

3. 南極域上空のオゾン層の状況

(1) 昭和基地における観測

ドブソン分光光度計で観測した南極昭和基地上空の月平均オゾン全量は、ほぼ一年を通して参照値よりも小さい状況が近年連続して現れており、特にオゾンホールが出現している期間では極めて小さくなっている（図 20）。

また、1966～2002 年の特定の月別にみた月平均オゾン全量の経年変化を見ると（図 21）、オゾンホールの出現時期にあたる 9～12 月は、年毎にばらつきはあるものの、長期的には大きな減少傾向がみられる。しかしながら 2002 年の同期間の月平均オゾン全量は急激に多くなっており、特に 10 月、11 月はオゾンホールが出現し始めたとされる 1980 年代前半あるいはそれ以前の値と同程度である。この原因として、過去 20 年間見られなかったような大規模な昇温が 9 月におこり、極渦^{*1}が 2 つに分かれ、急速にオゾンホールが縮小し、消滅したことが挙げられる（p35 参照）。一方オゾンホールが解消した後の時期に当たる 1～3 月にも長期的な減少傾向がみられる。昭和基地における観測データについてトレンド解析を行うと、過去 20 年間のオゾン全量は通年で $(-7.5 \pm 5.2)\% / 10 \text{年}^{*2}$ 、9～11 月で $(-12.2 \pm 14.2)\% / 10 \text{年}^{*2}$ になっている。

2002 年のオゾンゾンデによるオゾン分圧の高度分布観測）によると、図には示さないが、8 月下旬に高度 18～22km 付近（40～20hPa）でオゾン分圧の低い領域が現れはじめ、図 22 に示すように 9 月に入るとさらに高度 14～17km 付近にもオゾン分圧の低い領域が見られるようになった。高度 18～28km 付近のオゾン分圧は、オゾンホールが分裂・縮小した 9 月末から 10 月にかけて参照値より高い値まで上昇し、12 月までには参照値（1968～1980 年）並の値となった。しかし、10～17km の高度のオゾン分圧は低いまま推移した。

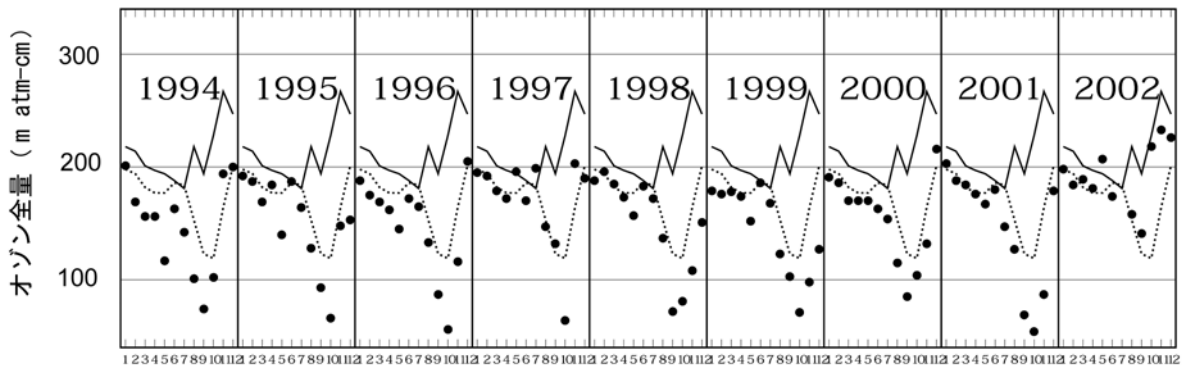


図 20 南極昭和基地におけるオゾン全量の変動（1994～2002 年）

印は各年の月平均値、折線は参照値（1961～1980 年の平均値）、点線は 1981～2000 年の平均値。

（出典）気象庁提供データ

^{*1} 南極域上空の成層圏においては、太陽光が射さない冬季（極夜）の間に、南極点を中心としてその周りを回る非常に気温の低い大気の渦が発達する。北極域においても南極域上空より規模は小さいが上空に渦が発生する。これを極渦（極夜渦ともいう）という。

