

HYDRUS-1D による農地土壌中の浸透に伴う硝酸態窒素の減衰能力の評価

熊本大学大学院自然科学教育部 学生会員 ○旗手 聡
 京都大学 正会員 濱 武英
 熊本大学 正会員 藤見 俊夫

1. 研究目的

窒素は生物の栄養源や生体を構成する必須元素として知られており、その中でも生物にとって吸収・利用が容易な窒素の形態は反応性窒素(Reactive Nitrogen)と呼ばれる。反応性窒素の1種であるアンモニア態窒素は農地へ散布する化学肥料として利用され、安定した食料生産を支えている。しかし、反応性窒素は湖沼や地下水などの環境水中へ過剰に放出された場合、富栄養化や人体への健康被害を引き起こす物質も存在する。

熊本地域は水道水源として豊富な地下水を利用し、熊本市では100%の利用率を誇る地下水利用地域の1つである。しかし、畜産や農業が発達している地域の井戸からは環境基準値 10 mgN/L を超過する硝酸態窒素($\text{NO}_3\text{-N}$)が検出される場所が報告され、地下水汚染が問題化している¹²⁾。

研究フィールドである白川中流域は地下水の主要涵養域であると共に、農作物生産が盛んな農業地帯でもある。白川中流域の土壌は「ザル田」と呼ばれる程の浸透性の高い土壌が広がり、地下水涵養量の上昇というメリットと共に肥料由来の $\text{NO}_3\text{-N}$ が地下水へ容易に溶脱するというデメリットが考えられる。

本研究においては、室内実験と数値解析の組み合わせにより、高い浸透条件下における $\text{NO}_3\text{-N}$ 濃度の減衰過程の再現と実圃場を想定した水分・溶質移動の評価を行う。本要旨においては濃度分布の再現方法・結果を掲載する。

2. 研究手法

(1) カラム通水試験

土壌は白川中流域の水田から採取し、実験室内で風乾させた状態で試験に使用した。また、採取地の土壌は黒ボク土に分類される。

試験装置の概要図を図1に示す。カラム本体と試験溶液が入ったタンクは恒温機内に設置し、カラム内への通水は上向流で行い、カラム内通水速度は 1000 mm/day と

なるように試験を行った。試験溶液は環境基準値と等しい 10 mgN/L となるように硝酸カリウム溶液を調製した。また、カラム内を嫌氣的条件に維持するため、超純水を用いた前通水と試験溶液に N_2 曝気を実施した。

また、恒温機内の温度条件を 5, 15, 25°C の3つ設定し、土壌内の温度変化が $\text{NO}_3\text{-N}$ 濃度にどのような影響を与えるかを比較した。

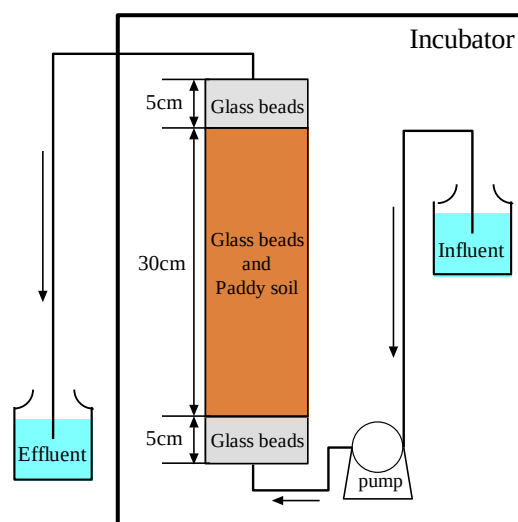


図1 カラム通水試験装置概略図

(2) HYDRUS による濃度分布再現

不飽和土壌中における1次元水分・溶質移動解析を行う数値解析ソフトウェアとして HYDRUS-1D を採用し、逆解析機能によるカラム通過後の $\text{NO}_3\text{-N}$ 濃度の時間分布再現を行った。

数値解析で用いたのはリチャーズ式と移流分散式で、移流分散式中の r は濃度減衰項を設定している³⁾。

$$\frac{\partial \theta}{\partial t} = \frac{\partial}{\partial z} \left[K(h) \frac{\partial h}{\partial z} - K(h) \right] - S \quad (1)$$

$$\frac{\partial (\theta c)}{\partial t} = \frac{\partial}{\partial z} \left[\theta D \frac{\partial c}{\partial z} - qc \right] - Sc - r \quad (2)$$

