

# 修士論文概要書

Summary of Master's Thesis

Date of submission: 01/08/2020

専攻名 (専門分野) Department	物理学及 応用物理学専攻	氏名 Name	藤枝 和也	指導 教員 Advisor	片岡 淳 印 Seal
研究指導名 Research guidance	放射線応用物理学 研究	学籍番号 Student ID number	5318A047-2		
研究題目 Title	RI 内用療法における大面積コンプトンカメラの開発と実証				

## 【研究背景】

RI 内用療法とは放射線治療法の一つであり、放射性核種を含む薬剤を患者に投与して治療を行う。近年では、飛程が細胞の大きさと同様な $\alpha$ 線放出核種の利用が注目され、正常細胞の損傷を減らすことが期待されている。特に  $^{223}\text{Ra}$  は崩壊過程で $\alpha$ 線と  $80\sim 400\text{keV}$  の X 線と $\gamma$ 線を放出する核種であり、2016 年より日本でも使用され始めている。一方で、薬剤が標的部位に適切に運搬されたか確認する方法が確立されておらず、患者毎の最適な投与量に不定性が生じている。SPECT によって撮影する方法も提案されているが、撮影時間が 30 分と長く、視野も約  $50\text{cm} \times 40\text{cm}$  と人体全体に対して狭いという課題が残されている。そこで本研究ではコンプトンカメラを用いて、これらの課題を解決することを目指した。

## 【大面積コンプトンカメラの開発】

コンプトンカメラは、散乱体・吸収体と呼ばれる 2 層の検出器それぞれでの反応位置と反応エネルギーからコンプトン運動学に基づいて $\gamma$ 線の到来方向を特定する検出器である。

本研究では 2 種類のカメラを用いた。まず、福島環境調査用に本研究室が開発した DOI-CC である。DOI-CC は  $662\text{keV}$  の $\gamma$ 線を効率的に検出できるように散乱体と吸収体が厚く設計された。そのため、 $^{223}\text{Ra}$  が放出する低エネルギー $\gamma$ 線は散乱体で全吸収してしまうため検出効率が低く、さらに受光面も約  $5\text{cm} \times 5\text{cm}$  と人体に対して小さいという課題があった。

そこで、本研究では新たに大面積コンプトンカメラ (Large-CC) を開発した。Large-CC は散乱体も吸収体を DOI-CC より薄くして低エネルギー $\gamma$ 線の検出効率を上げ、さらに受光面を DOI-CC の約 4 倍(約  $10\text{cm} \times 10\text{cm}$ )と大きくした。

## 【複雑なファントムの3次元撮影】

コンプトンカメラの撮影では、 $\gamma$ 線の到来方向のみを特定するため奥行き方向が縮退する。そこで撮影対象を3次元的に囲って撮影をすることで奥行き方向の縮退を解くことができるか検証した。図1に示すように、直径が  $10\sim 37\text{mm}$  の6つの球を持つファントムに  $^{223}\text{Ra}$  ( $9\text{kBq/ml}$ ) を3つの球(直径  $13, 22, 37\text{mm}$ ) に封入し、DOI-CC でファントムの周囲8か所から各30分撮影を行った。撮影結果は図1のようになり、それぞれの球の位置を再現することができた。さらに、各球の voxel 値を積分して規格化を行うと、各球の放射能 ( $10.8, 50.4, 238.5\text{kBq}$ ) に対して積分値 ( $13.0 \pm 3.1, 48.9 \pm 8.3, 238.5 \pm 18.3$ ) が誤差の範囲内で一致した。すなわち、放射能の強度比を再現することができた。

