

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。

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。

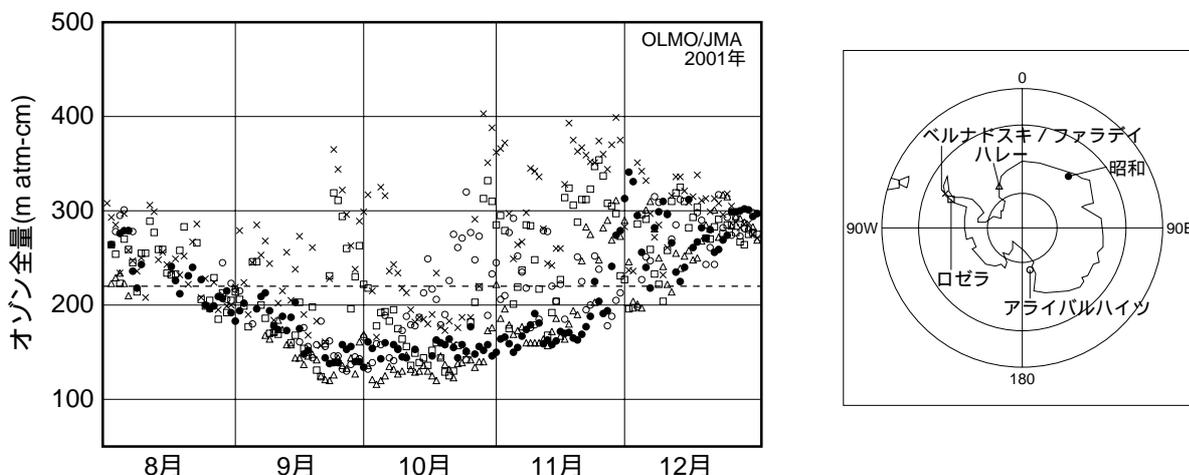


図2 - 3 - 5 : 南極各基地におけるオゾン全量の変化

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。

### 2 - 3 - 3 各国基地での観測

図2 - 3 - 5は、昭和（日本）、ハレー（英国）、ベルナドスキ（ウクライナ）/ファラデイ（英国）、ロゼラ（英国）及びアライバルハイツ（ニュージーランド）の各南極観測基地における2001年8～12月のオゾン全量の日々の観測値を重ねて表示したものである。各観測地点のオゾン全量は日々大きく変動している。これはいずれの観測地点も南極大陸の沿岸部に位置し、通常内陸部に中心を持つオゾンホールの変形・移動に伴って、オゾンホールの中に入ったり外に出たりを繰り返しているからである（図2 - 3 - 6参照）。しかし、いずれかの観測地点がオゾンホール内に位置している場合が多いので、各観測地点のデータを図2 - 3 - 5のように重ねて表示し、オゾン全量の少ない側の境界をたどることにより、オゾンホール内のオゾン全量の推移の概要を把握することができる。

2001年のオゾン全量は、衛星によるデータが得られない8月上旬には、いくつかの観測点でオゾンホールの目安である220m atm-cm以下の値が観測された。その後、8月下旬にはほとんどの観測点で220m atm-cmを下回り、12月後半にオゾンホールが解消するまで、少ない状態が続いた。しかし、南極半島にあるベ

