

レーザ・レーダによる雲の 散乱パラメータの測定

Derivation of the Scattering Parameter of Optically
Thin Clouds using a Laser Radar

今須良一^{*}、岩坂泰信^{**}

Ryoichi Imasu, Yasunobu Iwasaka

*資源環境技術総合研究所、**名古屋大学太陽地球環境研

*National Institute for Resources and Environment

**Solar-Terrestrial Environment Laboratory, Nagoya University

Abstract: The sensitivity tests for the analytical procedure to derive the scattering parameter S (=extinction/backscattering ratio) of optically thin clouds, which was proposed in the 12th Laser Sensing Symposium, were made. The results show that the errors in S increase in accordance with the decrease in the value of S . It also shows that if the absolute values of the difference in the scattering ratio of the cloud used for the derivation of S are equal, the errors in S are very similar to each other no matter how the optical thickness of the cloud is. The error increases in accordance with the decrease in the difference in the scattering ratio. The two-dimensional diagram with the axes of the depolarization ratio and the scattering parameter derived with the analytical procedure is very effective to identify the cloud compositions.

1. レーザ・レーダによる雲の散乱パラメータ測定方法

第12回のシンポジウムでライダ方程式に対する Fernald の解法を変形し、雲層の下（高度： Z_b ）に境界条件を1つ加えることで、雲の散乱パラメータ（消散/後方散乱係数） S を求める原理を示した。その方法を式で表すと、

$$S_1 = \frac{1}{2[\beta_1(Z_a) + \beta_2(Z_a)]} \cdot \left[\frac{X(Z_a)}{X(Z_b)} - \frac{X^0(Z_a)}{X^0(Z_b)} \right] \left[\int_{Z_a}^{Z_b} \left[\frac{X(Z')}{X(Z_b)} - \frac{X^0(Z')}{X^0(Z_b)} \right] T(Z') dZ' \right]^{-1}$$

$$T(Z) = \exp \left[-2(S_1 - S_2) \int_{Z_a}^Z \beta_2(Z') dZ' \right], \quad X(Z) = P(Z) \cdot Z^2$$

となる。記号は Fernald (1984) に従う。ただし、上付きの \circ のあるなしは、それぞれ独立した時刻 T_1 , T_2 による測定を表す。高度 Z_a （成層圏エアロゾル層より上層、または、圏界面付近）においては境界条件として後方散乱係数の絶対値の値を仮定する。また、高度 Z_b においては、時刻 T_1 と T_2 の間のエアロゾルの変動は無いという過程を行っている。

2. 測定誤差に対する影響

上記の方法で S （上の式では S_1 ）を求める場合、測定誤差が結果にどの程度影響するかを見積るために、疑似的なライダ信号を用いてテストを行った。雲の散乱比 SR が、時刻 T_1 , T_2 の時にそれぞれ 50 と 10 の時の結果を Fig. 1 (a) に、 $SR=50$, 25 の時の結果を Fig. 1 (b) に示す。横軸は高度 Z_b における受信信号の真値に対する比（1.0 からのずれが仮想誤差）、縦軸は S の真値である。結果は、 S の真値との差をパーセントで表してある。この図から、実際の S の値が小さい時ほど、測定誤差に対して結果が敏感である事がわかる。また、時刻 T_1 と T_2 における雲の散乱比の値の差が大きいほど、誤差は小さい事もわかる。この散乱比の値の差が等しい限り、雲の光学的厚さが変わっても、誤差の相対値はあまり変化しないという結果となった。

3. 観測例：S - D ダイアグラム

雲粒子の特徴（結晶形や方向性）を推定するのに、一般に偏光解消度：Dが用いられるが、D単独では、例えば水滴とC軸を垂直に保つ六角板結晶とのように、判別が難しいものがある。この様な場合、SとDとを軸に持つ2次元のダイアグラムを用いると有効である。観測結果を4例、Fig. 2に示す。4 Nov 1988については、マイクロ波観測でも水滴の存在が示されている。図中の各粒子タイプの境界（破線）は、これまでの理論や実験による結果を基にしている。ただし、それらは粒子の粒径分布や結晶の軸比、雲の光学的厚さなどに依存するため、あまり厳密なものではない。

