

A photograph of a person in a blue jacket holding a measuring tape against a snow-covered mountain slope. The measuring tape is vertical and shows numbers from 1 to 12. The background is a vast, snow-covered mountain range under a cloudy sky.

# 融雪型火山泥流の発生機構に関する研究- 火山噴出物の積雪層への貫入を想定した検討

三重大学大学院 資源循環学専攻・森林資源環境学  
○中里友輔 堤大三

# 融雪型火山泥流

噴火によって高温の火山噴出物が雪を溶かし発生する災害

## □ 過去の事例

### ◆ Nevado del Ruiz (Colombia): 1985/11/13

- 山頂付近の積氷が融け大規模な泥流が発生
- 45km離れた町で2.5万人の死者・行方不明者

### ◆ 十勝岳 (日本): 1926/5/24

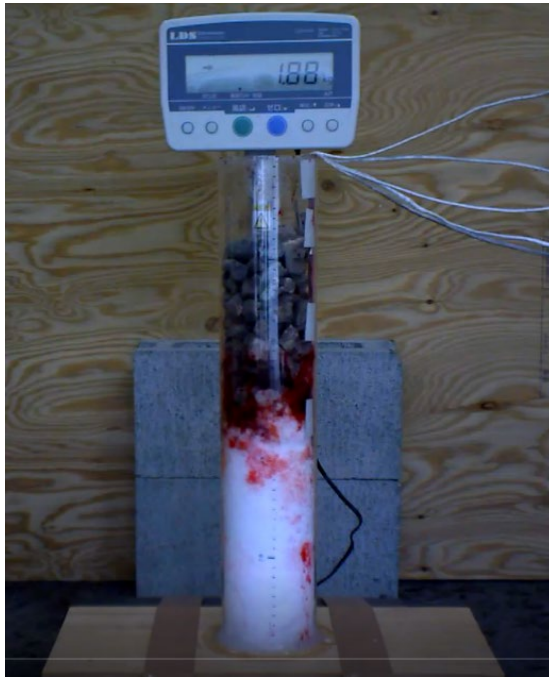
- 残雪を溶かし25分で富良野市街地まで流下
- 死者・行方不明者144人



# 既往の研究（融雪実験）

□ 村重ら(2015)

◆ 土砂を静置する条件



村重ら (2015)より

□ 本居ら(2019),中里ら(2022)

◆ 土砂と積雪が混合する条件



中里ら (2022)より

# 既往の研究 (融雪実験)

◆ 静置

$D = 12 \text{ mm}$



◆ 混合

$D = 12 \text{ mm}$



◆ 混合

$D = 24 \text{ mm}$

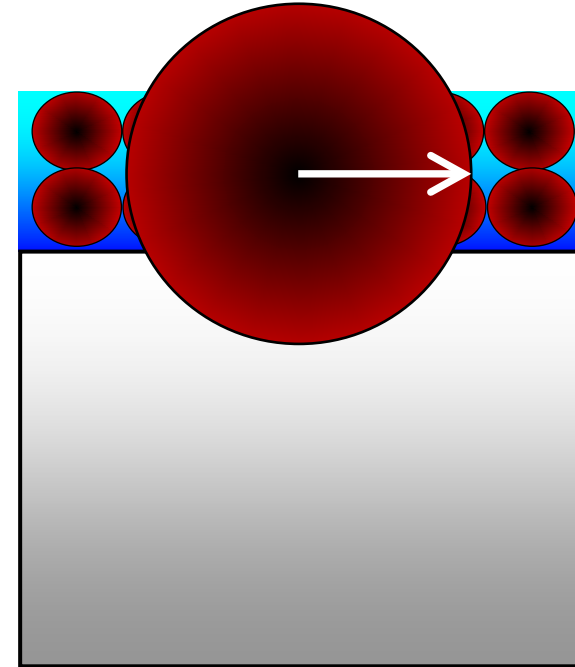
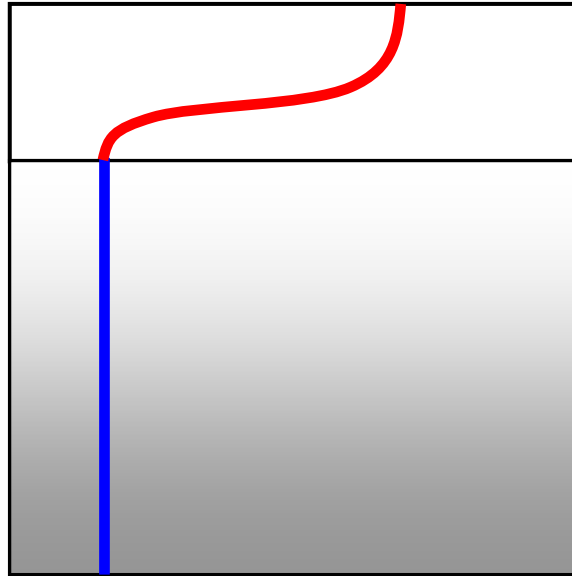
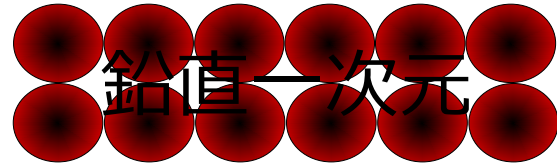


◆ 混合

$D = 48 \text{ mm}$



# 既往の研究（解析手法）



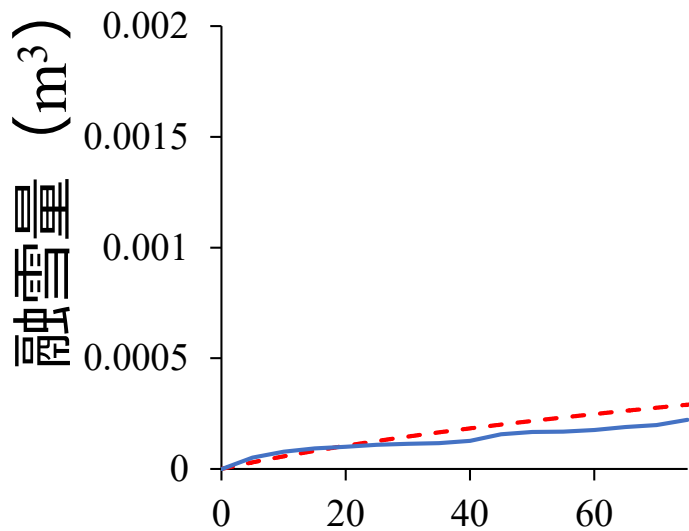
# 既往の研究 (実験・解析)

