

2.測定技術

2-1.検出器

γ 線のエネルギーを測定するには NaI (ヨウ化ナトリウム) シンチレーション検出器などもよく用いられるが、今回はエネルギー分解能の高い Ge (ゲルマニウム) 半導体検出器について説明する。 γ 線が物質中に入射すると光電効果、コンプトン散乱および電子対生成の3通りのいずれかあるいはそれらの複合作用でエネルギーを失うことになるが、このなかの光電効果による相互作用がエネルギー測定に利用される。高電圧をかけられた高純度 Ge 中に γ 線が入射し光電効果が起こると、それにより発生した電子および光電効果に続いて発生するすべての特性 X 線やオージェ電子のほとんどが Ge 内でエネルギーを失うことになる。するとこれらのエネルギーの合計に等しい電荷が移動し、電気パルスとして得ることができる。

検出器に Ge が使われるのは次のような理由からである。

- ① 原子番号が大きいため光電効果断面積が大きい。つまり検出効率が高い。
- ② 電子および正孔ともに移動度が大きい。
- ③ ϵ 値 (一对の電子-正孔対を作るのに必要なエネルギー) が小さい。
- ④ ϵ 値が γ 線のエネルギーにほとんど依存しない。

Ge 検出器は使用時にはクライオスタットを使って液体窒素温度 (-196°C) に冷却される。

環境試料のように極低レベルの放射線を測定する場合には、測定時間を長く (数十時間) することも効果的であるが、バックグラウンドを下げるのが最も重要となる。バックグラウンドとは試料以外から検出器に入射する γ 線のこと、宇宙線や大地、建造物などに含まれる放射性物質が発生源となっている。これらを検出器に入れないために検出器と測定試料全体を鉄や鉛で遮蔽する。例えば、厚さ 100mm の鉛ブロックで被いその内側表面を厚さ 1mm 程度のカドミウム板で被い、さらにその内側を厚さ数 mm の銅板で被って、外部からの放射線と試料から出た放射線が鉛に吸収されたときに発生する X 線を減少させる。

2-2.エネルギー校正

Ge 検出器の安定性はよいが、正確なエネルギーを決定するためには実際の

測定に先立ち、装置のエネルギー校正をする必要がある。正確にエネルギーが知られている核種をいくつか用意して測定し、そのピーク位置をもとに校正する。例えば、エネルギー範囲 0~2MeV を 4000 チャンネル(ch)のマルチチャンネルアナライザ (MCA) で測定する場合の校正は Co-60 (1173.24, 1332.50 KeV) + Ba-133 (81.0, 356.0 KeV) + Cs-137 (661.65 KeV) の 3 種類の核種が同時に標準として用いられる。この場合チャンネル幅 (1 チャンネルあたりのエネルギー) は 0.5 KeV/ch となるので、81.0 KeV のピークは 162 ch に、1332.5 KeV のピークは 2665 ch になるようにアンプのゲインとゼロレベルを調整する。

2-3. ピーク効率の校正

スペクトル中の着目するピークの計数値から測定試料中の γ 線強度を求める、つまり、定量分析をするためにはピーク効率を求める必要がある。その方法には、測定試料の形状に応じ次のようにいくつかある。

- ① 標準線源比較法 : 測定試料とまったく同じ条件 (核種, 試料の幾何学的条件, 試料の媒体) の標準線源を用いる方法。精度の高い測定が可能となる。
- ② 核種のみが異なる場合 : 試料の幾何学的条件および媒体が同一で核種のみが異なる場合は測定しようとするエネルギー範囲で種々のエネルギーの標準線源を測定する。各々のピーク効率を求め、ピーク効率とエネルギーの関数を求める。
- ③ 核種, 幾何学的条件, 媒体がすべて異なる場合 : ピーク効率のエネルギーに依存する関数と試料の幾何学的条件に依存する関数を求め、それらの積で近似する。

