

## 2 2005年のオゾン層の状況

2005年のオゾン層の状況を全球、日本上空、南極域上空に分けて述べる。

### 2-1 全球のオゾン層

#### 2-1-1 オゾン分布及び季節変化

図2-1-1に、TOMSによるオゾン全量の参照値（平均的な全球分布図）を示す。オゾン全量は低緯度で少なく、南北両半球とも中・高緯度で多い。オゾン全量は特にオホーツク海上空で最も多くなっており、日本上空は全球で最も南北の傾度が大きい地域である。また、中・高緯度では、冬季から春季にかけてオゾン全量が最大となる（図2-1-2）。こうしたオゾン全量の緯度分布や季節変化は、以下のように説明される。

オゾンは、太陽から放射される紫外線により主に成層圏で生成される。そのため、太陽の放射が強い低緯度上空の成層圏はオゾンの主要な生成場所である。低緯度の成層圏で生成されたオゾンは、ブリューワー・ドブソン循環（赤道域で対流圏から成層圏に上昇してきた空気が、成層圏を両極へ向けてゆっくりと移動し、中・高緯度で成層圏から対流圏へ下降する循環）で、中・高緯度に運ばれる。中・高緯度では、下降したオゾンを含む空気が下部成層圏で圧縮されオゾン分圧は高くなるため、低い高度で最大のオゾン分圧が現れ、しかもオゾン分圧は赤道域上空よりも高くなる（図2-1-3）。このような赤道域から中・高緯度への輸送は冬季に最も活発となり、冬季から春季にかけて中・高緯度にオゾンが蓄積される。

#### 2-1-2 2005年のオゾン全量の状況

2005年の全球のオゾン全量の状況について、OMIデータをもとに作成した緯度帯別オゾン全量比偏差の推移（図2-1-4）及び月平均オゾン全量とその比偏差図（図2-1-5）に基づいて述べる。地域的な特徴を示す際、比偏差が±10%以上の場合に「多い」、「少ない」と表わす。

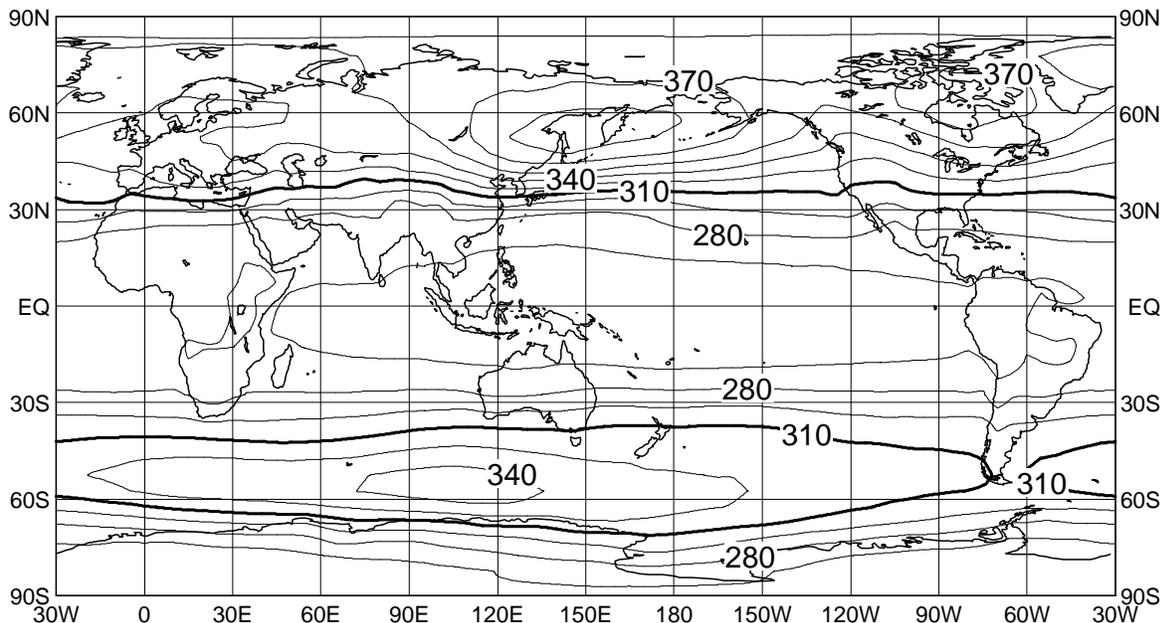
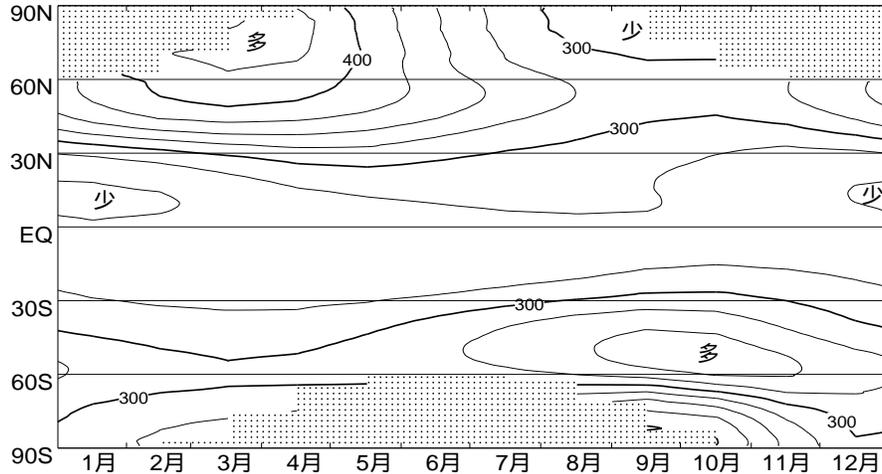


図2-1-1：TOMSによる全球のオゾン全量の参照値

全球のオゾン全量の年平均の参照値(1979～1992年)。等値線間隔は15m atm-cm。NASA提供のニンバス-7/TOMSデータをもとに気象庁で作成。



**図2-1-2 : TOMSによるオゾン全量の参照値の緯度別季節変化**

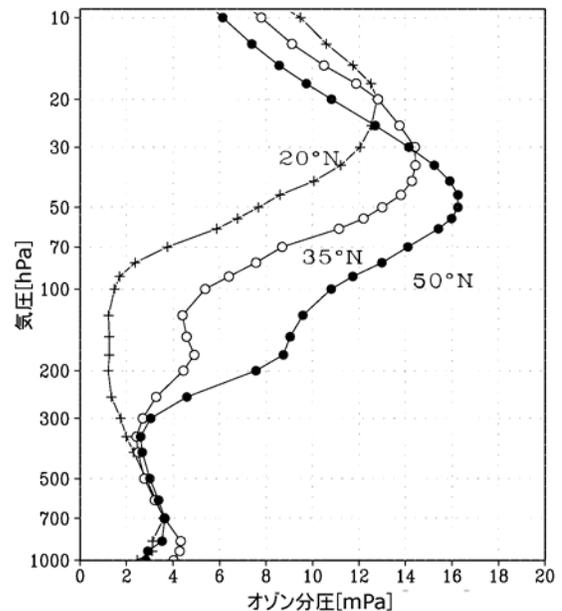
参照値(1979~1992年)のオゾン全量の緯度別平均値を月別に求めた分布図。等値線間隔は25m atm-cm。NASA提供のニンバス-7/TOMSデータをもとに気象庁で作成。陰影部は太陽高度角の関係で観測できない領域。

図2-1-4をみると、2005年の北緯60度～南緯60度のオゾン全量は、ほぼ1年を通して参照値より少なかった。

緯度帯別にみると、北半球については、高緯度（北緯60度以北）の2月は13%以上少なく、5～10月も少なかった。図2-1-5により地域別にみると、1月にカナダ北西部からアラスカにかけて、2、3月にカナダ北東部から北欧にかけて、8月に北極海で少ない領域がみられた。特に2、3月に、グリーンランド付近では20%以上少なかった（2-1-3項参照）。中緯度（北緯30度～北緯60度）は4～11月に少なく、低緯度（北緯30度以南）は、5～12月に少なかった。地域別にみると、2、3月に米国東海岸から英国にかけて少なかった。また12月にはチベット高原で少なかった。

南半球については、中緯度（南緯30度～南緯60度）は1～5月に少なく、低緯度（南緯30度以北）は1、4、8、10、11月に少なかった。地域別にみると、10月に大西洋からインド洋西部にかけて少なかった。南極大陸を含む高緯度（南緯60度以南）では、8、9月に緯度帯平均で約20%少なかった。地域別には8～12月に南極大陸と周辺で少なく、特に9、10月にはオゾンホールが発達に伴って30%以上少ない領域が広がった（2-3節参照）。一方、9月にオーストラリア南方の南極大陸沿岸で多い領域がみられた。

赤道域では年間を通して少なかった。赤道域のオゾン全量は、特に、準2年周期振動（QBO;赤道域の成層圏循環の自然変動で約26ヶ月の周期をもつ）の影響を強く受ける。口絵1にQBOの指標であるシンガポール上空の風と各緯度帯のオゾン全量の比偏差の推移を示している。これによると高度30～50hPaの風向が東風するとき、赤道付近のオゾン全量が減少する傾向があることがわかる。2005年の赤道域のオゾン全量が少なかったのはQBOの影響が大きいと考えられる。