^{*2} ()内の数値は 95%信頼区間を示す。

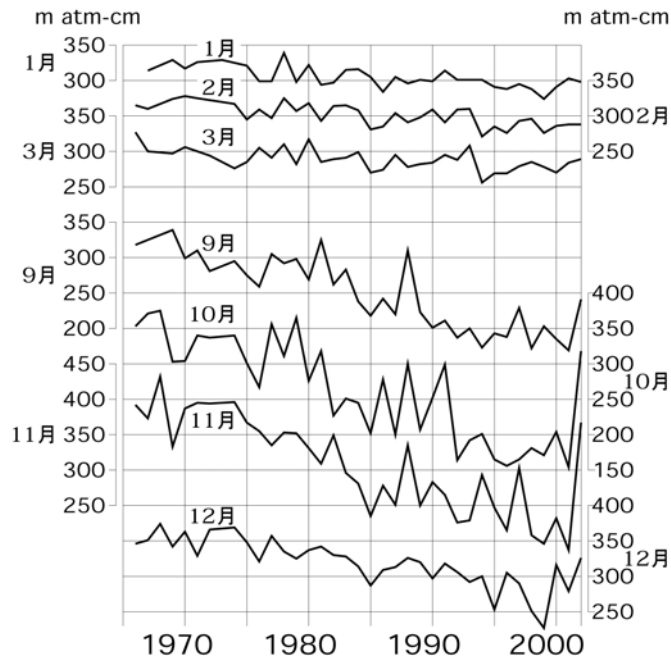


図 21 南極昭和基地における月平均オゾン全量の経年変化（毎年 1～3 月、9～12 月）
 （出典）気象庁 オゾン層観測報告 2002

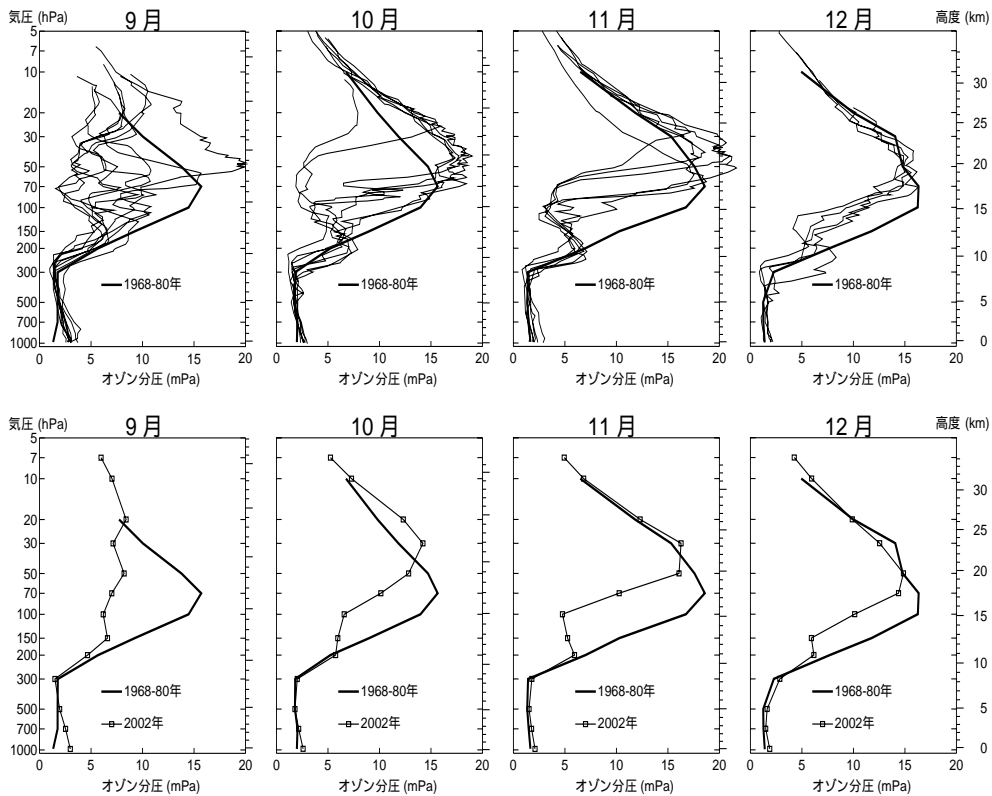


図 22 南極昭和基地におけるオゾン分圧の高度分布（2002 年 9～12 月）

2002 年 9～12 月のオゾンゾンデ観測結果。上段：図中の太実線はオゾンホールが明瞭に現れるようになる以前（1968～1980 年）の平均オゾン高度分布。上段の細実線は 2002 年の個々の観測結果。下段：太実線はオゾンホールが明瞭に現れるようになる以前（1968～1980 年）の平均オゾン高度分布（図中の右よりの実線）。- -は 2002 年の月平均オゾン高度分布。

（出典）気象庁 オゾン層観測報告 2002

(2) オゾンホール状況

ア. 地上観測

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2002年8～12月のオゾン全量の日々の観測値を重ねて図23に示す。各観測点ごとにみると、オゾン全量は、オゾンホールの変形・移動に伴い、日々大きな変動を示している。