

[企画：教育と普及委員会]

南極オゾンホールとの出会い*

忠 鉢 繁**

1. 南極オゾンホール

最近、子供達に「オゾン層が壊れたらどうなるの」とか「南極でオゾン層に穴があいたって本当？」などと聞かれることがある。また週刊誌や少年漫画などにも、時々だが、“オゾンホール”と言う言葉がみられるようになった。オゾン層に対する社会の関心が現在のように高くなったのは、南極に“オゾンホール”が出現した事が事実として認められたからである。“オゾンホール”は、南極上空のオゾンが南極の春先9月から10月にかけて著しく減少し、人工衛星から観測されたオゾンの分布図上で南極上空の穴の様に見えることからつけられた名前である。現時点では、ある程度の広さと1ヶ月程度の時間的規模をもったオゾンの減少は南極上空でだけ観測されており、特に南極の“オゾンホール”と呼ばれている。(北半球でも、ミニホールと呼ばれる、小さな短期間のオゾンの減少が観測されたという報告はある)。南極の“オゾンホール”は激しい現象であり、著しいときには、オゾンの量がオゾンホールが出現する以前の同じ季節に比べて半分近くまで減少している。また、オゾンホールの大きさは毎年変化しており、一昨年1988年はその前年の1987年に比べてかなり小さくなった。“オゾンホールは消えたのか”などと言われたりした。しかし、昨年1989年もオゾンホールは最大級の規模で出現した(第1図-p 411参照)。“オゾンホール”は南極上空に定着したように見える。しかしほんの6年前、1984年までは、南極上空でこの様な著しいオゾンの減少が起こるとは、世界中の誰も考えていなかった。この、南極オゾンホールの研究において、わが国の昭和基地(69°S, 40°E)で実施されてきているオゾンの観測が重要な貢献をしてきている。さらに、この南極上空におけるオゾンの減少を、世界で最初に報告したのは筆者を含む日本のオゾン研究

グループである。はじめに南極昭和基地でのオゾンホールとの最初の出会について述べる。続いて、オゾンホールの問題が世界的に発展してきた状況を紹介し、さらに、今後の見通しについて述べる。最後に、気象観測を継続して実施することの重要性、さらに思いもかけない観測データを得た場合について考えていることを述べる。

2. 南極オゾンホールとの出会い

1982年、南極昭和基地でオゾンの強化観測を実施していた。南極MAP(中層大気観測計画)と名付けられた南極の成層圏を集中的に観測しようという観測プロジェクトがこの年から開始されており、その一環として南極上空のオゾン層を1年間を通して観測するために、筆者らは23次南極観測隊に越冬隊員として参加していたからである。この時の越冬隊長は現在国立極地研究所長の星合孝男先生である。結果的に南極上空のオゾンの減少を最初に観測し報告するという好運に恵まれたが、“オゾンホール”を観測するために南極観測隊に参加していたわけではない。私達が南極で観測を行っていた時点では、南極上空にオゾンホールが現れると考えた人は世界中に一人もいなかったと思われる。1982年当時は昭和基地でのオゾン全量*1観測は太陽光を使用しており、太陽の高度角が低くなる(特に南半球の冬至の前後それぞれ約3週間は太陽は全く昇らない)4月から8月までオゾン観測は定期的に行われていなかった。太陽光による観測が出来ない期間を、月光を使ってオゾンを観測し南極上空での1年間を通してのオゾンの変化を調べてみたいと考えて、筆者らは南極観測隊に参加していた。月光によるオゾン全量の観測は、昭和基地でも1969年に実施

* Encounter with the ozon-hole at Syowa Station.

** Shigeru Chubachi, 気象研究所物理気象研究部.

*1 オゾン全量：大気の上端から下端(地面または海面)までの垂直気柱全体に含まれるオゾンの総量

*2 月光による冬期のオゾン定量観測は1982年以降は毎年実施されている。

されていた。しかし昭和基地で冬期のオゾン観測が実施されたのはこの年だけであり他の年には行われていなかったのが²⁾、昭和基地の冬期のオゾン層の変化の全体像はまだ明らかになっていなかった。それで、できるだけ冬季の観測回数を多くしたいと考えていた。また、月光により得られたオゾン全量の観測値の信頼性が不明だったので、太陽光による観測との比較を行い月光により観測されたオゾン全量の精度を明らかにしたいと考えていた。

