

地球環境問題とオゾン層破壊

塩谷 雅人

(北海道大学地球環境科学研究科)

1 はじめに

私たちを取り巻く環境と一口でいっても、ごく日常的で身近かなものから、実感は湧いてこないが地球規模のものまで人々の意識はさまざまであろう。実際、大気や海洋などの汚染が最初に問題になったとき、それはいわゆる公害問題と呼ばれたように、ごく狭い領域で発生し、限られた人々がその被害を被ってしまうような事象であると人々は認識した。しかし、私たちの知識と意識が次第に広がっていくことによって、原因となる領域と被害のおよぶ領域とが異なるような問題も数多く存在するということが最近わかってきている。たとえば、大気への人為的な排出物が原因となって国境を越え影響をおよぼす酸性雨の問題であるとか、さらにはそういった放出物が全球的に広がって引き起こされる地球温暖化、あるいはオゾン層破壊などの問題である。これらが地球環境問題といわれるのもまさに、それらの事象が局所的なものではなく全球的な視点から捉えるべきものだからである。

ここでそういった地球環境問題を一つ一つ検証していくには紙面の限りもあるし、また筆者自身それらを包括的に語れるほどの力量も持ち合わせていない。そこでここでは特にオゾン層の問題に焦点をあて、いわゆる南半球の春季に特徴的に見られるオゾンホールと呼ばれる現象について解説する。それを通して、私たちを取り巻く大気層に今何が起こっているのかを考えるとともに、全球的な視点の必要性を感じてもらえるような、そんな題材の一つを提供できたらと思う。

2 オゾンの分布

オゾンについて話す前に、大気の鉛直構造について簡単に説明しておく。我々はふつう、大気をその鉛直温度構造に注目して次のように分けている。地表から高度約 10 km までの領域は対流圏とよばれ、気温は高度とともに減少する。そこでは私たちにもなじみ深い雲や雨と関連した現象が見られる。対流圏の上には雲のない大気層が広がっている。高度 50 km 付近までは気温が高度とともに上昇しそこを成層圏という。さらにその上には高度とともに気温が減少していく中間圏(約 50- 80 km)、そして再び気温の上昇する熱圏(約 80 km 以上)が広がっている。

オゾンは酸素原子 3 個からなる反応性の高い気体で、そのほとんどが成層圏に存在している。オゾンは太陽光のうち波長の短い紫外線領域の光を強く吸収するとともに、大気を加熱することによって成層圏から中間圏領域の高温層を作っている。さらに、オゾンが吸収する紫外線は生物の遺伝子情報を伝える細胞物質を破壊してしまうことが知られており、すなわちオゾン層は我々人類を含む地球上のすべての生物を有害な紫外線から守っていることができる。

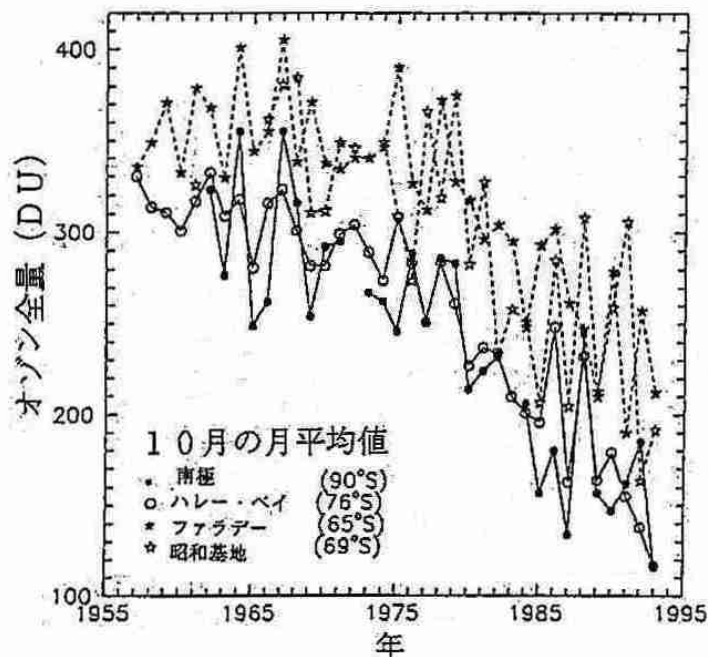


図 1: 南極域にある 4 つの観測点で測定された 10 月の月平均オゾン全量の年々変動. 単位はドブソン単位 (DU).

