

ISSN 0388-9553

気象衛星センター技術報告

特 別 号

# TOVSデータ処理システムの解説

---

気象衛星センター

昭和58年3月

## 技術報告特別号 ‘TOVSデータ処理システム の解説’ の刊行にあたって

近年におけるエレクトロニクスをはじめとする科学の全分野での発達は、すさまじいと言ってよいほどのものがあり、産業界や社会の構造そのものを変えるような、大幅な変革が起りつつある。このことは気象界においても例外でなく、その筆頭が電子計算機と気象衛星の参入であろう。

このうち気象衛星については早くから、広大なデータ空白域であるところの、地表7割を占める海上データを供給し、気候学や数値予報の発展に寄与することが期待された。このため、米国では1969年実験用極軌道気象衛星ニムバス3を、また、1974年には静止気象衛星 SMS を打ち上げ、続いて日本でも1977年静止気象衛星ひまわりを打ち上げて衛星時代に突入した。

気象衛星の利用方法についてはまだ開発段階のところも多いが、時代の波は確実にその方向に向っているように見える。実際日本、米国、欧州における静止気象衛星業務はほぼ定着しつつある。一方、極軌道気象衛星については、1978年、第3世代の衛星であるタイロスNが打ち上げられ、その搭載測器が大幅に改良されたのをきっかけに、日本でもこのデータをルーチ的に処理することになった。

このため、気象衛星センターでは1979年からほぼ3ケ年の計画で、タイロス衛星シリーズのデータを直接受信し、大気鉛直温度、水蒸気分布、海面温度、雲量、雲頂高度等を算出するためのソフトウェアシステムの開発を進めてきた。もとより、米国などに較べればはるかに経験も浅く、スタッフも少ないため、いくつかの改良すべき点も残しているが、1982年3月にはシステムがほぼ完成し、上記のようなデータをルーチ的に出力できるようになった。これらのデータは現在本庁の予報部や海洋課にルーチ的に送られ、使用、または業務実験に供されている。

現在もまだ新しいモジュールの追加や改造などの作業が進んでおり、今後もユーザーの意見などを取り入れて次々と改良が加えられていくことと思われるが、システムがほぼ完成した今、本システムを構成する各プログラムの詳細、その理論的背景、問題点等をまとめた総合報告を、気象衛星センター技術報告の特別号として、ここに刊行する次第である。この特別号が本システムから出力されるデータの特徴を把握する上での一助となり、また、将来のよりよいシステム作りのための礎となれば幸いである。

昭和58年3月

気象衛星センター所長

伊藤 宏

## 目 次

1. TOVS データ処理システムの概要	青 木 忠 生	1
2. 受信およびオリジナル HRPT データ磁気テープ作成	高 山 豊 治	11
3. HRPT データの編集・校正	中 島 忍, 青 木 忠 生	25
4. TIROS-N 衛星シリーズの軌道計算	中 島 忍, 青 木 忠 生	49
5. HIRS 各視野の緯経度および部分雲量等の計算	青 木 忠 生, 中 島 忍	57
6. 鉛直温度, 水蒸気, 海面温度, 雲頂高度等の計算	青 木 忠 生, 中 島 忍	67
7. 表面温度場の客観解析	青 木 忠 生, 中 島 忍	105
8. 初期値の更新	青 木 忠 生, 中 島 忍	111
9. 係数決定用データの作成	中 島 忍, 青 木 忠 生	123
10. 回帰係数の決定	青 木 忠 生, 中 島 忍	133
11. 鉛直分布データの ADESS 配信データ作成および保存累積	中 島 忍, 青 木 忠 生	141

## Contents

1. Outline of the TOVS Data Processing System	Tadao Aoki	1
2. Receiving and Magnetic Tape Recording of Original HRPT Data	Toyaji Takayama	11
3. Editing and Calibration of HRPT Data	Shinobu Nakajima, Tadao Aoki	25
4. Orbit Prediction for TIROS-N Satellite Series	Shinobu Nakajima, Tadao Aoki	49
5. Determination of the Location and Partial Cloud Amount in Each HIRS Spot	Tadao Aoki, Shinobu Nakajima	57
6. Determination of the Vertical Temperature, Moisture, Cloud-Top-Height, and other Meteorological Parameters	Tadao Aoki, Shinobu Nakajima	67
7. Objective Analysis of Sea Surface Temperature	Tadao Aoki, Shinobu Nakajima	105
8. Update of Initial Values	Tadao Aoki, Shinobu Nakajima	111
9. On the Data Compilation for the Determination of the Regression Coefficient	Shinobu Nakajima, Tadao Aoki	123
10. Determination of the Regression Coefficients	Tadao Aoki, Shinobu Nakajima	133
11. Coding and Archiving of Atmospheric Parameter Retrieval Data	Shinobu Nakajima, Tadao Aoki	141

# 1. TOVS データ処理システムの概要

## Outline of the TOVS Data Processing System

青木 忠生

Tadao Aoki

### Abstract

In this article we have summarized an outline of the sounding instruments of TIROS-N, and the theoretical background of the retrieval of the atmospheric temperature, moisture and other parameters. The outline of the description in each chapter of this special volume of MSC Technical Note has also been given.

### 1. TIROS-N 衛星シリーズ観測システム

TIROS-N 衛星シリーズが搭載する測器のうち本センターでの鉛直分布算出処理に関与する測器は次のようなものである。

#### (1) AVHRR (Advanced Very High Resolution Radiometer)

本来画像を得るための測器でその特性を Table 1 にまとめて示す。ただし、TIROS-N, NOAA-6 衛星では第5チャンネルはなかった。第2チャンネルの方が1チャンネルより海陸の区別が明瞭に見える。また、3チャンネルは、4, 5チャンネルに比べ大気中の水蒸気の影響が少なく、海面温度の算出には有利なのであるが、太陽光の影響が大きく、必ずしもこのチャンネルを使うことが得策とは限らない。本センターのシステムにおいては計算時間、記憶容量などの制限から5チャンネルのうちの1チャンネルだけ

を使い部分雲量計算などを行う。このチャンネルの用途は、次に述べる HIRS/2 (High Resolution Infrared Radiometer Sounding の2世代目)の各視野(直下の直径は17 km)の中の雲量等の計算、鉛直温度、海面水温、水蒸気量等を求めるためのチャンネルの1つとして使うこと、ランドマークと AVHRR 画像のマッチングによって衛星の姿勢のチェックを行うこと、などである。

#### (2) TOVS (TIROS Operational Vertical Sounding)

これは鉛直分布計算の主役となる測器で次の3つの測器の総称である。

SSU (Stratospheric Sounding Unit)

HIRS/2

MSU (Microwave Sounding Unit)

ここで SSU は主として成層圏の温度を測定するためのもの、HIRS/2 は主として晴天域(少雲量)の温度、水蒸気量、雲頂高度等の測定に使われ、MSU は曇天域

Table 1 Characteristics of AVHRR channels.

チャンネル番号	直下での分解能	波長 ( $\mu\text{m}$ )	目的
1	1 km	0.55—0.90	日中の雲画像 水・陸・氷・雪面の検出
2	1 km	0.725—1.10	チャンネル1と同じ
3	1 km	3.55—3.93	表面温度、夜の雲画像
4	1 km	10.5—11.5	表面温度、昼夜の雲画像
5	1 km	11.5—12.5	4と同じ

(多雲量)での温度測定に主として使われる。TOVS 各測器のチャンネル特性を Table 2 に示す。ここで出てくる荷重関数については後に触れる。

AVHRR と TOVS の走査特性を Table 3 に示す。ここで AVHRR の走査は回転するミラーによるもので

走査の方向は衛星の進行方向に対して右から左である。一方、HIRS/2, MSU, SSU は左から右方向に走査が行なわれる。

HIRS/2, SSU, MSU 各測器の走査パターン及び瞬時視野の大きさは Fig. 1 のようになっている。Table 3

Table 2 Characteristics of TOVS channels

HIRS チャンネル 番	中心波数 (cm <sup>-1</sup> )	中心波長 (μm)	主 要 な 吸収気体	荷 重 関 数 の ピークの位置	各チャンネルの主な目的と特性
1	668	15.00	CO <sub>2</sub>	30 mb	鉛直温度分布
2	679	14.70	CO <sub>2</sub>	60 mb	
3	691	14.50	CO <sub>2</sub>	100 mb	
4	704	14.20	CO <sub>2</sub>	400 mb	
5	716	14.00	CO <sub>2</sub>	600 mb	
6	732	13.70	CO <sub>2</sub> /H <sub>2</sub> O	800 mb	
7	748	13.40	CO <sub>2</sub> /H <sub>2</sub> O	900 mb	
8	893	11.10	H <sub>2</sub> O	地表	表面温度, 雲の検出
9	1,028	9.70	O <sub>3</sub> /H <sub>2</sub> O	25 mb	オゾン量
10	1,217	8.30	H <sub>2</sub> O	900 mb	水蒸気量鉛直分布
11	1,364	7.30	H <sub>2</sub> O	700 mb	
12	1,484	6.70	H <sub>2</sub> O	500 mb	
13	2,190	4.57	N <sub>2</sub> O	1,000 mb	比較的高温な大気の鉛直温度分布
14	2,213	4.52	N <sub>2</sub> O	950 mb	
15	2,240	4.46	CO <sub>2</sub> /N <sub>2</sub> O	700 mb	
16	2,276	4.40	CO <sub>2</sub> /N <sub>2</sub> O	400 mb	
17	2,361	4.24	CO <sub>2</sub>	5 mb	表面温度, 雲の検出 8チャンネルより雲の透過度がよい, 太陽光の反射はかなり含まれる 日中における雲の検出
18	2,512	4.00	N <sub>2</sub> /CO <sub>2</sub> /N <sub>2</sub> O	地表	
19	2,671	3.70	N <sub>2</sub> O/H <sub>2</sub> O	地表	
20	14,367	0.70	H <sub>2</sub> O	地表	

MSU	中心周波数 (GHz)	主 要 な 吸収気体	荷 重 関 数 の ピークの位置	各チャンネルの主な目的と特性
1	50.31	O <sub>2</sub> /H <sub>2</sub> O	地表	地表の射出率, 雲の透過率 雲の影響をあまり受けないので 曇天域の温度分布に使用
2	53.73	O <sub>2</sub>	700 mb	
3	54.96	O <sub>2</sub>	300 mb	
4	57.95	O <sub>2</sub>	90 mb	

SSU	中心波長 (μm)	主 要 な 吸収気体	荷 重 関 数 の ピークの位置	各チャンネルの主な目的と特性
1	15.0	CO <sub>2</sub>	15.0 mb	成層圏の鉛直温度分布
2	15.0	CO <sub>2</sub>	4.0 mb	
3	15.0	CO <sub>2</sub>	1.5 mb	

Table 3 Characteristics of the scanning of TIROS-N radiometers.

	AVHRR	HIRS/2	SSU	MSU
チャンネル数	可視1, 近赤1, 赤外3(2)	可視1, 赤外19	赤外3	マイクロ4
走査巾	±55.4°	±49.5°	±40°	±47.5°
スキャンタイム	1/6 sec	6.4 sec	32 sec	25.6 sec
ステップ数	2048	56	8	11
ステップ角	0.054°	1.8°	11.4°	9.47°
ステップタイム	0.0813 msec	0.1 sec	4	1.84 sec
視野角	1.3 ミリラジアン	1.25°	10°	7.5°

から分るように AVHRR の走査幅は HIRS/2 よりやや大きく、スポットの数も HIRS/2 が56個1ラインに対して2048/ラインと多い。Fig. 1 に示されているように HIRS/2 と SSU はキャリブレーションデータ取得のため256秒毎に1回それぞれ19秒及び32秒ほど地球の観測を中止し、宇宙空間と衛星内蔵の黒体を観測する。MSU は11スポットの地球撮像が終了と急速回転して宇宙空間と衛星内黒体を観測する。したがって MSU は1ライン毎にキャリブレーションデータを取得するのでよくキャリブレーションピリオドというものを持たない。

2. 理論的背景

大気中の気体や微粒子、海面や地面はその温度に応じて赤外線やマイクロ波を放射している。もちろん同時に吸収や、反射、散乱も行なう。大気のある微小量  $\rho(p)dp$  から放射される放射量  $\delta I_\nu$  は単位立体角当り

$$\delta I_\nu = k_\nu \rho(p) B_\nu(T) dp \tag{1}$$

と書ける。ここで  $R_\nu$  は波数  $\nu$  での吸収係数、 $p$  は圧力、 $\rho$  はその放射を放射している気体の密度、 $T$  は温度、 $B_\nu$  はプランクの関数である。これが大気上端の衛星に届くまでには  $\tau_\nu$  分だけ減衰する。ここで  $\tau_\nu$  は大気上端からその微小気体までの透過率で

$$\tau_\nu(p) = \exp\left(-\int_0^p k_\nu \rho dp\right) \tag{2}$$

と書ける。全大気が放射するものの総和は

$$\int_0^{p_s} \delta I_\nu \tau_\nu dp = -\int_0^{p_s} B_\nu(T) \frac{\partial \tau_\nu}{\partial p} dp \tag{3}$$

となる。添字 s は地表の値であることを示す。(3)に地表面から放射されたものを加えると衛星が観測する放射量

$R_\nu$  になる。すなわち

$$R_\nu = \varepsilon_s B_\nu(T_s) \tau_\nu(p_s) - \int_0^{p_s} B_\nu(T) \frac{\partial \tau_\nu}{\partial p} dp \tag{4}$$

である。 $\varepsilon_s$  は地表の射出率である。

(4)式の第2項を見ると  $\partial \tau_\nu / \partial p$  という荷重をかけながら各層のプランクの関数を積分したものになっている。その意味で  $\partial \tau_\nu / \partial p$  を荷重関数という。TIROS-N 衛星の測器については Fig. 2 のようになっている。この図の下層の方がゼロになっているものは下層で  $\tau_\nu$  がゼロであることを示す。すなわち(4)式の第一項の地表からの放射は途中ですべて減衰してしまい、衛星には届かないことを示す。

$R_\nu$  の中には  $\partial \tau_\nu / \partial p$  の最も大きい層の  $B_\nu(T)$  の(すなわち温度  $T$  の)情報が最も多く含まれているから  $\partial \tau_\nu / \partial p$  のピークの位置の異なるいろいろなチャンネルを組み合わせれば、大気各層の温度の情報を取り出せることが期待される。このことを以下のような式の展開で示してみよう。

$B_\nu(T)$  をある温度  $T^0$  のまわりに次のように展開する

$$B_\nu(T) \simeq B_\nu(T^0) + \frac{\partial B_\nu}{\partial T} \Delta T, \tag{5}$$

$$\Delta T = T - T^0.$$

これを(4)式に代入すると

$$y_\nu = R_\nu - R_\nu^0 = \varepsilon_s \frac{\partial B_\nu}{\partial T} \Delta T_s \tau_\nu(p_s) - \int_0^{p_s} \frac{\partial B_\nu}{\partial T} \frac{\partial \tau_\nu}{\partial p} \Delta T dp \tag{6}$$

となる。ここで

$$R_\nu^0 = \varepsilon_s B_\nu(T_s^0) \tau_\nu(p_s) - \int_0^{p_s} B_\nu(T^0) \frac{\partial \tau_\nu}{\partial p} dp \tag{7}$$

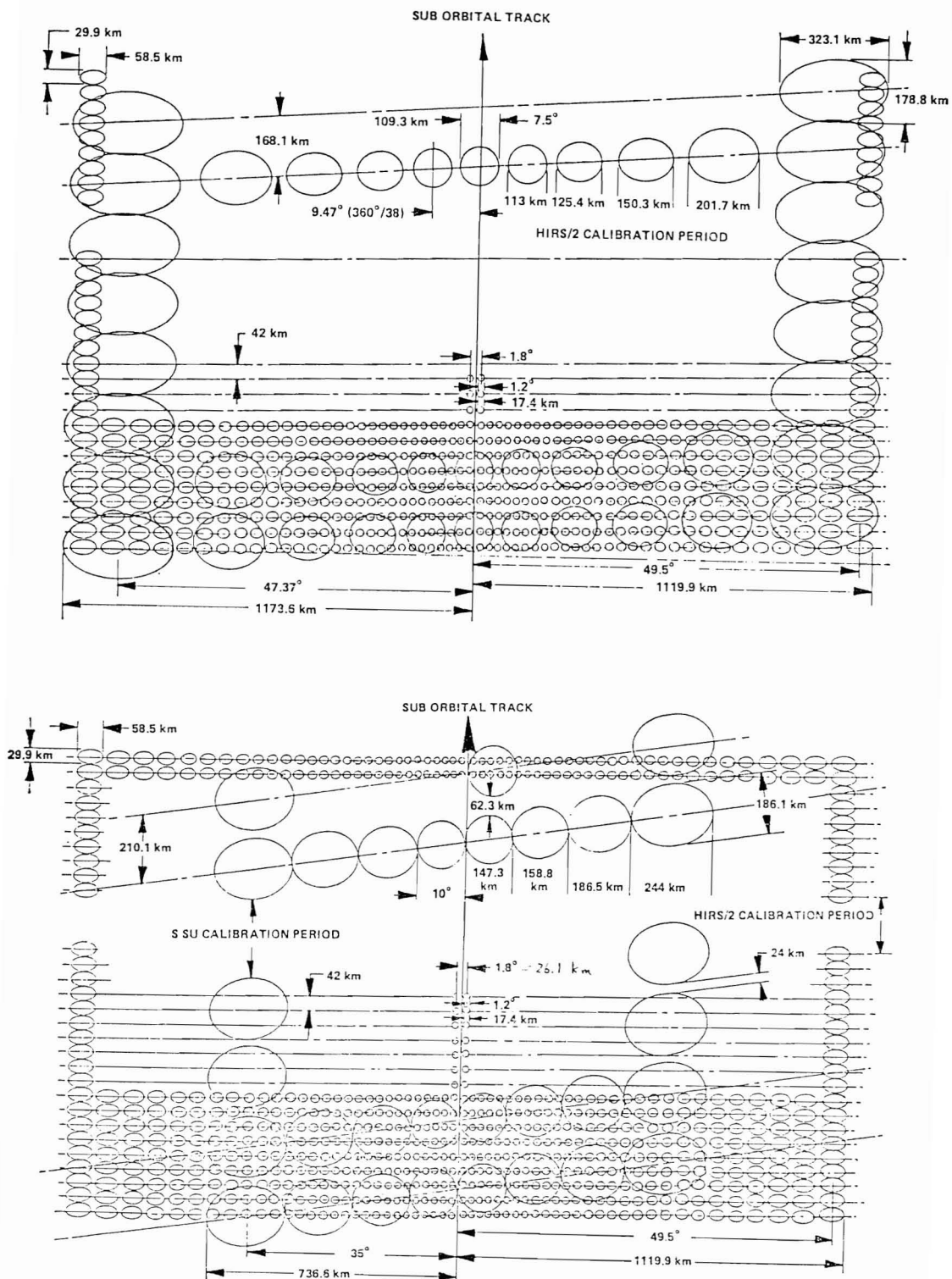


Fig. 1 Intercomparison of the footprints of HIRS and MSU (upper) and HIRS and SSU (lower).

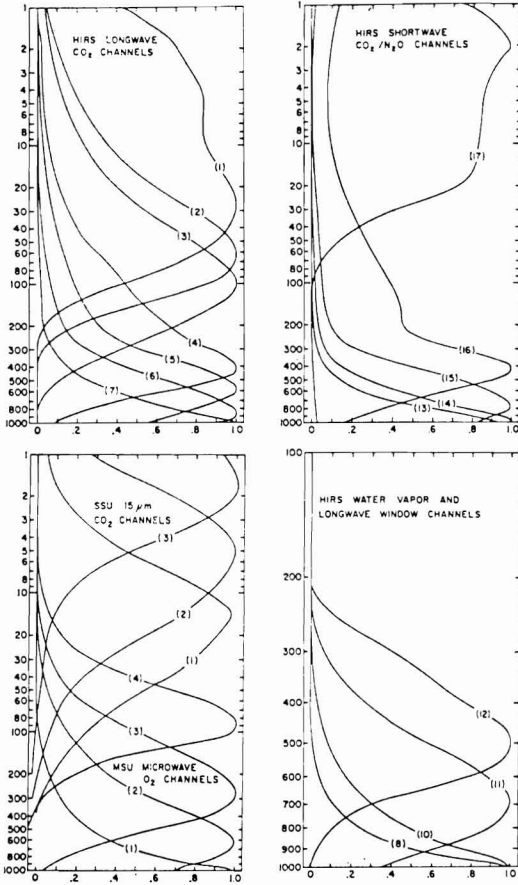


Fig. 2 Weighting functions of TOVS.

$\partial B_\nu / \partial T$ ,  $\partial \tau_\nu / \partial p$  は  $T=T^0$  の近所で一定と仮定すれば (6)は

$$y_\nu = \sum_j K_j \Delta T_j \quad (8)$$

のように近似できる。ここで(6)式の積分は積和で近似され、 $K_j$  は定数である。

(8)式は  $T=T^0$  の近所においては  $\Delta T$  と  $y$  が線形関係にあることを示している。したがって  $T$  と  $R$  も線形関係にあり、我々は

$$T_j = \sum_i C_{ji} R_i \quad (9)$$

のような線形の推定式によって各大気層  $j$  の温度を知る可能性があることを示している。ここで  $R_\nu$  は  $R_i$  と書き替えた。 $i$  はチャンネルを示す。 $C_{ji}$  は定数である。

このことは水蒸量と放射の間についても言える。(2)式の透過率は形式的に次のようにも書ける。

$$\tau = \exp[-k'(p)u(p)] \quad (10)$$

ここで  $k'(p)$  は  $p=p$  の近傍では一定。 $u(p)$  は大気の上端から  $p=p$  までの可降水量である。すると(10)式は  $u = u^0$  のまわりに

$$\begin{aligned} \tau &\simeq \tau^0(u^0) + \frac{\partial \tau^0}{\partial u} \Delta u, \\ \Delta u &= u - u^0 \end{aligned} \quad (11)$$

のように展開できる。すると(4)式の第2項は

$$\begin{aligned} &\int_0^{p_s} B(T) \frac{\partial \tau}{\partial p} dp \\ &\simeq \int_0^{p_s} B(T) \frac{\partial \tau^0}{\partial p} dp + \int_0^{p_s} B(T) \frac{\partial}{\partial p} \left( \frac{\partial \tau^0}{\partial u} \Delta u \right) dp \end{aligned} \quad (12)$$

となり、この第2項は例えば

$$\sum_j \left[ B(T_j) \frac{\partial \tau^0}{\partial u} \Big|_{u_j} \Delta u_j - B(T_{j-1}) \frac{\partial \tau^0}{\partial u} \Big|_{u_{j-1}} \Delta u_{j-1} \right]$$

のように近似できるから、やはり  $R$  と  $u$  の間に線形関係が成り立つ。上記線形関係の係数の具体的な形等については Aoki, et al. (1982) を参照されたい。 $T$  または  $u$  を  $X$  と書けば結局

$$X = CR \quad (13)$$

のように  $X$  を求めることができることになる。

さて、(13)式の係数  $C$  であるが、これを決めるには様々な方法がある (青木・山本, 1973; Rodgers, 1976 などを参照)。本センターのシステムではいわゆる Regression 法を採用しており、この場合  $C$  は沢山の  $X$  と  $R$  の同時観測から回帰的に決定される。

### 3. 晴天放射の計算

さて上に出てきた放射量  $R$  は雲のないところでの放射であり、いわゆる晴天放射と呼ばれるものである。これは一般的には直接観測される物理量ではない。放射計が観測する一つの視野の放射量は一般に

$$I = (1-n)R + nI_c \quad (14)$$

のように書ける。ここで  $I$  は観測放射量、 $n$  は視野の中で雲が占める割合 (雲量)、 $I_c$  は雲域での放射量である。我々が必要としているのは  $R$  であり (14) 式のままでは  $I$  なる観測量からこれを分離して得ることができない。

$I$  から  $R$  を抽出するには従来は2つの視野を使う Smith (1968) の方法を基本とした2, 3の方法が使



われていた。しかしこの方法には2つの視野での雲の高度が等しい等の仮定がある。このため本センターではAVHRRとHIRS(以後HIRS/2をHIRSと書く)の画像の間のマッチングをとり、HIRS各視野の中のAVHRR画素(HIRSの1つの視野の中には300~450個のAVHRR画素が含まれる)を処理して、その最高、最低、平均、雲域平均、雲量 $n$ などを計算し、これらをもとに各HIRSの晴天放射を最適推定法の手法によって確率論的に決定する方法を開発した(第6章参照)。

なおこの処理で得られるHIRS各視野内のAVHRR最高、最低値等上述した諸量は諸外国のシステムでは得られないものであり、海面温度、雲頂高度、真の雲量 $n$ 、雲の射出率 $\epsilon_c$ などの情報が得られる。(他のシステムでは $n$ と $\epsilon_c$ の積のみが得られるが本センターではこれが分離されて得られる)。このようにAVHRRのデータを使って、晴天放射や雲の情報を正確に決定できるのが本センターの最大の特徴である。

#### 4. TOVS データ処理システム

はじめに、前述したように本センターの鉛直分布算出

処理システムにおいてはTOVSデータ以外にもAVHRRデータも処理するのであるが、便宜上TOVSデータ処理システムとも呼んでいる。しかし、処理するAVHRRデータは1チャンネルだけであり、TOVSデータと併せても衛星から送られてくるHRPT(High Resolution Picture Transmission)データの1/5強にすぎない。

本センターで受信できるのは、ほぼアンテナ仰角 $5^\circ$ 以上にある衛星のデータであり、それはだいたいFig.3に示すような領域である。この領域の真中を衛星が通過するのに要する時間は約13分であり、この間のHRPTデータは、1600BPI/2400ftの磁気テープで4巻程になる。受信されたデータはミニコンを通して上記磁気テープに記録されるほか、2チャンネルのAVHRR画像データがマイクロ回線を通じて気象庁予報部に送信され、そこで投影変換装置によって写真にされる。(詳細は第2章)

ミニコンで作られた磁気テープは次に大型計算機室に運ばれ、Fig.4に示したような流れ図に従って処理される。以下ではこの流れ図に沿って本センターにおけるTOVSデータ処理システムの概要を説明し、次章以下でさらにその詳しい解説を行なう。

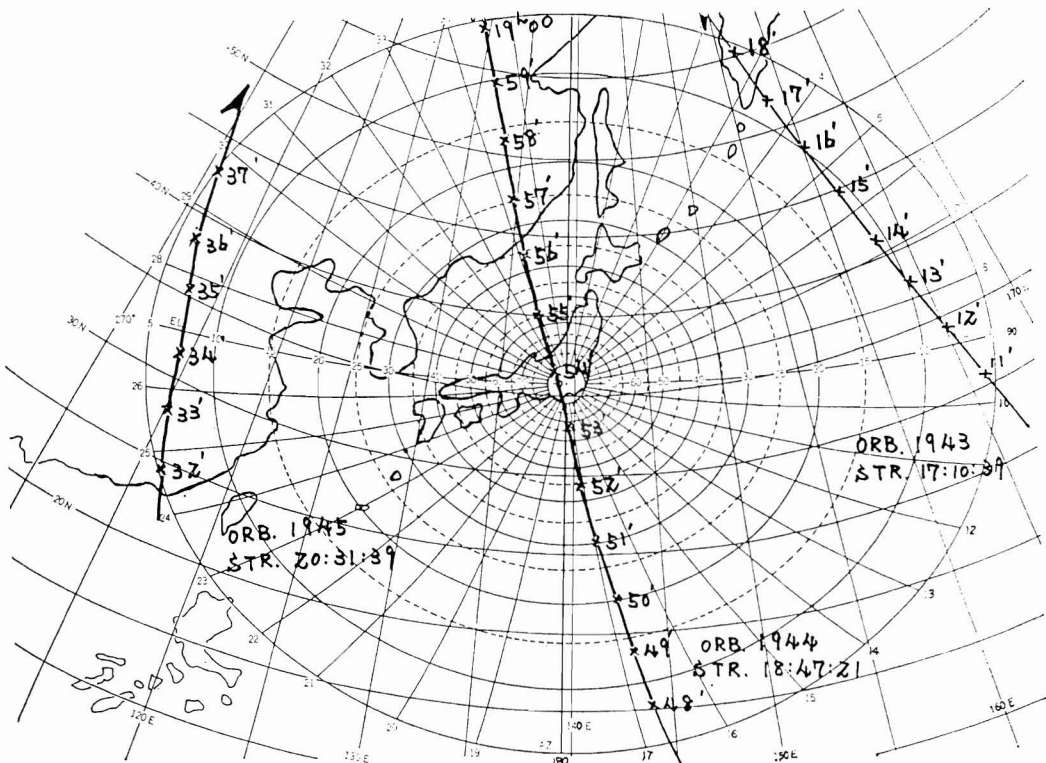


Fig. 3 Coverage of the TOVS data processing system of MSC. Three or two orbital data is obtainable as shown.

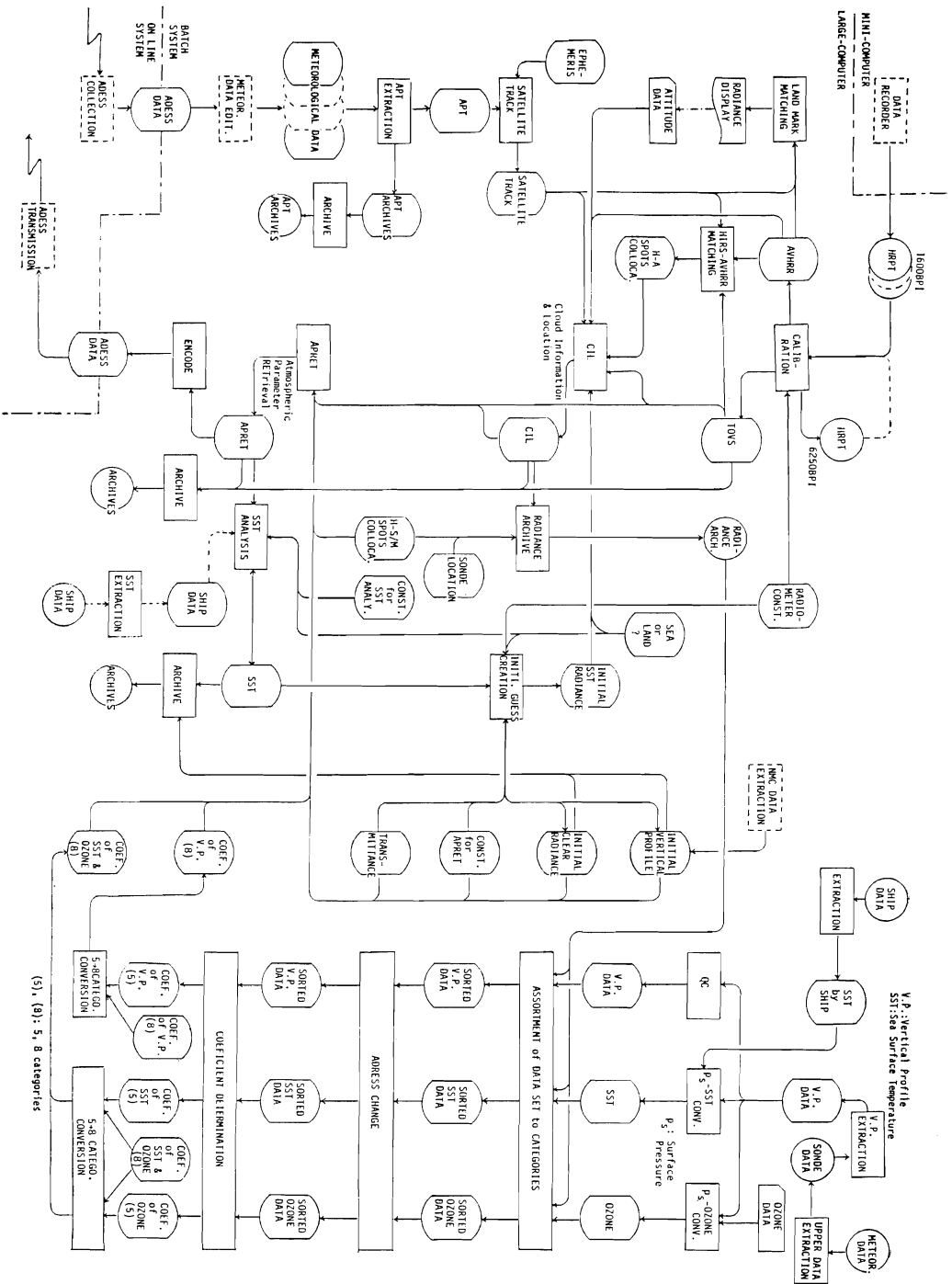


Fig. 4 Data flow in TOVS data processing system of MSC.

ミニコンで作製された1軌道分のデータ(1600BPI MT 4巻以下)は編集校正プログラム(図の“CALIBRATION”)によって、キャリブレーションを行ない。出力レベル値から放射エネルギー値に変換される。そしてAVHRRとTOVSは別々のディスクファイルに格納される。ただしこのとき、AVHRRのデータ量が膨大なため1チャンネル分のみが選択されて格納される。キャリブレーションに必要な情報は衛星から送られてくるが、各衛星毎に不変の定数類(フィルターの応答関数等)は放射計定数ファイル(RADIOMETER CONST)に格納されている。また、1600BPIのMTは6250BPIに書き替えられて保存される。編集校正プログラムは、6250BPIの方も入力として使うことができるようになっている。(詳細は第3章)

次に、各HIRS視野内の部分雲量等をそこに含まれるAVHRRの画素を使って計算するために、HIRSとAVHRRの相対位置関係を決定してやる必要がある。これを行なうのがH-A対応プログラム(HIRS-AVHRR MATCHING)である。ここではAVHRR各ラインにある2048個の画素のうちどの画素番号からどの画素番号までがどのHIRS視野に含まれるかということが決定される。ただし、HIRS1スキャンラインは約6.4秒、AVHRRは1/6秒なので、約40本のAVHRRラインについてこれが決定されればあとは同じことの繰り返しになる。また、HIRSとAVHRRの相対位置は測器の取り付け時に決まり、その後は変化しないだろうから、この計算は各衛星につき1回だけ行えば後はやらなくてもよい。H-A対応ファイル(H-A SPOTS COLLOCA)にはこの40本分のAVHRRラインについてHIRS各視野に含まれる画素番号が格納されている。両者の画像の相対位置決定の原理はAVHRRの4チャンネルとHIRSの8チャンネル(あるいはAVHRR3チャンネルとHIRS19チャンネル、あるいはAVHRR4とHIRS7等でも可)の中心波長が非常に近いことに着目し、まず仮りに決めたH-A相対位置からHIRS各視野内のAVHRRの平均輝度を計算する。これをHIRS8チャンネルの輝度と比較し、AVHRRの平均とHIRS輝度の差をとりこれが最小になるようにH-A相対位置を移動していくのである。(詳細は第5章)

H-A相対位置決定によってHIRS各視野のAVHRR画素に対する位置関係は知ることができるが、しかし地上での位置は分らない。このためにはAVHRR画像と地上ランドマークとのマッチングをとってAVHRR画像の地上での位置が分ればよい。衛星の姿勢は周期的に変動している可能性があるなのでこの処理はその都度行な

う必要がある。しかしそのためには膨大な計算時間が各軌道毎に必要となり、その分、処理結果の配信が遅れてしまう。そこで、このような周期的な変動はもしあったとしてもその検出は諦めることにし、その代り、せめてある平均的な姿勢のズレくらいは検出しようとしたのが画像ズレ検出プログラム(LAND MARK MATCHING)である。ここでは軌道直下点付近のAVHRR画素をそのままラインプリンターに打ち出し、それが、軌道計算から得られるランドマークと一致するかどうかを数軌道について調べ、もしバイアス的なズレがいつもあれば、それを次の各HIRS視野の位置決定に補正量として使うのである。ただし上述したように、もし周期的なズレがあればそれはHIRS視野の位置決定の誤差となる。しかし、軌道衛星は一般に姿勢は正しく保たれているという前提で位置計算が行なわれているのが普通であり、例えば米国のNESS(National Earth Satellite Service)でも我々のような措置は考えていない。なおこの処理もやはり1衛星についてときどき数回行なう程度である(詳細は第5章)。

HIRS-AVHRRの相対位置、AVHRR画像のランドマークとのズレ、および軌道データが得られると各HIRS視野の中心の緯経度が計算できる。この処理が部分雲量計算プログラム(CIL)で行なわれ、ここでは同時に各HIRS視野中の雲量等が計算される。海面放射量ファイル(INTIAL SST RADIANCE)には大気による吸収、放射も考慮したAVHRRの晴天放射が格納されているので、それとの比較によってそのAVHRR画素が雲域かどうか分る。H-A対応ファイルには40本のAVHRRラインについて何番目の画素から何番目の画素がどのHIRS視野に含まれるかが格納されているので各HIRS視野に含まれる雲域のAVHRR画素の個数を数えることによって各HIRS視野の部分雲量が分る。なおこのとき同時に各HIRS視野におけるAVHRR画素の最高、最低の放射量、平均の放射量、雲域画素のみの平均放射量等も計算され、部分雲量ファイルに格納される。なお指定によって緯経度計算だけを行うこともできる。(詳細は第5章)

なおCILデータのうちゾンデ地点に一致するものは係数決定用のデータとして保存累積される。

Fig. 4の左下のパッチ系は衛星の軌道を計算する部分である。GTS(Global Telecommunication System)-ADESS(Automated Data Editing and Switching System)によって入信された種々の気象情報のうち通称APT情報と呼んでいるものの中に軌道の情報が含まれている。これには軌道の6要素のほか1軌道分につ

いては2分毎の衛星通過点の緯経度、高度等が含まれている。衛星はほぼ14軌道で地球を一周するが、各軌道と緯経度との位置関係は相対的には変わらないことを利用して、2分毎のデータから一週間分の計 $7 \times 14 = 98$ 軌道のうち日本付近を通るものについて計算し、これを極軌道衛星通過点ファイル (SATELLITE TRACK) に格納する。一週間分も計算しておくのは日によって正常な APT 情報が入信されないことがあるからである。なお APT 情報は後に再処理等の使用に供するため保存累積しておく。(詳細は第4章)

鉛直分布計算 (APRET) では TOVS ファイルと部分雲量ファイル (CIL) のデータを使って鉛直温度分布等種々の大気パラメーターが計算され、本システムの中心となるモジュールである。まず HIRS 各チャンネルのいわゆる晴天放射 (Clear Radiance—雲がない場所の放射) が計算される。これには CIL において緯経度計算のみ (部分雲量等がないとき) と部分雲量等があるときの2通りのパスがある。なお SSU や MSU は雲の影響を受けないので晴天放射計算は行なわれない。また上記2通りの晴天放射決定法のいずれも晴天放射の初期推定値を必要とするが、これは TOVS 定数ファイル (CONST for APRET) 中の8種類の気団に対してあらかじめ計算されてあるものを使うか、または晴天放射初期値ファイル (INITIAL CLEAR RADIANCE) 中の $5 \times 5^\circ$ の緯経度格子ごとに与えられているもの (後者は通常日々更新される) を使うか、どちらでも選択できる。

このようにして晴天放射が決定されると次は鉛直温度、可降水量 (大気のトップから各指定気圧面までの水蒸気量で定義されている)、海または陸地の表面温度、気柱全オゾン量が計算される。これらの計算にも初期値方式と回帰方式の2つのパスがあり、前者の場合には鉛直分布初期値ファイル (INITIAL VERTICAL PROFILE) 中の各値 (ただしオゾンは除く) を初期推定値として計算するもので、後者は初期値は使わずに回帰式によって計算するものである。現時点までにおいては後者のパスが採用されている。

鉛直温度分布が決まると Smith and Platt (1978) 方式によって雲頂高度が計算できる。なお CIL に AVHRR の最低放射量がある場合にはこの値からも雲頂高度が算出される。また、雲の射出率、平均雲量 (鉛直分布計算は HIRS 視野数個 (現在は4個) につき1点だけ計算されるのでその数個の HIRS 視野の平均雲量) なども計算される。

最後に得られた計算結果に対しての品質管理 (QC) が行なわれる。鉛直温度については温度勾配によるチェ

ック、および鉛直分布初期値ファイルからのズレ等からのチェック、可降水量については最下層温度の飽和水蒸気量を使った簡単なチェック式を考え、表面温度、オゾン量については非常に粗いある値の範囲を設定してある。表面温度については鉛直分布初期値ファイルとの比較によるチェックもすることができる。これらの結果はすべて鉛直分布ファイルに格納される (鉛直分布計算の詳細は第6章を参照)。

APRET データのうち、温度、水蒸気量、海面温度、雲量、雲頂高度は次の2つの国際通報式にコード変換され、ADESS を通じて、本庁の予報部に送られる。1つは SATEM コードと呼ばれるもので、温度の代りに1000 mb からの層厚、可降水量、海面温度、雲量、および雲頂高度である。もう1つは TEMP SHIP コードと呼ばれるものを一部変更した TEMP TOVS というもので、これは、温度、可降水量から計算した露点温度、および海面温度である。配信データは適当な間隔で間引くことができる。また、緯度、計算方式等によっても配信データを選択できる。また、APRET、CIL、TOVS データはまとめて磁気テープに保存される。同様に次の処理で得られる表面温度場のデータも保存される。前者は6250 BPI/2400 フィートの MT 1巻で10日分、後者は1年分の量になる。またこれらの MT への書き込みはセンター外使用者の便のため書式付きになっている。(詳細は第11章)。

1日2回の受信時間帯における2ないし3軌道分の APRET データのうち表面温度データはまとめて表面温度場作成プログラム (SST ANALYSIS) 用データとして使われる。この処理には APRET データだけでなく、Ship データ等他の情報源も取り込むことができる。これらのデータ、および過去のデータを併せ、簡単な客観解析の手法によってその時点での最適の温度場が格子点上に解析される。なおこのデータは毎日累積されて、10日に1回平均されて XY プロッターに作画され、海洋気象部海洋課に送付される。(詳細は第7章)

すでに述べたように CIL においては各 AVHRR 画素が雲域か晴天域かを判別するのにその閾値 (海面放射量ファイル) が必要である。また APRET においては各 HIRS チャンネルの晴天放射を計算するのにその初期値が必要になる。これらのデータは上記した表面温度場作成プログラムから得られた表面温度場ファイル (SST) と米国 NMC (National Meteorological Center) から送られてくる大気鉛直分布データ等を使い放射伝達式を計算することによって得られる。これを行なうのは晴天放射初期値更新プログラム (INITIAL GUESS CREA

TION) である。このとき使われる各チャンネルの透過関数は  $X \rightarrow R$  変換係数ファイル (TRANSMITTANCE) に格納されている (第8章)

(3)式の係数Cは時間、空間的に一致する X と R のデータ群から回帰的に決定される。この処理を行なうのが Fig. 4 の右側の3本の縦の線で示される部分である。鉛直温度に関して C は 100 mb 以上の高層、低層 (100 mb 以下) の晴天域と曇天域、低層晴天域はさらに AVHRR データがあるときとないときの2ケースに分れ、計4ケースに大分類され、さらに各大分類は8つの小カテゴリー (気団による分類に相当) に分類される。水蒸気についても同様である。また、表面温度は夜と昼についてそれぞれ AVHRR があるなしの計4つの大分類に分れ、さらにそれらは気団による8つの小分類カテゴリーに分類される。オゾン量の場合は大分類は夜・昼の2ケースのみである。これら各分類カテゴリー毎にまずデータを蓄積し、十分なデータが集ったカテゴリーに対して係数が計算される。なおシステム開発当初小分類カテゴリーの数は5つであったが、その後8つに拡張され

た。しかし8カテゴリー用の係数は5カテゴリー用の係数決定モジュールを2段階的に使って決定しているため、処理システムが図のようにやや複雑になっている。このような係数決定処理は原則的には H-A 対応ファイル作成と同じように各衛星につき1回だけ行なえば済むものである。(詳細は第9～10章)

最後に、本システムから得られる製品の詳細については第11章に述べる。

## 文 献

- 青木忠生・山本義一, 1973: 気象衛星による放射測定とその利用, 天気, 20, 478-487.  
 Rodgers, C.D., 1976: Retrieval of Atmospheric temperature and composition from remote measurements of thermal radiation. Rev. Geophys. Space Phys., 14, 609-624.  
 Smith, W.L., 1968: An improved method for calculating tropospheric temperature and moisture from satellite radiometer measurements, Mon. Wea. Rev., 96, 387-396.

## 2. 受信およびオリジナル HRPT データ磁気テープ作成

### Receiving and Magnetic Tape Recording of Original HRPT Data

高山 豊 治

Toyaji Takayama

#### Abstract

The TIROS-N/NOAA-A-J series have introduced the polar orbital environmental satellite system from 1978.

The satellites transmit AVHRR (Advanced Very High Resolution Radiometer) image data, low data rate instruments data (TOVS data, etc) and spacecraft/instrument telemetry data as the HRPT.

At the MSC (Meteorological Satellite Center), the HRPT signal which is transmitted by S-band from satellite is received in 4 mφ parabola antenna, low noise amplifier, and converted into the analogue image data for JMA.

The other side, the received signal is recorded on the computer compatible tapes for TOVS processing.

#### 1. はじめに

気象衛星センターで受信しているデータは米国の極軌道気象衛星からSバンドで送られて来る HRPT (High Resolution Picture Transmission) データであり、HRPT データには衛星搭載センサーから得られる TOVS データ、AVHRR データ等が含まれている。この HRPT データを受信記録するため極軌道気象衛星受信装置、データ記録装置が設置運用されている。

これらの装置および極軌道気象衛星についての概要は「気象衛星センター技術報告 第2号 昭和55年と同 第4号 昭和56年」を参照されたい。

米国の TIROS-N/NOAA-A~G シリーズ衛星の当センターにおける受信可能範囲(仰角5度以上)は衛星直下点がほぼ北緯12度~北緯59度、東経111度~東経168度で囲まれる直径約 5200 Km の領域である。

気象衛星センターでは、この領域内を極軌道気象衛星が昼夜各 2~3 軌道通過し、東西約 2900 Km (Cross track) 幅で地球を走査する観測データをリアルタイムで受信している。

なお、TIROS-N/NOAA-A~G シリーズは NOAA-J まで追加延長が計画されており、このシリーズのうち衛

星によっては新たに搭載されるセンサー、搭載中止またはダミーに代るセンサーがある。

この追加延長が計画されている NOAA-E~J (Advanced TIROS-N; ATN, 改良型 TIROS-N と呼ばれる) に新設されるセンサーからのデータは TIP データ・フォーマット内のスペア・ワード位置に挿入されるため当センターでの HRPT 受信記録には影響が無い見込みである。

#### 2 軌道情報の入手および軌道計算

衛星データの受信およびその処理には軌道情報が必要である。

衛星からは 1.7 GHz 帯の電波で HRPT データを送ってくる、この電波を捕促するため 4 mφ パラボラ・アンテナを使用しており、ビーム角が3度以下である。

軌道計算結果がこのビーム角以内に納まっていなければならない、これを達成維持するため毎日新しい軌道情報を入力して軌道計算を行っている。

軌道情報 (APT PREDICT) は NOAA/NESS により毎日 1908 Z 頃用意され KWBC (National Weather Service Communications Center) より GTS (Global

## 2. 受信およびオリジナル HRPT データ磁気テープ作成

### Receiving and Magnetic Tape Recording of Original HRPT Data

高山 豊 治

**Toyoji Takayama**

#### Abstract

The TIROS-N/NOAA-A-J series have introduced the polar orbital environmental satellite system from 1978.

The satellites transmit AVHRR (Advanced Very High Resolution Radiometer) image data, low data rate instruments data (TOVS data, etc) and spacecraft/instrument telemetry data as the HRPT.

At the MSC (Meteorological Satellite Center), the HRPT signal which is transmitted by S-band from satellite is received in 4mφ parabola antenna, low noise amplifier, and converted into the analogue image data for JMA.

The other side, the received signal is recorded on the computer compatible tapes for TOVS processing.

#### 1. はじめに

気象衛星センターで受信しているデータは米国の極軌道気象衛星からSバンドで送られて来る HRPT (High Resolution Picture Transmission) データであり、HRPT データには衛星搭載センサーから得られる TOVS データ、AVHRR データ等が含まれている。この HRPT データを受信記録するため極軌道気象衛星受信装置、データ記録装置が設置運用されている。

これらの装置および極軌道気象衛星についての概要は「気象衛星センター技術報告 第2号 昭和55年と同 第4号 昭和56年」を参照されたい。

米国の TIROS-N/NOAA-A~G シリーズ衛星の当センターにおける受信可能範囲(仰角5度以上)は衛星直下点がほぼ北緯12度~北緯59度, 東経111度~東経168度で囲まれる直径約 5200 Km の領域である。

気象衛星センターでは、この領域内を極軌道気象衛星が昼夜各 2~3 軌道通過し、東西約 2900 Km (Cross track) 幅で地球を走査する観測データをリアルタイムで受信している。

なお、TIROS-N/NOAA-A~G シリーズは NOAA-J まで追加延長が計画されており、このシリーズのうち衛

星によっては新たに搭載されるセンサー、搭載中止またはダミーに代るセンサーがある。

この追加延長が計画されている NOAA-E~J (Advanced TIROS-N; ATN, 改良型 TIROS-N と呼ばれる) に新設されるセンサーからのデータは TIP データ・フォーマット内のスベア・ワード位置に挿入されるため当センターでの HRPT 受信記録には影響が無い見込みである。

#### 2 軌道情報の入手および軌道計算

衛星データの受信およびその処理には軌道情報が必要である。

衛星からは 1.7 GHz 帯の電波で HRPT データを送ってくる、この電波を捕捉するため 4mφ パラボラ・アンテナを使用しており、ビーム角が3度以下である。

軌道計算結果がこのビーム角以内に納まっていなければならない、これを達成維持するため毎日新しい軌道情報を入力して軌道計算を行っている。

軌道情報 (APT PREDICT) は NOAA/NESS により毎日 1908 Z 頃用意され KWBC (National Weather Service Communications Center) より GTS (Global

Telecommunications Service) 回線経由, ADESS 回線で毎日入電する。

Table 1 に軌道情報 (APT PREDICT) を Table 2 に軌道情報の内容説明を示す。軌道情報は Table 1 に示すように PART I~PART IV で構成され, 衛星が赤道を横切る時刻とその経度, 軌道番号, 周期, 昇交点間隔, 2分毎の衛星直下点位置, 送信周波数, 衛星追尾や特性に関する情報等が含まれている。

受信および記録の軌道予測を出すため, 軌道情報の PART I と PART II を入力データとして, 小型計算機で3日先の受信可能範囲内 (仰角5度以上) のオペレーション・テーブル (追尾予測テーブル) を作成する。

このテーブルの内容は軌道番号, 受信開始時刻, 毎正分における空中線指向角度等である。

作成されたテーブルを基にして, 運用上の準備作業が進められる, すなわち衛星の飛翔軌跡を見るための軌道図, オリジナル HRPT データ磁気テープ (電算機適合磁気テープ) 記録用のアンテナ情報の一部資料等

として作成する。

また, 電算機に追尾予測データが一日単位で記憶され, 時計による時刻照合でリアルタイム受信制御に用いられる。

### 3. 衛星の追尾

追尾モードにはプログラム追尾, オート追尾, マニュアル追尾の三モードがある。

通常はプログラム追尾とオート追尾の併用で追尾を行っている。

プログラム追尾系に障害が発生した場合にはデータ・ロスが生じ, これを最小限にするため後述のように受信監視を行い, オペレーション・テーブルを基にしてマニュアル追尾モードで待受け状態あるいはマニュアル追尾に切替えて運用する等可能な対処が出来るよう備えている。

### 4. 受信記録監視

装置全般の動作状態を監視するのはもちろんであるが, 主に次の監視に分けられる。

#### (1) 受信周波数 (ドップラー・シフトを含む)

受信周波数のデジタル表示を行うため, ローカル信号 (VCO 出力) の周波数変換を行って, 100 HZ 単位まで表示している。

この表示された受信周波数は衛星の送信周波数にドップラー・シフトが加わっている。

この他に衛星送信機の周波数安定度に係る偏移を考慮し, 少なくともスイープ・ジェネレータで  $\pm 75$  KHZ でスイープして発射電波を PLL でロックしなければならない。

#### (2) アンテナの指向

通常はプログラム/オート追尾で運用しているが, 設定は追尾予測角度を基にしている。

#### (3) リサーチ

衛星からの受信波と Reference 波とによりリサーチ波形をスコープ上に描き, 正常な受信を確認する。

衛星側の異常を伴う電波を受信した時も, リサーチ波形で判別可能なケースもある。

#### (4) 受信レベル

受信レベルは AGC (Automatic Gain Control) より引き出しメータ表示している。

受信アンテナ表面での受信電力は約  $-129 \sim -122.5$  dBm 間を変化する。

**Table 1** APT Predicts of the U. S. polar orbital environmental satellites are transmitted from KWBC (National Weather Service Communications Center) to GTS (Global Telecommunications Service) link.

```
ADKY 290 WTA 10105446
TBUS2 KWBC 101900
APT PREDICT
071332 NOAA 7
PART I
05430 01316 01320 02198 T0159 L2549
54422 30119 12396
54460 54917 23403
54501 23716 33204
DAY PART II
02850 070236 04850 140253 06850 210270
08850 280208 10850 349308 12860 419331
14860 480358 16860 556393 18860 623439
20860 680509 22870 748630 24870 796874
26871 809299 28871 775640 30872 719790
32872 655700 34862 509644 36862 521605
DAY PART III
02855 070204 04855 140188 06855 210171
08855 280153 10855 349132 12855 419109
14865 480082 16865 556048
NIGHT PART II
38862 453575 40862 384550 42862 314529
44852 245510 46852 175492 48852 105475
50852 035459
NIGHT PART III
52857 034443 54857 104427 56857 174410
58857 244393 60857 314374 62867 383352
64867 453328 66867 521297 68867 589258
70867 655202 72867 718112 74867 775944
76878 809603 78868 796178 80865 740066
82865 688187 84865 623257 86865 556303
88865 487337
PART IV
1981 059A 05380 190567839000 020709133741290 1315867
01019342 01019940 00127841 29562435 14846545 09894891
06436843 07225171 M261596650 P037797625 P000000261
P00603754 P00984755 P07340019 002445991 140156022 9449
0000499999 M00298407 P00099892 P00506564 SPARESPARE
FREQUENCIES APT 137.62 MHZ HRPT 1707 MHZ
BEACON DSB 137.77 MHZ. APT DAY/NIGHT 2/4.
APT VIS CH. 2/0.725 TO 1.10 MICROMETERS/ AND
IR CH. 4/10.3 TO 11.3 MICROMETERS/ WILL BE
XMTD CONTINUOUSLY. DCS TIME DAY 113 42238.96
```



**Table 2** The contents of APT Predict by APT Information Note 78-6 and 81-1.

Table 2(1)

```

TEBUS 1 KWBC
APT PREDICT
MMYYSS

PART I
ONrNrNrNr   OYrYrGrGr   OYrGrSrSr   QrLoLoLoLo   Tysss   LLoLoLoLo
N4N4N4N4G4   G4G4G4S4S4   Q4LoLoLoLo
N8N8N8N8G8   G8G8G8S8S8   Q8LoLoLoLo
N12N12N12N12G12   G12G12G12S12S12   Q12LoLoLoLo

NIGHT PART II
02Z02Z02Q02   LaLaLaLoLoLo   04Z04Z04Q04   LaLaLaLoLoLo
06Z06Z06Q06   LaLaLaLoLoLo   08Z08Z08Q08   LaLaLaLoLoLo
10Z10Z10Q10   LaLaLaLoLoLo ..... to terminator (Near N. Pole)

NIGHT PART III
02Z02Z02Q02   LaLaLaLoLoLo   04Z04Z04Q04   LaLaLaLoLoLo
06Z06Z06Q06   LaLaLaLoLoLo   08Z08Z08Q08   LaLaLaLoLoLo
10Z10Z10Q10   LaLaLaLoLoLo ..... to terminator (Near S. Pole)

DAY PART II
28Z28Z28Q28   LaLaLaLoLoLo   30Z30Z30Q30   LaLaLaLoLoLo
32Z32Z32Q32   LaLaLaLoLoLo ..... to last point north of equator

DAY PART III
56Z56Z56Q56   LaLaLaLoLoLo   58Z58Z58Q58   LaLaLaLoLoLo
60Z06Z06Q06   LaLaLaLoLoLo   08Z08Z08Q08   LaLaLaLoLoLo

New code form for APT PREDICT (TEBUS) Bulletin, Part IV
Implementation date--May 5, 1981

AAAAAAAA BB888 CCCCCCCCCC DDDEEFFGGHIIIIII JJJJJJ
KKKKKKKK LLLLLLLL MMMMMMMM NNNNNNNN OOOOOOOO PPPPPPPP
QQQQQQQQ RRRRRRRR SSSSSSSSSS TTTTTTTTTT UUUUUUUUUU VVVVVVVVVV
WWWWWWW XXXXXXXX YYYYYYYYYY ZZZaaabq cccc dddddddddd
eeeeeeeee ffffffff 99999999 SPARESPARE
    
```

Table 2(2)

EXPLANATION OF CODE SYMBOLS

TEBUS 1 (or TEBUS 2)	- APT Bulletin originating in the United States: TEBUS 1 is North to South daylight orbit. TEBUS 2 is South to North daylight orbit.
KWBC	- Traffic entered at Washington, D. C.
APT PREDICT	- Identifies message content.
MMYYSS	- Message serial number MM - Month YY - Day of Month SS - Number of spacecraft to which predict applies.
PART I	- Equator crossing reference information follows
0	- Code group indicator for first three groups
$N_1N_2N_3N_4$	- Number of reference orbit. (Note: Information in Parts II and III also are related to this reference orbit.)
	- Reference orbit equator crossing time (GMT), satellite northbound.
$Y_rY_r$	- Day of month
$G_rG_r$	- Hour
$g_rg_r$	- Minute
$s_rs_r$	- Second
NOTE:	In TEBUS-1, northbound equator crossing takes place on <u>right</u> side of orbit. In TEBUS-2, northbound equator crossing takes place on <u>day</u> side of orbit.
$Q_r$	- Octant satellite in entering after crossing equator on reference orbit.
$L_oL_oL_oL_o$	- Reference orbit equator crossing longitude in degrees and hundredths.
T	- Indicator, nodal period follows (always be shown as "T").
gg	- Nodal period, minutes
ss	- Nodal period, seconds
NOTE:	Hundreds group will not be included. Example: 100 minutes 13 seconds will be coded as 0013.

Table 2(3)

L	- Indicator, nodal longitude increment follows (always shown as "L").
$I_0 I_0 I_0 I_0$	- Degrees and hundredths of degrees longitude between successive equator crossings.
$N_4 N_4 N_4 N_4$	- Orbit number of fourth orbit following reference orbit. - Time of northbound satellite equator crossing four orbits after reference orbit.
$G_4 G_4$	- Hour
$g_4 g_4$	- Minute
$s_4 s_4$	- Second
Q4	- Octant satellite is entering after crossing equator on fourth orbit after reference orbit.
$L_0 L_0 L_0 L_0$	- Equator crossing longitude of fourth orbit after reference orbit.
Above information is repeated for eighth ( $N_8 N_8 N_8 N_8$ ) and twelfth ( $N_{12} N_{12} N_{12} N_{12}$ ) orbits following reference orbit.	
NIGHT PART II (TBUS-1) or DAY PART II (TBUS-2)	- Contains satellite altitude and subpoint coordinates at two-minute intervals <u>after</u> time of equator crossing.
02	- Indicator, satellite altitude and subpoint coordinates at two minutes <u>after</u> time of equator crossing follows.
Z	- Satellite altitude in tens of kilometers.
Z02Z02	- Altitude at 2 minutes after equator crossing. (Thousands figure understood; hence 1440 km is encoded as 44.
Q02	- Octant of globe at two minutes after equator crossing.
$L_a L_a l_a$	- Latitude of satellite subpoint in degrees and tenths of degrees at two minutes after equator crossing.
$L_0 L_0 l_0$	- Longitude of satellite subpoint in degrees and tenths of degrees at two minutes after equator crossing.

Table 2(4)

(This information is repeated at 2 minute intervals over the NIGHT portion of the orbit north of the equator for TBUS-1, and DAY portion of the orbit north of the equator for TBUS-2.)

NIGHT PART III (TBUS-1) or DAY PART III (TBUS-2)	- Satellite altitude and subpoint coordinates at 2 minute intervals prior to time of equator crossing follows.
02	- Information pertinent to minute 2 before equator crossing follows.
Z <sub>02</sub> Z <sub>02</sub>	- Satellite altitude in tens of kilometers at two minutes before equator crossing.
Q <sub>02</sub>	- Octant of globe at two minutes before equator crossing.
L <sub>a</sub> L <sub>a</sub> l <sub>a</sub>	- Latitude of satellite subpoint in degrees and tenths of degrees at two minutes before equator crossing.
L <sub>o</sub> L <sub>o</sub> l <sub>o</sub>	- Longitude of satellite subpoint in degrees and tenths of degrees at two minutes before equator crossing.

(This information is repeated at 2 minute intervals over the NIGHT portion of the orbit south of the equator for TBUS-1, and DAY portion of the orbit south of the equator for TBUS-2.)

NOTE: Should the time after ascending node become greater than 99, the hundreds will be assumed (example, minute 102 will be encoded as 02.)

DAY PART II (TBUS-1) NIGHT PART II (TBUS-2)	- Satellite altitude and subpoint coordinates at 2 minute intervals after time of equator crossing follows.
28	- Information pertinent to 28 minutes after equator crossing follows.
Z <sub>28</sub> Z <sub>28</sub>	- Satellite altitude in tens of kilometers at 28 minutes after equator crossing.
Q <sub>28</sub>	- Octant of globe at 28 minutes after equator crossing.
L <sub>a</sub> L <sub>a</sub> l <sub>a</sub>	- Latitude of satellite subpoint in degrees and tenths of degrees at 28 minutes after equator crossing.
L <sub>o</sub> L <sub>o</sub> l <sub>o</sub>	- Longitude of satellite subpoint in degrees and tenths of degrees at 28 minutes after equator crossing.

Table 2(5)

(This information is repeated at 2-minute intervals over the sunlit portion of the orbit north of the equator for TUES-1, and night portion of the orbit north of the equator for TBUS-2.)

DAY PART III (TBUS-1) - Satellite altitude and subpoint coordinates  
 NIGHT PART III (TBUS-2) at 2-minute intervals south of the equator on the descending side of the orbit. This will be a continuation of Part II with the same format.

(This information is repeated at 2-minute intervals over the sunlit portion of the orbit south of the equator for TUES-1 (night portion of the orbit south of the equator for TBUS-2).)

NOTE: Should the time after ascending node become greater than 99, the hundreds will be assumed (example, minute 102 will be encoded as 02).

PART IV

New code form for APT PREDICT (TBUS) Bulletin, Part IV  
 Implementation date--May 5, 1981

```

AAAAA AAAA BBBB CCCCCCCCCC DEEFGGHH I IIII JJJJJJ
KKKKKKKK LLLLLLLL MMMMMMMM NNNNNNNN OOOOOOOO PPPPPPPP
QQQQQQQQ RRRRRRRR SSSSSSSSS TTTTTTTTT UUUUUUUUU VVVVVVVV
WWWWWWW XXXXXXXX YYYYYYYY ZZaaabbb cccc ddddddde
eeeeeeee ffffffff gggggggg SPARESPARE
    
```

<u>Symbol</u>	<u>Explanation</u>
AAAAA AAAA	Spacecraft identification (International designator--see "COSPAR Guide to Rocket and Satellite Information and Data Exchange", Information Bulletin #9, July 1962).
BBBBB	Orbit number at epoch.
CCCCCCCCCC	Time of ascending node (days from January 1 at 00Z, to nine decimal places.
<u>DD</u>	Epoch year
<u>EE</u>	Epoch month

Table 2(6)

<u>Symbol (Cont)</u>	<u>Explanation (Cont)</u>
<u>FF</u>	Epoch day
<u>GG</u>	Epoch hour
<u>HH</u>	Epoch minute
IIIII	Epoch second, to three decimal places
JJJJJJJ	Greenwich Hour Angle at Aries at epoch, to four decimal places.
<u>KKKKKKKK</u>	Anomalistic period (minutes), to four decimal places.
LLLLLLLLL	Nodal period (minutes), to four decimal places.
<u>MMMMMMMM</u>	Eccentricity, to eight decimal places.
<u>NNNNNNNN</u>	Argument of perigee (degrees), to five decimal places.
<u>OOOOOOOO</u>	Right Ascension of the ascending node (degrees), to five decimal places.
<u>PPPPPPPP</u>	Inclination (degrees), to five decimal places.
<u>QQQQQQQQ</u>	Mean anomaly (degrees), to five decimal places.
<u>RRRRRRRR</u>	Semi-major axis (km), to three decimal places.
SSSSSSSSS	Sign and epoch X position component (km), to four decimal places.
TTTTTTTTT	Sign and epoch Y position component (km), to four decimal places.
UUUUUUUUU	Sign and epoch Z position component (km), to four decimal places.
VVVVVVVVV	Sign and epoch X velocity (Xdot) component (km/sec), to six decimal places.
WWWWWWWWW	Sign and epoch Y velocity (Ydot) component (km/sec), to six decimal places.
XXXXXXXXX	Sign and epoch Z velocity (Zdot) component (km/sec), to six decimal places.

Table 2(7)

<u>Symbol</u> (Cont)	<u>Explanation</u> (Cont)
YYYYYYYY	Ballistics coefficient CD-A/M ( $m^2/kg$ ), to eight decimal places.
ZZZ	Daily solar flux value (10.7 cm) [ $10^{-7}$ watt/ $m^2$ ].
aaa	90-day running mean of solar flux [ $10^{-7}$ watts/ $m^2$ ].
bbb	Planetary magnetic index [ $2 \times 10^{-5}$ gauss].
cccc	Drag modulation coefficient, to four decimal places.
dddddddddd	Radiation pressure coefficient, to ten decimal places.
eeeeeeeeee	Sign and perigee motion day/day to five decimal places.
ffffffffff	Sign and motion of Right Ascension of the ascending node deg/day to five decimal places.
gggggggggg	Sign and rate of change of mean anomaly at epoch deg/day to two decimal places.
SPARESPARE	spares

何らかの原因により受信レベルが低下し、アンロック状態となれば1秒間で6マイナフレームのデータ・ロスが生ずる。例えば、1秒間で地表面に換算して約6.5 Km × 2900 Km エリアの AVHRR データ・ロスとなる。

3) クイック・ルック・モニターによるハード・コピー  
受信した AVHRR データより抽出されたチャンネルをクイック・ルック・モニターでドライ・シルバー紙に感光し熱現像を行いハード・コピーを作成している。

このハード・コピーは運用者の受信状態確認になると共に、地上受信系の障害および衛星側 AVHRR データ系の障害を確認するためにも用いている。

Fig. 1 にクイック・ルック・モニターによるハードコピーを示す。

6) 画像データ波形

上記(5)の信号(この信号は本庁の投影変換装置へ伝送している)はシンクロ・スコープ上に描き、(5)と同じ目的に用いている。

7) ディスク・カートリッジおよび磁気テープへの書き込み  
データ記録装置において電算機適合磁気テープへ

HRPT データを記録するためリアルタイム時のディスク・カートリッジ、その後の磁気テープへの書き込み状態をシーク時のパイロット・ランプの点滅やコンソール・タイプライターへのメッセージ出力で監視している。  
(8) 画像データ出力レベル

リアルタイムあるいは必要に応じ PCM テープにより AVHRR 画像データはマイクロ回線で本庁へ伝送する。このため搬送端局へ送る画像データの出力レベルを監視している。

5. 受信取得データの分岐および記録

受信取得済 HRPT データは次の4ヶ所へ分岐され、各目的のため記録・使用されている。

(1)本庁無線通信課への AVHRR 画像伝送

任意の2チャンネルを抽出、アナログ FAX 信号に変換後、時分割多重化してマイクロ回線で本庁の投影変換装置へ伝送している。

投影変換装置は2チャンネル同時に、また任意の2チャンネル間の演算(加算, 減算, 比演算)による画像合成も



**Fig. 1** The hard-copy of the NOAA-7 earth image of the revolution 5389 on 10 July, 1982 by the Quick Look Monitor.



**Table 3** The contents of the Annotation information data.

アノテーション情報データの内容

項 目	バイト数	バイト位置	内 容
識 別 番 号	2	0	FFFD(16)
予 備 (サイズ)	2	2	256(10)バイト (バイナリ)
受 信 開 始	16	4	受信開始年月日・時刻 YYYYMMDDHHmss (EBCDIC, 左寄せ余りブランク)
受 信 終 了	16	20	受信終了年月日・時刻 YYYYMMDDHHmm (EBCDIC, 左寄せ余りブランク)
衛 星 名	8	36	(EBCDIC, 左寄せ余りブランク)
衛 星 番 号	12	44	(同上)
軌 道 番 号	8	56	(同上)
軌 道 区 分	2	64	A: Ascending (EBCDIC) D: Descending
記 録 モ ー ド 1	1	66	R: リアルタイム運用 (EBCDIC) P: プレイバック運用
記 録 モ ー ド 2	1	67	M: マニュアル運用 (EBCDIC)
軌 道 番 号 I	8	68	APT PREDICT PART I 第1群 (EBCDIC, 左寄せ余りブランク)
日 時 I	12	76	PART I 第2群, 第3群 (EBCDIC, 左寄せ余りブランク)
昇交点のオクタント, 経度	8	88	PART I 第4群 (EBCDIC, 左寄せ余りブランク)
周 期	8	96	PART I 第5群 (EBCDIC, 左寄せ余りブランク)
昇交点間隔	8	104	PART I 第6群 (EBCDIC, 左寄せ余りブランク)
日 時 II	16	112	PART IV 第4群 先頭より10数字 (EBCDIC, 左寄せ余りブランク)
近地点周期	12	128	PART IV 第6群 (EBCDIC, 左寄せ余りブランク)
離 心 率	8	140	PART IV 第8群 (EBCDIC, 左寄せ)
近地点引数	8	148	PART IV 第9群 (EBCDIC, 左寄せ)
昇交点の赤経	8	156	PART IV 第10群 (EBCDIC, 左寄せ)
傾 斜 角	8	164	PART IV 第11群 (EBCDIC, 左寄せ)
長 軸 半 径	8	172	PART IV 第13群 (EBCDIC, 左寄せ)
平均近点離角	8	180	PART IV 第12群 (EBCDIC, 左寄せ)
空 き	16	188	ブランク
磁気テープ番号	4	204	(Binary, 右寄せ)
Observation 時刻 (Start 時刻)	4	208	Observation (Start) 信号が入力された時刻 (Binary, 単位 ms)

続 アノテーション情報データの内容

項 目	バイト数	バイト位置	内 容
Observation 時刻 (Stop 時刻)	4	212	Observation (Stop) 信号が入力された時刻 (Binary, 単位 ms)
マイナフレーム終了信号時刻	4	216	Observation (Start) 信号入力後, 最初に入力されたマイナフレーム終了信号時刻 (Binary, 単位 ms)
総マイナフレーム数	4	220	Observation 時間内に入力されるべきマイナフレーム数 (Binary)
DK 出力マイナフレーム数	4	224	ディスクカートリッジに出力されたマイナフレーム数 (Binary)
空 き	26	228	ALL 0
受信マイナフレーム数	2	254	受信系より入力されたマイナフレーム終了信号数 (Binary)

Table 4 The contents of the HRPT data blocks.

