

## 国際オゾンシンポジウム—Sapporo 2000—報告\*

小川利紘<sup>\*1</sup>・小池真<sup>\*2</sup>・榎原徹也<sup>\*3</sup>・渡辺真吾<sup>\*4</sup>  
 河本望<sup>\*5</sup>・松川茂久<sup>\*6</sup>・宮崎雄三<sup>\*7</sup>・寺尾有希夫<sup>\*8</sup>  
 笠井康子<sup>\*9</sup>・長濱智生<sup>\*10</sup>・杉田考史<sup>\*11</sup>・須藤健吾<sup>\*12</sup>  
 香川亜紀子<sup>\*13</sup>・滝川雅之<sup>\*14</sup>・永島達也<sup>\*15</sup>・宮内正厚<sup>\*16</sup>  
 中島英彰<sup>\*17</sup>・入江仁士<sup>\*18</sup>・白井知子<sup>\*19</sup>・藤原正智<sup>\*20</sup>  
 柴崎和夫<sup>\*21</sup>

### 1. はじめに

国際オゾンシンポジウムが2000年7月3日(月)から8日(土)まで北海道大学学術交流会館で開催された。このシンポジウムはIAMAS(国際気象学・大気科学協会)傘下の国際オゾン委員会が4年毎に開催するものである。今回のシンポジウムの運営は、地元の北海道大学の研究者を主力とする国内組織委員会が日本気象学会、宇宙開発事業団、北海道、札幌市の援助・協力のもとに行った。

国際オゾンシンポジウムの歴史は古く、1929年のパリ会議まで遡ることができる。当時パリは何と云ってもヨーロッパの中心都市のひとつだったし、そのうえシャルル・ファブリ(Charles Fabry)らの分光学者達がいり、オゾンの観測を始めていたからである。2回目は1936年に、ジョージ・ドブソン(George M. B. Dobson)の本拠地であるオックスフォードで開催された。その後1940年代の低調期を経て、1950年代と1960年代初頭までは1～2年毎に開かれており、1964年よ

\* Report on the Quadrennial Ozone Symposium—Sapporo 2000.

<sup>\*1</sup> OGAWA Toshihiro, 宇宙開発事業団地球観測利用研究センター。

<sup>\*2</sup> KOIKE Makoto, 名古屋大学太陽地球環境研究所(現:東京大学大学院理学系研究科)。

<sup>\*3</sup> KUWAHARA Tetsuya, 名古屋大学大気水圏科学研究所。

<sup>\*4</sup> WATANABE Shingo, 九州大学大学院理学府地球惑星科学専攻。

<sup>\*5</sup> KAWAMOTO Nozomi, 宇宙開発事業団地球観測利用研究センター。

<sup>\*6</sup> MATSUKAWA Shigehisa, 東京大学大学院理学系研究科地球惑星科学専攻。

<sup>\*7</sup> MIYAZAKI Yuzo, 東京大学大学院理学系研究科地球惑星科学専攻。

<sup>\*8</sup> TERAO Yukio, 筑波大学大学院地球科学研究科。

<sup>\*9</sup> KASAI Yasuko, 通信総合研究所地球環境計測部環境計測技術研究室。

© 2001 日本気象学会

<sup>\*10</sup> NAGAHAMA Tomoo, 名古屋大学大学院理学研究科物理A研(科学技術振興事業団(CREST)研究員)。

<sup>\*11</sup> SUGITA Takafumi, 国立環境研究所。

<sup>\*12</sup> SUDO Kengo, 東京大学気候システム研究センター。

<sup>\*13</sup> KAGAWA Akiko, 奈良女子大学大学院人間文化研究科情報科学専攻。

<sup>\*14</sup> TAKIGAWA Masayuki, 東京大学気候システム研究センター。

<sup>\*15</sup> NAGASHIMA Tatsuya, 東京大学気候システム研究センター。

<sup>\*16</sup> MIYAUCHI Masaatsu, 気象庁旭川地方気象台。

<sup>\*17</sup> NAKAJIMA Hideaki, 国立環境研究所。

<sup>\*18</sup> IRIE Hitoshi, 名古屋大学太陽地球環境研究所。

<sup>\*19</sup> SHIRAI Tomoko, 宇宙開発事業団地球観測利用研究センター。

<sup>\*20</sup> FUJIWARA Masatomo, 北海道大学大学院地球環境科学研究科(現:京都大学宇宙電波科学研究センター)。

<sup>\*21</sup> SHIBASAKI Kazuo, 國學院大學文学部。

り4年毎の定期的開催となっている。最近ルーメン・ボシュコフ (Rumen Bojkov) が調査した結果では、これまでの開催会議の総計は27回にもなっており、これを正式の会合とするかには異論もある。したがって、前回のイタリアの会議では第18回と銘打たれたが、今回の会合では何回目であるかということをやたわないことにした。

過去の国際オゾンシンポジウムの開催地はほとんどヨーロッパで、それ以外では米国とカナダでの開催があるのみである。したがって今回の札幌での開催は欧米外では初めてという、歴史的イヴェント(?)となった。

1990年代に入って、成層圏オゾンだけでなく対流圏オゾンも守備範囲に入れるようになって、国際オゾンシンポジウムでの発表論文と参加者の数は急増した。今回の発表論文の数は、口頭発表130件、ポスター発表250件、合わせて380件で、このうち日本からの発表は66件(外国からの発表に日本の研究者が共著者として加わっているものが別に9件ある)であった。登録された参加者数は371名で、国別に見ると39か国にのぼる。参加者の国別分布は日本が112名、次いで米71名、独37名、仏18名、スイス12名、英11名など、日本を除けば欧米勢が圧倒的に多い。アジア勢は韓国3名、インドネシアとインド各2名、マレーシア1名で、中国からの参加者はゼロ。中国・韓国人のオゾン研究者はいるのだが、本国に活動の場がないせいか米国所属である。数からみれば日本もオゾン研究の大国になったかの感があるが、これは今回の会場が地元だということだけではないと思われる。というのは大学・国立試験研究機関の研究者も着実にグループを維持しているうえ、ILAS, ILAS-II, SMILES, ODUSなどの成層圏の衛星観測プロジェクトが動き出していること、成層圏オゾン研究と対流圏オゾン研究との融合が始まったこと、などのため若い研究者の数が増えてきている結果である。第1図には会場前で撮影した集合写真(の一部)を示した。

発表された論文のテーマは、広く成層圏・対流圏オゾンをカバーしており、北極域オゾン、南極域オゾン、オゾンのトレンド、オゾンの観測および測定技術、オゾンゾンデ、オゾン鉛直分布、対流圏オゾン、成層圏微量成分、オゾン化学、モデリング、オゾン循環、圏界面プロセス、オゾンと気候、紫外線放射など大気オゾン研究の全領域に及ぶ。

シンポジウム全体を通してみると、成層圏のオゾンの研究に衛星観測データが不可欠になってきたことを



第1図 大会会場前での参加者集合写真(一部)。

感じる。全球のデータ・セットが広く流布するようになったからであろう。我が国も世界の衛星観測の一翼を担えるようになってきたのは心強い。また対流圏オゾンに対する関心が高まっていることも強く印象づけられた。これに関しても、我が国の研究グループは、オゾンゾンデや航空機による観測によって注目すべき成果を出し始めている。さらに、対流圏オゾン分布を衛星観測でグローバルに取得することに期待が寄せられている。

このシンポジウムは従来、1論文当たり4頁のプロシーディングスを事後に出版していたが、レビュー作業に手間取るなどの理由で、刊行までにあまりにも時間がかかり過ぎるという批判があった。そこで今回初の試みとして、長さを1論文当たり2頁に縮めたエクステンデッド・アブストラクト集を事前に作成し、参加者にその場で手渡すことにした。これはおおむね好評であったが、一部採録漏れがあったり、キャンセルや欠席の論文が採録されているなどの問題を残した。そのため最終の完全版を事後に編集し直して配布することで対処することにした。また最終版のエクステンデッド・アブストラクト集はCD-ROM版も作成し全員に配布することとしている。

シンポジウム会期中の7月4日には、国際オゾン委員会の委員・役員の改選が行われ、33名の新委員が選ばれた。会長はボブ・ハドソン (Robert Hudson, 米メリーランド大学教授, 再任)、副会長に小川利紘(新任)、事務局長にクリストス・ゼレフォス (Christos Zerefos, ギリシャ・テッサロニキ大学教授, 新任) を選んだ。また長年事務局長を務め、加えてWMOのオゾンプロジェクトの遂行に功績のあったルーメン・ボシュコフを名誉委員に選んだ。これで名誉委員は7名

になったが、その中にはふたりのノーベル化学賞受賞者ポール・クルツェン (Paul Crutzen) とシェリー・ローランド (Sherwood Rowland) がいる。

新委員会は、(1) 委員会の在り方を検討するサブグループを発足させ、(2) 次期シンポジウムの開催地(候補地としてエジプト、ギリシャ、ニュージーランドがあがっている)の資格基準作りのサブグループを発足させる、さらに(3) 委員会の透明性を出すためホームページを開くことを決めた。米イリノイ大学のダン・ウェブル教授 (Donald Wuebble) が面倒をみてくれることになっている。また国際オゾン委員会は、2001年のインスブルックにおけるIAMAS 学術大会で、大気電気委員会と合同で、雷によるNO<sub>x</sub> (窒素酸化物) 生成をテーマに会合を開くことを提案している。

