

平成 26 年 3 月修士論文要旨

(東京大学大学院 新領域創成科学研究科 海洋技術環境学専攻)

小型魚類の生体内部三次元音響プロファイル計測に基づく

音響特徴量を用いた魚種・性別判別手法の開発

Development of the three dimensional visualization for a inner structure of small size fish and its application to identification of species and sex using a acoustic profile measurement

学籍番号 47116615 長曾 大

指導教員 浅田 昭 教授

(平成 26 年 2 月 3 日発表予定)

Keywords: 魚種判別, 性別判別, 音響イメージング, 超音波, 集束音場, 水中音響

Keywords: fish species classification, sex identification, acoustic imaging, ultrasonic, acoustic focused probe, underwater acoustics.

1. 序論

養殖漁業において飼育魚の性別の判別は生産効率に直接影響する要素であり、フグやチョウザメ等の経済的価値が高く、オスとメスでその価値が異なる魚種では特に重要な作業行程である。しかし現在は職人が手作業で判別作業をするために人的コストと時間的コストがかかり、養殖業における生産性向上のボトルネックとなっている。免疫学的判別方法[1-2]や触診による簡易な方法[3]など多様な手法が提案されていて、超音波エコー診断装置を直接魚体に接触させて内部の生殖腺を確認する方法も研究されている[4]。しかし魚に直接触れたり狭い水路に追い込むことで魚に与えるストレスが、養殖魚の品質に影響を与えるという報告もされている[5]。本研究は 25MHz の集束型超音波プローブを用いて魚体を計測することで、水中超音波を用いた非接触な性別判別手法の開発を目的に研究を行った。また、渓流域に生息する魚類の資源量調査として現在行なわれている手法である、釣り人を対象としたアンケート調査、漁獲量からの推定、電気ショッカーを用いた方法はどれも労力がかかり、生態系に与える影響も小さくない。本研究は溪流魚の生態調査を水中超音波により自動化することを最終的な目標に、まずは水中超音波の種別判別可能性を調べることを目的とした研究である。

2. 実験環境及びシミュレーション条件

2.1 データ収録

観測対象は淡水魚であるイワナ・ヤマメとし(図 1)、集束型超音波プローブを用いて、それらの音響散乱特性を計測した。実験系を図 2 に示す。送受波器には集束型超音波プローブ(本多電子、直径 8 mm、曲率 25 mm、P(VDF-TrFE)) を用い、パルサーレーザ (PUL1、本多電子) から中心周波数 25 MHz の正弦波 1 波のバースト信号を印加した。対象魚は脱気水で満たされた水槽内の樹脂製台に固定し、鉛直上方より音波を対象魚に向けて照射し、反射、散乱した波をデジタルオシロスコープ (DPO3054, Tektronix) を介して PC に収録した。また、3 軸ステージコントローラ (Sigma Koki sgSP26-200) を用いて、超音波プローブを高さ一定のまま、水平面内を 1.00 mm 間隔で走査し、各位置で受波信号を収録することにより、対象魚全体を計測した。尚、プローブの高さは、魚体中心(固定した状態で脊椎のある高さ)より 20 mm 上方とした。

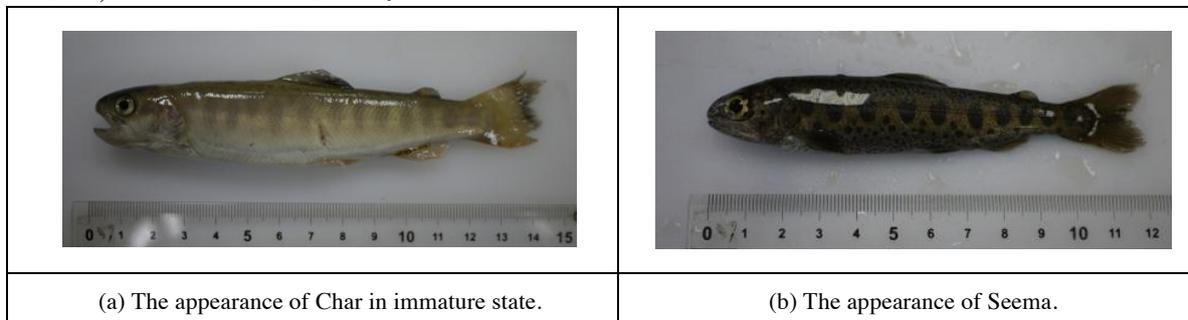


Fig. 1 appearance of experimental subject fish.

