

国際オゾンシンポジウム・対流圏オゾン ワークショップ報告*

小川利紘・村松久史・川平浩二・
近藤豊・牧野行雄

1. 全体報告

小川 利紘**

国際気象学・大気物理学協会オゾン委員会 (IAMAP/OC) が4年毎に主催する国際オゾンシンポジウムは、1988年8月8日から13日までの間、西独ゲティンゲン市にあるゲティンゲン大学構内で開催された。これに先立つ週の8月4日から6日にかけて、同じ会場に対流圏オゾンのワークショップも開かれた。

このシンポジウムは、こと大気オゾンの研究に関する限り、正統性を誇る伝統ある集会で、その歴史は1929年のパリ研究会議にまでさかのぼる。この会議は、分光学の大家でかつオゾン層の分光観測のパイオニアの1人でもあったファブリー (Ch. Fabry) が組織したもので、時あたかも、ゴードン・ドブソン (G.M.B. Dobson) やポール・ゲッツ (F.W.P. Götz) がオゾン層の系統的な観測を行っていた時期であった。その後もオゾン研究会議/シンポジウムは連綿と続いているわけだが、1970年代に成層圏汚染の問題が起ってから、オゾンだけでなく関連気体成分の化学物理や気候に関連したオゾンの問題などにも研究テーマが拡大し、オゾン層の研究はすっかり様変わりし、活況を呈するようになった。

発表された論文は、関連微量成分についてのものを除けば、あとはすべてオゾンに関するもので、セッション毎に論文数を示すと、

全般的レビュー	3篇
極域	42篇
地上観測	49篇
人工衛星観測	30篇
対流圏	66篇 (うち57篇はワークショップで発表)

観測技術	34篇
微量成分	43篇
放射	14篇
数値モデル	37篇
反応	12篇

合計330篇 (うちポスター190篇) である。以下の項で、村松 (対流圏)、川平 (極域)、近藤 (微量成分)、牧野 (観測技術) の諸氏が、研究発表の内容および研究集会の印象を述べられている。

わが国からの参加者は11名で、発表論文は15篇 (うちポスター7篇、代理発表は除く、他に外国グループとの共著論文が6篇ある)。

前々回のわが国の発表は3篇、前回は8篇であるから、なかなかの成長ぶりである。シンポジウムの論文集はA. Deepak社より出版される。今回からIAMAPの要請(?)にしたがって、掲載する発表論文は研究者同志で査読することになった。この段階で採用にならなかった論文もポスター発表の機会は与えられたことを付記しておく。

今回の研究集会の特徴は、対流圏オゾンの研究が増えたことである。これには、ヨーロッパ各地の観測データが、1980年代になって対流圏オゾンの経年増加を示している、という背景がある。シンポジウムの開催地がヨーロッパだということと、ホスト側の意図もあって、対流圏オゾンについては、シンポジウムの方ではセッションを半日分の1つにしぼり、大部分の発表はワークショップで行われた。対流圏オゾンのワークショップでは、独仏チームのSTRATOZと称する航空機観測の結果が目された。アメリカの連中も広汎な航空機観測を実施中であり、NASA ラングレー研究所を中心とするグループ、NCAR/NOAA エアロノミー研究所のチームによる成果も発表された。オゾンだけでなく、オゾンと光化学的に関連する各種気体成分・エアロゾルへと、測定対

* Report on the International Ozone Symposium and the Tropospheric Ozone Wackshop.

** 東京大学理学部地球物理研究施設。

象を挙げ、また、北極域から南極域までの観測飛行を実施して、データを広汎に集積しているのには圧倒される。

このシンポジウムのハイライトとなるべきはずの、極域オゾン(オゾンホール)に関しては、発表はいささか出がらしの感があった。ついこの前にアメリカ国内でワークショップを開いているため、南北極域での新しい観測結果については、すでにプレスなどで紹介されていたし、また観測を実施したアメリカの主だった連中が出席しなかったのも、低調に思われた原因の一つであろう。どうも連中が力を入れているのは、プレスを通しての宣伝だけではないのか、と勘ぐりたくなる。それはともかく、南極の春(オゾンホール)について言えば、塩素がオゾンを壊しているらしい傍証は増えていることは確かである。他の説にとっては否定的な証拠ばかりなので(というより、データの解釈を、強引に他説を否定するようにしむけているというべきだが)、塩素プラス極域成層圏雲という説がオゾンホール形成の最有力候補であるにはちがいない。しかし、力学的な構造をきちんと解析し、オゾンの減少を量的に論じるというようなことは、なかなか誰もやってくれない。これができていない現状では物事の理解が深まったとはとても筆者には思えないのである。

