

<特集>

リモートセンシングによる地球規模大気モニタリング

Monitoring the Global Atmosphere by Use of Remote Sensing Technique

横田 達也 *

独立行政法人 国立環境研究所

Tatsuya Yokota *

National Institute for Environmental Studies

Abstract

Major issues to be monitored in the global atmosphere, with a satellite remote sensing technique, are the ozone depletion in the stratosphere and global warming monitoring in the troposphere. Two satellite sensors for ozone layer monitoring were developed in Japan. They are: (1) Improved Limb Atmospheric Spectrometer (ILAS) which operated from October 1996 to June 1997, and (2) Improved Limb Atmospheric Spectrometer-II (ILAS-II) operated from April 2003 to October 2003. Following important data were obtained by those sensors: The data on vertical profiles of several gases related to ozone depletion mechanism in polar ozone layers. Especially, we had an opportunity to observe a very large ozone hole over the Antarctica frequently with ILAS-II in 2003. The data products obtained by ILAS and ILAS-II have been used for several atmospheric scientific researches. As for the global warming, a Greenhouse gases Observing Satellite (GOSAT) project is now making progress in Japan. GOSAT is a joint project promoted by three organizations: The Ministry of the Environment (MOE), the National Institute for Environmental Studies (NIES), and the Japan Aerospace Exploration Agency (JAXA). A Fourier-Transform Spectrometer of GOSAT will execute the measurements of column densities of greenhouse gases such as carbon dioxide and methane precisely. GOSAT is planned to be launched in around 2008. The remote sensing technique tends to be sophisticated for obtaining the precise and useful information for researches on global environment issues.

Key Words: ozone depletion, global warming, ILAS, ILAS-II, GOSAT

1. はじめに

愛知県で「愛・地球博」が開催されている。地球環境問題が世の関心事となり、我が国でも新聞やテレビで取り上げられるようになったのは、この20年の間である。10年ほど前までは、地球環境問題は遠い世界のこと、我が身には直接は関係ないことだと、多くの人が考えていたのではないだろうか。大気についていえば、1980年代半ばまでは、工場からの排煙や交通公害による大気汚染が身近な問題として取り上げられ、議論され、その対策が講じられた。政府も地方自治体も、各企業も研究

所も、大気汚染の計測と汚染防止技術の開発や、施策などに追われていた。それが最近になって、大気に関する地球環境問題が多くの人の関心事として取り上げられるようになったのは、昨今の熱波や数多い台風など、気候変動の兆しを実感させるような各種の異常気象が発現してきているせいかも知れない。

大気に関連する地球環境問題には、人類や生物の皮膚ガンや突然変異につながる予想される「成層圏オゾン層の破壊」、国レベルでの越境汚染が課題となっている「酸性雨」、気温上昇につながり、海岸線の変化や多くの異常気象の原因になると言われる「地球温暖化」などがある。歴史的に言えば、「オゾン層の破壊」問題がその草分けと言えよう。「オゾン層の破壊」問題は1980年代半ばにクローズアップされ、最初の地球環境問題として提起されてその国際的な取り組みがなされ、結果として主

*〒305-8506 つくば市小野川 16-2

TEL : 029-850-2550 FAX : 029-850-2572

E-mail : yoko@nies.go.jp

要なオゾン層破壊物質である特定フロン¹⁾の製造が禁止された。今はその効果が現れつつある。これは地球環境問題に世界が協力して取り組んだ代表的な成功例と言えよう。一方、最近では地球温暖化問題が取沙汰され、その一因を担う二酸化炭素(CO₂)をはじめとする温室効果ガスの排出規制への政策的な取り組みがなされつつある。京都議定書は、先進諸国間のみにおける取り決めで、しかも世界第一の二酸化炭素排出国である米国が締結に加わっていないが、2005年2月16日によりやく発効した。米国は、京都議定書締結には加わっていないものの、地球温暖化と二酸化炭素などの排出については重要事項と考え、高い関心を示していることには変わらない。すなわち、今や世界の情勢としては、主要な地球環境問題は地球温暖化問題であると言っても過言ではない。CO₂の排出規制に関しては、今後の省エネや排出削減技術の開発など、個々の企業に求められる点も多くあると思う。以前からの「成層圏オゾン層の破壊」問題と最近の「地球温暖化」問題に関連して、我が国も人工衛星によるリモートセンシング技術を駆使したモニタリングを試みてきた。また、今後もその分野における進捗が期待される。本稿では、この二つの問題に対する地球規模大気のモニタリング技術について紹介する。

