

身近な堆積物から得られるガラスとそれを活用する試み

—京都に分布するチャートからガラス教材をつくる—

山本将也¹⁾, 田中里志²⁾

1) 京都教育大学教育学部 rik51208@kyokyo-u.ac.jp

2) 京都教育大学理学科 stanaka@kyokyo-u.ac.jp

キーワード: チャート, ガラス作り, 教材化

(受付: 2019年2月18日)

I. はじめに

ガラスは古くから人類の生活と深く結びついていて、紀元前数千年の昔から天然ガラスである黒曜石が矢じりや刃物として使用されている(堤, 2004)。人類が人工的にガラスを作るようになったのは、紀元前 1600 年頃とされている。現在では私たちの生活の中に普通に見ることができ、様々な用途として用いられている。ガラスは液体を結晶化させずに過冷却し、その粘度が固体と同程度に達したもので、非晶質状態のものを言う。基本的な構成元素は、ケイ素やケイ酸塩である。特に二酸化ケイ素(SiO_2)は、地殻の 55%を占め、造岩鉱物として岩石中に普通に存在していて、石英はその代表的な例である(地学団体研究会, 1996)。

一方で、同じ二酸化ケイ素を主成分とする岩石でチャートがある。放散虫化石や海綿骨針化石を含み、緻密で硬く京都を代表する岩石の一つとされ、龍安寺の石庭など寺社庭園に広く使われている。チャートは、近畿・中部地方の山々をつくる代表的な岩石で、古生代石炭紀～中生代ジュラ紀の時代を示す丹波帯(＝丹波層群)の主体をなす(木村ほか, 1998; 井本ほか, 1989; 宮地ほか, 2005; 脇田ほか 2013 など)。したがって、京都ではチャートを身近に見ることができ、京都市内を流れる川原にチャート礫は群を抜いて多い(地学団体研究会, 2017)。

本研究では、こうした身近に観察できるチャートに着目して、そこからガラスを作成することを主な目的としている。身近な物質からガラスをつくる研究は、誉田(1991)などにより報告されているが、身近な岩石からガラス作り教材を考える報告例はほとんどない。そのことを受け本研究では、ガラス作り体験を通して子どもたちが主体的に学習することができる“ガラス作り教材”の検討を行う。

II. ガラスの特徴

ガラスには、「水ガラス」「ソーダ石灰ガラス」「ホウケイ酸ガラス」などがある。水ガラスは液体のガラスで、防火剤、地盤改良剤、シリカゲルの原料などに使用されている。ソーダ石灰ガラスは板ガラス、ビンの容器、食器類などに使用される一方、ホウケイ酸ガラスは耐熱性・耐薬品性に優れていることから、理化学器具や台所用品などに使用されている。本研究ではこれら 3 種のガラスを対象として検討した。

III. 研究方法

京都教育大学近くの大岩山（標高 180m）への道路沿いの試料と、京都市伏見区にのくいな橋周辺の鴨川河床でチャートを採取し、それらを鉄乳鉢で粉碎し、ふるい（0.063mm）分けする（チャート粉末をつくる）。水ガラスでは、チャート粉末：炭酸ナトリウムをそれぞれ 1：4，1：2，1：1，3：1，5：1 の 5 種類の割合について検討した。1：1 の割合を基準とし、二酸化ケイ素の物質質量を変化させた。ソーダ石灰ガラスでは、チャート粉末：炭酸ナトリウム：炭酸カルシウムを 7：2：1，4：4：2，40：5：4 の 3 種類の割合にした。琉球ガラスの調合割合である 40：5：4 をもとに、チャート粉末と薬品の割合を変化させた。ホウケイ酸ガラスは、チャート粉末：炭酸カルシウム：ホウ酸ナトリウムをそれぞれ 1：2：1，2：2：1，8：2：1，16：2：1 の 4 種類の割合について検討した。2：2：1 の割合を基準とし、二酸化ケイ素の物質質量を変化させた。そして電気炉ならびに七輪を用いて熔融し徐冷したものを観察する。

IV. 採取地点



図1 大岩山の採取地点 (国土地理院地図)



図2 くいな橋周辺の鴨川河床の採取地点（国土地理院地図）

〔大岩山〕

- A-1: 埋まっていた黒色チャート
A-2: 工事現場付近に落ちていたセメント
A-3: 展望台で採取した基盤岩の白色チャート
A-4: 展望台で採取した茶褐色チャート
A-5: 頂上までの坂道で採取した茶褐色チャート
A-6: 盛り土に埋まっていた白色チャート

