

水文環境 正会員 木下 武雄
 日本大学 伊藤 彰義
 水文環境 章 若潮

レーダを雨量計として用いるときにはレーダの特徴を生かすことが必要である。特に CAPPI においてレーダを用いている環境を十分に理解せねばならない。この CAPPI とは Constant Altitude Plane Position Indication の略語であり、「三次元」と言う意味は持たないが、多数の仰角(例としては20通りの仰角)において、方位角方向360°に72針を回転させる。こうすれば、すり鉢状に多数の仰角で電波が出るので、一定高度の雨滴分布を観察できる。空中の雨滴を三次元的に検出できるので三次元レーダと呼ぶ。この点に関し、筆者らが最近行ってある程度の成果をあげた2、3の例を示したい。

(1) レーダ雨量計で有効に測れる範囲

レーダ雨量計で距離方向にどこまで雨量を有効に測れるか。①電子回路としての SN 比が十分とれる限界②気象学的に意味のある電波ビームの広がりによる限界(雨雲の構造とビームの太さ)③意味のある高度を測っているか。(ビームは直進するし、地球はまるい)等々の本質的な問題とともに、④地形に妨げられる。⑤何かしらの測れない限界がある等の事実がわかってきた。ここでは④、⑤について、簡単に述べる。

地形に妨げられる件はレーダ設置前からわかることであり、地形によって、強い定常的電波が反射されるので、これを除去するために、減算方式とか MTI 方式が導入されたが、ここでは電波を直進するとして幾何学的に地形の妨害を求め、有効に測れない範囲を決めた。これを地形的マスクパターンと呼ぶ。

何かしらの測れない限界とは何か、最もよい例はレーダ72針のすぐ前にある鉄塔である。鉄塔の向こう側は測れないが、それは地形図に現れる情報ではない。これは、長い期間(100日程度)のレーダの受信電力を重ね合わせて、ある限界より小さい範囲、ある限界より大きい範囲を除かねばならない。その限界(閾値)を選ぶのに任意性があるが、ある限界より小さくなる例は鉄塔であり、ある限界より大きくなる例は東京湾である。このようにして決められた限界を統計的マスクパターンと呼ぶ。図1参照。

レーダ雨量計が複数個ある場合にはこのようなマスクパターンで、相補的に雨量を測れるシステムを作るとよい。

(2) レーダ雨量計による雨雲の立体視

PPI のみのレーダでは不可能だが、最近 CAPPI に近い多仰角レーダが普及しつつあるので、なるべく立体視が可能ないようにしてレーダを利用すべきである。ここで言う立体視とは航空写真の立体視ではなく、多い水平断面及び任意位置の鉛直断面による見方である。特に CAPPI レーダはこの機能を備えているのでこれを活用すると、雨雲の性質(対流雲か層状雲か等)がわかり、反射因子から雨量への換算係数 B , β 等の決定の手がかりになる。関東平野でも夏には15,000mを越す高度から雨滴反射がみられる。図2参照。圏界面は軽く破っており、これまでの成層圏の解釈にも影響する事実である。このような鉛直断面はこれまでも RHI という運用モードで見ることが可能であったが、それはレーダサイトを通る鉛直断面についてのみであった。任意鉛直断面によって前線の鱗状構造や、シフト・フィードと思われる現象も観察されている。

(3) 途中降雨による減衰の推定

距離・ハート・ソフト補正をされた受信電力を P 、反射因子を Z とすると、大気減衰は無視したとして、

$P = Z 10^{-0.2 \int_a^R R dx}$ という形で途中降雨による減衰を導入できる。但し、 R は位置 x の雨量で、 a は減衰係数で $\text{dB} / \text{km} / \text{mm}$ という単位で、0.2は往復の経路による。これは積分方程式に似た形なので、何とか解くことができるが、誤差が累積することがある。もし、別のレーダ雨量計があって対向できれば、この減衰量を両方のレーダから推定することができるので、若干の仮定を設けるだけで解くことができる。両レーダ雨

レーダ雨量計、3次元レーダ・マスクパターン、途中降雨減衰

〒103 東京都中央区日本橋久松町9-13 TEL 03-3668-2171 FAX 03-3668-2174

量計をA、Oとする。両者の距離をLとする。上式の対数を取り、両レーザ計で観測された受信電力を P_A, P_O とする。また $\alpha=1$ と仮定する。図3参照。

$$\log P_A = \log Z - 0.2a \int_0^L R dx \quad \log P_O = \log Z - 0.2a \int_L^R R dx$$

