

平成30年度学部学生による自主研究奨励事業研究成果報告書

ふりがな 氏 名	もりぎね ゆり 守實 友梨	学部 学科	工学部 環境・エネルギー 工学	学年	1年
ふりがな 共 同 研究者氏名		学部 学科		学年	年
					年
					年
アドバイザー教員 氏名	村田 勲	所属	工学研究科		

研究課題名

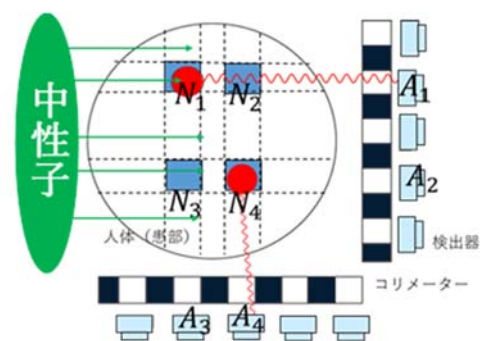
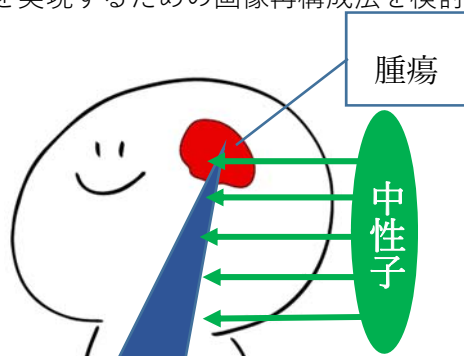
未来の放射線がん治療 (BNCT)の実現を目指して
～BNCT - SPECT 実現のための画像再構成法の 確立～

研究成果の概要

研究目的、研究計画、研究方法、研究経過、研究成果等について記述すること。必要に応じて用紙を追加してもよい。(先行する研究を引用する場合は、「阪大生のためのアカデミックライティング入門」に従い、盗作剽窃にならないように引用部分を明示し文末に参考文献リストをつけること。)

1. 研究の背景

現在日本では3人に1人ががんにかかり、2人に1人ががんで亡くなる時代である。(厚生労働省調べ)そのため、がん治療法の確立が急がれている。そんな中近年、ホウ素中性子捕捉療法(Boron Neutron Capture Therapy(BNCT))という、ホウ素と中性子を使った放射線がん治療法が注目されている。これはホウ素をあらかじめがん患者の体内に蓄積させ、そこに中性子線を当てることによって核反応を起こし、生じた α 線とLi粒子で内部から腫瘍細胞を選択的に死滅させる未来の優れたがん治療法である。(図1)しかし、このBNCTを実現させるためにはいくつかの問題がある。その一つに、治療効果のリアルタイム測定がある。通常画像診断であるX線CTやSPECTでは、360度の計測データを取得し、画像を得る。しかしBNCTは治療であり、被写体である患者の周辺には放射線照射機器やその他多くの障害物があり、360度の測定が難しい。本研究では、図1に示すBNCTに用いる核反応により生じる γ 線を測定し、得られる有限な角度データのみでBNCT-SPECT装置を実現するための画像再構成法を検討する。



がん細胞内で起こる ^{10}B と中性子の核反応



図 1: BNCT の治療原理

図 2: BNCT-SPECT の原理

2. 実験

2.1 BNCT-SPECT の原理

図 2 に BNCT-SPECT 装置の原理を示す。黒い円が人体頭部で赤色の円が腫瘍であり、予めホウ素が蓄積されているものとする。ここに中性子を体外から照射すると、図 1 に示した核反応が起こり、先述したように α 線と Li 粒子で腫瘍を破壊する。この時、励起状態の Li から即発的に放出される 478keV の γ 線を測定すれば、治療効果(核反応の起こった位置・強度)をリアルタイムで測定することができる。

今、図 2 のように、検出器による測定値を A_i (Counts/sec(CPS)、 $i=1\sim 4$)、478keV の線源強度を N_i (γ 線/秒)、 x 軸方向の減衰率を R_{xi} 、 y 軸方向の減衰率を R_{yi} などとすると、以下のような連立一次方程式を立てることができる。

$$A_1 = R_{x1} \times N_1 + R_{x2} \times N_2$$

$$A_2 = R_{x3} \times N_3 + R_{x4} \times N_4$$

$$A_3 = R_{y1} \times N_1 + R_{y3} \times N_3$$

$$A_4 = R_{y2} \times N_2 + R_{y4} \times N_4 \quad (1)$$

(1)式を解けば、原理的には、線源強度分布、つまり BNCT の効果 N_i を知ることができる。

2.2 実験方法

2.1 のやり方を実際に確かめるため、図 3 のような模擬実験を行った。レーザーカッターで厚さ 8 mm のアクリル板を裁断し、人間の頭部を模擬したファントム(図 4 参照)を作成し、478keV を模擬する ^{137}Cs の γ 線源を埋め込んで実験を行った。計測は、ファントムを左右に移動させて行った。測定は x 軸及び y 軸の二画面で行い、軸の交換はファントム台を回転させることで実現した。ファントムより放出される γ 線は、鉛ブロックに開けたコリメータ孔を通り、シンチレーション検出器で検出した。

