

第3章 南極オゾンホール⁵

3-1 2013年の南極オゾンホールの状況

2013年の南極オゾンホールの面積は9月16日に最大となり、観測された年最大値は2,340万km²で過去(2003~2012年)の平均値と同程度だった。
2013年の南極オゾンホールの期間の昭和基地上空の月平均オゾン全量は、9~11月に「多い」となった。

衛星による観測

衛星観測データ(付録1-3参照)の日別値から求めた2013年の南極オゾンホールの規模の推移を、図3-1に示す。2013年の南極オゾンホールは、例年と同様に8月に発生した後、過去(2003~2012年)の同時期と比べて同程度か小さい規模で推移し、9月16日に今年最大の面積である2,340万km²(南極大陸の約1.7倍)まで拡大した。その後、南極オゾンホールの面積は、10月上旬以降急速に縮小し、過去(2003~2012年)の同時期と比べて小さい規模で推移し、11月18日に消滅した(図3-1a)。オゾン欠損量は9月16日に年最大値である7,450万トン、最低オゾン全量は9月29日に年最低値である115m atm-cmとなった。

2013年の最大面積は、過去(2003~2012年)の平均値(2,500万km²)と同程度だった。2013年のオゾン欠損量の年最大値は、過去(2003~2012年)の平均値(8,530万トン)と同程度だった。最低オゾン全量の年最低値は、1990年代以降で2002年、2012年、2010年について4番目に高かった。

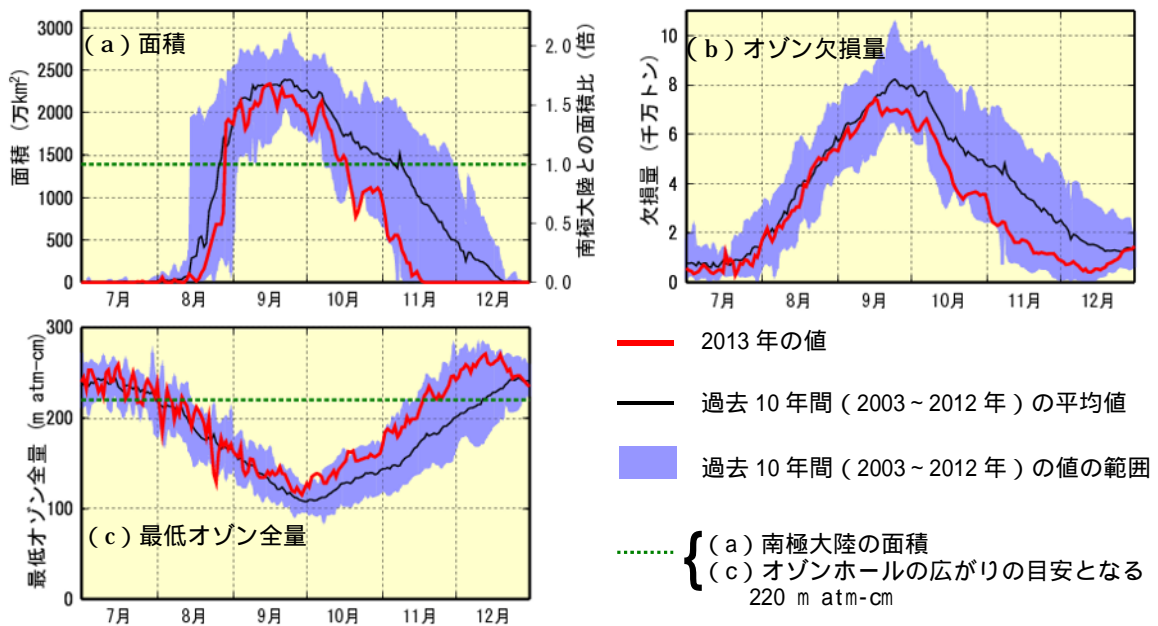


図 3-1 : オゾンホールの規模 (2013年7~12月)
NASA提供の衛星データをもとに気象庁で作成。

⁵ 南極オゾンホールの規模の定義については巻末の「用語解説」を、オゾンホール詳細については気象庁ホームページ「南極オゾンホール」(http://www.data.jma.go.jp/gmd/env/ozonehp/3-30ozone_o3hole.html)を参照。

