

第2章 オゾン層・紫外線の長期変化

【要約】

オゾン層

- 世界全体のオゾン全量は、1980年代に大きく減少したが、1990年代後半に減少傾向が止まった。2000年以降は比較的变化がなく、近年はわずかな増加がみられるが、最近5年間のオゾン全量は、オゾン層破壊現象が顕著に現れる以前の1970年代と比較すると、依然として少ない状態にある。
- 南極オゾンホール⁵の最大面積は、1990年代半ばにかけて拡大したが、1990年代半ば以降では長期的な拡大傾向はみられなくなり、2000年以降では、統計的に有意な縮小傾向を示している。
- 春季の北半球高緯度におけるオゾン全量は、1990年以降、それ以前と比べて少ない状態が続いており、気象状況によって顕著に少なくなることもある。
- 国内のオゾン全量は、札幌とつくばにおいては1980年代から1990年代半ばまで減少し、その後緩やかな増加傾向がみられる。また、那覇においては1990年代半ば以降、緩やかな増加傾向がみられる。しかし、2000年以降の増加傾向は、国内3地点すべて統計的に有意ではない。

紫外線

- 国内3地点の近年の紅斑紫外線量年積算値は、観測を開始した1990年代初めに比べ多くなっている。つくばでは1990年代初めの観測開始以降、10年あたり+4.6%（年間3.23 kJ/m²）で、統計的に有意に増加している。また、国内3地点の年間の日最大UVインデックス8以上の出現日数についても、観測開始当初より多くなっている。
- 南極昭和基地において、紅斑紫外線量の多い11～1月の3か月平均紅斑紫外線量は、南極オゾンホール⁵の規模や消滅時期により年毎の変動が大きく、また長期変化として有意な増減はみられない。

2-1 世界のオゾン層の長期変化

近年のオゾン全量の状況

地上観測及び衛星観測による1970～2018年⁴の月別オゾン全量偏差の経年変化を図2-1（(a)世界全体、(b)北半球中緯度、(c)低緯度、(d)南半球全体⁵）に示す。偏差の基準は、1970～1980年の累年平均値（オゾン層破壊現象が顕著に現れる以前の期間）とし、地上観測を緑実線、衛星観測を青丸で示す。また、図2-1中の赤線は、それぞれ地上観測における1970～1980年、1994～2008年（オゾン量の減少傾向が止まり、オゾン量がほぼ一定で最も少なかった期間）、2013～2017年（全球解析が可能な最近5年間）の累年平均値を示している。

(a)～(d)の全領域において、2013～2017年の累年平均値は、1994～2008年の累年平均値よりも1%程度大きいものの、1970～1980年の累年平均値と比べると(c)低緯度を除いた領域で3%程度小さく、オゾン全量が少ない状態は依然として続いている。北半球中緯度の1990年代の顕著に少ないオゾン全量は、ピナトゥボ火山噴火（1991年6月）によるオゾン層破壊の促進⁶と、冬季から春季の北半球高緯度におけるオゾン層破壊により、オゾン量の少ない空気塊が流入したことが要因と考えられている（WMO, 2014）。その他、1980年代には、エルチチョン火山噴火（1982年4月）の影響

⁴ 地上観測においては、十分な地点数の観測データが得られ、信頼性の高い全球解析が可能な1970～2017年。

⁵ 南半球中緯度の観測点は少なく緯度も偏っているため、南半球全体の観測データを示している。

⁶ ピナトゥボ火山噴火にともない成層圏のエロゾル粒子が増加し、その粒子表面での不均一反応（巻末「用語解説」参照）によってオゾン層破壊が促進された（WMO, 2011）。

によるオゾン全量の減少がみられる。

オゾン全量は世界の大部分で、1980年代から1990年代初めに減少し、2000年以降では比較的变化がなく、近年はわずかな増加の兆候を示している。「オゾン層破壊の科学アセスメント：2018」(WMO, 2018)では、2000年以降、上部成層圏ではオゾン層の回復が始まっていると評価されており。今後モントリオール議定書によるオゾン層破壊物質の排出規制が完全に履行されれば、世界平均のオゾン全量が1980年レベルまで回復するのは今世紀半ば頃になると予想されている。

