

**科学研究費助成事業 研究成果報告書**

平成 29 年 5 月 19 日現在

機関番号：11301

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2014～2016

課題番号：26460717

研究課題名(和文)核医学画像統計解析における画像標準化の基礎的研究

研究課題名(英文)Basic study of image standardization for statistical analysis of nuclear medicine images.

研究代表者

四月朔日 聖一(Watanuki, Shoichi)

東北大学・サイクロトロン・ラジオアイソトープセンター・助手

研究者番号：30210967

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 1,400,000円

研究成果の概要(和文)：本研究の目的は核医学画像の統計解析において信頼性のある画像を撮像するための収集条件をシミュレーションから得る可能性を検討することである。そこでGant4ベース断層装置シミュレーション・ソフトウェアGATEによりPET装置SET-3000BX(島津製作所)のモデルを作成し、これが実機を適正に表現できるかを実データと比較し確認した。NEMA NU 2-2007規格による分解能・感度測定とホット球ファントム画像と比較した結果、実用的なSET-3000BXのシミュレーション・モデルを作成できた。また、ホット球ファントムを用いて統計学的画像解析を行い画像処理条件に関する知見も得ることができた。

研究成果の概要(英文)：This study aimed to investigate the effectiveness of simulation as the method to define standard data acquisition and processing of nuclear medicine images for reliable statistical analysis. To this aim, we simulate the SET-3000BX (Shimadzu Co.) PET scanner by Geant4 Application for Tomographic Emission (GATE) simulation software and compared the simulated data with an experimental PET data to confirm that the simulated scanner represents the real PET scanner sufficiently. We validated the simulated data by measurements of resolution and sensitivity according to the NEMA NU 2-2007 standard and a hot sphere phantom imaging. The simulated PET scanner could represent the SET-3000BX scanner successfully, and we also obtained the knowledge of the property of image processing in the statistical image analysis were obtained with statistical image analysis of the hot sphere phantom images.

研究分野：核医学

キーワード：PET シミュレーション GATE 統計学的画像解析

## 1. 研究開始当初の背景

(1)核医学ではSPM等のソフトウェアを用いた画像の統計学的な解析による脳機能測定や診断が行われている。しかし解析に用いる画像の画質が変化するとその結果の信頼性や再現性に影響する。このため多施設共同研究ではデータ収集法の標準化により装置間での画質を調整し、解析する画像を常に一定レベル以上に保つことが課題となる。この課題を解決するために一般的にはファントムを撮像した画像による評価が行われる。しかし、この方法ではファントムの調整の正確性やその再現性に不確定な部分があり、また統計解析による評価自体が行われないため解析に使用する画像データに十分な質が保証されているとは言えない。

(2)そこで、PET装置をコンピューター・シミュレーションすることで評価画像の測定条件に再現性を持たせることを考えた。さらにシミュレーションにより得られた複数の画像を用いて統計画像解析まで行い結果を評価し装置や薬剤ごとに統計解析のための標準的なデータ収集条件を事前に決定することが有効であると考えた。

## 2. 研究の目的

(1)本研究の目的は核医学画像の統計解析において信頼性のある画像を撮像するための標準的な収集条件をコンピューター・シミュレーションにより得る可能性を検討することである。

(2)このために放射線計測分野のシミュレーション・ツール Gant4 を基にした断層装置シミュレーション・ソフトウェア GATE を用いて PET 装置 SET-3000BX (島津製作所)のシミュレーション・モデルを作成し、これが実際の装置を十分に表現できているかを実際の実験により得たデータと比較し確認することを目指した。

## 3. 研究の方法

### (1)装置モデルの作成

GATE による PET 装置実機のモデル化のシミュレーション計算は専用のワークステーション (DELL PRECISION T3610) により行った。装置構造は公表されている装置仕様に従った。

シミュレーションにより最終的に得られる同時計数データに対する検出信号処理系のパラメータの決定を行った。18-F を満たした円筒ファントムを PET 装置でダイナミック・スキャン (185 MBq - 3.7 MBq) し得られたプロンプト同時計数と遅延同時計数の時間的な変化とシミュレーションが一致するよう各パラメータを調整し求めた。

### ノーマライズ・データの作成

装置モデルでは各検出器結晶の感度はすべて同じとした。しかし消滅光子の同時計数では結晶対の幾何学的な位置関係の違いによる感度差が生じ、これにより画像にアーチファ

クトが発生する。このためシミュレーション・データの画像化には感度を補正するためのノーマライズ・データが必要となる。そこで実機と同様に円筒ファントムとリング・ファントムによる測定をシミュレーションしノーマライズ・データを作成した。

