

WMO 「Warm cloud Modification」に関する 専門家会議に出席して

藤原美幸*

まえがき

表記の会議が、今年3月18～24日の1週間マレーシアのクアラルンプールで行われたが、日本から筆者が出席する機会を与えられたのでその会議に関して報告します。

1. 「Warm cloud Modification」専門家会議に

ついて

会議の場所 クアラルンプール（マレーシア）の気象
サービス局会議室

日時 3月18～24日 1週間

出席者 WMO R. Koenig

座長（米）R.L. Lovoie（NOAA）

（ブラジル）Fausto Carlos de Almeida

（米）高橋 劭（ハワイ大学）

（米）W. Cotton（コロラド大学）

（インド）Bh. V. Ramana Murty

（フランス）G. Soulage

（西マレーシア）Ho Tong Yuen

（マレーシア気象局長官）

（日本）藤原美幸（気象研究所）

以上で、ブラジルは欠席、フランスのスーラージは書面参加した。この他、マレーシアからは observer として、H.H. Teh 教授をはじめ数人の研究者が、タイ国から王立人工降雨研究所（Royal Rainmaking Research and Development Institute）所長の Dr. Metha Rajatapiti、インドネシアから農業技術研究所の物理部長の Dr. Soedarsono が参加した。

スケジュール

3月18日（水）開会式、午後、議題の承認および議題 warm cloud modification の科学的根拠

3月19日（木）warm cloud modification の科学的根拠（続）

3月20日（金）warm cloud modification の実験のレビューとタイランド・インドネシア・マレーシアにおける dynamic seeding 実験の紹介、夜、クアラルンプール市よりベナン市への移動

3月21日（土）ベナン飛行場のマレーシア種まき実験基地の視察および実験区域の上空見学飛行

3月22日（日）休養と夕刻クアラルンプール市への移動

3月23日（月）warm cloud modification の鍵となる問題点、将来計画上の勧告

3月24日（火）議事録の承認、閉会

この Meeting が WMO 主催でもたれるようになった動機については、WMO 委員から非公式に聞いてみた。

最近、熱帯に属する途上国で水資源の利用が増加し、降水の人工制御活動への要望が盛んになってきた。東南アジア諸国、インド、タイ、マレーシア、インドネシア、フィリピンでかなり大がかりなプロジェクトが行われている。これらの国の積雲はほとんど、いわゆる warm cloud であり、原理は従来の ice phase cloud と違って来る。現在主として食塩や尿素などの吸湿粒子の撒布が行われており、これらの国からは国連に対して技術援助の要望が出されていた。すでに WMO では、20年来行われている ice phase cloud の modification についてのレジメが必要ということで、PEP（降雨増加実験計画）を実施中で、まだその結論もついていない状態である。warm cloud modification の科学的根拠は ice phase cloud よりもあいまいな面が多いので、とりあえず専門家会議をもって、現在の知識の上に立った勧告を行うこ

* Miyuki Fujiwara, 気象研究所台風研究部。

とになったという説明があった。会議のもち方としては、まず W. Cotton が前もってレビュー論文をまとめ、その検討を軸にして進める形をとった。

会議のパネルメンバーはいわゆる雲物理コミュニティメンバーとして顔見知りであり、途中インドの seeding 実験の評価をめぐって Ramana Murty の反論などがあったが、極めて友好的な雰囲気が進められた。しかし meeting の結論は、現在の積雲と降水に関する物理的知識からいって、人工制御実験技術の信頼性は乏しいといわざるを得ないので、微物理的・力学的研究の促進が先決だとし、東南アジア諸国の出席者およびこれらオペレーションを実施中の国にとっては厳しいものとなった。ちなみに討論のあらゆる面で、ハワイ大学で長年 warm cloud の研究の業績を積んでおられる高橋勲氏が討論をリードされたことを報告しておきたい。3日目の各国における制御実験に関する報告についての概要と、W. Cotton のレビュー論文の要点を次に紹介する。

