

## 下部成層圏オゾン国際会議報告\*

近藤 豊<sup>\*1</sup>・小池 真<sup>\*2</sup>  
 忠鉢 繁<sup>\*3</sup>・牧野 行雄<sup>\*4</sup>・内野 修<sup>\*5</sup>

## 1. 4頭だての馬車

近年でも成層圏オゾンは減少を続けている。一方、観測、理論の両面にわたりオゾンの損失過程の理解が一段と進んでいる。EASOE (European Arctic Stratospheric Ozone Experiment), AASE (Airborne Arctic Stratospheric Expedition) I & II, SPADE (Stratospheric Photochemistry, Aerosols, and Dynamics Expedition), SESAME (Second European Stratospheric Arctic and Mid-latitude Experiment), ASHOE/MAESA (Airborne Southern Hemisphere Ozone Experiment/Measurements for Assessing the Effects of Stratospheric Aircraft) 等の航空機や気球を使ったキャンペーン, UARS (Upper Atmosphere Research Satellite) 衛星, シャトル ATLAS (Atmospheric Laboratory for Applications and Science) ミッションなど宇宙からの観測を含め多くの新しいデータが重要な情報を提供しつつある。このような状況の中で、下部成層圏におけるオゾンの破壊に焦点を当てた国際会議がギリシャのハルキディキで1995年5月15~20日にわたり開催された。会議の目的として、新しい観測結果の解釈、鍵となる未知の要素、クリティカルな化学・輸送過程の議論に重点が置かれた。会議のスポンサーはEC, WMO, NASA, NOAA などである。

会議は、昼の多くの時間がレビュー講演に当てられ、個々の多くの研究発表がポスターセッションで行われた点で、通常の国際会議と異なる。レビュー講演、ポ

スターセッションとも、オゾン変動、窒素酸化物、水素酸化物、ハロゲン、理論・解析、エアロゾル、室内実験、放射のカテゴリーに分類された。それぞれの発表、特にレビュー講演は最新の観測・実験結果の紹介・解釈を中心に行われ、極めてレベルの高い内容であった。最近のオゾン科学の著しい進展が、系統的に多くの参加者に印象づけられたことは間違いない。ただし、この会議への国内からの参加者は、わずか6名であり、この会議の重要性を考えるとかなり少ない。組織委員の一人としてはこの点が心残りであった。

この会議のポスターやアブストラクト集には、太陽(これは写真)を背にした古代ギリシャ人(オゾンに見立てている)が4頭の馬に引かれた車に乗った図柄が用いられた。4頭の馬は4つのオゾンの触媒的な化学損失過程( $\text{NO}_x$ ,  $\text{HO}_x$ ,  $\text{ClO}_x$ ,  $\text{BrO}_x$  サイクル)を意味している。NOAA の Ravishankara は更にこの図に5頭目の馬( $\text{IO}_x$ )を書き加え自分の講演で紹介していた。4頭(5頭)だての馬車は、オゾンの化学過程の理解は、突き詰めれば、これらの触媒サイクルをいかに定量的に理解するかということに集約される、ということを象徴している。

オゾン変動、窒素酸化物、水素酸化物、ハロゲン、エアロゾルの項目に関し、忠鉢、小池、牧野、内野氏にそれぞれ興味をひかれた点、感想などを書いて頂いた。それぞれの報告にこの会議の魅力的な様子、雰囲気が出ているので一読されたい。(近藤 豊)

## 2. オゾン層の変動

1995年も南極オゾンホールが発達が報告されており、オゾン層の研究の重要性は増加している。今回は久しぶりの国際学会への参加であり、興味深い発表が多かった。「オゾン層の変動」のセッションでの発表を以下の項目に従い紹介する。

## a) 測器の開発

オゾン層の現時点での測定不能領域は上部成層圏

\* Report on 1995 International Conference on Ozone in the lower Stratosphere.

<sup>\*1</sup> Yutaka Kondo, 名古屋大学太陽地球環境研究所.

<sup>\*2</sup> Makoto Koike, 名古屋大学太陽地球環境研究所.

<sup>\*3</sup> Shigeru Chubachi, 気象研究所物理気象研究部.

