

# 衛星搭載の放射計について

木村 光一

## 概要

1960年4月1日に TIROS-1号が、気象衛星第1号として打上げられ、搭載されたTVカメラより、地球の雲分布を観測することに成功して以来、多くの気象衛星が打上げられた。搭載される観測機器は次々改良され、より高精度のデータ、より多い情報の取得が求められている。本文では、いくつかの気象衛星および地球観測衛星と、その衛星に搭載されている放射計について述べる。

本文の記載については、各種の資料を参考としたが、その資料の発行された時期によっては、実際とは違っている可能性のある事を了解していただきたい。

### (1) GMS (Geostationary Meteorological Satellite)

GMS は、日本の静止気象衛星「ひまわり」である。この衛星は、世界気象機関と、国際学術連合会議が共同しておこなう、地球大気開発計画にもとづいて、打上げられた。同様の気象衛星として、METEOSAT ((2)参照)、SMS/GOES ((3)参照)がある。

打上げ日 1977年7月14日

位置 東経 140度 (静止軌道)

GMS は、高度 36,000km の静止軌道にあり、西から東へ1分間 100回転で自転しているスピン安定型衛星である。形状は円筒形をしており、周囲は太陽電池におおわれている。太陽電池が衛星の主たる電源である。通信系にはSバンド、UHF、VHF帯が使用されている。

GMS-2 は、GMS とほぼ同規模の衛星であり、1981年夏に打上げの予定である。GMS に搭載している放射計は VISSR である。

### (1-1) VISSR (Visible and Infrared Spin Scan Radiometer)

VISSR は、スピン安定型の静止衛星用に製作された放射計である。

VISSR の望遠鏡は、直径 40.6cm、焦点距離 291cm で、Ritchey-Chretien 型である。地球からの光は、スピン軸に直角の方向から、約45度傾いた走査鏡より入る。この走査鏡が2,500ステップすることにより、北から南への走査をおこなう。また、衛星の自転を利用して、西から東への走査をおこなう。走査鏡を反射した光は、一次鏡、二次鏡を経て、焦点面に集まる。焦点面には可視、赤外の検知器がある。

可視のセンサは、タテ4個2列のPMT (Photo Multiplier Tube) よりなり、0.5~0.75ミクロンの波長帯に感じる。2列の一方は現用で、他方は予備である。

赤外のセンサは2個のHgCdTeで、10.5~12.5ミクロンの大気の窓領域に感じる。2個の一方は現用で、他方は予備用である。HgCdTeの特性を良くするため、放射冷却器により、95°Kに冷却されている。

可視センサのキャリブレーションは、50%アルベドに減光した太陽データと、ゼロ・リファレンスの宇宙空間、および、0~5Vの階段状電圧の挿入によりおこなう。赤外センサのキャリブレーションは、高温側リファレンスとして、地上からのコマンドにより赤外センサの視野に挿入する黒体シャッター、ゼロ・リファレンスの宇宙空間、および0~5Vの階段状電圧の挿入によりおこなう。

VISSR 画像を利用して、雲分布の観測、雲の動きによる風ベクトルの算出、海面温度分布、雲量分布、雲頂高度データの取得などをおこなっている。

表 1.1 VISSR (GMS)

名 称	波長域 (μm)	種 類	検 名 器	分解能 (km)	範 囲	備 考
VISSR	0.5~0.75	可視	PMT	1.25	全球	
	10.5~12.5	赤外 (窓)	HgCdTe	5	〃	

### (2) METEOSAT-1 (Meteorological Satellite)

METEOSAT は、欧州宇宙機関 (ESA, European Space Agency) の静止気象衛星である。このプログラムは、もともとフランスで、衛星の放射計調査により始

まり、1972年から欧州宇宙機関 (加盟国はベルギー、デンマーク、フランス、西ドイツ、イタリア、スウェーデン、スイス、イギリスよりなる) により開発が進められた。

METEOROLOGICAL SATELLITE CENTER TECHNICAL NOTE NO. 3, MARCH 1981

打上げ日 1977年11月23日  
位置 経度0度 (静止軌道)

打上げ後、順調に運用され地球大気開発計画 (GARP) の一環として、その役割を果している。衛星は、高度

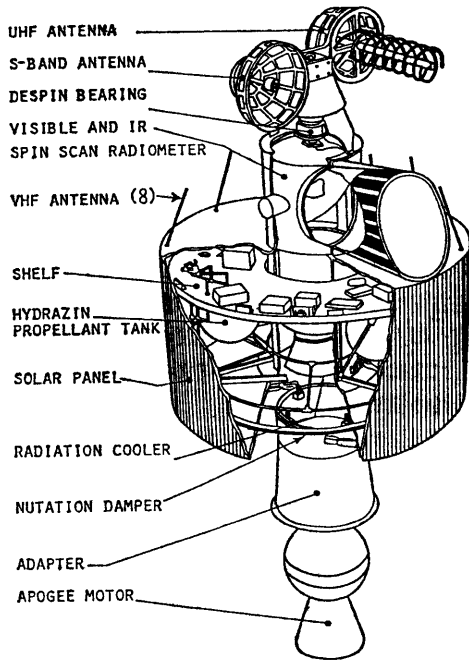


図 1 GMS

36,000km の静止軌道にあり、1 分間 100 回転のスピ安定方式の静止衛星である。形状は、円筒形をしており、周囲は太陽電池におおわれている。太陽電池が、衛星の主たる電源となる。通信系はSバンド、UHF、VHF帯が使用されている。なお、METEOSAT-1 は、1979年11月24日に、トラブルを起こし、その後は画像取得を中断している。

(2-1) METEOSAT の放射計

METEOSAT の放射計は、スピ安定型の静止衛星用の放射計であるが、日本の GMS、米国の GOES/SMS 搭載の VISSR とは少し構造が違う。METEOSAT の放射計には一次鏡、二次鏡よりなる可動型 Ritchey-

Chretien 型望遠鏡が取りついており、2本の軸で回転する。地球からの入射光は、一次鏡、二次鏡で反射した後、フォールディングミラー等を経てセンサに入射されるが、東から西への走査は衛星自体の回転により、南から北への走査は望遠鏡の回転により、2,500ステップで全球を走査する。

センサは、可視はシリコン・フォト・ダイオード、赤外は HgCdTe が使用されている。赤外センサは、放射冷却器により、90°K に保たれている。放射計のデータは、衛星内部のバッファに一時蓄積され、放射計が地球を見ていない、衛星1回転中の19/20の時間に引き延して、地上に送信する。これによりデータのビット・レートを下げる事ができる。放射計より出力されるデータは、可視が0.4~1.1ミクロン、赤外はフィルタにより、窓領域10.5~12.5ミクロンと、水蒸気吸収帯5.7~7.1ミクロンに分けられる。

赤外データのキャリブレーションは、トルク・モータにより、赤外センサの視野内に、2個の鏡が入ることによりおこなわれる。一方の鏡は、赤外センサ自身を反射する。赤外センサは、感度を良くするため放射冷却器により90°K になっているから、低温側のリファレンスとなる。また、この鏡には小さな穴があり、太陽光が通過して、太陽キャリブレーションがおこなえる。他方の鏡は、黒体シャッターを反射するので、これを高温側のリ

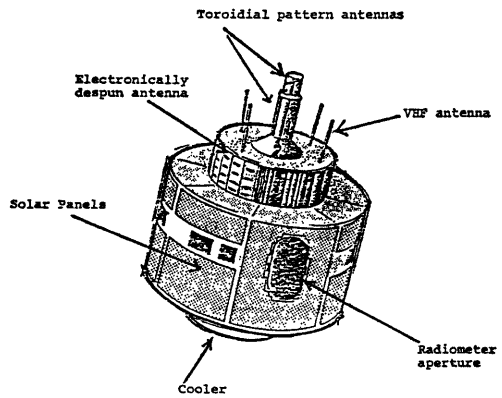


図 2 METEOSAT

表 2.1 METEOSAT の放射計

名 称	波長域 (μm)	種 類	検 知 器	分解能 (km)	範 囲	備 考
METEOSAT 放 射 型	0.4~ 1.1	可視	Si-Diode	2.5	全 球	
	10.5~12.5	赤外 (窓)	HgCdTe	5	"	
	5.7~ 7.1	" (H <sub>2</sub> O)	"	5	"	

ファレンスに使用できる。

放射計取得の画像データを使用して、風ベクトル、海面水温、雲頂高度、雲分布、対流圏上層部の水蒸気分布、放射バランスの気象要素を算出している。

### (3) GOES (Geostationary Operational Environmental Satellite)

GOES システムは、プロトタイプの SMS (Synchro-nous Meteorological Satellite) と名づけられた2衛星と、運用の GOES と名づけられた衛星シリーズから構成されている。SMS は米国の NASA が、また GOES は米国の NOAA がプログラムの責任をもっている。但し、実時間運用に関しては、NOAA の中の NESS が責任をもっている。各衛星の打上げ年月は次の通りである。

SMS-1	1974年 5月17日
SMS-2	1975年 2月 6日
GOES-1	1975年10月16日
GOES-2	1977年 6月16日
GOES-3	1978年 6月16日
GOES-4	1980年 9月 9日

1980年はじめ頃の各衛星の位置は、次の通りである。

SMS-1	西経 130 度
SMS-2	西経 75 度
GOES-1	西経 70 度
GOES-2	西経 105 度
GOES-3	西経 135 度

衛星は、高度 36,000 km の静止軌道にあり、1 分間 100 回転するスピン安定衛星である。SMS/GOES は、日本の GMS および ESA の METEOSAT とともに、地球を取囲む世界気象衛星組織の一環となっている。

#### (3-1) VISSR

SMS-1, 2 および GOES-1, 2, 3 に搭載されている放射計は、VISSR で GMS の VISSR とほぼ同型である。VISSR センサの波長帯は、可視 0.5~0.75 赤外は 10.5~12.6 ミクロンである。VISSR は Ritchey-Chretien 型の光学システムで、走査鏡に入るデータを取り込み、可視光は 8 個の PMT、赤外は 2 個の HgCdTe のセンサにより、電圧に変えられる。HgCdTe は、95° K に保たれるよう、VISSR の放射冷却器で冷やされる。

走査鏡は、1821ステップ(約18分)で全球を走査する。走査方向は東から西、北から南である。キャリブレーションの方法は、GMS とほぼ同様である。

#### (3-2) VAS (VISSR Atmospheric Sounder)

GOES-4 より、VISSR に替って、VAS が放射計として搭載される。VAS は VISSR の機能を拡大したものとしてスピン安定方式の静止衛星用に開発され、地球からの可視、赤外領域の放射を、走査鏡より取り込む。

センサとして、可視用に PMT、赤外用に HgCdTe の他、赤外用 InSb を使用する。さらにその2種類の赤外センサの出力に、バンド・パス・フィルタを通過させ、大気窓領域の他、H<sub>2</sub>O 吸収帯、CO<sub>2</sub> 吸収帯のデータ等、計12チャンネルを取得することができる。赤外センサは、95° K 程度で作動させる必要があるため放射冷却器が使用される。VAS による地球走査は、東から西へは、衛星の回転により、北から南は走査鏡のステップによる。走査鏡は1821ステップ(約18分)で全球を走査する。

VAS の運用法として、次の3モードがある。

##### イ) VISSR モード

VAS として VISSR より機能が拡大した部分を使用せず、従来の VISSR と同様に、可視と、赤外各1チャンネルで運用するモードである。

##### ロ) Multispectral Imaging モード

このモードでは、従来の VISSR の機能の他、赤外2チャンネルのデータを取得できる。(可視1チャンネルと赤外3チャンネルの取得がおこなえる。)この追加の

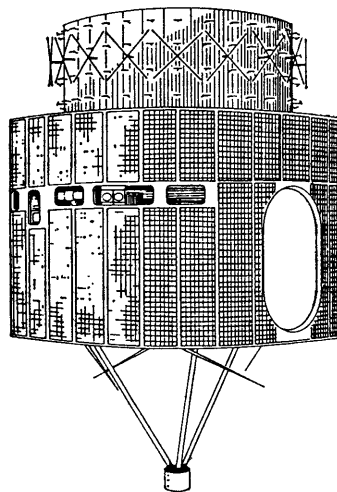


図 3 SMS/GOES

METEOROLOGICAL SATELLITE CENTER TECHNICAL NOTE NO.3, MARCH 1981

赤外2チャンネルは、バンド・パス・フィルタにより、12チャンネルの中から任意のチャンネルを各々選択できる。

するモードで、赤外12チャンネル全部よりデータを取得する。そのため、走査鏡のステップは、衛星が複数回スピンする毎におこなう。この方式では、全球の撮像は、18分以上かかる。

