

下層・中層大気中の結合過程に関する国際ワークショップの報告*

余田成男**

1. はじめに

NATO International Scientific Exchange Programmes による「下層・中層大気中の結合過程」に関するワークショップが、1992年5月25日から5日間、ノルウェーのローエンで開かれた。NATO (北大西洋条約機構) という軍事同盟を思い浮かべるが、この機構には科学と環境に関する部門もあり、今回のようなワークショップ (Advanced Research Workshop) や ASI (Advanced Study Institutes) を開催し、それらの成果を NATO ASI シリーズとして出版している。今回のワークショップの論文集は今年末頃に出版される予定である。ローエンは、オスロの北西のノルドフィヨルドに面する人口500人余りの小さな村で、滞在したホテルを除くと大自然が在るばかりといったところである。

今回のワークショップはノルウェー防衛研の E. Thrane を中心に、D. Fritts (コロラド大)、A. O'Neill (オックスフォード大)、T. Blix (ノルウェー防衛研) が組織したワークショップで、招待講演が18件、参加者総数が40人足らずという小ぢんまりとした会議であった。テーマにある「結合過程」とはやや漠然とした表現であるが、講演者によってそれぞれの視点からの結合過程に関する話題提供があった。すなわち、力学過程と放射・物質過程との結合、大規模と中小規模の結合、波と乱流の結合、下層と中層の結合や低緯度と中・高緯度の結合、等々である。それぞれの講演には十分な質疑応答の時間があり、三食をともしする間も議論が盛り上がるという全く充実したワークショップであった。セッションは、一応、子午面循環、惑星波と潮汐、重力波、乱流に大別されていたが、大規模現象と中小規模現象の話題に分けて報告する。

2. 大規模現象の話題から

子午面循環の話題は大気の微量成分の輸送と関連させたものが多かった。R. Garcia (NCAR) は、彼の大気組成に関する子午面2次元モデルに、ロスビー波と重力波の輸送効果をどのようにパラメータ化して繰り込むかについて話した。これは、Hitchman and Brasseur (1988) が彼らの2次元モデルで初めて試みたテーマであるが、さらに磨きをかけて現実の物質分布との対比を行った (今回は、 N_2O について詳しく見ていた)。確かに、(光)化学反応の計算が大半の大気組成モデルでは、まず2次元モデルを作るのが常道であろう。しかし、3次元空間内の非線型世界を見てしまった力学屋にとっては、碎波して乱流状態となったときの「波の輸送効果」をどこまでちゃんと繰り込めるのか気になった。計算機がもっともっと速く、大容量になれば、3次元で計算してしまいたいところである。

K-K. Tung (ワシントン大) は、成層圏オゾンの準2年振動 (QBO) について発表した。まず、先駆的な Hasebe (1983) の結果をより長い期間のデータで再確認し、低緯度のオゾン QBO と高緯度のオゾン QBO の差を簡単な輸送メカニズムで説明した。すなわち、低緯度オゾン QBO は、Holton (1989) の言う子午面循環による水平移流で決まっているのに対して、高緯度オゾン QBO は、ロスビー波の $\bar{v} \cdot F$ による“ダウンワードコントロール” (Haynes *et al.* 1991) が赤道域東西風 QBO の変調を受け、オゾンの鉛直移流も QBO 変調を受けることに起因するという。ロスビー波の動態が QBO と関連していること自体、力学的に興味深い。その働きとしての子午面循環 (“残差” 循環) がオゾン変動をもたらすという、全く、結合過程の典型のような話題であった。一方、M. Hitchman (ウイスコンシン大) は衛星観測 (SAGE) によるエーロゾルの子午面分布の QBO 変調に関する報告をした。QBO の東風期と西風期に分けて平均したエーロゾル分布は、それ

* Report on the Advanced Research Workshop on Coupling Processes in the Lower and Middle Atmosphere.

