

コンプトンCTにおけるSSTAを用いた正確な画像再構成

尾川, 浩一 / Ohta, Jin / OGAWA, Koichi / 太田, 仁

(出版者 / Publisher)

電子情報通信学会情報・システムソサイエティ

(雑誌名 / Journal or Publication Title)

電子情報通信学会論文誌. D-II, 情報・システム, II-パターン処理 / 電子情報通信学会論文誌. D-II, 情報・システム, II-パターン処理

(号 / Number)

11

(開始ページ / Start Page)

1725

(終了ページ / End Page)

1732

(発行年 / Year)

2002-11-01

論 文

コンプトン CT における SSTA を用いた正確な画像再構成

尾川 浩一[†] 太田 仁[†]

Image Reconstruction with a Source Space Tree Algorithm for Compton CT

Koichi OGAWA[†] and Jin OHTA[†]

あらまし 本論文ではコンプトン散乱を利用して観測されたデータを用いて、物体の断層面内の放射線源分布を正確に映像化するコンプトン CT の手法を提案する。このようなコンプトン CT における画像再構成法の一つに Source Space Tree Algorithm (SSTA) が提案されている。この方法は、コンプトン散乱角で特定される円錐表面と交差する voxel に重みを加算していくことで線源分布を再構成するというものであり、この際、逆投影空間を構成する voxel と円錐表面の交差判定が必要となる。従来の方法では、この判定に球形領域を用いていたため交差判定を誤り、画像上にアーチファクトを発生させる原因になっていた。提案する方法では球の代わりに立方体を用いて判定を行うことにより、交差判定が正確になりアーチファクトのない画像を再構成することができた。本手法の有効性はシミュレーションによって確認された。

キーワード コンプトン散乱, 画像再構成, SPECT, 画像処理

1. ま え が き

Single Photon Emission CT (SPECT) は、患者に放射性医薬品を投与し、これより放射される γ 線を計測して種々の臓器の機能を映像化する技術である。このデータ収集では、放射線源から発生する光子の飛来方向を特定するためにコリメータが用いられている。このようなコリメータの使用は検出可能となる光子数を大幅に減少させてしまうため、十分なカウントの画像を得るにはデータ収集時間が長くなるという問題がある。この問題を改善するために、コリメータの穴径を大きくすることも考えられるが、これは再構成画像の空間分解能を低くすることになる。

一方、散乱光子を用いて体内の組織の電子密度を直接計測する手法が 1959 年に考案されたが [1], この手法はその後、Co-60, Cs-137, Ir-192 などの高エネルギーのガンマ線を人体に照射し、散乱光子をシンチレーション検出器や半導体検出器を用いて検出する映像化法として多くの研究が行われた [2], [3]。この原理を応用して Singh らはコリメータを装着しないアンガーカメラと Ge 検出器とを用いたコンプトンカメラを試作し、外部からガンマ線を照射しイメージングす

るのではなく、内部の Tc-99m の放射線源の分布の映像化に成功した [4]。このようなコンプトンカメラは後述するように機械的なコリメータを使用しないで、コンプトン散乱という物理現象を利用して電氣的にコリメーションするため感度を向上することができるという利点がある。しかしながら、コンプトンカメラではガンマ線の入射方向を決定する際の精度は検出器のエネルギー分解能に依存し、また画像再構成の計算量も非常に大きいため、その後、臨床へ導入するまでには至らなかった。一方、1990 年代後半になり、常温で使用できるエネルギー分解能の高い半導体検出器 (CdZnTe, CdTe) の開発研究が盛んに行われ、同時にコンピュータの計算速度が飛躍的に早まったことにより、再びコンプトン CT に関する実用化研究が盛んになってきた。筆者らも半導体検出器を用いたガンマカメラに関して共同研究を進めており、放射性医薬品の動態計測を可能とする感度の高いガンマカメラの開発を目指し、この研究にとりかかっている。

コンプトンカメラシステムにおける光子の検出は 2 段に構えた検出器を用いて行われる。図 1 はこのシステムにおけるデータ収集と画像再構成の基本的な考え方を示している。放射線源 (Radioisotope) より放出された光子は、1 段目の検出器 (Detector 1) の P_1 においてコンプトン散乱を起こし、エネルギーの一部を検出器に付与する。ここで θ はコンプトン散乱角

[†] 法政大学大学院工学研究科, 小金井市
Graduate School of Engineering, Hosei University, 3-7-2
Kajino-cho, Koganei-shi, 184-8584 Japan

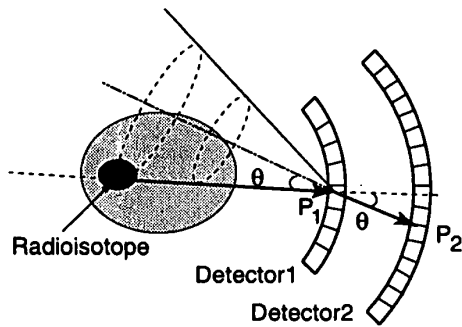


図1 コンプトンカメラにおけるデータの収集と逆投影
Fig. 1 Scheme of data acquisition and backprojection in a Compton camera system.

