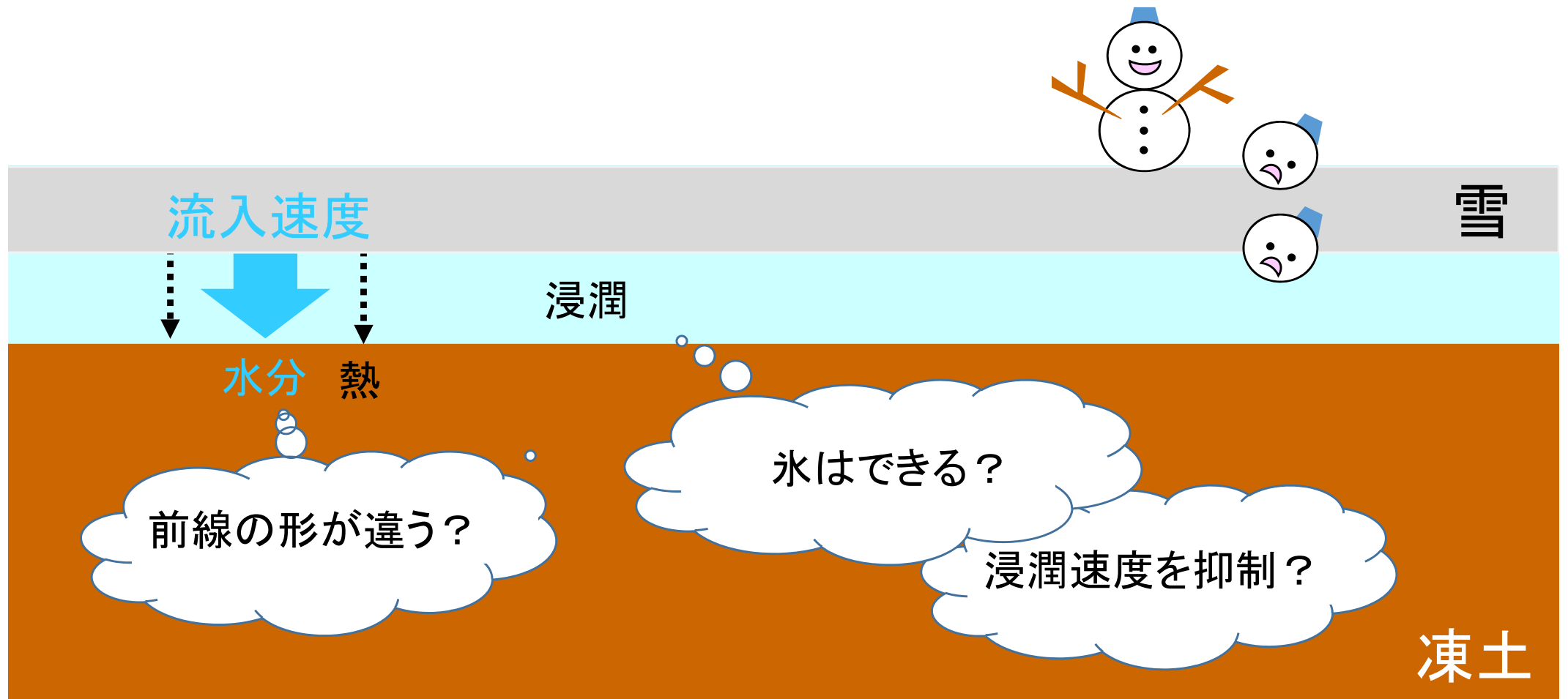




# 乾いた凍土への浸潤に伴う 水分・熱移動について

土壌圏循環学教育研究分野  
514128 佐藤郁弥

はじめに



## 目的

水分と温度の前線の形の違い  
流入速度と間隙水量・浸潤速度の関係  
凍土への水分・熱の浸透機構を説明

# 実験方法

## 試料

鳥取砂丘砂(風乾)

乾燥密度  $1.5 \text{ g/cm}^3$

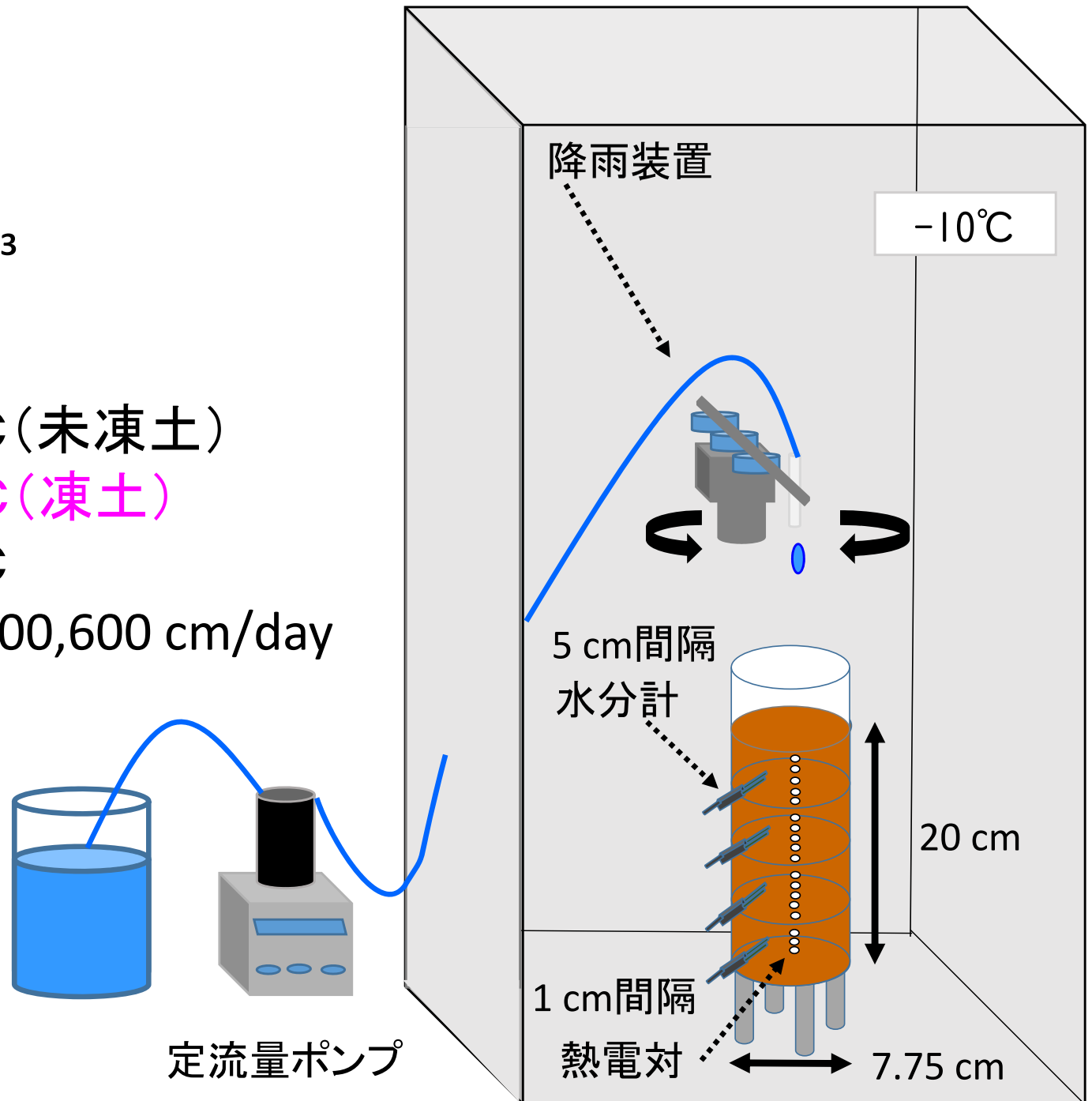
## 条件

初期温度  $3 \text{ }^\circ\text{C}$  (未凍土)

$-10 \text{ }^\circ\text{C}$  (凍土)

滴下温度  $5 \sim 10 \text{ }^\circ\text{C}$

滴下速度 30, 150, 300, 600 cm/day





# 実験方法

## 試料

鳥取砂丘砂(風乾)

乾燥密度  $1.5 \text{ g/cm}^3$

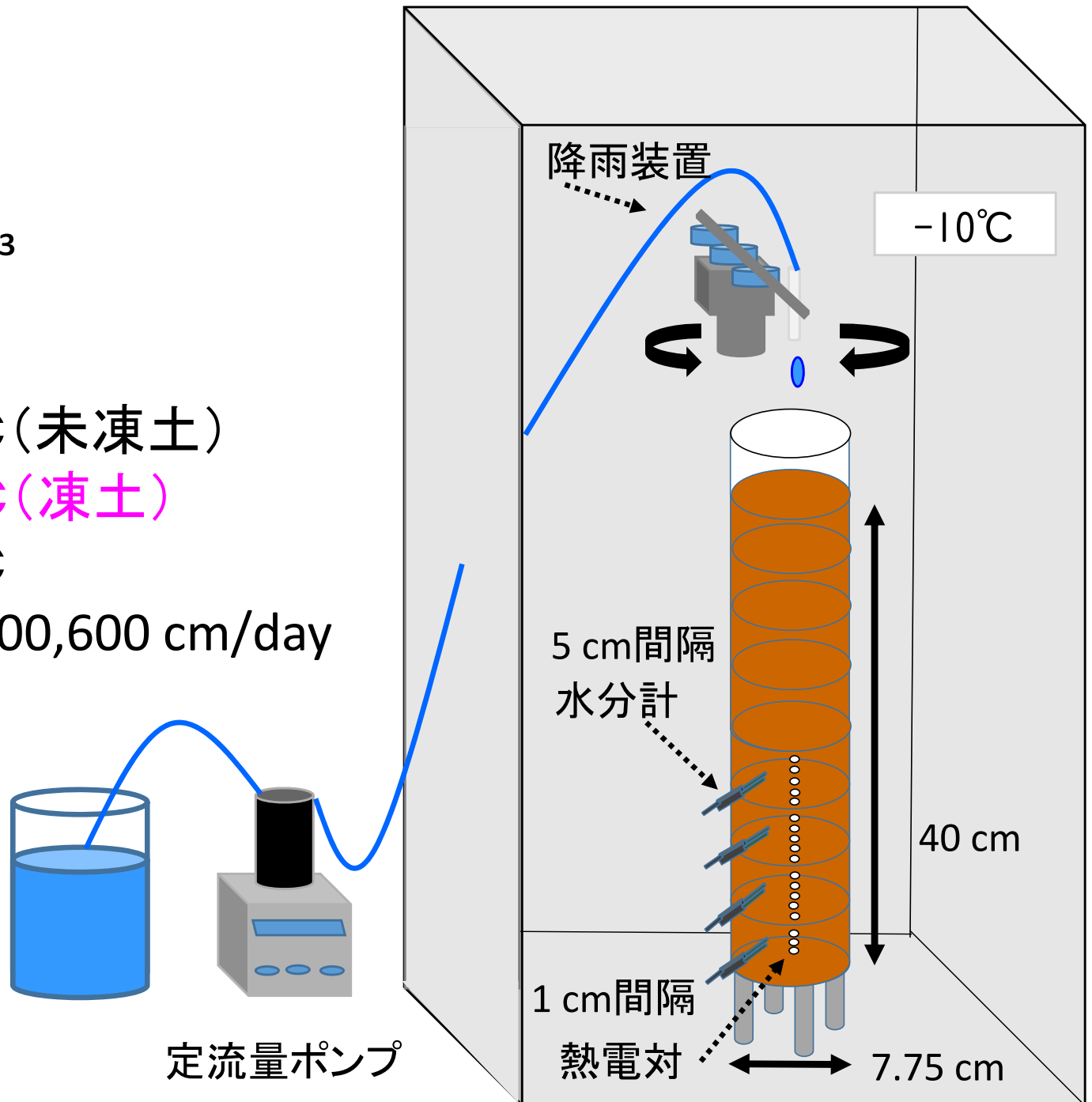
## 条件

初期温度  $3 \text{ }^\circ\text{C}$  (未凍土)

