

## 付録

### 付録1 解析に使用した観測資料

#### 付録1-1 大気クロロフルオロカーボン類の観測データ

気象庁では、1990年から岩手県大船渡綾里において、ハロカーボン類の観測を行っている。本報告では、綾里で観測された大気中のクロロフルオロカーボン類（CFC-11、CFC-12、CFC-113）の観測結果を用いている。また、温室効果ガス世界資料センター（WDCGG：World Data Centre for Greenhouse Gases）で収集された世界のクロロフルオロカーボン類の濃度の観測結果(2008年まで)を用いた。

#### 綾里におけるクロロフルオロカーボン類の観測

大気フロン観測装置の外観を写真A1-1に示す。観測は、放射線源を用いたECD（電子補足型検出機）を搭載したガスクロマトグラフにより行っている。ガスクロマトグラフは、試料中の混合成分を分配または吸着などにより分離し、検出を行う装置である。

大気試料は、地上からの高さ約7 mに取り付けられている取入口から室内に導入される。観測装置側で1時間ごとに10 mlの定量管に大気試料を取り入れ、ガスクロマトグラフの分析計に導入する。導入された大気試料中の目的成分（ここでは、CFC-11、CFC-12、CFC-113）は、非常に低濃度であることから、低温濃縮用吸着剤に試料中の目的成分を吸着させた後、これを急速加熱し、目的成分を分離するカラムに導入する方式を用いている。観測用標準ガスは、重量法により大気レベルの濃度に調製した3種類の濃度のものを用いている。観測は、各観測用標準ガスを1回あたり40分間、3種類を2時間で測定する。標準ガスを使った較正は8時間ごとに行い、この検量線を基準として観測値を求めている。また、検量線ごとに指標ガスを1回測定し、長期的な観測用標準ガスの変動や観測装置の異常などを監視している。過去の観測値との比較、気象データや地形などから観測データを検討し、局地的な影響を受けたデータを取り除いている。



写真 A1-1：大気フロン観測装置（綾里）

## 付録1-2 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、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2009年12月までのオゾン全量観測、オゾン反転観測、オゾンゾンデ観測データである。2005年から2009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。

### 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。なお、各地点の反転観測データについては、測定データの不確実性の再評価を行い、オゾンプロファイルの最新導出アルゴリズムで処理したもの(Miyagawa *et al.*, 2008)を利用した。

