

# 降雨機構シンポジウム\*

昭和34年7月3日 於 気象庁内中村記念館

討論の文責 池辺幸正(東大)

## I. レーダーによる降雨機構研究の現況\*\*

今 井 一 郎\*\*\*

レーダーは気象に取り入れられてから降雨機構研究のための有力な武器として大きな期待を寄せられ、そしてまた実際に雲物理学の進歩に大きな役割を演じて来た。しかし、レーダーさえあれば降雨機構はすべて解決出来るというものではない。レーダーから得られる information には

1. エコーの位置, 形態および移動・変化
2. エコー強度から降水強度, 粒度分布, 空間密度など
3. 反射波の偏波特性から粒子の形状と配向
4. エコー強度の変動から雲中の乱流度
5. Doppler radarによる粒子の運動速度

などがある。用いられる装置としては通常の PPI, RHI の外に垂直ビームを用いる THI (time-height indicator) が有用で、これには 1.25cm 又は 0.86cm の波長が用いられる。また等雨量線装置, pulse integrator, r-meter, 円偏波装置など特殊の附属装置も使われる。

次にレーダー気象で特に取上げられている降雨機構の重要問題の2, 3について述べよう。

**降水の粒度分布** 粒度分布は降水の反射係数と減衰係数に直接結びついているので、レーダーにとって本質的な問題である。雨の反射因子  $Z = \sum ND^6$  ( $\text{mm}^6/\text{m}^3$ ) と降水強度  $R$  ( $\text{mm}/\text{h}$ ) の平均的な関係としては  $Z = 200 R^{1.6}$  が用いられるが、Illinois State Water Survey や Blanchard, 気研などの観測によるとこの係数は10倍位の中がある。これは降水の成因および落下中の蒸発, 衝突, 捕捉, shear による選別などの分布の変化によるもので, warm rain, Bergeron rain の問題とも関係があるらしく見える。従って雨滴観測とレーダー, 飛行機,

雨水成分などの観測を平行して行うことは極めて重要と思われる。

また雪片の粒度分布については確定的な資料は少く、これを明かにすることにより、融解層通過による分布の変化、ひいては Marshall-Palmer 分布の成因などについての手がかりを得る可能性がある。

**Bright Band (融解層)** Bright band の位置, 厚さ, 反射係数などについてはいくつかの観測資料があり、これを数値的に説明する試みもかなりある。今までのところでは雪から融解層の中央に入るまでの併合係数 2~3, 雨滴になるまでの分裂係数 1.5 位という結果が得られている。band の上下を通じた粒度分布の一連の測定が欲しいところである。また雪片がとけるときの反射係数の変化についても実験的な測定が望まれる。

雪片の融解による気層の冷却については古くは Findeisen, 最近では Wexler の理論がある。これによると融解層の上部には等温層ができ、下部は気温減率が急になって小対流が起る。このことは雪のエコーがかなり一様であるのに対し、雨のエコーが不規則な斑紋を伴う事実を説明する。また融解層内では雪片の断面積が大きいため雲粒捕捉が著しく大きくなり、降水量増加を起すことを Wexler と Atlas が計算している。これらのことから、融解層がレーダー気象でも降水論でもかなり重要な役割を演じているらしいことは確からしい。

**生成 cell と尾流** 地雨型降水のエコーが generating cell と streamer より成ることは1952年に Lhermitte, Browne, Marshall などが言いだしたことで、現在では常識となった。しかし generating cell の成因, 微細構造, 気圧配置との関連などについては未解決の点が少ない。streamer の傾斜から雪片の落下速度を求めると、cell を出るとき既に雪片にまで成長しているという結果になる。そうすると粒子は落下中に成長しないことにな

\* Symposium on the Mechanism of Rainfall

\*\* Ichiro Imai: Recent studies on the precipitation mechanism using radar,

\*\*\* 気象研究所

り、高層解析で降水の主要部分が下層から来ると言われているのと矛盾する。降水粒子の落下中の変化はやはり降水機構で最も重要な問題の一つであろう。

地上で観測される雪の結晶形と cell, streamer との関連を調べることもこれらの問題に重要な手がかりを与えよう。

**Initial echo の問題** 雷雨や驟雨の最初のエコーは高さ 4~5 km の中空に突然発生して上下に伸びて行く。Thunderstorm Project 以来、このエコーを生ずる粒子が氷粒のとけたものか、雲粒の併合によって生じた水滴であるかについていろいろのモデルを使った計算が試みられたがまだ定説はない。この問題は warm shower の成因とも直接関連しているのではやはり重要な問題と思われる。