3 オゾンホール

南半球の極域で特に春の時期にオゾンが減少してきていることを最初に報告したのは、気象庁気象研究所の忠鉢氏である (1984 年). 彼は自分自身が南極昭和基地で観測した 1982 年のオゾン全量 (単位断面積をもつ気柱に存在するオゾンの総量) データが、それまでの観測値に比べて非常に低いことに気がついた. その直後、同じ南極域におけるイギリスの観測基地 (ハレー・ベイ) のオゾンデータからも同様な結果が報告された. (図 1 には南極域にある 4 つの観測点における 10 月の月平均オゾン全量の年々変動を最近の観測も含め示してある. 1980 年頃からオゾン全量が急激に減少してきているのがわかる.) さらに、人工衛星からの観測によってもこのオゾン全量の減少が南極大陸規模のものであることが確かめられるにいたって、研究者の関心は急速に高まっていった.

図 2 には衛星観測データにもとづく南半球の 10 月におけるオゾン全量分布を示す (衛星データにもとづきオゾンホールについて言及した最初の論文から引用した). もともとこの時期、南半球におけるオゾンは、南極のまわりで少なく、それを取り囲むようにして中緯度に三日月型の高濃度領域が存在するような分布をしている. この形態的な特徴をもってオゾンホールと呼ばれているのであるが、問題はこのオゾンの穴「オゾンホール」が年毎にどんどん深く (つまりオゾン量が少なく) なっていることにある. こういった観測事実刺激されオゾンホールの特徴を明らかにするさまざまな観測がおこなわれたが、それらをまとめると: オゾンの急激な減少は (1) 南半球極域で顕著なこと, (2) 南半球の春の時期 (10 月) を中心に見られること, (3) 高度 15-20km 付近 (下部成層圏) でおこっていること, などが

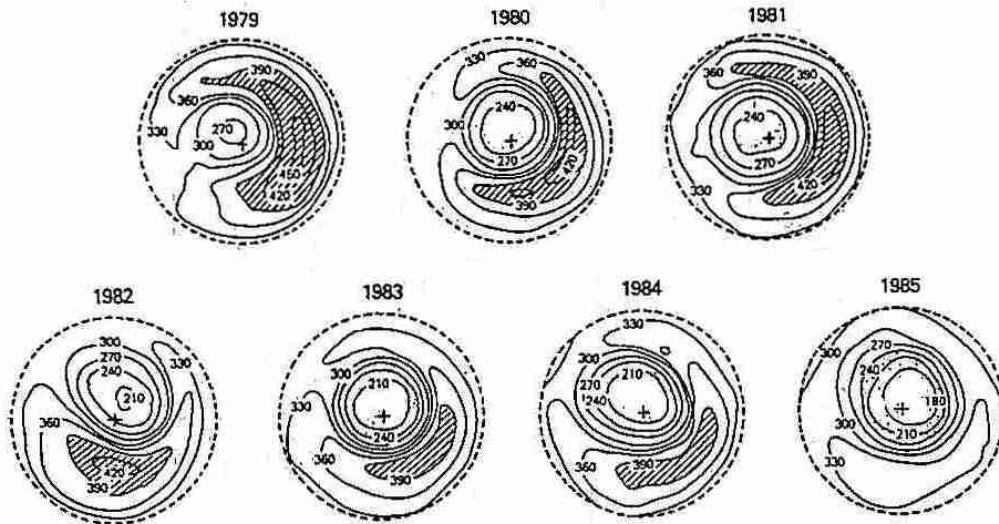


図 2: TOMS と呼ばれる衛星搭載測器によって得られた 1979 年から 1985 年までの南半球 10 月の月平均オゾン全量の図。南極上から眺めたような投影法を用いていて作画されている。図の外側の円は南緯 30 度を示す。390 DU より値の大きいところには斜線が、240 DU より低いところには点々が描かれている。

