

論文

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—

杉浦紳之*1, 伊藤哲夫*1, 中田早人*1, 野間宏*2, 清水優美*3, 岡山哲也*3

**Dose Measurement of Natural Background Radiation in Kansai Area
with Reference to Environmental Factor and Measurement Condition**

Nobuyuki SUGIURA*1, Tetsuo ITOH*1, Hayato NAKATA*1, Hiroshi NOMA*2,
Yumi SHIMIZU*3, Tetsuya OKAYAMA*3

The dose measurements of natural background radiation in Kansai area were carried out with reference to environmental factors and measurement conditions, in order to gather and compile the data for the educational purpose of nuclear power and radiation. We could acquire several dose data which agreed with environmental factors and measurement conditions, such as 1) high dose rate in a tunnel, 2) low dose rate on/near the sea and 3) high dose rate at the surface of huge granite, by using simplified type of radiation monitors which were developed for the educational purpose. Moreover, the data were obtained that cosmic rays were almost shielded by the soil and sand in a tunnel with BGO scintillator.

Keywords: natural background radiation, dose measurement, Kansai area, environmental factor, measurement condition

*1 近畿大学原子力研究所

Atomic Energy Research Institute, Kinki University

*2 (株)ア・アトムテクノ近大

A・Atom Technol Kindai Ltd.

*3 近畿大学理工学部

School of Science and Engineering, Kinki University

1. はじめに

原子力や放射線に関する普及・啓発を目的として、身の回りの身近な自然放射線をテーマに取り上げ、簡易なγ線測定器を用いた自然放射線測定が、研修会、講習会等の様々な機会を利用して行われている^{1,2)}。測定に先立ち、大きな岩石からの放射線量は高くなりプールの上では低くなるといったことが説明される。しかし、自然放射線レベルは環境要因や測定条件の違いにより大きく変動するため、例えばプールサイドのコンクリートの放射能濃度が高くプールの水の遮蔽効果が顕著に表れないといった例のように、期待された測定結果が研修会等の場で得られないことがある。

また、放射線を身近に感じるという同様の目的から原子力や放射線の普及・啓発用のパンフレット等に、自然放射線の測定結果が掲載されている。しかし、測定場所が東京を中心とした関東地区であることが多く、関西地区において残念ながら身近なものとは感じにくい場合がある。例えば、関西原子力懇談会による「科学の不思議みつけよう！わたしたちの地球と放射線」³⁾には、「いろんな場所の放射線」として山手線や新宿地下街、池袋といった東京地区の自然放射線の測定結果が記されている。

近畿大学原子力研究所では、エネルギー・環境教育の充実ならびに原子力・放射線への啓発を目的として、初等中等教育の教員や一般の方々を対象とした様々な研修会・講習会を長年継続して開催している。本研究では、それらの活動の一環として、関西地区の自然放射線レベルを環境要因や測定条件との関連を明確にして測定・データ収集し、教材開発のための基礎資料とすることを目的とした。