青：実験値

赤：解析値

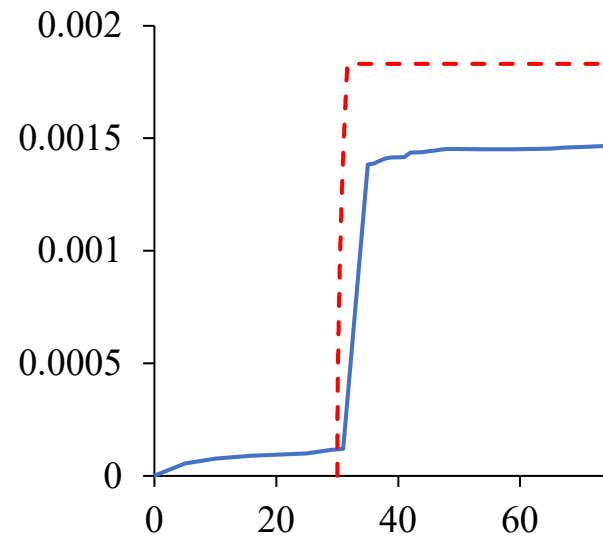
◆ 静置

$D = 12$  mm



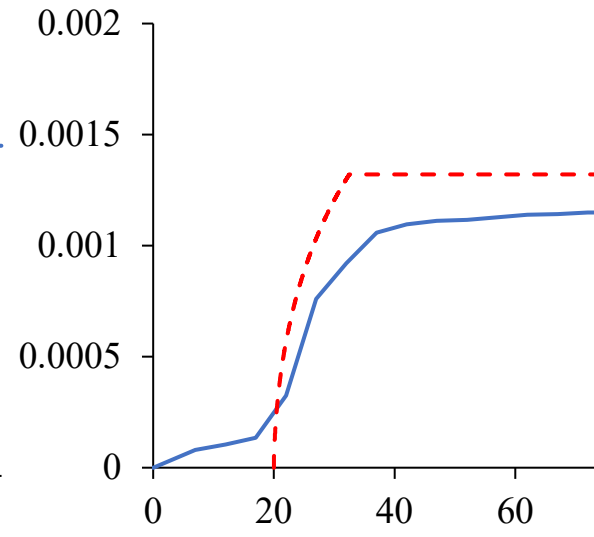
◆ 混合

$D = 12$  mm



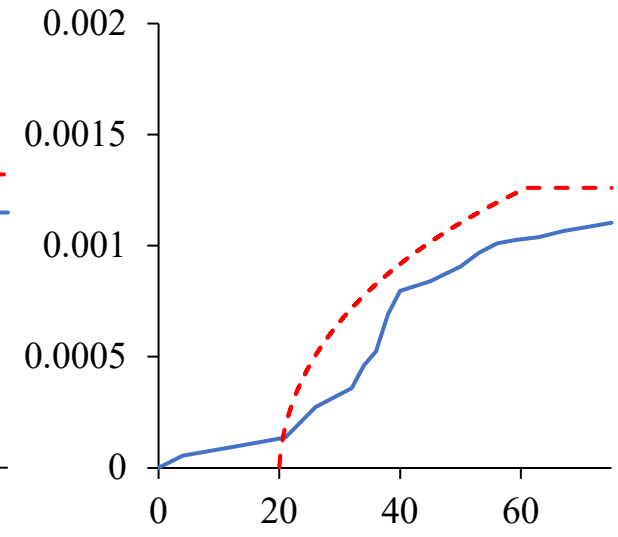
◆ 混合

$D = 24$  mm



◆ 混合

$D = 48$  mm



時間 (s)

# 想定される現象

落下する礫の冷却効果

積雪層への貫入

積雪への熱移動・融雪

# 積雪層への貫入実験

	Date	Site	Average snow density[kg/m <sup>3</sup> ]
Group 1	2022/2/15	岩手県花巻市	238
Group 2	2022/2/17	岩手県西和賀町	114
Group 3	2022/2/18	岩手県花巻市	180
Group 4	2022/3/3	岐阜県高山市	220