シンポジウムの開期中にオゾン委員会の会合も開かれ、役員および委員の改選を行った。新しい3役は、会長に Gérard Mégie (フランス CNRS)、副会長に Alvin Miller (NOAA ワシントン DC)、幹事(事務総長)に Rumen Bojkov (カナダ, AES, WMO 事務局へ出向中)と決った。この3人に前会長の Julius Chang (米国 SUNY/ASRC) が加わって執行部を構成し、向う4年間委員会をとりしきることになる。また IAMAP 規約により2期(8年間)連続して務めた委員は引退するならわしになっており(例外は認められる)、10名の委員が今回それに該当する。そこで新任も含めて、新たに計27名の委員を選びなおした。日本からは気象研の牧野行雄氏が新しいメンバーとなられた。Carlton Mateer, Dieter Ehhalt, Ivar Isaksen, Sherry Rowland と小川の5名は、すでに8年間の任期を全うしているのだが、例外規定を適用されて留任となった。実は Mateer を除く4名は、同じ IAMAP の CACGP (大気化学と地球規模汚染委員会) のメンバーでもある。オゾン委員会が対流圏にも関心を示しはじめたことの証左であろう。

なお、今回の開催地が気になるところだが、今のところ

ろ未定。「Far East で」という声があり、中国とか日本が話題に上ったが、話はそれ以上には進んでいない。日本開催を望む声は内外ともに強く、わが国関係者の願いでもあるわけだが、開催時期が IAMAP の次年に当たるということもあって、当方から提案するには至っていない。

2. 対流圏オゾン・ワークショップ報告

村松 久史*

対流圏オゾンのワークショップは8月4日から6日までの3日間行われた。シンポジウムでも半日対流圏オゾンのセッションが持たれたので、発表された論文数は多数にのぼった。

対流圏のオゾンが注目される理由はいくつか挙げられる。(a) オゾン全量の内約10%を占めるのみであるが温室効果はかなり大きい、(b) フロンによる成層圏のオゾンの減少が懸念されているが、最近対流圏内のオゾンの増加が観測されており、オゾン全量の変化に対する寄与が注目される、(c) オキシダントの主成分でありまた光化学反応の鍵である水酸基を生成する成分である、等である。

私に関心を持っている問題は

- (1) 全球的にみて地表および自由対流圏のオゾンの季節変化、トレンド等はどうか、もし地域によってそれに差があるならばその原因は何か、
 - (2) 大都市の周辺で生成されたオゾンがどの程度の範囲まで輸送されるか、
 - (3) 境界層内のオゾン生成の先駆物質またはオゾンが自由対流圏へ運ばれる過程はどの程度重要か、
 - (4) 対流圏全体のオゾンの収支をみると、成層圏からの流入、地表付近での破壊、対流圏内での光化学生成、同じく光化学消滅の4過程で決まるがそれらの寄与の大きさはどうか、
- 等である。

発表内容をみると、(1)に関連しては、人工衛星 TOMS により得られるオゾン全量から SAGE により得られる成層圏のオゾンを差し引いて対流圏のオゾン量をもとめた結果によると、30°N—30°S の緯度範囲で経度変化が認められ、アフリカの西海岸で極大、西太平洋インドネシア付近で極小であり、また7—10月の乾期にアフリカや南米で biomass burning があると、その風下で

* 京都大学防災研究所

オゾンの増加が認められる (Fishman *et al.*). Brazil のサバナでは biomass burning のためオゾンと CO が増加し (地上観測), さらにこのときオゾンは対流圏の全範囲で増加する (ゾンデ観測) ことが認められる (Kirchhoff). 航空機観測からもアフリカやブラジルでは乾期にオゾンの増加が認められる (Marenco, Browell). Ogawa・Ninong は East Java での地上オゾンに光化学生成が認められ, その原因は biomass burning としている. このように熱帯地方では biomass burning によるオゾンの増加が中心問題であった. Chatfield によると熱帯地方のオゾンの地理的, 季節的変化の原因の3分の1は雷による NO で, 残りは biomass burning であり, 大規模な風の影響は重要でない.

