

# 要 旨

## 【 オゾン層破壊物質濃度の経年変化 】

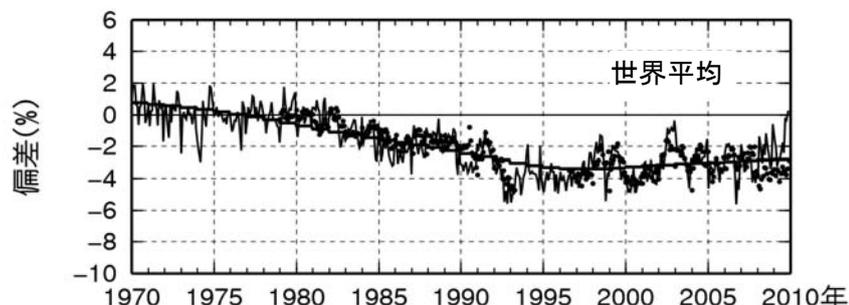
クロロフルオロカーボン類（CFC類。CFC-11、CFC-12、CFC-113など）は成層圏オゾンを破壊する物質であり、「オゾン層を破壊する物質に関するモントリオール議定書」によりその生産が規制されている。気象庁では綾里（岩手県大船渡市）で、CFC類の観測を1990年から行っている。綾里の観測結果によると、CFC-11濃度は1993～1994年の約270 pptをピークとして減少傾向にある。CFC-12濃度は2005年頃まで緩やかに増加していたが、その後は緩やかな減少傾向にある。CFC-113濃度は2001年頃からごく緩やかな減少傾向がみられたが、近年はほとんど変化していない。2009年の年平均濃度は、CFC-11が246 ppt、CFC-12が537 ppt、CFC-113 が78 pptであった。

気象庁が運営している温室効果ガス世界資料センターに報告された世界のCFC類の観測結果からは、いずれの要素も、1980年代に急速に増加したが、1990年代以降は増加傾向が緩やかになったか、または減少傾向がみられる。

## 【 世界のオゾン層 】

世界のオゾン全量は1980年代から1990年代前半にかけて大きく減少した（図S-1）。1990年代後半以降はほとんど変化がないかわずかに増加しているが、現在もオゾン全量は少ない状態が続いている。オゾン全量の長期的な変化成分のみを取り出すと、2009年の世界平均のオゾン全量は、オゾン層の破壊が進んだ1980年代の直前である1979年と比べて $2.3 \pm 0.1\%$ 少なかった。減少の割合は、低緯度域で小さく、高緯度域で大きい傾向があった。季節的には、北半球中高緯度で3～4月に、南半球中高緯度で8～12月に減少の割合が大きかった。

オゾン全量の長期的な減少は、オゾン層破壊物質から生成される成層圏の塩素量（等価実効成層圏塩素（EESC））に対応していることから、CFC類などオゾン層破壊物質が大気中で増加したことが要因と考えられる。また、1990年代半ば以降オゾン全量の長期的な減少がみられなくなった要因としては、CFC類の大気中濃度が1990年代以降ほとんど増加していないか緩やかに減少していることが関係していると示唆される。ただし、オゾン全量が緩やかに増加していることについては、大気の流れの自然変動に伴って起きているとする研究も報告されており、オゾン層破壊物質の減少に伴って起きているとは判断できない。