しかし、図のように数地点のデータを重ねて表示したときに見られる、オゾン全量の最も少ない側の包絡線は、オゾンホール内の最低オゾン全量の推移を近似的に示していると見ることができる。これによるとオゾンホール内の最低オゾン全量は、9月中旬まで低下した後、10月上旬には200 m atm-cm程度まで上昇した。その後いったん低下したが、10月下旬から急激な上昇をはじめ、11月上旬にはオゾンホールの目安となる220 m atm-cmを超えた。

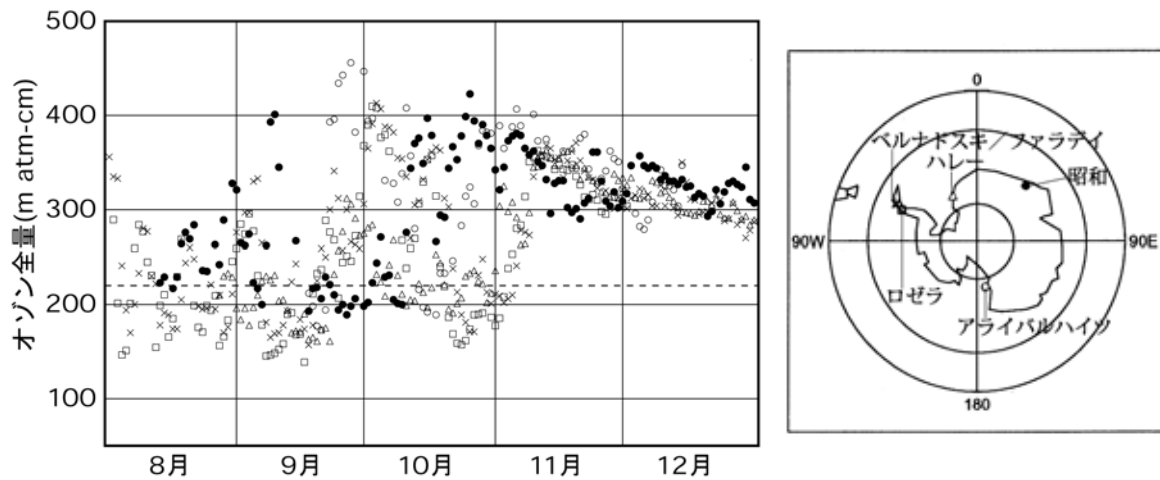


図23 南極大陸上空のオゾン全量の地上観測値の分布（2002年8～12月）

昭和（○）、ハレー（△）、ベルナドスキ/ファラデイ（×）、ロゼラ（◇）、アライバルハイツ（□）における2002年8～12月のオゾン全量の日々の観測値。オゾンホールが観測点の上空を覆っていると、その地点のオゾン全量は小さな値となる。数地点の観測値を同じ図に記入し、その最低値の推移に着目することで、オゾンホールの消長の概要を把握することができる。なお、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）より、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）より提供されたものである。

