

# 魚体を傷つけずに雌雄判別できる 「超音波エコー」

鳥取県栽培漁業センター 増殖推進室

主任研究員 太田 武行※

※現所属・役職：鳥取県水産試験場海洋資源室・室長

## 1. はじめに

白子（精巣）、魚卵（卵巣）を珍重する魚種の場合、雌雄を分けて販売できると単価向上の可能性が高いことが知られています。マダラ *Gadus macrocephalus* は白子が珍重される代表的な魚種であり、北海道立総合研究機構工業試験場や北海道立総合研究機構網走水産試験場等により、超音波エコー画像（以下、「超音波画像」という。）を用いた雌雄判別方法が確立されています（波ほか、2010）。また、東杜シーテック株式会社（宮城県仙台市）は、東北大学の技術的支援を受け、マダラの超音波画像から AI（人工知能）が白子・魚卵を判別する装置を開発し、水産物流通の現場での利活用が進められています。

同じく白子を珍重する魚種としてふぐ類が知られており、特に珍重されるトラフグ *Takifugu rubripes* は、鳥取県では主に淀江地区の延縄で漁獲され、関西圏を中心に活魚出荷されますが、一部は鳥取市内の活魚料理店にも提供されています。また、マフグ *Takifugu porphyreus* については、延縄以外でも、沖合底びき網（以下「沖底」という。）、小型底びき網、一本釣と幅広い漁法で漁獲され、比較的安価で流通する魚種です。なお、マダラ、ふぐ類ともに外部形態からは雌雄判別が難しい魚種です。

本稿では、3つの試験結果について報告します。まず、マダラで実績のある超音波画像による雌雄判別技術をふぐ類に応用できるかどうかについて、トラフグを用いた試験で検証しました。次に、マフグを対象に、雄だけ分離して出荷した場合の単価向上効果について把握する試験を行いました。

最後に、種苗生産への活用を検討するため、公益財団法人 鳥取県栽培漁業協会（以下「栽培漁業協会」という。）が養殖用に親魚養成していた

マサバ *Scomber japonicus* の生殖腺の成熟状況を超音波画像で把握できるかについての試験も行いました。

## 2. 方法と結果

### 1) トラフグの雌雄判別試験

まず、本県のトラフグの漁獲状況を紹介します。直近10年間のトラフグの漁獲量は、平均1.8トン（漁獲金額7.1百万円）です（図1）。主に延縄で漁獲され、小型底びき網等でも少量の漁獲があります。ちなみに、2012年から2014年には、鳥取県栽培漁業センターが試験操業によるフグ延縄の普及を行い、賀露、浜村、赤碕、境港地区と淀江地区以外での漁獲がありましたが、残念なことに2018年以降は淀江地区のみの2-3経営体の水揚げとなっています。

なお、本県のトラフグの漁獲動向は、延縄の主な漁期が12月から翌年3月という冬期波浪の影響を受ける期間のため、操業日数が年により異なることと、前述の経営体数の変化による漁獲努力量の変化が大きく影響を与えており、資源動向による変化とは言えないと考えています。

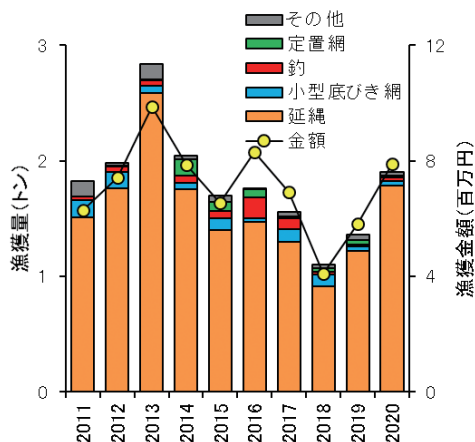


図1 鳥取県におけるトラフグの漁法別漁獲量と漁獲金額の推移

2020年の淀江地区延縄の盛漁期にあたる1-2月の全長-体重関係を調べたところ、2月後半にかけて同じ全長に対する体重が増加する傾向が見られました(図2)。これは生殖腺の発達が影響しているものと考えられたため、この期間を雌雄判別試験の実施期間と決めました。

