

都市表面物質伝達率測定を目的とした濾紙蒸発法の検証

伊牟田航生*1 萩島 理*2† 谷本 潤*2

(平成18年 4月 25日 受理)

Basic verification of Evaporation Method with Filter Paper for Application of Field measurement on Transfer Coefficient of Urban Surfaces

Kousei IMUTA, Aya HAGISHIMA, Jun TANIMOTO

E-mail of corresponding author: aya@cm.kyushu-u.ac.jp

An experiment to confirm how the *Filter Paper's Evaporation Method* (FPEM) works well as an appropriate estimation of Mass Transfer Coefficient (MTC), which has been applied by quite a few studies in urban climatology. In an experimental process of FPEM, a thick filter paper wetted enough is pasted onto an acrylic-plastic board so that is possible to measure an evaporation rate by the weight loss during an exposed minutes, which can be transformed into the MTC when you also measure the filter paper's surface temperature and air humidity. The key issue in FPEM is whether and how long a wet filter paper can keep its saturation during the exposed minutes, which is primarily focused in the present study. In the experiment, an evaporating amount from a flat-water surface is also measured, which is requisite to compare as the reference of a perfect saturated surface with the filter paper surface. To ensure accuracy, the exposed air is kept in calm and dry condition in the experiment. The result insists that we can see a filter paper as an almost perfect saturated surface unless the accumulated evaporation surpasses over 625 g/m².

Key words: *Mass transfer coefficient, Sensible heat flux, Thermal balance, Evaporation*

1. 緒 言

近年社会的関心の高まっているヒートアイランド現象の予測のためには、都市域の表面熱収支、とりわけ潜熱フラックスと顕熱フラックスの高精度な観測データの蓄積が不可欠である。

樹林や海水面といった十分なフェッチを有する homogeneous な面からのフラックス観測に関しては、超音波風速計を用いた渦相関法が一般的であり¹⁾、多数の適用事例がある。しかし、この渦相関法を都市域に適用する場合、測定原理による制約から計測機器を roughness sublayer の外側となる建物高さの2~3倍以上の高度に設置する必要があるため、建物屋根面、壁面、地面からのフラックスを分離して測定する事は殆ど不可能となる。そこで渦相関法に替わる手法として、対象面の温度差や濃度差と伝達率の両方を測定し

両者の積からフラックスを推定する方法が屋外観測や都市を模擬した模型を用いた風洞実験において用いられている²⁾。

以上の背景から本研究は、都市気候分野において物質伝達率の計測方法として注目されつつある「濾紙蒸発法」³⁾を取り上げ、その精度についての基礎的な検討を行ったものである。

2. 濾紙蒸発法の測定原理

水面や土壌などの一般的な濡れ面からの蒸発量は次式で表される。

$$F = \beta \cdot k_x (X_{air} - X_{sat}(T_{surf})) \quad (1)$$

F : 蒸発量 [kg/(m²s)]

k_x : 物質伝達率 [kg/(m²s (kg/kg'))]

X_{air} : 空気絶対湿度[kg/kg']

$X_{sat}(T_{air})$: 濡れ面表面温度基準の飽和絶対湿度 [kg/kg']

β : 蒸発効率

*1 環境エネルギー工学専攻(現 春日市役所)

*2 エネルギー環境共生工学部門

水面の場合は蒸発効率 $\beta=1.0$ となる。「濾紙蒸発法」とは、十分に水を含ませた濾紙の蒸発効率を1と仮定する事で、濾紙を貼付した薄板状の試験体を測定対象面に設置して環境下に設置する前後の試験体の重量変化即ち蒸発量を測定して、物質伝達率を得る方法である。対象表面の物質輸送フラックスを直接測定するという点では、伝熱工学分野で広く用いられている「ナフタレン昇華法」⁴⁾と同じ測定原理と言えよう。

ただし、ナフタレン昇華法では、昇華に伴う相変化熱が小さいため気温を表面温度と等しいと仮定してナフタレン表面の飽和蒸気圧を推定する事が可能となるのに対し、濾紙蒸発法では水の相変化熱が大きいため濾紙表面温度の測定が必須となり、測定に注意を要する。一方で、濾紙蒸発法にはガスの毒性などの問題が一切無いため、閉鎖型の回流式風洞装置や室内における実験を行う上で、ナフタレン昇華法には無い大きなメリットを有する。加えて、物質伝達と熱伝達のアナログが成立しているとみなせる条件下では、濾紙蒸発法により得られた物質伝達率を対流熱伝達率に換算可能なため、対流と蒸発の分離測定が困難な保水性舗装など湿潤面を対象とした観測事例⁵⁾も報告されている。

しかし、濡れた濾紙を完全な「飽和面」と見なせるか、即ち濾紙の蒸発効率を1と仮定する事が妥当か否か、という基礎的な検証は十分に行われていない。

3. 濾紙蒸発法の検証実験

3.1 実験概要

濾紙蒸発法に基づく濾紙試験体の伝達率測定と平行して、濾紙試験体と同じ寸法の面積を有する水槽を用いて水面の伝達率を測定し、両者の物質伝達率を比較する事で、濾紙面が飽和とみなせるか、についての検証実験を行う。

物質伝達率の測定精度を確保するためには、空気絶対湿度と表面飽和絶対湿度の差($X_{air} - X_{sat}(T_{surf})$) (以下、「飽差」とする)を大きい条件である事が望ましい。そこで、高温低湿にコントロールした人工気候室(5m × 5.9m)にて実験を行った。ただし、空調によるドラフトで水槽の水表面と濾紙表面における気流性状が異なる可能性があったため、測定中は空調機器の運転は停止している。