<sup>\*4</sup> Yukio Makino, 気象研究所物理気象研究部.

<sup>\*5</sup> Osamu Uchino, 気象庁観測部.

© 1996 日本気象学会

(ここでは 30 km 以上とする)と極域にある。名古屋大学の Kawabata *et al.* はミリ波を用いたオゾン垂直分布観測から上部成層圏の日変化を報告していた。フランスのボルドー観測所 (Guillemin *et al.*), スイスのベルン (Jost *et al.*), 南極点 (Cheng *et al.*) でも同様の観測が行われており、各観測所の観測装置及び観測結果が報告されていた。極夜域については、昭和基地の月光によるオゾン全量観測の精度評価 (及び昭和基地における極夜のオゾン全量の長期変動) を気象研究所の Chubachi が報告した。また、英国では星の光を用いた分光器の開発が行われていることが英国南極調査所の Roscoe *et al.* によって報告された。

#### b) 観測網の展開

オゾンに関する国際的な観測網としては、WMO による GO<sub>3</sub>OS (全球オゾン観測網) がある。この WMO による観測網から得られたデータを用いて、カナダ AES (大気環境庁) の Bojkov が共著者と共にヨーロッパ及びシベリア上空のオゾン全量の変動を報告した。オゾン層の研究にはこのような観測網の整備が必要である。インターネットによるデータ交換が容易になりつつあり、オゾン層に関する各種観測網の整備は今後急速に進むであろう。

#### c) 測器の改良

オゾン層の研究に良く利用されている TOMS (オゾン全量観測用分光器) は、現在第 6 版が公表されているが、NASA の McPeters *et al.* が第 7 版への改訂が終了したことを報告した。第 7 版は近日中に CD-ROM の形で利用可能になるであろう。

最近のオゾン層の研究には人工衛星による観測データが利用されている。リモートセンシングにより得られたデータは、地上測器あるいは他の人工衛星搭載測器との比較がなければデータの精度が保証されない。本セッションは衛星搭載測器により得られたデータの比較検証を行った研究発表が数件あった (Heath *et al.*, Gleason *et al.*, Gleason *et al.*)。

#### d) 観測の継続

Livingston Is. (Cisneros *et al.*), Syowa (Chubachi), Hohenpeissenberg (Claude *et al.*), Romania (ルーマニア) (Frimescu), Halley (Gardiner *et al.*), Haute-Provence (Godin *et al.*), Bordeaux (Merienne *et al.*), Lerwick 及び Bracknell (Molyneux), S. Pietro Capofiume (イタリア) (Ravegnani) の各観測所のオゾン層の観測結果が発表されていた。これらの観測所はそれぞれが数年から数十年の観測データを蓄

積しており、解析あるいは数値モデルの作成の基礎になっている。注目されたのは、英国 Halley 基地の観測結果の 1994 年までのアップデート (Jones *et al.*) であるが、その後 Nature に発表されているので (Nature, 376, 409-411, 1995) 参照していただきたい。

#### e) 観測結果の解析

第 7 版 TOMS を用いた全球オゾン全量解析が McPeters *et al.* によって報告された。第 6 版 TOMS によるオゾン全量は昭和基地上空ではドブソン分光光度計によるオゾン全量とは食い違いを示しており、第 7 版ではどの程度改善されるか期待させられる。

1991 年 6 月のピナトゥボ火山の噴火により多量の火山噴出物が成層圏に注入された。NOAA の Hoffmann *et al.* 及び NCAR の Randel *et al.* はそれぞれ火山による成層圏注入物のオゾン層への影響を考察した。特に Hoffmann *et al.* は火山噴出物による減少の場合は 25 km 以下ではオゾン濃度は大きく減少するがそれより上では逆に増加し全体として減少すること、また火山に関係ない場合には、30 km まで全層で減少する傾向があることを示した。

さらにベルリン自由大学の Petzoldt, ドイツの Rex *et al.* は、オゾン減少の、大気中の塩素及び臭素濃度の増加に起因する化学的效果の部分とオゾン分子の大気中での再配置による力学的効果の部分への分離を試みた。

