

# 散水後の蒸発に伴う土壌塩分の集積および溶脱

## 1. はじめに

東南アジアの陸地の約 1/3 が塩害または塩害の危機に曝されている。中でも中国内陸部の塩害は深刻であり、土壌中の含塩率が高いために多くの畑地が塩で白く覆われ、放置されている。塩害は気象条件、土壌の不飽和特性、地下水位、塩類の移流・分散が複雑に絡み合っていることは知られているものの、現実にかかる土壌温度勾配の実験データは極めて乏しい。

Table1-1 実験条件

CASE	Unit	C1-1~6	C2-1	C2-2
Duration	(hr)	240		
Groundwater lever	(m)	-0.1		
Porosity		0.4		
Dry bulk density	(kg/m <sup>3</sup> )	1.68 × 10 <sup>3</sup>		
Lamp height	(m)	0.3		
Air temperature	( )	20		
Relation humidity	(%)	40		
Initial concentration	(%)	0.5		
Watering Quantity	(kg)	0.25		
Watering period	(min)	6		

## 2. 散水後の蒸発に伴う土壌塩分の集積および溶脱に関する実験

2.1 実験条件および方法 実験は福井大学内の恒温恒湿室内(温度 20、湿度 40%)に行なわれた。実験には直径 0.13m、高さ 0.4m の塩ビ製カラム(厚さ 0.01m) 6本とアクリル樹脂製 2本の計 9本を使用した(Fig.1 参照)。実験条件は Table1-1 に示される。C1-1~6 の塩ビ製カラムは 0.02m 間隔で土壌サンプルを採取できるように製作される。C2-1 は TDR 水分センサーが挿入されたアクリル製カラムであり、砂層中の水分が測定される。C2-2 は 4 極塩分センサーが挿入されたアクリル製カラムであり、砂