$-10 \text{ }^\circ\text{C}$  (凍土)

滴下温度  $5 \sim 10 \text{ }^\circ\text{C}$

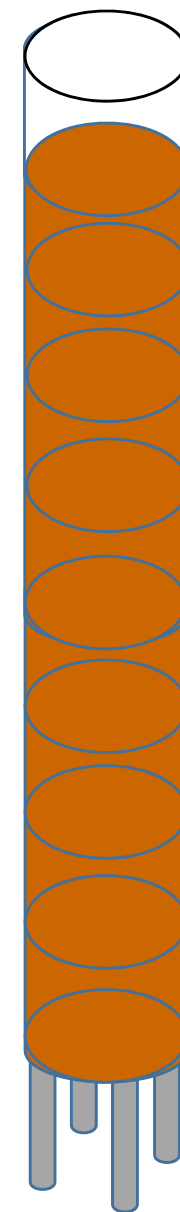
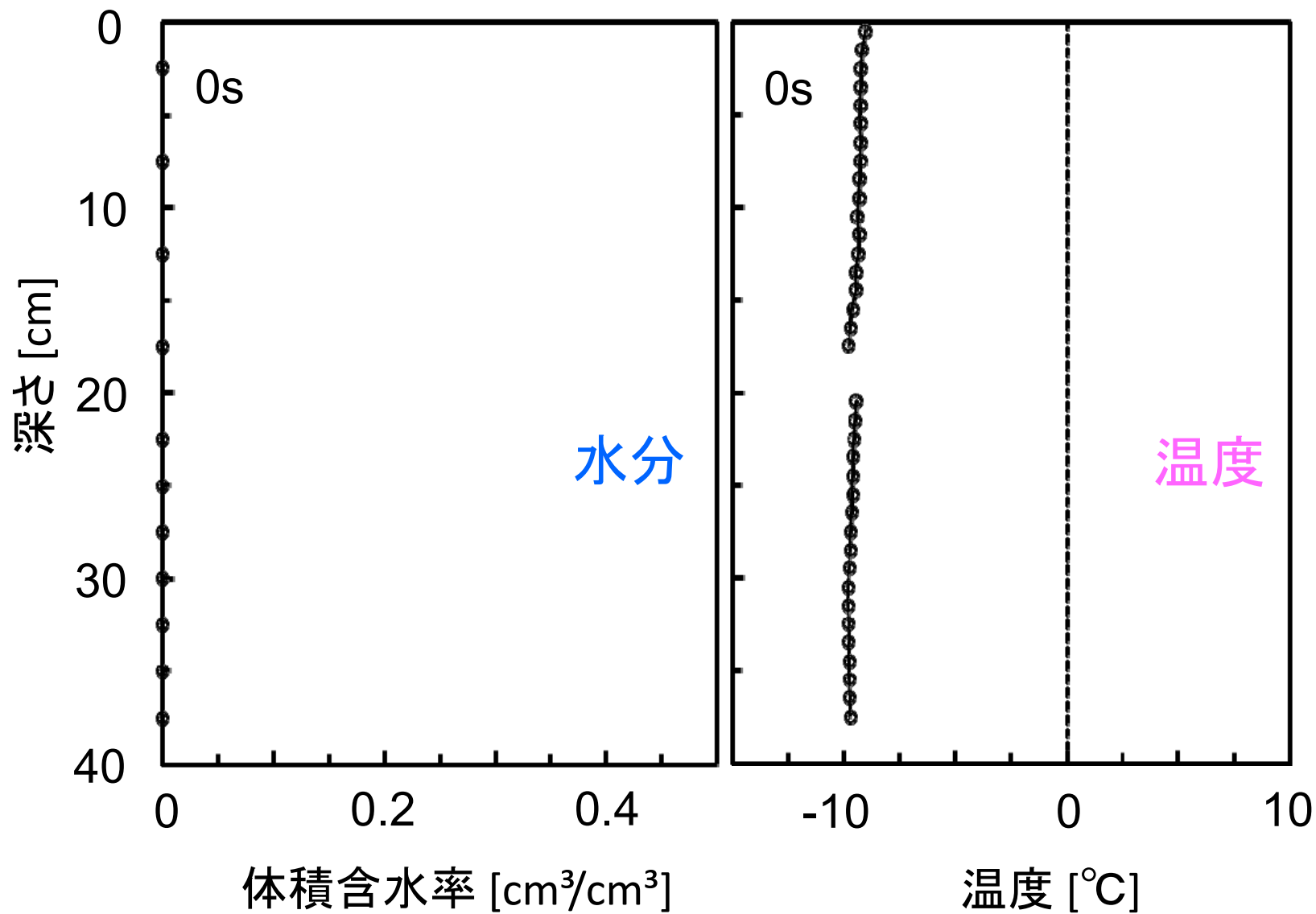
滴下速度 30, 150, 300, 600 cm/day



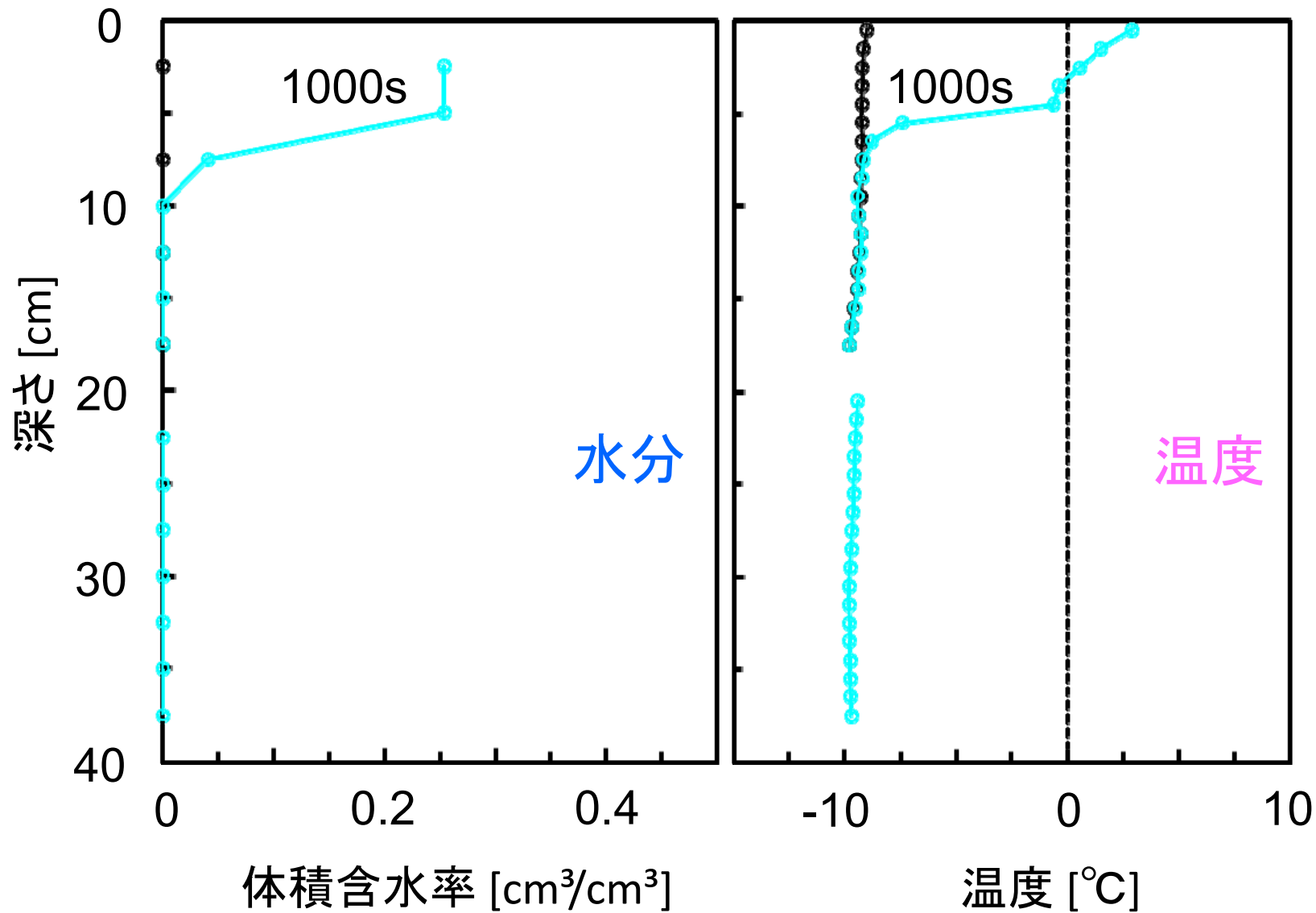
# 結果



結果 (150 cm/day -10°C)

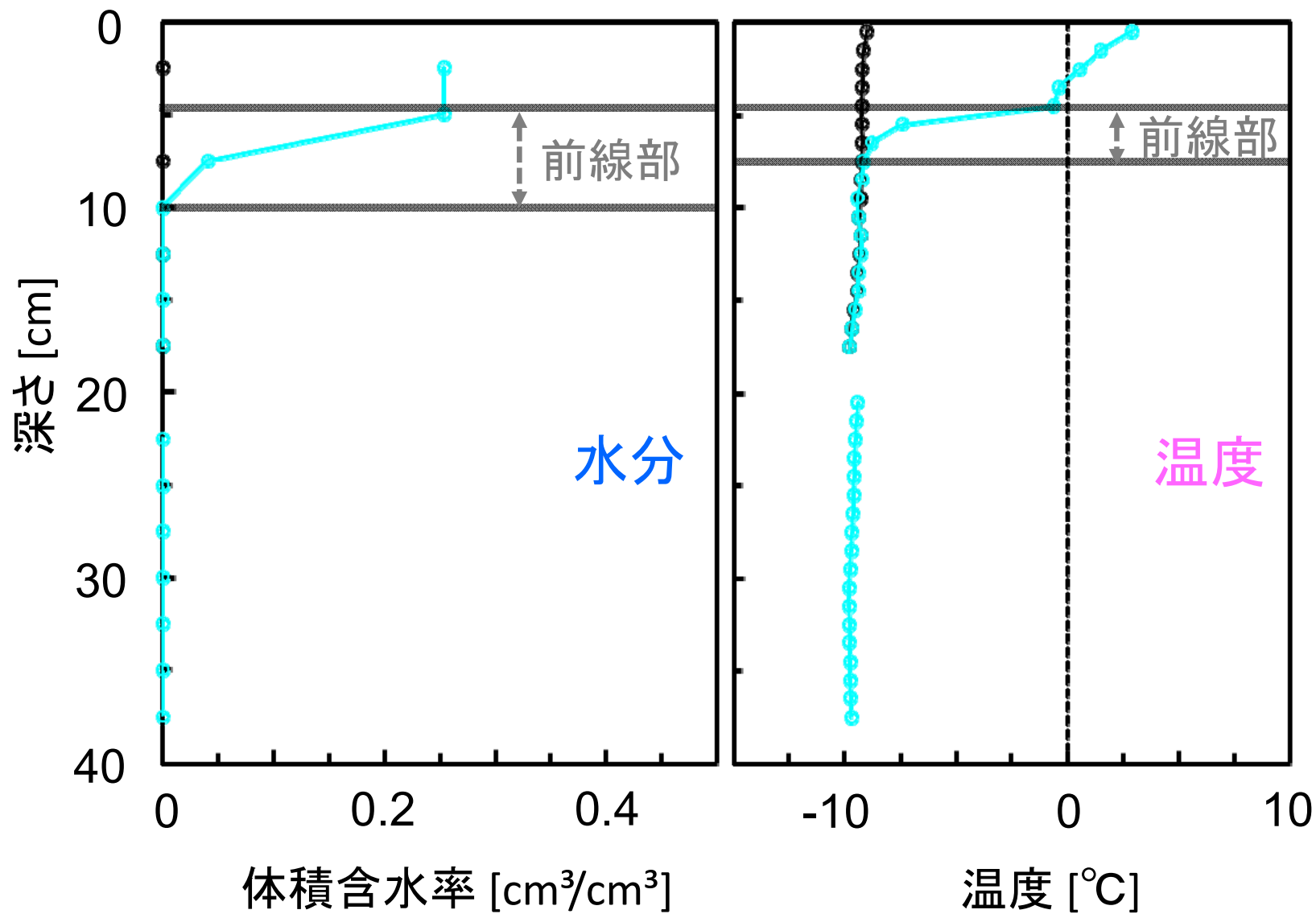


結果 (150 cm/day -10°C)

