

## 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・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である。2003年から2007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1967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、札幌、つくば、那覇および昭和基地で観測を行っている。

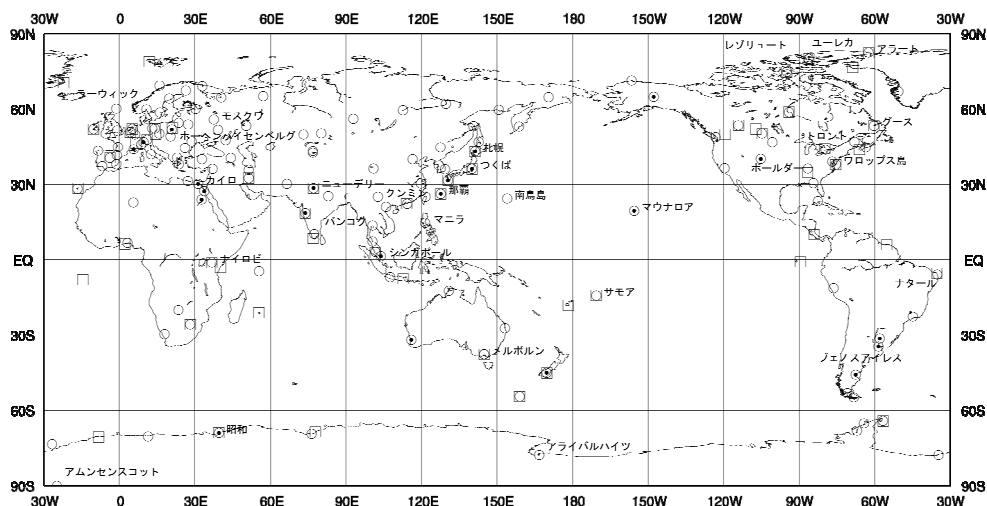


図 A1-1：オゾン観測地点の分布（2003-2007年）

全量観測は146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 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（鹿児島の観測は2005年3月まで）。

| 観測所名<br>Stations        | 地点番号<br>WMO Index No. | 緯度<br>Latitude | 経度<br>Longitude | 高度<br>Elevation | 観測種別<br>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       | 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」を参照

## 付録1-2 オゾンの衛星観測データ

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基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最新の処理方法 (ver. 8) で計算されたものを利用した。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～

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、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および SBUV/2 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および鉛直分布データ。ニンバス-7 衛星の TOMS および 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 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-<br>1993.4 | 1993.5-<br>1994.11 | 1996.7-<br>2004.12 | 2005.1- | 1995 | 1995   |

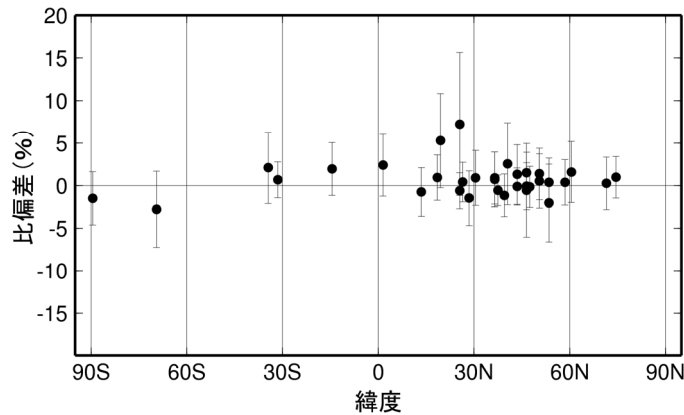
なお、オゾンの衛星観測による鉛直分布については、太陽光後方散乱紫外線計 (SBUV/2 ; Solar Backscatter UltraViolet) による 1979 年から 2003 年までのデータを使用した。

### この報告で使用した OMI データについて

2007 年 12 月初めにオーラ衛星に機器不具合が発生したため、OMI によるオゾン全量データが取得できなくなった。NASA では、一部データが破損したため新しいアルゴリズムによるオゾン全量データを作成し、OMI による観測期間のすべてのデータについて差し替えを行っている。この報告で使用したデータは 11 月分まではすでに取得していた従来のアルゴリズムのデータを使用している。また、12 月分については、新アルゴリズムによる高解像度データを従来データと同じ解像度に変換し使用している。次項で示すように 12 月のデータは 11 月以前のデータと大きく差があるものではないことを確認している。

