

朝日航洋(株) ○荒木春視・高田和典

1. ガンマ線

放射性元素（ウラン²³⁸U, ²³⁵U, トリウム²³²Th, カリウム⁴⁰K）は不安定で、 α 線, β 線, ガンマ線といった放射線を放出することにより安定なものへと変っていく。ここで新たに生じた娘核種が不安定だと、さらに崩壊し安定な状態にまで壊変していく。ガンマ線は α 崩壊, β 崩壊, 軌道電子捕獲の際に生成された娘核種のエネルギー状態が励起状態から基底状態に移るとき放出されるもので、原子番号も, 質量数の変化も起らない。 α 線は単一のエネルギーの粒子か、はっきりきまったエネルギーのものからなっているが、 β 粒子はゼロから一定の極大値をもつ連続的なエネルギー分布をもつ。ガンマ線は量子化されたエネルギー準位間の転位によって生じるのでエネルギーは連続的でなく均一である。

1.1 天然に存在する放射性核種 天然に存在する放射性核種には、ウラン, トリウムといった放射性壊変系列にあり、中間にラドン²²²Rn, アクチノン²¹⁹An, トロン²²⁰Tn のようなガス元素を含み、最終生成物として鉛に至るものと、カリウム⁴⁰Kのように壊変系列を構成しないものがある。放射性カリウム⁴⁰Kは同位体存在比が0.012%であり、半減期 1.2×10^9 年、またラドン, アクチノン, トロンの各ガス元素の半減期は3.825日, 3.92秒, 54.5秒である。

1.2 ガンマ線の透過力 点線源S (mc) から ℓ (cm) 離れた位置でのガンマ線の強さである線量率D (mr/hr) はエネルギーが0.3 ~ 3 MeVのガンマ線に対して次式

$$D = 5.6 S \times E \times 10^3 / \ell^2 \quad (1)$$

但し E : 1 壊変ごとにおけるガンマ線の全エネルギー (MeV)

で表わすことができ、強さが距離の2乗に反比例して減少する。また遮蔽物による吸収は、強さが指数函数的に減少し、強さ I_0 のガンマ線が厚さ d (cm) の物質Aを通過したときの強さ I は

$$I = I_0 e^{-\mu d} \quad (2)$$

但し μ : 物質Aの吸収係数 (cm^{-1})

で表わされる。従って、ガンマ線の強さが半減する物質の厚さ $d_{1/2}$ は

$$d_{1/2} = 0.693 / \mu \quad (3)$$

となる。遮蔽物による減少は目安として、0.5 MeVのガンマ線では $1/8$ インチ, 0.8 MeVでは $1/4$ インチ, 1.5 MeVでは $1/2$ インチの鉛で半減するが、鉄, アルミニウム (又はコンクリート) 及び水では、その厚さは、それぞれ2倍, 6倍, 13.5倍となる。2 MeVのガンマ線に対する吸収係数 μ (cm^{-1}) は次のような値である。

水	0.049	アルミニウム	0.12	鉛	0.51	空気	5.36×10^{-5}
コンクリート	0.10	鉄	0.35	ウラン	0.95		

1.3 環境ガンマ線 放射性の原子核から放出される天然のガンマ線には鉱物中の放射性元素からのものと、2次宇宙線からのものがある。2次宇宙線は銀河系からの1次宇宙線が地球の大気圏と

衝突して作られる素粒子のことで、けた違いに高いエネルギーを持っており、地球表面に達するまでには電子となったり、ガンマ線を放出して光子となったりしている。また地上のガンマ線には天然の岩石を素材にした構造物（ダム堤体、道路、建物等）、あるいは人工放射性物質に由来するものもあり、宇宙線起源のガンマ線を除いたガンマ線を環境ガンマ線と呼んでいる。ガンマ線のエネルギー領域で、3.2 MeV以下のものを環境ガンマ線として扱うこととする。環境ガンマ線から地質を探る場合の鍵となるのは、各元素から放出されるガンマ線のエネルギーであり、それらは次の大きさをもつ。

ウラン系列	エネルギー (KeV)
²¹⁴ Bi	609, 935, 960, 1050, 1120, 1281, 1379, 1411, 1416, 1760
²¹⁴ Pb	352
トリウム系列	エネルギー (KeV)
²³² Ac	911
²¹² Pb	239
²⁰⁸ Tl	583, 2620
カリウム	エネルギー (KeV)
⁴⁰ K	1460

2. 火山灰地と熔岩原のガンマ線分布

昭和58年10月3日に熔岩を噴出させた三宅島の火山灰地と熔岩原について、ガンマ線のエネルギー分布を2インチNaI検知器を取付けたマルチチャンネルアナライザで測定（昭和59年3月7日）した結果を図1に示す。なお観測日の前日には鳥島近海でマグニチュード7.9の地震が深さ400キロ付近に発生している。旧火山活動で形成された火山灰地と新しい活動で形成された熔岩原とのガンマ線の波高を比較するとき