（出典）気象庁 オゾン層観測報告2002

イ．人工衛星による観測

図 24 - 1、2 に、T O M S データにより作成した 1979 ~ 1994、1996 ~ 2002 年の 10 月及び S B U V / 2 により作成した 1995 年 10 月の月平均オゾン全量の南半球分布図を示す。なお、1993 年 10 月については新アルゴリズムによるデータ*が公表されていないので、旧アルゴリズムから作成した図を参考に載せた。南極域上空の 10 月の月平均オゾン量は、1979 年にはオゾン全量全球平均に近い 300 m atm-cm 前後であったが、1980 年に 250 m atm-cm 以下の領域が現れ、その後 1982 年には 220 m atm-cm、1983 年に 190 m atm-cm 以下の領域も出現し、1987 年以降は 1988 年と 2002 年を除き毎年 160 m atm-cm 以下の領域まで下がった。特に 1993、1995、1998、1999 年には 130 m atm-cm 以下の領域も現れている。

2002 年の 10 月のオゾンホール¹の月平均面積は、オゾンホールが現れ始めた 1980 年代前半を除いて、1988 年に次いで 2 番目に小さかった。

*搭載された分光光度計の波長の再校正、地表面及び雲の反射率の設定等の改訂によりアルゴリズムが変更された。

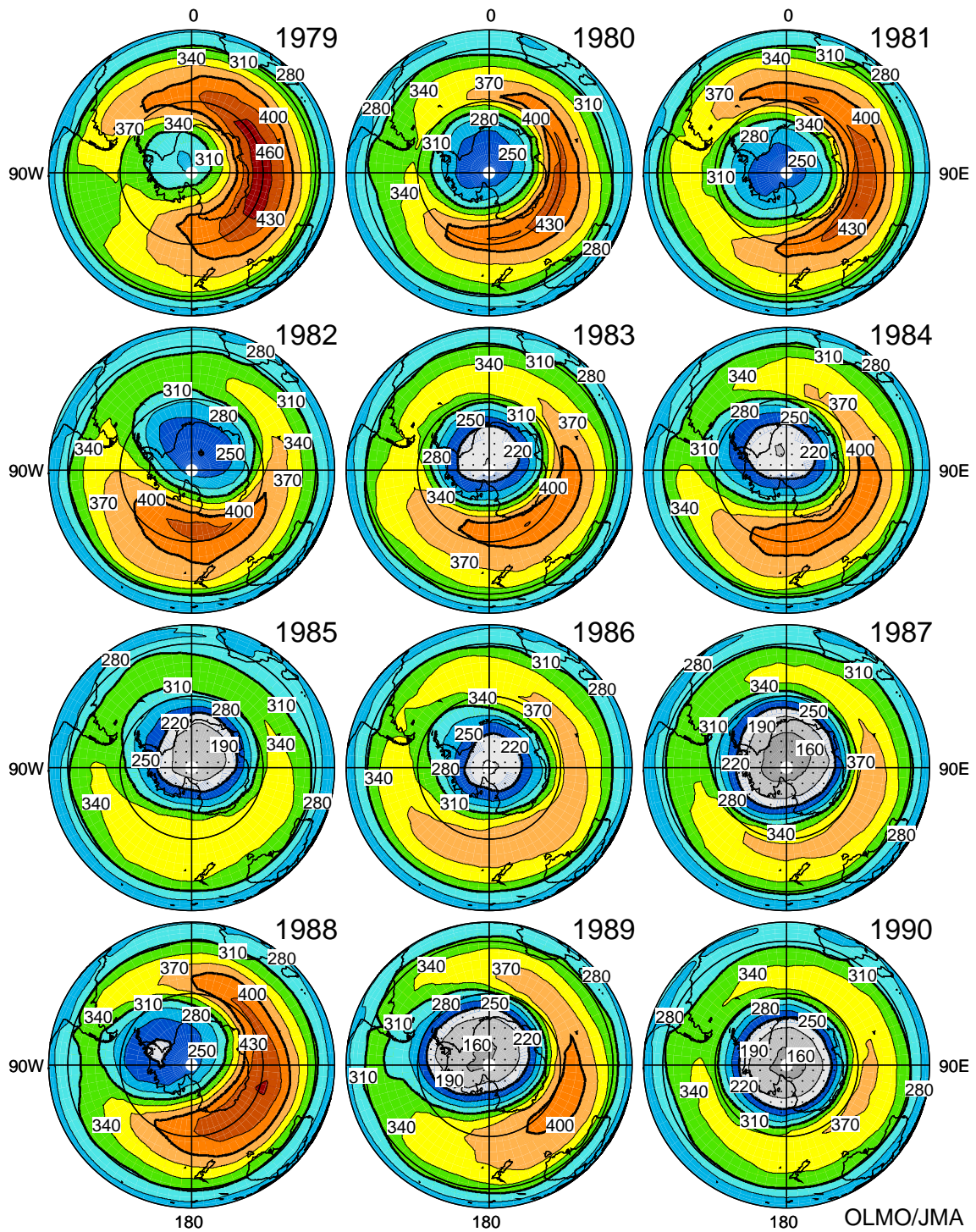


図 24 - 1 10月の月平均オゾン全量の南半球分布図(1979~1990年)

NASA提供のTOMSデータをドブソン分光光度計による観測値と比較検討の上作成。等値線間隔は30 m atm-cm毎。なお、点域は220 m atm-cm以下の領域を示す。

