

# 愛媛県の石（エクロジャイト）を用いたサウナの熱効率

2年3組 松本 惟吹    2年3組 高田 柊  
2年3組 大西 敦也    2年3組 坂本 孝太  
指導者 松岡 拓哉

## 1 課題設定の理由

現在、若者を中心にサウナ利用者数が増加傾向にあり、2022年のサウナ愛好家人口は約1700万人にもなると言われている。これに伴い、大手航空会社のJALではサウナを目的とした旅行プランである「サ旅」というサービスの展開を開始しており、地域にあるサウナを魅力化することで観光客の増加につながるのではないかと考えられる。こういったサウナブームに伴い、愛媛県宇和島市でも2027年に男女計5つのサウナ室を設けた温浴施設「やすらぎの里」をリニューアルオープンすることになっている<sup>[1]</sup>。そこで、私たちは、やすらぎの里と連携して、現在人気の高いフィンランド式のロウリュサウナ（図1）の要である、サウナストーンについて研究し、地域の特色の強いサウナ製作の一助になることはできないかと考えた。実験対象は、日本では愛媛県四国中央市の東赤石山でしか産出しないエクロジャイトとする。今回は、実際に四国中央市関川（図2）に流れてきたエクロジャイトを採取し、実験で使用する。

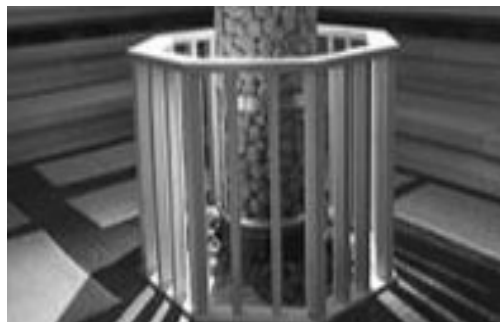


図1 フィンランド式サウナのストーブ



図2 四国中央市関川の所在地

## 2 仮説

サウナストーンに使われている岩石は主に火成岩であるのに対し、エクロジャイトの原岩も玄武岩質岩であるため、サウナストーンとして利用できるのではないかと考える。また、エクロジャイトは海底プレートが沈み込む際に、高い圧力を受けて変成した低温高压変成岩であるため、密度や比熱が大きいのではないかと考える。以上2つの理由から、エクロジャイトは市販されているものと比べ、優れたサウナストーンになるのではないかと考えた。

また、サウナストーンに必要な条件を以下に挙げる。

- ・ロウリュなどで急冷しても石が破損しないために高密度であること。
- ・蓄熱性が高くあるために比熱が大きいこと。
- ・温度管理が容易であるために熱伝導率が高いこと。
- ・石の表面に水が付着しやすいよう、表面がざらざらであること。

## 3 実験の方法

エクロジャイト（図3左）のサウナストーンとしての適性を評価するために、一般的にサウナストーンとして使用されている花崗岩（図3中）、蛇紋岩（図3右）を用いて対照実験を行う。測定する項目は、上に示した（1）密度、（2）比熱、（3）熱伝導率とする。花崗岩は、宇和島市の神田

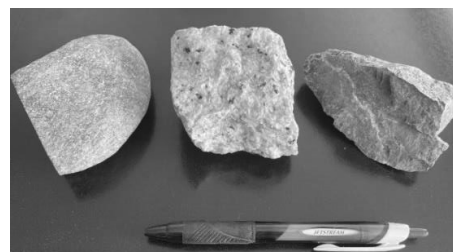


図3 実験に使用する岩石

川で採取したものを使用し、蛇紋岩はサウナストーンとして市販されていたものを使用する。これらのデータを比較し、エクロジャイトの適性を判断する。

#### 4 実験

##### (1) 密度の測定

まず、アルキメデスの原理（水中にある物体は、物体と同じ体積の水の重さに等しい浮力を受ける法則）を用いて密度を測定する。水中に岩石を沈めた際のはかりが示す質量の変化を読み取る（**図4**）ことで、岩石の体積が求まる。次に、密度  $[g/cm^3] = 質量 [g] / 体積 [cm^3]$  を用いて求めた。それぞれの岩石の密度の値を以下の**表1**に示す。

**表1 密度の測定結果**

	密度 (g/c m <sup>3</sup> )
エクロジャイト	3.12
花崗岩	2.63
蛇紋岩	3.01



**図4 密度の測定の様子**

**表1**より、測定したエクロジャイトの密度が文献<sup>[2]</sup>に記載されている数値(3.4g/cm<sup>3</sup>)と異なっていることが分かる。そこで、今回関川で採取してきた岩石を構成している鉱物について詳しく調べる必要があると考え、薄片を作成し、偏光顕微鏡で観察することにした。

