

岡山市周辺の環境放射線ならびに放射能の調査・研究（Ⅱ）

—環境レベルの空間線量からの外部被曝に関する評価—

見尾 光庸¹⁾ 鑛山 宗利²⁾ 多田 幹郎³⁾
小野文一郎^{1,*)} 蜂谷 欽司²⁾ 佐藤 公行⁴⁾

1. はじめに

原子力発電所からの放射能漏れ，核兵器，核開発，医療被曝などについては様々な意見があるが，その根底には「放射線は身体に悪いものである」という認識がある。また，研究室レベルで放射性同位元素を使った実験を行う場合でも，「放射線障害を防止しなければならない」という理念の下に厳しい法規制が敷かれている。放射線は生物を構成する核酸・タンパク質・脂質といった分子に対して様々な作用を及ぼしており，その生物作用は軽んじられるべきものでは決してない¹⁾。しかし，これらの議論は，しばしば高いレベルの放射線被曝の問題として論じられ，環境放射線のような低レベルの放射線がどのような影響を及ぼすかについては忘れられがちである。

核兵器による被曝や，チェルノブイリの原発事故の例をひくまでもなく，強い放射線を照射されると，短期的には，線量に応じて死に至る場合から，不妊や脱毛，皮膚の紅斑，白血球の減少，精

子の減少といった障害を生じることが知られている。また，人間の寿命程度の時間スケールで見ただけの場合には，白血病や発ガン，寿命の短縮といった晩発性の障害を生じる。更に長い時間スケールで見れば，遺伝病の発生の確率が上昇する。このような放射線障害は，二つのカテゴリーに分類できる。すなわち，障害を発生させる放射線の線量に「しきい値」を持ち，線量-作用曲線がシグモイド状になる「確定的障害」と，しきい値がなく，線量-作用曲線が直線状の「確率的障害」である。確定的障害は，その多くが細胞死を基本としたメカニズムによって，放射線照射を受けた細胞もしくは個体に発生するものであり，放射線照射を受けてから比較的短期間に症状が現われるものが多い。一方，確率的障害は，細胞を構成する分子，特に遺伝子のわずかな変異を基本として発生するものであり，放射線を照射されてから発症に至るまでに時間を要するものが多い。個々の細胞の生死そのものには直接影響しない程度のわずかな突然変異を生じた細胞が，異常な分裂・増殖を繰り返すことによって，照射された個体にガンや白血病が発生する。また，生殖細胞に生じた変異の場合には，数世代を経てはじめて劣性遺伝病が出現

¹⁾ 岡山大学薬学部 ³⁾ 岡山大学RI共同利用津島施設

²⁾ 岡山大学農学部 ⁴⁾ 岡山大学理学部

*) 現：立命館大学理工学部

する可能性がある。確定的障害の場合には、「個体がどれだけ放射線を照射されたか」という測定を行えば、その障害はある程度評価が可能であり、その発生にはしきい値があるため、比較的制御が容易であると言える。しかし、確率的障害の場合には、照射される放射線の線量は、障害の発生する確率を上昇させるだけであって、いくら低レベルの放射線でも、障害の発生する確率が0になることはない¹⁾。また、発生する障害の種類も線量には依存しない。言い方を変えれば、放射線照射を受けると、どんなタイプのガンやどんな種類の遺伝病が発現するかは予想できないが、線量に依存してガンや遺伝病の発現する確率が上昇するのである。国際放射線防護委員会（ICRP）の勧告²⁾や国内の放射線障害防止の関係法令³⁾も確率的障害の発生を自然に発生し得る可能性のある突然変異のレベルにまで抑えることを目標にして、被曝限度を設定するようになっている。

我々は、宇宙線や天然に存在する放射性同位元素などに起因する放射線によって、常に低レベルの被曝を受けながら生活している。一方、細胞には、遺伝子が損傷を受けた場合にそれを修復する機構が存在している。しかし、この様な修復機構は、あくまでも自然環境の中で生じる遺伝子の損傷に対して修復が可能な程度の効率で働くように準備されているものであって、修復機構が対応しきれないレベルの障害が生じた場合には、遺伝子損傷もしくは突然変異として、細胞が分裂するたびに次世代の細胞や個体に受け継がれていく。自然放射線のレベルは、少なくとも我々が現在この様に生きて行くことができる程度には低いことから、環境中で我々が受けている放射線がどの様なものに起因しており、現実にはどの様な影響を及ぼしているかということについては忘れがちである。しかし、様々な測定系や実験系の中でバック