花巻市



西和賀町



高山市





# 積雪層への貫入実験



軽石

密度 :  $800 \text{ kg/m}^3$



安山岩

密度 :  $2300 \text{ kg/m}^3$

# 積雪層への貫入実験 ー実験の様子

## 1. 礫の投げ上げ



## 2. 貫入深さの計測



## 3. 積雪密度の計測



### □ 測定項目

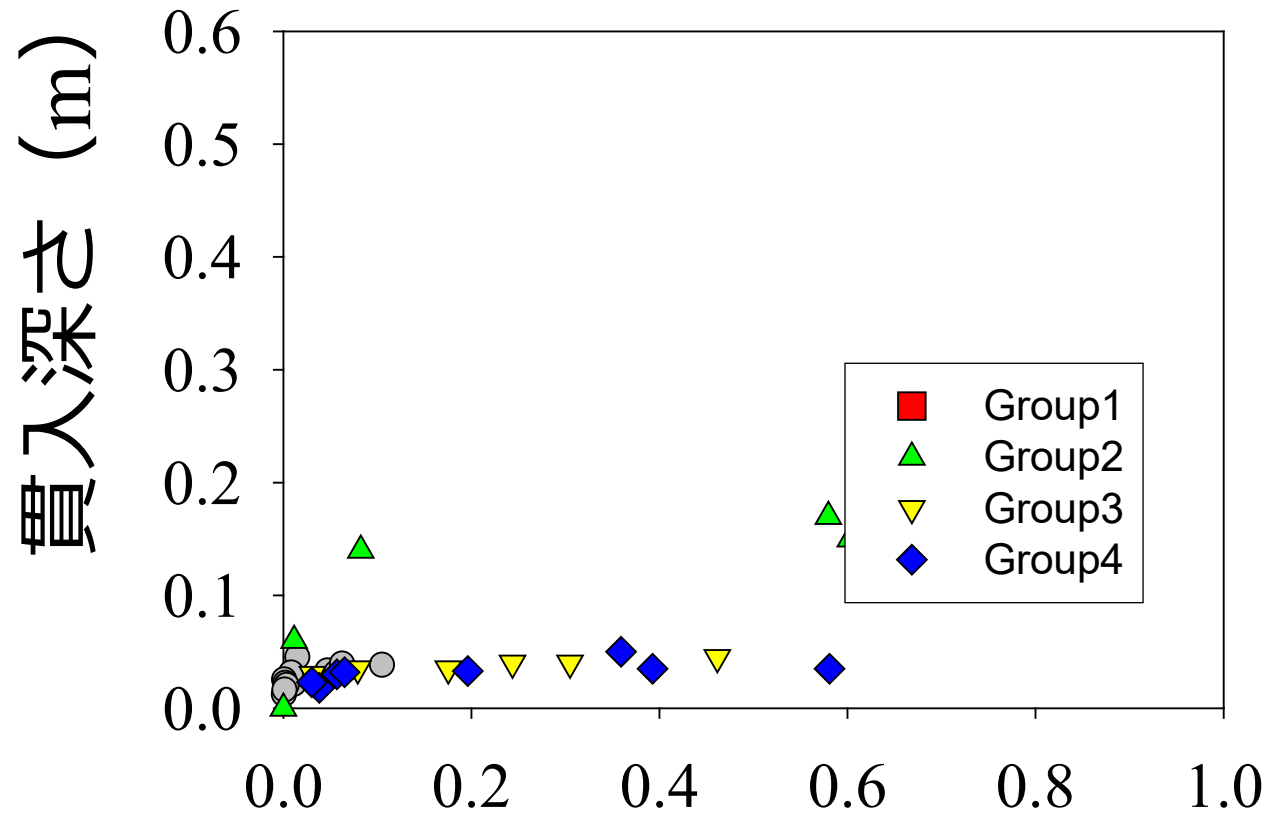
- 礫重量
- 落下時間（落下速度）

- 積雪層への貫入深さ

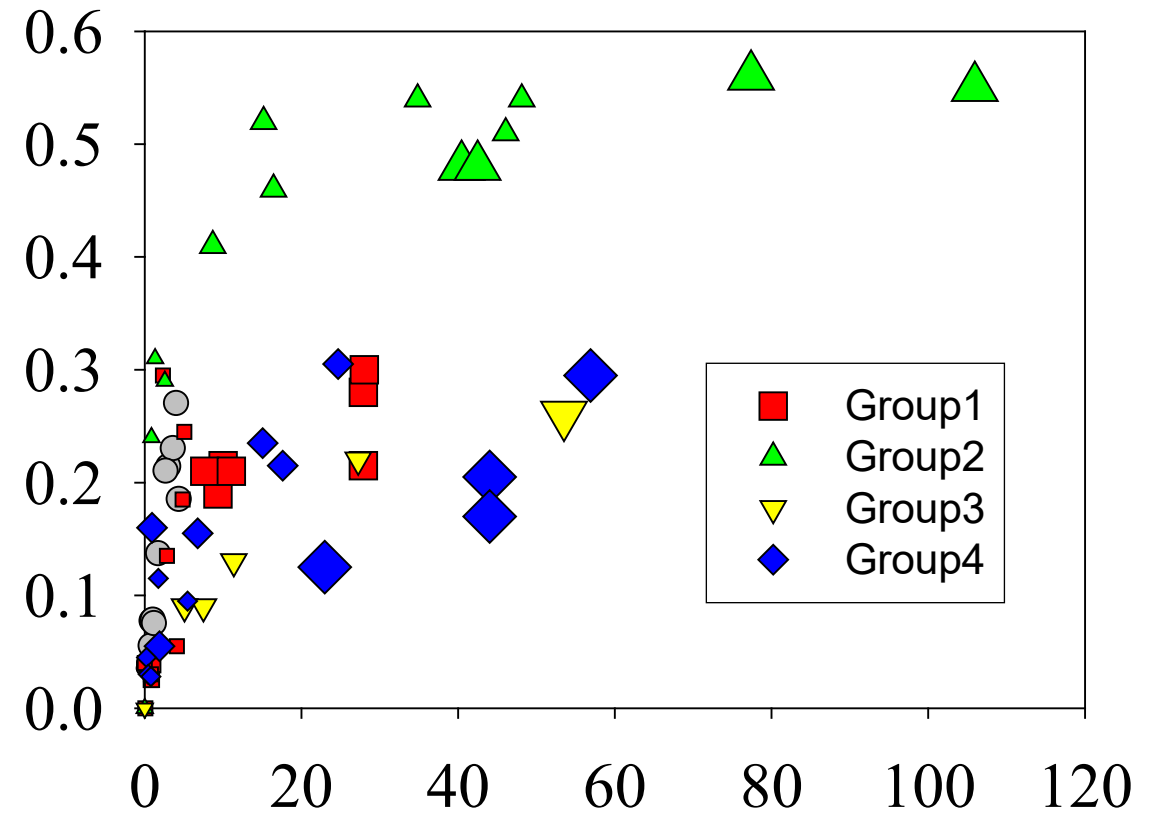
- 表層から10 cmごとの積雪密度

# 積雪層への貫入実験 ー結果

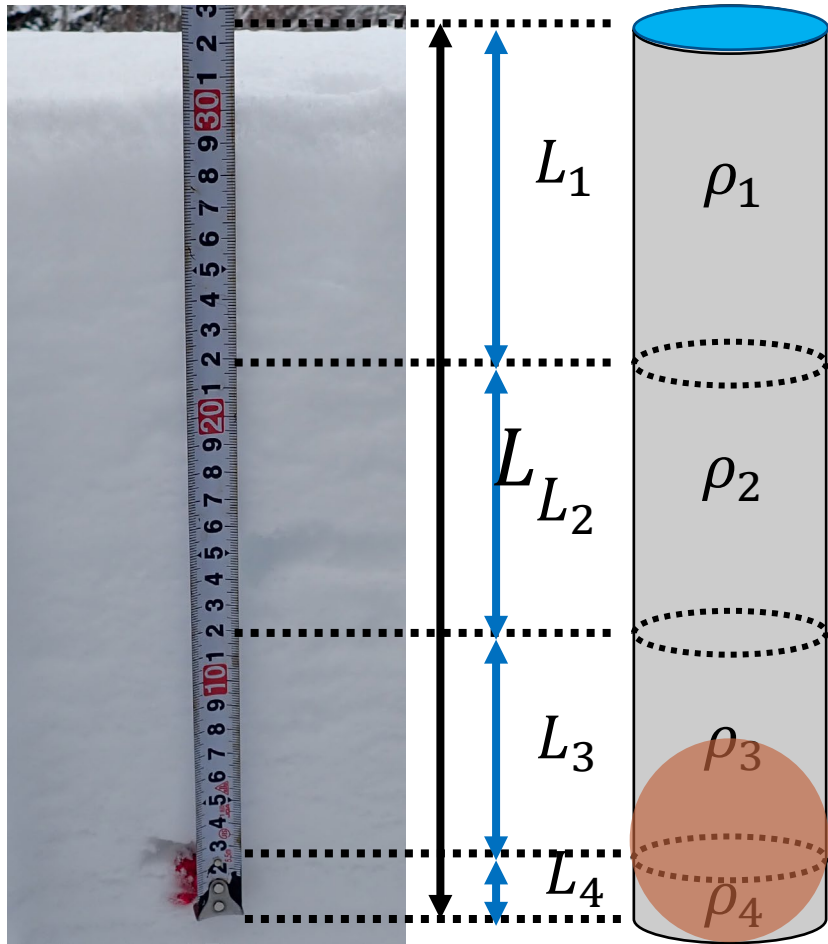
## 軽石



## 安山岩



# 積雪層への貫入実験 – 解析手法



貫入した礫の様子・模式図

$S$  : 投影面積 ( $\text{m}^2$ )

$\rho_n$  : 積雪密度 ( $\text{kg}/\text{m}^3$ )

$L_n$  : 貫入深さ (m)

押しのけた雪の質量  $M_s$  (kg)

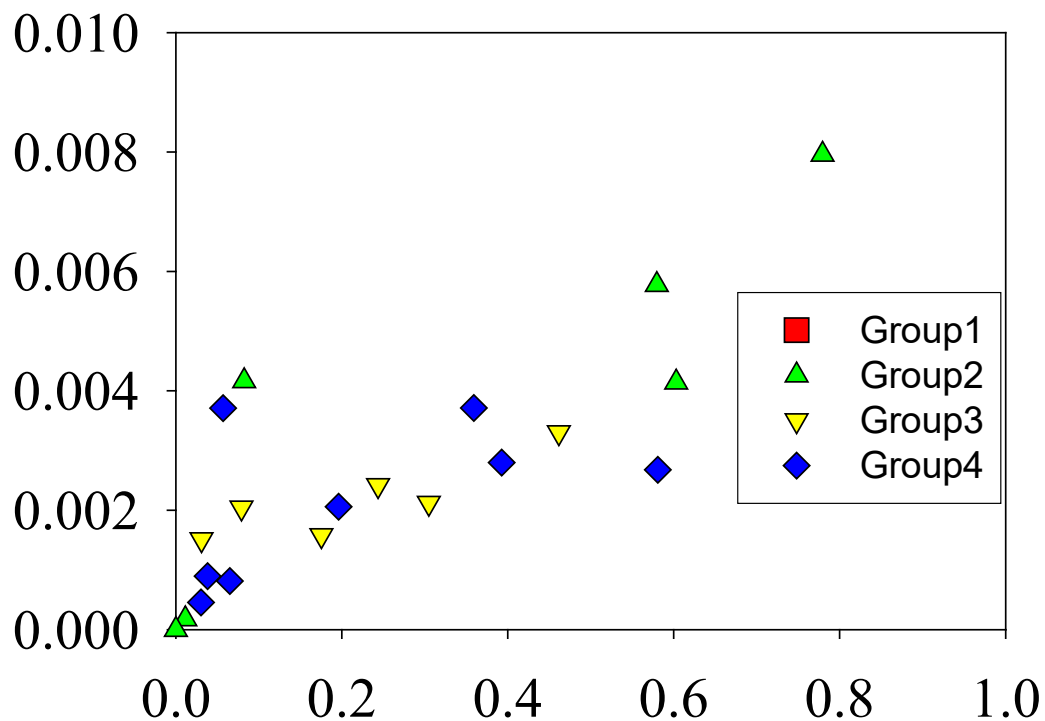
$$M_s = \sum_{k=1}^n S \rho_n L_n$$

# 積雪層への貫入実験

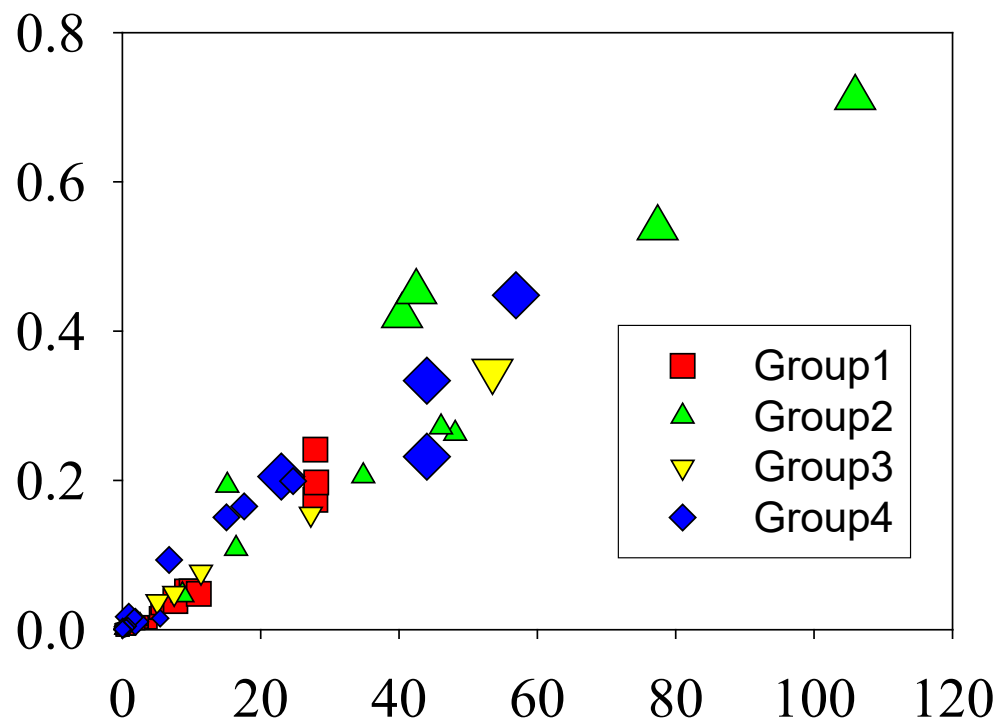
-押しのけた積雪の質量

## 軽石

押しのけた積雪量 (kg)

