

概要

1. オゾン層の状況

■地球規模のオゾン層の状況 (p.17～)

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。

2021 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、赤道付近を除く南北両半球の低緯度と北半球の中・高緯度の一部で正偏差*となり、それ以外の領域で負偏差となった。特に、南北半球高緯度の負偏差は顕著となった。これは、南極オゾンホール*の規模が例年より大きく推移したことが要因と考えられる。

2021 年の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、1月、5月のユーラシア大陸や4月、8月、12月の太平洋北部でみられ、一方+10%を超える正偏差は、1月、2月、10月から12月にユーラシア大陸や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、対流圏界面の高度が平年より高い領域、正偏差の領域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。

*偏差 (%) とは、基準値 (長期間の平均値など) からの差を基準値で割った大きさを百分率で示したものである。正偏差は基準値よりも大きな値であることを、負偏差は基準値よりも小さな値であることを意味する。

■南極域上空のオゾン層の状況 (p.26～)

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。

2021 年の南極オゾンホールは、8月上旬に発生したのち8月下旬に急速に拡大し、10月7日に最大面積が観測された。その大きさは 2,480 万 km² で、南極大陸の約 1.8 倍となった。9月中旬以降、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、12月中旬頃から急速に縮小し、12月24日に消滅した。

2021 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-78℃以下の領域が、6月中旬から10月下旬まで、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。

*オゾンホールとは南極上空の春にオゾン全量が極端に少なくなる現象のことである。口絵の図 I (右図) でもわかるように、南極上空に穴の空いたようなオゾン全量の少ない領域が存在する。1980 年代初めからこのような現象が観測されている。

■北半球高緯度域のオゾン層の状況 (p.37～)

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。

2021年3月の偏差分布は、シベリアを中心に負偏差、グリーンランドを中心に正偏差が広がり、北半球高緯度の下部成層圏の気象状況から、2021年の北半球では顕著なオゾン層破壊は起こらなかったと考えられる。

■我が国におけるオゾン層の状況 (p.39～)

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。

2021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、2、9、11、12月に多くなった。つくばでは、1月に少なく、7、9、11月に多くなった。観測開始(1957年)以来、11月はその月として1番目に多く、9月はその月として3番目に多い値となった。那覇では、2、4、7、9～12月に多くなった。観測開始(1974年)以来、2、10、11月はその月として1番目に多く、7月はその月として2番目に多い値となった。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、那覇はそれに加え、成層圏準2年周期振動(QBO)が正の位相(赤道付近で高度とともに西風から東風に変化)であったことの影響も考えられる。

■オゾン層の将来予測 (p.49～)

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、オゾン層の回復には、温室効果ガス(GHG)の増加が影響を与えることも示唆されている。GHGの増加に伴うオゾン層の回復への影響や緯度帯による回復時期の違いは、GHGの増加による成層圏の気温低下が成層圏オゾン量をグローバルに増加させる効果と、大気の大規模循環(ブリューワ・ドブソン循環)の加速によって輸送されるオゾン量が緯度帯によって異なる効果の複合作用の結果と考えられる。

熱帯域ではオゾンの少ない対流圏の空気がより多く下部成層圏へ流入してオゾン全量の増加が抑制される一方、北半球中高緯度や南半球中緯度では極向きの上昇流が強まり、オゾンの増加した成層圏大気がこの領域の下部成層圏により多く輸送されるようになりオゾン全量の増加が強化されると考えられる。なお南半球高緯度では、大気循環の加速の影響は小さくオゾン全量の増加は抑制される。

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 (p.96～)

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、2020 年以降は濃度の明瞭な増加は認められない。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 (p.114～)

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きている。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 においては、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 (p.123～)

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 (p.9、p.148～)

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増大すると、それらの悪影響が増大することが懸念される。

■南極域の太陽紫外線の状況 (p.163～)

2021 年の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は、1、3、4、11、12 月に多く、特に 4 月は 1993 年の観測開始からその月として 2 番に大きい値、3 月はその月として 3 番目に多い値となった。紅斑紫外線量日積算値は、11 月以降、平均値よりかなり大きく推移して、1 月下旬以降は並みとなった。これらは、概ねオゾン全量の推移と対応した逆相関を示しており、紅斑紫外線量日積算値がオゾン全量に強く依存していることを示している。

*紅斑紫外線量とは、波長で定義された紫外線 (UV-A、UV-B、UV-C) とは別に、人体への紅斑作用影響を示すために、波長によって異なる影響度で重みづけして算出した紫外線量のこと。

■日本国内の紫外線量の状況と経年変化 (p.165～)

2021 年の紅斑紫外線量日積算値は、つくばで 2、3、4、6、10、11 月に多く、特に 2、3、4 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。また、11 月はその月として 2 番目に多い値、10 月はその月として 3 番目に多い値となった。これらは、日照時間が例年より長かったことやオゾン全量が例年より少なかったことが要因と考えられる。

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 (p.169～)

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。