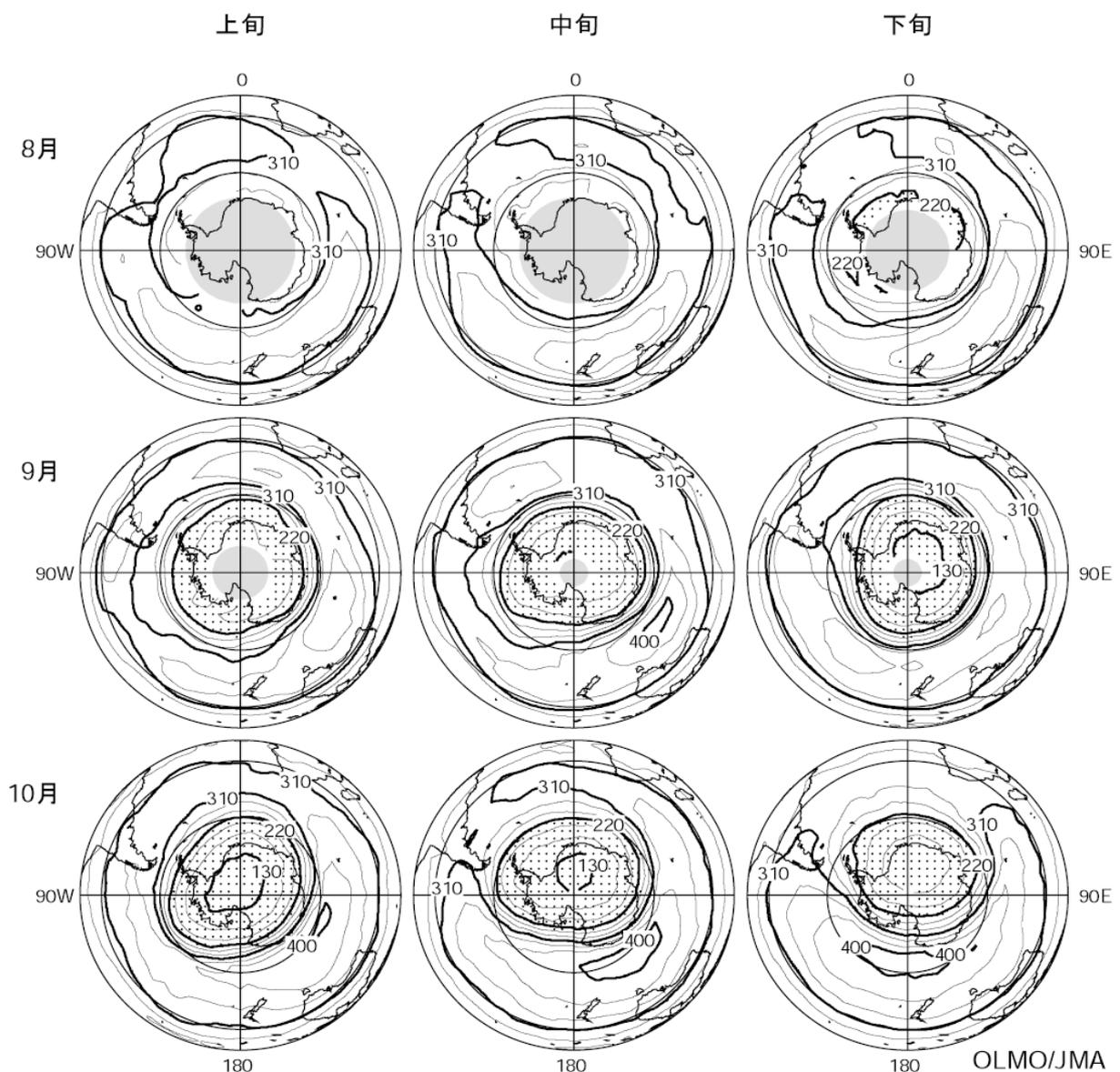


図2 - 3 - 6 (1): 2001年8月から12月の旬平均オゾン全量の南半球分布図（8～10月）

上段から8月、9月、10月の旬平均値。左の列は上旬、中央は中旬、右の列は下旬。点域は220 m atm-cm以下の領域。陰影部は太陽高度角の関係で観測できない領域。等値線間隔は30m atm-cm毎。NASA提供のTOMSデータを基に気象庁