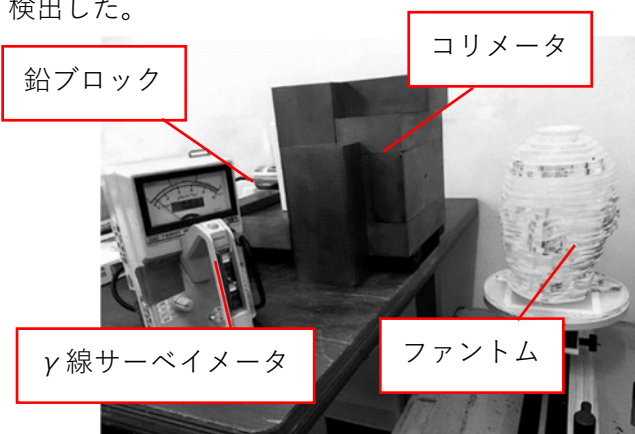


図 3: BNCT-SPECT 模擬実験装置



図 4: ファントム断面図

2.3 2×2 配列問題

まず γ 線を図 5 のように配置し、実験を行った。この場合、計測結果は x 軸上に 2 か所、y 軸上に 2 か所ピークがみられた。つまり、位置の可能性は①、③、⑦及び⑨の 4 か所であり、2×2 の正方形マ凝縮して考えられる。測定値と減衰率から(1)の連立方程式を立ててと、表 1 のようになった。この時線源強度(MBq)は N_1 、 N_3 、 N_7 及び N_9 とした。

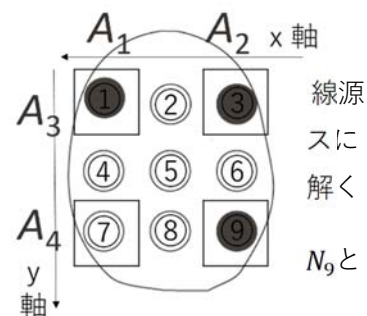


図 5 : 2×2 配列問題配置図

●の位置に線源を埋め込んだ。

表 1 : 2×2 配列問題における数学的解と正解値の比較

(MBq)	N_1	N_3	N_7	N_9
数学的解	12.0	-39.3	-46.1	180
正解値	0.91	2.90	0.00	2.90

以上のように、数学的解と正解値の差は大きくかけ離れている。これは、減衰率や測定値に誤差があり(1)式の=が成立していないためと思われる。

2.4 3×3 配列問題

次に γ 線を図 6 のように配置し、実験を行った。この場合、線源位置の可能性は 3×3 の 9 個であったが、たてられる方程式は 6 つである。式よりも変数の方が多いため、数学的解は得られない。

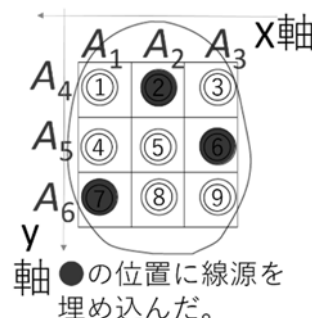


図 6 : 3×3 配列問題配置図

3. 条件付確率を用いた推定法の検討

3.1 推定原理の概要

それでは限られた測定条件の下で、工学的解を得るにはどうすればよいのか。本研究では、高校の数学 A の授業で教わった条件付確率を用いて推定法を検討した。

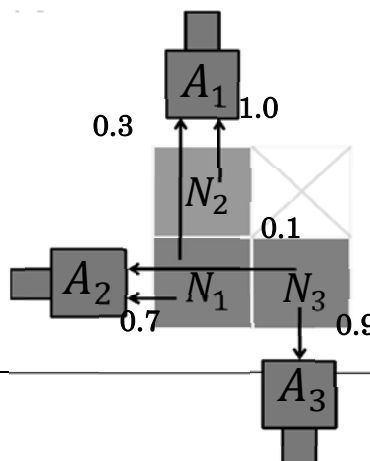
その理論について、例を使って説明する。図 7 のように 3 か所に線源と検出器がある場合を考える。それぞれの検出器はコリメータで絞られ、例えば A_1 には N_1 と N_2 から、示された数字の割合だけ減衰して放射線が入射されると仮定する。この時連立一次方程式は、

$$A_1 = 230 = 0.3 \times N_1 + 1.0 \times N_2 + 0.0 \times N_3 \quad (2)$$

$$A_2 = 100 = 0.7 \times N_1 + 0.0 \times N_2 + 0.1 \times N_3 \quad (3)$$

$$A_3 = 270 = 0.0 \times N_1 + 0.0 \times N_2 + 0.9 \times N_3 \quad (4)$$

となる。今回は理想問題であり、誤差はないものとする。



また、真値は $N_1=100$ 、 $N_2=200$ 及び $N_3=300$ と仮定する。

(2)に着目し、実際に真値 N を代入すると、

$$A_1 = 230 = 0.3 \times 100 + 1.0 \times 200 + 0.0 \times 300$$

図 7：推定法の例題

$$= 30 + 200 + 0 \quad (5)$$

この時、 A_1 の 230 のうち、 N_1 からは 30、 N_2 からは 200、 N_3 からは 0 きているとわかる。つまり今、 A_1 の検出器で 1 カウント検出されたとき、それが N_1 から来たという条件付確率は 30/230、 N_2 から来

