

# 地下水面位置と地表面蒸発の関係性に関する実験的研究

長岡技術科学大学 非会員 ○小川和紀  
長岡技術科学大学 正会員 陸旻皎

## 1. 背景

水は地球の表面付近に最も豊富に存在する物質であり、海水や陸水として存在しているおり、蒸発散により液相から気相へと変化しても存在している。蒸発の要因は様々であるが、例として気温と湿度・風速等がある。乾燥している土壌と十分に湿った土壌では、同じ気象条件であったとしても蒸発量が違うことが先行研究<sup>3)</sup>で分かっている。風速が変化する場合に、地下水位の深さが地表面蒸発にどのような影響を与えるか確認した実験は十分に行われていない。

本研究の目的は、風速が変化する場合に、地下水位の深さが地表面蒸発にどの程度の変化を与えるか実験を行い、検討・考察をする。

## 2. 原理

土壌面からの蒸発量も植生からの蒸散量も土壌水分に強く依存する事がわかっている。蒸発に必要な熱が供給されると、表層土壌中の間隙水が気化し大気に放出される。蒸発した分の土壌水分はより深い土壌中からの水分移動によって補われる。表層土壌水分が豊富な時の土壌面蒸発を、蒸発の第1段階と呼ぶ。例として降雨直後の土壌が挙げられる。

蒸発の第1段階が続くと、地表面からの蒸発量に深い土壌から表層への土壌水の補給が追いつかず、表層の土壌水分が乾燥していく。そのため土壌水が気化する深度が、表層から少しずつ深くなっていく。地中で気化した水蒸気は、乾燥した表層内の土壌間隙中を分子拡散によって輸送される。表層土壌が乾燥すると、表層に乾燥した乾砂層が形成され、これによって蒸発量が抑制される。このような土壌水分の減少に伴う蒸発抑制の段階を土壌面蒸発の第2段階と呼ぶ。

上記より地下水位が低下することで地表面からの蒸発量も低下し、ある地点を境に地表面から蒸発速度が遅くなることが考えられる。

### 2.1. 有効飽和度

土壌のマトリックスポテンシャルと体積含水率の関係を表したものを水分保持曲線という。

van Genuchten (1980)<sup>1)</sup>が提案したモデルを示す。

$$S_e = \frac{\theta(h) - \theta_r}{\theta_s - \theta_r} = \left[ \frac{1}{1 + (\alpha h)^n} \right]^m \quad (2-1)$$

ここで $S_e$ は有効飽和度、 $h$ は土壌のマトリックスポテンシャル、 $\theta_r$ は残留体積含水率、 $\theta_s$ は飽和体積含水率、 $\alpha$ 、 $n$ 、 $m$  ( $=1-1/n$ )は水分保持曲線の形状を決定するパラメータである。

今回使用する粒径の各パラメータは、同研究室卒の西脇(2018)<sup>2)</sup>が行った実験結果を使用した。パラメータの値を表1に示す。

粒径[mm]	$\theta_s$	$\theta$	$\alpha$	$n$	$m$
1.7~2.4	0.5187	0.0813	0.0449	0.5697	2.3238

表1 有効飽和度  $S_e$  算出に用いるパラメータ

### 2.2. 比透水係数

不飽和透水係数とは不飽和領域の土の透水性を表す。van Genuchten (1980)<sup>1)</sup>が提案した不飽和透水係数  $K(S_e)$ を示す。ここで、 $K(S_e)$ は不飽和透水係数である。

$$K(S_e) = K_s S_e^{0.5} \left[ 1 - \left( 1 - S_e^{\frac{1}{m}} \right)^2 \right] \quad (2-2)$$

また今回比較には式(2-3)の比透水係数 $K_r$ を用いた。

$$K_r = \frac{K(S_e)}{K_s} = S_e^{0.5} \left[ 1 - \left( 1 - S_e^{\frac{1}{m}} \right)^2 \right] \quad (2-3)$$

## 3. 実験方法

今回地下水位を一定にするためにポンプを用いて土壌再現部の地下水位を任意の高さで一定にしている。また今回土壌再現部には実際の土壌ではなく粗砂を仮定したガラスビーズ ( $\phi$  mm : 1.7~2.4) を使用している。蒸発量の測定方法はメスシリンダーを用いてデジタルカメラで定点撮影し、体積変化から蒸発量を測定した。各地下水面での単位時間当たりの体積変化をプロットし、近似直線で傾きを算出することで、各地下水面での蒸発速度[mm/day]とし、モデルと比較することとした。