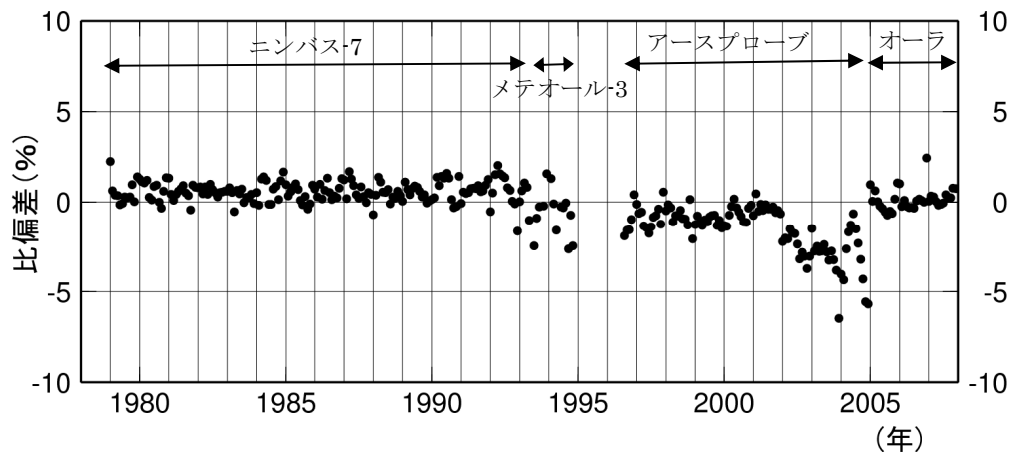
## 衛星観測によるオゾン全量観測データの精度の検証

衛星観測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A1-2に示す。データ期間は2007年1～12月の1年間である。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A1-2：2007年の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2007年1～12月。縦線はその標準偏差。



図A1-3：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。データ期間は1979年1月～2007年12月。各月の比較地点数は約20～50地点。

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A1-3に示す。期間は1979年1月～2007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。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だった。TOMSの後継としてOMIのデータが公開されており、図に示すようにTOMSデータと比較して地上観測値との偏差のばらつきが同程度であることから、OMIデータによってオゾンの長期的な変化を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データを利用している。

\* は「用語解説」参照

### 付録1-3 紫外線の観測データ

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。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（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

気象庁はアジア地区のドブソン計による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。そのため高層気象台（つくば）においてドブソン計のアジア地区の地区準器を所有し、その維持・管理を行っている。直近のアジア地区比較観測は、2006年につくばにて、インド、イラン、パキスタン、フィリピン、タイの5か国のドブソン計を対象に実施した。地区準器は、アジア地区のオゾン観測網の観測データの精度維持のためほぼ3年に一度米国海洋大気庁（NOAA）が保有しているWMOの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・ボールドーで実施した。その際の地区準器の観測精度は、オゾン全量値で世界準器との差は平均して0.1%以下であり、前回2004年の国際比較以後3年間の観測データについては、補正処理なしで使用できることが確認された。なお、世界準器の較正は米国ハワイ・マウナロア観測所においてラングレー法を用いた絶対検定により行われている。

国内3観測所（札幌、つくば、那覇）のドブソン計については、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。3年以上継続して同一測器で観測を行う場合には、高層気象台で比較較正を行った測器を昭和基地に持ち込み、観測に使用している測器との比較観測を実施することにより、精度の維持を図っている。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、観測精度の維持を図っている。

### 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）の検定証付きの標準ランプ）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・トロントで実施している。その比較観測の結果によれば、カナダと日本の準器による観測値の差は3%程度であった。

国内3観測所（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、観測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。3年以上継続して同一測器で観測を行う場合には、高層気象台で比較較正された測器を昭和基地に持ち込み、観測に使用している測器との比較観測を実施することにより、精度の維持を行っている。

