

## 8. ADEOS 衛星搭載用 IMG\*

小川利紘\*\*

### 1. IMG の目的

IMG のプロジェクトは衛星から温室効果気体(赤外放射活性気体)を測定できないかということから始まった。温室効果気体濃度のグローバルな経年的増加傾向をモニターするのであれば、代表的な地上測定点で空気採集・分析を行えば十分であろう。温室効果気体の大気平均濃度の緯度・季節変動と経年増加傾向については、この方法によってデータが集積しつつある。しかし、温室効果気体の大気への供給源(発生源)と大気からの消失先については定量的にはまだ不確定の幅が大きい。特に、発生源・吸収先の地理的分布に関する実証的データは皆無に近い。衛星からグローバルに温室効果気体の水平分布(高度構造も含めて)を短時日内に測定し、濃度の水平方向の非一様性を検出できれば、発生源強度(厳密にいうと発生量から消失量を差し引いた純発生量)の地理的分布を求めることが可能となる。濃度の水平分布から、発生源分布を求めるのはもちろんインバージョン演算が必要である。大循環モデルなどの大気輸送を取込んだ連続の式(物質保存の式)をもとにして、インバージョン方式を新たに考案するのである。

### 2. IMG の設計概念と開発

温室効果気体を衛星から測定するには分光的な方法による。水平分布を測定しようとするのであるから、観測方法としては衛星から下方視するのがよい(Nadir 観測)。測定波長領域としては近赤外からミリ波域が考えられるが、測定対象分子のスペクトル、技術的可能性、測定感度などを考慮して熱赤外域を選ぶことになった。下方視観測によって熱赤外域における大気放射スペクトルを取得し、その中から微量気体

特有のスペクトルを抽出するには、分光計のスペクトル分解能として、分子線の衝突拡がりの幅に近いものが要求される。ゆえに、分光計に要求されるスペクトル分解能(波数分解能)としては  $0.1 \text{ cm}^{-1}$  という値がでてくる。この程度のスペクトル分解能を持ちかつ要求感度(第2表参照)を満足できそうな分光技術としては、マイケルソン干渉計(マイケルソン・フーリエ分光計)がある。マイケルソン・フーリエ分光計は幅広い波数域のスペクトルを同時に測定できるので、赤外域の分光計として実験室内での用途が広がっている。そこで IMG の開発は、国内に蓄積されているマイケルソン・フーリエ分光技術を基盤に、宇宙環境に適合するものを設計・製作・性能検査するというところで進行している。

### 3. IMG の性能と ADEOS 観測

第1表に ADEOS 搭載用 IMG の開発仕様の概略を、第1図に光学系の概念を、第2図に観測の概念を示す。また第2表に微量気体濃度の変動幅と予想される放射輝度の変動量を示す。

さらに、これを発展させたものとして、撮像機能を備えた IMG/II の検討を始めている。IMG/II は測定波数域・波数分解能を IMG と同等に保ち、波長走査時間を2秒に短縮する。これによりスペクトル・データの取得時間間隔を3~4秒に縮める。また瞬時視野域を200~400 km 四方に拡大して、10~20の画素数で測定する。1個の画素当りの水平分解能は10 km 平方とする。さらに将来のミッションとしては、静止衛星に搭載して数時間の間隔で大気監視を行うことも考えられる。

ADEOS 衛星は軌道高度 800 km、軌道傾斜角  $98.6^\circ$ 、公転周期101分、地方時10時30分の太陽同期軌道をとる。したがって、IMG の通常の観測モードでは、地方時10時30分の子午面内を緯度方向に約 90 km の間隔(視野の大きさ 8 km 四方)で、観測データを得ることになる。4日連続して観測すると経度方向にはほぼ均

\* IMG on the ADEOS satellite.

\*\* Toshihiro Ogawa, 東京大学理学部地球惑星物理学科.

