

北半球のオゾン濃度分布に関する環境気候学的研究

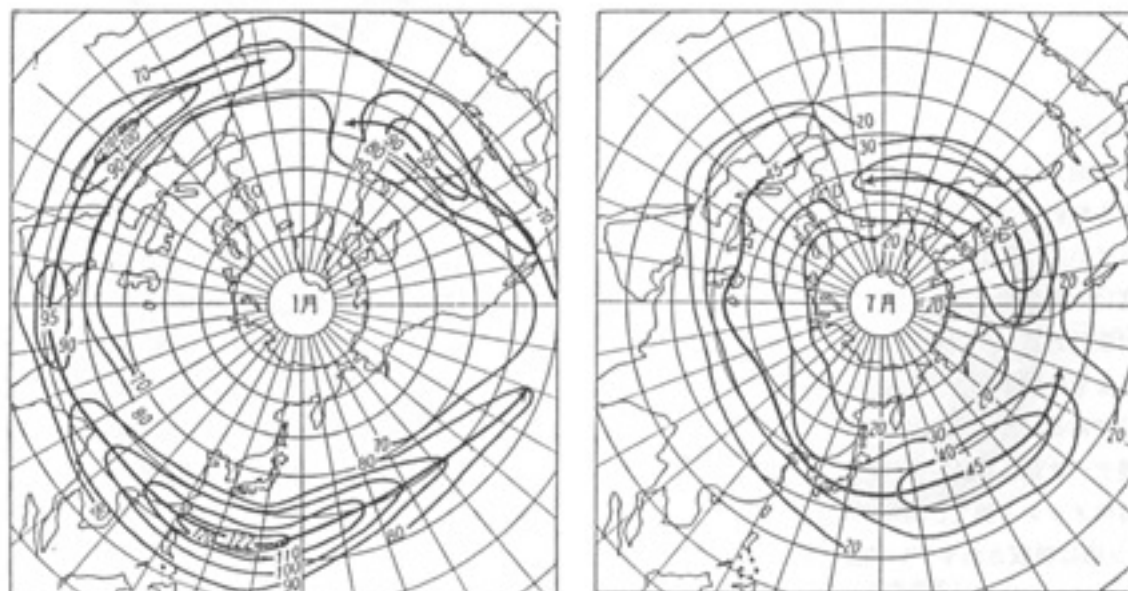
福岡 義隆* ・ 長 沢 里 絵 子**

1. はじめに

オゾン層破壊という地球環境問題に関しては、とりわけ南極大陸の成層圏が年々悪化してオゾンホールが拡大していると言うことで研究対象にされているが、そもそも成層圏のオゾン層破壊は決して最近始まったわけではない。むしろ北半球において、フロンガス（正確にはクロロフルオロカーボン、CFC）原因説以前に3回、すなはち3つの原因によりオゾン層破壊を招いていた。1つは1960年代の初期に、米ソなどで始まった水爆実験によるもので、核融合反応の際の異常高温状態で、大気中の酸素と窒素が結合して窒素酸化物を多量に発生し、これがオゾン層を破壊しているというものである。2つ目のオゾン層破壊者は、成層圏

下部を飛行する超音速旅客機によるもの、すなはちジェット機が排出するガス中の窒素酸化物などがオゾン層を破壊するとされ、USAでのシミュレーション計算によっても実証されている。3つ目として、オランダの研究者らが理論的に影響予測した窒素肥料説である。窒素肥料から発生する亜酸化窒素による破壊説である。これらのいずれも北半球が主たる舞台であるが、オゾン層の破壊力については、量的にも空間的にも昨今はフロンガスによるものの方が他を圧して強い。

フロンガスなどの人為起源の破壊物質（大気汚染質）が北半球より少ない筈の南極圏上空でオゾン層破壊がひどいのは、極低温下のエアロゾル発生（極成層圏雲形成）によってオゾン消滅反応が加速されることとか、南極周辺の極渦周辺のジェット気流が低緯度からのオ



第1図 低緯度からのオゾン流入を阻止するジェット気流の存在
Fig.1 Jet stream obstructing ozone inflow from lower latitude

