

について解析結果を示したものである。

図3-3-7は、反転観測とオゾンゾンデ観測の結果から求められたオゾン分圧トレンドの高度分布を示したものである。これによると最近20年間のオゾン量は、オゾンゾンデの観測開始が遅いため図中表示していない那覇を除いて下部成層圏でオゾンの減少トレンドが現れており、特に札幌で顕著である。また、中・上部成層圏では札幌、鹿児島、那覇で有意な減少トレンドが現れている。対流圏では鹿児島でオゾンの増加傾向が現れており、特に高度8km付近で有意なオゾンの増加トレンドが見られる。

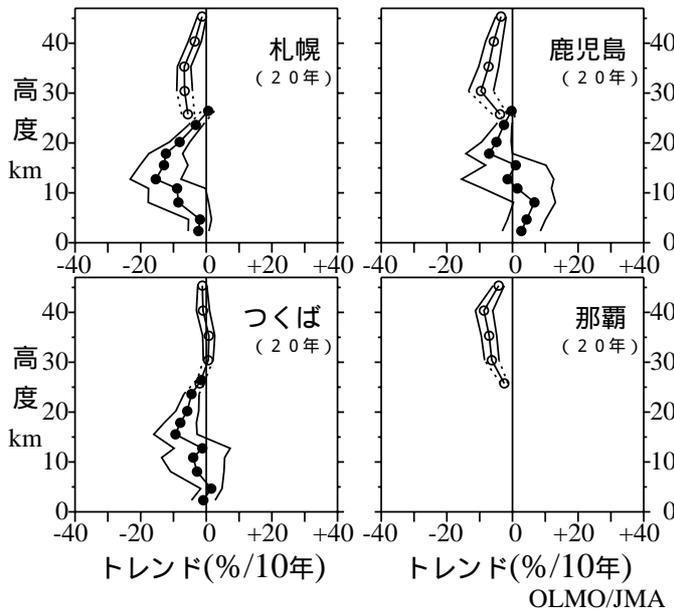


図3-3-7: オゾントレンドの高度分布
オゾンゾンデ観測と反転観測による月平均オゾン分圧と月平均層別オゾン量を基に評価した高度別オゾントレンド(%/10年)。最近20年間(1982~2001年)に対するトレンドの高度分布(印:オゾンゾンデ観測データによる。○印:反転観測データによる)と自己回帰を考慮した95%信頼限界(細い折線)。なお那覇のオゾンゾンデ観測によるトレンドは観測期間が短いため示していない。

3-4 南極域上空のオゾンホール長期変化

図3-4-1は昭和基地におけるドブソン分光計による月平均オゾン全量について、1966~2001年の春季から秋季にかけての経年変化を示す。昭和基地上空はオゾンホールの縁辺となることが多く、必ずしも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、オゾンホールの時期に当たる9~11月は、年毎にばらつきがあるものの減少傾向が顕著に見られる。12月及び1~3月も減少傾向が見られる。昭和基地のオゾン全量データに第3-1節のトレンド解析の手法を適用すると、最近20年間のオゾン全量は全年で $-7.9 \pm 4.6\%/10$ 年、9~11月で $-15.9 \pm 11.2\%/10$ 年になる。

図3-4-2に10月の昭和基地における150、100、70、50、30hPa(それぞれ高度約12、15、17、19、22km)のオゾン分圧の経年変化を示す。各高度とも1980年頃から減少が顕著に現れている。150hPaで1992年頃に極小値を示しているのは、ピナトゥボ火山噴火(1991年6月)による成層圏エアロゾルの影響と考えられる。100、70、50hPaでは1992~1995年頃から、極めて低いオゾン分圧が続いている。30hPaでも1995年以降継続して低いオゾン分圧を示しているが、2000年は1992年以降で最も高い分圧を示した。これは、2000年のオゾンホールが10月に入って急速に縮小し、周囲からのオゾンの多い空気塊の流入により、オゾン分圧が高い値を示したためである。2001年10月は2000年よりも極渦が安定し、オゾンホールは大規模な状態で推移したため、各高度とも2000年より低い分圧となった。また、表紙の図は、昭和基地におけるオゾンゾンデ観測から求めた9~11月及び3ヶ月平均の高度12~20kmにおけるオゾン量の推移を示したものである。この高度のオゾン量は、オゾンホールの時期にオゾン層破壊がきわめて大きい(2-3節参照)ため、オゾンホールの変化傾向の良い指標となる。これによると、南極域では観測開始以降、この高度帯で大きなオゾン層破壊が続いていることを示しており、今後とも注意深い観測が必要である。

