

# 根の吸水モデルのパラメータの決定 : 1. 水ストレス条件 Parameter Estimation of Root Water Uptake Models : 1. Under Water Stress

○浅井正浩\*, 藤巻晴行\*, 井上光弘\*\*, 安部征雄\*  
ASAI Masahito, FUJIMAKI Haruyuki, INOUE Mitsuhiro, ABE Yukuo

## 1. はじめに

植物根による吸水と蒸散量の正確な予測は、灌漑スケジューリングの最適化の要である。吸水モデルはこれまでにいくつか考案されているが、品種ごとに異なるモデル中のパラメータの決定法はまだ確立されていない。そこで本研究では、広く用いられている Nimah and Hanks(1973)と Feddes(1978)の吸水モデル中のパラメータをなるべく安価かつ高い精度で推定する方法を考案し、適用を試みた。

## 2. 吸水モデル

土壌を深さ方向の1次元で近似すると、蒸散速度  $T_r(\text{cm s}^{-1})$  は次式で与えられる。

$$T_r = \int_0^{\infty} S dz \quad (1)$$

ここで、 $z$ : 深さ(cm),  $S$ : 植物による吸水速度( $\text{s}^{-1}$ )である。Nimah and Hanksの吸水モデルでは、 $S$ を次式で与える。

$$S = \frac{[h_{root} + (1 + R_c)z - h - h_o] f_r K}{(\Delta x)^2} \quad (2)$$

ここで、 $h_{root}$ : 根のポテンシャル(cm),  $R_c$ : 根の抵抗(一般に0.05),  $h$ : マトリックポテンシャル(cm),  $h_o$ : 浸透ポテンシャル(cm),  $f_r$ : 根群活性係数( $\text{cm}^{-1}$ ),  $K$ : 不飽和透水係数( $\text{cm s}^{-1}$ ),  $\Delta x$ :  $h, h_o$ がその深さの平均値である位置と根との平均的距離で、1.0cmが広く用いられている。このモデルにおける主たる植物の特性は  $h_{root}$  であるが、 $T_r$ が可能蒸散速度  $T_p$ を超過する場合、 $T_r = T_p$ となるように  $h_{root}$ が反復調整される。

一方、Feddesの吸水モデルでは、 $S$ を可能吸水速度  $S_p$ と減少係数 $\alpha$ の積で与える。

$$S = \alpha S_p \quad (3)$$

$S_p$ は  $f_r$ と  $T_p(\text{cm s}^{-1})$ の積で与えられる。

$$S_p = f_r T_p \quad (4)$$

$\alpha$ は土壌水のマトリックポテンシャルや浸透ポテンシャルなどの関数で、ストレス応答関数と呼ばれる。その関数形はいくつか提案されているが、本研究では次式を用いる(van Genuchten, 1987)。

$$\alpha = \alpha_w \alpha_s = \frac{1}{1 + \left(\frac{h}{h_{50}}\right)^{p_1}} \times \frac{1}{1 + \left(\frac{h_o}{h_{o50}}\right)^{p_2}} \quad (5)$$

ここで、 $\alpha_w$ : 水ストレスに関する減少係数,  $\alpha_s$ : 塩ストレスに関する減少係数,  $p_1, p_2, h_{50}, h_{o50}$ : 植物固有のパラメータである。本研究では、水道水を用いることにより  $h_o$ を0近くに保つ一方、灌漑を停止することにより  $h$ を下げ、乾燥ストレスに関するパラメータ  $h_{root}$  および  $p_1$ と  $h_{50}$ を逆解析により推定することを試みた。

## 3. 実験方法

ビニールハウスに内径28cm、高さ39cmの小型ライシメータを6本設置し、関東ロームを充填した。5/29に各ライシメータに大豆を3個ずつ播種し、10日後に間引いて1本ずつとした。水ストレスを与え始める7/31までは健康な個体を育てるため十分な灌漑を行った。ライシメータ下端にはポーラスカップを用

