

小動物SPECT画像の二核種分離

MUKAI, Hiroyuki / 向井, 広幸

(出版者 / Publisher)

法政大学大学院理工学・工学研究科

(雑誌名 / Journal or Publication Title)

法政大学大学院紀要. 理工学・工学研究科編

(巻 / Volume)

56

(開始ページ / Start Page)

1

(終了ページ / End Page)

4

(発行年 / Year)

2015-03-24

(URL)

<https://doi.org/10.15002/00011270>

小動物 SPECT 画像の二核種分離

ESTIMATION OF ACTIVITY IN SMALL ANIMAL MULTI-ISOTOPE SPECT STUDY

向井広幸

Hiroyuki MUKAI

指導教員 尾川浩一

法政大学大学院理工学研究科応用情報工学専攻修士課程

The aim of this study is to measure the distributions of multiple isotopes in small animal SPECT study. In multi-isotope SPECT system, images reconstructed with the counts of primary photons emitted from a low energy photopeak radionuclide is distorted by Compton scattered photons originating in a high energy photopeak radionuclide. In this paper, applied an artificial neural network method to quantitatively measure the distribution of activities in the simultaneous data acquisition with a multiple isotope SPECT study and the accuracy of our proposed method was evaluated.

Key Words :SPECT, multi isotope, neural network

1. はじめに

現在の医療現場では画像診断方法のひとつとして SPECT(single photon emission computed tomography)が用いられている。この SPECT を用いることで、患者の体内の臓器の機能を非侵襲的に画像化することができる。これは、病気の早期発見や臨床診断に有用であり、この技術は重要な役割を担っている。同様な技術として、X線CTがある。これは臓器の形状情報を得ることが出来るが、SPECT では臓器の機能情報が見られるという一点に特徴がある。これにより、異常が形状として現れる前に、SPECTによる診断でその異常を発見できる。SPECTでは、検査の際に放射性同位元素(RI)と呼ばれるものを患者の体内に投与する。このRIが対象臓器に集積し、 γ 線を放出する。この γ 線を検出器で検出し、そのデータを元に画像再構成を行うことでその分布状況を断層画像とする。この時使用されるRIとしては、Tc-99mやTl-201などが一般的である。通常のSPECT検査では1種類の放射性核種が用いられるが、同時収集型SPECTにおいては、2種類の放射性核種に対する動態を同時かつ同条件で見られることで、治療方針の最適化や治療効果の評価が可能となる。しかし、Tc-99mとIn-111の同時収集SPECTの場合、Tc-99m(141[keV])とIn-111(171[keV], 245[keV])では光電ピークエネルギーが近接していることや、高い光電ピークエネルギーの影響によって低いエネルギーのプライマリ光子の定量性が失われてしまい、プライマリ光子の正確な推定が難しいという問題がある。この問題に対しての有効な手法は、これまで開発されていない。そこで、本研究ではTc-99mとIn-111の2種類の放射性核種を

同時収集するSPECTに対し、それぞれの核種の断層画像を別々かつ正確に再構成することを目的とする。

従来の散乱除去法では、TEW法などにより散乱線が補正されプライマリ光子の推定が行われている。我々は、ニューラルネットを用いた散乱補正法を2核種に適用し、ニューラルネットを用いた2核種分離法を1999年に提案した[1]。ニューラルネットワークとは、脳神経系を模したモデルでパターン認識を行うものである。従来のシステムでは、入力に対して、その出力を得るための計算のプロセスを人間が考えなければならない。しかし、ニューラルネットでは、学習データを与えてやることで、ネットワーク自身が学習を行い出力が得られる。さらにニューラルネットのロバスト性から雑音に強いという特徴もある。これらの特徴は、ニューラルネットを同時収集型SPECTに用いる際に有効であるといえる。しかし、この手法をTc-99mとIn-111の2核種同時収集型SPECTに適用しても、前述したような問題によって散乱補正は困難となる。そこで前述の手法を改良することで2核種分離を実現することにした。

2. 提案手法.