**図2-1-3 : オゾン分布の緯度別高度分布**

1985～2000年に観測され、WOUDCに登録されているオゾンゾンデデータから求めた3月のオゾン分圧の緯度別高度分布。

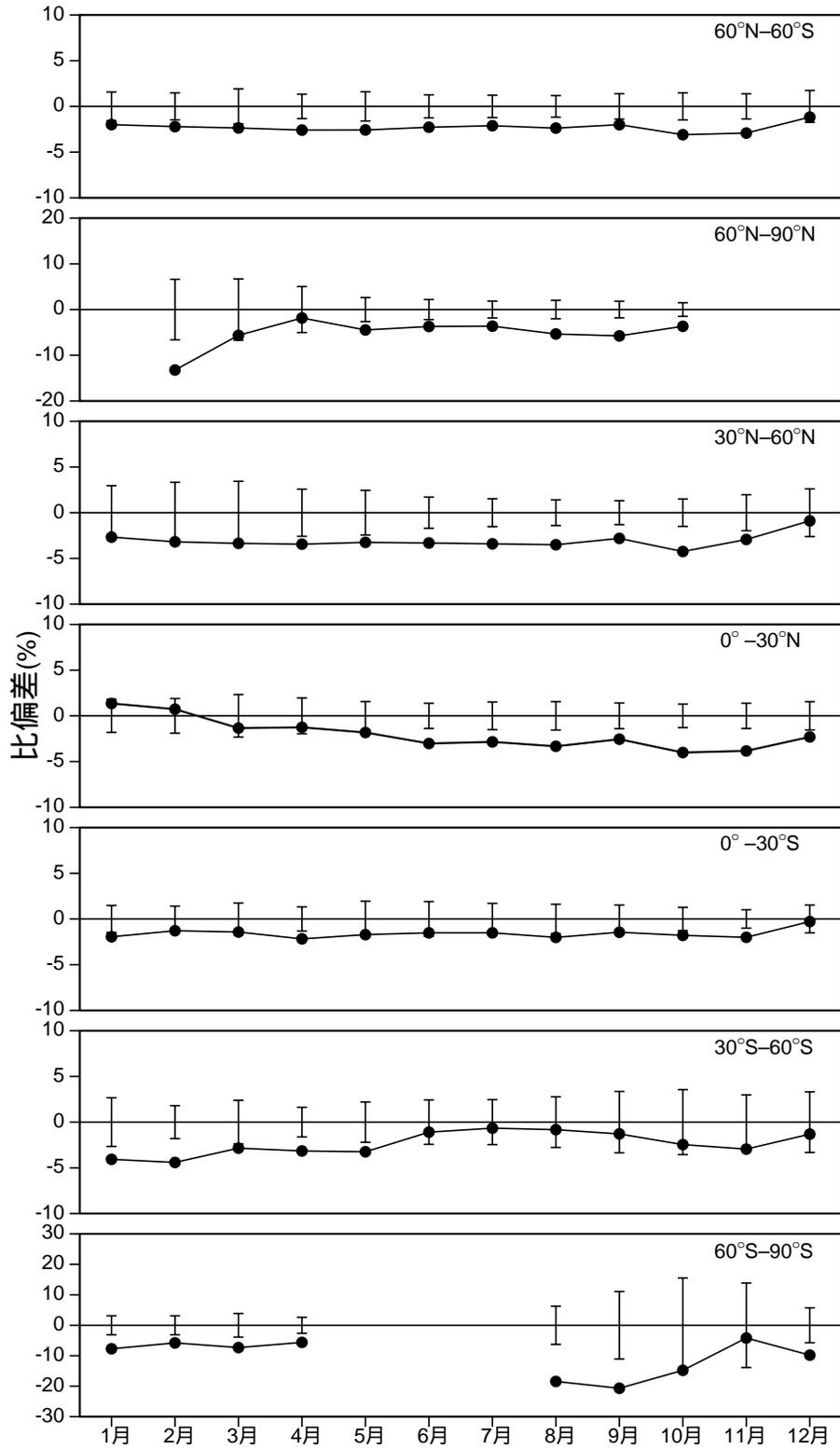


図2-1-4 : 2005年の緯度帯別オゾン全量比偏差の推移

緯度帯別に平均したオゾン全量の参照値(1979~1992年の平均値)に対する比偏差(%)。縦線は参照値の標準偏差。NASA提供のOMIデータから作成した。なお、北緯60度以北の1月と11、12月及び南緯60度以南の5~7月は、太陽高度角の関係で観測できないため示していない。

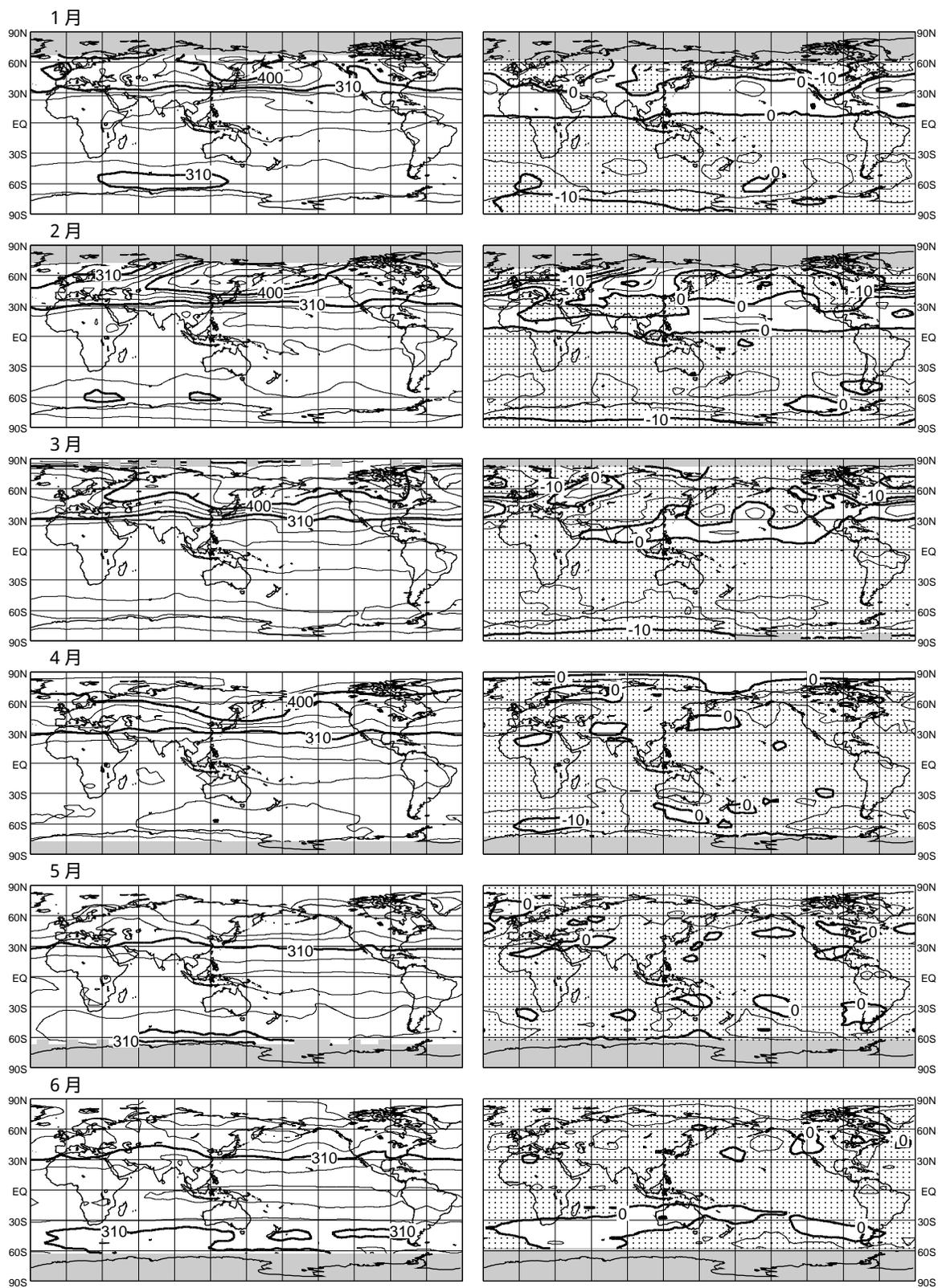


図2-1-5(1) : 2005年の月平均オゾン全量・比偏差の全球分布

等値線間隔は、月平均オゾン全量(左図)については30m atm-cm、比偏差(右図)については5%。陰影部は太陽高度角の関係で観測できない領域。点域は参照値より少ない領域。NASA提供のOMIデータをもとに気象庁で作成。