## 討 論

**駒林** Generating cell が来ると必ず大粒の雨が降るか。粒の大きさは。

**今井** 調べた範囲では大粒が降ると云える。直径 2~3 ミリである。

**駒林** 大粒の直径と雲の厚さに関係があるか。

**今井** 調べてないが accretion があれば厚くなくてもよいと思う。

**磯野** Generating cell 内の氷晶の数は、又 coagulation はおこっているか。

**今井** 数は判らない。昇華の潜熱が出て対流が起り乱れていると考えた Langleben は、その為 coagulation が起るといっている。Atlas は、cell から放出される時の氷晶の落下速度は上昇気流の約 2 倍であり、氷晶は、昇華で成長しながら一旦 cell の上部まで昇った後落ちて来ると云っている。

**駒林** cell が高い所(-20°C位)と低い所(-12°C位)に出来る場合で違った点があるか。

**今井** RHI 観測が少いのではっきりしたことは分ら

ない。

**駒林** generating cell の微細構造は？

**今井** cell の巾は 2 mile 位で、更に小さい幾つかの cell がくっついて群をなしている。一般に風上側では新しい cell が出来、風下側の古い cell から streamer が見られ衰弱する。

**小野** generating cell の高さは日によって違うか。又温度はどれ位か。

**今井** warm front の上にあるので front の高さによって違っている。従って夏と冬とで違っている。温度は -10°C から -30°C 位。

**小野** cell が出来る温度又は高さによって cell の大きさが違わないか。

**今井** 違いはないと思う。

**大貫** cell の形は PPI では判らないか。

**今井** 立体的な形は RHI でないと判らない。

**駒林** bright band は例外なく出るか。

**今井** 下層が乱れていると出ない。低気圧の中心になると warm front が下って来て、判らなくなる。front の上は不安定になっているから対流活動が盛んである。cell が 0°C あたりに出来ると bright band は不明瞭になる。

**駒林** bright band や cell の構造は、海岸と内陸とで違った点はないか。降水の化学成分は違っている。

**今井** cell は大規模な運動で出来るから違いはないと思う。化学成分が違うのは、下層の雲での捕捉ではないか。Atlas は雨の水分は低気圧の中心から遠い場合は大部分 bright band より上から供給され、中心近くになると、1/3 は bright band の上から、2/3 は bright band の下の雲から供給されると言っている。

**駒林** bright band の下では落下速度が大きいので含水量が減る。それでも accretion は起るか。

**今井** 雨滴の含水量は減るが雲粒捕捉が主である。

## II. 梅雨期の降雨について\*

朝 倉 正\*\*

梅雨論を歴史的に概観すると、季節風説、岡田説、ジ

\* Tadashi Asakura: On the Precipitation in Baiu Season

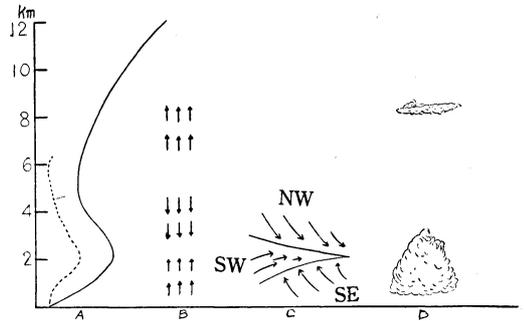
\*\* 気象庁予報部

エット流説の 3 つに区分される。すなわち明治時代は Wejekoff (1878) によって代表される季節風論と馬場信倫 (1894) 頓野広太郎 (1896) などの低気圧論が唱えられ、定説となるに至らなかったが大正時代に入り、はじ

