

## 科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 28 年 6 月 6 日現在

機関番号：34324

研究種目：若手研究(B)

研究期間：2013～2015

課題番号：25861131

研究課題名(和文) 高分解能および高感度を実現するHybridSPECT画像再構成法に関する研究

研究課題名(英文) Development of advanced data acquisition methods for quantitative SPECT

## 研究代表者

松本 圭一 (MATSUMOTO, Keiichi)

京都医療科学大学・公私立大学の部局等・講師

研究者番号：60393344

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 2,400,000円

研究成果の概要(和文)：本研究では、非対称収集された広角の離散的SPECT投影データに対して補間投影データ法と特殊な逐次近似画像再構成を組み合わせたハイブリッドSPECT画像再構成法の開発に取り込みつつ、汎用型二検出器型ガンマカメラ装置の感度を3年間調査した。数値ファントムおよび脳ファントムの結果から、180度分の投影方向数が8方向でも良好な画質を有し、一般的な臨床検査におけるSPECT撮像時間を1/4～1/8に短縮することのできる有効な手法であると示唆された。また、汎用型二検出器型ガンマカメラ装置の感度は3年間で約±3%以内の変動であった。

研究成果の概要(英文)：The purpose of this study was to develop a Hybrid SPECT reconstruction method by a combination of the asymmetric SPECT acquisition, IPDE (Interpolated Projection Data Estimation) method and modified DRAMA (Dynamic RAMLA) reconstruction algorithm. A Hybrid SPECT reconstruction method was evaluated to a two-dimensional Shepp-Logan head numerical phantom with statistical noise and a 3-D brain phantom. Quality of the reconstructed images was evaluated in terms of mean structural similarity (MSSIM) values. The Hybrid SPECT reconstruction method showed faster resolution recovery with lower noise than the asymmetric SPECT acquisition and IPDE method and yielded acceptable images in 2 or 3 iteration. The sensitivity of a gamma camera was also maintained virtually constant during the 3 years.

研究分野：医歯薬学・医用画像情報解析学

キーワード：SPECT 非対称法 補間投影データ法 逐次近似画像再構成 緩和係数

### 1. 研究開始当初の背景

X線CT、MRI、核医学、超音波などに代表される医用画像診断装置は、今日の臨床医学診断において重要な位置を占めている。代表的な核医学検査である単光子放射断層撮影(SPECT)は、放射性同位元素で標識された放射性医薬品を被検者に投与して体外から放射線計測するものである。一般的に、被検者の回りに対向に配置した2つの放射線検出器を360度回転させて、得られた複数方向の投影データから再構成して3次元的な断層像を得るもので、投与された極めて微量の放射性薬剤の体内放射能分布を画像化することができる。SPECTは、脳血管障害や虚血性心疾患の診断技術として広く有効性が認知されているが、近年では認知症の早期診断や、核医学の中で大きく発展している分子イメージング技術、すなわち治療薬開発におけるバイオマーカーの画像化としても世界的に着目されている。分子イメージング技術としてのSPECTの役割は、人体に対するリスクを最小限に生体内の薬剤挙動や生体組織の機能を画像化し、さらにはバイオマーカーを定量測定することである。

しかしながら、SPECTは測定原理上、量子雑音が多く、かつ医療画像の中でも空間分解能が低いため、今なお様々な研究開発が行われている。SPECT断層像の空間分解能を向上させる手法として、検出器自体の性能を向上させることもさることながら、非対称SPECT収集が報告されている。本収集法は、従来法と比較して角度方向のサンプリング数が見かけ上増加するため、空間分解能の向上やエリアシングアーチファクトの低減に効果的である利点を有するが、量子雑音を低減させることは不可能であり、かつ対向する実投影データが欠如しているため各種補正を行うことが困難である。

一方、SPECT断層像の量子雑音を低減させ、信号対雑音比を向上させる手法として補間投影データ法が提案されている。この方法は、隣接する実投影データから仮想的な投影データを推定するため収集時間の短縮にも貢献できる利点を有するが、実測した投影データから未測定投影データを内挿するためサンプリング角度(投影データ数の減少)に伴って空間分解能が劣化する。

