

北海道駒ヶ岳軽石の産業応用に関する調査研究

下野 功、清水健志、鳥海 滋

Engineering Investigation of the Pumice deposited by the Eruption of Hokkaido Komagatake

Isao Shimono, Takeshi Shimizu and Shigeru Toriumi

要 旨

本研究は、北海道駒ヶ岳の噴火により堆積した軽石を、まだ気付いていない価値ある地域資源として見直し、その特徴を活かした食産業への活用を目的に取り組んだ。はじめに、軽石の内部構造の調査から、全体積の約半分を占める“開いた気孔”と呼ばれる部分に水分を吸収し、可逆的な使用が可能な、天然の優れた吸水材であることを確認した。次にこの軽石を、伝統的な灰干しを参考に、冷蔵温度帯で塩干品を製造するための吸水用資材として活用することを提案し、その可能性試験を行なった。最後に、天然の軽石を食品製造用資材として安心安全に使用するための2～3の確認試験を行なった。

1. はじめに

道南には、鹿部町、七飯町、森町にまたがる標高1,131mの活火山・北海道駒ヶ岳¹⁾があり、大沼、小沼、じゅんさい沼を含めた大沼国定公園には毎年多くの観光客が訪れる。駒ヶ岳は、1640年（寛永17年）、1694年（元禄7年）、1856年（安政3年）、1929年（昭和4年）に大噴火を起こし、その際に大量の火山性噴出物を放出した。駒ヶ岳の噴出物は、大部分が安山岩質マグマの冷え固まったもので、水蒸気などの揮発成分が多く含まれていたことから、噴出の際に激しく発泡し、軽石となって地表に堆積した。こうした駒ヶ岳の噴火の歴史から、その東部山麓に広がる鹿部町には、今でも町のあちこちに沢山の軽石が存在する。鹿部町は、人口4,200人弱の漁業が盛んな町で、冬場の浜は、スケソウダラ漁とホタテの水揚げで賑わう。一方、製造業の人数は300人ほどで、地域資源を活用した製造業を創出し、町の産業振興に貢献する取り組みが求められている。北海道は、平成26年に「北海道産業競争力強化戦略²⁾」を策定し、食及び観光関連産業を成長分野と位置づけ、この戦略に基づいた食及び観光に関わる取り組みを推奨している。課題は、地域資源の発見力の弱さ、付加価値

の低さなどが挙げられる。日本交通公社がまとめた「旅行年報2017³⁾」によると、行ってみたい旅行先の一位は「北海道」、旅行の動機の一位は「旅行先のおいしいものを求めて」という結果が公表された。今後も北海道が一位の座を維持していくためには、北海道観光の魅力に繋がる、食の新製品開発が欠かせない。こうした背景に基づき、地域の中からまだ気付いていない価値ある資源を見出し、それを食産業へと活用し、ひいては観光産業へ波及させ、地域の産業振興に貢献することが重要である。本報では、このようなシナリオを想定し、駒ヶ岳山麓に豊富にある軽石の性質や化学成分について調査し、これをまだ気付いていない価値ある地域資源として見直し、その特徴を活かした食産業への活用を提案した後、いくつかの可能性試験および確認試験を行なったので、その結果について報告する。

2. 実 験

2.1 試料

本研究では、土木用資材として市販されている火山礫および火山砂（共に里口工業）から、ふるいを使って大きさ2mmから5mmの軽石を選別して用

いた。ここで、火山礫から得た軽石の歩留まりは、質量にして約16%、体積にして約18%であった。一方、火山砂から得た軽石の歩留まりは、質量にして約25%、体積にして約44%であった。こうして選別した軽石を水道水でよく洗浄し、天日乾燥、機械乾燥（135℃）、乾熱滅菌（180℃、300℃、500℃）の順に処理を行なった。

2.2 密度および気孔率の測定方法

化学製品の密度及び比重測定方法（JIS-K-0061）を参考に、ゲーリュサック型比重瓶（50ml）を使用し、軽石の見掛け密度および真密度を測定した。軽石の密度は、次の式から求めた。

$$\text{密度} = ((W_b - W_a) / ((W_b - W_a) - (W_c - W_d))) \times \rho \cdots (1)$$

ここで、 W_a = 比重瓶の重量、 W_b = 比重瓶の重量 + 軽石の重量、 W_c = 比重瓶の重量 + 軽石の重量 + 標線までの水の重量、 W_d = 比重瓶の重量 + 標線までの水の重量、 ρ = 水の密度である。本研究では、見掛け密度の測定にはふるいを使って選別した2mmから5mmの軽石を、真密度の測定には回転刃式電動粉砕機を使用して250 μ m以下に粉砕した軽石粉を用いた。

