

科学研究費助成事業（基盤研究（S））公表用資料  
〔平成30年度研究進捗評価用〕

平成27年度採択分  
平成30年3月22日現在

実用化へ向けた高解像度 3D カラー放射線イメージング技術  
の開拓

Toward new frontiers in high-resolution 3D color radiology imaging

課題番号：15H05720

片岡 淳 (KATAOKA JUN)

早稲田大学・理工学術院・先進理工学研究所・教授



研究の概要

レントゲン撮影やCT、PET 検査や手荷物検査に至るまで、一般に放射線イメージングは2次元モノクロ静止画を基調とする。本研究では革新的X線・ガンマ線可視化技術により、放射線の多色3D画像や動画を迅速に取得する。医療から環境で汎用的に活用できる次世代放射線イメージングの基盤技術を純国産ベースで開発し、臨床や産業への迅速なフィードバックを目指す。

研究分野：複合領域・人間医工学・画像診断システム

キーワード：医療用コンプトンカメラ、低被ばく多色CT、ドローン搭載システム

1. 研究開始当初の背景

近年、ステレオセンシング技術を利用した3次元動的イメージングが、様々な分野で応用展開されつつある。一方で放射線イメージングは未だレントゲン撮影に代表される2次元モノクロ静止画を基本とする。現代医療診断の根幹をなすX線CTやPET(陽電子断層撮影)でも同様で、体内における複数核種の追跡を同時に行うことはできない。X線からガンマ線にわたる広いエネルギーで、被写体の立体構造や材質、現象のダイナミクスにまで迫る革新的なイメージング技術が望まれている。

2. 研究の目的

本研究では、医療から環境計測にまで広く展開可能な「3次元高解像度カラー放射線イメージング」の基盤技術を確立する。独自に開発した高感度光半導体素子MPPC (Multi-Pixel Photon Counter)と高精細シンチレータをベースにシステム全体を“オールジャパン”で開発し、分野全体の活性化と産業界への迅速なフィードバックを目指す。具体的にはA) 超高解像度X線・ガンマ線イメージングの開拓 B) 医療用リアルタイム3Dコンプトンカメラの開発 C) 広視野環境放射線イメージング技術の開発を5年間で実施する。

3. 研究の方法

1次元MPPCアレイを用いたフォトンカウンティングCTの開発を主題に、これに特化した専用高速アナログLSIを開発した。従来CTの1/100の低線量下で様々なファントムを用

いたX線多色撮影を行い、3次元画像再構成に挑戦した。一方では世界最小「手のひら」サイズ医療用コンプトンカメラを開発し、生後8週間の生体マウスの撮影を行った。さらに、放医研サイクロトロンビーム施設では陽子線治療を模擬した照射実験を行い、人体を構成する様々な元素から出る即発ガンマ線のオンライン・イメージングに挑戦した。環境計測では福島浪江の帰宅困難地域でフィールド試験を定期で実施している。コンプトンカメラをドローンに搭載し、GNSSで高精度に姿勢や位置を制御しつつ、高度10~20メートルからのガンマ線撮影を行った。

4. これまでの成果

(1) MPPCと高速シンチレータCe:YAPを組み合わせた低被ばく多色X線CTシステムを開発した。従来CTの1/10~1/100の低線量で同等以上の高コントラスト画像が取得でき、K吸収端をもちいた物質同定やライターの3次元多色撮影にも成功した(図1)。

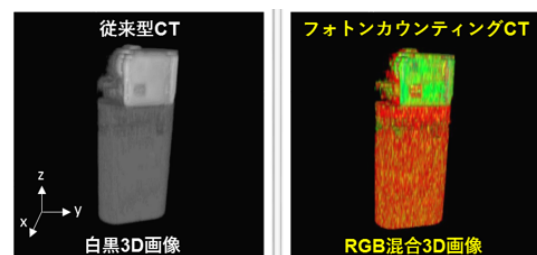


図1 ライターの白黒CT (左)と3D多色X線CT画像 (右)

(2) 医療用コンプトンカメラを用いた生体マウスの3次元多色ガンマ線撮影に成功した。図2では、ヨウ素 ( $^{131}\text{I}$ : 364 keV) が甲状腺に、ストロンチウム ( $^{85}\text{Sr}$ : 514 keV) は骨に、また亜鉛 ( $^{65}\text{Zn}$ : 1116 keV) は肝臓を中心として肺や心臓、脾臓などに広く取り込まれる様子が解像度 3mm で確認できる。