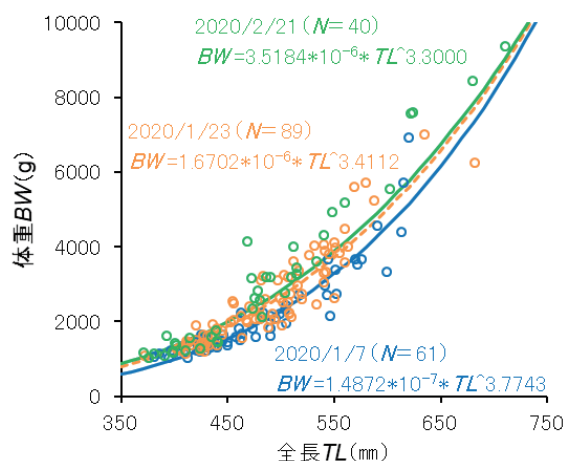


図2 2020年1,2月における鳥取県淀江地区延縄によるトラフグの全長・体重関係

試験は、淀江地区延縄でトラフグが初水揚げされた2021年1月15日から開始し、1月25日、2月15日にも行いました。雌雄判別には、写真1の超音波画像観察装置 Smart Echo MX(東杜シーテック株式会社製)を用いました。超音波画像の撮影及び全長、体重の測定は活魚のまま行いました。超音波画像の撮影は、写真1の①、②の2ラインにプローブを当てて行いました。



写真1 試験に使用した超音波画像観察装置(上)及び測定位置(下)

超音波は伝わっていく途中で徐々に減衰しますが、物質の密度の異なるものがあると反射し、密度が異なるものほど白く明るい画像になるという特徴があります。近縁種であるマフグは、精巣に比べ卵巣の水分含有量が少ないことが知られており(内田, 2010)、トラフグでも同様に卵巣の方が白い反射が返ってくることが予想されました。

写真1の点線で囲った範囲を撮影した代表的な超音波画像を写真2に示します。白く均一な粒状の反射が明確に観察され、他組織との境界がはっきりしない雌と判断されたグループと、反射が弱く、他組織との境界がはっきり観察される雄と判断されたグループに分離することができました。

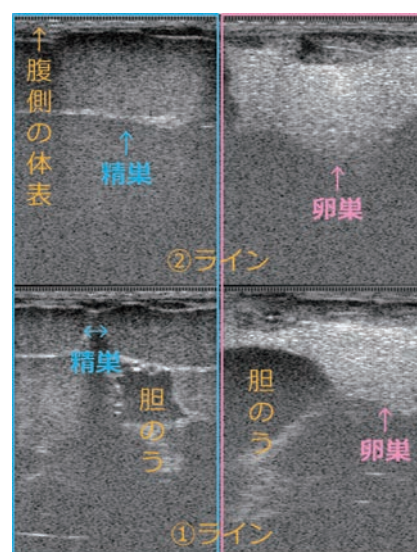


写真2 トラフグの生殖腺の代表的な超音波画像(左側:雄、右側:雌と判断された画像)

前述だと容易く雌雄判別ができたように見えますが、失敗もしました。まず、予備知識もなく初見であった1月15日の試験では、想像していたより超音波画像は見るのにコツが要ることがわかりました。生殖腺以外の他組織を撮影していたり、測定位置に一貫性がない等、全く機器を使いこなしていない状態で、雌雄判別できる画像を撮影することは、ほぼできませんでした(写真3)。

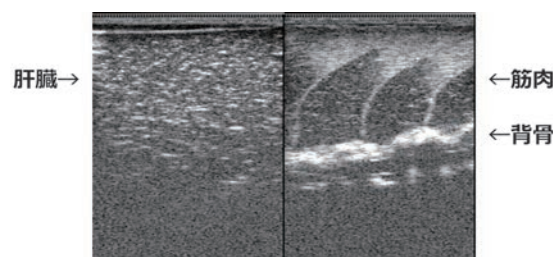


写真3 トラフグの肝臓(左)と筋肉部(右)の超音波画像

この1月15日の失敗を受け、すぐさま機器販売元の東杜シーテック株式会社で雌雄判別の経験がある方々とオンライン協議を行いました。超音波画像の測定位置や画像の見方についてアドバイスを受け、2回目の1月25日には、雌雄判別可能な超音波画像を撮影することができました。

