

## 米国およびソ連における気象調節研究\*

小 元 敬 男\*\*

## 1. はじめに

ここ数年来、米国やソ連は、天気や気候の人工制御を大きな問題として取り上げ、研究に力を入れている。両国は、交換視察団を派遣するなど、互に協力して、研究の推進をはかろうとしている。気候調節は、局所的な天気の変換から、次第に、台風制御や世界的気候変換といった、大スケール問題と取り組むようになってきた。米ソの気象界の指導者達は、IUGG や WMO などの機関を通じて、これが、国際的な問題であることを強調している。(Malone, 1968; Federov, 1967).

気象調節に関する研究は、現在、雲物理と数値シミュレーションによる大気力学が主流となっている。筆者はいずれの専門家でもないが、昨年、米国での気象調節研究の現状を視察する機会に恵まれ、またソ連の研究についても資料を得たので、以下に紹介したい。

## 2. 降水量の人工制御

米国では、依然として、降水量の増加に関する研究が非常に盛んである。研究はいずれも、かなり長期的な見通しに基づいて行なわれており、(1) 実用面を強調したもの、(2) 雲や成雨機構の研究に重点をおいたもの、とに大別できる。seeding に関係のある色々な問題の研究も活発である。例えば、人工核物質開発の面では、有機核が注目されており、微粒子の発生や散布法に関しては、火薬と混合して Ag I などを燃焼させる、花火的発生の研究が盛んに行なわれている。

降水制御の野外実験プロジェクトは、米国内に多数あるが筆者が調査したものは、次の3つの型に分類できる。

(1) 冬季に山岳地帯の降雪量を増加しようという試みで、内務省の開発局 (Bureau of Reclamation) が最も力を入れている。米国の西側半分の農業は、全く、灌漑用水に依存しているといってもよく、山岳からの融雪水が極めて重要な水資源となっている。山岳地帯の雪は、ロッキー山脈の場合、東斜面より西斜面に多く、巨大なダムのはげんどが、大分水界の西側に造られている。貯められた水の一部は、ロッキー山脈の下を貫通する配水トンネルによって、東斜面にも供給されている。

農耕面積の拡大は、生産量の増加につながる。米国はまだ食糧難を経験しておらず、むしろ過剰生産気味なのであるが、世界の食糧事情を考慮して、将来に備えているわけである。

(2) 夏季の降水量増加を目的とする野外実験も行なわれている。南北両ダコタ州では、地価と降水量の間に密接な関係があるという。夏季の降水量の増加は、たとえ10%でも、経済的にかなり効果があると考えられる。雨の降るような時に seeding を行ない、自然まかせの状態より多目に降らせる努力をしている。種まきは、地上発煙ではなく、航空機で雲の中に直接行っている。夏季の増雨が非常に難しい問題であることは、過去の多くの野外実験が証明している。極端な例ではあるが先年、ミズリー州で行なった実験では、seeding がかえって降水量を減少させた。

(3) フロリダ州での積雲の人工変換の研究は、数値実験と野外実験をうまく組み合わせて行なっている。積雲の数値モデルを使って、seeding 後に起こる変化を予測する。疑問点がでると、検

\* Researches on Weather and Climate Modification in U.S.A. and U.S.S.R.

\*\* Y. Omoto 国立防災科学技術センター、  
農業技術研究所 (併任)、  
—1970年3月14日受理—

討して、より合理的な物理学的モデルの改良を試みるというのである。(Simpson and Wiggert, 1969). これは、実験気象学の理想的な進め方の一つとして、注目に値する。

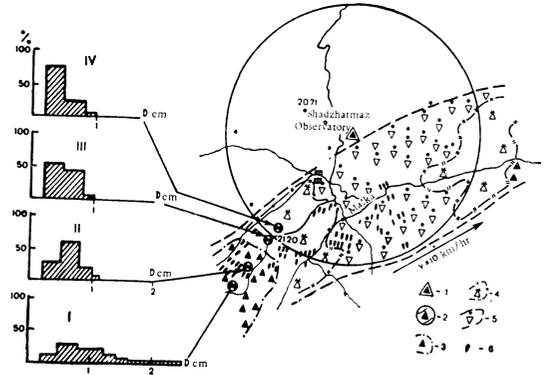
ソ連では、雲物理学一般に関する研究は非常に盛んであるが、人工降雨の実用性については、米国と違った見方をしている様である (Battan et al, 1969). 例えば、ウクライナ共和国で実施された実験で、ほぼ確実に降水量を人工的に10%増加できるという結論を得たにも拘わらず、気象界の指導者たちの見方は概して悲観的である。これ位の増加では、経済的には大して役立たないというのである。

降水の人工制御の分野では、以上の他に、降水分布を人工的に変えると、地表面の物理的性質を変える、例えば heat island を作ることによって降水をもたらす様な対流雲を発生させるといった研究も、進められている。

### 3. 降ひょう抑制

ソ連各地で実施されている降ひょう抑制活動は、実際にひょう害の軽減に役立っているといわれる。抑制活動の経費と利益の割合は、1:5から1:17と、場所によって異なるが、ソ連が既に実用化の段階に達していることは、一般に認められている。降ひょう抑制活動によって保護されている面積は、最近5年間に、20万ヘクタールから600万ヘクタールにも広がったとの事である (Battan et al., 1969).

