

日建技術コンサルタント 正員 ○ 岩元 準
大同工業大学 正員 下島 栄一
岐阜大学 玉川 一郎

1. はじめに： 乾燥・半乾燥地での蒸発過程において、そのソースとして、降雨以外に、地表面に侵入した大気水蒸気の凝結水が考えられる。この凝結現象は日周期的に生起する場合もあるが、これが地中でどのように進行し、また凝結水がどのような蒸発過程を経るのか、さらには繰り返される凝結—蒸発が塩類集積にどのような影響を及ぼすかを調べることは乾燥地水文学にとって重要な問題である。本文は、このような凝結—蒸発—塩類集積の関係を、実験を通して調べた結果を示したものである。

2. 実験方法¹⁾： 中国北西部の気乾状態の砂丘砂（中央粒径:0.22 mm、field capacity θ_f :体積含水率 $\theta = 0.09$ ）を用いて、直径 10 cm、長さ約 110 cm の下端を閉じた PVC パイプに一樣砂層を作り、重量計に鉛直に設置した。砂層上部には温湿度センサー（Vaisala:HMP36ASF）を埋設している。Case A では、この砂層を蒸留水で一旦飽和させて脱水平衡の一樣水分量分布 ($\theta = 0.09$) を作った。次いで、この砂層表面を気温 25°C、湿度 20% の大気に開放し、上方より赤外線ランプで一定強度 (550 W/m²) の熱照射を 61 日与えて蒸発実験を行った後、大気条件を湿潤 (65%)・無熱照射—乾燥 (20%)・熱照射 (550 W/m²) とした周期 (T_p) 4 日の変化を 3 サイクル与えた（その際、気温は 25°C で固定）。

Case B では、気乾状態の砂層に対して、湿度、温度、熱照射強度の条件は Case A と同じであるが、 $T_p = 1$ day、2 day、4 day とした気象変動を 4~12 サイクル(N)与えた。

実験終了時には、砂層を分解し、炉乾法で水分量分布を、土壌水の水質はイオンクロマトで分析した。

3. 実験結果

1) 水蒸気の挙動

Case A： 図 1 は砂層内の水蒸気密度 (ρ_v) 分布である。ここに、時刻 $T = 96$ h は WET 段階の初期状態に対応、深さ $X = 0$ cm でのデータは砂層直上での ρ_v の測定値。WET 段階では、常に深さ 4 cm 付近に ρ_v の最小値が現れ、それより上方、下方で ρ_v 分布の傾きは逆になっている。また時間経過と共に特定の深さの ρ_v は増加し、その分布の勾配の絶対値は減少する。水蒸気輸送の駆動力は $\partial \rho_v / \partial X$ であるので、水蒸気は $X = 4$ cm 付近に向かってその上下部分より運ばれ、凝結していることが分かる。凝結水のソースは大気より侵入する水蒸気と $X = 13$ cm 付近の蒸発域より上昇する水蒸気である。他方、DRY 段階では、 ρ_v は砂層表面より直線的に増大し、 $X = 6$ cm 付近で折れ曲がった後、傾きは小さいが同様に直線的に変化している。従って、大気に放出される水蒸気の主たるソースは $X = 6$ cm 付近の蒸発域であり、また程度は小さいが WET 段階と同様、深部もソースとなっている。これらの寄与は時間と共に、前者

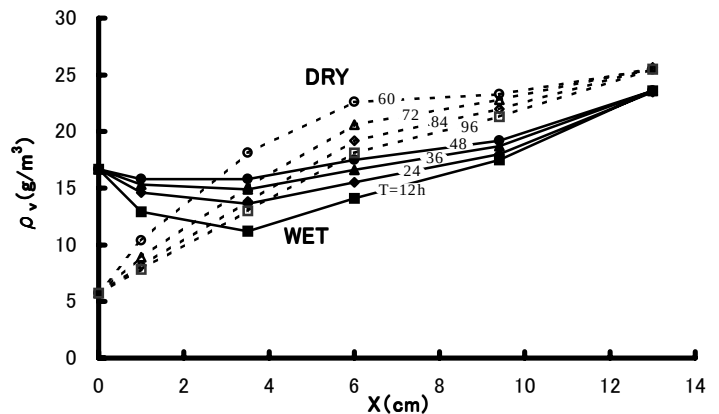


図1 水蒸気密度分布 (Case A)