2. 成層圏オゾン層のモニタリング

1985年に、米国の人工衛星センサTOMSによって観測された「南極の成層圏に出現するオゾンホール²⁾の存在」が公表され、話題になったことを覚えておられる方も多いことと思う。それを契機として地球規模の環境問題が広く一般の人々に問題提起されるようになり、地球環境問題に対する意識は急速に高まった。オゾン層の破壊に関しては、1985年に「オゾン層保護のためのウィーン条約」が採択された。そこでは、締約国が『研究および組織的観測等に協力すること(第3条)』と定められており、環境庁(現在の環境省)では衛星搭載センサである改良型大気周縁赤外分光計「ILAS(Improved Limb Atmospheric Spectrometer)」¹⁾²⁾の開発を行った。これを受けて、国立環境研究所では、データ処理解析³⁾と科学的なデータ利用研究を進めてきた。また、1987年には「オゾン層を破壊する物質に関するモントリオール議定書」が採択され、フロンなどのオゾン層破壊物質の使用が国際的に規制され、世界各国はオゾン層破壊問題に対して前向きに取り組んできた。現在は、実際にその効果が現れてきているかどうか、あるいは地球温暖

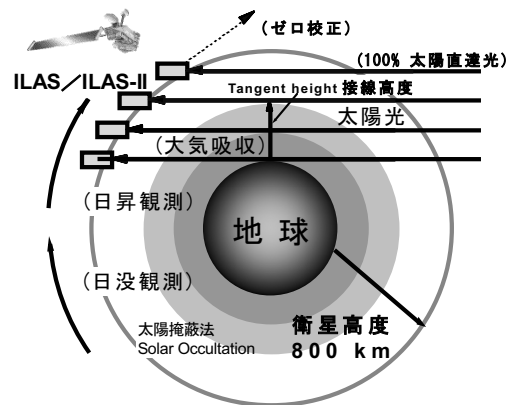


Fig.1 Schematic of solar occultation measurement of atmospheric gas profiles

化の影響で予測よりも回復が遅れるかどうかを観測によって実証することが求められている。

環境庁(現在の環境省)では、1996年8月に打ち上げられた宇宙開発事業団の地球観測プラットフォーム技術衛星「ADEOS(“みどり”)」に搭載されたILASの後継機として、改良型大気周縁赤外分光計II型「ILAS-II」⁴⁾⁵⁾を開発した。ILAS-IIは、2003年12月14日に打ち上げられた宇宙開発事業団(現在の(独)宇宙航空研究開発機構)の環境観測技術衛星「ADEOS-II(“みどりII”)」に搭載されたが、2004年10月25日に発生したADEOS-II運用異常により、ILAS-IIを含む全ての搭載機器の運用観測が停止し、以降のモニタリングを断念せざるをえなくなった。しかし、ILAS-IIは約7ヶ月間、定期的に極域オゾン層の状態と変化をモニタリングするとともに、オゾン層破壊に関する科学研究に資する多くの有効なデータを取得した。

2.1 ILASとILAS-IIセンサの特徴⁶⁾

オゾン層観測センサILASの開発目標は、オゾン層破壊現象が顕著に見られる高緯度の成層圏を長期(3年以上)にわたり安定して測定する(これを監視・モニタリングということであった。つまり、開発当初より短期間の実験センサとはならないような設計思想が求められた。提案と開発主体は環境庁であったが、開発の初期段階である1988年から1990年にかけて、担当行政官、国立公害研究所(現在の国立環境研究所)の研究者、センサ開発メーカー(当時の松下技研(株))が綿密な議論を重ね、具体的なセンサ仕様を決定した。装置が稼働するのは宇宙空間である。新規開発技術要素が多いと、宇宙環境においても目標通りの精度で長期間正常に動作する

