

転換田の土壌水分および水分移動予測

1. 成果の要約

転換田の多様な土壌類型で利用可能な水分垂直移動を予測するため、県内 9 カ所の転換田で土壌水分と物理性を長期測定した。さらに、そのデータを基に 10 層構造のタンクモデルを構築した。モデルは気象データを入力することで深さ 1 m までの体積含水率と水分移動を再現し、実測値と良好に一致した。

2. キーワード

土壌体積含水率、土層内水分移動、タンクモデル、不飽和透水係数、気象データ

3. 試験のねらい

転換田土壌内の主要無機態窒素の硝酸イオンは、土壌への吸着が少なく、水分と共に移動するため、転換田の露地野菜の窒素の可給性を知るためには、土壌中水分の垂直移動の予測が必要である。これまでに、農耕地での水分移動および含水率予測にはタンクモデルが導入されているが、広範囲な土壌類型に適用できる汎用化されたモデルはない。そこで、土壌の保水性に関する各種性質とモデルパラメータを関連付けることにより、本県内に分布する広範囲な土壌類型で使用可能な水分移動モデルを作成する。

4. 試験方法

モデルは、層厚 10 cm の単層を 10 層垂直に重ねた構造のタンクモデルとして作成した。各土層タンクの水分収支は、下方浸透および毛管上昇による流入出で表される。ただし、表層タンクでは毛管上昇による流出が無く、降水による流入、蒸発散による流出および表面流去による流出が加わる(図-1、式 1～8)。下方浸透および毛管上昇フラックスの算出には、通常のタンクモデルでは用いられない不飽和透水流の概念を導入した。

他方、黒ボク土および低地土を含む県内転換田 9 地点において、表層(15 cm)から深度約 1 m までの体積含水率を TDR センサーにより半年から 2 年間継続して測定した。さらに、これら 9 地点で表層から深さ 1 m までの各層位の三相分布および保水性を測定した。モデルパラメータは、これらの物理性測定値を関数として設定した。

5. 試験結果および考察

- (1) 土層内水分浸透フラックスは、本来、水分張力勾配の関数として得られるのに対し、本モデルでは、実用上の利便性を考慮し体積含水率勾配の関数とした(式 3～5)。現地での測定結果から、降雨後の各層位の含水率は経時的に層位固有の値に収斂し、その値は下層ほど大きい傾向を示した。この値を下方浸透既定含水率とし、ロジスティック曲線を用いて深度の関数とした。なお、曲線の係数は黒ボク土と非黒ボク土で異なる値を設定した(式 8)。
- (2) 気象データ測定値(日降水量、日平均気温、日射量)を用いたモデル計算値は、表層から約 1 m まで実測値に概ね一致し、本モデルが土層内体積含水率および水分移動予測に十分な実用性があることが示された(図-2)。
- (3) 土壌の物理性測定値が無い場合は、土壌類型毎に設定された既往の値を用いる。また、日降水量はできるだけ現地の値に近似のものを用いる。

(担当者 研究開発部 土壌環境研究室 亀和田國彦、大島正稔*、吉澤克憲)

*現那須農業振興事務所

[具体的データ]

[モデル]

a 表層

$$\frac{dSW_1}{dt} = \frac{dP}{dt} + \frac{dS_2}{dt} - \frac{dF_1}{dt} - \frac{dQ}{dt} - \frac{dET}{dt} \quad \text{式 1}$$

b 次層以深

$$\frac{dSW_i}{dt} = \frac{dF_{i-1}}{dt} + \frac{dS_{i+1}}{dt} - \frac{dF_i}{dt} - \frac{dS_i}{dt} \quad \text{式 2}$$

ただし, SW_i は、層位 i の土壌水分量, P は降水量, ET は蒸発散量, Q は表面流去量, S_i は層位 i からの毛管上昇水量, F_i は層位 i からの下方浸透水量, t は時間.

c 下方浸透水量, 毛管上昇水量および表面流去量

$$\frac{dF_i}{dt} = r_i^F (SW_i - SW_i^{BF}) SW_i^2 \quad \text{式 3}$$

$$\frac{dS_i}{dt} = r_i^S (SW_i - SW_{i-1}) SW_i^2 \quad \text{式 4}$$

$$\frac{dQ}{dt} = r^Q (SW_1 - SW^{BQ}) \quad \text{式 5}$$

ただし, r_i^F は層位 i の下降浸透量 F に関する透水係数(定数), r_i^S は層位 i の毛管上昇量 S に関する透水係数(定数), r^Q は表面流去に関する速度係数, SW_i^{BF} は、層位 i の下降規定値(定数), SW^{BQ} は表面流去基底含水率(定数)で当該層位の孔げき率と同値とした.

本来, 土層内の水の移動速度は水分張力の勾配に規定されるが, 本モデルは堆積含水率の勾配で代替している. また, 不飽和透水係数は, 含水率に大きく影響され, ボアズイユの式から, その値は含水率 SW_i の 2 乗に比例すると仮定した. ただし, 本式誘導過程で用いられる動水勾配はマトリックスポテンシャル勾配で与えられるべきであるが, 本モデルでは, そのアナロジーとして, 含水率勾配が用いられている. SW_i, P, ET などの水分量は mm, t は d. r_i^F, r_i^S 等の透水係数は d^{-1} . 実際のモデル計算の時間単位は 1/20 d.

d 蒸発散量 $\frac{dET}{dt}$

$$\frac{dET}{dt} = r^{ET} \exp\left[\frac{SW_i - SW_i^{BF}}{SW_i^{BF}}\right] SW_1 ET_0 \quad \text{式 6}$$

ただし, r^{ET} は蒸散に関する透水係数, ET_0 は可能蒸発散量.

e 可能蒸発散量 ET_0 算出式(Hargreaves の式)

$$ET_0 = 0.0075(1.8T_m + 32) \frac{R_s}{l} \text{ mm d}^{-1}, \quad \text{式 7}$$

ただし, T_m は日平均気温($^{\circ}C$), R_s は日射量($MJ m^{-2} d^{-1}$), l は蒸発の潜熱 ($= 597 - 0.6T_m \text{ MJ kg}^{-1}$).