2.2 信号解析

収録信号の解析フローを図3に示す。読み込んだ生波形に解析信号を用いた包絡線抽出をおこない、その振幅に対して閾値を施してノイズと魚体組織からの反射波を切り分ける。検出された反射波における時間を距離に、振幅値を輝度値に変換して3次元空間上に表示することで魚の3次元音響画像を得る。また、ここで得られた反射波の振幅値は音波の距離減衰と反射面の傾き、音場の集束性の影響を付加された値であり、反射面の物性を調べるためにはこれらを取り除く必要がある。そのために高密度ポリエチレン製の円柱モデルをプローブ面からの距離、反射面の傾きを変えながら魚と同じ環境で反射波を収録し、その反射振幅を最大値で正規化することで補正関数を作成した(図4)。魚の体表面の反射特性を比較することとし、そのために体表面からの反射点のみを抽出し2次元ドローネー分割により3角形パッチ情報に変換。反射点の傾きを周囲のパッチの法線ベクトルの加算により求めた。体表面の各反射点での傾き、距離情報を補正関数と照らしあわせて一番ちかい4点より線形に補間した補正值で、魚の反射の振幅を除することで補正された振幅値を算出した。

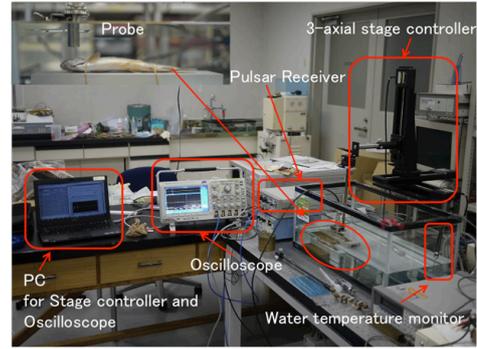


Fig.2 experimental set-up.

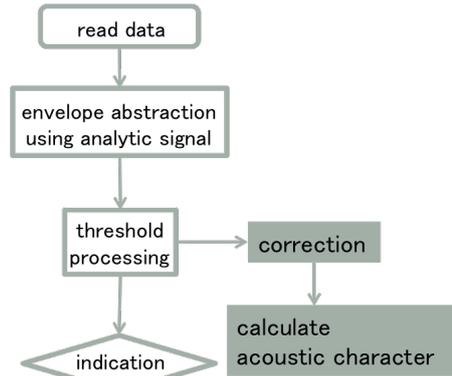


Fig.3 signal processing flow.

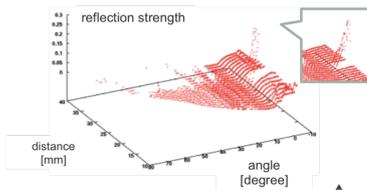
Correction function

・ Cylindrical silicon model is measured.



On the same arc with changing the distance from the probe.

・ Correction function is made by reflection signals from cylindrical model.



Reflection strength is normalized by the maximum value in the function.

・ Correction value is chosen by referring to this function depending on the distance from the probe to body surface and gradient of surface point.

Then the corrected reflection strength is calculated by being divided with this correction value.

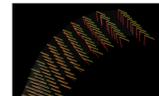
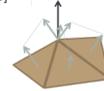


Fig.4 correction function.

2.3 FDTDによる集束音場の再現

2次元 FDTD により集束音場が再現出来ているかを確認するために、導出した理論式から算出される値との比較を行った。その結果を図5に示す。集束点を含む中心軸上の数点における圧力値の時間変化を計測し、各位置での圧力値最大値を集束点における圧力値で正規化し並べた。比較の結果、2次元 FDTD により再現した集束音場は集束距離が一致し、中心軸上の距離変化に応じた最大値の変化も似たものとなった。また軸上音圧の変化も凡そ一致した。しかし、FDTD 法において凹面音源を再現する場合、グリッド刻み幅が有限であることや速度分散誤差から理論的な曲面と FDTD シミュレーションにおける音源面とはズレが生じ、それが僅かな差となって表れていると考えられる。そのため焦点も1点には定まらず、その結果集束点における音圧ピークの立ち上がりは理論値よりも急峻ではないものとなる。

