



天 気

1989年10月
Vol. 36, No. 10

108 (中層大気)

米国気象学会中層大気分科会および 南半球中層大気国際研究集会の報告*

廣 田 勇**・塩 谷 雅 人**・神 澤 博***
山 崎 孝 治****・津 田 敏 隆*****

1. 全体報告

廣 田 勇

1989年4月11日～14日の4日間にわたり、第7回米国気象学会中層大気分科会が、またそれに引き続く4月15日～17日の3日間に、第4回南半球中層大気(MASH)国際研究集会が、サンフランシスコで開催され、日本から筆者ら5名が参加した。

米国気象学会(AMS)では、日本気象学会のような春秋の大会よりも、各分野毎の分科会のほうが実質的な研究発表の場になっている。つまり、多会場並列方式を避け、出席者全員が討論に参加することを目的として運営されているわけである。このようなコンファレンスは約2年に1回の頻度で開催されている。

今回の会合は、NCARのR. Maddenが委員長をつとめ、4日間で11セッション、論文数は85編、参加者数はおよそ150名であった。AMSの会合とはいえ、国際色は豊かで、英独仏日豪等外国からの参加者も多く、複数国にまたがる共同研究も少なからず見受けられた。

一方、MASHのほうは、中層大気国際共同観測計画(MAP, 1982～85; MAC, 1986～88)の一環として、過去3回開催されている(前回のアデレード会議については天気1987年10月号参照)。今回は、英国気象局のA. O'NeillとUCLAのC. Mechosoが世話役となり、NATOの科学研究補助金を得て運営され、NASAとUCLAが協力する形で行われた。

内容は3日間を5つのセッションにわけ、合計19人の招待講演者による、それぞれのテーマのレビューと最新の成果報告に引続き、出席者全員による討論も活発に行われた。参加者は6カ国47名。特に今回は、主催者の配慮により、各国からの若手研究者に対して旅費援助がなされたことは、80年代のMAP/MACを90年代の発展へと継承してゆく上で有意義であった。

なお、第3回ワークショップの成果は、すでにPure and Applied Geophysicsの特集号(Vol. 130, No. 2/3, 1989)として出版されており、今回の成果はNATO研究論文出版シリーズの一巻として印刷公表される予定である。

以下に、AMSとMASH両会合における成果のハイライトを、出席者の印象もまじえて報告する。

2. 大規模運動・輸送に関する発表から

塩 谷 雅 人

ここでは、AMSミーティングとMASHミーティングの全体的な印象を中心にしながら、大規模運動と輸送

* Report on the 7th AMS middle atmosphere conference and the 4th MASH workshop, April 1989, San Francisco.

** I. Hirota・M. Shiotani, 京都大学理学部。

*** H. Kanzawa, 国立極地研究所。

**** K. Yamazaki, 気象研究所。

***** T. Tsuda, 京都大学超高層電波研究センター。

に関する発表の(筆者の好みにもとづく)紹介を行いたい。

AMS ミーティングの運営形態については、1. 全体報告でも述べられているように、分科会形式がとり入れられ、共通の問題意識をもった研究者同志が論議を深めることができ、たいへん充実した集会であったと思う。個人的意見としては、日本気象学も春秋のどちらかは、AMS ミーティングのように分科会形式をとり入れてもよいのではないだろうか。

発表内容についての印象としては、内容的に興味深いものはあるのだが、筆者自身が1984年に京都で開催されたMAP シンポジウムに出席して感じたような熱っぽさには少し欠けるような気がした。というのも、ちょうど京都でMAPのシンポジウムが行われたころは、FGGE(1979年)に打ちあげられた人工衛星に搭載された各種測器による解析結果がポツポツあらわれだしたところで、そこから見い出された現象の一つ一つが、参加者に新鮮な驚きを与えていたように思う。その点、現在では、衛星データも10年ほど蓄積し、データ解析の発表もほとんどが、データを大量処理したクライマトロジや単なる統計的研究が多く、“こんな面白い現象がありましたよ”といったエピソードな発表はほとんど見られなかった。

