湿黒球寒暖計に関する補見

Complemental Observation on the Wet Globe Thermometer

大阪大学医学部衛生学教室 (主任 梶原三郎教授)

砂 田 毅

Tsuyoshi Sunada

Department of Hygiene, Medical School, Osaka University

(Director: Prof. S. Kajiwara)

序 言

高温環境における温度条件の総合表示法として梶原は夙に湿黒球寒暖計を提案されていたが¹⁾、その物理的特性に関する知見を欠いていた。今回の実験はこの欠点を充たすことを目的としたものである。

理論よりみた実験式

I. 湯球の理論

湿球に関する理論としては August が初めて理論式を作つたが、これには風速の影響が考慮されていなかった。その後、Grossmann, Regnault, Taylor, Birkland, Watson, Pertner, Edelmann, Davis²⁾等が風速の影響を考えに入れて理論及び実験を進めた。

結局現在のところ、次式が一般に承認されている。即ち、

$$e = e_m - \frac{HC_p}{L\sigma}(\theta - \theta')f_{(v)} \dots \dots \dots (1)$$

ただし

e : pressure of aqueous vapor in the air (mm Hg)

e_m : maximum pressure of aqueous vapor at a temperature θ' (mm Hg)

θ : air temperature ($^{\circ}\text{C}$)

θ' : temperature of the wet bulb ($^{\circ}\text{C}$)

H : whole pressure of the air (mm Hg)

L : latent heat of water at θ' (cal/gr)

σ : specific gravity of aqueous vapor compared with air

C_p : specific heat of air at constant pressure (cal/gr $^{\circ}\text{C}$)

v : velocity of air stream (ft/min)

とする。

いま我々が取扱っている湿黒球寒暖計は黒球寒暖計の表面に水を含ませて置いたものである。相似の観点からして黒球寒暖計を乾球、湿黒球寒暖計を湿球とみなし、前者の示度を θ_{dg} 、後者の示度を θ_{wg} とすると、(1) の θ, θ' にこれらを代入して、

$$e = e_{m:g} - \frac{HC_p}{L\sigma}(\theta_{dg} - \theta_{wg})f_{(v)} \dots \dots \dots (2)$$

ただし

$e_{m:g}$: maximum pressure of aqueous vapor at a temperature of the wet globe thermometer θ_{wg}

(2) 式を変形して

$$\frac{(e_{m:g} - e)L}{(\theta_{dg} - \theta_{wg})H} = \frac{C_p}{\sigma}f_{(v)} \dots \dots \dots (3)$$

さて C_p, σ の値は我々の計器の使用範囲からすれば常数と考えてよい。 L の値は正しくは

$$L = 606.5 - 0.695\theta_{wg}$$

であるが、通風乾湿球湿度計においては (1) 式より

$$e = e_m - \left\{ \frac{C_p}{\sigma}f_{(v)} \right\} H(\theta - \theta') \frac{1}{L} \text{ と変形し}$$

$$L \approx 610 - \theta' \text{ として } L = 610 \left(1 - \frac{\theta'}{610} \right) \text{ なる故}$$

$$e = e_m - \left\{ \frac{C_p}{\sigma}f_{(v)} \right\} H(\theta - \theta') \frac{1}{610 \left(1 - \frac{\theta'}{610} \right)}$$

そこで $\frac{C_p}{610\sigma}f_{(v)} \equiv A$ とおけば

$$e = e_m - AH(\theta - \theta') \left(1 + \frac{\theta'}{610} \right)$$

として L を取扱っている。我々もこれにならつて L の値を $L = 610 - \theta_{wg}$ とすることにすると (3) 式は

$$\frac{(e_{m:g} - e)(610 - \theta_{wg})}{(\theta_{dg} - \theta_{wg})H} = F_{(v)} \dots \dots \dots (4)$$