次に、軽石の多孔質性を数値化するために、軽石内部を固体部と気孔部に分け、その体積割合を求めた。ここで、 V_a = 固体部の体積割合、 V_b = 閉じた気孔の体積割合、 V_c = 開いた気孔の体積割合、 V_d = 1cm³あたりの軽石が吸収することのできる水の体積とすると、以下のような関係が成り立つ。

$$V_a + V_b = 1 \cdots (2)$$

$$\therefore V_a = 1 - V_b \cdots (2)'$$

$$\text{真密度} = \text{見掛け密度} / (1 - V_b) \cdots (3)$$

$$\therefore V_b = 1 - \text{見掛け密度} / \text{真密度} \cdots (3)'$$

$$V_c = V_a \times V_d \cdots (4)$$

$$V_d = (\text{軽石の真密度} \times (100\text{g当りの軽石の吸水量} / 100\text{g})) / \rho \cdots (5)$$

ここで、 V_a 、 V_b 、 V_c から、規格化（ $V_a' = V_a / (V_a + V_b + V_c)$ ）、 $V_b' = V_b / (V_a + V_b + V_c)$ 、 $V_c' = V_c / (V_a + V_b + V_c)$ ）した値を求め、各部の体積割合とした。

2.3 観察および分析方法

軽石断面の低倍率観察、火山灰外観の低倍率観察には、デジタルマイクロスコープ（オプトサイエンス製、型式AD4113TS）を使用した。軽石断面石基部の高倍率観察、石基部および班晶部の化学成分の分析、火山灰断面の高倍率観察には、

エネルギー分散型X線分析装置（略語EDS、日本電子製、型式JED-2300）を搭載した走査電子顕微鏡（略語SEM、日本電子製、型式JSM-5510LV）を使用した。普通セロハンの表面観察には、電界放射型走査電子顕微鏡（略語FE-SEM、日本電子製、型式JSM-7200F）および走査プローブ顕微鏡（略語SPM、日立ハイテクサイエンス製、型式L-trace II）を使用した。

軽石の定性および半定量分析には、蛍光X線分析装置（略語XRF、島津製作所製、型式XRF-1700）を使用した。軽石に含まれる鉱物の同定および半定量分析には、X線回折装置（略語XRD、リガク製、型式MiniFlex600）を使用した。軽石の化学成分の定量分析、軽石および火山灰の重金属（ヒ素、鉛、カドミウム、水銀）分析は、外部機関（* 日本食品分析センター）に依頼して実施した。

2.4 試験方法

軽石の鉛およびヒ素の純度試験（食品添加物／ケイソウ土の鉛およびヒ素の純度試験⁴⁾）は、外部機関（* 日本食品分析センター）に依頼して実施した。また、軽石の鉛およびヒ素の溶出試験についても、外部機関（** 環境科学研究所）に依頼して実施した。ここで、検液の作製方法は、環境庁告示第46号（土壌の汚染に係わる環境基準について⁵⁾）に準じ、溶出試験方法は、工場排水試験方法（JIS-K-0102）に準じて行なった。

次に、軽石に施した乾熱滅菌処理の効果を調べるために実施した、無菌試験および一般細菌数測定方法について説明する。洗浄後、天日乾燥および機械乾燥を行なった軽石（約30g）を磁性るつぽに入れ、蓋をし、乾燥器（180℃）および電気炉（300℃、500℃）内で各1時間保持した。比較のため、洗浄後、天日乾燥のみを行なった軽石も試験に供した。無菌試験は、225mlの滅菌リン酸緩衝液と25gの検体を袋に入れ（10倍希釈）、上下左右に激しく振った後、再び9mlの滅菌リン酸緩衝液に1mlの乳剤を加え（100倍希釈）、よく混合した後、20mlのチオグリコレート培地に1mlの希釈液を接種し、35℃で48時間培養した。続いて、一般細菌数測定は、上述の10倍に希釈した乳剤1mlを9mlの滅菌リン酸緩衝液に加え（100倍希釈）、よく混合し、この操作を繰り返し行なうことで、1,000,000倍まで希釈した。各希釈試料（10

～1,000,000倍) 1mlと標準寒天培地をそれぞれシャーレ内で混釈し、35℃で48時間培養した。

本節最後に、魚の浸透圧脱水試験方法について説明する。本試験の概略図を図1に示す。ステンレス製角バット (20cm×26cm) に約250gの軽石 (2～5mm) を敷き、その上にキッチンペーパー (10gの食塩含浸) を重ね、その上に2枚の普通セロハン (フタムラ化学製、規格3g/m²) で挟んだソウハチ (頭、鱗、内臓を取り除いたもの) を2尾並べて置いた。更に、キッチンペーパー (10gの食塩含浸)、ガーゼ、軽石の順に重ね、プラスチック製の段ボール板で蓋をし、魚に少し添圧が掛かるように蓋付バットの周囲を紐で縛った。これを冷蔵庫 (3℃) の中で24h放置した。ここで、食塩を含浸したキッチンペーパーの作製方法は、プラスチック製容器 (24cm×24cm×5cm) 内に2枚のキッチンペーパーを重ねて敷き、これに60g (水:塩=50g:10g) の塩水を均一に浸した後、乾燥器内で60℃×8hの乾燥を行なった。

