

ShuzouArakaki®マグロの超音波目利き技術初本

医療超音波技術を応用した新しいマグロ品質検査方法と海洋深層水、温度管理による自然エネルギーによる品質改善、品質維持管理流通についての治験報告

周超音波研究所 新垣 周三

事業所住所 沖縄県南城市玉城堀川555番地

URL<http://www.shuzou-arakaki.info/syokuzaiijikannri/intunatecnorogy.html>

## 1 はじめに

医療用超音波診断装置でマグロを目利きする。周囲からの冷ややかな視線を浴びて始めたこの研究は最終目標に到達し、次なるステップの自然エネルギーを利用した品質改善、加工、保管方法などに移行してきた。マグロの目利きにおいて内部身質の劣悪を外観より見極めることは困難である。上級品と目利きしたマグロが開けてみた結果不良品とされたりするのがマグロビジネスであり、マグロは高くまた安い食材で価格的に高低差の激しい価格で且つ品質基準とはかけ離れた世界で価格設定がなされる状況がしばしば見られ品質不安定でリスクの高い商材である。確立された根拠に基づいての取引はなされていない。そこで医療超音波診断技術を応用してセリに並ぶマグロの検査を行った。これまでの目利き概念を変えることが可能である治験結果を得たので報告する。基本的にマグロの焼けの判定は超音波では不可能である。なぜなら肉眼目利きによるその評価人独自の基準に依存するからであり、精度は高くても科学的根拠規格に一致するとは限らない。

なぜ超音波か、それは医療用超音波診断装置の開発のルーツは魚群探知機と言われている。医療超音波診断装置及び技術は飛躍的に進歩発展しており、もはや医療画像診断に必要不可欠となってきた。先端超音波技術は予想もされなかった分野においても急速な発展を遂げ医療分野では超音波顕微鏡やサーマルインデックスを逆利用したガン細胞温熱治療、遺伝子挿入、工業関係では精度の高い超音波モーター、洗浄機、加湿器、殺菌装置、空中浮遊装置、構造物非破壊検査機器など、健康器具では、超音波マッサージ、美顔器、酵素活性や抑制装置などであり。うまく利用することができたら一台の装置でこれらを複合的に行える能力を秘めている。

マグロの目利きに当たって超音波データ B モード法の画像解析を重点的に収集これを解析し独自の検査基準を構築した。これら検査基準及び表示評価にあたっては超音波データと実際に捌いた結果を踏まえて検証を行った。従来の目利きにおいて比較的有用とされる情報も加味して述べていき、それらの情報を基に品質改善技術構築についても加えて検討した。さらに特定免許を有していなくても装置を操作することの可能な超音波非破壊検査装置 OLIMPAS 社製の新開発商品エポック1000i についての適応性や応用代替機種としての検討も行った。この装置については研究初期段階であるが非常に高い応用性の成果を得たのでこれらについても進展状況をご紹介していく。

## 2 目的

マグロの品質評価はセリに並んだ時点において、外観および尻尾の断面の観察によりマグロ1本そのものの評価が行われている。これは最も品質を左右する内部身質を外見で判断しているため、当然のごとく当たりはずれが大きくなる傾向がある。価格は博打性が高く高低差が激しい。これはセリ人の目利きという感性に左右され品質に対する適正価格からかけ離れることも存在する。これらに医療超音波診断技術を応用し超音波装置によるマグロの品質で最も重要であり未知の領域である深部身質の観察を行い品質評価の参考(人体の超音波所見を応用)とすることで、目利きの精度を上げ、失敗を少なくし、科学的根拠に基づいた評価表示に従い最終的にセリ値を安定させていく事を最終目的とした。そのためにマグロ独自の超音波検査基準の構築を第一の目的とした。しかしそれだけでは片手落ちとなりうるため、評価に応じた品質管理や目利き失敗で焼けたマグロなどの低品質とされたマグロの品質改善改良策の構築まで踏み込んでいき、改善策の構築を第二の目的とし、それらを持って最終的な品質規格表示を行い、その表示で消費者は好みの品質を選別消費する形態を構築する。

