

知っておきたいキーワード

CT

加納 徹†

† 東京理科大学 工学部 情報工学科

"CT" by Toru Kano (Tokyo University of Science, Tokyo)

キーワード：CT，画像再構成，アーチファクト

まえがき

「CT (Computed Tomography)」は、1967年にイギリスのHounsfieldらによって発明された、物体の断層画像（輪切り図）を得ることができる技術・装置のことです。切ったり壊したりせずに物体の内部を観察できるようになった恩恵は計り知れず、CTは現在のわれわれの生活に欠かせないものとなっています。CT画像の例として、著者自身の頭部断層画像を図1に示します。病院で、体内の異変を発見するためにこのようなCT検査をした、という経験がある人も多いのではないのでしょうか。実はCTは、広義には「コンピュータを

用いて被写体内部を画像化する技術」を意味し、光CTやレーザCT、PET (Positron Emission Tomography) なども含みますが、単に「CT」と言った場合は通常、X線を用いた「X線CT」のことを指します。「X線」と聞くと「レントゲン撮影 (X線撮影)」が頭に浮かぶかもしれません。実際、レントゲンとX線CTはどちらもグレースケール画像で一見すると似ており、混同されることもあります。しかし、レントゲンは一方向からのみの単なるX線透過画像であるのに対し、X線CTはさまざまな方向からX線照射（レントゲン撮影）を行い、その情報を用いて断層画像を計算します（この計算は「再

構成」と呼ばれます）。すなわち、X線CTはレントゲン撮影よりも高度な技術であると言えます。



図1 頭部CT画像

X線CTの原理

X線CTではまず、被写体の周囲方向からX線を照射して、さまざまな方向からの投影データを収集します。この操作のことを、順投影 (Forward Projection)（もしくはCT撮影、CTスキャンなど）と呼びます。順投影の過程を簡単なモデルを使って表すと、図2のようになります。ここで被写体は3×3画素の二次元データ（断面データ）

となっており、「0」と「10」という数値のみで構成されています。「0」はX線をほとんど吸収しない物質（例：空気）、「10」はX線を10だけ吸収する物質（例：樹脂）だと考えてください。検出器ではX線の強度を計測することができますので、被写体にX線を照射した際に、どの位置でどれだけのX線が吸収されたかを知ることができます。今回の場合、被写体の対称性から、どの方向からX線を照射してもその投影

データは「0, 10, 0」という並びの配列になります。図2では簡単のため、4方向からX線を照射して4つの投影データを取得していますが、実際の現場では数十～数百方向からの投影データを収集します。

次に、現在X線CTで最も一般的な画像再構成法である、逆投影法について説明します。原理はとても単純で、前述の順投影で収集したさまざまな方向からの投影データを、

☞ 順投影のときは逆向きに、計算機上の二次元空間に足し合わせていくというものです(図3)。この操作のことを、逆投影(Back Projection)と呼びます。今回の例では4方向からの逆

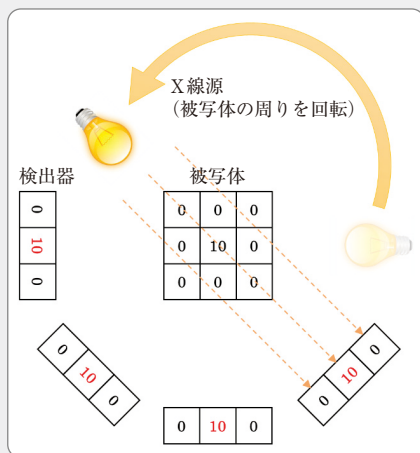


図2 順投影 (Forward Projection)

