  
海水域の境界に用いる。
- (2) 記号による表現
  - i) 雲形 (3.2.1.3 参照)
  - ii) 雲パターン

- a) 循環の中心(熱帯じょう乱, 偏西風帯上の低気圧のじょう乱)
- b) 積雲系の雲列
- c) 線状の絹雲系の雲
- d) トランスバースライン
- e) 雲の筋
- (3) 略語, 符号による表現
  - i) セル状パターン
    - a) オープン・セル
    - b) クローズドセル

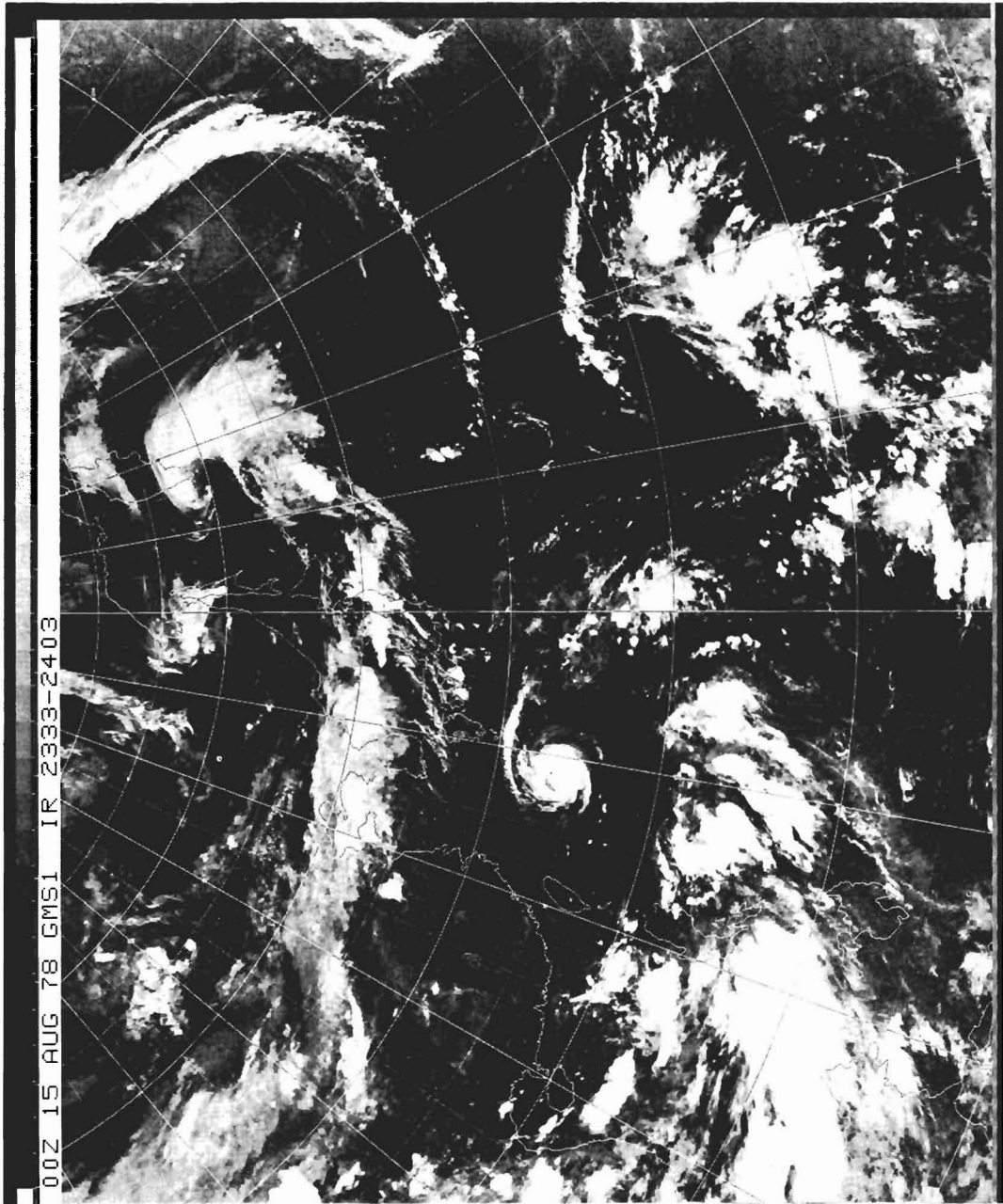


Fig. 30 a) Polar-stereo projected Infrared imagery for 0000 GMT 15 Aug. 1978

## ii) 雲 量

a) OPN b) MOP c) MCO d) CVD

## iii) そ の 他

a) UNKNOWN: 雲の存在が不明の場合に用いる。

