

# 2006 年と 2007 年の南極オゾンホールと循環場

気象庁環境気象管理官付オゾン層情報センター 小林ちあき

## 1. はじめに

2006 年の南極オゾンホールは、面積、オゾン欠損量ともに過去最大級に発達した(気象庁, 2007)。一方、2007 年のオゾンホールは「過去 10 年(1998 年以降)で、小さいほうから 3 番目」(WMO プレスリリース 2007 年 10 月 18 日)と表現されるように比較的小さい規模で推移している。

このような 2006 年と 2007 年のオゾンホールの様子と、関連した南半球循環場の特徴について報告する。

## 2. 使用したデータ

オゾン全量のデータは NASA の AURA 衛星に搭載されているオゾン監視装置 (OMI : Ozone Monitoring Instrument) のデータを利用した。これは 2005 年以降、整備しており、さらに過去データに関しては Nimbus-7、Meteor-3、Earth Probe に搭載されていたオゾン全量マッピング分光系 (TOMS) のデータの TOMS version8 と呼ばれるものを使用した。循環場データは、主に CDAS2 (NCEP/DOE reanalysis (Kanamitsu et al., 2002)) を使用した。

## 3. オゾンホールの規模の定義

「オゾンホールの面積」は、オゾンホール発生以前には広範囲に観測されなかったとされるオゾン全量  $220\text{m atm-cm}$  (= DU : ドブゾンユニット) 以下の領域の面積と定義した。これはオゾンホールの広さの目安である。また、「オゾン欠損量」として、南緯 45 度以南

のオゾン全量を  $300\text{m atm-cm}$  (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と定義した。これはオゾンホール内で破壊されたオゾンの総量の目安を示す量である。これらは、気象庁でオゾンホール監視のために用いている定義である。

## 4. 2006, 2007 年のオゾンホール規模の推移

図 1 に 2006 年、2007 年の南極オゾンホール面積の推移を 1997 年-2006 年(過去 10 年)の平均値とともに示す。衛星観測データは DAILY データとして得られるので、8 月から 12 月にかけての日々のオゾンホール面積の推移である。

過去 10 年の平均 (黒太線) を見ると、オゾンホールの面積は、8 月の中旬から下旬に発生し、9 月の下旬ごろにかけて最も拡大する。その後、徐々に減少し、12 月の月上旬に消滅する、という変化をする。

2006 年の推移 (青) を見ると、オゾンホールは 8 月の下旬に発生した。その後、9 月下旬にかけて徐々に大きくなり、9 月 24 日に年最大の面積である  $2930\text{万 km}^2$  に達した。年最大面積を、衛星観測データが存在する 1979 年以降の各年と比較すると、2000 年に次ぐ、過去第 2 位の広さだった(図 2)。その後、11 月にかけて、同時期における過去最大規模で推移したが、12 月に入ってから急速に縮小し、12 月 17 日に消滅した。

一方、図 1 の 2007 年のオゾンホール面積の推移 (赤) を見ると、オゾンホールは 8 月の中旬に発生し、9 月中旬までは 2006 年と

ほぼ同程度の規模で推移した。しかし、9月中旬から下旬にかけて成層圏突然昇温が起きた影響で、オゾンホール面積もわずかに縮小した。その後、再び発達したが、突然昇温以前の規模にまで大きくなることはなく、過去10年の平均よりやや小さい規模で推移した。2007年のオゾンホール面積の極大は9月13日で2490万km<sup>2</sup>であり、過去10年で2002年、2004年に次いで小さいほうから3番目だった(図2)。

なお、図1でオゾンホールの発生時に急激な立ち上がりが見られるが、これは衛星によ

るオゾン観測データの欠測域が、極付近にあるためである。すなわち、太陽高度角の関係からこの時期の高緯度でオゾンの観測が欠測となり、この欠測域付近で発生するオゾンホール面積算出にあたり、欠測域におけるオゾン全量の推定を、周辺のデータを使って推定する。この推定値がオゾンホールの閾値を超えたところで急激に立ち上がるように見えているのである。特に急激な現象がおきているわけではない。

