

2 . 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15)。

また、1966～2004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16)、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1980年頃から大きな減少傾向がみられる。この中で、2002年の9～11月のオゾン全量が急増したが、これは2002年の南極域では、9月の成層圏の気温が過去50年で最高となり、極渦*が不安定となる特異な気象条件により大規模なオゾン破壊が生じなかったからである。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、オゾンが減少し始めた1980年以降の変化傾向は通年で(-6.9±5.3)%/10年、9～11月で(-11.1±14.4)%/10年**になっている。

2004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18～23km付近(40～20hPa)でオゾン分圧の低い領域が現れはじめ、9月に入ると、図17に示すようにさらに高度14～19km(100～60hPa)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。10月の観測では14～20km(100～40hPa)付近のオゾン分圧はかなり低くなっているが、2003年を初めとして、オゾンホールが大規模に発達した年には、この高度のオゾン分圧がほとんど0になっていることと比べると、破壊の程度はやや小さかったといえる。11月も高度12～17kmで参照値より大幅に低い状況が続いたが、高度20km(50hPa)以上で参照値並の値となった日もあった。12月には20km(50hPa)以上で参照値並の値となったが、それ以下の高度では低い状態が続いた。

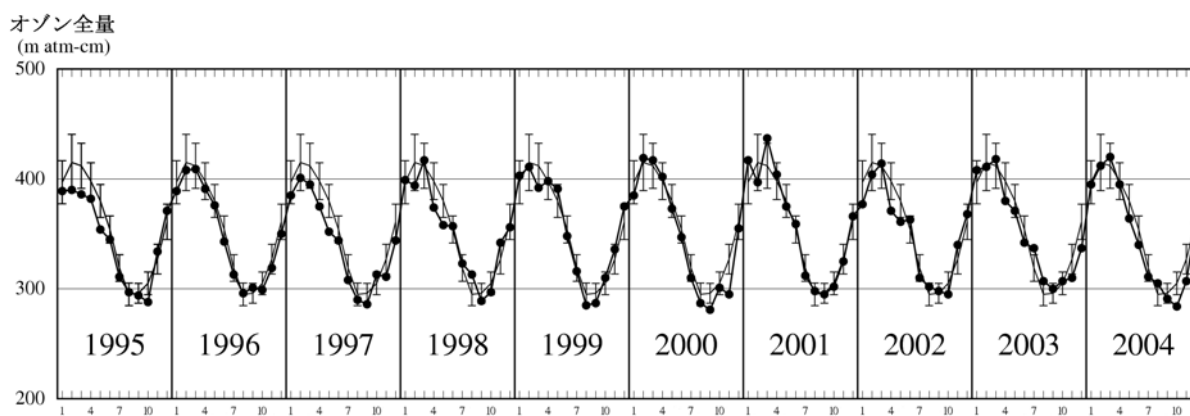


図15 南極昭和基地におけるオゾン全量の変動(1995～2004年)

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

* 南極域上空の成層圏において、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に発達する非常に気温の低い大気の渦。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。極夜渦ともいう。極渦の発達にはオゾン層の破壊に影響を与える(参考資料 オゾン層破壊のメカニズム(p.101)参照)。