## 3 方法

通常の見方である外観などの情報(水揚げ地、重量、マグロの種類、絞め方、外観表面の張り、粘液量、模様や色艶、流血量、血液性状、しっぽの断面の細胞構築、味覚)を収集する。次に超音波装置(5参照)にて胸鰭起始部より尾側4横指より血合い筋の縦断、横断情報を収集、さらにその位置より背カミへ観察位置を移動して普通身(筋節)を同じく縦断、横断情報を収集する。これを両側行うのをルーチンとした。状況に応じて外観上異常が著しいものは超音波周波数や観察レンジを変えて詳細観察を行った。その後最終的に実際の深部断面の確認(直接立会いを基本)を行いデータベースに蓄積していきこれらの情報を基に分析を行った。品質劣化マグロ身質において、海洋深層水を利用した品質改善に向けての研究も付随して行う。(書籍マグロの科学を参考)

### 3-①従来の目利き法

通常マグロはセリ場にこのように並びます写真は小規模の漁協セリであり特徴として日帰りの鮮度の高い状態のマグロが大小不揃いで100本程度並びます。この特性を考慮した目利きを開始します。



次の写真は中規模であり比較的大きさのそろったマグロが並び釣り上げてから数日のマグロが300本程度並びます。ここはまた別の特性を考慮して目利きにはいります。



目利きに入る前に、船名と並ぶ本数を確認し記録しておきます。それから厳重なる目利きへと進んでいきます。

その中からこれぞという一本を選び出す為に、他の仲買人との競合を考慮に入れながら目利きによる下付けを行っていきます。



全体的な外観を観察します。特に色合いや形状など湾曲の有無と反った方向及び張り具合の感触を調べます。



尻尾の切り口の色合い表面の形状変化を観察



マグロの皮膚状態を見ます。



もう一度離れて皮膚状態を見ます。



第一背びれを見ます。収納しています



張り出しています



再度尻尾の切り口を角度や光加減を変えて観察します。色合いは明るい透明感のある朱色を呈し、光に対する反射は弱く切り口の強い隆起を認めます。



身の粘度を調べ味覚などのテクスチャーを感じ取ります。やや繊維崩れがあり、酸味もあります。



血の性状を調べます。血球成分は保たれ比較的明るい朱色

で粘着性を示し、香りも新鮮臭です。生きた血液は品質回復が期待できます。

市場状況および明日、明後日の水揚げ予想、注文価格を念頭に置いて、マグロを目利きし品質の良いものを選び出してセリ打つのであるが必ずしもそれ相応に見合ったマグロを仕入れる確率は高くなく、ある意味外見のみで内部身質を分析しているのでその人の技量と感性そして運に左右される厳しい世界である。

そこでこれまで見る事の出来なかった内部身質を超音波で確認して情報量を増やしてより品質の高いマグロを仕入れるのである。100%はあり得ないが確実性は上昇する。それ以外の業務や作業に対しても変化を起こせる情報力を持っている。超音波でなければならない理由は無い、それ以上の有効な検査方法及び規格基準値は見出せていない理由による。そのため超音波品質検査方法を構築しなければならないのである。

# 肉眼目利きデータベース入力項目

検査日時	2009/08/27		産地	水揚げ地	阿波県高松市	83	検査番号	
検査名	外ハダマダコ	F00001	検査		22	検査	福東丸	
釣り方	活巻				B	内訳詳細	脱けなし、色合い薄い、両側背かみに二んにやくを20パーセント程度面積性に認める	
釣り方	産抜き、解ひれ剥し			30				
外観形状	形改正			100				
外観形状別	種様有り			3000				
外観形状別	なし			40000				
外観形状	鮮いべとつき朱色			300000				
外観形状	異常なし			1000000		内訳コード	2311543134	
外観形状別	阿南			10000000				
切り口形状	薄薄むすか			300000000				
味	甘い			2000000000				

試験内訳所見  
背かみおよび腹かみ身に二んにやくを領域性に認める。  
腹側に認めない



### 3-②超音波目利き法

#### 3-②aマグロの超音波検査に必要なマグロの解剖及び生理

マグロの形状は写真1に示す様に方錐形且つ流線型を呈している。体表面には径3mm程度の鱗で覆われておりその下層は硬い皮で身を保護する。

背カミの一部と体側線に沿った鞘(胸びれを収納する鞘状のくぼみ)区域の表面の皮は軟骨化し、超音波単触子の密着が悪くなる。またキテコ等の介在もインピーダンスマッチングが悪く多重反射ノイズが出現し最も観察困難な領域である。この領域直下の深部に問題の焼けが高発する。超音波単触子を密着出来た場合は鱗径3mmに厚みは $\mu\text{m}$ 単位であるためか、5MHz帯域において超音波透過性の低下は問題にならないレベルであった。しかし鱗の配列の影響により頭尾方向に超音波ビームを傾ける必要性があった。

