

御影石のγ線量率

投稿

湊 進

Minato Susumu

1. はじめに

放射線教育のための野外測定では花崗岩が高線量率の代表として扱われる例が多い。花崗岩の俗称が御影石であるが、石材業界では深成岩すべての種類を御影石と呼ぶ慣習がある。そのため本稿では深成岩の岩石学や、そこから出るγ線の線量率について詳しく述べる。前半では御影石に関する一般的知見を、後半では名古屋市及びその近郊都市で1,000個ほど実測したデータを基に御影石の色調と線量率との関連を述べる。岩石学一般については文献2)を、御影石については文献3)を、岩石線量率については文献4,5)を参考にした。

高校や大学の地学系教員が野外学習等を通して放射線教育する際に、本稿が背景の知識として役に立つことを願っている。

2. 御影石の岩石学

御影石は天然の岩片と違って加工してあるものなので、観察時に表面の汚れによる変色をあまり気にしなくてよい。ただし磨き方や加工法で色が多少異なって見えることがあるので注意を要する。具体的には磨きありは磨きなしに比べてより濃くなる。例えば薄灰色は濃灰色に、灰色は黒っぽく見える。

表面が汚れていると白色の石が黄土色に変色していたり、黒色が白っぽく風化していたりすることすらある。例えば野外展示の岩石園では、汚れによる色による岩石種の識別はほぼ不可能である。

石材業界では御影石を色により以下のように分類している。すなわち、白御影、桜御影、赤御影、錆御影、黒御影、灰御影。この他に青御影という呼称

も使われることがあるが、今回の測定では青色又は緑色の御影石はめったに見られなかった。またラバキビ花崗岩（暗色地に3~4 cm 大の卵型のカリ長石の斑晶を含む）は黒色から赤色までであるが、後に述べる測定条件を満たす試料が少なかったので今回は対象にしていない。

深成岩の岩石種は石英・斜長石・カリ長石の量比で決められる。ただし、図1のように色指数（有色鉱物の体積%）やSiO₂含有量で大まかに分類している例も多い。同図において塩基性岩（苦鉄質岩）は斑レイ岩に、中性岩は石英閃緑岩と閃緑岩に、酸性岩（珪長質岩）は花崗閃緑岩、アダメロ岩及び狭義の花崗岩にそれぞれおおむね対応している。それぞれの岩石種の石英・斜長石・カリ長石の量比の詳細については文献2)等を参照されたい。図1の鉱物の体積比率は文献によりかなりまちまちであるが、この図はそれらの平均像である。

「花崗岩」という分類には注意を要する。狭義の花崗岩から石英閃緑岩までを花崗岩質岩石という。また、アダメロ岩と狭義の花崗岩を合わせて広義の

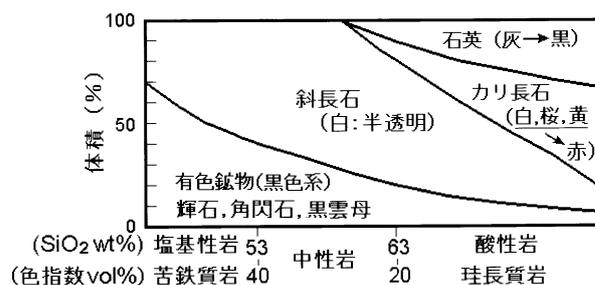


図1 深成岩の鉱物組成

花崗岩と呼ぶ。ただし広義の花崗岩を単に花崗岩と記している文献も多い。

以下で図1を参照しながら御影石の色と鉱物の関係について概説する。

白御影：白色（斜長石，カリ長石）と灰色（石英）の結晶が混在し，黒色（黒雲母）の結晶が点在している。できたての石英は無色であるが，岩石中の天然放射性元素（U，Th及びK）からの γ 線に照射され，経過年数により色が変わる。数千万年で淡灰色となり，数千万～数億年で灰色に，そして十億年以上で黒へと変化する。斜長石は黒色鉱物の色が透けて部分的に灰色に見える場合がある。領家帯の花崗岩類は白御影が一般的である。

