

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、2003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、気象庁の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.4参照)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。

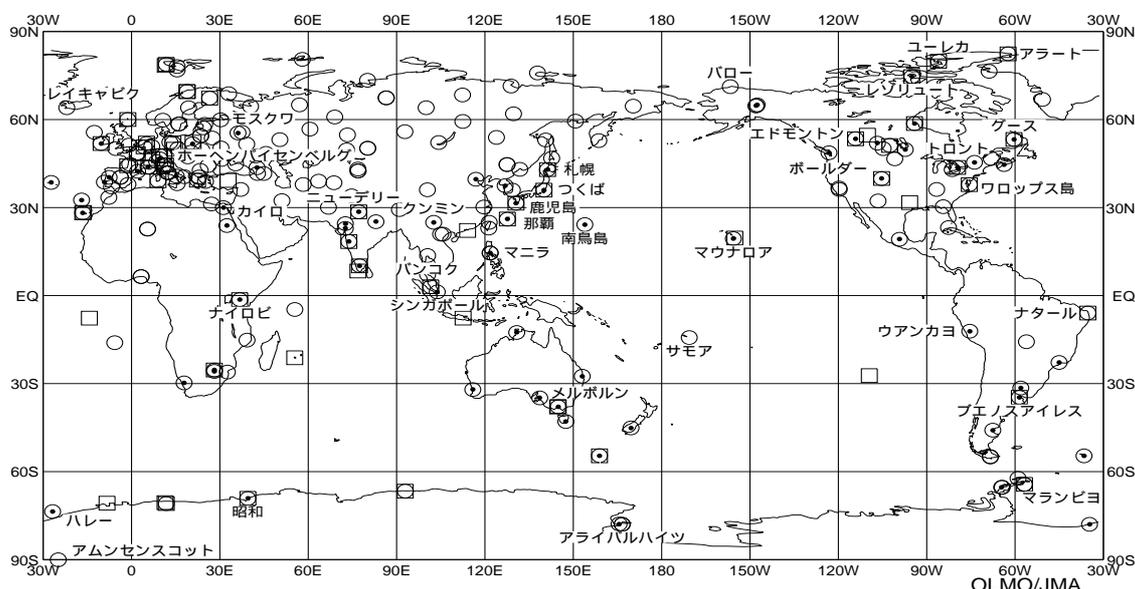


図1-1-1：オゾン地点の分布(2002年現在)

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(2002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° 03' N | 141° 20' E | 25.7m | T,U,S,UV |
| つくば(館野) | Tsukuba(Tateno) | 47646 | 36° 03' N | 140° 08' E | 30.5m | T,U,S,UV |
| 鹿児島 | Kagoshima | 47827 | 31° 33' N | 130° 33' E | 31.1m | T,U,S,UV |
| 那覇 | Naha | 47936 | 26° 12' N | 127° 41' E | 26.9m | T,U,S,UV |
| 南鳥島 | Minamitorishima | 47991 | 24° 18' N | 153° 58' E | 9.0m | 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、メテオール-3衛星のデータについては、アルゴリズムVer.7により再処理されたデータを使用した(3-4節参照)。

また、メテオール3以後アースプローブTOMSによる観測が始まるまでの一部の期間については、以下のデータを使用した。

ノア衛星データ: 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。米国海洋大気庁(NOAA; National Oceanic and Atmospheric Administration)。

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 |

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、アースプローブ衛星に搭載されているTOMSによる観測値の、地上観測値に対する差(比偏差:百分率)を、2001年7月~2002年6月の期間について示す。これによれば、南半球高緯度で比偏差がやや大きいほかは、緯度による比偏差の違いは見られない。

図1-2-2に1978年11月~2002年12月の期間について、各衛星に搭載されているTOMSによる観測値(月平均値)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比較結果を示す。これによれば、2000年まではTOMSのデータの地上観測値に対する比偏差は、最大でも3%程度であり、各衛星のTOMSデータ間の違いは比較的小さい。しかし、メテオール-3衛星のTOMSデータの比偏差は、他の衛星と比較して傾向が異なり、2001年以降のアースプローブ衛星のTOMSデータは比偏差のばらつきが大きくなっていることが分かる。本報告では地上観測値との差及び衛星間の差についての補正を加えていないデータを

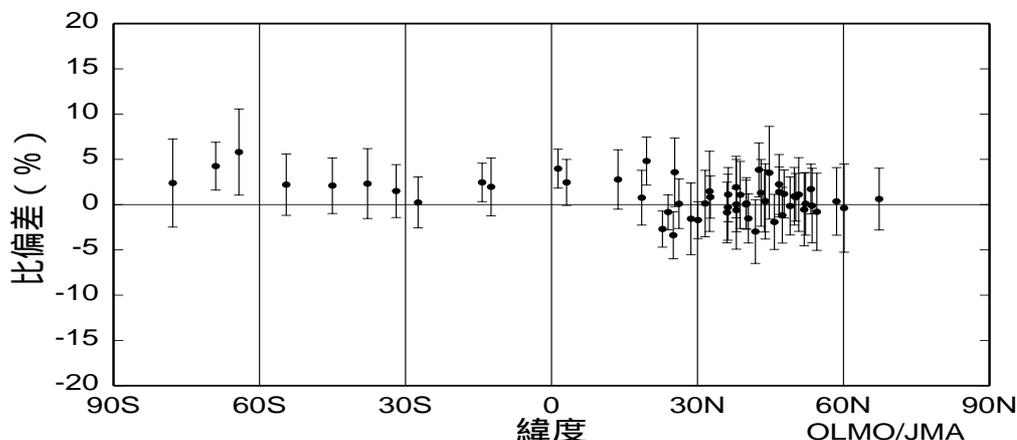


図1-2-1: アースプローブ/TOMSのデータと地上からの観測データの比較

アースプローブ衛星に搭載のTOMSによる観測値(日別観測値)の地上からの観測値に対する比偏差。TOMSデータから地上観測地点での値を求め、比較した。データ期間は2001年7月~2002年6月。縦線はその標準偏差。

