

# 国際 MAP シンポジウム及び オゾンシンポジウムに出席して\*

廣田 勇\*\* 神澤 博\*\* 長谷部 文雄\*\*

## 1. はじめに

今年の夏も欧米でいくつかの国際シンポジウムが開かれた。一口に国際学会といっても、IUGG や IAMAP, COSPAR のような大規模な総会になると、お祭りの要素がなくもないが、特定のテーマに焦点をしばったもの(参加者が100名程度、期間は数日)は、文字どおりその道のプロフェッショナル達の集りである。このような会合では、“廊下会議”と呼ばれる研究者個人間の討論も活発であるし、その結果、単にジャーナルの印刷論文を読むだけでは得られない情報の密度も増す。つまりそれこそが“シンポジウム”たる所以であろう。

ここに紹介するふたつの国際シンポジウム(MAP 及びオゾン)も、上に述べたような意味での特長を示す会議であった。良く知られているように、成層圏・中間圏の気象学は、力学・組成・放射の3本の柱を中心として、ここ10年、観測・理論の両面で目ざましい発展を遂げつつある。70年代の GARP が主として下層大気(対流圏)の観測を目標にしてきたのに対し、中層大気を目ざす MAP はいよいよ1982年からその本番がスタートする。このような背景を考え合せると、今回のふたつの国際シンポジウムの持つ意義がいっそう良く御理解いただけるであろう。

## 2. MAP シンポジウム

International Symposium on Middle Atmosphere Dynamics and Transport (中層大気力学と輸送国際会議)は、1980年7月28日より8月1日までの5日間、イリノイ大学においてイリノイ大学超高層大気物理研究

所の主催で行われた。手元にある出席者名簿で調べると、参加者総数118人。その内、米国75人、西独10人、英国7人、インド5人、フランス4人、カナダ3人以下、アイルランド、オーストラリア、ジャマイカ、スペイン、ソ連、東独、ノルウェー、プエルトリコ、ベルギー各1人となっている。日本からは我々3人の他、加藤進(京都大学工学部)、和田雅美(理化学研究所)の両氏、合せて5人であった。発表論文数およそ90編、我々に興味深かったものについて以下述べてゆこう。

初日、7月28日の午前「A. 中層大気運動の観測技術」で Gille (NCAR) が、気象衛星データの性質特徴を述べながらそれを使用したこれまでの中層大気力学研究の総合報告を行なった。ドップラーレーダーなどによる遠隔探査やロケットによる大気運動の観測に関する議論が後に続いた。午後はまず「B. 中層大気気候学」があり、Barnett (オクスフォード大学)が総合報告をした。Chen (アイオワ州立大学)は、Nimbus 5号 SCR のデータから有効位置エネルギーに相当する量を計算してその年変化を論じた。次の「C. プラネタリー波」では、Geller (マイアミ大学)がこれまでの研究をまとめた。観測的研究に関しては廣田のものが、理論的研究では松野の研究が参照されることが多かったことを付記しておこう。Hartmann (ワシントン大学)は、南半球にみられる波数2と3の東進波を傾圧不安定波と同定しうることを示唆した。Grieger (西独太陽地球物理学中央研究所)は、対流圏及び下部成層圏の定常波の構造が、上部成層圏の平均流の変化に敏感であることを示した。

翌日、7月29日午前もプラネタリー波の話が続く。Alpert (マイアミ大学)は Grieger と同様の議論をした。Andrews (プリンストン大学、現在はオクスフォード大学)は、まず小振幅の波の解析的研究において Eliassen・Palm フラックスが、シアー流中での波の伝播の記述及び波による平均流加速の計算の両方の問題に対して有効な量であることを論じ、次に GFDL 大気大循

\* Report of the International Symposium on Middle Atmosphere Dynamics and Transport and the Quadrennial International Ozone Symposium.

\*\* Isamu Hirota, Hiroshi Kanzawa and Fumio Hasebe, 京都大学理学部.

