

てみることを目標にする。

具体的な観測項目とそのための測定器をあげると、

- 1) 乱流フラックスの直接測定：超音波風速温度計，赤外線湿度計
- 2) 海面上の接地気層の乱流構造：向上および波浪計
- 3) バルク法に有効な平均量の測定  
プロベラ型風速計，放射温度計など。
- 4) フラックスの高度分布の測定
- 5) 大気境界層（エクマン層）の力学的，熱的構造
- 6) エネルギーの3次元的フラックス：  
レーウィンゾンデ，カイツーン，ドップラーレーダー等
- 7) 海面における全エネルギー収支の実験：観測方法としては沖縄本島または先島群島を中心に展開されるメソスケールの観測網内に数カ所の精密観測点を設ける。このうち少なくとも1つは大型研究船を母船とする洋上の安定ブイプラットフォーム(第3図にその1例を示す)であり，黒潮流域またはその西側で上記の項目のうち

1, 2, 3, 7を行なう。研究船上ではレーウィン観測も実施して5, 6の項目も同様におこないたい。さらにもう1点は黒潮の東側の平坦な海岸に高さ50mの観測塔を設置し，1, 3, 4の精密観測のほか，ここを基地として5, 6の項目についても十分な精度の測定を行なう。これらの観測は少なくとも延べ4週間行なう必要があるが，この期間の間，観測網内の海面上を数隻の船で分担して，地上気象の走査観測をして広いスケールでの地表面フラックスの情報を得る。また，4, 5, 6の項目の観測には航空機観測による検証が期待されるがこれには外国のグループの協力が必要となろう。項目1, 2, 3および7は課題1への対拠であり，5および4, 6はそれぞれ課題2および課題3へのアプローチである。特に6の項目に関しては3次元的なネットワークのほりかたなど，これから検討を要する面が多い。なお項目1に関しては1974年度の本観測までの間に，内外の研究グループが集って測定方法の相互比較実験を行ない測定上の誤差などを予めチェックしておかなければならない。

## 積雲の観測

(雲物理学的過程を中心に)

武 田 喬 男\*

### 1. はじめに

気団変質に対して積雲対流による熱，水蒸気および運動量の鉛直輸送が重要な役割を占めていることはいうまでもない。積雲対流によって変質をうけた大気はまた積雲対流の活動をコントロールする。積雲対流による鉛直輸送を定量的に評価するには，雲のスケール（雲底・雲頂の高さ，水平面積），上昇気流の速度，温度構造，積雲の寿命および積雲の分布を正確に記述出来ることが必要であり，そのためには，もちろん航空機による気温・気流の測定，写真観測および気象衛星による観測が不可欠である。しかし，それだけでは十分でなく，積雲の発達過程の機構を知るためには，個々の積雲内の雲物理学的過程を調べるのがどうしても必要である。例えば，積雲の生涯は降水要素の形成過程に大きく左右されるし，

また雲頂が  $0^{\circ}\text{C}$  高度を越える積雲の温度構造には氷晶過程の起こり方が大きく影響して来る。ここでは，雲物理学の立場から積雲の微物理学的・雲力学的過程の観測を考えてみたい。

### 2. 積雲内の微物理学的・雲力学的過程の問題点

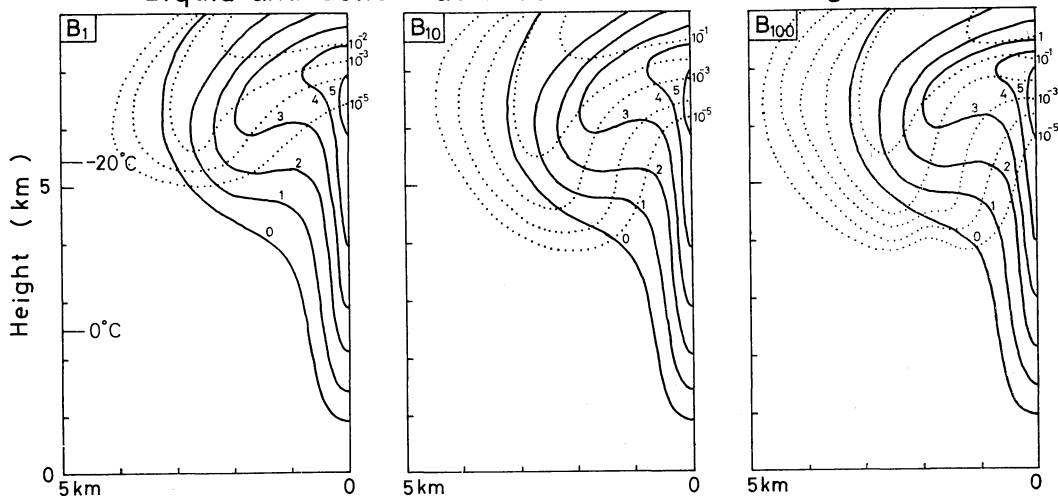
海上の積雲および降水セル内の微物理学的・雲力学的過程に具体的にどのような問題点があるか，そのいくつかにまずふれてみる。