である。コンプトン散乱を起こした光子は、2段目の検出器 (Detector 2) の P_2 で光電効果を起こしすべての光子エネルギーを検出器に与え、自身は消滅するものと仮定する。このようにして、各検出器に付与されたエネルギーと、光子が各検出器と相互作用を起こした位置の情報を得ることができる。ここで、コンプトン散乱角 θ は、2段目の検出器に付与されたエネルギー E_{P_1} , E_{P_2} を用いて式 (1) で求めることができる。

$$\cos \theta = 1 + mc^2 \left(\frac{1}{E_{P_1} + E_{P_2}} - \frac{1}{E_{P_2}} \right) \quad (1)$$

放射線源の位置は、直線 $\overline{P_1 P_2}$ を中心軸にもつ円錐表面上に特定でき、この画像再構成手法がいくつか提案されている [4]~[7]。Singh らは、反復的な方法によって再構成する方法を提案した [4]。彼らはコンプトンカメラで得られたある位置の投影データから、円錐表面上に沿って直線的に逆投影可能なようにデータを変換し、異なる角度のデータを組み合わせることで3次元の画像再構成を行った。Cree らは、解析的に再構成する方法を二つ提案した [5]。彼らはコンプトンカメラの投影データを数式で表現し、逆変換を用いて線源分布を導き出す方程式を考案した。そして、この式を用いて理想的な投影データによる再構成を行った。第2の手法は、コンプトンカメラにおける投影データをパラレルビームに変換後、再構成するというものである。Basko らは球面調和関数を用いて、円錐表面の投影をRadon 投影に変換することにより再構成を行った [6]。また Rohe らは、直接的な逆投影方法である Source Space Tree Algorithm (SSTA) (詳細は後述) を提案した [7]。この方法は計算時間が長いですが、不完全な投影データからでも画像再構成が可能であり、他の解析

的な手法に比べ柔軟性に富んだ方法であるといえる。本論文では Rohe らの方法を改良することで、正確な再構成画像を得る方法を提案する。

2. 再構成アルゴリズム

本論文では線源画像を再構成するために SSTA を用いる。SSTA では、1 個の光子がコンプトンカメラによって検出され、この光子の飛来方向が円錐表面上に特定されると、この円錐表面に位置する逆投影空間内の各 voxel (最小立方体) に重みを加算する。重みとしては円錐の頂点と当該 voxel の中心までの距離の逆数を与える。このような重みを与える理由は、円錐と交差する再構成空間内の voxel 数が頂点からの距離に比例して増加するためである。そして光子が検出されるたびにこの操作を繰り返し、最終的な再構成画像を得るというものである。その際、各 voxel が円錐表面上に位置するか否かを調べる (交差判定) 必要がある。図 2 には SSTA の基本原理を示す。ここで P_1 は Detector 1 において入射光子がコンプトン散乱を起こした位置、 P_2 は Detector 2 において光電吸収を起こした位置、 θ はコンプトン散乱角を示している。交差判定の対象となる立方体の中心と円錐表面の距離が m_i である。以下立方体と記したものは、最小単位となる voxel を意味するとは限らず voxel の集合体としての立方体をも意味するものとする。SSTA における交差判定では、この立方体そのものと円錐表面との交差を調べるのではなく、立方体の中心点からある決まった半径 r_c (後述) を有する球形領域と円錐表面との交差が調べられる。すなわち、距離 m_i が判定の対象となる球形領域の r_c より短ければ、立方体が円錐表面と交差していると判定する。ここで交差判定の効率を上げるために Tree Branching Routine (TBR) が用いられる。TBR では、まず大領域が円錐表面と交わっているかを判定し、交差を確認するとその領域を更に細分割し判定を繰り返す。この判定は分割した後の立方体が物体の空間を構成する voxel の大きさに一致するまで繰り返される。図 3 は、TBR における探索領域の分割の方法を示している。まず逆投影空間全体と同じ大きさの立方体と交差判定を行い、交差が確認されると、この立方体は八つの小立方体に分割され、分割した各領域に対して同様の交差判定が行われる。ここで交差が確認されたものは、更に八つの小立方体に分割され交差判定が繰り返される。交差していない立方体はそれ以上分割を行わない。交差している立方体

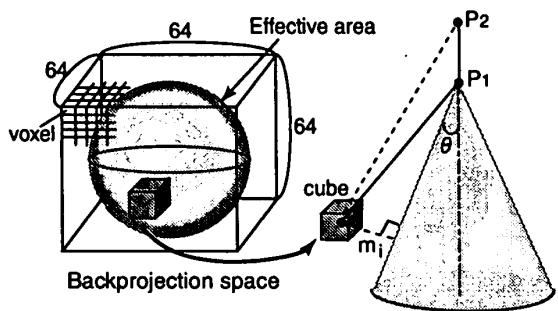


図 2 SSTA の基本原理

Fig. 2 Principle of the source space tree algorithm.