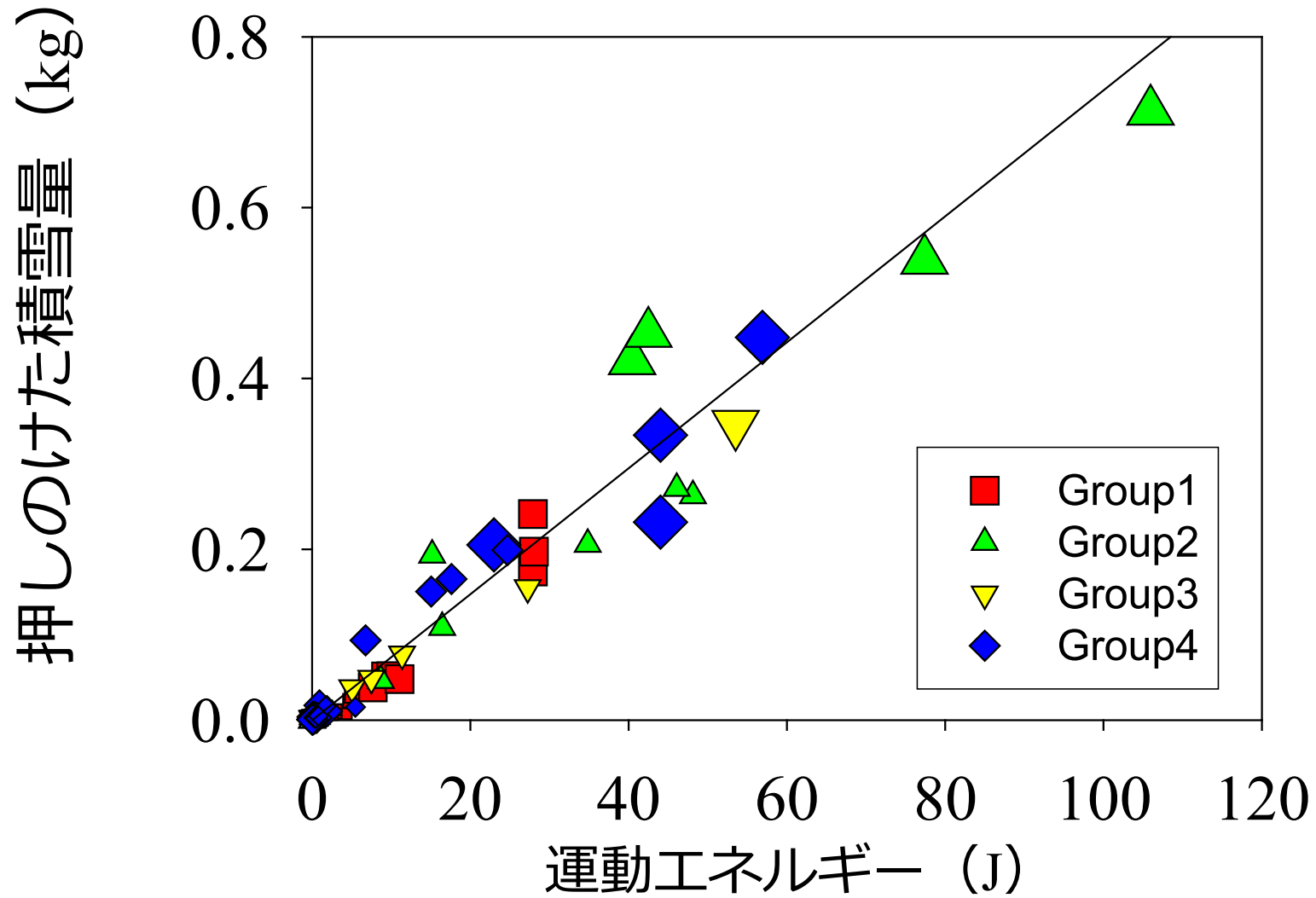


## 安山岩



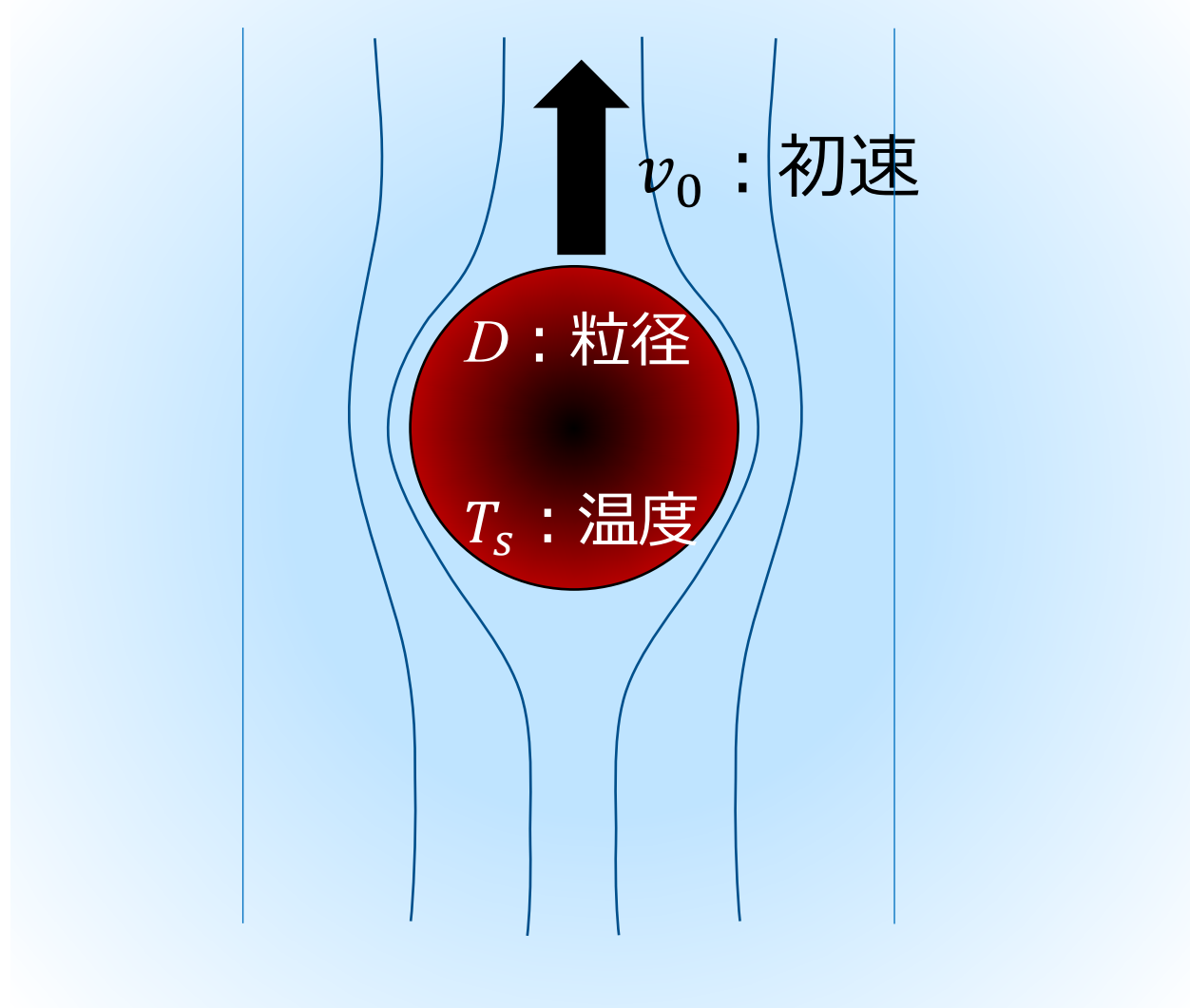
運動エネルギー (J)

# 積雪層への貫入実験 - 解析結果



落下後の礫温度

# 落下後の礫温度 ー想定する条件



空気抵抗を考慮した飛行後の礫温度

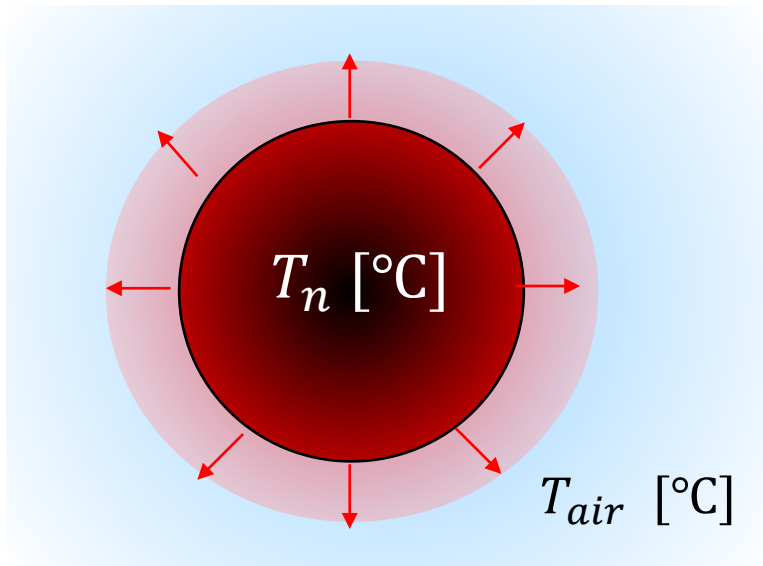


# 飛行時の放熱 – 数値解析

## ニュートンの冷却法則

高温の固体が気体の中で冷却される場合に用いられる  
平均的な温度が計算できる

$$\frac{Q}{A} = h(T_n - T_{air})$$



$Q$  : 熱量

$A$  : 表面積

$h$  : 熱伝達率  
(風速に依存する)