ニューラルネットの入力層の数は設定したエネルギーウィンドウの数とし、中間層はその2倍の数、出力層の数は3つとしている。ニューラルネットの入力層へ与える入力へは、図1で示しているような、設定したエネルギーウィンドウ内で測定されたカウントの総和に対する、k番目のエネルギーウィンドウで測定されたカウントの比率で与えられる。つまりカウント総和をCsとしたとき、k番目

の入力は Ck/Cs で与えられる。また、出力層から得られる出力は、エネルギーウィンドウ内に含まれるそれぞれの核種のプライマリ光子のカウントの比率となる。つまり、この出力に対して、全ウィンドウのカウント総和を乗算することによって実際のプライマリ光子数を推定することが出来る。

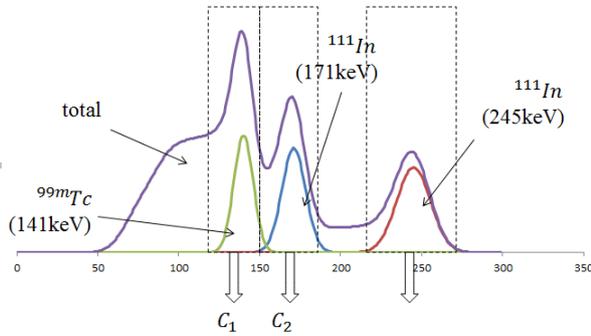


図1 ニューラルネットの概要

3. シミュレーション方法

我々は、それぞれの核種のピーク値と散乱線に沿って 3~7 個のウィンドウを設定した。まず、ANN1 ではそれぞれの核種のエネルギーピークに対し FWHM10% の幅をウィンドウ幅とした 3つのウィンドウを設定した。ANN2 では ANN1 のウィンドウをピーク値で分割したものをウィンドウ幅とし、6つのウィンドウを設定した。ANN3 では ANN1 のウィンドウ設定に加え、散乱線を考慮したウィンドウを設定し、4つのウィンドウを設定した。ANN4 では、ANN3 で設定したウィンドウに加え、さらに散乱線を考慮したウィンドウを設定し、5つのウィンドウを設定した。ANN5では ANN3 で設定したウィンドウをピーク値で分割したものをウィンドウ幅とし、7つのウィンドウを設定した。

ニューラルネットワークの構築には、学習データが必要である。そこで本研究では、学習データをつくるために円柱ファントムを用いた。そして、実際の SPECT 検査の際の光子のふるまいを再現でき、プライマリ光子と散乱光子を別々に測定できるモンテカルロシミュレーションを使用した。ファントムは、高さを無限大とする半径 10cm の水で満たされた大円柱の中に半径 3cm の小円柱を左右に並べた。小円柱は大円柱の中心からそれぞれ 5cm ずつ離れたところに置き、それぞれの核種を配置した。各エリアの濃度は一様とし、ファントムの平面から光子を発生させ、相互作用には光电効果とコンプトン散乱を考慮した。使用したファントムのジオメトリは図2に示す。また、データ収集条件を表1に示す。

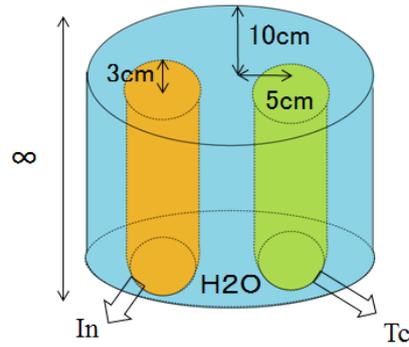


図2 ファントムのジオメトリ

表1 データ収集条件

検出器サイズ	40pixel
投影数	90
コリメータ	パラレルホール
コリメータ間隔	1mm
コリメータの長さ	1.5mm
エネルギー分解能	10%FWHM
教師信号数	160(40x4)
発生光子数	10億個
検出器感度	100%
検出角度	$\pm 3.77^\circ$

さらに、このファントムについてモンテカルロシミュレーションから得られたエネルギースペクトルのうち図3に示される4つの投影角度で得られるエネルギースペクトルを教師信号として使用した。エネルギースペクトルは各方向40個ずつの計160個とした。この4方向ですべての方向のエネルギースペクトルのパターンを表していると考えた。

