



二酸化炭素

# 気液混合CO<sub>2</sub>を冷媒に用いた 土の凍結過程における熱移動と凍上現象

— 従来法との比較 —

土壌圏システム学研究室

522339 鷺見怜香

はじめに

## 地盤凍結工法

地盤改良工法  
凍土の強度と遮水性

凍結管

## 冷媒「ブライン」

- ・ 大型の冷凍機やポンプ
- ・ 配管中で温度上昇

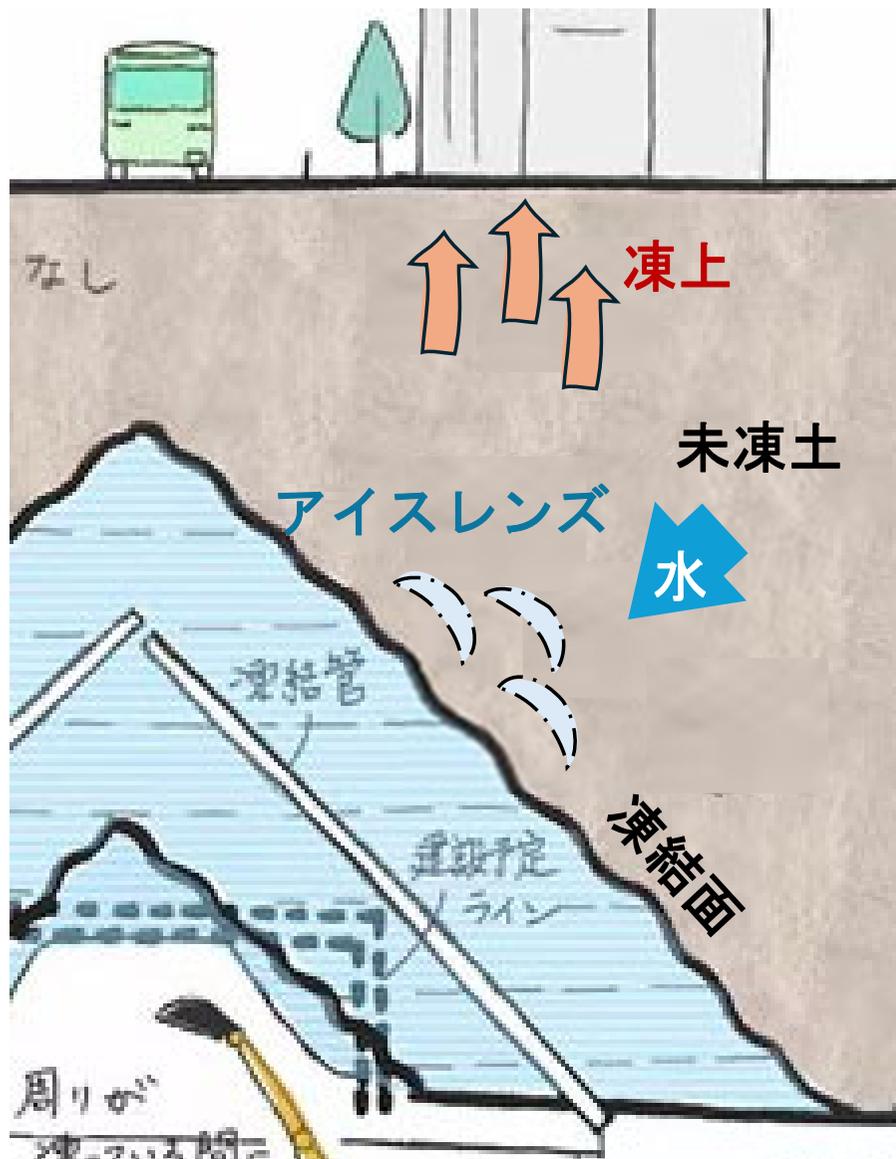
## 新冷媒「気液混合CO<sub>2</sub>」

- ・ 気液相変化 ▶ 小型冷凍機やポンプ
