

「中層大気に関する国際シンポジウム」の報告*

深尾昌一郎・山中大学**

1. はじめに

標記のシンポジウムが、京都大学超高層電波研究センター主催、SCOSTEP (国際太陽地球系物理学委員会)、URSI (国際電波科学連合)、IAMAP (国際気象学大気物理学協会)、IAGA (国際地球電磁気学超高層物理学協会)、地球電磁気・地球惑星圏学会 (SGEPSS) ならびに本学会の協賛により、1992年3月23日~27日の5日間にわたり京都市内の新・都ホテルで開催された。本シンポジウムは、新プログラム「アジア・太平洋地域を中心とする地球環境変動の研究」の2年次終了時において、サブグループ1「アジア・太平洋地域を中心とする気候変動機構の研究」の重要研究課題の一つである中層大気科学の研究進展状況を、国際的視野において一望するために企画され、実施に際しては平成3年度文部省国際シンポジウム開催経費が交付された。この新プログラムは、STEP (太陽地球系エネルギー国際協同研究計画) の課題Ⅳ (中層大気上下結合) およびⅤ (太陽変動・大気応答) の国内研究課題をも包含している。

本シンポジウムの企画・運営は、加藤進教授 (現・名誉教授) を委員長とし内外15名の権威者を委員として構成された組織委員会、および内外11名の第一線研究者によるプログラム委員会によって行なわれた。また会場などの準備作業は同センター、理学部地球物理学教室の教職員・秘書・大学院生を中心とするメンバーによって行なわれた。最終的な出席者数は153名 (国内97名、国外13ヶ国56名) であり、発表論文数は130件 (特別講演1件、招待講演17件、他の口頭発表69件、ポスター発表43件) であった。会期前夜のレセプションでは井村裕夫京大総長ほか、初日午前に行われた開会式では飯田和郎文

部省課長補佐ほか、また3日目の夜に行なわれたバンケットでは W.E. Gordon ICSU (国際学術連合) 副会長 (米国ライス大学名誉教授) ほか祝辞を賜った。

以下、2~6節に口頭発表論文の概要をまとめる (座長・発表者敬称と共著者名は略す)。なお、全ての発表論文は Abstract 冊子に掲載されており (残部が少々あるので御希望の方は深尾まで御一報頂きたい)、また一部は *J. Atmos. Terr. Phys.* の特集号に収録される予定である。

2. 力学的素過程

初日(23日)午前には開会式に引き続いて、中層~超高層大気における重力波研究の開拓者である C.O. Hines が、「中層大気における種々の波動とそれらの相互作用」と題する、1時間におたる特別講演を行なった (座長: S.A. Bowhill)。これは大御所としてのレビューというよりもむしろ、最近再び第一線に復帰した彼自身の主張する波動間相互作用論に力点を置いた、迫力あふれる熱弁であった。

同日午後から第2日(24日)午前にかけて、「重力波と乱流」に関する3つのセッションが組まれた。最初の「ケーススタディとスペクトル」のセッション (座長: R.A. Vincent) では、まず深尾が、MU レーダー観測グループを代表して、中層大気の波動と乱流に関する観測的研究全般のレビュー (招待講演) を行なった。先輩格の EISCAT (欧州共同大型レーダー) 所長 J. Röttger の、極域中間圏夏季エコー (PMSE) との長周期波動あるいは電場との関係に関する発表を挟んで、MU レーダーで観測された中間圏 (村岡良和) あるいは下部成層圏 (佐藤薫) の慣性重力波の振舞が次々と報告された。佐藤の講演では、次のセッションの内容とつながる、パワーや運動量フラックスの季節変化とこれを踏まえた発生源の考察に力点が置かれた。また T.E. VanZandt は、観測された中層大気鉛直波数スペクトルを彼自身の飽和

* A report on the International Symposium on Middle Atmosphere Science, Kyoto, 23-27 March 1992.

** S. Fukao and M.D. Yamanaka, 京都大学超高層電波研究センター。

重力波モデルと比較した。

第二の「気候学と発生源」セッションでは、座長 D.C. Fritts の重力波発生源やその変動度に関するレビュー(招待講演)に続き、中間圏重力波に関する信楽・Adelaide・Saskatoon の地理的比較(中村卓司)、あるいは長期間の MU レーダー観測による中層大気重力波活動度の季節変化(村山泰啓)が発表された。また理論的側面としては、重力波活動度と平均流シアとの相互作用(F.S. Kuo)、対流圏スコールラインによる成層圏重力波生成の数値実験(J.R. Holton)(招待講演)、観測された卓越波動要素の分布を用いた重力波効果の定式化(山中)が報告された。

