

25. 大気中浮遊粒子の屈折率と視程の関係について

The Relation between Visibility and Refractive Index of Airborne Particles

吉川 誠
Makoto Yoshikawa

西辻 昭
Akira Nishitani

北海道大学 応用電気研究所
Research Institute of Applied Electricity, Hokkaido Univ.

1. まえがき

レーザ・レーダ・エコーの解析により浮遊粒子を定量する場合、減衰係数・体積後方散乱係数を求めておく必要がある。そのためには粒子の分布、複素屈折率を予知していなければならない。今回は、Jungeの分布を仮定して、複素屈折率と視程との関係について考察を加えたので、その結果を報告する。

2. 後方散乱強度と視程

視程 V (km)と減衰係数 σ (km^{-1})との間には $\sigma = 3.91/V$ の関係がある。減衰係数は粒径分布と減衰断面積から求まるが、減衰断面積は粒子の複素屈折率によって変化する。しかし、光領域に於いてJungeの分布領域では、複素屈折率の変化による減衰係数の変化は顕著ではない。一方、体積後方散乱係数 σ_π は、複素屈折率の変化、特に虚数部の変化に対して大きく変化する。後方散乱強度と視程との関係から、視程と複素屈折率の関係が求まるであろう。

後方散乱強度と視程については、Curcio⁽¹⁾, Bertolotti⁽²⁾, Fenn⁽³⁾などの報告がある。後方散乱強度 R は次式によって定義される。

$$\textcircled{O} R = P_0 \cdot K \cdot \int_{x_0}^{\infty} \sigma_\pi \cdot \exp(-2 \int_0^x \sigma dx) \cdot x^{-2} dx \quad (1)$$

ここで、 P_0 は送信出力、 K は系の定数、 x は送信点からの距離である。大気が均質であるならば、 σ_π , σ は x に独立で(1)式は次のようになる。

$$R = P_0 \cdot K \cdot \sigma_\pi \cdot \int_{x_0}^{\infty} \exp(-2\sigma x) \cdot x^{-2} dx \quad (2)$$

さらに、 2σ が十分に小さければ、(2)式は次のように近似される。

$$R = P_0 \cdot K \cdot \sigma_{\pi} \cdot (1/x_0) \quad (3)$$

Curcioは、光源として白色光を用いて、視程0.2~60Kmの範囲に於いて、 $R \propto V^{-\frac{2}{3}}$ の関係を導いている。また、Bertolattiはルビ-レーザーレーザを用いることによって、視程1~10Kmの範囲で同様の結果を得ている。前者の方が視程の範囲が広いにもかかわらず、相関が非常に良く求まっているが、これは白色光を用いているためであることがTwamsey⁽⁴⁾らによって明らかにされている。また、Ferrisは(3)式に於いて R と σ_{π} が比例することから、Bartenevaの実験結果より視程3~200kmの範囲で $V \propto \sigma_{\pi}^{-1.43}$ の関係を導いているが、これは前者らの結果と良い一致がある。

次に $R \propto V^{-\frac{2}{3}}$ が成り立つための条件を求めるために(2)式を用いて V と R の関係を求め、その結果をFig. 1に示す。図中の実線は散乱パラメータ $\beta (= \sigma/\sigma_{\pi})$ を一定とした場合を示し、破線は $R \propto V^{-\frac{2}{3}}$ の場合を示している。また、 $x_0 = 5m$ の場合はCurcioの実験に対応し、 $x_0 = 30m$ の場合はBertolattiの実験に対応している。Fig. 1より、 $R \propto V^{-\frac{2}{3}}$ が