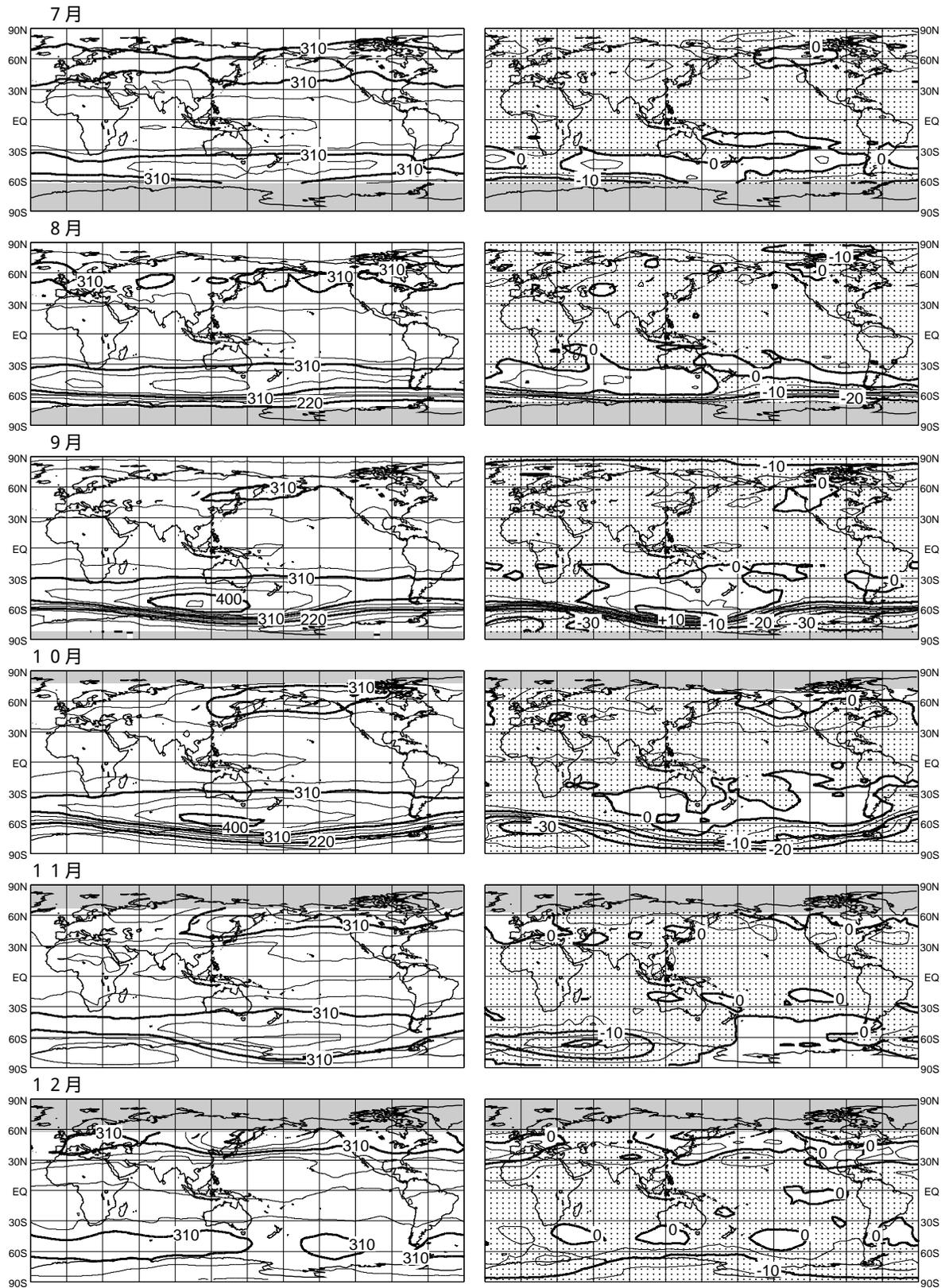


図2-1-5(2) : 2005年の月平均オゾン全量・比偏差の全球分布

等値線間隔は、平均オゾン全量（左図）については30m atm-cm、比偏差（右図）については5%。陰影部は太陽高度角の関係で観測できない領域。点域は参照値より少ない領域。NASA提供のOMIデータをもとに気象庁で作成。

### 2-1-3 北半球高緯度のオゾン層

北半球高緯度でも、南極オゾンホールほど大規模にはならないものの、オゾンの少ない状況が現れることがある。特に、1990年以降の春季にたびたびオゾンの少ない領域が明瞭に現れている。これらは、南極オゾンホールと同様の、極域成層圏雲の粒子表面での不均一反応（2章の解説参照）に関係するオゾンの破壊と、大気の流れの変化に伴い高緯度域へのオゾンの輸送が少なくなることによってもたらされたと考えられる。OMIデータによれば、2005年は、2月から3月にかけて、オゾン全量が参照値に比べて20%以上低い領域が現れた。2004年12月から2005年3月上旬にかけての気象状況をみると、極渦が安定して、北緯60度以北の下部成層圏（50hPa）では、最低気温が、極域成層圏雲が出現する目安となる $-78^{\circ}\text{C}$ を下回る期間が続く（図2-1-6左）、 $-78^{\circ}\text{C}$ 以下の領域の面積はこれまでの平均を大きく上回っていた（図2-1-6右）。

図2-1-7に、2005年1月から3月までの旬平均の北半球オゾン全量分布を示す。北半球高緯度のオゾン全量は、1月から3月にかけては、通常、高緯度に向かうにしたがって多くなる。しかし、2005年は、高緯度側にオゾン全量の少ない領域が現れている。310m atm-cmの等値線を目安にしてオゾン全量の少ない領域の変化をみると、この領域は1月中旬から現れ始め、1月下旬から3月上旬までの間、北半球高緯度域の広い範囲に広がっていたことがわかる。このため、グリーンランド付近では、2月、3月の月平均オゾン全量が、参照値と比較して20%以上少なかった。

図2-1-8は、気象庁の3次元化学輸送モデルを用いた同化解析（オゾンにかかわる輸送過程と化学反応を計算するモデルに、オゾン観測データや気象解析データなどを取り込みながら大気微量成分の3次元分布を計算する手法）による2005年2月11日の北半球の化学的なオゾン破壊の状況を示したものである。

左上図に50hPa（高度約20km）面の塩素濃度（一酸化塩素及びその二量体）を示す。北極中心に楕円形に高濃度域がみられる。この領域が、概ね極渦の領域に対応しており、その内部では極域成層圏雲が出現するような低温となっている。左下図はこの塩素濃度分布の東経15度に沿った鉛直断面を示したもので、50hPa面を中心に高濃度域が広がっていることを示している。右上図は50hPa面において、化学的要因により破壊されていると見積もられる1日あたりのオゾンの割合を示す。カナダ北部から北欧を経てシベリア北部にかけてオゾンの破壊が進んでいることを示している。なお、北極海付近では、この時期にはまだ成層圏が太陽光に照らされないため、オゾンの破壊現象は解析されていない。このようにしてオゾン破壊が徐々に進行し、北半球高緯度域でオゾン全量が大きく減少したものと考えられる。右下図に示すオゾン全量分布図で、カナダ北部から北極を経てシベリア北部にかけてのオゾン全量の少ない領域が、化学的要因でオゾンが破壊された領域と考えることができる。ヨーロッパの研究グループの報告によれば、極渦内の50hPa面付近の領域で、50%以上のオゾンが破壊されていた（WMO, 2005）。3月に入ると極渦は大きく変形しながら消滅した。それに伴い、オゾン全量の少ない領域も不明瞭になっていった。この期間の、オゾンゾンデ等の観測によって、オゾンが大きく破壊されたと考えられる極渦内の空気の一部が、北日本を一時的に通過したことがわかっている。

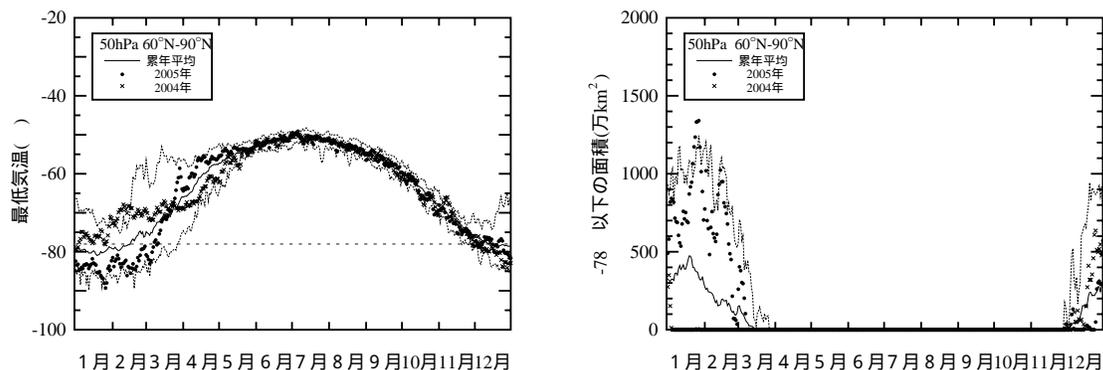


図2-1-6：北半球高緯度の下部成層圏の最低気温の推移及び気温が $-78^{\circ}\text{C}$ 以下の領域の面積の推移（2004年1月～2005年12月）

北緯60度以北の50hPa（高度約20km）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 $-78^{\circ}\text{C}$ 以下の領域の面積の推移（右図）。●印は2005年の値、×印は2004年の値を示す。左図の実線は1988～2004年の最低気温の累年平均値、点線は同期間の最低気温の最高値及び最低値、横破線は極域成層圏雲出現の目安となる $-78^{\circ}\text{C}$ 。右図の実線は同期間の面積の累年平均値、点線は同期間の面積の最大値。気象庁の全球解析値をもとに作成。

口絵2の右下図で、極域での化学的なオゾン破壊域とは別に、大西洋から中部ヨーロッパにかけてオゾン全量が少なくなっている領域がある。これは、低温域及び活性塩素の高濃度域の分布や対流圏界面付近の天気図などから、化学的な要因で少なくなったものではなく、大気の流れの影響によるものと考えられる。このように、化学的なオゾン破壊が進まない場合にも、非常に少ないオゾン全量が観測されることがあり、これは北半球の秋から冬にしばしばみられる。この現象は、低緯度の対流圏のオゾンの少ない空気が中・高緯度に移流し、さらにその空気が上昇してオゾンの多い下部成層圏の空気におきかわることで、オゾン全量が減少するものと説明されている (Rabbe et al., 1995)。顕著な事例として1985年10月30日 (TOMSデータから求めた北大西洋・ヨーロッパ域での最低オゾン全量: 169m atm-cm)、1999年11月30日 (同: 174m atm-cm) がある。このように、北半球高緯度におけるオゾン減少は、化学的要因と力学的要因が複雑にかかわって生じている。

