

2 2003年のオゾン層の状況

気象庁が入手した各種オゾンデータ(地上観測、地上からのゾンデによる観測及び衛星による観測に基づくデータ)を解析した結果に基づき、2003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は、TOMSによるオゾン全量の参照値(平均的な全球分布図)である。オゾン全量は赤道域で少なく、南北両半球とも高緯度で多い。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。

オゾン全量は、高緯度で多いが、季節的に見ると冬季から春季にかけて最大になる(図2 - 1 - 2)。このようなオゾン分布の成因は、以下のように説明される。オゾンは、熱帯上空の成層圏を中心に太陽からの紫外域日射により生成され、ブリューワー・ドブソン循環(低緯度で対流圏からわき上がってきた空気が両極へと向けてゆっくりと移動し、高緯度で沈降(下降)して対流圏に戻るといふ、成層圏の循環)により中高緯度に運ばれ、そこで下降する。下部成層圏のオゾンは光化学的な消滅が少ないことにより、オゾン分圧は高くなる。このため中高緯度では低い高度で最大のオゾン分圧があらわれ、しかもオゾン分圧は熱帯上空よりも高くなる(図2 - 1 - 3)。このような熱帯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高緯度にオゾンが蓄積される。

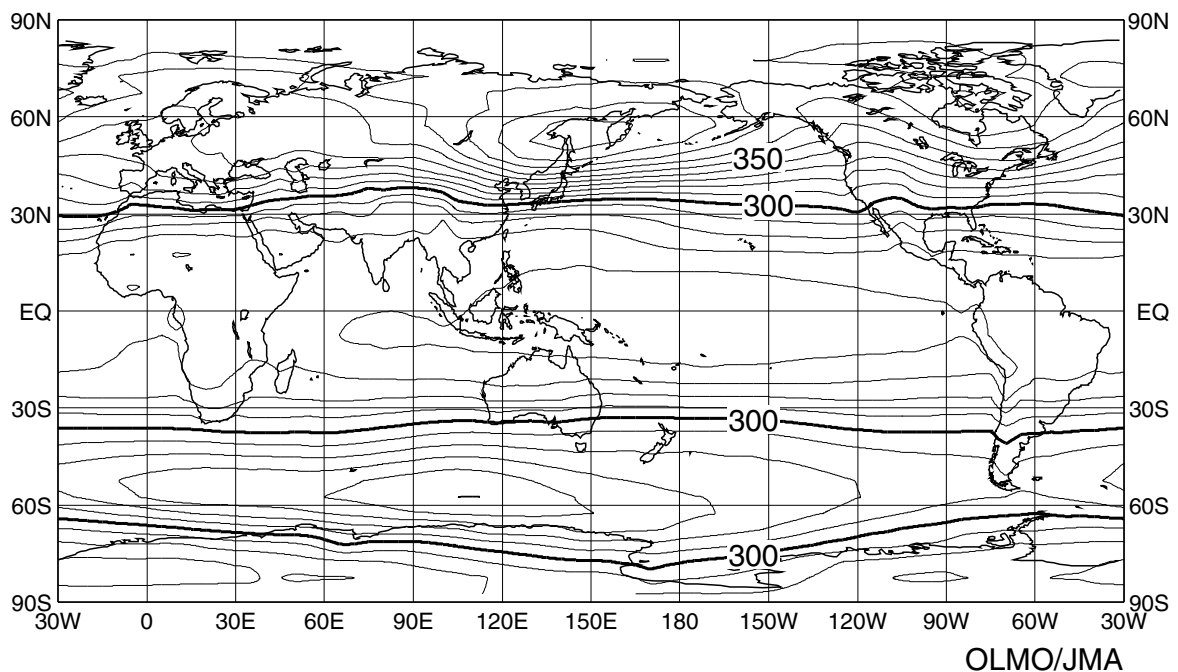


図2 - 1 - 1 : TOMS による全球のオゾン全量の参照値

ニンバス -7/TOMS データを基にして作成した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10 m atm-cm 毎。NASA 提供のデータを基に作成。

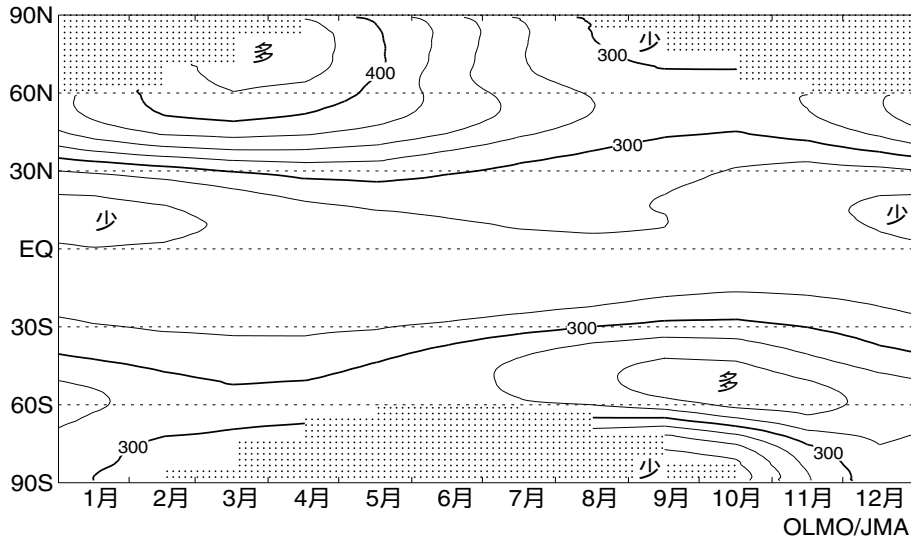


図2 - 1 - 2 : TOMS によるオゾン全量の月別年平均値の緯度別季節変化

ニンバス-7/TOMS データを基にした参照値(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 毎。NASA 提供のTOMS データを基に気象庁で作成。点域は極域でデータが取得できない領域。