2.4 FDTD 法による魚類生体内における音響伝搬経路の解析

性別判別については、計測後に魚体内を解剖観察した結果、生殖腺は極めて小さく今回の計測方法では形状を画像として得ることが不可能であったので、簡易的な魚の断面モデルを用意して生殖腺があ

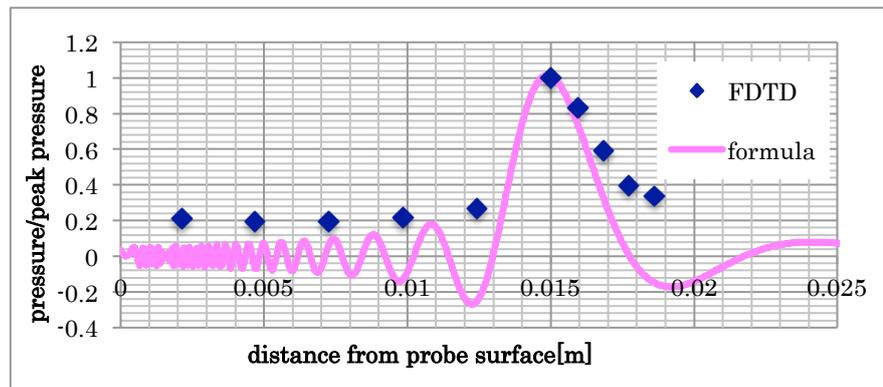


Fig.5 simulation of focal probe simulation result.

る場合の音波伝播経路と得られる信号を観察した。また、種別判別に対しては体表面の次に内蔵の境界面を補正・比較対象にしようと試みたが、体内では反射が複雑で面として臓器を捉えることが困難であった。そのために、どういった要因でそれらの反射が起こるのかを検証するためにも伝播経路の解析を行った。図6に示す計算領域を設定し、その中に配置した魚体断面に対して集束プローブより音波を照射しその反射と伝搬の様子を調べた。

3. 結果

図7に信号処理により得られた魚の三次元画像を示す。これより魚の胃、鰾および脊椎の存在を3次元音響画像により確認できた。図8には魚の体表面における音響特徴量の魚種間の違いを示す。結果、補正をする前と後では後のほうが明確に魚種間の際がみられるようになり、イワナよりヤマメの値が大きいうという結果は計測時に指で触れた感覚と符合するものである。次に魚体断面モデル(生殖腺あり)のシミュレーション結果を図9に載せる。この結果より複数の反射信号が確認できた。0~1 μ sの間に見られるのは送波信号とPML境界境界で吸収しきれずに送波面後方から折り返してきた送信波形である。t=3.07 μ s(図9(b))では魚体表面からの反射波が起こり、t=5.33 μ sはプローブに近い側にある生殖腺からの反射波、t=5.87 μ sは骨からの反射波であることがわかった。注目すべきは振動面の中心軸から水平方向に離れた位置にある骨からの反射波が生殖腺からの反射波よりも強く見えていることである。このシミュレーションにおける振動子の開口半径は2.8mmなので中心軸から2mm以上離れたところにある媒質の不連続面でも、その不連続性が大きい場合は反射波として計測されてしまう、つまりサイドローブの影響が効いているということである。逆に、懸念していた胃からの反射は比較的小さいことが分かった。また、t=6.40 μ sでは生殖腺の音源より遠い側面での反射が起こっている。これより生殖腺からの反射波は、脊椎からの反射を挟むようにして収録されることが確かめられた。この結果を踏まえて実信号を観察すると、図10に示すように実際に生殖腺の確認された位置での収録信号より、シミュレーションと同様の配置で脊椎と生殖腺からの反射波が確認された。

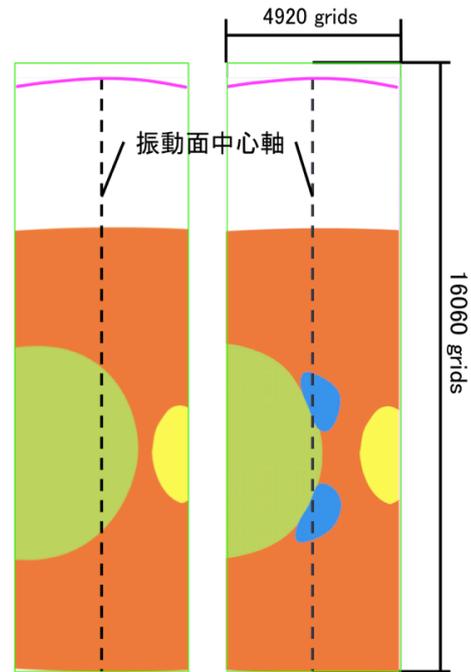


Fig.6 Computational region.

