

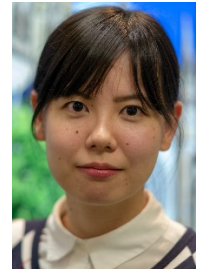
■受領No.1379

連続 X 線を用いたフォトンカウンティング法による超高精度実効原子番号のイメージング ～次世代型医療用画像検出器の開発に向けた基礎研究～

代表研究者

紀本 夏実

金沢大学大学院医薬保健学総合研究科 博士後期課程 3 年



1. 研究目的

現代の医療において主要な役割を担う一般 X 線撮影 (レントゲン撮影) 検査では、図 1 に示すような白黒の X 線画像を使用した定性的な診断が主流である。この画像診断の根拠は、医師の解剖学的知識や経験に基づいており、X 線画像を形成する際の物理学的な知見はほとんど考慮されていない。この診断は多くの成功を収めている一方で、画像濃度が似ている物質を医師の目では識別できないなどの本質的な限界がある。本研究では、X 線画像を生成する過程の物理を明らかにした解析によって、物理的な知見 (組織の実効原子番号や密度) を反映した定量的な画像を生成する検出器を開発し、より診断能の高い医療を実現したいと考えている。

物理学的な視点で医用画像を解析するためには、画像の形成に寄与する X 線光子一つ一つのエネルギー情報が必要である。しかし、現在普及している従来型の検出器では積分量で画像化が行われるため、エネルギー情報を解析できない (図 2 (a))。一方で、新たに開発を行っているフォトンカウンティング型の検出器では、X 線を独立に検出しエネルギー弁別を行えるため、X 線のエネルギーと個数の情報を保持しており (図 2 (b))、物理学的な解析を行える。本研究ではこのフォトンカウンティング型検出器を利用し、検出器が出力するエネルギー情報に対して独自の解析アルゴリズムを適用し、組織の物理学的な解析結果 (実効原子番号、

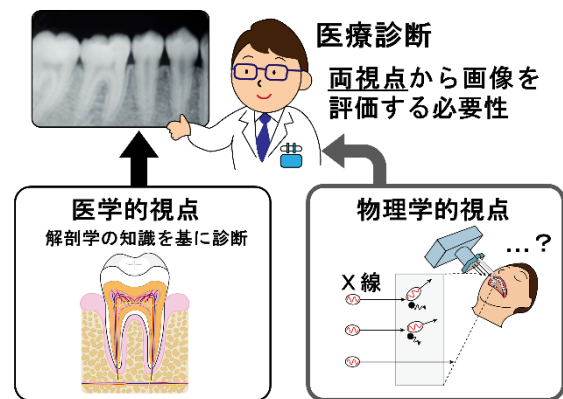


図 1 医療診断における物理学的視点の必要性

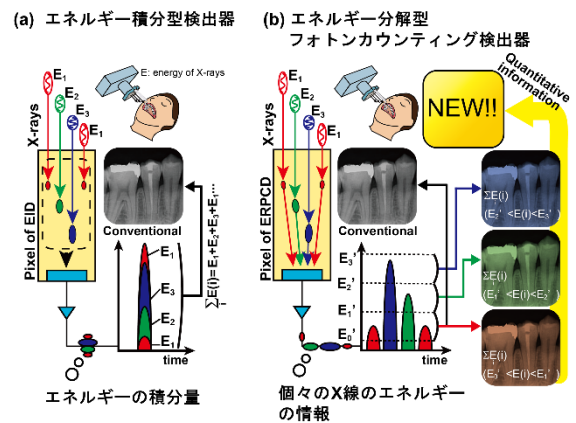


図 2 (a) エネルギー積分型検出器と (b) フォトンカウンティング検出器の比較

すなわち物質同定に関する情報) の生成を目的とする。この研究が実現可能な技術として大成できれば、定量化画像へのイノベーションの創設に繋がりが、新しい診断体系を提案できると考えている。

2. 研究内容

被写体の実効原子番号を導出するためのアルゴリズムの提案に向けた基礎研究において、物質同定の高精度化を図るためには、検出器の複雑な応答特性の影響を考慮する必要があることを明らかにした。図3にマルチピクセル検出器の応答特性を考慮した解析手法の概念図を示す。これまでの基礎研究において、図3 (a) 理想状態を想定した解析は完了している。本研究では、図3 (b) X線と検出器物質との相互作用、及び図3 (c) 電気的な影響 (チャージシェアリング) に着目し、解析手法の実用化に向けて取り組んだ。これらの応答特性を定量的に調べるために、装置固有の情報 (各画素のX線スペクトル等) を取得し、モンテカルロシミュレーション法でX線と検出器の応答を粒子輸送計算することで、検出器の応答特性を推定した。推定した応答特性の情報を基に、医療におけるさまざまな被写体に対応できるようにシミュレーション計算を網羅的に行い、大量のデータベースを構築し、解析プログラムを作成した。さらに解析プログラムを実機に搭載し、実効原子番号が既知の物質 (軟組織等価ファントム, アルミニウム等) や歯科サンプルを測定することで、画像ベースで同定精度の検証を行った。