### 付録3 トレンド（長期変化）の評価

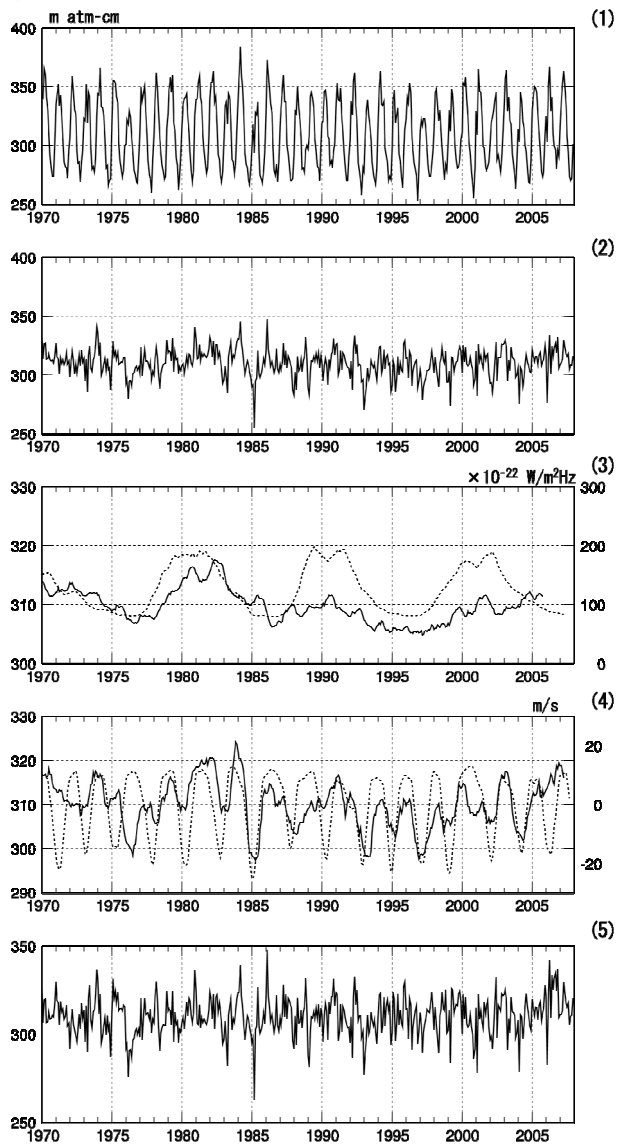
この報告で採用しているトレンド値の評価方法について説明する。

#### 既知のオゾン全量変動要因と自然変動成分の除去

オゾン量は様々な要因によって変動する。図A3-1(1)につくばにおける1970年から2007年までのオゾン全量月平均値の推移を示す。月平均値の推移には明瞭な季節変動がみられ、年平均値の20~30%程度の振幅を持っている。この時系列から季節変動成分を取り除いた（方法は後述）オゾン全量の変化を図A3-1(2)に示す。この経年変化には、2~3年や10年程度のほぼ周期的な変動成分が含まれており、オゾンのトレンド（長期変化）を正確に求めるには、季節変動に加え、これらの変動成分をオゾンの時系列データから除去する必要がある（WMO, 1992、吉松他, 2005）。

オゾン量の変動に影響を及ぼす季節変動以外の要素として、約11年周期の太陽活動、約2年周期のQB0がよく知られている。また、大きな火山噴火等で生じる大気混濁もオゾン量の変動に影響を及ぼす。さらに、このような自然要因によるもののほかに、大気中のオゾン破壊物質の濃度の変化も人為的要因としてオゾン量の変動に影響を及ぼす。これらの変動の時系列データを図A3-2に示す。太陽活動は国立天文台野辺山観測所で観測された太陽電波フラックス（3,750MHz）の値であり13か月移動平均値を目安にしている。QB0はシンガポール上空50hPa面の風の東西方向の風速の7か月移動平均値を指標にしている。大きな火山噴火等で生じる大気混濁の影響については、直達日射量から算出した大気混濁係数の13か月移動平均が目安となっている。また、人為的要因である大気中のオゾン破壊物質の濃度の変化は、EESC\*（等価実効成層圏塩素）を指標としており、本報告では、解説4「オゾンホール」の規模の統計的な推定方法と同じく、「オゾン層破壊の科学アセスメント：1998」で紹介された定義を使用した。

つくばにおけるオゾン全量の1970~2007年の変化と太陽活動による変動との関係を図A3-1(3)に示す。季節変動成分を取り除いたオゾン全量の49か月移動平均（太線）と太陽電波フラックスの13か月移動平均（破線）が1980年代にはよく一致している。しかし、1990年代以降については整合していない。次に、オゾン全量から季節変動と太陽活動の影響を取り除いた時系列の13か月移動平均（実線）とQB0の7か月移動平均（破線：時間ラグを設定）を図A3-1(4)に示した。こちらも、オゾン全量の時系列とQB0の時系列が良く一致していることがわかる。さらに、図A3-1(5)にはオゾン全量から季節変動と太陽活動の影響、および、QB0の影響を取り除いた時系列を示す。この時系列は、大気中のオゾン層破壊物質の濃度の変化に伴う変動成分と、未知の要因による変動成分が重なった時系列と考えることができ、この時系列からオゾンのトレンド（長期変化）を求めることになる。



