

人の存在による観測結果への影響について

株式会社フォトンプローブ

人が近くにいると、観測結果に影響を与えます。
室内なので、風はほとんど動きません。自然対流とか、人が動いたことによる風の流れとか、発熱体(人体)による流れとか、その程度の熱および風の流れを簡単に検討します。
風の流れは重要な因子であることは明白だったので、弊社内での測定では、被測定物を覆い、全体を簡素ではあるが小さな小屋の中に設置して、測定してきました。
だから、“風の流れは止まった、温度変動もある程度防いだ”、と判断していました。
しかし、ユーザの相談より、改めて、“風はどの程度問題なのだろうか”、と疑問に持ちました。
そこで、検討してみます。

最も大きそうな、発熱体(人体)による熱および風の流れを検討します。
この場合、発熱体の作る風と、発熱体の作る熱の、2種を考えなければなりません。
そこで、風の場合は、熱の分布がない。熱の場合は、風がないとして検討します。

< a > 熱の場合

発熱体温度を T_1 、それ以外の空気温度を T_2 とする。
実際の気体では計算が困難なので、理想気体とする。
発熱体に触れた空気が断熱膨張したすると、熱力学の教科書に示されているとおり

$$T \cdot V^{\gamma-1} = \text{const}$$

が成り立つ。ここで、 T は温度、 V は体積。

また、 γ は等積比熱 C_v と等圧比熱 C_p の比、 $\gamma = C_p / C_v$ で与えられる。
従って、

$$T_1 \cdot V_1^{\gamma-1} = T_2 \cdot V_2^{\gamma-1}$$

$$V_2 / V_1 = (T_1 / T_2)^{1/(\gamma-1)}$$

自然の流れでは、 T_1 の温度を有する空気は T_2 温度に向け熱を放散して、その温度が減衰するが、ここでは、計算を簡単にするため、空気は T_1 の温度のまま動くとする。
体積が V_2 から V_1 に変化するから、空気の密度も変化する。

$$(\text{触れた後}) = (\text{触れる前}) \cdot V_2 / V_1 = (\text{触れる前}) \cdot (T_1 / T_2)^{1/(\gamma-1)}$$

光測定で、空気の中を直進して被測定物に照射されるから、どの程度、空気の中を直進するかで影響が異なる。

光が長さ L [m]空気中を進んで測定したとする。

空気の屈折率は、エドリンの式を用いると、温度と圧力により変化する。

圧力 P は、密度と温度の積に比例するので、

$$P(\text{触れた後}) / P(\text{触れる前}) = (\text{触れた後}) / (\text{触れる前}) \cdot T_1 / T_2$$

$$\text{上式} = (T_1 / T_2)^{1/(\gamma-1)}$$

$$P(\text{触れた後}) = (T_1 / T_2)^{1/(\gamma-1)} \cdot P(\text{触れる前})$$

エドリンの式に代入すると

$$(n-1)t_a, p_a = (n-1)t_s \cdot 0.00138823 \cdot (T_1 / T_2)^{1/(\gamma-1)} \cdot P(\text{触れる前}) / (1 + 0.003671 \cdot T_1)$$

となる。ここで添え字 t_a および p_a は、触れた後の温度、圧力を表す。

すると、測定誤差は

$$= L \cdot \{(n)t_a, p_a - (n)t_b, p_b\}$$

なので、(添え字 t_b および p_b は触れる前の温度、圧力をあらわす)

$$= L \cdot (n-1)t_s \cdot P(\text{触れる前})$$

$$\cdot \{(T_1 / T_2)^{1/(\gamma-1)} / (1 + \gamma T_1) - 1 / (1 + \gamma T_2)\}$$