C : Sandy column

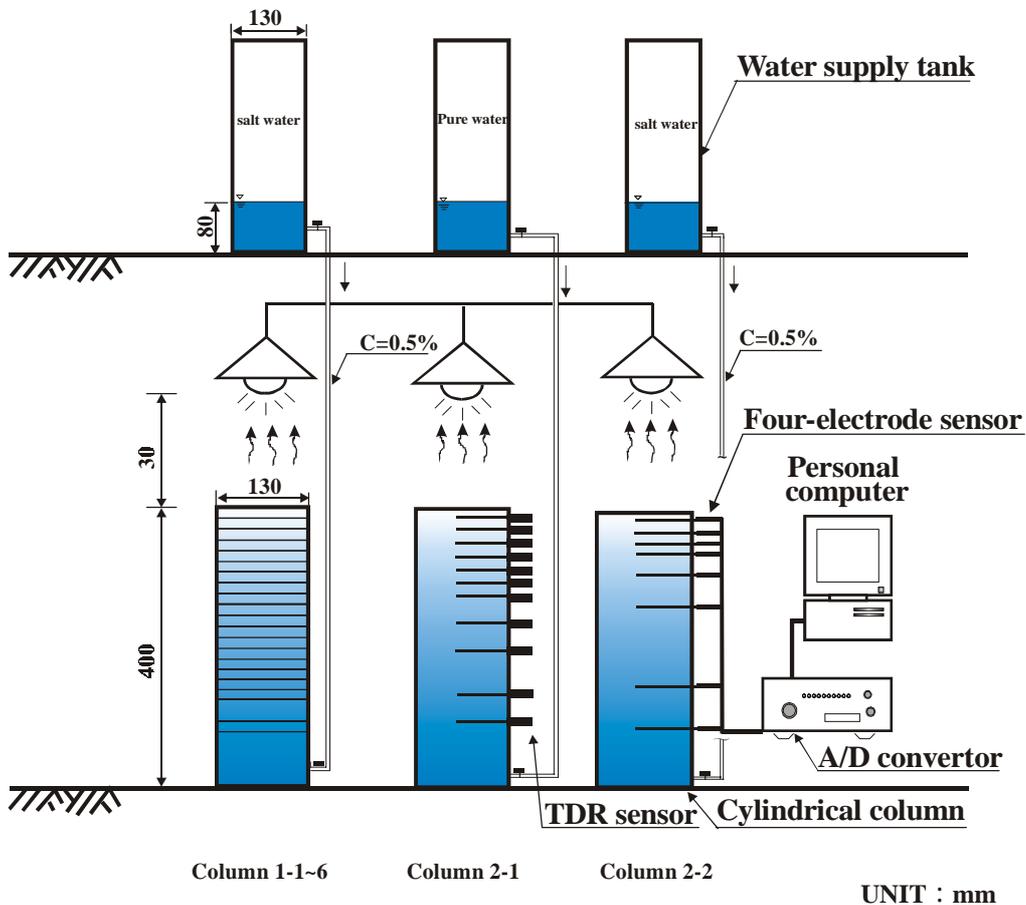


Fig.1 実験配置図

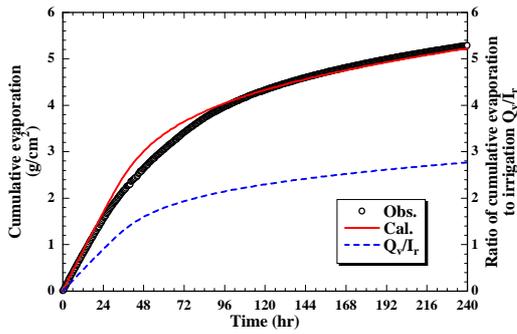


Fig. 2 累積蒸発フラックスおよび蒸発率の経時変化

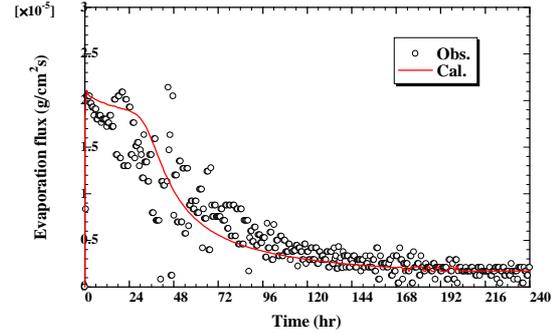


Fig. 3 蒸発フラックス密度の経時変化

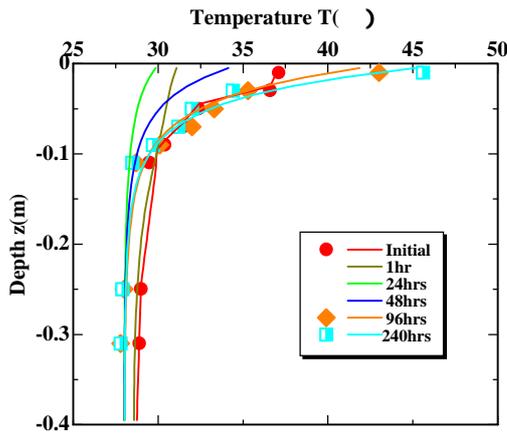


Fig. 4 砂層中温度鉛直分布の経時変化

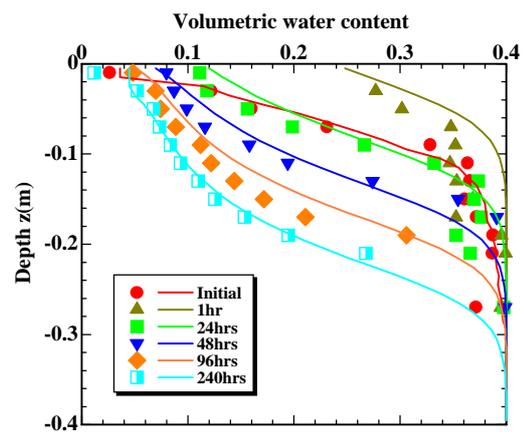


Fig. 5 砂層中体積含水率鉛直分布の経時変化

層中の塩分濃度および温度が測定される。また、蒸発量は、C1-1~6中の1本を重量計の上に乗せて自動的に計測される。

Fig.1に表すように、給水は各砂層カラムの下方より行われる。いずれも表面まで0.02~0.03mになる時点(即ち、表面乾燥層厚は0.02~0.03m)で給水は停止される。それから砂層上方にある赤外線ランプ(125W)で24時間照射し、砂層温度勾配を作る。次に、各カラム上方より散水を行う。散水から1時間後、最初のサンプリング用カラムを取り外し、層毎に土壌を採取する。これを炉乾燥させ、土壌体積含水率を求める。その後、塩分濃度計により、サンプルの濃度が測定される。その後のサンプリングはそれぞれ24、48、96、240時間で行い、同じ手順で塩分濃度が求まる。なお、温度・水分および蒸発量はいずれも30分間隔で計測される。ここでは、塩分センサー不調のため、サンプリングによる結果だけについて紹介する。