#### 1) 降水要素の集積

積雲内で降水要素が成長し，その落下速度（空気に相対的な）が大きくなると，ある場所に集積するようになる。集積した降水要素の重みが積雲対流の力学に影響し，積雲の生涯・活動状況を大きく変えることは，数値実験（Das, 1964; Takeda, 1971）等を通じて知られている。降水要素の集積のしかたは積雲内の気流および降水要素の粒度分布できまってくる。更に，数値実験によ

\* T. Takeda 名古屋大学理学部水質研究施設

Liquid and Solid Water Contents at 45 min ( $\text{gm}^3$ )



第1図 氷晶核数が10倍ずつ異なる大気中における積雲 (数値実験による, Takeda, 1970). 実線および点線はそれぞれ liquid water content および solid water content を表わす.

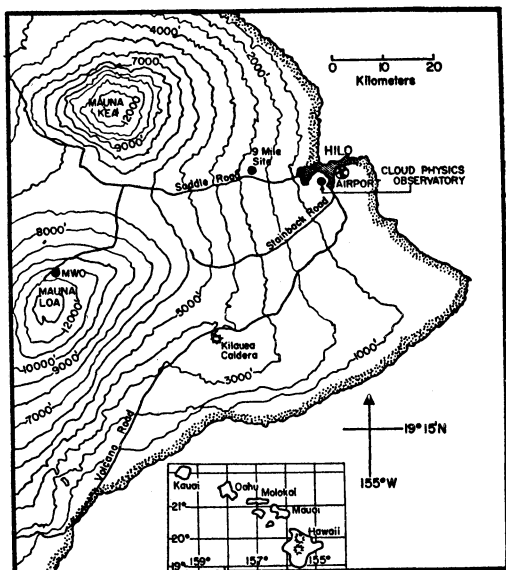
れば、粒度分布は積雲内で1つの型で与えられるようなものでなく場所でもかなり異なる型となり、そのちがいが雲の力学にまた影響して来る。すなわち、実際の積雲内の降水要素の分布および集積状況を知ることは、積雲の生涯を理解する上に重要なことになる。

2) 大きい雲粒の存在

対流雲の微細構造において、半径20~30 $\mu$ の水滴が100個/ $\text{m}^2$ 位形成されることが1つの大きな分岐点になることは明らかになっている。しかし、その水滴の形成が巨大海塩核にもとづいているのか、stochastic的な衝突併合 (Telford, 1955; Berry, 1967) で十分説明がつくのかは不明である。特に、暖い雨ではこの事は重要で、気団が海上をわたるうちに凝結核の分布についても変質をうけるはずであり、雲粒の分布の測定が必要となる。

3) 過冷却度と氷晶核数

もともと氷晶核数の少ない海上を大陸からの気団がわたって来るうちに、氷晶核数についてかなりの変質をうける。従って、過冷却の度合が変質度合によって変る。当然氷晶過程に関連した潜熱の放出が変る。第1図には、大気中の氷晶核数がそれぞれ10倍異なる場合数値実験 (Takeda, 1970) で得られた積雲内の liquid water content と solid water content が示されている。3例について過冷却度が異なることが分る。一番氷晶核数の多い B<sub>100</sub> の例では、このすぐ後爆発的に glaciation が起こり積雲内にかなりの熱が急激に与えられている。このように与えられた熱は母体の積雲対流全体も更に発達させるのか、あるいは積雲上部のみが発達して下部とは切り離されてしまうのだろうか？これは過冷却の起こり方、氷晶核の分布および雲粒の分布によるのだろう。



