

やさしい灰溶融入門

第 1 話 スラグって石？… 岩石の分類と性質 ……

『我が君は千代に八千代にさざれいし細石のいはほ巖と成りて、苔のむすまで』 読人知らず

現代語訳 私の大切な君は、人の千倍も八千倍も永遠に生きて、小さな石が岩になって、そこに苔がは生えるまで、長寿でありますように※¹。

国家の元歌である。『古今和歌集』※²賀の部の巻頭（343）に掲載されている主君の長寿を祈る歌だが、平安後期にはすでに「君が代は」の形で知られていたという。成立は延喜 5 年（西暦 905 年）である。平安時代中頃では、現代と反対で「細石（さざれいし）」が大きくなって「巖（いわお）」になると考えられていた。細石の細（さざ）れとは、さざ波のさざと同じで小さい、細かいという意味である。焼却灰を溶融して造った水砕スラグは、基本的に人工的な細石（さざれいし）といえるだろう。

今年 8 月下旬に中防の灰溶融施設の水砕スラグを手にとって見る機会があった。見るからに溶融スラグ独特の『つや』がなく、生焼け・生煮えの感じである。水砕スラグなので冷却水の中を潜（くぐ）っている分けだが、濡れているものの妙に「いがらっぽい」感じがした。

いがらっぽいスラグの一例を挙げると竣工直後の T 清掃工場（表面溶融炉）である。スラグ水砕水槽のオーバーフロー水を観察していた時、排水の色が急に黒くなったことがあり、この原因は、偶然、溶融速度と灰の切出量がアンバランスから、灰の溶融面の角度が安息角を越え一部で全層雪崩？があり、スラグが灰まぶしになったと推測される。ただ、T 工場では、針状スラグ対策のために湿式ボールミルを備えているため、これが洗濯機の役目もしており、雪崩の時でも、もっと全体的につやがあったことを覚えている。

※¹ 角川ソフィア文庫 「古今和歌集」中島輝賢 訳

※² 【古今和歌集】（コキンワカシフ）平安初期の最初の勅撰和歌集。20 巻。延喜五年醍醐天皇の勅命により、紀貫之らが編纂。延喜 5 年頃の成立とされる。読人知らずの歌と六歌仙、撰者らおよそ 127 人の 1111 首を四季、賀、離別、旅の歌、恋、雑歌（ぞうか）、以下 13 部に分類して収めたもの。

中防の灰溶融施設については、思い切りメーカーさんに改善要望を出したいところだが、今の立場では出来ないのである。そこで、以前お世話になった清掃一組に草葉の陰？から、エールを送りたいと思う。

やさしい灰溶融入門（第1話）では、人工細石である水砕スラグの性質を理解するために、岩石・鉱物の分類とその成り立ちについて地学の「おさらい」から始めたい。

1. 岩石の分類

一般に、岩石は成因から3つに分類される。

- (1) 火成岩 マグマが冷却固結して、できた岩石を火成岩という。
花こう岩、安山岩、玄武岩などである。
- (2) 堆積岩 堆積物はその場所の温度・圧力の条件のもと長い年月により、石化した岩石である。砂岩、凝灰岩、石灰岩などである。
- (3) 変成岩 地殻内部の強い圧力や高い温度により組織を変えたり、成分鉱物の分子結合を変えた岩石である。石英、雲母などである。

灰溶融施設では、大きなエネルギーを費やしてマグマもどきを造っているのも、我々の関心は火成岩にある。

2. 火成岩の組織

マグマが冷却すると、熔融液の中から鉱物^{※3}の結晶物が現れてくる。地下の深いところでゆっくりと冷え固まると結晶の1つ1つがほぼ等しい大きさの粒子になる。このような岩石の組織を等粒状組織という。花こう岩がその例である。

一方、マグマが噴出した地表のごく近くで冷え固まると、鉱物の結晶が成長するのに十分な時間がないので非結晶質（非晶質、アモルファス^{※4}）となる。結晶した部分を斑晶（はんしょう）、細かい結晶や非結晶質の部分を石基と呼ぶ。急冷スラグは、大部分が石基のアモルファスといえる。

