

ロンドンで開催された国際雲物理学会*

駒 林 誠**

1972年8月下旬に国際雲物理学会がロンドンで開催された。私は日本学術会議から旅費の支給を受けて、この学会に出席することができたので、学会のようすを詳しく報告する。

1. 会議の性格

名称：国際雲物理学会
 会期：1972年8月21日—8月27日
 会場：英国ロンドン市王立学士院会議場
 会議の形式：研究発表会
 主催団体：国際雲物理委員会（略称ICCP）
 代表者 Helmut K. Weickmann
 共催団体：国際気象・大気物理連盟（IAMAP）
 国際測地・地球物理連合（IUGG）
 王立学士院（The Royal Society）
 王立気象学会
 世界気象機構（WMO）
 今回の組織委員会：代表者 B.J. Mason
 所在 英国気象局内

2. 出席の状況

出席者：215名 うち英国内30名、海外185名、参加
 国数17国・、内訳、英、米、ソ、仏、オランダ、
 西独、スイス、東独、ポーランド、スウェーデン、
 イタリア、イスラエル、カナダ、南アフリカ、イ
 ンド、オーストラリア、日本
 日本からの出席者：2名
 北大理学部 孫野長治教授
 気象大学校 筆者

3. 研究発表日程

8月21日 出席登録、開会式
 雲物理測器
 8月22日 核生成と雲粒の成長
 雨の物理
 8月23日 雪の物理
 英国気象局見学
 8月24日 ひょうの物理

雲の構造と力学

8月25日 雲の数値モデルづくり

降水粒子の帯電

8月26日 GARPに関連した雲物理諸問題、閉会の
 辞

4. 委員会日程と議題

国際雲物理委員会と凝結核・氷晶核小委員会合同で8
 月22日、24日、25日の昼食後に開かれた。議題は次の通り。

- 1972年モスクワのIUGG総会の折りに開かれた
 この委員会の議事録の承認。
- 1969年プラハ・ウィーンの国際凝結核シンポジウ
 ムのプロシーディングズを作る件。
 1970年コロラドで開かれた核測定実験会の報告を
 故 Dessens 教授記念号に加える件。
- GARP/GATEに雲物理委員会から勧告をお
 こなう件。
 GATE側から Kuettner 氏の出席をもとめ、討
 議した結果、雲水量を正確に測定することの重要性
 をあげ、4種類の雲水量測器の名を具体的に付し
 て、飛行機で測定する項目をもうけるよう勧告する
 ことになった。参加希望者は自分で経費と測器を用
 意してGATEにプロポーザルを出すこと。
- ICCPの中に気象調節小委員会をつくる件。
 時期が早いので次会に持ち越した。どうしても必
 要なときは作業グループをつくることにする。
- 1974年メルボルンで開かれるIAMAP総会で雲
 物理委員会が開くシンポジウムのテーマの件。
 「雲の輻射学的性質 radiation property of clouds」
 とし、輻射委員会に共同で開くよう申し入れをする。
- 第8回凝結核・氷晶核シンポジウムの件、1973年
 7月予定であったが、ソ連国内の手続の関係で延期
 になる見込み。延期すれば同年9月中旬まで、1973

* International Cloud Physics Conference, London

** M. Komabayasi 気象大学校

年1月まで本決りにならないときは、あらためて考えなおす。

7. 第3回核測定実験会(Nucleation Workshop)の件。
1974年夏にコロラドのフォートコリンズか、アリゾナの砂ばく研究所の予定。氷晶核測定に限る。測器内の湿度が指定できるように工夫してくること。
8. 次回の国際雲物理学会の件
1976年夏にコロラドのボルダーで開く予定。

5. 夕食会のスピーチ

8月22日夜に王立学士院の中でカクテルパーティーがあり、8月24日夜にハイドパーク・ホテルで夫人同伴の夕食会があった。その夕食会で2つのテーブルスピーチがあった。私が理解した範囲で次の通りであった。

メイソン博士のスピーチ

世界の多くの国から今回の学会に多くの出席者をえて誠によろこばしく思っています。また同じ専門を通して、私が夕食会に出席されたすべての方々の名前を知っていることも嬉しく思っています。

ここで3つのことをお話したい。1つは10進法のことです。かつて英国を訪問された方は必ず12進・20進法になやまされたことと思いますが、今やこの国の通貨も10進法となり、ずっと便利になりました。この功績は政府にあって私には関係がありません。もっとも我々英国人は、今まで240ペンスの値打のあったポンドが、政府のおかげで100ペンスに下ったのでいささか当惑しております。

2番目は英国の天気のことです。今私は英国の天気に関しては全面的に責任を負っています。お気付の通り、この10日間毎日快晴が続いております。英国は通り雨の多いところで、このように好天が続いたことは珍らしいことです。これは私が雲物理の知識を総動員して、英国気象局のスタッフが全力をあげた結果えられたもので、功績は私にあると言えます。

3番目は、重要なことであります。ほかでもない気象調節のことです。私は気象調節がシリアスな事態にあると考えます。それは気象調節が政治の上で利用されはじめたことです。気象調節の手法が技術面の進歩をとげた結果、政治家がそれを使いはじめたからです。

ことによったら、この夕食会に出席された方の中にも、少数だとは思いますがそれに直接関係のある方がおられるかも知れません。私は、科学者はこれに反対すべきだと思います。反対することが大変に努力のいることであることは私にもわかります。なぜなら、それによ

て、気象調節の直接の研究費が止るばかりでなく、雲物理の基礎研究に対する研究費まで止ってしまうかも知れないからです。それは予算をきめる人が、とりもなおさず気象調節を利用しようとしている同じ政治家だからであります。

しかし、一時的に雲物理の進歩がおくられても、国々の間の平和を尊重することの方が、長い間には雲物理の発展につながるものだと私は信じています。

たしかに、雲物理学は、長い年月の間、気象調節のゆりかごによって育てられてきました。しかし今や雲物理学は天気予報を目的にして成人すべきだと思います。

ところで、多くの方々は、4年前にカナダのトロント市でこの学会が開かれたとき、ナイアガラの滝のそばのレストランで、すばらしい夕食会に招待されたことをおぼえておられるでしょう。今日私がすわっているホストの席に、ヒッチフェルド教授がすわっていて、あの時彼は何をしたか。私を突然にテーブルスピーチに指名したのであります。私はその仕返しの機会を長い間待っていましたが遂にその時となりました。ここでぜひヒッチフェルド教授のテーブル・スピーチを聞かせてもらいたいと思います。みなさんもそう思うでしょう。それともリスト教授が応援のため一発噴火しますか。

ヒッチフェルド教授のスピーチ

感銘を受けた以上の名スピーチを、メイソン博士の口から聞きましたが、彼はこのスピーチを3年間も考えてきたに違いありません。彼のしんぼう強い復讐心のせいで、とうとう私がスピーチをする破目になりました。私のスピーチはたった3分間だけ考えてこしらえたものであることを、みなさん忘れないで下さい。