環モデルに現れたプラネタリー波の E-P フラックスによる記述を行ない、中層大気における波と平均流との相互作用の理解に対する E-P フラックスを使ったアプローチの有利な点と限界を筋道立てて論じた。Schoeberl (米海軍研究所)は、散逸する定常プラネタリー波の作るラグランジュ平均流をベータ平面上で論じ、冬季下部成層圏で極向き下向きになることを示した。この点で、瓜生および後に出てくる DeVore の結果と同じである。C.D. Rodgers (オクスフォード大学, 代読 Barnett) は、SCR と PMR のデータから波数 3 の西進する 2 日周期の温度振動を検出し、その振幅の最大が夏半球低緯度中間圏にあり、位相が高さ方向に立っていることを示して、外部ロスビー波と同定できるだろうとした。ついで、C.F. Rogers (オクスフォード大学) が、その推測を確かめようと試みていた。午前の最後に「D. モデリング」が設けられ、Mahlman (GFDL) が放射・光化学・力学過程を包含する中層大気数値モデリングの試みについて論じた。午後は、「E. 突然昇温」のセッションで、最初に Labitzke (ベルリン自由大学) が総合報告を行なった。ついで神沢は、1973年突然昇温時の平均流とプラネタリー波の振舞を論じ、波数 1 の増幅に対する平均流のプロファイルの影響と波の E-P フラックスによる記述について話した。Krüger (西独太陽地球物理学中央研究所) は 1970/71 年突然昇温時の東風加速にコリオリトルク項と水平運動量収束項のどちらが効くかを論じ、Koerner (ユタ大学) は、1975/76 年小昇温と 1976/77 年大昇温を比較検討した。Strobel (米海軍研究所) は波と平均流相互作用モデルで、地形によってプラネタリー波を励起させて突然昇温を再現する試みを行っていた。Palmer (英国気象局) は、1979 年と 1980 年の大昇温を E-P フラックスの言葉で記述し、その記述法が成層圏の力学に新しい洞察を与えることを強調した。また彼が見せてくれた 2 mb 高度場のコマ取り映画は、突然昇温という現象のダイナミックであることを印象づけた。Hsu (プリンストン大学) は、Holton の数値モデルを基にしたモデルで再現された波数 2 昇温時の空気粒子のラグランジュ運動を追跡し、子午面上に投影すると、最初低緯度にあった粒子は極向き下向きに傾いた薄い層に沿って分散してしまいが、高緯度にあったものは全体に下降することを示した。笠原 (NCAR) は、波と波の相互作用をも許すモデルで昇温を再現し、波と平均流の相互作用だけを許すモデルのそれとの相違を論じた。

7月30日午前はず「F. 赤道波」で廣田が総合報告

を行ない、赤道中間圏で 2~10 日の時間スケールを持つ赤道に捕捉された波の検出されることを示し、その波と平均流との相互作用で赤道中間圏半年振動のある一面を理解しうる可能性を示唆した。Hamilton (プリンストン大学) は、Holton・Lindzen の準 2 年振動のモデルで 2 つの波以外の波を少し加えると、その周期が敏感に変化することを示した。次に「G. 大気潮汐」があり、Lindzen (ハーヴァード大学) が総合報告を行なった後、Hamilton 氏が現実的な熱励起を与えると 1 日潮が中間圏・下部熱圏に大きな影響を及ぼしうることを示した。ライダーや流星風レーダーなどによる観測の話が続いた。午後の「H. 重力波と乱流」で、Lindzen 氏は中間圏界面付近で冬半球が暖かく夏半球の方が冷たいという現象を、対流圏に源を持つ内部重力波と平均流の相互作用で理解しうることを指摘した。

夕刻、神沢と長谷部はイリノイ大学におられる小倉義光先生に中西部の大学を案内していただいた。敷地はゆったりして芝生の緑が豊富であった。学生会館の地下に 20 レーンもあるポーリング場のあるのには驚いた。田舎の大学町には遊興施設も少ないのだろう。4~5 個のホールを持つ劇場も大学が持っていて、楽団や劇団を呼ぶとのことだった。学生夫婦専用寄宿舎の一角を訪れると、当然のことながら幼い子の手を引いた若い二人連れの姿が見られた。小倉先生は、我々が気象学の勉強したての頃熱心に読んだ「大気の科学」、「最近の気象力学」の著者である。気象学の分野で科学的名文を書く人を知った最初であった。ドルの持ち出し制限の非常にきつかった頃(今現在は無制限である)の最初の米国行の際の苦労話などを御夫婦からうかがった。

