

レーダー反射因子 Z の比較観測*

深津 林** 平野 保***

要旨: レーダーで観測されるものは雨滴からの反射電力であつて直接雨量を知ることはできない、反射電力に比例するものは雨滴の直径の6乗の和 ($\sum D^6$) であるからロ紙を使つて直接雨滴の直径を観測し、レーダーによる測定値と比較検討した。

比較観測の結果、レーダーによる測定が平均 5dB 過大評価していることになつた。この 5dB の差について上昇気流・蒸発の効果等種々の条件を入れて考察した。

結論としては機器に起因する誤差および読み取り誤差が大きく作用していると思われる。

1. はしがり

従来気象観測に使われているレーダー方程式には F 値が挿入されている。実測の雨滴の直径から得られた反射係数 Z をレーダー方程式に入れて計算される受信電力が、レーダーで実際測定される受信電力よりかなり大きいことは Hooper 他¹⁾, Austin 他²⁾, Roberts³⁾ 等多くの研究者によって確かめられており、これを補正するために実験的な数値 (1/5~1/8) を F 値としてレーダー方程式に取り入れているわけである。しかし、実はこれらの研究は Z の観測を雨滴の粒度分布の実測によらず、平均的な Z と降水強度の関係、または平均的な粒度分布を利用して求めているので、これが F 値を必要とする原因の一つになっている可能性もある。

最近になって Probert-Jones⁴⁾ はアンテナパターンの形をかなり忠実に考慮した方程式を提案し、この方程式を使用すれば F 値は不要なることを示した。

本文では Probert-Jone のレーダー方程式を使い、しかもレーダー観測と雨滴観測の同時観測を実施して、レーダー受信電力からレーダー方程式により計算される反射因子 Z と雨滴の粒度分布から計算される Z を比較検討した。

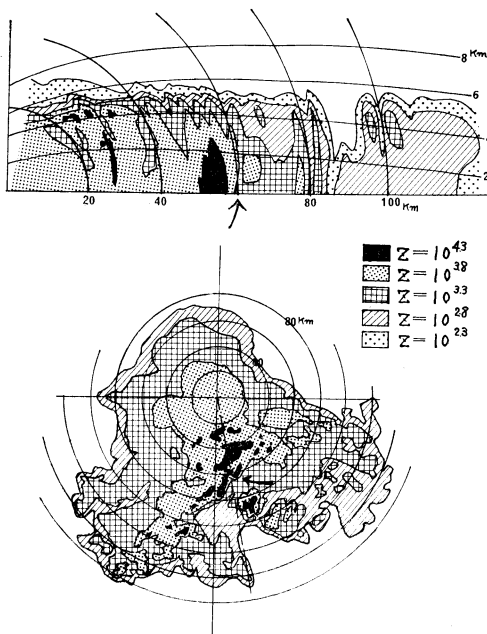
2. 調査の方法

レーダーによる測定には地形障害やビームの拡がり等、多くの問題を含んでいるので現業の片手間に行う調査においては仲々理想的な地点を選ぶことは困難である。今回伊良湖測候所を下記の理由で観測点に選んだ。

- (a) 途中で障害物が全くない。
- (b) ビームの中心が高度 700m を通り割合地上近くを観測できる。
- (c) ビームの拡がり伊良湖上空で 1000m である。
- (d) VHF 電話により同時観測が可能である。
- (e) 観測点が太平洋岸で北上するエコーが地形の影響を受けていない。

伊良湖の雨滴観測は、エコーの接近にともないレーダ

21³⁰
26 Jun 1964



第1図 等エコー装置を使ったエコースケッチ
→ は伊良湖測候所
--- は RHI の方向

* Comparison of radar reflectivity Z with rain drops

** Hayashi Fukatu 名古屋地方気象台

*** Yasushi Hirano 伊良湖測候所

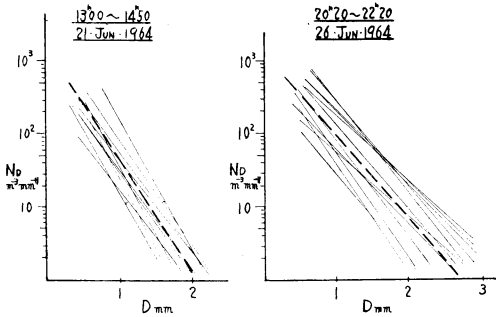
—1966年1月12日受理, 1966年8月20日改稿受理—

一サイトからの連絡により10分毎に口紙を使って雨滴を観測し、雨滴の直径と数からZを算出した。レーダーについては等エコー装置を使って5dB毎にPPIとRHIの写真を写し(第1図参照)、内挿によって伊良湖上空のエコー強度を推定した。この方法で一つのエコーについて二時間の連続観測を6月21・26日の2回実施した。

