

気温測定用通風筒の温度特性と問題点

佐藤研吾、高橋修平、亀田貴雄（北見工大）

1.はじめに

無電源地域における無人気象観測において使用される自然通風筒は、風が弱いとき日射によって通風筒が温度上昇し測定値が高くなってしまう難点がある。南極の無人気象観測においても、風速 1~2 (m/s) 以下では夏期に昇温することが観測されている。これまで通風筒自体の研究は少ないが M.Arck and D.scherer (2001) も日射による測定気温上昇について指摘している。この難点の解消のためにソーラーバッテリー型通風筒の試験を行った。また白と黒に塗った自然通風筒を用意し、その温度差から正しい気温を求める方法を試みた。

2.実験方法

2002年1月~3月に北見工大グラウンドにおいて強制通風筒、ソーラーバッテリー型通風筒、自然通風筒を7個並べた。データロガーはKADEC-U (白金センサー) と、「温度とり Jr」(TR-52) (サーミスター) を使用し、10分毎にデータを収集した。

3.ソーラーバッテリー型通風筒試験

次の2種類のソーラーバッテリー型通風筒を用いて気温観測し強制通風筒気温と比較をした。(図1、図2)

I : クリマテック CPR-075B(ソーラーパネル上付き)

II : クリマテック (ソーラーパネル斜め型)

図3にI型ソーラー、図4にII型ソーラーの気温の、強制通風筒との偏差を示す。I型では日中に日射の影響による気温上昇がみられる通風による効果は完全ではない。II型は気温偏差の多少のばらつきがみられるが、日射による影響は見られない。

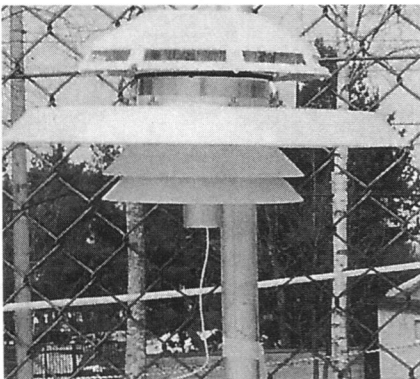


図1 I型ソーラーバッテリー通風筒

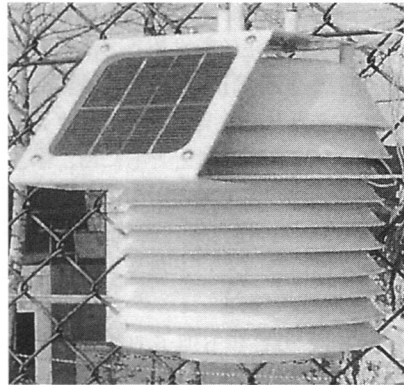


図2 II型ソーラーバッテリー通風筒

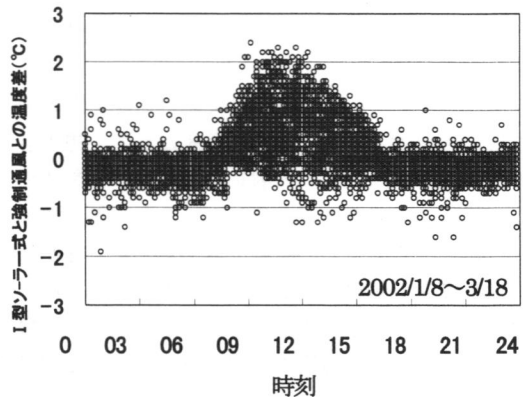


図3 I型ソーラー通風筒気温の各時刻の偏差

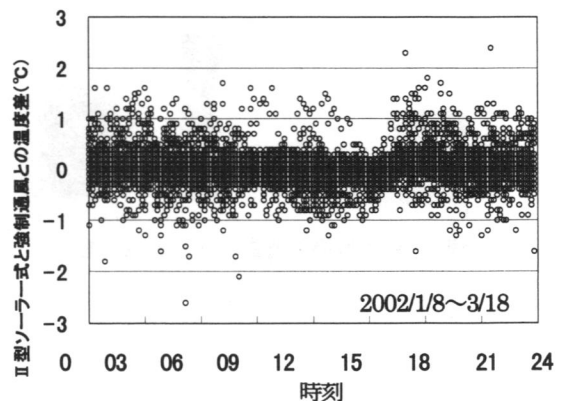


図4 II型ソーラー気温通風筒の各時刻の偏差

4. 白黒通風筒による気温補正の試み

南極においてソーラーバッテリー型通風筒は試験的に用いられているが、 -50°C 以下のモーターの動作に問題がある。そこで日射による測定温度上昇分を求めるために白と黒の自然通風筒による補正値を求める方法を試みた。

a) 白黒通風筒による気温観測

2002年3月に北見工業大グラウンドにソーラーバッテリー式2個とともに白、黒、およびステンレス地の3種類の円筒型自然通風筒と傘型通風筒(5枚の遮光板)、強制通風筒を設置した。