先のスピーチにでてきた10進法のこと、たしかにお説の通り、同感です。私ども旅行者は大変助かりました。すなわち第1の点に関して私はメイソン博士に賛成します。

英国のすばらしい天気のこととも賛成で、英国気象局長官の功績であることに、少しばかりも異議をさしはさむものではありません。また本日のすばらしい夕食会についても、王立学士院はじめ、王立気象学会、英国気象局のスタッフのみなさんに厚く感謝いたしております。

第3の気象調節の点については、私は異なった考えもっています。ご承知のように、カナダの人々は毎年おこるひょうの被害になやまされています。カナダでは、ひょうの被害を少しでも軽くできるようにと雲物理の研究をおこなっています。民間の二、三の会社の中には、

本当に効果があったかなかったかわからないようなやり方で、ひょう抑制をとらえて、金をとっているところも、ないことはないようです。

しかし、現実にかんという病気があるとき、効くか効かないかわからない治療法をする医者があるからといって、がんの治療法の研究から手を引くべきであるということができのでしょうか。またがんの研究を政治上に利用しようとする人がいるからといって、がんの研究をやめるべきだと言えるのでしょうか。病気が存在するかぎり誰もそう言える人はいないはずです。

それと同じように、ひょう害ばかりでなく、雨や雪のいろいろのストームの災害、あるいは水の不足が、病気と同じように世界中に存在するかぎり、気象調節の研究を積極的に続けるべきであると私は考えています。

私は科学のコミュニティーの中に政治が侵入して来ることに反対であります。その点については、メイソン博士と同意見であります。ここで大切なことは、私たちの勇気と力です。すなわち私たちは、基礎研究のみを続行するばかりでなく、応用的技術的側面についても、私たち科学者自身が徹底的に研究をおこない、実施段階まで責任をもつ心がまえが必要であると思います。基礎研究だけをおこない、応用的な面をおろそかにする結果、そこのすきにはいりこんで、そこから先をわれわれの手のはなれたところで開発し、その技術を政治の世界に利用することができるのだと思います。

雲物理学が気象調節のゆりかごの中で育てられてきたことが確かな事実であるように、これから先も、気象調節は雲物理学の母であると信じて疑いません。

6. 英国気象局見学

8月23日の午後に、英国気象局の見学があった。私は、気象局の中で雲物理がどんな役割をしているかを見たかったし、また気象局の仕事ぶりも見たかったので参加した。見学希望者が多かったから、はじめて英国に来た人を優先して30人にしぼった。幸い、私はその中にはいれて、半日かけてじっくり見学する機会をえた。

ロンドン市内から高速バスで1時間15分ほど、住宅地を通り、牛のいる牧場をぬけ、テムズ川の支流をこえる。ここまで来ると、テムズ川も水が澄んだ小さい川で、刈入れ前の麦ばたけが美しい。気象局は5階建ての現代風ビルで、広い野原の中にあつた。渡り廊下でつながれたブロックにわかれていて、観測関係のビルと予報関係のビルを見学した。観測関係では、レーダー、雲粒の相互衝突の係数を求める実験、ひょうの中の重水の含

有率の調査、雪の結晶が再分裂する割合をきめる実験、水滴の凍結から氷の飛まつがどのくらい生ずるかきめる実験、空気中の氷晶核数の実験、霧の粒度分布をホログラフィーの方法で測定する以上7項目の説明を受けた。レーダー以外は器機の実物があつて、大学祭のように、担当者がついていて質問に応じて動かしてくれた。

雲粒の相互衝突の実験では、アクリル製の透明な小型水平風洞を使っていた。長さ1m、断面18cm×18cmぐらい、風洞の上に水滴の入口が2箇所ある。風上寄の口から5ミクロンの水滴を入れ、15cmほど風下寄の口から20ミクロンの水滴を入れる。両方の水滴とも水平風に流されてななめに落下するが、傾斜角が違うため、風の中で交叉する。水滴をつくるには、鉛筆の太さで、長さが6cmほどの鉄製パイプの先に針でついたほどの穴があり、にぎり式のふいこで気圧を加えて水を送り、電磁石でパイプに振動をあてて微水滴を飛び出させる。一方の水に食塩を入れ、他方の水に硝酸銀を入れてあり、衝突して併合した水滴は白濁して黒い床の上に落下する。それを顕微鏡写真で数える。水平風に鉛直シャーをあてると衝突係数が増大することがわかったと言っていた。

ひょうの中に含まれる重水の量は、ひょうを層別にかして、質量分析器にかける。スチーブソン女史の担当で、フランスのメルリパ女史の指導を受けて測定している。これはひょうの層状構造の各層がどの温度で形成されたかを重水濃度を利用して調べる目的である。

雪結晶の再分裂は、コールドボックスの底に砂糖溶液をおき、氷晶を入れて気圧や風のショックを加えたり、過冷却水滴を入れたりして測る。

氷晶核は沔紙法で顕微鏡下で数える方法であった。

霧粒の測定は、野外の霧の中で、ルビーのパルスレーザーで35ミリフィルムにとつたホログラムを、赤色のガスレーザーにかけて、霧粒の実像を空間に再現し、三次元空間に分布している実像を凸レンズで拡大してスクリーンに上映して粒度分布を測る。凸レンズを少しずつ移動させて、次々と空間をおおいつくす方法であった。ホログラフィーのPRはしばしば耳にするところだが、実際に使うところを見たのは、私にとって初めてで面白かつた。日中でも、フィルムに直射光がはいらないようにフードをかければ、霧の観測ができるとのことであった。パートレット博士が担当していた。

実験の各チームは1人の研究員と2人ないし3人の研究補助員からなつていて、研究員は25歳から30歳、研究

補助員は20歳前後であった。これらの若い人たちがいづれも仕事熱心で見ていただけでも気持がよかった。観測部長にたずねたところ、研究者のほとんどは長官と一しょに大学から移って来た人で、スチーブソン女史だけが元から観測部にいた人であり、長官は何かと彼女に気をつけている。研究補助員は1年制の気象訓練学校の卒業生の中で、実験好きな人であるとのことであった。

実験装置の大部分は同じ建物の中にある工作室でこしらえ、微水滴をつくる道具のように同じ物をたくさんつくるときに外注しているとのことであった。

これらの実験をおこなっている部局は、日本でいえば気象庁の測候課と測器課とを混合したようなセクションで、天気予報のための雲物理学を看板にしていた。20ミクロンの水滴と5ミクロンの水滴との衝突が、鉛直シヤの強さとともに非常に小さい値からぐいぐい大きくなる実験結果は、たとえば層雲の中に鉛直シヤがあると、雲粒の併合が開始して霧雨になるとか、積雲の群の中に下層ジェットが生ずると、その部分だけ雨滴の形成がおこなえるなどの降雨開始条件あるいは降雨強化の条件をあたえることになる。

