

# 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。気象庁の観測点である綾里（岩手県大船渡市）では、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1995年まで増加し、その後もごく緩やかに増加していたが、2005年頃をピークに減少している。CFC-113濃度は2001年頃までにごく緩やかな増加が止まり、その後減少傾向がみられる。

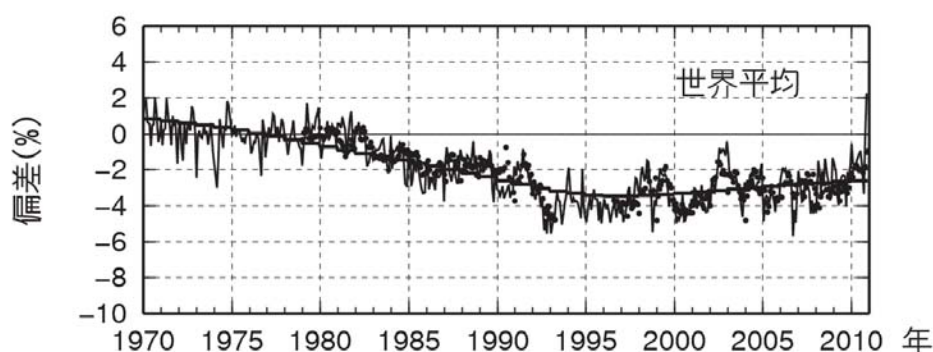
気象庁が運営している温室効果ガス世界資料センターに報告された世界のCFC類の観測結果からは、いずれの要素も、1980年代に急速に増加したが、1990年代以降は増加傾向が緩やかになったか、または減少傾向がみられる。

## 【 世界のオゾン層 】

世界の2010年平均のオゾン全量は、長期的な減少がみられなくなった近年（1997～2006年の累年平均値）と比較すると、北半球中高緯度と、南極大陸周辺の大西洋・太平洋付近で偏差が+2.5%を上回ったところが多く、一部で+5.0%を上回った。北半球中緯度では、1～5月まで顕著な正偏差が継続した。

世界平均したオゾン全量は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な増加がみられるが、1979年以前と比較すると量は少ない状態が続いている。このオゾン全量の長期変化は、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。EESCの変化に伴うオゾン全量の変化成分を取り出すと、2010年の世界平均値は、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 $2.1 \pm 0.1\%$ 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。

オゾン全量の減少は1990年代半ば以降みられなくなったが、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に関係していると示唆される。北半球中緯度については1998年以降で有意な増加傾向がみられるが、大気循環の自然変動にともな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だけによる変化とは判断できない。



図S-1：世界のオゾン全量偏差（%）の経年変化

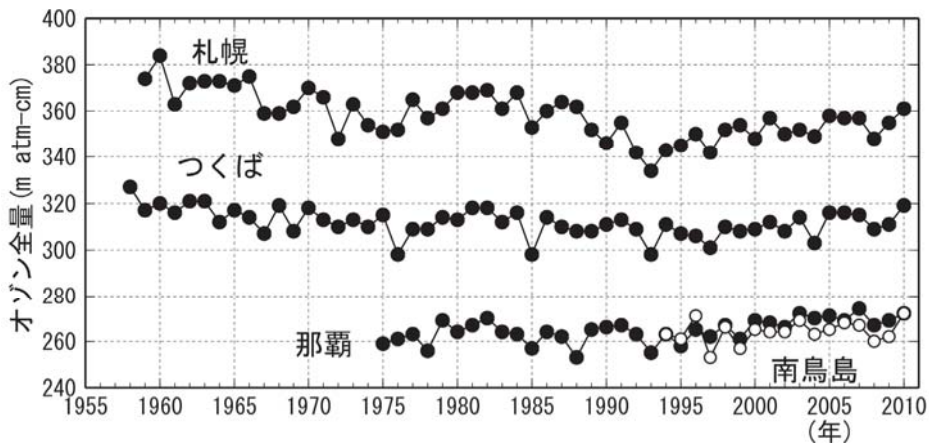
実線は世界の地上観測によるオゾン全量偏差（%）。滑らかな実線はEESCフィッティング曲線。●印は北緯70度～南緯70度で平均した衛星観測データによるオゾン全量偏差（%）。比較の基準値は1970～1980年の平均値。この図の値は、季節変動や太陽活動、準2年周期振動など既知の周期的な自然要因と相関の高い変動成分を除去している。衛星データはNASA提供のデータを用いた。

