

モンテカルロシミュレーションGeant4を用いた体積試料中放射性セシウムのコインシデンスサムと自己吸収の簡易的な補正法

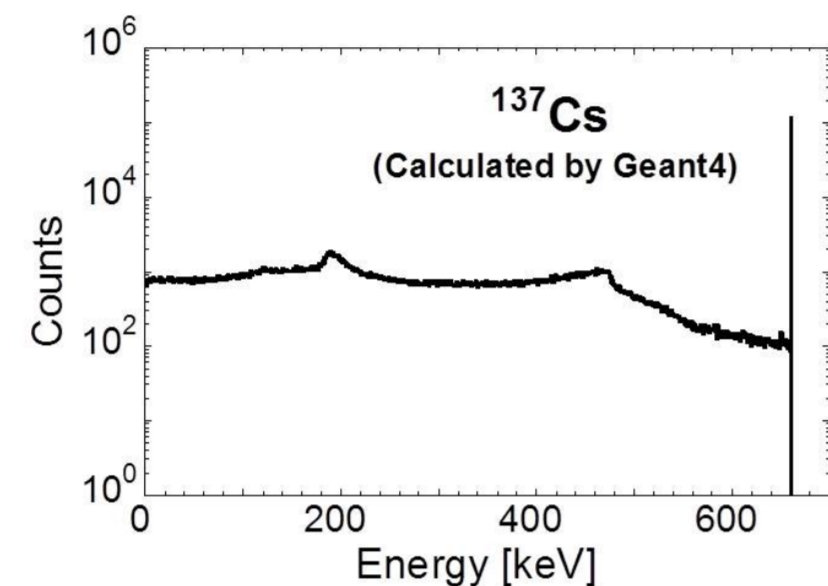
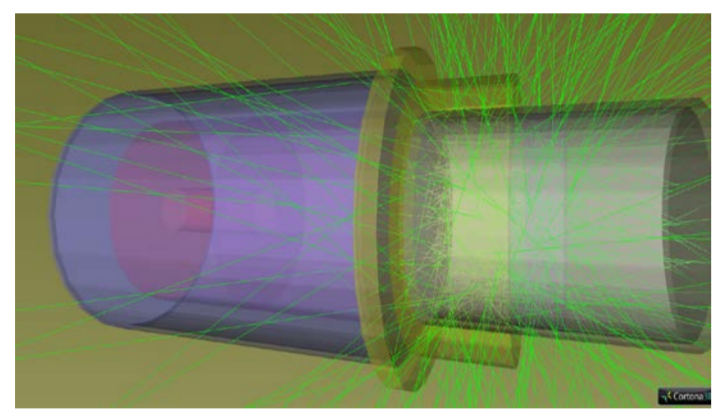
A simple method of correction for coincidence summing and self-absorption for radioactive cesium in volume sample using Monte Carlo simulation Geant4.

山下貴大¹⁾, 近藤真理²⁾, 小島康明²⁾, 柴田理尋²⁾
 名古屋大学工学研究科¹⁾, 名古屋大学アイトープ総合センター²⁾

<研究目的>

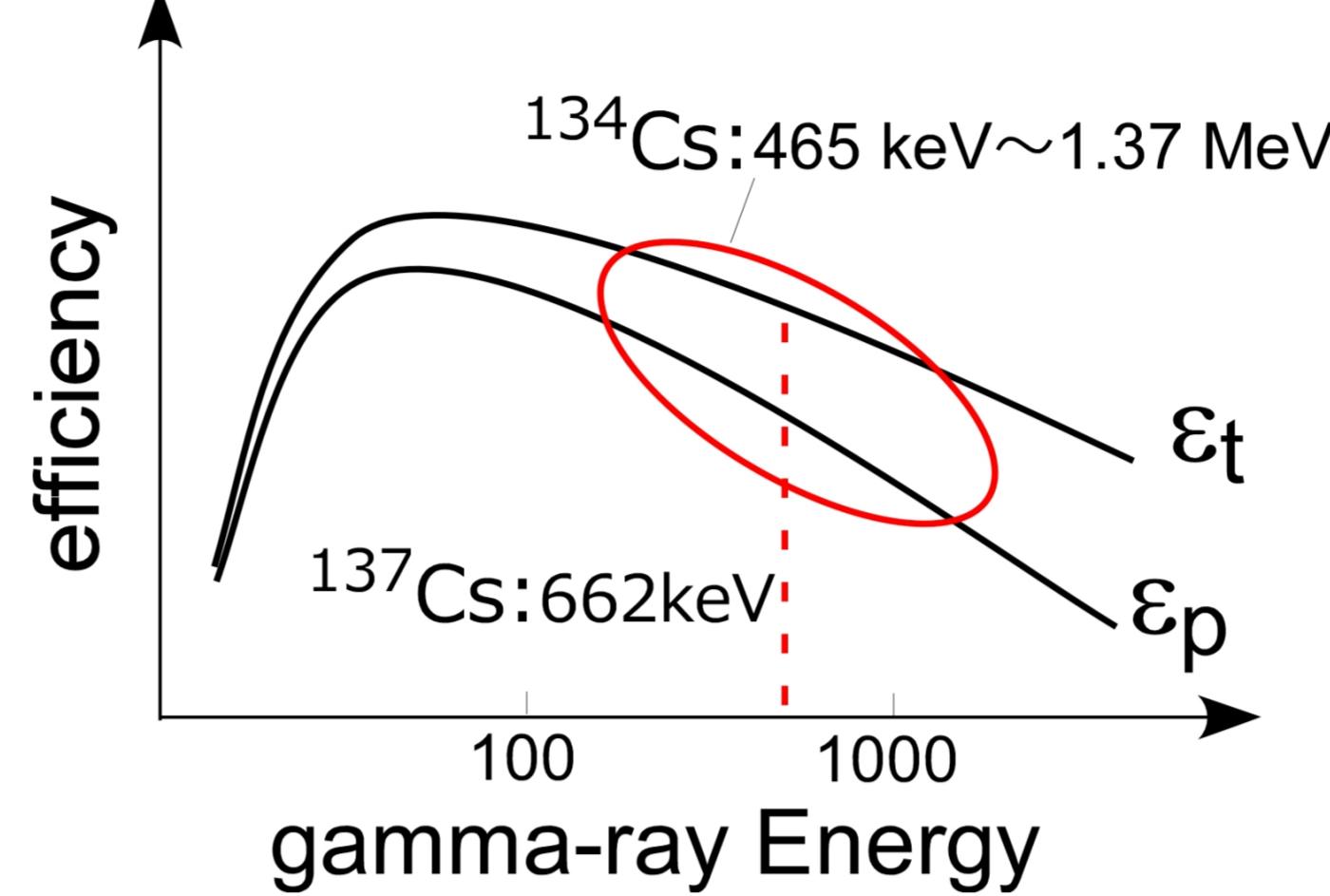
U8試料に充填された、任意のCs体積試料は自己吸収とコインシデンスサム効果の適切な補正が必要であるが、一般的には困難である。この補正を¹³⁷Csを含む任意の体積校正線源1つと、モンテカルロ計算Geant4で算出した補正係数表(3次元マップ)を用いて行った。本手法が任意の同軸型検出器でも使用できるように、検出器の相対効率(%)に応じた補正係数表を提供することが目的である。