マグロの身の構造は対象重量40キロにおいてそうめん様に円柱状にのびる径1mm前後の筋繊維の集合が筋節厚み10mmを筋隔が包み込む構造で見られ同心円状に頭から尾にかけて均等平行に配列している。タンパク、水分、脂肪、鉄分等の成分組成は、人体の筋肉及び軟部組織の比率と差がないと言われている。よって人体の軟部組織観察と大差ない走査技術を応用出来ると予想される。また最も考慮しなければならない、生物学的知識としてマグロ類は哺乳類と同じく自己体温32度程度に維持しており血合い筋がもっとも熱調節に関与している。(文献マグロの科学参考)

さらにヤイトハタに摩酔をかけた状態にて心拍調律60前後であった。マグロ類も心拍値に差は無いと考えられる。よって心拍数が上がると血圧は上昇し体温は上昇すると考えられる(2005年2月11日水産試験場における実験結果、方法は超音波カラードップラー方による血流測定)

心拍の上昇する過程として釣り上げ時に逃げ狂う必死の運動量があげられ、それに付随して筋肉及び骨の運動エネルギーも熱の発生源になる。これは血合い筋のように調節されていなく運動に応じた熱発生につながると示唆する。(針金などを折り曲げを素早くおり曲げ動作を行うと熱を発生し火傷を起こすレベルまで熱が上がる現象にて理解できると思われる)

そのために強い焼けマグロにおけるツナ缶レベルまで身の熱変化を生じている。部位は背ナカ中心部の脊椎に接する。血液は黒くなり粉っぽくなる傾向があり身は局部的に焼けただけ酸味は弱く意外とうまみを感じる。

熱変化よりも酸身の強い、時に異臭を放つ焼けがある。どちらかという血合い筋はただれ、血合い周囲身質の色合いは淡く不透明感があり軟化傾向を示す。また筋隔は剥離傾向を示し滲出液の貯留をきたしてくる。血は溶血傾向を示し異臭を放つことが多い。肉眼的に緑変傾向を示す(文献によるとスルフミオグロビン変化が関与しているとのこと)



3-②b

写真1



この領域は軟骨のため超音波は透過しにくく、プローブ密着も悪い

鱗は高速遊泳する為に頭尾方向に整然と配列している。鱗に対する超音波反射に著しい方向特性がある

3-②cマグロの血管解剖概略図(図2)

心臓は一方通行で血液は鰓を経て赤の動脈に排出され左右に分配される。背カミの身質を穿通し胸鰭付け根より尾側3から5センチのところまで血合いスジに合流し一部毛細血管は皮下直下より背びれ側、腹びれ側へ分流する。そして帰りとして本流は血合いスジ内の皮下直下、そして脊椎下面、及び体幹皮下 0.3.6.9.時の方向で帰ってくる。