- ・ 圧力で温度制御 ▶ 配管中で温度一定

疑問① 冷媒の違いで土の凍り方が違う？



はじめに



凍上対策には予測が大事！

高志の式（凍上予測モデル）

$$V = B_1 U + B_2 \sqrt{U} + B_3$$

凍上速度      凍結速度

疑問②

冷媒を気液混合CO<sub>2</sub>にしても  
凍上予測モデルは使えるの？

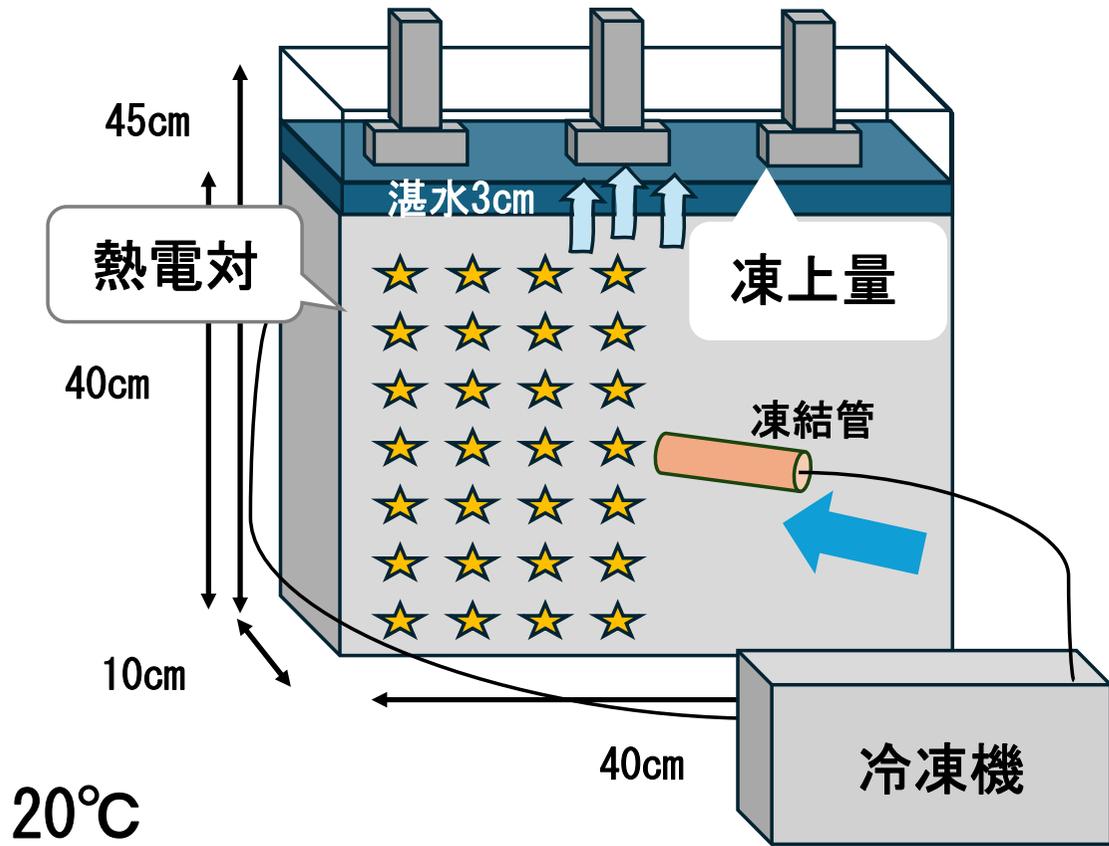


