

中学校理科「放射線」に関する学習・指導のための基礎研究Ⅲ

—教育現場における自然放射線測定—

内田由美子*・松永 武**・重松 宏武

A Fundamental Study for Learning and Teaching about“Radiation”
in Science Classes of Junior High Schools III : The measurement of natural radiation in classroom teaching

UCHITA Yumiko, MATSUNAGA Takeshi, SHIGEMATSU Hirotake
(Received August 6, 2012)

キーワード：放射線教育、簡易放射線測定器「はかるくん」、中学校理科、新学習指導要領

はじめに

平成24年度から実施された中学校理科新学習指導要領¹⁾(以下、新学習指導要領という)に「放射線」に関する学習内容が追加された。我々は、この新規追加された中学校理科「放射線」に関する学習・指導を充実させるために役立つ指導者(特に理科教員を目指す大学生)向けの基礎知識をまとめ、2件の成果報告を行った^{2,3)}。1件目の報告“中学校理科「放射線」に関する学習・指導のための基礎知識Ⅰ”²⁾では、「放射線」学習において広く活用されている簡易放射線測定器「はかるくん」を例に挙げ、「はかるくん」が測定するγ線の発生源(宇宙線及び大地からの放射線)や「はかるくん」の測定方法の特性(測定分布、測定回数等)についての知見をまとめた。さらに、2件目の報告“中学校理科「放射線」に関する学習・指導のための基礎知識Ⅱ”³⁾では、基礎知識Ⅰの内容を活用し、「はかるくん」特性セットを用いた測定実験(特定の放射性物質に関する放射線測定、距離や遮蔽による放射線の減衰を調べる実験等)について実践的な検討を行った。本論文は、これら2件の成果報告に続く最終編として、今まで主に議論してきた『特定物質から発せられる比較的限定された放射線』ではなく、室内や野外で観測される『自然放射線』測定に関する新たな実践のための基礎研究をおこなった成果を報告する。

1. 自然放射線測定に関する基礎知識

中学校理科では、放射線は計測器を用いてその量を定量的に評価できること、そしてその計測を通じて放射線はどこにでも存在するということや、場所によって放射線量は異なることなどに関する学習を行なう。「はかるくんの使い方」⁴⁾には、色々な場所の自然放射線に関する情報が示されており、この情報を参考にして放射線測定が行われることが予想される。そこで始めに、一般的に行われる自然放射線測定の一例として引用文献4に示されている測定場所と結果に関する情報を表1及び図1に示す。ちなみにこの文献では、『測定するに当たり、宇宙線の強さは普通の場合でほぼ一定であり、測定値に影響を及ぼすものは主に大地からの放射線であることから、測定する周辺の環境の情報を記入するように』という注意書きがなされている。このように、「はかるくん」を用いた自然放射線測定では、特定物質から発せられる比較的限定された放射線を観測するケースと異なり、放射線が何からどれくらい発生しているかを定量化することが困難なため、周辺の環境から得たバックグラウンドと比べて、測定値が高い(または低い)理由を考察するという方法がとられている。そのため、定量的な解析に重きを置いた前の2論文^{2,3)}とは異なり本論文においては、中学校校内及びその周辺での自然放射線に関する放射線量の測定を行ない、そこで得た値を比較・検討すること、

*山口大学大学院教育学研究科 **山口大学教育学部附属山口中学校

さらには実践時における課題を明確にし、その課題を解決するための具体的な対策に関する検討を行うこととした。以下、第2章にその詳細を述べる。

表1 「はかるくんの使い方」に示されている自然放射線測定に関する情報⁴⁾。
なお、⁴⁰Kに関する特性は引用文献3を参照。

測定場所	予想される測定結果	理 由
花壇	高い	肥料に放射性核種である ⁴⁰ Kが含まれるため。
石像、石碑 (花崗岩)	高い	花崗岩(御影石)には ⁴⁰ Kが多く含まれるため。
屋内	屋外よりも高い	宇宙線は弱められるが、建材(コンクリートや鉄)からの放射線が四方八方からくるため。
木造家屋	屋外と変わらない	木造家屋は軽い材料でできており、放射線を遮る力が弱いため。
トンネル、 洞窟	高い	宇宙線は弱められるが、周囲の岩石からの放射線が四方八方からくるので普通の値より高くなる。
プール、池	低い	水によって大地からの放射線が遮蔽される。
タワーの上	低い	大地からの放射線の影響が少なくなる。



