

# 寒天で！水蒸気爆発のモデル化

## ～山体崩壊のモデル化を目指して～

岩手県立一関第一高等学校理数科 3年  
小泉百花 石川寿々花 大木初奈 工藤りんか 藤原夏菜香

### 要約

私たちは水蒸気爆発による山体崩壊のモデル化の実験を行った。寒天を蒸気だまり、発泡ビーズを地層に見立ててモデル化をした。寒天の底部を凍らせ、寒天内部を密閉し、内部でドライアイスをお湯で急激に気化させて圧力を高めた。その上に発泡ビーズを載せると、崩壊させることができた。

〈キーワード〉 寒天 水蒸気爆発 山体崩壊 密閉された蒸気だまり モデル化

## With *Kanten!* Modeling a Phreatic eruption

### —Aiming at modeling of Sector collapse—

KOIZUMI Momoka, ISHIKAWA Suzuka, OKI Hana, KUDO Rinka and FUJIWARA Kanako

### ABSTRACT

We conducted some experiments for making a model of sector collapse caused by phreatic eruption. To make the model, we regarded *kanten* (a kind of agar) as a vapor pocket and polystyrene beads as a stratum. We sealed the hollow of domed *kanten* by freezing the bottom of the *kanten*, and lifted the pressure in the hollow by vaporizing dry ice with hot water. When we covered the *kanten* with polystyrene beads, it collapsed.

*Keywords:* *kanten, phreatic eruption, sector collapse, sealed vapor-pocket, modeling*

### 1 はじめに

2018年12月22日、インドネシア沖の火山島アナク・クラカタウ山が山体崩壊により大規模に崩れて、スンダ海峡周辺に大きな津波を引き起こし、400人以上の死者を出した。このニュースから山体崩壊に興味を持ち研究することにした。山体崩壊は、地震や火山噴火に比べて先行研究が少ない。流動や堆積など、一部のプロセスのモデルは提唱されているが、山体崩壊という現象全体のモデル化はされていないため、詳しい過程がわかっていない。例えば鎌田ほか(2002)<sup>1</sup>は、山体崩壊に伴う岩層なだれの流動メカニズムの実験的解析と地質堆積物への適用について研究し、飯澤ら(1999)<sup>2</sup>が提唱した小麦粉と円盤を用いた「動圧モデル」は、岩層なだれの流動プロセスとしてだけでなく、堆積プロセスとしても有効だと結論付けた。しかし、このモデルは流動・堆積に限られたもので、山

体が崩れはじめる時点からの、山体崩壊の一連のプロセスを表したモデルではない。したがって、実際の火山に適用して、特定の地質や地質構造に対してもモデル化できるのかは明らかにされていない。まして、モデル化を通してハザードマップに反映できる段階にはない。よって、私たちは山体崩壊のモデル化を通して、一連のプロセスの一例を明らかにし、ハザードマップとの関係性を示し、多くの人に山体崩壊を認知してもらうことを目指し、研究を行った。

山体崩壊とは大規模に火山が崩壊することである。その要因は、大きく分けて3つある。火山体の内部でマグマが貫入し火山体が膨張して発生するもの、水蒸気爆発によるもの、地震などの地殻変動によるものである。その中から私たちはより先行研究が少なく、実験を行いやすいと考えた水蒸気爆発による山体崩壊のモデル化をすることにした。

## 2 研究の方針

私たちがモデル化を目指した水蒸気爆発による山体崩壊について触れる。水蒸気爆発が起こるには、山体内部の帯水層に高温のマグマが接触して、水が気化して大量の水蒸気が発生することが必要となる。この大量の水蒸気は密閉された空間を形成する。これを、「密閉された（シーリングされた）蒸気だまり」と呼ぶ。密閉された蒸気だまりは、圧力に耐えられなくなって爆発的な噴火を起こし火山体を変形させ、その変形に伴って地層が崩壊する。

