

令和 6 年 5 月 31 日現在

機関番号：11301

研究種目：若手研究

研究期間：2021～2023

課題番号：21K14166

研究課題名（和文）超音波画像の画質向上と脂肪肝の定量診断を目指した生体内音速分布推定法の開発

研究課題名（英文）Estimation of sound speed distribution in vivo for improvement of ultrasonic image quality and quantitative diagnosis of fatty liver disease

研究代表者

森 翔平（Mori, Shohei）

東北大学・工学研究科・助教

研究者番号：50815149

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 3,600,000円

研究成果の概要（和文）：本研究では、生体内の音速分布を推定することで超音波断層像の画質を向上させるとともに、肝臓内の音速分布推定による脂肪肝の定量評価の実現のため、肝臓内の音速を高精度に推定する手法の開発を目指した。本研究の成果により、実測可能な超音波受信信号の情報のみを用いて音速推定に適した血管条件を判定することが可能になり、実臨床でも使用可能な肝臓内音速の高精度推定法の実現に向けた見通しを得た。

研究成果の学術的意義や社会的意義

超音波画像診断装置はリアルタイム性・低侵襲性・簡便性の観点から様々な疾患の診断が可能な装置であるが、超音波を用いて生体内の情報を正確に計測するためには生体内の音速の情報が必要である。計測した超音波受信信号のみを用いて音速推定に適したターゲット条件判定を行った上で音速を推定できる本手法は実際の臨床現場での使用が期待される重要な成果である。

研究成果の概要（英文）：This study aimed to develop an estimation method of speed-of-sound (SoS) in liver for improving the ultrasound image quality and quantification of the fatty liver. In our proposed SoS estimation method, the SoS in liver is estimated using the received signals from blood vessels in the liver. We developed a correction method of overestimated SoS caused by the size of target blood vessels based on the target information observed in the ultrasound image. We also developed a method for distinguishing between the presence and absence of SoS misestimations caused by the rotation of probe to the target blood vessels based on the decrease in signal power received at the edge elements in the probe. These methods will contribute to the development of high-accurate estimation method of SoS in liver.

研究分野：医用超音波計測

キーワード：音速 医用超音波 脂肪肝

様式 C-19、F-19-1、Z-19（共通）

1. 研究開始当初の背景

超音波画像診断装置はリアルタイム性・低侵襲性・簡便性の観点から様々な疾患の診断が可能な装置である。医用超音波計測では、プローブ内の100~200個近い素子で受信した信号を基に生体内の断層像を形成するが、その際に生体内の音速の情報が必要となる。従来の汎用超音波画像診断装置では、一定の音速値（1530 m/s や 1540 m/s など）を仮定して超音波断層像を形成している。近年では、生体内音速を推定して断層像を形成する装置も開発されているが、より高精度な音速推定法の開発は超音波断層像の画質のさらなる向上に貢献する。また、疾患によっては組織の音速が変化する。たとえば、肝臓において、脂肪化により音速が変化することから、音速推定は肝脂肪化の定量評価に有用である。

2. 研究の目的

本研究は、超音波画像の画質向上と肝脂肪化の超音波定量診断の実現を目指し、肝臓内音速を高精度に推定する手法の開発を目的とした。そのために、肝臓内に複数存在する細い血管からの受信信号を利用することを考え、肝臓内音速を高精度に推定するための血管の条件について検討を行い、また、血管径の影響で生じる音速推定誤差を補正する手法を開発した。

3. 研究の方法

本研究では、肝臓内に多数存在する細い血管からの受信信号が肝組織からの散乱信号よりも高強度であることに着目し、血管からの高強度信号を利用することで肝臓内音速を安定に推定することを目指した。一般的な生体内音速推定法では、超音波の照射対象が点散乱体であると仮定し、点散乱体からの散乱波が超音波プローブ内の各素子で受信される時刻と音速の理論的關係を利用して、プローブと点散乱体間の超音波伝搬媒質の平均音速を推定している。しかし、本研究でターゲットとしている肝臓内の血管の直径は数百 μm ~数 mm と幅があり、点散乱体とみなせない場合も多い。また、血管は円筒管形状であるため、プローブ（計測断面）が血管の短軸面に対して回転している可能性もある。そこで、血管が大きさを持つことにより生じる音速推定誤差を補正する手法、および、音速推定に適した血管の条件判定法について、理論解析と生体模擬ファントム実験により検証した。