- 500～800 KeV 熔岩原にはみられないが、火山灰地ではピークが現われている。
- 800～1200KeV 熔岩原と比較して、火山灰地のガンマ線量が少なく、かつ強度の振幅が大きい。
- 1300～1600KeV 熔岩原と比較して、火山灰地のガンマ線量が少なく、かつ強度の振幅が大きい。
- 2400～2700KeV 熔岩原と火山灰地での差はみられない。

ことがわかる。これらのガンマ線波高分析から次のようなことが推論される。

- 熔岩原では新期熔岩により火山灰層が被覆された結果、火山灰層の特徴的な600～700 KeVのピークが消失してしまった。
- 火山灰層中の水分量はガンマ線の強さの変動に深く関与しており、火山灰は熔岩より大きな吸収係数をもっている。
- トリウム系列のガンマ線量は極めて少なく、ウラン系列及びカリウム起源のガンマ線に注目するのがよい。

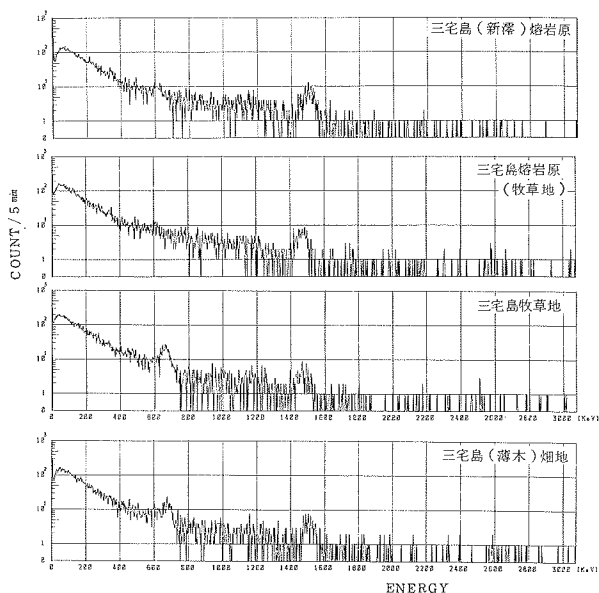


図1 熔岩・火山灰のガンマ線エネルギー分布

従って、環境ガンマ線の測定は植生に覆われているか否かに拘らず、火山灰又は表層土壌の分布を知るうえで、有力な手がかりになるものと推測される。

3. 断層付近のガンマ線分布

丹那盆地で南北に走る丹那断層を挟んで地表でガンマ線のエネルギー分布を、2インチのNaI検知器を取付けたマルチチャンネルアナライザにより測定した。観測時間は図1と同様、5分間であり、結果並びに観測地点を図2、図3に示す。エネルギー分布上の特徴を拾い上げてみると

- 500～800 KeV 名賀、滝沢地区では西方地区と比較して、ガンマ線量が少なく、かつ強度の振幅が大きい。特に名賀地区では変動周期が短い。
- 800～1200 KeV 西方、名賀、滝沢の順にガンマ線量が小さく、強度の振れ幅が大きくなる。
- 1300～1600 KeV 名賀地区でガンマ線量が小さい。
- 2400～2700 KeV ガンマ線量は各地区とも少ないが、その中でも西方、名賀、滝沢の順に小さくなっている。

これらの特徴を地質との関連で見直してみると次のようになる。

- i) 背後に多賀火山の後期安山岩熔岩(第四紀)の拡がる西方地区では後背地の性状が現われ、地山の均一性が想像できる。
- ii) 名賀地区にはラドン娘核種の集積が特に見られるわけではなく、むしろ少なくなっている。断層形成時期が新らしく、現在も活動することのあることを考えるとき、放射性ラドン元素が大気中へと逸散されることもあったのではないか。

