

図2 - 2 - 5 : つくば上空でのHClの平常値(バックグラウンド値)に対する鉛直積算量の比
 2001年2月つくばにおいて、フーリエ変換型赤外分光装置を用いて得られた塩化水素(HCl)の平常値(バックグラウンド値)に対する鉛直積算量の比。HClが化学的に破壊されていない場合、1.0になる。

現の目安となる - 78 以下となっており、これらの領域では極域成層圏雲と関連したオゾン破壊が起こっている可能性がある。オゾンの破壊に関与する塩素原子は、大気中で比較的安定な物質である塩化水素(HCl)などの形で存在している。この塩化水素は極域成層圏雲の出現に応じて不均一反応により分解されることから、不均一反応によっても分解されにくいフッ化水素(HF)との鉛直積算量の比を測定することで、極域でのオゾンの減少が極域成層圏雲の関与した化学的なものかどうかを判断することができる。牧野等(気象研究所、2000)は、つくば上空でこの比率を観測(図2 - 2 - 5)し、2001年2月9 ~ 19日の平均に比べ、2月20日に約30%、HClが減少していることを確かめた。上記の空気塊の軌跡と合わせて、つくば上空20 ~ 30hPaのオゾン減少は、極域で極域成層圏雲が関与した不均一反応によりオゾンが破壊され、それが大気の流れによりつくば上空に達したものと考えることができる。また、80 ~ 200hPaの空気塊は、低緯度側からの移流を示しており、オゾンの少ない気塊の移流が原因と考えられる。

2 - 3 南極域上空のオゾン層

2 - 3 - 1 南極オゾンホール

1980年代初め頃、春季の南極域上空のオゾン全量は、それまでと比較すると著しく少なくなっていることが気象庁の観測により発見された。これは後にオゾンホールと呼ばれるようになった現象である。オゾンホールは、クロロフルオロカーボン等から遊離した活性塩素の増加と、南極域の冬から春にかけての特有の気象条件によって、急速なオゾン破壊が下部成層圏で起こる現象である。南極域では冬季、成層圏に形成される極渦(極夜渦ともいう)により、南極域上空とその周囲との空気の交換が著しく制限され、南極域上空の成層圏大気は周囲から孤立する。冬季は太陽光が当たらないため、極渦の内部は放射冷却により著しく低温になる。成層圏の気温が低下すると、極域成層圏雲(PSCs: Polar Stratospheric Clouds)と呼ばれる微細な粒子からなる雲が成層圏に形成される。極域成層圏雲は、硝酸や水蒸気などが低温で凝縮した液相や固相の粒子として形成され、大きく分けて下部成層圏の気温が概ね - 78 (195K)以下で発生するタイプIのものと、概ね - 85 (188K)以下で発生するタイプIIのものがある。前者には硝酸が多く含まれるのに対し、後者は氷晶(H₂O)が主成分であると考えられている(WMO, 1999)。極域成層圏雲の粒子の表面で起きる不均一反応(気体分子が固体または液体の表面で起こす反応など、異なる相の間で起こる化学反応。異相反応ともいう。)により、成層圏の塩素の大部分を占める硝酸塩素(ClONO₂)や塩化水素(HCl)といったオゾン破壊作用のない塩素化合物から塩素分子(Cl₂)が発生する(WMO, 1995)。春になって南極域上空の成層圏

に太陽光が戻ってくると、冬に蓄積された塩素分子から光解離した塩素原子がオゾン破壊を開始し、極渦内にオゾンホールが形成される。

なお、気象庁ではオゾンホールの規模の目安として南緯45度以南でのオゾンホールの面積、最低オゾン全量、オゾン破壊量の3要素を以下のように定義して用いている。オゾンホールの面積は、オゾン全量が220m atm-cm以下の領域の面積、最低オゾン全量はオゾンホール内のオゾン全量の最低値、オゾン破壊量は、オゾンホール内のオゾン全量を300m atm-cm(オゾン全量の全球平均値)に回復させるために必要なオゾンの質量をいう。

ここでは、南極昭和基地におけるドブソン計によるオゾン全量とオゾンゾンデによるオゾン高度分布、他国の南極観測基地におけるドブソン計等によるオゾン全量及びアースプローブ衛星に搭載されているTOMSによるオゾン全量等のデータを基に、2001年の南極域上空のオゾン層の状況について述べる。