濃度減衰項 r は0次反応速度定数 γ と1次反応速度定数 μ を用いて、式(3)のように表現できる。

$$r = \begin{cases} \gamma \theta \\ \mu \theta c \end{cases} \quad (3)$$

また、分散係数 D は式(4)で表現され、 D_L は分散長(cm), D_w は自由水中の分子拡散係数(cm^2/hour), τ は屈曲度である。

$$\theta D = D_L |q| + \theta D_w \tau \quad (4)$$

解析は $\text{NO}_3\text{-N}$ 濃度が減衰している箇所を対象に行い、初期濃度条件は濃度減衰開始時における濃度を使用している。推定項目は 0 次反応速度定数 γ または 1 次反応速度定数 μ のみを指定し、初期・境界水頭条件は上端を +1 cm, 下端を +31 cm に設定して解析を行った。

3. 結果

(1) カラム通水試験

濃度減衰部分における、カラムからの流出溶液 $\text{NO}_3\text{-N}$ 濃度の経時変化を図 2 に示す。図中において、濃度減衰開始時を $t = 0$ とした時の窒素濃度の経時変化を示した。25℃条件では試験開始から減衰傾向を示し、24 時間で全ての窒素を除去した一方、5, 15℃条件では濃度が 0 mgN/cm^3 近くまで減衰したのは開始から 720 時間後、492 時間後であった。カラムからの流出窒素濃度は高浸透条件下においても減衰し、その減衰時間や減衰幅は温度条件により変化した。窒素除去は微生物活動に伴う脱窒反応より行われ、温度依存性が存在していることは松山ら(1982)で報告されている⁴⁾。本試験においても同様の現象が確認されたことから、高浸透条件下においても脱窒反応による窒素除去が行われることが示唆された。

また、5℃条件と 15℃条件を比較すると、濃度分布の傾向が似通っていることが分かる。したがって、窒素除去の温度依存性にも限界が存在し、一定温度以下では反応速度は変化しないことが推察される。

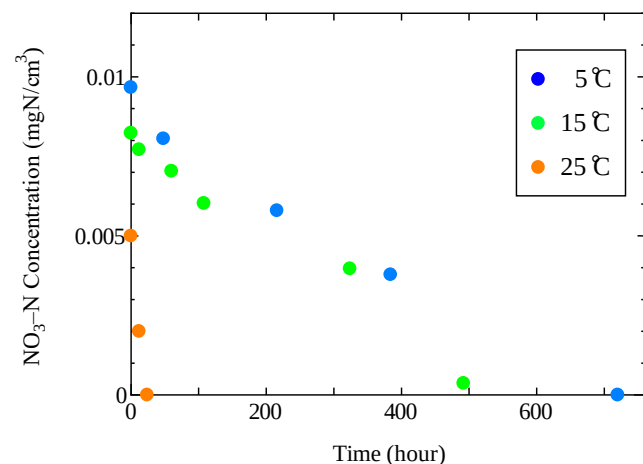


図 2 カラム通水試験濃度分布
(10 $\text{mgN}/\text{L} = 0.01\text{mgN}/\text{cm}^3$)

(2) HYDRUS による濃度分布再現

HYDRUS による濃度分布再現は図 2 の再現により反応速度係数 γ と μ を推定し、推定結果は表 1 に示す。

0 次反応と 1 次反応における速度係数結果を比較すると、0 次反応式を用いた推定結果が 1 次反応式よりも決定係数の値が大きく、観測値を良く推定している。

また、0 次反応速度係数における温度条件別の推定値を比較すると、5℃ < 15℃ < 25℃の順に値が大きくなっていることが分かる。さらに 25℃条件での値は他の 2 条件よりも約 47~57 倍の差があり、温度条件による窒素除去能力の差が明らかになった。

表 1 HYDRUS による各反応速度係数推定結果

	γ ($\text{mgNcm}^{-3}\text{hour}^{-1}$)	μ (hour^{-1})
5℃	5.99E-06 ($R^2=0.90$)	8.97E-03 ($R^2=0.51$)
15℃	4.90E-06 ($R^2=0.95$)	3.22E-06 ($R^2=0.47$)
25℃	2.80E-04 ($R^2=1.00$)	9.86E-02 ($R^2=1.00$)

【参考文献】

- 1) 熊本県, 熊本市, 菊池市, 宇土市, 合志市, 城南町, 富合町, 植木町, 大津町, 菊陽町, 西原村, 御船町, 嘉島町, 益城町, 甲佐町: 熊本地域地下水総合保全計画, pp.2-17, 2008
- 2) 熊本市: 第 3 次熊本市硝酸態窒素削減計画, pp.1-85, 2015
- 3) J. Šimůnek, M. Šejna, H. Saito, M. Sakai, and M. Th. van Genuchten: The HYDRUS-1D software package for simulating the one-dimensional movement of water, heat, and multiple solutes in variably-saturated media. Version 4.17. Department of Environmental Sciences, University of California Riverside, Riverside, California, 2013
- 4) 松山英俊, 石崎紘三: 低温下で活性の高い脱窒菌の基礎的研究 (I) -脱窒菌の分離とその性質-, 水質汚濁研究, 5, 3, pp.161-165, 1982