

**科学研究費助成事業 研究成果報告書**

平成 29 年 5 月 31 日現在

機関番号：22604

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2013～2016

課題番号：25350342

研究課題名(和文) デジタルトモシンセシスを模擬した教育用シミュレーションツールの作成

研究課題名(英文) Prototype of the educational support simulation tool for understanding basic principles and features of image reconstruction for digital tomosynthesis.

研究代表者

乳井 嘉之 (Nyui, Yoshiyuki)

首都大学東京・人間健康科学研究科・准教授

研究者番号：20279780

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 2,000,000円

研究成果の概要(和文)：本研究は、トモシンセシスの基本原理および特性を把握するためのシミュレーション補助ツールを構築することを目的とした。そして、デジタルX線TV装置を用いたファントム実験との比較から、教育の一助となる可能性を示唆した。本ツールは、トモシンセシスの装置がない施設においてもトモシンセシスの基本原理を把握する上で、教育用シミュレーションは効果的であると考えられる。

研究成果の概要(英文)：The purpose of this study is to construct a simulation that would enable people to grasp the basic principles and features of tomosynthesis. Our comparison involving a phantom experiment using digital X-ray TV equipment indicated that the simulation could be used in training. This tool may provide an effective simulation for learning the basic principles of tomosynthesis at institutions that lack tomosynthesis equipment.

研究分野：複合領域

キーワード：教材情報システム 教育支援システム トモシンセシス 教育用シミュレーションツール

### 1. 研究開始当初の背景

X線撮影装置を用いた断層撮影法は、主に胸部や整形外科領域および耳鼻科領域で利用されていたが、X線CT装置の飛躍的な進歩に伴って、断層撮影法は衰退し、過去の技術になりつつあった。しかし、近年、病変部を高い空間分解能で正確にとらえる事ができるフラットパネルディテクタ (FPD) を搭載した X 線システムの急速な普及により、FPD を用いたデジタルトモシンセシスとして、改めて臨床的に有用な技術として再認識されるようになってきた。現在では、胸部検診や整形外科領域、そして、乳房検査の領域で有用な検査法として利用されつつある。

このトモシンセシスはX線CTとは異なり、データの収集範囲が極端に限局されているため、深さ方向の情報量はX線CT装置に比べて劣るものの、投影方向数が極端に少ないおかげで放射線の被ばく線量を大幅に削減できる利点がある。このため放射線に対して感受性が高い臓器 (生殖腺、乳房等) の撮影に関しては、X線CT装置よりも効果的な撮影法である。現在、臨床現場において、脚光を浴びつつあるこの技術を習得するためには、デジタルX線テレビ装置を用いた学内実習および実験が効果的である。ところが、現実問題として、装置がない施設においては、実現することが困難である。また既存の装置では、投影角度および画像再構成で使用するフィルタ関数等の種々のパラメータを柔軟に変更させることができないため、パラメータの変更が制限されてしまう。そこで、専用のトモシンセシスの装置がなくても、学内実験等で簡易的にトモシンセシスの撮影およびそれに付随する画像再構成を行うことができる教育用補助ツールとして、教育用シミュレーションツールの作成を考案するに至った。

### 2. 研究の目的

現在、教育機関において、デジタルトモシンセシスの画像再構成技術を習得するためには、デジタルX線テレビ装置を用いた学内実習が効果的である。ところが現実問題として、装置がない施設においては実施することが困難であり、また既存の装置では投影角度および画像再構成で使用するフィルタ関数等の種々パラメータを柔軟に変更させることができないため、パラメータの変更が制限されてしまう。本研究はデジタルトモシンセシスを所有していない教育機関においても、トモシンセシスの基本原理を把握することが可能な学部教育用シミュレーションツールを構築することが目的である。本装置は高価であるため、トモシンセシスのみの教育目的として、購入するには難しく、X線を発生しない本ツールは放射線被ばくの観点からも安全性が担保される。また大学施設内の情報処理教室を利用すれば、簡易的にトモシンセシスの画像再構成を実習することができる。さらに本ツールに画像再構成アルゴリ

ズムを組み込むことによって、トモシンセシスおよび画像再構成に関するより高い教育効果が期待される。

### 3. 研究の方法

一般的なデジタルX線テレビ装置のジオメトリのプログラム化を行い、実際の装置から得られた実測値とシミュレーション結果を比較し、シミュレーションの妥当性を検証した。ジオメトリの妥当性の確認後、画像再構成アルゴリズムの作成に取りかかり、数値ファントムおよび実測データとの比較から検証を行った。ツール完成後は、学部授業の医用画像情報学の中で取り入れ、教育効果の有用性を確認した。