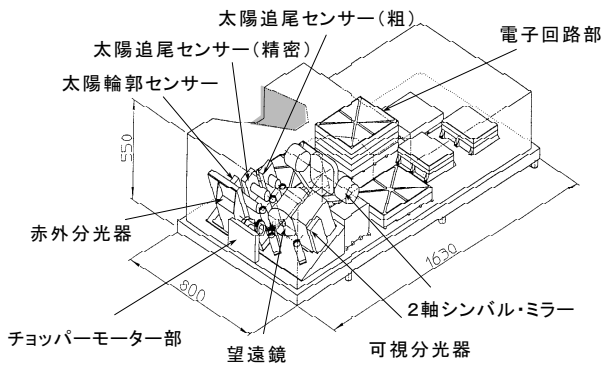


Fig.2 ILAS instrument structure

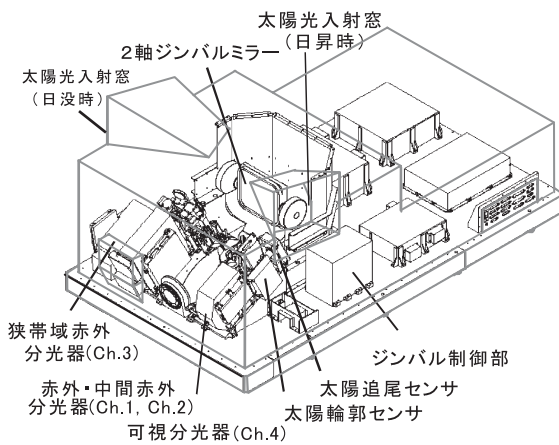


Fig.3 ILAS-II instrument structure

かに不安が生じる。そこで、ILAS は過去に観測実績のあった LAS (Limb Atmospheric Infrared Spectrometer) を原型として開発された。「ILAS」の名称に「Improved」が付いている由来はここにある。観測方式は LAS と同様に、衛星から見た日の出と日の入りの際に大気を透過して減衰した太陽光観測する「太陽掩蔽(えんぺい)法」が採用された (Fig.1 参照)。太陽掩蔽法の特長は、①高い S/N が実現できる (光源が太陽光であるため強い信号が得られる)、②信号の自己校正が可能 (毎回の観測時にゼロレベル信号と減衰のない太陽直達光 (100%レベル信号) を取得できる)、③直下視観測方式のセンサに比べて高い高度分解能の情報が取得できる (衛星の移動に伴って、異なる高度 (これを接線高度とよぶ) の大気を水平方向に透かして観測するため)、④精度の高い情報が得られる (大気中の観測光路を長く (1 km 厚の大気層を想定した場合、光路長は約 230 km となる) なるため、微量気体による吸収が積分されるため) である。また、長期の安定した稼働を目的として、ILAS の検出器には LAS と同様に冷却の必要が無く常温で動作する焦電素子 (1 次元アレイ) が使用された。赤外の

観測波長帯は、オゾン層の破壊に関連する気体の二酸化窒素 (NO_2 ; $6.2 \mu\text{m}$ 帯) から、オゾン破壊の原因物質の一つであるフロン 11 (CFC-11 ; $11.6 \mu\text{m}$ 帯) の吸収帯までをカバーする $6.2 \sim 11.8 \mu\text{m}$ に決められた。この波長帯には、上記の 2 つの気体のほか、オゾン、硝酸、亜酸化窒素、メタン、水蒸気、フロン 12 (CFC-12)、更に硝酸塩素と五酸化二窒素の吸収帯が含まれている。赤外分光器では、この波長範囲を回折格子によって連続分光し、44 素子の焦電検出器で受光する。そのほか、ILAS 装置は、太陽追尾機構、太陽輪郭センサ、望遠鏡、赤外分光器、可視分光器、電子処理部により構成される (Fig.2 の ILAS 装置の構成見取り図を参照)。

一方、ILAS-II は ILAS の後継センサである。ILAS-II では ILAS に加えて、新たに $3.0 \sim 5.7 \mu\text{m}$ 帯を測定する「中間赤外分光器」の追加や、視野スリットを狭くして高度分解能を 2 km から 1 km 分解能に向上させるなどの改良が施された。ILAS-II 装置の構成見取り図を Fig.3 に示す。

