

第 3 部 參考資料

オゾン層等の観測手法及び観測体制

1. オゾン層の観測

(1) オゾン層観測手法

オゾン層の観測は、大気を採取するなどしてその地点・高度のオゾン濃度を直接測る直接測定とオゾン分子による光の吸収・散乱などを用いた間接的に濃度を算出する遠隔測定に大きく分けることができる。また、測定器を載せるプラットフォームにより、地上からの観測、人工衛星からの観測、気球やロケットを用いた観測などに分類できる(表7)。

表7 オゾン観測手法の分類

手 法	直接測定 / 遠隔測定	プラットフォーム
ドブソン分光光度計等 (全量観測・反転観測)	遠隔測定	地上
オゾンゾンデ	直接測定	ゴム気球
各種センサー	直接測定 / 遠隔測定	大型気球
ロケットゾンデ(各種)	直接測定 / 遠隔測定	ロケット / パラシュート
レーザーレーダー	遠隔測定	地上
ミリ波センサー	遠隔測定	地上
人工衛星センサー(各種)	遠隔測定	人工衛星

ア. ドブソン分光光度計等

(全量観測)

現在、オゾン層の観測手法として標準とされているのは、ドブソン分光光度計による測定である。ドブソン分光光度計は、天空からくる紫外線をプリズムによって分光し、オゾンに強く吸収される波長の光と比較的吸収が少ない波長の光の強度比を測定することにより、地上から大気上端までの気柱に含まれるオゾンの総量(オゾン全量)を求めるものである。

同様の測定器として、プリズム分光光度計、フィルタ - 式分光光度計(M83型あるいはM124型)等がある。前者は回折格子を用いて分光を行うもので、信号処理の自動化が図られている。後者は二つのバンドパス・フィルタ - による分光光度計で、旧ソ連圏で使用されている。フィルタ - の光学特性の変化のため測定精度はドブソン分光光度計より落ちるが、最近では改善されている。

(反転観測)

ドブソン分光光度計を用いてオゾンの高度分布を求める手法で、天頂方向から入射する光の強度比を2種類の波長で測定する。この場合、大気に入射した太陽光のうち、空気分子で散乱され真下に向かったものが測定される。どの高度で散乱された光が卓越するかは、太陽天頂角と波長に依存する。これらの関係は、太陽天頂角が大きいくほど高度依存性が強くなるので、いくつかの異なる太陽天頂角での測定から、オゾンの高度層ごとの濃度が算出される。

イ. オゾンゾンデ

オゾンゾンデはゴム気球に測定器を取り付けて飛揚させ、各高度で測定したデータ無線で地上に送信するもので、地上から高度35km位までの間のオゾン濃度を測定することができる。定常的に使われているオゾンゾンデの測定原理は、電気化学法と呼ばれるものである。ヨウ化カリ

ウム (KI) 溶液にオゾンを含む空気を通し、ヨウ化カリウムとオゾンの反応で生じるヨウ素分子が陰極電子と作用してできる陰イオンによる電流を測定する。この場合、反応したオゾンの数密度に比例した電流が得られるので、空気中のオゾン濃度がわかる。

ウ．ロケットゾンデ

ロケットにより測定器を高層まで運び、オゾン濃度を直接あるいは間接に測定する。測定器としては、太陽または月の紫外線がオゾンによって受ける吸収を高度の関数として測定するもの、取入口から取り込んだ空気中のオゾンによってある種の染料が発する蛍光を測定するもの、太陽紫外線によるオゾンの光解離で発する赤外放射を測定する方式のものなどがある。太陽紫外線の吸収による測定は、高度 40～60 kmにおける最も信頼できるオゾン測定法で、我が国でも実用化されている。

エ．レーザーレーダー

レーザーレーダー（ライダー）は、レーザー光を用いた一種のレーダーである。ドブソン分光光度計が太陽紫外線を光源としてオゾンによる吸光を測定するのにに対し、レーザーレーダーは自らが紫外レーザー光を発して、大気による散乱光を発生させ、オゾンによるその吸収の大きさを測定することでオゾン密度を求める。また、パルス光を用いるので、高度分布を求めることができる。

具体的には、オゾンによる吸収の大きな波長と比較的吸収の小さな波長のレーザーパルス光を大気中に発射する。レーザー光は空気分子などで散乱されるので、後方に散乱される光を光学望遠鏡（受光望遠鏡）で受信し、パルスを発してから時間遅れの関数として記録する。時間の遅れからは距離（高度）の情報が得られ、2つの波長の信号強度の違いにより地上からその高度までのオゾンによる光の減衰（積分された吸収量）がわかる。したがって、一定の演算処理によってオゾン密度の高度分布が計算される。

これまで、米、仏、日本等で開発されてきたオゾンレーザーレーダーによれば、高度 40～50 kmの上部成層圏までの測定が、2～4時間の測定時間をかけることにより高度分解能 1～4 kmで行える。

オ．ミリ波センサー

オゾンからの熱放射をミリ波帯で測定するもので、オゾン分子の回転状態遷移によって生じるスペクトル線の輪郭からオゾンの高度分布に関する情報が得られる。大気の高い高度から発せられるスペクトル線の輪郭は、幅の狭いスペクトルとなるが、高度が下がると空気分子との衝突のためスペクトル幅が広がる。測定されるスペクトルは、これらの重ね合わせである。気温の高度分布がわかっているれば、各高度に対するスペクトルの形状は計算されるので、オゾンの高度分布を算出することができる。

ミリ波センサーは、昼夜を問わず観測できるという利点がある。高度 70～80 kmまでの高度分布が分解能 10 km程度、5～20分程度で測定できる。

カ．人工衛星センサー

すべての気体成分は、それぞれ固有の放射・吸収スペクトルを有していることから、適切な波長を選んで、大気の放射・吸収の測定を行うことで、成分別の濃度を遠隔的に測定することができる。衛星に搭載されるオゾン観測センサーとしては、オゾンの発する赤外放射やミリ波放射を測定する方式（放射測定法）と、オゾンによる太陽光の吸収を測定する方式（吸光測定法）とに