### 3.1. 実験装置

実際の土壌面蒸発過程を再現するため、透明パイプに土壌代用のガラスビーズを充填した。

可動部を動かすことで地下水面を上下に調整することができる。

土壌再現装置の構造を図1に示す。

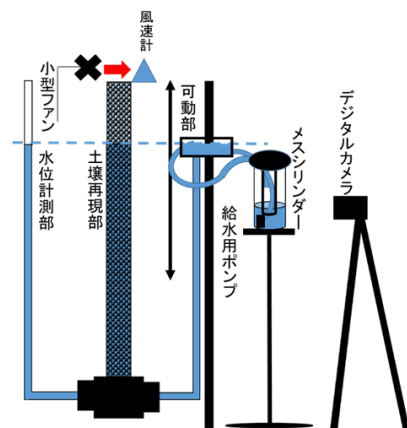


図1 土壌再現装置

実験に使用した材料を以下の表2に示す。

表2 実験に使用した材料・設備

名称	規格
恒温室	設定温度範囲: 25~15 °C
サンプレ ケミカル メスシリンダー 1L 1008E	外径:72 mm 高さ:432 mm 口内径:63 mm 容量:1000 ml 目盛間隔:10 ml
ガラスビーズ	中心粒度: φ 1.7~2.4 mm
ポケットデジタルス ケール	精度:0.01 g 使用限界重量:500 g
透明 VP パイプ VP20	呼び径:20 mm 外径:φ 26 mm 厚さ:3mm
透明 VP パイプ VP30	呼び径:30 mm 外径 φ 38 mm 厚さ:3.5 mm
水中ウォーターポン プ	DC:3.5-9 V Hmax:0.4~1.5m Qmax:200 L/h
シリコンチューブ	外径:10mm 内径:8mm
USBfan (ELUTENG 製)	縦 120*横 120*奥行 35mm

### 3.2. 実験条件

実験条件を以下の表3に示す。

表3 実験条件

恒温室の室温	15 (°C)
恒温室内の湿度	70~80 (%)

### 3.3. 実験手順

- 1) 実験装置の給水部を動かして地下水面をガラスビーズの地表面と同じ位置になるよう調節する。
- 2) 地下水位を動かした事による土中水の動きがなくなるのを待つ。
- 3) 風速計で風速を測定する。
- 4) 30分間隔での測定を開始する。

### 3.4. 実験結果の補正

メスシリンダー内にある水の体積変化を実験結果としているがメスシリンダー内には、給水ポンプ・ポンプからの配線等でメスシリンダー内の水の体積が実際よりもかさ上げされており、正確に体積を測れないため補正しなければならない。

よってメモリの読み取りを行った範囲で補正係数を算出することにした。

- 1) メスシリンダーのメモリを読み取る。
- 2) 電子天秤を用いて 10g の水を測る。
- 3) 10g の水をメスシリンダーに入れてメモリを読み取る。
- 4) かさ上げされている 10ml より体積が増えるため 1)~3) を 100 g まで行い、比率を取って補正係数とする。

表4・図3に計測結果を示す。

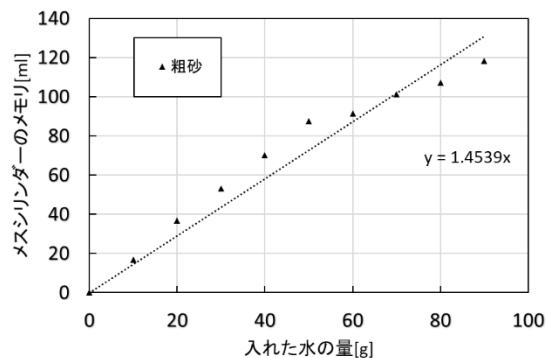


図2 補正值の計測結果

### 3.2. 実験条件

実験条件を以下の表3に示す。

表 4 補正值の算出結果

注水量	粗砂	細砂	シルト
[g]	[ml]	[ml]	[ml]
0	0	0	0
10	18.33	20.86	16.95
20	39.80	37.50	36.72
30	56.14	56.67	53.21
40	75.37	67.02	70.18
50	83.67	86.50	87.33
60	94.49	101.43	91.28
70	109.23	110.21	101.31
80	120.63	118.18	107.02
90	130.41	133.47	118.13
補正值	1.454	1.577	1.564

