

国立環境研究所報告 第148号

R-148-'99/NIES

ISSN 1341-3643

「地球規模大気環境の衛星観測の将来のあり方について」
報告

笹野泰弘・秋元 肇 編

平成11年6月

環境庁国立環境研究所

「地球規模大気環境の衛星観測の将来のあり方について」
報告

笹野泰弘¹・秋元 肇² 編

¹大気圏環境部・²客員研究員（東京大学先端科学技術研究センター）

平成11年6月

環境庁国立環境研究所

まえがき

地球規模の大気環境の監視・観測を進める当たって、人工衛星を利用した遠隔計測技術の果たす役割が大きいことは、これまでの衛星観測の実績をひとつひとつ取り挙げるまでもなく、明らかなことである。しかしながら、将来、より有効な衛星観測事業を推進していく上で、これまでのどちらかというところ機器開発中心の発想から、応用重視（サイエンス重視）へと、依って立つ立場を転換していくことが今、求められていると思われる。しかしながら、応用重視とは言いながら、具体的にどのような大気環境の監視・観測が求められているのかという点では、データ利用者側でこれまで必ずしも十分な議論がなされてきたとは言い難い面がある。そのことが、逆に、機器開発中心の環境を作ってきたとも言える。

そこで、当研究所地球環境研究グループ衛星観測研究チームでは、平成10年度に（株）CRC 総合研究所に事務局を委託し、「地球規模大気環境の衛星観測の将来のあり方について」検討委員会（委員長：東京大学先端技術研究センター秋元肇教授、メンバー：青木周司、今須良一、神沢博、北和之、塩谷雅人、中根英昭、沼口敦、畠山史郎）を組織し、同委員会による検討を行った。

同委員会では、「衛星による大気環境観測に何を期待するか」という観点から、大気環境問題の重要なプロセスと、その解明に必要とされる衛星観測に求める観測性能を議論した。オゾン層破壊を中心とする成層圏大気化学環境の問題、地球温暖化に直結する対流圏化学環境の問題、さらに酸性雨・広域大気汚染の問題を取り上げた。

プロセスとしては化学過程、物質輸送・大気循環、放射収支影響が、領域としては成層圏、成層圏・対流圏境界領域、対流圏が、区別され得る。したがって、これらのマトリックスとして、研究対象を定義することが出来る。当然、これらの間の相互作用は存在し、場合によってはこれらを明確に区別することに意味がない場合もあり得ることから、あまり厳密な区分は意味がないと考えている。委員会では、次の内容について整理した。

- ・成層圏のオゾン変動、成層圏化学、放射収支影響物質
- ・成層圏及び成層圏・対流圏間の輸送過程
- ・下部成層圏・上部対流圏化学
- ・圏界面・対流圏の放射収支過程
- ・対流圏オゾン変動
- ・対流圏化学／対流圏大気質

委員会ではさらに、それぞれの研究対象に対して、衛星観測に要求される諸条件（精度、時間分解能、水平分解能、鉛直分解能）を議論した。この際、文献を詳細にサーチするというやり方ではなく、委員会メンバーそれぞれの知識と経験に基づいて、むしろ直感的に議論を進めるという方法を採用した。

これらの議論に基づき、問題別に観測項目を大括りにして、次に示すいくつかの衛星観測ミッションを提案した。

- ・ 上部対流圏－成層圏モニタリングミッション
- ・ 上部対流圏－成層圏プロセス解明ミッション
- ・ 温室効果ガス動態把握ミッション
- ・ 雲・エアロゾルモニタリングミッション
- ・ 広域大気汚染観測ミッション

さらに、長期的な観点に立った時、衛星観測プロジェクトを推進していく上で必要なこととして、

- ・ 長期的な視点に立った先導的研究の充実、
- ・ プロジェクトに係る研究体制、管理体制の構築、
- ・ 衛星観測データ利用研究の組織化

の必要性が強調された。

委員会での議論の基礎資料とするために、委員会での議論と同様の趣旨でのアンケート調査を行った。アンケート用紙は我が国の代表的な大気化学研究者を中心に送付し、合計12名の方々からご回答を頂いた。参考として本書の付録（付録1）として、これを取りまとめて記載した。

また委員会での討議の際の参考とするため、委員会事務局にお願いして、過去及び現在計画されている主要な地球大気環境観測用の衛星センサーについて、要点を取りまとめた一覧表を作成した。これらの資料は本書の読者にとっても有用と思われるので、本書の付録として付けた（付録2）。本報告書で略号で記述されている衛星センサー名の多くは、付録2にその概要がフルネームとともに記載されている。

本書は、「地球規模大気環境の衛星観測の将来のあり方について」検討委員会での検討結果報告書を基に、編者らがまとめ直したものである。委員会において活発な議論をして頂いた各委員に謝意を表す。また、一部の委員には、検討結果報告書用に原稿執筆をお願いした。併せて感謝する。しかし、本書の内容に誤りがあるとすれば、編者らの責任である。

本書が、これからの衛星利用の大気環境監視・観測の計画作りの一助になることを願い、国立環境研究所の刊行物として出版し、広く関係者の皆様にお届けする。どうか忌憚のないご意見、ご批判を賜りますようお願いする次第である。

笹野泰弘・秋元 肇

目次

まえがき	i
1. はじめに	1
2. 3つの地球大気環境問題	1
2. 1 オゾン層／成層圏大気変動問題	
2. 2 地球温暖化／気候変動問題	
2. 3 酸性雨・オキシダント・大気汚染	
3. 大気環境の衛星観測に何を求めるか	3
3. 1 衛星観測の特徴	
3. 2 大気化学プロセスと衛星観測	
1) 成層圏オゾン変動、成層圏化学、放射収支影響	
2) 成層圏及び成層圏・対流圏間の輸送過程	
3) 下部成層圏・上部対流圏化学	
4) 圏界面・対流圏の放射収支過程	
5) 対流圏オゾン変動	
6) 対流圏化学／対流圏大気質	
4. 衛星観測の実際	11
4. 1 これまでに運用された衛星搭載大気観測センサー	
4. 2 計画中の衛星搭載大気観測センサー	
5. 将来の衛星観測ミッション提案	13
1) 上部対流圏－成層圏モニタリング	
2) 上部対流圏－成層圏プロセス解明	
3) 温室効果ガス動態把握	
4) 雲、エアロゾルのモニタリング	
5) 広域大気汚染観測	
6. 衛星観測プロジェクトの推進に向けて	15
6. 1 長期的視点に立った先導的研究の充実	
6. 2 プロジェクトに係る研究体制、プロジェクト管理体制の構築	
6. 3 衛星観測データ利用研究の組織化	
6. 4 検証実験・解析	
7. おわりに	17
[参考文献]	
付録1 アンケートについて	19
付録2 過去および現在計画されている主要な地球大気観測衛星搭載センサー一覧	25

1. はじめに

地球温暖化、オゾン層破壊、酸性雨等の地球環境問題に適切に対処していくためには、問題の実態把握と発生機構の解明に係る観測を全球規模で行い、地球システムの科学的な知見を深め、将来予測に基づく対策効果の評価にまで結びつけていくことが重要である。特に地球規模の大気環境に係る問題に関しては、地上からの観測ネットワーク、航空機観測が、これらの目的のための詳細なデータ取得にとって不可欠のものであるが、一方で、全球をカバー出来る衛星観測なしで、地球システムの監視・研究を進めることは不可能である。このため、これまでも欧米を中心に、初期の技術開発段階から最近の総合的な観測プログラムに至るまで、多くの衛星観測事業が進められてきた。また、今後も種々の衛星観測計画が進められようとしている。将来、より有効な衛星観測事業を推進していく上で、これまでのどちらかというところから機器開発中心から、応用重視（サイエンス重視）へと、依って立つ立場を転換していくことが今、求められていると思われる。

本報告は、「衛星による大気環境観測に何を期待するか」という観点から、大気環境問題の重要なプロセスと、その解明に必要とされる衛星観測に求める観測性能を議論する。本報告は、こういった衛星を利用した大気環境の監視・観測の将来の進め方を議論することを目的として、地球規模大気環境の問題の現状と、衛星利用が期待される観測について整理しようというものである。さらに、将来、推進すべき衛星利用観測の指針を提示したい。

2. 3つの地球大気環境問題

現在、問題となっている大規模な大気環境問題の現状と、それに関係する解明すべき重要なプロセスについて、簡単にレビューする。オゾン層／成層圏大気変動問題、地球温暖化／気候変動問題、および酸性雨・オキシダント・大気汚染の問題をとりあげる。図に、これらの諸問題と、これらに関係する、第3章で述べるところの重要な諸過程との関係、また第4章において提案することになる衛星観測ミッションとの関係を、ダイアグラムにして示した。

2. 1 オゾン層／成層圏大気変動問題

1985年、Farmanらによって、南極 Halley Bay 上空のオゾン量が、南極の春先に極端に減少している現象が報告された。その後、昭和基地でのドブソン計による観測や衛星搭載のオゾン全量観測分光計 (TOMS: Total Ozone Mapping Spectrometer) による観測結果によって、これが裏付けられ、いわゆる「オゾンホール」問題を世界に提示した。この問題は自然科学にとどまらず、政治、産業界を巻き込んだ動きとなり、政治の世界では1987年モントリオール議定書の締結、産業界ではそれに伴うフロンの使用制限などに結びついた。この結果、現在では対流圏中のフロン残留量の増加は頭打ちとなり、成層圏のオゾン破壊の状況も21世紀半ばにはほぼ正常な状態に回復すると予想されている。しかし、この予想に関しても、オゾン自体の減少や温室効果ガスの対流圏における増加にともなう成層圏気温の低下の可能性、メタンの増大に伴う成層圏水蒸気量の増加によって極成層圏雲 (PSC: Polar Stratospheric Clouds) の形成が促進される可能性などのために、

1. はじめに

地球温暖化、オゾン層破壊、酸性雨等の地球環境問題に適切に対処していくためには、問題の実態把握と発生機構の解明に係る観測を全球規模で行い、地球システムの科学的な知見を深め、将来予測に基づく対策効果の評価にまで結びつけていくことが重要である。特に地球規模の大気環境に係る問題に関しては、地上からの観測ネットワーク、航空機観測が、これらの目的のための詳細なデータ取得にとって不可欠のものであるが、一方で、全球をカバー出来る衛星観測なしで、地球システムの監視・研究を進めることは不可能である。このため、これまでも欧米を中心に、初期の技術開発段階から最近の総合的な観測プログラムに至るまで、多くの衛星観測事業が進められてきた。また、今後も種々の衛星観測計画が進められようとしている。将来、より有効な衛星観測事業を推進していく上で、これまでのどちらかというところから機器開発中心から、応用重視（サイエンス重視）へと、依って立つ立場を転換していくことが今、求められていると思われる。

本報告は、「衛星による大気環境観測に何を期待するか」という観点から、大気環境問題の重要なプロセスと、その解明に必要とされる衛星観測に求める観測性能を議論する。本報告は、こういった衛星を利用した大気環境の監視・観測の将来の進め方を議論することを目的として、地球規模大気環境の問題の現状と、衛星利用が期待される観測について整理しようというものである。さらに、将来、推進すべき衛星利用観測の指針を提示したい。

2. 3つの地球大気環境問題

現在、問題となっている大規模な大気環境問題の現状と、それに関係する解明すべき重要なプロセスについて、簡単にレビューする。オゾン層／成層圏大気変動問題、地球温暖化／気候変動問題、および酸性雨・オキシダント・大気汚染の問題をとりあげる。図に、これらの諸問題と、これらに関係する、第3章で述べるところの重要な諸過程との関係、また第4章において提案することになる衛星観測ミッションとの関係を、ダイアグラムにして示した。

2. 1 オゾン層／成層圏大気変動問題

1985年、Farmanらによって、南極 Halley Bay 上空のオゾン量が、南極の春先に極端に減少している現象が報告された。その後、昭和基地でのドブソン計による観測や衛星搭載のオゾン全量観測分光計 (TOMS: Total Ozone Mapping Spectrometer) による観測結果によって、これが裏付けられ、いわゆる「オゾンホール」問題を世界に提示した。この問題は自然科学にとどまらず、政治、産業界を巻き込んだ動きとなり、政治の世界では1987年モントリオール議定書の締結、産業界ではそれに伴うフロン使用制限などに結びついた。この結果、現在では対流圏中のフロン残留量の増加は頭打ちとなり、成層圏のオゾン破壊の状況も21世紀半ばにはほぼ正常な状態に回復すると予想されている。しかし、この予想に関しても、オゾン自体の減少や温室効果ガスの対流圏における増加にともなう成層圏気温の低下の可能性、メタンの増大に伴う成層圏水蒸気量の増加によって極成層圏雲 (PSC: Polar Stratospheric Clouds) の形成が促進される可能性などのために、

正確な見積もりが困難であると考えられている。また、最近では北半球でのオゾン破壊が予想に反して進行し、注目を集めている。

オゾン層破壊問題や、火山噴火に伴う成層圏エアロゾルの増加による影響の評価などを契機として、成層圏に関する研究は近年、大きく前進した。しかしながら、オゾン問題、あるいは成層圏全般に関して、一層の研究を必要とする対象が多く残されている。例えば、オゾン濃度の減少が及ぼす放射収支の変動に伴う大気大循環への影響の評価がその一つである。また、水蒸気の変動が気候変動に及ぼす影響が重要であるとともに、水蒸気の増加は PSC 発生量の増加に直接結びつくため、オゾン破壊の問題として、その変動傾向の把握と PSC 生成との関連の解明が必要とされている。

PSC はオゾンホール形成に不可欠な不均一反応の場を提供しているものとして、PSC の種類、成分、形態等を、実際の大気環境条件との関係で明らかにすることが重要である。また、成層圏硫酸エアロゾルは、極域に限らず中低緯度においても不均一反応の場を提供し、オゾンの破壊に寄与すると考えられている。さらに、成層圏エアロゾルは直接、放射収支に影響するため気候変動の一要因としても、その分布変動の実態と放射影響の解明が必要である。

オゾン破壊問題は、第一義的には化学の問題ではあるが、化学変化の場を与える大気循環の理解は不可欠である。とりわけ、オゾンホールの生成・維持に大きな役割を果たす極渦の消長、成層圏の低温化の進行と大循環場の変質に関する理解など、力学場の研究を成層圏化学との関連で推し進めることが重要である。

2. 2 地球温暖化／気候変動問題

地球温暖化問題とは、人間活動の増大にともなって二酸化炭素やメタン、一酸化二窒素、フロン等の、いわゆる温室効果ガスの大気中濃度が増加し、地球全体の放射収支が変化して、全球的に地表付近の気温が上昇する現象に起因する諸問題を指している。最も主要な温室効果ガスである二酸化炭素の濃度は、ハワイおよび南極で連続的に観測されており、年々の増加が報告されている。メタンや一酸化二窒素についても、現在では各地でサンプリングによる分析等が行われており、1980 年前後から、一時的に増加が鈍った時期があるものの、大きくは増加傾向を示している。近年では、これらの主要な長寿命温室効果ガスに加えて、対流圏オゾンやエアロゾルなどの短寿命大気成分の増大による影響も懸念されている。これらに関しては、その分布や動向に不明な点が多い。水蒸気は最大の温室効果ガスであるので、他の要因によるフィードバック効果で水蒸気量がどのように変化するかを知ることが重要な問題となっている。また、これらの温室効果ガスに関して、全球的なソース／シンクの分布の把握が緊急の課題である。

エアロゾルは、地球温暖化を抑える効果があると考えられている。その作用の半分は、エアロゾル自身によるアルベド（地球全体としての反射率）の増大の直接効果である。残りの半分は、エアロゾルの増大による雲の増加（アルベドの増加）の間接効果である。すなわち、エアロゾルの増加により雲核が増え、それに伴い雲粒が増加し、水蒸気量が変化しない環境では雲の粒子が小さくなるため、結果的に雲の総表面積が増加してアルベドが増大すると考えられている。エアロゾル、特にその光学的厚さの分布、エアロゾルと雲の

