

土の凍結過程における凍上量と熱伝達に関する研究

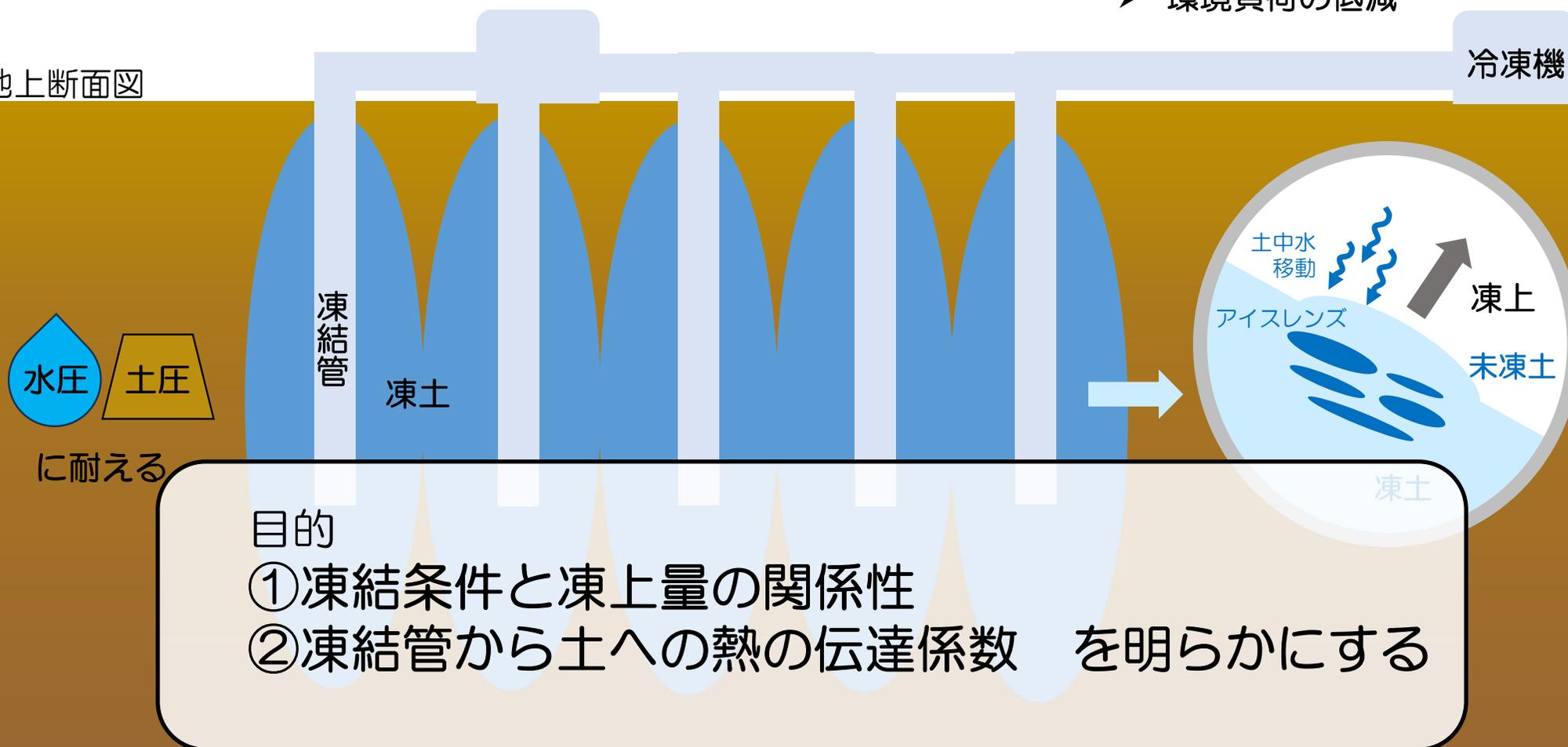
土壌圏システム学研究室 520302 青木ひらり

はじめに

- 土が凍ると
- 強度が増す
 - 外部からの水分を通さない

- 地下での工事
- 軟弱地盤の改良
 - 施工時の十分な安全確保
 - 環境負荷の低減

地上断面図



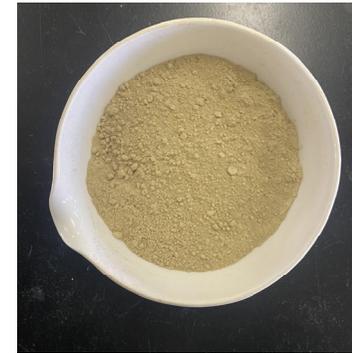