$T_n$  : 固体の温度

$T_{air}$  : 外部の温度

# 落下時の放熱 ー与えたパラメータ

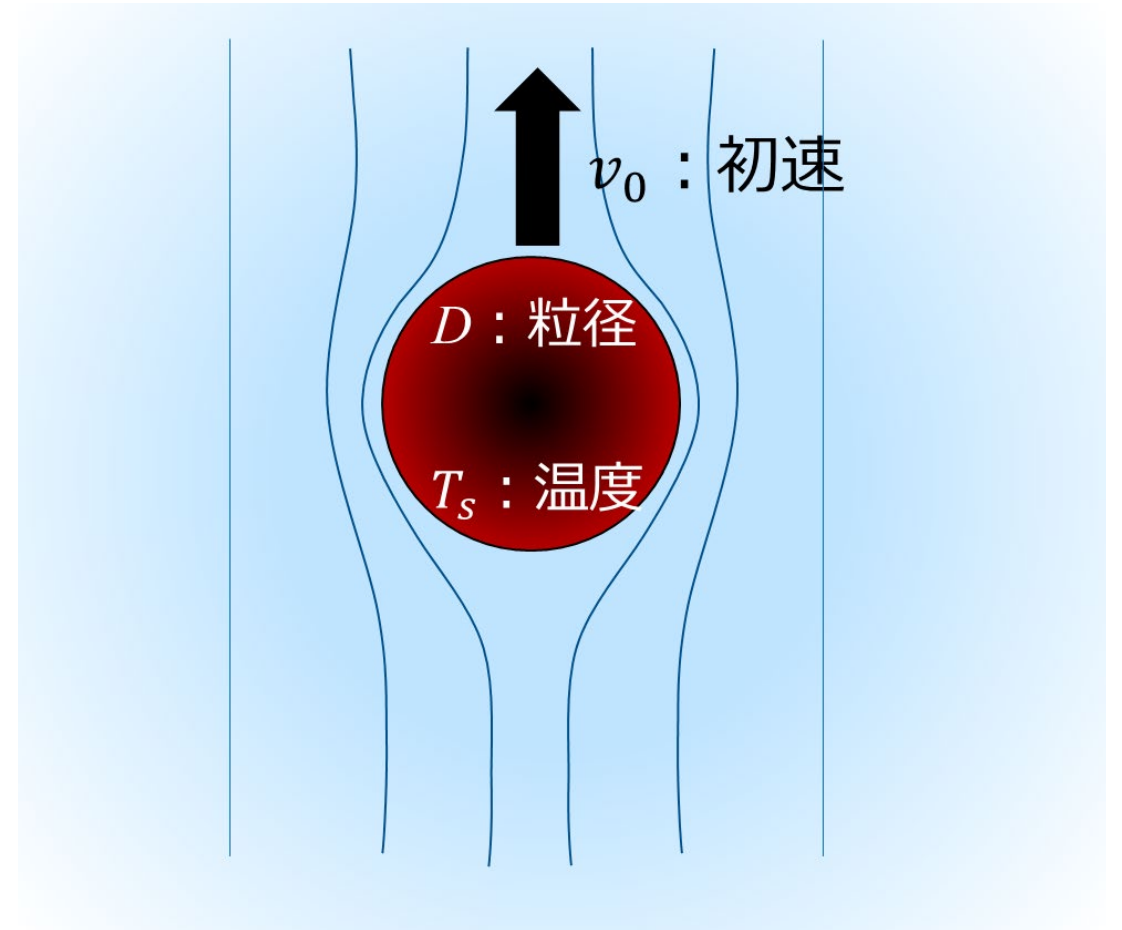
## □ パラメータ

粒径  $D$  [m] : 0.012, 0.024, 0.048

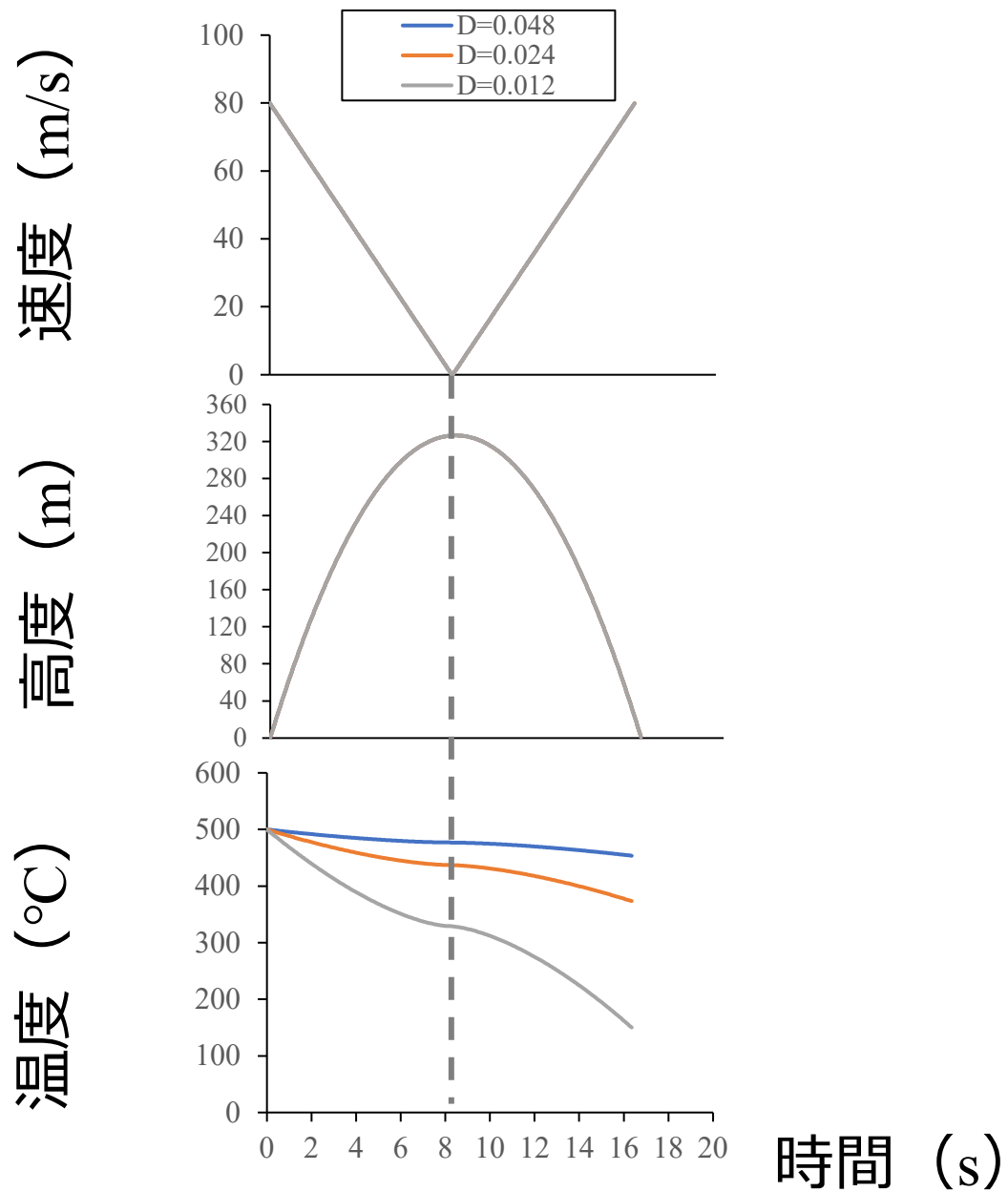
土砂温度  $T_s$  [°C] : 500

初速  $v_0$  [m/s] : 80

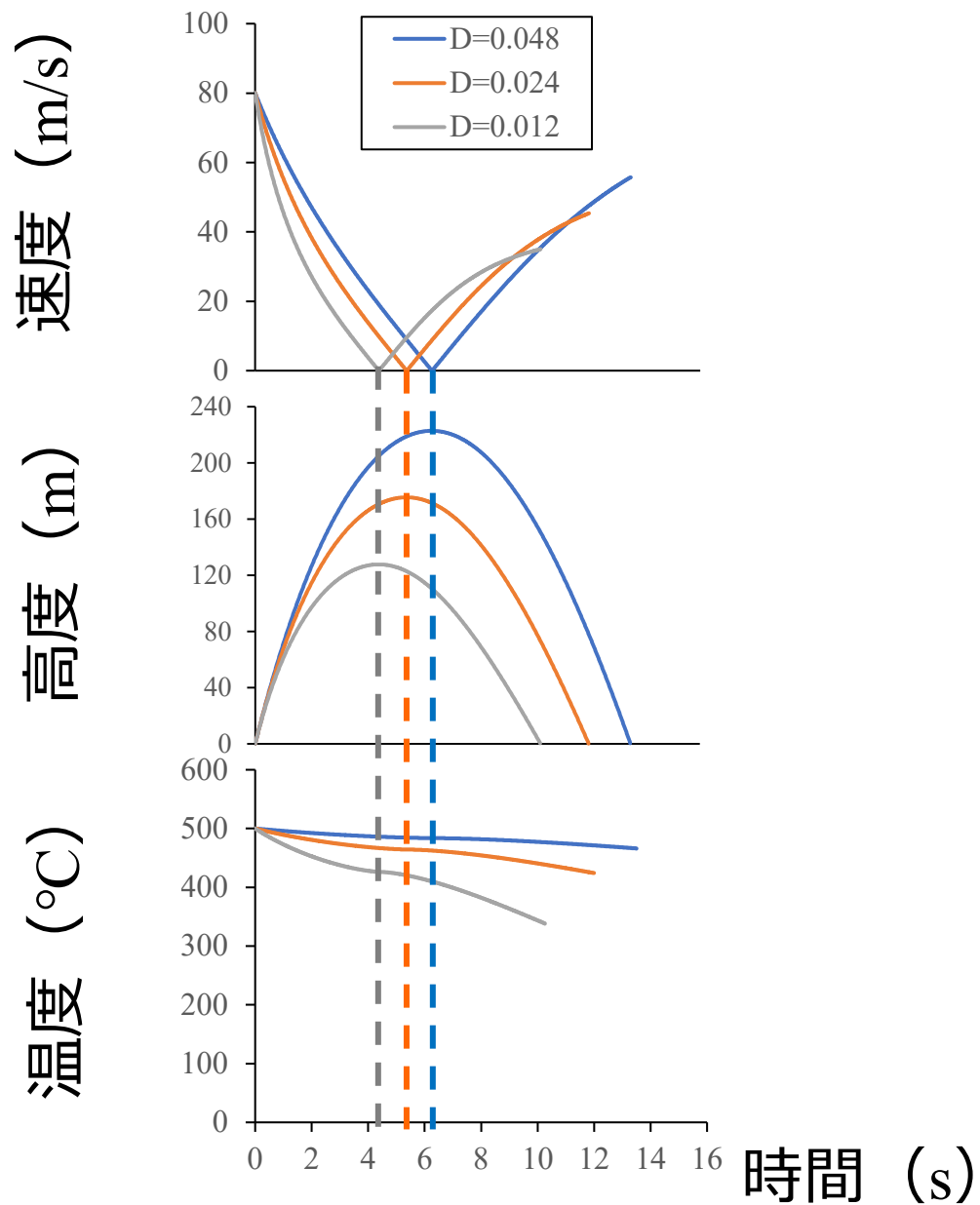
空気温度  $T_{\text{air}}$  [°C] : 0



# 空気抵抗を考慮しない場合



# 空気抵抗を考慮した場合



# 粒径が融雪に及ぼす影響

粒径: $D$



