

放射性セシウム測定装置の定量アルゴリズム

1. 検出器の特徴

通常の γ 線スペクトルメータでは、主に Ge 半導体検出器が用いられる。これは分解能が 1%以下であり、核種ごとのスペクトルを分離して計測することができるからである。しかしながら受光面積を大きくすることが出来ない、液体窒素で冷却しなければならない、等の欠点もある。

これに対して、NaI や CsI のシンチレータを用いて γ 線を光に変換し、これを光電子増倍管等で増幅し、電気信号に変換し、波高分析後にスペクトルを得ることができる。分解能が 8~12%程度と悪い。しかしながら 大口径の受光素子を用いることが出来る等の利点もある。

本装置では、検出器として、CsI (Tl) シンチレータと Si-ホトダイオードの組み合わせを用いた。CsI(Tl)は高い発光効率が得られるために、NaI(Tl)のように光電子増倍管等を用いて増幅することなく、直接 Si-ホトダイオードで電気信号に変換することができる

光電子増倍管は光電子放出現象を用いて、電子を増幅するために、それ自身が γ 線の検出器となり、外来ノイズの影響を受けやすい。また、光電子増倍管は検出器に比して大きい。これに対して CsI(Tl)シンチレータは発光効率が高いため直接 Si-ホトダイオードで電気信号に変換することが出来るので、検出器を小型化することが出来るとともに、約 1桁ノイズレベルを下げる事が出来る。

2. 定量解析アルゴリズム

①エネルギー軸補正

図 1 に Cs-137、420Bq の標準試料から得られたスペクトルを示す。エネルギー軸はピーク値が 661.7keV になるよう校正されている。また、あわせて、このスペクトルのバックグラウンド値も図中に示す。

半値幅は約 75keV で、その分解能は、約 8%である。

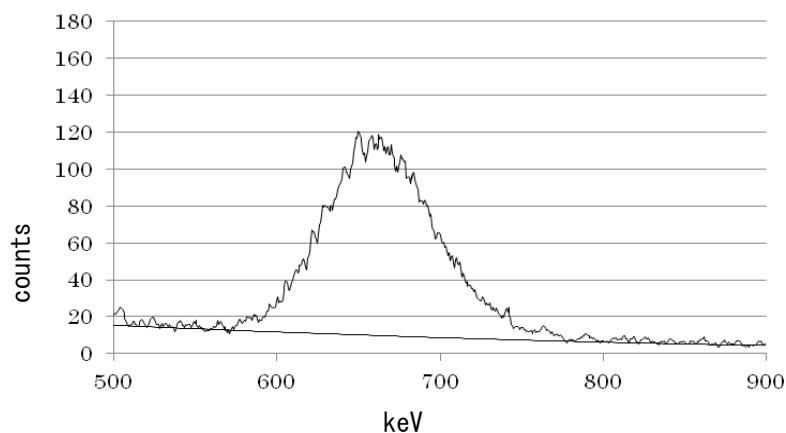


図 1

② 検量線

検量線は、標準試料のスペクトル 550keV から 800keV 間にある積分強度 (WO) からその間のバック (H₂O を試料とした) の積分強度 (BLO) を差し引いた積分強度 (Net 積分強度) を用いた原点を通る 1 点検量線とした。

参考：図 2 に 420Bq、80Bq、40Bq を用いて検量線を作成した R²=1 となりほぼ直線である。ここでは $y(\text{Bq})=0.0289 \times I(\text{カウント})$ とした。

