

京都大学防災研究所 正員 下島栄一, 石原安雄
京都大学大学院 学生員 葛葉泰久

1. はじめに : 陸水の循環過程において、特に乾燥地帯では、地面からの水の蒸発は一つの境界条件となる極めて重要な現象である。現象は気象条件と土地条件が複雑にからみ合、て生起しているの、蒸発に關与するこれらの要素の分析が不明確で、実際の現象の解明が難しい状況である。本文は、これらの適当な要素を固定しつつ実験的に地面(砂地)からの蒸発機構を解明するために行なった実験結果を記したものである。

2. 実験条件 : 実験装置は天秤計りに設置された長さ94cm, 幅34cm, 高さ67cmの砂層(平均粒径が0.25mmの比較的均一な砂)の表面が、断面40cm×40cmの直線風洞の一部下面となっている。実験は、ほぼ水分飽和となった砂層の表面上に、温度25.5℃, 相対湿度40%の空気を、平均風速($\bar{U}$) 293 cm/sec, 215 cm/sec, 150 cm/sec, 67 cm/secで流し続けることにより行なわれた。以下ではそれぞれをcase 1, ..., case 4と呼ぶ。測定項目は砂層内の水圧と温度および蒸発量であり、それぞれ深さ方向に4~5本、気流方向に4列に並べられたボラスカップ(計18本, マノメータ方式)、砂層表面中央部より深さ方向に7本の熱電対、および天秤計りの重量変化によって計測した。なお、室温は気流温度にほぼ等しい。

3. 実験結果とその考察

(1) 蒸発量 : 図1は積算蒸発量(I)の時間変化を示したものであり、また図2は図1の実験開始後の比較的短い期間での様子を拡大したものである。これらよりつぎのことがわかる。①蒸発強度 $E (= dI/dt)$ の変化は実験開始直後を除外すると、つぎの4段階に大別できる。まず、 $t=20\sim30$ hr程度($=t_1$)までの、ほぼ一定値(E_1)をとる第1段階、一旦急減した後ほぼ元に戻復する第2段階、 $t=100\sim200$ hr程度($=t_2$)まで一定値(E_2)をとる第3段階、最後に次第に緩やかに減少してゆく第4段階である。② $I(t; \bar{U})$ は、 $\bar{U}$ が大きなものほど大きい、 $E(t; \bar{U})$ はある時間から $\bar{U}$ が大きなものほど大きいという傾向を示さなくなる。図3は E_1, E_2 と $\bar{U}$ との関係をプロットしたものであり、③ E については明確な関係はあられていないが、 E_2 は $\bar{U}$ とほぼ直線関係にある。

(2) 地下水面 : 砂層表面からの深さを z と記すと、① $z=5.3\sim66.4$ cmの間の全水頭(マノメータ水位)は実験中常しく、ただ $z=5.3$ cmでのものは蒸発が第4段階にある途中より他のものとは比べて小さくなってゆくことが実験的にわかつてい

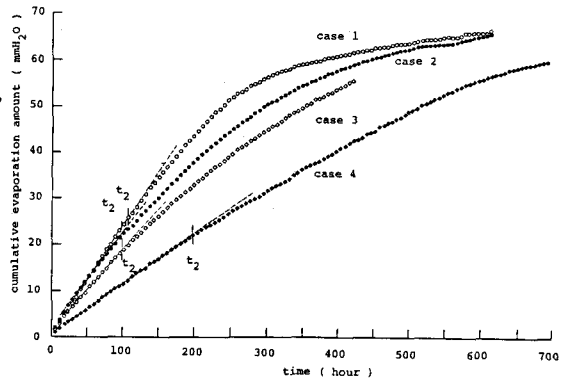


図-1. 積算蒸発量の時間変化

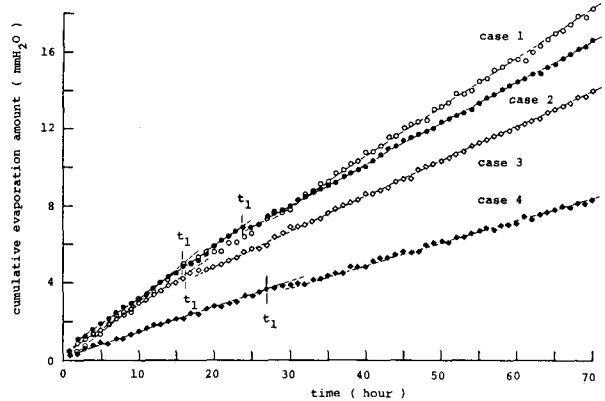


図-2. 図-1と同様、但し初期段階での変化

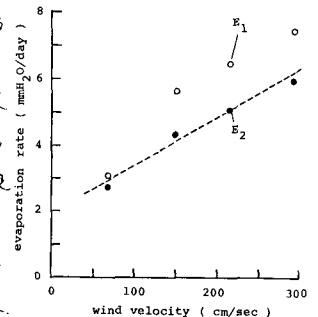


図-3. E_1, E_2 と $\bar{U}$ との関係

る。水圧バロの面を地下水面と定義し、この面の深さ($z = z_w$)の時間的変化を調べると、図4のようになるが、これよりつぎのことかわかる。②地下水面は、実験開始後急に低下した後ある区間($t_1^* < t < t_2^*$)ほぼ直線的に変化し、その後緩やかな低下を示す。③ $z_w(t; \bar{U})$ は $\bar{U}$ が大きなものほど大きい。④ t_1^* と t_2^* は、(1)での t_1 、 t_2 にほぼ対応し、また $t = t_1^*$ 、 $t = t_2^*$ での z_w は $\bar{U}$ に關係なくほぼ一定の値をとる。