■モンテカルロシミュレーション Geant4



- 物質と放射線の相互作用をモンテカルロ計算で模擬
- 任意の検出器、線源、幾何学条件を設定可能
- 検出器に吸収されたエネルギースペクトルを取得

■適用の対象



<検出器> 一般的な同軸型検出器
 <核種> ^{137,134}Cs
 <試料> U8容器に充填された環境試料

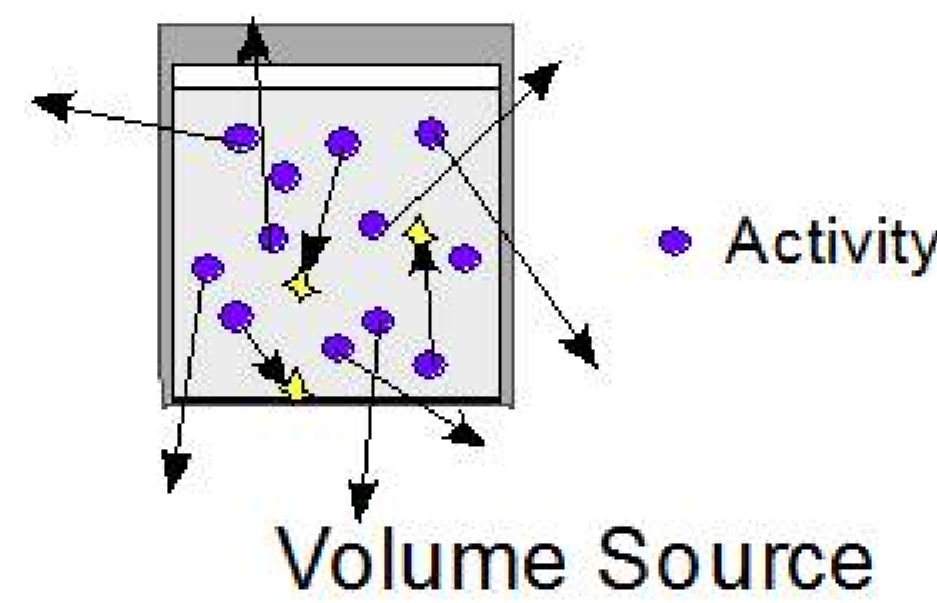
