

岩石・土壌等から出る自然放射線（ β 線・ γ 線）

小 島 博 之*

1. はじめに

大阪府教育センターの理科指導者養成長期研修の物理領域で「放射線の働き」を学び、簡易放射線測定器「はかるくん」を使って身近な放射線の測定実験をした。その中でいくつかの岩石の測定をしたが、花こう岩の数値は他のものと比べて高い値が出た。

また、地学研修(特に野外実習)ではたびたび花こう岩が登場した。大阪層群の基盤となっている六甲・生駒・金剛山地をつくる花こう岩は、その山肌の露岩や河原のれきとしてはもちろん、石材・建材としてもよく見かけることができるとも身近な岩石である。

この研究では、花こう岩を中心として、われわれの足元をつくっている大地の自然放射線を測定することを通して、放射線と地形・地質・活断層などとの関係について考えてみたい。

2. 研究目的と測定したものや場所

① 花こう岩から出る放射線の数値はほかのものと比べて本当に高いのか

・教育センター内外での「花こう岩」のある所＜ γ 線測定＞

・岩石標本(地球科学実験室に保管されているもの)＜ β 線測定＞

② 花こう岩の中の何が放射線を出しているのか

・岩石標本・鉱物標本(地球科学実験室に保管されているもの)＜ β 線測定＞

・「塩」,「砂糖」＜ β 線測定＞

③ 地形・地質によって放射線の出かたに違いがあるのか

・金剛・和泉山地のトンネル, 洞川面不動鍾乳洞＜ γ 線測定＞

・付近の露頭, 採取岩石(露頭・河川)＜ β 線測定＞

④ 放射線で活断層の位置がわかるか

・活断層・推定活断層, 羽曳野^{とうきよ}断層＜ γ 線測定＞

3. 測定機器と測定方法

① 測定機器^{1,2)}

測定機器として「はかるくんⅡ」(文部科学省・(財)放射線計測協会)を用いた。これには次のような利点がある。

- ・取り扱いやすい。長時間の連続使用・記録が可能である。上記に申し込めば無償で貸し出しをしてくれる。
- ・ β 線・ γ 線をそれぞれ別々に測定できる(前モデル「はかるくん」は γ 線のみ測定可能)。
- ・放射線は一定の割合で出ない。この機器では、10秒ごとに放射線量を表示し、1分間の平均を記録できる。

② β 線の特性と測定方法^{1,2)}

- ・原子核から出てくる高速の電子である。
- ・物質固有の放射線を知るときに測定する。
- ・透過力が弱い。自己吸収をするので、表面近くの放射線のみ測定される。
- ・岩石・鉱物・土壌などは、平らな面に上から機器(β 線検出窓)をかぶせるか、または機器(同)の上ののせて測定した。
- ・粒状のものは、同じ大きさのシャーレまたは代用物に同じ重さの物を入れて、その上から機器(同)をかぶせて測定した(標本や採取岩石は全て教育センター地球科学実験室にて測定)。

③ γ 線の特性と測定方法^{1,2)}

- ・原子核から α 線(原子核の中から陽子2個, 中性子2個が一団となって飛び出してくるもの)や β 線が出た後に残ったエネルギーが電磁波の形で出てくるものである。
- ・その場所の放射線の強さを知るときに測定する。
- ・全方向から、少々の遮蔽物は通り抜けてくる。
- ・車では助手席上に置いて、徒歩では手に持って移動しながら測定した。

④ 使用機器の較差(較正)

測定作業の同時進行のため、複数の「はかるくんⅡ」を使用した。機器による較差が若干生じるため、

* 羽曳野市立高鷲小学校

使用した全ての機器を、次のように同一箇所・時間で同じものを測定して較差を調べ、較正した。

- ・β線・γ線とも教育センター地球科学実験室の机上で30分間測定して平均値を求めた。
- ・γ線は実験室の机上で試料のない状態で、β線は同じ花こう岩を測定した。

結果は、β線は15.2～16.7cpm（カウント毎分）、γ線は0.060～0.066μSv/h（マイクロシーベルト毎時）の値を示した。最小値を示した機器にあわせることにした。

⑤ 測定結果の数値表記

- ・β線：試料標本の測定値、及び空で測っておいたバックグラウンド値をひいた値（正味値：以下、測定値^N、と表す）を表記した。いずれも15分間測定し、最大値と最小値を除き、平均をとった。単位はcpmで、1分間に出た放射線量。
- ・γ線：移動しながらなので、バックグラウンド値をとりにくい。測定場所の測定値をそのまま表記した。複数の異なる機器で測定した場合は、上記較正に従って値を表記した。単位はμSv/hで、1時間に人体が受ける放射線量。

4. 測定実験結果と考察

(1) 花こう岩から出る放射線の数値はほかのものと比べて本当に高いのか

【実験①－1】 教育センター内外での「花こう岩」のある所の測定〈γ線〉

教育センター屋内1階フロアから玄関にかけて花こう岩の床材がびっしりとはってある。また、屋外では正門を出てすぐ横のメタセコイア公園に花こう岩のベンチがある。花こう岩のある所と、そのすぐそばのない所でγ線を測定した(表1、図1)。

表1 教育センターでのγ線の測定場所と測定値

測定場所	花こう岩のある所の測定値 (μSv/h)	花こう岩のない所の測定値 (μSv/h)
1階フロア 食堂手前	花こう岩床材 0.146	P タ イ ル 0.095
玄関前 出たところ	花こう岩床材 0.114	コンクリートブロック 0.061
西門横 公園	花こう岩ベンチ 0.102	コンクリートブロック 0.060

(いずれもすぐ近くにあるものを、約30cmの距離で10分間測定。数値は平均値。)