2. 東南アジア諸国における実験の状況

2.1. タイランドの実験

東南アジア諸国中、タイが最初にリーダーシップをとり多数の実験を行っている。1971年の国家のプロジェクトに始まり、1975年王立人工降雨研究所 (Royal Rain-making Research and Development Institute) が設立された。主目的は農業灌漑で、田植期の水不足を補うためとしている。すでに農民の要求に応じて28~48回のオペレーションが実行された実績もっている。1980年も30回の耕作地約10ミリオヘクタールを対象とする予算が計上された。オペレーションの特徴点は力学的効果をもねらった点で、朝9時以前の上層の相対湿度によって方法を決める。最初3,000~5,000 ft. に、次いで5,000~8,000 ft. に食塩等を撒いて積雲の発達を促す。最後に、雲頂が10,000 ft. ぐらいになって雲底が暗くなった時、1インチ角位に砕いたドライアイス雲頂にまいて降水を起すトリガーとする。飛行機が雲頂まで昇れないときは、雲底のすぐ下(1,000 ft. 位)に、より細かく砕いたドライアイスをまく。これらのトリガーは、downdraft を誘起して雲中に保持された降水を落すという原理であると説明している。雲の成長を助長するための seeding では、カルシウムカーバイド、塩化カルシウム、食塩、尿素などを、単体または混合物、あるいはそれに少量のドライアイスを加え、単独にまいたり、交互に撒いている。その方法の処方方は、経験から上層の一般流と相対湿度によ

って各種のものが用意されている。基本的なパターンは、雲頂または雲肩部と雲底部に45°位の角度をもってサンドイッチ状に seeding することらしい。seeding の効果については統計的評価、雲物理的評価が行われたとは報告されていないが、無数の seeding experiment を積み重ね、スタッフ達は積雲の behavior に習熟しており、seeding 後の雲の様態から効果を判定し、成否には自信をもっているようである。研究所のスタッフは主として農業技術者が軸となっており、化学・電気・機械等の engineering の幅広い協力体制を作り、人工降雨実験を気象学ではなく、一種の進んだ technology として遂行している感が深い。この特徴はインドネシアにも、特にマレーシアについてもいえることであるが。

2.2. インドネシアの実験

1966年、タイランドにおける実験を見学し参考にした。水源地 250,000 HA の盆地に降水を起すよう計画する。北東風の卓越する、6月、10月の両雨期の間隙の渇水期に行う。

seeding は当日早朝の風の子報に従い、水源地の風上70 km で8時頃第1回の seeding を行う。物質は食塩にドライアイスを加えたもので、高度は8,000 ft. 11時頃になって積雲も発達したところで、水源地入口で第2回目の seeding を行う。この時は尿素溶液を25~75 μ の霧粒状にして撒く。双発機(セスナー 401, Căsa 212等)4機を用い、2,800 kg の尿素溶液に100 kg のドライアイスを加えたものおよびほぼ等量の NaCl を交互に撒く。14時頃には積雲は貯水地域上空でほぼ15,000 ft. まで発達して降水をおこす。尿素の効果は5分後に現われるのが見られた。全実験で発電量に換算して15年間平均より25ドル(U.S.)分の増加があったので、3カ年プロジェクトを更新することができた。

2.3. マレーシアの実験

1971年、首都クアラルンプール附近に大洪水がおこったのを契機に、seeding を含む洪水制御委員会が発足し、首相が当時ストームフューリー関連の実験を行っていたフィリピンを訪問し、科学相がオーストラリア CSIRO を訪問し、Warner や Smith に会い、自信を得て国家プロジェクトとする政治決定を行った。1971年には、とりあえず NE モンスーンの時期に東海岸地帯に降水を起し、西海岸での洪水を制御する名目でコタバル地方で行われた。東側山岳地帯で seeding した結果、20分後にレーダエコーを発生し、過去の降水データと seeding/non seeding の double ratio 法で99%の有効性があったため、