### 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、札幌とつくばでは2009年12月から、那覇では2008年11月からKC型からECC型オゾンゾンデ観測へ変更した。

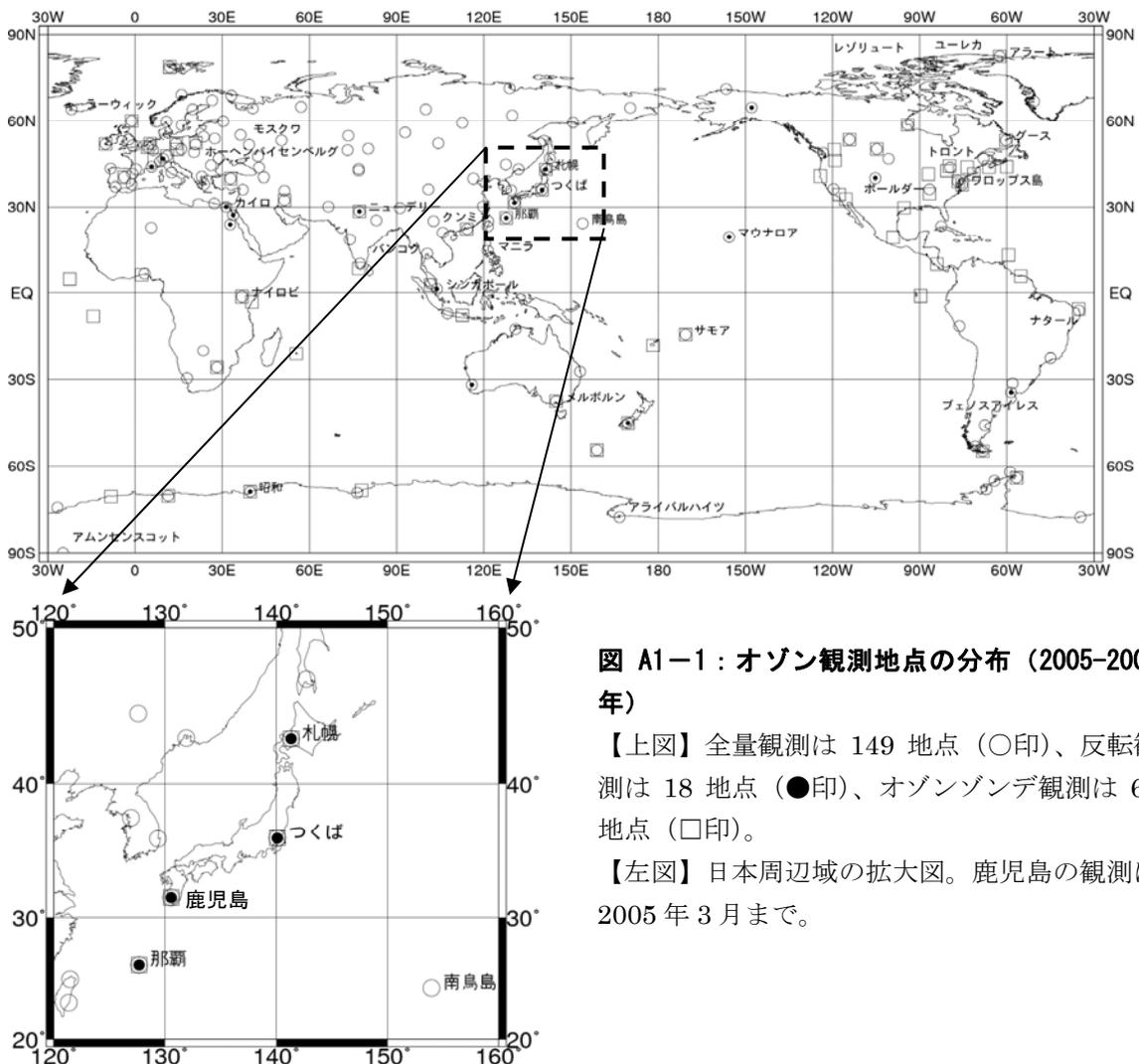


図 A1-1：オゾン観測地点の分布（2005-2009年）

【上図】全量観測は149地点（○印）、反転観測は18地点（●印）、オゾンゾンデ観測は69地点（□印）。

【左図】日本周辺域の拡大図。鹿児島島の観測は2005年3月まで。

## オゾン観測の測器・原理について

### ◇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。



写真 A1-2 ドブソン分光光度計

### ◇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 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。代表的なオゾンゾンデには KC 型(KI solution and Carbon electrode 型)と ECC 型(Electrochemical Concentration Cell 型)がある。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。



写真 A1-3 オゾンゾンデ観測  
（南極昭和基地）

### ◇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。

### ◇ブリュワー分光光度計

気象庁では主に波長別の紫外線強度の測定に利用しているが、南鳥島ではオゾン全量の観測に使用している。詳細は「付録 1-4 紫外線の観測データ」を参照。

### 【KC 型から ECC 型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】

これまで、オゾンゾンデに関する国際比較実験（JOSIE1996(WMO,1998)、JOSIE2000(WMO,2004)、BESOS2004 (Deshler *et al.*, 2008)）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比較実験でも、同様な差があることがわかっている。これらの結果によると、KC型では、対流圏下層においてオゾンが実際の値よりも過少評価されており、ECC型に比べて少なくなる傾向（バイアス）がある。このため、指定気圧面毎のオゾン分圧の参照値との比較結果（「資料4」）において、ECC型の観測値については、参照値で使用されるKC型のバイアスを補正したうえで比較している。なお、補正値の詳細は、「オゾン層観測報告：2008」のP55「那覇の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」を参照のこと。

## 付録1-3 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3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) のデータを主に使用した。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 A1-2 に示す地上観測との差異がみられたため、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。

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、ノア衛星搭載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世界のオゾン全量データおよび太陽光後方散乱紫外線計 (SBUV/2 ; Solar Backscatter UltraViolet) による世界のオゾン全量データを使用した。なお、オゾンの衛星観測による鉛直分布については、SBUV/2 による 1979 年から 2003 年までのデータを使用した。各データとその使用期間は表 A1-1 のとおり。

表 A1-1 : 解析に用いた衛星データ

米国航空宇宙局 (NASA ; National Aeronautics and Space Administration) 米国海洋大気庁 (NOAA ; National Oceanic and Atmospheric Administration)						
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
国/機関	米国/NASA	旧・ソ連	米国/NASA	米国/NASA	米国/NOAA	米国/NOAA
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 (ただし鉛直 分布解析は 1979-2003)

### 衛星によるオゾン全量観測データの地上観測との比較

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A1-2 (次ページ) に示す。これによれば、1979年から1993年のニンバス-7衛星のTOMSデータは、地上観測値にくらべて約1%値が高い傾向である。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データは、ばらつきが大きく、概ね地上観測値に比べて低い。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OMI ver.8.5のデータは、ばらつきは少ないものの、継続して-2~-1%程度の地上観測値との偏差がある。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。

