

窒素・炭素循環連結モデルによる土中の有機物分解と窒素移動の予測 Fate and Transport of Nitrogen and Organic Matter in Soils based on a Coupled Nitrogen-Carbon Cycling Model

○取出伸夫 森田陽子 陳代文
Nobuo Toride, Yoko Morita and Chen Daiwen

はじめに 有機物分解に伴う土中の窒素と炭素の循環には, Johnsson et al. (1987)の C/N 比に基づき窒素の無機化と有機化を表現するモデルがあり, LEACHM (Hutson, 2005) などの土中の窒素成分の移動予測プログラムに用いられている. しかし, 現状ではそれらのプログラムの改良は難しい. そこで, LEACHM の窒素・炭素循環連結モデルを PHREEQC プログラムで表現することを試みた. そして, HP1 プログラムを用いて土中の有機物分解と窒素移動の計算を行い, 有機物分解と窒素成分の移動特性を検討すると同時に, 今後の発展性について検討した.

窒素・炭素循環連結モデル Fig.1 は, LEACHM の炭素・窒素分解モデルの模式図である.

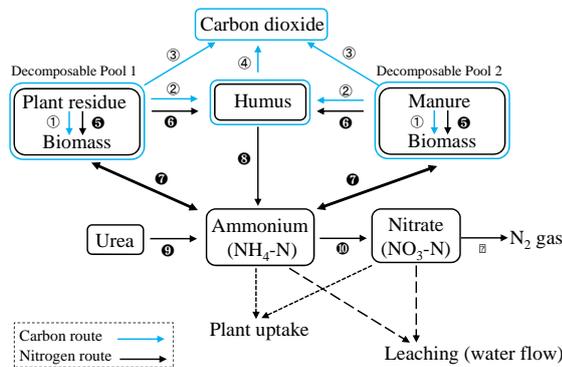
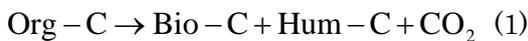


Fig. 1 Coupled nitrogen and carbon cycling model

2 種類の有機物分解プール i ($= 1, 2$) 中の有機態炭素 ($Org-C$) は, バイオマスの炭素画分 ($Bio-C$), 腐植の炭素画分 ($Hum-C$), CO_2 に分解される (経路 1, 2, 3).



有機態炭素の分解速度は, 一次分解反応で与える.

$$\frac{dC_{Org-Ci(d)}}{dt} = -k_{Orgi} C_{Org-C} \quad (2)$$

有機物分解プール中で生成されるバイオマスは, 再び有機物として分解される. 分解反応におけるそれぞれの生成割合を一定と仮定すると, $Bio-C$, $Hum-C$, CO_2 の生成速度を $Org-C$ の分解速度で表すことができる. 異なる経路で分解と生成が生じるそれぞれの成分の正味の変化速度は, 分解速度と生成速度の和として(2)式に基づき $Org-C$ 濃度の関数として表せる.

有機態窒素 ($Org-N$) は, バイオマスの窒素画分 ($Bio-N$) と腐植の窒素画分 ($Hum-N$) に利用される.



この窒素経路の分解と生成速度は, 有機物, バイオマス, 腐植の C/N 比を用いて, (1)式の有機炭素の分解, 生成速度と関連づけられる. この $Org-N$ の分解過程で, $Org-N$ の分解による窒素成分の供給が $Bio-N$ と $Hum-N$ の生成の要求を上回ると, 余剰分は NH_4 として無機化される. 逆に, 供給が不足すると, 土中の NH_4 が有機化されて利用される. バイオマス, 腐植の C/N 比が, 10 で(1)式の CO_2 の生成割合が 0.5 のとき, C/N 比 20 以上の有機物では有機化, 20 以下の有機物では無機化が生じる. 有機態窒素のそれぞれの成分の正味の変化速度も, 有機態炭素の場合と同様に $Org-C$ の濃度の関数として表せる.