昭和基地でのオゾン観測は、筆者も含めて気象庁から参加した隊員（吉平・首藤・梶原・佐々木正彦）が交替で実施していた。1982年のオゾン全量観測は、2月、3月は太陽光を用いて観測を行い、4月からは太陽の高度角が低くなり太陽光による観測が出来なくなったので、月光による観測に切り替えて実施した。月光による観測は5、6、7月と順調に経過した。8月に入り、上旬は観測可能であったが、中旬は月が半月より小さく、光量不足で観測できなかった。下旬には再び観測可能となった。観測されたオゾン全量は300ドブソン単位³⁾前後（現地での仮計算値）の値が得られており、月光による観測ではあったが特におかしな値ではなかった。

9月4日、この時期は例年ならまだ太陽光によるオゾンの観測が出来ない時期なのだが、この日の昼に思いがけず太陽光によるオゾン全量の観測が可能となった。そして、このとき観測されたオゾン全量は、230ドブソン単位（現地での仮計算値）と前夜までの月光観測による値から急に減少していた。さらにこの日の夜行われた月光観測でもオゾンの全量はやはり小さな値であった。観測されたオゾン全量が余りに小さすぎたので、オゾンを観測する装置であるドブソン分光光度計⁴⁾に何か故障が起こったためかも知れないと考えて、やはりオゾンを担当していた梶原良一隊員（高層気象台）と共に観測装置の点検を行った。しかし故障を示す点検結果は得られなかった。オゾン全量観測は太陽光による観測に切り替

えて続けて行ったが、オゾン全量は少ないままであった。10月にはいると観測されたオゾン全量はますます小さくなり、著しいときには210ドブソン単位前後になってしまった。これはもう通常観測される値ではなかったが、どうしてもなくそのまま観測を続けて行くと、10月末にオゾン全量が急に増加し正常な値に戻った。

日本に帰ってからこの時期の観測値を調べなおしたが、1981年まで観測されたオゾン量に比べて、1982年の9月から10月にかけてのオゾン全量は明らかに小さかった（第2図-p 411参照）。原因と考えられることをいろいろ調べてみたが、計算間違いとか機械の故障を示すデータは見つからなかった。気象観測でおかしなデータを観測したときには、直ちに近くの観測所のデータと比べてみるのが鉄則である。当時南極でオゾン観測のデータが利用できた観測所は、昭和基地の他には米国のアムゼン-スコット基地（90°S）だけであった。アムゼン-スコット基地で観測されたオゾン全量を昭和基地で観測された値と比べてみると、アムゼン-スコット基地で観測された10月の小さなオゾン全量、増加が起こった後の12月のオゾン全量は、昭和基地で観測された値と非常によく一致していた。昭和基地とアムゼン-スコット基地とは約2000km離れており、二つの基地でそれぞれ観測されたオゾン全量が一致していたからと言って、必ずしも昭和基地の低いオゾン量が正確な値を示していると断定できるわけではないが、大きな間違いはないらしいと判断する根拠になった。さらに1983年も昭和基地で異常に低いオゾン量を観測し、担当者が悩んでいると言う連絡が入り直ちにその前年1982年も同じ様な状況であったことを連絡した。これらの事実の積み重ねから、自分達の観測結果がほぼ間違いではなうであろうと判断し、観測結果を発表することにした。

3. オゾンシンポジウムでの発表

この翌年1984年9月にギリシアでオゾンシンポジウムが開かれた。このシンポジウムは、世界中からオゾンの研究者が集まり研究発表や討論を行うもので、4年毎に開かれている。私は、できるだけ多くの人に我々の南極での観測結果を知ってもらいたいと考えて、このシンポジウムに参加した。そして、南極の他の基地の観測者と議論してみたいと考えていた。しかし会場に到着してプログラムを受け取って見たら、南極に関するオゾンの発表は私の発表一件だけであった。当時の中心的な話題は1982年に起こったエルチヨン火山の爆発によって成層

³⁾ ドブソン単位：オゾン全量の単位。鉛直気柱全体に含まれるオゾンの総量を0°C 1気圧の状態に換算した時の厚さが0.001cmになるオゾン全量を1ドブソン単位または1m-atm-cmと呼ぶ。

⁴⁾ ドブソン分光光度計：大気中のオゾン全量を観測するための紫外線分光光度計。太陽光線の中のオゾンの吸収を強く受ける紫外線の強度とあまり吸収を受けない紫外線の強度を比較することにより、大気中のオゾン全量を求める。1924年、英国人ドブソン教授により開発された。オゾン全量を観測する標準的な測器であり、世界中で広く用いられている。