雪結晶の再分裂を温度、湿度、気流の乱れを変えながら数えていたことは、コールドボックスに現れる自然氷晶核数と降水粒子の生産数との関係づけをおこなう上で役に立つわけで、これも降水強度の予測につながっている。ひょうを重水の観点から調べる方法は、1個のひょうを調べ上げるのに6か月もかかるから、測候所レベルでは顕微鏡観察の方が役に立つとメイソン博士が言っていたが、他の装置はいずれも測候所で使用しうる簡便なタイプになっていて、いずれネットワークを張ることができるものであった。

レーダーについては、ブローニング博士が、前線の構造と降水の層状構造について説明していた。Royal Radar Establishment (英国レーダー観測施設)は、気象局と独立の機関だが、気象の人は兼任しているとのことであった。

概していうと、今回見学した気象局の雲物理実験は、短時間予報につながる問題であった。ラジオやテレビの一般向け天気予報をきいた限りでは、現況を詳しく述べていたのが興味深かった。イングランド地方午前中くもり午後日照あり、スコットランド地方午前晴れ午後雷雨発生の見込み……という普通の予報のあと、現在シャワーがどこどこ、雷雨がどこどこにある。ヒースロー空港視程いくら、ドーバー海峡風力いくらで波がどうの

と詳しく続く。われわれ旅行者にとっては空港や海に関心があるので思わず耳をすます効果があり、親切な天気予報だと思った。このこまかい天気予報はおそらく昔から出していたのだらうから、気象局に雲物理的手法がはいって急に変わったとは思えないが、定時にとらわれずに必要に応じて現況を伝えるという姿勢は、あるいは雲物理の人の考えがはいっているかもしれない。

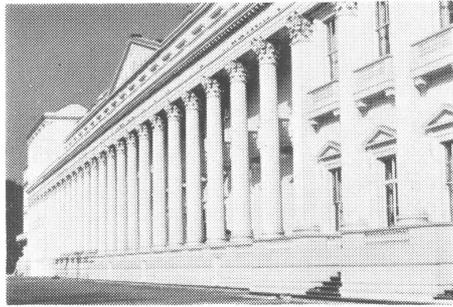
街角や公園のところどころに気象塔があって、その場所の風向、風速、気温、湿度が4台の別々の電流計に表示されていて、ときどき通行人がのぞきこんでいた。

観測関係のビルの隣が予報のビルで、下の方に電計室があり、上の方に現業室があった。電計室にはIBMの195型がはいっていて、10層モデルを使った雨量予報などをルーチン化していた。シンクロスコープのように目まぐるしく動く表示装置の中に60ミリのフィルムを入れると2秒ぐらいで天気図のネガがでてきて、それを引伸機にかけるとゼロックスに似た色合の大きい天気図になる。また24時間後の雨量や気温を知りたいときに、知りたい地点の番号を押すと、何点でもテレビの上に地名と予報値が、一覧表になって表示されるようになっていた。

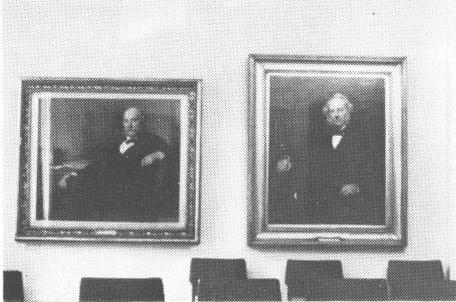
現業室には緑色のじゅうたんが敷いてあって広々とした中に、ゆったり間隔をおいて2列の机をならべて、プロットとテフィグラム書きをしていた。電報用紙は天井から落ちてくるのではなく、じゅうたんを踏んでゆうゆうとはこんで来るのであった。ビートルズ風な髪型や服装をした22、3歳の人たちがもくもくとプロットしていた。プロットの終わった図面と電報とを読み合わせてチェックしている人は女性であった。

予報当番の人が1人だけ同じ大部屋のまん中にすわって線を引いていた。まわりに10卓以上の机があったが誰もいなかった。それはみな予報官たちの机だそうである。予報官はすべて大学教授なみに個室をあたえられていて大学教授の部屋よりは狭いが、そちらにも勉強机があって、当番でないときは個室で研さんにはげむ。当番のときは大部屋の中にある自分の机にすわるのだという。

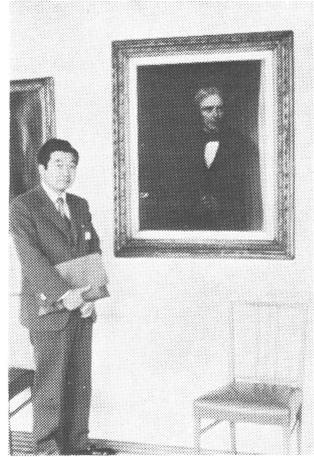
気象局が静かでゆったりした雰囲気であることは誰の目にも明らかであった。その原因の一つはスペースの広さにあるようで、気象庁の本庁の建物の倍の広さに1000人が勤めているとのことであった。もう一つの原因は英国人の性質にあるのかあるいは勤務制にあるのかわからないが、落ち着いた仕事ぶりが印象的だった。調子づいて、かさにかかって猛烈に仕事をしている顔にあわなか



a 学会会場外観



b レーリー (左) とストークス (右) の肖像画



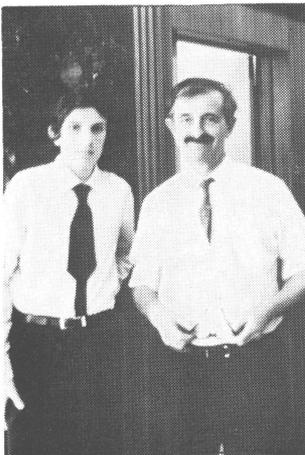
c ファラデーの肖像画と福田教授 (デンバー大学)