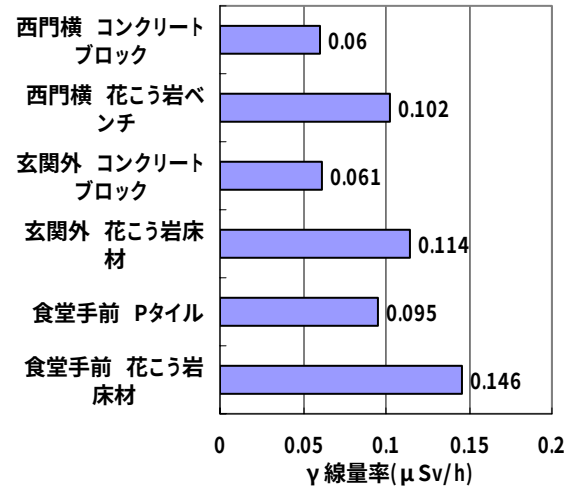


図1 教育センターでのγ線の測定場所と測定値

表1、図1ではいずれの場所でも花こう岩のある所の測定値のほうが高い。また、同一の床材でも、屋内の測定値のほうが高い。建物の中の建材からの放射線の影響もあるのではないかと考えられる。

【実験①－2】 いろいろな岩石の測定〈β線〉

教育センター地球科学実験室の岩石標本について、成因の異なる数種類の岩石のβ線を測定した(表2、図2)。

表2 いろいろな岩石のβ線の測定値^N(正味値)

測定岩石(採取地)	測定値 ^N (cpm)
窓際の花こう岩(滋賀・瀬田)	9.6
D-10-43 サヌカイト(二上山)	4.5
D-11-65 緑色岩(京都・貴船)	2.2
D-11-63 チャート(京都・右京区)	±0
D-11-69 石灰岩(岐阜・不破郡)	-1.5
D-11-66 和泉砂岩(岬町)	±0
D-14-99 大理石(山口・於福台)	-1.0

・岩石名の前の記号(例 D-10-43)は地球科学実験室保管の標本番号。以下同じ。

・測定値^Nの値は正味値であり、正味値＝測定値－B.G.(バックグラウンド)。マイナスの値がでることもある。以下同じ。

表2、図2を見ると、ほかの岩石と比べて花こう岩の測定値^Nが高い。火成岩であるサヌカイト(安山岩)や火成岩(玄武岩)起源の緑色片岩が続く。堆積岩類は比較の数値が低い。特にれき岩・砂岩・泥岩

等は、何がその「起源物質」となっているかで値が違
うはずである. 石灰岩の値がとても低いのが目立つ.

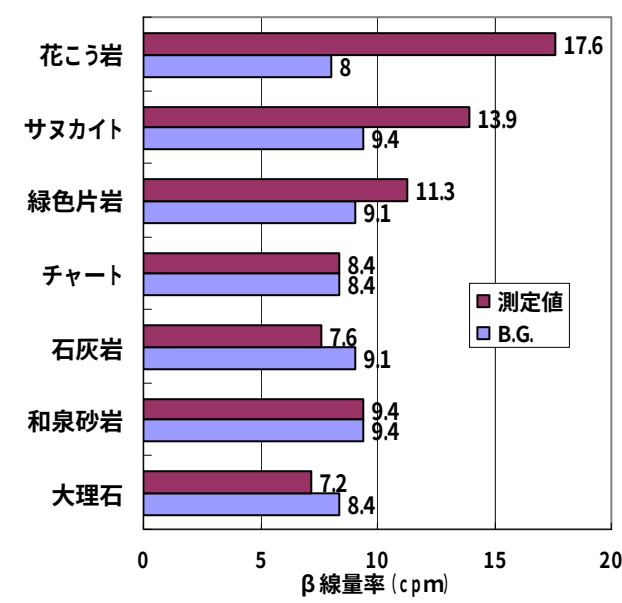


図2 いろいろな岩石のβ線の測定値

【実験①考察】 花こう岩の測定値は相対的に高い
値を示す. 他の火成岩も堆積岩と比べて高い測定値
が出るので, 岩石に含まれる鉱物の違いが影響して
いると考えられる.

(2) 花こう岩の中の何が放射線を出しているのか

【実験②-1】 いろいろな花こう岩の測定<β線>
教育センター地球科学実験室の岩石標本につい
て, 花こう岩類のβ線を測定した(表3, 図3).

表3 花こう岩類のβ線の測定値^N(正味値)

測定岩石(採取地)	測定値 ^N (cpm)
D-7-1 両雲母花こう岩(愛知・岡崎)	8.1
D-7-2 両雲母花こう岩(京都・北白川)	8.6
D-7-3 黒雲母花こう岩(不明)	9.2
D-7-4 イシリン輝石花こう岩(大阪・山田村 [※])	6.5
D-7-5 白雲母花こう岩(不明)	13.2
D-7-6 閃雲花こう岩(福島・石川町)	2.8

※ 現 大阪府南河内郡太子町

表3, 図3を見ると, 花こう岩でも種類によって
放射線量が違うことが分かる. 中に含まれる造岩鉱
物の種類や量の違いが影響しているのではないかと
考えられる.

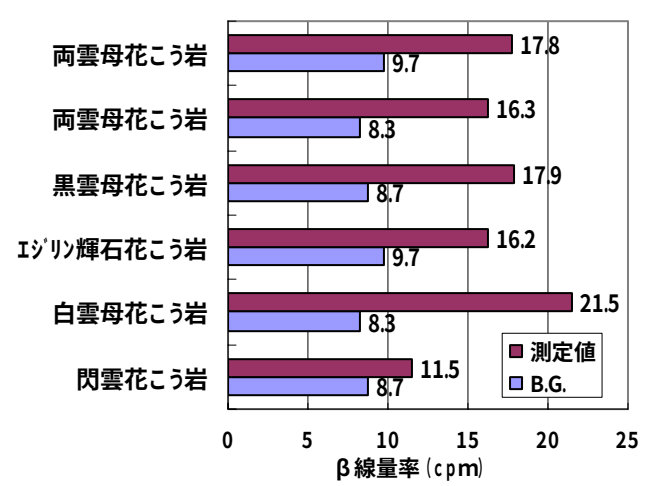


図3 花こう岩類のβ線の測定値

【実験②-2】 深成岩の測定<β線>
教育センター地球科学実験室の岩石標本につい
て, 深成岩類のβ線を測定した(表4, 図4).