2 - 3 - 2 南極昭和基地での観測

2001年の昭和最地上空の月平均オゾン全量は、2～5月はオゾンホールが明瞭に現れる以前の平均値(参照値)より5～10%程度少なかった。9月以降は非常に少ない状況が続き、9～11月には3ヶ月連続して、その月として観測開始以来の最低値を記録した(図2-2-1)。

図2-3-1は昭和基地で観測したオゾン全量の日代表値(1日の複数回の観測のうち、その日を代表する1観測値)の変化を示している。2001年には、8月下旬にオゾンホールの目安である220m atm-cm以下の値を観測した後、少ない値を継続して観測し、9月30日に2001年の最低値134m atm-cm(過去3位、これまでの最低値は1995年の128m atm-cm)を記録した。11月下旬になり、オゾンホールの変形に伴って急激にオゾン全量が増加した。その後は、縮小していくオゾンホールの周辺部に当たることが多く、大きな変動を示した。

図2-3-2は、2001年の9月から12月までのオゾンゾンデ観測で得られた高度分布、及びオゾンホールが明瞭に現れる前の1968～1980年の月平均高度分布を示している。9月に入ると次第に高度14～21km付近でオゾン分圧が低くなり始め、10月にはすべての観測で14～20km(100～50hPa)付近のオゾン分圧がほとんど0になっている。11月も1968～1980年の平均より低い状態が続いたが、高度23km(30hPa)付近でオゾン分圧が高い日もあった。12月には23km(30hPa)以上で参照値(1968～1980年の平均)並の値となったが、それ以下の高度では低い状態が続いた。

図2-3-3に、昭和基地での2001年のオゾンゾンデ観測を基にしたオゾン高度分布の推移を示す。オゾン分圧は通常、高度14～20km(100～50hPa付近)で最も高い高度分布を示す。2001年の1～8月中旬までは、この付近のオゾン分圧はほぼ10mPa以上を示していたが、8月下旬以降、この高度のオゾン分圧は

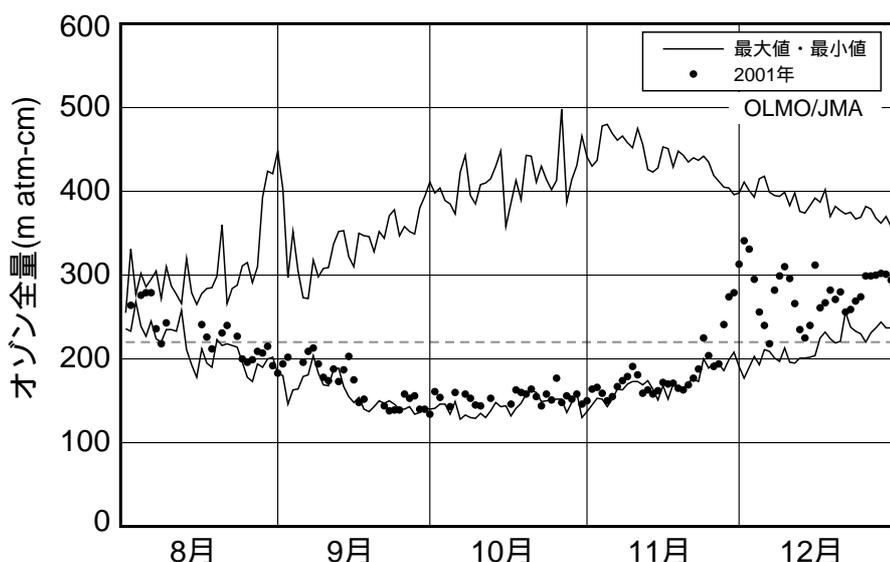


図2-3-1：南極昭和基地におけるオゾン全量の推移

図中の細実線は観測開始(1961年)以来のオゾン全量観測値(日代表値)の最大値及び最小値、●は2001年の観測値。図中の点線はオゾンホールの目安である220m atm-cm。