2.2 ILAS と ILAS-II のモニタリングデータの特徴⁶⁾

オゾンホールは、南極の春に相当する 9 月から 11 月に現れる。ILAS と ILAS-II は、観測した年と月が異なるが、いずれも南極オゾンホールを高頻度で観測した。ILAS と ILAS-II の観測点は、ほぼ同一の緯度で、経度方向には等間隔に配置される。したがって、オゾンホールが存在する時期で、観測緯度がある程度低い場合には毎日オゾンホールの中と外を観測することになり、観測緯度が高い場合にはオゾンホールの中を集中して測るこ

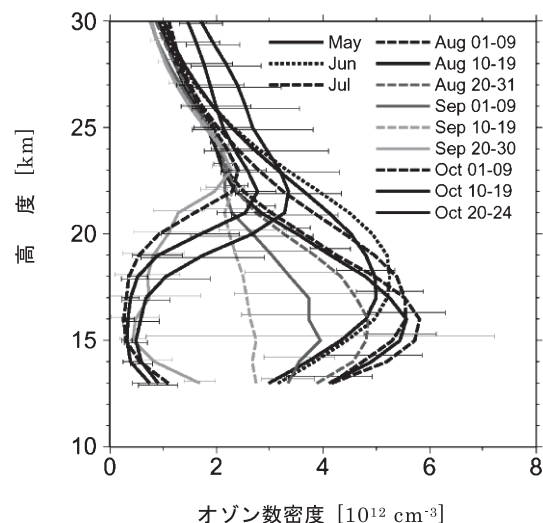


Fig.4 Variation of averaged ozone number density profile measured by ILAS-II over the Antarctica in 2003

とになる。また、オゾンだけでなく、オゾン層の科学に関連する硝酸や水蒸気、メタンや亜酸化窒素、エアロゾル消散係数に関する濃度の高度分布データが取得されている。この複数の気体濃度が「定量値」として同時に推定される点が、オゾン層の科学研究に重要な役割を果たしている。ILAS は 10 月から 6 月までの定常観測期間中、10 月、11 月のオゾンホール崩壊時期の観測を行った。一方 ILAS-II は 4 月から 10 月まで定常観測を行ったため、オゾンホールの形成時期から成長過程、崩壊の直前までを観測した。特に ILAS-II が観測した 2003 年の南極オゾンホールの大きさは、史上 2 番目と言われるほど大きいものであった。Fig.4 は ILAS-II が観測したオゾン層破壊の様子を示している。高度 15 km 付近では、9 月下旬から 10 月上旬にかけてオゾン濃度がほとんどゼロに近い状況まで破壊が進行したことがわかる。

ILAS と ILAS-II は、高緯度の成層圏の科学研究に利用できる高精度の定量データを 3 年から 5 年の期間測定して、オゾン層の年ごとの変化に関する研究に寄与するはずであった。いずれも衛星本体のトラブルにより 1 年に満たない期間で定常観測を終えたため、長期モニタリ

ングとしての目標は達成できなかった。しかし、オゾン層の科学研究利用に資する技術実証は十分になされたといえる。ILAS と ILAS-II が観測したデータは、今もなおそのデータ処理手法に改良が加えられ、再処理されたデータは関係する研究者に公開されている。ILAS-II のデータについては、その質の評価がなされ、一般ユーザーに公開される日も近い。ILAS と ILAS-II に関しては、それぞれ <http://www-ilas.nies.go.jp/jindex.html> と http://www-ilas2.nies.go.jp/index_j.html を参照されたい。

2.3 世界のオゾン層モニタリングの動向

人工衛星による大気のリモートセンシングの中では、成層圏は比較的測定しやすい対象といえる。なぜなら、成層圏の中で対流圏の外側に位置して、雲よりも上にあるため、濃いエアロゾルがあるなどの特別な状況を除けばセンシング時の妨害物質の影響が少ないからである。