2 - 1 - 2 2003 年のオゾン層の状況

2003年の全球のオゾン全量について、緯度帯別オゾン全量比偏差の推移(図2 - 1 - 4)及び月別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。地域的な変化の状況については、参照値より10%以上大きいか小さい場合について特に記述した。

2003年の全球のオゾン全量(北緯90度~南緯90度)は、1年を通して少なかった。緯度帯別に見ると、北半球については、高緯度の1~4、7、8、11、12月、中緯度の5、6、9~12月、低緯度の1、9~12月で少なく、特に高緯度の2~4月に10%近くも少なかった。南半球では、高緯度の1~9、12月、中緯度の1、2、4~8月、低緯度の1~4、10~12月に少なく、特に高緯度の6~9月にかけて20~30%近くも少なかった。低緯度の年末に少なかったのは、口絵1より熱帯域の高度30hPa以上で風向が冬季に東風から西風に遷移したため、このような場合には大気の循環の構造の変化によりオゾン全量が減少することが知られている(Zhau and Akiyoshi, 2003)。

地域別に見ると、2~4月に、グリーンランドから北欧、シベリア上空にかけて10%以上少ない領域が見られた。特に、3月は20%以上少ない領域がみられた。11、12月には北太平洋で10%以上少ない領域が見られたが、一方、北大西洋で11月には10%以上多い領域が見られた。南半球では、1年を通して、南極大陸を含む高緯度域で10%以上少ない領域が見られた。特に、8~11月はオゾンホールが発達に伴って20%以上少ない領域が広く見られた。これは2003年の南極のオゾンホールが8月下旬に急速に拡大して、9月下旬に過去最大級に発達したあと、急速に縮小して12月上旬に消滅したことに対応している(2 - 3節参照)。

