

# 将来の衛星システムについての検討

## The Study on Future Satellite System

木村 光一\*

Koichi Kimura\*

### Abstract

This report is about the private studies and opinions about future GMS systems. The details are these.

- (1) introduction
- (2) the summary of the report by "next generation study working group" in MSC.
- (3) the situation of future rockets and foreign satellites.
- (4) discussion, and availability of
- (5) infrared channels
- (6) soundings
- (7) stretched VISSR
- (8) DCP links
- (9) acknowledgement

### 1. まえがき

日本の静止気象衛星 GMS (ひまわり) のシリーズは、昭和 52 年打上げの GMS (1 号) 以来気象業務に使用され、現在では昭和 59 年打上げの GMS-3 が運用されている。現在まで①可視赤外走査放射計 (VISSR) による観測、②通報局 (DCP) からの気象データ収集、③ファクシミリ (FAX) による観測データの配布、④宇宙環境モニタ (SEM) による太陽粒子の測定というミッションが引続き行われている。一方、GMS から取得され、処理された各種データは、気象庁をはじめ、国内外の多方面で利用されており、また、新たな多様な要求も出てきている。その新たな要求の中には、観測データから得られる処理結果の迅速化、精度向上と並んで、新しい気象要素の抽出も含まれている。それらの要求を分析してみると、現在気象衛星センター等で行われている処理方式の改良、衛星関連機器の改良とともに、衛星に新たな機能を追加することにより実現する場合もある。

この衛星の新しい機能については、気象庁内外で種々の場で検討されてきた。気象衛星センターにおいては、昭和 57 年度に「次期システム委員会 (当時)」の下に、「GMS システム将来構想検討作業班」(以下作業班という) を設置し、将来の GMS システムのありかたについて、調査、検討を行ったことがある。

その時の調査、検討により、将来の GMS システムの構想を立てる上で、有益な情報を得ることができた。しかし、その作業班が報告を出して以来すでに 2 年以上経過し、内外の情勢は変化してきた。そのため、当時の作業班の報告の内容は、そのままでは現在通用しないものもある。

本文では、作業班の報告以後の情勢の変化を考慮し、主に新しい赤外センサの選択について述べている。なお、本文の大部分の意見は、筆者の個人的見解であり、公の場でオーソライズされたものでないことを付記する。

### 2. 昭和 57 年度作業班の報告の概要

昭和 58 年 3 月 30 日に、作業班から出された中間報告の

\* 気象衛星センターシステム管理課 Meteorological Satellite Center

概要は、以下のとおりである。

背景として、GMS-4(現段階では昭和64年度夏期打上げの予定)から、GMS シリーズの打上げは、N-II ロケットから H-I ロケットによると想定される。将来の GMS シリーズでは、H-I ロケットによる打上げ能力増加分を、搭載燃料の増加だけでなく、各方面からの要求に応えた新しいミッション機器の搭載にも使うべきであるとし、検討が行われた。その際、ミッション追加があっても、気象衛星センター地上系システムへのインパクトを、極力減らすことが条件となっている。

検討内容としては

- ①赤外データとして、現在の10.5~12.5ミクロン帯以外の波長帯データも取得できるようにする。
  - ②可視センサを、現在の PMT からフォト・ダイオードとする。
  - ③DCP 回線の有効利用を図る。
- 等であった。これらの検討は、中間報告としてまとめられたが、その後は作業班としては活動していない。

### 3. 将来衛星検討に参考となる情勢

#### 3-1. ロケット

昭和60年代において、GMS-4 を含む各種人工衛星の打上げロケットは、国産の H-I ロケットとなる。

H-I ロケットは、重量約 550 kg の静止衛星(赤道上空約 35,800 km で、地球の自転に同期して地球を廻る衛星)を打上げる能力があり、GMS-3 の打上げに使用された N-II ロケット(約 350 kg 級)に比較して、大幅に打上げ能力が増加している。

H-I ロケット(3段式)は、GMS シリーズのような静止衛星打上げに使用されるもので、第1段に N-II ロケットの第1段液体ロケットを、第2段に液体酸素・液体水素を推進薬とするエンジンを、第3段に大型固体モータを使用している。H-I ロケット(2段式)は、H-I ロケット(3段式)から3段モータを取外したもので、中高度軌道衛星の打上げに使用される。

誘導方式として、ロケット自体に内蔵したコンピュータにより、姿勢・軌道の制御を行う慣性誘導装置が採用される予定である。

H-I ロケットの試験飛行は、昭和60年度から開始され、62年度夏期は、H-I ロケットによる第1号として、技術試験衛星 V 型(ETS-V)を打上げる予定である。その後、通信・放送衛星の打上げ、GMS-4 の打上げが行われる。

#### 3-2. 米国の情勢

米国では、静止気象衛星として、GOES シリーズが運用されている。

GOES-3 までは、画像取得ミッションのための放射計は、GMS-3 とほぼ同機能の VISSR であったが、GOES-4 以後は、VISSR の機能を拡張した VAS が採用されている。