めてオホーツク海高気圧の重要性が認識された。いわゆる岡田の梅雨論がこれで、第2次大戦ごろまで定説として通用して来た。この間、フロントや気団の概念の導入につれて中田良雄(1931)、肥沼寛一(1939)などによって梅雨前線とかオホーツク海気団などが定義され、その立場から岡田説の肉付けがなされた。しかし、第2次大戦のころから上戸観測網が整備され、北半球全域にわたる三次元の解析が進み、Jet流、ブロッキングなどの現象が発見されるに及んで梅雨の現象に対する考え方も変って来た。すなわち熱的成因説から力学的成因説に変遷し、その立場から熱的成因説の批評がなされ長い間定説となっていた岡田説に疑問が生じて来た。その一つは、オホーツク海高気圧が温暖型の背の高い高気圧であり、局地的な現象と見るよりは地球を取巻く偏西風波動と相関連している。とくにジェット流がチベット高原の南から北に勢力をうつすと印度の南西モンスーンと中国、日本の梅雨がはじまる事実は局地的熱的成因説に背を向けさせるに十分であろう。最近では再び季節風の立場から梅雨が論じられるようになったが、これらは何れも梅雨現象の記述であって、何故6月頃オホーツク海ふきに高気圧が発生し易かつ滞留するのか説明するに十分でないが、地形と冷熱源の分布から説明できる日の近からんことを期待している。

このような梅雨論の変遷に伴い梅雨期の降雨についての現象論的見方も変化してきている。明治時代は季節風の衝突説や、低気圧の速度が遅くなるために降雨がつづくという低気圧説、大正、昭和前期は、フロント説、大気の垂直不安定説、気団説などが提唱され、最近ではジェット流と地形説に南西季節風説が加えられて来た。これらは以前に提唱された説のむじゆんを批判することによって新説が生じたというよりも気象学の発達や観測の発展にともなって違った立場から梅雨を記述したものとも考えられる。

筆者がかって調べた結果によると大雨のときの10例を集めて作った平均の風、混合比などの垂直分布をモデル的に示すと(第1図(A))上層13~14料を吹いているジェット流は例年より強い。注目すべきは下層1.5~3kmにも強風が吹き、かつそこで混合比が極大になっている。晴天時の平均分布にはこのような極大が生じないことからこれは大雨時の大きな特長であろう。垂直気流の分布は(B)に示すように下層の強風層ふきんで気流が収斂し、その上層で発散、さらにその上層で収斂しているらしい。下層の強風層を平面的にみると(C)に示



第1図 大雨時のモデル的垂直分布

すように湿った南西季節風が舌状に乾いて冷めたい偏西風と乾いて温かい偏東風の間突込み、その上層を寒気が移流している。したがって下層の強風軸を中心にし、して考えると、この層では水平的には3つの気流が合流垂直的には上昇気流と下降気流の収束域になっていて、下層に暖気、上層に寒気が移流しているために垂直不安定にもなっている。

このような分布から強引に雲の垂直分布を推測するとDのように下層1.5km位に中心をもつ雲があって、その上層にはなく、さらにその上層に雲があるのでなかろうか。このような雲の分布が降雨機巧にどのように結びつくのか討論していただきたい。また逆に降雨機巧から大雨が降るためには雲や水蒸気の分布がこのようであろうというモデルを提起されれば、シノブチック気象と降雨機巧とが結びつく一つの橋渡しになるのではなかろうか。

