

オゾン層・紫外線の年のまとめ 参考資料

解析に使用した資料及び長期変化傾向の評価方法

1 解析に使用した資料.....	2
1-1 地上観測データ（オゾン）.....	2
1-2 地上観測データ（紫外線）.....	7
1-3 衛星観測データ（オゾン）.....	8
2 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.....	11
3 オゾン量の長期変化傾向の評価方法について.....	13
4 参考文献.....	14
謝辞.....	15

発行日：2023年11月29日

この資料は4年に1回更新します。  
内容は「オゾン層・紫外線の年のまとめ（2022年）」に掲載したものに基  
づいています。  
次回更新は2027年の予定です。

# 1 解析に使用した資料

## 1-1 地上観測データ（オゾン）<sup>1</sup>

「オゾン層・紫外線の年のまとめ（2022年）」で使用した地上からの観測データは、世界気象機関（WMO）の世界オゾン・紫外線資料センター（WOUDC、カナダ・トロント）に登録されている2021年12月までの世界のオゾン全量観測データ及び気象庁の2022年12月までのオゾン全量、オゾン反転観測、オゾンゾンデデータである。2017～2021年のオゾン全量観測データが、WOUDCに登録されている地点を図A1-1に示す。

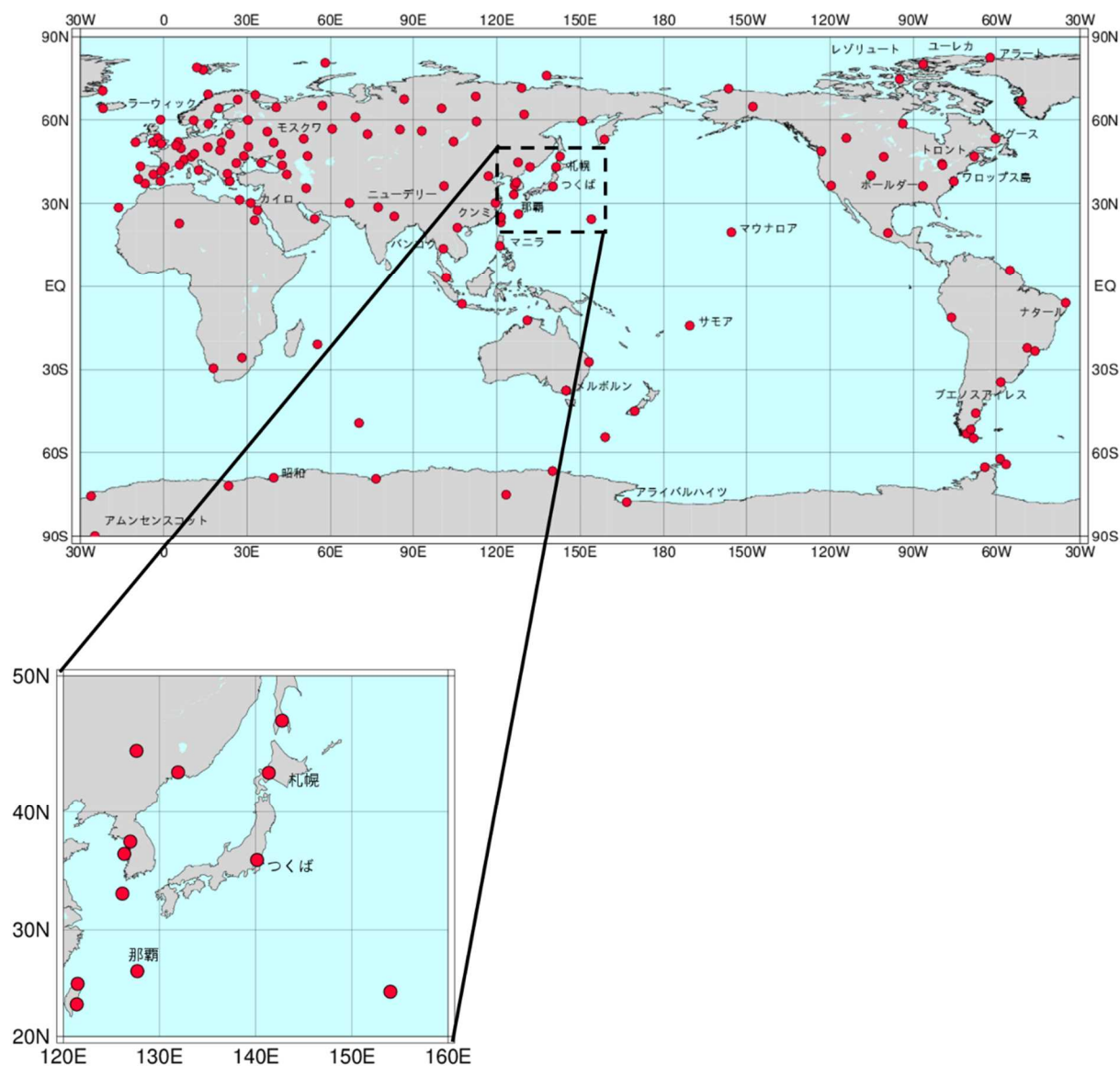


図 A1-1：オゾン全量観測地点の分布（2017～2021 年）

【上図】世界分布図で地点数は 150 地点（●印）、【下図】日本周辺域の拡大図。

<sup>1</sup> オゾン観測の測器・原理については、下記の気象庁ホームページを参照。  
[https://www.data.jma.go.jp/env/ozonehp/3-15ozone\\_observe.html](https://www.data.jma.go.jp/env/ozonehp/3-15ozone_observe.html)

図 A1-2 に気象庁の各観測地点のオゾン全量、オゾン反転、オゾンゾンデ観測期間を示す。

### 気象庁のオゾン全量観測データ及び反転観測データ：

気象庁のオゾン全量観測及びオゾン高度分布観測（反転観測）の開始は、1957年つくば、1958年札幌及び鹿児島、1961年南極昭和基地、1974年那覇、1994年南鳥島である。なお、鹿児島での観測は2005年3月、南鳥島での観測は2018年1月、札幌及び那覇での観測は2022年1月をもって終了した。

