

Title	X線CT画像に生ずるモーションアーチファクトの研究
Author(s)	坂本, 隆
Citation	大阪大学, 1993, 博士論文
Version Type	VoR
URL	https://doi.org/10.11501/3065951
rights	
Note	

Osaka University Knowledge Archive : OUKA

<https://ir.library.osaka-u.ac.jp/>

Osaka University

氏 名	坂 本 隆 <small>さか もと たかし</small>
博士の専攻分野の名称	博 士 (工 学)
学 位 記 番 号	第 1 0 7 8 0 号
学 位 授 与 年 月 日	平 成 5 年 3 月 25 日
学 位 授 与 の 要 件	学位規則第4条第1項該当 基礎工学研究科物理系専攻
学 位 論 文 名	X線CT画像に生ずるモーションアーチファクトの研究
論 文 審 査 委 員	(主査) 教 授 佐藤 俊輔 (副査) 教 授 福島 邦彦 教 授 田村 進一

論 文 内 容 の 要 旨

本論文はX線CTへ適用する被写体が運動するときに、CT画像に発生する画像エラー（モーションアーチファクト）と、被写体運動が引き起こす画像劣化を対象に、研究した成果をまとめたものである。とくに本研究により、被写体が一定の運動（並進運動など）をするときCT画像中に現れる「ぶれ」の形状が、サイクロイドと呼ばれる平面曲線である等の事実が明らかとなった。

本論文の内容は以下の通りである。

第1章では、モーションアーチファクト研究の目的と意義について述べた。CT技術が成熟し様々な分野にCT装置が普及した現状においてもモーションアーチファクトに関する多くの問題が存在することなどを例示した後、アーチファクトの発生と性質の解析が不可欠であること等を主張した。また本研究との関連の深い幾つかの報告についてまとめた。

第2章では、被写体からの投影計測および画像再構成に関する基礎的理論をまとめた。ここではCT装置を一つのシステムと見なす概念を導入し、このシステムを構成する被写体-計測系ならびに画像再構成系について説明した。また画像再構成に欠かせない逆投影変換の性質、特に再構成画像を考える上で重要な層と積層の概念についてまとめた。アーチファクトを解析する上で欠かすことのできないCT画像化の操作についても議論した。

第3章では、時間に依存する被写体-計測系と、画像再構成系からなる断層撮影モデルを提案し、その概要についてまとめた。ここではスキャン時間が無限小ではないCT装置を想定し、ある簡単な条件を加味することによって時間を考慮する被写体-計測系がモデル化できることを示した。

第4章～第7章では、対象断面内を運動する被写体（剛体）と剛体に対するモーションアーチファクトを扱うための準備を行った。剛体の運動は、並進と回転に分けて考えられる。そこで第4章と第5章では並進運動を、第6章と第7章では回転運動を扱った。また剛体は重みづけられた点源（2次元デルタ関数）の集まりとして表現できる。そこで第4章と第6章では点源に対する解析を行い、それぞれの解析結果を第5章と第7章において剛体へ拡張した。その概要は次の通りである。

まず点源（2次元デルタ関数）を被写体断層として想定し、並進運動（第4章）と原点中心の回転運動（第6章）について、アーチファクトを解析した。断層撮影モデルの点拡がり関数を求め、CT画像に生ずるぶれの性質について明らかにした。とくにCT画像中に描かれるぶれの形状が「サイクロイド」と呼ばれる平面曲線であることを示し、

計算機シミュレーションによる検証結果を報告した。次の剛体断層を被写体とし、並進運動（第5章）と回転運動（第7章）の場合について、再構成画像の劣化とアーチファクトを解析した。ここでは再構成画像が点拡がり関数の線形和として定式化されることを示した。また、CT画像に生ずる剛体のぶれ像、とくに断層像が多重化するアーチファクト（ストロボスコープ像）について、多重像の発生位置とその数を明らかにした。あわせて計算機シミュレーションの結果を示した。

第8章では、第4章～第7章の解析結果を踏まえ、並進と回転の合成により剛体の運動を表現した。そして合成運動を想定する断層撮影モデルの点拡がり関数を決定し、画像劣化の定式化を行った。また、ぶれ像やストロボスコープ像の解析、検証を行った。

第9章では、本論文の結果を総括し、今後の課題について述べた。

論文審査の結果の要旨

X線CT装置の撮像時間が技術の進歩に伴って短縮されるに従い、装置の適用対象も脳や肝臓などの静止臓器から、心臓などの動く臓器へと広がってきた。現在市販されているX線CT装置の画像再構成の原理は、Radon変換とその逆変換に基礎を置く。これらの変換は本来、静止する対象に対して画像の正確な再構成を約束するもので、撮像中に対象が動く場合を想定していない。そのため、心臓のように動く臓器のX線CT像には動きに起因する画像劣化が発生する。ところがこうした被写体の動きによるCT像劣化のメカニズムは不明であった。

本論文は、X線CTへ適用する被写体が運動するときにCT画像に発生する画像エラー（モーションアーチファクト）と、被写体運動が引き起こす画像劣化を対象に研究した成果をまとめたものである。とくに本研究により、被写体が一定の運動（並進運動など）をするときCT画像中に現れる「ぶれ」の形状が、サイクロイドと呼ばれる平面曲線である等の事実が明らかとなった。

本論文でなされた提案と得られた知見は以下の通りである。

1. CT装置を被写体-計測系と画像再構成系の合成系と見なした。画像再構成に欠かせない逆投影変換の性質、特に再構成画像を考える上で重要な層と積層の概念を提案した。またアーチファクトを解析する上で欠かせないCT画像化の操作について述べた。
2. スキャン時間を考慮する被写体-計測系をモデル化し、この被写体-計測系と画像再構成系からなる合成系（断層撮影モデル）を提案した。
3. 点源（2次元デルタ関数）を被写体断層として想定し、点源が並進運動と原点中心の回転運動する場合について、CT画像に生ずるぶれ（アーチファクト）の性質を明らかにした。とくにCT画像中に描かれるぶれの形状が「サイクロイド」と呼ばれる平面曲線であることを示し、計算機シミュレーションによってこれを検証した。
4. 対象断面内を運動する剛体を扱うために、剛体の運動を並進と回転に分けて考えた。点源に対する再構成画像を「点拡がり関数」と見なし、運動する剛体の再構成画像を重み付けられた点拡がり関数の集まりとして表現した。CT画像に生ずるぶれ像、とくに断層像が多重化するアーチファクト（ストロボスコープ像）について多重像の発生位置とその数を明らかにした。
5. 並進と回転の合成により剛体の運動を表現し、合成運動を想定する断層撮影モデルの点拡がり関数を決定し、画像劣化の定式化を行った。また、ぶれ像やストロボスコープ像の解析と検証を行った。

以上、本論文では、動く被写体をX線CT装置で撮影したときに生ずるモーションアーチファクトについて理論的に解析し、メカニズムを明らかにしたもので、X線CTの今後の適用範囲や設計原理を考えて行く上で、新しい知見を提供したという点で学位論文としての価値が認められる。