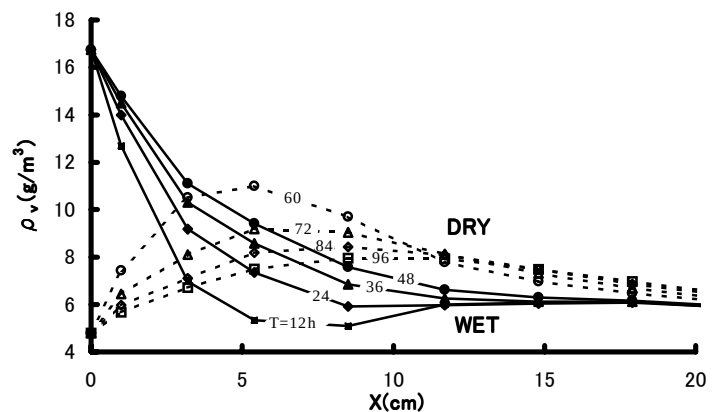


図2 水蒸気密度分布 (Case B: $T_p=4$ day)

キーワード：蒸発 塩類集積 水蒸気凝結 乾燥・半乾燥地 実験

連絡先：大同工業大学 〒457-8790 名古屋市南区白水町 40 TEL(052)612-5571 FAX(052)612-5953

は小さく、後者は逆に大きくなる。

Case B: 図2は $T_p = 4$ day の ρ_v 分布図である。DRY 段階では、 ρ_v が最大値を示す深さ（蒸発域に対応）は時間と共に 5 cm より 10 cm 程度へと深くなっている。また蒸発域で発生した水蒸気は上方（大気へ）のみならず下方にも運ばれて、 $X = 20$ cm 付近で凝結している。下降する水蒸気の挙動は Case A では認められなかったが、これは砂層の初期条件を乾燥状態としたことによる。他方、WET 段階では、最初の内は大気よりの侵入水蒸気以外に、 $X = 12$ cm 付近での蒸発による水蒸気が上方（ $X = 5 \sim 8$ cm）に輸送されて凝結しているが、時間と共に凝結水のソースは大気側のみとなり、その侵入は深くなっている。ここでの WET-DRY 段階での蒸発-凝結は $T_p = 2$ day、1 day の場合にも同様に認められたが、蒸発域や凝結域の移動範囲は次図の通り小さい。

図3は種々の気象変動周期に対する DRY 段階での蒸発域の移動を示す。Case B の場合、蒸発域の深さ（ X_d ）は周期の長さに関係なく同一線上で変化するが、Case A の場合は途中より離反して、一定の値を保持するようになる。この離反の出現は Case B とは異なり、蒸発域の下方で field capacity を示す水分量分布が連なっていることによる。

2) 蒸発・凝結量の変化: 1 サイクルでみると、砂層重量は Case A で減少（蒸発が卓越）、Case B で増加（凝結が卓越）した。また2サイクル目以降での WET と DRY 段階での変動量はほぼ一定となったが、そこでの平均蒸発割合(mm/day)は、3サイクル目で、Case A の場合、WET で-0.255、DRY で 0.382、Case B ($T_p = 4$ day) の場合、WET で-0.382、DRY で 0.318 となった。

3) 塩類集積: 図4は、Case B ($T_p = 2$ day) で、 $N = 4, 12$ での塩類濃度分布（DRY の終了時）と Case A の場合の比較を示す。Case B でも塩類集積（ソースは砂粒子の溶出）は少し認められるが、凝結-蒸発の繰り返しによる影響は明確ではない。他方 Case A の集積は顕著である。これらより、塩類集積が十分に進行するためには、凝結水のみが蒸発のソースとなるような環境下ではなく、降雨による土壌水の形成や下方から塩類輸送が起こるような水分量分布の存在（Case A に対応）が重要な条件となることが分かる。