HRPT データブロック (1/6) の内容

項 目	バイト数	バイト位置	内 容												
マイナフレーム番号	2	0	データ記録装置が附加するマイナフレーム番号であり, 1 からシーケンスに割当てられる. (Binary)												
予 備 (サイズ)	2	2	HRPT データ ID より Auxiliary Sync までのバイト数. (Binary)												
IDENTIFICATION	4	4	<table border="1" style="margin-left: 20px;"> <tr> <td style="width: 100px;">0</td> <td style="width: 100px;">5, 6</td> <td style="width: 100px;">15ビット</td> </tr> <tr> <td style="text-align: center;">all 0</td> <td style="text-align: center;">(注)</td> <td></td> </tr> </table> <table border="1" style="margin-left: 20px;"> <tr> <td style="width: 100px;">0</td> <td style="width: 100px;">5, 6</td> <td style="width: 100px;">15ビット</td> </tr> <tr> <td style="text-align: center;">all 0</td> <td style="text-align: center;">(注)</td> <td></td> </tr> </table>	0	5, 6	15ビット	all 0	(注)		0	5, 6	15ビット	all 0	(注)	
0	5, 6	15ビット													
all 0	(注)														
0	5, 6	15ビット													
all 0	(注)														
			(注) HRPT minor frame format 参照. (Binary)												
TIME CODE	8	8	同 上 (Binary)												
TELEMETRY	20	16	同 上 (Binary)												
BACK SCAN DATA	60	36	同 上 (Binary)												
SPACE DATA	100	96	同 上 (Binary)												
SYNC 1	2	196	同 上 (Binary)												
TIP DATA	1040	198	同 上 (Binary)												
SPARE WORDS	254	1238	同 上 (Binary)												
EARTH DATA	2204	1492	同 上 (CH1 SAMPLE 1~CH2 SAMPLE 221) (Binary)												

HRPT データブロック (2/6) の内容

項 目	バイト数	バイト位置	内 容						
EARTH DATA	3696	0	<table border="1" style="margin-left: 20px;"> <tr> <td style="width: 100px;">0</td> <td style="width: 100px;">5, 6</td> <td style="width: 100px;">15ビット</td> </tr> <tr> <td style="text-align: center;">all 0</td> <td style="text-align: center;">(注)</td> <td></td> </tr> </table>	0	5, 6	15ビット	all 0	(注)	
0	5, 6	15ビット							
all 0	(注)								
			(注) HRPT minor frame format 参照. (CH3 SAMPLE 221~CH5 SAMPLE 590) (Binary)						

HRPT データブロック (3/6) の内容

項 目	バイト数	バイト位置	内 容
EARTH DATA	3696	0	0 5, 6 15ビット all 0 (注)

(注) HRPT minor frame format 参照。  
(CH1 SAMPLE 591~CH3 SAMPLE 960)  
(Binary)

HRPT データブロック (4/6) の内容

項 目	バイト数	バイト位置	内 容
EARTH DATA	3696	0	0 5, 6 15ビット all 0 (注)

(注) HRPT minor frame format 参照。  
(CH4 SAMPLE 960~CH1 SAMPLE 1330)  
(Binary)

HRPT データブロック (5/6) の内容

項 目	バイト数	バイト位置	内 容
EARTH DATA	3696	0	0 5, 6 15ビット all 0 (注)

(注) HRPT minor frame format 参照。  
(CH2 SAMPLE 1330~CH4 SAMPLE 1699)  
(Binary)

HRPT データブロック (6/6) の内容

項 目	バイト数	バイト位置	内 容
EARTH DATA	3492	0	0 5, 6 15ビット all 0 (注)
AUXILIARY SYNC	200	3492	0 5, 6 15ビット all 0 (注)
予 備	4	3692	all 0 (Binary)

(注) HRPT minor frame format 参照。  
(CH5 SAMPLE 1699~CH5 SAMPLE 2048)  
(Binary)

可能であり、ポーラ・ステレオ投影図（北緯60度～北緯10度，縮尺2000万分の1）が作成される。

## (2) データ記録装置への転送

TOVS データ処理等に用いる電算機適合磁気テープ（オリジナル HRPT データ磁気テープ）を作成する事を目的としている。

シリアル・ストリームで到来する衛星からのデータを受信装置で復調，ビット同期，フレーム同期後，パラレル・ストリーム（10ビット/ワード）に変換しデータ記録装置へ転送する。

データ記録装置のインターフェース・コントロール・ユニット入力でダミー6ビットを加え，16ビット/ワードに直し CPU のダブル・バッファに取り込む。

衛星からのデータはリアルタイム中オンラインでディスク・カートリッジに格納される。

リアルタイム終了後，直ちに磁気テープ装置へデータが転送され，3696バイト/ブロック（6ブロック/マイナー・フレーム）のオリジナル HRPT データ磁気テープが作成される。

この磁気テープには，衛星からの HRPT データの他に HRPT データ・マイナー・フレームの媒体への記録

状態を表わすフレーム・ステータス・データが記録される。

更に，受信開始終了時刻，衛星名，軌道番号，周期，昇交点間隔，軌道6要素，受信マイナー・フレーム数等のアノテーション情報データが初期設定時の入力および運用時プログラムにより一部作成され，ボリューム毎に記録される。

Table 3. にアノテーション情報データを Table 4. に HRPT データ・ブロックの内容を示す。

## (3) PCM データ・レコーダへの転送

シリアル・ストリームで到来した HRPT データを復調後，PCM ベースバンドで生データのまま磁気テープに記録する。

機器のメンテナンスあるいは障害等に対応するため，オフタイム時の再生，再送を可能としている。

## (4) クイック・ルック・モニターへの転送

2.4受信記録監視の(5)で述べた目的に使用する。

この章で目的とするものは，5の(2)データ記録装置への転送であり，ここでオリジナル HRPT データ磁気テープを作成するにあたり，以上述べた諸々の事が関連している。

### 3. HRPT データの編集・校正

#### Editing and Calibration of HRPT data

中 島 忍, 青 木 忠 生

**Shinobu Nakajima and Tadao Aoki**

#### Abstract

The originally received HRPT data is first stored, without no calibration, in 1600 BPI/2400 ft magnetic tapes (MT) of four volum at maximum by mini computer. These tapes are next accessed by large computer, where the AVHRR and TOVS are seperately stored into AVHRR data file and TOVS data file, respectively, after a calibration.

Here, only the data of one channel of AVHRR are stored.

In the process of the calibration the digital counts are converted to the radiances. The original HRPT data is achived in 6250 BPI/2400 ft MT of one volume with the same format as 1600 BPI MT. These processing are all made by the program 'HRPT data Editing and Calibration'.

This paper deals with the details of this program.

#### 1. はじめに

本処理では、伝送第2課で作成されたオリジナル HRPT データ (1600 BPI/2400 フィート 磁気テープ最大4巻) を入力し、カードで指定された AVHRR, HIRS, SSU, MSU の各チャンネルデータに対して、キャリブレーションを行ないレベル値より放射エネルギー値に変換して AVHRR データファイル, TOVS データファイル (HIRS, SSU, MSU) の作成を行なう。これらの各ファイルは、第5章、第6章で述べられている各処理に利用される。

また、保存用としてオリジナル HRPT データファイルと同一形式の保存用 HRPT データファイル (6250 BPI/2400 フィート 磁気テープ1巻) の作成も行なう。

本章では、初めに入力する HRPT データの構成および内容、キャリブレーションの方法について述べた後で、この処理についての概要を述べる。

#### 2. HRPT データの構成, 内容

##### 2.1 HRPT データのフォーマット

オリジナル HRPT データファイルに格納されている

HRPT データブロックは、6ブロックで1 HRPT マイナーフレームを構成していて、その中に1ライン分の AVHRR のデータと5 マイナーフレームの TIP (TIROS Information Processor) データが格納されている。

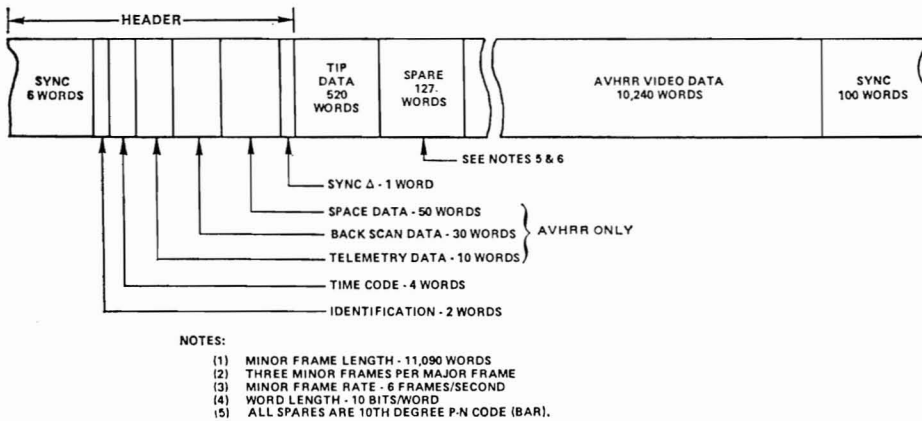
TIP は、TOVS, SEM, DCS 等のデータを処理する装置であり、TIP データには、これらのデータが格納されている。

衛星から送られてくる HRPT データのフォーマットを Fig. 1 に示す。オリジナル HRPT データファイルには、このうち先頭の 'SYNC' を除いたデータと、受信後ミニコンによってつけられた HRPT マイナーフレーム番号が格納されている。

また、各データの詳細を Table 1 に示す。

衛星から送られてくる HRPT データの1ワードは、10ビットで構成されているが、これが受信記録システムでオリジナル HRPT データファイルに出力されるときは、1ワード16ビットとなる。また、TIP データは、1ワード8ビットであるため、10ビットのうち下位2ビットは有効でない。HRPT データのビット構成の遷移を Fig. 2 に示す。

3 HRPT マイナーフレームは、1 HRPT メジャーフレ

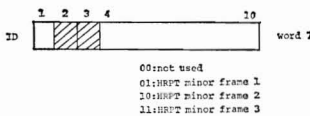


TLM WORD ALLOCATIONS		ID WORD BIT ALLOCATIONS	
		1ST ID WORD	2ND ID WORD
1-5	RAMP CALIBRATION	1	SYNC ID
6	CHANNEL-3 TARGET	2-3	FRAME ID
	TEMP (5 PT SUBCOM)	4-7	SPACECRAFT ADDRESS
7	CHANNEL-4 TARGET	8	RESYNC MARKER
	TEMP (5 PT SUBCOM)	9	DATA 0
8	CHANNEL-5 TARGET	10	DATA 1
	TEMP (5 PT SUBCOM)		
9	CHANNEL-3 PATCH		
	TEMP		
10	SPARE		

Fig. 1 HRPT minor frame format

ームから成り立っている。TIP データは、HRPT メジャーフレーム毎に更新される。つまり 3 HRPT マイナーフレームには、同一の TIP データが繰り返えされる。

HRPT のマイナーフレームの識別は、Table 1 のとおり HRPT データの 7 ワード目にある ID の 2 ビット目、3 ビット目をみることによってできる。



## 2.2 TIP データフォーマット

1 マイナーフレームの TIP データは、104ワード（1ワード8ビット）で構成されていて、TIP データには、HIRS, SSU, MSU のデータや、DCS, SEM 等のデータが格納されている。

TIP データのフォーマットを Fig. 3, 詳細な内容を Table 2 に示す。

1 マイナーフレームの TIP データには、36ワードの HIRS データ、6ワードの SSU データ、4ワードの MSU データが含まれている。320マイナーフレームの

TIP データは、TIP 1 メジャーフレームを構成している。1 マイナーフレームの TIP データの伝送速度は0.1秒である。

TIP マイナーフレーム内には、TIP メジャーフレームカウンタおよび TIP マイナーフレームカウンタがある。

メジャーフレームカウンタは、0 から 7 の範囲でサイクリックに変わる。

マイナーフレームカウンタは、0 から 319 の範囲でサイクリックに変わる。

TIP マイナーフレームカウンタや、TIP メジャーフレームカウンタは、HIRS, SSU, MSU データを編集するとき利用される。

HIRS, SSU, MSU の 1 ラインは、それぞれ64マイナーフレーム、320マイナーフレーム、256マイナーフレームの TIP データ内の HIRS, SSU, MSU のデータを集めることによって作成される。

また、TIP データの中には、1 メジャーフレーム (32秒) 毎に40ビットのタイムコードが挿入される。このタイムコードは、マイナーフレームカウンタ 0 に入っていて、このうち Day Count は、0~511までの範囲で変

Table 1 Detail of HRPT minor frame format.

Table 1(1)

	Function	No. of Words	Word Position	Bit No.	
				1 2 3 4 5 6 7 8 9 10	Plus word code & meaning
H E A D E R	Frame sync	6	1	1 0 1 0 0 0 0 1 0 0	} First 60 bits from a 63-bit PN <sup>(1)</sup> generator started in the all 1's state. The generator polynomial is $X^6 + X^5 + X^2 + X + 1$
			2	0 1 0 1 1 0 1 1 1 1	
			3	1 1 0 1 0 1 1 1 0 0	
			4	0 1 1 0 0 1 1 1 0 1	
			5	1 0 0 0 0 0 1 1 1 1	
			6	0 0 1 0 0 1 0 1 0 1	
	ID (AVHRR)	2	7	Bit 1; 0 = internal sync; 1 = AVHRR sync Bits 2 & 3; 00 = not used; 01 = minor frame 1; 10 = minor frame 2, 11 = minor frame 3 Bits 4-7; spacecraft address; bit 4 = MSB, bit 7 = LSB Bit 8; 0 = frame stable; 1 = frame resync occurred Bits 9-10; spare; bit 9 = 0, bit 10 = 1	
			8	Spare word; bit symbols undefined	
	Time code	4	9	Bits 1-9; binary day count; bit 1 = MSB; bit 9 = LSB	
			10	Bit 10; 0; spare Bits 1-3; all 0's; spare 1, 0, 1	
11			Bits 4-10; part of binary msec of day count; bit 4 = MSB of msec count		
12			Bit 1-10; part of binary msec of day count; Bit 1-10; remainder of binary msec of day count; bit 10 = LSB of msec count		
Telemetry (AVHRR)	10	13	Ramp calibration AVHRR channel 1		
		14	Ramp calibration AVHRR channel 2		
		15	Ramp calibration AVHRR channel 3		
		16	Ramp calibration AVHRR channel 4		
T E L E M E T R Y	10	17	Ramp calibration AVHRR ch 5		
		18	AVHRR internal target <sup>(2)</sup>		
		19	temperature		
		20	data		
		21	AVHRR patch temperature		
22	0 0 0 0 0 0 0 0 0 1 spare				
(AVHRR) Internal target data	30	23	10 words of internal target data from each AVHRR ch 3, 4, and 5. These data are time multiplexed as ch 3 (word 1), ch 4 (word 1), ch 5 (word 1), ch 3 (word 2), ch 4 (word 2), ch 5 (word 2), etc.		
		52			
Space data (AVHRR)	50	53	10 words of space-scan data from each AVHRR channel 1, 2, 3, 4, and 5. These data are time multiplexed as ch 1 (word 1), ch 2 (word 1), ch 3 (word 1), ch 4 (word 1), ch 5 (word 1), ch 1 (word 2), ch 2 (word 2), ch 3 (word 2), ch 4 (word 2), ch 5 (word 2), etc.		
		102			
Sync Δ (AVHRR)	1	103	Bit 1; 0 = AVHRR sync early; 1 = AVHRR sync late Bits 2-10; 9-bit binary count of 0.9984-MHz periods; bit 2 = MSB, bit 10 = LSB		

(1) PN = pseudo noise

(2) As measured by a platinum resistance thermometer embedded in the housing.

Table 1(2)

Function	No. of Words	Word Position	Bit No.										Plus Word Code & Meaning
			1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	
Tip data	520	104 ↓ 623	The 520 words contain five frames of TIP data (104 TIP data words/frame) Bits 1-8: exact format as generated by TIP Bit 9: even parity check over bits 1-8 Bit 10: - bit 1										
Spare words	127	624 625 626 627 628 ↓ 748 749 750	1	0	1	0	0	0	1	1	1	0	} Derived by inverting the output of a 1023-bit PN sequence provided by a feedback shift register generating the polynomial: $X^{10} + X^5 + X^2 + X + 1$ The generator is started in the 1's state at the beginning of word 7 of each minor frame.
			1	1	1	0	0	0	1	0	1		
			0	0	0	0	1	0	1	1	1		
			1	0	1	1	0	0	0	1	1		
			1	1	0	1	0	1	0	0	1		
			1	0	0	1	0	1	1	0	1		
			1	1	0	0	1	0	0	0	1		
			1	0	0	0	0	0	0	0	0		
			1	0	0	0	0	0	0	0	0		
Earth data (AVHRR)	10,240	751 752 753 754 755 756 ↓ 10,985 10,986 10,987 10,988 10,989 10,990	Ch 1 - Sample 1 Ch 2 - Sample 1 Ch 3 - Sample 1 Ch 4 - Sample 1 Ch 5 - Sample 1 Ch 1 - Sample 2 ↓ Ch 5 - Sample 2047 Ch 1 - Sample 2048 Ch 2 - Sample 2048 Ch 3 - Sample 2048 Ch 4 - Sample 2048 Ch 5 - Sample 2048										} Each minor frame contains the data obtained during one earth scan of the AVHRR sensor. The data from the five sensor channels of the AVHRR are time multiplexed as indicated
Auxiliary sync	100	10,991 10,992 10,993 10,994 ↓ 11,089 11,090	1	1	1	1	1	0	0	0	1	0	} Derived from the noninverted output of a 1023-bit PN sequence provided by a feedback shift register generating the polynomial: $X^{10} + X^5 + X^2 + X + 1$ The generator is started in the all 1's state at the beginning of word 10,991
			1	1	1	1	1	1	0	0	1		
			0	1	1	0	1	1	0	1	0		
			1	0	1	0	1	1	1	1	0		
			0	1	1	1	1	1	0	0	0		
			1	1	1	1	0	0	1	1	0		
			1	1	1	1	0	0	1	1	0		



Table 1(2)

Function	No. of Words	Word Position	Bit No.										Plus Word Code & Meaning
			1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	
Tip data	520	104 ↓ 623	The 520 words contain five frames of TIP data (104 TIP data words/frame) Bits 1-8: exact format as generated by TIP Bit 9: even parity check over bits 1-8 Bit 10: - bit 1										
Spare words	127	624 625 626 627 628 ↓ 748 749 750	1	0	1	0	0	0	1	1	1	0	} Derived by inverting the output or a 1023-bit PN sequence provided by a feedback shift register generating the polynomial: $X^{10} + X^5 + X^2 + X + 1$ The generator is started in the 1's state at the beginning of word 7 of each minor frame.
			1	1	1	0	0	0	1	0	1	1	
			0	0	0	0	1	0	1	1	1	1	
			1	0	1	1	0	0	0	1	1	1	
			1	1	0	1	0	1	0	0	1	0	
			1	0	0	1	0	1	1	0	1	0	
			1	1	0	0	1	0	0	0	1	0	
			1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
			1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
Earth data (AVHRR)	10,240	751 752 753 754 755 756 ↓ 10,985 10,986 10,987 10,988 10,989 10,990	Ch 1 - Sample 1 Ch 2 - Sample 1 Ch 3 - Sample 1 Ch 4 - Sample 1 Ch 5 - Sample 1 Ch 1 - Sample 2 ↓ Ch 5 - Sample 2047 Ch 1 - Sample 2048 Ch 2 - Sample 2048 Ch 3 - Sample 2048 Ch 4 - Sample 2048 Ch 5 - Sample 2048										Each minor frame contains the data obtained during one earth scan of the AVHRR sensor. The data from the five sensor channels of the AVHRR are time multiplexed as indicated
Auxiliary sync	100	10,991 10,992 10,993 10,994 ↓ 11,089 11,090	1	1	1	1	1	0	0	0	1	0	} Derived from the noninverted output of a 1023-bit PN sequence provided by a feedback shift register generating the polynomial: $X^{10} + X^5 + X^2 + X + 1$ The generator is started in the all 1's state at the beginning of word 10,991
			1	1	1	1	1	1	0	0	1	1	
			0	1	1	0	1	1	0	1	0	1	
			1	0	1	0	1	1	1	1	0	1	
			0	1	1	1	1	1	0	0	0	0	
			1	1	1	1	0	0	1	1	0	0	
			1	1	1	1	0	0	1	1	0	0	

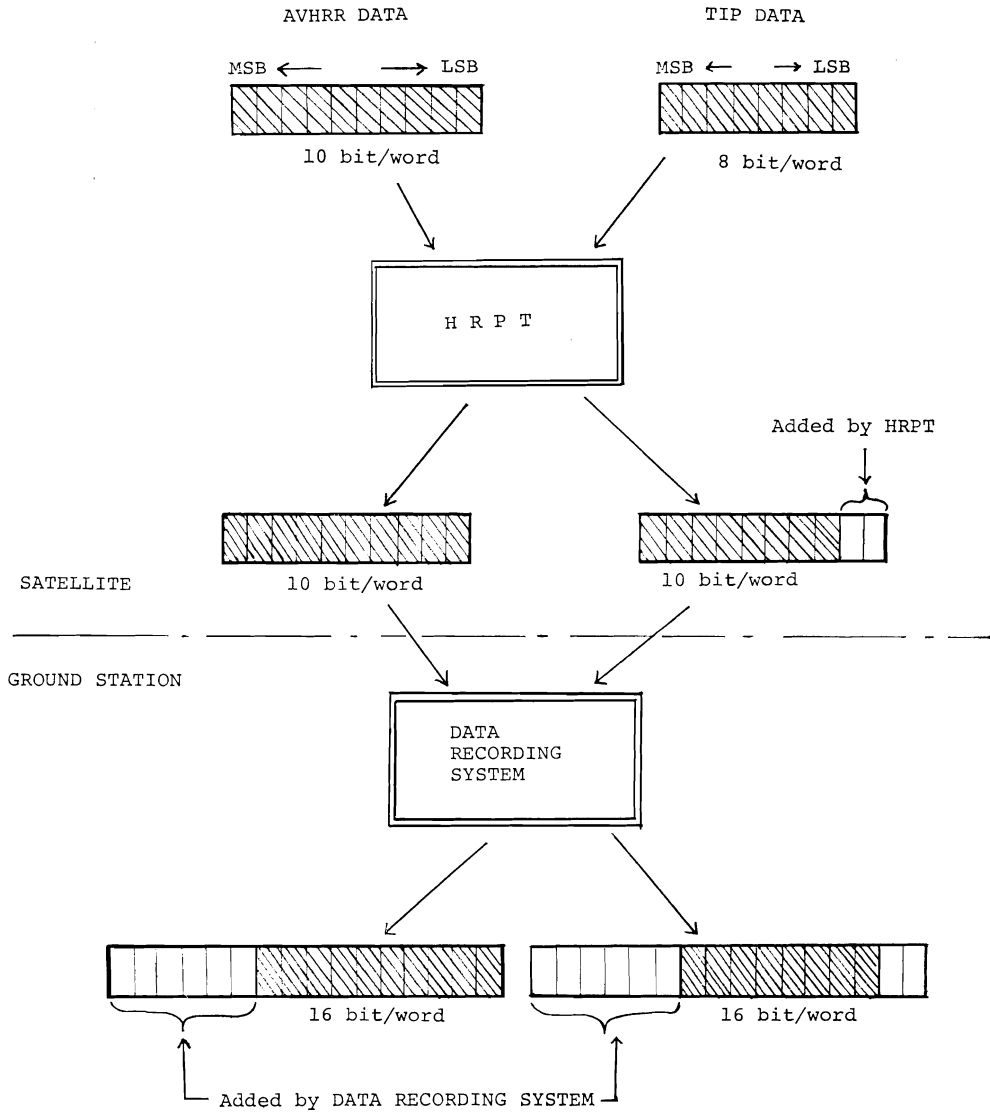


Fig. 2 Transformation of HRPT data bit composition.

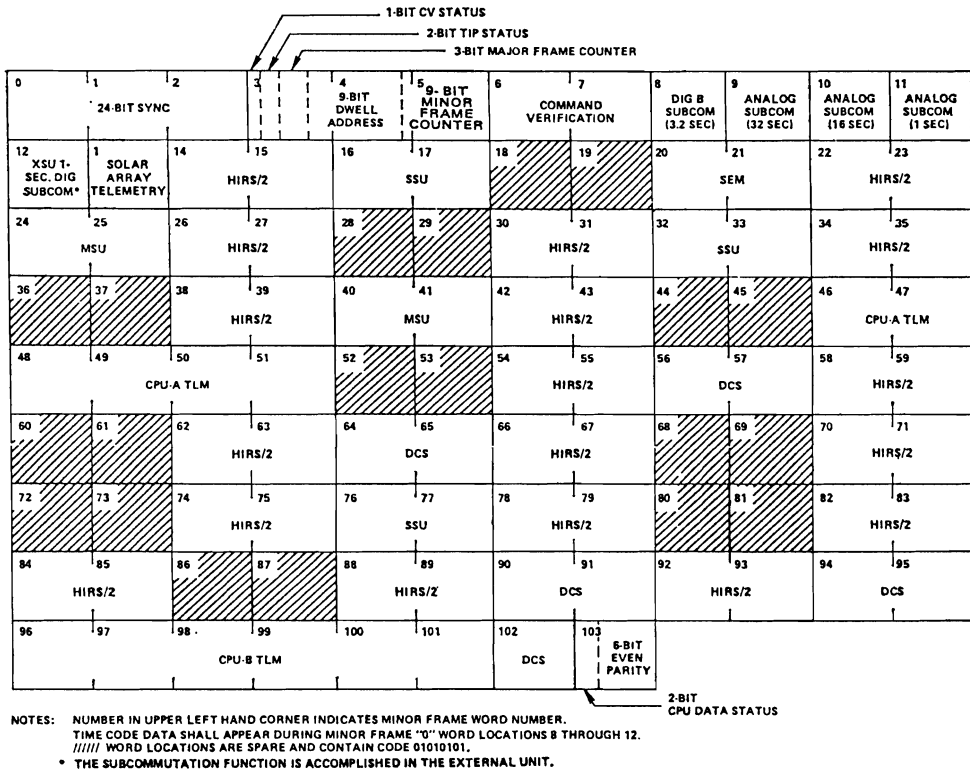


Fig. 3 TIP minor frame format.

わりうるが1月1日00時00分 (GMT) に1にセットされる。

### 2.3 HIRS データの構成

TIP マイナーフレーム内の HIRS データには HIRS の観測データとテレメトリーデータが288ビット (=8ビット×36ワード) 含まれている。TIP マイナーフレーム内でのワード位置は Fig. 3 のとおり、14, 15, 22, 23, 26, 27, 30, 31, 34, 35, 38, 39, 42, 43, 54, 55, 58, 59, 62, 63, 66, 67, 70, 71, 74, 75, 78, 79, 82, 83, 84, 85, 88, 89, 92, 93である。

TIP 1 マイナーフレーム内の HIRS データ (288ビット) をエレメントと呼ぶ。

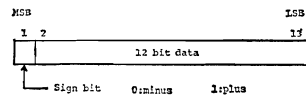
HIRS 1 ラインは、連続した64個のエレメント (エレメント0～エレメント63) で構成される。すなわち64個の TIP マイナーフレームで、1ラインが構成される。

TIP 1 メジャーフレーム内のマイナーフレームカウンターが1, 65, 129, 193, 257が HIRS 1 ラインを構成する 64エレメント内の第1番目のエレメントに相当する。

64個のエレメントの内容を Table 3 に示す。

エレメント0～62のビット27～286 (260ビット) は、20ワード (13ビット/ワード) のデータを含んでいる。

各ワードは12ビットのデータと1ビットの符号ビットから成る。



エレメント0～55の20ワードのデータには、同一 HIRS スポットにおける20チャンネルの観測データが入っている。ワード位置と HIRS チャンネル番号との対応を Table 4 に示す。

エレメント56～62内の20ワードのデータはHK (House Keeping) データや、補助的な計測器のデータである。このうちエレメント58, 59には ICT および IWT (Internal Cold and Warm Target) の温度を決定するために必要なサーミスタのデータを含んでいる。これらは、HIRS の赤外チャンネルのキャリブレーションに利用

Table 2 Detailed description of TIP minor frame.

Table 2(1)

Function (no. of words)	Word position	Word format and function
Frame sync & S/C ID (3)	0 1 2	1 1 1 0 1 1 0 1 The last 4 bits of 1 1 1 0 0 0 1 0 word 2 are used for 0 0 0 0 A A A A spacecraft ID
Status (1-)	3	Bit 1: Cmd. verification (CV status; 1=CV update word present in frame; 0=no CV update in frame. Bits TIP status; 00=orbital mode 2 & 3: 10=CPU memory Dump mode 01=dwell mode 11 boost mode. Bits Major frame count: MSB first; 4 - 6: Counter incremented every 320 minor frames. 000=major frame 0 111=major frame 7
Dwell mode address (1+)	3 4	Bits 9-bit dwell mode address of 7&8 analog channel that is being Bits monitored continuously. MSB 1-7 is first 0 0 0 0 0 0 0 0 = Analog ch 0 1 0 1 1 1 0 1 0 1 = Analog ch 383
Minor frame counter (1+)	4 5	Bit 8 0 0 0 0 0 0 0 0 = Minor frame 0 Bits 1 0 0 1 1 1 1 1 = Minor frame 1-8 319, MSB is first.
Command verification (2)	6 7	Bits 9 through 24 of each received command word are placed in the 16-bit slots of telemetry words 6 and 7 on a one-for-one basis.
Time code (5)	8,9 9 9,10,11,12	9 bits of binary day count, MSB first bits 2-5: 0 1 0 1, spare bits 27 bits of binary msec of day count, MSB first.  Time code is inserted in word location 8-12 only in minor frame 0 of every major frame. The data inserted is referenced to the beginning of the first bit of the minor frame sync word of minor frame 0.
3.2 - Sec. digital B subcom (1)	8	A subcommutation of discrete inputs collected to form 8-bit words. 256 discrete inputs (32 words) can be accommodated. It takes 32 minor frames to sample all inputs once (sampling rate = once per 3.2 sec). A major frame contains 10 complete digital B sub- commuted frames.
32-sec analog subcom (1)	9	A subcommutation of up to 192 analog points sampled once every 32 seconds plus 64 analog points sampled twice every 32 seconds (once every 16 seconds). Bit 1 of each word repre- sents 2560 mv while bit 8 represents 20 mv*
16-sec analog (1)	10	These two subcoms are under Programmed. Read Only Memory control. A maximum of 128 analog points can be placed in the 169 slots; super commutation of some selected analog channels is done to fill the 169 time slots. The 170th slot is filled with data from the analog point selected by command. The slot is word number zero of the one-second subcom. The analog point may be any of the 384 analog points available. Bit 1 of each word represents 2560 mv while bit 8 represents 20 mv.
1-sec analog subcom (1)	11	

\*mv: millivolts

Table 2(2)

Function (no. of words)	Word position	Word format and function
XSU digital subcom (1)	12	The cross strap unit (XSU) generates an 8-word subcom which is read out at the rate of one word per minor frame. The XSU subcom is synchronized with its word 1 in minor frame 0,8,16...
Satellite data subcom (1)	13	Solar array telemetry
Spares (20)	18,19 28,29,36 37,44,45 52,53,60 61,68,69 72,73,80 81,86,87	0 1 0 1 0 1 0 1
HIRS/2 (36)	14,15,22 23,26,27 30,31,34 35,38,39 42,43,54 55,58,59 62,63,66 67,70,71 74,75,78 79,82,83 84,85,88 89,92,93	8-bit words are formed by the HIRS/2 experiment and are read out by the telemetry system at an average rate of 360 words per second.
SSU (6)	16,17,32 33,76,77	8-bit words are formed by the SSU experiment and read out by the telemetry system at an average rate of 60 words per second.
SEM (2)	20,21	8-bit words are formed by the SEM sensor and read out by the telemetry system at an average rate of 20 words per second.
MSU (4)	24,25,40 41	8-bit words are formed by the MSU experiment and read out by the telemetry system at an average rate of 40 words per second.
DCS (9)	56,57,64 65,90,91 94,95,102	8-bit words are formed by the DCS experiment and read out by the telemetry system at an average rate of 90 words per second.
CPU A TLM (6)	46,47,48 49,50,51	A block of three 16-bit CPU words is read out by the telemetry system every minor frame.
CPU B TLM (6)	96,97,98, 99,100,101	A second block of three 16-bit CPU words is read out by the telemetry system every minor frame.
CPU data status (1-)	103	Bits 1&2: 00=All CPU data received 01=All CPU-A data received; CPU-B incomplete 10=All CPU-B data received; CPU-A incomplete 11=Both CPU-A and CPU-B incomplete
Parity (1-)	103	Bit 3: Even parity check on words 2 through through 18 Bit 4: Even parity check on words 19 through 35 Bit 5: Even parity check on words 36 through 52 Bit 6: Even parity check on words 53 through 69 Bit 7: Even parity check on words 70 through 86 Bit 8: Even parity check on words 87 through bit 7 of word 103

Table 3 Detail of HIRS/2 data elements.

Table 3(a)

<u>Element 0-55</u>	
Bit 1-8	Encoder position (1-56=Earth view, 68=space, 105=ICT, 156=IWT)
Bit 9-13	Electronic cal level (0-31)
Bit 14-19	Channel 1 period monitor
Bit 20-25	Element number (1 less than encoder value for Earth views)
Bit 26	Filter sync designator
Bit 27-286	Radiant signal output (20 ch x 13 bits)
Bit 287	Valid data bit
Bit 288	Minor word parity check (odd parity)
<u>Element 56-63</u>	
Bit 1-26	Same as above
Bit 287, 288	Same as above
<u>Element 56</u>	
Bit 27-286	Positive electronic cal. (cal level advances one of 32 equal levels on succeeding scans)
<u>Element 57</u>	
Bit 27-286	Negative electronic cal.
<u>Element 58</u>	
Bit 27-91	Internal warm target #1, 5 times
Bit 92-156	Internal warm target #2, 5 times
Bit 157-221	Internal warm target #3, 5 times
Bit 222-286	Internal warm target #4, 5 times
<u>Element 59</u>	
Bit 27-91	Internal cold target #1, 5 times
Bit 92-156	Internal cold target #2, 5 times
Bit 157-221	Internal cold target #3, 5 times
Bit 222-286	Internal cold target #4, 5 times
<u>Element 60</u>	
Bit 27-91	Filter housing temp. #1, 5 times
Bit 92-156	Filter housing temp. #2, 5 times
Bit 157-221	Filter housing temp. #3, 5 times
Bit 222-286	Filter housing temp. #4, 5 times
<u>Element 61</u>	
Bit 27-91	Patch temp. expanded, 5 times
Bit 92-156	First-stage temp., 5 times
Bit 157-221	Filter housing control power /temp., 5 times)
Bit 222-286	Electronic cal DAC, 5 times (counts)
<u>Element 62</u>	
Bit 27-39	Scan mirror temp.
Bit 40-52	Primary telescope temp.
Bit 53-65	Secondary telescope temp.
Bit 66-78	Baseplate temp.
Bit 79-91	Electronics temp.
Bit 92-104	Patch temp. - full range
Bit 105-117	Scan motor temp.
Bit 118-130	Filter motor temp.
Bit 131-143	Cooler housing temp.
Bit 144-156	Patch control power

Table 3(b)

Element 62 (continued)		
Bit 157-169	Scan motor current	
Bit 170-182	Filter motor current	
Bit 183-195	+15 Vdc	
Bit 196-208	-15 Vdc	
Bit 209-221	+7.5 Vdc	
Bit 222-234	-7.5 Vdc	
Bit 235-247	+10 Vdc	
Bit 248-260	+5 Vdc	
Bit 261-273	Analog ground	
Bit 274-286	Analog ground	
Element 63		
Bit 27-39	Line count	
Bit 40-41	Fill zeros	
Bit 42-44	Instrument serial number	
*Bit 45-52	Command status	
Bit 53-57	Fill zeroes	
*Bit 58-65	Command status	
Bit 66-78	Binary code (1,1,1,1,1,0,0,1,0,0,0,1,1)	+3875 (base 10)
Bit 79-91		+1443
Bit 92-104		-1522
Bit 105-117		-1882
Bit 118-130		-1631
Bit 131-143		-1141
Bit 144-156		+1125
Bit 157-169		+3655
Bit 170-182		-2886
Bit 183-195		-3044
Bit 196-208		-3764
Bit 209-221		-3262
Bit 222-234		-2283
Bit 235-247		-2251
Bit 248-260		+3214
Bit 261-273		+1676
Bit 274-286		+1992
*Bit 45	Instrument ON/OFF	ON = 1
*Bit 46	Scan motor ON/OFF	ON = 0
*Bit 47	Filter wheel ON/OFF	ON = 0
*Bit 48	Electronics ON/OFF	ON = 1
*Bit 49	Cooler heat ON/OFF	ON = 0
*Bit 50	Internal warm tgt. position	True = 0
*Bit 51	Internal cold tgt. position	True = 0
*Bit 52	Space position	True = 0
*Bit 58	Nadir position	True = 0
*Bit 59	Calibration enable/disable	Enabled = 0
*Bit 60	Cover release enable/disable	Enabled = 0
*Bit 61	Cooler cover open	Yes = 1
*Bit 62	Cooler cover closed	Yes = 1
*Bit 63	Filter housing heat ON/OFF	ON = 0
*Bit 64	Patch temp. control ON/OFF	ON = 0
*Bit 65	Filter motor power HIGH	Normal = 1

\*Command status bits

NOTE:

Each data sample is a 13-bit word with the MSB being the sign bit. The sign convention is such that 1 is positive and 0 is negative. The exceptions are the line number and command status words of element 63.

**Table 4** HIRS/2 channel word location.

Word location	Nominal central wave number ( $\nu_c$ )	Radiometric channel number
1	668.4	1
2	2360.6	17
3	679.23	2
4	691.12	3
5	2190.4	13
6	703.56	4
7	2511.9	18
8	1363.7	11
9	2671.2	19
10	748.27	7
11	897.71	8
12	14367.0	20
13	1217.1	10
14	2212.7	14
15	721.28	6
16	716.05	5
17	2240.1	15
18	1484.4	12
19	2276.3	16
20	1027.9	9

される。

通常、ノーマルモードでの運用の場合、HIRS 40ライン (256秒) 毎に一度キャリブレーションサイクルが自動的に繰り返えされる。

キャリブレーションサイクルには、宇宙空間の観測データ、ICT の観測データ、IWT の観測データが、それぞれ1ラインずつ含まれる。キャリブレーションサイクルの後に、37ラインの地球を観測したデータが続いている。

キャリブレーションサイクルのラインの識別は、エレメント63のラインカウント (ビット27~39) あるいは、エレメント0~55の Encoder Position (ビット1~8) による。

ラインカウントの場合、

- ラインカウント = 0 : 宇宙空間の観測データ
- " = 1 : ICT の観測データ
- " = 2 : IWT の観測データ
- " = 3 ~ 39 : 地球の観測データ

である。

Encoder Position の場合

- Encoder Position の値 = 1 ~ 56 : 地球の観測データ
- " = 68 : 宇宙空間の観測データ

- " = 105 : ICT の観測データ
- " = 156 : IWT の観測データ

で示されている。

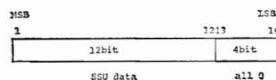
地上局からの指令によってセカンダリーモードの運用ができるが、セカンダリーモードの運用の場合には、キャリブレーションサイクルはなくなりラインカウント0, 1, 2のデータも地球を観測したデータとなる。この時、キャリブレーションは、エレメント60~62に含まれる HK データを使用して行なう。この場合に必要の係数は NESS から提供される。

#### 2.4 SSU データの構成

TIP マイナーフレームには、SSU の観測データおよびテレメトリーデータが含まれている。Fig. 3 のとおり、TIP マイナーフレーム内のワード位置16, 17, 32, 33, 76, 77に、SSU データのための領域が6ワード (8ビット/ワード) 用意されている。

SSU データは、連続する2ワード (16ビット) で表現される。したがって TIP 1 マイナーフレームには SSU データワードが3個含まれることになる。

SSU データワードは、上位12ビットが有効



で、下位4ビットは、オール0である。

SSU のスキャン周期は、32秒であるため、1スキャンの間に、320 TIP マイナーフレーム (=TIP 1 メジャーフレーム) が送られてくる。そして SSU データは、TIP マイナーフレームカウンタが0である TIP データより始まる。TIP マイナーフレーム内に SSU データが3個含まれているため、1スキャン当りに960個 (=3データ/マイナーフレーム×320マイナーフレーム) のデータが得られる。したがって毎秒30ワード (=960ワード/32秒) の割合で SSU データが得られる。

毎秒得られる30ワードには、SSU 3チャンネルの観測データサンプルがそれぞれ2個含まれている。チャンネル1のデータは、ワード16, 28に、チャンネル2のデータは、ワード17, 29に、チャンネル3のデータはワード18, 30に格納されている。

これらの30個の SSU データワードの内容を Table 5 に示す。

SSU の1スキャンラインは、8スポット (1 スポット



**Table 5** 30-word SSU data sampling.

SSU Data	Words
Digital word 1	1
Digital word 2	2
Digital word 3	3
Space port temperature	4
Earth port temperature	5
PMC bulkhead temperature	6
Detector temperature	7
Black body thermistor	8
Black body thermistor	9
Cell temperature ch 1	10
Cell temperature ch 2	11
Cell temperature ch 3	12
Base plate temperature	13
Middle bulkhead temperature	14
Optics baseplate temperature	15
Radiometric sample ch 1	16
Radiometric sample ch 2	17
Radiometric sample ch 3	18
Thermistor reference	19
Mirror fine position	20
Black body PRT	21
PMC Amplitude ch 1	22
PMC Amplitude ch 2	23
PMC Amplitude ch 3	24
ADC calibration 5% of full scale	25
ADC calibration 50% of full scale	26
ADC calibration 90% of full scale	27
Radiometric sample ch 1	28
Radiometric sample ch 2	29
Radiometric sample ch 3	30

ト当りのステップタイムは4秒)から成っているため、各チャンネルに対して1スポット当り8個の観測データサンプル(観測データサンプル2個/秒)が得られる。これらの8個の観測データサンプルより最終的に1個の観測データを求める。

8個の観測データサンプルより1個の観測データを算出する方法については、次節のSSUキャリブレーションを参照する。

ノーマルオペレーションの場合、SSUの観測器は、SSU 8ライン(256秒)毎に、キャリブレーションサイクルを繰り返す。キャリブレーションサイクルは、TIPメジャーフレーム0、TIPマイナーフレーム0から始まり、SSU 1ラインで構成されている。1ライン中の前半4スポットは、宇宙空間を、後半4スポットは、Internal Calibration Targetを観測したデータである。

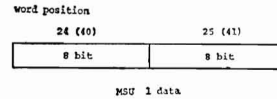
キャリブレーションラインの後に、7ライン地球を観測したデータが入ってくる。

### 2.5 MSU データの構成

TIPマイナーフレームには、MSUの観測データおよびテレメトリーデータが含まれている。これらのデータは、TIPマイナーフレーム内の4ワード(8ビット/ワ

ード)に格納されていて、そのワード位置は、Fig. 3のとおり、24、25、40、41である。

MSU データは、連続する2ワード(16ビット)で表現される。



MSUのスキャン周期は、25.6秒であるため1スキャンの間に256TIPマイナーフレームが送られてくる。したがってMSUデータの512ワード(16ビット/ワード、2ワード/TIPマイナーフレーム×256TIPマイナーフレーム=512ワード)によってMSU 1ラインが構成される計算である。しかしながら512ワードの内、400ワードは、オール0の無効データであり、残りの112ワードのみが有効なデータである。

この識別は、各MSUデータの最初のビットによって行なえる。もしこのビットが1ならば、有効データであるし、0のときは、オール0の無効データである。

112ワードのMSUデータの内容と相対ワード位置をTable 6に、また各MSUデータワードの詳細をTable 7に示す。

512ワードのうち、有効データは、8ワード連続してまとまっている。この8ワード1組のデータには、4ワードの観測データ(4チャンネル分)と4ワードの補助的なデータが含まれている。そしてこれらの8ワード1組は、MSUの1スポット(IFOV)に相当する。

Table 6において、最初の11組は、地球を観測したMSUデータを含み、第12、第13組には、それぞれ宇宙空間およびInternal Targetを観測したデータを含んでいる。宇宙空間およびInternal Targetの観測データはキャリブレーションに使用される。

第14組の観測データは使用できないデータである。

各組の第8ワードのScan Angleデータとスポット(IFOV)番号との対応をTable 8に示す。

112ワードの先頭ワードは、Table 7に示されているようにビット2によって識別できる。このビットが1のときは、先頭ワードであり、0のときは先頭ワードでない。

MSUのスキャンラインが始まるTIPメジャーフレームカウンター、TIPマイナーフレームカウンターの値は、Table 9であり、マイナーフレームカウンターがわずかに変動する。

Table 6 MSU scan line format.

WORD	RADIOMETRIC DATA							8								
	1	2	3	4	5	6	7									
IFOV	INSTRUMENT VOLTAGES		INSTRUMENT TEMP (SYSTEM A)		INSTRUMENT TEMP (SYSTEM B)		CHANNEL 1 DATA		CHANNEL 2 DATA		CHANNEL 3 DATA		CHANNEL 4 DATA		SCAN POSITION LINE COUNT (2)	
1	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
	INST SCR LO	T <sub>A</sub> CAL LO	T <sub>B</sub> CAL LO	CH 1 DATA	CH 2 DATA	CH 3 DATA	CH 4 DATA	SCAN POS 0 SCAN COUNT								
2	8	T <sub>A</sub> CAL HI	T <sub>B</sub> CAL HI					15								SCAN POS 1 SCAN COUNT
3	16	OTH 1 TEMP	OTH 2 TEMP					23								
4	24	L.O. 1 TEMP	L.O. 2 TEMP					31								
5	32	L.O. 3 TEMP	L.O. 4 TEMP					39								
6	40	DICKE LOAD 1 TEMP	DICKE LOAD 2 TEMP					47								
7	48	DICKE LOAD 3 TEMP	DICKE LOAD 4 TEMP					55								
8	56	PRT 1A	PRT 1B					63								
9	64	PRT 2A	PRT 2B					71								
10	72	ANT. 1 BEARING TEMP	ANT. 2 BEARING TEMP					79								
11	80	MOTOR TEMP	MOTOR TEMP					87								
12	88	-15 VOLTS	RF CHASSIS					95								
13	96	5 VOLTS	PROG TEMP	PROG TEMP				103								SCAN POS 12 SCAN CNT
14	104	E ZERO	PROG TEMP	PROG TEMP	107	108	109	110	111							SCAN POS X SCAN CNT

NOTES: 1. ALL 12-BIT WORDS; 112 WORDS = 1 SCAN LINE = 25.6 SEC  
 2. COUNTS TO 5 AND RESETS EVERY 128 SEC

**Table 7** MSU bit formats for each IFOV.

Typical format for all words except word 8																	
MSB bit										LSB bit							
1	1	0	Z	D	D	D	D	D	D	D	D	D	D	D	D	D	16
1	1	0	Z	D	D	D	D	D	D	D	D	D	D	D	D	D	16
<p>D = Data                      Z = 1 when in zero reference disable mode;                      0 at all other times                      0 = 0 for the first seven words                      1 = indicates it is the first word in a scan;                      0 for all other words                      1 = indicates that the word is a real word;                      0 occurs only for an all-zero word</p>																	
Scan position - line count, word 8																	
MSB bit										LSB bit							
1	0	1	Z	S	R	R	R	E	E	E	E	E	E	E	E	E	16
1	0	1	Z	S	R	R	R	E	E	E	E	E	E	E	E	E	16
<p>E = Scan angle (position) data                      R = Scan line count (reset by 128-sec sync)                      S = 1 when in scan disabled mode;                      0 at all other times                      Z = 1 when in zero reference disable mode                      1 = indicates that this is the 8th word in the scan position                      0 = indicates that this is not the first word in a scan                      1 = indicates that the word is a real word</p>																	

**Table 8** Acceptable scan angle

IFOV	Scan Angles
1 and 14	83, 91, 90
2	94, 95, 31
3	24, 26, 27
4	20, 21, 17
5	1, 4, 5
6	8, 10, 11
7	46, 47, 15
8	35, 42, 43
9	38, 39, 36
10	48, 49, 53
11	60, 57, 56
Space (12)	163, 162, 171
Internal target (13)	200, 201, 202

**Table 9** List of TIP major/minor frame counters at which MSU scan line start.

TIP major frame	TIP minor frame
0	19~21
0	275~277
1	211~213
2	147~149
3	83~85
4	19~21
4	275~277
5	211~213
6	147~149
7	83~85

### 2.6 AVHRR データの構成

HRPT マイナーフレームには、AVHRR データの1ライン分が格納されている。

Fig. 1 に示されているとおり、AVHRR データは、2ヶ所に分れていて、一方は、10,240ワード（1ワード10ビット）で地球を観測した1ライン分のデータであり、他方は、先頭にある103ワードのヘッダー部に存在するキャリブレーション情報およびテレメトリデータである。各ワードの詳細な内容については、Table 1を参照する。

キャリブレーションに必要である宇宙空間の観測データは、各チャンネル10ワード、計50ワード（5チャンネル×10ワード）で、53ワード目から102ワード目までに入っている。内部ターゲットの観測データは、赤外3チャンネルに対してそれぞれ10ワードで計30ワードのデータが23ワード目より52ワード目に入っている。また、内部ターゲットの温度を測定するデータは18ワード目より20ワード目の3ワードに入っている。

1ライン、2048画素5チャンネル分の地球を観測したデータは、751ワード目より、10,990ワード目までの10,240ワードに格納されている。

### 3. キャリブレーションの方法

本節では、極軌道気象衛星 TIROS-N シリーズに搭載されている4つの測器 AVHRR, HIRS, SSU, MSU のデータに対するキャリブレーションの方法について述べる。

キャリブレーションは、観測データより放射エネルギーを求めることである。観測される放射エネルギー  $N$  と観測データ  $C$  との間に、

$$N = GC + I \tag{1}$$

という関係が成り立つようになっている。

ここで  $G$  および  $I$  が決定されればよい。これらの  $G$  および  $I$  をキャリブレーション係数と呼ぶことにする。したがってキャリブレーションとしては、このキャリブレーション係数  $G, I$  を決定し、その係数を使って(1)式より求める。

このキャリブレーション係数を決定するのに、赤外およびマイクロ波領域のチャンネルのデータに対しては、宇宙空間および衛星の内部にある黒体シャッターのデータを使用する。

そして求められたキャリブレーション係数を使用して

キャリブレーションを行なう。

可視、近赤外領域のチャンネルのうち、AVHRRのチャンネル1、チャンネル2については、キャリブレーション係数は、あらかじめ衛星打上げ前の地上試験によって求められNESSによって公表されている。このキャリブレーション係数を用いてキャリブレーションを行なう。

HIRSの可視チャンネルについては、キャリブレーションを行なう情報が無いため行なわない。

以下にHIRS, SSU, MSU, AVHRRのキャリブレーションの方法について述べる。

### 3.1 HIRSのキャリブレーション

HIRSの赤外チャンネル(チャンネル1~19)のキャリブレーションに必要なデータは、

- ・宇宙空間の観測データ
- ・衛星内部にあるIWT (Internal Warm Target)の観測データ (IWT: 約290°Kに維持されている)
- ・IWTの温度を観測する4つのサーミスターのデータ

である。

宇宙空間および衛星内部のIWTの観測データは、256秒毎にあるHIRSキャリブレーションピリオド内に含まれている。256秒間には40ラインのHIRSデータが入っているがこのうちの3ラインがHIRSキャリブレーションピリオドである。

このラインは、

- ・宇宙空間の観測データ1ライン
- ・衛星内部のターゲットICT (Internal Cold Target)の観測データ1ライン
- ・衛星内部のターゲットIWTの観測データ1ライン

によって構成されている。

一応キャリブレーションには、ICTの観測データも使用可能であるが、軌道上における太陽の影響による温度勾配が大きいためICTデータは使用しない。したがって、HIRSのキャリブレーションには、

- ・宇宙空間の観測データ  
48サンプル/チャンネル/ライン
- ・IWTの観測データ  
56サンプル/チャンネル/ライン

が使用される。

本来宇宙空間の観測データも56サンプルであるが、8サンプルは、宇宙ヘスキャンミラーが移動する時に得られるので使用できないため、48サンプルになる。

一方、IWTの温度センサーのデータは、各HIRSラインに含まれていて、

$$5 \text{ サンプル/サーミスター/ライン}$$

である。

まずIWTの温度センサーのデータより、IWTの温度を計算する。

IWTの温度を観測している4個のサーミスターのカウント値を $X_i$  ( $i=1, 2, 3, 4$ ) とすると、このカウント値より、4個のそれぞれのサーミスターで観測したIWTの温度 $T_i$  ( $i=1, 2, 3, 4$ ) は、

$$T_i = \sum_{j=0}^4 a_{ij} \bar{X}_i^j \\ = a_{i0} + a_{i1} \bar{X}_i + a_{i2} \bar{X}_i^2 + a_{i3} \bar{X}_i^3 + a_{i4} \bar{X}_i^4 \quad (2)$$

で求められる。

ただし、

$$\bar{X}_i = \frac{1}{M} \sum_{m=1}^M X_{im}$$

$X_{im}$ : サミスター  $i$  の  $m$  番目のサンプルのカウント値

$a_{ij}$ : 温度への変換係数でNESSによって公表されている値である。

$M$ : サンプル数

これらの4個の温度 $T_i$ が求められると、IWTの温度 $T_{IWT}$ は、

$$T_{IWT} = \frac{\sum_{i=1}^4 b_i T_i}{\sum_{i=1}^4 b_i} \quad (3)$$

ただし  $b_i=1$  ( $i=1, 2, 3, 4$ )

で計算される。

IWTの温度 $T_{IWT}$ が求まったわけであるが、この温度よりプランクの公式を使い、IWTの放射エネルギー $N_{IWT}$ が求められる。(付録A参照)このようにして求めたIWTの放射エネルギー $N_{IWT}$ 、宇宙空間の放射エネルギー $N_{sp}$ と、宇宙空間の観測データの相加平均 $\bar{C}_{sp}$ 、IWTの観測データの相加平均 $\bar{C}_{IWT}$ とを用いキャリブレーション係数 $G, I$ を決定する。地球を観測した観測データ $C$ と、それに対する放射エネルギー $N$ の関係は、(1)式であるから

$$N_{sp} = G \bar{C}_{sp} + I \\ N_{IWT} = G \bar{C}_{IWT} + I \quad \text{が成り立つ。}$$

この2つの式より、 $G$  および  $I$  を決定すると

$$G = \frac{N_{sp} - N_{IWT}}{\bar{C}_{sp} - \bar{C}_{IWT}}$$

$$I = N_{sp} - G\bar{C}_{sp}$$

4	2.0秒
5	2.4秒
6	3.0秒
7	3.4秒
8	4.0秒

である。このようにして、 $G$ 、 $I$  が決定されると(1)式より地球を観測した観測データを放射エネルギーに変換できる。

### 3.2 SSU のキャリブレーション

SSU のキャリブレーションに必要なデータとしては、

- 宇宙空間の観測データ
- 衛星内部ターゲット (Internal Calibration Target) の観測データ
- 衛星内部ターゲットの温度測定データ

である。

宇宙空間、衛星内部ターゲットのそれぞれの観測データは、256秒毎に存在する SSU のキャリブレーションピリオドに得られる。

SSU データは、256秒間に8ライン得られるがこのうちの最初の1ラインがキャリブレーションのためのデータである。

SSU 1 ラインは、32秒間で8画素のデータから成っている。前半16秒間の4画素が宇宙空間の観測データ、後半16秒間の4画素が内部ターゲットの観測データである。

衛星内部ターゲットの温度測定データは、SSU の各ラインに入っている。

内部ターゲットの温度測定器は、黒体 PRT (Platinum Resistance Thermometer) と、黒体サーミスターの2種類ある。

黒体 PRT は1個、黒体サーミスターは2個あり、黒体 PRT の方が精度よく温度の測定ができるため通常この黒体 PRT の測定データを使用する。黒体サーミスターは黒体 PRT が不良となった時に使ういわば予備になっている。

これらのデータを使用しての SSU キャリブレーションの方法を以下に述べる。

SSU のスキャンミラーは、1画素の観測データを得るために4秒間同一位置に停止し、各チャンネルに対し、8個のデータがサンプリングされる。サンプリングのタイミングは、

サンプル番号 $m$	時刻 $t$
1	0.4秒
2	1.0秒
3	1.4秒

である。

これらの8個のサンプリングデータより、1画素の観測データ (RAMP とよぶ) を得るには次式で求める。

$$RAMP = \frac{8 \sum_{m=1}^8 t_m C_m - \sum_{m=1}^8 t_m \sum_{m=1}^8 C_m}{8 \sum_{m=1}^8 t_m^2 - \left( \sum_{m=1}^8 t_m \right)^2} \quad (4)$$

$t_m$  : サンプル番号  $m$  に対する時刻  $t$  (秒)

$C_m$  : サンプル番号  $m$  の SSU のサンプル値 (カウント)

言い換えると、SSU の観測データ RAMP は線形関係にある  $t$  と  $C$  の一次式

$$C = RAMP \cdot t$$

の勾配 RAMP を最小2乗法で計算したものとして与えられる。

(4)式は、SSU の地球観測データ、宇宙空間観測データおよび内部ターゲット観測データを求める時に必ず適用される。

次に内部ターゲットの温度計算について述べる。

内部ターゲットの温度を計算する方法は、温度測定器を黒体 PRT とするか、黒体サーミスターにするかによって異なる。

- 黒体 PRT の場合

黒体 PRT の温度測定データを  $X_m$ 、内部ターゲットの温度を  $T$  とすれば

$$T(^{\circ}K) = \sum_{i=0}^2 a_i \bar{X}^i \\ = a_0 + a_1 \bar{X} + a_2 \bar{X}^2$$

となる。

ここで

$$\bar{X} = \frac{1}{M} \sum_{m=1}^M X_m$$

$X_m$  : 黒体 PRT の温度データ

$M$  : 温度データ数

$a_i$  ( $i=0, 1, 2$ ) : 温度算出係数で NESS より公表される。

- 黒体サーミスターの場合

2個の黒体サーミスタの温度測定データを  $X_m, Y_m$  とする。また、内部ターゲットの温度を  $T$  とすれば、

$$T(^{\circ}K) = \frac{dx \sum_{i=0}^3 b_i \bar{X}^i + dy \sum_{i=0}^3 c_i \bar{Y}^i}{dx + dy}$$

である。

$$\text{ここで } \bar{X} = \frac{1}{M} \sum_{m=1}^M \frac{X_m}{r_m}$$

$$\bar{Y} = \frac{1}{M} \sum_{m=1}^M \frac{Y_m}{r_m}$$

$X_m, Y_m$ : 黒体サーミスタ 1, 2 の測定データ サンプル

$r_m$ : 黒体サーミスタ-referenceで,  $X_m, Y_m$  に対して  $r_m$  は1個ある。

$M$ : データ個数

$b_i, c_i$  ( $i=0, 1, 2, 3$ ): 温度算出係数で, NESS に より公表される。

$$d_x = d_y = 1$$

本処理では、通常、黒体 PRT によって温度測定を行なう。

このようにして内部ターゲットの温度  $T$  がわかると、内部ターゲットの放射エネルギー  $N_T$  はプランクの公式 (付録A参照) によって計算される。

SSU の観測データ RAMP から放射エネルギー  $N$  を求めるには(1)式で与えられる。ただし  $C$  を RAMP で表わせばよい。

この(1)式の係数  $G, I$  を決定すればよい。係数  $G, I$  は、宇宙空間、内部ターゲットのデータを使い

$$G = \frac{N_{sp} - N_T}{\text{RAMP}_{sp} - \text{RAMP}_T}$$

$$I = N_{sp} - G \cdot \text{RAMP}_{sp}$$

で与えられる。

$N_{sp}$ : 宇宙空間の放射エネルギーで0とする。

$N_T$ : 内部ターゲットの放射エネルギーで、先に述べたようにして求められる。

$\text{RAMP}_{sp}$ : 宇宙空間の観測データ  $\text{RAMP}_{sp}$  の4個の相加平均

$\text{RAMP}_T$ : 内部ターゲットの観測データ  $\text{RAMP}_T$  の4個の相加平均

このようにして、SSU の観測値が、放射エネルギーに変換される。

### 3.3 MSU のキャリブレーション

MSU のキャリブレーションに必要なデータは、

- 宇宙空間の観測データ
- 衛星内部ターゲット (In-flight target) の観測データ
- 内部ターゲットの温度測定データ

である。

これらのデータは、各々の MSU ラインに含まれている。

内部ターゲットは2個あり、In-flight target (#1)は、MSU のチャンネル1とチャンネル2が、In-flight target (#2)は、チャンネル3とチャンネル4が観測する。

それぞれの内部ターゲットには、2個の PRT (Platinum Resistance Thermometer) が取付けられており、In-flight target (#1) の温度は、PRT 1A と PRT 1B によって、In-flight target (#2) の温度は PRT 2A と PRT 2B によって測定される。

まず内部ターゲットの温度計算について述べる。

内部ターゲットの温度を測定している PRT の出力カウント値から内部ターゲットの温度を計算する手順は、PRT の出力カウントを抵抗に変換し、その抵抗より温度を求める2段階によって行なわれる。

抵抗の計算は、4個の PRT 1A, 1B, 2A, 2B の出力カウント値を  $X_{1A}, X_{1B}, X_{2A}, X_{2B}$  また抵抗を  $R_{1A}, R_{1B}, R_{2A}, R_{2B}$  とすると、

$$R_{1A} = K_0 + K_1 \frac{X_{1A} - T_A \text{ CAL LO}}{T_A \text{ CAL HI} - T_A \text{ CAL LO}}$$

$$R_{1B} = K_0 + K_1 \frac{X_{1B} - T_B \text{ CAL LO}}{T_B \text{ CAL HI} - T_B \text{ CAL LO}}$$

$$R_{2A} = K_0 + K_1 \frac{X_{2A} - T_A \text{ CAL LO}}{T_A \text{ CAL HI} - T_A \text{ CAL LO}}$$

$$R_{2B} = K_0 + K_1 \frac{X_{2B} - T_B \text{ CAL LO}}{T_B \text{ CAL HI} - T_B \text{ CAL LO}}$$

である。

ここで

$K_0, K_1$ : NESS から公表される抵抗変換係数。PRT には無関係。

$T_A \text{ CAL HI}$   
 $T_A \text{ CAL LO}$   
 $T_B \text{ CAL HI}$   
 $T_B \text{ CAL LO}$  } : 電気系統 A, B に対する高/低キ  
キャリブレーションレファレンスポ  
イントで、MSU の各ラインに含  
まれている。

抵抗から温度への変換については、4個の PRT 1A,

1B, 2A, 2Bが測定した内部温度を $T_{1A}$ ,  $T_{1B}$ ,  $T_{2A}$ ,  $T_{2B}$ とし、抵抗を $R_{1A}$ ,  $R_{1B}$ ,  $R_{2A}$ ,  $R_{2B}$ とすれば、

$$T_{1A} = \sum_{i=0}^2 e_{1Ai} R_{1A}^i = e_{1A0} + e_{1A1} R_{1A} + e_{1A2} R_{1A}^2$$

$$T_{1B} = \sum_{i=0}^2 e_{1Bi} R_{1B}^i = e_{1B0} + e_{1B1} R_{1B} + e_{1B2} R_{1B}^2$$

$$T_{2A} = \sum_{i=0}^2 e_{2Ai} R_{2A}^i = e_{2A0} + e_{2A1} R_{2A} + e_{2A2} R_{2A}^2$$

$$T_{2B} = \sum_{i=0}^2 e_{2Bi} R_{2B}^i = e_{2B0} + e_{2B1} R_{2B} + e_{2B2} R_{2B}^2$$

で決定される。

ここで

$e_{\alpha i}$  ( $\alpha=1A, 1B, 2A, 2B$ ,  $i=0, 1, 2$ ) は、NESS から公表される温度変換係数でありPRTごとに異なる。内部ターゲット #1, #2 の温度  $T_1, T_2$  は、上で算出した  $T_{1A}, T_{1B}, T_{2A}, T_{2B}$  を用いて

$$T_1 = \frac{a_1 T_{1A} + a_2 T_{1B}}{a_1 + a_2} \quad \text{ただし } a_1 = a_2 = 1$$

$$T_2 = \frac{b_1 T_{2A} + b_2 T_{2B}}{b_1 + b_2} \quad \text{ただし } b_1 = b_2 = 1$$

で求められる。

$T_1, T_2$  は MSU 1 ラインごとに算出されるが、キャリブレーションを行なうときに使用する内部ターゲット #1, #2 の温度  $\bar{T}_1, \bar{T}_2$  は、MSU 数ラインの相加平均したものである。

すなわち

$$\bar{T}_1 = \frac{1}{M} \sum_{m=1}^M T_{1m}, \quad \bar{T}_2 = \frac{1}{M} \sum_{m=1}^M T_{2m}$$

$T_{1m}, T_{2m}$ : MSU の  $m$  ラインの  $T_1, T_2$   
 $M$ : 使用する MSU のライン数

このようにして内部ターゲット #1, #2 の温度  $\bar{T}_1, \bar{T}_2$  が計算される。内部ターゲット #1, #2 の温度  $\bar{T}_1, \bar{T}_2$  より内部ターゲット #1, #2 の放射エネルギー  $N_{\bar{T}_1}, N_{\bar{T}_2}$  への変換はプランクの公式によって行なわれる。

MSU へ入力される放射エネルギーと、MSU の出力カウント値 (観測データ) の関係は、非線形である。このため、MSU の出力カウント値に次式のような補正を行なえば、(1)式の関係が成り立つ。

$$C_i' = \sum_{j=0}^2 d_{ij} C_i^j = d_{i0} + d_{i1} C_i + d_{i2} C_i^2$$

ただし

$C_i'$ : MSU  $i$  チャンネルの補正された出力カウント値

$C_i$ : MSU  $i$  チャンネルの出力カウント値 (観測データ)

$d_{ij}$ : 非線形補正係数で NESS から公表される。  
 ( $i=1, 2, 3, 4$ ;  $j=0, 1, 2$ )

この補正式は、MSU の出力カウント値 (観測データ) すべてに適用される。

MSU の非線形補正済みの観測データ  $C'$  と放射エネルギー  $N$  との関係は(1)式であるから、係数  $G, I$  を決定すればよい。係数  $G, I$  は、宇宙空間および内部ターゲットの2点より、

$$G = \frac{N_{sp} - N_T}{\bar{C}_{sp}' - \bar{C}_T'}$$

$$I = N_{sp} - G \bar{C}_{sp}'$$

で求まる。

ただし

$N_{sp}$ : 宇宙空間の放射エネルギー

$N_T$ : 内部ターゲットの放射エネルギーで、上で述べたようにして算出

$\bar{C}_{sp}'$ : 非線形補正済の宇宙空間の観測データの相加平均

$\bar{C}_T'$ : 非線形補正済の内部ターゲット観測データの相加平均

$N_{sp}$  は、0でなく、NESSによって公表されている。この  $G, I$  を使って MSU のキャリブレーションが行なわれる。

### 3.4 AVHRR のキャリブレーション

AVHRR の赤外チャンネル (ch 3, ch 4, ch 5) のデータのキャリブレーションに必要なデータは、

- 宇宙空間の観測データ
- 衛星内部ターゲット ICT (Internal Calibration Target) の観測データ
- ICT の温度を測定する4つの PRT (Platinum Resistance Thermometer) のデータ

である。

宇宙空間の観測データ, ICT の観測データは、各 HRPT マイナフレームに含まれていて、HRPT 1 マイナフレーム内に10サンプル/チャンネルが入っている。

ICT の温度データは、連続した HRPT 5 マイナフレーム毎に1組得られる。各マイナフレーム内の PRT の入り方は次のようになっている。

HRPT マイナ フレーム	PRT データ
⋮	⋮
<i>n</i>	REF
<i>n</i> +1	PRT 1
<i>n</i> +2	PRT 2
<i>n</i> +3	PRT 3
<i>n</i> +4	PRT 4
<i>n</i> +5	REF
<i>n</i> +6	PRT 1
⋮	⋮

REF の値は必ず10未満であるため、他の PRT *i* との区別を付けることができる。

各 HRPT マイナフレーム内には、3 サンプルの REF あるいは PRT *i* が格納されているのであるが、それら3 サンプルは冗長なデータであり、そのうち任意の1 サンプルを抽出して、HRPT 5 マイナフレーム毎に、PRT 1, PRT 2, PRT 3, PRT 4 の各1 サンプルのデータを得る。

これらのデータ等を使っての AVHRR のキャリブレーションについて述べる。

ICT の温度を測定している4つの PRT の出力を  $X_i$  ( $i=1, \dots, 4$ ), 各 PRT の出力を用いて計算される ICT の温度を  $T_i$  とすれば

$$T_i = \sum_{j=0}^4 a_{ij} \bar{X}_i^j$$

$$= a_{i0} + a_{i1} \bar{X}_i + a_{i2} \bar{X}_i^2 + a_{i3} \bar{X}_i^3 + a_{i4} \bar{X}_i^4$$

である。

ただし、 $\bar{X}_i$  は、PRT *i* の出力カウンットの相加平均である。

すなわち

$$\bar{X}_i = \frac{1}{M} \sum_{m=1}^M X_{im}$$

$X_{im}$  : PRT *i* の出力カウンット

係数  $a_{ij}$  は、NESS によって公表される値である。

$T_i$  ( $i=1, 2, 3, 4$ ) が求まると ICT の温度  $\bar{T}$  は、

$$\bar{T} = \sum_{i=1}^4 b_i T_i$$

で計算される。

$b_i$  は、NESS より公表される。

ICT の温度  $\bar{T}$  が求まると ICT の放射エネルギー  $N_{\bar{T}}$  はプランクの公式 (付録A参照) によって算出される。

AVHRR の観測データ  $C$  と、放射エネルギー  $N$  に

は、(1)式の関係が成り立っているので、この係数  $G, I$  を、宇宙空間および ICT データによって決定する。

係数  $G, I$  は、

$$G = \frac{N_{sp} - N_{\bar{T}}}{\bar{C}_{sp} - \bar{C}_{\bar{T}}}$$

$$I = N_{sp} - G \bar{C}_{sp}$$

で求められる。

$N_{sp}$  : 宇宙空間の放射エネルギー NESS から公表される。

$N_{\bar{T}}$  : 前述したように、ICT の放射エネルギー

$\bar{C}_{sp}$  : 宇宙空間の観測データの相加平均

$\bar{C}_{\bar{T}}$  : ICT の観測データの相加平均

AVHRR の可視チャンネルおよび近赤外チャンネルのキャリブレーションについては、アルベド  $A$  (%) と観測データ  $C$  との関係は

$$A = GC + I$$

で決定されるが、

係数  $G, I$  は、あらかじめ地上テストで決定されたため NESS から公表される。

このようにして AVHRR データのキャリブレーションが行なわれる。

#### 4. HRPT データ編集・校正処理

HRPT データ編集・校正処理は、HRPT 編集校正 (HRPT data Editing and Calibration) プログラムで行なわれ、オリジナル HRPT データ (Original HRPT data File), 放射計定数ファイル (Radiometer Constant File) を入力し、カードで指定された AVHRR の1チャンネルのデータにキャリブレーションを行ない放射エネルギーに変換して AVHRR データファイル (AVHRR data File) の作成を行なったり、HIRS, SSU, MSU のデータを抽出しキャリブレーションを行なって TOVS データファイル (TOVS data File) の作成を行なう。また、保存用 HRPT データファイル (Archived HRPT data File) の作成も行なう。Fig. 4 に本処理を表わす。

##### 4.1 AVHRR データファイルの作成

AVHRR データファイルは、オリジナル HRPT データファイルより、カードで指定された AVHRR の1チャンネルに関するデータを抽出、編集し、キャリブレーションを行ない放射エネルギーに変換して格納されたもの



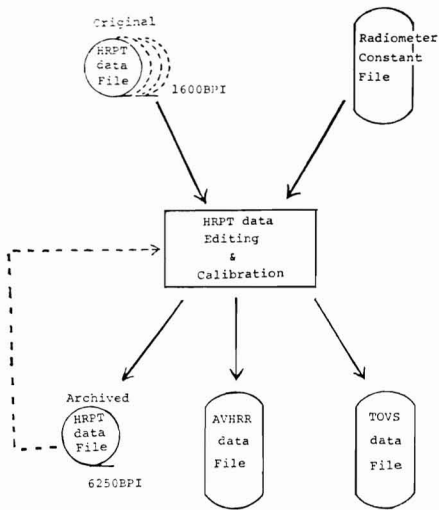


Fig. 4 Diagram of HRPT data edit and calibration processing.

