

## 第8回 WMO 気象改変に関する科学会議出席報告\*

村上正隆\*\*

### 1. はじめに

標記の会議がモロッコ王国カサブランカ市カンダラホテルで2003年4月7日から12日まで開催された。これは文字通り人工降雨・降雪、降雹抑制、霧消散などの研究・事業に関する会議で、4年に1回 WMO の主催、IAMAS の共催で開催されているものである。前回はタイ王国チェンマイで開催された(里村・渡邊, 1999)。今回は世界40か国から140人の研究者・技術者が参加し、日本からも筆者のほか九州大学から脇水健次、西山浩司の両氏が出席した。米国からユタ大学名誉教授福田矩彦氏も元気な姿を見せられた。今回はモロッコの気象局がホストをつとめ、WMO の Bojkov 博士とプログラム委員会の委員長を務めたトロント大学の List 博士が会議の舵取りをしていた。

印象的だったのは、中国が気象局を中心に全国的に気象改変プロジェクトを始めたということで、24人と大挙して会議に参加したことである。もう1つは中近東・アフリカの国々からも数多くの研究者・技術者が参加していたことである。国連が2025年までに世界中の人口の約3分の2が水不足の問題に直面すると予測している (UNFPA, 2003) が、今後水不足が予想される国々が真剣に気象改変に取り組んでいるのがうかがわれた。

会議はモロッコ王国の Yazghi 環境大臣の歓迎の挨拶、WMO 職員による Obasi 会長の挨拶の代読、プログラム委員会の List 博士による前回の会議以降のこの分野における動向の紹介からなるオープニングセレモニーで始まった(第1図)。会議の期間中に、以下の分野について20のセッションがもたれた。

#### Topic 1 Precipitation Increase

\* Report on 8th WMO Scientific Conference on Weather Modification.

\*\* Masataka MURAKAMI, 気象研究所.

© 2003 日本気象学会

#### 1.1 Status of precipitation enhancement

#### 1.2 Methods, theories, and feasibility

#### 1.3 Numerical modeling

#### Topic 2 Hail Suppression

#### Topic 3 Fog Dispersal and Inadvertent Weather Modification

#### Topic 4 Investigative Tools

#### Round Table Discussion,

発表論文の7割が Topic 1 に関するものであった。そのうち3分の2が過冷却の雲に対するヨウ化銀やドライアイスによるシーディングに関するもので、残りが吸湿性粒子によるシーディングに関するものであった。2割が Topic 2 に関するもので、Topic 3 に関するものは1割程度であった。

以下に、それぞれの Topic に関する研究報告を聞いて印象に残ったことをいくつか報告する。

### 2. 各国の取り組み

Bojkov 博士の講演によると、現在50カ国を超える国々が気象改変に強い関心を持っており、毎年世界30あまりの国々から100件以上のプロジェクトが WMO に報告されているとのことである(第2図, 第3図)。さらに、すべての国、すべてのプロジェクトが報告されている訳ではないことを考えると、この数字はもっと大きくなることを強調していた。

最近の動向としては、まず、地中海沿岸(南東ヨーロッパ, 北アフリカ, 中近東)の国々が気象改変に強い期待を寄せており、後述するように WMO が音頭を採って国際共同プロジェクト MEDSEEME-PEP を立ち上げたことが挙げられる。

次に中国の国家的取り組みである。気象局の Zheng 博士の報告によると、中国では気象局の地方組織にまで気象改変に関する部局を設置し、ドップラーレーダ観測網、無数の地上設置型のシーディング装置、各種

シーディング用航空機、シーディング用高射砲、ロケット砲等を整備し、気象改変を国家的事業として推進しているとのことである。会議の期間中に行われた中国からの二十数題の研究発表内容は現状では必ずしも最先端に行くものではなかったが、これだけの物的、人的研究資源を投入しての取り組みから、将来大きな成果が期待される。