d 英国気象局のビル



e 気象局の受付



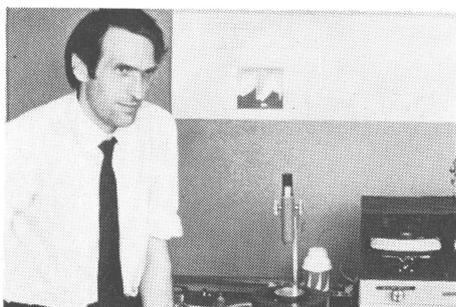
f 気象局の守衛親子



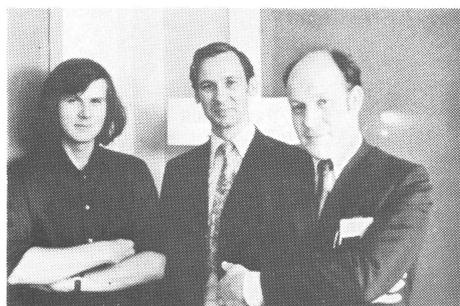
g レーダーを説明するブローニング博士



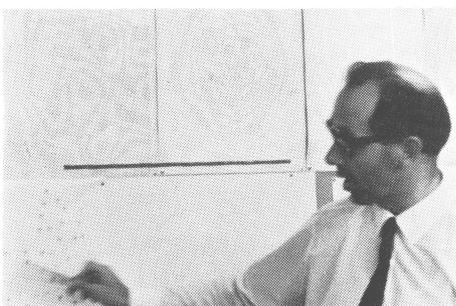
h ひょうを説明するスチーブソン女史



i 氷晶核測定



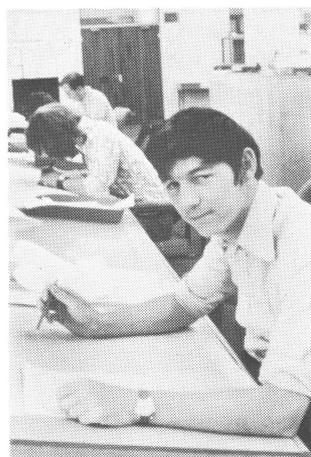
j ホログラフィーのグループと観測部長



k 電計プロダクトの説明



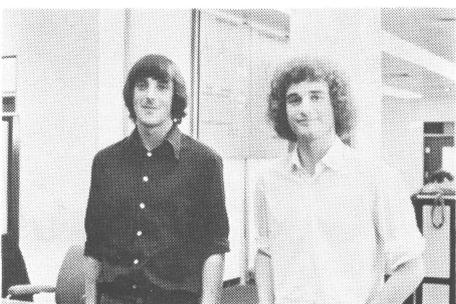
l 電計室職員



m 予報課現業室で断熱図作成



n 天気図と電報の読み合わせ



o プロッターの若い人

ったし、仏頂面をしたり思いつめた顔をしている人にもあわなかった。

全体としては着落していて、日本と違う感じを受けるが、個々の気象局員を見ると、日本の気象庁の人と、感じがそっくりで、立居ふるまい、物腰、笑い方まで似ているのにはおどろいた。雲物理の実験補助員には、日本の気象大学の研修生の一番若いクラスに似た人がいたし、氷晶核を測定していた人は去る3月に亡くなった気象研究所の丸山晴久博士（専門氷晶核）に目つきからひげのそりあとまで似ているのであった。またプロッターも予報官にも日本に思いあたる人がいた。同じ職業が人を似せるのか、そういう顔の人が気象をやるのに適しているのか、地球の反対側にもう1つの日本の気象庁があるような——英国気象局員が日本に来れば同じことを感ぜずと思う——SFドラマに出てくるもう一つの世界を錯覚したくなるようだった。アメリカ気象局では経験したことのない親近感を受けた。

さらに、私が話しかけた気象局員は例外なく「私は日本の Met Office から来た」と言うと、急ににこにこして親切にしてくれた。守衛から受付のおばさん達までそうだった。同業者の親密感か、あるいは誰か以前に日本の気象庁から英国気象局に長く出張して評判が良かった人がいたのかもしれない。

7. 学会の会場

バックingham宮殿前のセント・ジェームス公園に面したカールトン・テラス・ハウスが学会の会場であった。王立学士院の部屋で、外は堂々としたギリシャ神殿型で、内はうす暗く、部屋から廊下から階段のおどり場まで歴代フェローや会長の等身大肖像画でうめつくされて、いかにも古風なところだった。ニュートン、ボイル、ダーウィン（潮汐学者、進化論の次男）、ストークス、レーリーの肖像とか、フェラデーが会長を引受ける図など円卓を囲むフロックコートの紳士達が身をのり出している少し脇に、フェラデーが片手をふところに入れ、もう一方の手をソファの背にかけて恰好つけて立っている絵があって面白かった。

アメリカから熊井基博士と福田矩彦教授が来たが日本人は235名の出席者中たった4人で、前回のカナダのトロントの14人にくらべてまるで淋しかった。

開会式では、初代王様則位式の肖像画の真下、演壇よりさらに一段高いところに、学士院の副会長が上って、日本でいえば紫のふくさにあたるざぶとん型のクッションの上に開会祝辞をのせて読んだ。港湾ストライキが長

びいてやっとまとまったばかりで、市内では機動隊にサンドイッチされてアイルランド関係のデモが続いているときに、ゆうゆうと古式ゆたかに開会するところが英国風なのかと感心した。その人は「昔スコットランドの詩人は、雲は銀のファイバーの如く空をゆくとよんだが、みなさんはヨウ化銀のファイバーの上に雲を見る」とみなを笑わせて祝辞をおえた。カクテルパーティーのとき、この人にたずねたら、電子顕微鏡が専門で、名古屋大学の上田良二教授と親しいとのことであった。

開会式をおえて、すぐ雲物理測器の研究発表にはいった。ところが午後建物内全部が大停電して、2時間以上うす暗い中での発表会となり、スライドが全く使えなかったし、うす暗いというよりは暗くてけつまずくほどの食堂でコーヒー・ブレイクをとり、再び続けたのにはまたおどろいた。そのうちセントジェームス公園の街灯から電線を引っ張りこんで直接にスライドプロジェクターにつないだので、最後の出番の人だけスライドが使えた。照明はその日のうちは最後までつかなかった。

第4日目には火災報知機が鳴りはじめ、いつまでも鳴りやまない。メイソン博士が出ていくと間もなく走って帰って来て、よくわかる発音で「Everybody exit!」と叫び、出席の一同は非常口をあけて逃げた。ゼロックスの使い過ぎからボヤになったそうで、白煙が立ちこめた。消防が来る前に消し止めて、発表会はすぐ再会された。さすがに緒ある建物だけあって、電気配線も古式ゆたからしかった。何がおこってもベースの乱れないところが、英国の真ずいと読めた。

それができるのは、スケジュールに余裕がとってあるからである。学会の提出論文150のうち、1/3の50をえらび、午前5篇、午後5篇を40分づつかけて口頭発表し、あとの100篇は予稿集にのっているの、関連のある場合に立って宣伝してもよいということで口頭発表をさせなかった。私も口頭発表から閉め出されたが、幸い孫野教授が雪結晶のレビューを口頭発表し、その中で私のスライドを1枚出してくれた。

一会場制を採用し、午前と午後にはコーヒー・ブレイクを入れた。上映方法は、スライド、16ミリおよび透明な紙にマジックで書くとスクリーンに映る投写器の3種類、黒板とビラは使わなかった。講演用マイク、座長用マイク、質問者用有線のマイク2個、昼食は学士院の食堂が手狭なため、当日の発表者と座長、翌日の午前の発表者と座長、委員会委員は委員会のある日だけ、50ペンスで食券をもらって利用した。ほかの日は外へ出た。