図1 自然放射線測定の様子。左：地下道における測定、右：石像における測定。

2. 中学校における自然放射線測定実験

はじめに、とある中学校の校内と地下道を含む学校外の通学路における自然放射線測定の結果をそれぞれ2-1小節と2-2小節に示す。さらにこれら小節において、得られた測定結果をもとに測定方法及び結果の考察の仕方についての議論・検討を行なう。なお、測定器は「はかるくん DX-300」(以下、「はかるくん」とする)を用い、測定に関する条件・環境は以下の通りである。

① 測定回数

測定場所に「はかるくん」を置いて1分経過後、10秒ごとに5回測定を行なった。ちなみにこれは引用文献2の『10秒モデル』5回を用いた測定であり、比較的放射線量が大い場合において有効な測定条件である。そのため本測定においては必ずしも適切な条件とは言えないが、実際の教育現場での時間的制約を考えて、この条件を採用した。

② 測定条件

- 一部を除き、地面(床)から1 mの位置での放射線量を測定した。
- その一部とは特定の物質を対象とした放射線測定の場合(屋外：石像・倉庫内の硫酸カリ肥料、屋内：下足置場の花崗岩)と、対象物との距離の違いによる放射線量の変化を見た場合(プール、畑、地下道など)である。それぞれの場合における対象物質との距離は0～2 cmとした。なお、用いた測定器は四方八方からの放射線を同時に観測しており、一般的な自然放射線測定の場合、測定器の向き

を気にする必要はない。しかし、対象物に接触または近接させて測定する場合は測定面によって測定値に差が出るため、一番大きな放射線量が観測される底面を採用した²⁾。

- ・室内は、それぞれの部屋のほぼ中央で測定し、廊下(1階、2階、3階)は階による測定値の変化について検討できるように各階の同じ場所で測定した。

③ 測定環境

実施日：7月12日、時間：13時30分～16時30分、天気：晴れ、気温：33.1℃、湿度：63.2%（13時時点）。

2-1 学校校内での試行放射線測定実験

中学校校内での自然放射線測定実験の施行例として、表1に示された情報を考慮しつつ、図2に示す配置をとる「とある中学校」のさまざまな箇所（計28か所）における放射線測定を行った（図3）。特に対象物との距離による違いが期待されるプールや畑などでは対象物と測定器間の距離を変えた測定も行なった。これらの得られた測定値からは、表1に示した測定環境に起因する有意な差が観測された。そこで、それぞれの特徴を考慮したA～Eの5つのグループ分けを行ない、得られた測定結果を図4並びに表2にそれぞれ示す。