邦貨にして約2億円の予算が計上されることになった。1977年には、実験域を西側山岳地帯 Kedah 州の水力発電、灌漑の多目的ダムを有する水源地に移し、MADA Cloud Seeding Project として行われるようになった。26人のスタッフと2~4機(1,000 kg 搭載可能)の双発機 Skyvan を配備し、ペナン空港を基地として気象官署と緊密な連絡のもとに行われた。seeding 物質は主として尿素溶液(25%)で、思想はラングミュアの chain reaction をねらったと説明されている。早朝、予報者が3ノットの上層風を目安として露点温度などから、予め処方されたフローチャートにしたがって seedability を決定する。10時頃集水域の風上に積雲の発生がみられ、12時頃には山岳地方ではかなり発達した積雲となる。この頃 Fukuda 氏提案による side skin seeding (雲の周辺部に撒く)を行う(食塩粒子 100 コ/l を目標という)。これによって雲の成長を促し、平均 14,000 ft. に達した雲頂から、500 kg のドライアイスのパッケージと 800 gr の尿素溶液を投下する。これによる triggering は15~20分でおこり、ビルガと降水が起りはじめ周囲の雲にも induce されるのが目視できた。4機の航空機で継続すると、3時頃には大量の降水が集水域で起ったのが目視できた。

seeding により山稜を越えて東側に移動する雲を集水域に降らせるのが目標である、と説明している。しかしこの最北部山岳地帯はゲリラ地域ということで雨量計の設置が困難なため、降水量の定量的な evaluation はまだ行われていなかった。また航空機搭載気象測器は露点温度計のみで、降水粒子、雲粒子等、雲物理測定センサーは何もつけていない点が印象的であった。

3. Warm Cloud Modification に関する Cotton のレビュー*

3.1. 現在までの知見

Braham, Battan and Byers (1957) が指摘したように、海洋性 tradewind Cu は 2,3 km 厚でも降水能力がある。Squires (1956, 1958) は、積雲の海洋性と内陸性では雲粒の colloidal instability が違うことを示した。この差は、核のスペクトルによる (Twomey and Squires, 1959; Twomey and Warner, 1967) が、雲底温度にもより、温度が低ければ activation 濃度が大きい (Johnson, 1980)。Klett and Davis (1973) は、計算によって、

$19\mu > r$ でも衝突係数は零でないと言っているが、落下速度の大きさから依然として $r > 20\mu$ の範囲が重要である。したがって、 $r \sim 20\mu$ になると stochastic collision が成長の主役になる (Telford, 1955; Berry, 1967; Gillespie, 1972)。拡散成長についてはまず、混合のない上昇流では、雲粒のスペクトル幅は広くならない (Howell, 1949; Mordy, 1959; Neiburger and Chien, 1960; Fitzgerald, 1974) が、混合、乱流等があると多少広がる。Belyayev (1961), Mazin (1965), Sedunov (1965), Levin and Sedunov (1966), Jaw Jeov-Jang (1966), Stepanov (1975, 1976) (これらは数学的に複雑で観測的検証にも適しない), Warner (1969), Bartlett and Jonas (1972), Mason and Jonas (1974) が乱流効果を入れた拡散成長を論じているが、現在までのところその広がり方はまだ不十分である。

エアロゾルのスペクトルに関しては、巨大粒の役割について Woodcock *et al.* (1971), Takahashi (1976) はともに否定的であるが、Nelson and Gokhale (1968), Hindman (1975), Johnson (1976), Hobbs *et al.* (1977) は、エアロゾル中に数多い 100μ 粒の存在を見出した。衝突による幅の広がりについて Twomey (1976) は、水 excess が 1% の雲容積であっても 2, 3分で全雲内にかなり大粒がふえると、ピーク雲水量域の重要性を指摘し、Heymsfield *et al.* (1978) は、混合のない上昇流がこの役目を果たしている。Langmuir (1948) の chain reaction については、最近 Magarvey and Geldart (1962), Cotton and Gokhale (1967), Brazier-Smith *et al.* (1972), McTaggart-Cowan and List (1975) によると $d=2\sim 3\text{ mm}$ ですでに衝突分裂が起り、これは自己不安定分裂よりもはるかに重要である (Young, 1975; Gillespie and List, 1976)。結論として、水蒸気配分理論から、海洋性(少数粒)で熱帯(多湿)のとき大雲粒が最も出来易く、内陸性温帯では出来にくい。一方、力学効果として「warm rain process」は過冷却雨滴の凍結、熱放出を通じて氷相雲でも重要となる (Cotton, 1972)。