図S-1 世界のオゾン全量偏差 (%) の推移

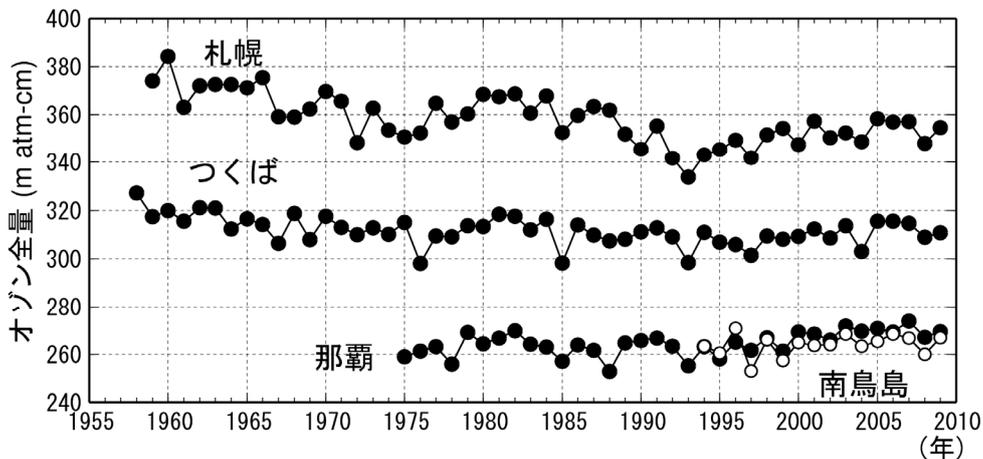
実線は世界の地上観測によるオゾン全量偏差 (%)。滑らかな実線はEESCフィッティング曲線。●印は衛星観測データ（北緯70度～南緯70度）によるオゾン全量偏差 (%)。比較の基準値は1970～1980年の平均値。この図の値は、季節変動など既知の周期的な自然要因と相関の高い変動成分を除去している。

## 【 日本上空のオゾン層 】

国内4地点（札幌、つくば、那覇、南鳥島）の観測によると、札幌とつくばのオゾン全量は主に1980年代を中心に1990年代はじめまで減少が進んだ（図S-2）。1990年代半ば以降は、国内4地点ともにほとんど変化がないか、緩やかな増加傾向がみられる。オゾン全量の長期的な変動成分のみを取り出すと、札幌のオゾン全量は通年および全ての季節で1979年から統計的に有意な減少を示している。季節別でみると冬季と春季で減少が大きくそれぞれ1979年から5.5%、4.9%少なかった。一方、同じ期間でつくばでは秋季に、那覇では夏季と秋季に統計的に有意な増加傾向がみられた。

また、最近の傾向として、1998年以降は、つくば、那覇について通年で有意な増加傾向がみられた。しかし、世界と同様大気の流れに関係した自然変動、あるいは対流圏オゾンの増加によって起きている可能性もあり、成層圏でのオゾン層破壊物質の減少に伴った変化であるとは判断できない。

オゾン全量の長期的な減少がみられなくなった1994～2008年の平均と比較すると、国内4地点の2009年の年平均オゾン全量は「並」であり、月平均値も概ね平均的な季節変動であった。



図S-2 日本上空のオゾンの年平均値の推移

札幌、つくば、那覇、南鳥島におけるオゾン全量の年平均値の経年変化（観測開始から2009年まで）。この図の値は、季節変動など既知の周期的な自然要因と相関の高い変動成分を除去する前の観測値を年平均した値である。

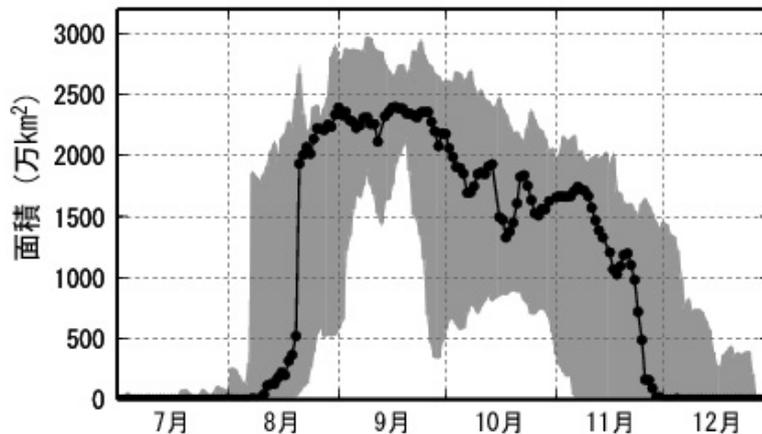
## 【 南極オゾンホール 】

オゾンホールとは、南極上空のオゾン量が極端に少なくなり、オゾン層に穴が空いたような状態となる現象である。2009年のオゾンホールは、8月後半から9月はじめにかけて例年と同様急速に拡大し、9月17日には2009年の最大面積である2,400万km<sup>2</sup>まで発達した。その後12月1日にオゾンホールは消滅した（図S-3）。年最大面積、年最大欠損量ともに1979年以降ではほぼ中間の順位、過去10年間（1999年～2008年）の平均と比較するとやや下回る規模であった。

