

令和 4 年 4 月 29 日現在

機関番号：11201

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2019～2021

課題番号：19K06286

研究課題名(和文)嫌気・好気状態が混在する土中での微生物活動に着目した水分移動過程における窒素動態

研究課題名(英文) Nitrogen dynamics and microbial activities in aerobic and anaerobic coexistence soils with soil water flow

研究代表者

武藤 由子 (Muto, Yoshiko)

岩手大学・農学部・准教授

研究者番号：30422512

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,300,000円

研究成果の概要(和文)：土壌中における窒素炭素動態の理解は、農業の持続的展開や気候変動への適応といった課題解決のために重要であるが、絶えず変化する水分量や水分移動の影響を考慮せずに現象を理解することはできない。そこで、本研究では、嫌気・好気状態が混在する土壌中において、水分移動が窒素動態に及ぼす影響を明らかにするための一次元カラム実験を行い、結果を一次元土中水分溶質移動モデルで再現した。その結果、蒸発実験では硝化の速度定数の体積含水率とEh依存を考慮すると窒素動態を精度よく再現できた。さらに、Ehが440mV以上では硝化の速度定数をATP量から推定できる可能性が示された。

研究成果の学術的意義や社会的意義

水分移動過程での土壌中の窒素動態の解明は、食料生産や環境保全などの見地から重要視されており、これまでに、土壌物理学・土壌学の各分野で現象に関わる土壌の諸条件が一定条件下にあるときの影響が調べられてきた。しかし、土壌中における窒素動態は微生物活動の結果であることから、現象の更なる理解には、関連する土壌物理条件・その変化速度と微生物反応速度との関係が重要である。本研究の特色は、「速度」という新たな視点に、さらに「土壌微生物活動の評価」という新しい切り口をプラスして窒素動態を考えた点である。この新たな発想により、窒素炭素動態に関わる未解明な現象の理解に突破口を開くことが期待される。

研究成果の概要(英文)：Understanding nitrogen dynamics in soil, which variously changes the water content, is important to promote sustainable agriculture. In this study 7.5cm soil columns were settled in a constant temperature room and the distributions of water content, Eh, and concentrations of ammonium- and nitrate-nitrogen in the soil, as well as soil ATP, were monitored during evaporation. Assuming the nitrification in soil is the first-order reaction, when Eh was greater than 440 mV, the rate constant was proportional to the soil water content, and the ATP. Numerical calculation using the rate constant as a function of water content well-reproduced the column experiment when Eh was greater than 440 mV. And the rate constant seemed to be able to estimate by the ATP, which is relatively easy to measure.

研究分野：土壌物理学

キーワード：窒素動態 水分移動 嫌気・好気状態 土壌微生物

1. 研究開始当初の背景

世界的な食料問題の解決において、農業の持続的展開・生態/環境との調和・エネルギーの節減・気候変動への適応は喫緊の課題である。これらの課題は全て、土壌中における窒素炭素動態と関わっている。窒素炭素動態については、植物生理に基づく研究や、大気海洋の循環を考えた研究など様々な分野において調査やモデル化が進んでいるが、分野間での連携は必ずしも進んでいない。土壌中については、これまでに物理的・化学的な要素研究が多くなされてきた。しかし、これらと土壌微生物活動や植物の根による吸収といった生物活動を関連付けた研究は極めて遅れている。よって、食料問題を始めとする土壌中の窒素炭素動態に関わる種々の問題を解決するためには、現象に関わる物理的・化学的・生物的諸条件の相互的な関連を明らかにしてメカニズムの解明を進める必要がある。環境保全について挙げれば、農業生産を起源とする温室効果ガス(亜酸化窒素とメタン)の発生量の多さが問題視されている(IPCC 2013)。今後も食料不足が問題となっている国々の食料生産量の増大により更に増す可能性がある。ただし、これまでの研究で、土壌中の水分移動が溶質移動や土壌の酸化還元電位(Eh)に作用して窒素炭素動態を変化させることが示されている。窒素炭素動態は土壌微生物活動の結果であるため、土壌中の水分溶質移動が土壌微生物活動に影響したことで窒素炭素動態が変化したと考えられる。今後、この三者の関係が明らかとなり、作物の栽培管理や施肥・水管理の方法といった技術開発が進めば、温室効果ガスの発生量の軽減が期待できる。よって、特に研究が遅れている土壌中における水分移動と微生物活動の関係に着目することは、窒素炭素動態解明の糸口となると考えられる。

