

改良 LEACHM よる土中のイオン交換を伴う窒素・炭素成分の移動 Fate and transport of nitrogen and carbon with ion exchange in soils based on the modified LEACHM

田崎小春¹・取出伸夫²・三口貴久代²・奥田涼太³・徳本家康⁴

¹佐賀大学大学院農学研究科・²三重大学大学院生物資源学研究科・

³国立研究開発法人土木研究所寒地土木研究所・⁴佐賀大学農学部

要旨(Abstract):

窒素成分の荷電を考慮した有機物分解モデルに対して、変異荷電モデルによる pH 緩衝作用、NH₄⁺の陽イオン交換、NO₃⁻の陰イオン交換、CO₂の溶解平衡、ガス移動を加えた土中の窒素・炭素成分の反応移動モデルを HP1 により構築し、イオン交換の窒素成分の移動に及ぼす影響を検証した。

キーワード: 有機物分解, アンモニウムイオン, 硝酸イオン, イオン交換, 変異荷電

Key words: SOM decomposition, Ammonium ion, Nitrate ion, Ion exchange, Variable charge

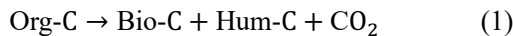
1.はじめに

土中の有機物の無機化によりNH₄⁺、硝化によりNO₃⁻が生成され、NH₄⁺は陽イオン交換、NO₃⁻は陰イオン交換が生じながら土中を移動する。このNH₄⁺とNO₃⁻は土中水の pH を変化させるが、同時に粘土鉱物や有機物の持つ変異荷電による pH 緩衝作用が働く。そのため、イオン交換を伴う土中の窒素・炭素成分の移動には、pH 緩衝作用を考慮した移動モデルの構築が必要である。本研究では、HP1 による修正 LEACHM の有機物分解モデルに対して窒素成分の荷電を考慮し、変異荷電モデルによる pH 緩衝作用、NH₄⁺の陽イオン交換、NO₃⁻の陰イオン交換など加えた土中の窒素・炭素成分の反応移動モデルを構築した。

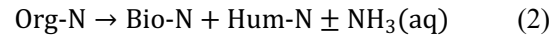
2.HP1 を用いた反応移動モデル

(1) 有機物分解モデル

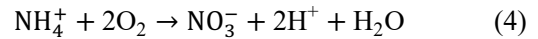
土中に投入された易分解性有機態炭素(Org-C)は、一次分解によりバイオマス炭素(Bio-C)、腐植炭素(Hum-C)、CO₂に分解される。



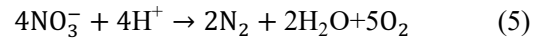
このとき、有機態窒素(Org-N)もバイオマス窒素(Bio-N)、腐植窒素(Hum-N)に分解されるが、有機物の CN 比に応じて過剰成分はNH₃として土中水に無機化され、NH₄⁺に電離する。



無機化されたNH₄⁺は硝化され、

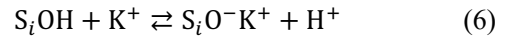


さらに脱窒によりN₂となる。

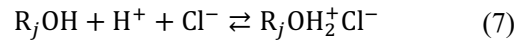


(2) 変異荷電モデル(VCM)とイオン交換

粘土鉱物や有機物の反応基(S_iOH)に脱プロトン化反応が生じて負荷電が発生すると、交換性陽イオンが吸着して電気的中性が保たれる。



同様にプロトン化反応基(R_jOH)に正荷電が生じると、交換性陰イオンが吸着する。

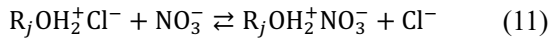
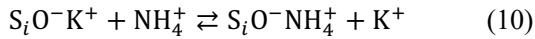


永久負荷電による陽イオン交換容量CEC_pと各表面反応基の交換性イオンの和が全 CEC, AEC (mol_c kg⁻¹_{soil})である。

$$\text{CEC} = \text{CEC}_p + \sum_{i=1}^n [\text{S}_i\text{O}^- \text{K}^+] \quad (8)$$

$$\text{AEC} = \sum_{j=1}^m [\text{R}_j\text{OH}_2^+ \text{Cl}^-] \quad (9)$$

溶液の濃度と組成が変化すると、陽イオン交換と陰イオン交換が生じる。たとえば、S_iO⁻K⁺におけるNH₄⁺の陽イオン交換、またR_jOH₂⁺Cl⁻におけるNO₃⁻の陰イオン交換は次式で表せる。



以上の土中の諸反応を PHREEQC により表現し、HP1 を用いて土中の水分・溶質・ガス移動モデル HYDRUS-1D と結合させた (Fig. 1).