となる。左辺の値は実験により間接測定されるから v の値を種々変えることにより (4) 式の函数形は実験により

定まる。

なお実験式は簡単なものがより望ましいから (4) 式における L, H の値も常数とみなせば、

$$\frac{e_{mg}-e}{\theta_{dg}-\theta_{wg}}=\phi(\psi) \cdots \cdots (5)$$

となるから、実験により (4) 及び (5) 式を決定して行く。

II. 予備実験 (θ_{wg} の計り方)

乾湿球湿度計より dimension が大きく、その上に、高温環境で本計器を用いる機会が多いことから、普通の乾湿球湿度計の如く球に布 (ガーゼ) を付して下の水壺から毛細管現象を利用して、蒸発により失った水分を補う方法では湿球が乾き上つてしまう虞がある。そこで湿球の上から水を滴下または流下させる方法を取りたいが、そうすると前節の式は適用しがたくなる。(流下の方法に関する考察は後で述べる。) なんとすれば一定風速下において、気温より θ_{wg} が低い場合と高い場合とを考えてみるに、水を球に流下すると前者の場合は θ_{wg} より高い温度の水によって球が暖められるため実際の θ_{wg} よりも高い値を示す。反対に後者の場合は水により冷却されて実際の θ_{wg} よりも低い値を示す。その結果、一定風速下における (4) 及び (5) 式の左辺の値は両者の場合で異なつた値を示すことが容易に予測される。

この事実は次に示す実験結果によつて分明する。即ちいま黒球寒暖計にガーゼを一重に纏い、マリOTT壺からこの表面に蒸溜水を滴下させ毎分当りの供水量を一

Table 1. Incoincidence of Y-values in the cases of higher and lower value of θ_{wg} than θ

(Amount of supplying water is 16cc/min)

Amount of supplying water V(cc/min)	16	16	0*	0*
θ (°C)	26.0	25.5	25.1	25.1
θ' (°C)	21.3	19.3	20.2	20.1
θ_{dg} (°C)	54.0	30.5	37.0	35.3
θ_{wg} (°C)	31.2	22.5	25.6	24.9
e (mmHg)	16.646	13.689	15.303	15.144
e_{mg} (mmHg)	34.082	20.440	24.617	23.616
H (mmHg)	769	769	766	761
v (m/sec)	0.2	0.2	0.2	0.2
$Y = \frac{e_{mg}-e}{\theta_{dg}-\theta_{wg}}$ (mm/°C)	0.765	0.844	0.817	0.815

Note: * See explanation in the following sentence

定(16ml/min)にして、気温より高い θ_{wg} を示す環境と、気温より低い θ_{wg} の値を示す環境に置いて前記 (5) 式の左辺の値を求めてみた。結果を第 1 表に示す。

即ち一定風速下で $(e_{mg}-e)/(\theta_{dg}-\theta_{wg})$ の値は両者の場合一致していない。第 1 表の右 2 列は後述の方法で測つたもので、よく一致しているのを見る。

次に湿黒球に供給する水量の多少によつて $(e_{mg}-e)/(\theta_{dg}-\theta_{wg})$ の値がいかに変るかを第 2 表に示す。

Table 2. Variation of Y-value with amount of supplying water

(θ, θ' and θ_{dg} are constant)

Amount of supplying water V(cc/min)	0	5	16	67
θ (°C)	17.8	17.8	17.8	17.8
θ' (°C)	13.8	13.8	13.8	13.8
θ_{dg} (°C)	18.0	18.0	18.0	18.0
θ_{wg} (°C)	15.1	15.9	16.2	16.5
e (mmHg)	9.833	9.833	9.833	9.833
e_{mg} (mmHg)	12.870	13.547	13.809	14.076
H (mmHg)	766	766	766	766
v (m/sec)	0.05	0.05	0.05	0.05
$Y = \frac{e_{mg}-e}{\theta_{dg}-\theta_{wg}}$ (mm/°C)	1.05	1.77	2.21	2.83

上記第 1, 2 表で落下水量 0 とあるのは、水を滴下しないで、一度水で球を湿らしただけで放置したものである。第 2 表をみてわかるように θ_{wg} が気温より低い場合には供給水量を多くするほど湿球は水によつて暖められ、その示度が高くなっている。(供給水量がある限度を越えると遂に θ_{wg} は水温、即ち気温と一致することが予測される。) 換言すれば $V=0$ の時は湿つているが、 V が有限の時は濡れているわけである。我々がいま採用している前節の式では $V=0$ の時の θ_{wg} の値を求めなければならない。即ち「湿」黒球寒暖計であつて「濡」黒球寒暖計ではない所以である。

そこで実際問題として正しい θ_{wg} の値を求める方法が問題となる。気温 θ よりも θ_{wg} が低い場合には球を濡らして後、放置すれば θ_{wg} の値は徐々に降下し、下り切つたところで平衡状態に達するからその下り切つた時の値を読めばよい。ところが他方 θ_{wg} が気温 θ より高い値を示す場合には一度水を供給しても乾き上つてしまえば θ_{wg} は上昇してしまうし、濡らせば下り過ぎるから、示度を読取るに困難を感じることが予測される。だから平衡状態の下に示す真の θ_{wg} の値が読みうるかという疑問は