4. 現地との比較: 図5は西オーストラリアの半乾燥地で、地中の水蒸気密度を温湿度センサー (Vaisala:HMP42)で計測した一例である。測定時には、地下1m 付近に地下水面が存在した。 ρ_v 分布の日変化は Case A と類似であり、昼間（DRY 段階に対応）では地下4cm より深い所で蒸発が生起し、深夜（WET 段階）で、深さ約1cm 付近で凝結が見られる。

5. おわりに: 現地観測はオーストラリア CSIRO の J.V. Turner 博士、R. Woodbury によりなされた。本研究は、科研費（基盤研究（C）H9-10 年度、H11 年度）の援助を得た。

<参考文献> 1)下島・玉川:「乾燥・半乾燥地域での地面蒸発と塩類集積の相互作用」、科研報告書(1999).

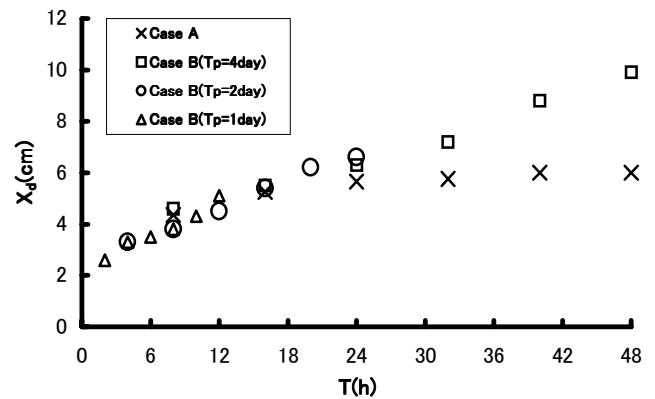


図3 蒸発面の経時変化(1サイクル目)

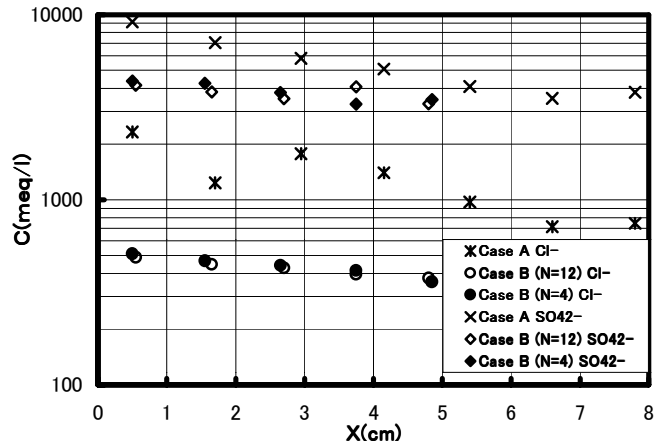


図4 濃度分布(Cl⁻とSO₄²⁻の場合)

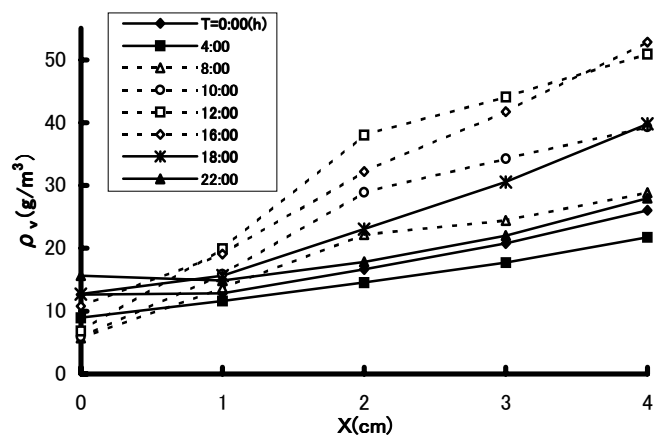


図5 水蒸気密度分布(1999/12/23)