

H-85

一定深さの地下水面をもつ砂層からの蒸発実験

京都大学大学院

学生員 原田 大

京都大学防災研究所

正員 石原英雄・下島栄一

1. はじめに： 裸地蒸発は、温度・湿度・風速等の気象条件と地下水位・土粒子の粒径等の土地条件が複雑に関係しあって生起しているの、直接現地において各要因の蒸発に及ぼす影響を分析・解析することは容易でない。本文は、裸地蒸発の仕組みを明らかにするために、ある深さに地下水面を固定した一様砂層の表面上に一定な温度、湿度、速度の気流を与えて蒸発実験を行った結果について記したものである。

2. 実験の概要： 蒸発場は、平均粒径が 0.45 mm の比較的均一な砂で作られた長さ 94 cm、幅 34 cm、深さ 67 cm の一様砂層であり、重量計上に設置された。この層の種々の深さ(Z_w)に地下水面を、別の重量計上に置かれたマリOTT装置で固定した。砂層表面上に、風洞を介して、常に約 25.5 °C の温度、約 40% の相対湿度、約 290 cm/s と約 150 cm/s の平均速度(U)をもつ気流を与え続けることにより実験を行った。砂層の初期水分状態は、境界脱水の土壌水分特性曲線に相当する条件とした。実験は、約 25 °C の恒温室で、熱電対とボラスカップを用いてそれぞれ砂層内の温度と水圧を計測しつつ行った。

3. 実験の結果と考察

1) 蒸発強度と砂層内の温度： $Z_w = 31.3$ cm、 $U = 150$ cm/s の場合の蒸発強度(E)と砂層内の最低温度の深さ(Ze')の時間変化及び温度分布の時間変化をそれぞれ図-1(a)、(b)に示す。図より分かる様に、蒸発強度は時間と共に減少してほぼ一定値($\bar{E}$)になるが、砂層内の温度は、実験開始直後に一旦低下した後徐々に上昇してほぼ一定の分布となる。この時 Ze' は徐々に増大してある値(Ze')になるが、この値になる時間と、 E が $\bar{E}$ となる時間はほぼ一致する。 Ze' は、種々の条件下の実験結果より、 Z_w が大きな程大きくなることが知られている(2)参照)。温度勾配を考慮すると、蒸発は主としてこの最低温度の位置で生起していると考えてよいので、以下ではこの位置を蒸発面の位置($Ze: Ze = Ze'$)とみなす。

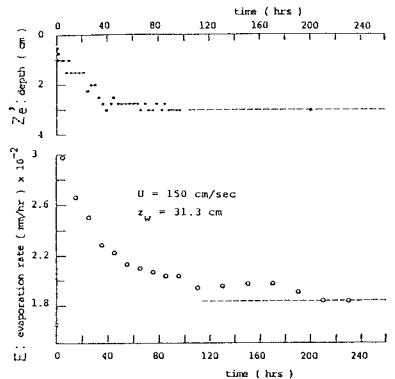

図-1(a) E と Ze' の時間変化

図-2は、 $Z_w = 25.5$ cm、 $U = 150$ cm/s の条件下の現象がほぼ定常になった段階で、風速のみを $U = 290$ cm/s に変化した時のそれぞれの速度に対する砂層内の最終温度分布を示している。風速を大きくすると、砂層内の温度は全体的に上昇したが、蒸発面の深さには計測上変化が認められず、また蒸発強度(E)は 0.0512 mm/h より 0.0538 mm/h へと若干増加した。一方、 $Z_w = 31.3$ cm の場合で、逆に、風速を $U = 290$ cm/s より $U = 150$ cm/s に下げた実験の同様な温度分布も図-2に描かれているが、温度変化はほとんどみられない。その時の $\bar{E}$ 値は 0.0158 mm/h より 0.0147 mm/h へと減少した。 $Z_w = 25.5$ cm で風速を途中変えない $U = 290$ cm/s 場合の $\bar{E}$ 値は 0.111 mm/h であり、上記前者の場合の風速変化後の $\bar{E}$ 値の約 2 倍となっている。また、両者の最終温度分布にはかなりの差が認められた。このことは、風速増加後の砂層内の水分状態は、変化前の風速の小さい時 図-1(b) 温度分布の時間変化の水分状態の影響をかなりの程度受けている事を示唆する。すなわち、地下水位と風速が同一値を示す場合においても、定常下の蒸発強度は必ずしも同じとはならず、過去の履歴によって変化すると言える。