4. 研究成果

(1) 血管が大きさを持つことにより生じる音速推定誤差の補正

血管が点散乱体とみなせない場合、血管からの散乱・反射信号のプローブ内各素子での受信時刻分布は点散乱体の場合と異なる時刻分布を示す。この受信時刻分布の違いが音速推定の原因となる。血管径が事前に分かっている場合、その場合の受信時刻分布を幾何学的関係から求めることで音速推定誤差の補正が可能である。一つの方法として、超音波断層像から血管径を計測する方法が考えられるが、超音波断層像から血管径を正確に計測するためには、超音波断層像を形成する際に正しい音速情報を与える必要がある。しかし、本研究の目的は生体内音速を正しく推定することであり、生体内音速の実際の真値情報は不明であることを研究の前提としている。こうした課題を解決するため、血管径の真値の情報が分からない条件でも、計測可能な超音波断層像上の見かけの血管径の情報を用いることで、血管径に起因する音速推定誤差を補正する手法を開発した。本手法で用いる見かけの血管径は、真の音速で形成した超音波断層像から計測する

必要はなく、生体内の代表的な音速を仮定して形成した超音波断層像から計測すればよい。図1は水槽中に配置したワイヤからの超音波受信信号を用いて水中の音速を推定し、ワイヤ径に起因する音速推定誤差を提案手法により補正した結果である。補正をしない従来手法ではワイヤ径の増加に伴い音速推定誤差が増加しているが、提案手法により音速推定誤差を大幅に低減することができた。本手法は、生体内の真値の情報を必要とせず、計測可能な超音波信号のみから血管径に起因する音速推定誤差を予想し補正できるため、実臨床でも使用可能な方法であり、超音波医学の分野において重要な成果である。

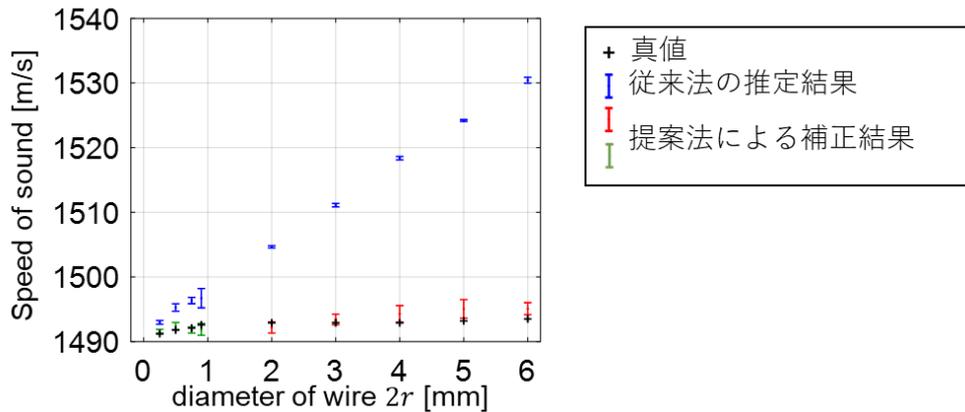


図1 ワイヤからの信号を利用した水中の音速推定結果。

(2) 肝臓内音速推定に適した血管の条件判定

(1)の手法により、超音波プローブが血管の長軸方向に対して垂直な短軸面を計測できていれば、血管径の影響を受けずに超音波伝播媒質内の音速を推定できるようになった。しかし、血管の短軸面に対して超音波プローブが回転している場合の影響についてはこれまで検討されていなかった。そこで、血管の短軸面に対する超音波プローブの回転角の音速推定への影響を実験的に検証した。その結果、回転角が大きくなるほど音速推定誤差が大きくなることが明らかになった。

しかし、実臨床での計測において、2次元断層像のみから血管の回転角を計測することは困難である。そこで、実験データをより詳細に解析した結果、回転角が大きくなると超音波プローブ内の各素子で受信した素子信号の振幅特性が変化すること、この変化は回転角に対して一定の傾向を示すことが明らかになった。図2は、回転角に起因する音速推定誤差と、超音波プローブ内の中心素子での受信振幅に対する端の素子での受信振幅の低下との関係を実験で検証した結果である。超音波の伝搬媒質が水の場合と生体模擬媒質の場合で、これらの関係は同様の傾向を示すことが明らかになった。この結果は、図2の関係が超音波の伝搬媒質に依存しない関係であることを示唆している。以上から、血管短軸面に対する超音波プローブの回転角が未知の状況でも、受信素子信号の振幅特性に基づき、回転角に起因して音速が誤推定される条件を判定できる見通しを得た。本手法では超音波受信信号の情報のみを利用するため、実臨床でも計測可能なデータしか必要としない。こうした実臨床にも適用できる本成果は、肝臓内音速の高精度推定の実現に向けた重要な成果である。