## 討 論

**磯野** 梅雨期に大雨が降る雲の高さはどれ位か。

**朝倉** よく分らないが、積乱雲のように雲底は低く雲頂は高いと思う。とくに地上1.5~3kmに湿潤な層が観測されている。

**磯野** 雲の測定の際雲の一部を測っている事がよくあるので注意する必要がある。

**今井** lower jet と、梅雨とは関係があるか。

**朝倉** 大雨と非常に密接な関係がありそうだ。

**佐粧** Jet Stream の高さはどれ位か。

**朝倉** 成層圏下部で10数kmふきんを流れている。

**佐粧** 非常に高い Jet 流が梅雨の様に低い現象に大きな影響を及ぼすとは、考えにくい。

**朝倉** 下層からの地形、熱などのいろいろの効果が積み重なって Jet が形成され維持されるのだから、下層の

現象は Jet 流に無関係であり得ないし、上層の Jet 流が変動すれば下層にも影響が及んでくる。

**佐粧** 上層と下層と、どちらが原因で、どちらが結果か判らない。例えば下層に季節風が入ってくるために Jet を、その位置に、押し上げるとも云える。

**朝倉** その通りで原因を下に考える人もある。もう一つの考え方で Jet 流は力学的原因によって変形するものでそれによって下層が影響を受けるという人もある。

**駒林** 梅雨の雨の降り方の特徴はどうか。例えば気団の history や水蒸気の補給源は？

**朝倉** 梅雨前期はしとしとした降り方が多く後期はしゅう雨性の降りが多い。梅雨季の湿潤な空気を気団という事もあるがこれは乾燥した偏東貿易風が海洋で湿潤になってやって来たものではなくて南西モンスーンが伸びて来たものと考えている。

**駒林** 普段の雨は、それと違って、東支那海、大陸から来たかと云えるか。

**朝倉** 東支那海からの空気がそこで湿ってやって来るという考え方もあるが疑問な点もある。

**磯野** 下層が湿っていて、上層が乾燥しているという状態は大雨と関係があるか。例えば北から冷たい空気が来ないと大雨が降らないという事はあるか。

**朝倉** 梅雨期大雨時の気流の垂直構造から考えると大いに関係がある。とくに下層に暖湿な気流が入り上層でジェット流にそって寒気が入る構造は垂直安定度に関係

している。

**磯野** 梅雨は雷を伴うのが普通か。

**朝倉** 大雨は、九州での観測によると、夜中に降り易い傾向がある。この中で、しばしば雷鳴が報告されている。

**某氏** 梅雨期に東京では、しとしとと雨が降るが、九州の屋久島、沖縄では、豪雨が多い。これは説明できるか。

**朝倉** 沖縄地方では中国大陸と同様にモンスーンが早く入り込んで、前線を作り、大雨を降らしているが梅雨初期には本州には、未だ達しないので、偏西風と南東季節風との境を冬に似た前線を作っているので梅雨前期はしとしとと雨がふる。モンスーンが北上して本邦に達するようになると、いわゆる湿舌の形で、侵入し、前線にそって大雨をふらせることが多い。

**磯野** モンスーンは中国ですでに雨を降らしているが、それが日本に来る途中で、水蒸気の補給をうけているか。

**朝倉** 補給されていると思う。ソ連の蒸発の分布図によると、暖候期には海と大陸とから水蒸気が供給されている。大陸から 1/3 の水蒸気が補給されているので無視出来ない。

**磯野** 水蒸気の収支はどうなっているか。

**朝倉** 量的には判らない。

### III. 降雨機構と降水の化学成分\*

駒 林

誠\*\*

降雨、降雪の水の中には色々の物質がはいっている。可溶性の無機塩類、無機の酸類については相当詳しく測定がなされて季節変化や、海岸から内陸にかけての変化もおよその所知られている。その他に固体のまゝはいっている造岩鉱物や工業生産物、可溶性の有機物、生物起源の物質も含っていて、雨水の pH の決定に関係したと云うような偶然的なものでなく、元素の循環に大きな役割をもつものと見られる。これらの物質が雨や雪の中に取り込まれる過程、起源、輸送の状況を詳しく研究す

ることは地球化学の問題であるばかりでなく、降水機構、雷の電荷性成の研究をその中に含む気象物理学の豊かな畑を提供するものと思われる。

Eriksson (1955) によるとスカンジナビア半島の河川の水に運れる年間  $\text{Cl}^-$  量の地理分布図は海岸に近い程多く、降水中の  $\text{Cl}^-$  の地理分布とよく似ていて  $\text{Cl}^-$  が海洋から気象的に供給されることを示している。しかし両者の量は著しく異って河川で流出する方が降水水中に供給される量の 4~5 倍もある。附近の土壌、岩石から溶出する  $\text{Cl}^-$  を採って測っても、又  $\text{Ca}^{++}$  等の陽イオンの溶出量から推定しても全  $\text{Cl}^-$  の数%であるので、 $\text{Cl}^-$  の大部分は降水のない日に巨大核の形で直接地面に沈着したり、針葉樹などの葉に捕捉された後降水に洗い落される