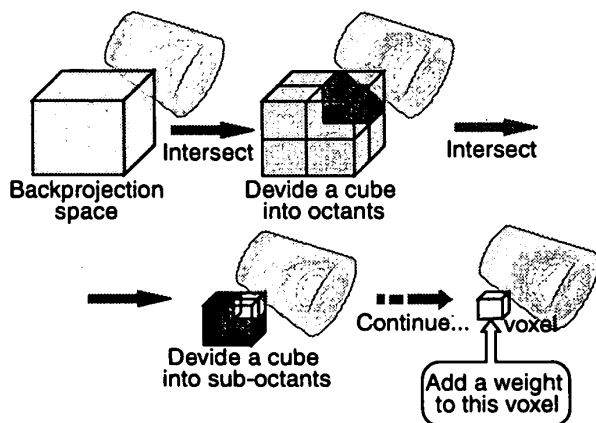


図 3 TBR の基本原理

Fig. 3 Principle of the tree branching routine.

領域が最終的に voxel の大きさと一致するまで分割され、交差が確認された場合、その voxel に対して円錐の頂点からこの voxel の中心点までの距離の逆数の重みが計算され、voxel ごとに加算される。

このような SSTA で重要となるのが交差判定に用いる球形領域の半径 r_c である。図 4 は、球形領域の半径の定義を示している。(1) は立方体の 1 辺の半分の長さを半径とするもので“Half length”と呼ぶことにする。(2) は立方体と同体積の球の半径を用いるものでこれを“Equal volume”と呼ぶことにする。(3) は立方体の対角線の半分の長さを半径と定義するものであり“Diagonal”と呼ぶことにする。交差判定にこれらの半径をもつ球形領域を用いた場合、以下の問題が生ずる。図 4 に示したように、(1) と (2) の場合、実際は円錐表面に交わっている立方体を、そうでないと判定してしまうこと (undertagging) が生ずる。また、(2) と (3) の場合、実際は交わっていない立方体を交わっていると判定してしまうこと (overtagging) が生ずる。本論文では、このような問題を解決するため立方体と円錐表面の交差判定に球を用いることをやめ、立

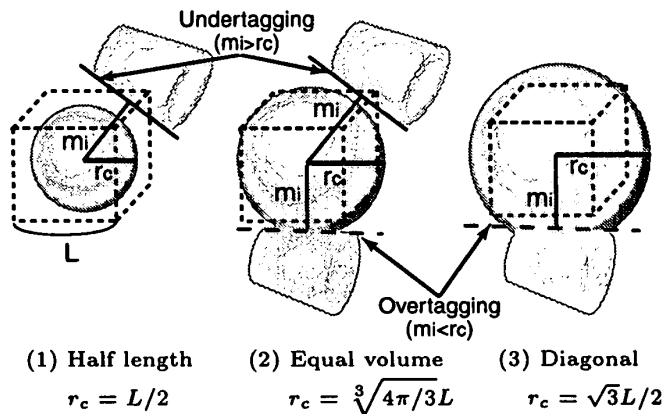


図 4 SSTA-sphere の問題点

Fig. 4 Problems in the SSTA-sphere.

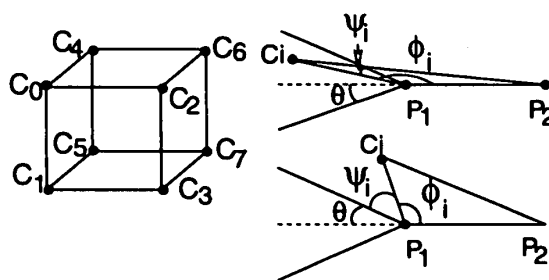


図 5 判定 1

Fig. 5 Case1.

方体形状そのものを用いることを提案する。ここで従来の球による判定を用いた手法を SSTA-sphere, 我々の提案する方法を SSTA-cube と呼ぶことにする。

3. 交差判定

SSTA-cube において最も基本となる判定法を図 5 に示す。図 5 右の C_i は、左側の立方体の頂点 $C_0 \sim C_7$ のいずれかを示している。今、コンプトン散乱角を θ , 円錐表面と直線 $\overline{P_1 C_i}$ のなす角を ψ_i , 直線 $\overline{P_1 P_2}$ と直線 $\overline{P_1 C_i}$ のなす角を ϕ_i とし、これらの三つの角度の和の角度を ξ と定義する。

$$\xi = \theta + \psi_i + \phi_i \tag{2}$$

ここで、 ϕ_i は次式より求めることができる。

$$\cos \phi_i = \frac{|\overline{P_1 P_2}|^2 + |\overline{P_1 C_i}|^2 - |\overline{P_2 C_i}|^2}{2 \times |\overline{P_1 P_2}| \times |\overline{P_1 C_i}|} \tag{3}$$

そして ξ と π とを比較することで C_i が円錐の内側にある ($\xi > \pi$) か、外側にある ($\xi = \pi$) かを決めることができる。もし、立方体のすべての頂点が円錐の内側に位置すれば、その立方体は円錐の内側に存在す

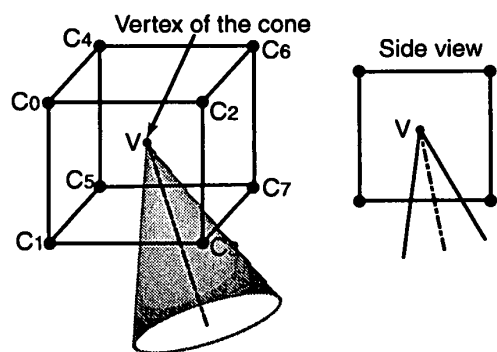


図6 判定 2
Fig. 6 Case2.