グラウンドとして片付けられることの多い環境放射線を測定し、われわれが普通に生活している環境の中で被曝している放射線の量とその性質を正確に把握することこそ、放射線の人体に及ぼす影響を理解する上で最も根本をなすものと考えられる。

自然放射線のレベルは、地球全体の平均的な値として、教科書等でも知ることができる。しかし、天然存在同位体の含有率は岩石の種類などによっても異なっており、宇宙線の分布も高度や緯度によって異なっているために、地上のどの場所でも同じレベルの環境放射線が分布しているわけではない。日本では、東日本より西日本のほうが高いレベルにある⁴⁾。また、太陽の黒点活動の変化などによって宇宙線のレベルは変化し得るし、人間の社会的営みの中で、生活環境に存在する放射線の量も時々刻々変化する可能性がある。現に、石油・石炭といった化石燃料の大量消費による空気中の二酸化炭素濃度の上昇が原因となって、空気中の¹⁴Cの存在比率が変化し、¹⁴Cを用いた年代測定にまで影響を及ぼしていることが知られている。従って、我々が現在実際に生活している環境の中で、どの様な種類の放射線をどの程度の量だけ被曝しているか、ということ測定することは、自分達の生活環境を正確に把握する上でも重要な意義がある。

小論では、前回の報告¹⁾に引き続き、我々が生活している岡山県南部ならびに岡山市周辺の環境放射線について、環境レベルの空間線量からの外部被曝に対する評価を行ったので、その結果を中心に、我々が現在被曝している環境放射線について考察してみたい。なお、外部被曝に寄与するのは透過性の高いγ線であり、α線、β線の外部被曝への寄与はほとんど無視できるため、ここではNaI(Tl)シンチレーションサーベイメータ、電