図3-4-3はオゾンゾンデ観測による最近20年間における高度別のオゾン分圧のトレンドの高度分布を示す。高度15km(約100hPa)付近でのオゾン減少が大きく、春季(9~11月)に顕著である。

図3-4-4に昭和基地における最近30年間のオゾン分圧と気温の月別変化傾向の高度分布を示す。オゾン分圧の減少のピークは10、11月の100~70hPa付近に現れており、6mPa/10年を超える減少を示して

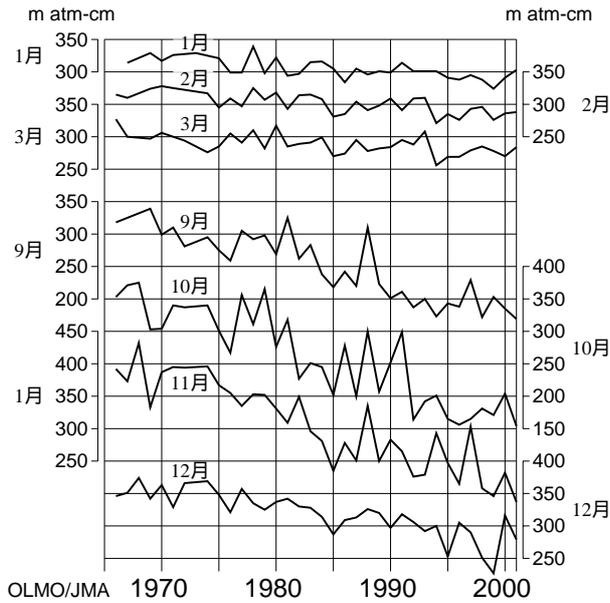


図3 - 4 - 1：南極昭和基地における月平均オゾン全量の経年変化

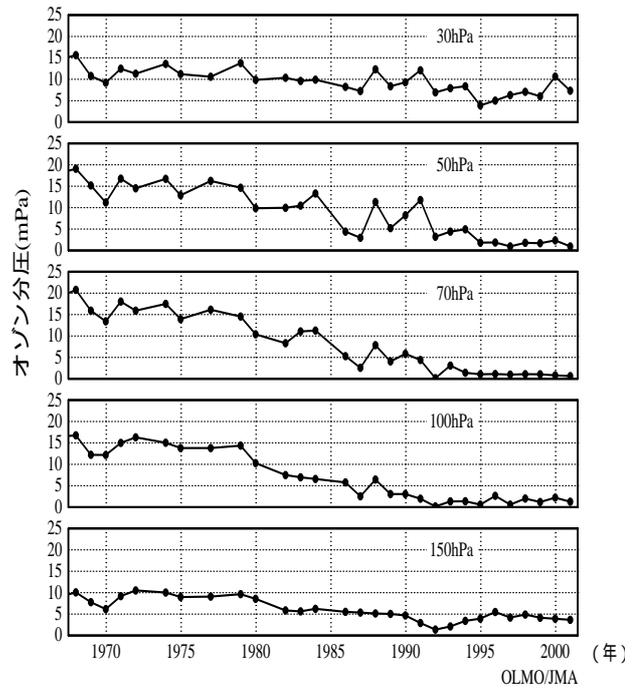


図3 - 4 - 2：南極昭和基地における150、100、70、50及び30hPaの10月の月平均オゾン分圧の経年変化

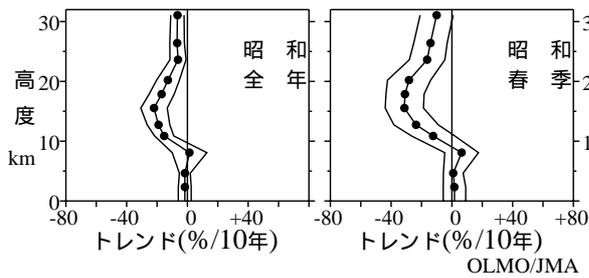


図3 - 4 - 3：南極昭和基地におけるオゾン分圧のトレンドの高度分布
オゾンゾンデ観測による月平均オゾン分圧を基に評価した最近20年間(1982～2001年)の高度別オゾントレンド(% / 10年)(印)と自己回帰を考慮した95%信頼限界(細い折れ線)。左が全年、右が春季(9～11月)。

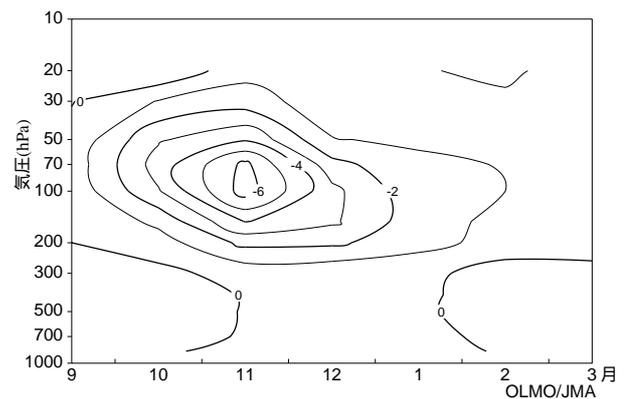
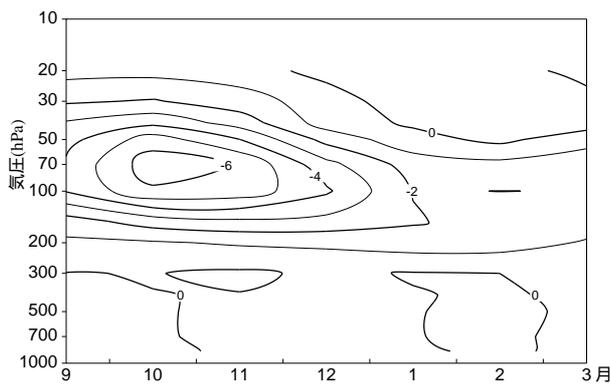


図3 - 4 - 4：オゾン及び気温の高度分布の月別変化傾向
左図は最近30年間(1972～2001年)のオゾン分圧の月別変化傾向(mPa/10年)、右図は同期間の気温の月別変化傾向(/10年)。