(小川利紘)

## 2. オープニングセッション

オゾンシンポジウムのオープニングセッションでは、恒例により大気化学の大先生の総括的な講演が行われた。今年は成層圏と対流圏のモデル計算と観測的研究のそれぞれについて、計4人の講演が行われた。

成層圏大気化学のモデル計算から見た最近の研究の発展については、マックスプランク研究所のG. Brasseur博士が総括を行った。研究の流れをWMOの「オゾン減少に関する科学アセスメント」(1985年以降、数年に1回の割合で編纂されている)の各号に特記されている重要な研究成果をつないだ形で概観した。この中で、中緯度高度40 km付近のオゾンのトレンドが化学反応係数の刷新によりモデル計算で再現できるようになった一方、高度15 km付近のオゾン(従って全量オゾン)の年々変動は、塩素等の増加に加えてエアロゾルや大気温度の(経度方向変動を含めた)変動を入れればある程度再現できるものの、依然として不確定要素が大きいことを示した。

成層圏大気化学の観測的研究については、ニュージーランド国立水圏大気圏研究所 (NIWA) のA. Matthews博士が概観した。Matthews博士は、観測手段毎に体系的に、近年の重要な研究成果を紹介していった。この中で、様々な新しいアイデアが観測により如何に発見あるいは検証されてきたかを説明し、個々の信頼性の高い観測の重要性を再確認して話をしめくった。

対流圏大気化学のモデル計算については、オスロ大学のI. Isaksen博士がまず対流圏オゾンの増加傾向と

それによる放射強制力の増加について説明した。そして対流圏オゾンの収支において、成層圏からの輸送や地表面での沈着よりも、対流圏中での光化学的生成・消滅の方が重要であるという点で現在の化学輸送モデルは一致していることを指摘した。またオゾンの光化学的生成の材料となる前駆気体(NO<sub>x</sub>, CO [一酸化炭素], CH<sub>4</sub> [メタン], 非メタン炭化水素等)に対する、工業地域からの人工起源物質の排出など、各要素について最近の研究成果を紹介した。

対流圏大気化学における観測的研究の発展については、NASA/GSFCのA. Thompson博士が概説した。この中では、オゾンの増加傾向と前駆気体、大気の輸送過程、エルニーニョや気候変動との関係、そして近年の新しい観測手法の開発とその成果、という4点から講演を行った。特にThompson博士が得意とする熱帯域のオゾンやその前駆気体の変動について、アフリカ等でのバイオマス燃焼やそれに影響された空気の輸送過程など、興味深い研究の紹介があった。

これらのレビュー講演あるいはシンポジウム全体に関し以下の感想を持った。成層圏に関しては3次元の化学輸送モデルが発達し、多くの観測結果がこれらのモデル計算結果との比較を通して定量的な説明が試みられ、あるいは逆に問題点を明確化してきていることが印象的である。この結果、北極オゾン減少では1月という太陽放射の少ない時期でのオゾン減少率が定量的に説明できていない点が指摘されたり、北極域オゾン破壊の中緯度への影響に関しより信頼性高い見積もりが報告されたりした。一方、対流圏ではアフリカのバイオマス燃焼の影響等、全球規模での観測データの充実化が進み、様々なオゾン前駆気体の発生源の影響について定量化されつつあるという印象を受けた。また人工衛星による対流圏成分の観測・解析手法という新しいテクニックに関する発表と、成層圏・対流圏大気混合過程という昔からの課題に対する新たな研究についても多くの発表があった。

今回のオゾンシンポジウムでは、対流圏では日本を中心としたBIBLE 航空機観測の特別セッションがもたれ多くの研究成果が紹介されたこと、成層圏では国立環境研究所の人工衛星センサーILASの成果が数多く紹介されその質の高い研究が評価されたことなど、日本の大気化学研究活動を広く世界に紹介する良い機会であったと思う。(小池 真)

### 3. オゾン全量：循環他

月曜午後のA会場では、オゾンがどのように分布し、そしてどのように循環しているかに関する報告が8件、休憩を挟んで、最新の衛星に搭載されたGOMEを用いたオゾンの観測手法の紹介や、ウェブページを活用したデータ提供の紹介など3件の報告がなされた。

#### オゾン全量：循環

1) オゾン全量を熱帯、中緯度、極域の3つの領域に分けて解析したところ、1990年から1992年のオゾン損失は化学的なものではなく、極および亜熱帯前線が北方へ押し上げられた為であることが示唆された(R. D. Hudson, 米メリーランド大学)。

2) ヨーロッパ中緯度では、Warm Conveyor Beltでのオゾン濃度が周囲の自由対流圏よりも平均して12%ほど低いが、これは、海洋境界層起源の気塊とよく一致している(G. Vaughan, 英ウェールズ大学アベリイストウィス校)。

3) 北半球中緯度域でのオゾンの減少の原因の1つである極渦崩壊に伴う希釈効果を、モデルを用いて検討した(B. M. Knudsen, デンマーク気象研究所)。

4) オゾン分布パターンの東西方向の非対称性は大規模な波動により決定付けられていることを指摘し、季節ごとのその特性を示した(G. Entzian, 独ロストック大学)。

5) “Aerosols99”の航海観測における、大西洋熱帯域での対流圏と下部成層圏のオゾン混合比の観測結果についての解釈を行った(A. M. Thompson, 米NASA/GSFC)。

6) 1997年における南半球中緯度下部成層圏のオゾンは1年を通して低い値であった。これは赤道上空の風が1年を通して西風であった為で、QBOとの関連性を指摘した(E. Cordero, オーストラリア、モナッシュ大学)。

7) レユニオン島でのライダー観測を基に、亜熱帯域の成層圏対流圏交換について中緯度と異なる力学過程(ハドレー循環の一部の下降流とインドモンスーンの反流)を指摘した(J. L. Baray, 仏レユニオン大学)。

8) 北半球中緯度(スイス)におけるオゾンの冬季、春季の変動傾向には圏界面の気圧の変化、すなわちNAO(北大西洋振動)等による長期変動の影響が良く見られた(A. K. Weiss, スイス連邦工科大学)。

#### オゾン全量：分布他

1) SBUVのD波長組を用いた校正結果を利用することにより、複数のTOMSによるオゾン全量データを再校正してつなぎ合わせることが出来ることを示した(R. S. Stolarski, 米NASA/GSFC)。

2) ERS-2に搭載されたGOMEによって得られたオゾン全量および成層圏オゾン鉛直分布の紹介と、TOMSとの比較等がなされた(R. J. van der A, オランダ王立気象研究所)。

3) Dobsonウェブページなどが紹介された(K. Vanicek, チェコ太陽オゾン研究所)。

国際シンポジウムなので、ある意味当然なのだが、日頃はお会いすることが叶わない、第一線で活躍中の多くの研究者の方々に直接会って議論できたこと、また堅苦しい雰囲気もなく、ご高名な先生方に声をかけていただいたことに、大変感激した。

地元開催ということもあってか、日本人の若い世代の参加がかなり目立ち、オゾン研究を始めとする、大気化学の分野の益々の発展が期待されるように感じられた。また、私自身の研究意欲も更なる高揚の機会を与えていただいたことに感謝したいと思う。

(葉原徹也)

### 4. オゾン全量長期変動傾向・オゾンと気候

火曜午前中前半のセッションは、オゾン全量の長期変動傾向に関する論文、後半のセッションは、筆者の論文を含むオゾンと気候に関する発表があった。以下筆者の印象に残った講演を中心に紹介する。

前半のセッションの最初には、ハロカーボン類によるオゾン減少はCFC(クロロフルオロカーボン)類の国際的な規制に伴い今後次第に回復することが期待されているが、その回復の兆候をオゾン全量の変動傾向からどのように見出せばよいか、また、それがいつ頃現れるかについての発表があった。Weatherhead(米NOAA/ARL)らは複数の2次元化学モデルによる数値実験の結果から、オゾン全量の回復傾向は、2015~2035年に南半球の中緯度に最初に現れるだろうと発表した。また、ShindellとGrewe(米NASA/GISS)は温室効果ガスの漸増を含んだ大気大循環モデルを用い、上部成層圏オゾンは、温室効果ガスの増加に伴う冷却の影響もあり、2035年までには回復し始めることが予想されると報告した。内野(気象庁)らは、札幌、つくば、鹿児島、那覇、南鳥島に展開した観測所での観測から、日本上空におけるオゾンの変動傾向

を調べた結果を発表した。また、様々な衛星や測器の観測によるオゾン全量の長期変動傾向や、その成層圏循環との関係についての発表もあった。

後半のセッションでは、オゾンの放射強制力に関する発表が中心であった。例えば Berntsen (ノルウェー・オスロ気候環境研究センター) らは、3次元化学輸送モデルを用いて、産業革命以前から現代にかけての対流圏オゾン濃度の変化とその放射強制力の変化について発表した。彼らの計算によると、1850年と比較した1950年の対流圏オゾンの放射強制力は、1990年のその1/3程度であったと報告した。

一方、渡辺 (九州大学) らは、北半球春季の下部成層圏でオゾン減少が生じることにより、生じない場合と比べ、中層大気や対流圏の力学場の年々変動にどのような差異が現れるか、簡略化したオゾン光化学とオゾン減少のパラメタリゼーションを含んだ大気大循環モデルを用いて調べた結果を発表した。