子ポケット線量計，Ge半導体 γ 線分析装置などを用いて γ 線の測定を行ない，等価線量（Sv:シー

ベルト）による表示を行なったことをお断りしておく。

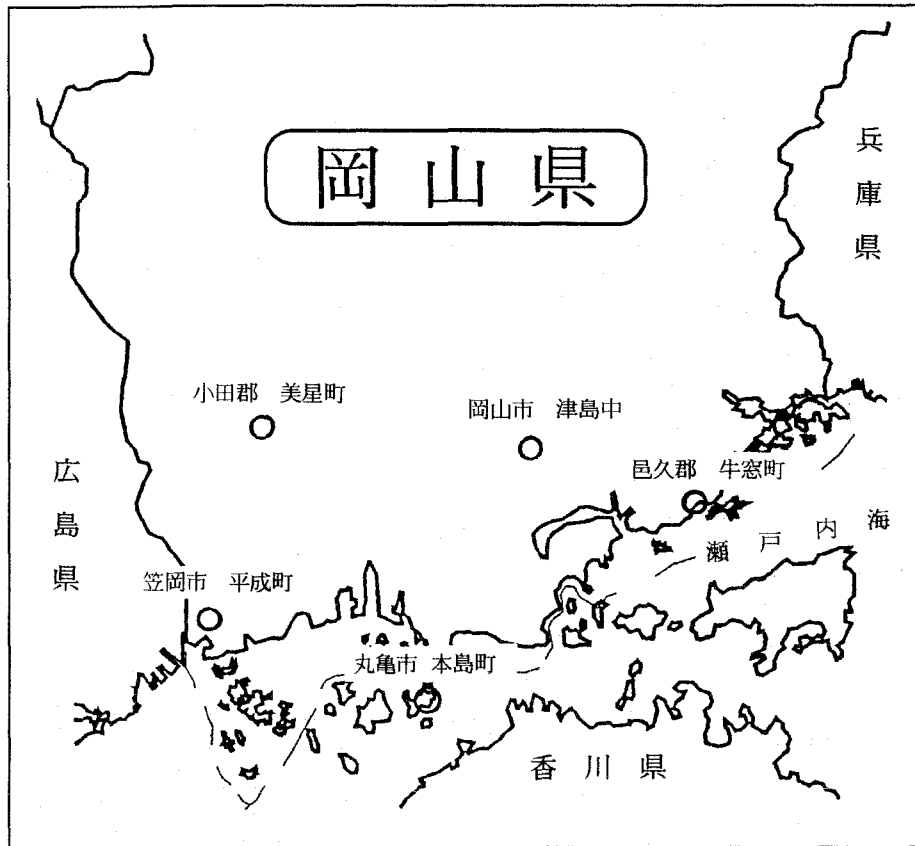


図1 岡山県南部のモニタリングポストの設置場所

2. 岡山市ならびに周辺部の環境放射線

2.1 岡山県南部の環境放射線の通年変化

まず，我々が，年間を通じて環境放射線によって外部から被曝する線量を測定するために，岡山県南部に図1に示した5カ所のモニタリングポストを設置した。1ヵ月ごとの集積線量を測定し，月間の平均線量率に換算した^{5,6)}。その測定結果が図2である。この図より明らかなように，個々の観測点では，年間を通じての大きな変動は見られなかったが，観測点間での等価線量率の差は大きかった。なお，ここでは1ヵ月ごとの集積線量値を測定したため，気象条件の変化による変動は，ほとんどあらわれなかった。これを年間の外部被曝等価線量として示したのが表1である。測定点ごとに年間被曝等価線量は大きく異なっており，最大2倍以上の有意な差が認められた。

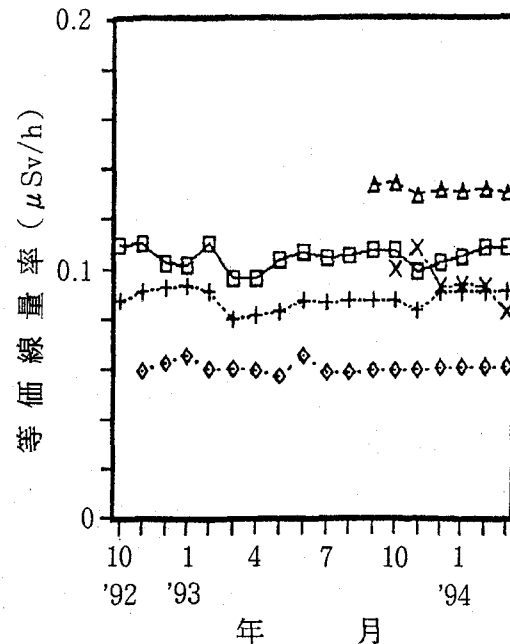


図2 岡山県南部での空間放射線の等価量率の変動

□：岡山市津島中 +：邑久郡牛窓町
◇：小田郡美星町 △：笠岡市平成町
×：丸亀市本島町での月間平均等価線量を示している。

表1. 岡山県南部¹⁾における公衆の外部被曝による等価線量

地名	年間被曝等価線量 (mSv)
岡山県岡山市津島中 (市街地)	0.913 ± 0.139 ²⁾
岡山県邑久郡牛窓町 (臨海地)	0.767 ± 0.128
岡山県小田郡美星町 (丘陵地)	0.526 ± 0.101
岡山県笠岡市平成町 (干拓地)	1.151 ± 0.149
香川県丸亀市本島町 (孤島)	0.828 ± 0.175

¹⁾香川県を一部含む ²⁾標準誤差

2.2 岡山市における環境放射線の分布

次に、われわれの生活の場である岡山市について、岡山市全体を200のマス目に区切り、それぞれの空間線量を測定することで、空間線量の平面分布を調査した⁷⁾。この調査では、気象条件ができるだけ均一になるような日を選んで測定を行ない、測定の際は、宇宙線の影響をできるだけ少な

くするために、装置の検出部を下方に向けて測定した。

岡山市の地図に各マス目ごとの測定された環境放射線の等価線量の分布を重ね合わせたものが図3である。全般的な傾向として、浮田・足守などの岡山市北部の山地部や、貝殻山・金甲山などのある岡山市南部の山地部では高い値を示す傾向があり、平野部ではおおむね低い値を示していた。平野部の中で、何か所か周囲よりも線量率の高い観測点があったが、これは、新しく造成された土地(いわゆる新興住宅地)であった。この調査で得られた値から、岡山市全体を平均した年間等価線量を計算すると、表2のような結果が得られた。この値は、表1で示した岡山市津島中のモニタリングポストでの測定値と大きな差はなく、岡山市津島のモニタリングポストの位置は、岡山市の平均的