図2

胸鰭5センチ尾側皮下より血管は心臓に向かう

ここより尾側は皮下に血管が位置する

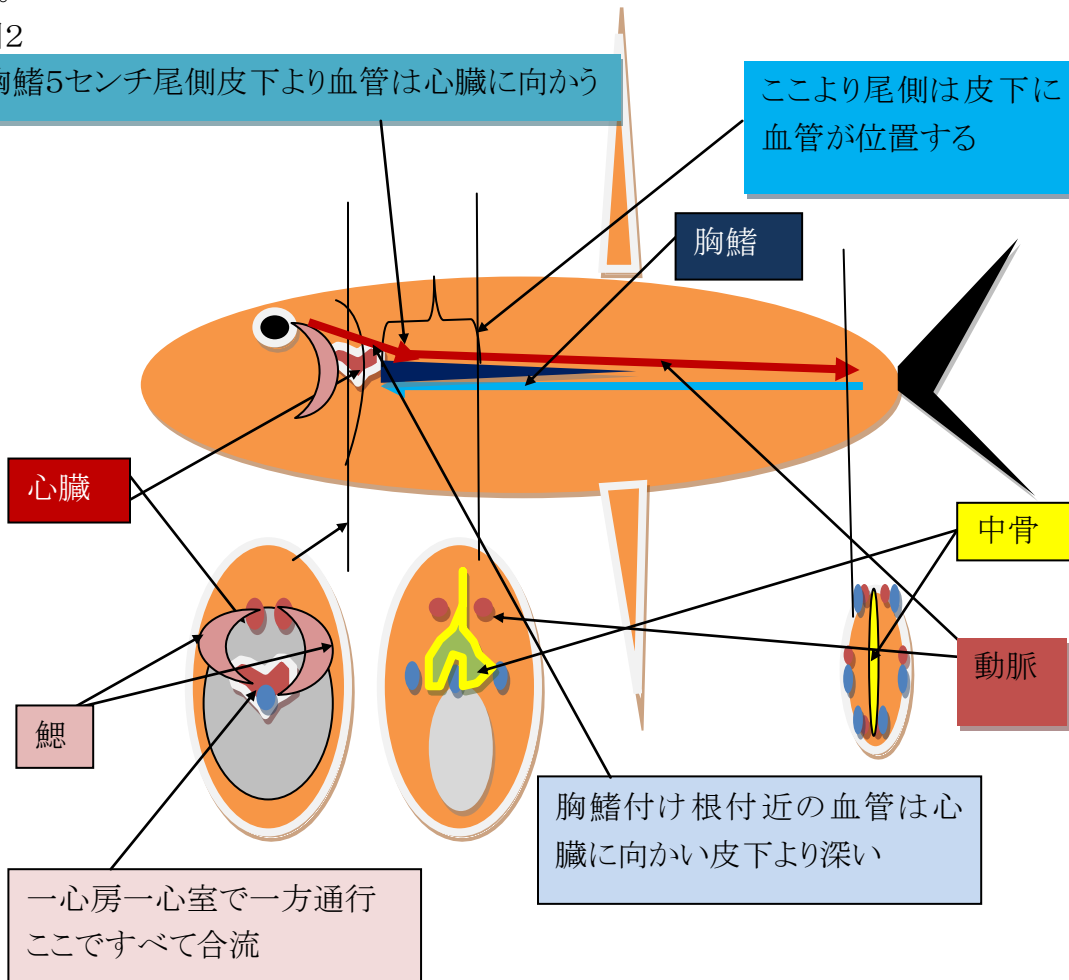


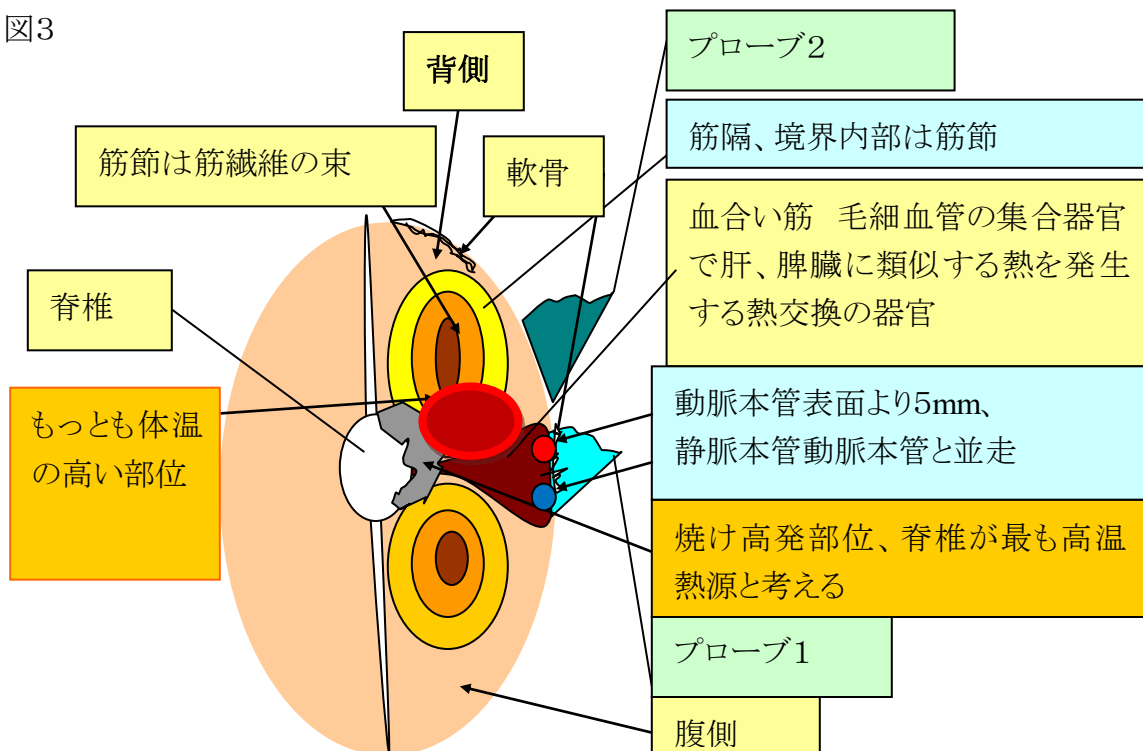
図2より検討していただきたい事項として、揺れる船の甲板で且つ確実に血管本管をカットしなければならないのでありますが、状況に応じてその場所やタイミングは変わってくるものと考えます。その業務分野は漁師の領域と考えられます。

