

# 根の3次元生長シミュレーション

Expression of three-dimensional root development simulated by dielectric breakdown model

筑紫 二郎, 金山 素平  
Chikushi. J and Kanayama. M

## 1. はじめに

作物根の生長には、多くの土壤環境因子が関与している。土壤水分はじめ、通気性、土壤硬度、土壤中養分、温度等の因子が考えられるが、これら因子の個々の影響はもちろん複合的な評価も難しい。ここでは、個々の因子は根の生長のためのポテンシャルを保持し、それらを積算したものを複合ポテンシャルと見なして評価する。最も単純な仮定として、複合ポテンシャルは土壤水分のみに依存するものとする。筆者は、このような仮定に基づいて、これまで2次元の根の生長シミュレーションを行ってきた(Chikushi and Hirota, 1998)。本報告では、根の生長シミュレーションを3次元に拡張し、根の生長の特徴を調べた。

## 2. モデルの説明

Niemeyer ら(1984)は誘電破壊モデル(DBM)と呼ばれる単純な確率モデルを開発し、モデルから導かれる放電パターンがフラクタル構造を持っていることを示した。本研究では、根系の発達に対してこのDBMを適用する。土壤を一つのポテンシャル場と考え、根の伸長はポテンシャル $\phi$ の勾配によって誘発されるものとする。また、種子は地表の中央に置かれたものとし、根は最初1ステップ下方に伸長した後、そこから先分枝していくものとする。つまり、根元での分けつは考えず主根を有する根系(双子葉植物)を対象とする。今、時間のことを考えなければ、ポテンシャル場はラプラスの式で表される。

$$\nabla^2 \phi = 0 \quad (1)$$

この式は3次元の場合では、次の離散式で置き換えられる。

$$\phi_{i,j,k} = \frac{1}{6}(\phi_{i-1,j,k} + \phi_{i+1,j,k} + \phi_{i,j-1,k} + \phi_{i,j+1,k} + \phi_{i,j,k-1} + \phi_{i,j,k+1}) \quad (2)$$

ここで、 $\phi_{i,j,k}$  は格子点  $(i, j, k)$  における $\phi$  値である。これら $\phi$  値はステップ毎に緩和法を用いて求められる。境界条件は根の部分では、

$$\phi_{i,j,k} = 0 \quad (3)$$

ソース(ここでは水源)となる領域部分では、

$$\phi_{i,j,k} = 1 \quad (4)$$

とする。また他の境界部分は不透過壁として

$$d\phi / dn = 0 \quad (5)$$

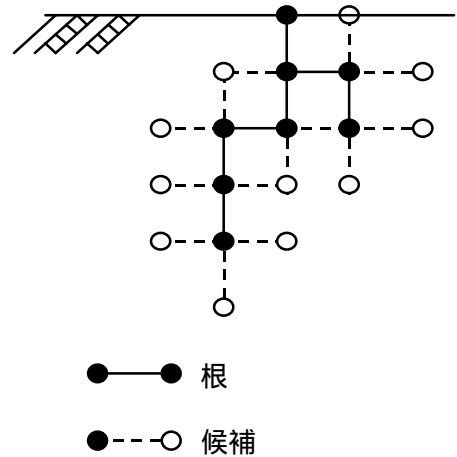
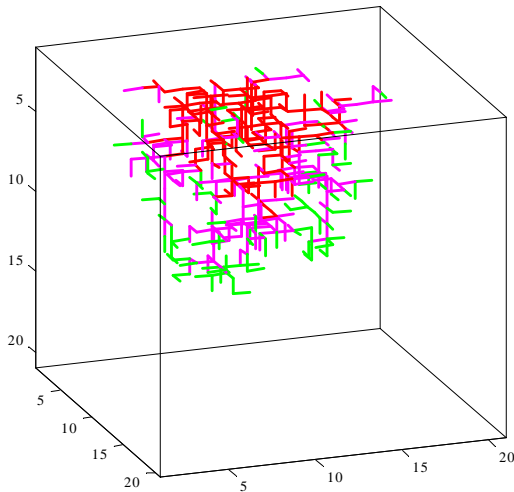
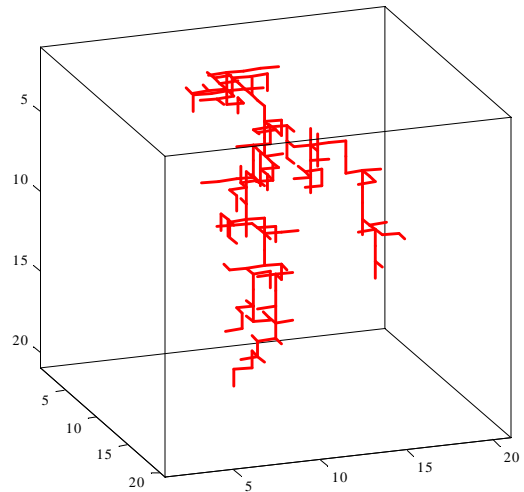


