



HOKKAIDO UNIVERSITY

Title	CdTe半導体検出器を用いた散乱線エネルギースペクトルの測定および深層学習を用いた脳血流SPECT画像の予測に関する研究 [論文内容及び審査の要旨]
Author(s)	及川, 青亮
Degree Grantor	北海道大学
Degree Name	博士(保健科学)
Dissertation Number	甲第15818号
Issue Date	2024-03-25
Doc URL	https://hdl.handle.net/2115/91850
Rights(URL)	https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/
Type	doctoral thesis
File Information	Joma_Oikawa_abstract.pdf, 論文内容の要旨



学位論文内容の要旨

博士の専攻分野の名称：博士（保健科学）

氏名：及 川 青 亮

学位論文題名

CdTe 半導体検出器を用いた散乱線エネルギースペクトルの測定および深層学習を用いた脳血流 SPECT 画像の予測に関する研究

第1章. インターベンショナルラジオロジー (IVR) 手技の増加に伴い、オペレーター や医療スタッフの職業被ばくが注目されている。電離放射線障害防止規則の改定に伴い、2021 年度から眼の水晶体の被ばく線量限度が5年間につき 100mSv および1年間につき 50mSv まで引き下げられた。これは国際放射線防護委員会である ICRP から 2011 年に勧告された「組織反応に関する声明」に基づくものである。ヒトの眼の水晶体は放射線障害として白内障を発症することが知られている。しかし、その発症機序は完全には解明されていない。ICRP からの 2007 年勧告においてはより低い線量もしくは閾値を持たない反応である可能性が示された。「組織反応に関する声明」では疫学データに基づき、放射線誘発白内障が線量にしきい値を持たない反応である可能性を支持する結果を一部示しながらも、それを否定する結果も同様に提示した。放射線誘発白内障が確定的影響であるか、確率的影響の可能性があるかはその発症機序に大きく関わる。つまり確率的影響であれば、放射線による影響を受けた1つの細胞から発症する可能性がある。

放射線の種類による生物学的効果の違いは線エネルギー付与の違いに応じて変化するとされている。これに基づいて ICRP2007 年勧告でも放射線荷重係数が提示されている。光子線の放射線荷重係数はエネルギーによらず 1 とされている。しかし、近年の研究ではマイクロオーダーのより局所的なエネルギー付与に着目した際に、入射光子のエネルギーによって生物学的効果が異なることが報告されている。

ヒトの眼の水晶体はその構造として前面に単層の上皮細胞層を持っている。そのうち赤道付近の細胞は増殖が盛んであり胚芽帯と呼ばれている。この胚芽帯はおよそ 60 個程度の細胞群であるが、これらの増殖により水晶体の成長が決定される。上皮細胞は子午線列に整列し繊維細胞へ分化し始める。分化後は細胞内をクリスタリン蛋白で満たされる。この繊維細胞の形成という一連の流れは年齢に応じて速度の変化は存在するが、生涯止まることはない。ヒトの眼の水晶体への放射線影響を考慮する際には、厚さ $10\mu\text{m}$ 程度の上皮細胞層への局所的なエネルギー付与が最も重要となる。

放射線による生物学的影響の発症機序は物理的過程、化学的過程、生化学的過程、生物学的過程に分けることができる。これまでの水晶体への被ばくによる白内障の発症リスク推定は多くが疫学データに基づくもので、これらの過程を踏まえた発症機序を明確に捉えたものではない。そのためには、まず物理的過程として入射光子の局所的なエネルギー付与分布が必要となる。

以上のことから、医療現場における散乱放射線のエネルギーは、職業被ばくの生物学的影響を推定する上で重要である。近年、IVR による散乱放射線の線量に関する報告は多いが、エネルギー

ースペクトルに関する報告は少ない。本章は水晶体被ばくによる白内障の発症リスクを推定することを目的として CdTe 半導体検出器を用いて、脳外科および心臓血管の数症例の IVR 時の散乱 X 線の エネルギースペクトルを測定した。各症例の累積スペクトルを比較した。スペクトルは脳外科症例ではほとんど変化せず、循環器症例では比較的大きな変化を示した。これは、X 線管電圧の変化と管角度の変化が心臓血管症例で大きかったためと考えられた。得られた エネルギースペクトルは、職業被ばくの詳細な生物学的影響の評価に不可欠である。

第 2 章. 所脳血流 SPECT は多くの診断目的で利用されている。しかし、その 検査時間の長さから検査が困難な症例が存在する。そこで撮像時間の短縮を目的として画像生成モデルによる、より早いタイミングの画像から目的画像の生成を検討した。pix2pix、CycleGAN、Glow の 3 つの画像生成モデルによって早期・中期画像を入力画像として、臨床で用いられる後期画像の生成を行なった。pix2pix は Conditional GAN を拡張して画像を入力とし、GAN によるドメイン変換を可能としたものである。訓練データには各ドメインのペア画像を必要とされる。CycleGAN は識別器および生成器を 2 つずつ用いることで、訓練 データにペア画像を必要としなくなったモデルである。Glow は Flow ベースの 画像生成モデルである Glow では 1 ステップに Active normalization、1x1convolution、affine coupling layer が使用されている。生成された画像は SSIM(structural similarity)および視床を基準としたコントラスト比によって臨床で用いられる後期画像と比較された。結果は Glow、CycleGAN、pix2pix の順で成績が良いものであった。しかし Glow であっても十分な定性的特徴を再現するには至らなかった。学習モデルの改善案として、3D データ の利用や解剖学的なセグメンテーションの過程を導入することが挙げられた。