その他、NASA の Zawodny *et al.* 及び Hood *et al.*, 英国の Harris, ポーランドの Krzyscin, ドイツの Gernandt *et al.*, 英国の Kilbane-Dawe らが衛星及び地上オゾンデータを用いた解析結果を示した。

WMO/UNEP によるオゾンアセスメントの第 1 章が著者達による共同発表として報告された。同アセスメントは、スイスからの郵送料負担により WMO から入手可能である。

#### f) 現状説明及び将来予測

本研究集会では数種類の数値モデルが発表されていたが、「オゾン層の変動」のセッションでは 2 種類の数値モデルが報告されていた。1 つはロシアの Dyominov *et al.* によって報告された 2 次元モデルであり、開発途上であると思われる。

他の 1 つは、オランダ気象研究所が対流圏及び下部成層圏のオゾン層の変動のシュミレーションを行うために開発した光化学輸送モデル「CTM-KNMI」であり、私の見た範囲では現状を良く再現していた。この他にもいくつかの光化学輸送モデルが開発されていた

が、他のセッションで発表されたので省略する。

以上、「オゾン層の変動」のセッションで発表された論文の概要を紹介した。紙面の都合で紹介し切れなかった論文も多数あり、著者の力不足をご容赦願いたい。

本研究集会の会場であるアトス・パレス・ホテルは、1984年に私が初めて（4年毎の）オゾンシンポジウムで南極昭和基地上空のオゾン減少を発表した所であり、会場のホールも同じであった。会議の冒頭に11年前のオゾンシンポジウムの様子が紹介され、そのなかで11年前の私の発表も紹介され、今回のワークショップに参加して本当に良かったと感じた。（忠鉢 繁）

### 3. $\text{NO}_y$ , $\text{HO}_x$

窒素酸化物 ( $\text{NO}_y$ ) は下部成層圏におけるオゾンの破壊反応に直接関与しているばかりでなく、塩素酸化物 ( $\text{ClO}_x$ ) や水素酸化物 ( $\text{HO}_x$ ) との反応を通じて、これらの成分によるオゾン破壊サイクルにも重要な影響を及ぼしている。具体的に言うと、二酸化窒素 ( $\text{NO}_2$ ) はオゾン破壊成分である水酸基 (OH) や一酸化塩素 (ClO) と反応し、それぞれより安定な成分である硝酸 ( $\text{HNO}_3$ ) や  $\text{ClONO}_2$  に変換する。このため、窒素酸化物の量は  $\text{ClO}_x$  や  $\text{HO}_x$  によるオゾン破壊サイクルがどのくらい強力に働くかを定める重要な役割を果たしている。冬の極域の脱窒による  $\text{NO}_y$  の大気からの消失や、ピナトッポ火山噴火にともなう  $\text{NO}_x$  の減少により、オゾン破壊が加速されることにその重要性が端的に現れている。 $\text{NO}_y$  および  $\text{HO}_x$  のセッションでは、アメリカの研究者を中心とした航空機観測 SPADE および ASHOE/MAESA の報告、同じく人工衛星 UARS の報告、ヨーロッパを中心とした SESAME の報告などがなされた。

$\text{NO}_y$  のセッションの始めには、フランス CNRS (Centre National de la Recherche Scientifique) の J. P. Pommereau によって、窒素酸化物の観測および収支に関するレビュー講演がなされた。この講演の中では90%あまりの成層圏窒素酸化物の起源である対流圏一酸化二窒素 ( $\text{N}_2\text{O}$ ) の増加やそこから光化学反応による  $\text{NO}_x$  の生成率に関する問題や、下部成層圏における雷活動や航空機の排気ガスによる  $\text{NO}_x$  の発生源としての強さに関する問題が指摘された。このうち航空機の排気ガスについては、発生源の強さについては比較的よく分かっているものの、放出されたあとの下部成層圏における寿命がよく分かっていないことが述べられた。