ることになり、円錐表面と立方体とは交わっていないと判定することができる。これに対し、立方体のいくつかの頂点が円錐の外側に存在する場合、この立方体は円錐表面を横切る形で位置することになり、立方体と円錐表面が交差していると判定できる。この場合において、もしすべての頂点が円錐の外側にあれば、この判定条件だけでは判断できないので次の判定に進む。

図 6 は円錐の頂点が立方体の内部に存在している場合を示している。円錐の頂点 V が立方体の内側にあるかどうかを調べるには、円錐の頂点座標と立方体の 8 個の頂点の座標の関係を調べればよい。例えば円錐の頂点 $V(x_v, y_v, z_v)$ と立方体の 1 頂点 $C_0(x_{c0}, y_{c0}, z_{c0})$ を用いて、立方体の内部に存在するか否かを知るには式 (4) を用いればよい。ここで L は立方体の 1 辺の長さを表している。もし円錐の頂点が立方体の内部に存在する場合、この立方体は円錐表面と交わっていると判定できる。

$$\begin{cases} x_{c0} \leq x_v \leq x_{c0} + L \\ y_{c0} \leq y_v \leq y_{c0} + L \\ z_{c0} \leq z_v \leq z_{c0} + L \end{cases} \quad (4)$$

これに対し、円錐の頂点は立方体の外側にあるが、円錐が立方体と交わっている場合を図 7 に示す。この場合を判定するには、まず P_1, P_2 の座標 $(x_{P1}, y_{P1}, z_{P1}), (x_{P2}, y_{P2}, z_{P2})$ より円錐の中心軸（直線 $\overline{P_1P_2}$ ）の方程式を得る（式 (5)）。

$$\frac{x - x_{P1}}{x_{P2} - x_{P1}} = \frac{y - y_{P1}}{y_{P2} - y_{P1}} = \frac{z - z_{P1}}{z_{P2} - z_{P1}} \quad (5)$$

次に立方体の向かい合う 2 平面の方程式を立方体の 8 頂点から求め、先に求めた円錐の中心軸の方程式を使って、中心軸が 2 平面と交点をもつかを調べる。これを、向かい合う 3 組の 2 平面について調べる。立方

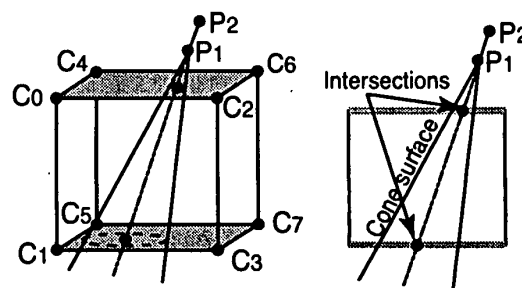


図7 判定 3
Fig. 7 Case3.

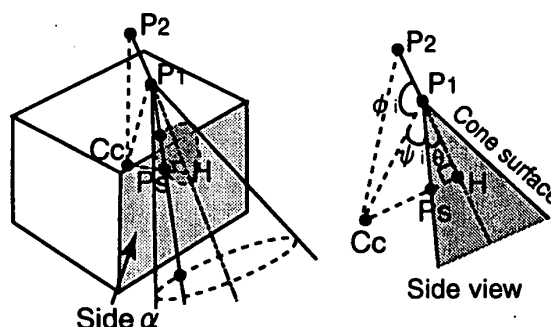


図8 判定 4
Fig. 8 Case4.

体の向かい合う 2 平面と円錐の中心軸が交点をもつ場合、この立方体は円錐表面と交わっていると判定できる。

図 8 は最後の交差判定例で円錐の一部が立方体と交わっている場合を示している。 C_c は立方体の中心点である。この場合、円錐の中心軸に垂直で点 C_c を通る直線 $\overline{C_cH}$ の方程式を求め、円錐表面との交点 P_s を求める。次に、直線 $\overline{P_1P_s}$ と立方体の 1 平面 α の方程式を求め、この直線と平面 α が交点をもつかを調べる。それにはまず、判定 3 で用いた円錐の中心軸の方程式と式 (6) に示した距離 $|P_1H|$ を用いて点 H の座標を求める。

$$|P_1H| = |P_1C_c| \cos(\theta + \psi_i) \quad (6)$$

次に点 H の座標を用いて直線 $\overline{C_cH}$ を求め、式 (7) を用いて点 P_s を求める。

$$|P_sH| = |P_1H| \tan \theta \quad (7)$$

最終的に直線 $\overline{P_1P_s}$ が求まり、この方程式と立方体の 1 平面 α の方程式を用いて交点をもつか調べる。交点をもつことが確認された場合、この立方体は円錐表面と交わっていると判定できる。