表4 深成岩類のβ線の測定値^N(正味値)

測定岩石(採取地)	測定値 ^N (cpm)
D-7-7 石英閃長岩(島根・知夫郡)	14.9
D-7-8 石英モンゾニ岩(岩手・東磐井郡)	5.8
D-7-9 花崗閃緑岩(島根・松江)	6.5
D-7-10 閃緑岩(京都・綴喜郡)	0.9
D-7-11 はんれい岩(山口・阿武郡)	0.2
D-7-12 角閃石はんれい岩(生駒山)	-0.5
D-7-13 紫蘇輝石はんれい岩(淡路島)	±0
D-7-14 ダンかんらん岩(愛媛・赤石)	-0.9

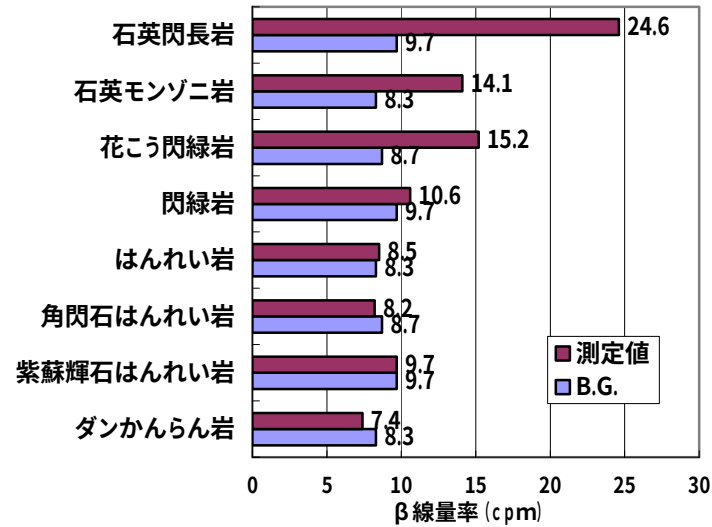


図4 深成岩類のβ線の測定値

表4, 図4を見ると, 花こう岩の属する深成岩類では, 大雑把ではあるが, 黒っぽい, 有色鉱物を多く含む岩石ほど, 放射線量が少なくなっていく. したがって, 有色鉱物より無色鉱物の中にβ線の数値が高くなる要因があるのではないかと考えられる.

【実験②-3】 造岩鉱物の測定〈β線〉

教育センター地球科学実験室の鉱物標本について, 中学校の教科書に登場する代表的な6種の造岩鉱物のβ線を測定した(表5, 図5).

表5 造岩鉱物のβ線の測定値^N(正味値)および鉱物の化学組成³⁾

測定鉱物	測定値 ^N (cpm)	鉱物の化学組成
E-1 石英	-2.5	SiO ₂
E-2 正長石	16.7	KAlSi ₃ O ₈
E-2 灰長石	-1.7	CaAl ₂ Si ₂ O ₈
E-3 黒雲母	3.3	K(Mg,Fe) ₃ AlSi ₃ O ₁₀ (OH) ₂ 〔白雲母 KAl ₃ Si ₃ O ₁₀ (OH) ₂ 〕
E-3 角閃石	-0.4	Ca ₂ (Mg,Fe) ₄ Al ₂ Si ₇ O ₂₂ (OH) ₂
E-3 輝石	-0.3	Ca(Mg,Fe)Si ₂ O ₆

(かんらん石はサンプルが少ないため測定せず)

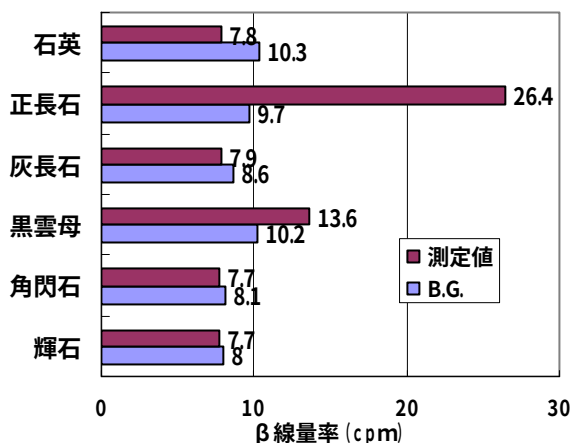


図5 造岩鉱物のβ線の測定値

図5, 表5で, 正長石の測定値が著しく高く, 続いて黒雲母が高い. 両者の共通点はK(カリウム)が入っていること. 同じ長石でもKの入らない灰長石の測定値はとても低い. 半減期が約13億年と長く, まだ地球上で放射能の残っている元素の⁴⁰K(カリ

ウム40)によるのではないかと考えられる.

ちなみに, 物理研修時に測定したウラニウム含有花こう岩(教育センター別館3階地学ロビーに展示)は, Kはもちろん入っているが, それ以上に放射線を大量に出す²³⁸U(半減期約45億年)の影響で, 桁違いの高い測定値を示したと考えられる. このように, 微量でも強い放射性元素を含む造岩鉱物があれば, その影響を受けやすい.

【実験②-4】 「塩」, 「砂糖」の測定〈β線〉

市販されている「塩」, 「砂糖」の中から, 鉱物の化学組成と比較するため, K(カリウム)の多いもの, Ca(カルシウム)の多いものを選んで, β線を測定した(表6, 図6).

表6 いろいろな塩・砂糖とその成分(K, Ca量)およびβ線の測定値^N(正味値)

測定物	K量 (mg)	Ca量 (mg)	測定値 ^N (cpm)
食塩((財)塩事業センター)			-0.7
赤穂あらなみ塩(同社名)	130	70	1.6
瀬戸のほんじお (味の素 日本家庭用塩)	3340	210	6.8
石垣の塩(同社名)	110	1200	0.8
波照間の黒糖(波照間製糖)	1440	149	3.1
グラニュー糖(日東製糖 KK)			-2.6

(全て50gシャーレに入れて測定. 成分表示は100g中. 空欄は該当成分の表記なし.)