アメリカ NOAA の D. Fahey は、近年行われた観測結果、特に ER-2 による観測をもとに、窒素酸化物に関する研究の今後の課題についてのレビュー講演を行った。この中では、低緯度で  $\text{N}_2\text{O}$  の生成から予想される  $\text{NO}_y$  のレベルよりも30~50%も高い  $\text{NO}_y$  が観測され、この高い  $\text{NO}_y$  が中緯度と比較して高い  $\text{NO}/\text{NO}_y$  比に対応していたことが報告された。この観測結果は低緯度における雷による大規模な  $\text{NO}$  の生成を示唆した、非常に興味深いものである。また ER-2 の観測結果をもとに、各大気塊中での、各オゾン破壊サイクルの速度を計算した結果も報告された。SPADE および ASHOE/MAESA では、従来観測ができなかった OH と  $\text{HO}_2$  の観測が ER-2 によって行われた。この  $\text{NO}_x$ ,  $\text{ClO}_x$  と共にオゾン破壊反応に直接関わる  $\text{HO}_x$  の観測が得られたことにより、オゾン破壊の反応サイクルあるいはそこに使われている反応係数そのものをモデル計算により検証することが可能となった。 $\text{HO}_x$  の観測結果とこれら一連の  $\text{HO}_x$  を使った仕事は、今回のシンポジウムのハイライトのひとつであった。Fahey 等のオゾン破壊サイクルの計算もこの様な研究成果のひとつである。これらの結果は、少なくとも中緯度の成層圏の大気化学がひとつひとつの反応過程を定量的につめていく段階にきていることを印象づけるものであった。その他には、航空機の排気ガス中の  $\text{NO}_x$  によるオゾン破壊については  $\text{NO}_x$  そのものの量よりも  $\text{NO}_x$  と硫酸エアロゾルの表面積の比がより意味のある量であること、極域の極成層圏雲 (Polar Stratospheric Clouds, PSCs) の組成の違いによる不均一反応の影響については NAT (Nitric Acid Trihydrate) や NAD (Nitric Acid Dihydrate) よりも STS (Supercooled Ternary Solution) がより重要な役割を果たしていること、高緯度の夏には  $\text{O}_3$  の季節変化という最も大きなオゾンの減少がおこるが、そのモデルによる定量的な検証が必要であること、等が指摘された。また、まだ直接測定のない  $\text{HNO}_3$  や  $\text{ClONO}_2$ ,  $\text{N}_2\text{O}_5$  の測定器の今後の開発の重要性も指摘された。ER-2 の観測以外では、ヨーロッパでおこなった我々の気球観測の結果等が紹介された。最後に、ER-2 で観測された対流圏起源の成分の緯度分布などを説明するものとして、成層圏の大気の大循環についての最近のモデルの話が紹介された。これは、低緯度と中高緯度との大気との交換が下部成層圏でも比較的自由に起こるとするモデル (global diffusive model) に対して、下部成層圏での交換は強く制約されており低緯

度対流圏から入った空気はそのまま低緯度上部成層圏へと比較的短時間の内に輸送されるとするモデル (tropical pipe model) が、最近 UARS の観測結果などを基に提唱されたものである。このモデルは、Fahey 以外にも今回のシンポジウムで何人かのスピーカーによって紹介され関心を呼んでいた。現在の 2 次元あるいは 3 次元モデルでは、確かに説明できないような、低緯度と中高緯度との間の大きな濃度勾配が観測されているものの、しかし逆に従来のモデルの方が適当と思えるような観測例も存在する。このようなことから、アメリカ NOAA の S. Solomon やイギリス Cambridge の J. Pyle といった、理論・モデルの大御所等が活発なコメントを加えており、今後大気力学の専門家と化学の専門家が協力して研究を進めていくべき重要な課題のひとつとの印象を受けた。

Pommereau と Fahey のレビュー講演に引き続き、R. de Zafra (New York State University), J. Remedios (Oxford University), H. Oelhaf (ドイツ Institute für Meteorologie und Klimaforschung, IMK) が、それぞれ最新の観測結果についての報告を行った。これらの内 Zafra は南極点でのミリ波を使った硝酸の高度分布の観測結果を報告した。5月の末に気温が 195K (NAT 生成温度) 以下に下がりライダー観測で PSCs が観測されたのに対応して、気柱全量が 10分の1以下になる硝酸の急激な減少が観測された。一方、より高い高度 35-45 km 付近では、6月末から8月中旬にかけて著しい硝酸の増加が見られた。この高高度での増加の原因については活発な議論が行われたが、結局皆が納得するような解釈は出てこなかった。