イ)ロ)では、走査鏡は衛星1スピんで1ステップし、約18分で全球画像が取得できる。

赤外のキャリブレーションは、宇宙空間と黒体シャッターによる。黒体シャッターにはヒーターが取付けられ、複数の温度リファレンスを取得できる。

ハ) Dwell Sounding モード  
大気鉛直温度、水蒸気分布等を測定するために使用

表 3.1 VISSR (SMS/GOES)

名 称	波長域 (μm)	種 類	検 知 器	分解能(km)	範 囲	備 考
VISSR	0.55~0.75	可視	PMT	0.9	全 球	
	10.5~12.6	赤外 (窓)	HgCdTe	7	"	

表 3.2 VAS (GOES-4の予定)

名 称	波長域 (μm)	種 類	検 知 器	分解能(km)	範 囲	備 考
VAS	0.55~0.75	可視	PMT	0.9	全 球	波長域は変更の可能性あり
	3.9	赤外 (窓)	InSb	7	"	
	4.4	赤外 (CO <sub>2</sub> )	"	"	"	
	4.5	"	"	"	"	
	6.7	赤外 (H <sub>2</sub> O)	HgCdTe	7/14	"	
	7.3	"	"	"	"	
	11.2	赤外 (窓)	"	"	"	
	12.7	赤外 (H <sub>2</sub> O)	"	"	"	
	13.3	赤外 (CO <sub>2</sub> )	"	"	"	
	14.0	"	"	"	"	
	14.3	"	"	"	"	
	14.5	"	"	"	"	

(4) ITOS/NOAA (Improved Tiros Operational Satellite/National Oceanic and Atmospheric Administration)

打上げ日は次の通りである。

米国の極軌道気象衛星で、高度 1,450 km の太陽同期の気象衛星である。地方時の午前 9 時と午後 9 時に通過し、一周 115 分であり、1日に12½軌道を廻る。衛星は三軸安定方式である。通信系として、Sバンドと VHF を使用している。このシリーズは、1970年に ITOS-1 ではじまり、1976年打上げの NOAA-5 で終了している。搭載放射計として、SR (Scanning Radiometer), VHR (Very High Resolution Radiometer), VTPR (Vertical Temperature Profile Radiometer) がある。

ITOS-1	1970年1月23日
NOAA-1	1970年12月11日
NOAA-2	1972年10月15日
NOAA-3	1973年11月6日
NOAA-4	1974年11月15日
NOAA-5	1976年7月29日

(4-1) SR (Scanning Radiometer)

SR は可視1チャンネル、赤外1チャンネルの走査型放射計である。ライン方向の走査は、放射計の光軸より

45度傾いた平面鏡の回転による。回転速度は48RPMである。赤外は、10.5~12.5ミクロンの窓領域を、HgCd-Teのセンサにより、可視は、0.5~0.75ミクロンを、シリコン・フォト・ダイオードによる。地上分解能は、可視4.1km、赤外7.7kmである。

SRの光学系は、走査鏡、カセグレン型集光鏡、ダイクロイックとアフトオプティクスよりなる。放射エネルギーは、走査鏡、集光鏡で反射され、ダイクロイックで可視、赤外に分離される。可視はフィルタを通り、シリコン・フォト・ダイオードへ、赤外は、リレー・レンズを通して、サーミスタ・ボロミタに導びかれる。データのキャリブレーションは、走査鏡が1回転する間におこなわれる。即ち走査鏡が宇宙空間を走査する間に、ゼロのリファレンスを、放射計内部を走査する間に、基準黒体として上限のリファレンスを取得する。他に電子回路系の較正として、一定の電気信号を加えている。SRのデータは、可視、赤外のファクシミリ画像として、現業的に出されている。

#### (4-2) VHRR (Very High Resolution Radiometer)

VHRRは、SRと同じ波長帯を観測し、分解能はSRより良い可視1チャンネル、赤外2チャンネルの走査放射計である。ライン方向の走査は、SRと同一であるが、走査速度は、400RPMである。

赤外は10.5~12.5ミクロンの窓領域を、HgCdTeのセンサにより、可視は、0.6~0.7ミクロンを、シリコン・フォト・ダイオードによる。直下点距離分解能は、いずれも0.8kmである。赤外キャリブレーションは、宇宙空間の0レベル、基準黒体による240°K、300°Kを使用しておこなわれる。光学系は、走査鏡、Dallkirkham型集光鏡、ダイクロイックおよびアフト・オプティクスよりなる。

放射エネルギーは、ダイクロイックにより可視と赤外に分離される。可視光は、ダイクロイックを通過し、雲と地表の識別を明確にするための、0.6~0.7ミクロンのフィルタを通して、シリコン・フォト・ダイオードへ、また赤外は、ダイクロイックで反射され、フィールド・ストップ位置で結像された後、リレー・レンズを通してHgCdTeに導びかれる。

VHRRのデータは、HRPT (High Resolution Picture Transmission) サービスにより、可視、赤外両チャンネルの画像送信がおこなわれる。

#### (4-3) VTPR (Vertical Temperature Profile Radiometer)

VTPRは、大気中の気温の垂直分布を観測する分光放射計である。波長は、赤外チャンネルのうち、CO<sub>2</sub>吸収帯6チャンネル、H<sub>2</sub>O吸収帯1チャンネル、大気の窓1チャンネルよりなる。ライン方向の走査は走査鏡により23ステップを、衛星の軌道に直交する方向に走査する。各赤外チャンネルはフィルタによって分光するが、全チャンネルを順次同一個所につき観測する方式をとっている。直下点距離分解能は55×57kmで、検知器は焦電型素子である。キャリブレーションは、宇宙空間および装置内部の基準黒体によりおこなう。

光学系は、走査鏡、カセグレン型集光鏡チョップ、フィルタ、検知器より構成される。このうちフィルタは8枚で構成され、回転円板上に渦巻形に配置されている。渦巻形に配置されている理由は衛星の移動に伴う視野のずれを補正するためである。チャンネル相互間の視野がずれると、気温の垂直分布算出に誤差を生じることとなる。

地球からの放射は光軸に直交する水平軸のまわりに、一走査ライン23ステップ駆動する走査鏡で反射される。このステップ駆動はステップ・モータによる。反射された光は、カセグレン型集光鏡によりフィルタに入る。フィルタに入る放射光の入射角は、フィルタの帯域幅が広がるのを防ぐため小さくする。検知器は、フィールド・レンズとケースで密閉された、ライト・コーン先端に取付けられている。ライト・コーンにより測定感度が良くなる。

キャリブレーションは、一定時間毎又はコマンドにより1ライン走査終了におこなわれる。その際走査鏡はキャリブレーション・トルカーとスプリングの作用により、光軸の周囲を回転し、4°Kの宇宙空間と285°Kの内部黒体を走査する。内部黒体は2枚羽根よりなりフィルタ円板と同期して回転し、フィルタが切替る境界で、検知器の視界に入る。

VTPRのデータは、衛星内に記録された後、米国ワシントンのWMC (World Meteorological Center) において、受信データの処理がおこなわれる。現業的には

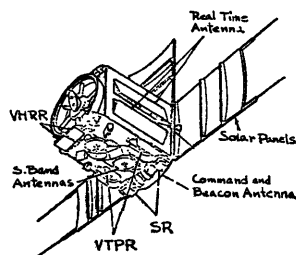


図4 ITOS/NOAA

METEOROLOGICAL SATELLITE CENTER TECHNICAL NOTE NO.3, MARCH 1981

海洋上の鉛直温度分布が計算されている。また、VHF 帯 で計算されたデータは、GTS 回線を通して、一日2回を使用して衛星直下に生データを送信している。WMC 配信されている。

表 4.1 SR (ITOS/NOAA)

名 称	波長域 ( $\mu\text{m}$ )	種 類	検 知 器	分解能 (km)	備 考
SR	0.52~0.73	可視	Si-Diode	4.1	
	10.5~12.5	赤外 (窓)	HgCdTe	7.7	

表 4.2 VHRR (ITOS/NOAA)

名 称	波長域 ( $\mu\text{m}$ )	種 類	検 知 器	分解能 (km)	備 考
VHRR	0.6~0.7	可視	Si-Diode	0.9	
	10.5~12.5	赤外 (窓)	HgCdTe	0.9	

表 4.3 VTPR (ITOS/NOAA)

名 称	波長域 ( $\mu\text{m}$ )	種 類	検 知 器	分解能 (km)	備 考
VTPR	14.96	赤外 ( $\text{CO}_2$ )	焦電素子	55×57	
	14.77	"	"	"	
	14.38	"	"	"	
	14.12	"	"	"	
	13.79	"	"	"	
	13.38	"	"	"	
	18.69	赤外 ( $\text{H}_2\text{O}$ )	"	"	
	11.97	赤外 (窓)	"	"	

(5) TIROS-N/NOAA (Television and Infrared Observation Satellite)

TIROS-N 1978年10月13日  
NOAA-6 1979年6月27日

TIROS-N は、米国の気象衛星で、TIROS, ITOS/NOAA に続く、第3世代の極軌道気象衛星である。搭載する装置も(4)で述べた ITOS/NOAA より、技術的に進歩したものである。主なミッションは次の通り。

今後このシリーズの打上げ予定は、1979年5月現在で次の通りである。

① 全球規模または地域規模で、日夜、雲の観測を高分解能でおこなう。

NOAA-B 1980年4月  
NOAA-C 1981年2月  
NOAA-D 1982年4月  
NOAA-E 1983年2月  
NOAA-F 1984年4月  
NOAA-G 1985年2月

② 全球規模の垂直温度分布、水蒸気分布の観測をおこなう。

③ 高容量の DCP システムの運用をおこなう。

TIROS-N/NOAA はほぼ極軌道の太陽同期衛星であり、軌道傾斜角は98.91度である。一周102分で、一日14.2軌道、高度は TIROS-N が854km, NOAA-1 が833km である。赤道を通過する時刻は NOAA-1 が07時30分、TIROS-N が15時である。打上げ日は次の通りである。

但し、この予定は少しずれており、NOAA-6 の次は1981年5月打上げという情報がある。TIROS-N に搭載される放射計は、AVHRR と TOVS がある。

(5-1) AVHRR (Advanced Very High Resolution Radiometer)

AVHRR は ITOS/NOAA シリーズに搭載されている放射計である VHRR の、次の世代の放射計で、昼夜の雲分布の観測、海面水温分布の取得等に使用されている。

AVHRR の光学系は口径、20.32 cm の望遠鏡、軌道上で進行方向に交わる方向で 360RPM で回転する、短軸 21cm, 長軸 29.5cm の走査鏡等よりなる。瞬時視野角は 1.3 ミリ・ラジアンである。

AVHRR は、4チャンネルよりなり、TIROS-N は 0.55~0.90ミクロン、0.725~1.1ミクロンの可視、近赤外領域、3.55~3.93ミクロン、10.5~11.5ミクロンの赤外領域がある。NOAA-6 では最初のチャンネルが、0.58~0.68ミクロンである。地上に送信される時は11ミクロン帯のデータがくり返し送られて5チャンネルとなる。使用センサは、可視、近赤外がシリコン・フォト・ダイオード、3.8ミクロン帯が InSb, 11ミクロン帯が HgCdTe である。AVHRR の基本動作は、VHRR とほぼ同様である。赤外チャンネルのキャリブレーションは、ライン毎に4°Kの宇宙空間と、290°Kの内部黒体を走査することによる。

可視および近赤外のチャンネルは、雲、水陸境界、雪氷の識別に使用する。また、その2チャンネルのデータの比較により、雪氷の解けはじめの観測にも使用できる。11ミクロン帯、すなわち大気窓の赤外では、雲分布の測定と、地表および雲頂温度の決定に使用できる。2チャンネルの赤外により、視野を占める雲によるあいまいさを除去することが可能である。赤外チャンネルのキャリブレーションは、各走査ライン毎におこなわれ、低温のリファレンスとして、宇宙空間を、高温のリファレンスとして、黒体を走査することによる。黒体は、白金抵抗サーミスタにより温度が測定され、地上に送信される。

(5-2) AVHRR/2

NOAA-C または NOAA-D より、AVHRR に赤外チャンネルを1個追加して、5チャンネルに改良する。追加するのは、12ミクロン帯で、すでにある11チャンネルとともに、地表、雲頂の温度算出等に使用される。