状況が悪ければ無理な処置は行わず、速やかにランブルに保存することが優先されます。ランブルの環境として、処理マグロの体温にもよりますが氷の多い冷え過ぎは逆効果を示し、出血によるランブル水質劣化は細胞破壊を増長します。これは酸素分圧が関与し、濁ったランブル水は酸素要求量が多くなり、マグロ皮膚細胞は呼吸困難を起こし自己消化促進を招き、さらに水質は悪化し酸素不足による窒素酸化物特にアンモニアの発生が促進され、さらに細胞破壊を促進します。海洋深層水を添加したとしてもこれらの現象は防止困難と考えられ、ランブルの水の入れ替えやエアープンプ使用による酸素補給はなされなければならない重要処理作業となります。  
(業務は考えた行動、作業は決められた行動として分別、作業は誰でも安定して墜こう可能)

3-②dマグロの断面図(図3)を示す

楕円形の形状を脊椎が二分する。そして血合い筋で背側と腹側に更に二分される。背側と腹側の断面にはそれぞれ同心円状の魚輪が観察され均等で整然に配列する。筋繊維の集合で筋節を構成し筋膜が境界する。筋繊維は口径不動のソーメンの様な形状で始点から終点まで同じ口径で束になったものを筋膜が包み更に同心円状に筋節で包まれている。よって筋繊維に異常が存在しなければ、平行な平滑のラインを呈す。背カミ、カマ、胸びれの鞘の表皮は硬く軟骨化しており超音波透過性は悪い

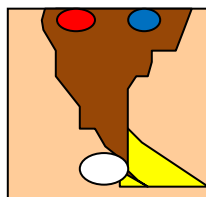
図3



プローブ1の画像

血合い筋

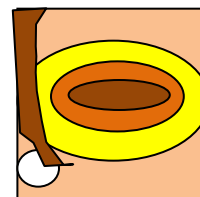
低エコーで観察



プローブ2の画像

最も観察可

鱗の向き注意



簡易表示であるが、通常血合い筋のエコーパターンは軽度粗雑な高エコー像にさらに高エコー帯状の筋隔として不明瞭に観察され、通常赤身は低エコー均一筋節または無エコーの筋節に高エコー明瞭な筋隔を細い線として観察される。油の乗ったいわゆるトロの場合は高エコー粗雑不均一にやや不明瞭化した低エコーの筋節の境界を太線状(いわゆる反転像)として観察され超音波透過性が減少傾向を示す。これに類似して冷凍焼けの場合があり高エコー粗雑不均一に更に高エコー明瞭な筋節を太線状に認め(反転像は示さない)、明らかな超音波透過性の向上を見る。自然現場で起る身焼けは血合い筋の高エコー粗雑化にその領域の拡大が顕著にあらわれ、周囲筋隔との境界に明瞭化が起こり、血合い筋境界付近の異常高輝度反射および多重反射アーチファクトの発生、深部筋隔の中断消失、脊椎周囲の異常信号の出現、深部身に高エコー粗雑なすりガラス様または連続性の無い筋隔エコーの出現が認められてきて中隔筋膜明瞭肥厚連続性が見られてくる。これらが複合的に起こった場合は焼け(蛋白熱凝固変化)の可能性を示唆する。