最近、東南アジアでも気象改変プロジェクトを実施している国が増加している。お隣の韓国でも、過去十数年間に渇水のたびに何度か気象改変プロジェクトを立ち上げようとして一時的なものに終わっていたが、今年2月に予算が通り最低でも3年以上の本格的な気象改変プロジェクトをスタートしたとのことである。アジアにおける気象改変分野での協力関係を立ち上げるために今夏ワークショップを行いたいとの申し出があり、筆者も招待を受けた。

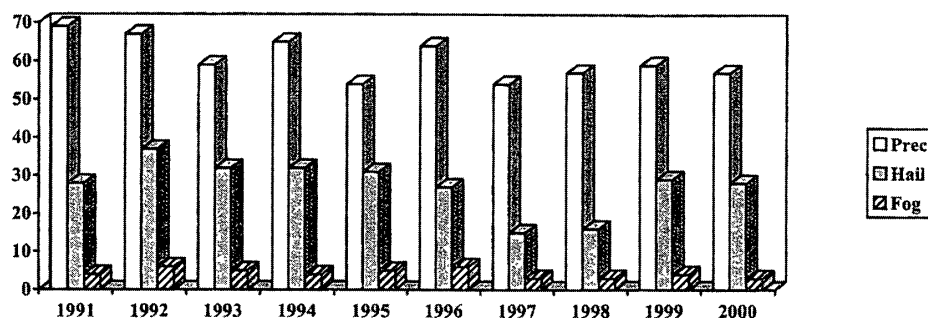
### 3. 気象改変技術の進展

#### 3.1 降水増加

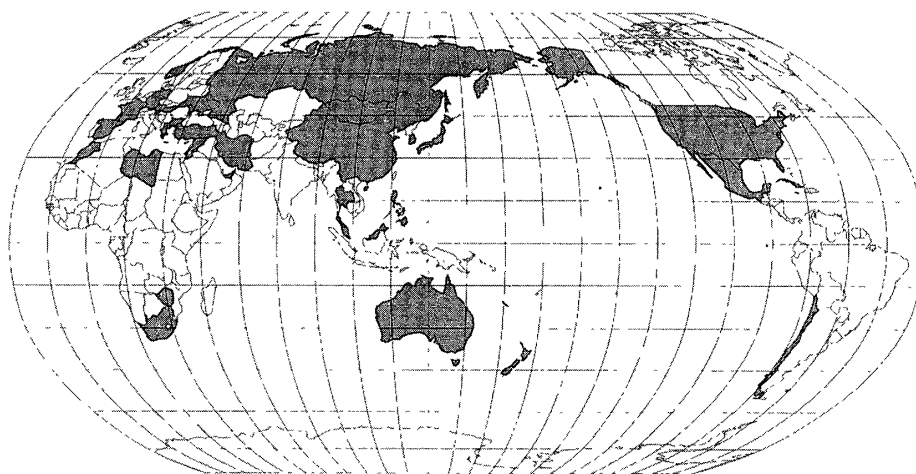
降水増加に関して目新しかったのは、ここ10数年吸湿性粒子によるシーディングが見直されてきたことである。吸湿性粒子をシーディングして、大粒の雲粒を発生させ、衝突併合過程(暖かい雨のメカニズム)を促進し増雨を図るという概念は古くからあったが、吸



第1図 オープニングセレモニーの風景、右から2人目がモロッコ王国の環境相。



第2図 最近10年間に WMO に報告された気象改変プロジェクト数の変化. 降水増加 (Prec), 降雹制御 (Hail), 霧消散 (Fog) (Bojkov, 2003).