## 本研究の目的

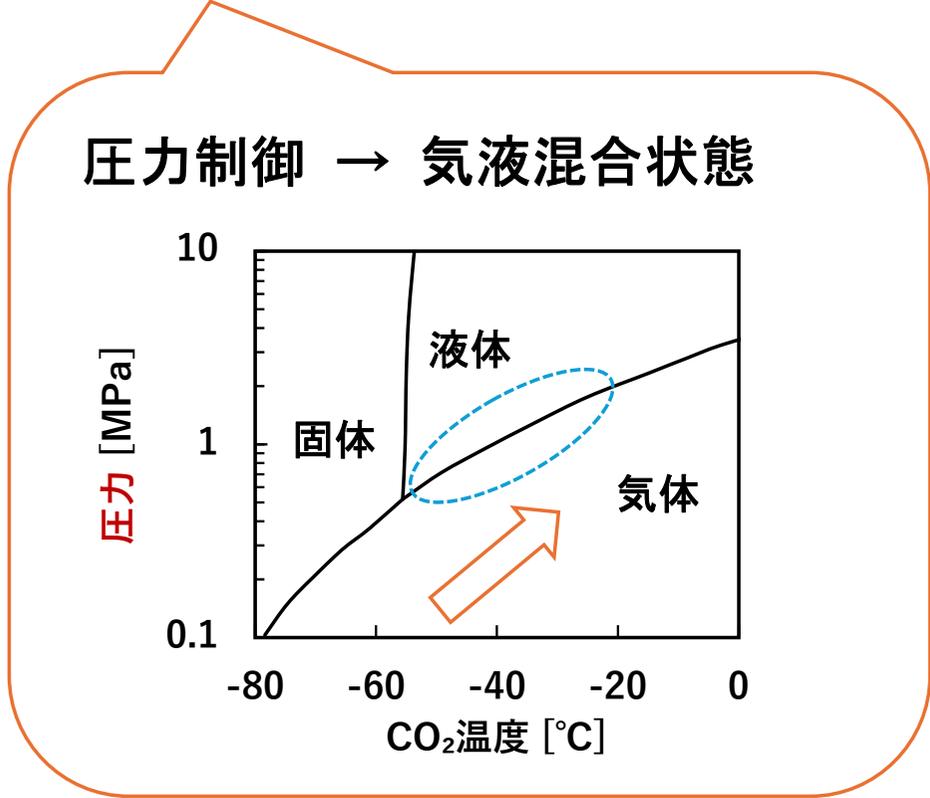
- ① 異なる冷媒(ブライン/気液混合CO<sub>2</sub>)  
で土を凍結したときの比較
  - ・凍結とアイスレンズの様子
  - ・凍上過程
  
- ② 気液混合CO<sub>2</sub>冷媒での凍結時に  
凍上予測モデルが使えるか

# 試料と方法

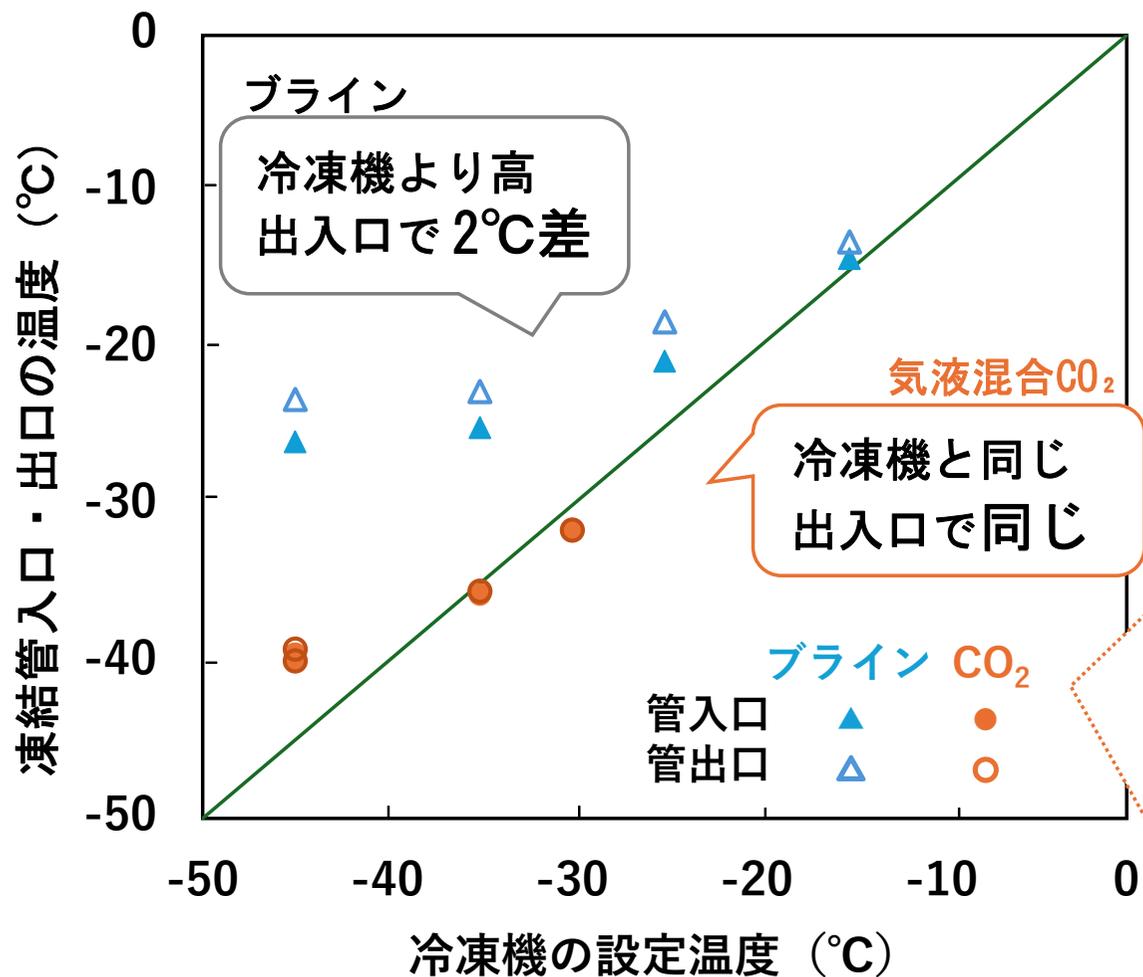
**蛙目粘土**  
含水比：約 45 %    乾燥密度： 1.25 g/cm<sup>3</sup>