明らかになってきた。

4 オゾンの破壊機構

ではなぜ春季南半球の下部成層圏極域でこのようなオゾンの破壊が起こるのか。それまでも窒素や塩素を含んだ酸化物が太陽の光でその結合が解かれること(光解離)をきっかけとして、オゾンを破壊しうることは知られていた。たとえば冷蔵庫の冷媒や噴霧器の発射剤として使われてきたフロンガスは、大気の循環によって放出源である対流圏からやがては成層圏に輸送され、オゾン破壊をになう化学物質の一つとなる。しかし、そういった反応はもっぱら上部成層圏で起こることであり、下部成層圏では大規模なオゾン破壊につながないと考えられていた。さらにフロンガスが光解離してできる塩素は、ふつう窒素酸化物と結び付いて安定な分子の形で成層圏に存在し、オゾンにとっては何の影響も与えないと信じられていた。ところが、南半球の下部成層圏では冬から春にかけて非常に低温な状態となる(北半球の冬は大規模な大気波動によって南半球に比べ高温となっている)ため、水や硝酸の氷粒からなる極域成層圏雲(PSCs: Polar Stratospheric Clouds)が発達し、その氷粒の表面でこれまで考えられてこなかった反応の起こりうるということがわかってきた。つまり、塩素と窒素酸化物とが結び付いてできた安定な分子も PSCs の表面で反応し、それまで閉じ込められていた塩素の放出を促し、結果的に下部成層圏で急速なオゾン破壊を招くことが明らかになってきたのである。

すぐさま(1987年)この仮説を検証すべくアメリカの研究者たちは下部成層圏を飛べる飛行機を使って、各種微量成分の測定をおこなった。図3にその観測例を示す。図の左側がオゾンホールの外、右側がオゾンホールの内に対応していることは、3番目のオゾンに関する

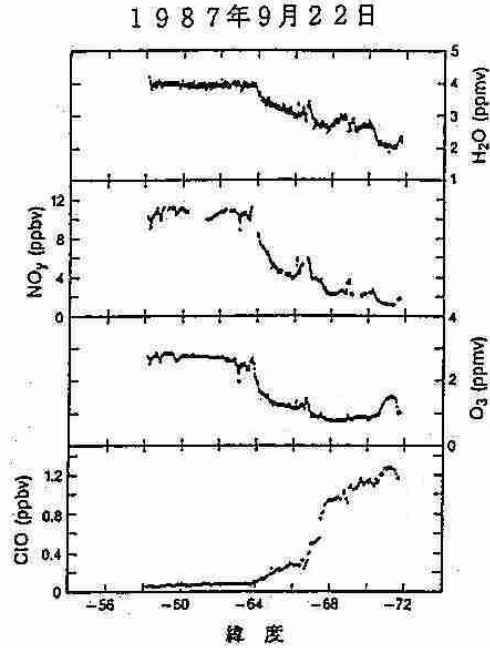


図 3: 飛行機観測から得られた(上から順に)水蒸気、窒素酸化物(NO_y)、オゾン、塩素酸化物(ClO)の航路に沿う緯度分布

るグラフからわかる。同時にオゾンホールの中では水蒸気(1番目のグラフ)も少なくPSCsが形成されていることを示唆している。そして最も重要なことは、オゾンの破壊を促進する鍵となる塩素酸化物(4番目のグラフ)がオゾンホール内で急激に増加し、オゾンと非常にきれいな逆相関関係を示している点である。さらに、塩素酸化物を不活性化する窒素酸化物もオゾンホール内で少なくなっている(2番目のグラフ)こともわかる。ここにいたって、私たちが何の規制もない中で放出し続けていたフロンガスが、ある条件のもとではあるが、すでにオゾン層破壊をもたしていることは明らかになったのである。

5 おわりに

最近米国で打ち上げられたUARSと呼ばれる大気観測衛星からも、先ほど述べた飛行機観測の成果を全球規模で確かめることに成功している。また、この夏わが国で最初の大規模な地球観測衛星ADEOS(みどり)が打ち上げられ、そこに搭載された測器の一つILASはオゾン層を監視するためのデータを取得する予定である。

いっぽう1990年代にはいって、北半球成層圏でも小規模なオゾンホールが観測されるようになってきている。これは北半球下部成層圏でも低温化傾向が見られPSCsの出現頻度が高くなっていることと関連していると考えられているが、いまだに明解な説明は得られていない。フロンガスに関するさまざまな規制が提案され実行されてきてはいるが、オゾン層の破壊はまだ現在進行中の問題であり、今後も私たちは全球的な視点からそのモニタリングを継続していかなければならない。