#### (1)シミュレーションのためトモシンセシスのジオメトリの調査と構築

本シミュレーションツールのモデルとなる装置は本学に既に設置してあるSONIALVISION Safire (SHIMADZU社製)をモデルとした。装置の購入時にメーカから提供された本装置に添付の仕様書をもとに、また不明な点は医療機器メーカに問合せジオメトリの情報収集を行った。この結果データ収集のマトリクスサイズは、 $1024 \times 1024$  [pixels]、ピクセルサイズは、 $0.296$  [mm]、SID (Source Image receptor Distance) は  $110.0$  [cm]、天板から回転中心までの距離が  $8.0$  [cm]、フラットパネル検出器 (FPD) から天板までの距離が  $7.5$  [cm] である。トモシンセシス撮影モードでは  $12$  インチとして投影角  $40$  度として、フレームレート  $15$  [fps]、 $74$  フレームの投影データを収集できる装置であることが分かった。このジオメトリの情報をもとにまずは投影データを収集するプログラムを作成した。トモシンセシスのX線束は、X線管焦点からコーンビーム状に広がった形を取るため、はじめにコーンビームの投影データの収集プログラムを作成し、その後、X線管焦点とFPDの距離が一定で、かつ、X線管焦点がFPDに対して平行に直線移動する投影データの収集プログラムへと変更し作成した。

#### (2)画像再構成プログラムの構築

一般的なトモシンセシス装置に装備されている画像再構成には、シフト加算法と従来からX線CT装置の画像再構成法として用いられているフィルタ補正逆投影法 (FBP法) があり、まずはこの2種類の画像再構成法のプログラム化を行った。画像再構成のジオメトリも前述の投影データ収集用のプログラムに沿って作成した。また再構成フィルタは、教育目的のため一般的な Ramp フィルタおよび Shepp & Logan フィルタを作成し再構成フィルタとして適用した。つぎに画像再構成プログラムを検証するために簡単な球形の数値ファントムと3次元 Shepp & Logan ファントムを作成して検証を行った。さらに統計的

手法を取り入れた逐次近似的画像再構成法のプログラム化も行った。

### (3) 学部学生の演習に取り入れ有用性を確認

作成した画像再構成プログラムをシミュレーションの操作性を簡便にするために、グラフィカルユーザーインターフェース機能を使って、画像再構成パラメータの入力を window 上から行うことができよう開発した。学部教育で行っている医用画像情報学の一環でこの実習項目を取り入れ、実際に本ツールを使用し演習を行った。

## 4. 研究成果

### (1) シミュレーションのためトモシンセシスのジオメトリの調査と構築

ジオメトリの検証を行うために簡単な数値ファントムを作成し検証を行った。作成した数値ファントム (図 1) は、直径 20 [cm] 球形のもので、球体の中に 7 個の小球を配置し、各領域にはつぎに示すような線減弱係数を割り当てた。線減弱係数は、診断領域の X 線エネルギーを考慮し、7 個の小球部分には、 $1.141 [\text{cm}^{-1}]$ 、球形ファントム実質部分には、 $0.375 [\text{cm}^{-1}]$  の線減弱係数を割り当てた。

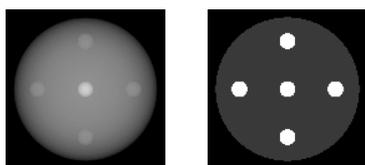


図 1 数値ファントム (左図：球体ファントム外観，右図：球体ファントム中央の断面像)

この数値ファントムを作成した投影データの収集プログラムに読み込み投影データを取得した。取得した投影データ (20 度方向) を図 2 (左図) に示す。ここで各小球の中心点の位置座標と計算上の各小球の位置座標が各投影角度において一致したため、モデル装置のジオメトリは忠実に再現できているものと考えた。また、トモシンセシスは X 線管焦点が検出器に対して平行に移動しながらデータ収集を行うため、投影角が大きくなると図 2 (左図) に示すように投影データが台形をなしてしまう。シフト加算法は、このままの投影データの形状で再構成処理を行うが FBP の場合は、収集した投影データを図 2 (右図) のように補正をし、その後画像再構成を行った。

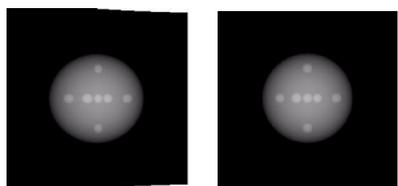


図 2 数値ファントムの投影データ (左図：補正前，右図：補正後)