7月31日は、「I. 成層圏対流圏間の輸送」の後「J. 力学・放射・光化学過程の相互作用」があり、Hartmann が総合報告を行なった。C.F. Rogers は、Reed・German により導入された微量成分のうずフラックスの扱いを定常プラネタリー波のモデルを使って議論した。DeVore (GE) は、成長する傾圧波と定常プラネタリー波による冬の下部成層圏でのオゾンの輸送を論じ、後者による輸送が重要であることを指摘した。Fels (GFDL) は、オゾンや二酸化炭素の濃度が変わった時に温度場がどう変化するかを、大循環モデルを使って調べていた。夜は、米国以外の国から参加した人達を米国人の家庭に招いてくれた。20 人もの客を家に入れて歓迎してくれた。

最後の日、8月1日は「K. 太陽活動に対する中層大気の応答」で、Gregory (加サスカチュワン大学) が総

合報告を行なった。Schwister (西独コロニー大学) が、周期16日の波数1の波が太陽活動と強い相関を持つことを示した。最後に、「L. 将来の方向」があった。米国中西部の大学町での5日間を終え、とうもろこしと大豆の大平原の中を、オゾンシンポジウムの開催地ボルダーへと向かった。

以上ザッと会議の様態を記してきた。より正確な内容を知りたい方は、そのうちに出るであろう会議録及び Journal of Geophysical Research 特集号を参照されたい。全体を通じての感想は、気象衛星のデータを使った力学解析が豊富な内容を持ち始めてきていること、数値モデリングの方法がより具体的な問題に適用されつつあること、また両者が理論的背景を基盤に共通の言葉で語られるようになってきたことなどである。

### 3. 国際 MAP 運営委員会

MAP シンポジウムの機会を利用して、国際 MAP 運営委員会の第4回会合が計3日間にわたり開かれたので、その議論の要点を簡単に述べておく。今回の会合は Innsbruck (1978年5月)、Geneva (1979年3月)、Canberra (1979年12月) に次ぐもので、日本からは廣田勇 (IAMAP 代表)、和田雅美 (IUPAP 代表)、加藤進 (国内 MAP 委員会代表) の3名が出席した。

報告事項のうち主なものは；

- (1) 気象ロケット及び衛星観測の現状と MAP 期間中の見通し。
- (2) Pre-MAP Project (PMP) の現状報告。PMP の総まとめは1982年5月 Ottawa での COSPAR 総会の際に行なう。
- (3) National Program の報告 (8カ国)。

議決事項のうち主なものは；

- (1) MAP 実施期間 (1982~85) の再確認。ただし Upper Atmosphere Research Satellite (UARS) の打上げが1986年 (予定) なので、その有効利用のため86年以降の研究計画も考慮に入れておくべきこと。
- (2) MAP データの国際利用をはかるため、一例として IS Radar 観測に関するデータカタログを作成し MAP News Letter で周知する。
- (3) 国際プロジェクトは、5つの MAP Study Group が各国提案のナショナルプロジェクトを今年中に検討し、国際間で協力可能なテーマをいくつかピックアップ

し運営委員会に原案を提出する。運営委員会はそれを受けて、1981年夏の会合で承認決定する。

次回は1981年8月の IAGA 総会 (於エジンバラ) 及び IAMAP 総会 (於ハンブルグ) の機会に開く予定である。

### 4. オゾンシンポジウム

オゾンシンポジウム (Quadrennial International Ozone Symposium) は、8月4日から8日まで、Colorado 州 Boulder で開催された。Boulder は御存知のとおり、Colorado 大学をはじめ NCAR や NOAA ERL (Environmental Research Laboratories) 等の置かれている所であり、英国の Oxford、スイスの Arosa に次ぎオゾンにゆかりの地である。会議を主催したのは IAMAP の中の International Ozone Commission で、WMO、米国気象学会、COSPAR、NASA が共催し、NOAA の ERL、NCAR、Colorado 大学が local host を務め、Colorado 大学の Julius London 教授が中心となって会議を取り仕切った。今回の会議は、オゾンの光化学に関する Chapman の理論が発表されてちょうど50年を記念するにふさわしく、力学・大気化学・放射等オゾンに関連した幅広い分野から200編を超える論文が寄せられ、その著者の数は400人近くに達した。参加者を国別にみると、地元アメリカの他、伝統の上に着実に研究を積みあげているヨーロッパから12カ国、アジアからは初参加と思われる中国を含め6カ国、その他あわせて23カ国から200人を越える研究者が参加した。しかし、残念なことにソビエト連邦の研究者全員の参加がとりやめになってしまった。尚、日本からは我々3人の他、東京大学の小川利紘氏と巻出義紘氏 (化学)、宇宙研究所の伊藤富造氏と理化学研究所の和田雅美氏が参加した。