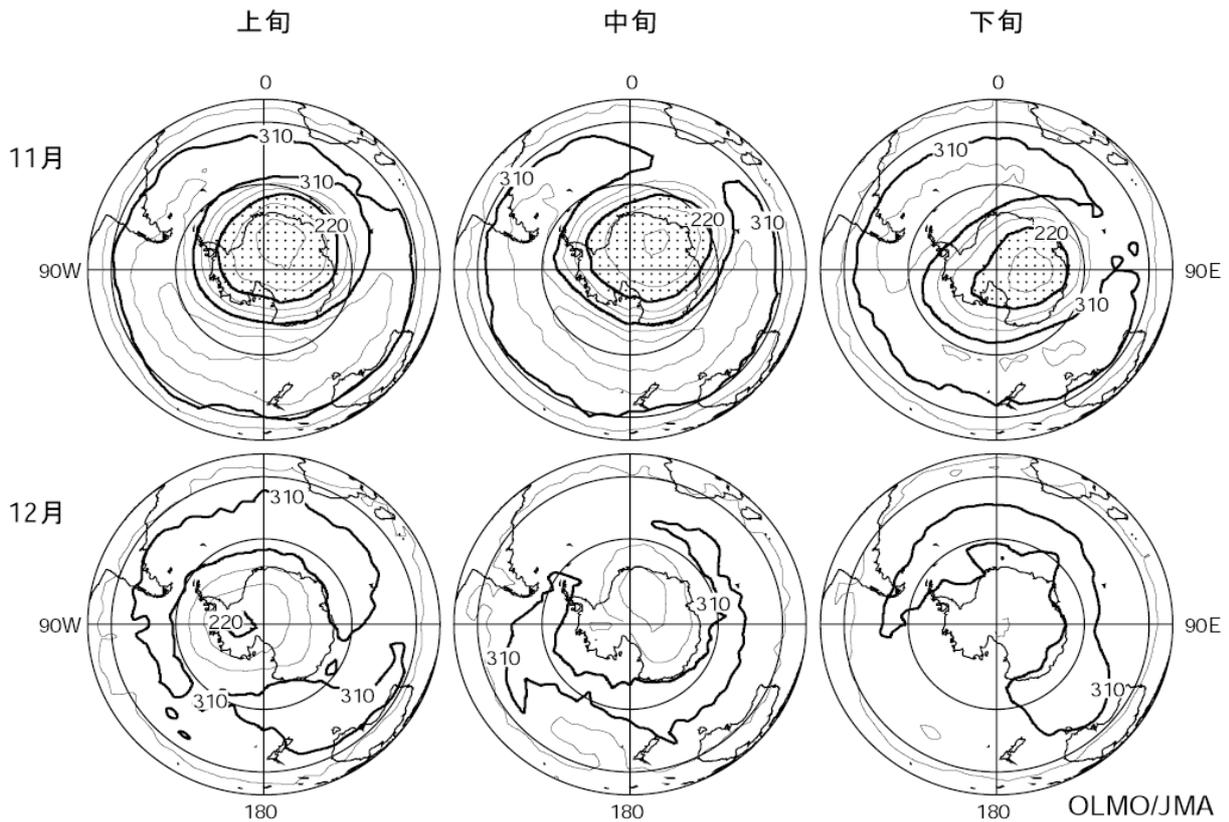


図2 - 3 - 6 (2): 2001年8月から12月の旬平均オゾン全量の南半球分布図(11~12月)  
 上段から11月、12月の旬平均値。左の列は上旬、中央は中旬、右の列は下旬。点域は220 m atm-cm以下の領域を示す。陰影部は太陽高度角の関係で観測できない領域。等値線間隔は30m atm-cm毎。NASA提供のTOMSデータを基に気象庁で作成。