** ()内の数値は95%信頼区間を示す。

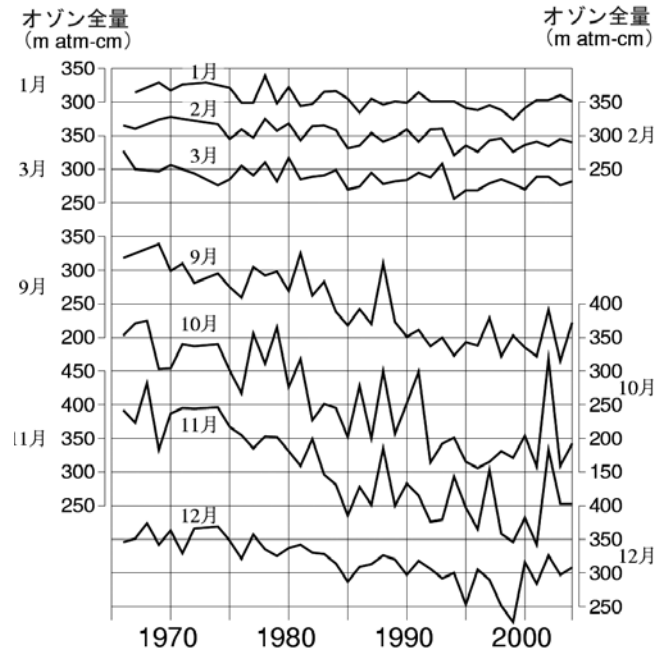


図 16 南極昭和基地における月平均オゾン全量の経年変化（毎年 1～3 月、9～12 月）
 （出典）気象庁 オゾン層観測報告 2004

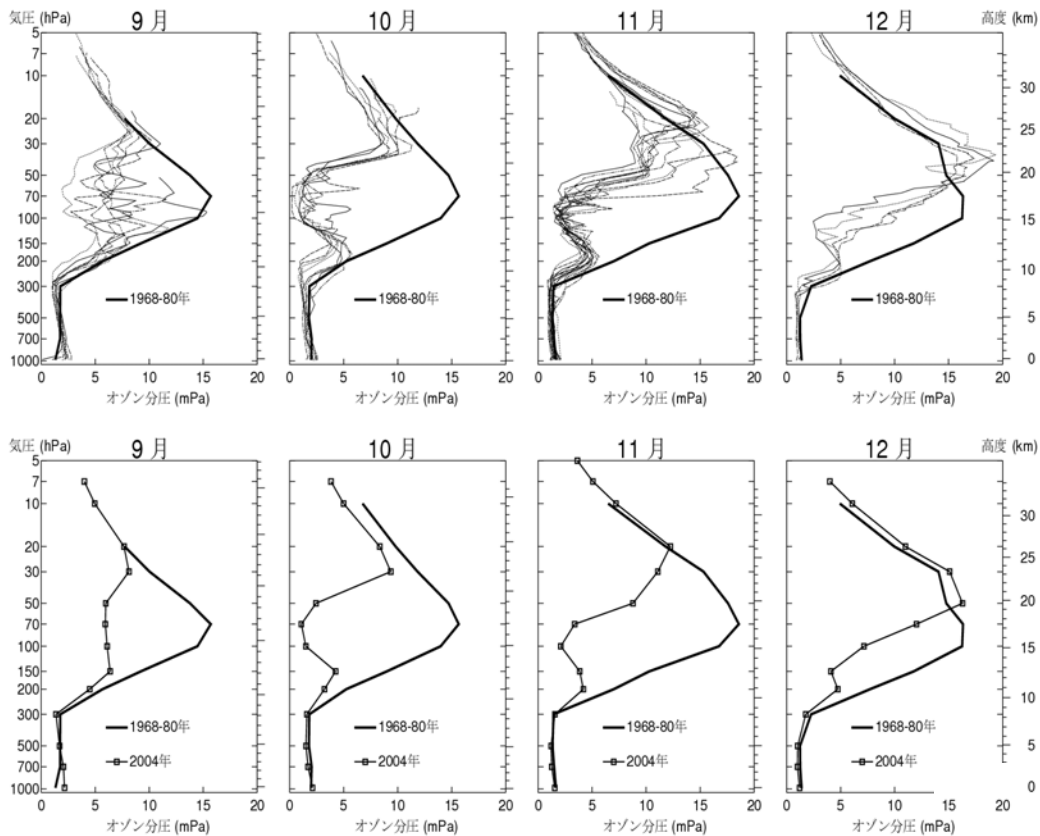


図 17 南極昭和基地におけるオゾン分圧の高度分布（2004 年 9～12 月）

2004 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 2004 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 2004 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 2004

(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 2004 年 8～12 月のオゾン全量の日々の観測値を重ねて図 18 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、8月中旬にオゾンホールの目安となる 220 m atm-cm 以下の値が観測された後、9月後半から 10 月前半にかけて最も減少し、130 m atm-cm 近い値を記録した。その後、オゾン全量は増加し始め、10月中旬から下旬にかけて 300 m atm-cm を超える値も観測された。12月上旬には 220 m atm-cm 以下の値が観測されなくなった。