第三の「新しい観測技術」セッション(座長: R.F. Woodman)では、中層大気鉛直流・バイアス・乱流構造と波動の関係の観測方法(M.F. Larsen)(山本衛が代読)、空間的・時間的にランダムなパターンの真の鉛直流の決定法(Woodman)、MU レーダー/RASS を用いた温度変動の観測(足立樹泰)、1990年10月にインド Gadanki に建設された大型レーダーによる対流圏界面付近の観測結果速報(A.R. Jain)が発表された。

一方、第2日午後の後半に行なわれた「潮汐と惑星波」についてのセッションでは、座長の宮原三郎による中層大気大循環モデルで再現された潮汐波に始まり、太陽非同期日周潮の観測と大循環モデル計算との比較(谷貝勇)、インド Trivandrum 上空の高度 80~105 km 領域における潮汐風(K. Rajeev)、中間圏界面高度における惑星波の存在下での潮汐運動(A. Ebel)、極渦の時間発展に関する数値実験(余田成男)、成層圏バシレーションに対する惑星波の非線形相互作用(牛丸真司)、高い水平分解能($1^\circ \times 1^\circ$)をもつ大循環モデル(GFDL-SKYHI)による成層圏突然昇温と極向き物質輸送の再現(木田秀次)、突然昇温に対する低緯度中層大気の応答(X. Zhang)などが次々と発表された。

これら波動を中心とした力学的素過程に関する諸研究では、京大 MU レーダーなど1980年代以来わが国に蓄積された最先端観測技術の成果のみならず、並行して推進された理論やモデリングの研究結果を踏まえた解析結果など、我国の中層大気力学における先進性が遺憾なく発揮された。

3. 化学的素過程

第2日午後には、「オゾンと微量成分」に関する2つのセッションがあった。まず「成層圏」については(座

長: B.A. Boville)、衛星観測に基づく帯状平均オゾン変動度のグローバルパターン(W.J. Randel)、化学・放射を取り入れた NCAR の大循環モデルで再現された成層圏オゾン(P.J. Rasch)あるいは亜酸化窒素・メタン(Boville)の分布、西太平洋・東南アジア上空のオゾン極小を引き起こす総観規模気象状況に関する考察(L.S. Hingane)、オゾン・温度のライダー観測(中根英昭)、オゾンのミリ波観測(落合啓)、Hawaii におけるオゾン・メタン・亜酸化窒素のレーザーヘテロダイナ分光計観測(岡野章一)が発表された。

次に「中間圏およびトピックス」(座長: 岩坂泰信)として、極域中間圏雲(夜光雲)氷粒子核形成を電子再結合を伴う陽子の水とで説明する試み(杉山卓也)の後、インドにおける研究が、ロケットによる一酸化窒素(K.S. Zalpuri)、気球によるハロゲン化炭化水素(S. Lal)、地上観測による二酸化窒素(M. Lal)、2次元モデルによる成層圏陽イオン組成(G. Beig)と続けて報告された。

第3日(25日)午前前半には「エアロゾルの化学効果」のセッション(座長: G. Brasseur)があり、成層圏を中心とした化学過程・物質循環におけるエアロゾルの効果に関する岩坂のレビュー(招待講演)に続いて、1991年6月の Pinatubo 山噴火とその効果に関する論文が次々と発表された。すなわち成層圏昇温(K. Labitzke)、中国での観測と解析(D. Lu)、同時期に噴火した雲仙普賢岳の影響をも含めたインド上空の夕焼けや朝焼けの観測(D.K. Chakrabarti)、日本におけるライダー観測(岩坂)などである。

以上の成分化学に関する素過程の諸研究でも、1980年代以来蓄積された最先端観測技術の成果が多く盛り込まれたが、さらに力学輸送過程との結合やグローバル大気環境変動の一環としての認識が進んだことが、例えば6年半前の京都 MAP シンポジウムの頃と比べて特徴的である。Pinatubo 噴火については同日日程で Hawaii で国際会議が持たれたにも拘らず、質の高い議論が展開できてまずまず成功であった。

4. グローバル観測

第3日午後後半には、1991年9月12日に打上げられた「高層大気観測衛星 UARS」に関するセッションが、座長 M.A. Geller のイントロダクションに続いて行なわれた。この衛星の大きなセールスポイントである風速観測としては、HRDI(高分解能 Doppler 撮像装置)による成層圏領域(V.J. Abreu)ならびに中間圏~下部

