

付録

付録1 解析に使用した観測資料

付録1-1 オゾンの地上観測データ

この報告で使用した地上観測データは、2008年1月までに、世界気象機関（WMO）の世界オゾン・紫外線データセンター（WOUDC、カナダ・トロント）に登録されているオゾン全量観測、オゾン反転観測、オゾンゾンデ観測データである。2004年から2008年の間にオゾンの観測を行い、WOUDCにデータを登録した地点を図A1-1に示す。また、気象庁の観測地点に関する情報を表A1-1にまとめた。

オゾン全量観測データおよび反転観測データ：

気象庁はドブソン分光光度計によるオゾン全量観測およびオゾン高度分布観測（反転観測）を1957年につくばで、1958年に札幌および鹿児島で、1961年に南極昭和基地で、1974年に那覇で開始し、現在、札幌、つくば、那覇および昭和基地で観測を行っている。

また1994年から南鳥島においてブリューワー分光光度計*によるオゾン全量観測を実施している。

オゾンゾンデ観測データ：

気球を用いたオゾン高度分布観測（オゾンゾンデ観測）を1966年に南極昭和基地で、1968年に札幌、つくば、鹿児島で、1989年に那覇で開始し、現在は、札幌、つくば、那覇および昭和基地で観測を行っている。なお、2008年11月から、那覇のオゾンゾンデ観測はKC型からECC型へ変更した。

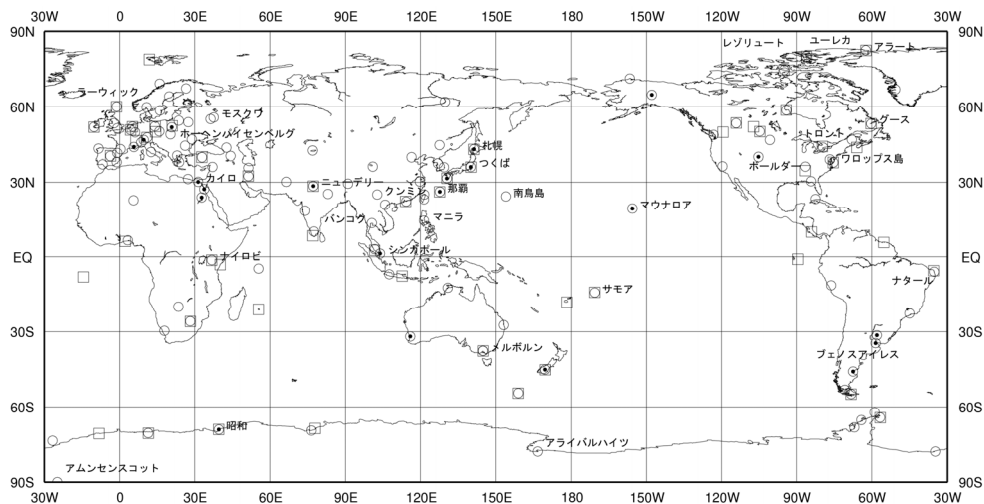


図 A1-1：オゾン観測地点の分布（2004-2008年）

全量観測は130地点（○印）、反転観測は21地点（●印）、オゾンゾンデ観測は56地点（□印）。

表 A1-1：気象庁の観測地点の位置および観測種別 本報告に使用した地上観測データのうち、気象庁の地上観測地点の位置および観測種別（鹿児島は2005年3月まで）。

観測所名 Stations	地点番号 WMO Index No.	緯度 Latitude	経度 Longitude	高度 Elevation	観測種別 Observation Type
札幌 Sapporo	47412	43° 04' N	141° 20' E	26.3m	T,U,S,UV
つくば(館野) Tateno/ Tsukuba	47646	36° 03' N	140° 08' E	31.0m	T,U,S,UV
鹿児島 Kagoshima	47827	31° 33' N	130° 33' E	31.7m	T,U,S,UV
那覇 Naha	47936	26° 12' N	127° 41' E	27.5m	T,U,S,UV
南鳥島 Minamitorishima	47991	24° 17' N	153° 59' E	8.5m	T,U
昭和基地 Syowa	89532	69° 00' S	39° 35' E	21.8m	T,U,S,UV

T：オゾン全量観測、U：反転観測、S：オゾンゾンデ観測、UV：波長別紫外線観測

*は「用語解説」(p59～61)を参照

那覇オゾンゾンデの変更に伴うオゾン分圧参照値の補正について

気象庁では、1960年以来、気象研究所で開発したKC型オゾンゾンデ（以下KC型）による観測を続けてきたが、那覇においては2008年11月から、世界の多くの観測所で用いられているECC型オゾンゾンデ（以下ECC型）による観測に移行した。

