第 9 章　解答例

9.1

解法 1

表 9.1 より、マトリックポテンシャルが－33 J/kg の時の砂壌土の体積含水率（θ_{-33}）は、0.21 m^3/m^3、－1500 J/kg の時（θ_{-1500}）は、0.1 m^3/m^3 となる。

解法 2

マトリックポテンシャルと体積含水率の関係は、式 9.3 で表される。θ_s は 0.45 m^3/m^3 と仮定されており、b と ψ_e は表 9.1 よりそれぞれ 3.1 と－1.5 J/kg である。式 9.3 を変形すると、

$$\theta = \theta_s \left(\frac{\psi_e}{\psi_m}\right)^{\frac{1}{b}}$$

となるので、代入して、θ_{-33}＝0.166 m^3/m^3、θ_{-1500}＝0.0485 m^3/m^3 が得られる。

解法 1 と解法 2 の答えがかなり異なる理由については、用いている式が異なっているだろうということ以外は不明。

a.

根は圃場容水量と永久しおれ点の間のマトリックポテンシャルを持つ土壌から吸水可能だとすると、前問より、0.166－0.0485＝0.1175 m^3/m^3 の土壌水分を吸水できることになる。根の到達する深さが 1 m なので、この植物は、1 m^2 あたり 0.1175 m^3 の水を吸水できる。土壌水分量を mm で表すと、117.5 mm となる。

b.

ψ_e は－1.5 J/kg なので、式 9.9 より、浸潤前線のマトリックポテンシャル（ψ_{mf}）は、－2.262 J/kg である。湿潤前線の透水係数（K_f）は、式 9.2 の一番上の式を用いて計算すると、$0.00072\times(-0.15/-2.262)^{2+3/3.1}$ ＝2.29×10^{-7} kg s m^{-3} となる。一方、ψ_{mf} を含水率に解法 2 の式で変換して（0.394 m^3/m^3）から、式 9.2 の一番下の式で計算すると、$0.00072\times(0.394/0.45)^{2\times3.1+3}$ ＝ 0.000213 kg s m^{-3} となる。

この 2 つの値が異なる原因は、たぶん、マトリックポテンシャルから透水係数を求める時は、空気侵入ポテンシャルを用いるのに対して、含水率から透水係数を求める時は、飽和含水率を使用しているためだと思われる。飽和時のマトリックポテンシャル（0 J/kg）は空気侵入ポテンシャル（－1.5 J/kg）よりも高いのでその差が誤差を生む原因となっているのだろう。含水率から透水係数を求めたときの値（0.000213 kg s m^{-3}）を用いて計算を続け

る。

伝達帯の平均透水係数は、浸潤前線の透水係数と浸潤境界の透水係数（＝飽和透水係数、K_{ave}）の幾何平均なので、$(0.000213 \times 0.00072)^{0.5}$＝0.000391 kg s m^{-3} となる。

式 9.8 を用いて、1 時間に土壌に浸透する水の量を計算する。

$$I_w = \sqrt{2\rho_w \Delta\theta K_{ave}(\psi_{mi} - \psi_{mf})t} + gK_{ave}t$$

Δθ は、式 9.5 下の式で求めると、(0.45+0.394)/2－0.1＝0.322 m^3/ m^3 となる。水の密度（1000 kg/m^3）、重力加速度（9.8 m/s^2）とすでに分かっている K_{ave}（0.000391 kg s m^{-3}）、ψ_{mf}（-2.262 J/kg）、ψ_{mi}（0 J/kg）、t（3600 s）と合わせて計算すると、積算浸潤量、I_w、は 59.1 kg/m^2 になる。なお、単位計算に注意すること（J＝m^2 kg/s^2）

一方、1 時間の降水量は、50 mm で、これは、50 kg/ m^2 に相当する（水 1 m^3＝1Mg として換算）。

土壌表面が常に飽和状態にあったとした場合の積算浸潤量が降水量よりも大きいので、降った雨は流出することなく、土壌に浸透する。したがって、表面流出量＝0 kg/m^2。

c.