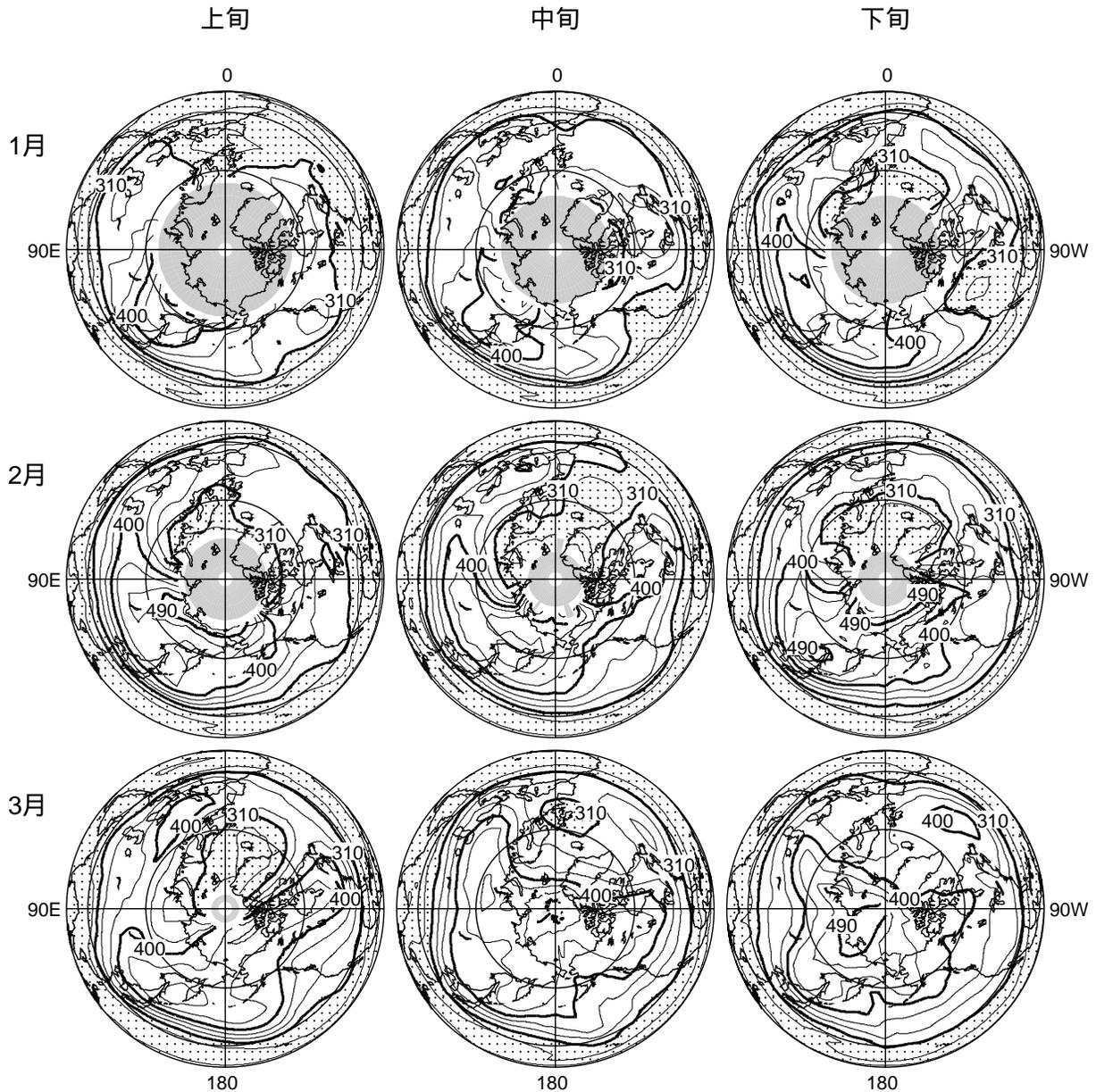


図2-1-7：2005年1月から3月の旬平均オゾン全量の北半球分布図

上段から1月、2月、3月の旬平均値。左列は上旬、中列は中旬、右列は下旬。点域は310 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。NASA提供のOMIデータをもとに気象庁で作成。

## 2-2 日本上空のオゾン層

### 2-2-1 オゾン全量の状況

ここでは、国内4地点（札幌、つくば、鹿児島、那覇）における、ドブソン分光光度計によるオゾン全量データ及び南鳥島におけるブリューワー分光光度計によるオゾン全量データに基づき、2005年の日本上空のオゾン層の状況について述べる。鹿児島における観測は2005年3月をもって終了したため、3月までのデータを示す。

図2-2-1は月平均オゾン全量の推移である。参照値(1971~2000年の月平均値、ただし那覇は1974~2000年の月平均値、南鳥島は1994~2004年の月平均値)と比較して、札幌、つくばで12月に多かったことを除き、概ね並であった。また、那覇では年の前半を中心に多い月がみられ、特に1、3月は1974年の観測開始以来、各月の値として最も多かった。南鳥島は1年を通じて並であった。

これらの評価基準は衛星データ（1979~1992年の平均を参照値として採用）を用いた評価基準とは平均をとる統計期間が異なる。このため、衛星データによる結果とは単純に比較できないことに注意する必要がある。

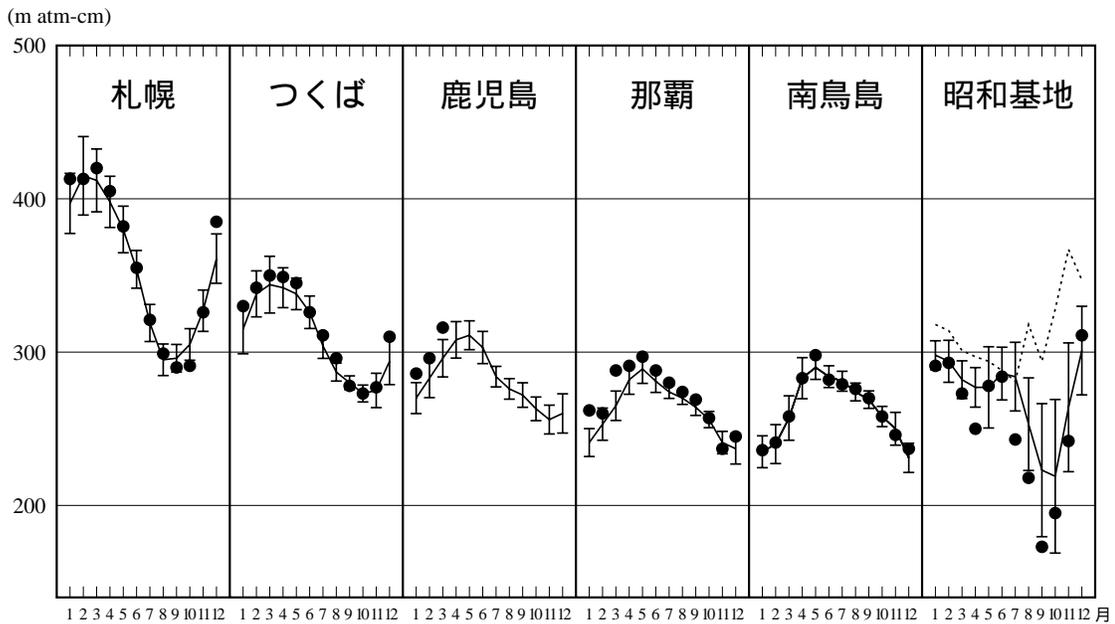


図2-2-1：月平均オゾン全量と参照値

国内5地点（札幌、つくば、鹿児島、那覇、南鳥島）及び南極昭和基地における月平均オゾン全量の推移。●印は2005年の月平均値、折線は参照値（1971~2000年の平均値）、縦線はその標準偏差。ただし、那覇の参照値は1974~2000年の平均値、南鳥島の参照値は1994~2004年の平均値である。また、昭和基地の点線は1961~1980年の平均値（参照値）。昭和基地の折線は1981~2000年の平均値で、縦線はその標準偏差である。

### 2-2-2 オゾン高度分布の状況

オゾンゾンデ観測による日本上空のオゾン高度分布の状況を述べる。図2-2-2は、国内4地点の2004年1月~2005年12月の2年間にわたるオゾン分圧と、参照値（1971~2000年の平均、ただし那覇は1989~2000年の平均）との偏差を示したものである。この図からオゾン分圧が最も高い高度は、高緯度ほど低いことがわかる。札幌でオゾン分圧が最も高い（約15mPa）高度は、20~24km（約50~30hPa）であり、低緯度の那覇でオゾン分圧が最も高い（約12.5mPa）高度は、24~28km（約30~15hPa）である。また、高緯度ほどオゾン分圧の季節変化が明瞭となっている。

各地点ともに、2年間を通してオゾンの一番多い高度よりやや低い高度（高度約20km付近）を中心に参照値より少ない状況であった。また、札幌、つくば、那覇では2004年10月頃から2005年4月頃にかけて、高度20kmよりやや上で参照値より大きい傾向がみられる。この現象は、成層圏のオゾン輸送に関する準2年周

期振動 (QBO) の変動に対応している可能性がある。図2-2-3に示すように、QBOの指標であるシンガポール上空の50hPa面における風向が変わると、約4ヶ月遅れて、国内の30hPa面におけるオゾン分圧が増加する傾向がある。この高度域のオゾン分圧はQBOと関連して変動していることが知られている (気象庁, 2003)。