ここで雌雄判別のポイントを整理します。まず、超音波画像で生殖腺を見つける目印として、黒く映る「胆のう」が有効です。プローブの先端をトラフグ体表に密着させ、写真1のライン①の矢印のとおり肛門付近から頭部に向けて、プローブをゆっくりスライドさせていきます。すると、胆のうの上に左右対称に2つある生殖腺を見つけることができます。その後、ライン②において同様にプローブをスライドさせ、生殖腺の反射を確認するやり方が良かったです。

次に超音波画像の見方ですが、今回の測定位置だと写真上部が腹側の体表、写真下部が魚体中心部になります(写真4)。今回使用した機器の場合、画像は約0.24秒間隔で保存され、画像データは横が約1/3に縮小されたpng形式で保存されます。このため、実際の縦横比を1:1に補正するよう、今回掲載している超音波画像は、保存された画像の横サイズのみを306%に引き伸ばしています。ちなみに、慣れれば1尾当たりの雌雄判別に係る時間は10秒程度であり、写真1のライン①からライン②のどちらか一方だけでも判別ができます。

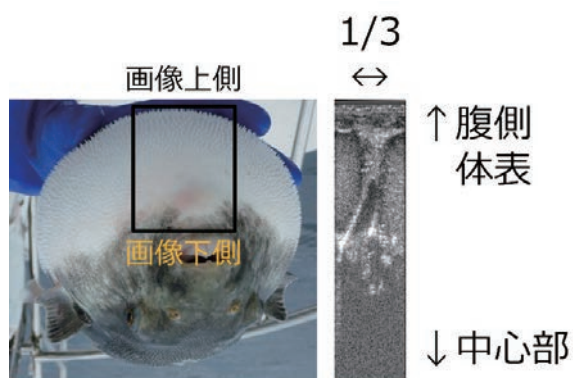


写真4 今回の測定位置での超音波画像の見方

解剖写真と超音波画像の個体は同一ではありませんが、写真5を見るとイメージしやすいと思いますので、参考として掲載します。

雌雄判別中、雄か雌か判断が付かない個体が出てきます(写真6)。これは未成熟として区分し、明らかに判断できる個体のみ雌雄判別することを

お勧めします。商品として出荷する場合は、出荷先からのクレームに繋がりますので、誤判定には御注意ください。なお、ふぐ類の場合では、後述しますが、雌を雄と間違える可能性は低いため、雄と確信が持てる魚のみ、雄として出荷するやり方が最適と判断しています。また、プローブは完全防水ですが、タブレットPCは防水ではありません。接続部等に海水等が付着すると故障の原因になりますので、フリーザーバック等でタブレットPCの防水・保護をお勧めします。