こんな中で、古くから知られているが最近また注目を集めているオゾンのQBO(準二年周期振動)に関する研究発表が興味深かった。特に春季南極域下部成層圏で顕著な総オゾン量の減少傾向が、QBOサイクルのモジュレーションを受けているという報告(たとえばStolarski(NASA), Schoeberl(NASA), Bowman(イリノイ大))は、赤道域のQBOが力学・輸送過程を通して中高緯度のオゾン分布にも影響を与えていることを示している。赤道域QBOと中高緯度QBOのリンクを示す、モデルを用いた研究もいくつか見うけられた(Grayラザフォードアップルトン研, Holtonワシントン大, D'O'Sullivanコロラド大)。Grayのおこなった2次元光化学力学モデルによると、赤道域QBOは、それに伴う子午面循環を通して、観測されるような全球的な総オゾン量のQBO(赤道域と中高緯度で逆相関)をつくり出す。ただし定量的には、現実の変動を説明するには足りず、赤道域QBOによってなんらかの影響をうけた中高緯度プラネタリー波による輸送の効果が大切であるという。むかしから知られていた赤道域QBOが、オゾンホールによって再び脚光をあびるようになったわけで、問題を理解するための道すじはいろんなところにあ

るものだったと思うのである。

理論的な研究分野については、Qマップ(渦位分布図)の伝導師McIntyreの教えもモデル計算のサポートを受けて、ようやく市民権を得つつあるように見うけられた。成層圏パロトピックモデルを用いた研究発表がさかんで、Salby(コロラド大)、Haynes(ケンブリッジ大)、Jukes(コロラド大)らが、wave breakingの問題についてアプローチしていた。またO'Neill & Pope(英国気象局)は等ポテンシャル渦度線にそった循環Cを計算して、その時間変化を成層圏循環の季節進行の中でとらえながら、極うずの維持やSurfzone(砕波帯)の形成・維持に放射過程が重要であることを示した。

AMS ミーティングの話が長くなってしまった。MASH ミーティングは、AMSの約1/3ぐらいの出席者の規模で、その道の第一人者によるReview的な発表は、さすがと思わせるものが多かった。内容的にはAMSミーティングと重なる部分も多いので詳述しないが、Andrews(オックスフォード大)の講演からトピックスを1つとりあげたい。彼は、モデルをどう使うかという話の中で、“近ごろ忙しいモデラーとデータ解析屋さん(プロダクトだけを追い求めるばかりで)考えることをしない”と痛烈な一撃を出席者にあびせた。彼のコメントと関連して、AMS、MASHの両ミーティングを通じ筆者自身が感じるのには、モデラーにしるデータ解析者にしる、嬉々として研究をやっている様子のないのが少々残念なわけである。神澤氏がMASHで飛び入りではあったが、去年8月下旬昭和基地で観測された50K以上もの突然昇温とそれに伴うオゾンの増加に関する報告を行った。そのとき、スクリーンに写し出された図を見た人々が、ホンマかいなという顔で、一瞬会場がどよめいた。このような新鮮な驚きを与えてくれる発表が少なかったように思う。

少々negativeな参加報告になってしまったが、筆者自身にとって最大の収穫は、まさに最後に述べた点で、我々日本人研究者も現象のとらえ方や問題意識という点で負けてはいないぞと意を強くすることができたことであると思っている。

3. オゾンホールとその周辺

神澤 博

3.1 AMS シンポジウム

印象に残ったことを2つあげる。ひとつは、オゾンの準2年振動(QBO)がおおいに話題となり、多くの発表

者が、長谷部(京大理)によるオゾン QBO の図を引用していたことである。長谷部氏が大気科学の分野から離れてしまったことが、あらためて惜しまれる。

もうひとつは、1987年の南極での飛行機観測実験 AAOE (Airborne Antarctic Ozone Experiment) が何故あれほど迅速に行い得たかという理由がわかったことである。それまで数年にわたって行われてきていた STEP (Stratosphere-Troposphere Exchange Project/NASA: これから実施予定の STEP とは異なるプロジェクトであることに注意) で ER-2, DC-8 による飛行機観測器がすでに用意されており、AAOE 実施にあたっては、CIO の観測器をあらたに開発するだけで済んだということであった。STEP Executive Committee の chairman をつとめてきた Holton (Univ. Washington) は、“Bob Watson は STEP のおかげで AAOE プロジェクトがなし得たことを忘れてくれるな”と、このシンポジウムの“Session 8: STEP”の座長として、最初にコメントを述べていた(注: Watson (NASA/HQ) は AAOE 遂行の中心人物)。