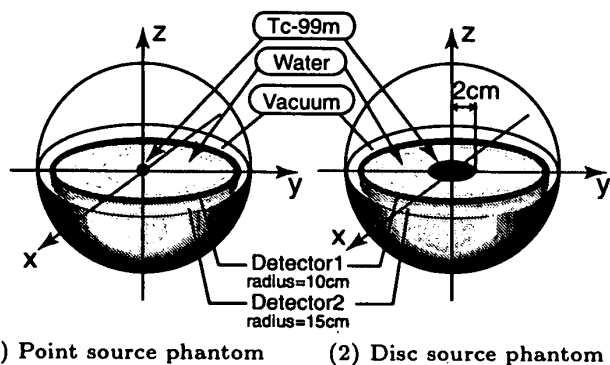


図9 シミュレーションのジオメトリ
Fig.9 Simulation geometries.

これらの四つの手順を踏むことで立方体と円錐表面の交差を正確に判定することが可能になる。

4. シミュレーション

提案した手法の有効性を確かめるため、点線源とディスク線源を用いた二つのシミュレーションを実施した。シミュレーションのジオメトリを図9に示す。これらのシミュレーションでは、核種に ^{99m}Tc を、Detector 1 に Si, Detector 2 に NaI をそれぞれ仮定した。また、二つの検出器は球形形状を仮定し Detector 1 の厚さは 2.5 cm, 半径 10 cm とした。Detector 2 は厚さ無限小, 半径 15 cm とし、検出効率を 100% (すなわちすべて光電効果を起こして光子が吸収される) とした。線源は、半径 10 cm の水の球の中心部に置いた。これらの条件のもと、光子を各線源から 1000 万個発生させるモンテカルロシミュレーションを行い、SSTA-sphere, SSTA-cube 双方の交差判定により画像再構成を行った。逆投影空間を $64 \times 64 \times 64$ ($20 \times 20 \times 20$ cm) とし、voxel サイズを 0.3125 cm とした。

5. 結果

図10(a)~(c)は、SSTA-sphereを用いて点線源を再構成した画像、(d)はSSTA-cubeを用いて点線源を再構成した画像であり、 $z = 0$ での位置におけるグレースケール表示とその鳥瞰図を示している。交差判定の半径としては(a) “half length”, (b) “equal volume”, (c) “diagonal” がそれぞれ用いられている。(a), (b)の画像では、誤った判定に起因する顕著なアーチファクトの発生が確認できる。これに対し、(c), (d)ではアーチファクトの存在は見受けられない。図11はSSTA-sphere及びSSTA-cubeを用いてディスク線源を再構成した画像 ($z = 0$) を示している。(a)~(d)

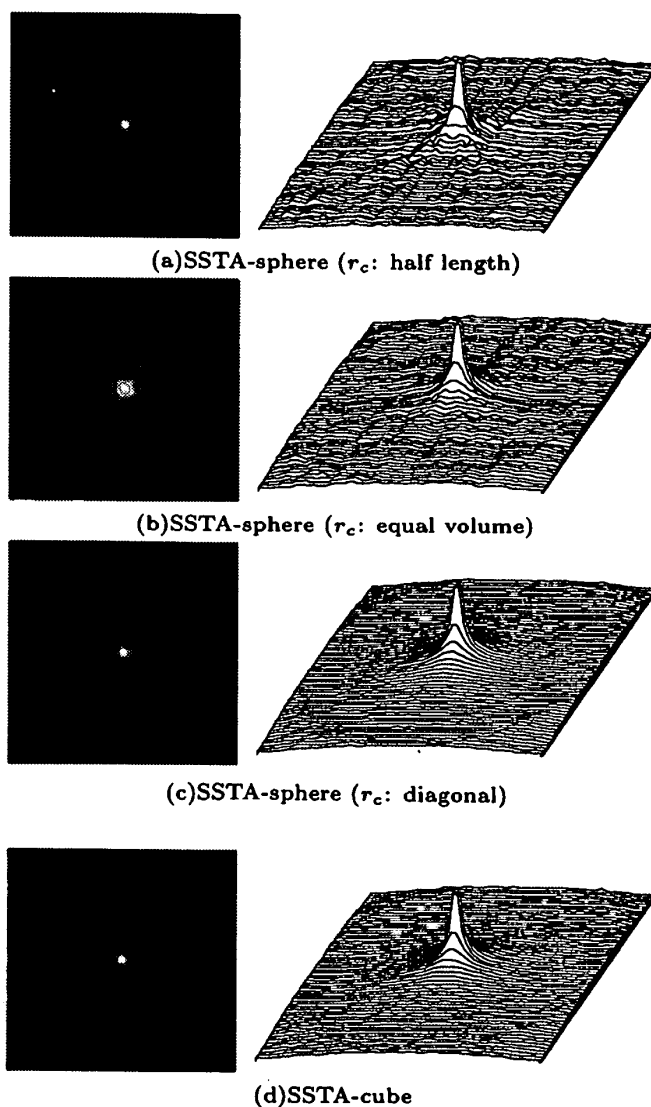


図10 点線の再構成画像
Fig.10 Reconstructed images of the point source phantom.