しかし、衛星によるオゾン層のモニタリングにそれほど進展は見られない。それは、オゾン層破壊物質の規

Table1 Satellite ozone sensors of the world and future plans

衛星名	センサ		観測期間 (2002-2015)												
	名称	開発	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014
ADEOS-II	ILAS-II	日本	● 太陽												
	OSIRIS	カナダ	■ 太陽												
ODIN	SMR	スウェーデン, フィンランド, フランス	□ 後期運用中 (設計寿命は 2003 年 2 月で終了)												
	SAGE III	アメリカ	■ 太陽・月												
METEOR-3M (N1)	SFM-2	ロシア	■ 太陽												
	GOMOS	欧州	■ 恒星												
ENVISAT	MIPAS	欧州	■ 太陽・月												
	SCIAMACHY	ドイツ, オランダ, ベルギー	■ 太陽・月												
	AIRS	アメリカ	■ 太陽												
EOS Aqua	ACE-FTS	カナダ	■ 太陽												
	MAESTRO	カナダ	■ 太陽												
EOS Aura	HIRDLS	アメリカ, イギリス	■ 太陽												
	MLS	アメリカ	■ 太陽												
	OMI	オランダ, フィンランド	■ 太陽												
	TES	アメリカ	■ 太陽												
ISS	SAGE III	アメリカ	■ 太陽・月												
	SMILES	日本	■ 太陽												
METOP 1, 2	GOME-2	欧州	■ 太陽												
	HIRS/4	アメリカ	■ 太陽												
	IASI	欧州	■ 太陽												
METOP 3	IASI	欧州	■ 太陽												
NPOESS-2, 5	OMPS	アメリカ	■ 太陽												

※衛星利用による地球観測・監視に関する検討会編：「衛星利用による地球観測・監視に関する検討会中間報告書」(2004)内の付表を改訂

- : 太陽掩蔽法 / 月掩蔽法 / 恒星掩蔽法
- : 周縁放射観測法
- : 下方視観測法

制が功を奏して今後はオゾン層も回復に向かうと予想される中、多くの人の関心事は生活に直結する対流圏大気に移ったからかもしれない。別な観点で言えば、オゾン層破壊ではこれ以上“もうけ”にならないという判断があるのかも知れない。とは言え、科学的な見地から言えば「オゾン層の破壊」問題は完全に解決したわけではない。地球温暖化にも密接に関連していて、対流圏が暖まれば放射のバランスから成層圏は冷える方向に向かう。すると、高緯度の成層圏の中で水の粒（極成層圏雲という）が発生しやすくなり、それがオゾン層の破壊を助長するのではないかと、すなわち、オゾン層の回復が遅れるのではないとも言われている。したがって、今後オゾン層の状況がどのように推移するかをきちんとモニタリングする必要性が大いにある。このような世界情勢の中で、成層圏オゾン層を中心として太陽掩蔽法で観測するセンサは減る方向にあり、気象観測と併用で下方視によって観測するセンサに集約される方向にある（Table 1⁷参照）。「オゾン層破壊」の問題は、まだ過去形の地球環境問題になったとは言えない。

3. 温室効果ガスのモニタリング

3.1 衛星による温室効果ガスモニタリングの難しさ

人工衛星に搭載したセンサで、温室効果ガスを高精度に測定するというのは、これまでは夢物語の一つであった。これが実現されれば、衛星リモートセンシングの特徴である「広域性」、「等質性」、「同時性（または高頻度性）」の利点が活かされ、数多くの知見が得られることになる。「広域性」とは、文字通り広い範囲を測定できることである。しかも同一のセンサで測定するため、測定値にバイアスは生じるとしても、地域間の相対的な濃度差の比較は十分に可能である。地上ステーションによる観測ネットワークでの測定データの比較を行う際には、機差校正が重要で、それに要する時間と経費はバカにならない。また、衛星は（静止軌道衛星を除いて）1日に何回も地球の周りを回るため、同じ地点の上空の大気を高頻度で測定できる。すなわち、その測定点の経時変化を計測することが可能である。特に重要な点は、現在国際的なモニタリングネットワークとして温室効果ガスの観測を行っている地上ステーションは、先進諸国や北半球に位置するものが多く、地域的に偏りがある点である。たとえば、アフリカ中央部や南アメリカ大陸には測定局