桜御影：白御影のうちのカリ長石が淡紅色化したもの。山陽帯のアダメロ岩に多い。特に岡山市の万成石が有名。

赤御影：白御影のうちのカリ長石が赤色化したもの。10億年以上前の先カンブリア紀の極めて古い安定大陸（盾状地）の花崗岩に多く見られる。カリ長石はマイクロクラック中の微量の鉄分により着色するといわれているが，その詳しいメカニズムは現在でもよく分かっていない。

錆御影：黒雲母に由来する鉄錆びによるもの。黒雲母の周辺に錆びが浮いたような色合いを呈する。岐阜県蛭川産の錆石（花崗岩）及び京都産の鞍馬石（花崗閃緑岩）が有名。ここではカリ長石が黄色化しているものも含め，全体として淡褐色から褐色を呈するものを錆御影としている。

黒御影：有色鉱物が多く，全体的に暗灰色から黒色に見えるもの。

灰御影：ここでは淡灰色は白御影に分類する。また，灰色と白色が半々程度で斑状に見える場合も白御影に分類する。比較的濃い灰色に見えるものを灰御影と呼ぶことにする。火山岩である安山岩（中性岩）も灰御影に含める石材業者もいる。

色調だけで岩石種を識別することの危険性を述べている論文がある⁶⁾。前述のように岩石種は色指数ではなく鉱物組成により分類されているからである。しかし岩石学の専門家ではない人にとっては色調による分類が最も手ごろな手段である。ここではあえて色調だけで線量率の高低を分類し，岩石学の知識を援用して分類結果を解釈してみる。

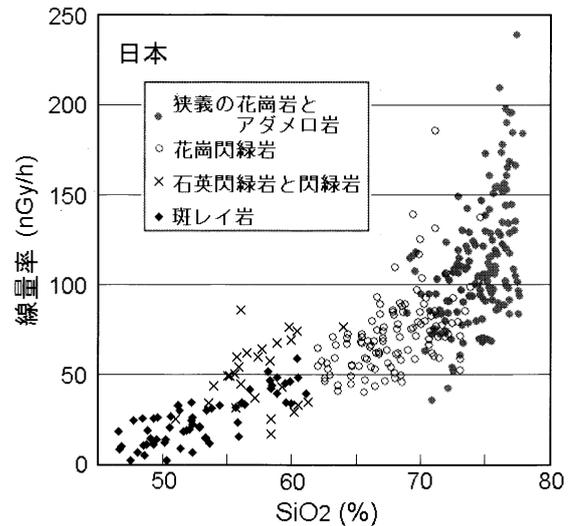


図2 日本における深成岩の岩石種と線量率

表1 日本における深成岩の岩石種と平均線量率

岩石種	線量率 (nGy/h)	
	平均値 ± 標準偏差	(標本数)
狭義の花崗岩とアダメロ岩	111 ± 35	(151)
[狭義の花崗岩]	[121 ± 34]	(104)
[アダメロ岩]	[90 ± 23]	(47)
花崗閃緑岩	72 ± 22	(114)
石英閃緑岩と閃緑岩	50 ± 18	(27)
斑レイ岩	24 ± 14	(61)

[] : 推定値 (本文参照)

3. 深成岩の γ 線量率

自然放射線は主にU，Th及びKから放出される。Kは図1に示した主成分鉱物であるカリ長石や雲母に含まれるが，U及びThは褐簾石や燐灰石，ジルコン，モナズ石等の副成分鉱物に多く含まれる。U，Th及びKは液相濃集元素であり，結晶分化の進んだ岩ほど濃度が高くなり線量率も高くなる。すなわち塩基性岩（苦鉄質岩）→中性岩→酸性岩（珪長質岩）の順に線量率が高くなる。UやThの濃度は岩石中のK濃度と比例関係にある⁴⁾。したがって岩石中のカリ長石の存在量が高線量率岩石を見つけるための鍵となる（図1参照）。しかし，白色の斜長石とカリ長石は見た目では区別できないのが難点である。

文献4,5)の引用文献のうち岩石種の記述のあるデータを取り出して作成した日本の深成岩の岩石種と線量率の関係を図2に示す。また，表1はその平均値と標準偏差の値である。表1の推定値について