3.2 試験体及び測定機器

測定状況の写真をFig.1に、測定項目及び測定機器をTable.1にそれぞれ示す。十分に濡らした濾紙試験体と水槽の重量を人工気候室に静置後、濾紙試験体が完全に乾燥し蒸発量がゼロとなるまでの間、1時間毎に重量

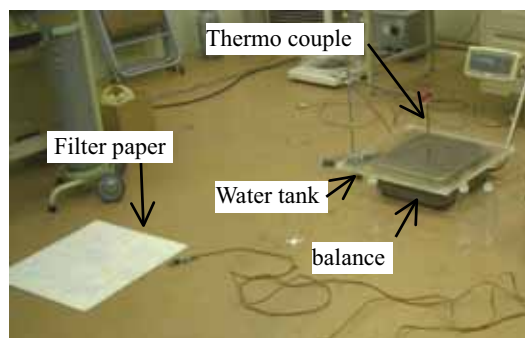


Fig.1 Photograph of experiment

Table.1 measurement instruments

Items	Instruments
Surface temperature of filter paper and water	Thermo couple (T type, 0.22 φ)
Weight of test object with filter paper	Precision balance (EB-12KH, Shimadzu Co. Ltd.)
Weight of water tank	Precision balance (HP-100K, A&D Co. Ltd.)
Dew point temperature	Dew-point hygrometer (Dew Star S-1, Shinei Co., Ltd.)

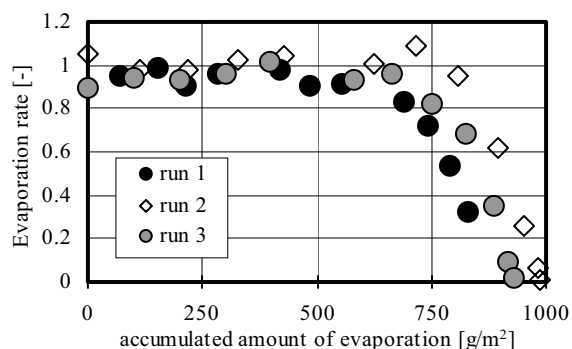


Fig.2 Relation between evaporation rate of filter paper and accumulated amount of evaporation

測定を行った。濾紙試験体の湿潤から乾燥までを1runとし、合計3runのデータを取得している。

濾紙試験体は、厚さ1mmの濾紙(ADVANTEC ウェットストレンクス濾紙 No.424)を50cm × 50cmの亚克力板(厚さ3mm)にスプレー糊で貼付して作成している。なお、試験体側面からの蒸発を防ぐために、シール加工を施している。また、完全な飽和面としてのreferenceとなる水面は内寸50cm × 50cm × 5cm、厚さ3mmの亚克力製水槽を用いて作成している。重量測定の際に水が溢れるのを防ぐため、水槽は実験期間中は常に電子天秤上に設置している。

濾紙表面温度は伝達率の推定誤差に大きな影響を及ぼすため、測定方法には注意を要する。そこで実験に

先立ち、赤外線放射カメラで濾紙の表面温度分布を確認したところ、濾紙全体での温度差は概ね 0.1 程度に収まっていたが、濾紙と基盤のアクリル板が接着不十分で剥離している箇所や試験体端部では周辺より 1 程度高い表面温度となっている事が確認された。よって、熱電対を仕込んだ複数の濾紙試験体を作成して、それらの表面温度測定値を赤外線放射カメラによる放射温度分布を比較検討した上で、センサ部周囲の剥離が無いと思われる状態の良い試験体を測定には用いている。

3.3 実験結果

気流の無い静穏な条件で実験を行っている事から、同じ時刻での水面と濾紙試験体の物質伝達率は等しいと仮定し、濾紙試験体の蒸発効率を算出した。Fig.2 に濾紙試験体の積算蒸発量と蒸発効率の関係を示す。3 run のいずれも積算蒸発量が $625\text{g}/\text{m}^2$ 以下の範囲では蒸発効率は概ね 0.9 ~ 1 の範囲内に収まっている。これに対し、積算蒸発量が $625\text{g}/\text{m}^2$ を超えると、蒸発効率は急激に減少している。この結果から、積算蒸発量が $625\text{g}/\text{m}^2$ 以下の条件では濾紙試験体は飽和状態で蒸発効率を 1 とみなして良い、と言えよう。

4. 結 言

都市気候分野において物質伝達率の計測方法として注目されつつある「濾紙蒸発法」を取り上げ、濾紙

試験体の湿潤状態における蒸発効率の検討を行った。その結果、積算蒸発量が $625\text{g}/\text{m}^2$ 以下の条件では概ね蒸発効率 1 と仮定できる事を確認した。

謝 辞

本研究の予備実験において日本工業大学・特別研究費の支援を受けたサリノメータを使用した。関連各位に謝意を表する。

参 考 文 献

- 1) Kaimal, J.C., Finnigan, J.J.F., "Atmospheric Boundary Layer Flows Their structure and measurement", Oxford university press (1994).
- 2) 萩島理, 谷本潤, 成田健一, "都市表面の対流熱伝達率に関する既往研究のレビュー", 水文・水資源学会誌 vol.17(5) (2004), PP.536-554.
- 3) 成田健一, 野々村喜民, 小笠頭, "自然風下における窓面对流物質伝達率の実測 都市域における建物外表面対流熱伝達率に関する実験的研究 その 1", 日本建築学会計画系論文集 No.491 (1997), PP.49-56.
- 4) Goldstein, R.J. and Cho, H.H., "A Review of Mass Transfer Measurements Using Naphthalene Sublimation Experimental", Thermal and Fluid Science 10 (1995), PP.416-434.
- 5) 成田健一, 三坂育正, 国島武史, 中山康孝, 若林伸介, "蒸発効率を用いた保水性舗装の性能評価", 日本建築学会技術報告集 No.20 (2004), PP.187-190.