必要な効率範囲：400keV~1.4MeV

- 検出器の不感層による影響が大きい領域
- Geant4で、大まかな設定でも逸脱なく模擬できるエネルギー範囲

137,134Csから放出されるγ線エネルギーが数百keV~1MeV範囲であることを利用した簡易的な手法

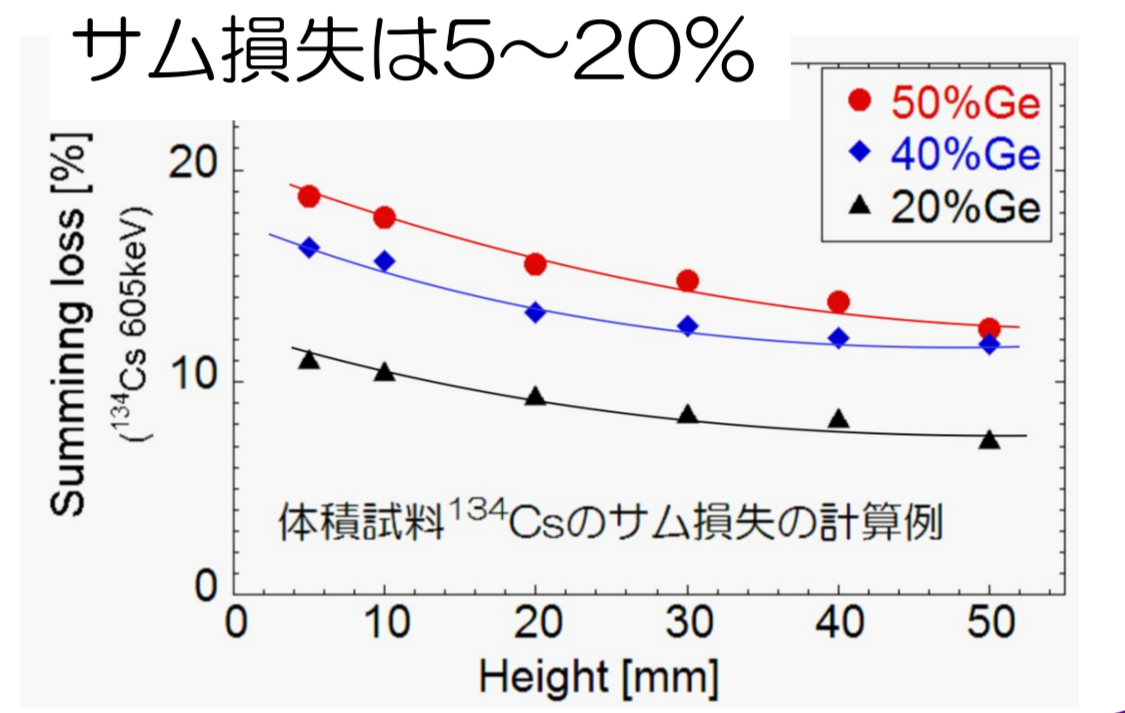
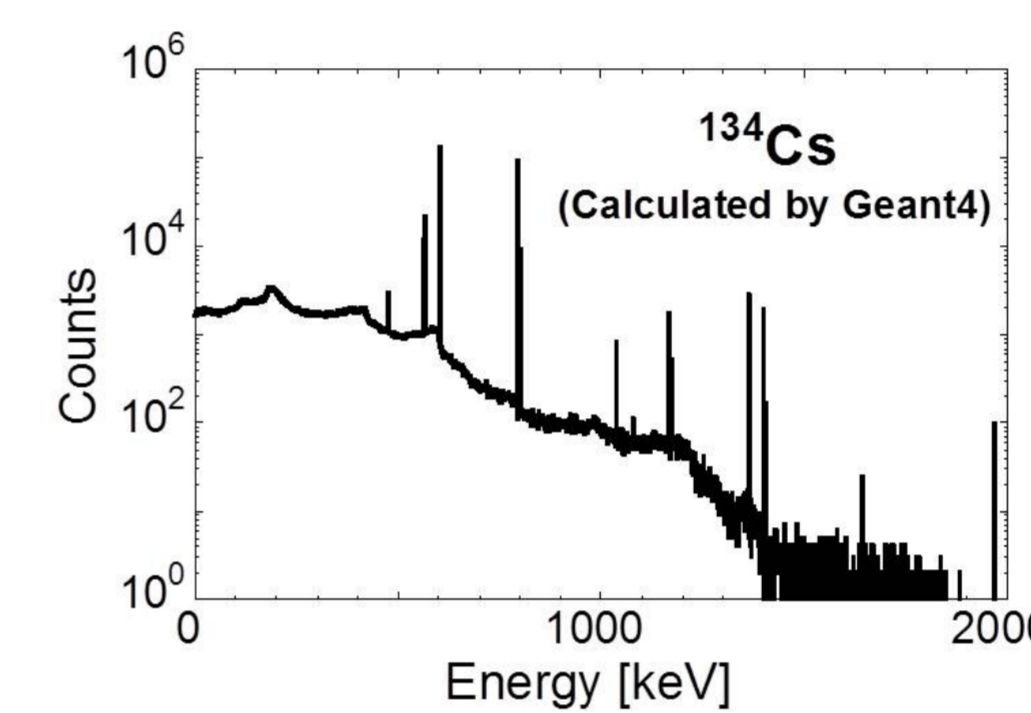
■体積試料の自己吸収