目的

- ①凍結条件と凍上量の関係性
- ②凍結管から土への熱の伝達係数 を明らかにする

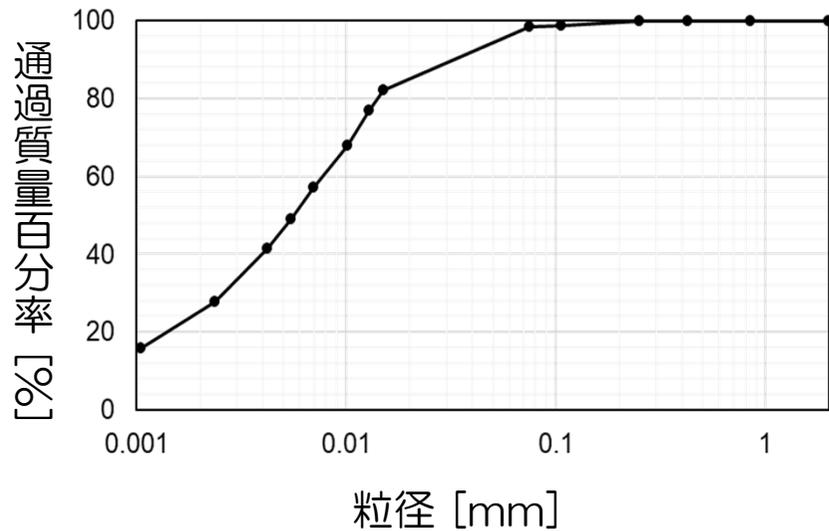
試料と方法

笠岡粘土を使用

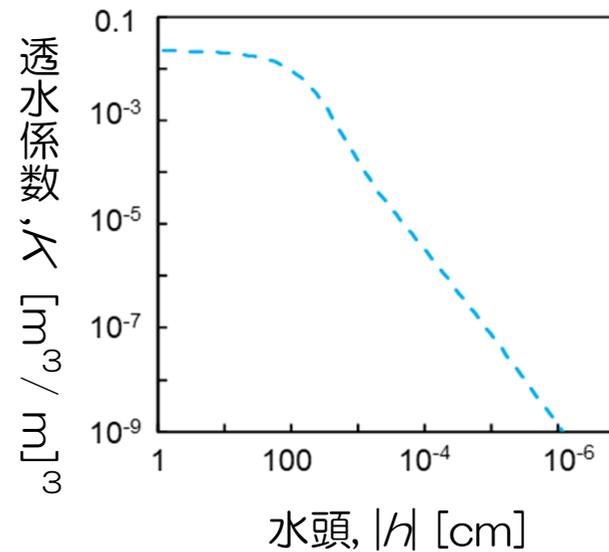
- 乾燥密度 1.37 Mg/m^3
- 組成 粘土：25%，シルト：60%
- 飽和透水係数 0.026 cm/d
- -30°C の環境下でも不凍水を10%以上保持