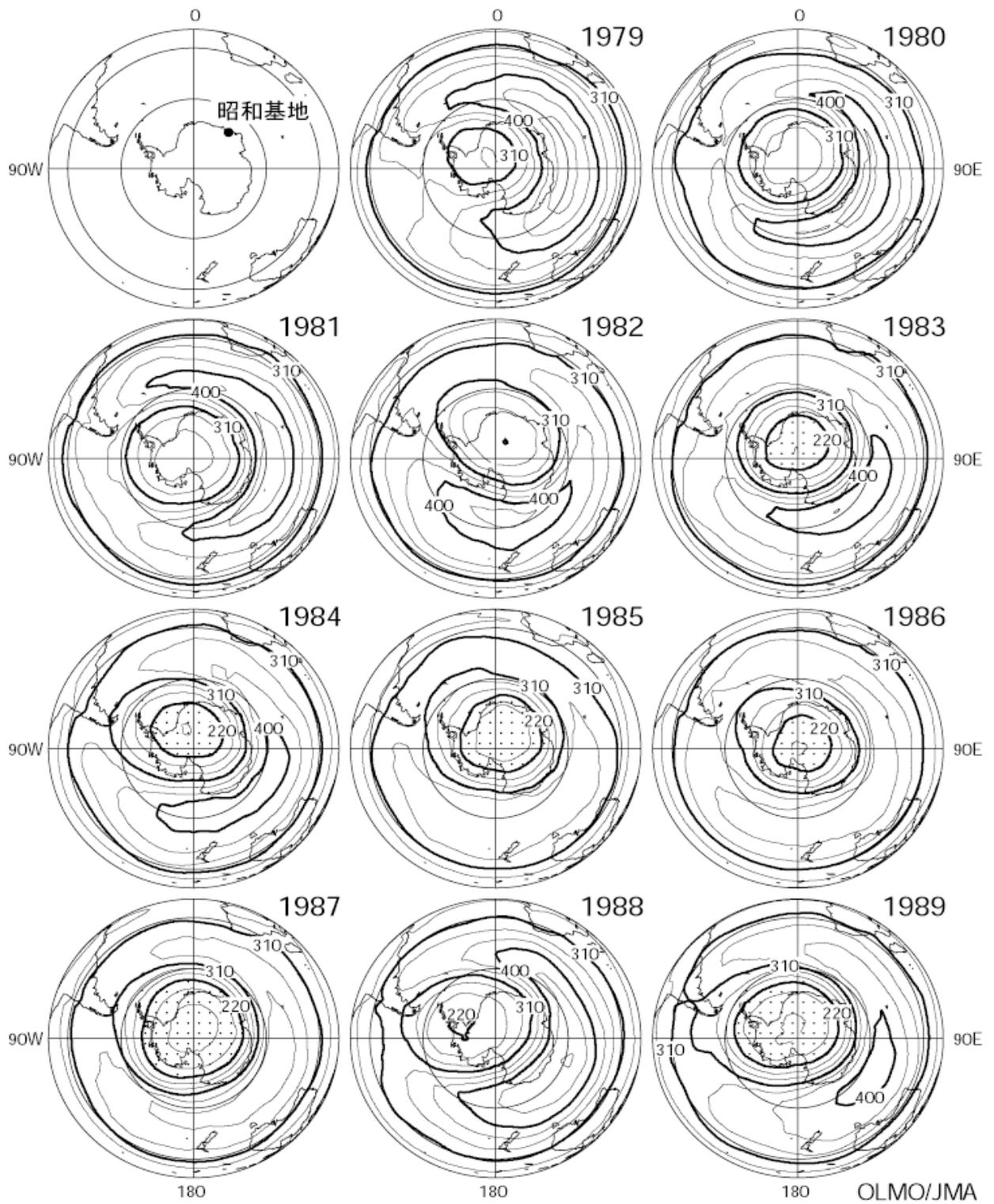


図3 - 4 - 5(1): 10月の月平均オゾン全量の南半球分布図
 等値線は30m atm-cm毎。NASA提供のTOMSデータをドブソン計による観測値と比較検討の上作成。なお、点域は220
 m atm-cm以下の領域。