大別できる。後者にはさらに、太陽光を直接の光源として地球周縁大気を通過する際の吸収を測定する方法（太陽掩蔽法）と、地球大気による太陽光の散乱光を測定する方法（後方散乱法）とがある。

放射測定法に基づくセンサーにも、地球周縁方向を測定対象とする方法と、衛星直下を測定方向とする方法がある。前者の代表例としては、LIMS、CLAES、MLS、後者には、IMGがある。

太陽掩蔽法では、太陽とセンサーの位置関係によって主たる吸収を受ける高度が異なることを利用して、高度分布の測定を高精度に行うことができる。太陽掩蔽法の代表例としては、SAGE、SAGE、HALOE、ILAS、ILAS- が挙げられる。後方散乱法の場合には、空気分子で後方散乱された太陽紫外線強度をいくつかの波長で測定する。波長によって大気層への紫外線の侵入高度が異なることを利用して、オゾン高度分布あるいは全量を求める。後方散乱法としては、TOMS、SBUV/2、GOME等が代表的である（表8）。

表 8 人工衛星センサーの分類

	センサー名	測定項目	観測国	搭載衛星名	
放射測定法	地球周縁方向	LIMS	N ₂ O、CH ₄ 、HNO ₃ 、H ₂ O、NO ₂	米国	Nimbus-7
		CLAES	ClO、HCl、ClONO ₂	米国	UARS
		MLS	ClO、HNO ₃ 、H ₂ O、O ₃ 、ClONO ₂ 、HCl	米国	UARS
		MIPAS	O ₃ 、H ₂ O、CH ₄ 、N ₂ O、HNO ₃ 、CFC's	欧州	Envisat
		SMR	O ₃ 、ClO、HNO ₃ 、NO ₂ 、N ₂ O、CH ₄ 、水蒸気、CO	欧州	ODIN
	衛星直下方向	IMG	気温、O ₃ 、H ₂ O、CH ₄ 、CO	日本	ADEOS (みどり)
TOVS/HIRS		気温、水蒸気、O ₃	米国	NOAA シリーズ	
吸光測定法	太陽掩蔽法	ILAS	気温、気圧、O ₃ 、H ₂ O、CH ₄ 、HNO ₃ 、NO ₂ 、N ₂ O、エアロゾル	日本	ADEOS (みどり)
		ILAS-	気温、気圧、O ₃ 、HNO ₃ 、NO ₂ 、N ₂ O、CH ₄ 、H ₂ O、エアロゾル	日本	ADEOS (みどり)
		SAGE	O ₃ 、エアロゾル	米国	AEM2
		SAGE	O ₃ 、H ₂ O、NO ₂ 、エアロゾル	米国	ERBS
		SAGE	エアロゾル、H ₂ O、NO ₂ 、NO ₃ 、O ₃ 、OCIO、気温、気圧、雲	米国	METEOR-3M
		HALOE	HCl、HF、ClO、NO ₂	米国	UARS
	POAM	気温、H ₂ O、O ₃ 、エアロゾル、NO ₂	米国	SPOT4	
	恒星掩蔽法	GOMOS	O ₃ 、NO ₂ 、NO ₃ 、OCIO、気温、H ₂ O	欧州	Envisat
	後方散乱法	BUV	O ₃	日本	EXOS-C (おおぞら)
		TOMS	O ₃ 、SO ₂ 、エアロゾル、UV-B	米国	Nimbus-7、Meteor-3、Earth Probe
				日本	ADEOS (みどり)
		OMI	O ₃ 、NO ₂ 、SO ₂ 、OCIO、HCHO、BrO、UV-B、エアロゾル、雲	欧州	EOS-AURA
		SBUV	O ₃	米国	Nimbus-7
		SBUV/2	O ₃	米国	NOAA シリーズ
	GOME	BrO、NO ₂ 、OCIO、O ₃	ドイツ	ERS-2	
太陽・月遮蔽法、後方散乱法	SCIAMACHY	O ₃ 、CO、CH ₄ 、N ₂ O、NO ₂ 、SO ₂ 、HCHO、H ₂ O、BrO、ClO、気温、エアロゾル	欧州	Envisat	

(2) オゾン層観測体制

ア. 現状

GAW (全球大気監視) 計画

国際オゾン委員会 (IOC) は、1957～1958 年の国際地球観測年 (IGY) に際して各国の気象機関にオゾン観測の実施を呼びかけ、これにより全地球規模でオゾン観測が行われるようになった。オゾン層破壊が懸念されるようになって、オゾン層のモニタリングの重要性が再認識され、WMO は、1981 年にこれまでの観測所網を全球オゾン観測システム (GO₃OS: Global Ozone Observing System) として整備した。また、オゾン層破壊、地球温暖化等の地球環境問題の顕在化に伴い、地球環境の実態を正確に把握するため、オゾン、温室効果ガスなどの大気微量成分を地球規模で観測し、データの収集、管理、提供を行う体制の実現が必要になったことから、WMO は 1989 年に既存の観測網である GO₃OS 及び大気バックグランド汚染監視網 (BAPMoN: Background Air Pollution Monitoring Network) を基礎とした全球大気監視 (GAW) 計画を発足させた。

我が国においては、気象庁が 1957 年からつくば (国際地点名: TATENO) で、1958 年から札幌及び鹿児島で、1961 年から南極昭和基地で順次オゾン観測を開始し、1974 年からは那覇においても観測を開始した。現在、札幌、つくば、那覇、昭和の 4 地点でドブソン分光光度計によるオゾン全量観測・オゾン反転観測及びオゾンゾンデ観測を定常的に行っている。さらに、1994 年からは、南鳥島においてブリューワ分光光度計によりオゾン全量観測を行っている。