Fig. 1. θ_{wg} to the state of equilibrium in the case of θ_{wg} higher than θ

Note: $\theta_{wg}=32.9^{\circ}\text{C}$, $\theta_{dg}=63.8^{\circ}\text{C}$, $\theta=22.0^{\circ}\text{C}$
 $\theta'=17.5^{\circ}\text{C}$, $v=0.30\text{m/sec}$, $H=769\text{mmHg}$

Fig. 2. θ_{wg} to the state of equilibrium in the case of θ_{wg} lower than θ

Note: $\theta_{wg}=16.1^{\circ}\text{C}$, $\theta_{dg}=20.0^{\circ}\text{C}$, $\theta=19.4^{\circ}\text{C}$
 $\theta'=14.3^{\circ}\text{C}$, $v=0.05\text{m/sec}$, $H=766\text{mmHg}$

当然起る。そこで次にその平衡状態に達する過程を時間を追つてみてみよう。結果を第1図に示す。図でみられる如く実効輻射温度の高い場合は初めの一回の供水だけでは平衡状態に達する前に乾く虞があるから示度の下降が止み再び上昇して来た時更に水を噴霧器で供給する必要があることがわかる。一度平衡状態に達すると、水を供給すれば一旦示度は下るが再び乾かないのに平衡示度に戻ることも図より判明する。この図の条件では最初に平衡示度に到達するに25分を要し、確認に35分を要している。

平衡時間に関連して実効輻射温度の低い一例も参考のため第2図に挙げておく。この実験の環境条件下で最初に平衡示度に達するに約20分要し、確認には25分を要している。

以上のことを要約して結局 θ_{wg} の値の取り方としては気温より低い場合は水を布に万遍なく与えて後、降下して行くその最低値を取ればよい。また気温より高い場合には水を布にふくませて後、降下して行く状態を検し、湿りが手に触れて乾いたと感じられる際には、更に噴霧器で水を与えて持続状態に達した時の値を取ればよい。その平衡状態に達する時間は約25~30分前後である。

III. 実験方法

径55mm角、長さ4mの風洞を使用し、その中に黒球と湿黒球を並列に吊下する。風は送風機により起す。風速はヤグロ式加熱寒暖計風速計とカタ寒暖計を使用して測定。なお気温及び水蒸気圧はアスマン式乾湿球湿度計を時析湿黒球の直前に吊下して測定した。

実効輻射温度の高い領域は実験上の便宜と実用性を兼ねて高輻射体 (Heater) と送風機を併置しその方向性を考えて十字交錯する位置に球を設置して実験した。この場合の風速は専ら加熱寒暖計風速計により測定。なお水蒸気圧を変えるために水蒸気発生装置を使用した。

水蒸気圧測定にはアスマン式乾湿球湿度計を使用し、その算出には次式によつた^{3) 4)}。

$$e = e_m - 0.000656H(\theta - \theta') \left(1 + \frac{\theta'}{610}\right)$$

なお簡便式 (5) の e の算出には簡易性を考えて次式によつた。

$$e = e_m - 0.5(\theta - \theta')$$

気圧はフォルタン気圧計を用いて測定し、その読みの補正としては温度補正のみを行つた。

IV. 実験結果

結果を対数尺で図示すると第3図の如くなる。記載の便宜上事後

Fig. 3. Variation of y and Y with velocity of air stream in logarithmic scale

$\frac{(e_{mg}-e)L}{(\theta_{dg}-\theta_{wg})H}$ を y , $\frac{e_{mg}-e}{\theta_{dg}-\theta_{wg}}$ を Y と記す。

V. 実験式作製

第3図の曲線からして $y, Y = av^b + r$ なる形が予測される。最小二乗法により data を処理して、

$$\left. \begin{aligned} y &= 0.035 + 0.446v^{-0.185} \\ L, H \text{ を常数とみなした式は} \\ Y &= -0.037 + 0.653v^{-0.171} \end{aligned} \right\} \dots (6)$$

