

F7

スペースライダー雲観測における多重散乱影響の評価

Multiple scattering effects in the space-borne lidar signals from clouds

笹野泰弘¹、小林隆久²、劉兆岩¹、松井一郎¹、杉本伸夫¹

Yasuhiro Sasano¹, Takahisa Kobayashi², Zhaoyan Liu¹, Ichiro Matsui¹,

and Nobuo Sugimoto¹

国立環境研究所¹、気象研究所²

National Institute for Environmental Studies¹, Meteorological Research Institute²

Abstract

Contributions of multiple scattering can not be neglected in the lidar signals of cloud measurements from space. This paper discusses the effects of multiple scattering on lidar signals and on retrieved extinction profiles on the basis of Monte Carlo simulations and solution of the lidar equation using Fernald's equation. Lidar signals are simulated by assuming some clouds model and calculating numbers of photons which come back to the lidar receiving telescope after scattering by the cloud particles. To see the effects of the receiver field of view (FOV) on the contribution of multiple scattering to the received signal, the received photons are calculated for different sizes of the FOV. The lidar signals simulated are solved for extinction coefficient profiles, which are examined in detail and discussed. Problems to be solved in future are described.

はじめに

衛星搭載ライダーによる雲エアロゾルの3次元分布の測定は、これらが気候変動と密接な関係があることから、その実現が期待されているところである。1994年には、スペースシャトルに搭載されたミー散乱ライダーにより初めて宇宙からの大気観測がなされ(LITE実験)、多層に重なった雲や、巻雲の分布、サハラ砂漠起源のダストエアロゾル、バイオマスバーニングに由来すると思われるエアロゾルの分布などが測定され、衛星ライダーの有効性を如実に示した。

同時にLITE実験では、雲の測定においてライダー信号における多重散乱の寄与が少なからずあることが、実際のデータとして示された。すなわち、雲の透過率が見かけ上、高くなり、多層雲でも予想以上に上層の雲をレーザー光は透過して、下の雲からの散乱を検出することが出来ている。また、幾何学的な雲の厚さが、実際より厚く見える。下層雲の場合には、雲からの信号が尾を引いて、あたかも地表面レベル以下から信号が帰ってきているように見えるケースもある。これらの多重散乱の効果は、ポジティブな面もあるが、雲の厚さを正確に出す(雲底高度を求める)、雲の光学的厚さを評価するという点からは、望ましいものではない。

多重散乱の効果は、雲の光学的性質によるのはもちろんのこととして、ライダーの受信視野角の大きさに強く依存する。逆に、受信視野角を変えた測定により、多重散乱の効果の評価し、補正する方法が提案されている。本研究では、これらの雲による多重散乱の効果を実験により評価するとともに、ライダー信号の定量的な解析に際しての、多重散乱の寄与の簡単な補正方法を検討することを目的にしている。

計算方法

種々の雲のモデルに対して、受信視野角をパラメータとして、ライダー信号をシミュレートした。ライダー信号のシミュレーションにおいては、小林・村治(1997)によるモンテカルロ法に基づく計算法を採用した。原理は、Kunkel and Weinman(1976)に基づくもので、ライダー受信望遠鏡に入射する散乱信号を統計的に求めるものである。

雲の粒径分布としては、対数正規分布を採用した。また、地上高10 kmから11 kmの範囲に一樣に存在するものとし、光学的厚さを1.0から20.0(消散係数 km^{-1} に等しい)まで種々に変えて、その影響を見た。なお、ライダー波長は、1064 nmおよび532 nmを対象とし、衛星は高度500 kmに位置するものとする。

ライダー信号の計算結果

Fig. 1に、光学的厚さを1.0としたときの波長532 nmのライダー受信信号のうちの多重散乱寄与分の割合を雲長付近でピークとなる単散乱信号の大きさと正規化して、受信視野角をパラメータとして描いている。ここで、横軸の左端は雲頂を、距離(Range)は雲頂からの深さを、それぞれ意味している。図から分かるように、受信視野角が大きくなるに連れて、多重散乱寄与分が増大し、雲底高度以下に相当する位置からも信号が返ってきている。この性質は、光学的厚さが大きくなるほど顕著に現れる。光学的厚さが十分に大きくなると、減衰の効果も大きく効いてくる。