ソ連のやり方は簡単にいうと、ひょう雲の中で、ひょうが急速に成長する部分に、人工的に多数のひょうの芽を送り込んで、大きなひょうが出来るのを阻止しようというものである。成功すれば、あられ程度しか出来ず、落下の途中に融けて、雨滴となってしまう。seedingは、沃化鉛を入れたロケットや高射砲弾をひょう雲の中に打ち込んで、集中的に大量の昇華核を供給するのである。グループによっては、雲の下部に、NaCl の散布を並行してやっている。ソ連の文献 (たとえば、Sulakvelidze, 1968) には、 $R_a = R_n(N_n/N_a)^{\frac{1}{2}}$  という関係式がみられる。ここで、 $N$  と  $R$  はそれぞれひょうの数と平均半径、 $n$  は自然の値、 $a$  は人工変換後の値を示す記号である。この様に単純な関係——数は変わっても雲の中に出来るひょうの全体積は保存される——は、厳密性の点で、疑わしい。一度ひょうの形成を阻止された雲は再びひょう雲にならないという報告もある。体積が保存される様な状態で抑制しようというのであれば、間断なく、seeding しなければならない。いちど分散された沃化鉛



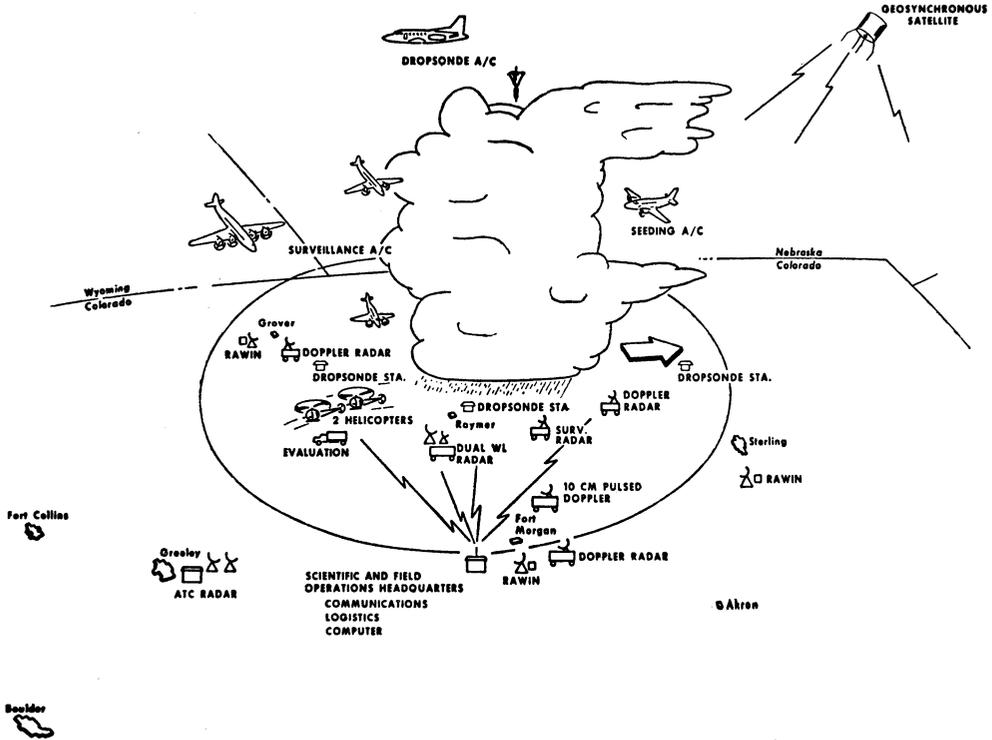
第1図 1962年5月31日の降ひょう (左側は各地点におけるひょうの大きさのスペクトル)。图中、1:実験本部、2:保護区域、3:降ひょう域、4:あられの降った区域、5:降雨域、6:沃化鉛散布弾の爆発地点。

の微粒子は、内部の激しい気流によって、短時間内に、ひょう形成と全く関係のない部分に運ばれてしまうし、ひょう雲中にひょうが形成される状態は、場合によっては数時間にも及ぶのである。

ひょう雲中への seeding を中止すれば、再びひょうが降り出すことを実証するかの如き例も発表されている。第1図は、よく引用されるもので (たとえば Sulakvelidze, et al, 1965), 保護地域の上だけ、ひょうが降り止んでいる。これが自然現象か人為的なものであるかは、この例だけからは判定できない。

