

## 第3回 WMO 気象制御科学会議に出席して\*

福田 矩彦\*\*

### 1. WMO の気象制御科学会議

WMO (World Meteorological Organization) の気象制御科学会議は、最初第8回国際ニュークリエーション会議 (8th International Conference on Nucleation) と組み合わせてその後ソビエトのタシュケント (1973年10月1日～7日) で行なわれたが、今回は米国コロラド州、ボールダー市で開催された第2回会議 (1976年8月2日～6日) に続いて、フランスのクレルモン・フェロン大学で、前回同様国際雲物理会議の直後、同大学とフランス気象学会後援の下で開かれた (1980年7月21日～25日)。会議の内容は本誌26巻5号に発表されていた予定セッションの中、霧消し法および熱帯性低気圧の制御が発表論文数の不足で一般の気象制御に含められ、結局討論を含めて17セッションが3つのシンポジウムに分割され、順を追って進められた。シンポジウムの内容は次のようである。

- I. 雲と雲系に対する種撒きの可能性および降水効率 (セッション1と2)
- II. 一般の気象制御 (電制御を除く) (セッション3から10)
- III. 電の抑制 (セッション11から16) (セッション17は一般討論)

研究発表は口頭によるものとポスターに分けられ、両者の比率は約半々で、ポスターの場合、実際その展示場で個々の質疑応答の交わされる時間が与えられた他、その直後一般講演会場へ戻って、発表者による手短な説明の後、一般の質疑応答がなされた。

会議の議長は List 教授 (カナダ, トロント大学)、運営委員長は地元の Soulage 教授で、その他国際雲物理会議から引き続いて出席した英国気象庁長官 Sir B. J. Mason の姿もみられた。新しいメンバーとして中国科学者の顔が目立ったのに対し、今回ソビエトからの参加

者は Chernikov 唯一人で、独りよく頑張ってソビエトの論文を紹介したが、立ち入った討論は無理であった。以下に順を追って興味深く思われた論文を要旨と照らし合わせて紹介する。

### 2. 研究発表の概要

#### 2.1. シンポジウム I 雲と雲系に対する種撒きの可能性および降水効率 (セッション1-2)

研究発表は Cho-List (カナダ, トロント大学) の大なし中規模流と雲および降水過程の相互作用に対する種撒きの効果を考慮し、増雨を判定する方法から始まった。昔から問題になっている、一地域あるいは一時期に増雨をもたらしても、別の地域であるいは別の時期に降雨量が減って結局時間・空間の平均で得るところがないのではないかという疑問に対し、彼らは若し種撒きが下層の気流の収斂性を増すなら実質的増雨が可能と結論した。もちろんこれは雲動力学および制御の対象となる総雲水量に基づいた見解で、従来の降水効率を変えることによる効果を考慮したものではない。続いて (Hobbs・Matejka (米国, ワシントン大学) は降雨効率の新しい定義を提案し、それを熱帯圏外サイクロンに当てはめて、効率の低い部分に種撒きによる増雨の可能性があると述べた。彼らの提案した降雨効率は、地表での降雨強度に対する雲中での水の凝縮率の比で、この定義は立場が異なる場合受け入れ難いとの議論が交わされ、また単にこの定義による効率の低さが種撒きによる増雨の可能性といつも結びつくかという点にも疑問があった。同じ降雨効率をコロラド州、冬季山岳性の雲へ当てはめて、Leverson・Hindman・Grant (米国, コロラド州立大学) は2月～3月にそれが7～20% (9測定の中8まで) 程度にしかならないと報告した。雲の状態が定常状態に近ければこの値は意味をもつが、どの程度その条件が満足されているかに問題がある。種撒きの可能性を判断するのに、Matthews・Pritchard・Feuerstein・Hale (米国, 水電力資源サービス) はレーダー、雨量計、人工衛星とレーウイ

\* Report on the 3rd WMO Scientific Conference on Weather Modification

\*\* Norihiko Fukuta, ユタ大学

ンソングのデータを併合する方法を報告した。極地から滑ってくる寒冷前線によってロッキー山脈のスロープ上へ発生する雲を、計器をつけた飛行機でとびこんで調べ、Walsh (コロラド州立大学)は次のように報告した。雲は一般に浅く、したがって氷晶は拡散成長して降る。雲水量は多い時で  $0.1 \text{ g/m}^3$  位で予期されたごとく乱気流は弱く、氷晶核は前線の境界面で乱流によって取り入れられるか、または暖かい気団が前線を突き通して上昇することによると思われる。

