

# 制限された X 線投影における圧縮センシングを用いた CT 画像再構成に関する検討

垣内 友希<sup>†</sup> 蚊野 浩<sup>†</sup>

京都産業大学大学院 先端情報学研究科<sup>†</sup>

## 1. 序論

X 線 CT は物体の内部構造を再構成する技術である。この機器は、人体の周りを回転して撮影するため、装置が大掛かりである。また、他の X 線診断装置と比較して被曝量が多い[1]。

これらの問題を解決するには、全周囲からの撮影を無くすことや、撮影回数を減らすなどの技術開発が必要である。2005 年頃まで、少ない方向数で撮影したデータから完全な断面画像を得ることは不可能であった。2006 年に、標準化定理の仮定では不十分なサンプリングデータから、原信号を完全復元できる圧縮センシングが考案された[2]。圧縮センシングを CT 再構成に応用することで、従来よりも少ない投影角度数のデータから断面画像を再構成可能であることが報告されている[3][4]。

本研究の目的は、圧縮センシングを用いることで、小型・低被曝量の X 線 CT 装置が実現可能であることを示すことである。そのために、投影枚数・投影角度範囲・投影領域を制限してデータを取得し、圧縮センシングを用いた再構成によって断面画像を復元する。その結果、十分な再構成画像を得ることができれば、装置の小型化や被曝量の低減につながる。

## 2. 圧縮センシング

圧縮センシングの問題設定は、未知ベクトルを線形観測に基づいて推定することである。この時、信号のスパース性を利用し、少ないサンプリングデータから元信号を復元する。

X 線 CT における断面画像と投影データの関係は式(1)になる。ここで  $\mathbf{x}$  は画素値を一次元化した未知ベクトル、 $A$  は投影を表す既知の行列、 $\mathbf{b}$  は全投影データを一次元化した既知ベクトルである。

$$A\mathbf{x}=\mathbf{b} \quad \dots (1)$$

観測結果  $\mathbf{b}$  から  $\mathbf{x}$  を推定する問題は、 $\mathbf{x}$  を変数とする連立方程式を解くことと等価である。投影データ数が不十分な場合、行列  $A$  のランクが  $\mathbf{x}$  の要素数よりも小さくなり、解が一意に決まらない。このような場合、解が真値に近いほど値が小さくなる評価関数を構成し、それを最小化する。従来法では、評価関数として解の L2 ノルムを用いることが多い。一方、圧縮センシングでは、信号がスパース性を持つ

という仮定から、解の L1 ノルムを用いる。

実際の断面画像の画素値はスパースではない。0 以外の値を持つことが普通である。そこで、同一組織内の画素値は一定であり、組織の境界で画素値が変化すると仮定する。すると、断面画像の勾配がスパースになる。よって、以下の条件付最小化問題を考える。

$$\mathbf{x}=\operatorname{argmin} \sum_{j=1}^{p-1} \sum_{i=1}^{p-1} \{|x_{ij}-x_{i+1,j}|+|x_{ij}-x_{i,j+1}|\} \quad \dots (2)$$

s. t.  $A\mathbf{x}=\mathbf{b}$

式(2)は非線形最適化問題であるが、補助変数を導入して絶対値を外すことで、線形計画問題に帰着させる。本研究では、これを解くために、MATLAB の linprog 関数を使用した。

## 3. X 線制限投影における画像再構成

### 3.1 実験条件

実験を効率的に行うため、平行ビームを用いた X 線 CT のシミュレーションプログラムを作成した。また、64×64 画素(4096 画素)の Shepp-Logan ファントム画像(図 1(a))を被写体として用いた。被写体の投影は、投影角度範囲を投影回数で割った角度刻みで行った。圧縮センシングによる再構成画像の画質評価には PSNR を用いた。PSNR が 40dB 以上ならば、十分な再構成画像が得られたとみなした。

以上の条件のもとで、以下のように X 線投影条件を設定して実験を行い、圧縮センシングの効果の検証と従来手法との比較を行った。従来手法は、FBP 法・逐次近似法・連立方程式を解く方法を用いた。

- (i) 投影角度範囲を 180°、投影領域を断面画像の一辺の $\sqrt{2}$ 倍に設定し、十分な再構成画像が得られる投影回数を検証する。また、従来手法において、圧縮センシングと同じ投影回数で十分な再構成画像が得られるか検証する。
- (ii) 投影角度範囲を 180° に設定する。投影領域は(i)における投影領域の 50%に制限する。図 1(b)(c)に、投影領域の制限の概要を示す。投影回数を増加させていくことで十分な再構成画像が得られるか検証する。従来手法においても同様の実験を行う。
- (iii) 投影角度範囲を 90° に制限する。投影領域は(i)と同様に断面画像の一辺の $\sqrt{2}$ 倍に設定する。投影回数を増加させていくことで十分な再

CT image reconstruction by compressed sensing under constrained x-ray projection conditions.