の説明は図10と同様である。この画像においても(a), (b)で格子状に発生したアーチファクトが明確に確認できる。

図12(a)は、点線源の再構成画像(図10(b)~(d))の $z = 0, y = 0$ のプロファイルを示している。また、図12(b)はディスク線源の再構成画像(図11(b)~(d))の $z = 0, y = 0$ のプロファイルを示している。図11, 図12からSSTA-sphereの “diagonal” は、SSTA-cubeと比較してほぼ同様の再構成画像になっているが、図12より overtagging の影響で再構成値そのものがSSTA-cubeより増大していることがわかる。

SSTA-cubeを用いて再構成した画像は、この逆投影プロセスの点広がり関数 (Point Spread Function:

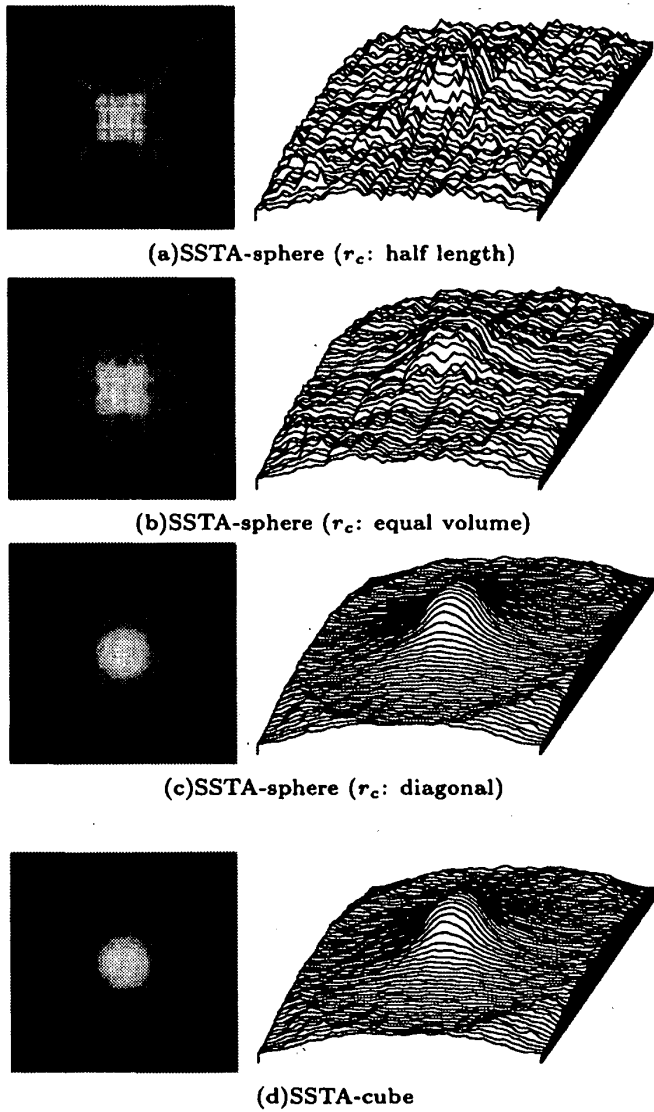


図 11 ディスク線源の再構成画像

Fig. 11 Reconstructed images of the disc source phantom.

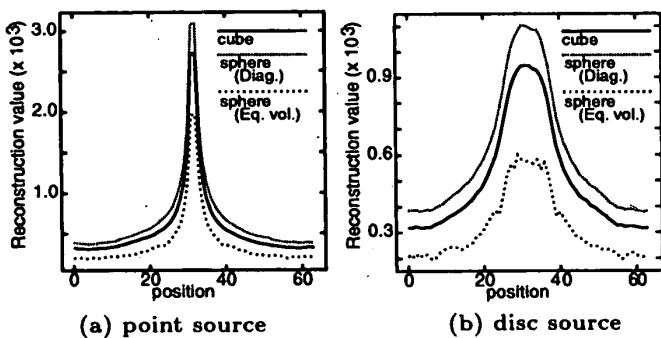


図 12 再構成画像のプロファイル

Fig. 12 Profiles of reconstructed images.

PSF) によってぼけを生じている。このぼけの除去を行うため、PSFが shift-invariant であると仮定し、デ



図 13 ぼけの除去 (ディスク線源)
Fig. 13 Deburring (disc source).

