

第4章 オゾン層及び紫外域日射の状況

南極域の上空では毎年9月から11月にかけて、オゾンが大きく減少する現象が1980年代初めから出現するようになり、オゾンホールと呼ばれている。オゾンホールが南極域に出現したのは、極夜や南極大陸の地形等に起因する南極域特有の気象条件によるものであるが、オゾンホールを出現させた主因は、クロロフルオロカーボン等の人造物質の存在である（クロロフルオロカーボンを一般にフロンとも呼ぶ）。これらの物質は、化学的に安定している等の特性を生かして洗剤、噴射剤、冷媒、消火剤等に広く利用されてきた。しかし、その化学的安定性から、対流圏ではほとんど分解されず徐々に上昇し成層圏へと広がり、そこで分解して放出する塩素がオゾンを破壊することが分かった。オゾンホールに代表されるオゾン層の破壊は南極域だけにとどまらず、赤道付近を除く両半球で確認されている。

一般的なオゾン層破壊のメカニズムは次のようなものである。塩素を含むクロロフルオロカーボン類が成層圏の高度およそ40kmまで達すると、太陽からの紫外線により光解離し、塩素原子を放出する。この塩素原子は成層圏内を運ばれながらまわりのオゾンと反応してオゾン破壊し、その後酸素原子やその他の分子との反応によって再び塩素原子に戻るといった反応を繰り返すことにより、オゾンを次々に破壊していく。

4.1 オゾン層

全球、日本上空、南極域上空に分けて、オゾン層の2003年の状況ならびに長期変化傾向について述べる。さらに詳細な解析については、「オゾン層観測報告:2003」(気象庁,2004)を参照願いたい。なお本章では、2003年の状況を記述するのに、基準となる月別平均値からの差が標準偏差以内のときを「並」、それより大きいときを「多い」、それより小さいときを「少ない」としている。また、月別平均値と直接比較するときは、「多め」「少なめ」と記述している。

4.1.1 全球のオゾン層

衛星からのオゾン全量観測によると、1979~1992年の月別平均値と比較すると、2003年の全球のオゾン全量は、地域による差はあるものの、全体としては1年を通じて少なかった。

また、衛星からのオゾン全量観測に基づく全球の長期変化傾向は、低緯度を除いて減少を示しており、高緯度ほどその傾向が強く、両半球ともにそれぞれの春に顕著である。

4.1.2 日本上空のオゾン層

気象庁では、1957年につくばでオゾン層の観測を開始して以降、順次観測点を展開し、現在では札幌、鹿児島、那覇及び南鳥島を加えた5地点でオゾン層の観測を実施している(図3-1参照)。

図4-1に示すように、2003年の日本上空におけるオゾン全量の状況は、那覇ではほぼ1年を通して多く、その他の地点では年末に少なかった。その月別平均値(1971~2000年、ただし那覇は1974~2000年)と比較すると、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1975年の観測開始以来各月の値としては最も多かった。南

鳥島は 1994～2002 年の月別平均値よりも年の前半を中心として多めであった。

2003 年までの日本上空におけるオゾン全量の長期変化傾向は、那覇を除く国内 3 地点で減少を示し、特に札幌では減少傾向が顕著である（図 4-2）。また、オゾンの高度別の長期変化傾向は札幌の下部成層圏で顕著な減少を示している。