オゾン全量観測及び反転観測の測器は、南鳥島を除いた地点では、観測開始からドブソン分光光度計を使用していたが、札幌、つくば、那覇においては2018年2月から、南極昭和基地では2022年2月からブリューワー分光光度計に変更した。なお、南鳥島においては、観測開始から終了までブリューワー分光光度計を使用した。

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 (Miyagawa *et al.*, 2009) したものを利用している。また、札幌、つくば、那覇のオゾン全量及び反転観測データ、南極昭和基地のオゾン全量データによる長期変化傾向については、観測測器の変更に伴う測器間バイアスの補正を行っている。

### 気象庁の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年に那覇で開始した（鹿児島での観測は2005年3月に、札幌と那覇の観測は2018年1月に終了した）。なお、札幌とつくばでは2009年12月、那覇では2008年11月、南極昭和基地では2010年4月に、オゾンゾンデをKC型からECC型へ変更した。

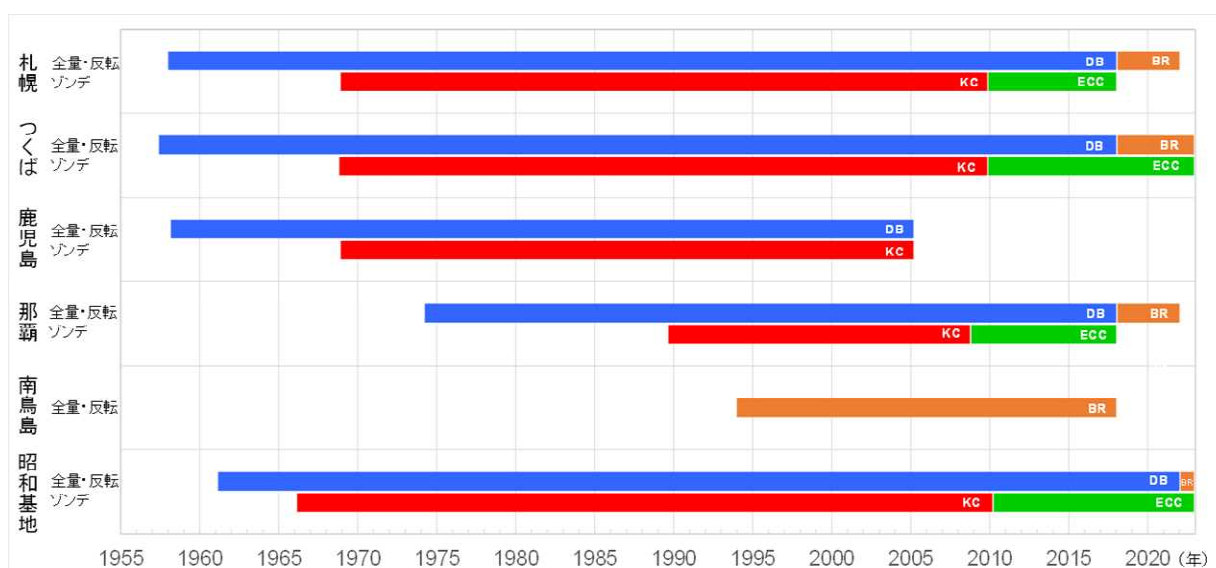


図 A1-2：気象庁の観測地点の観測期間

札幌、つくば、鹿児島、那覇、南鳥島及び昭和基地におけるオゾン全量、オゾン反転、オゾンゾンデの観測期間。青 (DB) はドブソン分光光度計、橙 (BR) はブリューワー分光光度計、赤 (KC) はKC型オゾンゾンデ、緑 (ECC) はECC型オゾンゾンデを示している。

## 【オゾンゾンデ過去データの再計算手法について】

気象庁では、1965年頃に気象研究所で開発されたKC型オゾンゾンデ（1968年からはKC68型、1979年からはKC79型、1997年からはKC96型又はKC02G型を使用）を長年使用してきたが、2008年から2010年にかけて世界で広く使用されているECC型に移行した。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型はともにドイツ・ユーリッヒのオゾンゾンデ世界校正センター（WCCOS : World Calibration Center for Ozone Sondes）の基準器（UVフォトメータ）と比較されており、KC型とECC型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の比較実験でも、同様な差があることがわかっている。

「オゾン層・紫外線の年のまとめ（2018年）」より、ともにWCCOSの基準器との比較実験の結果からオゾン反応の変換効率を決定し、それぞれの観測データに適用することで、オゾンゾンデ観測データの均質性を向上させることとした。

KC型については、その特性実験により判明している、反応の速さ（応答性）、オゾンを吸入していないときに流れる微弱な電流（暗電流）、観測高度に対応した空気の吸入量（ポンプ効率）を補正したうえで、KC96型が参加したJOSIE2000の比較結果を用いてオゾン反応の変換効率を決定し、KC96型とKC02G型に適用した。それ以前に使用していたKC79型及びKC68型の変換効率は、KC79型とKC96型との連結比較観測の結果を用いて整合をとった。また、ドブソン比による補正（規格化）において余剰オゾン量<sup>2</sup>を推定する手法を、等混合比法から衛星観測による気候値を用いた算出法（McPeters and Labow, 2012）に変更した。

ECC型については、オゾン鉛直分布データの全球的な整合性確保に向けた活動（オゾンゾンデデータ品質評価活動：O3S-DQA）で示された再処理ガイドライン（O3S-DQA, 2012）による再計算を実施している。