最後に、これはこのセッションに限らずシンポジウム全体を通じての感想だが、同じセッションの中でさえ、発表内容が多岐に渡っていたため、筆者は次々に移り変わる内容に耳も頭もついて行けなかった。また、発表の中心は観測と化学に関するもので、筆者のように数値実験と中層大気の力学を中心に仕事をしている人は少数であった。

(渡辺真吾)

## 5. オゾンの鉛直分布

火曜午後のA会場では標題のセッションがあり、約10件の口頭発表があった。内容は各種観測 (オゾンゾンデ、衛星および飛行機観測) によるデータの解析から、オゾンデータのリトリーバル・アルゴリズムの改良にいたるまで幅広いものとなっていた。その中でも特に興味を引かれたものをいくつか取り上げる。

まず、Logan (米ハーバード大学) らは南半球赤道域のいくつかの観測点でオゾンゾンデ観測をおこない、得られた高度分布の比較から対流圏オゾンの鉛直分布とその季節変化の相異点を詳しく説明していた。成層圏についてもナイロビにおける長期的な観測により、赤道準2年周期振動 (QBO) 1周期分にあたるオゾン鉛直分布が得られたことを報告した。このデータからQBO活動にともなうオゾン分布の詳細な変化が明らかになると思われる。また、Kley (独ユーリッヒ汚染大気研究所) らは、1994年の秋以降3年間以上実施した民間の航空機を用いた北大西洋域 (北緯40~60度域) におけるオゾンと水蒸気の観測から、上部対流圏にお

いてそれらが強い正相関を示すこと、さらにその領域についてはオゾンは夏に最大値を持つことを報告した。夏の最大値については成層圏起源ではなく、簡単なモデルにもとづく結果から光化学的反応によるものと結論づけていた。

(河本 望)

## 6. 対流圏オゾン地上観測・BIBLE キャンペーン

火曜午後B会場前半のセッションでは主として地上観測による対流圏オゾンの研究発表がなされた。Harris (米 NOAA/CMDL) は、清浄地域にある2カ所の観測点において人為起源オゾン前駆物質がオゾン分布に与える影響について物質の相関を用い解析を行った。その結果、マウナロアでの春季オゾン極大には成層圏起源のオゾンの寄与が大きいことを示した。渡辺 (気象庁、講演者: 内野) は気象庁が綾里、南鳥島、与那国島で行っている定常観測のデータから地表オゾンの季節変動、年変動を示した。興味深い結果として、綾里では秋季にもオゾンの極大が見られ、与那国島では秋-春季の広範な期間極大となることなどを報告した。秋季極大については汚染物質の輸送に起因すると推察していたが、輸送過程も考慮に入れたより詳細な解析が期待される。

続いてのセッションは春の気象学会でも特別セッションの1つの核となったBIBLE キャンペーンに関するものであった。川上 (NASDA/EORC、講演者: 北) は、低緯度領域で観測されたオゾンが多く水蒸気が少ない気塊の起源について衛星データなども用いて示し、特に、中緯度から流入する気塊を2次的に捕らえて見せた。Ko (米 AER) はボックスモデルを用いてBIBLE-Aで観測された気塊内のオゾン生成・消滅について定量的な見積もりを示した。このセッションに対応するポスターセッションでも、日本から多数の発表があった。BIBLE-Aで観測した、インドネシア上を通過した気塊の輸送とそのオゾンへの影響を示した北 (東京大学) の結果は、Koの結果とも一致するものであった。

筆者は今回のような国際学会は初めての参加であったが、現在の世界における最先端のトピックに触れることができ、また海外の著名な研究者と直に討論する機会も得られ、非常に有意義なものであった。

(松川茂久/宮崎雄三)

## 7. 極域オゾン全量

3日目午前のセッション、北極オゾンに関する発表

が9件、南極オゾンに関する発表が2件行われた。本稿では、特に筆者に興味がある、北極における成層圏オゾン減少とその定量化に関する発表を紹介する。

Schulz (独 AWI) は、1991~2000年期間冬季に計6回行った Match 観測で得られた結果を議論した。Match では流跡線解析計算に基づき、計画的に同一空気塊を複数回ゾンデ観測する。純粋に化学的な要因によるオゾン減少率を算出するためである (例えば von der Gathen *et al.*, 1995; Rex *et al.*, 1999)。彼は475 K 等温位面付近 (高度約18 km) でのオゾン減少は、空気塊が195 K 以下の低温を経験すると起こること、191 K 以下を経験した時には大規模なオゾン減少となり、この傾向は2月より1月が顕著であることを示した。

寺尾 (筑波大学) は、ILAS データに Match 手法を応用し、1996/97年冬のオゾン減少率を算出した。その結果は、500 K 等温位面付近でのオゾン減少率が Schulz の結果より10~20%大きい。空気塊が経験した最低気温も2~3 K 低く、より極渦中心近くの減少率を捉えたと考えている。また、同時観測した硝酸のデータを同様に解析し、2月中旬に脱室と思われる極端に大きい硝酸の減少を検出した。ILAS は他にも二酸化窒素 ( $\text{NO}_2$ ) やメタン ( $\text{CH}_4$ ) などのトレーサ物質を観測しており、本来同一空気塊内で濃度変化が起こらないこれらの物質の変動も見えていく必要がある。質疑応答でもトレーサ物質の変動に質問が寄せられ、多くの研究者が注目していると感じた。

中島 (国立環境研究所) は、ILAS で観測されたオゾンと  $\text{NO}_2$  (Ver5.10) の相関関係から1996/97年冬のオゾン減少量を算出した。2~4月中旬のオゾン減少量が475 K 等温位面付近で最大1.8 ppmv に達したことを示し、寺尾の解析結果ともよく一致していた。

Sinnhuber (英リーズ大学) は、オゾンゾンデデータとモデル計算結果を比較し、両者が不一致の冬とよく一致する冬があると指摘した。1995/96年、96/97年の冬の一致はよくないが、99/00年の冬ではよく一致する。99/00年冬は過去最大規模のオゾン減少が起こり、局所的に最大70%、冬期で120~140 DU の減少があった。

Braathen (ノルウェー大気研究所) は、多点のオゾンゾンデ観測結果に非断熱下降の効果を加えて化学的減少率を求め、1996/97年冬は1月下旬~4月上旬にかけて47%のオゾン減少が起こったことを示した。これは寺尾や中島の解析結果、SLIMCAT によるモデル計算結果 (Guirlet, 英ケンブリッジ大学) とよく一致

していた。また1999/00年冬は1月中旬~3月下旬にかけてさらに大きい73%のオゾン減少が起こったことを報告した。さらに気温が NAT (硝酸三水和物) 生成温度以下になるとすぐにオゾン減少が始まり、気温が NAT 生成温度以上になっても10~14日後まで減少が続いていることを示した。

最後に筆者の感想を。筆者はこのような大きな国際会議に出席したのは初めてである。今振り返ると、もっと多くの研究者と議論できたらよかったと思うが、筆者の脆弱な英語力ではそれもおぼつかない。少しではあったが、非断熱下降に関する問題について有意義な議論ができた。冬季極域で起こる非断熱冷却による下降運動は、オゾン減少率の定量化に大きな影響を及ぼす。現在、非断熱冷却はモデルによる放射計算結果、またはトレーサ物質を追跡することで見積もられている (Rosenfield, 米 SAIC/GSC, は両方用いていた) が、研究者間で差異が大きい。モデル中の非断熱冷却効果は過大評価されているらしい。一方トレーサ物質を用いる場合、極渦内外の混合によっても濃度が変化するので、非断熱冷却の見積もり前に混合の効果を考慮しなくてはならない。こういった問題が (筆者を含め) これから取り組まれるだろうと感じた。筆者は発表時に聴衆のウケをとってしまい、発表後多くの人から、良いプレゼンテーションだった、おもしろかった、場を和ませてくれた、とコメディアン扱われたことを最後に記しておく。(寺尾有希夫)

## 8. 人工衛星観測

このセッションでは7つの報告がなされた。そのうちの5つはこれから打ち上げが予定されているプロジェクトに関するものであった。7つの発表はそれぞれの視点から非常に興味深いものであったが、今回は「FTIR による発光観測」、「データバージョンアップ」をキーワードに以下の2つの講演について紹介する。

Jorg Langen (ESA/ESTEC) らにより「Sounding Earth's Atmosphere from the Envisat Platform」というタイトルの発表が行われた。ESA の ENVISAT プラットフォームには合計10の科学目的の測器が搭載される。そのうち GOMOS, MIPAS, SCIAMACHY の3つの大気観測センサーに焦点を当て、それぞれの概要と特徴を説明した。MIPAS は FTIR のセンサーであり、波数範囲685~2410  $\text{cm}^{-1}$  に遷移を持つ  $\text{O}_3$  (オゾン)、 $\text{H}_2\text{O}$  (水)、 $\text{CH}_4$ 、 $\text{N}_2\text{O}$  (一酸化二窒素)、 $\text{CO}$ 、 $\text{C}_2\text{H}_2$  (エチン) 等の赤外活性大気分子からの熱放射を

観測する。そのため、干渉計（冷却）や検出器（70 K に冷却した水銀カドミウムテルル合金：Hg-Cd-Te）に工夫をこらし、雑音を抑えている。波数分解能は  $0.035\text{cm}^{-1}$ 、観測高度範囲は5~200 km（1~8 km ステップ）である。彼らは MIPAS の特徴として、non-LTE（非局所熱平衡）の観測に強いということを挙げている。これは高波数分解能であること、目的の分子のいくつかの振動励起状態を同時に観測することにより可能になる。特に水の振動励起状態における non-LTE 現象は非常に興味深い。彼らはこれらを通じて上層大気そのものの理解が進むことに期待している。