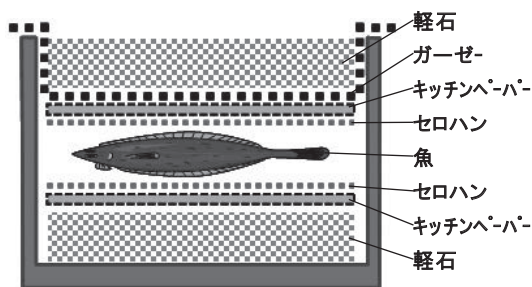


図1 魚の浸透圧脱水試験

3. 結果および考察

3.1 軽石の内部構造

はじめに、軽石ができる仕組み⁶⁾について説明する。地球の地下深くには、プレートの活動によって生じた液体状のマグマが存在する。マグマ溜まりにあるマグマは、高温高压状態にあることから、多くの火山ガス (その多くは水蒸気) が溶け込んでいる。このマグマが火道を通して上昇すると、温度の低下および圧力の減少により、水蒸気が泡となって発泡する。マグマが地表近くに出現し、冷えて固まったものを火成岩と呼ぶ。ここで、火成岩は、冷却速度の違いによって呼び名が異なり、急冷されたものを火山岩、徐冷されたものを深成岩、その中間を半深成岩と呼ぶ。多くの火山ガスを含んだマグマが急冷されると、多孔質な火山岩が形成される。これが軽石である。ここで、噴火

の際の衝撃力が強いと、火山岩は粉々になる。特に細くなったものを火山灰と呼ぶ。

以上の予備知識を踏まえ、軽石の断面を観察した。本研究に供した2mmから5mmの軽石の外観写真を図2に、軽石断面の拡大写真を図3に示す。ここで、図3 (a) は、デジタルマイクロスコープ像、(b) はSEMによる二次電子像である。(a) において、大きさ1mm以下の黒っぽい粒状の物質は、班晶と呼ばれるもので、軽石ができる前のマグマの中で溶けずに混じっていた結晶質の鉱物である。写真の掲載は省略するが、班晶の断面を拡大すると緻密な面が観察された。一方、班晶を取り囲むように存在する白っぽいマトリックスは、石基と呼ばれるもので、マグマの状態で溶けていた部分が冷えて固まったガラス質の鉱物である。石基部の任意の箇所を拡大すると、(b) のように隙間だらけの多孔質構造が観察された。この様な多孔質構造を数値で示すために、化学製品の密度及び比重測定方法 (JIS-K-0061) を参考に、軽石の見掛け密度および真密度を測定した。その結果、見



図2 北海道駒ヶ岳軽石の外観写真

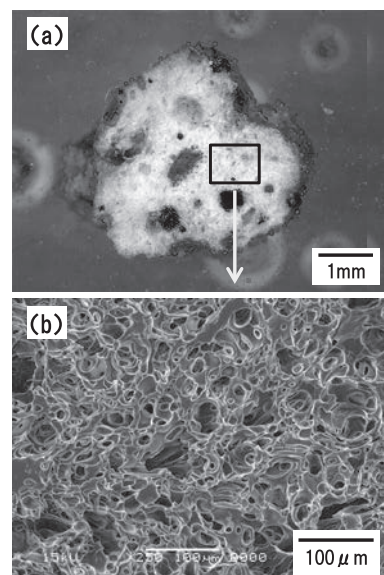


図3 軽石の断面写真

(a) デジタルマイクロスコープ像、(b) 二次電子像

掛け密度は $2.10\text{g}/\text{cm}^3$ 、真密度は $2.64\text{g}/\text{cm}^3$ であった。次に、水を十分に吸収した軽石の乾燥前後の重量変化を測定し、 100g あたりの軽石の吸水量は、約 43g であった。これらの値を用い、軽石の内部構造を数値化すると、図4に示すように、固体部（42%）、開いた気孔（48%）、閉じた気孔（10%）であることが分かった。以上より、この軽石は、全体積の約半分を占める、開いた気孔と呼ばれる部分に水分を吸収し、可逆的な使用が可能な、天然の優れた吸水材であることを確認した。

