

身近なカメラを用いた シンチレーション光のイメージング

22054 佐々木柚榎

概要

目に見えず、通常、観測には専用の検出器を使用する必要がある放射線を、より身近に感じたいと考え、放射線が入射すると発光する物質であるシンチレータの発光を身近なカメラで手軽に捉え、イメージングしようと実験を行った。Webカメラを用いた測定では発光は捉えられなかったが、デジタルカメラを用いた実験ではシンチレータの放射線による発光を捉えられた。また、検出頻度や核種ごとの放射線のエネルギーの差異による違いも認められた。このことから、デジタルカメラを用いたシンチレータの放射線による発光のイメージングにより、放射線源の位置や核種が推測できる可能性がある。

研究内容

1. 背景

放射線の観測方法の一つに、放射線が入射した時に光を発する物質であるシンチレータからの発光であるシンチレーション光を観測する方法がある。一般に、シンチレーション光の観測には感度の良い光電子増倍管などの専門的な光検出器が用いられるが、私たち中高生にとって身近なWebカメラやデジタルカメラでシンチレーション光を観測できないかと考え、実験を行った。

2. 目的

Webカメラやデジタルカメラといった身近なカメラでシンチレーション光の分布を捉えることが、この研究の目的である。カメラを用いると二次元的な光の分布を手軽に捉えられることから、身近なカメラでシンチレーション光とその分布を観測することは、手軽な放射線測定方法になりうると考える。

3. 手段

3.1. Webカメラを用いた実験

暗箱中にWebカメラを置き、以下の3つの方法で実験を行った。

- (1) Webカメラの焦点距離付近にプラスチックシンチレータを置く
- (2) Webカメラにマクロレンズを取り付け、短くなった焦点距離付近にプラスチックシンチレータを置き、その横に放射線源としてモノズ石を置く
- (3) Webカメラの光センサの上にGAGG($Gd_3(Ga,Al)_5O_{12}(Ce)$)シンチレータを直接置き、その近くに放射線源を置く

3.2. デジタルカメラを用いた実験

暗箱中にCsI(ヨウ化セシウム)シンチレータとデジタルカメラ(SONY製 RX100VII)を置き、カメラのシャッターを長時間開けたままにする長時間露光で撮影を行った。

3.2.1. 放射線源との距離を変化させた撮影

放射線源ありとなしで、ありについては0, 2, 4, 6, 8, 10 cmと放射線源とシンチレータの距離を2 cm刻みで変化させ、30秒露光の画像をそれぞれの条件に対し5枚ずつ撮影した。用いた放射線源はCs-137、203 kBqである。

3.2.2 異なる放射線源を用いた撮影

表1に示した3つの放射線源を用い、それぞれについて5分間露光の画像を1枚撮影した。

表1: 用いた放射線源

核種	Cs-137 (セシウム137)	Ba-133 (バリウム133)	Am-241 (アメリシウム241)
放射能の強さ	203 kBq	89 kBq	377 kBq
崩壊の種類	β崩壊	軌道電子捕獲	α崩壊
放射線の種類	β線、ガンマ線、X線	ガンマ線、X線	α線、ガンマ線、X線
X/ガンマ線崩壊 エネルギー(割合)	661.7 keV (85.1%)	356.0 keV (62.1%) 31.0 keV (60.2%) 81.1 keV (32.9%) 30.6 keV (32.6%)	59.5 keV (35.9%)

4. 研究結果とその考察

4.1. Webカメラを用いた実験

(1)～(3)のどの方法においても、シンチレータや放射線源の有無による差異は認められなかった。これは、Webカメラは小さい光量を撮影する目的で作られておらず、露光時間やISO感度などがシンチレーション光を撮影する為に必要な性能を満たしていなかった為だと考えられる。