放射能を試料内で均一分布。試料内での自己吸収を考慮したピーク効率を取得



■¹³⁴Csのコインシデンスサム補正

崩壊関式に基づいて、Geant4内でも崩壊を模擬。全効率を考慮した、コインシデンスサム込みのピーク効率を取得。



<補正係数の決定と検証>

■補正係数の決定と利用

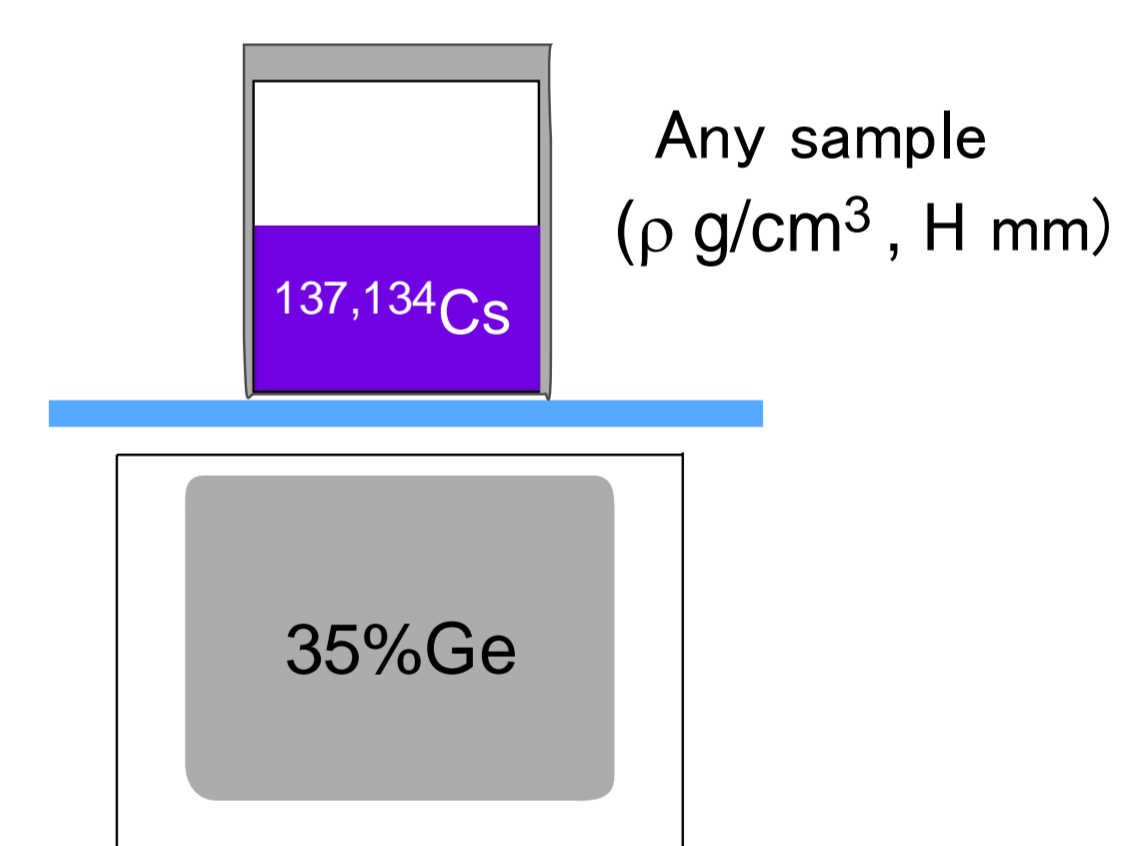
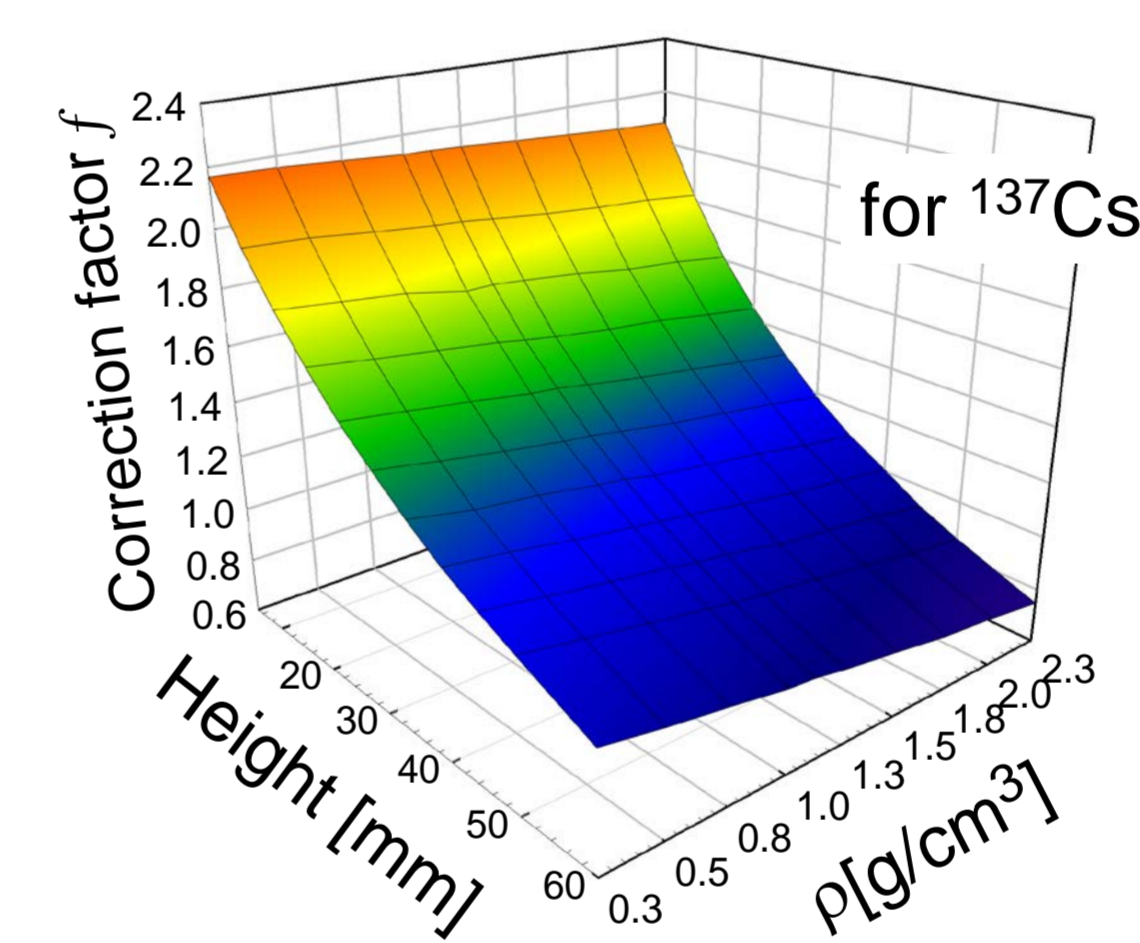