コンボリューションを行った。ここでは、SSTA-cube を用いて点線源を再構成した画像をこのシステムの PSF として用いた。ディスク線源の再構成画像に対してデコンボリューション処理を行った結果を図 13 に示す。この結果、濃度コントラストの高い画像を得ることができた。

6. 考 察

コンプトン CT は SPECT における光子検出の感度改善をねらったものであり、現在用いているような鉛製のコリメータを用いずにデータ収集を行う点に利用価値がある。一般に平行多孔型のコリメータとしては、4 cm 厚程度の鉛板に約 1~1.5 mm の径の穴が数万個あいた物が使用されている。このコリメータを用いることで、飛来する γ 線の方向を検出器面とほぼ垂直の方向に絞ることが可能となる。ところが、このようなコリメータの使用は検出可能となる光子数を著しく減少させることになる。例えば文献 [11] によれば、平行多孔型高分解能コリメータの表面から 10 cm 離れた空気中の場所に Tc-99m の点線源 (1 MBq) をおいて計測 (エネルギーウィンドウ: 20% FWHM) した結果、82 cps しかカウントを得ることができない。すなわち、単位時間に放出された光子の 99.99% 程度以上が捨てられてしまうことになり非常に効率が悪い状態になっている。感度を改善するという観点からは穴径を大きくすることが考えられるが、この場合、開口問題が発生する。すなわち、穴径を拡大すればコリメータ面に垂直に入射する光子以外に、ある角度をもった γ 線が入射することになり、SPECT 画像の再構成において空間分解能が著しく劣化する。一方、コンプトン CT ではこのような機械的コリメータが用いられないため感度を増大させることが期待できる。近年、この装置の製作を含め活発な研究が行われている [8]~[10]。このようなコンプトン散乱という現象を利用して光子を検出するためには、2 段以上の検出器が必要となり、

検出のためのジオメトリのバリエーションとともに、その再構成法もいくつか提案されている。本研究では、検出器のジオメトリのバリエーションに対して柔軟性をもつ SSTA アルゴリズムを取り上げ、従来提案されていたアルゴリズムで発生するアーチファクトの除去法を提案した。この方法は、再構成空間を構成する voxel に重みを与えて画像再構成していく際に、その交差判定において立方体形状を用いるというものである。シミュレーション結果に示したように、提案した手法は *overtagging* や *undertagging* が発生しないため、球状領域を判定基準とする従来の手法で発生していたアーチファクトが消失した。

従来のアルゴリズムでは、円錐面が立方体の中心を中心とした仮想的な球と交わっているかどうかの判定を行い、交わっていると判定された場合には当該立方体を更に分割し、小立方体に対して評価を続けるというものである。これに対して、提案する方法では仮想球を用いずに、立方体そのものと円錐面との交差判定を行っている。前者のように仮想球を用いた判定は *overtagging* や *undertagging* などの問題を発生させる。これは、幾何学的には次のように考えることができる。今、3次元空間を立方体形状の voxel に分割したとする。また、一方ではその voxel の中心を球の中心とする球で構成される空間を考える。この球はその半径を変えることにより隣接した球と重なり合いの程度が変化する。すなわち、球の直径が立方体の1辺と等しい場合には球は互いに重ならないが空間にすき間が生じ、また、球の直径が立方体の対角線の長さと同じときには、空間にはすき間がないが球同士は大きく重なり合うことになる。このような隣接する球の関係は再構成画像の値を境界部で不安定なものにするようになる。すなわち、SSTA-sphere で *half-length* を用いた場合、*ungertagging* の影響で実際に値が入るべき voxel が交差しなかったとみなされるため再構成値が低下し、かつ縦横の線状のアーチファクトが出現する。これに対して *diagonal* の場合には *overtagging* が発生し TBR において同じレベルの複数の立方体と交差するとみなされ再構成値が増大し、その影響は境界部を平滑化するような効果をもたらしたものと解釈できる。

一方、このようにして逆投影したのみでは再構成画像に逆投影プロセスに起因するシステムの応答関数が重畳することとなるため、このシステムの応答関数を *shift-invariant* なものとしてデコンボリューション

し、近似的にぼけを取り除いた。今回示したディスクファントムは、線源位置が十分中心に近いため比較的良好な結果が得られたものと考えられるが、厳密にはシフトバリエーション性を考慮したぼけの除去が必要となり、これは今後の課題としたい。また、シミュレーションに要した時間は、SUN ultra SPARC II (450 MHz) を用いて、SSTA-sphere (*diagonal*) で5時間45分、SSTA-cube で15時間27分かかっているため今後、高速化を検討する予定である。

また、本研究では手法の提案を行うのが目的のため、いくつかの事柄を理想的な条件に設定しているが、コンプトン CT を実現するためにはこれらの点も課題となると考えられる。その一つは被検体内での光子の散乱である。これに関しては本研究ではファントム内でコンプトン散乱や干渉性散乱などの相互作用を受けないで第1の検出器に入射したのもののみを対象にし、それ以降の処理が行われている。実際には患者の体は水等価の吸収体と考えられるが、光子エネルギーが汎用的に使用されている Tc-99m の 140 keV であることを考慮すると、光子と被検体との間の相互作用の多くがコンプトン散乱ということになる。このような被検体内でコンプトン散乱した光子は、第1の検出器と第2の検出器に付与されたエネルギーの和を計測することで除去できると考える。すなわち、この和の値が初期のガンマ線のエネルギーと等しいもののみを取り扱えば、体内で散乱してエネルギーの低くなった散乱光子のイベントは除外できる。もちろん、第1と第2の検出器のエネルギー分解能が悪い場合には、この評価は困難になる。また、干渉性散乱もあるが非常に確率が低いのでほとんど無視してもよい。このほか、第1の検出器（ここでは半導体検出器を想定）や第2の検出器の感度や分解能の問題もある。本研究では第1の検出器として Si を想定し、コンプトン散乱の発生する確率を高めるために厚さを 2.5 cm とし、第2の検出器では、その厚さを無限小かつ光電吸収確率を 100% とし、シミュレーションの効率を上げている。現在、半導体検出器の実装においていかにして感度を向上させるかの研究が行われているが、コンプトン CT で用いる検出器はその厚さが薄いと検出器内部でコンプトン散乱が起きる確率が低下し、逆に厚すぎると検出器内部で多重散乱し最終的に光電吸収されてしまう確率が増加する。この点についても最適な厚さを見出す必要がある。更に、第1の検出器の幾何学的形状の問題もある。本研究ではその形状を球形とし、シミュレーションに