セッション 1 雲物理測器のレビュー

座長：P. Goldsmith 英国気象局

口頭発表：J. Telford, R.C. Srivastava,

R.E. Ruskin

雲の風上側のふちははっきりして、晴れた空気と雲の中の空気の性質は無限大の勾配をもって接している。もし渦動拡散がはたらけば雲のふちはぼけるはずだから、この場所は渦動拡散はゼロであろう、一方気流の乱れやエントレインメントはこの場所で最強であろう、つまり渦動拡散の考えは雲の乱流の作用について本当の姿を回避した考え方である。だから雲の中の乱流を詳しく測定しなければ、……と Telford は強調して、飛行機の機首の先端から 2 m ほど棒を水平に突き出してその先端に慣性プラットフォームをつけた自分の話をレビューした。

Srivastava はドップラーレーダーで上昇流を測定したレビューをおこない、Browning が前線の中のリチャードソン数の臨界値が 0.3 であって、それよりシャーが強くなるとすると乱流でこわれると報告した例や、Lhermitte の仕事などおまぎで公平にしゃべった。

Ruskin は飛行機用の粒度分布計について、雲粒、氷晶、雨滴測定をレビューしてから、レーザー・ビームの中を通過する雲粒の陰影をシグナル・パルスにかえて粒度分布を測定する自分の仕事をレビューした。

セッション 2 雲物理測器

座長：D.G. James 英国航空局研究飛行部

口頭発表：J.D. Sartor, A.G. Laktionov,

L.F. Radke, R.J. Adams, H.T. Bull

はじめの 3 篇は飛行機用測器で、セッション 1 と合わせて飛行機観測が定着した感をあたえた。ソ連はテレビカメラで雲粒を測定する方法、Radke (ワシントン大) はクロスニコルの間に雲粒や氷晶を通過させて、氷晶だけを数え、雲粒に感じない計数器を報告した。あとの 2 篇は、それぞれホログラフ法で霧粒を測る話(気象局見学の節参照)とけい留気球。

セッション 3 核生成と雲粒成長

座長：E.X. Berry ネバダ大学

口頭発表：H.W. Georgii, S.C. Mossop,

L. Vardiman, N.Nix

はじめの 2 篇はレビュー、Georgii は凝結核の化学組成が硫酸塩であることを長くしゃべった。熊井博士によれば、昔日本で燃焼核と名付けたものと同じではないかとのこと。Mossop は Fletcher の新しい理論を紹介し

て、前の理論では表面自由エネルギーと曲率(粒径)だけで核の性能がきまるとしたのを、改良して表面上の active site の面密度をとり入れたこと、Evans を紹介して核の計数と氷晶の計数が層状雲と大陸積雲では一致するが、海洋積雲では 10^4 倍も氷晶が多いと報告した。これには異議がいくつか出て、Mason がまとめて、浅い雲では一致し、深い雲では氷晶が核より多くなる傾向があると考えるのが事実に近いとコメントした。

Vardiman (と Grant) は、樹枝状結晶の枝の千切れた写真をみせて、結晶がかけて氷晶がふえるのではないかと報告した。Nix (と Fukuta) は膨張箱内で断熱膨張で湿度が急に変ったとき、準定常の仮定をとりはずした場合に水滴のまわりの蒸気圧分布がどう動くかを計算して映画で示した。

セッション 4 雨の物理

座長：J. Warner CSIRO

口頭発表：P. Squires, P.R. Jonas,

P.P. Brazier-Smith, E.X. Berry, J.C. Fankhauser

Squires はレビューで、眼がねをかけて以前よりぐっと重厚な大学教授タイプの報告だった。雨滴の形成について、海洋性の暖かい雲の中でストカスチックな過程がどうしても無視できない。それを入れても、自然の方が計算より早く降る。人間によってつくられた大気汚染が降水の分布にあたえる影響が多くの地点で研究されている。物理的には可能であるが統計的に信頼のある発表はまだない。統計的にむずかしいのは自然の気候変動によるドリフトが介入するからである。地球全体の規模でみると、人為的な粒子は自然の粒子数にくらべてごく一部であることは明瞭である。Twomey の研究によると雲核の大部分は海洋上でも大陸上でも硫酸アンモニウムで、この粒子は揮発性が強く、数時間の寿命で大気中にできたり消えたりしている。したがって雲物理と大気化学とは今までに考えていたよりもっと近い関係にある。このあと、雲の数値モデルづくりにふれた。

Jonas はシャーがあるとき 20 ミクロン以下の水滴の衝突係数が大きくなることを実験(気象局見学の節参照)した。大陸性の暖かい雲の中で雨滴が形成されることを、計算ではどうしても表現できない。電場を入れても、従来の方法で乱流を入れてもだめであった。そこで乱流があるとき、2 つの近い雲粒間の距離でおこる流れのリニャー・シャーはふつうの雲で $5 \sim 10 \text{ sec}^{-1}$ であるから、その程度のシャーを実験風洞内につくって実験した。シャーに比例して衝突係数が増加した。またシャーの向き

によっても違った。シャーのある流れの中の衝突係数を計算してみたところ、実験よりずっと小さい値になり、また実験ではより小さい水滴ほど衝突係数が増大したのに反し、計算ではより大きい水滴で増大する。次に乱れのある非定常流の中で衝突の実験をした。この値は乱れないリニヤー・シャーの実験と同様であった。これらの衝突係数を使うと、雲粒の粒径分布はすぐに広がって、大陸性の暖かい雲の寿命の中でも雨滴になれることが計算で示される。

私の感じでは、誰か追試する必要があると思われる。風洞が小さ過ぎて、水滴が風洞の本流に乗るさいの非定常性が心配であった。

東京大会(1965)のとき、Masonが映画で、左右のななめ上方から飛んで来た2つの水滴が画面中央で合体してぶるぶる振動したり、あるいは回転して再び千切れて飛びさる。そのとき数個の分裂した子供を残すことを示したことをおぼえておられると思う。Brazier-Smithは、これをエネルギー保存と角運動量保存から理論的に扱った。ある臨界以上の角運動量をもっていると、回転がじゃましてどうしても併合できないその条件を求めた。そのときListが立上って、大声で「こんなに美しい実験が自然と全く関係がない現象についておこなわれたとはおどろくべきことだ。そんなにななめに衝突することは不自然だし、空気の抵抗があるからエネルギーも角運動量も保存しない」とどなった。あまりにすごい剣幕なので、みなくすくす笑った。Masonのテーブル・スピーチにあるリスト教授の噴火とはこのことを指す。

Berryは大小2群の雲粒が共存するときに、小さい水滴同志の衝突がないとした場合どうなるか、大きい水滴同志の衝突がないとした場合どうなるか、衝突係数を変えたらどうなるかと順に粒径分布を計算した。その結果をあらゆる組合せの衝突を考えた粒径分布と比較すると大変に違って、Telford型のスペクトルの広がり大きい水滴にとっても重要であること、またLangmuir型の連続成長の式はなりたらず、小さい粒径の雲粒を増加させると単に雲水量の増加が大きい雲粒のスペクトルを右方へ遷移させる以上の変化をあたえることを示して大変興味深かった。彼は出番の前にGペンスタイルの若い奥さんと幼稚園前の女の子2人を会場の一番うしろにすわらせて、とうちゃんの出番を見物させた。