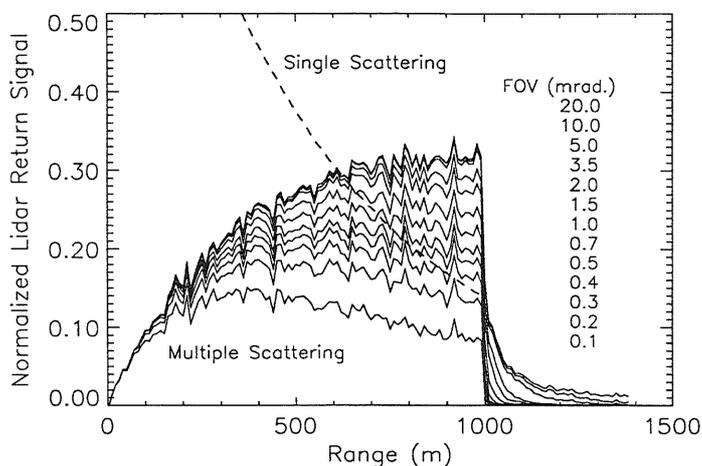


Fig. 1 Contribution of single scattering and multiple scattering to a satellite-borne lidar signal from a cloud layer. The cloud layer is 1 km thick and homogeneous, and has an extinction coefficient of 1 km^{-1} . The curves are for different FOVs shown in the figure.

ライダー信号の解析

ライダー受信信号が完全に単散乱の寄与だけからなっているとすると、ある仮定の下で Fernald の解、あるいは Klett の解と呼ばれるような解法を用いて消散係数の分布に焼き直すことが出来る。ライダー信号に、多重散乱の寄与が含まれる場合には、単純にこれらの解法を適用しても正しい解が得られない。Fig. 2 の曲線 a は、Fig. 1 に示した曲線のうち視野角が 1 mrad のケースについて、単純に Fernald の解を適用して解いたものである。ただし、散乱パラメータは雲モデルから計算される真値を与え、また境界条件も遠方側（雲底より下）で真値を与えた。図から明らかなように、雲の存在する領域で消散係数の値は真値から大きくはずれる。

多重散乱があると見かけの消散係数が小さめに出るという事実を利用して、消散係数に対する補正係数をあらかじめシミュレーション等により求めておき、これを Fernald の式に組み込んで反復的にライダー信号を解くことを試みた。これは、Evans (1984)、Kunkel and Weinman (1976)、Carnuth and Reiter (1986)らの方法を発展させたものである。Fig. 2 の曲線 b は、そのようにして求めたもので、解は非常に良く改善され、真のプロファイルに近い解が得られていることが分かる。

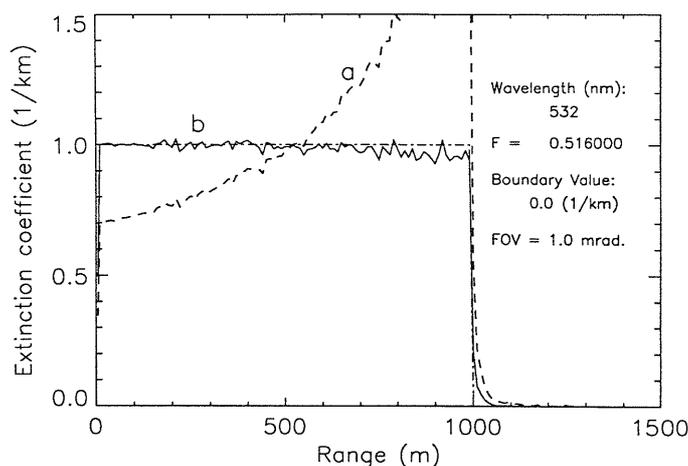


Fig. 2 Extinction coefficient profiles retrieved from the total (single and multiple scattering) signal for the lidar with 1.0 mrad FOV and 532 nm wavelength. a: Fernald's solution, b: Modified Fernald's solution proposed in this study.

今後の課題

これまで研究の手始めとして、シミュレーション、ライダー信号の解法などの基本的な整備を始めたところである。今後は、より多くの雲モデルについて同様の計算を行いその性質を見ていくこと、複数の視野角による測定に基づく多重散乱の補正方法を検討していく。