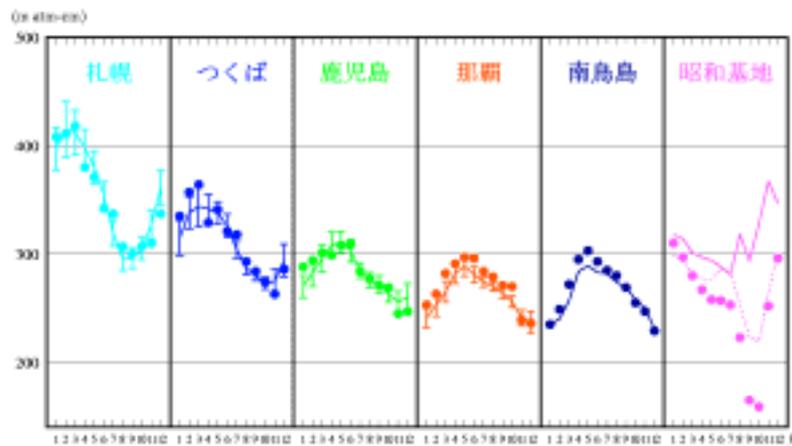


図 4-1 月平均オゾン全量と月別平均値

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を示す。印は 2003 年の月平均値、実線は月別平均値(1971～2000 年、ただし、那覇は 1974～2000 年、南鳥島は 1994～2002 年、昭和基地はオゾンホール出現以前の 1961～1980 年の平均)を示す。縦の細実線は平均値の標準偏差、昭和基地の点線は 1981～2000 年の平均を示す。

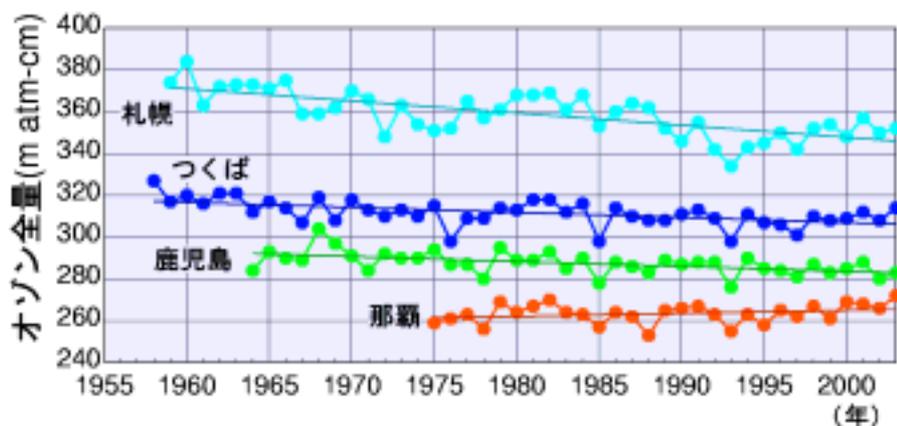


図 4-2 日本のオゾン全量年平均値の変化

印は札幌、つくば、鹿児島、那覇におけるオゾン全量の観測開始から 2003 年までの年平均値、直線は全期間の長期的な傾向を示す。

4.1.3 南極域上空のオゾン層

2003 年の南極昭和基地上空におけるオゾン全量は、8 月中旬からオゾンホールの目安である 220m atm-cm 以下の値を観測した後、9 月から 10 月にかけて過去最低レベルで推移した。9 月の月平均値は観測開始以来最も少ない値となった。11 月になってからは大きな変動を繰り返し、11 月下旬以降は 300 m atm-cm 前後の値を観測している。昭和基地がオゾンホール内にあった 9 月 26 日のオゾンゾンデ観測によると、高度 15～20km 付近のオゾンはほぼ完全に破壊されていた（図 4-3）。人工衛星搭載センサー等のデータによれば、南極域上空ではオゾンホールの目安である 220 m atm-cm 以下の領域は、8 月下旬に急速に拡大して、9 月上旬にはほぼ南極大陸全域を覆い、9 月下旬に過去最大規模に発達し（図 4-4）、その後急速に縮小し消滅した（図 4-5）。

