

改良 LEACHM による土中の窒素・炭素成分の移動と植物根の能動吸収 Fate and transport of nitrogen and carbon with plant root active uptake in soils based on the modified LEACHM

三口貴久代¹・取出伸夫¹・田崎小春²

¹三重大学大学院生物資源学研究所・²佐賀大学大学院農学研究科

要旨(Abstract)

LEACHM に基づく荷電を考慮しない窒素・炭素循環モデルに対して、植物根の能動吸収、二酸化炭素、アンモニア、窒素ガスの気相中の拡散移動、3 個の有機物分解プールの機能を追加した。改良 LEACHM は、HYDRUS1D の根の吸水を含む土中の水分・溶質・熱移動とガス拡散に対し、PHREEQC による有機物分解から植物の吸収までの窒素・炭素成分の反応を HP1 により連結して構築した。

キーワード:改良 LEACHM, 能動吸収, ガス拡散, Freundlich 吸着, HYDRUS ver.5

Key words: Modified LEACHM, Active uptake, Gas diffusion, Freundlich adsorption, HYDRUS ver.5

1. はじめに

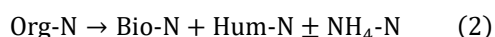
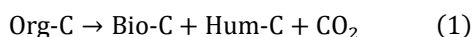
土中の有機物(SOM)分解により無機化されたアンモニアは、硝化、脱窒により形態変化する。植物根は土中水のアンモニア、硝酸をそれぞれ能動的に吸収する。本研究では、LEACHM (Hutson, 2005) に基づく荷電を考慮しない窒素・炭素循環モデルに対して、根の吸収などを追加した改良 LEACHM を、HYDRUS ver. 5 の HP1 を用いて構築した。

2. HP1 を用いた改良 LEACHM

改良 LEACHM は、HYDRUS1D の根の吸水を含む土中の水分・溶質・熱移動とガス拡散に対して、PHREEQC による 3 個の有機物分解プール、気液平衡、植物の吸収までの窒素・炭素成分の反応を HP1 により連結して構築した(Fig.1)。

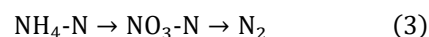
(1) 有機物分解モデル

土中に投入された易分解性有機態炭素(Org-C)は、一次分解によりバイオマス炭素(Bio-C)、腐植炭素(Hum-C)、CO₂に分解される。



有機態窒素(Org-N)もバイオマス窒素(Bio-N)、腐植窒素(Hum-N)に分解されるが、有機物の C/N 比に応じて過剰成分はアンモニア態窒素(NH₄-N)分解される。NH₄-Nは、連鎖反応で硝酸

態窒素(NO₃-N)、窒素(N₂)へと分解される。



CO₂、NH₄-N、N₂は気液平衡によるガス態も存在する。NH₄-NとNO₃-Nは土に Freundlich 吸着する。

(2) 植物根の吸収モデル

根は、成分ごとに植物の要求量R_pを満たすよう能動吸収する。各位置の溶質吸収速度r_a[ML⁻³T⁻¹]は、能動吸収速度a_aと受動吸収速度p_aの和である(Šimůnekら, 2009)。

$$r_a(z, t) = p_a(z, t) + a_a(z, t) \quad (4)$$

ここで、zは位置[L]、tは時間[T]である。根域全体の可能能動吸収速度A_p[ML⁻²T⁻¹]は、植物の全要求吸収速度R_p[ML⁻²T⁻¹]と根域全体の受動吸収速度P_a[ML⁻²T⁻¹]の差分である。

$$A_p(t) = \max[R_p(t) - P_a(t), 0] \quad (5)$$

A_pを吸水強度分布b(z) [L⁻¹]で各位置に分配し、さらに濃度低下にともなう吸収低下を Michaelis-Menten 式で表す(Jungkら, 1991)。

$$a_a(z, t) = \frac{c(z, t) - c_{\min}}{K_m + c(z, t) - c_{\min}} b(z) A_p(t) \quad (6)$$

ここで、cは吸収成分の溶質濃度[ML⁻³]、c_{min}は最小能動吸収濃度[ML⁻³]、K_m[ML⁻³]は定数であり、K_mが大きいほど濃度低下にともなう吸収低下は大きい。一方、受動吸収は、各位置の吸水速度s[T⁻¹]と溶質濃度の積である。

$$p_a(z, t) = s(z, t) \min[c(z, t), c_{\max}] \quad (7)$$

ここで、 c_{\max} は最大受動吸収濃度[ML⁻³]であり、 $c_{\max} = 0$ のとき受動吸収は生じない。

3. 計算例: NH₄-NとNO₃-Nの能動吸収

植物根が長さ 30cm で一定に分布する 100 cm の Loam 層 0-30cm 深に C/N 比 10 の SOM (Org-C 30 mmol cm³_{soil}, Org-N 3 mmol cm³_{soil}) を投入した。下端は地下水、初期水分は圧力平衡分布、上端は大気開放、水分フラックスはゼロとした。吸水は Feddes モデルを用いた。可能蒸散速度は 0.4 cm d⁻¹、蒸発なし、分配係数を NH₄-N では 1 cm³ g⁻¹_{soil}、NO₃-N では 0.01 cm³ g⁻¹_{soil} の線形吸着とした。NH₄-N、NO₃-N ともに受動吸収は無しとし、NH₄-N の R_p は 1 mmol cm⁻² d⁻¹、NO₃-N は 10 mmol cm⁻² d⁻¹ とした。計算期間は 30 日とし、有機物分解後に各窒素成分の溶質量の分布と積

