

積雪深・土壌凍結深・土壌中の水と溶質の移動の SHAW model による解析
 Applying SHAW model to estimate snow-cover thickness, soil frost depth, soil water movement and
 NO_3^- movement

岩田幸良¹⁾, 矢崎友嗣¹⁾, 鈴木伸治²⁾, 林正貴³⁾, 廣田知良¹⁾

Y. Iwata¹⁾, T. Yazaki¹⁾, S. Suzuki²⁾, M. Hayashi¹⁾ and T. Hirota¹⁾

1. はじめに 土壌が凍結するとき、鉛直上向きに水が移動する。また、土壌凍結層が存在する場合は、浸透した融雪水の再凍結や、凍結層内の氷が融雪水の浸透を阻害することで、融雪水の下方浸透速度が遅くなることが知られている。筆者らは除雪試験により土壌を深くまで凍結させ、土壌水分量や硝酸態窒素の鉛直分布を調査した。この調査結果を解析する上で、数値シミュレーションモデルの利用が有効であると考えられる。そこで本報告では、積雪深や土壌凍結深、土壌水と硝酸態窒素の移動のシミュレーションを実施した。

2. 方法 ①**野外観測**：土壌凍結地帯である北海道十勝平野の中部にある北海道農業研究センター芽室研究拠点に観測サイトを設置した。2005年11月から2006年4月まで観測を実施した。試験区を2つ設置し、片方は自然積雪状態を維持した対照区、もう片方は除雪により土壌凍結を発達させる除雪区とした。除雪区では、多量の降雪があった翌日の12月19日と12月27日に除雪をおこない、土壌凍結深が0.4 mを超えた1月13日と1月27日に、2度に渡って雪を積んで積雪深が対照区と同じになるようにした。両試験区0.05~1.05 mに0.1 m間隔でTDR土壌水分計を設置し、土壌水分量（凍土の場合是不凍水量）を測定した。深さ0~1 mに0.02~0.1 m間隔で熱電対を埋設し、地温を測定した。地温測定地点間を線形補完し、0°C以下の深さの土壌を凍土と判定することで土壌凍結深を求めた。両試験区において、土壌が凍結する以前の11月15日、土壌凍結が発達した1月25日、融雪後の5月2日に、深さ10cm間隔で土壌を採取し、実験室で水抽出して硝酸態窒素濃度の鉛直分布を測定した。②**数値シミュレーション**：土壌凍結時の水や溶質の移動を扱うことができるシミュレーションモデルの Simultaneous Heat and Water model (SHAW; Flerchinger, 2000) を用いて数値シミュレーションをおこなった。各土層から100cc円筒サンプルを採取し、実験室で飽和透水係数と水分特性曲線を求め、これをモデルの水移動のパラメータとした。試験圃場は火山灰土であり、陰イオン吸着による硝酸態窒素の遅延効果が考えられる。そこで、試験圃場で得られた固液分配係数（田村ら, 2011）を用いて溶質移動のシミュレーションをおこなった。地上の境界条件として、降水量、気温、日射量、相対湿度、風速の実測値を用いた。

3. 結果と考察 ①**積雪深と土壌凍結深（図1）**：積雪深については、実測値と推定値がほぼ一致した。土壌凍結深については、土壌が凍結する過程では、対照区・除雪区ともに推定値と実測値が概ね一致したが、3月以降の融雪期には、両区ともに推定値が実測よりも早く融解する傾向がみられた。

②**溶質の鉛直分布（融雪期以前）**：土壌凍結が十分に発達した1月25日の硝酸態窒素濃度の鉛直分布は、土壌凍結前の11月15日に採取したものとほぼ同じであった（図省略）。一方、モデルによる推定値は地表面付近ほど濃度が高く（図2左）、凍結の発達に伴い硝酸態窒素が地表面付近に移動したように再現された。除雪区と対照区で濃度の鉛直分布の推定値に違いがみられないことから（図2左）、土壌凍結が発達する初期段階において、鉛直上向きの水フラックスがモデルでは過大評価されており、これが実測との相違を引き起こした原因であると考えられた。実際、モデル上で硝酸態窒素濃度の鉛直分布の顕著な

1) 北海道農業研究センター Hokkaido Agricultural Research Center, NARO 2) 東京農業大学 Tokyo University of Agriculture

