

## 積雪寒冷地の黒ボク土リンゴ園における硝酸態窒素の溶脱特性 Nitrate nitrogen leaching characteristics of an Andosol apple orchard in snowy cold region

○遠藤 明\*・加藤 幸\*・加藤千尋\*・佐々木長市\*  
Akira ENDO\*, Koh KATO\*, Chihiro KATO\*, Choichi SASAKI\*

### 1. はじめに

青森県は冬期間の降雪量が多いため、融雪後に施肥を行う「春肥」が施肥基準の中で推奨されている。その理由は、他県で実施されている秋肥を本県において実施すると、春先の融雪水により施肥窒素が土壌深部へと溶脱するためである。積雪地域の果樹生産では、秋肥および春肥の施用による硝酸態窒素 ( $\text{NO}_3\text{-N}$ ) の浸透流出挙動の詳細は明らかにされていないため、樹園地における窒素循環機構の詳細が解明されていない。したがって、積雪地域の樹園地における窒素循環機構を明らかにすることにより、果樹の成育面と土壌の環境面の双方の観点から推奨可能な施肥体系や土壌管理技術を確立することが将来的に可能になると考えられる。本報では積雪寒冷地における淡色黒ボク土のリンゴ園において、定期的に土壌間隙水を採取して  $\text{NO}_3\text{-N}$  濃度を定量するとともに、数値計算により土壌中の  $\text{NO}_3\text{-N}$  の時空間的動態と溶脱挙動を推定した。

### 2. 材料および方法

#### (1) リンゴ園土壌の調査地、土壌理化学性の測定項目および採水管の埋設深度

青森県鶴田町のリンゴ園の深度 10, 30, 50, 60cm の 4 深度から不攪乱土と攪乱土を採取した。土壌理化学性を把握するため、不攪乱土を用いた基本的な土壌物理性(土粒子密度, 三相分布など)の測定, 変水位法による飽和透水係数の測定および加圧板法による保水性試験を行った。また、リンゴ園土壌における  $\text{NO}_3\text{-N}$  の浸透流出挙動を定性的に把握するためには、土壌への吸着特性を勘案する必要がある。このため、各深度のアンモニウム態窒素 ( $\text{NH}_4\text{-N}$ ) と  $\text{NO}_3\text{-N}$  の吸着等温線を把握するためにバッチ法による吸着試験を行った。各深度の土壌間隙水を採取するため、深度 4, 8, 16, 32, 64 および 100cm の 6 深度に集液導管カップ (DIK-8390, DAIKI) を埋設した後、1~2 週間に 1 回の頻度で土壌間隙水を定期的に吸引採取した。最後に、採取試料液を超純水で 50 倍に希釈した後、イオンクロマトグラフ法 (ICS-90, Dionex) により  $\text{NH}_4\text{-N}$  および  $\text{NO}_3\text{-N}$  濃度を定量した。

#### (2) 土壌中の無機態窒素濃度の計算方法

はじめに、土壌理化学性の測定で得られた土壌水理特性パラメータと吸着等温式のパラメータの深度  $z$  依存特性を把握するため、スプライン補間によりパラメータ関数を作成した。本数理モデルは有限要素法汎用ソルバー (FlexPDE V6, PDE Solutions Inc) を用いて作成した。近似方程式を与える手段はガレルキン法, 計算アルゴリズムは修正ニュートン・ラフソン反復法である。計算時間間隔  $\Delta t$  は自動であり、本計算条件では  $\Delta t = 1.0 \times 10^{-10} \sim 1.0 \times 10^{-3} \text{ d}$  を適用した。2016 年 7 月~2017 年 7 月の 1 年間における当リンゴ園土壌中の無機態窒素濃度の挙動を把握するため、**図 1** に示した数理モデル (Endo et al., 2018) を用いて計算した。

#### (3) 融雪浸透水量の算定方法

降水量ならびに融雪量の経日変化は、青森県藤崎町における積雪重量の経日変化 (防災科学技術研究所, 2017) から算出した。積雪重量の時間変化量が正の期間は降水がすべて積雪として地表面に貯留され融雪が無いものと仮定し、一方、時間変化量が負の期間に融雪しているとした。なお、算出したすべての融雪水は表面流去せず土壌中に浸透するものと仮定した。

