

根系の分布 (1)

東京大学農学部附属農場 中元朋実

根系のかたちは、養水分吸収や支持といった根の基本的な機能と密接に関係していると考えられ、根の生理的あるいは生態的な役割を解明する大きな手がかりとなる。根系のひろがりや根系内部での個々の根の分布様式については、遺伝的な変異、環境の影響、機能との関係などいずれにも不明の点が多い。根系の複雑な形態を如何に定量化するかもまた大きな問題である。ここでは、作物の群落を対象に多く研究されている土壌の深さごとの根の量の分布だけでなく、2次元あるいは3次元的な根の分布や、さらに微視的に根相互の幾何学的な配置などをめぐるさまざまな問題について考える。

[根の長さのこと]

土壌中の根の量を表現するためのパラメータとしては、根の長さ、表面積、体積あるいは重さなどが考えられる。以前には、測定技術上の制約もあって、もっぱら根の重さが用いられてきたが、現在では根の長さが普遍的に用いられている。これは、根の長さが機能とより直接的に関係すると考えられるためである。たとえば、養分吸収に関しては、根の表面積や体積が吸収量と密接に関係している場合があるにしても (Russell and Clarkson 1976)、根の直径を測定することによって根の長さから表面積や体積を算出することが可能であり、理論的な解析にはパラメータとして根の長さをとりあげる必要がある。また、土壌中における根の空間的な分布を記述するには、根の長さがその幾何学的な配置とともに不可欠な要素となる。

土壌の層あるいは部位別に根の量を評価する際には、単位体積の土壌中に含まれる根の長さである根長密度 (root length density あるいは rooting density, 単位は通常 $\text{cm} \cdot \text{cm}^{-3}$) が用いられる。また、群落を対象とする場合には、単位土地面積当たりの根の長さ (total root length, 単位は $\text{cm} \cdot \text{cm}^{-2}$) が多く用いられる。

[根の長さと言分吸収のこと]

根系の分布を考えていく上で重要な根の長さというパラメータが、根系の機能と如何に関係しているかについて、若干の検討をしてみたい。

マスフローと拡散によって土壌中を根まで運ばれるイオンの流れを記述するモデル (補注参照, Nye and Marriott 1969, Claassen and Barber 1976, Cushman 1979) を微砂質壤土でのダイズの根に適用し、種々のパラメータがそれぞれ独立に初期値の 0.5 から 2 倍に変化した場合、カリウム (K) の吸収量がどのように変化するかを計算してみると (Silberbush and Barber 1983)、根の伸長速度や根の直径といった形態的なパラメータの影響が、根の吸収に関わる生理的なパラメータの影響より顕著に大きい。とくに、根長の増加により土壌が開拓されることが K の吸収に最も効果がある。より現実的に、一定体積の土壌中での吸収を考えると (Barber and Silberbush 1984)、根長の増加にともない根相互間の平均距離が短くなるため、競合の程度が大きくなり、K 吸収量の増加程度は、先の例に比べて小さくなる。さらに、根の体積を一定とした場合、すなわち根長の増加に応じて根が細くなると仮定すると、吸収量の増加程度はさらに小さくなる。しかしながら、これら 3 つの場合の差異は大きくなく、根が長くなることで、K の吸収に効果的であると結論できる。リン酸イオン (P) や硝酸イオン (NO_3^-) についても同様の計算が可能である (Barber and Silberbush 1984)。P については、K の場合と類似の結果がえられるが、P の土壌中の移動速度が小さいため、さらに細くとも根が長くなることで吸収に有利となる。一方、 NO_3^- では、根の生理的なパラメータである最大吸収速度 (I_{\max}) が根の長さや直径と同程度に吸収に影響する。とくに一定体積の土壌中での吸収を考えた場合には、 NO_3^- の拡散係数が大きいことにより、根長の増加による吸収量の増加程度は小