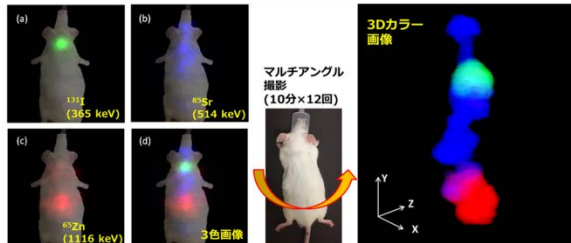


図2: (左) 生体マウスのガンマ線撮影と3色合成 (右) マルチアングル撮影による、3D多色ガンマ線撮影結果

(3) 陽子線治療の高精度化に向けた試みとして (a) 陽電子放出核種の核反応断面積の高精度測定 (b) 即発ガンマ線イメージングの両方の観点から研究を進めた。(a) はチェレンコフ光の時間発展を CCD で撮影するユニークな手法であり、従来のデータベースを刷新する高精度を実現した。(b) では  $^{12}\text{C}$  からの 4.4MeV ガンマ線がブラッグピークに高精度に追従することを初めて実証した(図3)。

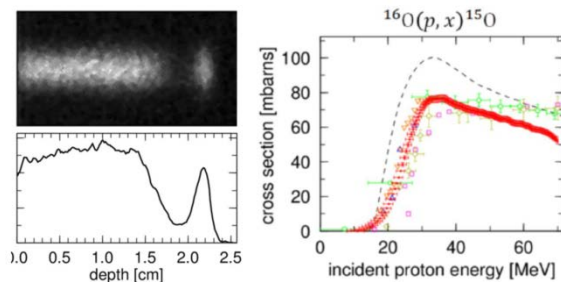


図3: (左) CCD で撮影した陽子線照射後のチェレンコフ発光分布 (右) これより導出した原子核反応断面積

(4) 高感度小型コンプトンカメラ (大きさ 1.9 キログラム) とタブレット PC を汎用ドローンに搭載し、上空 10~20 メートルから地上 100×100 メートル四方を一気にガンマ線で撮影することに成功した。サーベイメータ

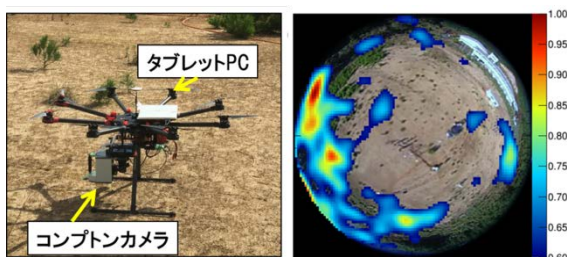


図4: (左) DJI S1000+ に搭載したコンプトンカメラ (右) 上空 20 メートルからの撮影結果

を用いた地上測定より、はるかに短時間かつ正確に、放射線核種のローカルな集積を画像化できることを実証した (図4)

### 5. 今後の計画

フォトンカウンティング CT においては、64ch までのシステム拡張とさらなる高速化・高性能化を目指す。医療用コンプトンカメラは、RI 内用療法での臨床応用を目指した低エネルギー用カメラの最適化と、4.4MeV 即発ガンマ線イメージング用の高エネルギー装置の開発を同時に行う。環境計測では引き続き福島でのフィールド試験を実施し、散乱ガンマ線が画像に及ぼす影響を定量評価する。

### 6. これまでの発表論文等(受賞等も含む)

- Masuda, T., Kataoka, J., Arimoto, M. et al., "Measurement of nuclear reaction cross sections by using Cherenkov radiation toward high precision proton therapy, Scientific Reports, (2018), vol.8, 2570
- Kishimoto, A., Kataoka, J., Tagawa, L. et al., "First demonstration of multi-color 3-D in vivo imaging using ultra-compact Compton camera, Scientific Reports, (2017), vol.7, 2110
- Morita, H., Oshima, T., Kataoka, J. et al., "Novel photon-counting low dose computed tomography using a multi-pixel photon counter", NIM-A, (2017), vol.857, pp.58-65
- Mochizuki, S., Kataoka, J., Tagawa, L. et al., "First demonstration of aerial gamma-ray imaging using drone for prompt radiation survey in Fukushima", Jinst, (2017) vol.12, P11014
- 片岡淳, 武田伸一郎, 高橋忠幸 「放射線物質を可視化するコンプトンカメラ」, 日本光学会誌「光学」, 2016, 第 45 巻, 第 8 号, pp.289-300  
他 14 編

### ホームページ等

- 2018年3月1日 BSテレビ 19:55~20:00 科学ミチル。世界は未知で満ちている 「見えない光で未知を観る！」

[http://www.bs-j.co.jp/official/kagaku\\_michiru/](http://www.bs-j.co.jp/official/kagaku_michiru/)

- 2018年2月14日 化学工業新聞朝刊9面 「陽子線治療精度を向上 一早大が体内進路可視化」

- 2017年5月29日 日経新聞(全国版)朝刊11面 「ガンマ線立体画像に一早大などが小型カメラ」

<https://www.nikkei.com/article/DGXLASG G25H55 X20C17A5TJM000/>

- 2016年9月26日 日経産業新聞(全国版)朝刊6面 「セシウムの分布可視化—一早大、ドローン使い空撮」