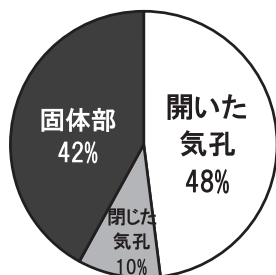


図4 軽石の固体部および気孔部の体積割合

3.2 軽石の化学成分および岩石学的調査

続いて、軽石の化学成分について調査した。はじめに、蛍光X線分析法により、軽石の定性分析を行ない、さらにFP法による半定量分析値を求めた。結果を図5の周期律表に色分けして示す。主成分は、OとSiで、副成分としてNa、Mg、Al等が検出された。このような定性および半定量分析の結果に基づき、C、O、S、Clを除く、残りの元素の定量分析*を行ない、過去4回の大噴火地層の文献値¹⁾と比較した。結果を表1に示す。ここで、各元素の分析結果は、過去4回の大噴火地層の分析結果に合わせ、表1に示す酸化物の値に換算して記した。分析に供した試料の SiO_2 含有量は約58%であることから、この軽石は、安山岩⁷⁾であることが確認された。その他の酸化物についても、過去4回の大噴火地層の文献値と概ね一致する結果を示した。

次に、軽石を構成する鉱物を同定するために、

	1a	2a	3a	4a	5a	6a	7a	8		1b	2b	3b	4b	5b	6b	7b	0					
1	1 H	主成分 … 10%以上														2 He						
2	3 Li	4 Be	副成分 … 1~10%														5 B	6 C	7 N	8 O	9 F	10 Ne
3	11 Na	12 Mg	少 量 … 0.01~1%														13 Al	14 Si	15 P	16 S	17 Cl	18 Ar
4	19 K	20 Ca	21 Sc	22 Ti	23 V	24 Cr	25 Mn	26 Fe	27 Co	28 Ni	29 Cu	30 Zn	31 Ga	32 Ge	33 As	34 Se	35 Br	36 Kr				
5	37 Rb	38 Sr	39 Y	40 Zr	41 Nb	42 Mo	43 Tc	44 Ru	45 Rh	46 Pd	47 Ag	48 Cd	49 In	50 Sn	51 Sb	52 Te	53 I	54 Xe				
6	55 Cs	56 Ba	57- 72	73 Hf	74 Ta	75 W	76 Re	77 Os	78 Ir	79 Pt	80 Au	81 Hg	82 Tl	83 Pb	84 Bi	85 Po	86 At	87 Rn				

図5 軽石の蛍光X線分析結果（FP法半定量分析）

表1 軽石の定量分析結果

	軽石 (%)	分析方法	過去4回の大噴火地層の分析値(参考値)			
			昭和4年層 (1929年)	安政3年層 (1856年)	元禄7年層 (1694年)	寛永17年層 (1640年)
Na_2O	3.14	原子吸光光度法	3.30	3.14	3.10	3.20
MgO	2.89	ICP発光分析法	2.71	2.27	2.18	2.60
Al_2O_3	17.14	ICP発光分析法	16.92	17.13	17.23	16.81
SiO_2	58.19	重量法	59.97	60.91	60.79	61.20
P_2O_5	0.16	ICP発光分析法		0.17	0.16	0.18
K_2O	0.87	原子吸光光度法	0.90	0.93	0.86	0.92
CaO	7.16	ICP発光分析法	6.57	6.92	6.74	6.63
TiO_2	0.66	ICP発光分析法	0.71	0.67	0.68	0.67
MnO	0.21	原子吸光光度法	0.20	0.19	0.20	0.10
Fe_2O_3	7.62	ICP発光分析法	3.01	2.52	2.67	2.29
FeO			4.27	4.29	4.12	4.47
Bal.	1.96		1.44	0.86	1.27	0.93
Total	100.00		100.00	100.00	100.00	100.00

XRD測定を行った。結果を図6および表2に示す。図6の回折パターンにはハローが見られ、ガラス質相の存在が示唆された。さらに、図6の回折パターンからは、灰長石（アノーサイト）、斜方輝石（オルソ・パイロキセン）、単斜輝石（クリノ・パイロキセン）、磁鉄鉱（マグネタイト）が同定された。軽石の断面観察を参考に、この結果を解釈すると、石基部はガラス質相で、4つの鉱物は班晶から検出されたと推察される。次に、この同定結果に基づき、リートベルト解析による半定量分析を行なった。結果を表2に示す。ここで、リートベルト解析は、ガラス質相の割合を解析できないので、ガラス質相を除く、結晶質鉱物の割合を求めた。表2より、全班晶の約80%が灰長石であり、残りの約20%を斜方輝石、単斜輝石、磁鉄鉱が占める。次に、このXRD測定の同定結果を他の方法でも確認するために、軽石断面のEDS分析を行った。結果を図7および表3に示す。エリア01は代表的な石基部で、その成分は SiO_2 と Al_2O_3 で約90%を占め、この結果からも石基部はガラス質相であることが裏付けられた。また、班晶部の分析結果から、エリア02は灰長石、エリア03は輝石、エリア04は磁鉄鉱と推定され、XRD測定により同定された鉱物が、この分析結果からも確認された。