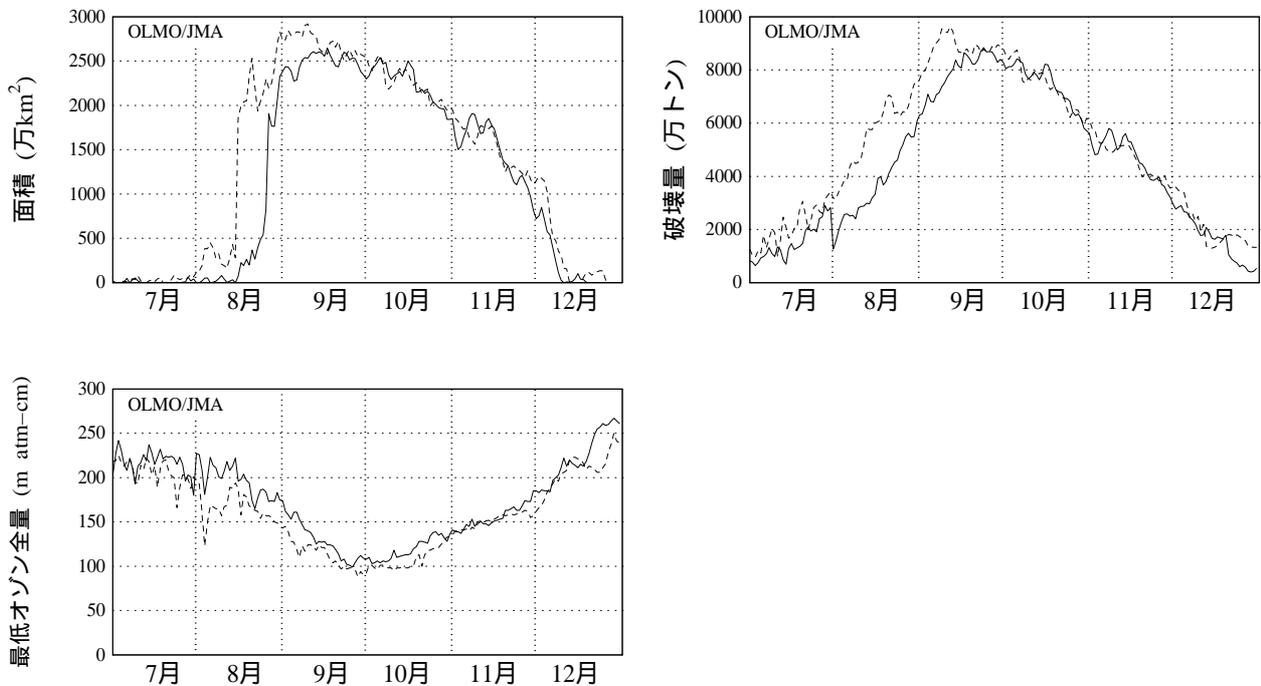


図2 - 3 - 7: オゾンホール規模の変化  
 太線は2001年の値、破線は1978~2000年の観測の中での最大値(面積、破壊量)及び最小値(最低オゾン全量)。NASA提供のTOMSデータを基に気象庁で作成。

ルナドスキ/ファラディ(×印) ロゼラ(印)は、オゾンホールの外側に位置することが多く、9月下旬、10月下旬、11月後半には、300m atm-cmを超える値を観測した。太平洋側にあるアライバルハイツでも10月中旬以降、220m atm-cmを超えるオゾン全量を頻繁に観測した。一方、昭和基地やハレーではオゾンホールの内側に位置することが多く、8月下旬から11月中旬まで非常に少ないオゾン全量を観測した。

#### 2 - 3 - 4 衛星による観測

図2 - 3 - 6にアースプローブ衛星のTOMSにより観測した8月から12月までの南半球の旬別オゾン全量分布図を示す。なお、観測には太陽光を用いるため、極夜のため観測データが取得できない領域がある。これによれば、2001年は、過去最も早くオゾンホールが発達した2000年よりやや遅れて、8月下旬になってオゾンホールの目安である220m atm-cm以下の領域が現れた。9月上旬にはほぼ南極大陸全域を覆い、9月中旬に最も広がった。9月下旬から10月中旬まで130m atm-cm以下のオゾンの少ない領域が観測された。また、前節で述べたように、9月下旬、10月下旬には南極半島の一部はオゾンホールの外側に、またアライバルハイツ付近上空は10月中旬にはオゾンホールの境界付近に位置しており、前節のオゾン全量の変化に対応している。オゾンホールは最大の面積に達した後、次第に縮小し、旬平均では12月上旬まで続いた。