しかるに Bedford によれば⁵⁾

$$\theta_s = \theta_{dg} + 0.169\sqrt{v}(\theta_{dg} - \theta)$$

ただし

θ_s : mean surrounding temperature ($^{\circ}\text{F}$)

θ : air temperature ($^{\circ}\text{F}$)

θ_{dg} : temperature of the dry globe thermometer ($^{\circ}\text{F}$)

v : velocity of air stream (ft/min)

$$\text{従つて } \theta_{dg} = \frac{\theta_s + 0.169v^{0.5}\theta}{1 + 0.169v^{0.5}}$$

温度単位を $^{\circ}\text{C}$ に、速さの単位を m/sec に換算すると

$$\theta_{dg} = \frac{\theta_s + 2.37v^{0.5}\theta}{1 + 2.37v^{0.5}}$$

この式を上記(6)式に代入して変形すると

$$\left. \begin{aligned} \theta_{wg} &= \frac{\theta_s + 2.37v^{0.5}\theta}{1 + 2.37v^{0.5}} - \frac{L(e_{mg}-e)}{H(0.035 + 0.446v^{-0.185})} \\ L, H \text{ を常数とみなした方は} \\ \theta_{wg} &= \frac{\theta_s + 2.37v^{0.5}\theta}{1 + 2.37v^{0.5}} + \frac{e_{mg}-e}{0.037 - 0.653v^{-0.171}} \end{aligned} \right\} (7)$$

ただし e_{mg} は θ_{wg} と函数関係にあり、Magnus の実験式によれば⁶⁾,

$$e_{mg} = 4.53 \times 10^{\frac{7.45\theta_{wg}}{235 + \theta_{wg}}} \dots (8)$$

即ち e_{mg} を parameter として上記(7)及び(8)式が湿黒球寒暖計の理論よりみた実験式となる。式中的変数から明らかなように θ_{wg} は気温 (θ), 気流 (v), 大気水蒸気圧 (e), 周囲輻射温度 (θ_s), 気圧 (H) の函数である。

湿黒球寒暖計の各変数に対する態度

各変数に対する態度をみるために(8)式を(7)式に代入して θ_{wg} に関する陰函数の各変数に対する偏微分を行つてみて行く。

I. 気温との関係

$\theta_{wg} \leq 100^{\circ}\text{C}$ とすると $\frac{\partial \theta_{wg}}{\partial \theta}$ は常に正となる。即ち

θ_{wg} は気温の高低に従つて上昇下降を示す。

II. 周囲輻射温度との関係

$\frac{\partial \theta_{wg}}{\partial \theta_s}$ は常に正となる。即ち θ_{wg} は周囲輻射温度の高低につれ高低する。

III. 気圧との関係

A. $e_{mg} - e > 0$ の時

$\frac{\partial \theta_{wg}}{\partial H} > 0$ 即ち大気が水蒸気で飽和されていない時は

θ_{wg} は気圧の高低に従つて高低する。

B. $e_{mg} - e = 0$ の時

$\frac{\partial \theta_{wg}}{\partial H} = 0$ 即ち大気が水蒸気で飽和せる時は θ_{wg} は気

圧の変化に関係しない。

IV. 風速との関係

A. $\theta_s > \theta$ の時

$\frac{\partial \theta_{wg}}{\partial v} < 0$ 即ち周囲輻射温度が気温より高い場合は θ_{wg}

は風速の増加につれ低下する。

B. $\theta_s = \theta$ の時

1) $e_{m.g} - e > 0$ の時: $\frac{\partial \theta_{wg}}{\partial v} < 0$ 即ち大気が水蒸気不飽和で、かつ気温と周囲輻射温度が相等しい場合は θ_{wg} は風速の増加につれ低下する。

2) $e_{m.g} - e = 0$ の時: $\frac{\partial \theta_{wg}}{\partial v} = 0$ 即ち大気が水蒸気飽和し、かつ気温が周囲輻射温度と相等しい場合は θ_{wg} は風速に無関係である。

C. $\theta_s < \theta$ の時

1) $e_{m.g} - e > 0$ の時: $\frac{\partial \theta_{wg}}{\partial v} < 0$ 即ち気温が周囲輻射温度より高く、かつ大気が水蒸気不飽和の際は θ_{wg} は風速の変化と一義的な関係がなく他の項によりそれぞれ異なった態度を示す。

2) $e_{m.g} - e = 0$ の時: $\frac{\partial \theta_{wg}}{\partial v} > 0$ 即ち気温が周囲輻射温度より高く、かつ大気が水蒸気飽和の際は θ_{wg} は風速の増加につれ上昇する。

