

凍結過程にある異なる NO₃-N 濃度の黒ぼく土中の水分・窒素移動について Water and nitrogen transport in a freezing soil with different NO₃-N concentration

○清本 翼*・渡辺晋生*

Tsubasa Kiyomoto and Kunio Watanabe

1. はじめに 寒冷地の農地では、地盤の凍結にともない土中に含まれる硝酸態窒素 (NO₃-N) や、秋に施肥された NO₃-N は水分とともに移動する。こうした移動による冬季の土中の NO₃-N の再分布を予測することは、土壌融解時の施肥管理や地下水への NO₃-N の流出を考える上で重要である。しかし、溶質の存在は凍土中の液状水量や未凍土から凍土への水分移動量を変化させる。これらの変化は NO₃-N の再分布に影響すると考えられる。そこで本研究では、NO₃-N 濃度の異なる試料のカラム凍結実験を行い、溶質濃度が凍結過程にある土中の水分や NO₃-N の移動をどのように変化させるのかを明らかにすることを目的とした。

2. 試料と方法 試料には含水比 0.3 g/g の岩手黒ぼく土の 2 mm 篩通過分を用いた。試料を純水あるいは 5 cmol/L の KNO₃ 溶液と混合し、内径 7.8 cm、高さ 35 cm のアクリル鉛直カラムに均一に詰めた。試料の乾燥密度は 1.0 g/cm³、体積含水率は 0.4 cm³/cm³ であり、5 cmol/L の溶液を加えた土中の NO₃-N 溶液濃度は 1.25 cmol/L であった。カラムには側面より熱電対を 1 cm 間隔で、テンシオメータと水分量・EC 測定用の TDR センサを 5 cm 間隔で挿入した。カラムを 2°C の低温室に静置し、上下端に温度制御装置を取り付け、側面を断熱した。上下端の制御装置の温度を 48 時間 2°C に保持することで試料に初期温度分布と重力水分分布を与えた。そして、上端の制御装置の温度を 0°C から 1 時間に 1°C ずつ低下させ 8 時間かけて -8°C とした。また下端の制御装置を 2°C に保ち、試料を上端より

48 時間 1 次元的に凍結した。この際、試料上下端からの水の流入出はなしとした。凍結過程において、各深さの水分量 (液状水量) と見かけの電気伝導度 EC_a、温度、吸引圧をモニターした。また、任意の時間にカラムを解体し、炉乾法により各深さの全水量 (液状水量+氷量) を測定するとともに、水抽出液により NO₃-N 濃度を測定した。

3. 結果 図 1 に純水、5 cmol/L の KNO₃ で水分量を調整した試料中の凍結前、凍結から 6、24、48 h 後の温度、体積含水率、EC_a 分布を示す。凍結を開始すると、試料の上端から徐々に温度が低下した。純水で調整した試料では凝固点が -0.31°C であった。48 h で試料の 15.5 cm まで 0°C 以下になり、13.5 cm まで -0.31°C 以下に達し、凍結した (図 1a)。また、5 cmol/L の KNO₃ 溶液で調整した試料では凝固点が -0.51°C であった。48 h で試料の 18.5 cm まで 0°C 以下になり、13.5 cm まで -0.51°C 以下に達し、凍結した (図 1b)。用いた KNO₃ 溶液の濃度が高いほどより深くまで温度が低下したが、凝固点に達する位置はいずれの試料でも一致した。凍土層 (13.5 cm 深まで) の液状水量は氷の形成により大きく低下した。未凍土層の体積含水率は凍土層付近で減少したがカラム下端ではほとんど変化しなかった。凍土層における不凍水量 (0°C 以下でも凍結しない液状水量) は純水で調整した試料のほうが 5 cmol/L の試料よりも低かった (図 1c, 1d)。カラム解体時 (48 h) に測定した全水量は凍土層で高く、未凍土層で低くなった。未凍土層から凍土層へ水分が移動しているといえる。

*三重大学大学院生物資源学研究科 Graduate School of Bioresources, Mie University

キーワード：凍上・凍結、カラム実験、水分・窒素移動

また、両試料の全水量分布は一致した。EC_aは両試料において、凍土層で大きく低下した。未凍土層では実験期間中 EC_aの変動は小さかった。5 cmol/L で調整した試料の EC_aは純水で調整した試料よりもカラム全体で約 0.20 mS/cm 高かった。この差は試料の NO₃-N 濃度の差によるものである。図 2 にカラム解体時に水抽出液により測定した NO₃-N 濃度 (C) と試料の単位体積当たり存在する NO₃-N 量 (θC) 分布を示す。土中水の NO₃-N 濃度 C は凍土層中の氷が NO₃-N を含まないとすると凍土層で高く、最大で 5.42 cmol/L となった。凍結前の濃度からおよそ 4.3 倍に濃縮されたこととなる。また、未凍土層の濃度 C は低かった。氷中の NO₃-N 濃度が不凍水中と等しいとすると凍土層と未凍土層の NO₃-N 濃度はほとんど一致した (図 2a)。