熱圏領域 (P.B. Hays), WINDII (風速測定用干渉計) による下〜中部熱圏領域 (G.G. Shepherd) の観測結果速報が報告された。また組成観測としては、MLS (マイクロ波地球周縁観測装置) による成層圏オゾン・一酸化塩素 (ClO) の分布が3次元化学力学結合モデルと比較され (W.L. Grose), HALOE (ハロゲン吸収線太陽掩蔽測定装置) による HCl, HF 等の結果速報 (J.H. Park) も発表された。さらに今後の UARS データ交換・公開による共同研究推進を目的として、4日目の夜にワークショップ (コンビナー: Geller) が持たれた。

第4日 (26日) 午前には、まず「北極と南極との相似点と類似点」のセッション (座長: 神沢博) があり、冬季北極域成層圏で観測された反応性窒素の解離 (近藤豊) (招待講演)、冬季および春季の南極域成層圏を浮遊した極域周回気球 (PPB) の航跡解析 (神沢), 南極域の下部および中部成層圏における気温変化傾向の逆位相関係 (川平浩二), 成層圏極渦と南極大陸斜面風 (J. Egger) が発表された。

これに続いて行なわれた「グローバルネットワーク」のセッションでは、座長 D. Offerman による STEP 副計画 DYANA (大気力学観測ネットワーク) キャンペーン (1990年1〜3月) の結果報告 (招待講演)、DYANA 期間の内之浦 ロケットゾンデ観測による中層大気重力波の特性 (津田敏隆) の他、インド亜大陸上空における温室効果ガスを含む大気微量成分 (A.P. Mitra), ウィンドプロファイラーネットワークを用いた熱帯域風速場の観測 (K.S. Gage) (招待講演)、計画中の赤道レーダーと国際赤道大気研究センター (加藤) などが発表された。

また同日午後前半には、「赤道中層大気」のセッション (座長: B.B. Balsley) があり、Christmas 島に設置した分反射レーダー観測による赤道中間圏〜下部熱圏風速変動 (Vincent) (招待講演) に続き、ペルー Jicamarca レーダーによる上部成層圏鉛直流 (前川泰之), インドネシアにおけるラジオゾンデ観測による赤道波・重力波 (津田), ペルー Piura ウィンドプロファイラーによる波動状鉛直流変動 (Balsley) など、未知の赤道域に関する最新の結果が次々と明らかにされた。このうち前川のもは、この種のレーダーでギャップ領域と呼ばれた上部成層圏高度に初めて観測の可能性を見出したものである。その他、ECMWF 客観解析データに基づく赤道波生成機構の研究 (V. Magana) 赤道波の放射冷却源衰の計算 (L. Vijayan) が報告された。

以上のようなグローバル観測は、最近のいわゆる地球環境問題への社会的注目とともにクローズアップされている。前の2つの節で紹介したような各素過程に関する観測手段の確立と研究の蓄積が進み、東西冷戦の危機が払拭された今こそ、残る南北問題を克服し、かつてない規模・内容の本格的なグローバル観測を展開することが、研究面からも大いに期待されるところである。

5. 経年変動

第4日午後後半には、「赤道と中高緯度との準2年周期振動 (QBO)」のセッション (座長: 廣田勇) があり、数値実験で得られた赤道域準2年周期振動における重力波の重要性 (高橋正明) (招待講演)、赤道下部成層圏 Kelvin 波活動度の QBO と同期した長期変動 (塩谷雅人), 北半球中緯度帯におけるオゾン気柱量の経年変動 (J.W. Krzyżcin), オゾン気柱量および表面海水温の経年変動 (E.A. Jadin), 表面海水温, 赤道波と QBO の3者の関係 (Geller) (招待講演) が発表された。

最終日 (27日) 午前には、まず「中層大気的气候変動」のセッション (座長: Labitzke) があり、成層圏極夜ジェットの対流圏大循環に対する影響に関する大循環モデルを用いた研究 (小寺邦彦) (招待講演)、成層圏大循環の長期変動と CIRA 86 モデルとの比較 (廣岡俊彦), 南半球成層圏大循環の経年変動 (下田直樹), 大気大循環モデルで再現された中層大気大循環の年々変動 (千葉長), 再現された気候における鉛直分解能改良の効果 (柴田清孝), 人為起源気候変動要因とこれに関連した放射過程 (中島映至) (招待講演) が報告された。

続いて「10年程度の周期振動」のセッション (座長: M.L. Chanin) があり、北半球成層圏における10〜12年周期振動 (Labitzke) (招待講演)、12年間の統計に基づく成層圏大循環の経年変動度 (山崎孝治), 太陽紫外線に起因する成層圏変動 (L.L. Hood), 成層圏オゾンの27日周期太陽紫外線変動に対する応答 (S. Chandra) が発表された。

何れも MAP 期間以後の観測の継続と、データ解析の進展を踏まえてこそ得られた研究成果である。一旦は解決したかに見えていた QBO への新たな謎や、未だエレガントな説明の欠如している10年程度以上の長期変動など、観測のさらなる拡大・継続とともに、再び腕利きの理論家の登場を待つ時代が到来したように思える。