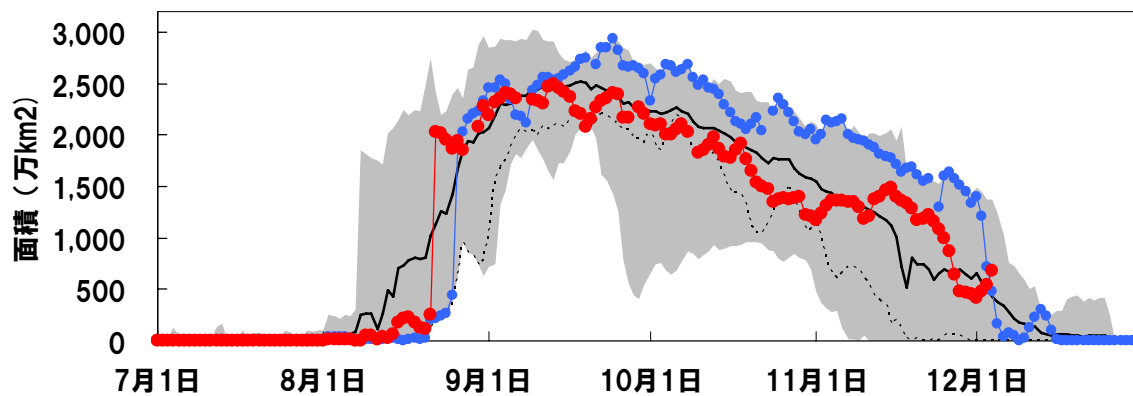


図1 オゾンホール面積の推移

青丸:2006年、赤丸:2007年、黒線:1997-2006年の平均、灰色は1997-2006年の最大最小の範囲、点線は2002年を除いた場合の1997-2006年の最小値。

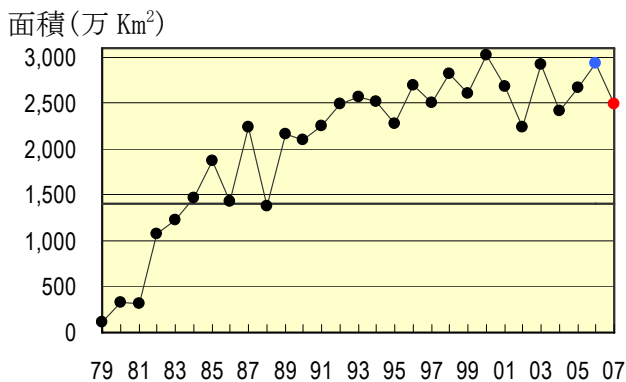


図2 オゾンホール面積の経年変化

青:2006年、赤:2007年、黒:1979-2006年  
横線は南極大陸の大きさ(約1400万km<sup>2</sup>)