である。

AVHRR データファイルは、ヘッダー部、アノテーション情報部、時刻情報部、エラーライン情報部、AVHRR データ部で構成されている。

ヘッダー部には、本ファイルに格納されているデータの軌道番号、受信開始時刻等のデータの内容や、その格納されているブロックのアドレス等が入っている。

アノテーション情報部には、オリジナル HRPT データファイルに格納されているアノテーションブロックをそのままコピーしたものが格納される。

時刻情報部には、AVHRR データ部に格納されている AVHRR のライン毎のスキャンタイムが入っている。

エラー情報部には、AVHRR データ部に格納されている AVHRR の各ラインが正常ラインかエラーラインかを対応するビットのオン（正常）、オフ（エラー）で表わして格納される。

AVHRR データ部には、カード指定によって指定された1チャンネルのデータに、キャリブレーションを行ない放射エネルギーに変換した値が格納される。AVHRR データ部には、最大4900ラインの AVHRR の地球観測データが格納できるようになっている。

ヘッダー部およびアノテーション情報部はオリジナル HRPT データファイルのアノテーションブロック等のデータより作成する。

時刻情報部は、まず HRPT マイナーフレーム毎に HRPT データのマイナーフレーム番号、タイムコードの時刻および通日を抽出し主記憶上に存在するマイナー

フレーム番号と時刻のテーブルに記憶しておく。

1 HRPT マイナーフレームで1 AVHRR ラインが構成されているので、HRPT マイナーフレーム番号と AVHRR のライン番号とは同じである。マイナーフレーム番号は、オリジナル HRPT データファイルを作成するミニコンによって付加されるが、タイムコードは、衛星から送られてくるデータである。したがって伝送エラーによるビット化けが入り込む可能性がある。このためタイムコードよりそのまま抽出した場合、抽出した時刻に不良のものが入ると良くないので抽出した時刻に対して次のようなチェックを行ないエラーの場合は、この AVHRR の1ラインのデータを不良として使用しないようにする。

すべての HRPT マイナーフレームに対してのマイナーフレーム番号、時刻の抽出が終了すると主記憶上に格納された HRPT マイナーフレーム番号、すなわち AVHRR のライン番号と時刻テーブルより基準となるマイナーフレーム番号およびその時刻を決める。1 マイナーフレームの HRPT データは、1/6秒で伝送されるから、基準となるマイナーフレーム番号およびその時刻と、格納されているマイナーフレーム番号とその時刻には、

$$-\alpha \leq (T_M - T_{M_0}) - (M - M_0) \times 1/6 \leq \alpha$$

が成り立つ。

ここで  $T_M$  : マイナーフレーム番号  $M$  の時刻

$T_{M_0}$  : 基準となるマイナーフレーム番号  $M_0$  の時刻

$M$  : マイナーフレーム番号

$M_0$  : 基準となるマイナーフレーム番号

$\alpha$  : 許容範囲

したがって上式を満足しないときは、時刻がエラーであるとみなす。このようにすべての抽出したマイナーフレーム番号に対してこのチェックを行ない正しい時刻データのみを時刻情報部に格納する。

エラー情報部は、HRPT データの受信において正常に受信できなかった AVHRR ラインや AVHRR データを本ファイルに格納するまでに時刻情報チェックによってエラーとなった AVHRR ラインや I/O エラー等によって欠損した AVHRR ラインに対応するビットをオフにし、正常なラインに対しては、オンとして格納する。

AVHRR データ部の作成は、まず HRPT マイナーフレーム毎のデータより、キャリブレーション情報の抽出、指定された1チャンネルの AVHRR の地球データの抽出を行なう。

AVHRRのキャリブレーション係数は、1軌道1回のみ決定される。

AVHRRのキャリブレーションに必要な情報は3.4節で述べたとおり、4つの内部ターゲットの温度計の測定データ (PRT 1~PRT 4)、宇宙空間、内部ターゲットの観測データである。各々のデータは次のサンプル数まで抽出を行なう。

データの種類	サンプル数	HRPT 1 マイ ナーフレーム当 りのサンプル数
PRT 1 の測定 データ	20サンプル	(1 サンプル)
PRT 2 "	20サンプル	(1 サンプル)
PRT 3 "	20サンプル	(1 サンプル)
PRT 4 "	20サンプル	(1 サンプル)
宇宙空間の観測デ ータ	100サンプル	(10サンプル)
ICT の観測データ	100サンプル	(10サンプル)

キャリブレーション情報が必要数まで抽出されるとキャリブレーション係数の決定を行なう。しかしながら、その前に抽出したキャリブレーション情報のデータに伝送エラーによるビット化けが生じているものが混入している可能性がある。そこでこれらのデータをなるべく取り除くために、それぞれのデータに対して、標準偏差を計算しこれによって信頼性の低いデータを削除する。

すなわち、観測されたある種のキャリブレーション情報データを  $Z_i$  ( $i=1, \dots, M$ ) とすると、

$$|Z_i - \bar{Z}| > k\sigma$$

ただし

$$\bar{Z} = \frac{1}{M} \sum_{i=1}^M Z_i$$

$$\sigma = \sqrt{\frac{1}{M} \sum_{i=1}^M (Z_i - \bar{Z})^2}$$

$k$ : 棄却レベル係数 (定数)

となるデータ  $Z_i$  を棄却する。

このようなチェックを行なって得られた正常なキャリブレーション情報のデータが、PRT 1~PRT 4で10サンプル、宇宙空間、ICTの観測データで50サンプル以上の時、キャリブレーション係数の決定を行なう。

キャリブレーション係数が決まれば、これをもとにあらかじめ入力レベルと放射エネルギーの変換テーブルを作成しそれ以後のAVHRRの地球観測データに対してはこの変換テーブルを使用してレベルより放射エネルギ

ーに変換してAVHRRデータ部に格納する。

キャリブレーション係数が決定されるまでのAVHRRの地球観測データは、とりえずレベル値のまま格納しておき、全AVHRRラインのデータ処理が終了してから、レベル値、放射エネルギー変換テーブルを使用して放射エネルギーに直して再度格納する。

このようにしてAVHRRデータ部の作成が行なわれる。

## 4.2 TOVS データファイルの作成

TOVSデータファイルは、オリジナルHRPTデータファイルより、HIRS, SSU, MSUのデータを抽出、編集し、キャリブレーションを行なって放射エネルギーに変換して格納したものである。

TOVSデータファイルは、ヘッダー部、アノテーション情報部、時刻情報部、エラーライン情報部、HIRSデータ部、SSUデータ部、MSUデータ部から成り立っている。

ヘッダー部には、本ファイルに格納されているTOVSデータ (HIRS, SSU, MSUデータ)の軌道番号、受信開始時刻等のデータ内容や、各データの格納位置などの情報が入っている。

アノテーション情報部には、オリジナルHRPTデータファイルに入っているアノテーションブロックをそのままコピーしたものが格納されている。

時刻情報部には、HIRSの各ラインのスキャンタイムが格納されている。

エラーライン情報部には、HIRS, SSU, MSUの各ラインが正常ラインなのかエラーラインなのかを、各ラインに対応する1ビットのオン (正常)、オフ (エラー) で表わしたものが格納されている。

HIRSデータ部には、最大128ライン分のHIRSデータが格納されている。HIRSデータは、20チャンネルから成っており、キャリブレーションを行なって放射エネルギーに変換される。

SSUデータ部には、最大26ライン分のSSUデータが格納されている。SSUデータは、3チャンネルで、キャリブレーションを行なって放射エネルギーに変換されている。

MSUデータ部には、最大32ライン分のMSUデータが格納されている。MSUデータは、4チャンネルで、キャリブレーションを行なって放射エネルギーに変換されている。

ヘッダー部およびアノテーション部の作成は、オリジナルHRPTデータファイルのアノテーションブロック

をもとに行なう。

1 マイナーフレームの HRPT データには、5 マイナーフレームの TIP データが入っていて、しかも連続した3 マイナーフレームの HRPT データには、同じ TIP データが送られている。できるだけ伝送エラーによるビット化けのデータを除くため、まず各 TIP データに対してパリティチェックを行なう。衛星から送られてくる TIP データは、前述のように有効なデータは8 ビットであるが HRPT データに直すために2 ビット追加されているがこの2 ビットのうち1 ビットは、偶数パリティビットである。この偶数パリティビットを用いて、パリティチェックを行なう。

しかしながらこのパリティチェックによるビット化けの検出は、奇数個のビット化けに対しては有効であるが、偶数個のときは検出できない。そこで次に、3 マイナーフレームの HRPT データに、同一の TIP データが含まれていることを利用して、冗長な TIP データの照合を TIP マイナーフレーム単位で行ない、2 つ以上一致したときその TIP データを正常なデータとする。

このようにしてまず正常な TIP データを取り出したうえで、HIRS データ、SSU データ、MSU データ等の作成を行なう。

HIRS データ部の作成について述べる。HIRS データは、前述したとおり 1 TIP マイナーフレームに1 エレメントのデータが含まれ1 ラインは64エレメントであるから1 ラインを構成するのに64個の TIP マイナーフレームが必要である。まず HIRS のライン番号を決定するため、1 ラインの先頭のエレメントを捜す。先頭のエレメントが見つかり、ライン番号をカウントアップする。

20チャンネル分の HIRS データは、いったんレベル値のまま出力しておく。キャリブレーション情報データである宇宙空間、IWT の観測データおよび温度測定データは抽出し、主記憶上に格納しておく。

HIRS は、40ラインで1 キャリブレーションピリオドが含まれているため1 画像(最大 HIRS 128ライン)に最大4回のキャリブレーションピリオドが存在する。

全ての HIRS データの抽出が完了したならば主記憶上に格納されているキャリブレーション情報のデータを使ってキャリブレーション係数の計算を行なう。キャリブレーション係数は1 画像に1 つでなく、HIRS 40ライン毎に1度行なう。というのは、40ラインには必ず HIRS のキャリブレーションピリオドのデータが含まれるからである。

対応するキャリブレーション係数をもとにレベル値よ

り放射エネルギーに変換して HIRS データ部へ出力する。

もし対応するキャリブレーション係数の計算ができなかったラインに対しては、その前または後で計算されたキャリブレーション係数を使用する。

可視チャンネルに対しては、キャリブレーション係数がないのでレベル値のままにしておく。

このようにして HIRS データ部の作成が行なわれる。次に SSU データ部の作成について述べる。

SSU データは、32秒で1 ラインが構成される。すなわち TIP マイナーフレームカウンタが0 から319 までの320マイナーフレームでラインを構成する。

SSU のライン番号を決定するためには、処理している TIP データが1 ラインを構成する先頭のものであるかどうかを調べ、先頭のものである時は、ライン番号のカウントアップを行なう。

SSU データは、8 サンプルで1 個の観測データが得られるから、あらかじめ1 ライン分のサンプルデータを格納できる領域を主記憶上に持ち、そこへ抽出したデータを格納する。また、キャリブレーションに必要なデータのうち温度データは、別に主記憶上に格納しておく。

1 ライン分の SSU のサンプルデータがすべて格納されると、これらのデータより1 ラインの SSU の観測データを計算する。SSU のサンプルデータより観測データを計算するやり方は、3.2節を参照する。計算された1 ラインの SSU データは、主記憶上の SSU データ格納領域に入れられる。

このようにしてすべての SSU ラインのデータがいったん主記憶上の SSU データ領域に格納されるとキャリブレーション情報のデータを使ってキャリブレーション係数の決定を行なう。キャリブレーション係数は1 画像に1 つ決定されるのでなく、SSU 8ラインごとに係数を計算しそれぞれの SSU ラインに適用していく。

対応するキャリブレーション係数をもとに放射エネルギーに変換し、SSU データ部に出力する。

もし対応するキャリブレーション係数の計算ができなかったラインに対しては、その前または後で計算されたキャリブレーション係数を使用する。

このようにして SSU データ部が作成される。

MSU データ部の作成について述べる。MSU データの1 ラインは、256マイナーフレームの TIP データで構成されている。まず MSU の有効データを捜す。そのデータがラインの先頭データであれば、MSU のライン番号をカウントアップする。MSU の有効データよりキャリブレーション情報や、4チャンネルの MSU の観測

データを抽出し、主記憶上の MSU ラインバッファ領域に格納しておく。1 ライン分の MSU データが MSU ラインバッファに格納されると MSU 観測データは非線形の補正を行ない主記憶上の MSU 画像データ領域に、キャリブレーション情報は編集して MSU キャリブレーションデータ領域に格納しておく。このようにしてすべての MSU ラインのデータがいったん主記憶上に格納されるとキャリブレーション係数の決定を行なう。キャリブレーション係数は、1 画像に 1 回計算される。

前節で述べた MSU のキャリブレーションの方法に基づいてキャリブレーション係数を求め、観測データより放射エネルギーに変換し MSU データ部に出力する。このようにして MSU データ部が作成される。

時刻情報部に格納される HIRS の 1 ライン毎のスキャン開始時刻は、HIRS ラインの第 1 エレメントが含まれている TIP を持つ HRPT マイナーフレームの時刻、マイナーフレームカウンター、TIP 番号をもとにして計算される。

今、HIRS のラインのスキャン開始時刻を  $T_H$  (単位: m sec) とすれば、 $T_H$  は次の式で求められる。

$$T_H = T_A - 167 \times (m-1) + 100 \times (n-4) - T_d$$

ただし

$T_A$ : HIRS ラインの第 1 エレメントを含む TIP が格納されている HRPT マイナーフレームの時刻 (単位: m sec)

$m$ : HRPT マイナーフレームカウンター

$n$ : 1 HRPT 内の TIP 番号

$T_d$ : 遅れ補正時間 (HRPT マイナーフレームのタイムコードと TIP 内のタイムコードとのずれで、衛星によって異なる, 単位: m sec)

このようにして HIRS ライン毎のスキャン開始時刻が得られ、時刻情報部に格納される。

エラーライン情報部は HIRS, SSU, MSU の各ラインが正常に TOVS データファイルに格納された時のみ対応するビットをオンにして作成する。なお、HIRS, SSU のキャリブレーションピリオドに対するラインはエラーラインとして扱ってある。

以上 TOVS データファイルの作成について述べた。

### 4.3 保存用 HRPT データファイルの作成

カード指定により保存用 HRPT データファイルの作成が指定されている時にこの処理が行なわれる。

入力されるオリジナル HRPT データファイルは、1600 BPI/2400 フィートの磁気テープで最大 4 巻に格納

されている。このオリジナル HRPT データの内容をそのままにして 6250 BPI/2400 フィートの磁気テープ 1 巻にまとめて作成する。そしてここで作成した磁気テープは、再び HRPT データ編集校正プログラムが実行可能な形式として作成される。

通常のルーチン業務では、保存用 HRPT データファイルは、各軌道毎に作成され、10 ヶ月間保存されユーザーの利用に供される。

### (付録 A)

#### 温度-放射エネルギー変換

一般に温度と黒体放射エネルギーの間には、Plank の公式が成り立つ。

すなわち、温度  $T$  (単位: °K) での黒体放射エネルギー  $N(T)$  (単位: mW/(sr m<sup>2</sup> cm<sup>-1</sup>)) は

$$N_T = N(T) = \int_{\nu_1}^{\nu_n} \beta(\nu, T) \hat{\phi}(\nu) d\nu \quad (A-1)$$

である。

ただし  $N(T)$ : 温度  $T$  (°K) での黒体放射エネルギー - mW/(sr m<sup>2</sup> cm<sup>-1</sup>)

$\beta(\nu, T)$ : Plank の関数

$$\beta(\nu, T) = \frac{C_1 \nu^3}{e^{C_2 \nu / T} - 1}$$

$$C_1 = 1.1910659 \times 10^{-5} \text{ mW/(sr m}^2 \text{ cm}^{-4})$$

$$C_2 = 1.438833 \text{ cm}^\circ \text{K}$$

$\nu$ : 波数 cm<sup>-1</sup>

$\hat{\phi}(\nu)$ : 正規化した応答関数

$$\hat{\phi}(\nu) = \frac{\phi(\nu)}{\int_{\nu_1}^{\nu_n} \phi(\nu) d\nu} \quad (A-2)$$

$\phi(\nu)$  は応答関数

$\nu_2, \nu_n$  は、応答関数  $\phi(\nu)$  の下限, 上限の波数

(A-1)式, (A-2)式の積分は、次のように近似される。

$$N(T) = \sum_{i=1}^n \beta(\nu_i, T) \hat{\phi}(\nu_i) \Delta\nu \quad (A-3)$$

$$\hat{\phi}(\nu_i) = \frac{\phi(\nu_i)}{\sum_{j=1}^n \phi(\nu_j) \Delta\nu} \quad (A-4)$$

ここで、 $\hat{\phi}(\nu)$  は、 $\nu$  の  $n$  個の離散点  $\nu_i (i=1, \dots, n)$  で定義され、 $\Delta\nu (= \nu_{i+1} - \nu_i)$  は、隣接する離散点の間隔である。

SSU, MSU に対する温度—放射エネルギーの変換に  
おいては、

$n=1$  である。

すなわち

$$\nu_1 = \nu_n = \nu_c \quad \nu_c : \text{中心波数}$$

したがって、黒体放射エネルギーは、

$$N(T) = \beta(\nu_c, T)$$

で算出される。

SSU, MSU の各チャンネルの  $\nu_c$  は、NESS より  
公表されている。

HIRS, AVHRR の赤外チャンネルに対しては、 $n \geq 2$   
であり、これらの各チャンネルの、 $n, \Delta\nu, \hat{\phi}(\nu_i)$  ( $i=1,$   
 $\dots, n$ ) の値は NESS より公表されている。

また、HIRS の各赤外チャンネルに対しては、上記の

方法の替わりにバンド補正アルゴリズムを適用するや  
り方で放射エネルギーを算出方法がある。それは次式  
で与えられる

$$N(T) = \beta(\nu_c, T^*)$$

$T^*$  : 見かけの温度で、

$$T^* = b + aT$$

$b, a$  はバンド補正係数である。

$\nu_c, b, a$  は、NESS により公表されている。

#### 考 考 文 献

Levin Lauritson, G. J. Nelson, F. W. Porto, 1979:  
Data Extraction and Calibration of TIROS-  
N/NOAA Radiometers, NOAA Technical Memo-  
randum NESS 107.

## 4. TIROS-N 衛星シリーズの軌道計算

### Orbit Prediction for TIROS-N Satellite Series

中 島 忍, 青 木 忠 生

**Shinobu Nakajima and Tadao Aoki**

#### Abstract

Software system of orbit prediction for TIROS-N satellite series consists of three modules.

The first is the extraction of orbital data for only one orbit, which are transmitted from NOAA/NESS on daily base through GTS.

The second is the orbit prediction for orbits of 7 days using the one orbital data mentioned above. The predictions of orbits is also made on daily base.

In the last module the one orbital data retained through GTS is archived in a disk file for a month, which is further archived in magnetic tape.

This article deal with the details of these modules.

#### 1. はじめに

衛星が見ている地球上の緯度, 経度を計算するには, 衛星がどのような軌道を飛んでいるかを知る必要がある。本章では, TOVS データ処理 システムで行なっている軌道計算について述べる。

本システムにおける軌道計算は, アメリカの NOAA (National Oceanic and Atmospheric Administration) から, ADESS 経由で送られてくる軌道情報 (通称 APT 情報) をもとに, 気象衛星センターで受信出来る軌道に対する衛星の位置, 速度を計算し, 極軌道気象衛星通過点ファイルに作成し, これらのデータは, 次章に述べられている HIRS 各視野の緯経度および部分雲量計算の処理に使用される。

本処理は, Fig. 1 のとおり APT 情報 データ抽出, 軌道計算, APT 情報データ累積の三処理で構成されている。

#### 2. APT 情報データ抽出

NOAA から ADESS 経由で送られてくる APT 情報データは, 気象報編集処理によって気象報ファイル (Meteorological data File) に格納されている。この気象報ファイルの中から APT 情報データの抽出を行な

い, NOAA-APT 累積ファイル (NOAA APT Archived File) に累積を行なったり, 軌道計算で使用される NOAA-APT ファイル (NOAA APT File) の作成を行なったりするのが APT 情報 データ抽出 (APT Information data Extraction) 処理である。

本処理を大きく分けると, 累積処理, 修正処理, 削除処理, 複写処理, 印刷処理の5つで構成されている。

累積処理は, カードによって指定された衛星名, 年月日の APT 情報データを気象報ファイルより1セット抽出し, NOAA-APT 累積ファイルに格納する。この場合, 抽出する年月日を毎回毎回変更するのは通常の運用では大変である。このため年月日は省略可とし, NOAA-APT 累積ファイルに格納されている同一衛星名で最新の APT 情報データの次の日より, この処理を実行する日+5日までを抽出対象の APT 情報データとする。また, NOAA-APT 累積ファイルに登録出来る衛星名の数は, 3個までと制限されている。NOAA-APT 累積ファイルには, 最大100セットの APT 情報データが格納できる。

修正処理は, NOAA-APT 累積ファイル中のカードで指定された衛星名, 年月日の APT 情報データを, カードによって入力した修正データに基づいて行単位で, 修正を行なって, 再び NOAA-APT 累積ファイルに出力する処理である。

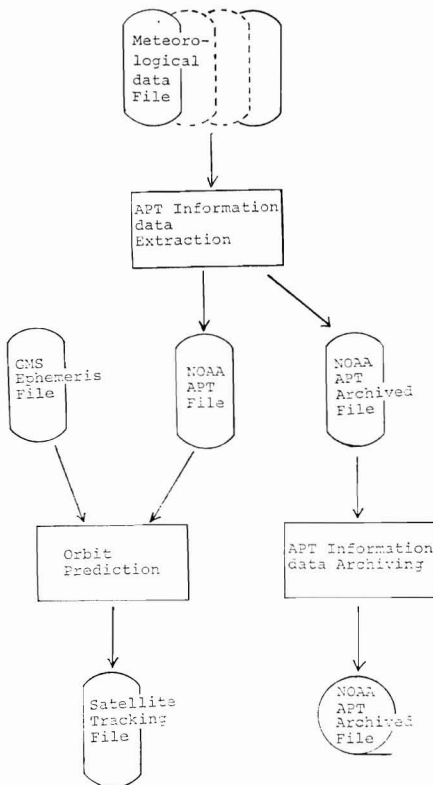


Fig. 1 Diagram of orbit prediction system for TIROS-N satellite series.

削除処理は、NOAA-APT 累積ファイル内から、カードで指定した APT 情報データをセット単位または、衛星名単位で削除する処理である。

複写処理は、カードで指定された APT 情報データセットを NOAA-APT 累積ファイルから、NOAA-APT ファイルに複写する処理である。この場合、複写する APT 情報データの指定が、衛星名のみで、年月日が省略された時には、NOAA-APT 累積ファイルに格納されている同一衛星名の最新 APT の情報データを複写する。

印刷処理は、カードからの指定に基づいて、NOAA-APT ファイルや NOAA-APT 累積ファイルの内容をプリントする処理である。

通常の運用においては、累積処理、複写処理および印刷処理を実行するようになっている。

### 3. 軌道計算

APT 情報データ抽出によって作成された NOAA-

APT ファイルの APT 情報データおよび GMS 天体暦ファイル (GMS Ephemeris File) をもとに、最大一週間分の軌道予測を行なうのが軌道計算 (Orbit Prediction) 処理である。

本処理で使用する APT 情報データは、PART I, PART II のデータである。(APT 情報データの内容については、第 2 章 Table 1, 2 を参照のこと)

PART I には、基準となる軌道の昇交点通過時刻、昇交点経度、周期、昇交点経度間隔および 4 軌道後、8 軌道後、12 軌道後の昇交点通過時刻、昇交点経度の情報が入っている。

PART II には、PART I に入っている基準となる軌道の昇交点通過後 2 分毎の衛星の高度および衛星直下点の緯度、経度の情報が入っている。

これらの情報を使って、指定された日より最大一週間分の気象衛星センターで受信可能な軌道における 20 秒間隔の衛星の位置、速度、高度、衛星直下点の緯度、経度を計算し、軌道通過点ファイル (Satellite Tracking File) に出力する。

処理の順序としては、

1. 与えられた APT 情報データをもとにある軌道番号に対する昇交点通過時刻、昇交点経度、昇交点通過時刻から 2 分毎の直下点緯度、経度および高度を求める。
2. 受信可能な軌道の抽出
3. 受信可能な軌道の 20 秒間隔の位置、速度の計算
4. 衛星直下点の緯度、経度および高度の計算で行なう。

#### 3. 1. 任意軌道番号の昇交点通過後 2 分毎の緯度、経度および高度の外挿

与えられた APT 情報データをもとに、まずある軌道番号  $R$  に対する昇交点通過時刻  $T$ 、昇交点経度  $L$ 、 $T$  から 2 分毎の時刻  $t^k$  での衛星直下点緯度  $\varphi^k$ 、経度  $\lambda^k$ 、高度  $h^k$  を求める方法を述べる。

APT 情報データに含まれている、基準となる軌道番号を  $R_i^0$ 、4 軌道後、8 軌道後、12 軌道後の軌道番号を  $R_i^1, R_i^2, R_i^3$  とする ( $R_i^j$  と書く)。それぞれの軌道番号に対する昇交点通過時刻、昇交点経度を  $T_i^0, T_i^1, T_i^2, T_i^3$  ( $T_i^j$  と書く)、 $L_i^0, L_i^1, L_i^2, L_i^3$  ( $L_i^j$  と書く) とする。また、基準となる軌道番号  $R_i^0$  に対応して、 $T_i^0$  から 2 分毎の衛星直下点緯度、経度、高度に対しては、次のように表わす。

時刻  $t^k$  に対する直下点緯度を  $\varphi_i^k$ 、経度を  $\lambda_i^k$ 、高度を  $h_i^k$  とする。ただし、経度に対しては、 $L_i^0$  からの

相対経度とする。

ここで、 $i$  は、APT 情報データの1組を表わし、最大3組の APT 情報データを使用して外挿できるようにしている。 $(i=1, \dots, I; 1 \leq I \leq 3)$

$T, L$  については、

$$T = \sum_{m=0}^M a_m R^m \quad (1)$$

$$L = \sum_{m=0}^M b_m R^m \quad (2)$$

と考え  $(4 \times I)$  個の  $R_i^j$  に対する  $T_i^j, L_i^j$  より最小2乗法により係数  $a_m, b_m$  を決定する。ここで  $M$  は、次数であり、 $0 \leq M \leq 2$  である。以下に、係数  $a_m, b_m$  の決定について述べる。

$y = T$  あるいは  $L$

$$x = (1, R, \dots, R^M)^t \quad R^M = \underbrace{R \times R \times \dots \times R}_{M \text{ 個}}$$

$$C = (a_0, a_1, \dots, a_M)^t \text{ あるいは } (b_0, b_1, \dots, b_M)^t$$

とおけば  $(( )^t$  は転置行列を示す.)、

(1)式, (2)式は、

$$y = x^t C \quad (3)$$

と書ける。

$(4 \times I)$  個の  $R_i^j, T_i^j, L_i^j$  が与えられているので

$$\sigma = \sum_{p=1}^{I_0} (y_p - x_p^t C)^2 \quad (I_0 = 4 \times I) \quad (4)$$

が最小となるように  $C$  を定める。

$y = T$  の場合

(4)式をマトリックス形式で表わせば

$$\sigma = (Y - XC)^t (Y - XC) \quad \text{となる。}$$

ただし

$$Y = (T_1^0, T_1^1, \dots, T_1^2, T_1^3)^t \quad (I_0 \times 1 \text{ 行列})$$

$$X = \begin{pmatrix} 1 & (R_1^0) & \dots & (R_1^0)^M \\ 1 & (R_1^1) & \dots & (R_1^1)^M \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ 1 & (R_1^3) & \dots & (R_1^3)^M \end{pmatrix} \quad (I_0 \times M \text{ 行列})$$

である。

$$\frac{\partial \sigma}{\partial C} = 2X^t (Y - XC) = 0$$

すなわち、

$$C = (X^t X)^{-1} X^t Y \quad (5)$$

で  $C$  が求まる。

$y = L$  の場合も同様にもとまる。

このようにして、 $a_m, b_m$  が決定されると任意の  $R$  に対する  $T, L$  が求まる。

次に、 $i^k$  における  $\varphi^k, \lambda^k, h^k$  を求める。

$\varphi^k, \lambda^k, h^k$  については、最大3個の  $R_i^0 (1 \leq i \leq 3)$  に対して、それぞれ  $\varphi_i^k, \lambda_i^k, h_i^k$  が与えられているため、ラグランジュの公式により、 $\varphi^k, \lambda^k, h^k$  を求める。

$\varphi^k$  の場合

$$\varphi^k = \sum_{i=1}^N \frac{\pi(R)}{(R - R_i^0) \pi'(R_i^0)} \varphi_i^k \quad (6)$$

$$\pi(R) = (R - R_1^0)(R - R_2^0) \dots (R - R_N^0)$$

$$\pi'(R) = d\pi(R)/dR$$

$\varphi^k$ : 求めたい直下点緯度

$\varphi_i^k$ : APT 情報データ  $R_i^0$  における直下点緯度

$R$ :  $\varphi^k$  を求める軌道番号

$R_i^0$ :  $\varphi_i^k$  に対応する軌道番号

$k$ : 2分間隔

$N$ : 次数 (1 ~ 3)

(6)式は

$N=1$  のとき

$$\varphi^k = \varphi_1^k$$

$N=2$  のとき

$$\varphi^k = \frac{R - R_2^0}{R_1^0 - R_2^0} \varphi_1^k + \frac{R - R_1^0}{R_2^0 - R_1^0} \varphi_2^k$$

$N=3$  のとき

$$\begin{aligned} \varphi^k = & \frac{(R - R_2^0)(R - R_3^0)}{(R_1^0 - R_2^0)(R_1^0 - R_3^0)} \varphi_1^k \\ & + \frac{(R - R_1^0)(R - R_3^0)}{(R_2^0 - R_1^0)(R_2^0 - R_3^0)} \varphi_2^k \\ & + \frac{(R - R_1^0)(R - R_2^0)}{(R_3^0 - R_1^0)(R_3^0 - R_2^0)} \varphi_3^k \end{aligned}$$

と表わされる。

$\lambda^k, h^k$  も同様にして得られる。

このようにして任意の軌道番号  $R$  の昇交点通過時刻  $T$ , 昇交点経度  $L$ , 昇交点通過後2分毎の直下点緯度  $\varphi^k$ , 経度  $\lambda^k$ , 高度  $h^k$  が求まる。

### 3.2. 受信可能な軌道抽出

極軌道気象衛星通過点ファイルには、予測期間内の各軌道のうち、気象衛星センターで受信可能な軌道に対し



てのみ作成するため、受信可能な軌道を選択する必要がある。

そこで、ここでは以下に受信可能な軌道を選択する方法について述べる。

受信可能な軌道の選択には、前述の外挿して得た2分毎の衛星直下点緯度、経度の値を使う。受信局である気象衛星センターの緯度に近く、しかも、この緯度を含む連続した3点の緯度を抽出する。この場合、Ascending、Descendingの2組である。

この3点の緯度およびそれに対する時刻より、受信局緯度を通過する時刻を求める。

すなわち、3点の緯度  $\phi_1, \phi_2, \phi_3$  に対する時刻を  $t_1, t_2, t_3$  とした時、ラグランジュの公式より、任意時刻  $t$  ( $t_1 \leq t \leq t_3$ ) での緯度  $\phi$  は、

$$\begin{aligned} \phi &= \sum_{i=1}^3 \frac{\pi(t)}{(t-t_i)\pi'(t_i)} \phi_i \\ &= \frac{(t-t_2)(t-t_3)}{(t_1-t_2)(t_1-t_3)} \phi_1 + \frac{(t-t_1)(t-t_3)}{(t_2-t_1)(t_2-t_3)} \phi_2 \\ &\quad + \frac{(t-t_1)(t-t_2)}{(t_3-t_1)(t_3-t_2)} \phi_3 \end{aligned} \quad (7)$$

となる。

受信局の緯度を  $\phi_s$  とすれば、その時の時刻  $t_0$  は(7)式を解いて次のように求められる。

$$t_0 = \frac{C \pm \sqrt{C^2 - 4BD}}{2B} \quad (8)$$

ただし

$$B = \frac{\phi_1}{A_3 A_1} + \frac{\phi_2}{A_1 A_2} + \frac{\phi_3}{A_2 A_3}$$

$$\begin{aligned} C &= \frac{\phi_1}{A_3 A_1} (t_2 + t_3) + \frac{\phi_2}{A_1 A_2} (t_3 + t_1) \\ &\quad + \frac{\phi_3}{A_2 A_3} (t_1 + t_2) \end{aligned}$$

$$D = \frac{\phi_1}{A_3 A_1} t_2 t_3 + \frac{\phi_2}{A_1 A_2} t_3 t_1 + \frac{\phi_3}{A_2 A_3} t_1 t_2 + \phi_s$$

$$A_1 = t_1 - t_2$$

$$A_2 = t_2 - t_3$$

$$A_3 = t_3 - t_1 \quad (t_1 \leq t_0 \leq t_3)$$

受信局緯度  $\phi_s$  を通過する時刻  $t_0$  が求まるとその時刻に対する経度  $\lambda_0$  を求める。この経度  $\lambda_0$  は、前述した  $\phi_1, \phi_2, \phi_3$  に対する経度  $\lambda_1, \lambda_2, \lambda_3$  および時刻  $t_1,$

$t_2, t_3$  を使用して、やはりラグランジュの公式より求める。

すなわち

$$\begin{aligned} \lambda_0 &= \sum_{i=1}^3 \frac{\pi(t_0)}{(t_0-t_i)\pi'(t_i)} \lambda_i \\ &= \frac{(t_0-t_2)(t_0-t_3)}{(t_1-t_2)(t_1-t_3)} \lambda_1 + \frac{(t_0-t_1)(t_0-t_3)}{(t_2-t_1)(t_2-t_3)} \lambda_2 \\ &\quad + \frac{(t_0-t_1)(t_0-t_2)}{(t_3-t_1)(t_3-t_2)} \lambda_3 \end{aligned} \quad (9)$$

$\lambda_1, \lambda_2, \lambda_3$ : 受信局に近い3点の経度

$t_1, t_2, t_3$ : " 時刻

$\lambda_0$ : 受信局通過経度

$t_0$ : " 時刻

このようにして得られた経度  $\lambda_0$  が、 $100^\circ\text{E}$  から  $180^\circ\text{E}$  内に含まれる場合を受信可能な予測軌道であると判定する。

受信可能な軌道を選択した際に使用した3点の緯度で、緯度の時間変化が、増加傾向 ( $\phi_1 < \phi_2 < \phi_3$ ) の時は、Ascending 軌道であり、減少傾向 ( $\phi_1 > \phi_2 > \phi_3$ ) であれば、Descending 軌道であるとみなす。

### 3.3. 受信可能な軌道の20秒間隔の位置、速度の計算

受信可能な軌道が決定され、昇交点通過時刻から2分毎の衛星直下点の緯度、経度、高度が求まると、これらのデータより、Ascending 軌道であれば、昇交点を通過して2分後の点から緯度変化が増加傾向から減少傾向に変わった点までの間、Descending 軌道の場合は、緯度変化が増加傾向から減少傾向に変わった点から降交点の1つ手前の点までの間を20秒間隔で、

衛星の

時刻

- 昇交点からの相対時刻
- GMT (Greenwich Mean Time)
- Atomic Time 1
- 真のグリニッジ恒星時

位置

( $X, Y, Z$ ) 地心慣性座標系における衛星の位置

( $\varphi, \lambda, h$ ) 衛星直下点緯度、経度および衛星の高度

速度

( $\dot{X}, \dot{Y}, \dot{Z}$ )

を計算する必要がある。

この節では、位置、速度を求めることについて述べる。

2分間隔の衛星直下点の緯度、経度および高度 ( $\varphi, \lambda, h$ ) が前述のとおり決定されているからこの値よりまず地球固定座標 ( $X_E, Y_E, Z_E$ ) へ変換し、さらに地心慣性座標 ( $X_I, Y_I, Z_I$ ) へ変換する。

( $\varphi, \lambda, h$ ) から地球固定座標 ( $X_E, Y_E, Z_E$ ) への変換は、

$$\begin{pmatrix} X_E \\ Y_E \\ Z_E \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} (R_0+h) \cos \varphi \cos \lambda \\ (R_0+h) \cos \varphi \sin \lambda \\ (R_0+h-e^2 R_0) \sin \varphi \end{pmatrix} \quad (10)$$

$$R_0 = \frac{R_e}{\sqrt{1-e^2 \sin^2 \varphi}}$$

$R_e$ : 地球赤道半径

$e$ : 地球の離心率

で行なう。

さらに、地球固定座標 ( $X_E, Y_E, Z_E$ ) から地心慣性座標 ( $X_I, Y_I, Z_I$ ) への変換は、

$$\begin{pmatrix} X_I \\ Y_I \\ Z_I \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} \cos \theta_g & -\sin \theta_g & 0 \\ \sin \theta_g & \cos \theta_g & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} X_E \\ Y_E \\ Z_E \end{pmatrix} \quad (11)$$

$\theta_g$ : 真のグリニッジ恒星時

で行なう。

このように、(10), (11)式を使って、2分間隔の地心慣性座標での衛星の位置  $\mathbf{r}_I = (X_I, Y_I, Z_I)^t$  が決定される。

次に、これらの  $\mathbf{r}_I$  から、速度の計算をする方法について述べる。

いま対象としている衛星の運動は、短時間内ではほとんど地球の動きのみに支配されていると考え運動方程式を以下のように設定する。

$$\ddot{\mathbf{r}}_I = \frac{d^2 \mathbf{r}_I}{dt^2} = -\text{grad } U \quad (12)$$

ただし

$$U = \frac{\mu}{r_I} \left\{ 1 + \left( \frac{R_e}{r_I} \right)^2 \frac{J_2}{2} (3 \sin^2 \phi - 1) \right\}$$

(地球重力ポテンシャル)

$$r_I = |\mathbf{r}_I| = \sqrt{X_I^2 + Y_I^2 + Z_I^2}$$

$$\mu = 3.986009 \times 10^{14} \text{ m}^3 \text{ rad}^2 / \text{sec}^2 \quad (\text{地球の重力定数})$$

$$J_2 = -1.0826 \times 10^{-3} \quad (\text{地球重力ポテンシャルの調和係数})$$

$$\phi = \sin^{-1} \left( \frac{Z_I}{r_I} \right) \quad (\text{地心緯度})$$

ここで地球重力ポテンシャルの  $10^{-6}$  以下の調和係数は無視する。

(12)式は、

$$\frac{d^2 \mathbf{r}_I}{dt^2} = -\frac{\mu}{r_I^3} \mathbf{r}_I + \frac{3}{2} \cdot \frac{\mu R_e^2 J_2}{r_I^5} \left\{ \mathbf{r}_I + 2Z \begin{pmatrix} 0 \\ 0 \\ 1 \end{pmatrix} \right\} - \frac{15}{2} \frac{\mu R_e^2 J_2}{r_I^7} \mathbf{r}_I \quad (13)$$

と書き換えることができる。

したがって

$$\mathbf{r}_I = (X_I, Y_I, Z_I) \quad \text{から} \quad \ddot{\mathbf{r}}_I = (\ddot{X}_I, \ddot{Y}_I, \ddot{Z}_I)$$

が求まる。

$\mathbf{r}_I$  および  $\ddot{\mathbf{r}}_I$  を使って、準エルミート (0,2)-補間の式を適用してある時刻  $t_0$  の  $\mathbf{r}_I(t_0), \dot{\mathbf{r}}_I(t_0)$  を求める。

言い換えると、2分毎の連続した4点における時刻  $t_i (i=1, 2, 3, 4)$  で、 $\mathbf{r}_I$  が決定されると、時刻  $t_0$  における  $\mathbf{r}_I(t_0), \dot{\mathbf{r}}_I(t_0)$  は以下の式で与えられる。

$$\left. \begin{aligned} \mathbf{r}_I(t_0) &= \sum_{i=1}^4 A_i(t) \mathbf{r}_{I_i} + s^2 \sum_{i=1}^4 B_i(t) \ddot{\mathbf{r}}_{I_i} \\ \dot{\mathbf{r}}_I(t_0) &= \frac{1}{s} \sum_{i=1}^4 \dot{A}_i(t) \mathbf{r}_{I_i} + s \sum_{i=1}^4 \dot{B}_i(t) \ddot{\mathbf{r}}_{I_i} \end{aligned} \right\} \quad (14)$$

ただし

$$A_1(t) = \frac{1}{42} (42 - 149t + 336t^3 - 350t^4 + 147t^5 - 28t^6 + 2t^7)$$

$$A_2(t) = \frac{1}{42} (-216t - 588t^3 + 665t^4 - 315t^5 + 70t^6 - 6t^7)$$

$$A_3(t) = \frac{1}{42} (-27t + 168t^3 - 280t^4 + 189t^5 - 56t^6 + 6t^7)$$

$$A_4(t) = \frac{1}{42} (-40t + 84t^3 - 35t^4 - 21t^5 + 14t^6 - 2t^7)$$

$$B_1(t) = \frac{1}{1260} (-72t + 630t^2 - 1225t^3 + 980t^4 - 378t^5 + 70t^6 - 5t^7)$$

$$B_2(t) = \frac{1}{1260} (2376t - 7980t^3 + 8575t^4 - 3591t^5 + 665t^6 - 45t^7)$$

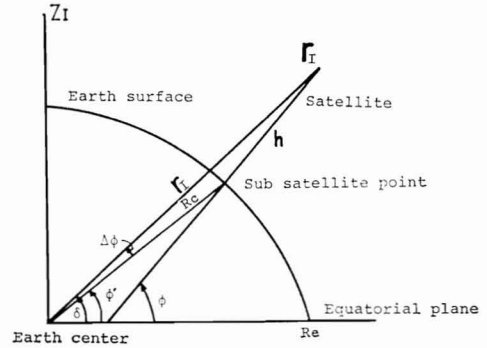
$$\begin{aligned}
 B_3(t) &= \frac{1}{1260} (1404t - 3255t^3 + 1960t^4 \\
 &\quad + 126t^5 - 280t^6 + 45t^7) \\
 B_4(t) &= \frac{1}{1260} (72t - 140t^3 + 35t^4 + 63t^5 - 35t^6 + 5t^7) \\
 \dot{A}_1(t) &= \frac{1}{42} (-149 + 1008t^2 - 1400t^3 \\
 &\quad + 735t^4 - 168t^5 + 14t^6) \\
 \dot{A}_2(t) &= \frac{1}{42} (216 - 1764t^2 + 2660t^3 \\
 &\quad - 1575t^4 + 420t^5 - 42t^6) \\
 \dot{A}_3(t) &= \frac{1}{42} (-27 + 504t^2 - 1120t^3 \\
 &\quad + 945t^4 - 336t^5 + 42t^6) \\
 \dot{A}_4(t) &= \frac{1}{42} (-40 + 252t^2 - 140t^3 \\
 &\quad - 105t^4 + 84t^5 - 14t^6) \\
 \dot{B}_1(t) &= \frac{1}{1260} (-72 + 1260t - 3675t^2 \\
 &\quad + 3920t^3 - 1890t^4 + 420t^5 - 35t^6) \\
 \dot{B}_2(t) &= \frac{1}{1260} (2376 - 23940t^2 + 34300t^3 \\
 &\quad - 17955t^4 + 3990t^5 - 315t^6) \\
 \dot{B}_3(t) &= \frac{1}{1260} (1404 - 9765t^2 + 7840t^3 \\
 &\quad + 630t^4 - 1680t^5 + 315t^6) \\
 \dot{A}^4(t) &= \frac{1}{1260} (72 - 420t^2 + 140t^3 + 315t^4 \\
 &\quad - 210t^5 + 35t^6)
 \end{aligned}$$

$$s = \Delta t = t_{i+1} - t_i \quad (=2\text{分})$$

$$t = (t_0 - t_1) / s$$

- $r_{Ii}$ : 補間に使用する位置データ ( $1 \leq i \leq 4$ )  
 $\ddot{r}_{Ii}$ : 補間に使用する加速度データ ( $1 \leq i \leq 4$ )  
 $t_1$ : 補間に使用する位置データの1番目の時刻  
 $t_0$ : 補間する時刻  
 $r_I(t_0)$ : 時刻  $t_0$  で補間した衛星の位置  
 $\dot{r}_I(t_0)$ : 時刻  $t_0$  で補間した衛星の速度

なお、本軌道計算では、 $t_1, t_2, t_3, t_4$  の4点より補間する時刻は  $t_1 < t_0 < t_2$  のみとする。 $t_2 < t_0 < t_3$  に対しては  $t_2, t_3, t_4, t_5$  のデータを使う。このように順次ずらして求めていく。そして最後の4点間すなわち  $t_{Ii-3} < t_0 < t_{Ii}$  に対しては、 $t_{Ii-3}, t_{Ii-2}, t_{Ii-1}, t_{Ii}$  のデータを使用する。



**Fig 2** Geometric relationship between satellite and subsatellite points on earth in the geocentric equatorial coordinate system.

以上のようにして、20秒間隔の衛星の位置、速度が決定される。

### 3.4. 20秒間隔の衛星直下点の緯度、経度および高度の計算

前節で、受信可能な軌道の20秒毎の衛星の位置が求められたので、これらをもとに、20秒毎の衛星の直下点の緯度、経度および衛星の高度を決定する方法について述べる。

衛星の位置が地心慣性座標系で与えられているとき、衛星直下点の幾何学的関係は、Fig. 2 のとおりであり、次の式が成り立つ。

$$R_c = R_e \sqrt{\frac{1 - (2f - f^2)}{1 - (2f - f^2) \cos^2 \phi'}} \quad (15)$$

$$\phi = \tan^{-1} \left\{ \frac{\tan \phi'}{(1 - f)^2} \right\} \quad (16)$$

$$h = \sqrt{r_I^2 - R_c^2 \sin^2(\phi - \phi')} - R_c \cos(\phi - \phi') \quad (17)$$

$$\Delta \phi = \sin^{-1} \left\{ \frac{h}{r_I} \sin(\phi - \phi') \right\} \quad (18)$$

$R_e$ : 地球赤道半径

$f$ : 地球の扁平率

ある時刻における衛星の地心慣性座標での位置を  $r_I = (X_I, Y_I, Z_I)^t$  とすれば直下点経度  $\lambda$  は、

$$\lambda = \tan^{-1} \left( \frac{Y_I}{X_I} \right) - \theta_g \quad (19)$$

$\theta_g$ : グリニッジ恒星時

で求まる。

直下点緯度  $\phi$  および高度  $h$  は、次のようにして求める。

$$\delta = \tan^{-1} \left( \frac{Z_I}{\sqrt{X_I^2 + Y_I^2}} \right) \quad \text{であるから}$$

$\phi' = \delta$  として, (15), (16), (17), (18)式により,  $R_c, \phi, h, \Delta\phi$  を求める。

$|\phi' - (\delta - \Delta\phi)| > \varepsilon$  のときには,  $\phi' = \delta - \Delta\phi$  として, 再度  $R_c, \phi, h, \Delta\phi$  を求める。

$|\phi' - (\delta - \Delta\phi)| < \varepsilon$  になったとき, 得られる  $\phi, h$  を衛星直下点緯度および高度とする。

このようにして, 20秒毎の衛星直下点の緯度, 経度および衛星の高度が決定される。

以上, 軌道計算について述べたが, 軌道計算においては入力される APT 情報データのセット数  $I$ , 任意軌道番号の昇交点通過時刻および昇交点経度の係数決定の次数  $M$ , 2分毎の直下点緯度, 経度 および 高度決定のための次数  $N$  および20秒毎の直下点緯度および高度計算における反復を行なうための閾値  $\varepsilon$  が変数である。

ルーチン的に行なう軌道計算においては, これらの変数は,  $I=1, M=1, N=1, \varepsilon=10^{-6}$  である。

#### 4. APT 情報累積

APT 情報データ抽出によって毎日, APT 情報データが NOAA-APT 累積ファイルに累積されているが, 1ヶ月毎にこの累積ファイルを磁気テープにマルチファイルとして出力して保存を行なうのが APT 情報累積 (APT Information data Archiving) 処理である。

磁気テープに出力されたことが確認されたうえで, 累積ファイルのクリアを行なう。

本処理は毎月1回, 月の初めに実行される。

#### 参考文献

鈴木千里, 1977: 準エルミート (0, q)-補間問題と解の陽的表現, 情報処理 Vol. 18 No. 5 430-433.

## 5. HIRS 各視野の緯経度および部分雲量等の計算

### Determination of the Location and Partial Cloud Amount in Each HIRS Spot

青木 忠生, 中島 忍

Tadao Aoki and Shinobu Nakajima

#### Abstract

In one HIRS spot 300 to 450 AVHRR pixels are contained. In the TOVS data processing system of MSC, the partial cloud amount in a HIRS spot is determined by counting the number of the cloudy pixels of AVHRR within the HIRS spot. For the navigation of AVHRR pixels within a HIRS spot it is necessary to know the relationship of the location of HIRS spots and AVHRR pixels. For the determination of the latitude and longitude of the HIRS spots, it is further necessary to match the AVHRR picture to land marks. In this paper we briefly describe the techniques to solve these problems.

#### 1. はじめに

TIROS-N シリーズにおける TOVS 測器, HIRS, SSU, MSU の視野の配置は第 1 章の Fig. 1 のようになっている。本センターのシステムにおいては、鉛直分布計算は HIRS スポット何個あたり 1 点というふうに行なわれる。したがって、計算地点は衛星直下点付近では密に、端の方では粗になり、2 つの計算地点の間隔は衛星直下と端では 1: 3.35 倍くらいになる。HIRS と SSU または HIRS と MSU の相対的位置関係は固定であり、HIRS 走査線 20 本毎に同じパターンが繰り返される。したがって緯経度の計算は HIRS スポットのみに対して行ない、SSU, MSU のスポットについては HIRS との相対位置のみがファイルに格納されているだけである。さて、本センターの最大の特徴は AVHRR 画像データを使って HIRS 各視野の部分雲量や、最大、最低輝度等を求め、それから正確な晴天放射や雲のパラメーターを決定することであるが、そのためには HIRS スポットと AVHRR 各ピクセルの相対的位置関係を知らなければならない、もちろん 2 つの測器は衛星に固定して据え付けられているのだから両者のスポットの位置関係も固定なのであるが、それはあらかじめ十分な精度で既知でないため、各衛星について 1 度画像データを使って決定してやる必要があるのである。

以上述べたような処理をするのが H-A 対応プログラ

ム、画像ズレ検出プログラム、部分雲量計算プログラムである。

#### 2. HIRS-AVHRR 位置対応の決定

HIRS と AVHRR には幸いなことに同じ波長域のフィルターが共通して含まれている。それは HIRS の第 20 チャンネルと AVHRR の第 1 チャンネル (いずれも可視)、HIRS 第 19 チャンネルと AVHRR 第 3 チャンネル (いずれも  $3.7 \mu$ ) 及び HIRS 第 8 チャンネルと AVHRR 第 4 チャンネル (いずれも  $11 \mu$ ) である。Fig. 1 に示すように HIRS の 1 スポットの中には AVHRR 画素が 300~450 くらい含まれる。この HIRS スポット中の AVHRR の放射量を平均すれば、上記のような対応する HIRS のチャンネルの放射量とほとんど同じ値になるはずである。

各 HIRS スポット中の平均の AVHRR 放射量を計算するには Fig. 1 に示されているように各 AVHRR ラインについて HIRS スポットに含まれる最初の画素番号  $N_A$  と最後の画素番号  $N_B$  を知る必要がある。HIRS と AVHRR の画像を一致させるとは AVHRR の平均値が最もよく HIRS の放射量に近くなるような  $N_A, N_B$  の値を探すことである。これを行なうのが H-A 対応プログラムである。このマッチングの操作は HIRS の 1 つのスポットだけでやるより、沢山のスポットについてやった方が精度がよくなる。MSC の現システムでは HIRS

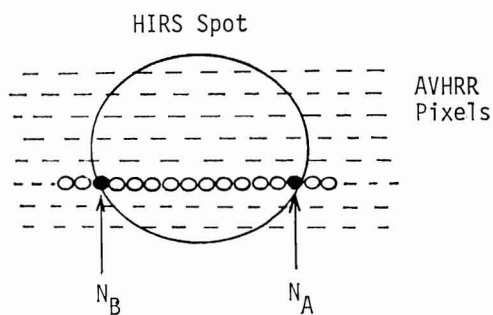


Fig. 1. Comparison between a HIRS spot and AVHRR pixels.  $N_A$  and  $N_B$  are the first and last AVHRR pixel numbers that are contained in the HIRS spot.

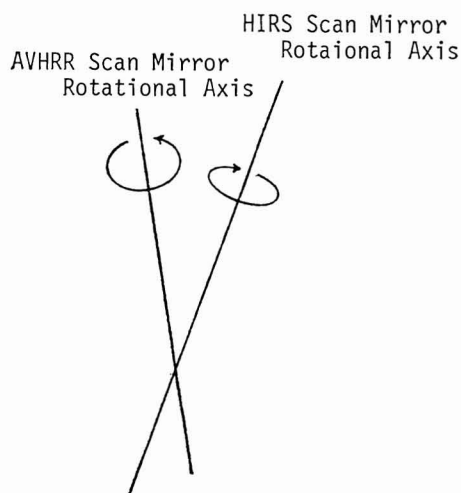


Fig. 2. Relationship between the rotational axes of the AVHRR and HIRS scan mirror.

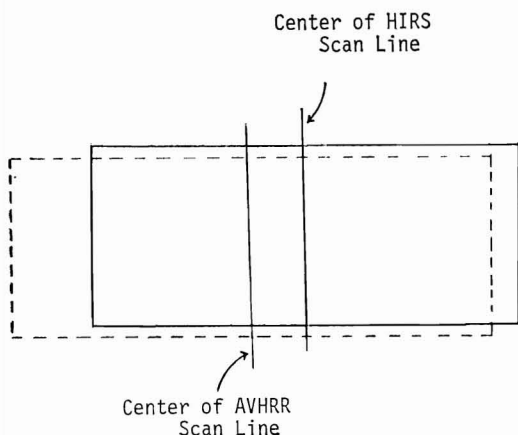


Fig. 3. Deviation of the scan pattern of the HIRS from that of AVHRR.

1ライン分のスポット、すなわち、56個のスポット全体がよく一致するようにマッチング操作を行なっている。するとこれら56個のHIRSスポットに対する $N_A$ 、 $N_B$ を各AVHRRラインについて決めてやる必要があるわけであるが、AVHRRラインの数が多いためこの計算は膨大になりすぎる。そこでHIRSラインと次のラインの間隔6.4秒の間のAVHRRライン数約38本（AVHRRラインの走査時間は1/6秒だからHIRS2ラインの間には約これだけのAVHRRラインがある）について $N_A$ 、 $N_B$ を決めてやり、あとはこのパターンを繰り返してであると近似することにする。実際には6.4は1/6で割り切れないので同じパターンの繰り返しではないのだがHIRS1スポットを横切るAVHRRラインが38本近くと十分沢山あるので、そのように近似してもあまり大きな誤差とはならない。

HIRSとAVHRR画像のズレの要因としてまずあげられるのは、両者の走査鏡の回転軸のズレである。このズレは水平面内だけでなく三次元的にズレている可能性がある（Fig. 2）。また、たとえ回転軸が完全に一致していても両者の走査線の中心がズレている場合もあろう（Fig. 3）。さらには、上記2つの要素が固定していても、衛星の姿勢によっても、両者の画像の重なり具合は変わってくる。このことはFig. 4、Fig. 5のような例を考えてみれば分る。Fig. 4では走査方向が衛星の軌道方向に直角な方向（a）とほぼ平行に近い（b）というような極端な例を示してあるが、この場合、HIRSとAVHRRの走査軸等が完全に同じでも、Fig. 4の2つのケースでは $N_A$ 、 $N_B$ の値が変わってくる。この理由はHIRS各スポットの観測時刻とAVHRR各ラインの観測時刻が異なっており、この間に衛星が移動し、地球が自転するためである。

Fig. 5ではHIRSの走査線の中心が直下からズレておりスポットの大きさが左右対称でなくなってしまう、したがってこれに含まれるAVHRRの画素の個数も左右対称でない（スポットは端に行くほど大きくなるから）。

このように、HIRSスポットとAVHRR画素の地球表面上の相対位置関係は両者の走査鏡の回転軸のズレのみならず様々な要素が影響してくるが、ここでは、簡単化のために、衛星の姿勢や両放射計の走査鏡の回転軸等はほぼ正常に近く、また走査線の中心もほとんど衛星の直下点にあり、正常な状態からの各々のズレは微小であると仮定する、そしてこれら様々な要因からくる画像のズレは次の4つのパラメーターで表現できると仮定する。まず走査鏡の回転軸のズレや姿勢のズレに起因する地球表面上の走査方向のズレをFig. 6のように $\theta_A$ 、 $\theta_{AH}$ で表

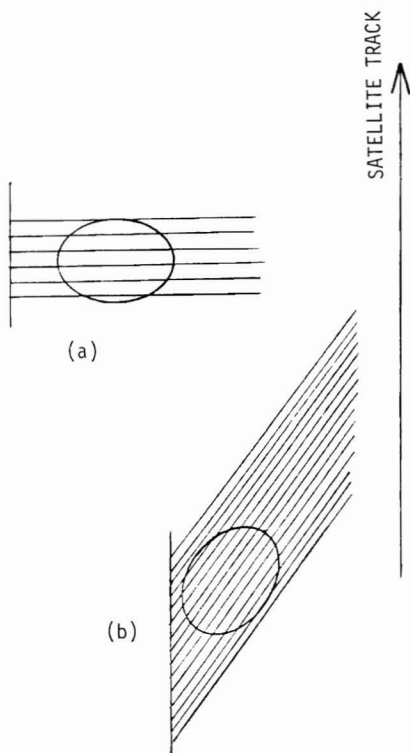


Fig. 4. The scan patterns of HIRS and AVHRR for different two angle between the satellite track and the direction of the scan.

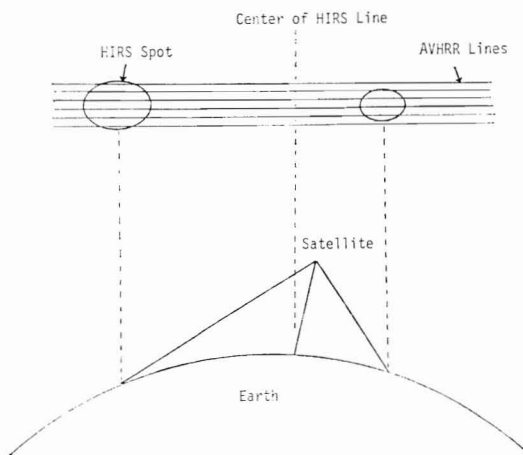


Fig. 5. Asymmetric scan pattern of HIRS spots for the deviation of the center of the scan line and nadir point.

わす。 $\theta_A$  は AVHRR の走査方向と軌道と直角な直線  $x$  のなす角度、 $\theta_{AH}$  は HIRS と AVHRR の走査方向のなす角度である。これらはともに正常ならゼロになるべき

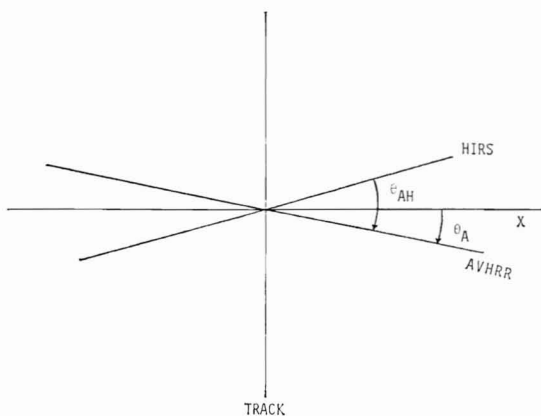


Fig. 6. Definition of  $\theta_{AH}$  and  $\theta_A$ . From Aoki (1980)

量である。

さて、もし HIRS と AVHRR の走査線の中心が完全に直下点にあるとすると、38本の AVHRR ラインについてそれが交わる各 HIRS スポット中の  $N_A, N_B$  を計算することはそれほど難しいことではない（詳細は青木, 1980, を参照）。そして、 $\theta_A$  や  $\theta_{AH}$  で表現し切れなかった諸々の要因による画像ズレについてはすべて、この  $N_A, N_B$  の値を一様に  $\Delta J_{AH}$  だけずらすことと、AVHRR のライン番号を  $\Delta I_{AH}$  だけ平行移動することで表現することにしてしまうのである。

実際、姿勢や回転軸のズレが正常な位置からみてわずかなものであれば、画像ズレをこのような  $\theta_A, \theta_{AH}, \Delta J_{AH}, \Delta I_{AH}$  の4つのパラメーターで表現することが十分な精度で許されるであろう。これらのパラメーターを決定する方法は青木 (1980) に、及びその結果については青木, 中島 (1981) に詳しいが、おおまかには次のような手順になる。

- 1) まず  $\theta_A, \theta_{AH}, \Delta J_{AH}, \Delta I_{AH}$  に初期値を与え（これを  $\theta^{\circ}_A, \theta^{\circ}_{AH}, \Delta J^{\circ}_{AH}, \Delta I^{\circ}_{AH}$  とする）、それによって、各 HIRS スポットの AVHRR 平均輝度を計算し、HIRS 輝度との差をとる。
  - 2) 次にこれらの値のうちひとつだけを  $\theta^{\circ}_A + \delta\theta_A, \theta^{\circ}_{AH} + \delta\theta_{AH}, \Delta J^{\circ}_{AH} + \delta(\Delta J), \Delta I^{\circ}_{AH} + \delta(\Delta I)$  のように各々変化させた輝度温度を4種類計算する。
  - 3) 1)と2)の2つの輝度の HIRS 輝度との差の違いから、次の計算ステップの各パラメーターの増分を決めこれから初期値を作り、また、改めて計算を繰り返す。
- 1)~3) の計算を繰り返し、56個の HIRS スポットについて AVHRR の平均輝度を計算し、HIRS 輝度との差を

**Table 1.** Mean values of  $\Delta J_{AH}$ ,  $I_{AH}$ ,  $\theta_{AH}$ , and  $\theta_A$  for NOAA-6 and NOAA-7 satellites. H-A matching was carried out with using HIRS 8th channel and AVHRR 4th channel.

	$\Delta J_{AH}$	$I_{AH}$	$\theta_{AH}$ (degree)	$\theta_A$ (degree)
NOAA-6	-3.33	-3.36	0.023	0.07
NOAA-7	-0.426	-1.99	-0.261	0.03

とり、その自乗和が最小になるまで続ける。

このようにして HIRS 1 ライン (56 スポット) につき 1 組の  $\theta_A$ ,  $\theta_{AH}$ ,  $\Delta J_{AH}$ ,  $I_{AH}$  が決定されるが、実際はさらに一枚の画像の中の 20 本近い HIRS ラインについてこれらのパラメーターを決定し、その平均をとったものを最終値としている。そしてこの値に対応する  $N_A$ ,  $N_B$  の値が 56 個の HIRS スポット, 40 本の AVHRR ラインについてファイルに格納される。HIRS と AVHRR の画像ズレは主として走査鏡の回転軸と走査線中心のズレによるものであるからこれらの値は 1 つの衛星についてその運用期間中はほとんど不変であろうと予想される。事実、青木, 中島 (1981) によれば, NOAA-6 号の場合、ほぼ 1 年近くの間この値はほとんど変わっていない。

NOAA-6 と NOAA-7 号について決定された上記 4 つのパラメーターの値を Table 1 に示す。Table 1 によると NOAA-6 と 7 ではやはり測器の取り付け誤差に若干の相違があることが分る。なおここでの結果は HIRS 第 8 チャネルと AVHRR 第 4 チャネルの画像間でマッチングをとったときの結果であり、青木, 中島 (1981) によれば, HIRS の短波長チャネルや, AVHRR 第 3 チャネルを使うとまた異なった結果が得られており、厳密には HIRS の短波, 長波長チャネルの組に別々にこのマッチングをとる必要があるかもしれないことが示唆されているが、現在のシステムではまだそこまでは考えていない。

なお、すでに述べたように、H-A 対応決定法の理論的背景の詳細については青木 (1980) に述べられているので、ここではそれを省いた。また、H-A 対応の NOAA-6 に対する結果については青木, 中島 (1981) を参照されたい。

### 3. ランドマークマッチング

鉛直分布計算は現在 HIRS 4 スポット毎に行なわれている。その地点の緯経度はあらかじめ計算された各 HIRS スポットの緯経度 (部分雲量ファイルにあり) から平均して求められる。この緯経度計算には 2 節で述べ

た H-A マッチングによって得られた HIRS と AVHRR との画像ズレ量が考慮される。いわば AVHRR という座標軸上での HIRS 各スポットの位置はすでに分っているわけである。したがって AVHRR 画像とランドマークとのズレ量が分れば HIRS 各スポットの地表面上での座標が決まるわけである。この AVHRR 画像のランドマークマッチングを行なうのが画像ズレ検出プログラムである。

TIROS-N シリーズ衛星は三軸衛星であり、その姿勢は一応正しく保たれていることになっている。しかしそれをチェックする機能が全くないのは不安である。まして、静止衛星データ処理システムと違って TOVS データ処理システムでは画像を IPC に表示して、人間が処理に介入する場面もないし、緯経度格子の付いた写真出力もない。このようなことから、この画像ズレ検出プログラムは、衛星の姿勢のチェックや軌道計算が正しく行なわれているかなどのチェックとして使うのが事実上の目的になっており、ルーチ的に使われてはいない。ただし、何回かの実行で定期的な AVHRR 画像のランドマークとのズレが観測されればこれを部分雲量計算における HIRS スポットの緯経度計算において、AVHRR 画像ズレ量として入力する。

上記のようにチェックということが主たる目的であるため、このプログラムの機能も比較的単純であり、AVHRR 画像の走査線の中点を中心として左右それぞれ 50 画素くらいの輝度が計算機リストにベタ打ちされ、同時に中心の緯経度が表示されるだけである。ここで輝度は適当に符号化され、値の範囲、チャネル番号等は指定できる。このベタ打ちリストに現われた地形を実際の地図と比較してそのズレ量を読み取るわけである。このようなベタ打ちリストの例を Fig. 7 に示す。Fig. 7 は NOAA-7 の AVHRR 第 4 チャネルの 1982 年 10 月 11 日 19:00Z の観測である。右側の数値は中心の緯経度であ

**Table 2.** The relation between the radiance and the character displayed on the computer list shown in Fig. 7.

SAMPLE VALUE	CHARACTER ASSIGNED
- 0.8000000E+02	BLANK
0.8000000E+02	.
0.8200000E+02	/
0.8400000E+02	-
0.8600000E+02	I
0.8800000E+02	C
0.9000000E+02	X
0.9200000E+02	S
0.9400000E+02	\$
0.9600000E+02	#
0.9800000E+02	9
0.1000000E+03	9



る。31.7°N 付近に揚子江の河口付近の温度分布が出ている。各記号と放射エネルギーの間の関係は Table 2 に示されている。

時間が午前4時頃のため、水温より地面温度の方が低くなっており、だいたい  $90 \text{ mW}/(\text{m}^2 \text{ sr cm}^{-1}) \approx 12^\circ\text{C}$  程度、一方、水温は  $100 \text{ mW}/(\text{m}^2 \text{ sr cm}^{-1}) \approx 20^\circ\text{C}$  以上あることが分る。(ただし途中大気の効果は考えていない)。崇明島の少し左の水平の部分が中心で、そこは

31.69°N, 120.9°E である。一方この部分を地図から読み取ると 31.78°N, 120.93°E くらいなので、だいたい緯経度とも  $0.1^\circ$  くらいのズレがあることが分る。

画像ズレの量は H-A 対応と同じように、AVHRR ライン、画素間隔を単位として、ライン方向、画素番号方向に関して  $\Delta I_A, \Delta J_A$  によって表現する。上の図の場合  $\Delta I_A \approx 10, \Delta J_A \approx -10$  くらいということになる。



Fig. 7a. The pattern of AVHRR 4th channel around the river mouth of the Yangtze River at 1982, Oct. 11, 19:00Z.



Fig. 7b. As in Fig. 7a except for the region around the Fu-ch'un River.

4. 部分雲量・緯経度計算

2節の H-A 対応プログラムによって各 HIRS スポットに含まれる AVHRR 画素の  $N_A$ ,  $N_B$  が決まると、各

HIRS スポット毎に部分雲量等の計算を行なうことができる。これが部分雲量計算プログラムである。このプログラムでは同時に各 HIRS スポットの中心の緯経度の計算も行なう。

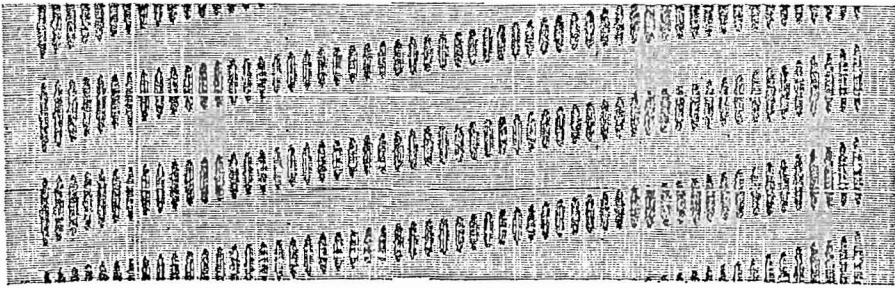


Fig. 8. Periodic pattern of AVHRR lines and HIRS spots. The pattern is compressed toward the direction of scan line. This is the case for  $\theta_{AH}=\theta_A=0.5$  degree. From Aoki (1980).

#### 4.1 部分雲量等の計算

Fig. 8 に見るように一本の AVHRR ラインは普通 2 本または 3 本の HIRS ラインと交差する。AVHRR と HIRS の走査角のズレ ( $\theta_{AH}$ ) が大きいときには 1 本または 4, 5 本以上ということもある。いずれの場合も交差する HIRS スポットは数10個になり、AVHRR 各ラインを処理しながら、これら各スポット中の値を積算していく。このような処理によって各 HIRS スポットに対して

- 1) スポット内にある AVHRR 画素の平均輝度
  - 2) AVHRR 最高輝度
  - 3) AVHRR 最低輝度
  - 4) 雲域の AVHRR 画素のみの平均輝度
  - 5) スポットの中の雲量
- などが得られる。

ここで、その AVHRR 画素が雲域か晴天域かは、その画素の輝度があるしきい値より小さいか大きいかで決定される。このしきい値は次のような式によって与えられる

$$T_{cr} = T_s + (T_B - T_s) / \cos \theta + C_1 + C_2 \phi \quad (1)$$

ここで  $T_{cr}$  はしきい値、 $T_s$  は海面温度、 $T_B$  は AVHRR の放射輝度で、この 2 つの量は海面放射量ファイルの中に  $1 \times 1^\circ$  のメッシュ毎に与えられている。 $\theta$  は天頂距離、 $\phi$  は緯度、 $C_1, C_2$  は定数で、現在は Table 3 のように与えられている。海面放射量ファイルは固定のものを与えることもできれば、月毎に与えることもできる。また、他の章で述べるように初期値更新プログラムによって、鉛直分布計算から得られた海面水温等を使って日々更新するようにもできる。

さて、本方法では AVHRR 画素が雲域かどうかはその輝度が  $T_{cr}$  より小さいかどうかで決定される。ここ

Table 3. Values of  $C_1$  and  $C_2$  for the calculation of the critical AVHRR radiance to discriminate the cloudy radiances.

month	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
$C_1$ ( $^\circ\text{K}$ )			-8					-9			-8	
$C_2$								0.015				

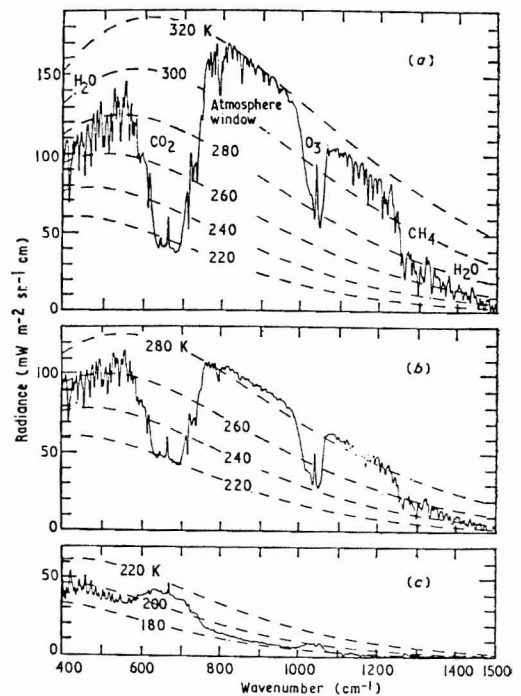


Fig. 9. Example of outgoing IR spectra measured by IRIS D on Nimbus 4. Radiances of blackbody at several temperatures are superimposed. (a) Sahara; (b) Mediterranean (c) Antarctic. From Houghton and Taylor (1973)

には雲域放射は晴天放射より大きいということが暗黙の前提になっている。しかし、大陸の冬の夜などでは地面が著しく低温になる。また、南極などでは昼夜を問わず地面は大気 비해極端に低温になっている。Fig. 9 は NIMBUS-4 に搭載された干渉分光計 IRIS (Infrared Interferometer Spectrometer) によって得られた大気放射の分光スペクトルである。図中の鎖線は示された温度に相当する黒体放射スペクトルである。800~950cm<sup>-1</sup> はいわゆる大気の窓と呼ばれる領域で、光の減衰が少いのでほぼ地表の温度を示している。その他の波数域はさまざまな高度の大気層の温度を大ざっぱに示している。図のように赤道、中緯度では大気の窓の輝度が最も高いが、南極ではむしろ逆になっていることが分る。

雲の温度はほぼそのまわりの大気のと等しいと考えられるから、著しく地表温度が低い時には本方法のような雲域判定は使えないことが分る。このようなことを考慮して、本プログラムでは、指定した緯度、月、時刻の範囲でのみ部分雲量計算を行なうことができるようになっている。また、緯経度計算のみの実行も可能である。

#### 4.2 HIRS スポットの緯経度計算

HIRS の走査線の中心方向と軌道方向で決められる直交座標系を仮りに HIRS 座標系と呼ぼう。同様に AVHRR の走査線中心方向と軌道方向で決められる直交座標系を AVHRR 座標系、衛星直下方向と地表での軌道方向で決められる直交座標系を衛星局所座標系と呼ぶことにする。HIRS 系 (以下座標という文字を略す) と AVHRR 系の座標のズレ (回転量) は第 2 節で述べた H-A 対応計算によってすでに既知である。また、AVHRR 系と衛星局所系の回転量は第 3 節で述べた画像ズレ検出で既知である。

したがって 2 回の座標変換によって、地球表面と平行な面に固定した座標系 (衛星局所系) における各 HIRS スポットの位置を知ることができる。ある HIRS スポットが撮像された時刻での衛星の位置は軌道通過点ファイル (軌道計算の章を参照) から知ることができる。これらを併せて最後に各スポットの緯経度が算出される。

以上のような手順を詳述する前に次の近似式が成り立つことをあらかじめ確認しておこう。1 つの直交座標系 (X, Y, Z) に微小な回転を加えこの系を (X', Y', Z') とする。このとき

- X 軸まわりの回転 (Roll 角) =  $\alpha$
- Y 軸まわりの回転 (Pitch 角) =  $\beta$
- Z 軸まわりの回転 (Yaw 角) =  $\gamma$

とすると両座標系の間には

$$\begin{pmatrix} X \\ Y \\ Z \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & \cos \alpha & -\sin \alpha \\ 0 & \sin \alpha & \cos \alpha \end{pmatrix} \begin{pmatrix} \cos \beta & 0 & \sin \beta \\ 0 & 1 & 0 \\ -\sin \beta & 0 & \cos \beta \end{pmatrix} \times \begin{pmatrix} \cos \gamma & -\sin \gamma & 0 \\ \sin \gamma & \cos \gamma & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} X' \\ Y' \\ Z' \end{pmatrix} \quad (2)$$

回転角が微小であることを考慮するとこれはさらに

$$\begin{pmatrix} X \\ Y \\ Z \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 1 & -\gamma & \beta \\ \gamma & 1 & -\alpha \\ -\beta & \alpha & 1 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} X' \\ Y' \\ Z' \end{pmatrix} \quad (3)$$

と近似できる。(ただし、角度はラジアン単位とする)。

#### (a) 視準線ベクトルの表現

Fig. 10 に示すように HIRS の走査面を yz 平面にとり、衛星の進行方向がある側に x 軸をとりこれを HIRS 系 (X<sub>H</sub>, Y<sub>H</sub>, Z<sub>H</sub>) とする。走査角は -y の方向を正にとるとある走査角  $\eta$  での視準線 (衛星と地表のスポットを結ぶ線) ベクトルは

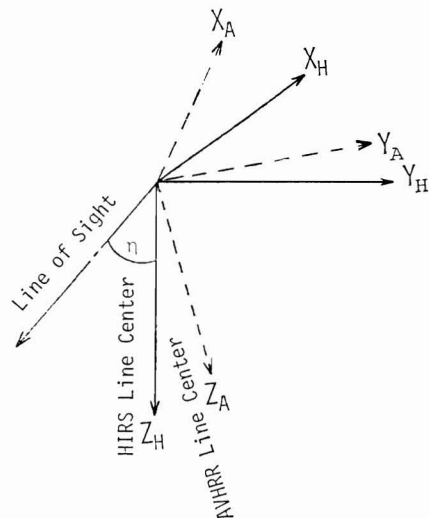


Fig. 10. Relationship between the HIRS and AVHRR coordinate systems. Z<sub>H</sub>Y<sub>H</sub> plane is the HIRS scan plane; Z<sub>H</sub> is taken toward the direction of the center of the HIRS scan line. The coordinate system X<sub>A</sub>Y<sub>A</sub>Z<sub>A</sub> for AVHRR is defined in same manner as HIRS.

$$\mathbf{L}_H = L \cdot \begin{pmatrix} 0 \\ -\sin \eta \\ \cos \eta \end{pmatrix} \quad (4)$$

となる。ここで  $L$  は  $\mathbf{L}_H$  の絶対値である。

(b) AVHRR 系での視準線ベクトルの表現

HIRS 系の AVHRR 系に対する Roll, Pitch, Yaw 角はそれぞれ次のようになる。

$$\left. \begin{aligned} \alpha_H &= (\text{AVHRR のステップ角}) \times \Delta J_{AH} \\ \beta_H &= \frac{(\text{衛星対地速度}) \times (\text{AVHRR スキャン周期})}{\text{平均高度}} \\ \gamma_H &= \theta_{AH} \end{aligned} \right\} \times \Delta I_{AH} \quad (5)$$

すると、AVHRR 系での視準線ベクトルは (3) の関係より

$$\mathbf{L}_A = \begin{pmatrix} 1 & -\gamma_H & \beta_H \\ \gamma_H & 1 & -\alpha_H \\ -\beta_H & \alpha_H & 1 \end{pmatrix} \mathbf{L}_H \quad (6)$$

となる。

(c) 衛星局所系での視準線ベクトルの表現

衛星局所系に対する AVHRR 系の Roll, Pitch, Yaw 角は次のようになる。

$$\left. \begin{aligned} \alpha_A &= (\text{AVHRR ステップ角}) \times \Delta J_A \\ \beta_A &= \frac{(\text{衛星対地速度}) \times (\text{AVHRR スキャン周期})}{\text{平均高度}} \\ \gamma_A &= 0 \end{aligned} \right\} \times \Delta I_A \quad (7)$$

すると、(3) より、衛星局所系での視準線ベクトルは

$$\mathbf{L}_l = \begin{pmatrix} 1 & -\gamma_A & \beta_A \\ \gamma_A & 1 & -\alpha_A \\ -\beta_A & \alpha_A & 1 \end{pmatrix} \mathbf{L}_A \quad (8)$$

となる。衛星局所系と AVHRR 系の関係は Fig. 11 を参照されたい。

(d) 地心慣性座標系での視準線ベクトル

地心慣性座標系は Fig. 12 のように地球中心を原点に取り、地球自転軸の北極方向を  $Z$  軸、春分点方向を  $X$ 、

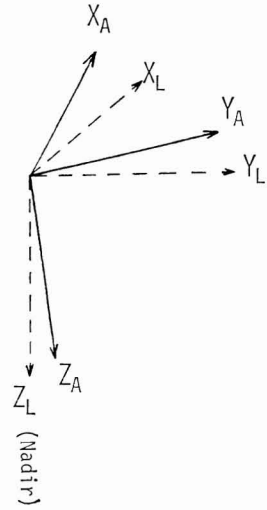


Fig. 11. Relationship between the AVHRR coordinate system  $X_A Y_A Z_A$  and vehicle-fixed coordinate system  $X_L Y_L Z_L$ , where  $Z_L$  is taken toward the nadir and  $X_L$  is toward satellite track.