#### 4. 実験結果

各地下水位ごとの蒸発量の結果を図3に示す。

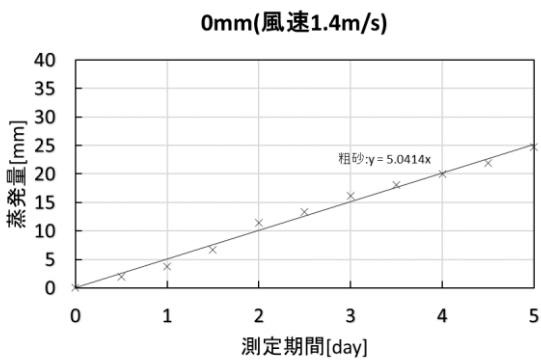
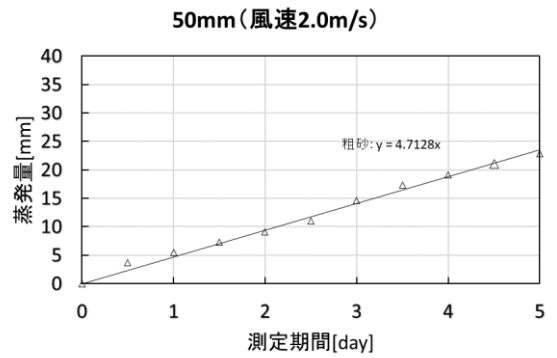
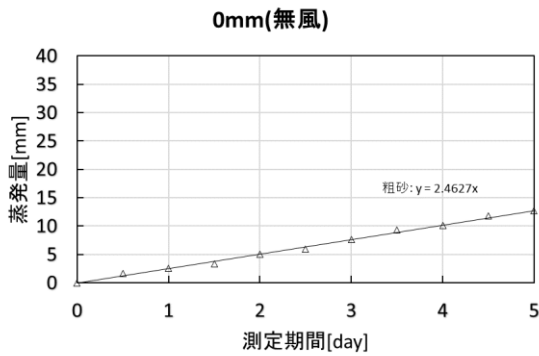
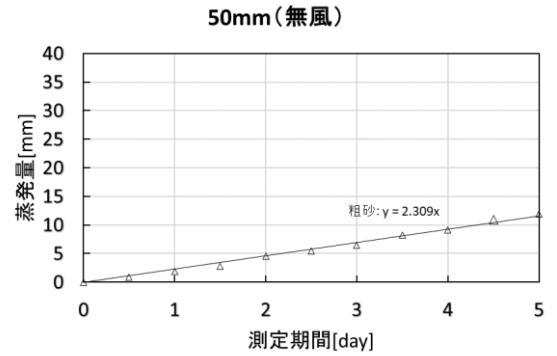
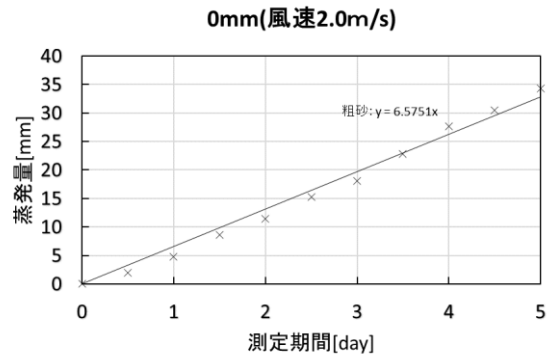
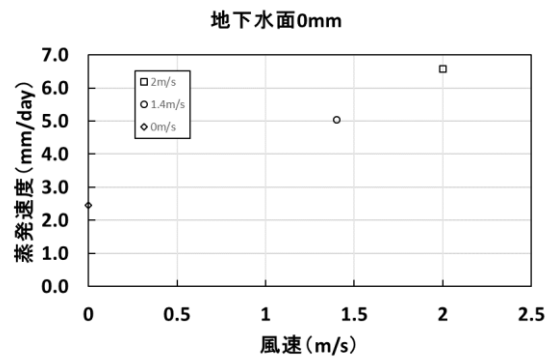