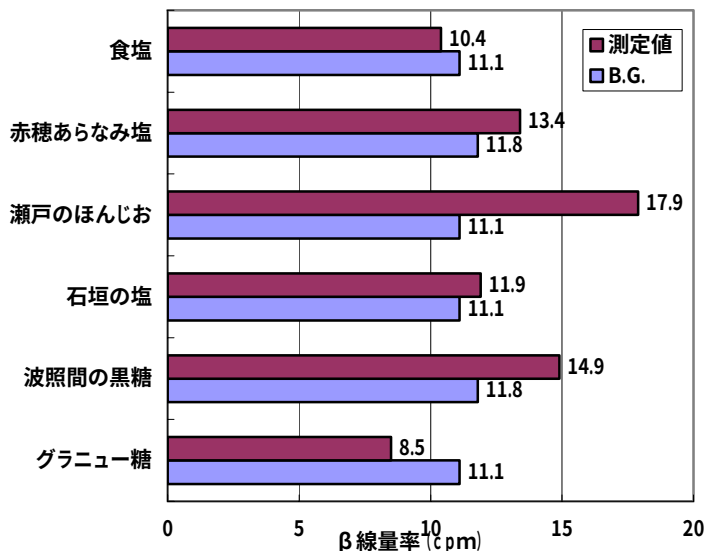


図6 いろいろな塩・砂糖のβ線の測定値

表6, 図6を見ると, やはり K の多いものは測定値が高い. 「赤穂」と「石垣」では K は似たような量だが, Ca が圧倒的に多い「赤穂」の測定値の方が低い.

ただし, K の影響か, Ca の影響か, または全く別な要因があるのかは, ここではなんともいえない.

【実験②考察】 以上の結果から, 花こう岩から出る放射線は, 主に正長石(カリ長石; K)中の ^{40}K (カリウム 40) が大きな線源ではないかと考えられる. 斜長石(灰長石; Ca, ソウ長石; Na)はほぼ全ての火成岩に含まれるが, 正長石(カリ長石; K)が含まれる岩石はほとんどが花こう岩類であり, 有色鉱物を含む割合が多くなるほど正長石は少なくなる. また, 正長石と同じく K をもつ雲母も花こう岩に割合多く含まれるため, 花こう岩の ^{40}K の起源は主に正長石, そして雲母であろう.

ただし, 正長石や雲母以外の放射性元素を含む微量の造岩鉱物, たとえば, モナザイト, ジルコン等の影響も検討する必要もある.

(3) 地形・地質によって放射線の出かたに違いがあるのか

【実験③-1】 鉄道トンネルでの測定〈γ線〉

南海高野線で河内長野から和歌山県方面へ向かうと, トンネルが北から順に美加の台, 下天見, (この間短いのが3つ), 紀見峠と連続する. 乗車してγ線を測定した(2往復の平均値)(図7).

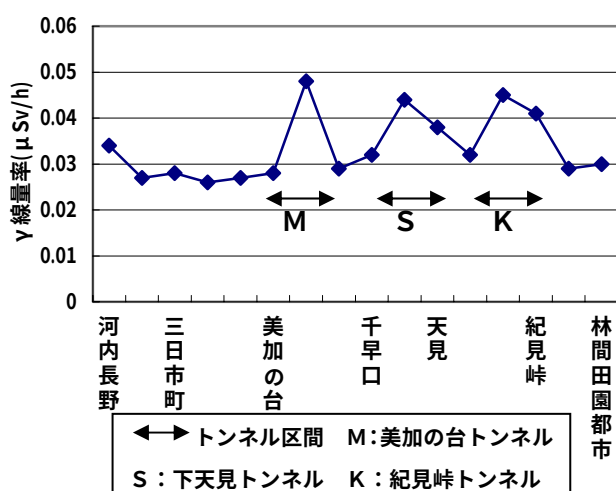


図7 南海高野線のトンネルでのγ線量

図7を見ると, 明らかにトンネル内の測定値が高い. 山体(岩石)の中を通るため全方向から放射線が来ると考えられる. よく見ると, わずかではあるが

紀見峠トンネルより美加の台トンネルの方が測定値が高い. トンネルが通る山体がどんな地質(岩石)なのかによって違いがありそうだ. 美加の台では花こう岩が, 紀見峠は砂岩が付近に多く見られる.

前述したように花こう岩のγ線の測定値が高いということが関係しているかもしれない.

【実験③-2】 道路のトンネルでの測定〈γ線〉

南海高野線にほぼ並行して走る国道371号線(バイパス)もトンネルがいくつか続く. そこで, 道路のトンネル内のγ線を測定した. 車内測定でも数値の違いはわかるが, 車自体が遮蔽物となって数値が低く出ること, 早く通り過ぎて測定地点の誤差が大きいことから, 測定器を持って徒歩でトンネル内を往復した. 図8は往復の平均値である.

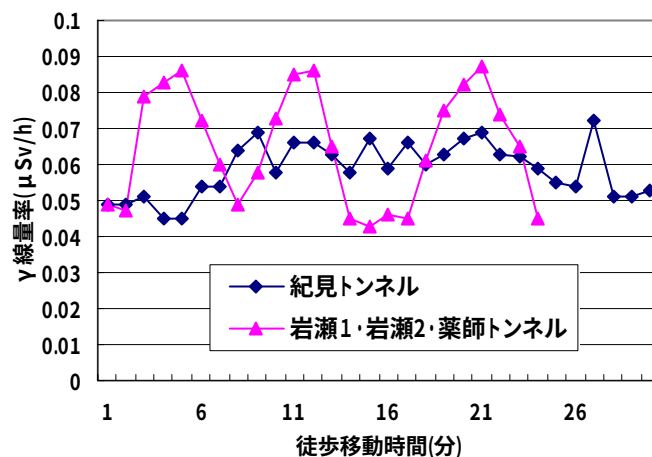


図8 国道371号線のトンネルでのγ線量

岩瀬1・岩瀬2・薬師トンネルは美加の台の近く, 紀見峠トンネルは紀見峠をもぐる. 図8に示すように, 花こう岩の多い美加の台近くの3つのトンネルの方が測定値が高い. 実験③-1の南海高野線のトンネルでの測定結果(図7)と合わせて考えると, やはり花こう岩の山体を通るトンネルでは相対的に測定値が高くなる.