モデリングによる種撒きの効果の予測は近年盛んになりつつあるが、Fritsch・Chappell・Nickerson (米国、海洋気象庁)は中規模対流雲系の初期対流の発生場所と時期を人工的に変えることが、その後の雲の進化、構造、動力学と降水に大きく影響を与えることをモデリングから結論した。そしてさらに進んで、初期対流を人工的に変えることは、嵐を作り出したり、緩和させたりまた降水を増加する目的で考慮されるべきだとしたが、モデリングの限界と実験結果との比較の必要性を指摘することも忘れなかった。積雲対流を種撒きで刺激して増雨をもたらそうとする“dynamic seeding”が最近強調されているが、その効果を3次元モデルを使って解析したのが Cotton・Nehrkorn・Tripoli (コロラド州立大学)と Cunnig (米国、海洋気象庁)の研究で、FACE計画(Florida Area Cumulus Experiment, 海洋気象庁)と関係している。モデル実験の結果では、種撒き後雲の頭部が次第に切り離されてゆが、降水は増加した。もちろん種撒きによる上昇気流の増加ははっきり認められたが、下降気流に助けられた積雲対流の発生あるいはその維持は認められなかったと報告している。なおモデル実験の結果は観測データと比較して解析された。Dynamic seedingは種をうんと撒いて雲の運動を助長させるものとされているが、氷晶成長の過程を考慮すると、種をうんと撒いた場合と少ししか撒かなかった場合の違いは、雲中での初期の浮力の増加率で、最終的な浮力は雲の熱力学的状態で決まるため、種の数がある程度以上になると、その数に依存しない。過冷雲が種撒きされた場合、雲の気団の加熱、したがって動力学的効果の起こることは当り前で、dynamic seedingといかにも特別なことのように呼ぶ意味がはっきりしない。種撒きのモデリングで今までよく考慮されていない点の一つは、氷晶のニュークリエーションと拡散で、それに対しては将来微物理関係とモデルを扱う人達の協力が要望される。

## 2.2. シンポジウムⅡ 一般の気象制御(電制御を除

く)

このシンポジウムは大会第2日目にポスターセッションで始まった。

### 2.2.1. セッション3-5 各国の主な気象制御計画

このセッションはブラジルにおける吸湿核の種撒き計画(Santos)、カナダにおける増雨目的のAgIとドライアイスの種撒きおよび雲の調査結果(Schemenauer・Isaac.)、キューバにおけるドライアイスを使用した種撒きの予備実験結果[Valdes(キューバ)・Levkov(ブルガリア)]、中国における小型ロケットを使用したメタルデヒドと沃化銀(AgI)の乱種撒実験結果(Yeh・Cheng・Zeng)、西アフリカで行なわれた種撒き実験の統計的評価(Boutin, フランス)の報告がまず行なわれた。続いてメテオトロンを使って発生した雲に対する熱源、凝縮核、および微物理的要素がどう影響を与えるかを調べた異色の研究が、Bénechら(フランス)によって報告された、English(カナダ)・Marwitz(米国、ワイオミング大学)はアルバータでの電制御実験に関して、ドライアイスおよびAgIで種撒きされた雲中へ計器を積んだ双発のクインエア機で飛びこんで調べた結果を報告した。以前 Weickmannらが過冷層雲中で得た結果と同じく、ドライアイスの場合氷晶は種撒き後直ちに発生成長し、比較的早く落下して消えたが、AgI(pyrotechnic)の場合、氷晶の数が増加し始めるまで約15分かかっており、氷晶が永く雲中に残った。この観測結果を、筆者が国際雲物理会議で発表したAgIの氷晶発生機構から解釈すると、 $-10^{\circ}\text{C}$ 以上で活性なのは接触凍結機構だけで、水滴と衝突するのに沢山時間がとられたものと思われる。したがってこの温度域では、AgIによる氷晶発生の時間依存性を雲の運動とともに考慮する必要がある。種撒きでない人間活動による気象の変化をメテオトロンを使って調べたRadkeら7人の仕事はRadke(ワシントン大学)によって、セッション間の時間を使ってスライドで報告された。

