

4. 多元情報測定用レーザ・レーダによる大気中の水量の測定法

Measurement of Mass Concentration of Atmospheric Water Droplets by the Laser Radar for Observation of Multiple Parameters

清水 浩 小林 喬郎 箱場 文男
Hiroski SHIMIZU Takao KOBAYASHI Humio INABA

東北大学電気通信研究所

Research Institute of Electrical Communication, Tohoku Univ.

はじめに 大気中の浮遊粒子である。種々のエアロソルの粒径とその密度を定量的に測定することは気象学や大気物理学、大気汚染研究の分野で重要な課題である。従来、これらの測定ではサリコメータによる定量法が主なものであり、遠隔的測定はほとんど行われていなかった。これは、従来の単一周波数を受信するミ-散乱方式のレーザ・レーダによる測定ではミ-体積後散乱係数の情報しか得られないために、精度の高い測定が困難であったことに起因している。

本文では大気物理パラメータの多元情報測定のためのレーザ・レーダにより新たに得られる水滴のミ-散乱パラメータと光の減衰係数の測定値を組み合わせることにより、大気中の霧や雲に含まれる水量が遠隔的に測定可能であることを理論およびモデル実験により示し、さらにレーザ・レーダを用いた実際の測定から雲の水量を求めた結果について報告する。

ミ-散乱パラメータの特性と水量の遠隔測定法の原理 大気中のエアロソルによるミ-散乱の特性を示すパラメータとしては、散乱断面積の他にミ-散乱パラメータ(K)と呼ばれる値が挙げられる。これはエアロソル粒子の全散乱断面積 σ_T に対する後散乱断面積 σ_b の比として定義され、この値は粒子の粒径とその屈折率および形状に依存する。

屈折率1.33の水滴についての K の値をサイズパラメータ($2\pi r/\lambda$)に対して計算した結果を Fig. 1 に示す。この結果から明らかのように K は、粒径に対して極めて複雑に変化していることが判る。しかし自然界の水滴

粒子は粒径分布を持ち、形状および屈折率は一様でない。したがって粒径分布に従うこれらの平均値が K の平均的値を決定するようになる。Fig. 1 には粒径分布として一般的なガウス形および Deirmendjian モデルの分布と仮定した場合の K の平均値を示してある。これらの計算結果から、大気中の水滴では K の値は粒径の平均値とともに増大するものと思われる。

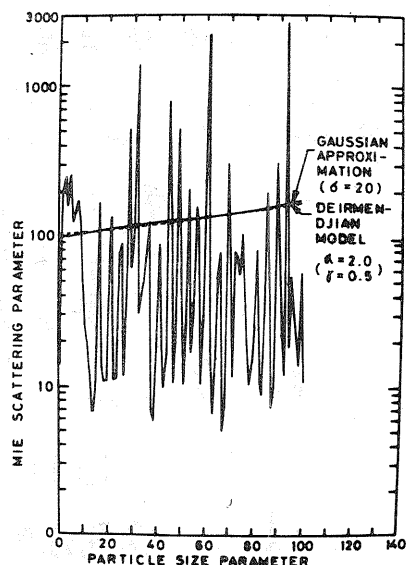


Fig. 1 粒径に対するミ-散乱パラメータ $n=1.33$

我々はこの特性を実験的に確認するために、超音波を用いた人工霧発生器を試作し、これによって発生した霧についての K の値を詳しく測定した。Fig. 2 はその測定結果を示すもので、 K の値は粒径に対してほぼ直線的に増加することが認められた。この結果を利用すれば、 K の測定値から水滴の粒径の平均値を得ることが出来、さらに水量を遠隔的に測定することが可能となる。つぎにその測定の実験原理を示す。

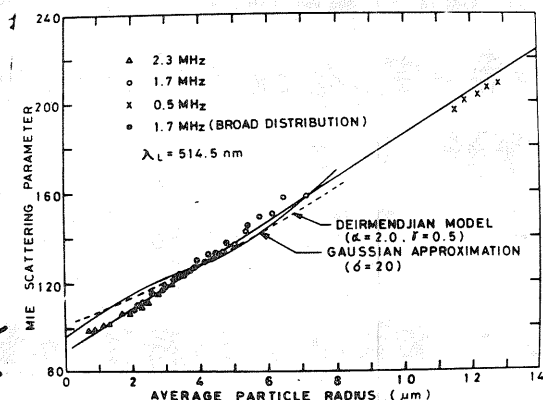


Fig. 2 人工霧の平均粒径に対するミ-散乱パラメータの測定値 (周波数は超音波の周波数)