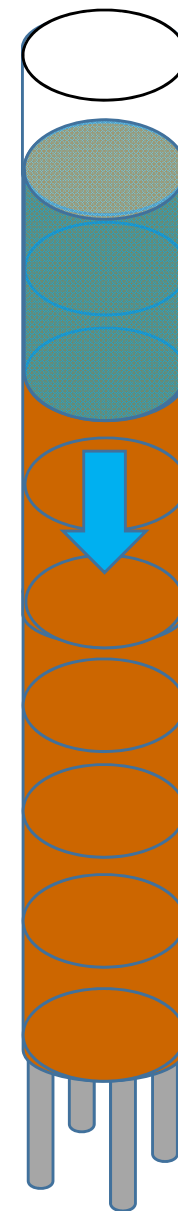


上方からの浸潤 → 含水率、温度ともに上昇

結果 (150 cm/day -10°C)

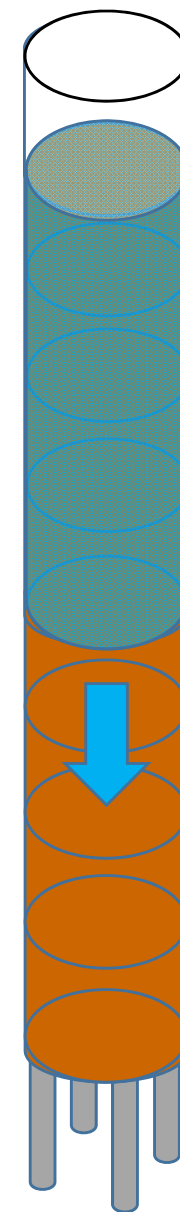
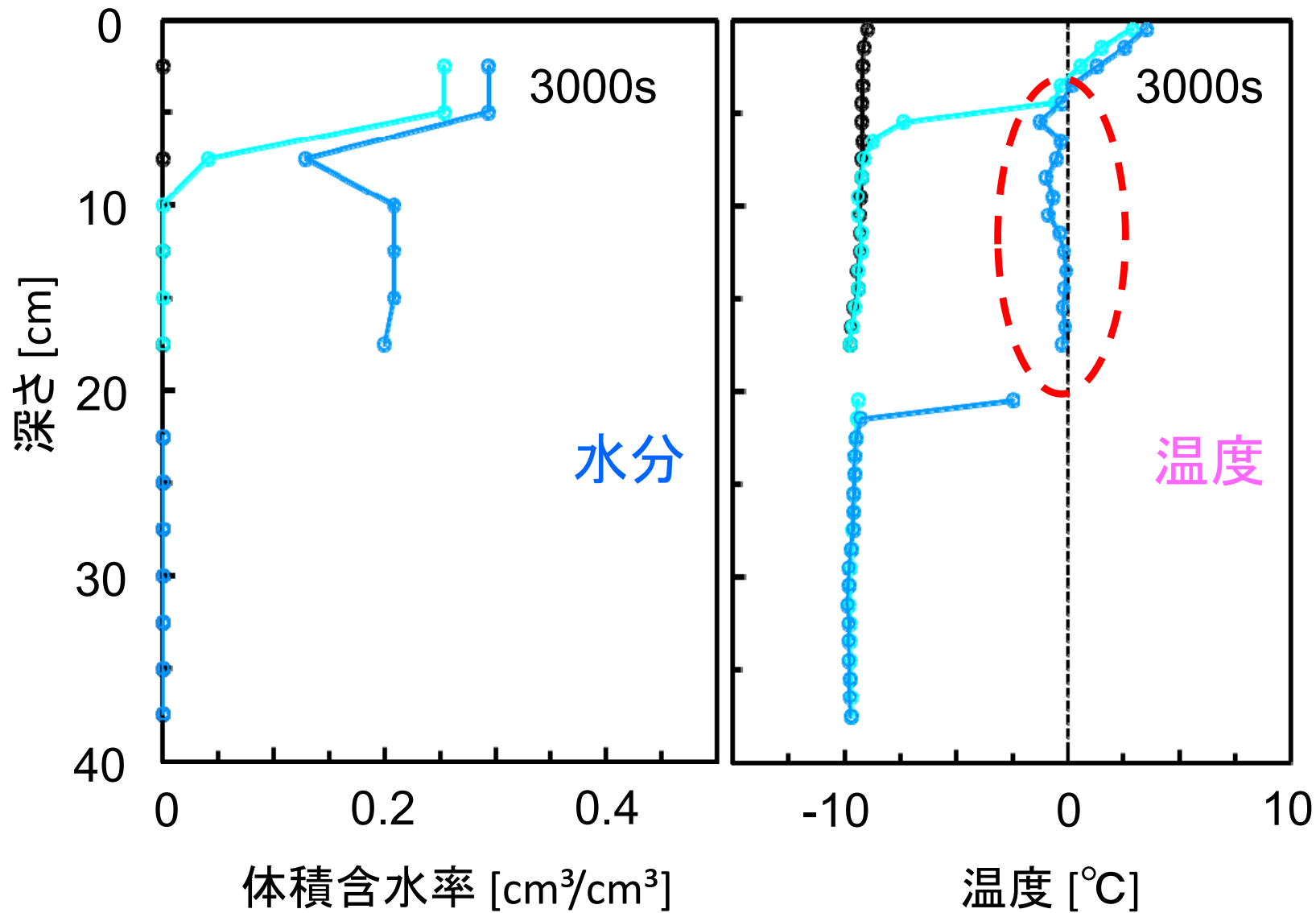


前線部の  
形  $\Rightarrow$  水分: 緩 温度: 急  
長さ  $\Rightarrow$  水分 > 温度



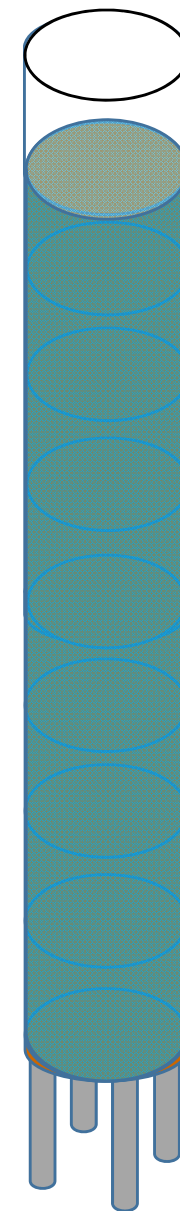
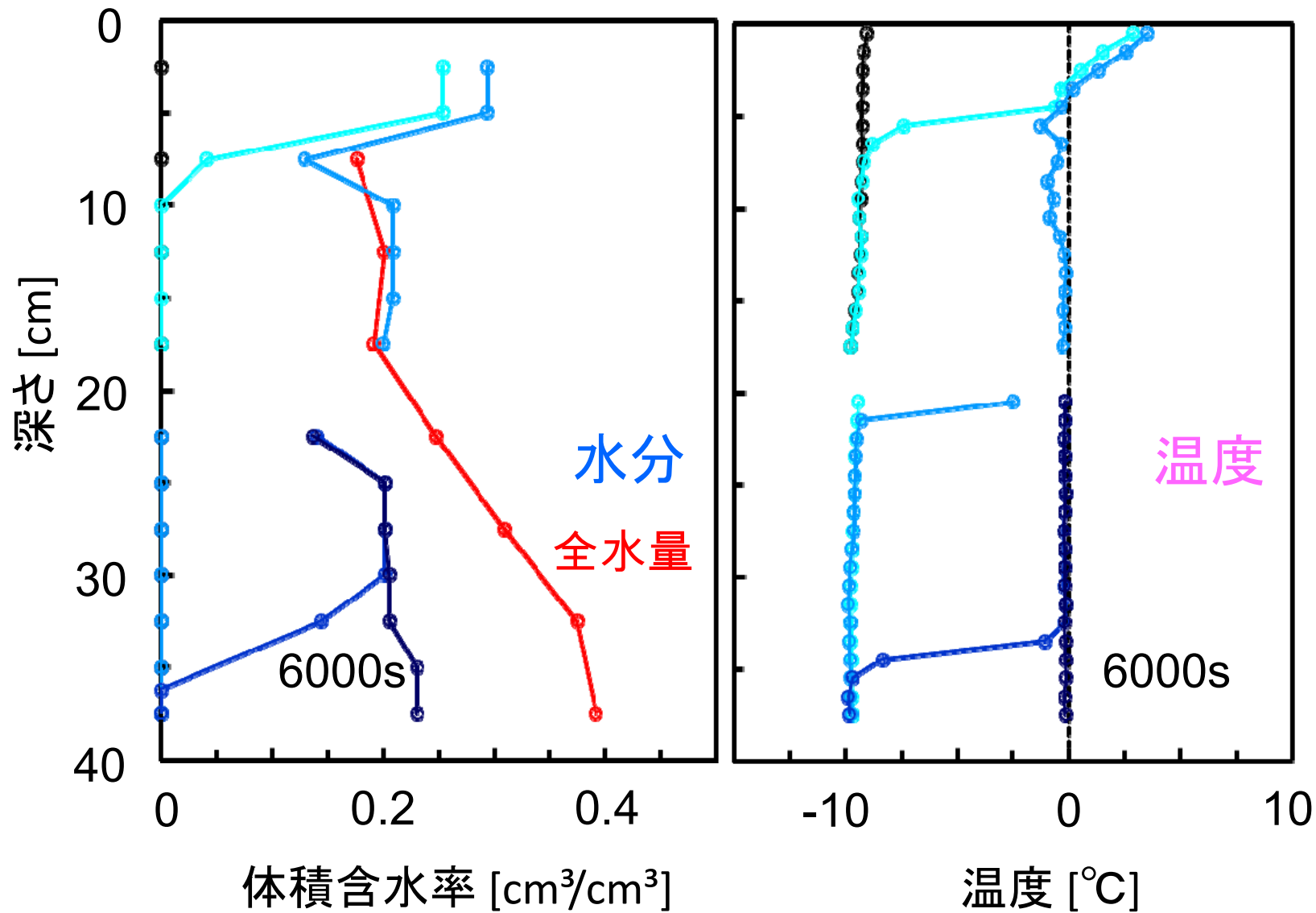