2. 調査対象地域と測定方法

2.1 調査対象地域

調査対象地域を関西地区とした。その範囲を図1

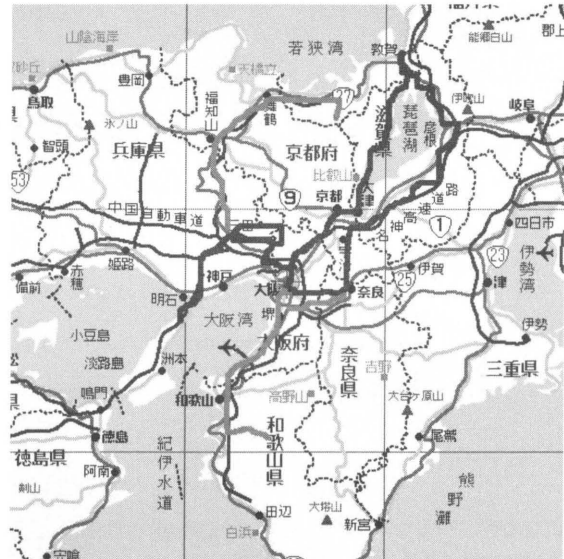


図1 調査対象地域と経路

に示す。具体的な調査地域・経路は、下記の通りである。

- ① 東大阪—奈良市内（第二阪奈道路）
- ② 大阪—舞鶴（舞鶴自動車道）
- ③ 舞鶴—小浜（若狭湾沿岸）
- ④ 大阪—京都—敦賀（琵琶湖西岸・東岸を含む）
- ⑤ 大阪市内
- ⑥ 六甲山系
- ⑦ 明石海峡大橋
- ⑧ 福知山線廃線跡
- ⑨ 和歌山・生石高原

2.2 測定方法

(1)簡易型サーベイメータによる空間線量率の測定
放射線測定器として、次に示す簡易型サーベイメータを併用し、測定した。

- ① ガンまくん（Horiba、PA-100）（図2 (a)）
- ② はかるくん（富士電機、NHL1）（図2 (b)）
- ③ My Rate（Aloka、PDR-101）（図2 (c)）

①ガンまくん、②はかるくんは、上述の研修会や講習会で使用することを意図して設計・開発された測定器であり、バックグラウンドの変動等の影響を抑え、指示値を安定させるために、30秒あるいは1

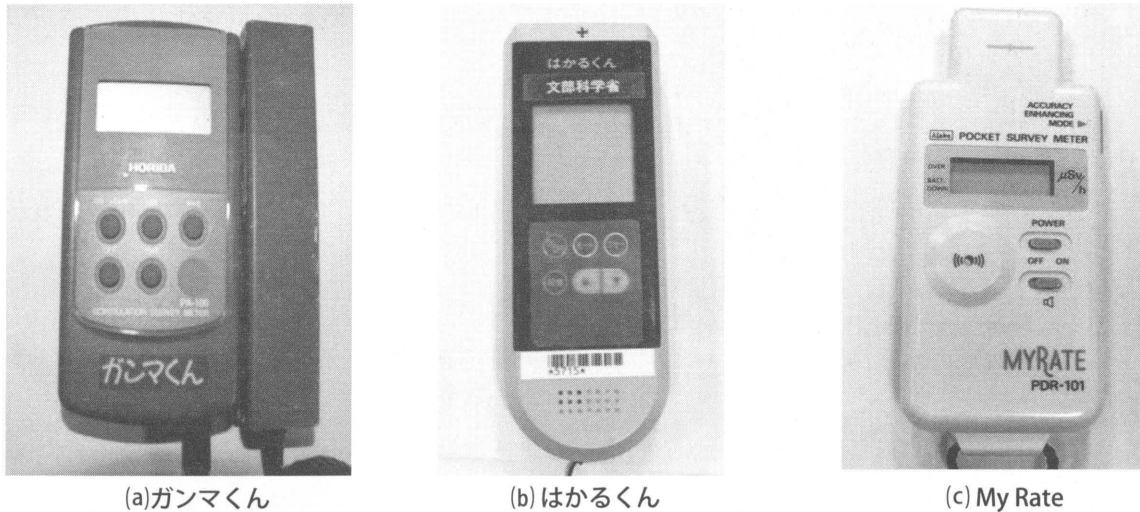


図2 使用した放射線測定器

分間の移動平均値を表示するようになっている。このため、トンネルへの出入などのように環境要因・測定条件が変化した場合に、指示値が追従しないことがある。したがって、検出器の性能は同等であるが、測定結果の表示が逐次行われる③My Rateを合わせて使用した。

これらの測定器は、いずれも1インチ大のCsI(Tl)シンチレータを用いている。このため、高エネルギー γ 線成分にはほとんど感度を持たず、大地放射線の寄与を測定していると考えて良い。