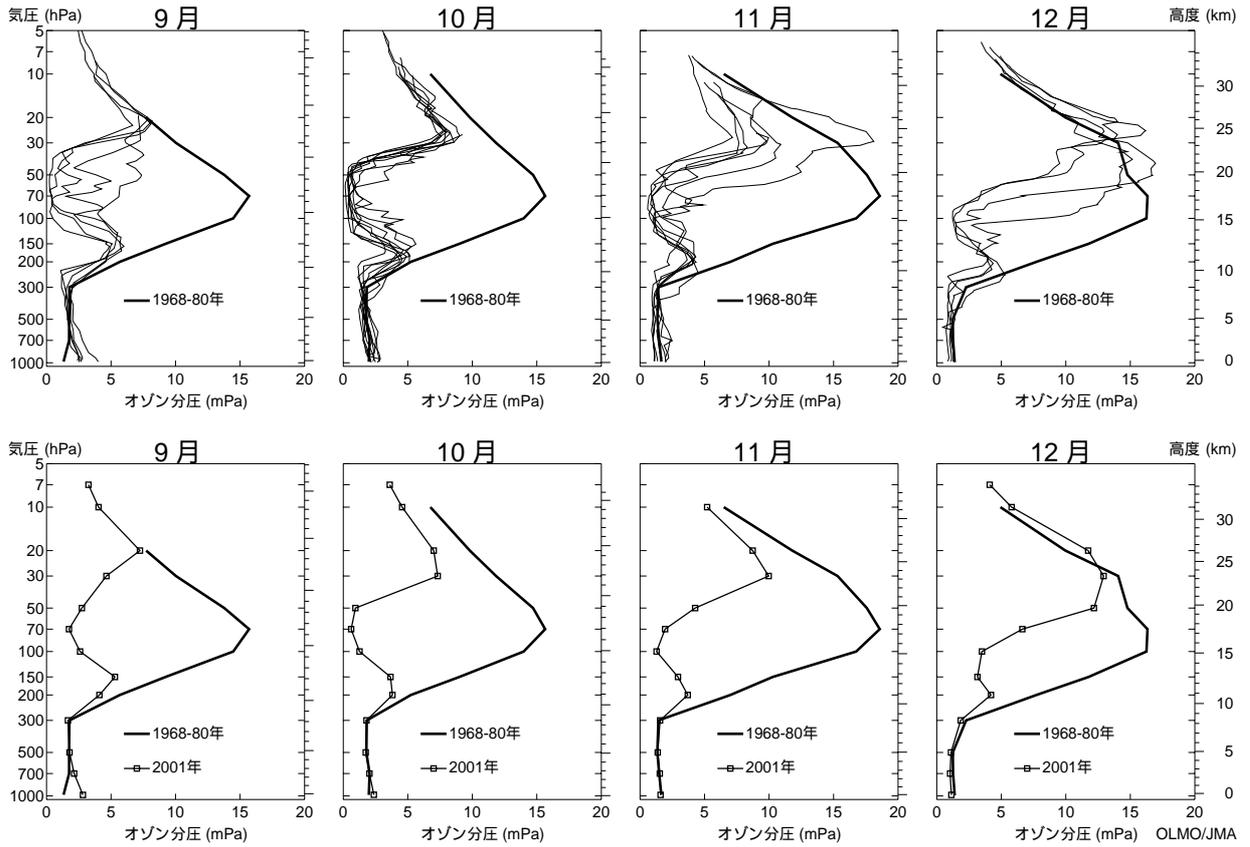


図 2 - 3 - 2 : 南極昭和基地におけるオゾン高度分布

2001年9～12月のオゾンゾンデ観測結果。上段：太実線はオゾンホールが出現する以前（1968～1980年）の平均オゾン高度分布。上段の細実線は2001年の個々の観測結果。下段：太実線は上段に同じ。- - は2001年の月平均オゾン高度分布。