*立正大学 地球環境科学部環境システム学科

**カナダ在住

ゾン流入（補給、第1図参照）を阻止することなど、いくつかの理由があげられる。昨今は、南極圏ほどでないにしても、北極圏でもスピッツベルゲン（ノルウェー領）を中心とするオゾンホール現象が、NASAの測定により確認されつつある。すなわち、南極同様に外部との大気のやり取りを少なくさせる渦（極渦）が北極にも存在し、その渦の中でフロンから放出された塩素との反応でオゾンが破壊され、オゾン濃度の低い大気の塊が生じていると考えられる。しかし、これまで一般に、北半球のオゾン濃度分布に関する研究は南極にくらべ多くない。

そこで、本研究では、1979～1992年の14年間のNASAのデータに基づいて、北半球の成層圏オゾン濃度の分布状態（季節変化など）と、その経年変化について調べ、気候学的な意味付けに関して考察してみたので報告する。

2. 研究方法

本研究に使用した主要なデータは、NASAが公開しているTOMS（全量マッピング分光光度計）による衛星観測資料である。TOMSは1ナノメートルの波長分解能を有する回折格子分光光度計の一種で、波長域312.5～380ナノメートル間における6つの波長の紫外線強度を測定する装置である。これによって、地表および対流圏大気から散乱される紫外線強度の波長による差違を解析してオゾンの気柱全量を求めるシステムとなっている。入取したデータのうち、北半球冬季の高緯度は太陽光線が当たらないため欠測地域として、研究対象外とした。対象期間は、1979年1月から1992年12月までの14年間で、欠測期間を除いても総計168カ月分である。

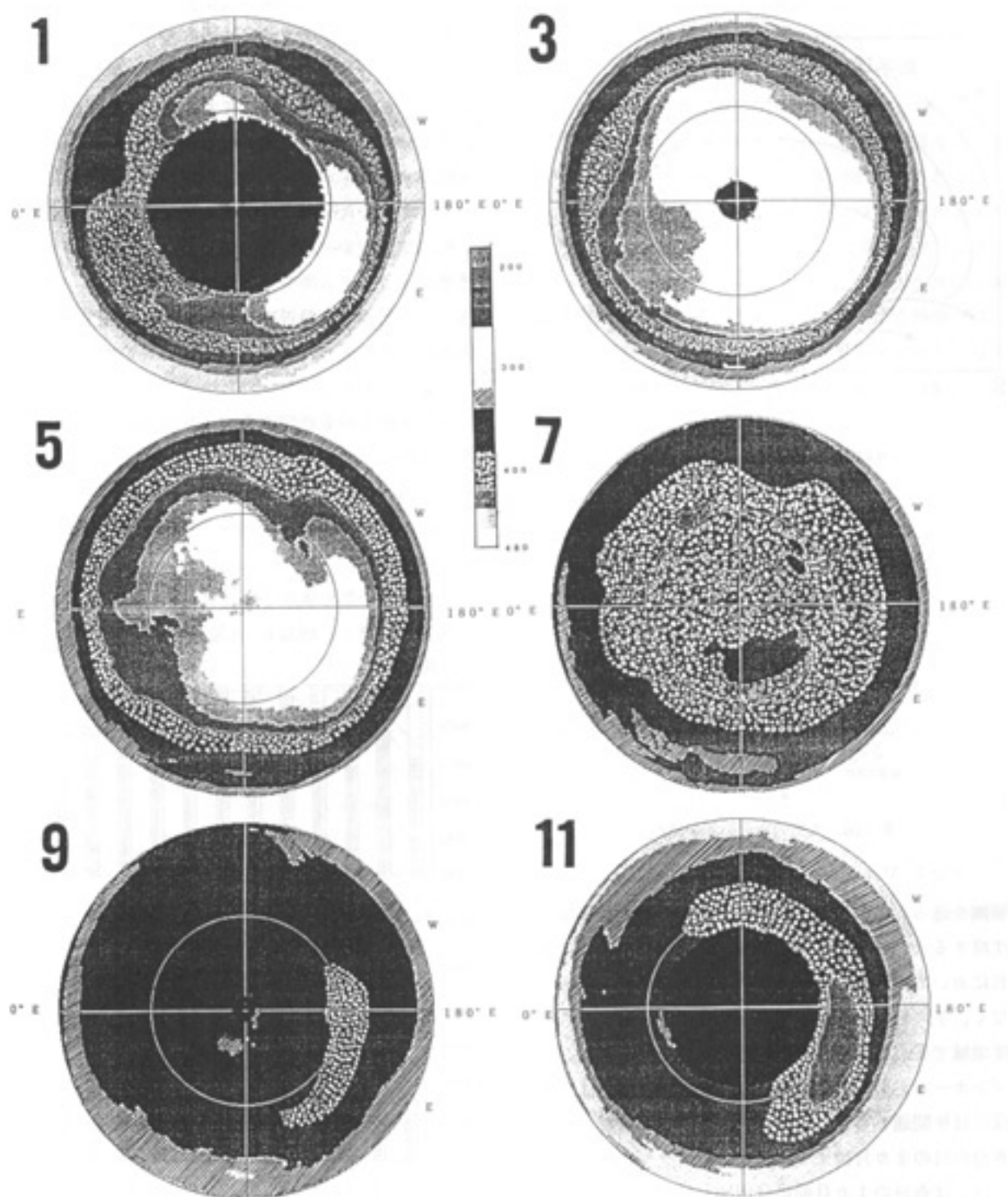
基礎データは、 1.25° （経度方向） \times 1.00° （緯度方向）毎のメッシュ値で、月々の平均値がドブソン単位（オゾン層に吸収されやすい波長と吸収されにくい波長の紫外線の強度比）で表されたものである。オゾン濃度のデータ数は、経度方向で288個、緯度方向で280個であるから総数では約900万個である。これらのデータを用い、オゾン濃度の分布がどのような月々の変化をするのかを見るために、14年間の各月のデータ