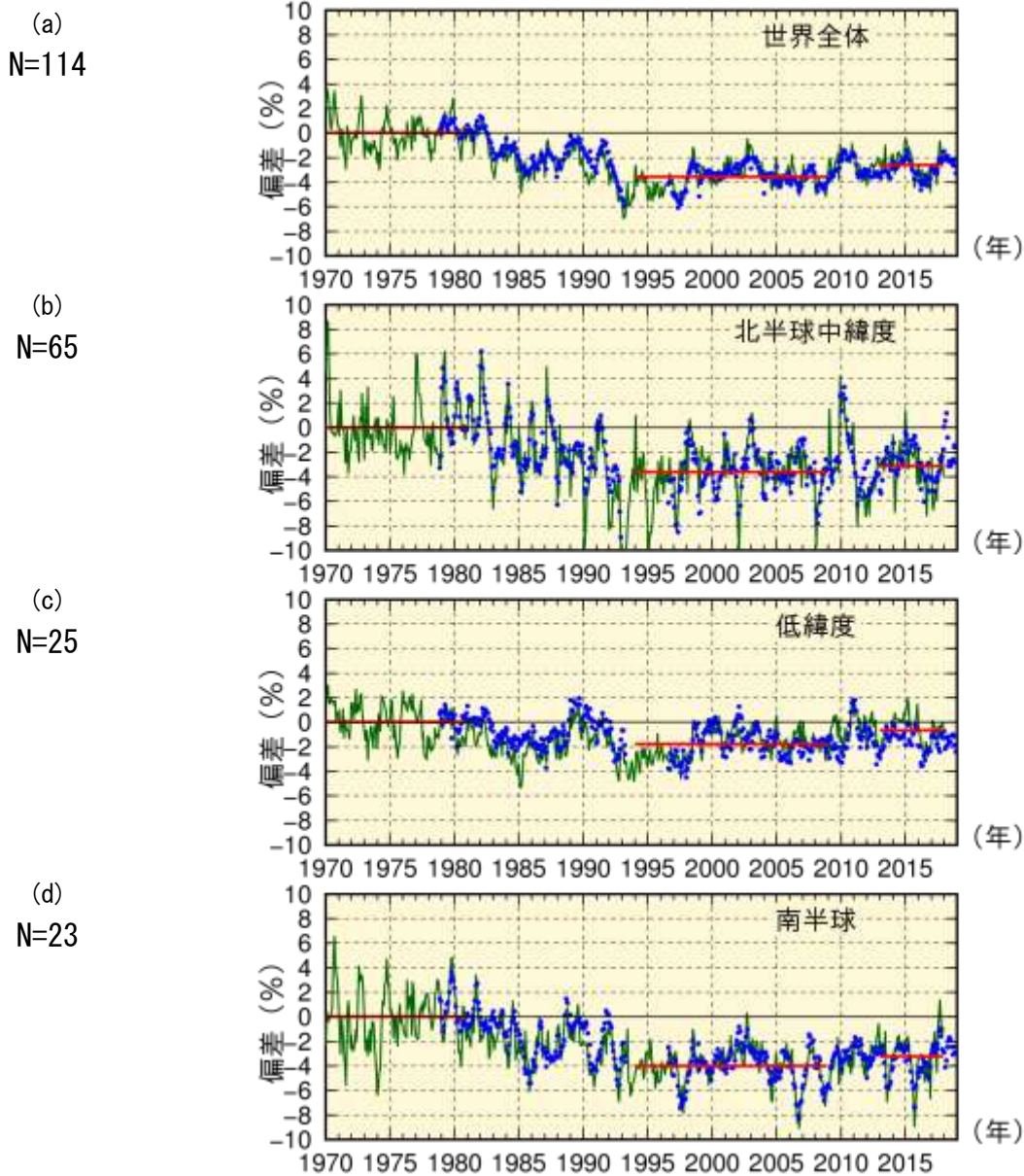


図2-1：世界のオゾン全量偏差 (%) の長期変化

緑実線は地上観測によるオゾン全量偏差 (%)、青丸は衛星観測によるオゾン全量偏差 (%) で、ともに季節変動成分を除去している (付録 2 参照)。偏差の基準は、地上観測における 1970~1980 年 (オゾン層破壊現象が顕著に現れる以前の期間) の累年平均値で、衛星観測もその基準に合わせて補正している。赤線は、それぞれ地上観測における 1970~1980 年、1994~2008 年 (世界平均のオゾン量の減少傾向が止まり、オゾン量がほぼ一定で最も少なかった期間)、及び 2013~2017 年 (全球解析が可能な最近 5 年間) の累年平均値を示す。4 つの図は、それぞれ(a)世界全体 (北緯 70 度~南緯 70 度平均)、(b) 北半球中緯度 (北緯 30~60 度平均)、(c) 低緯度 (北緯 30 度~南緯 30 度平均)、(d) 南半球全体 (0 度~南緯 70 度平均) におけるオゾン全量偏差である。地上観測データには WOUDC に登録されたデータ (付録 1-1) を選別して用いており (付録 3)、各図の左には各領域で使用した地点数 (N) を示している。また、衛星観測データには NASA 提供のデータを用いている。