図A3-1：つくばにおけるオゾン全量の変化と各自然変動要因との関係

(1)月平均値、(2)季節変動除去値の時系列、(3)季節変動除去値の49か月移動平均値（太線）と太陽電波フラックスの13か月移動平均値（破線）、(4)季節変動除去値から太陽活動の影響を取り除いた時系列の13か月移動平均値（太線）とQB0の7か月移動平均値（破線：時間ラグを設定）、(5)季節変動、太陽活動およびQB0の影響を除去したオゾン全量時系列（太線）。

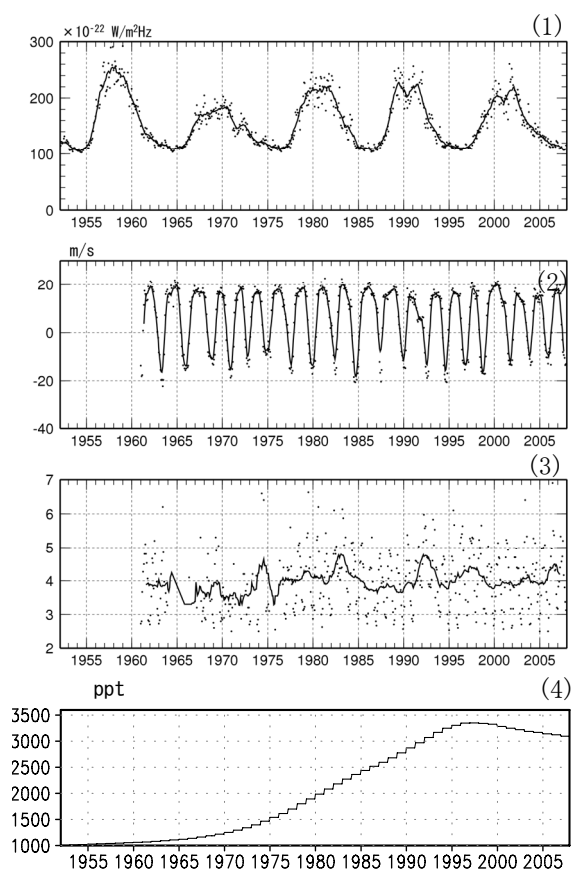
## EESCフィッティングによるトレンド(長期変化)の評価

従来の観測報告では、自然変動成分を除去した時系列(つくばのオゾン全量であれば図A3-1(5)の時系列)に直線回帰を適用してトレンド(通年および季節・月別)を決定していた。しかし、大気中のオゾン層破壊物質の濃度の変化は1990年代にピークを迎え、その後ほぼ一定かわりかな減少傾向を示している。それに伴いオゾンについても1990年代半ばにかけてまで減少がみられたが、その後は減少率が底をついてきている。このため、オゾンの1970年代以降の長期変化量を評価する手法として直線トレンドを求めることは適切ではなくなってきている。

そこで、この報告では自然変動成分を除去した1970年代以降の時系列データに対し、直線回帰を当てはめる代わりに、EESCの変化の関数を当てはめて(EESCフィッティング)解析する方法を用いた。これは時系列データに対して、ある曲線に回帰した解析と考えることができる(実際、EESCの変化を時間に関する逆正規分布を使用して定義している研究もある)。この解析を行うことで、オゾンの経年変化のうちオゾン層破壊物質の影響を受けて変化している成分を抽出することになる。この方法は最近のオゾンに関する統計解析の論文(例えば、Newman et al., 2004, Gullas et al., 2004)でも、使用されており、「オゾン層破壊の科学アセスメント:2006」(WMO, 2006)においても採用されている方法である。なお、本報告では、EESCがピークを過ぎた1998年以降の変化量も評価するにあたり、1998年以降のデータのみを用いた直線回帰を行って評価した。