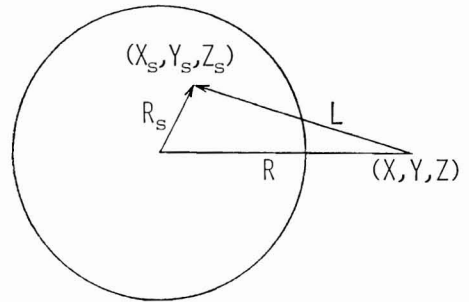


Fig. 12. Coordinates of satellite and spot in the geocentric equatorial coordinate system.

これらに直交する方向に  $Y$  軸をとった座標系である。この座標系での衛星位置ベクトルを  $\mathbf{R}$ 、衛星の速度ベクトルを  $\mathbf{V}$  とすると、衛星局所系の  $Z$  軸の単位ベクトル、 $\mathbf{k}_l$  は

$$\mathbf{k}_l = - \frac{\mathbf{R}}{|\mathbf{R}|} \quad (9)$$

である。これが

$$\mathbf{k}_l = a_{31}\mathbf{i} + a_{32}\mathbf{j} + a_{33}\mathbf{k} \quad (10)$$

のように書けたとしよう。ここで  $\mathbf{i}, \mathbf{j}, \mathbf{k}$  は地心慣性座標系の  $x, y, z$  軸の単位ベクトルである。ここでは  $a_{31}, a_{32}, a_{33}$  等の具体的な形を示すのは省略するが、軌道上の衛星の位置、速度等は軌道通過点ファイルに格納されており、これについては軌道計算の章を参照されたい。

次に、衛星局所系の  $x$  軸の方向は地表上の衛星の軌道方向だから次のように書ける。

$$\mathbf{i}_l = \frac{-\mathbf{R} \times \mathbf{V}}{|-\mathbf{R} \times \mathbf{V}|} \times \mathbf{k}_l \quad (11)$$

ここで、 $\mathbf{i}_l = \mathbf{V}/|\mathbf{V}|$  とできないのは  $\mathbf{V}$  がかならずしも地面と平行ではないからである。これも (10) のように

$$\mathbf{j}_l = a_{11}\mathbf{i} + a_{12}\mathbf{j} + a_{13}\mathbf{k} \quad (12)$$

と表わす。最後に衛星局所系の  $y$  軸は

$$\mathbf{j}_l = \mathbf{k}_l \times \mathbf{i}_l \quad (13)$$

$$= a_{21}\mathbf{i} + a_{22}\mathbf{j} + a_{23}\mathbf{k} \quad (14)$$

となる。したがって地心慣性座標系での視準線ベクトルは

$$\mathbf{L} = \begin{pmatrix} a_{11} & a_{21} & a_{31} \\ a_{12} & a_{22} & a_{32} \\ a_{13} & a_{23} & a_{33} \end{pmatrix} \mathbf{L}_l \quad (15)$$

と書ける。(なぜなら  $\mathbf{L}_l$  のベクトル成分を  $X_l, Y_l, Z_l$  とすれば、視準線ベクトルは  $X_l\mathbf{i}_l + Y_l\mathbf{j}_l + Z_l\mathbf{k}_l$  と書けるから。)

(e) 地心慣性系でのスポットの位置

さて (a) から (d) の座標変換では視準線の各座標系における方向は分るがその長さ  $L (=|\mathbf{L}| = |\mathbf{L}_l| = |\mathbf{L}_A| = |\mathbf{L}_H|)$  についてはまだ未定である。Fig. 12 のように衛星の位置を  $(X, Y, Z)$ 、スポットの位置ベクトルを  $\mathbf{R}_s$  その成分を  $(X_s, Y_s, Z_s)$  とする。次に視準線ベクトル  $\mathbf{L}$  の成分を次のように書こう。

$$\mathbf{L} = L \cdot \begin{pmatrix} l_x \\ l_y \\ l_z \end{pmatrix} \quad (16)$$

ここで  $l_x, l_y, l_z$  については (a)~(d) で既知である。 $\mathbf{R}_s = \mathbf{R} + \mathbf{L}$  より

$$\begin{pmatrix} X_s \\ Y_s \\ Z_s \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} X + L \cdot l_x \\ Y + L \cdot l_y \\ Z + L \cdot l_z \end{pmatrix} \quad (17)$$

が成り立つ。また、スポットは地球表面 (回転楕円体と仮定) 上にあるから

$$\frac{X_s^2}{R_e^2} + \frac{Y_s^2}{R_e^2} + \frac{Z_s^2}{(1-e^2)R_e^2} = 1 \quad (18)$$

ここで  $e$  は扁平率,  $R_e$  は地球半径である。

(17) を (18) に代入して  $L$  について解くと

$$L = \min \left\{ \frac{-[(1-e^2)(Xl_x + Yl_y) + Zl_z] \pm \sqrt{D}}{(1-e^2)(l_x^2 + l_y^2) + l_z^2} \right\}, \quad (19)$$

$$D = [(1-e^2)(Xl_x + Yl_y) + Zl_z]^2 - [(1-e^2)(l_x^2 + l_y^2) + l_z^2] \times [(1-e^2)(X^2 + Y^2) + Z^2 - (1-e^2)R_e^2] \quad (20)$$

ここで  $\min$  は 2 つの解のうち小さい方を意味する。なぜなら、2 つの解というのは Fig. 12 において、視準線  $\mathbf{L}$  が最初に地表とぶつかる点と、さらに地球を突き抜けて裏側の地表とぶつかる点の 2 点を意味し、我々が必要なのは最初の方であるからである。

(f) スポットの緯経度

HIRS スポットの緯経度 ( $\varphi, \lambda$ ) は最後に次式によって計算される

$$\varphi = \tan^{-1} \left[ \frac{Z_s}{(1-e^2)\sqrt{Y_s^2 + X_s^2}} \right] \quad (21)$$

$$\lambda = \tan^{-1} \frac{Y_s}{X_s} - \lambda_g \quad (22)$$

ここで  $\lambda_g$  はグリニッチ恒星時である。

引用文献

- 青木忠生, 1980: 極軌道衛星 (TIROS-N) における HIRS/2 と AVHRR 画像の位置合せについて, 気象衛星センター技術報告, 2, 15-26.  
 青木忠生・中島 忍, 1981: 気象衛星 NOAA-6 号における HIRS と AVHRR の画像ズレについて, 気象衛星センター技術報告, 4, 63-67.

## 6. 鉛直温度, 水蒸気, 海面温度, 雲頂高度等の計算

### Determination of the Vertical Temperature, Moisture, Cloud-Top-Height, and other Meteorological Parameters

青木 忠生, 中島 忍

Tadao Aoki and Shinobu Nakajima

#### Abstract

In TOVS data processing system of MSC we obtain the vertical temperature profile, vertical precipitable water profile, ground and sea surface temperature, ozone amount, cloud top height, cloud amount, cloud emissivity, etc. In this article we describe the procedures and techniques to obtain these meteorological parameters, which involve the method of clear radiance retrieval, inversion method, angular correction and quality control. The methods of clear radiance retrieval and angular correction are greatly different with those of NESS/NOAA.

A brief review of the historical progress in these problems has been made.

A summary of the problems contained in the present MSC's TOVS data processing system has also been presented.

#### 1. 序

##### 1.1 大気的光学的特徴

第1章で述べたように, 衛星が観測する放射は地表および大気温度, 大気透過率, 地表の射出率等によって決定される。透過率はまた, 大気中の気体の量, 分布, 温度, 気圧等によって決定される。逆に言えば, 観測された放射にはこれらの物理量の値に関する情報がかなり, 小なり含まれており, それが遠隔測定を可能ならしめている所以でもある。ここではまずこれらの物理量が大気の放射場の形成にどのように関与しているかを, 可視からマイクロ波領域にわたって大ざっぱに概観し, 鉛直分布計算アルゴリズム構築のためのバックグラウンドとしたい。

Fig. 1-1は大気圏外の太陽エネルギーと, それが地表に到達するまでに受ける散乱と吸収による減衰の様子を示したものである。大気圏外と海面レベルでの放射エネルギーの違いは主として大気気体とエアロゾルによる散乱によるものである。このうちハッチの施してある部分が吸収による効果である。吸収の主役をなしているのは水蒸気である。Fig. 1-2はさらに15 $\mu$ 付近までの赤外域の主要な大気気体の吸収帯の位置を示しており, 最下

段のものはこれらを総合したもので実際の大気の吸収スペクトルである。Fig. 1-3は28.5 $\mu$ mまでの各高度から大気のトップまでの透過率で15 $\mu$ mの吸収帯はCO<sub>2</sub>, それから長波長側はH<sub>2</sub>Oの吸収によるものである。H<sub>2</sub>Oの吸収帯のある6.3 $\mu$ m帯および15 $\mu$ m以上の吸収帯(回転吸収帯)ではh=0と10kmの差が著しいことが分る。

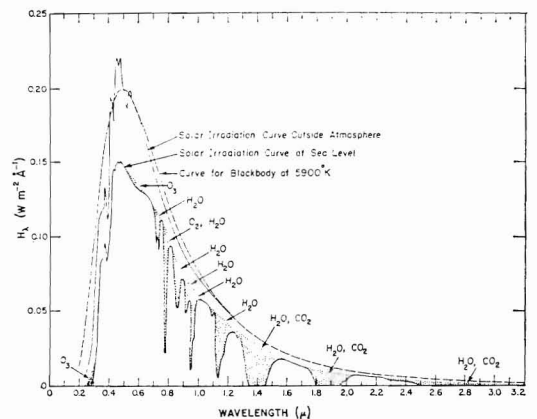


Fig. 1-1 Spectral distribution curves related to the sun; dashed areas indicate absorption, at sea level, due to the atmospheric constituents shown. From Valley (1965).

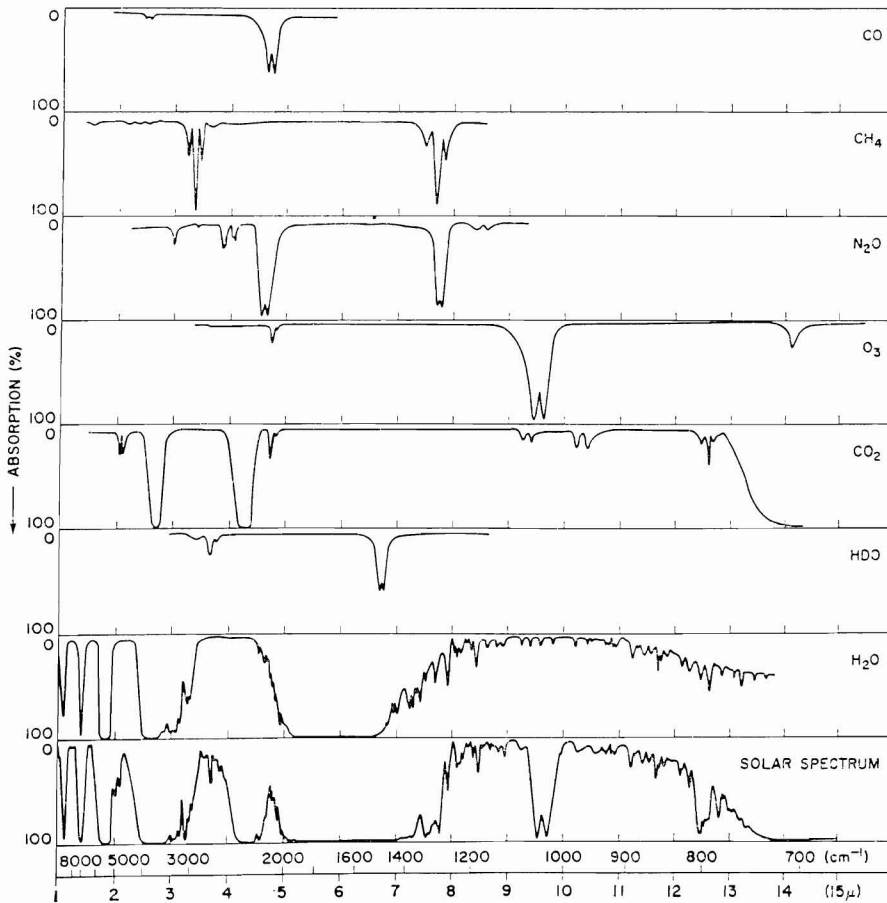


Fig. 1-2 Comparison of the near-infrared solar spectrum with laboratory spectra of various atmospheric gases. From Valley (1965).

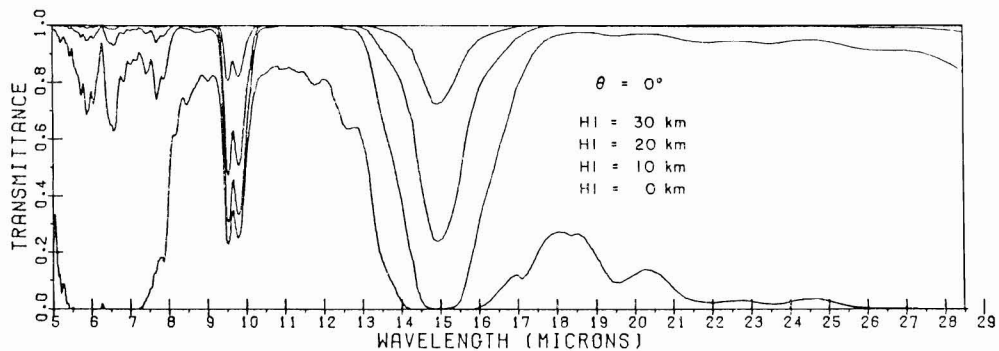


Fig. 1-3 Variation of transmittance with altitude for a vertical path to space for the 1962 U.S. Standard Atmosphere. From Selby and McClatchey (1975).



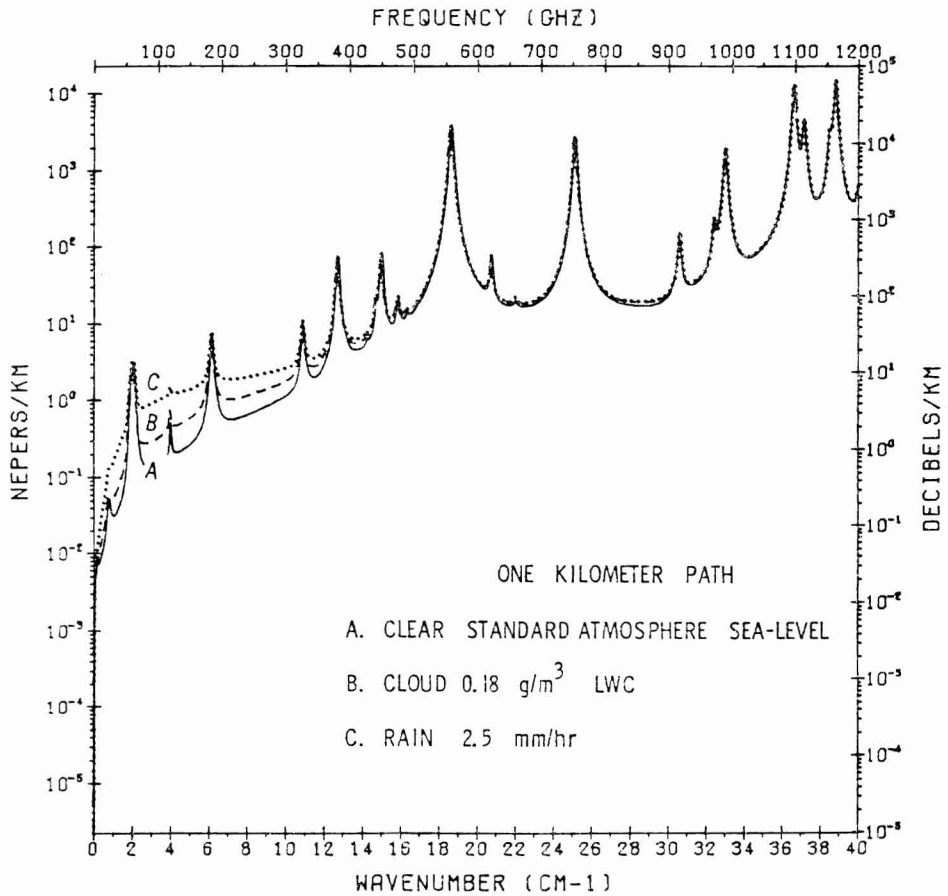


Fig. 1-4 Attenuation vs frequency for a clear standard atmosphere, a cloud of 0.18 g/m<sup>3</sup>, and a 2.5 mm/hr rain rate for a 1 km horizontal path. From Falcone et al. (1979).

15 μm からマイクロ波域の大気下層は主として H<sub>2</sub>O の吸収によるもので、そのうち 40 cm<sup>-1</sup> 以下の様子が Fig. 1-4 がに示されている。H<sub>2</sub>O のほかに 60 GHz 付近には O<sub>2</sub> による強い吸収があり、雲や雨の吸収係数も図には示されている。

赤外域でのエアロゾルの効果はあまり大きくないが、それぞれ視程 5 km ともなると 10 数パーセントの減衰を起す (Fig. 1-5)。大気分子による散乱 (レイリー散乱) は赤外では完全に無視できるが、エアロゾルによる散乱 (ミー散乱) の効果が大気の流れ具合によってかなり残ることが分る。

さてこれまで見てきた各吸収帯のスペクトルの代表的なものをもう少し詳細に示したのが Fig. 1-6 から Fig. 1-9 である。Fig. 1-6 は CO<sub>2</sub> の 15 μm 帯で真中の鋭い吸収を Q-枝と呼んでいる。図には CO<sub>2</sub> の量を一定にして気圧をいろいろに変えた場合の吸収スペクトルがい

くつか示されている。この吸収帯の何ヶ所かが、温度分布測定のチャンネルに使われる。Fig. 1-7 は H<sub>2</sub>O の 6.3 μm 帯で、水蒸気量の測定に利用される。Fig. 1-8 にはオゾン O<sub>3</sub> の 7 つの吸収帯をまとめて示した。ここで 1040 cm<sup>-1</sup> の 9.6 μm 帯以外は CO<sub>2</sub> や H<sub>2</sub>O など他の吸収帯に隠されてしまい、顕著な効果は表われない。Fig. 1-9 は N<sub>2</sub>O のもので 1269 cm<sup>-1</sup> 付近の ν<sub>1</sub> 帯は H<sub>2</sub>O 6.3 μm 帯の端の部分に顔を出し、比較的顕著な働きをする。また 3.8 μm 付近の吸収も弱いながらも大気の窓に位置しているため、重要である。

以上のような吸収スペクトルは、実はもっと細かい沢山の線スペクトルから構成されている。Fig. 1-10 は 1220 cm<sup>-1</sup> から 1340 cm<sup>-1</sup> までの吸収スペクトルの微細構造である。このような微細構造は大気の窓と呼ばれる領域でも例外でない。Fig. 1-11 は 10 μm 付近の大気の窓での吸収スペクトルを示し、Fig. 1-12, Fig. 1-13 は

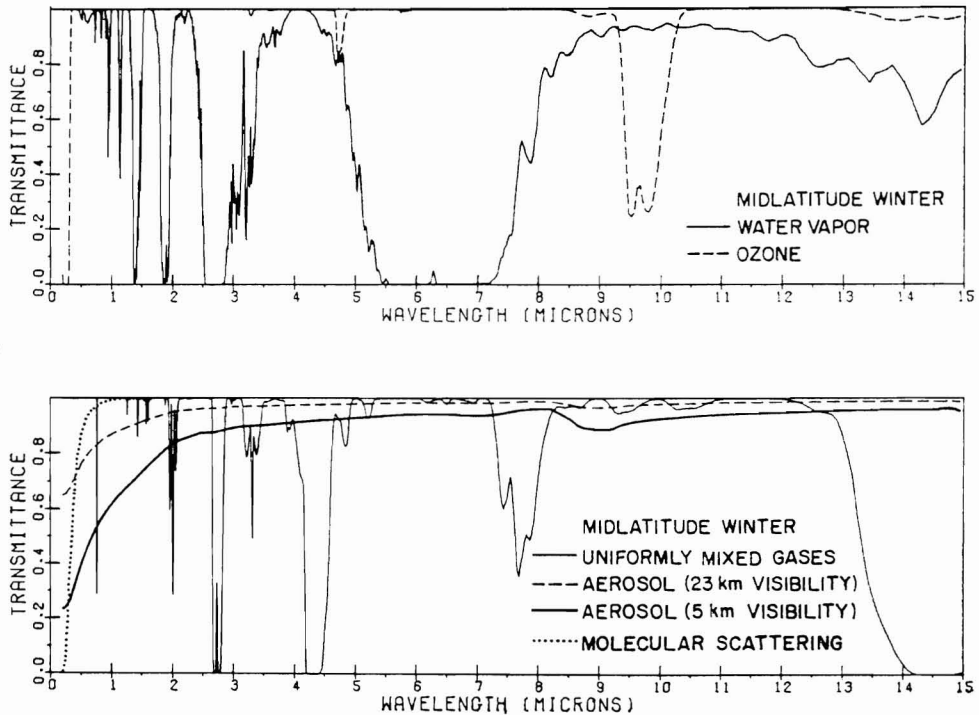


Fig. 1-5 Vertical path to space from sea level for the midlatitude winter atmosphere showing the separate contributions to the total transmittance. From Selby and McClatchey (1975).

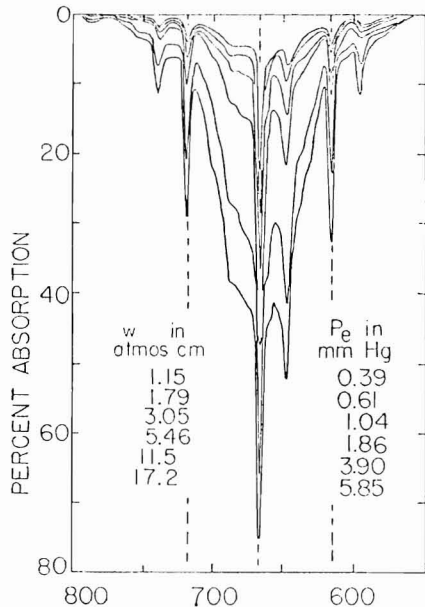


Fig. 1-6 Absorption spectra of  $\text{CO}_2$  15  $\mu\text{m}$  band for various values of absorber amount  $W$  and effective pressure  $P_e$ . From Burch et al. (1962).

もう1つの大気の窓の 3.7  $\mu\text{m}$  付近の様子を示している。10  $\mu\text{m}$  の場合の主要な吸収体は  $\text{H}_2\text{O}$  であるが、3.7  $\mu\text{m}$  の場合は各種の気体がドングリの背比べのように同じくらいずつ寄与している。ここで  $\text{N}_2$  は本来光学的に不活性な分子なのであるが、分子同志が接近したとき相手の電場で生ずる電気双極子によって吸収が引き起されるものである（衝突誘導吸収）。また、3.7  $\mu\text{m}$  は10  $\mu\text{m}$  に比べエアロゾルによる散乱の効果が大きく、地表によって反射された太陽光の大きさが、地表からの熱放射量と同じオーダーになる。一方 10  $\mu\text{m}$  の窓では太陽光の反射はほとんど無視できる。

Fig. 1-14 は 60 GHz の  $\text{O}_2$  の吸収スペクトルである。ただしこの吸収帯についてはどんなに分解能のよい分光器で観測しても地上付近 ( $h=0, h=8 \text{ km}$ ) ではこれ上微細な構造が現われるわけでない。それは、一本一本の吸収線の太さ ( $\sigma$ ) は圧に比例し、1気圧では  $0.1 \text{ cm}^{-1}$  くらいになるため、お互いに重なり合ってしまうこと、それにこの  $\text{O}_2$  の吸収帯の場合は圧が上ると吸収線が中心に寄り集る性質があるからである。このようなわけで  $h=30 \text{ km}$  の高度のみに微細構造が現れている。

以上は主として太陽や、室内の光源を利用して気体の

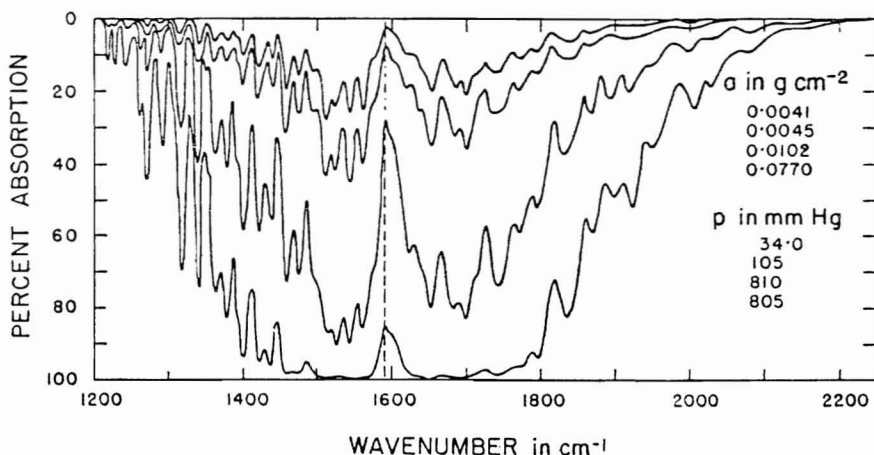


Fig. 1-7 As in Fig. 1-6 except for H<sub>2</sub>O 6.3 μm band.

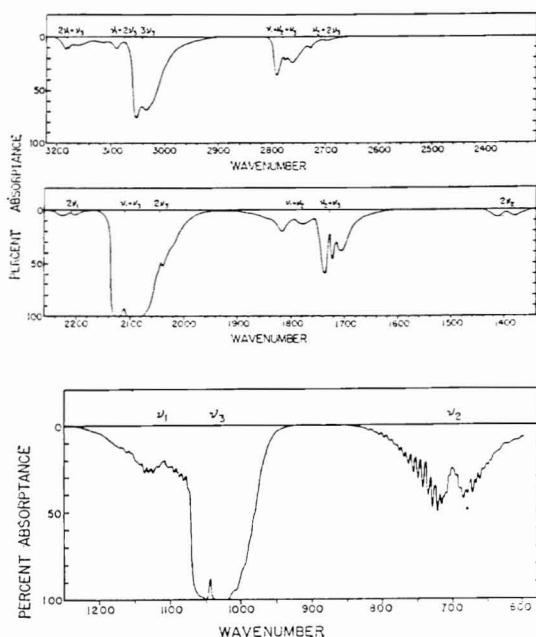


Fig. 1-8 Ozone absorption spectra. From McCaa and Schaw (1968).

吸収がどのような位置に起るかを見てきたのであるが、このような吸収スペクトルをもつ大気自身や地面が出すエネルギー分布はどうなるのであろうか。Fig. 1-15 は ニンバスD衛星搭載の干渉分光計によって得られた地球の放射スペクトルである。いくつかの温度に対する黒体放射のスペクトルが参考のため描かれている。同様に Fig. 1-16 は火星のスペクトルである。火星の場合には 600 cm<sup>-1</sup> 以下の H<sub>2</sub>O の回転帯, 1200 cm<sup>-1</sup> 以上の H<sub>2</sub>O 6.3 μm 帯, 1040 cm<sup>-1</sup> のオゾン 9.6 μm 帯等が現れず,

CO<sub>2</sub> 15 μm 帯だけが見える。このことから火星には CO<sub>2</sub> 以外の光学的に活性な大気はないか、あったとしても非常に少ないことが予想できる。

さて Fig. 1-15 と Fig. 1-16 中の CO<sub>2</sub> 15 μm 帯は Fig. 1-6 の吸収スペクトルとおおむね同じ形をしている。ただ Fig. 1-15 の地球大気の場合は、吸収帯の中心の Q-枝が逆向きに伸びている。これは大気の鉛直温度分布構造と密接な関係がある。Q-枝のような吸収の強い波長域は大気の上層の温度情報を伝えており、地球大気の場合、これは成層圏上部の高温域に相当しているからである。すなわち、Fig. 1-17 において、上の図の吸収スペクトルにおける吸収の強い所①は、下の図の①のように上層に荷重関数を持ち、この荷重関数に含まれる層の平均的な気温を測定していることになる。別な言葉で言えば、吸収の強い波長域では下の層から出た光は途中で吸収されてしまい、衛星まで届かず、結局大気上層の温度の情報しか届かないということである。同じ理由で吸収の弱い波長は大気下層の情報を伝えている。このように CO<sub>2</sub> 15 μm 帯の Q-枝は大気上層の温度情報を伝えており、Fig. 1-15 と Fig. 1-16 から、地球大気の上層は高温に逆転するが、火星では温度はどんどん下っているということが分る。このように吸収スペクトルの強弱と観測された地球放射を比較するだけでも、鉛直温度分布のおおまかなものが分かるのであるが、これをもっと精密に行なうとするのがいわゆる 'inverse problem' の課題である。

大気の放射スペクトルというのは、本来これまで見てきたような微細な線様構造をしているのであるが、実際の観測においては、測器の分解能の限界からこれをこのまま知ることはできず、Fig. 1-17 の上図の点線で示さ

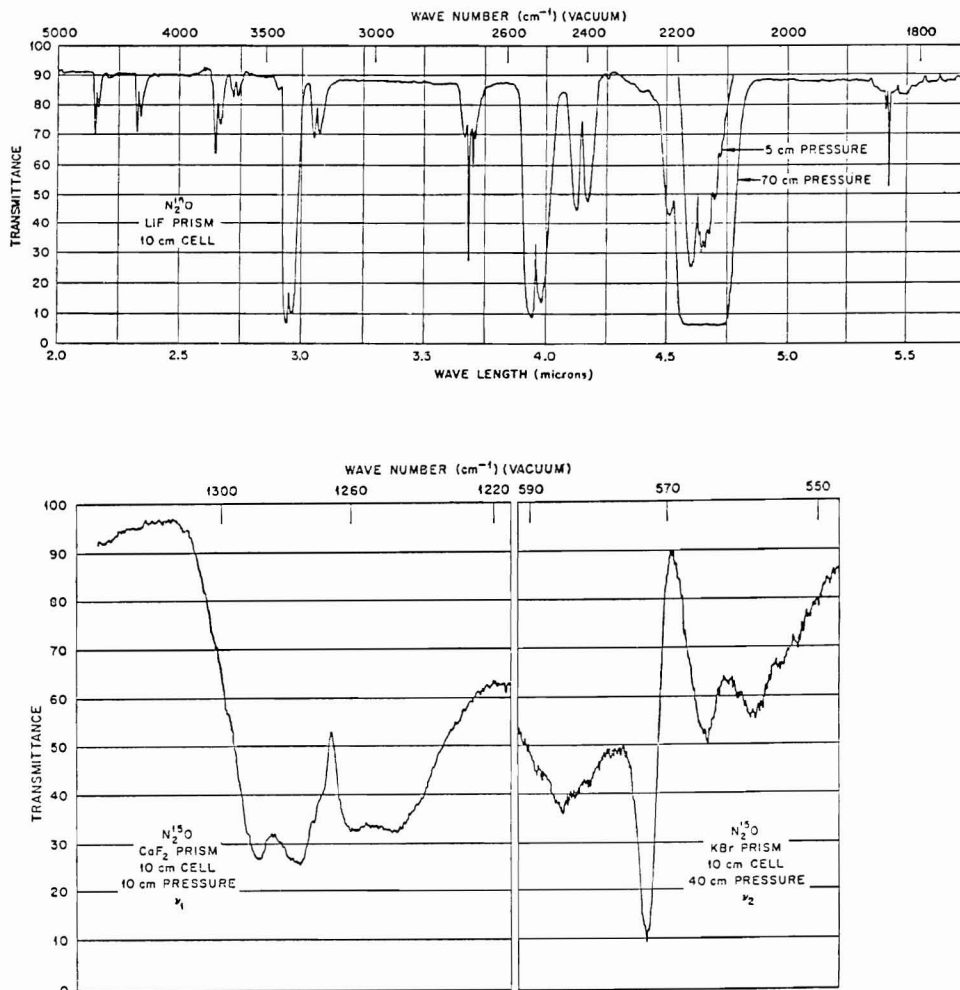


Fig. 1-9 N<sub>2</sub>O absorption spectra. From Began and Fletcher (1958).

れるような測器の応答関数の範囲で平均されたものだけが得られる。このような応答関数に対する荷重関数も下の図のように非常に幅の広いものになってしまう。荷重関数の幅が広いということは高さの分解能が悪くなるということである。吸収線の幅が1気圧で $0.1\text{ cm}^{-1}$ くらい、フィルターの幅は第1章で見たように $10\text{ cm}^{-1}$ くらいであるから、フィルターの幅を少々狭くしたところでこの問題は解決するようなものでない。この点マイクロ波の帯域幅は赤外域のフィルター幅に比べはるかに狭いからこのような問題はない(たとえばノンパス7のSMMR (Scanning Multichannel Microwave Radiometer) では帯域幅は $250\text{ MHz} \approx 0.008\text{ cm}^{-1}$ である)。ただし、マイクロ波では温度に対する感度が悪いため、せっかくのこの効果は若干帳消しになってしまう(青木,

1982 参照)。

マイクロ波にはこのほかに、赤外にはないいくつかの特徴がある。それは、赤外域では地表の射出率はほぼ0.98程度であり地表の状態によってほとんど変わらないのに、マイクロ波では地表を形成する物質、温度、粗度などによって大幅に変化するということである。

Fig. 1-18 はいくつかの波長における海面の射出率の温度による変化を示している。図は垂直偏波と水平偏波に分けて示されており、いずれも、高周波のマイクロ波では温度とともに射出率が減少する。したがって海面からの放射エネルギーは、Fig. 1-19 に示すように、温度が上がってもあまり大きく変化しない、このように高周波側では、海面温度に関して鈍感であるから、海面温度測定には都合がよくない。

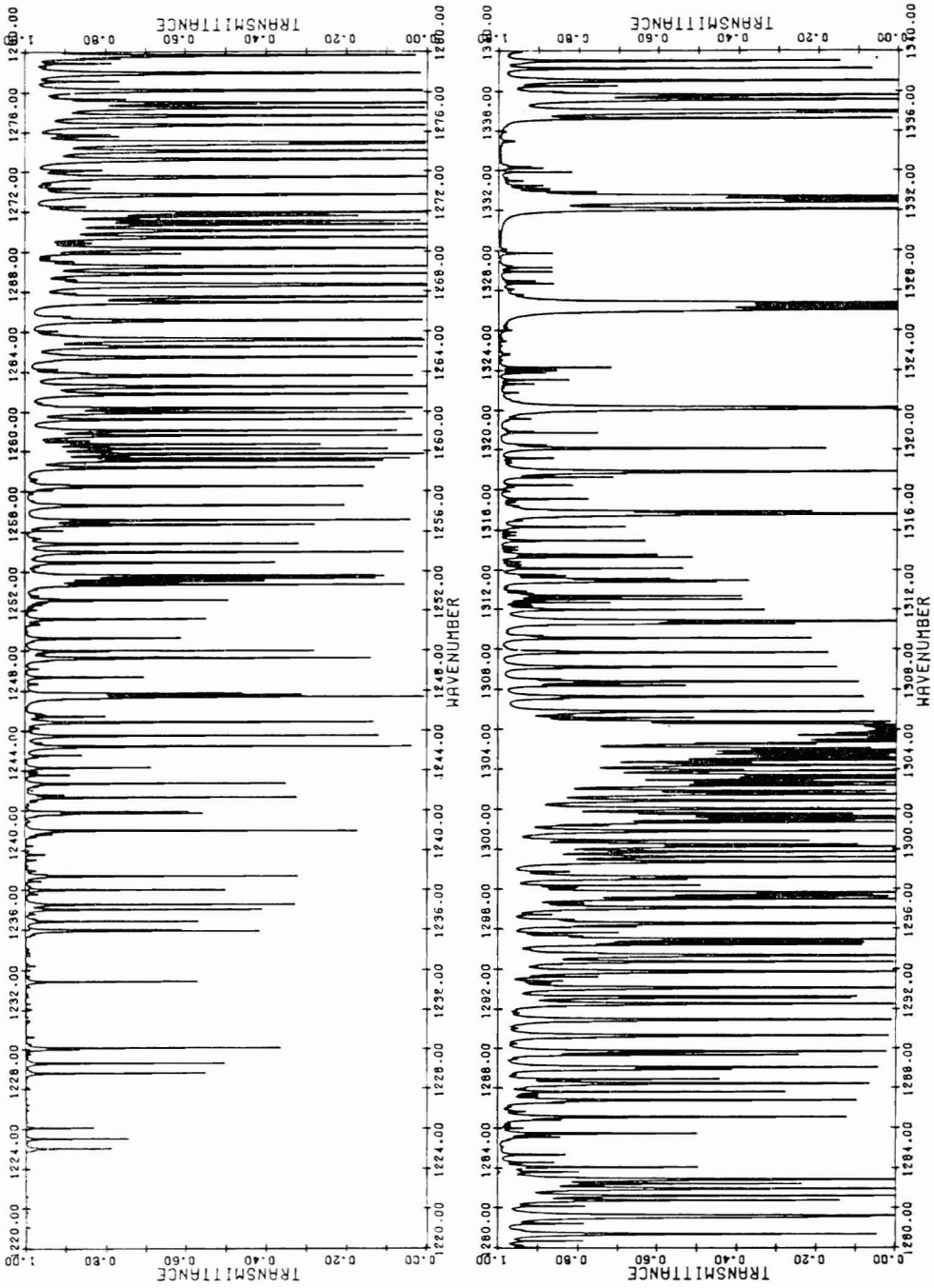


Fig. 1-10 An example of the fine structure of absorption spectrum. From McClatchey and D'Agati (1978).

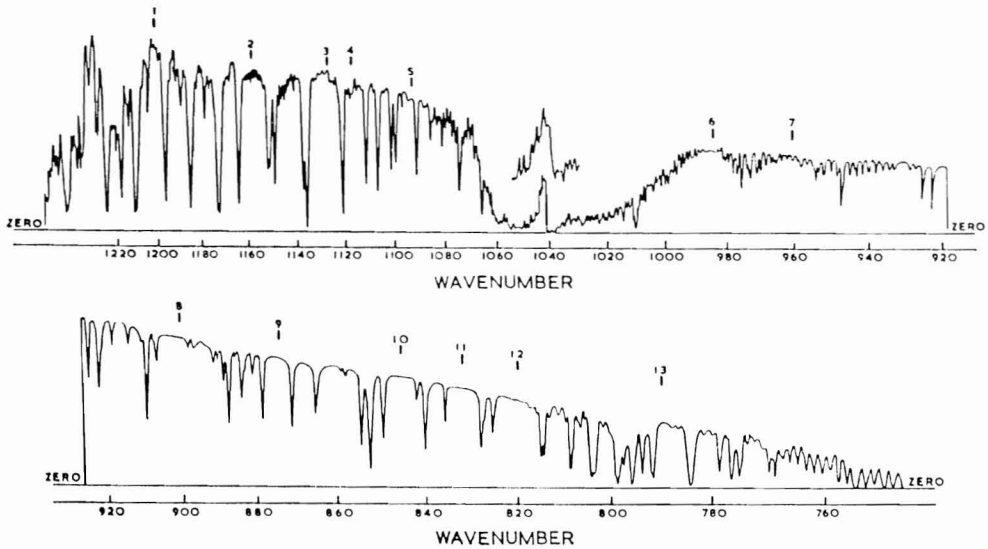


Fig. 1-11 Fine structure of the solar radiation spectrum in the atmospheric window at about  $10 \mu\text{m}$ . From Bignell et al. (1963).

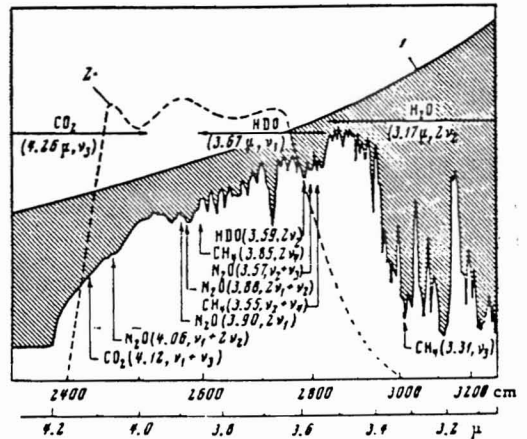
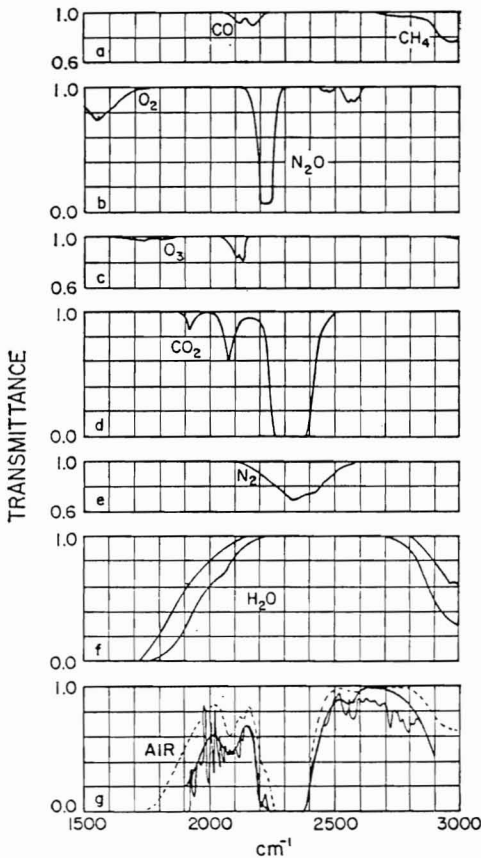


Fig. 1-13 Fine structure of solar radiation from 3 to  $4 \mu\text{m}$ . From Kondratyev (1969).

Fig. 1-12 a-f: spectra of individual atmospheric gases between 1500 and  $3000 \text{cm}^{-1}$ . Curve g: heavy curve, transmittance of one air mass obtained from curves a-f; light curve, transmittance of one air mass from the data of Farmer and Todd, dotted curve, transmittance of a vertical path from 0 to 500 mb. From Shaw (1970).

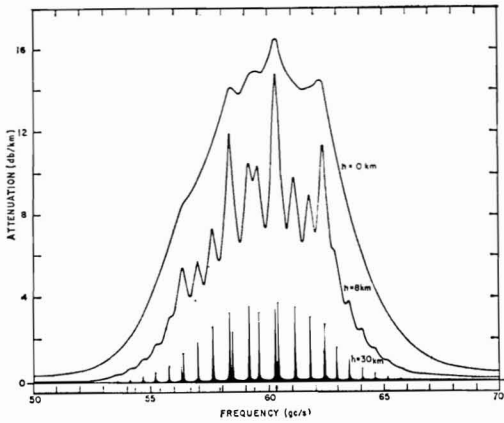


Fig. 1-14 Computed attenuation coefficient of  $O_2$  60 GHz band for three representative heights. From Meeks and Lilley (1963).

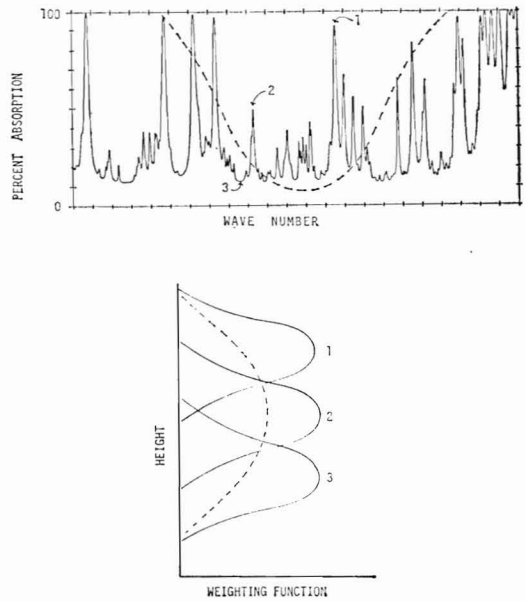


Fig. 1-17 Illustration of the relation between absorption spectra and weighting functions. Dashed line in upper part shows the filter response function and that in lower part is the weighting function for this filter.

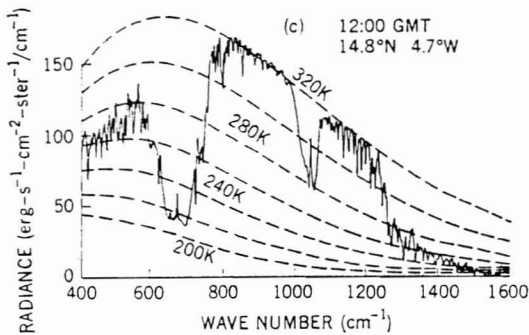


Fig. 1-15 Emittted radiation from earth atmosphere observed by IRIS on board Nimbus IV. From Hanel et al. (1972a).

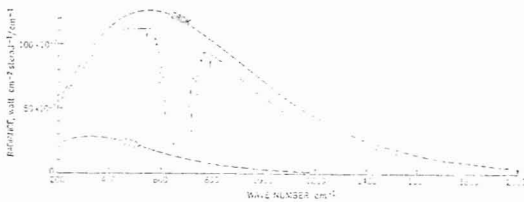


Fig. 1-16 Midlatitude spectrum of Mariner thermal radiation recorded in March 1972. From Hanel et al. (1972b).

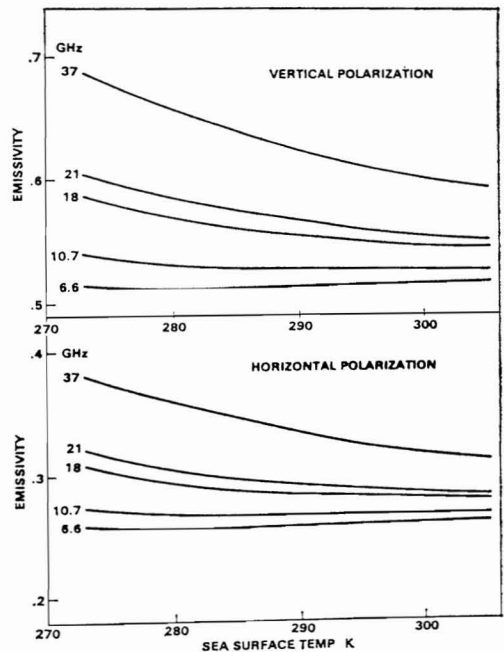
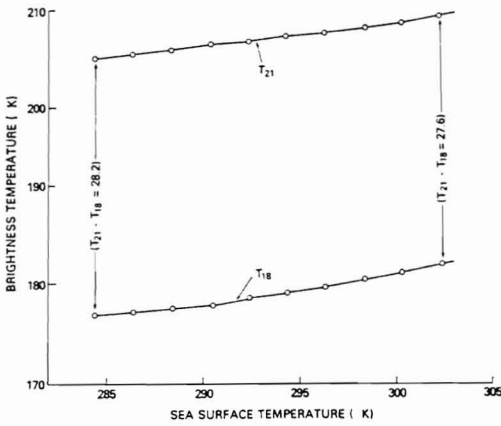
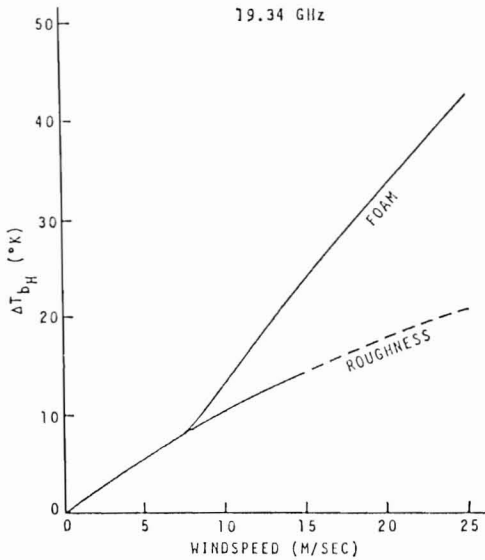


Fig. 1-18 Variation of smooth sea surface emissivity as a function of temperature. From Prabhakara et al. (1982).



**Fig. 1-19** Brightness temperature variation at 18 and 21 GHz in the vertical polarization as a function of sea surface temperature, based on theoretical calculations. From Prabhakara et al. (1982).

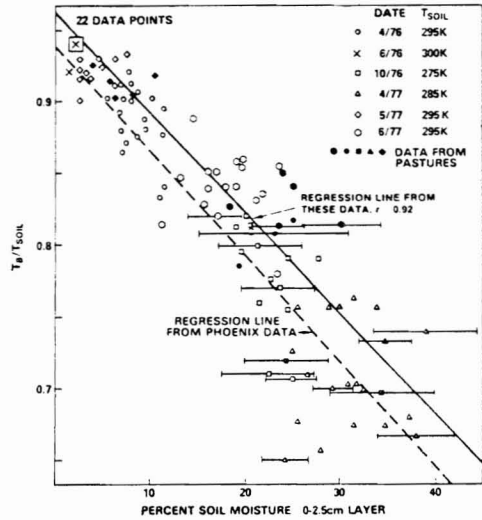


**Fig. 1-20** The increase of the brightness temperature with the increase of wind speed over the ocean. From Krishen (1974).

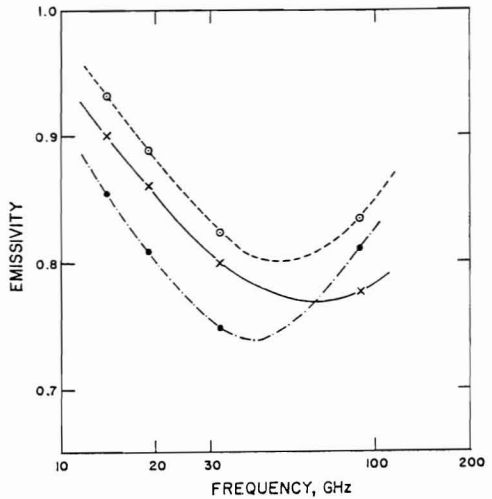
Fig. 1-20 は海面粗度と射出率の関係を示している。風速とともに波立ち、さらに泡立つことによって観測されるマイクロ波 (10.24 GHz) の放射輝度が著しく変化することが示されている。

また、Fig. 1-21 は土に含まれている水分とともに射出率がどのように変化するかを示しており、土壌水分が多くなるにつれて減少している。

Fig. 1-22 は多年層の氷の射出率である。同じ多年層



**Fig. 1-21** Aircraft observations of brightness temperature over agricultural fields. From Schmugge (1980).



**Fig. 1-22** Emissivity response curves for three different multi-year ice samples. From Troy et al. (1978).

の氷といっても質によってかなり異なる。図には3ヶ所の異なった場所の氷について示されている。

Fig. 1-23 は1年層の氷の輝度温度と氷の温度関係を示したもので、Fig. 1-19の海水の場合より、温度に対して敏感らしいことが分る。

マイクロ波の射出率はまた、方向に対しても大きな変化をする。Fig. 1-24 は水と土の射出率の角度に対する変化の様子を示している。水平偏波と垂直偏波では変化の様子がほとんど逆になっている。



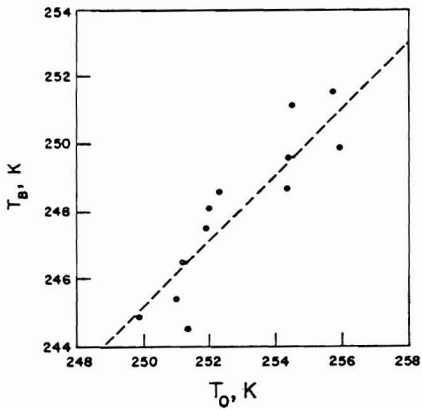


Fig. 1-23 A plot of brightness temperature at 31 GHz versus the physical temperature  $T_0$  of the ice surface. From Troy et al. (1981).

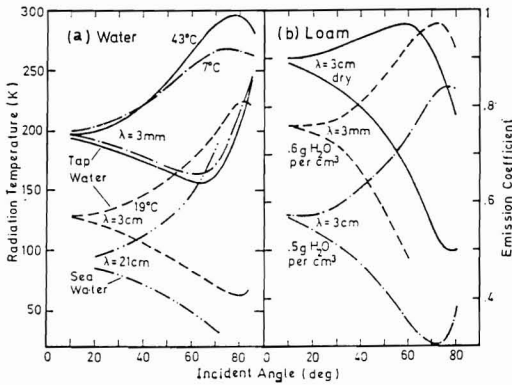


Fig. 1-24 (a) Radiation temperature of water at various wavelengths as a function of the incident angle; (b) emission coefficient of loam at 2 wavelengths and various degrees of humidity. In every pair of curves the upper is for vertical polarization and the lower is for the horizontal. From Schanda (1976).

このような可視からマイクロ波に対する地球一大気系の光学的性質を背景にして以下では具体的に鉛直温度等を求める手順について述べていく。

1.2 鉛直分布算出システムにおける問題点の概要

第1章で述べたように、あるチャネルが観測する放射は

$$I = (1-n)R + nI_c \tag{1-1}$$

(第1章14式)と書ける。ここで  $R$  は晴天放射量、 $n$  は雲量、 $I_c$  は雲域放射である。このうち  $R$  については第1章(4)式のように

$$R = \epsilon_s B(T_s) \tau(p_s) - \int_0^{p_s} B(T) \frac{\partial \tau}{\partial p} dp \tag{1-2}$$

となる。ここでは第1章の(4)式の  $\nu$  は省略して書いた。 $\epsilon, B, T, \tau, p$  はそれぞれ射率、プランク関数、温度、透過率、気圧であり、添字の  $s$  は地表の値であることを示す。なお、ここで  $\tau$  は雲を含まない大気の透過率である。

次に雲域放射  $I_c$  は

$$I_c = \epsilon_s B(T_s) \tau(p_s) \tau_c(p_s) - \int_0^{p_s} B(T) \frac{\partial (\tau \tau_c)}{\partial p} dp \tag{1-3}$$

と書ける。ここで、 $\tau_c$  は雲の透過率であり、モデル的に書くと Fig. 1-25 ようになっている。 $\tau(p)$  は衛星から  $p = p_s$  までの透過率であり、雲に対するものは雲の上端までは透過率1(そこまで雲がないのだから)で雲底で  $\tau_c(p_s)$  となり雲底から地表まで一定  $= \tau_c(p_s)$  である。さて、雲粒のあるところはその分だけ大気が少なくなっているはずであるが、その量は非常に小さいとして無視すると、雲と大気が共存するところではその透過率を  $\tau \times \tau_c$  と近似できよう。そのような近似をして(1-2)式の  $\tau$  の代りに  $\tau \times \tau_c$  を代入したが(1-3)式である。なお、ここでは雲粒による光の散乱の効果は無視してある。(というより、 $\tau_c$  は散乱の効果も含めて表現したような effective な透過率である)。

さて(1-3)式のままでは、 $I_c$  が雲のどのようなパラメーターに関わっているのかがよく分らない。そこで、

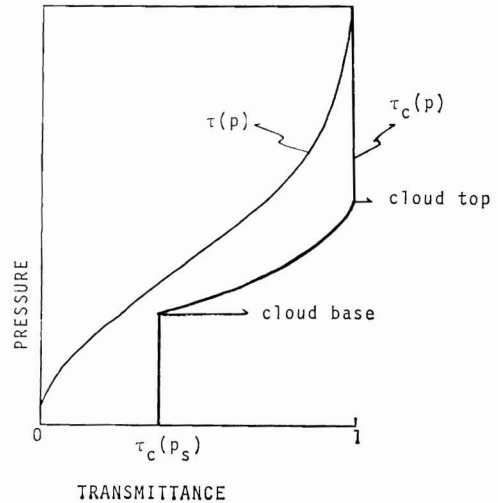


Fig. 1-25 Schematic transmission functions of the atmosphere  $\tau(p)$  and cloud  $\tau_c(p)$ .

雲は  $p_c$  から  $p_c + \Delta p$  の間にあるとして次のような近似をする。(1-3) 式の第2項は

$$\begin{aligned} & - \int_0^{p_s} B(T) \frac{\partial(\tau\tau_c)}{\partial p} dp \\ & = - \int_0^{p_c} B(T) \frac{\partial\tau}{\partial p} dp - \int_{p_c}^{p_c + \Delta p} B(T) \frac{\partial(\tau\tau_c)}{\partial p} dp \\ & \quad - \tau_c(p_s) \int_{p_c + \Delta p}^{p_s} B(T) \frac{\partial\tau}{\partial p} dp \end{aligned} \quad (1-4)$$

ここで、雲は非常に薄いと仮定すると(1-4)式の第2項はさらに

$$\begin{aligned} & - \int_{p_c}^{p_c + \Delta p} B(T) \frac{\partial(\tau\tau_c)}{\partial p} dp \\ & \approx -B(T_c) [\tau(p_c + \Delta p) \tau_c(p_s) - \tau(p_c)] \\ & \approx -B(T_c) \tau(p_c) [\tau_c(p_s) - 1] \end{aligned} \quad (1-5)$$

と近似できる。また(1-4)式の第3項も

$$\begin{aligned} & - \tau_c(p_s) \int_{p_c + \Delta p}^{p_s} B(T) \frac{\partial\tau}{\partial p} dp \\ & \approx -\tau_c(p_s) \int_{p_c}^{p_s} B(T) \frac{\partial\tau}{\partial p} dp \end{aligned} \quad (1-6)$$

で近似すれば(1-3)は

$$\begin{aligned} I_c & = \varepsilon_s B(T_s) \tau(p_s) \tau_c(p_s) - \int_0^{p_c} B(T) \frac{\partial\tau}{\partial p} d\tau \\ & \quad - B(T_c) \tau(p_c) [\tau_c(p_s) - 1] \\ & \quad - \tau_c(p_s) \int_{p_c}^{p_s} B(T) \frac{\partial\tau}{\partial p} dp \end{aligned} \quad (1-7)$$

ここで

$$\varepsilon_c = 1 - \tau_c(p_s) \quad (1-8)$$

を定義し(1-2)式の関係を使うと

$$\begin{aligned} I_c & = R(1 - \varepsilon_c) \\ & \quad + \varepsilon_c \left[ B(T_c) \tau(p_c) - \int_0^{p_c} B(T) \frac{\partial\tau}{\partial p} d\tau \right] \end{aligned} \quad (1-9)$$

この式の第2項のカッコの中は、ちょうど  $p_c$  という層に  $T_c$  なる温度の黒体平面があったとき衛星が観測する放射量の形になっている。これを

$$I_c^* \equiv B(T_c) \tau(p_c) - \int_0^{p_c} B(T) \frac{\partial\tau}{\partial p} dp \quad (1-10)$$

とおくと(1-1)は結局

$$I = (1 - n\varepsilon_c) R + n\varepsilon_c I_c^* \quad (1-11)$$

となる。さらに

$$n^* \equiv n\varepsilon_c \quad (1-12)$$

とおくと

$$I = (1 - n^*) R + n^* I_c^* \quad (1-13)$$

と書け、これは(1-1)式とよく似ている。 $n^*$ は‘有効雲量’とでも呼ばれるべき量で実際の雲量  $n$  と  $\varepsilon_c$  倍だけ異なっている。

さて(1-11)式(又は(1-13)式)は雲が十分薄い場合に成り立つ近似式であり、雲が厚くなってくれば(1-5)や(1-6)式の  $\Delta p_c \approx 0$  の近似が成り立たないのみならず、光の多重散乱の効果や、雲の測面からの光の出入の効果が大きくなってくる。また、雲が1層だけでなく、2層、3層と重なっているときには(1-3)式の展開形はもっと複雑になる。この場合、観測量  $I$  の中には大気鉛直温度だけでなく、さまざまな雲に関する物理量が含まれており、 $I$  から逆に鉛直温度を求めるといふ問題にとってはこのことが大きな障害になることが予想される。したがって、もし晴天放射  $R$  だけを  $I$  から独立して抽出する良い方法があれば、直接観測量の  $I$  からでなく  $R$  から鉛直温度を求めた方が、問題が単純化されようである。なぜならば(1-2)式から分るように  $R$  には雲に関する物理量が全く含まれていないからである。

このようなことから米国の NESS などと同じように本センターのシステムでは、まず最初に晴天放射  $R$  を各チャンネルについて求めることから始める。ただしこの処理は HIRS の 1, 2 および 17 チャンネル、あるいは SSU の全チャンネルのように荷重関数が成層圏上の十分上層にあるチャンネルについては行なわない。また、MSU 1, 2, 3 チャンネルについては、その荷重関数が対流圏にあるが、マイクロ波が雲に対してはほぼ透明であるため、やはり晴天放射処理は行なっていない。しかし、激しい降雨を伴うような雲に対してはマイクロ波といえども数度から数10度の輝度温度への影響があるようだが、現在のところこのような降雨を伴う雲域を見分け、その効果を取り除く処理システムは開発されていない。

本システムでの晴天放射決定処理の特徴は AVHRR 画像を使うことであるが AVHRR 画像が使えない場合のための晴天放射決定ルートも処理システムに組み込まれている。

晴天放射が決定されるといよいよ鉛直温度や鉛直水蒸気分布などが計算できる。この問題はいわゆる inverse method とか inverse problem といわれ、過去20年くらいの間に実に沢山の研究が行なわれてきた。発表された論文の数も100編を越えると思われる。そしてその

inverse method についてもいろいろな方法が提案されており、各々の方法についての評価も十分煮つまっているわけでない。このような事情を背景に本システムでは、鉛直分布計算（鉛直温度、鉛直水蒸気、全気柱オゾン量、表面（海面および地面）温度）には2つのルートが組み込まれている。1つはいわゆる Regression 法と呼ばれるもので、ゾンデータ等の求めようとするパラメーターの実測値と晴天放射  $R$  との間の回帰式を沢山のデータから決定し、それを算出式とするもので現在はこちらの方がルーチンで採用されている。

もう1つの方法は鉛直温度等の求めようとする大気パラメーターの初期値をほかのデータ（数値予報の予報値とか気候値など）から与え、それから得られるべき晴天放射量を計算し、それと観測値の方から得られた晴天放射量の差から、大気パラメーターの真の値を決定する方法であり、本システムでは初期値方式と呼んでいる。

温度分布や水蒸気分布が決まると、これらの結果を使い、雲頂高度を求める処理に入る。この処理にも2つの方法が組み込まれており、2種類の雲頂高度の値が算出されるようになっている。1つは Smith et al. (1974) の方法によるもので、もう1つは、AVHRR の最低輝度によるものである。2種類の方法で雲頂高度を計算している理由は、両者の優劣がまだ十分明らかにされていないこと、また、両方法による計算量が取りに足らないくらい少ないことである。両者の精度の評価については今後の課題である。

このほかに、平均の雲量（鉛直分布計算は現在 HIRS 4 スポット 当り 1 点計算されているのでこの 4 スポットの平均雲量ということ）や雲の射出率（前述した薄い雲と仮定したときの射出率）なども計算される。なお、これら各種大気パラメーターの算出結果については各々簡単な品質チェックが行なわれ、これらの結果がすべてファイル上に格納される。以下これらの問題に関する過去の研究の簡単なレビューを行ないながら、処理の詳細を述べていきたい。

## 2. 晴天放射量の決定

### 2.1 Smith の方法

あるスポットに関して我々が観測するのは  $I$  だけである。したがって (1-11) 又は (1-13) 式のようにたとえ薄い雲を仮定しても、この2つの観測量だけからでは晴天放射量  $R$  を抽出することはできない。しかし、もし晴天放射量が2つの相隣接するスポットを含む小さな領域内において一定であり、かつ、2つのスポットに存在する

雲の高度や、厚さ等が等しく雲域からの放射、 $I_c$  が等しいとすると、この2つのスポットを使って晴天放射が求められることを Smith (1968) は示した。

2つのスポットを添字 1, 2 で示し、(1-1) 式を書き直すと

$$I_1 = R + n_1(I_c - R) \quad (2-1)$$

$$I_2 = R + n_2(I_c - R) \quad (2-2)$$

と書ける。

この2つの式から

$$\frac{R - I_1}{R - I_2} = \frac{n_1}{n_2} \equiv N^* \quad (2-3)$$

なる関係が得られる。ここでもしあるチャンネルの晴天放射  $R$  が他の何らかの手段によって知ることができるならば、(2-3) 式の左辺にこの  $R$  を代入して、2つのスポットでの雲量の比  $N^*$  を決定することができる。すると他のチャンネルについては、(2-3) 式の関係式を使って

$$R = \frac{I_1 - N^* I_2}{1 - N^*} \quad (2-4)$$

なる式によって晴天放射を求めることができる。

ここであらかじめその晴天放射量が知られているチャンネルとしては大気の窓領域にあるチャンネルを選ぶのがよく行なわれる方法である。(HIRS で言えば第 8 チャンネルなど。) というのは、海面温度というのは大気温度に比べれば比較的良好な精度であらかじめ知ることができ、すると、それから、大気の窓の晴天放射量も比較的良好な精度で理論的に計算できるからである。したがって、この方法は、陸上のように地面温度をあらかじめ良く知ることができないようなケースでは、使えないことが予想される。

この方法は非常に簡便な方法であるが、次のような欠点がある。

(a) 2つのスポットにある雲の高度、厚さ、光学的特性等が全く等しいと仮定していること。

(b) (2-4) 式から分かるように、分母に  $1 - N^*$  があるため、2つのスポットでの雲量が同じような値の時、 $N^* \sim 1$  となり、大きな誤差が出ることが予想される。

(c) また  $N^*$  を決定するために使われたチャンネルは鉛直温度分布の算出にはもう使うことができない。

ここでは (a) で述べた問題についてもう少し詳しく考察してみよう。例として薄い雲の場合について、2つのスポットにおいて雲頂高度が等しくない場合、(2-3) 式のような仮定がどのような誤差となるか考えてみる。2つ

のスポットにおいて雲頂高度等が等しくない場合は (2-3) 式は, (1-11) 式を使うと

$$\frac{R-I_1}{R-I_2} = \frac{n_1 \varepsilon_{c,1} (R-I_{c,1}^*)}{n_2 \varepsilon_{c,2} (R-I_{c,2}^*)} \equiv N^* \quad (2-5)$$

となる。ここで

$$r_\varepsilon \equiv \frac{\varepsilon_{c,1} (R-I_{c,1}^*)}{\varepsilon_{c,2} (R-I_{c,2}^*)} \quad (2-6)$$

は明らかに1ではなく波長(チャンネル)によって異なる。簡単のため  $\varepsilon_{c,1} \sim \varepsilon_{c,2} \sim 1$  とし, 地表温度が  $300^\circ\text{K}$ , 雲頂温度が第1スポットで  $260^\circ\text{K}$ , 第2スポットで  $230^\circ\text{K}$  とすると,  $900\text{ cm}^{-1}$  の窓領域で  $R \sim 120\text{ mW}/(\text{m}^2\text{ sr cm}^{-1})$ ,  $I_{c,1}^* \sim 60\text{ mW}/(\text{m}^2\text{ sr cm}^{-1})$ ,  $I_{c,2}^* \sim 40\text{ mW}/(\text{m}^2\text{ sr cm}^{-1})$  程度になる。このとき  $r_\varepsilon \sim 0.75$  である。ところが荷重関数がより上層にあるチャンネルでは,  $I_{c,1}^*$  と  $I_{c,2}^*$  の差がより小さくなるから,  $r_\varepsilon$  はもっと1に近い値をとることになる。したがって (2-5) 式の  $N^*$  はどのチャンネルに対しても等しいというわけにはいかないから, HIRS 第8チャンネルで決めた  $N^*$  で他のチャンネルの晴天放射を (2-4) 式のようにして決めれば大きな誤差を生ずることになる。

次に述べる Smith and Woolf (1976) の方法もこの点に関してはとくに改良されたものになっていない。

## 2.2 Smith and Woolf の方法

1980年6月10日まで NESS のルーチン処理に使われていた Smith and Woolf (1976) の方法は,  $N^*$  をある1つのチャンネルで決めるのではなく, 晴天放射を求めようとするすべてのチャンネルを使って最小自乗法的に決めるものである。また, このときこれらのチャンネルの晴天放射も同時に決定される。

まず各チャンネル  $\nu_i$  の晴天放射の沢山のサンプルの平均値からの差を

$$R(\nu_i) - \bar{R}(\nu_i) = \sum_{j=1}^{L'} \alpha_j' \phi_{ji} \quad (2-7)$$

のように展開する。ここで  $R(\nu_i)$  はチャンネル  $i$  の晴天放射,  $\bar{R}(\nu_i)$  はその気候学的平均値(あらかじめ与えられる),  $\phi$  は一般には適当な直交関数でよいのだが, 最もよいのは,  $R - \bar{R}$  の共分散マトリックスの固有ベクトルを使うことで, この場合  $R - \bar{R}$  をより少ない数の関数で表現できる。 $\alpha_j'$  は展開係数で, これを決定すれば  $R(\nu_i)$  が決まるというわけである。

上記の固有ベクトルは互いに直交しており,  $R - \bar{R}$  という実際のデータ群から作られる直交関数という意味で経験的直交関数とも呼ばれるものである。Fig. 2-1 は

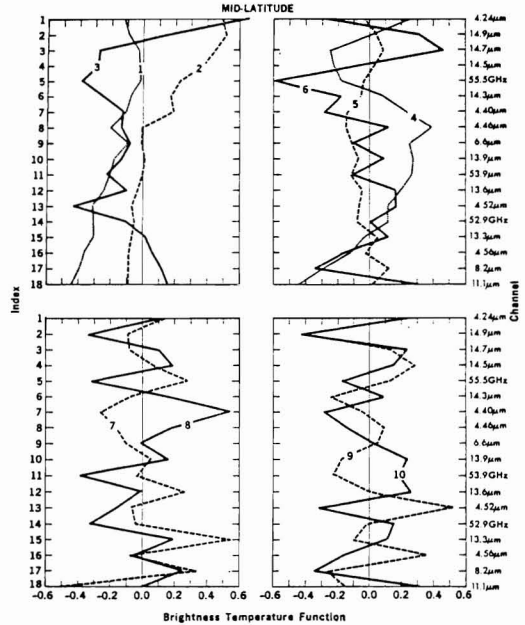


Fig. 2-1 First ten eigenvectors of the radiation brightness temperature covariance matrix formed from mid-latitude soundings set. From Smith and Woolf (1976).

