

## 第4章 北半球高緯度のオゾン層

### 4-1 2011年の北半球高緯度のオゾン層の状況

- 2011年春季の北半球高緯度では、顕著なオゾン全量の減少が観測された。北極域の一部の領域では3月の月平均オゾン全量が、参照値と比較して30%以上少なかった。
- 原因は、極域成層圏雲が出現する目安である $-78^{\circ}\text{C}$ 以下の面積の大きい状況が冬季から春季にかけて長期間継続したためと考えられる。
- 北半球の極渦の一部は、4月後半に本州および北海道付近に接近あるいは通過したものと考えられるが、札幌とつくばのオゾン観測データには北半球高緯度で起きたオゾン減少の影響はみられなかった。

2011年春季の北半球高緯度では、顕著なオゾン全量の減少が観測された。北半球の3月の月平均オゾン全量(図I 4-1)は、参照値と比較して北極域の一部で30%以上少なかった。

衛星観測による北半球の旬平均オゾン全量図を図I 4-2に示す。310 m 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、3月は北極域でオゾン全量の少ない領域がみられ、一部280 m atm-cm以下の領域も観測された。4月上旬になるとオゾン全量の少ない領域は、ロシア西部～シベリア西部付近上空に移動し、さらに4月中旬には西～中央シベリア付近上空に移動した。一方、北極付近の領域は、4月中旬にはオゾン全量が430 m atm-cm以上に回復した。

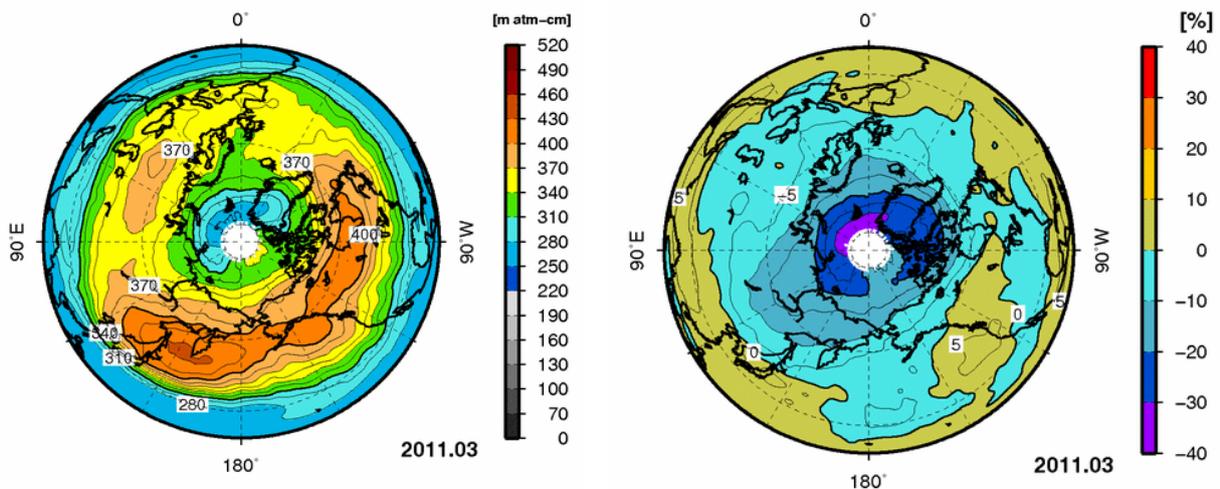


図 I 4-1 : 2011年3月の北半球の月平均オゾン全量 (左) ・ 偏差分布図 (右)

等値線間隔は、月平均オゾン全量については15m atm-cm、偏差については5%。北極点付近の白色域は太陽高度角の関係で観測できない領域。比較の基準である参照値は1997～2006年の月別累年平均値。NASA提供の衛星データをもとに気象庁で作成。