<sup>†</sup>Yuki Kakiuchi and Hiroshi Kano, Kyoto Sangyo University, Graduate School, Division of Frontier Informatics.

構成画像が得られるか検証する。従来手法においても同様の実験を行う。

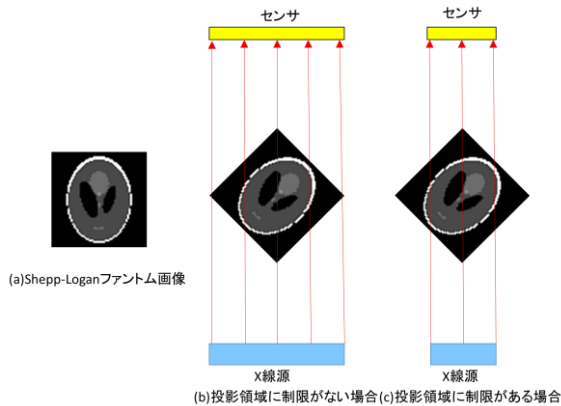


図1 ファントム画像と投影領域の制限

### 3.2 実験結果

(i)の実験では、投影回数が14回以上のときPSNRが40dB以上となり、十分な再構成画像が得られた。投影回数を14回に設定したときの圧縮センシング・FBP法・逐次近似法・連立方程式を解く方法による画像再構成の結果を図2に示す。圧縮センシングが十分な再構成画像を得られているのに対し、従来手法では得られなかった。

(ii)の実験では、投影回数を34回以上に設定すると、十分な再構成画像が得られた。FBP法と逐次近似法では十分な再構成画像が得られなかった。連立方程式を解く方法では投影回数を59回以上に設定すると、十分な再構成画像が得られた。

(iii)の実験では、投影回数を36回以上に設定すると、十分な再構成画像が得られた。FBP法と逐次近似法では十分な再構成画像が得られなかった。連立方程式を解く方法では投影回数を87回以上に設定すると、十分な再構成画像が得られた。

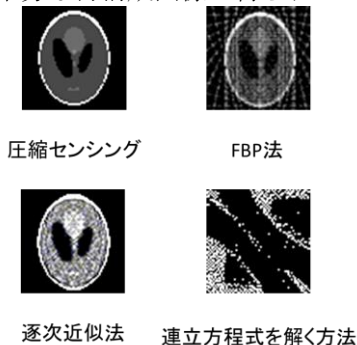


図2 投影回数を14回に設定したときの各手法による再構成画像

## 4. 成果と課題

### 4.1 成果

本研究では投影回数・投影領域・投影角度をそれぞれ制限し、圧縮センシングによる画像再構成を行った。その結果、以下のことが確認できた。

- (i) 圧縮センシングは、投影領域・投影角度に制限を設けない場合に、従来手法よりも少ない投影回数で十分な再構成画像が得られた。
- (ii) 投影領域を制限した場合、圧縮センシングと連立方程式を解く方法では、投影回数を増加させることで十分な再構成画像が得られた。それに必要な投影回数は圧縮センシングの方が少なかった。FBP法・逐次近似法では十分な再構成画像が得られなかった。
- (iii) 投影角度を制限した場合、圧縮センシングと連立方程式を解く方法では、投影回数を増加させることで十分な再構成画像が得られた。それに必要な投影回数は圧縮センシングの方が少なかった。FBP法・逐次近似法では十分な再構成画像が得られなかった。

以上から、投影回数・投影領域・投影角度といった撮影条件が制限される状況においても、圧縮センシングは十分な再構成画像を得ることができた。圧縮センシングをCT画像再構成に用いることで、装置の小型化による省スペース化や被曝量の低減が期待できる。

### 4.2 課題

圧縮センシングは画像再構成の計算コストが大きい。従来法では投影回数を100回程度に設定すると、数十秒で一枚の再構成画像を得られる。圧縮センシングは投影回数を50回程度に設定したとき、数十分の時間を要した。

十分な再構成画像が得られる投影領域・投影角度の限界について、前述の計算時間の問題もあり十分な確認ができなかった。

### 参考文献

- [1] 資源エネルギー庁, 「日常生活で受ける放射線と人体影響」, [http://www.enecho.meti.go.jp/category/electricity\\_and\\_gas/nuclear/rw/hlw/qa/pdf/sanko02.pdf](http://www.enecho.meti.go.jp/category/electricity_and_gas/nuclear/rw/hlw/qa/pdf/sanko02.pdf).
- [2] David L. Donoho, "Compressed Sensing", IEEE Trans. on Inf. Theory, Vol. 52, No. 4, pp. 1289-1306, 2006.
- [3] 工藤博幸, イサム・ラシド, 「圧縮センシングを用いた少数方向投影データからのCT画像再構成」, 映像情報メディカル, Vol. 43, pp. 1093-1099, 2011.
- [4] Kihwan Choi *et al.*, "Compressed sensing based cone-beam computed tomography reconstruction with a first-order method", Medical Physics, Vol. 37, pp. 1289-1306, No. 9, pp. 5113-5125, 2010.