

本研究は、乳腺用 3D 超音波撮像法である超音波 CT (Computed Tomography) および ABUS (Automated Breast Ultrasound System) について、多方向から撮像を行う超音波 CT においてはアーチファクトとしての後方陰影の影響が小さくなるのではないか、という仮説の検証を目的として、以下の結果を得ている。

1. 従来の超音波撮像と同様に ABUS では、深部情報は必ず手前の伝搬経路の音響特性の影響を受ける。一方 USCT では、断層面内においては多方向から情報を取得することが可能であり、各画素の情報の独立性が向上していると考えられる。撮像過程の定式化による理論的な検証を目的として、エコー信号の取得過程を線形システムとして数理モデルで表現を行い、この数理モデルの逆問題として画像再構成処理を定式化することを試みた。撮像の数理モデルは、取得したエコーデータを示すベクトル \mathbf{d} と、画素上の散乱体強度分布を示すベクトル (2次元の散乱体分布を1次元に並べ直したもの) \mathbf{I} と、エコー信号取得過程を示す行列 \mathbf{G} を使って、 $\mathbf{d}=\mathbf{G}\mathbf{I}$ と表現した。この時 \mathbf{G} の逆行列が再構成演算となる。画素数が未知数の数となり、経路数が取得可能な情報量となるが、エコー撮像の場合には伝搬時間が同一になる経路は区別できない。そこでモンテカルロ法の導入と撮像行列の特異値を解析することにより未知数と取得可能な情報量の比に関する検討を行った。リングアレイを模擬した 4 辺に送受信素子がある撮像では、リニアアレイを模擬した 1 辺に送受信素子がある撮像の場合に比べて、撮像行列の最小特異値は 3 倍から 1.4 倍程度大きくなることが確認できた。このことはリニアアレイを用いた撮像の方がノイズに対する安定性において優れていることを示している。

2. Ray trace 法による影の影響評価として、撮像視野内に置いた吸収体 (以下、黒体) が受信開口の上に形成する影の大きさについて、リングアレイとリニアアレイを用いた撮

像手法それぞれに関して音響 Ray trace 法により比較検討を行った。結果、リングアレイの場合は-6dB 以上の変化があった領域は黒体の直径の数%の領域に留まったのに対して、リニアアレイを用いた場合は後方陰影として-6dB の変化があった領域は直径の 125%程度の範囲に広がっており、リニアアレイではリングアレイの場合に比べて影の範囲は非常に小さくなることが確かめられた。これは理論で検証した「多方向からの情報を取得できるリングエコーではアーチファクトによる輝度低下が少ない」、という仮説を検証したシミュレーション結果であると考えられる。

3. 実験的検討として、当研究室で開発された超音波 CT、および ABUS を模した超音波機器（リニア探触子を三軸ステージでメカニカルスキャンしたもの）を用いて、乳房ファントムを対象に超音波画像で生じる後方陰影に関する仮説検証を行った。超音波 CT は周波数 2 MHz、ABUS を模した装置では周波数 10 MHz であり、ファントムは高分子ハイドロゲルをシリコーンゴムで表面コーティングしたものをを用いた。アーチファクト評価には 3cm×3cm のポリステル格子を組み込んだ。結果、リニアエコーで取得した画像ではアーチファクトを認めた。一方、リングエコーではアーチファクトを認めず、これはシミュレーションによる検証と一貫した結果となった。

以上、理論比較、数値計算、実験いずれにおいてもリングエコーはリニアエコーに比べて後方陰影の影響が小さくなることを確認した。乳房用 3 次元超音波撮像手法のアーチファクトの比較検討に関する初めての検討であり、本論文は博士（医学）の学位請求論文として合格と認められる。