

凍結融解が塩類を含む土からの蒸発や地表の塩の濃縮に与える影響 Evaporation and salt condensation in soil containing different type and concentration of salts under freeze-thaw cycles

○韓韋男・渡辺晋生

Han Weinan and Kunio Watanabe

はじめに 比較的高温な乾燥地は、蒸発量が多く塩害に晒されがちである。一方、季節凍土地帯に位置する中国大慶地域も、深刻な塩害に晒されており、農業生産や生態環境に被害が生じている。こうした寒冷地では、秋季の日寒暖差が激しい。この際、夜間は地表が凍結し地中から塩が水とともに引き上げられ、日中は凍土が融解しその水が蒸発することで地表への塩の集積が促進されている可能性がある。そこで本研究では、塩を含む土表面に凍結融解サイクルを与えた場合の、蒸発量や土中の水分・熱、塩移動の変化について検討することを目的に、一次元の土カラム凍結実験を行った。

試料と方法 岩手大学学内圃場の表層から採取した黒ボク土の 2 mm 篩通過分を試料とした。試料に純水、異なる濃度の NaHCO_3 溶液、あるいは NaCl 溶液を混合し、体積含水率が $0.4 \text{ m}^3/\text{m}^3$ 、乾燥密度が $1.1 \text{ Mg}/\text{m}^3$ となるように、内径 78 mm、高さ 350 mm のアクリルカラムに均一に充填した。図 1 に実験概要を示す。カラム壁面から 10 mm 深毎に 35 組の熱電対を、50 mm 深毎にロッド長 70 mm の TDR センサーを 5 本挿入し、地温と含水率、電気伝導度を測定した。TDR センサーは凍土中の不凍水 (0°C 以下でも凍結しない液状水) 量を測定できるよう予め検量した。カラム下端はアルミ製の温度制御基部とし、基部に 2°C の冷媒を循環することで一定温度を保った。ここで、カラム側面を発泡ゴムとスタイロフォームで断熱し、冷蔵庫内の電子天秤の上に静置した。そして冷蔵庫の温度を 10°C で 24 時間、 -10°C で 24h と変化することで、カラム地表に周期的な凍結融解の温度条件を与えた。この際、エアドライヤーで冷蔵庫内の空気の過湿を防ぐとともに、庫内の湿度をモニターした。また、ファンを用いてカラム表面に送風し、庫内の湿度を均一に保った。

結果と考察 図 2 に、塩を加えなかった試料に、凍結融解周期を 3 回与えたときの、2.5, 7.5, 12.5, 17.5 cm 深の温度を示す。庫内の気温が下がると、地温は地表から順に低下し、 0°C でしばらく停滞した後再び低下した。庫内の気温が上がると、地温が地表から上昇したが、 0°C で停滞する時間は凍結時より短かった。またこうした地温の変化は深層ほど小さくなった。図 3 に、純水、 0.5M の NaHCO_3 溶液あるいは NaCl 溶液を加えた試料に、図 2 同様の気温変化を与えた時の 7.5 cm 深地温