(5-3) TOVS (TIROS Operational Vertical Sounding)

TOVS システムは、次の3個の独立した機器よりなり、合成することにより、大気の垂直温度算出に使用できる。3個の機器とは HIRS (High Resolution In-

frared Radiation Sounding), SSU (Stratospheric Sounding Unit), MSU (Microwave Sounding Unit) である。

TOVS は、地表面より 10mb までの温度分布、大気の三層での水蒸気分布、全体のオゾン量の算出が目的で、雲のある所でも、水蒸気量をより精度良く決定し、分布を修正できるのが最終目標である。

(5-3-1) HIRS/2 (High Resolution Infrared Radiation Sounding)

HIRS/2 は NIMBUS-6 の HIRS/1 の改良型で、赤外の20チャンネルの波長を測定する。HIRS/2 は直径15 cm の望遠鏡をもち、衛星の軌道方向と交わる方向に回転するミラーのステップによって地球よりの入力光をとりこむ。入力した光はダイクロイック・ビーム・スプリッターにより 6.4 ミクロン以上の長波と、以下の短波に分けられる。さらにフィールド・ストップで制御され、バンド・パス・フィルタとリレー光学系を通過して検知器に照射される。短波では2番目のダイクロイック・ビーム・スプリッターにより、可視チャンネルを可視検知器に照射される。

走査時間は 6.4 秒で、56ステップで1ラインを形成する。走査範囲は±49.5度で、これは±1120km に相当する。距離分解能は直下で 17.4km, 走査の端で軌道方向 29.9km, 走査方向 58.5km となる。キャリブレーションはコマンドにより実行され、宇宙空間と内部の2個の黒体を使用する。使用検知器は長波が HgCdTe, 短波が InSb, 可視がシリコン・フォト・ダイオードである。

(5-3-2) SSU (Stratospheric Sounding Unit)

SSU は、英国で作られた、成層圏の温度分布データの取得が目的の装置で、NIMBUS-4, 5 搭載の SCR, NIMBUS-6 の PMR に基いている。この装置は、地球大気上部の二酸化炭素からの放射を測定し、圧力変調手法を使用している。装置の中に、圧力変調セル (PMC) が3個ある。二酸化炭素の入ったセルが地球よりの光路上におかれ、40Hz で圧力が変化される。これにより、セル内の二酸化炭素の吸収線に相当するスペクトルが変調を受け、高度の荷重関数が積分期間のセルの圧力により決定される。セルの平均圧力は、荷重関数のピークの約7倍の圧力である。3つのセルは圧力が異なるので、3つの違った高度の荷重関数が求まる。この装置を HIRS/2, MSU と共に使用すれば、地表から 50km の高度までの温度分布が求まる。

SSU の望遠鏡は視野角 10度で、軌道に直角にステップする。1ラインで8サンプルのデータを32秒で取得する。地上分解能は、直下点で 147km である。走査は直

径 8 cm の走査鏡による。SSU の検知器は、TGS の薄片で、3 個ある。キャリブレーションは HIRS/2 と同期して、256 秒毎におこなえる。リファレンスは宇宙空間と内部の黒体である。3 チャンネルのセルの圧力は、100, 35, 10mb で、荷重関数のピークは各々 15, 5, 1.5mb である。

(5-3-3) MSU (Microwave Sounding Unit)

MSU は、NIMBUS-6 の SCAMS を改良したもので、米国のジェット推進研究所で作られたマイクロ波放射計である。50.3, 53.74, 54.96, 57.05GHz の酸素帯を測定する 4 チャンネルの Dicke 放射計である。

アンテナは 2 個の走査型反射アンテナで片方 11 ステップして、±47.4 度を走査する。アンテナのビーム幅は、半値で 7.5 度となり、これは地上分解能 109km に相当する。各アンテナより受信されたマイクロ波のエネルギーは、オーソモード・トランスデューサにより垂直、水平偏波成分に分離される。その信号が、放射計のチャンネルに相当する。

入力雑音温度は Dicke のスイッチにより 1KHz のレートで変調される。その結果、周囲の温度リファレンス・ロードと入力信号の間で一定の比較がおこなえる。キャリブレーションは、各走査毎に、宇宙空間と、内部のデータによる 2 点でおこなう。

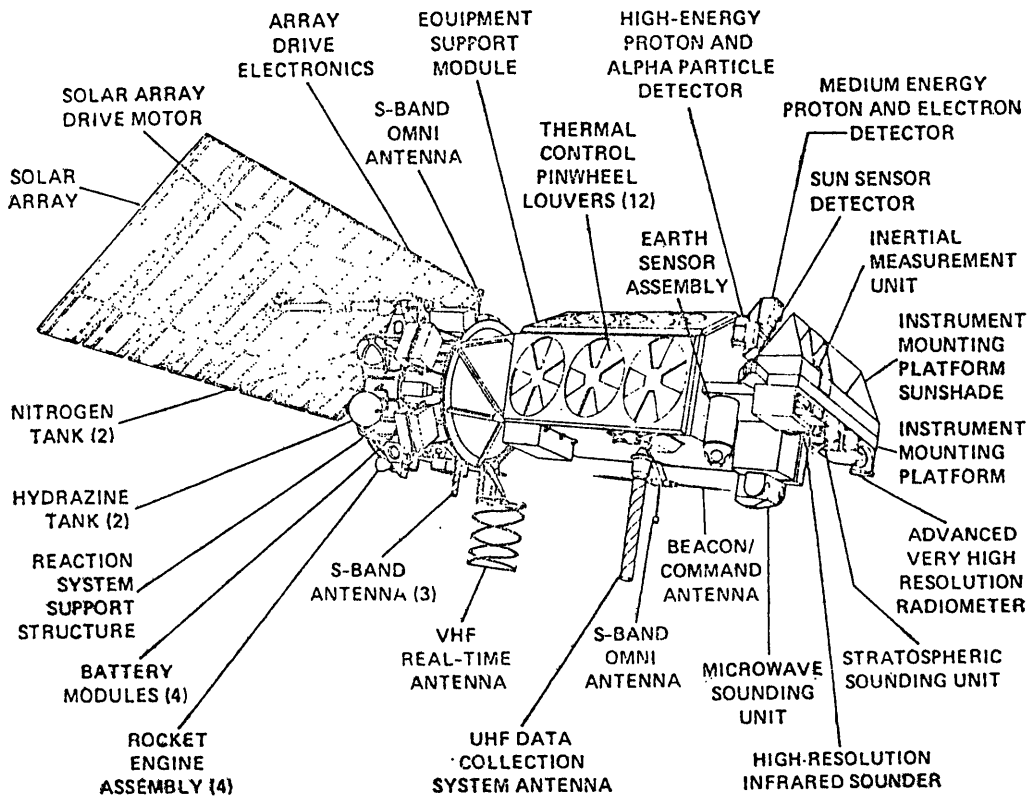


図 5 TIROS-N

表 5.1.1 AVHRR (TIROS-N)

名 称	波長域 (μm)	種 類	検 知 器	分解能(km)	備 考
AVHRR (TIROS-N)	0.55~0.90	可視/近赤外	Si-Diode	1.1	
	0.725~1.10	近赤外	"	1.1	
	3.55~3.93	赤外(窓)	InSb	1.1	
	11.5~12.5	赤外(窓)	HgCdTe	1.1	



表 5.1.2 AVHRR (NOAA-6)

名 称	波長域 (μm)	種 類	検 知 器	分解能(km)	備 考
AVHRR (NOAA-6)	0.58~0.68	可視	Si-Diode	1.1	
	0.725~1.10	近赤外	"	1.1	
	3.55~3.93	赤外 (窓)	InSb	1.1	
	10.5~11.5	赤外 (窓)	HgCdTe	1.1	

表 5.2 AVHRR/2

名 称	波長域 (μm)	種 類	検 知 器	分解能(km)	備 考
AVHRR/2	0.58~0.68	可視	Si-Diode		
	0.725~1.10	近赤外	"		
	3.55~3.93	赤外 (窓)	InSb		
	10.3~11.3	赤外 (窓)	HgCdTe		
	11.5~12.5	"	"		

表 5.3.1 HIRS/2 (TIROS-N/NOAA-6)

名 称	波長域 (μm)	種 類	検 知 器	分解能(km)	備 考
HIRS/2	14.96	赤外 (CO <sub>2</sub> )	HgCdTe	17.4	
	14.71	"	"	"	
	14.49	"	"	"	
	14.22	"	"	"	
	13.97	"	"	"	
	13.64	"	"	"	
	13.35	"	"	"	
	11.11	赤外 (窓)	"	"	
	9.71	赤外 (O <sub>3</sub> )	"	"	
	8.16	"	"	"	
	7.32	赤外 (H <sub>2</sub> O)	"	"	
	6.72	"	"	"	
	4.56	赤外 (CO <sub>2</sub> )	InSb	"	
	4.52	"	"	"	
	4.46	"	"	"	
	4.41	"	"	"	
	4.24	"	"	"	
	3.98	赤外 (窓)	"	"	
	3.76	"	"	"	
0.69	可視	Si-Diode	"		

表 5.3.2 SSU (TIROS-N/NOAA-6)

名 称	波長域 (μm)	種 類	検 知 器	セル圧力	備 考
SSU	15	赤外 (CO <sub>2</sub> )	TGS	100mb	
	15	"	"	35	
	15	"	"	10	

表 5.3.3 MSU (TIROS-N/NOAA-6)

名 称	周波数 (GHz)	種 類	分解能 (km)	備 考
MSU	50.3		109	
	53.74		"	
	54.96		"	
	57.05		"	

(6) METEOR-2

METEOR は準極軌道をもつソ連の気象衛星で、シリーズの中に運用用と、実験用がある。ソ連の最初の実験用気象衛星は COSMOS シリーズであり、1966年に打上げられた。METEOR は、1969年以来打上げられ、METEOR-1, 2, 3……と名付けられている。

打上げ日

METEOR-1 1969年3月25日

(以下略。Launch Summary 等を参照のこと)

そのうち METEOR-18, 25, 28 は実験用で、他は運用用である。運用用の衛星は25個打上げられ、1978年にこのシリーズは終了した。以後、METEOR-2 シリーズによる運用がおこなわれている。METEOR-2 は METEOR-2 No. 1, No. 2……と名付けられており、1978年1月より、APT を出力している。

METEOR-2 は高度 900km、軌道傾斜角81度、周期

102分である。METEOR-2 の目的は全球的な雲、雪、氷、放射温度、雲頂高度等のデータ取得、地域的な雲分布データの取得等である。

(6-1) Scanning Visible Radiometer

METEOR-2 に搭載されている可視の放射計で、波長域は 0.5~0.7 ミクロン、2200km の範囲のデータを取得し、距離分解能は 1 km である。

(6-2) Scanning Infrared Radiometer

METEOR-2 に搭載されている赤外の放射計で、波長域は 8~12 ミクロン、2600km の範囲のデータを取得し、距離分解能は 8 km である。

(6-3) Visible APT Radiometer

METEOR-2 に搭載されている可視の放射計で、波長域 0.5~0.7 はミクロン、2100 km の範囲のデータを取得し、距離分解能は 2 km である。

表 6.1 Scanning Visible Radiometer (METEOR)

名 称	波長域 (μm)	種 類	検 知 器	分解能 (km)	範囲 (km)	備 考
上 記	0.5~0.7	可 視		1	2200	

表 6.2 Scanning Infrared Radiometer (METEOR)

名 称	波長域 (μm)	種 類	検 知 器	分解能 (km)	範囲 (km)	備 考
上 記	8~12	赤 外		8	2600	

表 6.3 Visible APT Radiometer (METEOR)

名 称	波長域 (μm)	種 類	検 知 器	分解能 (km)	範囲 (km)	備 考
上 記	0.5~0.7	可 視		2	2100	

(7) METEOR-18, 25, 28  
 (6)で述べたように、METEOR シリーズのうち、METEOR-18, 25, 28 は、実験用の気象衛星である。このうち、18 と 25 は高度 900 km、軌道傾斜角 81 度で、28 は高度 600 km の太陽同期となる予定である。以下の各放射計の距離分解能はすべて高度 600 km での値である。

(7-1) Scanning Four-Channel Visible and Near Infrared Radiometer

4チャンネルの可視、近赤外放射計で、使用波長帯は、0.5~0.6, 0.6~0.7, 0.7~0.8, 0.8~1.0ミクロンである。走査範囲は 1800km、距離分解能は 600m である。この放射計は、可視、近赤外領域の違った波長帯を同時に測定し、雪、氷、陸地、水の調査、雲の解釈に使用できる。

