

根圏土壌における水分と重金属移動のモデル化に関する研究

岐阜大学工学部 星屋誠 橋本洋平 佐藤健

1. はじめに

ファイトレメディエーションの設計には根圏の水分とイオン化した重金属の移動メカニズムの解明が重要となってくる。根圏は吸水の範囲、つまり浄化の影響範囲を決定づけ、イオン化した重金属は水分と共に根から植物体内へと吸収される。根圏での水分移動を表したモデルにはマイクロモデルとマクロモデルの2つがあり、以下にその考え方をまとめる¹⁾。

1.1 ミクロモデル

複雑な根の形状を直線状の単一根と考え、根の透過性・太さなどを軸方向で均一に仮定し、円筒形座標における拡散方程式で水分移動を考察するモデル²⁾。特に植物の各部位の水分に対する抵抗性を現地計測結果を用いて詳細に考察し、単位根あたりの吸水量を推定するのに使用される。実際の問題に適用するには各データを正確に得るのが困難であり、根周辺の境界条件の設定や根周辺の水分移動は根軸方向に均一でないことから適用は難しいなどの指摘がある¹⁾。

1.2 マクロモデル

根の複雑な形状を気にせず根群域全体で水移動を考え、根圏土壌を連続体と見なし、土中水分移動に根吸水量を吸い込み項として置き換えて考察するモデル。根近傍での土中の水分変化には深く立ち入らず、空間的に平均化された情報を得ようとするものである。これによって、土中水ポテンシャルや、根密度と吸水量の関係も明らかにされつつある。

マクロモデルにおいても根の吸水項の評価が研究の焦点であり、この値を水分ポテンシャルから見積る移動論タイプと経験的アプローチで見積る経験工学タイプがある。移動論タイプ、経験工学タイプいずれも水分ポテンシャルの連続性を介し、水分移動が評価される点で共通であり、どちらのアプローチでも植生地盤の水分移動は考察できる。マクロモデルは根の吸水量、重金属濃度の関係が大切になる。本研究ではマクロモデルに立ち経験工学的に根の吸水を見積もることとした。

Richardの水分移動式³⁾では根圏土壌の水分移動は以下のように表される

$$\frac{\partial \theta}{\partial t} = \frac{\partial}{\partial z} \left[K \left(\frac{\partial \phi}{\partial z} \right) \right] - S(\phi, z) \quad \dots (1)$$

は土壌体積含水率、 K は不飽和透水係数、 ϕ は土中水ポテンシャル、 S は根の吸水量を示す。イオン化し

た重金属の移動は、次の式で表す。

$$\frac{\partial \theta c}{\partial t} + \frac{\partial \rho_d \sigma}{\partial t} = \frac{\partial}{\partial z} \left(\theta D \frac{\partial c}{\partial z} \right) - \frac{\partial v c}{\partial z} - S(\phi, z) \cdot C_s \quad \dots (2)$$

c は土壌間隙水の鉛濃度、 θ は土粒子吸着鉛濃度、 v はダルシー流速、 C_s は植物体に吸収される溶液の鉛濃度を表す。

$$S(\phi, z) = a(\phi) \cdot b(z) \cdot T_{pj} \quad \dots (3)$$

根の吸水量 S は、根密度 $b(z)$ 、根吸水速度 T_{pj} より(3)式で求められる。根密度 $b(z)$ は各深さの土層に占める根量 $b'(z)$ の空間分布である。

$$b(z) = \frac{b'(z)}{\int_0^{L_{rj}} b'(z) dz} \quad \dots (4)$$

$a(\phi)$ は水分ストレス関数で0~1の値をとる。

これらの根圏におけるイオン化した重金属の移動を予測するのに必要な基礎的なデータ蓄積のために室内実験をおこなった。

2. 実験方法

2.1 使用土壌

使用した土壌は多治見市総合射撃場の鉛弾回収後の鉛汚染土であり、透水係数が $1.0 \times 10^{-6} \sim 10^{-5}$ と比較的小さく、水はけが悪い。鉛含有量は9000~14000mg/kgと環境基準150mg/kgと比べ高い値となっている。また、鉛溶出量は環境基準0.01mg/Lに対し、0.3~2.1mg/Lと環境基準の10倍以上の濃度であった。供試植物は、信州大ソバ、ギニアグラス、ケナフである。

2.2 カラム実験

温室カラム装置にTDR、土壌溶液採取器を深度別に設置した。TDRは体積含水率、土壌溶液採取器では土壌間隙水中の鉛濃度計測が可能である。また、カラム上部からの灌水は成長に合わせて行い、各カラムに与える灌水量は一定である。カラム下端からの排水量を計測した。収穫時には植物体の地上部と根部の全長、重量を測定し、植物体の鉛濃度を原子吸光法によって測定した⁴⁾。

2.3 温室ポット実験

底面積が1/5000aのワグネルポットに植物を栽培し、1から2週間毎に3ポットを収穫しながら、カラム実験と同様に植物体の地上部と根部の全長、重量を測定し、植物体の鉛濃度を原子吸光法によって測定し、地上部の生育と根圏の成長について計測した。