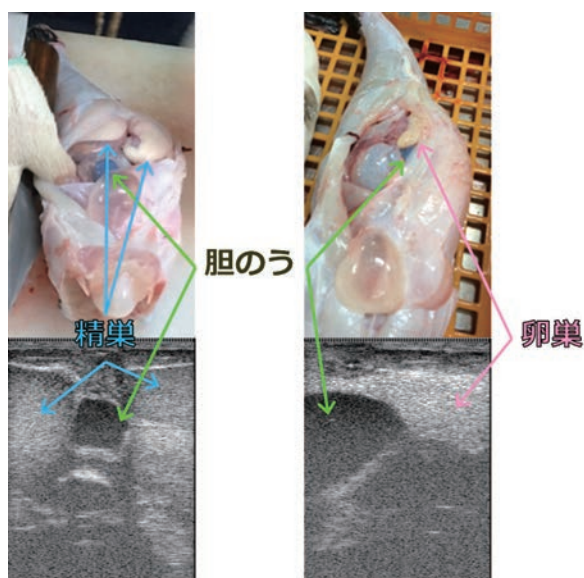


写真5 トラフグの雌雄別解剖写真(東杜シーテック株式会社提供)と生殖腺の超音波画像

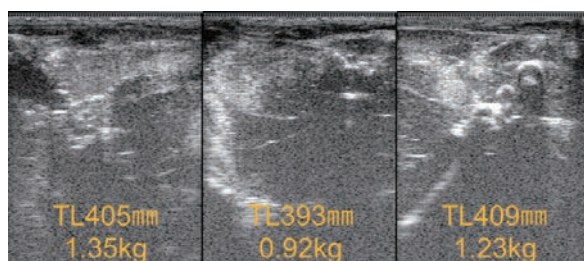


写真6 未成熟と判断したトラフグの生殖腺の超音波画像(写真1のライン①上、確定判断の結果は左から雌、雌、雄)

さて、1月25日に初めて超音波画像で雌雄判別を行ったところ、14個体中12個体で雌雄が的中しました。雌雄判別を間違った画像はすべて雄を雌と誤判定したもので、その超音波画像は写真7のとおりです。

写真2と見比べていただけるとわかりますが、写真7の精巣の反射は強く、白っぽく写っています。この輝度のみには注視し、判定したことが間違いでした。雄の判定は、他組織との境界の明確さ

(リングが形成されている)が一番のチェックポイントであり、輝度のほか折り重なったような反射(写真7の矢印)の有無なども含め、複合的に判断する必要があるとわかりました。ただ、初めての雌雄判別で適合率85.7%という結果は、超音波画像による雌雄判別は、十分に汎用性が高いと言えます。ちなみに反省を活かした2月15日の雌雄判定はすべての中しました(雄15個体、雌22個体、未成熟3個体:図3)。なお、雌雄の確定判別は鳥取市内の活魚料理店に御協力いただきました。

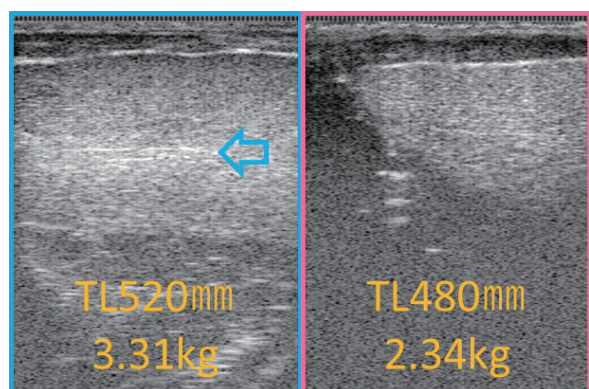


写真7 誤判定したトラフグの雄個体(左)と反射が比較的弱い雌1個体(右)の生殖腺の超音波画像(写真1のライン②上)

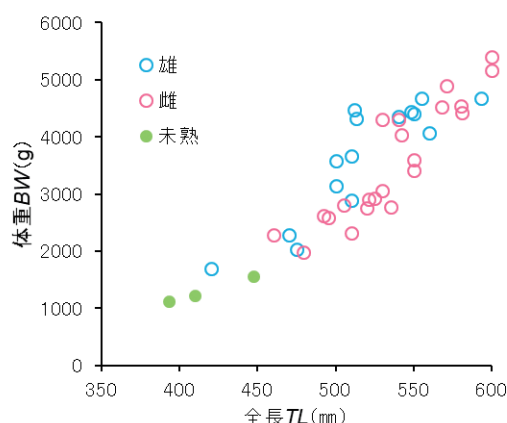


図3 2021年2月15日に実施した淀江地区延縄によるトラフグの雌雄別全長-体重関係

## 2) マフグの雄出荷による単価向上の把握

本県におけるマフグの漁獲統計は、整理がなされていませんが、沖底と延縄で主に漁獲されています。なお、漁獲の盛期は、産卵回遊行動が見られる3月から5月上旬までです。

調査は、マフグの漁獲が3月からある沖底の漁獲物を対象とし、マフグを超音波画像で雌雄判別し、雄のみを出荷した場合と、通常の出荷形態である雄雌混在で出荷した場合とで、どの程度の価