降ひょう抑制の一方法は確立したと言えるかも知れない。ひょう雲を早期に発見し、適当な時期に、適当な場所に、大量の氷晶核を供給してやれば、その雲はたとえ一時的であれ、ひょう形成の能力を失うものと考えられる。

米国は伝統的に severe local storm の研究が盛んな国であり、降ひょう系 (hail storm) についても数多くの研究が行なわれている。特に最近、ひょうに関する研究はブームの観がある。ひょうの研究を行なっているグループが幾つもあり、互に競争してやっている。しかし、ばらばらにやるよりは、一か所に充実した観測網を展開して、大がかりな野外実験を行なうほうが効果的であるというので、1966年に Project Hailswath が実施された。だが、野外観測がシーズンで終わったため、大した結果を得るに至らなかった様である。そこで、昨年、ICAS の要請により、NSF は、NCAR に再び全国的組織を持つプロジェクトを実施するための計画案の作成を



第2図 Northeast Colorado Hail Experiment の観測計画

依頼した。3月に提出された案(National Center for Atmospheric Research:1969)には、コロラド州北東部の約7500km<sup>2</sup>(群馬県よりやや広い地域)を実験地とし、5年にわたって野外実験と観測を行なうことが提案されている。

このプロジェクトは Northeast Colorado Hail Experiment (NECHE ネチェと呼ばれている)と名付けられている。第2図にこのプロジェクトの観測体制を示した。この図からおよその見当はつくと思うが、念のため、計画案に示されている設備の一部を第1表にまとめてみた。

この計画には地上観測網の強化も含まれているが、主として降ひょうや降雨分布の詳細な解析のためであって、NSSL<sup>4)</sup>がオクラホマ市付近に展開しているメソ解析のための観測網とは全く異なるものである。

プロジェクトの名称には抑制(suppression)という語が入っていないが、「終了までに、seedingによる降ひょう抑制の可能性を決定するのに必要な科学的裏付けを求める」のをプロジェクトの目標としている。だが、ひょう雲内部の垂直気流や含水量の測定、系の発達に関連

するメソスケールの大気構造や力学の研究といった問題も、重要な項目としてあげられていることは見逃せない。ところがソ連の降ひょう抑制プロジェクトでは、抑制に直接関係のあるものだけが揃えられており、この点で、両国は極めて対照的である。ソ連では農作物の降ひょう害の軽減が抑制効果の判定の基準となっているが、米国では降ひょう分布の詳細な検討、あるいは seeding後に雲中に生じた変化の追跡から、効果を判定しようとしている。

米国内には、こういった慎重過ぎる様にも見えるやり方に反対の向きもある。国内はもとより国外でも実際に降ひょう抑制のための seedingをやっている気象会社の関係者の中には、抑制は出来ると信じている人達も少なからずある。彼等は、大切なことは seedingすることであって、千差万別の hailstormを完全に理解した上でなければ抑制実験は出来ないなどというのは、ナンセンスであると言う。一方、現象をよく理解もせずただ seedingをして効果があったとするのは、長い目でみればマイナスであると主張する研究者もいる。

NECHE 計画案は、5年間の必要経費を1350万ドルと

第1表 NECHE の観測計画

設備種目		数	所属	目的など	
航空機	DC-6	2	ESSA	観測	
	T-6	1	CSU <sup>1)</sup>	Seeding (ロケット)	
	Aero Commander	1	CSU <sup>1)</sup>	観測	
	Sabreliner	1	NCAR <sup>2)</sup>	観測	
	B-26	1	DRI <sup>3)</sup>	観測	
	強化機体	1		貫通観測	
	無線操縦	1		貫通観測	
	ヘリコプター	2		降ひょう分布観測	
	レーダー	複波長	1		3 cm と 10cm
		ドプラー	4		3 cm 3台, 10cm 1台
ひょう雲監視		1		ひょう雲追跡	
レーウィンゾンデ	トラッキング	1		航空機追跡	
	観測所	3	新設	1日4~6回	
		4	ESSA	1日2回を4回に	