今回の学会では子供や奥さんを会場や食堂に連れてくる人が多く、アメリカでは見られないことであった。ベビシッターが不足していることと、ロンドンで一週間

もショッピングされてはたまらないという配慮からであろうか。

Fankhauserはほかのセッションから時間の都合でここにはいった。私は彼がC. Newtonと共同研究した水蒸気収束とエコーの動きの仕事に関心を引かれていたので、特に注意して聞いた。その論文では雷雨セルの下層の収束に着目していたが、今回はそのときぬけていた中層の収束を、飛行機で実測した話であった。コロラドにひょうが降ったとき、雲底が海拔3.2 km、雲頂が14.8 kmだった。最初にレーダーエコーが現れてからストームが終るまで、慣性プラットフォームをつけた飛行機を雲底下に飛ばせ、対地速度用のドップラーレーダーをつけた他の飛行機(いずれもNCAR所属)を、積乱雲の外側を何度もまわらせて空気と水蒸気の水平収束を測定した。レーダーと地上雨量計のデータと、水蒸気の収束量とを比較して、降水の効率を求めることができた。平均は42%になった。ストームの末期には水蒸気収束が減少する一方、雲の中にたまっていた水がはげしい降水となって地面に達するので、降水効率は100%を越えた。降水効率が降り始めから終わりまで7つの値がえられていて、時間変化がつかめた点が有意義だった。

セッション 5 雪の物理

座長: H.K. Weickmann 国際雲物理委員長

口頭発表: 孫野, Weickmann, Jayweera (アラスカ大学), Scott, Gagin, Hobbs

このセッションについては、孫野教授の報文が天気この号にのっているのので、それを参照されたい。JayweeraとGaginはそれぞれアラスカとイスラエルでは氷晶の個数と氷晶核数が一致していると発表した。

セッション 6 ひょうの物理

座長: W. Hitschfeld マックギル大学

口頭発表: R. List, R.S. Schemenauer,

R.L. Pitter, I.I. Gaivoronskii, A.E. Carte,

A.J. Chisholm

Listはカナダのひょうの実験的研究をレビューした。ひょうが落下中に回転するとき、抵抗係数や着氷、放熱の条件が変わることを強調した。またひょうは凍った水滴から出発して形成されるのではなく、樹枝一あられ一小さいひょうの順で形成されるとみなさざるをえない。ひょうの断面の中央に氷球がないからであると述べた。

Schemenauerは電解質溶液の流れの中に金属製のひょうの形をした電極を入れて、流れの正面、背面、側面の拡散係数を求めた。

Pitter は UCLA の垂直風洞に 90~420 ミクロンの水滴を浮かせ、粘土鉱物を空気に送りこんで凍結させて、単結晶になるか多結晶になるかの条件を、水滴の直径と過冷却の程度の関数として求めた。映画で見ると、凍結して突起の出た水滴——山下晃氏や高橋忠司氏の実験で日本の学会でもおなじみである——が、空中で左向きに自転したと思うと止って反対に右向きにまわり始めたり、首振り回転したり、回転するうちにデンマークごまのように回転軸と氷球との相互位置がくりっと変るのが面白かった。なお、コールドボックスで -8°C で効く粘土鉱物を、風洞に吹き込んだ場合に -2°C あたりでもすぐに水滴を凍らせるとのことであった。彼は大学院学生で、この仕事と、もう一つ偏球形の氷晶に雲粒が衝突する係数の計算をもってきていて両方完成したら Pruoppacher が学位をくれると言ったとのこと、なかなか熱心な若者であった。

Gaivoronskii は、たくさんのレーダーと高層観測から、似ている気象条件でひょうになるときとならないときがあるので、その差を追求した。5 km より下層の大気中で、気温と水蒸気量の変動があるときひょうになりやすく、変動が少ないときひょうにならないとのことで、予報に使っている、積乱雲の中の多量に液体水分の存在する領域が移動すると地上の降ひょうの場所も移動する。人工的にひょうを消した雲の中へ、レーダーエコーが再発現するようすを詳しく調べていた。

Carte は南アフリカの黒人で、大学院はニューヨーク州立大学の Blanchard のところで卒業したという。40 × 70 km の領域の4000人にひょうの観測を依頼し、そこでおこるひょうをレーダーで調べた。降ひょうと雷の電光はセルの進行方向のふちでおこる傾向のあること、また新しいセルは進向方向の左側に生じやすいことがわかったと報告した。北半球では Newton が右側面に生じると以前から唱えていて、南半球ではどちら側になるか時々論争されていた問題点である。

なお、この人は Blanchard のところで、水滴の分裂の実験をしたそうで、私や権田武彦氏の結果と変らなかつたと言っていた。

Chisholm はカナダのレーダー観測をまとめて、ひょうをもたらすストームには2種類のタイプがあって、1つは organized multicell であり、もう1つは supercell と呼ぶべきもので、強度、寿命、プロパゲーションの仕方のいづれにも明瞭に差があったと報告して、それぞれの3次元的な構造を図示した。

セッション 7 雲の構造と力学

座長：A. Khrgian モスクワ大学

口頭発表：H.D. Orville, K.A. Browning,

R.M. Lhermitte, N.V. Klepikova, N.I. Vulfson,

H. Sauvageot

Orville は自分の仕事のレビューで、雲水量、雨水量、氷晶雲の氷含有量、雪の氷量、ひょうの氷量、大気電場と分極した水滴同志が衝突して反発するときに電荷が移行する効果を入れてコンピューター実験をした。明快で落着いた話ぶりで、Berry とか Orville などの若い世代の進出が目ざましいと私は思った。ところが、ヨーロッパ型の私より上の世代はコンピューターを嫌いらしく、Mason がそういう仕事はすぐコンピューター・ゲームにおちいるから really really 注意しろと二度も念を押した。言われた方はぬかに釘でにこにこしていたのが面白かった。

Mason の世代は川をさかのぼり支流へわけ入り、山奥へ山奥へと支流の一つ一つの水源地を求めて踏入った世代であるが、Orville の世代はコンピューターの舟に乗ってわあっと川をかけ下ろうというわけだから、180°の方向転換がある。片や海から離れるほど貴しとし、他方は海へ近づくとほど貴しとする。もっともスキーにたとえれば、少しでも高いところへ上ってから滑った方が長くすべれるので、上りも下りも両方あってスキーが成立することから考えると、上りも下りも必要である。公平に見ると、今回の学会では Berry や Orville のように若い滑降組の方が堂々としていた。