南極昭和基地における地上観測

昭和基地で観測したオゾン全量日代表値の2013年の推移を図 3-2に示す。

9月下旬に南極オゾンホールが目安である220 m atm-cmを大きく下回り、9月25日に2013年の最小値である161 m atm-cmを記録した。しかし、その直後から10月中旬までは、オゾン全量が220 m atm-cmを上回ることが多くなり、特に10月はじめには400m atm-cmを上回る日もあった。年毎のオゾンホールの規模と分布の違いにより、昭和基地上空のオゾン全量は大きく変動する事がある。9月末から10月にかけてみられた昭和基地上空のオゾン全量の大きな変動は、大気擾乱によって南極オゾンホールが移動または変動したことに対応する。なお、2013年の南極オゾンホールは11月半ばまで存在していたが、昭和基地上空では11月6日以降はオゾン全量が220 m atm-cmよりも高くなり、以後ほぼ300～370 m atm-cmの範囲で推移した。

2013年の南極昭和基地上空の月平均オゾン全量を参照値と比較すると、南極オゾンホール期間の9～11月に「多い」となり、12月は平年を上回ったものの「並」の範囲内だった(図 3-3)。

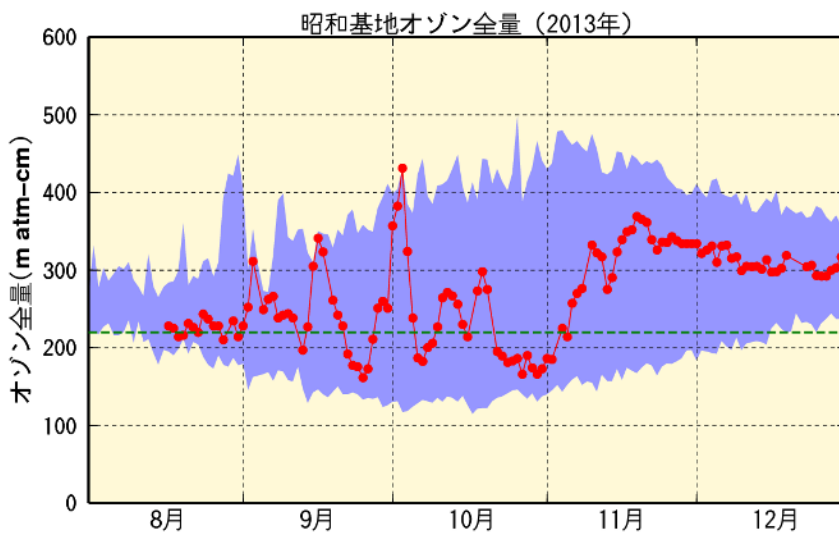


図 3-2：南極昭和基地におけるオゾン全量日代表値（2013年8～12月）

は2013年の観測値（日代表値）。濃い青色の領域の上端と下端は観測開始（1961年）以来の最大および最小値。緑色の横点線は南極オゾンホールの目安である220 m atm-cmの値。

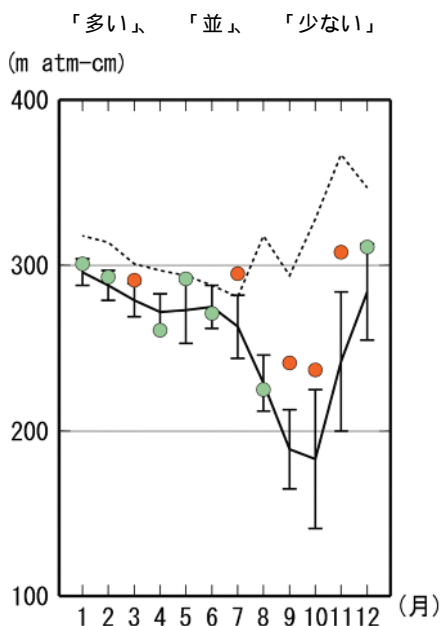


図 3-3:2013年の南極昭和基地における月平均オゾン全量

印は2013年の月平均値。実線は参照値（1994～2008年の累年平均値）で、縦線はその標準偏差である。点線はオゾンホールが出現する以前の1961～1980年の累年平均値。参照値からの差が標準偏差以内のときを「並」、それより大きいときを「多い」、それより小さいときを「少ない」とした。

南極昭和基地におけるオゾンゾンデ観測

南極オゾンホールの特徴は、通常オゾン量が多い50hPa（高度19km）付近におけるオゾンが大きく減少することである。2013年の昭和基地上空におけるオゾン分圧の鉛直分布を図3-4に示す。図3-4aをみると、2013年も、50hPa（高度19km）付近でオゾンの減少がみられ、1～8月に100～30hPa（高度15～23km）付近で10mPa以上となっていたオゾン分圧が、9月中旬～11月上旬にかけて2.5mPa以下と極めて低い値となった。ただし、昭和基地がオゾンホールの外側に位置した10月はじめには80～50hPa（高度16～19km）付近で15mPaを上回るオゾン分圧が観測され、オゾンホールが消滅した11月中旬以降は、100～20hPa（高度15～25km）の広い範囲でオゾン分圧が12.5mPa以上と高くなり、12月もやや縮小しながら継続した。このことは、昭和基地のオゾン全量が11月6日以降、220 m atm-cmを上回るようになった（図3-2）こととも対応している。