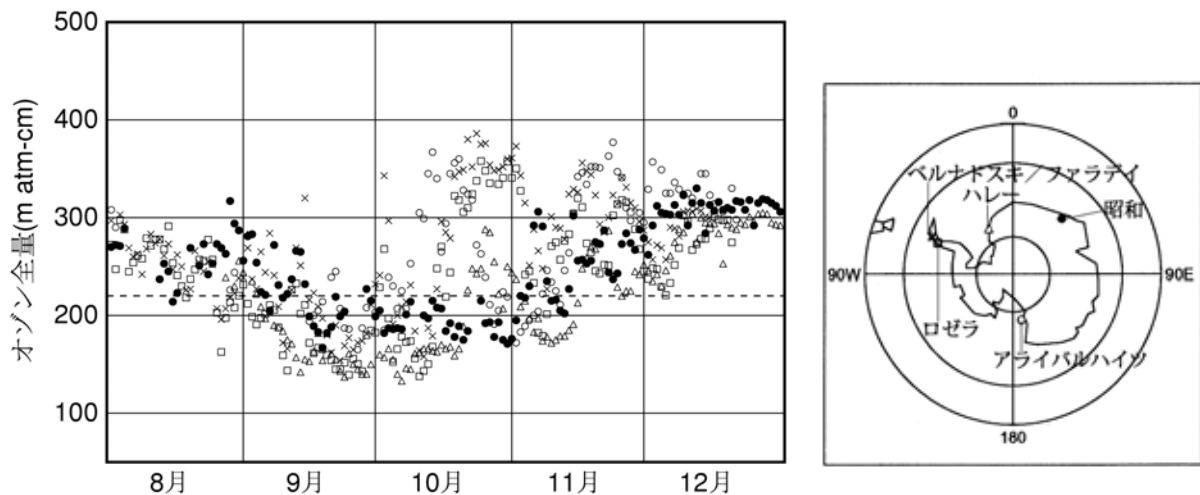


図 18 南極大陸上空のオゾン全量の地上観測値の分布（2004 年 8～12 月）

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 2004 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 2004

イ．人工衛星による観測

図 19 - 1、19- 2 及び 19- 3 に、T O M S データにより作成した 1979 ~ 1994、1996 ~ 2004 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。南極域上空の 10 月の月平均オゾン量は、1979 年にはオゾン全量の全球平均に近い 300 m atm-cm 前後であったが、1980 年に 220 m atm-cm 以下の領域が現れ、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 以下の領域が出現するまでに減少した。特に、1993、1995 ~ 2001、2003 年には 130 m atm-cm 以下の領域も現れている。