(出典) 気象庁 オゾン層観測報告2002

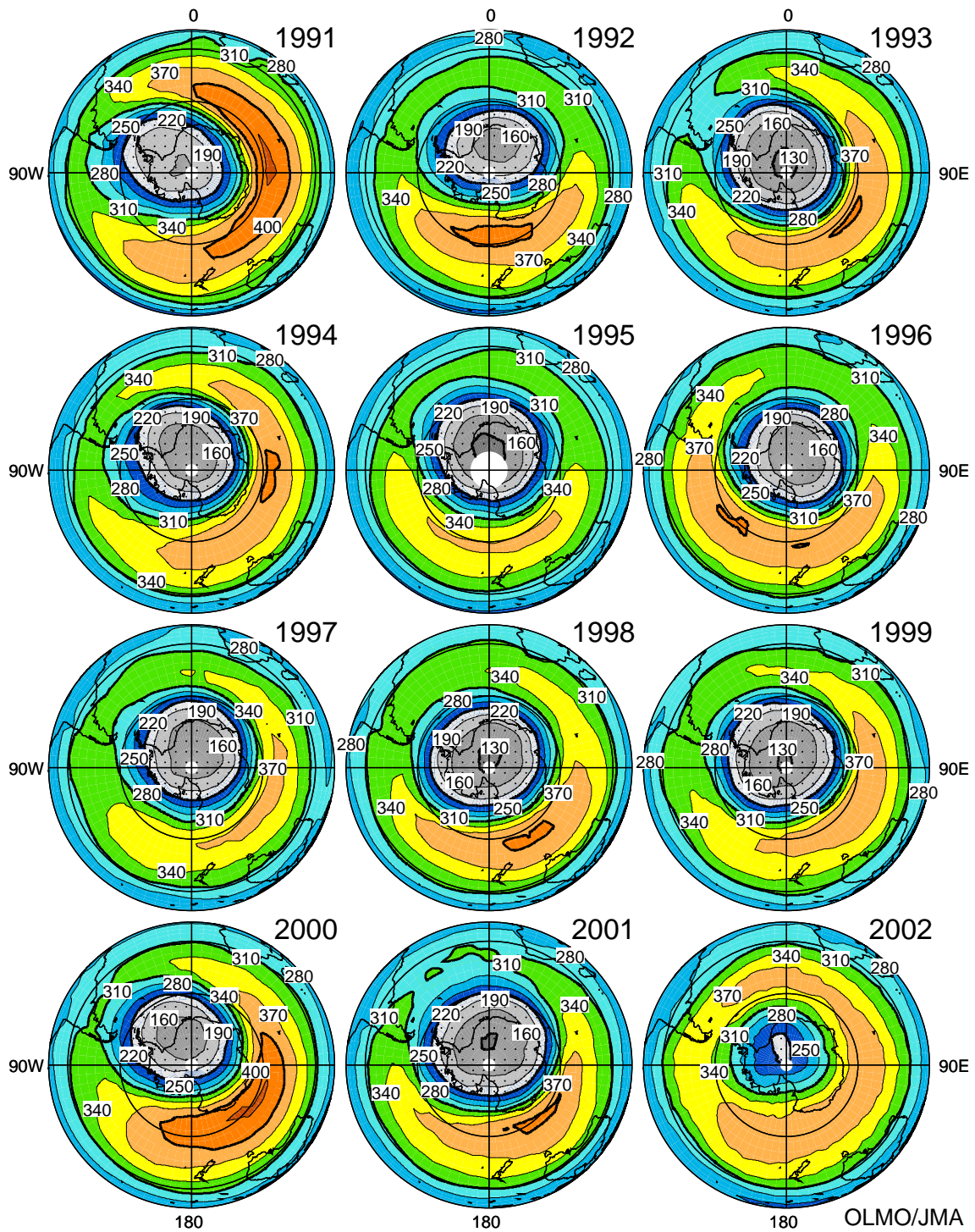


図 24 - 2 10月の月平均オゾン全量の南半球分布図(1991~2002年)

1987~1992、1994、1996~2001年はTOMSデータ(第7版)、1993年はTOMSデータ(第6版)をドブソン分光光度計による観測値と比較検討の上作成、1995年はSBUV/2データを用いて作成。等値線間隔は30 m atm-cm 毎。

(出典) 気象庁 オゾン層観測報告 2002

ウ．オゾンホールの変移

図 25 に 2002 年のオゾンホールの変移の規模の变化を示す。

これによると、2002 年のオゾンホールは 1990 年以降最も小規模な状態で発達し、9 月 19 日に 2002 年の最大面積（2,054 万 km²、1991 年以降最小）を記録した。その後、大きく変形・分かれたことに伴って、急速に規模を縮小し、片方のオゾンホールが消滅した 9 月 29 日に面積は 183 万 km²まで縮小した。しかし、もう一方の再発達に伴って面積は 10 月 21 日まで再び増加した後次第に縮小し、11 月 11 日に消滅した。これは、1989 年以降最も早い消滅だった。

オゾン破壊量も、面積同様 1990 年以降に比べて小さい状態で変移し、2002 年のオゾン破壊量の最大値は 6,084 万トン（9 月 20 日、1991 年以降最小。過去最大であった、2000 年の約 6 割）であった。最低オゾン全量は例年 9 月下旬から 10 月上旬にかけて観測されるが、2002 年は 8 月 17 日（137 m atm-cm）であった。