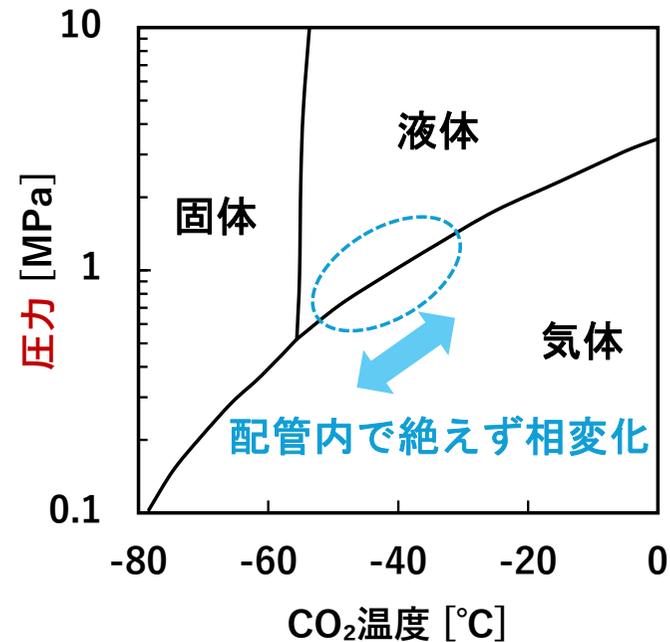
冷媒	設定温度
ブライン	: -15°C ~ -45°C
CO <sub>2</sub>	: -35°C ~ -45°C



