

令和元年6月25日現在

機関番号：34324

研究種目：若手研究(B)

研究期間：2016～2018

課題番号：16K19865

研究課題名（和文）SPECT・PETにおける普遍的かつ高精度な雑音除去法に関する研究

研究課題名（英文）Study on useful and high accuracy noise reduction method in SPECT and PET

研究代表者

松本 圭一（MATSUMOTO, Keiichi）

京都医療科学大学・医療科学部・准教授

研究者番号：60393344

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 2,500,000円

研究成果の概要（和文）：本研究では、画像を空間周波数成分と位置情報に分解できるウェーブレット変換を利用した核医学画像の雑音除去手法（Weighted Bayes Wavelet Shrinkage method；WBWS法）を開発し、数値ファントムと3次元脳ファントムを用いて頻用されているフーリエ変換を利用した雑音除去手法と比較検討を行った。WBWS法はフーリエ変換を利用した雑音除去法と異なり、術者が各種条件設定をすることなく、効果的に雑音除去することが可能であった。

研究成果の学術的意義や社会的意義

術者が経験や知識に基づいて任意の処理条件設定を行う必要がないウェーブレット変換を利用した開発手法（Weighted Bayes Wavelet Shrinkage method）は、核医学画像における量子雑音を局所的、効率的かつ簡便に除去することが可能であり、一般臨床核医学検査における定量性、再現性、および標準化に大きく貢献する可能性が示唆された。また、医療被ばくの最適化や更なる医療被ばく線量の低減にも貢献することが示唆された。

研究成果の概要（英文）：The purpose of this study was to develop a novel Poisson noise reduction method of the nuclear medicine images based Bayes Wavelet Shrink technique. A present method was evaluated to a digital brain phantom (produced by Japanese Society of Nuclear Medicine Working Group) with statistical noise and a Hoffman 3-D brain phantom. Quality of the reconstructed images was evaluated in terms of mean structural similarity values and normalized mean square error. A present method was effective improvement of image quality can be expected by comparison with a Butterworth filter. Also, this method was considered clinical useful and a widely available simple method.

研究分野：放射線科学・医療画像情報解析学

キーワード：量子雑音除去 ウェーブレット変換 核医学画像 SPECT PET

様式 C - 19、F - 19 - 1、Z - 19、CK - 19 (共通)

1. 研究開始当初の背景

放射線を用いて診断や治療などを行う放射線医学は120年以上の歴史を持ち、今日の臨床医学診断において必要不可欠な重要な役割を担っている。その中でも放射性同位元素 (Radioisotope; RI) で標識された放射性医薬品を被検者に投与して画像診断したり、RI 内用療法したりする核医学は、脳血管障害、軽度認知障害および虚血性心疾患の診断技術、かつ非侵襲的な治療技術として広く普及しているだけでなく、がん治療における Theranostics や分子イメージング研究における画像バイオマーカーとしても期待されている。一般的な核医学装置は、単光子放射断層撮影 (SPECT) と陽電子放射断層撮影 (PET) であり、被検者の回りに配置した複数の放射線検出器で体外測定した複数方向の投影データを画像再構成して、生体内に投与された極めて微量な放射性医薬品の体内放射能分布を画像化している。

しかしながら、SPECT や PET は X 線 CT に代表される他の放射線画像と比較して量子雑音が多いため、医療従事者 (主に診療放射線技師) が経験や知識に基づいた任意の雑音除去処理を施している。SPECT や PET で頻用されている雑音除去法はフーリエ変換を用いた手法であり、他の放射線画像と比較して空間分解能が低い、すなわち高周波成分に信号成分が少ないと仮定した低域通過フィルタ (Butterworth フィルタや Gaussian フィルタ) を周波数空間で投影データに施す方法である。このフィルタは、医療従事者が各種パラメータ設定を行う必要があるため、再現性、標準化および EBМ (Evidence-based medicine) 構築の妨げになっているだけでなく、画像の位置情報が失われる周波数空間でフィルタ処理を施すため、放射能分布に依存した適切な雑音除去ができない欠点も有している。