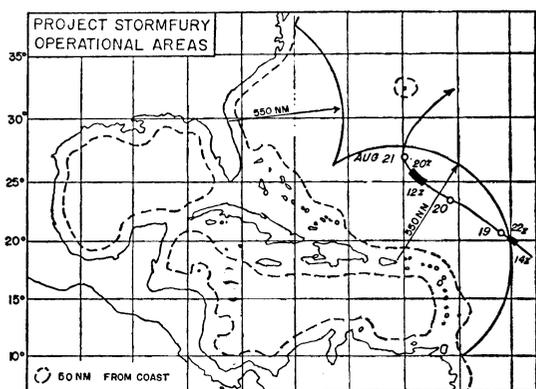
計算した。NSF はこれを妥当な額とみなし、その確保を約束したという。この中には、人件費は余り含まれていない。プロジェクトは非常勤の技術者の手当や出張旅費は負担するが、プロジェクトに参加する科学者達の俸給は、原則として彼等の所属機関から支給されるからである。50億円に近い予算のうち、新しい設備の開発と設置に当てられる額が1/3に過ぎないことは注目される。残りの大部分は維持運営費などである。第1表に掲げた程度の観測体制を敷くばあい、米国では、国内にあるものを借り集めればよく、借用したからといって他の観測プロジェクトに大して影響がでることもない。しかしわが国の場合は、殆どのものを新たに作成しなければならないのである。

実用化に当って、まず問題になるのは、抑制活動による利益がこれに要する労力や経費を補って余りあるか否か、である。これには多分に経験がものをいうし、また予報精度の向上といった事とも関連する。次に、空間にロケットや高射砲弾をどれほど自由に発射できるか、という問題がでてくる。米国では、昨年に予定されていた飛行機からの seeding 用ロケット(長さ30cm, 径5cm ほどのごく小さなもの)の使用を、民間航空局(FAA)が許可しなかったため、この実験は中止となった。

真疑のほどは分からないが、ちょっと耳にした話では、種まきによって降ひょう回数をふやしたということで、或るプロジェクトが訴えられたそうである。これは、賠償金めあてのいいがかりとしか思えないが、野外実験の実施の際には、似た様なトラブルが起こるかも知れない。抑制の方法は分かっているのだが、実用化の実現は、自由に seeding できる体制がいつ整うかにかかっているといっても過言ではない。

#### 4. ハリケーン制御

1969年8月18日、20日の両日、ハリケーン デビィに、対する大がかりな野外実験が行なわれた(第3図)、眼を



第3図 Project Stormfury のオペレーションの区域。图中、右端近くに Hurricane Debbie の経路と seeding の行なわれた区間(太線)を示した。

- 1) Colorado State University
- 2) National Center for Atmospheric Research
- 3) University of Nevada, Desert Research Institute
- 4) National Severe Storms Laboratory

取り巻く雲の壁に、大量の沃化銀の seeding を行なうもので、“eyewall experiment” と呼ばれている。商務長官と海軍長官の共同記者会見では、この結果は成功したと発表された。2日とも、種まき後、中心付近の最大風速がかなり弱まったというのである。“eyewall experiment” では、ハリケーンを中心付近の雲に seeding を行ない、この部分の潜熱の放出量を増加し、中心付近の気圧傾度を減らそうというのである。最近の数値実験では、いま計画されている程度の seeding からはそれ程大きな気圧傾度の変化は期待できないという結果がでており、前述の発表と食い違っている。

ハリケーン制御を目的として計画されているもう一つの実験は、“rainband experiment” といい、渦巻状の雨域に種まきを行なうものである。まだ一度も実施されていない。その理由として、種まき可能な地域になかなかハリケーンが進入しない事、毎年“eyewall experiment” に優先されること等があげられる。この実験とハリケーン制御との関係が明らかでなく、これに対して批判的な意見を持つ研究者もいる。効果をより明瞭に見ることが出来るという利点もあって、最近は、もう一つの試みである“cloud line experiment” が始められた。これは、ハリケーンの有無とは関係なしに、熱帯に現われる雲の列に seeding を行なうものである。

米国におけるハリケーン制御の研究は、商務省の ESSA と海軍の二つが中心機関となってやっており、“project stormfury” と呼ばれている。このプロジェクトの大きな悩みは、実験の出来る場所にハリケーンがなかなか現われないことである。1962年以降、ハリケーンに対して seeding できたのは、今年が2度目である。ハリケーンが seeding 後、24時間以内に、陸に大きな影響を与えないという確信がなければ、実験は出来ない(第3図)。メキシコ湾やカリブ海に、この条件を満たすハリケーンが現われるのは、極めてまれである。関係者の中には、対象として台風を目をつけている人も少なくない。グアム島または沖縄に実験基地を作れば、年2・3度は必ず、実験が出来る様な台風が現われると推定されている。ハリケーンの場合、実験可能なものが現われてから実験体制を作るまで、1日もあれば充分である。だが、西太平洋でやるとなると、関係者は実験期間中ずっと、米国本土を離れているということになってしまうので、実験期間は余り長く出来ない。しかも、台風とハリケーンの間隔はほぼ一致するので、シーズン中にハリケーンの関係者が大勢、現場を離れるという欠点もあっ