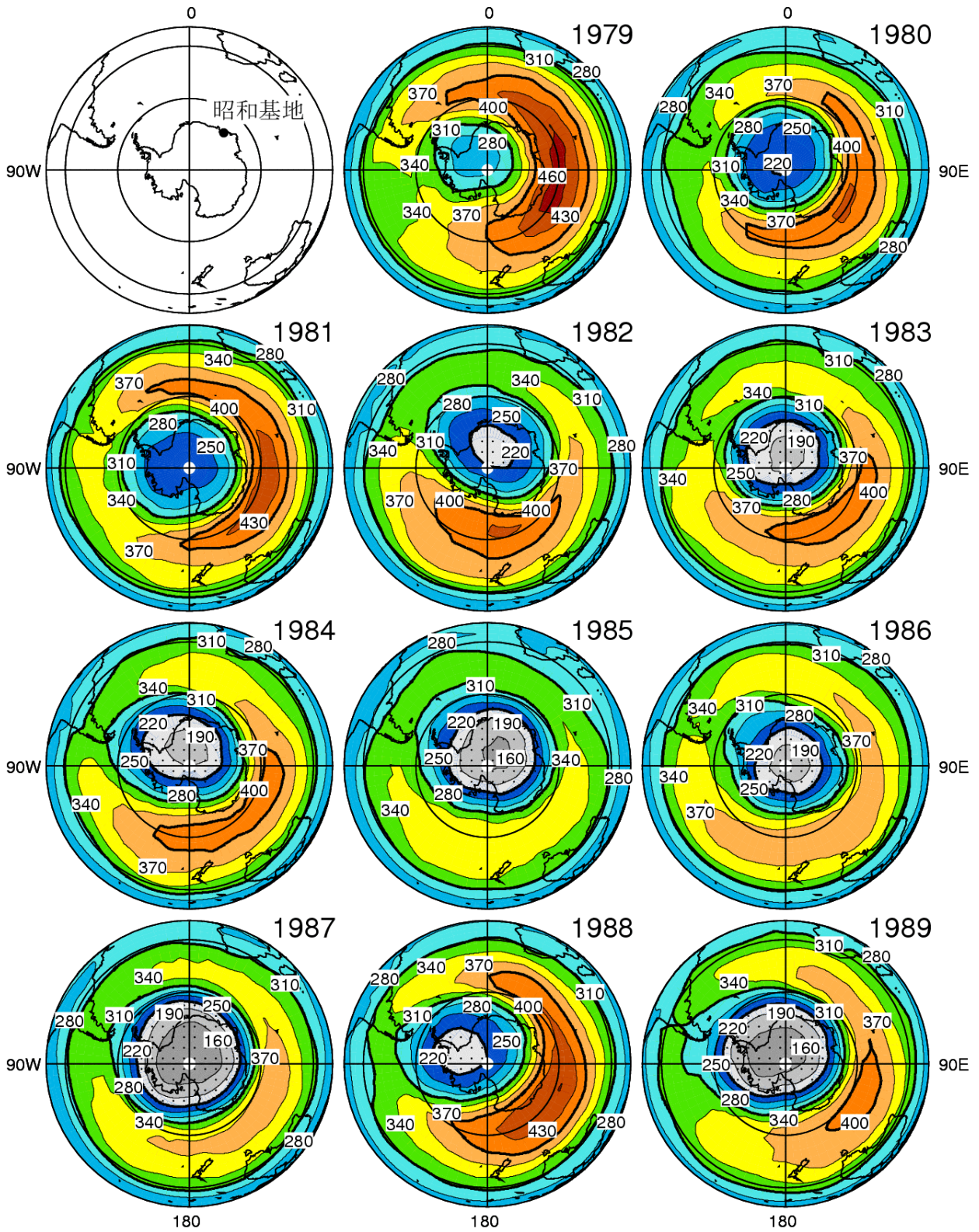


図 19 - 1 10月の月平均オゾン全量の南半球分布図(1979~1989年)

NASA提供のTOMSデータを基に作成。等値線間隔は30 m atm-cm。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 2004