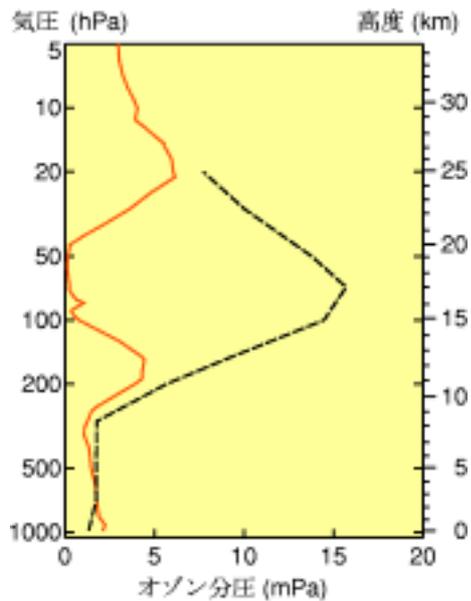


図 4 - 3 南極昭和基地におけるオゾンゾンデによるオゾンの高度分布の観測結果

破線はオゾンホールが出現する前の 9 月の平均オゾン高度分布（1968～1980 年）。実線は 2003 年 9 月 26 日の観測結果。

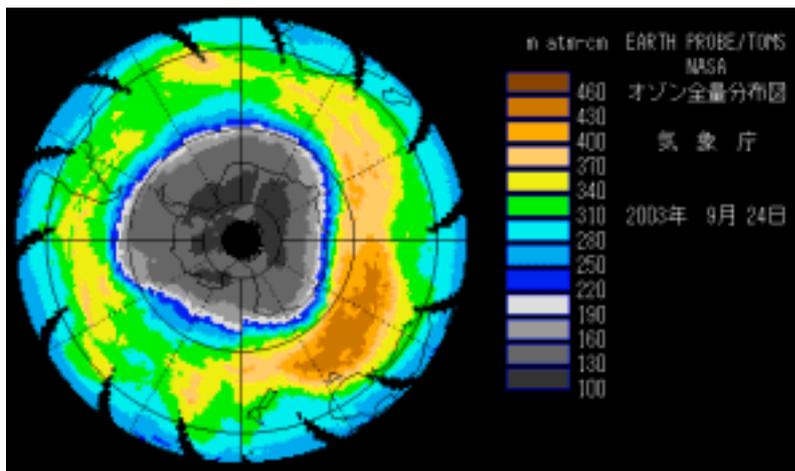


図 4 - 4 オゾンホール面積が年最大を記録した 2003 年 9 月 24 日のオゾン全量の南半球分布

米国航空宇宙局（NASA）提供の TOMS データを気象庁の観測と比較検討の上作成。

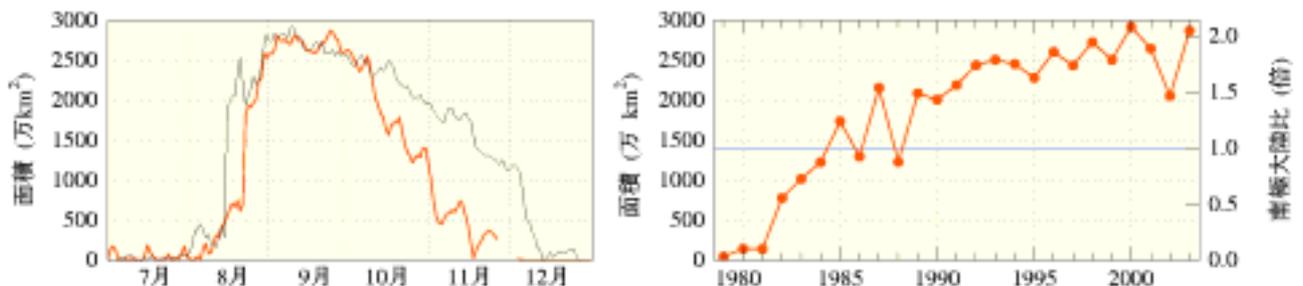


図 4 - 5 オゾンホールの面積の推移

オゾンホールの規模を示す指標の一つであるオゾンホールの面積（オゾン全量が 220 m atm-cm 以下の領域の面積）の推移。左図は 2003 年（赤線）及び 2002 年までの最大値（細実線）の推移，右図は 1979 年以降の年最大値の経年変化。なお，横線は南極大陸の面積を示す。米国航空宇宙局（NASA）提供の TOMS データを気象庁の観測と比較検討の上作成。

4.2 紫外域日射

オゾンには紫外域の日射を顕著に吸収するという特性がある。そのため、オゾン全量の減少に伴い、生物に有害なB領域紫外域日射（UV-B）の地表到達量の増加が懸念されている。気象庁は、1990年からつくばで、1991年から札幌、鹿児島、那覇で有害紫外線の観測を開始した。UV-B 日積算値の月別平均値（1991～2002年、ただしつくばは1990～2002年）との比較によると、2003年の状況は、札幌の4月、つくばの2、5、7月、鹿児島の1、6月で少なかったことを除き、各地とも通年で並か多かった（図4-6）。