ポスターセッションでは、筆者を含めて33件の発表があった。ヨーロッパでは EASOE (1992年) および SESAME (1994年) 北極オゾン観測キャンペーンを契機に、可視分光器、赤外分光器、ミリ波などの地上観測が整備され、これらの観測を基にした数多くの研究成果の報告があった。

一方  $\text{HO}_x$  のセッションでは、J. Russell (アメリカ NASA) によって人工衛星 UARS の HALOE による  $\text{CH}_4$  と  $\text{H}_2\text{O}$  の観測結果をもとに興味深い報告がなされた。成層圏中ではメタンの酸化過程から水蒸気が生成されるが、この結果  $2 \times \text{CH}_4 + \text{H}_2\text{O} = \text{一定}$  という関係が、緯度、高度によらず成層圏の広い範囲で実際に成り立っていること、逆に低緯度下部成層圏でのこの関係からのズレが対流圏からの水蒸気の流入を示唆していること等が報告された。またこの低緯度の対流

圏界面から成層圏へ流入した水蒸気は、比較的その濃度を保ったまま上記の tropical pipe によって、高度 30 km ぐらいまで鉛直に輸送されていることも指摘された。また水蒸気量には南北半球で非対称性があり、これはおそらく南極での PSCs の重力落下にともなう脱水の結果であるということも報告された。アメリカ Harvard University の P. Wennberg は、SPADE および ASHOE/MAESA での ER-2 上での OH および  $\text{HO}_2$  の観測結果について報告を行った。これらは新しい直接観測であり、既知の化学反応やその反応係数を試験する絶好の材料である。たとえば OH/ $\text{HO}_2$  は既知の理論計算と非常によくあっていること、日の出にともなう OH の増加は、 $\text{BrONO}_2$  の不均一反応を考慮するとよりよく再現できることなどが報告された。上でも紹介したように、これらの観測成果は今回のシンポジウムでも非常に関心をよんでいた。

全体の印象としては、第一に、ER-2 の OH/ $\text{HO}_2$  の観測に象徴されるように、より多くの大気成分の直接測定が可能となり、個々の化学反応のかかなり細かい検証が行われる段階にきていることがあげられる (Salawitch, Toohey, Avalone の発表など)。何人かの発表で、 $\text{BrONO}_2$  の硫酸エアロゾル上での不均一反応 (反応速度の温度依存性がほとんどない) の重要性が指摘されたが、これもこのような定量的な検証に基づいて行われている。第二に、極域においてはやはり同じような観点から、NAT, NAD, STS など化学組成の違う PSCs 上での不均一反応速度の違いとその化学反応系全体へ果たす役割の違いが重要な課題として位置づけられているとの印象を受けた。今回のシンポジウムで不均一反応係数の室内実験だけで独立なセッションが開かれたこと自体がそのことを象徴的に表しているといえる。第三に、UARS のグローバルかつ多くの大気成分のデータが得られることにより、下部成層圏での低緯度と中高緯度との大気交換過程や、成層圏大気の大気対流圏から流入してからの経過年齢、あるいは成層圏中でのメタンからの水蒸気の生成による  $2 \times \text{CH}_4 + \text{H}_2\text{O} = \text{一定}$  の観測結果など、成層圏の力学過程からも興味のある結果が得られてきていることがあげられる。(小池 真)

#### 4. ハロゲン

このセッションでは口頭とポスターをあわせ26件の報告が発表された。発表は、欧州からドイツ (6件)、英国 (3件)、ベルギー (2件)、フランス、スイス、

スペイン(各1件)の計14件, 米国11件, 日本1件であった。欧州は主に EASOE/SESAME を, 米国は AASE-II と UARS の観測結果を中心に発表した。内容としては観測データの報告と解釈が大部分で, これに化学輸送モデルを組み合わせたものが続いた。