J. M. Zawodny（米 NASA, ラングレー研究所）らは、「Version 6.0 Refinements to the SAGE-II Atmospheric Transmission Profile」というタイトルで SAGE-II の Version 6.0 データについて報告した。SAGE-II の解析に用いられてきた放射伝達アルゴリズムはこれまで10年前のものであったが、このバージョンでは1998年に開発された新しいものを用いた。また、屈折モデルに地球の偏平を考慮に入れて再構成するなど、より洗練されたアルゴリズムになっている。さらに（あたりまえではあるが）装置や観測の特性を非常に丁寧にアルゴリズムへ反映させているのが印象的であった。これらにより、高度分解能は  $0.5\text{ km}$  を達成、エラーは以前のバージョン（例：ver. 5.96）に比べて  $1/3\sim 1/20$  小さくなったという。

“良い”衛星観測データというはまさに宝の山である。エラーを小さくするという作業は、雑音の山からデータを抽出する作業の様な場合もあり、時にはデータに埋もれている自然現象を捨て去る。彼らの今回のバージョンアップはその点において自然現象に謙虚で、洗練された作業であるのを感じた。（笠井康子）

## 9. 微量成分観測 I

本セッションでは、オゾン層破壊で大きな役割を果たしているハロゲン化合物、特に HCl（塩化水素）、ClONO<sub>2</sub>（硝酸塩素）および BrO（一酸化臭素）の地上（長期）観測結果を中心に報告がなされた。

成層圏の HCl と ClONO<sub>2</sub> の長期変動については、1980年代から始まった地上からの FTIR 定常観測データ解析結果が、複数示された。発表では、中緯度地域での成層圏 HCl は1996もしくは97年ごろをピークに減少傾向に転じてきていること、対流圏 HCl はいまだに増加傾向にあることが示された。ClONO<sub>2</sub> 量については、現在の3次元化学輸送モデルが過小評価し

ていて、さらに生成プロセスについての研究が必要であることが報告された。また、冬季北極域における年ごとの Cl（塩素）活性化の度合いについて、HCl と ClONO<sub>2</sub> の比をもとに評価を行い、1998/99年の冬季には Cl 活性化が見られなかったことが報告された。近年これらの結果が得られるようになった背景には、SFIT2など地上 FTIR データの解析手法の発展がある。新しい解析手法により、成層圏と対流圏の微量気体を分離して評価できるようになり、高度ごとの変動をとらえることが可能となってきた。今後、地上観測で長期間得られたデータを、新たな手法で解析することにより、より詳しくオゾン層とその破壊物質の過去と現状について理解できるようになると考えられる。

BrO については、地上や気球、衛星からの可視分光法による全量観測の結果が報告された。地上装置による長期観測から、BrO 全量の日変化や季節変化、年々変動が見出され、これらが現在の3次元化学輸送モデルでよく再現できることが示された。一方で、春季極域にて観測される対流圏 BrO の増大については、主に自由対流圏に BrO が遍在して起こっている現象である可能性が高いこと、現在のモデルでは再現されないことが報告された。今後、モデルに何らかの化学反応プロセスを加える必要があると考えられる。

本セッションに参加してみて、長期にわたる地上観測から得られるデータが、地球規模での変動を理解する上でいかに重要な役割を果たしているかを、改めて認識することができ、新鮮であった。（長浜智生）

## 10. 微量成分観測 II

「微量成分：発生源」のセッションでは、3件の発表があった。Elkins, Fabian, そして Fraser は、CFC 類、HCFC（ハイドロクロロフルオロカーボン）類、ハロン類、有機溶媒等の長期変動傾向について似たような報告を行った。Elkins（米 NOAA/CMDL）は、NASA-ER2航空機搭載型の ACATS-IV 測定器や気球搭載型の LACE 測定器観測結果より、また、Fabian（独ミュンヘン大学）は、1970年代から実績のある気球搭載型のクライオジェニックサンプリングによる測定結果から、以下のような特徴を示した。1) メチルクロロホルム (CH<sub>3</sub>CCl<sub>3</sub>) は、1992年の測定値に比べ1999年時点で既に半分以下にまで減少している。2) HCFC-22 は、逆に1990年代に入り測定値が急増している。Fraser（オーストラリア CSIRO）は、AGAGE のサンプリングステーションであるタスマニア島のグリム岬

での測定結果から EESC 量 (Daniel *et al.*, 1995) が、1993~1994年をピークに減少していることを示した。しかしながら、EESC に対するハロン類と HCFC 類からの寄与率は、増加し続けており、個々の成分について検討すると、生成量から見積もられる値よりも50%以上高いものもあることが分かっている。

「微量成分：成層圏」のセッションでも、3件の発表があった。Chiou (米 SAI) は、SAGE-II の最新版 (Version 6.0) 水蒸気データの検証解析結果を報告した。Nedoluha (米 NRL) は、POAM-III データを用いた北極・南極域の脱水過程について報告をした。Vömel (米コロラド大学) は、SOWER/Pacific キャンペーンでのオゾン・水蒸気ゾンデ観測結果を報告した。この中から、Nedoluha の内容を紹介したい。

POAM-III は、1998年4月から定常運用を開始した太陽遮蔽法に基づくサンフォトメータである (Lucke *et al.*, 1999)。オゾンをはじめ、水蒸気、NO<sub>2</sub>、エアロゾル消散係数を、紫外から近赤外域9波長の太陽放射輝度観測から求める。POAM-III は太陽同期極軌道衛星 (SPOT-4) 搭載センサーで、両半球高緯度域の観測に適している。1998~2000年までの南極域における水蒸気の挙動が、まず報告された。冬季の高度30 km 以上からの極渦内での明瞭な下降運動 (初夏にかけて下部成層圏にまで引き続いて見られる)、冬季から春季の高度20 km 以下での大規模な脱水現象、そして春から夏にかけての高度40 km 付近での中緯度空気塊との混合過程である。これらは POAM 同様の軌道要素を持つ ADEOS 搭載 ILAS からも観測されている。しかし ILAS の運用は1997年6月に停止され、POAM-III との同期観測はなされていない。2001年末に打ち上げを予定されている ADEOS-II 搭載の ILAS-II で、同様に高緯度域での成層圏水蒸気の挙動が監視できる。

さらに彼は、脱水過程の南北での挙動の違いについて定量的な議論をした。いわゆる偶然の Match 解析法により POAM データを解析した。初期観測地点と最終観測地点の水蒸気濃度差を (A) とし、初期観測地点と、最終観測地点までの空気塊の流跡線上での最低気温から求めた飽和水蒸気濃度との差を (B) とする。(B) が正の領域で、(A) と (B) が正相関していれば、理論的に脱水過程が説明できる。南極域ではそうになっているが、北極域では、空気塊が霜点以下を経験しても明瞭な脱水が生じなかったことになる。この原因に関しては多くの議論がある。重要なことを1つ挙げると、霜点よりも数度低い温度が硫酸液滴から氷粒子の均質

核形成に必要であると指摘されている (Tabazadeh *et al.*, 2000) ことである。しかし、なぜ南北で異なるのか、等々疑問が幾つもある。Nedoluha は、客観解析データの気温が、南極域では実大気温度を過小評価しているのではないかと、といった疑問も投げかけていた。極成層圏雲 (PSC) の微物理過程が密接に絡んだ問題解明には、精度のよい直接観測、衛星からの継続的観測、そして PSCs の生成・重力落下・移流等のさまざまな過程を取り込んだ高精度・高分解能なモデルが必要である。現にそのようなモデル開発がヨーロッパとアメリカの共同研究で進んでいるようだ。

「観測と技術：比較」のセッションでは、4件の発表があった。Kurylo (米 NASA/HQ) もしくは Zander (ベルギー、リエージュ大学) は、NDSC 発足10年の成果と現状を報告した。Anderson (米ハンプトン大学) は、SAGE-II の Ver. 6.0 と HALOE の Ver. 19 のオゾンデータを用いた包括的な比較結果を示した。Bekki (仏 CNRS) は、衛星観測データをまず過度等価緯度にマッピングし、その後、流跡線解析によりマッチングペアを大量に抜き出すという検証手法を紹介した。比較的短寿命な化学種に対しては、流跡線解析に光化学ボックスモデルを組み込む処理をしていた。Helten (独ユーリッヒ研究センター) は、民間航空機の定期航空路線を利用した MOZAIC プログラムで得たオゾンと水蒸気濃度の検証解析結果を報告した。

最後に私自身の感想を少し。前回のイタリア、ラクイラに続いての参加であったが、発表の質もそれなりに高く、興味深い発表も多かったと思う。前回では特に PSC に関する話題にばかり注目していたのだが、今回は、わりと対流圏のことや大気力学関係の発表も楽しめたと思う。現在私は、ILAS プロジェクトの一員として、データアルゴリズム改訂や検証解析といったことを行っているが、今回、博士過程の学生を中心にして ILAS データを使った科学的解析結果がいくつか報告されて、好評を博していたと思う。この次のこの大会では、より多くの研究者に (海外の研究者も、もちろん自分も含めて)、ILAS や ILAS-II のデータを利用してもらい、その研究成果を報告していただければうれしい限りである。(杉田考史)