〔くいな橋周辺の鴨川河床〕

鴨川の河床で4色(4種類)のチャートを採取した。

- 灰赤色 (10R4/2) チャート
 暗灰色 (N3/0) チャート
 灰色 (N5/0) チャート
 橙色 (7.5YR6/6) チャート

V. 結果

生成したガラスの評価は、色、熔け具合（粒子の残存度）、ガラス光沢の様子などで行なった。色は、マンセル標準カラーチャートを用いて判断した。熔け具合は、メッシュ法を用いて A～D の 4 段階に分けた。それらは、A : 10 割、B : 9～5 割、C : 4～1 割、D : 0 割とそれぞれ熔けた割合によって判定した。七輪を用いた熔融は、容器内に生成された様

子と七輪内に落として生成されたものの両方について評価した。調合割合、質量、時間、温度を変化させ、加熱方法ごとにガラスの生成を試みた。水ガラスについては水の溶解についても検討した。

【水ガラス】電気炉を用いて加熱を行った場合のみ生成することができた。特に、質量、時間、温度に着目すると、二酸化ケイ素と炭酸ナトリウムを 1：1 の割合にすることで熔けやすくなることが明らかとなった。その熔融温度は 1000℃程度であった（表 1）。

表 1 電気炉で水ガラスを加熱

	水ガラス									
	SiO ₂		SiO ₂	SiO ₂		3SiO ₂		5SiO ₂		
	+4Na ₂ CO ₃		+2Na ₂ CO ₃	+Na ₂ CO ₃		+Na ₂ CO ₃		+Na ₂ CO ₃		
電気炉	①			②		③		④		
質量 (g)	3.00		4.00	3.00		3.00 1.00 3.00		2.00		3.00
時間 (h)	1		1	1		1 1 1		3		1
温度 (°C)	800		900	1000		1000 1100 1000		1100		1000
結果	明青灰色 (5BG7/1), D		明青灰色 (5BG7/1), D	無色, C		無色, A 無色, A D 無色, C 無色, A 無色, B 無色, B		無色, C		無色, C
水の溶解	可溶		可溶	可溶		不溶 可溶 可溶		可溶		不溶

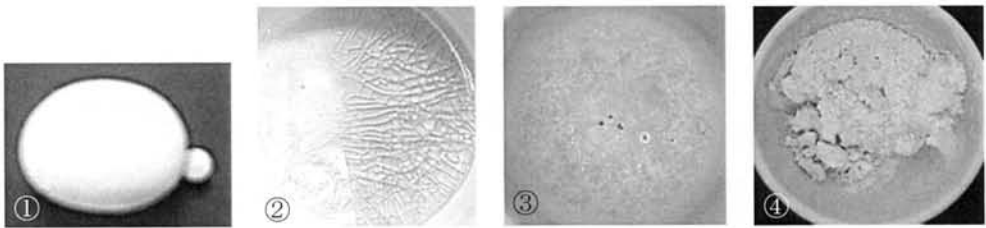


図 3 電気炉で加熱した水ガラスの生成物(写真は表 1 中の番号と対応)

【ホウケイ酸ガラス】電気炉を用いて加熱を行った場合ガラスを生成することができた。その熔融温度は 900℃で 1 時間加熱する必要があることが分かった（表 2）。

表 2 電気炉でホウケイ酸ガラスを加熱

	ホウケイ酸ガラス			
	SiO ₂ +2CaCO ₃	2SiO ₂ +2CaCO ₃	8SiO ₂ +2CaCO ₃	16SiO ₂ +2CaCO ₃
	+Na ₂ B ₄ O ₇	+Na ₂ B ₄ O ₇	+Na ₂ B ₄ O ₇	+Na ₂ B ₄ O ₇
電気炉	①	②		
質量 (g)	3.00	3.00	2.00	2.00
時間 (h)	1	1	0.5	0.5
温度 (°C)	900	900	1000	1000
結果	無色, A	無色, A	D	D

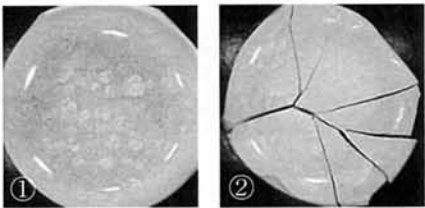


図 4 電気炉で加熱したホウケイ酸ガラスの生成物(写真は表 2 中の番号と対応)

表 3 電気炉でソーダ石灰ガラスを加

電気炉	ソーダ石灰ガラス $7\text{SiO}_2+2\text{Na}_2\text{CO}_3+\text{CaCO}_3$															
	①								②							
質量 (g)	1.42	2.50	15.00	2.50	1.00	1.00	1.00	1.00	2.50	2.50	2.50	2.50	4.00	2.50	2.50	1.42
時間 (h)	1	1	0.5	1	0.5	1	1	2	3	3	0.5	1	3	1	1	1
温度 (°C)	1000	1000	1000	1050	1100	1100	1100	1100	1100	1100	1100	1100	1100	900	950	1000
結果	無色, A 無色, A 無色, A 無色, A 無色, A 無色, A 無色, A 無色, A 無色, A 無色, A 無色, A 無色, B 無色, B D															