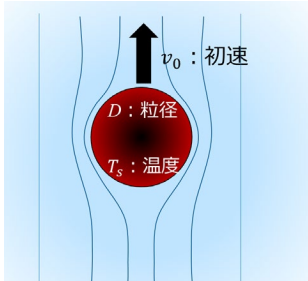
融雪速度  
: $v_{snow}$



貫入深さ  
: $L_{snow}$



落下後の  
温度: $T_{fly}$



小



大

大



小

小



大

小



大

# 融雪速度・融雪量

落下する礫の放熱

積雪層への貫入

積雪への熱移動・融雪

## □ 解析に用いたパラメータ

粒径  $D$  [m] : 0.012, 0.024, 0.048, 0.096

初速  $v_0$  [m/s] : 20, 40, 80

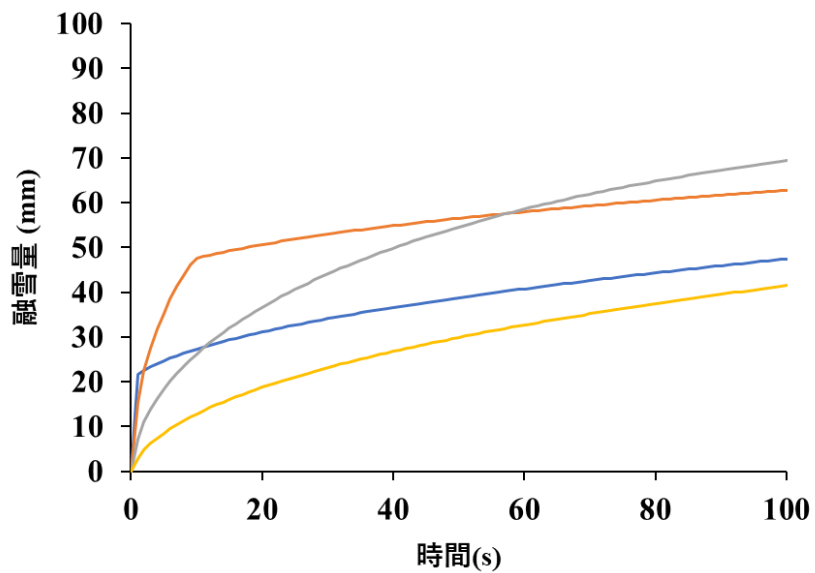
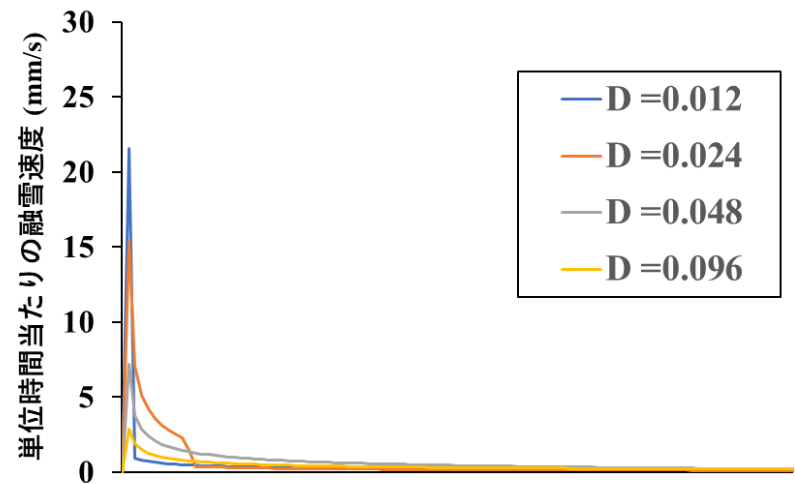
土砂温度  $T_{\text{sed}}$  [°C] : 500

