

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、2005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観測データ、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：

気象庁が1957年から順次観測を開始し継続してきた国内4地点(札幌、つくば、鹿児島、那覇)及び南極昭和基地における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、p.5参照)のデータ。

1994年より観測を開始した南鳥島におけるブリューワー分光光度計によるオゾン全量観測データ。

オゾンゾンデ観測データ：

札幌、つくば、鹿児島、那覇及び昭和基地における、気球を用いたオゾン高度分布観測(オゾンゾンデ観測)のデータ。

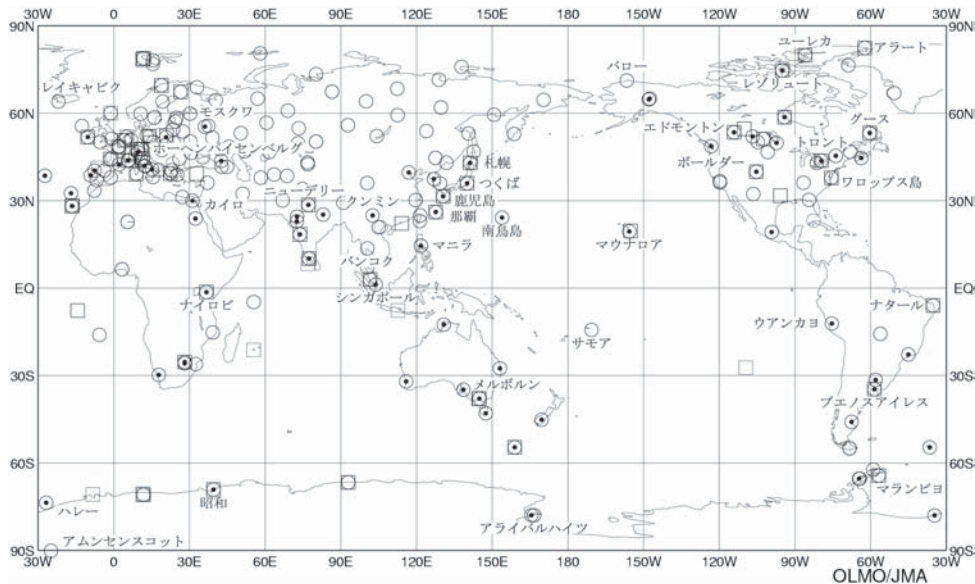


図1-1-1：オゾン地点の分布(2004年現在)

全量観測は229地点(印)、反転観測は72地点(印)、オゾンゾンデ観測は63地点(印)。

表1-1-1：観測地点と位置及び観測種目 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(2004年現在)

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' N	26.3m	T,U,S,UV
つくば(館野)	Tsukuba(Tateno)	47646	36° 03' N	140° 08' N	31.0m	T,U,S,UV
鹿児島	Kagoshima	47827	31° 33' N	130° 33' N	31.7m	T,U,S,UV
那覇	Naha	47936	26° 12' N	127° 41' N	27.5m	T,U,S,UV
南鳥島	Minamitorishima	47991	24° 17' N	153° 59' N	8.5m	T,U
昭和基地	Syowa	89532	69° 00' N	39° 35' N	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:波長別紫外域日射観測

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、主として、以下の衛星のオゾン全量マッピング分光計 (TOMS ; Total Ozone Mapping Spectrometer) のデータを使用した。

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～。

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。

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、及びオゾンの長期的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	ノア	ノア
観測装置名	TOMS	TOMS	TOMS	TOVS	SBUV/2
期間	1978.11-1993.4	1993.5-1994.11	1996.7-	1995	1995

現在使用しているアースプローブ衛星に搭載されているTOMSの精度を確認するために、図1-2-1に、衛星による観測値の、地上観測値に対する差 (比偏差 : 百分率) を、2003年7月～2004年6月の1年間について示す。これによれば、北半球中緯度で負偏差がやや大きくなっている。その大きさは最大で6%程度である。