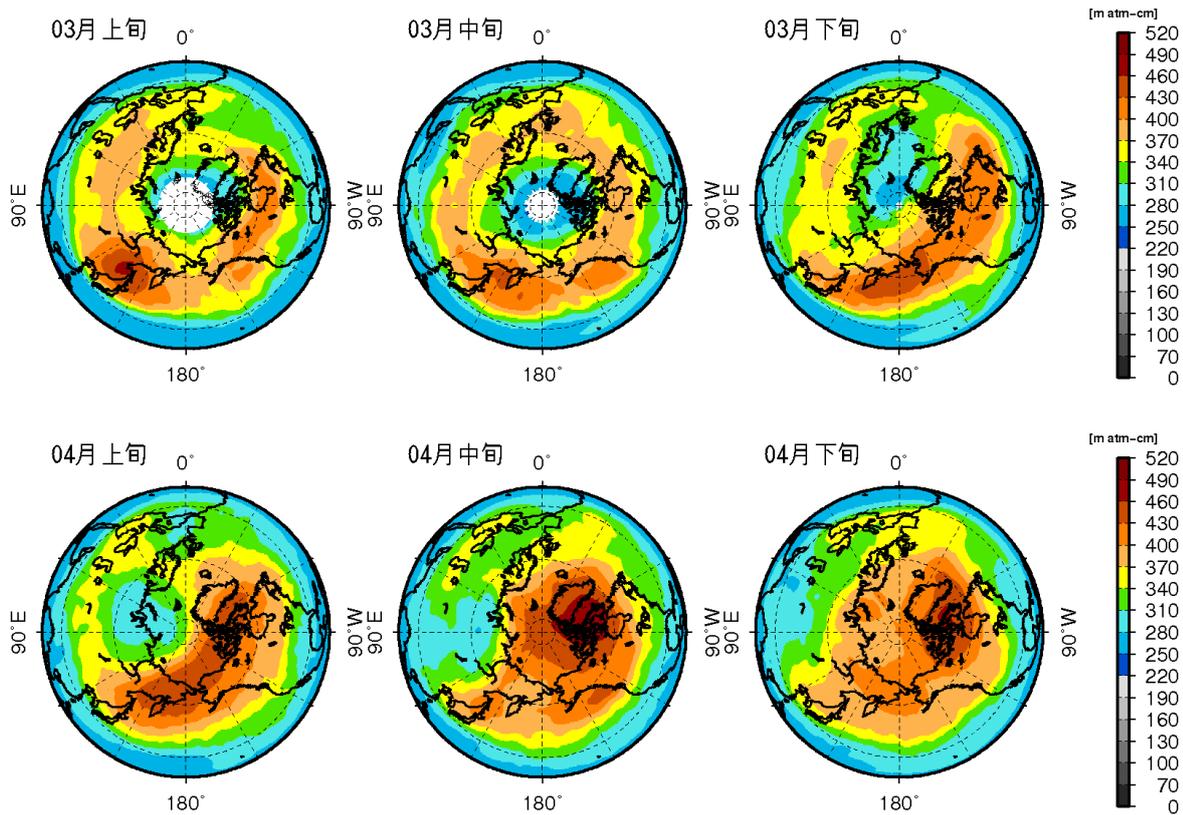


図 I 4-2 : 北半球の旬平均オゾン全量分布図 (2011年3~4月)

北極点付近の白色域は太陽高度角の関係で観測できない領域。NASA提供の衛星データをもとに気象庁で作成。

### 2011年北半球高緯度下部成層圏の気象状況

図 I 4-3に2011年の北半球高緯度における下部成層圏 (50hPa面) の北緯60度以上の領域内における最低気温 (上)、および $-78^{\circ}\text{C}$ 以下の領域の面積の年変化 (下) を示す。1~4月の下部成層圏の最低気温は、1月から $-78^{\circ}\text{C}$ 以下で継続し、2月半ばからは過去 (1979~2010年) の最低値と同程度の気温で上昇し、4月上旬からはようやく $-78^{\circ}\text{C}$ を上回るようになった。極域成層圏雲出現の目安である $-78^{\circ}\text{C}$ 以下の領域の面積は、1月に大きく変動した後、2月以降は過去の平均との差が標準偏差を超えて大きい状態で減少していった。特に3月は過去の最大値を上回る時期が多かったが、3月下旬になると北極上空の気温の上昇が速まり、4月上旬には成層圏突然昇温が発生したため、 $-78^{\circ}\text{C}$ 以下の領域は消滅した。このように、極域成層圏雲が出現する目安である $-78^{\circ}\text{C}$ 以下の面積の大きい状況が例年と比べて長期間継続したため、2011年春季の北極域で極域成層圏雲の関係した大規模なオゾン破壊が起きたと考えられる。