た条件付確率は 200/230、 N_3 からは 0/200 であるとわかる。これはいま真値がわかっているため、

正しい。この簡単な方法を実際に応用することを検討した。

3.2 具体的な推定法の導出

前節の原理は真値が既知でないと使用できない。そこで今、 $N_1 = N_2 = N_3 = (A_1 + A_2 + A_3)/3 = A_0$

と仮定して計算する。今、これを初期値 $N_1^{(0)} = N_2^{(0)} = N_3^{(0)} = A_0$ とし、

$$I_1 = r_{11} \times N_1^{(0)} + r_{12} \times N_2^{(0)} + r_{13} \times N_3^{(0)} \quad (6)$$

とおくと、前節と同じやり方で考えると N_1 からは $A_1 \times r_{11} \times N_1^{(0)} / I_1$ 、 N_2 からは $A_1 \times r_{12} \times N_2^{(0)} / I_1$ 、 N_3 か

らは $A_1 \times r_{13} \times N_3^{(0)} / I_1$ くと予測できる。これを他の A についても計算し、整理すると 1 回目の推定

は以下ようになる。

$$N_1^{(1)} = A_1 \times \frac{r_{11}N_1^{(0)}}{I_1} + A_2 \times \frac{r_{21}N_1^{(0)}}{I_2} + A_3 \times \frac{r_{31}N_1^{(0)}}{I_3} \quad (7)$$

$$N_2^{(1)} = A_1 \times \frac{r_{12}N_2^{(0)}}{I_1} + A_2 \times \frac{r_{22}N_2^{(0)}}{I_2} + A_3 \times \frac{r_{32}N_2^{(0)}}{I_3} \quad (8)$$

$$N_3^{(1)} = A_1 \times \frac{r_{13}N_3^{(0)}}{I_1} + A_2 \times \frac{r_{23}N_3^{(0)}}{I_2} + A_3 \times \frac{r_{33}N_3^{(0)}}{I_3} \quad (9)$$

2 回目の推定値は、 $I_1 \sim I_3$ を 1 回目の推定値で更新し、改めて $I_1^{(1)}$ 、 $I_2^{(1)}$ 及び $I_3^{(1)}$ と置きなおし、同じ

式で計算する。

3.3 例題の推定結果

3.2 の方法を用いて、3.1 の例題を真値がわからないものとして解いてみた。

初期値 $N_1^{(0)} = N_2^{(0)} = N_3^{(0)} = 200$ に対して計算すると、

$$1 \text{ 回目の推定 : } N_1^{(0)} = 140.6, N_2^{(0)} = 176.9, N_3^{(0)} = 282.5$$

$$2 \text{ 回目の推定 : } N_1^{(1)} = 122.0, N_2^{(1)} = 185.7, N_3^{(1)} = 292.3$$

3回目の推定： $N_1^{(2)} = 90.40$ 、 $N_2^{(2)} = 198.9$ 、 $N_3^{(2)} = 310.8$

となり、真値 ($N_1=100$ 、 $N_2=200$ 、 $N_3=300$)に近づいていくことがわかった。この方法を用いれば BNCT-SPECT 装置の画像再構成に応用できる可能性がある。次章からは実験を行った問題について考えていく。

4. 実験結果と考察

4.1 2×2 配列問題の再推定

2.3の2×2実験を3.2の原理を用いて再推定した。結果を表2に記す。推定値は2回目が最も正解値に近いことが分かった。

(MBq)	N_1	N_3	N_7	N_9
推定値(誤差%)	1.00(10)	3.10(7.0)	0.30(-)	3.30(14)
正解値	0.91	2.90	0.00	2.90

4.2 3×3 配列問題の再推定

2.4の3×3実験を3.2の原理を用いて再推定した。2.4では数学的解を得られなかったが、本研究の条件付確率を用いた推定法では精度が悪いながらも解を導出することができた。

5. 得られた結果及び成果

本研究では、条件付確率を用いて2画面測定を行い、2次元画像を再構成する方法を考察した。その結果、2×2配列問題においては精度よく推定できることが分かった。また、3×3配列問題では劣問題であるため数学的には解を得ることができないが、本推定法では、解を導き出すことができた。

6. 今後の展望

今回精度よく解くことのできたものは2×2配列問題の場合のみであり、実用化のためにはより広い範囲の被写体を考える必要がある。この場合、10×10配列問題のような深い劣問題になる。この手法を応用し、精度を落とさずにより広範囲での画像再構成ができるよう検討と考察を続けていきたい。