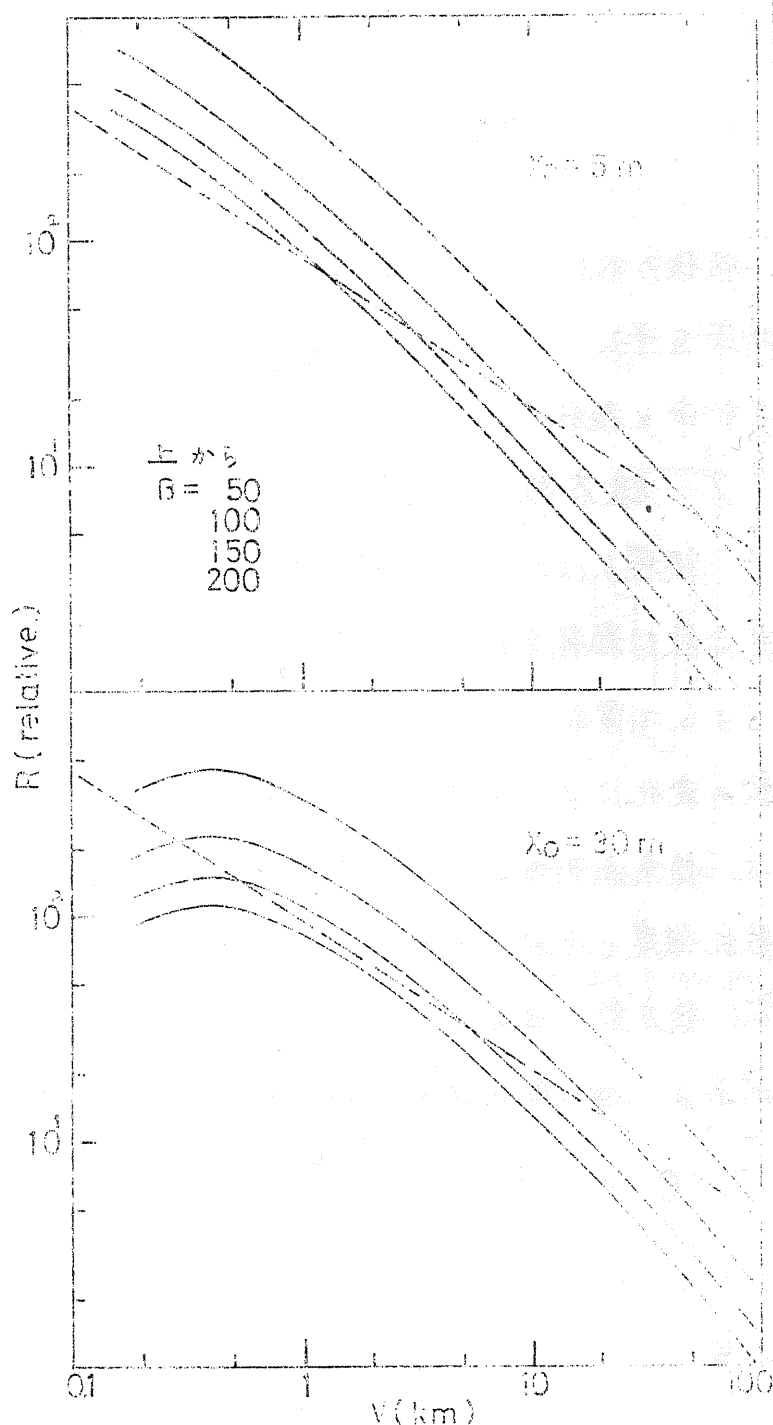


Fig. 1 (2)式より求めた R - V 特性

成り立つためには、視程が大きくなるにつれて散乱パラメータが小さくならなければならないことがわかる。この関係をFig.2に示す。この図に於いて、 $R-V$ 特性の比例定数がわからないので、 $V=20\text{ km}$ のときに $\beta=50$ になるように規格化している。

3. 散乱パラメータの変化

散乱パラメータは、粒径分布、粒子の複素屈折率の変化によって変化する。一般に、視程は空間量と反比例の関係にあり空間量が大きくなると、視程は悪くなる⁽⁵⁾。空間量の変化には、分布型は変化せずに、粒子の個数のみが変わる場合と、分布自体もその型を変える場合とが考えられる。前者の場合には、散乱パラメータは変化しないので、視程の変化に対しても散乱パラメータは一定となり、Fig.2を説明することはできない。

