

II-83

地表直上の温度、湿度分布を用いた蒸発量測定法の開発

埼玉大学工学部 学生員 ○小野 誠
 " " 正 員 渡辺 邦夫
 東京計測（株） 神田 信之

はじめに

地表からの蒸発量を任意の場所で簡単に測定する方法を開発することは、水文現象を把握する上で極めて重要である。この様な観点から、筆者らは、風洞を用いた蒸発量の直接測定法を提案し、室内及び野外実験によって実用性を検討した。その結果、かなり精度良く蒸発量を測定し得ることが明かとなった。しかし、測定にかなり長時間を要することや、無風状態では測定が不可能であることなどの問題点があった。本報告は、こういった問題点を踏まえ、地表直上の空気湿度分布を計測する新たな測定法を提案し、室内実験によってその精度を検討したものである。

1. 蒸発量の測定方法及び室内実験装置

地表面から蒸発した水蒸気は、表面近傍に水分の高濃度層を形成し、分子拡散、或は乱流拡散により鉛直上方に輸送される。従って、定常状態では、地表面から供給される蒸発フラックス E は次式で表現し得る。

$$E = -D_v \frac{d\bar{\theta}}{dz} \quad \bar{\theta} = S_r(t) \bar{\theta}_h \quad (1)$$

$$D_v = D_m(t) + D_t \quad (2)$$

ここに、 $S_r(t)$ は温度 t における飽和水蒸気量、 $\bar{\theta}_h$ は平均相対湿度、 $D_m(t)$ は温度 t における、空気中の水蒸気の分子拡散係数、 D_t は水蒸気の乱流拡散係数である。これらの式を用いれば、相対湿度の鉛直勾配を測定することにより、容易に蒸発量を得ることができる。問題は、乱流拡散係数 D_t をどう評価するかである。そこで、図-1, 2に示す様な実験装置を用いて室内実験を行い、この考え方の妥当性を検討し、また乱流拡散係数 D_t の特性を調べた。

室内実験では、直径11.4cmのサンプルボックスを設けた、53cm×34cm×6cmの土槽を3つ並べ、任意の風速で送風してサンプルボックスからの蒸発量を求めた。

測定装置本体は、図-2に示す様であり、温・湿度センサーを5mm間隔で2つ、鉛直方向に配置したものである。この本体を、高さ30cmまで動かし得る支持台に取り付けてある。各々のセンサーには、厚さ5mmの保護カバーがかぶせられている。そのため、地表面上1.5mmより上の温度、湿度分布及び湿度勾配の測定ができる。以後、この高さを原点($Z=0$)と表記する。また、風速は、野外測定用の熱線風速計を使用し、地表面上約3mmの高さの風速を測定した。測定は、サンプルボックス上で、土質を3通り変え、その各々について平均風速 $\bar{U}$ を5通り設定して計15ケース行った。また同時に、サンプルボックスの重量変化を電子天秤を用いて測定し、実際の蒸発量 E_0 を算定した。

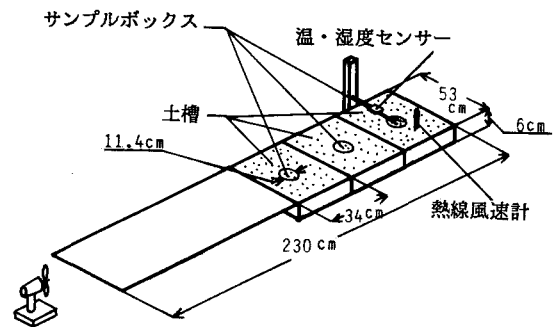


図-1 室内実験装置模式図

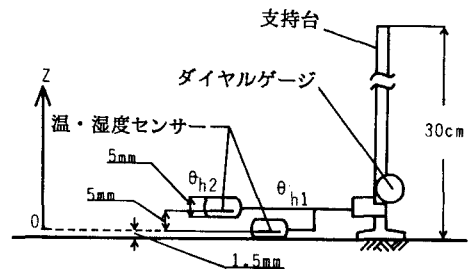


図-2 蒸発量測定装置

2. 実験結果及び今後の課題

まず、土槽直上の湿度差の分布を示す。図-3(a)は、土槽にロームを充填した場合の、湿度差の鉛直分布を示す。 $\bar{U}=0\text{m/s}$ の場合、湿度差のほぼ一定した層が10mm程度の厚さで形成されていることがわかる。この場合、水蒸気が主に分子拡散により輸送されていると考えられる。一方、 $\bar{U}>0\text{m/s}$ では、一定した湿度差勾配が崩れ、 $Z=2\text{mm}$ 以上の領域で湿度差が小さくなる。これは、水蒸気輸送に対する乱流拡散効果が顕著となることを示す。また図-3(b)