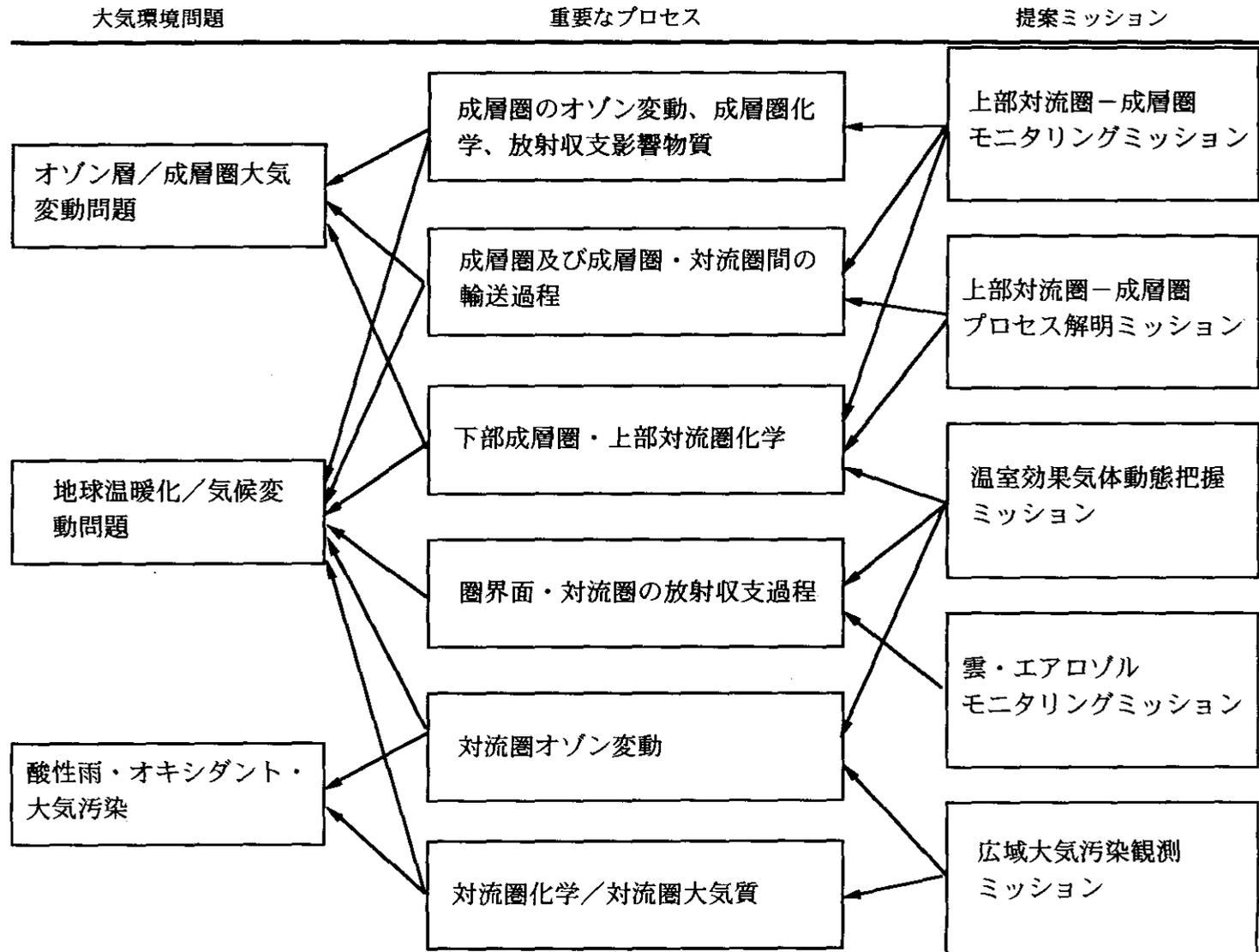


図 大気環境問題とその重要なプロセス、衛星観測ミッションの位置づけ

相互作用等もまた、解明を進めるべき課題である。

2. 3 酸性雨・オキシダント・大気汚染

対流圏大気は、生物圏との相互作用の場であり、人間活動の影響が直接現れる場でもある。対流圏大気の汚染には、人間が放出した硫黄酸化物や窒素酸化物、さらには炭化水素を主要構成要素とする有機化合物の放出による一次的な大気汚染と、これらが太陽光のエネルギーを吸収して反応するいわゆる光化学反応によって、より毒性の高い汚染物質が生成することになる二次的な大気汚染とがある。後者の汚染物質の一部は、特にその酸化能力の高さからオキシダントと呼ばれる。この中にはオゾンや過酸化水素、PAN (Peroxyacetyl nitrate) などが含まれる。また、硫黄酸化物や窒素酸化物はそれぞれ大気中で酸化されて、硫酸や硝酸などの酸性物質が生じる。これらが雨に溶けて地上に落下すると酸性雨と呼ばれる。

オキシダントを主要成分とする光化学スモッグと、酸性物質を主要成分とする酸性雨とは、人間が放出した硫黄酸化物・窒素酸化物・炭化水素等と、それらの光化学反応によって対流圏内に生じた化合物が引き起こす大気環境問題という点では、全く同質の現象である。そのため、これらをまとめて、広く対流圏大気の酸性・酸化性の増大を中心とした大気汚染問題であると規定することが適当と考えられる。

対流圏の大気は直接に、動植物や土壌、湖沼・河川・海洋に接しており、人間もその例外ではない。従って、対流圏内に生じた大気汚染物質は直接に、動植物を含む生態系や人間に影響を及ぼしている。特に酸性物質や酸化性大気汚染物質は生命に対して毒性が高いので、その引き起こす環境問題は深刻である。これらの問題は、従来、地域的な環境問題として捉えられてきたが、酸性雨のように国境を越えた大陸規模の問題となったり、対流圏オゾンのように、地球温暖化問題の一要素となって、更に地球規模の問題としてもクローズアップされてきている。また硫酸ミストなどと呼ばれて、やはりローカルなスモッグ現象のひとつであった硫酸エアロゾルも、よりグローバルな観点から、地球温暖化に負の効果を与えるものとしてその実態の把握が求められている。

対流圏大気の問題に関連する化合物は上記のような硫黄酸化物、窒素酸化物、炭化水素類と、その光化学反応生成物であり、いずれも大気中での寿命が短いものが多い。従って、その分布も局地性が高いため、環境への影響を議論するためには、濃度分布の測定に高い空間分解能を要求されることが多い。

3. 大気環境の衛星観測に何を求めるか

3. 1 衛星観測の特徴

大気環境変動の理解のための、人工衛星を利用した大気微量成分観測によって、初めて可能になることは何か。第一は、広域の3次元にわたる均質な観測が可能になるということである。特に、対流圏上部から成層圏にかけての高層大気の広域3次元観測は、衛星観測において他に現実的な方法はない。また、人工衛星による地球観測は、高頻度の測定を行えるという特徴を有する。特に、従来から多く行われている地上からの観測では、観測地点が限られる、地上付近の気象条件に左右されて高頻度での観測が困難、といった制約

相互作用等もまた、解明を進めるべき課題である。

2. 3 酸性雨・オキシダント・大気汚染

対流圏大気は、生物圏との相互作用の場であり、人間活動の影響が直接現れる場でもある。対流圏大気の汚染には、人間が放出した硫黄酸化物や窒素酸化物、さらには炭化水素を主要構成要素とする有機化合物の放出による一次的な大気汚染と、これらが太陽光のエネルギーを吸収して反応するいわゆる光化学反応によって、より毒性の高い汚染物質が生成することになる二次的な大気汚染とがある。後者の汚染物質の一部は、特にその酸化能力の高さからオキシダントと呼ばれる。この中にはオゾンや過酸化水素、PAN (Peroxyacetyl nitrate) などが含まれる。また、硫黄酸化物や窒素酸化物はそれぞれ大気中で酸化されて、硫酸や硝酸などの酸性物質が生じる。これらが雨に溶けて地上に落下すると酸性雨と呼ばれる。

オキシダントを主要成分とする光化学スモッグと、酸性物質を主要成分とする酸性雨とは、人間が放出した硫黄酸化物・窒素酸化物・炭化水素等と、それらの光化学反応によって対流圏内に生じた化合物が引き起こす大気環境問題という点では、全く同質の現象である。そのため、これらをまとめて、広く対流圏大気の酸性・酸化性の増大を中心とした大気汚染問題であると規定することが適当と考えられる。

対流圏の大気は直接に、動植物や土壌、湖沼・河川・海洋に接しており、人間もその例外ではない。従って、対流圏内に生じた大気汚染物質は直接に、動植物を含む生態系や人間に影響を及ぼしている。特に酸性物質や酸化性大気汚染物質は生命に対して毒性が高いので、その引き起こす環境問題は深刻である。これらの問題は、従来、地域的な環境問題として捉えられてきたが、酸性雨のように国境を越えた大陸規模の問題となったり、対流圏オゾンのように、地球温暖化問題の一要素となって、更に地球規模の問題としてもクローズアップされてきている。また硫酸ミストなどと呼ばれて、やはりローカルなスモッグ現象のひとつであった硫酸エアロゾルも、よりグローバルな観点から、地球温暖化に負の効果を与えるものとしてその実態の把握が求められている。

対流圏大気の問題に関連する化合物は上記のような硫黄酸化物、窒素酸化物、炭化水素類と、その光化学反応生成物であり、いずれも大気中での寿命が短いものが多い。従って、その分布も局地性が高いため、環境への影響を議論するためには、濃度分布の測定に高い空間分解能を要求されることが多い。

3. 大気環境の衛星観測に何を求めるか

3. 1 衛星観測の特徴

大気環境変動の理解のための、人工衛星を利用した大気微量成分観測によって、初めて可能になることは何か。第一は、広域の3次元にわたる均質な観測が可能になるということである。特に、対流圏上部から成層圏にかけての高層大気の広域3次元観測は、衛星観測において他に現実的な方法はない。また、人工衛星による地球観測は、高頻度の測定を行えるという特徴を有する。特に、従来から多く行われている地上からの観測では、観測地点が限られる、地上付近の気象条件に左右されて高頻度での観測が困難、といった制約

があるのに対して、海の上でも大陸内部の遠隔地でも、場所に係わりなく、質的に均一な観測を、高頻度で行うことが可能である。さらに、多くの大気微量成分を同時に測定することも可能である。

衛星観測では出来ないこと、困難なこととは何か。衛星観測では、必然的に遠隔計測に依ることになる。このことは、一般的に言って、地上観測等に比べると高精度の測定が困難なことを意味する。測定原理にも依存するが、現状の技術では対流圏内の測定で、1km以下といった高い高度分解能を持たせることは難しい。高い水平分解能（100 km以下）を持たせることも、困難であり、単一センサーのみで細かい3次元構造を捉えることは容易ではない。また、マイクロ波放射の測定を別にして、光学的な遠隔計測に基づく限り、雲頂より下層の測定は出来ない。

その他に衛星観測においては、次のような制約がある。一般に衛星は、独自の軌道傾斜角（赤道上空通過時に衛星軌道と赤道がなす角度）を持つ地球周回軌道に投入される。軌道によって、また観測原理によって、観測緯度範囲や観測の時刻（地方時）が限定される。例えば、太陽同期の極軌道衛星に搭載された、太陽を光源とする太陽掩蔽法センサーの場合、観測範囲は南北両半球の高緯度に限定される。一方、太陽同期衛星に搭載された鉛直直下だけを測定するセンサーの場合には、観測地方時が固定される。あるいは、軌道傾斜角の小さい太陽非同期衛星の場合、観測地方時は毎日少しずつ変化し、数十日の間に24時の変化をもたらす。

衛星利用の大気環境（大気微量成分）の観測にはこのような種々の困難や制約があるのは確かであるが、広域3次元分布観測、高頻度観測、多成分同時観測といった、衛星観測の持つ、他の地上観測にはない圧倒的な優位性は、その計画を支持する根拠となっている。

3. 2 大気化学プロセスと衛星観測

第2章では、現在問題になっている大気環境問題として、3つのテーマを取り上げ、問題の現状と解明すべきプロセスについて概観した。この節では、少し詳しくこれらの問題の解決に向けて、どのようなプロセスを解明することが必要であるかの観点から、有効な衛星観測への要求を検討する。

1) 成層圏オゾン変動、成層圏化学、放射収支影響

成層圏オゾン変動を理解するために必要なことからは、成層圏大気科学全般を含む広範なものとなる。2. 1節では、この問題に関連して今後研究を進めるべき事象として、成層圏での水蒸気増加、オゾン層変動によって引き起こされる気候変動、エアロゾル・PSCの分布、および成層圏の大循環を挙げた。オゾン、気温、水蒸気およびエアロゾルについては全球の観測が必要であり、PSCの観測は当然ながら極域に重点を置く。観測に要求される精度、時間分解能、水平空間分解能、高度分解能を表1に示した。

衛星の電源や重量等の制限から、要求の実現が難しい場合は、オゾン、水蒸気、気温について水平分解能を1000km程度、時間分解能をオゾン、水蒸気は1月、気温については1日程度としても、モニタリングとしては十分に意味があると考えられる。なお、ここで表に挙げた要求数値は、あくまでもオーダーを表すと考えるべきであることは言うまでもない（以下でも同様である）。

表1 成層圏のオゾン変動、成層圏化学に関する衛星観測要求

測定対象	要求精度	時間分解能	水平分解能	高度分解能
オゾン	3%	1日(1月)	100(1000) km	1 km
気温	1K	半日(1日)	100(1000) km	1 km
水蒸気	10%	1日~1月	100(1000) km	1 km
エアロゾル	10%	1日~1月	100 km	1 km
PSC	10%	1日	10 km	1 km
CH ₄	10%	1日	1000 km	1 km
N ₂ O	10%	1日	1000 km	1 km
Cl系ラジカル	10%	半日(1月)	100 km	1 km
OHラジカル	10%	半日(1月)	100 km	1 km
リザーブ	10%	1日(1月)	1000 km	1 km

()内は、モニタリングとして許容される範囲

成層圏化学プロセスはオゾン層問題に直接的に深く関わっており、これまでも衛星観測の主要なテーマの一つとして研究され、ある程度解明も進んでいる。今後の一つの方向性として、「モデルと戦略的に組み合わせることを前提にした衛星観測」が重要になると考えられる。このための観測には、2つの方向性が考えられる。一つは、モデルの初期値(あるいはデータ同化に利用する値)として重要な物質の全球分布を提供することで、モデルの精度を向上させる観測である。もう一つは、モデルの結果を検証し、その結果をモデル開発にフィードバックすることによって、モデルの改良発展をうながす観測である。

初期条件として必要な観測は、トレーサー(ソースガス)のグローバル分布で、空間分解能はそれほど必要ないが、時間分解能の良いものである。ラジカルは特に初期値として与えなくても、モデル計算の結果として生成される。この事から逆に、モデル検証用に必要なものはラジカルの分布であり、多成分の同時観測で、精度、鉛直・空間分解能とも十分に高い値が要求される。ただし、検証用であるから、領域としては限られた代表的な領域だけでもよい。以上のことを踏まえた観測要求として表1が作成されている。

ソース、ラジカルの中間的な形態として、成層圏化学に重要な役割を果たし、モデルにとっても不可欠なものに、ClONO₂などのいわゆる貯留成分(リザーブ)が挙げられる。これについては、ソースガスと同様な観測が求められるが、観測が難しいものについては、時間分解能が1月程度であっても有効なデータとなり得る。

対流圏内のいわゆる温室効果ガスの増加は地球温暖化をもたらすが、成層圏においては逆に冷却をもたらす。また、成層圏における主要な熱源であるオゾンの変動は、成層圏の温度分布に変化をもたらす、気候変動のきっかけとなる可能性が指摘されている。これらのことから、成層圏における放射収支影響物質の挙動は、気候変動問題にとって重要であると考えられる。

この項目に関して測定すべき対象として、二酸化炭素、オゾン、水蒸気、メタン、二酸

化窒素、CFC や HFC 等、エアロゾル、PSC、気温が挙げられる。これらの、全球にわたっての、精度の良い長期間のデータが必要である。放射収支を考える場合には高度方向の変化が特に重要であり、水平分解能は少々劣っても、高い鉛直分解能は維持しなければならない。これらの点から、観測要求を表2にまとめた。なお、エアロゾルおよび PSC については、単に光学的厚さ観測にとどまらず、 $0.01\mu\text{m}$ 未満、 $0.01\sim 0.1\mu\text{m}$ 、 $0.1\sim 1\mu\text{m}$ 、 $1\mu\text{m}$ 以上の少なくとも4段階での数密度（粒径分布）の観測が求められている。また、メタンと水蒸気の同時観測が望まれる。

表2 成層圏の放射収支影響物質に関する衛星観測要求

測定対象	要求精度	時間分解能	水平分解能	高度分解能
気温	0.5～1 K	半日～1日	100 km	1 km
各種気体	1～数%	半日～1日	100 km	1 km
エアロゾル/PSC	1%	半日～1日	100 km	1 km
	光学的厚さ0.01	半日～1日	100 km	1 km

（モニタリングとしては、3～10日でも可）

2) 成層圏及び成層圏・対流圏間の輸送過程

オゾン層問題の解明に関しては、化学反応プロセスだけでなく、成層圏内での輸送過程の正確な把握が要求される。これに必要な観測として、これまでもトレーサーとして利用されてきたメタンや一酸化二窒素に加えて、二酸化炭素および SF_6 等の観測が望まれる。二酸化炭素に関しては1ppm程度の精度が要求されるかも知れない。空間分解能に関しては、モデルとの比較あるいはモデルの検証への適用を考えた場合、グローバルモデルが100km以下を実現しようとしていることを考えれば、将来的には同程度以下が要求される。この考え方は、ある意味でTOMSなどのイメージングの考え方に近い。

成層圏・対流圏間の輸送は、成層圏オゾン層問題に関して、フロン等の成層圏への輸送、PSC生成の要因となる水蒸気の輸送および凝結による除去、成層圏の水蒸気の主要なソースとなるメタンの輸送等の観点から重要である。加えて、気候変動や対流圏大気質の問題に関しても重要な役割を果たす。温室効果ガスの対流圏から成層圏への輸送、逆に、オゾン、硝酸等の対流圏への輸送という直接的な効果のほか、成層圏の大気が流入することによる対流圏での反応系の変化、そこから派生する大気酸化能の変化の原因として重要である。

これらの輸送過程を解明するための観測対象として、オゾンや、一酸化炭素、一酸化二窒素等々の各種トレーサー、気温、水蒸等が挙げられる。これらに関して、全球にわたる観測が必要である。この中で、水蒸気に関しては、特に熱帯域での観測が重要である。精度に関しては、概念的には平均場の鉛直分布で高度差1km分に相当する量よりも良いことが条件である。オゾン、気温、水蒸気に関しては、具体的な値としてそれぞれ表3のような観測要求がある。