オゾン全量の緯度帯毎の長期変化傾向

衛星観測による緯度帯平均のオゾン全量及び地上観測による地点のオゾン全量について、オゾン層の破壊が進んだとみられる1979～1996年の緯度毎の変化傾向を図2-2(a)に、わずかな回復がみられる2000～2018年の緯度毎の変化傾向を図2-2(b)に示す。解析に使用したオゾン全量は、太陽活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た値である(付録2、3参照)。1979～1996年の変化傾向(図2-2(a))をみると、衛星観測データでは低緯度帯の一部(北緯20度～南緯20度)を除いて有意な減少傾向がみられ、高緯度ほど減少傾向が大きくなっている。この傾向は、地上観測データでも概ね確認できる。なお、南半球高緯度は、南極オゾンホールに関連した大規模なオゾン層破壊の影響により、北半球高緯度よりも減少傾向が大きい。

2000～2018年の変化傾向(図2-2(b))をみると、衛星観測データでは、南緯10～40度を除いて有意な増加傾向がみられ、南半球高緯度(南緯60度以南)では増加傾向が大きい。地上観測データでも衛星観測データと同様の傾向がみられるが、北半球中緯度(北緯40～60度)においてはばらつきが大きい。また、南半球高緯度(南緯60度以南)では、信頼区間の範囲が他の緯度帯と比べて広く、南極オゾンホールの規模の年々変動が影響していると考えられる。

オゾン層破壊物質であるクロロフルオロカーボン類等の濃度は、大気中で緩やかに減少しており、2000年以降、オゾン全量は複数の緯度帯で増加傾向がみられる。しかし、現在のオゾン層破壊物質の減少によるオゾン全量の増加量は、自然変動(付録2参照)と比べて小さいため、オゾン層破壊物質の減少によるオゾン全量への影響を正確に見積もることは現状では難しい(WMO, 2014)。

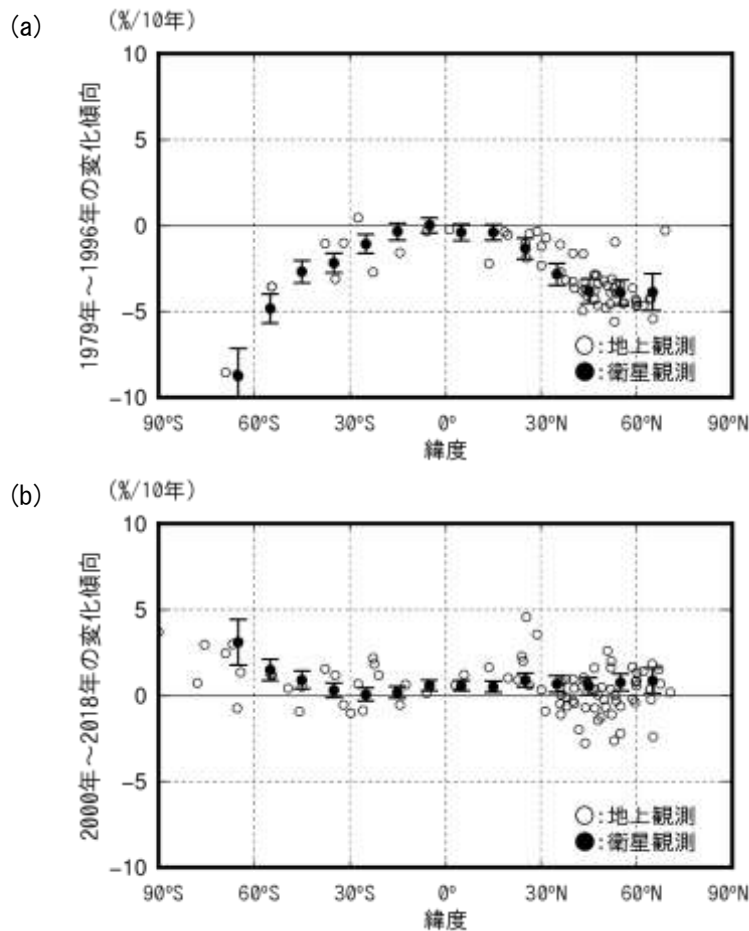


図2-2：オゾン全量の長期変化傾向の緯度帯別分布

(a)1979～1996年の変化傾向と(b)2000～2018年の変化傾向。

衛星観測データは緯度帯(10度)毎にプロットしている。衛星観測データの縦線は95%信頼区間の範囲。WUODCに登録された地上観測データ(図2-1で用いた地点に南北70度以上の地点を加えた121地点の観測データ)及びNASA提供の衛星観測データ(南北70度以内)から作成。

オゾン全量の季節変化の緯度別長期変化を、1979～1996年（図2-3(a)）及び2000～2018年（図2-3(b)）の変化傾向（%）として示す。図中の等値線は、増加傾向（+）と減少傾向（-）を示し、その傾向が95%信頼度で統計的に有意である領域を薄い陰影で示している。1979～1996年のオゾン全量の変化傾向（図2-3(a)）をみると、低緯度帯を除いた南北両半球のほとんどの領域において年間を通して有意な減少傾向がみられた。北半球高緯度では3～4月に、南半球中高緯度では8～12月にオゾンの減少の割合が大きく、極域における冬季から春季にかけてのオゾン層破壊の影響が比較的大きかったことを示している。