この一連の現象をモデルに落とし込むために、私たちは水蒸気爆発と山体崩壊を分けてモデル化することにした。はじめに水蒸気爆発のモデル化、その後水蒸気爆発による山体崩壊のモデル化を行った。水蒸気爆発のモデル化では密閉された蒸気だまりを変形させることに着目し、山体崩壊のモデル化では地層の崩れ方を反映させることに重点を置いた。

## 3 研究全体を通して用いた装置・材料

水蒸気爆発において私たちが着目した、「密閉された蒸気だまり」を形成するために、内部に空洞のある、ドーム型の寒天（以下では寒天とする）を作製し、用いることにした。



Fig.1 domed *kanten*



Fig.2 the hollow of domed *kanten* and cross section

当初は小麦粉や土などの材料も考えていた

が、寒天を選んだのは、次の 5 つの条件を満たしたからである。その条件は、①固さを変えられること、②変形ができること、③安定して同じ形を作れること、④内部に空洞を作れること、⑤硬度が低く崩壊させやすいことである。繰り返し実験をするには更に、安価であり、常温で扱えるという条件を満たしていることも必要であった。また、寒天は外気温によって固さが変わることから夏季～秋季は 1.0%、冬季（12 月）は 0.90%、冬季（1 月）は 0.80% の濃度で実験を行った。以下は、実験に用いた寒天の材料、及び作り方である。

・材料（寒天 1 つ当たり）

水（610mL）、寒天（濃度に応じて量を計算）

・用具

ボウル（容積 1L、直径 160mm、高さ 87mm）、鍋、ガスコンロ（ファミリーカセットコンロ：東邦金属工業）、ボール（直径 114.6mm：大創産業）、角材（高さ：20mm）、枠（自作）、電子天秤（Scont Pro Model, max=200g,d=0.01g: OHAVS CORPORATION,USA）、メスシリンダー（PYREX,200mL）

・自作の枠について

角材（30 × 115 × 30mm）を図のように釘で接合した。



Fig.3 wood frame

・寒天の作り方

- ①水 610mL、寒天を電子天秤で測り取る。
- ②水と寒天を鍋で加熱する。
- ③沸騰して寒天溶液が 600mL になったら 50℃程度になるまで冷ます。
- ④ボウルに寒天溶液を流し込み、ボールを 46mm 沈め、空洞を作る。その上に角材、枠、

おもりを載せてボールを固定して寒天を十分な時間置いて固める。



Fig.4 How to make the *kanten*

#### 4 実験 水蒸気爆発のモデル化

ここでは、実験を通して、蒸気溜りに見立てた寒天が内部での急激な気体の膨張により変形、及び亀裂（クラック）が生じて崩壊したときに、それを水蒸気爆発のモデルとする。

##### ① エアーコンプレッサーを使用した実験

エアーコンプレッサーから噴出する空気量の単位は **bar**（バール）で  $1\text{bar}=10^5\text{Pa}=10^3\text{hPa}$  と定義される。

###### (1) 用具及び装置について

エアーコンプレッサー（軽搬形ベビコン：株式会社日立産機システム）、三脚、プラスチック板（中央にコンプレッサーの管が通る穴を開けたもの）



Fig.5 the air compressor

###### (2) 実験方法

装置の上に寒天を載せ、プラスチック板の穴からコンプレッサーの管を通し、寒天内部に送風する。6.5bar、1.5～3.5bar で 0.5bar 刻みで実験を行った。

###### (3) 結果

###### (a) 6.5bar のとき

寒天の 1 点に穴が開き、空気と寒天が

吹き出した。



Fig.6 result of an experiment using air compressor

###### (b) 1.5～3.5bar

寒天に亀裂が生じなかった。

###### (4) 考察

次の 3 点の問題点が明らかになった。

- ① 6.5bar のときは風圧が強すぎた。
- ② 1.5～3.5bar では風圧が足りなかった。
- ③ コンプレッサーを使うと風圧が 1 点にかかり、蒸気だまりの内部に水蒸気が充満して発生する水蒸気爆発のモデル化はできないと考えられた。よって、入浴剤を寒天内部に入れて、発生する気体が充満するようにする方法を考案した。

