

裸地風による葉形湿面からの蒸発

誌名	農業氣象
ISSN	00218588
著者	長谷場, 徹也 武智, 修
巻/号	28巻3号
掲載ページ	p. 149-155
発行年月	1973年1月

裸地風による葉形湿面からの蒸発

長谷場 徹也・武 智 修

(愛媛大学農学部)

Local Water-vapor Transfer Coefficient on Horizontal Leaf-shaped
Plane Surface under Field Conditions

Tetsuya HASEBA and Osamu TAKECHI

(College of Agriculture, Ehime University, Matsuyama, Ehime Prefec.)

1. はしがき

植物葉面ないしは葉形湿面などから周囲空気への水蒸気輸送係数については多くの研究が行なわれている (Martin, 1943; Yamamoto, 1950; Raschke, 1956; Gaastra, 1959; 上田, 1960; Kuiper, 1961; 村田, 1962; Slatyer and Bierhuizen, 1964; 武智・長谷場, 1966, 1968, 1969; 諸橋, 1966; 長谷場, 1967b; Gates, 1968; Thom, 1968 など)。

これらの研究では、風洞層流風の場に置かれた湿面上の境界層輸送係数が求められている。たとえば、Raschke (1956), Gates (1968), 武智・長谷場 (1968), Thom (1968) らは葉面の平均水蒸気輸送係数が風速の0.5ないし0.55乗に比例するとしている。

ところで、作物の生育する野外の風は大小の乱渦を含み、その風速と風向は常に変動している。この野外の自然風による葉面輸送係数は風洞実験から求められた係数と同性質とは考えられない。しかし、葉面輸送係数が野外での直接測定により求められた例は稀で (Impens et al, 1976), その関数形は十分明らかにされていない。

長谷場 (1967a) は野外で裸地上 90cm の高さに置いた直径 20cm の円形湿面からの蒸発測定値より、野外風による平均水蒸気輸送係数は平均風速の約0.8乗に比例することを報告しているが、この結果は、円筒形湿面容器周縁の風に対する擾乱効果、容器全体の熱収支に起因する湿面温度分布の効果、秤量に用いた天秤のカバーが湿面に対して starting section と同等の作用をもたらした境界層を乱流遷移せしめることの効果などが含まれているものと考えられる。従って、この結果をそのまま寸法

のより小さい平板状葉面に適用することは、特別の場合を除き、検討の余地がある (武智・長谷場, 1971)。

なお、蒸散の解析において、葉面境界層抵抗ないし外部抵抗は葉内抵抗に比べて小さいため、その数値に多少の誤まりがあっても葉内抵抗の決定に及ぼす影響は小さいので、十分な注意が払われない場合がある。しかし、このことは厳密とはいえない。

他方、蒸発面からの全蒸発量は重量、水位、流量などを測定して求めることが一般に行なわれている。しかし、これらの方法には若干の問題がある。

風速、湿度その他の気象要素が常に変動している野外における蒸発測定では、時定数の小さい自記録方式が望まれる。重量変化の記録法には天秤の桿の位置変化を差動変圧器を用い電気信号としてとり出す方法 (長谷場・武智, 1966) などがあるが、風速変動による秤の振動を除去するためのダンパーの構造及びその調整に注意が必要である。

水位法はその精度を上げることに問題があり、流量法は蒸発量と流量を一致させることが必ずしも容易でない。

これらのいずれの方法も野外において、蒸発量の変化を連続測定するためにはかなりの工夫を要し、十分な精度を得にくい難点がある。このため、従来の野外測定では或る時間の平均値の測定が行なわれる場合が多かった。

上述のように、野外における葉形湿面からの蒸発を精度よく測定する方法を確立することならびに裸地または植被内を吹く風による葉面水蒸気輸送係数の関数形を明らかにすることは重要である。

武智・長谷場 (1968) は内部発熱方式の湿面を用い実験的に湿面の熱収支各項を求めた。ここでは内部発熱湿

面を応用して、葉形湿面板と非蒸発板を用いた示差型の熱量補償式蒸発測定装置を製作した。さらに、これを野外に設置して、裸地風による孤立した水平葉形湿面板からの蒸発速度の測定を試み、その水蒸気輸送係数を求めた。