## (4) 雲 頂 高 度

総観雲頂高度値と局地雲頂高度値が用いられ、それぞ

れ指定点に×印を記し、100m 単位で記入される。

a) 総観雲頂高度値の場合は、モード法による測定値と標準偏差値を記入する。

×87±07

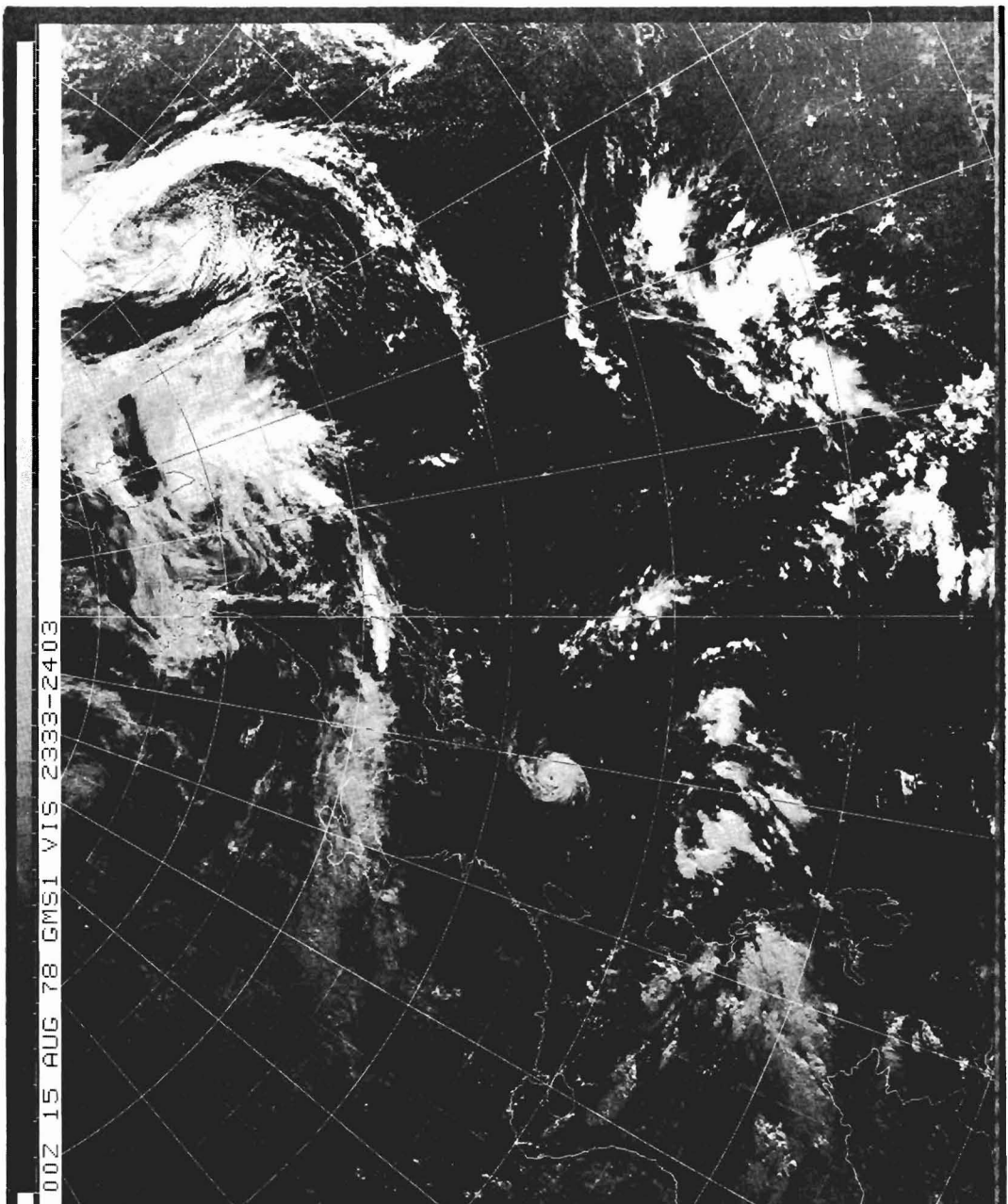


Fig. 30 b) Polar-stereo projected Visual imagery for 0000 GMT 15 Aug 1978

b) 局地雲頂高度値の場合は、最低温度法による測定値を記入する。

×93

(5) 英文字符号

ガイダンス情報を書く際に引用する符号は丸印で囲んで英文字を用いる。①, ②, ③, ……

3.5.3 ガイダンス情報 (GI) の表現

GI は雲解析図の中では表現することが難しく、しかも利用者に伝達したい情報であり、雲解析図全領域内の情報で、国際性を考慮して英文で表現される。以下ガイダンス情報で表現される事項を示す。