4. 特徴ある内部構造

2 Mar 1989の例について、後方散乱強度と偏光解消度の時間-高度断面図をFig. 3に示す。雲層の上部と下部に、後方散乱：強、偏光解消度：低、層厚~100mと言った特徴（水滴と、六角板結晶による鏡面反射の両者に共通）を持つ層があるが、この様な多層構造を持つ巻雲が、特に冬季においてよく観測された。この例ではSの値はかなり小さく、六角板結晶による鏡面反射を示唆している。特に興味深いのは、矢印で示した部分のように、ある時点から突然落下を始める層があることである。同様な特徴を持つ雲は他にもいくつか観測例がある。今後、解析を進めて行きたい。

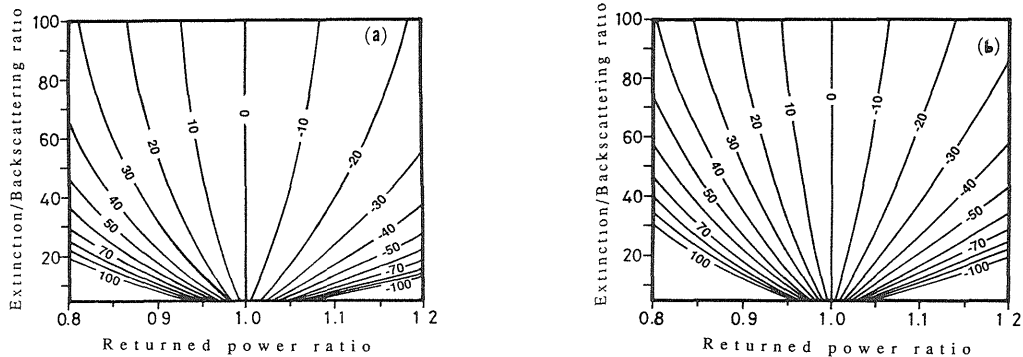


Fig. 1. Errors in S for the case that the scattering ratios of the cloud measured at times of T_1 and T_2 are (a) 50 and 10, respectively, and are (b) 50 and 10, respectively. The ordinate is the true value of S, and the abscissa is returned power ratio K, by which synthesized lidar signals are multiplied to simulate observational errors at Z_b . The errors are expressed in terms of percent.

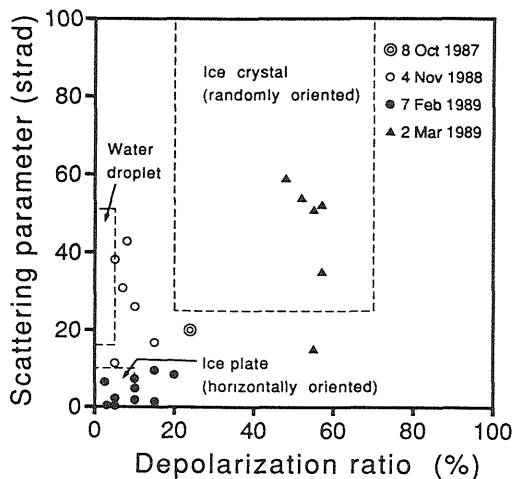


Fig. 2. Scattering parameter plotted against depolarization ratio. The area surrounded by dashed lines indicate the ranges of the probable values of S and D for typical cloud particles.

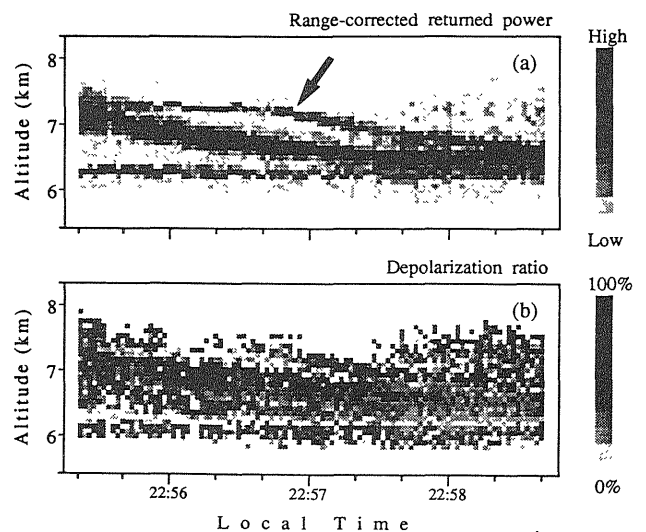


Fig. 3. Time-height cross sections of (a) range-corrected returned power and (b) depolarization ratio of the cloud observed on 7 February 1989. The length of observation was 200 seconds.