また、図 26 には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变化を示す。2002 年のオゾンホールは、1989 年以降最も早い消滅だった。図 27 にオゾンホールの面積、最低オゾン全量及びオゾン破壊量の極値の経年变化を示す。2002 年については、最低オゾン全量は増加し、オゾンホールの面積とオゾン破壊量は 1991 年以降最小であった。

このように、2002 年のオゾンホールの規模は小さかったが、これには気象状況が大きく寄与していたものと考えられる。2002 年の南極域上空の成層圏では、対流圏による気象の影響で極渦が弱まり、気温が累年平均より高く極域成層圏雲の出現の目安となる -78 以下の領域が小さかった（図 28）。このため、極域成層圏雲の中で生じる活性塩素の発生が抑えられ、オゾン破壊が小さかったものと考えられる。さらに、極渦が 2 つに分かれるなど気象力学的に不安定であったためオゾンホールの外側にあるオゾン濃度の高い空気がオゾンホールの内側の空気と混合しやすい状況にあった。南極域上空の成層圏の突然昇温が過去 20 年で最大規模のものであったことから、このような気象状況はきわめて特異なものであったといえる。このことから、2002 年のオゾンホールの規模が小さかったことは、特異な気象状況によるものであって、オゾンホールの回復の兆しを示すものとみることはできない。