2. 補償熱量式蒸発計

(1) 蒸発測定の原理と水蒸気輸送係数の決定

平板状の植物葉のモデルとして両面が湿面の矩形板を考える。放射下でこの湿面板を気流に平行に、かつその一辺が気流方向に直角な前縁となるように置き、全面を内部から一様に加熱した場合、板の局所部分についてつぎの熱収支式が成立する。ただし、給水は側面から行ない湿面内で気流方向への水移動は無視し、また薄い板なので板内の熱伝導も無視する。すなわち、局所の発熱量は単位面積あたりの一様発熱量に等しいとする。また、板の両面の温度分布は等しいとする。湿面の前縁に原点をおき、気流方向に x 軸をとる。添字 x を付して局所値であることを示す。

$$H_x = R_{n,x} - S_x - Lw_x + Q \quad (1)$$

ここに、各項の単位は (cal/cm² sec) であり、

$$H_x = \gamma(\partial\theta_{E,x}/\partial t); \text{貯留熱}$$

$R_{n,x} = \mu R_s + \beta R_l - 2\beta\sigma\theta_{E,x}^4$; 両面における放射交換量

$$S_x = 2h_x(\theta_{E,x} - \theta_A); \text{両面からの伝達顕熱量}$$

$$Lw_x; \text{両面からの伝達潜熱量}$$

$$Q; \text{内部発熱量}$$

$$t; \text{時間 (sec)}$$

$$R_s; \text{両面に入射する短波放射量 (cal/cm}^2 \text{ sec)}$$

$$R_l; \text{両面に入射する長波放射量}$$

$$\theta_{E,x}, \theta_{E,x}; \text{湿面温度 (}^\circ\text{C, }^\circ\text{K)}$$

$$\theta_A; \text{気温 (}^\circ\text{C)}$$

$$h_x; \text{面の熱伝達係数 (cal/cm}^2 \text{ sec }^\circ\text{C) で強制及び自由対流によるものを含む。}$$

$$w_x; \text{板の単位面積からの単位時間あたりの蒸発量, 蒸発速度 (g/cm}^2 \text{ sec)}$$

$$\gamma; \text{板の単位面積あたりの熱容量 (cal/cm}^2 \text{ }^\circ\text{C)}$$

$$\mu; \text{面の短波放射吸収率}$$

$$\beta; \text{面の長波放射吸収率}$$

$$\sigma; \text{Stefan-Boltzmann 常数 (cal/cm}^2 \text{ sec }^\circ\text{K)}$$

$$L; \text{水の気化熱 (cal/g)}$$

他方、同様の湿面板で蒸発を止めたものの局所熱収支式は

$$H'_x = R'_{n,x} - S'_x + Q' \quad (2)$$

である。

ここに、dash を付して非蒸発板であることを表わす。

いま、両板の放射に対する条件を同じとする。

$$\text{すなわち、} \mu = \mu', \beta = \beta'.$$

さらに、板の構造が同じであれば、 $\gamma = \gamma'$ 。

また、板の前縁から等距離の点で、 $h_x = h'_x$ である。

この両板を放射及び気流条件の同じ場所に並列して置き、気流方向の板面の中心線上で、前縁から等距離にある点の表面温度が等しくなるように発熱量 Q, Q' を調節する場合、(1), (2)式の差をとって、次式が成立する。

$$Lw_x = Q - Q'$$

$$\therefore w_x = (Q - Q')/L \quad (3)$$

すなわち、両板の発熱量の差から局所の蒸発速度 w_x が直ちに求められる。この方法では単一の湿面を用いてその熱収支から蒸発速度を求める際の放射吸収量決定の不正確さを避けることができ、かつ伝達顕熱量を測定する必要もない。

内部発熱量は、板内に一様の電気抵抗を持つ極めて薄い抵抗体を封入し、これを電氣的に発熱せしめ、その消費電力から決定できる。

両板の抵抗体へかかる電圧を V, V' 、電流を I, I' とすれば、

$$Q = IV/JA$$

$$Q' = I'V'/JA$$

である。

ここに、 J ; 熱の仕事当量 (joule/cal), A ; 発熱面積 (cm²)。

つぎに局所の蒸発速度 w_x は両面からの蒸発を考えて、次のように表わされる (長谷場, 1967a)。

$$w_x = 2D_x dC_x \quad (4)$$

ここに、

$$D_x = D_{f,x} + D_n; \text{境界層水蒸気輸送係数 (cm/sec)} \quad (5)$$

$D_{f,x} = aSc^{1/3}Re^{n_x}d/x = D_0x^{-m}u^n$; 強制対流による水蒸気輸送係数

$$D_n; \text{強制対流輸送係数に及ぼす自由対流の効果}$$

であるが、ここでは近似的に次式で与える (長谷場, 1967a)。 $D_n = b(Gr' \cdot Sc)^{m'}/l$ 。

$dC_x = C_{E,x} - c_A$; 面と境界層外空気中の水蒸気濃度差 (g/cm³)