表3 成層圏及び成層圏・対流圏間の輸送過程に関する衛星観測要求

測定対象	要求精度	時間分解能	水平分解能	高度分解能
オゾン	0.1 ppm	数日	100 km	100~500 m
気温	2 K	数日	100 km	100~500 m
水蒸気	0.1 ppm	1~2日	100 km	100~500 m

3) 下部成層圏・上部対流圏化学

下部成層圏・上部対流圏と呼ばれる領域は、大気力学場の状況により成層圏オゾン層の下縁と対流圏上部のどちらにも入り得る領域であり、そこでの化学過程は成層圏オゾンにも酸性雨/対流圏大気質変動に関しても重要である。前者に関して特記すべき問題は、巻雲(Cirrus)粒子上での不均一反応によるオゾン消失過程の存在であり、特に中・低緯度域でオゾン減少に重要な役割を果たしている可能性がある。後者においては、この領域では中・下部対流圏に比べ窒素酸化物の寿命が長いため、それを前駆体とするオゾン生成がより効果的に生じるので、航空機排気ガス等の NO_x 放出源が対流圏オゾンを増大させている可能性や、地表から放出される炭化水素が変化して生じるアセトンやホルムアルデヒド等が増加することによる HO_x ラジカルの生成増大の可能性があげられる。中・下部対流圏に比べ比較的発生源から離れたところにも影響が及ぶので、広域的な大気の酸性化など大気質の変化や放射場にも影響を与えうる。

成層圏-対流圏物質交換との関連も考慮し、オゾンの収支を総合的に把握するためにこの領域で詳細に観測すべき物質としては、オゾンとその前駆物質、オゾン破壊に関連して硫酸エアロゾルや氷粒子(cirrus)などが挙げられる。オゾン前駆物質として衛星から観測できる可能性が高いものは、現時点では一酸化炭素くらいであるが、一酸化窒素など NO_x や、エタンなど炭化水素も将来的に可能にするような技術開発が望まれる。その他、硝酸、PAN、アセトン、ホルムアルデヒド、 HO_x などのラジカル等の測定は、困難が予想されるが将来に向けて検討に値する。

この領域では、分布は緯度、経度方向に不均一でそれが輸送により変動するので、観測項目すべてに対し、出来れば、時間分解能としては1日程度の全球的な分布図、少なくとも毎日の緯度経度方向に数千 km 程度連続した面的な広がりを持つデータが望まれる。観測要求は表4にまとめられている。この領域では、衛星観測ですべての必要な量の観測値を提供することは困難と考えられ、プロセス研究においては、航空機等による直接観測やモデルと組み合わせることが必須条件である。

4) 圏界面・対流圏の放射収支過程

圏界面付近、および対流圏の放射過程に重要な影響を与えるものとして、雲、エアロゾル、および各種の微量気体成分が挙げられる。以下、この3項目において、解明すべきプロセスと衛星に対する観測要求をまとめる(表5)。

表4 下部成層圏・上部対流圏化学に関する衛星観測要求

測定対象	要求精度	時間分解能	水平分解能	高度分解能
オゾン	2~10 ppb	1日	100 km	1 km
CO	2~10 ppb	1日	100 km	1 km
エタン	50~100 ppt	1日	100 km	1 km
アセトン	10~100 ppt	1日	100 km	1 km
硝酸	20~100 ppt	1日	100 km	1 km
PAN	10~50 ppt	1日	100 km	1 km
NO、NO ₂ 他	<10~50 ppt	1日	100 km	1 km
エアロゾル	10%	1日	100 km	1 km

表5 圏界面・対流圏の放射収支過程に関する衛星観測要求

測定対象	要求精度	時間分解能	水平分解能	高度分解能
雲	1%、0.1 (光学的厚さ)	1/4~半日	100 km	1 km
雲量	数%	1/4~半日	100 km	1 km
雲凝結核	10%	1/4~半日	100 km	1 km
CO ₂	1 ppm	10日	100 km	3 km
CH ₄	0.01~0.1 ppm	10日	100 km	3 km
N ₂ O	0.001~0.05 ppm	10日	100 km	3 km
O ₃	0.02 ppm	10日	100 km	3 km
水蒸気	100 ppm (地表付近)	10日	100 km	3 km
	0.1 ppm (圏界面付近)	10日	100 km	3 km
エアロゾル	0.1 (オンゲストロム係数)	10日	100 km	3 km

雲が放射過程に非常に大きな影響を与えることは明らかであり、対流圏から圏界面付近にかけて広範な観測が望まれる。中でも、圏界面付近に形成される雲が熱帯域で放射に与える影響は、地球規模の放射収支から見て特に大きく、地球温暖化の問題と関連して常に監視が必要である。また、オゾン層の問題に関しても、圏界面付近の気温が決定的に重要なファクターであるため、この高度領域の気温の測定/予測精度を上げることが必要であることとの関連においても重要である。雲を中心とする圏界面付近の放射過程は、モデルへの組み込みもこれからという段階であり、広域に渡る観測データの提供が可能となれば、モデル開発に大きな寄与となる。

放射の観点から、雲を観測する場合には水平方向の広がり測定できる画像センサーが有効である。モデルの立場から、プロセスに立ち入って考えると、100m オーダーの鉛直分解能が必要と考えられる。この目的のためには飛行機の活用も検討されるべきであろう。さらに、圏界面付近の大きな東西の非一様性を捉えたいという要請がある。また、厚い雲

が少しあるのか、薄い雲が広がっているのかによって放射等に与える影響が大きく異なるため、これを分離できる観測は価値が高い。このためには、水平方向にも km オーダーの高い分解能が求められる。これらについては、圏界面付近のみでなく、対流圏内部についても同様である。

対流圏の放射、ひいては気温決定に重要な影響を与える大気成分としては、二酸化炭素、メタン、一酸化二窒素、水蒸気、オゾン等のいわゆる温室効果ガスが挙げられる。これら温室効果ガスの観測では、発生源の分布を把握するため地表付近に限定した濃度分布の観測、すなわち境界層と自由大気を分離した観測が望まれる。自由大気の内部でも、ある程度の高度分布を把握したいことと併せて、地上から 2~3km、2~3km から 7~8 km、7~8 km 以上の 3 層程度に分割した観測が望ましい。放射のモニタリングという側面を考慮すれば、観測期間は、少なくとも数年以上が必要であり、10 年程度の継続が要請される。

5) 対流圏オゾン変動

対流圏オゾンは、オゾン光解離から生成する OH ラジカルとともに大気中での酸化など光化学プロセスに中心的役割を果たすことから酸性雨に大きな影響を与えると考えられている。対流圏オゾンは短寿命の温室効果ガスとしての重要性も指摘されている。また、オキシダントの最も重要な構成物質として直接生態系に悪影響を与える。対流圏でのオゾン量は、窒素酸化物(NO_x)、一酸化炭素、炭化水素類などのオゾン前駆物質を中心とする化学反応プロセスのほか、tropopause folding など成層圏からの輸送プロセスや地表面での消失プロセスによっても大きく影響を受ける。従って、対流圏オゾン変動を理解するためには、当然オゾンだけではなくオゾン前駆物質などを含めた対流圏化学の包括的な観測が求められる。とは言え、以下のような理由から、オゾンだけでも全球的な分布が人工衛星から観測可能であれば、対流圏オゾンの環境への影響の理解に多大な進展が得られると考えられる。

対流圏では、地表のオゾン前駆気体等の発生源や消失源と近接している。そのため、オゾン等の物質分布は、多様で地理的・時間的変異が大きい発生源・消失源の影響を大きく受け、時間的・空間的な変動が大きいという特質がある。従って、従来の地上観測局やオゾンゾンデ（気球）による局所的な対流圏オゾン観測値が十分な代表性を持たず、広域的なオゾン分布が正確にはわからないことが問題となっている。そのため、例えば IPCC（気候変動に関する政府間パネル）報告書でも、対流圏オゾンの温室効果への影響は重要であると推定されてはいるものの、現時点で正確な評価が困難であるとされている。

温室効果への対流圏オゾンの寄与やオキシダントの生態系への影響など、ある時点での対流圏オゾンが環境に与える影響については、その時点での地域的・全球的オゾン分布がわかれば評価が可能となる。一方、将来予測のためには、対流圏オゾンの生成・消失プロセスを定量的に理解しなくてはならない。現在、そのために最も有効と考えられている航空機でのオゾン前駆気体等を含む多種成分同時測定をもってしても、一次元（線）的なデータセットしか得られないため、輸送プロセスの効果と化学プロセスの効果を分離して取り扱うことができず、プロセスの理解を進める上で障害となっている。したがって、オゾ

ンなど少数の物質であっても、面的な分布が航空機観測と同時に十分な分解能で得られれば、それぞれの理解を格段に進めることに貢献できる。対流圏オゾン変動に関する観測要求を表6に示す。

表6 対流圏オゾン変動に関する衛星観測要求

測定対象	要求精度	時間分解能	水平分解能	高度分解能
オゾン	5 ppb	1日	100 km	1 - 2 km
	(5 ~ 10%)	1日	250 km	4 km)

時間分解能に関して言えば、数日かけて全球データが取れるような測定頻度であっても有効と考えられる。その場合には衛星データを4次元同化していく化学輸送モデルの利用が不可欠である。

6) 対流圏化学/対流圏大気質

対流圏オゾンや大気汚染・酸性雨等の対流圏大気質の状況の現状把握・将来予測のためには、それらに関連する物質分布の包括的な把握と、その物質分布を決定する対流圏化学・輸送プロセスを理解することが必要である。またそれらの物質について、主に地表に存在する発生源の強度分布を理解することも不可欠である。観測が重要視される物質としては、以下のようなものがある。対流圏オゾン、オキシダントの前駆気体物質として、窒素酸化物 (NO、NO₂、硝酸、PAN)、一酸化炭素(CO)、エタン等の炭化水素類。対流圏化学全般に重要な OH 濃度予測のために、前駆体となるアセトン等。オゾン化学を中心に NO_x など前駆気体一般や、対流圏・成層圏でのオゾン破壊プロセスに関連して ClO 等のハロゲンラジカルやハロゲン化メチル。酸性雨関連では、硫酸・硝酸など酸性物質の他に、その前駆体となる SO₂、DMS、NO_x や緩衝・中和に働く NH₃ 等。SO₂、NO_x、CO はそれ自体、人体にも影響を及ぼす重要な大気汚染物質である。放射過程にとっても、また直接人体への影響の可能性もある等、大気質問題上も重要なエアロゾルについては、硫酸など硫黄関連エアロゾルを中心に、有機、鉍物などその組成別に測定することが望ましい。

このような物質について、衛星から全球的あるいは広域(地域)的な分布の観測が可能となれば、現時点ではまったく不足しているそれらの物質の濃度や発生源分布、また輸送とその間の化学変化過程などについて飛躍的に情報が増し、将来予測等にきわめて役に立つと考えられる。対流圏化学、大気質問題に関して衛星利用に対する要求は、今後とも増大していくものと考えられる。表7に關係する成分に対する観測要求をまとめた。

酸性雨関連については硫酸、硝酸、NO_x、SO₂、DMS についての測定が要求される。CO に関しては精度 10ppb 程度で、ある程度の高度分布までの測定が射程に入ってきたが、他の物質についてはまだ技術開発が必要である。しかし、対流圏オゾンの項でも述べたように、はじめは関連する物質の中で少数のものしか測定できなくとも、また分解能も、例えば積分量だけのように低くとも、衛星により広域的な測定ができれば飛躍的に理解が進

表7 対流圏化学/対流圏大気質に関する衛星観測要求

測定対象	要求精度	時間分解能	水平分解能	高度分解能
NO	10~20 ppt	1日	100~250 km	数 km
NO ₂	10~20 ppt	1日	100~250 km	数 km
CO	5~10 ppb	1日	100~250 km	数 km
エタン	50~100 ppt	1日	100~250 km	数 km
HNO ₃	50~100 ppt	1日	100~250 km	数 km
PAN	50~100 ppt	1日	100~250 km	数 km

むと思われる。対流圏では、航空機などによる直接測定が比較的容易であるため、すべてを人工衛星で行うよりも、それらを直接測定と組み合わせていくことが現実的な手段と考えられ、今後推進されていくであろう。また、自由対流圏での低濃度の測定は困難でも、発生源付近の高濃度であれば測定可能という場合があり、大気汚染関連物質や酸性雨原因物質の場合には、それだけでも十分観測する価値がある。表8に観測要求をまとめた。

表8 大気汚染関連物質・酸性雨原因物質に関する衛星観測要求

測定対象	要求精度	時間分解能	水平分解能	高度分解能
NO _x	数~20 ppb	1日	100 km	境界層内成分量
SO ₂	数~20 ppb	1日	100 km	境界層内成分量
CO	数~20 ppb	1日	100 km	境界層内成分量
エタン	数~10 ppb	1日	100 km	境界層内成分量
エアロゾル	10%	1日	100 km	<1 km

エアロゾルに関しては、ライダー観測であれば実現可能と考えられる。また、硫酸、有機、鉱物など組成・性質についての情報についても、いくつかのライダーを組み合わせることで測定可能になると考えられる。

4. 衛星観測の実際

4.1 これまでに運用された衛星搭載大気観測センサー

過去の衛星観測は主に成層圏を対象とするものが中心であり、気柱全量観測として対流圏の情報を含むものはあるものの、対流圏内の高度分布情報を引き出す観測はほとんど皆無であった。大気縁辺測定を行う一部のセンサーでは、地表面付近から測定を行っているものもあるが、実際に有効なデータが取得されるのは、ほぼ高度10km以上である。

過去の衛星による地球大気化学の観測は、主に米国によって行われてきた。これらの中で、大気化学の理解に大きな進展をもたらした最初の衛星は、1978年に打ち上げられ、一部のセンサーについては1993年まで運用されたNIMBUS-7である。NIMBUSシリー

ズは、1964 年から、主に新型センサーによる観測実験を目的として打ち上げられてきた。NIMBUS シリーズの最終機となった NIMBUS-7 は 6 種類のセンサーを搭載し、海洋から中間圏まで幅広い観測を行った。この中で、大気化学の側面から特に大きな成果を上げたセンサーとして、TOMS (Total Ozone Mapping Spectrometer) と LIMS (Limb Infrared Monitor of the Stratosphere)、SAM II (Stratospheric Aerosol Measurement II) を挙げる事が出来る。

TOMS は、全球のオゾン全量を 1978 年から 1993 年までの 15 年に渡る期間観測し、毎日一枚の全球オゾン全量分布図を提供しつづけ、南極オゾンホール発見と理解の促進に大きな役割を果たした。1993 年以降も、TOMS による観測は、Meteor-3, ADEOS, Earth Probe によって引き継がれ、大気化学分野における長期モニタリングのセンサーとして欠かせないものになっている。

一方、LIMS は、運用期間は 1978 年からの約 7 ヶ月間と短かったが、オゾンなどの微量気体の高度分布を、10km 台の比較的低い高度から 50km 程度まで (気体によって 40 ~ 60km 程度)、初めて実用的な精度と高度分解能で観測した。大気縁辺からの熱放射を観測し、大気微量成分の高度分布を得るという LIMS の手法は、その後 CLAES などに引き継がれることになる。一方、SAM II は 1993 年まで極域の成層圏エアロゾル分布図を提供し、オゾンホールと PSC の関係の解明に利用されるなどの成果を残した。以上の例から分かる通り、NIMBUS-7 は全球の長期間モニタリングとプロセス研究の双方を可能とする衛星であった。NIMBUS-7 とほぼ同時期に、SAGE を搭載した AEM-II が上げられた。SAGE は 1979 年から 1982 年まで運用され、後継機である SAGE-II は 1984 年から現在まで運用されている。これらの測器はオゾン、成層圏エアロゾル、NO₂、水蒸気分布の測定を行った。

続いて、総合的な地球大気観測衛星として、米国が打ち上げた UARS (Upper Atmosphere Research Satellite) がある。UARS は 1991 年に打ち上げられ、一部の測器は現在も観測を継続している。UARS には、大気化学関係として 4 つの大気縁辺方向観測センサー (HALOE, MLS, CLAES, ISAMS) が搭載されている。UARS によってもたらされた成果として、まず、南極オゾンホール領域における ClO の増大を空間イメージとして初めて明確な形でとらえ、オゾンホールのメカニズムを裏付けたことが挙げられる。また、ピナツボ噴火により成層圏に注入された硫酸エアロゾルの拡散、上部対流圏の水蒸気分布、冬期南極成層圏における大規模な下降流、赤道域の力学現象など、数多くの成果が挙げられた。

UARS に続く地球観測プラットフォーム衛星として、1996 年に我が国が打ち上げた ADEOS (Advanced Earth Observing Satellite) には、大気微量成分観測用のセンサーとして TOMS、ILAS (Improved Limb Atmospheric Spectrometer)、IMG (Interferometric Monitor for Greenhouse Gases) が搭載され、海洋観測用の OCTS (Ocean Color and Temperature Scanner) からもエアロゾル空間分布の情報が得られた。ILAS はオゾン層変動の監視、およびオゾン層化学関連物質の研究用データの提供を目的として、環境庁が開発したセンサーである。衛星のトラブルにより 1 年未満の観測期間となったが、北半球春季のオゾン減少期のデータ等が得られており、今後のデータ利用が期

待される。IMG は、高分解能のフーリエ分光計を用いて、衛星直下方向からの大気放射スペクトルの測定から温室効果ガスの高度分布等を導出するセンサーであり、こちらもデータ解析が現在進行中である。