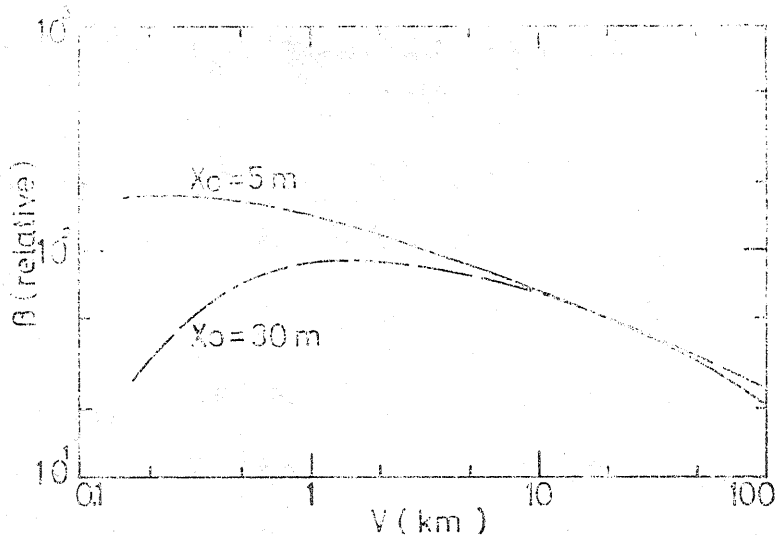


Fig.2 $R \propto V^{-1}$ が成立するための $\beta-V$ 特性

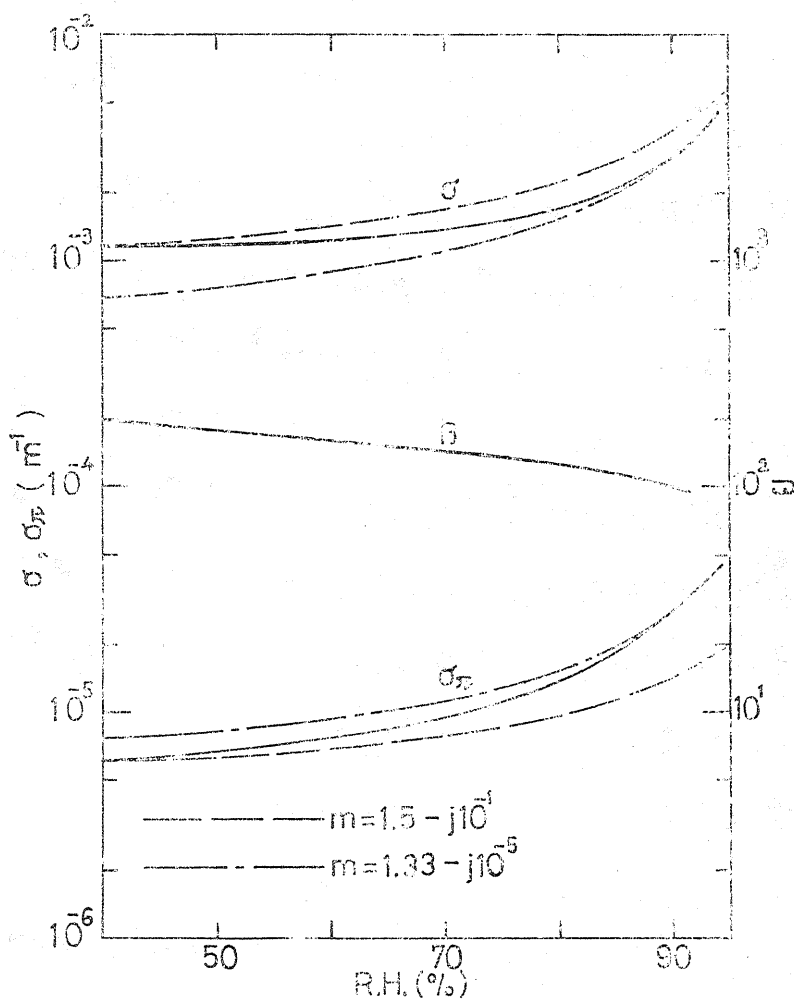


Fig.3 相対湿度による $\sigma, \sigma_{\pi}, \beta$ の変化

一方、後者の場合としては、相対湿度の変化による粒径の変化が考えられるが、この場合には、複素屈折率の変化も伴うと考えられる。Jungeの分布を次のように仮定したときの、相対湿度による散乱パラメータの変化をFig.3に示す。

$$r \leq R_c \text{ のとき } N r \equiv \text{const} \quad (4) \\ R_c \leq r \text{ のとき } N r \propto r^{-4}$$

