

PII-17 斜面における樹木根系成長のモデル化

○堤大三、小杉賢一郎、水山高久（京都大学農学研究科）

1. はじめに

山腹斜面や道路法面の安定に、植物根系のもつ土壌支持機能が大きく寄与することが知られている。この機能は植物の根系構造と密接に関係する事から、根系構造を決定する成長機構を明らかにすることが重要と考えられる。土壌中で、植物の根が重力方向に向かって伸びる重力屈性と呼ばれる現象や、より湿潤な方向に向かって伸びる水分屈性と呼ばれる現象については、個々に研究されており、これら屈性現象が、根の一本単位での成長に大きく影響していることが明かにされている。しかし、これら屈性現象の組合せによる根系全体の成長機構についてはあまり検討されておらず、不明な点が多い。さらに、根系の大部分を占める側根は重力に対して斜め方向に伸長する傾斜重力屈性と呼ばれる現象を示すが、そのメカニズムは不明である。特に、斜面において、山側と谷側では異なる傾斜重力屈性を示す事が報告されている。本研究では、植物根系の成長機構を解明する事を目的とし、屈性現象を想定して根系成長のモデル化を行い、数値計算によって得られる平坦地、傾斜地双方における根系形状を検討した。

2. 手法

モデル化においては2次元を想定した。モデル化の対象とした根系は直根性とし、主根、1次側根、2次側根までの分枝を考慮した。土壌表面からの水分蒸発、根による水分吸収、地表面からの水分供給 (Fig.1 参照) を考慮して一定の計算領域内における土壌水分変化を有限要素法により数値計算した。各時刻に、根の左右の成長域について Eq.1 に定義した水分屈性成長速度 S_h を土壌水分分布より求めた。さらに、根の伸長方向と重力方向のなす角度により Eq.2 に定義する重力屈性速度 S_g を反重力側の成長域について求め、これらの和から左右の成長域における根の成長速度 S_L, S_R を決定した。根の屈曲伸長における曲率半径 r [cm] と屈曲角度 θ [rad] は、Eq.3, 4 により求められ、根の伸長方向を決定する事ができる。この計算を全ての根について行い、時間と共に成長する根系の形状変化を求めた。土壌水分の計算に有限要素法を用いる事により、形状の複雑な根系による水分吸収を計算する事が可能となり、2次側根までの分枝を考慮できた。なお、ここでのモデル化は、特定の樹種を対象としたものではないが、モデル中の分枝条件や屈性強度についてのパラメータを変化させる事によって、様々な形態の根系の成長を表現する事が可能である。

$$S_h = S_{h_0} \exp(-k_{sh} q) \quad \text{Eq.1}$$

$$S_g = S_{g_{\max}} \sin \gamma \quad (0 \leq \gamma \leq \pi/2) \quad \text{Eq.2-1}$$

$$S_g = S_{g_{\max}} \quad (\pi/2 < \gamma \leq \pi) \quad \text{Eq.2-2}$$

$S_{h_0}, S_{g_{\max}}$; 定数 [cm/sec], k_{sh} ; 水分屈性の強度を決めるパラメータ [sec/cm]

q ; 根に垂直な1次元流束 [cm/sec], γ ; 根の伸長方向と重力方向のなす角 [rad]

$$r = |(S_L + S_R) / (S_L - S_R)| d / 2 \quad \text{Eq.3}$$

$$\theta = |(S_L - S_R)| \Delta t / d \quad \text{Eq.4}$$

d ; 根の直径 [cm], Δt ; 微小時間 [sec]