18個のチャンネルの  $R - \bar{R}$  によって作られる共分散マトリックスのうち, その固有値の大きい方から10個だけ, その固有値に相当する固有ベクトルを示したものである。ただし, この図では  $R - \bar{R}$  でなく,  $R$  を輝度温度に直したものの共分散マトリックスの固有ベクトルである。10個の直交関数は1から順にその波長が小さくなっているのが分るであろう。

Smith (1968) のときのように2つのスポットの雲頂高度等が等しいと仮定して (2-7) を (2-4) に代入すると,

$$I_{1,i} - \bar{R}_i = N^* (I_{2,i} - \bar{R}_i) + \sum_{j=1}^{L'} (1 - N^*) \alpha_j' \phi_{ji} \quad (2-8)$$

を得る。これをマトリックス形式で書くと,

$$Z = \Psi \alpha \quad (2-9)$$

となる。ただし

$$\begin{aligned} Z_i &= I_{1,i} - \bar{R}_i, & \Psi_{i,1} &= (I_{2,i} - \bar{R}_i) \\ \Psi_{i,n} &= \phi_{n-1,i}, & \alpha_1 &= N^*, & \alpha_n &= (1 - N^*) \alpha'_{n-1} \\ & & & & (n=3 \cdots L'+1), & (i=1 \cdots L) \end{aligned} \quad (2-10)$$

ここで  $L'$  は使用する直交関係の数,  $L$  は関与しているチャンネルの数である。Smith and Woolf (1976) の例では  $L$  は HIRS 16チャンネル, マイクロ波域に3チャンネル

ルの計19チャンネル, また  $L'$  は10であった。我々の問題は  $L$  個の観測から,  $L'+1$  個の未知量を決定することである。(2-9) 式を最小自乗法によって解けば,

$$\alpha = (\Psi^t \Psi)^{-1} \Psi^t Z \quad (2-11)$$

となり ( $\Psi^t$  は  $\Psi$  の転置行列),

$$\alpha_n' = \frac{\alpha_{n+1}}{1 - \alpha_1}, \quad (n=1, \dots, L') \quad (2-12)$$

によって (2-7) 式の展開係数が決まり

$$R(\nu_i) = \bar{R}(\nu_i) + \sum_{j=1}^{L'} \alpha_j' \phi_{ji} \quad (2-13)$$

によって晴天放射が決まる。

または, (2-10) 式から

$$N^* = \alpha_1$$

であるから, これと (2-4) 式から晴天放射を求めることもできる。

この方法では Smith の方法で述べたような  $N^*$  を決めるために使ったチャンネルを温度分布の算出に使えないという欠点はない。また, 1チャンネルだけで  $N^*$  を決めるのではなく,  $N^*$  と各チャンネルの晴天放射量が互いに整合するように, すべてを同時に最小自乗法的に決定することで解の安定性がよくなると思われる。しかし, 2つのスポットでの雲頂等が第しいという仮定から来る誤差は避けることができない。

### 2.3 McMillin の方法

これまで述べた2つの方法は, いずれも, 2つのスポットにおける雲域放射量は等しいという仮定の上に立っており, これは現実の大気においていつも成り立つとはとうてい考えられない。そこで, McMillin (1978) は, いくつかのスポットの中から, 同じような雲域放射を有するものを選び出す方法を考え, 1980年6月10日から NESS のルーチン処理に使われるようになった。

もし2つのスポットにおいて雲域放射が等しければ (2-1), (2-2) が成り立つ。これから

$$I_1 - I_2 = (n_1 - n_2) (I_c - R) \quad (2-14)$$

となる。2つのチャンネル  $\nu_a, \nu_b$  についてこれを作り, 両式の比をとれば,

$$\frac{I_1(\nu_a) - I_2(\nu_a)}{I_1(\nu_b) - I_2(\nu_b)} = \frac{I_c(\nu_a) - R(\nu_a)}{I_c(\nu_b) - R(\nu_b)} \equiv S \quad (2-15)$$

を得る。式から分るように  $S$  は雲量には依らない量である。この式は, 第2スポットに雲がない場合 ( $I_2 = R$ ) に

も成り立つから,

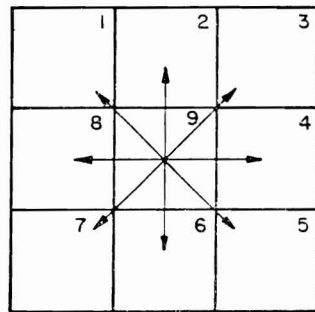
$$R(\nu_a) = I_1(\nu_a) + S [R(\nu_b) - I_1(\nu_b)] \quad (2-16)$$

なる関係式が成り立つ。したがってもし,  $S$  が分り,  $\nu_b$  の晴天放射  $R(\nu_b)$  も既知であればチャンネル  $\nu_a$  の晴天放射が求まる。ここで,  $\nu_b$  としては Smith (1968) の場合のように窓領域のチャンネルを選び, その晴天放射は海面温度からの理論計算等から既知だとするわけである。

さて, Fig. 2-2 のように9つのスポットの中から同じ雲域放射をもつスポットの組みを探す問題を考えよう。スポットの放射量  $I$  は雲量と雲域放射によって変化するが, (2-16) 式から分るように, もし雲域放射が一定であれば,  $S$  が一定なので,  $I_1(\nu_a)$  と  $I_1(\nu_b)$  は直線関係にある。今, 雲は2層のみしか存在しないとしよう (厳密には雲頂が同じでも雲厚が異なることもあるから, 2つの  $I_c$  しかないときと言うべきだが)。一般に高い雲の方が  $I_c$  が小さいから, このときは Fig. 2-3 中の high cloud と書いた線分のどこかに乗るはずであり, 低い雲なら, low cloud と書かれた部分のどこかに乗るはずである。もし, 1つのスポットの中に2層の雲が混在 (ただし, 重さなっていない場合か, あるいは重さなっていないも上層の雲の透過率は0という場合か, どちらかが前提になっていなければならぬが) していれば, 観測放射量は この2つの線分にはさまれた領域のどこかにくる。

さて McMillin (1978) による, 同じ雲域放射のスポットを見つける手順は次のようになる。

- (a) まず, Fig. 2-2 における真中のスポットとそのまわりの8つのスポットが作る勾配  $S$  を (2-15) 式によって計算し, 図2-4のように, 窓領域の放射  $I(\nu_b)$  を横軸にプロットする。
- (b)  $S$  の値に下から順に番号を付け, 隣の番号同志



SCAN PATTERN

Fig. 2-2 Scan pattern showing pairs used to determine slopes. From McMillin (1978).

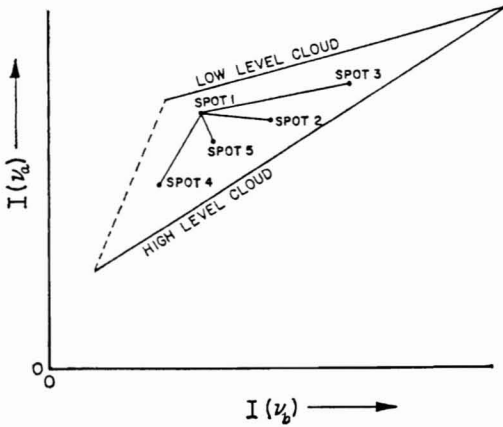


Fig. 2-3 Relation of the cloudy radiances of two channels for the case of two-layer cloud model.

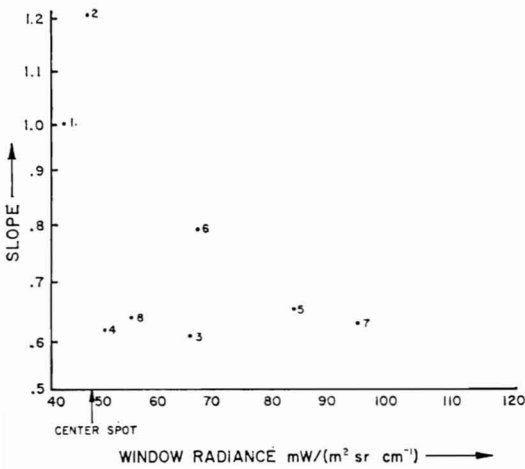


Fig. 2-4 Distribution of slopes plotted against the window radiance of the outer scan spots of an array in Fig. 2-2. From McMillin (1978).

の間の差をとり、その差の最も小さいところを選び、 $S$ の平均を計算する。

(c) ただし、選ばれた2つのスポットと、中心のスポット間の  $I(\nu_b)$  の差の平均値を計算し、それがある値（この値は適当に経験的に与える）より小さい場合は (b) で計算した差のうち2番目に小さいものを選ぶ。 $I(\nu_b)$  の値が似たような大きさのものを避けるのは、(2-15) 式の  $S$  の計算で誤差が大きくなる危険があるからである。

(d) (b) または (c) で選ばれた2つの  $S$  の平均値を (2-16) 式に代入すると、そのチャンネルの晴天放射が求まる。この値がどのくらい信頼できるかは、選ば

れた2つの  $S$  の差の大きさによる。この  $S$  の差を (2-16) 式の  $S$  に代入すれば  $R(\nu_a)$  の信頼度が得られる。これがある値（これも経験的に与える）より大きいときはフラッグを立てる。

(e) (2-16) 式の  $[R(\nu_b) - I_1(\nu_b)]$  の値がある値（これも経験的に与える）より大きいときはスポット1が完全に雲に覆われているということでやはりフラッグを立てる。

このような McMillin の方法にはいくつかの問題点がある。

(i) まず、同じ雲域放射量であること条件として  $S$  の値が同じであるとしているが、実はこれは、必要条件であって、十分条件ではないということである。すなわち、3つのスポットにおいて、 $I_c$  が同じであれば、2つの  $S$  が同じにならないといけない、しかし  $S$  が同じであれば3つのスポットの  $I_c$  が同じかというそうはいかないのである。このことを Fig. 2-2 において考えてみよう。2つの  $S$  が同じということは Fig. 2-3 において、3つのスポットが1つの直線上に乗るということである。しかし、 $I_c$  が等しいということは、さらにこれが、晴天放射の点（図の low と high 2 直線の交点）を通る直線ではなければならないということであって、ただ1つの直線に乗るだけではだめなのである。

このことを式で説明すれば、以下のようになる。スポット1と2の作る勾配  $S_{12}$  は

$$S_{12} = \frac{I_1(\nu_a) - I_2(\nu_a)}{I_1(\nu_b) - I_2(\nu_b)}$$

$$= \frac{(n_1 - n_2)R(\nu_a) - n_2 I_{c,2}(\nu_a) + n_1 I_{c,1}(\nu_a)}{(n_1 - n_2)R(\nu_b) - n_2 I_{c,2}(\nu_b) + n_1 I_{c,1}(\nu_b)} \quad (2-17)$$

また、スポット1と3の間では

$$S_{13} = \frac{I_1(\nu_a) - I_3(\nu_a)}{I_1(\nu_b) - I_3(\nu_b)}$$

$$= \frac{(n_1 - n_3)R(\nu_a) - n_3 I_{c,3}(\nu_a) + n_1 I_{c,1}(\nu_a)}{(n_1 - n_3)R(\nu_b) - n_3 I_{c,3}(\nu_b) + n_1 I_{c,1}(\nu_b)} \quad (2-18)$$

となる。ここで  $n$  や  $I_c$  についている添字はスポット番号を示す。McMillin の主張は、もし  $S_{12} = S_{13}$  なら  $I_{c,1} = I_{c,2} = I_{c,3}$  であると言いたいわけであるが、一見してこれは無理な要求であることが分る。

(ii) 次に、同じ値の  $S$  といっても、Fig. 2-4 の例のようにそのようなことは現実にはなかなか存在しないだろうということである。

(iii) (a)~(e)の手順の中には、経験的に決めなければならないようかなりあいまいな量が沢山ある。それらの量がどうい理論的背景から決定されるべきかが示されていない。

いずれにせよこのような方法で晴天放射を求めた例が Fig. 2-5a, b, Fig. 2-6a, b である。使ったデータは実際に観測された放射量でなく、疑似的に理論計算で作られたものである。したがって真の晴天放射の値は分っており、細い実線で示されている。×印が上に述べた方式で求めたもので、おおむね真値に近い値が得られているが、雲の多い所で精度が悪くなっている。とくに雲の影響をあまり受けない方のチャンネル4の精度がよくない。丸印は過去の方法で、8つのスポットのペアから得た8

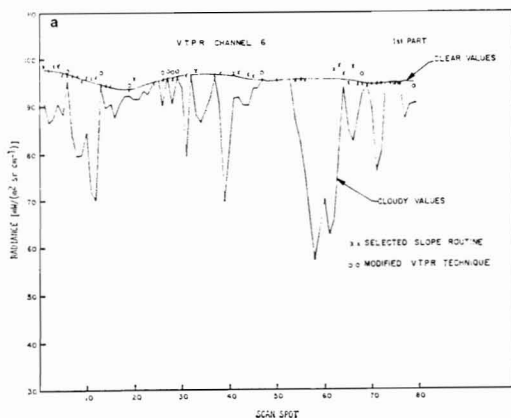


Fig. 2-5a Comparison of channel 6 radiances as a function of scan spots 1-80 from new and old clear-radiance retrieval techniques showing cloudy and clear radiances. From McMillin (1978).

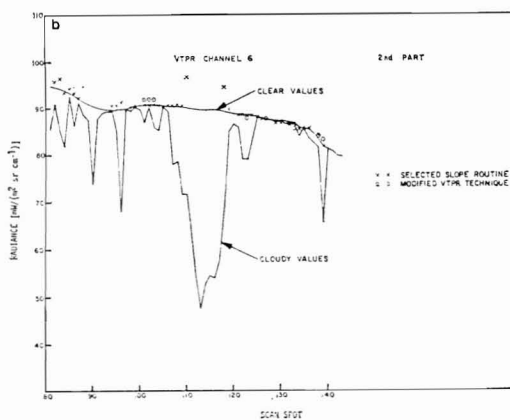


Fig. 2-5b As in Fig. 2-5a except for spots 81-140.

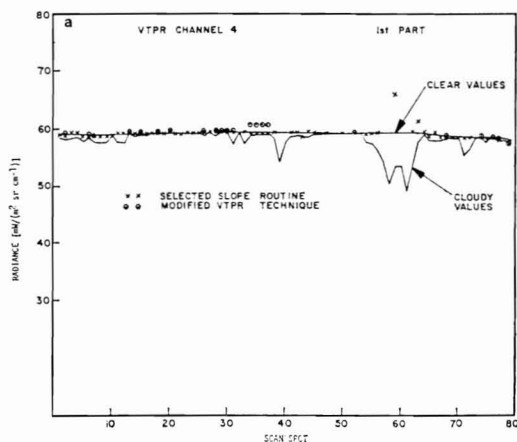


Fig. 2-6a As in Fig. 2-5a except for channel 4.

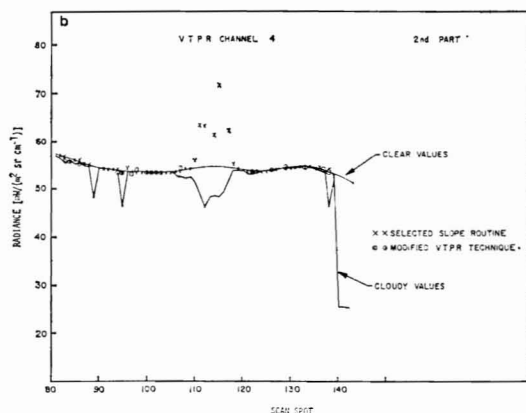


Fig. 2-6b As in Fig. 2-5b except for channel 4.

つの晴天放射のモード値をとったものである。この方は真値に対してバイアス的に誤差が生じ易かったが(図の20~30, 100~110 スポット付近を参照)、今度のMcMillinの方法ではこのような誤差の特性がなくなるとMcMillinは評価している。

## 2.4 MSCの方法

### 2.4.1 基本式について

同じ雲域放射のスポットでは同じ勾配  $S$  をもつというのは必要条件であるが、十分条件ではないということでMcMillinの方法は重大な欠陥をもっている。もう1つの欠点は、せっかく9つもの測定値をもちながら、そのうちのわずか3つ程度の値しか実際には使用されないことである。(1-1)式を見て分るよういどのスポットの放射量  $I$  にも大なり小なり、晴天放射量  $R$  の情報を含ん

でいる。したがってよりよい精度の  $R$  を求めるにはなるべく沢山のスポット（もちろん  $R$  が一定と見なせる範囲でのスポット）を使った方がよい。

さらにもう1つの欠点は McMillin の方法が測定誤差のことを十分考慮していないということである。測定誤差は、例えば  $S$  を計算する際の  $I_1 - I_2$  の値が小さいときに効いてきて、ときにはとんでもない値を導くことになる。

これまで述べてきた3つの方法は、いずれも(1-1)式の中の  $I$  の観測のみから  $R$  を導き出そうとしているわけで、一見してかなり無理がありそうなことが予想される。せめて、 $n$  なり、 $I_c$  の情報が得られればもっと精度がよくなるに違いない。本センターではこれらの情報を AVHRR 画像のデータから得る方法を開発した。以下本センターの方法の概略を述べる。詳細については Aoki (1980, 1982a) を参照されたい。

まず(1-1)式を次のように書き変える。

$$I = R + n(I_c - R) \quad (2-19)$$

この方法では、雲域放射  $I_c$  は各スポットにおいて異なっているという前提に立つ。また、Fig. 2-2 のように  $M$  個のスポットを含むある領域において  $R$  は一定であると仮定する。本センターでは前章で述べた部分雲量計算処理によって、各スポット中の  $n$  の値は観測されている。したがって未知量は  $R$  と  $M$  個の  $I_c$  である。しかし、本方式では(2-19)を

$$\left. \begin{aligned} I &= R + Q \\ Q &\equiv n(I_c - R) \end{aligned} \right\} \quad (2-20)$$

と書き、未知量としては  $I_c$  でなく  $Q$  全体に取る。このようにしても未知量の数は同じである。未知量  $X$  を

$$(X_1, X_2, \dots, X_{M+1}) = (R, Q_1, \dots, Q_M) \quad (2-21)$$

とおくと、 $i$  番目のスポットの放射は

$$I_i = \sum_{j=1}^{M+1} k_{ij} X_j, \quad i=1 \dots M \quad (2-22)$$

$$K = \begin{pmatrix} \overbrace{1 \ 1 \ 0 \ 0 \dots 0}^{M+1} \\ 1 \ 0 \ 1 \ 0 \dots 0 \\ 1 \ 0 \ 0 \ 1 \dots 0 \\ 1 \ 0 \ 0 \ 0 \dots 1 \end{pmatrix} \quad M \quad (2-23)$$

と書ける。(2-22) はマトリックス形式で

$$I = KX \quad (2-24)$$

となる。

我々は今、 $M$  個の観測値  $I$  をもっており、 $M+1$  個の未知量をもっている。したがって単に(2-24)の連立方程式を解くという方法では解は得られない。そこで我々は  $X$  の最適値を推定するという問題としてこの問題をとらえる。そもそも、もともと我々は(2-24)式を厳密に満たす  $X$  などを探さなければならないのである。なぜなら、観測値  $I$  には必ず測定誤差があるし、晴天放射  $R$  が、各スポットで等しいというのも近似的誤差を含んでいるからである。そこで我々は  $I$  という情報を使って  $X$  の最も“らしき”値を推定する問題を考える。

$X$  の値に関する情報ということでは、 $I$  のほかにも我々も持っている。すなわち、 $I$  という放射観測などなんにもなくても、我々は  $X$  の値についてある程度の精度で知っている。このことは、その精度を別にすれば、どんな物理量についても、どんな場所、時にも言えることである。たとえば、今の問題に関して言えば、 $X$  の気候値でもいいし、昨日得た  $X$  でもいいし、数値予報の温度から計算したのもでもよい。いずれにせよそれらのあらかじめ知っている値を初期推定値と呼び  $X^0$  と書く。

今、 $I$  の測定誤差も、 $X^0$  の推定誤差も全くランダム(GAUSS的)と仮定し、その共分散マトリックスを  $S_I$ ,  $S_X$  とすれば、上記のような  $X$  に関する2つの情報( $I$  の測定と  $X^0$ ) から得られる  $X$  の最適な推定値は

$$X = S_X K^t (K S_X K^t + S_I)^{-1} (I - K X^0) + X^0 \quad (2-25)$$

で与えられる。(Gelb, 1974; Rodgers, 1976 など) ここで  $K^t$  は  $K$  の転置行列である。

$S_X$ ,  $S_I$  の与え方としては付録2を参照されたい。

### 2.4.2 $R$ の初期推定値の与え方

晴天放射  $R$  の初期推定値は各走査角毎に次の式で計算される。

$$R_j^0 = R_j^0(\mu_r) + \alpha_{1j} \Delta\mu + \alpha_{2j} (\Delta\mu)^2 \quad (2-26)$$

ここで  $j$  はチャンネル番号を示す。各スポットでの視準線の天頂角を  $\theta$  とし

$$\mu = \frac{1}{\cos \theta} \quad (2-27)$$

と定義する。 $\mu_r$  はある規準スポットでの  $\mu$  を示し、

$$\Delta\mu = \mu - \mu_r \quad (2-28)$$

である。また、 $\alpha_1$ ,  $\alpha_2$  は  $R$  の角度に対する補正係数で



ある。 $R_j^0(\mu_r)$ ,  $\alpha_{1j}$ ,  $\alpha_{2j}$  はいずれも理論計算によって与えられるが、これらは2つの場所に格納されていて、どちらでもアクセスできるようになっている。

(1) 1つは TOVS 処理定数ファイルにある。

これは、8つのモデル大気(稚内の1, 4, 7月, 八丈島の1, 4, 7月, 南大東島の1, 4月の平均値)についてあらかじめ計算されており、このうちどれを選ぶかは、観測された放射量のうち雲にほとんど影響されない第1(又は2, 3)チャンネル(これらに対してはほぼ  $I \approx R$  だから)と、どのモデルの第1チャンネルの放射が最も近いかによって決めるのである。

(2) もう1つは、晴天放射初期値ファイルからもってくるもので、これは、現在  $5 \times 5^\circ$  の格子点上に上記の  $R^0(\mu_r)$ ,  $\alpha_{1j}$ ,  $\alpha_{2j}$  が与えられている。これらは、NMC データ等によって作成された鉛直分布初期値ファイル(温度と水蒸気分布が33層の大気層について与えられている)中の温度、水蒸気の鉛直分布データと、XR 変換係数ファイル中の透過関数データを使い、放射伝達式を計算することによって得られる。(詳細は第8章を参照)。

初期推定値としてはもちろんこの晴天放射初期ファイルをアクセスした方がよいのであるが、(1)はこのファイルが存在しないときのバックアップとして用意されているわけである。

### 2.4.3 Q の初期推定値の与え方

(a) AVHRR 画像データが使える場合(Method-QA)

HIRS のスポットの大きさは衛星直下で 17 km くらい、AVHRR のそれは 1.1 km で、HIRS 1 スポットの中に AVHRR の画素は 300~450 くらい含まれる、今もし、HIRS と同じ大きさのスポットの AVHRR チャンネルがあったとしたら、その観測放射量  $I(\nu_A)$  は、HIRS 1 スポットの中にある 1.1 km 画素を全部平均したものとほぼ同じものとなるはずである。また、そのときの AVHRR の晴天放射も 1.1 km 画素の場合の晴天放射の平均とほぼ同じになるはずである。するとこの仮想的な大きいスポットの AVHRR の Q は

$$Q(\nu_A) = I(\nu_A) - R(\nu_A) \quad (2-29)$$

となる。 $I(\nu_A)$ ,  $R(\nu_A)$  は AVHRR の平均輝度および晴天放射ですでに第5章で述べた部分雲量計算プログラムによって計算され、部分雲量ファイルに格納されている。

さて、(2-29) 式中の  $I-R$  という量は雲が薄いと仮定すれば (1-11) 式から

$$Q = -n_{sc}(R - I_c^*) \quad (2-30)$$

となる。ここで

$$I_{rd}^* \equiv R - I_c^* \quad (2-31)$$

とおくと

$$\frac{Q(\nu)}{Q(\nu_A)} = \frac{\epsilon_c(\nu)}{\epsilon_c(\nu_A)} r(\nu, \nu_A) \quad (2-32)$$

$$r(\nu, \nu_A) = \frac{I_{rd}^*(\nu)}{I_{rd}^*(\nu_A)} \quad (2-33)$$

となる。

この  $r(\nu, \nu_A)$  という量は Fig. 2-7 のように、 $I_{rd}^*$  に関して比較的単調な関数であり、ほぼ次のような2次式で近似できる。

$$r(\nu, \nu_A) = a(\nu, \nu_A) [I_{rd}^*(\nu_A)]^2 + b(\nu, \nu_A) [I_{rd}^*(\nu_A)] + c(\nu, \nu_A) \quad (2-34)$$

ここで、a, b, c は定数であり、これは 2.4.2 節の(1)で述べた8つのモデル大気についてあらかじめ計算され、TOVS 処理定数ファイルに格納されている(付録1参照)。したがって、 $I_{rd}^*(\nu_A)$  さえ与えてやれば  $r(\nu, \nu_A)$  が分る。

$I_{rd}^*(\nu_A)$  を推定するには次の2通りの考え方がある。1つは、各 HIRS スポット中の AVHRR 最低輝度、 $I(\nu_A, \min)$  が、黒体雲からの放射と仮定して

$$I_{rd}^*(\nu_A) = R(\nu_A) - I(\nu_A, \min) \quad (2-35)$$

と与えるものである。もう1つは、 $I(\nu_A, \min)$  も黒体雲からの放射でないとの前提に立って

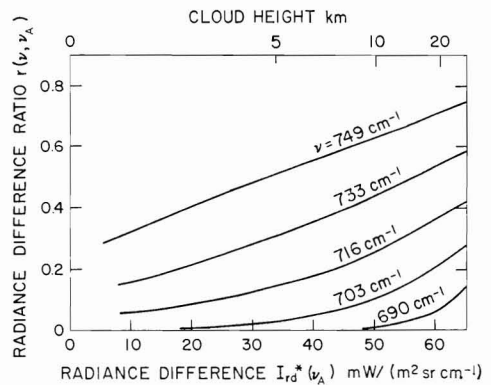


Fig. 2-7 Radiance difference ratio function  $r(\nu, \nu_A)$  as a function of  $I_{rd}^*$ , which is directly related with cloud height. From Aoki (1980).

$$I_{rd}^*(\nu_A) = \{ [R(\nu_A) - I(\nu_A, \min)] I_{rd}^*(\nu_A, \max) \}^{1/2} \quad (2-36)$$

のように与えられるものである(詳細は, Aoki, 1980)。ここで  $I_{rd}^*(\nu_A, \max)$  はそのモデル大気において  $I_{rd}^*(\nu_A)$  がとり得る最大の値で, やはり TOVS 処理定数ファイルに格納されている。現システムでは, (2-36)式の方を採用している。

このようにして  $r(\nu, \nu_A)$  の値が与えられさらに  $\varepsilon_c(\nu) \approx \varepsilon_c(\nu_A)$  と仮定することによって, 各チャンネルの  $Q$  の初期推定値が

$$Q^0(\nu) = Q(\nu_A) r(\nu, \nu_A) \quad (2-37)$$

のように与えられる。なお,  $r$  の値は本来, 走査角によって異なるものであるが, その変化が比較的小さいこと, また, あくまでも,  $Q$  の初期推定を与えるためのものであることから, 厳密な角度補正は行なっていない。

なお, (2-29), (2-36) において使われる  $R(\nu_A)$  として, 海上においては

$$R(\nu_A) = \frac{\sum_{i=1}^M (1-n_i) R_i(\nu_A)}{\sum_{i=1}^M (1-n_i)} \quad (2-38)$$

のように晴天放射計算に使われる  $M$  個の HIRS スポット中の  $R$  に重みをつけて平均したものを使っている。また, 陸上においては雲量  $n_i$  の値があまり信頼できないことから,  $R_i$  の中の最大値

$$R(\nu_A) = \max_{1 \leq i \leq M} [R_i(\nu_A)] \quad (2-40)$$

を採用している。さらに, (2-36) 式の中の  $I(\nu_A, \min)$  としては  $M$  個の HIRS スポットの中で最も雲量の多いスポットの中の AVHRR 最低輝度を使っている。

#### (b) AVHRR 画像データが使えない場合 (Method-Q8)

AVHRR 放射計の故障等ならぬ理由で部分雲量ファイル中のデータができないとき(緯経度計算を除いて), AVHRR の代わりに HIRS 第8チャンネル(ただし, これは第8チャンネルでなくてもよく, 任意のチャンネルを TOVS 処理定数ファイルの中に指定できる)を使って,  $Q$  の初期推定値を与えることができる。(a)での説明を見ると明らかのように,  $Q$  の初期推定値を与えるには, HIRS 第8チャンネルの晴天放射,  $R(\nu_8)$ , と  $I_{rd}^*(\nu_8)$  が与えられればよい。

幸い, 海面温度というものは比較的精度よく, あらかじめ分っている。したがって大気の窓領域にある HIRS

第8チャンネルの晴天放射も比較的正確に計算できる。すなわち HIRS 第8チャンネルの晴天放射の初期推定値は少くとも海上では比較的精度がよいと考えられる。しかし,  $I_{rd}^*(\nu_8)$  については, (2-36) 式中の  $I(\nu_A, \min)$  に相当する情報が得られないので, ほとんど手掛りがない。ただ, 最終的な晴天放射の精度は, この値にはあまり強く依存していないようで, Aoki (1982) によれば, 一律に  $I_{rd}^* = 30 \text{ mW}/(\text{m}^2 \text{ sr cm}^{-1})$  (ほぼ 5000 m の雲頂高度に相当) と与えた場合でも, それほど悪い精度にはなっていない。しかし, 本システムでは, 付録2に述べてあるような, 第8, 7, 6チャンネルの間での逐次近似によってよりよい  $I_{rd}^*(\nu_8)$  を推定している。

$I_{rd}^*(\nu_8)$  が決まると, (2-34) と同じように

$$r(\nu, \nu_8) = a(\nu, \nu_8) [I_{rd}^*(\nu_8)]^2 + b(\nu, \nu_8) [I_{rd}^*(\nu_8)] + c(\nu, \nu_8) \quad (2-41)$$

のように  $r$  が与えられ,

$$Q^0(\nu) = [I(\nu_8) - R^0(\nu_8)] r(\nu, \nu_8) \quad (2-42)$$

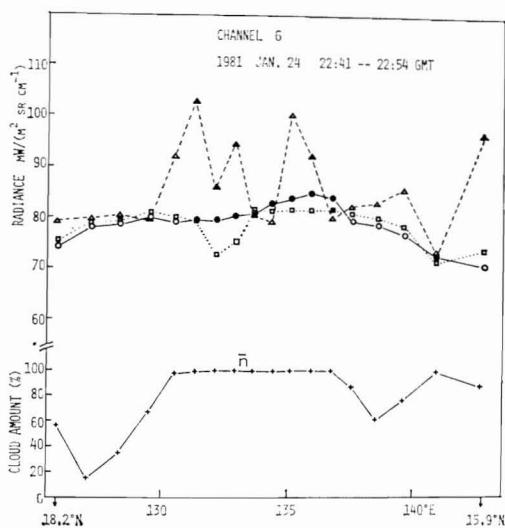
によって  $Q$  の初期推定値が与えられる。ここで  $a, b, c$  は AVHRR の場合と同じように, やはり 8つのモデル大気についてあらかじめ計算され, TOVS 処理定数ファイルに格納されている。 $R^0(\nu_8)$  は  $R(\nu_8)$  の初期推定値である。

このようにして, AVHRR データがない場合にも, AVHRR データがある場合と同様の手法で晴天放射の値を求めることができる。

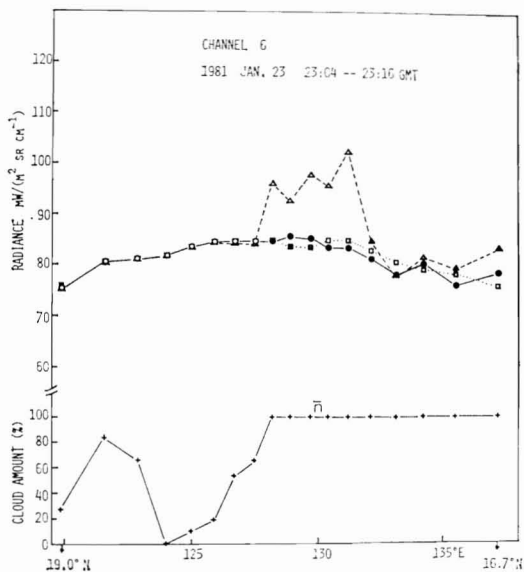
## 2.5 晴天放射計算の精度

Fig. 2-8, 9 は McMillin の方法と MSC の2つの方法, AVHRR 画像を使った場合 (Method-QA) と使わない場合 (Method-Q8), による晴天放射計算の結果を示している。HIRS のある2つの走査線を使って, 4つの HIRS スポット毎に計 28 個の晴天放射が得られている。図の下の方にはこの4つのスポットの平均の雲量も示されている。なおこの図での MSC の方法のうち AVHRR を使わない方法というのは 2.4.3(b) で少し触れたように  $I_{rd}^* = 30 \text{ mW}/(\text{m}^2 \text{ sr cm}^{-1})$  と単純に与える方法である。

図に示されている領域の海面温度はほとんど一様であるから, 晴天放射も図の中心付近で最も大きく, 左右の端に行くほど小さくなるはずであり, 途中で大きく変化することはあり得ない。McMillin の方法では Fig. 2-5, 6 で見たようにとくに雲量の大きいところで, 誤差が大きくなっている。



**Fig. 2-8** Comparison of the retrieved clear radiances by Method-QA (circle), Method-Q8 (square) and McMillin's method (triangle) from NOAA-6 meteorological satellite. The lower part is the mean cloud amount. Blackened figures are the flagged data. A case for  $M=4$ . From Aoki (1982a).



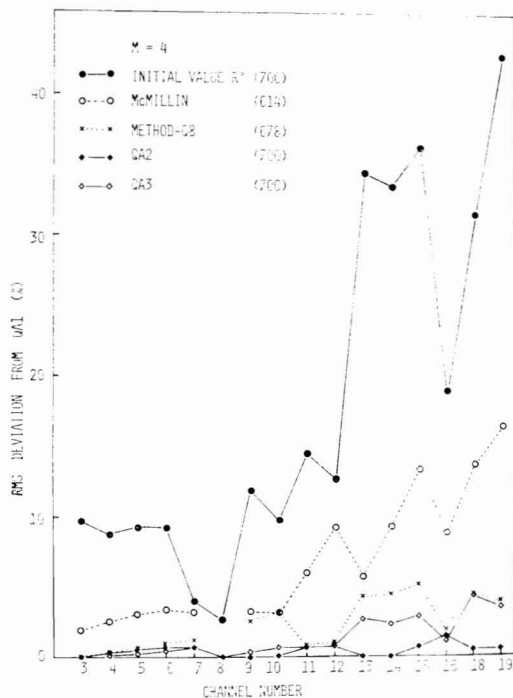
**Fig. 2-9** As in Fig. 2-8 except for Jan. 23.

Fig. 2-10, 11 はこのような沢山の結果から各チャネルの晴天放射の精度を推定したものである。データの期間は1981年1月20日から26日までの1週間。精度はMethod-QAによって得られた値(QA1)に対する差のパーセントで示されている。初期推定値の精度を見ると初期推定

値  $R^0$  としてはかなりいいかげんなものが使われていることが分る。(逆に言えば、初期推定値はかなりいいかげんでもこの程度の精度で晴天放射が求まることが分る)。またQA2というものはMethod-QAのうち  $I_{rd}^*$  の与え方として(2-35)の方を採用したもの、QA3というものは初期推定値  $R^0$  の値を乱数を使って10~20%くらい変えた場合の結果である。

現在採用しているMethod-QAの精度というのは略々、このQA2やQA3との違い程度と考えられるから、それは図から平均1%くらいと見積れる。これはAoki(1980)のシミュレーションの結果ともほぼ一致する。(なお、Aoki(1980)の方法というのは2.4.3(a)で示した方法とは若干異なるのだが、本質的な点ではほとんど同じである)。

なおFig. 2-10と11を比較すると、 $M=4$ と9とでの精度の違いはほとんど見分けられない。またMethod-Q8の精度もMethod-QAに比してやや劣る程度である。これはたまたま  $R^0(\nu_8)$  や  $I_{rd}^*(\nu_8)$  の値がこの期間につ



**Fig. 2-10** RMS deviations of the clear radiance, from QA1, of the initial value of the clear radiance used in QA1, the clear radiance by McMillin's method, the clear radiance by Method-Q8, the clear radiances of QA2 and QA3. The numbers of data are shown in parenthesis. A case for  $M=4$ . From Aoki (1982a).

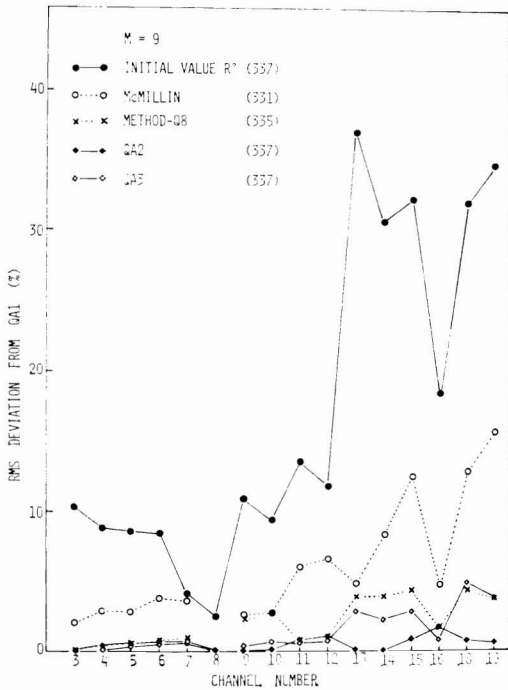


Fig. 2-11 As in Fig. 2-10 except for  $M=9$ .

いは適当な値だったということもあるので、もう少し他の期間について調査してみる必要があるかもしれない。

### 3. 温度、水蒸気、オゾン量の求め方

#### 3.1 はじめに

晴天放射を求める問題に比べれば、晴天放射から、鉛直温度等を求める問題に関する研究ははるかに多く、これに関するレビューも非常に多い(嘉納, 1972; Fritz, et al., 1972; 青木・山本, 1973; Houghton and Taylor, 1973; Smith et al., 1974; Rodgers, 1976)。したがってここでは、これまで提出されてきた多くの方法のうち、その代表的なものだけの概略を述べるに留めたい。

このような鉛直分布の決定や晴天放射の決定と同じように重要な問題として、走査角補正の問題がある。すなわち、衛星から、ある程度広い範囲の遠隔測定をやりとしたら、どうしても、大気を斜めに走査せざるを得ない。同じ大気でも、垂直に見た場合と斜めに見た場合では、観測される放射量はかなり違う。走査角  $45^\circ$  と  $0^\circ$  では放射量が数パーセントになる。したがってそのまま鉛直分布計算をしたのでは、とんでもない結果になる。このように、衛星からのリモセンにとっては走査角補正

は本質的な問題であるにもかかわらず、この点についての研究は晴天放射決定の研究よりもさらに少い。ここでは、MSC で開発した新しい方法について、後にやや詳しく触れる。

#### 3.2 ライブラリー法

ライブラリー法では、まず温度分布とその温度分布から得られる晴天放射(これは計算または観測によって得る)の対について沢山のサンプルをあらかじめ作っておく。次に実際の観測においては、観測から得られた晴天放射と最も値の近い晴天放射をこのサンプルの中から探し、それと対になっている温度分布を解とするわけである。方法は非常に単純であるが、沢山のサンプルを用意しなければならないこと、また、数個のチャンネルでの観測があるとき、最も近いサンプルというのをどのように定義するか、など、問題が多い。後に、情報量に関する節で触れるように、他の方法に匹敵する精度を得るには、非常に沢山のサンプルを用意する必要がある、あまり「賢い」方法とは言えないようである。

#### 3.3 逐次近似の方法—非線形解

(1-2) 式において、 $\epsilon_s, \tau, \partial\tau/\partial p$  は理論計算などから既知としよう。逐次近似の方法は、まず温度分布  $T(p)$  を適当に与える。これをもとに(1-2)を計算してこの温度分布に相当する  $R$  を求め、観測から得た  $R_{obs}$  と比較し、その違いから  $T(p)$  を修正する、というプロセスを繰り返す。そして計算された  $R$  と  $R_{obs}$  が十分近い値になったら計算を止めるわけである。このとき問題になるのは、結局、次の温度分布を計算された  $R, R_{calc}$  と  $R_{obs}$  を使ってどのように与えるかということと、収束条件をどのように与えるかということである。

Chahine (1968) は次のステップの温度分布を次のように与えている。

$$\frac{B[\nu_i, T^{(n+1)}(p_i)]}{B[\nu_i, T^{(n)}(p_i)]} = \frac{R_{obs}(\nu_i)}{R_{calc}^{(n)}(\nu_i)} \quad (3-1)$$

ここで、 $T^{(n)}$  や  $R^{(n)}$  は  $n$  回目の繰り返し計算で得られたものを示す。また  $p_i$  はチャンネル  $\nu_i$  の荷重関数がピークになる気圧レベルを示す。各チャンネルによってピークの位置が異なるから、チャンネルの個数だけの気圧レベルの温度が(3-1)式から求まるので、他の高度の温度はこれから、内挿または外挿によって求める。

次のステップの温度分布  $T^{(n+1)}(p)$  を与えるいくつかの方法がこのほかにもまだ提唱されているが、それらについては文献を参照されたい。ここでは、晴天放射の決

定というステップを踏まないで、いきなり観測値  $I$  から逐次近似によって温度分布を求めるという Chahine (1974) の方法を紹介しておく。

- (i) まず初期推定値  $T^{(n)}(p)$  ( $n=0$ ) を与える。
- (ii) これを (1-2) 式に代入して全チャンネルについてその晴天放射  $R^{(n)}(\nu_i)$  を計算する。
- (iii) 次に Smith (1968) と同じように2つのスポットで雲域放射が等しいと仮定しあるチャンネル(窓領域のチャンネル)の計算された晴天放射を使い、(2-3)式の  $N^*$  を決定する。
- (iv) この  $N^*$  を使い、(2-4) から他のすべてのチャンネルの晴天放射を改めて決定し、それを  $\bar{R}^{(n)}(\nu_i)$  で示す。
- (v) もしこれが真の晴天放射  $R(\nu_i)$  に、 $R^{(n)}(\nu_i)$  より近ければ、すなわち

$$E = \frac{|R(\nu_i) - \bar{R}^{(n)}(\nu_i)|}{|R(\nu_i) - R^{(n)}(\nu_i)|} < 1 \quad (3-2)$$

ということが分れば、次の近似  $T^{(n+1)}(p)$  を次式から決定する

$$\frac{B[\nu_i, T^{(n+1)}(p_i)]}{B[\nu_i, T^{(n)}(p_i)]} = \frac{\bar{R}^{(n)}(\nu_i)}{R^{(n)}(\nu_i)} \quad (3-3)$$

- (vi) 以上のようなステップを、すべてのチャンネルが次のような式を満たすまで繰り返す。

$$\frac{\bar{R}^{(n)}(\nu_i) - R^{(n)}(\nu_i)}{\bar{R}^{(n)}(\nu_i)} \rightarrow 0 \quad (3-4)$$

逐次計算において常に不安になるのは、それが果して、‘真の値’に近づいているのかどうかということである。すなわち、ここでは(3-2)式がほんとうに満たされているのかどうかということである。これについて Chahine (1974) は (iii) のステップにおいて、 $N^*$  を決定するチャンネル(これを  $\nu'$  とする)が、

$$\nu' < \nu_i \quad (3-5)$$

でありさえすれば(3-2)式はいつも満たされると主張している。

Chahine (1974) の方法は、晴天放射を直接的には使わないという点でユニークであるが、しかしいくつかの問題点がある。まず、前節2.1で述べたように、2つの視野で、雲域放射が全く等しいと仮定していること、また、測定誤差や計算誤差が全く考慮されていないことなどがある。これらのことを考慮した場合、Chahine の展開した理論がどのように変わるか検討の余地がある。

なお、実際に Chahine (1974) が用いた式は、(2-3)や(2-4)式と異なったものであるが、本質的な違いはな

い。ここでは、紙面の節約のため、(2-3)、(2-4)式で間に合わせた。

### 3.4 線形解

#### 3.4.1 最適推定法

ここでは、すでに晴天放射は求まっているという前提で話を進めていく。

(1-2)式を線形化するにはいくつかの方法が考えられる。Yamamoto (1961) はプランクの関数がある基準波数  $\nu_0$  のプランク関数によって

$$B(\nu, T) = \alpha(\nu) B(\nu_0, T) + \beta(\nu) \quad (3-6)$$

のように近似した。これを(1-2)式に代入すると

$$\begin{aligned} g(\nu) &= [R(\nu) - \beta(\nu) + \beta(\nu)\tau(\nu, p_s) - \varepsilon_s(\nu)\beta(\nu)\tau(\nu, p_s)] / \alpha(\nu) \\ &= \varepsilon_s(\nu) B(\nu_0, T_s) \tau(\nu, p_s) \\ &\quad - \int_0^{p_s} B(\nu_0, T) \frac{\partial \tau(\nu, p_j)}{\partial p} dp \end{aligned} \quad (3-7)$$

チャンネル  $\nu$  を  $i$  で示し、(3-7)を数値積分の形に表わせば

$$g_i = \sum P_{ij} B_j(\nu_0, T_j) \quad (3-8)$$

ここに

$$\left. \begin{aligned} P_{ij} &= w_j \frac{\partial \tau(\nu, p)}{\partial p} \Big|_{p=p_j}, \quad (p \neq p_s) \\ P_{ij} &= \varepsilon_s \tau(\nu, p_s), \quad (p_j = p_s) \end{aligned} \right\} \quad (3-9)$$

$w_j$  は積分を(3-8)の形に直す際の補正係数である。

この方法で問題になるのは(3-6)式の精度である。現在の TOVS のように各チャンネルの波数が  $670 \text{ cm}^{-1}$  から  $2700 \text{ cm}^{-1}$  の間に広く分布している場合、(3-6)式の近似度はかなり悪いと思われる。

もう一つの方法はプランクの関数がある初期値  $T^0(p)$  のまわりにテイラー展開するものである。すなわち

$$B(T) = B(T^0) + \frac{\partial B}{\partial T} x, \quad (3-10)$$

$$x(p) = T(p) - T^0(p) \quad (3-11)$$

として(1-2)式に代入すると

$$\begin{aligned} y_i &= R(\nu_i) - R^0(\nu_i) \\ &= \varepsilon_s \tau(\nu_i, p_s) \left. \frac{\partial B(\nu_i, T)}{\partial T} \right|_{T=T_s^0} x(p_s) \end{aligned}$$

$$-\int_0^{p_s} x(p) \frac{\partial \tau(\nu_i, p)}{\partial p} \frac{\partial B(\nu_i, T^0)}{\partial T} dp \quad (3-12)$$

ここで

$$R^0(\nu_i) = \varepsilon_s(\nu_i) B(\nu_i, T_s^0) \tau(\nu_i, p_s) - \int_0^{p_s} B(\nu_i, T^0) \frac{\partial \tau(\nu_i, p)}{\partial p} dp \quad (3-13)$$

(3-12) 式はさらに (3-8) 式と同じように

$$y_i = \sum_{j=1}^N K_{ij} x_j \quad (3-14)$$

と数値積分の形で書ける。ただし

$$K_{ij} = -w_j' \left. \frac{\partial \tau(\nu_i, p)}{\partial p} \frac{\partial B(\nu_i, T)}{\partial T} \right|_{p=p_j}, p_j \neq p_s \left. \frac{\partial B(\nu_i, T)}{\partial T} \right|_{T=T_s}, p_j = p_s \quad (3-15)$$

以下では (3-14) 式に基いて話を進めることにする。ただし、 $w_j'$  は  $w_j$  と同じ補正係数、 $y_i$  は  $R^0$  を計算すれば測定値  $R$  から得られる量であり、 $K_{ij}$  は理論計算によって既知であり、かつ少くも  $T = T^0$  の付近では温度に依存しない量だという前提に立つ。さてそうなると (3-14) は連立方程式であり、最低  $N$  個の  $y_i$  が測定されれば  $x_j$  を決定することができる。しかしそのようにして得た解は後に示すように非常に不安定な解となる。その原因は (3-14) 式に測定誤差や計算誤差が含まれるからである。

まして一般に積分を (3-14) 式のように近似するために必要な層の数  $N$  は十分多くとらなければならないから、 $x_j$  の数はチャンネルの数  $L$  ( $y_i, i=1 \dots L$ ) より普通は多い。すると我々ができることは (3-14) から  $x$  を解くというより、この式やその他の  $x$  に関する情報の中から、 $x$  の最も 'らしき' 値を推定することしかない。ここで述べた  $x$  に関するその他の情報というのは、たとえば、 $x_j$  の値は隣りの層同志ではあまり大きく変わらないはずである、とか、あるいは初期値  $T^0(p)$  の精度はどれくらいである (すなわち  $x$  の値はどれくらいの範囲の中にあるはずである) といったものである。これらの情報をここでは  $x$  に対する制約 (constraint) と言うことにする。

さて、(3-14) 式は測定誤差や計算誤差を含んでいる。真の  $x$  を  $\hat{x}$  と書くと (3-14) の代りに

$$y = K\hat{x} + \varepsilon_y \quad (3-16)$$

と書ける。 $\varepsilon_y$  は誤差である。もし  $\varepsilon_y$  がランダム、すなわち誤差分布がガウス形であれば、真の値が  $\hat{x}$  のとき  $y$

という量が観測される確率は

$$P_1(y) = [(2\pi)^L |S_y|]^{-1/2} \times \exp\left[-\frac{1}{2} (y - K\hat{x})^t S_y^{-1} (y - K\hat{x})\right] \quad (3-17)$$

と表わせる。 $S_y$  は  $\varepsilon_y$  の共分散マトリックスである。同様に、 $x$  に対する constraint、たとえば、初期値  $T^0(p)$  の精度が  $\varepsilon_x$  くらいだという情報は

$$0 = \hat{x} - \varepsilon_x \quad (\text{or } \hat{x} = 0 + \varepsilon_x) \quad (3-18)$$

と書け、 $\varepsilon_x$  がやはりガウスのだとすれば、 $\hat{x}$  が 0 である確率は

$$P_2(0) = [(2\pi)^N |S_x|]^{-1/2} \times \exp[-(1/2) \hat{x}^t S_x^{-1} \hat{x}] \quad (3-19)$$

となる。2つの情報 (測定と初期値) を確率事象と見なし、この2つの事象が同時に起る確率は

$$P_1 P_2$$

である。 $\hat{x}$  を決定するに当って我々が仮定するのは、上の2つの事象は最も起り易い現象 (確率の大きい現象) が今回起ったのだとすることである (最尤法)。すなわち真の  $x$  は  $P_1 P_2$  を最大にするものであると仮定する。 $P_1 P_2$  を最大にするにはその指数部を最小にすればよい。すなわち

$$\frac{\partial}{\partial \hat{x}} \{ (y - K\hat{x})^t S_y^{-1} (y - K\hat{x}) + \hat{x}^t S_x^{-1} \hat{x} \} = 0 \quad (3-20)$$

これより

$$\hat{x} = (S_x^{-1} + K^t S_y^{-1} K)^{-1} K^t S_y^{-1} y \quad (3-21)$$

を得る。この式はまた

$$\hat{x} = S_x K^t (K S_x K^t + S_y)^{-1} y \quad (3-22)$$

とも書ける。温度分布  $T(p)$  は (3-11) より  $\hat{x}$  に  $T^0(p)$  を加えれば求まる。この解をここでは最適推定解と呼ぶことにしよう。(3-22) 式は MSC における晴天放射決定法 (2-25) 式において、初期推定値  $X^0 = 0$  に相当する形になっていることに注意されたい。

### 3.4.2 最小情報法 (Minimum Information Method)

前節で出てきた初期値のエラーの共分散マトリックス  $S_x$  は、たとえば、初期値として温度分布の気候値を使ったとき、Table 3-1 のような値をとる。しかし、初期値の選び方によってはこのような  $S_x$  がいつも既知であ

**Table 3-1** Example of the covariance matrix of the error in the initial value of the temperature between pressure levels, 831.4, 816.8, 788.5, 758.2, 737.2, 723.0, 689.4, 642.7, 598.5, 569.8, 538.2, 450.4, 342.7, 257.1, 210.3 mb. From Westwater and Strand (1968).

35.50	33.10	26.59	15.06	0.00	-13.24	-18.91	-21.80	-22.54	-22.76	-24.80	-26.39	-27.44	-25.87	-15.46
	32.49	27.03	16.14	1.44	-11.60	-17.49	-20.67	-21.20	-21.25	-23.12	-24.63	-25.33	-23.74	-14.07
		25.70	17.42	4.59	-7.13	-12.89	-16.34	-16.64	-16.72	-18.27	-19.78	-20.24	-18.65	-11.42
			16.18	8.58	.28	-4.63	-7.74	-8.23	-8.44	-9.41	-10.55	-10.82	-9.21	-5.79
				12.19	11.30	8.98	6.65	5.83	5.29	4.89	4.61	4.55	4.96	2.25
					21.24	22.25	20.76	19.82	19.16	20.08	20.47	20.34	19.35	12.21
						27.55	28.25	27.75	27.09	27.77	28.36	28.34	27.02	18.41
							32.12	31.93	31.00	31.28	32.10	32.42	30.78	21.07
								33.85	33.54	33.54	34.04	34.38	32.48	22.81
									35.22	35.47	35.75	36.19	34.27	24.80
										39.46	40.49	40.93	38.76	28.29
											45.62	47.43	44.77	31.98
												51.39	49.17	35.14
													50.98	36.61
														36.07

$$(S\tau)_{ij} = (S\tau)_{ji}$$

るとは限らない。あるいは計算の簡単化のためにこれを対角行列とし、さらに各要素の値が等しいと仮定することがある。すなわち

$$S_x = \sigma_x^2 \begin{vmatrix} 1 & & & & \\ & 1 & & & \\ & & \dots & & \\ & & & \dots & \\ 0 & & & & 1 \end{vmatrix} \quad (3-23)$$

と近似する。\$S\_y\$ についても同様に

$$S_y = \sigma_y^2 \begin{vmatrix} 1 & & & & \\ & 1 & & & \\ & & \dots & & \\ & & & \dots & \\ 0 & & & & 1 \end{vmatrix} \quad (3-24)$$

と近似すると、(3-21) 式は

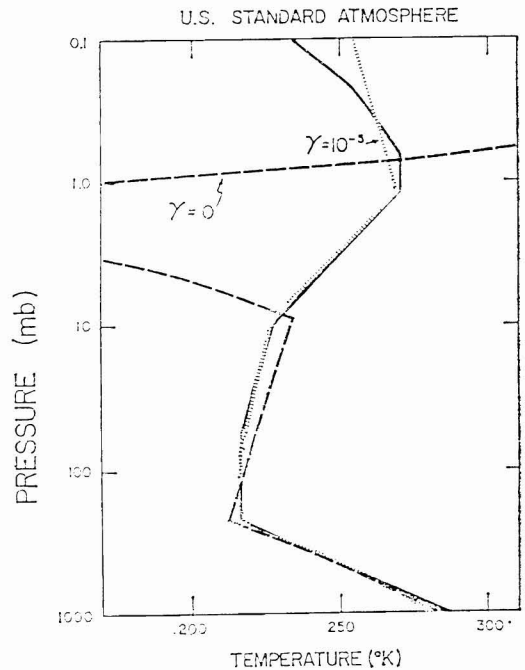
$$\hat{x} = (\gamma U + K^t K)^{-1} K^t y, \quad (3-25)$$

$$\gamma = \frac{\sigma_y^2}{\sigma_x^2} \quad (3-26)$$

\$U\$ は単位行列である。\$\sigma\_y\$ は (3-16) 式の誤差を示すが、一般にはそれはほとんどが晴天放射の誤差であるから、\$\gamma\$ は晴天放射の誤差と初期値の精度の 2 乗の比である。

(3-25) 式のような解を最小情報法 (Minimum Information Method) といい、1972~1975 年の間、米国 NESS において、現業用衛星 ITOS (Improved Tiros Operational Satellite) の VTPR (Vertical Temperature Profile Radiometer) による鉛直温度算出に使われたものである。(3-25) の計算に必要なのは \$K\$ だけであり、\$\gamma\$ は (3-26) 式というよりむしろ経験的にちょうどよい値を決めてやるものである。

ここで、\$y\$ と \$x\$ の次元が等しい場合について考えてみよう。前節で少し触れた (3-14) 式を連立方程式と見なして解いた解というのは、(3-25) において \$\gamma = 0\$ とお



**Fig. 3-1** Solutions to the simulated radiance for the U.S. Standard Atmosphere. The direct solution, marked \$\gamma=0\$, and the minimum information solution, marked \$\gamma=10^{-5}\$, were determined by sequences of line segments whose end points were selected at the known turning points. From Wark and Fleming (1968).

たものにほかならない。そのような解がいかに不安定なものかが Fig. 3-1 に示されている。\$\gamma\$ の値に \$10^{-5}\$ 程度の値を入れるだけで解はたちまち安定になることが分かるであろう。なおこの図は Wark and Fleming (1966) によって得られたもので、そのときの式の展開はここで

のものとは違うのであるが、詳細については省略する。ただし最終的な式 (3-25) はもちろん同じである。

### 3.4.3 直交関数展開法

(3-8) の  $B_j$  や (3-14) の  $x_j$  を直交関数で展開してその係数を求めるという手法も考えられる。(3-14) の場合について示してみる。

$$x_j(p_j) = \sum_{i=1}^M m_i f_i(p_j) \quad (3-27)$$

と展開する。ここで  $f_i(p_j)$  は既知の直交関数である。 $m_i$  はその展開係数。これを (3-14) に代入すると

$$y_i = \sum_l^M K_{il}' m_l, \quad (3-28)$$

$$K_{il}' = \sum_{j=1}^N K_{ij} f_l(p_j) \quad (3-29)$$

となる。 $K_{il}'$  は既知  $m_l$  は未知であるから、(3-28) は (3-14) と形式的には全く同じ式である。したがって、前節と同じ手順で  $m_l$  を求めることができ、 $m_l$  が求まったら (8-27) から  $x_j$  が求まる。

直交関数としては Yamamoto (1961) が採用したルジャンドルの多項式のようになんでもよいのであるが、一般には経験的直交関数 (Empirical orthogonal function) が使われる。これは、 $\mathbf{x}$  の共分散マトリックス  $S_x$  の固有ベクトルになっている。一般に  $S_x$  の固有ベクトルは

$N$  個あるわけであるが、固有値の大きい方から順に、それに相当する固有ベクトルを使うことによって、 $N$  よりずっと少ない数の固有ベクトルで、 $\mathbf{x}$  の変化を (3-27) のように表現できる。したがって  $x_j$  を直接求める場合より、小さな次元のマトリックス演算で済ませることができる。ただし、解  $\mathbf{x}$  を直交関数で近似展開するだけなのであるから、このことによって精度が落ちることはあってもよくなることはないはずである。もちろん、マトリックスの次元が大きくなることによる計算誤差の増大等を無視しての話であるが。経験的直交関数の例を Fig. 3-2 に示す。

### 3.4.4 Regression 法

さて、(3-21), (3-22), (3-25) 式のいずれにしても温度分布は

$$\begin{aligned} T &= T^0 + C\mathbf{y} \\ &= T^0 + C(R - R^0) \end{aligned} \quad (3-30)$$

の形で得られる。これをさらに

$$T = CR + C^0, \quad (3-31)$$

$$C^0 = T^0 - CR^0 \quad (3-32)$$

と書いて、 $C$  と  $C^0$  理論的に計算するのでなく、 $T$  と  $R$  のデータ群から統計的に決めるのが regression 法である。この方法では透過関数等は全く必要なく、ただ  $T$  と  $R$  の同時・同地点観測データがあればよいだけである。

(3-31) 式においては、 $T$  と  $R$  が線形関係にあるがこれは、この式が (3-21) 式等に基づいて導かれたからであった。さらにこの (3-21) 式等は  $T = T^0$  の近傍でしか成り立たない式であることを思い起さなければならない。したがって、もし我々が遭遇する温度の全領域で Regression 法を適用しようとするなら、温度領域をいくつかの小領域に分割して、各小領域毎に係数  $C, C^0$  を決定する必要がある。このような処置は、単に  $B(T)$  が  $T$  に関して非線形だからというだけでなく、透過関数  $\tau$  や  $\partial B/\partial T$  が弱いながらも温度に依存するという事実からも要求されてくる。

このため本センターのシステムにおいては回帰係数を 8 つのカテゴリーに分割している。また、この分割は温度によって行なうのがよいのであるが、この係数を使う時点においてはまだ温度は求まっていないのだから、大気中層の温度を代表するようなチャンネル (HIRS の第 5 チャンネルなど) の晴天放射の値によってカテゴリーを分類している。

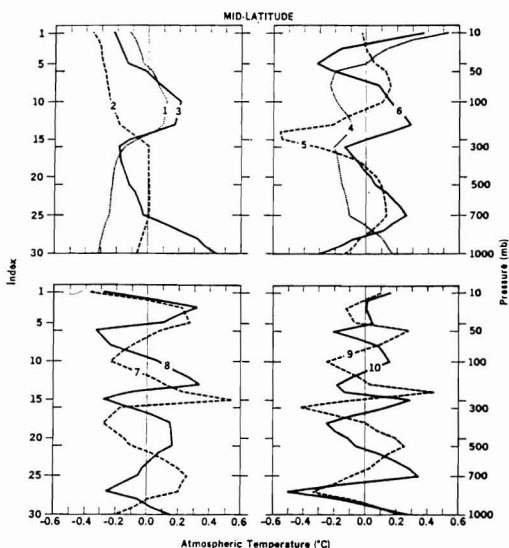


Fig. 3-2 First ten eigenvectors of the vertical temperature covariance matrix formed from mid-latitude soundings set. From Smith and Woolf (1976).



ここで述べた係数のカテゴリー分類はいわば係数の気団分類ともいうべきものであり、本システムでは小カテゴリー分類と呼んでいる。このほかに係数は次のような4つの大カテゴリーに分類されている。

1. 上層 (100 mb 以上) の温度 (記号 UPR)
2. AVHRR データがあるときの晴天域の低層温度 (LRY)
3. AVHRR データがないときの晴天域の低層温度 (LRN)
4. 曇天域の低層温度 (LUD)

これら大カテゴリーがそれぞれ8つの小カテゴリーに分割されているわけである。ただしこれは鉛直温度と可降水量についてだけである。なお、可降水量については実質 LRY と LRN だけである。表面温度については次の4つの大カテゴリーに分類されている。

1. 夜で AVHRR データがあるとき (NTY)
2. 夜で AVHRR データがないとき (NTN)
3. 昼で AVHRR データがあるとき (DTY)
4. 昼で AVHRR データがないとき (DTN)

オゾンについては次の2つの大カテゴリーがあるだけである。

1. 夜 (NIG)
2. 昼 (DAY)

なお TIROS-N 衛星シリーズの鉛直分布算出のアルゴリズムとして現在 NESS で使われている、Smith and Woolf (1976) の方法は、 $T$  と  $R$  の間で直接その回帰係数を求めるのではなく、 $T$  と  $R$  をそれぞれ (3-27) および (2-7) のように直交関数で展開し、その係数  $m_i$  と  $\alpha_j'$  の間の回帰式を作るもので、Regression 法の変形ともいうべきものである。ただし、3.4.2 節で述べたように、これによって精度の向上があるとは考えられない。また、実際には (2-7) でなく、この中の  $R$  を輝度温度で表わしたものが使われていることを付け加えておく。

### 3.4.5 水蒸気およびオゾン量の算出

水蒸気やオゾン量の変化は (1-2) 式における透過関数  $\tau(p)$  に影響する。 $\tau$  が変化すれば放射量  $R$  も変化し、これから水蒸気やオゾン量が得られるわけである。しかしこの情報量はもっぱら温度分布の形状に依存しているのである。このことが Fig. 3-3 に示されている。水蒸気量等の変化によって  $\tau$  が変わり、その結果、weighting function  $\partial\tau/\partial p$  の位置が変わる。すると観測される放射の輝度温度は図のように  $T_1$  と  $T_2$  の違いとなって現れる。この2つの温度の違いはもっぱら温度勾配の大小

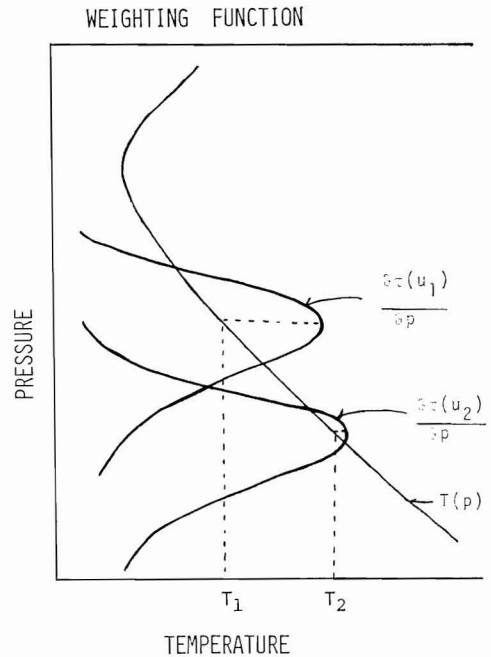


Fig. 3-3 The dependence of the information content of water vapor on the vertical temperature profile.

による。極端な場合、もし温度が地表から上端まで一様であれば、水蒸気やオゾン量については何の情報も得られないことになる。(ただし、これは図のように  $\tau$  が地表で0になるときの話で、そうでないときはたとえ等温でも  $\epsilon_s < 1$  のため、若干は  $R$  が変わる)。

さて水蒸気やオゾン量の場合にも、その手法は温度の場合と、ほとんど同じであり、 $B(T)$  の代りに、 $\tau$  や  $\partial\tau/\partial p$  を考えればそれでよい。しかし、 $B(T)$  があらかじめ分かっているというようなケースはあまりないから、一般には温度と水蒸気等を同時に求めるということになる。この場合、過去何人かの人がやったように温度と水蒸気等を互いに相手を固定しておいて交互に逐次近似の手法で求めていくということも考えられるが、一般に逐次近似の手法はその収束の保証が不安であるので、ここでは温度と水蒸気等を同時に決定する方法について付録3に示した。

付録に示されているように (3-14) 式と全く同じ線形式を導くことができる。違うのは unknown なパラメーターが温度のほかにも水蒸気等の分が増えただけである。解の求め方も規格化や無次元化などの操作が入っているが、本質的には温度の場合と全く同じことが分るのである。

### 3.4.6 MSC の方法

MSC では 指定によって 2 つの方法がとれるようになっている。1 つは (3-30) 式を使うもので、初期値方式と呼んでいる。もう 1 つは (3-31) 式で回帰式方式と呼んでいる。両者の違いは、前者では温度等の初期推定値  $T^0$  を必要とし、それに基づいて  $R^0$  を計算する必要があるということである。この方法の利点は初期値の精度がよい場合、 $T$  と  $R$  の線形関係が正しく成立するという点である。しかし一方で、 $T^0$  に相当する晴天放射  $R^0$  が正確に計算されなければならないということがある。(3-30) 式に見られるように初期推定値  $T^0$  からの違いを観測された  $R$  と  $R^0$  の差から見積るからである。なお、 $C$  については回帰的に決めてもよいし、(3-21) や (3-25) のように理論的に与えてもよい。

初期値方式における初期値  $T^0$ 、 $u^0$  等は TOVS 処理定数ファイルの中の 8 モデル大気の中の 1 つを使う。しかし、もし鉛直分布初期値ファイルがあれば (FD 文が切られていれば) このファイルから持ってくる。また、係数  $C$  は回帰式と同じように鉛直分布算出係数ファイルから持ってくる。

現在の MSC においては回帰式方式によって処理されているが、よく知られているようにこの方法の欠点は係数を求めるために使ったデータサンプルに近い答が出易いということである。その一方、測定誤差、大気各層の強い相関係数等諸々の我々が予知し得ない現象をすべて取り込んでくれるという大きな利点もある。なお回帰式方式では係数決定のためのデータ収集にある一定期間が必要になる。あまりデータ数が少ないとそのデータにはよく一致するが、その他のデータに適用したとき大きな誤差を生ずるといったようなことが起る。データ量の大きざっぱな目安としては、使用するチャンネル数の 10 倍以上というところではないかと思われる。本システムでは最大 500 個のデータを収集できるようになっている。また後に述べるように係数  $C$  に角度補正が行なわれるのでいろいろな走査角のデータをまんべんなく収集することも必要である。

さらに、放射計に測定誤差があり、その特性が経年的に変化するというようなこともあるので係数  $C$  は時々再決定処理を行なうのが望ましいだろう。

### 3.5 情報量と精度

付録 3 に示したように (12) 式のような最適推定解の精度は (15) または (16) 式で与えられる。すなわち、最初、放射観測を行なう以前には、我々の温度や水蒸気の値に関して

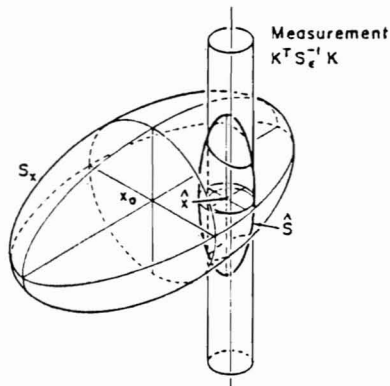


Fig. 3-4 An illustration of the relationship between the error covariance of the initial value, the error covariance of the measurement mapped into the space of  $x$ , and the solution error covariance.

もっている知識は、すでに述べた初期推定値であり、その精度は  $S_x$  であった。それが観測を行うことによって我々の知識の精度は  $\hat{S}$  にまで向上したのである。このことを  $x$  が 3 次元の場合について模式的に示したのが Fig. 3-4 である。 $\hat{x}$  は初期推定の範囲 (大きな慣性楕円体) と観測が示す  $\hat{x}$  の範囲 (円筒) の共通部分の中にあるはずであるから、 $\hat{x}$  の不確定度は小さな慣性楕円体のように小さなものになるわけである。この慣性楕円体をどれだけ小さくできるか (すなわちどれだけ細い円筒にできるか) が、観測のもつ情報量ということになる。

Rodgers (1976) に従って、この情報量を定量的に表現すると

$$\Delta H = \log_2 [ |S_x|^{1/2} / |S|^{1/2} ] \quad (3-33)$$

ということになる。(3-33) のカッコの中は Fig. 3-4 で言えば大きい慣性楕円体と小さいその体積の比に相当する量である。なお上式で  $|S|$  は  $S$  の行列式である。Rodgers (1976) の例では  $\Delta H = 20$  ビット、すなわち、この測定は初期値のあいまいさの範囲を  $2^{20} = 10^6$  個くらいに区別して、識別することができることを示す。もし通常の測定というものがこの程度の情報量を持つものであるとすれば、(3.2) で述べたライブラリー法が最適推定法に対抗するためには、少くも  $10^6$  個くらいのサンプルを用意しなければならないことになる。

$\hat{S}$  は解の精度を示す量であった。これを使って精度とチャンネル数の関係について見てみよう。一例として表面温度について調べる。付録 3 では表面温度の精度は  $S$  の  $(N+1, N+1)$  要素で示される。規格化の定数はずすと表面温度  $T_s$  の精度  $\hat{\sigma}$  は

$$\hat{\sigma}_s = [S(N+1, N+1)]^{1/2} \sigma_x(N+1) \quad (3-34)$$

となる。この量と使用するチャンネルの数の関係を示したのが、Fig. 3-5a, b である (Aoki et al., 1982)。チャンネルについては Table 3-2 に示されている。a, b は Table 3-2 の晴天放射精度の良い場合と悪い場合、また各図には夏と冬の2つの大気モデル (Table 3-3) についてそれぞれ実線と鎖線で示されている。さらに各図は

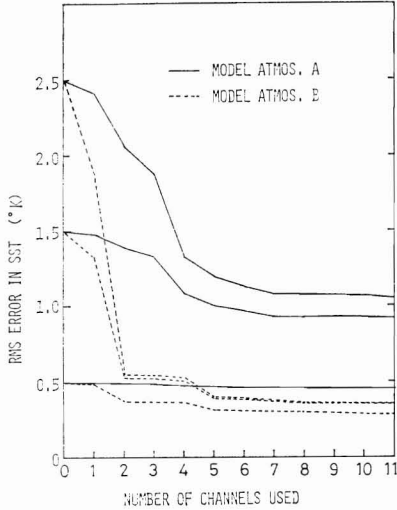


Fig. 3-5a RMS error in retrieved SST as a function of the number of channels used, for the model of the clear radiance error of better accuracy, case 1, shown in Table 3-2.

3つの  $T_s$  の初期値の精度 (2.5, 1.5, 0.5°C) について示されている。

この図を見ると、冬の水蒸気の少い大気では、海面温度を測定するには 2, 3 チャンネルで十分であるが、夏ではもっと沢山のチャンネルが必要になることが分る。また、図 a と b のちがいが晴天放射を精度よく決定する必要があること、0.5°K の初期値に対する結果から赤道付近のように海面温度の値があらかじめよく分っている (初期値の精度が良い) ところでは、放射観測を行なくてもほとんどそれ以上精度が向上しないことなどが分

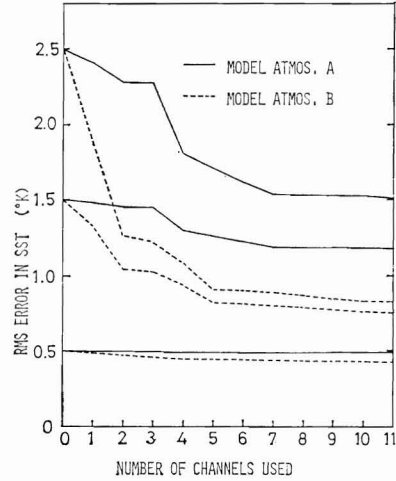


Fig. 3-5b As in Fig. 3-5a except for the less accurate clear radiance, case 2, in Table 3-2.

Table 3-2 The channels used in the SST retrieval and their modeled rms errors in clear radiances. From Aoki et al. (1982).

CHANNEL NUMBER	CENTER (CM <sup>-1</sup> )	LEVEL OF WEIGHTING FUNCTION PEAK	RMS ERROR IN CLEAR RADIANCE (PERCENTAGE)	
			CASE 1	CASE 2
1	909 (AVHRR)	Surface	1	1
2	898 (HIRS)	Surface	1	3
3	748 ( " )	900 mb	1	3
4	2190 ( " )	1000 mb	3	5
5	1217 ( " )	900 mb	1	3
6	2213 ( " )	950 mb	3	4
7	1364 ( " )	700 mb	2	3
8	732 ( " )	800 mb	1	2
9	1484 ( " )	500 mb	2	2
10	716 ( " )	600 mb	1	2
11	2240 ( " )	700 mb	3	4

**Table 3-3** Two model atmospheres (A,B) and the transmittance of the channel number 1 (AVHRR). From Aoki et al. (1982).

