

# 概要

## 1. オゾン層の状況

### ■地球規模のオゾン層の状況（P17～）

地球規模のオゾン全量は 1980 年代から 1990 年代前半にかけて大きく減少したが、その後減少傾向が緩和し、1990 年代後半からはわずかな増加傾向がみられる。ただし、オゾン全量は 1970 年代と比べて現在も少ない状態が続いている。

2020 年の年平均オゾン全量の地球規模の分布を、オゾン量の減少傾向が止まり、オゾン量がほぼ一定であった 1997～2006 年の平均値の分布と比較すると、南北両半球の中緯度の一部と北半球の低緯度で正偏差となり、それ以外の領域で負偏差となった。その中で、南北半球高緯度の負偏差は顕著となった。これは、北半球高緯度では春季の北極域でオゾン層破壊が例年よりも大きかったこと、南半球高緯度では南極オゾンホールが例年よりも大きく推移したことが要因と考えられる。

世界の月平均オゾン全量偏差の分布を月毎に見ると、北半球では-10%以上の負偏差は、2 月から 5 月の北半球高緯度の広範囲でみられ、特に 3 月の北極周辺では-40%以上の負偏差がみられた。一方+10%を超える正偏差は、1 月、2 月の北アメリカ大陸などでみられた。このうち北半球高緯度の負偏差の領域は、春季の北極域でオゾン層破壊が例年よりも大きかったことが要因と考えられ、北アメリカ大陸の正偏差は、対流圏界面の高度が平年より低い領域に対応している。

### ■南極域上空のオゾン層の状況（P25～）

南極域（南緯 60 度～南緯 90 度）の春季に形成されるオゾンホールの規模は、1980 年代から 1990 年代半ばにかけて急激に拡大したが、1990 年代半ば以降では、年々変動による増減はあるものの、長期的な拡大傾向は見られなくなった。

2020 年の南極オゾンホールは、8 月中旬に発生したのち 8 月下旬に急速に拡大し、9 月 20 日に最大面積が観測された。その大きさは 2,480 万 km<sup>2</sup> で、南極大陸の約 1.8 倍となった。9 月上旬以降、最近 10 年間の平均値より大きく推移し、10 月中旬以降も例年ほど縮小せず推移し、特に 11 月下旬や 12 月中旬にはその時期の最大面積を更新した。その後オゾンホールは 12 月下旬にかけて急速に縮小し、2008 年と並んで観測史上最も遅い 12 月 28 日に消滅した。

2020 年は南半球中高緯度の対流圏から成層圏へ伝搬する大気の大擾乱が、何らかの理由でこの時期に小さかったと考えられる。そのため南極上空に形成される極渦が大きく、ほぼ円形で安定していたため、極渦内部の高度約 20km 付近の気温の低い領域が、7 月中旬から 11 月中旬まで、最近 10 年間の平均値より概ね広く推移し、オゾン層破壊を促進させる極域成層圏雲が例年より維持された。このことがオゾン層破壊反応を継続し、10 月中旬以降もオゾンホールの規模を維持した要因の一つと考えられる。更に 11 月以降も極渦は大きさが小さくなりつつも勢力を維持し、高度約 20km 付近の気温の低い領域が消滅した後も中緯度の高濃度オゾンの渦内への流入が抑えられた結果、長期間にわたってオゾンホールが消滅せず維持されたと考えられる。

### ■北半球高緯度域のオゾン層の状況（P37～）

北半球高緯度域では気象条件によるオゾン全量の年々変動が大きいため、長期的な変化傾向は見えにくいものの、1990 年代以降はそれ以前に比べ顕著に少ない年が多い。

2020 年春季の北半球高緯度では 2011 年同様、顕著なオゾン層破壊が観測された。2020 年

3月には2011年と同様に北極点付近にオゾン全量が特に少ない領域が存在しており、北半球高緯度全域の広い範囲で負偏差となった。更に2020年は2011年には見られなかった250 m atm-cm以下の領域も観測されており、一時的に南極オゾンホールを目安である220 m atm-cmを下回る日もあった。-20%以上の負偏差となっている領域の範囲も2011年と同程度かそれ以上に及んでおり、また極付近を中心に広い範囲で-30%以上の負偏差となり、-40%以上の負偏差もみられた。これは北極域上空の極渦が例年になく長期間安定で、オゾン量の多い周辺大気の輸送が制限されたことに加え、極域成層圏雲が出現するような気温の低い状況が冬季から春季にかけて長期間継続したためと考えられる。

#### ■我が国におけるオゾン層の状況（P43～）

札幌・つくば・那覇で観測された日本上空のオゾン全量は、札幌とつくばにおいて1980年代から1990年代はじめまで減少した後、緩やかな増加傾向がみられる。また、那覇では1990年代半ば以降、緩やかな増加傾向が見られていたが、近年はオゾン全量が少ない年が続いている。