圏に注入されたエロゾルがオゾン層にどのような影響を与えるかというようなことだったように覚えている。私の発表はポスター発表であったが、発表が済んだ後も特に反響はなかった。南極には大勢の人間が住んでいるわけではないので、南極のオゾンに対する研究者の関心が小さいのかなど考えたりした。他の基地の情報も得られず、また自分達の観測結果に対する十分な議論も出来ず、一体なんのために高いお金をかけてギリシアまで来たんだらう、とがっかりしながら帰国したことを覚えている。しかし、これで物事が終わってしまったわけではない。

この翌年1985年、ハワイで IAMAP の総会があり、私は別のデータを発表するために参加した。この会場で国立極地研究所の山内 恭さんの紹介で、英国南極調査所の B. ガーディナー博士と話をする機会を得た。最初はお互いの基地の様子とか、オゾンの観測方法とかを話していたのだが、最後に「ところで、最近南極のオゾンがおかしいと思いませんか」と聞かれた。私は、自分達のオゾンの観測結果を思い浮かべながら、「そういえば、オゾンが少なくなっているようですが」と答えた。すると、彼は、「あなたと私だけが南極のオゾンの減少を知っているんですね」と話した。そして、お互いの論文を交換してわかれた。彼は、英国の南極基地、ハレー・ベイ基地 (65°S, 64°W) 上空でのオゾンの減少をイギリスの科学雑誌「ネイチャー」に報じた論文の著者の一人だった (第3図)。昭和基地以外でもオゾンの減少が興味をもたれているのを知ったのは、この時が最初だった。このころは、日本では、南極上空のオゾンの減少はまだ全く関心ももたれていなかった。

1986年、「ネイチャー」に、南極オゾンに関する論文が6編も発表された。このうち5編は南極オゾンホールの成因論であり、もう1編は、米国 NASA が打ち上げた人工衛星ニムバス7号に搭載された TOMS (オゾン全量分布図観測用分光器) により観測された南極上空のオゾンの分布を報じていた。人工衛星からの観測により昭和基地や英国のハレー・ベイ基地で観測されたオゾンの減少は南極大陸上空全体で起こっている大規模な現象であることが明らかになった。この後、1987年米国により南極上空の大規模な航空機観測が実施され、その結果“オゾンホール”の第一義的な原因が大気中におけるフロンガス濃度の増加であると考えられるようになった。このため国際的には1987年モントリオール議定書が承認され、わが国においても1988年5月にオゾン層保護

法案が成立した。昨年(1989年)7月からフロンガスの規制が既に開始されていることは、皆様ご存じの通りである。

1988年8月、西ドイツのゲッティンゲン市においてオゾンシンポジウムが開かれた。今回のシンポジウムでは、4年前のシンポジウムでは問題にもなっていなかった南極上空のオゾンの減少は、完全な事実と認められており、学問の進歩の早さを感じた。このシンポジウムの第1日目に南極オゾンホールに関するレビューがあり、その中で4年前のシンポジウムでの私の発表も南極のオゾンの減少を報じた最初の報告として紹介されていた。世界中から集まった、私が尊敬しているオゾン研究者の前での発表であり、本当にうれしかった。しかし、2年後の1992年に米国で開かれる予定の次のオゾンシンポジウムでは、南極オゾンホールがニュージーランドやオーストラリアなどの南半球の国々を覆うようになったとか、北極にも南極と同じ様なオゾンホールが現れたとか、あるいは中緯度でも顕著なオゾンの減少が観測されたとかということが話題になっていなければ良いが、と心配にもなった。オゾン層の変化は、人類のみならず、地球上の全生物に影響する重要な問題である。南極のオゾンホールが拡大していないか、北極にオゾンホールが出現してはいないか、さらに日本上空のオゾンが減少していないか、皆で監視していこうではないか。

4. 新現象に対する雑感

“南極オゾンホール”の様に、まだ認識されていない新しい現象にぶつかるということは、非常に感動的なものである。この種の感動は、気象学においては観測部門の担当者だけが味わうことが出来る特権ではないかと思う。南極オゾンホールがまだ認識されていない時期に南極で思いがけないオゾンの減少に出会い、この感動を味わうことが出来たのは、日本で数人、世界中合わせても10人もいないだろう。私もその一人であり、この感動を伝えるべく本文を執筆した。

