

一方向凍結法による土壌の浄化

渡辺晋生

三重大学生物資源学部

Abstract

汚染土壌の浄化技術の一つに、凍結を利用した方法 (Cryoremediation) がある。Cryoremediation の効率は、汚染物質の種類や濃度、土壌の種類や含水比、凍結速度などに依存する。本発表ではこの Cryoremediation について紹介し、ガラス粉体からの NaCl 除去を例に、アイスレンズ形成時における凍結速度と汚染物質の集積効率、集積領域の関係について示す。

1. はじめに

土壌中の汚染物質には様々な微粒子、重金属やその化合物、塩などが考えられる。またこれらの物質は、土壌の物理化学的性質によって溶解・沈殿・吸着などさまざまな形で土中に存在している。しかしながら、現在行われている多くの土壌浄化技術では、これら幾種もの汚染物質を一度に取り除くことは困難である。

土壌の人工凍結は、環境に与える負荷が比較的少ないことから、汚水や地下水の浄化、汚泥の除水、汚染域の防壁への応用などを目的に研究されてきた。なかでも、汚染土壌を一方向より凍結し、浄化する方法を Cryoremediation と呼ぶ。Cryoremediation は、幾種もの汚染物質をまとめて取り除ける技術として注目されている。

Cryoremediation の効率は汚染物質の種類や濃度、土壌の種類や含水比、凍結速度などに依存する。実際に Cryoremediation を行う場合には、土中に析出するアイスレンズの成長過程についても把握しておくことも重要である。そこで本研究では、異なる溶液で飽和した土やガラス粉体の一方向凍結実験を行い、Cryoremediation の様子を直接観察した。次に Cryoremediation によるガラス粉体からの NaCl の除去を行い、アイスレンズ形成時の凍結速度と NaCl の集積効率、集積領域の関係を調べた。

2. 試料と方法

豊浦砂、ベントナイト、粒径の揃ったガラス粉体(直径 2.2 μ m)を NaCl (0, 0.005, 0.01, 0.015, 0.03, 0.05, 0.1 mol/L)、Cu(NO₃)₂·3H₂O (0.01, 0.1, 0.5 mol/L)溶液で飽和し、70 × 20 × 3 mm³ のガラスセルに詰めた。セルは初期温度 2 にならした。次に、セルを一方向凍結装置に設置し、温度勾配($G = 0.2$ K/mm)と凍結面の進行速度($V = 0.04 \sim 4$ μ m/s)を与え凍結した。凍結面近傍の様子を、顕微鏡と CCD カメラを介し観察した。実験終了後、直ちに試料をセルから取りだし、凍結面から順に数 mm 間隔で切りだした。切りだした試料の電気伝導度を測定し、溶液の濃度に換算した。

3. 結果

(1) 試料の一方向凍結

試料に温度勾配を与えると、試料内を凍結線が進行した。凍結面の温度は加えた溶液の濃度によって低下した。豊浦砂中には与えた凍結速度の範囲内ではアイスレンズは発生しなかった。ベントナイト中には $V = 1 \mu\text{m/s}$ の時、氷の樹枝状成長が観察された。ガラス粉体中には $V = 0.2 \mu\text{m/s}$ の時一枚の連続したアイスレンズの成長が、 $0.2 < V < 1 \mu\text{m/s}$ の時アイスレンズの層状成長（図 1）が観察された。また、溶液の初期濃度が高いほどアイスレンズは薄くなった。

(2) 凍結面からの溶質の吐きだし

$\text{Cu}(\text{NO}_3)_2 \cdot 3\text{H}_2\text{O}$ 溶液で飽和したガラス粉体を $V = 0.4 \mu\text{m/s}$ で凍結すると、既凍結域の脱色、凍結面近傍の青色レベルの増加が観察された（図 1）。これは、凍結によって $\text{Cu}(\text{NO}_3)_2 \cdot 3\text{H}_2\text{O}$ が試料中から取り除かれ、凍結面近傍へ集積した結果である。青色レベルの変化は V が遅いほど大きくなり、 $V = 0.2 \mu\text{m/s}$ では凍結面より低温側の試料はほぼ完全に脱色された。 $V = 1 \mu\text{m/s}$ では色の変化はほとんど観察されなかった。

NaCl 溶液で飽和したガラス粉体を $V = 4 \mu\text{m/s}$ で 4 mm 凍結した後、凍結面近傍の NaCl 濃度を調べた。アイスレンズが十分に成長した試料中には凍結面より高温側数 mm に NaCl の濃度場が形成された（図 2）。この濃度場の長さ l は NaCl の拡散係数を D としたとき、おおよそ $l = D/V$ で示された。また、アイスレンズが層をなしたとき、アイスレンズ層間の試料の NaCl 濃度は初期濃度の数倍以上と高くなった。

4. おわりに

豊浦砂、ベントナイト、ガラス粉体の Cryoremediation を行った。 $\text{Cu}(\text{NO}_3)_2 \cdot 3\text{H}_2\text{O}$ 溶液で飽和した試料では、Cryoremediation による色の変化が観察された。 NaCl 溶液で飽和したガラス粉体試料では凍結速度によって Cryoremediation の効率が異なった。また、吐きだされた溶質は、凍結面より数 mm に集積した。

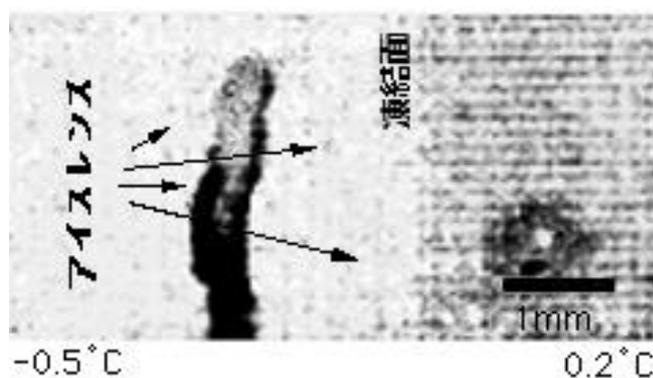


図 1 試料の凍結面近傍の様子

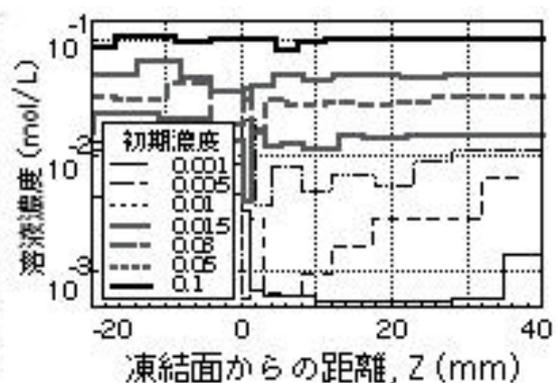


図 2 凍結面近傍の NaCl 濃度