$$Sc; \text{Schmidt 数}$$

$$Re_x; \text{Reynolds 数}$$

$$d; \text{空気中への水蒸気の分子拡散係数 (cm}^2 \text{/sec)}$$

$$u; \text{風速 (cm/sec)}$$

Gr' ; 水蒸気輸送に関する Grashof 数

l ; 板の平均寸法, ここでは正方形の辺の長さ (cm)

$C_{E,x}$; 湿面上の水蒸気濃度で, 湿面温度での飽和水蒸気濃度

c_A ; 境界層外空気中の水蒸気濃度

D_o ; 物性値できまる常数

a, b, n, m, m' ; 境界層構造できまる常数
層流境界層の場合,

$$a=0.332\lambda, m=n=0.5$$

$$b=0.405, m'=0.25$$

乱流境界層の場合,

$$a=0.0292, m=0.2, n=0.8$$

$$b=0.14, m'=0.33$$

λ ; 湿面上の水蒸気濃度差の分布に起因する補正係数 (武智・長谷場, 1969)。

さて, (4)式から, 測定値 w_x と ΔC_x を用いて, D_x が決定される。

$$D_{r,EXP} = w_x / 2\Delta C_x = (Q - Q') / 2L\Delta C_x$$

これから, 強制対流水蒸気輸送係数は(5)式により,

$$D_{f,x} = D_{r,EXP} - D_{n,CALC} \quad (7)$$

から求められる。

(2) 蒸発計の構造

発熱抵抗体としては面積抵抗が約 150Ω のグラフトカーボンシート (日本瓦斯化学工業製) を用いた。薄いマイカ板 (厚さ約 0.01mm) を挟んで, $5.4 \times 5.0\text{cm}$ のシートを2枚重ね, さらに両面を薄いマイカ板で覆い, 全体を少量のエポキシ樹脂で防水し成型した。電極には巾 2mm の銅板を長さ 5.0cm の辺に沿って導電性接着剤でとり付けた。発熱部分のシート寸法は $5.0 \times 5.0\text{cm}$ の正方形である。全抵抗は約 73Ω であった。

つぎに, この内部発熱板を2枚用意し, 一つにはポリエチレン沓紙 (薄手沓紙にポリエチレンシートを裏打ちしたもので, 厚さ約 0.3mm) を沓紙面を表にして発熱板の両面に貼り付け蒸発面とした。板の側面には合成樹脂を塗付し, 側面からの蒸発がないようにした。

水補給のため, ビニールチューブを通して水タンクから導かれた木綿糸を, 気流に平行となる板端で沓紙とポリエチレンシートの間へ均等に挿入した。この給水方法により, 湿面で気流方向への水移動を小さくすることができた。また, 沓紙面に薄い水膜が常に形成されるよう水タンクの水位を適宜調節して水補給をするようにした。

一方, 他の発熱板にはポリエチレン沓紙のポリエチレン側を表にして, その周縁を板に貼付け, 沓紙部分には

蒸発面と同等の水を含ませた。

このようにして作られた内部発熱湿面板の厚さは約 1.5mm , 単位面積あたりの質量は約 0.08g , 平均熱容量は約 $0.07\text{cal/cm}^2 \text{ } ^\circ\text{C}$ であった。

この2枚の板を同一平面上で, 電極辺は平行で, かつ他の辺は一直線上に並ぶように, 5mm の間隔をあけて並べ, その間を巾 5mm のマイカ板で固定した。

この組み合わせ板の端を4本の硬質ビニールチューブ (肉厚約 0.02mm , 外径 2.5mm) で支持し, 支持枠に取りつけた。

なお, 必要に応じ両面の風上側前縁に長さ 5mm の starting section をとりつけた。

(3) 蒸発計の特性

作製した補償熱量式蒸発計の蒸発特性を恒温・恒湿室内の風洞で試験した。

風洞は吹出型層流風洞で, テストセクションは $40\text{cm} \times 40\text{cm}$ の角型, 乱れの強さが $0.5 \sim 0.7\%$, 最高風速 30m/sec のものである。このテストセクションに蒸発面を気流に平行でかつ前縁を気流に直角に置いて測定した。