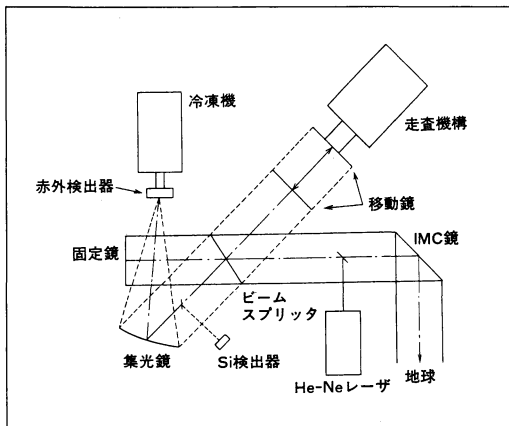
第1表 ADEOS/IMG の仕様概略

測定波長域	3.3—14 $\mu\text{m}$ (3000—700 $\text{cm}^{-1}$ ) 5—14 $\mu\text{m}$ : HgCdTe 検出素子 (77 K 冷却) 4—5 $\mu\text{m}$ : InSb 検出素子#2 (77 K 冷却) 3.3—4.3 $\mu\text{m}$ : InSb 検出素子#1 (77 K 冷却)
波数分解能	0.1 $\text{cm}^{-1}$
波長走査時間	10秒 (走査距離 10 cm, 磁気ベアリング, リニアモータ駆動)
瞬時視野角	0.6° (地表で 8 km 四方)
2軸追尾鏡	衛星の軌道運動と地球の自転による視野の移動を補正 ①直下視, ②斜視, ③深宇宙校正, ④校正用搭載黒体
放射スペクトル輝度測定精度	1 K (3 $\sigma$ , 長期的) 0.1 K (1 $\sigma$ , 短期的)
データ率	900 kbps
所要電力・重量	150 W, 115 kg
寸法	100 cm×80 cm×50 cm

第2表 微量気体濃度の変動幅と予想される放射輝度の変動量。  
分光放射感度の要求値の目安を与える。

成分	対流圏濃度変動幅 <sup>1)</sup>	波数 (cm <sup>-1</sup> )	放射輝度の変動 ( $\mu\text{W}/\text{cm}^2 \text{sr cm}^{-1}$ )	等価的温度の変動幅 (K)
CO <sub>2</sub>	2%	718	0.03	0.3
		2320	$1.3 \times 10^{-4}$	0.1
CH <sub>4</sub>	8%	1277	0.03	0.6
		3000	$2 \times 10^{-4}$	1.6
N <sub>2</sub> O	1%	1278	$6 \times 10^{-3}$	0.1
		2220	$1 \times 10^{-3}$	0.4
CO	50%	2180	0.04	17
O <sub>3</sub>	2%	1010	0.04	0.4
H <sub>2</sub> O	10%	1590	0.02	1

1) CO<sub>2</sub>, CH<sub>4</sub>, N<sub>2</sub>O, CO については南北半球における濃度差, O<sub>3</sub> と H<sub>2</sub>O については要求値を示した。



第1図 ADEOS/IMG の光学系概略図。波長 3.3—14  $\mu\text{m}$  領域を 0.1  $\text{cm}^{-1}$  の波数分解能で測定するマイケルソン・フーリエ分光計。波長走査鏡はリニアモータ駆動で、10 cm の距離を10秒間で走査する。検出素子は長波長側を HgCdTe, 短波長側を2個の InSb でカバーする。

一に全球をカバーできるが、測定点の経度方向の間隔は赤道上で約 750 km である。経度方向にさらに密な測定データを均一に得るには、回帰周期41日を要する(赤道上の間隔約 70 km)。