(7-2) Scanning Two-Channel Visible and Near Infrared Radiometer

可視と赤外の放射計で、使用波長帯は、0.5~0.7, 0.7~1.1ミクロンである。走査範囲は 2000km、地上分解能は 250m である。

(7-3) Three-Channel Microwave Radiometer

3チャンネルのマイクロ波放射計で、3.5, 23.1, 37.5GHz の周波数を測定する。3.5GHz 帯は、衛星直下点の海面の輝度の測定等に、23.1GHz 帯は、水蒸気量の測定等に、37.5GHz 帯は水滴量の測定等に使用できる。距離分解能は各々 24×30km, 90×90km, 100×100km である。

(7-4) Spectrometer-Interferometer

分光干渉計で、6.25~25ミクロンのスペクトルを測定する。

(7-5) Polarization Microwave Radiometer

偏光マイクロ波放射計で、METEOR-18 のみ搭載されている。測定周波数は、37.5GHz である。

(7-6) Scanning Infrared Polarimeter

赤外偏光計で、METEOR-25 のみ搭載される。測定波長は1.5~1.9, 2.1~2.5ミクロンである。

(7-7) Scanning Oblique Infrared Radiometer

斜め走査の赤外放射計で、大気上層部の放射フラックスの測定をおこなう。測定波長域は3~30ミクロンである。

表 7.1 Scanning Four-Channel Visible and Near Infrared Radiometer (METEOR)

名 称	波長域 (μm)	種 類	検 知 器	分解能(km)	範囲(km)	備 考
Scanning Four-Channel Visible and Infrared Radiometer	0.5~0.6	可 視		0.6	1800	
	0.6~0.7	"		"	"	
	0.7~0.8	"		"	"	
	0.8~1.0	近 赤 外		"	"	

表 7.2 Scanning Two-Channel Visible and Near Infrared Radiometer (METEOR)

名 称	波長域 (μm)	種 類	検 知 器	分解能(km)	範囲(km)	備 考
上 記	0.5~0.7	可 視		0.25	2000	
	0.7~1.1	近 赤 外		"	"	

表 7.3 Three-Channel Microwave Radiometer (METEOR)

名 称	周波数 (GHz)	種 類	分解能(km)	備 考
上 記	3.5		24×30	
	23.1		90×90	
	37.5		100×100	

表 7.4 Spectrometer-Interferometer (METEOR)

名 称	波長域 (μm)	備 考
上 記	6.25~25	

表 7.5 Polarization Microwave Radiometer (METEOR)

名 称	周波数 (GHz)	種 類	分解能 (km)	備 考
上 記	37.5			

表 7.6 Scanning Infrared Polarimeter (METEOR)

名 称	波長域 (μm)	種 類	検 知 器	分解能 (km)	備 考
上 記	1.5~1.9	赤 外			
	2.1~2.5	"			

表 7.7 Scanning Oblique Infrared Radiometer (METEOR)

名 称	波長域 (μm)	種 類	検 知 器	分解能 (km)	備 考
上 記	3~30	赤 外			

(8) NIMBUS-5

米国の衛星で、太陽同期の極軌道衛星である。軌道傾斜角は99度、遠地点1098km、近地点1088kmのほぼ円軌道の三軸安定衛星である。

打上げ日 1972年12月11日

NIMBUS は略号ではなく、「乱層雲」の意味である。NIMBUS-5 の目的として、雲を通しての温度測定ルーチン化がある。

(8-1) ESMR (Electrically Scanning Microwave Radiometer)

マイクロ波放射計で、物体によって放射あるいは反射される。19.35 GHz のマイクロ波を受信し地球表面および大気からの熱放射分布を測定する。この放射計を利用して絹雲や層雲等、マイクロ波領域では比較的透明な雲を通して、下の海氷と海水の区別、状態などの識別が可能となる。距離分解能 40~50×20km である。利用分野として、地図作成、気象、地形、海洋等がある。ESMR のアンテナは、フェイズド・アレイ方式で、電氣的走査によりデータを得る。

(8-2) SCMR (Surface Composition Mapping Radiometer)

HgCdTe 素子を使用した赤外センサ2個と、シリコン・フォト・ダイオードの可視センサ1個よりなる軌道衛

星用放射計で、600RPM の回転ミラーにより地球を走査する。分解能は600マイクロ・ラジアンである。波長域は可視が0.8~1.1ミクロン、赤外が8.3~9.3ミクロン、10.2~11.2ミクロンである。この放射計により地球表面状態を観測する。

(8-3) ITPR (Infrared Temperature Profile Radiometer)

7チャンネルの垂直温度分布測定器で、センサに、焦電型素子を使用している。これは走査鏡に面した6個のカセグレイン望遠鏡よりなり、望遠鏡の1つはダイクロイック・ミラーにより波長を分けることにより7つの検知器に入る。波長は、3.7, 11.1, 13.4, 14.0, 14.5, 15.0, 19.7ミクロンで、地表温度、垂直温度分布、水蒸気による放射の測定に使用される。

(8-4) NEMS (NIMBUS-E Microwave Spectrometer)

5チャンネルのマイクロ波放射計で27.23, 31.4, 53.65, 54.9, 58.8GHzの周波数を測定する。このうち、22, 31GHzは水蒸気分布の測定、54, 55, 59GHzは気温分布の測定に使用される。NEMSのアンテナはホーン方式で走査はおこなわず、衛星直下のデータのみを取得する。ビーム幅は10度、分解能は200kmである。

(8-5) SCR (Selective Chopper Radiometer)

16チャンネルの垂直温度分布測定装置で、チャンネル

A, B, C, Dを持っており、干渉フィルタ、選別チップダイクロイック・ビーム・スプリッタと、二酸化炭素吸収セルよりなる。このセルにより分光をおこなうチャンネルAとBは約 18 km で、気温分布を測定する従来のフィルタ放射計である。チャンネルCは垂直温度分布計算の更正に必要な水蒸気と大気の窓チャンネルを含んでいる。また、そのうち2のチャンネルは 49.5 と 133.3 ミクロンで、氷晶の屈折の指標となるので絹雲の存在の測定に使用できる。チャンネルDは 2~4 ミクロン帯の波長の感度をもつ。1チャンネルは 2 ミクロンの水蒸気と二酸化炭素吸収帯、2チャンネルは 2.6 ミクロン吸収帯、1チャンネルは 3.5 ミクロンの大気の窓である。3.5 ミクロン帯はガスによる吸収に妨げられずに雲からの放射を測定し、他の3チャンネルは地球の絶対放射温度の測定と、雲分布を測定する。チャンネル A, B, C 焦電素子を、Dは硫化鉛を使用している。この放射計は走査せず、直下方向のみを観測する。

(8-6) THIR (Temperature Humidity Infrared Radiometer)

THIR は雲分布、地表面温度、水蒸気分布、雲頂温度の測定機能をもつ放射計で、10.5~12.5 ミクロンの大気の窓と、6.5~7.0 ミクロンの水蒸気吸収帯のチャンネルを持っている。どちらも長波長の赤外であるから、太陽光反射の影響を受けにくく昼夜共使用できる。

大気の窓チャンネルは 2次元の雲分布を測定する機能をもち、垂直温度分布のデータと組合せれば、大気の 3次元の雲分布を算出できる。また、雲のない領域では海面と陸上の熱分布を算出できる。

水蒸気吸収帯チャンネルは地上からのエネルギーを入力せず、対流圏、成層圏から入力する。これにより、対流圏、成層圏の水蒸気水平分布、ジェット気流、前線の位置などがわかる。センサはいずれもサーミスタ・ボロミタを使用し、衛星の軌道に直角方向に 48RPM の回転ミラーにより走査する。この放射計は、1975年3月まで作動した。

表 8.1 ESMR (NIMBUS-5)

名 称	周波数 (GHz)	種 類	分解能 (km)	備 考
ESMR	19.35		40~50×20	

表 8.2 SCMR (NIMBUS-5)

名 称	波長域 (μm)	種 類	検 知 器	分解能 (km)	備 考
SCMR	0.8~ 1.1	近赤外	Si-Diode	0.66	
	8.3~ 9.3	赤外 (O <sub>3</sub> )	HgCdTe	"	
	10.2~11.2	赤外 (窓)	"	"	

表 8.3 ITPR (NIMBUS-5)

名 称	波長域 (μm)	種 類	検 知 器	分解能 (km)	備 考
ITPR	3.8		焦電素子	60	
	11.1		"	"	
	13.4		"	"	
	14.0		"	"	
	14.5		"	"	
	15.0		"	"	
	19.7		"	"	

表 8.4 NEMS (NIMBUS-5)

名 称	周波数 (GHz)	種 類	分解能 (km)	備 考
NEMS	27.23	水蒸気帯	200	
	31.4	"	"	
	53.65	気温分布	"	
	54.9	"	"	
	58.8	"	"	

表 8.5 SCR (NIMBUS-5)

名 称	波長域 ( $\mu\text{m}$ )	種 類	標 知 器	分解能(km)	備 考
SCR	14.9	赤 外	焦電素子		チャンネルA
	14.5		"		
	14.1		"		
	13.8		"		チャンネルB
	15.0		"		
	15.0		"		
	15.0		"		
	100		"		チャンネルC
	46.3		"		
	18.6		"		
	11.1		"		チャンネルD
	2.65		PbS		
	2.59		"		
	2.08		"		
	3.5		"		

表 8.6 THIR (NIMBUS-5)

名 称	波長域 ( $\mu\text{m}$ )	種 類	検 知 器	分解能(km)	備 考
THIR	10.5~12.5	赤外 (窓)	サーミスタ・ ボロミタ	8	
	6.5~ 7.0	赤外 (H <sub>2</sub> O)	"	22	

(9) NIMBUS-6

NIMBUS-5 に続く、太陽同期の極軌道衛星で、軌道傾斜角は100度、遠地点1101km、近地点1093kmのほぼ円軌道である。

打上げ日 1975年6月12日

NIMBUS-6 の目的として、超高層の気象現象解明のための遠隔測定技術開発の試みがある。

(9-1) ERB (Earth Radiation Budget)

ERB は22チャンネルの放射計で、一年を通じて総観および全球スケールでの地球の熱収支を算定するもので

ある。測定は、

- ①入力される太陽放射の測定
- ②衛星高度における地球からの地球放射を固定した広い角度でのサンプル
- ③地球の放射を走査することによる狭い角度でのサンプリング

による。この放射計は NIMBUS-7 にも搭載されており、詳細はその項で述べたい。

#### (9-2) ESMR (Electrically Scanned Microwave Radiometer)

ESMR は雲の水分、海氷と氷上の雲の分布とその変化、陸地の表面の性質の測定のための垂直、水平偏波をもつマイクロ波放射計である。測定波長は 37GHz である。

輝度温度の測定値は空の輝度温度、周囲の大気温度、表面反射、大気の透過率に影響する。表面は偏波の角度によって性質がわかるので、水平方向と垂直方向の偏波の入射光が測定される。偏波の差異は天頂角ゼロからブルスタ角の最大まで変化し、表面の粗さにより減少する。両方の偏波の測定値は、土壌の水分に影響する。2つの偏波を区別するため測定は十分に大きな天頂角でおこなわれる。

アンテナはフェイズド・アレイ方式で、電気的走査をおこなう。ビーム幅は  $0.7 \times 0.95$  度、距離分解能は  $40 \sim 50 \times 20$ km である。

#### (9-3) HIRS (High Resolution Infrared Radiation Sounder)

HIRS は、地球の視野角である  $\pm 36.9$  度の走査角で走査するフィルタ・フィール機構である。HIRS の望遠鏡は、5.9インチの開口をもち、受けた光を、 $120^\circ$  K に冷やされた2つの検知器と、可視用のフォト・ダイオードに焦点を結ばせる。検知器に到達する前にエネルギーは、長波、短波、可視に分割され、バンド・パス・フィルタを通る。バンド・パス・フィルタは全部で17あり、 $3.71 \sim 4.57$ ミクロン帯に6チャンネル、6.7, 8.2, 11ミクロン各1チャンネル、 $13.35 \sim 15.0$ ミクロン帯に7チャンネルと、可視 0.693ミクロンの波長に感ずる。走査は41段おこなう。

長波は HgCdTe、短波は InSb、可視は、シリコン・フォト・ダイオードが使用されている。HIRS の目的は、地球の放射を高分解能で測定し、全球の垂直温度と水蒸気の分布を 2mb まで求めることである。