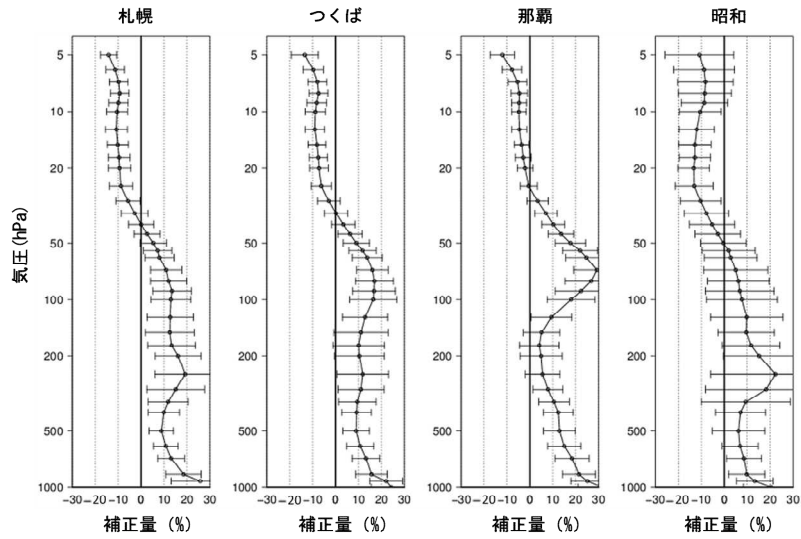
図A1-3は、KC型とECC型それぞれの再計算による高度別の補正量（%）の平均値である。KC型は、下部成層圏より低い高度で負のバイアスをもつので正の補正量となり、上部成層圏では正のバイアスをもつので負の補正量となった。また、ECC型は成層圏の50hPaより高い高度で正のバイアスをもつので負の補正量となった。

図A1-4は、オゾンゾンデデータの補正前後の値の時系列である。2007年まではKC型を使用していたため、下部成層圏より低い高度では補正後の方が高く、上部成層圏では補正後の方が低くなっている時期が多い。2008年以降はECC型となり、成層圏の50hPaより高い高度では補正後の方が低くなっている時期が多い。

---

<sup>2</sup> 余剰オゾン量：オゾンゾンデ観測終了高度より上空のオゾン量。

(a) KC型の補正值



(b) ECC型の補正值

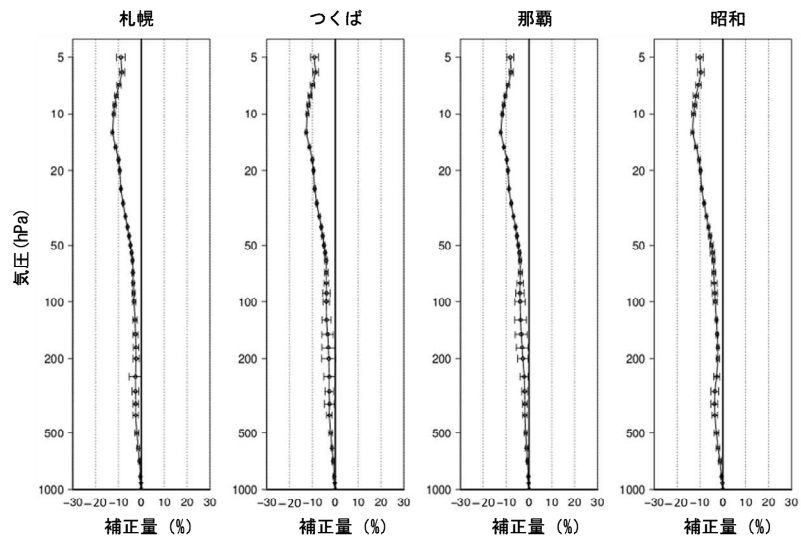


図 A1-3 : KC 型オゾンゾンデと ECC 型オゾンゾンデの再計算による補正量の平均値

札幌、つくば、那覇及び昭和基地における(a)KC型及び(b)ECC型の再計算による補正量の2016年までの平均値(%)。左右のエラーバーは標準偏差を示している。

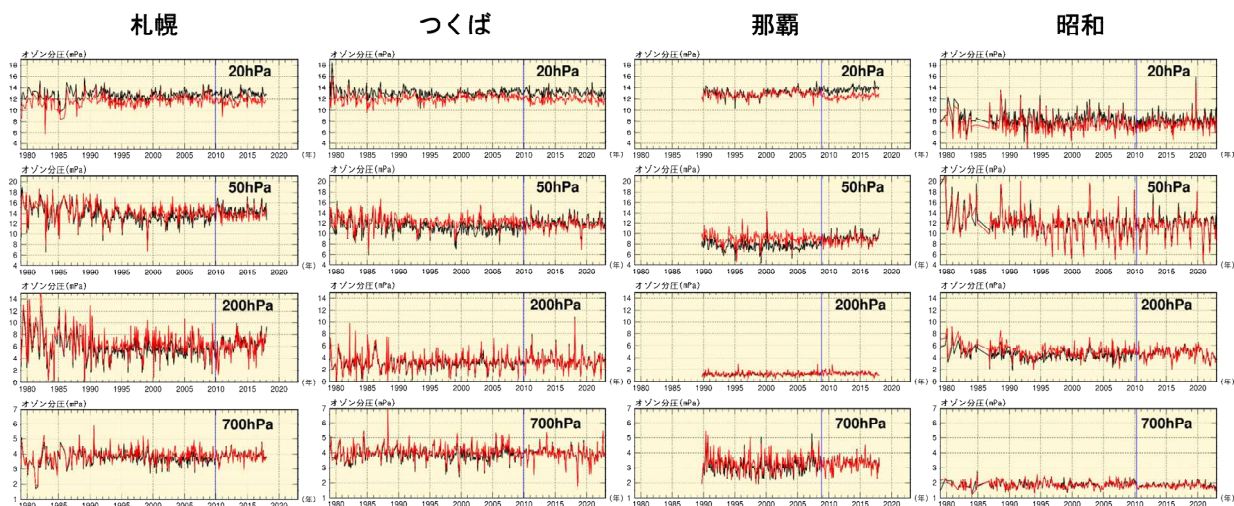


図 A1-4 : オゾンゾンデデータの補正前後の値の時系列図

札幌、つくば、那覇、昭和基地におけるオゾンゾンデ観測データの補正前後の時系列図。各気圧面（上から 20hPa、50hPa、200hPa、700hPa）について、赤線が補正後、黒線が補正前。それぞれ月平均値を使用し、季節変動成分を除いている。札幌・つくばでは 2009 年 12 月、那覇では 2008 年 11 月、昭和基地では 2010 年 4 月の観測から、オゾンゾンデ観測測器を KC 型から ECC 型オゾンゾンデに変更した（青線）。札幌及び那覇のオゾンゾンデ観測は 2018 年 1 月に終了した。