#### 11. 観測機器校正・対流圏オゾンのモデル研究

木曜午後前半のセッションでは、Evans (米 NOAA/CMDL) からドブソン分光計によるオゾン全量観測結果の相互比較キャンペーンに関し、現在までの経緯・



目的について軽く、かつくどく話があった。続いて、ブリューワ分光計についても同様に装置性能評価、校正について講演があった。McPeters (米 NASA/GSFC) は衛星に搭載されている複数の TOMS 観測機器の性能評価をドブソン分光計との比較で行い、Nimbus 7, Earth Probe に見られる系統的な誤差傾向について整理を行った内容の報告があった。

続く後半のセッションでは最初に、須藤 (東京大学気候センター) が CCSR/NIES AGCM を用いた対流圏光化学モデルについて、モデル内容と結果を緊張しながら紹介した。エルニーニョ時に起こったインドネシア森林火災の影響についての研究で、オゾン変動に対しバイオマス燃焼のみならずエルニーニョ現象による気象場の変動が重要であるというモデル実験結果を示した。自信溢れる Isaksen (ノルウェー, オスロ大学) からは対流圏オゾンの収支についてバイオマス燃焼の影響に重点をおいたモデル実験結果の紹介があった。Stevenson (英エジンバラ大学) は複数の放出シナリオに基づいて100年長期積分を行い、それぞれの場合で対流圏オゾンの生成項、消滅項を見積もっていた。IPCC の“high” ケースに相当する A2シナリオで、正味の対流圏オゾン生成が2100年には現在の2倍以上になるという結果になっている。また地球温暖化による力学的な効果 (主には水蒸気濃度の増加) を考慮した実験では、考慮しない場合よりもオゾンの化学的消滅がやや促進され、正味のオゾン生成も若干低く予想されるようであり、これも予想通りで面白い。

最期に、UCI モデルについての講演は、海洋と結合した GCM に大気化学過程を組み込んだモデルを用い、長期実験を行った結果についてであった。予定としては海洋起源の気体放出も海洋 GCM と結合して長期積分するそうで、ただごとではない雰囲気を出していた。今後は、将来予測と言う意味で、このように、海洋-陸面-大気を生物活動・植生・気体放出も含めて結合したモデルが出てくるであろうことが予想される。皆さん結構やる気ようです。(須藤健悟)

## 12. 成層圏微量成分と $\text{NO}_x/\text{NO}_y$

本セッションでは、微量成分をキーワードとして、前半は「成層圏」について6件、後半は「 $\text{NO}_x/\text{NO}_y$ 」について2件の計8件の発表が行われた。前半は、多くがエアロゾルデータを用いた研究についての報告であった。Thomason (米 NASA ラングレー研究所) からは SAGE-II の最新のデータであるバージョン6.0

のエアロゾルデータについて、高度分解能が1 km から0.5 km になるなど、改良点が報告された。また、消散係数から導かれたエアロゾル表面積の気候値分布が示され、以前のバージョン (5.931) との比較も示された。エアロゾル表面積への変換はモデル計算の入力データなどとして特に有用である。

また、林田 (奈良女子大学) は、同じ SAGE-II データを用いて、オングストローム係数とエアロゾル消散係数の気候値について議論した。この両者には、特にピナツボ火山噴火後に、はっきりした逆相関が見られること、また、ピナツボ火山噴火以降消散係数は減少し、1999年には歴史的に見ても低いレベルであったことなどが報告された。

また、モデルを用いた研究についても報告があり、Mills (米コロラド大学) は、全球2次元化学輸送モデルにエアロゾルの微物理過程を組み込んだモデルの計算結果を示し、対流圏界面付近のエアロゾル粒径分布が成層圏エアロゾルに与える影響を議論した。Fromm (米コンピュータ物理研究所) は長期の PSC データベースの開発について報告し、Santee (米 JPL) は1995/96年北極域 PSC の組成を、UARS 搭載の MLS センサで観測した硝酸データと、POAM-II で観測したエアロゾル消散係数データから導いたことなどを報告した。

後半、 $\text{NO}_x/\text{NO}_y$  のセッションでは、 $\text{NO}_2$  の長期データの構築について Lambert (ベルギー-IAS) が、北半球の対流圏界面付近の  $\text{NO}_x$  について力学的な観点から Staehelin (スイス連邦工科大学) が、議論した。

全体的な感想として、会場が2つあるうちの小さな方で行われたことなどから、参加者がそれほど大人数ではなかったが、興味深い内容のものが多かったのではないかと思う。シンポジウムも後半にさしかかっていたが、活発な議論が取り交わされていたと感じた。

(香川亜紀子)

## 13. 中層大気力学と化学のモデル計算 I

金曜午前のセッションでは、成層圏における力学場と化学種の分布の相互作用に関する数値実験の結果がいくつか報告された。

Wuebbles (米イリノイ大学) は n-臭化プロピルの成層圏ハロゲン分布への寄与に関する3次元モデルを用いた数値実験を行い、その結果を報告した。n-臭化プロピルの対流圏における光化学的寿命は10~20日程度と非常に短く、これまでは2次元モデルを用いて評価

を行っていた。本実験の結果では大陸間で最大5倍程度の差が生じ、短寿命の化学物質の輸送、および化学過程の取り扱いの重要性を示した。また、成層圏臭素量のおよそ14%がn-臭化プロピル起源のものであるという実験結果もあわせて報告した。

Dvortsov (米 NOAA/AL) は成層圏水蒸気の増加傾向による温度場、オゾン分布の変動に関する2次元放射-化学-力学結合モデルを用いた数値実験の結果を報告した。1979年から1996年までの水蒸気増加(1%/年)の結果、下部成層圏では水蒸気の放射的影響によって、また上部成層圏では水蒸気量増加にともなうオゾン破壊の強化によって、低温化が引き起こされていると報告した。また、今後もこの水蒸気増加速度が維持された場合でも、塩素および臭素の減少に伴うオゾン増加傾向を打ち消すほどの影響は持たないという実験結果もあわせて報告した。

滝川 (東京大学気候システム研究センター) は成層圏硫酸エアロゾルの気候に与える影響に関する数値実験結果を報告した。平穏時における成層圏硫酸エアロゾルの主な生成源は硫化カルボニルであるといわれているが、地表起源の二酸化硫黄も、成層圏への硫黄流入量で見ると、硫化カルボニルの1/4程度の寄与となっていること、火山噴火時における下部成層圏の温度上昇要因として、オゾン減少が長波・短波へ与える影響が非常に大きいことなどを示した。平穏時の実験に関しては、対流圏化学過程の取り扱いの重要性を指摘した。(滝川雅之)

#### 14. 中層大気の力学と化学のモデル計算II

このセッションでは、大気化学モデルを用いてオゾン層の経年変動を計算した発表が3件、対流圏オゾン量に対する成層圏オゾンの影響についてのモデル計算結果が3件発表された。本稿では主に前者について報告する。

近年の計算機能力の向上を反映して、詳細な化学系を陽に含んだ3次元モデルを利用した計算が行われ始めている。今回の講演でも3件中2件は3次元モデルの計算結果であった。Austine (英気象局) はUKMOの3次元大気化学モデルに、観測された温暖化ガス等の大気中濃度を与え、1979年から約20年にわたる積分実験を行った。計算されたオゾン全量の経年変動は、TOMSの観測結果と比較し、絶対値の再現性は良くないがトレンドの値は良好であると発表していた。また、計算されるオゾンホール規模がモデル中の極渦の再

現性に大きく依存していると指摘していた。Steil (独マックスプランク研究所) らはMAECHAM4-CHEMを用いて1960年代、1990年代を想定したモデル実験を行い、UARSやCRISTA等の衛星データと比較してモデルの高性能さを示していた。また、2030年代を想定した実験結果も示した。彼らの結果では、先にShindell (米GISS) らが指摘したようなオゾンホールの回復の遅れは、そう顕著ではないようである。

上記2講演で用いられた化学モデルは双方とも、計算された化学成分濃度を用いた放射場の計算が行われている為、化学・力学・放射の結合系がモデル内部できちんと表現されている。ただその特性を活かした実験・解析が行われていたか? という観点から考えると、今回の講演はやや物足りなかった感がする。化学モデル開発の苦勞を知る者としては、今後の解析の進展に大いに期待したいと思う。(永島達也)

#### 15. 紫外線放射

紫外線(UV)放射のセッションは2日にわたり開かれ、ポスターでの発表も興味深いものがあつた。

オゾン層の破壊が明らかになるにつれて、その結果として生じる有害紫外線(有害紫外線は一般的にUV-BスペクトルをCIE等の作用曲線によって荷重・波長積算されたもの)の増加に関する研究が盛んになった。直接人体に対する影響、生態系への影響、オゾン層破壊に伴う有害紫外線の動向、及び測定精度向上に関する研究等である。特に、オゾン層破壊及び大気環境変化に伴い地上に到達する有害紫外線がどう変化しているか、この検出がひとつの課題となっている。

この分野では有害紫外線の影響を受け易いとされている国々(カナダ、アメリカ、ヨーロッパ、ニュージーランド等)での研究が盛んである。特に、北極域冬季にオゾン層破壊が進んでいるヨーロッパでは、欧州連合(EU)が基金を出すなどヨーロッパ独自の研究体制を敷いている。Environment Canada(カナダ環境省)は歴史的に世界オゾンデータセンターを維持し、また世界オゾン紫外線データセンターとして貢献していることもあって紫外線の研究が広く行われている。