#### (9-4) LRIR (Limb Radiance Inversion Radiometer)

LRIR は温度、オゾン、水蒸気の垂直分布を、高度 15 km から 60km まで全球にわたって測定するもので、地球の端の放射より求める。測定は、15ミクロンの  $\text{CO}_2$  帯に2チャンネル、9.6ミクロンのオゾン帯に1チャンネル、水蒸気帯に1チャンネルによりおこなわれる。

放射計の走査鏡は、地球の端を横切って垂直に走査するので、 $\text{CO}_2$ 、オゾン、水蒸気の垂直分布が計算できる。

LRIR は、フレーム・ハウジング部と、インターフェイス機器、フレーム・ハウジング部の電子回路部よりなる。フレーム・ハウジング部は、固体寒剤パッケージ、検知器部衛星搭載プレート、光学機械パッケージよりなる。

#### (9-5) PMR (Pressure Modulated Radiometer)

PMR は、高度  $40 \sim 90$ km の気温を測定するために開発された放射計で、二酸化炭素がわずかに入ったセルを使用している。そのセルを光路におき、セル内の圧力をピストンにより 15Hz で変化させる。検出器に到達する放射量は、セル内の二酸化炭素の吸収線に相当するスペクトルが変調を受け、セルの圧力と同じ周波数成分を取り出すことにより、特定の波長の二酸化炭素の放射を測定できる。

#### (9-6) SCAMS (Scanning Microwave Spectrometer)

SCAMS は5個のマイクロ波チャンネルよりなるマイクロ波放射計である。目的は対流圏内の鉛直温度分布、水蒸気量、雲の含水量の分布図を得ることである。

SCAMS の使用周波数は、22.23, 31.65, 52.85, 55.45GHz であり、地上分解能は  $145 \sim 330$ km である。アンテナとしてホーンアンテナを使用し、ビーム幅は 7.5度である。データは機械的ステップ走査により得る。

#### (9-7) THIR (Temperature Humidity Infrared Radiometer)

THIR は、NIMBUS-4, 5 に搭載されている THIR と同じである。2チャンネルの放射計で、 $10.5 \sim 12.5$ ミクロンの大気の窓と、 $6.5 \sim 7.0$ ミクロンの水蒸気吸収帯の赤外チャンネルをもつ。

表 9.1.1 ERB 太陽チャンネル (NIMBUS-6)

名 称	波長域 ( $\mu\text{m}$ )	種 類	検 知 器	分解能 (km)	備 考
ERB (太陽チャンネル)	0.2~3.8		熱電堆		
	"		"		
	0.2~50		"		
	0.526~2.8		"		
	0.698~2.8		"		
	0.395~0.508		"		
	0.344~0.460		"		
	0.300~0.410		"		
	0.275~0.360		"		
0.2~50		"			

表 9.1.2 ERB 固定広角 FOV チャンネル (NIMBUS-6)

名 称	波長域 ( $\mu\text{m}$ )	種 類	検 知 器	分解能 (km)	備 考
ERB (固定広角 FOV チャンネル)	<0.2~>50		熱電堆		
	"		"		
	0.2~3.8		"		
	0.695~2.8		"		

表 9.1.3 ERB 狭角走査チャンネル (NIMBUS-6)

名 称	波長域 ( $\mu\text{m}$ )	種 類	検 知 器	分解能 (km)	備 考
ERB (狭角 FOV 走 査チャンネル)	0.2~4.8		焦電素子		
	"		"		
	"		"		
	"		"		
	4.5~50		"		
	"		"		
	"		"		

表 9.2 ESMR (NIMBUS-6)

名 称	周波数 (GHz)	種 類	分解能 (km)	備 考
ESMR	37		40~50 × 20	



表 9.3 HIRS (NIMBUS-6)

名 称	波長域 (μm)	種 類	検 知 器	分解能 (km)	備 考
HIRS	15.0	赤外 (CO <sub>2</sub> )	HgCdTe		
	14.7	"	"		
	14.4	"	"		
	14.2	"	"		
	14.0	"	"		
	13.6	赤外 (H <sub>2</sub> O/CO <sub>2</sub> )	"		
	13.4	"	"		
	11.0	赤外 (窓)	"		
	8.2	赤外 (H <sub>2</sub> O)	"		
	6.7	"	"		
	4.57	赤外 (N <sub>2</sub> O)	InSb		
	4.52	"	"		
	4.46	赤外 (CO <sub>2</sub> /N <sub>2</sub> O)	"		
	4.40	"	"		
	4.24	赤外 (CO <sub>2</sub> )	"		
	3.71	赤外 (窓)	"		
0.69	可視	Si-Diode			

表 9.4 LRIR (NIMBUS-6)

名 称	波長域 (μm)	種 類	検 知 器	分解能	備 考
LRIR	14.9~15.5	赤外 (CO <sub>2</sub> )	HgCdTe		
	14.4~16.9	"	"		
	8.6~10.2	赤外 (O <sub>3</sub> )	"		
	23.0~27.0	赤外 (H <sub>2</sub> O)	"		

表 9.5 PMR (NIMBUS-6)

名 称	波長域 (μm)	種 類	検 知 器	備 考
PMR			焦電素子	15Hz

表 9.6 SCAMS (NIMBUS-6)

名 称	周波数 (GHz)	種 類	分解能 (km)	備 考
SCAMS	22.23		145~330	
	31.65		"	
	52.85		"	
	53.85		"	
	55.45		"	

表 9.7 THIR (NIMBUS-6)

名 称	波長域 (μm)	種 類	検 知 器	分解能 (km)	備 考
THIR	10.5~12.5	赤外 (窓)	サーミスタ・ポロミター	8	
	6.5~7.0	赤外 (H <sub>2</sub> O)	"	22	

(10) NIMBUS-7

NIMBUS-7 は、NIMBUS シリーズの最新の衛星である。衛星は、高度 955km の太陽同期の極軌道衛星で、地方時の正午と、午前 0時に赤道を横切る。地球一周はほぼ 104.16 分である。

打上げ日 1978年10月24日

NIMBUS-7 のミッションは、

- ①大気中のガスおよび物質の観測 (SBUV/TOMS, SAM II, SAMS, LIMS)
- ②十分な分解能とスペクトルにより、特に海岸線付近の海面の色、氷の状態の観測 (CZCS, SMMR)
- ③大気と地表の境界状態、降水量の量的測定と長期気候予測の改善 (SMMR, ERB)
- ④大気の外側の長波放射と、大気構成のベースライン測定 (ERB, SBUV/TOMS, LIMS) である。

(10.1) CZCS (Coastal Zone Color Scanner)

CZCS は色を測定する機器として、はじめて衛星に搭載されたものである。この機器により、陸水や海洋のクロロフィル、沈澱物の分布などが観測される。CZCS は多重チャンネルの走査放射計で、カセグレン望遠鏡の光軸に 45度傾いた回転鏡を使用している。回転鏡は 360度回転し、そのうち±40度で、海面の色測定に使用される。その他の間はキャリブレーションに使用される。

望遠鏡により集められた光は、ダイクロイック・ビーム・スプリッターにより、2つに分離される。一方は焦点面に送られ、小さなポリクロメーターに入る。ポリクロメーターの焦点面には、5個のシリコン・フォト・ダイオー

ドがあり、その波長は、0.443 (クロロフィル吸収)、クロロフィル分散、0.55 (黄色の物質)、0.67 (クロロフィル吸収)、0.75 (表面の植物) ミクロンである。この5波で、再画像化される。もう一方は、ダイクロイック・ミラーで反射して、HgCdTe により、10.5~12.5 (表面温度) を検知する。HgCdTe は、放射冷却器で 120°K に冷却される。

5波の可視のキャリブレーションは、白熱光源による。赤外は内部の黒体と、360度の走査の間の宇宙空間による。

CZCS の主たる目的は、水に含まれる物質の決定である。例えば、海にほとんど細かい物質がない時は、Rayleigh 散乱により濃い青色となる。植物性プランクトンでは、吸収特性が変化して、もっと緑がかってくる。その他、種類により赤色、黄色などになりうる。同様にし川の流出地域等も判別できる。

(10.2) ERB (Earth Radiation Budget)

ERB は、NIMBUS-6 と同様のもので、1年間にわたり、総観のおよび全球規模での入力太陽放射と地球で反射される短波地球の発する長波を同時に測定することにより、地球の放射収支を決定することを目的とした機器である。

放射の測定は22チャンネルによる。そのうち10チャンネルは入力する太陽放射を測定し、太陽チャンネルと呼ばれる。また、4チャンネルは、地球全球からの放射を固定した広角で測定し、固定広角 FOV チャンネルと呼ばれる。8チャンネルは、狭角でいくつかの垂直平面における天底から水平線までの走査をおこない、狭角 FOV 走査チャンネルと呼ばれる。

太陽チャンネルは、衛星が南極の上を通過するとき、地球の昼側である北行に入る直前で測定をおこなう。太陽チャンネルの波長帯により地球の熱収支決定に必要な太陽定数の測定と、太陽放射の変動に関する。紫外線と可視領域の波長を細分化して、太陽エネルギーの測定をおこなっている。センサとして、ワイアワウンド型の熱電堆を使用している。

固定広角 FOV チャンネルは、4チャンネルよりなり、完全には121度で、最大133.3度の視野を持っており、地球の発する赤外放射と地球の反射する太陽放射を測定する。測定は、衛星の高度での地球からのフラックスを直接おこなう。全球の測定の積分値と、太陽定数観測より地球と大気のネット放射バランスの測定をおこなう。

固定広角 FOV チャンネルのセンサは、すべてワイアワウンド型の熱電堆を使用している。0.2~50ミクロンのチャンネルの一方のバッフルは、他方のキャリブレーションのため、黒く塗られている。

狭角 FOV 走査チャンネルの8チャンネルのうち、4チャンネルは、0.2~4.8ミクロンで、地球で反射する太陽放射を、別の4チャンネルは、5~50ミクロンで、地球の発する長波放射を測定する。瞬時視野角は、 $0.25 \times 5.12$ 度で、NIMBUS 軌道より、同じ所を、いろいろな角度より走査することにより、データを取得する。本チャンネルには、焦電素子が使用されている。

### (10.3) LIMS (Limb Infrared Monitor of Stratosphere)

LIMS は、6チャンネルの多重走査放射計で、2段のメタンとアンモニアの固体寒剤を使用して、検知器を65°Kに冷やしている。高度100kmでの地球の大気を横切って、多重の走査をおこなう。

この放射計は、NIMBUS-6のLRIRを発展させたもので、LRIRより検知器を2個増加させている点などが改良されている。6チャンネルのうち、6.1~6.4ミクロンがNO<sub>2</sub>、6.4~7.3がH<sub>2</sub>O、8.8~10.8がO<sub>3</sub>、10.9~11.8がHNO<sub>3</sub>、13.2~17.3および14.9~15.7がCO<sub>2</sub>の測定に使用される。

地球端を測定することは、直下の測定より長い光路を測定するので、途中の気体が多く、感度的にもよいデータが得られる。

地球からの光は、走査鏡に入って反射し、18cmの放物面鏡にあたる。その光は更にもう一つの放物面鏡、フォーレンジング・ミラーを経て、CdTeレンズに入る。CdTeレンズより、密封されて寒剤で冷却されたデュワーに入った光は、厚さ0.32cmの窓、放物面鏡、レンズを通して焦点を結ぶ。これがHgCdTeセンサにあた

る。

大気を通して大気の端を見て、目標地点に垂直な平面に直交した画像取得地域は、水平方向56km、垂直方向61kmの長方形である。O<sub>3</sub>、HNO<sub>3</sub>、2つのCO<sub>2</sub>チャンネルは、この中で、水平に20km、垂直に2kmの地域であり、LIMSの中心に対称である。H<sub>2</sub>OとNO<sub>2</sub>は、30kmと4kmである。LIMSのキャリブレーションは、宇宙空間と内部黒体による。

LIMSにより、成層圏のO<sub>3</sub>、NO<sub>2</sub>、HNO<sub>3</sub>、H<sub>2</sub>O、温度の垂直分布を、温度O<sub>3</sub>、HNO<sub>3</sub>は1km、NO<sub>2</sub>とH<sub>2</sub>Oは2kmの分解能で求められる。温度の測定範囲は10~75km、O<sub>3</sub>は65kmまで、H<sub>2</sub>Oは50kmまで、HNO<sub>3</sub>とNO<sub>2</sub>は40kmまでである。