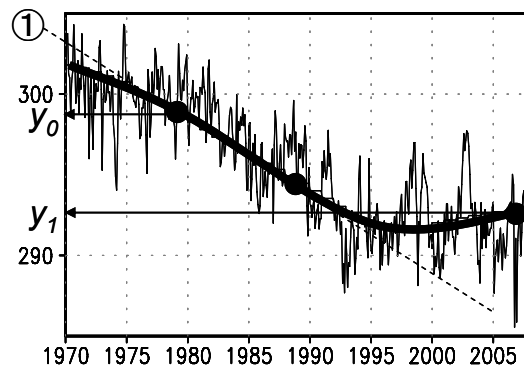
自然変動要因による変動成分を除去した世界の地上観測によるオゾン全量月平均値の時系列をEESCフィッティング曲線とともに、模式的に図A3-3に示す。

この報告で示したオゾンの1970年代以降の長期変化(トレンド)は、このEESCフィッティング曲線を基準に評価している。「1979年を基準とする2007年の変化は $-x\%$ 」という表現を使用した場合、このフィッティング曲線上の2007年の値( $y_1$ )と1979年の値( $y_0$ )との差の百分率( $(y_1 - y_0) / y_0 * 100(\%)$ )を示している。トレンドとしては1979年から1989年における変化量(「1980年代における変化量」と表現)で示した。「1980年代における変化量」は図A3-3における①の線の傾きに相当する。単位は[%/10年]を主に使った。「1980年代における変化量」は「科学アセスメント:2006」で使用された表現方法であり、1979年から1989年におけるEESCがほぼ線形の変化をしているため、このような方法が用いられている。また、「科学アセスメント:2006」によれば、1979年を基準とする2005年の正味の変化量は、1980年代における変化量の約1.4倍として換算でき、例えば、1980年代の10年間の変化量が $-5\%/10$ 年であった場合、1979年を



図A3-2:トレンド解析に使用する既知の変動要因

(1) 国立天文台野辺山観測所の太陽電波フラックス(3, 75MHz、単位は $10^{-22}W/m^2 \cdot Hz$ )で、実線は13か月移動平均値。(2) シンガポール上空の50hPa面における風の東西成分(m/s)で、実線は7か月移動平均値。(3) つくばにおける直達日射観測から評価した大気の混濁係数で、実線は13か月移動平均値。(4)トレンド解析で使用したEESC(等価実効成層圏塩素)。



図A3-3: EESCフィッティングによるトレンド解析

自然変動要因による変動成分を除去した世界の地上観測によるオゾン全量月平均値とEESCフィッティング曲線を模式的に示したものの、①の傾きが「1980年代の変化量」。

基準とする2005年の正味の変化は-7%である。

### 実際の計算の手順

実際の観測データから、各自然変動成分を除去した時系列データを求める手順は以下のとおりである。

- 1) オゾン全量の月平均値から月別累年平均値を差し引き、全期間の平均値を加えることにより、季節変動除去値の時系列を作成する。
- 2) オゾン全量の季節変動除去値の時系列を目的変数とし、太陽電波フラックスの13か月移動平均値とQB0の7か月移動平均値（いずれも地点ごとにオゾン全量との相関が最も高くなるように時間ラグを設定）、およびトレンド成分を説明変数とした重回帰式を求める。
- 3) この回帰式を用いて、太陽の活動を示す太陽電波フラックスおよびQB0の変動と対応するオゾン全量の成分を算定し、目的変数からこれらの成分を除去した時系列を作る。

EESC関数を当てはめて変化量（トレンド）を求める具体的な方法を以下に示す。

オゾン量を $y$ 、EESCを $x$ とし、オゾン量がEESCに対して線形の関係があると仮定すると、 $y=a \cdot x + b$  と表すことになる。オゾン量の変化に対してEESC関数をフィッティングさせることは、データ $X_i$ 、 $Y_i$ にたいして最適となる係数 $a$ 、 $b$ を求めることである。それには、 $\varepsilon_i = Y_i - (a \cdot X_i + b)$  としたとき、 $\sum \varepsilon_i^2$  が最小となるように $a$ 、 $b$ （の推定量）を

$$a = \frac{\sum (X_i - X)(Y_i - Y)}{\sum (X_i - X)^2}$$

$$b = Y - a \cdot X$$

として求めればよい。ただし、 $X = \sum X_i / n$ 、 $Y = \sum Y_i / n$ 、（ $n$ はデータ数）である。

この回帰係数 $a$ の95%信頼区間は、 $t_{0.05}$ を自由度 $\nu = n - 2$ に対する $t$ 分布の5%値とすると、

$$a \pm t_{0.05} \cdot \text{sqrt}(1 - r^2) \cdot \sigma_y / \sigma_x / \text{sqrt}(n - 2) \quad (\text{sqrt}() \text{は平方根})$$

