

第9回大気・海洋の波と不安定に関する研究集会の報告*

余田成男**・田中博***

1. はじめに

文部省の国際研究集会派遣で、アメリカ気象学会(AMS)主催の第9回大気・海洋の波と不安定に関する研究集会に出席した。この会議は、大気・海洋中におけるさまざまな波動や流れの安定性に関する問題を中心とした地球流体力学指向の専門会議で、2年毎に開かれている。今回は、5月10日から14日までの5日間、テキサス州サンアントニオで開催された。本会議で取り上げられた主要なテーマ(セッション)は次の通りである。(1)低気圧と前線、(2)熱塩循環、(3)成層圏力学、(4)海洋力学、(5)対流/中間規模現象、(6)海洋中の対流、(7)地衡流的な渦と乱流、(8)波と不安定、(9)基礎理論、(10)長周期変動。また、同時に開催された第20回ハリケーンと熱帯気象に関する研究集会とのジョイント・セッションとして、(J1~3)熱帯低気圧の理論、(J4)熱帯域の波動、があった。参加者は約200人でそれほど大きな会議ではなかったが、カナダ、英国、フランス、ドイツ、オーストラリア、日本などからも参加のあった国際的な研究集会であった。なお、500ページを超える厚さのプロシーディングはアメリカ気象学会から発売されている。(余田)

2. ハウルビッツ記念講演

ワシントン大学のJames Holton教授によるハウルビッツ記念講演が大会3日目の朝に行なわれた。講演のタイトルは「定常プラネタリー波」についてであった。前回の1991年の記念講演は、同大学のMike Wallace教授による長周期変動に関する解説であったので、大気力学の中心はワシントン大学にあり、という印象を強く受けた。Wallace教授の時には、私がニコンの一眼レフを携帯する日本人であるということで、

AMS事務局から急遽記念講演の写真撮影を依頼され、ステージの前で貴重な写真を撮ったのであったが、ピントがずれてしまって残念なことをした。

今回のHolton教授の講演内容は、誰でも知っている定常ロスビー波の説明に対する重要な訂正についてであった。多くの気象学の入門書では、定常ロスビー波の説明を順圧大気渦位保存則に基づいて行なっている。西風ジェットに流されて大規模山岳を駆け昇る気柱は、その鉛直方向の厚さが薄くなるため、相対渦度が減少し、高気圧性の循環を得て南にシフトする。すると、プラネタリー渦度が減少するため、今度は低気圧性の循環を得て北にシフトするようになる。この説明により、めでたく定常ロスビー波が励起されるのであるが、この説明を初めて世に送り出したのはHolton教授自身である。ところが、理解できたような気になって、同じ屈辱で東風が大規模山岳を駆け昇る場合の事を説明しようとする、全く不自然な大気の運動になることが分かる。つまり、山岳がある程度高いと、気柱はその山岳を越えられずに逆戻りをするというのである。

この矛盾を解決するためには、気柱が山岳を駆け昇る手前で、その山岳の存在を感じて南にシフトする必要がある。それでは、どのような理由で気柱は前もって山岳を感知するのだろうか。Holton教授によると、その物理的なメカニズムは、山岳により励起された重力波がもたらす地衡風調節であるという。勿論、準地衡風渦位保存則の式に地衡風調節による効果など考慮されていないので、その効果をレーリー摩擦でパラメタライズし、方程式に導入して解いた計算結果をHolton教授はいろいろと紹介した。摩擦を含んだ計算結果によると、東風の場合の流れは山岳を南に迂回する定常解を得る。

そこで、説明のつじつまを合わせるためには、西風の場合にもレーリー摩擦を考慮する、という訂正が必要となる。摩擦を考慮して定常解を求めると、実は西

* Report on the 9th Conference on Atmospheric and Oceanic Waves and Stability.