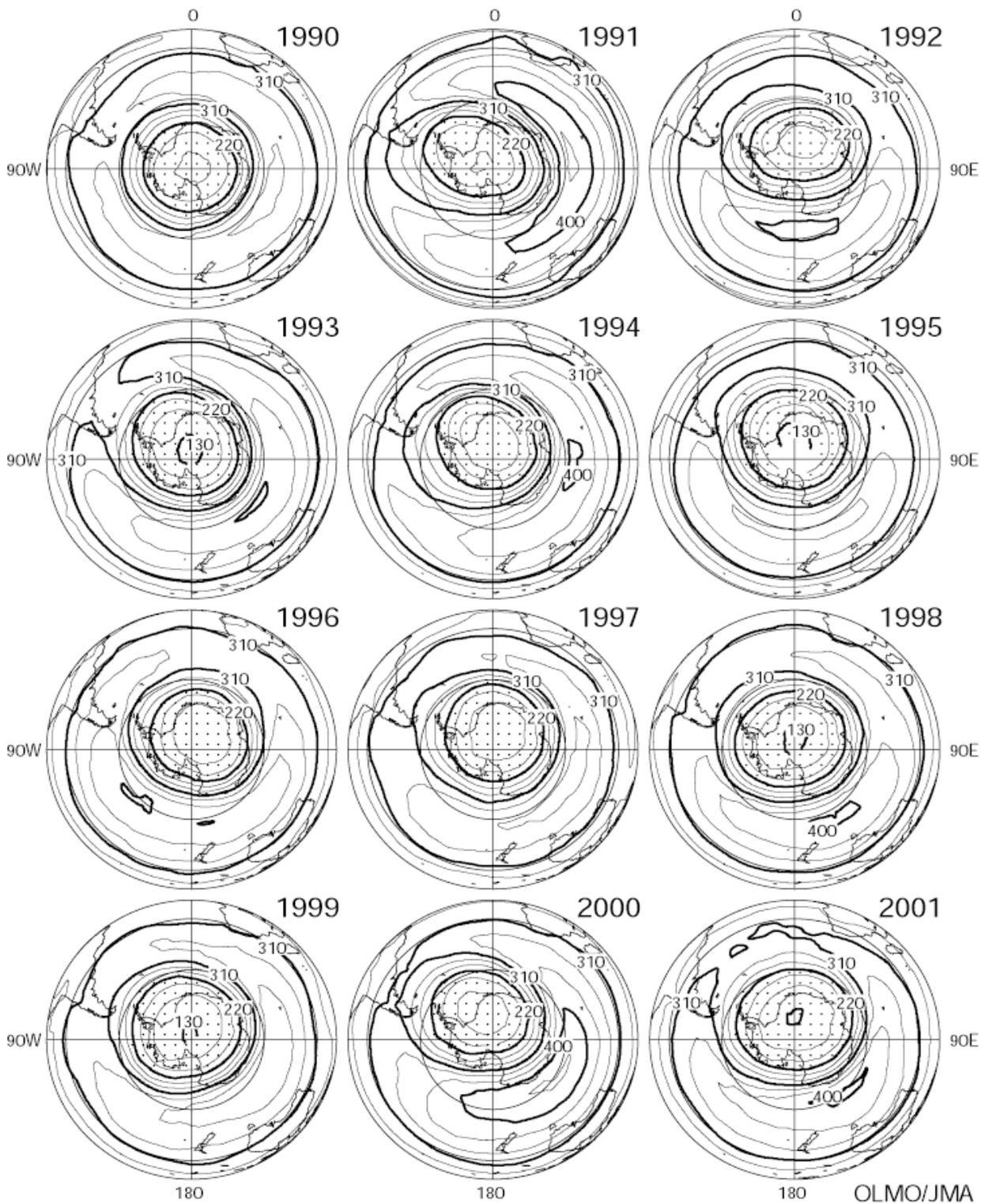


図3 - 4 - 5(2): 10月の月平均オゾン全量の南半球分布図

前ページから続く。1993年は旧アルゴリズム (Ver.6)による。1995年については、SBUV/2のデータを用いて作成した。

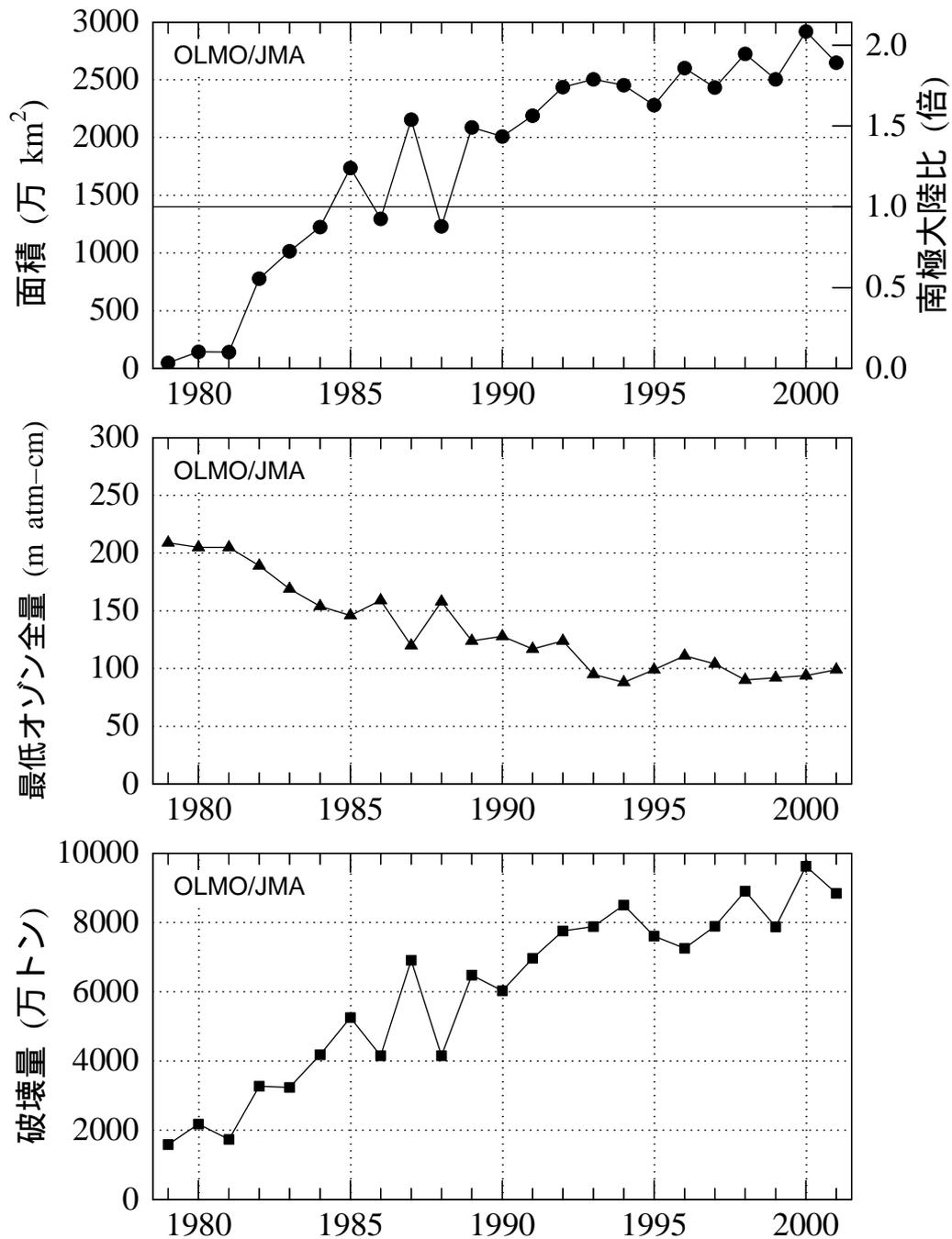


図3 - 4 - 6 : オゾンホール規模の経年変化

1979～2001年の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変化。NASA提供のTOMSデータをドブソン計による観測値と比較検討の上作成。1995年については、TOVSの高分解能赤外放射計のデータを用いて作成した。

いる。12月以降、オゾン分圧の減少のピーク高度は次第に下層へと移っている。一方、気温は11月に100～70hPa付近で6/10年以上の低下を示している。また、気温もオゾン同様、12月以降、気温低下のピーク高度が下層へ移っている。このように気温の低下はオゾン減少と対応しており、オゾンの減少に伴って紫外域日射の吸収による大気への加熱が減ったことが主な原因と考えられる。