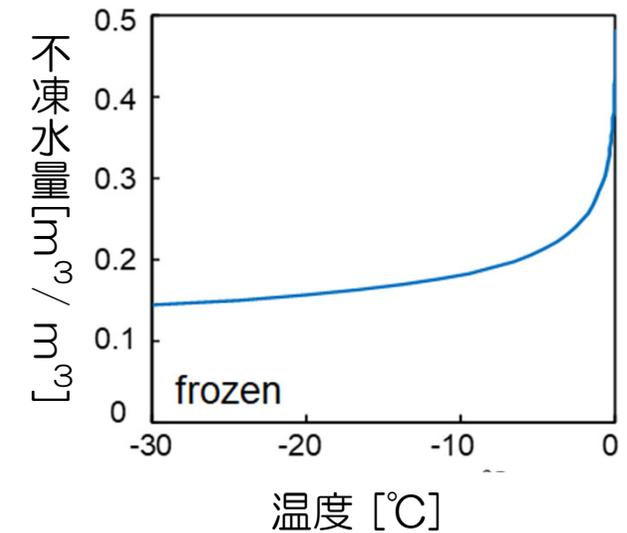
笠岡粘土



試料の粒径加積曲線



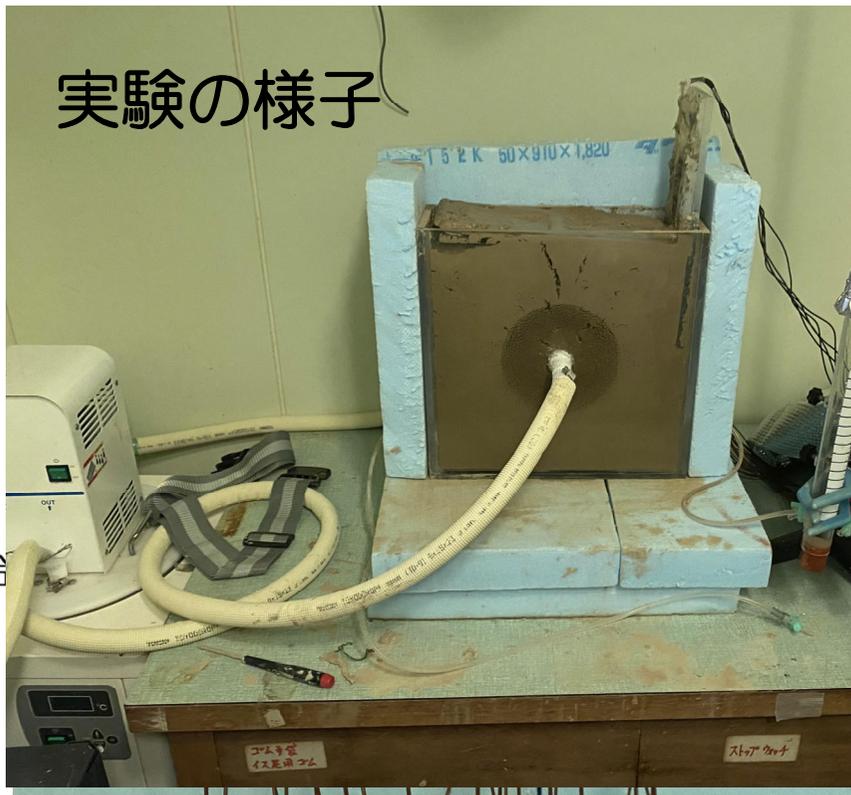
試料の不飽和透水係数



試料の不凍水量曲線

試料と方法

実験の様子



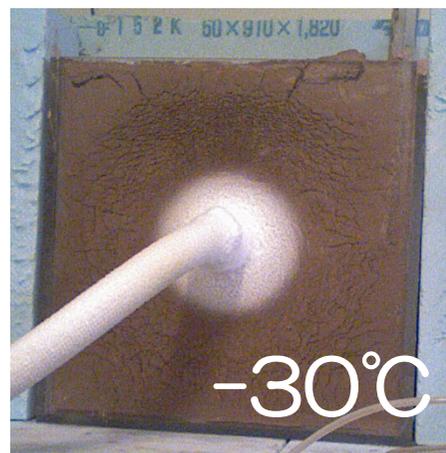
- ① 笠岡粘土を水と混同した試料を用意
- ② アクリル板で直方容器を作成
- ③ 24地点に熱電対を取り付け，中央に凍結管
- ④ 試料を容器につめ，圧密
- ⑤ 2℃の恒温室に24h設置，初期温度を2℃
- ⑥ 48h以上の凍結を行った
- ⑦ 試料温度，室温を記録 カメラにて撮影