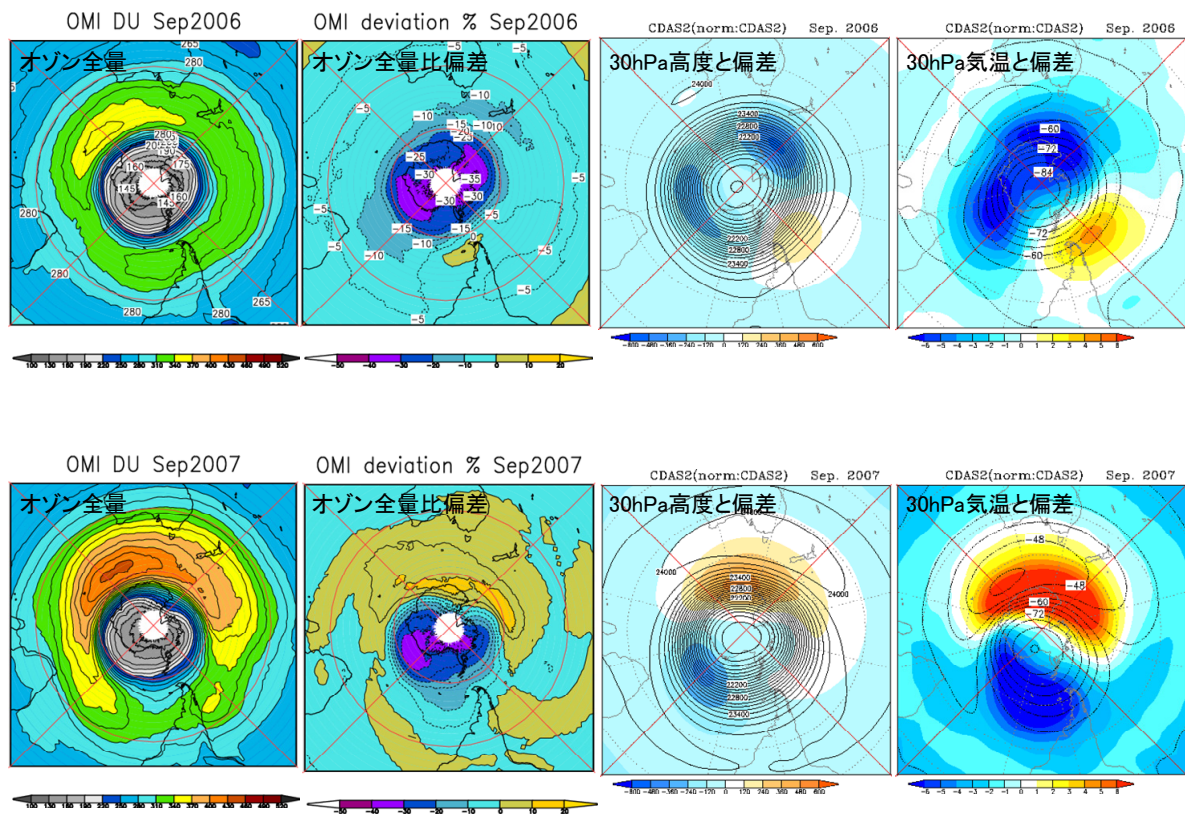


図3 2006年(上段)、2007年(下段)の9月平均南半球オゾン全量分布と比偏差(オゾン全量偏差の気候値との比)分布及び、30hPa高度分布と気温分布

### 5. 2006年、2007年のオゾン全量分布と南半球成層圏循環場

図3に2006年、2007年の9月平均南半球オゾン全量分布と比偏差(オゾン全量偏差の気候値との比)分布及び、30hPa高度分布と気温分布を示す。

2006年のオゾン全量分布を見ると、南緯50度付近にオゾン全量の比較的多い領域が帯状に分布しており、その中でもオーストラリアの南西海上に一番多い領域がある分布をしている。南極大陸上空は220m atm-cm以下の領域があり、オゾンホールとなっている。オゾン全量比偏差を見ると、オゾンホールの領域中でも南アフリカから太平洋にかけて気候値よりもオゾン全量の少ない領域が伸

びていることがわかる。30hPa高度場と気温場の偏差をみても、南アフリカから太平洋にかけて負偏差域が伸びており、大まかにみて、オゾン全量比偏差分布と同様な偏差分布となっている。

一方、2007年のオゾン全量分布を見ると、南緯50度付近にオゾン全量の多い領域が帯状に分布し、オーストラリアの南西海上で極大域がある分布であることは2006年と同様であるが、2007年の場合のこの領域では全体的にオゾン全量が2006年よりも多い。オゾン全量比偏差を見ると、オーストラリアの南西海上からニュージーランドの南の海域にかけて気候値より5%多い領域が広がり、特に南緯60度付近では気候値より10%以上

多い領域も見られた。一方、南極大陸上空にはオゾンホールに対応する負偏差域が見られ、2006年と比べると大西洋側に偏っている様子がみられる。30hPa高度場と気温場の偏差をみても、オーストラリアの南西海上からニュージーランドにかけて正偏差、大西洋側で負偏差となっており、大まかにオゾン全量比偏差分布の傾向と同様な様子が見られる。

オゾンホールの形成には極域成層圏雲が大きな役割を果たしており、極域成層圏雲の形成の目安が、 $-78^{\circ}\text{C}$ であることから、気象庁では30hPa高度における $-78^{\circ}\text{C}$ 以下の面積の推移を監視している。図4に2006年と2007年の南緯60度以南における $-78^{\circ}\text{C}$ 以下の面積の推移を1979年-2005年の平均値とともに示す。

平均値の推移をみると、 $-78^{\circ}\text{C}$ 以下の面積は5月に上旬に出現し、徐々にその面積を増やし、7月の下旬には最大になる。その後、縮小し10月の上旬に消滅する、という季節変化をする。

2006年の様子(青線)をみると、6月の上旬ごろから平年を上回る大きさとなり、7月の上旬から10月の中旬までこの時期の標準偏差を上回る大きさで推移した。これは、この時期に南極の成層圏高緯度から中緯度で気温が平年より低かったことと対応している。2006年は極域成層圏雲が出現できる気象条件を満たす領域が広く、その状態が長く継続していた。これが、2006年のオゾンホールが大規模に発達した理由のひとつと考えられる。

一方、2007年の様子(赤線)をみると、6月までは、平年をやや上回る大きさで推移したが、7月の初めに急激に面積が縮小し、8月

の中旬まで平年を下回る規模だった。その後もほぼ平年並の大きさで推移した。このように2007年は極域成層圏雲が出現できる気象条件を満たす領域があまり大きくならなかった。このため、2007年のオゾンホールは大規模には発達しなかったと考えられる。