対流圏大気微量成分の観測としては、これまで人工衛星からの観測例はほとんどない。対流圏気体物質について全球的分布を示した例としてスペースシャトル搭載の MAPS (Measurement of Air Pollution from Satellite) の CO 測定がある。人工衛星搭載ではないため期間・観測領域が限定されてはいるが、1994 年 4 月と 9-10 月に全球的な CO 分布を初めて測定することに成功した。MAPS では上部対流圏(350hPa を中心)に重みがある積分量が得られるが、地上からの観測ネットワークや航空機観測と比較することにより 10%程度の精度があることが報告されている。また、赤道域で 9-10 月の観測で比較的高濃度の CO が観測され、東南アジアでのバイオマス燃焼の影響との関連が報告されている。MAPS の成功は、その後 MOPITT に受け継がれることになっている。その他の気体物質についてこれまで観測例の報告はない。

エアロゾルについては、成層圏においてはいくつもの観測が報告されているが、対流圏エアロゾルの人工衛星観測例はあまりない。赤外放射を測定する装置が副産物として対流圏エアロゾルに関する情報をもたらすものはある。また、やはりスペースシャトル搭載のライダー観測で対流圏までエアロゾル分布が測定された例があり、衛星観測の有利さを示す結果が得られている。

ヨーロッパ宇宙機関 (ESA) では、資源探査衛星に GOME と呼ばれるオゾンセンサーを搭載した。これは、TOMS と同様の原理に基づくもので、全球的なオゾン分布図を定常的に提供している。

4. 2 計画中の衛星搭載大気観測センサー

各国によって 2000 年前後までに計画されている地球大気化学観測衛星 (付録 2 参照) としては、METEOR-3M 1、NOAA series (K-N & N'), ADEOS II、ENVISAT-1、EOS-AM 1/2、ISSA、METOP-1、EOS-CHEM 1 などが挙げられる。これらの衛星には、過去に観測に用いられたセンサーと同種の原理で、より性能を上げたものの他、掩蔽観測の光源として太陽だけではなく月および恒星も利用して、より均質な全球にわたる観測範囲を確保する測器も搭載される。また、観測対象高度として対流圏まで含むものが多く計画されている。日本では ILAS-II 後継機の ADEOS-II 後継機への搭載が提案されている。ILAS-II 後継機は、全球の対流圏上部から成層圏にかけての温室効果ガス高度分布の測定を目指している。

5. 将来の衛星観測ミッション提案

第 3 章で、地球規模の大気環境問題とそこに含まれる大気化学プロセスを検討し、環境問題の解明にはそれらのプロセスを十分に解明することが必要であるとの立場から、個々のプロセスをより良く理解するために必要な観測に対する要求を検討した。さらに、種々の長期的なモニタリングに対する要請をも考慮して、この章では、現在の技術水準や原理的困難度等を考慮しつつ、複数のセンサーを組み合わせた具体的な衛星観測ミッションを、

待される。IMG は、高分解能のフーリエ分光計を用いて、衛星直下方向からの大気放射スペクトルの測定から温室効果ガスの高度分布等を導出するセンサーであり、こちらもデータ解析が現在進行中である。

対流圏大気微量成分の観測としては、これまで人工衛星からの観測例はほとんどない。対流圏気体物質について全球的分布を示した例としてスペースシャトル搭載の MAPS (Measurement of Air Pollution from Satellite) の CO 測定がある。人工衛星搭載ではないため期間・観測領域が限定されてはいるが、1994 年 4 月と 9-10 月に全球的な CO 分布を初めて測定することに成功した。MAPS では上部対流圏(350hPa を中心)に重みがある積分量が得られるが、地上からの観測ネットワークや航空機観測と比較することにより 10%程度の精度があることが報告されている。また、赤道域で 9-10 月の観測で比較的高濃度の CO が観測され、東南アジアでのバイオマス燃焼の影響との関連が報告されている。MAPS の成功は、その後 MOPITT に受け継がれることになっている。その他の気体物質についてこれまで観測例の報告はない。

エアロゾルについては、成層圏においてはいくつもの観測が報告されているが、対流圏エアロゾルの人工衛星観測例はあまりない。赤外放射を測定する装置が副産物として対流圏エアロゾルに関する情報をもたらすものはある。また、やはりスペースシャトル搭載のライダー観測で対流圏までエアロゾル分布が測定された例があり、衛星観測の有利さを示す結果が得られている。

ヨーロッパ宇宙機関 (ESA) では、資源探査衛星に GOME と呼ばれるオゾンセンサーを搭載した。これは、TOMS と同様の原理に基づくもので、全球的なオゾン分布図を定常的に提供している。

4. 2 計画中の衛星搭載大気観測センサー

各国によって 2000 年前後までに計画されている地球大気化学観測衛星 (付録 2 参照) としては、METEOR-3M 1、NOAA series (K-N & N'), ADEOS II、ENVISAT-1、EOS-AM 1/2、ISSA、METOP-1、EOS-CHEM 1 などが挙げられる。これらの衛星には、過去に観測に用いられたセンサーと同種の原理で、より性能を上げたものの他、掩蔽観測の光源として太陽だけではなく月および恒星も利用して、より均質な全球にわたる観測範囲を確保する測器も搭載される。また、観測対象高度として対流圏まで含むものが多く計画されている。日本では ILAS-II 後継機の ADEOS-II 後継機への搭載が提案されている。ILAS-II 後継機は、全球の対流圏上部から成層圏にかけての温室効果ガス高度分布の測定を目指している。

5. 将来の衛星観測ミッション提案

第 3 章で、地球規模の大気環境問題とそこに含まれる大気化学プロセスを検討し、環境問題の解明にはそれらのプロセスを十分に解明することが必要であるとの立場から、個々のプロセスをより良く理解するために必要な観測に対する要求を検討した。さらに、種々の長期的なモニタリングに対する要請をも考慮して、この章では、現在の技術水準や原理的困難度等を考慮しつつ、複数のセンサーを組み合わせた具体的な衛星観測ミッションを、

以下に提案する。なお、ここではミッションとして捉えており、必ずしも単独の衛星のみで実現する必要性はない。また、複数の衛星の相互補完により、複数のミッションを同時に成立させるような実現方法は検討に値する。

1) 上部対流圏-成層圏モニタリング

オゾン、水蒸気、気温、メタン、各種フロン等について、全球的に長期間、高精度で観測する。オゾン層監視、成層圏の循環の研究などに必要である。観測範囲は全球とし、高度毎のイメージマップを作成する。観測対象は明確に限定し、場合によっては特定の対象専用の特化した測器を用いて、循環/輸送の微細構造まで把握できる精度を与える。また、長期の観測を意識して、消費電力や冷却機構、姿勢制御方法、軌道高度などを考慮する必要がある。2、3個の同種の衛星を打ち上げて、短時間での経度方向の拡がり確保する。

2) 上部対流圏-成層圏プロセス解明

各種のソースガス及びラジカル（特にラジカル）を同時に観測し、その相互関係を明らかにすることを目的とする。現在の理解を促進させるという観点から、最低1年程度の観測でも十分に意味がある。要求される分解能や性能は、観測対象とするものによって異なるが、新しい知見をもたらすような精度を念頭に設計する必要がある。この目的のためには、高分解能で観測波数範囲の広い分光計等、観測対象をある程度柔軟に選択できるセンサー（例えば、フーリエ分光計やサブミリ波分光放射計）が必要である。ENVISAT、EOS-Chem、ODINなどの衛星で、多種類の気体を観測する目的のセンサーが多数計画されている。

3) 温室効果ガス動態把握

対流圏の特に温室効果ガス（二酸化炭素、メタン、一酸化二窒素等）の観測の必要性は高い。加えて、対流圏オゾンについては、温室効果ガスとしての側面だけでなく、グローバルな対流圏化学にとって重要である。グローバルな濃度分布からシンク/ソースの推定を行う。衛星による対流圏の観測は技術的な困難が予想されるが、その解決に努力を注ぐべき時期に来ている。

4) 雲、エアロゾルのモニタリング

主要測器としてライダーを搭載し、対流圏から成層圏までの雲およびエアロゾルの高度分布を全球的に観測する。ライダーは基本的に観測線上の2次元的なデータを取得するものなので、空間的な分布を把握できるイメージャーとの同時搭載が望まれる。

他のひとつは、イメージャーを主要なセンサーとし、熱帯圏界面付近の雲のイメージングを主目的とする。軌道傾斜角の小さい衛星に、観測視野が広く空間分解能が高いイメージャーを搭載することにより、雲の空間分布特性の観測に重点をおく。

5) 広域大気汚染観測

衛星による対流圏大気汚染物質の測定は困難が予想されるが、対象物質の分布に局所的

性が大きい。これは、濃度が高い領域の、大陸規模での広がりや把握できる程度の画像データを提供できる可能性が大きい。これは、濃度が高い領域の、大陸規模での広がりや把握できる程度の画像データを提供できる。軌道に関しては、軌道傾斜角を小さくして中緯度の大気汚染物質のソース領域を重点観測する。具体的な測定項目として、重要度が高く、実現性の高いものとしてオゾン、CO、C₂H₆、NO₂、SO₂、硫酸エアロゾルを考える。

6. 衛星観測プロジェクトの推進に向けて

従来、ややもすると軽視されがちであったが、衛星観測プロジェクトを成功に結びつける上で、次に述べる事項を周到に計画し、実施していくことが不可欠である。

6. 1 長期的視点に立った先導的研究の充実

衛星を利用した地球規模の大気環境観測は、地上観測、航空機観測だけでは得られない、多種のパラメータについて広域の長期に渡る均質な観測データを提供するもので、種々の地球大気環境について、問題の解決に向けて、あるいは、基礎的研究の発展に向けて新たな局面を開くものである。しかし、ひとつの衛星観測事業の遂行には、衛星打ち上げ以前にも多額の経費と数年以上の準備期間が必要である。このため、事業の立ち上げにはそれ自体十分な計画性が求められる。そのため、将来の衛星観測ミッションの実現に向けて、長期的展望のもとに計測技術（ハード、ソフト両面）の先導的研究を推進しておくことが重要である。

衛星観測センサーの測定原理は、その本質として、測定対象物質、測定対象高度領域に大きく依存するものではない。基本的には地球大気からの放射や太陽光等を光源とする電磁波の散乱、吸収過程の測定に基づいて、対象物質の種類同定、定量化（濃度測定）、空間分布導出を行うものである。したがって、基礎研究としては、基盤的、共通技術として発展させることが可能な部分が多い。さらに、具体的なミッションに特化して、最適な測定原理の選定やデータ処理アルゴリズムの研究、測定精度のシミュレーション、機器仕様の検討、機器開発の実現性といった予備的な研究を、複数の候補センサーについて十分に行うことが必要不可欠である。

これに加えて、センサー選定時の前提として、測定項目や空間分解能、時間分解能、測定精度等の観測要求条件が明確になっていることが当然必要である。また、データ処理（物理量導出）のシミュレーション研究に基づく、測定精度評価を重要視する必要がある。観測要求条件の設定においても、センサー開発の実現性の観点からのフィードバックが必要であり、センサー開発関連の研究者、データ利用の立場の研究者との共同作業が不可欠である。基礎的な検討作業は、短時日では出来るものではなく、特に我が国のこの分野での研究者層の薄さを考えると、将来を見越した研究として、早い段階から幅広く実施しておくべきである。

6. 2 プロジェクトに係る研究体制、プロジェクト管理体制の構築

衛星観測事業は、機器原理選定、機器仕様決定、機器開発・試験、アルゴリズム研究、ソフトウェア開発、データ処理運用システム開発・運用、検証実験・解析、データ質評価、

機器管理、データ管理・配布サービス、データ利用研究、広報まで、幅広い内容を含んでいる。また、直接関係する人々の範囲も、宇宙機関（衛星プログラム担当、衛星開発担当、打ち上げ担当、データ受信・配信担当、広報担当、その他）、衛星搭載機器開発担当メーカー、ソフトウェア開発担当会社、プロジェクト参加研究者、検証実験参加者、一般研究者、等々、多方面に渡っている。

この中で、機器原理選定、機器仕様決定、機器開発・試験、アルゴリズム研究、ソフトウェア開発、検証実験・解析、データ質評価、データ利用研究等は、部分的あるいは全面的に研究者の直接的な関与が不可欠の分野である。これらの研究の推進には、全体を見通せる研究総括の立場の研究者と同時に、多岐にわたる研究課題を担当する多くの研究者集団が組織される必要がある。また、研究者間の情報の共有、相互作用が図れるような研究推進体制が確立されなければならない。さらに、これらの研究も含むプロジェクトすべてに対して、本格的な管理体制が必要となる。

6. 3 衛星観測データ利用研究の組織化

大気環境の衛星観測の特徴は、衛星で測定される現象自体はユニバーサルなものであるということである。世界の研究者は同等の立場と関心で、データを利用しようとするであろう。そのために、国際的なレベルで見たときには、よいデータさえ提供できれば、データの有効利用は自ずと図られると思われる。しかし、仮に我が国の衛星センサーが運用に入ったとき、我が国の研究者によるデータ利用研究への貢献を考える際には事情が異なる。この場合、あらかじめかなりの計画性を持った研究体制を敷いておくことが必要となる。誰かが使ってくれるのを待っているのでは、十分な活用は難しい。データ利用研究の促進のための、研究費の配分等の施策が必要である。

衛星観測事業で注意しておかなければならないことは、衛星でなければ分からないこともあるが、同時に、衛星観測だけですべてが分かるわけではないということである。とりわけ、現象の機構解明のためのプロセス研究においては、衛星観測に同期した地上からの種々の観測、航空機観測、モデル解析、気象解析などが不可欠である。衛星は、多くのパラメータを広域に渡って測定するなど、「場」の情報を与えるという意味で大きな役割を果たす。これに対して、地上からの観測、航空機観測によって、より詳細で精度の高い測定が始めて可能となる。特に、これから衛星の利用が発展していくと考えられる対流圏の環境研究においては、衛星だけでは十分な情報が得られないので、はじめから相補的な航空機観測や地上観測網の整備を前提とした研究体制を作っていかなければ、衛星データの十分な活用は不可能である。

観測データの解析・解釈においては、気象データの解析が不可欠であり、また、数値モデルの利用が極めて有効である。しかし、これらの「データセット」、「道具」の整備を個々のデータ利用者の才覚に任せていたのでは、不必要な重複を生じかねず、また十分な利用は難しい。このため、データ解析者が誰にでも使えるようなモデルの開発、気象データセットの整備など、衛星観測事業の一環として行われなければならない。

6. 4 検証実験・解析

特に強調しておきたいことは、検証実験・解析の重要性である。衛星搭載機器は、ロケットによる打ち上げの衝撃を経験した後の宇宙環境における機器特性について、地上からの時間的・空間的に同期した独立の観測データを用いて評価検証することが必須である。また、データ処理アルゴリズムの妥当性についても、同様の評価検証が必要である。そのために、独立の観測データを取得するための検証実験を計画し、可能な限り早い段階で実施することが必要である。さらに、検証実験は異なる条件（例えば、夏半球側と冬半球側）下で、しかも長期的な機器特性の変動の有無を確認する必要から、繰り返し実施することが必要である。

7. おわりに

本来、衛星利用の地球観測は、データの利用に係る学問的要請、実用的要請と、技術的な実現可能性の評価に基づいて計画され、実現されなければならないことは言うまでもない。しかし、何を、どれくらいの精度で、どのような空間・時間分解能で、測らなければならないのかを明確に定義することはそれほど容易なことではない。しかも、そのそれぞれの要求を実現する上で、技術的な困難はあるのか、ないのかについても、単にハードウェアの技術的問題だけではなく、観測及びデータ処理シミュレーションに基づく精度評価を踏まえて、総合的に議論することが必要である。そのため、ミッションの具体的な提案を行うことは、もはや一研究者でやれる限界を超えており、ましてや片手間で出来るものではない。

言い換えれば、事前の研究、検討作業を組織的に、かつ十分に行っていない限り、将来の衛星観測を真に意味のあるものにする事は出来ないと言うことである。特に、ハードウェア先行となることを避け、データ利用の具体的なイメージ（観測目的）を明確に持ち、それに必要な観測要求を、技術的実現性を踏まえて設定していくことが大事である。

[参考文献]

- Herbert J. Kramer: Observation of the Earth and Its Environment, ISBN 3-540-57858-7
- John C. Gille and James M Russell: The Limb Infrared Monitor of the Stratosphere: Experiment Description, Performance and Results, J.Geophys.Res, 94, No. D4, Pages 5125 - 5140, 1984
- Kaufman et al.: Passive remote sensing of tropospheric aerosol and atmospheric correction for the aerosol effect, J.Geophys.Res , 102 No.D14, Pages 16815 - 16830, 1997
- 土屋 清（編著）：リモートセンシング概論、ISBN 4-254-10084-1

特に強調しておきたいことは、検証実験・解析の重要性である。衛星搭載機器は、ロケットによる打ち上げの衝撃を経験した後の宇宙環境における機器特性について、地上からの時間的・空間的に同期した独立の観測データを用いて評価検証することが必須である。また、データ処理アルゴリズムの妥当性についても、同様の評価検証が必要である。そのために、独立の観測データを取得するための検証実験を計画し、可能な限り早い段階で実施することが必要である。さらに、検証実験は異なる条件（例えば、夏半球側と冬半球側）下で、しかも長期的な機器特性の変動の有無を確認する必要から、繰り返し実施することが必要である。