図4は提案システムの概念図を示している。歯科サンプルを測定対象としたときの画像を例として用いた。左図に示す3つの異なるエネルギーに対応する画像に解析アルゴリズムを適用すると、赤矢印で示す実効原子番号画像を取得することができた。歯の実効原子番号を定量的に評価することができ、組織の微細な構造を分析することができた。これらの結果は臨床系の国際学会において、臨床医からの高い評価を受け、Certificate of Merit賞を受賞した[3]。さらに、提案システムは、図4中の黒矢印で示す従来X線画像も同時に取得することができた。一度のX線の照射で、従来X線画像と実効原子番号画像を生成できることから、従来X線画像を用いた既存の診断プロセスを崩すことなく、新

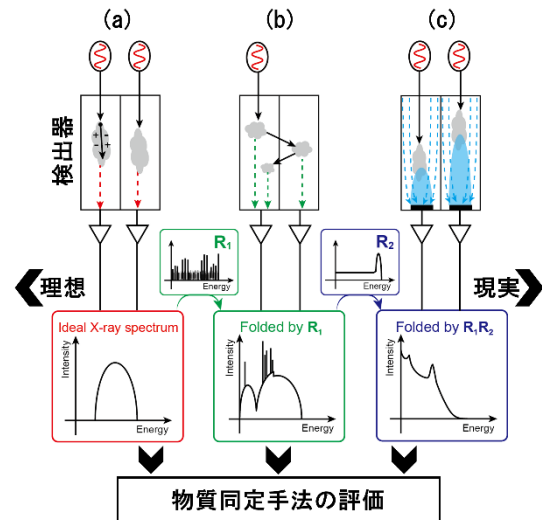


図3 マルチピクセル検出器の応答特性を考慮した解析手法の概念図

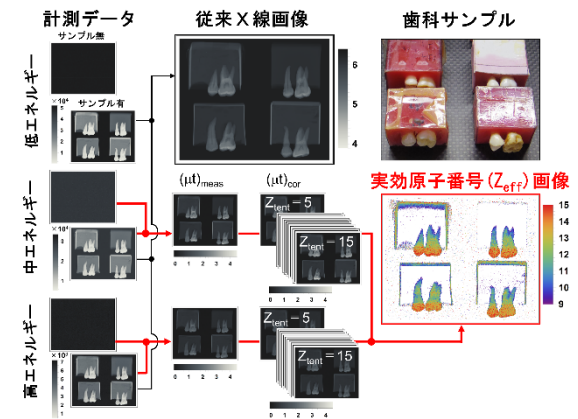


図4 提案システムの概念図

たに実効原子番号画像から得られる情報を診断に活かすことができる。さらに実効原子番号画像の生成に伴う患者へのX線の被ばくを最小限に抑えられることは、従来の一般X線撮影のメリットである短時間撮影を可能にし、患者に負担の少ない医療を提供できる。これらの提案システムのさまざまなメリットから、実機の臨床応用へ向けた明るい見通しを得ることができた。

3. 発表 (研究成果の発表)

国内外の学会誌、学会講演会等における発表を5件程度記載。

記載内容: 氏名、題目、誌名、巻、号、頁 (年次)、学会名 (場所、年次)

- (1) Natsumi Kimoto, Hiroaki Hayashi, Takumi Asakawa, Takashi Asahara, Tatsuya Maeda, Yuki Kanazawa, Akitoshi Katsumata, Shuichiro Yamamoto, Masahiro Okada. Feasibility study of photon counting detector for producing effective atomic number image. Proceedings of IEEE (MIC) , 4 pages, 2019.
- (2) Takumi Asakawa, Hiroaki Hayashi, Natsumi Kimoto, Takashi Asahara, Tatsuya Maeda, Shuji Koyama, Shuichiro Yamamoto, Masahiro Okada. Importance of considering the response function of photon counting detectors with the goal of precise material identification. Proceedings of IEEE (MIC) , 8 pages, 2019.
- (3) Natsumi Kimoto, Hiroaki Hayashi, Takumi Asakawa, Takashi Asahara, Tatsuya Maeda, Akitoshi Katsumata, Yuki Kanazawa, Shuji Koyama, Shuichiro Yamamoto, Masahiro Okada. Photon counting technique: How to analyze a novel quantitative image? RSNA2019 Education Exhibit Presentation, Chicago, Dec. 2019. Certificate of Merit 受賞
- (4) Hiroaki Hayashi, Natsumi Kimoto, Takumi Asakawa, Akitoshi Katsumata, edited by Leon V. Berhardt. IMPORTANCE OF CONSIDERING THE PHYSICS OF A MULTI-PIXEL-TYPE PHOTON COUNTING DETECTOR TOWARDS THE DEVELOPMENT OF A NOVEL MEDICAL X-RAY IMAGING METHOD BASED ON MATERIAL IDENTIFICATION. Advances in Medicine and Biology. Volume 141, Chapter 1, Nova Science Publishers, Inc., 2019.
- (5) 紀本 夏実, 林 裕晃, 勝又 明敏, 山本 修一郎, 歯科X線診断の定量解析法の開発: フォトンカウンティング型イメージング検出器, 日本歯科放射線学会第60回学術大会, 2019年6月.