(1) 台風、低気圧、前線など防災上重要な現象に伴う

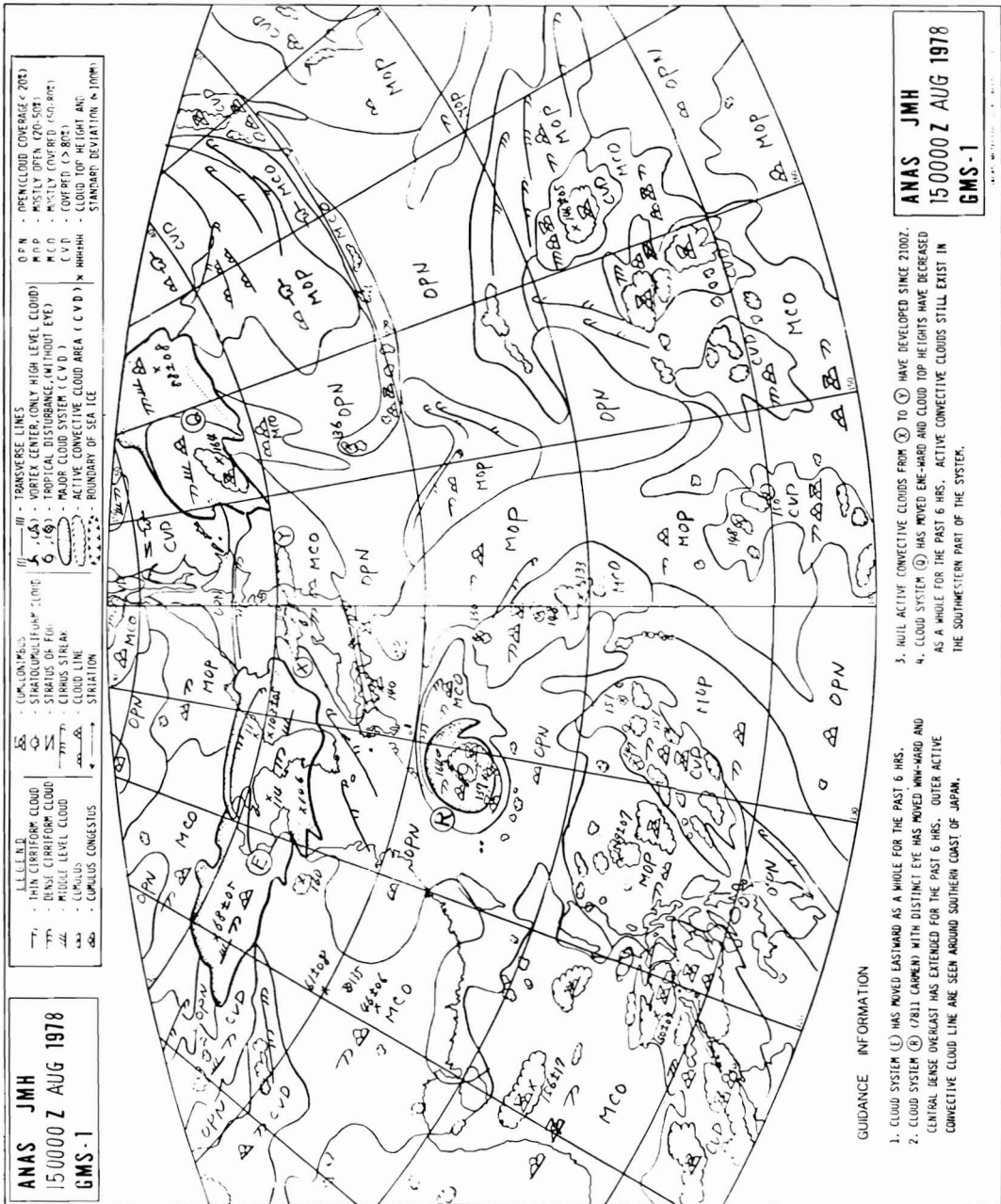


Fig. 31 Nephanalysis chart processed from the imagery in Fig. 30

雲や雲システムで利用者に注意を喚起したい事柄。

(2) 雲および雲システムの発達、衰弱過程についての時系列解析の結果

(3) 過去の解析結果にもとづいて雲や雲システムの変化から種々の気象現象を間接的に記述する。

一例として1978年8月15日00Zの画像 Fig. 30-a, b 図をもとにして作成された雲解析図を Fig. 31 に示す。

### 3.6 衛星気象解析報

総合解析の後、雲解析図（GI を含む）の中で表現できないが、国内気象官署にとって重要と考えられる情報は衛星気象解析報として気象庁予報課に伝達される。

#### 3.6.1 衛星気象解析報の特徴

① 国内気象官署の実況把握、予報の精度向上に役立つものである。

② 雲解析図（GI を含む）と異なり、国際的表現法や術語にとらわれない表現や解釈ができる。

③ 雲や雲システムから得られる予測的な情報も含めることができる。

④ 原則として1日4回雲解析図作成時に出されるが、必要に応じて臨時に出すこともできる。

#### 3.6.2 衛星気象解析報の要件

① 雲解析図（GI を含む）と内容的に矛盾しないこと。

② DPC で得られる資料、なかでも特殊処理資料（マルチカラー、ループフィルムなど）から抽出された情報を基本にした総合解析の結果である。

③ 連続性、一貫性が保たれ、簡明で適格な表現であること。

#### 3.6.3 衛星気象解析報の対象となる事項

##### (1) 直接防災に関する事項

イ. 日本本土に接近あるいは上陸した台風の中心位置、強度決定のための見積り、雲システム（中心付近の濃密な厚い雲域や外側雲バンドなど）について、およびその時間変化（移動、発達、衰弱）などについての情報。

ロ. 集中豪雨をもたらすメソスケールの積乱雲クラスターや積乱雲列の時間変化と移動などの情報。雲頂高度分布、高雲頂高度領域の広さ、鉛直シャー、収束、発散状況などの情報。