##### ② 入浴剤を使用した場合

###### (1) 用具及び装置について

入浴剤（薬用入浴剤温浴：扶桑化学株式会社）(40g) 袋、ガムテープ、三脚、① で使用したプラスチック板

###### (2) 実験方法

プラスチック板の上に寒天を載せる。袋に砕いた入浴剤と水（50mL）を一緒に入れ、プラスチック板の下にガムテープで固定して入浴剤の反応を待つ。



Fig.7 experimental device using a bath salt

###### (3) 結果

9分以上経過しても変化が見られなかった。

#### (4) 考察

入浴剤の気体発生量が少ないことから崩壊が発生しなかった。よって、瞬間的に気体を充満させる方法として、風船を寒天内部の空洞で膨らませて割るという方法を考察した。

### ③ 風船を使用した場合

#### (1) 用具及び装置について

風船（天然ゴム製，マルサ斉藤ゴム），

①で使用したプラスチック板，三脚，①で使用したコンプレッサー

#### (2) 実験方法

風船を使用した場合の実験では膨らんだ風船が寒天にどのような影響を及ぼすかを調べるため，風船を空気が入る分だけ入れ続けた場合と風船を空洞の大きさまで膨らませた後，針を使って割るという2種類の方法を考えた。



Fig.8 experimental device using a balloon

#### (a) 割れるまで膨らませる場合

装置に濃度 1.0% の寒天を載せ，プラスチック板の穴から内部の空洞に風船を通す。風船にコンプレッサーを使って風船が割れるまで空気を入れる。

#### (b) 空洞の大きさまで膨らませた後，針で割る場合

装置に濃度 1.0% の寒天を載せ，プラスチック板の穴から内部の空洞に風船を通す。コンプレッサーを使って空洞の大きさに合わせて風船を膨らませた後，上部から針を使って風船を割る。

#### (3) 結果

##### (a) 割るまで膨らませる場合

風船の体積が大きくなり過ぎてしまい，それが寒天を破壊した。

##### (b) 空洞の大きさまで膨らませた後，針で割る場合

崩壊が発生しなかった。

#### (4) 考察

##### (a) 割るまで膨らませる場合

膨らんだ風船が寒天を破壊するという現象は想定していた崩壊と異なっており，モデルとして採用することができなかった。

##### (b) 空洞の大きさまで膨らませた後，針で割る場合

風船から発生する気体の量が十分でなかったため崩壊が発生しなかった。

この一連の実験から，実験装置の問題点が明らかになった。それは，モデルとしては水蒸気爆発を反映していない次の2つの現象である。1つが，山体に見立てた寒天がプラスチック板から浮き上がる現象，もう1つが山体内部の蒸気だまりを模した寒天下部の穴から空気が抜けて圧力が下がる現象である。これらの問題を解決するため，蒸気だまりを密閉し，気体を蒸気だまりの内部にため込む方法として，ドライアイスを用いて冷やした金属板上に寒天を載せて凍らせる方法で底部の密閉の実現を試みた。

### ④ ドライアイスを使用した場合

#### (1) 用具及び装置について

銅板（300mm × 300mm），水槽（プラスチック製），ドライアイス（寒天内部の空洞に入れるもの 20g，銅板上に載せるもの）

#### (2) 実験方法

水槽を裏返して机に置き，その上に銅板を載せられるようにする。ドライアイスで  $-10^{\circ}\text{C}$  になるまで冷やした銅板の上に，寒天内部の空洞に入れるドライアイスを設置し，それに被せるように寒天を載せる。銅板をドライアイスで冷やし，寒天の底部を凍らせた後，経過を観察する。