を北半球全域にわたって平均した月毎の分布図を描いた。分布の幅としては、オゾン量の最低値200～最高値480（単位： m atm-cm ）を 20m atm-cm 毎に全15段階に区分して分布状態を調べてみた。また、オゾン濃度分布の経年変化傾向を見るために、対象期間を前期A（'79～'83）・中期B（'84～'88）・後期C（'89～'92）に区分し、前期と中期との濃度差A-B、中期と後期との濃度差B-Cをそれぞれ求め、それぞれの差について増減の面積変化率を求めた。この場合、A又はB、B又はCのいずれかのグリッドに欠測値を含む場合は、その計算結果は欠測値として扱った。

3. 研究結果と考察

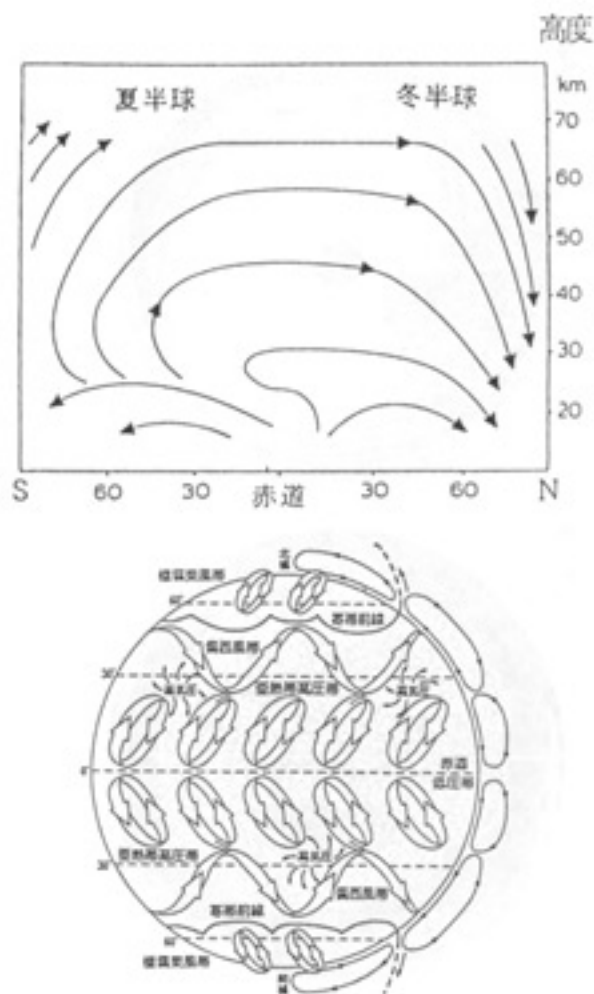
まず、北半球におけるオゾン量の1月から12月までの通年における変化についてみる（第2図には奇数月のみを掲載）。各月について14年間の平均オゾン量の分布図から言えることは、北極を中心としたオゾン量の比較的高濃度の領域が冬季12月ころから始まり次第に大きくなるが、4月をピークにその後急激に減少していく。7月ころから9月ころまでの間が中緯度から高緯度にかけて低濃度期間で、おおよそ $360\sim 420\text{m atm-cm}$ の範囲内にある。10月ころから翌3月ころまで低緯度地帯のオゾンの低濃度領域が広くみられ、とくに10～11月は北極圏内の一部（経度 $0\sim 90^\circ$ ）にもオゾンの少ない地域が現われている。すなわち北欧から西シベリア北部にかけての地域である。11月から12月にむかって北太平洋とチベット高原北部あたり（中～高緯度）に高濃度オゾン領域が現われ始める。