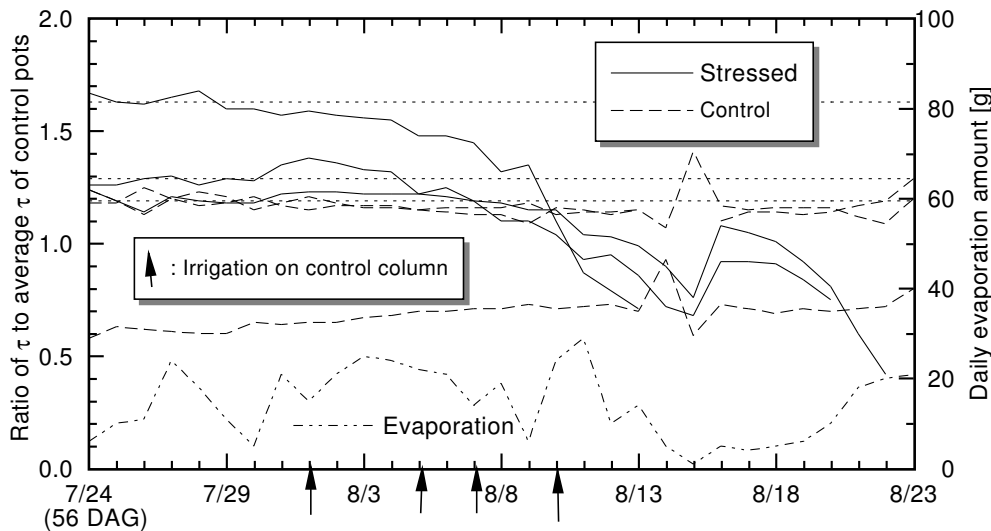


Fig.1 Temporal change in the ratio of daily transpiration,  $\tau$ , to average  $\tau$  of control pots and daily evaporation amount from the evaporimeter.

\* 筑波大学農林工学系 Univ. of Tsukuba

キーワード: 蒸散, 吸水, 畑地灌漑

\*\* 鳥取大学乾燥地研究センター Arid Land Research Center, Tottori Univ.

いて約-80cmの圧力水頭を与え、排水を促した。各ライシメータの深さ5, 15, 30cmに水分計(Decagon ECH20)と熱電対を挿入し、体積含水率と地温の変化を測定した。7/24に全てのライシメータに多量に灌水して土壌を飽和した。日中は土壌面を被覆し、土壌面蒸発を抑えた。日の出直後と日没直後にライシメータの重量を測定し、日蒸散量を求めた。6本の中から3本(A, B, C)を選び、乾燥ストレスを与えた。その他の3本には引き続き前回の灌水から蒸散により失われた水量を回復する量を与えた。ストレスのかかかっていない個体(対照株)に対する蒸散量の比がストレス負荷前の半分以下にまで減少した日に自動測定を終了した。

観測終了後、各ライシメータから5cm刻みに採土して、風乾させたものをふるって根を分離した。

室内において多段流出法(直接法)により土壌水分移動特性を測定した。水分計は供試土壌に対して温度の影響も含め校正を行った。

#### 4. 結果と考察

$i$ 日目のストレス株 $j$ の日蒸散量 $\tau_{ij}$ と、対照株の日蒸散量の平均値 $(\tau_{r,i,D} + \tau_{i,E} + \tau_{i,F}) / 3$ との比を蒸散比 $r_{i,j}$ とする。

$$r_{i,j} = \frac{3\tau_{i,j}}{\tau_{i,D} + \tau_{i,E} + \tau_{i,F}} \quad (6)$$

この蒸散比の経日変化をFig.1に示す。8/4頃からストレス株の蒸散比が明らかに低下しているのがわかる。集中観測期間内では成長、老衰がないと仮定し、この蒸散比 $r$ のストレス負荷前(7/24-31)の平均値:

$$r_j = \frac{1}{8} \sum_{i=Jul.24}^{Jul.31} r_{i,j} \quad (7)$$

を各日の対照株の日蒸散量の平均値に乗じて各ストレス株の可能日蒸散量を推定した。さらに、蒸散速度の日変化が日射量の日変化と同じ形状であると仮定して、逆解析に必要な各時刻の可能蒸散速度 $T_p$ を求めた。

