

静止気象衛星の観測機能の動向について

Function of Geostationary Meteorological Satellite Observation

木川 誠一郎 *
Seiichiro Kigawa

Abstract

GMS-5 was launched successfully and has been operated since June 1995. MTSAT (Multi-functional Transport Satellite) as a successor to GMS-5 has been manufactured since March 1995. The year must be an epoch in Japan's meteorological satellite history.

The first half of this report describes the summary of the function of geostationary meteorological satellite observation. The following satellites are summarized in this report.

- GMS-5, MTSAT (Japan)
- GOES-8, 9, K, L, M, M' series, N' series (USA)
- METEOSAT-5, 6, 7, Meteosat Second Generation (EUMETSAT)
- INSAT II-d, e (India)
- GOMS-N1, N2 (Russia)
- FY-2b (China)

Judging from the trend of GOES and METEOSAT, it will continue to improve the observation channels, ground resolution and time resolution of geostationary meteorological missions.

The second half of this report describes consideration about the function of geostationary satellite observation. Characteristics of spectral channels are summarized in the consideration of imaging function. The lighting mapper of thunder storm will provide the information of tropical rain. It will also provide visible channel with moon light at night time. The sounding function of GOES satellites is considered in this section. Geostationary sounding mission has not yet evaluated completely. It is necessary to continue investigation for the sounding mission. An idea for advanced imaging function is also considered in this section. MTSAT will use Digital Signal Processor (DSP) to convert the ground resolution of Imager data from 4 km to 5 km (infrared image) on the ground system. The idea is to make 2 km infrared image using DSP and noise control technique.

* 気象衛星センターシステム管理課

(1995年11月1日受付、1995年12月25日受理)

1. はじめに

1995年(平成7年)には、観測機能を強化した静止気象衛星5号「ひまわり5号」(GMS-5)が運用を開始し、その後継機となる運輸多目的衛星の製作が始まった。GMS-5は、その運用開始に合わせて更新された地上計算機システムとともに、新しいプロダクトの提供を始めている。運輸多目的衛星は非研究開発衛星として日本政府がオープン調達した最初の衛星であり、気象観測機能はGMS-5に比べ幾つかの機能強化が図られている。このように、1995年は日本の気象衛星の歴史において新しい時代の幕開けとなった。

この新しい時代がどのような時代になるのかを見極めるために、ここでは、各国の静止気象衛星計画の概要を整理し、気象観測の今後の可能性を含め若干の考察を行う。

2. 各国の静止気象衛星計画

図1に各国の静止気象衛星計画の概要を示す。ここでは、21世紀初頭に向けた国内外の静止気象衛星に搭載される観測機器の動向を説明する。

2. 1 日本

日本は、1995年3月に静止気象衛星5号(GMS-5)を打上げ、同年6月から東経140度の静止軌道上で運用を開始した。静止気象衛星4号「ひまわり4号」(GMS-4)は、GMS-5に運用を引き継いだ後、東経120度の静止軌道上で、待機衛星として維持されている。

GMS-5は、スピン安定型の衛星であり、GMS-4の技術を踏襲した設計である。設計寿命は5年である。

GMS-5に搭載されているVISSR(Visible and Infrared Spin Scan Radiometer)は、可視1チャンネル、赤外3チャンネルにより25分で地球画像を取得する。ここで、地球画像とは衛星から観測できる地球表面及び大気の全体を指す。赤外3チャンネルは、従来の赤外窓領域を2分割したスプリットウィンドウチャンネル及び水蒸気チャンネルから構成される。地上分解能は可視チャンネルが1.25km、赤外チャンネルが

5kmであり、輝度分解能は可視チャンネルが6ビット(64階調)、赤外チャンネルが8ビット(256階調)である。

運輸多目的衛星(MTSAT:Multi-functional Transport Satellite)は、運輸省航空局と気象庁が共同で調達、運用を行う多目的衛星であり、GMS-5の後継機として、1999年(平成11年)に日本のH-IIロケットにより打上げられる予定である。静止軌道からの気象観測の継続性確保を目的とする気象ミッション機能は、5年のミッション寿命を、航空管制業務のための航空ミッション機能は、10年のミッション寿命を目標としている。

運輸多目的衛星は、三軸制御型の衛星であり、米国の静止気象衛星GOES-I/M及び静止通信衛星インテルサット7の技術に基づいて製作される。運輸多目的衛星は米国のスペース・システムズ/ロラル社が製作している。

図2に静止気象衛星の形状、重量及び電力の比較を示す。運輸多目的衛星は重量及び電力の面で他に例を見ない大型の衛星であることがわかる。

運輸多目的衛星に搭載される可視赤外放射計(イメージャ)は、GMS-5に搭載されているVISSRの機能に比べ、 $3.7\mu\text{m}$ 帯の赤外チャンネルが追加され合計5チャンネルにより27.5分で地球画像を取得する。イメージャの地上分解能は、可視チャンネルが1km、赤外チャンネルが4kmである。輝度分解能は10ビット(1024階調)である。