2000年以降の変化傾向（図2-3(b)）をみると、ほとんどの領域で増加傾向であるが、有意な増加傾向は南半球高緯度の1～8月や低緯度の7～12月等の一部の領域のみとなった。南半球高緯度では8～9月にオゾンの増加の割合が大きいが、増加が有意な領域は8月に現れているのみで9月は有意とはなっていない。その理由は、これらの領域では、毎年の南極オゾンホール規模やオゾンホールの影響の及ぶ緯度が移り変わることによる年々変動が大きいことにある。

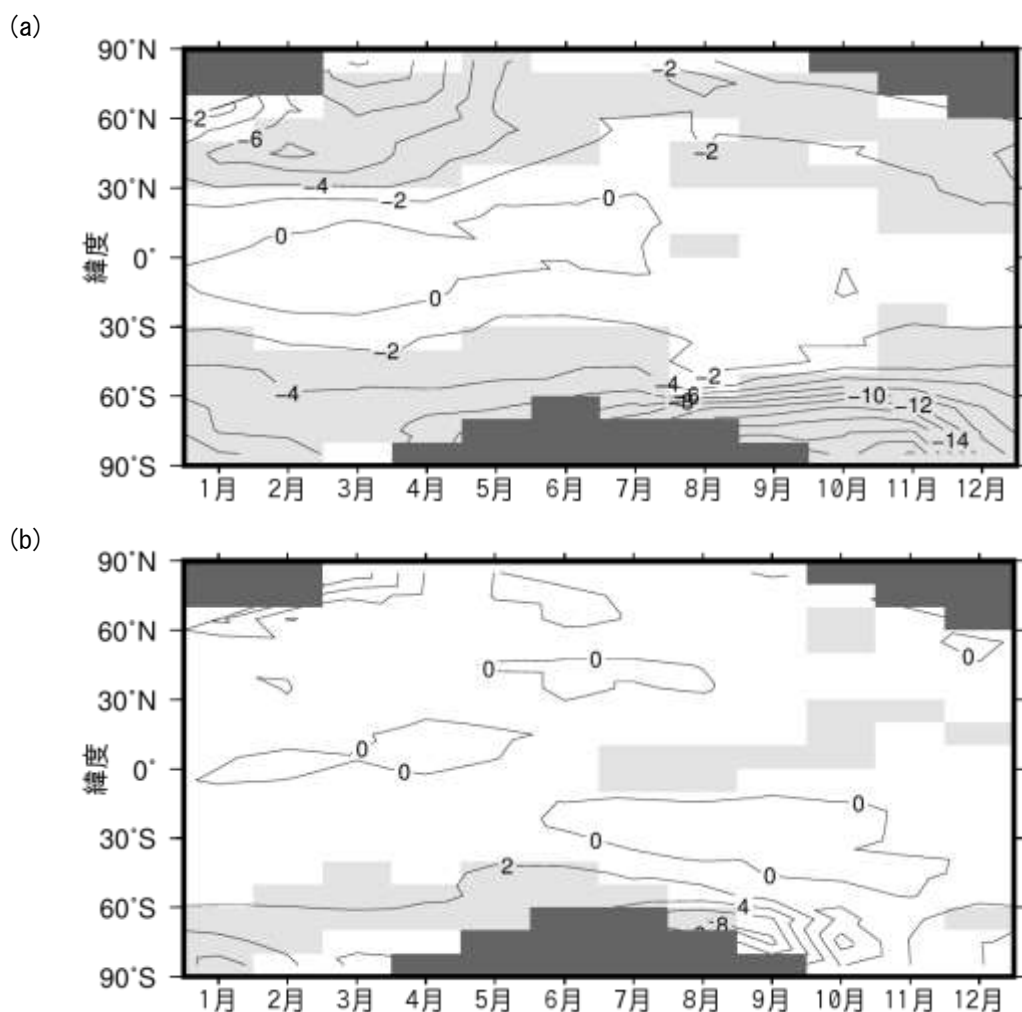


図2-3：オゾン全量の季節変化の緯度別長期変化傾向

(a)1979～1996年のオゾン全量の変化傾向及び(b)2000～2018年のオゾン全量の変化傾向の月別分布(%/10年)。衛星観測による帯状平均オゾン全量データを用いて求めた。等値線間隔は2%。薄い陰影部は95%信頼区間で有意に増加又は減少している領域。濃い陰影部は太陽高度角の関係で観測できない領域。NASA提供の衛星観測データから作成。