結果 (150 cm/day -10°C)

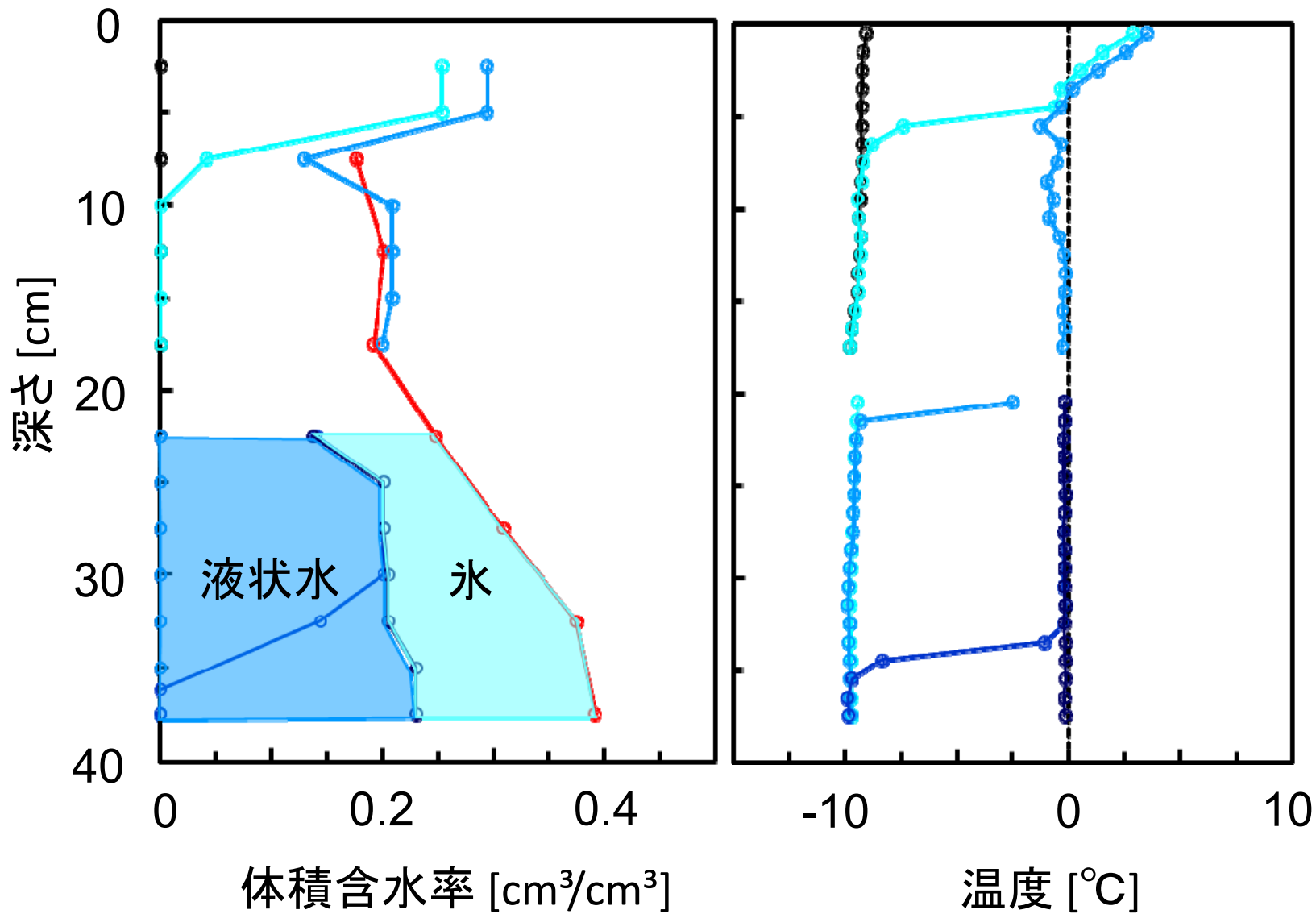


0°C ➡ 氷の生成、保持

# 結果 (150 cm/day -10°C)

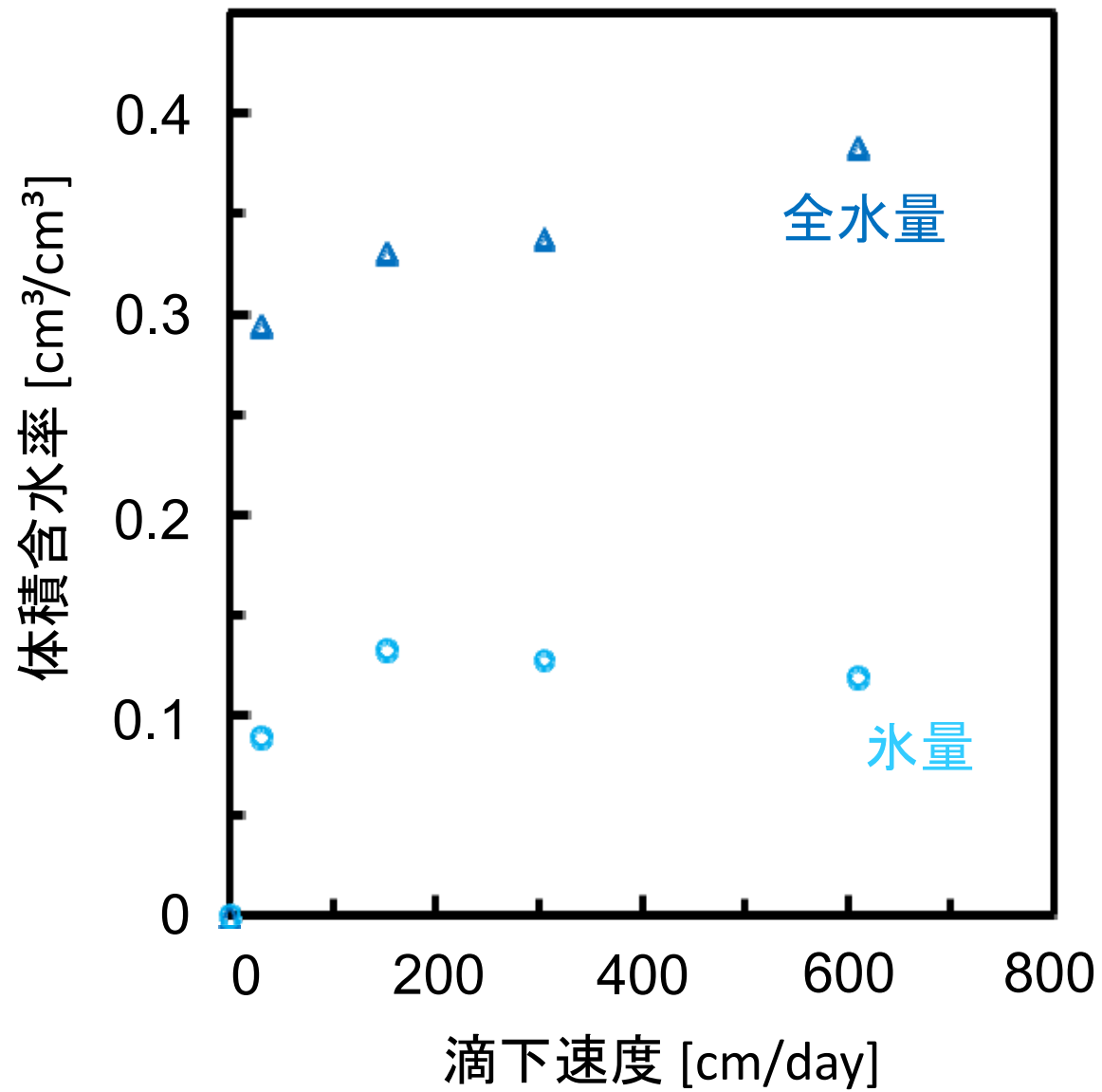


# 結果 (150 cm/day -10°C)



$$\text{氷量} = \text{全水量} - \text{液状水量}$$

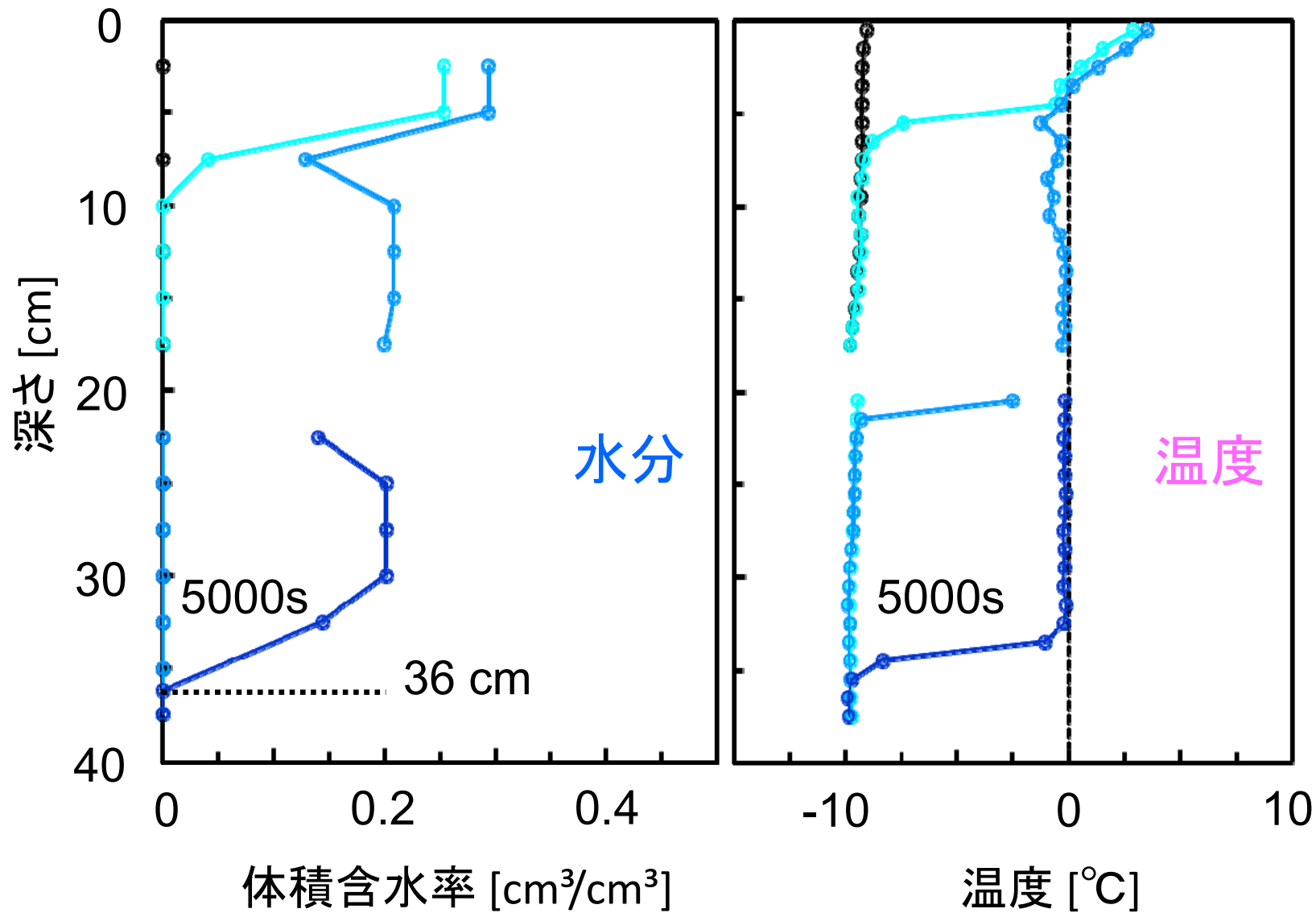
# 結果



滴下速度が速くなる → 全水量 増加  
氷量 一定

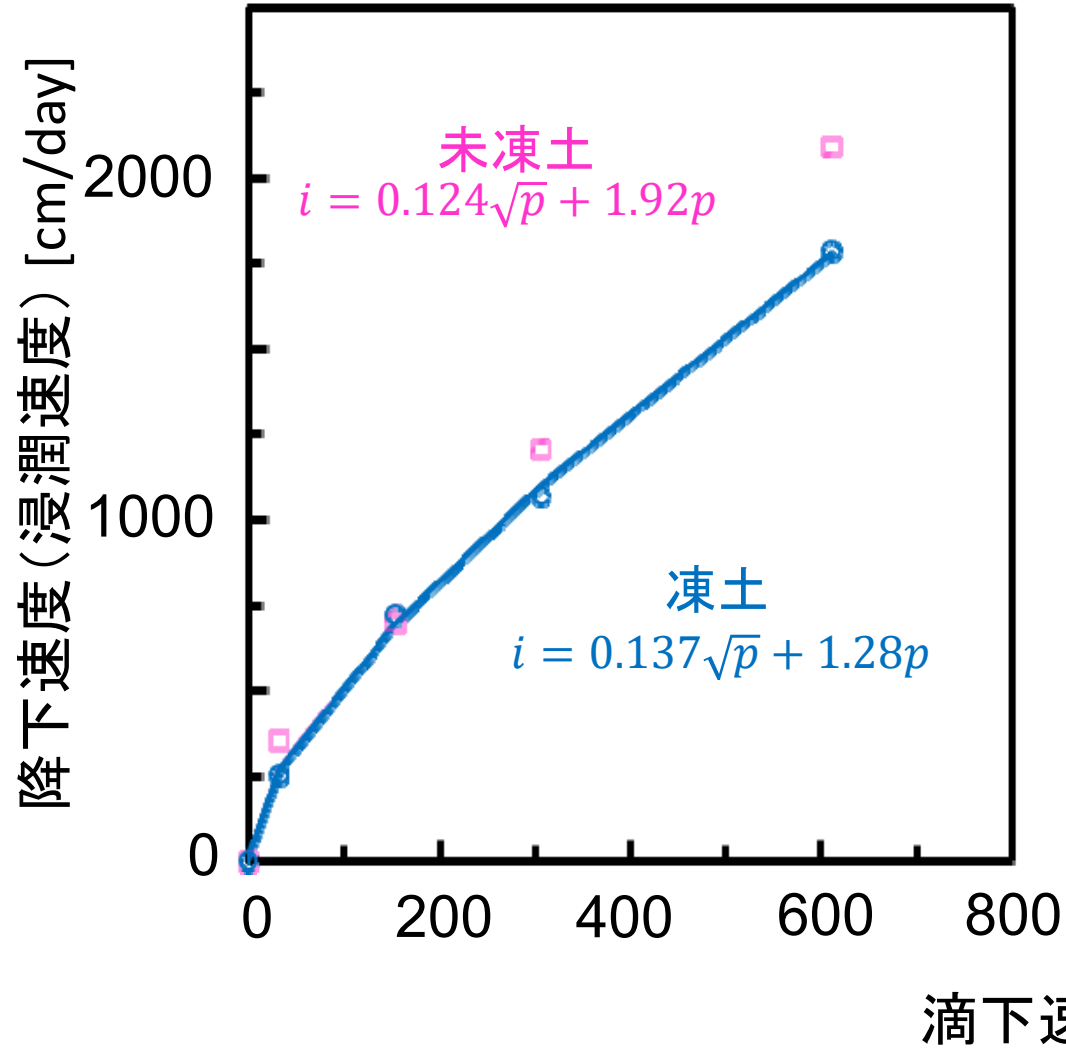


結果 (150 cm/day -10°C)