3.2. warm cloud の微物理的な制御方法として

- i) CCN の凝結効果を妨げる、
- ii) 電場と電荷による衝突の促進、
- iii) 水滴の散布による種まき、
- iv) 吸湿核の種まき、

(超巨大核のたねまき)等の原理が考えられる。

- i) CCN の効果を下げる

霧の消散の研究として多くの研究者は、「poisoning」と

* (Modification of Precipitation from Warm Clouds - A review) by W. Cotton

称して界面活性物質 (SAM) を使う方法を考えた。また、SAM には他の併合効果、分裂促進などのねらいもあるが、Podzimek and Saad(1975)、Podzimek (1979) は、これらの研究をレビューして、実験室内の研究の必要性を説いている。

ii) 電場と電荷による衝突の促進

電場・電荷による水滴の衝突併合の増大については、古くから多くの研究がある。

実験的研究(Sartor, 1954; Goyer *et al.* 1960; Abbott, 1975; Smith, 1972) と数値モデルによる研究 (Sartor, 1960; Lindblad and Semonin, 1963; Plumlee and Semonin, 1965; Schlamp *et al.*, 1976) があるが、結論としては、効果は認められたがその条件は Cb 内での条件の様な異常なもので、かつ技術的方法論上問題でもある。

iii) 水滴の散布

Barham *et al.* (1957) は、水滴散布の実験を、ラングミュアの連鎖反応を期待してカリブ海の熱帯海洋性積雲について行った。雲底にまく時、水滴が小さ過ぎると collection kernel が小さく、成長しないうちに雲頂で蒸発してしまい、大き過ぎるとすぐ落ちてしまうので、最適サイズは L と上昇流 W の定量的関係でデリケートである。実験結果は、450 gal/mile (=1.06 ton/km) 撒いて降水開始が6分早まり、46対の実験でレーダエコーが現われたのは、まいた22雲、まかない11雲であった。(Braham は降水開始を早めることは、地上雨量増を意味するとしているが、必ずしも納得出来ない。) また、1 ton/km は航空機の負担が大きすぎて実用的でない。Rokicki and Young (1978) は、ラグランジュ流パーセルモデルで計算し、終末速度が上昇流の1/10以下の小粒 ($r=60\sim 200\ \mu\text{m}$) をまくとすれば、降水増加の他に、中緯度では氷相化して、AgI seeding より大きな効果がえられるとしている。

iv) 吸湿物質の seeding

$\sim 10\ \mu\text{m}$ の海塩粒子は、過飽和下で急速に成長する。このような海塩 100 gr は $50\ \mu$ の水滴、1ガロン分に相当し、航空機の負担量は少なくなり水に比べて約22倍の効率となる (Fournier D'Albe *et al.*, 1955)。

地上から spray するインドの実験

北西インド (Delhi, Agra, Jaipur) で、モンスーン期 (7~9月、雲は主として積雲形) にランダム化した実験を行った。(Roy *et al.*, 1961; Biswas *et al.*, 1967; Murty and Biswas, 1968)。地上からエアコンプレッサーの power sprayer で (a) 海水を、あるいは (b) soap stone を混ぜた海塩粒子の粉末を散布 (2×10^{10} 個/s の粒子の放出量: 推定)。自然降水日と思われる時は実験から外したが、結果は風下域に41.9%の増雨があった (これは最も楽観的に考えた量としても驚くべき数字である。それなのに、実験の反復、解析のし直しなどされていない。2, 3の研究者を除き、多くは信用していない。例 Mason(1971)は、全部が雨滴になったとしても、 2×10^{10} 粒では少なすぎる*)。Simpson and Dennis(1972) は、コントロールを風上にとったのは不適当であるとし、Warner (1973) は、統計的に再調査して増加の有意性を疑問とし、次のように述べている。

(a) 撒布量が一樣に広がったとすると、巨大核のバックグラウンドと同じオーダーである。

(b) 粒子が全部雲入しても $D>2.1\ \text{mm}$ に、50%が雲入すると $D>2.7\ \text{mm}$ に成長する必要がある。

(c) レーダ資料からは時期的に2%だけが warm rain 性で、他の50%は氷相雲が関与したとみるべきである。インドの実験の最大問題はエアロゾル、雲粒スペクトル、レーダエコーの発生高度、形態の変化に関する観測がなく、原因/結果を証する資料を欠いていることである。しかしインドの海塩粒子の seeding は dynamic seeding の効果の点から見直す価値があるかも知れない。