実験では, 非蒸発板の発熱量を一定とし, 蒸発面と非蒸発面の対応する局所位置で, 両面温度が等しくなるように, 回路に入れた外部の可変抵抗により蒸発板の消費電力を調節した。

一様発熱板では, 面温度は気流方向に分布があるので, 両面とも, 気流方向の中心線上の4点 (前縁から $1, 2, 3, 4\text{cm}$) で, 直径 0.1mm の銅・コンスタンタン熱電対を用い面温度を測定し, これから各点の蒸発面水蒸気濃度を求めた。

第1図は蒸発面の水蒸気濃度差の分布の例である。このときの平均気温は約 13°C , 平均相対湿度は約 65% であった。風速 12m/sec 以下の場合には, 水蒸気濃度差の距離 x に対する平均のベギ数がおよそ 0.2 から 0.25 の範囲にあった。この値は湿面の定常熱収支式から得られる層流境界層の場合の平均ベギ数 (武智・長谷場, 1969) とほぼ一致している。

風速が十数 m/sec 以上になると, このベギ数は小さくなり, 乱流境界層の場合の値に近くなった。

第2図は上の実験における局所位置 $x = 2\text{cm}$ での強制対流水蒸気輸送係数と風速との関係を両対数目盛で表わしたものである。図において細い実線は(6)式から, Reference Temperature 15°C での物性値を用いて求めた強制対流による局所水蒸気輸送係数である。ただし, 層流値は水蒸気濃度差の x 分布の中数を 0.25 として与えられる補正係数 $\lambda = 1.23$ (武智・長谷場, 1969) と starting section による補正係数 1.01 を乗じて得られた値で

ある。また、乱流値は starting section の補正係数0.985のみを乗じて得られた値である。

風速がおおよそ 12m/sec 以下の範囲で輸送係数 ($D_{f,x}$) は風速 (u) の0.5乗に比例して、境界層は層流であることを示している。しかし、輸送係数の実験値は理論値より約15%大きい。

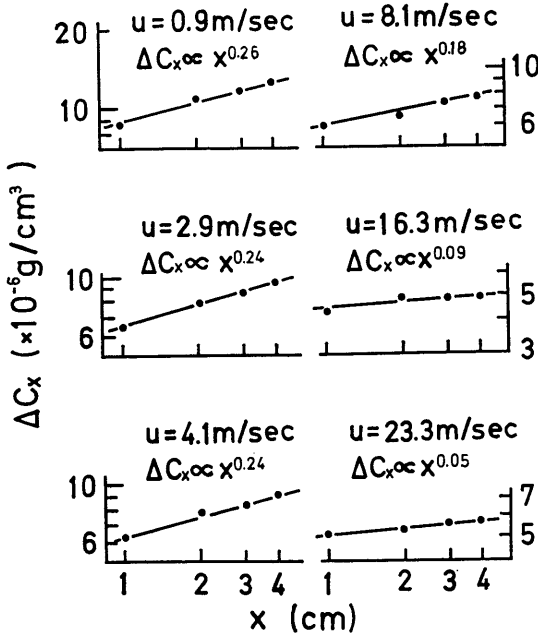


Fig. 1. Distributions of water-vapor concentration departure (ΔC_x) of wet surface from ambient air in wind-tunnel tests. x ; distance from leading edge of wet surface in the direction of wind u ; wind velocity

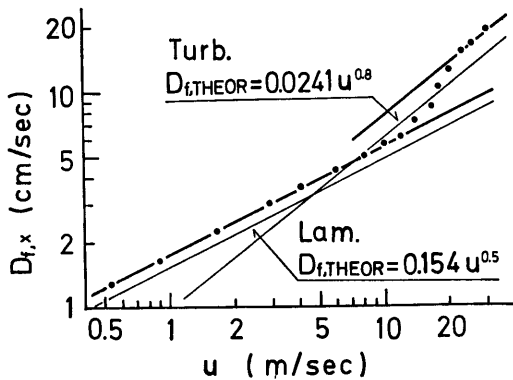


Fig. 2. Coefficient of local water-vapor transfer by forced convection ($D_{f,x}$) vs. wind velocity (u), in wind-tunnel tests. $x=2$ cm.