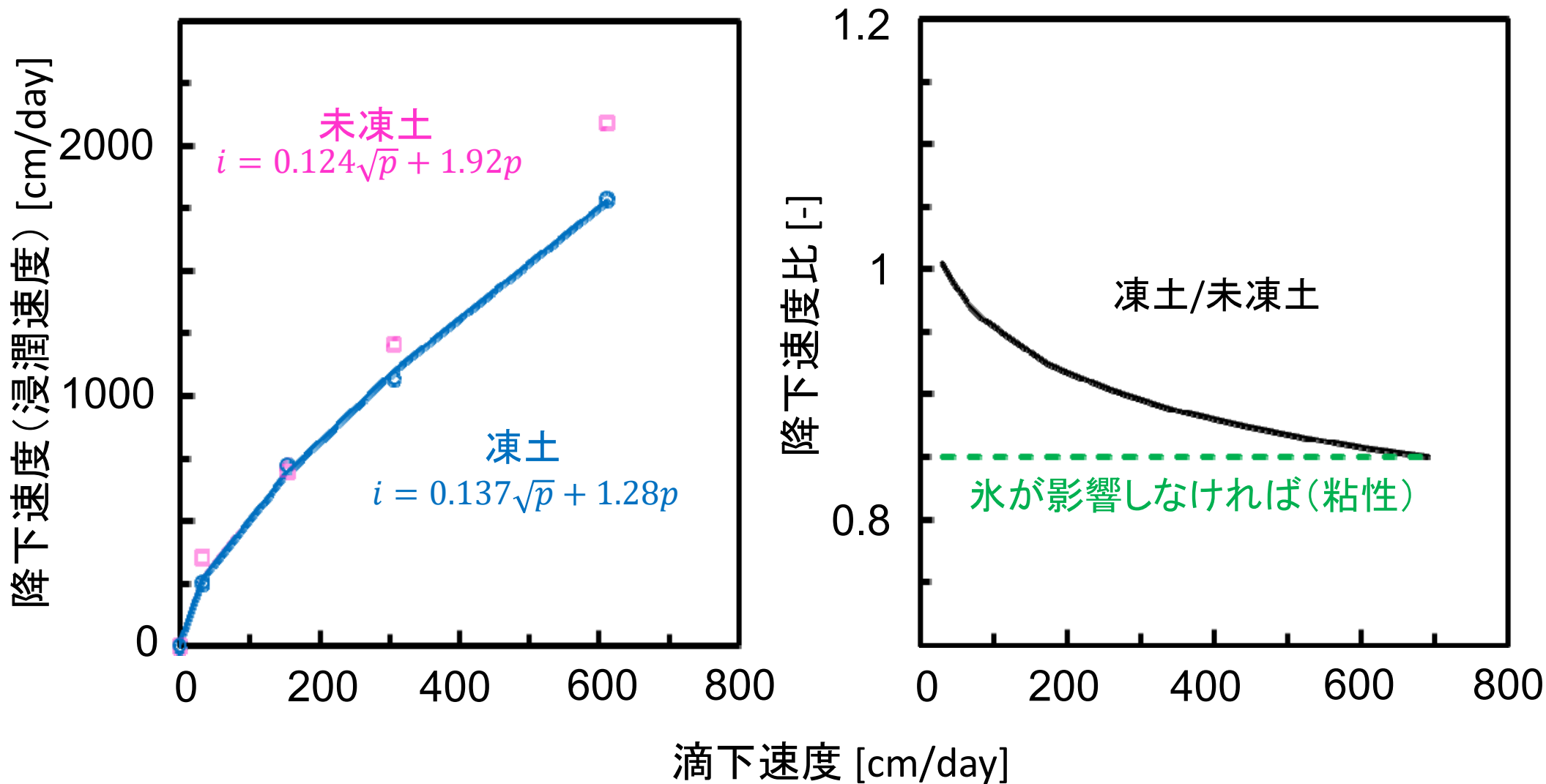
降下速度(浸潤速度) = 深さ/時間

# 結果



浸潤前線の降水速度 ➡ 未凍土 > 凍土

# 結果

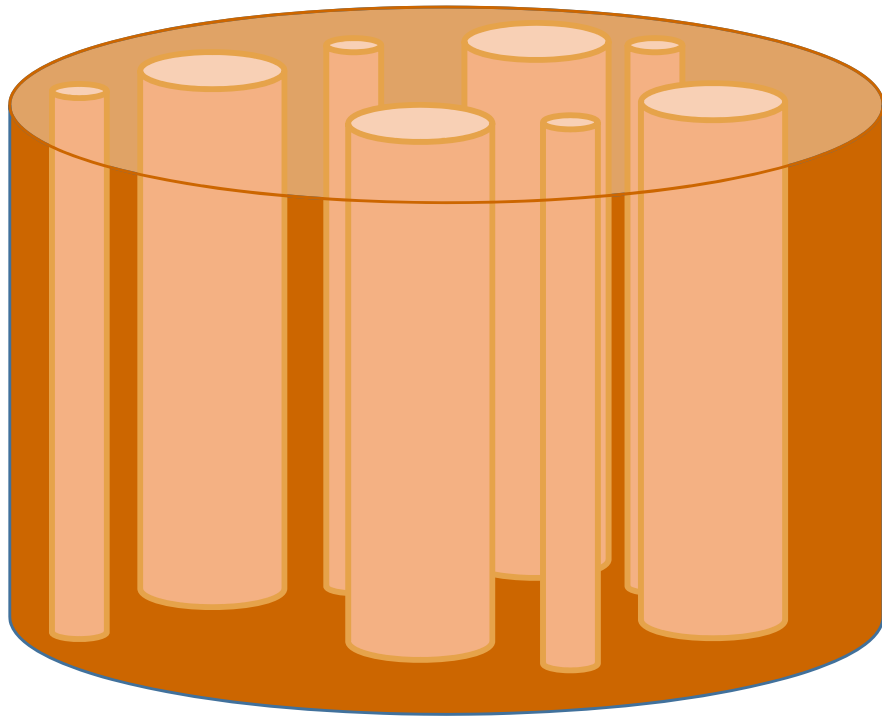


浸潤前線の降下速度 ➡ 未凍土 > 凍土

滴下速度が遅くなるほど氷の影響大

# 凍土への水の浸潤機構

滴下速度が速い時

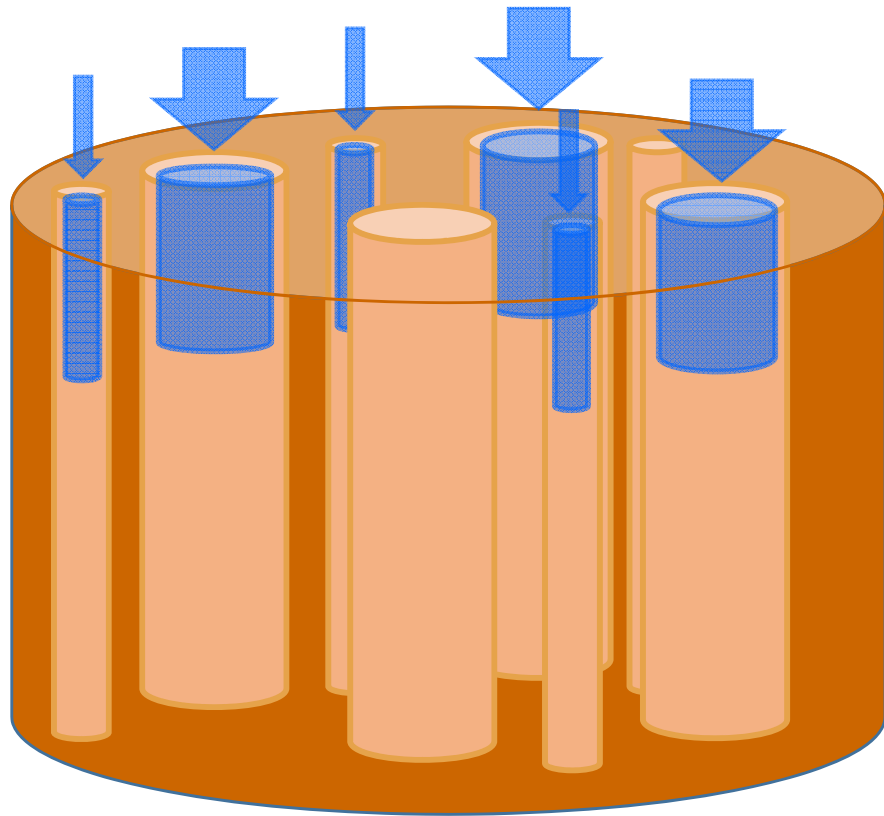


乾いた凍土に水が浸潤すると・・・



# 凍土への水の浸潤機構

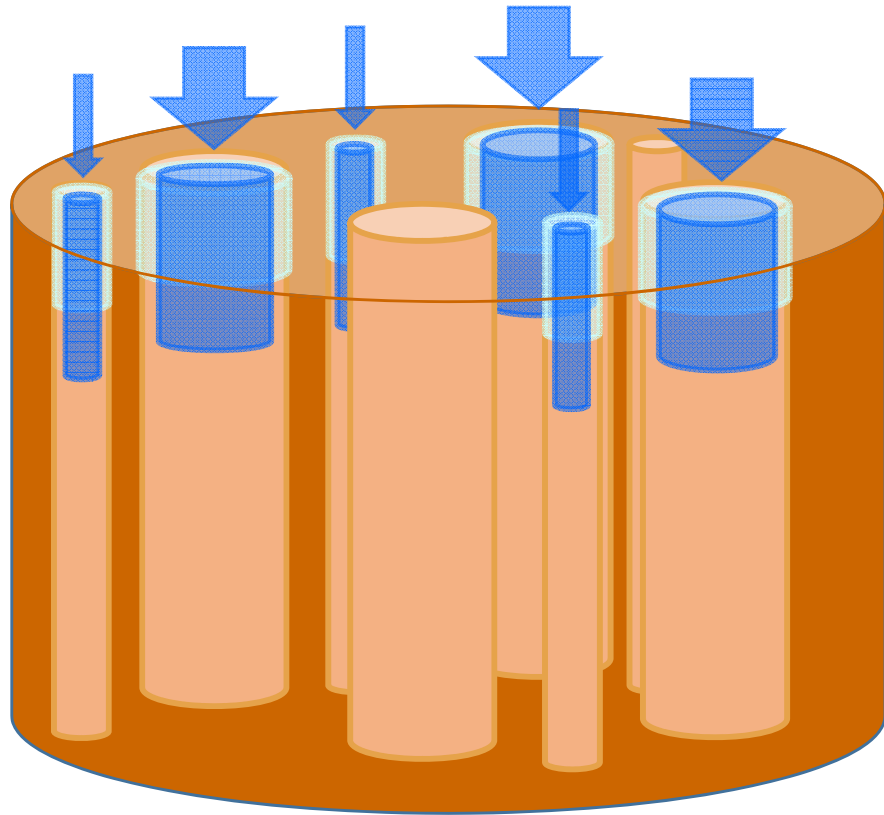
滴下速度が速い時



水は下方に浸透  
その際...