月平均値の規格化偏差（図3-4b）をみると、11月の100hPa（高度15km）付近で規格化偏差が+3以上となり、+5以上となった時期もあった。

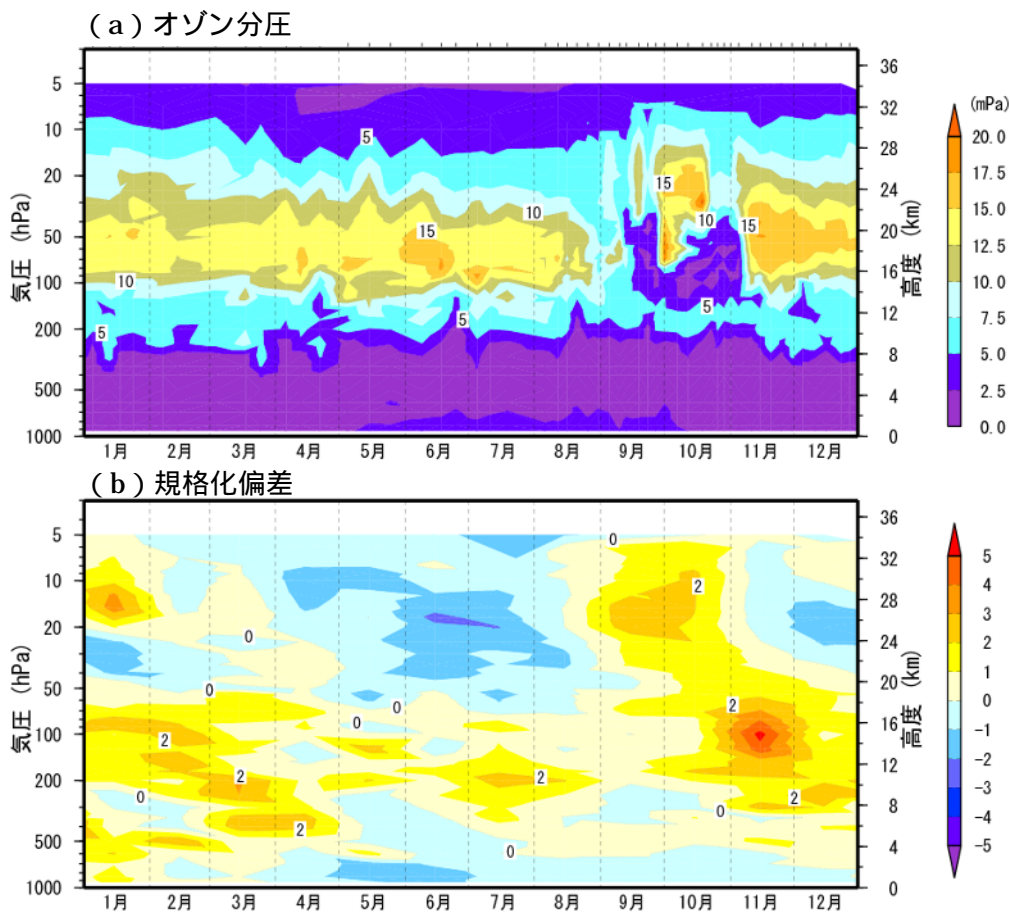


図 3-4：南極昭和基地の (a) オゾン分圧と (b) その規格化偏差の高度分布（2013年1～12月）

オゾン分圧図 (a) は個々の観測値を、規格化偏差図 (b) は月平均値を用いて作成。規格化偏差は月平均値の参照値からの偏差を標準偏差で割った値。観測データの無い高度については、前後の期間のオゾン分圧から内挿処理を行っている。なお、参照値および標準偏差の図は、気象庁ホームページ (http://www.data.jma.go.jp/gmd/env/ozonehp/3-20ozone_avemap.html) に掲載している。

2013年のオゾンホールに関連する下部成層圏の気象状況

南極オゾンホールの形成に大きな役割を果たす極域成層圏雲（巻末「用語解説」参照）が生成されるための気象条件は、南半球の冬季から春季にかけて極渦が安定し下部成層圏の低温（ -78 以下の低温）が持続することである。冬季の極域成層圏雲の面積が大きいほど、その年の南極オゾンホールの規模が大きくなる傾向がある。

