

レーザービームによる大気屈折率の係数の決定

Determination of coefficients in the refractive index of the atmosphere by the laser beam

横井 武長

Takehisa Yokoi

米子工業高等専門学校

Yonago National College of Technology

SYNOPSIS : The refractive index of the atmosphere n is expressed as $n - 1 = (Ap/T)(1+Tp) \times 10^{-6}$, where p , T and e denote the atmospheric pressure, the air temperature and the water vapor pressure further A and B are coefficients. The values of these coefficients were examined by measurements of laser-beam deflection at the height of 0.05 m from the ground surface and of both distributions of the air temperature and the vapor pressure. As the results, the coefficients obtained by the experiment have become larger than the ones shown by Johnson(1954).

大気屈折率は,

$$n - 1 = \frac{Ap}{T} \left(1 + \frac{Be}{Tp} \right) \times 10^{-6} \quad (1)$$

と表される. ここに n : 屈折率, T : 温度 (K), p : 気圧 (mb), e : 水蒸気圧 (mb) A と B は係数であり, 波長 $0.6328 \mu\text{m}$ の He-Ne ガスレーザーの光に対し,

$$A = 78.6 \text{ (K mb}^{-1}\text{)}, \quad B/T = -0.120, \quad (2)$$

である. 可視光に対し B/T の変化は小さく一定と見なされる. (1) を高さ z で微分し, 静力学方程式と状態式とを用いて

$$\frac{dn}{dz} = -\frac{Ap}{T^2 \times 10^6} \left\{ \frac{g}{R} - \frac{B}{p} \frac{de}{dz} + \left(1 + \frac{2Be}{Tp} \right) \frac{dT}{dz} \right\}, \quad (3)$$

を得る. ここに dn/dz , de/dz および dT/dz はそれぞれ屈折率, 水蒸気圧および温度の鉛直勾配, g : 重力加速度, R : 気体定数である (Johnson, 1954). 次に光路を円弧に近似し光源 (レーザー) とターゲット間の距離を S とすると幾何学的関係から

$$\Delta z = -\frac{ApS^2}{2T^2 \times 10^6} \left\{ \frac{g}{R} - \frac{B}{p} \frac{de}{dz} + \left(1 + \frac{2Be}{Tp} \right) \frac{dT}{dz} \right\}, \quad (4)$$

を得る. ここに $\Delta z = z_T - (z_T)_0$, z_T はターゲット上のビームスポットの地表からの高さ, $(z_T)_0$

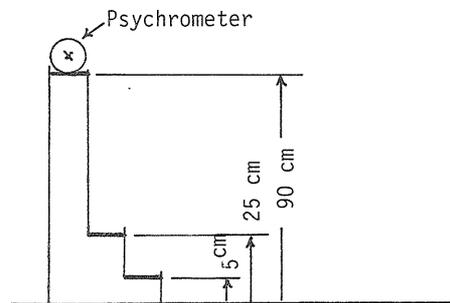


Fig. 1. Apparatus for measuring the air temperature by Assmann psychrometer

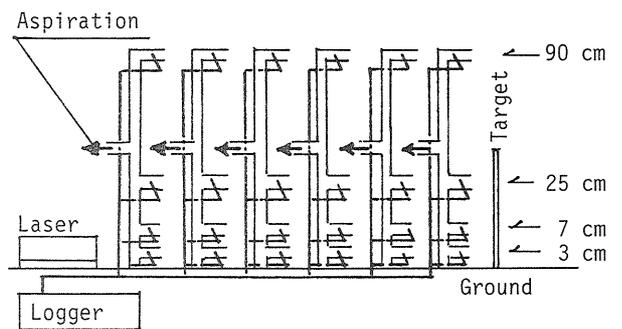


Fig. 2. The apparatus for measuring the air temperature by thermoelectric thermometer

$(z_T)_0$ は等密度大気中における z_T の値である. (4) よりビームスポット位置と同時に気温と水蒸気の分布などを測れば係数 A , B を決定できる.