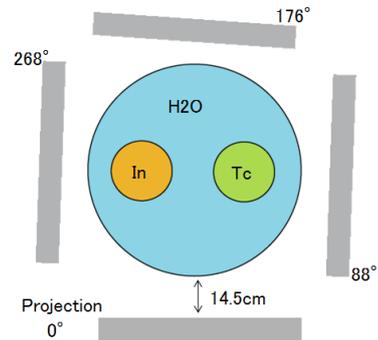


図3 教師信号として使用した投影角度

この学習から得られたパラメータを使用し、3次元ファントムでのシミュレーションを行った。この際使用したファントムを図4.5に示す。また、データ収集条件についてを表2に示す。さらにこのシミュレーションから得られたデ

ータの再構成条件を表3に示す。

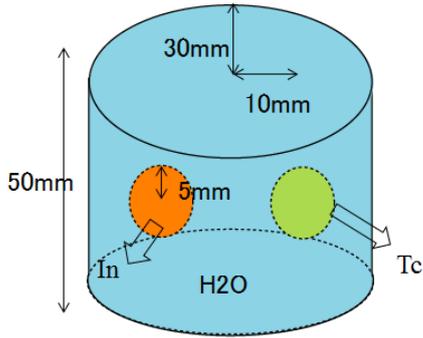


図4 シミュレーションに使用したファントム

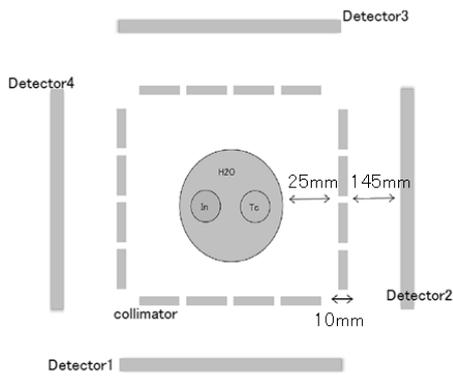


図5 検出器とファントムの距離

表2 データ収集条件

検出器サイズ	256x256 pixel
投影数	28(7x4)
1 投影の回転量	12.8°
検出器のピクセルサイズ	0.1035cm
コリメータ	9 ピンホール
ピンホールサイズ	半径 0.14cm
開口角	30°
物体中心とコリメータの距離	2.5cm
コリメータと検出器の距離	14.5cm
発生光子数	10 億個
ヘリカルでの移動量	8mm/step
エネルギー分解能	10%FWHM
検出器感度	100%

表3 再構成条件(3D/2D)

再構成法	OS-EM/ML-EM
サブセット数	7
反復回数	10/100
画像サイズ	128x128x128/64x64 pixel
ピクセルサイズ	0.05cm/0.3cm

4. 結果と考察

.シミュレーションで得られた結果の再構成画像を図6,7に示す..

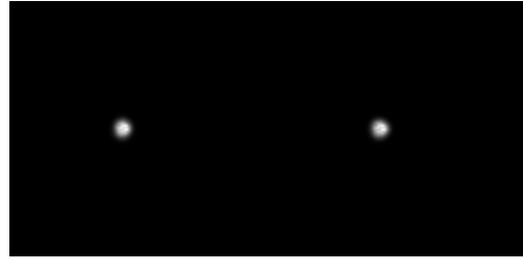


図6 In-111 のプライマリ画像(左)と分離画像(右)

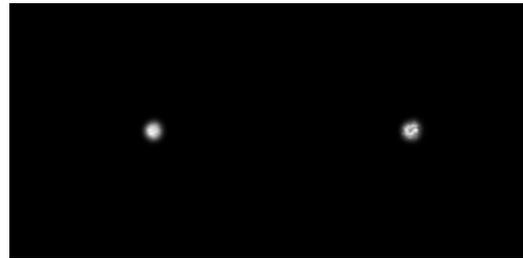


図7 Tc-99m のプライマリ画像(左)と分離画像(右)

図8,9に In-111 の ANN1~5 とプライマリの再構成画像のプロファイルを,図10,11に Tc-99m の ANN1~5 とプライマリの再構成画像のプロファイルを示す.