図5は白色(左)と黒色(右)の通風筒と温度計の写真である。

図6は2002年6月6日の各種通風筒気温と強制通風筒気温の差を示す。日射による気温上昇分は傘型(1°C 前後)、白($2\sim 3^{\circ}\text{C}$)、ステンレス地($4\sim 9^{\circ}\text{C}$)、黒($4\sim 10^{\circ}\text{C}$)の順に大きい値を示した。

2002年3月8日～18日における黒と白の通風筒の温度上昇分を図7、図8に示す。黒の自然通風筒は日中に日射の影響を強く受けて 10°C 以上の温度上昇を示した。白の自然通風筒は最大 5°C くらいの温度上昇であった。2個の通風筒とも気温通風筒としての性能はよくないが、日射による影響を知ることができ、本実験では白と黒の通風筒の温度差を用いて温度補正を試みる。

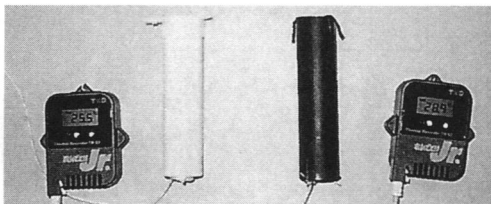


図5 円筒型通風筒白(左)と黒(右)

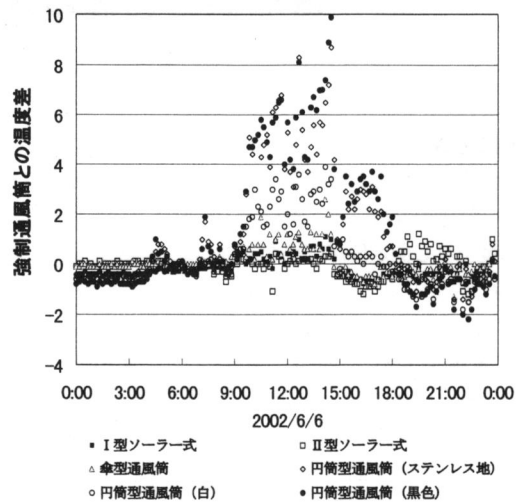


図6 通風筒の時間別温度差(2002/6/6)

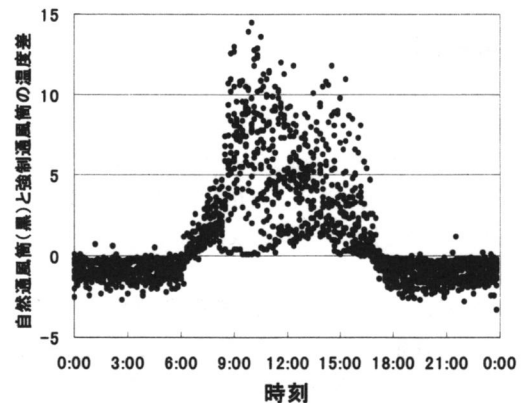


図7 円筒型通風筒(黒色)の時間別温度差

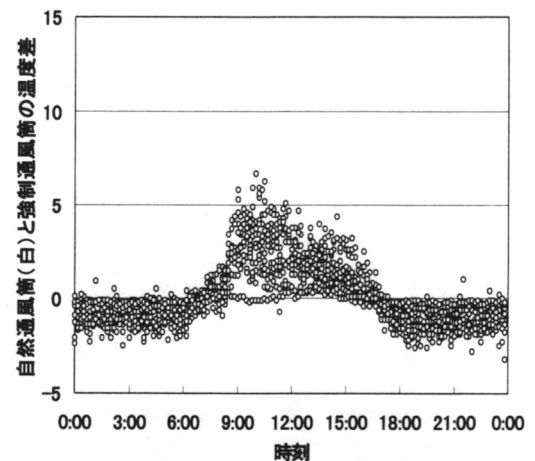


図8 円筒型通風筒(白色)の時間別温度差

b) 熱収支的考察

通風筒昇温の熱収支的考察を行う。通風筒の側面における放射熱を Q_R 、顕熱を Q_A 、上下から外に流れる熱量を Q'_A とすると、

$$Q_R + Q_A - Q'_A = 0 \quad (1)$$

ここで放射熱 Q_R は

$$Q_R = C(1-a)I + Q_{RL\downarrow} - Q_{RL\uparrow} \\ = (1-a)I + Q_{RL\downarrow} - \varepsilon\sigma T_s^4 \quad (2)$$