第3図 最近10年間で気象改変プロジェクトを実施している国々。

湿性粒子の微粒化が困難で、大量の物質を撒くことになりコスト的にも環境汚染の面からも問題が多く、あまり使用されることがなかった。10年以上前に南アフリカで吸湿性粒子を微粒化する（ほとんどをサブミクロン粒子にする）技術が開発されて以来、南アフリカはもちろん米国 NCAR (National Center for Atmospheric Research) の研究者らによって世界各地で使用されるようになってきた。レーダエコーの面積がシーディングから1～2時間後に増加して来るという結果が TITAN (Thunderstorm Identification, Tracking, Analysis and Nowcasting software) という NCAR が開発したプログラムを用いて客観的に示されるということである。この方法は暖かい雨だけではなく、冷たい雨（氷晶過程）のメカニズムが働く雲にも有効だということである。時間から推測すると第2世代、第3世代の雲の発達に効くということなのだろうか。ビン法を用いたボックスモデルで吸湿性粒子の導入による衝突併合過程の促進は示されているが、乱流による混合が支配的な対流雲でどの程度有効なのか、それがどのように第2、第3世代の雲に影響するのか未解決の部分は大きい。どういうメカニズムでシーディングしてから1時間以上経過して雨域が広がるのか全く明らかにならないまま、南アフリカ、米国、メキシコ、タイ、アラブ首長国連邦、…と世界中に広まりつつある。NCAR の Bruijjes 博士に一刻も早く物理的過程を解明する必要があるのではないかと話を向けてみると、彼らもその点は十分認識しておりそのための研究費を取ってやりたいとのことであった。

最も発表件数の多かった過冷却の雲からの降水増加を狙った研究のほとんどは、ヨウ化銀やドライアイスでシーディングしてその効果を統計的に有意かどうかを議論するといった具合であった。単純な統計処理ではその有意性を示すのに永い年月と膨大な回数の実験が必要なことは以前から指摘されているのに、依然としてその域を出ていないものがなんと多かったことか。シーディング後のレーダエコーの変化だけをケーススタディ的にとらえて増えた減ったとか、エコーの形状が変わったなどと主観的な議論をする、「時代を逆行する」ような発表がいくつもあったのは大変残念であった。物理的手法によるシーディング効果の解明の重要性が指摘されて久しいのに、そのような発表は極めて少なかった。あえて話題を探すとすれば、レーダエコーの変化からシーディング効果を評価するのに NCAR が開発した TITAN というソフトウェアがい

ろいろなところで使われ始めたことであろうか。中身を知らなくても結果が出てくるので素人には便利な道具なのであろう。List 博士はこれまで8回のこの会議の歩みを振り返る彼の講演のなかで、「レーダーが見ているものは地上降水とは必ずしも一致しない。レーダーから求まる降水量は色々な仮定に基づいており、場合によってはシーディング効果の符号さえ変わることもあり得る。TITAN は大変便利な道具ではあるが大変危険な道具でもある。シーディング効果は地上降水で評価する必要がある。」とあって、このような安易な姿勢を痛烈に批判した。筆者はさらに一步踏み込んで、シーディング効果につながる因果関係を物理的に明らかにする必要があると思っている。

### 3.2 降電制御

ロシア・中国・カナダ・ヨーロッパの国々から降電制御に関する報告があったが、シーディング効果の統計的評価やシーディング技術に関するものが主であった。降電制御はもちろん、降水増加に関する研究発表でも最適シーディング法に関する発表がほとんどなかったのは残念だ。シーディング効果はシーディング方法に強く依存し、対費用効果を改善するためには、最適シーディング法の検討は不可欠なはずなのに、それ抜きでシーディング装置の開発・改良だけが論じられていた。高射砲やロケット砲と兵器ショーまがいの発表が多かった。シーディング効果を物理的に調べる、もっと基礎的な研究が必須である。中国などから若干の数値モデルを用いた降電制御実験の発表はあったものの、使用しているモデルの性能やシーディング方法の取り扱いなどに問題があり、高精度雲モデルを用いて現実的なシーディング方法を採用した数値実験による物理的評価が急務である。この辺が2001年6月に発表された WMO の気象変化に関するステートメント (WMO, 2001) で最も確実な気象変化技術は過冷却の霧消し、次に山岳性降雪雲の増雪、最も不確実なものが降電制御と報告されている所以かもしれない。多くの国々で降電制御のプロジェクトが行われておりニーズが高いのだから、もっと物理的手法を導入してプロジェクトを推進してほしいものである。降電制御の研究にはもう一工夫が必要そうである。