2-4. γ 線スペクトルのデータ解析

データ解析はマルチチャンネルアナライザからパーソナルコンピュータにデータを転送して行う。目的に応じて解析方法は各種あるが、それぞれ解析プログラムが用意してある。核種ライブラリに基づく定性分析、ピーク効率を用いた定量分析、環境中に存在する核種に注目した環境分析などがある。手動で着目する核種のピーク位置や面積を求めることも可能である。

3. 測定例

工学部アイソトープ研究室に設置してあるガンマ線スペクトルメータを用いて実際に測定した例を次に示す。

3-1.カリウム-40 (K-40) の測定

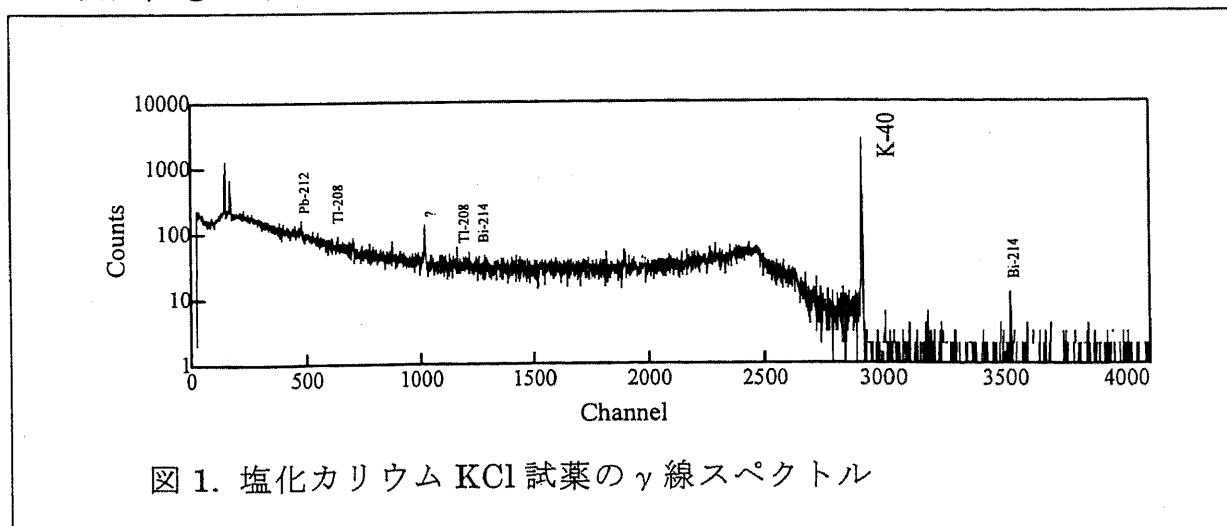
カリウムは地球上に比較的多く存在する元素であり、海水、土、岩石、動植物などに広く分布している。また、K は人間の体内には 0.2% (重量%) 程度存在して

表 1. K-40 の放射線の種類と性質

核種	半減期	崩壊形式	β 線のエネルギー	γ 線のエネルギー
K-40	1.277×10^9 年	β	1.312 MeV	1.461 MeV

いる。通常の K-39 は安定元素であるが、中性子が 1 個過剰な K-40 は放射性であり、自然界には通常の K-40 の中に 0.0117%含まれている。この K-40 は β 崩壊して安定なカルシウム Ca-40 に変わる。このときベータ線と同時に γ 線も放出する。このため、人間が自然界から受ける放射線の量は 1 年間に $1100 \mu\text{Sv}$ (マイクロシーベルト) 程度であるが、そのうちの約 20%が自らの体内の K-40 によると言われている。

K-40 の出す放射線の種類と性質を表 1 に示した。K-40 は 1.461 MeV の γ 線を 1 種類だけ放出することが分かる。試薬として市販されている塩化カリウム KCl を試料容器のまま検出器の前に置き 5,500 sec 測定した結果を図 1 に示した。1.5 MeV (3000 ch) 付近の鋭いピークが K-40 から発生している γ 線である。それ以外にタリウム Tl-208, 鉛 Pb-212, アクチニウム Ac-228, ビスマス Bi-214 と思われるピークが観測されている。これらは自然界に存在する放射性物質であり、その発生源は、①検出器のしゃへい不十分により周囲 (主に建物のコンクリート) から混入、②しゃへい材 (鉛ブロック) 中を透過して混入、③しゃへい材中の不純物として混入、④塩化カリウム試薬中の不純