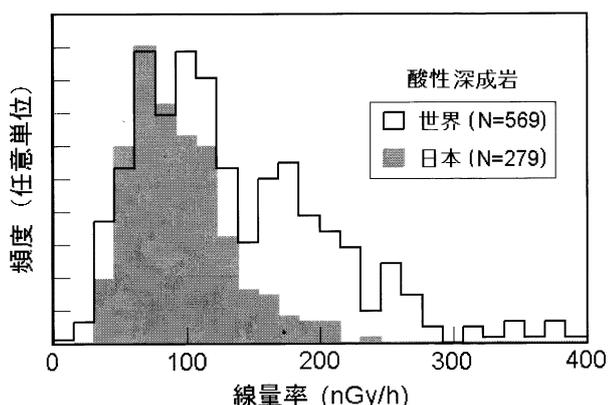


図3 日本と世界の酸性深成岩線量率

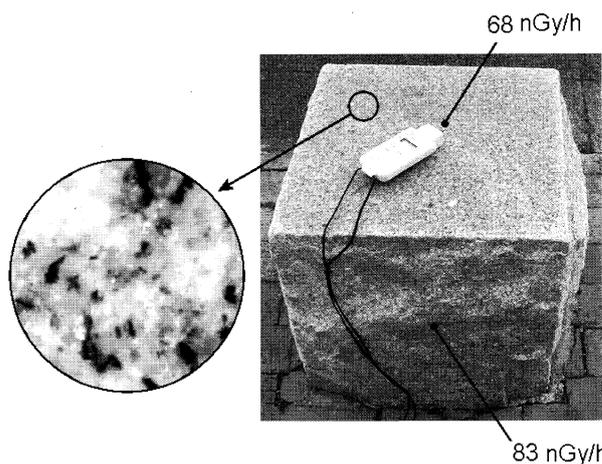


図5 測定風景

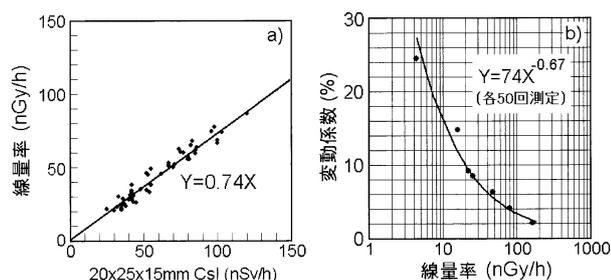


図4 線量計の校正 a) と変動係数 b)

は後ほど詳しく説明する。

図3は世界の酸性深成岩の頻度分布⁷⁾と日本産(図2より)との比較である。世界の酸性岩の線量率が高い方に分布しているのはアルカリ花崗岩(赤御影に關係する)の割合が高いためである。低線量率側の分布は日本産の分布に似ている。

4. 御影石の線量率測定

測定に用いた線量計はエネルギー補償型のアロカ株式会社製 PDR-101 であり、検出部は 20 × 25 × 15 mm の CsI 結晶である。自然環境において 3" φ x 3" NaI(Tl) シンチレーション・スペクトロメータにより、応答行列法で得た線量率で校正したものである。図4a)に校正結果を示す。測定は1試料につき1回とした。その計数誤差を知るために、前もって様々な線量率レベルに対する変動係数(標準偏差/平均値)も調べた。その様子を図4b)に示す。

周囲の大型構造物の影響が少ない場所の御影石を測定対象とし、巾が 30 cm 以上、厚さ 15 cm 以上のものを選んだ⁸⁾。また、測定は御影石の上面で測った。側面で測ると周囲の地表からの線量率も寄与するた

めに高めの値になる。したがって建物の壁等で測ると御影石本来の線量率を測ることができない。図5は白御影の石椅子を測ったときの様子である。上面、側面それぞれでの値を示しておく。

主な測定対象としては椅子や車止め、記念碑、銘板や橋名板、彫像やオブジェ及びその台座、石段や踏石、植込みの囲い等を選んだ。表面に薄い石板を貼りつけただけのものも多いが、この場合は厚さが足りないため御影石本来の線量率を測ることができない。更に、1つの測定区域内では同じ種類のものを複数個測らないようにした。産地が同じ可能性が高いからである。