Fig.9 experimental device using dry ice

### (3) 結果

寒天の底部が凍った。また、途中で寒天が脈打つような反応が見られ、亀裂が生じて気体が抜け、崩壊しなかった。

### (4) 考察

寒天の底部が凍っていたため、内部が密閉されたと考えられるが、ドライアイスの気化が遅く、崩壊するほどの圧力を瞬間的にかけられなかった。そこでドライアイスの量を40gに増やして実験を行ったが、寒天は崩壊しなかった。そのため、湯をかけてドライアイスの反応を促進させることを考えた。また、湯とドライアイスが接触しやすくするよう、ドライアイス进行ペトリ皿に入れて寒天内部に入れることにした。さらに、寒天の底部を凍らせる効率を向上させるため、プラスチック製の水槽を、金属製の容器に変更し、金属製容器の中にもドライアイスを入れることにした。

## ⑤ ドライアイスと湯を使用した場合

### (1) 用具及び装置について

銅板 (300mm×300mm) , 金属製容器 (直径 200mm , 高さ 60mm) , ペトリ皿 (直径 90mm , 高さ 20mm) , 漏斗 (上部口径 62mm , 下部口径 5.0mm) , ドライアイス (寒天内部の空洞に入れるもの 40g , 銅板を冷やすもの) , お湯 (200mL , 70℃程度)

### (2) 実験方法

中にドライアイスを入れた金属製容器を机に置き、その上に銅板を載せて、ドライアイスで -10℃になるまで冷やす。十分に砕いたドライアイス 40g をペトリ皿に入れ、銅板の上に乗せる。山体内部の蒸気だまりに見立てた寒天をペトリ皿にかぶせるようにして置く。ドライアイスで冷やし、寒天

の底部を凍らせた後、寒天の上部から漏斗を使い、湯を流し込む。

### (3) 結果

寒天の底部が凍った。注いだお湯が寒天から漏れ出していなかった。蒸気だまり下部から亀裂が入り、徐々に崩壊が進んだ。



Fig.10 result of an experiment using dry ice and hot water

### (4) 考察

ドライアイスにより冷やした金属板の上に寒天を載せ、寒天の底部を凍らせることで寒天内部の密閉に成功した。そのことにより、岩石の重みによる圧力で密閉されている実際の火山体の構造、「シーリングされた蒸気だまり」のモデル化ができた。また、その内部でのドライアイスの気化により瞬間的に二酸化炭素を大量に発生させることで寒天内部の圧力が急激に増加した。その結果、寒天は膨張し、亀裂が生じて崩壊した。以上のことから、水蒸気爆発のモデル化に成功した。

この実験を踏まえて、実験で使用した蒸気だまりを模した寒天に山体の構造を加えて山体崩壊のモデル化を行うことにした。

## 5 実験 山体崩壊のモデル化

4⑤の実験を踏まえて、この実験で使用した蒸気だまりを模した寒天に、岩体・地層に見立てた山体の構造を加えて山体崩壊のモデル化を行う。山体崩壊が起こったとみなす現象は、蒸気だまりを模した寒天の、内部での急激な気体の膨張による変形・崩壊に伴って起こる、岩体・地層に見立てたものの移動とする。

山体崩壊をモデル化する方法として、はじめに寒天自体の物性を変えることにした。そこで寒天を固める前に少し混ぜ合わせることで不均一な山体の状態を再現することを試みた。その寒天をクラッシュ寒天と表現する。

・クラッシュ寒天の作り方

- ①水 610mL，寒天を電子天秤で測り取る。
- ②水と寒天を鍋で加熱する。
- ③沸騰して寒天溶液が 600mL になったら鍋の中で冷ましながらかき混ぜる。
- ④ボウルに寒天溶液を流し込み，ボールを 46mm 沈め，空洞を作る。その上に角材，枠，おもりを載せてボールを固定して寒天を十分な時間放置して固める。

## ①クラッシュ寒天と湯を使用した場合

### (1) 用具及び装置について

銅板 (300mm×300mm)，金属製容器 (直径 200mm，高さ 60mm)，ペトリ皿 (直径 90mm，高さ 20mm)，漏斗 (上部口径 62mm，下部口径 5.0mm)，ドライアイス (寒天内部の空洞に入れるもの 40g，装置を冷やすもの)，湯 (200mL 70℃程度)