南極オゾンホールの規模の変化を長期的にみると、1980年代から1990年代半ばにかけて急激に拡大したが、それ以降では増加傾向はみられなくなった。2000年以降は年々変動が大きくなっているものの、依然として規模の大きい状態が続いている（図S-4）。

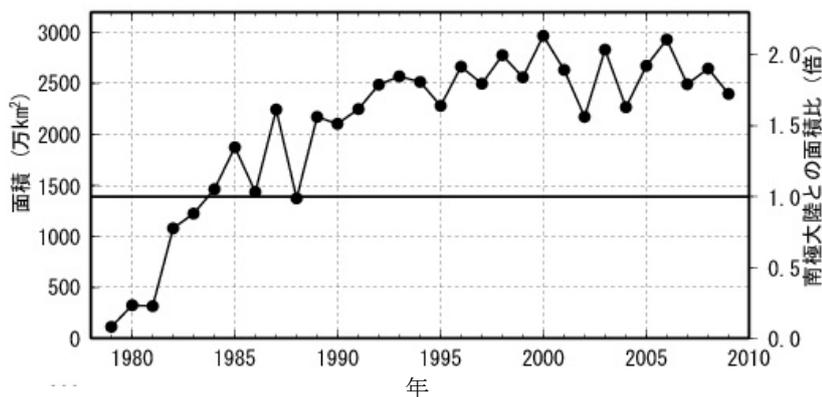
オゾンホールの規模の経年変化は、第一に成層圏におけるオゾン層破壊物質の濃度の指標であるEESCに対応して長期的に変化し、第二に南半球の冬季から春季にかけての成層圏の極渦の強さや下部成層圏の気温に対応して年々変動している。2009年のオゾンホールの規模が、長期的に増加傾向のない過去10年と比較してやや下回った要因として、極域成層圏雲出現の目安である下部成層

圏で $-78^{\circ}\text{C}$ 以下の領域の面積が、例年最も拡大する6～8月に概ね平年（1979～2008年平均）並で推移し、平年を上回った期間も長く続かなかったこと、さらに、例年オゾンホールが最大規模となる9～10月はじめにかけて、低緯度成層圏から南極上空の成層圏下部へオゾン量の多い空気塊の輸送が増加し、極渦も安定せずオゾンの破壊が緩和された時期があったことなどが考えられる。



図S-3：オゾンホール面積の推移（2009年7月～12月）

●印は2009年の日々のオゾンホールの面積。陰影部の上端と下端は1999～2008年日別値の最大および最小値を示す。NASA提供の衛星データをもとに気象庁で作成。



図S-4：オゾンホールの年最大面積の経年変化

1979～2009年のオゾンホールの面積の年最大値の変化。NASA提供の衛星データをもとに作成。

## 【 北半球高緯度のオゾン層 】

南極オゾンホールほど大規模ではないものの、春季の北半球高緯度でも極域成層圏雲に関係したオゾンの破壊によってオゾンの少ない領域が現れることがあるが、2009年春季の北半球高緯度では、極域成層圏雲による大規模なオゾン全量の減少はみられなかった。この領域の下部成層圏気温が、晩冬から初春にかけて平年より高くなり、極域成層圏雲出現の目安である $-78^{\circ}\text{C}$ 以下の領域が1月中旬以降消滅したため、大規模な破壊は起きなかったと考えられる。

