

塩性環境における撥水布を用いた露収集システム

Dew Collection System with Water Repellent Cloth in Saline Environment

Key words: Dew collection, Evaporation, Water condensation, Saline environment

水資源利用工学分野 橘 悟

1. はじめに

塩性土壌において、蒸発を伴う毛管現象は塩害を引き起こす。また、塩類集積による砂漠化は重大な環境問題になっている。そのような塩性環境であることが多い乾燥地域においては霧や露が重要な水資源となる可能性を有しており、近年大気中からの露収集システムが注目されている。収集された水は質が良いことから作物栽培に用いるだけでなく飲み水としても利用可能である。露収集システムの実用化には、水、熱、塩分の移動と相転移などを予測することが不可欠である。本研究では塩性環境にした実験水槽において、撥水布を用いた露収集システムを試作する。試作したシステムの大気中と土壌中の両者において様々なデータを計測し、数理モデルによる現象の説明が可能となることを示す。

2. 実験圃場・実験材料

図1は実験圃場の鉛直断面図である。マルチングシートとは蒸気が通過できない透明なポリエチレンのシートである。畝5の下に撥水布はない。各畝の中とP3に測定装置を設置した。撥水布は、30 cmH₂O程度まで水は通さないが、蒸気は通過可能なものを用いた。

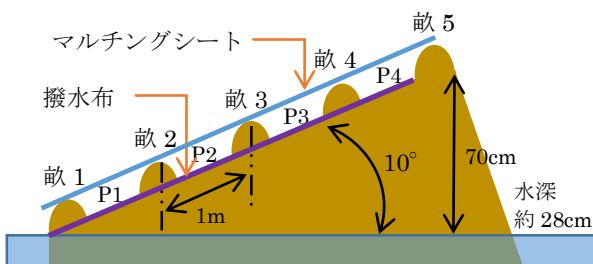


図1 実験圃場の鉛直断面図

3. 数値計算手法

3.1 露形成

露が形成されるか判断するためには露点と結露面の表面温度が必要である。露点を求めるために必要な温度 T (°C) と飽和水蒸気圧 e_s (hPa) との関係式に Tetens の式²⁾

$$e_s = 6.1078 \times 10^{7.5T / (237.3 + T)} \quad (1)$$

を用いる。

表面温度を求めるためには

$$T_s = T_{out} + \frac{T_{out} - T_{in}}{a_i \left(\frac{1}{a_i} + \frac{1}{a_o} + \frac{l}{\lambda} \right)} \quad (2)$$

を用いる。ここに、 T_s はマルチングシート下の表面温度 (°C)、 T_{out} は気温 (°C)、 T_{in} は内側温度 (°C)、 a_i は内側熱伝達率 ($W/m^2 \cdot K$)、 a_o は外側熱伝達率 ($W/m^2 \cdot K$) を示す。本研究においては $a_i = 14$ 、 $a_o = 24$ とする。 l は材料の厚さ (m)、 λ は材料の熱伝導率 ($W/m \cdot K$) であり、ポリエチレンのマルチングシートに対しては、 $l = 0.0001$ (0.1mm)、 $\lambda = 0.41$ である。表面温度が露点より低い時、水蒸気がシート下に結露する。

3.2 蒸発

蒸発量推定には

$$E = \beta \alpha_e \frac{\Delta}{\Delta + \gamma} \frac{R_n}{L_e} \quad (3)$$

$$\beta = \begin{cases} 1 & (w > w_0) \\ (w - w_c) / (w_0 - w_c) & (w \leq w_0) \end{cases} \quad (4)$$

を用いる。ここに、 E は蒸発量、 α_e は定数で 1.26 という値がよく用いられる。 Δ は飽和水蒸気圧曲線の傾き、 γ は乾湿計定数 (0.667 hPa/K)、 R_n は正味放射フラックス密度、 L_e は純水気化の潜熱である。 β は蒸発に利用できる水分を反映した低減係数であり、蒸発抵抗係数とも呼ばれる。低減係数は土壌水分量の関数と仮定される。よく使われる仮定が式(4)であり、本研究でも式(4)を仮定する。 w は土壌の表面含水率であり、 w_0 は臨界土壌水分量で、土壌水分がこれ以上の時は、蒸発量が可能蒸発量と等しくなる。 w_c はこれ以下で蒸発量が 0 になる下限値である³⁾。圃場の土壌水分特性曲線より、 $w_0 = 0.367$ ($pF = 1.3$)、 $w_c = 0.08$ ($pF = 5.0$) とする。表面含水率を求めるため、次節の水移動の解析を行う。

3.3 水と塩分の移動

毛管現象をシミュレートするには、土壌間隙が

水で飽和していないことを考慮することが重要である。多孔質媒体中の不飽和流は一般的にリチャーズ式

$$\frac{\partial \theta}{\partial t} = -\nabla \cdot \mathbf{q} = \nabla \cdot \mathbf{K} \nabla u \quad (5)$$