世界のオゾン観測地点を図 51 に示す。各観測点は北半球中緯度の陸上に偏在しており、低緯度、南半球、海洋等では、観測点の密度がまだ不十分といえる。WMO は、大気環境観測の重要性から GAW 計画の下に全球的な観測網の充実に努めている。

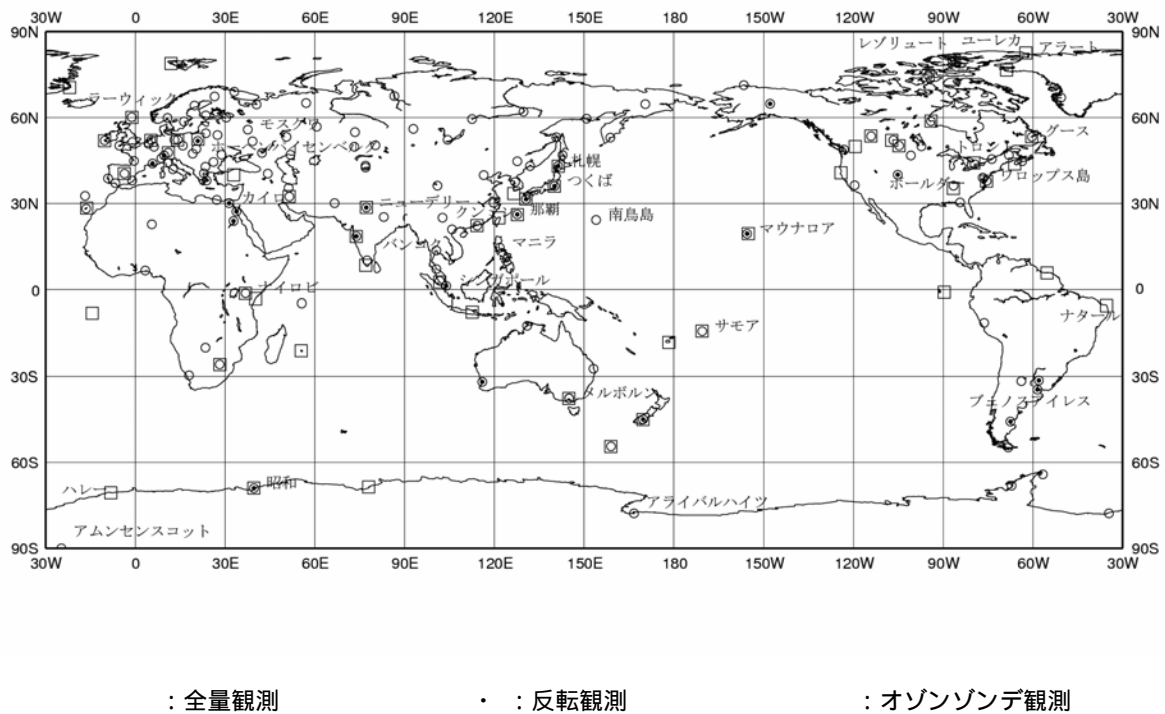


図 51 世界のオゾン観測所の分布 (2005 年現在)

全量観測は 145 地点、反転観測は 22 地点、オゾンゾンデ観測は 56 地点。

(出典) 気象庁 オゾン層観測報告 2005

大気組成変化検出のためのネットワーク(NDACC)

オゾン層の変化を早期に検出し、また、オゾン層変動のメカニズムを理解することを目的として、レーザーレーダー、ミリ波放射計、フーリエ変換赤外分光計、可視・紫外分光計等の地上ベースの遠隔計測によるモニタリングステーション(一次ステーション)を北極域、北半球中緯度、熱帯、南半球中緯度及び南極大陸に配備するプロジェクトが国際的に進められている。また、二次ステーション等における補助的な観測が呼びかけられている。

我が国は、運営委員会に参加している他、一次ステーションにおける観測を実施しており(カナダのユーレカにおけるエアロゾルレーザーレーダー：気象庁気象研究所・総務省通信総合研究所・名古屋大学、赤外分光計：気象庁気象研究所、ニュージーランドのローダーにおけるエアロゾルレーザーレーダー：気象庁気象研究所)また、補助的観測にも参加している(つくばにおけるオゾンレーザーレーダー、北海道陸別町におけるミリ波オゾン放射計：国立環境研究所、北海道における可視紫外分光計及び赤外分光計：名古屋大学)。

その他、2003年度には、南極域でも定常的な観測に加えて、ドイツを中心とするQUOBI(両極オゾン破壊の定量化)計画による南極 Match 観測が6~10月に行われた。我が国の昭和基地もこれに参加し、空気塊の流れに沿ったオゾンゾンデ同期観測を実施した。また、昭和基地ではこれに続く10~1月に、オゾン層回復の力学メカニズム解明のための集中観測が行われた。この中で光学オゾンゾンデを搭載した高々度気球による高度約40kmまでの精密観測も実施した(国立極地研究所)。

人工衛星による観測

世界の地球観測衛星計画については、地球観測衛星委員会(CEOS)において、基本的な調整が図られている。CEOSとは、地球観測衛星システムに関する調整と情報交換を行うことを目的として、1984年に設立された国際機関で、各国の宇宙開発機関、観測データの利用機関、国際研究機関等を加えた組織である。日本の関係機関として、環境省では衛星搭載センサーILAS及びILAS- の開発を行い、国立環境研究所において、データ処理解析とデータ利用研究を進めてきた。