# ① 比較：冷媒の温度上昇



## 気液混合CO<sub>2</sub>

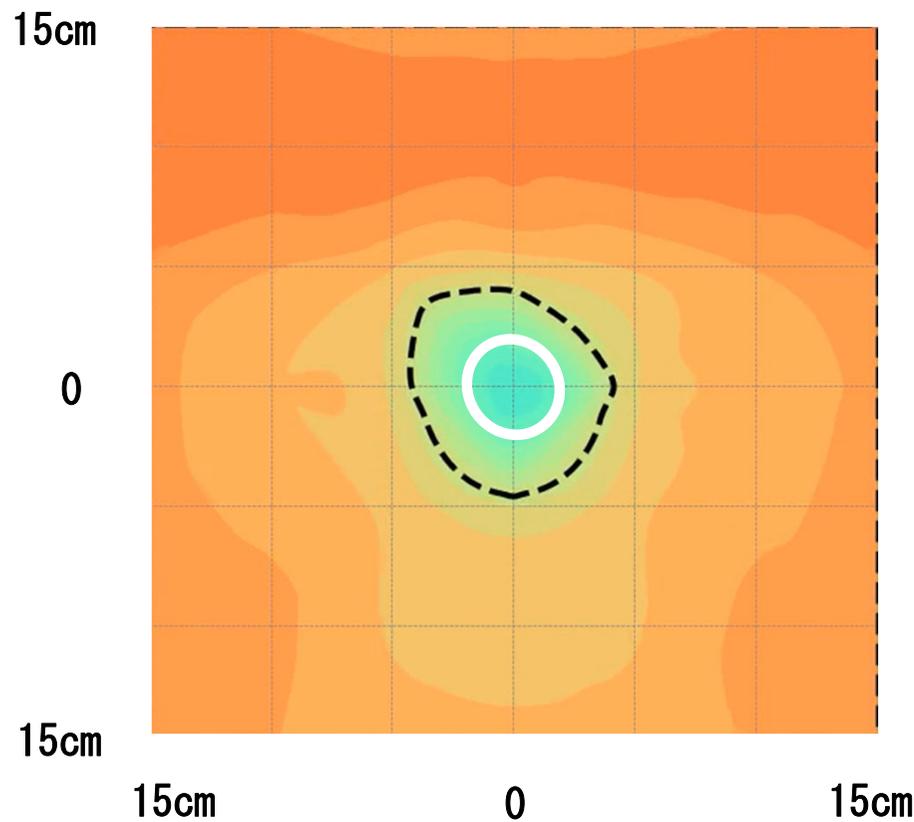


流入した熱を**気化熱**が...