第2図 ハワイ島における Warm Rain Project の観測地点

1971年7月

	<i>9-mile site</i>		<i>Cloud Physics Obs.</i>
Nag. U	Raindrop spectrographs (for chemical analysis)	Ill.	M-33 Radar system (surveillance and tracking)
Nag. U	Electric field recorder	Ill.	GPG radar system
Nag. U	Raindrop electric charge recorder	Ill.	Time lapse cloud photography
Nag. U	Time lapse cloud photography	U.H.	Electric field recorder
Nag. U and M.R.I.	Radiosonde launching site (for drop size, salinity, and electric charge measurements in cloud)	U.H.	Flame photometer (for rain sample analysis)
M.R.I.	Raindrop size distribution recorders	U.H.	Constant level balloon launching site
C.A.L.	Pulsed doppler radar system	C.A.L.	Thermal diffusion chamber (cloud nuclei measurements)
	<i>Hilo Airport</i>	Nag. U.	Ice nuclei counter-sampler
U.S.W.B.	Conventional surface & upper air observations	Stanf.	Radioactive nuclei & rain samplers
C.A.L. and C.S.I.R.O.	Cessna 336 aircraft (sampling of clouds and atmospheric structure)		<i>Mauna Loa Obs.</i>
		Nag. U	Ice nuclei counter-sampler
		Nag. U	Time lapse cloud photography
		Stanf.	Radioactive nuclei & rain samplers

第1表 Warm Rain Project において行なわれた観測項目およびそれを分担したグループ。

こういった問題には、また氷晶の増殖作用が関係して来て、雲粒の分布についての測定は更に重要になってくる。

ここにあげた具体的な問題はもちろん考えられねばならない問題のほんの一部であるが、個々の積雲の活動状況を知るには積雲内の雲物理学的過程を知ることが非常に大切になってくるわけである。

### 3. いままでの観測例

ここで、いままで雲物理学的要素も含めてなされた積雲の観測の具体例を参考のためあげてみよう。

その1つは、1965年の夏ハワイ島で2カ月以上にわたって行なわれた Warm Rain Project である (Lavoie, 1967; Komabayasi & Isono, 1967; Takahasi & Isono, 1967; Fujiwara, 1967)。観測点は、第2図に示すように主にハワイ島の東部に集まり、海岸から約9マイルにあり高さが雲底近くの地点・ハワイ大学の Cloud Physics Observatory・高さ3,400mにある Mauna Loa Observatory・ヒロ空港の4地点であった。観測に参加したグループは名古屋大学、気象研究所、Cornell Aeronautical Laboratory, U.S. Weather Bureau, University of Illinois, University of Hawaii, オーストラリアの C.S.I.R.O. および Stanford University からの研究者である。多岐にわたってなされた観測の主要項目は第1表に示されている。各種地上観測・特殊ラジオゾンデ・航空機・レーダーと立体的に積雲の観測がなされたが、これらの観測を有機的に結びつけ有益な成果を得させたものは3種類のレーダーであった。

積雲の観測のもう1つの例は、やはり1965年の夏カリブ海でなされた Project Stormfury である (Simpson, Simpson, Stinson and Kidd, 1966; Simpson, Brier and Simpson, 1967)。この Project は積雲への seeding experiment が主要な目的だが、seeding の前後に積雲の詳細な観測が主に航空機でなされている。Weather Bureau's (ESSA) Research Flight Facility および Naval Research Laboratory からの4~5台の航空機が雲底から31,000ft まで各高度で積雲を数回 penetrate するのに加えて、他の1台がその積雲の周囲をまわりながら雲の詳細を観測する。更に U.S. Air Force からの航空機が雲のまわりの状態を観測するため30,000ft の高さからドロップゾンデを落とす。この観測で重要な役割を果たすが、レーダーを搭載している航空機で、積雲に相対的な各航空機の位置を確認・記録しながら指揮をとると共に写真観測を行なう。この Project の特徴は積雲の数値実験も行ないながら観測していることである。

これら2つの実際例からも分るが、特殊ラジオゾンデを飛揚するにしても航空機で観測するにしても、積雲の観測にはレーダー観測が非常に重要な役割を果たすことになる。それも数台のレーダーが必要であり、ゾンデなり航空機なりが積雲の何処を観測しているのかという情報が成功のかぎをにぎっていると考えられる。