運輸多目的衛星の調達に関しては、神田(1995)を、運輸多目的衛星のイメージャに関する機能要求については、木川(1995)を参照願いたい。

2. 2 米国

米国は、1994年4月にGOES-8を、1995年5月にはGOES-9を打上げた。GOES-8は1995年6月より西経75度の静止軌道上で運用を開始している。

GOES-8は、GOES-I/Mシリーズと呼ばれる5機の衛星の初号機であり、米国で最初の三軸制御型の静止気象衛星である。米国では打上げまで衛星にアルフ

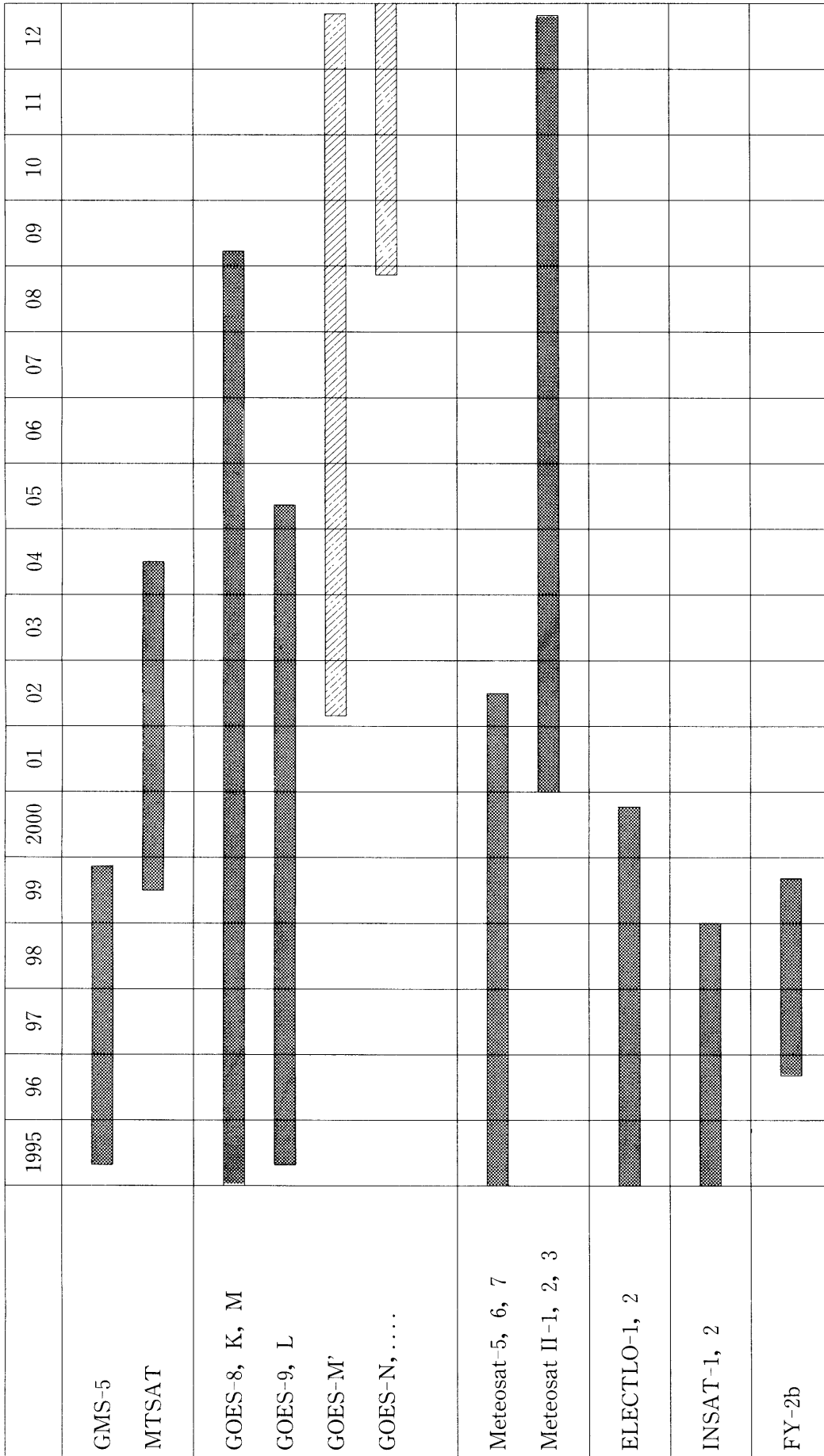


図 1 各国の静止気象衛星計画

Fig. 1 Plans of Geostationary Meteorological Mission

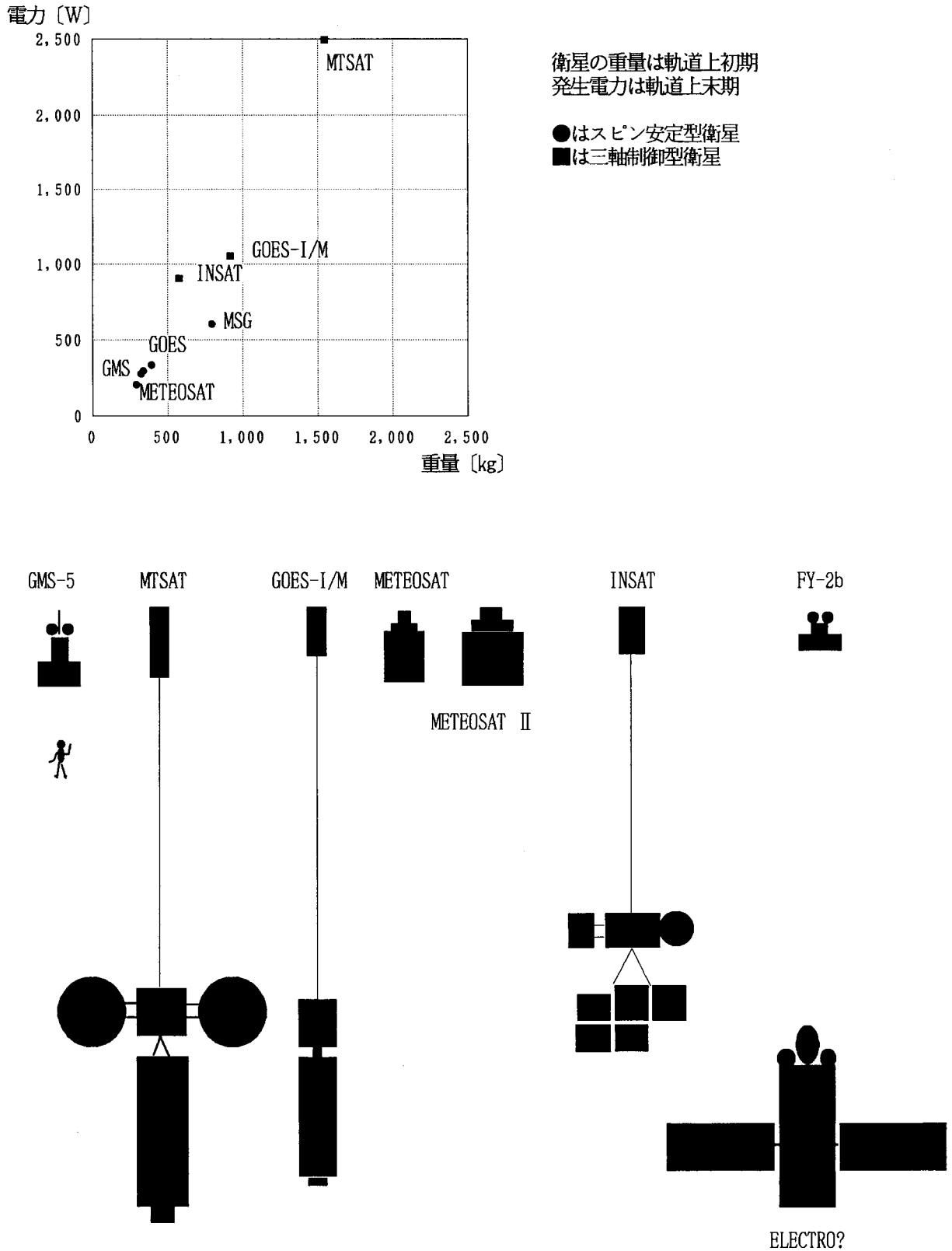


図2 静止気象ミッションを搭載した衛星の重量、電力、形状

Fig.2 Mass (BOL), Power (EOL) and Silhouettes of Satellites boarding Geostationary Meteorological Mission

アベットを付け、打上げ後は通番を付けることになっており、GOES-I が 8 に、J が 9 になった。

GOES-I/M には、地球画像を取得するイメージャ及び大気鉛直温度・水蒸気分布を観測するサウンドが搭載されている。イメージャとサウンドは独立した運用が可能である。GOES-I/M のミッション寿命は 5 年、設計寿命は 7 年である。

イメージャは可視 1 チャンネル、赤外 4 チャンネルにより 27.5 分で地球画像を取得する。地上分解能は可視チャンネルが 1 km、赤外チャンネルが 4 km（水蒸気チャンネルのみ 8 km）である。輝度分解能は可視、赤外チャンネルとも 10 ビットである。また、地球上の 1000 km 四方を 1 分間隔で観測できる。

サウンドは、可視 1 チャンネル、赤外 18 チャンネルにより 3000 km 四方の領域を 42 分でサウンドイングすることができる。地上分解能は 10 km、輝度分解能は 13 ビットである。