### (2) 画像再構成プログラムの構築

画像再構成法は、シフト加算法 (SA 法)、フィルタ補正逆投影法 (FBP 法)、そして逐次近似画像再構成法を作成し、数値ファントムを用いて検証を行った。投影角は 40 度収集、投影方向数は 74 方向でシミュレーションを行った。シフト加算法と FBP の結果を図 3 に示す。再構成画像は、上段が FBP によるもので下段がシフト加算法の結果を示す。

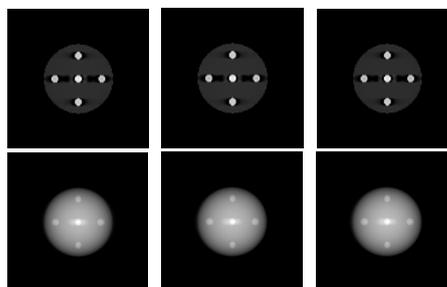


図 3 数値ファントムの再構成画像 (上段：FBP 法 [左から 80, 40, 20 方向]，下段：シフト加算法 [左から 80, 40, 20 方向])

再構成画像は再構成断層 0.0 [cm]、すなわち回転中心位置の断面を再構成したものである。いずれの結果も数値ファントムが良好に再構成できているのがわかる。このように実際の装置では投影方向数の変更は難しいがシミュレーションの場合はこの点の変更が容易に行うことができる。またシミュレーションの結果、投影方向数が少なくなっても良好に再構成できているのが確認できる。もし投影方向数を可能な限り減らすことができれば現在の被ばく線量を大幅に低減することができることを意味し、投影方向数を削減した場合のチェックも容易に行うことができる。次に逐次近似的画像再構成法として convex 法を適用し、数値ファントムにて検証を行った。数値ファントムは図 1 とは異なるタイプの球形のファントムを作成して適用した。再構成画像は左側がオリジナル画像、中央が投影方向数 60 方向、右側が 20 方向、そして反復計算回数は 50 回の結果を示す (図 4)。

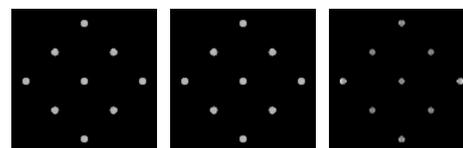


図 4 convex 法による再構成画像 (左図：オリジナル，中央：投影方向数 60 方向，20 方向)

投影方向数が 60 方向まではオリジナル画像を再現できているのがわかる。逐次近似的画像再構成法は、計算時間が掛かりすぎて演習の一環に取り入れるのは難しい状況である。このため現実的ではないが透過形の投影データは採用せず、かつ、代数的手法を適用して実習することを検討している。こちらに

関しては近日中に追加する予定である。

次に実際のトモシンセシスの装置を用いて、人体模擬ファントム（頭部ファントムおよび膝ファントム）の投影データを収集した。撮影条件は、X線管電圧が頭部ファントムは85[kV] (1.25[mAs])で膝ファントムは65[kV] (1.25[mAs])でデータ収集を行った。収集マトリクスサイズ：1024×1024[pixels]、画素サイズ：0.296[mm]、SID：110[cm]（投影方向0度の時）、投影角：40度、投影方向：74方向で収集を行った。データ収集時の外観と0度方向の膝ファントムの投影データを図5に示す。

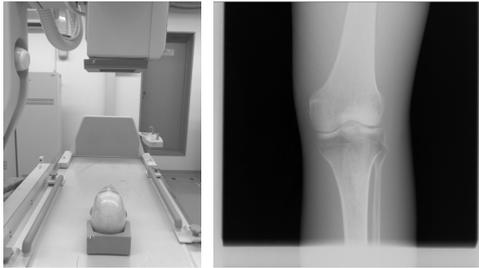


図5 人体模擬ファントムのデータ収集の外観および膝ファントムの投影データ（0度方向）

収集した投影データを用いて、シミュレーションツールで再構成を行った結果を図6に示す。再構成画像は膝ファントムの結果で、左列が safire サイドステーションによる再構成画像を示し、右列が本シミュレーションツールで再構成した結果を示す。画像は上段がSA法によるもので、下段がFBP法である。また再構成位置は、天板位置から80.5[mm]の結果でサイドステーションの再構成の結果とほぼ同様な出力結果を得ることができた。