中緯度では, ヨーロッパのオゾンに関する報告が多かった. そのなかで mixed layer 内のオゾンの光化学生成について, 太陽放射とオゾンの関連がかなり報告されたがいずれも定性的であった. そのなかで注目すべき報告は, Volz *et al.* の “100年前 Montsouris (Pari) (1876—1886年) の平均オゾン濃度は 10 ppb で, 春に極大があり, 太陽放射量とは相関が認められなかったが, 現在 (1972—1984年) は 20—30 ppb で, 夏に極大をもち, 太陽放射量との相関がある” というものである. このことから現在のオゾンの季節変化とその増加は光化学生成によるものと主張している.

対流圏オゾンの光化学に関係する物質として NO_y (NO, NO₂, NO₃, HNO₃ 等), PAN (ペルオキシアセチルナイトレート), CO 等とオゾンとの関連についての報告が多かった. その中で最近注目されているのが PAN で, これは高度とともに NO_y に対する比が増加し (Hubler *et al.*), 春のオゾンの極大も PAN に関連している (Guicherit) との報告があった.

(2) については, 直接この問題に関する報告はなかったが, 米大陸から大西洋への NO_x (窒素酸化物) の輸送は少ないが, オゾンは海上へ輸送される (Isaksen *et al.*), また海上の境界層内では日中オゾンが破壊される (Carroll *et al.*) 等があり, continental air mass と marine air mass で区別できるくらいにオゾン濃度, NO_x に差があることが認められる (Tsuruta *et al.*, Carroll *et al.*).

(3) の関連では, 前述の biomass burning の際, 対流圏全層でオゾンの増加がみられたこと, NO, NO₂ が高度とともに増加する (Carrcll *et al.*) ことなどが言われた. しかし NO_x の濃度が上方ほど高いというのは, 上

方に source があることになり, 地上付近から運ばれるとすると, 他の形たとえば PAN のような形で運ばれて NO_x に変換される (Guicherit) ことも考えられる. しかし Fahey *et al.* によると対流圏上部の NO_y の source は, 雷と成層圏からの輸送である. Dickinson *et al.* は米大陸上空で夏・秋に境界層内のオゾン先駆物質が対流活動等で自由対流圏に運ばれオゾンが生成されることを観測で確かめたが, 同時に成層圏起源のオゾンで占められる領域も存在すると報告した.

(4) について, 成層圏から対流圏へのオゾンの流入に関連する報告としては, 大西洋上の 83°N—76°S の10年間の地上オゾンの緯度分布をみると成層圏から対流圏へオゾンの流入の起こりやすい場所で濃度の極大がみられ, また ITCZ 内で対流活動に伴い成層圏からの流入によるオゾンの極大がしばしば観測される (Winkler), cut-off low に伴い成層圏から対流圏へオゾンが輸送されるが, その量は1回の event で北半球平均の対流圏のオゾン量の16%に及ぶ (Vaughan・Price), 対流圏中・上部の冬・春のオゾンの長期変動は, 圏界面の沈み込みに伴う成層圏からの輸送で説明される (Muramatsu), 等があった. 地表付近でのオゾンの破壊に関しては, まとまった報告としては植生によって破壊の速さが異なる (Matt・Womack) ことくらいであった.

光化学生成過程に関しては, 前に述べたように多くの報告があったが, 光化学消滅過程は生成過程ほど注目されていないようで, 大西洋上では 15°S に地表オゾンの極小があり, そこでの光化学破壊の時定数は10日である (Smith *et al.*), 南半球で夏にオゾンの極小がみられるのは光化学消滅反応による (Winkler), 前に述べたが海洋上の境界層内で光化学消滅反応が認められる (Carroll), 等である.

4 過程を考慮にいたした3次元のモデル (大西洋を中心として赤道—北極, 太平洋—東ヨーロッパ, 地上—100 mb の領域) による1カ月間の対流圏オゾンの収支をみると, 光化学生成と消滅の過程は弱くかつ収支ゼロで, 水平輸送で運ばれてきたオゾンが地上の dry deposition で消滅する過程が卓越するが, このモデルでは成層圏からの輸送は決定できないということである. また光化学反応過程が重要となるのは, 高さ, 水平範囲も限られた地域である (Brost *et al.*).

以上私が興味を持った問題に対していくらかの答えは得られたが, 完全にはほど遠い.