Browning は英国の冬の低気圧では温暖前線上の降水にバンド構造が出るのを詳しく調べた。Harrold との共同で、中層にはいりこむ低温で乾いた気層がレインバンドの形成に重要であるとし、よく見かける彼らの図を見せた。温暖前線そのものは静的に安定で、負のパロクリニシティをもつが（大規模には温暖前線は正のパロクリニシティの中にある）、レインバンドの小規模な弱い対流で汲み上げられた空気は中層の正の弱いパロクリニシティの領域へはいつて熱的直接循環に参加する。レインバンドはプレコールド・フロントと本質的に同じもので、その強さが弱いものであると述べた。

Lhermitte (マイアミ大学) はドップラーレーダーとコンピューターをつないで、レーダーのスキャンのたびに平均ドップラー速度の分布図こしらえる方法を報告した。1秒間に何千という平均ドップラー速度を処理する。

また各点のドップラー・スペクトルを得る速度は、Fo-

urier 分析など時間がかかるためにずっとおそくなるが、それでも1秒間に100スペクトルを得る。これらの方法で時々刻々と対流性ストームを観測すると、ドップラー・スペクトルの幅が10 m/sec を越える程に大きく、風のシャワーが局部的に集中したり風速の小スケールの変動が大きいことを示す一方、平均ドップラー速度の図は organized convection でしかも時間的に定常で収束と渦度変動しないことを示していると報告した。

Klepikova は 3200 m³ の雲箱を使って上昇速度 5 cm/sec から 100 cm/sec にあたる断熱膨張をおこなわせて、雲の粒度分布を調べ、凝結核をあたえてコンピューターで求められる粒度分布とくらべた。

Vulfson は積雲の中の水滴の不均質な存在をマクロな量から記述するために、飛行機で同じ日に同一気団内の積雲57個にはいった。たとえば直径10ミクロンの雲粒は初期には雲の中に様に分布しているが、雲が発達するにつれて10ミクロンを含めて10ミクロン以上の水滴は局在するようになる。局在域の広さと雲全体の比率とか、雲厚と大雲粒の個数、雲内の最高偏差温度(周囲の同一高度にくらべて)の点と大雲粒局在域の中心が一致することなど報告した。一風毛色の変った論文であるが、水滴局在領域(drop zone)は、電荷局在域とともにソ連のおはこなので、もう少し詳しく聞きたかった。例によってソ連の人のスライドは日本の気象学会でできない方の私のスライドよりずっときたなくて、かすれていたりと、しみがあつたりで、よくわからない。

Sauvageot (クレルモン大学) はランネメザン高原の上にはしばしば発生する暖かいピロウ雲が厚さ1000mでうすいのかかわらず、どの雲からも1本ずつビルガが落ちるので、8.6ミリの鉛直レーダーで観測した。その結果によると、風の鉛直シャワーのためピロウ雲の中で、気流が水平軸のまわりを回転していて、ピロウ雲の上昇流最大(水平軸と同じ高度)のレベルより上では上昇流がおそくなり、ソ連の Sulakvelidze が言っているような accumulation zone ができて、そこで水滴が成長するという。ジェネレイティング・セルに関して示唆に富んだ見方であった。

セッション 8 雲の数値モデルづくり

座長: B.J. Mason

口頭発表: C.J. Todd, R.S. Pastushkov,

L.R. Koenig, J.S.A. Green, P.R. Jonas,

B. Morton

Numerical Modeling of Clouds がこのセッションの

テーマである。

Todd は人工降雨用の1次元積雲モデルに簡単な雲物理を入れたモデルを、手間のかかる詳しいモデルと比較して同じ結果になるように工夫した。Mason が立って、自然と比較するべきなのを、計算同志を比較しても意味がないと質問し、Todd は、水収支全体のモデルをつくるには単純化が必要であると答えた。

Pastushkov は鉛直シャワーのある流れの中の対流雲の発達を3次元で数値的に積分した。私の知る限りで、これが3次元対流雲のはじめてのデビューである。Srivastava もそう思うと言っていた。ナビヤ・ストークスの方程式(渦動粘性項あり)が x, y, z 方向に全部同じ形にあって、 $\partial/\partial y=0$ とか静水圧とか一切なく、液体水分の落下速度もはいついて、そのまま積分する。流体力学ないし気象力学のテキストの初めの方にもものしい方程式があって、普通はページをめくるにつれて簡単になって、そのかわり制約だらけで解が出る頃にはあたり前の話になって、大山鳴動してねずみ一匹の感をするところがある。ところがここでは、テキストの1ページ目の方程式からいきなり解が出てきたわけで、きたないスライドだったが見ていて感慨なきをえなかった。

結果は2次元のスライド上に図示されているから、一見して2次元の計算とどう違うかわかりにくかったが、下層風が東風、上層風が西風でリニヤー鉛直シャワーのある流れの中に、積雲が大小2個ずつと鉛直に立っていて、以前に Newton 夫妻が雲を鉛直な円柱として円柱のまわりの流れの圧力分布を求めたことがあったが、それとそっくりに、積雲の風上側に気圧の正の偏差が、風下側に負の偏差が生じていた。すなわち積雲の上半分の高さでは積雲の西側の外に気圧が高く、東側の外で気圧が低い、東風にさらされている積雲の下半分では東側の外で気圧が高く、西側の外で気圧が低かった。積雲2個ともそうになっていた。

これをやった Pastushkov はモスクワ高層気象台の人である。グリッド間隔はすべての方角に1 km で、タイムステップは20秒、風は高さ12 km、幅14 km のトンネルを上半分で西風、下半分で東風として吹きぬけるようになっていて、 $t=0$ でところどころ暖かいとして計算してある。トンネルの長さの方向には22 km の長さしかとってないので、全体としてグリッドが粗雑であるが、高層気象台からこういう仕事が出てきたことは、私のような気象庁職員を勇気づけるものであった。また高層気象台らしい点として、渦動拡散係数を高さの関数に

していたことがあげられる。

3次元が出ると、2次元はたちまち色あせた感じで、次の出番の Koenig は意気が上らなかった。

Green はちょっと変わった人で、頭を丸坊主にして、壇上で積雲はもくもくもくと複雑に動くと言いながら、手を広げ足を伸ばしたりちぢめたり海の底のダイバーが海面へ泳ぎ上るような恰好も何度もやってみせるので、しばらくシーンとなったあととうとうみなが笑い出した。会場の気分がほぐれたところで本論にはいった。Browning と Ludlam がはじめて Wokingham ストームの論文を出したとき (Quart. J. Roy. Met. Soc. Vol 88, p. 117), それを理論的に扱うことができると述べてあったが、まさにそれをやった論文であった。organizedした2次元対流では、1枚のななめの不連続面に境されて、下層の湿った暖気からなる上昇流と、上層の乾いた寒気からなる下降流が接しているモデルがえがかれるのが普通であるが、Green (Imperial College) は、リチャードソン数が+1.62ではそれが正しく、-4では不連続面が厚みをもって、その中に小さく閉じた1つの循環が生じて、元からある上昇流と下降流のまきつを減らす方向へ回転するという。これは不連続面が平行な2枚になって、その中に閉じた循環があると表わしてもよい。これは地上のガストフロントを二重構造にするわけで、私はあっと思った。コンピュータ型でなくて、しかも面白い論文であった (Quart. J. の1972年4月号参照)。