# 凍土への水の浸潤機構

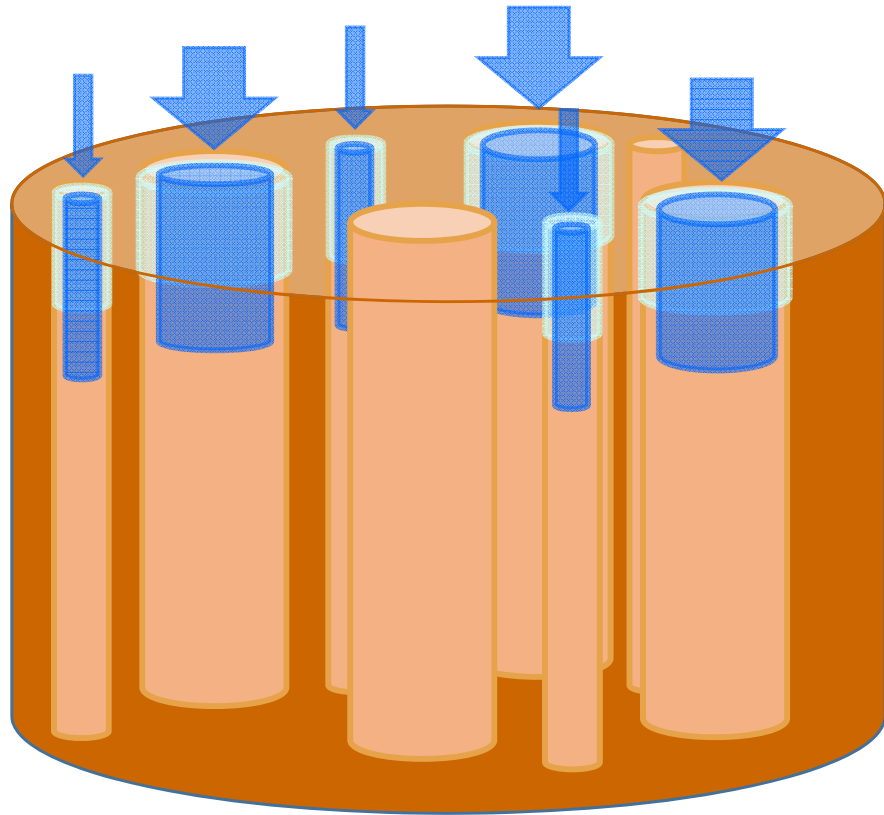
滴下速度が速い時



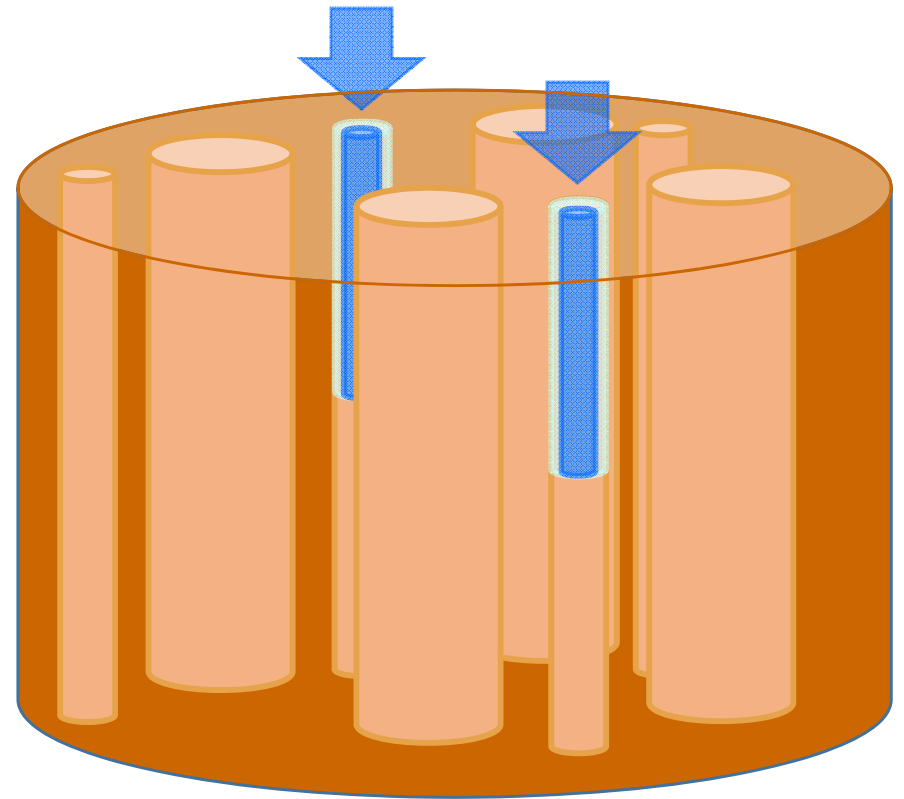
氷 → 小さな間隙や間隙間の凹み  
主な流路 → 大きな間隙 → 通水影響なし

# 凍土への水の浸潤機構

## 滴下速度が速い時



## 滴下速度が遅い時



大きな間隙  
小(通水に影響なし)

主な流路  
氷量の割合

小さな間隙  
大(通水に影響あり)

# まとめ

## 乾いた凍土の水分・熱の浸透機構

氷 ➡ 小さな間隙、間隙間の隙間  
滴下速度の大小に依らず一定

滴下速度が速い時

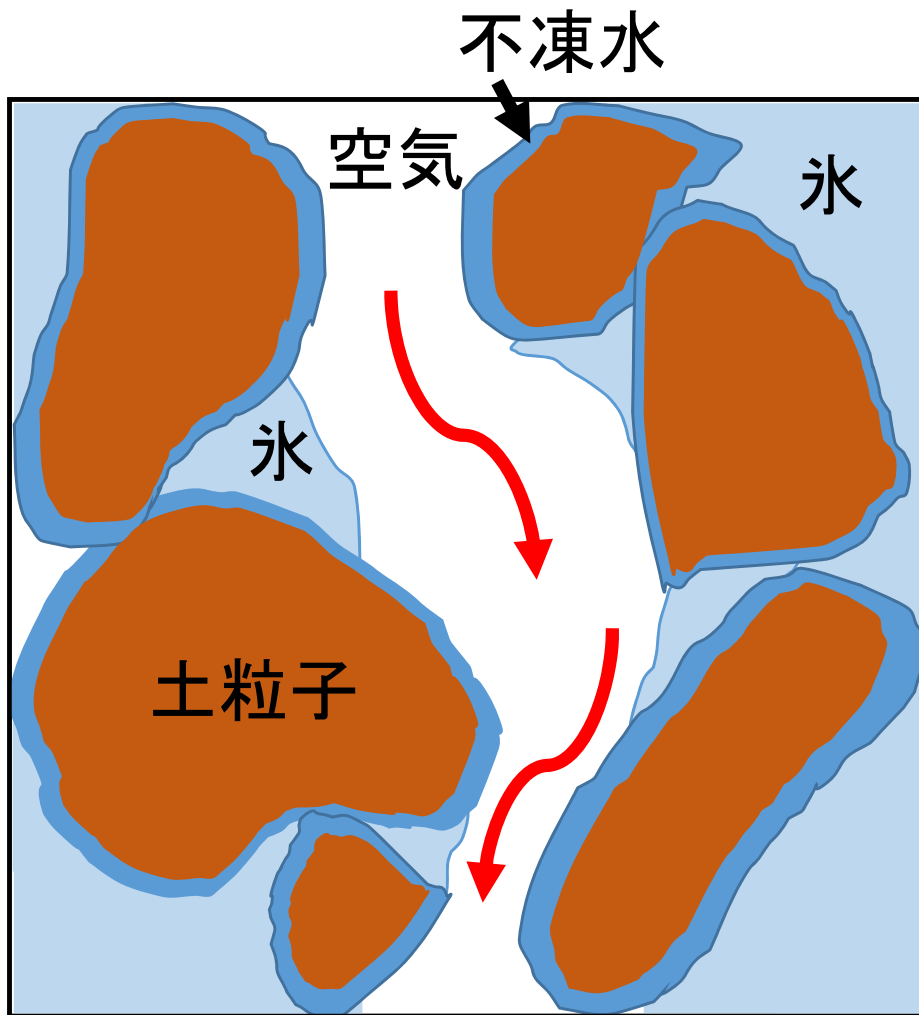
氷量/全水量=小  
未凍土と凍土の降下速度の差  
➡ 粘性の差による透水性の差