観測開始以来のUV-B量に、有意な長期変化傾向は見られていない。これは、UV-B量観測開始の1990年以降のオゾン全量には有意な減少傾向が現れていないことによるものである。しかし、一定の太陽高度角で晴天時の条件でオゾン全量とUV-B量の関係を調べると、オゾン全量の減少に対してUV-B量が増加する関係が明瞭に見られる（図4-7）。このことから、現在のUV-B量は、オゾン全量が多かった1970年代と比較すれば増加しているものと推測される。

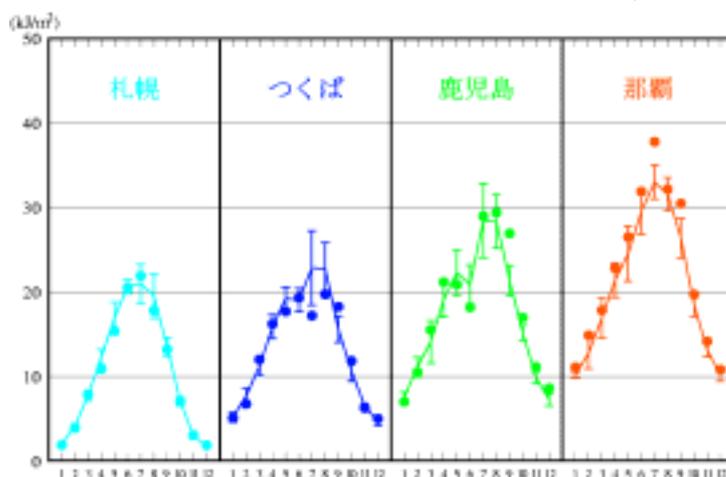


図4-6 B領域紫外域日射（UV-B）量の日積算値の月平均

国内4地点（札幌、つくば、鹿児島、那覇）における日積算値の月平均の推移を示す。印は2003年の月平均値、実線は月別平均値（つくばは1990～2002年、札幌、鹿児島及び那覇は1991～2002年の平均）、縦棒は標準偏差の範囲を示す。