て、米国でもまだ台風を手を出しかねている。

台風の制御は、我が国の気象関係者の長年の夢である。この野外実験が行なわれるとなれば、今だかつてない様な充実した台風観測がなされることは、疑いない。我が国の気象研究予算は極めて少なく、まだまともな気象観測機もない有様である。具体的な協力体制については、関係者が慎重に協議すべきであるが、もし台風制御の実験が行なわれる様になった場合、我が国の気象界は、積極的に協力し、台風に関する理解の向上と抑制の実現に努力すべきだと思う。

##### 5. 大規模な気候変換

今から10年ほど前、シベリアの気候緩和をめざしてソ連が大規模な計画を真剣に企てているというニュースが、世界に広まった(倉嶋 1960)。しかし、これは、ソ連では真面目に取り上げられなかった様である。Fedrov (1967) は WMO の会議で、ベーリング海峡にダムやポンプ場を建設して海流を変え、ひいては気候を改変しようという提案は、取り上げる価値もないと述べている。その理由として、こういう方法による大規模な気候変化については、科学的な根拠が全く得られていないと言っている。大地域の地表面(海面を含む)の物理的性質の変化が気候の改変を惹起することは、明らかである。だが、結果は正確に予測されなければならない。気候のメカニズムに関する現在の知識では、いったん起こした変化が安定なものとなり得るかどうかわからず、結論できない。気候が急速に、予想以上に著しく変わってしまうようなことが起こらないとは断言できないのである。

米国では、数カ所で大循環の数値実験を行なっており、この成果は、気候の人工変換に関する基礎的知識を与えるものとして、期待されている。最近の GFDL のモデルでは、平均場に関する限り、自然に極めて近い状態が作り出されている。ところが、今のモデルは、自然の状態よりはずっと単純であるにもかかわらず、現在の最も性能の良い電算機の能力の限界に達するほど複雑な計算も要求される。もっと性能の良い電算機の出現が待たれる。もちろん、現在のモデルの不完全さの責任をすべて電算機に負わせるのは誤りであって、我々が大気現象をまだ十分に理解できないでいることも、大きな原因となっている。海洋と大気の相互作用とか、大循環の構造と力学に関する基礎的研究が注目を浴びていることは言うまでもない。将来、大型電算機が開発され利用できる様になることを考慮して、もっと複雑なモデルを準備するなど、この分野の研究者がなすべき仕事は少な

い。大気現象に関する知識を豊かにするにはどうしても、全地球上の観測網の改善が必要である。この目的で GARP が生まれた。この主な利点として掲げられているのは(小倉, 1969), 「長期予報にしっかりした根拠を与え、数週間先までの予報の精度の向上、大循環の一層の理解により、気候の人工変換の基礎を提供」である。

大規模な気候変換は、人類の将来にとって、極めて重要な問題である。米国や日本はまだ農作物の過剰生産に悩んでいるが、すでに慢性的食糧不足が深刻化している国も出始めている。食糧需要の増加率は、農業技術の進歩から期待できる生産量の増加より大きいといわれる。人口増加の抑制が必要なことはいうまでもないが、気候改良による農耕可能面積の拡大も、事情の好転に役立つ。工業の発展と生活水準の向上につれて、使用される水の量は世界的に急激に増加している。米国内の大都市の殆んどが今世紀末までには深刻な水不足に悩まされるようになるだろうと言われている。これに対処するため、米国は、海水の淡水化に力を入れており、気象制御に期待するところも大きい。しかしこの方法による水の増加は世界的な気候変換でも行なわれない限り、せいぜい現在量の10%増であるとして、余り大きな期待はかけられないという見方もあるようである。

地球上に出来るだけ多くの人口を維持するには、各国がてんでに自国に有利な気候を作り出すのではとても間に合わなくなってくる。小地域を犠牲にしても大地域の気候改良を真剣に考えなければならない時代が来るかも知れない。そうなければ、国際政治体制の根本的な改造を余儀なくされるであろう。

## 6. 電光抑制

米国西部の山火事の主な原因は落雷だと云われる。そこで、米国営林局の“project skyfire”は、かなり以前から、モンタナ州の山岳地帯で、沃化銀の種まきによる落雷抑制の研究を行なっている。1965年の NAS の報告(National Academy of Sciences, 1965)には、この方法による抑制の見通しは明かると述べてあったが、筆者の手元にはこれ以上の資料がなく、その後の発展については不明である。雷雨の帯電機構は、大気現象の中で最も分からないものとされている。従って、積乱雲のメカニズムの人工変換による電光抑制は、まだ基礎研究の段階と云えよう。

一方、ESSA 研究所の大気物理化学部門では、莫大な数の金属でコーティングしたナイロン針(チャフ)を雷雲中に散布し、電場の制御を試みている。チャフの移

動は気流には関係なく、電場によって決まる。そして、コロナ放電により、対地あるいは雲間放電が起こる様な強い電場の形成が抑制されると云う。関係者の話では、経費の点でなかなか野外実験の機会が得られないのが悩みとなっているそうである。実験をやったのはただ1度だが、その結果は将来性を裏付けるようなものではなかったらしい。