図 3 地下水面・風速と蒸発速度の関係



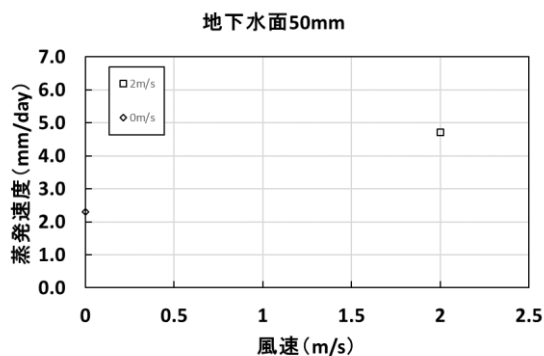


図 4 各地下水面での風速と蒸発速度の関係

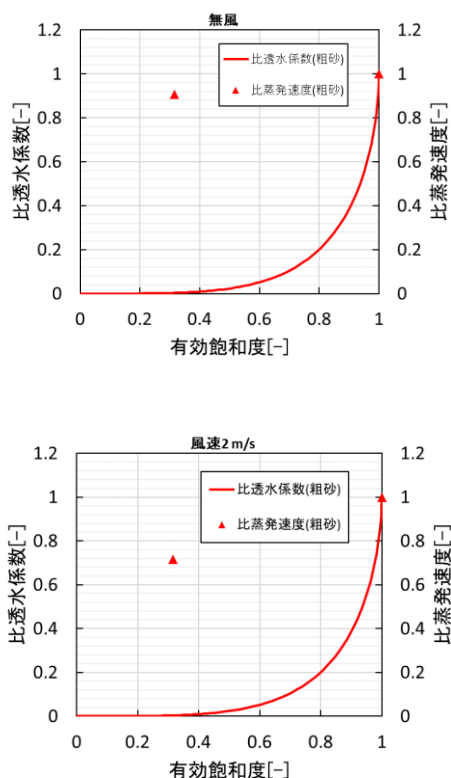


図 5 風速別の比透水係数と比蒸発速度の比較

#### 4.1. 実験結果の処理

インターバル撮影によって撮影された画像を見て、メスシリンダー内の水の体積変化を確認していく。その際に、ビットマップ画像編集・加工ソフトウェアである GIMP(version 2.10.12)を使用した。

メスシリンダーの体積変化を、撮影した画像の処理から、土壌面蒸発量への計算までの手順を以下に記載する。

- 1) GIMP(version 2.10.12)を起動し左上のファイルタブから、開く/インポートから実験開始時の

写真を GIMP に取り込む。

- 2) 定規アイコンをクリックし、基準点を設け、基準点から描画したメスシリンダーの水面までの長さ [pixel] を測定する。
- 3) メスシリンダーの 1 目盛り 10ml であることから、撮影した写真より、定規アイコンをクリックし 10ml のピクセル数をはかることで、1 ピクセル当たりの体積 [ml] を計算する。

#### 5. 考察

本実験では想定していた通り、地下水面が下がるにつれ蒸発量が減少していく傾向と風速が上がるにつれ蒸発量が増加していくが見られた。

地下水面からの地表面までの距離が遠くなるにつれ、水の供給が減少することによって蒸発量も減少していると考えられる。また風速が上がるにつれ輸送現象が盛んに行われるため、蒸発量が増加したと考えられる。

#### 6. 展望

まとめを踏まえたうえでいくつか展望を挙げ、それぞれ述べていく。

実験装置・環境については恒温室の設定温度を低く設定することができるため、0℃や氷点下に設定した際の地下水面と風速の影響も確認することができる。

また今回は粗砂を仮定したガラスビーズのみで実験を行ったが細砂やシルトといった粒径の小さい試料を用いて実験を行うことによって粒径による影響が確認できると考えられる。

比透水係数と比蒸発速度の比較についてはまだデータ数が少ないため単純な比較はできないが今回の結果から風速が上がると同一の地下水面でも比蒸発速度が上がるのではないかとと思われる。

#### 7. 参考文献

- 1) ウィリアム・ジュリー, ロバート・ホートン井上光弘・他訳「土壌物理学」2006
- 2) 西脇和希 土壌水分保持特性が土壌の含水率測定に及ぼす影響 長岡技術科学大学学士論文 2018
- 3) 地下水面の位置が及ぼす地表面蒸発への影響に関する実験的研究 長岡技術科学大学学士論文 2019