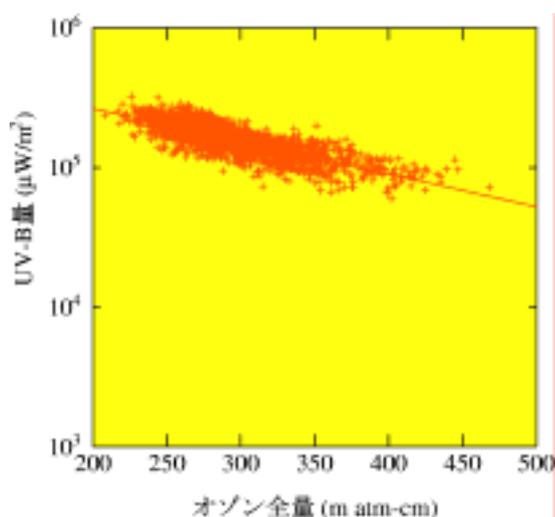


図4-7 UV-B量とオゾン全量との関係

太陽高度角が23度でかつ晴天の場合の国内4地点（札幌、つくば、鹿児島、那覇）におけるデータをを用いた。

参考文献

第3章

- Bekki, S., and K. S. Law, 1997: Sensitivity of atmospheric CH₄ growth rate to global temperature change observed from 1980 to 1992. *Tellus*, 49B, 409-416.
- Chameides, W. L., L. Xingsheng, T. Xiaoyan, Z. Xiuji, L. Chao, C. S. Kiang, J. St. John, R. D. Saylor, S. C. Liu, K. S. Lam, T. Wang, F. Giorgi, 1999: Is ozone pollution affecting crop yields in China? *Geophys. Res. Lett.*, 26, 867-870.
- Climate Monitoring and Diagnostics Laboratory, 2002: Summary Report No.26, 200-2001, NOAA, U.S. Department of Commerce.
- Daniel, J. S., and S. Solomon, 1998: On the climate forcing of carbon monoxide. *J. Geophys. Res.*, 103(D11), 13249-13260.
- Dettinger, M. D. and M. Ghil, 1998: Seasonal and interannual variations of atmospheric CO₂ and climate. *Tellus*, 50B, 1-24.
- Dlugokencky, E. J., S. Houweling, L. Bruhwiler, K. A. Masarie, P. M. Lang, J. B. Miller, P. P. Tans, 2003: Atmospheric methane levels off: Temporary pause or a new steady state? *Geophys. Res. Lett.*, 30(19), 1992, doi:10.1029/2003GL018126.
- Etherridge, D. M., L. P. Steele, R. J. Francey, and R. L. Langenfelds, 1998: Atmospheric methane between 1000 A.D. and present: Evidence of anthropogenic emissions and climatic variability. *J. Geophys. Res.*, 103, 15979-15993.
- Haan, D. and D. Raynaud, 1998: Ice core record of CO variations during the last two millennia: atmospheric implications and chemical interactions within the Greenland ice. *Tellus*, 50B, 253-262.
- Inoue, H., H. Matsueda, M. Ishii, K. Fushimi, M. Hirota, I. Asanuma and Y. Takasugi, 1995: Long-term trend of the partial pressure of carbon dioxide(pCO₂) in surface waters of the western North Pacific, 1984-1993. *Tellus*, 47B, 391-413.
- Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC), 2001: *Climate Change 2001: The Scientific Basis*, Cambridge University Press, UK, 944pp.
- Keeling, C. D., R. B. Bacastow, A. F. Carter, S. C. Piper, T. P. Whorf, M. Heimann, W. G. Mook, and H. Roeloffzen, 1989: A three dimensional model of atmospheric CO₂ transport based on observed winds: 1. Analysis of observational data. *Geophysical Monograph*, 55, 165-236.
- 気象庁, 2003: 大気・海洋環境観測報告 第3号平成13年観測成果, 気象庁 (CD-ROM) .
- Novelli, P. C., K. A. Masarie, P. M. Lang, B. D. Hall, R. C. Myers, and J. W. Elkins, 2003: Reanalysis of tropospheric CO trends: Effects of the 1997-1998 wildfires. *J. Geophys. Res.*, 108(D15), 4464, doi:10.1029/2002JD003031.
- 村田昌彦, 伏見克彦, 吉川久幸, 廣田道夫, 根本和宏, 岡邊光邦, 矢吹英雄, 浅沼市男, 1996: 北西太平洋域における大気 - 海洋間の CO₂ 交換についての評価 - pCO₂ の分布と CO₂ フラックス -. *研究時報*, 48, 33-58.
- Nakazawa, T., S. Morimoto, S. Aoki and M. Tanaka, 1993: Time and space variations of the

- carbon isotopic ratio of tropospheric carbon dioxide over Japan. *Tellus*, 45B, 258-274.
- Rayner, P. J., I. G. Enting, R. J. Francey and R. Langenfelds, 1999: Reconstructing the recent carbon cycle from atmospheric CO₂, ¹³C and O₂/N₂ observations. *Tellus*, 51B, 213-232.
- Tans, P., I. Fung and T. Takahashi, 1990: Observational constraints on the global atmospheric CO₂ budget. *Science*, 247, 1431-1438.
- Wang, T., V. T. F. Cheung, M. Anson, and Y. S. Li, 2001: Ozone and related gaseous pollutants in the boundary layer of eastern China: Overview of the recent measurements at a rural site. *Geophys. Res. Lett.*, 28, 2373-2376.
- Watanabe, F., O. Uchino, Y. Joo, M. Aono, K. Higashijima, Y. Hirano, K. Tsuboi, and K. Suda, 2000: Interannual variation of growth rate of atmospheric carbon dioxide concentration observed at the JMA's three monitoring stations: Large increase in concentration of atmospheric carbon dioxide in 1998, *J. Meteor. Soc. Japan*, 78, 673-682.
- WMO, 1993: Report of the WMO Workshop on the Measurement of Atmospheric Optical Depth and Turbidity, Global Atmosphere Watch Report No. 101, WMO/TD-No.659.
- WMO, 1999: Scientific Assessment of Ozone Depletion: 1998. WMO Global Ozone Research and Monitoring Project, 44, World Meteorological Organization, Geneva.

第 4 章

- 気象庁, 2004: オゾン層観測報告: 2003, 気象庁.
- WMO, 2003: Scientific Assessment of Ozone Depletion: 2002. WMO Global Ozone Research and Monitoring Project, 47, World Meteorological Organization, Geneva.