会議の様子をプログラム順に追って紹介しよう。第1日は「観測技術の最近の進歩」というセッションがもたれ、オゾンを精度よく測るということが依然として大きな課題として残されていることを見せつけた。まず、オゾンの世界資料センターの Mateer はその Review の中で、地上から Umkehr 法によって測定したオゾン密度と人工衛星から BUV (Backscattered Ultra Violet) によって求めたそれとが0.4程度の相関係数しかもたない事等を例に、オゾン測定における今日的課題は、data の質、とりわけ異なった測定法を用いた場合のその違いを克服して総合的に信頼性を高める解析を行なうことで

あると指摘した。こうした問題提起を受ける形で、衛星対地上、衛星対衛星の data の比較検討結果がいくつか報告された。それらのうち、NASA の Fleig らは Nimbus 4 号の BUV とソ連 M-83 のフィルターオゾン計とによるトータルオゾン測定値の時系列を比較し、M-83 の誤差の性質が1973年から1974年にかけて変化したのではないかと指摘した。長年にわたるオゾンの全球の変動を調査するにあたり、こうした事実は重要であると思われるが、ソ連の研究者の参加がなかったため、その詳細は確認できなかった。(尚、Nimbus 4 号の BUV data は処理が終わり、一般の研究者に供される段階になったとのことである。) また GDR の Feister と Spänkuch はソ連の衛星と Dobson 分光計とによるトータルオゾン測定値の比較結果を示し、「西側」からはあまり知られていないソ連でのオゾン測定の様子を垣間見せた。またベルギーの De Muer は electrochemical sonde によるオゾン鉛直分布の測定結果から、ゾンデの上昇時と下降時とでもその観測値が系統的に異なるという報告をした。このように既存の手法の検討が着実に進められる一方、新しい観測手段の開発も精力的に行なわれている。Canada の Evans らは最新の Brewer 分光計によるトータルオゾン値の精度を論じ、Waters (ジェット推進研究所) や Wilson・Schwartz はマイクロ波、ミリ波を使ったオゾン鉛直分布測定の試みを紹介した。

第2日は「data 解析の結果」の議論にあてられた。まず NOAA の Miller らは地上観測によるトータルオゾン分布と衛星によるものとの比較を中心に review を行ない、つづいて衛星 data を用いたトータルオゾンで季節変化、経年変化に関する解析が NASA の Hilsenrath らによって示された。Krueger (NASA) は Nimbus 7 号の TOMS (Total Ozone Mapping Spectrometer) の最新の data を用いて、南半球夏のトータルオゾン分布をカラーコードを用いて表現し、その日々の変動を映画にして披露した。この映画はオゾン量の等値線が波数5程度の波をなして東へ移動する様子を見事に示しており興味深かった。地上観測網を使ったトータルオゾンの長年の変動に関しては、長谷部が性質の異なる Dobson 分光計と M-83 オゾン計との data を客観的に取り扱う一方法を提示し、それを用いた解析結果のうちトータルオゾンの準2年周期振動と長周期変動とを示した。Angell・Korshover は地上観測から見積ったトータルオゾン量と Umkehr 法による 32~46 km 域のオゾン密度との変動を1979年3月までの最新の data で示し、フ

レオンによるオゾン層破壊は依然として検出されないとした。また、Wei・Wen は Dobson 分光計によるトータルオゾン測定が1978年12月から北京でも開始された事等を紹介し、「今後の中国におけるオゾン研究の発展を期待する」という座長の結びが印象的だった。更にバルーンやロケットによる data の解析結果も数多く発表され、小川・渡辺は内之浦における1970年から1979年までのロケット観測結果のまとめを発表し、他の地点における結果との比較に関して議論があった。

