

科学研究費助成事業（科学研究費補助金）研究成果報告書

平成 24 年 6 月 1 日現在

機関番号：10101
 研究種目：基盤研究（C）
 研究期間：2009～2011
 課題番号：21580215
 研究課題名（和文） 超音波画像法による生鮮魚類の品質評価法の開発
 研究課題名（英文） Development of evaluation method for sea food quality using ultrasonography
 研究代表者
 飯田 浩二（IIDA KOHJI）
 北海道大学・大学院水産科学研究院・教授
 研究者番号：40142707

研究成果の概要（和文）：

本研究は高周波超音波を用いて生鮮魚類の体内を観察し、魚の鮮度や品質の判定、魚卵や肝臓などを非破壊計測する方法を開発することを目的とした。超音波診断装置(3MHz, 5MHz)を用いたスケソウダラ、マダラ、サケ、チョウザメ等の観察では生殖腺画像の特徴から雄と雌の識別が可能であり、さらに雌の卵巣の卵粒径を推定することができた。生体画像は周波数が高いほど、方位分解能が高いほど鮮明であり、容易に識別が可能であった。

研究成果の概要（英文）：

This study aims to develop methods to evaluate food qualities of fresh fish by using high frequency ultrasonic imaging techniques. Internal organs of walleye Pollock, cod, salmon and sturgeon were observed by using 3MHz and 5MHz ultrasonic. Results showed that can identify female from male individuals. Also it can estimate sizes of individual eggs in gonad resulted to evaluate maturity. The ultrasonic images of internal organs get clearer along with increase of ultrasonic frequency.

交付決定額

(金額単位：円)

	直接経費	間接経費	合計
2009 年度	2,300,000	690,000	2,990,000
2010 年度	1,000,000	300,000	1,300,000
1011 年度	500,000	150,000	650,000
年度			
年度			
総計	4,800,000	1,140,000	4,940,000

研究分野：農学

科研費の分科・細目：水産学・水産学一般

キーワード：超音波診断, 雌雄判別, 生殖腺

1. 研究開始当初の背景

申請者らは平成 15 年度～平成 17 年度科学省科学研究費補助金（萌芽研究）課題名「医療超音波診断装置を用いた海中生物の微細構造の解明」において、医療用超音波診断装置

を耐圧容器に入れた水中音響カメラを製作して海洋生物を至近距離から観察し、生物の形状、姿勢、骨格、体内器官、行動などを定量的に測定する非破壊的生物計測手法の開発を行ない、予想以上の成果を得た。概要は

以下の通りである。

(1) 水中生物観測システムの製作

周波数 3.5MHz の 192 本の音響ビームを持つ医療用超音波診断装置を水深 100m の耐圧容器に收容し、レンジ 24~240cm、探知角 90 度の扇形の探知範囲を可視化する装置を製作した。表示は B モード画像 (断層画像) および M モード画像 (エコーグラム) で、距離減衰を補正し、256 階調のモノクロ画像として CRT にディスプレイするとともにビデオ信号を 300m の水中ケーブルを用いて陸上解析装置に伝送するシステムを開発した。

(2) 水槽飼育生物の音響画像の解析

リニアステージを用いて音響プローブを機械走査する観察装置を製作し、水槽飼育生物の生体音響画像を取得した。音響画像からは生物の外形やサイズ、体内の脊椎骨、浮袋、肝臓、生殖腺等の形状が測定され、同時に観察した光学画像や解剖による計測結果と比較した。特に有表魚であるサンマ、チカ、スケソ、ウスメバル、マアジ、などは脊椎骨とともに浮袋が良く現れた。また、サケやハタハタなどの観察では生殖腺の精密観察から、成熟度、雌雄の判別、卵巣の粒度、および体内寄生虫が音響画像で観察されたことは注目に値する。さらに音響断層画像の積層により、生物の 3 次元形状を復元し、体内組織の形態を測定することができた。

上記研究を通して、生物生体内部の音響可視化手法が生鮮魚類の品質管理のための診断技術として応用可能であることが示唆された。本技術を応用して食品として珍重される生鮮魚類の付加価値部位の大きさや成熟度を非破壊計測法の開発を試みた。

2. 研究の目的

本研究は超音波医療診断と同様の方法により、高周波超音波を用いて生鮮魚介類の体内を観察し、生体組織の音響学的特性の差異を利用して、生体内部の異物の検出、寄生虫や魚病の発見、鮮度や品質の判定、魚卵や肝臓の識別など、食品として珍重される付加価値部位の大きさや成熟度を非破壊計測する方法を開発することを目的としたものである。