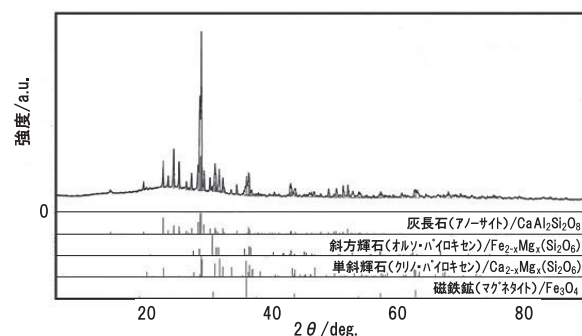


図6 軽石のX線回折測定結果

表2 リートベルト解析による鉱物の半定量分析結果

	鉱物名	化学式	班晶部分の 質量分率(%)
石 基	ガラス質		
班晶1	灰長石(アノサイト)	$\text{CaAl}_2\text{Si}_2\text{O}_8$	80.8
班晶2	斜方輝石(オルソ・パイロキセン)	$\text{Fe}_{2-x}\text{Mg}_x(\text{Si}_2\text{O}_6)$	11.2
班晶3	単斜輝石(クリノ・パイロキセン)	$\text{Ca}_{2-x}\text{Mg}_x(\text{Si}_2\text{O}_6)$	4.2
班晶4	磁鉄鉱(マグネタイト)	Fe_3O_4	3.8
			100.0

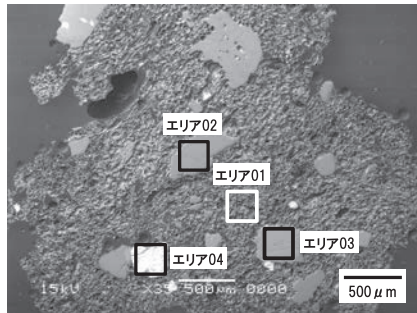


図7 軽石の断面写真(反射電子像)

表3 EDS 分析による軽石断面の半定量分析結果

	エリア01	エリア02	エリア03	エリア04
Na ₂ O	3.1	3.3		
MgO			18.9	1.6
Al ₂ O ₃	15.2	27.7	2.2	4.7
SiO ₂	73.2	59.1	57.2	11.2
K ₂ O	1.5			
CaO	2.7	9.9	1.9	1.2
TiO ₂				9.3
FeO	4.3		19.9	72.0
Total	100.0	100.0	100.0	100.0

3.3 食産業への活用の提案

以上の調査結果から、この軽石は、希少元素を含むような価値ある資源とは言えず、多孔質という構造上の特徴を活かした活用が望ましい。しかしながら、軽石のこのような構造上の特徴は既に知られており、これまでも園芸用の鉢底石等として活用されていることから、この構造をもって価値ある資源とは言いがたい。軽石を、まだ気付いていない価値ある地域資源として見直すには、本報のはじめにでも述べた、地域の産業振興のシナリオを参考に、これまでに無い活用を提案する必要がある。そこで本研究では、魚の塩干品の製造方法の一つとして知られる、灰干し⁸⁾を参考にすることにした。灰干しとは、セロハンで挟んだ魚の上下に火山灰を敷き詰め、この火山灰に魚の水分を吸わせて塩干品を作るという製法である。この灰干しを参考に、次のようなシナリオを描いた。軽石の優れた吸水性に着目しながらも、既に知られている製品として市場に提供するのではなく、伝

統的な灰干しを参考に、道南の新鮮な魚と組み合わせ、地域の名物となる新製品を開発し、その成果を観光に繋げ、地域の産業振興に貢献するというものである。

ところで、この灰干しには、桜島や伊豆大島など、特定の地域の火山灰が必要不可欠と考えられている。その理由を探るために、灰干しに使われる一般的な火山灰を入手し、2～3の調査を行なった。デジタルマイクロスコップを使用した火山灰の拡大写真を図8に示す。前述のとおり、火山灰とは、噴火の際の強い衝撃力により、火山岩が粉々になったものとする、黒っぽい粒状の物質は軽石における班晶、白っぽい粉状の物質は軽石における石基が粉々になったものと見なすことができる。この火山灰を、ふるい(目開きの寸法: 1mm、500 μm、250 μm、125 μm、63 μm)を使って分級した結果を図9に示す。125から250 μmの粒が最も多く、平均粒径は約200 μmと推定される。ここで、火山灰を樹脂に埋め込み、研磨後、平均的な大きさの粒を選び、断面のSEM観察を行った。結果を図10に示す。限られた数の火山灰による所見で、この結果をもって断定することはできないが、この火山灰の断面は、軽石内部にある班晶のようにとても緻密で、軽石の石基部のような水分の吸収に適した構造は見られなかった。