### (2)装置モデルの検証

NEMA 規格測定によるシミュレーション・モデルの評価

NEMA NU 2-2007 規格に従った分解能・感度測定を実験とシミュレーションで行いその結果を比較し、作成した PET 装置モデルが実際の装置をどれだけ適切に表現しているかを評価した。分解能測定は装置視野中心から 1 cm と 10 cm の位置に置いた点状の 18-F 線源を用いて行った。評価は横断面と体軸方向について半値幅 (FWHM) と 1/10 値幅 (FWTM) の比較により行った。感度は内径 1.0 mm 長さ 70 cm のチューブに 18-F を満たした線源と 5 種類のアルミ筒による測定により求めた。

### ホット球ファントム画像による評価

内径 19 cm 長さ 15.7 cm の円筒内に球状の 6 つのインサート (内径 37 mm, 28 mm, 22 mm, 17 mm, 13 mm, 10 mm) を持つファントムについて実験とシミュレーションにより得られた画像を作成した。球の放射能濃度はバックグラウンドに対し 50% 増しの濃度として行った。バックグラウンドと球領域に関心領域を置きその平均値と変動係数を比較し評価した。

(3)ホット球ファントム画像による PET 画像の統計解析

前記のホット球ファントムについて画像統計解析ソフトウェア SPM8 によるホット球領域の検出能について評価した。ファントムは 2 種類のバックグラウンド放射能濃度について球内の放射能濃度を変えながらリスト・モードにて撮像した。各撮像データからブートストラップ法を用いて異なる撮像時間でのサンプル画像をそれぞれ作成した。これらの画像について SPM8 を用いて統計解析しその結果を評価した。

## 4. 研究成果

### (1)装置モデルの作成

装置モデルの構造はより実際の装置に近づけるため検出器系だけでなく検出器周りの構造である検出器ケース、シールド、ガントリー外装も含めて行った (図 1)。

検出信号処理系のパラメータ (図 2) はエネルギー分解能、エネルギー・ウィンドウ 440-624 keV、コインシデンス・ウィンドウ 10 ns、シングル・デッドタイム 麻痺型 100 ns + 非麻痺型 100 ns、コインシデンス・デッドタイム 非麻痺型 100 ns が得られた。この条件によるファントム実測データとシミュレーションでの計数率の違いは、実用的な範囲の放射能 (7.4 MB - 74 MBq) で 5 % 以

下とすることができた (図 3)。

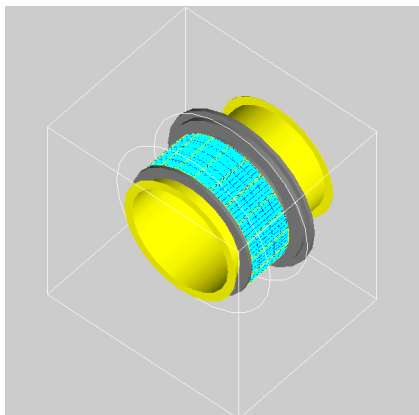


図 1: GATE による SET-3000BX シミュレーション・モデルの外観 (青: 検出器リング、グレー: 鉛シールド、黄: 装置トンネル外装)

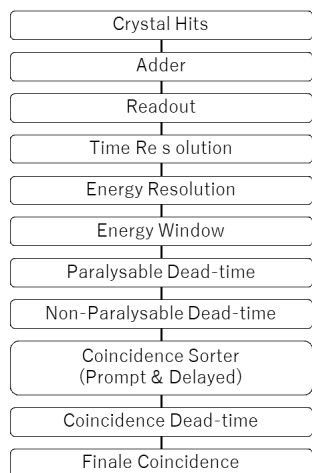


図 2: シミュレーションにおける信号処理ダイアグラム

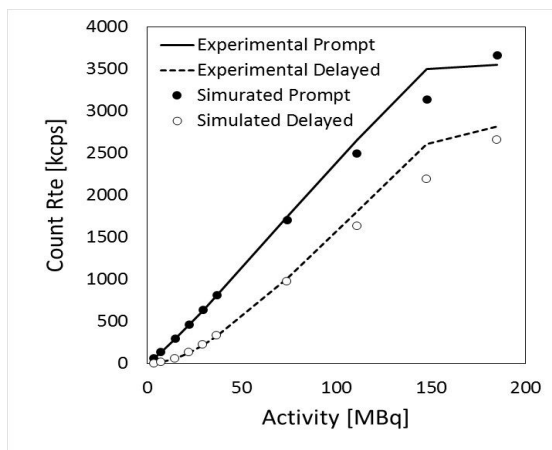


図 3: 円筒ファントムでの実測データとシミュレーション・データとの比較

ノーマライズ・データの作成  
ノーマライズ・データのシミュレーションでは計算時間を短縮するため線源を 18-F ではなく back-to-back 線を用い計算した。シミュレーションにより作成した補正データを用いて円筒ファントムのシミュレーション

