

ヘルシンキ COSPAR 中層大気シンポジウムの報告*

廣田 勇**・山中 大学***

1. COSPAR 総会の概要

1988年7月18~29日の2週間にわたり、第27回COSPAR (Committee on Space Research: 宇宙空間研究委員会) 総会がフィンランドの首都ヘルシンキ郊外のエスポー市で開催された。COSPARとは、IUGGなどと同じくICSU (国際学術連合) の傘下にある国際組織で、最近隔年に総会が開かれている。IAMAP研究集会等とは多少性格を異にし、純粋の研究発表や討論のみならず、地球大気を含む種々の対象に対する宇宙飛行体を用いた観測に関して、技術交流や国際協力の打合せや今後の方針を定める各種委員会が数多く設定されているのが特色である。

今回の総会参加者数は38カ国約1300名、そのうち日本から参加の気象学・大気物理学関係者は筆者2名のほか、加藤進・深尾昌一郎(京大)、小川利紘(東大)、村岡良和(兵庫医大)、土屋清(千葉大)の各氏であった。

2. シンポジウム「MAP 以後の中層大気」の要旨

第1週目の5日間にわたり、“The Middle Atmosphere after MAP” の題で中層大気シンポジウムが行われた。これは1982~85年のMAPおよび1986~87年のMACにおける研究成果を踏まえたもので、国際MAP運営委員会メンバーがプログラム委員となり、MAP/MAC期間中に行われた国際共同プロジェクト毎にセッションを組んだ。以下にその内容をハイライト的に報告する。(I.H.)

2.1 総合報告および新国際赤道観測所 (NIEO)

最初にBwohillがMAPの成果、というよりもむしろMAPによって方向づけられた国際共同による集成的研究の意義について、総括的な講演を行った。次いでKatoは日本のMAPの成果を集約し、観測・解析・理論、力学・化学、さらに南極という広範囲にわたって

大きな貢献があったことを強調した。NIEOについては、最初にFukaoが計画中の超大型赤道レーダーの工学的側面を十分な裏付けをもって示し、次にSoegijoが受入れ側としてのインドネシアの最近の大気観測の動向について述べ、最後にYamanakaが「総合観測所」設立の科学的意義についてまとめた。

2.2 大規模力学 (DYNAMICS)

Hirotaは、主にルーチン観測資料に基づいて、強制および自由Rossby波、さらに内部重力波の計三種の波動についての解析結果をまとめたが、このうち最後の重力波が通常気象ゾンデ観測からも得られることは改めて参加者の注意を引いた。Groseは、衛星による水蒸気などの観測結果をLagrange的な理論と比較して、10日以上周期をもつ波の効果は理論とよく一致するが、それらより短いモードについては必ずしも合わないことを指摘した。Petzoltは、大気球による微量成分観測結果をBerlin天気図や衛星観測に基づく力学的解析結果と比較して、極渦内部の下降流の効果および極渦の移動による効果をそれぞれ分離して定量的に導いた。またPawsonは、温度観測から三次元的分布をもつNewton冷却係数をパラメタライズする際の問題点を指摘し、太陽高度やオゾンの日変化過程まで考慮すると係数の値は子午面平均でも従来より大きくなること、このことが惑星規模波動の減衰つまり平均流加速効果を論ずる上で無視し得ないことを述べた。

2.3 成層圏物質循環 (GLOBUS)

最初にOffermannが1983年9~10月の西欧でのオゾンなどの観測を総括し、周期的変動をRossby波に伴うものとして解析した結果を報告したが、得られた水平波長は通常考えられる卓越モードよりも極端に短く、この種の解析の困難さを感じられた。次にPommereauは、1985年9月多数の大気球や衛星を用いた国際比較観測で得られた信頼度の高いNO_xの高度分布を示し、上部対流圏に未知の発生源の存在を示唆した。この示唆の正当性はひとまずおくとしても、多種の測定器による同時観測が行われたこと自体が画期的なことであり、日本

* Report on the 27th COSPAR Middle Atmosphere Symposium, Helsinki, July 1988.