土壌中の窒素動態に着目すると、好氣的条件下にあるとき、窒素は微生物活動により有機態アンモニウム態 亜硝酸態 硝酸態へと変化する(無機化と硝化)。一方、嫌氣的条件下では、硝酸態 亜硝酸態 一酸化窒素 亜酸化窒素態 分子態窒素ガスへと変化する(脱窒)。この一連の窒素の形態変化は一次反応式で近似されることが多く、これを水分溶質移動式に組み込むことで水分移動にともなう各態窒素の移動と予測が可能である。しかし現状では、一次反応式に用いる土壌微生物反応の程度を表す速度定数に対して水分移動が及ぼす影響は考慮されていない。土壌の水分量は気象条件や農地の水管理、根の吸水により絶えず変化しており、水分移動が窒素動態に与える影響は大きいと考えられる。さらに、硝化と脱窒が根群域において同時に生じること、窒素動態の解明を難しくする要因となっている。これは、団粒構造や通気性の影響により、巨視的には不飽和で好氣的な土壌でも微視的には嫌氣・好氣的領域が混在しているためである。つまり、更なる現象の理解と現実に即した予測のためには嫌氣・好氣混在系での硝化と脱窒の連動を考慮する必要がある。

2. 研究の目的

本研究の目的は、先ず、嫌氣・好氣状態の異なる土壌試料を用いて一次元カラム実験を行い、[1] 嫌氣・好氣混在系において、水分移動過程が硝化と脱窒の連動に与える影響を調べること。次に、[2] その結果を、硝化と脱窒の速度定数の水分移動依存性を考慮した数値モデルで再現すること。さらに、[3] 硝化と脱窒の速度定数に影響する複数の因子(土壌水分量・Eh等)をATP量に統合することである。

3. 研究の方法

先ず、供試土壌の硝化の分解速度定数(μ)の含水率(θ)依存性を調べるためのバッチ試験を行い、次に蒸発と浸潤にともなう水分移動と水分移動にともなう土壌水分量や圧力変化が、土壌微生物を含む各種物質の移動と窒素動態に与える影響を調べることを目的とした、蒸発の一次元カラム実験を行った。供試土壌には岩手大学圃場から採取した黒ボク土を用いた。実験は、岩手大学と三重大学の恒温実験室で一次元カラム装置を用いて行った。実験結果の解析には Hydrus1D 及び HP1 プログラムを用いた。このとき、窒素の形態変化を評価する分解速度定数を水分量の関数で与えるよう改良し、その影響を検討した。

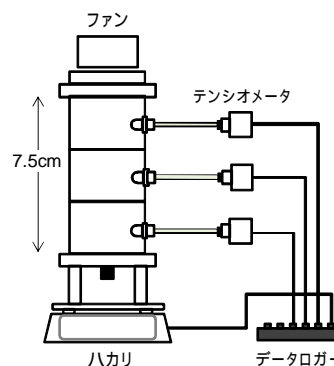


図 1 一次元カラム実験の装置

(1)硝化のバッチ試験

硫酸アンモニウムと炭酸カルシウムを添加した供試土壌を、内径 50 mm、高さ 25 mm のステンレスカラムに深さ 20 mm、乾燥密度 0.9 Mg m^{-3} で詰め、蒸留水を加えて θ を 0.2, 0.3, 0.4, 0.5 の 4 種に調整した。これを 25 の恒温槽内に静置し、約 0, 5, 10, 15, 20, 25, 30 日後に θ , $\text{NH}_4\text{-N}$ 量, $\text{NO}_3\text{-N}$ 量, ATP 量, pH, Eh を測定した。