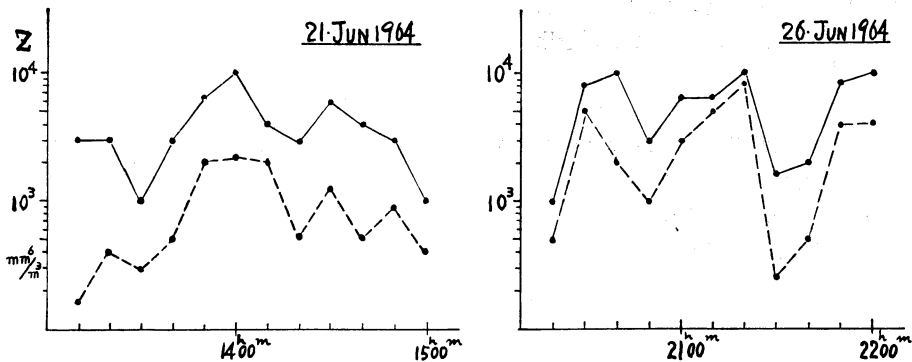
3. 粒径分布について

雨滴の直径は0.2mm単位で読み取りプロットすると第2図のように同じエコー内においてもかなりバラツキが見られる。これは同一発生機構から発生するエコーについても粒径分布は単純でなく、降雨機構の複雑性がうかがえる。

21・26日の分布図を比較すると個々の観測値には前記のようにバラツキはあるが、降雨域の違いによる分布図の差は明らかで、降雨量推定に年間を通じて同じZ-R関係式を使用していれば、推定降水量が実際のもので違ってくるのは当然である(しかし現在実際のZ-R関係を前もって知る手段がないので致し方ない)。26日には、第2図でわかるように層状エコーに混る対流性セルから



第2図 伊良湖における21・26日の粒径分布
 / 平均 / 実測



第3図 Zの比較
 ●——● レーダー測定によるZ ●-----● 雨滴より計算したZ

3mmに達する大粒の雨滴が観測され、対流活動は部分的にかなり活発であった。

4. 反射因子Zについて

$$\text{旧 } \bar{P}_r = F \frac{P_t h A_e}{8\lambda^4} \cdot \pi^4 \cdot \frac{1}{r^2} \left| \frac{\epsilon - 1}{\epsilon + 1} \right|^2 \sum D^6$$

$$\text{新 } \bar{P}_r = \frac{P_t \cdot h}{2^{10} \ln 2 \lambda^2} \pi^3 \cdot G^2 \cdot \theta \cdot \phi \cdot \frac{1}{r^2} \left| \frac{\epsilon - 1}{\epsilon + 1} \right|^2 \sum D^6$$

新旧のレーダー方程式は上記のとおりで、新しい方程式にはF値が入っていない(記号は慣用による)。

比較観測の結果雨滴から計算されるZがレーダー方程式によって受信電力Prから計算されるZより平均5dB(約1/3)低い値が出た(第3図参照)。この5dBの差には方程式の不備、観測誤差、機器の誤差、またレーダーで観測された雨滴が地上に達するまでに蒸発分裂によって縮小されることや上昇気流によって落下速度が小さくなること等による誤差が含まれていると考えられる。

(a) 蒸発の影響

レーダーでは伊良湖の上空200mから1200mの空間の平均電力を観測し、ビームの中心は観測点の上空700mを通過しているので簡略に雨滴が700mを落下するにどのくらい蒸発して小さくなるか Kinzer⁵⁾の蒸発速度の式より計算してZの減少量を見積もってみた。