2013年の南極下部成層圏（50hPa）の領域最低気温⁶（図I3-5a）は、例年と同じ5月中旬～10月上旬の期間 -78 以下であり、8月中旬までは過去の平均値（1979～2012年）より概ね低く推移した。その後過去の平均値を中心に上下し、10月中旬以降はほとんどの期間で過去の平均値より高い状態だった。また、南極オゾンホールの規模と密接な関係のある -78 以下の領域の面積（図I3-5b）は、6月下旬まで過去の平均値より大きく推移したが、7月から9月中旬までは過去の平均値を中心に上下し、9月下旬以降は概ね過去の平均値より小さくなり、10月上旬に面積がゼロとなった。

2013年の南極オゾンホールの規模は、最盛期には過去の平均値（2003～2012年）と同程度の規模となったが、10月以降は過去の同時期と比べて小さく推移し、早めに縮小した。これは、南極下部成層圏の気温が10月以降、例年と比べて高く推移したこと、また、極渦が安定せず、低緯度側からのオゾン量の多い空気塊の流入が促進され、南極オゾンホールの発達が妨げられたことが要因と考えられる。

⁶ 「オゾン層・紫外線の年のまとめ（2011年）」においては、南極下部成層圏として30hPaの気温データを用いていた。しかし、WMOの報告等では50hPaのデータが用いられることが多く、最大オゾン欠損量との相関も良いことが確認されているため、「オゾン層・紫外線の年のまとめ（2012年）」よりこれを用いることとする。

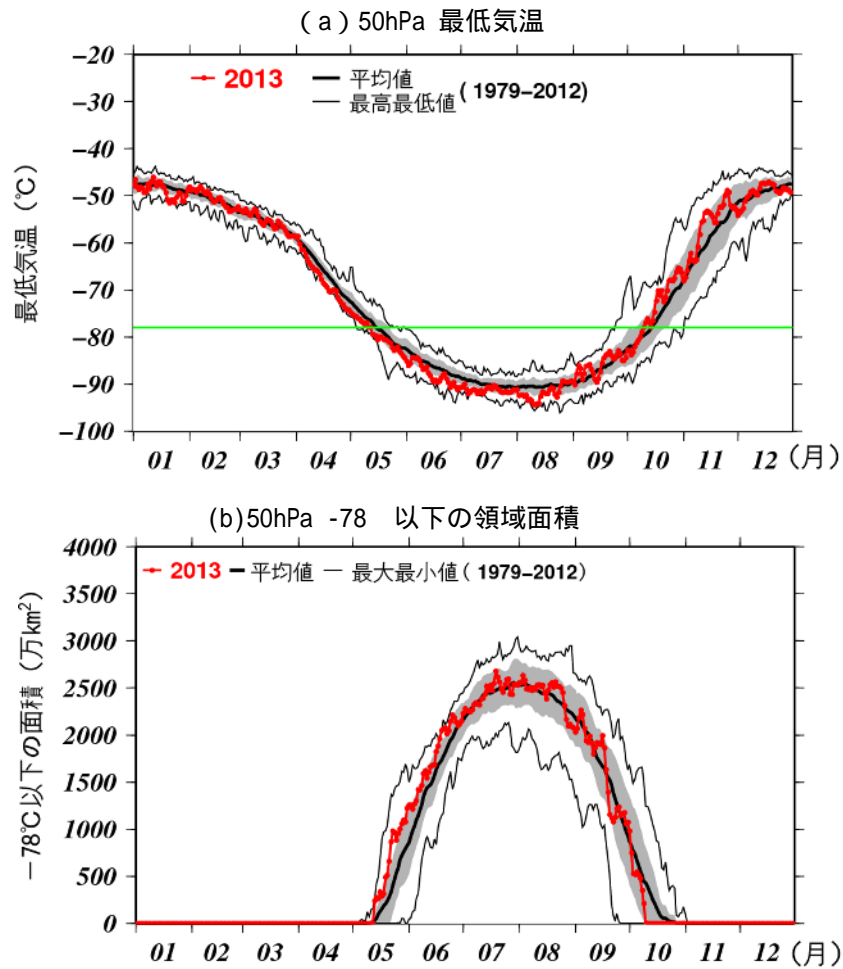


図 3-5 : 2013年の南極域上空の (a) 下部成層圏の最低気温および (b) 気温が-78 以下の領域の面積

2013年の南緯60度以南の50hPa (高度約20km) 面における (a) 日別の領域最低気温と (b) 極域成層圏雲の出現する目安となる -78 以下の領域の面積。陰影中の黒太実線は1979~2012年の累年平均値。陰影の外黒細実線は同期間の最高(最大)値および最低(最小)値。陰影は標準偏差の範囲。(a)の横の緑線は極域成層圏雲出現の目安である -78 。米国海洋大気庁・米国大気研究センター (NCEP-NCAR) による解析値 (Kalnay *et. al*, 1996) をもとに作成。