格向上効果が生まれるかを把握する形で行いました(写真8)。



写真8 超音波画像で雌雄判別し、雄のみで出荷したマフグ

試験は2021年3月12日に賀露地区で実施し、特定の沖底船1隻が漁獲したマフグのうち、1kg以上の規格である「3入」、「4入」(ともに魚箱に5kg仕立てた鮮魚)の65尾について雌雄判別を行い、他の沖底船2隻(対照漁船)と出荷時の単価を比較しました。

まず、マフグの生殖腺の超音波画像は、トラフグと近縁種ということもあり同様な特徴を有し、雌雄判別はトラフグと同様な手法で可能でした(写真9)。

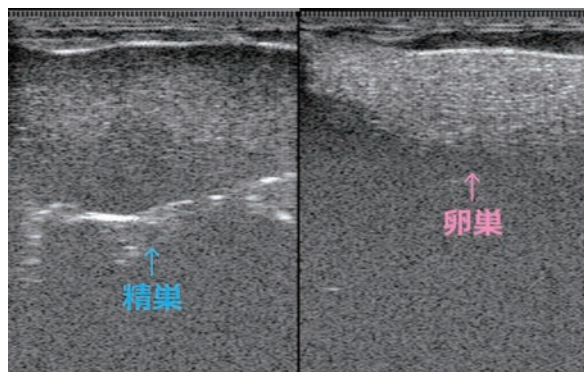


写真9 マフグ生殖腺の代表的な超音波画像(左:雄、右:雌、写真1のライン②上の画像)

雌雄判別の結果は3入3尾、4入8尾が雄と判定されました。雄のみで出荷した場合と、それ以外で分けてセリにかけた結果は、表1のとおりです。

雄のみで出荷した単価は、雌雄分離せずに通常の出荷をした漁船2隻分(対照漁船)の単価に対して2.6-3.0倍と、明らかな単価向上効果が確認されました。雄以外と判定したマフグの単価は、4入では若干の単価低下は見られたものの、3,4入の雌雄を合わせた雌雄判別実施漁船の単価は294円/kgとなり、対照漁船の同単価232円/kg

を上回る結果でした。なお、後日、購入した仲買から聞き取りを行いました。販売先からのクレーム等はなかったため、雄判定は間違いなかったものと考えています。

表1 マフグの出荷別単価の比較

| 規格       |          |          | 3入    | 4入     |
|----------|----------|----------|-------|--------|
| 雌雄<br>判別 | 雄<br>のみ  | 出荷数（箱）   | 1     | 2      |
|          |          | 合計金額（円）  | 3,000 | 7,000  |
|          |          | 単価（円/kg） | 600   | 700    |
| 実施<br>漁船 | それ<br>以外 | 出荷数（箱）   | 2     | 12     |
|          |          | 合計金額（円）  | 2,000 | 13,000 |
|          |          | 単価（円/kg） | 200   | 217    |
| 対照<br>漁船 | A丸       | 出荷数（箱）   | 7     | 3      |
|          |          | 合計金額（円）  | 8,000 | 4,000  |
|          |          | 単価（円/kg） | 229   | 267    |
|          | B丸       | 出荷数（箱）   | 5     | 4      |
|          |          | 合計金額（円）  | 5,000 | 5,000  |
|          |          | 単価（円/kg） | 200   | 250    |

### 3) 養殖用マサバ親魚の成熟状況の把握

本県ではマサバの陸上養殖が行われており、超音波画像によるトラフグの雌雄判別を行っていた際、栽培漁業協会によりマサバの冬期種苗生産が試験的に行われているところでした。トラフグの雌雄判別の際、画像で未成熟と判断できる個体もあったことから、マサバの親魚についても超音波画像から成熟状況が把握できないかについて検討してみました。

通常のマサバの採卵時期とは異なる時期であるため、少数での試験となりましたが、2021年2月2日に平均383g(最小224g-最大499g)の10個体(鮮魚)を用い、試験を行いました(写真10)。

試験方法は、超音波画像で得られた生殖腺画像の最大断面の面積を楕円として算出し、これを体積換算見合いにするため2分の3乗にした値と、生殖腺重量指数GSI(生殖腺重量/体重×100)を比較してみました。