##### [薄片の作成]

愛媛大学の佐野教授にご協力いただき、愛媛大学で保有しているエクロジャイト（**図5**）をお借りすることができたため、2つの岩石について、薄片を作成した。作成の手順を以下に示す。

- ①岩石をスライドガラスに収まる大きさに切断する。
- ②4種類の研磨剤（150番、300番、1000番、2000番）を使用し、岩石の片面を十分に研磨する（**図6**）。
- ③研磨した面をスライドガラスに貼り付け、厚さ2mm程度に切断する。
- ④2と同様に切断した面を、透明鉱物がはっきりわかるようになるまで研磨する。
- ⑤カバーガラスを貼り付けプレパラートを作成する。

愛媛大学からお借りした岩石の薄片を「薄片1」、我々が採取してきた岩石の薄片を「薄片2」とする。**図7**のように、薄片1においては、ざくろ石(A)と透輝石(B)を観察することができ、この岩石はエクロジャイトであると同定できた。しかし、薄片2については、ざくろ石は確認することができたが、透輝石の代わりに角閃石(C)が観察できた（**図8**）。これは、鉱物が地表に上がってくる際に後退変成作用を受け、透輝石が水を含むことによって角閃石に変質したものと考えられる。また、愛媛大学でお借りしたものは、密度についても、3.56g/cm<sup>3</sup>という測定結果が得られ、文献で示されているデータとおおよそ一致した。他の岩石に比べ、エクロジャイトの密度は大きな値となっていることから、ロウリュなどの急冷にも耐えることや、比熱が大きいことが期待できる



**図5 愛媛大学のエクロジャイト**



**図6 薄片の作成の様子**

結果となった。以降の実験は、より正確なデータを得るため、愛媛大学からお借りしたエクロジャイトを使用する。

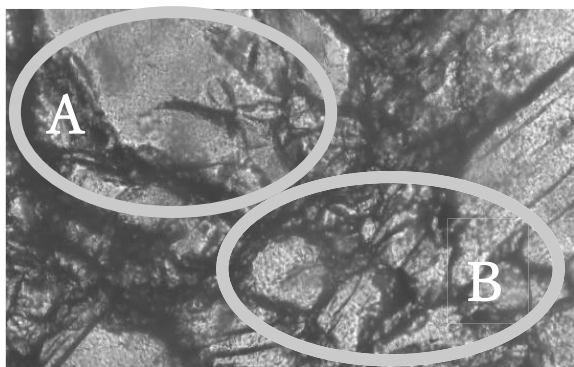


図7 偏光顕微鏡で観察した薄片1

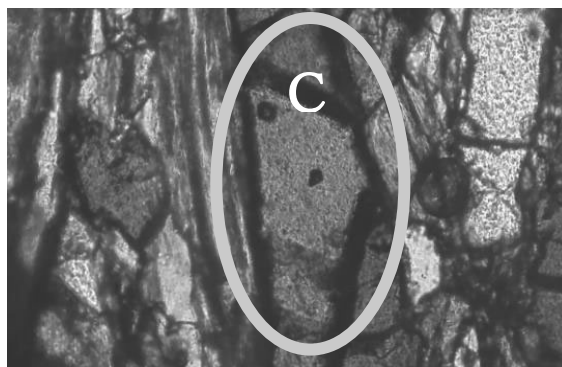


図8 偏光顕微鏡で観察した薄片2

## (2) 比熱の測定

熱量計を用いて、以下の手順でそれぞれの岩石の比熱を測定する(図9)。

- ①それぞれの石の重さを測る。
- ②熱容量計の中に水を入れ、温度、質量を測る。
- ③3つの石を、水を張った鍋の中に入れ、水が80℃に達するまで熱する。
- ④石を取り出し、熱容量計にいれ、静かにかき混ぜる。
- ⑤熱平衡に達したときの温度を読み取る。
- ⑥熱量保存の法則を用いて比熱を求める。



図9 比熱の測定の様子

[熱量保存の法則から導かれる公式]

$$m_{石} \cdot c_{石} \cdot \Delta t_1 = (m_{水} \cdot c_{水} + m_{銅} \cdot c_{銅}) \Delta t_2$$

( $\Delta t_1$ : 3の温度と5の温度の差  $\Delta t_2$ : 5の温度と2の温度の差)

## (3) 熱伝導率の測定

フィンランド式サウナのタワー型ストーブに石を積んだ状態(図1)を再現するため、熱源としてホットプレートを用い、その上にバーベキュー用の網を丸めたタワーを設置し、岩石を隙間なく積んだ。それぞれの岩石について、時間経過による温度上昇を測定する。計測は熱電対を用いて行い、温度の測定点は、ホットプレートの表面から10cmの高さに設定した(図10)。それぞれの岩石をサウナストーンとして用いた際の熱伝導率について評価する。