人工衛星搭載センサーによる観測は、同一の測定器で全球を広くカバーし、地上観測だけではカバーできない広い海洋上や内陸地のデータが取得できるという利点がある。また、多くの人工衛星搭載センサーは、オゾンだけでなくその他の大気微量成分の測定を同時に行っている。表7に、代表的な衛星センサーについて、測定項目、搭載衛星名を挙げた。このうち、TOMS、SBUV/2、TOVS、HALOE、GOME、OMI等は、現在でも測定が続けられている。2001年に打ち上げられたロシアのMETEOR-3M衛星はSAGE、ESA(ヨーロッパ宇宙機関)のENVISATはGOMOS、MIPAS、SCIAMACHYを搭載し観測を続けている。

ILAS、IMG等の我が国のセンサーは、搭載衛星である地球観測プラットフォーム技術衛星ADEOS(和名「みどり」)の太陽電池パドルの故障のため、約8ヶ月間のデータ取得で運用を停止したものの、その観測から貴重なデータが得られ、オゾン層変動の解析に貢献している。その後、2002年12月に打ち上げられた環境観測技術衛星「みどり(ADEOS)」に搭載された環境省のオゾン観測センサ(改良型大気周縁赤外分光計型、通称ILAS-)は、2003年4月から定常観測を開始し、衛星電源系の故障で同年10月に停止するまで約7ヶ月間観測を行った。

TOMS、SBUV/2、SAGE等のセンサーは長期間のデータがそろい、またドブソン分光計等による検証を経て性能が確認され、全球規模でのトレンド把握に用いられている。

2004年に打ち上げられたEOS-AURA衛星には、成層圏オゾンやその他の大気微量成分の観測を行うOMI、MLS、HIRDLS及びTESが搭載されている。

イ．今後の観測体制

地上観測網の拡大

オゾン層の状況把握のためのデータ量は、現状では決して十分ではなく、特に地上からのドブソン分光光度計などを用いる観測地点は北半球中緯度に偏っている。また、トレンド解析に耐えるような高品質のデータを提供できる観測点は多くはない。熱帯及び南半球を含め、地上観測網の一層の拡大が急務と考えられる。現在これらの空白域を埋めるべく、WMOのGAW計画のもとに、オゾン全量及びオゾンゾンデ観測所を新設する計画が進められている。

また、NDACCの一次ステーションは南北方向に展開すると共に、熱帯域及び南半球等の観測空白域の解消が課題となっている。我が国は、米国やヨーロッパ諸国と共にNDACC型の地上観測体制の強化に努めることが要請されている。

人工衛星による観測の拡充

衛星利用のオゾン層観測・監視は継続して実施することが重要であり、欧米では今後の観測計画が策定されている。

NOAAはSBUVを搭載する衛星を定期的に打ち上げており、将来はNASAと共同で構築する定常観測衛星システムNPOESSのなかで、オゾン高度分布マッピング装置(OMPS)を開発する。また、ヨーロッパ宇宙機関(ESA)は、EUMETSATと共同でGOME-2を打ち上げる計画である。

オゾン層監視の継続性の重要性に鑑み、オゾン層観測センサーの後継機の開発とそれを搭載する衛星の打ち上げについて、長期計画を策定することが国際的にも重視されており、我が国の貢献が期待されている。

地上観測網と人工衛星観測との統合

全地球のオゾン層を効率良く、かつ精度よく観測・監視するためには、地上観測網と衛星観測の相補性を生かし、各国の衛星観測の重複と間隙がないよう配慮した統合観測システムを構築することが必要である。統合地球観測戦略パートナーシップ(IGOS-P)の統合地球大気化学観測(IGACO)テーマのもとに戦略が立案され、実行に移されようとしている。

ちなみにIGOS-Pは、世界の宇宙機関と気象機関(WMO)およびユーザーであるUNEP、FAO、UNESCOなどの国連機関と国際学術連合会議(ICSU)によって構成され、地球環境観測・監視の主要テーマについて、観測戦略と実施計画の作成をほぼ終え、現在具体的な実施策の調整に入っている。

ウ．我が国の衛星観測体制

1996年8月に打ち上げられた「みどり」には、オゾン層及びその破壊に関連する大気微量成分の観測のため、NASAから提供されたTOMS、環境省開発のILAS、RIS、経済産業省開発のIMGが搭載され、我が国としては初の本格的なオゾン層の衛星観測が行われた。

ILASは、南北両半球高緯度地方上空で、太陽掩蔽法による観測を行うセンサーである。大気中の成分によって太陽光を吸収する波長特性が異なることから、測定する光強度の波長依存性を調べることにより、オゾン及びその他の大気微量成分の特定と、それらの濃度の詳細な高度分布が求められる。RISは、ほぼ直角に貼り合わされた3枚の鏡で構成されるコーナーキューブ反射鏡であり、地上局から衛星に向けて照射したレーザー光を地上局に向けて反射する。この時、地上と衛星の間を往復するレーザー光の吸収スペクトルを測定することにより、オゾン等の気柱全量濃度や濃度の高度分布が求められる。IMGは、衛星直下の地表面、大気からの熱赤外領域の放射

輝度スペクトルの測定により、大気微量成分の高度分布、気柱全量等を求めるセンサーである。

「みどり」の運用期間の約8ヶ月の間に、これらのセンサーにより多くのデータが取得されると同時に、各種の検証実験が実施され、詳細な検討・解析がなされた。また、ILASデータをを用いた科学的解析研究として、1997年春季の北極域周辺の成層圏オゾンの変動等の研究が行われた。「みどり」による観測を継続するため、ILAS- を搭載した「みどり (ADEOS)」が2002年12月に打ち上げられ、2003年10月まで観測を行い、南極オゾンホールの詳細を明らかにした。

(3) オゾンデータの公表・管理

我が国が収集した札幌、つくば、那覇、南鳥島、南極昭和基地におけるオゾン観測データは、気象庁地球環境・海洋部オゾン層情報センターに集められ、データチェックを経た後、毎月20日頃に「オゾン層観測速報」として各地のオゾン全量の概要・経過等について発表される。これらの観測による成果については、毎年「オゾン層観測報告」は印刷物で、「大気・海洋環境観測報告」(「オゾン層観測年報」と大気及び海洋バックグランド汚染に関するデータが統合された)はCD-ROMで公表されている。また、これらのデータは、毎月カナダにあるWMOの世界オゾン・UVデータセンター(WOUDC)に送付される。