5. 測定結果

測定場所は主に名古屋市内であったが(試料数 842 個)、そのほかに愛知、岐阜、三重、滋賀、奈良、京都、大阪の各府県でもいくつかの試料を測定した。全試料数は 1,002 個であった。図6はその内訳である。図には各御影石の典型的な色調と模様も示してある。最大値は 283 nGy/h (赤御影)、最小値は 14 nGy/h (黒御影)であった。参考までに名古屋市内のいろいろな場所でのコンクリートブロック 100 個を測定したところ、線量率は 45 ± 9 nGy/h とかなり一様であった。以下、図6にしたがって説明する。

赤御影

50 nGy/h から 300 nGy/h 近くまで分布している。前述のごとく赤御影は 10 億年前より古いものが多いため、1 億年あるいはそれより若い日本産(後述)のものは赤くない。したがって日本で使用されている赤御影はすべて外国産の輸入品とみて差し支えな

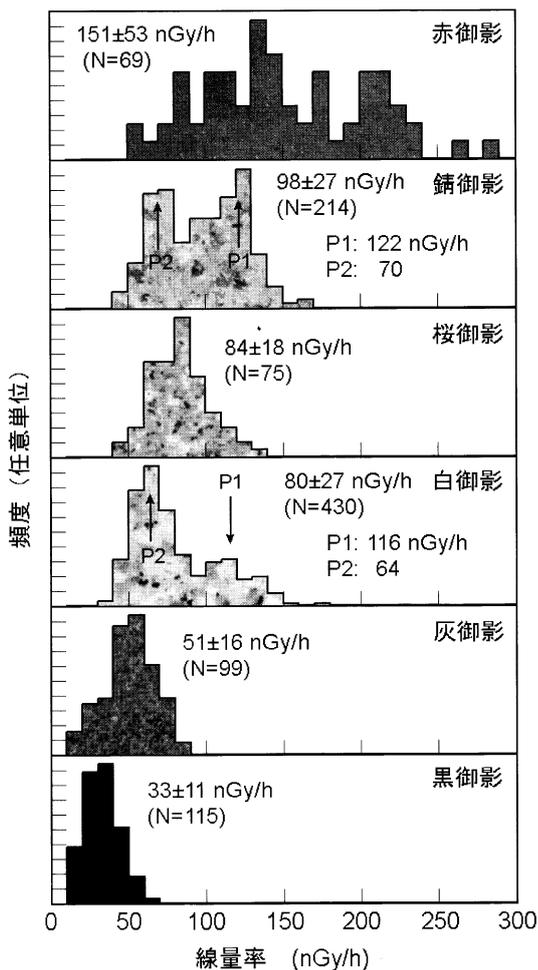


図6 御影石の線量率の頻度分布. Nは試料数

い。このアルカリに富む花崗岩の成因は花崗岩質マグマの溶残り岩の再溶融、あるいはアルカリ岩系の珪長質マグマの結晶分化とされている。そのため放射能が高い。

日本で唯一のアルカリ花崗岩の産地は足摺岬である。もちろん平均的には他の地域の花崗岩よりも線量率は高い。ただし若い花崗岩なので赤くはない。

錆, 桜, 白御影

岩石の化学組成の文献では狭義の花崗岩及びアダメロ岩を合わせて花崗岩と記してあるものが多い。表1に示した文献データでは狭義の花崗岩とアダメロ岩合わせた線量率は 111 ± 35 nGy/h である。

ここでは岩石の色調と岩石種の対応を詳しく調べたいので、次のように便宜的に区別することにする。すなわち、図2のうち“狭義の花崗岩とアダメロ岩”に対する SiO_2 の範囲の中央値 $\text{SiO}_2 = 73.5\%$ を基準にして、 $\text{SiO}_2 \geq 73.5\%$ を狭義の花崗岩、

$\text{SiO}_2 < 73.5\%$ をアダメロ岩とする。文献データを上の分類で仕分けると、日本産の狭義の花崗岩の推定値は 121 ± 34 , アダメロ岩が 90 ± 23 nGy/h と評価される(表1参照)。