表2. 岡山市における年間等価線量

	平均値	低い値	高い値
等価線量率 ($\mu\text{Sv/h}$)	0.093	0.057	0.188
年間等価線量 (mSv)	0.815	0.499	1.845

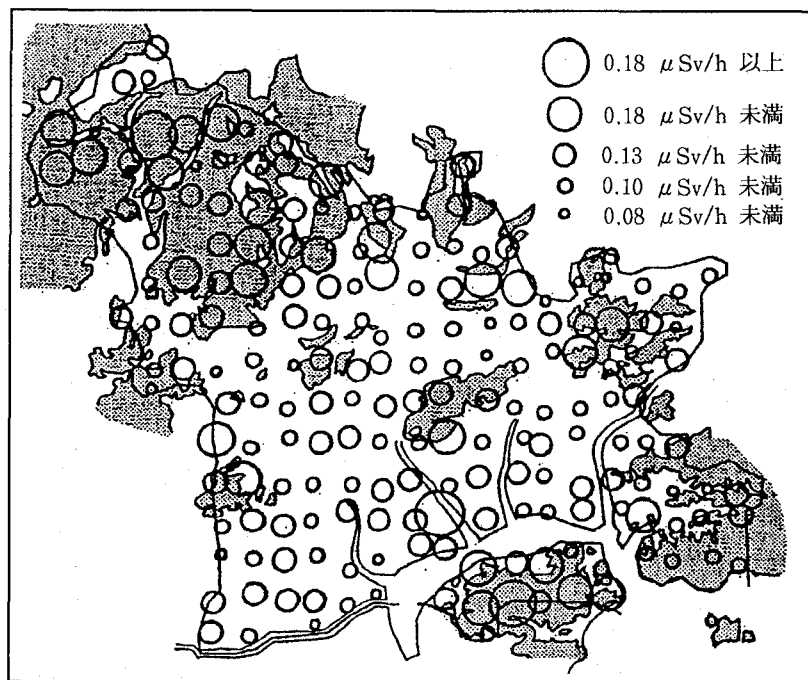


図3 岡山市における空間放射線の等価線量率の分布
図は、火成岩質層の分布を示す。

な値を測定しているものとみなしてもよいと考えられた。

高い線量率を示した所が山地部や新興住宅地に多く、低い線量率を示した所が平野部に多いところから、少なくとも岡山市内の環境放射能の分布は、それぞれの地盤を形成している岩石や土などの地質と密接に関連している可能性が想定された。実際、岡山市北部や南部の山地部は、おおむね火成岩質の土地であり、線量率が低い平野部は、堆積岩類からなる土地であった。また、平野部の中で高い線量率を示した造成地は、表土に花崗岩の風化土であるマサ土が用いられているところであった。そこで、次に、代表的な火成岩ならびに堆積岩中に含まれる放射性同位元素の同定と、それに起因する放射線の量を測定した。

2.3 岡山市周辺部より採取した岩石の含有放射性物質

前述の結果から、岩石中の放射線が外部被曝に寄与している可能性が想定されたため、岡山市及びその周辺部の岩石を採取し、ゲルマニウム半導体検出器を用いて、岩石の中から検出される放射線（ γ 線）のエネルギーと放射能から、核種とその含有量の分析を行なった⁸⁾。その結果を表3に示した。一般的な傾向として、花崗岩・ハンレイ岩・流紋岩・玄武岩などの火成岩類は、泥岩・砂岩・石灰岩などの堆積岩類よりも高い値を示した。中生代の流紋岩質凝灰岩は、今回測定した岩石の中では、いずれの核種についても最も高い値を示した。¹³⁴Csは、いずれの岩石でも比較的低い値を示した。一方、⁴⁰Kは、測定を行った全ての岩石についてその存在が認められたが、最も高濃度に存在している中生代流紋岩質凝灰岩では、最も低い石灰岩の約26倍の濃度で含まれていた。これらの放射能濃度をもとにして、それぞれの岩石から

被曝し得る等価線量を計算した値を表4に示した。核種分析でも明かになったように、火成岩は堆積岩よりも高い値を示した。岡山市内の等価線量率分布において、観測された線量率の分布が、火成岩からなる山地部では高く、堆積岩類からなる平野部では低いことが、この表に示した結果からも明かになった。表土にマサ土を用いて造成した新興住宅地が周辺部よりも高い値を示したのも、花崗岩の風化土であるマサ土に含まれる核種の影響であるものと考えられた。