これまで、実験設備を用いた国際比較実験（JOSIE1996(WMO, 1998)、JOSIE2000(WMO, 2004)）や、各種オゾンゾンデとオゾン基準器を一つのゴンドラに乗せて実際に飛揚する国際比較観測（BESOS2004 (Deshler *et al.*, 2004)）によって、KC型とECC型の比較試験が実施されており、両者の出力するオゾン分圧には系統的な差があることが報告されている。また、気象庁が実施した両者の連結飛揚でも、同様な差があることがわかっている。これは、オゾンを測定する前にポンプや反応管によってオゾンが破壊され、測定するオゾンが実際よりも少なくなる現象（オゾンロス）が原因と考えられている。配管やポンプの材質の違いにより、KC型ではオゾンロスが生じやすいが、ECC型ではこの影響はほとんどない。

このため、気象庁のオゾンゾンデ観測結果の報告において、指定気圧面毎のオゾン分圧の参照値との比較結果を記載しているが、ECC型の観測値をKC型の観測値から作成した参照値と比較する場合には、参照値を補正した上で利用する必要がある。

オゾンロスの大きさは、ポンプや反応管毎に異なるため、各種国際比較実験や気象庁が実施した両者の連結飛揚観測の結果を総合的に評価し、KC型のECC型に対する偏差(C_p)の鉛直分布を図A1-2左図に示すとおり、KC型による参照値をECC型にあわせるための補正係数(A_p)の鉛直分布を図A1-2右図に示すとおりとする。なお、 C_p と A_p は、 $A_p=1/(1+C_p/100)$ という関係である。本報告で那覇のオゾンゾンデ観測結果を示す際には、2008年11月以降のデータは従来のKC型による参照値にA1-2右図で示した補正係数で補正した参照値を使用した。

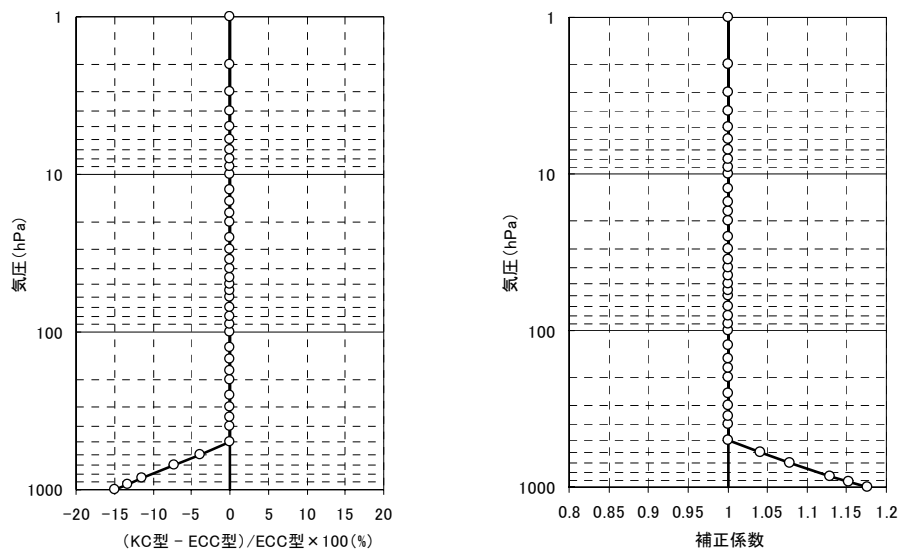


図 A1-2 : KC 型の ECC 型に対する偏差の鉛直分布

左：各種国際比較実験や気象庁の連結飛揚の結果をまとめて評価した KC 型の ECC 型に対する偏差(C_p)の鉛直分布。

右：KC 型の参照値を ECC 型にあわせるための補正係数(A_p)の鉛直分布。

付録1-2 衛星によるオゾン観測データ

衛星による観測データとしては、ニンバス-7、メテオール-3、アースプローブの三機の衛星のオゾン全量マッピング分光計 (TOMS ; Total Ozone Mapping Spectrometer) のデータと、オーラ衛星のオゾン監視装置 (OMI ; Ozone Monitoring Instrument) のデータを使用した。ニンバス-7衛星とメテオール-3衛星のデータについては、アースプローブ衛星に用いられている処理方法(ver. 8)で計算されたものを利用した。また、アースプローブ衛星の TOMS データは 2007 年 8 月に公開された修正版を利用した。オーラ衛星の OMI データについては 2008 年 2 月にバージョン変更があり、ver. 8 から ver. 8.5 に全期間分のデータが差し替えられた。しかし、ver. 8.5 のデータに図 A1-4 に示す地上観測との差異が見られたため、2005 年 1 月から 2007 年 11 月分までは ver. 8 を用いた。2007 年 12 月以降は ver. 8.5 のデータのみしか入手できないため ver. 8.5 を使用している。各データとその使用期間は以下のとおり。

- ニンバス-7 衛星データ** : 米国航空宇宙局 (NASA ; National Aeronautics and Space Administration)、1978 年 11 月～1993 年 4 月
メテオール-3 衛星データ : ロシア、1993 年 5 月～1994 年 11 月
アースプローブ衛星データ : NASA、1996 年 7 月～2004 年 12 月
オーラ衛星データ : NASA、2005 年 1 月～2007 年 11 月 (ver. 8)、2007 年 12 月～(ver. 8.5)