で表される。θ は含水率，q はダルシー流速，K は透水係数テンソル，u はピエゾ水頭を表す。不飽和透水係数を求めるために Van Genuchten モデルと Mualem モデル⁴⁾を用い、リチャーズ式を有限要素法で解く。塩分濃縮の位置については佐藤らの論文⁵⁾を参考にし、臨界土壌水分量を示す位置より 20 cm 上で濃縮すると仮定する。

4. 計算結果と考察

表 1 に結露量の計算結果を示す。結露量の大小は地温の測定値と類似していた。よって他の環境条件が同じであれば地温が高いほど結露量が大きくなると推測できる。

表 1 月ごとおよび測定期間(117日)における 1 日あたりの結露量と測定期間の合計結露量

		P1	P2	P3	P4
一日あたりの結露量 (g/day)	6月	53.24	97.17	71.19	104.62
	7月	14.36	40.13	26.12	67.09
	8月	12.24	19.45	20.66	44.64
	9月	6.61	10.66	13.53	26.46
	測定期間(117日)	23.45	45.28	35.21	63.41
測定期間(117日)の合計結露量 (g)		2743.6	5297.4	4119.3	7418.9

図 2 は実験圃場のの上辺を 15 等分した各点での水面からの距離と積算蒸発量の関係を表している。

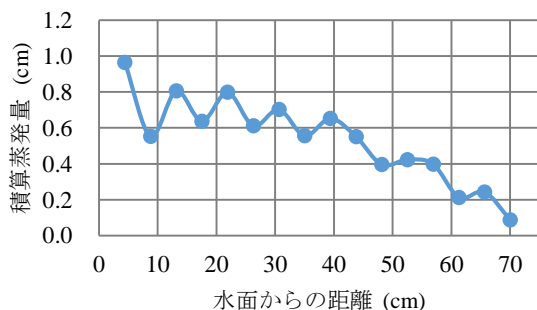


図 2 圃場のの上辺における 110 日後の積算蒸発量

本研究ではリチャーズ式の初期条件をピエゾ水頭 $u = 0$ としたので初期に含まれていた地表面の水分がなくなるまでは蒸発したが、表面含水率が w_c を下回るようになってからはほとんど蒸発していない。

水面から離れた位置では早期に含水率が低くなるために他の部分と比較して蒸発が抑制される。逆に水面に近い地表面では水面から水が補給されやすいので含水率が下がりにくく蒸発量が大きくなったと考えられる。しかし現実ではより速く水が補給されていることと土壌中からの蒸発があると予想されるので、今後蒸発抵抗係数の仮定には改善が必要と考える。

図 3 に圃場鉛直断面の含水率を示す。表面から約 25 cm の範囲では含水率がほぼ常に残留体積含水率 (0.06) であった。水面から近い位置では拡散係数が大きくなる傾向があるため表面の塩分濃度が高くなり、離れた位置では蒸発が土壌中でおこるため表面ではなく土壌中で塩分濃度が上昇すると予想される。

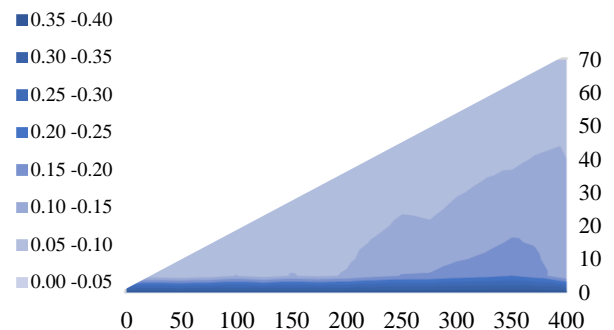


図 3 圃場の含水率(110日後)

5. おわりに

本研究では露収集システムの実用化のために、結露、蒸発、水分・塩分濃縮の各現象について数値モデルを構築し、計算を行った。今後は、実際に結露した水分量の測定、作物による蒸散や露が効率よく発生する条件、蒸発散が湿度や結露に及ぼす影響、結露した後の水の挙動、塩分濃度の分布を調べることで、環境に配慮したより実用的な露収集システムが実現可能となると考える。

参考文献

- 1) Gandhidasan, P., Abualhamayel, H. I. (2005) : Modeling and testing of a dew collection system, *Journal of Desalination*, **180**, 47-51.
- 2) 筑波大学水文科学研究室 (2009) : 水文科学, 共立出版, 36-40.
- 3) 筑波大学水文科学研究室 (2008) : 水文学, 共立出版, 93-106.
- 4) ウィリアム・ジュリー, ロバート・ホートン (2006) : 土壌物理学 土中の水・熱・ガス・化学物質移動の基礎と応用 (取出伸夫 監訳), 築地書店, 102-112.
- 5) 佐藤邦明, 福原輝幸, 宗像雅広, Seige Bories (1990) : 蒸発による円柱カラム不飽和帯の溶質移行と蓄積に関する基礎的研究, 土木学会論文集, **424**, 135-144.