2020年の日本上空のオゾン全量の月平均値は、1994～2008年の平均値と比べ、札幌では、5、6、8月に少なく、観測開始（1958年）以来、5月はその月として3番目に少なく、8月はその月として2番目に少ない値となった。つくばでは、4月に多く、6、8、10月に少なくなった。那覇では、3、4月に多く、6、7月に少なくなった。観測開始（1974年）以来、3月はその月として3番目に多く、4月はその月として1番に多い値となった。これら地点の月平均オゾン全量の多寡は対流圏界面の高度の高低による影響とみられ、札幌の5月はそれに加え、高緯度側からのオゾンの少ない大気の流入の影響も考えられる。

#### ■オゾン層の将来予測（P53～）

数値モデル予測によると、オゾン層の回復時期は南北両半球で異なり、南半球の回復は北半球に比べてやや遅れると予想されている。オゾン全量が1960年（人為起源のオゾン層破壊物質による大規模なオゾン層破壊が起こる前）レベルまで回復する時期は、北半球の中・高緯度域で2030年頃、また南半球中緯度（南緯35度～南緯60度）では2055年頃と予測されている。一方、南極域の回復はほかの地域よりも遅く、1960年レベルに戻るのには21世紀末になると予測されている。また数値モデル予測からは、オゾン層の回復には、温室効果ガスの増加による成層圏の低温化並びに気候変化に伴う大気の循環の変化が影響を与えることが示唆されている。

## 2. 特定物質等の大気中濃度

### ■ 特定物質等の大気中バックグラウンド濃度の状況 (P99～)

北半球中緯度域(北緯 30 度～北緯 60 度)の平均的な状況を代表するような国内の観測地点(北海道内など)において、それまで増加し続けてきた特定物質(オゾン層保護法に基づき生産等が規制されているフロン等)のうち、CFC-12 の大気中濃度は 1990 年代後半以降最高濃度でほぼ横ばいであったが 2006 年頃から減少し始めている。CFC-11、CFC-113、四塩化炭素の大気中濃度は 1990 年代半ば以降、約 1%/年の割合で減少している。このうち CFC-11 については、国内での観測や国際機関による観測で 2014 年頃から濃度の減少に鈍化が認められたが 2019 年以降は再び減少に転じている。一方、大気中での寿命の短い 1,1,1-トリクロロエタンの大気中濃度は 1990 年代以降急速に減少した。

ハロン-1211 の大気中濃度は 2000 年代に入って増加傾向が鈍化し、近年は減少に転じた。ハロン-1301 については、増加し続けていたが、近年その増加はゆるやかになり、2015 年以降は濃度の明瞭な増加は認められない。

HCFC-22 は約 2%/年の割合で増加している。また、HFC-134a の増加率は約 5%/年で極めて大きい。HCFC-142b は、調査開始以来増加し続けていたが、近年その増加はゆるやかになり、2014 年以降は濃度の明瞭な増加は認められない。HCFC-141b はここ数年再び濃度増加に転じる傾向を示している。

また、2018 年にオゾン層保護法が改正され、「特定物質代替物質」として HFCs が新たに規制されることとなったことを受けて、2019 年度から HFCs の観測結果を掲載している。

### ■ 日本の都市域における大気中濃度の状況 (P117～)

日本の都市域の代表例として川崎市内で連続測定した CFC-11、CFC-12、CFC-113、四塩化炭素、1,1,1-トリクロロエタンの大気中濃度は、次第に変動幅が小さくなるとともに、北海道における大気中濃度とほとんど変わらなくなっている。変動幅の縮小や濃度の低下には、日本における生産の全廃及び排出抑制等が進んだ結果が反映されていると考えられる。

一方で、HCFC-22、HCFC-141b、HCFC-142b は、近年やや放出量が減少する傾向を示しているものの、依然として頻繁に高い濃度で検出されている。このことは、これらの物質は現在も多方面で利用されていることや、過去に製造・充填された機器装置等から大気中に放出されていることが反映されていると考えられる。HFC-134a においても、2010 年頃まで検出されていた高濃度イベントは最近ではその頻度・強度は低下している。一方で、2011 年頃から濃度の中央値及び 20%値に明瞭な増加傾向が認められ、濃度の中央値は北海道でのバックグラウンド濃度に比べて依然として高い。

### ■ 特定物質の大気中濃度の将来予測 (P126～)

オゾン層を破壊する CFC の生産と消費は、モントリオール議定書に基づいて先進国では 1995 年末までに、途上国では 2009 年末までに全廃されたが、大気中寿命が非常に長いため、今後、CFC の大気中濃度は極めてゆるやかに減少していくと予測される。一方、CFC と比べるとオゾン層破壊係数の小さい HCFC については、同議定書の規制スケジュールに従って、先進国の生産・消費は 2020 年をもって全廃されたが、途上国においては生産・消費の削減が進められている途中段階にあり、HCFC の大気中濃度は引き続き増加するが、今後 10～20 年でピークに達し、その後減少すると予測される。