図3 - 4 - 5に、TOMSデータにより作成した南半球の10月の月平均オゾン全量分布図を示す。1995年はTOMSのデータが得られなかったため、SBUV/2のデータにより作成した。なお、1993年10月については新アルゴリズム(Ver7)によるデータが公表されていないので、旧アルゴリズム(Ver6)によるデータから作成した図を参考のため掲載した。南極域上空の10月の月平均オゾン全量は、1979年には全球オゾン全量

平均値である 300m atm-cm 前後であったが、1980 年に 250m atm-cm 以下の領域が現れ、その後、1982 年に 220m atm-cm、1983 年に 190m atm-cm 以下の領域も出現し、1987 年以降は 1988 年を除き毎年 160m atm-cm 以下の領域が現れている。特に 1993、1995、1998、1999 年には 130m atm-cm 以下の領域も現れている。2001 年はオゾンホール面積、破壊量で過去 3 位を記録し、10 月のオゾンホールの月平均面積は過去最大だった。

図 3 - 4 - 6 にオゾンホール面積、最低オゾン全量及びオゾン破壊量の極値の経年変化を示す。最低オゾン全量は 100m atm-cm 付近で推移しているが、オゾンホール面積とオゾン破壊量は年々変動を示しつつ、拡大する傾向にある。図 3 - 4 - 7 に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。2001 年のオゾンホールは、衛星のデータが得られなかった 1998 年を除いて、1999 年に次ぎ 2 番目に遅い消滅だった。