メテオール-3 衛星以後アースプローブ衛星による観測が始まるまでの一部の期間、およびオゾンの長期変化に関連した解析の一部については、以下のデータも使用した。

ノア衛星データ : 米国海洋大気庁 (NOAA ; National Oceanic and Atmospheric Administration) のタイロス実用型鉛直サウンダ (TOVS ; TIROS Operational Vertical Sounder) の高分解能赤外放射計による全球のオゾン全量データおよび SBUV/2 による全球のオゾン全量データ。

表 A1-2 : 解析に用いた衛星データ

衛星名	ニンバス-7	メテオール-3	アースプローブ	オーラ	ノア	ノア
観測装置名	TOMS	TOMS	TOMS	OMI	TOVS	SBUV/2
期間	1978.11- 1993.4	1993.5- 1994.11	1996.7- 2004.12	2005.1-	1995	1995

なお、オゾンの衛星観測による鉛直分布については、太陽光後方散乱紫外線計 (SBUV/2 ; Solar Backscatter UltraViolet) による 1979 年から 2003 年までのデータを使用した。

衛星によるオゾン全量観測データの精度検証

衛星によるオゾン全量*観測データの精度を確認するため、地上観測によるオゾン全量値との比偏差を図 A1-3 に示す。データ期間は 2008 年 1～12 月である。これをみると、北半球低緯度 (赤道～北緯 30 度) で正偏差がやや大きく、その大きさは 5% 程度である。その他の領域では、OMI データと地上観測データはほぼ一致しているが、多くの地点が弱い負偏差を示しており、衛星観測によるオゾン全量値は地上観測による値と比べると過小評価である。

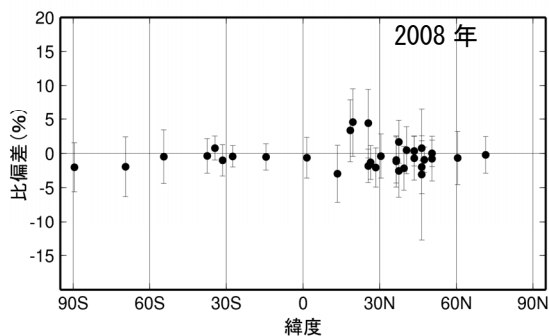


図 A1-3 : OMI のデータと地上観測データの比較

オーラ衛星に搭載された OMI によるオゾン全量観測値(日別)と地上観測によるオゾン全量値との比偏差。地上の観測地点に対応する OMI データを求め比較している。データ期間は 2008 年 1～12 月。縦線はその標準偏差。

次に、衛星データの長期的な安定性をみるため、TOMSおよびOMIによる観測値と、北緯30度から北緯60度の領域にある地上の観測地点における観測値との月平均値による比較結果を図A1-4に示す。期間は1979年1月～2008年12月である、これによれば、1979年から1993年のニンバス-7衛星のTOMSデータの地上観測値に対する比偏差は、全体的には正を示しており、その大きさは1%程度である。1993年5月以降のメテオール-3およびアースプローブ衛星のTOMSデータの比偏差は、ばらつきが大きく概ね負を示している。2002年以降のアースプローブ衛星のTOMSデータは、2007年8月に修正版が公開され、比偏差が小さくなったため、長期的な変化の解析に利用可能と判断し、本年の報告からトレンド解析に使用している。一方、2005年以降、TOMSの後継としてOMIのデータが公開されており、ver. 8のデータはTOMSデータと比較して地上観測値との偏差のばらつきが同程度であることから、オゾン量の長期的な変化を見積もるためOMIデータも使用してきた。しかし、2008年2月のバージョン変更後のデータであるver. 8.5は、ばらつきは少ないものの、継続して-1.5%程度の地上観測値との偏差がある。また、OMIのver. 8とver. 8.5の差を、緯度別に2005年1月から2007年11月まで示した図A1-5をみると、ver. 8.5はver. 8と比べオゾン全量を少なく解析しており、特に両半球の中緯度域と北緯10度付近で差が大きい。また、明瞭な季節変化を示していることがわかる。このため、本報告では長期的な変化傾向を解析する際には、OMIのver. 8のデータを用い、ver. 8のデータがない2007年12月以降のOMIデータは利用していない。