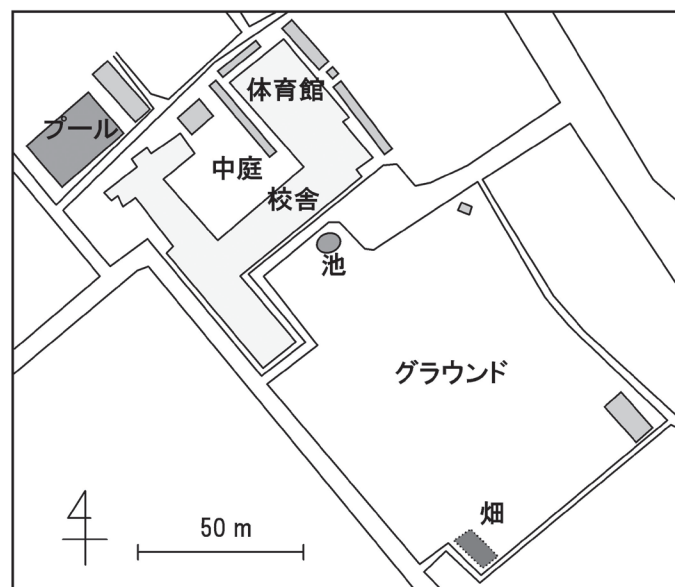


図2 とある中学校の概略図

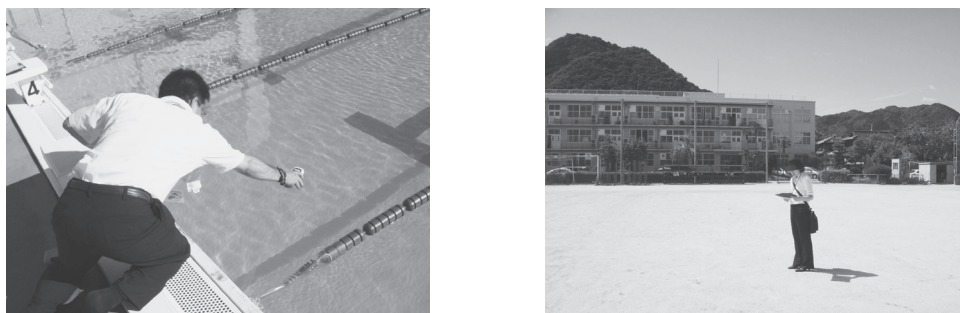


図3 中学校での放射線測定実験の様子。左：プール。右：グラウンド中央。

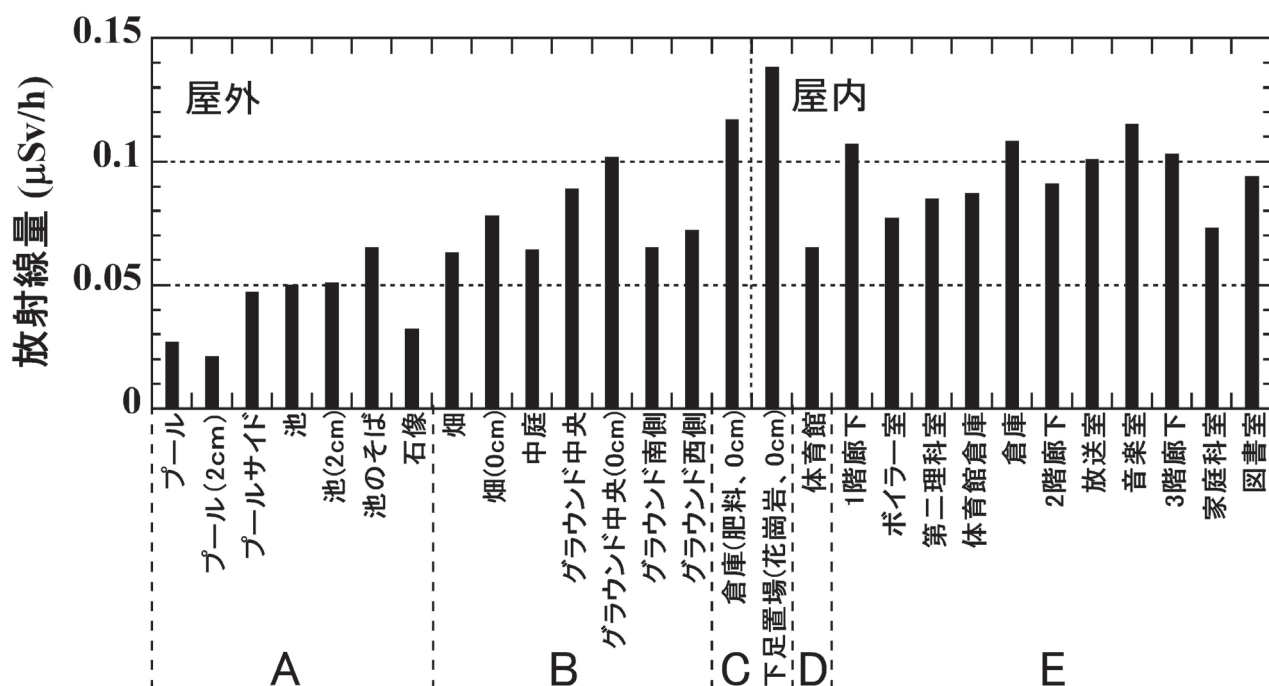


図4 「はかるくん」を用いた、とある中学校での放射線量の測定結果。放射線量の大小及び測定場所によってA～Eの5つに分類分けを行なった。具体的な測定値は表2を参照。