3-2 南極オゾンホール長期変化

- ・南極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年代半ば以降は、年々変動はあるものの長期的な増加傾向はみられなくなった。
- ・南極昭和基地における9～12月の月平均オゾン全量は、1980年頃から減少し、1990年代半ば以降は少ない状態が続いている。
- ・南極昭和基地のオゾンゾンデ観測による高度12～20kmの10月の月平均オゾン量は、1980年代に急激に減少し、1990年代後半以降のほとんどの年で1970年代と比較して20%以下の少ない状態だった。

衛星観測データからみたオゾンホールの経年変化

南極オゾンホールの面積とオゾン欠損量の年最大値、および年最低オゾン全量の経年変化を図3-6に示す。これによると、南極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。1990年代半ば以降は、年々変動はあるものの、長期的な増加傾向はみられなくなった。しかし、南極オゾンホールの規模は依然として大きい状態が続いている。

南極オゾンホールの規模には、オゾン層破壊物質の濃度の変化にともなう長期的な変化に加えて年々変動がみられる。特に、2000年以降は、年々変動が大きい傾向があり、2002年、2004年、2010年、2012年は南極オゾンホールの規模が一時的に小さくなっている。このような年々変動は、南極域上空の成層圏の大気の変動に関係しており、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いる。

図3-7に、南極オゾンホールの目安である220 m atm-cm以下の領域が消滅した日の経年変化を示す。消滅日は1990年頃まで年々遅くなる傾向があった。2013年の消滅日は11月18日であり、1990年代以降では2002年、2012年について3番目に早かった。