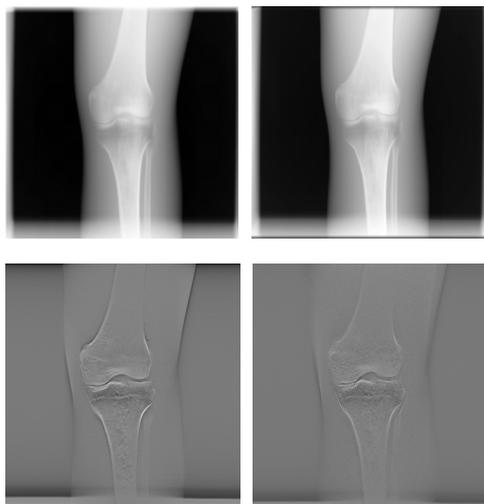


図6 safire のサイドステーションと本シミュレーションツールによる再構成画像（左列：サイドステーション、右列：本ツール）

また、グラフィカルユーザーインターフェース機能を使って、画像再構成パラメータの入力ができるように改良し（図7）、さらに学生実習のためのテキストを作成した（図8）。

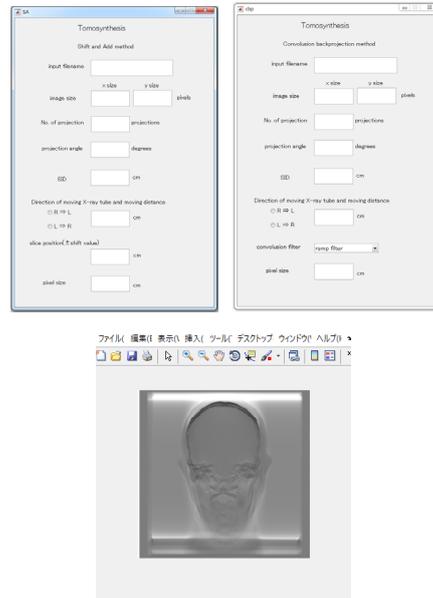


図7 画像再構成パラメータ入力画面（上段）および出力結果（下段）

医用画像情報学の授業の中で画像再構成の講義をおこなっており、講義の1コマを演習にあて本シミュレーション演習を行った。演習を行うにあたり実習書の作成を行った。実習書のタイトルは「トモシンセシスの画像再構成シミュレーション」という表題にして、はじめに適用する画像再構成法（フィルタ付き逆投影法、再構成フィルタ、シフト加算法等）の説明を記載した。また、学生が自主的に取り組めるようツールの使用方法をわかりやすく記載した。実習終了後は、パワーポイントに再構成結果を貼り付け、レポートとして提出させた。今回は、アンケート調査までは行うことが出来なかったが次年度の実習ではアンケート調査を行い、今後の改善のための参考資料とする。

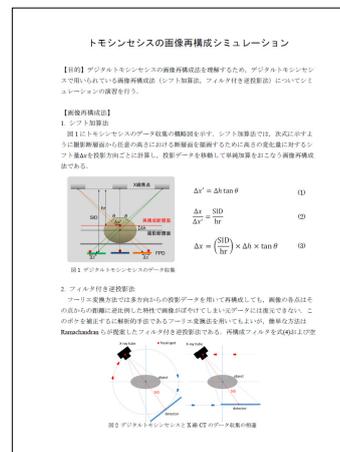


図8 シミュレーション実習用テキスト

本研究は、トモシンセシスの基本原理および特性を把握するためのシミュレーション構築することを目的とした。そして、デジタル X 線 TV 装置を用いたファントム実験との比較から、教育の一助となる可能性を示唆した。本ツールはトモシンセシスの装置がない施設においてもトモシンセシスの基本原理を把握する上で、教育用シミュレーションは効果的であると考えられる。今後は教育用シミュレーションツールの環境を整えるとともに、教育効果の有用性を明らかにする。さらに大学院教育にも取り入れる予定である。

## 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)

[学会発表] (計 4 件)

- ① 乳井嘉之, トモシンセシスの簡易的教育補助ツールの試作, 第 26 回日本保健科学学会大会, 2016 年 10 月 8 日 (土), 目白大学新宿キャンパス (東京都新宿区中落合 4-31-1)
- ② 乳井嘉之, The creation of software tool for an instructional supplementary that simulates digital tomosynthesis. 第 110 回日本医学物理学会学術大会 (Selected Poster), 2015 年 9 月 20 日 (日), 北海道大学医学部学友会館フラテ (北海道札幌市北区北 15 条西 7 丁目)
- ③ 乳井嘉之, 逐次近似的画像再構成法を用いたトモシンセシスの映像化に関する基礎的研究, 第 106 回日本医学物理学会学術大会, 2013 年 9 月 15 日 (火), 大阪大学コンベンションセンター (大阪府吹田市山田丘 1-1)

## 6. 研究組織

### (1) 研究代表者

乳井 嘉之 (Nyui Yoshiyuki)

首都大学東京・人間健康科学研究科・准教授

研究者番号 : 20279780