### (10.4) SAM II (Stratospheric Aerosol Measurement)

SAM II は、北極および南極の成層圏におけるエアロゾルの垂直分布の測定をおこなう機器である。SAM IIは1.0ミクロン中心の太陽光度計であり、衛星から見た日出、日入の間に地球の大気を通る太陽を観測する。各日出、日入に測定された、時間の関数の放射は、衛星の天体暦と、地域的な大気の濃度のデータと共に処理され、高度分解能1kmでのエアロゾルの垂直分布が得られる。

太陽からの入力放射は、走査鏡からカセグレイン型望遠鏡に入り、スリット板上に、太陽像を形造る。スリット板には、2個の太陽端検知器がある。そこを通過してフィールド・レンズで集められ、波長フィルターを通過して、シリコン・フォト・ダイオードに達する。

キャリブレーションは、Langley手法をもちいる。これは、太陽の強度を、晴れて、光学的に安定した時に、数時間にわたって測定し、その緯経度、時刻等を考慮してプロットし、

$$I = I_0 e^{-kT} \quad (k \text{ は定数})$$

を求める。ここにI<sub>0</sub>は大気がない時の太陽の強度となる。このI<sub>0</sub>が、測定器のカウント数で900になるよう設定する。

### (10.5) SAMS (Stratospheric and Mesospheric Sounder)

SAMS は、上層大気の放射を測定する多重赤外放射計の第4世代のものである。

今までの放射計とは、NIMBUS-4のSCR、NIMBUS-5のSCR、NIMBUS-6のPMR等を指し、いず

れも、気体相関分光学の応用で、特定のスペクトル・ラインまたは特定の一部からの放射を、ガス・セルを使用して取り出すものである。それに対し、SAMSは、CO<sub>2</sub>以外のガスを使用し、大気の間を見る方式を取ってみる。

SAMSは、12チャンネルの赤外放射計で、15~80kmの温度、50~140km 振動温度、15~60kmのCO、NO、CH<sub>4</sub>、N<sub>2</sub>O、H<sub>2</sub>Oの分布、100~140km CO<sub>2</sub>、CO、60~100kmのH<sub>2</sub>Oなどがわかる。

SAMSは、大気の間を観測する位置に取付けられている。地球からの光は、方位角方向および地球端方向に走査する走査鏡、放物鏡、楕円鏡フォールディング・ミラー等を経て、3種類のセンサに入る。7ミクロンより長波は、TGS、5ミクロンはInSb、2.7ミクロンはPbSを使用している。

(10.6) SBUV/TOMS (Solar Backscatter Ultraviolet/Total Ozone Mapping Spectrometer)

SBUV/TOMSは、NIMBUS-4のBUV (Backscatter Ultraviolet)を改良したもので、SBUVとTOMSの独立した機器よりなり、紫外線領域を測定するものである。SBUVは、Ebert-Fastie分光計と、フィルター光度計よりなる。この2つの装置は、地球大気により散乱した太陽放射の、同じ場所を同時に観測する。分光計は、0.25から0.34ミクロンの波長帯の中の12の狭い波長を、連続的に観測するか、0.16から0.40ミクロンの波長を、連続的に走査する。一方、光度計は0.343ミクロン中心の特定な波長を測定する。SBUVで、紫外線のスペクトル光輝を測定することにより、全オゾン量の決定と、垂直分布を得ることができる。

TOMSは、衛星直下点を軌道面に垂直に走査する単色計である。後方散乱のうち、天底より±51度内を3度毎ステップで、0.3125から0.38ミクロンの波長帯より、6波長が取得される。この走査により、連続的な全オゾン量が得られる。

(10.7) SMMR (Scanning Multichannel Microwave Radiometer)

SMMRは、海表面温度と表面付近の風のデータを得る多重マイクロ放射計である。

SMMRの使用周波数は、6.6、10.69、18.0、21.0、

37.0GHzであり、分解能は、148×95km~27×18kmである。

アンテナは、42度のオフセット・パラボラ方式で、ビーム幅が0.8~4.2度である。走査は機械的で連続往復走査が可能である。SMMRにより、上記の他、海水、土壌の水分、水上の積雪率、雪表面下の温度、降雨量なども測定できる。このSMMRは、SEASATにも搭載されており、ほぼ同じ機能をもっている。

(10-8) THIR (Temperature Humidity Infrared Radiometer)

THIRは、NIMBUS-4、5、6に搭載されているTHIRと同じである。24チャンネルの放射計で、10.5~12.5ミクロンの大気の間と、6.5~7.0ミクロンの水蒸気吸収帯の赤外チャンネルのデータを取得する。

地球からの光は、45度傾いて、48RPMで回転ミラーにより走査される。この走査鏡と衛星の動きにより、日中の北行軌道時は東から西へ走査し、夜間の南行軌道時は、西から東へ走査することになる。光は望遠鏡で集められ、ダイクロイック・ミラーおよびフィルターで赤外2チャンネルに分離され、検知器に入る。センサは、ボロミタが使用されている。窓チャンネルは、6.7km、水蒸気チャンネルは20kmの分解能を持っている。

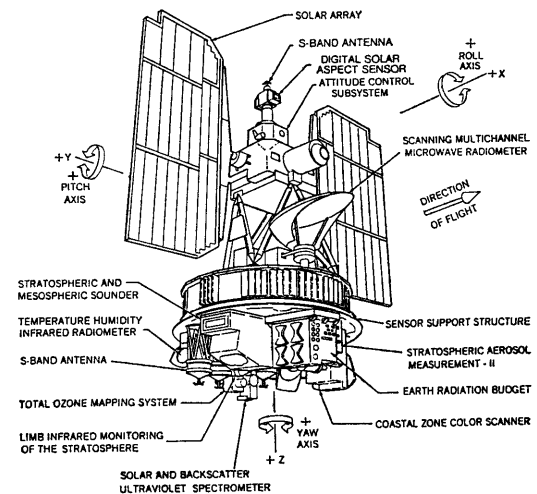


図 10 NIMBUS-7

表 10.1 CZCS (NIMBUS-7)

名 称	波長域 ( $\mu\text{m}$ )	種 類	検 知 器	分解能(km)	範囲 (km)	備 考
CZCS	0.433~0.453	可 視	Si-Diode	825m	1565	
	0.510~0.530	"	"			
	0.540~0.560	"	"			
	0.660~0.680	"	"			
	0.700~0.800	"	"			
	10.5~12.5	"	"			

表 10.2.1 ERB 太陽チャンネル (NIMBUS-7)

名 称	波長域 ( $\mu\text{m}$ )	種 類	検 知 器	分解能(km)	範囲 (km)	備 考
ERB (太陽チャンネル)	0.2~3.8		熱電堆			
	0.2~3.8		"			
	0.2~50		"			
	0.526~2.8		"			
	0.698~2.8		"			
	0.395~0.508		"			
	0.344~0.460		"			
	0.300~0.410		"			
	0.275~0.360		"			
	0.2~50		"			

表 10.2.2 ERB 固定広角 FOV チャンネル (NIMBUS-7)

名 称	波長域 ( $\mu\text{m}$ )	種 類	検 知 器	分解能(km)	範囲 (km)	備 考
ERB (固定広角 FOV チャンネル)	<0.2~>50		熱電堆			
	<0.2~>50		"			
	0.2~3.8		"			
	0.695~2.8		"			

表 10.2.3 ERB 狭角走査チャンネル (NIMBUS-7)

名 称	波長域 ( $\mu\text{m}$ )	種 類	検 知 器	分解能 (km)	範囲 (km)	備 考
ERB (狭角 FOV 走 査チャンネル)	0.2~4.8		焦電素子			
	0.2~4.8		"			
	0.2~4.8		"			
	0.2~4.8		"			
	4.5~5.0		"			
	4.5~50		"			
	4.5~50		"			
	4.5~50		"			

表 10.3 LIMS (NIMBUS-7)

名 称	波長域 ( $\mu\text{m}$ )	種 類	検 知 器	分解能 (km)	範囲 (km)	備 考
LIMS	6.1~ 6.4	赤外 ( $\text{NO}_2$ )	HgCdTe	30×4	56×61	
	6.4~ 7.3	赤外 ( $\text{H}_2\text{O}$ )	"	30×4	"	
	8.8~10.8	赤外 ( $\text{O}_3$ )	"	20×2	"	
	10.9~11.8	赤外 ( $\text{HNO}_3$ )	"	20×2	"	
	13.2~17.3	赤外 ( $\text{CO}_2$ )	"	20×2	"	
	14.9~15.7	"	"	20×2	"	

表 10.4 SAM II (NIMBUS-7)

名 称	波長域 ( $\mu\text{m}$ )	種 類	検 知 器	分解能 (km)	備 考
SAM II	1.0	近 赤 外	Si-Diode		太陽光度計

表 10.5 SAMS (NIMBUS-7)

名 称	波長域 ( $\mu\text{m}$ )	種 類	検 知 器	分解能 (km)	備 考
SAMS	2.7	赤外 ( $\text{H}_2\text{O}$ )	PbS		
	4.3	赤外 ( $\text{CO}_2$ )	InSb		
	4.7	赤外 (CO)	"		
	5.3	赤外 (NO)	"		
	7.7	赤外 ( $\text{CH}_4$ )	TGS		
	7.7	赤外 ( $\text{N}_2\text{O}$ )	"		
	15.0	赤外 ( $\text{CO}_2$ )	"		
	25.0~100.0		"		

表 10.6 SBUV/TOMS (NIMBUS-7)

名 称	波長域 (μm)	種 類	検 知 器	分解能(km)	備 考
SBUV	0.340	紫 外	注		注 PMT モノクロメータ用フォトダ イオード光度計用フォトダ イオードの3種
	0.331	"	"		
	0.328	"	"		
	0.312	"	"		
	0.306	"	"		
	0.302	"	"		
	0.298	"	"		
	0.292	"	"		
	0.288	"	"		
	0.283	"	"		
	0.274	"	"		
0.256	"	"			
TOMS	0.380	"	PMT		
	0.360	"	"		
	0.340	"	"		
	0.331	"	"		
	0.318	"	"		
	0.313	"	"		

表 10.7 SMMR (NIMBUS-7)

名 称	周波数 (GHz)	種 類	分解能 (km)	備 考
SMMR	6.6		148×95	
	10.69		91×59	
	18.0		55×41	
	21.0		46×30	
	37.0		27×18	

表 10.8 THIR (NIMBUS-7)

名 称	分解能 (μm)	種 類	検 知 器	分解能(km)	備 考
THIR	10.5~12.5	赤外 (窓)	サーミスタ・ ポロミター	6.7	
	6.5~7.0	赤外 (H <sub>2</sub> O)	"	20	

(11) SEASAT

SEASAT は、米国の NASA のジェット推進研究所により打上げられ、海洋のリモート・センシングのために、マイクロ波センサの使用を推進した最初の衛星である。

打上げ日 1978年 6月27日

SEASAT は、高度 800km で傾斜角 108 度のほぼ円軌道を描き、1日に地球を14周する。不幸にも、SEASAT は同年10月10日に、電源系が故障して、データ伝送が途切れた。

(11.1) ALT (Altimeter)

ALT は、13.5GHz のマイクロ波高度計で、走査幅は海面の状態に応じて、2.4~12km である。マイクロ波高度計は、衛星に搭載されたレーダーよりパルスを発射し、反射されたパルスが戻って来るまでの時間間隔および、パルスの広がりから、地表面の温度、波高等を測定するものである。この ALT では、20m までの波高を、±0.5m または 10% の精度で求めることができる。

(11.2) SASS (SEASAT-A Scatterometer System)

SASS は、能動型マイクロ波散乱計で、4本のアンテナと、ドップラ・フィルタを使用している。マイクロ波散乱計は、地表面に電波を発射し、起伏した対象物表面から散乱されて戻る電波を受信し、送信電力と受信電力より散乱断面積を得る。衛星よりその散乱断面積を計測することにより、海面の風向、風速、波浪、表面の状態などを観測することができる。

SASS により海面に4つの扇状のビームを反射させる。ビームは直交しており衛星直下の軌道の両側 500km 幅にあたる。送信周波数は 14.6GHz で、戻ってくる周波数はドップラー効果で若干シフトする。ドップラー効果により、50km の分解能を得ることができ、風速 4~26m/秒の範囲の風について、風速を±2m/秒、風向を±20度の精度で求めることができる。

(11.3) VIRR (Visible and Infrared Radiometer)