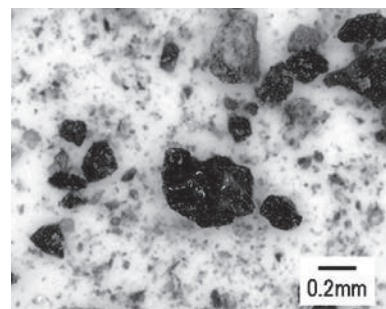
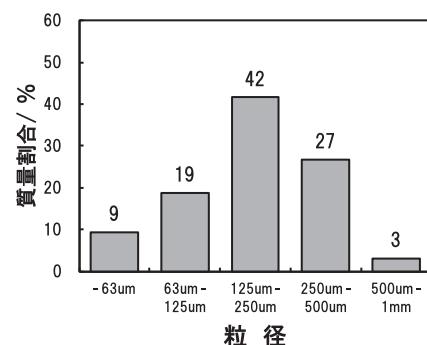
図8 火山灰の外観写真
(デジタルマイクロスコップ像)

図9 火山灰の粒度分布

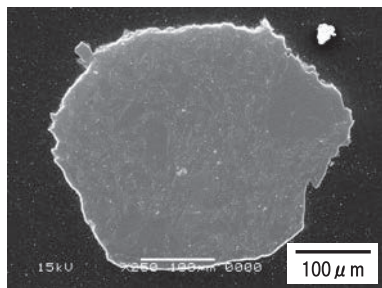


図10 火山灰の断面写真（二次電子像）

ところで、火山灰を容器に詰めると、図11に示すように沢山の隙間ができ、そこに水分を吸収することができる。そこで、この火山灰をメスシリンダー（100mL）に充填した後、水を含ませ、その前後の重量変化から隙間の体積割合を求めた。結果を図12に示す。これより、火山灰の隙間の体積割合は、約34%と求められた。尚、このような隙間の形成は、火山灰に特有のものではなく、砂浜にある砂を用いてもほぼ変わらぬ結果（約37%）を示した。記録⁹⁾によると、灰干しは、1960年頃、和歌山県和歌山市雑加崎（さいかざき）で始まったとされる。この地方では、昔から砂の上に魚を広げ、砂の吸水性を利用して魚を乾燥させるという伝統的な製法で干物作りが行われていた。その後、徳島の灰干しわかめ¹⁰⁾を参考に、火山灰を使った製造法へと変わっていったと考えられている。以上、灰干しに用いる火山灰の2～3の調査結果および灰干しの歴史的背景を参考に、軽石の構造上の特徴を活かした食産業への活用について考えた結果、塩干品を製造するための吸水用資材が有望ではないかという着想を得た。

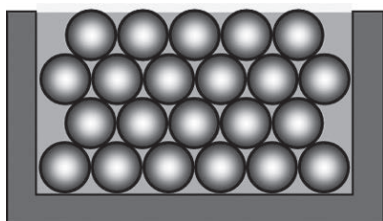


図11 火山灰隙間の概念図

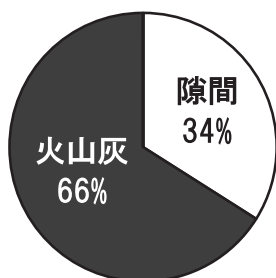


図12 火山灰隙間の体積割合

3.4 食産業への活用の可能性試験

本節では、軽石を用いた魚の浸透圧脱水試験の結果を示し、その水分移動について考察する。試験には道南で水揚げされたソウハチを用い、試験前後の魚の重量変化から歩留りを求めた。結果を図13に示す。試験後、全ての魚は、脱水による重量減少を示した。また、歩留まりは、試験に供した魚の重量に依存し、重い魚は歩留まりが大きく、軽い魚は歩留まりが小さいという結果を示した。こうした傾向は、重さの異なる魚の塩干品を製造する場合、目標とする歩留りを一定にするためには、魚の重さによって冷蔵温度帯での放置時間を変える必要があることを示している。

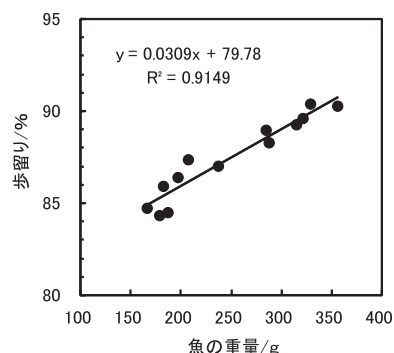


図13 浸透圧脱水試験による魚の重量と歩留りの関係

続いて、浸透圧脱水試験による魚の水分移動について考察する。ここで再び図1を参照すると、魚とキッチンペーパー（食塩含浸）は、セルロース¹¹⁾を主成分とする透明な半透膜のセロハンで仕切られている。ここで、セルロースとは、植物細胞の細胞壁および植物繊維の主成分で、分子式 $(C_6H_{10}O_5)_n$ で表される炭水化物（多糖類）である。本試験に用いたセロハンのFE-SEMおよびSPMによる観察結果を図14に示す。これより、縦方向に揃った、幅約30～50nmの繊維状組織が観察された。より高倍率のSPM像からは、繊維と繊維の間に僅かな隙間が存在すると考えられ、魚の水分は、食塩の濃度差による浸透現象により、この隙間を通り、キッチンペーパーへ移動したと推察される。さらに、試験後の軽石の加熱乾燥による重量減少より、魚が失った水分の約65%を軽石が吸収していたことが分かった。以上より、セロハンを通り、魚からキッチンペーパーへと移動した水分は、ほとんどが軽石へと吸収され、このような水分移動の経路を設けたことで、魚の水分を効率

