

# ポスター発表「多孔質氷の流動則に関する実験的研究」

神戸大学 修士1年 矢部 みなみ

## 実験結果と考察

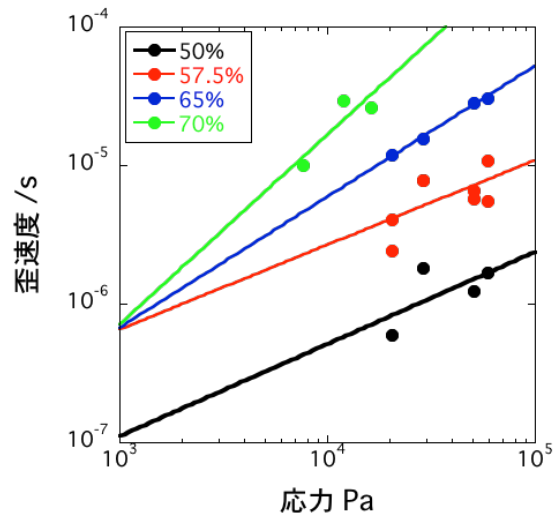
多孔質氷のクリープ実験では、実験開始直後に最も大きく変形し、その後徐々に緩やかに変形することがわかった。さらに、歪み速度は減少し続けるが、最終的に収束しなかった。これは、圧縮とともに圧密が起こっており、空隙率が減少して変形しにくくなっているためだと考えられる。ここで、流動則とは歪速度と応力の関係の経験則のことを示し、以下のような式で表される。

$$\dot{\epsilon} = B\sigma^n$$

$\dot{\epsilon}$ は歪速度 ( $s^{-1}$ )、 $\sigma$ は応力 (Pa)、 $B$  ( $s^{-1}(Pa)^{-n}$ )、 $n$ はそれぞれ実験によって得られる定数である。本研究では歪み速度が一定にならなかったため、歪 0.12 の時の歪速度を用いて流動則へ応用した。

### 1. 初期空隙率依存性

各初期空隙率での歪み速度と応力の関係を調べた。



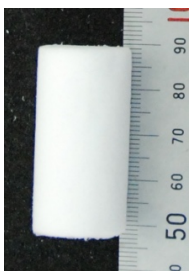
各初期空隙率での歪速度と応力の関係 (-10 °C) 各線は、4 種類の応力において求めた歪速度をそれぞれの初期空隙率ごとに累乗近似したものである。初期空隙率の増加とともに、歪速度は増加した。また、初期空隙率の増加とともに流動則の定数の  $B$  は減少し、 $n$  は増加した。

## はじめに

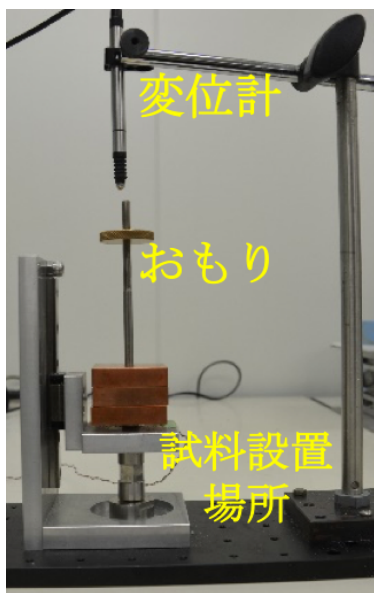
原始太陽系には雪線があり、その内側には岩石天体、外側には氷天体が形成された。氷天体は空隙率が高く、活発な地質活動を示す地形を持つことがわかっている。例えば、同じ直径のクレーターでも氷天体に形成されたクレーターは、岩石天体上のものと比べて浅くなっている。これは、岩石と比べて氷が容易に変形するからである。本研究では、このような氷天体特有の地形を理解するために、氷のクリープ試験を行い、氷の流動則と空隙率への依存性を調べた。

## 実験方法

円柱 (高さ×直径 40 mm×20 mm) に成型した多孔質氷のクリープ実験を行い、その変位をデジタル変位センサ計を用いて調べた。多孔質氷の初期空隙率は、50, 55, 60, 65, 70%とし、クリープ実験の応力範囲は 0.8 ~59 kPa とした。また、クリープ実験は-10°Cの低温室、または-20°Cの冷凍庫で行った。



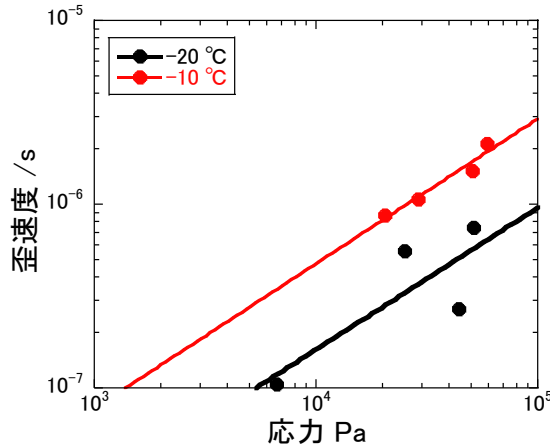
氷試料



クリープ装置

## 2. 温度依存性

本研究では、 $-10\text{ }^{\circ}\text{C}$ と $-20\text{ }^{\circ}\text{C}$ の環境においてクリープ実験を行った。以下のグラフは空隙率50%、応力50 kPaでの、それぞれの温度でのクリープ実験の結果である。