Jonas は雨の物理のセッションでシャーのある流れの中で衝突係数の実験をした英国気象局の人だが、ここでもう一度登壇した。厚さのうすい2~3kmの厚さの雲から、あられをともなったはげしい降水が生ずることがある——日本の北陸と英国は似ている——のを、降水要素の成長を寒冷前線の気流——Browning と Harrold によってえられている——の上で計算した。降水要素が少なくとも2回リサイクルすることが重要であると述べた。すなわち観測されるあられは少なくとも2回上昇流を経験するときに、強い降水になるというもので、私には、北陸に降るいがり形の降雪に関して思いあたるがあった。Jonas は学会の受付やら、会場の質問者へマイクをもって行く係とか気象局の展示実験とかみなやらされてきりぎり舞っている若い人だが、おっとりした好青年であった。

オーストラリアの Morton は、雲のブルームモデルとサーマルモデルを批判した上で、渦のエントレインメントを考えれば、雲の中の中心部に混合の重要なところ

があって、そこではレーリー数の高い浮力乱流がきめ手になって来ると述べて水槽実験をみせた。なかなか面白そうであったが、私にはよく理解できなかった。

セッション 9 降水粒子の帯電

座長：M. Brook ニューメキシコ工科大学

口頭発表：B.J. Mason, J. Latham, S.G. Jennings,

G.A. Dawson, I.R. Paluch, J.V. Iribarne

詳しくは孫野教授の報文を参照されたい。私には Dawson の実験——電場を鉛直にかけると水滴が立て長になって千切れる——が、面白かった。しかし以前に Journal of Geophysical Research (Vol 76, No. 15, p 3445) に彼が出したのに、どこが新しく加わったのかわからなかった。

セッション 10 GARPに関連した雲物理の諸問題

座長：J.S. Sawyer 英国気象局

口頭発表：P.M. Kuhn, G.E. Hunt,

B.A. Silverman, J. Levine, G.E. Hill

はじめの2篇は雲のふく射学的性質、3つ目は暖かい雨のモデル、あとの2篇は積雲の群が発生することに關する論文であった。

Kuhn はレビューをした。1940年頃までに下層雲の太陽光波長の反射について飛行機観測から結果がえられていたが、上層雲は扱かわれなかった。1946年までに英国気象局が絹雲のふく射率についてすぐれた飛行機観測をした。これは米国が1940年にやった層雲の雲頂の太陽光反射率の測定とならんで重要なものである。その後赤外線検出装置が大変に進歩し、気象衛星もできて、今や大気赤外線の観測は以前の室内実験と同じ精度を持つと言ってもよい。ふく射計とライダーの両方を飛行機と地上に設備して雲のふく射伝達を測定することが、英国と米国でうまくできた。雲の厚さだけでなく、粒度分布も同時にはかってあるので、ふく射伝達の計算が実測の±15%以内にはいるところまできた。多重散乱を改良した今の計画では10%以内になる予定である。英国のライダーふく射観測によると、絹雲のふく射率は絹雲の厚さよりも絹雲粒子の個数密度によって変る。米国で調べたところ、絹雲のライダー後方散乱は絹雲の赤外透過率と良い相関がある。これらの事実を使えば、赤外線伝達に關する雲の影響を簡単なモデルで表現できるかも知れない (予稿集抄訳)。

Hunt は次のように報告した。地球大気全体から空間へ放出されるふく射量は雲の存在で著しく変るので、雲のふく射学的性質を詳しく調べる必要がある。それには

水蒸気や炭酸ガスの吸収を無視できる窓領域の波長で研究するのが良い。熱ふく射の窓 2.3, 3.5, 3.8 ミクロンと 8.5—13 ミクロンについて、水滴の雲と氷晶の雲を対象にして、あらゆるふく射過程をとり入れて計算した。その計算結果によると、水滴の雲も氷晶の雲も熱窓波長では黒体のようには作用しない。たとえば $5 \times 10^{-3} \text{g/m}^3$ の氷をもつ氷晶雲のふく射率 (emissivity) は最大で 70% である (予稿集より抄訳)。

Silverman は凝結核のスペクトルを入れた雲の鉛直 1 次元モデルを述べた。熱帯の積雲に関して観測した文献の諸量を入れてある。

NOAA 実験気象研の Levine は、熱帯で大規模な沈降流の中で、雲より下の層で熱束と水蒸気束がランダムにあたえられたとき、雲層内の温度と水蒸気場がどのように形成されるかを計算した。その際に、好天積雲ができる段階までを、バブル・モデルで表現し、好天積雲のバブルが静止してある高さにたまって飽和した非活動的な止った雲が広がった段階から先を、それとより大きいスケールの運動とが重なったときに定常なジェット・モデルで表現して雄大積雲とみなした。

ペンシルバニア大学の Hill は、積雲の発達段階に応じて、雲の大きさや間隔がどうなるかを調べるために、二次元で、浮力と変形場に依存する非線型粘性係数を使い、Malkus と Witt の plume-stem 問題がおこらないよう工夫した差分法を採用した。表面境界層を 1 つもうけ、赤外ふく射を上まわる日射の分と、気温より暖かい海面から熱や水蒸気とその層を通して上へはこぼれるようにパラメタライズした。また大規模な下層収束と上層発散をとり入れて、CISK メカニズムが出現できるようにした (予稿集抄訳)。

あとがき

各セッションの記述が、前半より後半に詳しいのは私の耳が後半になれたせいで、前半の内容が乏しかったわけではない。またセッションの内容については印象の個人差が大きいと思われるので、北大孫野教授の報文と合わせて読んでいただければ幸いである。

今回、私が学術会議から旅費の支給を受けるについては、神山恵三学術会議議員、岸保勘三郎地球物理研究連絡委員 (当時) をはじめ、多くの方々のご援助をいただきましたことを深く感謝します。

大気電気研究会開催のお知らせ

下記の日程で、第 8 回研究会・総会が開かれますので、積極的な参加をお願いします。

会場: 東京理科大学 若宮校舎 (東京都新宿区若宮町 26 番地)

日時: 12 月 18 日 (月) ~ 20 日 (水)

尚、12 月 19 日 (火) には、雷電気の研究に関連して、下記のシンポジウムを予定しています。

1. 雷電気の発生: 菊地 勝弘 (北大・理)
2. 空電による位置決定: 岩 井 章・佐尾 和夫・竹内 利雄 (名大・空電研)
3. 観測法・放電機構・避雷: 川俣修一郎 (宇都宮大), 河村 達雄 (東大・生産研)
北川信一郎 (埼玉大), 高木増美 (名大・空電研)

その他、詳細については、下記へお問い合わせください。

東京都田無市向台町 5-4-1 電子技術総合研究所

中 谷 茂

(Tel. 0424-61-2141 内 636)