

II-23

日周期的な放射変化を受ける sandy loam カラムの灌水・蒸発・乾燥実験

福井大学大学院 学生会員 高野 保英*
福井大学工学部 正会員 福原 輝幸*

1. はじめに 筆者等は、1996年3月よりアラブ首長国連邦（U.A.E.）農漁業省の農業試験場において、気象観測および土壌中の熱・水分計測を行っている^{1),2)}。同試験場では農業用水として地下水の灌漑が行われているが、近年地下水位の低下や塩分濃度の上昇が認められている。従って、水資源の有効利用や塩害防止などの観点から、乾燥地における節水灌漑の実施が必要となるが、そのためには乾燥地における熱・水分収支のより正確な定量的評価方法の確立が重要であり、また現地土壌内における熱・水分移動メカニズムの理解が必要となる。

そこで本研究では、より現実的な環境下における灌水後の土壌内への水分の浸透あるいは土壌の蒸発・乾燥過程を調べることを目的として、同試験地の代表的な土壌である sandy loam を用いた日周期的な短波放射を受ける土壌カラムの灌水・蒸発・乾燥室内実験を行った。ここでは、その結果を紹介する。

2. 実験概要 0.12×0.12×0.45 m の土壌カラムに sandy loam（平均粒径 0.08 mm、密度 $2.65 \times 10^3 \text{ kg/m}^3$ ）を間隙率 0.45（体積含水率 0.03）で充填した後、温度 20 °C、相対湿度 50 % の恒温恒湿室に設置する。カラム側面および底部からの熱損失を抑えるため、カラム周囲は厚さ 0.1 m の発砲スチロールで覆われる。

カラム上方 0.31 m に赤外線ランプ（375 W）が設置され、電圧コントローラーにより短波放射を日周期的に土壌表面に与える。24 時間を 1 サイクルとして、短波放射量 R_s はサイクル開始 6.5 時間後から 12 時間に渡って疑似正弦曲線に従って上昇次いで下降し（昼間に相当）、その前後の計 12 時間は 0 W/m^2 で一定である（夜間に相当、Fig.1 参照）。灌水は実験開始 83 時間 45 分後（第 4 サイクル中）に行われ、7.5 ℓ/m^2 の純水（水温 20 °C）を 15 分間に渡って土壌表面に与える。なお灌水中は、実験装置の都合上ランプを消灯する。

実験は 10 サイクルに渡って行われ、実験期間中、土壌表面上および土壌内の温度 T および湿度 RH は温度・湿度センサー（VISALA 製および TEST TERM 製）あるいは熱電対により、砂層内の体積含水率 θ は TDR 式水分センサー（TRIME 製）により、砂層の重量変化は重量計（エー・アンド・デイ製）によりそれぞれ測定され、 T および RH から水蒸気密度 ρ_v が、重量変化量から単位面積当たりの積算蒸発量 Q_v がそれぞれ算出される。また、1つのカラムで全ての測定を行うことは困難であるため、 T - RH 測定用および Q_v - θ 測定用カラムの 2 種類を用意し、同時並行で実験を行う。

3. 実験結果 以下の図および記述では、灌水終了時刻を基準（ $t = 0 \text{ hr}$ ）とし、それ以前の時刻には負の符号を付する。また図中、矢印で Irrigation と記した時点は灌水開始時刻を表す。

灌水前から灌水 27 時間後までの任意の深度における体積含水率 θ の経時変化を、Fig.2 に示す（第 4～第 5 サイクル、 $t = -3 \sim 27 \text{ hr}$ ）。灌水終了後、下方への水分移動により、まず表面付近（地表面下 0.015 m、 $z = -0.015 \text{ m}$ ）の θ が、続いて $z = -0.04 \text{ m}$ のそれが急上昇する。例えば、灌水終了時（ $t = 0 \text{ hr}$ ）における表面付近の θ は約 0.18 であり、表面が湿潤状態になっていることが知れる。その後、水分の下方移動あるいは蒸発により、両深度の θ は徐々に低下し、 $t = 26 \text{ hr}$ には表面付近の θ はほぼ灌水前の状態に戻る。しかしながら、 $z = -0.065 \text{ m}$ 以深では θ はほとんど変化せず、灌水の影響は認められない。

次に、任意の深度における土壌内温度 T_s および相対湿度 RH_s

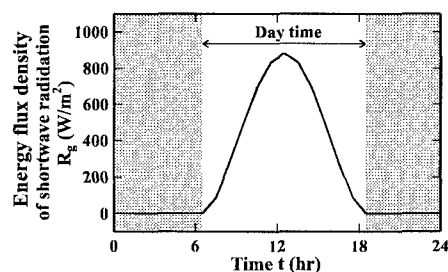
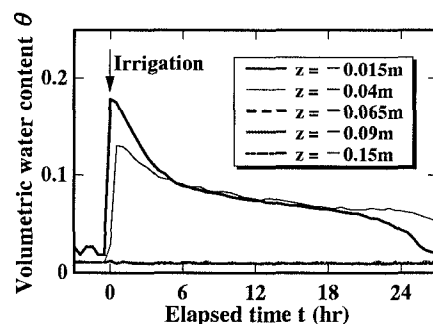