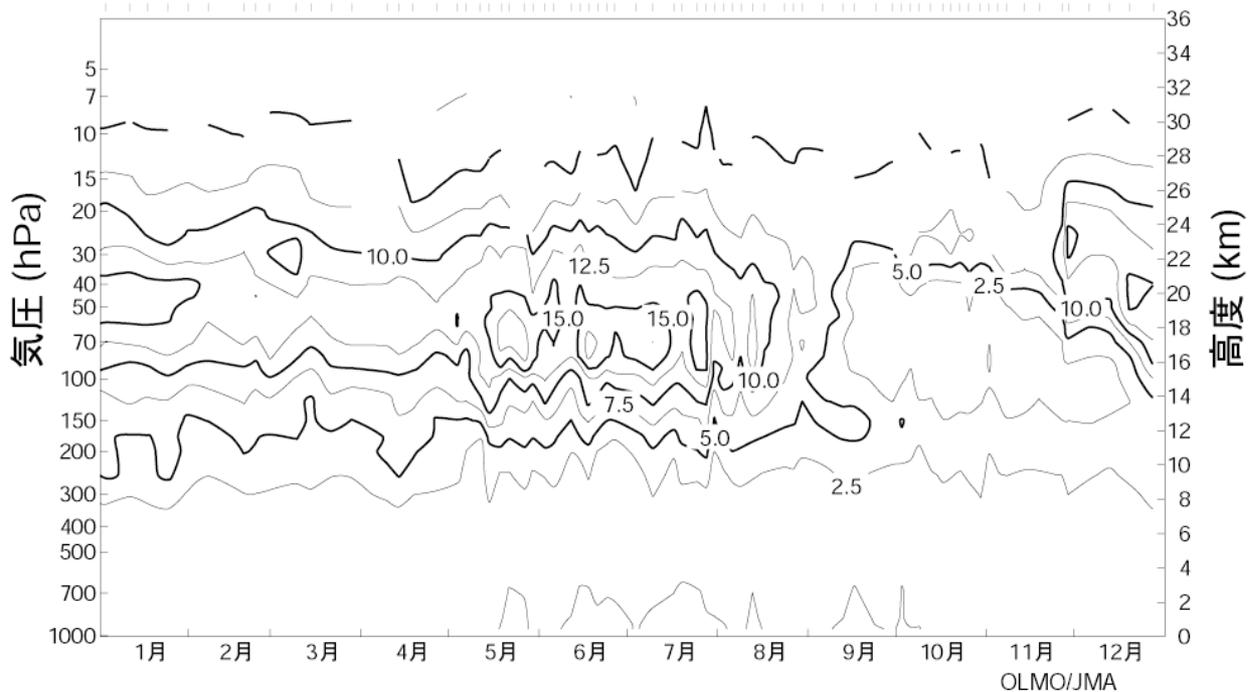


図 2 - 3 - 3 : 南極昭和基地におけるオゾン高度分布の変化図

南極昭和基地のオゾンゾンデ観測結果に基づく2001年のオゾン高度分布の変化。等値線は2.5mPa毎。

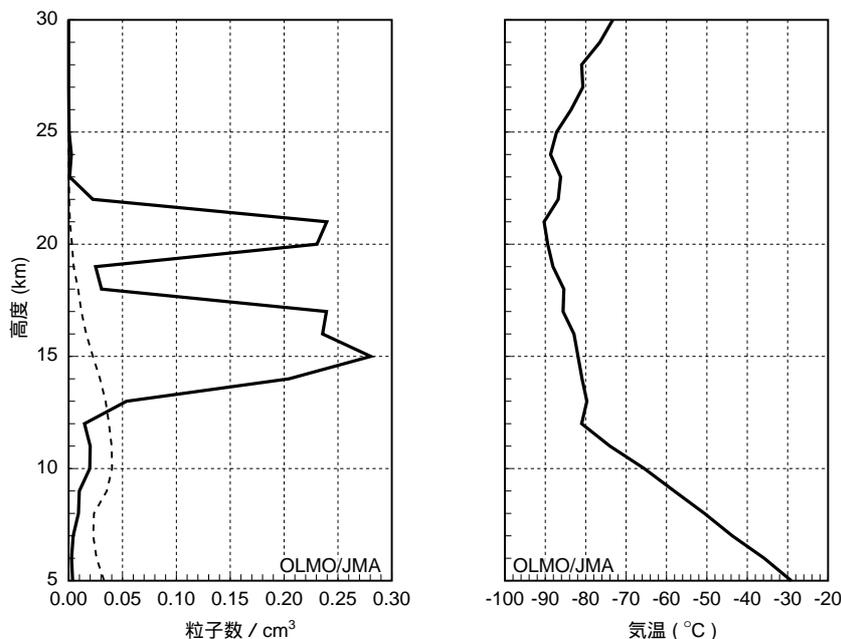


図2 - 3 - 4 : 南極昭和基地におけるエアロゾルゾンデ観測結果

南極昭和基地におけるエアロゾルゾンデ観測によって得られた上空のエアロゾル及び気温の高度分布。左図は直径 $0.8 \mu\text{m}$ 以上のエアロゾルの個数濃度で、実線は2001年6月30日の観測結果、破線は1997～2000年の観測のうち極域成層圏雲が出現しない時期の平均。右図は2001年6月30日の気温の分布。

低下しはじめ、9月中旬から12月中旬にかけて極端に低い分圧が観測された。低いオゾン分圧の中心は、9月の18km付近から12月には14km付近へと移動している。11月終わり頃に高度22～24kmを中心にオゾン分圧の高い領域が見られ、その後14km付近まで広がった。表紙の図は、9～11月のオゾンが最も破壊されやすい高度12～20kmに含まれるオゾン量の経年変化を示したものである。