6. 大気圏上下結合

最終日午後には、まず「成層圏対流圏結合」のセッション（座長：田中浩）があり、成層圏対流圏大気交換モニターのためのライダー技術の最近の発展（Chanin）（招待講演）、レーザーヘテロダイナミ分光計で観測された対流圏界面フォールディングに伴うオゾンの変動（田口真）、対流圏界面フォールディングを通じた成層圏エアロゾルの対流圏への輸送（大和政彦）、赤道域におけるオゾン気柱量経年変化における子午面循環と対流圏界面変動の効果（長谷部文雄）、大気の化学組成における生物圏の役割（Brasseur）（招待講演）が発表された。なお関連する研究の推進のために、STEB（成層圏対流圏大気交換と生物圏との相互作用）ワークショップ（コンピーナー：田中）が、会期終了翌日（28日）に場所を芝蘭会館に移して行なわれた。

シンポジウム最後のセッションは「中間圏熱圏結合」（座長：Mitra）で、下部熱圏中間圏結合と EISCAT で観測された中間圏の諸過程（Röttger）（招待講演）、流星レーダー観測に基づく北半球中緯度中間圏界面～下部熱圏の力学レジーム（B.L. Kashcheyev）、下部熱圏の光化学に関するレビュー（A. Danilov）（招待講演）、下部熱圏でのオゾンの振舞における時間・空間スケールの制御（Y.W. Chen）、Pinatubo 山噴火で起こされた日本上空の電離圏擾乱（五十嵐喜良）が報告された。

これら大気圏上下結合に関する諸研究と先に述べたグローバルあるいは長期の変動の議論を通じて、1980年代における未知領域探査志向あるいは発見的時代としての中層大気科学から「地球環境システムを構成する重要な一部分としての中層大気力学・化学プロセス」という視点が明確に打ち出された。この視点は、STEP さらには IGBP（地球圏生物圏国際協同研究）における中層大気研究の推進にも、極めて大きく貢献するものであることが明らかである。

7. おわりに

以上で紹介した口頭発表以外に、中日午後には1論文2分という厳しい条件で次々と概要説明（中層大気分野にわたる40件以上の論文を1時間半で眺めるといふこの一見無謀な試みは、論文や発表者の質が高かったこともあり、聴衆を飽きさせずに予想外に好評であった）が

行われた後、「ポスター講演」が行われた。また先に触れた UARS や STEB に関するワークショップ以外にも、会期終了の翌々日（29日）には信楽 MU 観測所見学会が開催されたほか、本会議と並行して多くの打ち合せや会合が開催された。

本シンポジウムの講演メットと予稿集印刷の間にはソ連の消滅という大きな歴史的出来事があったが、苦しい研究環境の中からロシアとウクライナから計4名が参加して講演し、発表を希望しながら出席ができなかった（または間に合わなかった）論文の大半もポスターで代理発表して頂くことができた。しかしこれらと在日中の人を除き旧東欧圏からの出席は皆無であり、またアジア圏からも論文発表者は中国・インド・台湾からのみであった。これらの研究者の参加には末尾に述べる各財団の助成金による所が大きかったのであるが、どうしても雑誌等でコミュニケーションの豊富な米国や西欧諸国に偏りがちな世界の研究動向に対する我々の意識を少なからず変えさせるものであり、その意味でも十分な成果が得られたと言える。今後も我が国で国際会議を開催する機会はどんどん増えると思われるが、グローバルな大気圏の把握と理解のためにも、このような旅費援助の考慮は是非とも必要であると感じた次第である。

本シンポジウム企画の一つの目的は、実は会期終了から1週間後の加藤教授の停年退官を記念することであった。バンケットの際の Gordon 教授の「夢と歴史」と題するテーブルスピーチでは、1950年代の大気潮汐論の開拓から1980年代の MU レーダー建設に至る同教授の「夢」が、まさに中層大気科学の「歴史」を作り上げたこと、それを支えた京子夫人の素晴らしさ、赤道レーダーに象徴される新たな夢の実現へ向けての強い願いなどが語られ、出席者全員に深い感動を与えるものであった。

本シンポジウム開催に当たっては、本稿冒頭に記した各学術組織・学会の他に、多くの方々に御尽力を賜った。特に電気通信普及財団、国際コミュニケーション基金、井上科学振興財団、鹿島学術振興財団、東レ学術振興財団、村田学術振興財団、カシオ科学振興財団、ならびに三菱電機株式会社、株式会社大林組に賜った多大の御支援に対して、実行委員会を代表して深く御礼申し上げる次第である。