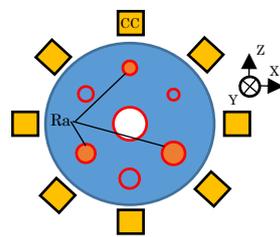


図1 撮影の概略図

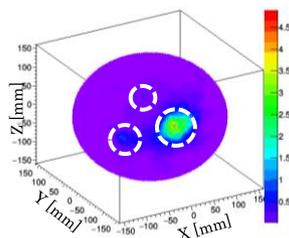


図2 ファントムの撮影結果

## 【人体撮影】

次に実際に治療を受けた患者さんの撮影を行った。 $^{223}\text{Ra}$  ( $3.4\text{MBq}$ ) 投与後 28 時間経った患者さんをベッドの上に横向きで寝かせ、腹側から Large-CC で 10 分間撮影した。さらに SPECT で 30 分間撮影した画像と比較した。図3に示すように Large-CC で SPECT 同様に大腸への集積を確認しつつ、短時間で広範囲の画像を撮影することができた。

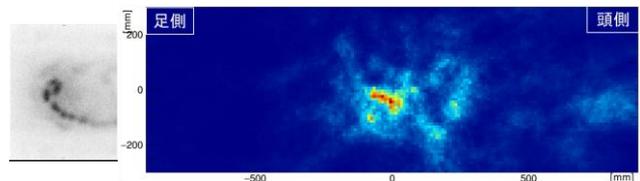


図3 人体の撮影結果 (左: SPECT、右: Large-CC)

## 【 $^{211}\text{At}$ の撮影】

近年の RI 内用療法では、 $^{223}\text{Ra}$  の他に国内生産の可能な  $^{211}\text{At}$  の利用も検討されている。 $^{211}\text{At}$  も $\alpha$ 線と  $80, 570\sim 898\text{keV}$  の X 線と $\gamma$ 線を放出する核種である。そこで、 $^{211}\text{At}$  を DOI-CC で撮影可能か  $15\text{cm}$  先の  $0, 45\text{deg}$  にある  $^{211}\text{At}$  ( $4.61\text{MBq}$ ) を分撮影して検証した。撮影結果は図4のように、それぞれの位置で正しく再構成できた。

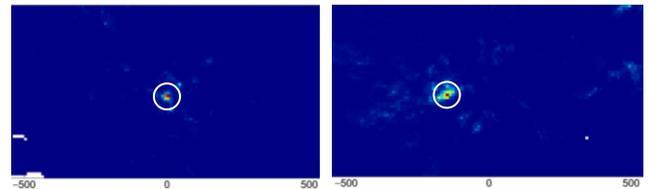


図4  $^{211}\text{At}$  の撮影結果 (左:  $0\text{deg}$ 、右:  $45\text{deg}$ )

## 【今後の展望】

本研究では、RI 内用療法における  $^{223}\text{Ra}$ 、 $^{211}\text{At}$  の撮影にコンプトンカメラが有用であることが示された。今後は人体に対して3次元撮影を行い、薬剤の位置とその放射能を再現することを目指したい。

## 【研究業績】

### 【国内学会】

1. 藤枝和也 他, 「RI 内用療法に向けたコンプトンカメラによる  $^{223}\text{Ra}$  イメージングの実証」, 応用物理学会, 東工大, 2019.03.09-12

### 【国際学会】

2. K. Fujieda, et al., "First demonstration of portable Compton camera to visualize  $^{223}\text{Ra}$  concentration for radionuclide therapy", PD18, Tokyo, Japan, 2018.11.27-29
3. K. Fujieda, et al., "First demonstration of portable Compton camera to visualize  $^{223}\text{Ra}$  concentration for radionuclide therapy", VCI2019, Vienna, Austria, 2019.02.18-23
4. K. Fujieda, et al., "First demonstration of portable Compton camera to visualize  $^{223}\text{Ra}$  concentration for radionuclide therapy", IEEE MIC, Manchester, U.K., 2019.10.30-11.02

### 【査読付論文】

5. K. Fujieda, et al., "First demonstration of portable Compton camera to visualize  $^{223}\text{Ra}$  concentration for radionuclide therapy", NIM-A, in press (2019).