滴下速度が遅い時

粗間隙の脱水による全水量の低下  
氷量/全水量=大  
➡ 通水断面積の減少、浸潤速度の増加



おわりに



水の流入速度が変化しても生成される氷量はほとんど変化しない

水の流入速度が変化すると浸潤速度が変化するが、粘性の効果

凍土への浸潤において今回観測したような流入速度では、通水に与える氷量の影響はない

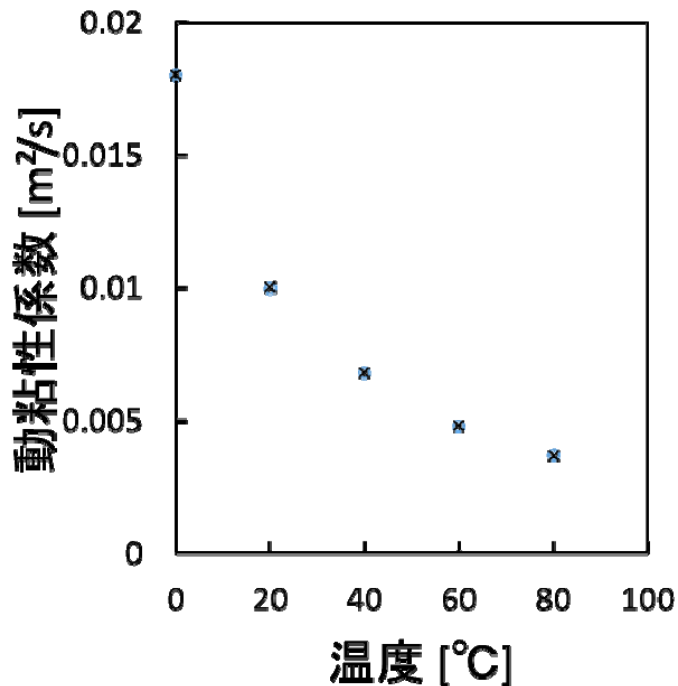
今後流入速度が小さい領域での検討が必要

$$k = \frac{\rho g}{\mu} k_0 = \frac{g}{\nu} k_0$$

$$\nu_{T_1} k_{T_1} = \nu_{T_2} k_{T_2} = g k_0$$

$$k_{T_1} = \frac{\nu_{T_2}}{\nu_{T_1}} k_{T_2}$$

$k$  [m<sup>2</sup>/s]:透水性係数  $k_0$  [m<sup>2</sup>]:固有透過係数  $\rho$ [kg/m<sup>3</sup>]:水の密度  
 $g$  [m/s<sup>2</sup>]:重力加速度  $\mu$  [Pa·s]:粘性係数  $\nu$  [m<sup>2</sup>/s]:動粘性係数  
 $T_1, T_2$  [°C]:任意の温度



$$T_1 = 0 \text{ [°C]}, \nu_{T_1} = 0.018 \text{ [cm}^2\text{/s]}$$

$$T_2 = 5 \text{ [°C]}, \nu_{T_2} = 0.01525 \text{ [cm}^2\text{/s]}$$



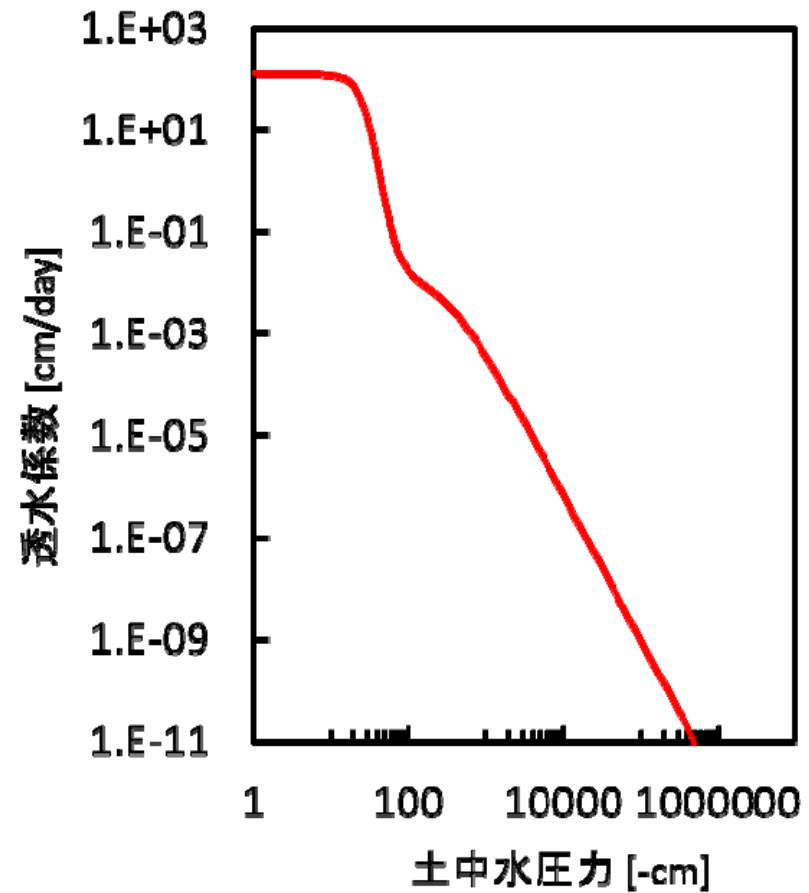
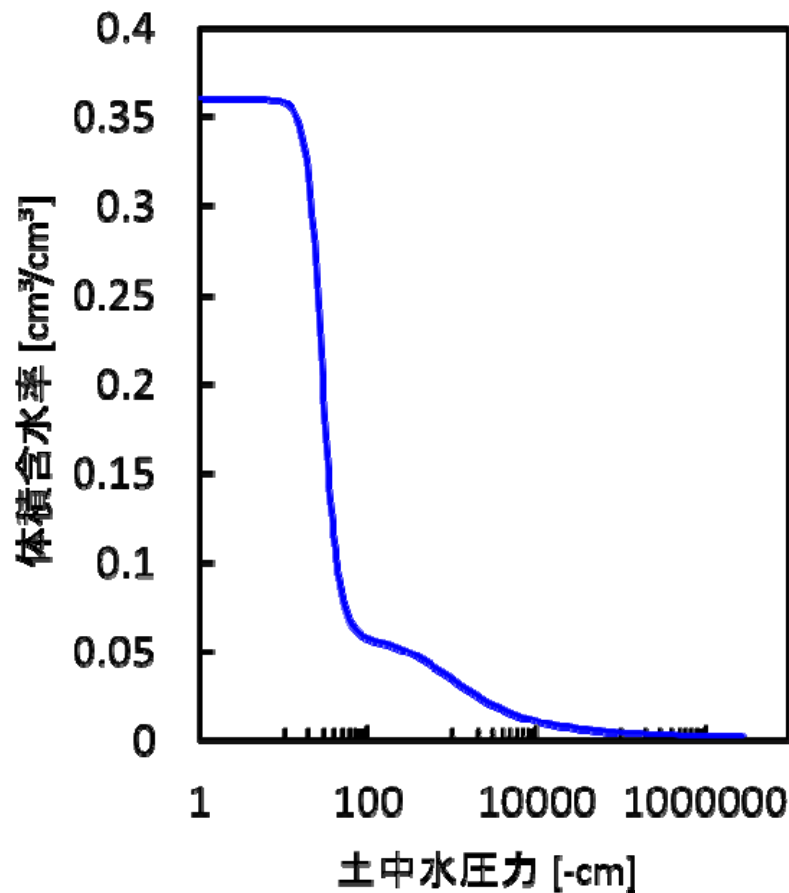
$$k_{T_1} = 0.84724034 k_{T_2}$$

圧力勾配が等しく、流路のサイズや抵抗が等しければ、  
 0°Cの浸潤は5°Cの浸潤に比べ、  
 水の粘性の効果で浸潤速度が0.85倍になる。

# 試料・実験方法

鳥取砂丘砂

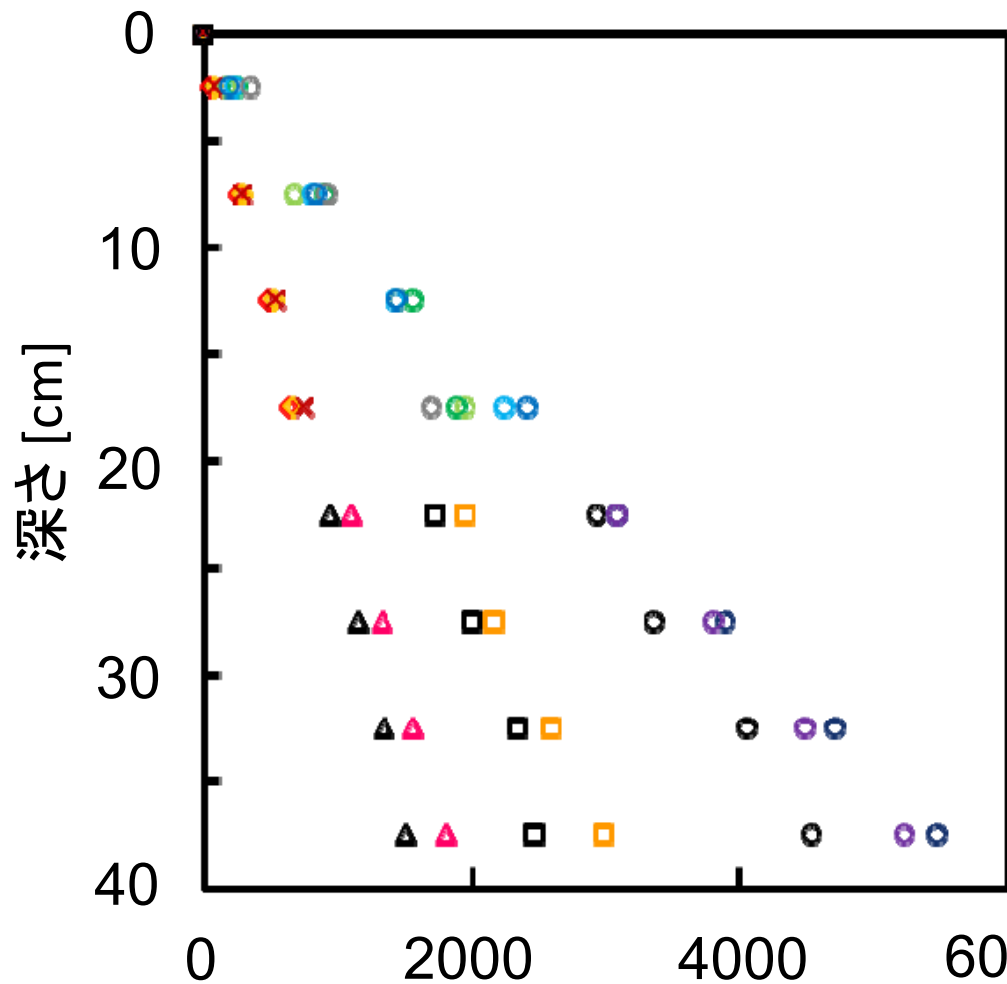
含水比  $w = 0.0035$  [g/g]