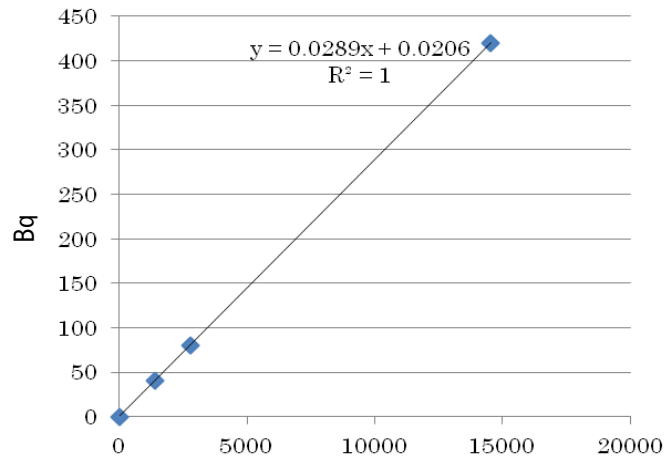


図 2

③ スペクトルの構成

試料①のスペクトルを図 3 に示す。このスペクトルに Cs-137 と Cs-134 が含まれている。

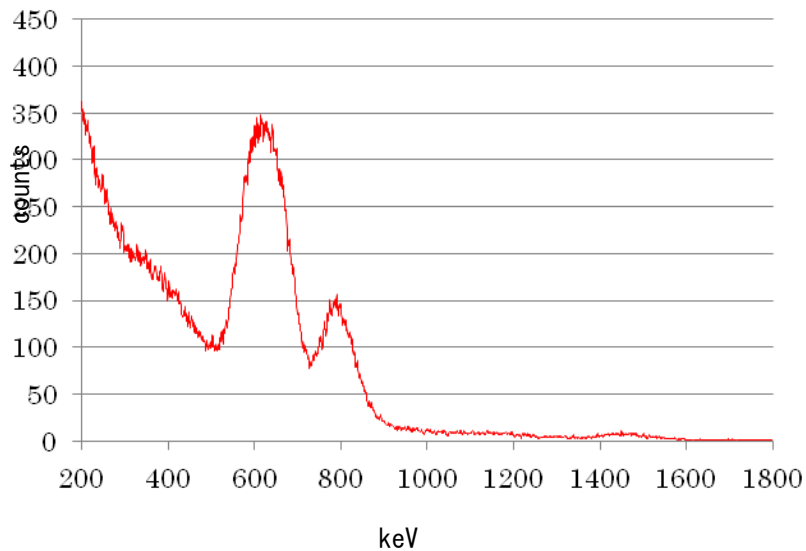


図 3

特徴は 600keV のメインピークと、高エネルギー側 800keV のピークと、400keV 付近の肩構造と 1,450keV 付近の小さなピークである。これらのスペクトルは次の成分で構成される。

1) Cs-137

Cs-137 は単一の γ 線のみである

Cs-137 : 661.7keV、85.1%

2) Cs-134

・高エネルギー側

Cs-134 : 795.9keV、85.5%
801.9keV、9.7% } 94.2%

・低エネルギー側

Cs-134 : 604.7keV、97.6%
569.3keV、15.4% } 113%

Cs-134 の高エネルギー側 γ 線のコンプトン散乱

Cs-134(94.2%)の約 37%

3) Cs-134 によるサムピーク

Cs-134 の約 12%に相当

実測で得られるスペクトルは、図 6 に示すように上記各成分の合計となる。図 4 は 3 月 11 日の事故時における強度をシュミレートしたものである、現在は Cs-134 が 70%程度に減衰しているのでスペクトル形状は異なる。