電気炉	ソーダ石灰ガラス $4\text{SiO}_2+4\text{Na}_2\text{CO}_3+2\text{CaCO}_3$															
	③								④							
質量 (g)	2.50	2.50	1.00	2.50	4.00	2.50	4.00	4.00	4.00	4.00	4.00	4.00	4.00	4.00	4.00	4.00
時間 (h)	1	1	3	3	3	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
温度 (°C)	1000	1050	1100	1100	1100	900	1100	1100	1100	1100	1100	1100	1100	1100	1100	1100
結果	黄色, C 淡黄色 (7A Y8/3), 黄色, C 黄色, C 黄色, C 黄灰色 (5B G7/1), D 明緑灰色 (5G7/1), A 明緑灰色 (5G7/1), B 明緑灰色 (5G7/1), C 緑黄色 (10GY2/1), B 緑黄色 (10GY2/1), B 明緑灰色 (7.5GY1/1), C 明黄灰色 (3B G7/1), C								明緑灰色 (5G7/1), A 明緑灰色 (5G7/1), B 明緑灰色 (5G7/1), C 緑黄色 (10GY2/1), B 緑黄色 (10GY2/1), B 明緑灰色 (7.5GY1/1), C 明黄灰色 (3B G7/1), C							
チャート	A-6 A-6 A-6 A-6 A-6 A-6 A-6 A-6								A-6 A-3 A-3 A-3 緑灰色チャート 褐色チャート 灰黄色チャート 灰色チャート							



図5 電気炉で加熱したソーダ石灰ガラスの生成 (写真は表3中の番号と対応)

表 4 七輪でソーダ石灰ガラスを加熱

七輪	ソーダ石灰ガラス $7\text{SiO}_2+2\text{Na}_2\text{CO}_3+\text{CaCO}_3$			ガラス粉末
	①	②	③	
質量 (g)	55.8	100	50.5	
時間 (h)	1	1	1	
温度 (°C)	約1100	約1100	約1100	
結果 (容器)	明緑灰色 (5G7/1), A	明緑灰色 (10GY8/1), C	オリーブ灰色 (5GY6/1), A	
結果 (落としたもの)	明緑灰色 (5G7/1), A	明緑灰色 (10GY8/1), B	黒色 (10Y2/1), A	
チャート	A-3	A-6	ガラス粉末	

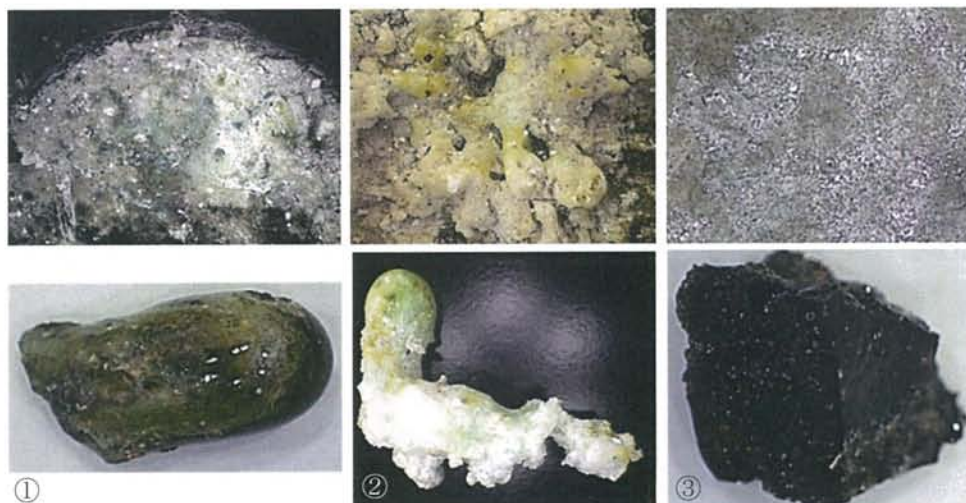


図 6 七輪で加熱したソーダ石灰ガラスの生成物

(写真は表4中の番号と対応, 上写真: 容器内の様子, 下写真: 七輪内に落として生成したガラス)

【ソーダ石灰ガラス】電気炉と七輪を用いて加熱を行った場合ガラスを生成することができた。その熔融温度は 1000℃で 1 時間程度加熱する必要があることが分かった。

また、二酸化ケイ素と炭酸ナトリウムと炭酸カルシウムを 4:4:2 の割合にするとガラス中に白い模様ができることがわかった。生成できたガラスには様々な色が見受けられた(表 3, 4)。