### 【反転観測の特徴について】

反転観測データは、上空のオゾン量を下表に示す層に分けて算出したもので、そのデータはオゾンゾンデでは観測範囲外となる上部成層圏のオゾン量の監視に有効である。図A1-5に、反転観測による層別オゾン量と比較のためオゾンゾンデによる層別オゾン量を、それぞれ参照値（1994～2008年の月別累年平均値）からの偏差として時系列で示す。オゾンゾンデについては、高度別オゾン分圧から、各層のオゾン量を算出している。

札幌の第7層やつくばの第7層と第8層では、1980年から1990年代半ば又は後半にかけて、オゾンの減少傾向があらわれており、オゾン層破壊が上部成層圏で顕著に起こったことに対応している。札幌とつくばの第7層と第8層では2000年以降、緩やかな増加傾向がみられており、「オゾン層破壊の科学アセスメント：2022」（WMO, 2022）で評価された、上部成層圏ではオゾン層は回復し続けているという内容と整合している。

表 A1-1 : 反転観測における各層の上端と下端の気圧

層番号	第1層	第2層	第3層	第4層	第5層	第6層	第7層	第8層	第9層	第10層
各層の上端と 下端の気圧 (hPa)	地表 ～ 253.3	253.3 ～ 126.7	126.7 ～ 63.3	63.3 ～ 31.7	31.7 ～ 15.8	15.8 ～ 7.92	7.92 ～ 3.96	3.96 ～ 1.98	1.98 ～ 0.99	0.99 ～ 大気 上端



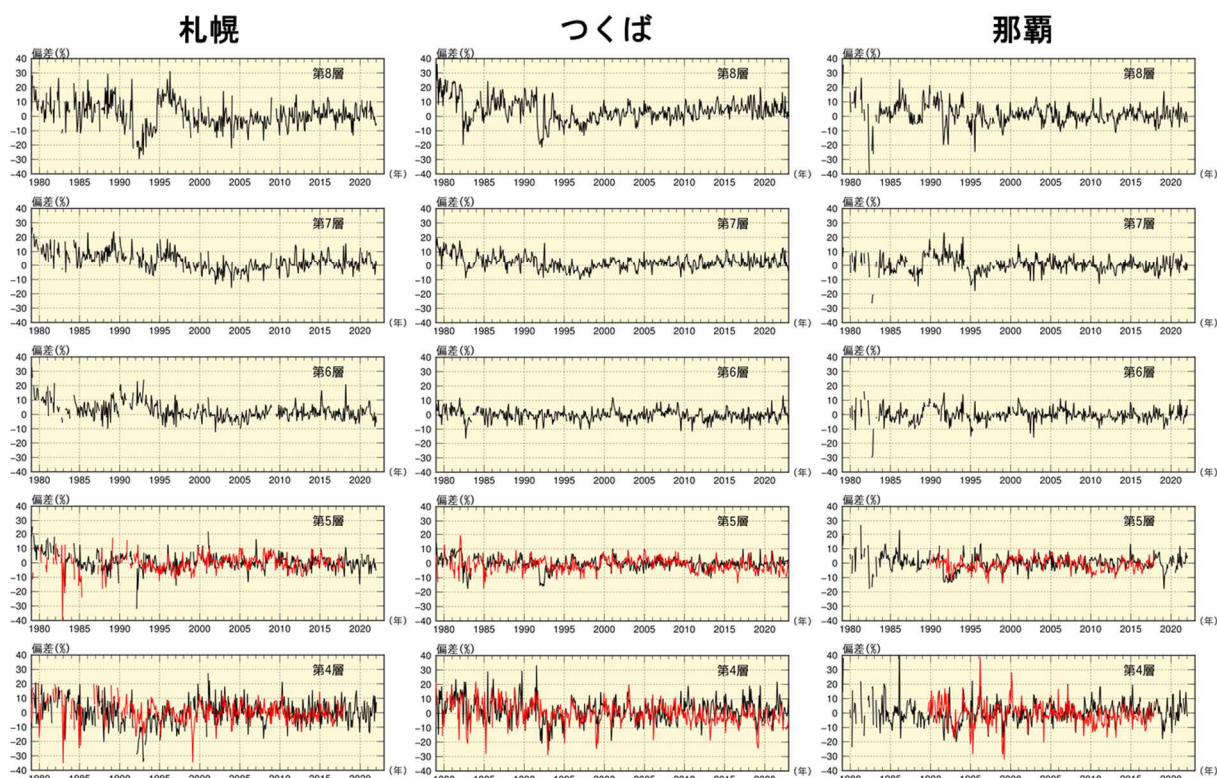


図 A1-5 : オゾンゾンデ観測データと地上観測データの時系列図

赤線がオゾンゾンデ観測データ、黒線が反転観測データ。それぞれ月平均値を使用し、参照値（1994～2008年の月別累年平均値）からの偏差を1979年から2022年まで（札幌及び那覇のオゾンゾンデ観測は2017年まで、反転観測は2021年まで）図示している。

## 1-2 地上観測データ（紫外線）<sup>3</sup>

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、那覇で開始した（鹿児島での観測は2005年3月に、札幌及び那覇での観測は2018年1月に終了した）。紫外線は、上空のオゾン量と密接な関連があり、オゾン層の破壊が進む中で生物に有害なB領域紫外線（UV-B）の地表到達量の状況を把握するために観測を開始したものである。観測している波長域は、地表に到達し、かつオゾン量の変動の影響を受けて大きく変化する範囲を中心とした290 nm から325 nm までである。また、南極昭和基地では、気象庁は1991年2月から国立極地研究所と共同で研究観測を開始し、1994年2月からは気象庁単独で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 全量も同時に測定している。