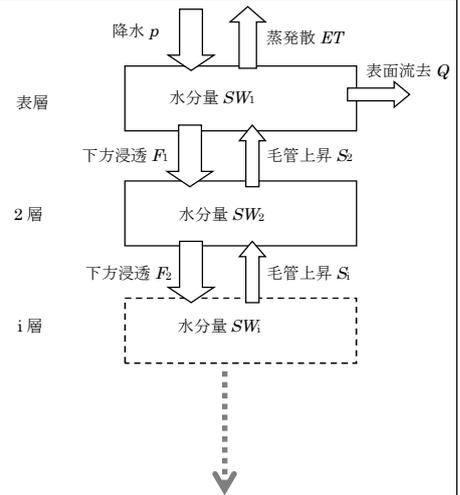


図-1 タンクモデル模式図

$$SW^{BF} = \frac{K}{1 + N^0 e^{-rD}} \quad \text{式 8}$$

黒ボク土; $r = 0.12, K = 0.50, N^0 = 0.11$
 灰色低地土; $r = 0.12, K = 0.50, N^0 = 0.11$

表-1 下方浸透係数既定値 (r_i^F) 抜粋 d^{-1}

土壌類型	深度 cm					
	5	15	25	35	45	55
台地の黒ボク土	0.2	0.5	0.7	0.7	0.7	1
低地土壌	0.05	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5

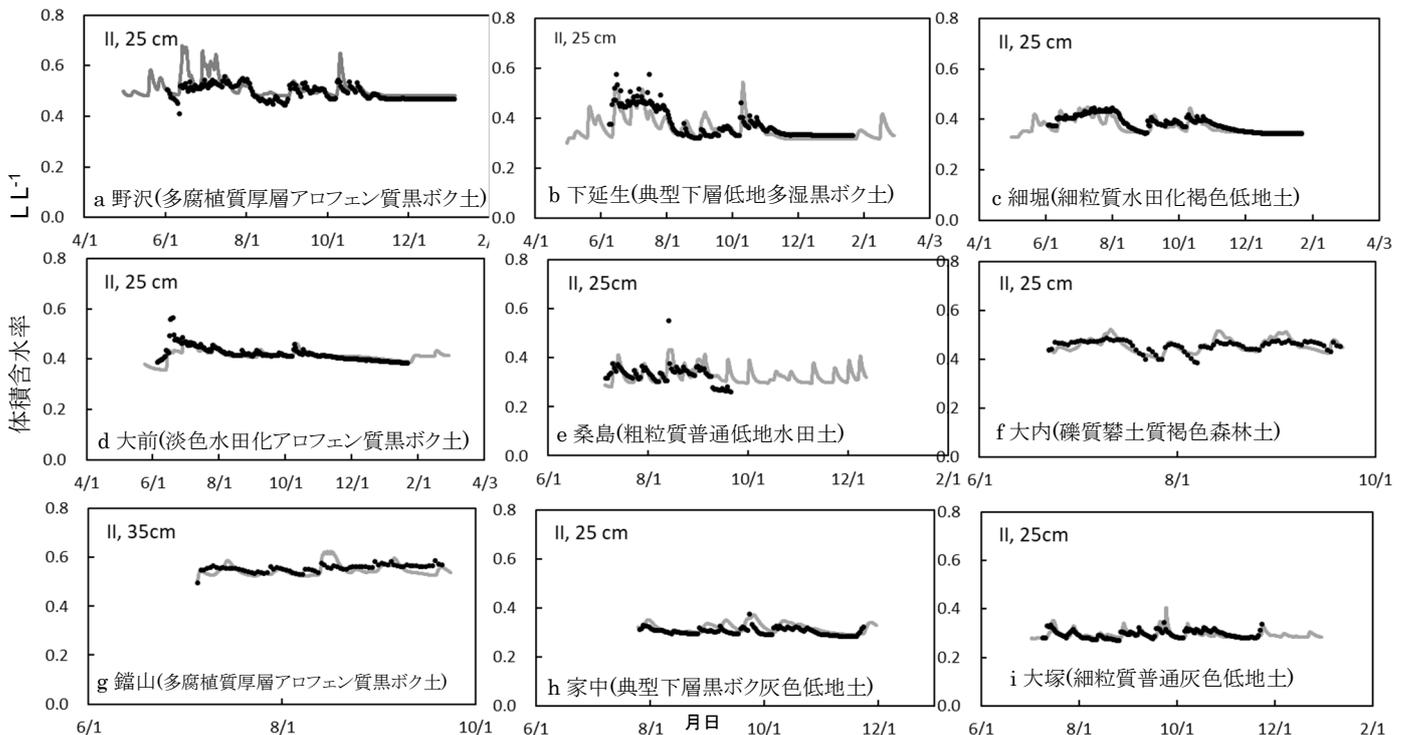


図-2 土層内体積含水率実測値およびモデル計算値(深度 25cm)

ドット; 実測値, 実線; モデル計算値