試料の単位体積当たり存在する NO₃-N 量は凍土層で高く、未凍土層で低くなった。(図 2b)。

4. 考察 地表の温度を下げると、試料が NO₃-N を含む試料の温度はより深くまで低下した。また、両試料において凝固点に達した位置は一致した。これは、凝固点降下により同深度での凍土中の氷量が NO₃-N を含む試料のほうがより少なくなり、潜熱が減少したためであると考えられる。凍土層で EC_a が大きく低下したのは温度と液状水量の低下によるが、溶質濃度の変化とあわせ今後の検討が必要である。溶質が多量に存在する土が凍結すると、溶質が少ない土と比較して凝固点や水ポテンシャルが変化し、未凍土から凍土への水分移動量が小さくなる。また、凍土層における氷からの溶質の吐き出しや未凍土層からの移流により凍結面近傍で溶質量が増加することが期待される。しかし、本実験では濃度が異なっても全水量分布は一致した。これは、用いた試料の NO₃-N 濃度では水分移動量への影響が小さかったためと考えられる。また、NO₃-N 量が凍土層で多く、未凍土層で少なくなった。これは、移流による未凍土から凍土への NO₃-N 移動量が、氷からの吐き出し量をはるかに卓越したためと考えられる。

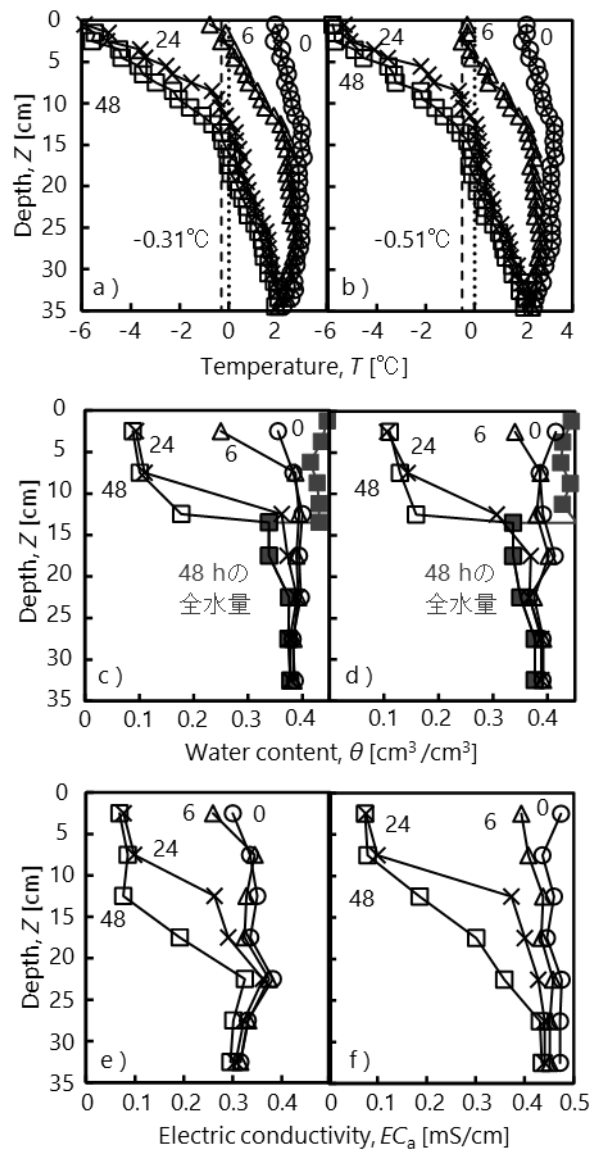


図1 凍結過程にある試料の温度分布、体積含水率分布、電気伝導度分布

Fig. 1 Temperature, water content and electric conductivity profiles in a freezing soil

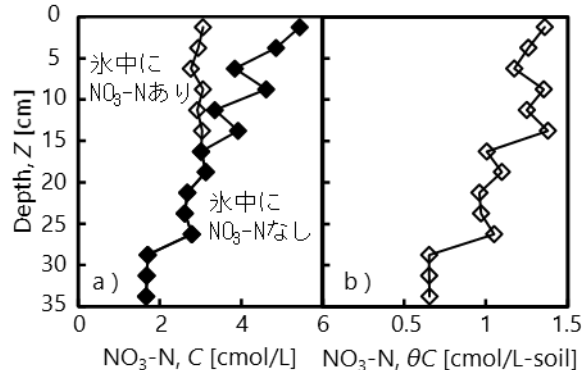


図2 5 cmol/L で調整した試料の NO₃-N濃度 (C) 分布、NO₃-N量 (θC) 分布

Fig. 2 Profiles of NO₃-N concentration and the amount of NO₃-N