一方、局所周波数解析の1つであるウェーブレット変換は多重解像度解析とも呼称され、画像を周波数成分と位置情報に分解することができる。ウェーブレット変換を用いた雑音除去処理は被検者の被ばく線量低減を目的に、乳房や胸部の X 線画像にも適用されつつあり、中でもウェーブレット縮退法 (IEEE Transactions on Image Processing, 2000; 9(9):1532-1546) はベイズ推定を用いて雑音の標準偏差を推定し、高周波成分に多く存在する雑音を閾値処理にて除去する方法である。

しかしながら、本手法はガウス雑音の除去に効果的であるため、ポアソン分布に従う SPECT や PET の量子雑音に対して雑音除去の効果が低く、かつ低周波成分にも含まれる雑音を除去できない問題点を有している。

コンピュータシミュレーションを用いた先行研究で、スケーリング関数に依存した重み付け閾値を用いるウェーブレット縮退法が有用であると報告された一方で、SPECT や PET では定量性向上を目的に行われる減弱や散乱線補正によって雑音の伝播が生じるため実用化されている各種補正法、分子イメージング研究を想定した超低カウント収集および高精度 Hybrid SPECT 画像再構成法 (科学研究費助成事業課題番号: 25861131) にも適用できる普遍的かつ精度の高い雑音除去法を研究開発する必要があった。

2. 研究の目的

本研究では、医療従事者が処理条件を設定せず、かつ画像の位置情報を保持したまま SPECT や PET の局所的な雑音除去ができる「Weighted Bayesian Wavelet Shrinkage method (WBWS 法)」を開発し、数値ファントムと汎用型二検出器型ガンマカメラ装置を用いて SPECT 収集した3次元脳ファントム画像で開発手法の有用性を検証することを目的とした。また、創薬研究や分子イメージング研究を想定した超低カウント収集に適用できるかも研究目的とした。

3. 研究の方法

(1) Weighted Bayesian Wavelet Shrinkage 法の開発

パーソナルコンピュータ Optiplex 9020 (Intel®Core™i5-4570 CPU@3.20GHz 3.20GHz, 実装メモリ 8.00GB, 64ビットオペレーティングシステム) を用いて、C 言語で研究開発した (開発環境、Cygwin; version 2.10.0)。WBWS 法は Daubechies の基底関数を用いて離散ウェーブレット変換し、ベイズ推定 (BayesShrink 法) を用いて推定した雑音の標準偏差に対してスケーリング関数に依存した重み付けを行って閾値処理による雑音除去を行った。

(2) 数値ファントムおよび3次元脳ファントムを用いた検討

数値ファントムは一般社団法人日本核医学会が会員に公開しているデジタル脳ファントムを用いた。数値ファントムから SPECT 収集を想定して、総計数が 0.5~5 Mcounts に相当するポアソン雑音を加えた投影データをシミュレートした。

3次元脳ファントム (ホフマン 3D 脳ファントム) は、本学に設置されている汎用型二検出器型ガンマカメラ装置 (Millennium MG; GE ヘルスケア・ジャパン社製) に低エネルギー用高分解能型コリメータを装着して SPECT 収集した。数値ファントムと同様に量子雑音の異なる投影データを実測するため、1方向当たりの収集時間を変化させ、総計数を変化させた。1方向 (1投影データ) あたりの総カウントを 10~120 kcounts/projection とし、収集マトリクスサイズを 128×128、画素サイズを 1.7 mm、またエネルギーウィンド法による散乱線補正を行うためサブウィンドウを設けて SPECT 収集した。

数値ファントムおよび散乱線補正を行ったホフマン 3D 脳ファントムの投影データは、WBWS 法と Butterworth フィルタによる統計雑音除去処理を施し、フィルタ補正逆投影法で画像再構

成した。また、再構成画像に対して補正マトリクスによる減弱補正を施した。

4. 研究成果

(1) 数値ファントムおよび3次元脳ファントムを用いた検討

Butterworth フィルタは総計数に依存してポアソン雑音の程度が異なるため、処理条件に依存して雑音除去効果が異なった。特に総計数が少なく(0.5 Mcounts)、遮断周波数が高い場合(0.4 cycles/pixel)には、雑音除去効果が著しく低下するため、構造的類似指標も著しく低値を示した。一方で、WBWS法はポアソン雑音の程度に依存することなく同程度の雑音除去効果であった(図1)。