5、6日目のそれぞれ午後14編の口頭発表があつた。カナダ環境省のD. I. Wardleをボスとするグループで活躍している若いV. E. Fioletov、紫外線研究の草分け的存在とも言えるニュージーランドNIWAのR. L. McKenzie等著名な研究者がこのセッションを盛り上げた。ただ、衛星データから地上にお

ける全球の UV-B を推定し、その長期傾向を推算して注目を集めている NASA/GSFC の J. Herman は欠席し、彼の共同研究者が衛星による紫外線推定に関わるデータの安定性について発表した。ギリシャのテッサロニキ大学 C. S. Zerefos はポスター発表で参加した。口頭発表での研究内容は次のように分けられる。

- 観測に関するもので機器の比較観測または地理的に異なる場所で同時観測した結果を示したもの(3件)
- 関連するパラメータから有害紫外線を推定する試み(3件)
- 自国の UV-B 監視システムを紹介し、その結果を示したもの(3件)
- オゾンまたはそれ以外の関連要素の変動による有害紫外線の年々変動など(2件)
- 衛星観測による地上での UV-B 推定の精度に関するもの(2件)

また、NOAA の Weatherhead らによる有害紫外線の長期変動について、有害紫外線量を正確に測定することの難しさと、その変化量が小さいことを考慮すると少なくとも20年のデータの蓄積が必要である、とした統計学的な議論が印象的であった。

筆者は札幌管区気象台と気象庁オゾン層情報センターと共同で、気象庁の観測データをもとに国内4ヶ所(札幌、つくば、鹿児島、那覇)の有害紫外線の長期的変動について発表した。

ポスターセッションでは15編ほどの発表を数えることができた。日本からは気象研究所の青木輝夫らが、放射伝達モデルによる UV-B の数値計算と測定結果の比較をし、その計算結果が妥当であると報告した。精度の高い数値計算モデルは、これからの紫外線研究の道具として効果を発揮することであろう。

人体に有害な UV-B を回避する方法のひとつとして、有害紫外線強度を指数化しその予報を出すことを多くの国及び民間の企業が既に行っている。このことに関連しヨーロッパにおいては、UV-B を防御する必要性と回避する手段を国民に対して周知することがすでに確立している、という内容の発表があった。日本でも今後の課題となるのであろう。

以上、紫外線放射のセッションについての概括と私の印象を述べた。WMO、UNEP の国際機関をはじめ、多くの国々で有害紫外線の研究が推進されてきた。関連する多くの国際会合が開催され、様々な研究成果の公表・成果交換もされてきた。しかし、有害紫外線の長期傾向を研究する上で大きな障害となっているの

は、測定機器の精度を長期間維持し続けなければならないことにある。国際的なネットワークとして構築することの難しさもある。オゾン層破壊等による長期変動は生態系にじわりと影響を与える可能性があるが、UV-B の季節変化、時間変化、または大気の状態による変化の度合いは長期傾向をはるかに上回る。こういう点での研究も国内で今後推進していく必要があると考える。紫外線研究に関する国際会合等の活動を通して、また仕事上で電子メールを交換して知り合った研究者に会い、また国内の関係する研究者と議論できたことは喜びとするところであった。(宮内正厚)

## 16. 極域オゾン層の化学

土曜午前「オゾン層化学」のセッションでは、合計10件の報告があった。北極関係8件、南極関係2件となっており、最近のオゾン問題の関心は、もっぱら北極域に移ったように思われた。さらにそのうち4件は、1999/2000年冬～春季に北極域で行われた SOLVE/THESEO 2000キャンペーンの、最新成果報告であった。すばやく解析を行いすぐ第一報の報告を行う、最近のこの分野の状況をよくあらわしている。

Fahey (米 NOAA/AL) らは、1997年春～夏季に北極域で行った NASA の POLARIS キャンペーン結果を、レビュー的に総覧した。その中で、春季から夏季にかけての極域オゾン破壊には、 $\text{NO}_x$ 、 $\text{HO}_x$ 、 $\text{ClO}_x$  の順に重要であるという結論を述べた。Pommereau (仏 CNRS) らは、1～3週間成層圏に滞在可能な気球観測結果から、気温の実測値をいくつかの客観解析データ(DAO, UKMO, NCEP, ECMWF-50層)と比較した。その結果、10 hPa 以上の高度で、最大20 K もの差があることを報告した。Rex (独 AWI) らは、オゾンゾンデを用いた「Match 解析」手法を用いて導出した1991/1992年冬～1999/2000年冬までの北極域オゾン破壊量年々変化を示し、それぞれの冬の特徴を報告した。その中で、1995/1996、1996/1997、1999/2000年の冬に大きなオゾン破壊が見られることを示した。これは、PSC 上での不均一反応で活性化した塩素に起因する。これらが経年的なオゾン破壊の増加傾向を示すのかどうか、今後も注目される。Hoppel (米 NRL) らは、POAM-II、-III データを用い南極オゾンホール最近の観測結果について報告した。神沢(国立環境研究所) らは、1996/1997年冬季北極域での ILAS 観測による  $\text{N}_2\text{O}$ 、 $\text{CH}_4$ 、 $\text{H}_2\text{O}$  データ(Ver. 4.20)をもとに、北極域での非断熱冷却過程に伴う空気塊の沈降速度の見積

もりを行った。N<sub>2</sub>O と H<sub>2</sub>O で 0.7 km/月、CH<sub>4</sub> で 0.8 km/月という値を得たが、HALOE の CH<sub>4</sub> 観測から求めた南極での沈降速度 (1.5~1.8 km/月) に比べて約半分の小さな値である。これを定量的に結論付けるためには、最新の解析データ (Ver. 5.10) を用いた更なる解析が必要だとのコメントがあった。

Lefèvre (仏 CNRS) らは、3次元化学輸送モデル Reprobus を用いた1999/2000冬季 SOLVE/THESEO 2000期間中の北半球成層圏のモデリング結果について発表した。彼らのモデルは、PSC をシミュレートする際に生成条件にいくつかの違ったスキームを取り入れ比較を行っていた。例えば、最初に気温が氷の凝固点温度に下がるまでは粒子は液体 (過冷却三成分系液滴: STS) のまま存在し、氷 (タイプ2 PSC) が一度形成された後は硝酸三水和物 (NAT) 凝固点温度以上になるまで粒子は固体 (NAT) で存在するという、新たな考えに基づくスキームも導入していた。このシナリオに基づくモデル計算結果が、実際に観測された脱室過程やオゾン破壊をよく再現しているという結論は、大変興味深い。また、Bremer (独プレーメン大学) らは SOLVE/THESEO 2000期間中の、ASUR という航空機搭載サブミリ波観測装置を用いたオゾン・N<sub>2</sub>O の鉛直分布に関する観測結果を報告した。

Taupin (仏 CNRS) らは、HALOE、AMON などの観測結果を用いた中緯度 NO<sub>x</sub> の時間変化について報告し、モデルとよく一致することを示した。Carli (伊 IROE-CNR) らは、南極における APE-GAIA キャンペーンでの、成層圏も飛行可能な高高度飛行航空機 Geophysica による観測について紹介した。Wagner (独ハイデルベルグ大学) は GOME 衛星による6年間にわたる OCIO (二酸化塩素ラジカル) 気柱全量観測結果をもとに、南北両半球極域での活性塩素の出現頻度の比較を行った。南極の方が北極に比べ、約40%ほど OCIO 量が多いこと、また、北極での出現量は年々変動が大きいことを示した。

台風が関東地方に接近し、帰りの航空便の欠航等も危惧された最終日午前中のセッションではあったが、会場は前日までとほとんど変わらない数の聴衆に埋められていた。一時期ほどの熱気は冷めたとはいえ、オゾン問題に関する研究者たちの関心は依然高いことが伺われた。また、多くの人にとってより身近な北極におけるオゾン破壊の様子の把握と、PSC や気温履歴を含めたオゾン破壊メカニズムのより定量的な解明、そしてモデルなどによる将来予測が今後の研究の中心と

なっていくように感じられた。その上で、衛星観測を今後も継続して行っていくことの重要性を、改めて認識させられた。日本からも、今後 ILAS-II や SMILES、ODUS などの衛星センサーデータの提供による、この分野での国際的な貢献が期待される場所である。

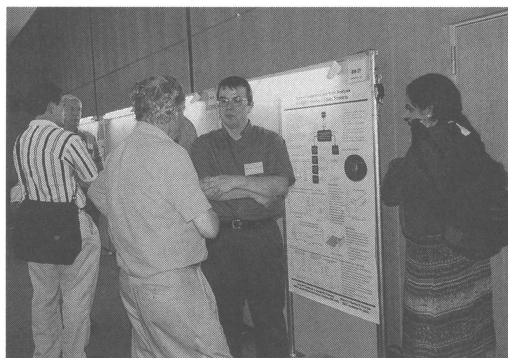
午前中のセッションが終了しこれから昼食休憩に入ろうとしていた時に、国際オゾン委員会会長の Robert Hudson 氏から、今回のシンポジウムの国内組織委員会とアルバイトスタッフ全員に対し、暖かい感謝の言葉が述べられ、会場は拍手の渦に包まれた。国内の会議ではめったに見られない風景であるが、いつも私はこのような場面に遭遇するたびに、欧米の科学者たちの中に真のジェントルマン精神が流れていることに感服してしまうのであった。(中島英彰)