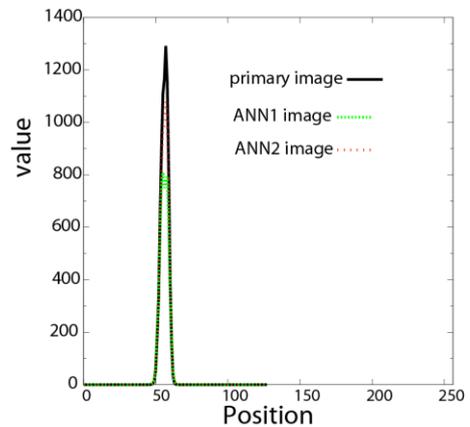


図8 In-111 のプロファイル画像(primary,ANN1,2)

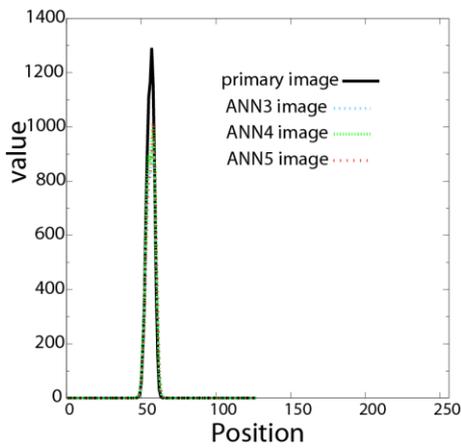


図 9 In-111 のプロフィール画像(primary,ANN3,4,5)

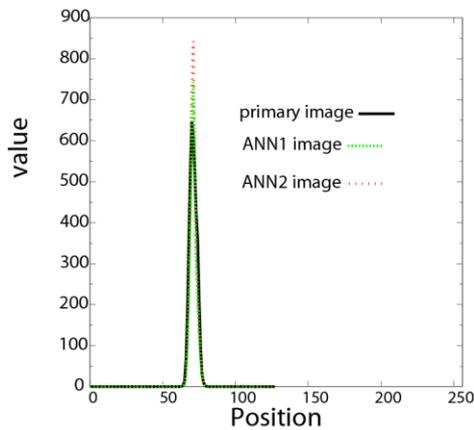


図 10 Tc-99m のプロフィール画像(primary,ANN1,2)

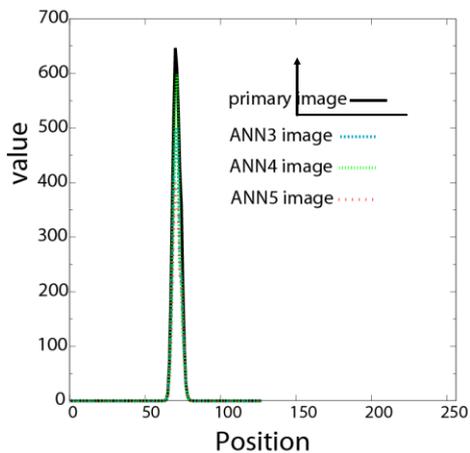


図 11 Tc-99m のプロフィール画像(primary,ANN3,4,5)

再構成画像より関心領域の RMSE を ANN ごとに求めた。この結果から、Tc-99m の分離には ANN3,4 を、In-111 の分離には ANN1,2 がよいという結果が得られた。目的の核種に応じて、使い分けることで正確なプライマリ光子の推定が行える。ANN1 は ANN3 に含まれているため、ANN3 が二核種の分離に最適であるという結果が得られた。本論文では、同時収集型 SPECT における Tc-99m と In-111 の分離について論じた。実際の小動物 SPECT 装置を想定した条件で作成した 3D ファントムに対して、ニューラルネ

ットを使い、二核種を正確に分離することが出来た

参考文献

- 1) A.Matsunaga and K.Ogawa, "Scatter correction in multiradioclide data acquisition by means of a neural network" Conf. Rec. IEEE Nucl. Sci. Symp. Med. Imag. Conf., vol.2, pp.948-952,