GOES-9 に続く GOES-K は 1999 年に、L は 2000 年に、M は 2004 年に打上げられる予定である。GOES-M ではスプリットウィンドウチャンネルの 1 チャンネル（ $12\mu\text{m}$ 帯）を二酸化炭素ガスの吸収が強い $13\mu\text{m}$ 帯へ変更する予定である。これは、雲頂高度推定の精度向上を目指したものと考えられる。

GOES-I/M に続く計画は明確ではないが、GOES-M' シリーズとして 4 機の衛星が調達される予定である。GOES-M' シリーズは次の世代の GOES-N シリーズへの橋渡し役であり、イメージャ及びサウンドの改良を段階的に行う構想である。GOES-M' シリーズのイメージャは GOES-M のイメージャに赤外 3 チャンネル（ $1.6\mu\text{m}$ 、 $5.1\mu\text{m}$ 、 $12.0\mu\text{m}$ ）を追加して合計 8 チャンネルとし、観測所要時間を半分にして観測頻度を増加させる。サウンドは赤外干渉計サウンドを採用し観測精度を向上させる構想である。GOES-M' シリーズは 2002 年から 8 年にかけて打上げること目標としている。

GOES-N シリーズは、GOES-M' シリーズで取得した技術を基に、地上分解能の向上、観測所要時間の一層の向上を目指し、1998 年頃から開発が始められる予

定である。このシリーズにはマイクロ波放射計、雷観測装置が搭載される可能性もある。初号機の打上げは 2008 年以降と予想される。

2. 3 欧州

欧州は METEOSAT-5 を 1991 年 3 月に打上げ、経度 0° の静止軌道上で運用を行っている。1993 年 11 月に打上げられた METEOSAT-6 は、地球画像を取得する放射計に不具合が発生し、軌道上で試験中である。さらに、1997 年中頃には METEOSAT-7 が打上げられる予定である。METEOSAT-7 までの衛星はスピン安定型の衛星であり、ほぼ同じ設計を踏襲している。設計寿命は 3 年である。

METEOSAT-7 までの衛星に搭載されている放射計は、可視 1 チャンネル、赤外 2 チャンネルにより 30 分毎に地球画像を取得できる。地上分解能は可視チャンネルが 2.5 km、赤外チャンネルが 5 km である。輝度分解能は 8 ビットである。

次世代の METEOSAT (METEOSAT Second Generation, METEOSAT-II) については、当初、地上分解能が衛星直下点で 2 km の性能を持つ放射計が検討されたが、開発経費及びリスクを考慮してスピン安定型の衛星に地上分解能 3 km の放射計を搭載することになった。欧州は高緯度に位置するため、高分解能が要求されたと考えられる。次世代 METEOSAT の初号機は 2000 年に、2 号機が 2002 年、3 号機が 2006 年に打上げられる予定である。設計寿命は 5 年である。

次世代 METEOSAT に搭載される放射計 (SEVIR-I: Spinnig Enhanced Visible and Infrared Imager) は、可視 3 チャンネル、赤外 9 チャンネルにより 15 分毎に地球画像を取得できる。地上分解能は 3 km（可視 1 チャンネルのみ 1 km）、輝度分解能は 10 ビットである。赤外 9 チャンネルの内、数チャンネルが疑似サウンドイングチャンネルと呼ばれていることから、当初はサウンドの搭載を検討していたことがうかがえる。SEVIRI の設計は、METEOSAT-7 までに搭載されている放射計の延長上にある。

2. 4 インド

インドは1993年7月に INSAT II-d を打上げ、東経93.5度で運用中である。後継機の INSAT II-e は1997～98年に打上げられる予定である。

INSAT は三軸制御型の衛星であり、インド国内の通信・放送ミッションと相乗りになっている。

INSAT に搭載されている放射計 (VHRR: Very High Resolution Radiometer) は、可視1チャンネル、赤外1チャンネルにより30分毎に地球画像を取得できる。地上分解能は可視チャンネルが2.75km、赤外チャンネルが11kmである。

2. 5 ロシア

ロシアは1994年11月に GOMS-N1 (ELECTRO-1) を打上げ、11月末から東経76度の静止軌道上で観測を行っている。

ELECTRO-1は、ロシアが打上げた最初の静止気象衛星である。ELECTRO-1は三軸制御型の衛星であり、姿勢センサとして恒星センサを使用していることが特徴である。設計寿命は3年以上である。

ELECTRO-1に搭載されている放射計は、可視1チャンネル、赤外2チャンネルにより30分毎に地球画像を取得できる。地上分解能は可視チャンネルが1.25km、赤外チャンネルが6.5kmである。

後継機 GOMS-N2 (ELECTRO-2) は N1 と同じ性能で、1997年に打上げられる予定である。

2. 6 中国

中国は1996年末に静止気象衛星 FY-2b を東経105度に打上げる予定である。FY-2は当初、1994年に打上げられる予定であったが、射場での事故により新たに衛星を製作することになった。