雨滴の蒸発について高橋⁶⁾が実験結果から「大きな雨滴では蒸発の割合が小さく、従って極く荒い取扱いならば(重量で10~20%の誤差は覚悟して)蒸発の補正を必要としない、蒸発の補正を要するのは小さな雨滴を取扱う場合である。」とのべている。レーダーで取扱う場合Z = $\sum D^6$ から1mm以下の雨滴の変化量がZにあたえる影響は非常に小さいと思う。

伊良湖の東60kmにある浜松のゾンデ資料によれば、地上~700mの温度は18~20°C、湿度90~95%程度と

考えてよさそうなので雨滴の蒸発速度を Kinzer の式により計算すると下表のように直径 2mm の雨滴は湿度90%で700m落下すると1.99mmに、また0.8mmの雨滴は0.74mmと極くわずかに縮小する(参考までに湿度を変えた値も列記した)。これはZの値にして、それぞれ0.1dBおよび2.0dBの減少に相当する。

D	2 mm	1.6mm	0.8mm
90%	1.99	1.56	0.74
70%	1.93	1.46	0.56
50%	1.87	1.32	消失

(空気の温度 20°C
雨滴の落下距離 700m)として

浜松ゾンデ資料	700mb	9.0°C	100%
	850mb	15.5°C	100%
	地上	20.0°C	85%
伊良湖	地上	21 °C	95%

この表からもわかるように蒸発の影響は比較的小さく、Zへの影響はせいぜい1~2dB程度であろう。

また Atlas⁷⁾ はブライツバンド層直下における雨滴の分裂が一番多く、地表近くの分裂はあまりないことをのべている。この観測に関して雨滴の蒸発・分裂による誤差はいくら大きく見積っても2dB以下であろう。

(b) 上昇気流の影響

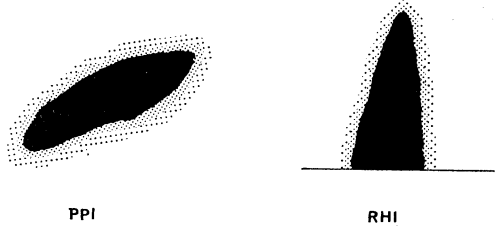
雨滴から計算されるZは自由落下を仮定して算出した。上昇気流に1m/s, 2m/sを仮定してZを計算すると、1m/sの場合 $Z=10^{3.8}$, 2m/sの場合 $Z=10^{3.9}$ となって自由落下 ($Z=10^{3.7}$) に比べ1~2dB ($10^{0.1} \sim 10^{0.2}$) 多くなる。

RHI や観測された降雨強度から見て、部分的にこれく

らいの上昇気流が発生しても不自然ではないが平均的にはもっと小さい値が期待される。

(c) 読み取り誤差について

レーダーから読み取られるZについても内挿による誤差のほかには第4図のように等エコーを働かせた場合のエコー図には面の周囲にザラザラの部分のための誤差が考えられる。このザラザラはドプラー効果による受信電力の変動に起因するもので、どの状態の所がレーダー方程式における \bar{P}_r に相当するか(今回は面になる部分を \bar{P}_r として読み取った)判定が不確定である。



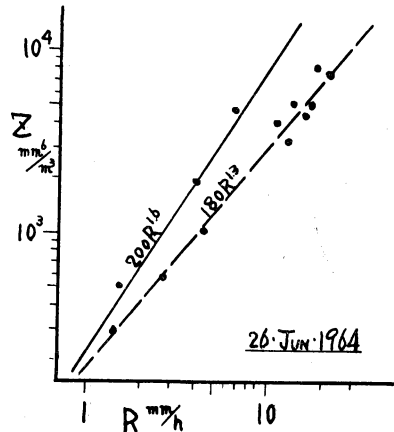
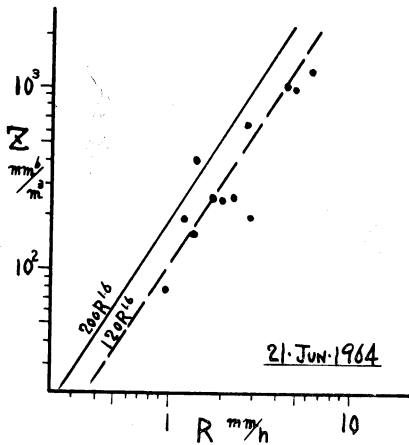
第4図 等エコー装置を働かせてブラウン管に表示されるPPI, RHIのエコー像