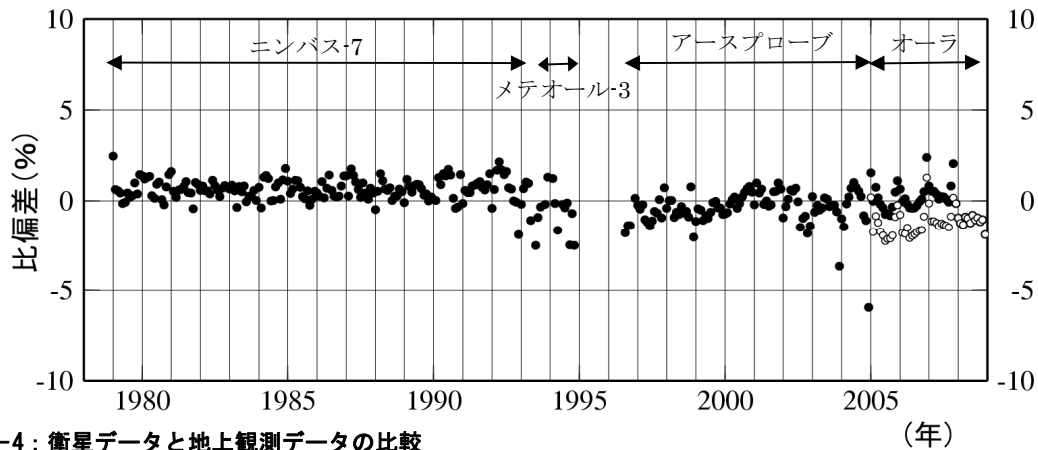


図 A1-4：衛星データと地上観測データの比較

北半球中緯度（北緯 30-60 度）の TOMS および OMI による観測値（月平均）と地上観測値との比偏差の推移。地上の観測地点に対応する衛星データを求め比較した。オーラ衛星期間の●は OMI ver. 8、○は OMI ver. 8.5 のデータ。データ期間は 1979 年 1 月～2008 年 12 月。各月の比較地点数は約 20～50 地点。

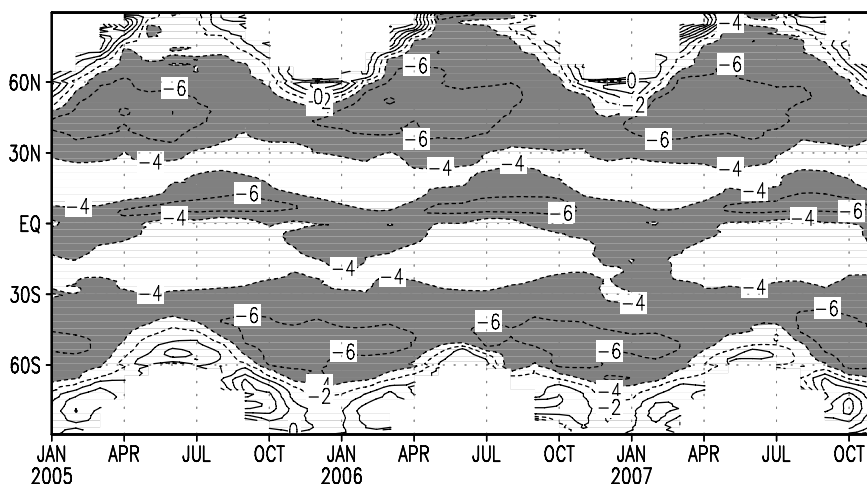


図 A1-5：OMI データのバージョンの違いによるオゾン全量の差の緯度別分布時系列（2005 年 1 月～2007 年 11 月）

OMI データの ver. 8 と ver. 8.5 の差の緯度別分布時系列。データ期間は 2005 年 1 月～2007 年 11 月。等値線の間隔は 2m atm-cm。-4m atm-cm 以下に陰影。

付録1-3 紫外線の観測データ

気象庁では、ブリューワー分光光度計を用いた波長別の紫外線観測を、1990年1月よりつくばで、1991年1月より札幌、鹿児島、那覇で開始し、現在は、札幌、つくば、那覇において観測を実施している。これは、オゾン層と密接な関連があり、生物に有害なB領域紫外線の地表到達量の状況を把握するためである。観測している波長域は、地表に到達し、かつオゾン量に依存して大きく変化する範囲を中心とする290nmから325nmまでである。鹿児島での観測は2005年3月で終了した。また、気象庁は国立極地研究所と共同で、南極昭和基地で1991年2月から試験的に観測を開始し、1994年2月からは気象庁が定常観測を実施している。なお、つくばと昭和基地では広帯域紫外域日射計によるUV-B量も同時に測定している。

本報告では、観測された波長別紫外線データを、紅斑紫外線量およびUVインデックスに換算して示している。換算方法と単位については用語解説を参照。

付録2 観測装置の較正体制

1) オゾン全量観測

世界気象機関(WMO)は、ドブソン分光光度計の測器定数決定のために1977年に米国海洋大気庁(NOAA)の気候監視・診断研究所(CMDL)に設置したドブソン分光光度計を絶対検定により値付けた世界準器(国際第一準器)と定めている。世界準器の較正は、ハワイのマウナロア観測所においてラングレー法が用いた絶対検定により行われている。世界準器は、世界の地区準器(国際第二準器)と比較され、更に地区準器はその地区内の現用測器と比較されることにより、各レベルにおける準器の測器定数が順次決定されるようになっている。このようにして世界のオゾン観測値の整合性が維持されている。

気象庁はアジア地区準器となるドブソン分光光度計を所有し、その維持・管理を行うとともに、オゾン全量観測について、WMOの較正センター業務を行っている。地区準器は、ほぼ3年に1度世界準器と比較観測を実施している。直近の相互比較観測は2007年に米国・ボールダーで行った。ドブソン分光光度計のアジア地区直近のアジア地区比較観測は、2006年につくばにおいて、インド、イラン、パキスタン、フィリピン、タイの5か国のドブソン分光光度計を対象に実施した。