VAS により、定常的には、昼夜にわたる 30 分間隔の観測が行われており、顕著なじょう乱発生時は、5 分間隔の観測も行われている。さらに、VAS において、赤外チャンネルが 12 チャンネルとなり、通常の 11 ミクロン帯の赤外データの他、他の波長帯、例えば水蒸気吸収帯による画像取得と、温度、水蒸気の鉛直分布の算出(サウンディング)が行われている。

衛星を使用した観測データ配布の方式として、次の 2 種類がある。一つは、ストレッチド VAS 方式といわれるもので、VAS による画像取得と並行して、取得生データをデジタルで同時に配信するものである。この方式は、VISSR の場合、ストレッチド VISSR 方式と呼ぶこととなるが、将来の GMS システムを検討する上で、重要なキーとなるので、7. でも述べたい。

もう一つは、GMS システムでの LR-FAX に相当する WEFAX である。WEFAX の内容は、アナログ形式で、GOES-E(東)、GOES-W(西)の画像の他、極軌道衛星 NOAA の画像、各種天気図等からなる。中継は、GOES-E、W の他、その中間の GOES-C(中央)という中継専用衛星も使用している。この 3 衛星のノミナルな位置は

GOES-E 75°W  
GOES-C 105°W  
GOES-W 135°W

今後の予定として、1986 年に、GOES-G、H が打上げられる予定である。この 2 衛星は、基本的に現在運用中の GOES-6 と同様とみられる。

主たる相異として、実験的に SAR が搭載されることがある。この装置は、NOAA-8 等にも搭載されているもので、遭難した船、飛行機等からの緊急信号を検知し、救助センター等へ中継する機能をもつ。遭難信号の発信位置の決定には、刻々と位置が変わる軌道衛星を使用する必要があるが、静止衛星を利用することにより、遭難信号を実時刻的に検知し、軌道衛星通過までの補完的役割を、この GOES の SAR は果たすこととなる。

この SAR の考え方は、将来衛星において、静止衛星と軌道衛星の役割分担を考慮する上で、大いに参考となる。

1990年(昭和65年)以後は、GOESのミッションが変更となることが予想される。その変更に対する基本方針としては、次の内容が予想される。

- ①画像取得とサウンディングの並行運用が可能なこと。
- ②画像取得用放射計は、最低5チャンネルの波長帯データ取得が可能で、20分程度で全球観測が可能なこと。
- ③連続した画像間の位置合せの精度は2km以内、各チャンネル間の位置合せの精度は、10分の1画素以内であること。
- ④サウンディング機能は、NOAAに搭載されているHIRS/2並みの性能をもつこと。
- ⑤WEFAX中継に使用する専用中継器をもつこと。
- ⑥SEM、DCSは現状通り継続する。
- ⑦その他、SARの搭載、太陽X線走査器の機能も考慮されている。

ここで、画像取得用放射計で選択される波長帯は、VASの他、METEOSAT、AVHRRを参考としていると考えられる。その例を表1に示す。この波長帯が選択される理由は、

- ①気象観測に有用なデータが得られる。
- ②宇宙での実績がある。
- ③地上で処理する手法が開発されつつある。

ことよろう。この波長帯は、将来のGMSシステムを検討する上で、参考となると考えられる。

**Table 1** An example of the imaging sensors of next GOES.

種類	波長帯 (μm)	空間分解能 (km)
可視	0.55~0.75	1
赤外窓	3.8~4.0	4
水蒸気	6.5~7.0	8
熱赤外	10.2~11.2	4
熱赤外	11.5~12.5	4

将来のGOESの基本方針の一つとして、画像取得、サウンディング、及びWEFAX中継の3機能の独立化がある。現在のGOESでは、この3機能は、完全に独立しては実施できない。例えば、じょう乱発生時は、5分観測による画像取得を行っているが、その同時のサウンディングは実施できない。この3機能の独立化により、運用を柔軟に行うことが可能となる。

その他、画像取得の距離分解能の向上等が考慮されている。

なお、GOES-Hまでは、スピン安定方式の衛星であるが、1990年以後のGOES-I以降は、三軸安定方式の衛星に変わることが予想される。三軸安定方式の場合、画像取得のための東西方向の走査は、衛星のスピンによらないので、放射計は従来のVASとは全く違った形状となると考えられる。

### 3-3. 欧州の情勢

欧州では、静止気象衛星として、METEOSATシリーズが運用されている。

現在では、主たる運用はMETEOSAT-2によっており、その放射計は、可視波長帯と、赤外2チャンネル(11ミクロン帯と水蒸気吸収帯である6.7ミクロン帯)を観測する。

画像取得は、30分間隔で行われ、可視(分解能2.5km)と赤外の片方1チャンネル、又は、可視(分解能5km)と赤外2チャンネルのデータを取得している。

衛星を使用した観測データ配布の方式として、デジタル形式とアナログ形式がある。デジタル形式としては、地上局で処理されたMETEOSATの画像の他、GOES-Eの画像も中継している。アナログ形式としては、WEFAXがあり、GMSシステムのLR-FAXに相当するもので、内容としては、METEOSAT、GOES-Eの他、天気図等も配信されている。