VIRR は、0.49~0.94ミクロンの可視と、10.5~12.5ミクロンの赤外よりなり、可視は雲の状態を、赤外は表面と雲頂の温度を求めるとの目的である。VIRR は、SEASAT に搭載されている唯一のマイクロ波以外の放射計である。

地球から放射は、直径 12.5cm のカセグレイン型望遠鏡により集光され、ダイクロイック・ビーム・スプリッ

タにより、可視赤外に分光される。可視センサは、シリコンフォト・ダイオード、赤外は、サーミスタ・ポロミタを使用している。

(11.4) SAR (Synthetic Aperture Radar)

SAR は、1.275GHz の合成開口レーダーで、衛星直下軌跡の右側 100km 幅で、中心は天底より20度傾いている。

合成開口レーダーは、扇状のビームをパルス状に、地上に照射し、地上の観測対象物により散乱して戻ってくるエコーを、光学情報に変換して、高分解能で地表面の映像を出すレーダーである。この様なレーダーに実開口レーダーがある。どちらも衛星の進行方向直角方向には短い送信パルスまたはパルス圧縮より高分解能を得るが、進行方向には、実開口方式では、大きな開口アンテナで狭いビームを作るのに対し、合成開口方式では、小さなアンテナで取得される信号を蓄積、処理することにより、大きな開口アンテナと同じ分解能を得る。

SAR の画像の分解能は 25m で、全天候下での 50m 以上の海洋の波と波のスペクトルの測定、海水の識別、氷山と海陸の識別などを目的としている。

(11.5) SMMR (Scanning Multichannel Microwave Radiometer)

SMMR は、6.6, 10.7, 18.0, 21.0, 37GHz の垂直、水平偏波の走査型多チャンネル・マイクロ波放射計で、

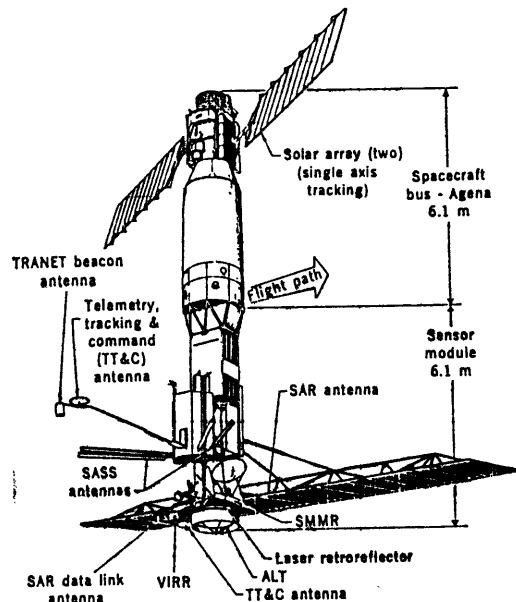


図 11 SEASAT



主に海面水温を測定する。空間分解能は、6.6GHzで100km, 37GHzで22kmの範囲にある。SMMRは、衛星の右側を600kmの幅を走査する、測定項目として、海面水温の他、表面の風速、液体の水量および水蒸気がある。後の2項目は、ALTとSASSによるパス長と、

減衰補正を公式化して使用できる。海面水温の絶対精度は、相対精度0.5°Kに対し、±2°Kである。風速は7~50m/秒のを±2m/秒で測定される。

アンテナは、オフセット・パラボラ方式で、機械的連続走査をおこない、ビーム幅は0.8~4.2度である。

表 11.1 ALT (SEASAT)

名称	周波数 (GHz)	種類	分解能 (km)	範囲 (km)	備考
ALT	13.5			2.4~12	マイクロ波高度計

表 11.2 SASS (SEASAT)

名称	周波数 (GHz)	種類	分解能 (km)	範囲 (km)	備考
SASS	14.6		50	500	能動型マイクロ波散乱計

表 11.3 VIRR (SEASAT)

名称	波長域 (μm)	種類	検知器	分解能 (km)	備考
VIRR	0.49~0.96	可視	Si-Diode		
	10.5~12.5	赤外(窓)	サーミスタ・ボロミター		

表 11.4 SAR (SEASAT)

名称	周波数 (GHz)	種類	分解能 (km)	範囲 (km)	備考
SAR	1.275		25m	100	合成開口レーダ

表 11.5 SMMR (SEASAT)

名称	周波数 (GHz)	種類	分解能 (km)	備考
SMMR	6.6		121×79	
	10.7		74×49	
	18.0		44×29	
	21.0		38×25	
	37.0		21×14	

(12) HCMM (Heat Capacity Mapping Mission)

HCMMは、地球の温度変動測定を目的とした軌道衛星で、太陽同期の高度620kmを飛行する。これにより、中緯度地帯の最低温度を測定し、11時間後に最高温度を測定する。

2チャンネルの走査放射計により、昼間は可視と近赤外の、また昼夜を通じて熱赤外の画像を取得する。分解能は0.5×0.5kmで、700km幅を走査する。HCMMのミッションは、

- ①岩石の判別と鉱物資源の探査
- ②土壌水分の測定

③植物の水分状態決定のための温度測定

④都市の熱分布測定

⑤陸と水の温度変化分布観測

⑥雪解け状態の観測

がある。

HCMMの特長は、昼夜の熱を測定することにより、昼間の太陽による熱と夜間の放射冷却の温度変化を読み取ることである。この温度変化は、地表より5~10cmの性質によるから、ミッションのような測定が可能となる。衛星は三軸安定で、1~2度の精度で地球を指向する。

(12.1) HCMR (Heat Capacity Mapping Radiometer)

HCMM に搭載されている放射計で、NIMBUS-5 の SCMR を改良したものである。使用チャンネルは、0.5~1.1 ミクロンの可視および近赤外と、10.5~12.5 ミクロンの窓領域赤外である。両チャンネルの分解能は 500×500m で、700km の範囲を、直径 20cm の望遠鏡と、45度傾いた走査鏡により走査する。可視近赤外と赤外は、ダイクロイック・ミラーで分離する。

キャリブレーションは、宇宙空間、7段階のステアークラス、黒体によりおこなう。

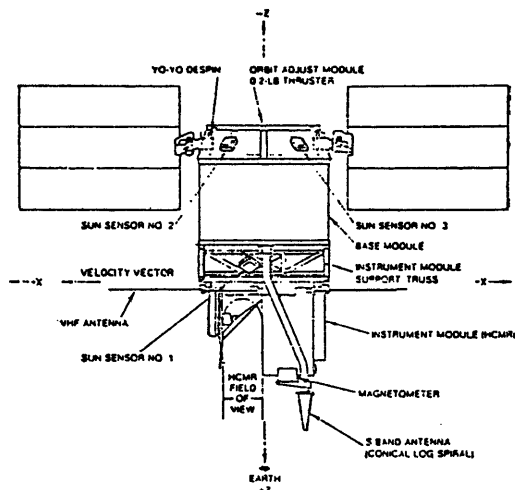


図 12 HCMM

表 12.1 HCMR (HCMM)

名 称	波長域 (μm)	種 類	検 知 器	分解能(km)	範囲 (km)	備 考
HCMR	0.5~1.1	可視近赤外		0.5×0.5	700	
	10.5~12.5	赤外(窓)			"	

(13) MOS-1 (Marine Observation Satellite)

MOS-1 は、わが国最初の地球観測衛星で、衛星による地球観測の基本技術の開発と地表映像データの収集および、海表面と大気の状態の観測が目的である。

打上げ予定 1984年度

衛星は、高度約 900km、太陽同期で、周期は17日の予定である。MOS-1 の目的として、海水、海洋汚染の探査、新漁場の開発、赤潮の検知、森林、農作物の健康度情報取得などがある。衛星には、3個の放射計を搭載している。

(13-1) MESSR (Multiple Electrical Self Scan Radiometer)

可視・近赤外放射計で、観測波長域として、0.51~0.59, 0.61~0.69, 0.72~0.80, 0.80~1.10ミクロンが予定されている。従来の可視・近赤外放射計は、MSS方式(LANDSAT参照)が使われていたが、分解能向上等のため多素子化による CCD方式が採用される模様である。

CCD (Charge Coupled Device) は、センサを機械的ではなく電子的に走査し画像データを取得するもので、センサの画素は、1024, 2048等の個数よりなる。

この放射計により、海表面および陸地の色の観測ができ、それにより海洋汚染、漁場の探査、植性分布等のデータが取得できる。地表走査幅は 100km、距離分解能は 50km である。

(13-2) VTIR (Visible and Thermal Infrared Radiometer)

可視・熱赤外放射計で、機械回転式より走査をおこなう。観測波長域は、可視が 0.5~0.7, 熱赤外が 6.0~7.0, 10.5~11.5, 11.5~12.5 ミクロンが計画されている。この放射計により、温度分布、雲分布が観測でき、それにより、海流、火山活動等のデータが取得できる。地表面走査幅は 500km、距離分解能は 900m である。

(13.3) MSR (Microwave Scanning Radiometer)

マイクロ波放射計で、機械式コンカル走査により走査をおこなう。中心周波数は、23GHz と 31GHz が採用される予定である。

23GHz は水蒸気分布を、31GHz は海水、雪の分布データ取得に主に使われる。地表面走査幅は 300km、分解能は、23GHz が 36km, 31GHz が 28km と思われる。

(MOS-1 の情報は、主として国土情報に関する国際シンポジウム (55年8月) によった)

表 13.1 MESSR (MOS-1)

名 称	波長域 (μm)	種 類	検 知 器	分解能(m)	範囲 (km)	備 考
MESSR	0.51~0.59	可 視		50	100	
	0.61~0.69	"		"	"	
	0.72~0.80	"		"	"	
	0.80~1.10	近 赤 外		"	"	

表 13.2 VTIR (MOS-1)

名 称	波長域 (μm)	種 類	検 知 器	分解能(m)	範囲 (km)	備 考
VTIR	0.7~ 0.7	可視	Si-Diode	900	500	
	6.0~ 7.0	赤外 (H <sub>2</sub> O)	HgCdTe	"	"	
	10.5~11.5	赤外 (窓)	"	"	"	
	11.5~12.5	"	"	"	"	

表 13.3 MSR (MOS-1)

名 称	周波数 (GHz)	種 類	分 解 能	範囲 (km)	備 考
MSR	23.8				
	31.4				

(14) LANDSAT

LANDSAT は、地球資源の探査、自然環境の監視、土地利用、公害、防災等、広範囲の利用を目的に、米国で打上げられている地球観測衛星である。

打上げ日

LANDSAT-1	1972年6月23日
LANDSAT-2	1975年1月22日
LANDSAT-3	1978年3月5日

これら3衛星の高度は915km、軌道傾斜角99度、周期18日で、1日に地球を14周する。センサとしてMSSとRBVを搭載している。

LANDSAT-Dは、LANDSATシリーズの1, 2, 3の次の地球観測衛星である。

打上げ予定 1981~1982年

打上げは、DELTA ロケットで、高度705kmに上げられるが、衛星としては、スペース・シャトル適合となる計画である。バック・アップのLANDSATD'が、約6ヶ月遅れで、これはスペース・シャトル打上げとなる。

軌道は16日周期で、地方時の9時30分に赤道を横切り、軌道傾斜角98.2度、視野範囲は、185kmである。

以前のLANDSATでは、全球データ受信のため、テープ・レコーダを内蔵していたが、LANDSAT-Dではそれに替って、新しいデータ通信システムのTDRSS (Tracking and Data-Relay Satellite System)を採用している。これは西経41度と、西経171度に静止衛星をおき、LANDSATのデータを中継して、地上局に送信するものである。さらにLANDSAT-Dでは、位置決めをするためにGPS (Global Positioning System)のデータ処理装置を持っている。これは、ドップラー手法により位置決めするもので、24個のGPS衛星があれば、10mの精度で決定できるが、LANDSAT-Dの寿命中は、6個のみである。LANDSAT-Dに搭載されている放射計は、LANDSAT-1, 2 MSSと、TMである。

(14-1) MSS (Multispectral Scanner)

LANDSAT-1, 2およびDは、0.5~0.6, 0.6~0.7, 0.7~0.8, 0.8~1.1ミクロンの可視、近赤外のチャンネルで、LANDSAT-3では更に赤外の10.4~12.6ミクロンが加わって5チャンネルである。