4.2. デジタルカメラを用いた実験

4.2.1. 解析手法

JPEGやTIFFなどの形式で保存された画像の各画素の明るさを表す値である画素値はそのままでは光量に直線的に対応しない。この為、参考文献^[1]より、以下の式を用いて元の画素値 x から直線的に光量に対応する値 X を求めた。このレポートでは、求めた値 X を輝度とする。

$$X = \frac{x}{255} \div 12.92 \quad \left(\frac{x}{255} \leq 0.04045 \right)$$

$$X = \left(\frac{\frac{x}{255} + 0.055}{1.055} \right)^{2.4} \quad \left(\frac{x}{255} \leq 0.04045 \right)$$

また、ノイズが多くシンチレーション光を識別しづらい為、同一条件で複数枚の画像を取得した実験ではそれらを平均化した。また、カメラ画像の画素値は主に光の三原色である赤、青、緑の3つに分けて記述されるが、Cs1シンチレータの発光は主に緑色である為、緑の値のみを用いて解析した。

4.2.2. 放射線源との距離を変化させた撮影

デジタルカメラでは、図1 (A) のように放射線源の近くがより強く発光する様子が見られた。このことから、デジタルカメラによってシンチレーション光の発光およびその分布を測定できたと考える。

また、図2 (B) のように線源とシンチレータが離れるにつれ、緑の輝度が低下する傾向も見られた。放射線の検出頻度は、距離が離れるにつれて減少することが知られている。このことから、距離が離れることによる検出頻度の減少が輝度の低下として測定されたと考えられる。

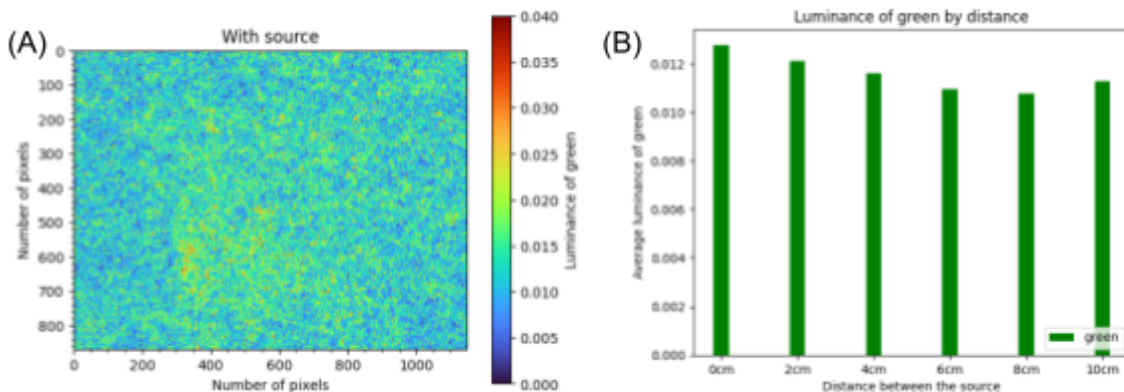


図1: 放射線源を左に置いた際の緑の輝度とその距離による変化

- (A) 一番近づけた時である距離が0 cmの時の画像を、緑の輝度ごとに色分け
- (B) 0~10 cmでの一つの画素あたりの緑の平均輝度の棒グラフ

4.2.3. 異なる放射線源を用いた撮影

Py-MLBUF^[2]というガンマ線遮蔽計算のプラットフォームを用い、それぞれの放射線源が出すX線・ガンマ線の強度が50%になる半値層(HVL)、37%になる平均自由行程(mfp)、10%になる1/10値層(TVL)を求め、図3のように発光分布と比較した。

Cs-137からは比較的エネルギーの高い661.7 keVのガンマ線が放出されることから強度が減衰するまでに要する距離が長く、発光分布も同様に広がっていたと考えられる。Am-241からは比較的エネルギーの低い59.5 keVのX線が放出されることから、減衰するまでに要する距離が短く、発光分布も小さく広がっていたと考える。Ba-133から356.0 keV、31.0 keV、81.1 keV、30.6 keVと幅広いエネルギーのX線・ガンマ線が放出されることから、Cs-137とAm-241を重ね合わせたような発光分布になっていると考えられる。