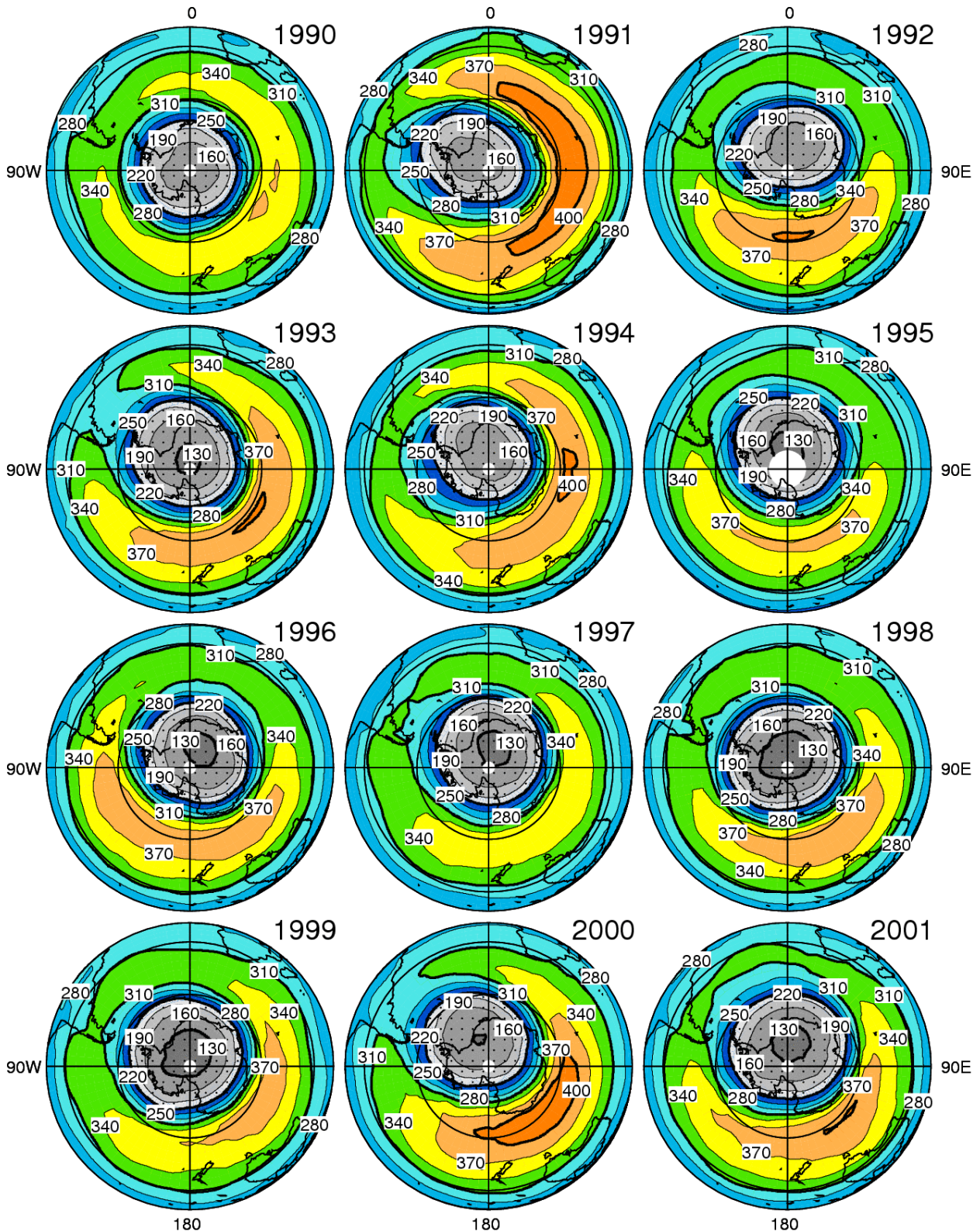


図 19 - 2 10月の月平均オゾン全量の南半球分布図（1990～2001年）

NASA提供のTOMSデータを基に作成。1993年及び1997年は最新の処理方法によるデータが公表されていないため、古い処理方法から作成した図を参考に載せた。1995年はSBUV/2データを用いて作成。等値線間隔は30 m atm-cm。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 2004