LEVELS	PRESSURE (MB)	MODEL A			MODEL B		
		T (°K)	u (g/cm <sup>2</sup> )	τ	T (°K)	u (g/cm <sup>2</sup> )	τ
7	30	219.4	0	1.000	224.6	00	1.000
6	300	244.4	0.128	0.998	222.8	0.127	0.998
5	400	259.0	0.258	0.994	227.6	0.196	0.996
4	500	269.1	0.556	0.997	235.9	0.253	0.995
3	700	284.2	1.768	0.870	250.7	0.358	0.991
2	850	291.8	3.388	0.682	259.3	0.501	0.985
1	1013	300.7	6.168	0.369	267.1	0.773	0.967

る。後者の理由は、晴天放射の精度そのものが悪いため、初期値の精度が良いところでは、それ以上精度を上げるためには、晴天放射の精度をもっと良くする必要であることを示している。

### 3.6 角度補正について

Fig. 2-8, 9 において放射量は一般に走査の中心で大きく両端で小さくなっている。これは、両端で大気の色度が低くなっているわけではなく、放射が大気を斜めに進むためである。このように  $R$  は天頂角に依存し  $R(\mu)$  となる ( $\mu$  については (2-27) で定義されている)。ところが温度は角度等には全く関係ない量であるから (3-31) 式における  $C$  は  $C(\mu)$  となり、(3-31) は

$$T_j = \sum_{i=1}^{L+1} C_{ji}(\mu) R_i(\mu) \quad (3-35)$$

と書ける。ただし、ここでは  $C_{j,L+1} = C_j^0$ ,  $R_{L+1}(\mu) = 1$  と定義し (3-31) 式の第 1 項と 2 項をまとめて書いた。 $C$  が  $\mu$  によって変るのは (3-21) 等によれば荷重関数  $K$  が  $\mu$  によって主として上下に変化するからである。

ところで、HIRS のスポットは中心から端まで 28 個ある。本センターでは 4 スポット当りに 1 点鉛直分布計算を行なうから、14 個の  $\mu$  の値に対して  $C(\mu)$  を求めなければならないことになる。このためには膨大な量の  $T$  と  $R$  のデータを集めなければならない。またたとえデータが集って、各  $\mu$  の値毎に  $C$  を決定できたとしても、これをすべてプログラムのメモリーの中に入れておくことはメモリーが大きくなり過ぎて適当ではない。そのため本センターでは次のような  $\mu$  による  $C(\mu)$  の補正式

を使っている (詳細は Aoki, 1982b)。

$$C_{ij}(z_j, \mu) = C_{ij}(z_j + \eta_i \Delta\mu, \mu_r), \quad (3-36)$$

ここで  $z$  は

$$z = \log p \quad (3-37)$$

であり、 $\eta_i$  は各チャンネル毎の定数、 $\Delta\mu, \mu_r$  は 2.4.2 で定義されている。

(3-36) 式の意味はある角度  $\mu$  での  $C$  は、ある基準の角  $\mu_r$  の  $C$  を  $\eta_i \Delta\mu$  だけ  $z$  の方向に平行移動したもので近似しようということである (Fig. 3-6 を参照)。すると必要な量は  $C_{ji}(z_j, \mu_r)$  と  $\eta_i$  だけとなる。これらはいずれも後の章で示すように regression によって決定される。

また、海面温度や全オゾン量のように一層しかないものについては (3-36) のような手法が使えないので

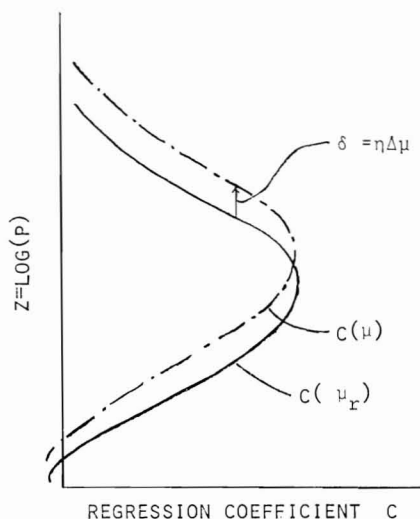
$$C_{ij}(\mu) = C_{ji}' + C_{ji}'' \Delta\mu \quad (3-38)$$

のように近似する。

なお NESS では次のように放射の方をすべて直下でのものに変換し、係数  $C$  は定数とし、 $C$  に対する角度補正は行なわない。(Smith, 1978)

$$T_B(\nu_i, 0) = T_B(\nu_i, \mu) + \alpha_0(\nu_i, \mu) + \sum_{j=1}^L \alpha_j(\nu_j, \mu) T_B(\nu_j, \mu) \quad (3-39)$$

ここで  $T_B$  は輝度温度である。 $\alpha$  は定数で、 $T_B$  のシミュレーション計算から最小自乗法的に決定している。なおここで  $T_B$  とは晴天放射ではなく観測された生の輝度であり、雲の影響等を当然含んでいる。また、 $\alpha$



**Fig. 3-6** The procedure to create the coefficient  $C_{ji}(\mu)$  from  $C_{ji}(\mu_r)$  by shifting the latter toward the direction of  $z$  by  $\eta_i(\mu - \mu_r)$ .

は理論計算から決めるということを考えて、果してこのような変換が精度良く行い得るのかという疑問が生ずるが Smith の報告によると  $1^\circ\text{C}$  以下くらいの精度ということである。

### 3.7 雲頂高度等の決定

鉛直温度が求まるとそれから雲頂高度を決めることができる。雲頂高度は以下に述べる2つの方法によって2種類の答が得られている。

#### 3.7.1 Smith らの方法

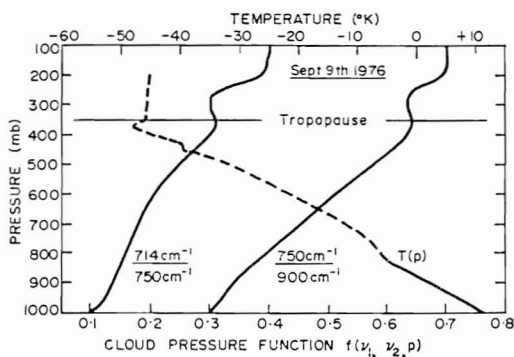
Smith et al. (1974), Smith and Platt (1978) などが提案した方法は次のようなものである。2つのチャンネルを使って次のような比を作ってみる

$$f_0(\nu_1, \nu_2) = \frac{I(\nu_1) - R(\nu_1)}{I(\nu_2) - R(\nu_2)} \quad (3-40)$$

この中の  $I$  に (1-1) 式を、さらにその中の  $I_c$  として (1-11) 式を仮定して代入した量を  $f$  と定義する

$$f(\nu_1, \nu_2, p_c) = \frac{\varepsilon_c(\nu_1) [R(\nu_1) - I_c^*(\nu_1)]}{\varepsilon_c(\nu_2) [R(\nu_2) - I_c^*(\nu_2)]} \quad (3-41)$$

ここで2つのチャンネルで  $\varepsilon_c$  が等しいとする。すると  $I_c^*$  は (1-10) 式によって  $p_c$  を仮定すれば計算できる量なので、 $p_c$  をいろいろに変えながら  $f$  を計算し、 $f=f_0$  になるところの  $p_c$  を探すのが彼らの方法である。ちなみに  $f$  はチャンネルとして  $714\text{cm}^{-1}$  と  $750\text{cm}^{-1}$ ,  $750\text{cm}^{-1}$



**Fig. 3-7** Cloud pressure function for two ITPR channel combinations computed from the Aspendale temperature profile on 9 September 1976. From Smith and Platt (1978).

と  $900\text{cm}^{-1}$  を使ったときには Fig. 3-7 のように比較的単調な関数になる。(なお  $\varepsilon_c$  が等しいとした場合は (2-33) の  $r$  と同じ量になる)。

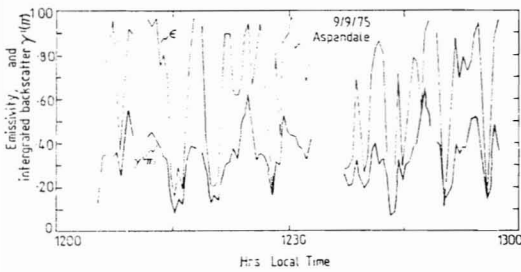
$R$  や  $I_c^*$  の計算は得られた温度分布と  $XR$  変換係数ファイルに格納されている透過関数を使って行なわれる。計算の要領は初期値更新に関する章を参照されたい。

#### 3.7.2 AVHRR 最低輝度を使う方法

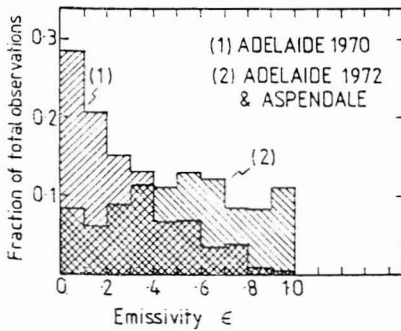
静止気象衛星データ処理システムでは、ある領域内の最低に近い  $IR$  輝度温度をとり、その温度に相当する高度を温度プロファイルの気候値から内挿して決定している。この方法は2つの点に不安な材料がある。1つは、雲が薄く黒体とみなし得ない可能性が大にあるということ、もう1つは高度を決定するのに気候値の温度分布を使っているため、誤差が大きくなるということである。

軌道衛星の場合、AVHRR の最低輝度から雲頂を決めるという、静止衛星システムと同じ手法であるが、その精度はもっと期待できる。まず上記した温度分布の問題については、TOVS 処理システムに場合においては、自分で算出した温度分布を持っているということがある。また、前者の問題については AVHRR の視野の大きさが  $1.1\text{km}$  と GMS の  $5\text{km}$  に比べずっと小さいので、黒体に近い部分の雲をつかまえる確率が高いということである。

Platt and Dilley (1979) は頭上の上空を刻々と横切っていく巻層雲の射出率を観測して、たとえば一例として Fig. 3-8 のような結果を得た。わずか1時間くらいの通過の間に実に激しく射出率が変化していることがわかる。ここで注意してほしいのは、ほぼ1に近い射出率



**Fig. 3-8** Time variations in the values of vertical IR emissivity of cirrostratus and vertical lidar backscatter  $\gamma'(\pi)$  during one run, showing the large and frequent changes in these values which are often observed. From Platt and Dilley (1979).



**Fig. 3-9** Histograms of cirrostratus emissivity for two cases. From Platt and Dilley (1979).

が何回も出現していることである。ここで使われた放射計の視野は雲底でたかだか 50 m くらいである。最終的に各射出率の出現頻度の割合をいろいろな巻層雲について統計的に示したのが Fig. 3-9 であり、やはり  $\epsilon=1$  に近い頻度がかかなり高いことを示している。このように視野の大きさが十分に小さければ巻層雲のように薄い雲でも、射出率が 1 に近い部分に当る可能性が十分あるわけで、同じ手法でも GMS より AVHRR の方がより正しい雲頂高度を決定できることを示している。

### 3.7.10 雲の射出率の計算

前節で述べたように AVHRR 最低輝度は十分黒体に近い雲からの放射である可能性が高い。したがってこれを黒体と仮定し、さらに薄い雲層の仮定での (1-11) 式を用いて、雲の射出率を次のように計算する。

$$\epsilon_c = [R(\nu_A) - I(\nu_A)] / n I_{rd}^* \quad (3-41)$$

ただし

$$I_{rd}^* = R(\nu_A) - I(\nu_A, \min) \quad (3-42)$$

ここで  $I(\nu_A, \min)$  は AVHRR の最低輝度であり、 $I(\nu_A)$ ,  $n$ ,  $I(\nu_A, \min)$  は鉛直分布算出に使われる HIRS スポット (現在は 4 個) のうち、最も雲量の大きいスポットでの AVHRR 平均放射量、雲量、最低輝度である。

なおここで次の点について注意しておく必要がある。すなわち (3-41) がいわゆる雲の射出率として成立したのは雲が十分薄い場合の話であり、通常は十分薄い雲で一部だけが非常に濃い雲などはあまりないのであって、ここでは (3-41) を単に便宜的に射出率と呼んでいるに過ぎないということである。また、雲層というのは幾学的には平板な板というより、雲頂、雲底がでこぼこしていることが多いと思われる。そのようなとき、ある HRIS スポットくらいの広い領域での雲頂というのはどのように定義するのか。その領域で最も高い所を言うのか、あるいは各点の雲頂の平均値を言うのかすら明確にされていない。この意味でも 3.7.1 と 3.7.2 で決定された雲頂は当然異なってよい。

このようなわけで、雲頂高度、雲の射出率という言葉の定義すらはっきりしていないのだから、これらの言葉に囚われてここで得られたデータの使い方を間違ってはならない。とは言っても (3-41) 式は (とくに雲が薄いとき) の雲の厚さについての大ざっぱな目安を与える量ではあると思われる。

### 3.8 算出結果に対する品質管理処理 (QC)

本システムにおいては以下のような品質管理を行なっているが、それは非常に大ざっぱなものである。したがってユーザーはその目的に応じてさらに厳しい品質管理を行なうのが望ましい。

#### (1) 表面温度の QC

$$T_s(\min) < T_s < T_s(\max) \quad (3-43)$$

を満たさない場合はフラッグが立つ。 $T_s(\max, \min)$  は海陸で異なった値が与えられている。また初期値方式を採用している場合で、かつ海域についてはさらに次のチェックを行なう。

$$T_s^0 - \Delta T < T_s < T_s^0 + \Delta T \quad (3-44)$$

$T_s^0$  は初期値。 $T_s(\max, \min)$ ,  $\Delta T$  等は TOVS 処理定数ファイルに格納されている。

#### (2) 大気温度の QC

$$\beta_1(i-1) T(p_{i-1}) < T(p_i) < T_{i-1} + \beta_2(i-1) \quad (3-46)$$

を満たさないものにフラッグを立てる。ただし  $P_{i-1} > P_i$  である。 $\beta_1, \beta_2$  は TOVS 処理定数ファイルにある。なお最下層の温度は、表面温度の QC をそのまま適用する。

(3) 可降水量の QC

最下層の可降水量  $u_1$  については

$$u_1 \leq \alpha_1 e_s \quad (3-47)$$

によって行なう。ここで  $\alpha_1$  は定数は、 $e_s$  最下層の温度に対する飽和水蒸気 (ただし mb 単位) である。また、それより上層については

$$0 \leq u_{i-1} < u_i \quad (3-48)$$

によって行なう。 $\alpha_1$  の値は TOVS 処理定数ファイルにある。

(4) 鉛直気柱全オゾン量の QC

$$u_{O_3}(\min) < u_{O_3} < u_{O_3}(\max) \quad (3-49)$$

によって行なう。 $u_{O_3}(\min, \max)$  は TOVS 処理定数ファイルに格納されている。

(5) 雲頂高度の QC

Smith らの方法、および AVHRR 最低輝度のいずれの方法に対しても

$$p_c(\min) < p_c < p_c(\max) \quad (3-50)$$

によって行なう。 $p_c(\min, \max)$  は TOVS 処理定数ファイルに格納されている。

(6) 走査角依存 QC

鉛直分布や表面温度等の算出係数は HIRS の走査角によって補正が加えられる。3.6節で述べたように、補正は  $\mu$  の一次式で行なわれる。より精確な補正を行なうには  $\mu$  の高次項を導入すべきと思われるが、本システムでは省略されている。このための誤差は  $\Delta\mu$  が大きくなるほど大きいと思われるが同時に雲量にも依存するものと思われる。このような効果を QC によって考慮するために、以下のような処理を上述した QC のほかに付け加える。

HIRS スポットをいくつかのグループに分け、そのグループ毎に雲量のしきい値を設定し、それより大きい平均雲量 (ただし雲頂高度の QC に対してはそれ以下のとき) に対して、フラッグを立てる。しきい値は以下の気

象要素について TOVS 処理定数ファイルに与えられている。

- (i) 海海温度
- (ii) 晴天域鉛直温度
- (iii) 曇天域鉛直温度
- (iv) 水蒸気量
- (v) オゾン量
- (vi) 雲頂高度

4. フローの概要

鉛直分布計算プログラムの大ざっぱな処理の流れは Fig. 4-1 のようになる。TOVS ファイルと部分雲量ファイルから読み込まれたデータからまず HIRS の晴天放射計算が行なわれる。この場合、部分雲量ファイルに AVHRR から計算された部分雲量等のデータがある場合

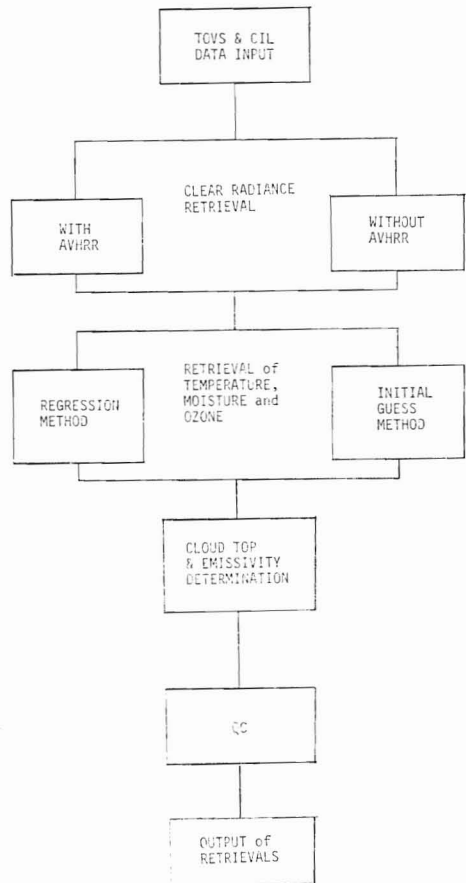


Fig. 4-1 Block-diagram of data processing system in 'Atmospheric Parameter RETrieval (APRET)' program.

には、2.4.3における (a) の方法が、そうでない場合には、(b) の方法が使われる。ただし、TOVS 処理定数ファイル中に規定された北限緯度より北においてはすべて (b) の方法で行なわれる。

晴天放射が決定されると温度、可降水量、オゾン量の計算が行なわれる。この計算にも、すでに述べたように、初期値方式と回帰式方式の2つのルートがカード指定によって選べる。ただし初期値方式を選んだ場合の鉛直温度、表面温度、可降水量の初期値は、鉛直分布初期値ファイルから入力する。もしこのファイルのFD文がない場合には TOVS 処理定数ファイル中の8つのモデル大気のうちの一つを選んで来る。また、この初期値から得られる晴天放射の初期値は晴天放射初期値ファイル、または TOVS 処理定数ファイルから入力する。

このような方式のため、オゾン量については初期値方式による計算はできない。

鉛直分布等が決まると次は雲頂高度や雲の射出率の計算となり、雲頂高度は Smith らの方法と AVHRR 最低輝度による方法の2つの結果が出る。

最後に品質管理を行なって鉛直分布ファイルに出力される。

### 5. 鉛直分布計算プログラムの問題点

本プログラムはこれまで述べたように、いくつかの補助ルートを設けたり、晴天放射の決定法、角度補正等、いくつかの改良されたアルゴリズムを基に構成されているが、まだ不十分な点がいっくつか指摘される。主なるものを以下に羅列してみる。

- (1) マイクロ波は雲の影響を受けないという前提で現在のアルゴリズムは構築されている。しかし、実際には降雨を伴っているよう雲域ではマイクロ波の第1チャンネルの輝度温度は数°K から10数°K も高くなる。したがって同じ雲域でも、降雨のある領域を識別するようななんらかの方法を開発する必要がある。
- (2) マイクロ波では走査角の補正の問題として単に光路が大気を斜めに走るという効果以外に、表面の射出率が射出方向によって大きく変化するという効果も含まれる。Fig. 1-24 にはマイクロ波の射出率の角度に対する変化を示したが、赤外域でも射出率の相対的变化そのものは同様に大きいのであるが、絶対値が0.97前後であるため、その影響はマイクロ波のように大きくはなく、HIRS のように 45° くらいの走査角の範囲では無視できる。

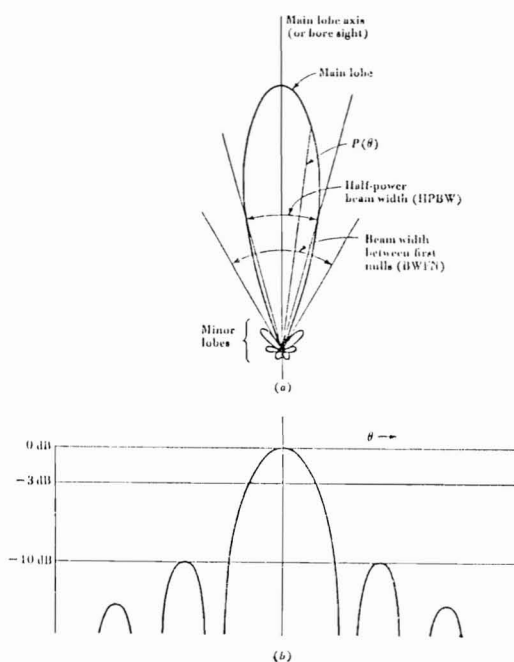


Fig. 5-1 (a) Antenna pattern in polar coordinates and linear power scale; (b) antenna pattern in rectangular coordinates and decibel power scale. From Kraus (1966).

またマイクロ波では、MSU を例にとるとその波長が 5 mm くらいであり、これはアンテナの直径と比べて無視できず、回折の効果が現れる。このためアンテナパターン（電波の方向に対するアンテナの応答関数）は Fig. 5-1 のように、main lobe の左右にも side (or minor) lobe と呼ばれる部分が生ずる。

本センターのシステムにおいては、これらの効果をすべて、すでに述べた回帰係数およびその角度依存の中に取り込ませているわけであるが、十分取り込み切れているかどうか調査してみる必要がある。

- (3) 本システムの QC の方法は非常に大ざっぱである。将来、鉛直分布の初期値ファイルにはより精度のよい初期値が入力される可能性があるため、これとの比較によってもっと厳しい品質管理が可能になると思われる。
- (4) 回帰係数の角度補正は  $\mu$  の一次式のような簡単なものであるが、これを直下から端の間の全走査角に適用するのではなく、この間をさらに2つに分けて係数を決定すれば、一次近似でも十分な精度となると思われる。



付録 1

晴天放射計算における各種定数の与え方

1.  $a(\nu, \nu_A)$ ,  $b(\nu, \nu_A)$ ,  $c(\nu, \nu_A)$  の計算方法

$$r(\nu, \nu_A) = \frac{R(\nu) - I_c^*(\nu)}{R(\nu_A) - I_c^*(\nu_A)}$$

において、 $R$  は (1-2)、 $I_c^*$  は (1-10) で与えられる。いろいろな雲頂高度について  $r$  を計算し、それらのデータと、(2-34) 式が一致するように、最小自乗法的に  $a, b, c$  を決定する。なお、 $R$  や、 $I_c^*$  の計算において必要な大気透過率は  $XR$  変換係数ファイルにある。また以上の計算は基準天頂距離 ( $\mu = \mu_r$ ) に対して行ない、 $r$  に対する角度の補正は行なわないで、すべてこの  $\mu = \mu_r$  に対して計算された  $r$  を使っている。

2.  $S_I, S_X$  の与え方

$S_I$  は  $I$  の測定誤差の共分散マトリックスであり、ここではあるチャンネルの、晴天放射計算に使用される  $M$  個のスポットにおける測定誤差の間には全く相関がないと仮定する。すなわち  $S_I$  は次のような対角行列とする。

$$S_I = \begin{pmatrix} \sigma_E^2 & & & 0 \\ & \sigma_E^2 & & \\ & & \ddots & \\ 0 & & & \sigma_E^2 \end{pmatrix} \Bigg| M$$

ここで  $\sigma_E$  はそのチャンネルの NE $\Delta$ N (Noise Equivalent Differential Radiance) である。これは TOVS 処理定数ファイルに格納されている。

$S_X$  は  $R^0$  と  $Q^0$  の誤差 (推定誤差) の共分散マトリックスで、これもやはり対角行列を仮定し次のように与える。

$$S_X = \begin{pmatrix} \sigma_R^2 & & & 0 \\ & \sigma_Q^2(1) & & \\ & & \ddots & \\ & 0 & & \sigma_Q^2(M) \end{pmatrix} \Bigg| M+1$$

ここで  $\sigma_R$  は晴天放射の初期推定値  $R^0$  の推定誤差の標準偏差で、次のように与える。

$$\sigma_R(\nu_i) = r_a(\nu_i) R^0(\nu_i)$$

ここで  $r_a(\nu_i)$  は定数で、TOVS 処理定数ファイルに格納されている。

また  $\sigma_Q(i)$  は、 $i$  番目のスポットにおける  $Q^0$  の推

定誤差の標準偏差で、次式に与って与えている。

$$\sigma_Q = Q_r \delta r + (\delta \sigma_Q) r$$

ここで、 $Q_r$  は AVHRR データ有りのとき

$$Q_r = I(\nu_A) - R(\nu_A)$$

AVHRR 無しときは

$$Q_r = I(\nu_8) - R^0(\nu_8)$$

である。また  $I_{rd}^*(\nu)$  と  $I_{rd}^*(\nu_A)$  (又は  $I_{rd}^*(\nu_8)$ ) の比である  $r$  の誤差は

$$\delta r = \varepsilon_1 |r - r(\max)| + \varepsilon_2 r(\max)$$

によって与える。ここで  $r(\max)$  は  $I_{rd}^*(\nu_A, \max)$  (または  $I_{rd}^*(\nu_8, \max)$ ) での  $r$  の値、 $\varepsilon_1, \varepsilon_2$  は定数で TOVS 処理定数ファイルに格納されている。

$\sigma_Q$  は  $Q_r$  の精度で、AVHRR 有りのときは定数で

$$\sigma_Q = \sigma_Q^0$$

が TOVS 処理定数ファイルに与えられている。また、AVHRR 無しときは次式で与える。

$$\sigma_Q = [\sigma_E^2(\nu_8) + \sigma_R^2(\nu_8)]^{1/2}$$

付録 2

AVHRR データが使えない場合の  $I_{rd}^*$  の与え方

まず、HIRS の中から大気の窓に近い3つのチャンネル 1, 2, 3 を選ぶ (これは現在第 8, 7, 6 チャンネルが選ばれており、TOVS 処理定数ファイルに与えられている)。 $r$  がおおむね  $Q$  の比であることから

$$r_{78}^{(1)} = \left| \frac{R^0(\nu_7) - I(\nu_7)}{R^0(\nu_8) - I(\nu_8)} \right| \quad (1)$$

で  $r$  を近似する。これと (2-42) 式から  $I_{rd}^*(\nu_8)$  が次のように求まる。

$$I_{rd}^{*(1)} = \frac{1}{2a_{78}} \{b_{78} \pm [b_{78}^2 - 4a_{78}(c_{78} - r_{78}^{(1)})]^{1/2}\} \quad (2)$$

ここで2つの解のうち

$$0 \leq I_{rd}^{*(1)} \leq I_{rd}^*(\nu_8, \max) \quad (3)$$

を満たす方を選ぶ。ここで  $X_{78}$  は  $X(\nu_7, \nu_8)$  を省略したものである。

ここで得られた  $I_{rd}^{*(1)}$  から (2-42) 式によって  $r^{(1)}(\nu_6, \nu_8)$  を計算し、これからチャンネル  $\nu_6$  の  $Q^0$  を次のように与える。

$$Q^0(\nu_6) = [I(\nu_6) - R^0(\nu_6)]r_{68}^{(1)}$$

これと  $R^0(\nu_6)$  を使い、(2-25) によって  $\nu_6$  の晴天放射  $R^{(1)}(\nu_6)$  を求める。これより、あらためて  $r_{68}$  を

$$r_{68}^{(2)} = \left| \frac{R^{(1)}(\nu_6) - I(\nu_6)}{R^0(\nu_6) - I(\nu_6)} \right| \quad (4)$$

によって計算する。これから (2) 式と同様に次の  $I_{rd*}(\nu_8)$  を

$$I_{rd*}^{(2)} = \frac{1}{2a_{68}} \{b_{68} \pm [b_{68}^2 - 4a_{68}(c_{68} - r_{68}^{(2)})]^{1/2}\} \quad (5)$$

のように与える。

### 付録 3

#### 水蒸気量の推定法

(1-2)式における  $B(T)$ ,  $\tau$  を次のようにテイラー展開する

$$\left. \begin{aligned} B(T) &= B(T^0) + \frac{\partial B}{\partial T} \Delta T \\ \tau(p, u) &= \tau^0(p, u^0) + \frac{\partial \tau^0}{\partial u} \Delta u \\ \Delta T &= T - T^0, \quad \Delta u = u - u^0 \end{aligned} \right\} \quad (1)$$

ここで  $u$  は大気上端から  $p=p$  までの可降水量,  $u^0$  はその初期推定値である。これらを (1-2)式に代入すると

$$\begin{aligned} \mathbf{y}' &= \mathbf{R} - \mathbf{R}^0 \\ &= \varepsilon_s \frac{\partial B}{\partial T} \tau^0(p_s) \Delta T_s + \varepsilon_s B(T_s^0) \frac{\partial \tau^0}{\partial u} \Delta u_s \\ &\quad - \int_0^{p_s} \left[ \frac{\partial B}{\partial T} \frac{\partial \tau^0}{\partial p} \Delta T + B(T^0) \frac{\partial}{\partial p} \left( \frac{\partial \tau^0}{\partial u} \Delta u \right) \right] dp \quad (2) \end{aligned}$$

となる。

ここで  $\Delta u \Delta T$  の高次項は省略した。また  $R^0$  は

$$R^0 = \varepsilon_s B(T_s^0) \tau^0(p_s) - \int_0^{p_s} B(T^0) \frac{\partial \tau^0}{\partial p} dp \quad (3)$$

である。(2)式の第3項を次のように近似する。

$$\begin{aligned} &\sum_{j=1}^N \frac{1}{2} \left[ \left( \frac{\partial B}{\partial T} \Delta T \right)_j + \left( \frac{\partial B}{\partial T} \Delta T \right)_{j+1} \right] (\tau_{j+1}^0 - \tau_j^0) \\ &+ \sum_{n=1}^N \frac{1}{2} [B(T_{n+1}^0) + B(T_n^0)] \\ &\quad \times \left[ \left( \frac{\partial \tau^0}{\partial u} \Delta u \right)_{n+1} - \left( \frac{\partial \tau^0}{\partial u} \Delta u \right)_n \right] \end{aligned}$$

これらを (2)式に代入すると、あるチャンネル  $i$  の  $y'$  は

$$y_i' = \sum_{j=1}^{2N+1} K_{ij}' x_j' \quad (4)$$

と書ける。ここで  $X_j'$  は

$$\begin{aligned} &(x_1', x_2', x_3', x_4', \dots, x'_{2N+1}) \\ &= (\Delta T_1, \dots, \Delta T_N, \Delta T_s, \Delta u_1, \dots, \Delta u_N) \quad (5) \end{aligned}$$

と定義してある。また  $K_{ij}'$  は

$$\left. \begin{aligned} K_{i',1} &= \frac{1}{2} (\tau_2^0 - \tau_1^0) \frac{\partial B}{\partial T} \Big|_{T_1^0} \\ \dots \dots \dots \\ K_{i',j} &= \frac{1}{2} (\tau_{j+1}^0 - \tau_{j-1}^0) \frac{\partial B}{\partial T} \Big|_{T_j^0} \\ \dots \dots \dots \\ K_{i',N} &= \frac{1}{2} (\tau_N^0 - \tau_{N-1}^0) \frac{\partial B}{\partial T} \Big|_{T_N^0} \\ K_{i',N+1} &= \varepsilon_s \tau_N^0 \frac{\partial B}{\partial T} \Big|_{T_s^0} \\ K_{i',N+2} &= \frac{1}{2} [B(T_1^0) + B(T_2^0)] \beta(1) \\ \dots \dots \dots \\ K_{i',N+1+n} &= \frac{1}{2} [B(T_{n-1}^0) - B(T_{n+1}^0)] \beta(n) \\ \dots \dots \dots \\ K_{i',2N+1} &= \left[ \varepsilon_s B(T_s) - \frac{1}{2} B(T_N^0) \right. \\ &\quad \left. - \frac{1}{2} B(T_{N-1}^0) \right] \beta(N) \end{aligned} \right\} \quad (6)$$

ここで

$$\beta(n) = \frac{\partial \tau^0(u^0)}{\partial u^0} \Big|_{u^0=u_{n-1}^0} \quad (7)$$

TOVSには赤外からマイクロ波までであるので、 $y'$  の値は4桁くらいの違いがチャンネルによって生ずる。また、水蒸気と温度では次元が違うので (4) 式を規格化し、無次元化する。

$$y_i = y_i' / \sigma_y(i) \quad (8)$$

$$x_j = x_j' / \sigma_x(j) \quad (9)$$

$$K_{ij} = K_{ij}' \sigma_x(j) / \sigma_y(i) \quad (10)$$

とおくと、

$$\mathbf{y} = \mathbf{Kx} \quad (11)$$

となる。ここで  $\sigma_x, \sigma_y$  は規格、無次元化のための定数である。すると (3-21) と全く同じように最適推定解が

得られる。

$$\hat{\mathbf{x}} = (S_x^{-1} + K^t S_y^{-1} K)^{-1} K^t S_y^{-1} \mathbf{y} \quad (12)$$

ただし、ここで  $S_x$  や  $S_y$  は規格化、無次元化された  $\mathbf{x}, \mathbf{y}$  のエラー共分散マトリックスで、 $x', y'$  の共分散マトリックスから次式によって作る。

$$S_x(i, j) = S_{x'}(i, j) [\sigma_x(i) \sigma_x(j)]^{-1}, \quad (13)$$

$$S_y(i, j) = S_{y'}(i, j) [\sigma_y(i) \sigma_y(j)]^{-1} \quad (14)$$

ここで  $S_{x'}, S_{y'}$  は  $x', y'$  のエラー共分散マトリックスである。

なおついでながら (12) 式のような推定値の精度 (誤差の共分散マトリックス) は

$$\hat{S} = (S_x^{-1} + K^t S_y^{-1} K)^{-1} \quad (15)$$

または

$$\hat{S} = S_x - S_x K^t (K S_x K^t + S_y)^{-1} K S_x \quad (16)$$

となる。(Rodgers, 1976)

### 引用文献

- 青木忠生, 1982: 気象の遠隔測定 (I): マイクロ波によるリモートセンシング, 気象研究ノート, **144**号, 57-71.
- , 山本義一, 1973: 気象衛星による放射測定とその利用, 天気, **20**, 477-487.
- Aoki, T., 1980: A statistical method to retrieve the clear radiance from cloud-contaminated radiances, J. Meteor. Soc. Japan **58**, 58-66.
- , 1982a: An improved method to retrieve the clear radiance from partially cloudy spots of radiometer on board satellite. J. Meteor. Soc. Japan, **60**, 758-764.
- , 1982b: Theoretical background of the vertical sounding from TIROS-N satellite series. Meteor. Satellite Center Tech. Note, No. **5**, 25-32.
- Began, G.M and W.H. Fletcher, 1958: Infrared spectra of the isotropic nitrous oxide. J. Chem. Phys., **28**, 414-418.
- Bignell, K., F. Saiedy and P.A. Sheppard, 1963: On the atmospheric infrared continuum, J. Opt. Soc. Am., **53**, 466-479.
- Burch, D.E., D. Gryvnak, E.B. Singleton, W.L. France and D. Williams, 1962: Infrared absorption by carbon dioxide, water vapor, and minor atmospheric constituents, Air Force Cambridge Research Laboratories Research Rep., AFCRL-62-698.
- Falcone, V.J., Jr., L.W. Abreu and E.P. Shettle, 1979: Atmospheric attenuation of millimeter and submillimeter waves: Models and computer code, AFGL-TR-79-0253, U.S. Air Force Geophysics Laboratory Tech. Rep.
- Fritz, S., D.Q. Wark, H.E. Fleming, W.L. Smith, H. Jacobowitz, D.T. Hilleary and J.C. Alishouse, 1972: Temperature sounding from satellite, NOAA Tech. Rep. NESS 59.
- Gelb, A., 1974: Applied optimal estimation, Chap. 4, M.I.T. Press, Cambridge.
- Hanel, R.A., B.J. Conrath, V.G. Kunde, C. Prabhakara, I. Revath, V.V. Salomonson and G. Wolford, 1972a: The nimbus 4 infrared spectroscopy experiment 1. Calibrated thermal emission spectra, J. Geophys. Res., **77**, 2629-2641.
- , B. Schlachman, E. Breihan, R. Bywaters, F. Chapman, M. Rhodes, D. Rodgers and D. Vanous, 1972b: Mariner 9 Michelson interferometer, Appl. Opt., **11**, 2625-2634.
- Houghton, J.T. and F.W. Taylor, 1973: Remote sounding from artificial satellite and space probes of the atmospheres of the earth and the planets, Rep. Prog. Phys., **36** 827-919.
- 嘉納宗靖, 1972: 気象衛星特集号 I, 第2部—放射測定による気象要素の推定, 気象研究ノート, **111**, 211-238.
- Kondratijev, K.YA, 1969: Problem of infrared atmospheric spectroscopy involved in satellite measurements of the underlying-surface temperature, IZV., Atmos. Ocea. Phys., **5**, 616-630.
- Kraus, J.D., 1966: Radio astronomy, McGraw-Hill, New York.
- Krishen, K., 1975: Remote sensing of oceans using microwave sensors, Remote Sensing/Energy Related Studies, Hemisphere Pub. Corpo., Washington.
- McCaa, D.J. and J.H. Shaw, 1968: The infrared spectrum of ozone, J. Molec. Spectrosc., **25**, 374-397.
- McClatchey, R.A. and A.P. D'Agati, 1978: Atmospheric transmission of laser radiation computer code LASER, Air Force Geophysics Laboratory Tech. Rep., AFGL-TR-78-0029.
- McMillin, L.M., 1978: An improved technique for obtaining clear radiances from cloud-contaminated radiances. Man. Wea. Rev. **126**, 1590-1597.
- Meeks, M.L. and A.E. Lilley, 1963: The microwave spectrum of oxygen in the earth's atmosphere J. Geophys. Res., **68** 1683-1703.
- Platt, C.M.R. and A.C. Dille, 1979: Remote Sensing of high clouds: II Emissivity of cirrostratus. J. Appl. Meteor., **18**, 1144-1150.
- Prabhakara, C., H.D. Chand and A.T.C. Chand, 1982: Remote sensing of precipitable water over the oceans from Nimbus 7 microwave measurements, J. Appl. Meteor. **21**, 59-68.
- Rodgers, C.D., 1976: Retrieval of atmospheric

- temperature and composition from remote measurements of thermal radiation. *Rev. Geophys. Space Phys.*, **14**, 609-624.
- Schmugge, T.J., 1980: Microwave approaches in hydrology, *Photo. Engin. Remote Sens.*, **46**, 495-507.
- Schanda, E., 1976: *Remote Sensing for Environmental sciences*, Springer-Verlag, Berlin.
- Selby, J.E.A. and R.A. McClatchey, 1975: Atmospheric transmittance from 0.25 to 28.5  $\mu\text{m}$ : Computer code LOWTRAN 3. AFCRL-TR-75-0255, U.S. Air Force Cambridge Research Laboratories Tech. Rep.
- Shaw, J.H., 1970: Determination of the earth's surface temperature from remote spectral radiance observations near 2600  $\text{cm}^{-1}$ . *J. Atmos. Sci.*, **27**, 950-959.
- Smith, W.L., 1968: An improved method for calculating tropospheric temperature and moisture from satellite radiometer measurements. *Mon. Wea. Rev.*, **96**, 387-396.
- , 1978: Determination of vertical temperature profiles, WMO/UN Regional Training Seminar on the Interpretation, Analysis and Use of Meteorological Satellite Data, Tokyo, Japan, 23 Oct- 2 Nov.
- and M.R. Platt, 1978: Comparison of satellite-deduced cloud heights with indications from radiosonde and ground-based laser measurements, *J. Appl. Meteor.*, **17**, 1796-1802.
- and H.M. Woolf, 1976: The use of eigenvectors of statistical covariance matrices for interpreting satellite sounding radiometer observations, *J. Atm. Sci.*, **33**, 1127-1140.
- , H.M. Woolf, P.G. Abel, C.M. Haydon, M. Chalfant and N. Grody, 1974: Nimbus 5 sounder data processing system Part I: Measurement characteristics and data reduction procedures, NOAA Tech. Memo. NESS 57, 99 pp.
- Tomey, B.E., J.P. Hollinger, R.M. Lerner, and M.M. Wisler, 1981: Measurement of the microwave properties of sea ice at 90 GHz and lower frequencies, *J. Geophys. Res.*, **86**, 4283-4289.
- Valley, S.L., 1965: *Handbook of geophysics and space environments*, McGRAW-HILL BOOK COMPANY, INC., New York.

## 7. 表面温度場の客観解析

### Objective Analysis of Sea Surface Temperature

青木 忠生, 中島 忍

Tadao Aoki and Shinobu Nakajima

#### Abstract

The initial guess value of the sea surface temperature is the basic data for creating the initial clear radiance field of HIRS and initial clear radiance field of AVHRR in fine mesh points, to be used in the next TOVS data processing. In this article, a method to interpolate the sea surface temperature at grid points has been shown from the data of the retrieved sea surface temperature in the APRET file, with the use of the technique of objective analysis.

This objective analysis is an improved version of the so-called correction method, in which all of the old data of observed sea surface temperature by satellite is able to be taken into account.

An example of the application of this objective analysis has been shown.

#### 1. はじめに

MSCのTOVSデータ処理システムにおいてはまず部分雲量計算においてHIRS各スポット毎のAVHRR画素を処理して各HIRSスポット中の部分雲量等を計算する。その際、あるAVHRR画素が雲域か晴天域かはその画素の放射量があるしきい値より大きいかどうかで決定される。このしきい値の放射量は表面温度の初期推定値と大気温度・水蒸気量等の初期推定値をもとに計算され、中でも表面温度は最も重要な量である。ここで決定されたHIRS各スポット毎の部分雲量等のデータが、HIRS各チャンネルの晴天放射を計算する際の基本的なデータとなる。

AVHRRを使わない晴天放射決定法においても窓領域のHIRS第8チャンネルの晴天放射の初期推定値が基本的なデータとなる。

また、AVHRRを使う、使わない両方式のいずれにともなってもHIRS各チャンネルの晴天放射の初期推定値は正確なほどよく、この初期値は、表面温度や、大気温度等の初期推定値から計算される。このように表面温度の初期推定値というのは、本データ処理システムの非常に基本的な重要なデータである。

表面温度の初期推定値として、前回の処理で得た表面

温度データを使うことが考えられる。しかし、衛星の走査範囲は全領域をカバーするわけでないし、また完全に雲で覆われているところでは表面温度は算出されない。大きな雲のクラスターはときには一週間も同じ所を動かないことがある。そのときには一週間も表面温度データが抜けることになる。また算出地点はFig. 1に示したように不均質である。

このようなことから、抜けた場所をまわりのデータから推定したり、あるいは海面温度などは比較的温度的変化は小さいので、過去のデータから推定したりするプログラムが要求されてくる。さらに本システムからの表面温度だけでなく、船やブイ等その他の手に入るデータも組み込んで総合的に最適な表面温度の場を作成することが望ましい。このような目的で作られたのが表面温度場作成プログラムである。なおこのプログラムは3軌道分の鉛直分布ファイルから海面温度を抜き出してきて他のデータと併せて客観解析を行なうが、この抜き出すデータとしては、かならずしも海面温度である必要はない。抜き出しのアドレスを変えることによって任意のデータ(例えば、鉛直温度や可降水量、雲頂高度など)の客観解析を行うことができる。ただしその場合、客観解析のための定数ファイルをそのデータ用に作り変える必要がある。鉛直分布ファイル中の各気象要素のワード位置は

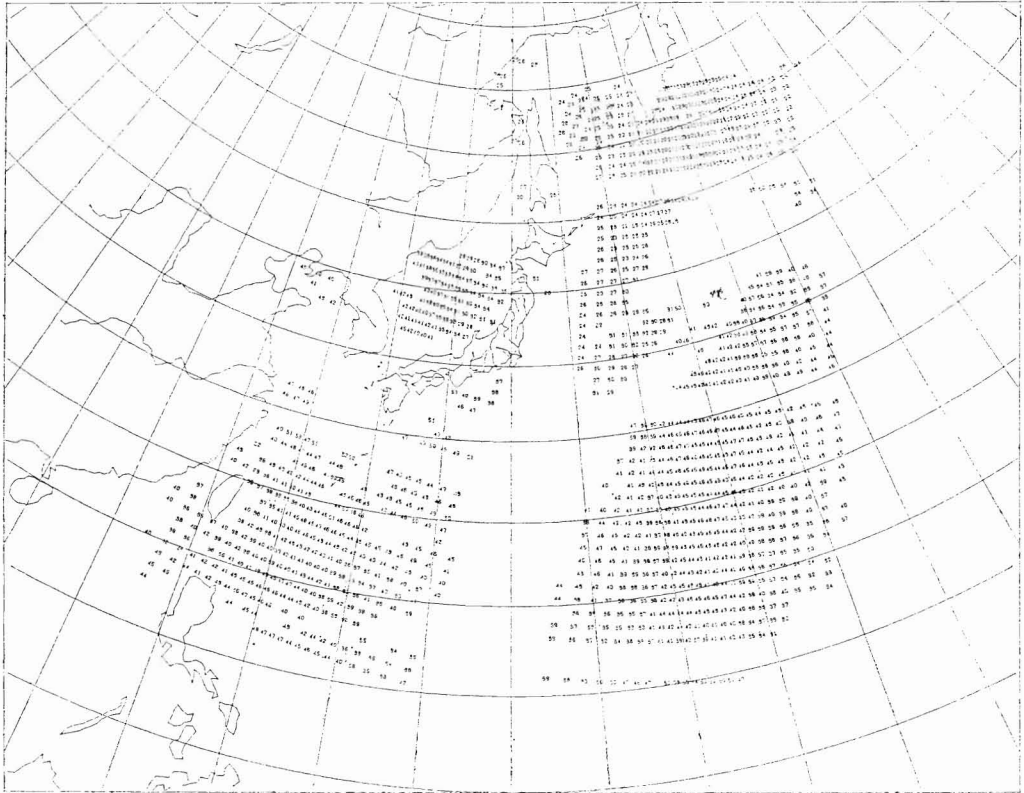


Fig. 1 An example of the distribution of the TOVS sounding points.

Table 1 のとおりである。

## 2. 理論および処理方式

清水 (1978) によれば、客観解析には次のようないくつかの手法がある。

### 1) 多項式法

場の値を適当な基底関数系で展開する方法。

### 2) 修正法

まず場の初期推定値を設定し、真の場の値のこれからの偏差は場所によって大きく変動せず、比較的単調な関数であるという前提の下に、格子点の初期値からの偏差を観測値の初期からの偏差を荷重平均することによって推定する方法。

### 3) 最適内挿法

修正法と同じように格子点での初期値からの偏差を観測値の初期値からの偏差で表現するのであるが、その一次結合係数は、初期値の信頼度、場の構造関数などを使って理論的に与えられる。

### 4) スペクトル解析

場を Hough 関数などで展開するもので 1) と同じとしてもよいであろう。

### 5) 変分法

解析に使う情報として観測値や初期値だけでなく、運動方程式や静力学の式などの予測方程式や、診断方程式を使い、解析された場がこれらの方程式を満足するように決めてやるもので、その調整に変分法の手法を使うものである。

本ソフトウェアシステム開発の実際の経過は、次のように Tripoli and Krishnamurti (1975) によって使われた修正法をまとめた加藤 (1976) の報告をもとにそれを少し改良したものとして進められた。すなわち、Tripoli and Krishnamurti では格子点での場は逐次近似的に求められ、ある  $(n+1)$  回目では

$$X^{(n+1)} = X^{(n)} + a x^{(n+1)} \quad (1)$$

となる。ここで  $X^{(n)}$  は  $n$  回目の格子点での値、 $a$  はデータの重心と格子点の距離によって変わるパラメーターであるが、本システムでは 1 としてある。 $x^{(n+1)}$  は次式によって与えられる

**Table 1** Various physical quantities which can be analyzed, and their word address in APRET (Atmospheric Parameter RETrieval) file.

ワード位置	気象要素
1 w	}
6 w	
7 w	表面気圧
8 w	表面温度
9 w	鉛直温度 (レベル1)
}	}
23 w	鉛直温度 (レベル15)
24 w	鉛直水蒸気量 (レベル1)
}	}
28 w	鉛直水蒸気量 (レベル5)
29 w	オゾン量
30 w	HIRS 雲頂高度
31 w	AVHRR 雲頂高度
32 w	射出率
33 w	平均雲量
34 w	}
46 w	
47 w	海面放射量
48 w	HIRS 第1チャンネル晴天放射量
}	}
66 w	HIRS 第19チャンネル晴天放射量
67 w	AVHRR 晴天放射量
68 w	

☐: 太枠内の要素を指定することが可能

$$x^{(n+1)} = \frac{\sum_i W_i^{(n)} x_i^{(n)}}{\sum_i W_i^{(n)}} \quad (2)$$

ここで  $i$  は各観測点を示し,  $x_i$  は観測値の初期推定値からの差である。  $W_i$  は weight で, 次のように与える。

$$W_i^{(n)} = w_i^{(n)}(d) \beta \gamma \quad (3)$$

ここで  $w_i^{(n)}$  は Cressman の weighting function で

$$w(d) = \begin{cases} \frac{R^2 - d^2}{R^2 + d^2}, & d < R \\ 0 & d \geq R \end{cases} \quad (4)$$

によって与えられる。  $R$  は influence length で, この範囲に入ったデータが使われることになる。この長さは各 iteration の回数によって変化する。 Tripoli and Krishnamurti (1975) においては最初は大きく, だんだん小さくなっている。  $d$  はデータの格子点からの距離である。

$\beta$  は時間に関わる weight で

$$\beta = \exp(-\alpha(\Delta t)^2) \quad (5)$$

ここで  $\alpha$  は定数,  $\Delta t$  は観測時刻と解析時刻の差である。  $\gamma$  は各観測データのタイプによる観測精度の違いによって与える weight である。

$x_i^{(n+1)}$  は

$$x_i^{(n+1)} = X_i(\text{obs}) - X_i^{(n)} \quad (6)$$

と書き表わせる。  $X_i(\text{obs})$  は観測値,  $X_i^{(n)}$  はその観測地点での初期推定値の値で Fig. 2 のように解析領域内にある観測点 A に対しては A に最も近い格子点を中心にした9つの格子点データから Lagrangian の内挿法を使って次のように与える。

$$X^{(n)}(\xi, \zeta) = \sum_{\substack{j=1 \\ i=3 \\ i=3}}^j d_{ij} w_{ij} X^{(n)}(i, j) \quad (7)$$

ここで

$$\left. \begin{aligned} d_{11} = d_{13} = d_{31} = d_{33} = D_1 \\ d_{12} = d_{21} = d_{32} = d_{23} = D_2 \\ d_{22} = D_3 \end{aligned} \right\} \quad (8)$$

$$w_{ij} = \prod_{m \neq i}^3 \frac{(\xi - \xi_m)}{(\xi_i - \xi_m)} \prod_{n \neq j}^3 \frac{(\zeta - \zeta_n)}{(\zeta_j - \zeta_n)} \quad (9)$$

$D_1, D_2, D_3$  は定数,  $(\xi, \zeta)$  は観測点の座標,  $\xi_i, \zeta_j$  等は格子点の座標である。  $X^{(n)}(i, j)$  は  $(i, j)$  格子点での海面温度の値である。

また, B 点のように解析格子点外にある点についてはこの点を中心とした半径  $R$  の円に入る格子点のデータを使って

$$X_i^{(n)} = \frac{\sum_{j=1}^M w_j X^{(n)}(j)}{\sum_{j=1}^M w_j} \quad (10)$$

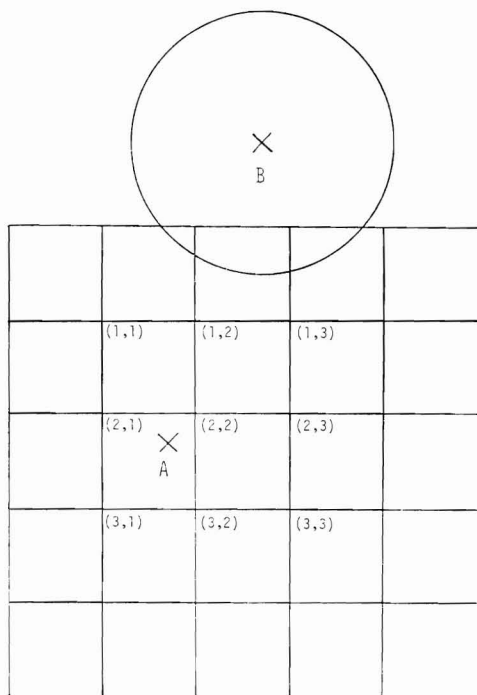


Fig. 2 The grid points used to interpolate the initial guess values at the observational points.

のようにして求める。ここで  $w_j$  は (4) 式で与えられ、 $X^{(n)}(j)$  は半径  $R$  の円に入る格子点での値、この半径に  $M$  個の格子点が入っていると仮定している。

### 本センターシステム的方式

海面温度というものは、大気の流れや温度のように 1 日の間にそれほど大きく変わるものではない。したがって、たとえば 1 日や 2 日前の測定によって得られた海面温度でも、それは現在の海面温度として一般的には十分よい精度で通用する。一方、衛星による海面温度の測定というものは、その地点を衛星が通過しなかったり、雲に覆われたりしたために海面温度が少い地点数しか得られないことがよくある。

このようなことを考えると、海面温度の客観解析には、その時点の観測データだけでなく、過去のデータも取り入れられるようにすることが望ましい。しかし過去のデータをすべて記憶しておくことは、たとえ大型計算機を使ったとしても、メモリー、処理時間共に膨大なものになる。そこで、初期推定値としては前回の解析値を使うことにする。すると初期推定値にも weight を付けて解析データとして取り込むことによって、過去のすべてのデータを考慮することができる。その代り Tripoli

and Kurishnamurti のような iteration は行なわないで (1), (2) 式を次のように変える

$$X = X^0 + x \tag{11}$$

$$x = \frac{\sum_i W_i x_i}{\sum_i W_i + W^0} \tag{12}$$

ここで  $X^0$  は格子点の初期値、 $x_i$ ;  $W_i$  は (2) 式での説明と同じであるが、 $W^0$  は初期推定値への荷重である。(12) 式の分子には格子点での  $x (=0)$  と  $W^0$  の積が加算されているのだが省略してある。

$$W \equiv \sum_i W_i + W^0 \tag{13}$$

とおくと  $W^0$  は前回の  $W$  を使って

$$W^0(\text{今回}) = \beta'(\Delta t) W(\text{前回}) \eta \tag{14}$$

によって与える。ここで  $\eta$  は定数で現在は 1 が与えられている。 $\beta'(\Delta t)$  は Tripoli and Kurishnamurti (1975) のような  $\Delta t$  の 2 次式でなく

$$\beta'(\Delta t) = \exp\{-\alpha' |\Delta t|\} \tag{15}$$

のように与えた。 $\alpha'$  は緯度によって少しずつ異なるものが与えられている。 $\Delta t$  は前回と今回の時間差である。なお本システムでは (5) 式の代りにすべて (15) 式を使っている。

また、本システムでは、(7) 式の計算において、海と陸の境界付近では、たとえば海上にある格子点には海上の格子点のみを使い、その代り、(10) 式のように  $\sum d_{ij} w_{ij}$  で割って規格化している。すなわち

$$X_i^{(n)} = \frac{\sum_{i,j} d_{ij} w_{ij} X^{(n)}(i,j)}{\sum_{i,j} d_{ij} w_{ij}} \tag{16}$$

なお、現在のシステムにおいては iteration は行っていないが、プログラムのパラメーター (表面温度定数ファイルにある) を変えることで可能である。

$D_1, D_2, D_3, \eta$ , 等々の定数類は表面温度場定数ファイルに格納されている。

(12) 式のような本方式の理論的背景についてはほとんど触れなかったが、その導出方法等の詳細については Aoki (1982) を参照されたい。

### 鉛直分布ファイル以外のデータの入力

解析するデータとしては鉛直分布ファイル中の海面温度だけでなく、船のデータなども入力できる。これらのデータは JMA 旬平均海面温度ファイルに、決められたフォーマットに従って格納されていなければならない。



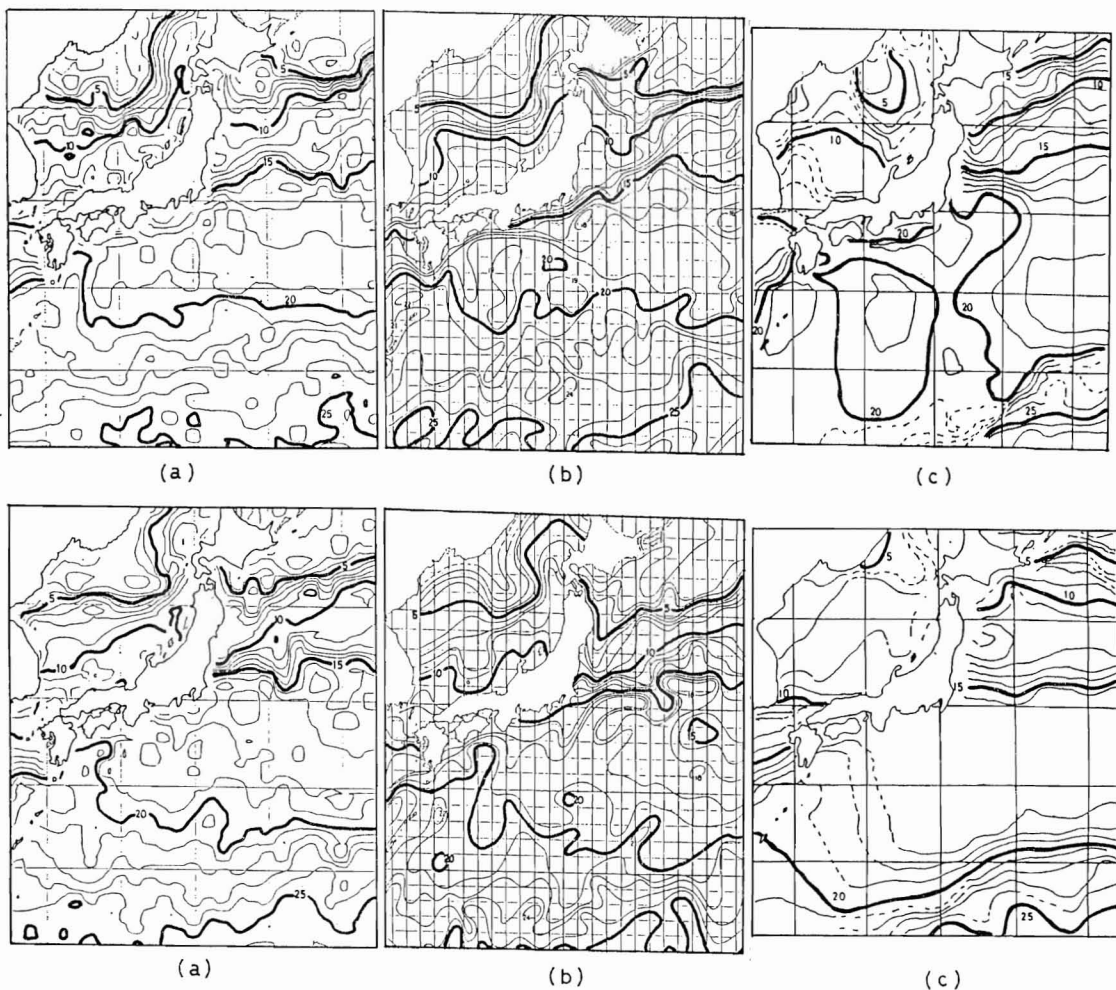
気象庁海洋課作成の $1 \times 1^\circ$  格子点毎に与られた旬平均海面温度については、旬平均海面温度ファイル作成プログラムによってこのファイルを作ることができる。

鉛直分布ファイル中の、海面温度以外のたとえばある指定面温度をゾンデのデータと併せて客観解析しようとするときには、この JMA 旬平均海面温度ファイルにゾンデデータを格納すればよい。また、この JMA 旬平均海面温度だけを解析することも可能である。ただし、現在の運用においては、JMA 旬平均海面温度や、その他本 TOVS データ処理システム以外のデータは全く使っていない。

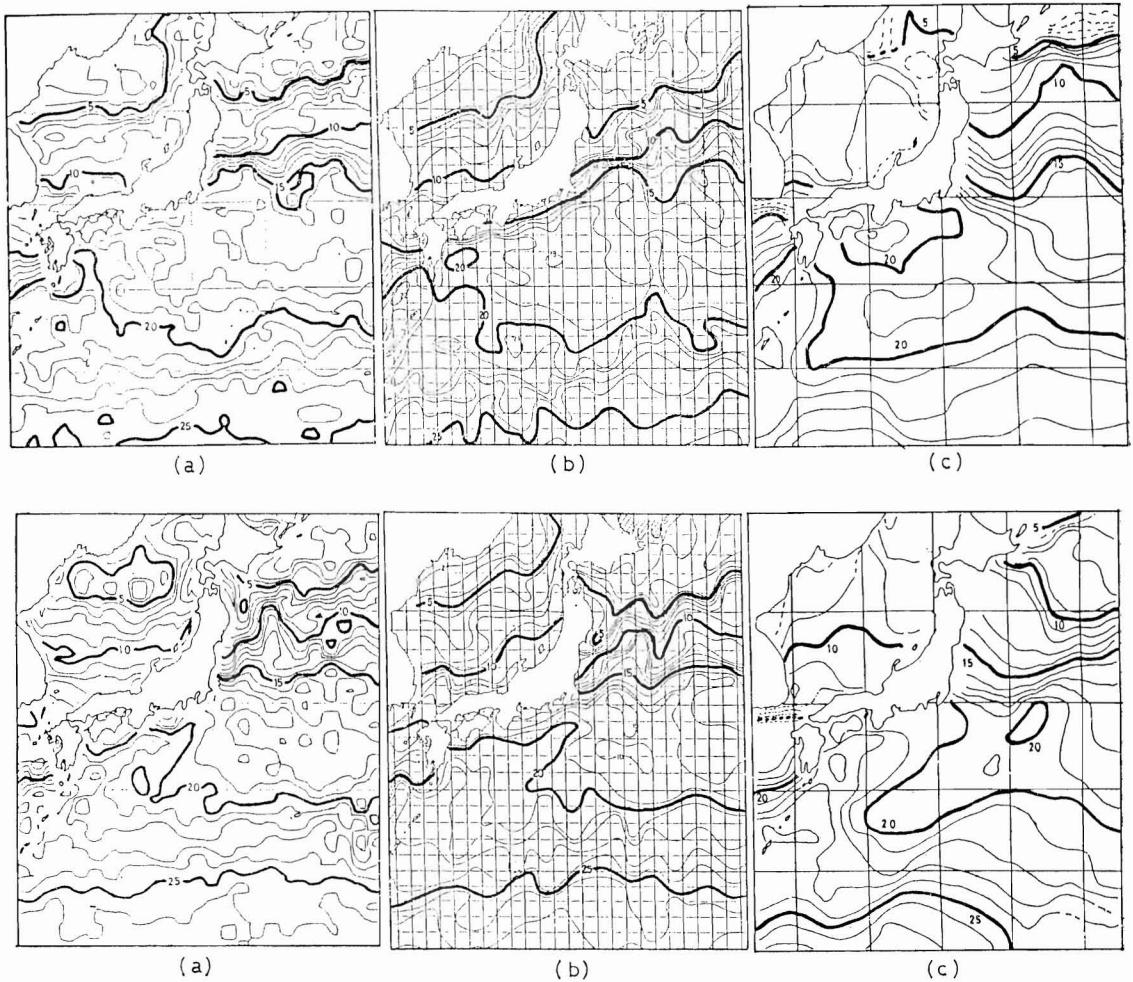
### 応用例

Fig. 3 と 4 は鉛直分布ファイル中の海面温度データに客観解析をほどこし、10日間についてその平均をとったものを図にしたものである。各図の真中のものは気象庁海洋課が船の観測データを主観解析して図にしたもので、(c) は本センターと同じように、軌道衛星のデータを使って米国の NESS/NOAA が作成した海面温度分布図である。ただし、これは10日でなく1週間の平均値である。なお、本センターのもの(a)には鉛直分布ファイル中の海面温度以外のデータは使われていない。

(a) と (c) を比較すると (a) の方がよく、(b) と一



**Fig. 3** Comparisons of the 10-day means of sea surface temperature, obtained by MSC TOVS sounding system (a), Marine Department of Japan Meteorological Agency from ship reports (b), and the GOSSTCONP of NESS/NOAA (c). The upper is for the period January 11-20 and the lower is for February 11-20, 1981. From Aoki et al. (1982).



**Fig. 4** As in Fig. 3 except for the periods March 11-20 (upper) and April 11-20 (lower), 1981.  
From Aoki et al. (1982).

致している。これはもちろん、客観解析をほどこしたからというより、鉛直分布ファイル中の海面温度の精変そのものがよいかから、客観解析の効用はそれほど大きくないと思われる。(10日平均値だから日々のランダムな誤差はたとえ客観解析をほどこさなくとも消えてしまうから)。

引用文献

Aoki, T.; 1982: A generalized representation of

the objective analysis (to be published).  
Aoki, T, S. Nakajima and K. Kato, 1982: Remote measurements of the sea surface temperature by multichannel observation from orbital satellite, *J. Meteor. Soc. Japan*, 60, 1238-1248.  
加藤一靖, 1976: 客観解析プログラム「OBJAN」, 気象衛星技術報告, 3, 1-22.  
清水喜充, 1978: 数値予報(下)-客観解析法, 気象研究ノート, 134号, 251-272.  
Tripoli, G.J. and T.N. Krishnamurti, 1975: Low-level flows over the GATE area during summer 1972. *Mon. Wea. Rev.*, 103, 197-216.

## 8. 初期値の更新

### Update of Initial Values

青木 忠生, 中島 忍

Tadao Aoki and Shinobu Nakajima

#### Abstract

TOVS data processing system of MSC uses three kinds of the initial values; (1) AVHRR clear radiances, which are used in determining the cloudy pixel of AVHRR within a HIRS spot; (2) the initial values of clear radiances of HIRS channels, which are used in clear radiance retrieval of HIRS channels; (3) the initial vertical profiles of temperature and moisture, which are used in the calculation of initial clear radiances of AVHRR and HIRS stated above or in the retrieval of the vertical profiles by the method of so-called initial-value-method.

This article deals with the procedure to create these initial values, with the use of data of the surface temperature obtained from the TOVS data processing system of MSC, and the data of vertical temperature and moisture profiles of National Meteorological Center of America obtained through the Global Telecommunication System.

#### 1. はじめに

本センターの TOVS 処理システムには、初期推定値(あるいは簡単に初期値)として使われるデータ群が何種類かある。このうち、海面放射量ファイル、鉛直分布初期値ファイル、晴天放射初期値ファイルを日々更新するのが、初期値更新プログラムである。更新は本 TOVS 処理から得られたデータや、米国の NMC (National Meteorological Center)が GTS(Global Telecommunication System)を通じて送ってくる数値予報値や解析値を使って行なわれる。これら3つのファイルの使用先およびデータ元は以下のとおりである。

##### (i) 海面放射量ファイル

部分雲量計算プログラム(第5章)においては、HIRS 各スポットの内の雲量をその中に含まれる AVHRR ピクセル(1つの HIRS スポットの中には約 300~450 くらいの AVHRR ピクセルが含まれている)のうち、雲域のピクセルの数がどのくらいの割合で含まれるかによって計算する。このとき、あるピクセルが、雲域にあるかどうかは、そのピクセルの放射量が、その地点の海面放射量からあるバイアス量  $\alpha$  を差し引いた値より小さい

かどうかで決める。この  $\alpha$  は緯度、季節、海陸で多少変化する量でおおむね 4~8°C のオーダーである。また、海面放射量(海面とは言っても陸上に対しても与えられている)ファイルは、現在 1×1 度の緯経度格子点上に与えられている。

ここで、海面放射量とは AVHRR 晴天放射量のことで、これは表面温度場(現在 1×1 度の緯経度格子点で与えられている)ファイル中の表面温度の値と、鉛直分布初期値(現在 5×5 度の格子点上に与えられている)ファイル中の鉛直温度、鉛直水蒸気分布のデータから計算される。

なお、この計算に必要な AVHRR の大気に対する透過関数は、次に述べる晴天放射初期値ファイルの計算に必要な HIRS, MSU の透過関数と併せて、XR 変換係数ファイルに格納されている。XR 変換係数ファイルには8つのモデル大気に対する透過関数が格納されており、晴天放射計算においてはその地点の大気に最も近いモデル大気の透過関数が使われる。この8つのモデル大気の温度分布、可降水量分布は Table 1, 2 に示すような地表から 0.3 mb まで33層のレベルに対して与えられている。この8つのモデルは根室、八丈島の 1, 4, 7 月および南大東島の 1, 4 月の 1976, 1977 年の高層観測の平

**Table 1** Temperature (°K) profiles for eight model atmospheres.

Model		1	2	3	4	5	6	7	8
Pressure (mb)									
1	1013.2	288.9	297.3	300.7	276.0	289.4	295.4	267.1	281.8
2	1000.0	288.4	298.8	300.1	275.6	288.2	294.3	266.4	281.1
3	900.0	288.4	292.2	294.2	272.7	283.7	288.5	262.1	275.5
4	850.0	286.7	290.4	291.7	270.7	281.7	287.1	259.3	272.1
5	800.0	284.5	288.2	289.5	268.3	279.5	285.5	256.3	269.1
6	700.0	279.0	282.5	284.1	262.6	274.4	280.4	250.6	265.8
7	600.0	272.5	276.2	276.7	255.6	268.4	273.2	244.0	260.8
8	500.0	264.2	268.2	269.0	247.2	260.1	265.4	235.8	253.7
9	400.0	253.4	257.8	259.0	236.9	249.6	254.6	227.5	244.8
10	350.0	246.7	251.0	252.4	230.9	242.7	247.5	224.0	239.8
11	300.0	238.7	242.9	244.3	225.4	234.5	239.5	222.7	235.1
12	250.0	229.4	233.0	234.5	221.3	225.3	230.1	223.6	229.9
13	200.0	220.8	221.0	222.2	220.0	216.5	219.3	224.8	222.4
14	175.0	218.0	215.1	215.6	219.4	213.6	213.7	224.6	218.0
15	150.0	215.4	209.6	208.4	219.0	211.8	208.1	224.0	213.7
16	125.0	213.3	205.6	202.1	217.8	208.9	202.6	223.3	209.9
17	100.0	212.0	203.2	198.7	216.9	206.0	197.7	222.8	207.0
18	70.0	214.7	208.3	205.0	217.7	206.1	198.8	222.4	208.7
19	50.0	218.4	214.4	212.1	219.8	212.5	208.7	222.7	213.9
20	40.0	220.7	217.4	215.5	221.2	216.5	213.9	223.7	217.3
21	30.0	223.3	220.2	219.3	222.1	219.2	217.8	224.6	220.3
22	20.0	227.3	224.6	223.8	223.8	222.5	222.6	227.2	223.9
23	15.0	229.3	225.9	227.5	225.4	224.0	226.3	231.9	231.3
24	10.0	236.3	234.5	233.8	231.2	229.7	229.1	232.3	230.7
25	7.0	240.6	239.3	238.9	235.8	235.5	236.5	237.6	236.8
26	5.0	247.1	245.0	244.5	242.4	241.7	240.3	243.8	240.8
27	3.0	250.1	249.3	248.0	248.9	251.1	245.6	250.0	246.8
28	2.0	253.1	256.0	255.1	258.5	259.1	251.3	256.3	254.3
29	1.0	263.7	269.0	269.7	264.6	266.5	262.9	261.2	264.9
30	0.7	264.4	269.8	270.8	262.8	265.4	264.0	261.7	264.4
31	0.5	260.3	266.7	367.6	259.7	260.7	258.4	259.8	261.9
32	0.4	257.1	263.4	264.8	255.7	257.3	255.7	255.9	258.7
33	0.3	253.3	257.7	258.5	249.6	251.0	294.6	249.6	251.3

均値からとったものである。

(ii) 晴天放射初期値ファイル

このファイルには HIRS 1~19 チャンネル, AVHRR, と MSU 4 チャンネルの晴天放射が, ある基準走査角(天頂距離を  $\theta$  としたとき  $\mu=1/\cos\theta$  の値は衛星直下方向と最大走査角方向に対して各々 1~2 くらいの間値をとるが  $\mu=1.3$  付近のものを基準とする)に対して与え

られている。すなわち, ある  $\mu$  に対する晴天放射を

$$R(\mu) = R(\mu_r) + \gamma_1 \Delta\mu + \gamma_2 (\Delta\mu)^2 \quad (1)$$

$$\Delta\mu = \mu - \mu_r \quad (2)$$

で近似し, 本ファイルには  $R(\mu_r)$  と補正係数  $\gamma_1, \gamma_2$  の値が格納されている。 $\mu_r$  は基準走査角に対する  $\mu$  である。現在, これらの値は  $5 \times 5$  度の緯経度格子点上に与えられている。

**Table 2** The profiles of precipitable water (g/cm<sup>2</sup>) for eight model atmospheres same as Table 1.

Model	1	2	3	4	5	6	7	8	
Pressure (mb)									
1	1013.2	3.53	5.28	6.16	1.37	2.67	3.94	0.77	1.40
2	1000.0	3.39	5.05	5.90	1.32	2.56	3.76	0.74	1.34
3	900.0	2.43	3.44	4.11	0.97	1.78	2.54	0.57	0.92
4	850.0	2.01	2.81	3.38	0.82	1.44	2.06	0.50	0.73
5	800.0	1.63	2.27	2.76	0.69	1.17	1.68	0.44	0.57
6	700.0	1.04	1.42	1.76	0.49	0.77	1.06	0.35	0.36
7	600.0	0.63	0.81	1.04	0.37	0.50	0.61	0.29	0.25
8	500.0	0.36	0.42	0.55	0.28	0.31	0.33	0.25	0.17
9	400.0	0.20	0.22	0.25	0.20	0.19	0.18	0.19	0.12
10	350.0	0.16	0.16	0.17	0.16	0.16	0.14	0.15	0.11
11	300.0	0.12	0.12	0.12	0.12	0.12	0.12	0.12	0.11
12	250.0	0.09	0.09	0.09	0.09	0.09	0.09	0.09	0.09
13	200.0	0.07	0.07	0.07	0.07	0.07	0.07	0.07	0.07
14	175.0	0.06	0.06	0.06	0.06	0.06	0.06	0.06	0.06
15	150.0	0.04	0.04	0.04	0.04	0.04	0.04	0.04	0.04
16	125.0	0.03	0.03	0.03	0.03	0.03	0.03	0.03	0.03
17	100.0	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02

このファイルは2つの目的に使用される。1つは鉛直分布計算プログラムにおける HIRS の晴天放射計算においてその初期推定値として使われる。もう1つは同じく鉛直分布計算プログラムにおける鉛直温度、鉛直水蒸気、表面温度計算のうち、いわゆる初期値方式のとき（詳細は第6章参照）晴天放射の初期値として使われる。すなわち、初期値方式のときは求めるパラメーターを  $X$ 、晴天放射を  $R$  とすると

$$X - X^0 = A(R - R^0) \quad (3)$$

によって計算されるが、このうち  $R$  の初期推定値  $R^0$  として使われるわけである。 $X$  の初期推定値  $X^0$  は次に述べる鉛直分布初期値ファイルから持ってくる。なお、(3)式における  $A$  は定数マトリックスである。

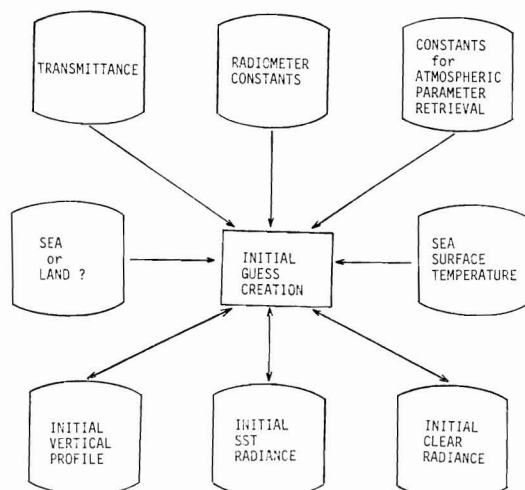
晴天放射計算に使われる表面温度、鉛直温度、鉛直水蒸気分布のデータは鉛直分布初期値ファイルのものを使う。なお、晴天放射計算は3つの走査角に対して行ない角度に対する補正係数を決定し、使うときはこの係数を使って角度補正を行なう。

なお、上で述べた鉛直分布計算における晴天放射計算、初期値方式による計算は、晴天放射初期値ファイルがなくても行うことができる。晴天放射初期推定値は8つのモデル大気に対して計算されたものが、TOVS 処理定

数ファイルの中に与えられており、晴天放射初期値ファイルがない場合には自動的にこれが使われることになっている。

(iii) 鉛直分布初期値ファイル

このファイルには Table 1, 2 に示すような33の気圧



**Fig. 1** The data files which are accessed by the program of initial guess creation program.

レベルに対する温度，可降水量（その気圧レベルから大気の上端までの水蒸気量），表面（海面または地面）温度，表面気圧などが格納される。このうち表面温度以外は本 TOVS 処理システム以外のプログラム（NMC 編集プログラム）によって，GTS 回線を通じて送られてくる米国 NMC の数値予報または解析値，あるいは本センター作成の GMSSA (GMS Standard Atmosphere) データなどを入力して作成する。表面温度は表面温度場ファイルから入力する。現在，鉛直分布初期値は  $5 \times 5$  度の緯経度格子点上に作られ，初期値更新プログラムでは，表面温度場ファイル上のデータを平均化してこの格子上に埋め込むだけである。

初期値更新プログラムがアクセスするファイルをまとめると Fig. 1 のようになる。

2. 理 論

2.1. 放射伝達式の基礎

衛星に届く放射は，地表および大気からの放射が途中大気によって減衰しながら直接届くものと，大気から下方に向った放射が，地表で反射され，再び上方に向うものがある。式に書くと

$$R(\mu) = \epsilon B(T_s) \tau(p_s, \mu) - \int_0^{p_s} B(T) \frac{\partial \tau(p, \mu)}{\partial p} dp + R_r \tau(p_s, \mu) \quad (4)$$

となる。ここで  $\epsilon$  は地表の射出率， $T, p, \tau(p, \mu), B$  は温度，気圧，衛星から  $p=p$  までの透過率，プランク関数である。添字  $s$  は地表での値である。 $R_r$  は大気から下方に向う放射が地表で反射されて衛星方向に向う成分を示す。 $R_r$  は形式的には

$$R_r = \int_{\pi} R_g(\omega) r(\omega, \mu) d\omega \quad (5)$$

と書ける。 $R_g(\omega)$  は天空の  $\omega$  という方向から地表に向う放射， $r(\omega, \mu)$  は  $\omega$  方向からやってきた光が，衛星の方向に向うときの光の反射率を示す。 $\pi$  は全天空方向を示す。

(5)式をみると  $R_r$  を計算するには，まずすべての方向から地表にやってくる放射  $R_g$  を計算しなければならないことが分る。 $R_g$  は形式的に

$$R_g(\omega) = - \int_{p_s}^0 B(T) \frac{\partial \tau'(p, \omega)}{\partial p} dp \quad (6)$$

と書ける。ここで  $\tau'(p, \omega)$  は  $\tau(p, \mu)$  と違って地表から  $p=p$  までの透過率である。

このように(5)式を計算するには膨大な時間がかかる。その上， $r(\omega, \mu)$  は地表を形成する物質の物性，形状などによって変わってくるがそれらはあらかじめ知ることができないので，(5)式を厳密に計算することはほとんど不可能であろう。しかし，赤外域においては反射率  $r$  の値はほとんどゼロに近い。 $r$  はだいたい  $r \sim 1 - \epsilon$  とおけ，赤外域においては，射出率  $\epsilon$  の値は Table 3, 4 に示す

Table 3 Emissivity values for Lake Ontario. From Davies et al. (1971).