インドでは近年吸湿性核使用による増雨研究が盛んであるが、Chatterjee(インド、熱帯気象研究所)によってその概要が報告された。結果ははっきりしたものでなく、モデリングもSir B.J. Masonらによって手きびしく批評された。過冷雲へ種撒きする増雨計画の中で一番評判の良いイスラエルの実験の第2回目の結果がGagin・Neumann(ヘブリュー大学)によって報告された。13~18%の増雨が平均雲底温度 $8^{\circ}\text{C}$ 、雲頂温度約 $-15^{\circ}\text{C}$ ~ $-20^{\circ}\text{C}$ の寒冷前線およびそれに続くバンドの中の冬期積雲に

対して得られた。増雨研究は米国では世界最大の規模をもつ計画が、水電力資源サービスの下で行なわれており、その中で HIPLEX (High Plains Cooperative Program) が現在よく知られている。その目的は米国西部の高原地帯に対して、実用的であり科学的に受け入れられる、そして社会的に問題の少ない種撒技術を開発するもので、Silverman (水電力資源サービス) によって紹介された。ドライアイスを中心として使用し、非常に多くの測定器を地表および航空機に使用している。計画は綿密に組み、科学面では国立大気科学研究所 (NCAR) と協力して CCOPE (Cooperative Convective Precipitation Experiment) を行なっている。ただドライアイスの種撒きによる雲の変化は、その物質による氷晶発生 (時間空間的に) 機構と結びついていて、すぐその結果が他の種撒法に通用できるというわけではない。この HIPLEX の種撒きを数値実験した結果が Kopp・Orville (米国、南ダコタ鉱工学単科大学) によって報告された。ソビエトの増雨計画についても Chernikov による紹介があった。彼の説明はあまりはっきりしなかったが、講演要旨と照らし合わせてみると、その内容はざっと次のようである。ウクライナ地方でドライアイスを使った実験では、自然降水の強度が増すにつれ種撒きによる降水の相対強度の増加率は少なくなるが、実際の降水強度は増加する。この実験は1960年から1973年まで続いたが、その後1973年～1978年まで AgI (アセトン溶液,  $\text{NH}_4\text{I}$  使用) を飛行機で撒く実験が行なわれた。Dynamic seeding の効果があったように思われるが、使用された AgI の量が、それを誘起するのに充分であったかどうか判らない。この dynamic seeding は気象制御の研究の中最も誤解されているものの一つで、前に述べたように、それを起こすのに、そしてまた氷晶が成長すれば必ず雲の内部およびその周りの大気の安定度に応じて、大なり小なり起こるが、必ずしも大量 (多数) の氷晶核を入れる必要はない。トルコとソビエトの国境近くに Sevan 湖があるが、その近くの山岳地帯での種撒きの計画、ルーマニアとの国境近くの Moldavia 地方で3年間雷雲に対して続けられた沃化鉛 ( $\text{PbI}_2$ ) を使った種撒きの結果も含まれた。

### 2.2.2. セッション6 WMO の PEP 計画 (Precipitation Enhancement Project)

このセッションは List (トロント大学) による PEP の現状の説明で始まった。PEP は第7回 WMO コンgressが1975年に承認した人工増雨計画で、場所の選

択、種撒実験およびその評価の3段階よりなり、場所はすでにスペインにしばらく、現在そこで第3回目の種撒条件評価をしているところである。種はすでに AgI と決まり、大体 50,000 km<sup>2</sup> の範囲を対象とする。スペイン内の場所の種撒条件の評価は1982年12月に終る予定で、もし結果が良ければ種撒実験に入り、その最終解析が終るのは1988年か1989年とされている。PEP は増雨法に関して一度で全部の答を得ようと目録むものではないと断っている。これは、Silverman が HIPLEX で種撒きによる増雨実験に関して全部の答を得ると力んだのと好対象である。一度で全部の答を得るなど、こういった計画ではあり得ない。PEP の種撒条件を調査した実験の結果が、続いて Summers (スイス, WMO) によって紹介され、その測定実験の一端として Reynolds・Von der Haar (コロラド州立大学) が人工衛星を使って雲の状態の解析、そして Vali (ワイオミング大学) が計器を積んだクインエア機を使って雲中測定を行ない、雲の微物理構造を報告した。Vali は結論としてまず、ここでの降雨は氷晶過程によること、水滴衝突併合過程は無視できること、氷晶は沢山みつかっているが過冷水を全部なくしてしまうほどではないこと、および氷晶発生の2次機構が起こっていることを述べた。フランスのグループ (Soulage・Personne・Brenquier, クレルモン・フェロン大学) も DC-7 号機を使って観測、解析した結果、注意深く種撒きが不可能とはいえないと報告した。

