

# ウェアラブル超音波による 気胸検出モニタリング手法の開発

森 翔 平\*

## Development of Pneumothorax Detection Method by Wearable Ultrasonic Monitoring

Shohei MORI\*

This study aimed to develop a pneumothorax detection method which can be implemented in wearable ultrasonic sensor. For this purpose, we developed an analysis method for M-mode image, which is measurable by a single ultrasonic sensor. An analysis method based on envelope statistics, which is typically applied to a two-dimensional cross-sectional (B-mode) image, was applied to the M-mode image. Based on the properties that the M-mode image of healthy lung region shows an incoherent property along the time direction, while that of pneumothorax lung shows a coherent property, we analyzed the M-mode image by a Rice distribution, which can quantify the ratio of coherent component to incoherent component. By the analysis of ultrasonic echo signals obtained from a healthy volunteer, it was confirmed that the proposed method can quantify the difference between the pseudo-pneumothorax region (chest wall region) and healthy lung region, which will contribute to the development of wearable ultrasound-monitoring device for pneumothorax.

### 1. 研究背景・目的

気胸のような急性肺疾患では、肺機能が致命的な状態に陥るのを防ぐために、経時モニタリングにより自動的かつ連続的に肺機能の異常を検知し、早期に治療を行う必要がある。使い捨て可能な低コストのセンサで経時モニタリングを実現できれば、病院に限らず、日常生活に取り入れることができる。超音波センサは胎児の観察にも使用できるほど安全な計測センサであるため、経時モニタリングへの使用に適している。以上から、低コストのウェアラブル超音波センサで肺機能をモニタリングして肺疾患を定量的・自動的に検知するための新たな計測技術の開発に取り組んだ。

### 2. 方法

図1に肺の模式的構造と超音波断層像の例を示す。肺は、生体内の他の臓器と異なり空気を多く含有している。生体組織と空気では音響特性が大きく異なるが、これに起因して、肺からの超音波受信信号には、多重反射などのアーチファクトと呼ばれる虚像が現れる。一方で、空気の影響で肺内部に入射する超音波のエネルギーは大きく減少するが、肺組織そのものからも微弱な信号が受信される。この微弱な信号は超音波の波長程度の直径の多数の肺胞からの弱散乱信号の干渉波形であるが、この干渉状態は計測センサと肺組織の位置関係によって変化する。また、肺は呼吸により動くため、呼吸に伴い計測センサと肺組織の位置関係が変わり、干渉状態も時間的に変化する。

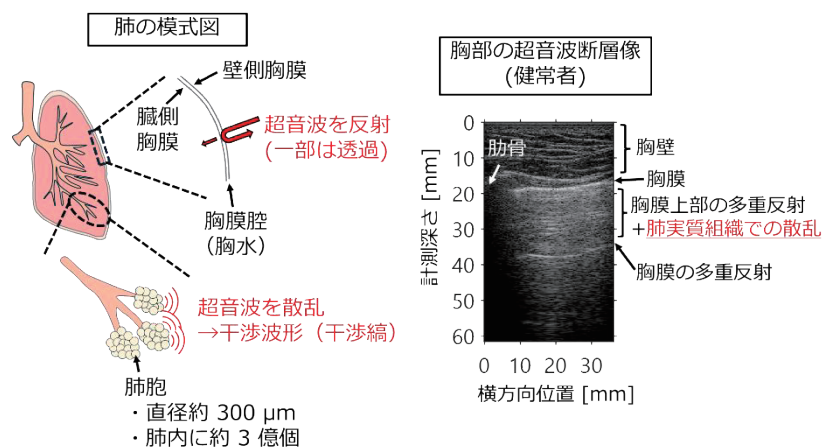


図1 肺の模式的構造と胸部の超音波断層像（健常者）。

超音波画像診断における表示方式の一つに、Mモードと呼ばれる方式がある。これは、計測深さを画像の縦方向に、時刻ごとの取得信号を画像の横方向に並べることで、信号の深さごとの時間変化を画像化する方式である。呼吸による肺の動きに伴う信号の干渉状態の変化により、Mモード画像上では横(時間)方向にランダムな模様が現れる。一方で、胸壁部分では筋組織からの非干渉信号が支配的となるため、Mモード画像上では横方向に定常的な模様が観察される(図2)。