実験条件

- 凍結履歴
- 水分条件
- 冷媒温度

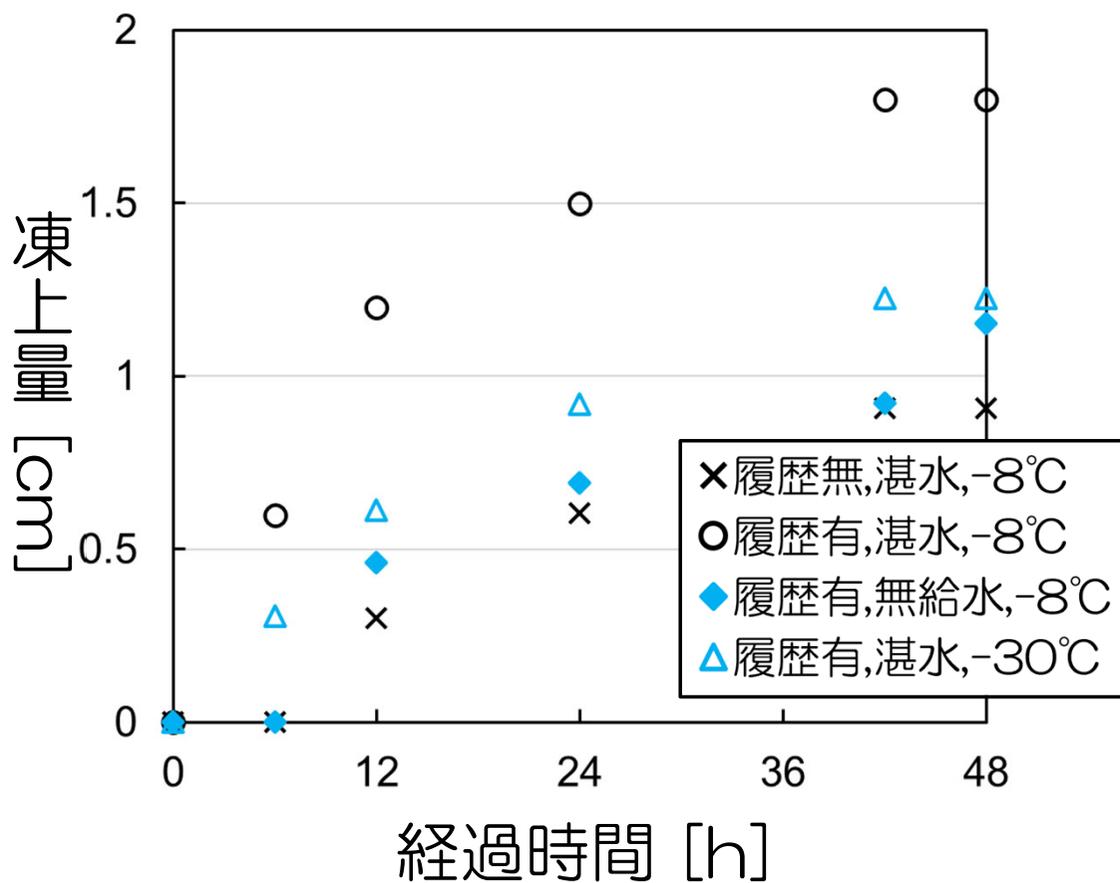
結果

凍結の様子



- 同心円状に広がる
- 温度で凍結面積が大きく異なる
- アイスレンズが重なり凍結

結果 (凍上量③冷媒温度)