観測の手段別に分類すると, 半数近くはサブミリ波放射によるものが占め, 次いで大気球や ER-2 によるグラブサンプリング気体のガスクロ分析と赤外分光装置 (FTIR) によるリモートセンシングが続いた。サブミリ波は活性塩素 (ClO) を主なターゲットとしている。一方, ガスクロ分析はフロン等の trace gas, 赤外分光は HCl, ClONO<sub>2</sub>, HNO<sub>3</sub> のリザーボア成分, さらに可視・紫外分光は OClO, NO<sub>2</sub>, O<sub>3</sub> が対象である。サブミリ波測定が注目を集めるのは, 1つにはその測定対象である ClO, BrO という活性化されたハロゲンがオゾン破壊に直接関与しているためである。また, サブミリ波測定装置に関連する最近の技術的發展(素子の開発等)も大きな寄与をしている。ここでいくつか注目した報告を以下に紹介する。

D. Toohey (カリフォルニア大学) らがドイツの Julich (KFA) のグループと共同して新しく ClO, BrO の測定装置を開発し, スウェーデンのキルナで行った大気球実験について報告した。BrO はやはりオゾン破壊過程で重要な反応サイクルを持つとされるが測定例がほとんどないため注目される。測定原理は, ClO, BrO を NO と反応させ Cl, Br へ変換したのち共鳴蛍光法 (波長 118.9 nm, 116~126 nm) で検出するものである。重量 50 kg, 消費電力を 200 W に抑え, 精度は高度 30 hPa で 5 ppt とのことである。1995年2月の飛揚実験では, 温位が 500 K の高度付近で ClO と O<sub>3</sub> の間に反相関が観測された。この空気塊は高温を示し, そのバックトラジェクトリーを調べると途中で低温域を通過していることから NAT 生成が起こったとみられる。このピークで測定された ClO 濃度は 1260 pptv (この時の精度は30%) という高い値を示した。しかし, 3次元化学輸送モデルでは高くても 400 pptv にしかならず, もし測定が正しいとすればこの差は興味深い。モデルの精度を含めてさらに今後の検討が必要である。

なおここで注意しておく, 渦位 (ポテンシャルボルティシティ) や「極うず」という従来は学屋さんの術語であったものが今や成層圏大気化学においては共通認識の物理量となっている。

ところで, trace gas (CFC-11, 12, 113, CH<sub>4</sub>, N<sub>2</sub>O,

CCl<sub>4</sub>, CH<sub>3</sub>CCl<sub>3</sub> 等) の測定値の解釈では, これまで空気塊の “age” の算出がしばしば報告されてきた。しかし, A. Engel や Schmidt (Julich/KFA) らは, 成層圏の塩素化合物濃度の trend を求めるための新しい方法を提案した。これは成層圏の鉛直座標として N<sub>2</sub>O の濃度 (混合比) をとるものであるが, N<sub>2</sub>O の大気中の寿命が長く (100数十年) 濃度の時間変動が緩やかであり, しかも成層圏内では上向きに一定の割合で混合比が減少することを利用している。これに対し塩素化合物は近年各高度で増加しつつあり, 観測中に N<sub>2</sub>O 濃度が変化すればその空気塊の塩素化合物も比例して変化することが示される。この方法で最近10年間 (1983~1992年) の結果を見ると直線の勾配の変化から塩素化合物濃度が増加を示すことが分かる。しかし高度と成分によってその値が異なり, 成層圏下層で CFC-11, 12 の濃度は最近増加が止まっているかまたは鈍化していることが報告された。これは最近の特定物質排出規制の効果が現れたものと考えられる。なお1993年時点の Cl<sub>y</sub> 濃度は 80 hPa 付近 (N<sub>2</sub>O: 275 ppbv) で 1.5 ppbv が, 42 hPa 付近 (N<sub>2</sub>O: 200 ppbv) で 3.2 ppbv が得られている。

UARS 衛星に搭載された塩素化合物測定器 (CLAES) の観測結果から成層圏 HCl の増加率は 1992~1993年で 3.2%/yr を示すこと, これはスペースシャトルによる結果から求められた 1985~1994年についての増加率 3.5%/yr とほぼ近い値であることが報告された (R. Zander)。まだ成層圏 Cl<sub>y</sub> の増加が続いていることは明らかである。一方, CLAES 観測によると, 北極成層圏空気塊の中に異常に高い ClONO<sub>2</sub> 濃度が存在していること (R. Zander) や, ClONO<sub>2</sub> と ClO との間に反相関がみられることが報告された (Tooheyら)。これらは, カナダ北極ユーレカ基地の HCl の異常低下の報告 (著者ら) とも共通する現象で, 冬~春季に北極成層圏内で南極オゾンホールと同様な化学過程が生じていることを示しているものと考えられる。

