

はじめに

本書は逐次近似 CT 画像再構成の基礎について解説した専門書である。診療放射線技師、医学物理士、医師、医療関係企業技術者、保健医療系大学生、理工系大学生の方などで、逐次近似 CT 画像再構成の中身に関心のある方を対象にしている。本書の特色は、本文の再構成画像あるいはその処理画像を付属の C 言語プログラムと「画像処理・表示ツール Display68」によって確認できる環境を整えていることである。本文に掲載したプログラムおよびダウンロード用のプログラムは、C 言語初心者にもわかりやすいように、基礎的な C 言語を用い記述している。

CT には解析的な画像再構成のフィルタ補正逆投影法 (FBP 法) が用いられている。2000 年中期頃には線量の低減技術が重視され、解析的画像再構成法とは別に、新たな CT 画像再構成として逐次近似法を用いた統計的画像再構成法 (逐次近似 CT 画像再構成法) が提案された。そして、今日では、医療機器メーカーはそれぞれ独自の逐次近似 CT 画像再構成法を CT に搭載している。しかし、実際どのような画像再構成法が用いられているかについての詳細は医療機器メーカーから明らかにされていない。

逐次近似 CT 画像再構成法に関し数式を用い解説した文献は世界的にはほとんど存在しなかったが、筑波大学 工藤博幸教授によって、2014 年に 3 種類の逐次近似 CT 画像再構成 “True IR”, “Hybrid IR”, “Image space denoising” 法が解説された (低被曝 CT における画像再構成—統計的画像再構成, 逐次近似画像再構成, 圧縮センシングの基礎—, Med Imag Tech 32: 239-248, 2014)。この論文は各社の共同研究グループが製品開発前に公表した論文をもとにまとめられており、工藤博幸教授が論文の中で、“ただし、非公開のため本当にどうなっているかはわからない” と述べられている。

このように、論文の数式と CT のアルゴリズムに使用されている数式との整合性は不明であるが、これまでブラックボックスであった逐次近似 CT 画像再構成法の数式が示されたことは CT の研究と教育において大きな意義がある。しかし、今日に至るまでそれら数式を実装し再構成画像の画質を調べた報告はない。著者らは、工藤博幸教授が示した数式を実装し、2018 年 4 月の第 115 回日本医学物理学会学術大会において 3 種類の逐次近似 CT 画像再構成法の特徴について発表を行い、医学物理誌に報告した。本書はこれらをもとに、第 2 章で逐次近似 CT 画像再構成法の数式およびその実装について詳細に解説し、再構成画像を提示している。

第 1 章は第 2 章の主要な役割を果たす正則化について、画像再構成を含まない雑音除去に正則化を用い解説している。画像再構成に比較し、数式構造がより簡単な雑音処理において正則化を体験することで第 2 章に円滑に進みやすいと考えた。

第 3 章では数値実験に必要なファントムの作成、投影データの作成、投影データへの雑音の加え方、画像再構成について解説している。

第 4 章の CT の性能評価、第 5 章の線形フィルタ処理と非線形フィルタ処理は、再構成画像の情報処理を扱っている。第 4 章では、エッジ法による線広がり関数の測定、MTF、ノイズパワースペクトルなどの数値実験を行える。ノイズパワースペクトルについては、先行研究の数式を引用し解説している他、特に、その形状の成り立ちを数値実験に基づき詳細に考察している。そして、ノイズパワースペクトルの測定誤差の原因になる折り返しを防ぐ方法を述べ、この方法で算出したノイズパワースペクトルは理論的に近い形状になることを示す。

第 5 章では、線形フィルタ処理、メディアンフィルタ、バイラテラルフィルタ、Nonlocal means フィルタなどを用いた非線形フィルタ処理などの数値実験を行える。本章で非線形フィルタ処理を体験することで、第 6 章の非線形フィルタを用いた逐次近似 CT 画像再構成に進みやすくなることを意図した。

第6章は第5章の非線形フィルタの画像再構成への応用例を紹介している。情報科学において画期的な理論として登場した圧縮センシングは、MRIの高速撮像技術として臨床に導入され、CTにおいても圧縮センシングの研究が行われている。圧縮センシングでは対象画像を疎な信号の画像（非零の値が少ない画像）に変換するスパース変換が重要な役割を果たす。第6章では、非線形フィルタを用いたスパース変換について紹介し、通常の方法サンプリング数（ビュー数）に非線形フィルタを用いた逐次近似CT画像再構成の例を示す。

なお、本書について、以下の点をご了承いただきたい。

- 1) パワーポイント上で暗い画像については、紙面での画像を見やすくするために、実際の値を基準にする標準の明るさとコントラストよりも、パワーポイントの画面で（明るさ+20, コントラスト+20）、あるいは（明るさ+20）にして作成した図を使用している。そのため、実際の数値での画像を観察するにはDisplayで表示していただきたい。上記の対象画像は以下の通りである。
（明るさ+20, コントラスト+20）：図1-19
（明るさ+20）：図1-20, 図1-21, 図2-1, 図2-2, 図2-3, 図2-4, 図2-5, 図2-6
- 2) 本文に掲載したプログラムのうち、フーリエ変換の関数など他のプログラムでも使用するものは1つのプログラムにのみ掲載している。
- 3) 説明の都合上、必要に応じ、著者らの既出書籍の本文、図を使用している。

最後になりましたが、出版に際し、医療科学社の齋藤聖之氏、小柳晶子氏には大変お世話になりましたことをお礼申し上げます。

2018年11月

篠原広行 橋本雄幸