

1 解析に使用した資料

1-1 地上からのオゾン観測データ

本報告では、2006年1月までに、世界気象機関(WMO)の世界オゾン・UV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、オゾン反転、オゾンゾンデ観測データを使用した。オゾンの観測を行っている地点を図1-1-1に示す。

また、気象庁で観測しているデータとして以下のものがある(表1-1-1)。

オゾン全量及び反転観測データ：

気象庁はドブソンオゾン分光光度計(以下ドブソン計)によるオゾン全量観測及びオゾン高度分布観測(反転観測、1章の解説参照)を1957年につくばで、1958年に札幌及び鹿児島で、1974年に那覇で、1961年に南極昭和基地で開始し、現在、つくば、札幌、那覇及び昭和基地で観測を行っている。なお、国内観測網の見直しにより、鹿児島での観測は2005年3月で終了した。

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1968年に札幌、つくば、鹿児島で、1989年に那覇で、1967年に南極昭和基地で開始し、現在、つくば、札幌、那覇及び昭和基地で観測を行っている。なお、国内観測網の見直しにより、鹿児島での観測は2005年3月で終了した。

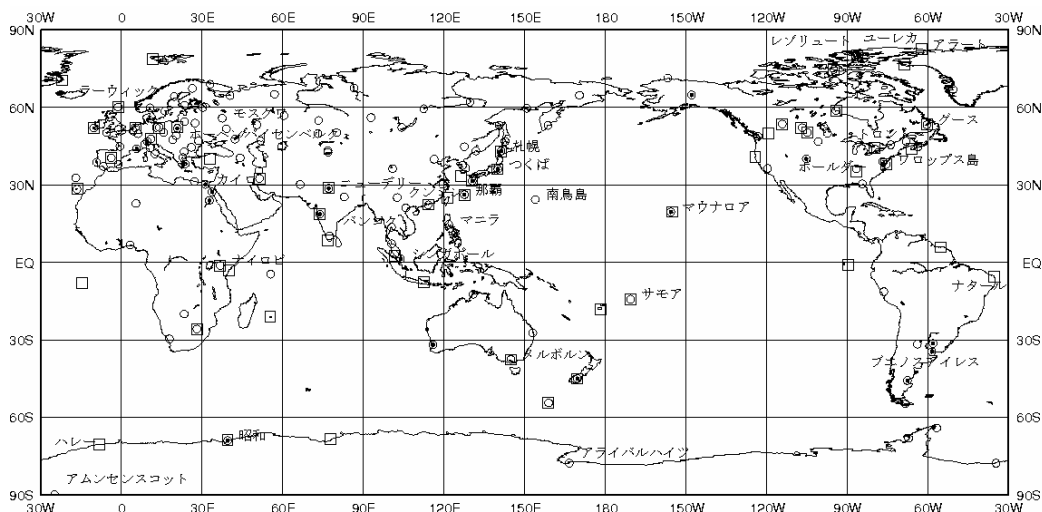


図1-1-1：オゾン観測地点の分布(2005年現在)

全量観測は145地点(○印)、反転観測は22地点(●印)、オゾンゾンデ観測は56地点(□印)。

表1-1-1：観測地点と位置及び観測種別 本報告に使用した地上観測点データのうち、気象庁が観測を行っている地点、位置及び観測種別(2005年現在)。なお、鹿児島における観測は2005年3月で終了した。

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)	Tsukuba(Tateno)	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	Minami-torishima	47991	24° 17' N	153° 59' E	8.5m	T,U
昭和基地	Syowa	89532	69° 00' S	39° 35' E	20.7m	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

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つ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。なお、ニンバス-7 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最新の処理方法 (ver. 8) で、メテオール-3 衛星については旧処理方法 (ver. 7) で計算されたものを利用した。

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～。

また、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、及びオゾンの長期変化に関連した解析の一部については、以下のデータを使用した。

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及び太陽光後方散乱紫外線計 (SBUV/2 ; Solar Backscatter UltraViolet) による全球のオゾン全量データ。

TOMS+SBUV/2 統合データ : 米国航空宇宙局 (NASA) が複数の衛星データから処理した全球のオゾン全量及び鉛直分布データ。ニンバス-7 衛星の TOMS 及び SBUV データ、ノア衛星の SBUV/2 データ、アースプローブ衛星の TOMS データを利用している。MOD (Merged Ozone Data) データともいう。