以上全体的に受けた印象は, 北半球高緯度のオゾン層化学についてその状況が次第に解明されつつあることである。特に観測においては 3次元の化学輸送モデル (Chemical Transport Model, CTM) を使った解釈は不可欠の手段となっている。また今回のシンポジウムでは “オゾンホール” 以来育ってきた若い力が研究活動の最前線で活躍していること, 特に PSCs の物理化学を中心とする研究が活発で, 室内実験, 数値シミュ

レーションと観測を組み合わせた研究の戦略がよく練られていることが印象的だった。(牧野行雄)

## 5. エアロゾル

このセッションでは3件の招待講演と3件の口頭発表それに26件のポスターによる発表が行われた。内容は、大きく分けて極成層圏雲 (PSC) とピナトゥポ火山噴火後の成層圏エアロゾル、それに SESAME キャンペーンで得られた観測結果などであった。観測手段は、気球による直接観測やライダー、衛星などの遠隔測定である。また PSC についての室内実験も招待講演で報告された。

NASA の L. Poole は、SAGE I&II のデータをもとに、成層圏エアロゾルと PSC についての招待講演を行った。それを要約すると以下ようになる。1979年が成層圏エアロゾルのバックグランドに近く、その後増加傾向にある。これはドイツや米国のライダーの観測結果でもそのようになっていて、ララミーのオペティカルカウンターを用いた気球観測では、全粒子数はかわらずに、半径  $0.25 \mu\text{m}$  の粒子が増加している。粒子が大きくなる原因として、水蒸気や硫酸が増加したか、または気温の低下等が考えられるがどれが主な原因であるか今のところ明白ではない。一方最近の衛星データの解析結果から、QBO (準2年周期振動) によってエアロゾルの輸送過程が異なることや、北極や南極における PSC の出現時期や出現領域などについてのクライマトロジーについても報告した。北極では地形の関係で出現しやすい場所とそうでない場所が存在する。

T. Peter は、PSC について1957年の Hestved の真珠母貝雲から始まって、P. McCormick らによる衛星による PSC 観測、S. Solomon 女史らによるオゾン

ホールを説明するための不均一反応に必要な PSC などを含めたつい最近までの詳しいレビューを行った。彼の弁によると、オゾンホールを説明するために提案された初期の PSC は、NAT (Nitric Acid Trihydrate) や氷などで単純に分類されていて、その頃は幸せ (happy) であったが、最近の室内実験の結果によると非常に複雑になってきてなかなか一筋縄ではいかなかったようである。このことを裏付けるようにコロラド大学の Tolbert 女史はフーリエ変換型赤外分光装置を用いた成層圏の模擬室内実験により NAD (Nitric Acid Dihydrate), NAT, SAT (Sulfuric Acid Tetrahydrate), ICE などが存在することを示した。

フランスの C. David 等は、ドウモンドヴィル ( $66^{\circ}\text{S}, 140^{\circ}\text{E}$ ) におけるライダー観測ではピナトゥポ火山噴火前と噴火後では PSC の生成におおきな違いがあったと報告した。すなわち噴火後は、火山噴火起源の粒子が多く存在している低い高度領域に、噴火前より気温の高い状態 (200 K) から PSC が存在し、しかも粒子の形は球形であった。

気象研究所や通信総合研究所で行っているカナダ北極圏ユーレカでの1995年1月に観測された PSC は、特に層の下の方の PSC は 202 K の高い温度まで存在しており、単純に NAT で説明できそうにない (SAT?) ことを報告した。

今回のシンポジウムは下部成層圏のオゾン破壊ということで特に PSC と成層圏エアロゾルが中心であった。PSC や成層圏エアロゾルは、上に述べたようにまだまだ十分に理解されたとは言えない状況にある。今後もライダーや気球あるいは航空機による現場での観測や室内実験および理論的な研究が重要である。

(内野 修)