国内3地点(札幌、つくば、那覇)のドブソン分光光度計については、3年に1度、アジア地区準器と比較較正を行った移動準器との比較観測を実施し、観測精度の維持を図っている。南極の昭和基地のドブソン分光光度計については、高層気象台のアジア地区準器で比較較正を行った測器を通常3年ごとに持ち込んで交換し観測に使用している。また、国内観測所と同様に各種点検も行っている。南鳥島のブリューワー分光光度計については、年1回高層気象台でドブソン分光光度計のアジア地区準器により比較較正した測器を持ち込んで比較観測を実施し、精度の維持を図っている。

このように、南極昭和基地を含めて、気象庁が観測に使用している観測装置は世界準器と間接的に比較が行われ、世界標準のもとで観測を行っている。

2) 紫外線観測

現時点では、ブリューワー分光光度計を用いた紫外線観測の較正方法について、国際的に確立した方法はない。気象庁では、ブリューワー分光光度計の測器定数をNISTランプ(米国国立標準技術研究所(NIST)の検定証つきの標準ランプ)照度を基準にして定めている。また、高層気象台では、このNISTランプにより値付けした国内準器を維持・管理している。WMOの枠組みによる国際比較は現時点では実施されていないので、ブリューワー分光光度計の開発を行ったカナダ気象局との間で、二国間の技術協力として相互比較を実施している。直近の比較観測は2006年にカナダ・トロントで行った。

国内3地点(札幌、つくば、那覇)のブリューワー分光光度計については、ほぼ3年に1度、国内準器との比較観測などによる較正を実施し、精度の維持を図っている。南極の昭和基地のブリューワー分光光度計については、高層気象台の国内準器で比較較正を行った測器を通常3年ごとに交換して観測に使用している。

このように紫外線観測については国際的な較正体系は確立されていないものの、少なくとも国内(南極を含む)の観測において使用される観測装置の精度は一定水準以上に保たれている。

用語解説

物理量・単位にかかわる用語

オゾン全量：地表から大気圏上端までの気柱に含まれるすべてのオゾンを積算した量。仮に大気中のオゾンをすべて1気圧、0℃として地表に集めた時に、オゾンだけからなる層の厚みをセンチメートル単位で測り、この数値を1000倍したもので、単位はm atm-cm（ミリアトムセンチメートル）またはDU（Dobson Unit；ドブソン単位）である。地球全体の平均的なオゾン全量は約300m atm-cmで、これは地表で約3mmの厚さに相当する。

オゾン分圧：ある高さにおける大気の圧力すなわち気圧は、大気を構成する窒素、酸素、アルゴン等それぞれの気体成分の圧力すなわち分圧の総和であり、その中でオゾンが占める圧力をオゾン分圧といい、通常mPa（ミリパスカル）で表す。1mPa=10⁻⁵hPa。

紫外線：紫外線（紫外域日射）は、地球に到達する太陽光線のうち、可視光より波長が短い光で、エネルギーが高いことが特徴である。波長により、A領域（UV-A；波長315～400nm（nm：ナノメートル=10億分の1メートル））、B領域（UV-B；波長280～315nm）、C領域（UV-C；波長100～280nm）に区分される。本報告では、観測された波長別紫外線データを、紅斑紫外線量（CIE紫外線量）およびUVインデックスに換算して示している。換算方法と単位は以下で示すとおり。

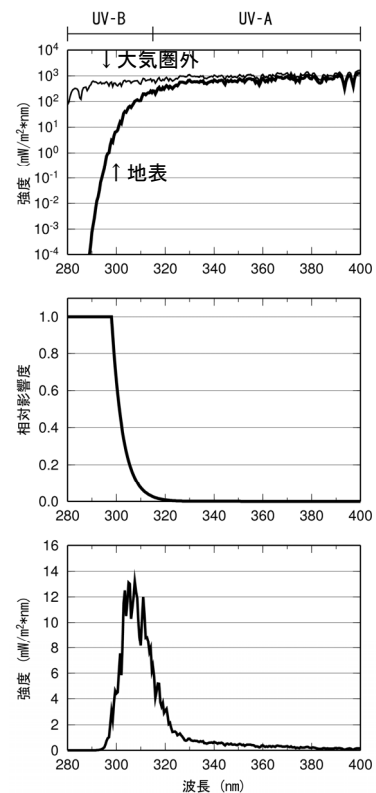
紅斑紫外線量（CIE紫外線量）・UVインデックス：

図A4-1(上図)に大気圏外および地表における波長別紫外線強度を示す。単位は、ワット・毎平方メートル・毎ナノメートル（W/(m²・nm)）であり、水平面の面積1平方メートルに1秒間に降り注ぐ紫外線のエネルギー（1ワット=1ジュール・毎秒）の波長（ナノメートル）あたりの値である。地表での紫外線が短波長ほど大きく減衰しているのは、主に成層圏オゾンの吸収や大気分子による散乱の影響である。

