

オゾン層観測センサーの利用に関する 国際ワークショップ報告*

神 沢 博^{*1}・横 田 達 也^{*2}・岩 上 直 幹^{*3}

1. はじめに

昨年(1993年)12月8日、9日に『地球環境科学技術と地球観測センサーに関する国際ワークショップ』(International Workshop on Global Environment and Earth Observing Satellite Sensors)が、東京タワー近くの郵政省飯倉分館において開催された。本会では、「オゾン層観測センサーの利用に関する分科会」(Ozone Layer Observation by Satellite Sensors)と「衛星データ複合利用によるグローバル・チェンジの総合的理解に関する分科会」(Understanding of Global Change Using Multiple Sensors in ADEOS-II/EOS/ENVISAT Era)の二つのセッションが並行して進行した。本ワークショップの主催は、科学技術庁、環境庁国立環境研究所、郵政省通信総合研究所であり、後援および事務局を宇宙開発事業団が担当した。「オゾン層観測センサーの利用に関する分科会」の企画と進行は、主に国立環境研究所が行い、組織委員は、秋元肇(東大先端研)、笹野泰弘(環境研)、神沢博(極地研、途中から環境研)、横田達也(環境研)の4名が担当した。

オゾン層の破壊は、南極上空のいわゆるオゾンホールとしてだけでなく、北極周辺の高緯度地域や中緯度上空においても進行しているかのようにみえる。また、極域の成層圏雲、低中緯度の成層圏エアロゾルの存在がオゾン層破壊の進行を早めていると考えられており、グローバルな大気環境問題のひとつとして、オゾン層破壊の実態把握とそのメカニズムの解明が急務とされている。近年、成層圏オゾン層とそれに関連す

る大気微量成分の観測・監視において、衛星を利用した遠隔計測の果たす役割がますます高まっている。とりわけ太陽(または月や星)を光源とする掩蔽法(Occultation)による成層圏大気微量成分の衛星観測は、比較的歴史が古く、光源強度が強いことと、観測ごとに大気圏外での較正值が得られることなどから、高度分解能が良く、高い測定精度が得られるという特徴を持っている。現在、太陽掩蔽法に基づくオゾン関連微量成分センサーとしては、米国のSAGE II (Stratospheric Aerosol and Gas Experiment II)とHALOE (HALogen Occultation Experiment)が軌道上にあり、極めて有用なデータを取得し続けている。今後、1996年にはわが国のADEOS (Advanced Earth Observing Satellite)衛星搭載ILAS (Improved Limb Atmospheric Spectrometer)が、1998年にはヨーロッパのENVISAT-1号衛星搭載GOMOS (Global Ozone Measurement by Occultation of Star)およびSCIAMACHY (SCanning Imaging Absorption spectromETER for Atmospheric CHartography)が打ち上げられる。また、SAGE III等も計画されている。

「オゾン層観測センサーの利用に関する分科会」では、これらの分野の第一線で活躍している研究者を米国とヨーロッパ諸国より8名招聘して、以下の内容の報告と討議を行った。招聘者には、各センサーのPrincipal Investigator (PI:サイエンスチームリーダー)も3名ほど含まれている。なお、国内からは約50名の研究者が参加した。第1図に参加者の集合写真を示す。

(横田達也・神沢博)

* Report on the Workshop "Ozone Layer Observation by Satellite Sensors".

*1 Hiroshi Kanzawa, 国立環境研究所.

*2 Tatsuya Yokota, 国立環境研究所.

*3 Naomoto Iwagami, 東京大学大学院理学系研究科.

© 1994 日本気象学会

2. 共通セッション

2つの分科会の個別セッションに先だつて、共通のセッションが行われ、森山隆氏(宇宙開発事業団)が、地球観測の各分野(大気海洋相互作用、大気中の微量



第1図 参加者の集合写真 (横田達也撮影).

成分の挙動, 海洋生産, 雪氷圏変動, 等) に応じて, 全世界で, どのような衛星にいかなるセンサーが, これまで搭載されてきたか, また現在軌道上にあるか, さらに, 将来計画されているかを, レビューした. どのセンサーが衛星プロジェクトに採用されるかは, センサー開発に携わる研究者, 特定の研究目的に衛星データが不可欠な研究者, 等にとって非常に関心のあるところだが, 森山氏の描いた見取図によって, それぞれの分野の研究者にとって自分たちの関係するセンサーの位置づけがより明確になった. なお, 我々の関与している成層圏オゾン層の測定は, その見取図の中で priority の高いものとして位置づけられていた.

(神沢 博)

3. 会議の概要

(1) 国際オゾン委員会委員長の Dr. Gérard Mégie (仏, CNRS) より, オゾン層破壊の現状について報告を受けた.

(2) Dr. Rudi Zander (ベルギー, リエージュ大) より, 国際的に取組みが進められている NDSC (Network for Detection of Stratospheric Change) の現状の報告を受けた.