①凍結履歴:有で凍上量大

土の構造が変化→アイスレンズの成長量UP

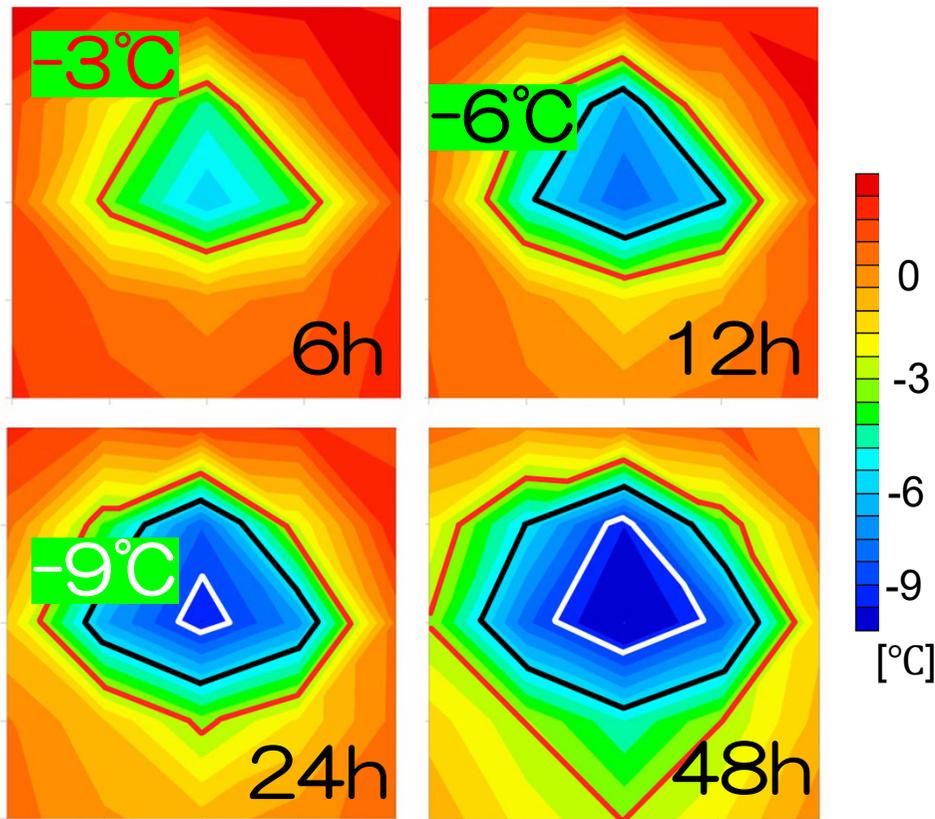
②水分の供給:無で凍上量小

移動する水分が少なく, アイスレンズの成長が阻害

③冷媒温度:低で凍上量小

凍結速度>アイスレンズの成長速度

結果 (温度分布)



-30°Cで凍結時の温度分布

温度低下に偏り
水平方向→おおむね対称
鉛直方向→偏心

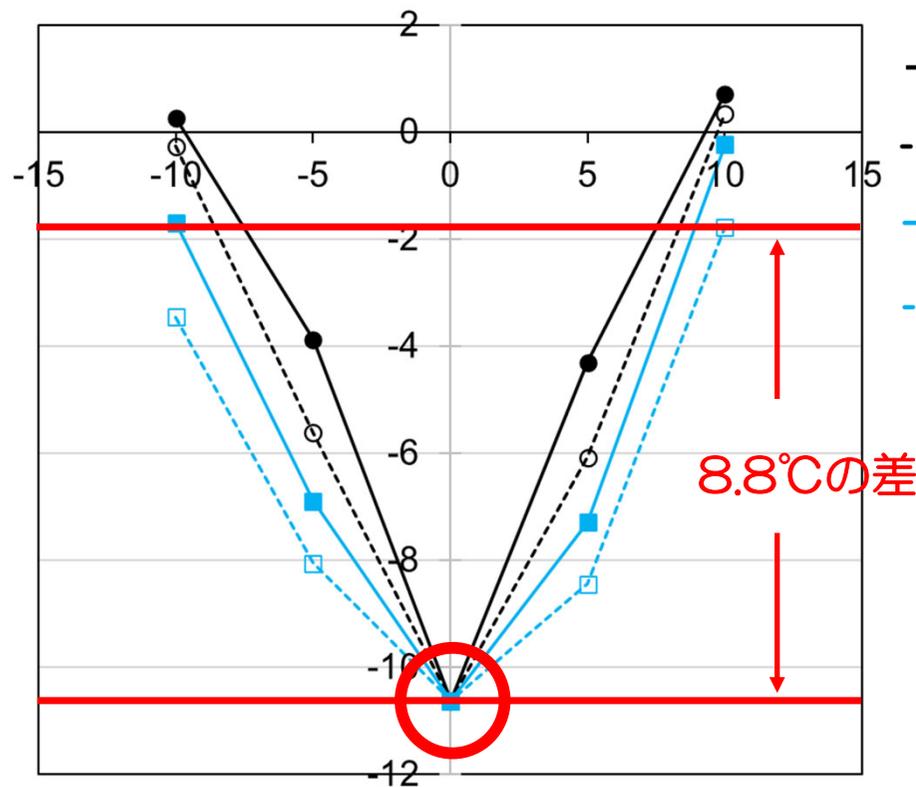
凍結管
近傍→上方が下方より温度低
10cm以遠→下方が情報より温度低

原因
模型上部を室温に解放

水平方向に関して温度の低下の様子をグラフ化

結果 (距離と温度)

温度 [°C]