2 時間の積算浸潤量を b.と同様に求めると、91.7 kg/m^2 になる。降雨量が 100 mm（100 kg/m^2）なので、その差 8.3 mm（＝8.3 kg/m^2）が表面流出量となる。

d.

式 9.6 から浸潤前線の深さ z_f を求める。

$$z_f(t) = \sqrt{\frac{2K_{ave}(\psi_{mi} - \psi_{mf})t}{\rho_w \Delta\theta}}$$

すべてのパラメータは既出なので、計算するだけとなる。浸潤前線の深さは、1 時間の時は、0.14 m、2 時間の時は 0.20 m となる。

e.

b.の時は、降った雨がすべて土壌に浸透して、かつ浸潤前線は 1 m の深さまで達していないので、当初の含水率と合わせると、

$$50\ \frac{\mathrm{kg}}{\mathrm{m}^3} \times \frac{1\ \mathrm{m}^3}{1000\ \mathrm{kg}} + 0.1\ \frac{\mathrm{m}^3}{\mathrm{m}^3} = 0.15\ \frac{\mathrm{m}^3}{\mathrm{m}^3}$$

となる。

c.の時は、降った雨のうち 91.7 kg/m^2 だけが土壌中に浸透したので、同様に計算して、0.1917 m^3/ m^3 となる。

9.2

問題の仮定より、0.1 m より下の根は機能しないので、地表面よりから深さ 0.1 m までの水のみが蒸散されると仮定する。

降雨によって根圏の上部 0.1 m が均一に湿り、含水率が 0.25 m^3/ m^3 になったとあるが、この土壌の圃場容水量は、0.21 あるいは 0.166 m^3/ m^3 である（上記解法 1,2 を参照）。含水率が圃場容水量以上になれば、その後数日間は圃場容水量になるまで下向きの流れが続くはずである。だが、ここでは下部への浸潤は考えていないと思われる（浸潤があれば、その部分からの吸水を考慮しなくてはいけないはず）。そのため、本来有効水分度は 1 を超えないはずが超えるような状態で計算をしなければならないのは、問題としておかしいのではないか。とはいえ、解答例を以下に示す。

式 9.20 を用いて、1 日毎の有効水分度（A_w）を求め、式 9.22 で無次元最大吸水速度（U_p*）を求め、それを最大可能蒸散速度（E_{pmax}＝5 mm/day）にかけてその日の吸水速度（U_p）を計算する。

日数 day	有効水分量 mm	有効水分度 A_w	無次元吸水速度 U*	吸水速度 U_p　mm/day
1	20.2	1.71	0.976	4.88
2	15.3	1.30	0.958	4.79
3	10.5	0.89	0.916	4.58
4	5.9	0.50	0.802	4.01
5	1.9	0.16	0.459	2.30

1 日目の計算方法を以下に示す。

永久しおれ点の含水率、θ_{pwp}＝0.0485
圃場容水量の含水率、θ_{fc}＝0.1660　として、
降雨直後の含水率、θ＝0.25　なので、式 9.20 は、

$$A_w = \frac{0.25 - 0.0485}{0.1660 - 0.0485} = 1.71$$

となる。式 9.22 より、無次元最大級水量は、

$$U_p^* = 1 - (1 + 1.37 \times 1.71)^{-3.1} = 0.9763$$

となる。ここでは、表 9.1 より b=3.1 を用いた。なお、U_p*を式 9.19 より求めると、計算はやや複雑になるが 0.9938 となる。

実際の群落蒸散速度は、E_{pmax}×U_p*なので、1 日目の吸水速度は、5 mm×0.9763＝4.88 mm となる。

1 日目の含水率は、0.25 で、有効水分量は（0.25－0.0485）×100 mm＝20.15 mm なので、2 日目の有効水分量は 20.15 mm－4.88 mm＝15.27 mm となる。

以上の計算を繰り返していき、吸水速度（＝蒸散速度）が 2.5 mm/day を下回るまでの日数を数えれば良い。したがって、4 日間かかる（5 日目に下回る）。