気象庁における波長別の紫外線観測は世界でも先駆的に行われ、基準ランプ（米国の標準技術研究所で維持する基準照度が付けられた1000Wランプ）による波長別紫外域日射照度の較正体系を構築し、また、1994年からは、同様に較正体系を構築しているカナダ環境・気候変動省との国際相互比較を概ね4年毎に実施している。しかし、観測開始当初は、較正時の検定誤差が大きく、較正前後の観測値に段差が確認された。そのため、つくばの「紅斑紫外線量の年積算値の経年変化」図

<sup>3</sup> 紫外線観測の測器・原理については、下記の気象庁ホームページを参照。  
[https://www.data.jma.go.jp/env/uvhp/3-45uvb\\_observe.html](https://www.data.jma.go.jp/env/uvhp/3-45uvb_observe.html)

及び「日最大UVインデックスが8以上の年積算日数の経年変化」図4の計算では、紫外線の観測データと全天日射量等の気象要素との比較検討に基づいて、観測開始～1997年12月まで+5 %の補正量を適用している。

### 1-3 衛星観測データ（オゾン）

衛星による観測データとしては、Nimbus7、Meteor3、Earth Probe 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、Aura 衛星のオゾン監視装置（OMI；Ozone Monitoring Instrument）のデータ、Suomi-NPP 衛星のオゾン全量と鉛直プロファイル観測装置（OMPS；Ozone Mapping and Profiler Suite）のデータを主に使用した。Nimbus7 と Meteor3 両衛星のデータについては、Earth Probe 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、Earth Probe 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。Aura 衛星の OMI データについては ver. 8.5 のデータに地上観測との差異がみられたため（図 A1-6）、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。ただし、Meteor3 衛星以降 Earth Probe 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、NOAA 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及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。各データとその使用期間は表 A1-2 のとおり。なお、「オゾン層・紫外線の年のまとめ（2022年）」中の図のキャプションでは、TOMS、OMI 及び OMPS によるオゾン全量データを用いたことが明らかな場合は、衛星・装置名は記載せず単に「NASA 提供のデータをもとに作成」とした。

なお、解析データとしては利用していないが、OMI ver. 8.5 のオゾン全量のバイアス補正を行うために、NASA が作成した SBUV(ver. 8.6) Merged Ozone Data Sets を利用した（NASA, 2012）。

表 A1-2：解析に用いた衛星データ

衛星名	Nimbus7	Meteor3	Earth Probe	Aura	Suomi-NPP	NOAA	NOAA
国/機関	米国/NASA	旧・ソ連	米国/NASA	米国/NASA	米国/NASA・NOAA	米国/NOAA	米国/NOAA
観測装置名	TOMS	TOMS	TOMS	OMI	OMPS	TOVS	SBUV/2
期間	1978.11－ 1993.4	1993.5－ 1994.11	1996.7－ 2004.12	2005.1－ 2019.12※	2016.1－	1995	1995

NASA（National Aeronautics and Space Administration、米国航空宇宙局）

NOAA（National Oceanic and Atmospheric Administration、米国海洋大気庁）

※Aura 衛星のデータはオゾンの長期変化の解析では 2005.1-2015.12 を使用している。

#### 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、OMI 及び OMPS による観測値と、北緯 30 度～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 A1-6 に示す。

これによれば、1979～1993年のNimbus7衛星のTOMSデータは、地上観測値に比べて約1%高い傾向である。1993年5月以降のMeteor3及びEarth Probe衛星のTOMSデータは、ばらつきが大き

4 気象庁ホームページ「紫外線の経年変化」[https://www.data.jma.go.jp/env/uvhp/diag\\_cie.html](https://www.data.jma.go.jp/env/uvhp/diag_cie.html)



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のデータを利用しているが、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、-2~-1%程度の地上観測値との偏差がある。OMPSのデータは地上観測値に比べて約1%低い傾向があり、他の緯度帯においても偏差がみられる（後述）。

OMI ver. 8.5とver. 8のデータの存在する期間（2005年1月～2007年11月）で、帯状平均した緯度毎のデータについて比較すると、両者のオゾン全量の差は、緯度別・月別に分類すると各年で大きさがほぼ一致する傾向がある（「オゾン層観測報告：2008」付録1-2図A1-5参照）。この期間のデータから緯度別・月別に両者間のバイアス補正値を算出した。しかし、OMI ver. 8.5のデータと北半球中緯度の地上観測との差の傾向が、2007年12月以降はそれ以前より差が小さくなっており、傾向が異なっている。このため、NASAが作成したSBUV（ver. 8.6） Merged Ozone Data Sets（以下、マージデータとする）の帯状平均値を用いてバイアス補正値の調整を行った。具体的には、2005年1月～2007年11月のマージデータとOMI ver. 8の差の平均と、2007年12月～2011年のマージデータとOMI ver. 8.5（バイアス補正済）の差の平均が同一となるように、2007年12月以降のOMI ver. 8.5（バイアス補正済）データを緯度毎にさらに補正した。「オゾン層・紫外線の年のまとめ（2022年）」では、緯度帯別の長期的な変化傾向を解析する際には、2007年12月以降のver. 8.5のデータ（バイアス補正済）にマージデータで調整したバイアス補正を適用した。

OMPSとOMI ver. 8.5のデータの存在する2016年1月～2020年12月で、帯状平均した緯度毎のデータについて比較すると、こちらも両者のオゾン全量の差は、緯度別・月別に分類すると各年で大きさがほぼ一致する傾向がある（図A1-7）。この期間のデータから緯度別・月別に両者間のバイアス補正値を算出し、さらにOMI ver. 8.5の前述の2種類のバイアス補正を適用することでOMPSデータの補正値を求めた。OMPSデータについても、「オゾン層・紫外線の年のまとめ（2022年）」で緯度帯別の長期的な変化傾向を解析する際には、この補正を適用した。