ン・データの画像再構成を行いアーチファクトを抑制できることが確認できた (図 4)。

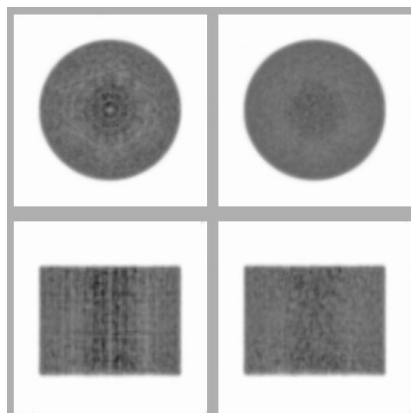


図 4: シミュレーション用ノーマライズ・データ適用前 (左) と適用後 (右) のシミュレーション・ファントム画像

## (2) 装置モデルの検証

### 装置分解能

横断面内は FWHM はシミュレーションの方が低い値であったが 8 - 20% の範囲での一致を示した。体軸方向ではほぼ等しい値を示した。また FWTM は横断面・体軸方向共に 16% 以下の範囲で一致した (表 1、2)。

Position from Center (cm)	Direction	Experimental		Simulated	
		FWHM (mm)	FWTM (mm)	FWHM (mm)	FWTM (mm)
1	Radial & Tangential Average	4.3	9.4	3.3	10.9
	Radial	5.4	10.8	4.3	9.3
10	Tangential	4.4	9.7	4.0	9.8

表 1: 横断面分解能の実験とシミュレーションでの結果

Position from Center (cm)	Experimental		Simulated	
	FWHM (mm)	FWTM (mm)	FWHM (mm)	FWTM (mm)
1	4.3	9.4	4.4	10.8
10	4.4	9.7	4.4	10.8

表 2: 体軸方向分解能の実験とシミュレーションの結果

### 感度測定

装置感度はシミュレーション・モデルの方が 25% 高い値となった (表 3)。感度測定は低い放射能 (3MBq) で測定するため、実用域レベルの放射能で調整した信号処理系のパラメータが当てはまらなかった可能性が考えられた。今後、より広い放射能レンジに対応できるようにするにはパラメータの再調整が必要と考えられた。

Position from Center (cm)	Experimental (cps/kBq)	Simulated (cps/kBq)
1	17.9	22.4
10	18.3	22.9
Ratio	0.98	0.98

表 3: 感度測定の実験とシミュレーションの結果

ホット球ファントムによる検証

ホット球ファントムの実測データとシミュレーション・データの総計数は実測データの方が 13%高い値を示したが視覚的にはシミュレーションの方が若干鮮明な画像となった(図5)。ファントム・バックグラウンドの変動係数も実測画像の 10.4%に対しシミュレーション画像で 7.5%とわずかに低い値を示した。これはシミュレーションでは検出器結晶の配列やエネルギー分解能とエネルギー・ウィンドウが理論上すべて適正化しているのに対し実際の装置ではズレが生じていることによる可能性が考えられた。各球のバックグラウンドとの関心領域の平均値の比は 6.2%以内の範囲で一致した(図6)。以上の結果から作成した PET 装置モデルは妥当に実機をシミュレートしていると考えた。

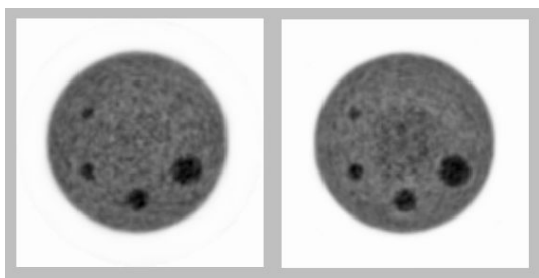


図5：ホット球ファントム画像(左：実測データ画像、右：シミュレーション画像)