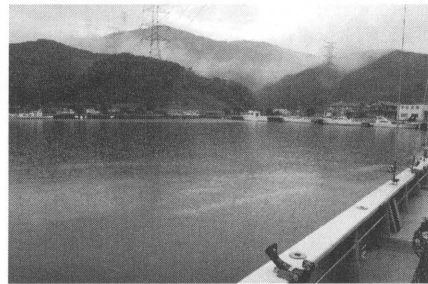
簡易型サーベイメータによる空間線量率測定では、以下の測定を行った。

①カーボンサーベイ

自動車で移動中に1分間ごとの指示値を周囲の様子と共に記録した。測定器の地上からの高さは1mとした。また、近畿大学構内で車内と車外の線量率の測定を行い、自動車の車体による遮蔽の影響は問題としないことを確認した。

②定点測定

a) 特徴的地点の測定：海岸・池周辺、橋上、花崗岩質の建築物など環境要因や測定条件が特徴的な場所については、移動中だけではなく、定点測定を合わせて行った。図3(a)~(e)に代表的な測定地点の様子を示す。



(a) 船着場 (若狭湾)



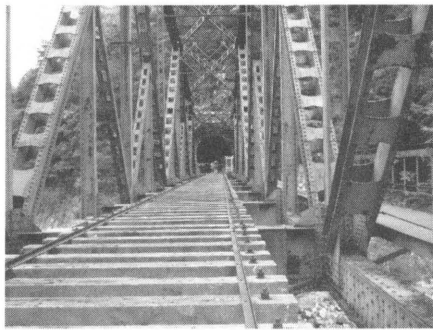
(b) 甑岩 (越木岩神社・西宮)



(c) 近畿大学生石農場 (和歌山)



(d) 福知山廃線跡トンネル内



(e) 福知山廃線跡鉄橋上

図3 代表的な測定地点の様子

b) 定点での自然放射線レベルの経時的変動：放射線レベルは、同じ場所であっても経時的に変動する。同一地点で1分間ごとに指示値を3時間記録しバックグラウンドの変動幅を評価した。

(2) BGO検出器による γ 線スペクトル測定

地表に届く宇宙線はエネルギーが高い。本調査では、NaIよりも密度が大きく、高エネルギー γ 線に対して感度が大きいBGOシンチレータを使用した。

3"×3"φ BGOシンチレーション検出器(76B76/3-BGO, ORTEC) およびマルチチャンネルアナライザ(degibase, ORTEC)を用い、定点にて1,800秒測定した。

測定場所は以下の2地点とした。

- ① 福知山線廃線跡(トンネル、鉄橋上)
- ② 若狭湾海上

3. 結果および考察

3.1 簡易型サーベイメータによる空間線量率のカーボンサーベイ

簡易型サーベイメータを用いた空間線量率のカーボンサーベイの測定結果を示す。

- ① 東大阪—奈良市内(図4)
- ② 大阪—舞鶴(図5)
- ③ 舞鶴—小浜(図6)
- ④ 大阪—京都—敦賀(図7(a), (b))
- ⑤ 明石海峡大橋(図8)
- ⑥ 六甲山系(図9)

東大阪—奈良市内(図4)の結果では、阪奈トンネル内における線量率の増大が顕著である。トンネル内は岩石を含む土砂で四方が囲まれており、大地放射線が増大することを反映している。また、平城京跡や猿沢池付近では、市街地に比べて線量率は低くなった。これは、市街地には鉄筋コンクリートのビルが密集しているが、平城京跡には建築物がなく野原が広がっており、さらに猿沢池周辺では水により大地放射線が遮蔽されるといった環境要因が表れた結果となっている。奈良の平城京あるいは猿沢池といった歴史的に有名な場所で得られたデータは教材として興味深く利用価値が高いのではないかと考えられる。

大阪—舞鶴(図5)の結果からは、いずれのトンネル内でも線量率が高くなるが、その値はトンネルにより様々であることが分かる。これは、地質の違いに加え、それぞれのトンネルが掘られている山の大きさが異なり、四方を囲んでいる岩石の量の違いによるといえる。