** Isamu Hirota, 京都大学理学部.

*** Manabu D. Yamanaka, 山口大学教育学部.

の Kondo や Ogawa らが大気球や Ohzora 衛星などに搭載した観測器の性能の高さが充分に示された。特に Kondo のグループの結果は、Pommereau によって別個に報告され、日出時の変動などに関する過去にない詳細な結果が示された。

2. 4 重力波・乱流 (GRATMAP)

まず Fritts が MAP/MAC 期間の観測・理論両面にわたる内部重力波研究の進展を総括したが、波の活動の変動度や発生源の問題は依然として未解決のまま残り、その意味において、ここ数年間の研究はやや停滞した印象を与えた。次に Reid は、各種レーダー観測から得られた重力波の波動要素やそれに基づいて解析された運動量のフラックスの値などをまとめたが、MAP 直前の Lindzen らの理論との比較に拘泥し過ぎる半面で、停滞モードに対する固定点観測の困難さなども感じられた。続いて Hocking が微細乱流の、また VanZandt は内部重力波と考えられる帯域の統計的振舞についてまとめたが、後者はスペクトルに見られる普遍性に関するこれまでの理論的解釈の域を出ていない。司会の Vincent でなくとも、このままではスペクトルとは何だ、何の意味があるのかと冷やかして見たくなるのも無理はない。

以上の総合報告を除き残りの論文はポスター発表として組まれたが、これは講演申込みが多かったことよりもむしろ、十分な推敲を経た自由な印刷公表の機会を与えるための配慮のようである。それらの論文の中で、Fukao は MU レーダー対流圏～成層圏観測による寒冷渦に伴う鉛直変動、重力波の位相速度選別とスペクトル季節変化などを示し、Muraoka は同レーダーによる中間圏重力波のケーススタディを報告した。Van Zandt は Tsuda と共同で MU レーダーとゾンデの同時観測を行い、風速変動のみならず気温変動にも飽和重力波（非線型効果によって振幅の増大が限界に達した状態）と考えられる鉛直波数スペクトルが現われることを示した。Yamanaka は、観測される普遍的特性をもつ飽和重力波が常時全高度に存在するとして、Rayleigh 型の摩擦係数をパラメタライズした。また Wilson は仏の大型ライダー観測に基づく重力波の climatology を報告した。

2. 5 冬季北欧総合観測 (WINE)

これは1983～84年に実施されたもので、会議ではまず Von Zahn が全般的な報告を行った。次に Blix は観測された微細構造を内部重力波およびその砕波乱流として解釈し、Offermann は気温変化を標準大気モデルや惑

星波の理論的構造と比較した。Röttger は、中間圏界面付近の平均風速は東西成分は地衡風のだが南北成分は非地衡風的事であること、風速変動として2日波、半日潮汐および内部重力波（周期<6時間）が卓越することを示した。また Petzoldt は、大循環解析の立場から観測期間の状況や、他の冬との比較について発表した。

2. 6 潮汐 (ATMAP)

最初に Forbes が観測および理論の両面の研究経過についてまとめ、続いて Vincent がアデレードと京都の比較観測をもとに南北構造に関する知見を、また Avery は高緯度での観測結果の特徴的な部分をまとめた。何れの発表でも、観測とモデルとの違いを説明するものとして、重力波効果（砕波乱流による渦粘性減衰）の南北両半球間および年々の顕著な差異が指摘された。Kato は、太陽と同期しないモードに関する最近の研究をレビューし、特に Tokioka-Yagai などの GCM を用いた研究にも着目した。Vial は、Lindzen タイプの重力波ドラッグを導入した潮汐モデリングの改良の試みを紹介したが、周期の似た波の相互作用（直線流以外の波動成分生成を含む）がこのようなやり方で正しく表現できるという保証があるわけではない。また Manson は、潮汐として解析されている鉛直流測定値には、Lagrange 的の予午面循環、特に重力波によるドリフト効果が入り込んでいる可能性があることを、観測の蓄積をもとに指摘した。

2. 7 その他

南半球・超高層・放射・エアロゾル (MASH/GLOBMET/SSIM/GOSSA) のセッションでは、O'Neill が南北両半球の冬季成層圏大循環の違いを、例によってビューグラフを裏返しながら示し（本誌6月号の廣田の小文参照）、特に気温の季節変化における微妙な差異がオゾン等の化学過程に重要な意味があることを強調し、これを研究するためには色々の階層ごとにモデル化して組み合わせることが必要ではないかと述べた。なお、従来北半球の夏冬の背中合わせで代用された中層大気の子午面断面図が、衛星を中心とした観測の集積により、正真正銘のそれで置換えられたことは MAP の大きな成果の一つであり、これは後述の新しい標準大気モデルに反映されている。