D. 黒球との比較

この θ_{wg} と風速との関係を黒球寒暖計の態度と比較してみよう。黒球は、

$$\theta_{dg} = \frac{\theta_s + 0.169v^{0.5}\theta}{1 + 0.169v^{0.5}} \quad \text{なる故}$$

$$\frac{\partial \theta_{dg}}{\partial v} = \frac{0.5 \times 0.169v^{-0.5}(\theta - \theta_s)}{(1 + 0.169v^{0.5})^2} \quad \text{となり}$$

1) $\theta_s > \theta$ の時は $\frac{\partial \theta_{dg}}{\partial v} < 0$ で、周囲輻射温度が気温より高い際は θ_{dg} は風速の増加につれ減少するから θ_{wg} の態度と同様である。

2) $\theta_s = \theta$ の時は $\frac{\partial \theta_{dg}}{\partial v} = 0$ で、周囲輻射温度が気温と等しい場合は θ_{dg} は風速の影響を受けない。これは wet globe の場合の湿度 100% の時と同様である。wet globe は湿度 100% 未満の時は風速に影響を受けることは前述の通りである。

3) $\theta_s < \theta$ の時は $\frac{\partial \theta_{dg}}{\partial v} > 0$ 、即ち周囲輻射温度が気温より低い場合は θ_{dg} は風速の増加につれ上昇する。これは wet globe では湿度 100% の時と同じ態度である。

即ち wet globe は気湿の factor が入っているため dry globe よりも複雑な態度を示すことがわかる。ただ両者の態度の一致は湿度 100% の時である。

V. 大気水蒸気圧との関係

$\frac{\partial \theta_{wg}}{\partial e} > 0$ なる故 θ_{wg} は大気水蒸気圧の高低に従って

高低する。

VI. 総括

今回の実験では風速の非常に大なる点での示度が得られなかったが前記 (7) 式から推測を許されるものとする。と $v \rightarrow 0$ から $v \rightarrow \infty$ にわたって風速値が小さいところでは θ_{wg} は輻射熱の影響を大いに受けているが、風速大なるに従って convection のため輻射熱の影響はもはや無視できる程度になる。その中間の風速値の場合には気温と輻射熱の種々の割合で前述の如く θ_{wg} は影響を受けていることは dry globe と同様である。

かくてこの湿黒球寒暖計は気温、気湿、風速、輻射熱（厳密な意味でいえば更に気圧）の温熱因子の函数計器であり、その熱収支の状態はこれら因子の我々生体及ばす影響と基本的には矛盾のない態度を示すことが立証された。

温感度と θ_{wg} の関係（等温指数との相関）

I. 相関係数及び相関比

T. Bedford は湿度 100%，無風，周囲が気温と同温度である時を基にしてその時と等温感覚を与える状態を Equivalent Warmth と称した⁷⁾。これは気温、気湿、気流及び輻射熱の 4 因子からなる一つの感覚的総合指数である。この指数といまの湿黒球寒暖計示度とはその本態からみれば明らかに完全な一致をみるものではないが、湿黒球寒暖計示度が我々の感覚的な温度とある程度一致しなければその実用意義は失われる。4 つの温度条件からなる感覚的温度と湿黒球寒暖計温度との相関はこの意味で見落してはならない問題である。

Bedford によれば⁷⁾

$$\begin{aligned} \text{Equivalent Warmth (E. W.)} \\ &= 9.979 A - 0.1495 A^2 - 2.89 \\ A &= 0.0556\theta + 0.0538\theta_s + 0.0372e \\ &\quad - 0.00144\sqrt{v}(100 - \theta) \\ \theta_s &= \theta_{dg} + 0.169\sqrt{v}(\theta_{dg} - \theta) \end{aligned}$$

ただし

θ : air temperature ($^{\circ}\text{F}$)

θ_s : mean surrounding temperature ($^{\circ}\text{F}$)

e : pressure of aqueous vapor in the air (mm Hg)

v : velocity of air stream (m/sec)

θ_{dg} : temperature of the dry globe thermometer ($^{\circ}\text{F}$)