S. Dakota の seeding の実験

Biswas and Dennis (1971)、Dennis and Koscielski (1972) によると、16例の U.S., S. Dakota での seeding 実験結果では、エコー発生高度が、11,000 ft. から 5,300 ft. に低下した。しかしその「ラングミュア型連鎖反応が起ったらしい」との主張に対し、Vaughn Havens (1972) は、 -10°C の氷相雲であったと、Blanchard (1973) は、層厚 3 km で雨滴が分裂するまで成長しなかったはずとそれぞれ反論し、Biswas and Dennis(1972) は、embryo ($100\ \mu<\text{dia}$) が容易に 5 mm になる計算で再反論している。Farley and Chen (1975) は、数値モデルによって warm cloud seeding の効果は分裂と chain reaction が必要であることを強調 (上昇流 $>10\ \text{m/s}$ が必要) した。Johnson (1980) は2次元モデルで塩の散布シミュレーションを行い、自然 CCN に超巨

* 雨滴 $10^3/M^3$ を仮定すれば、1秒間に $5\times 10^3/m^2$ で、風下の雨域が 100 km 四方だとすると $5\times 10^3\times 10^{10}=5\times 10^{13}$ の雨滴、すなわち、約1,000倍の個数の雨滴が降っていることになる。

大核を加えた場合に、エコー発生高度が低下する結果を得た(その時の巨大核の総量は、先に Rokicki and Young (1978) が $4 \times 10^{-7} \text{ g/m}^3$ 位でよいとしたのに対し、 10^{-3} g/m^3 位以上必要である seeding はパールスパナのようなものであって、魔法使いの杖ではない、という見解を強調している)。hygroscopic seeding の技術的問題点として、その粉末化の困難性と海塩の腐蝕性が挙げられる。Nelson and Silverman (1972) は、尿素をマイクロカプセル化する工夫を提唱した。

意図しない制御

Hobbs *et al.* (1970) は、製紙工場の風下で年間雨量が多いもので30%増加することを、Eagen *et al.* (1974)、Hindman *et al.* (1977 a, b) はその風下側で超巨大核 ($>2 \mu$) と高濃度の巨大核 ($0.2 \sim 2 \mu$) を発見した。METROMEX で Chagnon *et al.* (1976) は、セントルイス市の都市気候を調べ、風下の雷雨に25%増の rainfall anomaly があることを見出した。その地域は一般に雲粒スペクトル幅は狭く、高密度なので Braham (1974) Semonin and Chagnon (1974) は、工場や都市活動による多量の巨大核の放出という仮説を出した。Johnson (1976) は、実際に風上の1.8倍の 5μ 粒を風下で観測した。Ochs and Semonin (1979) の数値実験では、モデルは巨大核に敏感であるけれども、1.8倍位では変わらないという結果を出した。

意図しない制御の他の例として、CCN 増加は降水を減少させるという Warner and Twomey (1967) の仮説がある。きび畑焼きの風下では雲粒濃度が大きくなることが考えられるが、Warner (1968, 1971) は、オーストラリア内陸のさとうきびの栽培増加地域で降水が減少する現象を報告した。

3.3. warm cloud の力学的な制御

Black and Tarmy (1963) は、海岸に近い砂漠地帯でアスファルト敷を作ることによって、アルベドの差(時には 11°C 高に達する)から海陸風循環を起こすことを提案した(油田地帯では、アスファルトは副産物として豊富)。計算機が発達した今日では、3次元モデルで研究する価値がある問題である。

3.3.1. 炭素粉末の撒布

Van Straten *et al.* (1958) は、8回の撒布を試み、5回は clean air 中に小積雲発生例を得たが、Downie (1960) の追試では、明確な変化が認められなかった。Gray *et al.* (1976) は、メソスケールへの応用の可能性を主張し、1~2日間、100~300 km の seeding をシミュ