### (2) 実験方法

中にドライアイスを入れた金属製容器を机に置き，その上に銅板を載せて，ドライアイスで -10℃になるまで冷やす。十分に砕いたドライアイス 40g をペトリ皿に入れ，銅板の上に載せる。山体内部の蒸気だまりに見立てた濃度 1.0% のクラッシュ寒天をペトリ皿にかぶせるようにして置く。ドライアイスで冷やし，寒天の底部を凍らせた後，寒天上部に漏斗をさして湯を流し込む。

### (3) 結果

寒天を装置に載せたときから湯を流し込むまでの間に寒天が崩れた。

### (4) 考察

クラッシュ寒天は通常の寒天より脆いため，装置の上に乗せてからできるだけ早く湯を流し込む必要がある。よって，湯を水風船に入れ，空洞内に置いて針で割ることで装置に寒天を載せた後すぐにドライアイスで気化させる方法を考察した。

## ②クラッシュ寒天と水風船を使用した場

### (1) 用具及び装置について

水風船 (天然ゴム製，マルサ斉藤ゴム)，銅板 (300mm×300mm)，金属製容器 (直

径 200mm，高さ 60mm)，ペトリ皿 (直径 90mm，高さ 20mm)，漏斗 (上部口径 62mm，下部口径 5.0mm)，ドライアイス (寒天内部の空洞に入れるもの 40g，装置を冷やすもの)，湯 (200mL，70℃程度)，きり

### (2) 実験方法

中にドライアイスを入れた金属製容器を机に置き，その上に銅板を載せて，ドライアイスで -10℃になるまで冷やす。十分に砕いたドライアイス 40g と湯が入った水風船をペトリ皿に入れ，銅板の上に載せる。山体内部の蒸気だまりに見立てた寒天をペトリ皿にかぶせるようにして置く。ドライアイスで冷やし，寒天底部を凍らせた後，きりを使って風船を割る。

この実験では風船の体積と破裂の勢いが寒天に及ぼす影響を調べるため水風船に入れる湯の量を (a)150mL，(b)100mL に分けて実験した。



Fig.11 balloon on dry ice



Fig.12 experimental device using a balloon and dry ice

### (3) 結果

#### (a) 150mL

風船が割れた勢いで寒天に亀裂が生じた。

#### (b) 100mL

寒天が塊になって崩れた。



Fig.13 result of an experiment using a balloon and dry ice

#### (4) 考察

##### (a) 150mL

風船が割れた勢いで寒天が崩れる現象は気体の膨張によって起きる崩壊と異なり、モデルとして採用できない。

##### (b) 100mL

山体崩壊は、断層面や深層風化層などの脆弱な地質条件の特定の面で起きることが多い。クラッシュ寒天はそのような脆弱な状態を反映したものである。しかし、寒天が塊となって崩れたため、クラッシュ部分がどのように山体崩壊に関与したのかを検証できなかった。そこで、火山体を構成する岩体や地層を粒子状の物質で見立てて蒸気だまりを模した寒天の上に載せて実験することにした。その粒子状の物質として砕いて使用できること、学校で入手しやすい廃品のリサイクルとしてチョークを使用することにした。

### ③チョークを使用した場合

#### (1) 用具及び装置について

銅板 (300mm×300mm), 金属製容器 (直径 200mm, 高さ 60mm), ペトリ皿 (直径 90mm, 高さ 20mm), 漏斗 (上部口径 62mm, 下部口径 5.0mm), ドライアイス (寒天内部の空洞に入れるもの 70g, 装置を冷やすもの), 湯 (200mL, 70℃程度), きり, ダストレスチョーク (砕いてふるいにかけて, 75 $\mu$ m~1mm のものを使用)