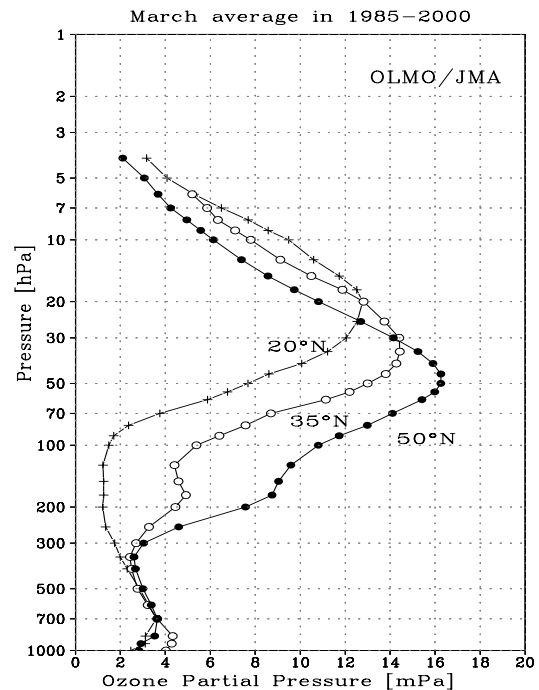


図2 - 1 - 3 : オゾン分布の緯度別高度分布

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。

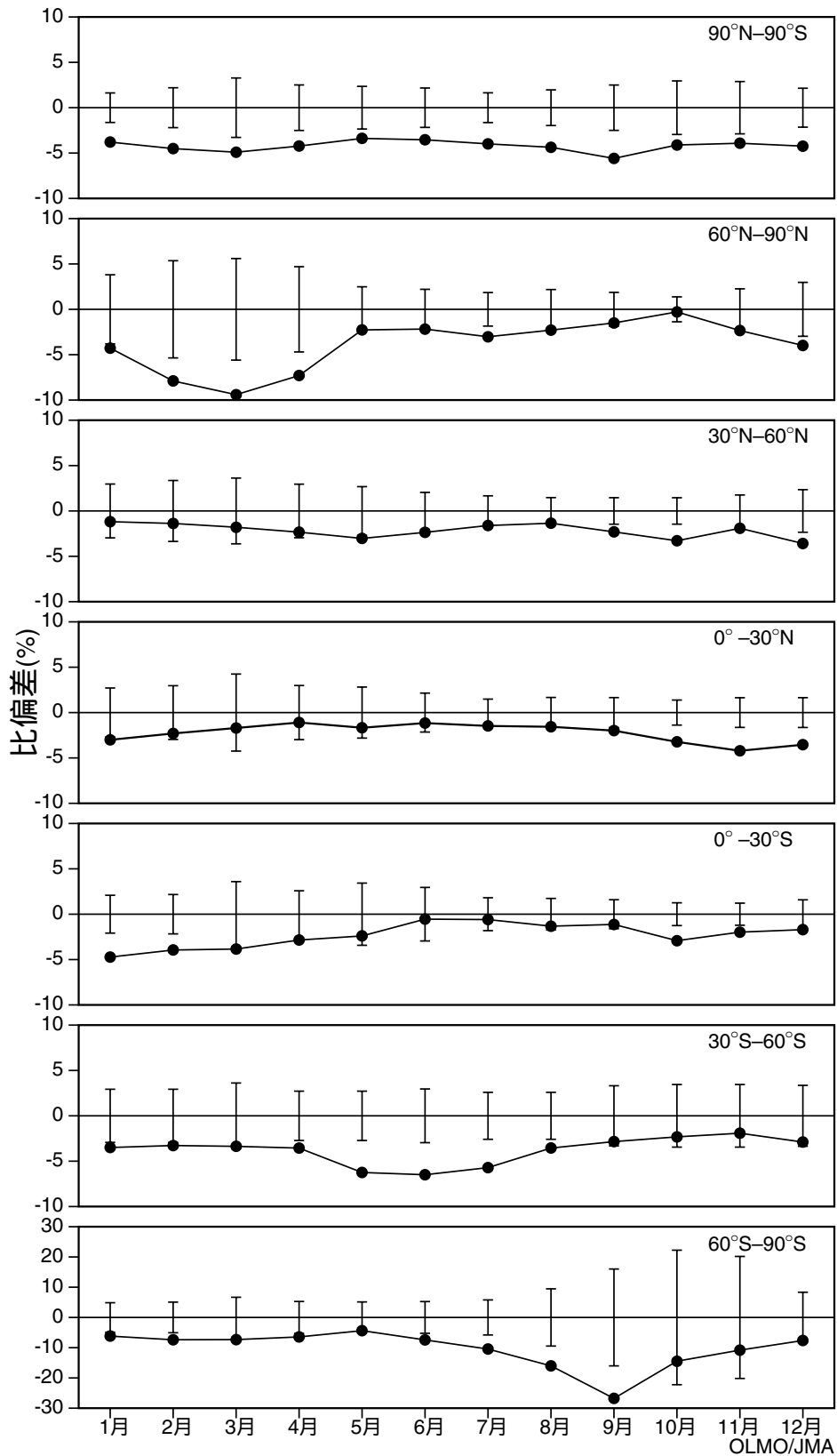


図 2 - 1 - 4 : 緯度帯別オゾン全量比偏差の推移

緯度別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。

なお、5月15 ~ 23日、11月27日 ~ 12月3日の期間については機器の不具合により TOMS データは得られていない。

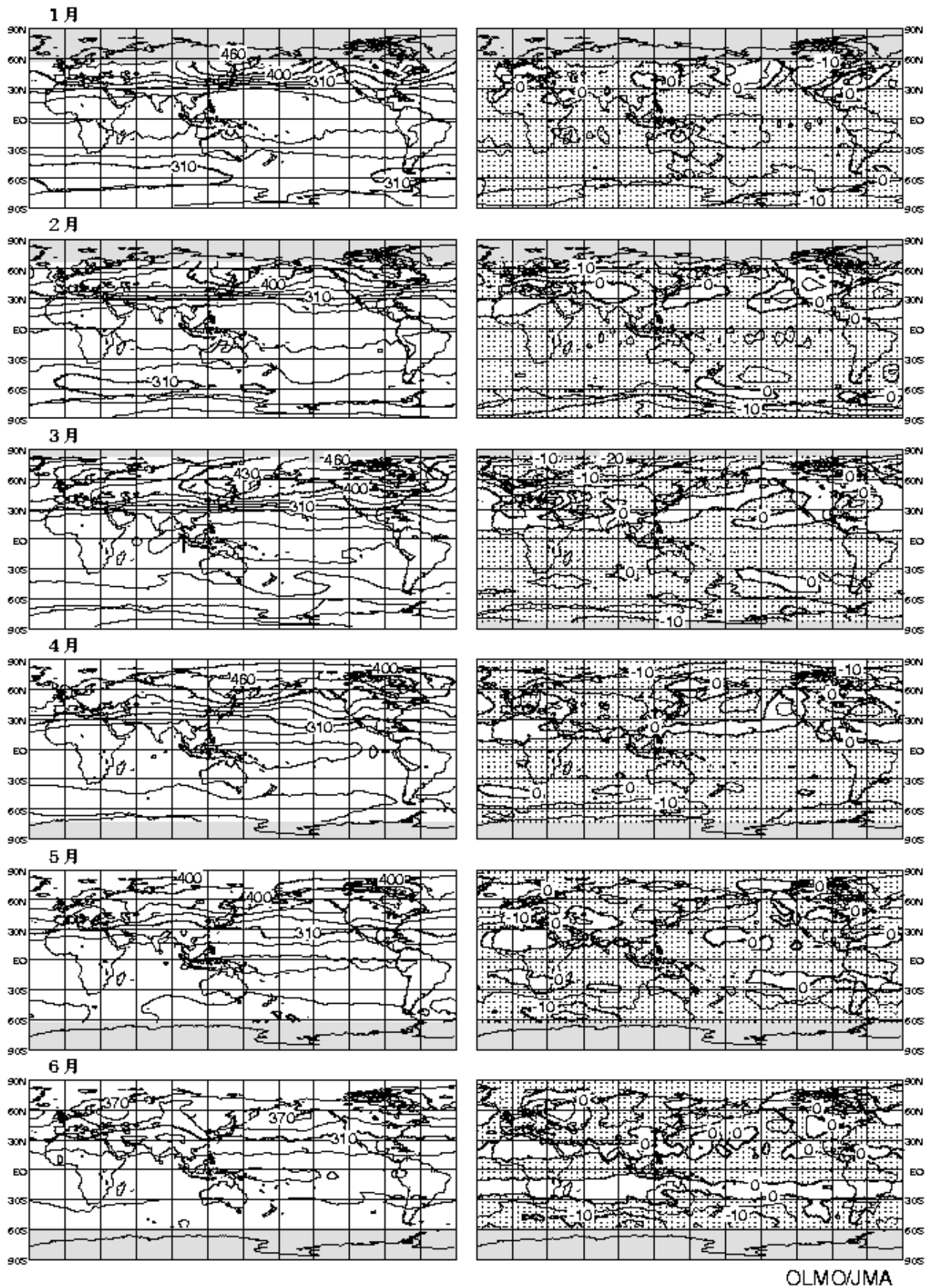


図2 - 1 - 5 (1) : 2003 年の月別平均オゾン全量・比偏差の全球分布