まず、写真11のとおりマサバも生殖腺の超音波画像から雌雄判別が可能でした(6尾が雄で、3尾が雌、1尾が未成熟の雌)。トラフグ同様に、輝度と他組織との境界の差から判別することで、間違いなく雌雄判別ができました。また、写真12のとおり超音波画像から未成熟個体の判断もできました。ちなみに成熟個体は超音波画像に胆



写真10 養殖用マサバ親魚を用いた超音波画像の観察作業の様子

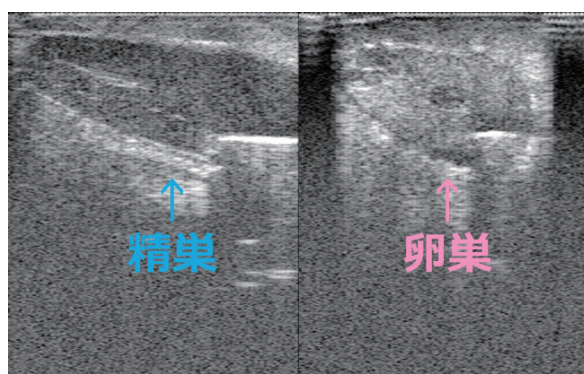


写真11 養殖用マサバ親魚における生殖腺の代表的な超音波画像(左:雄、右:雌)

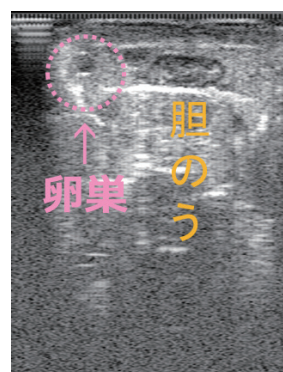


写真12 養殖用マサバ親魚の未成熟個体における生殖腺の超音波画像

のうがはっきりと写らず、未成熟個体は、胆のうがはっきり写りました。

次に生殖腺の超音波画像から成熟状況の把握が可能かどうかですが、雄では非常に高い相関が確認されました(図4)。

超音波画像で雌雄判別後、開腹し、雌雄判別及び精密測定を行いました。その際も、実感として超音波画像の生殖腺の断面積が大きいものは、精巣の発達が進んでいたのも、非常に納得できる結果でした。

雌では相関が低いものの正の相関が確認されました。相関が低い要因の一つとして、マサバ種苗の生産担当にも交代しながら超音波画像での雌雄判別を体験してもらったこともあり、複数の測定者による画像の撮影位置、角度の相違が外れ値を生んだ可能性があります。

まだ、十分とは言えませんが、生殖腺の超音波画像で雌雄判別ができ、その画像から成熟状況もある程度判断できると考えています。

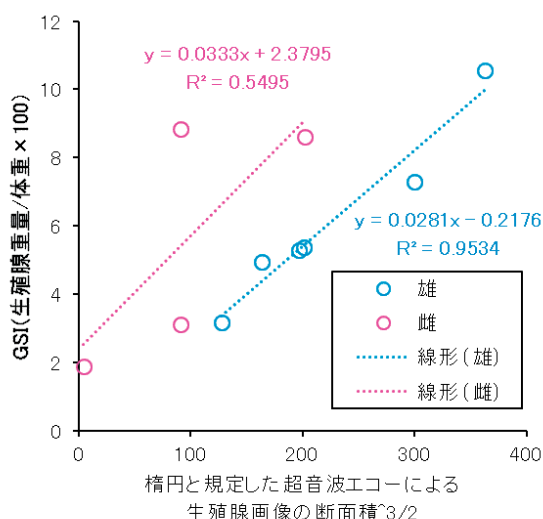


図4 養殖用マサバ親魚における超音波画像の生殖腺画像の最大断面の面積とGSIの関係

### 3. 今後の進め方等

ふぐ類に関しては、マダラで確立されている超音波画像による雌雄判別技術は、十分に応用可能と考えられました。2021年のトラフグ延縄漁は海況が悪い日が多かったこともあり、操業日数が少なく、また2月中旬以降、漁獲が低迷したため、雄を分離して出荷した場合の単価向上効果の把握ができませんでした。なお、新型コロナウイルス感染症による緊急事態宣言が出されていた期間でもあったため、試験ができていても正確な単価向上効果の把握はできなかったと思います。ただ、沖底のマフグで補完的に調査を行った結果、雄のみで出荷した場合の高い単価向上効果が把握できたことから、トラフグに関しても同様な結果が期待できます。来漁期は雄のみ出荷での漁業所得向上について検討してみたいと考えています。