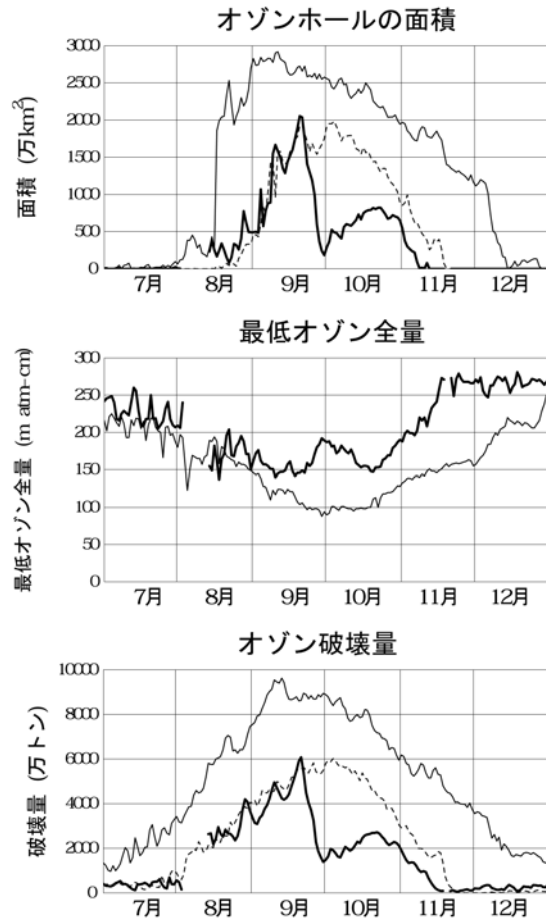


図 25 オゾンホール規模の変化 (2002 年 7 ~ 12 月)

上段からオゾンホールの面積、最低オゾン全量、オゾン破壊量を示す。これらは、南緯 45 度以南で定義され、面積は、オゾン全量が 220 m atm-cm 以下の領域の面積、最低オゾン全量は、オゾン全量の最低値、オゾン破壊量はオゾン全量を 300 m atm-cm に維持するために補充を要するオゾンの質量。太線は 2002 年の値を示し、破線は 1978 年から 2000 年までの観測値のうち、最大値 (面積、破壊量) 及び最小値 (最低オゾン全量)、破線は 1990 年から 2001 年までの最小値 (面積、破壊量) を示す。

(出典) 気象庁 オゾン層観測報告 2002

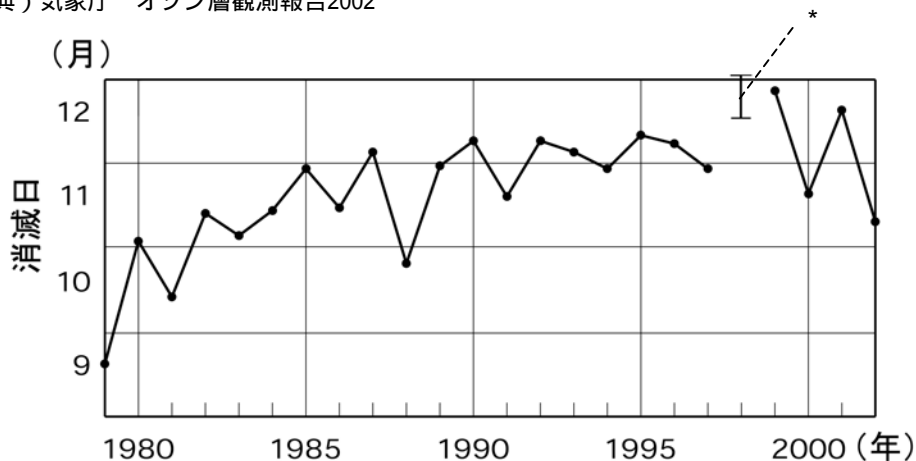


図 26 オゾンホール消滅時期の推移 (1979 ~ 2002 年)

1979 ~ 2002 年の 220 m atm-cm 以下の領域が消滅した時期の推移。NASA 提供の TOMS データを基に作成。1995 年については SBUV / 2 のデータを基に作成。なお 1998 年のオゾンホールの消滅は 12 月 16 日以降 (1 月 2 日以前) であるが衛星のデータで得られなかったため、詳細な期日は不明 (*)。