3) カルガリー大学 University of Calgary, キーワード：土壌凍結, 水分移動, 硝酸態窒素

変化がみられたのは11月であり、12月から融雪が始まる2月25日までは顕著な変化がみられなかった。

③溶質の鉛直分布（融雪期以降）：消雪後の対照区における硝酸態窒素濃度の鉛直分布のピークの深さは、推定値が実測値よりも浅かった（図2右）。観測結果を解析した結果、対照区では融雪期のはじめからほとんどの融雪水が地下浸透したと判断されたが、シミュレーションでは凍結層が存在する3月下旬まではほとんどの融雪水が表面流出したと計算されたため、実測値と推定値が異なると考えられた。顕著な融雪がみられた2月25日に凍結層が消失したと仮定してシミュレーションをしたところ、消雪後

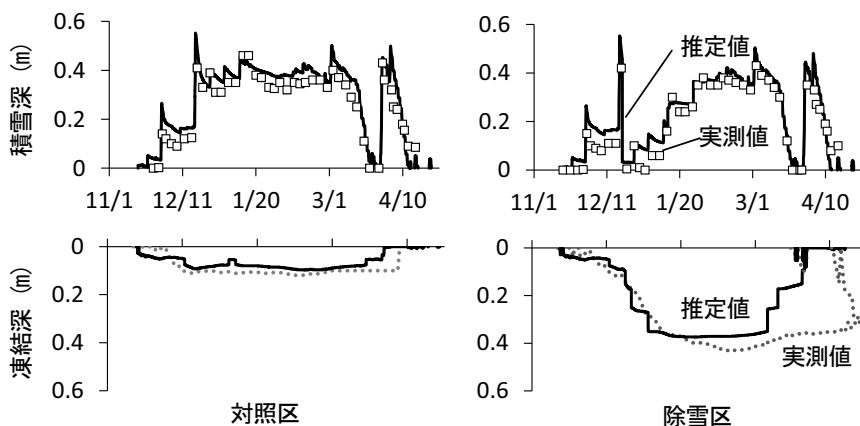


図1 2005年11月から2006年3月の積雪深と土壌凍結深の推移。実線はモデルによる推定値、□や破線は実測値を意味する。；Fig. 1. Thickness of snow cover (top panel) and soil frost depth (bottom panel) from Nov. 2005 to April 2006 at control (left) and treatment (right) plots. Solid lines are estimated values using SHAW model and open squares or broken lines are observed data.

の濃度の鉛直分布は実測に近づいた（図2右）。除雪区の濃度の鉛直分布の推定結果は、対照区とほぼ同じであった（図省略）。除雪区では実測よりもかなり早く凍結層が融解したため、凍結層が無くなる時期がモデル上は対照区とほぼ同じだった。その結果、融雪水の浸透量がほぼ同じになり、両区で計算結果に明確な差が生じなかったと考えられる。

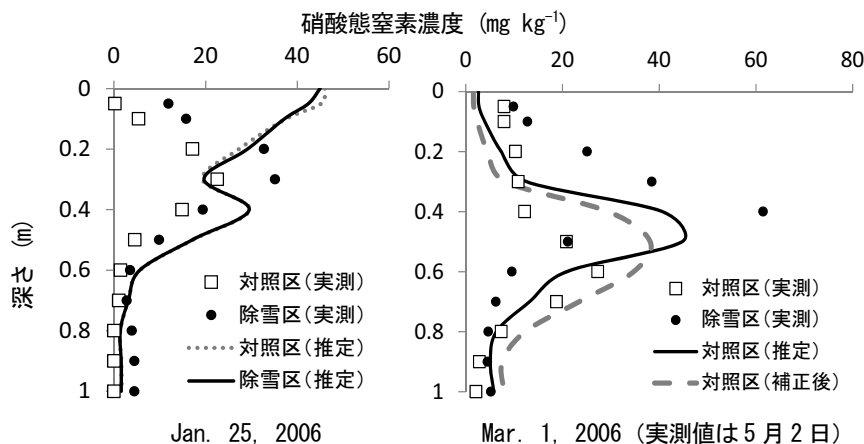


図2 土壌凍結が発達したとき（1/25）と消雪・凍土融解後（5/1）の硝酸態窒素の鉛直分布とモデルによる推定結果。5月1日の破線は、凍結層が融解を開始した2月25日から凍土が完全に融解したと過程したときの計算結果である。；Fig. 2. Vertical distributions of NO_3^- concentration which were monitored (solid circles and open squares) and estimated using SHAW model (solid and broken lines).

謝辞：硝酸態窒素濃度のデータを提供いただいた北海道大学の長谷川周一博士と有馬淳一氏に感謝いたします。

引用文献：Flerchinger GN (2000) Technical Report NWRC 2000-09.; 田村和杏ら(2011) 日本土壤肥科学雑誌, 82, 114-122.