図6に、舞鶴西ICから丹後街道(国道27号線)に入り小浜までの測定結果を示す。測定開始25分後までは線量率は比較的高めの傾向を示し、それ以降低くなるが、小浜到着前に再び高くなった。測定開始21分後に見られる最大値 $0.06 \mu\text{Sv/hr}$ は青葉トンネルで得られたものであり、測定開始32分以降

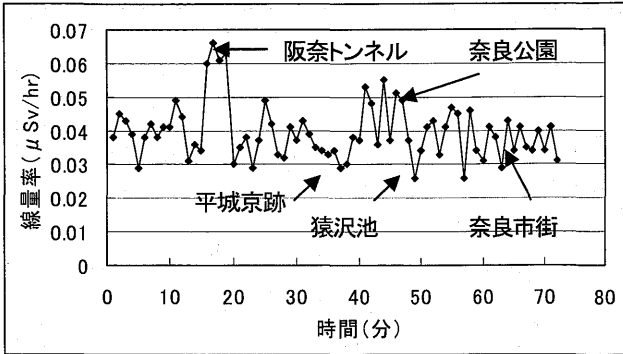


図4 空間線量率の変化 (東大阪-奈良)

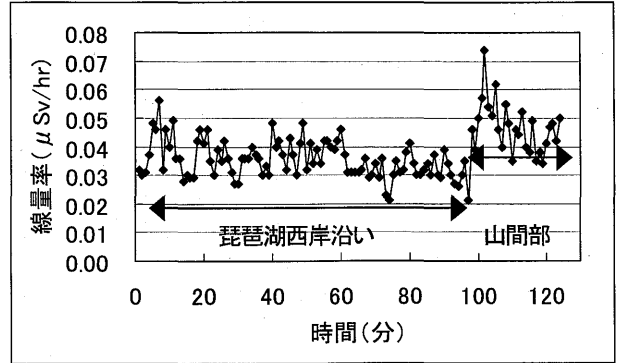


図7(a) 空間線量率の変化 (京都-敦賀、琵琶湖西岸)

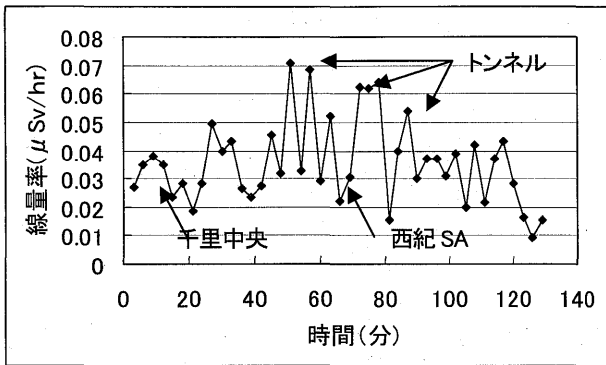


図5 空間線量率の変化 (大阪-舞鶴)

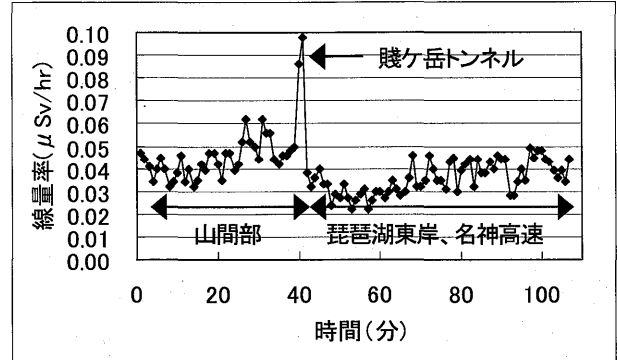


図7(b) 空間線量率の変化 (敦賀-京都、琵琶湖東岸)

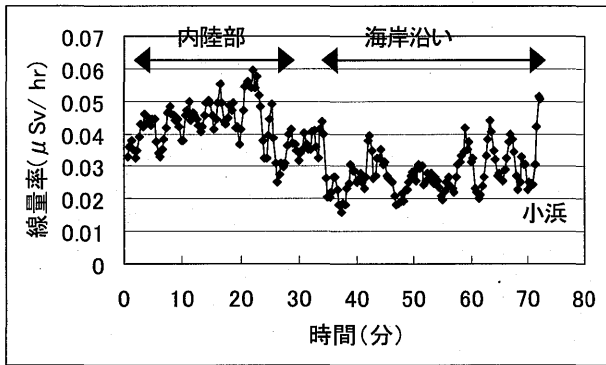


図6 空間線量率の変化 (舞鶴-小浜)