これまでの研究で、非対称SPECT収集と補間投影データ法を組み合わせたHybrid SPECT画像再構成法を考案し、計算機シミュレーションと脳ファントム実験にて、非対称SPECT収集よりもエリアシングアーチファクトを低減できること、補間投影データ法よりも空間分解能を向上できること、

標本化定理から算出される最適投影方向数の $1/2 \sim 1/3$ の投影方向数で高い画質を実現できること、などを明らかにした(2011年 第51回日本核医学会学術総会、松本ら)。その一方で、本手法は微小構造がわずかに不明瞭になる欠点を有しており、空間分解能と

信号対雑音比の更なる向上のためには、新しい概念の導入が必要であった。

### 2. 研究の目的

本研究では、非対称SPECT収集と補間投影データ法を組み合わせたHybrid SPECT画像再構成法の精度をさらに高めるために、動的緩和係数を導入した特殊な逐次近似画像再構成法を適用した「高精度Hybrid SPECT画像再構成法」を開発し、計算機シミュレーションと汎用型二検出器型ガンマカメラ装置で開発手法の有効性を検証することを目的とした。

また、汎用型二検出器型ガンマカメラ装置の均一性と感度を長期間調査し、装置の安定性や均一補正データ(光電子増倍管の感度補正)の測定頻度を推測することも研究目的とした。

### 3. 研究の方法

#### (1) 高精度Hybrid SPECT画像再構成法の開発

パーソナルコンピュータ CF-SX3 (Intel®Core™ i5-4300U CPU@1.90GHz 2.49GHz, 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 2.0.2)。数値ファントムをマトリクスサイズ $256 \times 256$ で作成した。作成した数値ファントムから従来法である対称収集の投影データと非対称収集の投影データを180度分の投影方向数を変化させて3種類作成した。次に、非対称収集の投影データに対して補間投影データ法を適用して投影データ数を倍増させた投影データを作成した。全ての投影データは総計数が1から10 Mcountsに相当するポアソン雑音を加えて、量子雑音の異なる投影データをシミュレートした。

また、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)に低エネルギー高分解能型コリメータを装着して脳ファントムをSPECT収集した。数値ファントムと同様に180度分の投影方向数を変化させて、対称収集と非対称収集の投影データをSPECT収集した。SPECT収集した非対称収集の投影データには補間投影データ法を適用し、仮想投影データを含んだ投影データを作成した。

数値ファントムと脳ファントムにおける対称収集および非対称収集の投影データは、フィルタ補正逆投影法で画像再構成を行い、補間投影データ法を適用した非対称収集の投影データは動的緩和係数を最適化した逐次近似画像再構成法を用いて画像再構成した。

#### (2) ガンマカメラ装置の長期間安定性

汎用型二検出器型ガンマカメラ装置における各検出器の均一性および感度から、装置の長期間安定性を調査した。ガンマカメラ装

置の均一性および感度は、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測定した。各検出器の均一性および感度を月 1 回の頻度で測定し、(社) 日本画像医療システム工業会規格 JESRA X-0051\*B-2009 および JESRA X-0067\*B-2010 に準拠して UFOV (useful field of view) と CFOV (central field of view) の積分および微分均一性を算出した。また、線源容器内の放射能は標準線源とウェル型シンチレーションカウンタを用いて測定した。

#### 4. 研究成果

##### (1) 高精度 Hybrid SPECT 画像再構成法の開発

高精度 Hybrid SPECT 画像再構成法は、対称収集 (従来法) や非対称収集よりも、顕著にエリアシングアーチファクトや量子雑音を低減できるだけでなく、微小構造も明瞭に描出できることが明らかとなった (図 1、図 2)。一方で、極端に量子雑音が多い場合には、微小構造の描出が雑音に埋もれてしまうことも明らかとなり (図 2)、局所周波数解析による雑音除去の必要性が示唆された。