3. 計算例: pH 緩衝作用の影響

0.001 molc kgw⁻¹ の KCl 溶液と平衡させた 100 cm の黒ボク土層の上層 20 cm に、CN 比 10 の有機物を添加した。水分移動は、初期条件を表面圧力水頭 $h = -100$ cm, 下端 $h = 0$ cm の平衡分布として、上端から 0.5 cm d⁻¹ の一定フラックスの純水を与えた。黒ボク土の荷電特性として、奥田・取出 (2023) により推定された VCM パラメータ (905 soil) を与えた。計算期間は 50 日とした。

Fig. 2 は、pH と陽イオン量、陰イオン量の分布

である。pH は、有機物分解により発生した CO₂ が気相を経由して下層に溶解し、5.25 程度まで徐々に低下した。無機化された NH₄⁺ は K⁺ と交換吸着するが、交換性陽イオンの和である CEC は低下した。硝化により生成された NO₃⁻ も同様に Cl⁻ と陰イオン交換して吸着し、交換性陰イオンの和である AEC は pH の低下により増加した。NO₃⁻ の大半は吸着態として存在して上層 30 cm に留まり、NH₄⁺ より下方への移動が遅れた。一般には、吸着量の少ない NO₃⁻ は下方へ浸透しやすいとされているが、AEC の大きい土では、NO₃⁻ の陰イオン交換の評価が重要と考えられる。今後は、陰イオン交換にも焦点をあてた溶質移動実験による検証が必要と考える。

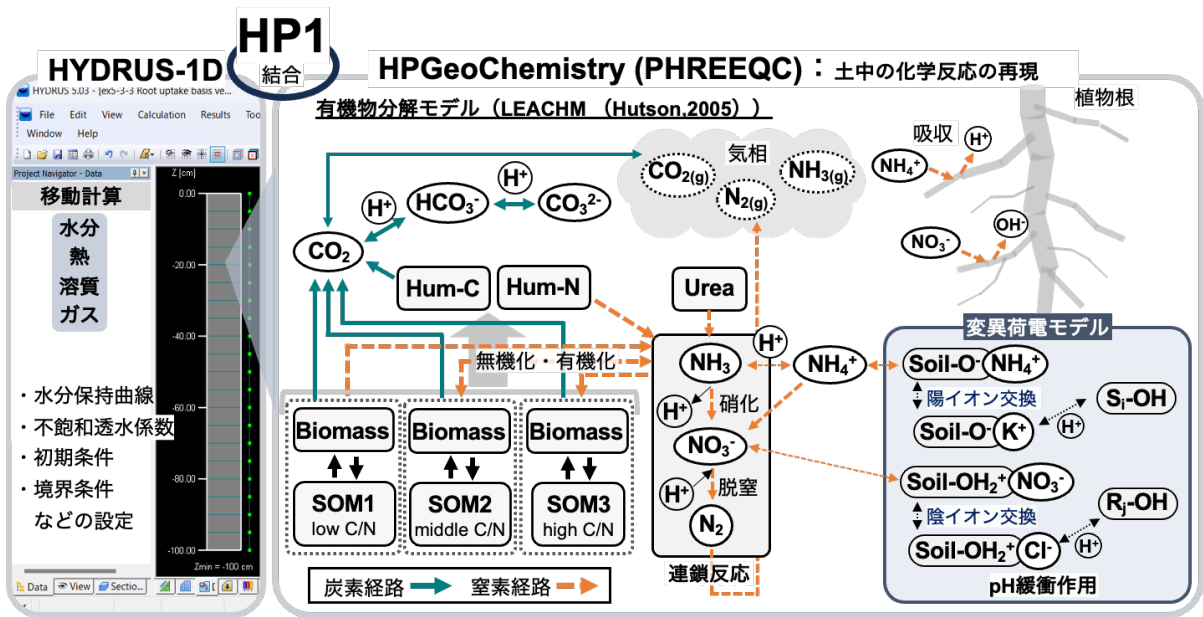


Fig. 1 HP1 を用いた窒素・炭素成分の反応移動モデルの概略図

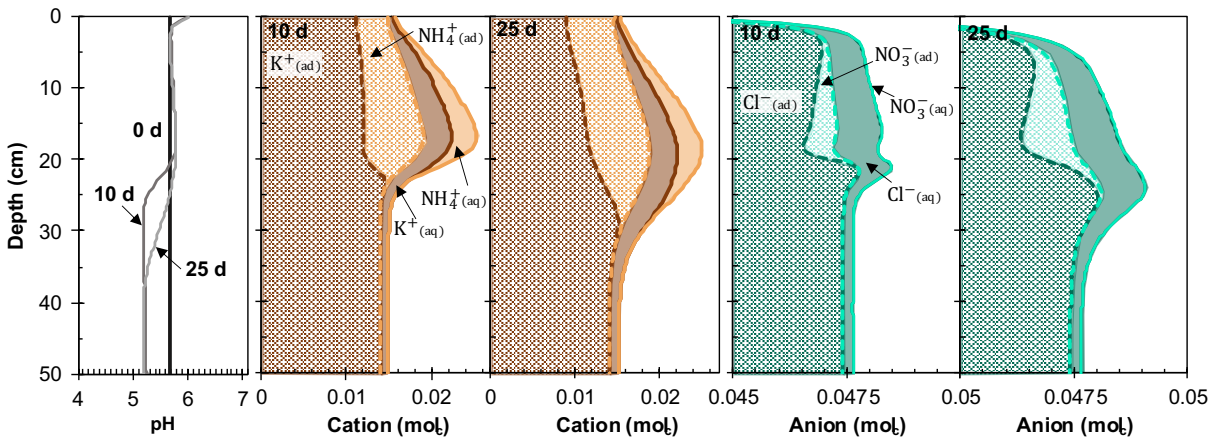


Fig. 2 pH, 吸着態および溶存態の陽イオン量 (NH₄⁺, K⁺), 吸着態および溶存態の陰イオン量 (NO₃⁻, Cl⁻) の分布