## 【 日本上空のオゾン層 】

国内4地点（札幌、つくば、那覇、南鳥島）の観測をオゾン全量の長期的な減少がみられなかった1994～2008年と比較すると、2010年のオゾン全量の月平均値は、札幌では1～2月と4～6月に、つくばでは4～7月と9月に、那覇では5月と11月に多かった。特につくばと那覇の5月は、その月として観測開始以来最多となった。

札幌とつくばのオゾン全量は主に1980年代を中心に1990年代初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5.2%、4.7%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、札幌、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、大気循環の自然変動が寄与している可能性があり、オゾン層破壊物質の減少のみが原因とみることはできない。



図S-2：日本上空のオゾンの年平均値の経年変化

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2010年まで）。この図では、観測値をそのまま使用した（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は除去していない）。

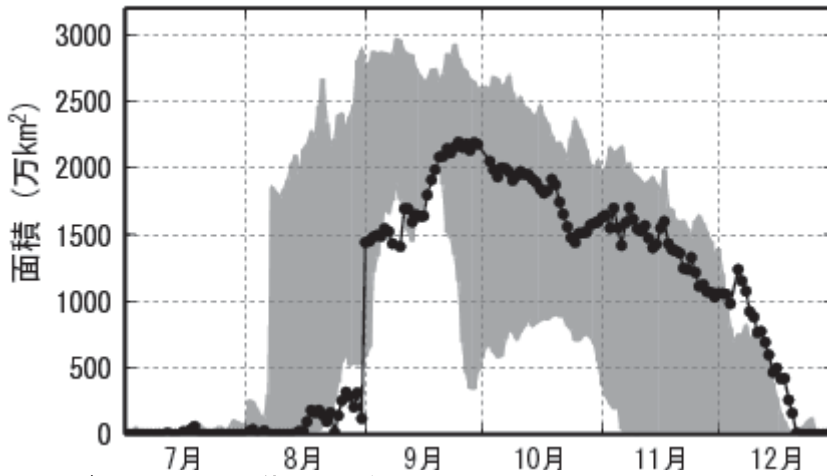
## 【 南極オゾンホール 】

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。2010年のオゾンホールは、8月に発生したが例年よりも拡大が遅く、9月中旬までは過去10年間の最小規模で推移した。9月下旬には、オゾンホールはピークを迎え、2010年の最大面積は9月25日の2,190万km<sup>2</sup>であった。これは、大規模なオゾンホールが連続して発生するようになった1990年以降で3番目に小さかった。その後、12月初めまでは緩やかに縮小し、その後急速に規模が縮小し12月22日にオゾンホールは消滅した（図S-3）。

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）。

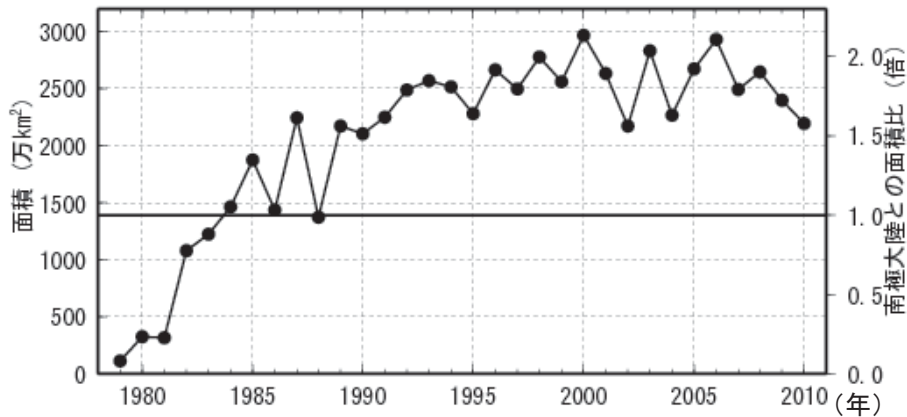
オゾンホールの規模は、第一に成層圏におけるオゾン層破壊物質の濃度の指標であるEESCに対応して長期的に変化し、第二に南半球の冬季から春季にかけての成層圏の極渦の強さや下部成層圏

の気温に対応して年々変動している。2010年のオゾンホール規模が小さくなった要因として、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、7月中旬～8月中旬に過去の平均より小さかったため、この時期とその後の南極域上空でのオゾン層破壊が少なかったと考えられる。



図S-3：オゾンホールの面積（2010年7月～12月）

●印は2010年の日々のオゾンホールの面積。陰影部の上端と下端は2000～2009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