各温度における歪速度と応力の関係  
(空隙率 50%, 応力 50kPa)

このグラフより、温度の上昇とともに歪速度が増加することがわかった。温度の上昇とともにBは増加したが、nは温度に関わらずほぼ一定であることが予想される。

## 3. 活性化エネルギーQ

先行研究により、流動則に対する温度依存性は以下の式のように表されることが分かっている。

$$\dot{\epsilon} = B\sigma^n = B' \exp\left(-\frac{Q}{RT}\right) \cdot \sigma^n$$

$\dot{\epsilon}$ が歪速度 ( $\text{s}^{-1}$ )、 $\sigma$ が応力 (Pa)、 $Q$ が活性化エネルギー ( $\text{J mol}^{-1} \text{K}^{-1}$ )、 $R$ が気体定数 ( $8.314 \text{ J mol}^{-1} \text{K}^{-1}$ )、 $T$ が温度 (K)、 $B'$ とnが定数である。定数Bは活性化エネルギー $Q$ や温度 $T$ を用いてアレニウス型の式で記述でき、温度依存性をもつ。この式より定数 $B'$ と活性化エネルギー $Q$ を求めた。その結果、活性化エネルギーは平均で  $58.9 \text{ kJ mol}^{-1}$  となり、応力の増加とともに定数 $B'$ も増加することがわかった。本研究で求めた活性化エネルギーは先行研究で得られたものよりも小さく、これは本研究で用いた

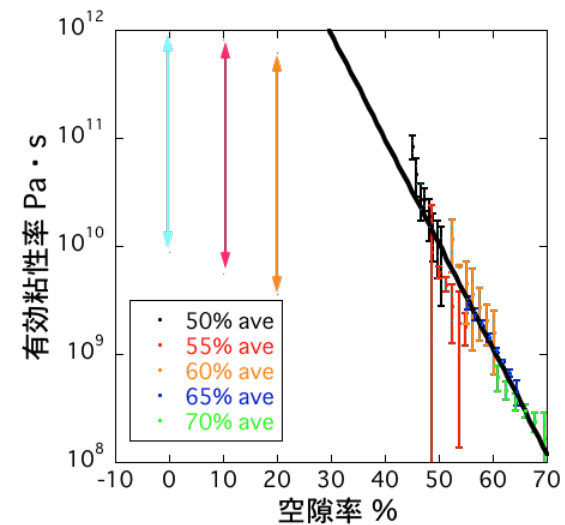
氷が先行研究よりも高い初期空隙率を持つことによる可能性がある。

## 4. 流動則への応用

ここで、有効粘性率 $\eta_{eff}$ を導入する。有効粘性率は、以下の式で表される。また、流動則の定数 $B$ と $n$ を用いて以下のように表される。

$$\sigma = \eta_{eff} \cdot \dot{\epsilon}, \quad \eta_{eff} = B^{\frac{1}{n}} \cdot \dot{\epsilon}^{\frac{1}{n}-1}$$

それぞれのひずみでの $B$ ,  $n$ ,  $\dot{\epsilon}$ より $\eta_{eff}$ を求め、初期空隙率と有効粘性率の関係を調べた。



初期空隙率 50~70%の $\eta_{eff}$ を近似すると有効粘性率と空隙率の関係は以下の式で表され、初期空隙率に関わらず空隙率に依存した。

$$\eta_{eff} = 7.44 \times 10^{14} \cdot \exp(-0.22\phi)$$

これを空隙率・温度依存性の流動則への応用すると、以下のようになる。

$$\eta_{eff} = B^{\frac{1}{n}} \cdot \dot{\epsilon}^{\frac{1}{n}-1} = \eta_0 \exp(-\beta\phi)$$

$$\therefore B = \eta_0^{-n} \exp(n\beta\phi) \dot{\epsilon}^{1-n}$$

また、温度依存性より

$$B = B' \exp\left(-\frac{Q}{RT}\right)$$

$$\dot{\epsilon} = \eta_0^{-n} \exp(n\beta\phi) B' \exp\left(-\frac{Q}{RT}\right) \dot{\epsilon}^{1-n} \sigma^n$$

つまり流動則は以下のように表せられた。

$$\dot{\epsilon} = C' \exp\left(-\frac{Q}{nRT}\right) \exp(\beta\phi) \sigma, \quad (C' = B^{\frac{1}{n}} \cdot \eta_0^{-1})$$