Butterworth フィルタは処理条件に依存して、微小構造が不明瞭になったり、逆に雑音に埋もれてしまったりした。また、同じ処理条件であっても総計数(ポアソン雑音の程度)に依存して雑音除去効果が異なり、処理条件の最適化が極めて重要であることを如実に反映した結果であった。しかしながら、WBWS法は総計数に依存することなく微小構造を残しつつ、局所的な統計雑音を除去することが可能であると示唆された(図2)。

ホフマン3D脳ファントムをSPECT収集した画像も数値ファントムと同様であり、Butterworthフィルタの処理条件を変化させると微小構造が不明瞭になったり、逆に雑音に埋もれてしまったりした。WBWS法は総計数に依存する異なる同程度の雑音除去効果があり、かつ微小構造が不明瞭になることもなかった。また、実用化されている減弱や散乱線補正を行っても雑音の顕著な伝播を認めず、有用な雑音除去法であることが示唆された(図3)。

しかしながら、1投影データあたりの総カウントが30 kcounts未満

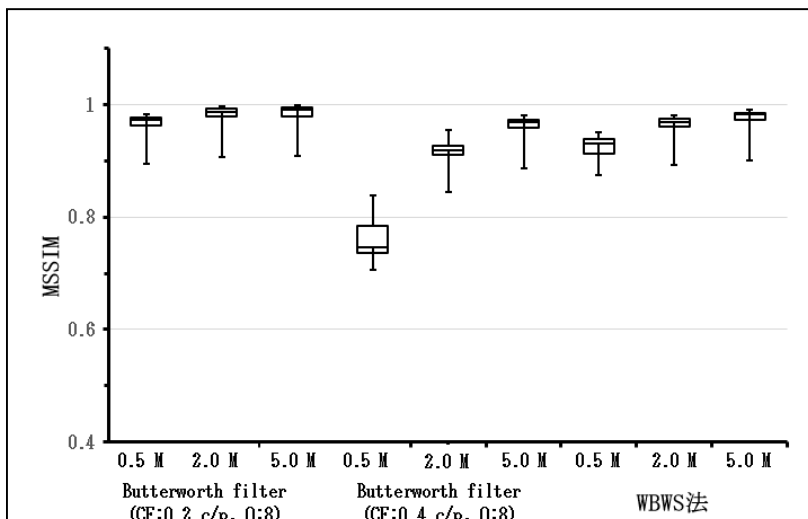


図1 Butterworth フィルタおよびWBWS法による雑音除去を施した数値ファントムの構造類似性指標

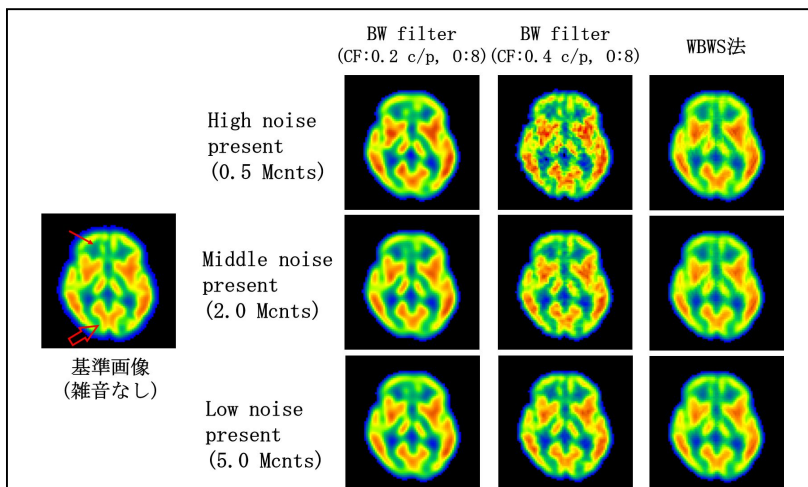


図2 Butterworth フィルタおよびWBWS法による雑音除去を施した数値ファントム画像

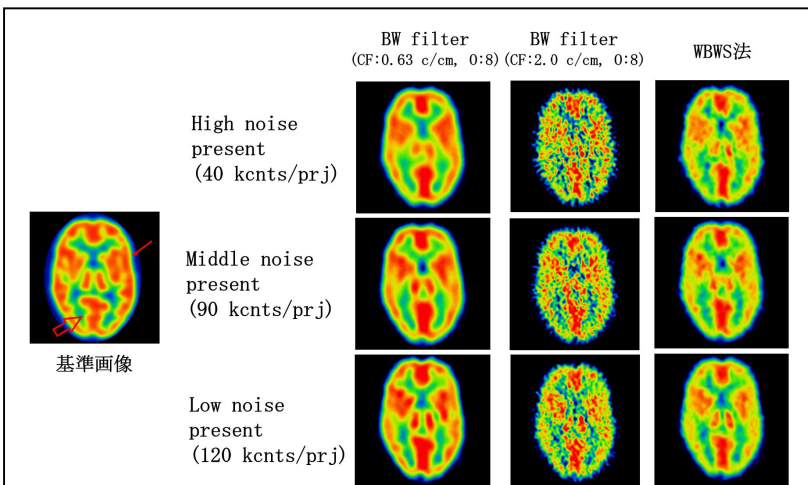


図3 Butterworth フィルタおよびWBWS法による雑音除去を施したホフマン3D脳ファントム画像

になると、効果的に雑音除去できないことが示唆された(図4)。1投影データあたりの総カウントが少ない、言い換えるならば1画素あたりカウントが少ない場合は、相対誤差が大きくなるため閾値処理にて信号と雑音成分を分離できないと考える。