3.2 MASH ワークショップ

Hartmann (Univ. Washington) は、AAOE プロジェクトの下になされた1987年8月～9月の南極での飛行機(ER-2)による観測データを使い、等温位面のオゾンホールの壁で、 N_2O (保存量)が変化していなかったことから、オゾンホールの形成に化学反応が決定的な役割を果たしていることを示した。Solomon (NOAA/Aeronomy Lab.) は、今年(1989年)1月～2月の北極域でのやはり同じく飛行機(ER-2)観測によるデータを使って、極域成層圏雲(PSC)の有無、太陽光の有無という環境の違いと CIO のデータの関係をみると、PSC 上での不均一系反応という考え方があっていいことを示した。Crutzen (Max-Planck-Inst Chemie) は、 HO_2 と CIO はそれぞれオゾン破壊に寄与するが、両者が反応に介在した場合、相互作用が働いて、オゾン減少は単独の場合とそれほど変わらないことを示した。Turco (UCLA) は、成層圏中のエアロゾルおよび微量気体の全体像の中で、CIO, Cl_2O_2 , PSC などの占める位置を最初に示し、話を進めた。PSC の雲物理化学の問題が多々残されていることが感じられた。

Plumb (MIT) は、1987年の12月中旬、オーストラリアの観測点でのオゾン全量データが急激に減少した事実の原因を追及し、その場所での化学反応によってオゾンが壊れたのではなく、オゾンホールのオゾンの少ない空

気が、準水平的にオーストラリア上空に運ばれてきたためであることを示した。大循環モデルで、オゾンホールを人為的に作り、その影響が大気がどのくらいの期間覚えているかを調べた結果を、Mahlman (GFDL) および Grose (NASA/Langley) が示した。両者のモデルとも、一年後でもオゾンホールを覚えている。Tung (Univ. Washington) は、2次元輸送モデルに、プラネタリー波等の非軸対称運動効果をどう入れるかについての、最近の彼の一連の仕事を紹介した。

1988年(昨年)の南半球突然昇温時のプラネタリー波の増幅の原因が、波数1の準停滞プラネタリー波と波数2の東進プラネタリー波の干渉によるものであることを、廣田(京大理)が示唆した。Newman (NASA/Goddard; Schoeberl の代読) は、同じく1988年のオゾン、風、温度を他の年と比較し、突然昇温前の月の極域の風が気候値に比べ強かったことを示した。また、オゾンと赤道の準2年振動との関係を論じた。

招待講演とは別に、chairman の Mechoso (UCLA) の配慮で私(神澤)にも話す機会が与えられた。やはり同じく1988年の昭和基地上空で、南半球としては非常に早い8月末という時期に起こった大突然昇温とそれに伴うオゾン急増を紹介した。昭和基地での20数年に及ぶ観測データをプロットし、それと1988年のデータを単純に比較した図を見せると、“beautiful”という声がきかれた。1988年の特徴をうまく表現する図であったからであろう。特に、1988年のデータは、オゾンホールが最も広く最も深まった1987年のデータと対照的である。また、川口(極地研)が計画した南極観測船「しらせ」による1987年11～12月のオゾンゾンデ観測のデータを紹介した。1987年のオゾンホールの名残りがデータに出ていること、中緯度の対流圏界面折れ込み域でのオゾンの成層圏から対流圏への侵入がみられること等の点から、皆の注目を浴びた。また、観測期間が Plumb の扱っている期間とちょうど合致しており、Plumb は、このデータに格別関心を寄せていた。また、時間の制約で発表することができなかったが、OHP にポーラーパトロールバルーン (PPB) によるオゾン、エアロゾル等の観測計画のメモを記しておいたところ、私の話が終わった後、これもやはり Plumb がやってきて、計画の中味を尋ねてきた。大気運動によるオゾンの dilution effect (希釈効果=濃度を薄める効果)に彼は興味を持っていて、この計画を実現するよう激励された。PPB 計画の一環として、1991年の9月～10月に昭和基地から気球を放球し、