## 2.2 実験結果

(1)蒸発量 Fig.2は散水開始から実験終了(0~240時間)までの積算蒸発量および蒸発率の経時変化を示す。積算蒸発量および蒸発率の増大は、散水後約24時間までの間で最も顕著であり、ほぼ線形的である。その後の増大は緩やかとなる。なお、蒸発率は散水24時間後に1に達する。すなわち、この時点で散水量と同じの水分は蒸発によって失われる。最終的に、蒸発率は約2.8となる。また、Fig.3は蒸発フラックス密度の経時変化を表す。計算値は実験結果を再現したものの、170時間以降の計算値では小さな上下変動が現れる。これは、表面蒸発が内部蒸発に変わるとき、蒸発面での水分移動が非常に不安定なためである。

(2)土壌温度 Fig.4は実験初期から終了までの砂層温度鉛直分布の経時変化を示す。Fig.4中のプロットは実測

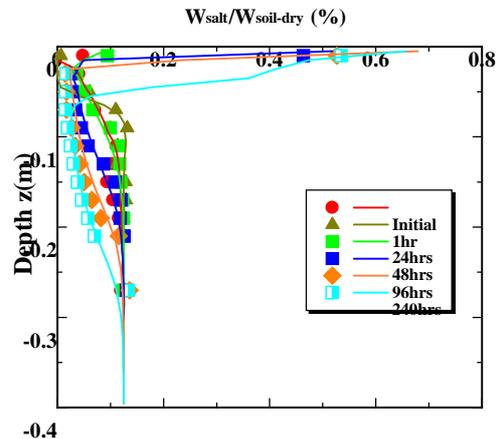


Fig. 6 砂層中含塩量鉛直分布の経時変化

値、実線は計算値を表す。ここに、散水後の 1 時間目、24 時間目および 48 時間目の実測値は機械不調の原因で欠測である。

計算値に注目すると、散水直後における砂層上部(0~ 0.09m 間)の温度は散水顕熱で、急激に下がる。その後も蒸発潜熱によって、温度はさらに低下する。しかしながら、実験開始後 24 時間から温度は赤外線ランプの影響を受けて、表層より徐々に上昇する。実験終了時、地表面の温度は最も高くなり、表層付近の温度勾配も大きい。一方、0.2m 以深の温度勾配は小さい。

(3) 土壌水分量 Fig.5 は体積含水率鉛直分布の経時変化を示す。Fig.5 中のプロットは実測値、実線は計算値を表す。蒸発に伴う体積含水率の減少は実験初期で最も激しい。散水 24 時間後の水分分布は、ほぼ散水前の状態に戻っており(表層  $z= 0.01\text{m}$  除く)、その後は徐々に乾燥が土壌の深部へ向かって進行する様子が判る。なお、96 時間および 240 時間に関して、実験結果と計算結果は良好に一致する。

(4) 土壌塩分 Fig.6 は質量含塩率鉛直分布の経時変化を示す。質量含塩率は以下では含塩率と表す。Fig.6 中のプロットおよび実線はそれぞれ実測値および計算値を表す。散水より、表層 0.03m までの塩分はリーチングされ、含塩率が急激に減少する。その減量分はそれより以深の約 0.2m までの砂層に最配分される。特に、 $z= 0.09\text{m}$  の含塩率は、散水前の 0.01% から、散水 1 時間後には 0.13% まで増加し、砂層中の最大値をとる。しかしながら、その後の蒸発によって、 $z= 0.03\text{m}$  から  $z= 0.3\text{m}$  までの塩分は地表に向かって移動し、含塩率は次第に減少する。その結果、表層( $z= 0.01\text{m}$ )では、散水 1 時間後の含塩率は 0 であったが、その後の 24 時間、48 時間、96 時間および 240 時間の時点ではそれぞれ 0.09、0.46、0.526 および 0.534 となり、乾燥初期での増大が著しいことが判れる。

### 3. 結論

本研究を通して、散水後の蒸発に伴う土壌塩分の集積および溶脱の挙動が明らかとなった。それと同時に、蒸発を考慮した土壌中における熱・水分および塩分移動の連成解析モデルは、温度、水分および塩分に関する実験値を良好に再現することができた。

### 4. 補遺

Photo1-1 は著者らのグループが中国江蘇省の南通市において塩害の綿花畑の様子を記録した写真である。点々と茶色に変色し、枯れた綿花がわかる。今後は室内実験の成果をフィールドに応用していきたい。



Photo1-1 塩害を受けた綿花畑