ここで $Z = BR^\beta$ であるから $\log Z = \log B + \beta \log R$

$$\text{とおけ、Pの式に代入すると、} \quad 0.5(\log P_A + \log P_O) = \log B + \beta \log R - 0.1a \int_0^L R dx$$

となるから、 $R = (R_A + R_O)/2$ と第一近似としておいて、左辺と比べて β がわかり、 $\int_0^L R dx$ から a が求められる。こうして $a = 0.002 \text{ dB/km/mm}$ が求められた。

減衰も反射も雨滴の dipolemoment に由来するので、減衰がZで表現できると仮定すると、類似の方法で、

$$P_A(x) = Z \exp(-k \int_0^x Z dx) \quad P_O(x) = Z \exp(-k \int_L^x Z dx)$$

両式を乗じて、

$$P_A(x) P_O(x) = Z^2 \exp(-k \int_0^L Z dx) = Z^2 U^2$$

$$Z(x) = \frac{\sqrt{P_A(x) \cdot P_O(x)}}{U} \quad U = \exp\left[-\frac{1}{2} \frac{K}{U} \int_0^L \sqrt{P_A(x) P_O(x)} dx\right]$$

差をとって、 P_A, P_O の対数の

$$\ln P_A(x) - \ln P_O(x) = -\frac{K}{U} \left[\int_0^x \sqrt{P_A(x) P_O(x)} dx - \int_L^x \sqrt{P_A(x) P_O(x)} dx \right]$$

からUが求まりさらにK、 $Z(x)$ が求まる。

（4）むすび

このようにしてレーザ雨量計の特徴を生かし、雨量をなるべく合理的求めて、河川管理、環境モニターに利用することは有意義である。このようなレーザ雨量計の利用・発展に当たり、資料の提供またご指導下された建設省関東地方建設局利根川ダム統合管理事務所 添田耕一所長はじめ職員の皆様に厚く御礼を申しあげる次第である。

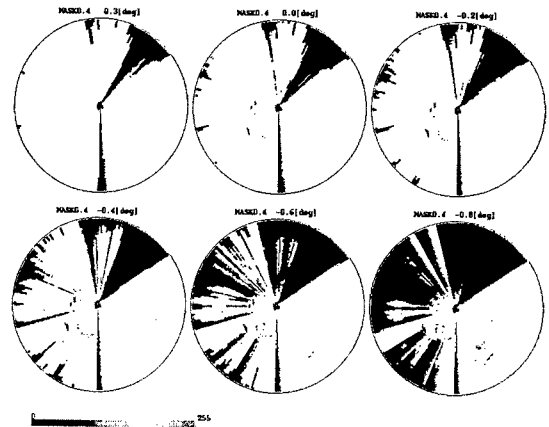


図1 統計的マスクパターン

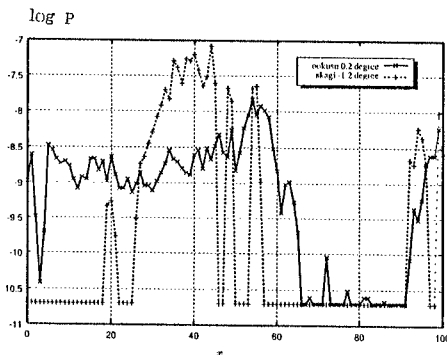


図3 2台のレーダのP

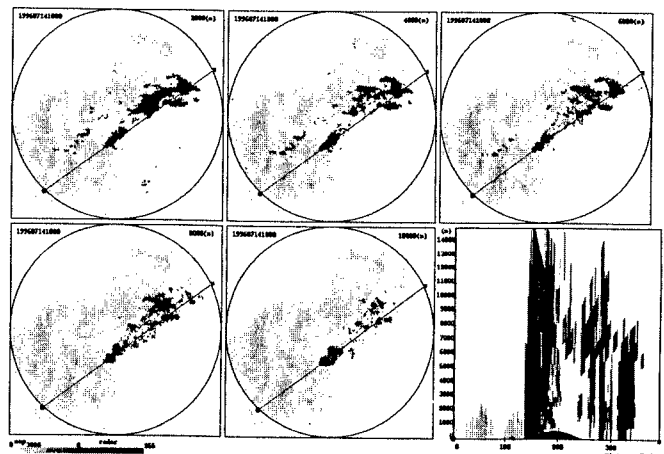


図2 水平・鉛直断面