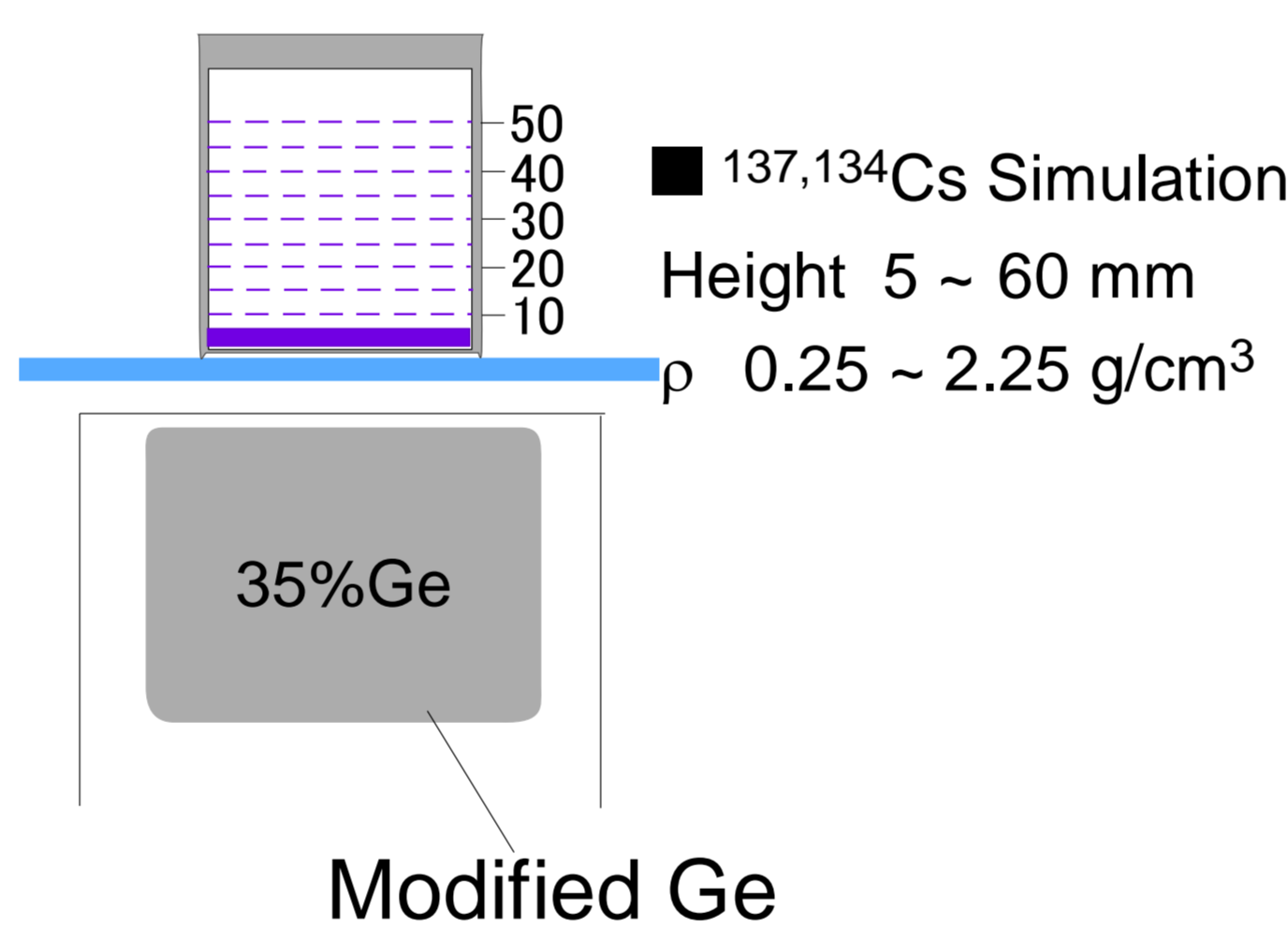
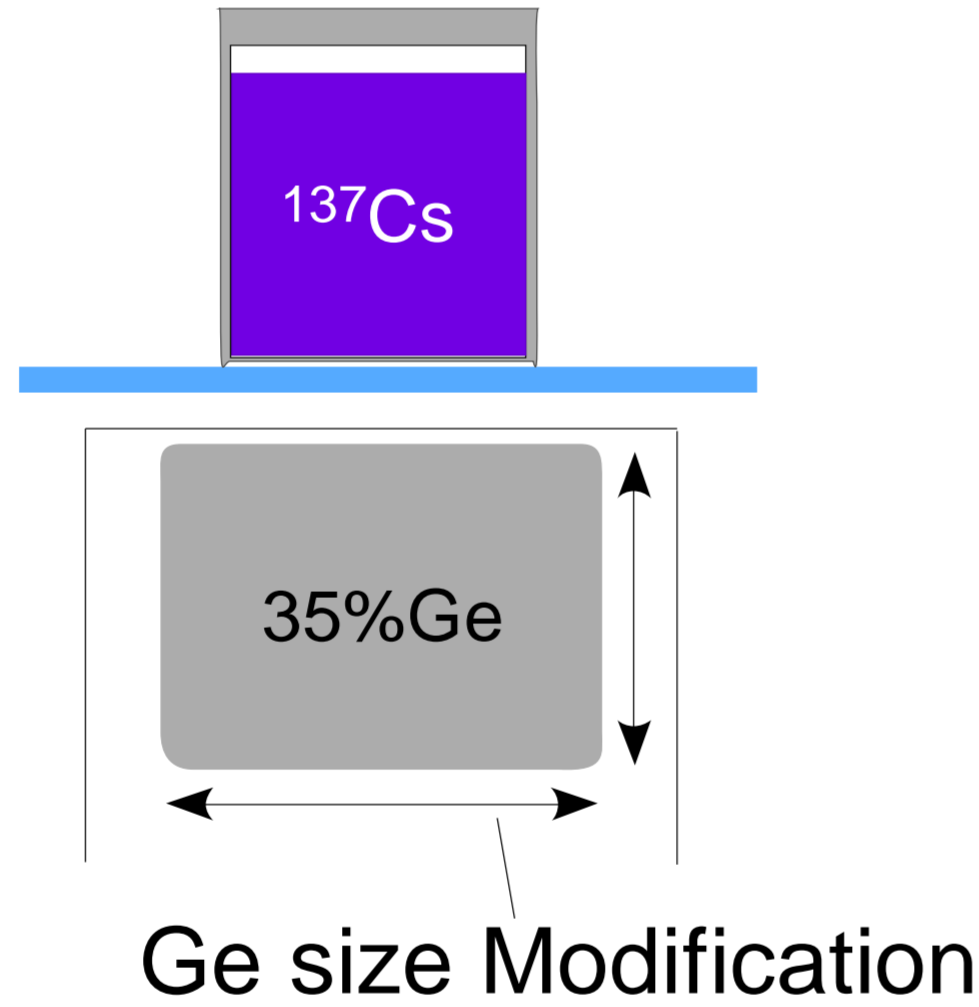
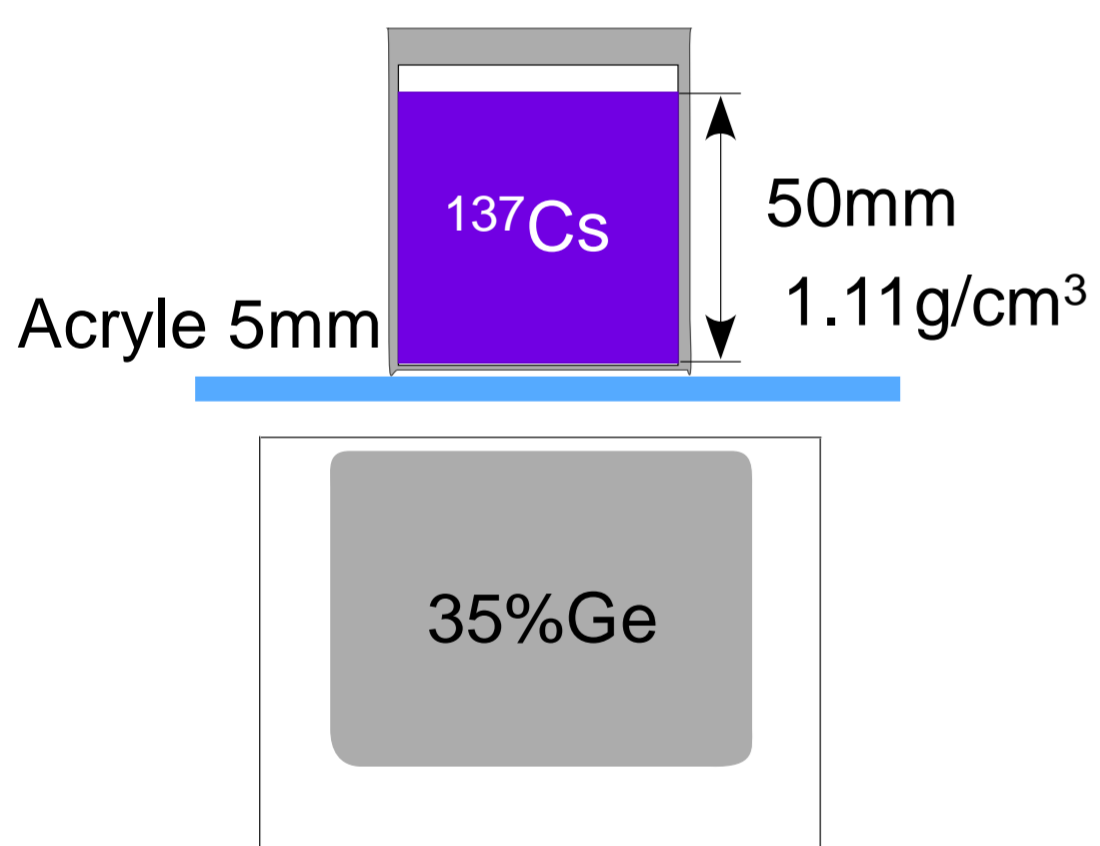
① Experiment