外気温が下がってきて、寒天の濃度調整を行っても寒天の崩壊が起こらなくなったため、4⑤のドライアイスとお湯を使った実験をドライアイスの量を変えながら繰り返し

行い、ドライアイスの量を 70g にして実験を続けることに決めた。

なお、碎屑したチョークは使用後、5色混合チョークとして活用している。

#### (2) 実験方法

チョークの量による寒天の覆われ方を調べるためにチョークを(a)100g,(b)200g,(c)600g 使用する 3種類の実験を行った。

中にドライアイスを入れた金属製容器を机に置き、その上に銅板を載せて、ドライアイスで -10℃になるまで冷やす。十分に砕いたドライアイス 70g をペトリ皿に入れ、銅板の上に載せる。山体内部の蒸気だまりに見立てた寒天をペトリ皿にかぶせるようにして置く。ドライアイスで冷やし、寒天の底部を凍らせた後、チョークを載せる。きりで寒天の 1 点に穴を開け、そこに漏斗を挿して湯を寒天内部に流し込む。

#### (3) 結果

##### (a) 100g

チョークの量が少なく寒天を覆いきれなかった。また全体的にチョークが寒天の水分で濡れていた。さらにドライアイスの気化による気体膨張では寒天は崩壊しなかった。

##### (b) 200g

チョークで寒天を覆いきれたが寒天の側面の大部分はチョークを薄くしか載せることができず、寒天の水分で濡れていた。また、ドライアイスの気化による気体膨張では、寒天が濡れたチョークにより堰き止められたため、崩壊には至らなかった。



Fig.14 experimental device using chalks

##### (c) 600g

チョークで寒天を完全に覆いきれた。また、ドライアイスの気化による気体膨脹では、寒天とチョークにひび割れが見られた。崩壊には至らなかった。



Fig.15 the cracks on the chinks and the *kanten*

#### (4) 考察

(a),(b) では蒸気だまりを完全に覆いきれていないことから山体のモデルとして不適切だと考えられる。

また (b),(c) では水分が染み込んだチョークによって寒天が堰き止められたことから崩壊が見られなかった。よって、チョークより密度が小さく、水はけが良いと考えた軽石を使用することにした。

### ④ 軽石を使用した場合

#### (1) 用具及び装置について

銅板 (300mm×300mm) , 金属製容器 (直径 200mm , 高さ 60mm) , ペトリ皿 (直径 90mm , 高さ 20mm) , 漏斗 (上部口径 62mm , 下部口径 5.0mm) , ドライアイス (寒天内部の空洞に入れるもの 70g , 装置を冷やすもの) , 湯 (200mL , 70℃程度) , きり , 軽石 (砕いてふるいにかけて, 75 $\mu$ m 以上のものを使用)

#### (2) 実験方法

中にドライアイスを入れた金属製容器を机に置き, その上に銅板を載せて, ドライアイスで -10℃になるまで冷やす。十分に砕いたドライアイス 70g をペトリ皿に入れ, 銅板の上に載せる。山体内部の蒸気だまりに見立てた寒天をペトリ皿にかぶせるようにして置く。ドライアイスで冷やし, 寒天の底部を凍らせた後, 軽石を載せる。きりで寒天の 1 点に穴を開け, そこに漏斗を挿して湯を寒天内部に流し込む。

この実験では軽石の量による寒天の覆われ方を調べるために軽石を(a)175g,(b)250g

使用する 2 種類の方法を試す。



Fig.16 experimental device using pumice stone

#### (3) 結果

##### (a) 175g (b) 250g

寒天全体を覆えたが, 寒天の側面の軽石の量が少なく, 軽石が寒天の水分によって濡れている部分があった。また, その部分が固まっていた。寒天は膨張したものの崩壊は見られなかった。

#### (4) 考察

砕いて粉末状にしたことで, 軽石もチョークと同様に寒天の水分を吸い, 密度が大きくなり, 寒天の崩壊を堰き止めた。このことから軽石での実験も難しいと考えた。よって軽石よりもさらに密度が小さく, 水はけの良いと考えられる発泡ビーズを使用することにした。