表2 「はかるくん」を用いた、とある中学校での放射線量の測定値。地面1 mまたは床面から1 mの位置での測定ではない場合は括弧内に測定対象物と測定器間の距離を記す。

グループ	測定場所	放射線量 (μ Sv/h)	グループ	測定場所	放射線量 (μ Sv/h)
A	プール	0.027	C	倉庫内 (硫酸カリ肥料) (0 cm)	0.117
	プール(2 cm)	0.021		1階 下足置場 (花崗岩) (0 cm)	0.138
	プールサイド	0.047	D	体育館	0.065
	池	0.050		1階廊下	0.107
	池 (2 cm)	0.051	E	ボイラー室	0.077
	池のそば	0.065		第二理科室	0.085
	玄関近くの石像(0 cm)	0.032		体育館倉庫	0.087
B	畑	0.063		倉庫	0.108
	畑 (0 cm)	0.078		2階 2階廊下	0.091
	中庭	0.064		放送室	0.101
	グラウンド中央	0.089		音楽室	0.115
	グラウンド中央 (0 cm)	0.102		3階 3階廊下	0.103
	グラウンド南側	0.065		家庭科室	0.073
	グラウンド西側	0.072		図書室	0.094

なお、図4並びに表2中に示したそれぞれのグループに関する特徴は以下の通りである。

・ グループA（屋外で低い放射線量を観測）

大地からの放射線が遮蔽されたことで低い放射線量が観測された。池・プールでは水が、石像は岩石が遮蔽板の役割をしたと考えられる。表1には、石像・石碑は高い放射線量が観測される可能性のある測定対象物として示されたが、それは岩石そのものから放射線が発生している場合であるといえ

る。ゆえに、岩石が放射性物質でない場合は遮蔽物となるということに注意が必要である。

- ・ **グループB（屋外での一般的な観測）**

宇宙線並びに大地からの放射線が遮蔽されることのない環境下での測定。ちなみに、畑は肥料が、グラウンドは土が放射性物質を含み、高い放射線量を観測することが期待されたが、大きな差は表れなかった。

- ・ **グループC（屋外・屋内で高い放射線量を観測）**

特定の物質から放出される放射線を観測し、高い放射線量を示す。

- ・ **グループD（屋内で屋外と変わらない）**

体育館は平屋構造で放射線を遮る力が弱いこと、空間が広く建材からの影響が小さいことが影響して屋外と同じくらいの放射線量を観測した。

- ・ **グループE（屋内で屋外より高い放射線量を観測）**

宇宙線は弱められるが、建材からの放射線により、屋外よりも高い放射線量が観測された。また、表1に示したタワーの上のように、高度が高い場所では大地からの放射線の影響が小さくなり、低い放射線量が観測されると予想されたが、3階程度の高低差ではその差は観測されなかった。

中学校校内における測定結果は、石像・石碑(グループA)や、畑・グラウンド(グループB)のように期待した測定結果が現れなかった測定環境もあったが、上記のようなグループ分けによって特徴を整理することで校内全体の測定として十分な考察が可能であるということが分かった。しかし一方で部分的に見ると、グループ内の測定値を比較して議論することが困難なケースも生じた。例えば、グループEにおける「なぜ〇〇室の放射線量が●●室よりも高い(低い)のか?」といった疑問などが挙げられる。また、そもそも観測される値が小さく、ばらつきがあることから、測定条件によって測定値の大小関係が変わってしまうことが懸念される。そのため同一場所で複数の測定を行った場合に測定精度を上げるどころか混乱を招きかねないという問題が残る。このことは、グループB内のグラウンドの位置間においても同様に起こりうる話である。そこで、各グループ間の比較の有効性について取りまとめを試みた。その結果を表3に、さらに、表3中の代表的な組み合わせについての説明を箇条書きに記す。

表3 各グループごとの比較の有効性。括弧内に上記の各グループの特徴を簡略化して示した。

	A (屋外、低)	B (屋外、一般)	C (屋外・屋内、高)	D (屋内≒屋外)	E (屋内>屋外)
A	○	○	△	△	△
B		×	○	△	◎
C			◎	△	○
D				-	○
E					×