物として混入などが考えられるが、①と②が主原因と思われる。

3-2.花崗岩中の天然放射性物質の定性

花崗岩は御影石とも呼ばれ、構造材、門柱、墓石などに使われている身近な鉱物である。また、花崗岩は放射性同位元素を比較的多く含むといわれている。通常よく見られる白っぽい花崗岩と赤味のかかった花崗岩の2種類から放出されている γ 線を測定した結果を図2に示した。測定時間は50,000 secである。両花崗岩から放出される γ 線は非常によく似ており、産地が近いのかもしれないが追跡はしていない。先ほどのKClの測定結果と同様にK-40が多く検出されているが、これは、花崗岩がカリ長石などのカリウムを含む鉱物を多く含んでいるためである。それ以外に多くのピークが観測されているが、これらのほとんどはトリウム“系列”およびウラン“系列”と呼ばれている一連の放射性物質からのものである。この“系列”とはTh-232あるいはU-238が放射性崩壊を10~15回ほど順次繰り返し安定なPb-208あるいはPb-206になる一連の核種であり、その過程で多くの種類の放射線を放出している。元となるTh-232あるいはU-238の半減期は 10^9 ~ 10^{10} 年(10~100億年)と長く、地球誕生以来存在していることになる。

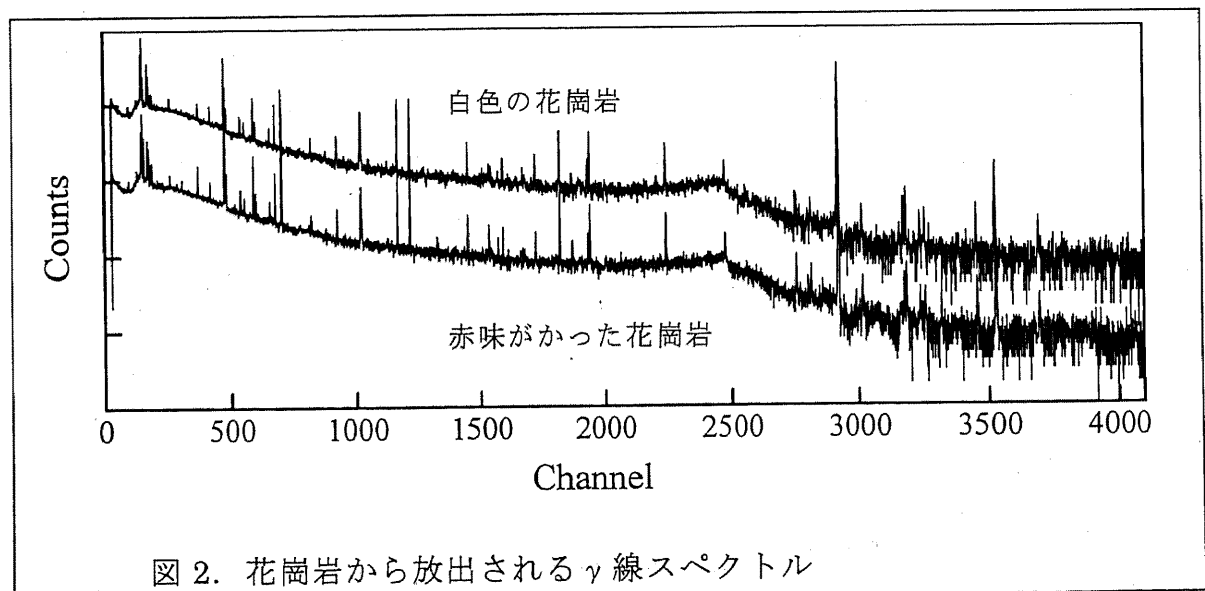


図2. 花崗岩から放出される γ 線スペクトル