ハ. 集中豪雪に関連する冬季日本海に発生するうず状雲列や積雲、積乱雲列についての情報やその時間変化（移動、発達、衰弱）などについての情報。

ニ. 乱気流を伴うことのある山岳波状雲、ジェット絹雲や霧領域などの情報。

(2) 地上・高層解析に参考になる事項（特にデータの少ない海上の情報）

イ. 衛星画像から抽出される上層のトラフ、リッジ、

地上の前線や尾根線などの位置を示唆する雲パターンの情報。

ロ. コンマ形雲、enhanced Cu、前線性雲バンド、ジェット絹雲についての情報やその時間変化。

ハ. 本土から離れた位置にある台風の中心位置や強度決定のために参考になる情報。

ニ. ループフィルムや風ベクトルから得られる流線解析によって、収束、発散域、リッジ、トラフの位置に関する情報。

ホ. 寒気吹出しに伴う積乱雲や積雲の雲列の雲量とその時間変化。

ヘ. Easterly Wave に伴う雲システムの時間変化。

(3) 予報上重要な総観規模またはそれ以下のスケールのじょう乱に伴う雲や雲システムの情報

イ. 総観規模での低気圧発生、発達過程に伴う雲システムについての情報

ロ. 中間規模じょう乱としての土佐沖低気圧や台湾低気圧の発生を示唆する雲パターンの推移や下層の循環を示す雲の動き。

ハ. 台風に伴う雲システムに関する情報。

#### 3.6.4 衛星気象解析報の図表類による表示

衛星気象解析報は電話 FAX で伝達されるため、図表類を用いた情報は特に有用である。ここではその具体例についていくつかのべる。

##### (1) マルチカラーデータ解析による資料

情報としては、a) 強調表示法によるじょう乱の構造を示唆する雲パターン分布 b) 特定温度レベル領域の情報とその時系列解析による情報 c) VIS と IR の重ね合わせによってえられる情報、などがある。

##### (2) 雲頂高度データ

雲頂高度 LP 出力のデータそのままでも情報価値があるが、例えば台風中心付近や防災上重要な積乱雲クラスターや積雲列などについて等値線（等温線）表示をすることによって詳細な温度分布をえられ、アメダスやレーダーと併用してさらに有効な情報として役立つ。

またマルチカラーデータ解析で求めたスケッチ図に雲頂高度データを加えて表示することによって、図の内容を豊富にすることができる。

##### (3) ループフィルム解析

風ベクトル図解析などと併用して、ループフィルム解析からえられる雲の移動、さらに収束、発散域などの情報を表示することができる。

##### (4) 衛星気象解析報としての雲解析図

雲解析図の中では十分に表現できないが、国内利用の立場で重要な情報を衛星気象解析報として局所的な雲解析図を作成することによって、詳細な重点的な情報をう



ることができる。

### 3.7 再解析

本解析終了後に入手された画像、画像二次処理データ、気象データなどを加え、本解析に用いたマルチカラーデータ解析、ループフィルム解析、風ベクトル解析などのデータを整理し、再検討した結果必要があれば雲解析図（GIを含む）や衛星気象解析報の修正を行う。この結果は次の予備解析や本解析に反映される。

### 4. おわりに

以上現業作業における雲解析の概要についてのべたが、1978年4月から、部分画像を用いた解析図が放送され、6月から正式運用としてのポーラステレオ投影変換画像による解析が開始された。しかしルーチンベースでの業務はまだ走り始めたばかりで、十分に確立されていないものもある。利用者が雲解析図を通して大気構造を理解するにただけの内容となっているかどうか。雲頂高度計算の際の気団指定の問題、雲の凹凸を表わす factor の問題等々、今後さらに検討してゆかなければならないであろう。1日8回出力される画像をながめてみると、従来の気象解析を十分裏づけるものとまだ解明されていない新しい発見がある。雲解析の結果が気象業務関係者の気象解析や防災面での有効な情報となれば、GMSの役割は大きなものとなろう。

なお、ここに引用された写真は主として寒候期のもので、暖候期のものについては資料整理がすすんでいないた

め、ほんの一例をあげたにすぎないことを了解して頂きたい。今後さらに資料が集積された段階で、別の機会に種々紹介されることであろう。

### 参 考 文 献

1. 気象衛星センター，1978：解析システム運用規程書
2. 気象衛星センター，1978：雲解析作業基準書
3. 気象衛星センターデータ処理部解析課，1978：各種手引書
4. 気象庁気象衛星課，1975：静止気象衛星計画
5. Anderson, R. K., et al., 1974: Application of Meteorological Satellite Data in Analysis and Forecasting. ESSA Technical Report NESC 51
6. 気象庁気象衛星課，1976：予報と解析への気象衛星資料の利用（上記 NESC 51 の日本語版）
7. Anderson, R. K., et al., 1973: The Use of Satellite Pictures in Weather Analysis and Forecasting. WMO Technical note No. 124
8. Dvorak, V. F., 1973: A Technique for the Analysis and Forecasting of Tropical Cyclone Intensities from Satellite Pictures. NOAA Technical Memo. NESC 45
9. Dvorak, V. F., 1975: Tropical Cyclone Intensity Analysis and Forecasting from Satellite Imagery. Monthly Weather Review Volume 103
10. Gray, W. M., 1975: Tropical Cyclone Genesis. Atmospheric Science Paper No. 234