と求めることができる。ただし、 $r = C_{xy} / \sigma_x / \sigma_y$  は相関係数であり、 $\sigma_x^2 = \sum (X_i - X)^2 / n$ 、 $\sigma_y^2 = \sum (Y_i - Y)^2 / n$ 、 $C_{xy} = \sum (X_i - X)(Y_i - Y) / n$  である。

信頼区間の全てが負（あるいは正）である場合を統計的に有意であるとした。1980年代における変化量（トレンド）およびその95%信頼区間は、係数 $a$ および95%信頼区間に1980年代のEESC増加量をかけることで算出した。

なお、1998年以降の変化量については、各自然変動成分を除去した1998年以降のデータのみを用い、直線回帰を行って求めた。

## 用語解説

### 測器・観測にかかわる用語

**ドブソンオゾン分光光度計（ドブソン計）**：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（ブリューワー計）**：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没の間、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（ヨウ化カリウム溶液に対する反応）を利用することにより、地上約35kmまで約100mごとに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。

**反転観測**：晴天時の日の出もしくは日の入り時の前後に、ドブソン計あるいはブリューワー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、地表から成層圏界面付近までの10層の層別のオゾン量を求める。

### 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°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）。 $1\text{mPa}=10^{-5}\text{hPa}$ 。

**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、波長が短くエネルギーの高い光をさす。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。換算方法と単位について、次項で述べる。



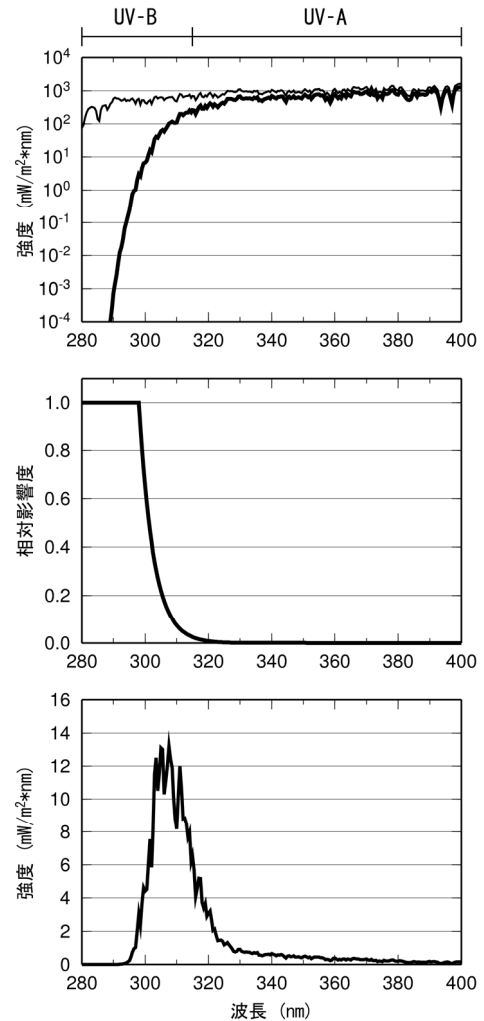
### 紅斑紫外線量・UV インデックス：

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 ( $W/(m^2 \cdot nm)$ ) 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' Eclairage) 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 ( $W/m^2$ ) である。また、紅斑紫外線量を  $25mW/m^2$  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  $J/m^2$ ; 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、290 nm 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、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/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、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、以下のとおり。

**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 ~2006 年の平均値とする。また、衛星観測によるオゾン全量の参照値は、1979~1992 年の平均値とする。

**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) ~2006 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く、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 (km<sup>2</sup>単位)。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 (m atm-cm単位)。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。グローバルな大気の運動を、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。準2年周期振動。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。等価実効成層圏塩素と訳され、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**：日本で行われた大気の長期再解析プロジェクト(JRA-25=Japanese Re-Analysis 25 years)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。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。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

## 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(2008), 気候変動監視レポート2007.
- 環境省(2003), 紫外線保健指導マニュアル.
- 環境省(2006), 紫外線保健指導マニュアル2006
- 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.
- 宮川幸治(2006), 反転観測におけるN値の再評価, 高層気象台彙報, 66号, 21-32.
- 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.
- 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](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.
- 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(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(2006), Scientific assessment of ozone depletion:2006, Global Ozone Research and Monitoring Project Report No.50.