7. おわりに

本来、衛星利用の地球観測は、データの利用に係る学問的要請、実用的要請と、技術的な実現可能性の評価に基づいて計画され、実現されなければならないことは言うまでもない。しかし、何を、どれくらいの精度で、どのような空間・時間分解能で、測らなければならないのかを明確に定義することはそれほど容易なことではない。しかも、そのそれぞれの要求を実現する上で、技術的な困難はあるのか、ないのかについても、単にハードウェアの技術的問題だけではなく、観測及びデータ処理シミュレーションに基づく精度評価を踏まえて、総合的に議論することが必要である。そのため、ミッションの具体的な提案を行うことは、もはや一研究者でやれる限界を超えており、ましてや片手間で出来るものではない。

言い換えれば、事前の研究、検討作業を組織的に、かつ十分に行っていない限り、将来の衛星観測を真に意味のあるものにする事は出来ないと言うことである。特に、ハードウェア先行となることを避け、データ利用の具体的なイメージ（観測目的）を明確に持ち、それに必要な観測要求を、技術的実現性を踏まえて設定していくことが大事である。

[参考文献]

- Herbert J. Kramer: Observation of the Earth and Its Environment, ISBN 3-540-57858-7
- John C. Gille and James M Russell: The Limb Infrared Monitor of the Stratosphere: Experiment Description, Performance and Results, J.Geophys.Res, 94, No. D4, Pages 5125 - 5140, 1984
- Kaufman et al.: Passive remote sensing of tropospheric aerosol and atmospheric correction for the aerosol effect, J.Geophys.Res , 102 No.D14, Pages 16815 - 16830, 1997
- 土屋 清（編著）：リモートセンシング概論、ISBN 4-254-10084-1

付録1 アンケートについて

アンケート調査の方法

アンケートの実施に際しては、第一回の委員会で、内容・対象者等、基本方針を決定した。基本的な方針は、「このような現象を解明するために、このような大気成分を、この程度の時間／空間／高度分解能で、この程度の期間、この地方を中心に衛星で観測したい」という形の回答を、高度別に大きく三領域（成層圏、下部成層圏および上部対流圏、対流圏）にわけて頂くこととした。趣旨説明の文中で、自由なフォーマットで書いてくださってもかまわない旨を記した。以下、アンケートの設問を記す。

以下の項目に関して、今後衛星による観測が必要になるとと思われる大気微量成分（および気温等）をあげてください。また、それぞれに関して、

- a. その測定により何が明らかになるか
- b. そのためにはどの程度の時間／空間／高度分解能、精度が必要か
- c. どの緯度帯に重点をおいた観測が必要か
- d. どの程度の観測期間が必要か
- e. 過去の類似の観測では何が十分で、何が足りなかったか
- f. その他

等、ご指摘ください。（先生が興味／意見をお持ちの分野についてご解答いただければ結構です）。

1. 成層圏

- (1) オゾン変動に関連して
- (2) 放射影響に関連して
- (3) 輸送に関連して
- (4) その他

2. 上部対流圏・下部成層圏

- (1) 物質交換に関して
- (2) 化学に関して
- (3) 雲に関して
- (4) エアロゾルに関して
- (5) その他

3. 対流圏

- (1) オゾン化学に関して
- (2) 温室効果気体に関して
- (3) エアロゾルに関して
- (4) 輸送について
- (5) 化学一般について

(6) その他

結果：

合計 12 名の方から、述べ 30 の項目にわたって回答をいただいた。以下に概略を示す。

各項目別の回答数：

1 - (1) : 6 名

1 - (2) : 1 名

2 - (1) : 3 名

2 - (3) : 1 名

2 - (4) : 1 名

3 - (1) : 3 名

3 - (2) : 6 名

3 - (3) : 5 名

3 - (5) : 1 名

3 (2 も含む) 全体 : 1 名

他の形式による回答 : 1 名

以上のように、アンケートの結果では対流圏に関する関心が高く、成層圏の中ではオゾンに関する意見が多かった。以下、これらについて重点的にまとめる。

・ 1 - (1) 成層圏オゾンに関して

まとめ：

モニタリング的な視点からの意見と、各種相互作用等のプロセス研究への活用を考えた意見を頂いた。相互作用（プロセス）はさらに 2 つの視点からの意見に分類され、微視的な立場からはオゾン破壊メカニズムのさらなる解明、もう少し大きな関係の視点からは、対流圏の温室効果ガスと成層圏オゾンの関連の解明や、エアロゾルとの相互作用の解明に向けた研究への利用が考えられた。全体として、測器に要求される性能は現在でも実現可能と思われる範疇であるが、10 年程度の長期間の観測を望む声が強かった。

詳細：

観測対象気体としては、オゾン、ClO、NO_x、HNO₃、HCl、CH₄、N₂O、ClONO₂、エアロゾル、PSC、CH₃Br、気温があげられた。この中で、オゾンそのものに関する要求が最も強かったことはある意味当然であるが、エアロゾル、N₂O、HCl についても複数の方が指摘していた。解明したい現象としては、地球規模・長期間の変動傾向を見たいという意見と、各種の相互作用の研究、およびそれをもとにしたオゾン破壊メカニズムの研究の必要性を指摘する意見、対流圏温室効果気体の変動と成層圏オゾン変動の関連の研究への有用性を指摘する意見、およびフロン規制の効果をモニターする必要性が指摘された。

観測の分解能や精度に関しては、先に述べたとおり比較的現実的に可能な値で十分とする意見が強かった。時間分解能（同一地点の観測周期）については、1 日 1 回を中心に、数時間から 1 ヶ月程度、空間分解能は数 10km あるいは数度、高度分解能は 1km を中心に、可能なら 1km 以下という意見から全量でも意味はあるという見解、精度については

数%程度という値が示された。

観測範囲についてまとめると、基本的に全球が必要であり、その中で中高緯度領域に重点を置くという考え方であった。この中で、 N_2O 、 CH_3Br に関しては、発生源と非発生源、吸収源と非吸収源という考えかたが提案された。観測期間は、10年程度の長期間の観測を求める声が非常に強かった。過去の観測の問題点としては、空間的な問題（分解能不足、極域等での欠測）をあげる方が多かったほか、ADEOS のトラブルによる短期終了の問題もあげられた。また、 N_2O 、 CH_3Br に関しては、これまでおもに発生源と地上部のデータしかなかったという意見が出された。また、これらの観測を実現する方法として、FTIR とサブミリ波放射計の搭載が提案された。

・ 3 - (2) : 対流圏温室効果気体に関して

まとめ：

典型的な温室効果気体について、その全球における基礎データを長期間にわたって収集したいという意図が感じられた。時間／空間分解能に関してはそれほどシビアな値ではなくても、精度に関して高い性能が要求された。（これは、これらの成分は大気中に安定して存在しているため、細かい地域的／時間的な変動は局所的なソース等の影響である可能性が大きく、むしろある程度平均した方が本質が見えてくるという面と、もともと安定している物質の微細な変動を観測するためには高精度が要求されるという面からくるものであろうと考えられる。）

詳細：

観測対象気体としては、一般的な温室効果気体（二酸化炭素、メタン、一酸化二窒素）があげられた。解明したい現象としては、ベースとなるグローバルな分布および変動、二酸化炭素のシンク・ソース・輸送（循環）、および成層圏オゾンとの関連があげられた。

観測の分解能／精度については、特に精度に関してシビアな値が要求された。時間分解能については、1日から1週間程度という意見と、毎時間という意見にわかれた。毎時間と提案された方は、二酸化炭素の循環を見たいという方である。空間分解能は、5～10度、あるいは100km以下といった意見が出されたが、1000km程度でも意味はあるとの考え方もあった。高度分解能については、カラムでも十分意味があるという意見と、1～2km、あるいは1kmといった値が示された。精度についての要求は一律に高く、0.3～0.5%、あるいは二酸化炭素で0.1ppm程度、メタンで0.1%という値が提示された。ただ、高度分布を1km分解能で観測する場合は、局所的な変動は比較的大きいと考えられることから、1%でもそれなりの意味はあるとの意見が出された。観測地域については全球必要との意見が強く、発生源と非発生源、吸収源と非吸収源に着目した観測および北半球中緯度という意見もいただいた。また、観測期間は非常に長期間（10年以上）の意見と季節変動に着目した意見（1年以上）にわかれた。過去の観測の問題点については、測定そのものがほとんど行われていないものや、精度／観測領域の広さに問題があるとする意見、観測が海洋性大気に偏っているため陸域生態系による吸収が大きな問題になっている現状では不十分との見解が示された。

・ 3 - (3) : 対流圏エアロゾルに関して

詳細：

この項目に関しては、バラエティに富んだ意見がだされ、総括が難しかった。観測対象としてはエアロゾル、オゾンといった回答から、さらに細かく限定して土壌粒子、硫酸塩粒子、粒径分布を観測したいという意見を頂戴した。どのような現象の解明のためにこれらの物資を測定したいかという点についても様々な意見が出された。基本的なところでは、対流圏エアロゾル量の把握・挙動の解明といったテーマから、オゾンとエアロゾルの相互作用、エアロゾルと雲の変化、陸域起源/海洋起源のエアロゾルを分離して観測することにより物質循環や放射の影響を評価する観測などがあげられた。

エアロゾルが関係する現象はタイムスケールが短いためか、高い時間分解能を要求する意見が多かった。具体的には、数時間から、長くても一日程度以下であった。また、空間分解能については数 km から 100km、数度毎までの意見を頂いた。高度分解能についても要求が高く、1km ないしそれ以下という意見が多かった。

観測領域についても、様々な意見が出された。それだけ、各地域で興味深い現象が期待されるということであろう。全球、中高緯度、中緯度、低緯度から高緯度、東アジア、熱帯雨林のバイオマスバーニングといった意見が出された。観測期間に関しては、1 年間から数年、さらには 10 年以上といったスパンが提示されている。これまでの観測の問題点としては、鉛直分布情報の不足、洋上での分布がわからなかったという意見と陸域での把握ができていないという意見、観測がローカル過ぎるという意見が提示された。その他、TOMS を評価する意見、および相互作用に重点を置いた観測を望む意見を頂いた。

これ以降の項目では選択された方がそれほど多くないので、詳細のみ示す。

・ 3 - (1) : 対流圏オゾン化学に関して

詳細 :

観測対象としては、オゾン、エアロゾル、ハロゲンラジカル (BrO, IO, ClO), NO_x があげられた。これらの観測から、オゾン濃度と大気ラジカル反応、オゾンとエアロゾルの相互作用、対流圏オゾンの生成量を調べたいという意見であった。観測の分解能は、エアロゾルとの相関を見るための観測では時間分解能が 1 日以下、水平分解能が 100km 程度、高度分解能が 1km 程度と、高度分解能を除いては比較的広い範囲を見る観測が提示されているのに対し、対流圏オゾンの生成量を調べる観測ではそれぞれ数時間~1 日、数 km、1km と、特に空間分解能が要求されている。前者の観測が全球を対象とするものであるのに対し、後者のそれは北半球中高緯度 (東アジア) と熱帯バイオマスバーニングにフォーカスしたものであることも理由の一つであろう。観測期間については、前者の方は 10 年以上という値が要求されているのに対し、後者の方は 1 年間×2 回 (エルニーニョ、ラニーニャの年) とされている。モニタリング的な観測とプロセス研究的な観測といえるかもしれない。これまでの問題としては、積算値はあるものの鉛直分解能がたりないこと等があげられた。

・ 2 - (1) : 上部対流圏・下部成層圏物質交換に関して

詳細 :

観測対象として、オゾンとエアロゾルがあげられた。オゾンの観測から、熱帯地方の物質循環を調べたいという意見と、成層圏からのオゾン流入過程と対流圏から成層圏への流入量を調べたいという意見があげられた。また、この高度領域でのオゾンとエアロゾルの

相互作用現象をここに分類したかたもおられた。エアロゾルとの相互作用に関しては、前項と同様に 1 日以下/100km/1km で全球という意見であった。成層圏 - 対流圏間のオゾン相互流入過程を調べたいという意見では、時間分解能が 1 時間、空間分解能が数 km、高度分解能は数 100m と、いずれも非常に高い値が提示された。この場合の観測範囲は、中高緯度と赤道域にわけて考えられている。観測期間は、エアロゾルとの相互作用を調べるためには 10 年間以上、成層圏 - 対流圏のオゾン相互流入過程の高分解能観測では 1 年間程度が要求されている。なお、熱帯の物質循環については、時間分解能で 1 時間という値が示されている。過去の観測については、熱帯域の問題ではメカニズム不明とされ、成層圏 - 対流圏間のオゾン交換については、空間的にも時間的にも、部分的にしか把握されていないとの指摘であった。

以下、やや異なったフォーマットでいただいた回答について記す。一つの意見は、オゾンを中心に対流圏の化学を総合的に調べる観測の提案である。上の分けかたでは、領域 3 全体を中心に、2 の圏界面付近の化学を一部含むことになる。観測対象としてはオゾンおよびその前駆気体、エアロゾル、雲、水蒸気 NO_x 、ヒドロカーボン (non-methane) があげられており、時間分解能は 2.3 日から可能なら 1 日、水平分解能は 100km、高度分解能が 2km 程度とされている。観測領域は熱帯に焦点をあて、南北 45 度程度までの範囲、観測期間は、季節変動を見るだけなら 2 年程度、経年変化をある程度見るなら 5 年、10 年程度おこなえば人間活動の影響までモニタリングできるのではないかという意見であった。これまで、この種の衛星観測はほとんどなく、2 章で述べた MOPITT が、対流圏の微量成分に焦点を当てるという点で事実上最初の試みになる。(スペースシャトルでは、1994 年の MAPS によって、上部対流圏の CO 等に関するデータが得られている。) 以上の事、特に観測範囲として熱帯を選んだ理由としては、熱帯は雷による NO_x の生成やバイオマスバーニング関連の問題など、対流圏の化学にとって非常に重要な領域であるが、圏界面が高いことから航空機観測が難しく、衛星観測が特に重要と指摘された。加えて、日本の環境ということで考えれば、今後はアジア地方からの各種成分のモニタリングも重要であるとのご意見を伺った。一方、注意すべき点として、バリテーションの問題も指摘された。現実的な観測手段として、地上からの FTIR による観測を考えた場合、CO なら 3km~4km 程度の分解能、メタンはカラム量程度となる。

また、「オゾンの問題に関しては、すでに打つべき手が打たれている。今後は温室効果気体の問題に注力すべきであり、対流圏が重要である」との強い意見があった。

過去および現在計画されている主要な
地球大気観測衛星搭載センサー一覧

搭載衛星名 (年代順)	測器略称	
NIMBUS-7	LIMS	..... 27
	SAM II	..... 28
	SAMS	..... 29
	TOMS	..... 30
	SBUV	..... 31
NOAA - POES	AVHRR	..... 32
AEM- II	SAGE- I	..... 33
ERBS	SAGE- II	..... 34
NOAA - POES	SBUV- II	..... 35
UARS	HALOE	..... 36
	MLS	..... 37
	ISAMS	..... 38
	CLAES	..... 39
EURECA-1	ORA	..... 40
ERS-2	GOME	..... 41
PRIODA-1	Ozone-M	..... 42
ADEOS	ILAS	..... 43
	IMG	..... 44
	RIS	..... 45
	OCTS	..... 46
	POLDER	..... 47

ODIN	SMR	. . . . .	48
METEOR-3M	AMAS	. . . . .	49
	SAGE-III	. . . . .	50
EOS-AM1	MODIS	. . . . .	51
	MOPITT	. . . . .	52
	MISR	. . . . .	53
ADEOS-II	AMSR	. . . . .	54
	GLI	. . . . .	55
	ILAS-II	. . . . .	56
ENVISAT-1	GOMOS	. . . . .	57
	MERIS	. . . . .	58
	MIPAS	. . . . .	59
	SCIAMACHY	. . . . .	60
	AIRS	. . . . .	61
EOS-Chem	HiRDLS	. . . . .	62
	MLS(2)	. . . . .	63
	TES	. . . . .	64
METOP-1	IASI	. . . . .	65

測器略称	LIMS
測器正式名称	Limb Infrared Monitor of the Stratosphere
搭載(予定)衛星名	NIMBUS-7
オペレーション(予定)期間	1978 - 1979
開発国	USA
開発機関; PI	NCAR, NASA; John C. Gille, James M. Russel 函
主な開発目的	成層圏における気体と気温の鉛直分布の測定
観測対象	O3, H2O, NO2, HNO3, temperature
観測のジオメトリー	大気縁辺からの熱放射を観測
測器の原理(種類)	6バンドフィルター式放射計、ディテクタは63Kに冷却されたHgCdTe
観測波長(波数、周波数)帯	6.25, 6.75, 9.65, 11.35, 15.25 (μm) and 13.3 - 17.2 (μm) (broad channel)
波長(波数)分解能	バンドパス、5%の定義で約40 ~ 約200 (cm^{-1})まで。
測定信号強度(導出量)の精度等	Noise Equivalent Radianceで 0.00055 (NO2) ~ 0.0055 (CO2W) ($\text{W}/\text{m}^2\text{str}$)
Swath Width	
視野(FOV)、水平分解能(IFOV)等	水平方向: 28km (NO2, H2Oチャンネル), 18km (その他)
観測緯度帯	84N - 64S
観測高度範囲	スキャン領域: 0 - 130 (NO2) ~ 180(H2O) km 高度分布が得られる領域(概略): O3 : 15 - 64 (km) H2O : 15 - 51 (km) HNO3 : 15 - 40 (km) NO2 : 25 - 45 (km) 気温 : 15 - 60 (km)
観測時間(ローカル)	約13時~16時、約20時~23時(軌道の向き、緯度帯によって異なる)
高度分解能	視野: 3.6km (NO2, H2O)、1.8km (その他)
時間分解能(観測所用時間)	下向き、上向きのスキャンにそれぞれ12秒づつ
データレート	
Operation requirements	
測器重量	68.4 kg
消費電力	27 W
参考文献	Herbert J. Kramer, 土屋 清, Gille and Russell
その他	