一般に、極渦の中へは、極渦の外側にある相対的に気温が高く、オゾン量の多い空気塊の極渦内への輸送が妨げられやすくなる。このため、強い極渦が継続すると、低温による極域成層圏雲の発生しやすい状況が継続し、オゾンが破壊されやすくなるとともに、オゾンが供給されないため、オゾンの減少が顕著になる。国際的な研究グループの解析によると、2011年冬季から春季の北極域上空の極渦の強さは、2~4月に過去最大となり、特に3月に強かったこと、さらに、高度18~20kmでの化学的なオゾン破壊が1月からの3月末までで約80%に達したことが報告されている (Manney *et al.*, 2011; 国立環境研究所, 2011)。

北半球の極渦は4月半ばに崩壊し (Hurwitz *et. al.*, 2011)、その一部は、4月後半に、本州およ

び北海道付近に接近あるいは通過したものと考えられる<sup>9</sup>。しかし、札幌およびつくばの4月後半のオゾン全量観測値および下部成層圏の高度18～20km付近のオゾンゾンデ観測値に明瞭な減少はみられなかった。

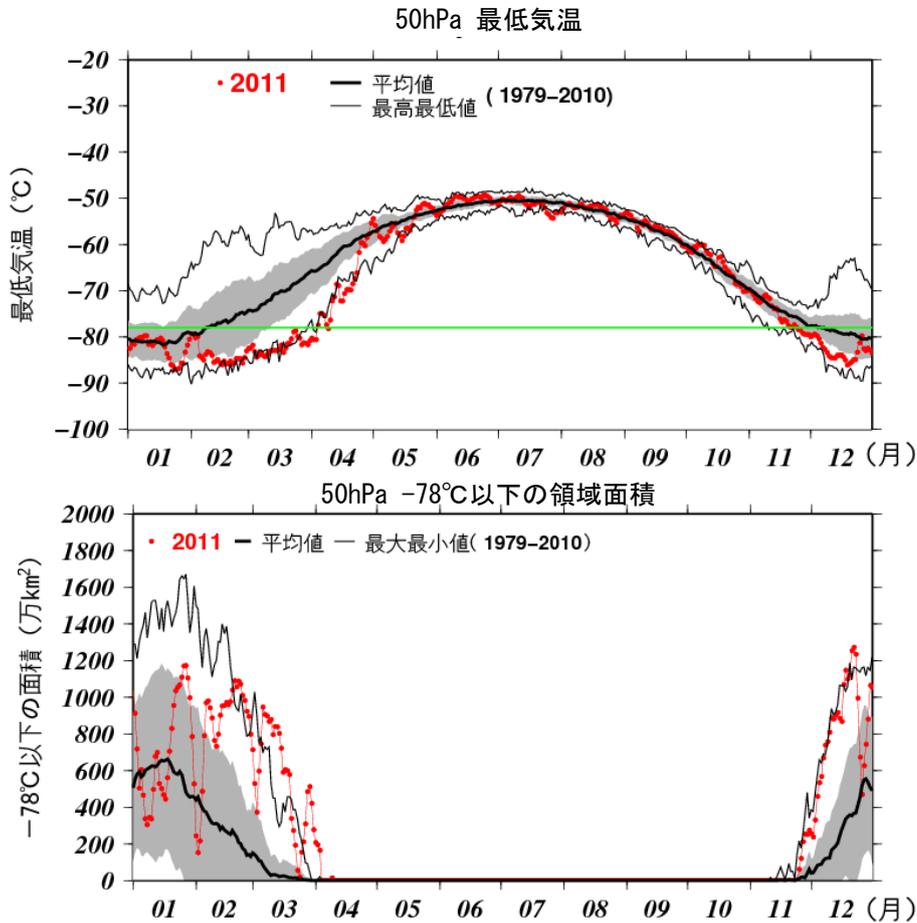


図 I 4-3 : 北半球高緯度下部成層圏の最低気温(上)および気温が $-78^{\circ}\text{C}$ 以下の領域の面積(下)の年変化 (2011年)