② Geant4 Simulation

③ Geant4 Simulation

④ Correction factor 3D MAP

⑤ Experiment



アルミナ校正線源の測定。¹³⁷Cs(662keV)の校正値 $\epsilon_{p \cdot \text{calib}}$ を得る。

$\epsilon_{p \cdot \text{calib}}$ を再現するようにGeant4の結晶サイズを決定。計算値 $\epsilon'_{p \cdot \text{calib}}$ を得る。

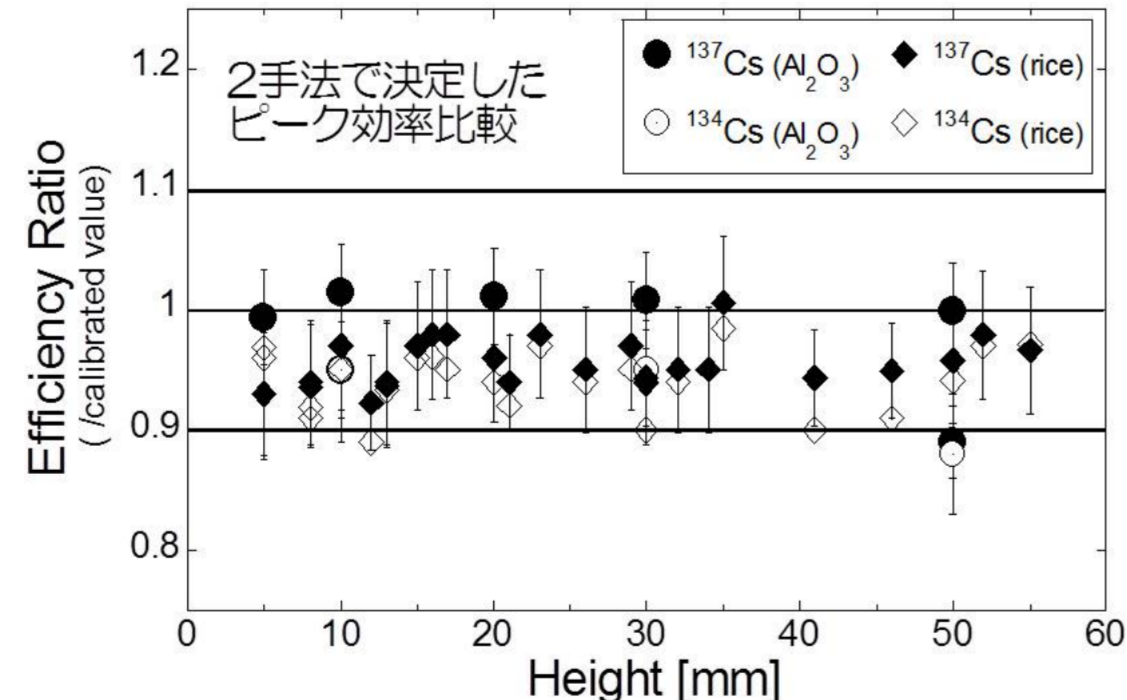
②の条件で、アルミナ試料の条件を変えてピーク効率 $\epsilon'_p(\rho, H)$ と全効率 $\epsilon'_t(\rho, H)$ を計算。¹³⁴Csは、コインシデンスサムを考慮。

$\gamma_{662} (^{137}\text{Cs})$ と $\gamma_{605} (^{134}\text{Cs})$ に対する補正係数 $f(\rho, H) = \epsilon'_p(\rho, H) / \epsilon'_{p \cdot \text{calib}}$ を決定。

任意の体積試料のピーク効率を $\epsilon_p(\rho, H) = \epsilon_{p \cdot \text{calib}} \times f(\rho, H)$ で決定。

■本手法の検証

相対効率35%、25%Geで、放射能既知の試料を測定。本手法から決定したピーク効率と測定値を比較し、±10%の精度で一致することを確認した。



■任意高さの校正線源の使用

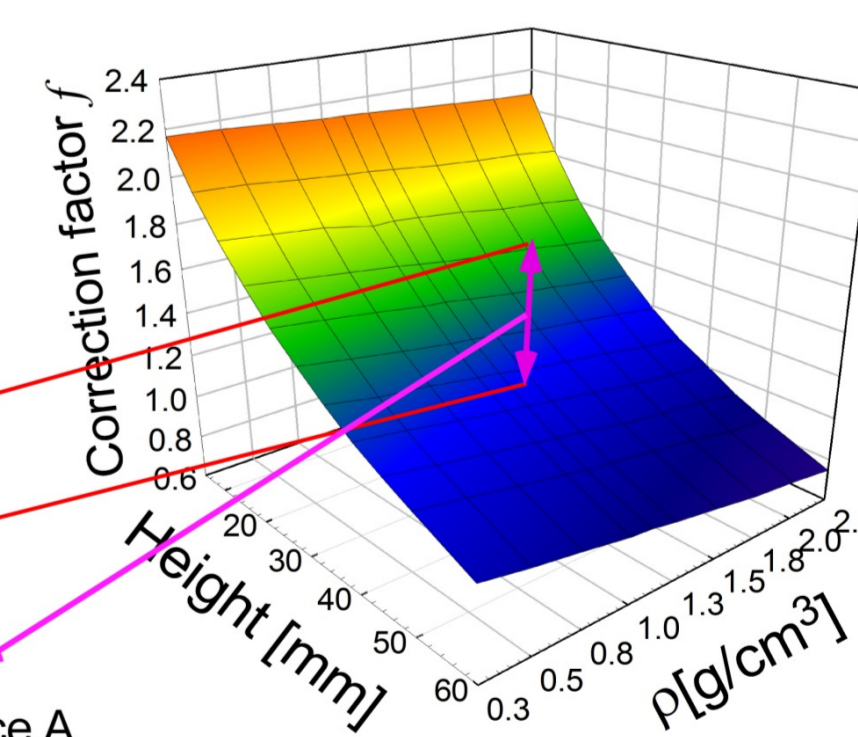
マップは条件(1.11 g/cm³, 50 mm)の¹³⁷Csピーク効率との比をプロット⇒ピーク効率の相対値であるから、使用する校正線源の条件と、任意試料の条件の比をとることで対応できる