以上のように南極域では大きなオゾン減少を示しており、オゾンホールは拡大する傾向にある。

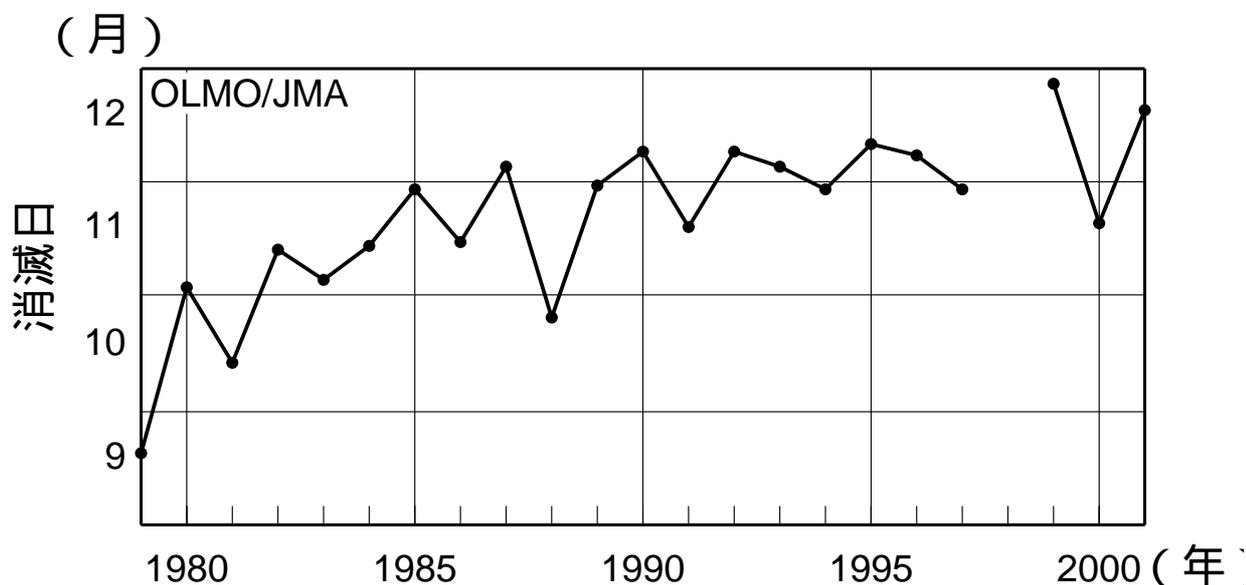


図 3 - 4 - 7 : 南極域で 220m atm-cm 以下の領域が見られなくなった日の経年変化

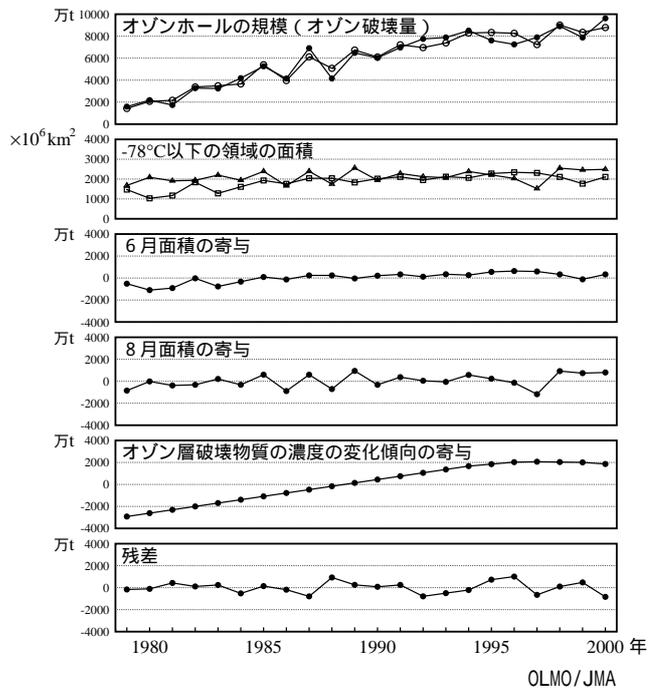
1979 ~ 2001 年の 220m atm-cm 以下の領域が消滅した時期の推移。なお 1998 年のオゾンホールの消滅は 12 月 16 日以降であるが衛星のデータが得られなかったため、詳細な期日は不明。NASA 提供の TOMS データを基に作成。1995 年については SBUV/2 のデータを基に作成。

(解 説)

オゾンホール規模を表すパラメータとして、オゾン破壊最大期(極値の起日)におけるオゾン破壊量を取り上げ、その年の年々変化を支配する因子を調査した結果、オゾン破壊量は、オゾン層破壊物質濃度の変化傾向を示す成分と、6月及び8月の成層圏の温度場(30hPa面における - 78 以下の面積)に依存する成分とでかなりの部分を説明できることが示された(気象庁, 1993、伊藤他, 1993)。オゾン破壊量(M)を目的変数として下記の重回帰式

$$M_i = a \cdot X_i + b \cdot Y_i + c \cdot Z_i$$