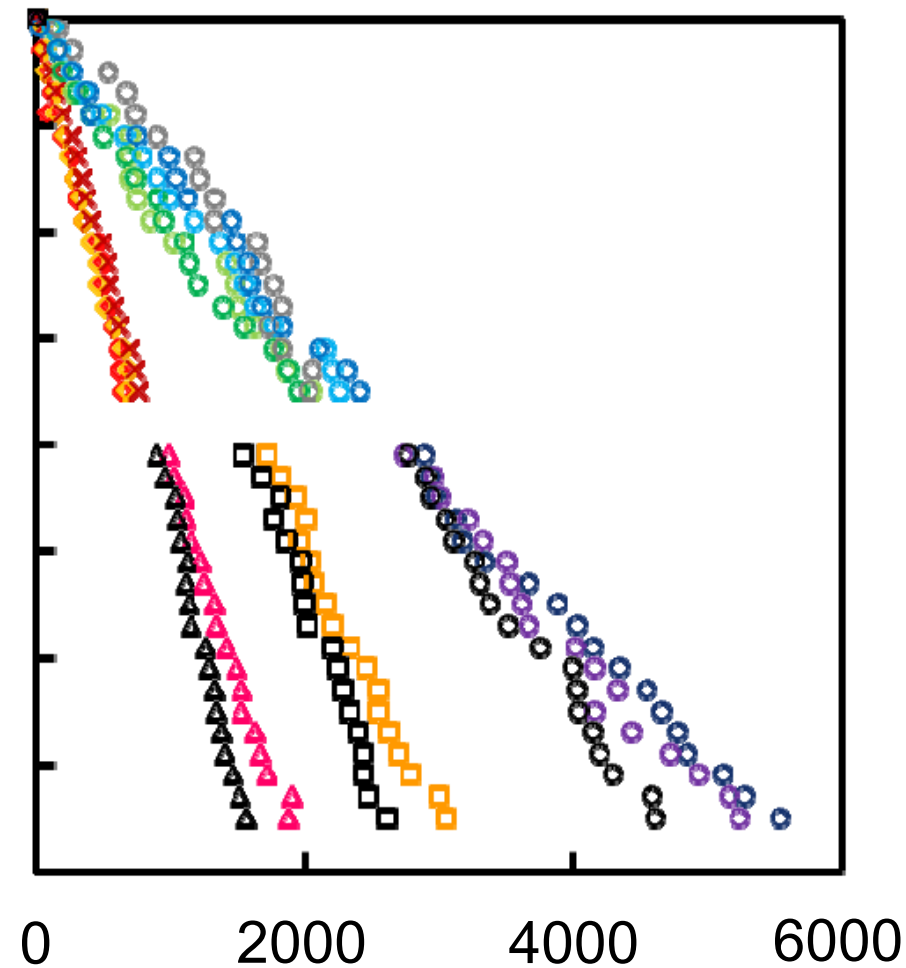
Durnerモデルによる水分特性曲線と不飽和透水係数

# 結果()

## 水分



## 熱

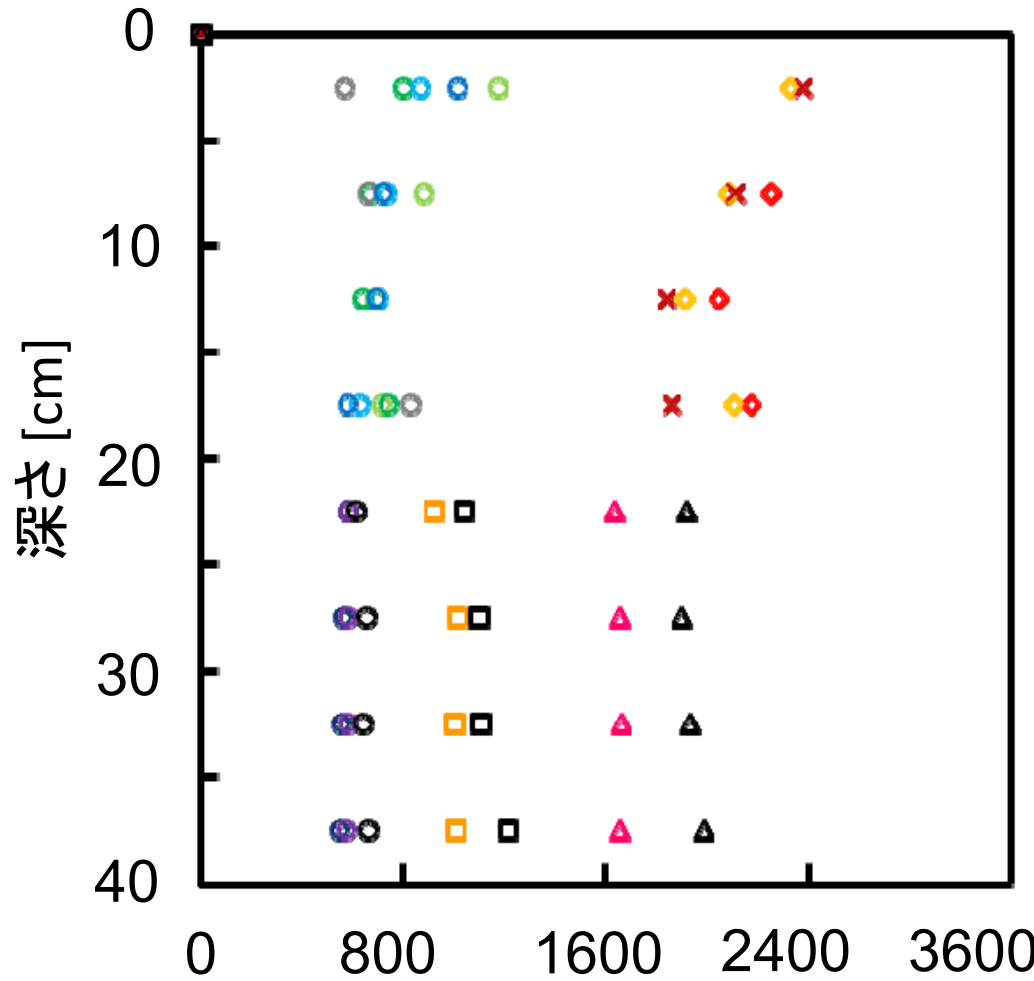


経過時間 [s]

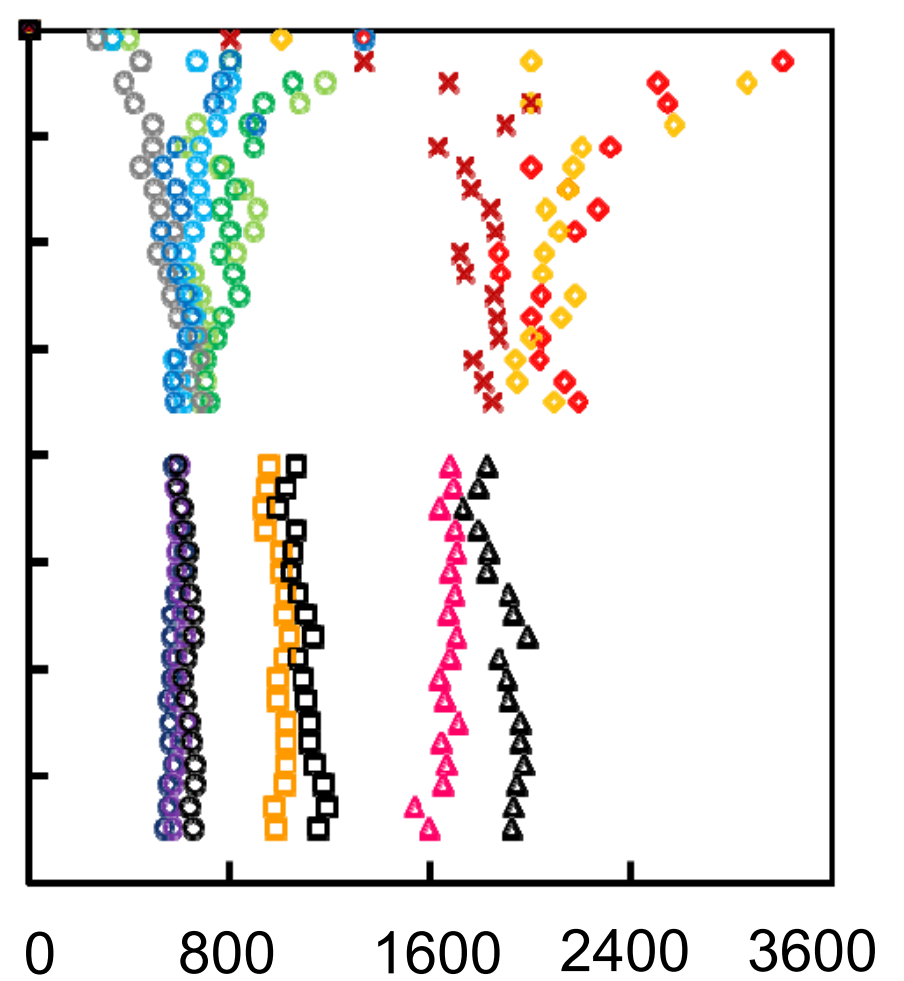
- ◇ 0.0089cm/sec\_-10
- ◇ 0.0089cm/sec\_-10
- ◇ 0.0018cm/sec\_-10
- ◇ 0.0089cm/sec\_-15
- ◇ 0.0018cm/sec\_-10
- 0.0018cm/sec\_-10
- 0.0018cm/sec\_17
- 0.0018cm/sec\_-10
- 0.0018cm/sec\_-10
- 0.0018cm/sec\_-10
- 0.0018cm/sec\_3
- 0.0035cm/sec\_-10
- △ 0.0071cm/sec\_-10
- 0.0035cm/sec\_3
- △ 0.0071cm/sec\_3

# 結果()

## 水分



## 熱



前線の移動速度 [cm/d]

- ◆ 0.0089cm/sec\_-10
- ◇ 0.0089cm/sec\_-10
- 0.0018cm/sec\_-10
- × 0.0089cm/sec\_-15
- 0.0018cm/sec\_-10
- 0.0018cm/sec\_-10
- 0.0018cm/sec\_17
- 0.0018cm/sec\_-10
- 0.0018cm/sec\_-10
- 0.0018cm/sec\_-10
- 0.0018cm/sec\_3
- 0.0035cm/sec\_-10
- ▲ 0.0071cm/sec\_-10
- 0.0035cm/sec\_3
- ▲ 0.0071cm/sec\_3