## 17. 微量成分 (窒素酸化物)

土曜日の午後には A 会場では窒素酸化物に関する5つの口頭発表が行われた。エアロゾル(雲粒子を含む)は窒素酸化物(主に硝酸 HNO<sub>3</sub>)を取り込み、あるいは不均一反応を通して、NO<sub>y</sub>を構成する物質の分配や NO<sub>y</sub>自身の濃度を变化させる。全ての講演でこれらの過程に関する報告がなされ、窒素酸化物の化学に対するエアロゾルの重要性を示す結果となった。指摘・議論された点は以下の通りである。

- 1) 冬季北極高緯度の下部成層圏における不均一反応の理解がさらに必要である (KASIMA モデルの NO<sub>x</sub>/NO<sub>y</sub>比が観測値に比べ過小評価) (G. Wetzel, 独カールスルーエ研究センター)。
- 2) 現状のモデルでは対流圏界面付近で発生する巻雲 (cirrus cloud) による HNO<sub>3</sub>の除去は過大評価されている (H. Schlager, 独 DLR)。
- 3) 中・上部成層圏の冬季高緯度で現れる HNO<sub>3</sub>の増加はイオンクラスターや硫酸エアロゾル上の不均一反応に加え中間圏からの NO<sub>2</sub>の輸送を考慮すると良く説明できる (S. Smyshlyayev, 米ニューヨーク州立大学)。
- 4) 下部成層圏の冬季高緯度での窒素酸化物の除去 (脱室, denitrification) が起きる必要条件是氷点以下の低温の経験である (近藤, 名大太陽地球環境研究所)。
- 5) 脱室に起因して再分配された HNO<sub>3</sub>の空間分布とその時間変化を通して、HNO<sub>3</sub>粒子の落下・蒸発が起きていることが証明された (入江, 名大太陽地球環境研究所)。

4, 5) の報告では成層圏の気温が氷粒子の生成温度以下に低下した後に脱窒が起きたことを示した。しかしながら脱窒を引き起こす固体粒子がどのような機構を経て生成するのかは未だ明らかにされていないため、今後の議論が楽しみである。また、巻雲への  $\text{HNO}_3$  の吸着は対流圏界面付近での窒素酸化物濃度を顕著に減少させると考えられていたが、2) の報告はそれを否定するものとなった。4年後に行われる次回のオゾンシンポジウムでは、これらについてさらに理解が深まっていることを期待したい。(入江仁士)



第2図 ポスターボード前での議論。

## 18. ポスターセッション

ポスターセッションは、口頭発表終了後、夕方5時半頃から1階のホールおよび第一会議室に設けられたポスター会場にて行われた(第2図)。水曜日のバンケットを挟んで、月・火と木・金の2日間ずつで前半と後半に分かれ、320件余りの発表があった。この他にも登録がうまくいかず、ポスターボードの割当のない人たちが空いているボードや壁を利用して発表していたので、総数はこれを上回ると思われる。

前半と後半とで極域におけるトレンド、観測・技術、対流圏オゾン、微量成分、オゾン化学、モデル、気候、紫外線などのトピック毎に分かれていたものの、各トピックにまたがるような内容も多く、満遍なく楽しめた人が多いのではないだろうか。全体的にオープンな雰囲気、自分の専門にこだわらず、幅広く議論が広がっていたようだ。ただし、夕方のセッションだったこともあり、ビール片手にディスカッションするうちに盛り上がってそのまま夕食へ出かける、というパターンが多く、後半になると、説明者の数が減少して見えたのは気のせいではないだろう。

個人的には、今回、普段は顔の見えない海外の共同研究者らと顔を合わせる事ができたこと、他の学会にはほとんど出さないがオゾンシンポジウムでは毎回発表するという同業者と初めて会って細かい話ができたと、そして、自分の発表した内容に興味を持ってくれた人と有意義な議論ができたことが大きな収穫であった。(白井知子)

## 19. 札幌管区気象台訪問ツアー他

4年に1度のオゾンシンポジウムが日本のしかも札幌で行われるということで、遠くからいらっしゃるオゾン研究者の方々をおもてなしたいと考えた。札幌はオゾンゾンデとドブソン分光光度計による長期観測

データが蓄積されていることでオゾン関係者には有名な場所である。木曜日の午後札幌管区気象台への見学ツアーを企画し、気象庁の佐々木 徹さんや北大地球環境の院生の方々とともに20人程の見学者を引率して出かけた。残念なことに曇天でオゾン全量測定が出来ないためオゾンゾンデ観測も中止となってしまった。それでも、皆熱心に観測システムを見学したり質問したり写真を撮ったりと、会議の合間のつかの間の時間を楽しんでおられたようであった(札幌管区気象台の皆様、どうもありがとうございました。)

また、NASA/GSFCのAnne Thompsonさんがリーダーをつとめるプロジェクト、SHADOZ(南半球追補オゾンゾンデ)は熱帯地域の10の観測地点(私が関わっているインドネシアのワトコセ観測所を含む)におけるオゾンゾンデ定常観測をサポートし組織するという計画であるが、今回7観測点の関係者が集合した。そこで、火曜日の昼に簡単な昼食会を催すことになり、9人の外国人を引き連れて海鮮レストランへ出かけた。全員の注文を決めるのには時間がかかったが、皆で楽しいひとときを過ごすことができた。

(藤原正智)

## 20. おわりに

蛇足になるが、今回の会議で実務担当幹事役を仰せつかり、国際会議を開催する側になった感想を一言述べたい。開催までにいろいろどたばたはあったが、やはり最後まで不安だったのは、一体何名が参加するかということであった。今回は経費節減、手作りシンポジウムを目指したが、参加人員の不確定さ、つまり予算の不確定が全ての準備に影響を与えた。最初の発表申し込みは予想以上であったが、事前登録者が予想よ

り少なく、プロシーディングス用原稿の集まりも良くない状況が6月になっても続いた。初日の受付が始まって不安であった。最終的には400名弱の参加があり、ほっと胸をなでおろしていただいた。少々危惧した札幌ビール園での懇親会も以外と好評であり、あちこちで歓談の輪ができた(第3図)。

考えてみれば、参加者が400名弱というのは国内の学会開催を考えてもそう多い数字ではない。その割に何かと苦労したように思えるのは、一つにはやはり海外からの参加者(ビザ発給でも苦労した!)が大多数だったためであろう。発展途上国・若手研究者への援助に関しても頭を悩ませた。政府機関へのハッカー問題では思わぬ影響を被ったり、準備段階から本番直前まで様々の問題が出、電子メールの嵐に四苦八苦し。振り返って考えれば、幹事役として組織委員会の力を最大限に発揮できるように準備できなかったことが、最後に他の委員に多くの負担をかけることになった。幾つかの失敗も、会議開始後に明らかになった。後悔先に立たずの典型であった。

ともあれ、最後には台風という自然の猛威にも睨まれたが、何とかゴールまでたどり着けたことは嬉しい限りである(幾つかの宿題は残ったが)。海外からの参加者からは、外交辞令としても、及第点の評価を得て安堵している。

さて報告という形では異例だが、この場で組織委員会のメンバーすべて(以下に記)に幹事役として深く感謝の意を表したい。特に開催地北海道大学の山崎、塩谷両氏の努力と、茨城大学・長谷部、奈良女子大学・林田両氏の働きについては特記し感謝を述べる。また、NASDA/EORCの田辺 玲、佐野琢己の両氏にもお世話になったことを申し添える。

#### 国内組織委員会委員(敬称略)

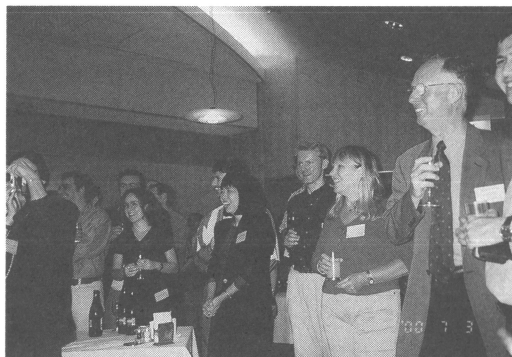
委員長 小川利紘, 副委員長 伊藤朋之

委員 岩上直幹, 内野 修, 神沢 博, 近藤 豊,  
笹野泰弘, 塩谷雅人, 高橋正明, 中根英昭,  
長谷部文雄, 林田佐智子, 牧野行雄, 山崎  
孝治, 柴崎和夫, 川平浩二, 宮原三郎

(柴崎和夫)

#### 参 考 文 献

Daniel, J. S., S. Solomon and D. L. Albritton, 1995 :  
On the evaluation of halocarbon radiative forcing  
and global warming potentials, *J. Geophys. Res.*,



第3図 懇親会会場で挨拶に聞き入る参加者達

100, 1271-1285.

Lucke, R. L., D. R. Korwan, R. M. Bevilacqua, J. S. Hornstein, E. P. Shettle, D. T. Chen, M. Daehler, J. D. Lumpe, M. D. Fromm, D. Debrestian, B. Neff, M. Squire, G. König-Langlo and J. Davies, 1999 : The Polar Ozone and Aerosol Measurement (POAM) III instrument and early validation results, *J. Geophys. Res.*, **104**, 18785-18799.