- iii) 滝沢地区 畑玄武岩類層を後背地に持つ崖錐堆積物の末端部での観測である。ガンマ線量の小

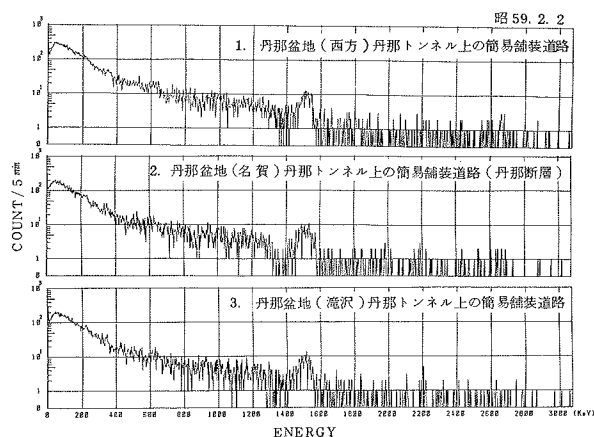


図2 断層付近のガンマ線エネルギー分布

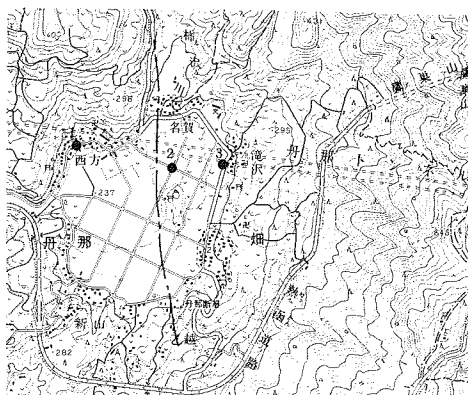


図3 丹那断層付近の調査地点

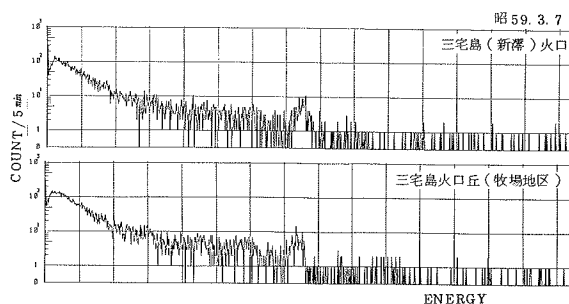


図4 噴火口付近のガンマ線エネルギー分布

さい割合に、強度の振れが大きいのは、地下水の存在によるものかもしれない。

従って、断層の存在をガンマ線量の増大として捕捉できるのは、ラドンガスの集積されるようなメカニズムの存在が必要であり、活断層ではむしろ逆に低減化すると考えるのが妥当かもしれない。図4は三宅島の新しい噴火口でのガンマ線エネルギー分布を示したものである。噴火は島の弱線に沿って熔岩を流出させ、水蒸気爆発を起したものとすれば、地中からの放射性元素であるラドンガスの集積が弱線部で進捗してもよさそうであるが、図4を図1と比較してわかるように、ガンマ線量が噴火口付近で多くなっているわけではない。蓋のない状態で地上付近に貯留されることがなかったようである。空中でガンマ線を観測してみることが、活断層の調査では必要なかもしれない。

4. 岩質変化と環境ガンマ線

断層により同一水準面での地質、岩質にギャップを生じるとき、地層を構成する放射性元素の含有率並びに含水率に差異ができ、ガンマ線量の変化となる。図5はガンマ線のエネルギーレンジを0.23~32 MeVに設定し、2インチのNaI検知器により、時速200 kmで走行する新幹線の車内から環境ガンマ線を測定したものである。

昭和57年台風10号により東海道線の富士川の橋架が増水により倒壊したが、並行する新幹線からの環境ガンマ線の測定で、富士川は川を挟んで静岡寄りと三島寄りとしてパターンがはっきり変わり、地盤地質の異なっていることを予想させる。また新神戸トンネルでは丸山衝上断層を通過しており、花崗岩地帯に挟まれた中新世の神戸層群を抜いている。この神戸層群には地上で、鉱泉の湧出がみられるといったものである。新神戸トンネルでのガンマ線量の高い区間は、丸山衝上断層を新神戸寄りから切り、花崗岩から入った神戸層群と想像される。

5. 骨材中のガンマ線分布

土木構造物、建築物には多くのコンクリート骨材が使用されており、その骨材には山、川、海からの砂利、砂が利用されている。これらは天然の岩石が起源であり、天然の放射性元素を含んでいる。土木構造物とか、建築物とかの中での環境ガンマ線量は図5のトンネルで見られるように高いガンマ線量となっている。図6は建築物内の環境ガンマ線のエネルギー分布であるが、他と比較しても分るように地上での観測では無視できないほど高い。

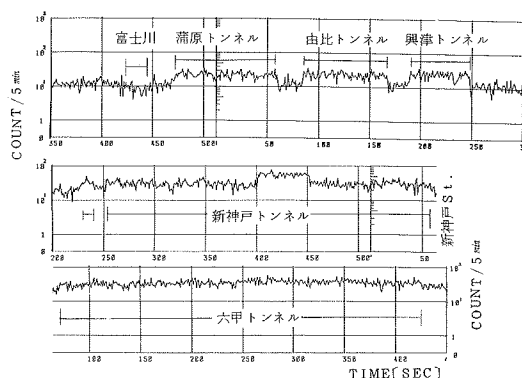


図5 新幹線車内の環境ガンマ線と環境地質

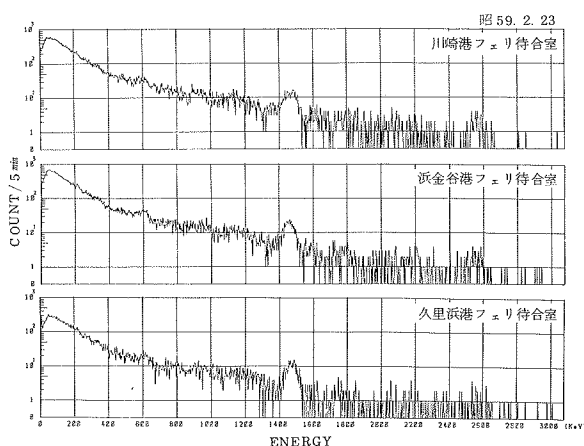


図6 建物内部の環境ガンマ線エネルギー分布