等値線間隔は、平均オゾン全量（左図）については30m atm-cm 毎、比偏差（右図）については5 %毎。陰影部は極域でデータが取得できない領域。点域は参照値より少ない領域。NASA 提供の TOMS データを基に気象庁で作成。なお、5月15～23日の期間については、機器の不具合により TOMS データは得られていない。

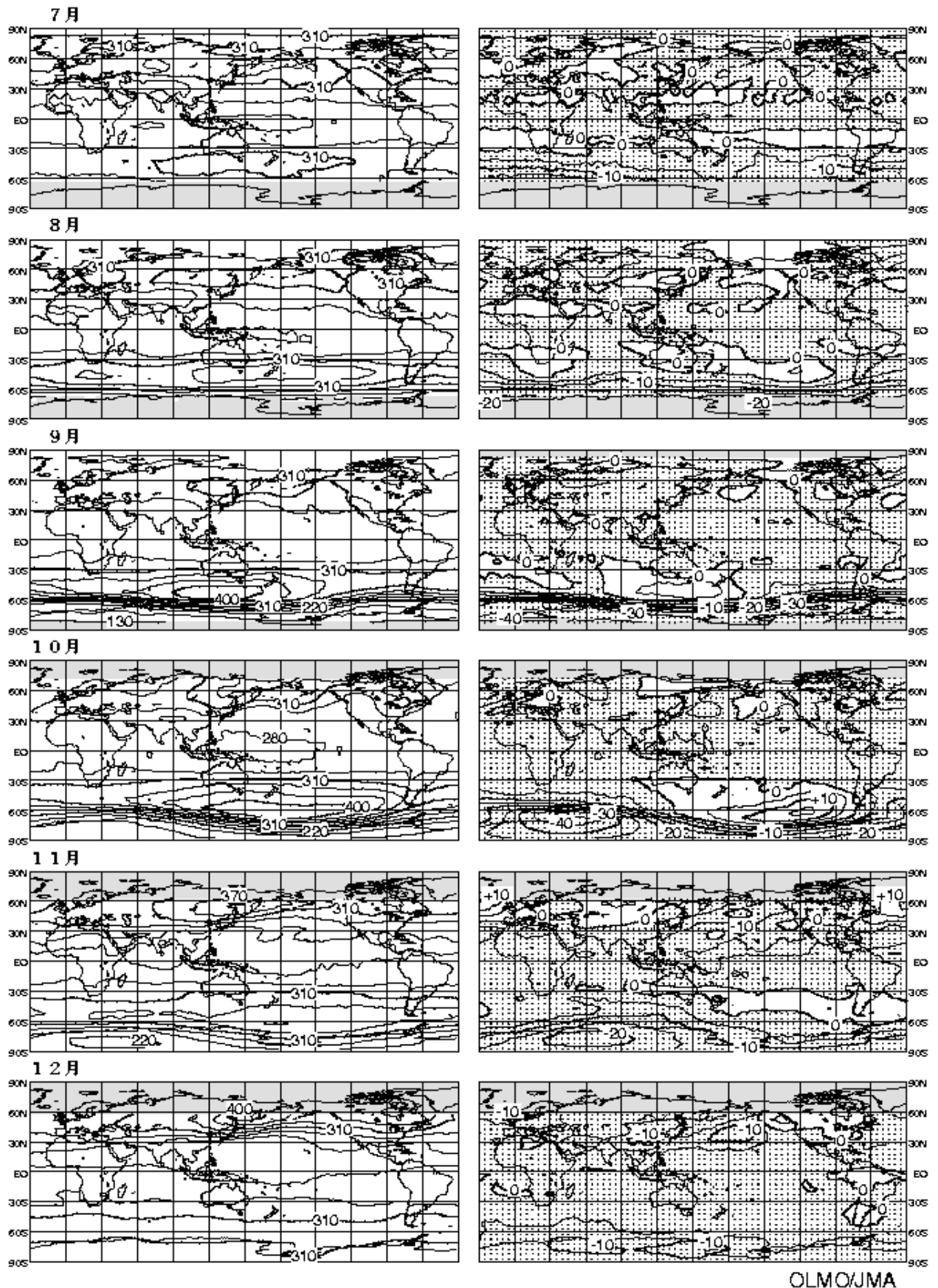


図 2 - 1 - 5 (2) : 2003 年の月別平均オゾン全量・比偏差の全球分布

等値線間隔は、平均オゾン全量（左図）については30m atm-cm 毎、比偏差（右図）については5 %毎。陰影部は極域でデータが取得できない領域。点域は参照値より少ない領域。NASA 提供の TOMS データを基に気象庁で作成。なお、11月27日～12月3日の期間については、機器の不具合により TOMS データは得られていない。