※3 鉱物

岩石を砕いて、細かい粒にすると、粒の1粒1粒が物理的にも化学的にも均一な性質を示すようになる。このときの粒々を鉱物という。岩石のサンプルを偏光顕微鏡で見ると鉱物によって色が変わって見えるのである。顕鏡したことのある人は、すぐにあれかと分かるはずである。

※4 アモルファス

(amorphous)とはギリシャ語の“a-morphe”から来ており「はっきりした形を持たないもの」という意味である。すなわち「アモルファス」とは結晶でない固体である。

3. 火成岩の化学的組成

二酸化珪素(SiO₂)は、火山岩の中で最も重要な成分であり、その重量パーセントによって火成岩は次のように分類される。

表-1 火成岩の分類

名称	SiO ₂ 含有量(%)	例
酸性岩	66以上	花こう岩、黒雲母
中性岩	52以上~66未満	安山岩、石英
塩基性岩	45以上~52未満	玄武岩、角せん石
超塩基性岩	45未満	カンラン石

酸性、塩基性というが、排水等の水素イオン濃度(mol/l)の逆数の対数で定義されるpHとは異なり、単に、珪酸の含有率だけで分類される。具体的に、写真が貼付出来ると良いのだが、ファイルが大きくなりすぎてメールで送れなくなるので、インターネットや鉱物図鑑で調べていただきたい。