FY-2b は、中国が打上げる最初の静止気象衛星である。FY-2b は、スピン安定型の衛星であり、形状はGMSとよく似ている。設計寿命は3年である。

FY-2b に搭載される放射計 (VISSR) は、その名の示す通り GMS の VISSR に類似しており、可視1チャンネル、赤外2チャンネルにより30分毎に地球画像

を取得できる。地上分解能は、可視チャンネルが1.25km、赤外チャンネルが5kmであり、輝度分解能が可視チャンネルが6ビット、赤外チャンネルが8ビットである。

2. 7 静止気象観測の動向

衛星の姿勢制御方式は、その衛星に搭載された観測機器の性能を決める要因の一つである。21世紀初頭には、米国は三軸制御衛星の次の段階を目指し、欧州ではスピン安定型の衛星による第二世代の静止気象衛星が登場し、日本では三軸制御型の運輸多目的衛星が登場する。衛星運用国は、それぞれの事情を反映して異なったアプローチで今後も観測機器を開発、運用していくであろう。

欧米の動向を見れば、今後も観測機器の多チャンネル化は進むと予想される。大気鉛直分布、雲の分布等をより正確に把握するためにはチャンネル(観測波長帯)の増加が必要である。また、地上分解能の向上及び観測頻度の増加も時代の趨勢である。空間的、時間的により小さな規模の大気現象を把握するためには、地上分解能の向上、観測頻度の増加が必要である。

3. イメージャに関する考察

イメージャ(可視赤外放射計)は、可視及び赤外の波長域において地球画像の取得を行う観測機器である。図3に静止気象衛星に搭載されたイメージャの観測波長帯を示す。ここでは、観測波長帯に焦点を絞って検討を行った。

運輸多目的衛星のイメージャでは、以下の観測波長帯で観測を行う。

(1) 可視チャンネル (0.55～0.80 μ m)

可視領域では、昼間における太陽光の反射光を用いて雲分布等の観測を行うことができ、気象衛星による観測の重要な項目の一つになっている。可視領域の検出器としてはシリコンフォトダイオード等が使われ、冷却が不要であること、赤外領域に比べて光学系の回折の影響が小さいことから、赤外領域に比べて高い地上分解能が得られ、雲分布等の把握に欠かせない波長