(出典) 気象庁 オゾン観測報告 2002

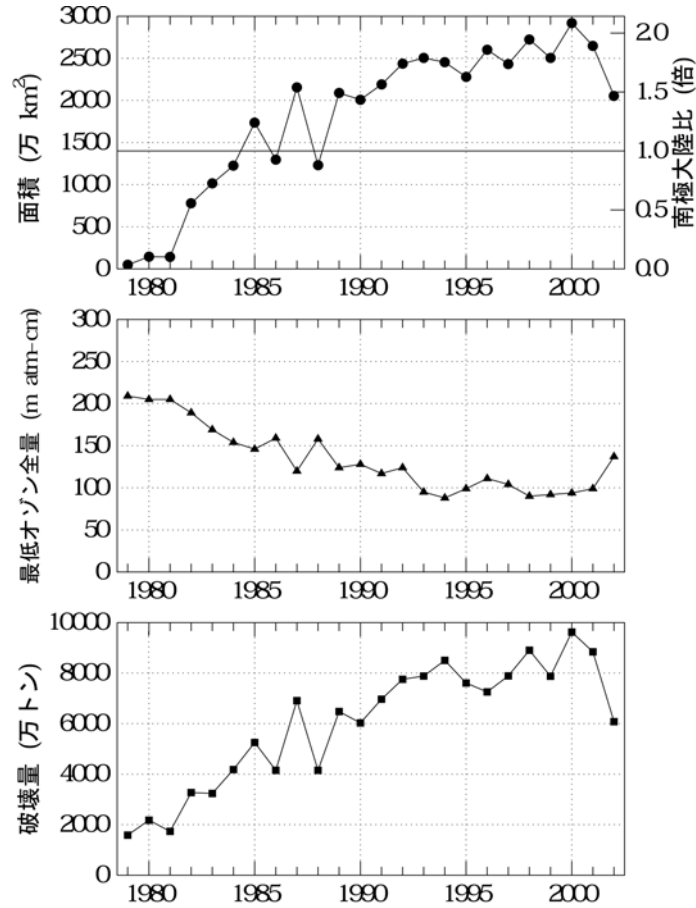


図 27 オゾンホールの三要素の経年変化 (1979~2002年)

上段から順に、オゾンホールの面積、最低オゾン全量、オゾン破壊量の年極値の経年変化。オゾンホール3要素は、南緯45度以南で定義され、面積は、オゾン全量が220 m atm-cm以下の領域の面積、最低オゾン全量は、オゾン全量の最低値、オゾン破壊量はオゾン全量を300 m atm-cmに維持するために補充を要するオゾンの質量。NASA提供のTOMSデータをドブソン分光光度計による観測値と比較検討の上作成。1995年についてはTOVSのデータを基に求めた。

(出典) 気象庁 オゾン層観測報告2002

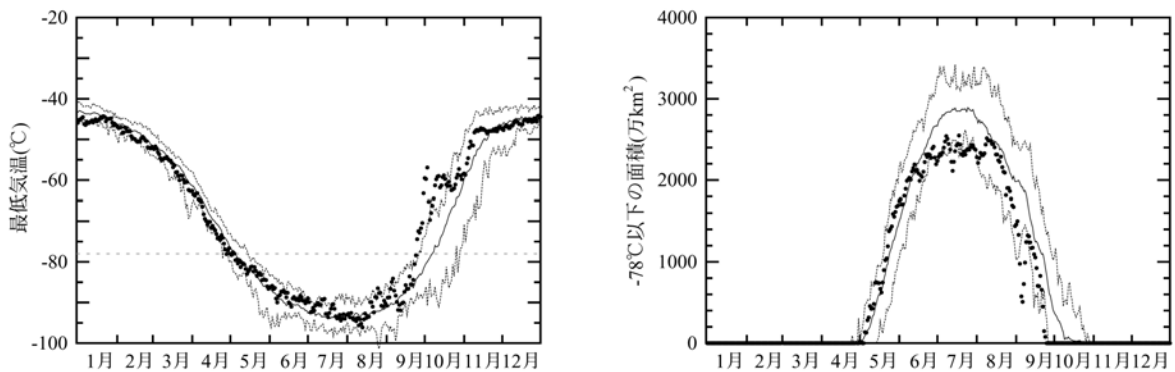


図 28 南極域上空の下部成層圏の最低気温、及び気温が-78 以下の領域の面積の推移

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2002年の値、実線は1988~2001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)。

(出典) 気象庁 オゾン層観測報告2002