しかし考えてみると、これまでに知られていない新しい現象に出会うためには確かに好運が必要ではあるが、もし“オゾンホール”のようなそれまでの概念から外れた現象に出会ったとき、それを今までにないことだと認識するためには、いくつかの条件が必要のように思われる。思い付くままに書き上げてみると、

- 1) これはおかしいという観測者あるいは研究者の直感

2) それを証明するための正確な観測データの蓄積

3) すみやかに発表すること。

と言うような事であろう。

第1項については、観測担当者が、観測業務や観測装置の維持管理だけではなく、観測データをも含めて自分の問題として考えることが必要ではないかと思う。最近、気象観測装置も電子機器を含んだ複雑なものになってきており、観測装置を正常に動かすことが最大の使命となっているように感じるが、しかし、自分達が観測したその日のデータが、最大、最小の極値を超えていないか、不自然な変化傾向や周期的な変化はないか、隣の観測所との差が余りに大きすぎないかなどについて、常に注意を払って戴きたいと思う。筆者はそこまで含めて観測と考えたい。常にそのような注意を払っていないと、たとえ新しい気象現象に出会ったとしても、見逃してしまう可能性がある。特に最近、自動観測とか委託観測とか、観測担当者が直接生のデータに接しない機会が増えている。この様な場合、時として大事な現象を見落とす事がある。このことはオゾンホールに関してもそうではないかと考えられる例があり、特に注意が必要である。

第2項の正確な観測データの蓄積は、新現象の発見には特に重要である。正確な観測データの蓄積がなければ、以前の観測に比べてオゾンの観測値が増加しているとか、あるいは極端に減少しているとかの基準がなく、異常な現象かどうかの比較を行うことが出来ない。もし南極におけるオゾンの観測が、オゾンホールが出現した後の1982年以降から実施されていたとすれば、現在の様な低いオゾンの値が正常な値であると言うことが普通の認識になっていると思う。(もちろん、北極との違いが問題にはなるが……) また、南極でのオゾン観測データは、昭和基地以外の観測を含めても、1957年頃からしかなく、これ以前にも現在観測されているようなオゾンホールが出現した可能性はないのかといわれると、はっきりしたことはなにも言えない。この様に考えると、昭和基地で1961年以来行われてきたオゾン観測はこれらの条件を満たしている、非常によい観測であることがわかる。南極におけるオゾンの急激な減少を世界に先駆け

て報告できたことは、南極でオゾン観測に携わってきた、さらに直接観測に携わらなくとも南極でのオゾン観測を支えてきた気象庁の職員全ての成果と言えるのではないかと思う。

第3項の発表の重要性は言うまでもないと思われるが、ときとして見落とされることがある。もし私が1984年のギリシアのオゾンシンポジウムで発表を行っていなければ、あるいはやはり1984年の極地研究所の論文集に論文を発表していなければ、現在の筆者の仕事に対する評価はあり得ず、本文を執筆している事もなかった。もちろん、誤観測や観測装置の異常でないことを確かめた上でのことだが、通常とは異なったデータが取れた場合はどんどん発表すべきだと思う。発表の重要性は、他の観測所あるいは部門で抱えているかも知れない同種のデータを引き出す点にある。もちろん最初に発表すると言うことは、ある程度の勇気と決断が必要であり、さらに海外で発表するとなると旅費と言葉の問題が伴って来るが、できるだけ大勢の人に自分達のデータを知ってもらうよう努力することは必要のように思われる。その結果として、“自分の所でも同じ様なデータが取れている”という報告が後から続々と現れて来るということになれば、それもまた楽しいものである。

南極オゾンホールの出現に象徴されるように、地球大気は確実に変化しつつあるように思う。オゾン観測ばかりではなく、通常の気象観測においても、明らかに異常だと思われるデータに出会う機会も多くなるであろう。そのようなとき比較を可能とするためにも、気象観測を継続して実施していくことは、これからますます重要になって来るであろう。気象観測は、中断してしまうとその時のその場所での観測データは二度と得ることはできない。観測者が異常だと感じたら直ちに過去のデータと比較してみて戴きたい。そして、誤観測ではないことを確かめたならば、直ちにそのことを発表して戴きたい。

気象の観測において、常にあらゆる可能性を含んだ柔軟な思考と感覚を養うこと、正確な観測を継続すること、もし、通常とは異なるデータが観測されたら速やかに発表すること、が大切であること、そこまでを含めて観測と呼ぶべきであることを結論として本稿を閉じた。