また、Ba-133、Am-241において発光分布が1/10値層よりも大きく広がっているのは、実際にその位置で発光したのではなく、カメラで観測されるまでにシンチレーション光が拡散したことによると推測される。

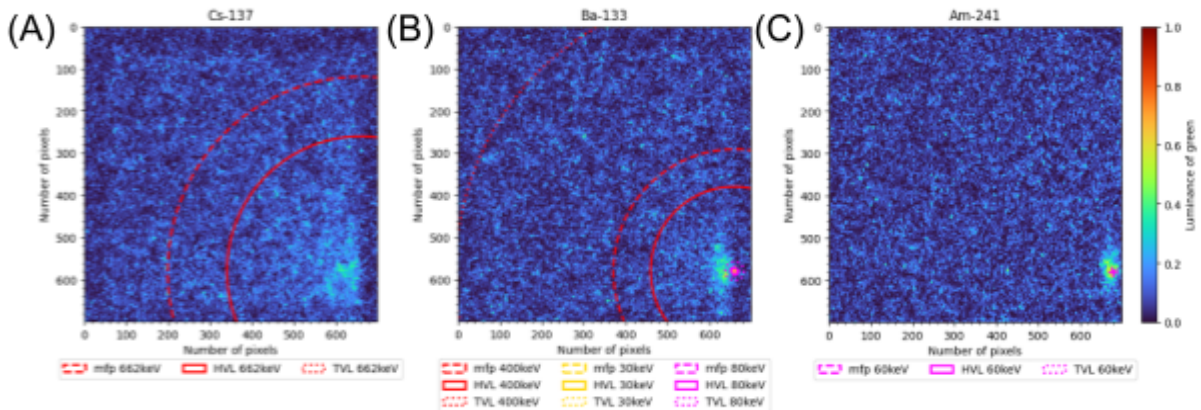


図2: 線源を右下に置いた際の緑の輝度と、X線・ガンマ線の減衰に要する距離
 実線がHVL、破線がTVL、点線がmfpを表す。
 (A) Cs-137、(B) Ba-133、(C) Am-241 である。

5. 結論と展望

今回の結果から、シンチレーション光やその分布は、Webカメラでは測定できないが、デジタルカメラでは測定できると結論づけた。また、輝度が線源との距離に伴い変化したことから検出頻度による差が観測できたことが、発光の様子が放射線源ごとに異なったことからそれぞれの核種が放出する放射線のエネルギーの差異が観測できたことが、それぞれ推測される。

今後さらに発光強度・分布と検出頻度やエネルギーとの間にある関係を調べていくことで、身近なカメラでシンチレーション光を観測・イメージングし、そこから放射線源の位置や核種を特定することに繋がっていくと考える。

謝辞

この研究を進めるにあたり、たくさんのご指導を下さった大阪大学大学院工学研究科 和田有希助教、中村悠さん、松本寛輝さんに心より感謝申し上げます。また、丁寧な助言を下さった、早稲田大学理工学術院総合研究所 田中香津生准教授、東北大学医学部 佐々木真奈香さん、ありがとうございました。最後に、研究を始めるきっかけを作って下さった加速キッチン合同会社に厚く御礼申し上げます。

参考文献

- [1] 河村尚登, and 杉浦博明. "sRGB 色空間と国際標準化." 画像電子学会誌 35.6 (2006): 935-943. https://www.jstage.jst.go.jp/article/iieej/35/6/35_6_935/_pdf
- [2] Mann, K.S., Mann, S.S., 2021. Py-MLBUF: Development of an online-platform for gamma-ray shielding calculations and investigations. Ann. Nucl. Energy 150, 107845. <https://doi.org/10.1016/j.anucene.2020.107845>