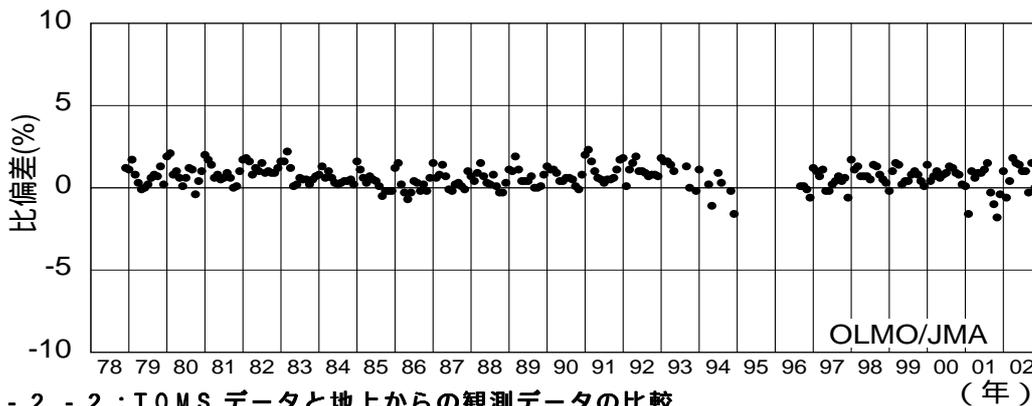


図1 - 2 - 2 : TOMS データと地上からの観測データの比較

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)の地上からの観測値に対する比偏差の推移。TOMS データから地上観測地点での値を求め、比較した。データ期間は 1978 年 11 月～2002 年 12 月。あたりの地点数は約 20 ～ 50 地点。

使用し、2001年以降のアースプローブ衛星のTOMSデータの検証が十分でないため、TOMSデータを用いたトレンドについては2000年までのデータを使って評価した「オゾン層観測報告：2000」(気象庁、2001)の結果を使用した。

1 - 3 紫外域日射の観測データ

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)に分類される。このうち、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が、UV-Cは、大気中の酸素やオゾンにすべて吸収され地上に到達しない。気象庁ではオゾン層と密接な関連のある有害なUV-Bの地上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、那覇でプリューワ分光光度計を用いた波長別紫外域日射観測を実施している(鹿児島の観測場所は1994年2月に移転した)。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(文部科学省)と協同で実施している。これまで、通信上の制約などから、一年遅れで昭和基地の紫外域日射の状況を報告していたが、2002年からその制約が改善されたため、2001年1月から2002年12月までの2年間のデータについて報告する。なお、本報告では波長290～315nmの範囲の紫外域日射を波長積分した量を「UV-B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。

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年の月別平均値。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月別平均値(1961～1980年)を参照値とする。南鳥島については、1994～2001年の月別平均値。
- 2) **オゾン分圧**：1971(那覇は観測開始の1989)～2000年の月別平均値。
- 3) **TOMSによるオゾン全量**：ニンパス-7衛星により得られた1979～1992年の月別平均値。
- 4) **紫外域日射**：1991(つくばは観測開始の1990)～2001年の月別平均値。

なお2002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の変更の可能性があるが、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分光して、オゾンによって吸収の割合の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、非常に精度良く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: 地表から大気圏上限までの単位面積 (1m^2) の気柱に含まれるすべてのオゾンを 1 気圧、0 として地表に集めた時にできる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 (300m atm-cm は 3mm の厚さに相当する)。 1m atm-cm 中に含まれる分子数は、単位面積あたり、 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)。 $1\text{mPa} = 10^{-6}\text{hPa}$ 。

反転観測: 地上で観測する天頂での散乱光の強さは、太陽高度角の変化に伴い変化する。適当な 2 つの波長の光の強度比を連続観測すると、太陽高度角の変化に伴って 2 つの波長の強度比は初め増加し続けるが、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: ブリューワー分光光度計は紫外域日射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である。気象庁はブリューワー分光光度計を用い、 $290 \sim 325\text{nm}$ の波長範囲について、 0.5nm 毎の波長別の紫外域日射量を日の出から日没の間の毎時測定している。

紫外域日射の単位: 波長別紫外域日射の観測値はワット・毎平方メートル・毎ナノメートル ($\text{W}/\text{m}^2 \cdot \text{nm}$) 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域日射のエネルギーが、波長幅 1nm あたりで 1 秒間に何ジュールあるか ($1\text{ワット} = 1\text{ジュール} \cdot \text{毎秒}$) 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/m^2 ; ジュール・毎平方メートル) で表示される。

単位の記述方法: 本報告書で使用する単位については、2 種類以上の単位 (m^2 と nm 等) を用いる場合、その単位間を \cdot (ドット) で分離 ($\text{m}^2 \cdot \text{nm}$ 等) し、分母と分子を区別するために $/$ (スラッシュ) を用いる。「岩波 理化学辞典」の附表の記述に従った。

例) UV-B 日積算量: kJ/m^2 (= kJ m^{-2} を表す)

単位波長あたりの紫外域日射量の日積算値: $\text{J}/\text{m}^2 \cdot \text{nm}$ (= $\text{J m}^{-2} \text{nm}^{-1}$ を表す)