北半球でも、南極オゾンホールほど顕著ではないものの、オゾンの少ない状況が出現することがある。北半球高緯度では1990、1993、1997、2000年の春季に顕著なオゾン減少が見られ、このうち、1997年3月は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)によると見られる過去最大規模のオゾン減少が観測されている。ここでは3月を中心に2003年の状況を詳細に示す。図2-1-6は1997年及び2003年の3月のTOMSデータに基づく、北半球のオゾン全量の月平均分布及び平年比偏差図である。これによると、1997年3月にはシベリア北部で30%を超える負偏差領域が見られた。2003年には、シベリア北方の北極海で20%を超える負偏差領域が見られた。また、10%を越す負偏差領域は図2-1-5に示すようにグリーンランド、北欧からシベリアにかけて2、3月に見られ、カナダ北部では1、2月に見られた。2003年の日々の変化を見てみると、グリーンランドから北欧にかけて1月上旬から3月中旬まで30%を越す負偏差領域が見られることが多かった。また、カナダ北部では1月中旬から2月下旬まで30%を越す負偏差領域が見られることが多く、さらに、シベリアで2月上旬と3月中旬から下旬にかけて30%を越す負偏差領域が見られた。この時期の北半球高緯度(北緯60度以北)の下部成層圏(50hPa)の最低気温(図2-1-7左図)を見ると、2002年12月上旬から2003年1月中旬、2月上旬、2月下旬から3月上旬にかけて、極域成層圏雲が出現する目安となる-78℃を下回っていた。グリーンランドから北欧でのオゾン全量の負偏差領域の出現時期と最低気温が-78℃を下回っている時期と場所が対応していること、2002年12月に、ノルウェー上空で極域成層圏雲が観測されたことがノルウェー大気研究所から報告されていることから、これらの領域で不均一反応によるオゾン減少が起こったと考えられる。また、カナダ北部で負偏差領域が見られたことについては、北欧上空にあった極渦がカナダ上空も覆ったため、極渦内部のオゾンの少ない空気塊がカナダ上空に移流したものと考えられる。

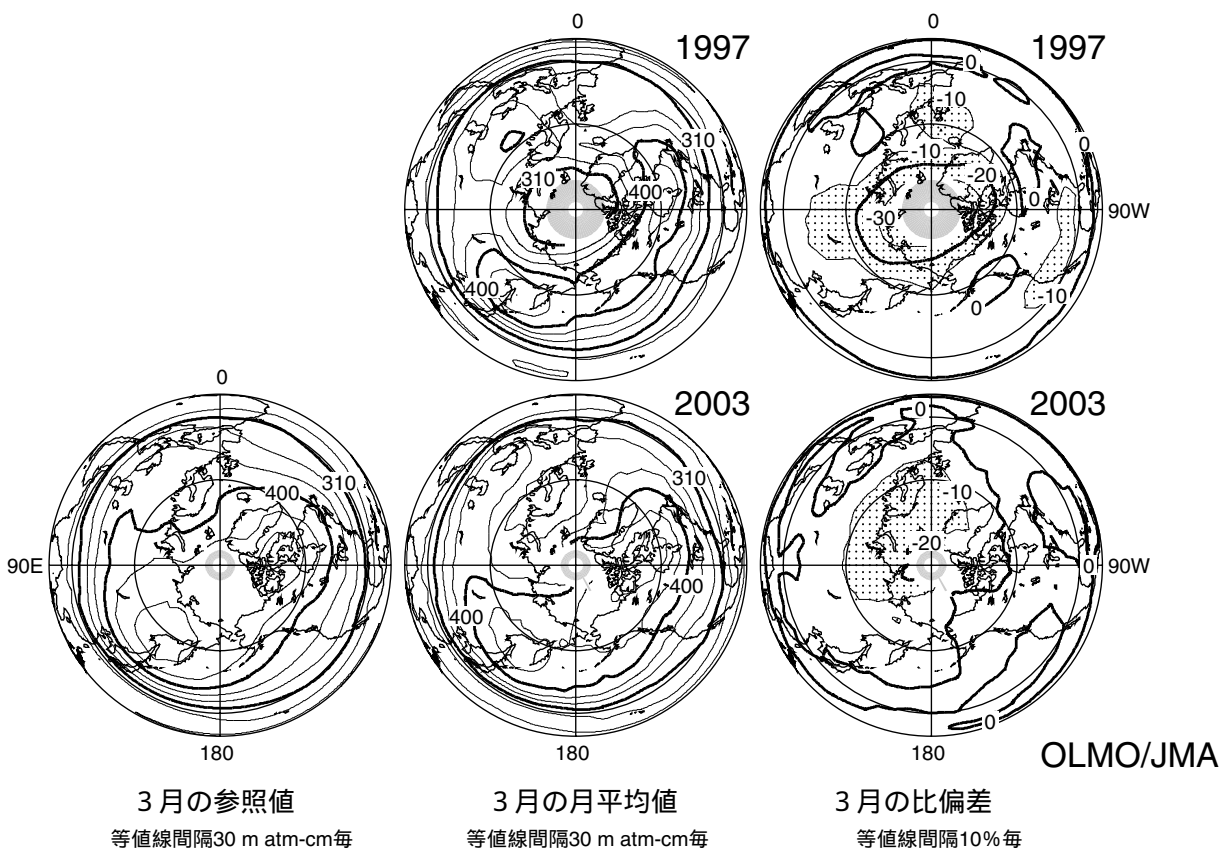


図2-1-6:1997年及び2003年3月の北半球のオゾン全量の状況

一番左端の図は3月の参照値(1979~1992年の平均)、中列上図は1997年3月の月平均値、中列下図は2003年3月の月平均値。右列上図は1997年3月の比偏差(%)、右列下図は2003年3月の比偏差(%)。比偏差図の点域は10%を超える負偏差領域。陰影部は太陽高度角の関係で観測できない領域。NASA提供のTOMSデータを基に作成。