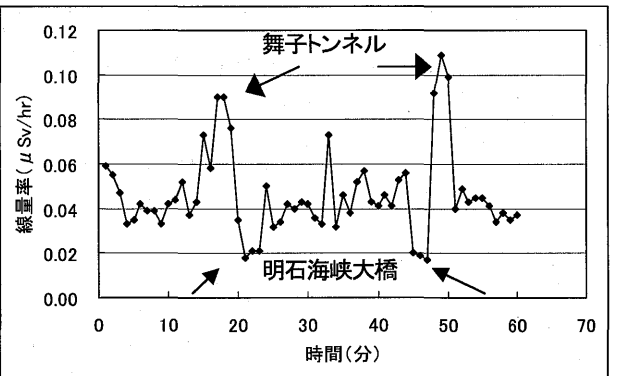


図8 空間線量率の変化 (明石海峡大橋、往復)

海岸沿いの道路に出たことと一致する結果となっている。小浜到着前には4つのピークが見られるが、加斗トンネル、谷田部トンネル、後瀬山トンネル、勢浜トンネルの4つのトンネルを通過したことを表す結果が得られた。

図7(a)、(b)は、京都-敦賀間で往路は西岸を復路は東岸を測定した結果である。琵琶湖周辺の地質は、西岸から北部はジュラ紀前の付加コンプレッ

クスであり、東岸は第四紀の堆積岩とされ、ともに線量率がそれほど高い地質ではないが、付加コンプレックスの方が若干大きい^{4,5)}。図7で、山間部(琵琶湖北部)で線量率が高いこと、東岸で0.03 μSv/hrを下回る線量率が20分間ほど継続したことなどは、この地質の情報と一致している。

図8は、明石海峡大橋を往復した測定結果である。明石海峡大橋の上で線量率は0.02 μSv/hr程度

と低かった。これは、海水による大地放射線の遮蔽と距離の影響による。舞子トンネル内の線量率は $0.1 \mu\text{Sv/hr}$ とトンネルの中でも比較的高い値を示した。トンネルを出てすぐに明石海峡大橋を渡るので、線量率の高低の対比が良くわかる特徴的な測定地点の1つといえる。

図10に六甲山の地質分布図とカーボンの経路を示す。六甲山系は花崗岩質の地質を持つことで有名である。阪神電車に「御影」という名前の駅があるが、この地域で御影石（=花崗岩）が切り出されることからつけられた地名と言われている。阪神高速の西宮出口を出て、香櫨園から六甲山へ向かった。六甲山頂脇をとおり西へ向かう道路（主要地方道16号線）は六甲山系の花崗岩質のほぼ中央部を走っていることが分かる⁶⁾。図9では、平地部で $0.03 \sim 0.04 \mu\text{Sv/hr}$ であったが、六甲山系に入ると線量率が増大していることが良く分かる。測定開始60～70分後は六甲山系の中でも線量率が低くなっているが、海側が崖になっており、片側半分に土砂がないことを反映していると考えられる。