根群活性係数 $f_r$ の分布は、スキャナで取り込んだ根の画像を解析して根表面積を測定することにより得た。一例として、ライシメータAの $f_r$ 分布をFig.2に示す。各時刻の $h$ の分布は、各センサー埋設深度の水分の線形補間・補外によって得た各深さの水分を土壌水分保持曲線に代入することにより得た。Fig.2の $h$ は、一例としてライシメータAのある時刻における分布を示したものである。

各深さの $h$ をストレス応答関数に代入し、さらに(1)~(5)式で各時刻の蒸散速度を求め、これを日中の14時間分積分し、日蒸散量の推定値を得た。非線型最小2乗法により、ストレス期間の日蒸散量の推定値と実測値の標準誤差が最小となるパラメータ値を探索した。最適化されたパラメータにおける $f_r \alpha$ の分布をFig.2に示す。この例では、深さ20cmより浅い部分で吸水が困難になっているのがわかる。

逆解析の結果、 $h_{root}$ の平均値は-6005cm、 $p_1$ と $h_{50}$ はFig.3のようになった。また、曲線のば

らつきはそれほど大きくなく、本方法の再現性がおおむね良好であることを示している。日蒸散量の標準誤差(RMSE)の平均値はNHモデルの0.78mm/dに対し、Feddesのモデルでは0.15mm/dであり、適切なパラメータ値を与えることにより、高い精度で蒸散量を推定できる可能性が示されるとともに、Feddesのモデルの方が精度が高いことが示唆された。

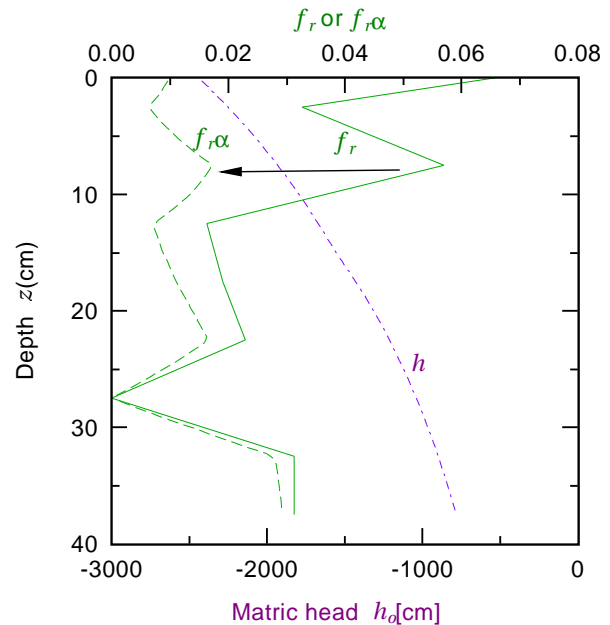


Fig.2 An example of profiles of matric head, root activity, and  $f_r \alpha$  (C, Aug.8 12:00).

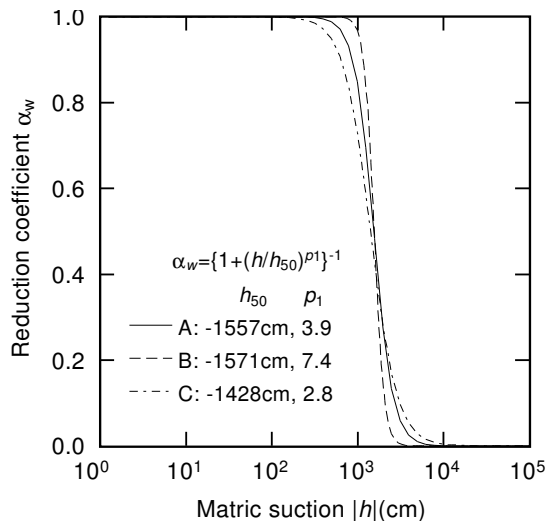


Fig.3 Water stress response function for the soybean

#### 引用文献

- Feddes, et al. 1978: Simulation of field water use and crop yield. Pudoc. Wageningen
- Nimah and Hanks, 1973: SSSAP, 37: 522-527
- van Genuchten, M. Th, 1987. A numerical model for water and solute movement in and below the root zone. Res. Report, US Salinity Lab.