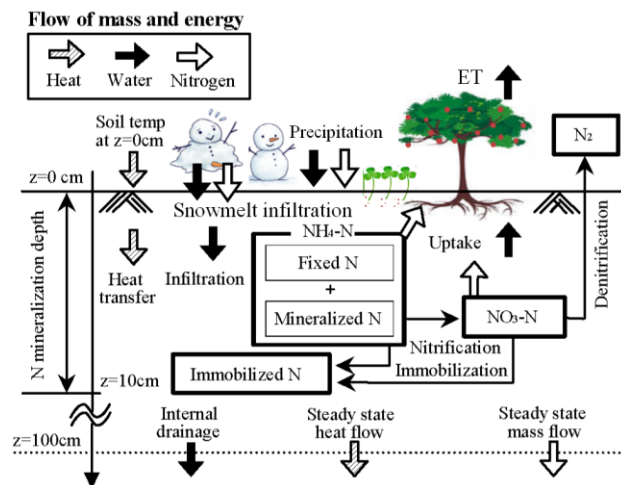


図 1 積雪と融雪を勘案した無機態窒素移動に関する数理モデルの概要

Schematic view of the model for calculating inorganic N in consideration of snowmelt infiltration of snow accumulation

\*弘前大学農学生命科学部 \*Faculty of Agriculture and Life Science, Hirosaki University

キーワード: リンゴ園, 淡色黒ボク土, 硝酸態窒素, 土壌間隙水, 窒素溶脱, 数値計算

### 3. 結果および考察

深度ごとの  $\text{NH}_4\text{-N}$  と  $\text{NO}_3\text{-N}$  の吸着等温線を図2に示す。0~0.1  $\text{mg}\cdot\text{cm}^{-3}$  における  $\text{NO}_3\text{-N}$  の吸着等温線の勾配は、深度には依存せずほぼゼロに近いことを反映し、最大吸着量は 0.13  $\text{mg}/\text{g}$  程度であった。このことから、土壌間隙水の  $\text{NO}_3\text{-N}$  濃度が 100  $\text{mg}/\text{L}$  未満である場合には、 $\text{NO}_3\text{-N}$  が土粒子に吸着されないことが示唆された。土壌間隙水中の  $\text{NO}_3\text{-N}$  濃度の経時変化を図3に示す。図中の矢印は施肥時期と施肥量、中塗りと中抜きは、それぞれ定量値と数値計算結果である。 $\text{NO}_3\text{-N}$  濃度の定量値と計算値において、ピーク濃度とピーク出現日は、深くなるにつれてそれぞれ減少および遅延する傾向にあった。深度 4cm の  $\text{NO}_3\text{-N}$  濃度は基肥の約 2 ヶ月後に 50  $\text{mg}/\text{L}$  程度のピークに至り、その後の降水により急激に減少した。その後、追肥を受けて  $\text{NO}_3\text{-N}$  濃度が再び増加したものの、秋雨の長雨に起因する降下浸透水により急激に減少した。この増減傾向は白抜きデータ点に示した計算値とほぼ合致したものの、2017 年 5 月以降における測定値と実測値の増加傾向は合致しなかった。深度 8cm については、施肥後から 3 ヶ月程度かけて直線的に減少した。2017 年 5 月以降の定量値と計算値における  $\text{NO}_3\text{-N}$  濃度のピーク値は合致しなかったものの、経過日数  $t < 300\text{d}$  の濃度増減の傾向は合致した。2017 年 5 月以降において計算値が測定値を上回った傾向は、深度 16cm でも確認された。この原因は、数値計算において地表面付近の硝化作用を大きく見積もったことにあると考えられる。したがって、地表面付近における硝化パラメータの設定の難しさが浮き彫りになったため、このことが今後の解決すべき課題といえる。深度 16cm および 32cm でも定量値と計算値の  $\text{NO}_3\text{-N}$  濃度のピーク値は完全に合致しなかったものの、濃度増減のタイミングは合致した。ピーク濃度の計算値と測定値が合致しなかった原因は、間隙水中の窒素吸収を行うリンゴ樹根と間隙水採取チューブの位置が、ある程度離れているためと考えられる。リンゴ樹根は浅い深さに多く存在して土壌間隙水中の窒素を吸収するため、浅い位置ほど濃度の絶対量が整合しない傾向にあるものと考えられる。一方、深度の増加にともなって樹根量が減少するため、計算値が定量値に近似する傾向にあった。100cm のような深い位置でも、 $\text{NO}_3\text{-N}$  濃度の定量値と計算値における増加傾向はおおよそ合致した。しかし、深度 100cm での  $t > 165\text{d}$  における濃度減少過程において、定量値と計算値における  $\text{NO}_3\text{-N}$  濃度の間に大きな不整合が認められた。この深度の濃度減少勾配に着目すると、計算値よりも測定値のほうが大きかった。この原因は(1) 内部排水に起因して粗間隙中の水が一旦に浸透流出したことと、(2)  $\text{NO}_3\text{-N}$  の吸着能力を過大に見積もり過ぎたことにあると考えられる。