粒子・水の水滴による減衰係数は次式のように表わされる。

$$\alpha = \pi n \int r^2 f(r) K(r) dr \quad (1)$$

ここで、 n は粒子濃度、 r は粒子半径、 $f(r)$ は粒径分布関数、 $K(r)$ は減衰効率である。(1) 式において $K(r)$ の値は粒径に対してほぼ一定の値を持つための積分の外に出ることが出来る。また単位体積中に含まれる水量 M は次式で表わされる。

$$M = \frac{4}{3} \pi n \int r^3 f(r) dr \quad (2)$$

(1), (2)式により次の関係が得られる。

$$M = \frac{4\alpha}{3K} \frac{\int r^3 f(r) dr}{\int r^2 f(r) dr} \quad (3)$$

(3)式において、積分項 $\int r^3 f(r) dr / \int r^2 f(r) dr$ は粒径の平均値 \bar{r} にほぼ近い値を示すが、粒径分布により \bar{r} より多少異なる値となる。これを粒径分布ファクター D_f と定義すると、(3)式は次のように書きあらわせる

$$M = \frac{4\alpha D_f \bar{r}}{3K} \quad (4)$$

D_f の値を現在までに自然界の雲について測定された多数の粒径分布から求めると、最小値が 1.24, 最大値が 1.48 であり、平均値としては 1.36 程度の値となる。 $D_f = 1.36$ とすると、 α と \bar{r} を測定することにより、最大誤差 $\pm 12\%$ で水量が求められることにはなる。現在、航空機を用いたガンフォリツク法による雲の水量測定では $\pm 25\%$ より良好な精度で測定することが不可能であることから考えて、レーザ・レーダによる遠隔的測定法の利便性は明らかである。

3 ミ-散乱のレーザと減衰係数測定による水量の推定 前節での

の結果をもとに室内実験として Arレーザ(514.5nm)を用いた、人工霧の水量を求めた。Fig. 3にこの結果を示す。Fig. 3において、横軸はガンフォリツク法で求められた水量であり、縦軸はレーザ光を用いて遠隔的に求めた値を示す。我がが使用した人工霧については $D_f = 1.26$ とすると直線で示す

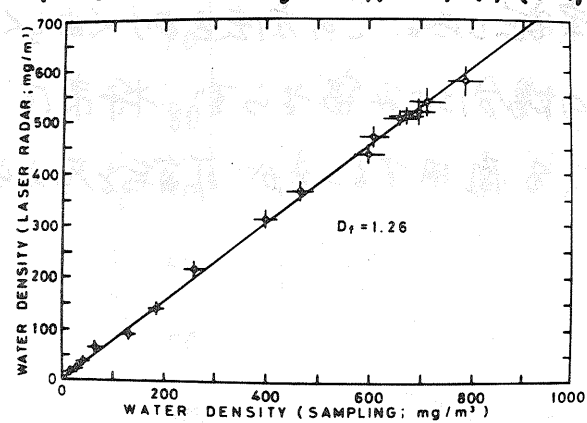


Fig. 3 人工霧のガンフォリツク法およびレーザ・レーダによる水量測定結果

ように、両者の測定値における良好な対応が得られることが示される。

4 レーザ・レーダーによる雲の水量の測定

室内実験により明らかになった霧および雲の水量の測定法を応用して我々が既に開発した大気レーザーの多元情報測定用レーザレーダシステムを用い、上空約1200m、厚さ約200mの雲の水量の測定を行った。測定結果の一例をFig 4に示す。同図にはミエ係数、消光係数、ミエ散乱パラメータ、平均粒径およびこれらの測定値から得られた水量の空間分布が示されている。水量の最大値が約 $100\text{mg}/\text{m}^3$ というのは、薄い雲に対応するもので、これによる降雨は実際には観測できなかった。

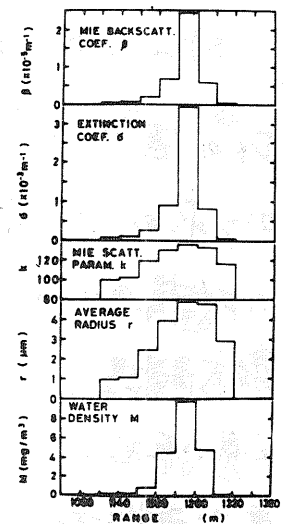


Fig 4 雲の水量の測定結果

5 まとめ

本文では大気中の雲や霧の水量を遠隔的に測定するための新しいレーザ・レーダー動作法の提案とその動作実験を行い、実際に測定例を示して本方式の可能性を実証した。この方法をよりくわしく検討すれば、測定対象が水滴の場合にのみ留まらず、将来は粉塵やスモッグ等の固体粒子についても適用することが可能と考えられ、各方面への応用が期待される。