レートした結果、メソスケール循環が変わった。 $<0.1 \text{ mm}$ 位のカーボンダストを撒布すれば、 2×10^{10} カロリー/ポンド/10hの割合で太陽エネルギーを吸収するから、10%の cloud cover を仮定すれば1km一層を $4^\circ\text{C}/\text{day}$ 昇温の勘定になって、増雨効果や、シーラス発生、ハリケーンのコア循環を弱める、融雪の促進などの可能性が考えられるとしている(今日迄のところ、この野外実験の膨大な経費を負担する機関はないが…)。Gray *et al.* (1976) は、1950~60年代の実験の失敗の原因として、

- i) カーボンダストの量が少なすぎた、
- ii) 粉同士がくっつき易く、撒布拡散技術に問題があった、
- iii) スケールが小さく、個々の積雲の発生に終わった、等を挙げている。

Chen and Orville (1977) の2次元モデルによるカーボンダスト seeding では、cloud カバー10%の領域で10分間に30 cm/sの上昇流になったがすぐに減少した(これも seeding の空間・時間スケールが小さすぎる)。

3.3.2. 顕熱による dynamic modification

フランス Météotron 実験。Dessen (1964)、Bénech (1976) は、 $140 \times 140 \text{ m}^2$ の広さに105個のバーナーを3枝のスパイラル状に並べ燃焼した。その結果気温と上昇流は $H=30 \text{ m}$ で 60°C , 7 m/s に、 60 m で 25°C , 10 m/s になり既存の積雲が消える、層積雲はリング状に雲が消える、等の効果はあったが、何れも降雨に関係なかった。

発電所の冷却塔、この場合、80%は潜熱で風下に弱い降雪の報告例があるが、Murray and Koenig (1979) は数値実験から積雲発生は与える密度の初期擾乱のサイズと強さに依存し、この程度では降水雲にならないと結論している。Orville *et al.* (1979) は、幾つかの発電所が集中した power park の影響を Cb の発生条件でシミュレート(2次元)した。放出熱量は約50,000 M. Watts としたが、人工的な Cb ができ、自然の Cb と干渉し合い、かえって降水量の減少をみた。(潜熱エネルギーの配分上おこる2Dモデルの問題と思われる。) いずれにしても、power park の建設に当っては降水現象の立場からも、3Dモデルで研究した上で立地すべきであろう。

3.3.3. 灌がいの効果

Schickendanz (1974) 他3論文によれば U.S. 西部高原地帯の灌がい地域では、統計的に、6月—14~26%、7月—57~91%、8月—15~26%夏、(計)—19~35%とい

う降雨増加の傾向がみられ、これは海陸風型メソ循環のためとしている。Mahrer and Pielke (1978) は、数値実験で、土壌水分の変化によるメソ循環を示した Neger Sinai 砂漠のシミュレーションの結果は土壌水分の変化がアルベートの変化をマスクしてしまう程効果的であった。土地利用設計にも数値実験の研究が重要である。

3.4. 数値モデルについて (seeding)

i) ラグランジュ型 周囲の条件は予想して入れて、粒子を追いかける。計算上のスペクトルの拡がりはないが衝突・併合などの非線形過程や力学との干渉がはいらない。

ii) オイラー型 エアロゾル→雲粒の過程だけラグランジュ流を加味することにより、非線形過程は入るが、スペクトルの人工的な拡がりがあり、研究の目的を失い兼ねないので、特別な注意が必要。

iii) 1D, 2D, 3Dの時間依存のモデル。非線形も力学過程も入り、スキーム上、最有力であるが、これもスペクトルの人工的の広がり不可避である(特に多重にノンニア式が入る時、人工的の広がり研究者の不注意さに比例する。(アルゴリズムを工夫すること)。なお、重要問題である、といわれている、cloud turbulence のモデル化は誰も成功していないといえる。

あとがき

会議出席の御世話をいただいた気象庁企画課長駒林誠、前気象研究所長小林寿太郎の両氏にお礼申し上げます。原稿の整備に柳瀬利子、小見波好子氏に協力していただきました。会議期間中現地の温い気づかいは忘れることができません。