** Yoden Shigeo, 京都大学理学部地球物理学教室。

ぞれの期間に固有の子午面循環の存在を強く示唆している。ユーロゾルの生成・消滅過程は一般の大気組成より複雑なので、詳細な議論を展開することは難しいが、彼が示したように、ちょっと視点を変えれば新しい側面が浮かんでくる。QBOに伴う子午面循環の変調を、間接的にはあるが、初めて観測的に示した結果である。

二日目は惑星波と潮汐に関するセッションが開かれた。R. Vincent (アデレード大)は、大規模波動のレーダー観測について最新の結果を発表した。中間圏から熱圏にかけての赤道波、ノーマルモード・ロスビー波、潮汐波の動態が明らかにされつつある。クリスマス島でのデータにハワイでの同時観測データを加えて解析することにより、1点観測の弱点を克服しようとしている。京大超高層電波研究センターの赤道レーダーなどいくつかのレーダー建設計画があるが、これらができて多点同時観測が可能となると、さらに様々なことが明らかになるだろう。このようなレーダー観測網は、特に、衛星観測では解析することが難しい短周期の波動に対して、有効な観測手段となるであろう。

F. Vial (CNRS)は、潮汐波に関する観測と数値実験の話をした。興味深かったのは、太陽半日潮の振幅が赤道域 QBO の変調をうけているという解析結果である。QBO にもなる大気構造の違いにより潮汐応答が変動し得るわけで、これもまた面白い着眼点である。100年以上にわたる地上観測データから半日潮振幅の時系列を作り、そのウェーブレット解析を行うことにより、前世紀には QBO の振幅が小さく周期が長かったという結果を得た。こんなに長い期間の QBO の「記録」を見たのは初めてのことである。

M. Geller (ニューヨーク州立大)は惑星波に関する研究の広範なレビューを行ない、K. Hamilton (GFDL)は大循環モデルを用いた研究のまとめを行った。私は極渦の変動に関する数値実験について話した。順圧不安定な極渦の非線型時間発展と、安定な極渦を強制ロスビー波で壊す実験についてそれぞれ紹介した。

3. 中小規模現象の話題から

中小規模の話は重力波関係のものが大半であったが、A. Ebel (ケルン大)は温帯低気圧に伴う対流圏-成層圏物質交換の数値実験について話した。3次元メソモデルで ALPEX 期間中の切離低気圧をシミュレートし、対流圏界面のたたみ込みに伴うオゾン輸送を解析した。3次元グラフィクス動画のビデオを用いて、この低気圧に

伴う物質の動きを生き活きと映し出すことに成功した。

D. Fritts は、重力波の成因として地形・ジェット・シア・前線・対流を取り上げ、それぞれの生成過程と相対的重要性について明瞭なレビューを行った。重力波の分野で第一線に立って仕事をしているだけに、自信に満ちた語り口であった。M. McIntyre (ケンブリッジ大)は、対流圏ジェットの鉛直シアによって生じ、中間圏に達する重力波について、その成因と大規模場に対する働き、およびパラメータ化の詳細について発表した。いつものように大熱演で、講演時間が1時間でも足りないほどであった。一方、J. Holton (ワシントン大)は、スコールラインで励起される重力波に関する数値実験の結果をビデオを使って示した。ほぼ一定の速さで動いている対流が脈動することにより、空間的に非対称な重力波群が生成されて、中層大気中を伝播していく様子を明瞭にとらえることができた。力学的解釈も明解で、中層大気力学の大御所の健在ぶりを示した。

C. Hines (アレソバ観測所)は重力波の飽和に関する理論を批判的に検討し、T. van Zandt (NOAA)とD. Fritts は、重力波スペクトルに関する観測的事実を基にした、重力波抗力の新しいパラメータ化の提案を行った。現在の大循環モデルや数値予報モデルで用いられている重力波抗力のパラメタリゼーションは満足できるものではないので、このような研究はまだ重要である。

最終日の乱流と重力波の結合に関する話題では、C. Sidi (CNRS)が理論的側面を、T. Blix がロケットを中心とした観測的側面を紹介した。模式的には、波が碎けて乱流を作り、乱流による拡散が波を減衰させるという相互作用であるが、現実には観測できる限られた情報と理想化した枠組での理論とを結びつけるのは大変難しいことである。波という概念と乱流という概念はそれぞれ単独には明瞭なものであるが、両者が混在する状態というのは全く複雑である。M. McIntyre のいう空間的に非一様な「波と乱流のジグソーパズル」である。