次に種苗生産現場での活用ですが、3つの課題が残っています。1つは麻酔等を利用して活魚のままマサバ親魚の雌雄判別ができるかどうかです。マサバのようなハンドリングに弱い魚でこの

技術が確立できれば、多くの魚種で活魚のまま養成している親魚の雌雄判別、成熟状況の把握が超音波画像でできると考えます。つまり、カニキュレーションの代わりに使えます。2つ目は成熟状況の把握の高精度化です。プローブを当てる位置、角度の最適化を図ることで、GSIとの相関はさらに良くなるものと考えています。これにはサンプル数を増やす必要があります。今後、マサバの親魚数に余裕がある際に検討してみたいと考えています。3つ目は、他魚種への技術応用が可能か、実際に確認することです。本県ではキジハタ人工種苗を生産する際、養成している親魚による自然産卵のほか、成熟した天然個体にホルモン注射を打ち、人工採卵する技術も使っています。この天然魚の成熟判断に超音波画像が使えないか検討してみたいと考えています。

超音波画像観察装置は少し高価な機器ですが、東杜シーテック株式会社では、お手ごろな価格で機器のレンタルを行っています。今回の試験も3カ月間レンタルさせていただいた機器を用い、実施しています。本稿で御興味を持たれた方は、レンタルを活用し、試行的に使ってみると面白いと思います。

最後におまけとして、空気で膨らんだトラフグ腹部の超音波画像を掲載します(写真13)。前述のとおり超音波は密度が違ふ物質で強く反射しますので、空気にも強く反射します。空気で膨張したトラフグにプローブを当てると、超音波が体表

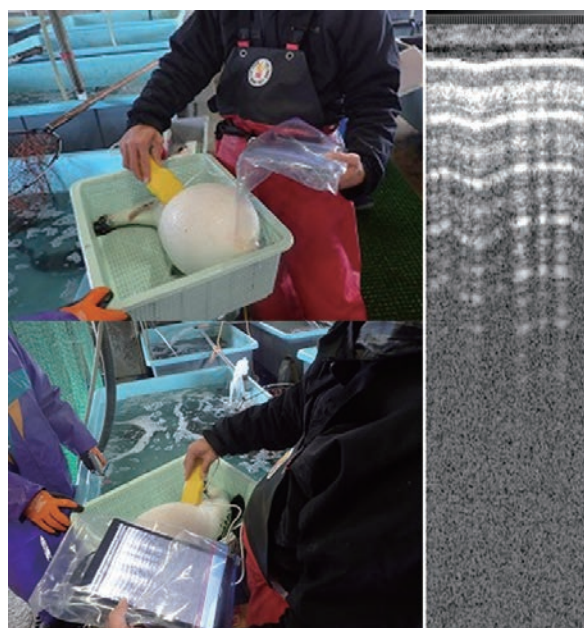


写真13 空気で膨張したトラフグ腹部の超音波画像(画像は横約1/3に縮小)

から空気があるところまでの短い距離を繰り返し反射するため、幾層もの波形が観察されました。

#### 【参考文献】

- 1) 波通隆・宮崎俊之・堀武司・吉川毅・澤山一博・三津橋浩行・佐々木雄真・平野繁樹・内山智幸・松嶋景一郎・蓑嶋裕典・鎌田樹志・浅野孝幸・武田忠明・秋野雅樹・成田正直・飯田訓之・矢野勝弘（2010）マダラ白子流通技術の高度化，北海道立総合研究機構工業試験場報告，地方独立行政法人北海道立総合研究機構，No.309, 1-7.
- 2) 内田浩（2010）品質測定技術開発（しまねの魚を創る），平成 22 年度島根県水産技術センター年報，島根県水産技術センター，53.