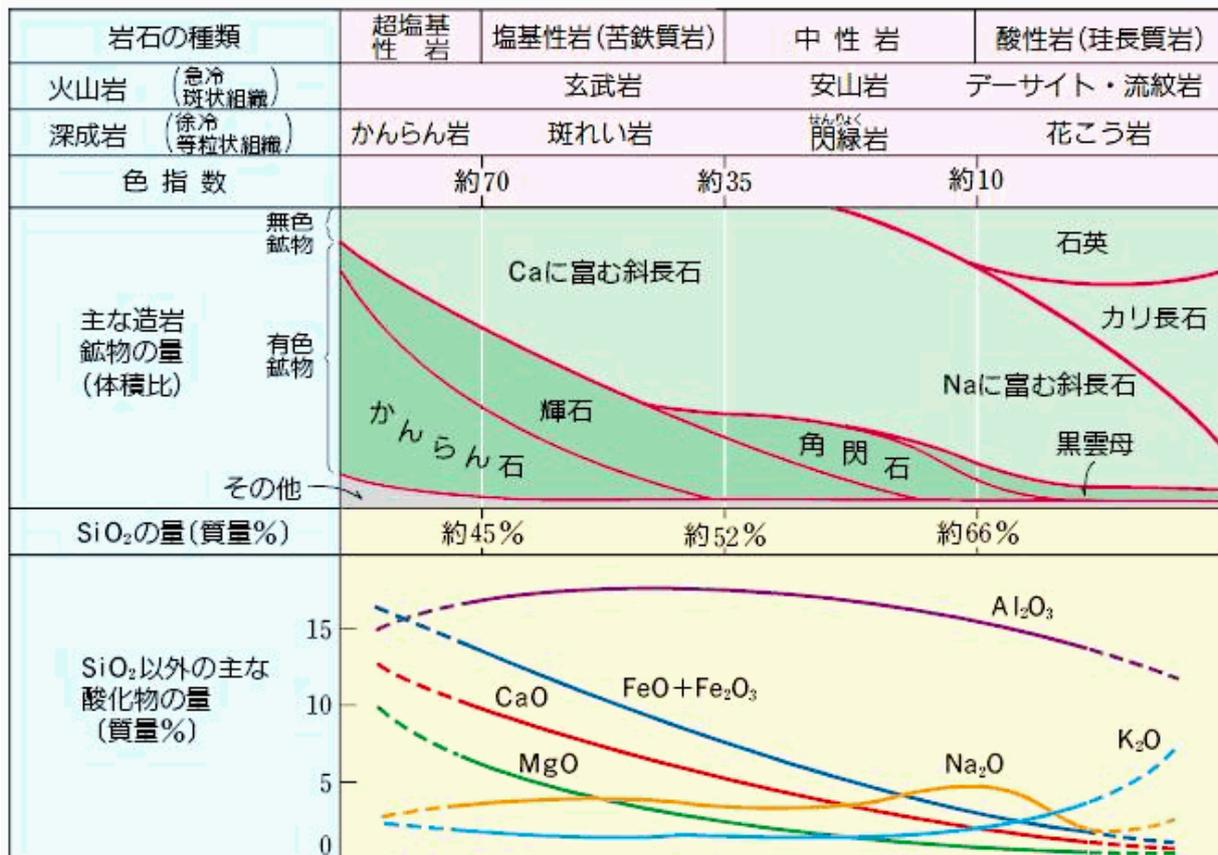


図-1 火成岩の組成と分類※5

図-1は高校の地学の教科書からの引用である。鉱物質の組成は酸化物の形で表すことが、お約束である。

※5 「啓林館 地学I 改訂版 火成岩の組成と分類」より

カルシウムは、酸化カルシウム (CaO) の形でスラグに含まれているわけではないが、酸化カルシウムの融点は 2572℃である。また、二酸化珪素 (SiO₂) はガラス質の代表と思ってもらいたい。ちなみにソーダ (石灰) ガラス (soda-lime glass、並ガラス) は、一定の融点を示さず、400～500℃で柔らかくなり強い粘性を持つ。

地下深くでマグマがゆっくりと冷えていくときは、融点の高い鉱物質から順に結晶となっていくことが多い。つまり、かんらん岩のように CaO が多く、SiO₂ が少ない鉱物が析出する。温度が下がるにしたがい、花こう岩のように SiO₂ が多く、CaO が少ない鉱物ができてくる。これをマグマの分化作用^{※6}という。

カルシウムを多く含む灰は高温でなければ溶融できず、ケイ酸質が多い灰は比較的低温でも溶融するが、粘度が高く扱いにくいということになる。

4. スラグの化学組成

表-2 は清掃技報が、まだテクニカルレポートであった時代の 0 清掃工場の水砕スラグの分析結果である。

表-2 スラグの分析結果(重量%表示)^{※7}

	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	CaO	Na ₂ O	K ₂ O	SO ₃	Cl	合計
スラグ 1	47.1	18.6	1.0	21.3	7.2	4.8	0.0	0.0	100
スラグ 2	46.8	18.9	0.9	21.8	7.0	4.5	0.0	0.0	100
スラグ 3	25.3	13.3	0.7	57.6	2.1	0.6	0.4	0.1	100
スラグ 4	32.7	24.0	5.1	36.2	1.3	0.7	0.0	0.0	100
スラグ 5	21.1	9.3	0.1	67.3	0.1	1.0	0.9	0.0	100
スラグ 6	66.3	1.6	0.1	15.5	12.6	3.8	0.1	0.0	100
平均	39.9	14.3	1.3	36.6	5.1	2.6	0.3	0.0	100

結果のバラツキがひどく大きいのが、これを分析した蛍光 X 線分析装置が、今は亡き^な清掃研究所に導入されて間もなくであり、また、サンプルが当時なかなか安定運転できなかつた 0 清掃工場の水砕スラグであることから、ご理解願いたい。

そこで、平均値で見ると、SiO₂ は約 40 パーセントと表-1 から超塩基性であることが分かる。また、温度を上げないと溶融しにくい CaO が多く含まれる。

<つづく>

※6 1928 年にボーエン (アメリカの岩石学者) が発表した説である。すべての火成岩がマグマの分化作用で形成されたとは考えられていない。

※7 清掃技報 第 23 号 平成 10 年報告 X 線分析等による廃棄物分析 占部武生・森美由紀 結果を酸化物の形に再計算した。