よく低下させることができたものと推察される。以上、軽石は、魚の塩干品を製造する際の鍵となる吸水用資材として有用なことが示された。

尚、灰干した魚の塩干品は、魚臭がほとんどしないという報告¹²⁾があり、火山灰等による魚臭の低減に関する研究は、たいへん興味深い。本研究でも、軽石を使った塩干品の魚臭に関する2～3の試験および分析を行なったが、魚臭に関わる臭い成分を特定するまでには至らず、今後の研究課題としたい。

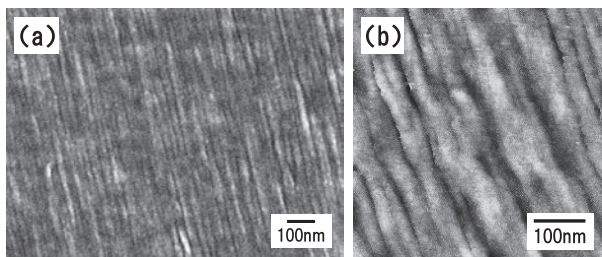


図14 セロハンの表面観察 (a)二次電子像, (b)SPM 像

3.5 安心安全に関わる確認試験

最後に、天然の軽石を食品製造用資材として安心安全に使用することを目的に行なった確認試験の結果について報告する。はじめに、軽石の重金属（ヒ素、鉛、カドミウム、水銀）の分析結果*を表4に示す。軽石からは、カドミウムおよび水銀は検出されなかったものの、微量ながらヒ素（ As_2O_3 として4.6ppm）および鉛（9ppm）が検出された。比較のため、火山灰についても同じ分析を行ない、同様の結果を示した。ところで、地球の表層（地殻）の平均組成¹³⁾から、ヒ素1.8ppm（ As_2O_3 としては2.4ppm）、鉛13ppmであることが知られている。これより、軽石や火山灰に含まれるヒ素および鉛の濃度は、地球の表層（地殻）の平均濃度と同程度と判断される。加えて、水道水のろ過材には天然の砂や砂利が使われていることを勘案すると、天然の軽石を魚の塩干品を製造するための吸水用資材として使用することは、特に問題は無いように思われる。しかしながら、ヒ素と鉛については、参考となる指標と比較し、安心安全のための確認が必要と考える。そこで食品添

表4 軽石および火山灰の重金属分析結果

重金属元素	軽石	火山灰	下限値	分析方法
As_2O_3	4.6ppm	4.3ppm		原子吸光光度法
Pb	9ppm	9ppm		原子吸光光度法
Cd	検出せず	検出せず	0.1ppm	原子吸光光度法
Hg	検出せず	検出せず	0.01ppm	還元気化原子吸光光度法

加物の中から、ビールや醤油等のろ過助剤として使用するケイソウ土に倣い、食品添加物公定書⁴⁾に準じた鉛、ヒ素の純度試験を行った*。その結果、鉛、ヒ素共に限度内（ $10\mu\text{g/g}$ 以下）であることが示された。また、本製法では魚と軽石が直接接触れることは無いものの、魚から軽石へと水分移動が生じることから、ヒ素と鉛の溶出についても参考となる指標と比較し、安心安全の確認が必要と考える。そこで、ヒ素と鉛に関わる溶出試験として、環境庁告示第46号／土壤の汚染に係わる環境基準⁵⁾を参考に、その付表に記す検液の作成方法に準じて検液を作成し、別表に記す測定方法（鉛…JIS-K0120-54.2、ヒ素…JIS-K0120-61.2）に準じて測定を行った**。その結果、ヒ素および鉛共に0.001mg/L未満という結果を示し、土壤の汚染に係わる環境基準の別表に記す、環境上の条件（0.01mg/L以下）を満たすことが確認された。

本節最後に、軽石に施した乾熱滅菌処理の効果を調べるために実施した、軽石の無菌試験および一般細菌数測定について報告する。比較のため、洗浄後に天日乾燥した、未処理の軽石の各試験も行った。結果を表5に示す。無菌試験の結果、未処理の軽石は陽性を示したが、乾熱滅菌処理した軽石は3点の温度とも陰性を示した。次に、一般細菌数測定では、未処理の軽石は 3.8×10^4 個/gという結果であったが、乾熱滅菌後の軽石は3点の温度とも300個/g以下という結果を示した。