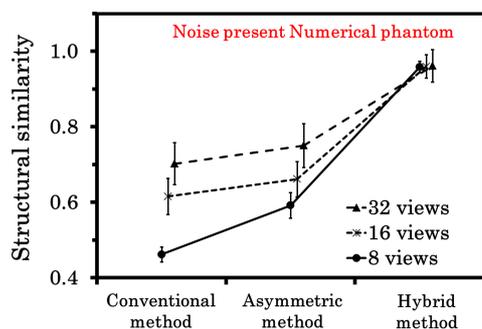


図 1 各手法と各投影方向数における構造類似性指数

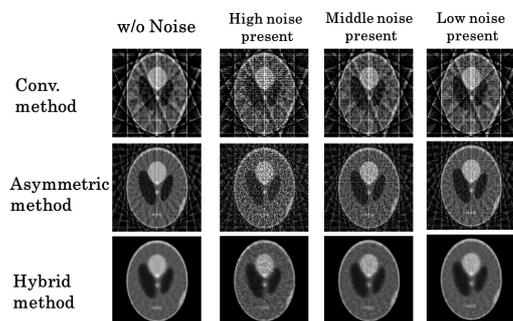


図 2 投影方向数 8 における各手法の数値ファントム画像

##### (2) ガンマカメラ装置の長期間安定性

汎用型二検出器型ガンマカメラにおける各検出器の均一性および感度の変動を明らかにした (図 3、図 4)。2013 年 11 月と 2015 年 9 月に装置の不具合が発生したため均一性

が不良となったが、それ以外の期間では概ね  $\pm 2\%$  以内の変動であった (図 3)。

各検出器の感度は装置の不具合発生時に感度低下となったが、全期間で約  $\pm 3\%$  以内の変動であった。また、夏季に感度低下となる傾向が示唆され、1 年間に複数回均一補正データを測定する必要があると考えられた。

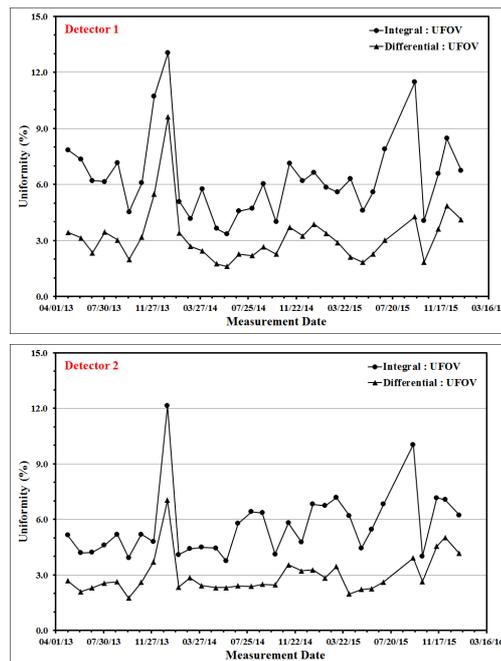


図 3 各検出器における積分および微分均一性の変動

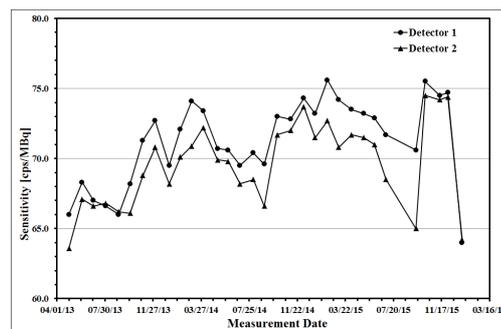


図 4 各検出器の感度変動

汎用型二検出器型ガンマカメラ装置の安定性は十分に高いと考えるが、シンチレーション検出器の特性から僅かながら変動があり、年間通して同等ではない。高精度 Hybrid SPECT 画像再構成法は、SPECT 収集する投影データ数が少なくても良質な再構成画像を得ることができる一方で、極端に量子雑音が多い場合には微小構造の描出が雑音に埋もれてしまい、有効性を十分に発揮できない。

臨床検査では被検者の状態や装置の特性など様々な要因によって量子雑音が多くなる可能性があるため、提案手法を実用化するためには位置情報を失わない新しい雑音低減処理法を SPECT 収集した投影データに適用する必要がある。今後、画像を周波数成分と