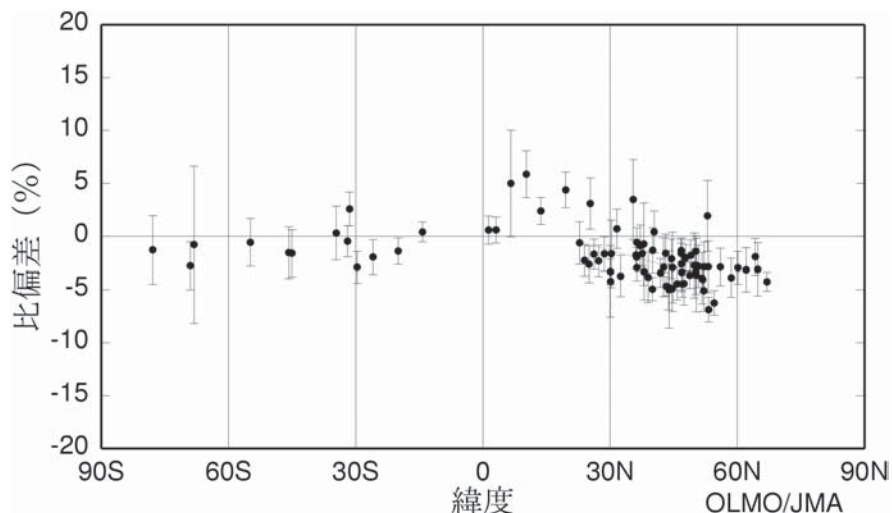


図 1 - 2 - 1 : アースプローブ/TOMS のデータと地上からの観測データの比較

アースプローブ衛星に搭載されたTOMSによる観測値 (日別観測値) と地上からの観測値との比偏差。地上観測地点に対応するTOMSデータを求め比較した。データ期間は2003年7月～2004年6月。縦線はその標準偏差。

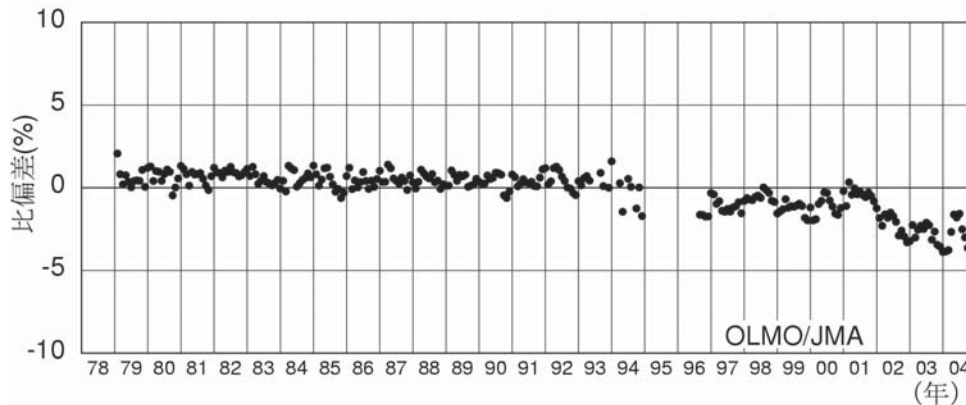


図1 - 2 - 2 : TOMS データと地上からの観測データの比較

北緯30度から北緯60度の領域内について、TOMSによる観測値(月平均値)と地上からの観測値との比偏差の推移。地上観測地点に対応する TOMS データを求め比較した。データ期間は1979年1月～2004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見るために、図1 - 2 - 2に1979年1月～2004年12月の期間について、ニンバス-7、メテオール-3、アースプローブの各衛星に搭載されたTOMS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、ニンバス-7衛星の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、長期的な変化を見るには適切でない状況となっている。一方、TOMSデータとSBUV/2データを統合したMOD (Merged Ozone Data)データは、図1 - 2 - 3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やや小さい。また、TOMSでは一部のデータが得られていない期間についても、MODデータは、SBUV/2データを利用してデータをそろえている。このことから、MODデータはオゾンの長期的な変化をより正確に見積もることができると考えられる。ただし、2001年以降については、地上観測値に対する比偏差が正となり、ばらつきも大きいため、さらにデータの検証が必要であると思われる。このため本報告では、長期的な変化傾向については、おもに、2000年までのMODデータを使って評価することとした。