### 3.3 霧消散と非意図的気象変化

液体炭酸・液体プロパン・ドライアイスなどを用いた過冷却霧の消散技術は、WMO のステートメントでも最も効果ははっきりしているものとしてランクされており、手法もほぼ確立している。そのせいか、さほ

ど目新しいものはなく事業化に関する発表が主であった。暖かい霧の消散に関しては、経済効率は良くないものの昔ながらのジェットエンジンやガスバーナーで空気を暖めて霧を蒸発させる手法を採用したプロジェクトの報告もあった。

一方、非意図的気象改変に関する発表は2、3題と少なかったが、この分野の研究を活性化させたいという List・Bojkov 両博士の意図が伝わってきた。今後の地球温暖化等の気候変動や人為発生起源のエアロゾルやバイオマスバーニングによるエアロゾルの大量放出に伴う雲・降水過程への影響を通しての降水量の増減は、気象改変技術開発のニーズに関係してくるばかりではなく、将来の雲・降水過程の変化は気象改変のために採用するシーディング方法そのものにも影響を与える可能性があるというのである。しかし両博士の本当のねらいは、気象改変だけをテーマにすると、ともすると人工降雨屋と呼ばれるような技術者の参加が大勢を占める会議になりがちなのを、非意図的気象改変を含めることによって雲物理などの関連分野の研究者の参加を促したいというところにあるのかもしれない。

4. 理想と現実のギャップ

Bojkov 博士は講演の中で、WMO の立場から、今後の水資源管理の手段としての気象制御の重要性の高まりの背景説明をし、WMO が2001年に出した気象制御実施に関するガイドラインを引用して以下の点に留意して今後プロジェクトを実施すべきだと力説していた。

1. 事前の降水の地理的・気候学的調査。(これは、無作為なシーディング実験を標的地と標準地を設けて行う場合にその設計段階から重要になってくるものである。)
2. 雲の内部構造・降水機構の理解、雲のシーダビリティの評価、発生頻度の把握。できれば、観測だけではなく、事前の数値実験による評価。
3. 事業化する場合には、無作為なシーディング実験の励行、シーディング効果にいたる物理過程の把握。
4. 第三者による客観的なシーディング効果の評価。

一つ一つ大変もったもなことで、誰も異論を挟まない、誰が考えても最終的にはそこに落ち着くだろうと考えられるものである。しかし、今回の各国からの報

第1表 1977, 1988, 1999年に WMO に報告された気象改変プロジェクトの実施機関の割合(パーセント)。農業関係(Agriculture)、保険会社(Insurance)、研究機関(Research)、国の気象水文機関(NMHSs)、水資源関係(Water supply)、電力関係(Energy sector)、その他(Others) (Bojkov, 2003)。

Year Organization	1977	1988	1999
Agriculture	32	46	45
Insurance	6	1	3
Research	29	5	5
NMHSs	9	23	27
Water supply	9	12	10
Energy sector	3	8	2
Others	12	5	8