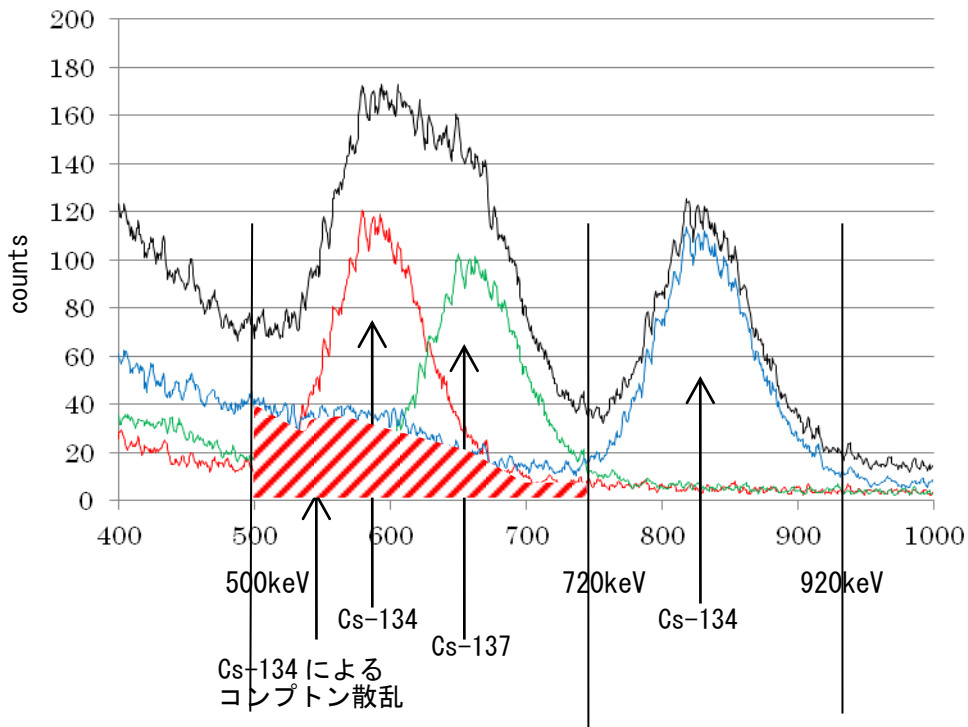
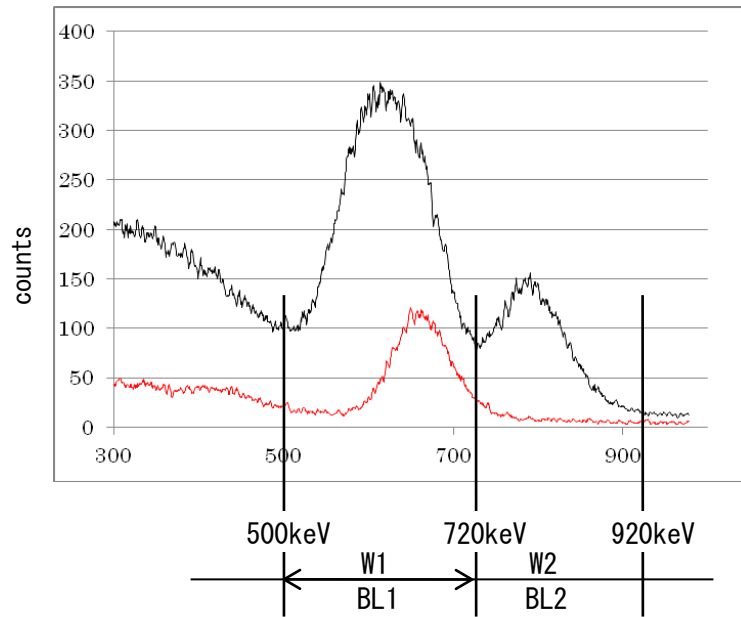


図 4

④ ROI 領域

図 5 に試料①と標準線源(420Bq)のスペクトルを示す。定量解析を行うために積分領域を下図の通りとする。



W1 : 低エネルギー側ピーク ROI 積分強度
W2 : 高エネルギー側のピーク ROI 積分強度
BL1 : 低エネルギー側の ROI 中のバックグラウンド積分強度
BL2 : 高エネルギー側の ROI 中のバックグラウンド積分強度