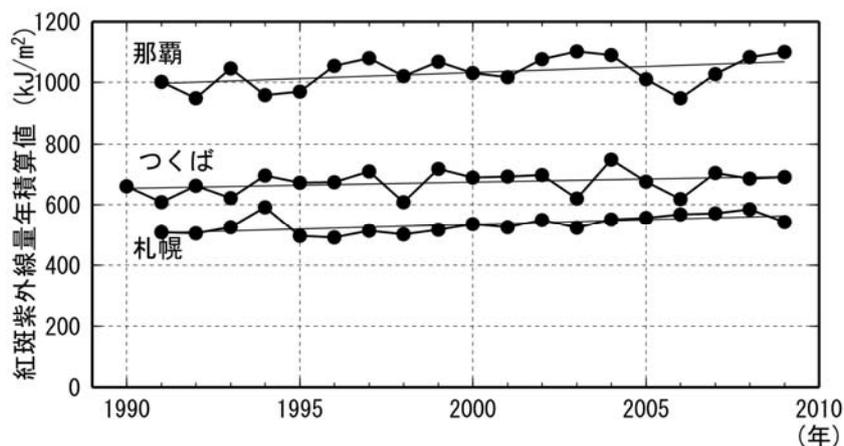
衛星データおよび地上観測によると、1990年以降、3月のオゾン全量は1990年以前に比べ顕著に減少する年が多い。特に1996、1997、2005年は大規模であった。これらは極域成層圏雲に関係したオゾンの破壊によると考えられる。北半球高緯度の春季のオゾン全量は、長期的にはオゾン層破壊物質に伴う成層圏の塩素濃度に対応して変化しているが、成層圏の気象場の変動や極域成層圏雲の発生の有無などによる変動も大きく、長期的な変動傾向がみえづらくなっている。

## 【 国内の紫外線 】

2009年の日本国内の紫外線量は、札幌では1月、4～5月、9月に多く、2～3月と6～7月に少なかった。特に、7月はその月として過去最小となった。つくばでは、ほとんどの月で「並」であったが4月と10月には多く、特に4月はその月として過去最多となった。那覇では、ほとんどの月で「並」か「多い」となり、特に1月、2月、5月はその月として過去最多となった。一方、10月は少なかった。これらの特徴は、主に各地点の天気の状態を反映したものである。

国内3地点のうち札幌の紅斑紫外線量は、1990年代初めから増加傾向にある。つくば、那覇は統計的に有意ではないものの同様の傾向を示している(図S-5)。一方、この期間のオゾン全量は、1990年代初めに最も少なく、その後はほとんど変化がないか、緩やかな増加傾向となっている。このことから、紫外線が増加傾向を示すのは、オゾンの減少のためではなく、雲量の減少など天候の変化や大気中のエアロゾル量の減少が影響している可能性がある。

注) 紅斑紫外線量：紅斑紫外線量は、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を考慮して算出した紫外線量である。



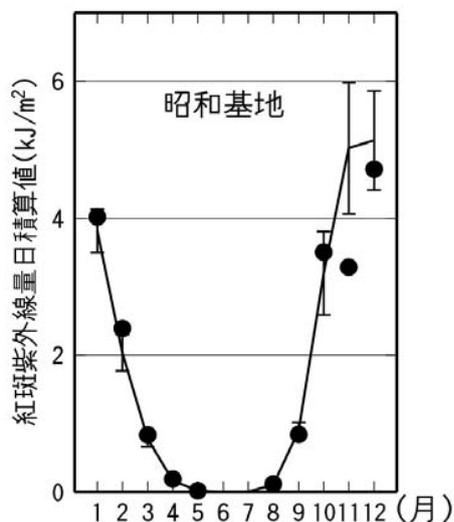
図S-5：紅斑紫外線量の年積算値の推移

札幌、つくば、那覇における紅斑紫外線量の年積算値の観測開始から2009年までの推移。

## 【 南極域における紫外線 】

2009年の南極昭和基地の紅斑紫外線量は、オゾンホール最盛期から消滅期である9～12月は、11月に少なかったことを除き「並」であった。11月はオゾン全量が多かったことに対応して、かなり少なかった(図S-6)。

南極昭和基地で紫外線量の多い時期である11月～1月平均の紫外線量には、統計的に有意な長期的な増減はみられない。



図S-6：2009年における紅斑紫外線量日積算値の月平均値の推移

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の推移。●印は2009年の月平均値。6月、7月は、観測できた日が少なく観測数が基準未満(1か月あたり20日未満)となったため、表記していない。実線は参照値。縦線はその標準偏差。ただし、参照値は1993～2008年の平均値。