0~1 μ sの間に見られるのは送波信号とPML境界境界で吸収しきれずに送波面後方から折り返してきた送信波形である。t=3.07 μ s(図9(b))では魚体表面からの反射波が起こり、t=5.33 μ sはプローブに近い側にある生殖腺からの反射波、t=5.87 μ sは骨からの反射波であることがわかった。注目すべきは振動面の中心軸から水平方向に離れた位置にある骨からの反射波が生殖腺からの反射波よりも強く見えていることである。このシミュレーションにおける振動子の開口半径は2.8mmなので中心軸から2mm以上離れたところにある媒質の不連続面でも、その不連続性が大きい場合は反射波として計測されてしまう、つまりサイドローブの影響が効いているということである。逆に、懸念していた胃からの反射は比較的小さいことが分かった。また、t=6.40 μ sでは生殖腺の音源より遠い側面での反射が起こっている。これより生殖腺からの反射波は、脊椎からの反射を挟むようにして収録されることが確かめられた。この結果を踏まえて実信号を観察すると、図10に示すように実際に生殖腺の確認された位置での収録信号より、シミュレーションと同様の配置で脊椎と生殖腺からの反射波が確認された。

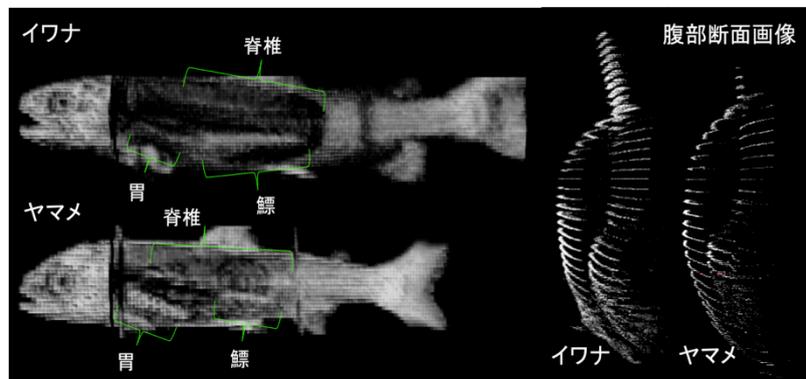


Fig.7 3-dimensional acoustic image.

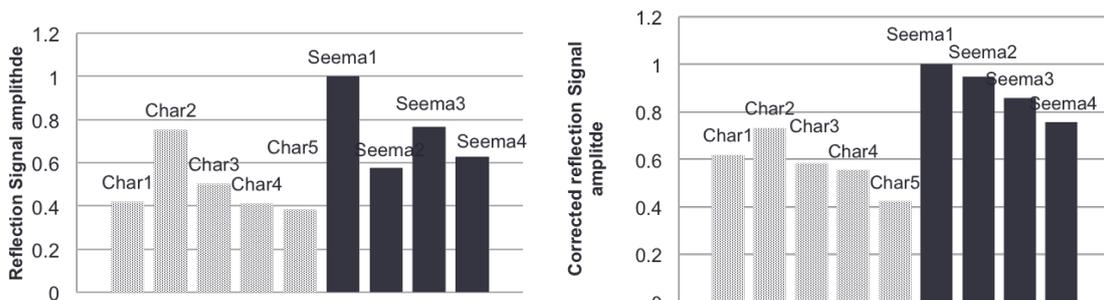


Fig.8 Averaged reflection amplitude applied correction function.