\* Mokoto Komabayashi: On the Mechanism of Rainfall and Chemical Composition of Rain Water

\*\* 東京大学地球協理学教室

等の過程で大気中から河川へ供給されると考えた。

Cl<sup>-</sup> は海岸から内陸へいと著しく減るが Na<sup>+</sup> はそれ程はげしく減らない。この Cl/Na 比は海塩分離、水滴中の化学反応（氯化して Cl<sub>2</sub> が逃げる）、造岩鉱物の溶入等の説明がなされているが、更に最近 Junge(1958) はアメリカ合衆国の雨水分析から地球外の Na が成層圏から対流圏へ侵入して来ると云う説を出した。Cl/Na 比は海岸からの離れによるが降水の形式にもよりしゅう雨や雷は低気圧性の連続的な雨より Na の割合が大きい。

ニュージーランドで降水中の窒素化合物を調べたところ、アンモニア性、硝酸性のものでなく、主としてアミン類の形で有機質が多く、工業起源でもなく花粉の季節でない時もあるので海洋起源であると考えられ

た。又降水中の有機物は紫外部のスペクトルから主として腐植質であると見る人もいる。沿岸地方の雨が常時 pH が低いのは海洋起源の有機的な酸によるとする考えがある。これら有機物は海面の微生物に関係があると云う。

自然氷晶核は主として土壌鉱物が考えられ、東大で調べた結果では紫蘇輝石、カオリナイト、磁鉄鉱が特にすぐれた氷晶能力をもっている。火山灰では浅間山、草津白根、北海道駒ヶ岳のものが特によく、三原山、桜島の灰がこれに次ぐ。中国の黄土もこれと同じ位である。流星塵、海洋起源の塩粒子、有機物も徹底的に研究する要があろう。

## 討 論 略

## 理 事 会 便 り

### 第17回常任理事会議事録

日 時 昭和34年9月5日(土) 0930~1400

場 所 神田学会会館

出席者 今井・吉武・神山・伊東・畠山・根本・有住  
岸保・淵・藤田(臨時) 各理事(順序不同)

決議事項はつぎのとおりである。

1. 数値予報国際シンポジウムに関し、3・4の外国学者の返事に基きおおよその見込みがついたので、来年秋開催することとし、秋の大会時に臨時総会を招集して全会員にはかることとなった。
2. 臨時総会は、岡田賞授賞式後に行うこととなった。

3. 岡田賞候補者推せん委員会からの報告に基き内容について討論の上了承され、全理事にはかることとなった。

4. 高校地学教育に関し、例会等で検討したが当学会としては結論に達しない旨回答することになった。

なお、学会名を許可なく使用しないよう申入れることになった。

5. 東京管区気象台と共催で10月14・15日名古屋で例会を門くこととなった。

6. 8月6日の科学者の原水爆禁止アピール原文を註釈を附し天気のにせることとなった。

## 学 界 消 息

### 1. 伊勢湾台風襲来

9月22日9時発生した台風15号はマリアナ付近で中心気圧 895mb、最大風速75メートルの超大型台風となり、北西進しながら、最低中心気圧は 920mb となった。潮岬の南およそ 1,000km 付近で向きを除々に変え、紀伊半島に上陸、岐阜県白川付近、富山の東、を通過、上陸後わずか6時間あまりで日本海に抜けた。その後、佐渡東部、秋田沖、青森県を通り、大平洋に出た。潮岬で観測された最低気圧は 929.5mb で、これは本土襲来の台風で観測された最低気圧の第3位であった。

伊勢湾の西を通過したため、伊勢湾に大高潮を起し、名古屋地域に大被害を与えたので、伊勢湾台風と名付けられた。暴風雨、洪水による被害も大きく、死者、行方

不明は 5,000名を越えた。

### 2. 台風第16号

小型台風第16号はルソン東方洋上から本邦に接近し、6日18時ごろ屋久島の上を通り、都井岬をかすめて日向難に入り7日5時すぎに四国足摺岬に上陸した。暴風による被害はほとんどなかったが、本邦南岸の諸地域に大雨を降らした。