これとは別に身質に色合いの白濁化を起こす焼けといわれている場合があり、暴れ過ぎて乳酸アシドーシスの状態に変質する品質劣化が存在し、身の生きが良く締まった状態の品質の良いマグロの超音波像と類似する。判断を誤ると、いわゆる丸焼け状態を上級品質として捉える失敗を生じる。その失敗の対策として平面画像評価ではなくリアルタイムに得られる平面画像を立体的に空間把握し分析することが最も重要であり超音波での評価という独自の概念に徹することである。超音波評価において焼けという評価はない事を念頭に入れる重要項目である。

#### 4 使用装置について

今回の目的であるマグロ品質評価検体の大きさ30から80キロクラスのマグロの深部に於ける焼けの評価を主な目的としたので、超音波周波数5Mhz、7Mhz、10Mhzのマルチ周波数で、最も効率よく歪みの少ないリニア型プローブで且つ商用電源の無い競り場の広い空間での機動性を考慮して、ポータブルタイプで重量も軽くバッテリー内蔵により、独自電源で動作する装置、本多電子製 HS-1500 本体にリニア型プローブ HLS-3275 スライス方向 50 ミリメートル、プローブ厚み10mm、PRF—5MHzにおいて 100nsec、アコースティックパワー最大 0.4mW、フレネルゾーン  $L=D*D/4\lambda$  ( $\lambda = 300, 200, 150 \mu m$ ) 最大観察深度160mm(マグロ観察限界80キロ)、ダイナミックレンジ75db と広範囲の階調設定に変更しフォーカス設定は観察深さの半分の深さにて単フォーカスを選択し、目的に応じてフォーカスは可変方式を採用 STC Gain 共に状

況に応じ可変調整設定とした。振動子素材は PZT を使用し空間分解能より高い Q 値と省エネ性を重要視した。装置の音速設定の変更は行わなかった。理由として、水分、脂肪(魚では油)、タンパクなど分子組成が人体とほぼ同一との事で組織の音速はほぼ一致すると推測し実際に推測に一致し音速はおよそ1400mから1600mの範囲であった。

## 6 超音波プローブ走査方法

拾い上げ評価のみを考慮した操作方法を図3に示す。

### 6-a 検査前の注意事項

ゼリーは原則使用しない。マグロ独自の表面粘液を利用

矢印の方向のみの走査を行う。情報不足の場合は繰り返し走査。逆方向は禁忌(鱗が立ちプローブ表面保護膜に損傷の可能性がある)