測器略称	SAM-II
測器正式名称	Stratospheric Aerosol Measurement II
搭載(予定)衛星名	NIMBUS-7
オペレーション(予定)期間	1978 - 1993
開発国	USA
開発機関; PI	NASA; Dr. M. P. McCormick
主な開発目的	成層圏エアロゾルの観測
観測対象	成層圏エアロゾルの密度および光学的特性の全球高度分布
観測のジオメトリー	太陽掩蔽法
測器の原理(種類)	サンフォトメーター
観測波長(波数、周波数)帯	0.98 - 1.2 (μm)
波長(波数)分解能	
測定信号強度(導出量)の精度等	
Swath Width	
視野(FOV)、水平分解能(IFOV)等	日の出/入それぞれについて、経度 26° 毎に観測
観測緯度帯	$\sim 64^\circ - 83^\circ$ 1987年頃から変動
観測高度範囲	0 - 150 km (測器の動作範囲)
観測時間(ローカル)	
高度分解能	1 km (0.5 km at horizon)
時間分解能(観測所用時間)	
データレート	< 500 bit/s
Operation requirements	
測器重量	
消費電力	
参考文献	Herbert J. Kramer http://warlock.larc.nasa.gov/GUIDE/campaign_documents/sam2_project.html
その他	日の出/入それぞれについて一日14回づつ観測

測器略称	SAMS
測器正式名称	Stratospheric and Mesospheric Sounder
搭載(予定)衛星名	NIMBUS-7
オペレーション(予定)期間	1978 - 1983
開発国	
開発機関; PI	
主な開発目的	成層圏から中間圏における気体と気温の高度分布の測定
観測対象	H2O, CH4, CO, NO, temperature
観測のジオメトリー	resonant scattering of solar radiation'の観測
測器の原理(種類)	
観測波長(波数、周波数)帯	4.1 - 15 (μm), 25 - 100 (μm), 9チャンネル
波長(波数)分解能	
測定信号強度(導出量)の精度等	
Swath Width	
視野(FOV)、水平分解能(IFOV)等	
観測緯度帯	
観測高度範囲	
観測時間(ローカル)	
高度分解能	
時間分解能(観測所用時間)	
データレート	
Operation requirements	
測器重量	
消費電力	
参考文献	Herbert J. Kramer
その他	

測器略称	TOMS
測器正式名称	Total Ozone Mapping Spectromrter
搭載(予定)衛星名	NIMBUS-7, Earth Probes, Meteor3-6, ADEOS
オペレーション(予定)期間	1978 -
開発国	USA
開発機関; PI	NASA/GSFC
主な開発目的	オゾンのモニタリング
観測対象	O3, UV radiation, SO2 おもにオゾンの全量分布
観測のジオメトリー	nadir looking、太陽光の後方散乱光を観測
測器の原理(種類)	single Ebert-Fastie scanning spectrometer
観測波長(波数、周波数)帯	313, 318, 331, 340, 360, 380 (nm)
波長(波数)分解能	1 nm
測定信号強度(導出量)の精度等	
Swath Width	2700 km (cross scan: ±51)
視野(FOV)、水平分解能(IFOV)等	IFOV: 3° X 3°
観測緯度帯	illuminant part
観測高度範囲	
観測時間(ローカル)	illuminant part
高度分解能	
時間分解能(観測所用時間)	
データレート	< 1kbit/s
Operation requirements	
測器重量	
消費電力	
参考文献	Herbert J. Kramer, http://daac.gsfc.nasa.gov/CAMPAIGN_DOCS/ATM_CHEM/TOMS_intro.html#toms
その他	<ul style="list-style-type: none"> ・ Meteor3-6, Earth Probes, ADEOSにも搭載(予定)。詳細は異なる点もある ・ 3つの波長ペアにおける地球のアルベドを衛星に搭載した拡散板のものと比較してオゾン量を導出。緯度帯毎、太陽活動度毎のテーブルを使用

測器略称	SBUV
測器正式名称	Solar Backscatter Ultraviolet
搭載(予定)衛星名	NIMBUS-7
オペレーション(予定)期間	1978-
開発国	USA
開発機関; PI	NASA
主な開発目的	オゾン鉛直分布の測定、オゾン全量のマッピング、UVのモニター
観測対象	O3
観測のジオメトリー	
測器の原理(種類)	double Ebert-Fastie spectrometer and filter photometer
観測波長(波数、周波数)帯	0.250 - 0.340 (μm) 12 チャンネル または 0.160 - 0.400 (μm) のスキャン + 0.343 μm 中心の フォトメーター観測
波長(波数)分解能	
測定信号強度(導出量)の精度等	
Swath Width	200 km、連続する軌道間で経度にして26° 離れている
視野(FOV)、水平分解能(IFOV)等	11.3°
観測緯度帯	
観測高度範囲	オゾン高度分布: 28 - 55 (km)
観測時間(ローカル)	
高度分解能	
時間分解能(観測所用時間)	
データレート	
Operation requirements	
測器重量	
消費電力	
参考文献	Herbert J. Kramer, http://gcmd.nasa.gov/cgi-bin/getdif?suppmenu=Sensor+++++SBUV+
その他	

測器略称	AVHRR
測器正式名称	Advanced Very High Resolution Radiometer
搭載（予定）衛星名	NOAA-POES
オペレーション（予定）期間	1979 -
開発国	
開発機関; PI	
主な開発目的	
観測対象	雲分布、表層海水温、植生、エアロゾル
観測のジオメトリー	
測器の原理（種類）	
観測波長（波数、周波数）帯	580 - 680 nm, 725 - 1100 nm, 3250 - 3930 nm（共通） 10.3 - 11.3 μ m, 11.4 - 12.4 μ m（衛星による）
波長（波数）分解能	
測定信号強度（導出量）の精度等	10 Bit
Swath Width	~ 3000 km
視野(FOV)、水平分解能(IFOV)等	1.1 km(AVHRR/2, 3は可視0.5km, 赤外1.0km) IFOV 1.4 mrad (average) Sample step = 0.95 mrad (1.36 step per IFOV)
観測緯度帯	
観測高度範囲	
観測時間（ローカル）	
高度分解能	
時間分解能（観測所用時間）	scanning rate = 360/min, Sampling rate = 2048/scan
データレート	
Operation requirements	
測器質量	
消費電力	
参考文献	Herbert J. Kramer. http://www.ccrs.nrcan.gc.ca/ccrs/tekrd/satsens/sats/noaae.html
その他	Scan angle (max) = 55.4°

測器略称	SAGE
測器正式名称	Stratospheric Aerosol and Gas Experiment
搭載(予定)衛星名	AEM-II
オペレーション(予定)期間	1979 - 1982
開発国	USA
開発機関; PI	NASA; Dr. M. Patrick McCormick
主な開発目的	日の出、日没時の太陽光強度プロファイルの測定
観測対象	aerosol - (ozone, nitrogen dioxide)
観測のジオメトリー	太陽掩蔽法
測器の原理(種類)	4チャンネルサンフォトメータ
観測波長(波数、周波数)帯	0.385, 0.45, 0.6, 1.0 (μm)
波長(波数)分解能	10, 20, 30, 50 (nm) (バンドパス)
測定信号強度(導出量)の精度等	12 bit
Swath Width	
視野(FOV)、水平分解能(IFOV)等	30秒
観測緯度帯	75S - 75N
観測高度範囲	0 - 150 km
観測時間(ローカル)	日の出/入
高度分解能	0.5 km
時間分解能(観測所用時間)	64 samples/second/channel
データレート	
Operation requirements	
測器重量	
消費電力	
参考文献	Herbert J. Kramer, http://warlock.larc.nasa.gov/GUIDE/campaign_documents/sage1_project.html
その他	

測器略称	SAGE-II
測器正式名称	Stratospheric Aerosol and Gas Experiment II
搭載(予定)衛星名	AEM-II
オペレーション(予定)期間	1984 -
開発国	USA
開発機関; PI	NASA; Dr. M. Patrick McCormick
主な開発目的	成層圏のエアロゾル、オゾン、NO ₂ および水蒸気の高度分布を 全球に渡って測定すること。
観測対象	aerosol extinction profiles at 1020, 525, 453, and 385 nanometers, and ozone, water vapor, and nitrogen dioxide mixing ratio profiles
観測のジオメトリー	太陽掩蔽法
測器の原理(種類)	7チャンネルサンフォトメーター
観測波長(波数、周波数)帯	1020, 940, 600, 525, 453, 448, and 385 nm (中心波数)
波長(波数)分解能	
測定信号強度(導出量)の精度等	12ビット
Swath Width	
視野(FOV)、水平分解能(IFOV)等	IFOV: 1/2 X 2-1/2 arc-minute
観測緯度帯	80 degrees North to 80 degrees South latitudes.
観測高度範囲	0 - 150 km
観測時間(ローカル)	日の出/入
高度分解能	0.5 km
時間分解能(観測所用時間)	64 samples/s/ch
データレート	
Operation requirements	
測器重量	
消費電力	
参考文献	http://warlock.larc.nasa.gov/GUIDE/campaign_documents/ sage2_project.html#1 .
その他	

測器略称	SBUV2
測器正式名称	Solar Backscatter Ultraviolet 2
搭載 (予定) 衛星名	AEM-II
オペレーション (予定) 期間	1985 -
開発国	USA
開発機関; PI	NASA
主な開発目的	トレーサーの観測 オゾン全量: 1%精度 オゾン高度分布: 5%精度 solar spectral irradiance (0.16 - 0.40 μm) の測定
観測対象	O3
観測のジオメトリー	nadir-looking
測器の原理 (種類)	scanning double monochromator
観測波長 (波数、周波数) 帯	0.16 - 0.40 (μm) (solar irradiance) 252 - 398 (nm) の間に12バンド
波長 (波数) 分解能	1.1 nm (252 - 398 nm)
測定信号強度 (導出量) の精度等	
Swath Width	160 km
視野(FOV)、水平分解能(IFOV)等	160 km (FOV:11.3° × 11.3°)
観測緯度帯	
観測高度範囲	
観測時間 (ローカル)	
高度分解能	
時間分解能 (観測所用時間)	1.25秒。32秒毎に1データ (12チャンネルすべて)
データレート	
Operation requirements	
測器重量	
消費電力	
参考文献	Herbert J. Kramer, http://perigee.ncdc.noaa.gov/docs/podug/html/c4/sec4-4.htm
その他	duty cycle = 100%

測器略称	HALOE
測器正式名称	Halogen Occultation Experiment
搭載(予定)衛星名	UARS
オペレーション(予定)期間	1991 -
開発国	USA
開発機関; PI	NASA/LaRC; J.M. Russell
主な開発目的	<ul style="list-style-type: none"> ・重要な化学成分の全球データを取得して解析することにより、成層圏オゾン減少に関する理解を深める。 ・自然現象によるものに対して、人間起源によるオゾン破壊がどれほどのものであるかに関する情報を提供する。 ・その他、UARS共通テーマのデータ取得
観測対象	HF, HCl, CH ₄ , NO, H ₂ O, O ₃ , NO ₂ , pressure
観測のジオメトリー	太陽掩蔽法
測器の原理(種類)	ガスフィルター式放射計。サンプルガスを吸収フィルターとして使用
観測波長(波数、周波数)帯	2.43 - 10.25 (μm)
波長(波数)分解能	
測定信号強度(導出量)の精度等	10 - 15 % (mid-stratosphere)
Swath Width	
視野(FOV)、水平分解能(IFOV)等	6.2 km (at limb)
観測緯度帯	75S - 75N
観測高度範囲	O ₃ : 10 - 65 km CH ₄ : 10 - 55 km HCl, HF : 10 - 40 km H ₂ O, NO, NO ₂ : 10 - 50 km
観測時間(ローカル)	日の出/入
高度分解能	2 km (at limb)
時間分解能(観測所用時間)	
データレート	4kbit/s
Operation requirements	28points/day, 14 different longitudes in each of the NH and SH
測器重量	204 lb
消費電力	134 W
参考文献	Herbert J. Kramer, http://uarsfot08.gsfc.nasa.gov/UARS_INSTS/Obs_Inst_HALOE.html
その他	

測器略称	MLS
測器正式名称	Microwave Limb Sounder
搭載（予定）衛星名	UARS
オペレーション（予定）期間	1991 - 1993 (mesospheric O3, stratospheric H2O) 1991 - now (ClO, upper trop H2O and SO2, O3, HNO3) 1991 - 1997 (others)
開発国	アメリカ合衆国
開発機関; PI	NASA/JPL; J.W. Waters
主な開発目的	
観測対象	O3, ClO, H2O2, H2O, SO2, HNO3. pressure, temperature
観測のジオメトリー	limb, 衛星の進行方向に対して90°
測器の原理（種類）	フィルターバンク式ヘテロダインサウンダー
観測波長（波数、周波数）帯	63GHz（1チャンネル）, 183GHz（2チャンネル）, 205GHz（3チャンネル）。1チャンネル500MHz
波長（波数）分解能	
測定信号強度（導出量）の精度等	
Swath Width	5 - 85 km (Vertical limb coverage)
視野(FOV)、水平分解能(IFOV)等	400 km
観測緯度帯	34S - 80N or 80S - 34N（36日毎）
観測高度範囲	0 - 90 (km)
観測時間（ローカル）	昼夜
高度分解能	4 km
時間分解能（観測所用時間）	2秒
データレート	1.25 kbit/s
Operation requirements	
測器重量	
消費電力	
参考文献	Herbert J. Kramer, http://mls.jpl.nasa.gov/joe/um_inst.html
その他	65.536秒毎に観測

測器略称	ISAMS
測器正式名称	Improved Stratospheric and Mesospheric Sounder
搭載（予定）衛星名	UARS
オペレーション（予定）期間	1991 - 1992
開発国	UK
開発機関; PI	
主な開発目的	<ul style="list-style-type: none"> ・ SAMSの改良 ・ 中層大気の大気構造の観測 ・ 窒素化合物の光化学の研究 ・ 水蒸気量の研究 ・ 成層圏化学における火山エアロゾルとPSCの影響の研究
観測対象	CO, H ₂ O, CH ₄ , N ₂ O ₅ , NO ₂ , NO, N ₂ O, O ₃ , HNO ₃ , aerosol, temperature
観測のジオメトリー	limb - sounding radiometer
測器の原理（種類）	8つのディテクターを持ったフィルター放射計。サンプルガスを封入したセルを搭載
観測波長（波数、周波数）帯	4.6 - 16.6 (μm)
波長（波数）分解能	
測定信号強度（導出量）の精度等	
Swath Width	
視野(FOV)、水平分解能(IFOV)等	衛星のパスに沿って200km毎
観測緯度帯	80S - 80N
観測高度範囲	
観測時間（ローカル）	
高度分解能	2.4 km (IFOV)
時間分解能（観測所用時間）	
データレート	1.25 kbit/s
Operation requirements	
測器重量	
消費電力	
参考文献	Herbert J. Kramer, http://www.atm.ox.ac.uk/group/isams/info.html
その他	

測器略称	CLAES
測器正式名称	Cryogenic Limb Array Etalon Spectrometer
搭載(予定)衛星名	UARS
オペレーション(予定)期間	1991 - 1993
開発国	アメリカ合衆国
開発機関; PI	NASA
主な開発目的	19ヶ月の全球に渡るオゾン層関連物質の高度分布データを得ることにより、北半球中高緯度のオゾン破壊を支配するメカニズムのより深い理解(火山エアロゾルの影響を含む)、および南極オゾンホールの変動およびブレイクアップの理解を、他のUARS観測と共に促進させる。
観測対象	N ₂ O, NO, NO ₂ , HNO ₃ , CF ₄ , CF ₂ Cl ₂ , CFCI ₃ , HCl, O ₃ , ClONO ₂ , CO ₂ , H ₂ O, ClO, CH ₄ , temperature
観測のジオメトリー	通常limbスキャン。衛星の進行方向に対して90°の方向を見る
測器の原理(種類)	4つのエタロンと8つのフィルターを用いた分光計。-257℃のsolid neon等を使用して冷却。ディテクタアレイにより、20のfootprintを提供
観測波長(波数、周波数)帯	3.5, 6, 8, 12.7 (μm)
波長(波数)分解能	
測定信号強度(導出量)の精度等	
Swath Width	
視野(FOV)、水平分解能(IFOV)等	
観測緯度帯	34S - 80N or 80S - 34N (36日毎)
観測高度範囲	10 - 60 km
観測時間(ローカル)	
高度分解能	2.5 km
時間分解能(観測所用時間)	65 s
データレート	
Operation requirements	
測器重量	2600 lbs
消費電力	25 W (average)
参考文献	Herbert J. Kramer, http://www.lmsal.com/9120/CLAES/claes_homepage.html
その他	15軌道/日、1300観測/日