高度 15~20 km に浮遊させてオゾン、エアロゾル等を計ろうとするこの計画の意義に自信を得ることができた。5, 6 年前に、ほぼ同じ内容の理論的な仕事を、Plumb とお互い独立にしたことを思い出し、理論家 Plumb が、観測データに密着した仕事をなしつつあることに、時代の流れを感じた。

全員による討論では、特に、オゾン破壊反応に重要な脱窒素化 (denitrification) 過程およびプラネタリー波の増幅についての共鳴 (resonance) が話題になった。

3.3 その他

今年 (1989年) の冬の北極域飛行機観測には、力学の専門家として McIntyre (Univ. Cambridge), Schoeberl (NASA/Goddard) が参加したとのことである。1987年の南極の飛行機観測では Hartmann が参加している。また、上に述べたように、Holton は STEP の中心人物のひとりであった。このように、大気微量成分観測が中心のプロジェクトに力学理論の専門家が参加し、力学輸送の観点から興味深いデータを取り、現象の総合的な理解を目指そうとする米国の姿勢に感心した。私 (神澤) も、これからの日本の南極観測の大気微量成分観測プロジェクトに、力学輸送の立場から、本格的にかかわっていきたくて考えていた矢先でもあり、たいへん刺激を受けた。

4. 大循環モデルと数値実験を中心として

山崎 孝治

10日の夜には、Haurwitz memorial lecture として、ワシントン大学の Wallace が「低周波変動の力学」と題して講演した。これは一種の賞と思われる。紹介者は「Haurwitz はロスビー・ハロウィッツ波などで理論家として有名であるが同時に解析も行った。一方、受賞者の

Wallace は赤道波の解析から PNA まで解析の仕事で著名であるが、理論をふまえ、理論の進歩に貢献している」といった紹介をしていた。講演は最近までの Wallace の研究のレビュー的なものだったが、最後に述べた大気の多重平衡性を調べるために行った研究が印象に残った。20年間の北半球 500 hPa の高度の日々の図の間の相関をすべて調べた。ただし同一年のものは省く。もしある特定のパターンを大気がとりやすいとすれば正の相関の方が負の相関より多いのではないだろうか。相関係数の分布をプロットしてみると、ほとんど対称で正規分布に近い。しかし、分布のしっぽ、即ち高相関の所では正相関の方が負より多い。この結果をどう解釈すればよいのだろうか。

さて、本題の中層大気分科会と MASH に戻る。MASH は予稿集はなく、分科会は予稿集はあるが図はなく文章だけである。唯一つ、予稿集の表紙に MacIntyre らのグループによる冬季成層圏を模した高分解能パロトロピックモデルによる数値実験の図が掲げられている。この高分解能 2次元モデルの数値実験の結果は映画などでも見せていたが、極渦内の空気が外側とほとんど混ざらないで孤立している様子や非常に細いひも状の高低りず位が極渦にまきついているような様子が明瞭に示された。特に、モデルで示された微細な構造が実際に観測されるかどうか、興味深い。南極昭和基地でのオゾン鉛直プロファイルには時々細かい構造が見られるが、数値実験で得られた水平に細かい構造と関係しているのかも思ったりする。

大循環モデル (GCM) 関連では、南極のオゾンホールの影響がどう残るかを調べたものが2つあった。NASA/ラングレー研究センターの Grose は南極で春にオゾンを減少させたランを一年間積分してコントロールランと比較した。初期に全球平均でオゾン量の3%の減少が、一年後にも1%減少として残るという結果を示した。この減少に効くのは主に 100 hPa 以下の層のオゾン量との事であった。また北半球の変化の様子は真冬に大きく減少するなど、物質の南北両半球間の輸送という観点から見て面白く感じた。ただし、シミュレートされたオゾン全量は観測よりかなり多く問題があるようだ。このモデルの特長は微量成分として Ox , NOx , Clx , H_2O_2 , HNO_3 , N_2O_5 を移流を含めて予報している事で化学モデルに凝っている。