表 1-2-1 : 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

現在使用しているオーラ衛星に搭載されている OMI の精度を確認するために、図 1-2-1 に、地上観測値との比偏差 (1章の解説参照) を、2005年1～12月の1年間について求めたものを示す。これによれば、北半球低緯度で正偏差がやや大きくなっており、その大きさは最大で8%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。

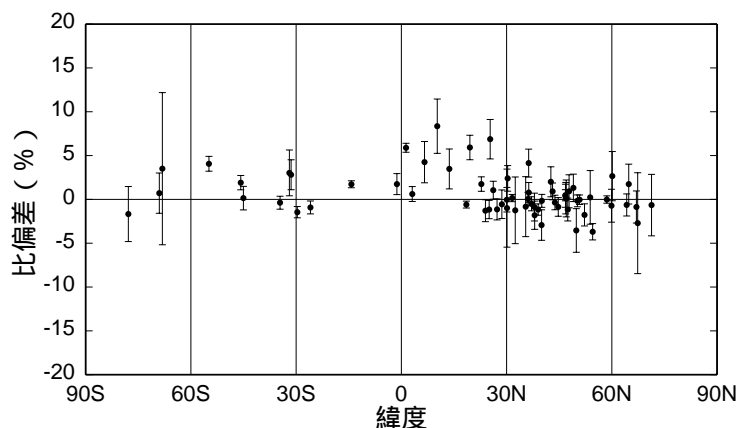


図 1-2-1 : オーラ/OMI のデータと地上観測データの比較

オーラ衛星に搭載された OMI による観測値(日別)と地上観測値との比偏差。地上の観測地点に対応する OMI データを求め比較した。データ期間は 2005 年 1～12 月。縦線はその標準偏差。

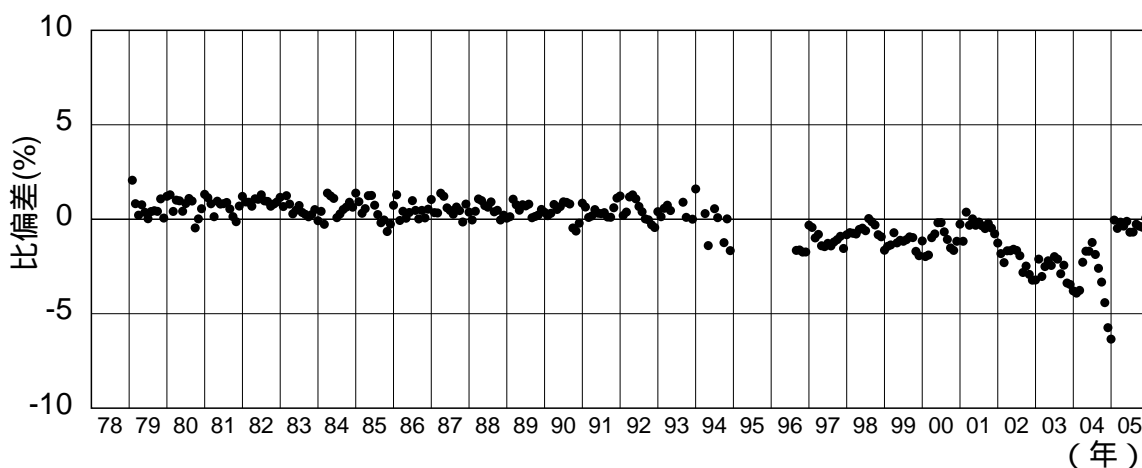


図 1-2-2：衛星データと地上観測データの比較

北緯 30 度から北緯 60 度の領域内の TOMS 及び 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。データ期間は 1979 年 1 月～2005 年 12 月。各月の比較地点数は約 20～50 地点。

衛星データの長期的な安定性をみるために、図 1-2-2 に 1979 年 1 月～2005 年 12 月の期間について、TOMS 及び 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所の観測値との月平均値による比較結果を示す。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 2%程度である。1993 年 5 月以降のメテオール-3 及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。特に、2002 年以降のアースプローブ衛星の TOMS データは、中緯度域で負の偏差が拡大し、長期的な変化をみるには適切でない状況となった。TOMS の後継として OMI のデータが公開されており、図 1-2-2 に示すように TOMS データと比較して地上観測値との偏差のばらつきが小さいことから、OMI データによってオゾンの長期的な変化はより正確に見積もることができると考えられる。このため、本報告では、2005 年 1 月より OMI データを利用することとした。