#### 4. データ解析とデータ利用

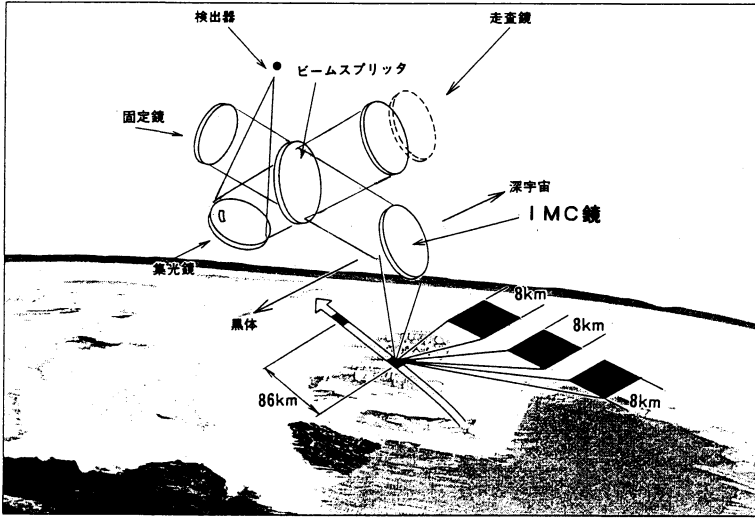
IMG の測定可能対象は例えば以下のものが考えられる。これらの測定の可能性に関するシミュレーション結果を第3～5図に示す。

##### ①温室効果気体の水平分布の観測

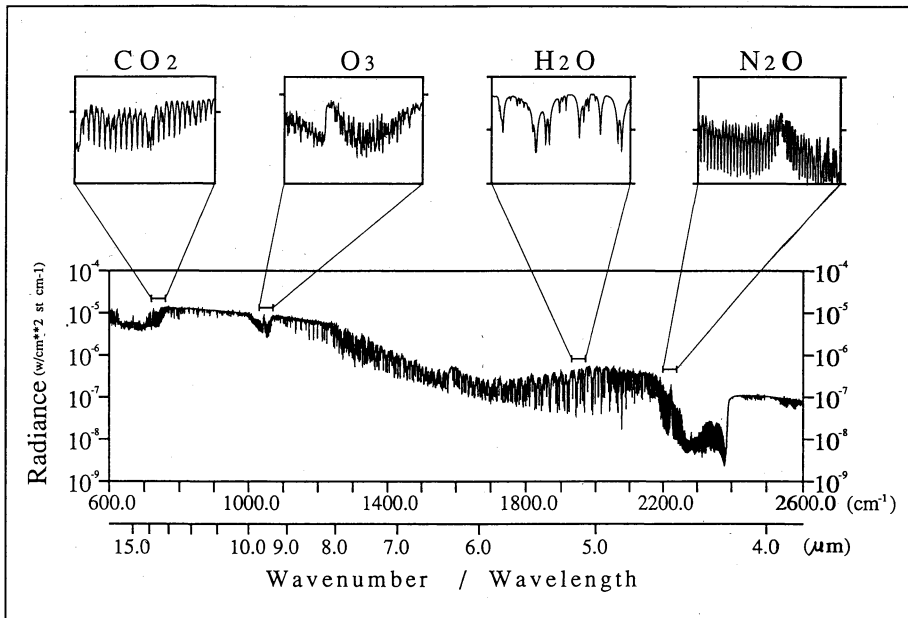
熱赤外域の大気放射スペクトル中に現れる, CO<sub>2</sub>, CH<sub>4</sub>, CO, N<sub>2</sub>O, H<sub>2</sub>O, O<sub>3</sub> に固有なスペクトルを抽出し、これらの濃度を定量する。これによって濃度の水平分布および高度構造をグローバルに観測する。大気輸送モデル計算を援用して、この観測データから気体発生源の地理的分布を求めることができる。

##### ②気温と水蒸気分布の観測

気温と水蒸気量の高度分布を従来型気象衛星センサ



第2図 IMGの観測概念図。瞬時視野角は $0.6^\circ$ で、地表における水平拡がり8kmに対応。1回の波長走査に要する10秒間に視野が移動しないよう、イメージモーション補正鏡を使用する。通常は垂直下方観測であるが、校正の際にはこの補正鏡を傾けて、校正用黒体と深宇宙を観ることが出来る。また、イベントモードの観測として軌道に沿う線から離れた方向を見ることも可能である。



第3図 IMGの測定波長域における、地球(大気)放射のスペクトルを $0.1\text{ cm}^{-1}$ の波数分解能でシミュレーション計算したもの(今須, 未発表)。 $\text{CO}_2$ ,  $\text{O}_3$ ,  $\text{H}_2\text{O}$ ,  $\text{N}_2\text{O}$ などの主要吸収帯域を拡大して示してある。