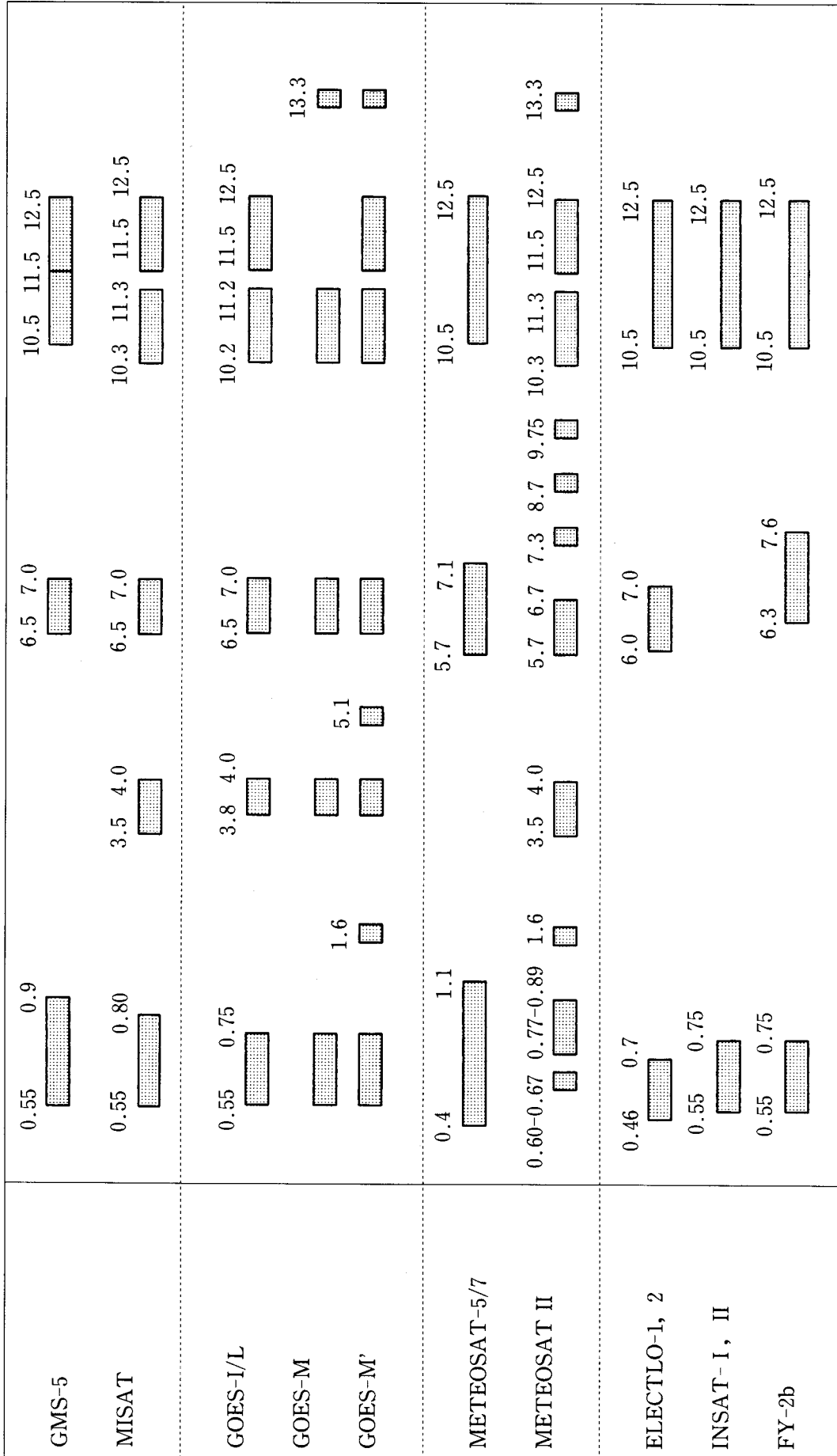


図 3 静止気象衛星の観測波長帯 (イメージャ)

Fig. 3 Summary of Imager Spectral Response

帯である。

(2)赤外 1、2 チャンネル (10.3~12.5 μ m)

地球大気による放射エネルギーの減衰(吸収)が少ない波長帯を大気の窓と呼んでいる。赤外 1、2 チャンネルの波長帯は大気の窓に相当する。大気及び地表からの熱放射エネルギーの最大が10 μ m付近にあること、太陽光の反射エネルギーの影響を無視できることから、赤外領域では気象観測に最もよく使われている波長帯である。この波長帯でも波長により水蒸気による吸収がわずかに異なることを利用して、この波長帯を2分割したスプリットウインドウチャンネルが近年利用されるようになってきている。スプリットウインドウチャンネルでは、水蒸気の吸収の違いから、下層大気中の水蒸気分布を把握することができる。また、薄い巻雲及び火山灰の射出率の違いから巻雲及び火山灰の検出にも有効である。

(3)赤外 3 (6.5~7.0 μ m)

このチャンネルは、水蒸気の吸収が強い波長帯にあり、下層大気からの放射エネルギーは大気の上中層で吸収されて衛星までは届かない。従って陸地や海面を観測することはできない。上中層大気に含まれる水蒸気の分布を把握できることから、水蒸気チャンネルと呼ばれる。上中層の大気の動向把握に有効な波長帯である。

(4)赤外 4 (3.5~4.0 μ m)

この波長帯は、10.3~12.5 μ mと同様に大気の窓であり、大気による放射エネルギーの吸収は10.3~12.5 μ mに比べ小さい。また、この波長帯では雲の射出率が10.3~12.5 μ mに比べ小さいので、10.3~12.5 μ mと合わせて使用することにより、雲型判別、海面水温算出の精度向上が可能になる。

この他に、運輸多目的衛星のイメージャには搭載されていないが、他の静止気象衛星に搭載される波長帯としては以下のような波長帯がある。運輸多目的衛星2号機以降において搭載が検討されるべき波長帯でもある。

(1)可視チャンネルの分割

次世代 METEOSAT では、可視領域を2つのチャンネルで観測を行う。この2つのチャンネルでは、植生及び地面状態により反射率が異なることから、植生、地面状態の情報を得ることができる。

(2)1.6 μ m帯

この波長帯では、水と氷の吸収特性が異なることから、水雲と氷雲を判別することができる。また、雲と雪面の反射率の差を利用して、雲と雪面の判別が可能になる。

(3)5.1 μ m帯

この波長帯は水蒸気の吸収帯であり、水蒸気分布の把握に利用できる。

(4)7.3 μ m帯

この波長帯は弱い水蒸気の吸収帯であり、下層大気の水蒸気分布の算出が可能である。

(5)8.7 μ m帯

この波長帯は大気の窓領域にあり、同じ大気の窓である11~12 μ m帯に比べて大気による吸収が少ない。6.7 μ m、7.3 μ mと組合わせて水蒸気量の算出に利用できる。

(6)9.8 μ m帯

この波長帯はオゾンの強い吸収帯であり、オゾン分布の算出が可能である。

(7)13.3 μ m帯

この波長帯は二酸化炭素の吸収帯であり、大気の窓のチャンネルと組合わせて使用することにより雲頂高度算出の精度向上が可能になる。

以上の他に、欧米では雷光観測装置を搭載する構想がある。熱帯域では雷と降水が良い相関を持つと言われており、熱帯降雨観測衛星 (TRMM: Tropical Rainfall Measuring Mission) に雷光観測装置が搭載されている(新田他、1995)。静止衛星からの雷観測は常時観測が可能であり、熱帯の降雨把握に有効と考えられる。また、この装置により夜間の月明かりによる雲分布の観測が可能になると予想され、可視チャンネルの欠点を補い、夜間の雲型判別に大きな効果が得られると考えられる。

