

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¹⁾、モニター RHI 用レーダ、ミリ波レーダ²⁾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

第1表 特殊レーダ観測

型式	走査法	測定要素	換算される気象要素
ドップラー (3.2cm)	天頂向に固定 高度(150m 毎)一時間(30 秒毎)の断面	a. 平均ドップラー速度 b. ドップラースペクトル c. エコー強度	a. 上昇下降流(平均) b. 同上および降水粒子型 の識別 c. 降水強度および降水含 水量の分布
	水平指向に固定 距離15km	a. 水平ドップラー速度 b. 水平ドップラースペク トル	a. 水平風速(1成分) b. 雲底下タープレンス成 分
モニター用 RHI (3.2cm)	仰角360°(16rpm) 方位角360°(1/3rpm)	a. ビデオ(距離10km 内 垂直断面) b. 3db-利得階段(可能)	a. エコー強度からみた積 雲の立体構造 b. ドップラー観測前後の エコー小塊の変化(挙動)
ミリ波(8mm) 単腕アンテナ	天頂向に固定	a. 降水エコー(連続) b. 非降水エコー(パルス 状)	a. 弱い降水尾流および未 降水雲中の氷晶成長 b. 非降水上昇気泡の分布
気象(官署)用 (5.7cm)	PPI (5分毎, 距離200km) (Gain step)	a. 降水エコー(ビデオ)	降水雲の水平の発達状況

また基地には GMD-1 受信器を設置し、特殊ラジオゾンデを放球または航空機より投下し、積雲内の温度、湿度、降水粒子、水の相などを観測しドップラーレーダ情報のモニターとする。

また沖縄本島から双発小型航空機によりレーダ上空の積雲の貫通飛行を行ない加速度計、アルミ箔式降水粒子測定器により粒子の分布と上下流による roughness を観測³⁾しドップラーレーダ情報のモニターとする。

以上は積雲の構造に関する観測であるが前がきにのべた(2)、(3)、(4)の研究項目のために同上航空機に雲水量計、レプリカ式雲粒記録器、氷晶核測定装置等を装備し、積雲列に沿って航続距離の可能限度までさかのぼり、積雲の発達状況と積雲内での水滴、氷晶、潜在氷晶核数の変化を観測する。

この観測とレーダ上空における観測を交互に行なう。できうれば船舶を利用し、積雲列上流における積雲の発達状況を観測船のレーダと特殊ゾンデを用いて上記の問題を観測する。

3. 測定原理又は技術上の問題点

(1) ドップラーレーダ

粒子自身の終末速度による平均ドップラー速度 v_T は雨滴の場合⁴⁾ $4.0 \times Z^{0.07}$ 、雪片の場合⁵⁾ $74.5 \times Z^{0.007}$ (m/s) の関係があるが霧が混入すると著しく誤差が大きくなる。従って多少手間がかかるが threshold 速度 (v_{TC}) から求める⁶⁾方が望ましい。これと v_T とから

逆に霧の存在を検出⁷⁾することができる。ただし精度を上げるためには現在まだ求められていない各種降水粒子について平均の V_{TC} を求めることが必要である。

(2) 一般レーダ(含ドップラー)

積雲内の Z 値から降水強度 R (または含水量 W) を求めることも霧が混入していると厄介で、この方面の研究は非常に少ない。混入率と霧の平均密度がわかれば推定することも不可能ではない。雨滴の場合 $Z=BR\beta$ から B 、 β を平均 200、1.6 のまわりに $+100\% - 50\%$ の変動があるとすれば $Z \rightarrow R$ の場合は $+33\%$ 、 -28% の推定誤差⁸⁾となる。そこでこの変動率を霧の B 、 β に適用することも近似法として考えられる。理論的に密度の関数⁹⁾と(略反比例)して B の値が求められるからこの変動率を掛けて求めてはどうか?