文献

- Abbott, C.E., 1975: J. Appl. Met., 14, 87-90.
 Bartlett, J.T. and P.R. Jonas, 1972: Quart. J.R. Met. Soc., 98, 150-164.
 Belyayev, V.I., 1961: Izv. Akad. Nauk., USSR, Geofis. Ser. 8, 1209.
 Benech, B., 1976: J. Appl. Met., 15, 127-137.
 Berry, E. X., 1967: J. Atmos. Sci., 24, 688-701.
 Biswas, K.R., R.K. Kappor and K.K. Kanuga, 1967: J. Appl. Met., 6, 914-923.
 Blanchard, D.C., 1972: J. Appl. Met., 11, 556-557.
 Braham, R.R., Jr., L.J. Battan and H.R. Byers, 1957: Met. Mono., 2, 11, 47-85.
 Brazier-Smith, P.R., S.G. Jennings and J. Latham, 1973: Quart. J.R. Met. Soc., 99, 260-272.
 Changnon, S.A., Jr., R.G. Semonin, and F.A. Huff, 1976: J. Appl. Met., 15, 544-560.
 Chen, C-S. and H.D. Orville, 1977: J. Appl. Met., 16, 4, 401-412.
 Cotton, W.R., 1972: Mon. Wea. Rev., 100, 764-784.
 Dennis, A.S. and A. Koscielski, 1972: J. Appl. Met., 11, 994-1000.
 Dessen, H. and J. Dessens, 1964: J. Rech. Atmos., 1, 158-162.
 Downie, C.S., 1960: Cumulus Dynamics, C.E. Anderson, Ed., Pergamon Press, 191-208.
 Eagen, R.C., P.V. Hobbs and L.F. Radke, 1974: J. Appl. Met., 13: 535-552.
 Farley, R.D. and C.S. Chen, 1975: J. Appl. Met., 14, 718-733.
 Fitzgerald, J.W., 1974: A numerical study, J. Atmos. Sci., 31, 1358-1367.
 Gillespie, D.T., 1972: J. Atmos. Sci., 29, 1496-1510.
 Goyer, G.G., J.E. McDonald, R. Baer and R.R. Braham, Jr., 1960: J. Met., 17, 442-445.
 Gray, W.M. Frank, M.L. Corrin and C.A. Stokes, 1976: J. Appl. Met., 15, 4, 355-386.
 Hindman, E.E., II. 1975: ph. D. dissertation, Univ. Wash., 242 pp.
 Hobbs, P.V., D.A. Bowdle and L.F. Radke, 1977: Res. Report XII, Cloud Physics Group, Univ. Wash., 144 pp.
 Howell, W.E., 1949: J. Met., 6, 134.
 Johnson, D.B., 1980: The influence of cloud-base temperature and pressure on droplet concentration, J. Atmos. Sci., 37, 2079-2085.
 Klett, J.D. and M.H. Davis, 1973: J. Atmos. Sci., 30, 107-117.
 Langmuir, I., 1948: J. Met., 5, 175-192.
 Levin, L.M. and Y.S. Sedunov, 1966: J. de Rech. Atmos., 2, 425.
 Lindblad, N.R. and R.G. Semonin, 1963: J. Geophys. Res., 68, 1051-1057.
 Mahrer, Y. and R.A. Pielke, 1978: Israel Met. Res. Papers, Israel Met. Soc., Bet Dagan, Israel, 2, 55-70.
 Mason, B.J., 1971: The physics of Clouds, Clarendon Press. Oxford, 2nd Ed., 671 pp.
 ———, and P.R. Jonas, 1974: Quart. J.R. Met. Soc., 100, 23-38.
 Mazin, I.P., 1965: Moscow Cent. Aerosol Obs, Trudy, vyp. 64, 57.
 McGarvey, R.H. and J.W. Geldart, 1962: J. Atmos. Sci., 19, 107-113.
 McTaggart-Cowan, J.D. and R. List, 1975: J. Atmos. Sci., 32, 1401-1411.
 Mordy, W.A., 1959: Tellus, 11, 16.
 Murray, F.W. and L.R. Koenig, 1979: Rand Report to U.S. Dept. of Energy, R-2456-DOE, 93 pp.
 Murty, Bh. V.R. and K.R. Biswas, 1968: Procee-