Rex, M., P. von der Gathen, G. O. Braathen, N. R. P. Harris, E. Reimer, A. Beck, R. Alfier, R. Krüger-Carstensen, M. Chipperfield, H. De Backer, D. Balis, F. O'Connor, H. Dier, V. Dorokhov, H. Fast, A. Gamma, M. Gil, E. Kyrö, Z. Litynska, S. Mikkelsen, M. Molyneux, G. Murphy, S. J. Reid, M. Rummukainen and C. Zerefos, 1995 : Chemical ozone loss in the arctic winter 1994/95 as determined by the Match technique, *J. Atmos. Chem.*, **32**, 35-59.

Tabazadeh, A., S. T. Martin and J. Lin, 2000 : The effect of particle size and nitric acid uptake on the homogeneous freezing of aqueous sulfuric acid particles, *Geophys. Res. Lett.*, **27**, 1111-1114.

Von der Gathen, P., M. Rex, N. R. P. Harris, D. Lucic, B. M. Knudsen, G. O. Braathen, H. De Backer, R. Fabian, H. Fast, M. Gil, E. Kyrö, I. St. Mikkelsen, M. Rummukainen, J. Stähelin and C. Varotsos, 1995 : Observational evidence for chemical ozone depletion over the Arctic in winter 1991-92, *Nature*, **375**, 131-134.

#### 略語一覧(アルファベット順)

ACATS Airborne Chromatograph for Atmospheric Trace Species 大気微量成分観測用航空機搭載型クロマトグラフ

AER Atmospheric and Environmental

- Research, Inc. 大気環境研究所 (会社名)
- AGAGE Advanced Global Atmospheric Gases Experiment 先端の全球大気成分計測
- AGCM Atmospheric General Circulation Model 大気大循環モデル
- AL Aeronomy Laboratory 高層大気研究所
- AMON Absorption par Minoritaires Ozone et NOx (気球搭載用の星を光源とする可視—紫外分光計)
- APE-GAIA Airborne Polar Experiment—Geophysical Aircraft In Antarctica 極域航空機観測—南極でのジオフィジカ航空機
- ARL Air Resources Laboratory 大気資源研究所
- ASUR Airborne Sub-mm superconducting Radiometer 航空機搭載型超伝導サブミリ波放射計
- AWI Alfred-Wegener-Institut für Polar-und Meeresforschung アルフレッド・ウェーゲナー 極地海洋研究所
- BIBLE Biomass Burning and Lightning Experiment バイオマス燃焼と雷観測実験
- CCSR Center for Climate System Research, University of Tokyo 東京大学気候システム研究センター
- CIE Commission Internationale de l'Eclairage (International Commission on Illumination) 国際照明委員会
- CMDL Climate Monitoring and Diagnostics Laboratory 気候監視診断室
- CNRS Centre National de la Recherche Scientifique (French National Center for Scientific Research) フランス国立科学研究センター
- CRISTA CRyogenic Infrared Spectrometers and Telescopes for the Atmosphere 大気観測用極低温赤外線分光計・望遠鏡
- CSIRO Commonwealth Scientific and Industrial Research Organization 連邦科学産業研究機構 (オーストラリア)
- DAO Data Assimilation Office データ同化室
- DU Dobson Unit ドブソン単位 (鉛直気柱内のオゾン全量を表す単位で  $1DU = 2.687 \times 10^{16} \text{ cm}^{-2}$ )
- ECMWF European Centre for Medium-Range Weather Forecasts ヨーロッパ中期天候予報センター
- EESC equivalent effective stratospheric chlorine (成層圏のオゾン層を破壊する物質の量を、それと同等の影響を及ぼす塩素に置き換えたときの塩素の濃度)
- ENVISAT ENVIRONMENT SATellite 環境監視衛星
- EORC Earth Observation Research Center 地球観測利用研究センター
- ERS European Remote-Sensing Satellites ヨーロッパリモートセンシング衛星
- ESA European Space Agency 欧州宇宙機関
- ESTEC European Space Research and Technology Centre 欧州宇宙技術センター
- EU European Union 欧州連合
- FTIR Fourier-transform Infrared spectrophotometer フーリエ変換赤外分光光度計
- GCM General Circulation Model 大循環モデル
- GOME Global Ozone Monitoring Experiment 全球オゾン監視装置 (ERS-2衛星搭載)
- GOMOS Global Ozone Monitoring by Occultation of Stars 恒星掩蔽法による全球オゾン監視装置 (ENVISAT 衛星搭載)
- GISS Goddard Institute for Space Studies ゴダード宇宙科学研究所
- GSFC Goddard Space Flight Center ゴダード宇宙飛行センター
- HALOE Halogen Occultation Experiment ハロゲン観測センサー (UARS 衛星搭載)
- IAMAS International Association of Meteorology and Atmospheric Sciences 国際気象学・大気科学協会
- IAS Institut d'Aeronomie Spatiale de Belgique (Belgian Institute for Space Aeronomy) ベルギー国立宇宙エアロノミイ研究所
- ILAS Improved Limb Atmospheric Spectrometer 改良型大気周縁赤外分光計 (環境観測技術衛星 ADEOS「みどり」搭載)
- ILAS-II Improved Limb Atmospheric Spectrometer-II 改良型大気周縁赤外分光計 II 型 (環境観測技術衛星 ADEOS-II 搭載)
- IPCC Intergovernmental Panel on Climate Change 気候変動に関する政府間パネル
- IROE-CNR Istituto di Ricerca sulle Onde Elettromagnetiche—Consiglio Nazionale delle Ricerche (Electromagnetic Wave Research Institute—Italian National Research Council) 電磁波研究所—イタリア研究評議会
- IUGG International Union of Geodesy and Geophysics 国際測地学地球物理学連合
- JPL Jet Propulsion Laboratory ジェット推進研究所 (NASA)
- KASIMA Karlsruhe simulation model of the middle atmosphere カールスルーエ中層大気モ

- デル
- LACE Lightweight Airborne Chromatograph Experiment 航空機および大気球搭載用軽量クロマトグラフ
- LTE local thermodynamic equilibrium 局所熱平衡
- MAECHM4-CHEM Middle Atmosphere ECMWF-based model developed by MPI Hamburg4-CHEMystry (ドイツ, ハンブルグのマックスプランク気象研究所が開発した) 中層大気大循環モデル—化学反応系部分
- MIPAS Michelson Interferometer for Passive Atmospheric Sounding 受動型大気観測用マイケルソン干渉分光計 (ENVISAT 衛星搭載)
- MLS Microwave Limb Sounder マイクロ波大気周縁観測センサー (UARS 衛星搭載)
- MOZAIC Measurement of Ozone by Airbus In-service aircraft 民間定期航空機利用のオゾン観測
- MPI Max Planck Institute マックスプランク研究所
- NAO North Atlantic Oscillation 北大西洋振動
- NASA National Aeronautics and Space Administration 米国航空宇宙局
- NASDA National Space Development Agency of Japan 宇宙開発事業団
- NAT nitric acid trihydrate
- NCEP National Center for Environmental Prediction 米国環境予測センター
- NDSC Network for the Detection of Stratospheric Change 成層圏変化検出のためのネットワーク
- NIES National Institute for Environmental Studies 国立環境研究所
- NIWA National Institute of Water and Atmospheric Research
- NOAA National Oceanic and Atmospheric Administration 米国海洋大気庁
- NRL Naval Research Laboratory 米国海軍研究所
- ODUS Ozone Dynamics Ultraviolet Spectrometer 紫外分光計方式のオゾン観測センサー (地球変動観測ミッション GCOM-A1衛星に搭載される予定)
- POAM-III Polar Ozone and Aerosol Measurement 極域オゾンおよびエアロゾル観測センサーIII型 (SPOT4衛星搭載)
- POLARIS Photochemistry of Ozone Loss in the Arctic Region In Summer 夏季北極域オゾン消失の光化学観測計画
- PSCs Polar Stratospheric Clouds 極成層圏雲
- QBO quasi-biennial oscillation 準2年周期振動
- SAGE-II Stratospheric Aerosol and Gas Experiment II 成層圏エアロゾル・気体成分観測センサー
- SAIC/GSC Science Applications International Corporation/General Sciences Corporation (NASAの契約会社)
- SBUV Solar Backscatter Ultraviolet Instrument 太陽後方散乱紫外線センサー (NIMBUS-7衛星搭載)
- SCIAMACHY Scanning Imaging Absorption Spectrometer for Atmospheric Cartography 大気成分地図作製用走査型撮像分光計センサー (ENVISAT 衛星搭載)
- SFIT2 Spectral Fitting program 2
- SLIMCAT Single Layer Isentropic Model of Chemistry And Transport 大気化学・輸送モデル
- SMILES Superconducting Submillimeter-wave Limb-Emission Sounder 超伝導サブミリ波大気周縁放射サウンダ (国際宇宙ステーション日本実験棟曝露部搭載)
- SOLVE SAGE-III Ozone Loss and Validation Experiment SAGE-IIIのためのオゾン消失・検証実験
- SOWER Soundings of Ozone and Water in the Equatorial Region 熱帯域オゾン・水蒸気観測実験
- STS Supercooled Ternary Solution
- THESEO Third European Stratospheric Experiment on Ozone 第3回欧州オゾン成層圏実験
- TOMS Total Ozone Mapping Spectrometer オゾン全量地図作製分光計センサー
- UARS Upper Atmosphere Research Satellite 上層大気研究衛星 (NASA)
- UCI University of California, Irvine カリフォルニア大学アーバイン校
- UKMO United Kingdom Meteorological Office イギリス気象局
- UNEP United Nations Environment Programme 国連環境計画
- WMO World Meteorological Organization 世界気象機関