測器略称	ORA
測器正式名称	Occultation Radiometer Instrument
搭載(予定)衛星名	EURECA-1 Mission
オペレーション(予定)期間	1992 - 1993
開発国	ベルギー
開発機関; PI	BIRA; E. Arijs
主な開発目的	エアロゾルおよびトレーサーの濃度を中間圏から成層圏にかけて観測
観測対象	O3, NO2, H2O, CO2, aerosol
観測のジオメトリー	
測器の原理(種類)	
観測波長(波数、周波数)帯	250 - 1100 (nm)、10チャンネル
波長(波数)分解能	
測定信号強度(導出量)の精度等	
Swath Width	
視野(FOV)、水平分解能(IFOV)等	
観測緯度帯	
観測高度範囲	20 - 100 (km)
観測時間(ローカル)	
高度分解能	
時間分解能(観測所用時間)	
データレート	
Operation requirements	
測器重量	
消費電力	
参考文献	Herbert J. Kramer, http://www.ksc.nasa.gov/shuttle/missions/sts-46/sts-46-press-kit2.txt
その他	シャトルから放出、後により低軌道で回収

測器略称	GOME
測器正式名称	Global Ozone Monitoring Experiment
搭載(予定)衛星名	ERS-2
オペレーション(予定)期間	1995 -
開発国	
開発機関; PI	ESA
主な開発目的	オゾンおよび他の重要なトレーサーの成層圏、対流圏における観測
観測対象	オゾンおよび他の重要なトレーサーの成層圏、対流圏における観測
観測のジオメトリー	nadir looking (normal mode)
測器の原理(種類)	紫外-赤外までの、プリズムと回折格子を用いた2段階分光計
観測波長(波数、周波数)帯	240 - 790 (nm)、4チャンネル
波長(波数)分解能	0.2 - 0.4 (nm)
測定信号強度(導出量)の精度等	16 bits
Swath Width	960 km
視野(FOV)、水平分解能(IFOV)等	Pixel size : 40 (km) X 1.7 (km) Spatial resolution : 40 X 40 (km) ~ 40 X 320 (km)
観測緯度帯	global
観測高度範囲	
観測時間(ローカル)	
高度分解能	
時間分解能(観測所用時間)	
データレート	43kbit/s
Operation requirements	
測器重量	55.3 kg
消費電力	26 W (normal operation)
参考文献	Herbert J. Kramer, (http://earth1.esrin.esa.it:81/)
その他	3日でオゾンの全球マップを作成

測器略称	Ozon-M
測器正式名称	
搭載(予定)衛星名	PRIODA-1
オペレーション(予定)期間	1995 -
開発国	Russia
開発機関; PI	INTEGRAL
主な開発目的	太陽放射および大気透過スペクトルの測定; オゾン高度分布の測定
観測対象	O3
観測のジオメトリー	
測器の原理(種類)	
観測波長(波数、周波数)帯	257 - 330 (nm), 360 - 462 (nm), 600 - 770 (nm), 900 - 1155 (nm)
波長(波数)分解能	0.3 - 1.0(nm) (Band width)
測定信号強度(導出量)の精度等	
Swath Width	
視野(FOV)、水平分解能(IFOV)等	
観測緯度帯	
観測高度範囲	5 - 70 km
観測時間(ローカル)	
高度分解能	1 km
時間分解能(観測所用時間)	1 s
データレート	320 kbit/s
Operation requirements	
測器重量	
消費電力	
参考文献	Herbert J. Kramer
その他	Range of sun tracker look angles: azimuth : $\pm 65^\circ$ vertical: $-25^\circ - 5^\circ$

測器略称	ILAS
測器正式名称	Improved Limb Atmospheric Spectrometer
搭載(予定)衛星名	ADEOS
オペレーション(予定)期間	1996 - 1997
開発国	日本
開発機関; PI	JEA
主な開発目的	高緯度地帯における大気のリム観測
観測対象	O ₃ , H ₂ O, CO ₂ , CH ₄ , NO ₂ , N ₂ O, aerosol, CFC11, atmospheric density, temperature
観測のジオメトリー	太陽掩蔽法
測器の原理(種類)	回折格子分光系
観測波長(波数、周波数)帯	可視: 753 - 784(nm), 赤外: 6.21 - 11.77 (μm)
波長(波数)分解能	可視: 0.1 nm, 赤外: 0.129 μm
測定信号強度(導出量)の精度等	
Swath Width	
視野(FOV)、水平分解能(IFOV)等	IFOV: 2km(可視), 13km(赤外)
観測緯度帯	約 55N - 70N, 65S - 85S
観測高度範囲	10 - 60 (km)
観測時間(ローカル)	日の出/入
高度分解能	2 km
時間分解能(観測所用時間)	12 Hz
データレート	0.5 Mbits/s
Operation requirements	twice 5 min per orbit around sunrise and sunset times
測器重量	125 kg
消費電力	70 w
参考文献	Herbert J. Kramer. http://www-ilas.nies.go.jp/project/ilas/euc.html#tbl
その他	2×14回/dayの観測(南北両半球で)

測器略称	IMG
測器正式名称	Interferometric Monitor for Greenhouse Gases
搭載(予定)衛星名	ADEOS
オペレーション(予定)期間	1996 - 1997
開発国	日本
開発機関; PI	JAROS
主な開発目的	温室効果気体のグローバルマッピング
観測対象	CO ₂ , CH ₄ , N ₂ O
観測のジオメトリー	
測器の原理(種類)	FTIR. 可動鏡の移動長は10cm
観測波長(波数、周波数)帯	3.3 - 14.0 (μm)
波長(波数)分解能	0.1 cm ⁻¹ (apodized)
測定信号強度(導出量)の精度等	=< 1 K, 安定度 < 0.1K
Swath Width	通常衛星直下の観測
視野(FOV)、水平分解能(IFOV)等	10 mrad (IFOV) ~10 km ² (footprint)、衛星進行方向に対して86km毎の観測
観測緯度帯	
観測高度範囲	
観測時間(ローカル)	
高度分解能	~2 - 6 (km)
時間分解能(観測所用時間)	=< 10 (s)
データレート	0.9 (Mbit/s)
Operation requirements	full time operation for 3 days out of 13 days
測器重量	115 (kg)
消費電力	<= 150 (w)
参考文献	Herbert J. Kramer, http://www.eoc.nasda.go.jp/guide/guide/satellite/sendata/img_j.html , http://img.ersdac.or.jp/firstd.html
その他	4日で全球をカバー

測器略称	RIS
測器正式名称	Retroreflector in Space
搭載(予定)衛星名	ADEOS
オペレーション(予定)期間	1996 - 1997
開発国	日本
開発機関; PI	JEA
主な開発目的	レーザー吸光法による観測
観測対象	O3、fluorocarbon、CO2、etc
観測のジオメトリー	
測器の原理(種類)	Corner-cube retroreflector。地上からレーザー照射。反射光を観測
観測波長(波数、周波数)帯	0.4 - 1.4 (μm)
波長(波数)分解能	
測定信号強度(導出量)の精度等	
Swath Width	
視野(FOV)、水平分解能(IFOV)等	
観測緯度帯	
観測高度範囲	
観測時間(ローカル)	
高度分解能	
時間分解能(観測所用時間)	
データレート	
Operation requirements	Above ground tracking stations
測器重量	
消費電力	
参考文献	Herbert J. Kramer
その他	衛星の速度によるドップラーシフトを利用した波長スキャン

測器略称	OCTS
測器正式名称	Ocean Color and Temperature Scanner
搭載(予定)衛星名	ADEOS
オペレーション(予定)期間	1996 - 1997
開発国	日本
開発機関; PI	NASDA
主な開発目的	
観測対象	size distribution of aerosol over water
観測のジオメトリー	
測器の原理(種類)	
観測波長(波数、周波数)帯	9 bands (0.41 - 0.86) and 3,9 (μm)
波長(波数)分解能	$\Delta\lambda = 330 \text{ nm}$ ($3.9 \mu\text{m}$), 20 - 40 nm (その他)
測定信号強度(導出量)の精度等	
Swath Width	
視野(FOV)、水平分解能(IFOV)等	Pixel Size = 6.00×7.00 (km^2)
観測緯度帯	
観測高度範囲	
観測時間(ローカル)	
高度分解能	
時間分解能(観測所用時間)	
データレート	
Operation requirements	
測器重量	
消費電力	
参考文献	Kaufman et al.
その他	

測器略称	POLDER
測器正式名称	Polarization and directionality of the earth's reflectance
搭載（予定）衛星名	ADEOS
オペレーション（予定）期間	1996 - 1997
開発国	フランス
開発機関; PI	CNES - NASDA
主な開発目的	
観測対象	Angstrom coefficient, aerosol model
観測のジオメトリー	multiview angle
測器の原理（種類）	2次元CCDディテクタアレイからなる、偏光フィルターを備えた撮像装置
観測波長（波数、周波数）帯	8 bands (0.44 - 0.91 μm), 3 polarized bands
波長（波数）分解能	$\Delta\lambda = 10, 20, 40 \text{ nm}$
測定信号強度（導出量）の精度等	12 bits
Swath Width	2400 Km
視野(FOV)、水平分解能(IFOV)等	± 43 along track, ± 51 cross track Pixel size : 6×7 (km ²) at nadir
観測緯度帯	
観測高度範囲	
観測時間（ローカル）	
高度分解能	
時間分解能（観測所用時間）	20 s
データレート	883 kbps
Operation requirements	
測器重量	32 kg
消費電力	50 W (Image mode)
参考文献	Kaufman et al., http://www-projet.cst.cnes.fr:8060/polder/
その他	

測器略称	SMR
測器正式名称	Sub-Millimeter wave Radiometer
搭載(予定)衛星名	ODIN
オペレーション(予定)期間	1999 -
開発国	
開発機関; PI	
主な開発目的	
観測対象	ClO, CO, NO2, N2O, H2O2, HO2, H2O, H218O, NO, HNO3, O3, O2
観測のジオメトリー	limb - scanning
測器の原理(種類)	SSB heterodyne receiver, AOS使用
観測波長(波数、周波数)帯	119, 488, 535, 553, 575 GHz それぞれ 10 - 20 GHz 程度のcoverage
波長(波数)分解能	0.1 - 1 MHz
測定信号強度(導出量)の精度等	1K in 1MHz, SNRは15分の観測で5
Swath Width	
視野(FOV)、水平分解能(IFOV)等	
観測緯度帯	
観測高度範囲	15 - 120 km
観測時間(ローカル)	
高度分解能	
時間分解能(観測所用時間)	2分/scan
データレート	
Operation requirements	
測器重量	
消費電力	
参考文献	Herbert J. Kramer, http://www.ssc.se/ssd/papers/odeye/odeye.html
その他	

測器略称	AMAS
測器正式名称	Advanced Millimeter-Wave Atmospheric Sounder
搭載(予定)衛星名	METEOR-3M
オペレーション(予定)期間	1998 - 2001
開発国	
開発機関; PI	
主な開発目的	
観測対象	temperature, ClO, O3, H2O, CO
観測のジオメトリー	大気縁辺からの熱放射を観測
測器の原理(種類)	
観測波長(波数、周波数)帯	63 - 204 (GHz), 8チャンネル
波長(波数)分解能	160kHz(中心) - 2MHz(ウイング)
測定信号強度(導出量)の精度等	
Swath Width	
視野(FOV)、水平分解能(IFOV)等	300 km (along track)
観測緯度帯	
観測高度範囲	成層圏 - 150km
観測時間(ローカル)	
高度分解能	成層圏で < 5 km
時間分解能(観測所用時間)	
データレート	26 kbit/s
Operation requirements	
測器重量	
消費電力	
参考文献	Herbert J. Kramer, http://www.knmi.nl/neonet/atmo_chem/instruments.html http://www.knmi.nl/onderzk/atmosam/sciavalig/document/node39.html
その他	

測器略称	SAGE-III
測器正式名称	Stratospheric Aerosol and Gas Experiment -III
搭載(予定)衛星名	Meteor-3M, Spase station
オペレーション(予定)期間	1999～、2001～
開発国	アメリカ合衆国
開発機関; PI	Nasa/LaRC; M. P. McCormic
主な開発目的	SAGEII、IIIを継承し、トレンド解析のための長期データを取得する
観測対象	aerosol, O3, NO2, NO3, OClO, H2O, temperature, pressure
観測のジオメトリー	太陽(月)掩蔽法
測器の原理(種類)	回折格子分光計
観測波長(波数、周波数)帯	290 - 1550 (nm), 9チャンネル
波長(波数)分解能	1.1 - 32.5 (nm), 半値幅、チャンネルにより異なる
測定信号強度(導出量)の精度等	～10% (各導出量により異なる)
Swath Width	
視野(FOV)、水平分解能(IFOV)等	FOV : Azimuth : ±180° Elevation : 19° - 29°
観測緯度帯	極域 (Meteor-3M)、熱帯～亜熱帯 (Space station)
観測高度範囲	O3 : 中部対流圏 - 85 km H2O : PBL - 50 km NO2 : 圏界面 - 45 km NO3 : 20 - 55 km OClO : 15 - 25 km O2 : 中部対流圏 - 70 km aerosol : 0 - 35 km
観測時間(ローカル)	日(月)の出/入
高度分解能	1 km
時間分解能(観測所用時間)	0.09 - 2.23 (msec, 太陽)
データレート	100kbit/s (8分間、1周回に3回)
Operation requirements	
測器重量	40 kg
消費電力	15W (60W Peak)
参考文献	Herbert J. Kramer, http://arbs8.larc.nasa.gov/sage3/index.html
その他	

測器略称	MODIS
測器正式名称	Moderate Resolution Imaging Spectrometer
搭載(予定)衛星名	EOS-AM1, EOS-PM
オペレーション(予定)期間	1999, 2000; 設計寿命6年
開発国	USA
開発機関; PI	NASA
主な開発目的	地表面(陸域、海域)および大気を、可視域および赤外域で全球に渡り観測する(2日で全球の観測)。
観測対象	τ_a and size distribution over water τ_a and ω_0 over land Column water vapor Cloud properties and thermodynamic phase Cloud mask temperature, moisture, ozone profiles
観測のジオメトリー	
測器の原理(種類)	
観測波長(波数、周波数)帯	12 bands(0.41 - 2.10 μm), 3.96 μm
波長(波数)分解能	$\Delta\lambda = 100 \text{ nm}$ (3.96 μm), 10 - 20 nm (others)
測定信号強度(導出量)の精度等	12 bits
Swath Width	2330 km (by 10km along track) at nadir
視野(FOV)、水平分解能(IFOV)等	Pixel size: 1.00 \times 1.00 (km ²) 0.50 \times 0.50 (km ²) 0.25 \times 0.25 (km ²)
観測緯度帯	
観測高度範囲	
観測時間(ローカル)	
高度分解能	
時間分解能(観測所用時間)	20.3 rpm cross track (Scan rate)
データレート	10.8 Mbps (peak daytime); 6.2 Mbps (orbital average)
Operation requirements	
測器重量	250 kg
消費電力	162.5 W(single orbit average)
参考文献	Kaufman et al., http://modarch.gsfc.nasa.gov/MODIS/
その他	

測器略称	MOPITT
測器正式名称	Measurement of Pollution in the Troposphere
搭載(予定)衛星名	EOS-AM1
オペレーション(予定)期間	1999~、5年間(+2003~)
開発国	カナダ
開発機関; PI	CSA; J. Durmond
主な開発目的	対流圏のCOおよびCH4のモニタリング
観測対象	CO Profiles and total column CH4
観測のジオメトリー	nadir sounding
測器の原理(種類)	Correlation spectroscopy, 機械冷却(100K)のディテクタアレイ(4×1)
観測波長(波数、周波数)帯	2.3, 2.4, 4.7 (μm)
波長(波数)分解能	
測定信号強度(導出量)の精度等	CO: 10% CH4: 1%
Swath Width	616 km, (Maximam scan angle = 26.1°)
視野(FOV)、水平分解能(IFOV)等	22 km X 22km X 4 チャンネル FOV = 1.8°
観測緯度帯	全球
観測高度範囲	0 - 15 (km) (CO高度分布)、カラム量
観測時間(ローカル)	
高度分解能	CO 3 - 4 (km)
時間分解能(観測所用時間)	0.4 s
データレート	6 kbit/s
Operation requirements	
測器重量	
消費電力	
参考文献	Herbert J. Kramer, http://www.atmosp.physics.utoronto.ca/MOPITT/home.html
その他	duty cycle = 100%

測器略称	MISR
測器正式名称	Multi-angle Imaging SpectroRadiometer
搭載(予定)衛星名	EOS-AM1
オペレーション(予定)期間	1999、6年間
開発国	USA
開発機関; PI	NASA
主な開発目的	to measure how much sunlight is scattered in different directions under natural conditions.
観測対象	τ_a , size distribution and phase function over water τ_a over land
観測のジオメトリー	(0, ± 26.1 , ± 45.6 , ± 60.0 , ± 70.5 degree from nadir)
測器の原理(種類)	9個のCCDカメラ。それぞれが1504ピクセル×4ライン
観測波長(波数、周波数)帯	4 bands (443, 555, 670, 865 nm center)
波長(波数)分解能	$\Delta\lambda = 10 - 20$ nm
測定信号強度(導出量)の精度等	Radiometric accuracy : 3 % at maximum signal
Swath Width	360 km common overlap of all 9 cameras
視野(FOV)、水平分解能(IFOV)等	Pixel size: 1.00 × 1.00 (km ²) 0.25 × 0.25 (km ²)
観測緯度帯	
観測高度範囲	
観測時間(ローカル)	
高度分解能	
時間分解能(観測所用時間)	
データレート	9.0Mbps peak, 3.3Mbps average
Operation requirements	
測器重量	148 kg
消費電力	117W peak, 75W average
参考文献	Kaufman et al., http://www-misr.jpl.nasa.gov/
その他	Global coverage time: Every 9 days, with repeat coverage between 2 and 9 days depending on latitude