** Shigeo Yoden, 京都大学理学部地球物理学教室.

*** Hiroshi L. Tanaka, 筑波大学地球科学系.

風の場合でも気柱は、山岳を駆け昇る手前で山岳を前もって感知し北にシフトしつつ山岳にさしかかる、という説明が正しいものとなる。つまり、山岳の西で峯が、そして東で谷が形成されるという、Charney と Eliassen 以来大気大循環ではおなじみのパターンを得る。山岳による定常プラネタリー波の励起問題において、摩擦の導入は本質的に重要であることをあらためて示唆している。このような理由で、確かに Holton 教授の気象力学の最新版の教科書では、西風の場合でも山岳の風上で気柱は厚さを増し、北にシフトしつつ山岳にさしかかるように、図が書き改められている。(田中)

3. 印象に残った発表

成層圏力学のセッションでは、極渦の変動とそれに伴う物質輸送の話題が中心となった。MIT の Plumb は、観測されたポテンシャル渦度場をもとにカウンターサージェリ的手法を応用して、物質輸送の微細構造を解析した。低緯度の空気塊がフィラメント状になって北極近くまで侵入する様子を詳細に示し、その時期に北極域の飛行機観測 (Arctic Airborne Stratospheric Experiments) で得られた大気微量成分データとの対比を行った。ちなみに、この結果がプロシーディングの表紙写真となっている。テキサス A & M 大学の Bowman も、また、南半球の観測データを用いてラグランジュ的な物質混合の様子を解析した。カウンターダイナミクス的手法を用いた、より理論的な極渦の研究は、ケンブリッジ大学の Dritschel (会議には不参加) を中心として行われている。共著者である Saravanan (NCAR) が極渦崩壊実験の3次元版を発表し、Polvani (コロンビア大学) は球面上での多様な渦の動態を紹介した。高分解能スペクトルモデルによる研究としては、余田・石岡が順圧不安定な極渦の非線型時間発展について発表した。

成層圏力学のもう一つの興味深い話題は、Haynes (ケンブリッジ大学) による「ダウンワードコントロール」の発展である。「ダウンワードコントロール」とは、プラネタリー波の EP フラックスの収束に伴って誘導される子午面循環が下方に集中することをいう。数年前に彼らがこの概念を初めて発表した時には、中・高緯度を中心に議論したが、今回は低緯度のハドレー循環に対する効果とその季節依存性を論じた。熱帯域での対流圏と成層圏の物質交換を考える上でも鍵となる重要な研究であろう。

さらに物質輸送の関連で興味を引いたのは、シカゴ大学の Pierrehumbert によるカオス的混合の発表である。我々もラグランジュ運動のカオスについて研究を始めたところなので、理想化した周期変動する2次元流に関する彼の研究は知っていたが、今回は、GFDL の GCM の結果や ECMWF の解析データ、水蒸気の衛星観測データなどの全球データを用いて、等温位面上でのカオス的混合の地域性を議論した。局所的リアプノフ安定性解析を実空間でやろうという発想であり、このような解析が現実大気中における物質混合の記述と理解にどれだけ役立つか興味深いところである。

純理論の発表では、Shepherd (トロント大学) の有効位置エネルギーの統一理論が光っていた。近年認識が深まってきた地球流体力学のハミルトニアン構造を理解し、擬エネルギーと呼ぶ不変量を使えば、音波でも内部重力波でも、そして、あの Lorenz の静水圧断熱理想気体の場合でも、統一的に有効位置エネルギーを導出できるという。学生の頃に勉強した Lorenz の巧妙な近似と式変形を思い出して、これはきれいだと感じた。(余田)