風速が 12m/sec を超えると局所輸送係数は層流値から乱流値へ遷移し始める。遷移開始の Reynolds 数はおおよそ 2×10^4 であった。風速がおおよそ 23m/sec ($Re_x = 3.1 \times 10^4$) 以上で、輸送係数は風速の0.8乗に比例し、乱流境界層が形成されたことを示している。この場合、輸送係数の実測値は理論値より約27%大きかった。

上の結果から、強制対流による水蒸気輸送係数の実測値の理論値に対する比は、遷移領域を除いた風速範囲でほぼ一定とみなせるので、これを蒸発計の計器常数とすることができる。このような計器常数を考慮すると、上の補償熱量式の蒸発測定装置を用いて種々の場での局所蒸発速度を測定することができる。

3. 裸地風による葉形湿面からの水蒸気輸送係数

(1) 測定方法

野外の裸地上で、風向の変動影響を小さくするため、風向計上に補償熱量式蒸発計を、面が水平でその前縁が矢羽根と直角になるように装着して測定した。測定高度は地上 2m で、湿面の前縁からの距離 2cm の点の局所水蒸気輸送係数を求めた。測定は冬季で、西寄りの季節風がほぼ連続的に吹走していた十数日について行なったが、曇天日が多かった。

気温と乾湿差の測定には通風式の熱電対乾湿計を用いた。

風速計は無指向性サーミスタ風速計と加熱式の熱電対風速計を用い、蒸発面と同高度の風速を測定した。

また、日射量、風向及び気圧を含め、各気象要素ならびに蒸発計の内部発熱体にかかる電圧と電流を自動平衡式のペンレコーダと多点記録計に記録させた。

測定値は連続記録の中から30秒程度にわたって準定常的である場合について読みとり整理した。

(2) 測定結果

第3図は湿面上の水蒸気濃度差の分布の例である。野外の乱渦風でも、ここに挙げた風速範囲では水蒸気濃度差の気流方向の分布は層流境界層の場合の分布に近かった。

第4図は平均気温約 10°C 、平均相対湿度約60%のときの測定値から得られた湿面前縁からの距離 2cm の強制対流による局所水蒸気輸送係数と風速との関係である。図中の実線は水蒸気濃度差分布の効果と計器常数を含んだ層流境界層輸送係数の計算値 ($D_{f,x,LAM}$) である。測定値はややばらついているが、風洞実験で得られた層流境界層の値に近い。

これらのことから、地上 2m の高度で、気層がやや不

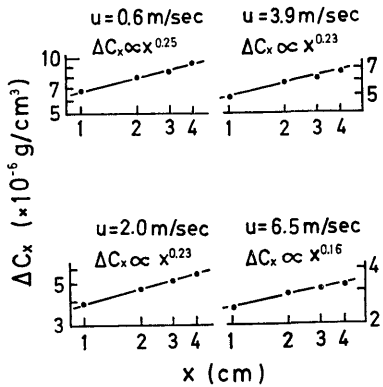


Fig. 3. Distributions of water-vapor concentration departure of wet surface from ambient air, at a height of 2 m above bare ground in the field.

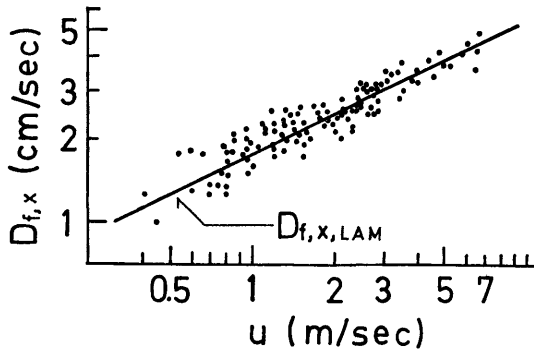


Fig. 4. Coefficients of local water-vapor transfer by forced convection from horizontal leaf-shaped wet surface vs. wind velocity in natural wind, at a height of 2 m above the bare ground, $x = 2$ cm. The solid line ($D_{f,x,LAM}$) indicates values of laminar-boundary transfer-coefficients including the effect of the distribution of vapor-concentration departure and the calibration constant.