4. おわりに

ワークショップ全体を通して、理論および観測に関するいくつかの新しい流れが印象に残った。理論では、あまり仮定を置かず、非線型のまま数値的に解いてみようという姿勢が増えつつある。前節で紹介した外にも、重力波が碎波するところを2次元や3次元の完全非線型モデルでシミュレートした結果が発表された。計算結果

を解析すれば、これまでの理論で仮定していたことがどこまで妥当であったかを評価できるし、そもそも、思ってもいなかったようなことが起こっていたりする。計算機の能力がますます向上しているだけに、「まずは、ちゃんと解いてみる」というのが研究の基本姿勢の一つになりつつある。

観測では、ネットワーク化により面的な情報を得ようという傾向が目立つ。A. Manson (サスカチュワン大) はカナダで、VHF レーダー網を築く話をし、R. Vincent は現業の高層観測データを活用する計画を発表した。数値予報のために集められるデータとしては、指定気圧面と特異点の値だけが通報されているが、ラジオゾンデ観測自体は、鉛直分解能が 50 m 程度であり、1 ケタ以上多い情報量をもっている。これをそのまま集めて解析すれば、重力波の動態が詳細にわかってくるはずである。オーストラリア国内では、彼が中心となって、この計画

が実施されつつある。また、最先端のライダー観測所 (Arctic Lidar Observatory for Middle Atmospheric Research) の計画やスペースシャトルを使った中層大気の中小規模現象の観測 (CRYogenic Infrared Spectrometer and Telescope for the Atmosphere) の計画など、新しい観測計画の話もそれぞれ興味深かった。

スーパーコンピュータや新しい観測技術の進歩により、中層大気研究の新展開が始まっているという印象を強くうけた。このような流れのなかで自分の研究をどう位置づけ、どのように発展させていくか、日常生活を離れてじっくり考えることができた。また、日頃思っていたいくつかの疑問を J. Holton や M. McIntyre に尋ね、ゆっくり議論できたことは有益であった。

今回のワークショップに参加するにあたり、文部省創成的基礎研究費「気候モデルの開発および気候変化の数値実験」(代表 松野太郎 東大教授) の補助をうけた。

日本気象学会1992年度秋季大会の報告

日本気象学会1992年度秋季大会は、1992年10月7～9日に札幌市教育文化会館および北海道厚生年金会館で行われた。参加者数は362名(通常会員256, 学生会員71, 会員外35: なお招待者等を除く)であった。

大会シンポジウムは「都市の豪雪」をテーマとして、会場利用時間の制約等により前回同様1日目午後に行われた。これに先立ち、山本・正野論文賞1件、堀内基金奨励賞2件、および春季大会から持ち越した学会賞の記念講演が行われた。その他、大会前日(6日)には北海道大学で2つの研究会(メソ気象および大気海洋相互作用)が開かれ、第2日(8日)夜には大会会場でオゾン研究会が開かれた。

発表申込件数は284件(ただしキャンセルが数件あった)で前回(289件)に引き続き多く、その内訳は第1種講演が205, 第2種講演が68, ポスターが11件であった。第2種講演として申し込まれた講演のうち、予稿の書き方が第2種の要件を満たさないためプログラム編成時に

第1種に変更されたものが24件(前回は29件)あった。

前回から口頭発表を4会場にしたため、時間には比較的余裕のあるセッションが多かったが、第1種講演の中には持ち時間を大幅に超過したものが見受けられた。この点については、これまでに引き続き発表者の協力をお願いしたい。また、第1種・第2種・ポスターによる現行の講演方式や時間配分についても、会員の皆様の声を反映させて改善していきたい。ぜひ、講演方式に関する率直なご意見をお寄せ下さい。

各会場とも設備は良く、マイク・スピーカーやOHP等の性能も良好であった。地方大会の常としてマスコミの取材が多かったが、発表への支障を避けるための配慮が見られた。これらの点を含め、今大会事務局として大会準備・運営にご尽力頂いた札幌管区气象台および北海道大学の皆様に深く感謝の意を表します。

1992年10月 講演企画委員会