$$\text{ここで} \quad = 0.00138823$$

$$= 0.003671 \quad \text{です。}$$

空気の場合

$$(n)_{st} = 1.0002765$$

$$= 1.4 \quad (\text{空気が2原子分子}(N_2\text{や}O_2)\text{のみとして})$$

条件として

$$P(\text{触れる前}) = 760 \quad [\text{Torr}]$$

$$T_2 = 15 \quad [\quad]$$

$$T_1 = 36 \quad [\quad] \quad \text{人の体温}$$

を用いると

$$= L * 5.244001 \times 10^{-3}$$

人の指幅が約1cmなので、その値を使うと

$$(\text{人の指幅}) = 5.2 \times 10^{-5} [\text{m}] = 52 [\mu\text{m}]$$

となる。

ちなみに、上式で、 $T_1 = 18$ 、としてみます。測定したことはありませんが、3度程度の変動があるのではないかと推測だけです。すると

$$= L * 2.4158 \times 10^{-4}$$

$$(\text{人の指幅}) = 2.4 \times 10^{-6} [\text{m}] = 2.4 [\mu\text{m}]$$

実際には、体温の熱のまま空気が熱せられるわけでもなく、その熱が保持されるわけでもなく、断熱変化するわけでもない。

従って、上記値は、理想的条件が組み込まれすぎているが、ひとつの目安として扱える。

1/100に効果が減少したとして、24nmの変動になる。

この値は、"人体の接近は十分注意しなければいけない"、ことを表しています。

< b > 風の場合

ベルヌイの定理が成り立つとして展開する。

ただ、ここで用いるベルヌイの定理は、"粘性のない圧縮されない流体"を前提としている。

従って、実際の空気では誤差を生む。しかしながら、非常にゆっくりした流れであれば粘性および圧縮性、いずれも十分その寄与は小さいと判断してもよかるう。

< a > で用いた断熱の式をここでも使う。ただし、圧力を用いた式では

$$P * V^\gamma = \text{const}$$

と表される。ここで、Pは圧力である。

これを用いると

$$(\text{触れた後}) = (\text{触れる前}) * V_2 / V_1 = (\text{触れる前}) * (P_1 / P_2)^{1/\gamma} \text{ (1)式}$$

となる。

ベルヌイの定理を用いる

風が水平方向に吹く場合と仮定する。

触れた前後で、z値は変わらないので、

$$q^2 / 2 + P_2 / \rho = q^2 / 2 + P_1 / \rho \quad (\text{触れる前})$$

(1)式を代入して

$$P_2^\gamma = P_1^\gamma * \{1 - q^2 / 2 * (\text{触れる前}) / P_1\} = 1 + 1 / \gamma$$

となる。

空気の場合

$$= 1.714$$

$$(\text{通常}) = 1.293 \quad [\text{kg} / \text{m}^3]$$

$$P_1 = 1.01325 \times 10^5 \quad [\text{Pa}]$$

空気の流れを

$$q = 0.1 \quad [\text{m} / \text{s}]$$

とする。

計算の結果

$$P_2 (q = 0.1 \text{の場合}) = P_1 - 0.002256 \quad \text{差をTorr表現すると} \quad 1.69 \times 10^{-5}$$

圧力変動は

$$(P_2 - P_1) / P_1 = -2.226 \times 10^{-8}$$

エドリンの式で、屈折率もこの圧力差で変化するので、

光路長の変動量 ΔL は(微小量として)

$$\Delta L = L \cdot \Delta n = L \cdot 1.69 \times 10^{-5} / 760 = 2.223 \times 10^{-8} \cdot L$$

非常に小さいように見えるが、 $L = 10 \text{ cm}$ 、の場合

$$\Delta L = 2.22 \times 10^{-9} [\text{m}] = 2.22 [\text{nm}]$$

になる。

< a > の場合と同様に、実際の空気が断熱変化するわけではないので、理想値計算となっているが、目安に代わりがない。

10 cm / s 程度のそよ風(空調の働いている部屋ではこの値以上であろう)でも、レーザー光が伝播する距離が 10 cm の短距離でも問題になることが知れる。

結論として、"風が完全に死んだ状態で測定することが必要である"、と言える。

参考

- A エドリンの式 空気の屈折率の温度、圧力依存性の式
- $$(n - 1)_{t, p} = (n - 1)_{st} \cdot 0.00138823 \cdot p / (1 + 0.003671 \cdot t)$$
- (n) _{t, p}; 温度 t、圧力 p での空気の屈折率
(n) _{st}; 標準状態での空気の屈折率
p; 圧力 単位 [Torr]
t; 温度 単位 []

- B ベルヌイの定理 非圧縮流体の場合
- $$q^2 / 2 + P / \rho + gz = \text{const}$$
- q; 流速 z; 重力方向の位置
p; 圧力 g; 重力加速度
ρ; 密度

ご意見は下記にまでお願いします

株式会社フォンプローブ

東京都日野市東平山 1 - 6 - 2 (〒191 - 0054)

代表取締役 理博 平野雅夫

開発室は

埼玉県大里郡寄居町大字金尾 582 (〒369 - 1236)

最寄り駅; 秩父鉄道 波久礼駅