WOUDCでは、世界各地から収集したオゾンデータについて全球規模の品質管理を施し、また、反転観測値については、すべての観測点のデータを同一方式で処理して高度層ごとのオゾン量の算出を行っている。

これらの結果は、WOUDCに保存されるとともに、「世界のオゾンデータ(Ozone Data for the World)」としてインターネット及びCD-ROMの形で公表され、世界各国に還元されている。

また、ILASおよびILAS- データは国立環境研究所に設置されたILAS- 衛星データ処理運用施設において管理されており、インターネットを通して公開されている(<http://www-ilas2.nies.go.jp/index-j.html>)。このほか、NASAやドイツ航空宇宙センター(DLR)が、TOMSデータやGOMEデータ等の衛星による観測データをインターネットを通して公開している。

2 . 特定物質の大気中濃度の観測

特定物質の分析を目的とした大気試料の採取には、一般に、高真空にした超清浄の金属製容器に大気をそのまま採取するグラブサンプリング法あるいは液体ヘリウムで冷却して採取するクライオジェニックサンプリング法により行われる。

特定物質の分析には、ECD（電子捕獲型検出器）がハロゲンに対して比較的高い感度と選択性を示すことから、ECD を備えたガスクロマトグラフあるいは種々の物質が検出できるガスクロマトグラフ / 質量分析計（GC/MS）が用いられる。

地球規模の特定物質の平均濃度（バックグラウンド濃度）を知るためには、特定物質の発生源からの局地的な汚染の影響がない清浄大気について測定を行う。日本付近では、北海道の根室、稚内周辺などにおいて、気象条件によって局地的汚染のまったくない北半球中緯度の代表的な大気を採取することができる。

一方、都市部などの発生源に近い場所で大気中の特定物質の濃度を測定すると、バックグラウンド濃度よりもはるかに高い値になるのが普通である。このような場所での大気中濃度は、時間的にも地域的にも変動が大きく、風向・風速などの気象条件や人間の生産活動サイクル（週末や休日には低くなる）などによって左右されることが多い。このような局地的濃度の観測は発生源に対するチェックが主な目的であるから、観測の頻度や密度が重要な要素である。これに対してバックグラウンド濃度の測定は、成層圏オゾン層への影響、将来のオゾン全量の変動を予測するための重要な基礎データであるから、試料の代表性と観測上の極めて高い精度・確度が要求される。また、わずかの汚染も許されない。したがって、分析装置や手法の高度な技術が必要であり、また、大気試料の採取地点や採取条件に十分な配慮を払わなければならない。

我が国においては、東京大学において特定物質の大気中濃度を正確かつ精密に分析するための装置と手法を開発し、1979年（南極昭和基地については1981年）からその広域分布や経年変化の観測を続けている。これによると、北半球中緯度の平均的な状況を代表するとみなせる北海道（局地的汚染の影響を受けない観測地点）においては、1990年までCFC-11、CFC-12及びCFC-113の平均濃度は増加していたが、その後、これらCFCの増加は鈍り、1990年代後半以降はほぼ横ばい、CFC-11とCFC-113については減少してきている。また、南極昭和基地においても、ほぼ同様にCFCの大気中濃度が増加していたが、近年増加は止まっている。南北両半球のこれら観測地点の大気中濃度は一致しつつある（図52）。また、大気中寿命の短い1,1,1-トリクロロエタンについては、生産等の規制が始まった1993年以降急速に減少しており、1996年以降は指数関数的な減少傾向にある。

一方、HCFC-22（図53）、HCFC-142b（図54）及びHCFC-141b（図55）については、引き続き大気中濃度が増加している。代替フロンとしての利用が増加しているHFC-134aについては、両地点とも大気中濃度の増加が極めて著しい（図56）。