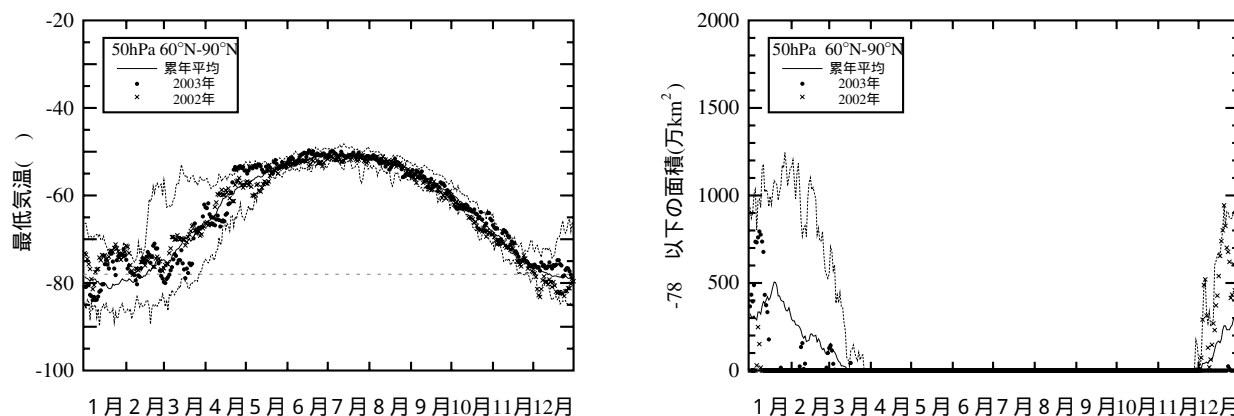


図2 - 1 - 7 : 北半球高緯度の下部成層圏の最低気温、及び気温が - 78 以下の領域の面積の推移(北緯60度以北:2002 ~ 2003年)

北緯60度以北の50hPa(高度約19km)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)。x、●は最低気温(面積)の日々の値を示す。実線は1988~2002年までの最低気温(面積)の累年平均値。また、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)。左図中の横の破線は極域成層圏雲出現の目安となる-78。気象庁の全球解析値を基に作成。

また、極域成層圏雲が存在しない場合にも、北半球の秋から初冬にしばしば極端に少ないオゾン全量を観測することがある。この現象の説明として、低緯度のオゾンの少ない空気塊の移流とともに、空気塊の上昇によってオゾンの少ない対流圏の空気塊がオゾンの多い下部成層圏の空気塊にとって替わることで、オゾン全量が減少することが知られている(Rabbe 他、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(北緯20~90度、西経90~東経60度)での最低オゾン全量:167m atm-cm)、1999年11月30日(同:165m atm-cm)がある。図には示さないが、2003年10月にも北大西洋からヨーロッパでオゾンの少ない領域が現れたが、この事例も先に述べたように、オゾンの少ない低緯度からの水平移流及び上昇といった力学的影響によるものが主要因と思われる。これらの場合、通常数日間という比較的短期間のオゾン減少である。

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、2003年における日本上空のオゾン層の状況について述べる。

図2-2-1は月平均オゾン全量の推移であり、参照値(1971年~2000年の月別平均値、但し那覇は1974年~2000年の月別平均値、南鳥島は1994年~2002年の月別平均値)と比較して、少なかったのは札幌の4、11、12月、つくばの11月、鹿児島の11、12月で、多かったのは、札幌の7、8月、つくばの1~3、7、8月、鹿児島の1月、那覇の1、3、6~10月であった。特に那覇の3、7、10月は観測開始以来最も多かった。南鳥島は年の前半を中心として全般に多めであった。

南鳥島では、統計期間が短く、標準偏差は計算していないので、1994~2002年の平均値より多い場合を「多め」、少ない場合を「少なめ」とした。

これらの評価基準は、TOMSデータに対する評価基準(1979~1992年の平均)とは異なるため、単純に比較できないことに注意する必要がある。

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2002年1月~2003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)との差を示したものである。オゾン分圧が最も高い高度は、高緯度ほど低く札幌で20～24km(約50～30hPa)、緯度の低い那覇では24～28km(約30～15hPa)になる。また、高緯度ほど、オゾン分圧の季節変化が明瞭である。

2003年の4地点に共通した特徴として、4月に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が見られた。また、札幌、つくば、鹿児島では、2002年10月頃から2003年3月頃にかけて、同じ高度を中心に参照値より大きい傾向が見られる。図2-2-3より、この高度域のオゾン分圧は成層圏のオゾン輸送に関する準2年周期振動(QB0;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)と同期して変動していることから(気象庁、2003)これはQB0の変動に対応したものである。