現在運用されているMETEOSAT-2の次の衛星は、1986年に、新型のARIANE-4ロケットにより試験として打上げられる。その後、1990年までに、運用衛星が打上げられられ、その運用衛星の内容は、次の内容が想定される。

- ①可視(分解能2.5km)と赤外2チャンネルの同時取得
- ②GTSの補完的役割を果すMDDを搭載し、データの中継を行う。

また、運用衛星としては、軌道上予備の打上げも検討されているようである。

その先、1995年(昭和70年)から21世紀にかけては、METEOSATのミッションが変更となることが予想される。その変更に対する基本方針としては、次の内容が予想される。

- ①画像の距離分解能の向上(可視、赤外共)をはかること。
- ②画像取得用放射計の取得波長帯を多様化すること。その例を表2に示す。
- ③サウンディングの機能をもつこと。

**Table 2** An example of the imaging sensors of next METEOSAT.

種類	波長帯 (μm)	空間分解能 (km)
可視	0.4~0.7	1
可視	0.7~1.1	1
近赤外	1.5~1.7	4
水蒸気	6.5~7.0	4
熱赤外	10.5~11.5	4
熱赤外	11.5~12.5	4

ただし、いずれも検討中であり、今後変更はあるかもしれない。

表2で特徴的なのは、雪と雲の識別のため1.5~1.7ミクロン帯を検討している点である。これは、欧州の場合、地形的な点からそれが重要な情報となっているため、将来のGMSシステム検討の一つの課題になると思われる。

**4. 将来システムの検討点**

将来のGMSシステムを検討していく上で、改善が望まれている事項の解決を図る方向が、一つの進め方であろう。改善が望まれている事項として、次のものがある。

①現プロダクトの精度向上、新しい気象要素の抽出

衛星側で図れる改善方法としては、(i)距離分解能の向上、(ii)赤外の温度分解能の向上、(iii)新しい波長帯の観測、等がある。

これらの改善については、将来のGOES, METEOSAT 共検討されている。

(i), (ii)については、センサ感度の向上、集光する望遠鏡の口径の増加、変調伝達関数の改善などが考えられる。

VISSR のような赤外線検知器の場合、

$$NEP = \frac{(Ad \cdot \Delta f)^{1/2}}{D^*}$$

の関係がある。ここで、

Ad=検出器セルの実効感光面積

Δf=雑音等価帯域幅

D\*=検出率 D (NEP の逆数) を雑音の単位帯域幅、検出器の単位面積で得られるはずの値に換算した値

(cm Hz<sup>1/2</sup> W<sup>-1</sup>)

NEP=等価雑音勢力

VISSR のような望遠鏡型の放射計を考慮した場合、

$$Ad = \{ (\text{望遠鏡の開口直径}) \times (\text{実効 } f \text{ ナンバー}) \times (\text{検出器瞬時視野角}) \}^2$$

これで明らかなように、瞬時視野角を小さくすることは、検出率の増加を招くこととなる。

今後、可視及び赤外検知器で、どの程度まで分解能を上げられるかは、センサの技術動向をさらに調査する必要がある。

新しい波長帯の選択については、5. で、利用例を述べる。

②VISSR 観測回数の頻度を上げる

現在のGMSは、1日14回観測、すなわち、3時間間隔の観測と、1日2回の4枚連続の風観測を行っている。これに対し、米国のGOES, ESAのMETEOSATでは、30分間隔の観測が、定常的に行われている。

GOESが、30分間隔の観測を行えるのは、1画像の取得時間が18分間であり、残り時間を有効に利用できることその他、後述するストレッチドVISSR方式を採用していること、及びFAX中継専用衛星を使用していることによる。

GOES型のストレッチドVISSRについて、7.で述べる。

METEOSATは、1画像25分かかるが、衛星の中に画像データを蓄えるデータバッファにより、画像送信の帯域幅を小さくし、FAX中継との並行運用を可能としている。これは、衛星のスピニングにより、放射計が地球を向いていない19/20の時間帯に、1/20の観測データをデータ・バッファにより引伸ばして送信するものである。GOESでは、同様のデータを引伸ばしを、地上にあるSDB装置で行って、19/20の時間帯に中継している。METEOSAT方式は、衛星でのストレッチドVISSRといえるもので、地上系の対応は簡単となるが、データ・バッファの信頼度を充分考慮する必要がある。

なお、METEOSATの引伸ばされたデータは、いったん地上で前処理を施しており、一般ユーザーは、前処理済のデジタル・データ又はWEFAXを使用している。

ストレッチドVISSRのデータを、現行のHR-FAXの代替と考えれば、HR-FAX中継の時間を節約して、VISSR観測を行うことができる。しかし、LR-FAXの方は、世界共通となっていることもあり、簡単に廃止できないと考えられる。また、現在のGMSの仕様では、VISSR観測とLR-FAX中継の同時運用はできない。