以上、本節で報告したものの他に、大気電気(MAE)、夏季北欧総合観測等 (MAC-SINE/MAP ϵ)、オゾン変動 (OZMAP)・赤道力学の各セッションも開催されたが、紙面の関係で省略する。オゾンについては、論文の

大部分は後述のワークショップに回っている。

なお、COSPAR 総会での発表論文は、原則として COSPAR 機関誌である *Advances in Space Research* への投稿を要請されるが、印刷は1年以上遅れるのが常であり、また他雑誌にしか投稿しない著者も多い。このため国際 MAP 運営委員会では、MAP Handbook の一巻として、MAP シンポジウムで発表された全論文の要旨および主要図面を掲載したものを刊行する予定である。(M.D.Y.)

3. ワークショップ等

3. 1 太陽地球系エネルギー国際協同研究計画 (STEP)

第1週の最後には、SCOSTEP の下で1990年を目途に計画が進められている国際プロジェクト STEP (Solar Terrestrial Energy Program) に関する特別セッションが開かれ、太陽から地球大気までの5領域についてそれぞれ総合報告が行われた。中層大気に関しては、Hunt が太陽放射および下層大気からのエネルギー流入に対する応答の諸問題について MAP の成果をふまえたレビューを行った。(I.H.)

3. 2 南極のオゾン減少

第2週に次々に開かれた中層大気関係ワークショップの最初である。Stolarski は、NIMBUS-TOMS のデータに加え、Hasebe の準2年変動などの解析結果なども引用しながら、これまでの化学的・力学的解釈を観測事実と比較した。McCormick は、SAGE 等の衛星による観測結果をもとに、エアロゾルおよびこれを核として低温の南極成層圏に生じる氷晶雲 (PSC) とオゾン減少との関係を強調した。次いで Farmer は、1986~87年にわたり米国の多くの研究機関が共同で行った集中的観測の概要を報告した。最後に上記3名と Keating をパネラーとし、座長の Rycroft を司会者としてパネル討論が行われた。オゾン減少には、春季南極上空の‘穴’の出現と、この穴が年々深まることの2つの側面がある。前者についての力学的説明のうち Tung らの提案した子午面循環の存在、および後者についての太陽変動との関連はともかなり否定的である。フロンガスの関与については目新しい進展はないが、穴の周囲の‘壁’との相対的深さの増大、エアロゾル-PSC 機構などが新たにクローズアップされてきた。しかし、これらと気温(従って大気大循環)とのカップリングおよび年々の進行の説明には、まだ打開の糸口が得られていない。こ

のような状況とは裏腹に、各国政府からは対応についての助言を緊急に求められている。結局、まだ何もわかっていないことがわかった、という感じで閉会したが、引続き8月に西独で開かれるオゾンシンポジウムで何らかの break through が得られることを期待したい。(M. D.Y.)

3. 3 標準大気

従来、中層・超高層大気研究でしばしば用いられてきた CIRA (COSPAR International Reference Atmosphere) は、1972年版であり、現状にそぐわないため up to date な改訂版が強く望まれていた。COSPAR ではこのため1980年代に入ってから近年の衛星観測資料の充実をふまえた“CIRA 86”の出版を計画し、各国研究者の協力を得て、やや遅ればせながら本年末か来年初頭には上梓されるはこびとなった。今回の COSPAR 総会では、その最終稿の説明と確認のための討論が行われた

中層大気に関しては、すでにその原型が Handbook for MAP の第16巻(1985)に印刷されているので御存知の方も多かるう。72年版にくらべ、CIRA 86 の目立った特徴としては、1) 南北両半球が独立かつ対等に扱われていること、2) 衛星赤外線観測値から算定した帯状平均流(傾度風)が赤道まで与えられていること(これは筆者(廣田)の強い要請が受け入れられたものである)、3) 帯状平均値のみならずプラネタリー波や重力波など波に関する情報が大量に盛り込まれていること、4) 同様に、長期間平均のみならず、QBO や SAO などの経時変化の記載も豊富であること、などを挙げることができる。その他オゾンをはじめとする大気微量成分の統計値の充実は言うまでもない。出版の暁には CIRA 86 の多方面にわたる活用が期待される。(I.H.)