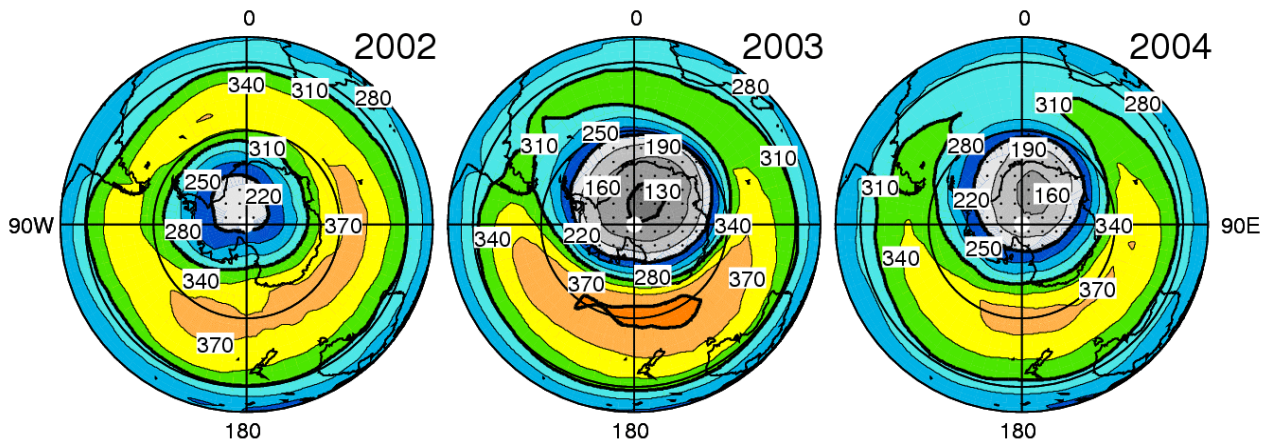


図 19 - 3 10月の月平均オゾン全量の南半球分布図(2002~2004年)

NASA提供のTOMSデータを基に作成。等値線間隔は30 m atm-cm。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 2004

ウ．オゾンホール¹の推移

図 20 に 2004 年のオゾンホール¹の規模の変化を示す。

これによると、2004 年のオゾンホール¹は 8 月下旬に拡大し、9 月 22 日に面積及びオゾン欠損量とも 2004 年の極大値を記録し、面積は 2,423 万 km²、オゾン欠損量は 7,838 万トンで、ともに過去 10 年間（1995～2004 年）では 3 番目に小さかった。2004 年の最低オゾン全量は、10 月 4 日に記録した 92 m atm-cm であった。その後、11 月中旬からオゾンホール¹は縮小して 12 月 9 日に消滅した。

このように、2004 年のオゾンホール¹は過去 10 年の中では比較的小規模にとどまった。

図 21 にはオゾンホール¹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が、その後は 11 月と 12 月の間で変動している。2004 年の消滅日は大規模なオゾンホール¹の発生年の中では平均的であった。図 22 にオゾンホール¹の面積、最低オゾン全量及びオゾン欠損量の極値の経年変化を示す。2002 年と 2004 年のオゾンホール¹の規模は最近の他の年と比較すると小さかったものの、これは気象条件によるものであり、現時点でオゾンホール¹に縮小する兆しがあるとは判断できない。

図 23 には 2003 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）の最低気温と極域成層圏雲の出現の目安となる -78 以下の面積の推移を示す。通常、南極周辺の 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 を上回る季節変動を示す。2004 年の南極域の最低気温は、昭和基地上空で 8 月下旬及び 9 月中旬から下旬にかけて比較的大きな突然昇温が発生するなど、平均（1988～2003 年の平均）と比較すると 8 月後半以降は概ね高めの気温で推移した。その結果、-78 以下の領域の面積（右図）は、9 月上旬以降急速に縮小し、極域成層圏雲の中で生ずる活性塩素の発生が抑えられ、オゾン破壊が進行しにくかったと考えられる。10 月下旬から 11 月中旬にかけてオゾンホール¹はほぼ一定の規模で推移したが、これは、この期間にプラネタリー波^{*}の対流圏から成層圏への伝播が例年より弱く、成層圏の極渦がこの時期としては安定し、周囲のオゾン濃度の高い空気との混合が妨げられたためと考えられる。なお、11 月中旬以降は極渦の形は変形し不安定になったため、オゾンホール¹は大きく変形し、急速に縮小して消滅した。