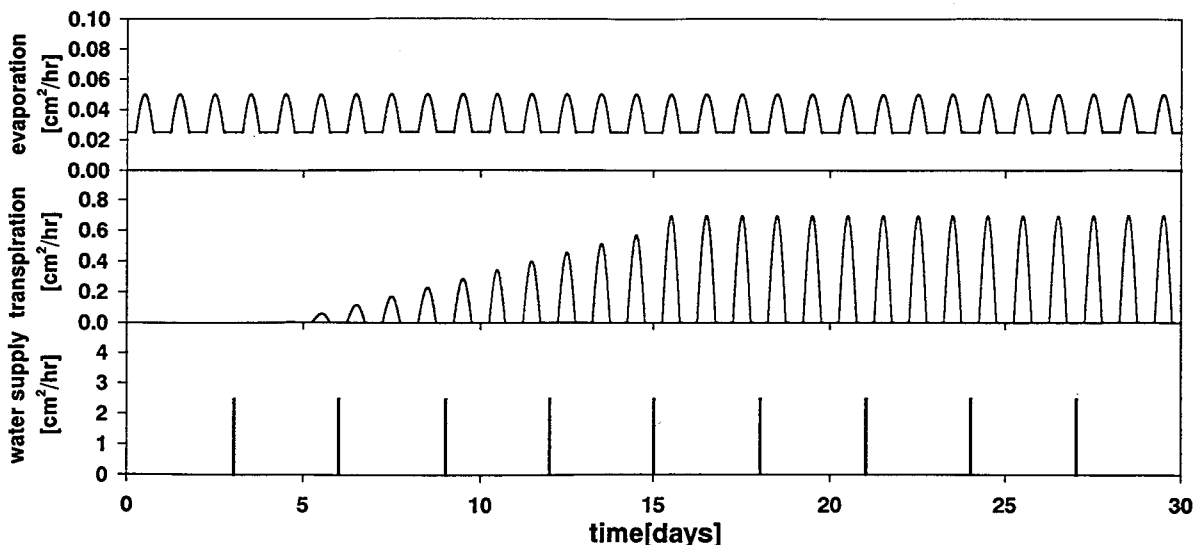


Fig.1 Time dependent conditions for the model calculation

3. 結果と考察

Fig.2 に平坦地における根系成長計算結果の一例を示す。図には、各時刻における根系形状と土壌の等水理ポテンシャル線を重ねて表示している（図中の数値は、 $z=0$ cm を基準とする水理ポテンシャル値 ϕ [cmH₂O]）。この計算例において、計算領域は 30×30 cm、根の分枝間隔は一定(1.0cm)として計算している。また、初期条件は全領域で $\phi=0$ cmH₂O とし、蒸発散、水分供給は Fig.1 に示した条件を用いている。この図において、根系の成長に伴い水理ポテンシャル分布が変化し、根による水分吸収が進行していることがわかる。逆に、水理ポテンシャル分布に従って水分屈性が発現し、高水理ポテンシャル方向に根が伸長していく様子が表されている。モデルにおいては、同時に重力屈性も与えているが、水分屈性の影響により、主根を除いて根が重力方向に向かう事が妨げられている。このため、多くの1次側根の伸長方向は重力方向に対してほぼ一定の角度をなし、傾斜重力屈性が発現している。Fig.3 に 45° 斜面における根系成長計算結果の一例を示す（図中の矢印は重力方向を、 $z=30$ cm の直線は土壌表面を表す）。傾斜角以外の計算条件は、Fig.2 における計算に用いたものと同じものを用いている。この図においても、平坦地における根系成長と同様、水分屈性の発現が顕著に見られる。主根に注目すると、斜面の傾斜にもかかわらず、ほぼ重力方向に向かってまっすぐに伸長している。一方、1次側根について見ると、平坦地と同じく傾斜重力屈性を示している。しかし、斜出角度は、山側の方が谷側よりも大きく、平坦地では、左右の斜出角度がほぼ等しいことに比べると、異なる傾向を示している。これらの根系形状は、現実の直根性樹木の特徴を非常によく表している。以上の事から、これまで謎とされてきた傾斜重力屈性が、水分屈性と重力屈性によって現れる現象であるという事が示唆された。