### 3. 太陽紫外線の状況

#### ■太陽紫外線の概要（P9、P151～）

オゾン層は、太陽から地球にやってくる紫外線のうち、UV-C（100～280nm）のすべてと UV-B（280～315nm）のほとんど（約 90%）を吸収する。これらは有害紫外線と呼ばれる。しかし波長が長い UV-A（315～400nm）は吸収しない。地表面に生物が生存できるのは、オゾン分子が地表面から離れた高度領域にオゾン層として存在し、UV-B、UV-C に対するシェルターとして働いているおかげである。

地表で観測される紫外線は、オゾン全量その他、太陽高度、雲の状況、エアロゾルの量、地表面の反射率、海拔など、様々な要因によって変動する。また、それらの影響は波長によって異なる。

UV-B は、核酸などの重要な生体物質に損傷をもたらし、皮膚の光老化や皮膚がん発症率の増加、さらに白内障発症率の増加、免疫抑制など、人の健康に影響を与えるほか、陸域、水圏生態系に悪影響を及ぼす。成層圏オゾン層の破壊により UV-B の地上への照射量が增大すると、それらの悪影響が増大することが懸念される。

紅斑紫外線は、人体に及ぼす影響を示すために、波長によって異なる影響度で重み付けして算出した紫外線量である。

#### ■南極域の太陽紫外線の状況（P166～）

南極オゾンホールが特異的に小規模でその継続期間も比較的短期間であった 2019 年と、大規模かつ長期間であった 2020 年の違いは、南極昭和基地での紫外線観測結果にもはっきりと表れていた。南極昭和基地における紅斑紫外線量日積算値の月平均値について 2019 年と 2020 年を比較すると、9～12 月の平均値に顕著な違いが認められる。2019 年は 9～11 月の紅斑紫外線量日積算値は観測を開始した 1993 年以来、その月の最小値であった。また 12 月についても、参照値（1994～2008 年）の標準偏差内ではあるが、少なめの値であった。これに対し 2020 年の月平均値は、11、12 月に多く、特に 11 月は 1993 年の観測開始からその月として 1 番に大きい値となった。この違いは、南極昭和基地上空のオゾン層の状況が 2019 年と 2020 年で大きく異なっていたことが大きな要因である。

#### ■日本国内の紫外線量の状況と経年変化（P168～）

2020 年の紅斑紫外線量日積算値は、つくばでは 7 月に少なくなった。5、6、8、11 月に多く、特に 8 月は 1990 年の観測開始からその月として 1 番多い値となった。こうした状況は日照時間の影響に加え、6、8 月はオゾン全量が例年より少なかったためである。

北半球中緯度（北緯 30 度～北緯 60 度）のいくつかの観測点では、地表に到達する紫外線は 1990 年以降増加している。国内の紫外線観測地点（札幌・つくば・那覇）の紅斑紫外線量について、気象庁が観測を開始した 1990 年代初めからの経年変化をみると、札幌、つくばでは統計的に有意に増加している。増加の特徴として、札幌では 1990 年代半ばから 2000 年代に顕著に増加している。つくばでは 1990 年代に顕著に増加がみられる。なお、那覇では、1990 年代に増加傾向が見られたが、2000 年以降目立った増加はみられない。こうした傾向は、上空のオゾン量の変化に関連するというよりは、雲量やエアロゾル量の変化による影響と考えられるが、紫外線量の増加に対してそれぞれどの程度寄与があるのか明らかではない。

#### ■太陽紫外線の将来予測（P174～）

晴天条件での紫外線量はオゾン全量に依存する。そのため、オゾン層破壊の影響により、現在の晴天時の紫外線量は、引き続き高い状況が続いていると思われる。オゾン層の回復が期待

される中で、今後の晴天時の紫外線量は、北半球中高緯度（北緯 30 度～北緯 90 度）では、2020 年代には 1980 年（オゾンホールが顕著に現れ始めた年）レベルの紫外線量に戻ると予想されていたが、北半球に位置する日本国内の 3 地点（札幌、つくば、那覇）の観測値については 2000 年以降紅斑紫外線量の減少傾向は見られず、オゾン全量以外の効果も影響していると考えられる。一方、南半球では 1980 年レベルの紫外線量に戻るのには北半球よりやや遅れ、さらに南極域（南緯 60 度～南緯 90 度）では今世紀半ばになると予想されている。なお、紫外線量は雲量、エアロゾル、気候変化の影響も強く受けるため、紫外線量の今後の変化予測には大きな不確実性がある。