有機化が生じるとき, NH_4 の利用可能量が少なくなると, NH_4 の存在量が有機物分解を制限し, 分解速度を遅くする. ここで, 1 日間の NH_4 の利用可能最大量として, トータル濃度 C_{NH4} の 1/10

を仮定する。そして、1 日間の有機物の最大分解量 $\Delta C_{Org-Ci, max}$ を定義する。この $\Delta C_{Org-Ci, max}$ と (2) 式の分解量の大きさに応じて、3 段階の有機化過程を定義する。

[第 1 段階] 十分な NH_4 が存在するため、 C_{NH_4} は有機物分解に影響を及ぼさない。

[第 2 段階] NH_4 の存在量が少ないため、有機物の分解速度を $\Delta C_{Org-Ci, max}$ に減少させる。

[第 3 段階] さらに NH_4 の存在量が少ないため、アンモニアの有機化を停止させる。そして、バイオマスと腐植の生成をゼロとし、(2) 式の分解速度を 0.1 倍とした有機物分解が生じ、炭素経路では二酸化炭素のみ、窒素経路では NH_4 の無機化のみが生じると仮定する。

なお、非常に C/N 比が高い有機物が NH_4 のない土中に投入されると、C/N 比を保ちながらゆっくり第 3 段階の分解が進行し、 NH_4 が蓄積した段階で第 2 段階が始まり、バイオマスのリサイクルと NH_4 の有機化により C/N 比は低下し始める。その後 NH_4 が増加する状況であれば第 1 段階に移行し、最終的には NH_4 の無機化に転じる。

また、土中に投入された尿素肥料は、有機物の分解経路とは別に、 NH_4 に無機化される。そし

て、さらに硝化、脱窒により形態変化する。これらの分解および生成反応も、有機物分解と同様に一次反応で表す。

HP1 プログラムによる計算 ここまで示した有機物分解と形態変化による炭素と窒素成分の連鎖反応は、PHREEQC プログラムで表現できる。それにより、HP1 プログラムを用いて、非等温、非定常水分流れの生じる土中の有機物分解と窒素成分の移動の計算が可能となる。Fig. 2 は、異なる CN 比の有機物を初期の C_{NH_4} が非常に小さい表層 25cm のシルト土層に与えたときの、硝化が生じない場合の浸潤過程の Org-C 濃度と C_{NH_4} 分布の変化の計算例である。 NH_4 の有機化が生じる条件では、 C_{NH_4} に応じて有機化の 3 段階が生じるので、複雑な分布となる。なお、同じ条件では、HP1 と LEACHM の計算結果はほぼ一致した。

今後、PHREEQC による窒素・炭素循環連結モデルに対して、3 個以上の有機物プール、 NH_4^+ と NO_3^- の植物根の選択的吸収、気相中の CO_2 の拡散、 NH_4^+ の陽イオン交換と NO_3^- の陰イオン交換による変異荷電への吸着などの改良を行う予定である。

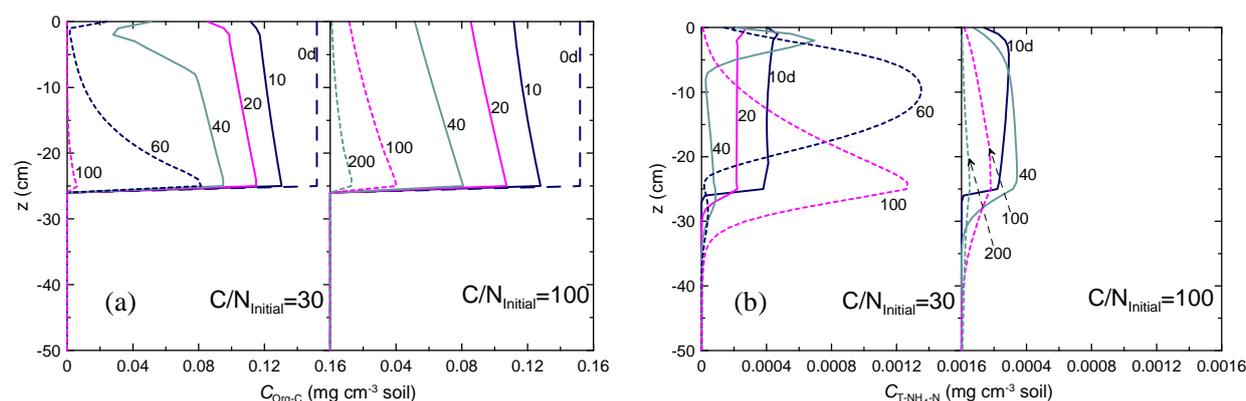


Fig. 2 Degradation of organic matters with different CN ratios under nonisothermal infiltration into a silt soil: (a) organic carbon concentration and (b) C_{NH_4} profiles.

Johnsson, H., Bergström, L., Jansson, P-E., and Paustian, K. (1987) : Simulated nitrogen dynamics and losses in a layered agricultural soil, *Agric. Ecosyst. Environ.*, **18**, 333-356

Hutson., J. L. (2005): Leaching Estimation and Chemistry Model, Version 4.1. , University Adelaide, Australia.