### 2.2.3. セッション7 ポスターセッションDとEのレビュー

このポスターセッションで発表された研究は、増雨とか電防止に属さないものが主であった。西オーストラリアにおける、増雨目的のための種撒きの可能性を調べたもの (Walker・Rye・Bailey, 西オーストラリア工科大学)、霧滴を電荷を与えて除く方法を空港の霧消しに適用しようとしたもの (Collins・Frost・Camp, 米国)、それからレニングラード地球物理観測所のグループによる人工降雨法を使って山火事を消す研究 (ポスターは出ていなかったと思う) などは、実用性は別として異色の研究である。熱帯性低気圧の制御は NOAA が参加しなかったため、Stormfury 仮説の間違いと、それに代る方法を提唱する Fukuta (米国, ユタ大学) の研究だけであった。仮説の違いの主要点は、NOAA Stormfury の場合過剰種撒きで熱低にエネルギーを加えて眼の壁を拡げ風速を落そうとするのに対し、Fukuta はその効果がごく小規模に留ると短時間で消えること、その後永続

きしずくと規模の大きな冷却と氷晶の荷重の増加がエネルギーを減らすこと、そしてそれがはるかに有効に風速を落す方向に働くことを指摘、後者の効果を最初からねらう種撒き法を提案した。中国研究者達は火薬の爆発を使って電を制御する研究結果を発表したが、効果は疑しく思われた。Ohtake・Wendler・Eaton (米国, アラスカ大学) は液体炭酸, AgI およびメタアルデヒドを使って過冷の層雲へ種撒きし、太陽光線を地表へもたらず実験を行なった。地上発煙の場合, AgI とメタアルデヒドを使用した。温度が高かった場合、メタアルデヒドのみ有効であることを見出した。その他では、Cooper (ワイオミング大学) の航空機観測で得た雲微物理のデータからの降雨の推定、Hill・Woffinden (米国, ユタ州立大学) の気球に計器をつけて雲物理量を測定し、冬季山岳性雲の種撒可能性を調べる方法、0.86 cm と 3.2 cm の波長のレーダー (後者はドプラーレーダー) を用いた雲中の微物理過程の測定 (Pasqualucci, NOAA), 地表からマイクロ波放射計を使って雲水量を測定する方法 (Snider・Giuraud, NOAA) などが記憶に残った。

#### 2.2.4. セッション8 種撒きの物理および観測面

種撒きの効果は発生した氷晶の挙動に依存するが、もしその数が変化する場合、すなわち2次氷晶の発生する場合、種撒きの計画に大きな影響を与える。Hallett (米国, 砂漠研究所) はシエラネヴァダ山脈の雲について飛行機で調べた結果、雲の温度と、対流による雲の気団が上下方向に混合する時間が重要で、時間が十分あると大きな水滴が育ってこれが2次氷晶の発生を許すので、その条件の当てはまらない雲については、種撒きが可能であると結論した。なお砂漠研究所の飛行機は最近墜落して研究者を含めた全乗組員を失ったが、Hallettは乗りおくれ命拾った。Sax (Joseph Oat Corp.)・Hallett・Lamb (米国の砂漠研究所) は2次氷晶発生可能な条件下で、dynamic seeding の効果を計算し、上昇気流中に沢山種を撒いた場合、その加熱によって雲の成長効果が期待できるとした。種の撒きすぎによる不利は議論していないが、急いで加熱しなければならぬわけは、2次氷晶の自然発生による妨害をさけるためである。続いてLamb・Sax・Hallett は種撒きされた積雲中での潜熱の発生率とその全量を推定したが、気相との平衡を無視したため、最終発熱量に非常に大きな誤差の入っている可能性があった (Fukuta, JAS, 30, 1645 参照)。Jiusto・Weickmann (米国, ニューヨーク州立大学とコロラド大学) はドライアイスと AgI の特徴を比較して報告し