ここでは、 $R_c = 0.1 \mu$ としている。

Fig. 3 より、相対湿度が高くなると、散乱パラメータが小さくなることがわかる。しかし、Wright⁽⁶⁾及びJunge⁽⁶⁾の報告にあるように、相対湿度が高くなると視程は一般に悪くなるので、これも Fig. 2 の結果を説明することができない。

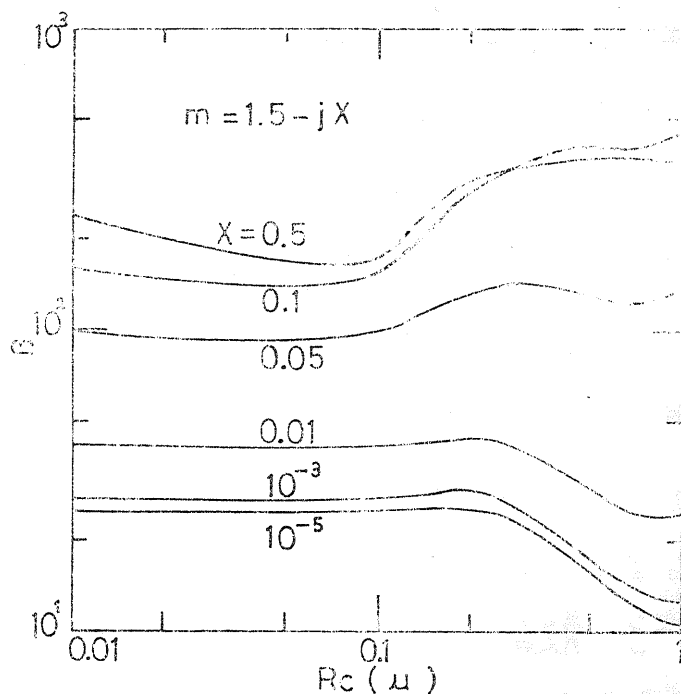


Fig. 4 種々の屈折率に対する R_c - B 特性

次に、粒子間の合体により、分布が粒径の大きい方に移動した場合を考える。この場合は、粒子の屈折率及び空間量は変化しないと考えられる。(4)式に於いて R_c を変化させた場合の結果を Fig. 4 に示す。Fig. 4 より虚数部が 10^{-2} より小さい場合には、 R_c が 0.2μ より大きくなるにつれて散乱パラメータが小さくなることがわかる。 R_c が大きくなることは、視程が良くなることに対応しているので、これは Fig. 2 の傾向と一致している。しかし、Fig. 2 に示されているような散乱パラメータの order 的な変化を期待することはできない。一方、Fig. 4 より屈折率の違いは散乱パラメータに大きな変化を与え、虚数部が小さくなるにつれて散乱パラメータが小さくなることがわかる。

4. おすび

実測されている視程と後方散乱強度の関係より、視程と散乱パラメータの関係を求めた。それについて種々の場合について考察した結果、視程が良くなるにつれて、屈折率の虚数部が小さくなることがわかった。

参考文献

- (1) Curcio; J. O. S. A., 48, p686, 1958
- (2) Bortolotti; Appl. Opt., 8, p117, 1969
- (3) Fenn; Appl. Opt., 5, p293, 1966

- (4) Twomey; Appl. Opt., 4, p501, 1965

- (5) 吉川; 応電研報告(北大), 27, 3-4, 1975

- (6) Simpson; Q. J. Roy. Met. Soc., 67, p163, 1941