### 4. おわりに

本研究の目的は、融雪浸透水を勘案した黒ボク土リンゴ園における窒素溶脱挙動を解明することであり、最終的にはリンゴの生育面と土壌環境面の双方に有益な土壌管理技術を構築することを目標としている。数値計算と実測による  $z < 16\text{cm}$  における土壌間隙水中の  $\text{NO}_3\text{-N}$  濃度は、 $t < 300\text{d}$  において比較的良く合致した。採水した間隙水の  $\text{NO}_3\text{-N}$  濃度の分析結果から、積雪量が多い調査地域の当リンゴ園においては、6~7月に施肥した肥料の大部分が、約 5~6 ヶ月経過して深度 100cm に溶脱することが明らかになった。

今後、数理モデルにおける表層土壌中の硝酸化成作用パラメータや、深部土壌における  $\text{NO}_3\text{-N}$  の吸着特性のモデル化を精緻化する必要があるものの、多雪地域における黒ボク土リンゴ園の窒素溶脱機構の詳細を引き続き検討していく意義は大きい。

**謝辞:** 本研究は日本学術振興会 科学研究費補助金(基盤研究C, 課題番号 16K07932)の助成を受け実施したので謝意を表す。

**引用文献:** A. Endo, K. Kato and B. C. Sarker (2018) Leaching characteristics of nitrate nitrogen in an apple orchard Andosol under significant snow accumulation, *Geoderma*, 319, 24-33.

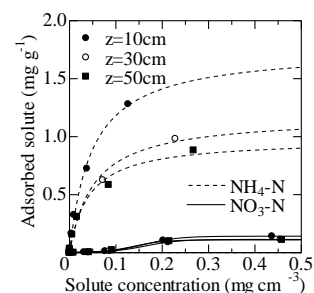


図2 無機態窒素の吸着等温線  
Adsorption isotherm of inorganic N

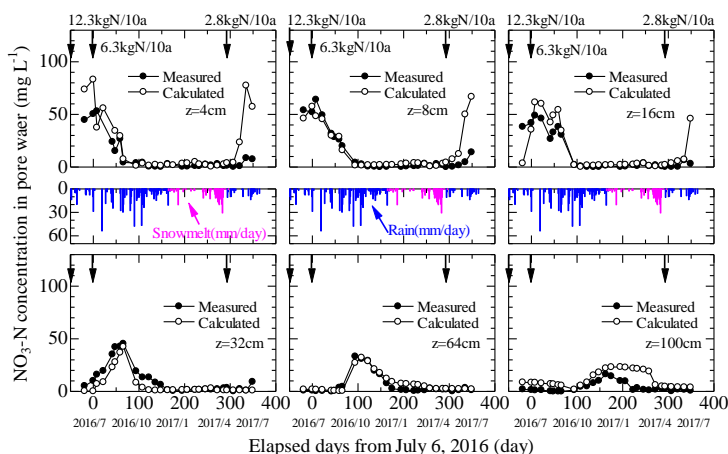


図3 各深度の  $\text{NO}_3\text{-N}$  濃度の定量値と計算値の経日変化  
Temporal changes of  $\text{NO}_3\text{-N}$  concentration in soil pore water measured and simulated at the depths of 4, 8, 16, 32, 64 and 100 cm