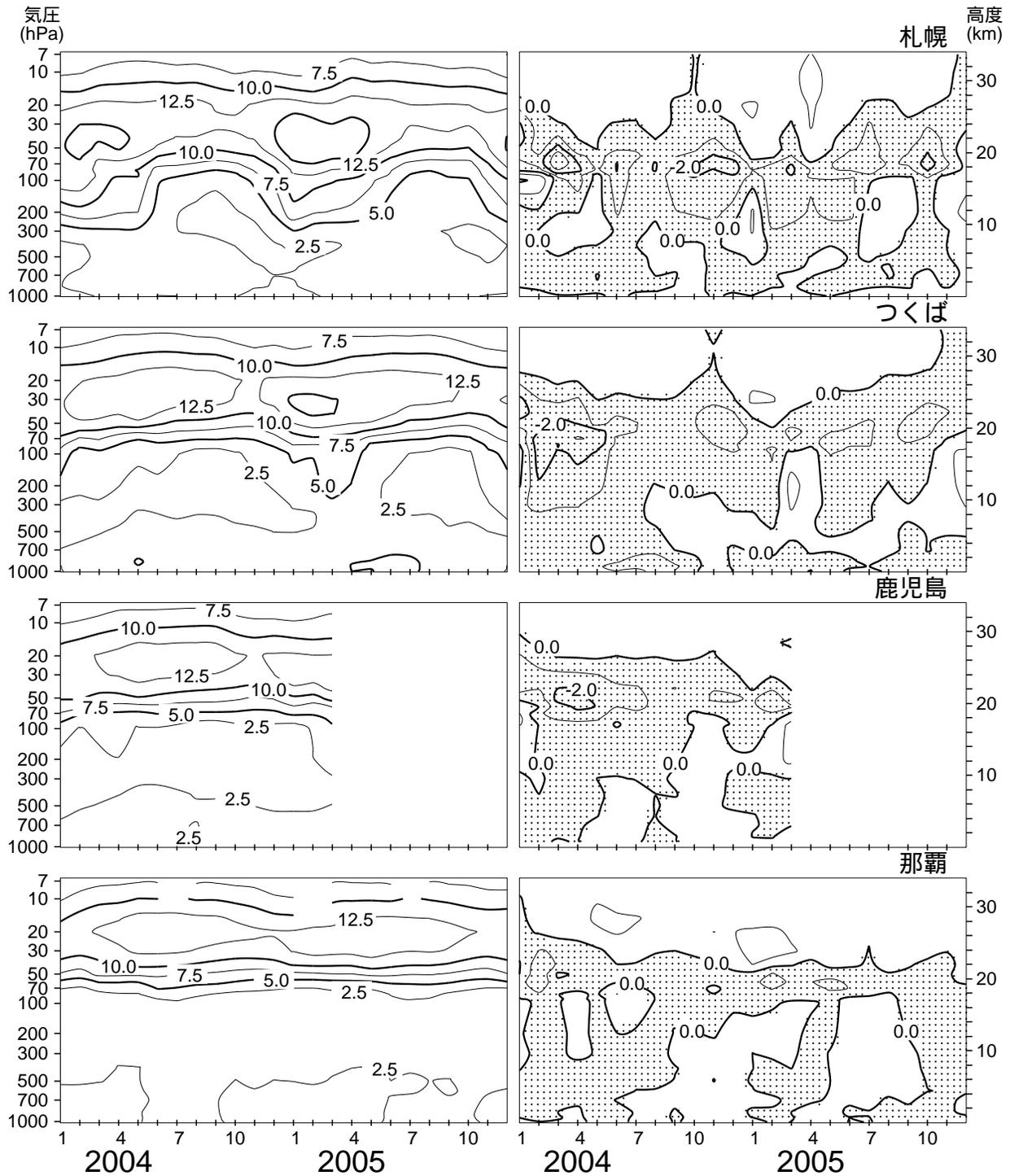


図2-2-2 : オゾン分圧 (mPa) 及び参照値との偏差の高度・月分布図

上から順に札幌、つくば、鹿児島、那覇における、月別及び高度別の2004~2005年のオゾン分圧 (左)、及び参照値との偏差の等値線図。等値線間隔は、分圧は2.5mPa、偏差は1mPa。右図の点域の部分は参照値との偏差が負の領域。

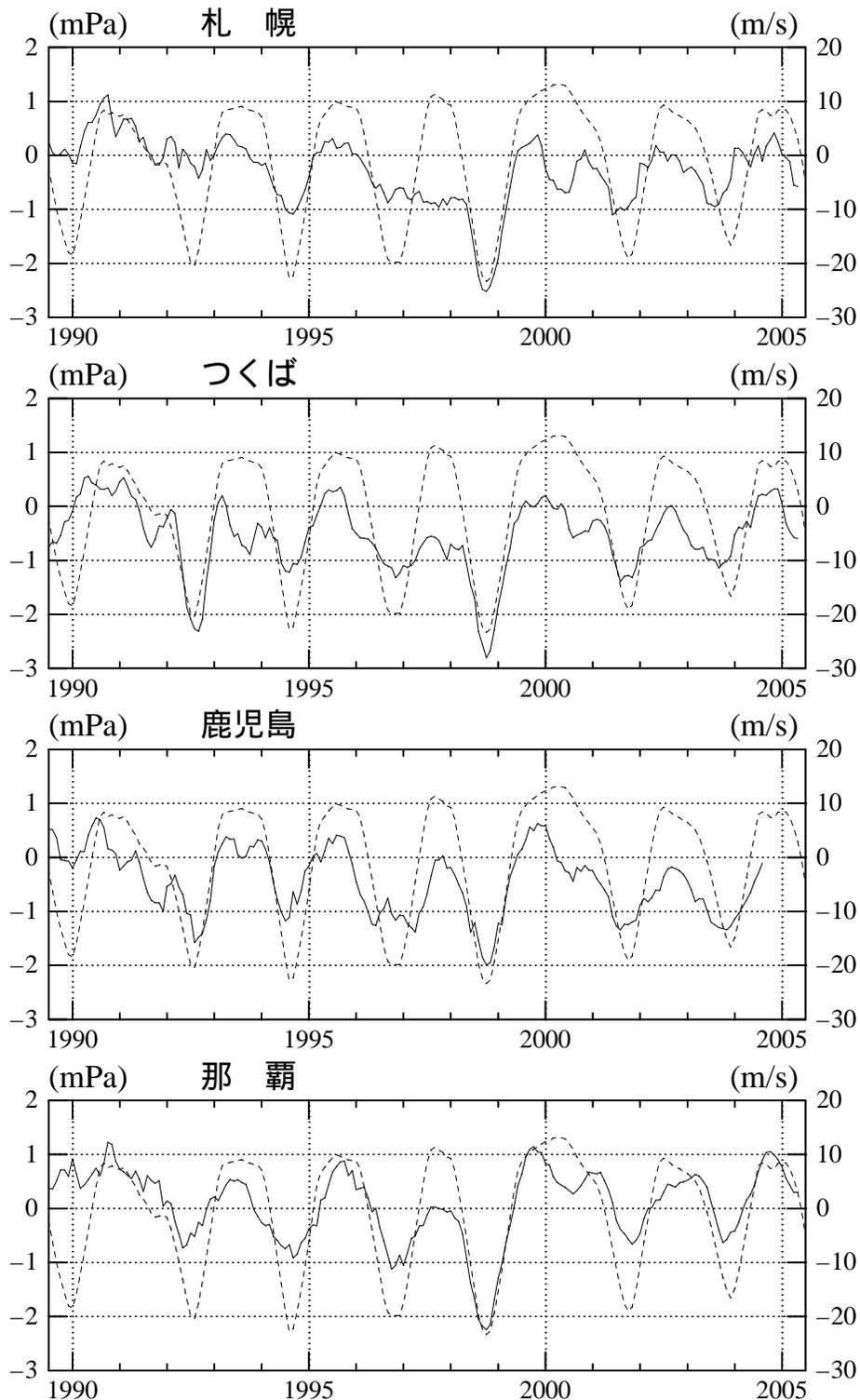


図2-2-3：QB0の指標であるシンガポール上空の50hPa面における風の東西成分 (m/s；点線) と国内オゾン観測点の30hPa面におけるオゾン分圧の偏差 (mPa；実線) の関係

QB0は7ヶ月移動平均したもので、オゾン分圧の偏差は月平均値の参照値からの偏差を7ヶ月移動平均したのち、過去に4ヶ月ずらしたものの。

## 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が、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等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り、現在もその規模を拡大して継続している。

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、オゾン欠損量（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、オゾン欠損量は、南緯45度以南のオゾン全量を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オーラ衛星に搭載されているOMIによるオゾン全量等のデータをもとに、2005年の南極域上空のオゾン層の状況について述べる。アースプローブ衛星に搭載されているTOMSによるデータは、2002年以降比偏差が拡大したが（1-2節参照）、南半球高緯度域に関しては、地上観測値と比較した結果比偏差が比較的小さかったため、ここではそのまま用いている。

### 2-3-2 南極昭和基地での観測

2005年の昭和基地上空の月平均オゾン全量は、1年を通して参照値（オゾンホールが明瞭に現れる以前の1961年～1980年の平均値）より少なく、特に7～10月には顕著であった（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の変化を示している。同基地では、オゾンホールに覆われた8月下旬から10月中旬に、オゾンホールの目安である220m atm-cmを下回る非常に少ないオゾン全量を観測した。10月4日に2005年の最低値である136m atm-cmを記録した。10月中旬以降はオゾン全量の変動が大きかったが、11月末には急速に増加し、12月になると300m atm-cm前後の値で推移した。

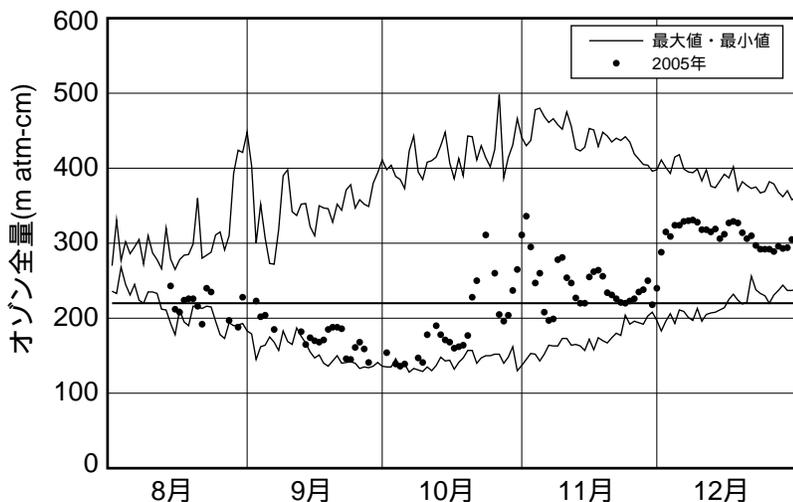


図2-3-1：南極昭和基地における日別オゾン全量の推移

●は2005年の観測値、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。横太線はオゾンホールの目安である220m atm-cmの値を示す。