表3. 岡山県に分布する岩石の含有放射能の分析

核種 (エネルギー-keV)	¹³⁴ Cs (604.73)	⁴⁰ K (1460.73)	²²⁶ Ra (186.02)	²²⁸ Th (84.40)
花崗岩	0.002	1.026	0.058	0.121
風化花崗岩	0.002	0.986	0.055	—
万成花崗岩	0.001	1.105	0.049	—
花崗閃緑岩	0.003	0.975	0.079	0.093
ハンレイ岩	—	0.077	—	—
流紋岩質凝灰岩				
中生代	0.003	1.137	0.257	0.167
新第三紀	0.002	0.090	0.022	0.097
玄武岩質溶岩	—	0.153	0.019	—
泥岩				
古生代	0.001	0.995	0.072	—
第三紀	0.002	0.677	0.058	—
片岩				
泥質	0.001	0.692	0.054	—
砂岩				
中生代	—	0.616	—	—
石灰岩	—	0.044	—	—

単位は、Bq/gです。

表4. 岩石の含有放射能から算定された等価線量

岩石	年間等価線量 (mSv)
花崗岩	0.666
風化花崗岩	0.307
万成花崗岩	0.315
花崗閃緑岩	0.622
ハンレイ岩	0.018
流紋岩質凝灰岩	
中生代	1.261
新第三紀	0.342
玄武岩質溶岩	0.070
泥岩	
古生代	0.342
第二紀	0.114
片岩	
泥質	0.245
砂岩	
中生代	0.254
石灰岩	0.009

3. 総括

岡山市において、我々は、年間等価線量が平均約0.9mSvの外部被曝を受けていることが明らかになった。山地部や新興住宅地などの高い値を示すところでは、約1.6mSvであった。これらの値は、「国際連合原子放射線の影響に関する委員会(UNSCEAR)」によって報告されている値⁹⁾(表5)のうち、外部被曝として考慮される宇宙線と地球起源の γ 線による年間等価線量の和(0.85mSv)よりも若干高い値であった。特に、表5の中の地球起源の γ 線(0.46mSv)と、今回岩石の測定値から計算した岩石から被曝する等価線量とを比較すると、火成岩質の岩石の多い地域での被曝は、地球上の平均的な値よりも高いものになると考えられた。特に、花崗岩の風化土を含む新興住宅地で高い線量を示していることは、宅地造成という人間の社会活動に伴って、生活環境に存在する放射線のレベルが2倍近く変動し得ることを示している。今回の調査で明らかになった数字は、UNSCEARの報告と比較しても、大きく異なるものではなく、人体に及ぼす自然放射線の影響が大きく異なってくるような数字ではないものと推察された。

表5. 自然放射線源による成人の年間等価線量

線源	年間等価線量 (mSv)	
	平均値	高い値*
宇宙線	0.39	2.0
地球起源の γ 線	0.46	4.3
体内放射性核種 (ラドンを除く)	0.22	0.6
ラドン及び崩壊生成物	1.3	1.0
合計(概数)	2.4	—

*高い値は大きな地域の代表である。より高い値が局地的にはおこる。

(UNSCEAR 1993より)

放射線によって生じる障害を避けることのできる唯一の方法は、放射線の照射を受けないことである。しかし、環境の中に宇宙線や放射性核種が存在している以上、日常生活の中で放射線照射を全く受けずに暮らすことは不可能である。また、今回の調査からも明かなように、宅地造成という様な人間の社会活動ですら、環境放射線の量を大きく変動させる可能性がある。続稿¹⁰⁾でも論じることが、環境放射線からの内部被曝の原因となるラドンについても、建築物にコンクリートが多用され、密閉度の高い建築物が増えるに従って住宅内のラドン崩壊生成物の増加が指摘されている¹¹⁾。ラドン含有量の高い火成岩が宅地造成、あるいは海浜・湖沼の埋立に使われれば、当然内部被曝に関与するラドンの分布にも変化が生じ、内部被曝線量も変化するはずである。¹⁴Cの空気中の存在比率が化石燃料の消費によって変化しているのも前述したとおりである。このように、環境放射線は、人間の様々な社会活動に伴って、常に変動し得るものとして捕える必要がある。放射線の人体に与える影響を的確に評価する上でも、自然放射線源からの被曝がどの程度のものであるかを常に把握しておく必要があり、今回のような調査が、広範囲な地点で定常的に行われるシステムが確立されることが、切に望まれる。