実験により得た data を上式に代入して計算した E. W. の値を X_i で表わし、その場合の θ_{wg} の Y_i で記

号して相関表をつくり相関々係を計算すると、

標本相関係数 $r=0.837$

標本相関比 $\begin{cases} \eta_x=0.906 \\ \eta_r=0.873 \end{cases}$

となった。これらの値を検定すると、 t -分布により有意水準を0.05にとると母集団相関係数 $\rho=0$ の仮設は捨てられて r の有意性は確かである。信頼限界は信頼度を0.9にとると

$$0.837+0.078 > r > 0.837-0.079$$

となる。また相関比をみると F -分布により有意水準を0.05にとると η_x, η_r ともに有意性は確かである。

以上から θ_{wg} の値は Equivalent Warmth と極めて密接な相関々係があることが判明した。よつて湿黒球寒暖計は温度条件の4因子(気温, 気湿, 気流及び輻射熱)の総合表示器として我々の温度感覚の面からみても矛盾のない状態を示すものであると結論される。

考 察

1) 第1章に算出した実験式の他に次の式が仮定できる。熱収支状態から風速の微小な静穏な空気の下では、

$$\frac{D}{x} \cdot \frac{e_{wg}-e}{H} \sigma \rho L F t = a_c (\theta - \theta_{wg}) F t + p \mathcal{E} \left\{ \left(\frac{T_s}{100} \right)^4 - \left(\frac{T_{wg}}{100} \right)^4 \right\} F t \dots \dots \dots (9)$$

ただし

D : diffusivity of aqueous vapor in the air

x : imagined thickness of air layer in heat transfer

e_{wg} : maximum pressure of aqueous vapor at the temperature of the wet globe thermometer θ_{wg}

e : pressure of aqueous vapor in the air

H : whole pressure of the air

σ : specific gravity of aqueous vapor compared with air

ρ : density of air

L : latent heat of water

F : area of the wet globe

t : time elapse

a_c : coefficient of heat transfer by convection

θ : air temperature

θ_{wg} : temperature of the wet globe

p : emissivity of the wet globe surface

$\mathcal{E}$: Stefan-Boltzmann constant

T_s : mean surrounding temperature, deg. abs.

T_{wg} : temperature of the wet globe, deg. abs.

我々はこの式で $e, H, \theta_{wg}, \theta, e_{wg}, \rho, L, \sigma, \mathcal{E}, D$ の値は実験及び常数表から容易に求められ、また T_s は dry globe thermometer から風速 v の値を知れば容易に間接測定できる。結局 x, a_c, p が未知数である。 p はこの計器の常数であるから、もし x が常数であるならば a_c の値を求めることができるわけである。(a_c は温度及び風速による変数で殊に風速に対する変化が大きい。) しかるに C. Maxwell は湿球の面を一種の電気容量と考え、その容量を C とした⁹⁾。すると表面積は F なる故

$$C = \frac{F}{4\pi x}, \text{ また } C=r, F=4\pi r^2 \text{ なる故 (} r: \text{ radius}$$

of the wet globe) $r = \frac{4\pi r^2}{4\pi x}$ からして $x=r$ となる。

即ち熱の授受の行われると仮想した空気層の厚さは湿球の半径に等しいという奇妙な結論が出る。この考えを我々の湿黒球に持つて来て前式の x を r に等しいと置くと x も常数となる。黒度 p は、水で温度 $0 \sim 100^\circ\text{C}$ で $0.95 \sim 0.963$ (Hottel の測定による)、また ten Bosch によれば 60°C で 0.906 である⁹⁾。また繊維の p は $0.778 \sim 0.806$ であるから wet globe の p はこの両者の間の値をとることが予想される。そこで実験により得た data から上式を計算してみるに、一例を挙げると下記の如くなる。

$v=0.025$ m/sec の時、 $\theta=20.9^\circ\text{C}$, $\theta_{wg}=18.1^\circ\text{C}$, $\theta_{dg}=20.7^\circ\text{C}$, $H=757$ mmHg

これから

$$a_c (\theta - \theta_{wg}) = 2.8 a_c$$

$$p \mathcal{E} \left\{ \left(\frac{T_s}{100} \right)^4 - \left(\frac{T_{wg}}{100} \right)^4 \right\} = 0.000344 p$$

前式左辺項を計算するに

$$D = D_0 \left(\frac{T}{T_0} \right)^m \frac{p_0}{p} \quad {}^{10)}$$

ただし $p_0 = 1$ atm.