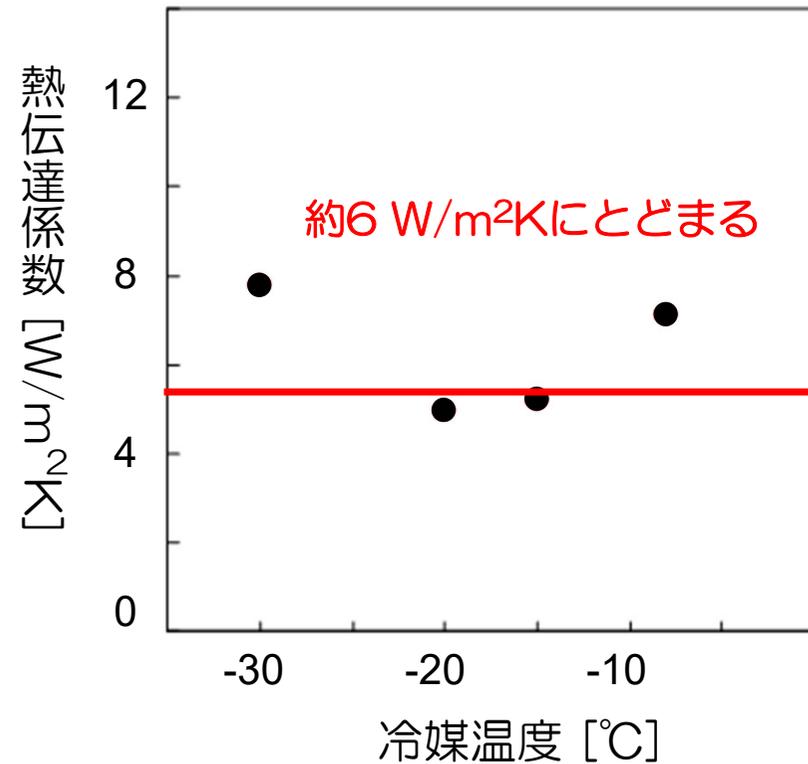
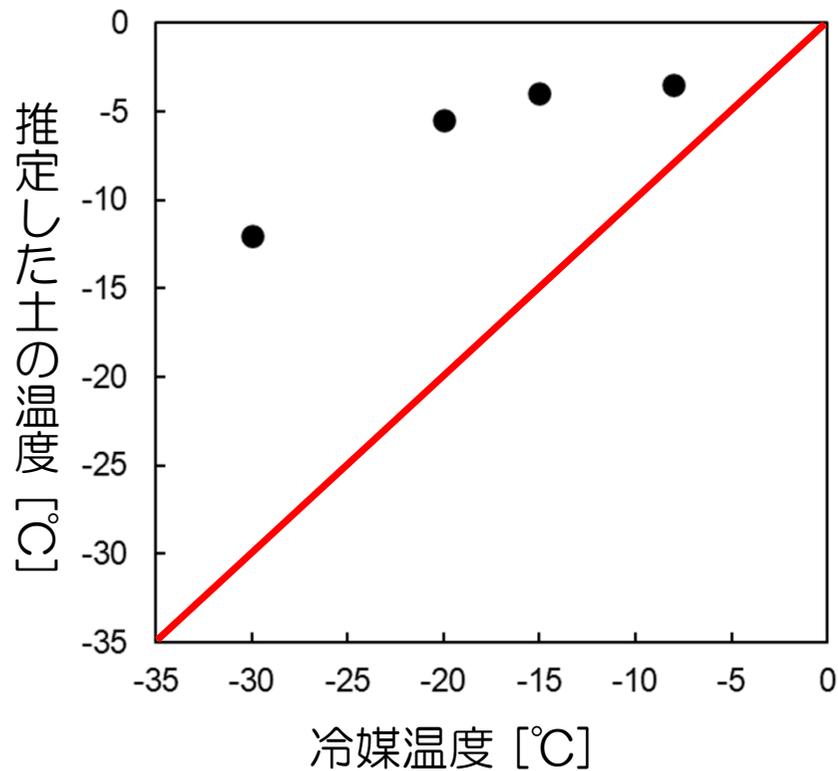
凍結管からの距離 [cm]

凍結履歴:有, 湛水:有, 冷媒温度-30°C

- 凍結管直近の温度→推定値
- 時間を追うごとに温度が低下
- 中心との温度差が大
(48時間の時点で最大8.8°Cの差)

温度が周囲まで十分に低下していない
→外気, 効果範囲が狭い, 断熱が不十分

結果(冷媒温度と試料の温度, 熱伝達係数)



- -8°C~-30°Cの冷媒
→-3°C~-13°C程度しか冷えていない
- 冷媒の冷却効率は**30%程度**
(約27~40%にとどまる)

ニュートンの冷却法則

$$J_H = h_c(T_c - T_s)$$

J_H : 熱流 h_c : 熱伝導係数 T_c : 冷媒温度
 T_s : 試料の温度

目的

- ①凍結条件と凍上量の関係性を明らかにする
- ②凍結管から土への熱の伝達係数を明らかにする

- ① 冷媒温度が低いと小さくなる
凍結履歴がある場合で凍上量の増加
- ② 冷却効率は約30 %
熱伝達係数は約6 W/m²K

今後

- 凍結管を流れる冷媒の流速
- 凍結管の径, 本数 の検討