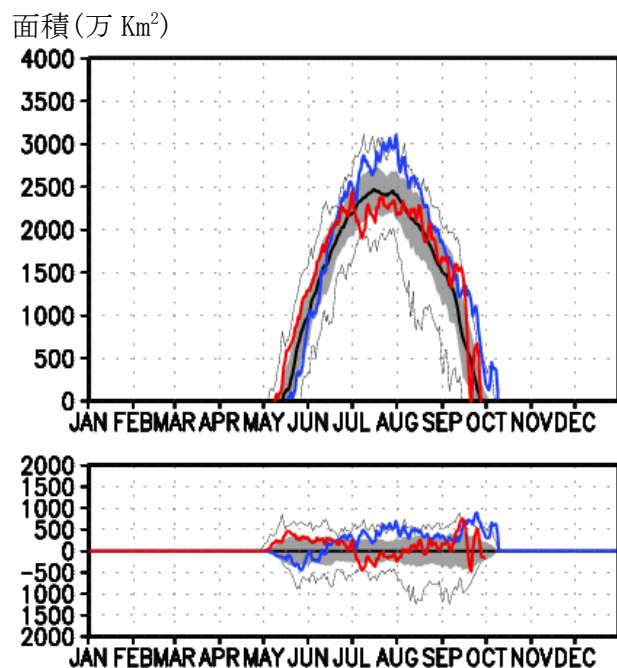


図4 2006年と2007年の南緯60度以南における $-78^{\circ}\text{C}$ 以下の面積の推移(上)と偏差の推移(下)

青:2006年、赤:2007年、黒線:1979-2005年の平均、灰色は1979-2005年の最大最小の範囲。

## 6. オゾンホール規模の年々変動と成層圏気温の年々変動の関係

オゾンホールの規模の変動は極域成層圏の気温の変動と関連していることはよく知られている。

一方、北半球春季における極域の下部成層圏気温の年々変動は、冬季の後半における北向き渦熱輸送の積算値と強い相関があることがNewmanら(2001)によって報告されて

いる。彼らは、北緯 60 度以北で平均した 50hPa における 3 月前半平均 (3 月 1 日~15 日) の気温が、冬季後半の 45 日平均 (1 月 15 日~2 月 28 日) の北緯 45-75 度平均 100hPa 北向き渦熱輸送と相関が高い ( $r=0.82$ ) ことを示した (図 5)。北向き渦熱輸送は EP-Flux の Z 成分と比例した量であり、100hPa の渦熱輸送は、対流圏から成層圏へのプラネタリー波の伝播量の指標である。100hPa の渦熱輸送が多い、すなわち、対流圏から成層圏のプラネタリー波の伝播が (ある期間平均で) 多ければ、成層圏の極夜渦が不安定で、成層圏の気温は (平年より) 高めになると考えられる。

この、Newman らが示した前 45 日平均の 100hPa の渦熱輸送について、南半球に当てはめて、2006 年と 2007 年の推移についてプロットしたものが図 6 である。

2006 年の前 45 日平均渦熱輸送 (青線) をみると、7 月から 11 月に平年 (黒太線) よりもかなり少ない状態が続いていたことがわかる。このため、2006 年のこの時期は対流圏から成層圏へのプラネタリー波の伝播が少なく、成層圏の極夜渦が安定し、成層圏気温が低いままであったと考えられる。

一方、2007 年 (赤線) は 7 月の初めに急激に多くなり、8 月の下旬から 9 月上旬にかけて平年よりも少なくなった。9 月後半には、再度多くなっている。これは、この時期の -78 度以下の面積の推移と対応した推移となっている。2007 年の渦熱輸送は平年よりどちらか側に偏ることはなく、成層圏の極夜渦は長期間安定して存在するようなことがなかった。このため、成層圏気温は平年並程度で推移したと考えられる。