図 5

⑤ Cs-134 によるコンプトン散乱

定量解析では、Cs-137 の ROI 領域に Cs-134 の高エネルギー側ピークによるコンプトン散乱が入るためにその強度分を考察する必要がある。

図 6 に標準試料(420Bq)を用いて、ピーク値を 800keV にシフトしてコンプトン散乱の程度をシュミレートした。

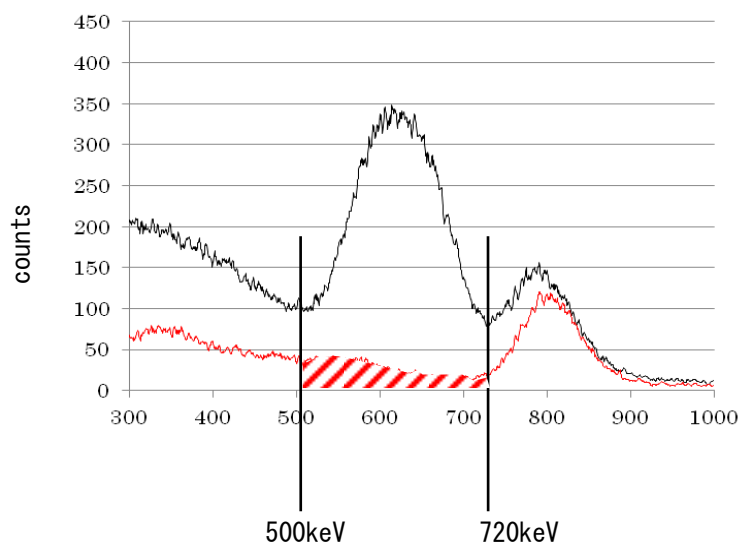



図 6

Cs-134の高エネルギー側のピークによりコンプトン散乱がCs-137のROI領域に重なる。図6では  部分がコンプトン散乱の部分である。コンプトン散乱とメインピークとの面積比（バックグラウンド除去後）は約37%である。

⑥ Cs-134によるサムピーク（ここの表現間違い。K40として書き直し）

汚染におけるγ線計測においては通常サムピークを考慮する必要がない。しかしながらCs-134は1崩壊で605keVと796keVのγ線が0.1sec程度の範囲で、同時放出されるのでこれらのγ線によるサムピークは必然的に生じる。すなわち1,400keV付近に現れるピークは本来別々のピークとして605keV、796keV付近のピークに加算されなければならない。

このためにサムピークを無視するとCs-134を少なめに、また後述のようにCs-137の領域より減するCs-134の割合が小さくなるので見かけ上Cs-137が多めに算出される。

図7に図3のサムピークの部分を拡大した。

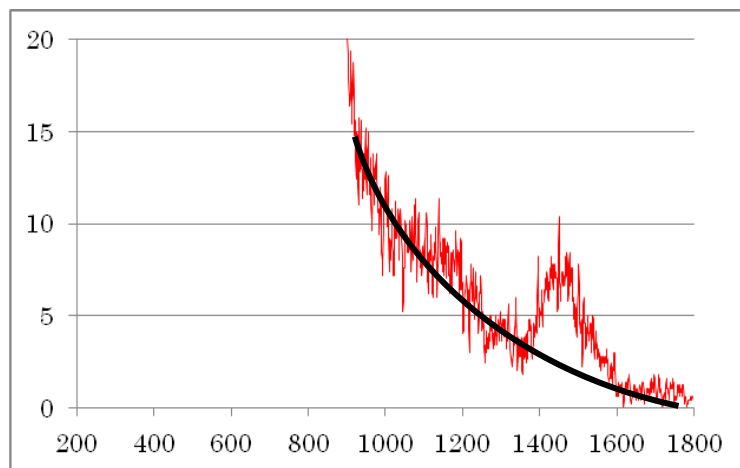


図7

800keV付近のピークの積分強度と1,400keV付近のピーク積分強度の比をもって、Cs-134の含有補正をしなければならない。

その割合 $\beta = \frac{121}{1,040} = \text{約}12\%$ となる。

すなわち、Cs-134の定量に対してサムピーク分の光子数が減少しているために定量計算値に対して1.12倍する必要がある。