【実験③-3】 いろいろな道路のトンネルでの測定〈γ線〉

南河内の道路にある, 歩いて測定ができるトンネル内のγ線を測定した(往復の平均値)(図9, 10).

また, 可能な限り, 測定したトンネル付近の露頭や河原にある岩石を採取してβ線を測定した(図11, 12).

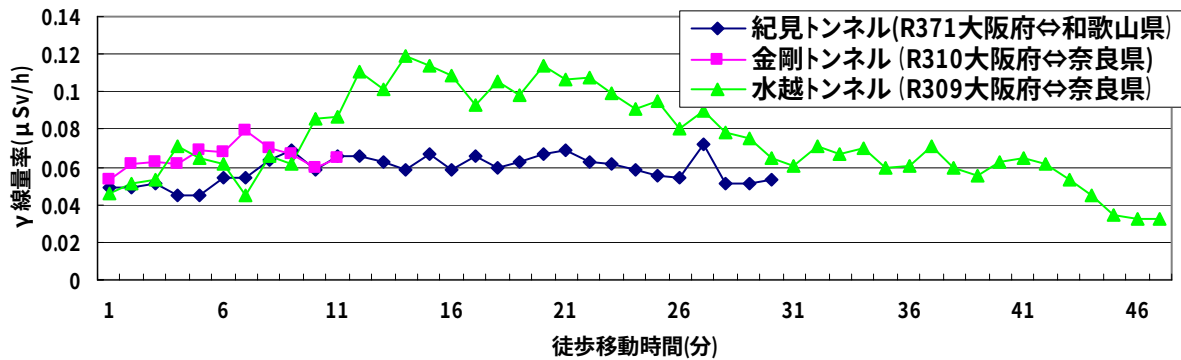


図9 大阪府ー奈良県・和歌山県境国道のトンネルでのγ線量

図9を見ると、奈良県境のトンネルのほうが和歌山県境のトンネルより測定値が高い。言い換えれば金剛山地のほうが和泉山脈より数値が高いといえる。花こう岩でできている金剛山地と、和泉砂岩の多い和泉山脈の地質の違いが現れていると考えられる。

図9,10でγ線の測定値の高い水越、平石トンネル付近は、いずれも花こう岩が周辺の河原や露頭、石切り場に見られる。他の岩石は特に多く見られない。同じく測定値の高い天野山トンネル付近では、そのすぐ近くに段丘堆積物、上流には花こう岩類が多く見られる。段丘堆積物には泉南流紋岩類が多く含まれている。流紋岩は花こう岩と造岩鉱物がよく似ており、図11を見ても花こう岩と同じかそれ以上の高い測定値を示している。