図2 - 3 - 7はTOMSの日別値から求めたオゾンホールの規模の変化を示す。これによると、2001年のオゾンホールは8月下旬に急速に拡大しており、2000年よりもやや遅く発達した。9月17日に2001年最大の面積(2,647万km<sup>2</sup>、過去3位)を記録し、10月中旬まで2,300～2,500万km<sup>2</sup>で推移した。オゾンホールの面積は、9月以降11月中旬頃まで1990年以降の記録の中で最大規模の状態(10、11月月平均の面積が過去最大)を維持しつつ、次第に縮小に向かった。11月中旬以降、急激に縮小し、12月20日に2001年のオゾンホールは消滅した。これは、12月後半のTOMSデータが得られなかった1998年を除くと過去2番目に遅い消滅だった。また、オゾン破壊量で見ると、8月までは1990年代以降の平均的な規模とほぼ同じかやや大きい程度だったが、面積同様、9月中旬から11月中旬にかけて過去最大規模で推移した。2001年のオゾン破壊量の最大値は、8,841万トン(9月24日、過去3位)、最低オゾン全量は99m atm-cm(9月26日、過去6位)だった。

#### 2 - 3 - 5 下部成層圏の気象状況

オゾンホールを発達させる気象要因として、南半球の冬から春にかけて極渦が安定し、低温が持続することが挙げられる。特に、30hPa面の-78以下の面積は、オゾンホールの発達と関連が大きい(1993、気象庁)。図2 - 3 - 8に気象庁で作成した2001年の全球の解析データによる南緯60度以南の下部成層圏(30hPa面)の最低気温、及び極域成層圏雲出現の目安である-78以下の面積の推移を示す。通常、30hPa面の最低気温は、5月頃に-78より低くなり始め、7、8月に最も低くなり、10月に-78を上回る季節変化を示す。2001年の南極域の最低気温は6月中旬頃まで累年平均(1988～2000年の平均)より低く、それ以降

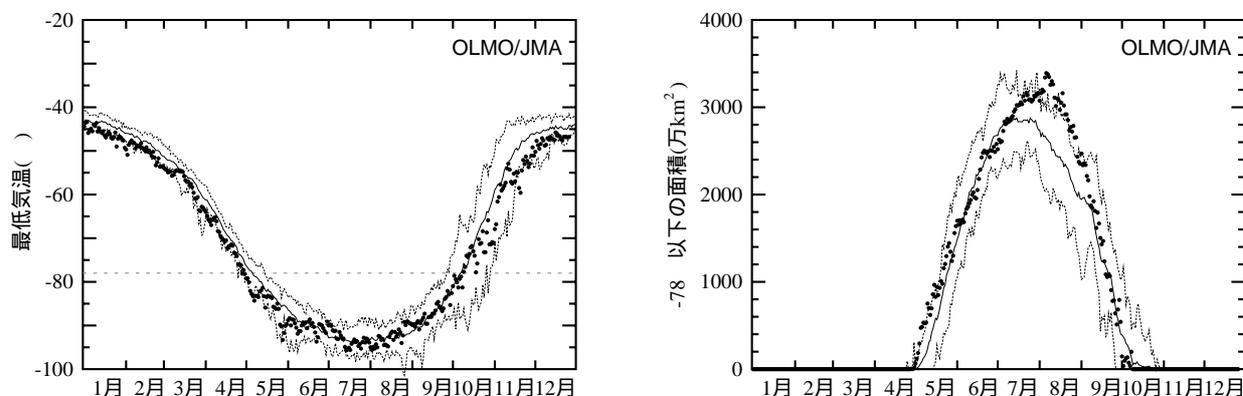


図2 - 3 - 8：南極域上空の下部成層圏の最低気温、及び気温が-78以下の領域の面積の推移  
南緯60度以南の30hPa(高度約24km)面における日別の最低気温の推移(左図)及び極域成層圏雲の出現する目安となる-78以下の領域の面積の推移(右図)。印は2001年の値、実線は1988～2000年の累年平均値、破線は同期間の最低気温(面積)の最高値(最大値)及び最低値(最小値)。なお、左図の破線は-78の値。気象庁の全球解析値を基に作成。