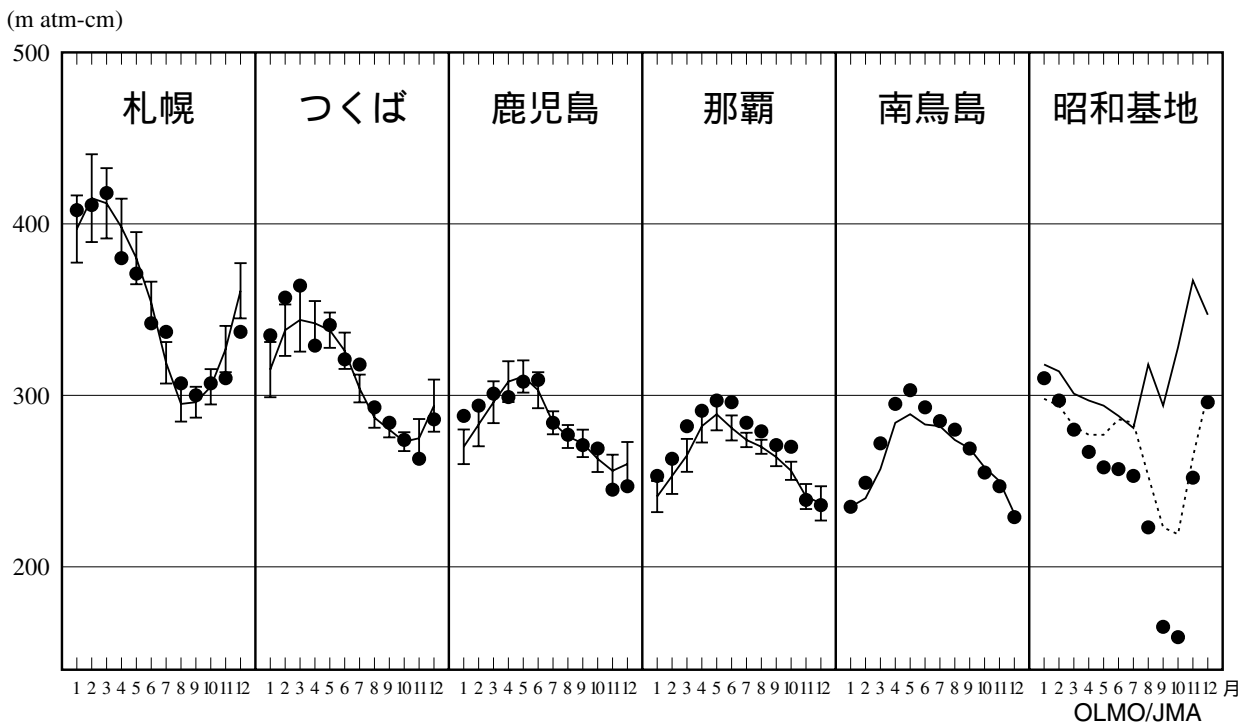


図2-2-1：月平均オゾン全量と参照値

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2003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、南鳥島の参照値は、1994～2002年の平均値、昭和基地は1961～1980年の平均値。昭和基地の点線は1981～2000年の平均値。