今後、この VISSR と LR-FAX の同時運用の検討が、一つの課題となる。

### ③DCP 回線の有効利用

DCP 回線は、パイ、飛行機、積雪計等のデータを中継するのが目的であるが、この回線の有効な利用については、8.で述べる。

## 5. 新しいセンサの利用

GMS シリーズの VISSR 赤外チャンネルは、10.5～12.5ミクロン帯の、いわゆる熱赤外と呼ばれる波長帯1チャンネルのみである。このチャンネルは、昼夜にわたる雲分布の観測、地表面温度の算出等に使用される基本的なものである。このチャンネルと他波長帯を組み合わせた場合、単チャンネルのみでは得られなかった、又は精度等の向上した情報を得ることができる。その例を以下に示したい。

### 5-1. 6～7 ミクロン帯

この波長帯は、水蒸気バンドとも呼ばれ、水蒸気による吸収がある。この波長帯を観測しうる放射計として、METEOSAT と、GOES-4以後の VAS がある。いずれも使用センサは、HgCdTe を使用し、フィルタにより、必要な波長帯を得ている。

衛星から観測されるこの波長帯のエネルギーは、水蒸気の濃度分布のみならず、温度にも依存する。よって、水蒸気量を推定するためには、温度分布を得るための別チャンネルと併用して、観測データを取得する必要がある。また、水蒸気バンドでは、対流圏下部の水蒸気量に関する情報を得にくい。ため、大気上端から地表面までの全体の水蒸気量の情報が得れない。よって、このバンドから、海面水温の算出を行うのは困難である。

水蒸気の風ベクトル算出には、その輪郭が不明瞭なため、エッジ検出等の手法を使用する必要がある。

1984年から、米国では、VAS のこのバンドを使用し、試験的に中高層風を毎日求めている。

①Kastnerら(1976)は、METEOSAT 打上げより以前に、NIMBUS-5に搭載された THIR の水蒸気バンドを使用して、隣接する画像間のデータから、対流圏上部の風を算出した。この水蒸気バンドは、6.3ミクロン帯であり、主として400 mb 付近の水蒸気又はそれより高い雲の輝度を観測している。算出の結果をラジオゾンデのデータと比較して、風速のRMS 偏差は、30 m/秒の風速に対し、5～6 m/秒、風向の RMS 偏差は、約21°であった。

この偏差の原因は、絹雲の影響を取り除かなかったこと、及びラジオゾンデの観測と THIR 観測に時刻差があったことによると考えられる。

Mosherら(1981)は、METEOSAT と、GOES の VAS の水蒸気バンドを使用し、風計算を試みた。先述のように、水蒸気バンドの画像は、きわめて不明瞭であるから、雲の追跡を容易に行うために、グレースケールの段階を調整した強調画像を作成した後、この画像3枚をループとして、相関法による追跡と、手動による追跡を行った。

その結果、相関法より手動の方が成功率が高く、かつ画像間隔も2～4時間あった方が適していることがわかった。また、VAS(直下点分解能6.9 km)より、METEOSAT(5 km)の方が、分解能が良いだけ追跡数が多かった。

ラジオゾンデとの比較では、従来の風ベクトルより精度が2 m/秒悪くなっている。これは、画像の不明瞭さと、高度設定の不正確さによると考えられる。

Eigenwillingら(1982)は、METEOSAT の水蒸気バンドの連続した画像を使用し、晴天域もしくは下層雲のみの地域での、中層の風ベクトルを求めた。

その手法は、輪郭を強調する処理を施した後、従来の風ベクトル算出方法で雲の追跡を行い、結果をゾンデの結果と比較するものである。その結果、RMS 差では、風速で4.9 m/秒、風向で20°、差の絶対値の平均は、各々3.7 m/秒、15°であった。

これらの調査結果をまとめると、水蒸気バンドの画像から「雲」を追跡することにより、雲のない領域あるいは下層雲しか存在しない領域の、対流圏中層の大気の流れの把握が可能で、同時にジェット気流のふるまい等の情報も得ることがわかる。これは、従来の赤外11ミクロン帯1チャンネルと、可視による風ベクトル算出では得られなかった領域のデータを得ることをがす。

風ベクトル抽出上の問題点としては、以下のものがある。水蒸気バンドの画像は、きわめて不明瞭なものであるから、正しく追跡を行うために、輪郭強調の処理を施す必要がある。また、自動的に追跡を行うには、この強調処理の手法に改善の余地があると考えられる。同様の不明瞭さによる理由から、30分間隔の画像では、風速が大きい場合以外は、追跡が困難であり、最適の画像間隔は2～4時間間隔という結果になっている。

別の問題点として、高度の割当てに注意が必要である。これは、水蒸気バンドによる測定が、厚い大気層の情報を測定していることによる。

その他の利用例について、次に示す。

②Davis ら (1983) は、METEOSAT の水蒸気チャンネルと、赤外チャンネルを用いて、ブラジル北東部低緯度帯の上層の渦の形成を説明した。その結果、背の高い積乱雲の雲頂や、厚いかなとこ雲等は、赤外、水蒸気チャンネル共、同様のパターンで識別できるが、水蒸気チャンネルではさらに、大規模な湿潤域の流れの識別が可能であるとし、風ベクトルのデータと併用すれば、渦の発達の様子を定性的に観測することができるとしている。

