

## 日米セミナー「力学・放射・化学過程を通しての 対流圏と成層圏の結合」の報告\*

余 田 成 男\*\*

### 1. はじめに

平成13年3月13日(火)から17日(土)まで京都市国際交流会館において、日本学術振興会と米国国立科学財団(NSF)の共催、および、文部科学省平成12年度科学研究費補助金特定領域研究(B)「成層圏変動と気候」(領域代表者：宮原三郎九州大学教授)と京都大学教育研究振興財団の後援により、平成12年度日米科学協力事業セミナー「力学・放射・化学過程を通しての対流圏と成層圏の結合」を開催した。米国大気研究センター(NCAR)のWilliam Randelと筆者が責任者となって準備し、日本から24名、米国から18名、その他の国から6名、合計48名の正式参加者を迎えた。さらに、日本のオブザーバー27名を加えて、総計75名が参加するセミナーを開いた。

このセミナーの目的は、対流圏と成層圏の力学的、放射的および化学的な結合に対する理解を深めることである。とくに、季節内変動から1年周期変化、年々変動までのいくつかの特徴的時間スケールをもつ結合過程を系統的に把握し、総合的に理解することを目的とした。5日間にわたるセミナーでは、(1)概観と大気大循環モデル(GCM)による研究、(2)物質輸送と化学、(3)大気波動、(4)季節内変動と年々変動、の4つのセッションを設け、十分な時間をかけて研究発表と討論を行った。前2つは、力学・放射・化学過程の絡みに注目した内容であり、後2つは、力学的な結合過程に重きを置いて、変動の時間規模に着目した内容となっている。また、中日には、午前と午後それぞれ「日米若手交流」と「廣田教授と旧友たち」の

ベシカルセッションを開いた。21世紀を担う世代、20世紀後半を支えてきた世代が競演する1日となった。

### 2. 対流圏-成層圏域での力学・放射・化学過程の絡み

まず、Shepherd(カナダ、トロント大学)が、「対流圏-成層圏結合の今日の問題」という題目で、本セミナーの目的を概観するレビュー講演を行った。下部成層圏-上部対流圏領域が気候に及ぼす影響と、成層圏全域として気候に及ぼす影響に別けて今日的な問題を列挙した。特に、「対流圏界面の維持」、「圏界面を通しての輸送と混合」、「赤道域の上昇流と脱水過程」、「成層圏大気波動の作用」、「極域変動」の重要性を指摘した。引続いて、各種GCMを用いた対流圏-成層圏結合過程の研究発表があった。最近の成層圏域を陽に含むGCMは、複雑な化学過程をモデルの内部過程として包含するものが主流となっている。Ramaswamy(NOAA/GFDL、プリンストン大学)は、「SKIHI」モデルを用いて、温室効果気体、オゾン、火山性エアロゾル、等の経年変化に対する大気の応答を丁寧に調べた結果を報告した。高橋(東京大学)は、より精密な化学過程を気候システム研究センター国立環境研究所(CCSR-NIES)GCMに組み込み、ピナツボ火山噴火の影響実験やオゾンホール実験における亜硫酸ガスの重要性を指摘した。Rind(NASA/GISS)は、このような各種気候強制に対する大気応答が惑星規模波動に顕著に現れ、いずれも「極域環状変動」のパターンを示すことを指摘した。また、廣岡(九州大学)は、簡略化したオゾンホールGCM実験を繰り返し、50アンサンブルの結果をもとに極域での内部変動の重要性を示した。Boville(NCAR)は、NCARの気候モデルCCM3をベースにした中層大気気候モデルやさらに下部熱圏までも含む全大気気候モデルのパフォーマンスを紹介し、Scinocca(カナダ、CCCma)は、カナ

\* Report on the Japan-US seminar "Coupling of the troposphere and stratosphere by dynamical, radiative and chemical processes"