投影であるため、最終的に4という方向数で除すことで、数値のスケールリングを行います。すると中央に「10」という数値が現れ、元の被写体の「X線を10だけ吸収する物質」を再現できるというわけです。ここで紹介した方法は特に、単純逆投影法 (SBP: Simple back

projection) と呼ばれます。しかし、この方法では図3からもわかるように、物質の周辺部にも値が残るため、ぼやけた画像となってしまいます。鮮明な画像を得るためには、処理過程にボケを相殺するフィルタ処理を含む、フィルタ補正逆投影法 (FBP: Filtered back projection) がよく利用されます。

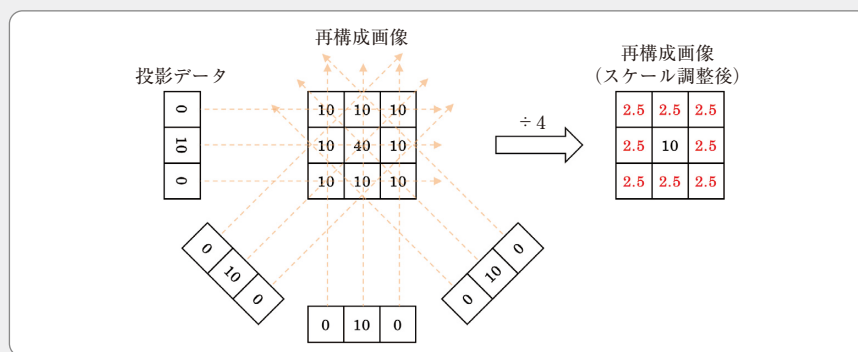


図3 逆投影 (Back Projection)

アーチファクト

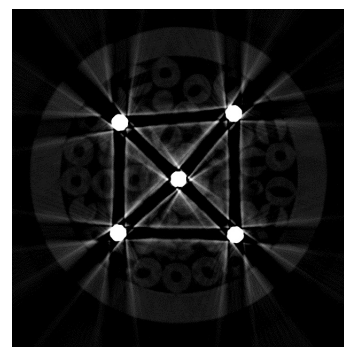
X線CTはとても優れた技術・装置ですが、完璧というわけではなく、さまざまな課題が残されています。その代表的なものに、「アーチファクト (Artifact)」と呼ばれるものがあります。「アーチファクト」は「偽像」とも言われ、装置の不良や被写体の問題により発生する、現実とは異なる像 (偽の像) のことを指します。例えば、撮影中に被写体が動くことで発生する「モーションアーチファクト (Motion Artifact)」や、検出器不良によって発生する「リングアーチファクト (Ring Artifact)」, 「シャワー状アーチファクト (Shower-shaped Artifact)」, 被写

体に含まれる金属から発生する「メタルアーチファクト (Metal Artifact)」など、さまざまな種類が存在します。

表1は、著者の頭部CT画像 (図1) に対して、各種アーチファクトをシミュレーション上で再現したもの ☞



(a) 実験サンプル



(b) 再構成結果

図4 実データにおけるメタルアーチファクト発生例

表1 CTにおける代表的なアーチファクト

名 称	モーションアーチファクト	リングアーチファクト	シャワー状アーチファクト	メタルアーチファクト
再現画像				
症 状	画像全体がぼやける	円状の筋が発生する	シャワー状の筋が発生する	大量の筋が発生する
原 因	撮影中の被写体の移動	特定の検出器の感度不良	特定方向からの投影データの欠損	撮影対象に含まれる金属

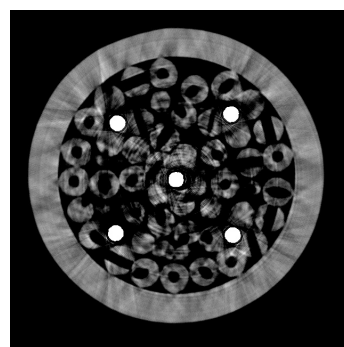
となります。これらアーチファクトの中でも、特に「メタルアーチファクト」は重大かつ解決困難とされてきました。実際のCTで撮影したデータにおける、メタルアーチファクトの発生例を図4に示します。図4(a)