Date (1969)	Local time	Site*	$T_a$ (°C)	$T_s$ (°C)	$T_r$ (°C)	Cloud Type	Amount (tenths)	Emissivity** $\epsilon$	Dock $\epsilon$ minus tower $\epsilon$
15 September	1430	D	-25.0	19.3	18.5	Ac Cu	4	0.977	
	1630	D	-20.5	20.5	19.7	Ac	4	0.976	
16 September	1240	D	-10.0	19.7	18.7	As Ac	9	0.961	
	22 September	1130	T	-23.0	13.9	13.2	Clear	0	0.977
25 September	1330	T	-23.0	15.8	14.9	Clear	0	0.972	
	1220	D	+7.0	15.0	14.7	Sc	10	0.961	
26 October	1660	D	0.0	9.4	9.3	As Ac	10	0.989	
	1650	D	-8.0	9.0	8.8	As Ac	9	0.987	
27 October	1230	D	-5.5	8.1	7.9	Sc	9	0.984	
	1350	D	-6.5	8.0	7.6	Sc	9	0.970	
28 October	1640	D	-7.5	6.7	6.4	Sc	10	0.977	
	1770	D	-5.5	7.7	7.4	Sc Ac	10	0.976	
28 October	1200	D	-25.0	8.0	7.0	Ac	1	0.964	
	1515	D	-25.0	8.0	7.0	Ac Cu	2	0.961	
3 November	1210	T	-20.0	8.8	8.3	Ac Sc	8	A 0.980	0.005
	1230	D	-12.0	9.8	9.5	Ac Sc	8	0.985	
4 November	1400	D	+1.5	10.5	10.3	As	10	B 0.977	0.009
	1410	T	-9.0	8.0	7.5	As	10	0.968	
4 November	1505	D	+8.0	10.1	10.0	As	10	C 0.952	-0.020
	1520	T	0.0	7.5	7.3	As	10	0.972	
5 November	1025	T	-7.0	8.0	7.5	As Ac	9	D 0.964	0.004
	1040	D	0.0	9.8	9.5	As Ac	10	0.968	
5 November	1330	D	-8.0	9.5	9.0	As Ac	9	0.969	
	1610	D	-20.0	9.5	9.0	As Ac	9	0.980	
5 November	1010	D	-15.0	7.5	7.0	Ac Cu	9	0.975	
	1315	D	-20.0	8.0	7.5	Cc Ac Cu	4	0.979	
	1505	D	-2.0	10.0	9.5	As Sc	10	0.956	

Table 4 Emissivities at  $\lambda=5 \mu\text{m}$  in 33-37°C range. From Vlcek (1962).

Material ( $\omega = \% \text{ moisture content by weight}$ )	Origin & surface condition	Emissivity at $\lambda = 5 \mu\text{m}$	St. error of emissivity value
Loamy sand	glacio fluvial, forest nursery	0.94	$\pm 0.02$
$\omega = 0.1\%$	glacio fluvial, forest nursery		
$\omega = 0.5\%$	glacio fluvial, forest nursery	0.95	0.03
$\omega = 1.0\%$	glacio fluvial, forest nursery	0.94	0.03
$\omega = 5.3\%$	glacio fluvial, forest nursery	0.96	0.02
$\omega = 6.0\%$	glacio fluvial, forest nursery	0.96	0.01
$\omega = 6.6\%$	glacio fluvial, forest nursery	0.95	0.03
$\omega = 11.2\%$	glacio fluvial, forest nursery	0.96	0.02
$\omega = 14.8\%$	glacio fluvial, forest nursery	0.96	0.02
$\omega = 21.7\%$	glacio fluvial, forest nursery	0.96	0.01
Clay-silt loam	glacio-lucustine forest nursery		
$\omega = 1.1\%$	glacio-lucustine forest nursery	0.93	0.04
$\omega = 1.3\%$	glacio-lucustine forest nursery	0.94	0.04
$\omega = 4.3\%$	glacio-lucustine forest nursery	0.93	0.02
$\omega = 7.0\%$	glacio-lucustine forest nursery	0.96	0.02
$\omega = 9.7\%$	glacio-lucustine forest nursery	0.93	0.03
$\omega = 14.8\%$	glacio-lucustine forest nursery	0.96	0.01
$\omega = 16.7\%$	glacio-lucustine forest nursery	0.96	0.01
Silt loam	forest nursery		
$\omega = 1.10\%$		0.92	0.02
Organic soil	nursery mixture 50% peat moss	0.89	0.04
Mulch	Cellulose base	0.84	0.04
Limestone	natural surface	0.94	0.02
Siltstone	natural surface	0.94	0.02
Granite	natural surface	0.96	0.02
Quartz	granular, horticultural grade	0.97	0.02
Plywood	commercial, smooth finish, dry	0.82	0.06
Filter paper	chemical (white)	0.94	0.05
Cardboard paper	box	0.84	0.05
White paper	Xerox copy type	0.83	0.05
Wood	polished spruce, dry	0.87	0.02
Wood	varnished	0.90	0.02
Wood paneling	light finish	0.88	0.03
Styrofoam	insulation type	0.60	0.05
Plastic	acrylic, new, shiny surface	0.96	0.02
Plastic	acrylic, sanded, opaque surface	0.93	0.02
Glass	chemical ware	0.96	0.02
Concrete	dry	0.93	0.02
Mortar	dry	0.92	0.02
Brick	masonry	0.90	0.02
Floor tile	asbestos type	0.95	0.02
Tape	electrical, insulating, black	0.96	0.02
Tape	masking	0.90	0.03
Rubber	stopper, black	0.96	0.02
Oil	motor	0.96	0.02
Paint	Krylon, ultra-flat black	0.96	0.01
Sugar	granular	0.96	0.01
Sandpaper	ordinary	0.95	0.03
Poplar leaf	upper side	0.95	0.02
(white poplar)	under side	0.89	0.07
Birch leaf	upper side	0.96	0.02
(white birch)	under side	0.92	0.03
Pine needles	red pine	0.96	0.02

ように、地表でも海面でもほぼ1に近いからである。このような理由から第1, 6章では(4)式の第3項を除いた次の式が使われていたわけである。

$$R(\mu) = \epsilon B(T_s) \tau(p_s, \mu) - \int_0^{p_s} B(T) \frac{\partial \tau(p, \mu)}{\partial p} dp \quad (7)$$

本節でもこの式に従って晴天放射量を計算することにするが、この近似はマイクロ波の、とくに海上での晴天

放射計算で大きな誤差が生ずる。なぜなら海面でのマイクロ波の射出率は0.5くらいのオーダーの値だからである。したがって晴天放射初期値ファイルが、HIRSの晴天放射計算の初期推定値としてのみ使われている限り、問題はないのだが、鉛直分布計算を初期値方式にし、かつマイクロ波チャンネルを使うようなケースは現在のままでは不適當で、今後改良する必要がある。

2.2. 放射伝達式の波数平均

放射計が観測する放射量は、そのチャンネルのフィルタ一の応答関数の重み付きで平均された放射が実際のものである。すなわち、あるチャンネル*i*の観測放射量  $R_i(\mu)$  は

$$R_i(\mu) = \int_{\nu_i - \Delta\nu}^{\nu_i + \Delta\nu} \phi_i(\nu) \varepsilon_i B_\nu(T_s) \tau_\nu(p_s, \mu) d\nu - \int_{\nu_i - \Delta\nu}^{\nu_i + \Delta\nu} \phi_i(\nu) d\nu \int_0^{p_s} B_\nu(T) \frac{\partial \tau_\nu(p, \mu)}{\partial p} dp \quad (8)$$

となる。ここで  $\nu_i$  はそのチャンネルの中心波数、 $\phi_i(\nu)$  は規格化されたフィルタ一の応答関数である。 $\Delta\nu$  は  $\phi_i(\nu)$  が充分ゼロに近い値をとる範囲までをとる。

(8)式のような波数積分をその都度行なっていたのでは膨大な計算時間がかかる。幸い  $\phi_i(\nu)$  は一般的に  $\nu_i$  を中心にしておおむね対称な関数形をしており、 $\varepsilon_i, B_\nu$  は  $\nu_i - \Delta\nu$  から  $\nu_i + \Delta\nu$  の範囲でほぼ一定もしくは単調に変化する関数である。そこで(8)式を次のように近似する。

$$R_i(\mu) = \varepsilon_i B_i(T_s) \tau_i(p_s, \mu) - \int_0^{p_s} B_i(T) \frac{\partial \tau_i(p, \mu)}{\partial p} dp, \quad (9)$$

$$\varepsilon_i = \int_{\nu_i - \Delta\nu}^{\nu_i + \Delta\nu} \phi_i(\nu) \varepsilon_i d\nu, \quad (10)$$

$$B_i(T) = \int_{\nu_i - \Delta\nu}^{\nu_i + \Delta\nu} \phi_i(\nu) B_\nu(T) d\nu, \quad (11)$$

$$\tau_i(p, \mu) = \int_{\nu_i - \Delta\nu}^{\nu_i + \Delta\nu} \phi_i(\nu) \tau_\nu(p, \mu) d\nu. \quad (12)$$

各チャンネルの地表放射率  $\varepsilon_i$  については、海、陸に分けて XR 変換係数ファイルに格納されている。

プランク関数の平均値  $B_i(T)$  は次のように与える。

(a) HIRS チャンネルの場合 (バンド補正方式)

(11)式で与えられる  $B_i(T)$  は温度  $T$  のある波数のプランクの関数に等しいはずである。あるいは、波数  $\nu_i$  を固定すればある温度  $T^*$  のプランク関数に等しい。ここでは後者の方法を使うと  $T^*$  は次のように近似的に与えられる (Lauritson et al., 1979 による)

$$T^* = e_1 + e_2 T \quad (13)$$

( $e_1, e_2$  は各チャンネル毎に異なるが、 $e_2$  はほとんど1に等しい値であり、 $e_1$  はゼロに近い値である)。すると  $B_i(T)$  は

$$B_i(T) = B(\nu_i, T^*) \quad (14)$$

ここに  $B$  はすでに述べたようにプランクの関数で

$$B(\nu, T) = \frac{c_1 \nu^3}{\exp\left(\frac{c_2 \nu}{T}\right) - 1} \quad (15)$$

$$c_1 = 1.1910659 \times 10^{-5} \text{ mW}/(\text{m}^2 \text{ sr cm}^{-4})$$

$$c_2 = 1.438833 \text{ cmK}$$

ただし、 $\nu$  は波数 ( $\text{cm}^{-1}$ )、 $T$  は絶対温度 ( $^\circ\text{K}$ ) 単位である。

(b) MSU チャンネルの場合

MSU の各チャンネルの応答関数の帯域幅は非常に狭いので  $T^* = T$  としてよい。すなわちこの場合には

$$B_i(T) = B(\nu_i, T) \quad (16)$$

とする。

(c) AVHRR チャンネルの場合

AVHRR の赤外チャンネルの応答関数は非常に幅が広い。そのため、HIRS のようなバンド補正方式では精度が悪い。そこでこの場合にはいくつかの温度について(11)を数値積分し  $T$  と  $B'$  のテーブルを作っておき、そのテーブルから実際の温度での  $B'$  の値を内挿するという方式をとる。現在は 120~375 $^\circ\text{K}$  くらいの間を 1.5 $^\circ\text{C}$  おきにテーブルを作り、一次補間による内挿を行なっている。このテーブルは TOVS 処理定数ファイルに格納されている。

2.3. 透過関数に対する水蒸気補正

第6章に述べられているように、大気の透過率を決定するものは  $\text{H}_2\text{O}, \text{CO}_2, \text{O}_3, \text{N}_2\text{O}, \text{CH}_4, \text{CO}, \text{N}_2$ 、温度、などの鉛直分布である。このうち、 $\text{H}_2\text{O}$  と温度を除いて他の分布は比較的、場所、季節を問わず一定である。本システムでは  $\text{H}_2\text{O}$  と温度による透過率の違いの効果を取り入れるため、すでに Table 1, 2 で示したような8つの代表的な大気モデルに対する透過率を XR 変換係数ファイル中に与えている。

Fig. 2 は中程度の大気 (モデル大気1)、最も暑く、水蒸気量も多い大気 (モデル大気3)、最も冷く、水蒸気量も少ない大気 (モデル大気7) に対する HIRS 4, 6, 8 チャンネルの透過関数を示している。各モデル大気に対する透過関数は、各チャンネルともかなり異なっているが、このうち、だいたい 300 mb 以下の下層大気での違いは各モデル大気中の水蒸気量の違いに起因するところが大きい。しかし 300 mb 以上の上層ではどのモデル大気でも水蒸気はほとんど含まれていないから、この違い



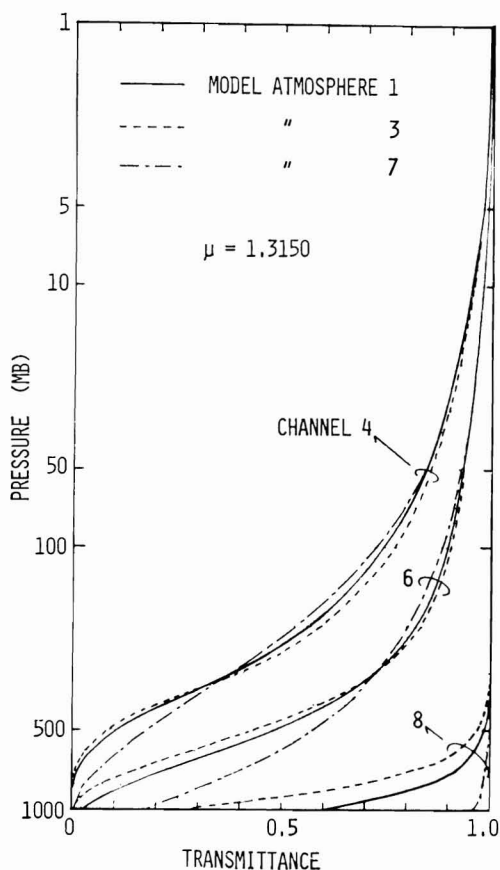


Fig. 2 Comparisons of the transmission function for three model atmospheres shown in Tables 1 and 2.

は主として温度の違いから来るものである。温度による違いは水蒸気量から来る違いよりも小さいといえよう。このように水蒸気量による違いは大きいので、単にモデル大気毎に透過関数を与えるだけでは充分でない。そこで、水蒸気量についてだけはその都度、透過関数を補正するのが望ましい。

幸い大気の透過率  $\tau$  は比較的よい近似で次のように各気体成分毎の透過率の積で表わせる (Goody, 1964) :

$$\tau = \tau_{H_2O} \cdot \tau_{CO_2} \cdot \tau_{O_3} \cdot \tau_{N_2O} \dots \quad (17)$$

ここで  $\tau_g$  は  $g$  なる気体のみの透過率である。今  $H_2O$  以外の成分による透過率を  $\tau_{dry}$  と書くと

$$\tau = \tau_{H_2O} \cdot \tau_{dry} \quad (18)$$

$$\tau_{dry} = \tau_{CO_2} \cdot \tau_{O_3} \cdot \tau_{N_2O} \dots \quad (19)$$

となる。大気の上端から各気圧レベルまでの可降水量を

$u(p)$  とすると、 $\tau_{H_2O}$  は  $u$  とともに小さくなる関数だから形式的に次のように書ける。

$$\tau_{H_2O}(p) = \exp(-k(p)u(p)) \quad (20)$$

さて、XR 変換係数ファイルには8つのモデルに対する  $\tau$  ( $=\tau_{H_2O} \cdot \tau_{dry}$ ) と  $\tau_{H_2O}$  の値が格納されている。今、晴天放射を計算しようとしている大気に最も近いモデル大気の  $\tau$ 、 $\tau_{H_2O}$  をそれぞれ、 $\tau^0$ 、 $\tau_{H_2O}^0$  と表わすことにしよう。また、このモデル大気の可降水量を  $u^0(p)$  と書き、 $u^0(p)$  と  $u(p)$  に対する(20)式中の  $k(p)$  は等しいと仮定すると

$$k(p) = -\frac{\ln(\tau_{H_2O}^0(p))}{u^0(p)} \quad (21)$$

となる。するとこの大気に対する透過率は、

$$\begin{aligned} \tau(p) &= \tau_{dry}^0(p) \cdot \exp\{-k(p)u(p)\} \\ &= \tau_{dry}^0(p) \cdot \exp\{-k(p)[u^0(p) + u(p) - u^0(p)]\} \end{aligned}$$

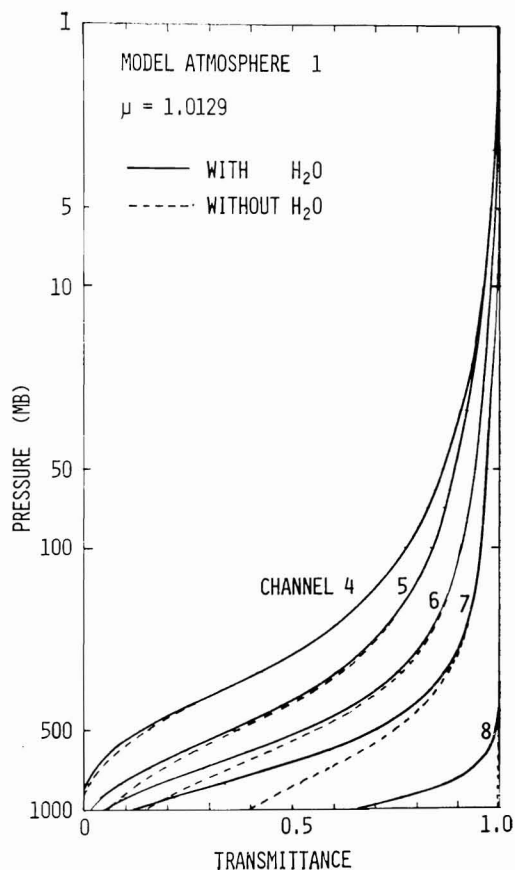


Fig. 3 The transmission functions of five HIRS channels for the atmospheres with and without water vapor.

$$= \tau^0(p) \exp \left\{ \frac{\ln(\tau^0_{H_2O})}{u^0(p)} [u(p) - u^0(p)] \right\} \quad (22)$$

となる。ここで  $\tau_{dry}^0(p)$  は上記モデル大気に対する  $\tau_{dry}$  である。

Fig. 3 は HIRS の 4 から 8 チャンネルに対する  $\tau^0$  と  $\tau_{dry}^0$  の違いを示したもので 4 から 8 チャンネルにゆくほど  $H_2O$  の効果が大きくなり、8 チャンネルではほとんど

$$\tau \approx \tau_{H_2O}$$

であることが分る。ただしこの図はモデル大気 1,  $\mu = 1.0129$  についてのものであり、 $H_2O$  の効果は、モデル大気、また  $\mu$  によっても異なってくる。

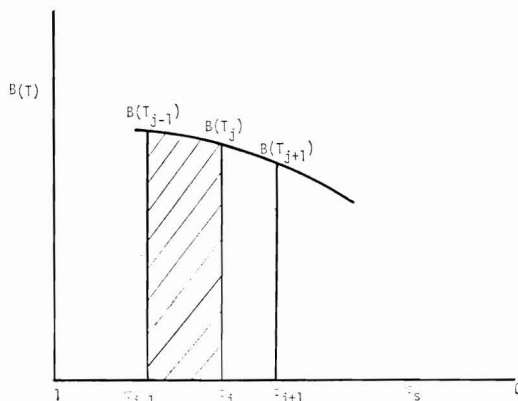


Fig. 4 An illustration to show the method to obtain the integral of Planck function between  $\tau_{j-1}$  and  $\tau_j$ .

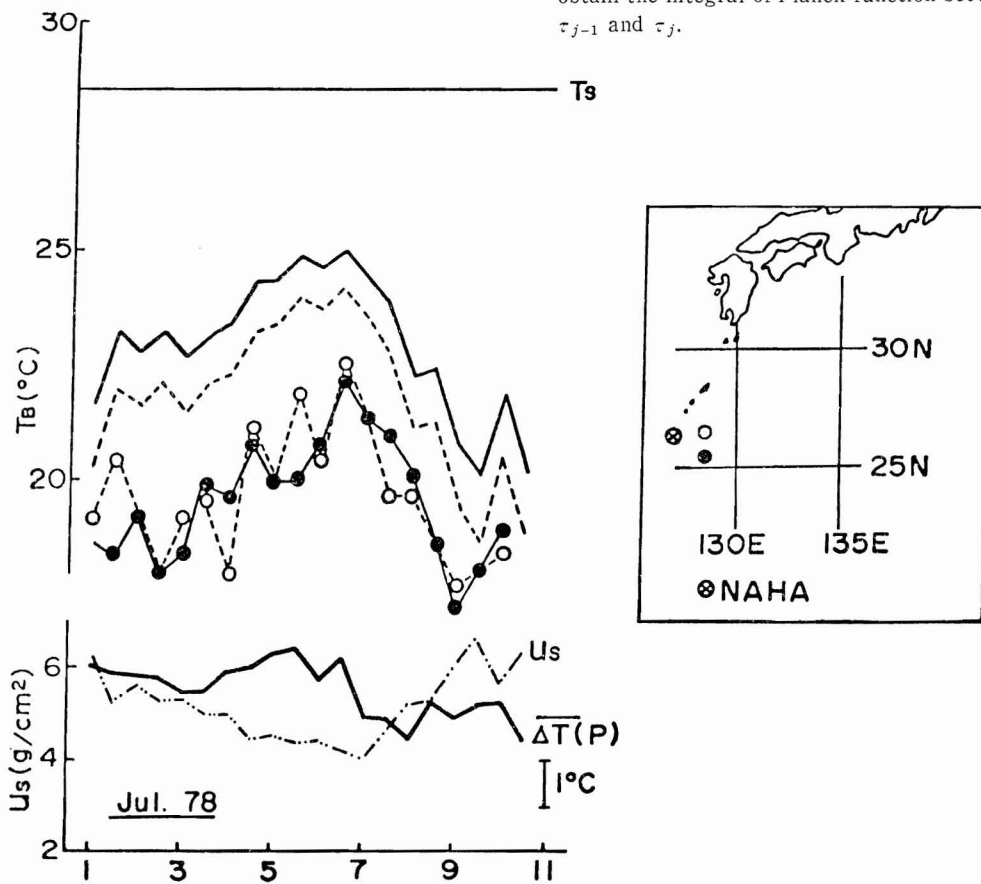


Fig. 5 The comparison between the theoretical brightness temperature (dashed and solid lines; the former is for small absorption coefficient and the latter is for large absorption coefficient of  $H_2O$ ), and the satellite observed ones (the white and solid circles) on July 1978, over low latitudinal ocean. The precipitable water,  $U_s$ , and mean atmospheric temperature,  $\overline{\Delta T}(p)$ , were obtained from nearby radiosonde observations at the station shown by  $\otimes$ . The area where the observed brightness temperatures are obtained are shown in the upper right part of the figure. From Aoki and Inoue (1982).

2.4. 放射伝達式の計算

(9)式における  $\epsilon_i$ ,  $B_i$ ,  $\tau_i$  などがこのようにして与えられると、あと必要なことは(9)式の第2項の積分の計算である。第2項は大気を  $N$  個の層に分割すると

$$\int_0^{p_s} B_i(T) \frac{\partial \tau}{\partial p} dp = \int_1^{\tau_s} B_i(T) d\tau = \sum_{j=1}^N \int_{\tau_{j-1}}^{\tau_j} B_i(T) d\tau \quad (23)$$

となる。本システムでは  $[\tau_{j-1}, B_i(T_{j-1})]$ ,  $[\tau_j, B_i(T_j)]$ ,  $[\tau_{j+1}, B_i(T_{j+1})]$  の3点を使って、 $B_i(T)$  を  $\tau$  の2次式で近似し、 $\tau_{j-1}$  から  $\tau_j$  の間の積分を解析的に行なっている (Fig.4 参照)。(ただし、 $\tau$  の添字  $i$  は省略した)。

$B_i(T)$  を  $\tau_{j-1}$  から  $\tau_{j+1}$  の間で

$$B_i(T) = a\tau^2 + b\tau + c \quad (24)$$

のように表わすと

$$\begin{aligned} & \sum_{j=1}^N \int_{\tau_{j-1}}^{\tau_j} B_i(T) d\tau \\ &= \sum_{j=1}^N \int_{\tau_{j-1}}^{\tau_j} [a_j\tau^2 + b_j\tau + c_j] d\tau \\ &= \sum_{j=1}^N \left\{ \left( \frac{a_j}{3} \tau_j^3 + \frac{b_j}{2} \tau_j^2 + c_j \tau_j \right) - \left( \frac{a_j}{3} \tau_{j-1}^3 + \frac{b_j}{2} \tau_{j-1}^2 + c_j \tau_{j-1} \right) \right\} \quad (25) \end{aligned}$$

となる。ここで  $a_j$ ,  $b_j$ ,  $c_j$  は  $j-1, j, j+1$  の3つのレベルの  $\tau$ ,  $B_i(T)$  を使って決定された2次式の係数である。

2.5. 晴天放射量のバイアス補正

ラジオゾンデによって測定された温度からプランクの関数を計算し、これまで述べたような手法で晴天放射を計算したものと、衛星によって観測された晴天放射を比

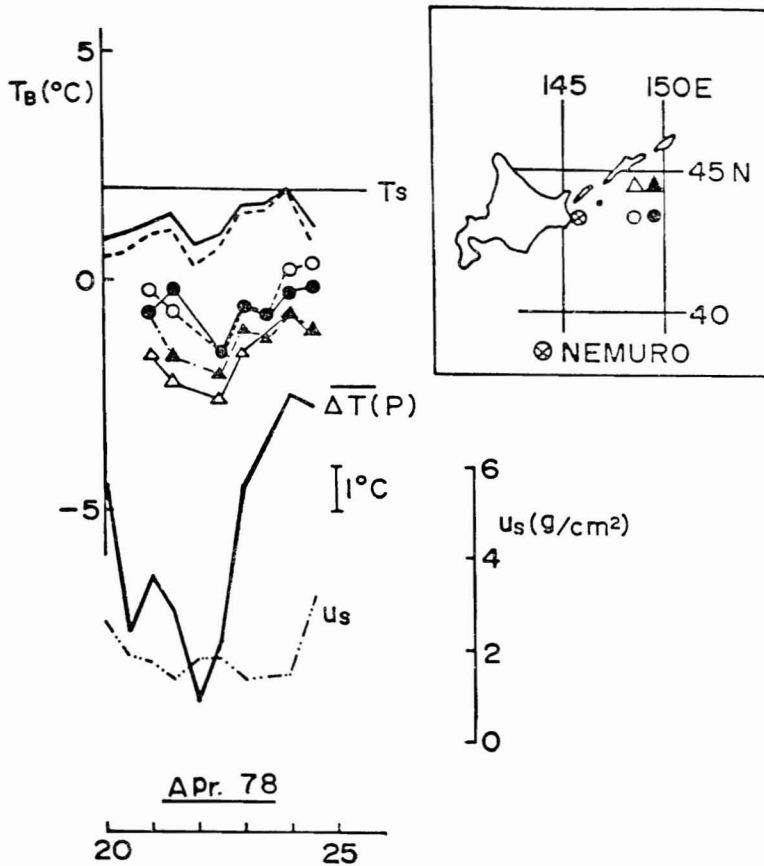


Fig.5.6 As in Fig. 5 except for the high latitudinal ocean in April 1978.

較してみるとなかなかうまく一致しない。それも研究者によって多少の違いはあれ、バイアス的な差をもってることが何人かの研究者によって報告されている。(Shen and Smith, 1971; Wark, 1972; Weinreb and Fleming, 1974; Aoki and Inoue, 1982)。Fig. 5, 6 は GMS-I 赤外チャンネルの放射輝度温度の観測値(白および黒丸印)と理論値(実線および鎖線)の比較である。図の下側には海面での可降水量( $u_s$ )と平均気温の初期値からの差( $\Delta T(p)$ )もプロットされている。Fig. 5 は 1978年7月の那覇付近での比較, Fig. 6 は 1978年4月の根室付近での比較である。実線は水蒸気の吸収係数として, Roberts et al. (1976) が与えた値のうち最も小さいもの, 鎖線は最も大きい値と思われるものを使った場合の結果である。Fig. 5 も Fig. 6 の場合もいずれも理論値と観測値の間には  $2.8^{\circ}\text{C}$  くらいの開きがある。このようなバイアス的な差が生ずる主たる原因的として考えられるのは

- (1) キャリブレーション誤差等の観測誤差
- (2) 透過関数の誤差等の計算誤差
- (3) ソンデデータの誤差
- (4) 透過関数計算に考慮されていない吸収物質の存在などがあると思われるが, まだそれは明らかにされていない。

本システムでもその原因は問わないで, 統計的に現れたバイアス量を各角度毎に補正することにしてはいる。このとき(9)式は

$$R_i(\mu) = \varepsilon_i B_i(T_s) \tau_i(p_s) - \int_0^{p_s} B_i(T) \frac{\partial \tau_i}{\partial p} dp + \beta_i(\mu) \quad (26)$$

となる。 $\beta_i$  は上述の補正項で, XR 変換係数ファイルのヘッダー部に海陸について, 3つの角度についての値が格納されている。

### 2.6. 晴天放射量の天頂角補正

水平方向に温度や水蒸気の分布が一様であっても, それを垂直に見た場合と斜めに見た場合では放射量が異なってくる。このため, XR 変換係数ファイルには3つの角度  $\mu = \mu_1, \mu_r, \mu_2$  に対しての透過関数が格納されている。Fig. 5 に  $\mu = 1.0129$  と  $1.8189$  に対する透過関数を HIRS チャンネル 4, 6, 8 について示す。本システムではこの3つの透過関数に対して晴天放射を計算し, 以下のような角度補正式を作る。

第10章で述べるように, 晴天放射量は  $\mu$  に関してはほぼ線形に近い変化をする。そこである角度  $\mu$  に対す

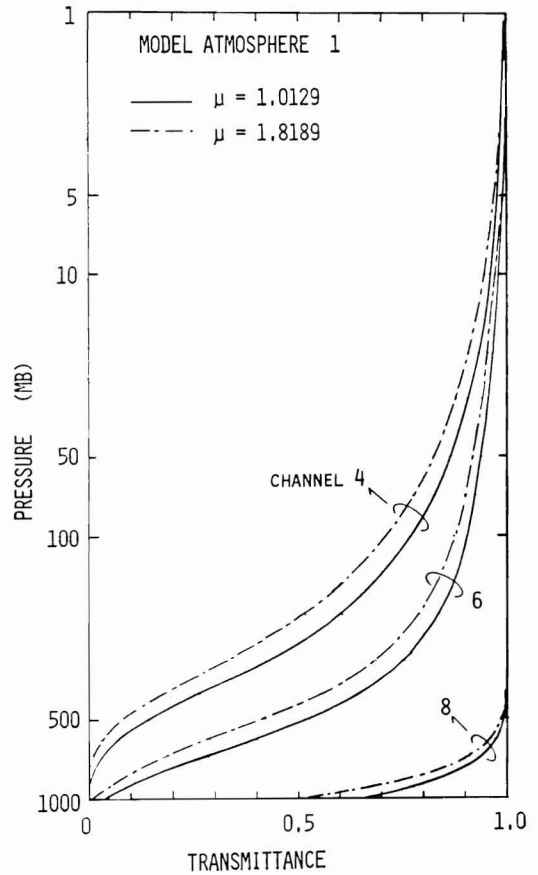


Fig. 7 Comparison of the HIRS channel transmission function for two values of  $\mu$ . A case for model atmosphere 1.

る晴天放射量を(1)式のように近似する。(1)式の  $\gamma_1$  と  $\gamma_2$  の値は3つの角度に対する(26)式による晴天放射  $R(\mu_1), R(\mu_r), R(\mu_2)$  から次のようにして決める。まず

$$R(\mu_1) = R(\mu_r) + \gamma_1 \Delta \mu_1 + \gamma_2 (\Delta \mu_1)^2 \quad (27)$$

$$R(\mu_2) = R(\mu_r) + \gamma_1 \Delta \mu_2 + \gamma_2 (\Delta \mu_2)^2 \quad (28)$$

$$\Delta \mu_1 = \mu_1 - \mu_r, \quad \Delta \mu_2 = \mu_2 - \mu_r \quad (29)$$

となるから, これより

$$\gamma_1 = \frac{\Delta R_1 (\Delta \mu_2)^2 - \Delta R_2 (\Delta \mu_1)^2}{\Delta \mu_1 (\Delta \mu_2)^2 - \Delta \mu_2 (\Delta \mu_1)^2}, \quad (30)$$

$$\gamma_2 = \frac{\Delta \mu_1 \Delta R_2 - \Delta \mu_2 \Delta R_1}{\Delta \mu_1 (\Delta \mu_2)^2 - \Delta \mu_2 (\Delta \mu_1)^2} \quad (31)$$

として求める。ただし

$$\Delta R_1 = R(\mu_1) - R(\mu_r) \quad (32)$$

$$\Delta R_2 = R(\mu_2) - R(\mu_r) \quad (33)$$

晴天放射初期値ファイルには上記の  $R(\mu_r)$  と  $\gamma_1, \gamma_2$  の値が各チャンネル毎に各格子点上に格納される。

### 引用文献

- Aoki, T. and T. Inoue, 1982: Estimation of the precipitable water from the IR channel of the geostationary satellite, *Remote Sens. Environ.*, **12**, 219-228.
- Davies, J. A., P. J. Robinson and M. Nunez, 1971: Field determination of surface emissivity and temperature for Lake Ontario, *J. Appl. Meteor.*, **10**, 711-819.
- Goody, R. M., 1964: *Atmospheric radiation I; Theoretical basis*, Oxford Univ. Press.
- Lauritson, L., G. J. Nelson and F. W. Porto, 1979: Data extraction and calibration of TIROS-N/NOAA radiometers, NOAA Tech. Memo. NESS 107.
- Shen, W. C and W. L. Smith, 1971: On the discrepancy between calculated and observed Nimbus II 6.7  $\mu\text{m}$  water vapor radiation, *J. Appl. Meteor.*, **10**, 575-581.
- Vlcek, J., 1982: A field method for determination of emissivity with imaging radiometers, *Photo. Engin. Remote Sens.*, **48**, 609-614.
- Wark, D. Q., 1972: Atmospheric transmittances used in indirect soundings of the earth's atmosphere, *Proc. International Radiation Symposium*, Sendai, Japan.
- Weinreb, M. P. and H. E. Fleming, 1974: Empirical radiance corrections: A technique to improve satellite sounding of atmospheric temperature, *Geophys Res. Lett.* **1**, 298-301.

## 9. 係数決定用データの作成

### On the Data Compilation for the Determination of the Regression Coefficient

中 島 忍, 青 木 忠 生

Shinobu Nakajima and Tadao Aoki

#### Abstract

The regression coefficient for the calculation of the meteorological parameters such as the vertical temperature and moisture is determined from the coincident data of radiance and sonde or ship data. In this article the procedure of the compilation of these coincident data is described.

#### 1. はじめに

本処理では、鉛直分布算出に必要な鉛直分布算出係数や表面温度算出係数を作成するのに必要なデータの作成を行なう。

鉛直分布算出係数を作成するのに必要なデータとしては、高層観測所で観測されたゾンデデータ（指定気圧面の温度、露点差）と、その時刻に近い衛星の観測データである。

また、表面温度算出係数を作成する場合は、気象庁海洋気象部海洋課で作成された海況旬報のデータと、衛星のデータが必要である。オゾン算出係数の場合は、オゾン観測を行なっている観測所のデータと衛星での観測データが必要である。これらの気象要素のデータは、気象報ファイルや海況旬報ファイル等により抽出編集され、また、衛星の観測データも、観測毎に TOVS データファイル、部分雲量ファイルより抽出累積される。このようにして抽出編集された気象要素と衛星データを組にして係数決定に使用されるそれぞれの高層資料輝度温度分類ファイルが作成される。

これらの一連の処理を行なうのが係数決定用データ作成処理である。

Fig. 1 に本処理の処理フローを示す。

#### 2. 高層データの抽出・編集

##### 2.1 高層データの抽出

高層データ抽出処理は、ADESS を通じて気象衛星セ

ンターに送られてくる気象報データのうち TEMP-地上高層実況気象通報式、TEMP SHIP-海上高層実況気象通報式のデータのみを抽出し、高層資料累積ファイル (Sonde data File) に出力する処理であり、高層データ抽出 (Upper data Extraction) プログラムによって行なわれる。この場合、A部、C部のみのデータを抽出する。

入力する気象報データファイル (Meteorological data File) は、磁気テープで1巻に21日分がマルチファイルとして格納されており、これらのファイルより、TEMP、TEMP SHIP のデータのみを抽出し、シングルファイルとして、磁気テープに出力する。

この処理で作成される磁気テープ1巻には、約6ヶ月分のデータが格納され、これが次節の高層資料データ編集処理の入力データになる。

##### 2.2 高層資料データの編集

本処理は、2.1節で作成された高層資料累積ファイルを入力し、デコードを行なって、編集済み高層資料累積ファイル (Vertical Profile data File) をディスクに作成することを目的とし、高層資料データ編集 (Vertical Profile Editing) プログラムによって行なわれる。

高層資料累積ファイルには、気象衛星センターに送られてくるすべての TEMP、TEMP SHIP のA部、C部のデータが格納されているが、このうち指定された地点のみの TEMP データを取り出して、1000 mb から 10 mb までの指定気圧面の温度、露点差および地上気圧等のデコードを行なう。

TEMP データの A部 (TTAA)、C部 (TTCC) の通

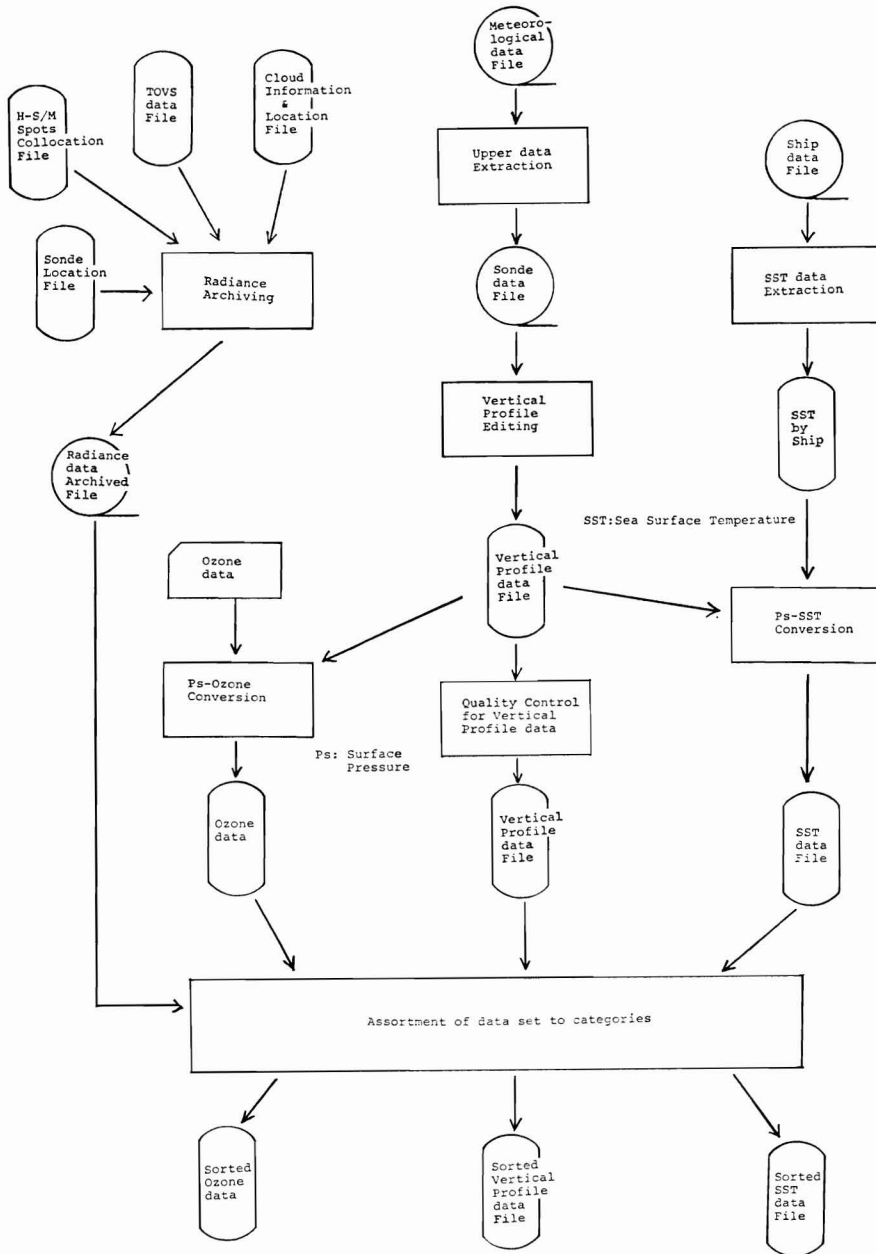


Fig. 1 Flow diagram of sorting the coincident data of radiance and sonde or ship data for the regression coefficient determination.

報式およびその内容を付録Aに示す。

TEMP データのA部には、地上の気圧、気温、露点差、風向、風速、1000 mb から 100 mb までの各指定気圧面の高度、温度、露点差、風向、風速および圏界面の気圧、温度、露点差、風向、風速の資料が報じられている。このうち、地上気圧、1000 mb から 100 mb までで

観測された指定気圧面の温度、露点差のみをデコードする。

TEMP データのC部には、100 mb を超える上層の指定気圧面の高度、温度、露点差、風向、風速が報じられているがこのうち温度、露点差のみをデコードする。

なお、温度については、 $^{\circ}\text{C}$  より絶対温度 ( $^{\circ}\text{K}$ ) に直

して格納する。

編集済み高層資料累積ファイルを新規に作成する場合は、累積を開始する時刻およびどのくらいの期間の高層データを累積するのか、その累積期間を指定する必要がある。

高層資料累積ファイルを入力し、まず高層資料データが累積期間内のデータでしかも指定されている地点のデータであれば、それをデコードして編集済み高層資料累積ファイルへ格納する。

現在、編集済み高層資料累積ファイルには、1年分のデータが格納できるようになっている。

### 2.3. 編集済み高層資料データのチェック

2.2 節で作成された編集済み高層資料データは、単にデコードされたのみであり、場合によっては、電文化けのようなものも含まれている可能性がある。

そこで、編集済み高層資料累積ファイルに格納されている地上気圧、各指定気圧面の温度、露点差のデータに対して以下に述べるような方法によるチェックを行ない不良データに対しては、データ欠となるようにし、正常なデータのみを編集済み高層資料累積ファイルに残すようにするのが本処理である。この処理は、高層資料データチェック (Quality Control for Vertical Profile data) プログラムによって行なわれ、そのチェックの方法は、

地上の気圧については、上限値および下限値を設定しておき、この範囲外であればエラーとする。

各指定気圧面の温度については次のようにする。まず最下層の 1000 mb の温度について、やはり上限値、下限値を設定しておき、この範囲内であるかどうかを調べ、範囲外であればエラーとする。

次に、1000 mb から 10 mb までの指定気圧面の温度については、各指定面とその上方の指定面の温度間において断熱減率を考慮した次式のような関係式を考える。

$$T_i \cdot A(i) \leq T_{i+1} \leq T_i + B(i) \quad (i=1, \dots, 14) \quad (1)$$

ただし

$T_i$ : 指定気圧面  $i$  の温度

$T_{i+1}$ : 指定気圧面  $i+1$  の温度

$P_i$ : 指定気圧面  $i$  の気圧

$P_{i+1}$ : 指定気圧面  $i+1$  の気圧

$$A(i) = \left( \frac{P_{i+1}}{P_i} \right)^{0.2857}$$

$B(i)$ : 指定気圧面  $i$  に対する許容限界値

通常  $B(i)$  は、 $10^\circ$  あるいは  $15^\circ$  を採用

この (1) 式を満足する  $T_i, T_{i+1}$  は、正しいデータとみなし、そうでないときエラーであるとみなす。

各指定気圧面の露点差については、上限値、下限値を設定してその範囲内に入っているかどうかを調べ、範囲外であればエラーとする。

これらの各チェックのうちいずれかが、エラーとなった場合、このときの高層資料データはエラーとみなして 0 をセットし、使用しないようにする。エラーの要素のみを使用しないようにすればよいのであるができるだけ疑いデータを使用しないという思想のもとにこのデータすべてを使用しないようにする。

## 3. 海面温度データの抽出・編集

### 3.1 海面温度データの抽出

2 節で述べた編集済み高層資料累積ファイルのうち地上気圧に該当する領域に、海面温度のデータを格納したファイルの作成を行なうため気象庁海洋気象部海洋課で作成される海況旬報ファイル (Ship data File) の磁気テープより指定されている地点の海面温度の抽出を行なうのが本処理であり、海面温度データ抽出 (SST data Extraction) プログラムによって行なわれる。ここで抽出された海面温度データは 3.2 節の処理の入力データになる。

海況旬報ファイルに格納されている海面温度は、 $1^\circ \times 1^\circ$  の格子点での旬平均の値である。

そこで、あらかじめカードによって指定されている地点に最も近い格子点を捜し、海面温度の抽出を行なう。海面温度のデータは、旬平均値であるので、データの時刻としては、旬の中間の日、すなわち 5 日、15 日、25 日のデータであるとして出力する。

### 3.2 海面温度データの編集

3.1 節で抽出された海面温度データを使って編集済み高層資料累積ファイル内の地上気圧の項目のかわりに、海面温度の値を入れる処理を行なうのが海面温度データ編集処理であり、表面気圧-海面温度差しかえ ( $P_s$ -SST Conversion) プログラムによって行なわれる。

海面温度データは、旬単位で 1 個しかないので、旬単位のデータより時間内挿を行なって求める。時間内挿は、旬単位で与えられた値を直線で行なう。

すなわち、以下のようにして求める。今、ある指定地点における海面温度の連続した旬の値を  $T_i, T_{i+1}$ 、その時刻を  $t_i, t_{i+1}$  とすると、

$$t_i \leq t \leq t_{i+1} \text{ なる時刻 } t \text{ における海面温度 } T \text{ は、}$$



$$T = \frac{T_{i+1} - T_i}{t_{i+1} - t_i} \cdot (t - t_i) + T_i$$

で表わせる。

ここで作成された編集済み高層資料累積ファイルは、表面温度算出係数の決定用データを作成するのに使用される。

#### 4. オゾンデータの編集

本処理は編集済み高層資料累積ファイルを一度コピーし、そのファイル内の地上気圧に該当する領域にオゾン量を編集する処理であり、表面気圧—オゾン量差し換え ( $P_s$ -Ozone Conversion) プログラムによって行なわれる。

オゾン観測地点で観測されたオゾン量をカードより入力し、その観測地点と一致する、編集済み高層資料累積ファイルの地点を捜し、地上気圧に該当する領域にオゾン量を入れる。ここで作成されたオゾンデータは衛星データとのマッチングするのに利用される。

オゾン観測地点としては、札幌、館野、鹿児島、那覇の4地点を利用している。

#### 5. 衛星データの抽出

2節から4節においては、鉛直分布係数算出に必要なデータのうち高層の鉛直温度、露点差の分布や、海面温度、オゾン量等の気象要素の各ファイルの作成について述べたが、本節では、もう一方のデータである衛星データの抽出について述べる。

衛星データの抽出処理は、部分雲量輝度温度累積 (Radiance Archiving) プログラムで行なわれ、第3章で述べた HRPT 編集校正処理で作成される TOVS データファイル (TOVS data File) および第5章の部分雲量算出によって作成される部分雲量ファイル (Cloud Information & Location File) を入力データとし、指定されている地点における衛星データを抽出し、部分雲量輝度温度累積ファイル (Radiance data Archived File) として、磁気テープに累積を行なう。

指定された地点は、高層観測地点緯経度ファイル (Sonde Location File) より入力され、この地点の緯度、経度に最も近い HIRS スポットを捜し、この HIRS スポットを中心にしてライン方向に3ライン、画素方向に5画素の計15画素の各々の HIRS スポットに対する部分雲量、AVHRR の最高、最低輝度、20チャンネル分の

HIRS の放射エネルギーのデータを抽出する。また、中心 HIRS スポットに最も近い SSU, MSU のスポットを H-S/M 対応ファイル (H-S/M Spots Collocation File) の情報よりもとめ、これらより、この中心 HIRS スポットに対する SSU, MSU の放射エネルギーのデータを得る。

これらの抽出されたデータを部分雲量輝度温度累積ファイルに出力する。

本処理は軌道毎に実行される。

#### 6. 気象要素と衛星データの 카테고리分類

2~5節においては、高層資料データ (鉛直温度、露点差、地上気圧)、海面温度データ、オゾンデータの気象要素を編集済み高層資料累積ファイルに作成すること、および衛星で観測したデータを部分雲量輝度温度累積ファイルに作成することについて述べた。

本節では、これらのデータをもとにして、衛星データと気象要素を組にしたデータを、カテゴリ分類して高層資料輝度温度分類ファイルに作成することについて述べる。この処理は、高層資料輝度温度分類 (Assortment of data set to categories) プログラムによって行なわれ、ここで作成される高層資料輝度温度分類ファイルは、第10章に述べられている鉛直分布、表面温度等の算出係数を求めるのに使用される。

鉛直分布算出係数には、指定気圧面の温度を算出する係数、指定気圧面と大気の上端の間にある可降水量を算出する係数が含まれていて、これらの係数は、以下のよう到大別される。今これを大カテゴリと呼ぶ。

指定気圧面の温度

1. 100 mb を超え 10 mb まで (ここでは以下高層とよぶ) の温度
2. 1000 mb から 100 mb まで (ここでは以下低層とよぶ) で晴天域かつ AVHRR データ有りのときの温度
3. 低層、晴天域で AVHRR データ無しの際の温度
4. 低層で曇天域の温度

指定気圧面と大気上端の間にある可降水量

1. 低層、晴天域、AVHRR 有り
2. 低層、晴天域、AVHRR 無し

さらにこれらの大カテゴリは、8個の小カテゴリに分かれ、その各々に対して係数が求められる。

そこでこれらの係数算出に必要なデータな高層資料輝

度温度分類 ファイル (Sorted Vertical Profile data File) に作成するわけである。

高層資料輝度温度分類ファイルは、指定気圧面の温度算出係数に対応する4つの大カテゴリーに分けられている。

すなわち

1. 高層カテゴリー
2. 低層, 晴天域, AVHRR 有り カテゴリー
3. 低層, 晴天域, AVHRR 無し カテゴリー
4. 低層, 曇天域, カテゴリー

に分けられる。

高層カテゴリーと、低層の3つのカテゴリーはカード指定によるある指定気圧面で分けられるが、現在100 mb より下層を低層としている。

AVHRR 有り, 無しは、部分雲量を AVHRR データで算出できたかどうかによる。

晴天域, 曇天域のカテゴリーの分類は、以下のようにして行なう。

AVHRR データ有りの場合

$$\gamma = (1 - \bar{n})^2 + \alpha_1 (n_{\max} - n_{\min}) \quad (1)$$

の値  $\gamma$  が  $\gamma_{cr}$  より大きい時は晴天域, 小さい時は、曇天域とする。

ただし  $\bar{n}$  は、晴天放射量を計算する時に使用する HIRS スポットの各雲量の平均したものである。 $\alpha_1$  は定数,  $n_{\max}$  はそのうちの最大,  $n_{\min}$  は最小の雲量である。 $\gamma_{cr}$  としては 0.4 という値を使っている。

AVHRR データ無しの場合

$$\gamma = \frac{1}{R^0(\nu_s)} \left\{ \frac{1}{M} \sum_{i=1}^M I_i(\nu_s) + \alpha_2 [I_{\max}(\nu_s) - I_{\min}(\nu_s)] \right\} \quad (2)$$

この値  $\gamma$  が  $\gamma_{cr}'$  より大きい時は晴天域, 小さい時は曇天域であるとする。

ただし,  $\alpha_2$  は定数,  $\nu_s$  は、HIRS の窓領域のチャンネルを示しており,  $R^0$  は晴天放射初期推定値,  $I_i$  は晴天放射計算に使用する  $i$  番目の HIRS スポットの観測放射量,  $M$  は晴天放射算出に使用したスポットの個数,  $I_{\max}$ ,  $I_{\min}$  は、最大, 最小の観測放射量である。 $\gamma_{cr}'$  としては、0.8 を使用している。

このようにして晴天域, 曇天域の分類を行なう。

大分類で4つのカテゴリーに分類されるが各カテゴリー

は、さらに小分類で5つのカテゴリーに分類される。

この場合、大分類毎にカードで指定された1つのセンサーチャンネルの晴天放射量と、与えられた4つの閾値によって5つの小カテゴリーに分類される。

各カテゴリーに格納されるデータとしては、高層カテゴリーの場合、カード指定によって与えられる SSU チャンネルを主体とした衛星データで晴天放射量に直したものと、高層の各指定気圧面の温度データが格納される。低層の晴天域の2つのカテゴリーには、やはりカード指定によって与えられるチャンネルの晴天放射量と、低層の指定気圧面の温度、大気の上端より指定気圧面までの可降水量、地上気圧が格納される。

低層で曇天域のカテゴリーには、低層の指定気圧面の温度と、カード指定によって与えられる MSU チャンネルを主体としたチャンネルの晴天放射量が格納される。

衛星データは、晴天放射量に変換して格納されるわけであるが、部分雲量輝度温度累積ファイルには、衛星で観測されたデータしか入っていないため晴天放射量を求める必要がある。晴天放射量の算出については、第6章を参照されたい。

高層カテゴリー, 低層の3つのカテゴリーに格納する指定面の温度や地上気圧については、編集済み高層資料累積ファイルからそのまま取り出すことができるが、低層晴天域の2カテゴリーに格納する大気の上端から指定気圧面までの可降水量については、温度、露点差より求める必要がある。

以下に可降水量を求める方法について述べる。

指定気圧面の上端から指定気圧面  $j$  ( $1 \leq j \leq N$ ) までの可降水量を  $W$  とすれば、 $W$  は次式で求められる。

なお、指定気圧面  $j$  は、1000 mb を1番目として  $j$  番目に該当する。

大気の上端より指定気圧面  $N$  までの可降水量は算出不可であるので常に 0.0 とする。

$$W = W_j / 1245.2 \quad (\text{g/cm}^2)$$

$$W_j = \left[ \frac{T_0}{P_0} \sum_{i=j}^N \left( \frac{P_{\text{H}_2\text{O}, i}}{T_i} + \frac{P_{\text{H}_2\text{O}, i+1}}{T_{i+1}} \right) \Delta z_i \right] \cdot \frac{1}{2} \times 10^5$$

$$P_{\text{H}_2\text{O}, i} = 1013.25 e^{(13.3185t - 1.976t^2 - 0.6445t^3 - 0.1299t^4)} \quad (\text{mb})$$

$$t = 1 - \frac{373.155}{T_d} \quad (\text{無次元})$$

$$T_d = T_i - \Delta T_i \quad (^\circ\text{K})$$

$$P_0 = 1013.25 \quad (\text{mb})$$

$$T_0 = 273.155 \quad (^\circ\text{K})$$

$T_i$ :  $i$  指定気圧面の温度 (°K)

$\Delta T_i$ :  $i$  指定気圧面の露点差

$\Delta z_i = z_{i+1} - z_i$ : 指定気圧面間の距離 (km)

ただし  $z_i$ :  $i$  指定気圧面の高さである。

$\Delta z_i$  は、

$\Delta z_1 = 1.5$  km

$\Delta z_2 = 1.5$  km

$\Delta z_3 = 2.5$  km

$\Delta z_4 = 1.7$  km

$\Delta z_5 = 1.0$  km

$\Delta z_6 = 2.1$  km

$\Delta z_7 = 2.3$  km として使用する。

続いて、実際ルーチンで行なっている部分雲量輝度温度累積ファイルおよび編集済み高層資料累積ファイルより鉛直分布算出係数を作成するためのデータを、高層資料輝度温度分類ファイルに作成することについて述べる。

まず、部分雲量輝度温度累積ファイルを読み込んで、衛星データを取り出す。衛星データの観測時刻に近い編集済み高層資料データが編集済み高層資料累積ファイルに存在するかどうかを捜し、もしある範囲内で一致する衛星データと編集済み高層資料データがあれば、これらのデータをもとにして高層資料輝度温度分類ファイルに格納するデータをつくる。

衛星データより最初各チャンネルの晴天放射量を求める。

大カテゴリー毎にどの気象要素とどのチャンネルの晴天放射量を組にして格納するとか、小カテゴリーの分類に使用するチャンネルおよび4つの閾値は、カードによって指定される。

このカード指定に基づいて、前述した分類のやり方で大カテゴリー、小カテゴリーの分類を行なう。

各カテゴリーに格納される気象要素については先に述べたがこれらの気象要素を、編集済み高層資料データより抽出、計算し、晴天放射データとともに該当するカテゴリーの領域へ出力する。

高層資料輝度温度分類ファイルの一つのカテゴリーには最大500個のデータセットが格納できる。

このようにして、鉛直分布算出係数を求めるための高

層資料輝度温度分類ファイルの作成が行なわれるわけであるが、小カテゴリーは、5カテゴリーしかない。ところが実際求めるのに必要なのは8カテゴリーである。そこで小カテゴリーを分類する閾値をかえて2度実行することによって得られる。

表面温度算出係数ファイルには、表面温度を算出する係数と、オゾン量を算出する係数が格納されている。

表面温度では、

1. 夜で AVHRR データが有るとき
2. 夜で AVHRR データが無いとき
3. 昼で AVHRR データが有るとき
4. 昼で AVHRR データが無いとき

オゾン量では、

1. 夜
2. 昼

に大別され、各カテゴリーがやはり8個の小カテゴリーに分れている。

表面温度を算出する係数を決定するデータは、海面温度とそのとき観測された衛星データの晴天放射量である。これらのデータをベアにして係数を決定するデータを前述した高層資料輝度温度分類ファイルと同様なファイル (Sorted SST data File) に作成する。作成方法は鉛直分布算出係数を決定するデータを作成するのと同様である。

ただし入力する編集済み高層資料累積ファイルは、前述した地上気圧のかわりに海面温度が入っているファイル (SST data File) である。

したがって高層資料輝度温度分類ファイルの低層で晴天域の2つの大カテゴリーの地上気圧の項目には、海面温度のデータが格納される。もちろん衛星データは、晴天放射量になおされて格納されている。これらの2大カテゴリーのデータが係数決定に使用される。

オゾン量算出係数を決定するデータも表面温度算出係数の場合と同様であり、入力する編集済み高層資料累積ファイルが、表面温度用でなくオゾン量用になっているだけである。

このようにして表面温度算出係数、オゾン量算出係数を決定するためのデータが作成される。

付 録 A

地上高層実況気象通報式 (TEMP) の形式および内容を示す。

ヘッダ部 { C/R C/R L/F n n n C L<sub>1</sub> L<sub>2</sub> L<sub>3</sub> L<sub>4</sub>  
 C/R C/R L/F T T A A i i c c c c Y Y G G g g (C O R)\*  
 (or i)

データ部 { C/R C/R L/F M<sub>i</sub> M<sub>i</sub> M<sub>j</sub> M<sub>j</sub> Y Y G G I<sub>d</sub> I I i i i  
 9 9 P<sub>0</sub> P<sub>0</sub> P<sub>0</sub> T<sub>0</sub> T<sub>0</sub> T<sub>a0</sub> D<sub>0</sub> D<sub>0</sub> d<sub>0</sub> d<sub>0</sub> f<sub>0</sub> f<sub>0</sub> f<sub>0</sub> ← この行は Part C  
 P<sub>1</sub> P<sub>1</sub> h<sub>1</sub> h<sub>1</sub> h<sub>1</sub> T<sub>1</sub> T<sub>1</sub> T<sub>a1</sub> D<sub>1</sub> D<sub>1</sub> d<sub>1</sub> d<sub>1</sub> f<sub>1</sub> f<sub>1</sub> f<sub>1</sub> にはない  
 P<sub>2</sub> P<sub>2</sub> h<sub>2</sub> h<sub>2</sub> h<sub>2</sub> T<sub>2</sub> T<sub>2</sub> T<sub>a2</sub> D<sub>2</sub> D<sub>2</sub> d<sub>2</sub> d<sub>2</sub> f<sub>2</sub> f<sub>2</sub> f<sub>2</sub> } 5文字単位で C/R  
 P<sub>n</sub> P<sub>n</sub> h<sub>n</sub> h<sub>n</sub> h<sub>n</sub> T<sub>n</sub> T<sub>n</sub> T<sub>an</sub> D<sub>n</sub> D<sub>n</sub> d<sub>n</sub> d<sub>n</sub> f<sub>n</sub> f<sub>n</sub> f<sub>n</sub> } C/R L/F等の行制御  
 文字が挿入される。  
 ま た は 8 8 P<sub>t</sub> P<sub>t</sub> P<sub>t</sub> T<sub>t</sub> T<sub>t</sub> T<sub>at</sub> D<sub>t</sub> D<sub>t</sub> d<sub>t</sub> d<sub>t</sub> f<sub>t</sub> f<sub>t</sub> f<sub>t</sub>  
 8 8 9 9 9  
 ま た は 7 7 P<sub>m</sub> P<sub>m</sub> P<sub>m</sub> } ← \* 訂正電文を示す。  
 6 6 P<sub>m</sub> P<sub>m</sub> P<sub>m</sub> } ← d<sub>m</sub> d<sub>m</sub> f<sub>m</sub> f<sub>m</sub> f<sub>m</sub>=  
 ま た は 7 7 9 9 9

区 分	記 号	意 味	内 容	説 明
ヘッダ部	n n n	電報通過番号	000~999	ADESS で付加, サイクリックに使用される。
"	C	電文の ID.	3	固定値, 地上高層実況気象であることを示す。
"	L <sub>1</sub> L <sub>2</sub>	電文の編集局 指示符	64~69 20~39	メルボルン (Region V) 日本 (ADESS) (Region II)
"	L <sub>3</sub>		0 2	PART A PART C
"	L <sub>4</sub>			
"	T T	電文の識別		
"	A A	領域識別コード	AS EC ⋮ HK ⋮	アジア 東シナ海 ⋮ ホソコン ⋮
"	i i (or i)	1 ブリテンごとの シーケンス番号	0~99	
"	c c c c	編集局名	RJTD	日本 (ADESS) を示す。
"	Y Y G G g g	編集時刻	日 01~31 時 00~23 分 00~59	GMT 表示

区分	記号	意味	内容	説明															
データ部	$M_i M_i$	電文の ID	$TT$	ヘッダ部の $C$ に対応															
"	$M_j M_j$	通報内容	$AA$ } $DD$	通報内容は Part A~Part D に分けられているが、必要なのは Part A ( $AA$ ) と Part C ( $CC$ ) である。 Part A: 表面~100 mb Part C: 70 mb~10 mb															
"	$Y Y$ $G G$	観測時刻 日時	01~31 00~23	GMT 表示。 $YY$ は風速 ( $f_n f_n f_n$ ) の単位をも示し、 $YY \geq 51$ ならノット単位で [日]= $YY-50$ $YY < 51$ なら m/s 単位で [日]= $YY$															
"	$I_d$	風が報じられる最終指定気圧面の気圧の指示符	0~9, /																
"	$I I$	観測所がある地域のブロック番号																	
"	$i i i$	観測所の地点番号		$II$ と $iii$ の組合せで国際地点番号が決まる。															
"	9 9	地上に関する資料の指示符	—	Part C にはない。															
"	$P_0 P_0 P_0$ $P_i P_i P_i$ $P_m P_m P_m$ 9 9 9	気圧	—	mb 単位。  9 9 9 は欠測を示す。															
"	$P_l P_l$ ( $l=1, \dots, n$ )	指定面気圧 (mb)	<table style="display: inline-table; vertical-align: middle;"> <tr> <td rowspan="10" style="font-size: 2em; vertical-align: middle;">Part A</td> <td>1000</td> </tr> <tr><td>850</td></tr> <tr><td>700</td></tr> <tr><td>500</td></tr> <tr><td>400</td></tr> <tr><td>300</td></tr> <tr><td>250</td></tr> <tr><td>200</td></tr> <tr><td>150</td></tr> <tr><td>100</td></tr> <tr> <td rowspan="3" style="font-size: 2em; vertical-align: middle;">Part C</td> <td>70.50</td> </tr> <tr><td>30.20</td></tr> <tr><td>10</td></tr> </table>	Part A	1000	850	700	500	400	300	250	200	150	100	Part C	70.50	30.20	10	1000~100 mb の表示は 10 mb 単位 (1000=00)。100 mb 未満の表示は 1 mb 単位。 必要な指定面は左記のものすべてである。
Part A	1000																		
	850																		
	700																		
	500																		
	400																		
	300																		
	250																		
	200																		
	150																		
	100																		
Part C	70.50																		
	30.20																		
	10																		
"	8 8	圏界面の資料に関する指示符	—																
"	7 7 6 6	極大風の高度資料等に関する指示符	—																
"	$h_l h_l h_l$ ( $l=1, \dots, n$ )	$P_l P_l$ で示された指定気圧面の gpm (geopotential meter)	—																
"	$T_l T_l$ ( $l=0, \dots, n$ )	気温 (°C)	—	気温の10位および1位。 次項の $T_{al}$ と組合せて符号および10分位までの気温が与えられる。															

区分	記号	意味	内容	説明																				
データ部	$T_{al}$ ( $l=0, \dots, n$ )	気温の10分位の 近似値および符号	0~9	$T_{al}$ の値と、符号および気温の10分位の対応を下に示す。  <table border="1" style="margin-left: auto; margin-right: auto;"> <thead> <tr> <th rowspan="2">気温の 10分位</th> <th colspan="2"><math>T_{al}</math></th> </tr> <tr> <th>+</th> <th>-</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>0~1</td> <td>0</td> <td>1</td> </tr> <tr> <td>2~3</td> <td>2</td> <td>3</td> </tr> <tr> <td>4~5</td> <td>4</td> <td>5</td> </tr> <tr> <td>6~7</td> <td>6</td> <td>7</td> </tr> <tr> <td>8~9</td> <td>8</td> <td>9</td> </tr> </tbody> </table>	気温の 10分位	$T_{al}$		+	-	0~1	0	1	2~3	2	3	4~5	4	5	6~7	6	7	8~9	8	9
気温の 10分位	$T_{al}$																							
	+	-																						
0~1	0	1																						
2~3	2	3																						
4~5	4	5																						
6~7	6	7																						
8~9	8	9																						
"	$D_l D_l$ ( $l=0, \dots, n$ )	気温と露点温度 の差 (露点差) ( $^{\circ}\text{C}$ )	00~99 (51~55 はない)	$00 \leq D_l D_l \leq 50$ では 露点差 = $D_l D_l / 10$ $56 \leq D_l D_l \leq 98$ では 露点差 = $D_l D_l - 50$ $D_l D_l = 99$ では露点差は $49^{\circ}\text{C}$ 以上 $D_l D_l = //$ では 不明または欠測を示す。 露点差 $< 0$ は存在しない。																				
"	$d_l d_l$ ( $l=0, \dots, n$ ) $d_l d_l$ $d_m d_m$	風向	—																					
"	$f_l f_l f_l$ ( $l=0, \dots, n$ ) $f_l f_l f_l$ $f_m f_m f_m$	風速	—																					
"	=	1つの観測地点の データの終了を示す	—	1 プリテン内に数地点のデータが含まれる。																				
"	/.../	欠測を示す	—	—																				

# 10. 回 帰 係 数 の 決 定

## Determination of the Regression Coefficients

青 木 忠 生, 中 島 忍

Tadao Aoki and Shinobu Nakajima

### Abstract

Theoretical background is described for the formulation of the functional form of the angular dependent regression coefficients which are used to calculate the vertical temperature profile, vertical water vapor profile, sea or ground surface temperature, and total ozone amount, from satellite observed radiances.