### ⑤ 発泡ビーズを使用した場合について

#### (1) 用具及び装置について

銅板 (300mm×300mm) , 金属製容器 (直径 200mm , 高さ 60mm) , アルミホイル製自作ペトリ皿 (直径 90mm , 高さ 20mm) , 漏斗 (上部口径 62mm , 下部口径 5.0mm) , ドライアイス (寒天内部の空洞に入れるもの 70g , 装置を冷やすもの) , 湯 (200mL , 70℃程度) , きり , 発泡ビーズ, 囲い (自作)

#### (2) 囲いについて

発泡ビーズが寒天に載り切るようにするため製作した。

作り方: ポリプロピレン製の板 (137.5mm, 390mm) を 4 枚用意し, 左右 113mm のところから 70mm 切り込みを入れて作った。



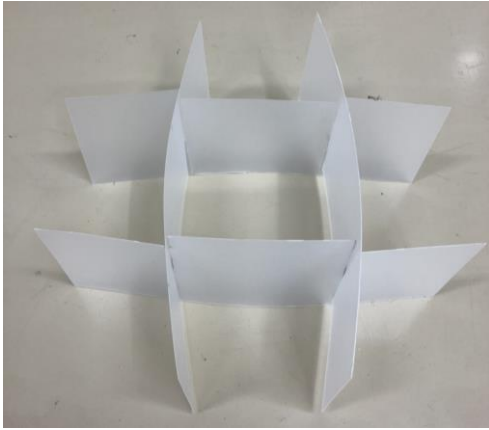


Fig.17 polypropylene frame

### (3) アルミホイル製自作ペトリ皿について

ここまでの実験で、寒天が崩壊する際ペトリ皿に引っかかり、崩壊を妨げている現象が見られたため、引っかかっても寒天の崩壊を妨げないように、変形可能なアルミホイルでペトリ皿を作る。

作り方:アルミホイルを重ねて、直径90mm、高さ20mmの円筒状になるように形を整えた。

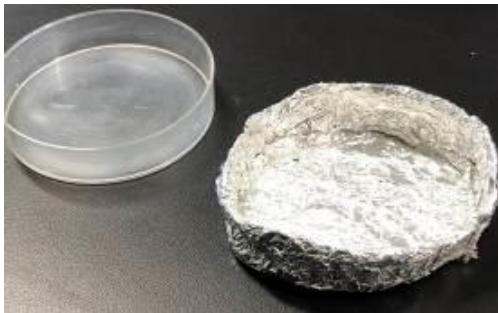


Fig.18 petri dish made of aluminum foil

### (4) 実験方法

事前に寒天に発泡ビーズ載せて実験をしたところ、発泡ビーズが寒天に吸着せず、載せることができなかった。それを踏まえて、発泡ビーズに水を混ぜ合わせて寒天に載せることにした。

中にドライアイスを入れた金属製容器を机に置き、その上に銅板を載せて、ドライアイスで  $-10^{\circ}\text{C}$  になるまで冷やす。十分に砕いたドライアイス 70g をペトリ皿に入れ、銅板の上に載せる。山体内部の蒸気だまりに見立てた寒天をペトリ皿にかぶせるようにして置く。ドライアイスで冷やし、寒天の底部を凍らせた。その上から 120mL の水と混ぜた 40.0g の発泡ビーズを囲いを使

用して載せる。その後、きりで蒸気だまりの1点に穴を開け、そこに漏斗を挿して  $70.0^{\circ}\text{C}$  程度の湯を流し込む。

### (5) 結果

寒天に亀裂が入って崩壊し、それに伴って発泡ビーズが崩落した。



Fig.19 experimental device using polystyrene beads



Fig.20 the experimental device after collapse

### (6) 考察

密閉された蒸気だまりとみなした寒天内部の圧力を高めることで上に載せた発泡ビーズが崩落したことから、山体崩壊のモデルの一例を示せたと考えられる。

## 6 まとめ

冷やした金属板の上に内部に空洞のあるドーム型の寒天を載せ、寒天の底部をドライアイスを用いて凍らせることで、密閉された蒸気だまりの構造をモデル化することに成功した。また、ドライアイスに湯を挿入して気化させその内部の圧力を高めることで寒天が崩壊したため、山体崩壊の原因となる水蒸気爆発のモデル化に成功した。さらに、蒸気だまりを模した寒天の上に岩体や地層に見立てた発泡ビーズを載せて実験を行ったところ、寒天の崩壊に伴って発泡ビーズが崩落した。こ