なお、1993年5月～1994年11月の衛星データ（Meteor3衛星によるオゾン全量）は、オゾン全量の地上観測値からの差のばらつきが大きいため、長期変化傾向の計算から除外している。

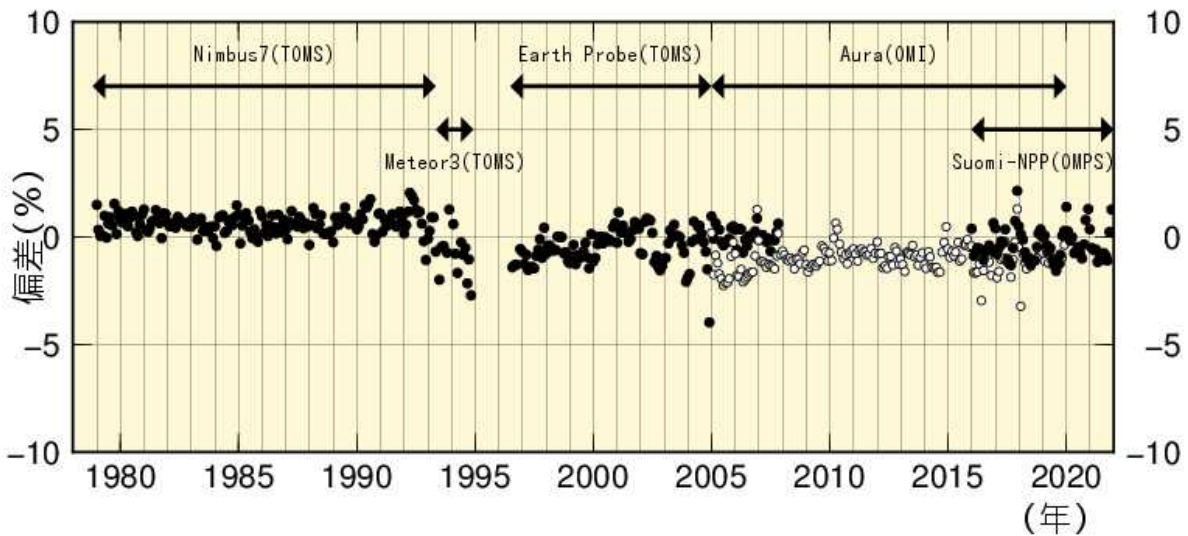
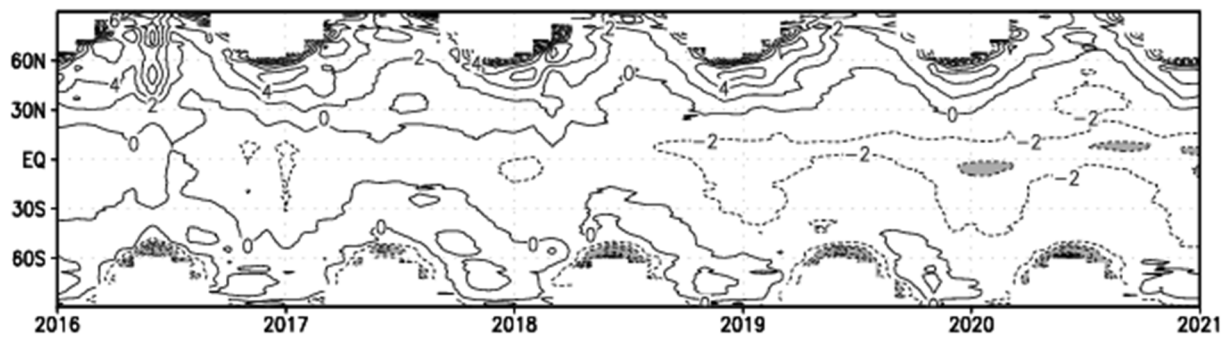


図 A1-6：衛星観測データと地上観測データの比較

北半球中緯度帯（北緯 30～60 度）の TOMS、OMI 及び OMPS による観測値（月平均値）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観測データを求め比較した。Aura 衛星期間前半の●は OMI ver. 8、○は OMI ver. 8.5 のデータ。各月の比較地点数は約 20～60 地点。



図A1-7 : OMPSとOMI ver8.5のオゾン全量の差の緯度別分布時系列 (2016年1月—2020年12月)

OMPSからOMI ver8.5を引いた値。等値線の間隔は2 m atm-cm。-4 m atm-cm以下に陰影。極域冬季の空白部は太陽高度角の関係で観測できない領域。