The kind of the categories of coefficient and the technique to determine the coefficient are also described.

### 1. 係数の種類

気温や水蒸気量を  $X$  で代表して表わすと, MSC のシステムでは, それは晴天放射  $R$  を使って

$$X = CR \quad (1)$$

なる回帰式によって計算される。 $C$  は回帰係数である。本システムで得られる各種気象要素のうち(1)式のような回帰式で計算されるのは

- 表面温度
- 全オゾン量
- 指定気圧面温度

指定気圧面と大気上端の間にある可降水量

の4つである。このうち前2者用の係数は表面温度算出係数ファイルに, 後2者のは鉛直分布算出係数ファイルに格納されている。

さて, これらの係数はさらに以下のように4つの大カテゴリーに分れている (ただし, オゾンは2つだけ)。

表面温度

1. 夜で AVHRR データがあるとき (NTY)
2. 夜で AVHRR データがないとき (NTN)
3. 昼で AVHRR データがあるとき (DTY)
4. 昼で AVHRR データがないとき (DTN)

全オゾン量

1. 夜 (NIG)
2. 昼 (DAY)

指定気圧面温度

1. 高層の温度 (UPR)
2. 低層, 晴天域, AVHRR 有り (LRY)
3. 低層, 晴天域, AVHRR 無し (LRN)
4. 低層, 曇天域 (LUD)

指定面可降水量

1. 低層, 晴天域 AVHRR 有り (LRY)
2. 低層, 晴天域 AVHRR 無し (LRN)

さらにこれらの各大カテゴリーは8個の小カテゴリーに分けられている。

ここで各指定面の低層, 高層の区別はカードで指定されるが, 現在までは 100 mb 以下を低層としている。低層, 高層の指定面の数は併せて15レベル, 可降水量の場合は 1000, 850, 700, 500, 400 mb の5レベルである。

また, AVHRR データがあるときというのは厳密には, 部分雲量ファイルに部分雲量等のデータが存在するときである。

晴天域, 曇天域の区別は次のように行なう。

AVHRR 有りのとき

$$\gamma = (1 - \bar{n})^2 + \alpha_1 (n_{\max} - n_{\min}) \quad (2)$$

の値が  $\gamma_{cr}$  より大きいときが晴天域, 小さいときが曇天域と定義する。ここで  $\bar{n}$  は晴天放射を計算する際に使われる HIRS スポットの各雲量を平均したもの,  $\alpha_1$  は定数,  $n_{\max}$  はそのうち最大の雲量,  $n_{\min}$  は最小の雲量である。 $\gamma_{cr}$  は Aoki (1980, 1982a) の結果等を参考

にして、現在は0.4という値がカードによって与えられている。 $\gamma$ は雲量を示すパラメーターというより、むしろ、第6章で述べた方式による晴天放射計算の精度を示すパラメーターであり、ある精度より悪いものはマイクロ波チャンネルを使って計算しようという考え方である(前記したLUDという大カテゴリーでは、マイクロ波チャンネルを使うというのが、暗黙の前提である)。

晴天放射計算の精度は、もちろん雲量が少いほどよいであろう。しかし、もっと重要なのは、晴天放射計算に使われる各HIRSスポットの雲量の差が大きく異なっていることである。極端な場合として、各スポットの雲量が全く同じであれば、観測される放射量は各スポットですべて同じであり、いくらスポットの数を増しても晴天放射量の情報は増えない。この意味で、(2)式の第2項が付け加えられているわけである。

同じような考え方でAVHRRデータがないときも $\gamma$ を次のように定義する。

$$\gamma = \frac{1}{R^0(\nu_s)} \left\{ \frac{1}{M} \sum_i^M I_i(\nu_s) + \alpha_2 [I_{\max}(\nu_s) - I_{\min}(\nu_s)] \right\} \quad (3)$$

ここで、 $\alpha_2$ は定数、 $\nu_s$ はHIRSの窓領域のチャンネルであり、 $R^0$ は晴天放射初期推定値、 $I_i$ は晴天放射計算に使われる*i*番目のHIRSスポットの観測放射量、 $M$ は使われるスポットの個数、 $I_{\max}$ は、 $I_i$ のうち最高のもの、 $I_{\min}$ は最低のものである。やはり $\gamma'_{cr}$ より小さい値を曇天として現在、 $\gamma'_{cr}$ の値は0.8くらいにとっている。

$\gamma'_{cr}$ の値は高層資料輝度分類ファイルを作る際にカード指定によって調節できる。

## 2. 係数の決定

### 2.1. 表面温度およびオゾン量の係数

(1)式の $R$ はたとえ温度分布や水蒸気分布が空間的に均質であっても、視線方向の天頂角によって変る。すなわち、 $R$ は天頂角 $\theta$ の関数である。ところが、 $X$ は $\theta$ には依存してはいけない量であるから、そのためには $C$ は $\theta$ の関数で $R$ の $\theta$ への依存を打ち消すように働かなければならない。すなわち式に書くと

$$X = C(\theta) R(\theta) \quad (4)$$

である。

$R(\theta)$ が $\theta$ によってどのように変わるかを理論的に計算したのがFig. 1aである。HIRSのスキャン角度は天頂角に直すと0から60度くらいまで変わるが、この図には残念ながらそこまでは計算されていない。また、これらの様子は大気温度分布によって大幅に変わる。このことは下層に荷重関数のピークをもつ733, 716, 703  $\text{cm}^{-1}$ のチャンネルと上層にピークをもつ680  $\text{cm}^{-1}$ のチャンネルの違いからも分るのである。前者はlimb darkening 後者はlimb brightening になっている。

このような理論計算は観測からも確かめることができる。Fig. 2とFig. 3がそれである。図にはHIRSスキャンの左端から右端の間で晴天放射量がどのように変化するかを示されている。Fig. 2にはNOAA-6の

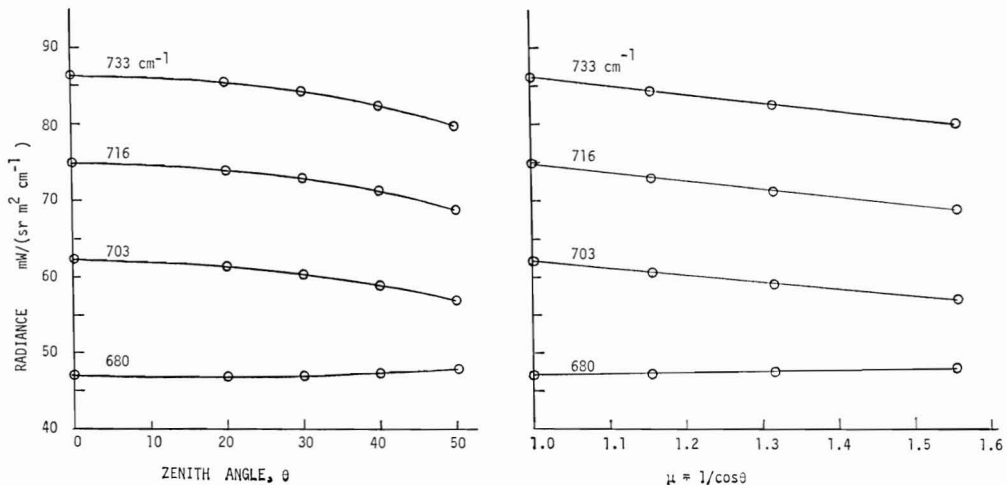


Fig. 1 Theoretical calculation of the clear radiances showing the dependence on the zenith angle,  $\theta_1$ (a) and  $\mu=1/\cos\theta$ (b).



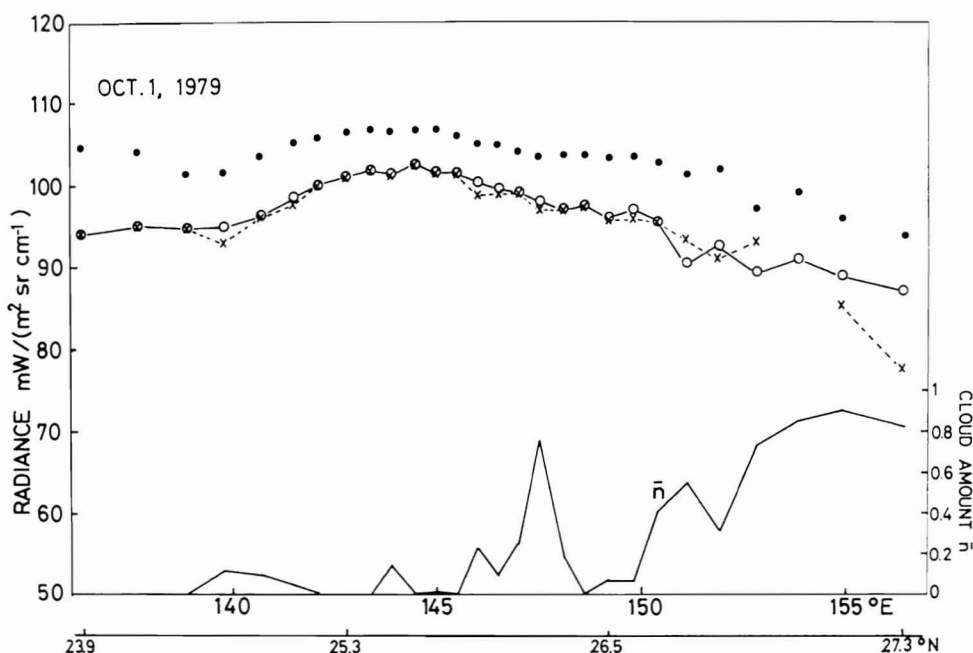


Fig. 2 The dependence of the clear radiances on the scanning angle: solid circle; clear radiances of AVHRR 4th channel, white circle; clear radiances of HIRS 7th channel obtained by the method of Aoki (1980), cross; clear radiances of HIRS 7th channel obtained by McMillin's method  $\bar{n}$  is the mean cloud amount for four HIRS spots from which the clear radiance retrieval was applied. From Aoki (1980).

AVHRR 第4チャンネルの晴天放射(黒丸印)とHIRS第7チャンネルの晴天放射(白丸印)が、Fig. 3にはHIRS第6チャンネルの晴天放射が示されている。図の結果は、海面温度の場所による違いの効果が若干表れていると思われるが、いずれもスキャンの中心と端での晴天放射の違いは、どのチャンネルでもせいぜい10%以下ぐらいと思われる。

一方天頂角  $\theta$  の代りに

$$\mu = \frac{1}{\cos \theta} \tag{5}$$

に対して晴天放射をプロットすると Fig. 1a は Fig. 1b のようにほぼ直線になる。HIRS の中心から数えたスポット番号(すなわち走査角に比例)と天頂角、 $\mu$  の値の間の関係を Fig. 4 に示す。Fig. 1b の結果から考え(4)式の代りに

$$X = C(\mu) R(\mu) = \sum_{i=1}^{L+1} C_i(\mu) R_i(\mu) \tag{6}$$

と書き、 $C_i(\mu)$  を

$$C_i(\mu) = C_i^0(\mu_r) + C_i' \Delta\mu \tag{7}$$

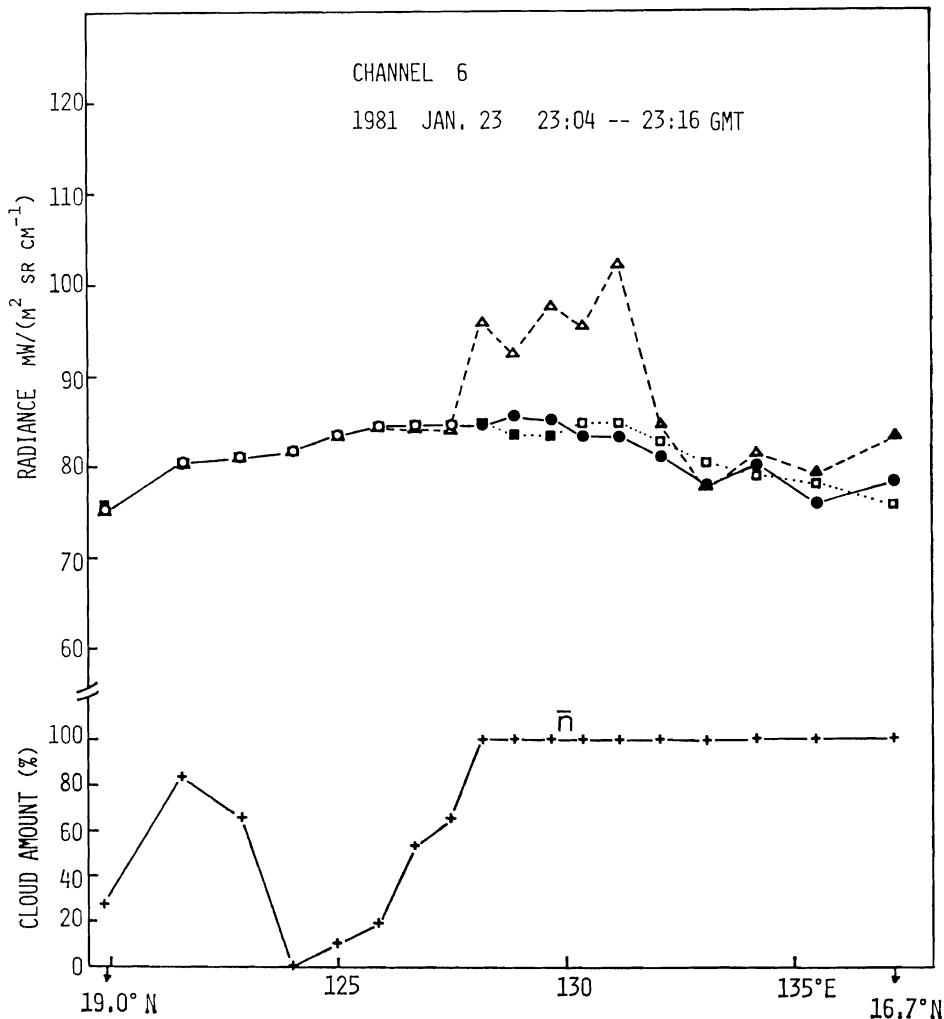
$$\Delta\mu = \mu - \mu_r \tag{8}$$

のように比較的良い精度で近似することができそうである。ここで、 $L$  は使われチャンネルの数、 $C_i^0$ 、 $C_i'$  は定数である。また  $\mu_r$  はある基準の角での  $\mu$  であり  $\mu$  の値は1から2ぐらいの間の値をとるから  $\mu_r$  としては1.5 ぐらいの値を設定しておく。(現在は中心から20番目のスポットでの  $\mu$ 、1.3 ぐらいを  $\mu_r$  としてとっている) なお  $i=L+1$  の項は定数項で  $R_{L+1}(\mu)=1$  と定義しておく。

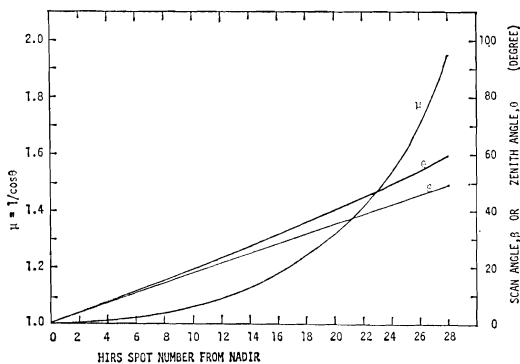
係数  $C^0$ 、 $C'$  は  $R$  と  $X$  (ここでは海面温度、または全オゾン量)の沢山の同時観測データ(このデータは高層資料輝度温度分類ファイルに格納されている。表面温度とオゾン量は高層資料のうち、表面気圧のワード位置に格納しておく)から最小自乗法的に決める。すなわち

$$\sigma = \sum_{n=1}^N [X_n(\text{cal}) - X_n(\text{obs})]^2 \tag{9}$$

を最小にするように  $C^0$ 、 $C'$  を決める。ここで  $n$  はデータの番号、 $N$  は全データの数である。 $X_n(\text{cal})$  は(6)、(7)式から計算される  $X$ 、 $X_n(\text{obs})$  は観測値である。 $X_n$



**Fig. 3** The dependence of the clear radiance of HIRS 6th channel on the scanning angle: circle and square are the clear radiances obtained by Aoki's Method-QA and Method-Q8, respectively, and triangle is that by McMillin's method. From Aoki (1982a).



**Fig. 4** The relation between the scanning angle ( $\beta$ ), zenith angle ( $\theta$ ) and  $\mu=1/\cos\theta$ . A case for TIROS-N satellite series.

に(6), (7)式を代入して  $\sigma$  が最小, すなわち

$$\frac{\partial \sigma}{\partial C^0} = 0, \quad \frac{\partial \sigma}{\partial C'} = 0 \quad (10)$$

を作ると,

$$\frac{\partial \sigma}{\partial C_j^0} = 2 \sum_{n=1}^N \left\{ \sum_{i=1}^{L+1} C_i^0 R_{in} + \sum_{i=1}^{L+1} C_i' Q_{in} - X_n(\text{obs}) \right\} R_{jn} = 0 \quad (11)$$

$$\frac{\partial \sigma}{\partial C_j'} = 2 \sum_{n=1}^N \left\{ \sum_{i=1}^{L+1} C_i^0 R_{in} + \sum_{i=1}^{L+1} C_i' Q_{in} - X_n(\text{obs}) \right\} Q_{jn} = 0 \quad (12)$$

ただし

$$Q_{jn} = R_n d \mu_n \quad (13)$$

これを整理してマトリックス形式で書くと

$$\left. \begin{aligned} C^0 R R^t + C' Q R^t &= X R^t \\ C^0 R Q^t + C' Q Q^t &= X Q^t \end{aligned} \right\} \quad (14)$$

となる。ここで  $R^t, Q^t$  は  $R, Q$  の転置行列である。(14)を  $C^0, C'$  について解くと

$$C' = B A^{-1} \quad (15)$$

$$C^0 = (X R^t - C' Q R^t) (R R^t)^{-1} \quad (16)$$

$$A = Q Q^t - Q R^t (R R^t)^{-1} R Q^t \quad (17)$$

$$B = X Q^t - X R^t (R R^t)^{-1} R Q^t \quad (18)$$

となる。

$X$  と  $R$  のデータは高層資料・輝度温度分類ファイルから持ってくる。ただし表面温度係数を決定する場合には、あらかじめ、上記分類ファイルの表面気圧のワード位置に海面温度の値を、オゾン係数決定の場合はオゾン量をそれぞれ格納しておかなければならない。このためのプログラム等の説明は第9章で行なわれている。

## 2.2. 鉛直温度および可降水量分布用係数の決定

鉛直温度や可降水量を求める係数を決定する場合も前節の表面温度およびオゾン量用係数を決めたときと、全く同じ手法を使うことが可能である。しかし、求める鉛直温度の指定面の数は15レベル、可降水量も5レベルあるため、係数の数がかなり膨大になる。このため、鉛直分布用係数の場合には以下のような係数の数を減らす工夫をしてある。

slant path に対する大気の透過率は第1章の(2)式に示したように

$$\tau_\nu(p) = \exp \left[ - \int_0^p k_\nu \mu \rho dp \right] \quad (19)$$

となる。ここで  $\tau_\nu(p)$  はある周波数  $\nu$  での衛星から  $p$  なる気圧の層までの透過率である。 $k_\nu$  は吸収係数、 $\rho$  は吸収気体の密度である。さて、荷重関数は  $\tau_\nu$  の微分であり、第6章3.4節で示した最尤法や Minimum In-

formation 法によれば(4)式等の中の係数  $C$  は荷重関数によって表わせる。

(19式を見ると  $\mu$  なる slant path というのは  $R_\nu$  を  $\mu$  倍した値と同じ吸収係数をもつ周波数(これを  $\nu'$  としよう)と同じ透過関数、すなわち、係数  $C$  を持つことが予想される。HIRS のいくつかのチャンネルが設定されている炭酸ガス  $15 \mu$  帯の場合、吸収係数の値は  $\nu$  とともに比較的単調に変化しているから、上記の  $\nu'$  というのは  $\nu$  から少し離れたところの周波数に相当する。

今ある  $j$  番目の高度  $z_j$  での温度を  $T_j(z_j)$  とし、(6)式の回帰式のように

$$T_j(z_j) = \sum_{i=1}^{L+1} C_{ji}(\mu) R_i(\mu), \quad j=1, \dots, J \quad (20)$$

と書き、 $C_{ji}$  を各チャンネル  $i$  毎に高度に関してプロットしたのが Fig. 5 である。この関数は各高度の温度を計算するのに、どのチャンネルがどれだけ寄与しているかを示していることになるので、contribution function と呼ばれることもある。ここで波数の近いチャンネル同志の contribution function を比較してみると非常に似通った形をしていることが分る。

さて、692, 701, 709  $\text{cm}^{-1}$  のチャンネルの吸収係数の大きさはだいたい 3: 1: 0.3 くらいである。一方、 $\mu$  の値は1から2くらいの値をとるから  $\mu_r \sim 1.5$  を基準にすれば、吸収係数の値は0.7~1~1.3倍くらいの範囲を変わることになる。したがって、今、 $\nu$  を  $701 \text{ cm}^{-1}$  と考えれば slant path に対する  $C_{ji}$  の値というのは Fig. 5 の 709 と  $701 \text{ cm}^{-1}$  の間の  $701 \text{ cm}^{-1}$  に近いところと  $701$  と  $692 \text{ cm}^{-1}$  の間のやはり  $701 \text{ cm}^{-1}$  に近いところの  $C_{ji}$  であり、これらは(もともと  $701$  と  $692$  あるい

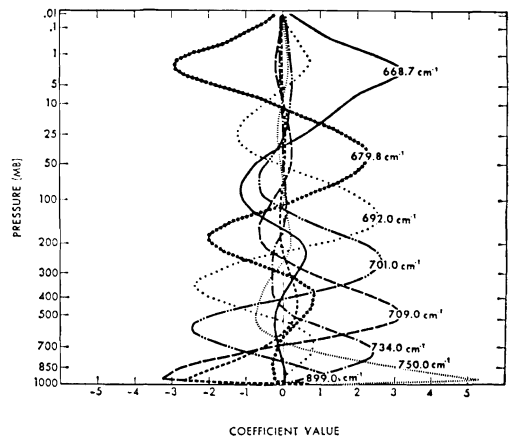


Fig. 5 Contribution functions of number of channels of Nimbus satellite. From Smith et al. (1972).

は  $709 \text{ cm}^{-1}$  の  $C_{ji}$  が互いに似ているのだから非常に似通った関数であるに違いない。したがって、 $701 \text{ cm}^{-1}$  の  $C_{ji}$  をわずかに上下に平行移動したものでそれらをはほぼ近似することができると思われる。(第6章 Fig. 3-6を参照, また上記のような別の観点からの考察をAoki (1982b) が行なっている)。またこの上下への平行移動の量は  $\Delta\mu$  に比例すると仮定するとある slant path に対する  $C_{ji}$  は

$$C_{ji}(z_j, \mu) = C_{ji}(z_j + \delta_i, \mu_r) \quad (21)$$

$$\delta_i = \eta_i \Delta\mu \quad (22)$$

と書ける。ここで  $\eta_i$  は各チャネルによって異なる定数である。すなわち, ある基準角  $\mu_r$  に対する  $C_{ji}$  を求めておけば, その他の角度に対するものはこの関数を  $\delta_i$  だけ高度方向に平行移動して求めることができることになる。ただし, 高度の座標としては

$$z = \ln p \quad (23)$$

をとる。

なお, 現在は  $L+1$  番目の係数だけは

$$C_{j, L+1}(\mu) = C_{j, L+1}^0 + C_{j, L+1}' \Delta\mu \quad (24)$$

のように展開してある。

このようにすると求むべき係数は, 指定面レベルの数を  $J$  とすると,  $C_{ji}(z_j, \mu_r)$  ( $j=1 \cdots J, i=1 \cdots L$ ),  $\eta_i$  ( $i=1 \cdots L$ ),  $C_{j, L+1}^0$ ,  $C_{j, L+1}'$  ( $j=1 \cdots J$ ) の計  $J \times (L+2) + L$  であり, すべて(7)式のような近似をする場合(この場合は  $2J(L+1)$  になる)に比べると少ない数で済むことになる。

さてこれら, 係数決定の評価規範としては  $\eta_i$  以外のパラメーターについては各レベル毎に

$$\sigma_j = \sum_{n=1}^N [X_{jn}(\text{cal}) - X_{jn}(\text{obs})]^2, \quad j=1, \dots, J \quad (25)$$

が最小になるように, また,  $\eta$  については

$$\sigma = \sum_{j=1}^J \sum_{n=1}^N [X_{jn}(\text{cal}) - X_{jn}(\text{obs})]^2 \quad (26)$$

を最小にするようなものを決定する。

$\sigma_j$  または  $\sigma$  を  $C_{ji}, \eta_i, C_{j, L+1}, C_{j, L+1}'$  等で微分するに当って  $C_{ji}(z_j, \mu_r)$  と  $\eta_i$  は非線形になっている。そこで次のように逐次近似によって求めることにする。まず  $C_{ji}$  を

$$C_{ji}(z_j + \eta_i \Delta\mu, \mu_r) \simeq C_{ji}(z_j, \mu_r) + \frac{\partial C_{ji}(z_j, \mu_r)}{\partial z} \eta_i \Delta\mu \quad (27)$$

のように近似する。

(a)  $C_{ji}(z_j, \mu_r)$  の zeroth order の解  $C_{ji}^{(0)}$

まず  $\Delta\mu \sim 0$  付近のデータのみを使って  $C_{ji}$  の zeroth order の解を求める。 $X_{jn}(\text{obs})$  を単に  $X_{jn}$  と書くと, (25)式は(27)式の  $\Delta\mu$  のみを0とおいて

$$\sigma_j = \sum_{n=1}^N \left\{ \sum_{i=1}^{L+1} C_{ji}(z_i, \mu_r) R_{in}(\mu) + C_{j, L+1}' \Delta\mu_n - X_{jn} \right\} \quad (28)$$

となる。ただし, データはすべて  $\Delta\mu \sim 0$  のものだけである。これより

$$\frac{\partial \sigma_j}{\partial C_{jm}} = 2 \sum_{n=1}^N \left\{ \sum_{i=1}^{L+1} C_{ji}(z_j, \mu_r) R_{in}(\mu) + C_{j, L+1}' \Delta\mu_n - X_{jn} \right\} R_{mn}(\mu) = 0 \quad (29)$$

となる。

$$\left. \begin{aligned} R_{L+2, n} &\equiv \Delta\mu_n \\ C_{j, L+2} &\equiv C_{j, L+1}' \end{aligned} \right\} \quad (30)$$

と定義すれば, (29)式は

$$\sum_{i=1}^{L+2} C_{ji} \left( \sum_{n=1}^N R_{in} R_{mn} \right) = \sum_{n=1}^N X_{jn} R_{mn} \quad (31)$$

となり, これをマトリックス形式で書けば,

$$CRR^t = XR^t \quad (32)$$

これより  $C$  の zeroth order の解が

$$C^{(0)} = XR^t (RR^t)^{-1} \quad (33)$$

として求まる。

(30)の定義を使うと(26)式は(27)式を使って

$$\sigma = \sum_{j=1}^J \sum_{n=1}^N \left\{ \sum_{i=1}^{L+2} C_{ji}(z_j, \mu_r) R_{in} + \sum_{i=1}^L \frac{\partial C_{ji}}{\partial z} \eta_i \Delta\mu_n R_{in} - X_{jn} \right\} \quad (34)$$

(b)  $\eta$  の zeroth order の解  $\eta^{(0)}$

(34)式の  $C$  に (a) で求めた  $C^{(0)}$  を代入し,  $\sigma$  を  $\eta$  で微分すると

$$\frac{\partial \sigma}{\partial \eta_m} = 2 \sum_{n=1}^N \sum_{j=1}^J \left\{ \sum_{i=1}^{L+1} C_{ji}^{(0)} R_{in} \right.$$

$$+ \sum_{i=1}^L D_{ji}^{(0)} \eta_i \Delta \mu_n R_{in} - X_{jn} \} D_{jm}^{(0)} R_{mn} = 0 \quad (35)$$

を得る。ただし

$$D_{ji}^{(0)} = \frac{\partial C_{ji}^{(0)}}{\partial z} \quad (36)$$

の計算においては

$$D_{ji}^{(0)} = \begin{cases} \frac{C_{j+1,i}^{(0)} - C_{j-1,i}^{(0)}}{z_{j+1} - z_{j-1}}, & 2 \leq j \leq J-1 \\ \frac{C_{j+1,i}^{(0)} - C_{j,j}^{(0)}}{z_{j+1} - z_j}, & j=1 \\ \frac{C_{j,i}^{(0)} - C_{j-1,i}^{(0)}}{z_j - z_{j-1}}, & j=J \end{cases} \quad (37)$$

のようにする。(35)式をさらに整理すると、

$$\begin{aligned} & \sum_{n=1}^N \sum_{j=1}^J [CR]_{jn} D_{jm} R_{mn} \\ & + \sum_{i=1}^L \eta_i \sum_{n=1}^N [D^t D]_{im} R_{in} R_{mn} \Delta \mu_n \\ & - \sum_{n=1}^N [X^t D]_{nm} R_{mn} = 0 \end{aligned} \quad (38)$$

となる。ここで  $C$  や  $D$  の右肩の添字は省略した。(38)はさらに

$$\sum_{i=1}^L \eta_i P_{im} = S_m \quad (39)$$

$$S_m = (R^t X^t D)_{mm} - [D^t C R R^t]_{mm} \quad (40)$$

$$P_{im} = \sum_{n=1}^N [D^t D]_{im} R_{in} R_{mn} \Delta \mu_n \quad (41)$$

となる。

$m=1, \dots, L$  についてこれをつくると、

$$\eta P = S \quad (42)$$

ができ、これより  $\eta$  の zeroth order の解が

$$\eta^{(0)} = S P^{-1} \quad (43)$$

として求まる。

(c) first order の  $C_{ji}$  の解,  $C_{ji}^{(1)}$

上のようにして求まった  $\eta$  を使って改めて  $C_{ji}$  を求める。(35)式に(43)を代入してで  $C_{jm}$  微分すると

$$\begin{aligned} \frac{\partial \sigma_j}{\partial C_{jm}} &= 2 \sum_{n=1}^N \left\{ \sum_{i=1}^{L+1} C_{ji}^{(1)} R_{in} \right. \\ & \left. + \sum_{i=1}^L D_{ji}^{(0)} \eta_i^{(0)} Q_{in} - X_{jn} \right\} R_{mn} = 0 \end{aligned} \quad (44)$$

これより

$$\sum_{i=1}^{L+2} C_{ji}^{(1)} (R R^t)_{im} + V_{jm} - [X R^t]_{jm} = 0 \quad (45)$$

$$V_{jm} = \sum_{i=1}^L D_{ji}^{(0)} \eta_i^{(0)} [Q R^t]_{im} \quad (46)$$

を得る。 $m=1 \dots L+2, j=1, \dots, J$  について(45)式が得られ、これをマトリックス形式で書くと

$$C^{(1)} R R^t = X R^t - V \quad (47)$$

となりこれより

$$C^{(1)} = [X R^t - V] (R R^t)^{-1} \quad (48)$$

が得られる。

以下これを繰り返し  $\eta^{(1)}, C^{(2)} \dots$  という具合に求めていくことができるが、本システムでは、 $\eta^{(0)}, C^{(1)}$  を最終的な解として使っている。

### 3. 5小カテゴリーから8小カテゴリー係数への変換

上に述べたような計算は変換準備プログラムによって行なわれる。この変換準備プログラムは5つの小カテゴリー係数を前提として作成されている。しかしその後、鉛直分布計算プログラムでは8小カテゴリー係数用に改造された。このため、現在は、5小カテゴリー係数を作成する変換準備プログラムを2回動かして、2つの係数を作り、それをつなぎ合せて8小カテゴリー用の係数を作っている。

また、係数はすでに述べたように、表面温度算出係数ファイルと鉛直分布算出係数ファイルの2ファイルに分かれて格納されており、上の変換準備プログラムで作成された係数ファイル(鉛直分布係数ファイルと言う)か

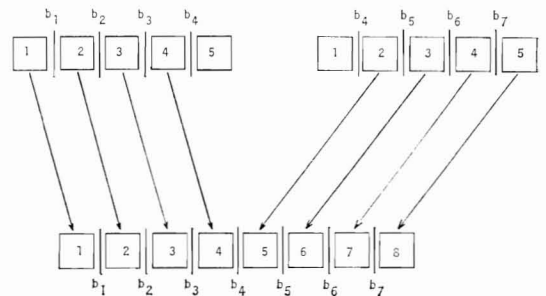


Fig. 6 Transformation of the five small-category coefficients to eight-small-category coefficients.  $b_i$  are the boundary values, for the discrimination of the small categories.

らデータを抜き出してこれらのファイルに移し変える作業が必要になる (Fig. 6 参照)

#### 引用文献

Aoki, T., 1980: Statistical determination of clear radiance from cloud-contaminated radiances, *J. Meteor. Soc. Japan*, **58**, 528-536.  
—, 1982a: An improved method to retrieve

the clear column radiance from partially cloudy spots of radiometer on board satellite, *J. Meteor. Soc. Japan*, **60**, 758-764.  
—, 1982b: Theoretical background of the vertical sounding from TIROS-N satellite series, *Meteor. Satellite Center Tech. Note*, **5**, 25-32.  
Smith, W. L., F. M. Woolf and H. E. Fleming, 1972: Retrieval of atmospheric temperature profiles from satellite measurements for dynamical forecasting, *J. Appl. Meteor.*, **11**, 113-122.

# 11. 鉛直分布データの ADESS 配信データ作成および保存累積

## Coding and Archiving of Atmospheric Parameter Retrieval data

中 島 忍, 青 木 忠 生

**Shinobu Nakajima and Tadao Aoki**

### Abstract

In this paper we describe the following three modules.

The function of the first module is to create the coded data to transmit to the Headquarters of Japan Meteorological Agency (JMA). These are the geopotential height, precipitable water and sea surface temperature in SATEM code and the atmospheric temperature and the relative humidity in TEMP TOVS code that is very similar to TEMP SHIP code.

The function of the second module is to archive, in magnetic tape, the data which are stored in the TOVS data file, the Cloud Information and Location file and the Atmospheric Parameter Retrieval file.

The function of last module is to archive in magnetic tape, the data which is stored the TOVS Sea Surface Temperature file.

### 1. はじめに

TOVS データ処理システムで算出された鉛直温度, 可降水量, 表面温度, 雲頂高度, 雲量分布等の値を書き付きで 6250 BPI の磁気テープに保存累積したり, コード変換を行なって気象庁予報部へ ADESS を通じて送るデータの作成を行なうのが本処理である。また, 第7章で述べられている表面温度場データも, 本処理によって書き付きで 6250 BPI の磁気テープに累積され, これは TOVS 海面温度図の作成の入力データになる。

本章では, この処理を構成する ADESS データの作成, 鉛直分布データの保存累積ファイルの作成, 表面温度場データの保存累積ファイルの作成について述べる。Fig. 1 にこれらの処理の処理フローを示す。

### 2. ADESS 配信データの作成

鉛直分布計算で算出される鉛直温度, 可降水量, 表面温度, 雲量分布, 雲頂高度の気象要素のうち一部の気象要素を TOVS 高層資料通報式 (TEMP TOVS と呼ぶ) および気象衛星高層実況通報式 (SATEM と呼ぶ) にコ

ード変換するのが ADESS 配信データ作成 (Coding APRET data) 処理である。ここで作成された通報データは, 気象庁予報部へ ADESS を通じて送信され, 予報解析に利用される。

TEMP TOVS は, 海上高層実況気象通報式 (TEMP SHIP) とほぼ同じ形式の国内専用の通報式であり, SATEM は, 国際気象通報式 (FM 86-VII Ext.) である。

TEMP TOVS, SATEM で報ずる内容, 目的を Table 1 に示す。

また, TEMP TOVS および SATEM の通報式そのものをそれぞれ付録 A, 付録 B に示す。

これらの通報式には, 層厚, 露点差も報ずることになっている。ここではまず鉛直温度および可降水量から, 層厚, 露点差を計算する方法を述べ, その後 TEMP TOVS, SATEM の作成について述べることにする。

#### 2.1 露点差の計算

鉛直分布算出で求められた各指定気圧面の温度, 可降水量より TEMP TOVS の要素である露点差を計算する方法について述べる。

各気層の露点差を求めるには各気層の可降水量, 温度,

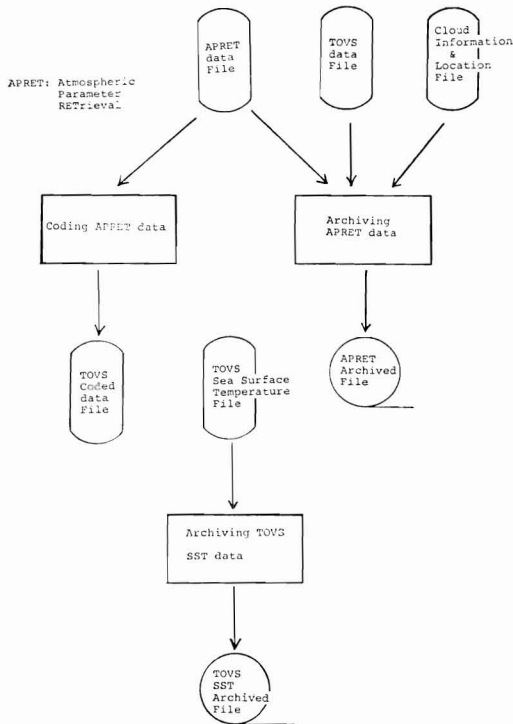


Fig. 1 Flow diagram of coding and archiving of atmospheric parameter retrieval data.

高度より水蒸気圧を計算する。次に水蒸気圧を露点温度に変換し、この露点温度と温度より露点差を計算する。

水蒸気圧の計算は、 $i$  指定気圧面での可降水量 ( $\text{g}/\text{cm}^2$ )、温度 ( $^{\circ}\text{K}$ )、高度 (km)、水蒸気圧 (mb) をそれぞれ  $u_i$ ,  $T_i$ ,  $z_i$ ,  $e_i$  とする。

水蒸気圧  $e_i$  と、この層をはさみ、 $i-1$ ,  $i+1$  の指定気圧面の可降水量  $u_{i-1}$ ,  $u_{i+1}$ 、高度  $z_{i-1}$ ,  $z_{i+1}$  およびこの層間の平均気温  $\bar{T}_i$  との間には、次式のような近似式が成り立つことを利用して求める。

$$\frac{e_i}{P_0} \cdot \frac{T_0}{\bar{T}_i} \cdot |z_{i+1} - z_{i-1}| = |u_{i-1} - u_{i+1}| \cdot a_1 \quad (1)$$

ただし

$$a_1 = 1.2452 \times 10^{-2}$$

$$P_0 = 1013.25 \text{ (mb)}$$

$$T_0 = 273.155 \text{ (}^{\circ}\text{K)}$$

$$\bar{T}_i = \frac{T_{i-1} + 2T_i + T_{i+1}}{4}$$

(1) 式を変形すると

$$\begin{aligned} e_i &= P_0 \cdot \frac{\bar{T}_i}{T_0} \cdot \left| \frac{u_{i-1} - u_{i+1}}{z_{i+1} - z_{i-1}} \right| \cdot a_1 \\ &= \left| \frac{u_{i-1} - u_{i+1}}{z_{i+1} - z_{i-1}} \right| \cdot \bar{T}_i \cdot C_1 \end{aligned} \quad (2)$$

ただし

$$C_1 = a_1 \cdot \frac{P_0}{T_0} = 0.04619$$

$T_i$ ,  $u_i$  は、鉛直分布算出で得られるデータであるが、 $z_i$  は求める必要がある。

一方、 $i$  指定気圧面、 $(i+1)$  指定気圧面の高度 (km)、気圧 (mb)、温度 ( $^{\circ}\text{K}$ )、可降水量 ( $\text{g}/\text{cm}^2$ ) をそれぞれ  $z_i$ ,  $z_{i+1}$ ,  $P_i$ ,  $P_{i+1}$ ,  $T_i$ ,  $T_{i+1}$ ,  $u_i$ ,  $u_{i+1}$  とすると、層厚差  $\Delta h_i$  ( $= |z_{i+1} - z_i|$ ) は、

$$\Delta h_i = a_1 \cdot (1 + a_2 \bar{T}_i) \left\{ 1 + a_3 \left( \frac{\bar{e}}{P} \right)_i \right\} \cdot \log_{10} \frac{P_i}{P_{i+1}} \quad (3)$$

ただし

$$a_1 = 18.4103 \text{ (測定定数)}$$

$$a_2 = 0.0036608 \text{ (= } 1/273.155)$$

$$a_3 = 0.378$$

Table 1 Code of TOVS product.

通報式	TEMP TOVS-TOVS 高層資料通報式	SATEM-気象衛星高層実況通報式
利用目的	総観解析	数値解析及び海況解析
気象要素	気温、露点差、(層厚)	層厚、可降水量、雲量、雲頂の気圧高度、放射海面水温
鉛直分解能	850, 700, 500, 300 mb の4層	1000, 850, 700, 500, 400, 300, 250, 200, 150, 100, 70, 50, 30, 20, 10 mb の15層
水平分解能	250~500 km	経度方向 50~100 km 緯度方向 80 km



**Table 2** Nominal geopotential height and precipitable water at standard isobaric surface.

指定気圧面の気圧	高度	水蒸気量
1000.0 (mb)	0.11 (km)	3.39889 (g/cm <sup>2</sup> )
850.0	1.46	2.01084
700.0	3.02	1.04449
500.0	5.59	0.36103
400.0	7.21	0.20512
300.0	9.19	0.12843
250.0	10.40	0.09916
200.0	11.83	0.07382
150.0	13.66	0.04988
100.0	16.24	0.02492
70.0	18.51	0.00754
50.0	20.66	0.00006
30.0	23.95	0.00004
20.0	26.59	0.00003
10.0	31.19	0.00001

$$\bar{t}_i = \frac{1}{2} (T_i + T_{i+1}) - 273.155$$

$$\left(\frac{\bar{e}}{P}\right)_i = \frac{2}{P_i + P_{i+1}} \bar{e}_i$$

$$\bar{e}_i = \left| \frac{u_i - u_{i+1}}{z_{i+1} - z_i} \right| \cdot \frac{T_i + T_{i+1}}{2} \cdot C_1 \quad (4)$$

そこで、まず水蒸気圧  $e_i$  を計算するため、高度データの初期値としてノミナル値を使用する。ここで使用しているノミナル高度値を Table 2 に示す。今このノミナルな高度値を  $z_i^0$  とすると

$$\Delta h_i = \Delta h_i^0 = |z_{i+1}^0 - z_i^0|$$

として

(4) 式に代入して  $\bar{e}_i$  を求める。

すなわち

$$\bar{e}_i = \frac{|u_i - u_{i+1}|}{\Delta h_i^0} \cdot \frac{T_i + T_{i+1}}{2} \cdot C_1$$

で求まる。

ここで求められた  $\bar{e}_i$  を、(3) 式に代入して  $\Delta h_i$  を求める。

この  $\Delta h_i$  を (2) 式に代入して  $e_i$  が求まる。

すなわち

$$e_i = \left| \frac{u_{i-1} - u_{i+1}}{(z_{i+1} - z_i) + (z_i - z_{i-1})} \right| \bar{T}_i C_1$$

$$= \left| \frac{u_{i-1} - u_{i+1}}{\Delta h_i + \Delta h_{i-1}} \right| \bar{T}_i C_1$$

で  $e_i$  が求まる。

水蒸気圧  $e_i$  が求まると水蒸気圧  $e_i$  より Table 3 の水の飽和蒸気圧表を使って露点温度  $T_{ci}$  が算出される。

露点差  $Dd_i$  は、温度  $T_i$  より露点温度  $T_{ci}$  を引いて求める。

このようにして露点差が計算される。

## 2.2 層厚の計算

前節で述べた露点差計算において層厚差  $\Delta h_i$  の計算式を使用したがこの式を使用して層厚差  $\Delta h_i$  が計算される。

すなわちノミナル高度値  $z_i^0$  を使い

$$\Delta h_i^0 = |z_{i+1}^0 - z_i^0|$$

を、(4) 式に代入して  $\bar{e}_i$  を求める。

この  $\bar{e}_i$  をもとにして (3) 式より  $\Delta h_i$  が求まる。求めるものは、特定基準面から指定気圧面までの層厚であるからこれらの  $\Delta h_i$  の和として表わすことができる。したがって特定基準面からこの基準面の上方にある指定気圧面までの層厚  $h_j$  は、

**Table 3** Saturation water vapour pressure.

温度 (°C)	水の飽和 蒸気圧 (mb)	温度 (°C)	水の飽和 蒸気圧 (mb)	温度 (°C)	水の飽和 蒸気圧 (mb)	温度 (°C)	水の飽和 蒸気圧 (mb)	温度 (°C)	水の飽和 蒸気圧 (mb)
-100.0	0.0000	-98.0	0.0000	-96.0	0.0001	-94.0	0.0001	-92.0	0.0001
-90.0	0.0002	-88.0	0.0003	-86.0	0.0004	-84.0	0.0006	-82.0	0.0008
-80.0	0.0011	-78.0	0.0015	-76.0	0.0021	-74.0	0.0028	-72.0	0.0038
-70.0	0.0050	-68.0	0.0066	-66.0	0.0087	-64.0	0.0114	-62.0	0.0148
-60.0	0.0191	-58.0	0.0245	-56.0	0.0314	-54.0	0.0399	-52.0	0.0505
-50.0	0.0636	-48.0	0.0798	-46.0	0.0996	-44.0	0.1238	-42.0	0.1533
-40.0	0.1890	-38.0	0.2321	-36.0	0.2839	-34.0	0.3460	-32.0	0.4201
-30.0	0.5083	-28.0	0.6129	-26.0	0.7365	-24.0	0.8821	-22.0	1.0531
-20.0	1.2533	-18.0	1.4870	-16.0	1.7591	-14.0	2.0748	-12.0	2.4402
-10.0	2.8621	-8.0	3.3479	-6.0	3.9058	-4.0	4.5448	-2.0	5.2752
0.0	6.1078	2.0	7.0550	4.0	8.1298	6.0	9.3470	8.0	10.7224
10.0	12.2731	12.0	14.0181	14.0	15.9777	16.0	18.1740	18.0	20.6307
20.0	23.3738	22.0	26.4307	24.0	29.8315	26.0	33.6082	28.0	37.7949
30.0	42.4285	32.0	47.5483	34.0	53.1961	36.0	59.4166	38.0	66.2573
40.0	73.7687	42.0	82.0043	44.0	91.0209	46.0	100.8786	48.0	111.6410
50.0	123.3749	52.0	136.1512	54.0	150.0443	56.0	165.1325	58.0	181.4980

$$h_j = \sum_{m=i}^{j-1} \Delta h_m \quad (j > i)$$

で表わすことができる。

なお、(4)式においては、 $u_i, u_{i+1}, T_i, T_{i+1}$ は、鉛直分布算出から得られるデータであるが、 $T_i, T_{i+1}$ が求まっていて、 $u_i, u_{i+1}$ が求まっていない場合には、 $u_i, u_{i+1}$ のかわりに Table 2 のノミナルな水蒸気量の値を用いる。

### 2.3 TEMP TOVS 通報式の作成

TEMP TOVS 通報式を作成するかどうかは、カード入力される TEMP TOVS 作成指定カードの有無によって決まる。

TEMP TOVS 作成指定カードには、作成する気象要素（表面気圧、海面温度、鉛直温度、層厚、露点差）や、作成するデータの条件（晴天域で海上のデータについては必ず作成するが、その他に、陸上のデータについても作成するかどうか、雲域のデータも作成するかどうか。また、ある北限以内のデータのみしか作成しないかどうか。鉛直分布データをどのくらいサンプリングして作成するか等）が指定されている。

これらの指定に基づいて TEMP TOVS 通報式が作成される。

まず、鉛直分布データファイルより鉛直分布データを

読み込み、この鉛直分布データが上記の作成するデータの条件に当てはまるかどうかを調べ満足するデータであれば、以下の処理を行なう。

まずカATALOG部、ヘッダー部を作成し、データ部の第1節の作成を行なう。観測緯度、経度はこの第1節に作成される。

次に第2節の作成になるわけであるが、第2節には、表面気圧、海面温度のデータを作成して入れることが可能であるが、通常この要素は、作成しなくて固定値 (/) を入れている。

第3節には、850 mb, 700 mb, 500 mb, 300 mb の4層に対して、層厚、温度、露点差の3要素を報ずることが可能である。

作成する気象要素指定に、層厚があれば、鉛直温度、可降水量を使用して、2.2節で、述べた層厚計算式に基づいて層厚が計算される。

温度指定があれば、鉛直分布ファイルより該当する層の鉛直温度を取り出し、絶対温度より°Cに直して入れる。

露点差の指定があれば、2.1節の露点差計算の方法を使用して露点差を求め、その値を入れる。

なお、層厚の計算の場合、鉛直温度データの品質管理 (Quality Control) チェック指定があれば、鉛直分布算

出処理で付けられる QC フラグの良であるデータのみを使用して作成を行なう。温度作成の場合も同様である。また、露点差の作成の場合、鉛直温度の他に、可降水量に対する QC チェック指定も可能であり、この場合可降水量 QC フラグの良であるデータのみを作成に使用する。

通報するデータがないときに報ずる NIL 報の作成はカードによって指定される。この指定があれば、カタログ部、ヘッダー部と NIL データが作成される。

#### 2.4 SATEM 通報式の作成

SATEM 通報式で通報する気象要素は、雲量、雲頂高度、海面温度および基準レベルからの各指定気圧面までの層厚、可降水量である。

SATEM 通報式を作成するかどうかは、カード入力される SATEM 作成指定カードの有無によって決まる。

SATEM 作成指定カードには、作成を行なう気象要素(雲量、雲頂高度、海面温度、層厚、可降水量)や、作成するデータの条件(晴天域で海上のデータばかりでなく、陸上のデータを作成するのか、雲域のデータを作成するのか、また、どの層まで作成するのか、どの緯度まで作成するのか、鉛直分布データをどのくらいサンプリングして作成するのか等)が指定されている。

これらの指定に基づいて SATEM 通報式の作成を行なう。

鉛直分布データファイルより鉛直分布データを読み込み、上の条件に当てはまるデータであるかを調べ、満足するデータであるとき以下の処理を行なう。

まずカタログ部、ヘッダー部を作成し、次にデータ部の第1節を作る。

第2節に、観測データの緯度、経度を作成する。また、雲量、雲頂高度のそれぞれに対して作成指定があれば、これらの要素の作成も行なう。

雲頂高度については、AVHRR データより算出されているものと、HIRS データによって算出されているものとの二通りがある。いずれの雲頂高度のデータを使用するかは、カード指定によってなされ、指定された雲頂高度のデータより作成する。

層厚作成の指定があれば、鉛直温度、可降水量データより層厚計算式に基づいて、層厚を求め、第3節に入れる。

可降水量の作成指定があれば、可降水量の値を第4節に入れる。

層厚および可降水量とも、特定基準面として 1000 mb を使用する。

海面温度の作成指定があれば、第5節に作成する。

雲頂高度、層厚、可降水量、海面温度のそれぞれの作成に対しては、QC チェック指定が可能であり、QC チェック指定がなされた場合、層厚については、鉛直温度、可降水量の両方とも、QC フラグが良でないデータの場合は作成しない。

雲頂高度、可降水量、海面温度についてはそれぞれ、雲頂高度、可降水量、表面温度の QC フラグが良でないデータの場合は作成しない。

通報するデータがないときに報ずる NIL 報の作成は、カード指定によって行なわれる。この NIL 報の作成指定があれば、カタログ部、ヘッダー部と NIL データが作成される。

### 3. 鉛直分布データの保存・累積

鉛直分布算出処理によって作成された鉛直分布データファイル (APRET data File)、HRPT 編集校正処理で作成された TOVS データファイル (TOVS data File) および部分雲量計算処理によって作成された部分雲量ファイル (Cloud Information & Location File) の内容をそのまま書式付きで磁気テープに保存累積を行なうのが鉛直分布データの保存・累積 (Archiving APRET data) 処理である。

この磁気テープに格納される各ファイルの内容を Table 4 に示す。

鉛直分布データファイルは、TOVS データ処理で得られた最終結果で、鉛直温度、可降水量分布、雲量、雲頂高度、表面温度等が格納されていて、一般のユーザーに利用される。

TOVS データファイルや、部分雲量ファイルは、鉛直分布計算を再度やり直したりする時などに利用する。

本処理は、1 軌道毎に累積が行なわれ、6250 BPI、2400 フィートの磁気テープ 1 本に約 10 日間格納が出来る。したがって旬単位で磁気テープ 1 本が増えていくことになる。

### 4. 表面温度場データの保存・累積

本処理では、第7章で述べられている表面温度場作成処理で作成された表面温度場ファイルを、書式付きで磁気テープに保存累積を行なう。

表面温度場ファイルは、毎日 2 回作成されるので、この処理も 1 日 2 回実行される。

ここで作成された保存累積ファイルは、TOVS海面温



カタログ部

C/R C/R L/F n n n □ C L<sub>1</sub> L<sub>2</sub> L<sub>3</sub> L<sub>4</sub>

記号	意味	内容	説明	備考
C/R	キャリッジ・リターン・コード	(015) o	復帰改行指示	固定 o はオクタルの意
L/F	ライン・フィード・コード	(045) o	行送り指示	固定 "
n n n	通番	000~999	通番は ADESS 配信プログラムが設定する。	"0 0 0" (固定)
□	スペース	"□"	スペース	
CL <sub>1</sub> L <sub>2</sub> L <sub>3</sub> L <sub>4</sub>	カタログ番号	00000 } 99999	C : 衛星データの区分 L <sub>1</sub> L <sub>2</sub> : プリテン作成センター L <sub>3</sub> : データ区分 L <sub>4</sub> : プリテン識別番号	"00000" (固定)

ヘッダー部

C/R C/R L/F T T A A i i □ C C C C □ Y Y G G g g

記号	意味	内容	説明	備考
C/R	キャリッジ・リターン・コード	(015) o	復帰改行指示	固定
L/F	ライン・フィード・コード	(045) o	行送り指示	固定
TT	データの種類	"TT"	高層データであることを示す。	固定
AA	データの地域	"PQ"	データ部のデータの観測地域を示す "PQ" は北太平洋を示す。	固定
ii	シーケンス番号	1~99	プリテン番号, 1~99 でカラントアップする。 有効数字を左詰めて格納 したがって ii は, 1 又は 2 バイトで表わされる。	
CCCC	編集局	"RJTD"	編集局を示す "RJTD" は東京	固定
YY	データ時刻(日)	01~31	使用した最終データの日時(注1) (GMT)	
GG	" (時)	00~23	" (注1) (GMT)	"00" または "12" 固定
gg	" (分)	00~59	"	"0 0" 固定

(注1) YYGG は HRPT の受信開始時刻をもとに次のように設定する。  
 HRPT の受信開始時刻を yyMMDDHHmmSS (年月日時分秒, 各2桁) とした時,  
 HH<6 または 18≤HH の場合 GG は "00"  
 6≤HH<18 の場合 GG は "12"  
 とし, GG への (HH の) 桁上りを考慮して YY を定める。

データ部 (第1節)

C/R C/R L/F  $M_i M_i M_j M_j$  □ Y Y G G  $I_d$  □ 9 9  $L_a L_a L_a$  □  $Q_c L_o L_o L_o L_o$   
 □ M M M  $u_{L_a} u_{L_o}$

記号	意味	内容	説明	備考
C/R	キャリッジ・リターン・コード	(015) 0	復帰改行指示	固定
L/F	ライン・フィード・コード	(045) 0	行送り指示	"
$M_i M_i$	気象報の種類	"UU"	TOVSの資料による高層気象報であることを示す。	"
$M_j M_j$	気象報の区分	"AA"	気象報の区分を示す。 AA: A部	"
□	スペース	"□"	スペース	"
YY	観測時刻(日)	00~31	使用した最終データの日時(GMT)	HRPT 時データの受信開始時刻
GG	" (時)	00~23	" (GMT)	分単位で四捨五入
$I_d$	—	"/"	—	固定
9 9	地表面データ ID	"9 9"	地表面に関するデータを報ずることを示す。	固定
$L_a L_a L_a$	観測地点緯度	000~900	観測地点の緯度を示す。 値は 度×10 (0.1 度単位) (0.1 度未満切り捨て)	
$Q_c$	四半球指示	1, 3, 5, 7	観測地点の位置を地球の四半球で示す。 1: 北緯 東経 3: 南緯 東経 5: 南緯 西経 7: 北緯 西経	"1" 方形
$L_o L_o L_o L_o$	観測地点経度	0000 } 1800	観測地点の経度を示す。 値は 度×10 (0.1 度単位) (0.1 度未満切り捨て)	
MMM	マーズデン 方形番号	001~551	観測点の位置を示すマーズデン 10度方形番号	"///" 固定
$u_{L_a}$	緯度方向 小方形番号	0~9	観測点の位置を示すマーズデン 1度方形番号	"/" 固定
$u_{L_o}$	経度方向 小方形番号	0~9	"	"/" 固定

データ部 (第2節)

$C/R$   $C/R$   $L/F$   $9$   $9$   $P_0$   $P_0$   $P_0$   $\square$  /  $S_n$   $T_w$   $T_w$   $T_w$   $\square$   $d_0$   $d_0$   $f_0$   $f_0$   $f_0$

記号	意味	内容	説明	備考
$C/R$	キャリッジ・リターン・コード	(015) $o$	復帰改行指示	固定
$L/F$	ライン・フィード・コード	(045) $o$	行送り指示	"
$9$ $9$	地表データ ID	"9 9"	地表のデータを報ずることを示す。	"
$P_0P_0P_0$	表面気圧	000~999	地表面の気圧を示す (mb) (千位は省略)	
$\square$	スペース	" $\square$ "	スペース	固定
/	—	"/"	—	固定
$S_n$	海面水温の符号	0, 1	海面温度の符号を示す 0: 海面温度が正または0 1: " が負	
$T_wT_wT_w$	海面水温	000~999	海面温度を示す。0.1°C 単位。 0.1°C 未満四捨五入	
$d_0d_0$	地上の風向	00~99	地上の風向を示す。	"//" 固定
$f_0f_0f_0$	地上の風速	000~999	地上の風速を示す (m/s)	"///" 固定

データ部 (第3節)

C/R C/R L/F 8 5  $h_1 h_1 h_1$  □  $T_1 T_1 T_{a1} D_1 D_1$  □ 7 0  $h_2 h_2 h_2$  □  $T_2 T_2 T_{a2} D_2 D_2$   
 □ 5 0  $h_3 h_3 h_3$  □  $T_3 T_3 T_{a3} D_3 D_3$  □ 3 0  $h_4 h_4 h_4$  □  $T_4 T_4 T_{a4} D_4 D_4$

記号	意味	内容	説明	備考																				
C/R	キャリッジ・リターン・コード	(015) 0	復帰改行指示	固定																				
L/F	ライン・フィード・コード	(045) 0	行送り指示	"																				
8 5	指定気圧面	"85"	850 mb の指定気圧面を示す。 10 mb 単位。	"																				
$h_1 h_1 h_1$	層厚	000~999	1000 mb と指定気圧面との間の層厚を示す。 850 mb~700 mb は gpm 単位, 500 mb~300 mb は 10 gpm 単位, 1000位, 10000位の数は省略, 端数四捨五入																					
□	スペース	"□"	スペース																					
$T_1 T_1$	指定気圧面の温度	00~99	指定気圧面の温度の整数部を示す (°C)																					
$T_{a1}$	同上	0~9	気温の10分位の近似値および正負の識別を示す。 <table border="1" style="margin-left: auto; margin-right: auto;"> <thead> <tr> <th rowspan="2">気温の 10分位</th> <th colspan="2"><math>T_{a1}</math></th> </tr> <tr> <th>+</th> <th>-</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>0 } 1 }</td> <td>0</td> <td>1</td> </tr> <tr> <td>2 } 3 }</td> <td>2</td> <td>3</td> </tr> <tr> <td>4 } 5 }</td> <td>4</td> <td>5</td> </tr> <tr> <td>6 } 7 }</td> <td>6</td> <td>7</td> </tr> <tr> <td>8 } 9 }</td> <td>8</td> <td>9</td> </tr> </tbody> </table>	気温の 10分位	$T_{a1}$		+	-	0 } 1 }	0	1	2 } 3 }	2	3	4 } 5 }	4	5	6 } 7 }	6	7	8 } 9 }	8	9	
気温の 10分位	$T_{a1}$																							
	+	-																						
0 } 1 }	0	1																						
2 } 3 }	2	3																						
4 } 5 }	4	5																						
6 } 7 }	6	7																						
8 } 9 }	8	9																						
$D_1 D_1$	露点差	00~99 (51~55 はない)	$00 \leq D_1 D_1 \leq 50$ では, 露点差 (deg) = $D_1 D_1 / 10$ $56 \leq D_1 D_1 \leq 99$ では, 露点差 (deg) = $D_1 D_1 - 50$ ただし, $D_1 D_1 = 50$ の時, 露点差は 5.0°C 以上, 5.5°C 未満 $D_1 D_1 = 99$ の時は 49°C 以上 端数四捨五入																					

以下 700 mb, 500 mb, 300 mb のデータにおいても上記 850 mb に準ずる。ただし,  $D_4 D_4$  は "/" 固定である。



付 録 B SATEM-気象衛星高層実況通報式

気象衛星高層実況通報式 (SATEM 通報式) の構成, 内容を示す。

カタログ部  $C/R C/R L/F n n n \_ C L_1 L_2 L_3 L_4$   
 ヘッダー部  $C/R C/R L/F T T A A i i \_ C C C C \_ Y Y G G g g (\_ B B B)$   
 データ部

第1節  $C/R C/R L/F M_i M_i M_j M_j \_ Y Y G G / \_ I_1 I_2 I_2 I_3 I_4$   
 第2節  $C/R C/R L/F 222 \_ Q L_a L_a L_o L_o \_ (N_C N_C P_C P_C P_C)$   
 第3節  $(C/R C/R L/F 333 \_ P_A P_A n_L n_L q \_ P_1 P_1 t_{L1} t_{L1} t_{L1} \_ P_2 P_2 t_{L2} t_{L2} t_{L2} \dots \dots$   
 $\_ P_i P_i t_{Li} t_{Li} t_{Li} \dots \dots$   
 $\_ P_n P_n t_{Ln} t_{Ln} t_{Ln} \dots \dots$   
 第4節  $(C/R C/R L/F 444 \_ P_A P_A n_L n_L q \_ P_1 P_1 W_{L1} W_{L1} W_{L1} \_ P_2 P_2 W_{L2} W_{L2} W_{L2} \dots \dots$   
 $\_ P_i P_i W_{Li} W_{Li} W_{Li} \dots \dots$   
 $\_ P_n P_n W_{Ln} W_{Ln} W_{Ln})$   
 第5節  $(C/R C/R L/F 555 \_ S_n T_0 T_0 T_i T_i)$   
 =  
 $C/R C/R L/F$   
 NIL データ  $C/R C/R L/F N I L =$   
 $C/R C/R L/F$

- (注1) 括弧 ( ) 内の文字列は削除される場合がある。
- (注2) NIL データの場合も, カタログ部, ヘッダー部は同様に付加される。
- (注3) 括弧 [ ] は繰返しを示す。
- (注4) 値が無効の場合, 対応文字位置には “/” が入る。

カタログ部

$C/R C/R L/F n n n \_ C L_1 L_2 L_3 L_4$

記号	意味	内容	説明	備考
$C/R$	キャリッジ・リターン・コード	(015) $o$	復帰改行指示	固定 $o$ はオクタルの意
$L/F$	ライン・フィード・コード	(045) $o$	行送り指示	固定 "
$n n n$	通番	000~999	通番は ADESS 配信プログラムが設定する。	“000” 固定
$\_$	スペース	“ $\_$ ”	スペース	
$C L_1 L_2 L_3 L_4$	カタログ番号	00000 } 99999	$C$ : 衛星データの区分 $L_1 L_2$ : プリテン作成センター $L_3$ : データ区分 $L_4$ : プリテン識別番号	“00000” 固定

ヘッダー部

C/R C/R L/F T T A A i i □ C C C C □ Y Y G G g g (□ B B B)

記号	意味	内容	説明	備考
C/R	キャリッジ・リターン・コード	(015) o	復帰改行指示	固定
L/F	ライン・フィード・コード	(045) o	行送り指示	固定
T T	データの種別	“TU”	SATEM データであることを示す。	固定
A A	データの地域	“PQ”	データ部のデータの観測地域を示す。“PQ”は北西太平洋を示す。	固定
i i	シーケンス番号	1~99	ブリテン番号, 1~99 でカウントアップする。100 を超える場合, 再び 1~99 でカウントすると同時に, BBB に “RTD” を挿入する。i i は有効数字を左詰めで格納するので1または2バイトで表わされる。	
C C C C	編集局	“RJTD”	編集局を示す。“RJTD”は東京	“RJTD” 固定
Y Y	データ時刻(日)	01~31	使用した最終データの日時(GMT)	HRPT の受信開始時刻, 分単位で四捨五入する。
G G	” (時)	00~23	” (GMT)	
g g	” (分)	00~59	”	“00” 固定
B B B	—	“RTD”	訂正 “COR” または “RTD” 遅延を示す指示符であるが, i i が 99 を超えたブリテンであることを “RTD” で示すこととする。	固定 最終の99ブリテンまでは, 省略される。

データ部 (第1節)

C/R C/R L/F M<sub>i</sub> M<sub>i</sub> M<sub>j</sub> M<sub>j</sub> □ Y Y G G / I<sub>1</sub> I<sub>2</sub> I<sub>3</sub> I<sub>4</sub>

記号	意味	内容	説明	備考
C/R	キャリッジ・リターン・コード	(015) 0	復帰改行指示	固定
L/F	ライン・フィード・コード	(045) 0	行送り指示	固定
M <sub>i</sub> M <sub>i</sub>	気象報の種類	“VV”	SATEM 報であることを示す。	固定
M <sub>j</sub> M <sub>j</sub>	気象報の区分	“AA” “BB” “CC” “DD”	気象報の区分で示す。 AA: A 部 BB: B 部 CC: C 部 DD: D 部	“AA” 固定
Y Y	観測時刻(日)	00~31	使用した最終のデータの日時(GMT)	HRRT 受信開始時刻, 分単位で四捨五入
G G	” (時)	00~23	” (GMT)	
/	スラント	“/”	————	固定
□	スペース	“□”	スペース	”
I <sub>1</sub>	衛星運用国の ID	0~9	————	
I <sub>2</sub> I <sub>2</sub>	衛星の ID	30~39	30: TIROS-N 31: TIROS-N シリーズの最初に実用化された衛星 32: NOAA-6 33-39: TIROS-N シリーズ用の予備	
I <sub>3</sub>	使用観測器機	0~9	0: 使用器機に関する指定なし 1: HIRS+MSU+SSU 2: HIRS+MSU 3: HIRS 4: HIRS+SSU 5: MSU 6: MSU+SSU 7: SSU 8-9: 予備 (注)	
I <sub>4</sub>	圏界面の高度を求める処理方式	0~9	0: 特記すべき処理法ではない 1: 自動総計処理による 2-4: その他の自動処理による 5: 計算機と手計算による 6-9: その他の計算機と手計算による処理法	“0” 固定

注) この項目には、鉛直分布算出に使用した係数の大カテゴリーの値をセットする。

データ部 (第2節)

C/R C/R L/F 2 2 2 □ Q L<sub>a</sub> L<sub>a</sub> L<sub>o</sub> L<sub>o</sub> □ (N<sub>C</sub> N<sub>C</sub> P<sub>C</sub> P<sub>C</sub> P<sub>C</sub>)

記号	意味	内容	説明	備考
C/F	キャリッジ・リターン・コード	(015) o	復帰改行指示	固定
L/F	ライン・フィード・コード	(045) o	行送り指示	"
2 2 2	節番号 ID	"222"	第2節であることを示す	"
□	スペース	"□"	スペース	"
Q	観測位置	0~3 5~9	観測位置を示す (北半球) 0: 0°~西経 90° まで 1: 西経 90°~180° まで 2: 180°~東経 90° まで 3: 東経 90°~0° まで (南半球) 5: 0°~西経 90° まで 6: 西経 90°~180° まで 7: 180°~東経 90° まで 8: 東経 90°~0° まで	2のみ使用する。
L <sub>a</sub> L <sub>a</sub>	観測緯度	00~90	観測位置の緯度を示す (deg) (小数点以下四捨五入)	
L <sub>o</sub> L <sub>o</sub>	観測経度	00~99	観測位置の緯度の十位と一位を示す (deg) (百位は省略, 小数点以下四捨五入)	
N <sub>C</sub> N <sub>C</sub>	雲量	00~99	観測地点の雲域の割合を示す (%)。 端数四捨五入 (100% と 99% は "99" で示す)	
P <sub>C</sub> P <sub>C</sub> P <sub>C</sub>	雲頂高度	000~999	雲頂高度を気圧で示す (mb) (千位は省略), 端数四捨五入	HIRS を使って求めた雲頂高度と AVHRR を使って求めた雲頂高度の いずれかをカード により指定

データ部 (第3節)

$C/R$   $C/R$   $L/F$  3 3 3  $\square$   $P_A$   $P_A$   $n_L$   $n_L$   $q$   $\square$   $\dots$   $P_i$   $P_i$   $t_{Li}$   $t_{Li}$   $t_{Li}$

記号	意味	内容	説明	備考
$C/R$	キャリッジ・リターン・コード	(015) $o$	復帰改行指示	固定
$L/F$	ライン・フィード・コード	(045) $o$	行送り指示	固定
3 3 3	節番号 ID	“333”	第3節であることを示す。	
$\square$	スペース	“ $\square$ ”	スペース	
$P_A P_A$	特定基準面の気圧	00~99	特定基準面の気圧を示す (10 mb 単位) (千位は省略)	“00” (1000 mb)
$n_L n_L$	分割層数	00~99	分割層の有効データ数を示す	“01”~“14”
$q$	データの信頼度	0~9	データの信頼度を示す (10% 単位) 注)	
$P_i P_i$	指定気圧面の気圧	00~99	指定気圧面の気圧を示す (10 mb 単位) (千位は省略) ( $i=1\sim n_L n_L$ )	
$t_{Li} t_{Li} t_{Li}$	層厚	000~999	$P_A P_A$ と $P_i P_i$ との間の層厚を示す (10 gpm) 端数四捨五入, 千位は省略 ( $i=1\sim n_L n_L$ )	

注) この項目には、鉛直分布算出時に使用した低層温度算出係数の小カテゴリーの値をセットする。

データ部 (第4節)

$C/R$   $C/R$   $L/F$  4 4 4  $\square$   $P_A$   $P_A$   $n_L$   $n_L$   $q$   $\square$   $\dots$   $P_i$   $P_i$   $W_{Li}$   $W_{Li}$   $W_{Li}$

記号	意味	内容	説明	備考
$C/R$	キャリッジ・リターン・コード	(015) $o$	復帰改行指示	固定
$L/F$	ライン・フィード・コード	(045) $o$	行送り指示	固定
4 4 4	節番号 ID	“444”	第4節であることを示す。	
$\square$	スペース	“ $\square$ ”	スペース	
$P_A P_A$	特定基準面の気圧	00~99	特定基準面の気圧を示す (10 mb 単位) (千位は省略)	“00” (1000 mb)
$n_L n_L$	分割層数	00~99	分割層の有効データ数を示す	“01”~“04”
$q$	データの信頼度	0~9	データの信頼度を示す (10% 単位) 注)	“/” 固定
$P_i P_i$	指定気圧面の気圧	00~99	指定気圧面の気圧を示す (10 mb 単位) (千位は省略) ( $i=1\sim n_L n_L$ )	
$W_{Li} W_{Li} W_{Li}$	可降水量	000~999	$P_A P_A$ と $P_i P_i$ 間の層の可降水量を示す (mm), 端数四捨五入	

注) この項目には鉛直分布算出等に使用した水蒸気量算出係数の小カテゴリーの値をセットする。

データ部 (第5節)

C/R C/R L/F 5 5 5 □ S<sub>n</sub> T<sub>0</sub> T<sub>0</sub> T<sub>t</sub> T<sub>t</sub>

記号	意味	内容	説明	備考
C/R	キャリッジ・リターン・コード	(015) o	復帰改行指示	固定
L/F	ライン・フィード・コード	(045) o	行送り指示	固定
5 5 5	節番号 ID	“555”	第5節であることを示す。	固定
□	スペース	“□”	スペース	
S <sub>n</sub>	地表面温度の符号	0~1	0: 地表面温度が正または0 1: “ ” 負	
T <sub>0</sub> T <sub>0</sub>	地表面温度	00~99	地表面温度を示す (°C) (小数点以下四捨五入)	
T <sub>t</sub> T <sub>t</sub>	圏界面温度	00~99	圏界面の温度を示す (°C)	“//” 固定

## 気象衛星センター技術報告

### 編集委員会

編集主幹 門脇俊一郎

編集委員 市沢成介, 上田真也, 岡田健吉  
小花隆司, 北谷 茂, 木村光一  
杉本清秋, 高橋博邦, 前田有勝  
前橋紀恵子, 桃井保清

昭和58年3月31日発行

編集兼  
発行所 気 象 衛 星 セ ン タ ー

東京都清瀬市川清1-3-235

印刷所 学術図書印刷株式会社

東京都練馬区豊玉北 2-13

電話 (991) 3 7 5 4 番

METEOROLOGICAL SATELLITE CENTER

TECHNICAL NOTE

SPECIAL ISSUE

SUMMARY OF  
TOVS DATA PROCESSING SYSTEM

---

METEOROLOGICAL SATELLITE CENTER

235, Nakakiyoto 3 chome kiyose-shi

Tokyo 204 JAPAN

March 1983