## 7. 霧の消散など

空港の滑走路の過冷却霧を消す問題はすでに解決された。しかし、極地を除き、この種の霧の発生回数は少ない。実用性の点からいって、温かい霧を消すことが問題となっている。加熱以外の方法で温かい霧を消すのは非常に難しいといわれてきたが、つい最近の文献によると、米国ではかなり明るい見通しが立てられている。電気的あるいは化学的方法で霧粒同志の併合を促進し、大気中の水滴の数を減らして、視界を改良しようというのである。

北海道東部が望んでいる様なメソスケールの消霧は、非常に困難である。かつて、北大の低温科学研究所が熱心に研究していたが、今のところ海外でも余りやられていない様である。アラスカで空港などに発生して問題となっている氷霧については、人工的に消すのは非常に難しいとされている。

このところ問題となっている大気汚染も人為的な気候変換の原因といえる。しかしこれは、望まないにもかかわらず、人間の活動が原因で生じた一種の自然の変換であって、今まで述べてきた気象変換とは性質を異にする。米国では、これを不注意による変換(inadvertent-modification)と呼んでいる。この分野では、大気の組成を人工的に変えることによる大気放射の特性の変化が注目されている。都市周辺では既にメソ・スケールの気候の変化が起こっているが、多数の SST が成層圏を飛ぶようになると世界的スケールで気候が変化するのではないかと心配する向きもある。現に、世界各地に発生している異常気候は大気汚染のせいかも知れないと唱える科学者がいる。

防霧林、防風林なども(微)気象の人工変換の試みであるが、これらの問題はまだ余り注目されていない。だが、もっと小スケールの問題、たとえばトンネル内の気候といった人工的な空間の気候の制御まで含めた気象と気候の人工制御を考えるべきだと主張する人もいる。

話は別だが、米国では測器やこれに付随した小型電算機の開発が非常に重視されている。これは、単に観測精

度の向上のためばかりではなく、大して利用もされずにたまる一方のぼう大な資料を生かすためでもある。解析に余り手間どらずに済むような形にしておけば、資料の利用度を高めることが出来るからである。

一例をあげると、観測機が基地に戻って来た時には、既に機内の電算機が雲の周辺の風の分布の解析、発散、渦度、水蒸気の収束などの計算を全部終了して、結果がプリントされて出てくるといった装置が開発された。精度上の難点が指摘されているけれども、将来性は大きい。

8. 米・ソにおける研究体制

米国ではアイゼンハワー以来、歴代の大統領が気象調節に関する声明を出しているし、幾つもの法案が議会通过している。気象調節関係の研究費は年々、増加しており、気象学の分野の中で最も優先的なものになりつつある。気象調節に多額の研究費を援助している政府機関が幾つもある(第2表)ため、過当競争や縄張り争いの原因ともなり兼ねない。そこで、能率的に研究を推進するためには、全ての省庁から独立した強力な機関を新たに設けるのが良いのではないかと、科学院の報告(National Academy of Sciences 1965)には書かれている。だが、もしこういった政府の機構改革ができたとしても、それで現状を改善できるかどうかについては、意見が分かれている様である。一つの機関がこの分野の研究の推進を完全に掌握すれば、今までとは違った弊害があらわれるであろう。

第2表で注目されるのは、内務省の支出額が非常に多いことである。この全額が開発局の大気水資源部(Office of Atmospheric Water Resources)の skywater project に使われている。このプロジェクトは降水量の増加を目

的とするものであり、1962年に発足、当時の年間予算は10万ドルであったが、1965年には100万ドルを越える大型プロジェクトになった。今では、気象調節の各部門の研究を援助しているNSFを上回る経費を支出している。1969会計年度は480万ドルで、前年度の512万ドルに比べてやや減っている。これはベトナム戦争や宇宙開発の影響で気象研究予算が全般的に削減されたためであり、skywater プロジェクトの評価が落ちたというわけではない。NSFの気象調節関係の支出額の約2/3は、降水プロセスの人工変換を主目的とする問題に当てられている。

上述の2機関はそれ自体、研究はやっておらず、機関そのものの経費は会議費や事務関係の出費である。他の省では、支出の大部分は各々に所属の研究所に対してである。気象局が所属している環境科学庁(ESSA)が気象調節に当てている額が割合に少ないのは意外にも思えるが、他にも多くの気象関係の事業をやっていることを考えれば納得できよう。軍の諸機関は霧消しに力を入れている。海軍はハリケーン制御の研究に多額の支出をしており、この分だけ空軍や陸軍より多くなっている。