「紅斑紫外線量」は、紫外線の人体への影響度が短波長側で強いという特徴を考慮して、波長別の紫外線強度に、皮膚に対する波長別の相対影響度として国際照明委員会（CIE；Commission Internationale de l'Éclairage）により定義されたCIE作用スペクトル（McKinlay and Diffey, 1987）（図A4-1(中図））を乗じて、波長積分して得られる量である。紅斑紫外線量の単位はワット・毎平方メートル（W/m²）である。また、紅斑紫外線量を25mW/m²単位で指標化したものが「UVインデックス」である。さらに1日分を合計することにより「紅斑紫外線量日積算値」が得られる。日積算値は、1平方メートルあたりのエネルギー（単位はJ/m²；ジュール・毎平方メートル）であらわされる。

紅斑紫外線量の算出にあたって、290nmから400nmまでの波長別紫外線データが必要であるが、観測を行っていない325nmから400nmまでの波長域による寄与分については、324nmの観測値をもとに推定している。これは、324nmから400nmの波長域の紫外線が、オゾンによる吸収をほとんど受けず、雲やエアロゾルの影響が、波長にあまり依存せずほぼ一様に変動することを根拠としている。

なお、2005年5月からは紫外線予測情報と、オゾン全量や気象データをもとに推定して求めた紫外線解析情報ならびに札幌、つくば、那覇における紫外線観測結果を気象庁ホームページ上（<http://www.jma.go.jp/uv/>）で毎日公表している。



図A4-1：波長別紫外線強度と紅斑紫外線強度の関係

上図は放射伝達モデル（Aoki *et al.*, 2002）を用いて算出した波長別紫外線強度（細線：大気圏外、太線：地表）、中図はCIE作用スペクトルの相対影響度、下図は波長別紅斑紫外線強度を示す。横軸は波長。波長別紅斑紫外線強度を波長積分すると紅斑紫外線量が得られる。

データ解析にかかわる用語

参照値：オゾンの変動を表すための基準として用いる一定期間の累年平均値。オゾンは、低緯度を除いて長期的な減少を示している。このため、他の気象要素で使用する「平年値」と区別し、「参照値」を定義する。この観測報告における参照値は必要に応じて該当箇所を示すが、主なものは以下のとおり。

オゾン全量：地上観測のオゾン全量の参照値は、基本的に1971～2000年の累年平均値であるが、那覇、南鳥島、南極昭和基地についてはそれぞれの理由により異なる期間としている。各観測地点と累年平均した期間は以下のとおり。

札幌	1971～2000年
つくば	1971～2000年
那覇	1974～2000年（観測開始が1974年のため）
南鳥島	1994～2007年（観測開始が1994年であり、2000年までとすると平均期間が短すぎるため）

南極昭和基地 1961～1980年（オゾンホールが明瞭に現れる以前の期間とするため）

なお、衛星観測によるオゾン全量の参照値は、ニンバス7衛星による観測期間である1979～1992年の平均値である。

オゾン分圧：1971（那覇は観測開始の1989）～2000年の平均値。

紫外線量：1991（つくばは観測開始の1990）～2007年の平均値。

偏差と比偏差：観測値を参照値などの基準となる値と比較する際、本報告では、その差を絶対量で示す場合には偏差、百分率で示す場合に比偏差という。

オゾンホールの規模：オゾンホールの規模を定量的に表現するための世界的に統一された尺度はないため、気象庁では解説の便を考慮して、オゾンホールの状況を表す指標として、南緯45度以南における次の要素を定義し、人工衛星による観測資料を用いてこれらを算出し、公表している。

オゾンホールの面積：オゾン全量が220m atm-cm以下の領域の面積（単位：km²）。オゾンホール発生以前には広範囲に観測されなかったとされるオゾン全量が220m atm-cm以下の領域の面積であり、オゾンホールの広がりを目安を与える量。

最低オゾン全量：オゾンホール内のオゾン全量の最低値（単位：m atm-cm）。オゾンホールの深まりを目安を与える量。

オゾン欠損量（破壊量）：南緯45度以南のオゾン全量を300m atm-cm（オゾン全量の全球平均値）に回復させるために必要なオゾンの質量（万トン単位）。オゾンホール内で破壊されたオゾンの総量を目安を与える量。

極域成層圏雲（PSCs）：PSCsはPolar Stratospheric Cloudsの略で、極域上空の成層圏気温が-78℃以下に低下した際に、硝酸や水蒸気から生成される雲である。通常、クロロフルオロカーボン類から解離した塩素の大部分は、下部成層圏ではオゾン層を破壊する作用のない塩素化合物の形で存在しているが、極域成層圏雲の表面での特殊な化学反応により、塩素ガスとして大気中に大量に放出される。この塩素ガスに太陽光線が射すと、活性な塩素原子が放出され、オゾンの破壊が急激に進行する。オゾンホールの生成などには、この極域成層圏雲の発生が大きく影響する。オゾンホールが発生するメカニズムについては解説4(P27)を参照。