被ばく線量低減を目的とした低投与量収集や創薬研究における短時間収集は超低カウント収集となるため、フーリエ変換やウェーブレット変換を用いた手法で雑音除去を行うのではなく、局所的な画素値の変化に罰則を課す関数を導入した逐次近似画像再構成法の検討が必要であると示唆された。

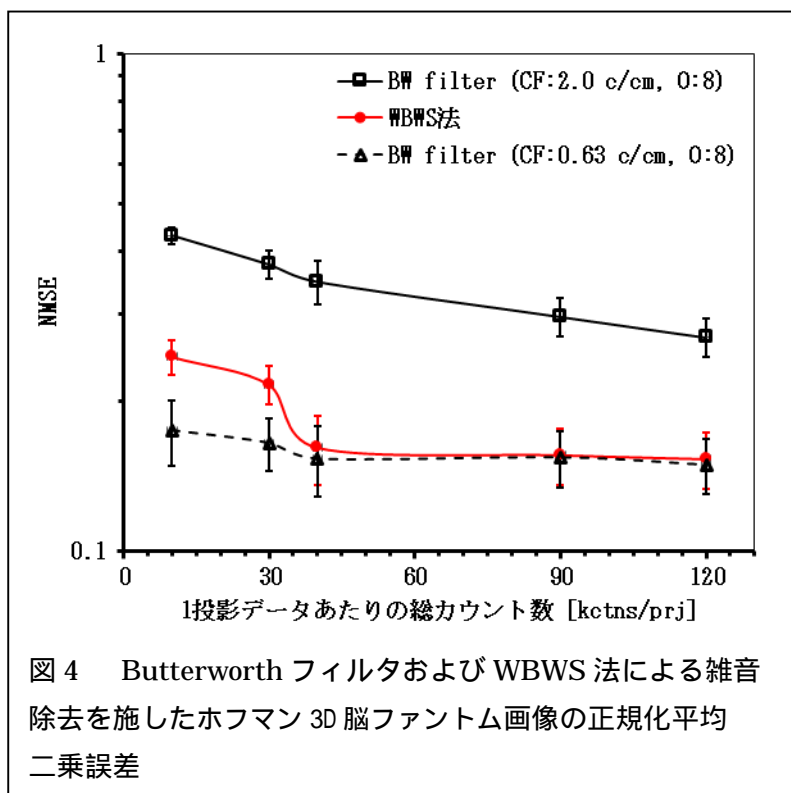


図4 Butterworth フィルタおよびWBWS 法による雑音除去を施した Hoffman 3D 脳ファントム画像の正規化平均二乗誤差

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕(計 2 件)

- Suda M, Onoguchi M, Tomiyama T, Ishihara K, Takahashi N, Sakurai M, Matsumoto K, Kumita SI, The reproducibility of time-of-flight PET and conventional PET for the quantification of myocardial blood flow and coronary flow reserve with (13)N-ammonia, J Nucl Cardiol, 査読有, Vol.23, No.3, 2015, pp.457-472
- Shimizu K, Yamamoto S, Matsumoto K, Hino M, Senda M, Image quality and variability for routine diagnostic FDG-PET scans in a Japanese community hospital: current status and possibility of improvement, Jpn J Radiol, 査読有, Vol.34, No.7, 2016, pp.529-535