土砂量  $V_{\text{sed}}$  [kg/m<sup>2</sup>] : 200

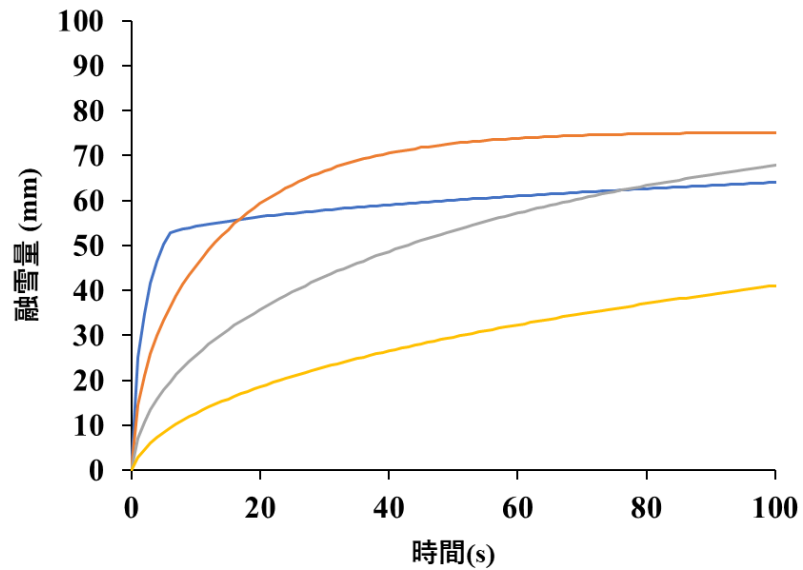
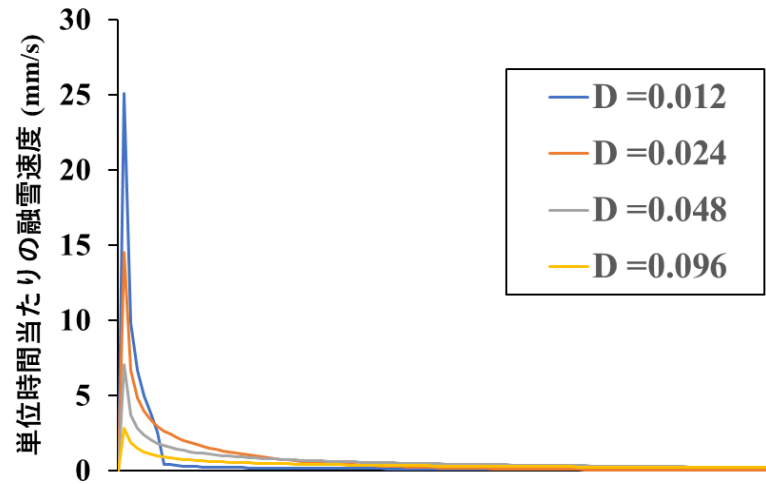
積雪密度  $\rho_s$  [kg/m<sup>3</sup>] : 200

# 解析結果

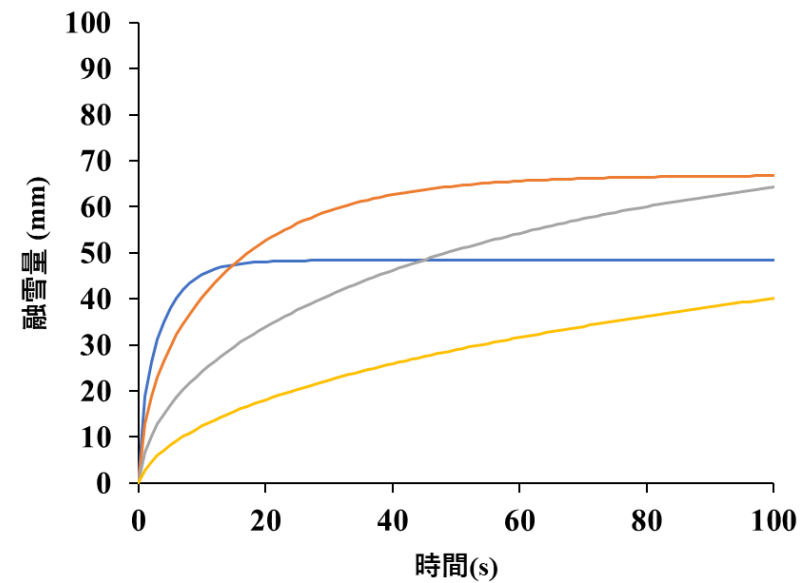
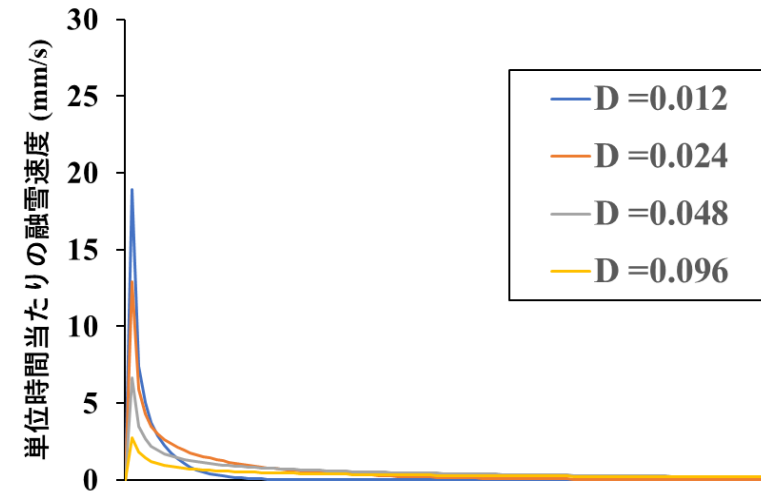
□ 初速  $v_0$  : 20 m/s