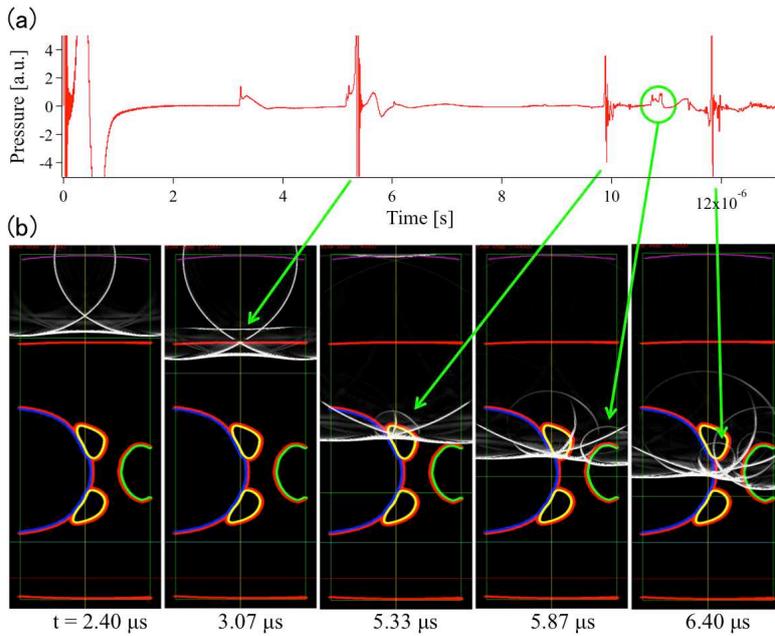


Fig.9 Received waveform(a) and appearance of wave propagation(b).

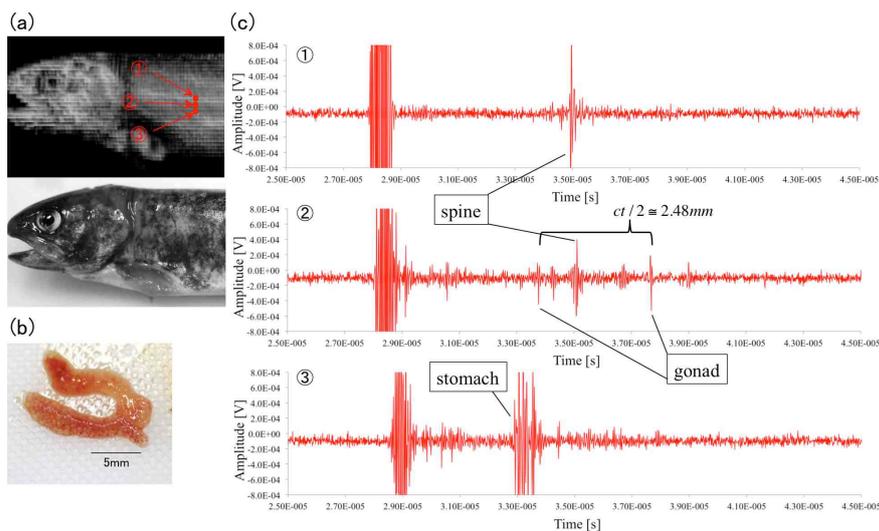


Fig.10 (a) 3D acoustic image and optical image. (b) Gonad which was taken surgically and observed after measurement. (c) Raw signals from fish body measurement.

参考文献

- [1] David L. Berlinsky, Jennifer L. Specker, "Changes in gonadal hormones during oocyte development in the striped bass, *Morone saxatilis*", *Fish Physiol. Biochem.*, vol. 9, pp. 51-62, March 1991.
- [2] J. C. A. Craik, S. M. Harvey, "A biochemical method for distinguishing between the sexes of fishes by the presence of yolk protein in the blood", *J. Fish Biol.*, vol. 25, issue 3, pp. 293-303, September 1984.
- [3] Y.Kano, "Sexing fish by palpation: a simple method for gonadal assessment of fluvial salmonids", *J. Fish Biol.*, vol. 66, pp.1735-1739, June 2005.
- [4] Robert E. Colomb, Paul S. Wills, James E. Garvey, "Use of Ultrasound Imaging to Determine Sex of Shovelnose Sturgeon", *North American Journal of Fisheries Management*, vol 24, issue 1, pp. 322-326, February 2004.
- [5] Bruce A. Barton, George K. Zwama, "Physiological changes in fish from stress in aquaculture with emphasis on the response and effects of corticosteroids", *Annu. Rev. Fish Dis.*, vol 1, pp. 3-26. 1991.