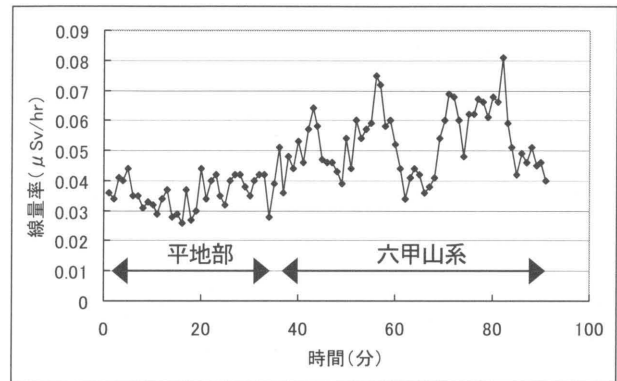


図9 空間線量率の変化（六甲山系）



図10 六甲山地質分布図⁶⁾

3.2 簡易型サーベイメータによる定点測定

表1に簡易型サーベイメータによる定点測定（大阪市内）の結果を示す。

大阪市内での測定値については、大阪市役所では建材として用いられている御影石の影響を強く受け、線量率は高かった。また、中之島の大江橋（御堂筋）から手を伸ばして水面上で測定したところ $0.043 \mu\text{Sv/hr}$ となった。水面上では水の遮蔽効果や距離の影響により線量率は低くなるはずであるが、御堂筋の平均値に比べて高かった。これは、欄干の石の表面で測定した結果が $0.133 \mu\text{Sv/hr}$ と高い値を示したように、欄干からの放射線の寄与を受けている。橋の上ならば線量率は低くなると思って測定しても、期待される測定結果が得られない場合の一例としてあげられる。地下街では、期待通りに高い線量率の測定結果が得られた。さらに、御堂筋と四ツ

表1 簡易型サーベイメータによる定点測定結果

測定場所		線量率 ($\mu\text{Sv/hr}$)
大阪市内	大阪市役所（正面入口）	0.184
	大江橋上	0.043
	大江橋欄干	0.133
	本町地下街	0.118
	四ツ橋筋（平均）	0.033
	御堂筋（平均）	0.025
甕岩（越木岩神社・西宮市）		0.214

橋筋の比較において、四ツ橋筋の方が若干高い値となったのは、四ツ橋筋の方が道幅が狭くビルの密集の程度が高いことの影響を受けていると考えられる。

また、西宮市の越木岩神社にある甕岩は、高さ10m、全周40mの巨大な花崗岩であり、六甲山系から切り出されたとされている。表面における線量率

表2 水辺周辺の線量率の変化

測定場所		線量率 ($\mu\text{Sv/hr}$)
大 淵 池	橋上 (水上)	0.018
	池の縁	0.027
	池縁より10m	0.032
	池縁より20m	0.043
和 田 海 岸	池縁より30m	0.057
	道路	0.045
	砂浜1**	0.024
	砂浜2***	0.017
	波打ち際	0.017

*大淵池：奈良・学園前、和田海岸：福井・海水浴場

**波打ち際と道路の中間点 (道路から約100m)

***さらに波打ち際に近づいた点 (道路から約150m)

は最大0.214 $\mu\text{Sv/hr}$ のものぼり、放射性物質を多く含む巨大な花崗岩の典型例といえる。

表2に水辺周辺での線量率の測定結果を示す。大淵池、和田海岸ともに、水面から離れるのにしたがって、線量率が次第に高くなることが確かめられた。これは、海や比較的大きな池の場合、水が大地放射線を遮蔽することを表す結果である。

3.3 定点での自然放射線レベルの経時的変動

表3に同一地点で測定した線量率とその変動を示した。福井県小浜の水深100mの海上では、水が大地放射線を遮蔽するため、平均0.011 $\mu\text{Sv/hr}$ と低い測定値が得られた。大阪府内 (東大阪市、八尾市) では比較的線量率が高く、福井県では中程度、和歌山県生石農場では0.034 $\mu\text{Sv/hr}$ と低めであった。生石農場で線量率が低かったのは、岩石の少ない農場であることを反映した結果と考えられる。

また、変動係数 (標準偏差/平均値) は、東大阪、八尾では10%程度であるのに対し、海上では30%になった。このことは、線量率が低くなるとバラツキの程度が大きくなることを示している。した

表3 自然放射線レベルの経時的変動

場所	平均値	S.D.*	最大値	最小値
赤ぐり崎 (福井県)	0.052	0.006	0.070	0.036
小浜海上 (福井県)	0.011	0.003	0.025	0.004
近畿大学 (東大阪市)	0.083	0.009	0.109	0.061
一般家庭 (八尾市)	0.062	0.007	0.080	0.043
生石農場 (和歌山県)	0.034	0.006	0.047	0.020