3. 研究の方法

まず従来型の超音波診断装置 (3MHz, 5MHz) を水中で使用可能とし、水槽内に垂下したスケソウダラ、マダラ、サケ、チョウザメ等の体内組織を観察し、体内器官の識別と計測を試みた。次に体内組織からの非線形散乱現象が示唆されたため、広帯域高周波超音波送受信機を用いて、体内組織からの散乱波を解析して高調波成分を抽出し、高調波超音波画像を得た。最後に対象全体の超音波画像を得るため、2 次元走査装置を製作し、対象生物全体

の C モード画像 (断面画像) および F モード画像 (疑似透過画像) を取得し、基本波、および第 2, 第 3 次高調波による、超音波画像を作成した。

4. 研究成果

(1) 従来型の超音波診断装置 (3MHz, 5MHz) でスケソウダラ、マダラ、サケ、チョウザメ等の体内を観察したところ、雄と雌の生殖腺画像に明確な差異が認められ、さらに雌の卵巣の観察では、卵粒径を推定することができた。生殖腺画像は周波数が高いほど、方位分解能が高いほど鮮明であり、容易に識別が可能であった。

(2) 3.5MHz と 5MHz の基本波エコーによる超音波断層画像と 2MHz の基本波エコー、および第 2 高調波 (4MHz)、第 3 高調波 (6MHz) による高調波超音波画像を得ることができた。ある種の生体組織には非線形の性質があり、超音波反射波の波形歪みにより整数倍の高調波が現れる。本装置を用いて、スケトウダラ雌雄、スルメイカ雌雄個体の生体観察を行ったところ、精巣、卵巣、肝臓、胃などの部位が基本波よりも高調波においてより強調され、かつ 2 倍高調波が 3 倍高調波よりも鮮明であった。

(3) B モード断層画像は一回の送受波で作成され履歴が残らないので結果的に画像のコントラストが低くなる。そこで超音波送受波器を機械走査して断層画像を多数取得し、これを合成した。合成画像は 3 次元情報を持つので、これを上面から下面まで履歴積分して F モード画像を作成した。また、任意の切断面を可視化する C モード画像の作成も行った。これを実現するために 2 次元平面を機械走査できる XY スキャナーを製作し、これを用いて対象生物全体を含む面の平面走査を行った。特に F モード画像は疑似的な透過画像に近いので、生体内部組織の全体像を把握するのに有効であった。さらに高調波を用いた F モード画像の作成を行い、生鮮魚介類の診断に有効であることが示された。

取得したスルメイカの B モード画像を Fig. 1 に示す。スルメイカの B モード画像から肝臓を観察することができ、不鮮明ではあるが胃や生殖腺を確認することができた。



Fig. 1 スルメイカの基本波 B モード画像

また、作成した C モード画像を Fig. 2 に示す。C モード画像では B モードと同様に、肝

臓観察でき、Bモード縦断面画像では表示されなかった鰓を観察することができた。Fig.3のFモードでは、スルメイカの透過像が得られたが、内部組織の判別はB、Cモードに比べて困難だった。



Fig. 2 スルメイカの基本波Cモード画像



Fig. 3 スルメイカの基本波Fモード画像

次に雌のスケトウダラのBモード画像をFig.4に示す。Bモード画像から卵巣と肝臓を明瞭に観察することができた。Fig.5のCモード画像からは左右両方の卵巣を観察することができたが、他の体内組織は確認できなかった。Fig.6のFモード画像では輪郭の不鮮明な画像となり、体内組織を観察するのは困難だった。



Fig. 4 スケトウダラの基本波Bモード画像



Fig. 5 スケトウダラの基本波Cモード画像

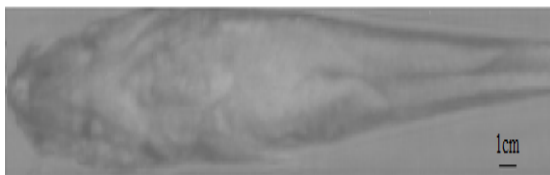


Fig. 6 スケトウダラの基本波Fモード画像

超音波診断装置による体内組織の測定精度を比較するために、スケトウダラの卵巣の

解剖による計測値と超音波画像による計測値を比較した。また、音響長対物理長比Rをその指標とし、結果をFig.7に示す。縦軸が音響測定長、横軸が解剖測定長を示し、●がBモード、○がCモードの結果を示している。図を見ると音響測定長はどれも解剖測定長より小さく、○で示したCモードのほうが解剖測定長との誤差が大きかった。そのRはBモードで0.92-0.98、Cモードでは0.63-0.80であった。