はほとんどない。それは、政情の不安定性や観測所維持のための現地のインフラ技術水準、保安上の問題などが理由となっている。衛星は、観測時の妨害因子（雲やエアロゾルなど）の影響の問題を除けば、地域や国境に左右されることなく平等に測定することができる。これは、温室効果ガスの衛星観測の最大の利点といえよう。

これだけの利点を有しながら、人工衛星による温室効果ガスの精密測定はいまだに技術実証がなされていない。それは、雲・水蒸気・エアロゾルなどが存在する対流圏大気中の温室効果ガスを、遠く離れた宇宙から観測し、高精度に定量値を求めることが極めて困難なためである。二酸化炭素のカラム濃度を測定する場合、その日内変動を知るには測定誤差 0.3%（約 1 ppm）以内で測定する必要があると言われている。また、緯度間の差や季節変動を知るには測定誤差 1%（約 4 ppm）以内で測定する必要がある。全てがノイズ（誤差要因）との戦いである。このような目標精度での衛星観測は、装置（ハードウェア）とデータ処理技術（ソフトウェア）の両面とも非常に難しいため、これまで実現されなかったというのが実情である。

しかし、日本では過去に温室効果ガスの測定を目的にした衛星センサを打ち上げたことがある。2章に述べた ILAS が搭載された ADEOS 衛星には、「温室効果気体センサ (IMG; Interferometric Monitor for Greenhouse Gases)」が搭載された。IMG は、当時の通商産業省が開発したセンサで、1996 年秋から 1997 年の 6 月末までデータを取得した。測定対象は、対流圏の温室効果ガス（二酸化炭素、水蒸気、メタン、亜酸化窒素、オゾン等）の濃度分布のほか、大気温度の鉛直分布、地表面温度などである。IMG については、センサの高度な技術実証はなされたものの、残念ながら大規模な同期検証観測実験を実施する直前に観測を停止してしまったため、取得したデータの精密な解析と検証に時間を要している。特に二酸化炭素については、現在もなおデータの再解析が試みられている状況である。

3.2 日本の衛星による温室効果ガスモニタリング計画 (GOSAT)

我が国の、衛星による温室効果ガス観測計画としては、2008 年の打ち上げを目標に「温室効果ガス観測技術衛星 (GOSAT; Greenhouse gases Observing Satellite)」プロジェクト^{8)・9)}が、環境省・国立環境研究所・宇宙航空研究開発機構の 3 者の共同により進められている。3 者の役割分担は、宇宙航空研究開発機構が衛星とセンサ

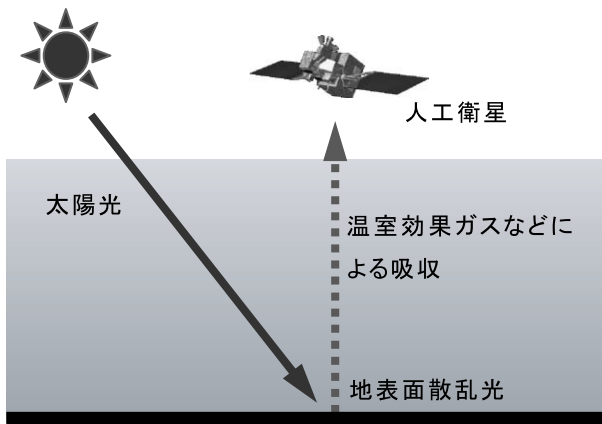


Fig.5 Principle of ground-scattered solar light measurement of greenhouse gas column density from space

の製作・試験(校正)・運用、ロケットの打ち上げ、レベル1データ(輝度スペクトル情報)の解析までを担当する。環境省と国立環境研究所はデータ利用側としての役割を果たす。国立環境研究所はレベル2データ(観測地点における二酸化炭素などのカラム濃度)までの処理手法の開発とデータ処理、センサの仕様決定への助言、センサの製作・試験への協力、レベル2データと他の地上観測データを活用し、大気輸送炭素収支モデルを介して、亜大陸レベルの二酸化炭素のネット吸収・排出量の推定などを担当する。GOSATプロジェクトの目標は、単に衛星の観測地点において、雲やエアロゾルのほとんど無いクリアスカイ条件で、大気中の温室効果ガスカラム濃度を高精度(相対誤差で1%以下)で出すことだけでなく、そのデータを利用して最終的には亜大陸レベルの炭素収支モデルの推定誤差を従来(プロジェクトの提案時)より半減することにある。このように、最近の衛星プロジェクトでは、データ利用の目標まで明確に設定して実施されるようになりつつある。