表5 軽石の無菌試験および一般細菌数測定結果

試験項目	未処理	乾熱滅菌		
		180℃×1h	300℃×1h	500℃×1h
無菌試験	陽性	陰性	陰性	陰性
一般細菌数測定	3.8×10^4 個/g	300個/g以下	300個/g以下	300個/g以下

4. 結 論

北海道駒ヶ岳軽石の産業応用に関する調査研究を行なった。本研究で得た知見を以下に列記する。(1) 軽石の内部構造を調査した。断面観察から、緻密な班晶と多孔質な石基が観察され、密度および気孔率の測定から、固体部（42%）、開いた気孔（48%）、閉じた気孔（10%）という結果を得た。以上より、軽石は、開いた気孔に水分を吸収し、可逆的に使用可能な、天然の優れた吸水材であることを確認した。

(2) 軽石の化学成分を調査した。 SiO_2 の含有量から安山岩であることを確認し、その他の成分についても、過去4回の大噴火地層の文献値と概ね一致した。さらにXRD測定とEDS分析から、石基部は SiO_2 と Al_2O_3 を主成分とするガラス質相であり、班晶部からは灰長石、斜方および単斜輝石、磁鉄鉱が同定された。

(3) 食産業への活用の可能性試験として、魚（ソウハチ）の浸透圧脱水試験を行ない、魚の水分移動について考察した。その結果、軽石は、魚の塩干品を製造する際の鍵となる吸水用資材として有用なことが示された。

(4) 軽石の安心安全に関わる確認試験を行なった。重金属分析から、微量のヒ素(As_2O_3 として4.6ppm)と鉛(9ppm)を含むことが知られた。そこで、食品添加物のケイソウ土(ろ過助剤)に倣い、ヒ素および鉛の純度試験を行ない、共に限度内($10\text{ }\mu\text{g/g}$ 以下)という結果を示した。さらに、ヒ素と鉛の溶出試験を行ない、環境上の条件(0.01mg/L 以下)を満たす結果を示した。

(5) 乾熱滅菌処理(180°C 、 300°C 、 500°C で各1時間保持)の効果を調べるために、無菌試験および一般細菌数測定を行なった。無菌試験では、3点の温度とも陰性を示し、一般細菌数測定においても、300個/g以下という結果を示した。

謝 辞

本研究は、鹿部町製品開発研究会からの相談が発端となり、その多くの部分は、平成28年度ノーステック財団イノベーション創出研究支援事業(スタートアップ研究補助金)で実施されました。軽石ができる仕組みおよび内部構造については、中川充氏(産業技術総合研究所)にご教示をいただきました。軽石の見掛け密度および真密度、気孔率の測定方法は、執行達弘氏(道総研工業試験場)にご指導いただきました。軽石のXRD測定およびリートベルト解析は葛巻貴大氏(株式会社リガク)、軽石断面および火山灰断面の高倍率観察、石基および班晶の化学成分の分析は河野林太郎氏(日本電子株式会社)、セロハンのFE-SEM観察は長谷部祐治氏(日本電子株式会社)、セロハンのSPM観察は斎藤隆之氏(道総研工業試験場)にご協力いただきました。皆さまには、衷心より感謝申し上げます。

参考文献

- 1) 産業技術総合研究所／地質調査総合センター：日本の火山／北海道駒ヶ岳、URL:https://gbank.gsj.jp/volcano/Act_Vol/hokkaidokomagatake/text/exp05-1.html
- 2) 北海道産業競争力協議会：北海道産業競争力強化戦略、URL:<http://www.hkd.meti.go.jp/hokss/20140331/20140331data1.pdf>
- 3) 公益財団法人日本交通公社：旅行年報2017、p.18-31、p.64-65、URL:<https://www.jtb.or.jp/wp-content/uploads/2017/10/Annual-Report-all-2017.pdf>
- 4) 日本食品添加物協会：第8版食品添加物公定書、第8版(2007)、p.341-342
- 5) 環境省：環境庁告示第46号、URL:<https://www.env.go.jp/kijun/dojou.html>
- 6) 加藤祐三：軽石(八坂書房)、p.55-90
- 7) 周藤賢治、小山内康人：記載岩石学上(共立出版)、p.5-28
- 8) 干川剛史：大妻女子大学人間関係学部紀要、人間関係学研究 16(2014)、p.17-32
- 9) 一般社団法人本場の本物ブランド推進機構：本場の本物－紀州雑賀崎(さいかざき)の灰干しさんま－、URL:<https://honbamon.com/product/29-kaikazaki-hoshisanma/index.html>
- 10) 團 昭紀、大野正夫、松岡正義：徳島水研報、第10号(2015)、p.25-48
- 11) フタムラ化学株式会社大垣工場編：セロハン、p.12-16
- 12) 倶楽部ひよっとこ編：自家製干物の作り方(日東書院)、p.72-75
- 13) 西村雅吉：環境化学改訂版(裳華房)、p.5-19