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年変化 (上)と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年変化 (下)。黒太線は1979～2010年の累年平均値。陰影の外の黒細実線は同期間の最高 (最大) 値および最低 (最小) 値。陰影は標準偏差の範囲。上図の横の緑の破線は極域成層圏雲出現の目安である $-78^{\circ}\text{C}$ を示す。気象庁の気候データ同化システム (JCDAS) による解析値をもとに作成 (累年平均値や標準偏差、最高値、最低値は、1979～1998年の間はERA-40 を、1999～2004 年はJRA-25 を、2005年以降はJCDASを使用して算出。ERA-40、JRA-25については巻末「用語解説」を参照)。

<sup>9</sup>気象庁の気候データ同化システム (JCDAS) の 475K 等温位面 (2011 年北半球の春季では概ね高度 18～20km に対応する) の渦位 (巻末「用語解説」参照) データから推定した。

## 4-2 北半球高緯度におけるオゾン層の経年変化

○春季の北半球高緯度におけるオゾン層破壊の規模の指標となる3月の最低オゾン全量は、1990年以降、1980年代と比べて少ない年が多くなり、顕著な減少が数年おきに発生している。2011年3月は、これまで最も少なかった2000年の値を下回り1979年以降で最小となった。

北半球高緯度の春季の経年変化をみるために、衛星観測（TOMSおよびOMI）データから求めた北緯60度以北の3月の月平均オゾン全量の偏差および英国のラーウィック（Lerwick：北緯60度、西経1度）での地上観測による3月の月平均オゾン全量偏差を、図 I 4-4に示す。ここでは比較の基準として、オゾン全量が北半球高緯度で相対的に多い1979～1989年の累年平均値を選んだ。

衛星データによると、1990年以降、データの無い1995年と1996年を除き、 $-20\text{ m atm-cm}$ を超える負偏差が20年のうち15回現れており、北半球高緯度でのオゾン全量が1990年以前に比べ少なくなる年が多い<sup>10</sup>。ラーウィックの地上観測でも、1990年以降、春季に顕著なオゾン減少が現れており、特に1996、1997、2005年は大規模であった。このうち1996年の負偏差は、約 $-80\text{ m atm-cm}$ に達した。4-1節でみたように3月の北半球高緯度で顕著なオゾン全量の減少が観測されたことに対応して、2011年の衛星データによるオゾン全量は1997年に次いで2番目に少なかった。