GOSATに搭載される「温室効果ガス観測センサ」¹⁰⁾は、フーリエ変換分光器である。この分光器は、主に太陽光に含まれる短波長の赤外線(近赤外光)が、地表面で反射して再び宇宙に出ていく量を測定する。宇宙から地表面へ、地表面から宇宙への往復の間に、二酸化炭素やメタンが特有の波長の光を吸収する現象を利用する(Fig.5)。なお、熱赤外の波長領域(15 μm 付近まで)を測定するバンドもあり、そこでは大気からの熱放射を観測する。具体的には、1.6 μm 帯と2.0 μm 帯のほかに、0.76 μm を中心とする酸素分子の回転A帯と、雲・エアロゾルセンサ(画像センサ)のデータを利用して、二酸化炭素とメタンのカラム量を導出する計画である。

このGOSATの温室効果ガス観測センサについては、現在BBM(Bread Board Model;地上試験用モデル)が製作され、地上試験や航空機観測の実験に利用されている。

GOSAT衛星の回帰日数は3日、すなわち3日で全球を観測できる。衛星高度は約666km、温室効果ガス観測センサの視野の大きさは、直下視の観測で直径約10.5kmである。視野が大きいのは、観測する光の強さすなわちS/Nを良くするためである。

この観測方式の難しさとしては、(1)地表面での太陽散乱光強度が比較的弱いこと、(2)太陽直達光を直接的には観測できないため透過率ではなく装置の特性が含まれる放射輝度信号からデータ解析を行う必要があること、(3)地表面反射率が対象によって大きく変動すること、(4)視野内の雲やエアロゾルの影響があることなどが挙げられる。しかし、観測信号には対流圏の二酸化炭素濃度を検出するための情報が十分に含まれており、各種の誤差要因(エアロゾル、巻雲、雲、水蒸気、地表面気圧(高度)、地表面反射率(アルベド)、吸収線パラメータ精度など)が導出結果に影響を及ぼすが、装置の仕様が適切であれば、少なくともクリアスカイの条件下では、目標精度でカラム量の導出が可能であることが導出の計算シミュレーション¹¹⁾によって示されている。ただ、地球上でクリアスカイ条件が満たされる観測点はかなり少ないと予想されることから、国立環境研究所を中心に雲やエアロゾルが存在する場合に温室効果ガスのカラム量を目標精度で導出する手法について研究が進められている。なお、国立環境研究所が開設しているGOSATのホームページは、<http://gosat.nies.go.jp>、宇宙航空研究開発機構のGOSATのホームページは、<http://www.satnavi.jaxa.jp/gosat/index.html>である。

3.3 世界における試み

世界において実際に打ち上げられ、稼働している衛星センサの中には、対流圏の二酸化炭素やメタンの導出を試みているものがある。2002年3月に打ち上げられたEnvisat衛星搭載のSCIAMACHY(Scanning Imaging Absorption Spectrometer for Atmospheric Cartography)や、2002年5月に打ち上げられたAqua衛星に搭載されているAIRS(Atmospheric Infrared Sounder)などがそうである。AIRSで赤外の分光輝度データから二酸化炭素の導出を行う場合には、海面温度などの情報が必要となるため、同じAquaに搭載されているAMSU(マイクロ波観測)のデータを独立データと

して使用している。なお、二酸化炭素の導出には、雲やエアロゾルが妨害因子となるが、AIRS の観測によると 15 km 四方の視野で地球大気を観測した場合、その 97% は薄い雲 (巻雲; cirrus) に覆われているという報告もある。