図2-3-2は、2005年の9月から12月までの個々のオゾンゾンデ観測で得られた高度分布（上段）、及びその月平均高度分布（下段）を示している。それぞれの図には参照値として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。図には示さないが、8月下旬に高度18～23km付近（50～20hPa）でオゾン分圧の低い領域が現れはじめ、9月になるとさらに低い高度13～18km付近にもオゾン分圧の低い領域がみられるようになった。10月上旬から中旬の観測では高度15～19km（100～50hPa）付近の

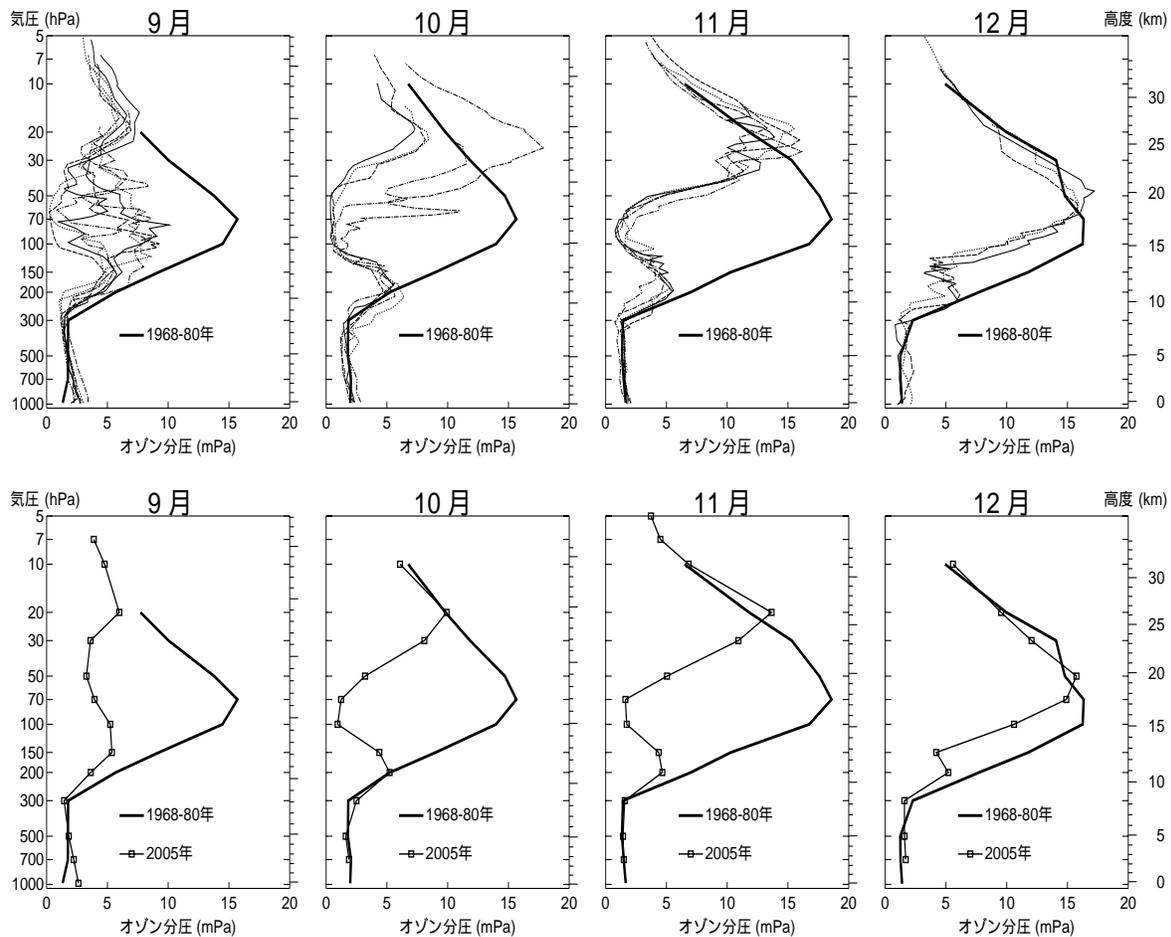


図2-3-2：南極昭和基地におけるオゾン高度分布

2005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。細実線は2005年の個々の観測結果。下段：太実線は上段に同じ。-□-は2005年の月平均オゾン高度分布。

オゾン分圧はほとんど0になっている。10月下旬には高度25kmを中心に参照値より大きい値となった。11月は高度12～20kmで参照値より大幅に低い状況が続いたが、高度24km（30hPa）以上で参照値を超える値となった日もあった。12月には高度18km（70hPa）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2-3-3に、昭和基地での2005年のオゾンゾンデ観測をもとにしたオゾン分圧の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）で最も高くなる。2005年の1月から8月中旬までは、この高度のオゾン分圧はほぼ10mPa以上であったが、8月中旬以降、オゾン分圧は低下し、9月上旬から11月下旬にかけて極めて低いオゾン分圧が観測された。低いオゾン分圧の中心は、9月下旬の高度22km付近から11月には高度16km付近へと移動している。10月中旬から高度23～26kmを中心にオゾン分圧の高い領域がみられ、これに伴ってオゾン全量も回復している（図2-3-1参照）。

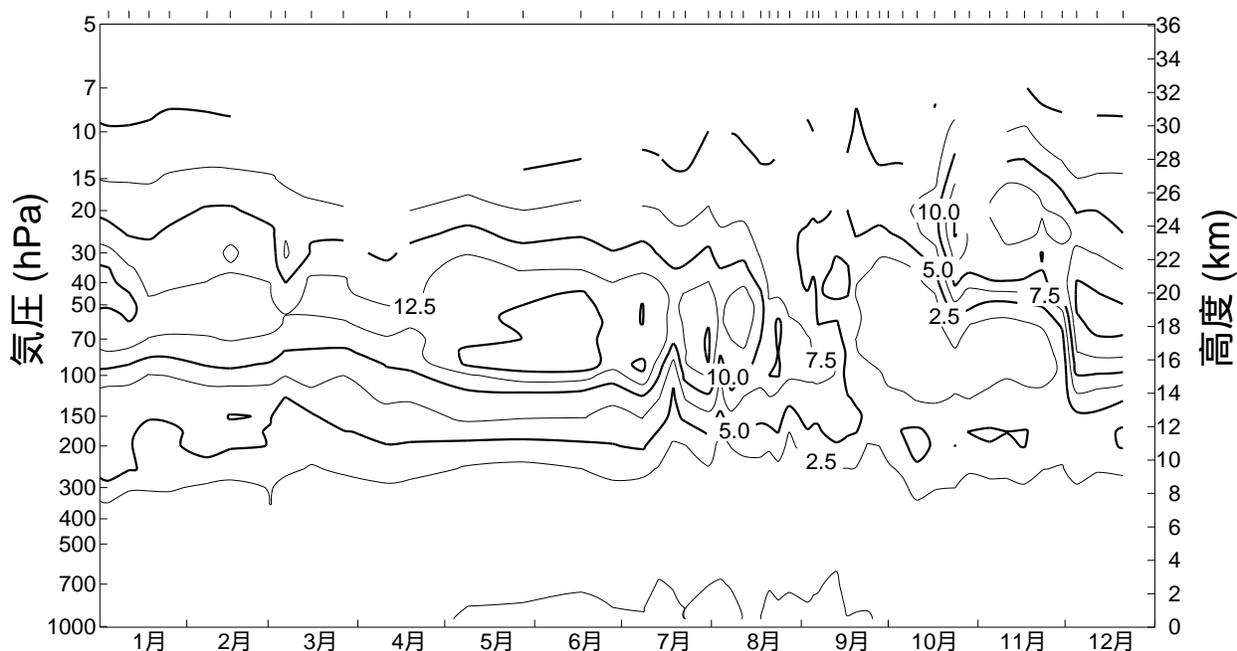


図2-3-3：南極昭和基地におけるオゾン高度分布の変化図

南極昭和基地のオゾンゾンデ観測結果に基づく2005年のオゾン分圧の高度分布の変化。等値線間隔は2.5mPa。

### 2-3-3 各国基地での観測

図2-3-4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2005年8月から12月のオゾン全量の日々の観測値を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とがわかる。オゾンホールは通常南極点近くに位置するが、成層圏の風の流が変動すると、大きく変形したり中心が移動する。各観測地点はいずれも、南極大陸の沿岸部に位置し、オゾンホールの縁辺部に位置することが多いため、オゾンホールが変形したり移動すると、オゾン全量が急激に増減することがある。しかし、いずれかの観測地点はオゾンホールの下に位置している場合が多いので、各観測地点のデータで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。これによると、2005年のオゾンホールは9月中旬から下旬にかけて最盛期を迎えたとみられる。

個々の観測点におけるオゾン全量は、ベルナドスキ／ファラデイとロゼラで8月上旬に220m atm-cm以下の値が観測されたのを最初に、全観測地点で9月中旬から10月上旬にかけて最も減少し、ロゼラでは100m atm-cm以下、ハレーでは110m atm-cmに近い値を記録した。その後、オゾン全量は増加し、10月中旬から下旬にかけて、昭和、ベルナドスキ／ファラデイ、ロゼラやアライバルハイツでは、300m atm-cmを超える値が観測された。ロゼラでは11月上旬、ハレーでは11月中旬、昭和では11月下旬を最後に220m atm-cm以下の値が観測されなくなった。衛星データによるオゾンの分布の推移等との比較によると、各基地のオゾン全量の変動は、オゾンホールの規模やその形状にほぼ対応している。