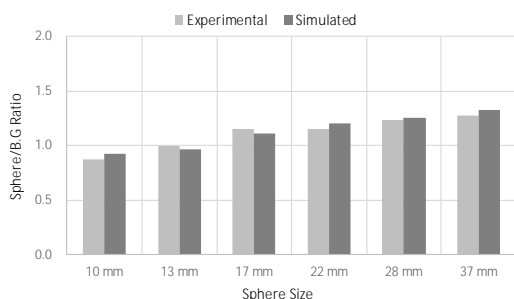


図6：ホット球 ROI 平均値とバックグラウンド ROI 平均値との比

### (3) ホット球ファントムによる PET 画像の統計解析

バックグラウンドと同じ球放射能濃度の画像セットをベースとして 10%、20%、50%、100%放射能濃度を増した球ファントム画像とを SPM8 で統計解析した。画像のセットは 6.5 MBq/ml と 2.5 MBq/ml の 2 種類のバックグラウンド放射能濃度の画像について 5 分、10 分、20 分スキャン、8 mm と 12 mm 平滑化、画像サンプル数 10、20、30 についてそれぞれ 5 セット作成し解析を行った。ホット球領域の検出能を球領域内の画像ボクセル数に対する SPM 解析で有意差ありとされた球領域内のボクセル数の割合で評価した。研究期間内でシミュレーション計算を終了できなかったため解析は実験データのみで行った。50%以上増加ではほぼすべての球で 1.0 であった。10%増加の 22 mm 球の結果で

は 12 mm 平滑化の方が 8 mm よりも良い値を示す結果が得られた(図7(A)対(B)と(C)対(D))。また、バックグラウンドの放射能濃度が低い場合では 20 分スキャン、30 サンプルでも 17 mm 以下の球で検出されない場合があった(図8)。ただし、13 mm 球では 10 mm と 17 mm とは異なる傾向を示した。これは、単一の実験データをもとにサンプルを作成したことが原因である可能性も考えられた。今回はシミュレーション計算が間に合わずシミュレーション・データでの確認ができなかったが、これと比較できれば原因の特定につながると考えられた。実験の信頼性や再現性の点でシミュレーションによる検証の重要性が再確認された。

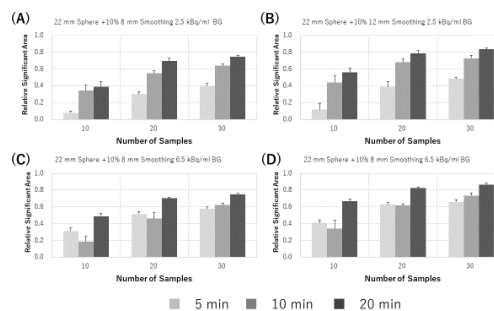


図7：22 mm ホット球領域の検出能

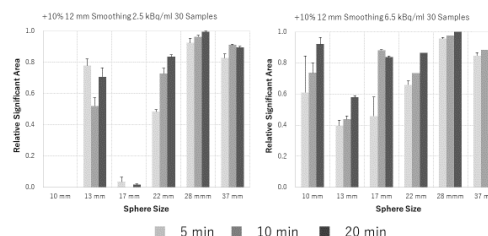


図8：異なる放射能濃度におけるホット球領域の検出能

## 5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

〔雑誌論文〕(計 0 件)

〔学会発表〕(計 0 件)

〔図書〕(計 0 件)

〔産業財産権〕

出願状況(計 0 件)

名称：  
 発明者：  
 権利者：  
 種類：  
 番号：  
 出願年月日：

国内外の別：

取得状況（計 0 件）

名称：

発明者：

権利者：

種類：

番号：

取得年月日：

国内外の別：

〔その他〕

ホームページ等

[http://www.cyric.tohoku.ac.jp/index\\_j.html](http://www.cyric.tohoku.ac.jp/index_j.html)

## 6．研究組織

### (1)研究代表者

四月朔日 聖一 (WATANUKI, SHOICHI)

東北大学・サイクロトロン・ラジオアイソ

トープセンター・助手

研究者番号：30210967

### (2)研究分担者

田代 学 (TASHIRO, MANABU)

東北大学・サイクロトロン・ラジオアイソ

トープセンター・教授

研究者番号：00333477

### (3)連携研究者

渡部 浩司 (WATABE, HIROSHI)

東北大学・サイクロトロン・ラジオアイソ

トープセンター・教授

研究者番号：40280820

### (4)研究協力者

( )