単位： $\mu\text{Sv/hr}$ 、*統計誤差で1標準偏差を示す。

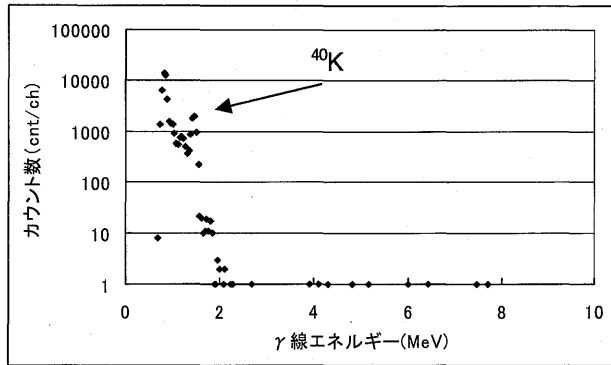
がって、低線量率の放射線測定を行う場合、統計誤差を小さくするためには、バックグラウンドの長時間測定の必要性が改めて示された。

3.4 BGO検出器による γ 線スペクトル測定

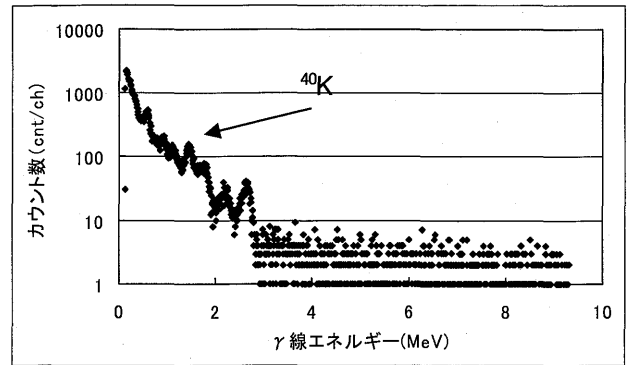
図11に福知山線廃線跡にて測定した(a)トンネル内、(b)鉄橋上、(c)屋外の γ 線スペクトルをそれぞれ示す。高エネルギー γ 線測定のために、大地放射線としてトリウム系列の ^{208}Tl が2.615MeVの γ 線を放出することから、自然放射線測定においては、3MeV以上の高エネルギー γ 線を宇宙線成分として解析することが多い。

屋外をコントロールと考えると、3MeV以上の宇宙線成分は鉄橋上では変化ないが、トンネル内では山の土砂による遮蔽効果によりほとんど見られなかった。一方、3MeV以下の土砂・岩石に起因する大地放射線成分は、 ^{40}K のピーク値は屋外の1.6倍とトンネル内で増加しており、鉄橋上では河川水による遮蔽、距離による影響のため屋外の0.36倍と低かった。

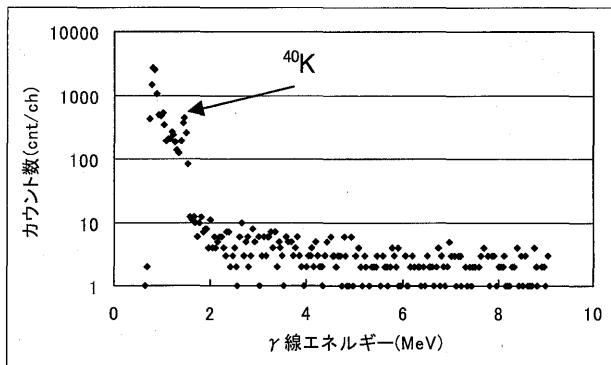
図12に若狭湾にて測定した(a)海上、(b)船着場の



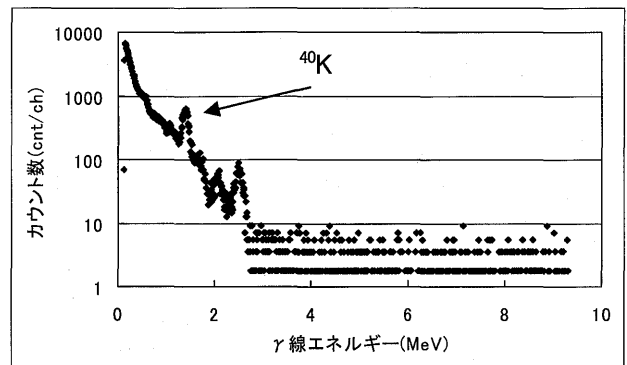
(a) トンネル内 (福知山線廃線跡)