一以上の高精度(気温 1 K, 水蒸気量10%)で測定する。この観測によりグローバルなデータセットを得て、対流圏上部における気温・水蒸気の長期変動を調査する。

③巻雲の微物理・放射特性の測定

従来型衛星センサーでは検出困難な巻雲の粒径分布や赤外放射特性を測定する。このデータによって気候決定因子として巻雲の役割を研究する。

④オゾン全量の水平分布の観測

オゾン全量の水平分布のグローバルな観測を行う。特に、夜間においては従来型気象衛星センサーより高精度で測定できる。極域での観測データが得られるので、オゾンホール形成の前駆段階を研究する上で役立つ。

⑤赤外熱放射スペクトルの精密測定

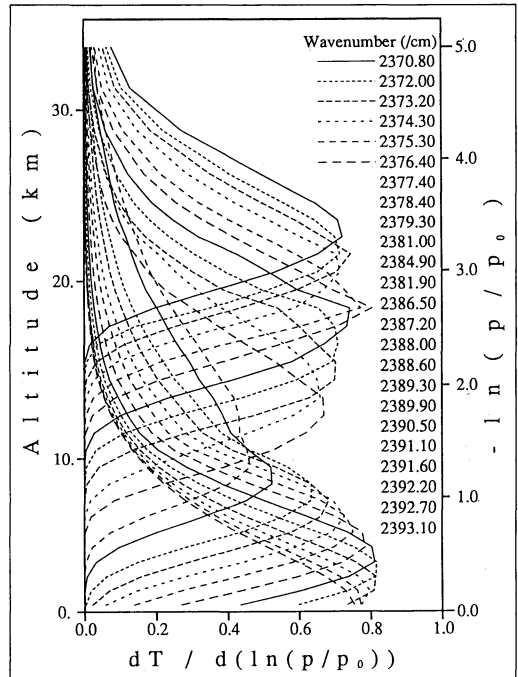
大気あるいは雲・地面・海面からの赤外熱放射スペクトル全域を高精度で測定することができる。このデータは気候モデルの放射計算コードの検証と改良に役立てることができる。

⑥海面温度の精密測定

熱赤外域において、いくつもの大気透過波数域で放射スペクトルを測定することにより、海面温度を精密に求めることも可能となる。このデータによって他の衛星搭載型海面温度センサーを校正することができる。

⑦汚染気体・微粒子の検出

高い波数分解能の測定により、火山噴火やバイオマス燃焼(野火、焼畑など)に伴って放出される微量気

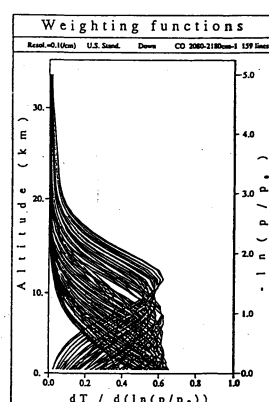
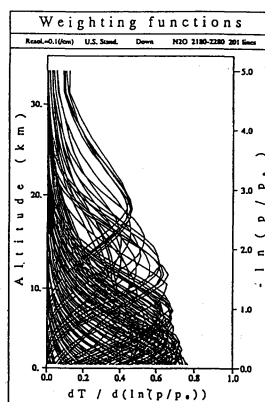
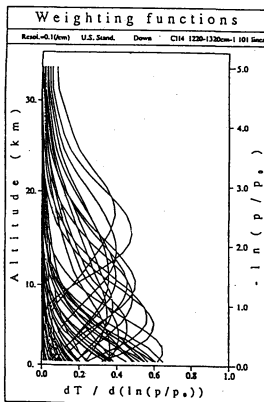


第4図 波数分解能  $0.1 \text{ cm}^{-1}$  でみた  $\text{CO}_2$   $4.3 \mu\text{m}$  帯地球(大気)放射に対する荷重函数の一部を示す(今須, 未発表)。1,000程度程度の波数チャンネルを使うと、気温測定の精度は従来の衛星観測に比しかなり向上できて、1 K の精度を達成できる見込みである。