$$T_0 = 273 \text{ deg. abs.}$$

$$m = 1.75$$

$$D_0 = 0.220 \text{ cm}^2/\text{sec}$$

従つて T を θ_{wg} と θ の中間平均温度にとつて

$$D = 0.249 \text{ cm}^2/\text{sec}, x \approx 7.5 \text{ cm}, \sigma = 0.622,$$

$$\rho = 0.001201 \text{ gr/cm}^3, L = 592 \text{ cal/gr より}$$

$$\frac{D}{x} \cdot \frac{e_{wg}-e}{H} \sigma \rho L = 0.0000589$$

従つて前式は、

$$0.0000589 = 2.8 a_c + 0.000344 p$$

しかるに $p=0.8\sim 0.9$ と考えられるから上式が成立するならば $a_c < 0$ となる。これは矛盾するから結局前掲式がもし成立するならば、 $x=r$ と仮定したことが誤りであることに気付く。同様のことが他の data を基にしても考えられ、結局我々は前式が成立するならば $x=r$ なる仮説は捨てなければならない。思うに球の diameter が普通の乾湿球の如く小なる場合には $x=r$ の仮説が成立するだろうが、diameter が大きくなれば $x < r$ となるのではなからうか。

温度による a_c の変化は小さいとすれば、近い温度の静穏な風速下の data から最小二乗法により p, x の値を決定し、なお僅かな風速の違いでは x の値に変化ないものとすれば、 a_c を変数と考えて上式から実験式が定められるわけである。

$$\text{即ち } \frac{a_c \cdot d}{\lambda} = f(Gr), \quad Gr = \frac{d^3 \rho \beta g (\Delta \theta)}{\mu}$$

ただし

λ : thermal conductivity of air

d : diameter of the wet globe

β : thermal coefficient of expansion of air

g : acceleration due to gravity

μ : absolute viscosity of air

$\Delta \theta$: difference between the temperature of the surface of the wet globe and that of ambient air

Gr : Grashofs number

として f の形を定めればよいことになる¹¹⁾。しかし僅かの風速の違いでも x が常に一定であるという仮説は受入れがたい (p は常に一定と考えられるが) から前式の実験式導入は困難を感じた。しかし種々の場合における蒸発により失われる熱量、強制対流による熱量、輻射による熱量の相関々係が判明するので捨てがたい魅力があるから将来の研究に俟ちたい。

2) 常に一定量の水を流下する方式を採用するならば (9) 式に更に

$$VC_p (\theta_w - \theta_{wg}) wt$$

ただし

V : amount of supplying water per unit of time

C_p : specific heat of water at constant pressure

w : specific gravity of water

θ_w : temperature of supplying water

の項を付加すればよいわけである。しかし左辺の蒸発による熱量にある係数を乗じなければならない。なんとすれば蒸発をその程度において妨げられるからである。

稿を終るに当り、この計器を創案された梶原教授の種々の御指導によりこの実験がなされたことを付記するとともに深甚の謝意を表す。

文 献

- 1) 梶原三郎: 労働衛生, 東洋書館 (東京): 213~217, 1951
- 2) Davis, A.: Application of the Principle of Similitude to the Wet and Dry Bulb Hygrometer. Proc. Phys. Soc. 34: Ixxxv-Ixxxvi, 1922
- 3) 木谷要一: 湿度測定法, 2, 共立出版社 (東京): 40, 1948 (内容の数字に誤がある)
- 4) 岡田武松 他: 気象学及地球物理学, 河出書房 (東京): 11, 1939
- 5) Bedford, T.: The Globe Thermometer in Studies of Heating and Ventilation. J. Hygiene 34 (4): 458—473, 1934
- 6) 岡田武松: 気象学, 岩波書店 (東京): 909, 1927
- 7) Bedford, T.: The Warmth Factor in Comfort at Work. Med. Res. Council Rep.: 76, 1937
- 8) Niven, W. D.: The Scientific Papers of J.C. Maxwell, I ed., Librairie Scient. J.Hermann (Paris), 2: 625—646, 1927
- 9) Bosch, M. ten: Die Wärmeübertragung, Julius Springer (Berlin): 103—108, 1936
- 10) Boynton, W. P., W. H. Brattain: Interdiffusion of Gases and Vapors, McGraw-Hill (New York), 5: 62, 1929
- 11) McAdams, W. H.: Heat Transmission, McGraw-Hill (New York and Lond.): 239—255, 1933

(受付: 1956年6月13日)