測器略称	AMSR
測器正式名称	Advanced Microwave Scanning Radiometer
搭載(予定)衛星名	ADEOS-II
オペレーション(予定)期間	2000-
開発国	日本
開発機関; PI	NASDA
主な開発目的	全地球規模の水循環、エネルギー循環の把握
観測対象	Ocean vapor profiles, precipitation, sea surface temperature, wind speed, ice
観測のジオメトリー	nadir looking
測器の原理(種類)	マルチバンドマイクロ波放射計
観測波長(波数、周波数)帯	6.9, 10.65, 18.7, 23.8, 36.5, 89, 50.3, 52.8 (GHz)
波長(波数)分解能	それぞれの周波数帯に対して 350, 100, 200, 400, 1000, 3000, 200, 400 (MHz)
測定信号強度(導出量)の精度等	1K、分解能 0.3 - 1 K、量子化は12bit(6.9GHz)、10bit(その他)
Swath Width	1600km
視野(FOV)、水平分解能(IFOV)等	5-60km
観測緯度帯	
観測高度範囲	
観測時間(ローカル)	
高度分解能	
時間分解能(観測所用時間)	
データレート	100kBits/s
Operation requirements	
測器重量	250kg
消費電力	250W
参考文献	Herbert J. Kramer, http://www.eoc.nasda.go.jp/guide/guide/satellite/sendata/amr_j.html
その他	

測器略称	GLI
測器正式名称	Global Imager
搭載(予定)衛星名	ADEOS-II
オペレーション(予定)期間	2000-
開発国	日本
開発機関, PI	NASDA
主な開発目的	海洋におけるカーボンサイクルの研究、監視等
観測対象	Biological and physical processes, stratospheric ozone
観測のジオメトリー	nadir looking (チルトあり)
測器の原理(種類)	
観測波長(波数、周波数)帯	375 nm - 12.5 μ m VNIR(22バンド)、SWIR(5バンド)、TIR(7バンド)
波長(波数)分解能	10 - 15 nm (VNIR)
測定信号強度(導出量)の精度等	分解能 12bit
Swath Width	1600 km
視野(FOV)、水平分解能(IFOV)等	1km (1.25mrad)、一部のバンドは250m (0.3125mrad)。 進行方向は12km
観測緯度帯	
観測高度範囲	
観測時間(ローカル)	
高度分解能	
時間分解能(観測所用時間)	
データレート	5.2Mbit/s
Operation requirements	
測器重量	350kg
消費電力	400W
参考文献	Herbert J. Kramer, http://www.eoc.nasda.go.jp/guide/guide/satellite/sendata/gli_j.html
その他	tilt angle = $\pm 20^\circ$, SNR = 800

測器略称	ILAS-II
測器正式名称	Improved Limb Atmospheric Spectrometer-II
搭載(予定)衛星名	ADEOS-II
オペレーション(予定)期間	2000-
開発国	日本
開発機関; PI	JEA
主な開発目的	南北両半球の高緯度地域成層圏のオゾン層監視・研究
観測対象	O3, HNO3, CH4, N2O, H2O, NO2, CFC-11, CFC-12, ClONO2, aerosol, temperature, pressure
観測のジオメトリー	太陽掩蔽法
測器の原理(種類)	回折格子分光計
観測波長(波数、周波数)帯	6.21 - 11.76, 3.0 - 5.7, 12.78 - 12.85 (μm), 753 - 784 (nm)
波長(波数)分解能	
測定信号強度(導出量)の精度等	O3 1%, ClONO2検討中、その他5%
Swath Width	
視野(FOV)、水平分解能(IFOV)等	
観測緯度帯	57N - 72N, 65S - 90S
観測高度範囲	10 - 60 (km)
観測時間(ローカル)	
高度分解能	1 km
時間分解能(観測所用時間)	
データレート	453.7kbps
Operation requirements	
測器重量	138 kg
消費電力	120 W
参考文献	Herbert J. Kramer、環境庁パンフレット
その他	

測器略称	GOMOS
測器正式名称	Global Ozone Monitoring by Occultation of Stars
搭載(予定)衛星名	ENVISAT-1
オペレーション(予定)期間	1999-
開発国	
開発機関; PI	
主な開発目的	全球のオゾンおよび化学的に重要なガスを高い高度分解能、高精度で観測する。
観測対象	O3, H2O, NO2, NO3, 気温, OClO
観測のジオメトリー	星掩蔽法
測器の原理(種類)	紫外-近赤までの分光計
観測波長(波数、周波数)帯	250 - 675, 756 - 773m 926 - 952 (nm)
波長(波数)分解能	250 - 675 (nm) : 1.2 nm 756 - 773, 926 - 952 (nm) : 0.2 nm
測定信号強度(導出量)の精度等	
Swath Width	
視野(FOV)、水平分解能(IFOV)等	Star Tracker: $\pm 0.3^\circ$ FOV
観測緯度帯	全球
観測高度範囲	圏界面 - 100 km
観測時間(ローカル)	日夜
高度分解能	1.7 km以上
時間分解能(観測所用時間)	1kHz (sampling rate)
データレート	220kbit/s
Operation requirements	
測器重量	< 150kg
消費電力	< 180W
参考文献	Herbert J. Kramer, http://www.jw.estec.esa.nl:8080/~enviweb/ENVINEW/ENVISAT.html
その他	約45/軌道(約600/日)の観測点

測器略称	MERIS
測器正式名称	MEdium Resolution Imaging Spectrometer
搭載(予定)衛星名	ENVISAT
オペレーション(予定)期間	1999-
開発国	
開発機関; PI	ESA
主な開発目的	
観測対象	τa , size distribution
観測のジオメトリー	
測器の原理(種類)	CCDアレイ
観測波長(波数、周波数)帯	15 bands (400 - 1050 nm)
波長(波数)分解能	2.5nm, adjustable
測定信号強度(導出量)の精度等	Polarisation sensitivity: Less than 1% Radiometric accuracy: Less than 2% of detected signal, relative to sun
Swath Width	1450 km
視野(FOV)、水平分解能(IFOV)等	FOV: $\pm 41^\circ$ around nadir Pixel size (nadir): 1.20 \times 1.20 (km ²) 0.30 \times 0.30 (km ²)
観測緯度帯	全球
観測高度範囲	
観測時間(ローカル)	
高度分解能	
時間分解能(観測所用時間)	
データレート	
Operation requirements	
測器重量	
消費電力	
参考文献	Kaufman et al. http://envisat.estec.esa.nl/
その他	2 - 3日で全球のデータを取得。

測器略称	MIPAS
測器正式名称	Michelson Interferometer for Passive Atmospheric Sounding
搭載(予定)衛星名	ENVISAT-1
オペレーション(予定)期間	1999-
開発国	
開発機関; PI	ESA
主な開発目的	中層大気における各種成分の全球観測。オゾンとCFCsのモニタリング
観測対象	各種トレーサー(特に成層圏、晴天時の上部対流圏)
観測のジオメトリー	大気縁辺からの熱放射を観測
測器の原理(種類)	FTS
観測波長(波数、周波数)帯	4.15 - 14.6 (μm)
波長(波数)分解能	0.035 cm^{-1} 以下(unapodized)
測定信号強度(導出量)の精度等	1%~3%(目標)、16bit
Swath Width	
視野(FOV)、水平分解能(IFOV)等	30 km X 300 km 90° - 120° (Scan geometry:Sidewards) 160° -196° (Scan geometry:Backwards)
観測緯度帯	全球
観測高度範囲	5 - 150 (km)、特に8 - 50 (km)
観測時間(ローカル)	日夜
高度分解能	3 km
時間分解能(観測所用時間)	4 sec
データレート	550 kbit/s (for total measured spectrum)
Operation requirements	
測器重量	
消費電力	
参考文献	Herbert J. Kramer、 http://envisat.estec.esa.nl/
その他	

測器略称	SCIAMACHY
測器正式名称	Scanning Imaging Absorption Spectrometer for Atmospheric Cartography
搭載(予定)衛星名	ENVISAT-1
オペレーション(予定)期間	1999-
開発国	German/Dutch
開発機関; PI	DARA/NIVR
主な開発目的	成層圏、対流圏におけるトレーサーの全球観測
観測対象	対流圏: O3, NO2, N2O, CO, CO2, CH4, H2O, (HCHO, SO2, NO3) 成層圏: O3, NO2, N2O, CO, CO2, CH4, H2O, HF, BrO, NO(Column above 40 km), OCIO and ClO (Ozone Hole) 全般: aerosol, cloud altitude
観測のジオメトリー	nadir, limb, sun/moon occultations
測器の原理(種類)	8チャンネル回折格子分光計
観測波長(波数、周波数)帯	240 - 1700, 1980 - 2020, 2265 - 2380 (nm)
波長(波数)分解能	0.2 - 0.5 (μ m) at 240 - 1700 (nm)
測定信号強度(導出量)の精度等	
Swath Width	500km (nadir-looking), 1000km (limb)
視野(FOV)、水平分解能(IFOV)等	1.8° X 0.045° (IFOV) Pixel size(Nadir): 32 km X 320 km Nadir Resolution: 32 km X 70 km
観測緯度帯	全球 (50° - 80° for occultation)
観測高度範囲	~100km(limb)
観測時間(ローカル)	
高度分解能	3 km (Limb)、 2.5km(occultation)
時間分解能(観測所用時間)	
データレート	
Operation requirements	
測器重量	
消費電力	
参考文献	Herbert J. Kramer、 http://envisat.estec.esa.nl/
その他	

測器略称	AIRS
測器正式名称	The Atmospheric Infrared Sounder
搭載(予定)衛星名	EOS-PM
オペレーション(予定)期間	2000 -
開発国	USA
開発機関; PI	NASA/JPL
主な開発目的	NOAAが将来定期的に運用しようとしている高精度赤外のサウンダーに要求される事項を満たす測器。
観測対象	気温、水蒸気、可降水量、雲量、雲頂高度、雲頂温度、 (降水量の見積もり、対流圏界面高度および成層圏界面高度、 宇宙空間への赤外放射、雲の光学的厚さ、オゾン)
観測のジオメトリー	nadir-looking
測器の原理(種類)	Array grating spectrometer
観測波長(波数、周波数)帯	3.74 to 15.4 um, 2400チャンネル
波長(波数)分解能	1,200 (I/DI)
測定信号強度(導出量)の精度等	0.05 emissivity accuracy, 1K temperature retrieval accuracy, 20 % in humidity
Swath Width	1650 km
視野(FOV)、水平分解能(IFOV)等	IFOV : 1.1° spatial resolutin : 13.5 km at nadir
観測緯度帯	
観測高度範囲	
観測時間(ローカル)	
高度分解能	1 km
時間分解能(観測所用時間)	2.67(s)/90(footprints)
データレート	1.42Mbps
Operation requirements	
測器重量	140 kg
消費電力	224 W
参考文献	http://www-airs.jpl.nasa.gov/about_airs.html
その他	Thermal controle : Redundant 60K Stirling cycle coolers, heater, mini thermal bus, two-stage radiator; Duty cycle = 100 %,

測器略称	HIRDLS
測器正式名称	High-Resolution Dynamics Limb Sounder
搭載(予定)衛星名	EOS-Chem
オペレーション(予定)期間	2002-
開発国	USA, UK
開発機関; PI	NASA, UK; J. Barnett (Oxford Univ.), J. Gille(NCAR)
主な開発目的	これまでにない高い水平/鉛直分解能の実現。下部成層圏での高感度/高精度観測、大気過程のより深い理解
観測対象	O3, H2O, CH4, N2O, HNO3, N2O5, CFC11, CFC12, NO2, PSC, cloud tops, temperature
観測のジオメトリー	Scanning infrared limb sounder
測器の原理(種類)	21個のHgCdTeディテクタ(80K)と干渉フィルタを用いた赤外放射計
観測波長(波数、周波数)帯	6.12 - 17.76 (μm)、21チャンネル
波長(波数)分解能	フィルタごとに異なる値
測定信号強度(導出量)の精度等	
Swath Width	2000 - 3000 (km)
視野(FOV)、水平分解能(IFOV)等	500 km \times 400km ($5^\circ \times 4^\circ$)毎の観測 DetectorのIFOVは水平方向10km。 各データサンプルは10km across \times 400km along line-of-sight azimuth: -20° (sun side) to $+50^\circ$ (anti-sun side) elevation: $\pm 2.5^\circ$ about -25.3° below horizontal
観測緯度帯	全球
観測高度範囲	上部対流圏、成層圏、熱圏
観測時間(ローカル)	日夜
高度分解能	1 - 1.5 (km)
時間分解能(観測所用時間)	
データレート	65 kbits/s
Operation requirements	
測器重量	185kg
消費電力	220W(average)
参考文献	Herbert J. Kramer, http://eos.acd.ucar.edu/hirdls/home.html
その他	12時間で全球のデータを取得、duty cycle = 100%

測器略称	MLS(2)
測器正式名称	Microwave Limb Sounder
搭載(予定)衛星名	EOS-Chem
オペレーション(予定)期間	2002 -
開発国	アメリカ合衆国
開発機関; PI	NASA/JPL; J. Waters
主な開発目的	成層圏および上部対流圏のオゾンを支配する大気過程の研究/ モニタリング
観測対象	O3, ClO, H2O, SO2, CO, N2O, HNO3, HCl, HOCl, BrO, OH, HO2, HCN, temperature, geopotential height, cirrus ice
観測のジオメトリー	大気縁辺からの熱放射を観測
測器の原理(種類)	フィルターバンク分光形
観測波長(波数、周波数)帯	118, 190, 240, 440, 640 (GHz), 2.5THz (中心波数)
波長(波数)分解能	1MHz
測定信号強度(導出量)の精度等	
Swath Width	
視野(FOV)、水平分解能(IFOV)等	FOV : Borsight 62° - 74 relative to nadir IFOV : ±2.5° (half-cone, along-track) 水平分解能 : 3 X 300 km
観測緯度帯	全緯度帯/1周期
観測高度範囲	上部対流圏 - 下部熱圏。上部対流圏 - 下部成層圏が中心
観測時間(ローカル)	日夜
高度分解能	1.2 km
時間分解能(観測所用時間)	
データレート	100kbit/s
Operation requirements	
測器重量	490 kg
消費電力	520W
参考文献	Herbert J. Kramer, http://stargate.jpl.nasa.gov:1097/mls2.html
その他	duty cycle = 100% (24時間連続観測)

測器略称	TES
測器正式名称	Tropospheric Emission Spectrometer
搭載(予定)衛星名	EOS-Chem
オペレーション(予定)期間	2002 -
開発国	USA
開発機関; PI	NASA/JPL
主な開発目的	対流圏オゾンの観測
観測対象	対流圏オゾン、および対流圏オゾンの生成に関与する物質
観測のジオメトリー	nadir-looking and limb-looking
測器の原理(種類)	high resolution infrared imaging Fourier transform spectrometer
観測波長(波数、周波数)帯	3.2 to 15.4 μm
波長(波数)分解能	0.1 cm^{-1} (nadir, low resolution) or 0.025 cm^{-1} (limb, high resolution)
測定信号強度(導出量)の精度等	
Swath Width	1700km (nadir looking mode)
視野(FOV)、水平分解能(IFOV)等	nadir mode : 5.3 km \times 8.3 km limb mode : 26 km \times 41.8 km
観測緯度帯	
観測高度範囲	0 - 33 km (limb mode)
観測時間(ローカル)	
高度分解能	2.3 km (limb mode)
時間分解能(観測所用時間)	
データレート	
Operation requirements	
測器重量	
消費電力	
参考文献	http://tes.jpl.nasa.gov/MISSION/mission.html
その他	

測器略称	IASI
測器正式名称	Improved Atmospheric Sounding Interferometer
搭載(予定)衛星名	METOP-1
オペレーション(予定)期間	2002 -
開発国	
開発機関; PI	CNES/EUMETSAT
主な開発目的	
観測対象	tropospheric moisture and temperature, O3, CO, CH4, NO2, その他トレーサの全量
観測のジオメトリ	nadir-viewing
測器の原理(種類)	フーリエ分光計
観測波長(波数、周波数)帯	3.4 - 15.5 (μm)
波長(波数)分解能	0.25 cm^{-1} (unapodized)
測定信号強度(導出量)の精度等	
Swath Width	
視野(FOV)、水平分解能(IFOV)等	
観測緯度帯	
観測高度範囲	
観測時間(ローカル)	
高度分解能	
時間分解能(観測所用時間)	
データレート	
Operation requirements	
測器重量	
消費電力	
参考文献	Herbert J. Kramer, http://www.esa.int/esa/progs/METOP.html
その他	

**RESEARCH REPORT FROM
THE NATIONAL INSTITUTE FOR ENVIRONMENTAL STUDIES, JAPAN
No. 148
国立環境研究所研究報告 第148号
(R-148-'99)**

【平成11年6月23日編集委員会受付】
【平成11年7月22日編集委員会受理】

平成11年8月31日発行

発行 環境庁 国立環境研究所
〒305-0053 茨城県つくば市小野川16番2
電話 0298-50-2343(ダイヤルイン)

印刷 ニッセイエプロ株式会社
〒105-0003東京都港区西新橋2-5-10

Published by the National Institute for Environmental Studies
16-2 Onogawa, Tsukuba, Ibaraki 305-0053 Japan
AUG 1999

本報告書は再生紙を使用しています。