③Desbois ら (1982) は、METEOSAT の可視、赤外、水蒸気チャンネルを使用し、雲形の自動判別、及び半透明な絹雲の雲頂高度の算出を行っている。これは、可視赤外、赤外水蒸気、水蒸気可視で、各々二次元ヒストグラムを作成し、画素の集中した部分をクラス分けすることにより、雲のタイプの判別を行ったものである。このうち、赤外水蒸気による組合せから、半透明な絹雲の雲頂高度の算出に成功している。

④Gube (1982) は、METEOSAT のデータから、放射伝達の式を用いて、地球の放射収支を見積っている。その計算の際、赤外チャンネルのみで計算した場合と、水蒸気チャンネルも併用した場合、併用した場合の方が誤差が少ないことを示した。これは、放射の見積りの際、水蒸気量の多少が影響することによると考えられる。

## 5-2. 11ミクロン帯の分割

この波長帯は、GMS VISSR 赤外チャンネルの10.5～12.5ミクロン帯に相当し、分割とは、その波長帯を2チャンネルに分割して観測することである。NOAA の AVHRR では、この分割のチャンネルを観測することができる。この11ミクロン帯の分割を、スプリット・ウィンドウと呼ぶことがある。

この波長帯は、可降水量の多少により変化する透過率の変動が、波長により違う。この性質を利用すれば、水蒸気の多い地域では、水蒸気の効果を除くことができ、大気補正を行うことができる。しかし、水蒸気の少ない地域では、この分割を使用する利点は少ない。

Bates (1982) は、VAS の3.9ミクロン、11.6ミクロン、12.6ミクロンの3つの窓領域を、MSIモードにより同時に取得し、海面水温の算出を行った。この結果、ブイと比較して、RMS エラーで1度以内という結論を得ている。

Chesters ら (1982, 1983) は、GOES の VAS の11ミクロン帯と12ミクロン帯の2チャンネルを使用し、対流圏下層の水蒸気量を、15 km の分解能で求めた。その分布から、従来の観測網では得られなかったメソスケ-

ルの現象の発達、衰弱をモニタできるとしている。

また、VAS の画像のうち、3時間間隔で5枚の連続画像を使用し、この2チャンネルと6.7ミクロン帯の水蒸気バンドのデータを重ねて、水蒸気量を求めた。ラジオゾンデとの比較では、1.8～5.3 gm/cm<sup>2</sup> で ±0.67 gm·cm<sup>-2</sup> の絶対精度を示し、空間的、時間的な水蒸気量の分布を、良い精度で求まることを示している。この時の誤差としては、判別の難しい雲の影響等が原因していると考えられる。

McMillin ら (1984) は、AVHRR の3チャンネルの窓領域(3.55～3.93, 10.3～11.3, 11.5～12.5ミクロン帯)を使用して、衛星観測データが大気減衰により受ける現象を補正でき、海面水温データが求まることを示した。これは、3つの窓領域のうち2つの組を使用して補正して、海面水温を求め、ブイの観測データと比較している。この結果、10.3～11.3と11.5～12.5ミクロン帯による組では、ブイのデータと標準偏差で1度以内となり、他の組より良い結果を得ている。

## 5-3. 3.7ミクロン帯

3.7ミクロン帯は、大気の窓領域の一つで、11ミクロン帯より透明である。この波長帯を利用して、海面水温の算出等が可能であるが、問題点として以下の2点がある。

一つは、太陽光の影響を受ける波長帯なので、昼間の使用には制限が必要となる。もう一つは、使用センサとして HgCdTe は使用できず、InSb を使うこととなる。このセンサを使用した場合、温度分解能が HgCdTe に比較して良くない。

なお、このチャンネルは、NOAA の AVHRR に採用されているが、静止気象衛星では、VAS の1チャンネルにある。単独に使用した例を示す文献は、現段階では少ない。

## 5-4. 1.6ミクロン帯

1.6ミクロン帯は、可視の領域に近く、近赤外領域と呼ばれている。この波長帯は、太陽光による影響が強くなり、太陽光の反射により、雪と雲の識別を行える。すなわち、雲の方が雪に比較してよく反射し、さらに水の雲の方が氷の雲よりよく反射する性質がある。

この波長帯を観測するセンサは、DMSP に搭載された他、次期の METEOSAT シリーズへの搭載が検討されている。

利用例としては、Bunting ら (1982) は、この波長帯のデータを使用して、雲の自動抽出、判別の手法で、水

の雲、氷の雲、雪原、その他の表面の分類を行っている。

## 6. サウンディング

人工衛星から大気の大気鉛直分布を求めるシステムは、かつて ITOS/NOAA シリーズの VTPR, NIMBUS-6 の HIRS, TIROS-N/NOAA シリーズの HIRS/2 等があるが、いずれも地球を周回する軌道衛星で実現したものである。それに対し、1980年打上げの GOES-4 と、それ以後の GOES に搭載されている VAS は、静止気象衛星からのサウンディングを可能とした。