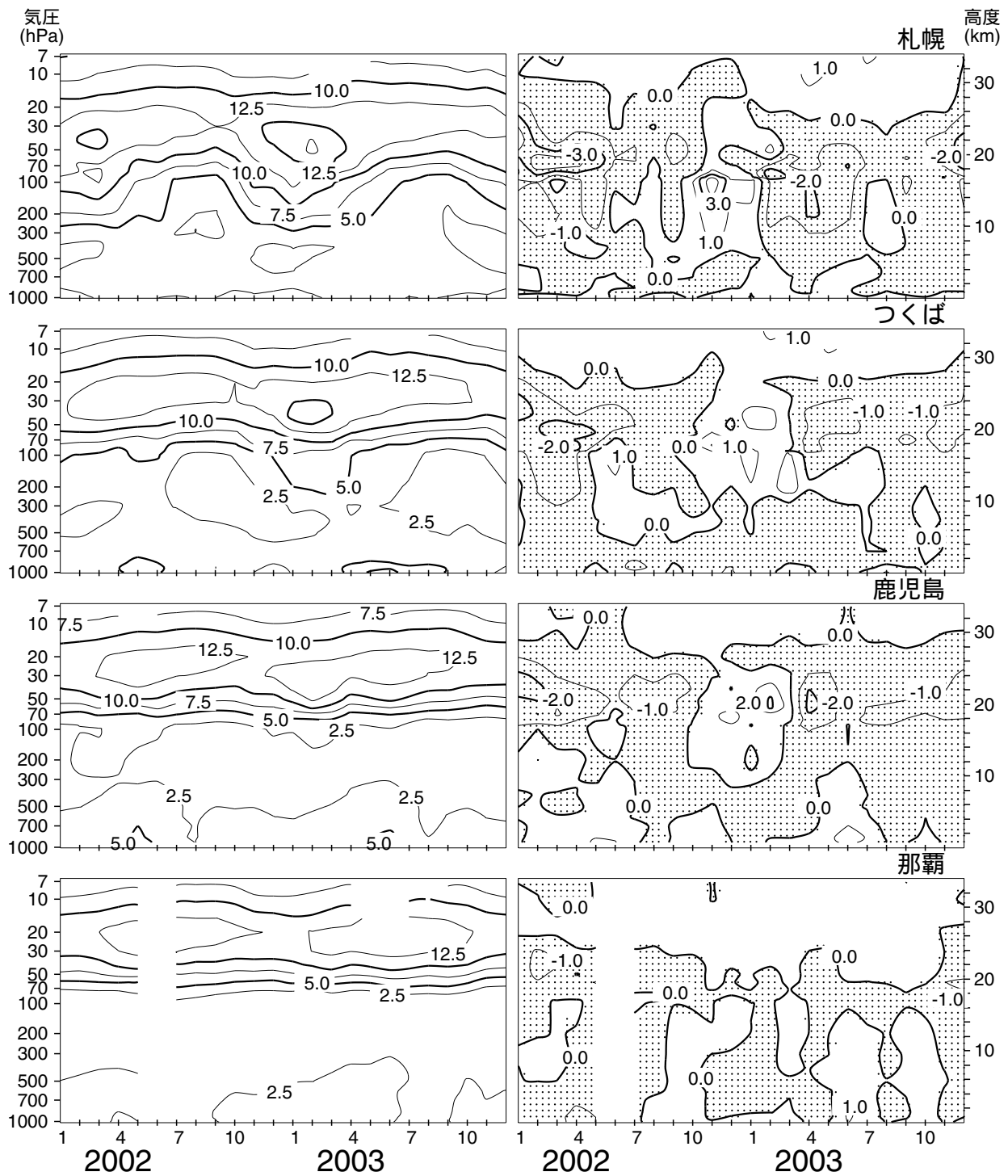


図2 - 2 - 2 : オゾン分圧及び参照値との差の高度・月分布図

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2002～2003年のオゾン分圧(左)及び参照値からの差の等値線図。等値線間隔は、分圧は2.5mPa毎、偏差は1mPa毎。右図の点域の部分は参照値との差が負の領域。2002年6月、那覇では天候不順によりオゾンゾンデ観測を行えなかった。

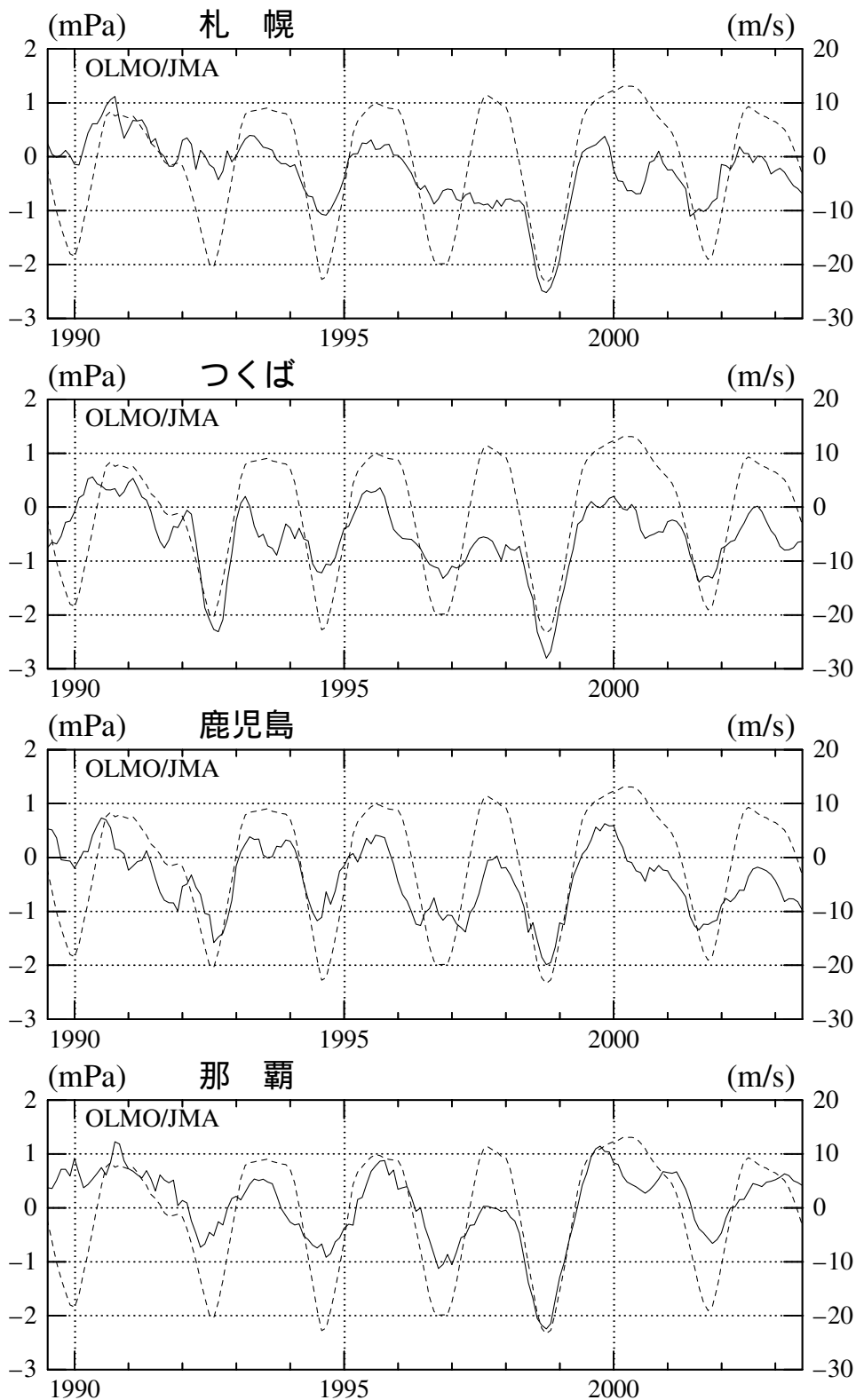


図2 - 2 - 3 : QB0 の指標であるシンガポール上空の50hPa 面における風の東西成分(m/s : 点線)と国内オゾン観測点における30hPa におけるオゾン分圧の偏差(実線)の関係

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