を設定する。添え字 i は年の番号を表す。X と Y は温度場の説明変数で、それぞれ6月と8月における30hPa面の月平均温度が - 78 以下の低温域の面積である。Z はオゾン層破壊物質の濃度の変化傾向を表現する説明変数で、大気中のクロロフルオロカーボン等による塩素濃度をモデル化した数列を与えた。それぞれの年の M、X、Y、Z の値は、データ期間の平均値からの偏差の百分率で与えている。a、b、c はそれぞれの説明変数の目的変数に対する寄与の度合いを表現する係数である。影響の大きさは、オゾン層破壊物質の濃度の変化傾向、8月の低温域の面積、6月の低温域の面積の順である。この重回帰式による重相関係数は約0.98であり、自由度調整済みの決定係数は約0.94であることから、この重回帰式はオゾン破壊量の予測に有用である。



参考図：オゾンホール最盛期のオゾン破壊量の観測値と推定値等

上から順に、オゾン破壊量の観測値(印)と推定値(印)。推定に用いている6、8月の30hPa面における - 78 以下の低温域の面積の経年変化(が6月、 が8月)、6月の低温域面積(Xi)の寄与分。同じく8月の低温域面積(Yi)の寄与分。オゾン層破壊物質の濃度の変化傾向(Zi)の寄与分。残差(観測値の推定値からの差)。NASA 提供の TOMS データを基に気象庁で作成。1995 年については、TOVS の高分解能赤外放射計のデータを用いて作成。