静止気象衛星からサウンディングを行う利点としては、

イ) 常時サウンディングを実施できる。

これは、軌道衛星の場合、同じ地域の観測を一日2回しか行なえない事に対し、静止衛星であれば、常時同じ地域を観測できることによる。

ロ) 距離の離れた所からの観測であるから、地球の曲率による歪が軌道衛星の場合より少ない。

欠点としては、

静止軌道が地球から離れているため、良い分解能で S/N 比を良くするためには、撮像時間を長くとる必要がある。VAS は、スピン衛星に搭載されているので、東西方向の走査は、衛星のスピン率による。よって、VAS の場合、S/N を上げるため、同じ所を複数回走査する、いわゆるドゥエル・サウンディング・モードを使用している。このモードの場合、全球撮像に長時間を要する。なお、その時間の長さは、サウンディングの目的、精度等により異なるので、個々の例を見る必要があり、定められない。

この解決策として、将来衛星では、放射計の感度を上げる他、走査時間を遅くするため、(1)スピン率を下げる、(2)スピン衛星でもスピンしない部分に放射計を取付け、東西方向の走査も放射計自身が行う、(3)三軸安定衛星を採用し、(4)と同様の放射計を搭載する、等が考えられる。

静止衛星からのサウンディングについては、前述のとおり、米国は今後も引続き計画している他、ESA も昭和70年代には計画している模様である。

以下、VAS による利用例を示す。

VAS によるサウンディングの精度評価は、米国のウィスコンシン大学の SSEC で行われ、ラジオゾンデ、HIRS との比較で1~2°C 程度以内の精度との情報を得ている。

VAS を使用して、各種の気象現象の解析が行われており、Smith, Petersen, Wade らの各種報告がある。主に、メンスケールレベルの大気の水蒸気及び温度の鉛直分布を求めたもので、ラジオゾンデ等の結果と比較して一致していることを示し、じょう乱、ハリケーンの解析に有効なことを示している。

Menzel らは、VAS の CO<sub>2</sub> 吸収帯を使用し、その吸収率の違いを利用して、風ベクトルの値と高度の割当てを同時に行う手法を開発し、良好な結果を得た。これは、VAS のサウンディングというより、多波長のマルチットを生じたものといえる。

その他の利用として、数値予報入力などがあるが、米国ではトルネードの予報への使用に興味もたれている。トルネードは、雲のない地域に突然発生したりするので、より実時間的な大気の大気鉛直分布の測定を行える VAS は、有効な手段と考えられる。

## 7. ストレッチド VISSR

最初に、ストレッチド VISSR の言葉の定義を行う。VISSR は、GMS のスピンにより自身も回転している。VISSR が地球を観測するのは、スピンのうちの約 1/20 の時間のみである。この 1/20 の時間に観測したデータを、CDAS の地上系装置である S/DB で引延して、他の 19/20 の時間に送信するデータをストレッチド VISSR データという。

ストレッチド VISSR データ方式の利点として、次のものがある。

①観測データを即時に折り返すので、ユーザーに、リアルタイム的にデータを送信できる。

②デジタル形式のデータであるから、ユーザーでは、データの加工をやりやすい。近年、小型計算機が発達してきたので、衛星データを単に写真としてのみならず、何らかの処理をしたいユーザーが増加しているのに対処しやすいと考えられる。

なお、現在運用している HR-FAX, LR-FAX 共アナログ形式である。

③データのビットレートを下げ、帯域幅を狭くできるので、ユーザーは、小さなアンテナで受信できる。

④VISSR 集信の時間に配信するので、衛星使用時間の有効化を図ることができる。すなわち、ストレッチド VISSR 中継が可能となれば、現在運用している HR-FAX の代替になると考えられる。VISSR 観測と HR-FAX 中継の同時運用は、現仕様ではできないが、VISSR 観測とストレッチド VISSR 中継は同時運用

となる。よって、HR-FAX 中継の時間帯は不要となり、VISSR 観測の頻度を上げることができる。

ストレッチド VISSR 方式を採用する上で、特に問題となる点は、イ) グリッド挿入の問題と、ロ) VISSR キャリブレーションの2点である。

グリッドの問題とは、画像を取得した場合、各々の画素が地球上のどの位置に対応するかという問題である。GMS-3 の場合、東経 140 度上空とあるが、実際は南北  $\pm 1$  度、東西  $\pm 0.5$  度の許容範囲内であるから、ある特定の画素と緯経度は、必ずしも対応しない。従来の HR-FAX、LR-FAX の場合、DPC 計算機に画像を入力した後、画像取得時の衛星の軌道・姿勢データを元に、緯経線、海岸線を重ねて、FAX を作成している。ストレッチド VISSR は、観測しながら配信を行うので、あらかじめグリッドの情報を作成しておき、ストレッチド VISSR データに挿入することとなる。