さく、 I_{max} が吸収量に最も影響する。

一方、通常の作物の生育においては、単位根長当たりには要求される養分の吸収速度をほぼ一定とみなせる期間が長いことに着目し、植物体の要求から、根長密度と養分吸収量との関係を検討することができる (Van Noordwijk and De Willigen 1991)。モデルにより、植物体が利用可能な養分量を、土壌中の養分の総量から、植物体の要求を満たす速度での養分の土壌中の移動を可能にするために必要な量と、吸収に必要な限界濃度のために土壌中に残る量を差し引いて求める。土壌表層 20cm までの根長密度が 1 から $5 \text{ cm} \cdot \text{cm}^{-3}$ に増加することにより、利用可能な K と P の量は著しく増加するが、土壌が乾燥していない限り、利用できる NO_3^- の量はほとんど変わらない。したがって、根が長くなれば、作物の生育に必要な K や P の施肥レベルを下げるができる。深さ 20cm までの土壌から農作物が適量の養分を獲得するために必要な根長密度は、様々な土壌条件等を考慮して、 NO_3^- については 0.1 から $1 \text{ cm} \cdot \text{cm}^{-3}$ 、P については 1 から $10 \text{ cm} \cdot \text{cm}^{-3}$ と見積られる (Van Noordwijk 1983)。それぞれ心土から表土にかけて普通に観察される根長密度に相当している。

以上のように、(1) まず、根が長く伸びることにより根系が土壌を開拓することが N、P、K いずれの吸収にとっても重要であり、(2) とくに P や K の吸収については、部分的な根長密度の増加も効果がある。養分吸収の面でも、根長の増加に伴う根系の拡大と根系内での根の分布が問題になってくることになる。

【引用文献】

- Barber S.A. and Silberbush M. (1984) ASA Special publ. 49, 65-87.
 Claassen N. and Barber S.A. (1976) Agron. J. 68, 961-964.
 Cushman J.H. (1979) Soil Sci. Soc. Amer. J. 43, 1087-1090.
 Nye P.H. and Marriott F.H.C. (1969) Plant Soil 3, 459-472.
 Russell R.S. and Clarkson D.T. (1976) Perspectives in Experimental Biology, vol. 2, ed. Sunderland N., Pergamon, Oxford, 401-411.
 Silberbush M. and Barber S.A. (1983) Agron. J. 75, 851-854.
 Van Noordwijk M. (1983) Wurzelökologie und ihre Nutzenanwendung. Proc. Int. Symposium Gumpenstein, 1982, Bundesanstalt Gumpenstein Irdning, 207-226.
 Van Noordwijk M. and De Willigen P. (1991) Plant roots and their environment, eds. B.L. McMichael and H. Persson, Elsevier Science Publishers B.V., 381-395.

$$\delta C / \delta t = 1 / r \cdot \delta / \delta r (r D \delta C / \delta r + v_0 r_0 C / b),$$
 C は土壌溶液のイオン濃度、t は時間、r は根の中心軸から放射方向への距離、D は有効拡散係数、 v_0 は根表面での水の吸収速度、 r_0 は根の半径、b は土壌の緩衝力である。初期条件として、

$$C = C_1, t = 0, r > r_0,$$
 すなわち、土壌各部のイオン濃度を一定とする。第 1 の境界条件としては、根の表面でのミハエリス・メンテン型の吸収

$$D b \delta C / \delta r + v_0 C = I_{max} (C - C_{min}) / (K_m + C - C_{min}),$$

$$t > 0, r = r_0$$

を、第 2 の境界条件としては、根と根の中間 ($r = r_1$ 、根相互間の平均距離の半分) において、(1) 根間に養分の競合がない場合

$$C = C_1, t > 0, r = r_1,$$

あるいは (2) 競合がある場合

$$D b \delta C / \delta r + v_1 C = 0, t > 0, r = r_1,$$
 を仮定する (ここで v_1 は r_1 における根に向かう水の流れの速度)。