筆者は、数か所の野外実験場を訪れ、充実した施設や設備を見学して、今さらの様にわが国との差の大きさを知らされた。集められている資料が余りにもぼう大で、一体どう処理するのか気がかりな程であるのに、研究費が足りなくて満足な設備を整えることが出来ないという研究者の苦情を、各地で耳にした。

米国は気象観測機やレーダー等の半永久的設備を年々少しずつふやしている。我が国には、米国がハリケーン観測に使用しているような大型気象観測機は、1機もない。現在の気象研究予算を比較するとき、日本と米国の気象研究施設の差はますます大きくなるものと予想される。米国に追いつかないまでも、せめてこの差が開かないで済む程度の援助資金を、研究施設や設備の向上のために支給してほしいものである。

ソ連は、米国よりも更に多額を気象調節研究に当てている様である。ソ連を訪れた米国の関係者達は口を揃えて、米ソの気象調節研究費の差はちょっとやそっとのものではないといっている。ソ連は最近、宇宙開発よりも地球科学のほうに力を入れたと云われており、宇宙開発のしわ寄せで苦しんでいる米国の気象調節関係の研究者を羨ましがらせている。ソ連を視察した米国代表団は、気象調節研究の人的資源の豊富さと巨大な実験施設にも驚いたようである。たとえば交換視察団の報告書

第2表 1967年度の省別気象調節研究援助資金 (National Science Foundation, 1968)

機関名	支出額 (ドル)	主要テーマ
農林省管林局	250,000	落雷抑制
商務省環境科学庁	1,225,000	各種
各種国防	1,330,000	
(空軍)	(252,000)	霧消し
(陸軍)	(265,000)	霧消し
(海軍)	(813,000)	霧消し, ハリケーン 制御
内務省開発局	3,731,199	降水の人工制御
国立科学財団(NSF)	3,302,005	各種
航空宇宙局	77,000	霧消し

(Battan et al., 1969) によると、オブニスクの気象研究所(所員約300人、将来は700人の予定)の雲物理研究部門(研究者60人)には、高さ18m、直径15m容積3200m<sup>3</sup>の巨大な cloud chamber があり、ここには更に、パイプで連結した大型 cloud chamber, 2~100m/sec 用の風洞、直径2mで高さが15mの垂直風洞などがある。最近、グルヂャ共和国科学院の地球物理研究所に、直径4.5m、高さ17mの円筒形の cloud chamber の上に、更に直径1m、高さ20mの筒をつけた、高さ37mの巨大な装置が作られたという。この実験装置はひょう研究用で、気温は+20°Cから-45°Cの間で変化し、20~25mの上昇気流を発生させることが出来る。ソ連には、雨物理や気象調節関係の部門に数十人のスタッフを擁する研究施設が幾つもあるとの話である。

### 9. むすび

天気や気候の人工変換に対する関心が高まるにつれ、我々は気象学の進歩と生活環境の改善を密接に結びつけて考えるようになる。気象界に限らず、科学一般について云えることだが、単に自然界の真理を探究することだけが尊ばれる時代は去った。大気現象の研究は、予報精度の向上とか、気象の人工制御による災害の軽減や生産の向上と結びつけて、進められてゆく。

こういう考え方ができたことは、研究遂行の正当性を明らかにするものとして、喜ばしいことではあるが、研究の健全な推進に悪影響を及ぼす恐れもある。すぐに役立ちそうな研究への援助が強化される反面、基礎研究が軽視される傾向がでてくるかも知れない。更に、素人目で見ても成功という形での成果の催促という問題も起こってくる。

我が国では、人工降雨に対する政府の援助は殆んど打ち切られてしまった様である。もしこれが、渇水期に有効量の雨を人工的に降らせることが出来ないという単純な理由からであれば、なんとも悲しむべきことである。我が国ばかりでなく世界的にみても、かつて過大評価された反動として、人工降雨の将来性が不当に低く評価されている傾向がある。いずれにせよ、災害が起こってから対策を講じるやり方は、天気への制御には全く通用しな

い。効果を精確に予知できなければ実施不可能な種類の実験が幾つもあり、また野外実験を行なうに際しても、気象条件の予報は極めて重要である。その他、ちょっと考えただけでは縁のない様な基礎的研究から始めなければならぬ場合もある。

気象調節は、個人、社会、国家の利害に密接に結びつくわけであるから、この分野の研究への関心が高まるにつれ、色々と難しい問題がでてくる。その解決や対策は気象学者が頭を痛めるべきことではないかも知れないが、無関心ではいられない。或る降ひょう抑制プロジェクトが訴えられたということを中心に述べたが、米国では似た様な事件が何度か発生している。州によっては seeding をいっさい禁止している所もある。その理由の一つは、seeding が雨量の減少(あるいは増加)注の原因ではないという事を気象学者が証明できなかったからである。