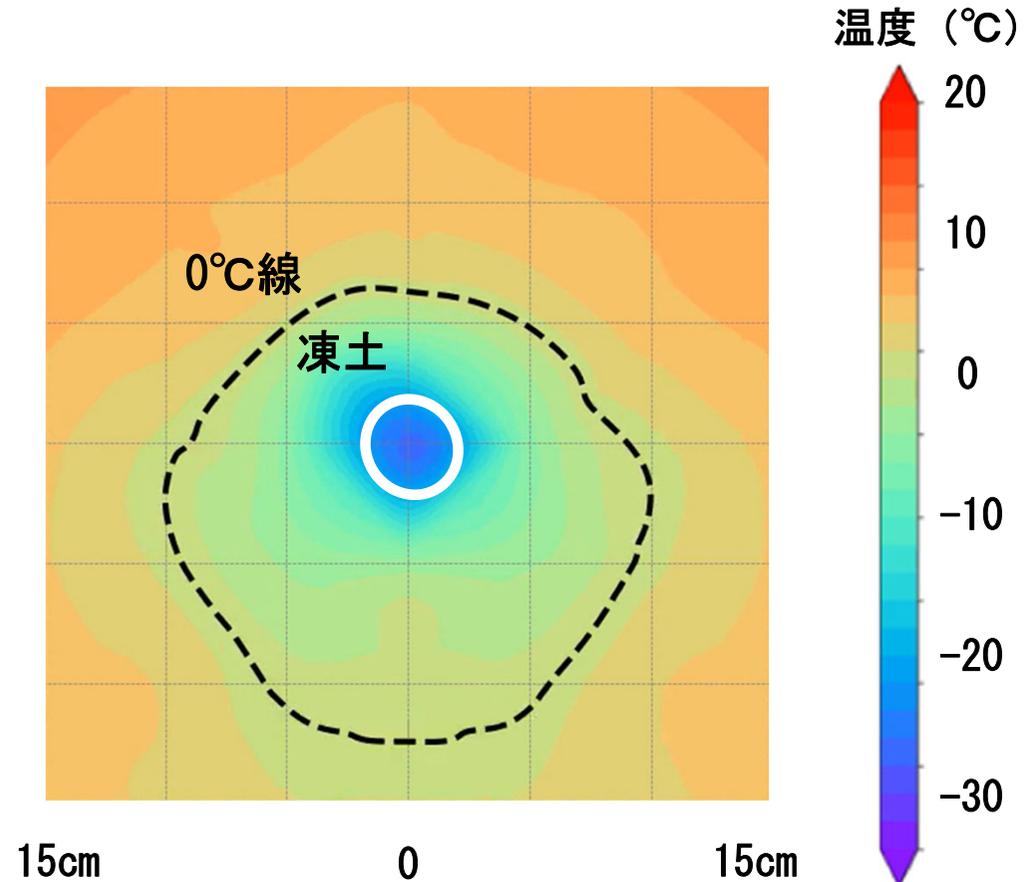


温度上昇が抑えられる！

① 比較：温度の広がり（48時間後）

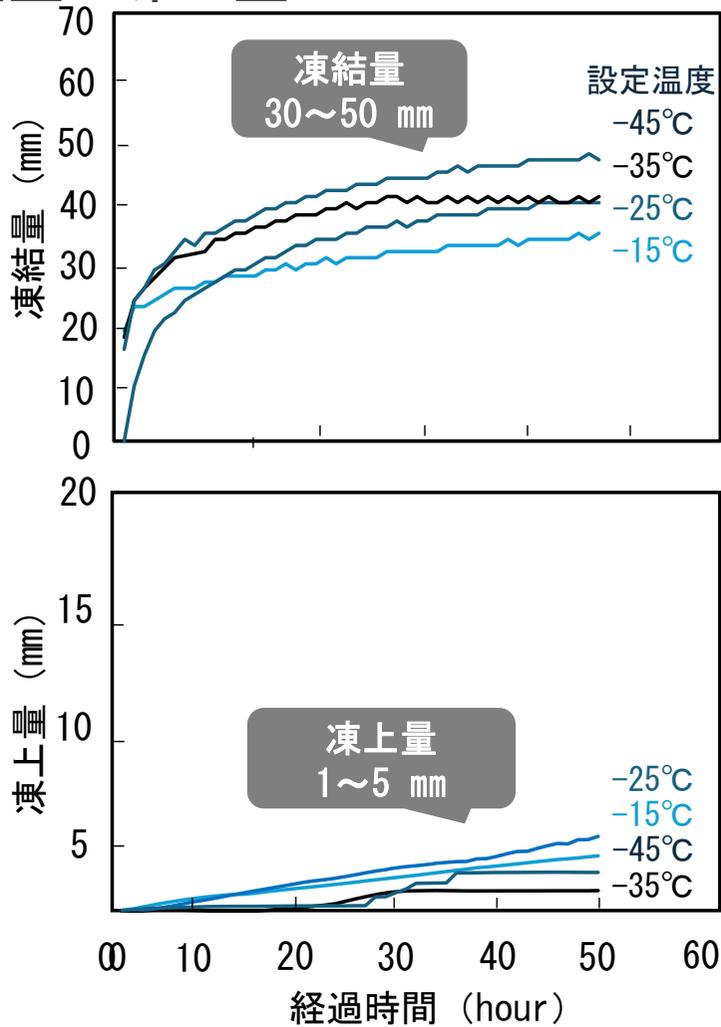


ブライン（従来法）

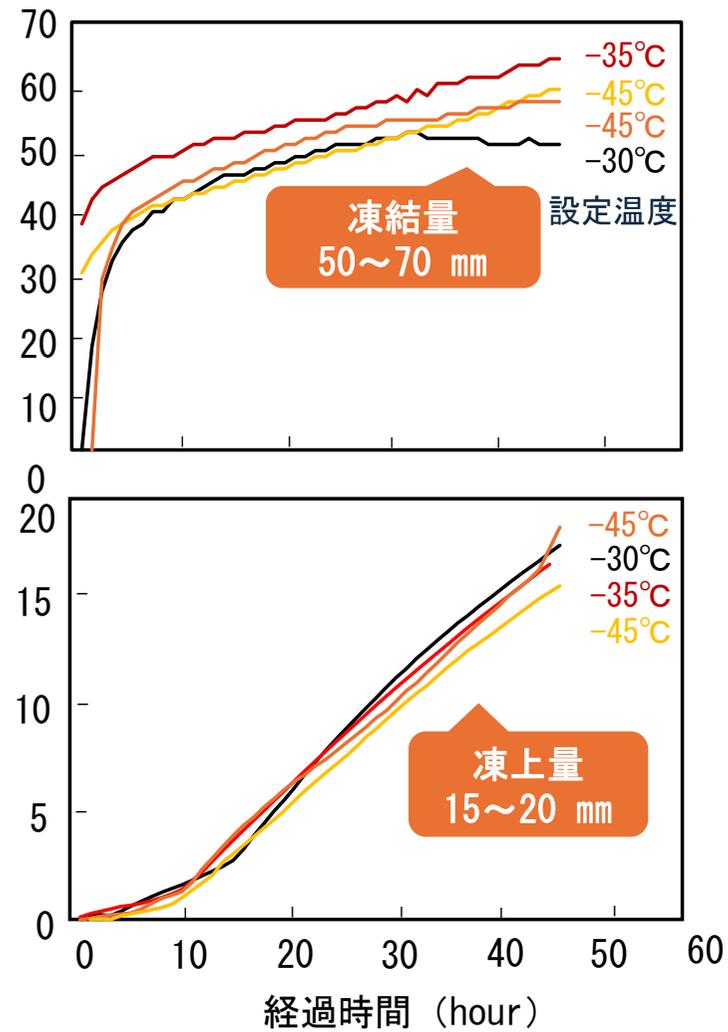