2.4 鉛反応速度実験

pH(3~7)に調整した NaNO₃ 溶液の中に土壌を入れ、経時的に溶液を採取、その鉛濃度を ICP 装置により分析した。

3. 根ポンプ機能を評価する要因

根密度分布[LL⁻³]は各深度での根量分布より推定し各深度毎での根吸水量を把握する。根吸水速度[LT⁻¹]は植物体にどれだけ吸水されるかを定める要素で、鉛の移動する速さに関ってくる。鉛吸収量[M]は植物体に吸収された鉛の量。鉛濃度[MM⁻¹]は植物体 1gあたりの鉛吸収量。鉛吸収速度[MT⁻¹]は植物体が鉛を吸収する速さを示したものである。

4. 実験結果

根長密度分布はカラム、ポット試験による根重と根長のデータを使い、(5)式の根密度関数式⁵⁾を積分し各層の平均根密度を出すことによってより求めた。L_iは任意の深度での根長密度、L₀は表層での根長密度、Z_iは根の深さを表す。

$$L_i = L_0 \cdot \exp(-aZ_i) \quad \dots(5)$$

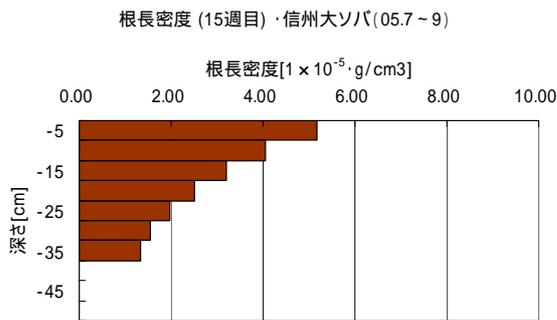


図-1 信州大ソバの根長密度

信州大ソバの結果を図-1 に示した。下層に進むにつれ根密度は減少し、根による吸水も地表付近で多く、下層で少なくなる傾向がうかがえる。

根吸水速度は、根の吸水量を蒸散量とし、蒸散量から推定した。カラム実験で灌水量、排水量、土壌水分量が計測されているので、カラム内水収支法で、週ごとの蒸発散量を求めた。カラム実験植生有無で差をとり蒸散量を算出し、根圏円筒部の表面積で除し根吸水速度 T_{ij}とした。(図-2)

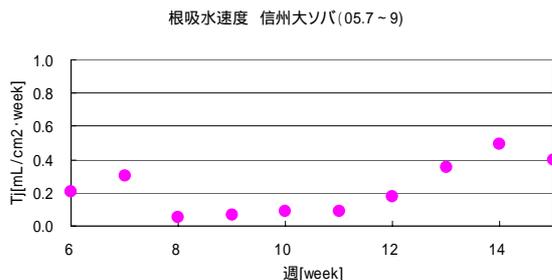


図-2 根吸水速度

算出された根吸水量と溶出試験で得られた平衡状態に

おける土壌溶液中の鉛濃度から植物体の鉛吸収量を求めた。土壌溶液中の鉛濃度は実際の土壌の pH に近い pH6 の結果を使用した。カラム実験の植物体鉛吸収量の計測値と計算値を比べると、計算値よりも 1.2~3.1 倍ほど鉛が植物体に多く吸収されていることがわかる(表-1)。

表-1 鉛吸収量

鉛吸収量 信州大ソバ[mg]				
カラム	A	B	C	計算値
全体	10.29	3.94	5.12	3.28

ポット試験の植物体の鉛濃度は栽培初期では乾燥重量に比例して増加するが、ある時期を境にして減少、鉛濃度が一定の値ではないことがわかった(図-3)。植物が物質を選択して取り入れる性質があり、鉛吸収が抑制される可能性も考えられる。鉛吸収速度を算出すると、3 週では 0.028[mg/day]だったが、15 週では 0.004[mg/day]まで減少することがわかった。

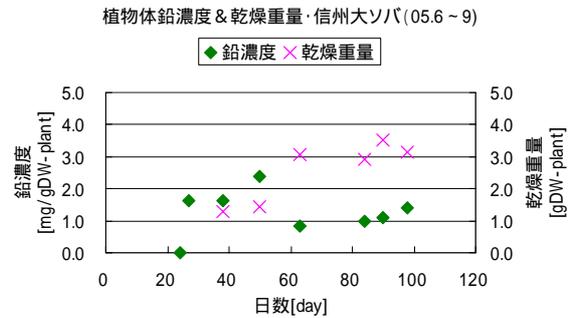


図-3 植物体鉛濃度・乾燥重量

5. 結論

水収支法に基づき蒸散量を推定し、根吸水速度を求めることができた。根密度を根重から推定しその分布状態を把握した。鉛吸収とマクロモデルに基づく計算値を比較したところ、1.2~3.1 倍実測値が大きくなった。鉛濃度は一定ではないのでファイトレメディエーション効果を予測するには植物の鉛吸収能力の変化も考えることが必要になる。

6. 参考文献

- 1) 佐藤健, 橋本洋平, 松古浩樹; 土壌地下水汚染の拡散防止に対する植生地盤の封じ込め機能評価, 地下水技術 第49巻 第1号 pp29-36, 2007年.
- 2) 石田朋靖: 土壌-植物系における水分移動に関する研究, 山形大学紀要(農学) 第9号 第4巻, 別冊, 昭和60年1月 pp.573-707, 1985年
- 3) Philip, J, R: Plant water relations: some physical aspects. Ann. Rev. Plant Physiol. 17, p. 245. 1966.
- 4) 木下智晴: 植物根圏域に着目した Phytostabilization 効果の検討, 岐阜大学大学院工学研究科修士論文, 2006.
- 5) Gerwitz A, Page ER An empirical mathematical model to describe plant root systems. J.Appl.Ecol.11:773-782 1974.