\*\* Shigeo Yoden, 京都大学大学院理学研究科,  
yoden@kugi.kyoto-u.ac.jp

© 2001 日本気象学会

ダの中層大気 GCM に組み込む重力波パラメタリゼーションの特質を比較した。これらの先端的な GCM を用いた研究に対して、向川（北海道大学）は、従来の CCSR-NIES モデルを用いた亜熱帯ジェットコアとストームトラックの形成に関する数値実験の報告をした。下端境界条件として与える海面温度の分布をいろいろ変えて実験を繰り返すことにより、それらの形成には熱帯域の東西非一様性が重要であることを明瞭に示した。力学的な理解を深めるためには、どのように GCM を使えば良いかを具体的に示した好例である。

第 2 セッションの主題は、力学と化学の結合である。まず、第一人者の Plumb (マサチューセッツ工科大学) が包括的レビューを行った。成層圏域の物質輸送に関わる惑星波動の 2 つの役割 (速い準水平的な混合, および、波動に誘導された子午面循環によるゆっくりとした引っくり返し) を指摘し、中間圏域での内部重力波、対流圏域での総観規模擾乱の同様な役割にも言及した。また、大気のラグランジュ的運動を認識・理解するうえで大気微量成分の分布観測が重要な束縛条件を課していることを、成層圏冬季周極渦や赤道域の研究例をもとに紹介した。近藤 (東京大学)、林田 (奈良女子大学)、神沢 (国立環境研究所) は、日本の地球観測衛星「みどり」に搭載された ILAS の観測データを中心に用いて、それぞれ、成層圏極渦内の脱室過程、成層圏エアロゾルと極域成層圏雲の変動、および、極渦の空間構造と変動、に関する研究成果を発表した。ILAS による日本独自の大気組成観測が極域の興味深いデータをもたらし、それが研究コミュニティの良い連携をつくり、世界にアピールできる研究成果がどんどん出つつあることを顕示した。Haynes (英国, ケンブリッジ大学) は、対流圏界面域での物質輸送・混合過程について述べ、テスト・トレーサーの移流実験データをもとに「実質的拡散率」を求めて圏界面の新たな認識手段とすることを提案した。Boering (カリフォルニア大学パークレイ校)、塩谷 (北海道大学) は、それぞれ、大気微量成分の飛行機観測や地上からのゾンデ観測の結果をもとに、対流圏界面を通しての物質輸送の実体に迫る研究成果を発表した。また、Rosenlof (NOAA/AL)、Randel (NCAR) は、長期間の衛星観測データや客観解析データをもとに、それぞれ、水蒸気やオゾンのトレンド・年々変動の解析結果について報告した。これらの変動が対流圏擾乱の活動度の変動とどのように関連しているか、いま、新たな興味で盛んに調べられているところである。

### 3. 力学的な結合過程

大気波動による対流圏-成層圏結合過程が、第 3 セッションの主題である。Holton (ワシントン大学) は、赤道ケルビン波について、堀之内 (京都大学) は、赤道域の内部重力波について発表した。また、津田 (京都大学) は、GPS 衛星を用いた重力波の全球分布の解析について、佐藤 (国立極地研究所) は、ゾンデ観測に基づく極域の重力波について発表した。堀之内は、世界各国から集めた中層大気 GCM の時間積分結果の相互比較を行い、モデル内で励起される積雲対流起源の重力波の波数振動数特性が、用いられた積雲パラメタリゼーションに依存して大きく異なることを指摘した。その結果として、赤道成層圏域での波動-帯状流相互作用の様子もモデルによって大きく異なっている。他の 3 人の講演内容は観測データ解析であるが、新たな観測により、赤道域や極域、あるいは全球におよぶ高周波大気波動の動態がより詳細に明らかにされつつあることを示した。これらの大気波動の作用は中層大気循環の形成過程を考える上でも重要な要素であり、解析結果はそのための新たな基本情報を提供した。