- ・ **グループA-A間、A-B間**

グループA-A間においては、放射線を遮蔽する物質の測定値への影響の違いを議論することが可能である。一方グループA-B間は宇宙や大地から万遍なく放射線を受ける屋外と特定の遮蔽物による減衰効果を比較する場合に有効である。

- ・ **グループB-E間**

屋内と屋外の放射線量を比較する場合に有効である。一般論として、建材からの放射線の影響を強く受けることから屋内の放射線量の方が高い結果を得る（表1）。我々が得た結果も同様の結果となった（表2）。

- ・ **グループB-C間、C-C、C-E間**

グループC-C間においては、測定試料の放射線測定(引用文献2、第1章)と同様に、物体によって放

放射線量が異なることを学習することが可能である。また、B-C、C-E間は、放射性物質による放射線量の増加を考察する場合に有効である。

放射線量に顕著な差が無くとも、表3に示す対応表としてまとめることにより、学校内での自然放射線測定の際に注意すべきことが明確となった。具体的には中学校校内の測定を有効に行うためには、屋内の測定(グループE)をたくさん行う必要が無いことや、高い放射線量を観測する場所が無い場合、花崗岩が使われている場所を探したり、硫酸カリ肥料などの放射性物質を意図的に配置したりすることも1つの対応策であるといえる。

2-2 学校の敷地外での試行放射線測定実験

前小節では学校校内での自然放射線測定に関する検討を行ったが、本小節では学校の敷地外での測定について述べる。その例として、図2に示したとある中学校における正門からバス停までの道のりを採用した。この道のりを採用した理由は表1で示したトンネル・洞窟と同様の測定環境と考えた地下道を含み、大きな測定値の変化が期待されたためである。経路及び測定地点を図5に、それぞれの地点での放射線量を図6に示す。ちなみに、地下道の全長は約22.5 m、地表からの深さ5.6 mであった。



図5 校門からバス停までの経路図

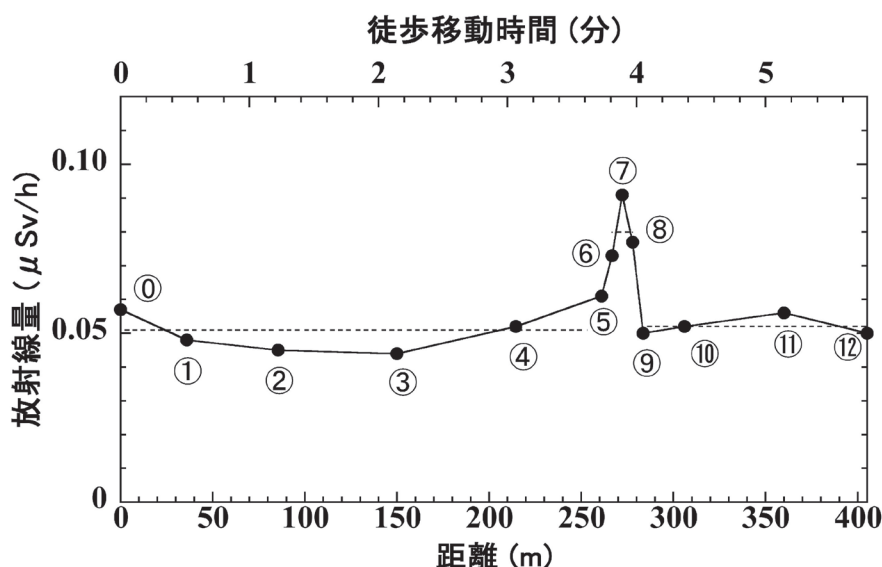


図6 通学路の放射線量。中学校校門からバス停までの放射線量の変化。地面から1 mの位置での測定結果を示した。点線は、その範囲の平均値を表しており、校門-地下道：0.051 $\mu\text{Sv/h}$ 、地下道：0.080 $\mu\text{Sv/h}$ 、地下道-バス停：0.052 $\mu\text{Sv/h}$ であった。中学生の歩行速度を70 m/minとして移動時間も共に示した。