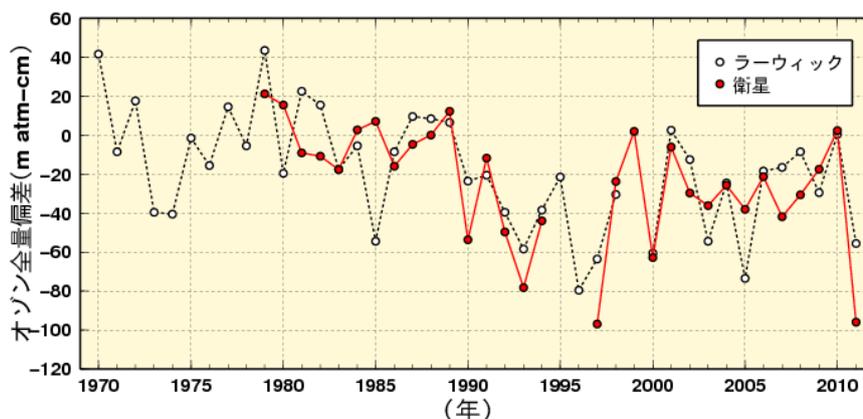


図 I 4-4：北半球高緯度の3月のオゾン全量偏差の経年変化

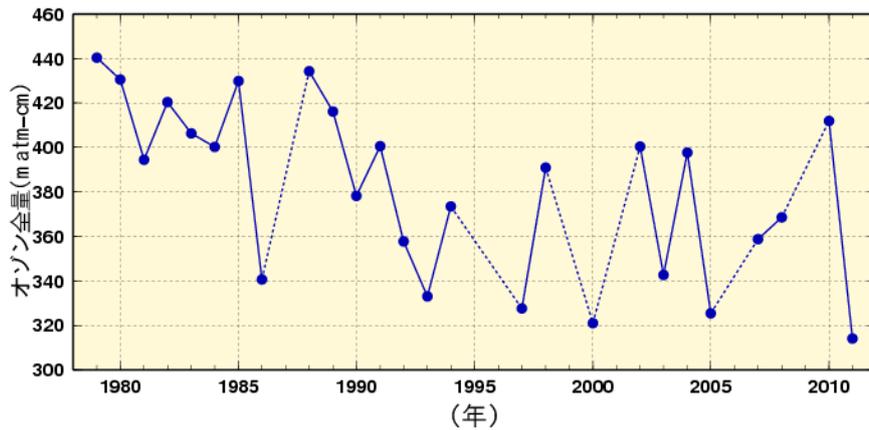
●はNASA提供の衛星観測（TOMSおよびOMI）データをもとに気象庁で作成した北半球高緯度（北緯60度以北）の3月の平均オゾン全量（基準値は1979～1989年の平均値）からの偏差。なお、1995、1996年はTOMSデータが欠測のため値がない。○印は、ラーウィック（英国、北緯60度、西経1度）の3月の平均オゾン全量の1979～1989年の平均値からの偏差を示す。

冬季から春季の北半球高緯度のオゾン全量の変動の要因は、成層圏におけるオゾンの輸送と化学的破壊であり、図 I 4-4に示した月平均オゾン全量の変動もこの両者による変動を反映している。そこで、オゾンの化学的破壊による影響を推定するため、その指標としてオゾンの輸送の影響が相対的に少ない極渦内部<sup>11</sup>の日別オゾン全量を領域平均し、その3月における最低値を図 I 4-5に示す<sup>12</sup>。これによると、1990年以降は、1980年代と比べて最低オゾン全量が小さい年が多く、特に1993年、1997年、2000年、2003年、2005年、2011年と数年おきに顕著な減少が発生し、特に2011年は、これまで最も小さかった2000年の値を下回り1979年以降で最小となった。

<sup>10</sup> 1995と1996年にはTOMSデータがないが、SBUV/2のデータを用いた解析によると、両年ともに春季にオゾン全量の大規模な減少が観測されている（NOAA, 2005）。

<sup>11</sup> 実際は計算の簡便化のため等価緯度63度を極渦の境界とみなして計算している。「等価緯度」については、巻末の「用語解説」を参照のこと。

<sup>12</sup> この指標は、オゾンゾンデ観測や数値モデル計算を用いて厳密に計算した各年の化学的な破壊量と相関がよいと報告されている（Müller *et al.*, 2008）。



**図 I 4-5 : 北半球3月の極渦内（等価緯度北緯63度以北）で平均した日別オゾン全量の月最低値の経年変化**

等価緯度（巻末「用語解説」参照）に相当する渦位およびその範囲は気象庁の気候データ同化システム（JRA25とJCDAS）による渦位の解析値（等温位面475K上）から計算した。オゾン全量データはNASA提供の衛星観測データをもとに気象庁で作成した。1995、1996年はTOMSデータが欠測のため値がない。また、極渦が3月以前に消滅したと推定される年は描画していない。

極域上空の成層圏における等価実効成層圏塩素（EESC）は、2000年頃を境に緩やかに減少しているものの、依然として高い状況が継続しているため、極渦が強く安定している年には、北半球であっても大規模なオゾン層破壊が発生する可能性がある。図 I 4-5で示された数年毎の大規模な化学的破壊は、こうした気象状況の影響と考えられる（気象庁, 2005; WMO, 2011）。