極渦（極夜渦）：極域上空の成層圏においては、太陽光が射さない冬季（極夜）の間に、極点を中心として非常に気温の低い大気の渦が発達する。これを極渦あるいは極夜渦という。

子午面循環：子午線に沿う南北流と鉛直流からなる循環。全球的な大気の運動を、緯度に沿って経度方向に平均（帯状平均）したときに得られる平均子午面循環をさすことが多い。南北鉛直断面内の循環。

QBO：Quasi-Biennial Oscillationの略で、準2年周期振動のこと。赤道付近の下部成層圏で、東風と西風が約2年の周期で交互に出現する現象のこと。気温やオゾン量にも準2年周期振動があることが知られている（解説2「オゾン量の経年変動に影響を及ぼす自然の要因1」参照）。

EESC：Equivalent Effective Stratospheric Chlorineの略で、等価実効成層圏塩素のこと。成層圏における臭素と塩素のオゾン破壊能力に関する標準化された指標であり、オゾン層破壊物質の濃度の指標。クロロフルオロカーボン類（CFCs）の過去の放出量や地上での観測結果と、モデル計算に基づく成層圏での分解割合に基づき算出されている。EESCフィッティングを用いたトレンド解析については、付録3(P57～59)を参照。

JRA-25：Japanese Re-Analysis 25 yearsの略で、日本で行われた大気の長期再解析プロジェクトのこと。気候の推移を正確に把握することを目的とし、季節予報モデルの高度化や気候研究のための高精度の気候データセットを気象庁と財団法人電力中央研究所の共同研究として作成した。このデータセットのことを指す場合もある。

- JCDAS** : JMA Climate Data Assimilation Systemの略で、気象庁の気候データ同化システムのこと。JRA-25と同等の全球数値解析予報システムを用いリアルタイムの気候データを作成している。
- ERA-40** : ヨーロッパ中期予報センター(ECMWF)で作成された対象期間40年の大気再解析プロジェクトのこと。このプロジェクトで作成されたデータセットを指す場合もある。
- NOAA/NCEP** : 米国海洋大気庁 (National Oceanic and Atmospheric Administration) の環境予測センター(National Centers for Environmental Prediction)のこと

測器・観測にかかわる用語

- ドブソン分光光度計** : 地表に到達する紫外線をプリズムで分光し、オゾンによる吸収の割合が大きく異なるいくつかの波長の強度比を測定することにより、大気中に含まれるオゾン全量を観測する測器。英国のドブソンによって1920年代に開発された測器で、精度良くオゾン全量を観測することができ、世界的な標準となっている。
- ブリューワー分光光度計** : 紫外線を回折格子により分光し、その波長別強度を光電子増倍管で計測する測器。気象庁はブリューワー分光光度計を用い、290～325nmの波長範囲について、0.5nm毎の波長別の紫外線強度を日の出から日の入りの間、毎正時に測定している。なお、南鳥島ではオゾン全量の観測に使用している。
- オゾンゾンデ観測** : 測器を吊り下げた気球を飛揚し、空気を直接採取して、オゾンの化学反応(ヨウ化カリウム(KI)溶液に対する反応)を利用することにより、地上約35kmまでのオゾン量を直接観測する。オゾンの高度分布の詳細な観測が可能である。気象庁では、1960年以来、気象研究所で開発したKC型(KI solution and Carbon electrode 型)オゾンゾンデを用いて観測を続けてきたが、那覇においては2008年11月から、世界の多くの観測所で用いられているECC型(Electrochemical Concentration Cell 型)オゾンゾンデを用いることとした。KC型オゾンゾンデ、ECC型オゾンゾンデについての詳しい説明は「オゾンゾンデ観測指針(KC型編)」「オゾンゾンデ観測指針(ECC型編)」をそれぞれ参照。
- 反転観測** : 晴天時の日の出もしくは日の入り時の前後に、ドブソン分光光度計あるいはブリューワー分光光度計による天頂光の分光観測で得たオゾンによる吸収の大きさの異なる二つの波長の光の強度比は、太陽高度角が小さくなるとともに連続的に増加するが、途中から減少し始める。この強度比の変化の様子を観測(反転観測)・解析することにより、10層の層別のオゾン量を求める。