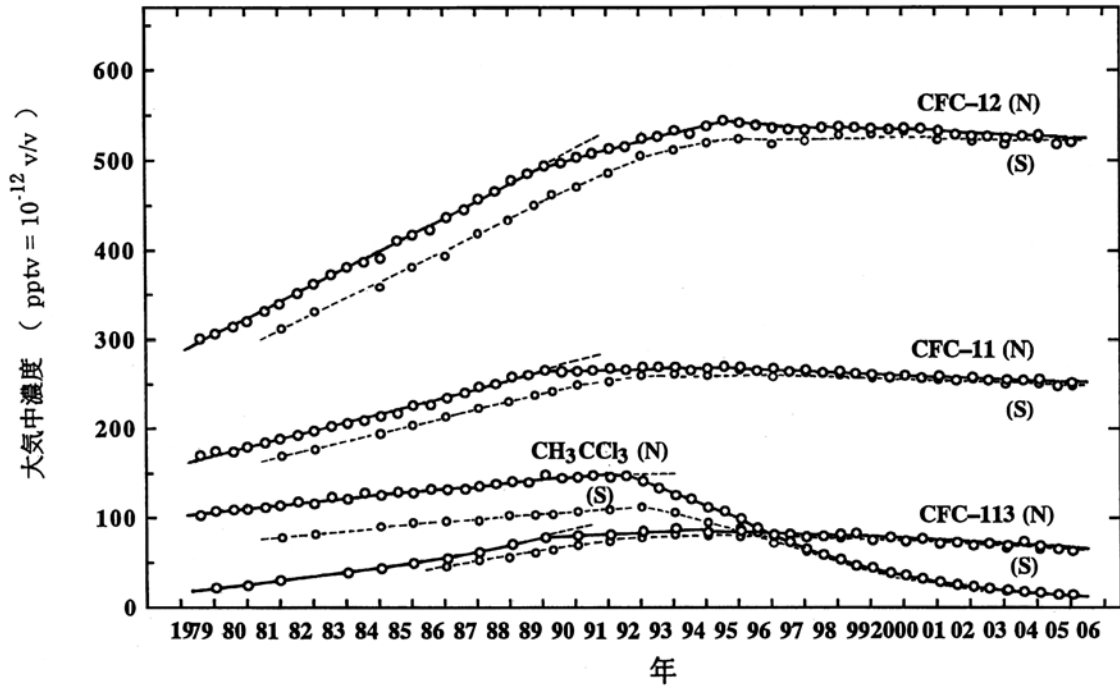


図 52 北半球中緯度（北海道）及び南半球（南極昭和基地）における
特定物質の大気中平均濃度の経年変化

北半球中緯度（北海道：N）及び南半球（南極昭和基地：S）

（出典）東京大学巻出研究室測定結果

【Makide et al. (1987) よりデータ更新】

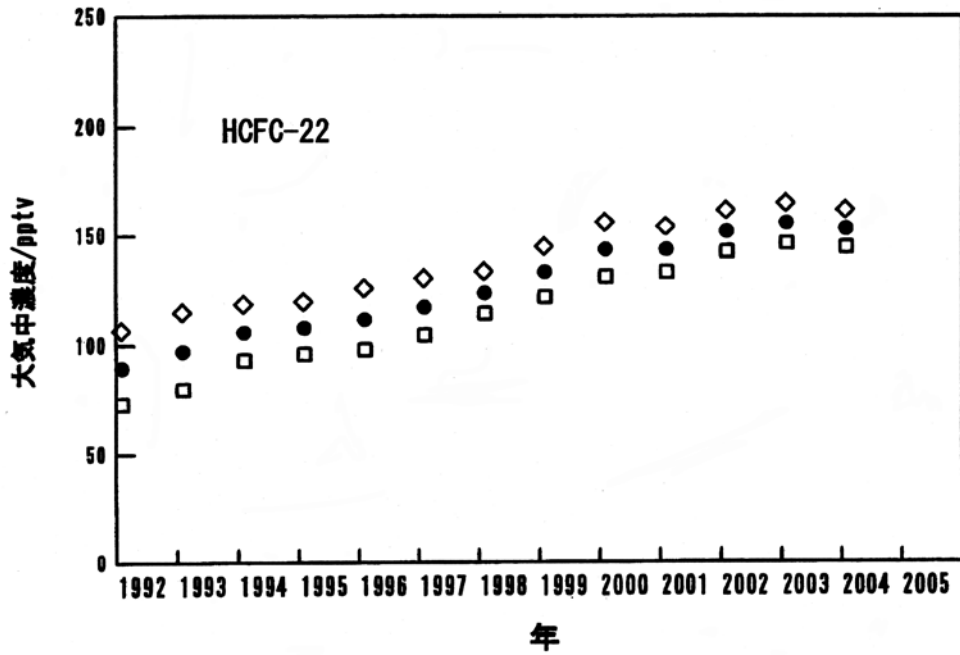


図 53 北半球中緯度（北海道）及び南半球（南極昭和基地）における HCFC-22 の大気中平均濃度の経年変化

◇：北海道、●：南極昭和基地、□：全球平均。

（出典）東京大学巻出研究室測定結果
【Shirai and Makide (1998) よりデータ更新】

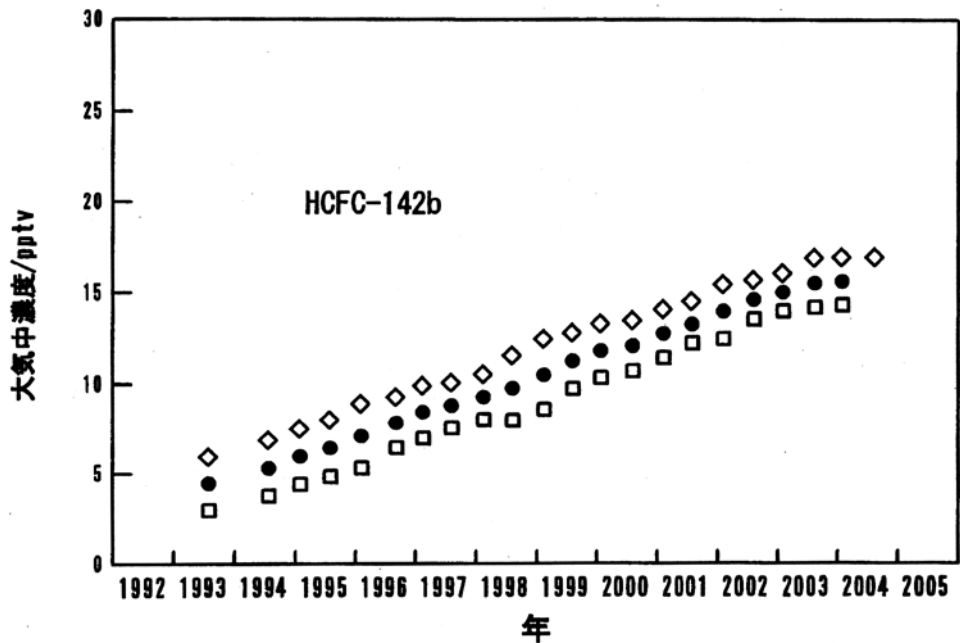


図 54 北半球中緯度（北海道）及び南半球（南極昭和基地）における HCFC-142b の大気中平均濃度の経年変化

◇：北海道、●：南極昭和基地、□：全球平均。

（出典）東京大学巻出研究室測定結果
【Shirai and Makide (1998) よりデータ更新】

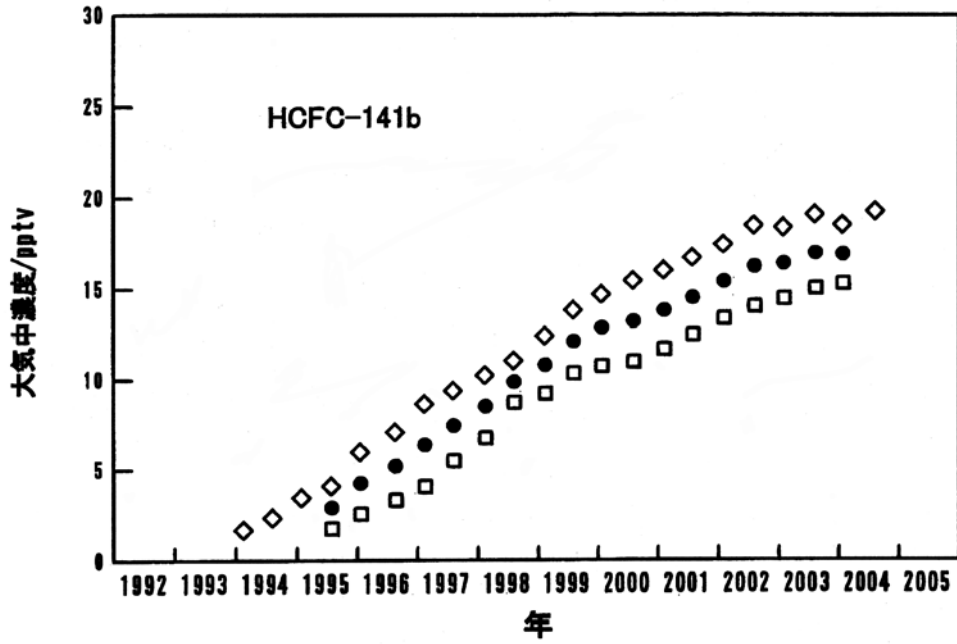


図 55 北半球中緯度（北海道）及び南半球（南極昭和基地）における HCFC-141b の大気中平均濃度の経年変化
 ◇：北海道、●：南極昭和基地、□：全球平均。

（出典）東京大学巻出研究室測定結果

【Shirai and Makide (1998) よりデータ更新】

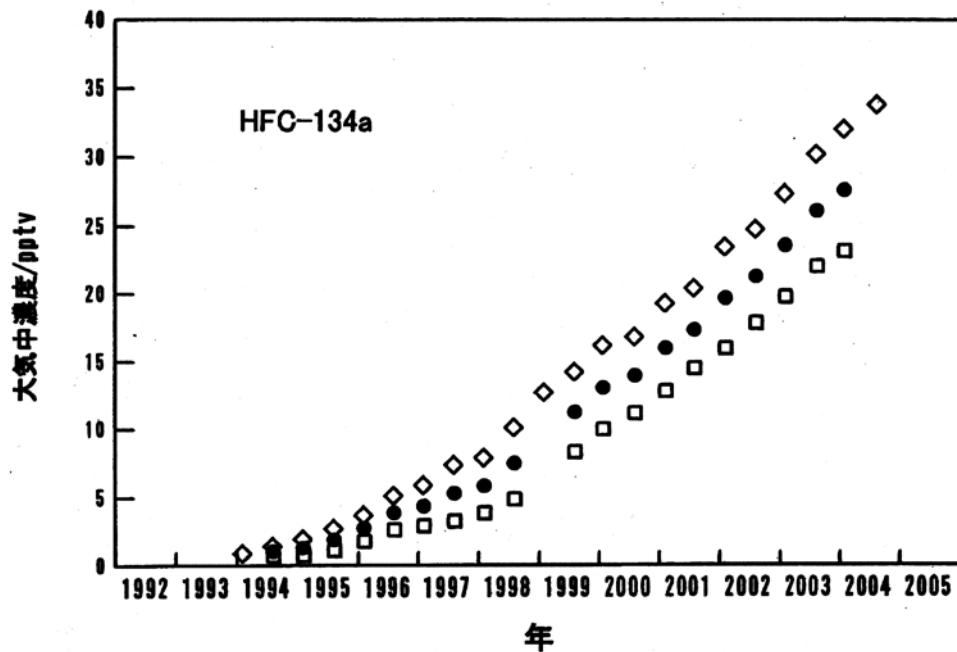


図 56 北半球中緯度（北海道）及び南半球（南極昭和基地）における HFC-134 a の大気中平均濃度の経年変化