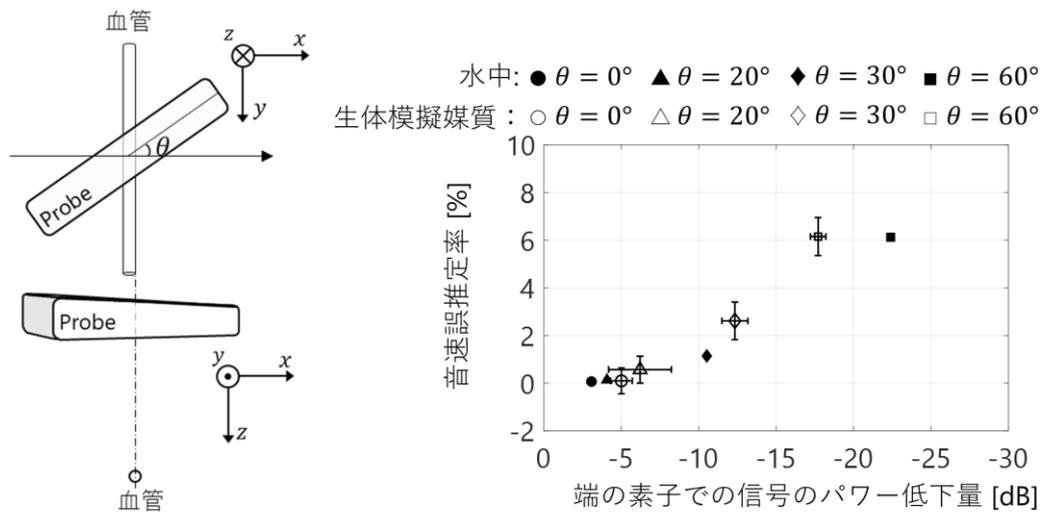


図2 血管に対するプローブ回転角の音速推定への影響

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計5件（うち査読付論文 3件/うち国際共著 0件/うちオープンアクセス 1件）

1. 著者名 Shohei Mori, Keiji Onoda, Mototaka Arakawa, Hiroshi Kanai	4. 巻 51
2. 論文標題 Estimation error in speed of sound caused by rotation of measured cross-section from short-axis plane of blood vessels: a preliminary study	5. 発行年 2023年
3. 雑誌名 Journal of Medical Ultrasonics	6. 最初と最後の頁 49～57
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1007/s10396-023-01383-y	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている（また、その予定である）	国際共著 -
1. 著者名 Shohei Mori, Hiroshi Kanai, Mototaka Arakawa	4. 巻 50
2. 論文標題 Speed-of-sound estimation in ultrasound propagation medium by considering size of target scatterer	5. 発行年 2023年
3. 雑誌名 Journal of Medical Ultrasonics	6. 最初と最後の頁 151～165
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1007/s10396-023-01282-2	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -
1. 著者名 Shohei Mori, Aoi Nakayama, Keiji Onoda, Mototaka Arakawa, Hiroshi Kanai	4. 巻 -
2. 論文標題 Preliminary Study on Estimation of Speed of Sound in Propagation Medium Considering Target Scatterer Size	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Proceedings of 2021 IEEE International Ultrasonics Symposium	6. 最初と最後の頁 -
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1109/IUS52206.2021.9593638	査読の有無 無
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -
1. 著者名 森 翔平, 荒川元孝, 金井 浩	4. 巻 IEICE-121
2. 論文標題 対象散乱体の大きさを考慮した伝播媒質内の音速推定法に関する検討	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 電子情報通信学会 信学技報	6. 最初と最後の頁 36-41
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） なし	査読の有無 無
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

〔学会発表〕 計13件（うち招待講演 1件 / うち国際学会 3件）

1. 発表者名 森 翔平, 荒川元孝, 金井 浩
2. 発表標題 対象散乱体の大きさを考慮した伝播媒質内の音速推定法に関する検討
3. 学会等名 電子情報通信学会・日本音響学会 超音波研究会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 小野田啓司, 森 翔平, 荒川元孝, 金井 浩
2. 発表標題 超音波の媒質内伝播時間以外の遅延時間を考慮した生体内音速推定法に関する検討
3. 学会等名 2021年度電気関係学会東北支部連合大会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 小野田啓司, 森 翔平, 荒川元孝, 金井 浩
2. 発表標題 超音波による生体内音速推定のための媒質内伝播時間以外の遅延時間算出に関する検討
3. 学会等名 第4回東北地区音響学研究会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 森 翔平, 小野田啓司, 荒川元孝, 金井 浩
2. 発表標題 超音波を用いた肝臓内音速推定における血管の走行角度の影響に関する基礎検討
3. 学会等名 日本音響学会第150回（2023年秋季）研究発表会
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 Shohei Mori
2. 発表標題 Medical ultrasound imaging: quantification and visualization of diseases
3. 学会等名 IEEE Ottawa Section: Engineering in Medicine and Biology Society, 125th EMBS Seminar Series. (招待講演) (国際学会) (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2023年

〔図書〕 計0件

〔産業財産権〕

〔その他〕

researchmap https://researchmap.jp/7000022511
--

6. 研究組織		
氏名 (ローマ字氏名) (研究者番号)	所属研究機関・部局・職 (機関番号)	備考

7. 科研費を使用して開催した国際研究集会

〔国際研究集会〕 計0件

8. 本研究に関連して実施した国際共同研究の実施状況

共同研究相手国	相手方研究機関
---------	---------