は、樹脂の容器の中に5本の鉄釘を立て、容器内を樹脂のビーズで満たした実験サンプルであり、図4(b)はそのCT撮影の結果となっています。鉄釘部分から放射状のメタルアーチファクトが発生し、その周囲の断層画像が観

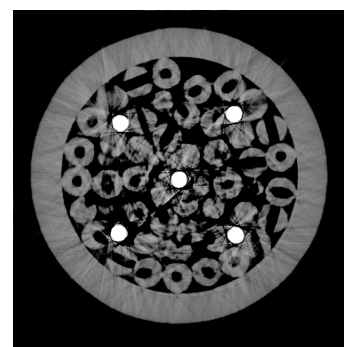
察できない状態となっていることがわかります。以下では、この問題の解決に向けて、著者らが行ってきた研究の一部を紹介いたします。

メタルアーチファクト低減に関する研究

X線CTにおける再構成計算では、「物体によるX線の吸収量は指数関数に従う」ことを前提としています(ランベルト・ベールの法則: Beer-Lambert Law)。しかし、一般的なX線光源と金属の間ではこのような単純な法則が成立しないため、計算過程で矛盾が生じ、その矛盾がメタルアーチファクトの原因となるわけです。メタルアーチファクト低減のアプローチとして最も多く見られるのが、投影データ上の金属領域を欠損データとして扱い、インペインティング(Inpainting)などの画像修復技術により補間するというものです。著者らは、投影データを並べたときに、物体の投影軌跡がサインカーブになるという性質に着目し、サインカーブに基づく新しい補間手法を開発し、一定のアーチファクト低減効果を確認しました¹⁾。しかし、補間を用いる方法は、複雑なケースで



(a) 補間を用いた結果



(b) 反復計算を用いた結果

図5 メタルアーチファクト低減技術の適用結果(対象:図4の実験サンプル)

は十分な効果を発揮できませんでした(図5(a))。次に考えたのが、シミュレーション上でメタルアーチファクトを正確に再現するモデルを構築し、投影計算と逆投影計算の反復処理を実行することで、徐々に正解の断層画像に近づけていくというものです²⁾³⁾。この方法を用いることで、補間を使うよりも高精度にメタルアーチファクトを低減することに成功しています(図5

(b))。メタルアーチファクト低減の効果を数値で示すことはとても難しいですが、画像の低周波数成分(滑らかさ)を用いてある程度見積もることができます。図4(b)のメタルアーチファクト発生画像を基準にすると、画像の低周波成分は図5(a)では107.8、図5(b)では349.2増加しており、数値的にも改善されていることが示されています。

むすび

本稿では、CTの概要とその基礎的な原理、そして現状の課題と課題解決のため著者らが取り組んできた研究を紹介しました。しかしながら、現状では課題の完全な解決には至っていません。加えて、CTの性能に関する課題は、今もなお多岐にわたって残っています。今後も、われわれの生活の質を向上させるために、世界中でCTの性能改善に向けたさまざまなアプローチが試みられていくでしょう。

(2020年11月24日受付)

参考文献

- 1) 加納徹, 小関道彦: “二次元的なメタルアーチファクト低減手法と三次元データへの拡張”, 計測自動制御学会論文集, 50, 9, pp.633-639 (Sep. 2014)
- 2) 加納徹, 小関道彦: “X線CT画像における逐次近似法を用いたメタルアーチファクト低減”, 計測自動制御学会論文集, 51, 12, pp.836-844 (Dec. 2015)
- 3) T. Kano and M. Koseki: "A new metal artifact reduction algorithm based on a deteriorated CT image", Journal of X-Ray Science and Technology, 24, 6, pp.901-912 (Dec. 2016)



加納 徹

2016年, 信州大学総合工学系研究科博士課程修了。同年, 東京工科大学メディア学部助手。2017年, 東京工科大学メディア学部助教。2019年, 東京理科大学助教, 現在に至る。X線CTの性能向上に関する研究に従事。博士(工学)。