* 主に大陸と海洋の表面温度の違いや大規模山岳により強制的に作られる地球規模の大気波動。

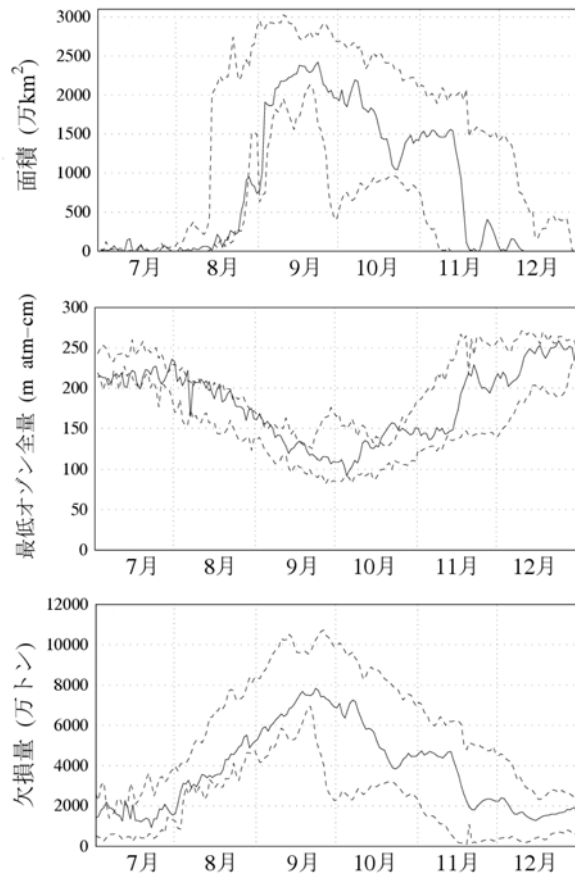


図20 オゾンホール規模の変化(2004年7~12月)

上段から、南緯45度以南におけるオゾンホールの面積、最低オゾン全量、オゾン欠損量。面積はオゾン全量が220 m atm-cm以下の領域の面積を、最低オゾン全量はオゾン全量の最低値を、オゾン欠損量はオゾン全量を300 m atm-cmに維持するために補充を要するオゾンの質量をそれぞれ示す。実線は2004年の日々のオゾンホールの規模の推移を示し、破線は過去10年(1994~2003年)の日別の最大値及び最小値を示す。NASA提供のTOMSデータを基に作成。

(出典) 気象庁 オゾン層観測報告2004

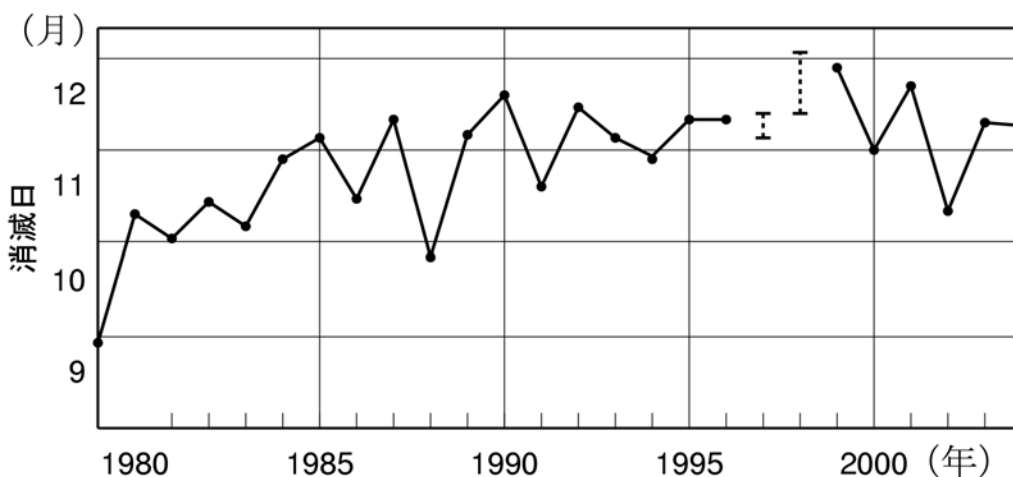


図21 オゾンホール消滅時期の推移(1979~2004年)

1979~2004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、1997年及び1998年は、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、破線で示した期間中に消滅したと推定される。