以上の方法は相対値としては有効であるがモニターとして直接測定を行ないそれと比較することによって信頼度を増すことが必要である。

(3) 積雲内粒子の測定

ゾンデと航空機の役割を比較した場合、現在日本の航空機利用技術は外国に較べてかなり遅れているとはいえ直接目視や手動装作により確実さを増すことができるので信頼度と測定可能範囲はラジオゾンデよりはるかに優れている。しかし航空機よりもゾンデの方が垂直分布の観測には効果的であることとメゾスケールの擾乱などの為に積雲が雄大積雲になると通常の航空機では貫通が困

難である。従って現在のところ両面から観測する計画を立てる方がより現実的であろう。

4. 観測結果のまとめに関する問題点

上記の観測計画がすべて計画通りに遂行され、十分な資料が得られたと仮定すればどのような問題が取上げられるであろうか。

(1) Large スケールのモデルに対しては原理的には垂直方向の全水輸送(液相) $\sum W \cdot w$ が観測できる(適当な時間→空間の変換の仮定のもとに)筈であるが上述の測定は積雲スケールのものであるからこのためには零点の精度の高い Adjust (仮定)が必要となるであろう。

(2) 一定条件下での上昇気泡の大きさ分布が求められる。ただし上昇気泡(降水雲)の断面を無作為に切ったと仮定して見かけ上の一定の大きさに対して0.78を掛けより大きい Size の頻度による寄与を補正する統計的処理が必要である。

(3) 雲系の中のように独立していない気泡のとき $(1/M) (dM/dz) = \alpha z$ で定義されるエントレメント係数 α が一定かどうか? 資料を高度に対して平均することによって検討することができないだろうか? (以上は力学関係者に問いたいテーマである。)

(4) 積雲モデルについては幾つかの変換因子(水蒸気→雲水, 水蒸気→氷晶, 雲水→降水→氷晶)について現在あまりにも簡単な一次式の定数係数として導入したり, 逆にかなり複雑な計算による近似関係式の開発なども行なわれているが, これらも雲物理学的には大胆な仮説の上に立っている事が多い。従ってこれらの努力が積雲のモデル実験の分野を混迷に導くおそれなしとはいえない。それを避けるためにも粒子の発生, 成長, 相変化と積雲の力学的構造発達に関する実験, 観測の積み重ねが必要と思われる。上記の変換因子の改良, 仮設の検

討のために有益でこの観測で得られるものとして, 次のようなものが挙げられる。(a) 氷晶の増殖作用は大雲粒によるのか? 時間によるのか? また氷晶核との関係は? (b) 大雲粒は巨大核, 衝突何れが主因か? (c) 氷晶化はどの条件で他の雲に伝播するか? (d) 一次元モデル, 二次元モデル等のどの程度詳しいモデルに観測された積雲の構造が合うか? 等々。

参考文献

- 1) Kodaira, N. 1964: A pulsed-Doppler radar for weather observation. Proc. 11th Weath. Radar Conf. Amer. Meteor. Soc. 300-303.
- 2) 柳沢善次, 1964: 測雲用ミリ波レーダ・エコーの解析, 天気, **11**, 151-163.
- 3) 高橋克巳, 内藤恵吉, 1969: 振動計による観測用航空機の垂直速度の測定, 成雨機構共同研究概要報告(第3報) 47-54.
- 4) 青柳二郎, 1967: ドップラーレーダ, 気象研究ノート, No. 89, 153-174.
- 5) 青柳二郎, 1969: 北陸降雪雲のドップラーレーダによる研究, 成雨機構共同研究概要報告(第3報) 283-304.
- 6) Battan, L.J., 1963: Some observations of vertical velocities and precipitation sizes in thunderstorm. Proc. 10th Weath. Radar Conf., Amer. Met. Soc. 303-307.
- 7) Fujiwara, M., Yanagisawa, Z. and J. Aoyagi, 1971: Observation of glaciation of cumulus by Doppler radar, Manuscript for U.S.-Japan Seminar on Cumulonimbus of tropical nature, Feb. Miami
- 8) Fujiwara, M., Kodaira, N. and T. Yanase, 1971: Variance in raindrop Z-R relationship. (気象学会1970春発表, 集誌に投稿中)
- 9) 藤原美幸, 柳瀬利子, 高橋克巳, 1971: 霰の Z-R 関係 (天気投稿中)

積雲対流と対流雲群

浅井 富雄*

1. はしがき

大気の大規模な運動・大気の大循環の機構をより一層

明らかにすること, そのための数値予報モデルの改良をめざす“地球大気開発計画(GARP)”において重要な研究課題の一つは, 境界層でのエネルギーの乱流輸送—積雲対流—大・中規模じょう乱という空間・時間スケ-

* T. Asai 京都大学理学部地球物理学教室