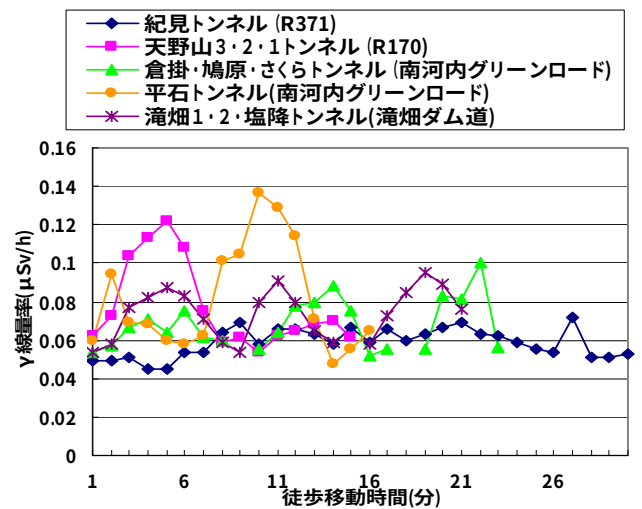


図10 その他の南河内の道路のトンネルでのγ線量

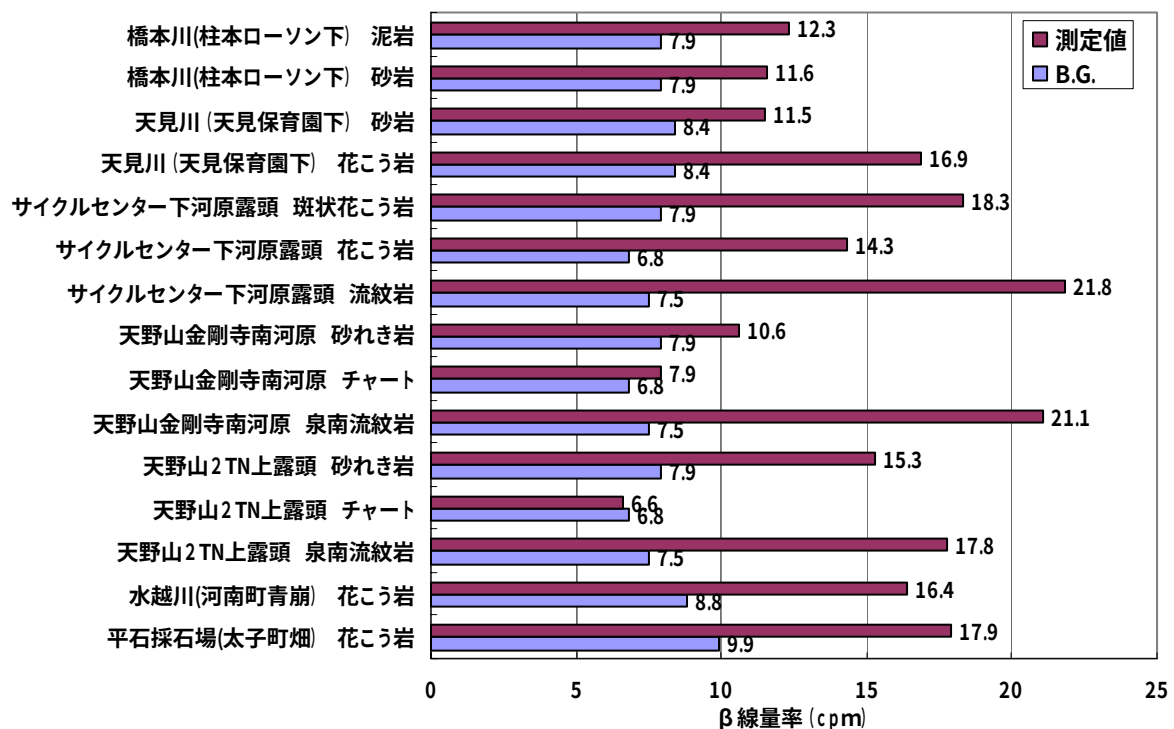


図11 測定したトンネル付近の岩石のβ線量

次に、いずれも河内長野市内にある、滝畑、金剛、倉掛・鳩原・さくら、岩瀬・薬師トンネルの γ 線の数値は、目立って高いとはいえないが、同じ河内長野にある紀見トンネルの数値と比べるといずれもピークが高い。付近の岩石測定ができなかったが、これらのトンネル近辺を流域とする千早川や石見川には花こう岩類が多く見られる。滝畑ではすぐそばを流れる石川の上流には堆積岩が見られるが、トンネル付近には花こう岩類の露頭が見られる。

一方、紀見トンネル付近を流れる天見川や橋本川には、砂岩や泥岩が多く見られる。これらの岩石は、花こう岩と比べて β 線量測定値が少し低い値を示す(図11)。

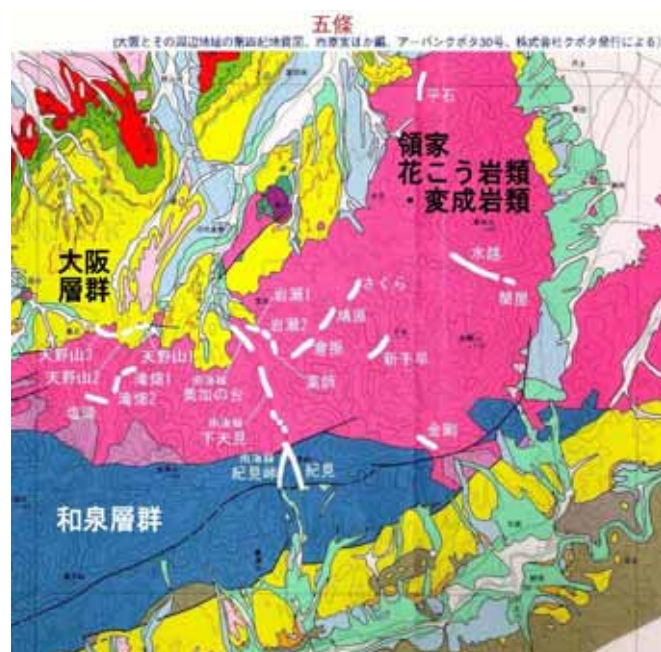


図12 大阪府東南部金剛山地周辺の地質図⁴⁾

(地質図中の白線と白抜き文字(除く「和泉層群」)は、この研究で測定した南河内にあるトンネルの位置と名称。)

〔実験③考察〕 地質図(図12)と照らし合わせてみると、紀見峠トンネル(南海高野線)・紀見トンネル(国道371号)は和泉層群(図12の濃い灰色)を南北に横断している。そのほかのトンネルはほぼ領家花こう岩・変成岩帯(図12の灰色)に位置する。これらのトンネル内での放射線(γ 線)の測定値が高いのはやはり花こう岩類の影響であると考えられ、花こう岩帯を通るトンネル内では、他の岩盤を通るものより放射線量が多い傾向があるということが確かめられた。

ただし、ここでは和泉層群(砂岩・泥岩)との比較のみなので、他の岩盤との比較もしてみる必要がある。

〔実験③－4〕 鍾乳洞での測定〈 γ 線〉

実験①－2で、石灰岩の β 線量の測定値が極めて低いことが分かったが、実際に石灰岩の分布する奈良県洞川の面不動鍾乳洞で γ 線を測定した。自然洞穴である鍾乳洞では、図13に示すように極端に測定値が低くなる。



図13 面不動鍾乳洞での γ 線量

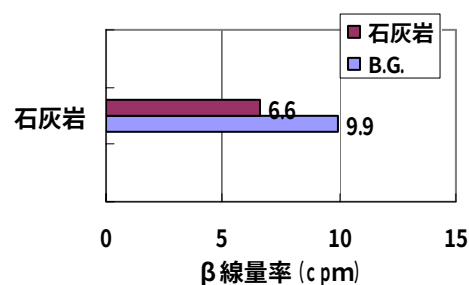


図14 面不動鍾乳洞(入口露頭)の石灰岩の β 線量

道路から石灰岩の山を登り、洞入口に入ったとたんに測定値が急降下した。そのまま洞内(入口付近)に滞在したが、周りが石灰岩の岩盤で囲まれているところではずっと低い測定値を記録し続けた。

また、石灰岩の β 線量の測定値(正味値)は-3.3を示した(図14)。石灰岩の β 線量が少ないことは明白であり、その岩盤からなる鍾乳洞でも放射線(γ 線)はあまり測定されない。石灰岩に放射線の遮へい効果があるのではないかとと思われる。

一方、〔実験③〕では、人工のトンネル内は岩盤に囲まれているので γ 線の測定値が高かった。また、〔実験①－1〕では、屋内の測定値が高かった。コンクリート建物やトンネルなどのセメントの原料に石灰岩が使われているが、下地の岩盤や、コンクリートの骨材などと放射線の因果関係を調べると興味深いかもしれない。

また、〔実験②－3〕〔実験②－4〕では、Caを含む鉱物や、成分にCaの多い「塩」の β 線量が、ほかのものに比べて少なかったが、これも何か関係があるのかもしれない。