VI. 考察

質量、時間、温度、調合割合による熔け方への影響、チャートの色の影響について考察する。質量による影響について見てみると、質量 1~4g では熔け方に違いはないと考えられる(表 3)。また、時間については、30 分以上で熔けることがわかる(表 3)。粉末は縁辺部より温度が上がり、試料全体が融点に達する時間が 30 分であることを示している。温度による影響については、温度を 900~1100℃まで変化させたとき、温度の低い方が熔けにくくなっていることがわかる(表 3)。これらのことから、ソーダ石灰ガラスの融点は、およそ 900℃であると考えられる。

粉末と薬品の調合割合による影響は、水ガラスでは、炭酸ナトリウムの割合を二酸化ケイ素より多くすると熔けやすくなっていることがわかる(表 1)。これは、融剤である炭酸ナトリウムの割合が増えることで、融点を下げているからと考えられる。

チャートの色による違いについては、チャートに含まれる酸化鉄などの量やシリカの量に影響されると考えられる。一般に赤色のチャートは海水中に酸素が多い三畳紀〜ジュラ紀、黒色のチャートは酸素の少ないペルム紀にできたと考えられている。赤色チャートは酸化鉄が多く含まれシリカが少ない。橙色、黒色になるにつれ酸化鉄が少なくなり、シリカの量が多くなる。表 3 の $40\text{SiO}_2 + 5\text{Na}_2\text{CO}_3 + 4\text{CaCO}_3$ より、緑黒色のガラスには鉄質やマンガンなどの様々な金属酸化物が含まれ、黒色に呈色したと考えられる。明緑灰色になった要因については検討の余地がある。

七輪を用いた方法では、有色のガラスを生成できた(表 4)。容器内で生成したガラスに着色が見られたのはステンレス容器の酸化クロム(Cr_2O_3)や酸化ニッケル(NiO)が原因であると考えられる。酸化クロムは若草色に呈色し、チャートに含まれていた酸化鉄(Fe_2O_3)によって、明緑灰色になったと考えられる。また、酸化ニッケルは灰色に呈する。

VII. 教育での活用

岩石のチャートについては、中学校学習指導要領(平成 29 年告示)解説理科編(文科省, 2017)において内容の取扱いに、「地層を構成する堆積岩としては、小学校では礫岩、砂岩、泥岩を学習しているが、これらの岩石のほか、地域の実態に応じて、例えば、石灰岩、チャートなどを扱い、粒の大きさや構成物質の違いなどに気付かせる。」と示されている。そこで、チャートが観察できる地域では、これを取り上げ体験的な活動を通して学習することが大切だと考える。本研究で取り上げた「岩石からガラス作り」を通しての体験的な活動で、チャートの性質や活用法、利用法について子どもたちが主体的に学習でき、そして身近なガラスについてその性質や出来あがる過程を理解することができる教材と言える。

VIII. まとめ

チャートから3種類のガラス（水ガラス、ソーダ石灰ガラス、ホウケイ酸ガラス）を生成することができた。ガラスの種類によって熔融温度が異なり、1番低い温度はホウケイ酸ガラスの900℃であった。また、二酸化ケイ素と炭酸ナトリウムの割合によって熔け具合に影響を及ぼすことがわかった。

簡単な実験器具や七輪など身近な道具を利用し、チャートからガラスを生成することができ、学校現場でも教材として簡単に活用できることがわかった。

文献

- 地学団体研究会 2009. 新版 地学事典. 新版地学事典編集委員会編, 1840p.
- 地学団体研究会 2017. 京の石 川原の石図鑑. 京の石 川原の石図鑑編集委員会編, 56p.
- 井本伸広・清水大吉郎・武蔵野 實・石田志朗 1989. 京都西北部地域の地質. 地域地質研究報告（5万分の1地質図幅）, 地質調査所, 84pp.
- 木村克己・吉岡敏和・井本伸広・田中里志・武蔵野 實・高橋裕平 1998. 京都東北部地域の地質. 地域地質研究報告（5万分の1地質図幅）, 地質調査所, 90pp.
- 誉田唯信 1991. 日常生活物質を用いたガラス作り（小・中・高のページ）. 化学と教育, 39（6）, p.694.
- 宮地良典・楠 利夫・田結庄良昭・武蔵野 實・井本伸広 2005. 京都西南部地域の地質. 地域地質研究報告（5万分の1地質図幅）, 地質調査所, 90pp.
- 文部科学省 2017. 中学校学習指導要領解説 理科編. 82pp.
- 堤 隆 2004. 黒曜石 3万年の旅. NHK ブックス 1015, 236pp.
- 脇田浩二・竹内圭史・水野清秀・小松原 琢・中野聰志・竹村恵二・田口雄作 2013. 京都東南部地域の地質. 地域地質研究報告（5万分の1地質図幅）, 産総研地質調査総合センター, 124pp.