気液混合CO<sub>2</sub>（新工法）

① 比較：凍結量・凍上量



ブライン (従来法)



気液混合CO<sub>2</sub> (新工法)

# ① 比較：アイスレンズ



小さい&少量

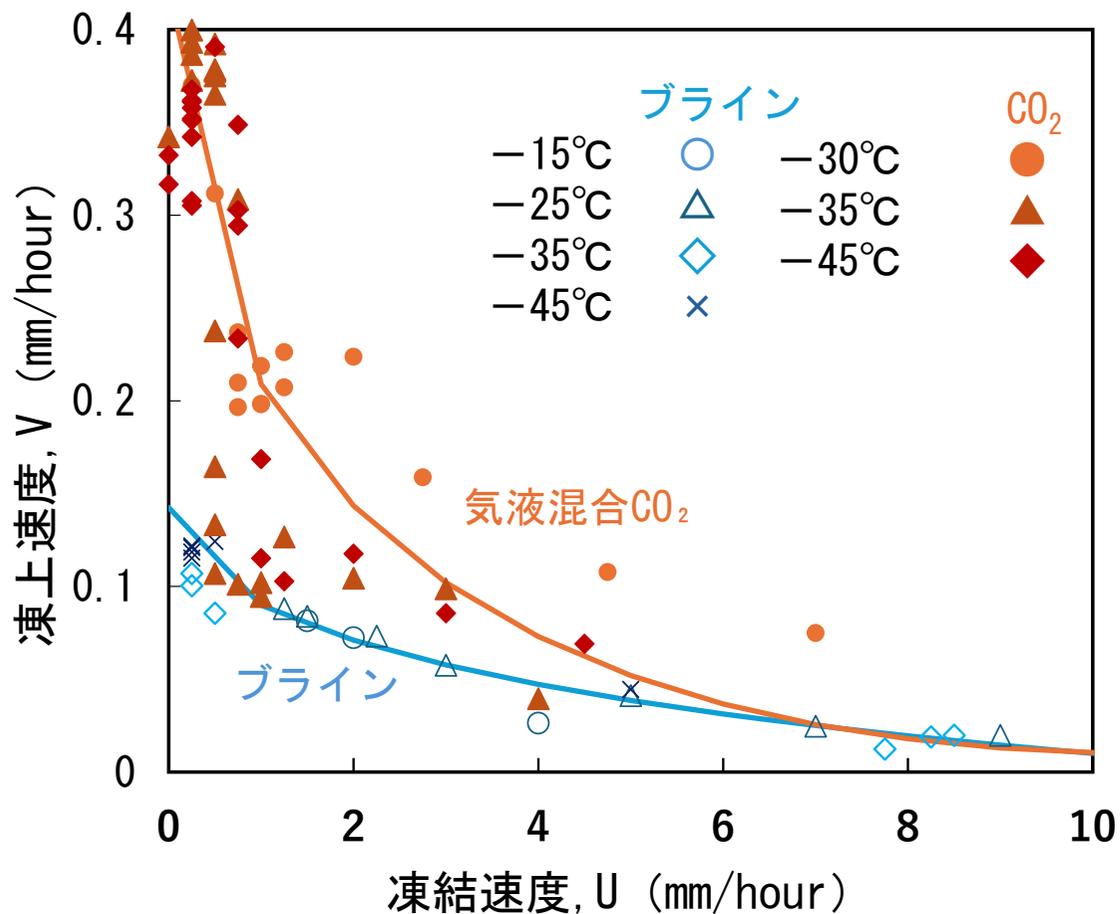
ブライン (従来法)