のことから、水蒸気爆発による山体崩壊のモデルの一例を示せたと考えられる。

## 7 今後の展望

山体崩壊のモデル化の実験で成功したとみなせるものの回数が、発砲ビーズを使用して最後に行った1回であるため、再現性の検証のため試行回数をさらに増やす必要がある。また、今回作成したモデルの形と脆弱な面の位置を模した不均一な物質状態を過去に山体崩壊が発生した山（福島県の磐梯山など）に近付けて実験を行い、実験で崩壊した物体が広がった範囲が、過去に山体崩壊が発生した山の被害範囲と一致するかを調べ、モデルの妥当性を検証していく。妥当性が証明された場合、ハザードマップを強化するために、被害範囲を想定したい山を絞り、想定実験を行っていく。

## 8 謝辞

本研究を進めるに当たりまして、本当に多くの方々から御指導、御鞭撻、そして御協力を賜りました。この場を借りて謝辞を述べさせていただきます。

私共の指導教員をしてくださった一関第一高等学校教諭の茂庭先生には、テーマ設定や研究の進め方、研究内容はもちろんのこと、発表の仕方においてもたくさんのアドバイスをいただきました。ユーモアを交えて、楽しく、わかりやすく御指導していただき、心から研究活動を楽しむことができました。本当にありがとうございました。

京都大学理学研究科火山物理学分科修士1回生の菅原嵩史さんには、モデルとしての実験装置の扱い方、山体や崩壊現象の特徴、実験の手法についてたくさんのアドバイスをいただきました。私共の質問にひとつひとつ丁寧に対応していただき、とてもありがたく思いました。非常に感謝しております。

岩手大学の土井宣夫教授には、岩手山の性質や山体内部で起こる現象についてたくさんのご助言をいただきました。また、岩手山についての論文の提供もしていただき、たいへん参考になりました。ありがとうございました。

そのほか、たくさんの一関第一高等学校の先生方に御協力を賜りました。宮本先生、柿木先生には実験方法についてアイデアを提供

していただきました。佐藤先生には寒天の調理について教えていただきました。また、長野先生、尻引先生には実験道具を貸し出していただきました。

皆様の御協力なしではこのように論文を書くまで研究を進めることはできませんでした。本当にありがとうございました。

## 9 引用文献

- 1 鎌田浩毅 須田恵理子 齊藤武士 飯澤功 酒井敏 (2002): 火山体崩壊に伴う岩屑なだれの流動メカニズムの実験的解析と地質堆積物への適用, 材料 Vol.51, No.2, 168-175
- 2 飯澤功 酒井敏 須田恵理子 齊藤武士 鎌田浩毅 (1999): ながれ, 18, <http://www.nagare.or.jp/mm/99/>

## 10 参考文献

- ・片山信夫 梅沢邦臣(1958): 鬼首図幅地質説明書
- ・国土交通省国土地理院(2013年12月): 1:25,000 火山土地条件図解説書(栗駒山地区)
- ・土井宣夫 伊藤真由子 畠山育王(2017): 栗駒山 1944年噴火の火口群と火災泥流の磐井川流下実態 ～一関市立本寺中学校による住民聞き取り調査を中心に～
- ・独立行政法人防災科学技術研究所 自然災害情報室(2009): 防災基礎講座
- ・土木学会誌 Vol.104 No.6 June 2019
- ・Takashi Inokuchi(2006): Properties of sector-collapse and debris avalanches on Quaternary volcanoes in Japan