 ◇：北海道、●：南極昭和基地、□：全球平均。

（出典）東京大学巻出研究室測定結果

【Shirai and Makide (1998) よりデータ更新】

また、環境省において、1988年度から北海道及び川崎市で観測を開始している。さらに、気象庁において、大気バックグラウンド汚染観測網（BAPMoN）の一環として1990年1月から岩手県三陸町綾里でCFC等の観測を開始するとともに、観測船「凌風丸」による北西太平洋における観測を1990年の冬から、冬と夏の年2回定期的に行っている。

そのほか、最近では、多くの都道府県及び政令指定都市においても、CFC-11、CFC-12、1,1,1-トリクロロエタン、四塩化炭素等の特定物質の大気中濃度の測定が行われている。測定は、1989年度ないし1990年度から開始され、その多くは、現在も継続している。また、一部の地方公共団体では、CFC-114等のCFC類、HCFC-22等のHCFC類についても測定が行われている。

3．太陽紫外線の観測

(1) 太陽紫外線とは

紫外線は、波長により UV-A (315～400nm)、UV-B (280～315nm)、UV-C (200～280nm) の3種類に分類される。一般的に、紫外線は波長が短いほど生物に対する害作用が大きい。太陽からの UV-C は成層圏のオゾンおよび酸素分子により完全に吸収されてしまうため、オゾン量が多少減少しても地表面に到達する量は皆無であり、生物に対して問題になることはない。また、UV-A の照射量はオゾン量の変化の影響をほとんど受けない。最近の知見によれば、波長によって地表面への到達量の割合は異なるが、成層圏オゾンが減少した場合、特定の太陽高度角(23°)において、1%のオゾン量の減少に対して、UV-B の増加の割合は約 1.5% という結果が得られている。