大きい&大量

気液混合CO<sub>2</sub> (新工法)

## ② 凍上予測モデルへの適合



凍上予測モデル（高志の式）

$$V = B_1 U + B_2 \sqrt{U} + B_3$$

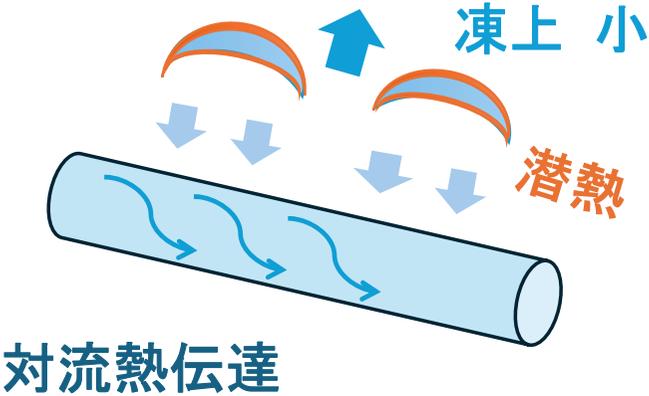
凍上速度 凍結速度

	ブライン	気液混合CO <sub>2</sub>
$B_1$	0.50	3.80
$B_2$	0.58	2.50
$B_3$	0.14	0.42

適合可能！（でも..異なるパラメータ必要）

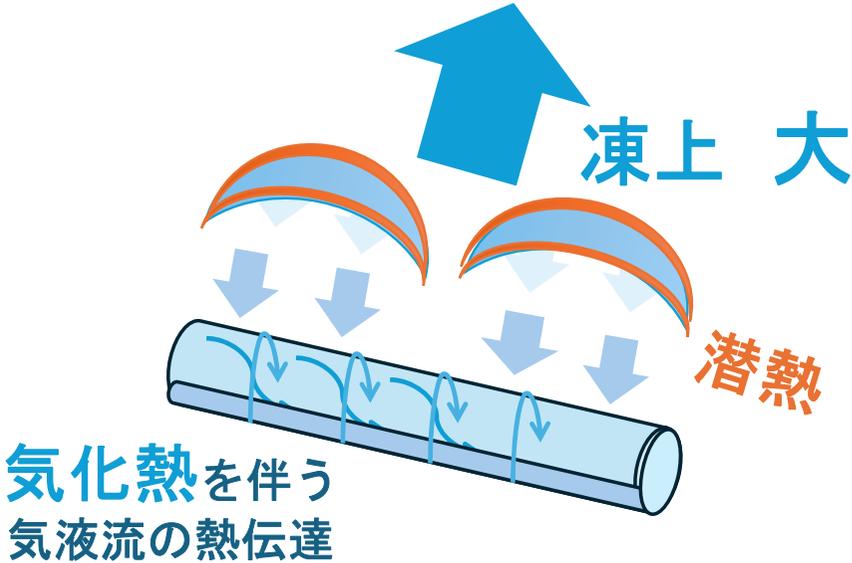
# 考察：凍上速度の差の原因

## ブライン凍結



熱を奪う力が弱い  
アイスレンズが成長しない  
→ 凍上速度 小さくなる

## 気液混合CO<sub>2</sub>凍結



熱を効率的に奪う  
アイスレンズが成長する  
→ 凍上速度 大きくなる

おわりに

## 気液混合CO<sub>2</sub>（新工法）と ブライン凍結（従来法）の比較

### ① 冷え方と凍上量

気液混合CO<sub>2</sub>の方が効率的に熱を奪うため、よく冷えて凍結量やアイスレンズも大きくなる

### ② 凍上モデル

気液混合CO<sub>2</sub>冷媒もモデル式で適合できるが、凍上速度が大きいため別のパラメータが必要