3. 4 大型レーダー

第2週のうち2日を使って“Recent Incoherent Scatter Research”と題するワークショップが、国際電波科学連合(URSI)などとの共催で開催された。内容の大部分は電離圏およびその磁気圏との相互作用の研究、あるいはレーダーに関する電子工学的研究であった。日本からは Fukao が MU レーダーによる電離圏観測について報告した。最後の総合討論を含め、近年の中層大気研究におけるこの種のレーダー技術の活躍や、STEP における電離圏と中性大気圏との相互作用の研究への展望も、随所に意識されていた。

3. 5 層状構造

上記(3. 4)に引続く形で1日半を割いて行われたが、このワークショップでは中層大気関係の論文が圧倒的に多かった。Reid は、中間圏でレーダー観測される乱流層を、65~80 km 高度に現われる薄く水平に広がったもの(内部重力波帯域まで連続したスペクトルをもつ)、および80 km 高度近傍より上に現われるパッチ状のもの(Brunt 周波数付近より高周波)の2つに大別した。Grechko は、ソ連での太陽や月の掩蔽観測をもとに、エアロゾル層、オゾン層、夜光雲、電離層に対応する温度変動の鉛直波数スペクトルが、厚いもの(成層圏で鉛直波長数10m以上)は鉛直波数 -3 乗則、薄いものは -6 乗則となると報告した。一方 Sidi および Dalaudier は、Lumley らの相似理論から出発すると成層圏では10m 付近の鉛直波長帯(一種の慣性小領域)より低波数側(浮力小領域)で -3 乗則、高波数側(粘性小領域)で $-5/3$ 乗則となると述べ、これに基づき浮力小領域での種々の次2相関量を理論的に導いた。この理論は Hocking らのレーダー観測による風速変動スペクトルとは合致しているように見え、Lilly や Gage らの水平2次乱流理論と違って鉛直波数スペクトルを導けるが、やはり内部重力波の理論との関係は明示できていない。結局、シンポジウムの方でも議論されたように、スペクトルの問題はまだ決着がつかない。なお Lott は局所不安定領域に侵入した内部重力波の線形定常臨界層問題を解いたが、不安定状態が線形定常に維持されるとは考えにくいので現実との対応は弱い印象であった。

Olivero は夜光雲の、Clemesha はナトリウム層の観測・理論両面の総合報告を行った。Hauchecorne は仏の、Philbrick は米の、Chanin は協同観測したソ連の、それぞれライダーによる大気密度(温度)観測について報告した。このうち Hauchecorne の論文は季節変化についての重力波砕波理論による解釈を含み、また Chanin の発表は後述の太陽変動との関係の解析につながるものである。何れにしても成層圏~中間圏の広範囲をカバーする唯一の測定手段として、ライダーの中層大気力学への活用は今後益々重視されることにならう。なおブラジル在住の Takahashi による中間圏界面付近の大気光に見られる波動に関する発表もあった。

3. 6 太陽変動と中層大気

最終日に開かれたこのワークショップでは、Labitzke が下部成層圏で検出した太陽黒点数と同期した11年周期変動を中心に活発な議論がなされた。最初に Keating が衛星による紫外線観測、および COSPAR の将来とい

うような観点から、考え得る太陽と中層大気との関係について述べた。次に Labitzke 自身がこれまでの気象観測資料の解析から、赤道 QBO によるカテゴリー化が鍵であること、50 mb 高度付近で最大の相関をもつことなどを要約した。また Chanin は北極域ライダー観測結果からも同様な結果が得られることを報告した。これらを受けて Geller は、以前の太陽活動と気候変動との関係に関する諸研究から説きおこし、相関があることと因果関係があることは別であると強調した。また Timsley は、放射・光化学・熱圏変化などの素過程をまとめた後、対流圏内の低気圧移動解析や雲物理などを含め今後の研究方針を指摘した。

STEP が将来計画の目玉となっていることもあり、最終日まで残った出席者の多くが、気象関係以外を含め、これらの講演を聴きに来た。講演後の質疑応答や休憩時の雑談などから察するに、気象関係の間では否定的とは言わないまでも批判的な人が多いのに対して、超高層あるいは太陽系空間研究者の中には大発見として評価している人が多いようであった。因果関係がきちんと説明できない以上、頭から信じることは危険である。しかし、正否の判断ができるほどには、(中層に限らず)地球大気そのものがまだわかっていないことも強調したい。この種の問題は(オゾンホールなどと同様)世間にはウケル話題であるが、MAP 以後の中層大気研究を担う身としては、手放しの評価にも一方的批判にも偏らず、地味な素過程を丹念に解明していくことを心掛けるべきであろう。(M.D.Y.)