4. サウングに関する考察

1994年に打上げられた米国の GOES-8は、イメージャとサウングが独立して運用でき、静止軌道からのサウディングとしては初の本格的運用を行う衛星となる。GOES のサウングは、極軌道気象衛星 NOAA に搭載されている HIRS/2をベースに開発されており、観測波長帯の数などから見て、ここ数年の段階では極軌道気象衛星の TOVS 観測より高精度のデータが得られるとは考えにくい（数値予報課報告、1993）との考えもあるが、地上分解能が良いこと（GOES は10km、NOAA 衛星の HIRS/2は17km）、観測地点の衛星天頂角が常に一定であること、高頻度の観測ができることから、TOVS より高精度のデータが得られる可能性もある。

正式な運用は1995年6月に始まったばかりであり、サウディングの効果が明確になるまでには、もう少し時間が必要であろう。しかし、数値予報に関する限り、気象衛星によるリモートセンシングについての期待は半分だけ実現された状況（同上、1993）であり、運輸多目的衛星 2 号機以降におけるサウディング機能の追加について検討を始めることが望まれる。特に、米国では GOES-N シリーズに赤外干渉計サウング（対流圏の温度を1K 程度の誤差で測定できる）を搭載する計画があり、開発もかなり進んでいるようである。今後、赤外干渉計も含めて、サウングに関する情報を積極的に収集することが必要である。

5. イメージャ及びサウングの機能向上のための考察

GOES 及び運輸多目的衛星に搭載されるイメージャの赤外チャンネルの地上分解能は 4 km である。GOES-N シリーズでは、地上分解能 2 km を目指しているが、この実現のためには、走査鏡の大型化、検出器の増加、データ伝送速度の高速化を伴い、開発経費及びリスクの増加が懸念される。そこで、運輸多目的衛星で使用する画像処理技術を応用して地上分解能 2 km が実現できないか検討した。

運輸多目的衛星のイメージャは GOES-I/M のイ

メージャとほぼ同じ性能を有しており、地上分解能は赤外チャンネルが 4 km、可視チャンネルが 1 km である。運輸多目的衛星に対応した地上設備の整備にあたっては、経費節減のために既存の設備を可能な限り活用する必要があり、イメージャ観測データの地上分解能を GMS-5 と同じ赤外 5 km、可視 1.25 km に地上処理により変換する予定である。この地上処理を DSP (Digital Signal Processor) と呼んでいる。ユーザは、GMS-5 と同一のフォーマット、同一の伝送速度の画像データを使用することができる予定である。DSP では、単に画素のサンプリング間隔を 4 km から 5 km へ変換するだけでなく、瞬時視野角 (IFOV) を 4 km から 5 km へ変換する。IFOV の変換が可能であるのは、元となるイメージャデータが 4 km の分解能を持ち、5 km よりも細かい（周波数領域では高い周波数の）情報を含んでいるからである。簡単に言えば、ピンボケの画像を作る技術である。

ここで、このピンボケ技術を使って、元の画像よりも分解能の良い画像を作る理論を検討した。DSP は 4 km より大きな IFOV であれば、どのようなサイズの IFOV も作成できることから、図 4 の 2 つの視野(①と②)を考える。放射計ではこれらの視野内の大気、雲、地表及び海面等からの放射エネルギーを積分した情報が得られる。従って、視野よりも小さい雲は判別できない。しかし、①と②の視野が④のように重なっていれば、放射エネルギーの差として⑤の部分からの放射エネルギーが算出できるはずである。ところが、⑤（つまり③）の放射エネルギーの測定誤差（雑音）は①と②の両方の雑音を含むため、演算処理により雑音は 4 km の分解能の時より増加する。そこで、平滑化により雑音の低減を図ることが考えられる。平滑化とは、画像データに含まれている雑音を取り除くデジタル画像処理のことであり、エッジ等の画像の重要な情報を損なうことなく雑音を取り除くことが可能な処理方式が考案されている（資源観測解析センター、1989）。さらに、画像の鮮鋭化の技術を適用することも考えられる。鮮鋭化とは、画像の空間周波数の高周波成分を強調する技術であり、デジタル画像の空間 2 次微分（ラブラ