図10 熱伝導率の測定の様子

## 5 結果と考察

### (1) 比熱の測定

表2 比熱の測定結果

比熱 $c$ [J/(g・K)]	1回目	2回目	3回目	平均
エクロジャイト	0.94	0.93	0.98	0.95
花崗岩	0.80	0.81	0.79	0.80
蛇紋岩	0.82	0.83	0.86	0.83

表2より、実験対象の中でエクロジャイトの比熱が最も高いことが分かる。よって、エク

ロジャイトは蓄熱性に優れており、サウナ室の開閉やロウリュなどによる温度の低下を防ぐ効果が高いのではないかと考える。近年は、オートロウリュ機能により5分に1回などの高頻度でロウリュを行う施設も増えているため、そういった大規模な施設において、エクロジャイトは特に適していると言える。一方、比熱が大きいとサウナ室が温まるまでに時間がかかることが想定されるため、小規模な施設や、家庭用サウナなどのストーブの出力が小さい状況には適さないと言える。

## (2) 熱伝導率の測定

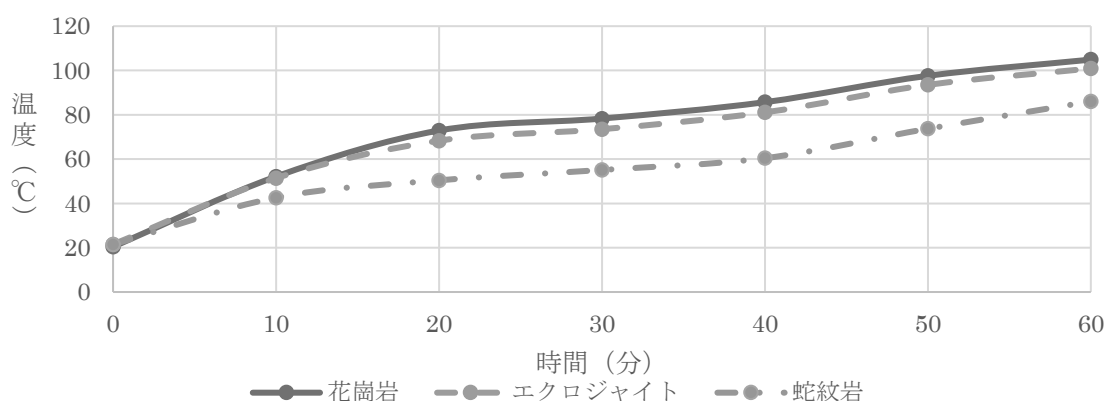


図 11 熱伝導率の結果

図 11 より、花崗岩とエクロジャイトは蛇紋岩よりも熱伝導率が高いことが分かる。また、花崗岩の方が加熱開始直後の温度上昇がやや速いことが分かり、これはエクロジャイトに比べ花崗岩の比熱が小さく、温度変化が容易に起こるためだと考える。熱伝導率に優れているエクロジャイトを使用することで、サウナ室の温度管理を容易に行うことができると想定される。しかし、熱伝導については、岩石同士のわずかな接触具合によって変化することが考えられるため、積み方を変えながら実験を繰り返していく必要があるだろう。

## 6 まとめと今後の課題

以上より、エクロジャイトは、密度・比熱・熱伝導の3観点において、一般的にサウナストーンに適していると知られている花崗岩や、市販のサウナストーンとして購入した蛇紋岩よりも優れているといえる。今回の研究結果を宇和島市役所に提出することで、やすらぎの里の魅力化の一助になることを願う。また、良質なサウナ室の設計には、温度のほかに湿度の管理も大きく関与するため、今後は、ロウリュに対する適性について詳しく調べていきたい。

## 謝辞

本研究を進めるにあたりご協力いただいた愛媛大学の佐野栄教授に、この場を借りて心より感謝申し上げます。

## 参考文献

- [1] 道の駅津島やすらぎの里再整備基本計画  
[https://www.city.uwajima.ehime.jp/uploaded/life/69757\\_208275\\_misc.pdf](https://www.city.uwajima.ehime.jp/uploaded/life/69757_208275_misc.pdf)
- [2] 新収資料紹介 斜長石とエクロジャイト  
[https://nh.kanagawa-museum.jp/www/pdf/tobira10\\_7hirata.pdf](https://nh.kanagawa-museum.jp/www/pdf/tobira10_7hirata.pdf)
- [3] サウナイキタイ <https://sauna-ikitai.com/>