1979～2010年のオゾンホールの面積の年最大値の経年変化。NASA提供の衛星データをもとに気象庁で作成。

## 【 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、2010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。1月下旬に発生した成層圏突然昇温現象により、この領域の下部成層圏気温が上昇し、2月下旬まで継続した。このため、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月末以降消滅したため、大規模な破壊は起きなかったと考えられる。

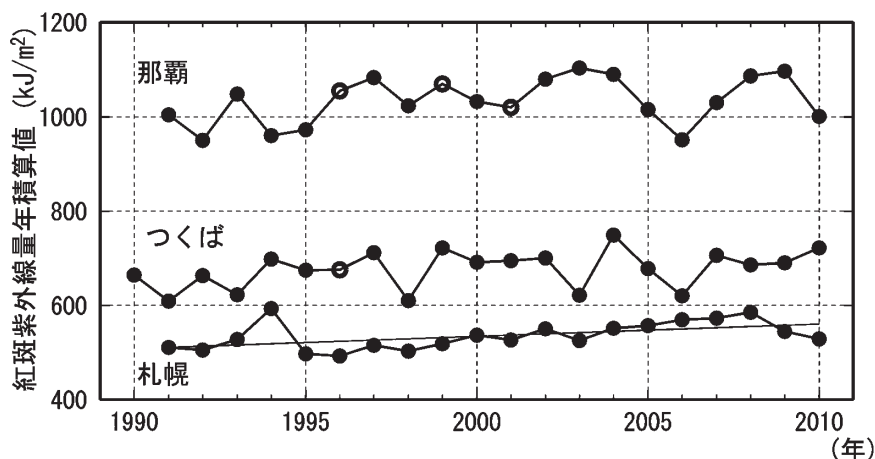
衛星データおよび地上観測によると、1990年以降、3月のオゾン全量は1990年以前に比べ顕著に減少する年が多い。特に1996、1997、2005年は大規模であった。これらは極域成層圏雲に関係したオゾンの破壊によると考えられる。オゾン全量は、世界的にオゾン層破壊物質に伴う成層圏の塩素濃度に対応して長期的に変化しているが、北半球では、成層圏の気象場の変動や極域成層圏雲の発生の有無などによる年々変動も大きく、長期的な変動傾向はみえづらくなっている。

## 【 国内の紫外線 】

2010年の日本国内の紅斑紫外線量<sup>注)</sup>は、札幌では年平均では並であったが、4月、7月、12月はいずれもその月として過去最少となった。つくばでは年平均で多く、6月と8~9月に多かった。特に、8月はその月として過去最多となった。那覇では年平均では並であったが、4~5月、7月と11月に少なかった。特に7月はその月として過去最少となった。これらの特徴は、主に各地点の天候（雲量や日照時間など）の状況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年代初めから統計的に有意に増加している。つくば、那覇は2000年代前半までは統計的に有意な増加傾向を示していた（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、天候やエアロゾル量の変動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。



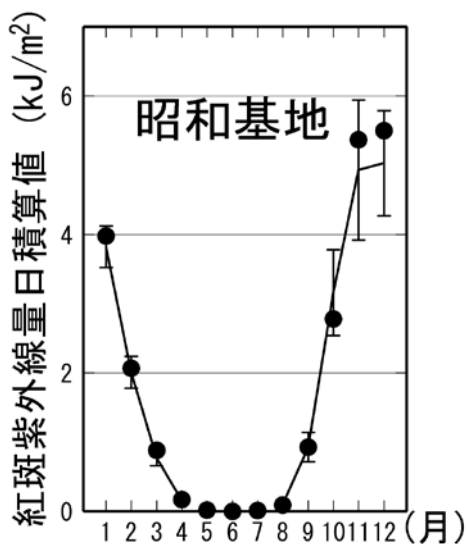
図S-5：紅斑紫外線量の年積算値の経年変化

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2010年までの経年変化。年積算値は、月平均値にその月の日数をかけて12か月分を積算して算出する。○印は、年積算の計算に用いる月平均値の中に1か月の日別観測数が20日未満の月が含まれることを示す。統計的に有意(有意水準5%)に増加している札幌について全期間の長期的な傾向を直線で示した。

## 【 南極域における紫外線 】

2010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、全ての月で1994～2008年の平均値と同程度（並）であった。ただし、オゾンホールの消滅期である11月以降の紅斑紫外線量は過去の平均よりも多めであった（図S-6）。

南極昭和基地で紫外線量の多い時期である11～12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 : 2010年における紅斑紫外線量日積算値の月平均値  
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年変化。●印は2010年の月平均値。実線は参照値（1994～2008年の平均値）。縦線はその標準偏差。