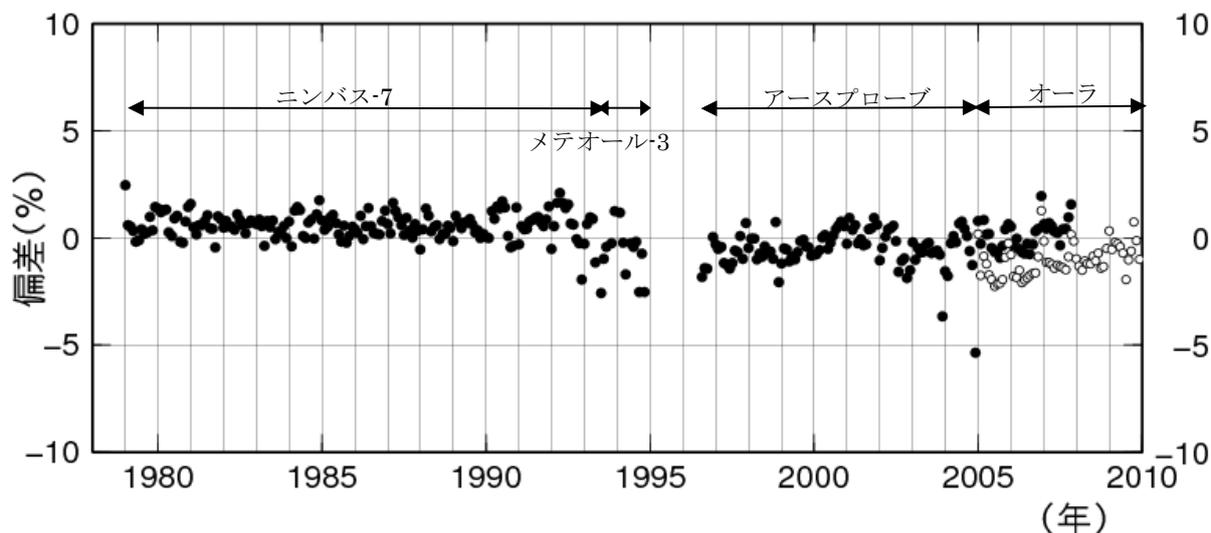


図 A1-2：衛星データと地上観測データの比較

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～2009 年 12 月。各月の比較地点数は約 20～50 地点。

#### 付録1-4 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、红斑紫外線量および 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「解説 10」を参照。

##### 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。



写真 A1-4 ブリューワー分光光度計

## 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を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。

### 付録3 長期変化傾向の算出における既知の自然変動成分の除去について

オゾン全量は様々な要因によって変動する。一例として、図A3-1(1)につくばにおける1970年から2008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オゾン全量の変化を図E3-1(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、オゾンの長期変化傾向（トレンド）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）。

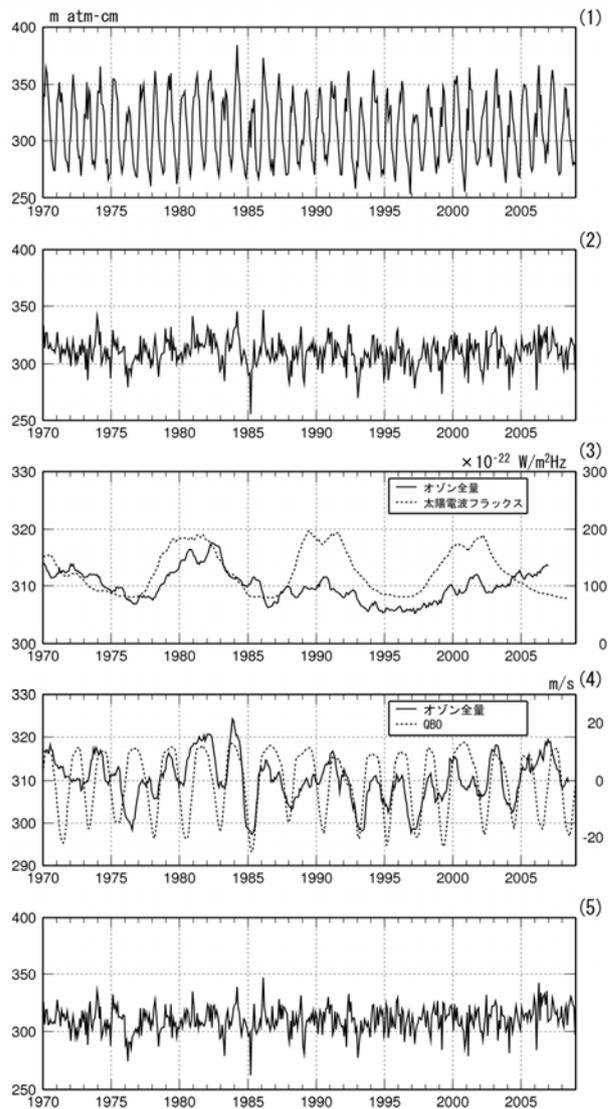
オゾン全量の変動に影響を及ぼす季節変動以外の要素として、約11年周期の太陽活動、約2年周期のQBOのほか、大きな火山噴火等で生じる大気混濁もオゾン全量の変動に影響を及ぼす。