この図によれば、年毎の変動はあるものの、観測開始以降、オゾン量は減少傾向を示している。10月のオゾン量は1992年以降、ほぼ20～30m atm-cm付近を推移しているが、2001年の9、11月は過去最も少ないオゾン量となった。

気象庁では1997年より、オゾン層破壊に密接に関係するエアロゾル(大気浮遊微粒子、エアロゾルともいう)のゾンデ観測を昭和基地で実施している。図2-3-4に、2001年6月30日に観測されたエアロゾル及び気温の高度分布を示す。これによると高度12～28kmで-80以下の気温となっており、その中の高度15、21km付近を中心として、極域成層圏雲と見られる粒径の大きな高濃度のエアロゾルを観測している。

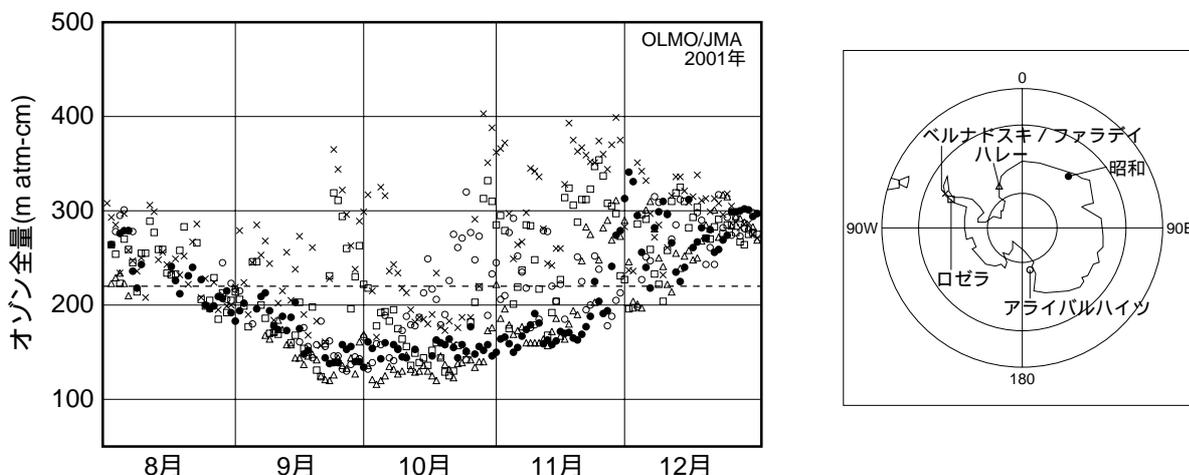


図2 - 3 - 5 : 南極各基地におけるオゾン全量の変化

昭和(印)、ハレー(印)、ベルナドスキ/ファラデイ(×印)、ロゼラ(印)及びアライバルハイツ(印)における2001年の8～12月のオゾン全量。ハレー、ベルナドスキ/ファラデイ、ロゼラの観測値はShanklin博士(英国南極研究所)提供。アライバルハイツの観測値はClarkson博士(ニュージーランド水・大気研究所)提供。