告を聞いているといったい何カ国がこれを実施しているのか首を傾げたくなる。笛吹けど踊らずという感が強い。

現在世界中で実施されている気象改変プロジェクトのほとんどは事業ベースで行われており、研究ベースで実施しているプロジェクトは極めて少ない(第1表)。研究的なことに余計なお金は使わないということか、上述の第1項・2項を事前に実施しているプロジェクトは少ない。一応、第3項の無作為なシーディングはかなりのプロジェクトで採用されているが、シーディング効果の統計的評価の信頼度は高くない。シーディング効果の物理的把握は第1・2項と同様、コストがかさむという理由からほとんど行われていない。NCAR が発展途上国からの依頼を受けて技術指導の形で実施しているプロジェクトでさえも、予算の制約がきついのかそのような研究的色彩の強い項目は十分に実施されていないようである。第4項の第三者による評価も、民間の人工降雨請負会社が参入した場合には、どの程度客観的評価がなされるのか疑問である。ロシアの研究所も何10トンものシーディング物質を積載可能な航空機を提供できると民間気象会社まがいのパンフレットを会場に配って宣伝に躍起になっていた。発展途上国に気象改変プロジェクトを普及させようとするとき、このような民間会社等の手助けを必要とすることもあるが、行き過ぎるとプロジェクトの性格が科学的なものから大きく逸脱する恐れもあり、諸刃の剣といったところであろうか。このジレンマからか、Bojkov 博士が民間会社の担当者が持ち時間を越えてプロジェクトの成果を発表(宣伝?)しようとし

たのを厳しく制止したり、ロシアの研究所の宣伝用パンフレットを苦々しく手にとっていたので印象的であった。

Bojkov 博士が講演の中で、最近立ち上げた国際共同プロジェクト MEDSEEME-PEP についての紹介を行ったが、これがこのジレンマを解消するために WMO が取った方策なのであろう。このプロジェクトでは

1. 水資源管理の一手法としての降水増加実験を通して、この地域の水不足・雨不足の緩和をはかる。
2. 降水増加実験の計画立案、可能性の評価、プロジェクトの実施要領、効果判定に関するアドバイス、ガイドライン、トレーニングの提供。
3. 科学的研究の推進、その成果の気象変化技術への応用、気象変化技術のこの地域の国々への移転。
4. 気象変化に関する情報の共有と国際協力の推進。

を目的に掲げ、気象変化プロジェクトの科学的推進と発展途上国における気象変化技術の育成を目論んでいる。

##### 5. おわりに

本稿では、この会議に対する印象として、「目新しいものなし」・「時代の逆行」などと少々厳しいことを書きすぎたかもしれない。これは筆者の気象変化が科学的なものとして発展してほしいという強い思い入れからきているものである。ここ十数年間の少々停滞気味の気象変化研究の現状は、世界的なこの分野の研究費不足に起因していると思われる。米国の民間気象会社の Henderson 氏が「スポンサーは一滴でも多くの雨が降れば文句を言わない、戦後まもなくから40年以上気象変化プロジェクトを実施している」と胸を張るように、世界中で行われているプロジェクトのほとんどは乾燥・半乾燥地帯で恒常的に水不足に苦しめられており、ともかく人工降雨をやってみるというスタンスである。

しかし、この会議期間中に気象変化研究の将来に光明も見いだせた。上述したように、

- ・ WMO が MEDSEEME-PEP を立ち上げ、国際協力を通して各国の資金不足を克服し、科学的な発展を成し遂げようとしている。
- ・ 中国が気象変化にたいする国家的取り組みを開始し

た。

- ・ 韓国も本格的に気象変化プロジェクトを開始した。

これらのことは、この分野にとって朗報である。さらに、NCAR の研究者の話によると、米国の科学技術政策の見直しで、気象変化研究に再び大きな研究費がつく可能性が出てきたというのである。ともすると人工降雨屋ばかりが目立った今回の会議であったが、次回までに世界各地で研究ベースの気象変化プロジェクトが多数実施され、新しい研究成果を携えた雲物理学など関連分野の研究者が多数集う会議になることを期待したい。