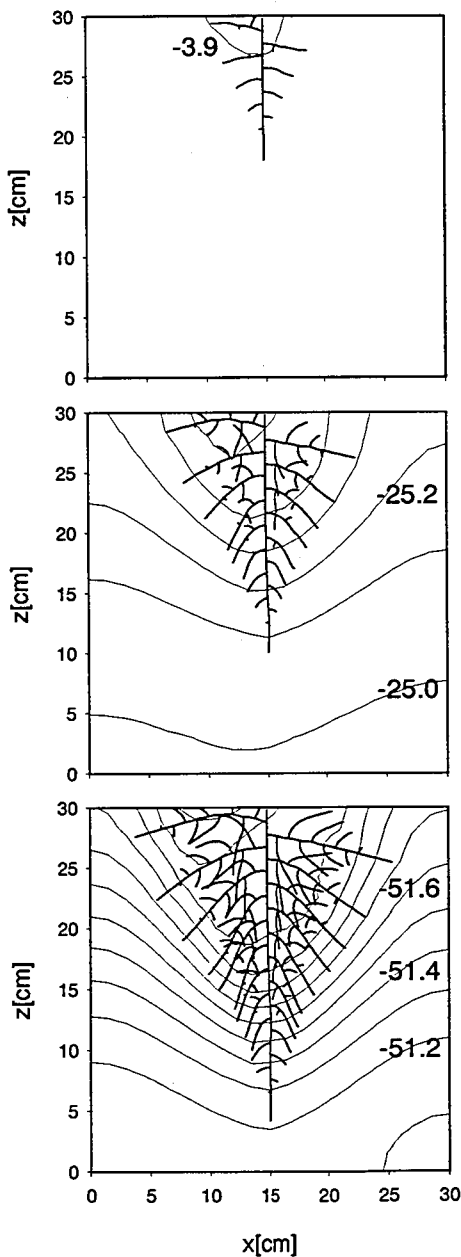


Fig.2 Root system development on plane

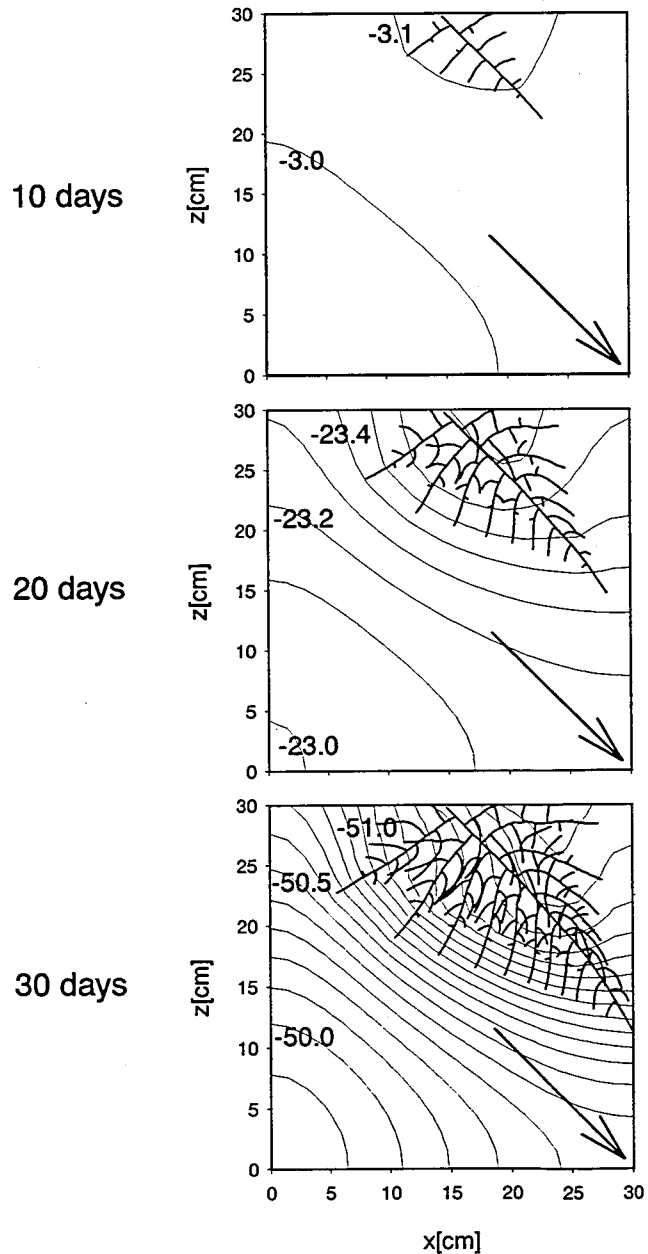


Fig.3 Root system development on slope