以上3つの検討から上昇気流・蒸発・分裂の効果は比較的小さく、5dBのかなりの部分は読み取り誤差および機器の誤差に含まれると考えたほうが妥当ようである。

今後の課題としてドプラー効果による変動を平均化するような回路の採用が必要であり、またもっと精度の高いエコー強度測定法の開発が望まれるが、とにかく現業では反射因子(Z)の絶対値を問題にするのは非常に困難であることが痛感される。

5. Z-R 関係 ($Z \equiv BR^2$) について

この2回の雨滴観測からZとRを計算してプロット



第5図 実測によるZ-R関係
横軸 Rmm/h 縦軸 Zmm⁶/m³

すると第5図のように 21日 $B=120$ $\beta=1.6$, 26日 $B=180$ $\beta=1.3$ を求めることができた。

現在我々は $B=200$ $\beta=1.6$ を年間を通じて使っているが、前もって $B \cdot \beta$ を知る手段を持たぬ我々には致し方ないことで、レーダー観測から推定される雨量強度が実測雨量強度に比べかなりバラツキの出るのは当然とも云えよう。

謝 辞

この調査について絶えず御指導下さった藤井神戸海洋気象台長・大谷測候課長・立平調査官に厚くお礼申し上げます。

参 考 文 献

1) Hooper, J.E.N. and Kippax, A.A. (1950) Radar Echoes from Meteorological precipita-

tion. *proc. I.E.E.*, Pt. I, 97, P. 89.

- 2) Austin, P.M. and Geotis, S. (1960) The Radar Equation Parameters. *proc. Eighth weath. Radar Conf.*, 15-22.
- 3) Robert, D.E. (1959) Melting Bando and Precipitation Rates. *Decca Radar Radar Res. Lab.*, RL 1902.
- 4) Probert-Jones, J.R. (1962) The Radar Equation in Meteorology. *Quart. Journ. Roy. Met. Soc.*, 88, 485-495.
- 5) 高橋喜彦 (1957) 降水の物理学, 57-63. 気象学講座 (17) 地人書館.
- 6) 高橋喜彦 (1935) 水滴の蒸発実験とその雨滴の応用, 気象集誌, Vol. 13, No. 7.
- 7) Roger M. Lhermitte and David Atlas (1963) Doppler Fall Speed and Particle Growth in Stratiform Precipitation *Proc. Tenth Weather Radar Conference.* 297-302.

CALENDAR OF COMING EVENTS

after WMO Bulletin Vol. XV, No. 3.

World Meteorological Organization

5-9 September 1966

WMO/IAMAP/SCAR Symposium on Polar Meteorology, Geneva, Switzerland

12-30 September 1966

Seminar on Hydrometeorological Instruments and Methods of Observation and on the Establishment of Hydrometeorological Networks in Regions III and IV, São Paulo, Brazil

20 September-1 October 1966

Technical Conference on Automatic Weather Stations, Geneva, Switzerland

3-21 October 1966

Regional Seminar on Training of National Instructors (RAI), Cairo, U.A.R.

4-13 October 1966

Regional Association IV (North and Central America), 4th session, Asheville, U.S.A.

5-21 October 1966

Training Seminar on the Interpretation and Use of Meteorological Satellite Data (RA VI), Moscow, U.S.S.R.

24-28 October 1966

Working Group on Qualifications and Training of Aeronautical Meteorological Personnel (CAeM) 1st session, Geneva, Switzerland

7-19 November 1966

Regional Association III (South America), 4th session, Quito, Ecuador

28 November-15 December 1966

Seminar on Agrometeorology (Regions II and V), Melbourne, Australia

Other International Organizations

22 August-10 September 1966

11th Pacific Science Congress, Tokyo, Japan

26 August-2 September 1966

4th International Biometeorological Congress, New Brunswick (N. J.), U.S.A.

7-20 September 1966

Regional Plan Committee for Asia and Oceania (ITU), Melbourne, Australia

14-17 September 1966

International Congress on Alpine Meteorology, Brigue-Zermatt, Switzerland

19-26 September 1966

7th Regional Conference on Water Resources Development (ECAFE), Canberra, Australia

9-15 October 1966

XVIIth Session on Meteorological Satellites (IAF), Madrid, Spain