滑らず走査は取らず、ポイント移動と扇走査の繰り返しで少しずつ移動し情報収集につとめる

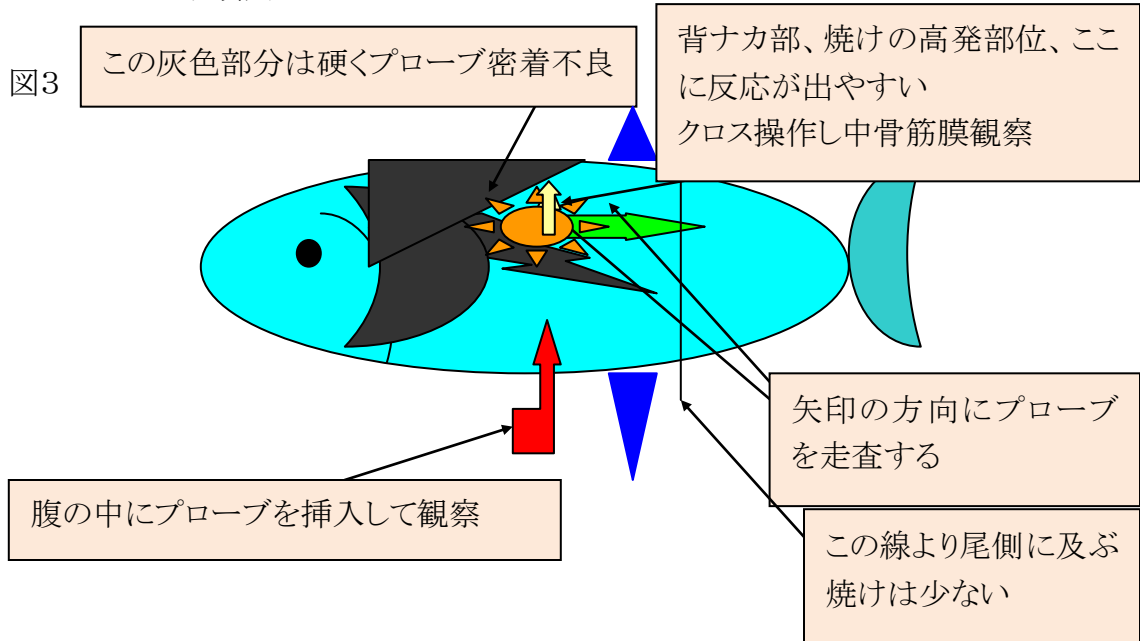
### 6-b 走査手順

6-b-1 緑の矢印の始点胸びれ付け根の背カミより尾側に向かって縦断観察と横断観察を必ず行う事を基本とする。血合いの乱れや周囲との境界を観察する。血抜き処理の確認は胸鳍付け根から3から4横指がもっとも観察しやすい、動脈本管に空気混入所見の拾い上げ等

6-b-2 黄色の矢印の始点側線上から上方に向かって縦断観察、横断観察を行う筋隔及び筋節の状態特に帯状高輝度多重反射が認められた場合身の剥離及び滲出液貯留を示唆する。脊椎の反射輝度で深部の超音波透過性を観察し無エコーに高輝度脊椎ダブルライン反射の有無、背カミは中骨に対して長短軸クロス回旋走査を行い中隔筋膜性状筋隔特に帯状化や波状不整の有無を連続的に観察する。さらに中骨及び中隔筋膜の帯状連続性の変化を観察する。この方法の追加ではほぼ深部蛋白熱凝固(音響インピーダンス変化)および性状(液状または個形状)変化状況が確認できる。

6-b-3 赤の矢印、腹側の割口より腹腔内にプローブを差し込み観察する。この場合矢状断のみの観察とし、横断走査は行わない。最も焼けの情報を得る事が出来るがプローブを破損する可能性が高いのでむやみな圧着は行わない。しかし最も精度の高い情報を得る事が出来る。ブラインド走査となる欠点がある

6-c-1 走査手順図



6-c-2 走査手順

1 血合い縦走査



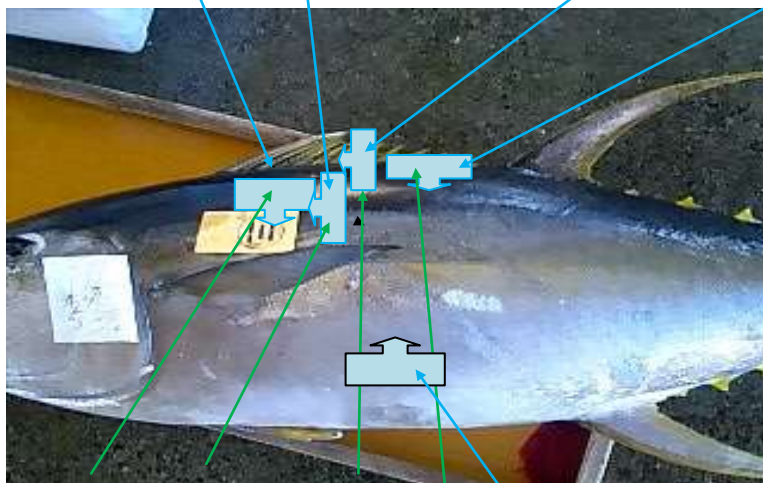
2 血合い横走査



3 普通身横走査

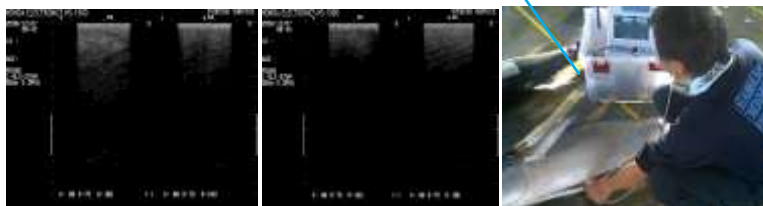


4 普通身縦走査



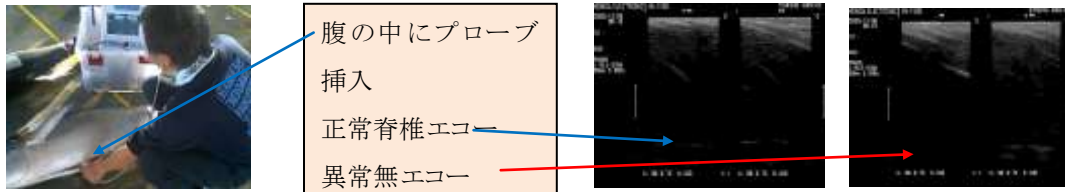
1, 2の血合い観察は主に血合い筋の性状を観察  
3, 4の普通身観察は筋隔、筋節の性状や異物、皮下脂肪を観察  
5は焼けの観察目的で脊椎周囲の状態や超音波透過性を観察(基本的に最も重要)