全年通しての傾向としては、赤道付近の低緯度地帯でオゾン量は少なく、中緯度から高緯度にかけて多い。夏秋に比べ冬春に高濃度で、特に高緯度の春が最も多い。春に多いという傾向は、南極の春（9～10月）の傾向とほぼ同様である。これらの原因の一つとして考えられることは、大気大循環によるオゾンの輸送システムが関わっているということである。すなわち、紫外線による光化学反応で生成されたオゾンは、大気の全球的な循環によって輸送される（たとえば第3図(1)のDunkertonモデルや同図(2)のように）。大気の子午面（南北断面）での流れは赤道地域で上昇し、上部成



第2図 各月の平均オゾン量の北半球分布図 (図中の1、3、5などは月を表す)

Fig.2 Distribution maps of monthly mean total ozone in Northern Hemisphere (1,3,5,etc. in Figs. are months).



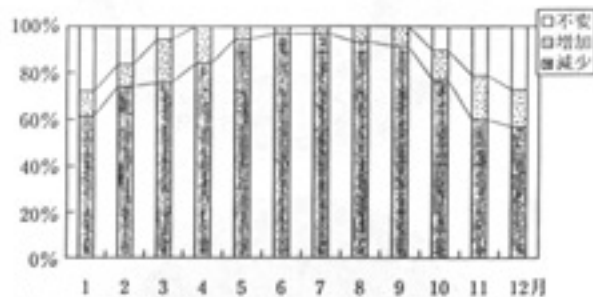
第3図 大気南北断面の流れ
(大気大循環モデル図)

Fig.3 Meridional atmospheric circulation

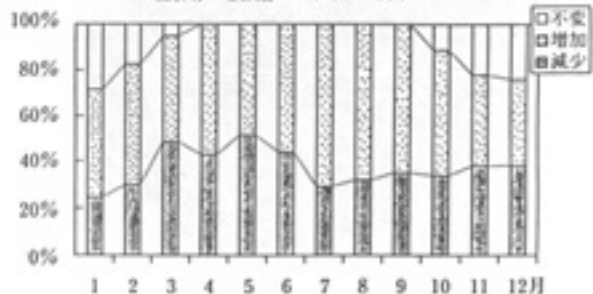
層圏を通して冬半球の高緯度にむかい、やがて極域で沈降するといった循環流がある。このような大気の流れにおいて上昇域にあたる赤道層ではオゾン量が少なく、下降域にあたる冬半球の緯度60度付近より高緯度地域で多くなっていると思われる。全般的には、オゾンホールといわれる 220 matm-cm 以下の部分は北半球には年間通して見られない。南極では極夜渦は通常春分の日から2カ月後まで持続するが、北極の極夜渦はしばしば春分の1カ月前には崩壊してしまい、本格的なオゾン破壊が起きる春に北極の成層圏の低温が維持されないためであると考えられる。つまり北極の成層圏には塩素の不活性化が活発に行なわれるため、オゾン破壊の触媒反応が効率よく進行しないのであろうと思われる。

オゾンホール出現の大きな原因の一つとされる極成層圏雲の自然要因として、大気循環や日射などの季節変化とか、大気の準2年周期振動 (quasi-biennial oscillation, QBO; 赤道上空で西風と東風が約2年、26カ月の周期で交互に現われる現象)、約11年周期の太陽黒点 (太陽活動) の変化などが知られている。したがって、単にオゾン量分布を比較したり、見かけ上の他の気象現象との関係を見るだけでは、オゾン量の変動のメカニズムや分布の原因を正確に把握するのは難しい。しかし、最近のオゾン量の経年変化についてみると、その大きな変化傾向には人為的要因が関わっていると思われる。

次に本研究対象期間を3つの期間に区分して、前期から中期へ、中期から後期への変化の傾向について考察してみた。対象期間の1979年1月から1992年12月までの14年間を、前期A ('79~'83)、中期B ('84~'88) および後期C ('89~'92) に区分し、前期と中期との差A-B、中期と後期との差B-Cを、北半球について各月々計算し、増減率 (不変) %を求めてみた。月々