た。両者の有効性については、単にグラム当りの氷晶核数を温度の函数として比較したが、単位重量に基づいての比較に問題があることその他、コロラド州立大学で検定した AgI の氷晶核数は、 $-10^{\circ}\text{C}$  以上の場合すでに述べたように接触凍結機構のみによるもので、そのため温度以外時間の函数 (雲粒も関係する) であることが考慮に入っていなかった。早い上昇気流中へ AgI が  $-10^{\circ}\text{C}$  以上の温度で撒かれた場合、その機構が起こるのに必要な時間が不足するため、氷晶は検定されたようにそれぞれの温度で現れない。その他氷晶を目的地へ落下させる問題、過冷水を完全に消費するのに必要な時間と氷晶数の問題など取扱っていたが、雲水量、温度および氷晶成長機構 (分子拡散とライミング) などを考えると、彼らが推定したものより遙かに複雑になる。Marwitz・Stewart (ワイオミング大学) は計器を搭載した飛行機を使って、AgI とドライアイスが撒かれたシエラネヴァダ山脈の雲の状態の変化を報告した。ドライアイスの撒布量は以前に比べてずっと少なく、7.5 g/s と 75 g/s, AgI の flare は 20 g のものを3秒おきに落下させた。AgI の場合、氷晶が初期にも出るがその後発生し続けるのに対し、ドライアイスでは初期発生だけだった。種の撒過ぎは対流性雲を充分発達する前に消滅させることを確認した。Lozowski・Kochubaja (カナダ, アルバータ大学とアルバータ研究協議会) は Fukuta らの使用したドライアイス蒸発速度式を改良し、それを過冷霧風洞中および自由落下させて得たドライアイスの昇華のデータと比較した結果を報告したが、理論と実験の一致の程度は悪くないと思われた。Fukuta (ユタ大学) は新しく見出された、 $-10^{\circ}\text{C}$  の雲中で成長する氷晶の落下速度が一番早く大きくなる現象と、氷晶の速い落下がライム過程を誘起するのに非常に有利なこと、そしてそれによって霰が発生するとその質量増加率は水蒸気拡散によるものを遙かにしのぐこと、それには  $-10^{\circ}\text{C}$  近くで氷晶がある時間成長する必要があること、対流性の雲が発達している時、その外縁部の気団がその条件を満すように運動することなどを考慮して、その部分へ種撒きして有効な降水過程を起こさせる “sideskim seeding” を提案した。さらにその温度における霰成長の有利性の他、Admiral (フランス) がヨーロッパの電の中の同位元素の分布を調べたところ、中心部成長時の温度が  $-10^{\circ}\text{C}$  近辺を指していたこと、他の研究者達の電発生路の解析がやはりその温度辺りでの電の発生を示していることなどを考慮し、その種撒法を用い電の競争成長芽を導入して電を制

御する方法も提案した。

### 2.2.5. セッション9 種撒きの規準と評価

種撒きの効果を証明するには、統計的に有意義な実験を組まなければならないが、それに関して米国 (Changnon・Gabriel・Hsu) とソビエト (Fedrov・Shipilov) がそれぞれ研究発表した。統計法の使用は気象制御の分野で進歩したが、しばしばそれを適用する種撒仮説の方があまいで、それをいくらかかりした統計法を使って証明しても意味をもたないことが多かった。種撒きの研究にはその両者がどちらもしっかりしている必要があり、優れた仮説を出すには、工学的すなわち発明的ひらめきを必要とする。Hill (ユタ州立大学) は冬期山岳性雲中の過冷水量を調べて、雲頂温度  $-22^{\circ}\text{C}$  以上、上昇気流  $1\text{ m/s}$  以上の場合、種撒きの可能性が存在すると結論した。Hobbs (ワシントン大学) は過去の増雨実験を再検討して、それから学ぶべきことを議論した。コロラド州立大学がウルフクリーク峠とクライマックス地域で行なって高く評価されていた降雪実験の物理的基礎と統計解析を再検討して、雲頂温度  $-20^{\circ}\text{C}$  以下、 $500\text{ mb}$  での温度と雲頂温度との関係の根拠が薄弱であること、しかも氷晶が不足していると思われていた  $-20^{\circ}\text{C}$  以上の温度域に、最近の航空機観測で沢山の氷晶がみついていること、統計解析の基準に用いた、種を撒いていない3シーズンが異常に軽度の降雪を記録していたことを指摘、コロラド河流域でのパイロット増雪計画に使われた物理的基礎にも同様な疑問があると警告した。そして彼はこういう事態に到った原因のひとつに、標準でない文献を計画の根拠に使ったことをあげ、こうして調べてみると今まではっきり増雨増雪を証明し得た計画は一つもないと結論せざるを得ないと述べた。