1-3 紫外線の観測データ

紫外線（紫外域日射）は波長により、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。UV-B は成層圏オゾンにより吸収されながらも一部は地表に到達するが、UV-B の中でも 290nm 以下の波長域、および UV-C は、大気中の酸素やオゾンにすべて吸収され地表に到達しない。気象庁で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に、1990 年 1 月よりつくばで、また、1991 年 1 月より札幌、鹿児島、那覇で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開始し、現在、札幌、つくば、那覇において観測を実施している。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。なお、国内観測網の見直しにより、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（大学共同利用機関法人）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 月からは本格的な定常観測を実施している。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、紫外線量を、紅斑紫外線量（CIE 紫外線量）及び UV インデックスで表し、適宜 UV-B 量も用いて示す。この中で、「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）により定義された CIE 作用スペクトル(McKinlay and Diffey, 1987) を乗じて、波長積分して得られる量である。その日積算値を「紅斑紫外線日積算値」とする。紅斑紫外線量を 25mW/m²単位で指標化したものを「UV インデックス」という（4 章の解説 2 参照）。また、「UV-B 量」は波長 290nm から 315nm の範囲の紫外線強度を波

長積分した量、その日積算値を「UV-B 日積算値」、毎時値の日最大値を「UV-B 日最大値」とする。

気象庁では、紅斑紫外線量の算出にあたって、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、324 nm 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によって、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をウェブサイト上で公表している。

1-4 参照値

オゾンは、オゾン層破壊物質の影響により低緯度を除いて長期的な減少を示している。このため、他の気象要素における「平年値」と区別し、オゾンの変動を表すための基準として、「参照値」を定義する。この観測報告における参照値は、以下のように定義する。

- 1) **オゾン全量**：1971（那覇は観測開始の 1974）～2000 年の平均値。ただし南極昭和基地については、オゾンホールが明瞭に現れる以前の平均値（1961～1980 年）を参照値とする。南鳥島については、1994～2004 年の平均値とする。
- 2) **オゾン分圧**：1971（那覇は観測開始の 1989）～2000 年の平均値。
- 3) **TOMS によるオゾン全量**：ニンバス-7 衛星により得られた 1979～1992 年の平均値。
- 4) **紫外線**：1991（つくばは観測開始の 1990）～2004 年の平均値。

また、参照値との比較を行う際には、差が標準偏差以内のときを「並」、それより大きいときを「多い」、それより小さいときを「少ない」とした。

なお、2005 年のデータには一部暫定値が含まれるため、細部については今後若干変更される可能性があるが、結論が大きく変わることはない。

(解 説) 用語

ドブソンオゾン分光光度計 (ドブソン計) : 地上で太陽光の強度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。地表に到達する太陽光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、オゾン全量を求める。英国人のドブソン氏によって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。

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°C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倍したものを、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) の単位で表す。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3mmの厚さに相当する。なお、1m atm-cm中に含まれる分子数は、単位面積 (1 m²) あたり、 2.687×10^{20} 個となる。

オゾンゾンデ観測 : 測器を吊り下げた気球を飛ばし、空気を直接採取して、オゾンの化学反応 (ヨウ化カリウム溶液に対する反応) を利用することにより、地上約35 km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。

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う。単位はmPa (ミリパスカル)。1mPa = 10^{-5} hPa。

反転観測 : 晴天時に日の出もしくは日の入りの前後で、天頂光の分光観測を行って得た適当な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「反転」と呼び、反転現象を観測することを反転観測と呼んでいる。反転観測によって得られたデータを使えば、大気をいくつかの層に分け、それぞれの層別のオゾン量を求めることが可能である。

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、その強度を光電子増倍管で計測する分光光度計。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没の間、毎時毎に測定している。なお、南鳥島ではオゾン全量の観測に使用している。

紫外線の単位 : 波長別紫外線強度の観測値はワット・毎平方メートル・毎ナノメートル (W / (m²・nm)) の単位で表示される。この単位を用いて、地表の水平面の面積1平方メートルあたりに注ぐ紫外線のエネルギーが、波長幅1 nmあたりで1秒間に何ジュールあるか (1ワット = 1ジュール・毎秒) を表現する。波長別紫外線強度に、CIE作用スペクトルを乗じて波長積分を行うと、红斑紫外線量 (単位はW/m²; ワット・毎平方メートル) が得られる。さらに1日分合計することにより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) で表示される。

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する。

トレンド : 直線的な長期変化傾向。本報告では、変化傾向を表す指標として10年あたりの変化率をトレンド値と呼ぶ (3章の解説2参照)。