最後に我田引水になるかもしれないが、気象研究所と利根川ダム統合管理事務所が水資源安定確保を目指して1994年度から実施している人工降雪に関する共同研究の概要と成果の発表後、座長を務めた NCAR の Foote 博士から「物理的手法で人工降雪実験を推進し、明快な結論を得た数少ないプロジェクトの一つである」との賛辞をいただき、Bojkov 博士も是非 WMO にプロジェクトの報告をしてほしいと駆け寄ってくれた。我々のプロジェクトが国際的にも高いレベルにあることを実感できたのが今回の会議参加の大きな収穫であった。事業化を急ぐことなく、ここ9年間、基礎的研究に理解を示してくれた利根川ダム統合管理事務所および国土交通省関東地方整備局の関係者に感謝する。

乾燥地域のように恒常的ではないにしろ、気候変動に伴って今後ますます豪雨豪雪と、逆に少雨少雪とそれに伴う渇水が頻発することが懸念されている。降水の人工調節は、日本の山岳性降雪雲のように条件を満たした雲では最大30~40%の増雪が見込める魅力的な技術である。水不足・渇水を緩和するための、そして今後は水資源を管理するための一手法としてますます重要性が増してくるものと思われる。世界的には水不足問題が深刻化することは間違いなく、そのような国々への技術支援の必要性も高まるであろう。

日本における地球規模水循環研究イニシアティブをはじめ世界各国で同様の研究プロジェクトが動き始めた昨今、日本においても水資源管理とその有効利用のために短期・長期の降水予報精度の向上とその利用は勿論のこと、水循環サイクルを少しでも調整して人類がその恩恵を受ける気象変化あるいは気候変化に関する研究も見直されても良いのではないだろうか。

参 考 文 献

Bojkov, R. D., 2003: International collaboration in weather modification: preparations for precipitation enhancement on scientific base: MED-SEEME-PEP. 8th WMO scientific Conference on weather modification WMP Report No. 39, 11-15.

略語の解説

IAMAS: International Association for Meteorology

and Atmospheric Science 国際気象学・大気科学協会  
WMO: World Meteorological Organization 世界気象機関

MEDSEEME-PEP: The Mediterranean, SE Europe and Middle East countries-Precipitation Enhancement Project 地中海, 南東ヨーロッパおよび中近東地域における降水増加プロジェクト

NCAR: National Center for Atmospheric Research 米国大気研究センター

====支部だより====

関西支部2003年度例会開催のお知らせ

2003年度関西支部例会を次の日程で開催します。詳細は、関西支部(電話: 06-6949-6323, または電子メール: msj-knsi@ma.kcom.ne.jp) までお問い合わせください。プログラムなどは関西支部のホームページ<<http://webclub.kcom.ne.jp/ma/msj-knsi/>>に掲載いたします。

第1回例会 (中国地区)

開催日時: 2003年11月8日 (土)  
10時30分~17時00分

会 場: 広島地方気象台  
(広島市中区上八丁堀6-30  
広島合同庁舎第4号館15階防災連絡室)

テーマ: 設定せず

特別講演: 大西晴夫氏 (大阪管区気象台)  
題目「気象学会と気象庁—その望ましい連携とは」  
要旨集原稿締切日: 2003年10月8日 (水)  
(発表申込は締め切りました)

第2回例会 (四国地区)

開催日時: 2003年11月21日 (金)  
13時00分~17時00分

会 場: 香川大学教育学部研究交流棟会議室  
(高松市幸町1-1)

テーマ: 「局地気象・中小規模現象」

特別講演: 米谷俊彦氏

(岡山大学資源生物科学研究所)

題目「熱映像温度計を用いた局地気象の観測」

要旨集原稿締切日: 2003年10月21日 (火)  
(発表申込は締め切りました)

第3回例会 (近畿地区)

開催日: 2004年2月24日 (火)

会 場: 神戸商船大学  
(2003年10月より神戸大学海事科学部)  
総合学術交流棟1階コンファレンスホール  
(神戸市東灘区深江南町5-1-1)

テーマ: 「海洋と気象」(仮題)

発表申込締切日: 2003年12月8日 (月)  
要旨集原稿締切日: 2004年1月20日 (火)