A, Bを決定するための実験を200m×40mのアスファルト道路で行い, Johnsonによる値と比較することにした. 光源には5 mWのHe-Neガスレーザーを用い, 光源から25mの距離にターゲットを置いた. レーザービームは地表から3~5cmの高さをほぼ水平に傳播させ, ターゲット上のスポット位置の測定には, テレビ計測装置を用いた. また銅-コンスタンタン使用の熱電温度計, アースマン通風乾湿計などを用いて温度と水蒸気の分布の同時測定を行った. アースマン乾湿計による測定は, 図1のように高さが3段の台を用いて光路中央で行い, 熱電温度計の場合は図2に示すような4段の吸引筒からなる6本のポールを用いて行い, 気温と水蒸気の分布は水平一様であるとの仮定により測定値は高さごとに時間平均を行って代表値とした. その他, 放射温度計による地表面温度, 平均風速および日射の測定を行った. 観測の1 Runの時間は10分間で, 観測データは10分ごとに平均した. 気温と水蒸気の鉛直分布は対数分布,

$$\left. \begin{aligned} T &= E + F \ln z \\ e &= H + I \ln z \end{aligned} \right\} \quad (5)$$

を仮定する. ここにE, F, HおよびIは定数で一定の高さzにおける温度の測定より決定できる. (5)より温度および水蒸気の勾配は,

$$\frac{dT}{dz} = \frac{F}{z}, \quad \frac{de}{dz} = \frac{I}{z} \quad (6)$$

として得られる. zは平均ビーム高である.

実験は1985年9月, 1986年7月, 11月, 1987年8月, 9月, 11月にそれぞれ1回ずつ行った.

1987年8月と11月の観測結果を図3に示す. 横軸はレーザービームのスポット高 z_T の観測値, 縦軸は(4)の右辺の値を Δz_c とおいたもので, 測定値と(2)の定数により得られる. 図中の実線は回帰直線で破線はビームによる観測値で, 縦軸が $\Delta z = z_T - (z_T)_0$ の場合を示している. ここに $(z_T)_0$ は図中の回帰直線

と横軸との交点で, 縦軸(Δz)の値が0となるとき z_T , 即ちビームが直進した場合のスポット高である. 次に(4)を変形して, 観測データを用い最小自乗法により係数A, Bを決定する. 結果は次のようになった.

Table 1. Determined coefficients by the observation

Date	A	B
8/11-12	168	-85
11/8	129	-93

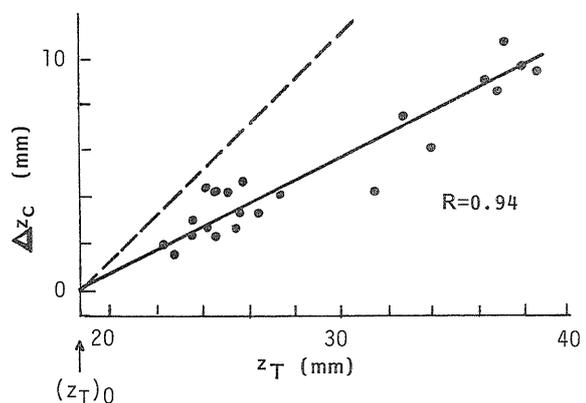


Fig. 3 (a) Observational results, Aug. 11 ~ 12, 1987. $(z_T)_0 = 0.0179$ m.

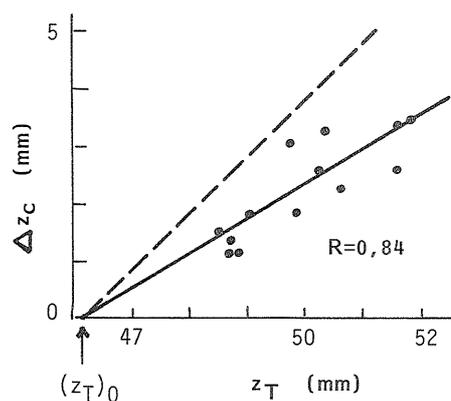


Fig. 3 (b) Observational result, Nov. 8, 1987. $(z_T)_0 = 0.0463$ m.

* 温度および湿度