

氏名(本籍)	新 <sup>に</sup> 田 <sup>た</sup> 尚 <sup>なお</sup> 隆 <sup>たか</sup> (新潟県)		
学位の種類	博士(工学)		
学位記番号	博甲第2360号		
学位授与年月日	平成12年3月24日		
学位授与の要件	学位規則第4条第1項該当		
審査研究科	工学研究科		
学位論文題目	超音波を用いた組織弾性イメージングに関する研究		
主査	筑波大学教授	工学博士	板橋 秀一
副査	筑波大学教授	工学博士	斎藤 恒雄
副査	筑波大学教授	工学博士	永井 啓一亮
副査	筑波大学助教授	工学博士	椎名 毅
副査	筑波大学助教授	工学博士	山海 嘉之

## 論文の内容の要旨

癌腫瘍などは一般にその周囲の正常組織よりも硬くなることが知られており、触診ではその組織の硬さを検知して腫瘍の診断を行っている。超音波断層像(Bモード像)は乳癌などのスクリーニング法として用いられている。しかし触診は医師の触角に依存し、また微細なものや深在性の腫瘍の触知は困難になる。またBモード画像診断は、主として組織の形状を捉えるものであるため、組織の硬さなどの性状に関する情報を得るのは難しい。一方、癌等の組織性状の変化は形態よりも早い段階で生じるため、組織性状の評価により癌等の早期診断が期待できる。このため、癌等の疾病を組織の硬さの違いから検出する新しい診断法として、超音波を用いた組織弾性特性の画像化の研究が盛んである。

本研究では触診のように体表に静的な圧縮を加えた際の内部組織の変形を、超音波エコーから測定し、それより体内組織の弾性分布を画像化する手法を開発した。まず第1段階として、圧縮により誘起された組織内部の変位及び歪み分布を超音波エコーから直接得て画像化を行う。歪み分布像は定性的であるが、組織硬さの相対的な分布を反映する。第2段階として、推定された歪み分布を用いて、組織の定量的な硬さを示す弾性率分布を再構成する。弾性率分布再構成法には、従来から様々な手法が提案されているが、大半は問題を単純化した1次元及び2次元状態について解かれているため、臨床計測の際には適用できない。本研究では、より実用的な手法として、3次元状態、すなわち組織内に発生した3次元変位ベクトルを用いた弾性率分布再構成法を提案した。

具体的には、まず3次元変位ベクトル計測法を提案した。この計測法は2次元アレイ上各素子において、組織圧縮前後の受信波から位相差を推定し、距離の重みを考慮することで抽出された平面の勾配から3次元変位ベクトルを推定するものである。

次に、計測された3次元変位ベクトルから弾性率分布を再構成する手法について提案した。この再構成法は、対象とする弾性率としてヤング率を考え、応力歪み関係と3次元の応力つりあいの式から得られる3元連立1次方程式を組織内各空間点で解き、体表よりこれらを積分してヤング率分布を再構成するものである。

提案手法の有効性は、まずシミュレーションにより検討された。中心にヤング率分布がガウス形となる内包を含む有限要素組織モデルを構築し、これを基に2次元アレイ各素子で得られる受信波を計算した。この受信波に対して提案する3次元変位ベクトル計測法を適用し、変位ベクトル成分及び歪みテンソル成分の分布を画像化し

た。画像化の際には受信開口直径や送信パルス比帯域などのパラメータ特性を事前に検討し、最適な値を用いている。変位ベクトル成分の推定誤差はすべて5%以下で良好な結果を得た。次にヤング率再構成評価を行った結果、真の分布に良く一致する結果が得られた。1次元及び2次元再構成に対しても同様に実行したところ、真の分布よりも過小評価する結果となったことから本手法の有効性が示された。

さらに提案手法の有効性をファントム実験により検証した。2次元アレイ送受信システムを擬似的に実現するため、セラミック製16素子リングアレイのプロープを作成して超音波計測に用いた。ファントムは寒天とゼラチンを混合して作成し、中央には直径20mmの硬内包球を含ませた。パルスモーターを用いてリングアレイを2次元走査し、水槽内の水を超音波伝搬の媒体としてファントム内からのRF信号の3次元データを取得した。その後、提案手法を用いて3次元変位ベクトルを計測しヤング率再構成を行った。

計測された変位ベクトルに基づいて再構成されたヤング率分布は明瞭に内包部を描出し、定量的にも別に機械的に計測されたヤング率に近い値として得られた。一方、比較のために得た2次元の再構成結果は過小評価されたものとなり、3次元再構成の有効性が示された。さらにヤング率分布の3次元表示により内包の空間的な位置を明確にすることを示した。

以上、シミュレーション及びファントム実験により、提案する3次元変位ベクトル計測法とヤング率再構成法の有効性が示された。今後は、ヤング率再構成の耐ノイズ性の向上や、組織サンプルなど臨床データを用いた計測に関する検討が課題である。

## 審 査 の 結 果 の 要 旨

癌などの早期診断に有効な組織性状の情報として組織弾性の分布を画像化するため、より定量的で実用的な手法を提案した点に新規性が認められる。実際の臨床適用例を示すには到らなかったが、ファントムを用いた実験結果により、従来の超音波断層法では検出できない場合でも組織の硬さの違いから腫瘍の存在が描出された点は、本手法の有用性を実証するものとして評価できる。

よって、著者は博士（工学）の学位を受けるに十分な資格を有するものと認める。