第3日は、オゾン以外の大気微量成分の観測に関する論文の発表があった。Chapman 理論から半世紀経たる現在、こうした微量成分の分布に関する知識なしにはオゾン分布が十分に説明され得ないことが明らかとなっている。特に人間活動によるオゾン層破壊が問題となつて以来、複雑な化学反応系をシミュレートするために微量成分の実際の分布を知ることが増々必要となつており、地道に続けられている研究の成果が発表された。

第4日は最初に光化学反応系のモデル計算結果がいくつか発表された。フロンによるオゾン層破壊の可能性が最初に指摘されたのは1974年であったが、現在ではそのようなモデル計算は、フロンだけでなく化石燃料の燃焼生成物である二酸化炭素の増大による放射収支の変化を取り込んだものに発展している。それらの例としては、Oxford の Haigh・Pyle、NASA の Callis・Natarajan 等の発表があったが、いずれもフロンと二酸化炭素の効果を couple して取り扱うことの重要性を指摘したものであった。

この日はこれに続き、「オゾンと大気大循環との相互作用」と題されたセッションがもたれた。これは気象学者がオゾンの変動に注目して以来の大問題であるが、NCAR の Gille らは Hartman・Garcia (1979) のモデル計算を念頭に、Nimbus 6 号の LRIR (Limb Radiance Inversion Radiometer) の data を用いてオゾン輸送に関する注目すべき解析結果を示した。即ち、彼らは冬季北半球のオゾン密度、温度、高度場から地衡風近似により下部成層圏から中間圏に達する領域におけるプラネタリスケールの波動によるオゾン南北輸送を求め、それが光化学に支配される領域と力学に支配される領域の間の遷移領域以下で卓越し、その高度領域は緯度に強く依存するとともに時間的にも激しく変動することを見出した。限られた期間の解析にもかかわらず、気象学的議論との結び付けは見事であり、同時に limb radiance によるオゾン測定法の優秀性をあらためて証明したとい

えよう。

最終日はオゾンと気候・太陽活動との関係がとりあげられた。印象的だったのは NASA の Keating らによる太陽活動との関連の研究であった。彼らによれば、Nimbus 4号の BUV data による全球平均トータルオゾン量の変動から平年値・半年周期振動・準2年周期振動を引き去ると、それは 10.7 cm の電磁波強度によって定義される太陽活動指数と 0.96 の相関係数をもつということである。

口頭発表のしめくくりとして、今後の課題が議論された。光化学に関しては Cambridge の Thrush や California 大学の Rowland がまとめ、ジェット推進研究所の Watson は NASA の打ち上げた衛星を reviewしながら 1986 年に打ち上げられる予定の UARS (Upper Atmosphere Research Satellite) の役割りを述べた。最後に、Van Zandt が MAP の現状報告と世界の研究者の積極的参加を訴えた。

これらの口頭発表と平行して会場の一室にポスターセッションという場が設けられた。ここには NASA が中心となり日本も参加したオゾンゾンデの国際比較観測の映画等、口頭発表には適さないものが多く展示された。休憩時間等には、ここに貼られたポスターを前に、興味をもった研究者が一对一で突っこんだ議論をしていた。また、会議場近くのプールサイドでは Dobson 分光計

や Brewer 分光計等の比較観測の実演が行なわれ、日常観測に親しんでいない著者らには興味深いものであった。

尚、このシンポジウムの proceeding は、extended abstract という形で来年の1月頃印刷される予定である。

### 5. おわりに

以上、中層大気に関連した2つの国際シンポジウムの概略をかいつまんで御紹介した。はじめにも述べたように、中層大気をより良く理解するためには、力学・組成・放射といった異った立場からのアプローチがうまくひとつにまとまってゆかねばならない。裏返して言えば、オゾンならオゾンの研究とは結局中層大気そのものの特性を知ることにつながるはずである。一見限られた特殊なテーマに思われるかも知れない MAP に関連して、このように多くの研究が国際的に活発に行われている理由も、中層大気が、少くとも80年代の大気物理学にとって、ひとつの大きな研究の宝庫であるからに他ならない。幸いにして、我が国の MAP も軌道に乗りはじめた。これを契機として、今後ますますこの分野の研究を発展させたいものである。

最後に、我々3名がこれらのシンポジウムに出席する機会を与えて下さった山元龍三郎教授に深い感謝の意を表したい。