

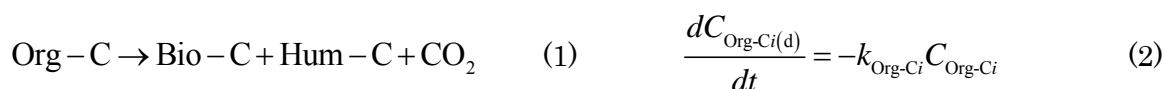
# 有機物分解モデルを用いた

## 土中の水分・窒素成分・二酸化炭素の移動予測

三木 真隆 (土壌圏循環学教育研究分野)

**はじめに** 有機物分解に伴う地表面からの二酸化炭素の放出量やアンモニアや硝酸の土中の移動予測には、土中の水分・溶質・ガス移動モデルと窒素・炭素循環モデルの連結が必要である。この目的に LEACHM(Hutson, 2005)は広く用いられているが、FORTRAN で書かれたプログラムの改良が困難であり、作者によるサポートも現在行われていない。そこで、土中の水分・熱・溶質・ガス移動プログラム HYDRUS-1D (Šimůnek et al, 2014)と、生物地球化学反応プログラム PHREEQC(Parkhurst and Appelo, 1999)を結合する HP1 プログラムに注目した。本研究では、LEACHM の窒素・炭素循環モデルを PHREEQC で表現した上で改良を加えた。植物遺体分解実験(広瀬, 1973)に対してモデルの適用を行い、モデルの妥当性を検証し、異なる植物遺体の分解特性を推定した。さらに PHREEQC による窒素・炭素循環モデルと HYDRUS-1D を HP1 により結合した。また、気相中の二酸化炭素の拡散、植物根によるアンモニアと硝酸の受動・能動吸収モデルを加えた。それにより、非等温、非定常不飽和水分移動の生じる土中において、有機物分解に伴う窒素・炭素の形態変化と各成分の移動、二酸化炭素の気相中の拡散、植物根による受動・能動吸収の予測を可能にした。

**窒素・炭素循環モデル** Fig.1 は、窒素・炭素循環モデルの模式図である。土中に投入された有機物(SOM)の炭素成分(Org-C)は、バイオマスの炭素成分(Bio-C)、腐植の炭素成分(Hum-C)、CO<sub>2</sub>に分解される。Org-Cの分解速度は、一次分解反応で与える。



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<sub>2</sub>の生成速度をOrg-Cの分解速度で表すことができる。また、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。発生したCO<sub>2</sub>は、溶液中の溶存態と気相中のガス態CO<sub>2</sub>(g)と平衡し、拡散により気相中を移動する、有機態窒素(Org-N)は、バイオマスの窒素成分(Bio-N)と腐植の窒素成分(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。また、Org-Nの分解による窒素成分の供給量がBio-NとHum-Nの生成の要求量を上回ると、余剰分はアンモニア態窒素NH<sub>4</sub><sup>+</sup>-Nとして無機化される。逆に、供給量が不足すると、土中のNH<sub>4</sub><sup>+</sup>-Nが有機化されて利用される。NH<sub>4</sub><sup>+</sup>-Nの吸着はフロイドリッヒ線形吸着を仮定した。硝化による硝酸態窒素NO<sub>3</sub><sup>-</sup>-Nの生成速度も一次分解反応で与え、吸着は無いと仮定した。

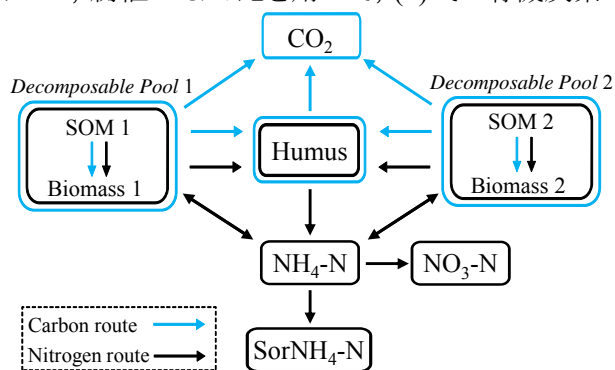


Fig.1 PHREEQC で表現した窒素・炭素循環モデル

**植物遺体分解実験** 広瀬(1973)は C/N 比の異なる 10 種類の植物遺体を水田土に添加し、70 日間のインキュベーション実験における無機態窒素の経時変化を測定した。まず、水田土単体の有機残渣の分解過程に対して窒素・炭素循環モデルを適用し、有機残渣の分解特性を推定した。その上で、植物遺体を加えたときの無機態窒素の変化に対してモデルを適用し、植物遺体の分解特性と有機残渣の分解定数を推定した。Fig.2 は、C/N 比が高く、有機化が生じる植物遺体の無機態窒素に対する適合結果である。窒素・炭素循環モデルは、植物遺体添加の無機態窒素の経時変化をよく表現した。Fig.3 は、分解定数(土中有機残渣  $k_{Org-C1}$ 、植物遺体  $k_{Org-C2}$ )と C/N 比の関係である。C/N 比が大きい植物遺体ほど  $k_{Org-C2}$  は小さく分解は遅い。また、植物遺体の添加によって有機残渣の  $k_{Org-C1}$  は変化し、両者はほぼ同じ値を示した。有機残渣と添加した植物遺体は、ほぼ等しい分解速度で分解が進行することがわかった。