3. オゾンホール研究の課題

川平 浩二*

4年毎に開催される「オゾンシンポジウム」に、前回と今回参加する機会を得ることが出来た。4年間の変化は著しく、前回のギリシャにおけるシンポジウムでは、南極オゾンに関する発表は気象研の忠鉢氏1人であった。ところが、今回は全体の焦点が、南極オゾン変動、すなわちオゾンホールであった、と言える。このような研究対象の劇的な変化に身近に接することができたのは、研究者として喜ばしい体験であった。

今回のシンポジウムに発表された、「オゾンホール」に関する研究を聞いて印象的なことは、オゾンホール形成にフロンガスが関与していることは疑い得ない、という点である。別の見方では、オゾンホールは人間活動起源によるフロンガスが関与した現象であることから、通常の意味での「自然現象」の変動とは異なったものである、と言える。

このことを示した講演として挙げられるのは、米国のMolina (JPL) によって示された ClO dimer (Cl_2O_2) に関連したオゾン消滅反応の理論であり、米国 NOAA の Albritton 氏がまとめた、米国の南極オゾン観測キャンペーンの観測結果であった。キャンペーンの飛行機観測結果は、ClO と O_3 、 NO_2 の間に明確な逆相関の南北分布を示していた。すなわち、ClO の増加と NO_2 減少に伴い、オゾンが急激に減少している結果が、時間変化を追って示された。この事実は、極めて印象的で説得力がある結果であった。

一方、この結果を説明する理論を、Molina 自身が室内実験に基づき、次のように提案した。PSC (極成層圏雲) の水面上の反応によって放出された Cl_2 や HOCl により ClO dimer が形成され、引き続く ClO によるオゾン消滅が急激に起こることである。ClO dimer から ClO が形成されるのは太陽放射の吸収によるが、この吸収断面積の算定は研究者によって大きな差異があるが、キャンペーンの観測結果と Molina の理論の定性的一致は、オゾンホールの謎に一步も二歩も迫る内容と思えた。しかし、定量的に一致するものか否かということは、今回のミニシンポジウムではまだまだ早急な課題であり、今後急速に進められていく問題であろうと思える。

これらの結果は、オゾンホールという、これまでに出現したことのない新しい現象に対して、PSC と気体との反応という新しい反応が提案されたことを示し、今後の成層圏物理学に対する重要な問題提起でもある。したがって、ある意味では当然ながら、観測事実に対する厳しい眼が注がれる状況が出てきている。今回のシンポジウムでは、オゾンの衛星観測結果と気球による観測との比較が、米国の研究者を中心に論議された。衛星観測の結果が、年々誤差の蓄積を生ずることが明らかになっており、衛星データを用いて気候変動を推定する際に、この問題点は今後の重要な克服すべき課題となってきた。

オゾンホールに関する解明が進むと同時に、またその問題点も同時に明らかになった印象を持った。筆者の問題意識は「何故1979年頃から南極域の春季にオゾンホールが生じたのか?」というものである。これに対する答のようなものは、今回得られなかった。新しい反応によって、オゾンの急激な減少が説明できそうになってきた現在、とくに前提条件になっている PSC の存在およびこれをもたらす気温低下現象が大問題であろう。南極下部成層圏の気温が年々低下し、PSC が生ずる程低温化が何故生じたのか? これについては、オゾン減少により加熱効果が弱くなった結果という見方もあるが、しかしこれは解答としては不十分である。この気温低下については今後の重要な課題となると思われるが、このようなオゾン以外の気象要素の変動の発表が思ったより少なかったのは残念だった。

最後に、今回のシンポジウム参加に多大な御援助を頂いた、富山工業高等専門学校長、桐栄良三先生に謝意を表します。

4. 微量成分に関する研究

近藤 豊*

成層圏オゾンは O_3 と O の再結合反応以外はすべて他の微量成分、特に活性分子が関与した反応により、化学的に消失する。従って、オゾン以外の大気微量成分に関する研究が、オゾンの光化学を理解する上で本質的に重要であり、オゾンシンポジウムでも関連する多くの研究発表が行われた。以下はこの分野の発表のまとめとコメントである。紙面の関係もあり、すべての講演をカバーできていないが、アウトラインや今後の方向の一端を