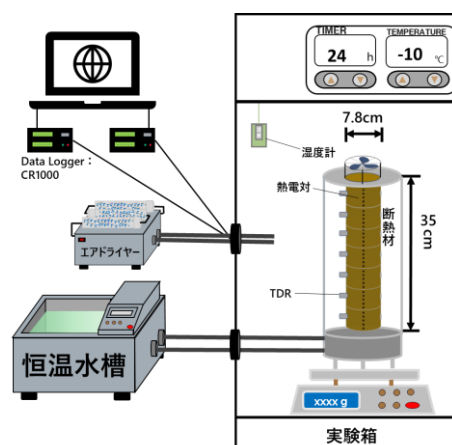


図1 凍結融解実験の概要
Fig.1 Schematic of freeze-thaw experiment

を示す。7.5 cm 深の最低地温は塩を加えなかった試料で約 4°C だったのに対し、0.5 M の NaCl 溶液を加えた試料では -6°C と低くなった。融解速度も塩を加えなかった試料より 0.5 M の NaCl 溶液を加えた試料は速かった。これらは、凝固点降下にとともなる土中の水量と潜熱の減少による考えられる。また、NaHCO₃ は解離度が低く、NaCl のような効果は見られなかった。図 4 に純水あるいは 0.5 M の NaCl 溶液を加えた試料の 0 時間から 24 時間までの凍結過程における温度と水分の分布を示す。純水を加えた試料では、凍結時に 0°C の層が形成されるのに対し、NaCl を加えた試料では約 -2°C の層が形成された。これは 0.5 M の NaCl のモル凝固点降下度 1.85°C と概ね等しい。また、純水を加えた試料では時間とともに不凍水量が減少し、0.2 m³/m³ 近くの氷量の層が 20 cm 以深に伸長したのに対し、NaCl を加えた試料では氷量が 0.2 m³/m³ 以上になることはなく、15 cm 以深には氷はほとんど見られなかった。このため、例えば 32.5 cm 深の水分は、凍結層への水分移動により純水を加えた試料では 0.1 m³/m³ 以上吸い上げられたのに対し、NaCl を加えた試料では 0.03 m³/m³ 程度しか吸い上げられなかった。図 5a に純水を加えた試料について、庫内の温度を 10°C 一定に保った場合と地表に周期的な凍結融解条件を与えた場合の蒸発量を、図 5b に異なる濃度の NaHCO₃ 溶液や NaCl 溶液を加えた試料に同様の凍結融解条件を与えた場合の蒸発量を示す。地表が凍結融解すると蒸発量は増加した。また塩濃度が高くなるほど蒸発量は低下し、NaCl は NaHCO₃ より蒸発量に大きな影響を及ぼした。

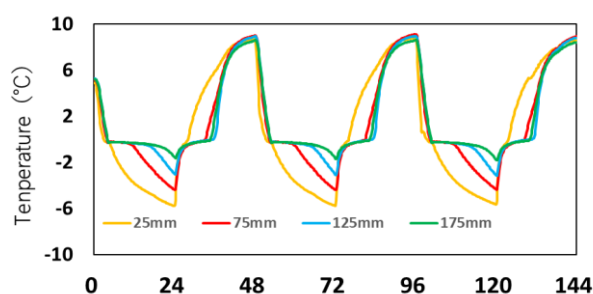


Fig.2 Soil temperature at various depth

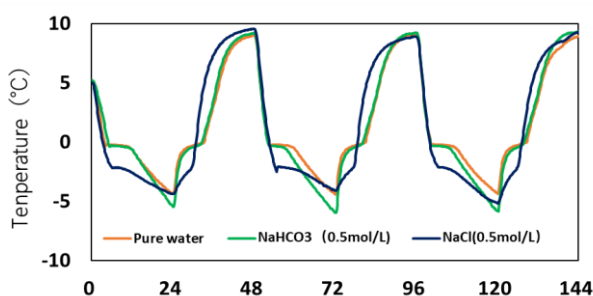


Fig.3 Soil temperature at 7.5 cm depth in soil mixed with different salt solutions.

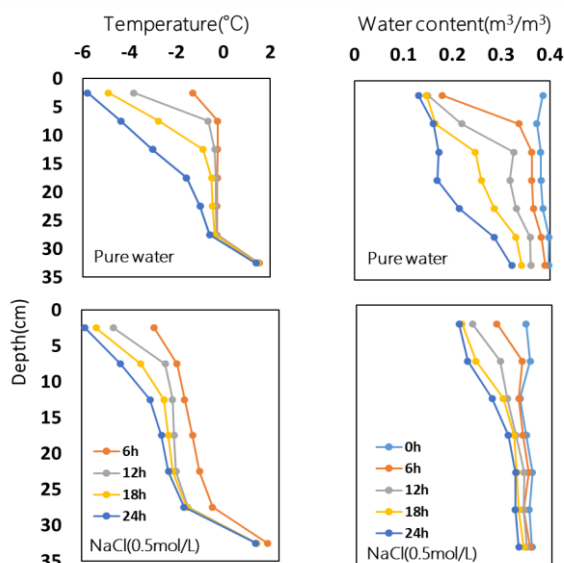


Fig.4 Temperature and water profiles in soil Mixed with pure water or NaCl solution.

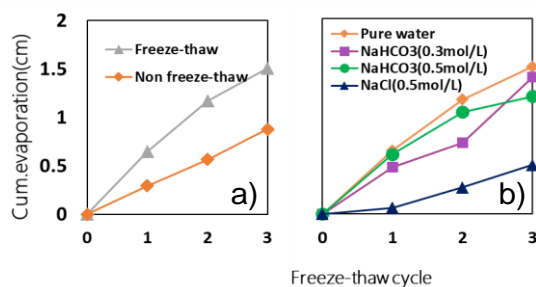


Fig.5 Cumulative evaporation from soils