第 4 セッションでは、おもに帯状流や惑星波動を介しての大気循環の季節内変動と年々変動について議論した。余田 (京都大学) は、理想化した大気循環力学モデルを用いたパラメータ走査数値実験を紹介した。たとえ外部条件が厳密に一年周期変化する系でも、対流圏で強制される惑星規模波動の成層圏域への伝播を介して顕著な季節内変動・年々変動が生じ得ることを指摘し、季節内変動の大きい時期が惑星波強制のパラメータに依存して、春先から真冬へとシフトすることを明らかにした。一方、Choi (韓国, ソウル大学) と Hitchman (ウィスコンシン大学マディソン校) は、それぞれ、残差子午面循環や対流圏界面の状況が赤道域の準 2 年周期振動の変調をうけることをデータ解析により明らかにした。また、長期間の全球解析データを用いて、Hsu (中華民国, 台湾大学) と Waugh (ジョンホプキンス大学) は、それぞれ、成層圏極渦の季節内変動および年々変動の特徴についてユニークな解析を行なった。

最終日の第 4 セッション後半では、最近特に話題になっている極域環状変動について集中的に議論した。まず、この話題の火付け役となった Wallace (ワシントン大学) が、自分達の研究レビューを行ない、帯状成分の変動であることを強調して、北大西洋振動 (NAO) との相違点を述べた。小寺 (気象研究所) は、



第1図 「廣田教授と旧友たち」。左より、松野太郎 東京大学名誉教授、加藤 進 京都大学名誉教授、Mike Wallace ワシントン大学教授、Jim Holton ワシントン大学教授、廣田 勇 京都大学教授、Matt Hitchman ウィスコンシン大学教授、Alan Plumb マサチューセッツ工科大学教授、宮原三郎 九州大学教授、田中 浩 名古屋大学教授。

成層圏-対流圏の深い結合系の振動であることを指摘し、成層圏極夜ジェットの変動成分は本質的に一か月程度の時間遅れを伴うものであると主張した。また、Baldwin (NWRA) は、極端な気象イベントの長期予報という実用的な立場から、極域環状変動が成層圏-対流圏を通してどのように結び付いているかをデータ解析により示した。一方、Hurrell (NCAR) は、NAOが熱帯域の海面温度（特にインド洋と太平洋域）に関連していることを指摘した。太平洋-北米変動や極域環状変動との関連が気になるところである。最後に、Karoly (オーストラリア、モナシュ大学) は南半球の成層圏-対流圏結合過程に関する講演を行ない、5日間の実質的なまとめを行なった。対流圏と成層圏は力学・放射・化学過程を通して双方向に影響を及ぼしているが、その様子は南北両半球で必ずしも同じではなく、2つの独立した実験とみなすことができる。このような両半球の対比的な研究が我々の理解をさらに深めるのに有効であることを強調した。

#### 4. スペシャルセッション

中日午前の「日米若手交流」では、両国から5人ずつのポストドク世代研究者が交互に登壇し、それぞれの最新成果を発表した。メンバーは、米国側は、Anderson (ハンプトン大学)、Gettelman (NCAR)、Jones (ハーバード大学)、Sherwood (エール大学)、Thompson (コ

ロラド州立大学)、日本側は、赤堀 (名古屋大学)、藤原 (北海道大学)、河本 (宇宙開発事業団)、内藤 (京都大学)、山森 (東京大学)、である。ここから将来のリーダーが輩出することを期待する。

午後には、廣田 勇 京都大学教授の停年退官を記念して「廣田教授と旧友たち」と題するスペシャルセッションを開いた。Labitzke (ドイツ、ベルリン自由大学) は残念ながら出席出来なくなり、メッセージの朗読だけとなったが、およそ廣田教授と知りあった順に、松野 (地球フロンティア)、Wallace、田中 (名古屋大学)、Holton、加藤 (京都大学名誉教授)、Plumb、宮原 (九州大学)、Hitchman が、それぞれの私的な交流の思い出もまじえて、中層大気科学の創成期—過去40年を回想した(第1図)。締め括りは廣田教授自身が1時間にわたり“Earlier days of equatorial middle atmosphere studies—personal retrospective—”の特別講演をおこなった。