(2)一次元カラム蒸発実験

体積含水率を 0.3 に調整した供試土壌に炭酸カルシウムを添加し、ビニール袋に入れて 10 日間 25 °C の恒温室内に静置した。これに硫酸アンモニウムを加え、内径 50 mm、高さ 100 mm のアクリルカラムに深さ 75 mm、乾燥密度 0.9 Mg m^{-3} で詰めながら、蒸留水を加えて体積含水率を 0.4 に調整した。蒸発速度は $0.6, 0.9 \text{ mm d}^{-1}$ とした。実験開始後、蒸発速度が 0.6 mm d^{-1} の条件では 0, 5, 11, 15 日目に、蒸発速度が 0.9 mm d^{-1} の条件では 0, 3, 6, 9 日目に Eh 分布を測定した。Eh の測定後、試料を 25 mm の層ごとにカラムから取り出し、 θ , $\text{NH}_4\text{-N}$ 量, $\text{NO}_3\text{-N}$ 量, ATP 量, pH を測定した。実験の結果を数値計算によって再現した。計算には、一次元土中水分溶質移動プログラム HYDRUS-1D と地球化学計算プログラム PHREEQC の結合コード HP1 を用いた。

4. 研究成果

(1) 硝化のバッチ試験

硝化により、 $\text{NH}_4\text{-N}$ 量は減少し $\text{NO}_3\text{-N}$ 量は増加した。 θ が 0.2 の場合を除き、30 日目には $\text{NH}_4\text{-N}$ のほぼ全量が消失した。この結果を硝化の一次分解反応式に適合して μ を求めた。 μ は θ の増加に伴って増加し、 $\theta=0.4$ で最大値を示した。また、ATP 量は μ が最大だった $\theta=0.4$ の条件で試験期間を通して最も高い値を保ち、 θ が 0.2 と 0.5 の条件で最も小さかった。すべての θ で Eh は 6 日目まで減少し、その後増加した。Eh は θ が 0.5 の 6 日目で最も低く 350mV だった。この時以外の Eh は 400mV 以上だったことから、バッチ試験のほとんどの期間で Eh 低下が硝化に影響しなかったと考えられる。

(2) 一次元カラム蒸発実験

カラム蒸発実験で測定した土中の θ , $\text{NH}_4\text{-N}$ 量, $\text{NO}_3\text{-N}$ 量, ATP 量, pH, Eh 分布の時間変化を図 2 と 3 の (a) ~ (f) に示した。 θ は上層から下層まで等しく減少し、硝化によって $\text{NH}_4\text{-N}$ 量は減少、 $\text{NO}_3\text{-N}$ 量は増加した。 $\text{NO}_3\text{-N}$ 量は下層ほど変化せず上層ほど大きく増加したが、これは硝化によって各深さで生成された $\text{NO}_3\text{-N}$ が蒸発による水分移動に伴い上方に移動したためと考えられる。また、ATP 量は初期に上層から下層までほぼ等しく増加し、その後減少した。一方、Eh は初期に上層から下層までほぼ等しく減少し、その後増加した。これらのことから、初期の ATP 量の増加は好気性菌の活性が高まったことを示すと考えられる。pH は徐々に低下した。pH の低下は硝化による $\text{NO}_3\text{-N}$ の増加が原因と考えられる。硝化菌の活動は pH が 6.0 よりも小さくなると阻害されるが、本実験では影響はほぼなかったと考えられる。蒸発速度が速い条件 (0.9 mm d^{-1}) で $\text{NH}_4\text{-N}$ の減少量と $\text{NO}_3\text{-N}$ の増加量が少なかったのは、 θ が約 0.4 から約 0.25 まで減少するのにかかった時間が、蒸発速度が速い条件で短かったためと考えられる。

μ の θ および Eh 依存性を考慮した、カラム蒸発実験における土中の $\text{NH}_4\text{-N}$ と $\text{NO}_3\text{-N}$ の分布変