安定かまたは中立に近い場合、裸地風による平板状の水平弧立葉の葉面境界層は層流的であると言える。

4. 検 討

(1) 補償熱量式蒸発計について

蒸発計の風洞試験において、強制対流水蒸気輸送係数の測定値が理論値より大きくなった原因は、板内に若干の熱伝導のあることが考えられる。

なお、内部発熱量の支持棒などへの熱損失ならびに板

の電極部分の熱伝達の影響については、非蒸発面を気温と同温にした顕熱項のない実験で、輸送係数の測定値の理論値に対する比が上と同程度の値になったことから、この熱損失等の影響は小さいと考えられる。

補正係数として適当な計器常数を用いると、本装置を蒸発計として実用に供し得るが、この計器常数については今後なお検討したい。

つぎに、補償熱量式の蒸発計では、板の熱容量を変えて適当な時定数を持つ蒸発計を製作できる。

また、板の形状は任意に製作し得るので、各種の形状の葉の輸送係数を決定できる。

また、この蒸発計は地表面レベルにおける有限面からの蒸発測定にも役立つものと期待される。

今回は両面温度を等しくするとき、可変抵抗を手動で調節したが、これは自動制御回路を応用して自動化できる。

さらに、2個の入力乗算回路と引き算回路を用いて、蒸発速度に比例する電力を直接自記することは容易である。

(2) 葉形湿面の水蒸気輸送係数について

今回行った野外測定は一高度のみで、裸地上で高度の差が有限湿面からの蒸発に及ぼす効果を明らかにできなかったが、今後、このような弧立湿面からの水蒸気輸送が大気の安定度や地上高度によってどのように変化するかを明らかにする必要がある。

また、作物の生育する植被内の風は裸地風よりさらに複雑な気流状態にあるので、植被内の風による葉面水蒸気輸送係数については次報で報告したい。

5. む す び

野外において葉形湿面からの水蒸気輸送係数を精度よく決定するため、電気発熱体を内蔵した蒸発面と非蒸発面の組み合わせで、示差型の補償熱量式蒸発計を試作した。この蒸発計では両面の対応する局所表面温度を一致させることにより、蒸発面の蒸発潜熱損失を内部発熱量で補償し、発熱量から局所蒸発速度を容易に求めることができた。

本蒸発計の特性を、まず風洞実験で明らかにし、これが輸送係数の決定に十分使用できることを確かめた。

つぎに、蒸発計を野外の裸地上に置いて、水平平板葉形湿面からの水蒸気輸送係数を求めた。その結果、高度 2 m の裸地風による葉形湿面の局所水蒸気輸送係数は、冬季の日射が弱い条件下で、層流境界層の値に近いことが明らかになった。

なお、本研究の遂行にあたって、測定に終始多大の協力を頂いた愛媛大学農学部山内正生技官に感謝する。

参考文献

- 1) Gaastra, P., 1959, Med.d. Landbowhogeschool, Wageningen, 59, 1—68.
- 2) Gates, D.M., 1968, Ann. Rev. Plant Physiol., 19, 211—238.
- 3) 長谷場徹也, 1967 a, 農業気象, 22, 159—164.
- 4) —, 1967 b, 日農気全国大会, 講演要旨, 昭和42年度, 21—22.
- 5) —・武智修, 1966, 農業気象, 22, 1—6.
- 6) Impens, I.I.; Stewart, D.W.; Allen, Jr., L.H. and Lemon, E.R., 1967, Plant Physiol., 42, 99—104.
- 7) Kuiper, P.J.C., 1961, Meded. Landbowhogeschool, Wageningen, 61, 1—49.
- 8) Martin, E., 1943, Carnegie Inst., Wash., Publ., 550, 1—48. cited by Raschke, 1956.
- 9) 諸橋精一, 1966, 北海道学芸大学紀要 (第二部), 16, 96—106.
- 10) 村田茂三, 1962, 植物学雑誌, 75, 391—400; 473—482.
- 11) Raschke, K., 1956, Planta, 48, 200—238.
- 12) Slatyer, R.O. and Bierhuizen, J.F., 1964, Austr. J. Biol. Sci., 17, 115—130.
- 13) 武智修・長谷場徹也, 1966, 日農気全国大会, 講演要旨, 昭和41年度, 27—29.
- 14) —・—, 1968, 日農気全国大会, 講演要旨, 昭和43年度, 40—41.
- 15) —・—, 1969, 日農気全国大会, 講演要旨, 昭和44年度, 28.
- 16) —・—, 1971, 農業気象, 27, 67—72.
- 17) Thom, A.S., 1968, Quart. J. Roy. Met. Soc., 94, 45—55.
- 18) 上田政文, 1960, 応用物理, 29, 443—451.
- 19) Yamamoto, G., 1950, Transa., Amer. Geophys. Union, 31, 349—356.