Fig.1 根の確定点と候補点

Established and candidate points of simulated root



**Fig.2** 根系の計算結果 (  $\eta = 0.8$  )  
Simulation of root development (  $\eta = 0.8$  )



**Fig.3** 根系の計算結果 (  $\eta = 2.5$  )  
Simulation of root development (  $\eta = 2.5$  )

ここで,  $n$  は境界面に対する法線方向の座標を表す. 根の境界に接するすべての格子点は, 新たな根を伸長させる可能性がある. 可能性を持つ格子点 (候補点) は Fig.1 において白丸で示される. 根の確定範囲内の点から候補点へ伸長する確率を次のように定義する.

$$P_{(i,j,k \rightarrow i'j'k')} = \phi^n_{(i',j',k')} / \sum \phi^n_{(i',j',k')} \quad (6)$$

ここで,  $\eta$  は確率分布を決めるパラメータである. これらの確率でもって, 乱数を発生させ, 候補の中から伸長根を決定する. この一つの伸長過程を伸長ステップと呼ぶことにする. この伸長ステップは, 本研究では, 時間とは直接関係付けられていない. 本モデルでは, シミュレーション領域を格子で分割した. 根は伸長ステップ毎に格子の辺に沿って生長するものとする. また, 格子間隔は長さを表すが, 具体的な単位を表示しない. したがって, 得られた結果は根系のパターンを表すにすぎず, 厳密な意味での根長や経時的な変化は得られていないことに注意する必要がある.

### 3. 結果および考察

(6)式におけるパラメータ  $\eta$  の値を 0.8, 2.5 とした場合のシミュレーション結果をそれぞれ Fig.2, Fig.3 に示す.  $\eta = 0.8$  の場合, 地表近くで根系が密に分布し, 側方への広がりも大きい. それに比べ,  $\eta = 2.5$  の場合, 下方への伸長が顕著であり側方への広がり小さい. このように,  $\eta$  の値は根系の形態と展開の仕方を支配しているパラメータであり, 根系の発達における遺伝的要素として考えることができる.

土壌水分以外の因子も考慮した 3 次元モデルはすでに行われている (Somma, et al., 1998) が, 本研究の根の生長モデルとは異なっている. また, 3 次元モデルの検証に関してはまだ検討の余地がある.

### 引用文献

- Chikushi, J. and O. Hirota: Simulation of root development based on the dielectric breakdown model. *Hydrol. Sci. J.*, 43(4), 549-560, 1998.
- Niemeyer, L., L. Pietronero, and H.J. Wiesmann: Fractal dimension of dielectric breakdown, *Phys. Rev.*, 52(12), 1033-1036, 1984.
- Somma, F., J.W. Hopmanns, and V. Clausnitzer: Transient three-dimensional modeling of soil water and solute transport with simultaneous root growth, root water and nutrient uptake., *Plant and Soil*, 202, 281-293, 1998.