算吸収量を計算した (Fig.2)。NH₄-N と NO₃-N の溶質量は全量 (溶存態量と吸着態量の和) である。NH₄-N 溶質量は NO₃-N の約 100 倍だが、より能動的な吸収により、30 日の NO₃-N 積算吸収量は NH₄-N の 3 倍になった。

荷電を考慮しないモデルでは、溶液の電気的中性条件、窒素の形態変化や能動吸収における荷電バランスの考慮が不要な単純なモデルである。そのため、安定した計算が可能である。今後、複数の腐植プールや LEACHM に準じた P 成分の追加の予定である。

参考文献

- Hutson, J.L. (2005): LEACHM (leaching estimation and chemistry model) ver 4.1. Res Ser No. R03- 1. Dep of Crop and Soil Sciences, Cornell Univ, Ithaca.
- Šimůnek, J. and Hopmans, J.W. (2009): Modeling compensated root water and nutrient uptake, Ecological Modelling, 220: 505-521.

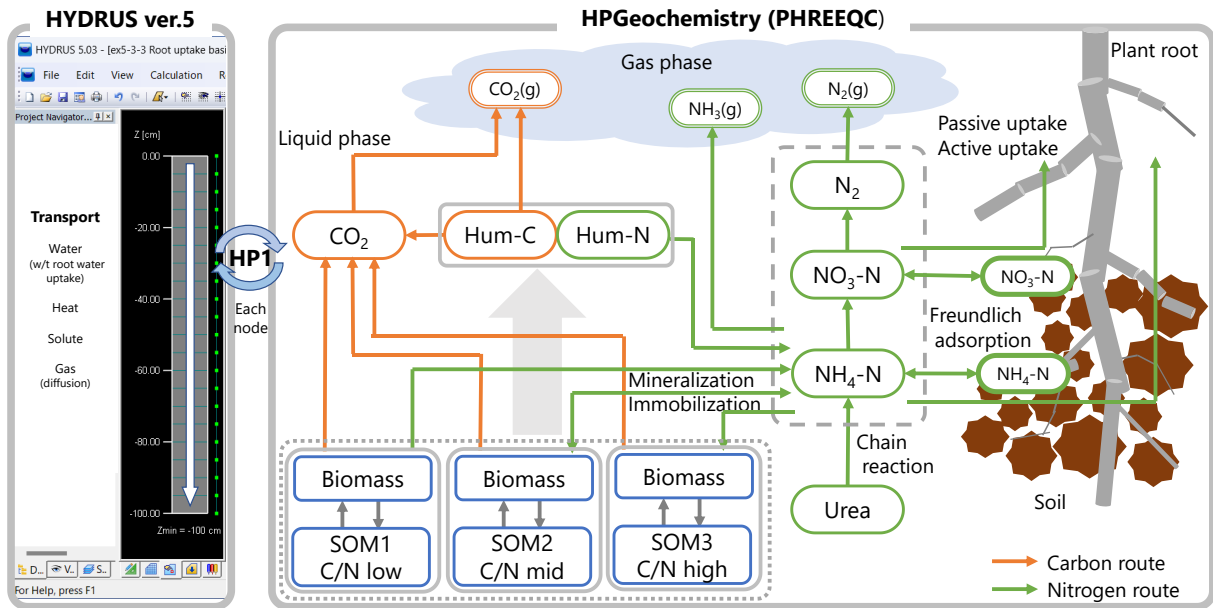


Fig.1 HP1 を用いた荷電を考慮しない改良 LEACHM の概略図

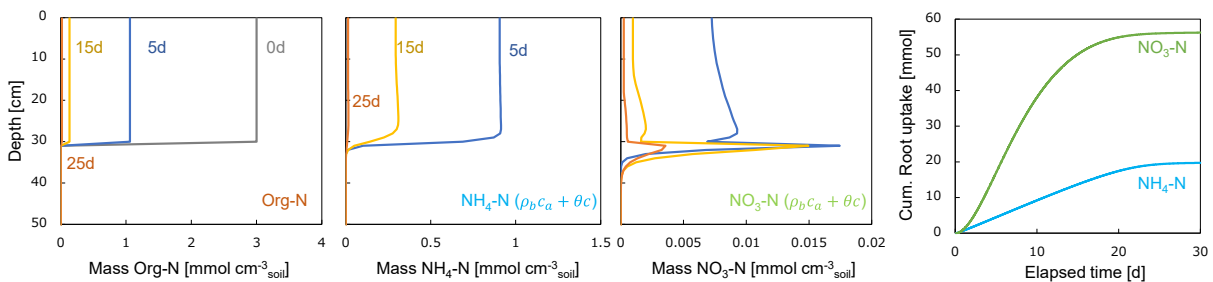


Fig.2 Org-N, NH₄-N, NO₃-N 溶質量の分布と能動吸収による NH₄-N, NO₃-N の積算吸収量