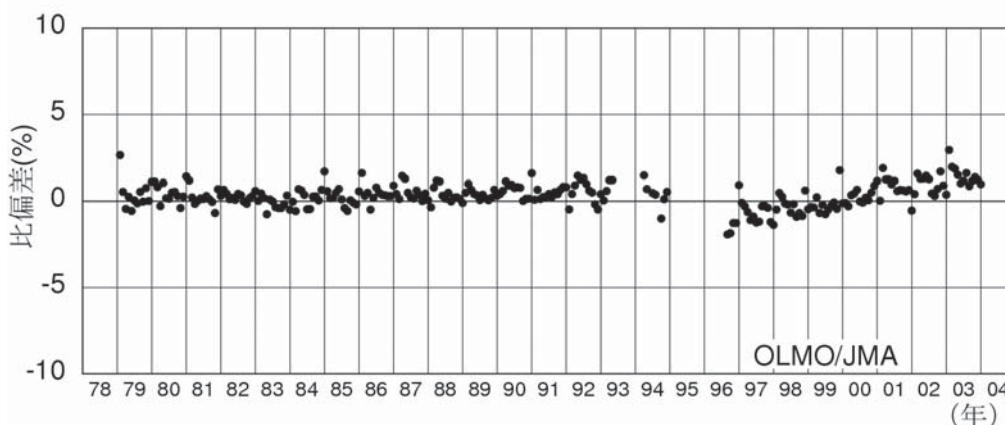


図1 - 2 - 3 : MOD データと地上からの観測データの比較

北緯30度から北緯60度の領域内について、緯度帯別MODデータ(月平均値)と地上からの観測値との比偏差の推移。MODデータの緯度帯平均値とTOMSデータの緯度帯平均値を比較し、図1 - 2 - 2に基づいて地上からの観測値との偏差を推定した。データ期間は1979年1月～2003年12月。なお、1993年から1996年のデータの一部は比較対象のTOMSデータがないため、ここには示していない。

なお、MODデータは緯度帯平均及び格子間隔の広いデータであるので、全球分布を詳細に評価できないため、長期変化傾向の全球分布については、MODデータによる解析結果と若干異なる可能性があることに留意しつつ、2000年までのTOMSデータを用いて評価することとした。また、2001年以降のアースプローブ衛星のTOMSデータについては、地上観測値との差及び衛星間の差を評価した上で、必要に応じて補正を加えて使用した。

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一部吸収され、残りが地表に到達する。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UV-Bの地表到達量の状況を把握するために、1990年1月1日よりつくばで、また、1991年1月1日より札幌、鹿児島、那覇でプリューワー分光光度計を用いた波長別紫外域日射観測を実施してきた（鹿児島の観測場所は1994年2月に移転）。また、気象庁は南極昭和基地でも同様の観測を1991年2月1日から国立極地研究所（大学共同利用機関法人）と共同で実施してきた。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。

なお、本報告では紫外線量を、UV-B量、紅斑紫外線量（CIE紫外線量）波長300nmにおける紫外線量で示すこととする。この中で、「UV-B量」は波長290～315nm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」、毎時値の日最大を「UV-B日最大値」とする。また、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。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（UV指数）という（4-1節参照）。気象庁では、UVインデックスの算出にあたって、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の観測値を基に推定している（4-2-1項参照）。

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、1994～2003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）～2003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、2004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)

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(1m²)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もの。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大気圧すなわち気圧は、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)、 $1\text{mPa} = 10^{-5}\text{hPa}$ 。

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2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1nm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。これから波長積分を行い、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。