$\text{CH}_4$

$\text{N}_2\text{O}$

$\text{CO}$



第5図  $\text{CH}_4$ ,  $\text{N}_2\text{O}$ ,  $\text{CO}$  に対する荷重函数の一部で、波数分解能  $0.1 \text{ cm}^{-1}$  の場合(今須, 未発表)。微量気体を測定しようとするとき、少なくともこの程度の波数分解能が必要である。波数チャンネルにより荷重函数のピーク高度が異なることから、微量気体の対流圏高度分布を求め得る可能性がある。

第3表 IMG のデータ

レベル0	生データ (測定日時場所データ付)
レベル1	校正済み放射輝度スペクトル (測定日時場所データ付)
レベル2	気温・水蒸気高度分布, (海面温度), CO <sub>2</sub> , CH <sub>4</sub> , CO, N <sub>2</sub> O の混合比 (高度層別), オゾンおよび硝酸の大気コラム全量

体 (CO, SO<sub>2</sub>, COS, その他未知種) と微粒子を検出する。これは、人跡まれな地域における異常発生源の発見と気体発生量の推定に役立てることができる。

IMG のデータの形態は第3表のようになるであろう。現在、測定放射輝度スペクトルから気温と微量成分混合比(あるいは全量)を同時に求めるインバージョン方式を研究開発中である。IMG のデータは多種にわたる利用の仕方が考えられ、データ解析方法の開発には多くの研究課題があるので、研究開発チームへの研究者の参加を勧奨している。またデータは広く公開し、多くの研究者・一般利用者の要求に応じるべくサービステ体制を検討している。

## コメント

今 須 良 一 (資環研)

IMG は大気中の気体濃度の測定と同時に、気温や海面水温 (SST) などの測定を高精度で行うことができる。このうち、気温測定については、鉛直分解能 1~2

km, 測定精度 1°C程度, SST については0.1°C程度の精度が期待できる。これらは、現在運用されている気象衛星 NOAA 搭載の TOVS や AVHRR などによる測定と比べて、数倍以上良い値である。ただし、IMG データは、軌道に沿った約 100 km おきのポイントデータとなるため、広範囲の領域を同時に測定することはできない。その点については TOVS などの画像データの方が優れている。したがって、数値予報の初期データとして要求されるような、高い精度の広域気象データを得るためには、高精度なポイントデータ (IMG) と、広範囲をカバーする画像データ (TOVS 等) とを、組み合わせて用いていくことが最も有効と考えられる。さらに、IMG により得られる放射スペクトルは 3.3~14 μm と、大気の窓領域を含む広い波長領域をカバーすることから、大気の赤外放射特性の把握や、これまでのセンサーでは検出が難しかった巻雲などの光学的に薄い雲の物理量の測定も可能と考えられる。雲物理や大気放射など、幅広い研究分野での利用が期待される。

201; 5013 (ADEOS; 衛星観測; オゾン層; 大気微量成分)

## 9. ADEOS 衛星を利用する大気微量成分観測のための ILAS/RIS プロジェクト\*

笹野 泰弘\*\*

## 1. はじめに

環境庁は、1995年度冬期に打ち上げが予定されている地球観測プラットフォーム技術衛星 (ADEOS) に高層大気の微量化学成分の観測を目的とした2つの観

測機器 (改良型大気周縁赤外分光計: ILAS, レーザ光反射用リトロリフレクター: RIS) の搭載を決め、現在、その機器整備、解析アルゴリズム研究、データ処理・運用システムの開発、並びに検証実験等の計画の策定に取り組んでいる (Sasano *et al.*, 1991)。これは通産省が開発を進めている温室効果気体センサー (IMG) とともに、わが国で初めて本格的に取り組む衛星搭載大気センサーによる地球大気観測計画である。

ここでは、ILAS 及び RIS の概要を報告する。

\* ILAS/RIS Projects for observing atmospheric trace gas profiles utilizing the ADEOS satellite.

\*\* Yasuhiro Sasano 国立環境研究所地球環境研究グループ衛星観測研究チーム。