(出典) 気象庁 オゾン観測報告2004

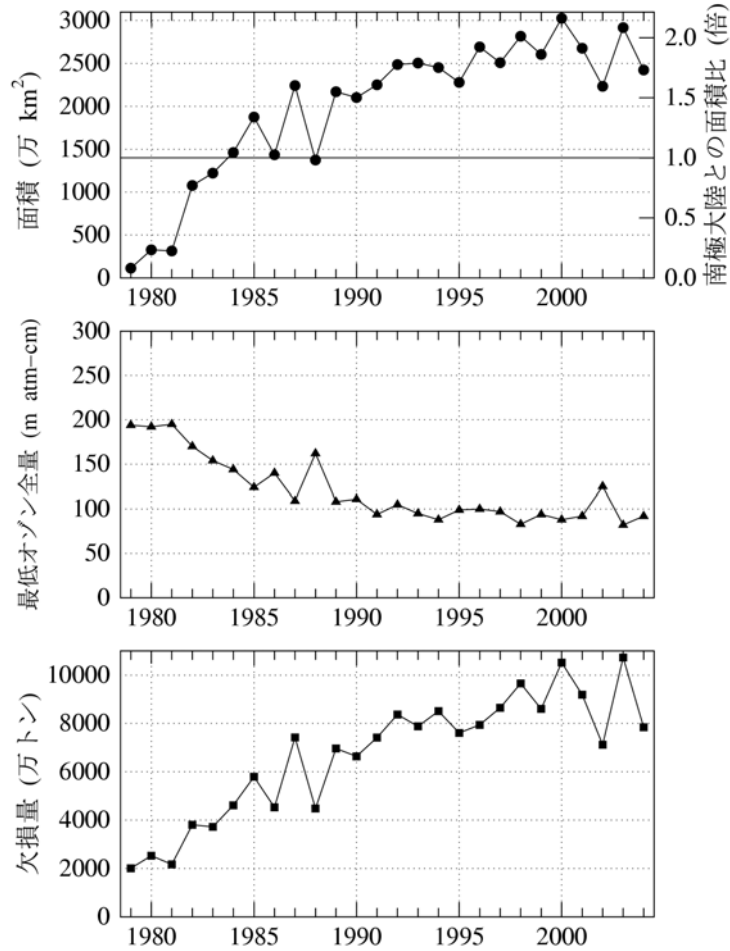


図22 オゾンホール の三要素の経年変化 (1979~2004年)

上段から、オゾンホールの面積、最低オゾン全量、オゾン欠損量の年極値の経年変化。面積はオゾン全量が 220 m atm-cm 以下の領域の面積を、最低オゾン全量は観測されたオゾン全量の最低値を、オゾン欠損量はオゾン全量を 300 m atm-cm に回復させるために補充を要するオゾンの質量をそれぞれ示す。NASA 提供の TOMS データを基に作成。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 2004

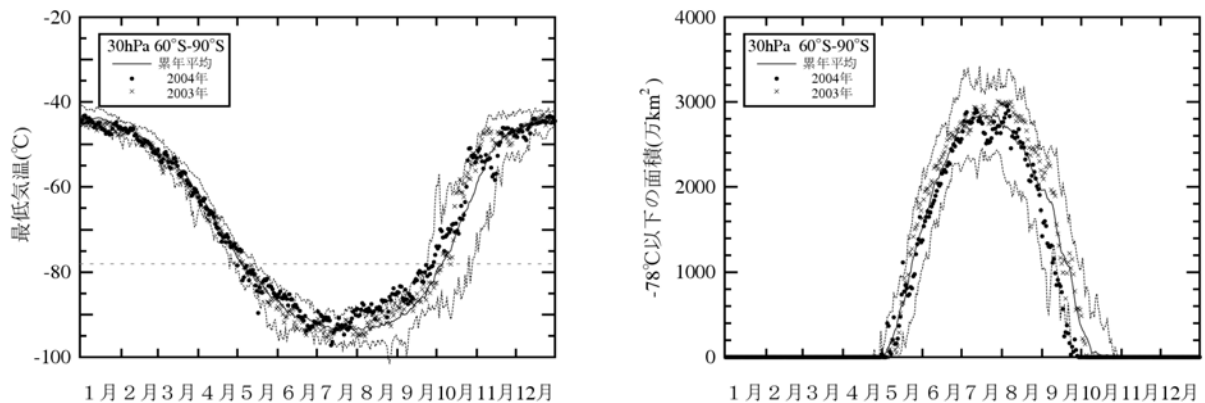


図23 南極域上空の下部成層圏の最低気温及び気温が-78 以下の領域の面積の推移

南緯 60 度以南の 30hPa (高度約 23km) 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 2004 年の値、実線は 1988~2003 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 2004