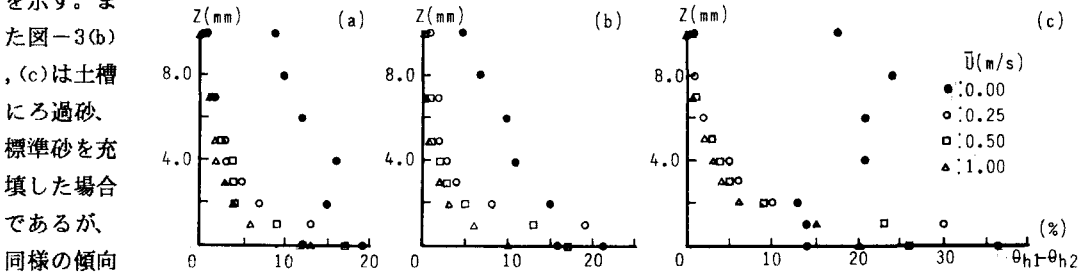


図-3 地表付近の湿度差の分布 (a)ローム, (b)ろ過砂, (c)標準砂

る。図-4は、室温 T_a で無次元化した温度の鉛直分布を示す。蒸発潜熱の影響で、地表近傍に低温部が存在している。本実験条件下では、温度分布は風速によって殆ど変化しなかった。なお、この図は土槽に標準砂を充填した場合のものだが、ローム、ろ過砂の場合も同様の傾向がみられた。

次に、乱流拡散係数 D_t の特性を示す。一般に、乱流輸送による水蒸気フラックスは、水蒸気濃度の変動成分 θ' と、風速の鉛直方向変動成分 w' の相関で表される。これを近似的に $-\overline{w'\theta'} = \ell^2 \cdot |d\bar{U}/dZ| \cdot d\bar{\theta}/dZ$ とおく。ここに ℓ は、プラントルの混合距離理論とのアナロジーから、混合距離とする¹⁾。以上から、(2)式の乱流拡散係数を、 $D_t = \ell^2 \cdot |d\bar{U}/dZ|$ と表現する。ここで、地表のごく近傍では、平均風速 $\bar{U}$ が直線分布で近似し得ると仮定すれば、 D_t は ℓ^2 に比例する。図-5は、 $\bar{U}=0.5\text{m/s}$ 時の $(D_t)^{1/2}$ と高さ Z の関係を示しているが、 $Z=0.0\sim 7.0\text{mm}$ の範囲では比例関係が認められる。これより、混合距離は地表の近傍において Z にほぼ比例する性質があると考えられる。なお、 D_t は実蒸発量 E_0 を(1)式の左辺に代入し、実測で得られた湿度勾配から算定した値である。

一方図-6は、 $Z=0\text{mm}$ における D_v と $\bar{U}$ の関係を示す。これより、地表近傍では、 D_v が極めて線形に近い風速依存性を持つことがわかる。また、風速が大きくなるに従い、地表の極めて近傍においても w' による水蒸気の鉛直輸送が多くなると言える。 D_v はほぼ次式で表現できる。

$$D_v = 1.04 \times 10^{-4} \bar{U} + 1.69 \times 10^{-5} + C(t) \quad (3)$$

ここで、 $C(t)$ は温度変化の影響を表現している。式中の係数については、まだ問題もあるが、この関係を用いることができれば地表近傍の平均風速 $\bar{U}$ から D_v が決定でき、 $Z=0\text{mm}$ の湿度勾配を測定するだけで蒸発量の計測が可能となる。しかしながら、風速が非常に大きくなった場合、或は野外で計測を行った場合にこの関係が成立するかどうか、また、 $C(t)$ の形については検討の余地があり、今後の課題である。

【参考文献】

1) 竹内清秀, 近藤純正 著; 大気科学講座 1 地表に近い大気

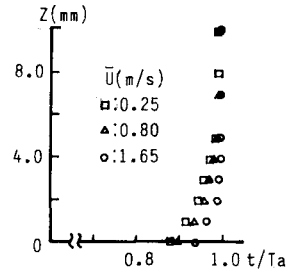


図-4 無次元温度分布

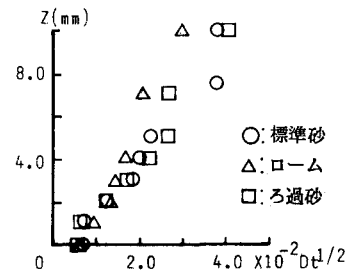


図-5 乱流拡散係数 D_t の分布

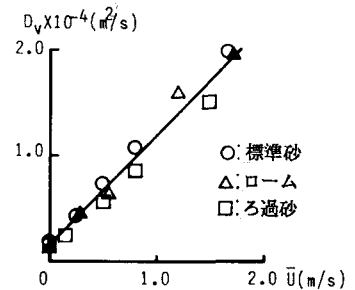


図-6 D_v と $\bar{U}$ との関係