図6からは、表1中の「トンネル・洞窟」の項目に相当する地下道での測定値が上昇したことが読み取れる⁵⁾。また、地下道の中でも、中心地点(⑦)が最も高い値を示している理由は、入口出口付近とは異なり、四方八方をコンクリートなどの壁や天井に近い距離で囲まれているからであると考えられる。地下道以外の測定場所では、中学校校内の屋外における測定(グループB)と同様に、測定値に大きな変化を観測することはできなかった。以上の結果より、野外における放射線測定においては、地下道・トンネル・高層ビル・沼・池など、放射線量に変化がみられる可能性のある場所において測定を行い、測定値の増減を検討、考察させることに意義があるといえる。そのために経路の設定には特に注意が必要である。

3. その他、放射線測定に関する情報

既に報告した2本の論文^{2,3)}並びに本論文1、2章により、『中学校理科「放射線」に関する学習・指導のための基礎研究』に関する報告は終わりと言っても過言ではない。最後に本章ではこの基礎研究を遂行するにあたり実験・実践中に疑問に思った2つの課題(バックグラウンドの評価と γ 線以外の放射線に対する評価)に関する検討・考察を述べたい。前者については、これまで使用していた「はかるくん」の測定値の指標として用いていたバックグラウンドが、その測定点での自然放射線の和という解釈で本当に正しいかということを確認したいからである(測定空間中に放射線が無い場合、測定値は0 $\mu\text{Sv/h}$ となるのか?)。一方、後者は崩壊図を通じて核種の崩壊には γ 線のみでなく、 β 線等の他の放射線も放出されていることを学習したが、実践としては γ 線のみの評価であった。そのため β 線はどのような観測方法でどのような違いが観測されるのかという点について検討したいと考えたからである。以下、3-1及び3-2小節にそれぞれまとめる。

3-1 バックグラウンドの評価(「はかるくん」の最小値について)

「はかるくん」のバックグラウンドは自然放射線の和と言われている。放射線であるということは引用文献3で示したように鉛で遮蔽することによって、測定値が減衰することが期待される。ちなみに γ 線の遮蔽については、入射線量を I_0 、遮蔽された後の線量を I として、

$$I = I_0 e^{-\mu x} \quad (1)$$

という関係式で表される(μ は遮蔽板の種類と入射する γ 線のエネルギーに起因する係数)。この式により例えば、1 MeVの γ 線($\mu = 0.75 \text{ cm}^{-1}$)を1000分の1まで減衰するために必要な鉛板の厚さは9.21 cmと算出さ

れる³⁾。そこでバックグラウンドとして0.071 $\mu\text{Sv/h}$ を示す空間で、測定器の上下左右前後の全方向を鉛板2.4 cmで遮蔽してその変化を観察した(図7)。この場合(1)式より、周囲の γ 線のエネルギーを1 MeVと仮定すると遮蔽後は0.016 $\mu\text{Sv/h}$ に減衰することが期待される。実際の自然放射線には様々なエネルギーをもつものが混ざっており単純比較はできないが、実測では0.011 $\mu\text{Sv/h}$ を示し、期待された値以上の減衰が見られた。このことから、より多くの鉛板で遮蔽すれば、限りなく0 $\mu\text{Sv/h}$ に近い値まで減衰することが期待され、「はかるくん」が示すバックグラウンドは正確にその場の自然放射線そのものを測っているという確証を得ることができた。