#### 5. おわりに

中層大気科学の草分け世代から筆者の属する第2世代、さらに若手の次世代まで幅広い参加者を得て、世代間の研究交流をはかることができた。一般講演の時間を40分ずつとり、十分に密度の高い議論ができたと思っている。日米の研究者に加えて、欧州からHaynes、北米(米国以外)からShepherdとScinocca、

南半球から Karoly, アジアから Choi と Hsu と、世界の活躍する第2世代も招き、水準の高い集会を目指した。日本側の発表もそれぞれに世界に伍する内容であったと思う。この分野では、日本人草分け世代が大活躍した恩恵もあり、対等に議論できる実力を持ち気構えないでも交流できる世代が育っている。また、日本側オブザーバーもそれぞれ今回のテーマに関連するポスターを掲示し、コーヒーブレイクや昼食時間に盛んに議論し研究交流を行なった。彼らの研究を世界の一流の研究者達に紹介できたことは、良い経験になったであろう。

セミナー初日の夕方には略式の歓迎レセプションを開き、中日のスペシャルセッションの後には、近くの湯豆腐料理店でグループ夕食会を開催した。セミナー参加者に同伴者を交えて70名余りが参加した。まず、加藤進京都大学名誉教授の音頭で乾杯し、京料理を楽しんだ。参加者全員の紹介とショートスピーチの後、有志による歌唱、手品、折り紙講習などで交歓した。また、最終日の全講演が終了した後、希望者による東山界隈散策を行なった。

ポスター25件のショートアブストラクトも含めた全講演のアブストラクト集が残っているので、送付希望者は筆者まで連絡されたい。あるいは、このセミナーのホームページ (<http://www-mete.kugi.kyoto-u.ac.jp/Kyoto2001/>)を参照のこと。また、このセミナーで発表された研究成果を中心に気象集誌特別号を編集し、2002年始めに発行する予定で準備を進めている。最後に、廣田研究室の秘書、江戸領子さんには、このセミナーの準備段階から、ホームページの作成、ホテルのアレンジ等々の沢山の仕事を、またセミナー期間中は受付係として裏方の仕事を献身的にやって頂いた。彼女の働きがなければ、この集会の成功はなかったと思う。ここに記して感謝する。

#### 略語一覧

CCCma : Canadian Centre for Climate Modelling and Analysis (カナダ気候モデリング解析センター; <http://www.cccma.bc.ec.gc.ca/>)

CCM3 : NCAR Community Climate Model version 3 (NCAR 共用気候モデル第3版; <http://www.cgd.ucar.edu/cms/ccm3/>)

CCSR : Center for Climate System Research (東京大学気候システム研究センター; <http://www.ccsr.u-tokyo.ac.jp/>)

GCM : General Circulation Model (大気大循環モデル)

GPS : Global Positioning System (全球測位システム)

ILAS : Improved Limb Atmospheric Spectrometer (改良型大気周縁赤外分光計; <http://www-ilas.nies.go.jp/>)

NAO : North Atlantic Oscillation (北大西洋振動)

NASA/GISS : National Aeronautics and Space Administration/Goddard Institute for Space Studies (米国航空宇宙局ゴダード宇宙科学研究所; <http://www.giss.nasa.gov/>)

NCAR : National Center for Atmospheric Research (米国大気研究センター; <http://www.ncar.ucar.edu/ncar/>)

NIES : National Institute for Environmental Studies (国立環境研究所; <http://www.nies.go.jp/>)

NOAA/AL : National Oceanic and Atmospheric Administration/Aeronomy Laboratory (米国海洋大気庁アエロノミー研究所; <http://www.al.noaa.gov/>)

NOAA/GFDL : National Oceanic and Atmospheric Administration/Geophysical Fluid Dynamics Laboratory (米国海洋大気庁地球流体力学研究所; <http://www.gfdl.gov/>)

NSF : National Science Foundation (米国国立科学財団; <http://www.nsf.gov/>)

NWRA : NorthWest Research Associates, Inc. (<http://www.nwra.com/>)

SKIHI : (GFDL 中層大気 GCM の名前)