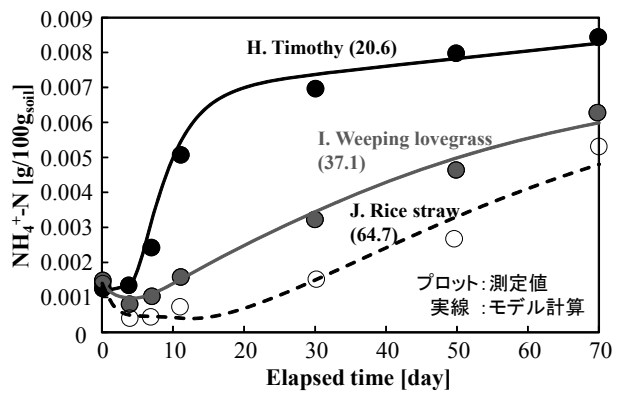


Fig.2 C/N 比 20 以上の植物遺体の無機態窒素経時変化

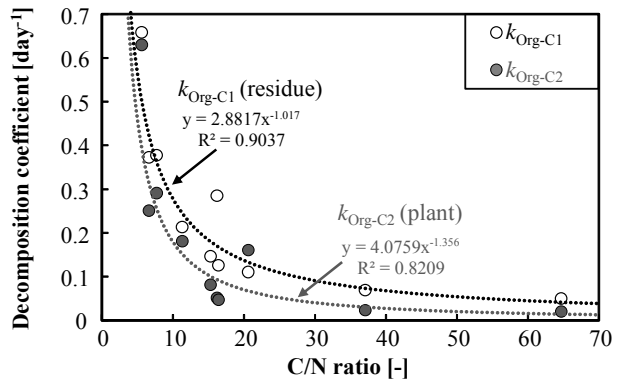


Fig.3 添加した植物遺体の C/N 比と分解定数推定値の関係

**HYDRUS との結合** PHREEQC で表現した窒素・炭素循環モデルを HP1 で HYDRUS-1D と結合し、窒素・炭素循環モデルを加えた土中の水分、熱、溶質、 $CO_2$  ガス移動モデルを構築した。また、植物根による  $NH_4^+-N$ 、 $NO_3^--N$  の受動吸収、能動吸収モデルを PHREEQC に加え、植物根による吸水と吸収予測を可能にした。Fig.4 は HYDRUS-1D と PHREEQC の結合の模式図である。まずある時点において、次の時間の水分量、温度、反応を含まない溶質とガス濃度を HYDRUS-1D により計算する。各接点の計算結果は PHREEQC に引き渡され、節点毎の窒素・炭素循環モデルの計算が行われる。この際、各成分の物質収支を満たすように反復計算が行われて、窒素・炭素成分の濃度が決定される。

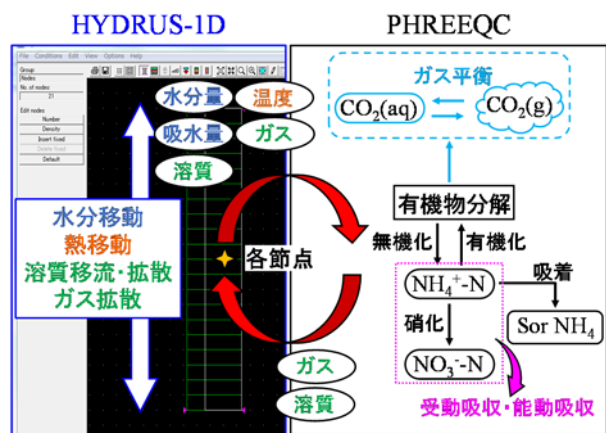


Fig.4 HYDRUS-1D と PHREEQC の結合

構築した HP1 プログラムを用いて、非等温、非定常不飽和水分移動の生じる土中における有機物分解と土中の水分・窒素成分・ $CO_2$  ガス移動について、様々な計算を行った。それにより、有機物分解に伴う窒素・炭素成分の形態変化、 $NH_4^+-N$  の無機化、有機化過程、気相中の  $CO_2$  ガス移動と大気への放出、 $NH_4^+-N$  と  $NO_3^--N$  量に応じた受動吸収と能動吸収などを定量的に明らかにすることができた。

構築した HP1 プログラムを用いて、非等温、非定常不飽和水分移動の生じる土中における有機物分解と土中の水分・窒素成分・ $CO_2$  ガス移動について、様々な計算を行った。それにより、有機物分解に伴う窒素・炭素成分の形態変化、 $NH_4^+-N$  の無機化、有機化過程、気相中の  $CO_2$  ガス移動と大気への放出、 $NH_4^+-N$  と  $NO_3^--N$  量に応じた受動吸収と能動吸収などを定量的に明らかにすることができた。

**今後の課題** 構築した HP1 プログラムは、2 次元の HP2 プログラムへの拡張、PHREEQC による窒素・炭素循環モデルは、アンモニアの陽イオン交換、硝酸の陰イオン交換、非晶質粘土や有機物の pH 依存荷電などの追加が課題である。また、水田土壌への適用には、PHREEQC による鉄やマンガンなどの酸化還元反応、硝化、脱窒反応の定式化、pH や酸化還元電位の評価などが必要である。