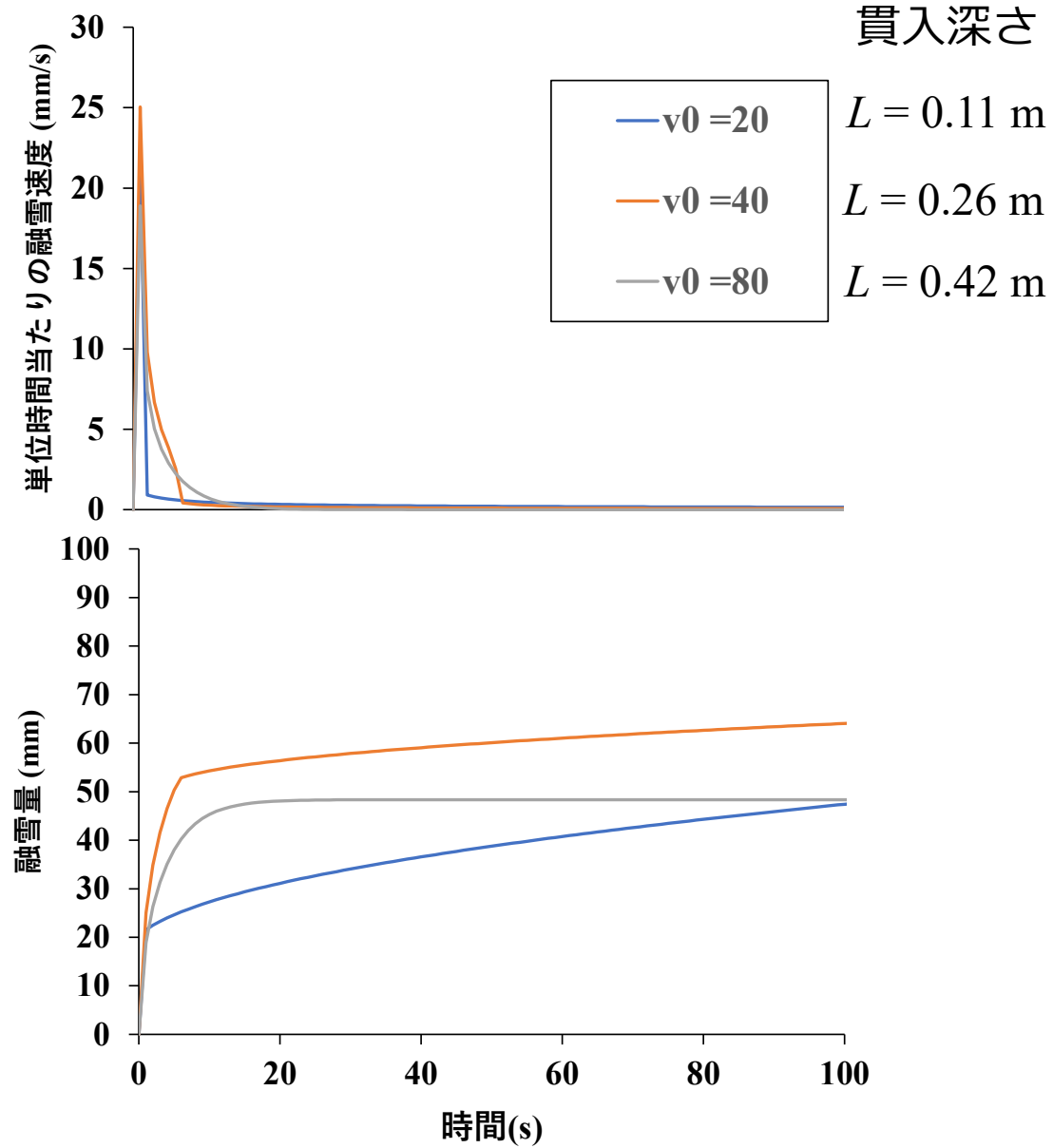
□ 初速  $v_0$  : 40 m/s



□ 初速  $v_0$  : 80 m/s



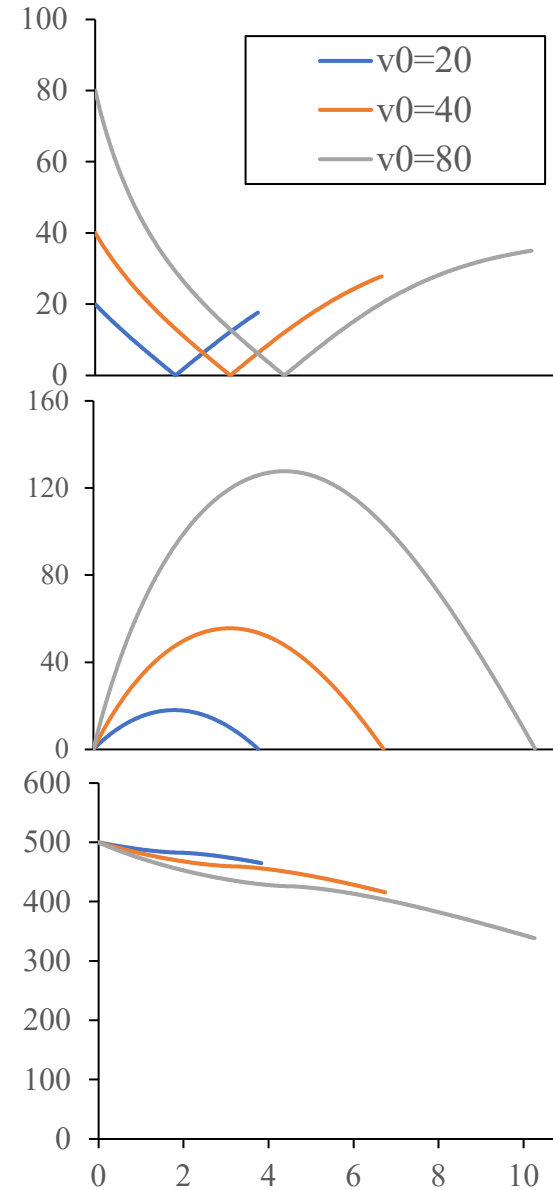
# 初速で比較 ( $D = 0.012 \text{ m}$ )



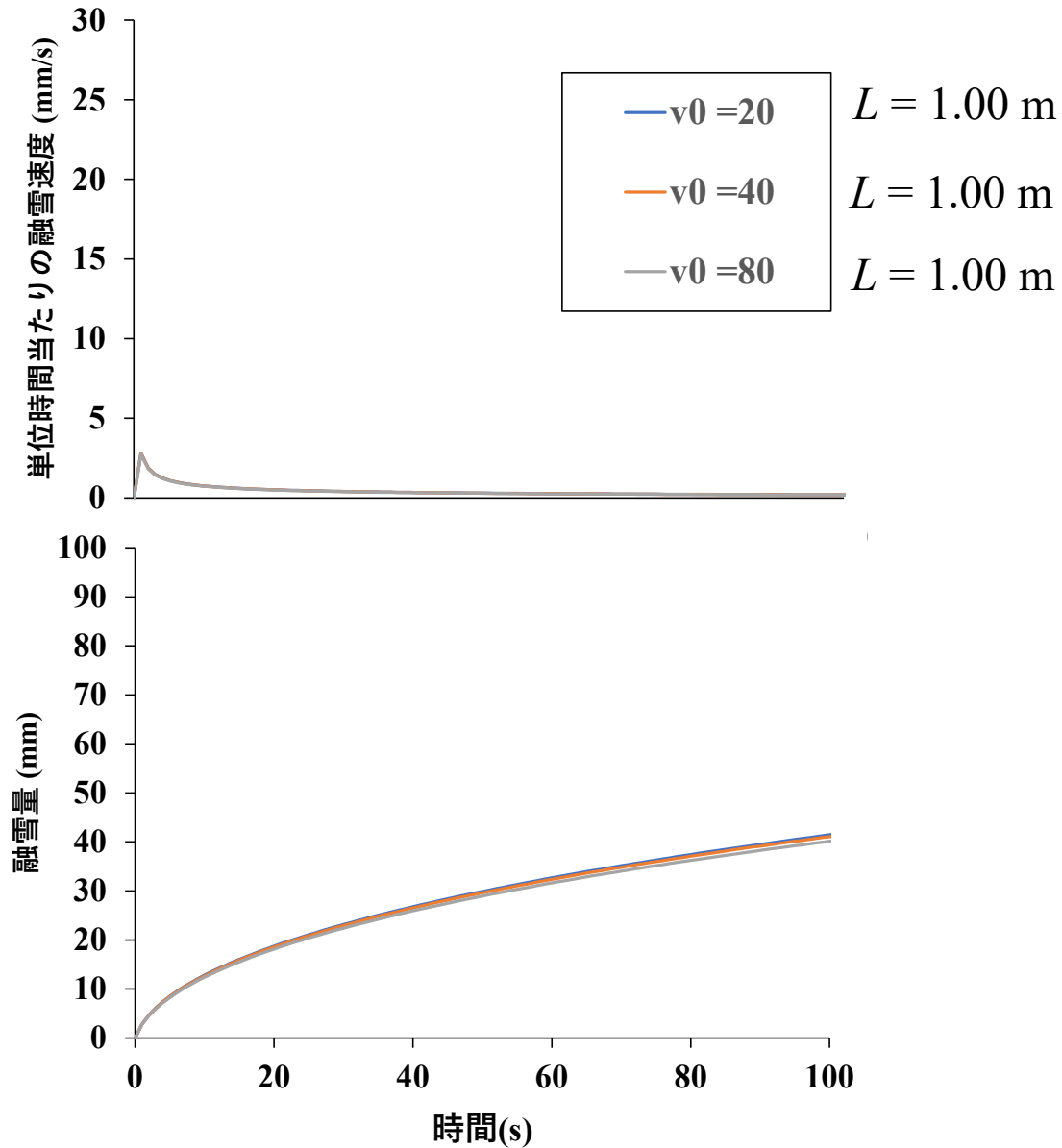
速度 (m/s)

高度 (m)

温度 ( $^{\circ}\text{C}$ )



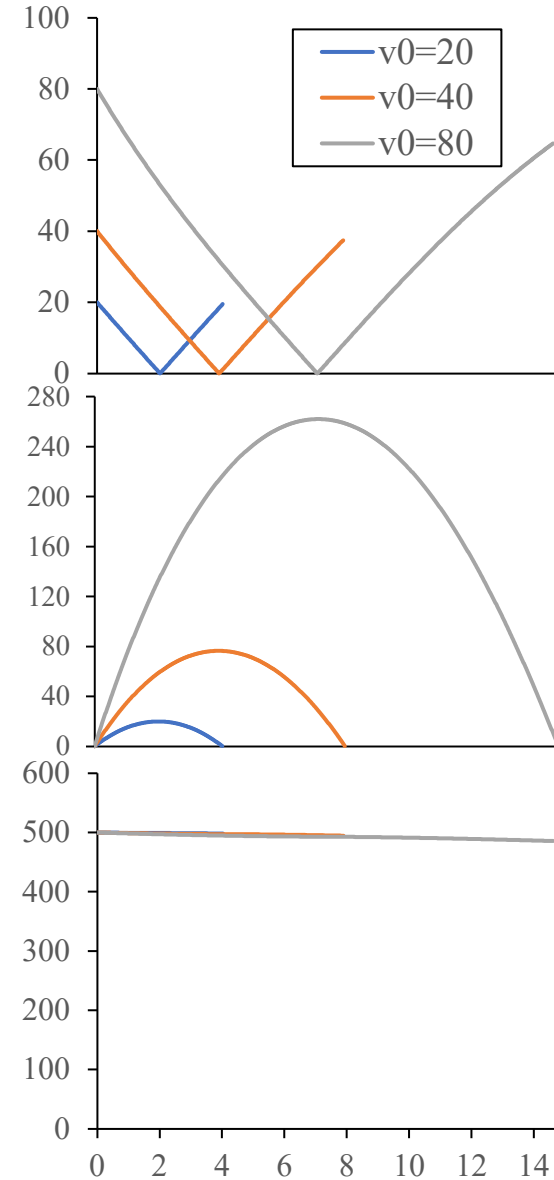
# 初速で比較 ( $D = 0.096 \text{ m}$ )



速度 (m/s)

高度 (m)

温度 ( $^{\circ}\text{C}$ )



時間 (s)



# まとめ

## □ 粒径・初速の融雪速度・融雪量への影響

- 粒径 → 粒径が小さいほど融雪速度が大きい一方で、貫入深さが小さく、落下の際の冷却効果が大きい
- 初速 → 初速が高いほど貫入深さが増大  
一方で冷却効果が強くなりより融雪速度・融雪量が減少