### 2.2.6. セッション10 気象制御の経済、法律および社会学面

この問題は獲らぬ狸の皮算用的なところがあるが、気象制御の与える影響という見地から、見逃せない。もちろん制御技術開発が主であることはいうまでもないが、Davis (米国、アリゾナ大学) は1976年、国連で気象制御の軍事目的使用が禁止されたことおよび国連は現段階で気象制御国際法の必要性を認めないことを解説した。しかしもし国際法を作る場合、案に相当するものを説明し、国際法になるとならないとにかかわらず、それが国際的見解であるとした。その他 Changnon (米国、イリノイ州水測量部) は気象制御を計画する際に考慮すべき、都市活動によって降水の受ける効果を議論した。

### 2.3. シンポジウムⅡ 電の制御

#### 2.3.1. セッション11 主要電制御計画

まずソビエトの電制御計画 (Burtsev, 気象制御庁) が Chernikov によって紹介された。彼らの方法はロケットが高射砲で大体  $-10^{\circ}\text{C}$  近辺の上昇気流中か、レーダーエコーの上部へ種撒きするもので、電の発生を予期し予防のためにするのが一番有効、その方法で、53グループが  $650\text{万}$ ヘクタールを1979年に保護した。次いで Goyer・Renik (カナダ・アルバータ研究協議会と電計画) はカナダのアルバータ州の電制御計画の結果を報告した。1956年から1968年までは主として地上発煙法に頼っていたが、現在では雲が急速に発達する前に AgI フレアーを  $-10^{\circ}\text{C}$  の雲域へ落す方法を使っている。比較的高温域での種撒きを狙うため、高温で有効な種の必要性にふれている。実験結果の結論はまだ出ていない。Stanchev・Simeonov (ブルガリヤ、水気象サービス) はブルガリヤで行なわれている、地上から軍事ロケットで AgI を撒く方式の電制御計画を報告した。評価は国立保険局によって行なわれているが、1974年から1977年までの期間で農作物の被害は30~90%減少したという。ヨーロッパではスイス、フランスとイタリアが協力してソビエトの電制御計画の効果を調べる Grossversuch IV 計画が行なわれている。そのケーススタディが Fournet-Fayard・Lataux・Walteufel (フランス、クレルモン大学Ⅱ) によって行なわれたが良い条件の雲がこなかったため、意味のある結果は得られなかった。続いて Dennis・Brown・Miller (南ダコタ鉱工学単科大学) によって南ダコタ州で行なわれた種撒計画と、降雨および電被害域のパターンに関して報告があった。有意義な実験結果を得るにはある程度以上の面積を必要とすることを強調した。フランスの電制御計画については Dessens (クレルモン大学Ⅱ) が報告した。

#### 2.3.2. セッション12 電の出現様式と気候学 (ポスターセッションGのレビュー)

主なものは Admirat・Mezeix・Rouet・Haddad (フランス、グレンノーブル) の降電の微気候学に関する定量的研究、Morgan 他7人による、米国とヨーロッパにおける測定網で得られた降電の強度と空間における可変性の比較研究、Vento (イタリア)・Morgan (米国、NCAR) による風向と降電の関係の研究、カナダの Strong・Davis (アルバータ州) の自動電パッド分析系統、Waldvogel・FedeIer (スイス、ETH 大学) の、地上で電パッドを使用して電を調べた場合のデータの信頼度の研究、Doras