図7 遮蔽の様子。実測の時には「はかるくん」の上面にも鉛板を重ねた。

3-2 β 線測定について

これまで議論してきた γ 線以外にも α 線、 β 線、X線など様々な種類の放射線が存在する。その中でも特に γ 線が測定対象であることが多い理由は、透過性が高く自然界に多く存在し、観測し易いからである。大型施設などの装置環境があれば、放射線の種類と強度を定量的に測定することが可能であるが、教育現場ではそのような測定は困難であるため、 γ 線測定以外として簡易測定器「はかるくんⅡ」⁴⁾や中国地域エネルギーフォーラムなどから貸し出されている「ベータちゃん」を活用した β 線測定が行われるのが現状である⁶⁾。そこで同じ対象物に対して γ 線測定用として「はかるくん」を、そして β 線測定用として「ベータちゃん」を用い、観測される値の違いの評価を試みた。それぞれの測定器に関する特性を表4に示す。測定対象物としては、 γ 線と β 線を同時に放出する崩壊を行う放射性同位体である⁴⁰Kに着目し、カリウムを多く含む食品である乾燥昆布を採用した(図8)。具体的な測定方法は、全体的な傾向を確認するために、「ベータちゃん」と同時に貸し出される付属試料内の乾燥昆布及び、スーパーマーケットで購入した産地の異なる乾燥昆布3種の計4種を用い、袋に入った乾燥昆布に測定部を直接接触させた状態で測定を行なった。測定結果を図9に示す。なお、 γ 線測定は1時間当たりの線量当量(人がどれだけの放射線を受けたか示す量)を表す $\mu\text{Sv/h}$ を単位として用いたが、 β 線測定は1分間に何個放射線が検出されたかを表すcpmが採用されている。そのため γ 線と β 線の放射線強度を単純に比較することは出来ないことに注意が必要である。

表4 「はかるくん」と「ベータちゃん」の仕様⁴⁾。なお、ベータちゃんの測定線源が β (γ)線の意味は β 線に関して99 %、 γ 線に関して1 %の割合で測定しているということを示す。

	はかるくん	ベータちゃん
測定線源	γ 線	β (γ)線
検出器	ハロゲンガス封入式GM管	CsI (Tl)
感度・計数効率	0.01 $\mu\text{Sv/h}$ において10 cpm以上	0~300 cpm

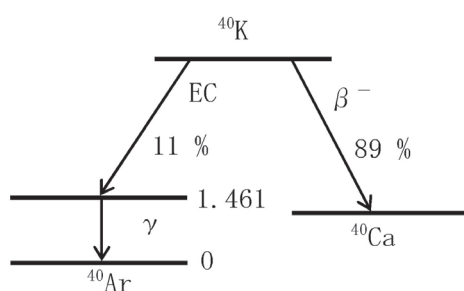


図8 左：カリウム40の崩壊図⁷⁾。右：ベータちゃんを使った測定の様子。

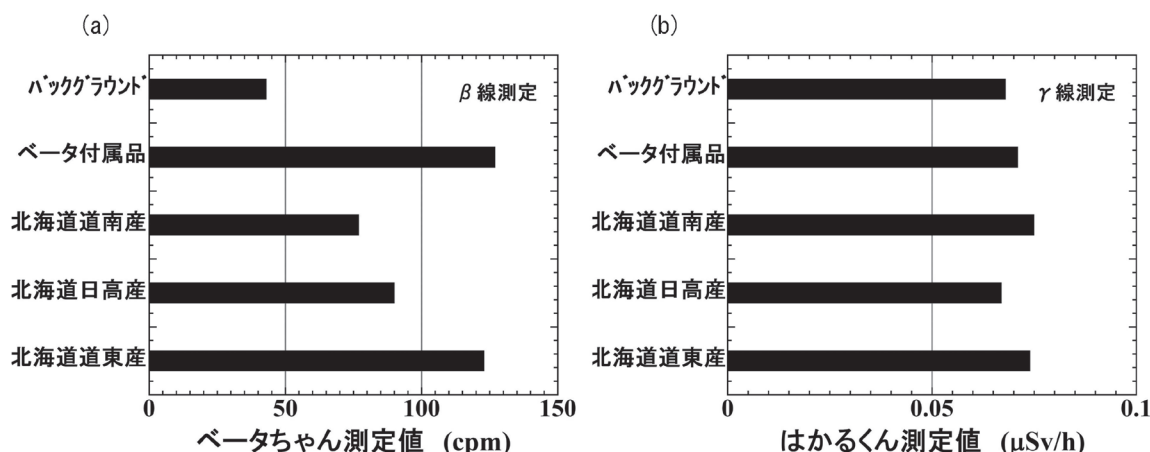


図9 乾燥昆布の(a)「ベータちゃん」及び(b)「はかるくん」を用いた測定結果。共に10秒ごとに6回測定した平均値を測定値とした。なお、全て乾燥昆布であり、ベータちゃんと共に貸し出されている測定試料の一つをベータ付属品と示し、その他の種類は産地を示した。バックグラウンドとは、測定器の下に測定試料を置かない状態で測定した値である。