〔学会発表〕(計 12 件)

- 松本圭一, PET 画像の画質が良いってどういうこと? - 誰がどうやって決めるの? -, PET サマーセミナー2016in 熊本, 2016
- 松本圭一, SPECT・PET の性能評価、第 44 回日本放射線技術学会秋季学術大会、2016
- Ito Y, Kuniyoshi M, Suetake M, K Mochizuki, Matsumoto K, Endo K, Comparison of the dual-energy window method and the tripleenergy window method for quantitative single photon emission computed tomography, 29th Annual Congress of the European Association of Nuclear Medicine, 2016
- 松本圭一, 和田康弘、村瀬研也、遠藤啓吾、重み付け Wavelet 縮退を用いた脳 SPECT 画像の雑音除去に関する研究、第 56 回日本核医学会学術総会、2016
- 清水敬二、松本圭一、千田道雄、日野恵、奥内昇、山本誠一、デリバリー-FDG-PET/CT 検査における PET 画像の画質についての検討、第 56 回日本核医学会学術総会、2016
- 松本圭一、大崎洋充、辻寿二、遠藤啓吾、PET 撮像施設認証における全身 PET 撮像のためのファントム試験解析ソフトウェアの開発、第 57 回日本核医学会学術総会、2017
- Akamatsu G, Matsumoto K, Suzuki K, Shimada N, Oda K, Senda M, The JSNM strategies for standardization and harmonization of quantitative whole-body FDG-PET studies, The 57th Annual Scientific Meeting of the Japanese Society of Nuclear Medicine, 2017
- 赤松剛、西田広之、井狩彌彦、松本圭一、千田道雄、QIBA FDG-PET/CT profile が求める腫瘍 SUV repeatability のファントム評価、第 57 回日本核医学会学術総会、2017
- Matsumoto K, Ogawa H, Matsumoto Y, Akamatsu G, Senda M, Murase K, Endo K, Evaluation of optimized iterative reconstruction parameters using channelized Hotelling observer in brain receptor PET imaging, 30th Annual Congress of the European Association of Nuclear Medicine, 2016
- 大崎洋充、池本裕貴、上原歩夏、清水賢、野上敬太、柏倉健一、松本圭一、市川吉紀、辻寿二、浜田一男、PET 撮像施設認証における全身 PET 撮像のためのファントム試験解析ソフトウェアの有用性、第 88 回日本核医学会関東甲信越地方会、2018

Ikari Y, Matsumoto K, Akamatsu G, Nishida H, Kimura Y, Oda K, Senda M, Determination of appropriate reconstruction parameters for each of 21 PET scanner models from 6 vendors to meet the society phantom criteria for brain amyloid PET imaging, 31th Annual Congress of the European Association of Nuclear Medicine, 2018
松本圭一、大崎洋充、辻寿二、遠藤啓吾、PET 撮像施設認証における脳 PET 撮像のためのファントム試験解析ソフトウェアの開発、第 58 回日本核医学会学術総会、2018

〔図書〕(計 4 件)

編者 大西英雄、市原隆、山本智朗、株式会社オーム社、核医学検査技術学(改訂 3 版)、2016、464

編者 (公社)日本放射線技術学会出版委員会、望月印刷株式会社、放射線医療技術叢書(37)初学者のための核医学実験入門、2016、141

編者 西谷源展、遠藤啓吾、金芳堂、診療放射線技師国家試験対策全科第 12 版、2017、529

編者 西谷源展、遠藤啓吾、赤澤博之、金芳堂、診療放射線技師国家試験対策全科第 13 版、2019、540

〔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：
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：
国内外の別：

〔その他〕

ホームページ等

<https://www.kyoto-msc.jp/http://>

6. 研究組織

(1)研究分担者

研究分担者氏名：

ローマ字氏名：

所属研究機関名：

部局名：

職名：

研究者番号(8桁)：

(2)研究協力者

研究協力者氏名：中村仁美、荻野友佳子

ローマ字氏名：NAKAMURA Hitomi, OGINO Yukako

科研費による研究は、研究者の自覚と責任において実施するものです。そのため、研究の実施や研究成果の公表等については、国の要請等に基づくものではなく、その研究成果に関する見解や責任は、研究者個人に帰属されます。