位置情報に分解する局所周波数解析を用いた雑音低減法を開発し、実用化に向けた高精度 Hybrid SPECT 画像再構成法についてさらなる検討を行う(図5)。

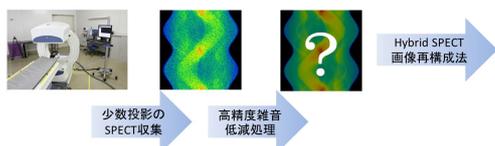


図5 実用化に向けた高精度 Hybrid SPECT 画像再構成法

## 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 8 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 <sup>13</sup>N-ammonia. J Nucl Cardiol, 査読有, 0(1), 2015, 1-16 (Online)

松本圭一. SPECT・PET の画像再構成法(逐次近似法). 日本放射線技術学会雑誌, 査読無, 71(1), 2015, 66-71

松本圭一. SPECT・PET の画像再構成法(FBP法). 日本放射線技術学会雑誌, 査読無, 70(12), 2014, 1496-1504

Fukukita H, Suzuki K, Matsumoto K, Terauchi T, Daisaki H, Ikari Y, Shimada N, Senda M. Japanese guideline for the oncology FDG-PET/CT data acquisition protocol: synopsis of Version 2.0. Ann Nucl Med, 査読無, 28(7), 2014, 693-705

Miyake KK, Matsumoto K, Inoue M, Nakamoto Y, Kanao S, Oishi T, Kawase S, Kitamura K, Yamakawa Y, Akazawa A, Kobayashi T, Ohi J, Togashi K. Performance evaluation of a new dedicated breast PET scanner using NEMA NU4-2008 standards. J Nucl Med, 査読有, 55(7), 2014, 1198-1203

福喜多博義, 鈴木一史, 松本圭一, 寺内隆司, 大崎洋充, 井狩彌彦, 島田直毅, 千田道雄. がん FDG-PET/CT 撮像法ガイドライン(Ver.2.0)の概要. 核医学, 査読無, 51(2), 2014, 1-17

福喜多博義, 織田圭一, 白石貴博, 鈴木一史, 西田広之, 松本圭一, 寺内隆司, 坂本攝, 西尾知之, 井狩彌彦, 千田道雄, 木村裕一, 大崎洋充, 島田直毅. がん FDG-PET/CT 撮像法ガイドライン第2版. 核医学技術, 査読無, 33(4), 2013, 377-420

松本圭一, 遠藤啓吾. 二種類の FDG-PET ガイドラインに対応した解析ソフトウェアパッケージの開発. 日本放射線技術学会雑誌, 査読有, 69(6), 2013, 648-654

〔学会発表〕(計 11 件)

松本圭一, 高橋康幸, 村瀬研也, 高木昭浩, 和田康弘, 遠藤啓吾. Hybrid SPECT 画像再構成法に関する研究. 第 55 回日本核医学会学術総会. 2015 年 11 月 5-7 日, ハイアット リージェンシー東京(千代田区)

清水敬二, 日野恵, 松本圭一, 藤本孝弘, 小川敦久, 山本誠一. 骨シンチ診断支援システムを用いた異なる機種間の癌骨転移診断能の検討. 第 55 回日本核医学会学術総会. 2015 年 11 月 5-7 日, ハイアット リージェンシー東京(千代田区)

Matsumoto K, Takahashi Y, Takaki A, Murase K, Wada Y, Watanabe Y, Endo K. Development of advanced data acquisition methods for quantitative single photon emission computed tomography. Annual Congress of the European Association of Nuclear Medicine. October 10-14, 2015. Hamburg, Germany. Eur J Nucl Med Mol Imaging 2015;42(Suppl. 1):S358(P038).

Shimizu K, Hino M, Matsumoto K, Yamamoto S. Comparison of capability of diagnosis supporting system between two different gamma cameras for bone scintigraphic images in diagnosing bone metastasis of cancer. Annual Congress of the European Association of Nuclear Medicine. October 10-14, 2015. Hamburg, Germany. Eur J Nucl Med Mol Imaging 2015;42(Suppl. 1):S826(TP034).