太陽活動とQBOによる影響については「解説5 オゾン量の経年変動に影響を及ぼす自然の要因1（太陽活動とQBO）」において詳細に解説しているので参照のこと。なお、大きな火山噴火等で生じる大気混濁の影響については、各地点の直達日射量から算出した大気混濁係数の13か月移動平均を指標とする。

図A3-1(5)には季節変動を除去したオゾン全量から太陽活動の影響、および、QBO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（長期変化傾向）を求める。

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。

- 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、季節変動を除去した時系列データを作成する。
- 2) オゾン全量の季節変動除去した値を目的変数とし、太陽電波フラックスの13か月移動平均値とQBO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QBOの変動と対応するオゾン全量の成分を算出し、目的変数からこれらの成分を除去した時系列を作る。



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)季節変動除去値の13か月移動平均値(太線)とQBO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QBOの影響を除去したオゾン全量時系列(太線)。

## 用語解説

**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  $\text{m atm}\cdot\text{cm}$ （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  $300\text{m atm}\cdot\text{cm}$  で、これは地表で約  $3\text{mm}$  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  $\text{mPa}$ （ミリパスカル）で表す。 $1\text{mPa}=10^{-5}\text{hPa}$ 。

**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。地上気温など他の気象要素が1971年～2000年の30年間平均を「**平年値**」としていることに対し、オゾン・紫外線は下記のとおり期間や年数が通常の「**平年値**」と異なることから「**参照値**」と称している。観測報告における参照値は必要に応じて該当箇所ですすが、主なものは以下のとおり。

**オゾン全量・オゾン分圧**：地上観測のオゾン全量およびオゾンゾンデ観測の参照値は、基本的に1994～2008年の累年平均値である。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期間1961～1980年を比較の基準として用いる場合がある。

**衛星観測によるオゾン全量**：アースプローブ衛星およびオーラ衛星（ただし OMIVeR8 のデータ）による1997年～2006年の平均値。

**紫外線量**：1991（つくばは観測開始の1990）～2008年の平均値。

**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  $220\text{m atm}\cdot\text{cm}$  以下の領域の面積（単位： $\text{km}^2$ ）。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  $220\text{m atm}\cdot\text{cm}$  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： $\text{m atm}\cdot\text{cm}$ ）。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  $300\text{m atm}\cdot\text{cm}$ （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の目安を与える量。

**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 $-78^\circ\text{C}$ 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。

**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。

**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（CFC類）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。

- 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
- NCEP-NCAR** : NCEP(米国環境予測センター)と NCAR(米国大気研究センター)のこと。
- WOUDC** : 世界オゾン紫外線データセンター。World Ozone and Ultraviolet Radiation Data Centre の略。世界気象機関 (WMO) の全球大気監視 (GAW) プログラムの下にカナダ気象局に設立され、世界中で観測されたオゾンおよび紫外線のデータを収集、管理、提供している。
- WDCGG** : 温室効果ガス世界資料センター。World Data Centre for Greenhouse Gases の略。世界気象機関 (WMO) の全球大気監視 (GAW) プログラムの下に日本の気象庁に設立され、大気や海洋で測定された温室効果ガス (CO<sub>2</sub>、CH<sub>4</sub>、CFCs、N<sub>2</sub>O、地上オゾンなど) と関連するガス (CO、NO<sub>x</sub>、SO<sub>2</sub>、VOC など) のデータを収集、管理、提供している。

## 参考文献

- 気象庁(2004), オゾン層観測報告 : 2003.
- 気象庁(2005), 異常気象レポート2005.
- 気象庁(2009), オゾン層観測報告 : 2008.
- 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.
- 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.
- Deshler, T., J. L. Mercer, H. G. J. Smit, R. Stubi, G. Levrat, B. J. Johnson, S. J. Oltmans, R. Kivi, A. M. Thompson, J. Witte, J. Davies, F. J. Schmidlin, G. Brothers, and T. 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
- 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.
- 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.
- IPCC(2007), *Climate Change 2007: The Physical Science Basis*. Contribution of Working Group I to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Solomon, S., D. Qin, M. Manning, Z. Chen, M. Marquis, K.B. Averyt, M. Tignor and H.L. Miller (ed.) Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA, 996 pp.
- 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.
- 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)
- 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.
- 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.