(フランス)による、定地点上で観測された電の各種の性質の関係、アルゼンチンのメンドサ地方での電の性質と気象の報告 (Nicolini-Norte) であった。

### 2.3.3. セッション13-14 電雲の特徴

このセッションでは前半に講演が、後半にはポスターセッションHのレビューが行なわれた。最初の発表はソビエト高山地球物理研究所 (Nalchic) グループによる超セル構造電雲制御の可能性についての論文で、講演の時には気付かなかったが、要旨を読んでみて非常に興味を覚えた。北コーカサス地方での超セル電雲の発生頻度は他のものと較べ10~20%であるが、被害は全体の60~70%にも及ぶ。その電雲を制御する方法は種々考えられるが、一番有効と思われるのは電競争芽生成法で、それを行なうには比較的上昇気流の遅い  $-6^{\circ}\sim-12^{\circ}\text{C}$  の温度域に種撒きする。これは自然の電芽が発生すると思われる温度域で、電がすでに成長している領域へ撒いても効果は期待できない。筆者が発表した  $-10^{\circ}\text{C}$  で成長する落下速度の早い氷晶の効果を彼らが知っていたはずはないから、同じ温度域を種撒きに使用していたことに驚かされた。Nelson (米国, National Severe Storm Lab.) は超セル電雲中での電の発生を数値モデルを使って研究し、その結果を調べて種撒きに使えるような個所を示した。なお中国の科学自達は降電と積乱雲の稲妻の性質との関係およびレーダーエコーの高さと電雲の強度との関係を明らかにして報告した。ポスターセッションではソビエトから、レーダーエコーの偏向度を使って電を検出する方法 (Dinevich-Schupyatsky)、電の発生しているコアを選ぶための各種レーダー使用法の検討 (Abashaev)、人工電制御実験のシミュレーション (Kachurin-Bekriyayev-Gurovitch)、および電制御実験区域内での雨中の化学物質の分析 (Sveshnikov-Toropova-Ungerma) の論文が出ていた。Chernikov が紹介したと思う。Grenier-Admirat-Zair (フランス, グレノーブル) は典型的ヨーロッパの電雲から採集した電を分析した。電の半径方向に関し、重水素の混合比から成長時の温度を決め、成長温度が主として  $-10^{\circ}\text{C}$  辺りであり  $-20^{\circ}\text{C}$  以上は稀であることを見出した。凍結した雨滴が芽になっていたと思われるものは60%、残りは霰から発達したものである。中国から、レーダーを使って多重セル電雲を解析した論文と、超セル電雲を取り扱ったものが出されていたが、電は多重セルの場合一般に小さい、超セル電雲の場合雨が凍ってできたと思われる芽を持ったものは50%、芽は雲中のあまり高くない雲水量の多い所で発生し

ていると結論した。その他ブルガリア水気象サービスグループ (Petrov-Stojanov-Boev) による電の成長するセルの決定法、1次元定常モデルを使っての電の予報の研究 (Hurtis-Saluzzi, アルゼンチン)、Montomory (フランス, グレノーブル) の競争成長芽法を電制御に使用する際の微物理過程の解析などがあつた。

### 2.3.4. セッション15 実験計画と評価

このセッションでは Grossversuch IV 計画の結果をどう統計的に解析して証明するかという問題に対して、関係諸国の研究者の連名で2論文が提出された。

### 2.3.5. セッション16 電抑制実験の経済性

やはり Grossversuch IV 計画より2論文が発表された。

### 2.3.6. セッション17 一般討論

## 3. 総括

ある人が初日に筆者に向って、なぜこの会を科学的と呼んだか解らないといった。気象制御では昔から確かに基礎現象へ十分の考慮を払ってきたとは思われないから、この会とても例外とはいえない。しかし逆にみると、雲物理を含めた関連分野の基礎現象自体、多くの点ではっきりしていなかったし、明らかになった面があると同時に知識の不足をよりはっきりさせられた面もある。こういう立場にありながら、直接すぐに役立つ結果を出そうというのが気象制御研究だから、工学的ないし応用科学的で、工夫とか発明という意味でのアイデアが要求されるから、それ自体の難しさがある。確かに計器の進歩は最近頃に目立ってきているし、基礎分野からも新しい複雑な方法が入ってきている。優れた計器が必要であり、役立つことはいうまでもないが、それ自体に問題を含んでいること、および他の問題との関連点で、ちょうど一番大きな誤差を示す部分がある実験結果を左右するように、弱味が入ってくる。それから統計的種撒実験の使用と、それに用いられる仮説の質との関係も以前から問題にされている点で、これは科学というより科学の方法論の問題といえる。こういう応用研究には、一般の科学の基礎研究と比べ、大衆(科学の分野の“大衆”も含む)の意見が研究費という形でずっと直接に影響を与える。そして不十分あるいは不健全な仮説を統計的に証明しようとする、楽観的計画の出現を助け、その結果が思わしくないと大衆の悲観的過剰解釈となって跳ねかえり、計画はつぶされる、そうすると、ある種の研究者は、基礎がわかるまで、応用研究をすべきではないと極言し始める。これが気象制御の現状と筆者は考える。