気胸が生じると、胸壁と肺の間に存在する胸膜に穴が開き、肺から胸膜腔へ空気が漏れ出る。この空気は胸壁組織と音響特性が大きく異なるため、照射した超音波の大部分は胸膜腔で反射し、肺領域には超音波が入射しなくなる。これにより、肺胞からの微弱な信号は検出されなくなり、Mモード画像上では、胸壁部と同様の横(時間)方向に定常的なパターンが多重反射により肺領域部まで続いて見えるような模様となる。

こうしたランダムな信号(模様)変化と定常的な信号を定量的に判別するため、信号に含まれる統計的な性質を解析する手法である包絡振幅統計解析を行った。

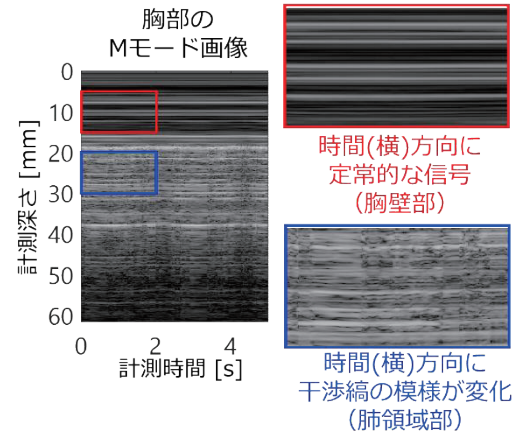


図2 胸部領域のMモード画像(健康者)。

### 3. 成果

気胸肺のMモード画像では肺領域部に胸壁部に類似した模様がみられることに着目し、健康者の胸壁部のMモード画像を疑似気胸肺のMモード画像として模倣的に扱い、健康者の肺領域部との比較を行った。ランダムな干渉信号と定常的な信号の比率を定量化できるライス分布と呼ばれる確率分布モデルを用いて解析を行った結果を図3に示す。ライス分布による解析により、模擬気胸領域(胸壁部)では横(時間)方向に定常的な信号が支配的であり、健康肺領域部ではランダムな信号変化が支配的となっていることが確認でき、その比率をライス分布パラメータにより定量化することができた(1)。以上から、本解析法により健康肺と気胸肺を判別し、気胸を定量的に検出できる見通しを得た。

これまで、医用超音波画像診断分野での研究において、包絡振幅統計解析に基づく解析アプローチは、2次元断層像に適用して生体組織の空間構造的な性質を解析する使われ方が主であった。一方で、本研究では、信号の経時的な変化を表すMモード画像に対して包絡振幅統計解析を行うことで、組織の空間構造的な性質ではなく、組織の音響的性質に伴う超音波計測信号の経時的な特性を定量化することに成功したものであり、研究課題の主目的である気胸検出法の開発に留まらず、医用超音波画像診断領域における新たな信号解析分野の創出にも寄与するものと期待できる。

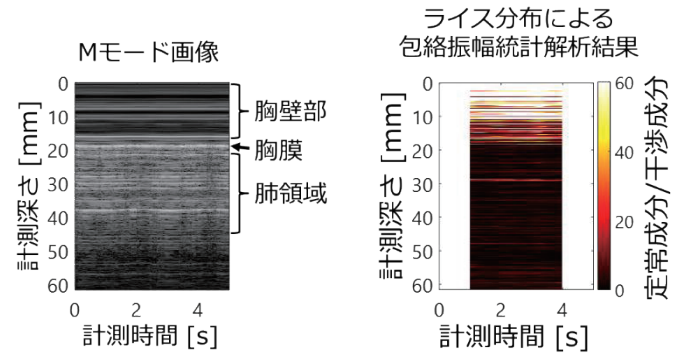


図3 ライス分布による解析結果(健康者)。

### 4. 結論・今後の展望

病院での一般的な診療に用いられる高性能な超音波画像診断装置では2次元断層像の詳細な情報を取得できるが、本研究では、日常生活で気軽に使用できるようにシンプルな構成の使い捨てウェアラブルセンサの使用を想定している。本研究課題で着目したMモード画像は単一のセンサにより1次元の信号を経時的に取得することで得られるため、2次元断層像を取得できないシンプルな構成のセンサにも適用でき、ディスプレイがなくてもウェアラブルな超音波センサを用いた肺疾患の常時モニタリング技術の開発への貢献が期待できる。

### REFERENCE

- 1) S. Mori, et al., *IEEE International Ultrasonics Symposium*, 2024. doi: 10.1109/uffc-js60046.2024.10793989