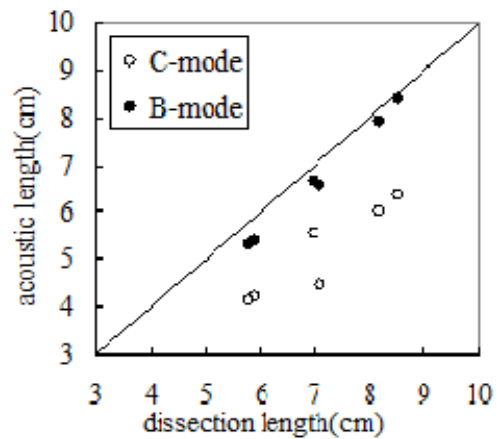


Fig. 7 B, Cモードによる音響測定長と解剖測定長の比較

最後に音響測定長から卵巣重量を推定した結果をFig.8で示した。縦軸は卵巣重量、横軸は音響測定長、図中の式はそれぞれの近似曲線と決定係数を示している。Cモードによる推定はBモードより精度が低かったが、それぞれの決定係数は0.68、0.73と高かった。

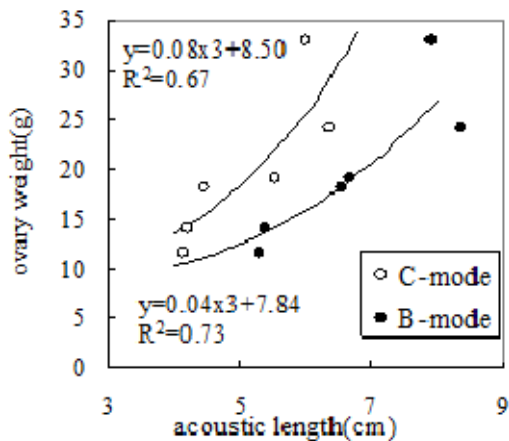


Fig. 8 音響画像から推定した生殖腺重量

スルメイカにおいて、Fig.2のBモード縦断面画像では確認できなかった鰓がCモード画像では確認できた。CモードはBモードと垂直な断面を表示し、任意の深度を画像化で

きるので、これらを組み合わせることでそれぞれでは画像化されない部分を観察することが可能であると考えられた。

雌のスケトウダラにおいては、Fig. 4 の B モード画像と Fig. 5 の C モード画像を比較したところ、B モードのほうが精度は良く ($R=0.92-0.98$, $R=0.63-0.80$), 体内組織の計測には B モードが向いていると考えられた。C モードにおいて、卵巣が過小評価された原因は卵巣が体軸に対して傾いており、C モード画像では卵巣長が最大となる断面にならなかったためと考えられる。

Fig. 8 で超音波診断装置からスケトウダラの卵巣重量を推定でき ($R^2=0.68$, 0.73), 測定個体数を増やすことで、より推定精度が上がると考えられた。

F モード画像では、サンプルの 3 次元的な情報を用いて透過像としているため、1 枚の画像でサンプル全体を観察することが可能であるが、各組織の境界が不鮮明となることがわかった。しかし、海洋生物の F モード画像に関する研究はまだほとんどなされていないため、研究を重ね、有効な利用方法を考察することで、海洋生物の新たな画像化手法として利用できる可能性があると考えられた。

5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

[雑誌論文] (計 4 件)

1. 福田美亮, 向井徹, 澤田浩一, 飯田浩二: 懸垂法を用いたツノナシオキアミ *Euphausia pacifica* の側面方向ターゲットストレングス測定, 日本水産学会誌, 78(3), 388-398(2012), 査読有.
2. Muhammad Kurnia, Kohji Iida, Tohru Mukai: Characteristics of three-dimensional target strength of swim bladdered fish, Journal of Acoustical Society of Japan, 39(3), 1-10(2012), 査読有.
3. Muhammad Kurnia, Kohji Iida, Tohru Mukai: Measurement and Modeling of Three Dimensional Target Strength of Fish for Horizontal Scanning Sonar, Journal of Marine Science and Technology, Vol. 19(3), 287-293(2011), 査読有.
<http://jmst.ntou.edu.tw/marine/19-3/287-293.pdf>
4. 飯田浩二: 魚群探知機と漁業用ソナーの技術, 非破壊検査第 60 巻 7 号, 384-386(2011), 査読有.

[学会発表] (計 2 件)

1. 森本敦也, 飯田浩二, 向井徹: 超音波診断

装置を用いた海洋生物の体内組織について, 平成 24 年度海洋音響学会, 2012 年 5 月 28 日, 東京.

2. Kohji Iida: Relationship between distribution of walleye pollock (*Theragra chalcogramma*) and zooplankton by acoustic survey around south of Hokkaido, Japan, The Fifth Annual Meeting of Asian Fisheries Acoustics Society (AFAS2011), November 17-18, 2011, Dalian, China.

6. 研究組織

(1) 研究代表者

飯田 浩二 (IIDA KOHJI)

北海道大学・大学院水産科学研究院・教授
研究者番号: 40142707

(2) 研究分担者

向井 徹 (MUKAI TOHRU)

北海道大学・大学院水産科学研究院・准教授
研究者番号: 60209971