この WMO の会議は良かれ悪しかれ世界における気象制御の分野の現状を一部の課題を除いて代表しており、その現在における技術的問題点は、アイデアとそれに基づく優れた仮説の不足にあると思われる。そして自分自身、微物理の分野で主に研究していることもあって、筆者はより良い種の開発の不足と、そのスマートな使用の欠除を具体的にあげる。

世界の現状をこの WMO の会議を通して紹介し、日本のこの分野の現状をみると、関連分野と比べ片手落ちの感を受ける。気象制御は自然の中で独り出に起きない現象を人工的に起こして利用するもので、自然に起こる

現象のみを研究していてもその目的を達する技術を作り出すことはできない。この意味で、気象制御の基礎研究は、一般のすなわち自然に起こる現象に対する基礎研究と並立するものである。筆者は気象制御の技術が日本の社会に何らかの形で役立つと信ずる者であるから、その研究を他の関連分野と釣り合うまでレベルアップすることを望む。なおその目的と一般の自然現象の研究の目的で、樋口敬二が本誌で提案したように、計器を積んだ航空機を1日も早く所持、使用できるようにすることを進言したい。

## 第21期第2回理事会議事録

日時 昭和55年10月29日(水) 18.00~19.30

場所 京都教育文化センター

出席者 岸保, 小平, 浅井, 荒井, 内田, 杉村, 竹内, 二宮, 増田, 村山 以上常任理事  
菊地, 藤原, 武田, 山元, 中島, 藤範, 伊藤, 坂上 以上理事

### 議題

#### 1. 昭和56年度第1次予算(案)について

荒井理事から予算(案)編成は、ほぼ前年と同様に組んだが、主な点は次のとおりであると説明が行われた。(1)「気象研究ノート」の収入減は、年間6冊の計画を5冊(600頁)にしたこと、単価の算出方法を変えたためである。(2)その他の収入減は、「続・気象学の手引」がなくなったためである。(3)印刷製本費の減は、役員選挙がなくなったこと。(4)税の見直しが行われ、大巾に上廻ることになった。来年度は税理士にみてもらうこととした。(5)「天気」の衛星写真は、当初は中止する計画であったが編集委員会の要望により引き続いて掲載する。(6)会議費のうち、筑波の気象研究所から来る交通費の不足として各委員会に5000円を追加した。(7)「天気」「気象集誌」とも予定よりも増頁となっているので実情に合うように改めたい。(8)大会を円滑に運営するために、第1日目に座長と屋敷を共に懇談会を持つことにした。(9)文部省学

術用語気象学編改正版を作るためのアルバイト費として20万円を計上。(10)事務局職員の昇給については、前期担当理事からの引き継ぎ事項になっているので、余裕があれば特別昇給ということで1号アップしたい。(内規では、満60才以上の事務職員は、原則として昇給は行わない。)

以上、第1次予算(案)に増額分129万円を上乗せして修正したい。なお、地方理事の方には、後からでもご意見を出していただくようお願いする、とつけ加えられた。これらに対し、税金の件、「気象研究ノート」の年間発行冊数について質疑が行われたが、ノートの発行部数を減らすこと、年間では、6冊用意しており、今年度は、5冊出せそうである。理事長から各支部においても税金の件については、考慮しておかれるよう要望があった。

#### 2. 大会運営について

増田理事から秋季大会が関西支部及び京都大学の協力により円滑に運営されている旨の謝辞が述べられた。なお次のとおり説明が行われた。

(1)次の講演者のため椅子が用意しており、時間の無駄がなくなった。(2)初めて座長会議を行ったが、貴重なご意見を伺って大変有意義であった。特に山元竜三郎氏、伊藤昭三氏等から次のような適切な意見が寄せられた。ア. 年々講演数が多くなって