気象調節に対する関心の高まりが、気象学研究への援助の強化を促進してくれることを切望する。しかし、気象調節を掲げなければ援助が受けづらくなるというような事になっては困る。この課題は実に気象学の究極の目的であって、気象学の発展に寄与する研究は、皆気象調節の分野の進歩に貢献するものであるといっても過言ではない。

大気科学研究の大型化につれ、研究の推進に当っては強力な国際協力が必要となってきた。天気と気候の人工制御も、近いうちに、国際的な問題として本格的に取り上げられるであろう。これに備えて、我が国でも、どの様な問題を取り上げ、どの様な形で研究を進めて行ったらよいかについて、真剣に考えなければならない時が既に来ている。

### 10. あとがき

米国とソ連の気象調節研究の現状を紹介するつもりで書いてみたが、勉強不足で、要領を得なかったのではないかと恐れている次第である。研究以外のことに言及しすぎてしまった。言い過ぎた点や書き落し、誤りなどを御指摘いただければ、幸いである。

筆者は、中期在外研究員として米国に派遣されたものであり、この機会を与えて下さった科学技術庁ならびに国立防災科学技術センターの関係諸氏に感謝したい。

訪米中は、多くの日本の在米研究者の方々への御高見を賜った上、御厚情に接し、感謝する次第である。カナダや米国の数多くの訪問先では、大勢の関係諸氏から有益な御意見を賜ったのみならず、滞在中の便宜までは

注) Mann, D.E., 1968: The Yuba City flood: a case study of weather modification litigation Bull. Amer. Meteor. Soc. 49, 690-714.

米国では異常乾燥が over seeding の、大雨が人工増雨のせいにされ、裁判沙汰になる事が時々あるらしい。

かっていただいた。そのうえ、文献などを心よく御送付いただき、ここにあらためて深く謝意を表したい。

最後に、気象調節の研究にあたり筆者を激励、援助して下さいの国立防災科学技術センターの寺田一彦所長ならびに小沢行雄異常気候防災研究室長に心から御礼申しあげたい。

引用文献

Battan, L.J., G.S. Benton, A.M. Kahan, M.J. Rubin, H.K. Weickmann, F.D. White, 1969: Report of U.S. delegation on weather modification on visit to the U.S.S.R. May 6-June 3, 1969. 57p (also in Bull. Amer. Meteor. Soc. **50**, 924-946).  
 Federov, E.K., 1967: Weather modifications, WMO Bulletin **16**, 122-150.  
 IUGG 1968: New dimensions of international cooperation in weather analysis and prediction, Lecture by T.F. Malone, I.U.G.G. Chronicle, No. **74**, 15-20 (Also in Bull. Amer. Meteor. Soc. **49**, 1134-1140)  
 倉嶋 厚, 1960: 人工気象調節 天文と気象, **5**, 8-11 **6**, 16-20.  
 National Academy of Sciences-National Research

Council, 1965: Weather and climate modification Vol. 1, Summary and recommendations (In Bull. Amer. Meteor. Soc. **47**, 4-19.)  
 National Center for Atmospheric Research 1969: Plan for the Northeast Colorado Hail Experiment 44p.  
 National Science Foundation, 1969: Weather modification, ninth annual report, 1967, U.S. Government printing office, Washington D.C. 101p.  
 小倉義光, 1969: GARP 組織委員会第2回報告, 天気, **16**, 415-421.  
 Project Stormfury 1969: Annual report 1968, Miami Florida 17p.  
 Simpson, J. and V. Wiggert, 1969: Models of precipitating cumulus towers, Mon. Wea. Rev. **97**, 471-489.  
 Sulakvelidze, G.K. 1968: Combined report on active interference into hail process (English translation by NCAR 36p)  
 Sulakvelidze, N. Sh. Bibilashvili, and V.F. Lapcheva, 1965: Formation of precipitation and modification of hail processes (English translation by Israel Program for Scientific Translations, Jerusalem, 1967 208p.)

日本気象学会誌  
 気象集誌

第II輯 第48巻 第2号 1970年4月

高橋 劭・長谷美達雄：ラジオゾンデによる降水要素の垂直分布の測定.....	85—90
松本 誠一・秋山 孝子：梅雨前線帯に観測された中規模擾乱と関連する降雨細胞.....	91—102
東京大学理学部地球物理学教室気象研究室：伊勢湾台風の降雨帯(その2).....	103—117
大林 智徳：孤峰を越す2次元流の数値実験.....	118—128
浅井 富雄：鉛直シヤーが高さと共に変り不安定な成層をもつ平面平行流の安定性.....	129—139
林 良一：凝結熱により発生し帯状流を加速する大規模赤道波動の理論.....	140—160
廣田 勇・時岡 達志・西口三登志：一般化された掃出し法によるPoisson 方程式直接解法.....	161—167
要報と質疑	
R.M. エントリッヒ：Alternating direction 法による移流項の数値積分について.....	168—172