## 2 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

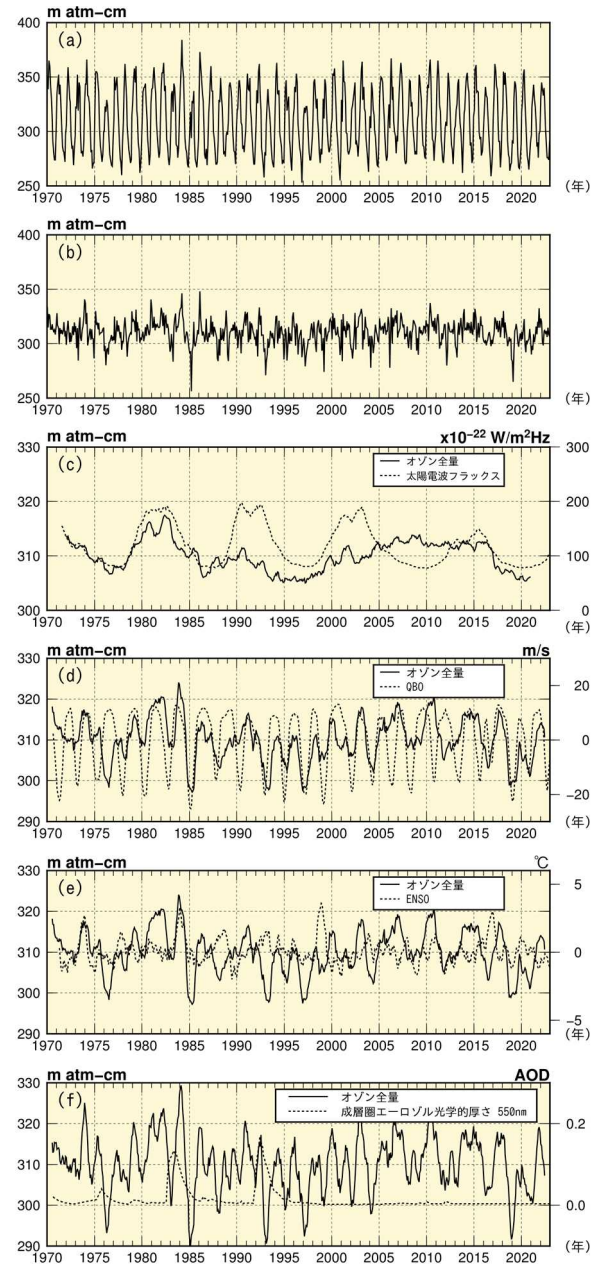
オゾン全量はさまざまな要因によって変動する。一例として、図A2-1(a)につくばにおける1970年から2022年までのオゾン全量月平均値の推移を示す。月平均値の推移には明瞭な季節変動がみられ、年平均値の20~30%程度の振幅をもっている。この時系列から季節変動成分を取り除いたオゾン全量の変化を図A2-1(b)に示す。この経年変化には、2~3年や10年程度のほぼ周期的な変動成分が含まれており、オゾンの長期変化傾向(トレンド)を正確に求めるには、季節変動に加え、これらの変動成分をオゾンの時系列データから除去する必要がある(吉松ほか, 2005)。

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(図A2-1(c))、成層圏準2年周期振動(QBO)(図A2-1(d))、エルニーニョ・南方振動(ENSO)(図A2-1(e))、大規模火山噴火等で生じる成層圏エアロゾル(図A2-1(f))がある。ENSOの指標としては、気象庁のエルニーニョ監視指数(エルニーニョ監視海域(NINO.3)の基準値との差)を用いた。大規模火山噴火等で生じる成層圏エアロゾル量の指標としては、NASAのゴダード宇宙飛行センターで求められた成層圏エアロゾル光学的厚さ(半球平均)のデータを用いた。

図A2-2には季節変動、太陽活動の影響及びQBO、ENSO、成層圏エアロゾルの影響を取り除いたオゾン全量の時系列を示す。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ともなう変動成分と、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。

実際のオゾン量の観測データから、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、全期間の累年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(累年期間は地点により異なる)(図A2-1(b))。
- 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

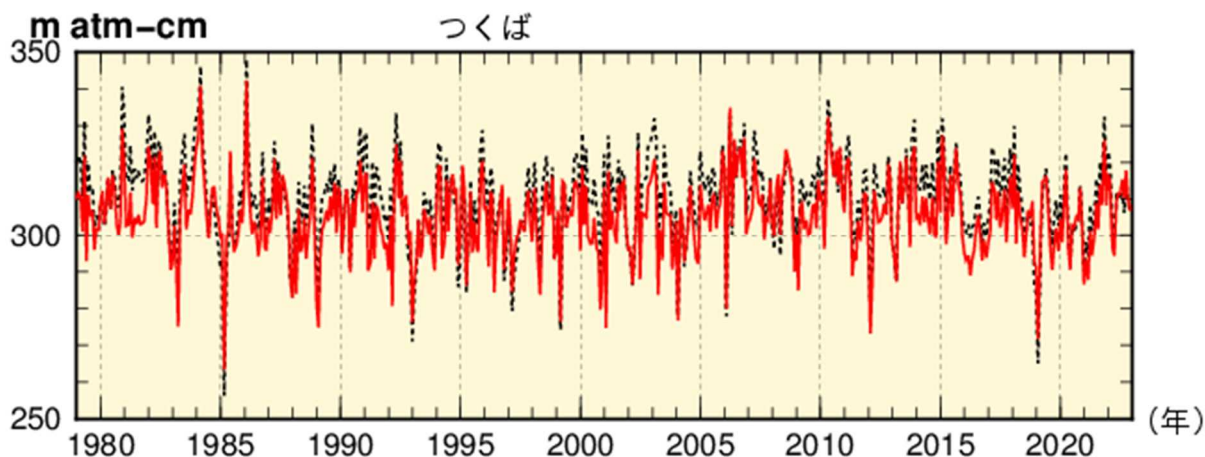


図A2-1: つくばにおけるオゾン全量の変化と各自然変動要因との関係

(a)月平均値、(b)季節変動除去値の時系列、(c)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: 12か月の時間ラグを設定)、(d)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: 4か月の時間ラグを設定)、(e)季節変動除去値の13か月移動平均値(太線)とエルニーニョ監視指数(破線: 12か月の時間ラグを設定)、(f)季節変動除去値の7か月移動平均値(太線)と成層圏エアロゾル光学的厚さ(550nm)(破線: 12か月の時間ラグを設定)

均値、QBOの7か月移動平均値、エルニーニョ監視指数、成層圏エーロゾル光学的厚さのデータ及びトレンド成分を説明変数とした重回帰式を求める（それぞれの要素毎にいずれも地点毎にオゾン全量との相関が最も高くなるように時間ラグ<sup>5</sup>を設定（図A2-1(c)、(d)、(e)、(f)）。トレンド成分の説明変数は、衛星観測によるオゾン全量帯状平均値に対しては中緯度用の等価実効成層圏塩素（EESC：Newman *et al.*, 2007）を用い、その他では折れ線フィッティング<sup>6</sup>を用いた。

- 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、QBO、ENSO及び成層圏エーロゾル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A2-2）。