コーネル大学の Colucci は、低気圧の合併や上層トラフの合併現象と大気の子報限界の関係について発表した。上層トラフが合併すると、水平運動量輸送の収束により西風ジェットが強まる事を示すとともに、トラフの合併現象は、モデルでは極めて予測しにくい現象であることを指摘した。カリフォルニア大学 (Davis) の Grotjahn は、低気圧の発達過程において、ハーバード大学の Farrell が言うような非ノーマルモードによる初期増幅は、一般に言われている程重要ではない事を主張した。粘性を考慮すると、非ノーマルモードの構造上の強いシアーにより減衰効果が強く効くため、滑らかな構造をしているノーマルモードと比較して増幅率が抑えられるというのが、その根拠である。Scinocca (ケンブリッジ大学) は、2次元と3次元の場合のケルビン-ヘルムホルツ不安定を質量と運動量の混合という観点から議論した。シアー流中に形成されるキャッツアイの中で渦巻き質量に関する数値実験を更に推し進めると、渦巻きの外側の部分から渦が崩壊してゆく。このプロセスを、彼はアニメーションにして紹介した。イリノイ大学の Lee と Mak は、局所的シアーにより生じる局所的不安定について発表した。局在して分布する傾圧性が、最大成長率を持つ

不安定ノーマルモードの局在化に寄与することを示した。ちなみに、彼らの研究結果は、本研究集会のプロシーディングの裏表紙を飾っている。Lindzen と Sun (MIT) は、傾圧調節の研究との関連で傾圧不安定における Eady 問題の見直しを行なった。彼らはジェット南北幅を十分に小さく取り、しかも対流圏界面を約 15 km まで押し上げると、不安定が解消する事を示した。この解釈として、擾乱が活性化し圏界面が押し上げられると不安定は解消する、という傾圧調節が適用された。そして、今回得られた結果を、中緯度の圏界面は放射過程でなく力学過程で形成されるとの Held (1983) の説と比較し、圏界面の成因を議論した。(田中)

4. 集会の感想

ある種の国際会議は和気あいあいとした雰囲気で行なうが、この研究集会は、必ずしもそうではない。研究費を扱う NSF の役人も現れる中で、真剣な発表と討論が繰り広げられる。また、それぞれのセッションの最後には10~30分程度の全体討論がある。これらの討論を通して、誰がこの分野を主導しているかが見えてくる。Lindzen, Pedlosky, Holton, Rhines, Mak といった熟年世代から、超多忙でこの会議に来るか来ないかの Plumb, Ghil, そして、実質的に会議をリードしている Farrell, Held, Pierrehumbert, Haynes, Marshall, Shepherd といった壮年世代へと、鍵となる人物の流れが見えてくる。

それにしても、この会議で再認識したのは、米国の研究者層の厚さである。2年毎の開催ではあるが、力学関係だけで200編近い論文が発表される。玉石混淆かもしれないが研究者数・発表論文数ともに日本の学会

と比べて一桁近い違いがあろう。この数の違いを踏まえてわが国の研究の将来を考える時、研究者数は日本と同程度である英国の現状が参考となろう。今回の会議にも、ケンブリッジ大学やレディング大学から何人か参加していたが、彼らは新しい概念を提出し、討論でも積極的に発言していた。自国だけでは米国規模の研究者層を望むべくもないので、この大きな集団と如何につき合い、影響し合い、そして、自分の考えを広めていくかを考えているようである。(余田)

今回の会場となった Menger ホテルの周囲には Alamo や Tower of America 等の観光の名所が多く、夕方涼しくなる頃には、大勢の人々が町中を流れる川沿のモール街に集まってくる。そこから遊覧船に乗って、一周約40分かけてサンアントニオの町を巡りながら夕食を楽しむ事ができる。Tower of America には、360度回転式のパノラマレストランがあり、南部の大平原をぐるりと一望に見渡すことができる。ビルより高いこの塔から地平線を見渡しても、その先には一つの山さえ見えないほど大平原は広がった。

そんなサンアントニオで開催されたこの波と不安定に関するこの研究集会は、数ある研究集会の中で私が最も好きなものの一つである。その理由は、日頃研究の上で尊敬している著名な先生方が一堂に集まるにしては、こじんまりとした会議であることと、十分な発表時間(約20分)、充分すぎるほどのコーヒープレイクの時間が設けているところにある。Holton, Pedlosky, Lindzen といった錚々たるメンバーが、カジュアルな装いで立ち話をしている中に、気楽に加わってゆけそうな雰囲気とゆったりした時間がこの集会にはあった。(田中)