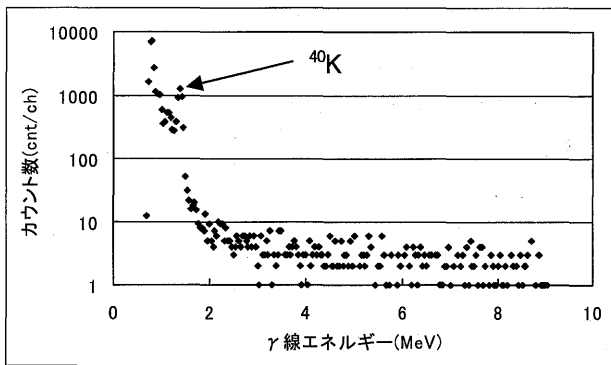
(a) 海上 (若狭湾)



(b) 鉄橋上 (福知山線廃線跡)



(b) 船着場 (若狭湾)



(c) 屋外 (福知山線廃線跡)

図11 BGO検出器による γ 線スペクトル測定

γ 線スペクトルをそれぞれ示す。なお、海上の測定点における水深は100m程度であった。

福知山線廃線跡の鉄橋上と同じく、海上では ^{40}K のピーク値は低下しており、船着場の0.22倍であった。

図12 BGO検出器による γ 線スペクトル測定

4. おわりに

環境要因、測定条件の違いによる自然放射線レベルの変動については、一般的に以下のことが言える。

- ① 高所 (山、航空機) : 宇宙線の増大
- ② 高所 (鉄塔) : 大地放射線の低下
- ③ トンネル : 大地放射線の増大
- ④ 地下 : 大地放射線の増大、宇宙線の低下
- ⑤ 建材・周辺状況 : 大地放射線の変動
- ⑥ 海 (水上) : 大地放射線の低下
- ⑦ 気象条件 (降雨) : ラドン娘核種の降下による線量率の上昇

本調査の測定結果は、これらの傾向を良く表している。簡易な測定器で測定した場合でも、周辺の環境要因、測定条件と照らし合わせた丁寧な測定を行えば、自然放射線レベルの変動が明らかとなるデー

タを取得することができることが分かった。

今後、得られたデータをどのような形で教材として活用するかを検討を進め、近畿大学原子力研究所における研修会、講習会において活用していきたいと考える。

謝 辞

本研究の遂行にあたり関西原子力懇談会から頂きましたご協力について、ここに記して感謝の意を表します。

参考文献

- 1) 関西原子力懇談会ホームページ；放射線測定器の貸出、ガンマくん、ベータちゃん、
URL <http://www.kangenkon.org/shiraberu/kiki/kiki.htm>
- 2) 文部科学省、(財)放射線計測協会；はかるくんで放射線を測ってみよう！、(2005)。
- 3) 関西原子力懇談会；科学の不思議見つけよう！わたしたちの地球と放射線、(2005)。
- 4) Susumu MINATO; Terrestrial Gamma Ray Dose Rate Map of the Japanese Islands in Relation to Geological Systems, RADIOISOTOPES, 55, 543-548 (2006)。
- 5) 日本列島の地質編集委員会編；理科年表読本「日本列島の地質」、丸善、(2002)。
- 6) 国土交通省 近畿地方整備局六甲砂防事務所ホームページ、六甲山地質分布図、
URL <http://www.rokko.kkr.mlit.go.jp/rokko/images/sabo02.pdf>

杉浦他：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－