C : 通風筒において日射を受ける面積比、

I : 日射量、 ε : 放射率、 a : アルベド、

σ : ステファンボルツマン係数、

$Q_{RL\uparrow}$: 上向長波放射、 $Q_{RL\downarrow}$: 下向長波放射

$$\text{顕熱 } Q_A \text{ は } Q_A = \alpha V(T_0 - T_s) \quad (3)$$

α : 熱交換係数、 V : 風速、

T_0 : 外気温度、 T_s : 通風筒の表面温度、

これらより

$$C(1-a)I + CQ_{RL\downarrow} - S\varepsilon\sigma T_s^4 \\ - S\alpha V(T_0 - T_s) - Q'_A = 0 \quad (4)$$

$$\therefore \Delta T = T_s - T_0$$

$$= \frac{(1-a)I + Q_{RL\downarrow} - \varepsilon\sigma T_0^4 - Q'_A}{4\varepsilon\sigma T^3 + \alpha V} \quad (5)$$

アルベド $a=1$ の時、日射の影響がなくなって、 $\Delta T=0$ とすると (5) 式の分子の第 2 項以降は 0 と考えられ、 $T_s - T_0 = 0$ となり、

$$\Delta T = T_s - T_0 = \frac{(1-a)I}{4\varepsilon\sigma T^3 + \alpha V} \quad (6)$$

この式において日射 I に比例、 $(1-a)$ に比例、風速 V が大きくなると小さくなる。

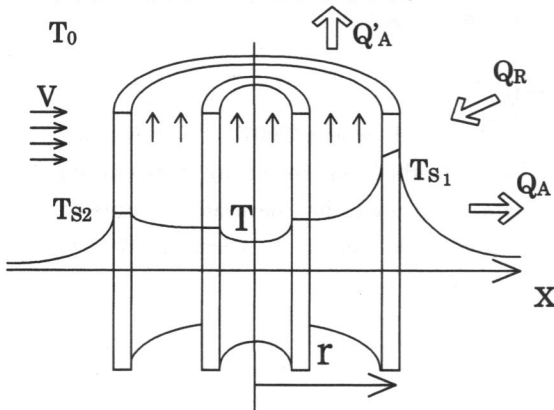


図9 通風筒の熱収支概要

通風筒内の温度を T とすると、その温度上昇 $\Delta T (= T - T_0)$ は、表面温度 T_s の上昇分 $\Delta T_s (= T_s - T_0)$ に比例すると考え、比例係数を k として、 $\Delta T = k \Delta T_s$ ($k < 1$) (7)

c) 自然通風筒気温による補正

今、白黒の二つの通風筒について考える。

白および黒の通風筒のアルベドをそれぞれ a_1 、 a_2 、通風筒内温度が T_{m1} 、 T_{m2} とする。外気温度 T_0 のとき、(6)式において $a=a_1$ のとき $\Delta T_1 = T_1 - T_0$ 、 $a=a_2$ のとき $\Delta T_2 = T_2 - T_0$

これらより

$$\Delta T_1 = k(T_{s1} - T_0) = \frac{kC(1-a_1)I}{4\varepsilon\sigma T^3 + \alpha V}$$

$$\Delta T_2 = k(T_{s2} - T_0) = \frac{kC(1-a_2)I}{4\varepsilon\sigma T^3 + \alpha V}$$

$$\Delta T_2 - \Delta T_1 = T_2 - T_1 = k(T_{s2} - T_{s1}) \\ = \frac{kC(a_1 - a_2)I}{4\varepsilon\sigma T^3 + \alpha V} \quad (8)$$

(8)式は ΔT の差がアルベド差に依存することを示す。そこで図 10 に示すように、アルベドと ΔT の関係から、自然通風筒の白と黒の温度差 $T_1 - T_2$ より白の通風筒の補正值 ΔT_1 を次式の外挿で求めることができる。