(3) Dr. Brian J. Connor (米, NASA/LaRC) より, 地球規模でのオゾン層監視における衛星観測の役割について, これまでの経緯と今後の国際的な計画について報告を受けた.

(4) これまで実績のある三つのセンサーの代表者から, 装置の概要と観測の科学的成果に関する報告を受けた. はじめに Dr. Michael Gunson (米, JPL) より, 過去3回にわたってスペースシャトルに搭載された, FTIR 型センサーの ATMOS (Atmospheric Trace MOlecule Spectroscopy) について報告がなされた. 次に Dr. Jae H. Park (米, NASA/LaRC) より, 2年前に UARS (Upper Atmosphere Research Satellite) 衛星に搭載され, 大気化学反応を知る上で重要なオゾンと微量ハロゲン化成分の観測を続けている HALOE について報告があった. さらに, Dr. M. P. McCormick (米, NASA/LaRC) より, 10年以上の観測の歴史をもつ SAGE II について報告を受けた. また, 将来の SAGE III計画も紹介された.

(5) 将来打ち上げが予定されている, 日本とヨーロッパの三つのセンサーについて, 各プロジェクトの概要と開発状況について詳しい報告がなされた. はじめに, ADEOS 衛星に搭載される ILAS について, 国

立環境研究所のサイエンスチームメンバー（鈴木睦、横田達也、神沢博）より紹介があった。次に Dr. Eric Chassefière (仏, CNRS) より、星を光源としてオゾン層の微量成分の観測を行う GOMOS について報告があった。さらに、Dr. J. P. Burrows (独, プレーメン大) より、SCIAMACHY について報告を受けた。

(6) 最後に、上記の各報告に基づいてオゾン層の現状に対する理解を深めるとともに、衛星プロジェクトの今後の取組みに対する考え方や国際的な協調のあり方などについて笹野泰弘氏を中心として、全体議論を行った。その結果、地球規模の大気変動を知る上で、今後計画されている衛星に搭載される予定か、あるいは、候補に上がっている Occultation センサーとそれらによる継続的な観測の重要性についての確認がなされ、参加者全員によって、世界の宇宙機関、科学政策決定者、大気科学者へ向けての勧告文が採択された。

本ワークショップは、米国、日本、およびヨーロッパ諸国の、オゾン層の観測と掩蔽法衛星センサーの開発に従事する研究者が、日本においてはじめて互いの最新情報を交換できる場であった。オゾン層変動の長期の継続的な監視手段として、衛星観測は今後も大いに期待されている。それには国際協力により、互いの経験と計画についての情報交換が重要で、今後も日本、米国、ヨーロッパ諸国との間で、観測成果の発表等の情報交換の場を設け、国際協力を進めていく旨が確認されている。わが国としても2年後に ILAS の打ち上げを控え、本ワークショップは、国内外の同種の観測センサーの研究者による国際協力への第一歩として、大きな意義があったといえよう。

(横田達也・神沢 博)

3. ワorkshopで印象に残ったトピックス： HALOE のこと

一参加者として、今回ぜひとも話してみたい人がいた。それは HALOE の Park 博士である。HALOE は UARS 衛星に搭載された赤外センサーで、HCl, HF などハロゲン族をはじめとする多くの微量成分の高度分布を、ガス相関セルをもちいた分光装置によって掩蔽 (Occultation) モードで測定する。これまでも成層圏微量成分の分光測定に関わり、かつガス相関セルを用いて熱圏酸化窒素の測定などもやってきた私 (岩上) にとって HALOE は UARS のなかでも最も興味あるセンサーだった。装置の概要と初期結果の一部は今年6月の JGR 誌に載っているのだが、その測定方法に

関して腑に落ちないところがあって、気になっていたのである。

HALOE の測定原理は、まず目的とする波数域の太陽スペクトルを幅 100 cm^{-1} 程度のフィルターで切り取り、次に光束を二分して一方をガス相関セルを通し、他方はセルを通さずにそれぞれ検出し、両者の差から目的とする気体種による吸収を拾いだそうとするものである。HALOE はこの方法で HCl, HF, NO, CH₄ を、さらに相関セルを使わないフィルターのみによる放射測定で4気体種を測定している。スペクトルを測定してから吸収を定量する通常の方法では 10^{-3} 程度が検出限界であるのに対し、このような差分検出系では 10^{-5} 程度まで可能で、いわゆる検出感度はずっと高く設定することができる。ただし、それは前述した相関分光系が思惑どおりに動作した場合のことである。CH₄ など、測定波数域で他を圧倒する強い吸収を示す気体種はともかくとして、私が特に注目していた HCl, HF など常に他気体の吸収に埋もれた弱い吸収しかない気体種に関しては注意を要する。