GFDL の Mahlman は 3° の SKYHI モデルでオゾンホールの影響を力学場への影響を中心に調べている。

11月に極域下部成層圏で気温が最大 10°C 下がる。また12月には中緯度にも差が見られ、気温の四重極パターンが現れる。極渦がより遅くまで残り、最終昇温が遅れるためと思われる。オゾンホールの力学説を唱えていたMahlmanではあるが、力学説を放棄したように思われる。オゾンホールの原因は化学説で説明されるというのが全体の流れである。力学の変動はQBOのような2年程度の変動には重要だが、10年スケールの経年変動には重要でないとの認識が広がっているようだ。これに関連してオゾンのQBOが脚光を浴びており、Hasebeの仕事がしばしば引用されていた。HoltonもオゾンQBOに関する発表をしていた。10年スケールの対流圏も含めた循環の変動については、Labitzkeとvan Loonの太陽活動に関するもの以外なかったように思われる。

成層圏では風の直接の観測データは極めて少ない。数年前までは地衡風で代用するケースが多かったが、最近ではより精度のよいバランス風がよく用いられる。しかし、低緯度では依然問題が残る。その点、Roodらによる成層圏の場をGCMを用いてdata assimilationで求めようとする試みは注目に値する。

中層大気GCMの日本の現状を振りかえると、光化学モデルや微量気体成分の導入などかなり欧米に遅れをとっている。その一つの原因としてLIMS, TOMSなどのような衛星による観測が日本自前でほとんどないことがあげられるのではないか。オゾンホール問題などで明らかのように観測は地球科学にとって最も重要である事を強調したい。

5. 大気と海洋中の重力波および大気潮汐波

津田 敏隆

大気と海洋中の重力波については二つのAMS会議の合同セッション(4月12日の午前)の他に7th Conference on Atmospheric and Oceanic Waves and Stabilityの4日目(4月13日)一日を割いて口頭発表のセッションとポスターセッションが開かれ、全体で5件の招待講演と22件の一般講演および約10件のポスター発表があった。重力波の理論と観測についての総括的な招待講演と最近の話題に関する一般講演が適切に配置されたプログラムであった。またMASHにおいて大気中の重力波の南北半球間での相違について、アラスカ大学のFrittsとアテレイド大学のVincentがそれぞれ理論と観測に力点を置いたReviewを行った。

一方、大気潮汐に関する発表は7th Conference on the 1989年10月

Meteorology of the Middle Atmosphereで数件行われ、Nimbus-7のLIMSによるmigratingおよびnon-migrating tideの解析や赤道域のMSTレーダー(JicamarcaとChristmas Is.)による観測、またNCARのGCMを用いて解析された潮汐波の特性が報告された。以上が重力波と大気潮汐にかかわる発表の概要であるが、本節では筆者自身が論文を発表した関係で重力波に関する発表について主だったものを報告する。

まずFrittsが中層大気中の重力波の飽和の理論と観測についてReviewを行った。過去数年の間に重力波の飽和現象およびそれが中層大気に与える影響に関する理解が格段に進んだが、特に理論的に予想された重力波の飽和鉛直波数スペクトル、飽和の結果生成される乱流による熱や大気組成物質の輸送、運動量の輸送と大気大循環を減速する効果が観測によって明らかにされつつあることが改めて認識された。今後重力波の励起源について盛んに議論され定量化が進むであろうが、Frittsは一つの示唆的な結果として海洋(東太平洋)上、山岳(アメリカ大陸西部)上、および平原(アメリカ大陸中央部)上で飛行機によって観測された中規模擾乱の活動度を比較し山岳によって励起される重力波の重要性を強調した。こういった情勢に呼応してか、地表付近で励起された山岳波の碎波および平均背景風の相互作用についての非線形の数値モデルがPeltier and Scinocca, Bacmeister and Schoeberl, NappoあるいはBlumen等によって報告された。また、Delisiは室内実験をもとに重力波と平均流の相互作用による碎波過程を明らかにした研究成果を発表した。成層した流体の槽底部を上下することによって励起された重力波が上方伝搬しCritical levelに達して減衰する様子が映画を用いて明瞭に示されたが、これらは数値モデルによる理論的予想とほぼ一致するとしている。