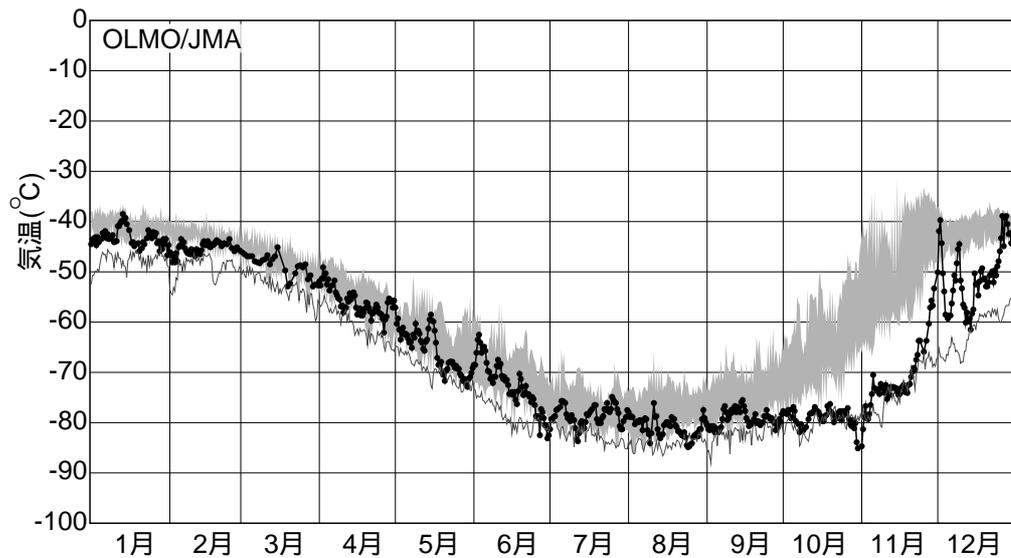


図2 - 3 - 9：南極昭和基地上空の気温の推移

南極昭和基地におけるレーウィンゾンデ観測に基づく100hPa(高度約16km)面気温(世界標準時0時)の推移を示す。太線は2001年の観測値で、細線は過去の最低気温。陰影部はオゾンホールが出現する以前の1968～1980年までの気温の最低及び最高気温の変動幅。

10月中旬まではほぼ累年平均並で推移した。-78以下の領域の面積(図2-3-8右)で見ると、6月はほぼ累年平均並だったが、7月中旬～9月上旬にかけて大きかった。また、2001年は、2000年に見られたような顕著な成層圏突然昇温が発生せず、極渦が安定していた。

図2-3-9は、昭和基地上空のレーウィンゾンデ観測に基づく100hPa(高度約16km)面の気温の推移を示す。100hPa面はオゾンの減少が最も大きく、また遅い時期まで極渦の影響を受ける高度である。2001年の昭和基地上空では、9月後半以降、例年に比べ低温の状況が見られ、特に10月はこれまでに最も低かった。100hPa面の11月の気温は、オゾンホールが出現する1980年以前と比べると約20℃低く、冬から夏へ移行する昇温の時期も約1ヶ月遅くなっている。これらは、オゾンホールの出現で、オゾンの日射吸収による大気への加熱が少なくなったことに加え、低温の状況がさらに極渦を安定させてより一層昇温しにくい状態にしていることによると考えられる。

## 2-3-6 2001年の南極オゾンホールの特徴

以上の観測結果から、2001年の南極オゾンホールの特徴をまとめると次のようになる。

2001年のオゾンホールは過去最大だった2000年より小さかったものの、それに匹敵する大規模なものであった。10月中旬以降、オゾンホールは次第に縮小に向かったが、その縮小の速さは例年と比べて緩やかで、12月20日に消滅した。これは、衛星のデータが得られなかった1998年を除くと、1999年に次いで過去2番目に遅い消滅だった。

2001年の南極域上空は、極域成層圏雲の出現の目安となる-78以下の領域が7月下旬から8月にかけて大きく広がり、11月まで極渦が安定していた。このため、オゾンの破壊が維持され、オゾンホールは大規模なものとなり、その後も周囲からの高濃度のオゾンの流入・混合が起こりにくい状況が続いたため、オゾンホールが遅くまで持続したものと考えられる。