* 富山工業高等専門学校

* 名古屋大学空電研究所

紹介できれば幸いである。

NO_xの観測については1985年にフランスで行われた、気球観測キャンペーン (MAP-GLOBUS Campaign) の最終結果の報告があった。GLOBUS 気球観測では、Pommereau *et al.*, Kondo *et al.*, Shibasaki *et al.*, Helten *et al.*, Naudet *et al.* の NO, NO₂, NO₃, N₂O₅ の結果が報告された。GLOBUS 地上観測として、Zander が質の高い NO₂ の赤外測定結果を可視分光測定 (Matthews, Iwagami, Pommereau) と定量的に比較した。GLOBUS 以外では、Abbas *et al.* は気球からの赤外放射観測より、NO_x(=NO+NO₂), NO_y(NO+NO₂+NO₃+N₂O₅+HNO₃+ClONO₂+...) に属する個々の分子の精度の良い測定を行っているのが注目された。また、Kondo *et al.* は上部および下部成層圏の NO の日変化および高度プロファイルを報告した。この領域の信頼できる観測データは乏しく、講演後、多くの質問を受けた。定量的には個々の観測結果の間の矛盾やモデルとの不一致は、部分的には残っているものの、NO_x の光化学に関する理解は着実に進歩したとの印象を持った。

西ドイツ原子力研究機構 (KFA) の Helten *et al.* が発表した cryogenic sampling 法による HO₂, HCHO の測定値のうち、HO₂ は新しいキャリブレーションに基づいている。しかし依然として、光化学のモデルの値より非常に大きく、この差の原因解明は問題として残された。Matthews *et al.* はニュージーランド (45°S) 上空の HCl の全量が1985年より、年率10%で増加していることを見出した。Zander も HCl をこれ以前よりスイスで測定しているが、これ程明瞭な傾向は観測されていない。今後、より多くの地点での HCl の長期的な測定が必要であるように思えた。

ハロカーボン類を含む安定な source gas の気球・ロケット観測は KFA の Schmidt, マックスプランク研究所の Fabian のグループを中心に発表され、中層大気におけるこれらの成分のデータベースが継続して作られていることが示された。また Schmidt はスウェーデン (キルナ) の冬期での source gas の濃度が中緯度と比べ、かなり低いことを見出した。これは冬期北極成層圏での平均的下降運動を強く示しており、力学的にも化学的にも興味ある結果である。また NASA の Loewenstein のグループは、波長可変ダイオードレーザーによって N₂O, CO を高速応答で直接測定するシステムを発表した。これらは既に NASA の航空機 (ER-2) に

搭載され、成層圏—対流圏交換過程やオゾンホールの研究に用いられている。

北極圏に話を戻すと、Coffey・Mankin は1988年冬期、航空機による赤外観測で NO₂, HNO₃ を含む成分の測定を行った。この冬は成層圏は比較的暖かく、化学的に特異な状態ではなかったようである。この点で北極圏は、南極とやはり様相が大きく異なっているということになる。

成層圏オゾンに関して言えば、ヨーロッパの研究者を含め、多くの人々の関心が現時点では、南極・北極の冬期—春期の光化学の解明にあり、1989年の冬を含め今後更に、航空機や気球キャンペーンが高緯度地域で計画されている。北極圏気球キャンペーンについてはヨーロッパのグループと具体的な議論ができた。現在、われわれも89年のキャンペーンの実施に向け、準備作業に入っている。

余談になるが、オゾンシンポジウムに出席した後、NOAA, NCAR の aeronomy グループを訪問した。このグループは、ER-2, DC-8 による南極・北極航空機観測に深く関与しているため、われわれの気球観測との同時測定も含め、関係する研究者と直接議論できたのは有意義であった。

5. 観測技術他——印象記——

牧野 行雄*

近年「オゾン層問題」は、国連環境計画 (UNEP) をはじめ世界気象機構 (WMO) や米国航空宇宙局 (NASA) などの国際組織や政府機関(もちろん日本も含めて)で重要性が認識されオゾンの観測・監視等の業務が強化されつつあるが、従来使用されてきたドブソン分光計やオゾンゾンデによるルーチ的な観測はオゾンに関連した研究のデータベースとして今後も依然として重要であろう。全球オゾン観測システム(GOOS)の責任者 R.Bojkov は精力的にその仕事をこなしている。また、オゾン委員会 は IGY (国際地球観測年) 30 年を記念して25名の科学者を表彰したが、その中に日本からオゾン観測網の確立等に尽力された北岡竜海、関口理郎両氏が受賞され、このような業務の重要さが評価されたといえる。もちろんこの陰には多くの研究者・技術者・観測者の永年の努力の集積があり、その基礎の上に例えば南極昭和基地での春季オゾン全量減少の報告がある。Max-Planck-Inst. (M.