においてその効率を上げているが、実際に作成する場合には被検体を入れる空間をうまく作り、光子の検出効率が上がるような幾何学的な構造を作る必要がある。このほかにも、実際の開発においては解決しなければならない問題が数多くあるが、筆者らは半導体検出器の開発にも着手しており、画像再構成のアルゴリズムなどの研究開発と並行して、このような装置の可能性を追求している。

7. むすび

コンプトン CT における画像再構成を目的とした、Source Space Tree Algorithm の交差判定法に対して検討を行い、判定基準を球形から立方体形状に変更した新しいアルゴリズムを提案した。シミュレーションでは、円錐表面と立方体の交差が正確に判定され、再構成画像の画質が向上したことが示された。また、shift-invariant モデルと近似し再構成画像をデコンボリューションすることでぼけの除去を行った。

文 献

- [1] P.G. Lale, "The examination of internal tissues, using gamma ray scattered with a possible extension to megavoltage radiography," *Phy. Med. Biol.*, no.4, pp.159-166, 1959.
- [2] J.L. Moretti, E. Mathieu, J.F. Cavellier, and G. Roux, "90deg Compton scattering tomography. Its implementation by means of a bar detector scintigraph," *J. Nucl. Med. Allied Sci.*, vol.24, no.3-4, pp.111-119, 1980.
- [3] R. Guzzardi, G. Licitra, and M.R. Voegelin, "Recent development in Compton tomographic imaging of the lung and possible application to object recognition," *IEEE Trans. Nucl. Sci.*, vol.NS-34, no.3, pp.667-671, 1987.
- [4] M. Singh and D. Doria, "An electrically collimated gamma camera for single photon computed tomography. Part II: Image reconstruction and preliminary experimental measurement," *Med. Phys.*, vol.10, no.4, pp.428-435, 1983.
- [5] M.J. Cree and P.J. Bones, "Towards direct reconstruction from a gamma camera based on Compton scattering," *IEEE Trans Med. Imaging*, vol.13, no.2, pp.398-407, 1994.
- [6] R. Basko, G.T. Gullberg, and G.L. Zeng, "Application of spherical harmonics to image reconstruction for the Compton camera," *Phy. Med. Biol.*, pp.887-894, 1998
- [7] R.C. Rohe, M.M. Sharfi, K.A. Kecevar, and C. Bonnerave, "The spatially variant backprojection point kernel function of an energy-subtraction Compton camera for medical imaging," *IEEE Trans. Nucl. Sci.*, vol.44, no.6, pp.2477-2482, 1997.
- [8] J.D. Valentine, C. Bonnerave, and R.C. Rohe, "Energy subtraction Compton camera design considerations: A Monte Carlo study of timing and energy resolution effects," *IEEE Trans. Nucl. Sci.*, vol.44, no.3, pp.1134-1139, 1997.
- [9] A. Uritani, N.H. Clinthorne, J.E. Gormley, J.W. LeBlanc, and W.L. Rogers, "Electrically-collimated gamma camera with a parallel plate collimator for Tc-99m imaging," *IEEE Trans. Nucl. Sci.*, vol.44, no.3, pp.894-898, 1997.
- [10] T.O. Tumay, S. Yin, and S. Kravis, "A high sensitivity, electronically collimated gamma camera," *IEEE Trans. Nucl. Sci.*, vol.44, no.3, pp.899-904, 1997.
- [11] S.C. Moore, K. Kouris, and I. Cullum, "Collimator design for single photon emission tomography," *European Journal of Nuclear Medicine*, vol.19 pp.138-150, 1992.

(平成 13 年 12 月 27 日受付, 14 年 4 月 8 日再受付)



尾川 浩一 (正員)

昭 55 慶大・工・電気卒。昭 57 同大大学院修士課程了。同年同大医学部助手。平 2 同大・医・講師。平 3 法政大・工・助教授。平 10 同大・工・教授。画像処理、放射線計測の研究に従事。工博。平元日本医用画像工学会論文賞、平 3 日本核医学会賞各受賞。IEEE, SNM, 日本医学放射線学会, 日本核医学会等各会員。



太田 仁

平 12 法政大・工・電子情報卒。平 14 同大大学院修士課程了。同年エプソン(株)入社。在学中に画像処理の研究に従事。