参考文献

- 気象庁(2003), オゾン層観測報告:2002.
- 気象庁(2004), オゾン層観測報告:2003.
- 気象庁(2007), オゾン層観測報告:2006.
- 環境省(2008), 紫外線環境保健マニュアル2008.
- 伊藤朋之, 迫田優一, 上窪哲郎, 長沼 弘, 柴田誠司(1993), 南極オゾンホール of 強さ・規模の定量的表現と経験的予測に関する研究, 研究時報, 45巻1号, 1-16.
- 吉松和義, 永田和彦, 坂本尚章, 藤本敏文(2005), つくば上空のオゾン変動要因について, 気象庁研究時報, 57巻3-4合併号, 81-94.
- 渡辺典昭(2004), 天候・循環場の経年変化, 平成16年度季節予報研修テキスト
- Aoki, Te., Ta. Aoki, M. Fukabori, and T. Takao(2002), Characteristics of UV-B irradiance at Syowa Station, Antarctica: Analyses of the measurements and comparison with numerical simulations, J. Meteor. Soc. Japan, 80, 161-170.
- Estupinan, J. G., S. Raman, G. H. Crescenti, J. J. Streicher, and W. F. Barnard(1996), Effects of clouds and haze on UV-B radiation, J. Geophys. Res., 101, 16807-16816.
- Guillas, S., M. L. Stein, D. J. Wuebbles, and J. Xia (2004) Using chemistry transport modeling in statistical analysis of stratospheric ozone trends from observations, J. Geophys. Res., 109, D22303, doi: 10.1029/2004-JD005049.
- Hadjinicolaou, P., J. A. Pyle, and N. R. P. Harris(2005), The recent turnaround in stratospheric ozone over northern middle latitudes: A dynamical modeling perspective, Geophys. Res. Lett., 32, L12821, doi:10.1029/2005GL022476.
- Hood, L. L. and B. Soukharev(2005), Interannual variations of total ozone at northern mid latitudes correlated with stratospheric EP flux and potential vorticity, The 17th Conference on Climate Variability and Change/15th Conference on Atmospheric and Oceanic Fluid Dynamics/13th Conference on Middle Atmosphere, J11.3, Cambridge, MA, USA, 8-17 June 2005, AMS.
- Kodera, K. and Y. Kuroda(2002), Dynamical response to the solar cycle. J. Geophys. Res., 107, doi:10.1029/2002JD002224.
- McKinlay, A. F., and B. L. Diffey(1987), A reference action spectrum for ultraviolet induced erythema in human skin, CIE Journal, 17-22.
- Miyagawa, K., T. Sasaki, H. Nakane, I. Petropavlovskikh, and R. D. Evans (2009), Reevaluation of long-term Umkehr Data and Ozone profiles at Japanese stations, J. Geophys. Res., 114, doi:10.1029/2008JD010658.
- Newman, P. A., E. R. Nash, J. E. Rosenfield, (2001), What controls the temperature of the Arctic stratosphere during the spring? J. Geophys. Res. Vol. 106, No. D17, p. 19,999 (2000JD000061)
- Newman, P. A., S. R. Kawa, , E. R. Nash (2004), On the size of the Antarctic ozone hole. Geophys. Res. Lett. VOL. 31, L21104, doi:10.1029/2004GL020596
- NOAA (2005), Northern hemisphere winter summary 2004-2005,
http://www.cpc.ncep.noaa.gov/products/stratosphere/winter_bulletins/nh_04-05/index.html
- Plumb, R. A., R. C. Bell (1982), A model of the quasi-biennial oscillation on an equatorial beta-plane., Royal Meteorological Society, Quarterly Journal. Vol. 108, pp. 335-352.
- Schwander, H., B. Mayer, A. Ruggaber, A. Albold, G. Seckmeyer, and P. Koepke(1999), Method to determine snow albedo values in the ultraviolet for radiative transfer modeling, Appl. Opt., 38, 3869-3875.
- Solomon, S., R. W. Portmann, T. Sasaki, D. J. Hofmann, and D. W. J. Thompson(2005), Four decades of ozonesonde measurements over Antarctica, J. Geophys. Res., 110, D21311, doi:10.1029/2005JD005917.
- Terry Deshler, Jennifer L. Mercer, Herman G. J. Smit, Rene Stubi, Gilbert Levrat, Bryan J. Johnson, Samuel J. Oltmans, Rigel Kivi, Anne M. Thompson, Jacquelyn Witte, Jonathan Davies, F. J. Schmidlin, G. Brothers, and Toru Sasaki, Atmospheric comparison of electrochemical cell ozonesondes from different manufacturers, and with different cathode solution strengths: The Balloon Experiment on Standards for Ozonesondes, J. Geophys. Res, 113, D04307, 2008
- Uchino, O., R. D. Bojkov, D. S. Balis, K. Akagi, M. Hayashi, and R. Kajihara(1999), Essential

characteristics of the Antarctic-spring ozone decline: data updated to 2005, *Geophys. Res. Lett.*, 26, 1377-1380.

WHO, WMO, UNEP, NIR(2002), *Global Solar UV Index. A practical Guide*,
<http://www.who.int/uv/publications/en/GlobalUVI.pdf>.

WMO(1992), *Scientific assessment of ozone depletion:1991*, Global Ozone Research and Monitoring Project Report, No. 25.

WMO(1995), *Scientific assessment of ozone depletion:1994*, Global Ozone Research and Monitoring Project Report No. 37.

WMO(1998) : JOSIE-1996. WMO/GAW, No.130, 108pp

WMO(1999), *Scientific assessment of ozone depletion:1998*, Global Ozone Research and Monitoring Project Report No. 44.

WMO(2003), *Scientific assessment of ozone depletion:2002*, Global Ozone Research and Monitoring Project Report No. 47.

WMO(2004) : JOSIE-2000. WMO/GAW, No.158, 147pp

WMO(2007), *Scientific assessment of ozone depletion:2006*, Global Ozone Research and Monitoring Project Report No. 50.