謝辞

今回の調査・研究を進めるにあたり、地学的観点からの助言ならびにご高配をいただいた岡山大学理学部地学科の鈴木茂之博士、松田敏彦博士に深謝する。また、定点観測のためのモニタリングポストを設置させていただいている海上保安庁第6管区美星水路観測所、岡山県笠岡営農センター、岡山大学理学部附属牛窓臨海実験所、岡山大学農学部附属本島農場に感謝する。

この調査・研究は、平成4年度—6年度の文部省
特定研究経費で行われた。

文 献

- 1) 多田幹郎, 小野文一郎, 鑛山宗利, 蜂谷欽司, 佐藤公行
岡山市周辺の環境放射線ならびに放射能の調査・研究 (I)
環境制御 No. 15;13—22, 1993.
- 2) ICRP Publication 60
国際放射線防護委員会の1990年勧告
日本アイソトープ協会, 1991.
- 3) 放射性同位元素等による放射線障害の防止に関する法律
日本アイソトープ協会, 1993.
- 4) Fujitaka, K., Abe, S. and Fujimoto, K
Analysis of Contour Map of Natural Radiation in Japan. Journal of Nuclear
Science and Technology, 18 (9) 727—736, 1981.
- 5) 鑛山宗利
簡易モニタリングポストの作製とその利用
生物学技術研究会報告 No.4; 23-26, 1993.
- 6) 鑛山宗利, 斎藤俊明, 蜂谷欽司
電子ポケット線量計 (EPD) を用いた簡易型環境放射線モニタリングポスト
の試作
RADIOISOTOPES, 42 (10) 559-604, 1993.
- 7) 鑛山宗利, 鈴木茂之, 小野文一郎, 蜂谷欽司, 多田幹郎, 佐藤公行
岡山市周辺の環境放射線の調査;線量当量率の平面分布について
RADIOISOTOPES (印刷中)
- 8) 鑛山宗利, 鈴木茂之, 松田敏彦, 小野文一郎, 見尾光庸, 蜂谷欽司, 多田幹郎,
湯本泰弘, 佐藤公行
岡山県に分布する岩石の含有放射能の調査
第31回理工学における同位元素研究発表会要旨集 P. p.13, 1994.
- 9) UNSCEAR, 1993.
Sources and Effects of Ionizing Radiation. 1993 Report to the General Assembly
United Nations, New York, 1993.
- 10) 鑛山宗利, 湯本泰弘, 花房直志, 蜂谷欽司, 佐藤公行
岡山市周辺の環境放射線ならびに放射能の調査・研究 (III)
—環境レベルの空气中放射能濃度からの内部被曝に関する評価—
(準備中)
- 11) ICRP Publication 39
自然放射線源に対する公衆の被曝を制限するための諸原則
日本アイソトープ協会, 1984.

Monitoring of Environmental Ionizing Radiation and Radioisotopes in Okayama City and the Vicinity (II)

— An estimation of the external radiation
from the environmental radiation dose —

Mitsunobu MIO¹, Munetoshi KANAYAMA², Mikiro TADA³,
Bun-ichiro ONO¹, Kinji HACHIYA², Kimiyuki SATOH⁴

¹*Fac. Pharmaceutical Sciences, ²Radio-Isotope Laboratory*

³*Fac. Agriculture, ⁴Fac. Science,*

Okayama University ;

Tsushima Okayama 700

Monitoring of environmental ionizing radiation and radioisotopes in Okayama city and the vicinity was carried out from the point of view of the external radiation from the environmental radiation dose. Although the fluctuation of monthly detected radiation dose throughout the year was rather low at each observation point, the mean value of dose equivalent was varied between the place of observation. From the observation of the distribution of environmental radiation dose in Okayama city, it was assumed that its distribution was well corresponded with the distribution of igneous rocks. The concentrations of radioisotopes in various kinds of rocks corrected in Okayama city and its vicinity were determined. It became apparent that high concentrations of radioisotopes, such as ¹³⁴Cs, ⁴⁰K, ²²⁶Ra and ²²⁸Th, were detected in igneous rocks, such as granite, gabbro and rhyolitic tuff, although the contents in sedimentary rocks, such as pelite, schist, psammite and limestone, were rather low. This result was in good agreement with that of the distribution of radiation dose in Okayama city.