### 4. AMTEX 計画

AMTEX における積雲の観測は、気象研究所と大学が協力して行なうことになるが、大学側では現在次のような観測を計画している。周囲で高層気象観測および通

常のレーダー観測が行なわれている地域の島上に特別観測地点を設け次の観測を行なう。ただし、PPI レーダーによる降水セルの分布の観測、ドップラーレーダーによる観測および航空機による積雲内の温度構造・じょう乱がある程度観測されるものとする。

- 1) 全降水要素および各降水要素の垂直分布の観測  
積雲内での降水要素の集積状況と雲の力学的構造の關係に注目して、垂直上方に向けたレーダーおよび特殊ラジゾンデ（新たに開発）により観測する。
- 2) 積雲の過冷却度と氷晶核の分布の観測  
氷晶核の分布に関して変質をうけつつある気団内での積雲の過冷却度に注目する。エアロゾルサンプラー、氷晶核測定装置および航空機による雲粒・氷晶核の測定も行なう。氷晶核の分布の源からの変化を調べるため、電子顕微鏡・微小線回折装置により物質同定を行なう。
- 3) 積雲および降水の空間的・時間的スケールの観測  
特別観測地点の周囲に降雨強度計を設置。気象衛星の資料も用い気団変質と積雲の空間分布および降水の空間的・時間的スケールとの關係を調べる。

#### 参考文献

- 1) Berry, E.X., 1967: Cloud droplet growth by collection, *J. Atmos. Sci.*, **24**, 688-701,
- 2) Das, P., 1964: Role of condensed water in the life cycle of a convective cloud. *J. Atmos. Sci.*, **21**, 404-418.

- 3) Fujiwara, M., 1967: Raindrop size distribution in warm rain as measured in Hawaii. *Tellus*, **19**, 392-402.
- 4) Komabayasi, M., and K. Isono, 1967: Electric conductivity of rain water in the cloud over the island of Hawaii. *Tellus*, **19**, 408-418.
- 5) Laboie, R.L., 1967: Background data for the warm rain project. *Tellus*, **19**, 348-353.
- 6) Simpson, J., and R.H. Simpson, J.R. Stinson and J.W. Kidd, 1966: stormfury cumulus experiments: preliminary results 1965. *J. Appl. Meteor.*, **5**, 521-525.
- 7) Simpson, J., G.W. Brier and R.H. Simpson, 1967: stormfury cumulus seeding experiment 1965: statistical analysis and main results. *J. Atmos. Sci.*, **24**, 508-521.
- 8) Takahashi, T., and K. Isono, 1967: Electric charge on raindrops grown in warm clouds over the island of Hawaii. *Tellus*, **19**, 420-431.
- 9) Takeda, T., 1971: 氷晶核を含む対流雲の数値実験。1970年気象学会秋季大会。
- 10) Takeda, T., 1971: Numerical simulation of a precipitating convective cloud: The formation of a "long-lasting" cloud. *J. Atmos. Sci.*, **28**, 350-376.
- 11) Telford, J., 1955: A new aspect of coalescence theory. *J. Meteor.*, **12**, 436-444.

## 積雲の観測

(気象研グループによる積雲の構造を中心に)

藤原 美幸\*

### 1. まえがき

広域(含中間)規模と積雲規模の力学、雲物理は水の輸送や相変化などの過程で熱を通じて複雑に關係しているに拘らず、それら間にはまだ充分な橋渡しが行なわれていない。これは主にこれら各スケールの現象自体がよくわかっていない為であると思われる。従ってこの観測では積雲対流の(1)力学的構造の他にこれに関連して(2)積雲のLife cycle, (3)積雲内における液相の

発達、(4)氷相の発達を明かにする目的で観測する。雲物理的諸過程と積雲の力学との關係については別稿武田喬男によって論ぜられているのでここでは主として観測上の問題点について述べる。

### 2. 観測計画の概要

具体的には沖縄本島(又は宮古島)を観測基地とし、ドップラーレーダ<sup>1)</sup>、モニター RHI 用レーダ、ミリ波レーダ<sup>2)</sup>を搬入し、また同島の PPI 気象用レーダの資料も併用し、観測基地を通過する降水積雲群の構造を表1に示すような記録によって記述する。

\* M. Fujiwara 気象研究所台風研究部