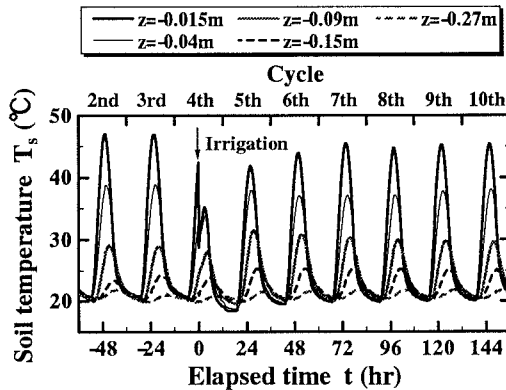
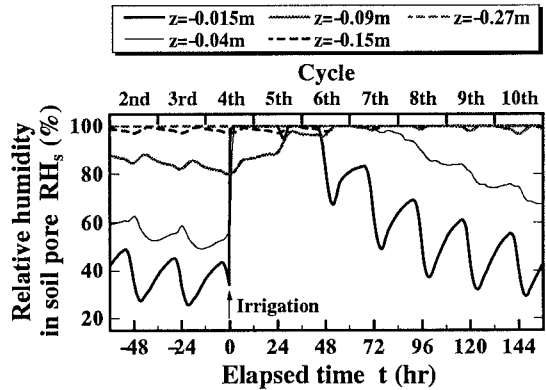
Fig.1 短波放射量の経時変化

Fig.2 体積含水率の経時変化 ($t = -3 \sim 27 \text{ hr}$)

キーワード：土壌灌水・蒸発・乾燥過程、土壌熱・水分移動

* 〒 9108507 福井市文京 3-9-1

TEL 0776-23-0500 (2809) FAX 0776-27-8746

Fig.3 土壌内温度の経時変化 ($t = -60 \sim 156$ hr)Fig.4 土壌内相対湿度の経時変化 ($t = -60 \sim 156$ hr)

の経時変化を、Fig. 3 および Fig. 4 にそれぞれ示す（第2～第10サイクル、 $t = -60 \sim 156$ hr）。後述する灌水の影響を受ける期間を除いて、温度は短波放射量と同位相で、相対湿度は短波放射量と逆位相で日周期的な変動を示す。

表面付近（ $z = -0.015$ m）の T_s に注目すると、灌水直後（第4サイクル、 $t = 0.25$ hr）の T_s は約 13°C 低下している。これは灌水の顕熱効果および灌水中の赤外線ランプの消灯によるものであるが、予備実験より得られたランプ消灯による T_s の低下から判断して、顕熱効果による T_s の低下は約 8°C であると推定される。その後、 T_s は再び上昇に転じるものの最高値は約 35°C にとどまり、灌水以前のサイクルのそれと比較すると 12°C 低い。また、 $z = -0.04$ m の T_s の最高値（約 34°C ）も、灌水の影響を受けて灌水以前に比べて 5°C 程度低くなる。次のサイクル以降、徐々に T_s の最高値は増大し、 $z = -0.04$ m では第5サイクル（ $t = 12 \sim 36$ hr）、 $z = -0.015$ m では第7サイクル（ $t = 60 \sim 84$ hr）にはそれぞれ灌水前の状態に戻る。なお、 $z = -0.09$ m 以深の T_s には、灌水の影響による大きな変化はあまり観られない。

次に RH_s の変化に注目すると、灌水直後から $z = -0.015$ および $z = -0.04$ m の RH_s が急激に上昇し、続いて $z = -0.09$ m のそれが上昇し、やがて 100% となる。しかしながら、 $z = -0.15$ m 以深の RH_s には灌水の影響は観られない。灌水後に急上昇した RH_s は、乾燥過程の進行に従って周期的変動を示しながら徐々に低下し、 $z = -0.015$ m では第10サイクル（ $t = 132 \sim 156$ hr）でほぼ灌水以前の状態に戻るが、 $z = -0.04$ m および $z = -0.09$ m では依然として低下が続いている。従って、相対湿度は温度に比べて、灌水の影響を長時間受けることが分かる。

上述のような灌水後の土壌内温度および相対湿度の挙動は、U.A.E.にて行われた灌水・蒸発・乾燥野外実験より得られた土壌内温度および相対湿度の挙動^{1),2)}に類似の点が多い。

Fig.5 に、単位面積当たりの積算蒸発量 Q_v の経時変化を示す（第4～第10サイクル、 $t = 0 \sim 156$ hr）。灌水約24時間後までは Q_v は直線的に増加するが、それ以後は日周期的な変動を示す。主に夜間に相当する期間に積算蒸発量の減少が生じるが、これは、筆者等が豊浦標準砂を用いて行った日周期的な放射変化を受ける砂層蒸発実験結果より確認された、土壌粒子への水蒸気の吸着³⁾によるものであると思われる。

5. 結論 sandy loam を用いた灌水・蒸発・乾燥室内実験を行った結果、灌水後の土壌中の熱・水分移動および土壌からの蒸発に関する基礎的なデータを得ることができた。今後はこれらの結果を用いて土壌中の熱・水分移動解析を行い、熱・水分収支の定量的評価方法を確立し、現地への適用について検討する必要がある。

参考文献 1) 高野保英・福原輝幸・黒川和男：中東の乾燥地土壌中の熱・水分の移動特性と蒸発・乾燥過程—アラブ首長国連邦における気象観測および土壌熱・水分計測—, 水工学論文集, 第41巻, pp. 221–226, 1997. 2) 高野保英・福原輝幸：アラブ首長国連邦における現地気象・水分観測—土壌温湿度法による灌水後の土壌蒸発・乾燥過程の評価—, 水工学論文集, 第42巻掲載予定. 3) 高野保英・福原輝幸：日周期的な放射変化過程における砂層と大気間の水蒸気移動—砂の呼吸現象—, 第50回土木学会年次講演回概要集, II-A37, pp. 74–75, 1995.