図9の結果から、乾燥昆布からはγ線の放出量は多くはないが、β線は産地によって差はあるもののバックグラウンドの2～3倍の強度が観測されたことが読み取れる。このことから、一般的な放射線測定において、測定器の測定対象となる放射線の種類や、感度の違い、測定限界についても考慮する必要があることがわかる。例えば「はかるくん」で測定値が得られない測定対象物であっても、放射性物質が存在しないということにはならない。つまり、「はかるくん」や「ベータちゃん」といった測定機器は、放射線が無いことを示すものではなく、あるということを示すための道具であるということである。

本論文では、実験室で行うような『特定物質から発せられる比較的限定された放射線』を測定する定量的実験ではなく、室内や野外で観測される『自然放射線』測定に関する実践のための基礎研究を行った。「はかるくん」では、発生源を特定できず、何を測定しているのか(宇宙線？大地からの放射線？そのエネルギー？)について実際に確かめることはできないものの、放射線の性質と測定値の大小関係から様々な考察が可能であるということが分かった。指導者としては、自然放射線測定の定性的な部分を認識し、測定器の特性や放射性物質の基礎知識を習得した上で、生徒に対しては、何を測定しているのか、さらには測定値の違いは何に起因しているかを理解させることが大切であると考えている。測定場所に関しては、生徒に自由に選択させることにより、理解すべき学習内容を満たさない可能性があることから、指導者が予備測定を行ない、ある程度生徒を誘導することが実験としての成功の秘訣と考える。

おわりに

放射線に関しては、東日本大震災における福島第一発電所事故を受けて、これまで以上に中学校理科における放射線学習への要求が高まった。本論文で示した自然放射線測定を行う際は、原発事故で放出された人

工放射線との区別を行う必要があり、指導者には、生徒に誤解を与えないように何を測定しているのか、自然放射線とは何かといった内容を正確に伝えることが求められると考える。文部科学省から生徒・指導者向けに副読本⁸⁾が刊行されるなど、放射線に関する知識を普及させる努力がされているが、指導者が自主的に様々な知識を得、実測により検討することこそがより大切なことであると、本基礎研究を通じて感じた。放射線学習に関しては、前論文³⁾で示した放射線防護の3原則に関する学習や放射能の発見の科学史、放射線の工業・商業的利用等、必要とされる知識を挙げればきりが無いが、我々が生活する日本は唯一の被爆国である事、さらに原発事故が発生した数少ない国であることから、日本国民全員が放射線の基礎知識を習得する必要性を感じる。特に、次世代を担う中学生並びに指導する中学校理科教員においては、風評に惑わされない正しい知識を身につけることが大切である。

引用文献

- 1) 文部科学省：『中学校学習指導要領解説 理科編(平成20年9月)』，大日本図書株式会社，2008.
- 2) 内田由美子，松永武，西山桂，重松宏武：「中学校理科「放射線」に関する学習・指導のための基礎研究Ⅰ」，山口大学教育学部附属教育実践総合センター研究紀要，33，113-123，2012.
- 3) 内田由美子，松永武，重松宏武：「中学校理科「放射線」に関する学習・指導のための基礎研究Ⅱ」，山口大学教育学部附属教育実践総合センター研究紀要，33，125-134，2012.
- 4) 日本科学技術振興財団：「はかるくんweb」 <http://hakarukun.go.jp/>
- 5) 杉浦紳之，伊藤哲夫，中田早人，野間宏，清水優美，岡山哲也：「関西地区における自然放射線測定-環境要因・測定条件との関連に着目して-」，近畿大学原子力研究所年報，43，3-12，2006.
- 6) 中国地域エネルギーフォーラム：「学習教材貸し出し」 <http://www.cef.jp/goods/index.html>
- 7) 日本アイソトープ協会編：『改訂第3版 アイソトープ便覧』，丸善株式会社，1984.
- 8) 放射線等に関する副読本作成委員会：「中学生のための放射線副読本 知ることから始めよう放射線のいろいろ」，文部科学省，2011.