その場合、その情報をどの様に挿入するかが問題で、(イ)画像にグリッド用のビットを入れる。(ロ)軌道 6 要素と姿勢 2 要素等を画像データの前か後のドキュメントに入れる。(ハ)簡易座標変換が可能なデータ (高橋ら, 1980) を与える、等の方法が考えられる。(イ)の場合は、受信側は、FAX 受信のように、受信するだけでグリッドの入った画像を得れるが、グリッドの情報の作成にかなりの処理能力を要する問題点がある。(ロ)、(ハ)の場合は、送り出し側の情報作成の問題は少ないが、受信側で処理をする必要がある。特に(ロ)の場合は、かなりの負担を受信側に与えることとなる。

VISSR キャリブレーションの問題も、グリッド挿入の問題と同様で、次の3段階の補正をストレッチド VISSR の送出データに施すか、又はパラメータのみ与えて受信側に処理させるかということである。

3段階の1段階は、放射計自身から派生する偏差の補正である。この例としては、複数のセンサで同じ画像を作成する場合 (例えば VISSR の可視データ取得)、各々のセンサの応答関数、感度の違い等により、そのままの値を使用すると画像が縞模様となる場合がある。この補正は、送出側で行うか、受信側で行うか。

2段階目は、放射計から得られたデータを、温度等の物理量に変換するのはどちらか。

3段階目は、波長帯の特性からくるもの、例えば、太陽光の影響を受けやすい波長帯のデータに対し、太陽角の補正を行うかどうか。

ストレッチド VISSR 運用を行う場合、この2つの問題の他、解決すべき問題はいろいろとある。いずれの問題も、受信側、ユーザー側の意向を十分に調査し、解決

すべきであろう。

## 8. DCP 回線の有効利用

DCP は、離島、山岳、海洋ブイ、船舶等に設置され、DCP の観測した気象データは、402 MHz 帯の DCPR 回線で衛星に送信され、衛星からは 1.6 GHz 帯で下りてきて、気象衛星センターで編集される。

DCP がデータを送信する起動は、自身の時計により行う、いわゆるセルフ・タイム方式と、468 MHz 帯により DCP を呼び出す方式の2種類がある。

DCP 回線の、将来の有効利用として、次のことが考えられる。

①データ空白域の気象データを得るため、さらに DCP 局の増加を図る。なお、現在、GOES は、5,000 局の DCP 局を扱っている。

②DCP 1回線を利用して、LR-FAX を送信する。

LR-FAX は、現運用では 1,691 MHz 帯を使用して配信しているが、これを、468 MHz 帯でも配布しようとするものである。この波長帯では、受信アンテナ等が、現 SDUS より安価な価格で可能で、かつ指向性の問題も少なくてすむ。よって、小型船舶による受信も可能となると考えられる。

③DCP 1回線で、気象データを配信する。

②と同様の考えで、CDF データ、A/N データ等の配信を行う。さらに 402 MHz 帯と 468 MHz 帯の中継機能を衛星に搭載することにより、現行の地上回線の補完を行うことができる。

等があるが、この DCP 回線の有効利用については、気象衛星センターをはじめ、各所で検討が行われている。

## 9. おわりに

以上、将来衛星について、個人の調査の内容を述べた。将来衛星としてあるべき姿について、明確にまとめるのは、さらに各部門で検討を重ねた後であろう。本文が、その検討の際のタタキ台の一つとなれば幸いである。

本文の作成において、気象庁、気象研究所、気象衛星センターの多数の方々、及び特に資料調査において数値予報課の浜田忠昭氏にお世話になったことを感謝します。

(本文の内容は、昭和60年6月10日現在のものである)