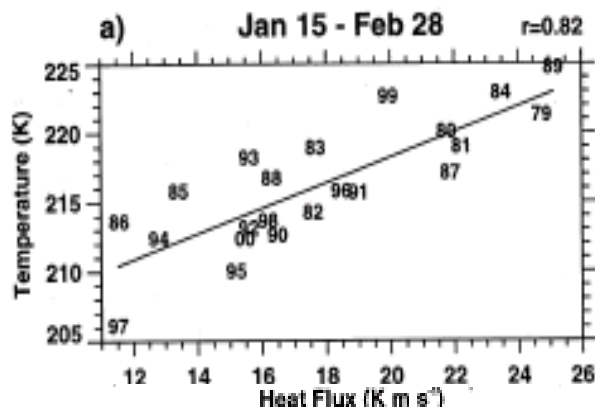


図 5 北半球の 3 月前半平均した極域の下部成層圏気温と冬季後半期間で積算した北向き渦熱輸送の積算値との相関。Newman et. al (2001) より転載

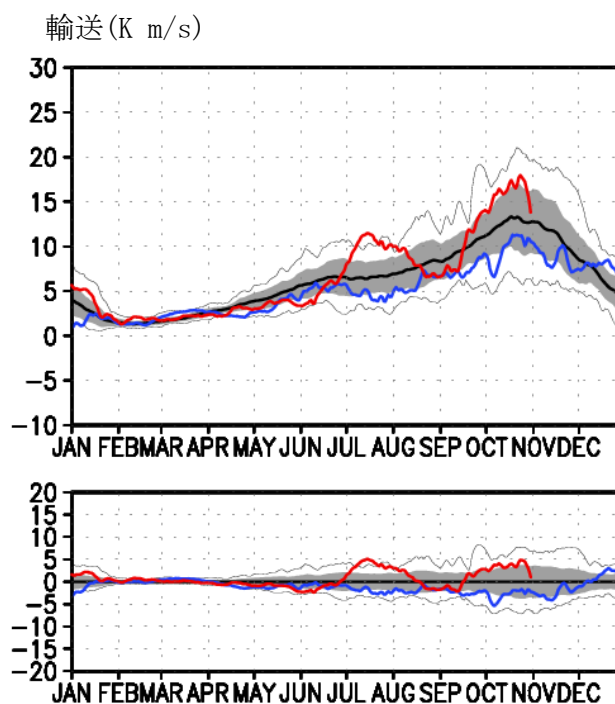


図 6 2006 年と 2007 年の前 45 日平均 100hPa 渦熱輸送 (wv1-3 平均) の推移 (上) と偏差の推移 (下)

青: 2006 年、赤: 2007 年、黒線: 1979-2006 年の平均、点線は 2002 年。灰色は 1997-2006 年の最大最小の範囲。

## 7. まとめと今後の課題

2006年と2007年の南極オゾンホールの様子と関連した循環場の特徴について述べた。

2006年の南極オゾンホールは過去最大級に発達し、11月まで同時期の過去最大級のまま推移したのに対し、2007年は過去10年で小さいほうから3番目の大きさまでにしかならず、その後も平均的な規模で推移した。

オゾンホールの時期の成層圏の循環場を見ると、2006年は極夜渦が平年よりも広く、南半球の極域から中緯度にかけての成層圏気温が低かった。この状態は11月まで続いた。対流圏からの波の伝播は、平年より少ない状態が続き、成層圏の極夜渦が安定して存在できたことが、高緯度から中緯度成層圏気温が低く、オゾンホールが過去最大級の大きさで推移した理由と考えられる。

一方、2007年は、2006年のように続いた状態となることはなく、成層圏気温は平年並からやや高めで推移した。対流圏からの波の伝播も特にどちらかに偏るようなことはなかった。このため、オゾンホールも大きく発達しなかったと考えられる。

今回は示さなかったが、2006、2007年以外についてのオゾンホールと南半球成層圏気温関係についても、対流圏からの波動の伝播の特徴とともに調べ始めている。今後は波動の伝播の特徴について、wave activity flux等を用いて東西分布を含めた特徴を調べたい。また、波の伝播にかかわる平均場の特徴についても調べる予定である。

## 参考文献

気象庁 2007: 「オゾン層観測報告: 2006」

Kanamitsu, M., W. Ebisuzaki, J. Woollen, S-K Yang, J. J. Hnilo, M. Fiorino, and G. L. Potter. 2002: NCEP-DOE AMIP-II REANALYSIS (R-2) Bull. of the Atmos. Met. Soc., 1631-1643.

Newman, P. A., E. R. Nash, J. E. Rosenfield, 2001: What controls the temperature of the Arctic stratosphere during the spring? J. Geophys. Res. Vol. 106, No. D17, p. 19,999 (2000JD000061)

Newman, P. A., S. R. Kawa, E. R. Nash, 2004, On the size of the Antarctic ozone hole. Geophys. Res. Lett. VOL. 31, L21104, doi:10.1029/2004GL020596