UV-B 量は、太陽高度角、天気、オゾン全量、大気混濁度等に応じて変化する。他の要素が一定だとすると、一日の太陽高度角の変化に伴って UV-B 量は太陽の南中する時刻に最も大きくなる。天気変化は雲量の変化というかたちで UV-B 量に影響を与える。海拔高度の高いところでは、大気層の厚さが薄くなることにより、UV-B 量が大きくなる。また、大気汚染や霞といった現象は、地上における大気混濁度を地域的に増加させ、UV-B 量を減少させる要因となる。

(2) 太陽紫外線の観測手法

紫外線は、物理測定法、化学測定法、生物測定法などで測定される。このうち化学測定法は、紫外線による化学反応を指標として反応物質に吸収される光子数を測定するものであり、一種の量子的光検出器である。また、生物測定法は、紫外線による生物の損傷を指標として、生物に与える光効果を定量的に調べるものであり、光照射による致死率の特性がよくわかっている微生物を使って、入射光量を求めるものである。この2種の測定法は、いずれも紫外照射による反応をみるものであり、実時間測定が行えない。一方、物理測定法は、光検出器の特性に依存し、測定時の環境等に十分な配慮が必要となるが、実時間測定が可能であり利便性が高い。以下に物理測定法について簡単に述べる。物理測定のための光検出器は、熱的検出器と量子的検出器に大別される。

ア．熱的検出器

光のエネルギーを熱に変えて、受光体の温度変化を電気的に検出するものであり、感度は光の波長に無関係である。しかし、紫外線測定においては、発生熱量は小さく、測定環境の熱ノイズが測定値に大きく影響することがある。

イ．量子的検出器

光のエネルギーを光子(photon)としてとらえるもので、光電池、光電管、フォトダイオード等を組み込んだ量子的検出器がこれに相当するが、これらは光の波長によって感度が異なっている。量子的検出器は、物理量を測定するものと生物効果量を測定するものに分類される。

物理量を測定する量子的検出器としては、オゾン全量観測にも用いられるブリュ-ワ分光光度計等がある。ブリュ-ワ分光光度計は、紫外線の波長毎の光度(スペクトル強度)を測定することができるが、比較的高価である。この他、UV-B 領域、UV-A 領域あるいは生物効果量にตอบสนองする(量子的)受光器も開発されている。UV-B 領域、UV-A 領域の紫外線検出器としては、現在わが国で広く使われている MS-212W(280～315nm)、MS-212A(315～400nm)等がある。一方、生物効果量を測定する量子的検出器としては、現在、世界的に広く使用されている

Robertson-Barger 紫外照射計 (R-B 紫外照射計) 等がある。これは、日焼け効果の作用スペクトルに近い分光感度特性を持っている。また、最近では、生物の遺伝子への影響に着目した観測を行うため、生体の遺伝子構成物質である DNA の吸収スペクトルに近い分光感度特性を持っている紫外照射計も開発されている。地上に到達する太陽光の中で、波長 400nm 以下の紫外線はわずか数%であり、この内、UV-B 領域の紫外線はさらに微量であるので、精度の高い測定を長期にわたって維持するのはかなり難しいとされている。

(3) 太陽紫外線の観測体制

太陽紫外線監視のため、WMO による専門家会議で組織的な観測が提案されているが (WMO,1977) 現状では、各国が個別に観測を行っており、そのほとんどが波長範囲及び波長別感度のそれぞれ異なる波長積分型紫外照射計を使用しているため、測器の相互比較が困難であることなどから、国際的に組織された観測網とはなっていない。このようなことから、オゾン層破壊に伴う有害紫外線の挙動を正確に把握するための有害紫外線観測網の確立が必要である。このため、WMO は GAW 計画に基づく全球の紫外日射観測網の運用を支援し、科学的な側面から、必要な助言・勧告等を行い、観測精度の維持・向上及び観測資料の有効利用等を図るため、1989 年に紫外線に関する科学諮問部会 (SAG: Scientific Advisory Group) を設置するとともに、WOUDC において UV データ収集と提供を行っている。

我が国においては、気象庁において、1990 年 1 月からつくばの高層気象台で、また、1991 年 1 月から札幌、鹿児島 (2005 年 3 月で観測中止) 那覇の 3 地点においてブリューワ分光光度計による波長別の紫外線の定常観測を開始し、現在、札幌、つくば、那覇において実施している。さらに、オゾン減少の著しい南極域でも、昭和基地において 1991 年 2 月から同様の観測を試験的に開始し、1994 年 2 月からは試験観測の成果を踏まえて本格的な定常観測を実施している。また、2005 年 5 月からは観測された毎正時の UV インデックスを予測情報と合わせてホームページ上で提供している。

国立環境研究所では、1993 年 11 月から 1999 年 5 月まで、東京霞が関 (中央合同庁舎 5 号館屋上) において、ブリューワ分光光度計による UV-B の地上観測を実施した。これは、有害紫外線の人を含む生物に与える影響の評価・予測に資するために、大気汚染物質等により UV-B の地上到達量に影響があると思われる大都市域における監視を目的とするものである。現在は北海道陸別町において、北域成層圏総合モニタリングの一環として UV-B の地上観測を実施している (1999 年 7 月～)。

また、国立環境研究所地球環境研究センター (CGER) が中心となって、全国の大学や研究機関等と連携し、帯域型紫外照射計 (MS-212W、MS-212A) で連続観測を行う「有害紫外線モニタリングネットワーク」が構築され、現在は、22 機関 25 サイトが参加している。2004 年 3 月から、UV インデックスの速報値をインターネットで公開しており、現在は、全国 14 箇所のデータを公開している。