第4図-1 北半球におけるオゾン全量の増減率
(前期~後期) <1979~87>



第4図-2 北半球におけるオゾン全量の増減率
(中期~後期) <1983~99>

第4図 北半球におけるオゾン全量の増減率 (4-1図は前期から中期への、4-2図は中期から後期への増減率)

Fig.4 Half-decadal change of total ozone in Northern Hemisphere (4-1 shows change from former to middle, 4-2 from middle to latter)

の増減率を棒グラフに示した第4図から明らかなように、北半球でオゾン量が減少したのは、前期から中期にかけてであって、とくに夏半年に顕著に見られる。晩秋と春先に多少の増加域がみられる程度である。このA～B期間には、南極圏のオゾンホール面積が急増、すなわちオゾン全量は急減しオゾン破壊も急増している。それに対して、中期から後期にかけて、すなわちB～C期間には、全年通して減少より増加地域が多いのが見て取れる。やや減少が勝っているのは初冬と春季で、夏数カ月は増加域が目立っている。この間の南極圏でも、オゾンホール面積・オゾン破壊の増加は横這いかやや増加の傾向にあり、オゾン濃度の低下も横這い状態である。対象期間14年通して、冬季数カ月間、オゾン量不変の地域が20%前後あるのも注目される。分布図の上で見ると、赤道付近がその不変域に相当すると考えられる。

4. あとがき

本研究で、南極地方ほどのオゾンホールの出現頻度や大規模な変動は見られなかったが、北半球においても季節や地域によってはオゾン層破壊が生じていることは確認できた。本研究では、1992年までの14年間の状況しか扱っていないが、その後のオゾン破壊量やオゾンホール面積の変化については毎年の環境白書から概観できる。モントリオール議定書が改正された1992年以降に、南極のオゾンホール三要素の経年変化をみる限り、ほぼ横這い状態であることが分かる。ただし、1997年には最大規模であった過去5年間と同じ程度の

オゾンホールが南極上空で確認されたと言う。そして、北半球高緯度地方においても、1997年の冬から春先にかけて、オゾン量の顕著な減少が見られ、とくに3～4月には、北極域上空で平年より30%以上ものオゾン減少が測定されている。わが国でもより高緯度に位置する札幌のオゾン観測値に減少傾向が認められる。

また、本研究では、オゾンホールの形成に大気大循環やジェット気流の影響を考えたが、逆に、オゾンホール形成に伴って下部成層圏でのオゾン減少が太陽放射吸収を減少させて冷却をもたらし、上部成層圏では下降流が強まって昇温し、子午面循環に変動をもたらしという研究も進められている。

【参考文献】

- 福岡義隆 (1992) : 人間的尺度の地球環境 (古今書院)
 環境庁オゾン層保護検討会編 (1989) : オゾン層を守る (NHKブックス)
 泉 邦彦 (1987) : 恐るべきフロンガス汚染 (合同出版)
 古野正敏 (1978) : 気候学 (地人書館)
 気象庁編 (1995) : 近年における世界の異常気象と気候変動 (大蔵省印刷局)
 福岡義隆 (1997) : 気象とその災害 (「地学 I A」第4章第1節, 第一学習社)
 環境庁編 (1998) : 環境白書 (大蔵省印刷局)
 東京大学気候システム編 (1997) : 気候研究の最前線 (東京大学気候システムセンター) D.Chanc and M.Nunez: Temporal and Spatial Variability of Total Ozone in Southwest Sweden Revealed by Two Ground-based Instruments, Int. J. Climatol. 18: 1237-1246 (1998)
 J.Horel and J.Geosler (1997) : Global Environmental Change (John Wiley & Sons, Inc.)

Abstract:**"Environmental Study on Spatial Variability of Ozone in Northern Hemisphere"****Fukuoka, Y. and Nagasawa, R.**

This study deals with temporal variability and spatial distribution of ozone in Northern Hemisphere for the period 1979-1992 based on the TOMS data by NASA. Generally speaking, the ozone concentration is lower in lower latitude while the highest ozone appears in spring in higher latitude. When the period is divided into three stages such as former ('79~'83), middle ('84~'88) and latter ('89~'92), there is found the decreasing stage from former to middle, remarkably in summer season. Anyhow, the ozone hole of less than 220m atm-cm dose not appear all the year round.

Key words: ozone in Northern Hemisphere, TOMS data, ozone hole