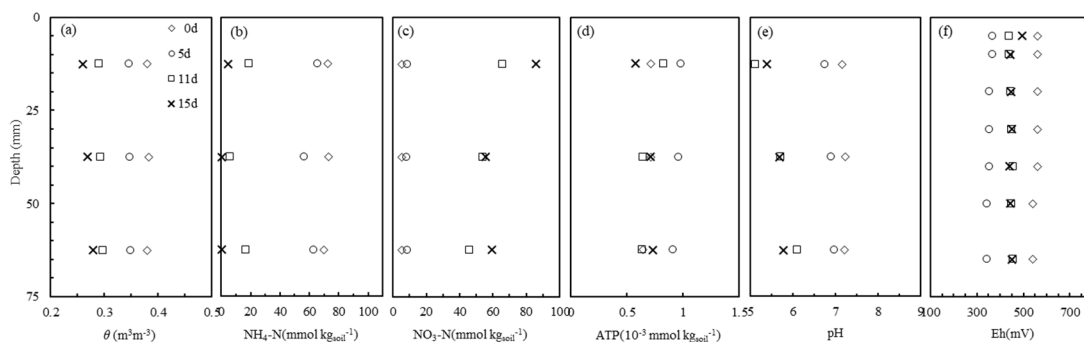


図 2 カラム実験の θ , $\text{NH}_4\text{-N}$ 量, $\text{NO}_3\text{-N}$ 量, ATP 量, pH, Eh の分布性 (蒸発速度 0.6 mm d^{-1})

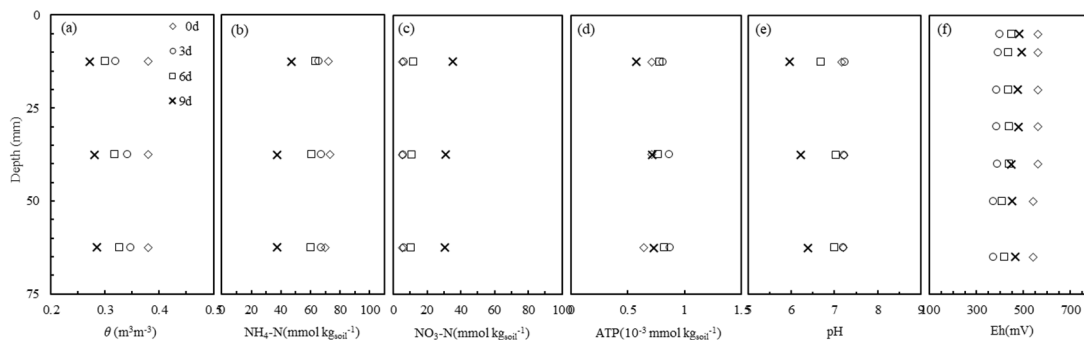


図 3 カラム実験の θ , $\text{NH}_4\text{-N}$ 量, $\text{NO}_3\text{-N}$ 量, ATP 量, pH, Eh の分布性 (蒸発速度 0.9 mm d^{-1})

化の数値計算による再現を試みた。θ-μを図4の実線のように与えたところ実験結果をよく再現できた(図5と6の実線)。カラム蒸発実験での初期(0.6 mm/dでは5日目θ=0.34, 0.9 mm/dでは3日目θ=0.31まで)のμがバッチ試験(図4の破線)よりも著しく小さいのは、両者のEhの違いから、θが同じでも土中の酸素濃度が異なったためと考えられる。

図4にATP量とμの関係を示した。バッチ試験とEh > 440 mVの期間のカラム蒸発実験において、ATP量が大きいときにμも大きくなった。硝化細菌の活性が土中の酸素濃度に抑制されない条件では、μをATP量で評価できる可能性がある。

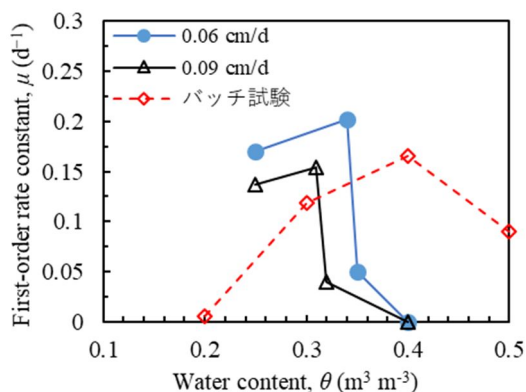


図4 体積含水率と硝化の一時分解速度定数の関係

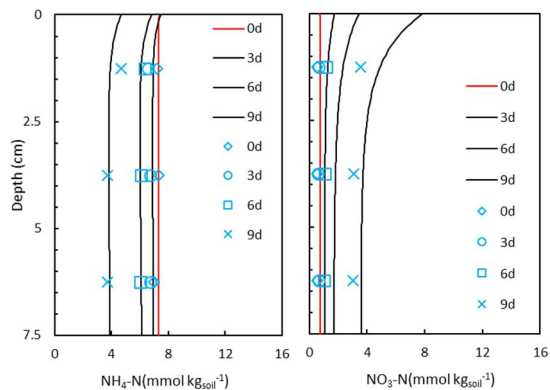


図6 カラム実験の窒素分布の計算(0.9 mm d⁻¹)