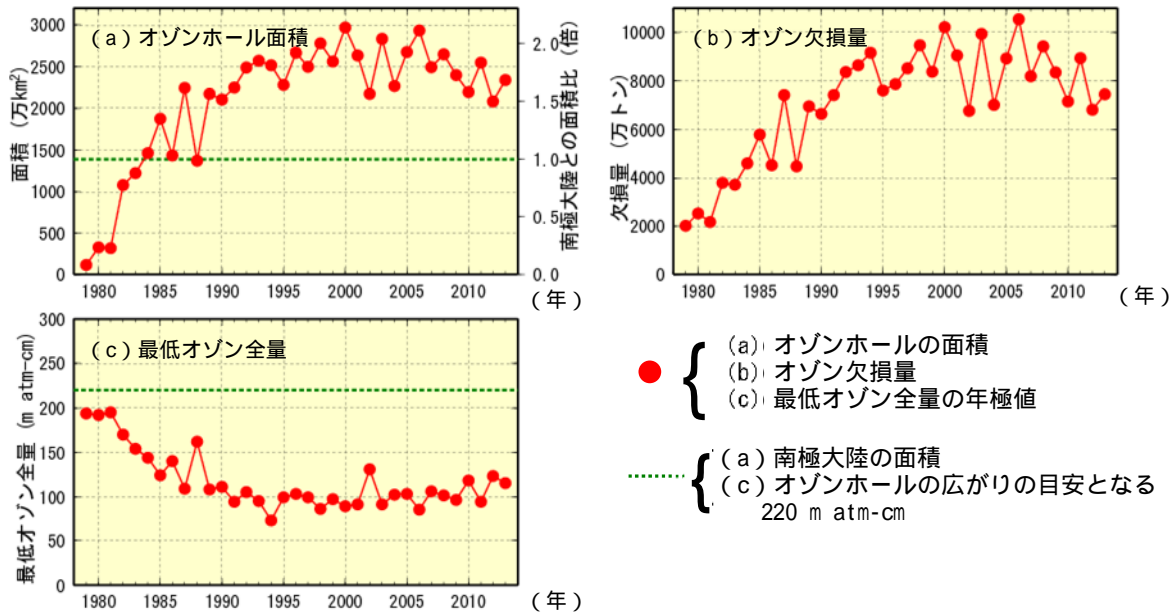


図 3-6：オゾンホールの規模の経年変化

NASA 提供の衛星データをもとに作成（主に TOMS/OMI データを使用。1995 年のみ TOVS の高分解能赤外放射計のデータを使用）。

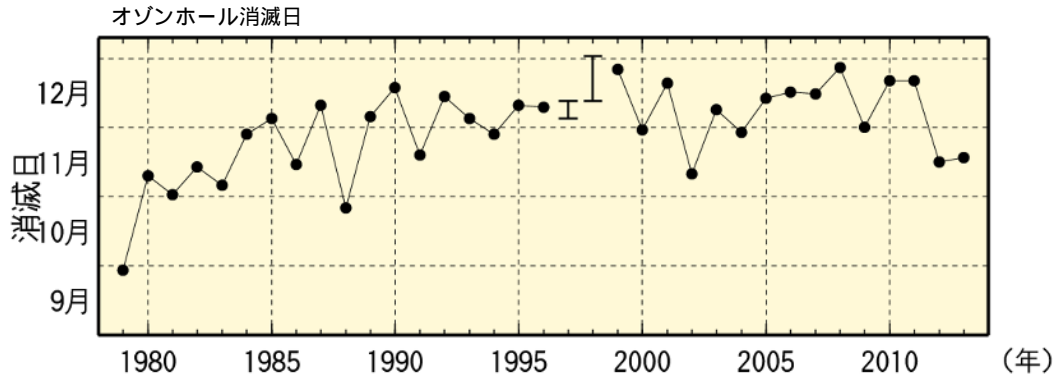


図 3-7：オゾンホールの消滅日の経年変化

1979～2013年の220 m atm-cm以下の領域が消滅した日の経年変化。NASA提供の衛星データをもとに作成。ただし、1995年はSBUV/2、2005年以降はOMIのデータをもとに作成した。なお、1997年と1998年については、衛星データの一部(1997年12月5日～13日、1998年12月13日～1999年1月2日)が得られていないため、消滅日を特定できていないが、縦棒で示した期間中に消滅したと推定される。

南極昭和基地上空のオゾン量の経年変化

南極昭和基地における春～秋季にかけての月平均オゾン全量の経年変化を図 3-8に示す。南極オゾンホールのない時期(1～3月)と比較すると、南極オゾンホールの時期にあたる9～12月のオゾン全量は1980年頃から減少し、1990年代半ば以降は少ない状態が継続している。昭和基地でのオゾン量の変化が必ずしも南極オゾンホールの規模の変化をそのまま反映しているわけではないが、昭和基地上空は南極オゾンホールの縁辺となることが多く、南極オゾンホールの規模の目安となっている。9～11月の時系列において、2002年にオゾン全量が急増しているのは、2002年9月に発生した南極域の成層圏突然昇温がもたらした、成層圏の気温が過去50年で最高となるような特異な気象条件に対応しており、昭和基地も含め南極全域でオゾン破壊が大規模には進まなかったことによる。2013年の南極オゾンホール時期(9～12月)のオゾン全量は、12月を除き1990年代半ば以降の中では多かった。

図 3-9に、昭和基地のオゾンゾンデ観測による10月の高度12～20kmの層内における月平均オゾン量の経年変化を示す。この高度のオゾン量は、南極オゾンホールの発達にともなって大きく減少するため、南極オゾンホールの長期的な変化傾向についてのよい指標になる。この高度のオゾン量は、1980年代に急激に減少した後、1990年代初め以降は低いレベルで推移しており、1990年代後半以降のほとんどの年は、1970年代と比較して20%以下という少ない状態だった。2013年は約30%とやや高い値となった。10月の極小値は1992年に現れているが、これはピナトゥボ火山噴火(1991年6月)に起因するエアロゾル粒子がこの時期に成層圏に多く混入し、エアロゾル粒子表面での不均一反応のためにオゾン破壊が促進されたためと考えられる。一方、2002年は上述したように南極域で成層圏突然昇温が発生したため、オゾン層破壊が大規模にならなかった。