(4) 放射線で活断層の位置がわかるか

これまでの測定実験や考察から、花こう岩から比較的高い値の放射線が出ることがわかった。大阪の大地の基盤は花こう岩である。その上に大阪層群や段丘堆積物、沖積層がのっている。その大阪には、活断層が多く存在することが確認されている。また、未確認の活断層・活撓曲もたくさんあるらしい。

もし、活断層があるならば、都市部では地表が堆積物や人工物に覆われていて見えないが、地下では活断層は基盤となる花こう岩にも達しており、その隙間から地表に向かって放射線が出てきているかもしれない。目では見えないが、放射線測定を利用して、活断層の位置を探索・推定することができるかもしれない。

【実験④】羽曳野市にある推定活撓曲，羽曳野撓曲の測定〈 γ 線〉

羽曳野撓曲は国道 170 号線(大阪外環状線)に沿って、その西側を南北に平行に通っている。地形としては羽曳野丘陵の東縁の急な坂となっている。これを東西に横切る道路がいくつかあるので、可能な限り多くの道を歩いて、 γ 線を測定した。(往復の平均値)(図 15,16,17)

図 16 は羽曳野撓曲を横断する 8 つのコースを、西(羽曳野丘陵)から東(外環状線方面)のおよその方位に、時間(図 15 の計測地点の数字番号)を合わせて示している。道路の距離がまちまちなので、グラフには秩序がない。

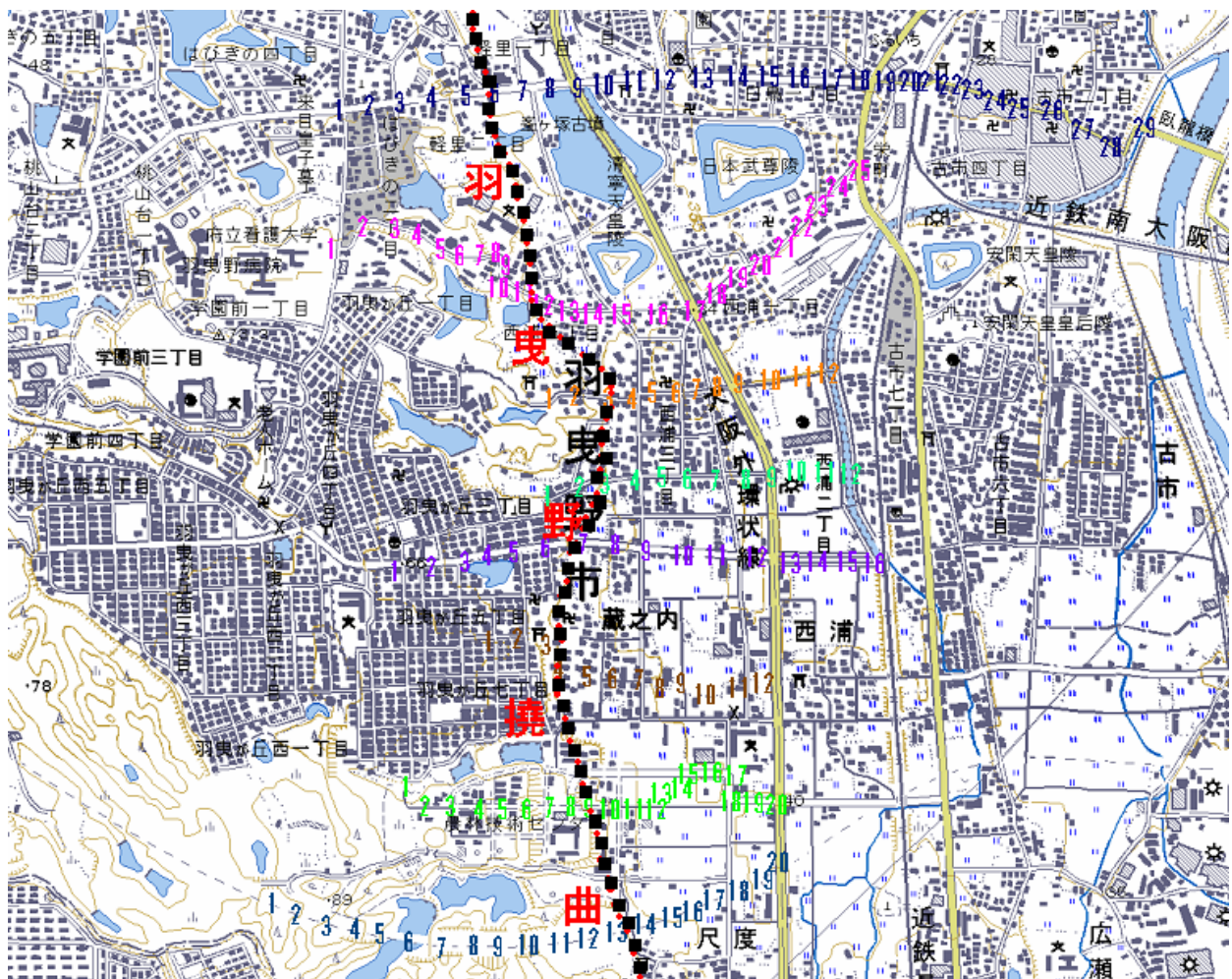


図 15 羽曳野撓曲付近の地形図^{5,6)}

(1:25000 地形図「古市」(国土地理院)にプロット)

■■■■：羽曳野撓曲 (1:25000 都市圏活断層図「大阪東南部」よりプロット)