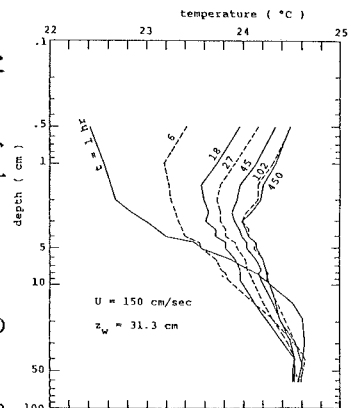


図-1(b) 温度分布の時間変化

2) 蒸発面の下降： 図-3 は $U = 290$ cm/s で $Z_w = 46.1$ cm と地下水面が深い場合の蒸発面の降下状況

を示す。 Ze' 値は 4 cm となったが、 Ze のこの深さへの移行は経過時間(t)の平方根に比例している様にみえる。 $Ze \propto t^{1/2}$ が成立している段階では、マリOTT装置から砂層への水供給はほとんどなく、蒸発はいわば初期水分状態からの脱水として生起していた。砂層上部の初期水分は field capacity にほぼ一致して一様な分布となっている。これらのことは、水分量が比較的小さな一様水分分布下での蒸発面は $t^{1/2}$ に比例して移動することを示唆する。

3) 蒸発面の深さと蒸発強度: $U = 290$ cm/s の場合での Ze' と $E/\Delta q$ との関係が図-4の黒丸で示されている。ここに、 Δq は砂層上の乱流境界層上縁と蒸発面での比湿の差である。また図中の白丸は地下水面が固定されない場合の Ze と $E/\Delta q$ の実験結果である。図より、蒸発面の深さを固定したとき、黒丸は白丸群の大略中央値になっている様にみえる。しかし、温度測点が離散している事や各々が定常、非定常の現象である事を考えると、地下水面が固定された場合の定常蒸発強度は、ある蒸発面の深さに対して、下限値をとると考えるのが妥当であろう。なお、蒸発面上方の水蒸気輸送機構については参考文献1)を参照されたい。

4) 蒸発強度と気化熱: 図-5は蒸発面付近での熱移動量を示したものである。ここでは、砂層内の熱移動は伝導のみによってなされるとし、熱伝導率(λ)を De Vries の方法²⁾で与えた。この計算値は図-6のように実験値とよく合致している様にみえる。図-5より推定した蒸発面($Ze' = 3$ cm)に供給される熱量は実測蒸発強度から求めた気化熱と比べ 30 % 程度の差があった。この差異の原因として、主として蒸発面上部の λ 値の推定に問題があるように考えられる。即ち、液水の体積含水率 (θ) が極めて小さい部分 ($\theta < 0.04$) の λ 値は θ の僅かの変化に対しても大きく変わる(図-6)。この水分状態が蒸発面上方でのものに一致したので、上の計算に際し、そこでの θ 値の評価に問題があったといえる。

4. おわりに: 以上、定地下水面をもつ砂層からの蒸発実験の結果とそれに対する若干の考察を示した。今後は、特に蒸発面付近での詳細な現象の解明が必要である。

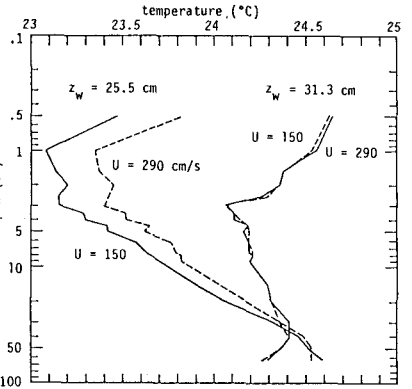


図-2 最終的な温度分布

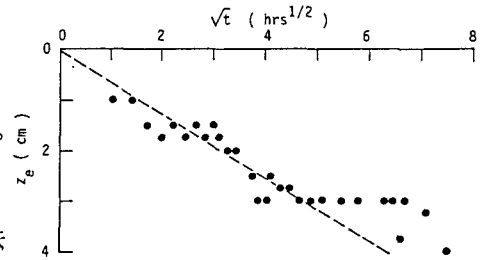


図-3 蒸発面の移動状況

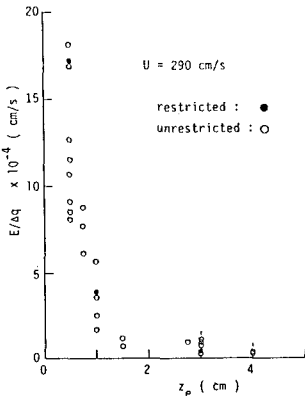


図-4 $E/\Delta q$ と Ze の関係

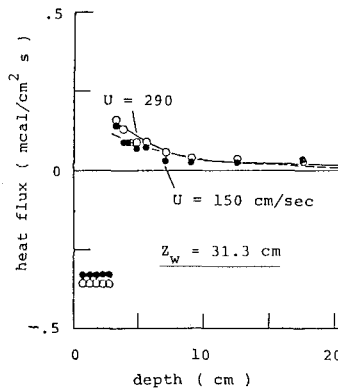


図-5 熱移動量の状況

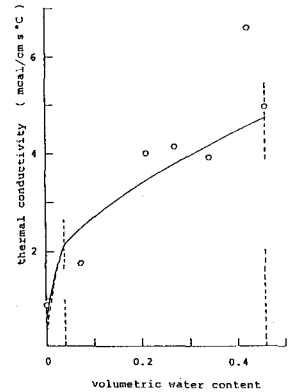


図-6 熱伝導率

参考文献: 1) Ishihara & Shimojima et al(1988): APD-IAHR, 2) De Vries(1966): Phys. of Plant Environment, North-Holland Pub. Comp..