気になっていた点とは、衛星の軌道運動による吸収スペクトルのドップラーシフトをいかにして補償するか、ということである。この問題のシミュレーションは実験室ではできない。軌道運動速度は 8 km/s 程度なので、HCl の測定が行われる 3000 cm^{-1} 域でのドップラーシフトは 0.08 cm^{-1} となり、これは HCl 吸収線の1気圧における衝突半値半幅と同程度、ドップラー半値半幅の20倍程度に相当する。相関セルの吸収線のまわりを大気による吸収線がこれだけ動き回ると、いくら理論的な吸収線輪郭を用いて補正を試みても、 10^{-5} のバランスなどととも保てないのではないかと私には思われた。同じく UARS に搭載された、やはり相関セルを使ったセンサーである ISAMS (Improved Stratospheric and Mesospheric Sounder) は、軌道運動と直角方向のみを測定することにより、ドップラーシフトの影響を避けている。ISAMS は大気の熱放射を測定するセンサーであるため、測定方向を選ぶことができる。しかし HALOE は太陽を光源とした掩蔽測定であるためそれはできない。

コーヒープレークの時に Park 博士に聞いてみた。私の疑問に対する鍵は HCl の場合 0.2 気圧 50% と意外に大量の気体が相関セルに詰まっていることにあった。相関セル吸収線の等価幅は 1 cm^{-1} つまり半値半幅でドップラーシフトの6倍にもなり、大気吸収線は、ほぼ飽和した相関セル吸収線の底の部分を動くことに

なるため、両者の相関はほとんど変化しない。それにしても、 10^{-5} のバランスは保てるのか、さらに 1 cm^{-1} もの幅があつては他気体による吸収の干渉がひどいだろう、と食い下がった。それに対しては、理論的線輪郭とモデル大気を用いて計算機シミュレーションをやって補正曲線を作っておくのだ、ということであつた。

セッション中、HALOEの結果について質問されると Park 博士は、まだ暫定結果であるから、としばしば発言して何やら自信なさげだったが、このような困難な測定を敢行し、世界の前に結果を出しつつある HALOE チームの健闘を讃えたい。

(岩上直幹)

4. 印象に残ったこと：GOMOS のこと

個々の発表で私(神沢)の印象に残ったのはヨーロッパグループのものである。Park 氏の HALOE の話、McCormick 氏の SAGE の話は、既に雑誌に発表されていたり、両者が ILAS Science Team のメンバーであることから、これまで何度か聴いたことがあつたが、ヨーロッパグループのセンサーの話は、私にとっては初めてだったからである。ヨーロッパと米国との間で良い意味での競争心が感じられた。GOMOS は星を光源とする Star Occultation を使うのだが、本当にそんなことができるのだろうか、素人ながら、会議前には感じていた。やはり、そういう意見が多いのであろう、feasibility study をきちんとやっているようであつた。

(神沢 博)

5. おわりに

我々組織委員を勤めた者にとってはありがたいことに、プログラム原案で候補に挙げたほとんどの方々が参加していただき、元々の意図どおり会議を進めることができた。当初参加予定だった GOMOS の PI の Bertaux (CNRS) は急用ができて会議寸前に来られなくなったが、ちゃんとした代役を派遣してくれた。

米欧の研究者が日本の衛星プロジェクト、また、ILAS に関心を持っていることを示しており、ILAS の一端に係わっている者として、仕事のやりがいを感じた。会議の実施が決まり、最初の企画運営委員会が開かれたのが昨年(1993年)の8月であり、実施までの期間が3か月強と短く、確定プログラムが出来上がったのが開催寸前であつたこともあり、主催者として参加して欲しい少数の方々、我々環境研の衛星観測チームの持っているメイリングリストの方々に通知したのみで、広く会の開催を知らせることができなかったが、この分野の日本の研究者のほとんどの方々が集まってくださり盛会となつた。座長を勤めてくださった小川利紘(東大理)、中根英昭(環境研)、塩谷雅人(京大理)各氏を初め、多くの方々が議論に参加して下さつた。

この会を契機として、研究協力の道が開いた。例えば、ATMOS の PI の Gunson 氏より、きたる3月初旬に行われる ATMOS の Science Team Meeting に、互いの研究協力を深めるためにオブザーバーとして参加しても良いとの誘いの電子メールが我々のグループの笹野泰弘氏宛に届き、横田氏が参加することになつたし、Connor 氏の話の中で紹介され、1993年に打ち上がったばかりの POAM (Polar Ozone and Aerosol Measurement) の検証に責任を持っている Chasfière 氏より、私(神沢)に対し、昭和基地のオゾンゾンデのデータを検証に使いたいとの相談があり、交流が始まつた。私の知らないところでも様々な研究交流の進展があつたことであらう。

なお、2つのセッション全体の設営面について尽力された増子治信(通総研)、村上恭司(宇宙開発事業団)、横田各氏の働きがなかったならば、このオゾンセッションの成功はありえなかつた。

ここで述べたオゾン層観測センサーのワークショップのプロシーディングスが、1993年度中に発刊の予定です。入手を御希望の方は、神沢、横田氏、あるいは笹野泰弘氏宛に御連絡ください。

(神沢 博)