**図A2-2：つくばにおけるオゾン全量の変化**

季節変動除去値（破線）と季節変動と既知の自然変動（太陽活動、QBO、ENSO、成層圏エーロゾル）の影響成分を除去した値（赤線）

<sup>5</sup> 図 A2-1 の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時間ラグは QBO が 4 か月、太陽活動、ENSO、成層圏エーロゾルが 12 か月。

<sup>6</sup> オゾン量の長期トレンドの解析に用いられる手法の一つ。減少期と増加期の 2 本の直線を転換点で繋げた回帰式によりトレンドを算出する。転換点は、1996 年 12 月とした。詳細は「オゾン層・紫外線の年のまとめ（2013 年）」を参照。



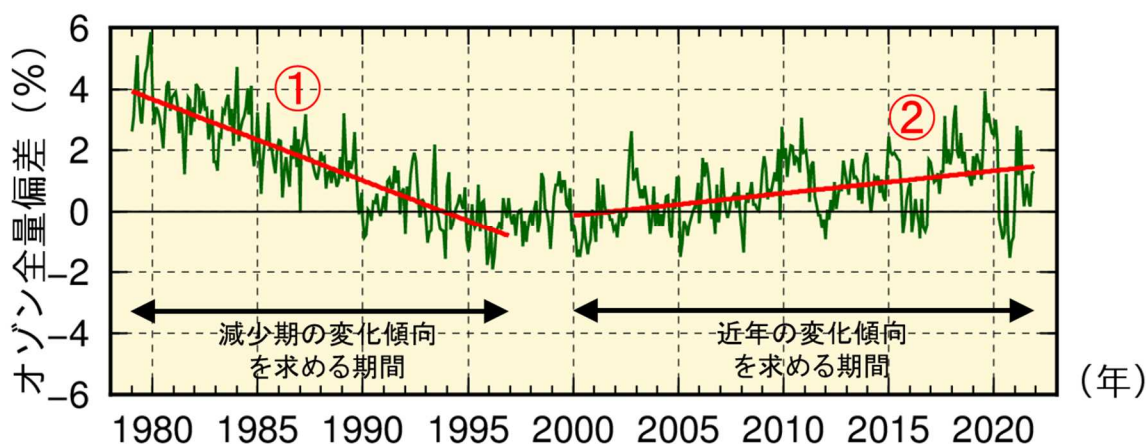
### 3 オゾン量の長期変化傾向の評価方法について

#### オゾン減少期と近年の長期変化傾向の評価

「オゾン層・紫外線の年のまとめ（2022年）」では、「オゾン層破壊の科学アセスメント2022」（WMO, 2022）で用いられている手法に準じて、2節で示した既知の周期的な自然変動を除去したオゾン時系列データを用いて、1979年1月から1996年12月までの回帰直線によりオゾン量が減少した時期の変化傾向を求め、2000年1月から2022年12月までの回帰直線で近年の変化傾向を求めた（図A3-1）。

#### 観測データの選別について

「オゾン層・紫外線の年のまとめ（2022年）」で使用した地上のオゾン全量観測データは、参照値期間（1994～2008年）において、1年に6か月以上の月平均値がある年が10年以上（参照値期間の3分の2以上）ある地点（121地点）のデータを使用した。



図A3-1：オゾンの長期変化傾向の解析

長期変化傾向の解析を、世界のオゾン全量に適用した例。緑実線は世界の地上観測（南緯70度～北緯70度の114地点）によるオゾン全量偏差（%）で、地点ごとに季節変動と既知の自然変動成分を除去（2節参照）した後世界平均を求めている。比較の基準値は1994～2008年の累年平均値。赤実線は地上観測データの1979～1996年の回帰直線（①）と2000～2021年の回帰直線（②）。世界の地上観測点にはWOUDCのデータを用いた。



## 4 参考文献

- 気象庁 (2009), オゾン層観測報告 : 2008.
- 気象庁 (2014), オゾン層・紫外線の年のまとめ(2013年).
- 気象庁 (2019), オゾン層・紫外線の年のまとめ(2018年).
- 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, 81-94.
- 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 (2008), 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., D113, D04307, doi: 10.1029/2007JD008975.
- McPeters, R.D. and Labow, G.J. (2012), An MLS and sonde derived ozone climatology for satellite retrieval algorithms, Journal of Geophysical Research 117, doi: 10.1029/2011JD017006.
- 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.
- NASA (2012), SBUV (Version 8.6) MERGED TOTAL AND PROFILE OZONE DATA SETS, [https://acd-ext.gsfc.nasa.gov/Data\\_services/merged/](https://acd-ext.gsfc.nasa.gov/Data_services/merged/).
- Newman, P. A., J. S. Daniel, D. W. Waugh and E. R. Nash (2007), A new formulation of equivalent effective stratospheric chlorine (EESC), Atmos. Chem. Phys., 7, 4537-4552, doi: 10.5194/acp-7 - 4537-2007.
- O3S-DQA (2012), Guide Lines for Homogenization of Ozone Sonde Data, [http://www-das.uwyo.edu/~deshler/NDACC\\_O3Sondes/O3s\\_DQA/O3S-DQA-Guidelines Homogenization-V2-19November2012.pdf](http://www-das.uwyo.edu/~deshler/NDACC_O3Sondes/O3s_DQA/O3S-DQA-Guidelines Homogenization-V2-19November2012.pdf).
- WMO (1998), JOSIE-1996. WMO/GAW, 130, 108pp.
- WMO (2004), JOSIE-2000. WMO/GAW, 158, 147pp.
- WMO (2022), Scientific Assessment of Ozone Depletion:2022, Ozone Research and Monitoring-GAW Report No.278.

## 謝辞

本資料は、気象庁大気海洋部環境・海洋気象課が作成し、内容に関する検討には、以下の査読者の方々にご協力を賜りました。ここに厚くお礼申し上げます。

## 査読者

秋吉 英治 国立研究開発法人 国立環境研究所 シニア研究員

今村 隆史 公益財団法人 東京都環境公社 東京都環境科学研究所長

藤原 正智 国立大学法人 北海道大学大学院 地球環境科学研究院 教授

(敬称略)