今後打ち上げられる衛星には、二酸化炭素の高精度測定を目標にした OCO (Orbital Carbon Observatory) 計画がある。OCO は GOSAT と同様に 0.76 μm 帯 (O_2)、1.6 μm 帯 (CO_2)、2.0 μm 帯 (CO_2) での測定をするが、センサは 3 つの回折格子型分光器である。OCO が熱赤外波長帯ではなく近赤外での太陽反射光を測定する理由は、 CO_2 のカラム量には地表面付近の二酸化炭素からの寄与が最も大きいためである。OCO では CO_2 の導出精度目標を 1 ppm 以下に設定している。既存の技術を駆使してミッションの低コスト化を図っている。OCO の視野の大きさは、直下で 1 km \times 1.5 km である。数多くのデータを取得して雲のかかる画素は捨てる。16 日間で全球観測が可能となる。視野を 1 km \times 1.5 km とした理由は、その視野内に雲が無い確率を高めるためである。打ち上げ目標は GOSAT とほぼ同じ 2008 年頃である。

4. おわりに

人工衛星により地球規模の大気モニタリングが機能するには、それぞれの国が「地球観測」などの国際協力のもとにプロジェクトを推進してそれぞれの役割を果たす必要がある。特に我が国の場合には、気象衛星の長期運用の実績はあるが、地球観測を目的とした衛星に関して言えば、3 年以上のモニタリング目標に達しないものも残念ながらあった。衛星の「広域性」、「等質性」、「同時性 (または高頻度性)」の利点を生かして、その費用対効果を最大限に上げるには、信頼性を高める必要がある。これまでは、米国や欧州が先に開発した観測手法、製作

技術、データ処理技術を基に、それを応用発展して大気の高精度測定を行うという衛星センサが開発されてきたが、今後は我が国も他国と競争・協力をしながら未踏の分野にチャレンジするような技術開発を行う時代に入りつつある。温室効果ガスの衛星観測がその例である。成功の如何は、無駄を極力抑えとともに、衛星、センサ、機器校正、データ処理、検証などの関連する全てのジャンルにおいてハード・ソフト両面での科学・技術力にしっかりと支えられて開発が進められるかどうかにかかっていると思う。システムとして、そつなく英知が結集されるかどうかなのかもしれない。

[参考文献]

- 1) 笹野泰弘編：ILAS プロジェクト最終報告書，R-180-2004/NIES (2004).
- 2) 国立環境研究所編集委員会編：環境鏡，10 (2003).
- 3) Yokota, T., et al.: Improved Limb Atmospheric Spectrometer (ILAS) data retrieval algorithm for Version 5.20 gas profile products, *J. Geophys. Res.*, 107 doi:10.1029/2001JD000628 (2002).
- 4) 横田達也編：ILAS-II プロジェクトレファレンスブック，R-163-2001/NIES (2001).
- 5) 中島英彰編：平成 15 年度 ILAS-II プロジェクト報告，R-187-2005/NIES (2005) 印刷中.
- 6) 横田達也：ILAS/ILAS-II によるオゾンホール定量観測、計測と制御 43(11), 879-883 (2004).
- 7) 衛星利用による地球観測・監視に関する検討会編：衛星利用による地球観測・監視に関する検討会 中間報告『「みどり II」運用停止による影響評価及び今後の衛星観測実施の確実性確保に関する検討』，付 3-15, (2004).
- 8) Hamazaki, T., et al.: Greenhouse gases Observing Satellite (GoSat) -Project Overview-, *Proc. 2004 IEICE General Conf.*, SE-47 - SE-48 (2004).
- 9) Hamazaki T., A. Kuze, and K. Kondo: Sensor System for Greenhouse Gas Observing Satellite (GOSAT), *Int. Sympo. On Optical Science and Technol.*, 49th SPIE Annual Meeting, Conf. 5543, Denver, CO, USA, (2004).
- 10) Yokota, T., et al.: A nadir looking SWIR sensor to monitor CO_2 column density for Japanese GOSAT project, *Proc. 24th ISTS (Selected Papers)*, 887-889 (2004).
- 11) 横田達也：GOSAT 短波長赤外センサの CO_2 カラム量導出処理精度検討 (その 1)，第 30 回リモートセンシングシンポジウム記念大会講演論文集，53-54 (2004).