対流圏・中層大気中の重力波の観測に関してはMSTレーダーやラジオゾンデを用いた重力波の高度・時間構造の精密な測定、長期間の衛星観測による温度擾乱の解析等が報告された。Tsuda, FrittsおよびVanZandtは京都大学超高層電波研究センター所属のMUレーダーを用いた共同研究の一部として、運動量フラックス、飽和鉛直波数スペクトル、中規模風速擾乱のエネルギーの方位角異方性等、中層大気における重力波の振舞いに関する論文5件を発表した。MSTレーダー観測に関しては、さらにNastromとVanZandtがそれぞれ重力波の周波数スペクトルについて報告した他、Fritts *et al.* が赤道

域中間圏における重力波の特性について発表した。また Fetzer and Gille は LIMS を用いた全地球的な長期間衛星観測 (1978年10月~1979年5月) をもとに中層大気中の温度プロファイルの中規模擾乱の鉛直波数スペクトルの解析結果を報告した。これらの大気中の重力波に関する理論的研究や観測結果がいずれ GCM モデル等に組み込まれることで地球大気モデリングが一層精密になることが期待される。

一方、海洋中の重力波について Pinkel と Mormorino が高空間分解能の温度センサーやドップラーソナーを用いた精密な観測について最近の研究成果を総括した。海洋中でも重力波はエネルギーが高い海洋中の中規模擾乱が消散効果が重要となる小規模擾乱に結びつけられる過程で大変重要な役割を果たすとされている。海洋と大気では背景の状態に大きな相違があるものの類似の波動現象が認められる点や、位相合成によってビーム方向を自

在に走査できるドップラーソナーを用いて擾乱の方位角異方性を測定する等中層大気の観測と良く似た研究方法を用いている点が筆者には興味深かった。

最後に筆者の雑感を記すが、重力波といった特定の研究テーマで約40件の講演が行われたことから重力波についての関心の高さと米国の研究者の層の厚さを感じた。ビデオや映画を駆使して研究結果を視覚的に上手に表現した発表が多く、また結論を講演の最後に的確にまとめており、一般に発表方法が洗練されている点が印象的であった反面、講演時間を厳守する人は少なく会議全体の進行は遅れがちであった (あるいは、それを前提として Coffee Break や Lunch Break を大変長く取っている) ことは国内の学会との相違を感じた。

これらの一連の会議に出席し講演をするにあたって財団法人国際コミュニケーション基金から派遣費の援助を頂いたことを感謝する。

日本気象学会誌 気象集誌

第 II 輯 第 67 卷 第 4 号 1989 年 8 月

- 清 忠師・権田武彦：気相から成長する多面体水晶の成長速度と晶癖変化
 石原正仁・榎原 均・柳沢善次：冬の季節風と陸風の間で作られたメソスケール降雪帯の構造についてのドップラーレーダー解析
 佐藤 昇・菊地勝弘：代表的な低温型雪結晶の結晶構造
 山崎正紀：熱帯収束帯における台風の発生の数値実験
 大滝英治・塚本 修・岩谷祥美・光田 寧：海洋上での二酸化炭素フラックスの測定
 篠田雅人：熱帯アフリカ半乾燥地における年降水量変動とその南北半球間の連関：1987年まで更新したデータを用いて
 光本茂記：斜面風に関する室内実験
 岩崎博之・武田喬男：停滞した長寿命クラウド・クラスター内部での積乱雲群の振舞に関する研究
 二階堂義信：全球スペクトルモデル T42 の 4 月積分に見られる PJ 的な南北振動
 尾瀬智昭・時岡達志・山崎孝治：ハドレー循環と背の高い積雲対流
 井上豊志郎：分割窓領域データから算定された北半球の冬における熱帯太平洋での雲分布の特徴
 二宮洸三：1979年梅雨期東アジアの雲分布
 水間満郎：スペクトル法による海陸風数値モデルの構築

要報と質疑

- 新田 勅：1986-87 エルニーニョ発生期における双子低気圧の発達と西風強化
 斉藤和雄：診断式による雲量のモデル面への割り振り法の比較