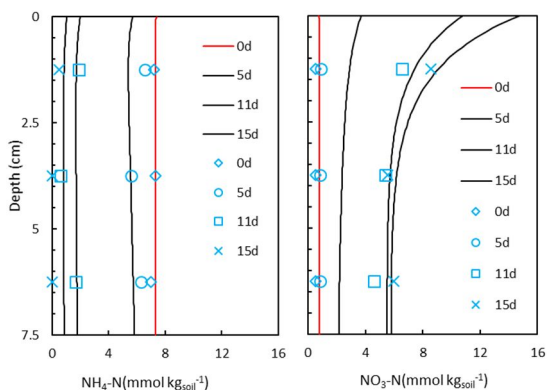


図5 カラム実験の窒素分布の計算(0.6 mm d⁻¹)

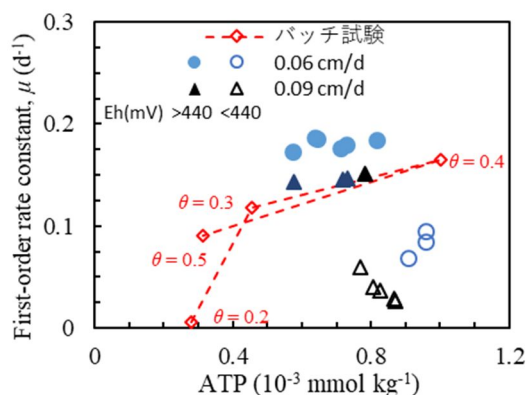


図7 ATP量とμの関係

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計4件（うち査読付論文 4件／うち国際共著 0件／うちオープンアクセス 2件）

1. 著者名 金山素平, 嘉本晃子, 颯田尚哉, 武藤由子	4. 巻 59
2. 論文標題 マイクロインデントを用いたカオリン粘土の微小力学的挙動の定量的評価	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 粘土科学	6. 最初と最後の頁 1-9
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.11362/jcssjnendokagaku.59.1_1	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 金山 素平, 高橋 長仁, 山本 清仁, 武藤 由子, 倉島 栄一	4. 巻 59
2. 論文標題 八郎瀧粘土地盤の圧密変形特性	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 粘土科学	6. 最初と最後の頁 10-17
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.11362/jcssjnendokagaku.59.1_10	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 渡辺晋生, 中西真紀, 草深有紀, 武藤由子	4. 巻 308(87-1)
2. 論文標題 不飽和浸透過程にある異なる温度の黒ボク土中のアンモニア態窒素の消化	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 農業農村工学会論文集	6. 最初と最後の頁 I_1-I_8
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) なし	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている(また、その予定である)	国際共著 -

1. 著者名 武藤由子, 堂山貴広, 中西真紀, 渡辺晋生	4. 巻 309(87-2)
2. 論文標題 蒸発過程にある黒ボク土における硝化を伴う窒素の挙動解析とATP量測定	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 農業農村工学会論文集	6. 最初と最後の頁 I_281-I288
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) なし	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている(また、その予定である)	国際共著 -

〔学会発表〕 計1件（うち招待講演 0件 / うち国際学会 0件）

1. 発表者名 平野清か・武藤由子・渡辺晋生
2. 発表標題 蒸発過程にある土中の硝化反応速度定数とATP量・Ehの関係
3. 学会等名 土壤物理学会
4. 発表年 2021年

〔図書〕 計0件

〔産業財産権〕

〔その他〕

-

6. 研究組織

	氏名 (ローマ字氏名) (研究者番号)	所属研究機関・部局・職 (機関番号)	備考
研究分担者	渡辺 晋生 (Watanabe Kunio) (10335151)	三重大学・生物資源学研究科・教授 (14101)	

7. 科研費を使用して開催した国際研究集会

〔国際研究集会〕 計0件

8. 本研究に関連して実施した国際共同研究の実施状況

共同研究相手国	相手方研究機関
---------	---------