$$\Delta T_1 = \frac{(T_2 - T_1)(1-a_1)}{a_1 - a_2} \quad (9)$$

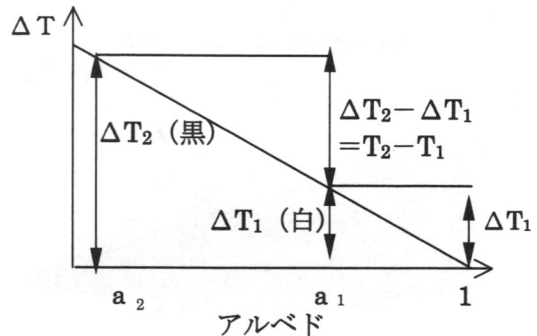


図10 温度補正值を求める概略

$$\Delta T_1 = T_1 - T_0, \Delta T_2 = T_2 - T_0$$

T_1, T_2 : 白および黒の通風筒内温度、

T_0 : 外気温

a_1, a_2 : 白および黒の自然通風筒のアルベド

図 11 は 2002 年 3 月 7 日～18 日における 2 つ温度差 ΔT_1 と ΔT_2 とアルベドの関係である。同一時刻の ΔT_1 、 ΔT_2 および $a=1$ で $\Delta T_2=0$ の点を結んである。平板に塗料を塗ってアルベドを測定したところ、黒はほぼ 0 であり、白は材質によって 0.6～0.9 の値を示したが、ここでは 0.65 前後とし上端からの吸収を考慮し、太陽高度に多少依存するとした。

図 12 に(9)式を用いて測定された ΔT_1 から(9)式により求めた ΔT_1 を差し引いた結果を示す。本来これが 0 に近づけばよい。白通風筒気温 T_1 を補正した結果を示す。黒丸が補正前で白丸が補正後である。円筒型通風筒(白)は補正前に最大 6℃の温度上昇がみられたが、補正後は最大 2℃の温度上昇になった。温度上昇は抑えられたが、多少日射の影響が見られ、アルベド値変更など、さらに精度を高めるための改善が必要である。

図 12 において夜間は通常 ΔT は 0～2℃の負の値を示した。これは通風筒の放射冷却による効果が考えられ、白通風筒でも黒通風筒でもほぼ同じ値を示すため、(9)式による補正後もほとんど変化がなかった。この放射冷却効果を補正するためには、長波長における放射率の違う材質の通風筒を用意すればよいはずである。

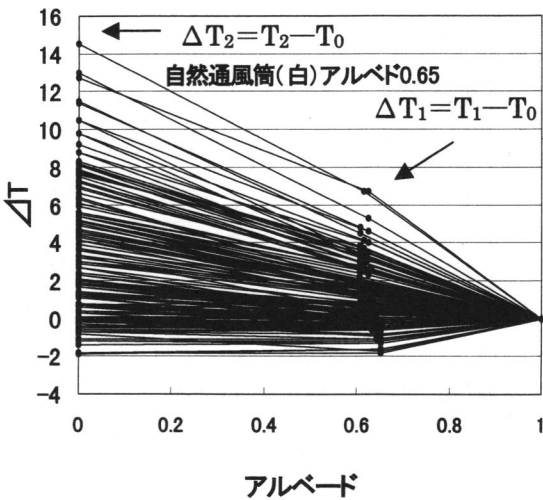


図 11 実測値を用いた補正
(2002//3/7～3/18)

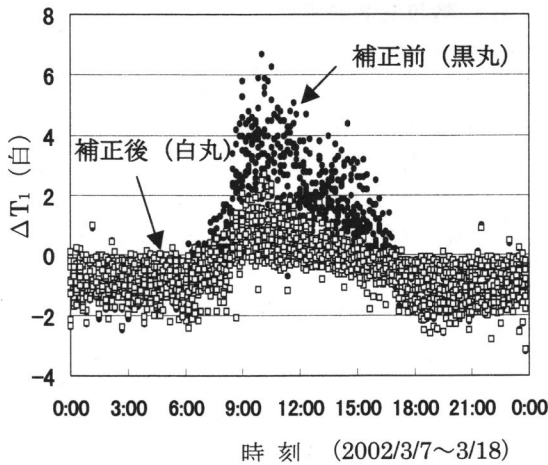


図 12 補正前後の温度上昇

5. まとめ

- ・ソーラーバッテリー型通風筒は機種によっては日射の影響を受けない良好な性能を示す。
- ・日射による測定気温上昇の対策として、白、黒の自然通風筒のアルベド差と温度差により気温補正が可能である。ただしアルベドの違いによる熱収支考察による補正では気温補正が不十分な点があり、さらなる検討が必要である。
- ・今後の課題として、夜間放射冷却による測定気温低下の対策としては、長波放射率の異なる自然通風筒を用いた気温測定による気温補正ができる可能性がある。

文献

M.Arck and D.Scherer(2001): A Physically based method for correcting temperature date measured by naturally ventilated sensors over snow. J. Glacial., 47(159), 665-670.