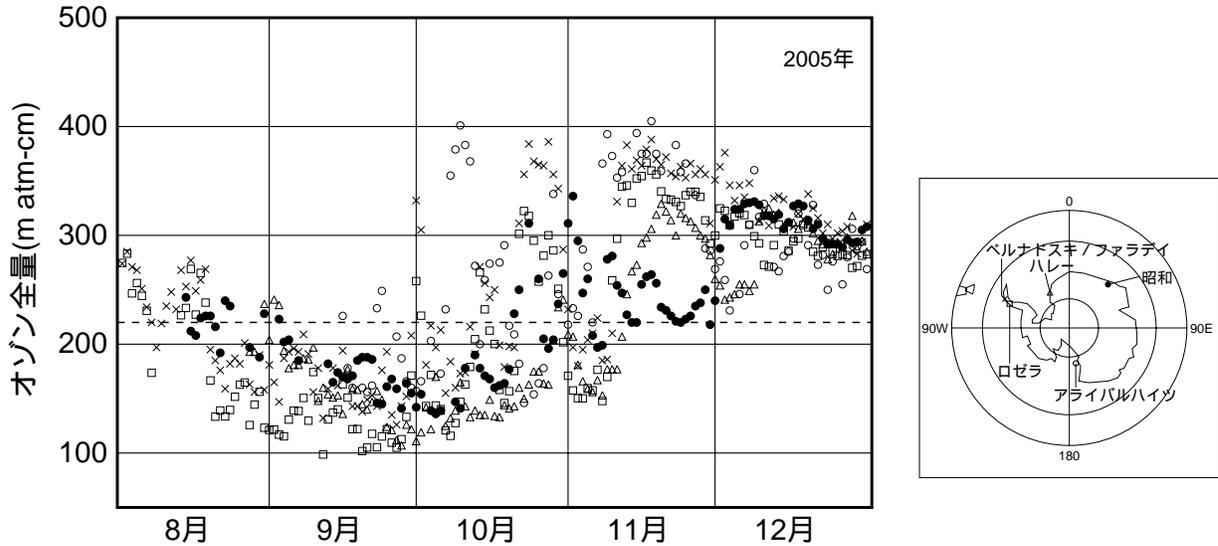


図2-3-4：南極各基地におけるオゾン全量の変化

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2005年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。

#### 2-3-4 衛星による観測

図2-3-5に、オーラ衛星のOMIにより観測した2005年8月から12月までの南半球の旬平均オゾン全量分布図を示す。この図によると、オゾンホールは8月中旬に急激に発達し、9月を通して南極大陸全体をほぼ覆ったことがわかる。10月になると、オゾンホールはその中心が南極点から昭和基地（南緯69度、東経39度）の方向に移動するなどして、11月中旬には急速に縮小した。図には示さないが、日々のオゾンホールの状況を見ると、11月中旬にオゾンホールの中心は、南極大陸沿岸の南極海に移動し、その後、変形・縮小しながら大きく移動したため、図2-3-5の11月中旬以降の旬平均図には220m atm-cm以下の領域は現れていない。

図2-3-6にTOMSとOMIの日別値から求めたオゾンホールの規模の変化を示す。2005年のオゾンホールは、例年より早く8月前半に急速に拡大し、9月11日に2005年の最大の面積である2,673万km<sup>2</sup>となった。またオゾン欠損量（オゾンホール内で破壊されたオゾンの総量の目安）は9月19日に8,887万トンとなった。これらはともに、最近10年間の中では平均的な大きさとなり、オゾンホールは依然として大規模な状態に発達しているといえる。11月中旬になるとオゾンホールは急速に縮小し、12月14日に消滅した。2005年の最低オゾン全量は、7月から8月にかけてこれまでの最低レベルよりも低い状態で推移し、10月1日に2005年の最低値である102m atm-cmを記録したあと、11月中旬に急速に増加した。なお、TOMSとOMIではメッシュ内のオゾン全量の算出方法が異なるため、両者間で最低オゾン全量を比較する際に差がありうることに留意する必要があるが、2005年の7月から8月にかけての低いオゾン全量は、他の衛星データ（GOME, SCIAMACHY）を用いた解析でも確認されている（WMO, 2006）。

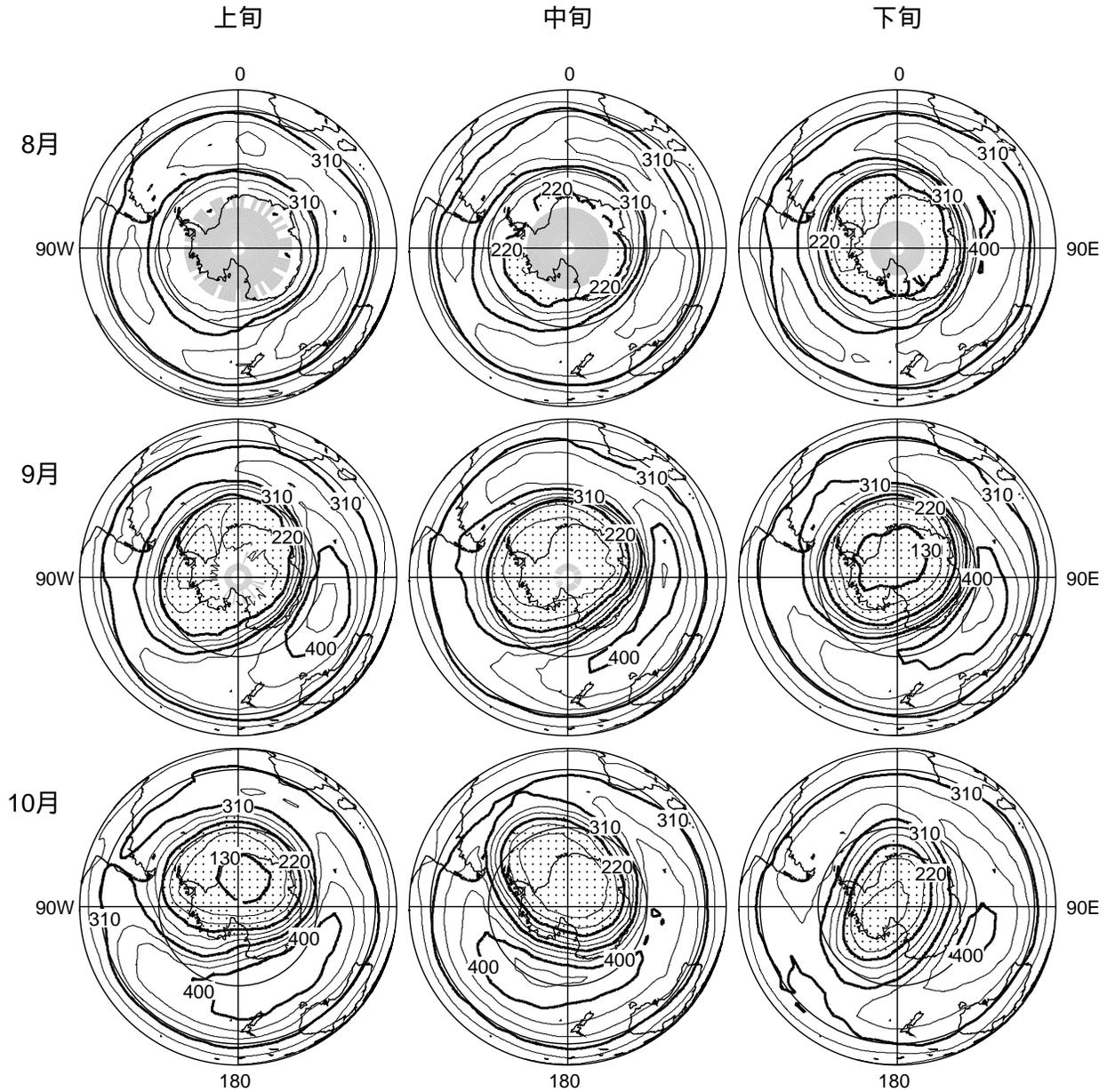


図2-3-5 (1) : 2005年8月から12月の旬平均オゾン全量の南半球分布図 (8~10月)

上段から8月、9月、10月の旬平均値。左列は上旬、中列は中旬、右列は下旬。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。NASA提供のOMIデータをもとに気象庁で作成。なお、観測には太陽光を用いることから、極夜のため観測データが取得できない領域がありオゾンホールを目安となる220m atm-cmを下回るデータが地上で観測されていても、図には現れていない場合がある。