Summary

A new evaporimeter with flat leaf-shaped plates of both surfaces wetted was designed and calibrated. This equipment consists of a set of two this 5 cm × 5 cm flat plates within which electrical resistor-sheets of uniform resistance are enclosed. One of the plates has the evaporating surface of filter-paper wetted and the other has the non-evaporating surface covered with thin polyethylene sheet. These two plates whose leading edge being in line, are set on a plane and thermal insulators hold them. Water is supplied to the evaporating surface from a small reservoir, homogeneously in the transverse direction along cotton thread through vinyl tubes.

Electric power consumed in the non-evaporator is kept at a constant value, and caloric value caused by electrically heating the evaporator is adjusted so that the local surface-temperatures of the evaporator and non-evaporator at the identical position become to be equal. Then, from the difference between the equations of local heat-balance of both plates at a distance of x cm from the leading edge, neglecting heatconduction within the plates, under the condition of identical absorptivities to solar and infrared irradiations and heat capacities of the plates, the following equation is written ;

$$Lw_x = Q - Q',$$

where, w_x is local evaporation rate in g/cm² sec, L ; heat of vaporization of water (cal/g), Q and Q' ; electric power consumed per unit area of evaporating and non-evaporating plates (cal/cm² sec), respectively.

Here, local evaporation rate of a plane surface can be obtained from the electric power compensating the latent heat of vaporization in evaporating surface.

Coefficient of local transfer of water-vapor by forced convection, $D_{f,x}$ (cm/sec), is evaluated from the following equation ;

$$D_{f,x} = D_{f,EXP} - D_{n,CALC},$$

where, $D_{f,EXP} = w_x / 2\Delta C_x$ and $\Delta C_x = C_{E,x} - c_A$ (g/cm³); difference in vapor concentration between the wet surface ($C_{E,x}$) and the air outside the boundary layer on the surface (c_A), $D_{n,CALC} = 0.405 (Gr' \cdot Sc)^{0.25} d/l$; calculated value of average coefficient of water vapor transfer from the upper and lower surfaces

of the plate for free convection, Gr' ; Grashof number in vapor transfer, Sc ; Schmidt number, d ; molecular diffusivity of water vapor to air (cm^2/sec), l ; dimension of the surface along the wind-direction (cm).

As the results of some tests by means of a wind tunnel in which average intensity of turbulence was about 0.6%, the local water-vapor transfer coefficient at $x=2$ cm was obtained as follows;

in the range of Re_x under 2×10^4 ,

$$D_{f,x} = 1.15 \cdot \lambda \cdot 0.332 Sc^{1/3} \cdot Re_x^{0.5} \cdot d/x,$$

where, λ is the correction factor for the effect of vapor concentration-departure distribution on evaporating surface, Re_x ; local Reynolds number.

The above expression of $D_{f,x}$ showed the property of the transfer coefficient for laminar boundary layer. The numerical coefficient of 1.15 is considered to be a calibration constant.

Furthermore, distributions of the vapor-concentration-departure at the wet surface along the wind direction were in good agreement with those in laminar boundary layer in the Re_x range under 2×10^4 , and in the Re_x range over 3×10^4 where the local transfer coefficient was proportional to the 0.8th power of the wind velocity, the concentration-departure distributions presented the properties of those under turbulent boundary layer condition.

Thus, this evaporimeter permits determinations of local evaporation-rate and coefficient of vapor transfer from leaf-shaped plane surface. The present method avoids the difficulties in continuous measurement by weigh-method and the error in the determination of latent heat transfer by the uncertainty of absorptivity to irradiations in the method of heat-balance of a single plate evaporimeter.

Then, this equipment was applied for the evaluation of local transfer coefficients on an isolated plane surface elevated at a height of 2 m above bare ground. To diminish the influences of the variation of wind direction, the evaporimeter was mounted horizontally on a wind vane so that the leading edge was arranged perpendicularly to the wind direction.

Under the field conditions of a winter day with weak insolation, the local transfer coefficients obtained were proportional to the 0.5th power of the wind velocity and its numerical coefficients were nearly equal to the value of the transfer coefficient including the effect of the distribution of vapor-concentration-departure at the evaporating surface for the laminar boundary layer.

Moreover, the concentration-departure distributions over the wetted surface indicated that the boundary layer was laminar.