数字：羽曳野撓曲横断 8 コースについてそれぞれ、1 分ずつのおよその計測地点

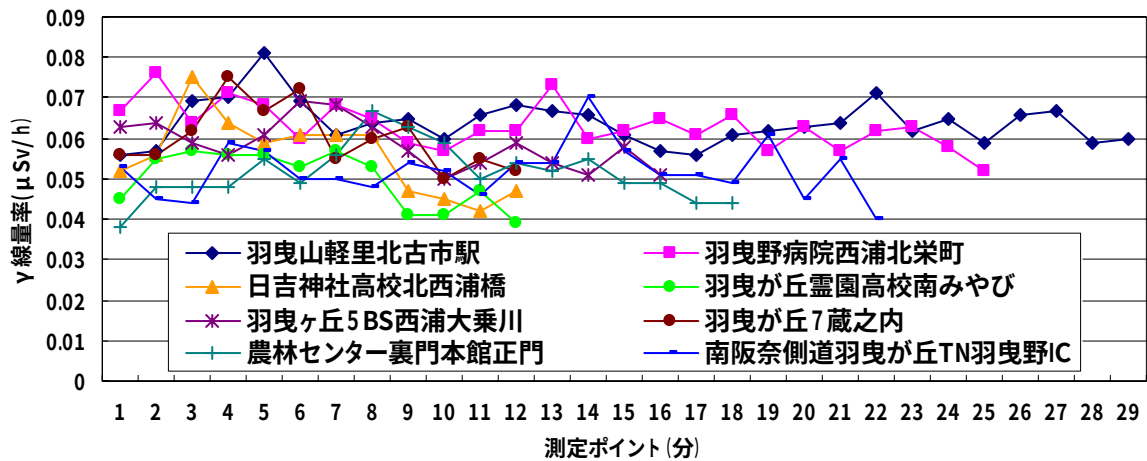


図 16 羽曳野丘陵～外環状線(～石川)のγ線量

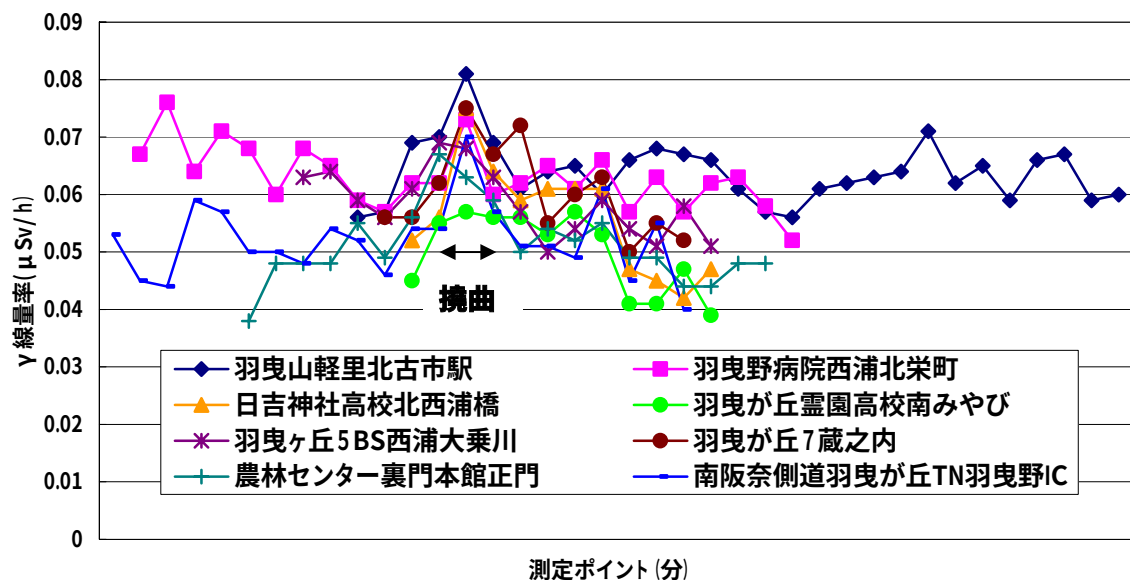


図 17 羽曳野丘陵～外環状線(～石川)のγ線量

(図 15 の地図の羽曳野撓曲上のポイントに合わせた場合)

図 16 のグラフを、図 15 の羽曳野撓曲推定位置(赤ポイント上)にある、8つのコースそれぞれの数字のポイントでそろえると図 17 のようなグラフになる。そろえたポイントはそれぞれのコースのほぼピーク値で、羽曳野撓曲に一致する。測定していると、ほとんどのコースで坂の傾斜の急なところで測定値が高くなり、坂を上りきって(または下りきって)平坦になると少し測定値が下がり、しばらく似たような値を示した。ほかの坂で調べていないので断定できないが、急な坂では何らかの活断層の影響があってγ線量の増大があるのかもしれないと考えられる。

5. この研究を生かすために

今回の研究では、限られたデータではあったが、測定して分かるいろいろなことがあった。特に、小学校での教材化として、花こう岩の広く分布する大阪では、大地のつくり等の単元で大いに利用できる。本研究のように、身近な岩石を調べることで、見かけだけでない、岩石の違いや特徴に気づかせることができる。また、発展的に、大昔のことを調べる年代測定の一方法である放射性元素を測ることの体験や、堆積土壌の起源となる岩石・地層を推定することにも応用できそうである。活断層探査もまだまだ

だが、見えないものへのアプローチは、子どもはわくわくするものである。あわせて環境問題も含めた、総合的な学習での活用など、幅広い使い方ができそうである。

無償で簡便に使える「はかるくん」は、授業でも利用価値が高いと考える。なんといっても、子どもたちが自分の地域を歩いて身近な自然を調べるバリエーションがひとつ増えることが大きい。

「はかるくん」をうまく利用して、体験を通した自然学習に臨みたい。

6. おわりに

本研究は、平成 16 年度小学校「理科」指導者養成長期研修(後期)において、著者の小島が課題研究として取り組んだものである。本稿はそれに加筆・修正を加えたものである。本研究をすすめるにあたって、落合清茂理科第二室長、岡部久高教科教育部長(当

時)、そして田辺久信指導主事をはじめ、特に物理、地学の先生方に有益なご助言をいただきました。感謝いたします。

引用・参考文献

- 1) 文部科学省・(財)放射線計測協会(2003):「はかるくん」を活用するために
- 2) 文部科学省・(財)放射線計測協会(2003):「はかるくんⅡ」を活用するために
- 3) 木下亀城・湊秀雄(1963):「原色岩石鉱物図鑑」, 保育社
- 4) 大阪府教育センター(2001):「大阪の自然災害と環境 CD-ROM」
- 5) 国土地理院(1996): 1:25000 都市圏活断層図「五条」, 「大阪東南部」