* 気象研究所物理気象研究部

Schmidt) が作った小冊子 (Pioneers of Ozone Research/A Historical Survey) に「1984 S. Chubachi (Japan): First detection of the "ozone hole" in the Antarctic stratosphere (but not yet recognized)…」と紹介されていたことを付け加えておく (川平氏の項参照。なおオゾンホール発見等については「天気」1987年7月号で小川利紘氏と柴崎和夫氏が解説されている)。

観測や実験については、(すべての研究がそうであるが) 技術的問題や経費 (主として予算獲得) というハードルがあるが、それぞれ独特の技術を駆使して面白かった。Borchers, Singh, Fabian (M.P.I.) のグループは、大気球による cryogenic sampling を行っているが、今回、成層圏オゾン破壊に関連する 臭素酸化物 (BrOx) の供給源となる 人工物質ハロン (CBrClF₂, CBrF₃) の測定例を報告した。ハロンは成層圏内で 1 pptv 以下 (フロン11や12の 1/100 以下) の量しかないので、高度の濃縮技術の確立が必要とされる。cryogenic sampling は液体ヘリウム等で試料を固化しながら採取する方法で、小さな容器に大量の試料を集めうる。日本でも宇宙科学研究所 (伊藤教授ら) が中心になり大気球実験が行われている。

Helten (KFA, Jülich) らは、これに matrix isolation 法を組合せている。これは、ふつう N₂, CO₂ 等の化学的不活性ガスを固化した matrix (素地) の中に他の微量気体の分子を孤立捕捉しているため、また低温でもあるため光吸収スペクトルのバンド幅が拡がらずピークが大きくなるうえに分子間相互作用の影響も少ないなど S/N 比の改善が可能となっているもので、Helten らは HO₂ 等の活性種 (ふつうの sample では長時間経過すると破壊される) を採取し実験室の電子スピン共鳴装置 (マイクロ波吸収) で分析を行っている。

一方、太陽光とその赤外域吸収を利用する remote sensing では、化学的に安定な source gas (光化学活性種の供給源)のみならず HCl, HNO₃, NO₂ など reservoir (光化学過程の中間生成物で比較的寿命が長い) 活性種をも対象としうる 0.01 cm⁻¹ 前後の高分解能の Fourier 変換型赤外分光装置による測定が主流で、例えばフランス

CNRM の Karcher らは、1983~1984年に行った高度 11.6 km の aircraft mission (STRATOZ 3) (57°S~64°N) の結果をもとに、理論的な緯度分布と一致すること、しかし6月から既にオゾンホールと同様な chemistry の異常が 57°S 付近にみられることを示唆した。オゾンの長期的変動の研究には、この種の観測が継続される必要がある。Murcay (Denver 大学) らはニュージーランドで1985年以来定期的に観測し HCl の増加を見出している (近藤氏の項参照)。これらはフロンガスの増加と成層圏オゾンの関係を研究する上で重要な量であり、今後わが国でも取組まれるべき課題のひとつと思われる。

会場展示として、オゾンライダー等を使用されるなどポピュラーになりはじめた地元ラムダ・フィジクス社のエキシマレーザー (わが国の国公研や気象研、九大のオゾンライダーにも使われている)、カナダ Sci-Tec 社の Brewer オゾン分光計とともに、Bern 大学とスイスの2社の共同開発になる OGOS (Operational Groundbased Ozone Sensor) が動いていた。OGOS は成層圏オゾン層からの 142 GHz 放射を分光測定するもので少しくらい曇っていても自動的に観測可能という (ただし高度分解能は 8~15 km とやや劣る)。このミリ波放射分光法は、南極オゾンホールの化学効果説のひとつの根拠となっている deZafra らの ClO 観測が有名であるが、思いのほかコンパクトにまとめられて完成度が高いと思った。

シンポジウムで強い印象を受けたのは、世界のオゾン研究の community は多種多様な角度・方法をもって仕事をしていることで、それは異なる分野の科学者が独自の技術・手法をもって参加しうる開かれた community であることを意味している。人工衛星や可視紫外分光の観測も含め、こうした大気科学での先端技術の開発に日本でも既にいくつかのグループが頑張っているが、今後 GNP に見合うより一層の貢献が必要だろう——よく手入れされたドイツの緑の田園風景を眺めながら、国内における community の充実と国際化の発展を願いながら Göttingen をあとにした。