(3)蒸発量と地下水面位との關係：測定された積算蒸発量と地下水面の深さとの關係を case 2 と case 4 について

調べてみると図4のようになる。ここで図中の白丸は次の値を示す。すなわち、(2)で述べた実験事実①と砂層の初期水分条件を考慮して、地下水面上での水分量分布が飽和状態からの脱水過程の水分特性曲線になっていると考えた計算値である。この計算値と実験値はよく合致している(他の case についても同様)ので、これより積算蒸発量は上記の水分量分布を介して地下水面の深さと関係づけられることになる。なお、マノメータ水位と上記の水分特性曲線を介して case 2 の場合の水分量分布の時間変化を示すと、図6の実線となる。図中の白丸は $t = 600$ hr に $z = 0 \sim 0.5$ cm 間の砂のサンプルを直接重量測定することにより求めた水分量の値を示す。これより少なくともこのような段階では砂層表面直下での水分量は急激に減少していることがわかる。

(4)砂層内の温度：図7は case 2 の各温度測点での時間変化を示したものであるが、この図および他の case の同様の図(図8参照)より次のことがわかる。

①砂層内温度は深さによって程度差はあるが、平均的にみると一旦急減した後、次第に緩やかな増加傾向を示す。②温度変化の程度は砂層表面に近いものほど著しい。蒸発は気化熱を伴うので、これより砂層表面と最上位の測点($z = 4.4$ cm)との間で、すなわち表面近傍で蒸発が生起していたと推測される。図8は各 case の $z = 4.4$ cm での温度変化の様子を示したものであるが、これより③ $\bar{U}$ の大きなものほど温度変化の程度が著しく、また④平均的にみると、一旦低下した温度の回復が速いことがわかる。⑤は、 $E(t; \bar{U})$ が途中より $\bar{U}$

が大きいほど小さくなるという蒸発強度の変化傾向(①の④参照)に対応するが、これは気化熱の問題に起因する。なお図8で蒸発の第2段階(①参照)の時間帯に注目すると、 E の一時的急減に対応して温度が急増している(矢印)ことがわかるが、その生起原因は明確でない。

図-7. 砂層内温度の時間変化

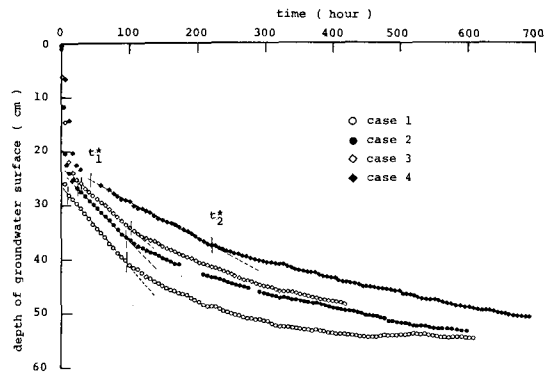


図-4. 地下水面の深さ(z_w)の時間変化

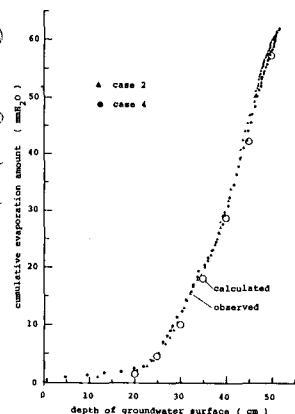


図-5. E と z_w との関係

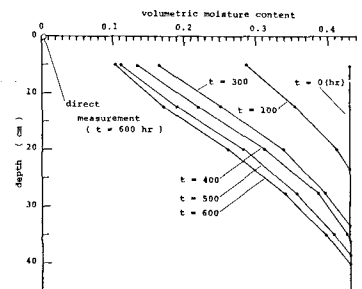


図-6. 水分量分布の時間変化

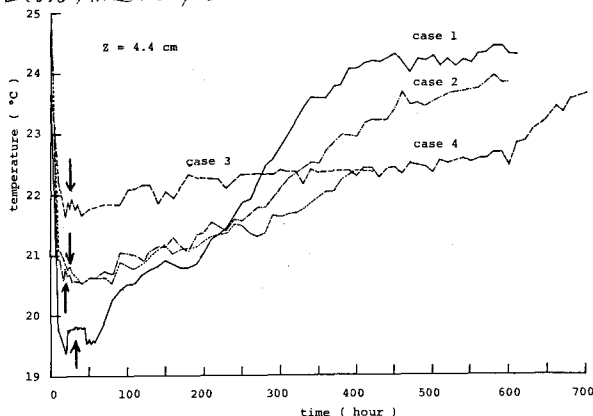


図-8. 砂層表面直下温度の時間変化