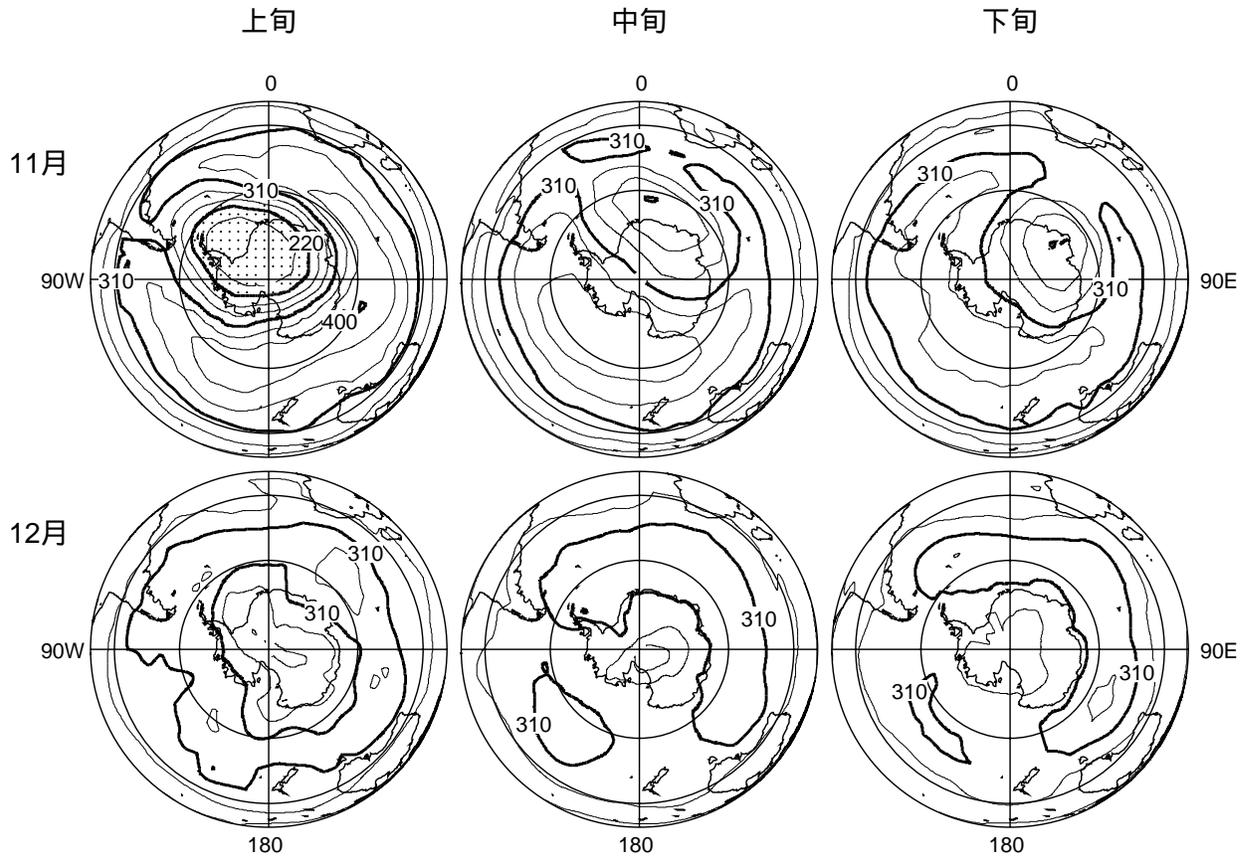


図2-3-5 (2) : 2005年8月から12月の旬平均オゾン全量の南半球分布図 (11~12月)

上段から11月、12月の旬平均値。左列は上旬、中列は中旬、右列は下旬。点域は220m atm-cm以下の領域。等値線間隔は30m atm-cm。NASA提供のOMIデータをもとに気象庁で作成。

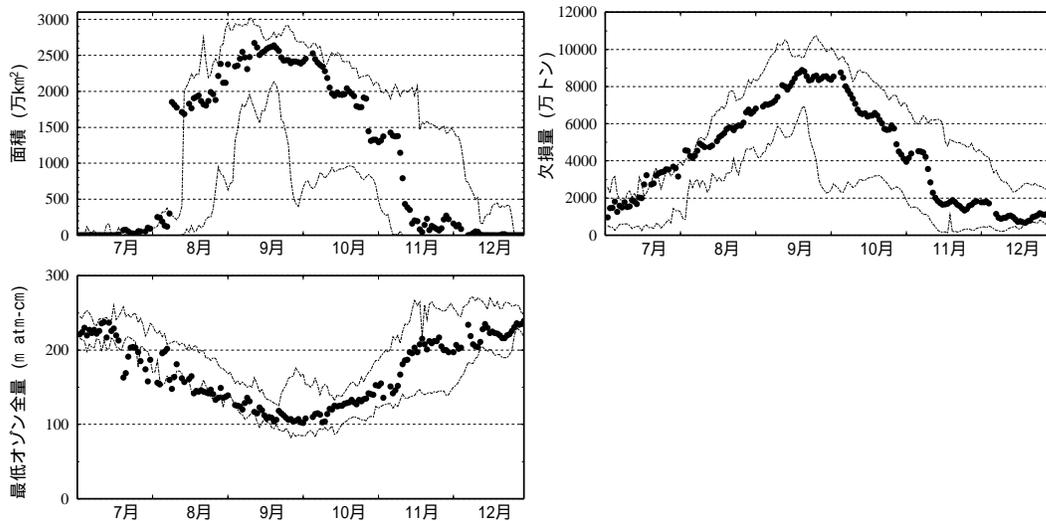


図2-3-6 : オゾンホール規模の推移

●印は2005年の日々のオゾンホール規模の推移。破線は過去10年(1995~2004年)の日別の最大値及び最小値を示す。NASA提供のOMIデータをもとに気象庁で作成。

### 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、南半球の冬季から春季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 $-78^{\circ}\text{C}$ 以下の面積は、オゾンホールの発達と関連が大きい(気象庁, 1993)。オゾンホールの形状は極渦の形状にほぼ一致することから、オゾンホールの日々の変動を知るためには極渦の動きを把握することが重要である。図2-3-7に気象庁で作成した2005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 $-78^{\circ}\text{C}$ 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 $-78^{\circ}\text{C}$ より低くなり始め、7、8月に最も低くなり、10月に $-78^{\circ}\text{C}$ を上回るという季節変化を示す。

2005年の南極域の気象状況は、累年平均(1988~2004年の平均)と比較すると、8月後半以降はやや低めの気温で推移した。その結果、 $-78^{\circ}\text{C}$ 以下の領域の面積(図2-3-7右図)は、9月下旬まで累年平均より大きめに推移し、極域成層圏雲の中で生ずる活性塩素の発生が促進され、オゾンが破壊されやすい気象状況であったと考えられる。

一般に、成層圏気温の昇温の原因としては、対流圏で発生し、上方に伝播してきたプラネタリー波による西向き運動量の流入によって、極渦が減速することなどが挙げられる。2004年の場合は、8月下旬に比較的大きな成層圏突然昇温(冬季の高緯度成層圏で気温が広域にわたり突然上昇する現象)が発生したが、2005年はこの期間に、対流圏から成層圏への西向き運動量の流入を示す指標であるEPフラックス(Eliassen-Palm flux)が例年より弱かったため、オゾンホールの発達が促進されたと考えられる。

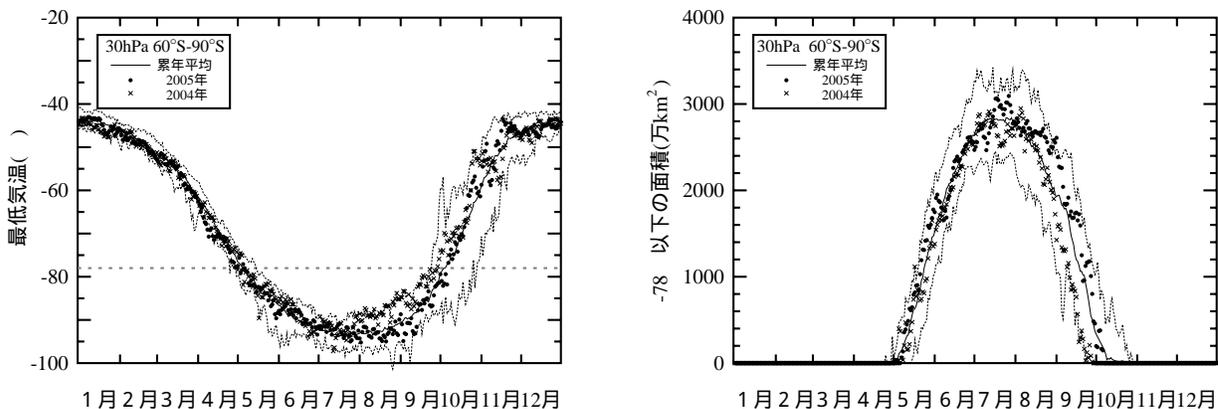


図2-3-7: 南極域上空の下部成層圏の最低気温の推移及び気温が $-78^{\circ}\text{C}$ 以下の領域の面積の推移(2004年1月~2005年12月)

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 $-78^{\circ}\text{C}$ 以下の領域の面積の推移(右図)。●印は2005年の値、×印は2004年の値を示す。実線は1988~2004年の最低気温(面積)の累年平均値、左図の点線は同期間の最低気温の最高値及び最低値。右図の点線は同期間の面積の最大値と最小値。左図中の横の破線は極域成層圏雲出現の目安となる $-78^{\circ}\text{C}$ 。気象庁の全球解析値をもとに作成。

### 2-3-6 2005年の南極オゾンホールの特徴

以上の観測結果から、2005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。

2005年のオゾンホールは、これまでと比較して、早い時期から発達した。面積、オゾン欠損量(破壊量)はともに、過去10年の中では平均的な値となり、依然として大規模に発達した。

今年のオゾンホールが例年より早い時期に拡大した理由の一つとして、成層圏のオゾン層破壊物質の総量が依然として多い状況のもとで、8月から9月にかけて、オゾン破壊を促進する極域成層圏雲の形成に必要な、成層圏の $-78^{\circ}\text{C}$ 以下の低温域が例年より広範囲に広がり、オゾンが破壊されやすい気象状況であったことが考えられる。

### (解 説) オゾン破壊のメカニズム

地上で放出されたクロロフルオロカーボン類 (CFCs) 等は、上部成層圏 (高度40km付近) において太陽紫外線により分解され塩素原子となる。この塩素原子が上部成層圏でオゾンを連鎖的に破壊する。塩素原子は、その後下部成層圏にも輸送されるが、そこでは塩化水素、硝酸塩素といった準安定な物質に変化し、通常は直接オゾンを破壊することはない。

ところが、極域では冬季から春季にかけての特有の気象条件によって、下部成層圏でもオゾン破壊が起こる。そのメカニズムは以下のとおりである。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、極域上空とその周囲との空気の交換が著しく制限され、極域上空の成層圏大気は周囲から孤立する。冬季は太陽光があたらないため、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およそ $-78^{\circ}\text{C}$  (195K) 以下で発生するタイプIのものと、およそ $-85^{\circ}\text{C}$  (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 ( $\text{H}_2\text{O}$ ) 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こる不均一反応 (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 ( $\text{ClONO}_2$ ) や塩化水素 ( $\text{HCl}$ ) といった、それ自体はオゾン破壊作用のない化合物から塩素分子 ( $\text{Cl}_2$ ) などが発生する (WMO, 1995)。春季になって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などから光によって解離した活性塩素原子が触媒的にオゾン破壊を開始する。オゾンホールは、南極域で、このメカニズムによって急激なオゾン破壊が進むことによって形成されるものである。このように、オゾンホールの形成は極渦の状況と密接に関係している。このため、極渦の年々変動に伴ってオゾンホールの規模にも年々の変動が生ずる。