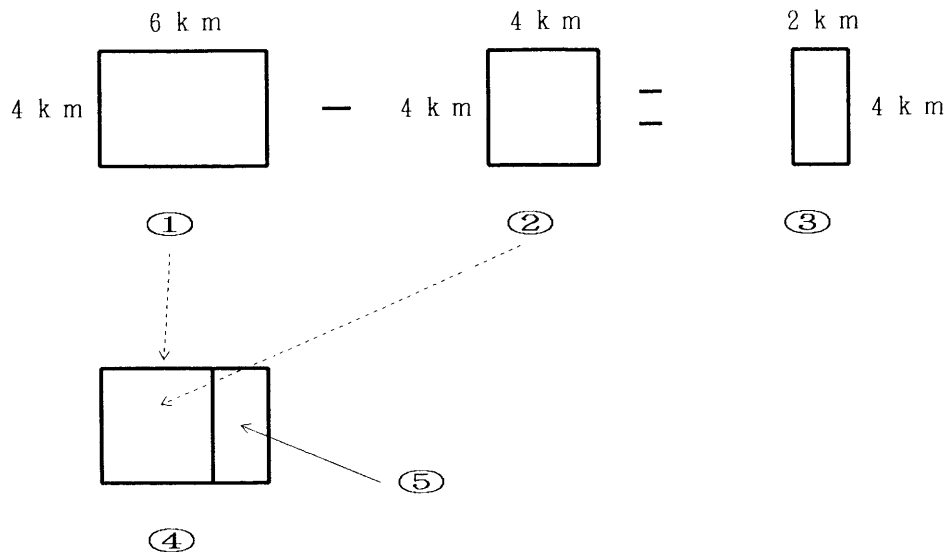


図4 画素演算による地上分解能向上の概念図（四角が放射計の視野を示す）
 Fig. 4 Schematic diagram showing the concept of ground resolution improvement

シアン) を利用した処理方式が考案されている。

この理論はサウンドへの応用も可能であり、晴天域を観測する機会が増えること、晴天判別の精度向上によりサウンディングの精度向上も考えられる。また、この理論は可視チャンネルにも応用できるが、イメージャの視線安定度を考慮すると、本当の意味での地上分解能0.5kmが実現できるかどうかは微妙であり、赤外チャンネルにおいても同様に限界が存在することに留意する必要がある。さらに、平滑化、鮮鋭化の画像処理による雑音の低減には限界があり、地上分解能をどこまでも良くすることはできない。

この理論を考える上で最も注意すべき点は雑音の取扱いである。特に、平滑化、鮮鋭化の画像処理は資源探査等のリモートセンシングには広く利用されているが、気象衛星の観測データに対して実時間で利用された例はない。今後は、DSPの開発と合わせて、プログラムの開発を進めたいと考えている。

次に、イメージャの製造技術について、検討すべき課題を述べる。

現在実用化されている静止気象衛星では、赤外チャンネルのエネルギー検出器は、S/Nを向上させるために放射冷却器により約90Kに冷却されている。今後、イメージャ及びサウンドには、観測チャンネルの増加、

ノイズの低減、観測所要時間の短縮が求められると考えられるが、これらの要求はすべて冷却器の冷却能力向上を必要とする。冷却能力を向上させるためには、放射冷却器の大型化又は冷蔵庫と同じ原理の機械式冷却器の搭載が必要になるが、これらは衛星の重量、所要電力の増加、そして経費の増加を伴うことになる。

そこで、常温で動作する赤外検出器の登場が望まれる。現に、GMSシリーズ等の姿勢センサとして使用されている地球センサは、ボロメータと呼ばれる常温赤外センサである。S/Nが悪いという欠点もあるが、サンプル数を多くして平均化処理によりノイズを減らすことも可能であり、地上の画像処理も含めて検討することが望まれる。常温赤外センサが実用化されれば、小型、軽量、省電力、高信頼性という優れたイメージャ又はサウンドが実現できる可能性がある。

6. おわりに

各国の静止気象衛星の動向を見ると、観測機能の強化は今後とも続くと考えられる。しかし、実用衛星としての静止気象衛星には、コストとリスクの壁があることも事実である。

1995年(平成7年)は、静止気象衛星5号の運用及び運輸多目的衛星の製作が始まり、新たな時代の幕開

けの年となった。そして新しい可能性が生まれている。

運輸多目的衛星の DSP は、最新の画像処理技術を地上の実時間画像処理に導入することになった。5 章で述べた新しい技術は、この DSP の延長にあり、衛星の観測機能の強化に対するコストとリスクの壁を乗り越える手段になると考えられる。

参考文献

- 神田豊、1995：運輸多目的衛星の調達について、測候時報第62巻、91-97ページ。
- 木川誠一郎、1995：運輸多目的衛星のイメージャについて、気象衛星センター技術報告第30号、33-39ページ。
- 資源観測解析センター、1989：画像データの処理と解析、資源観測解析センター。
- 数値予報課報告、1993：数値予報とリモートセンシング、気象庁予報部。
- 新田勅他、1995：日米合同 TRMM(熱帯降雨観測衛星計画)サイエンスチーム会議出席報告、天気、42、159-162。
- Perrone, M., 1992: Future SEVIRI Observation from METEOSAT Second Generation. 9th METEOSAT Scientific Users' Meeting, 379-385.
- Menzel, W. and Purdom, J., 1994: Introducing GOES-I: The First of a New Generation of Geostationary Operational Environmental Satellites, Bull. Amer. Meteor. Soc., 75, 757-781.