松本圭一. 診断画像の画質評価とその有効性 核医学画像の画質評価法. 第 43 回日本放射線技術学会秋季学術大会. 2015 年 10 月 8-10 日, 金沢市文化ホール(金沢市) 大会長企画シンポジウム

松本圭一, 間賀田泰寛, 和田康弘, 村瀬研也, 遠藤啓吾. GMI 社製 PET/SPECT/CT 装置 FX システムにおける SPECT 減弱補正法の開発. 第 54 回日本核医学会学術総会. 2014 年 11 月 6-8 日, 大阪国際会議場(大阪市)

Matsumoto K, Magata Y, Wada Y, Murase K, Watanabe Y, Endo K. An attenuation correction method of preclinical multipinhole SPECT system using modified correction matrix method. Annual Congress of the European Association of Nuclear Medicine. October 18-22, 2014. Gothenburg,

Sweden. Eur J Nucl Med Mol Imaging 2014;41(Suppl. 2):S399(P146).

松本圭一, 福喜多博義, 鈴木一史, 西田 広之, 井狩彌彦, 織田圭一, 木村裕一, 島田直毅, 白石貴博, 寺内隆司, 千田道雄. がん FDG PET/CT 撮像法標準化における SUV の検証. 第 53 回日本核医学会学術総会. 2013 年 11 月 8 日-10 日, 福岡国際会議場 (福岡市)

Matsumoto K, Suzuki K, Fukukita H, Ikari Y, Oda K, Kimura Y, Sakamoto S, Shimada N, Shiraishi T, Nishio T, Nishida H, Terauchi T, Senda M. Variability in PET quantitation within a multicenter studies in Japan. Annual Congress of the European Association of Nuclear Medicine. October 19-23, 2013. Lyon, France. Eur J Nucl Med Mol Imaging 2013;40(Suppl. 2):S305(P025).

清水敬二, 松本圭一, 四井哲士, 三船祐輔, 日野恵, 千田道雄, 山本誠一. デリバリー FDG-PET/CT 検査における PET 画像の画質標準化についての検討. PET サマーマナーセミナー 2013 in 加賀百万石. 2013 年 8 月 25 日-25 日, ホテル日航金沢 (金沢市)

Matsutomo N, Onishi H, Nagaki A, Matsumoto K, Sasaki M. Usefulness of CT iterative reconstruction method for low-dose CT attenuation correction on the accuracy of PET image in obesity phantom study. Society of Nuclear Medicine and Molecular Imaging. June 8-12, 2013. Vancouver, Canada. J Nucl Med 2013;54(Suppl. 2):2607.

〔図書〕(計 5 件)

編者 田中仁 他. 共立出版, 新・医用放射線技術実験 [基礎編] 第 3 版. 著者 松本圭一 他. 7 医用画像情報学 7.3 断層画像 (Transmission CT・Emission CT 画像), 2015, 380-392.

編者 遠藤啓吾. 文光堂, 図解診療放射線技術実践ガイド. 著者 松本圭一. 第 2 章核医学検査技術 1. 核医学の基礎 C. 核医学装置 PET 装置・PET/CT 装置・PET/MR 装置, 2015, 574-582.

編者 遠藤啓吾. 文光堂, 図解診療放射線技術実践ガイド. 著者 松本圭一 他. 第 2 章核医学検査技術 2. 核医学検査法と核医学画像の診断 B. PET 検査と画像読影 腫瘍系, 2015, 704-715.

編者 遠藤啓吾. 文光堂, 図解診療放射線技術実践ガイド. 著者 松本圭一. 第 2 章核医学検査技術 4. 装置の保守・管理方法 PET 装置, 2015, 732-736.

編者 西谷源展. 金芳堂, 診療放射線技師国家試験対策全科改訂 11 版. 著者 松本圭一. 12 章核医学検査技術学, 2015, 429-482.

〔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.kyoto-msc.jp/international/research.html>

6. 研究組織

(1) 研究代表者

松本 圭一 (MATSUMOTO Keiichi)  
京都医療科学大学・医療科学部・講師  
研究者番号: 60393344

(2) 研究分担者

なし ( )  
研究者番号:

(3) 連携研究者

なし ( )  
研究者番号:

(4) 研究協力者

藤田 政来 (FUJITA Masaki)  
村上実冴斗 (MURAKAMI Mikoto)  
和田 竜太 (WADA Ryota)