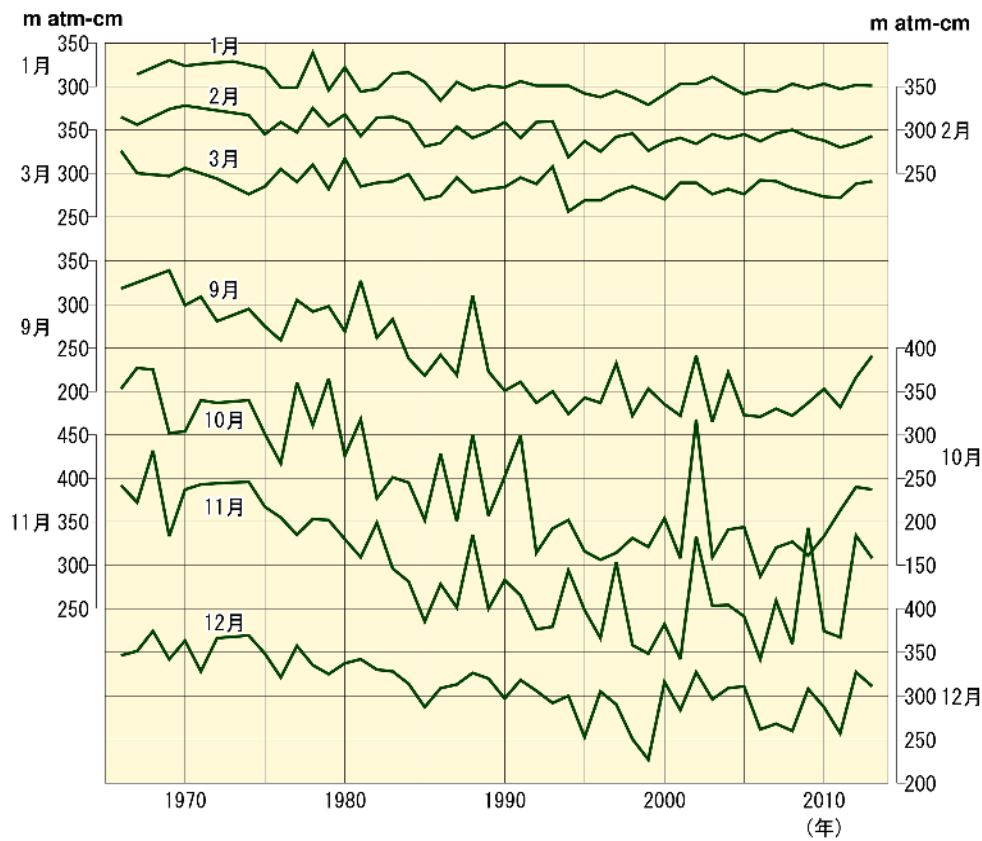


図 3-8：南極昭和基地における月平均オゾン全量の経年変化

この図では、観測値をそのまま使用した（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は除去していない）。

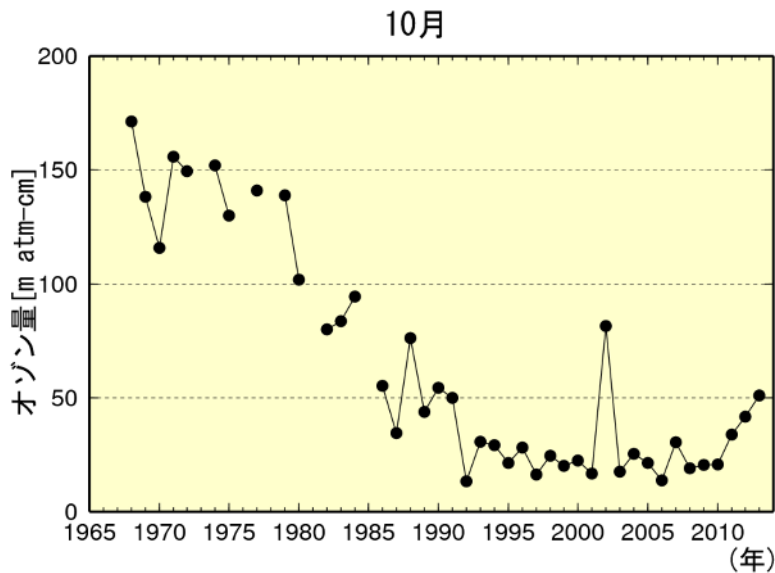


図 3-9：南極昭基地上空（高度12～20km）の10月の月平均オゾン量の経年変化

この図の値は、観測値をそのまま使用した（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は除去していない）。

南極昭和基地上空のオゾンの長期変化傾向

南極昭和基地上空のオゾンの鉛直分布の長期変化傾向を示すため、2013年の成層圏におけるオゾン分圧の1979年に対する変化の割合(%)の高度分布を図 3-10a, bに示す。これは、オゾンゾンデ観測による高度別オゾン分圧について、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のち折れ線フィッティングにより求めた値である。これをみると、通年では100 hPa (高度15km) 付近でのオゾン減少が大きく、春季(9~11月)はそれが特に顕著である。