この項では、LANDSAT-3の5チャンネルも含めて述べたい。

MSS は、Ritchey Chretien 型の望遠鏡を持ち、長軸の長さが 35.5cm の楕円形の走査鏡が走査することにより、データを取り込む。検知器は、可視領域の 3 チャンネルが PMT、近赤外 1 チャンネルが、シリコン・フォト・ダイオードで、1 チャンネルにつき、6 個が縦に並んでいる。よって、1 走査につき、6 ライン分のデータが取得できる。赤外は HgCdTe で、2 個が縦に並んでおり、2 ラインを取得できる。

可視、近赤外の地上分解能は 79m、赤外は 240m である。可視、近赤外データのキャリブレーションは、シャッター、太陽データによる。シャッターは、2 走査サイクルに 1 回入る。シャッターが入ると、色調整フィルタを通した白熱ランプからの光が当たる。このデータは、6 チャンネル間のゲインを調整するのに使用される。別のシャッターは、シリコン・フォト・ダイオードのゼロ設定に使用するため黒面をもっている。PMT の場合は、ゼロ電流となるが、ダイオードではバイアス電圧がかかるためである。

太陽データは、角度の違ったミラーより、太陽光を取り込んで半値にしたものである。

赤外データのキャリブレーションは、黒体シャッターと、ミラーを持つシャッターによる。ミラーのシャッターにより、赤外検知器は、自身、すなわち赤外検知器を、入力することにより、温度の低い方のリファレンスとする。赤外センサは、放射冷却器により、100°K 程度に保たれている。

(14-2) TM (Thematic Mapper)

TM は、LANDSAT-D に搭載が予定されている。多重スペクトル地球資源センサで、従来の MSS を改良したものである。

改良点は次の通り。MSS では、走査方向が一方方向のに対し、TM は両方向に走査する。これにより、走査速度を遅くして、放射感度を上げる事ができる。更に分解能が、可視、近赤外で 30m、赤外で 120m と良くなっている。

波長として、0.45~0.52, 0.52~0.60, 0.63~0.69, 0.76~0.90, 1.55~1.75, 2.08~2.35, 10.40~12.50 の 7 チャンネルを持つ。

2.08~2.35 ミクロンは、植物の水分状態と、鉱物の水酸基の観測に使用するため追加される。その他、データ

の量子化レベルが 64 から 256 に改良されるなどである。

(14-3) RBV (Return Beam Vidicon)

RBV は、地球観測用テレビカメラであり、LANDSAT-1, 2 では 0.475~0.575, 0.58~0.68, 0.69~0.83 ミクロンの 3 波長よりなり、LANDSAT-3 では、9.5~0.75 ミクロンの 1 波長のみからなる。

RBV は、波長毎に単独のレンズ、シャッター、センサ、偏向/集束コイル、電子回路部よりなる。3 波長のものは、カメラがそれぞれ同一範囲を撮像するように配列され、シャッターは、全カメラ同時に動作する。

画面中央の限界解像度は、LANDSAT-1, 2 では、走査線あたり 45m、LANDSAT-3 では 24m となる。現実には、物質の反射率の比により、この数値通りでない場合もある。

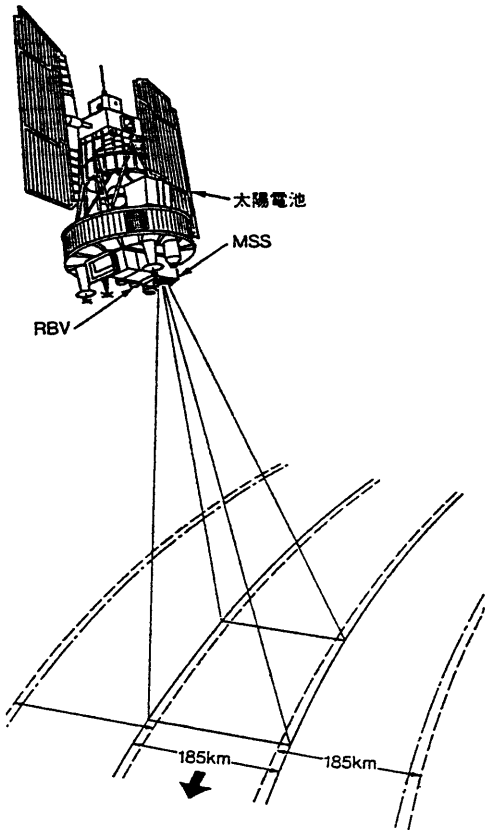


図 13 LANDSAT

表 14.1.1 MSS (LANDSAT-1)

名 称	波長域 (μm)	種 類	検 知 器	分解能(m)	範囲 (km)	備 考
MSS	0.5~0.6	可 視	PMT	80	185	
	0.6~0.7	"	"	"	"	
	0.7~0.8	"	"	"	"	
	0.8~1.1	近 赤 外	Si-Diode	"	"	

表 14.1.2 MSS (LANDSAT-2)

名 称	波長域 (μm)	種 類	検 知 器	分解能(m)	範囲 (km)	備 考
MSS	0.5~0.6	可 視	PMT	80	185	
	0.6~0.7	"	"	"	"	
	0.7~0.8	"	"	"	"	
	0.8~1.1	近 赤 外	Si-Diode	"	"	

表 14.1.3 MSS (LANDSAT-3)

名 称	波長域 (μm)	種 類	検 知 器	分解能(m)	範囲 (km)	備 考
MSS	0.5~0.6	可 視	PMT	80	185	
	0.6~0.7	"	"	"	"	
	0.7~0.8	"	"	"	"	
	0.8~1.1	近 赤 外	Si-Diode	"	"	
	10.4~12.6	赤 外 (窓)	HgCdTe	245	"	

表 14.1.4 MSS (LANDSAT-D)

名 称	波長域 (μm)	種 類	検 知 器	分解能(m)	範囲 (km)	備 考
MSS	0.5~0.6	可 視	PMT	80		
	0.6~0.7	"	"	"		
	0.7~0.8	"	"	"		
	0.8~1.1	近 赤 外	Si-Diode	"		

表 14.2 TM (LANDSAT-D)

名 称	波長域 (μm)	種 類	検 知 器	分解能(m)	範囲 (km)	備 考
TM	0.45~0.52	可 視		30		
	0.52~0.60	"		"		
	0.63~0.69	"		"		
	0.76~0.90	近 赤 外		"		
	1.55~1.75	赤 外	InSb	"		
	2.08~2.35	"	"	"		
	10.40~12.50	赤 外 (窓)	HgCdTe	"		

表 14.3.1 RBV (LANDSAT-1)

名 称	波長域 ( $\mu\text{m}$ )	種 類	検 知 器	分解能 (m)	範囲 (km)	備 考
RBV	0.475~0.575	可 視	ビームビジコン	45	185×185	分解能は、一走査線あたりを指す
	0.580~0.680	"	"	"	"	
	0.690~0.830	"	"	"	"	

表 14.3.2 RBV (LANDSAT-2)

名 称	波長域 ( $\mu\text{m}$ )	種 類	検 知 器	分解能 (m)	範囲 (km)	備 考
RBV	0.475~0.575	可 視	ビームビジコン	45	185×185	同 上
	0.580~0.680	"	"	"	"	
	0.690~0.830	"	"	"	"	

表 14.3.3 RBV (LANDSAT-3)

名 称	波長域 ( $\mu\text{m}$ )	種 類	検 知 器	分解能 (m)	範囲 (km)	備 考
RBV	0.505~0.750	可 視	ビームビジコン	24	182×98	同 上

(15) SPOT (Système Probatoire d'Observation de la Terre (Earth Observation Test System))

SPOT は、フランス宇宙局 (CNES) で計画が進められている陸域観測衛星である。

打上げ予定 1983年

打上げは、Ariane ロケットの予定である。衛星は、高度約 822km、軌道傾斜角 98.7 度のほぼ円軌道を描く。周期は、101 分で、10時30分に赤道を横切る太陽同期軌道である。

SPOT の目的は、陸地の使用状況の調査で、従来の観測では出来なかった徹底的な、細部にわたる、最新のデータを取得することである。SPOT により、土壌水分、野菜の生育状況、水資源の評価、農村部の都市部への変化の観測、海岸部の水陸相互作用の観測などをおこなう。搭載放射計としては、CCD を使用した。HRV が 2 台ある。

(15.1) HRV (High Resolution Visible)

HRV は、SPOT に搭載される放射計で走査鏡、ディスク、チョップ等の機械的可動部がなく、画像撮像に CCD を使用している。画像の各ラインは、焦点面に並べられた、検知器の列を、電気的に走査することにより取得される。次のラインは、衛星が軌道に沿って移動することにより得られる。このシステムは、次の 2 点に特

徴がある。一つは、画像化される地上各点の「露出」時間を、自動的に最大に持ってゆけること、また、機械的動きによらないので、その点での画像歪がないことである。

HRV は、60km の幅を、分解能 10~20m で撮像するため、1 列の検知器数は、3000~6000個となる。

使用波長域は、0.5~0.59 ミクロン、0.61~0.69 ミクロン、0.79~0.90 ミクロンの可視、近赤外帯の 3 チャンネルがあり、これは分解能 20m である。さらに、0.5~0.9 ミクロンで、分解能 10m のが 1 チャンネルある。

光学系としては、焦点距離 1082mm、f/3.5 の望遠鏡が使用され、3 個のダイクロイック・プリズムにより、波長域を分離する。さらに指向方向を変化させるため、0.6 度きざみで、±26 度に向く回転ミラーが、望遠鏡の前に設置されている。

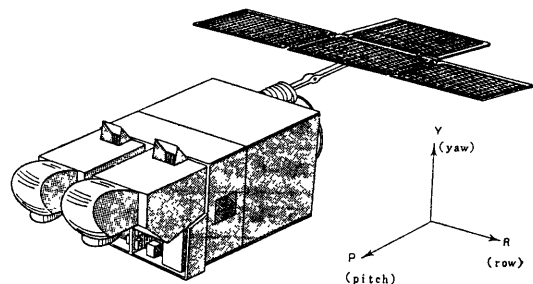


図 14 SPOT

表 15 HRV (SPOT)

名 称	波長域 (μm)	種 類	検 知 器	分解能(m)	範囲 (km)	備 考
HRV	0.5 ~ 0.59	可 視		20	60	
	0.61~0.69	”		”	”	
	0.79~0.90	近 赤 外		”	”	
	0.50~0.90	赤 外		”	”	

(16) おわりに

いろいろな衛星の放射計について、述べてきたが、入手できる資料が、ユーザーズ・ガイドもあれば、月刊雑誌もあると、レベルがまちまちなので、各項について統一的な記述ができなかった点が少し残念である。

本文執筆のためにいろいろな調査が必要であったが、その段階で気象研究所、気象衛星研究部の方々、特に高山陽三氏には多大のお世話になった事を感じます。

参考文献

木村光一, 河野毅 (1980): GMS 本体, 気象衛星センター技術報告 (特別号 I-1)  
 小平信彦 (1977): 赤外のリモート・センサによる気象観測, 赤外線技術 VOL. 2  
 日本航空宇宙学会 (1978): センサに関する調査 (1) 地球観測用センサ, 宇宙開発事業団委託業務成果報告書  
 経団連宇宙開発推進会議 (1976): 特集気象衛星, 宇宙 No. 5  
 Morgen, J. and Jensen, J. A. (1978): Introduction to the METEOSAT System. ESA  
 Herkert, J., Remondi, B., Goddard, B. and Callicott W. (1975): An Overview of the GOES Data Flow and Processing Facilities. NOAA Technical Memorandum NESS 64

Robert W. Vostreys (1978): Launch Summary for 1973-77. NASA  
 Robert W. Vostreys (1979): Launch Summary for 1978. NASA  
 Chris Bulloch (1978): The Long, Cool View Earth Observation from Space. INTERAVIA 1978. 12  
 Schwalb, Arthur (1978): The TIROS-N/NOAA A-G Satellite Series. NOAA Technical Memorandum NESS 95  
 Hussey, W. John (1979): The TIROS-N/NOAA Operational Satellite System. NOAA-A Scientific Colloquium May 3, 1979  
 National Climatic Center (1979): Satellite Data Users Bulletin. NOAA  
 I. P. Vetlov (1978): Meteorological Observations From Satellite in the USSR. WMO/UN Regional Training Seminar on the Interpretation, Analysis and Use of Meteorological Satellite Data  
 Charles R. Madrid (1978): The NIMBUS-7 User's Guide. NASA  
 G. H. Born etc. (1979): SEASAT Mission Overview Science Vol. 204, No. 4400  
 Dick McCormack etc (1978): HCMM. NASA News  
 CNES (1978): The Earth Observation Test System General Description