参考文献

- 宇宙開発事業団, 1982: 宇宙開発事業団年報 (1982年度版).
- 木村光一, 1981: 衛星搭載の放射計について, 気象衛星センター技術報告, 第3号, 69-99.
- 木村光一, 1981: VAS システムについて, 気象衛星センター技術報告, 第4号, 133-140.
- Epstein, E. S., 1984: NOAA satellite programs, IEEE Transaction on Aerospace and Electronic System, Vol. AES 20, Number 4.
- ESA, 1981: Introduction to the METEOSAT system.
- 和田正信, 中野朝安, 1963: 赤外線工学, 近代科学社.
- 鈴木孝雄, 1985: Stretched VISSR の衛星中継, 気象衛星センター技術報告, 第11号, 33-42.
- Kastner, M., and H. Fischer, 1980: Wind determination from NIMBUS 5 observations in the  $6.3\mu\text{m}$  water vapor band, Journal of Applied Meteorology, 19, 409-418.
- Mosher, F. R., and T. Stewart, 1981: Characteristics of water vapor tracked winds, Navenvpredschfac Contractor Report. CR81-06, University of Wisconsin.
- Eigenwilling, N., and H. Fischer, 1982: Determination of midtropospheric wind vectors by tracking pure water vapor structures in METEOSAT water vapor image sequences, Bulletin American Meteorological Society, 63, 44-58.
- Davis, N. E., 1983: METEOSAT water vapor channel and a low-latitude vortex, Bulletin American Meteorological Society, 63, 747-750.
- Desbois, M., G. Seze, and G. Szejwach, 1982: Automatic classification of clouds on METEOSAT imagery: application to high-level clouds, Journal of Applied Meteorology, 21, 401-412.
- Gube, M., 1982: Radiation budget parameters at the top of the earth's atmosphere derived from METEOSAT data, Journal of Applied Meteorology, 21, 1907-1921.
- Bates, J. J., 1982: Sea surface temperatures derived from VAS multispectral data, unpublished paper.
- Chesters, D., L. Uccellini, and W. Robinson, 1982: Low-level water vapor field from the VISSR atmospheric sounder (VAS) "split window" channels at 11 and 12 microns, NASA Technical Memorandum 83951.
- Chesters, D., L. Uccellini, and W. Robinson, 1983: Low-level water vapor field from the VISSR atmospheric sounder (VAS) "split window" channels, Journal of Climate and Applied Meteorology, 22, 725-743.
- Imbault, D., N. Scott, and A. Chedin, 1981: Multi-channel radiometric determination of sea surface temperature: parameterization of the atmospheric correction. Journal of Applied Meteorology, 20, 556-564.
- McMillin, L. M., and D. S. Crosby, 1984: Theory and validation of the multiple window sea surface temperature technique, Journal of Geophysical Research, 89, 3655-3661.
- Bunting, J.T., and R.P. d'Entremont, 1980: Improved cloud detection utilizing defense meteorological satellite program near infrared measurement, AFGL-TR-82-0027.
- Smith, W. L., V. E. Suomi, W. P. Menzel, H. M., Woolf, L. A. Sromovsky, H. E. Revercomb, C. M. Hayden, D. N. Erickson, and F. R. Mosher, 1981: First sounding results from VAS-D, Bulletin American Meteorological Society, 62, No. 2, 232-236.
- Smith, W. L., and F. X. Zhou, 1982: Rapid extraction of layer relative humidity, geopotential thickness, and atmospheric stability from satellite sounding radiometer data, Applied Optics, 21, No. 5, 924-928.
- Petersen, R. A., L. W. Uccellini, D. Chesters, A. Mostek, and D. Keyser, 1982: The use of VAS satellite data in weather analysis, prediction and diagnosis, 9th Conference on Weather Forecasting & Analysis.
- Wade, G., W.P. Menzel, and W. Smith, 1982: Applications of VAS toward monitoring severe weather, a report under NASA Contract NAS5-21965.
- Menzel, W.P., W. Smith, and T. Steward: Improved cloud motion wind vector and altitude assignment using VAS, unpublished paper.
- 高橋大知, 加藤一靖, 1980: The simplified mapping equation of VISSR image data from the geostationary meteorological satellite (GMS), 気象衛星センター技術報告, 第1号, 13-19.

略語表

- A/N Alphanumeric 文字数字データ
- AVHRR Advanced Very High Resolution Radiometer 超高分解度放射計 (TIROS-N/NOAA)
- CDAS Command and Data Acquisition Station 指令資料収集局, 気象衛星通信所
- CDF Coded Digital Facsimile デジタル圧縮方式ファクシミリ
- DCP Data Collection Platform 通報局
- DCS Data Collection System データ収集システム
- DMSP Defense Meteorological Satellite Program 防衛気象衛星プログラム
- DPC Data Processing Center データ処理センター, 気象衛星センター
- ESA European Space Agency 欧州宇宙機関

ETS Engineering Test Satellite 日本の技術試験衛星	MSI Multispectral Imaging Mode 多波長画像取得モード (VAS)
FAX Facsimile ファクシミリ	NEP Noise Equivalent Power 雑音等価電力
GMS Geostationary Meteorological Satellite 日本の静止気象衛星「ひまわり」	NOAA National Oceanic and Atmospheric Administration 米国の軌道気象衛星
GOES Geostationary Operational Environmental Satellite 米国の静止気象衛星	RMS Root Mean Square 二乗平均
GTS Global Telecommunication System 全球電気通信組織	SAR Search And Rescue 衛星を使用した海難救助
HIRS High Resolution Infrared Radiometer Sounder 高解像度赤外放射計サウンダー (TIROS-N/NOAA)	SEM Space Environment Monitor 宇宙環境モニター
HR-FAX High Resolution Facsimile 高分解能ファクシミリ	S/N Signal to Noise Ratio 信号対雑音比
ITOS Improved TIROS Operational Satellite 米国の軌道気象衛星	SSEC Space Science and Engineering Center 米国ウィスコンシン大学の宇宙科学技術センター
LR-FAX Low Resolution Facsimile 低分解能ファクシミリ	THIR Temperature Humidity Infrared Radiometer 温度湿度赤外放射計 (NIMBUS-7)
MDD Meteorological Data Distribution 気象データ配布 (METEOSAT)	TIROS Television and Infrared Observation Satellite 米国の軌道気象衛星
MDUS Medium Scale Data Utilization Station 中規模利用局	VAS VISSR Atmospheric Sounder VISSR 大気サウンダー
METEOSAT Meteorological Satellite 欧州宇宙機関の静止気象衛星	VISSR Visible and Infrared Spin Scan Radiometer 可視赤外走査放射計
	VTPR Vertical Temperature Profile Radiometer 鉛直温度分布放射計 (ITOS/NOAA)
	WEFAX Weather Facsimile 気象ファクシミリ