4. その他の関連事項

4. 1 国際 MAP 運営委員会

期間中に国際 MAP 運営委員会の会合が開かれ、今後の中層大気研究に関する国際協力が議論された。ひとつは MAP Data Catalogue の出版に関するもので、1988 年末までに MAP 関連のデータを各々の experiment 毎に1ページに要点を記載したものを集め、Handbook for MAP の一巻として印刷する予定である。もうひとつの重要な確認事項は先に述べた STEP の中に中層大気関係の研究項目を主要な柱のひとつとして取り入れるべく働きかけ、その結果国際 STEP 運営委員会(日本の大気物理学関係では加藤進氏が参加)の中に中層大気の Working Group が設置されるはこびとなったことである。今回のこの方向づけは、今後の日本における STEP の進め方にも大きな影響を与えるものと考えられる。

(I.H.)

4.2 大気力学観測ネットワーク (DYANA)

昨年来、西独の Offermann は、気象ロケット (20~60 km 高度はゾンデ、80~120 km は落下球使用) その他の観測手段を世界的に動員して、中層大気の惑星波・重力波を同時観測する計画 (DYANA と略称) を提案している。西欧諸国を中心とした各国の研究者との意見交換を踏まえ、計画の実施を議論する非公式な会議が、MAP シンポジウム参加者有志を集めて開かれた。既に西独では気象ロケット調達のための予算が具体化し、特に日本には32機が配布される予定で、これを受けて宇宙研 (会議には小山孝一郎氏が参加) では鹿児島宇宙空間観測所 (内之浦町) での実施準備を開始している。今回

の会議では、観測期間を1990年1~3月の8週間とし、取得データは自由交換を旨とすることなどで合意した。観測の実際面や解析方法、最終的参加者の確認、各国間の組織などにはなお問題があり、今後適当な機会に再び会合が持たれる予定である。現在のところ、惑星波のグローバルな解析については Offermann 自身の他に廣田が、また重力波のローカルな解析とグローバルな比較については仏の Hauchecorne と山中が、それぞれ参加を要請されている。(M.D.Y.)

最後に、筆者 (山中) の参加は科研費 (代表: 松野東大教授) による国際共同研究の機会を利用させて頂いたものであることを記し、関係各位に謝意を表する。

今年お世話になったレフェリーの方々 (昭和63年)

青木 孝、青柳二郎、赤枝健治、秋山孝子、足立 崇、猪川元興、内野 修、上田 博、奥田 稷、加藤内蔵進、加藤真規子、北村佳照、木村富士男、楠田 信、久保田効、近藤純正、近藤裕昭、佐橋 謙、沢井哲滋、宍戸信行、高谷美正、武田喬男、長沢親生、新田 勅、

二宮洸三、能登正之、花輪公雄、藤井 宏、藤部文昭、藤吉康志、松尾敬世、松田佳久、萬納寺信崇、水野量、三村泰一郎、村上正隆、森 征洋、山形俊男、山田芳則、安成哲三、吉崎正憲、吉住禎夫、余田成男
(敬称略)

(p714からつづく)

はこのような問題があるが、なんとか解決する手だてを提案してもらえないものだろうか、といったニーズを「天気」の「会員の広場」欄などにどんどん投稿して下さい。また、それに応じて、こうすれば解決できそうだから、こういう研究をすれば解決の糸口も見つかるだろうとかいう意見もだして頂きたいと思います。

気象に対してニーズをもっているのは、「天気」の読者に限りません。従って、気象関係者からはもちろん、農業・漁業・工業・運輸業・土木建設業・サービス業・情報産業など様々な業種の方、また一般社会の方からもニーズを天気誌上に出して頂けたらと思います。読者の皆さんから、身近の方にも声をかけてみて下さい。