例：校正線源A(1.0 g/cm³, 30 mm)の校正値 $\epsilon_{p \cdot \text{calib Source A}}$ を用いる場合

Any sample: (ρ g/cm³, H mm)

$$f(\rho, H)_{\text{Source A}} = \frac{f(\rho, H)}{f(1.0, 30)}$$

$$\epsilon_p(\rho, H) = \epsilon_{p \cdot \text{calib Source A}} \times f(\rho, H)_{\text{Source A}}$$

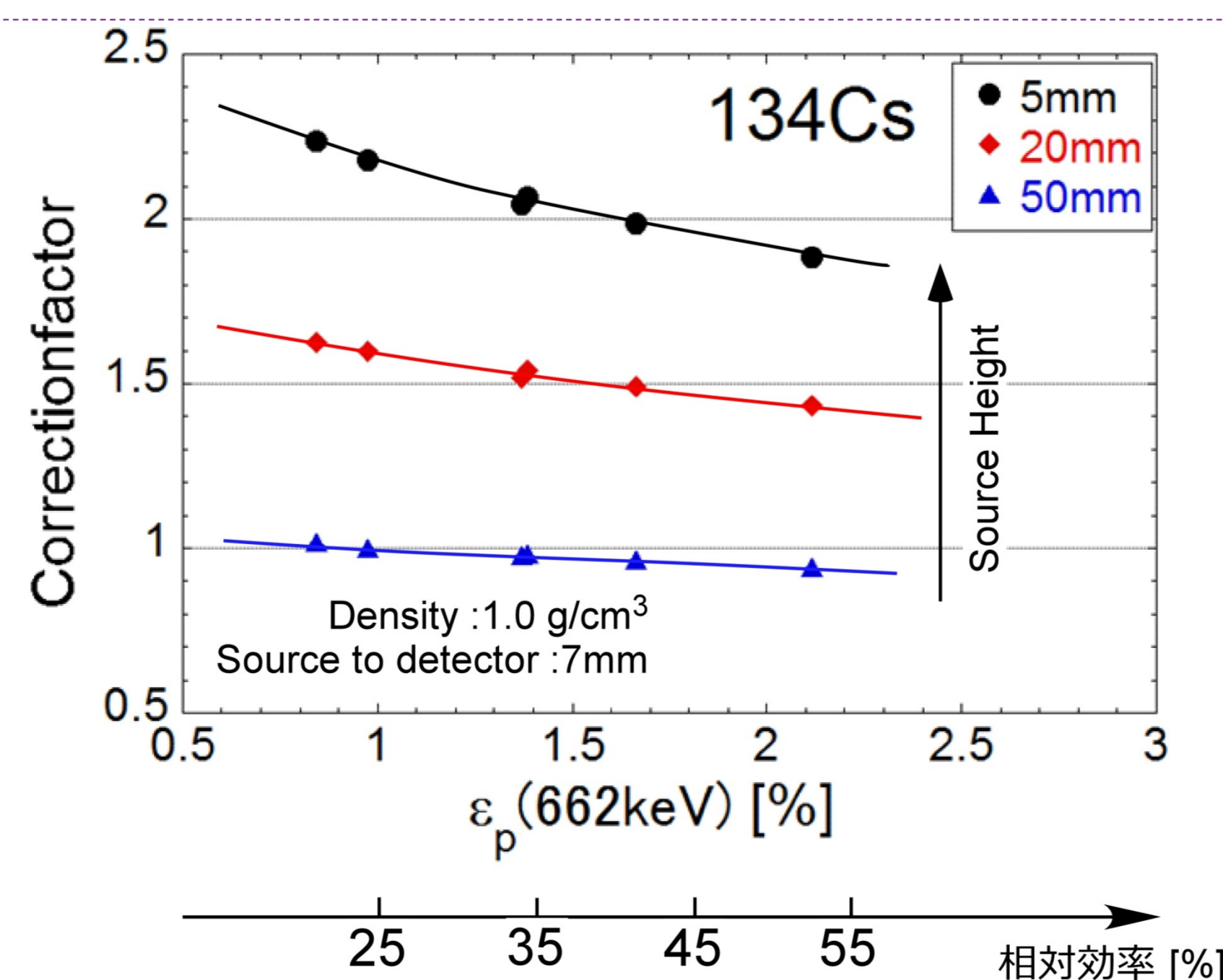


<任意の同軸型検出器への適用>

3次元マップを様々な検出器で作成し、それぞれの検出器における¹³⁷Cs(1.11 g/cm³, 50 mm)ピーク効率をパラメータとして補正係数をプロット。

ϵ_p (662keV)に対する補正係数の依存性は滑らか。2%以内の精度で決定できる見込み。検出器の性能指標である相対効率に対しても同様な傾向。利便性のための検討が必要。

Ge Crystal Size		
相対効率 [%]	Diameter [mm]	Length [mm]
22	48	62
25	50	66
35	62	48
35	58	68
42	66	63
54	70	67



<今後の展望>

■任意の検出器による検証実験

⇒ 任意の検出器を用いた、本手法と実験の比較が少ない

■補正係数の内挿パラメータの検討

⇒ 検出器の性能に対する補正係数の依存性評価が必要

■本手法の精度に影響する原因の明瞭化

⇒ 線源高さ読み取り誤差

⇒ 環境試料の粒子サイズ：米試料の効率が過小傾向

⇒ 試料の測定距離：測定距離で補正係数の傾向は変化

* 任意の同軸型検出器であれば、¹³⁷Csを含む一つの校正線源と3次元マップを用いて、任意の体積試料の放射能を精度10%で決定できる見込み