1997年以降の変化傾向を図 3-10c, dに示す。通年では200hPa (高度10 km) ~ 70hPa (高度18 km) 付近で、春季では70hPa (高度18km) ~ 150hPa (高度13km) 付近で有意な増加傾向がみられたが、それ以外の高度では有意な傾向はみられなかった。このように、昭和基地上空のオゾンは、1997年以降一部高度で有意な増加傾向もみられるが、1979年時点と比べれば、依然として広い高度範囲でオゾン分圧の低い状態が続いているといえる。

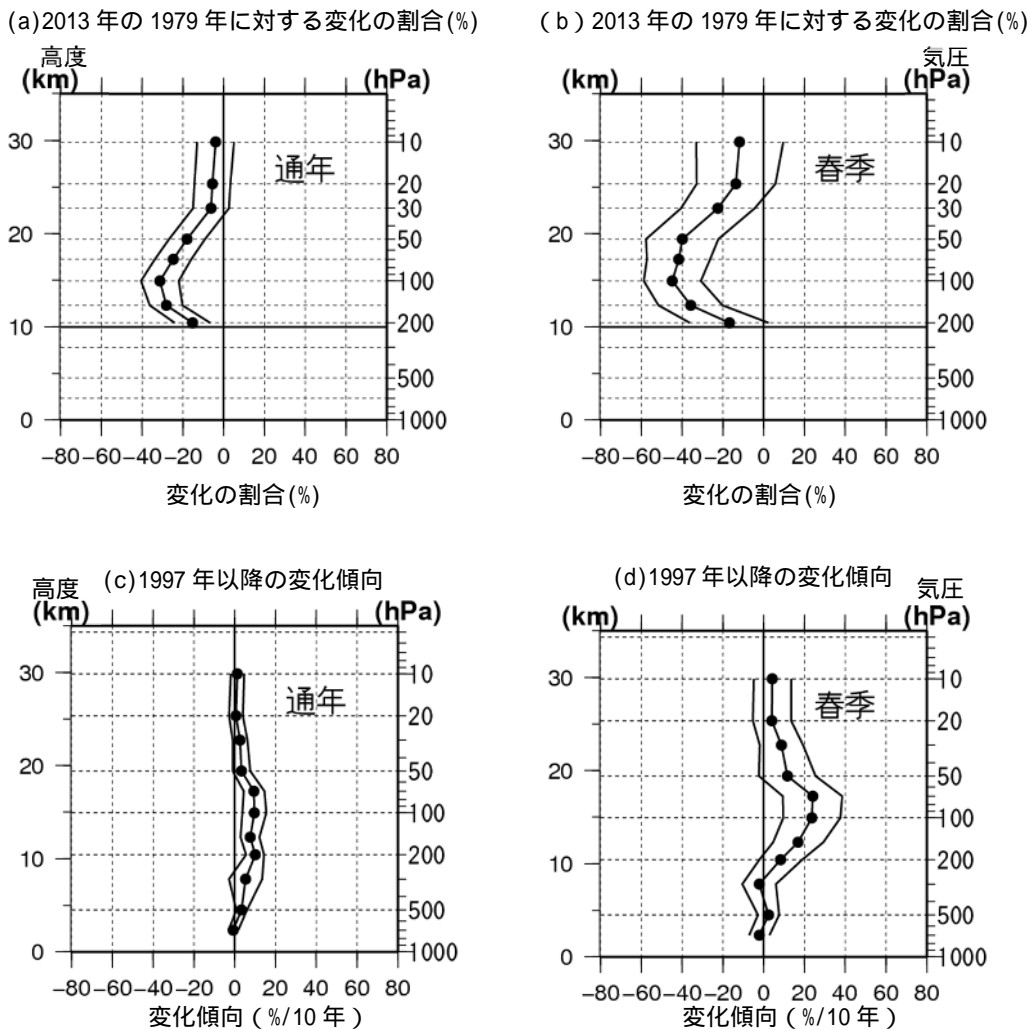


図 3-10：南極昭和基地におけるオゾン分圧の長期変化傾向の高度分布

オゾンゾンデ観測から求めた高度別オゾン分圧の長期変化傾向。上段 (a, b) は2013年の成層圏におけるオゾン分圧の1979年に対する変化の割合(%)。下段 (c, d) は1997年以降の変化傾向(%/10年)。横軸は変化量、縦軸は高度。外側の折線は95%信頼区間。左 (a, c) は、通年で月別値(1~12月)から、右 (b, d) は春季で、月別値(9~11月)の値から求めた変化傾向。折れ線フィッティングによる長期変化傾向の解析から求めた。