図3において日本産の酸性深成岩の頻度分布は単峰性であったが、図6の錆と白御影の分布には2つのピークが見られる。表1によれば錆御影の高線量率側のピーク(P1)は狭義の花崗岩にほぼ対応する。同じく錆御影の低線量率側のピーク(P2)は花崗閃緑岩にほぼ対応する。

桜御影は表1のアダメロ岩の値に近い。前述の繰り返しになるが、桜御影は山陽帯のアダメロ岩に多い。

白御影の高線量率側のピーク(P1)は狭義の花崗岩とアダメロ岩合わせたものの平均値よりは幾分高めである。また、白御影の低線量率側のピーク(P2)は日本の花崗閃緑岩の文献値の標準偏差内に収まっている。

錆と白ではP1とP2のピークの頻度が異なる。錆御影については、名古屋は岐阜県の蛭川と近いことによりP1の頻度が高くなった可能性がある。また、愛知県(主に領家帯)には石材産地が多く、花崗閃緑岩地帯も多く含まれる。白御影の頻度分布に花崗閃緑岩の寄与が大きくなった理由は、名古屋で利用されている白御影の多くが近傍地域産のせいかもしれない。ただし、同じ種類の花崗岩域でも頻度分布に2つのピークが見られる例もある⁹⁾。

灰御影

表1の日本産の石英閃緑岩+閃緑岩の文献値にほぼ対応する。

黒御影

表1によれば日本産の斑レイ岩の文献値は 24 ± 14 nGy/h である。図6の黒御影の観測値はこれよりも高めになっている。前述のように磨きなしの濃灰色は磨きありの黒に相当する。つまり灰色系の閃緑岩(あるいは安山岩)が含まれているため斑レイ岩より高めになるのではないかと考えている。

おわりに

本文中で御影石を測る時の条件を詳しく述べた。しかし現場ではこれを厳密には満たしていない場合もある。また、各試料に対して1回の測定なので計

数誤差を伴う。更に、色調による分類にはある程度の属人性が避けられない。それにもかかわらず大まかには色調と線量率の対応がつくことが分かった。

ここではエネルギー補償型のシンチレーション・タイプの検出器を用いたが、GMタイプの場合は宇宙線の寄与が大きい事に留意しなければならない。市販の簡易線量計を用いる場合には、可能ならば精密な線量計で自然環境において校正しておくのが望ましい。ただし、線量率の高低だけを示したいのであれば校正なしでもよい。例えば数個の赤御影と黒御影の測定値の平均を採れば差を示すことができるだろう。

参考文献

- 1) 富山慎二, 他, 基礎セミナーの素材としての名古屋大学キャンパス内の放射線量, 名古屋大学博物館報告, **29**, 13-22 (2013)
- 2) 周藤賢治, 小山内康人, 「記載岩石学」, 共立出版 (2002)
- 3) 乾睦子, 国内の花崗岩石材産業のあらましと現状—「稲田石」を例として—, 国土館大学理工学部紀要, **5**, 74-80 (2012)
- 4) 湊進, 日本列島の火成岩地帯における地表 γ 線量率, *RADIOISOTOPES*, **61**, 481-487 (2012)
- 5) 湊進, 日本列島における地表 γ 線量率分布の地学的背景, *RADIOISOTOPES*, **64**, 535-248 (2015)
- 6) 吉富健一, 長谷川礼次, 火成岩の多様性と学習の意義—花崗岩に類似した岩石の識別—, 広島大学大学院教育学研究科紀要, **67**, 9-18 (2018)
- 7) Wollenberg, H.A., and Smith, A.R., *Lawrence Berkeley Laboratory Report*, LBL18714 (1984)
- 8) 湊進, サーベイメータによる有限異物測定から半無限異物線量率を評価する方法, SCS-0133, 放射線地学研究所 (2020)
- 9) 三宅 明, 岩田知士, 三河—東濃地方, 領家帯伊奈川花崗岩域におけるガンマ線空間線量率の地域変化, 名古屋地学, **77**, 9-17 (2015)

(放射線地学研究所)