- dings of First Nat. Conf. on Wed. Mod., April 28-May 1, Albany, N.Y., 71-80.
- Neiburger, M. and C.W. Chien, 1960: Met. Mono., No. 5, Amer. Geophys. Union, Wash., D.C., 191 pp.
- Nelson, R.T. and N.R. Gokhale, 1968: Preprints, 1st. Natl. Conf. on Wea. Mod., Albany, N.Y., AMS, 89-98.
- Nelson, L.D. and B.A. Silverman, 1972: Mon. Wea Rev., 100, 153-158.
- Orville, H.D., P.A. Eckhoff, J.E. Peak, J.H. Hirsh and F.J. Kopp, 1979: Final Report to U.S. Nuclear Reg. Comm. Sept. 1976-June 1977, NUREG/CR-0932, Inst. Atmos. Sci., South Dakota School of Mines, Rapid City, S. Dakota, 36 pp.
- Plumlee, H.R. and R.G. Semonin, 1965: Tellus, 17, 356.
- Podzimek, J. and A.N. Saad, 1975: J. Geoph. Res., 80: 3386-3392.
- Rokicki, M.L. and K.C. Young, 1978: J. Appl. Met., 17, 745-754.
- Roy, A.K., Bh. V. Ramana Murty, R.C. Srivastava and L. T. Khemani, 1961: Indian J. Met. Geophys, 12, 401-412.
- Sartor, D., 1954: J. Met. 11, 91-103.
- Schlamp, R.J., S.N. Grover, H.R. Pruppacher and A.E. Hamielec, 1976: J. Atmos. Sci., 33, 1747-1755.
- Sedunov, Yu. S., 1965: Izv. Akad. Nauk., Atm. Ocean, Phys., 1, 722.
- Semonin, R.G. and S.A. Chagnon, 1974: Bull. Amer. Met. Soc., 95-99.
- Silverman, B.A. and B.A. Kunkel, 1970: J. Appl. Met., 9, 627-633.
- Simpson, J. and A.S. Dennis, 1972: NOAA Tech. Memo., ERL0D-14, U.S. Dept. of Commerce, NOAA, 148 pp.
- Squires, P., 1956: Tellus, 8, 443-444.
- , 1958: Tellus, 10, 256-271.
- Stepanov, A.S., 1975: Izv. Akad. Nauk. SSSR, FAO, 11, 267.
- Takahashi, T., 1976: J. Atmos. Sci., 33, 269-286.
- Telford, J., 1955: J. Met., 12, 436.
- Twomey, S. and P. Squires, 1959: Tellus, 11, 408-411.
- Twomey, S. and J. Warner, 1967: J. Atmos. Sci., 24, 702.
- Van Straten, F. W., K.E. Ruskin, J.E. Dinger and H. J. Mastenbrook, 1958: Report No. 5253, U.S. Naval Res. Lab., 17 pp.
- Vaughn Havens, A., 1972: J. Appl. Met., 11, 557.
- Warner, J., 1969: J. Atmos. Sci., 26, 1272-1282.
- Woodcock, A.H. and R.H. Jones, 1970: J. Appl. Met., 9, 690-696.
- Young, K.C., 1975: J. Atmos. Sci., 32, 965-973.

気象学会および関連学会行事予定

行 事 名	開 催 年 月 日	主 催 団 体 等	場 所
自然災害総合シンポジウム	昭和56年9月2日～3日	自然災害科学総合研究班	東京工業大学(大岡山)
月例会「大気数値シミュレーション」	昭和56年9月4日	日本気象学会	気象庁第1会議室
第4回 MONEX 研究会	昭和56年9月7日～8日	WCRP 分科会	東京大学海洋研究所
International Conference on the Scientific Results of the Monsoon Experiment	1981年10月26日～30日	JSC (GARP・WCRP)	インドネシア・デンパサール
第19回粉体に関する討論会	昭和56年10月28日～30日	日本薬学会ほか	岐阜信用金庫本店大ホール
第7回「リモートセンシングシンポジウム」	昭和56年11月17日～18日	(社)計測自動制御学会	機械振興会館
第28回風に関するシンポジウム	昭和56年11月27日	日本建築学会ほか	東京大学生産技術研究所第1会議室
昭和56年日本気象学会秋季大会	昭和56年12月1日～3日	日本気象学会	愛知県中小企業センター