5 腹挿入縦走査



5 腹中挿入走査

外観異常部 → 10MHz 拡大観察 → 超音波画像異常なエコーパターン



### 6-c-3 走査手順概説

#### ①血合い縦走査

胸臑付け根尾側4横指の位置で且つ胸臑鞘に縦軸方向にプローブを当て、血合い筋の筋隔、筋節性状及び観察深度、周囲身との境界性状、脊椎骨の描出状態を観察する

#### ②血合い横走査

胸臑付け根尾側4横指の位置で且つ胸臑鞘に横断方向にプローブを当て、血合い筋の筋隔、筋節性状及び観察深度、周囲身との境界性状、脊椎骨の描出状態を観察し背節脊椎背触部のエコー反射を観察する

#### ③普通身横走査

②の血合い横走査に続いて背節方向へプローブを移動し、筋隔、筋節性状及び観察深度、周囲身との境界性状、脊椎骨の描出状態を観察し背節脊椎背触部のエコー反射を観察し、脊椎前方のエコーレベルを特に観察する。鱗の影響により多重反射ノイズが出現しやすいので軽度頭尻尾方向へ超音波ビームを傾けるテクニックを要する

#### ④普通身縦走査

③の普通身横走査の位置で超音波プローブを観察しながら縦軸方向にひねりを入れて観察を十分にする。特に中骨や中隔筋膜のエコーレベルや脊椎前方エコーの描出状態を観察する。縦方向においても鱗の影響により多重反射ノイズが出現しやすいので軽度頭尻尾方向へ超音波ビームを傾けるテクニックを要する

#### ⑤腹中挿入縦走査

ハラワタ除去のための割面より腹腔内にプローブを挿入し、縦軸方向で脊椎に平行且つ扇走査にて深部身質の左右差を観察する。ブラインド走査と縦軸限定走査の制限は受けるが、最も深部身質の評価を可能とする重要な走査であるがこれを持ってしても焼けは確定できない、肉眼目利きとの概念が異なるのでマグロ超音波検査において焼けと言う表現は好ましくない。観察のポイントとして強い焼けは超音波透過を遮断

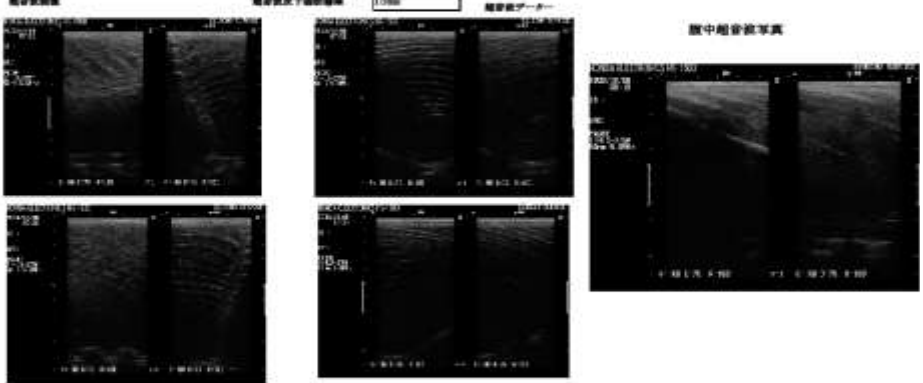
するのでその領域より深部進行方向は無エコーで観察される、特に脊椎骨エコーの不明瞭化や消失でその身質変化状態を示唆できる。鱗のアーチファクトの対策は皆無であるが処理残存物(卵巣や精巣)のプローブ密着不良のトラブルが発生しやすい  
6-d 所見入力

データベースソフトはファイルメーカー9を使用し研究テーマに絞り込んで私個人の考えのみで構築した。データ入力項目は下記に示す通り重要項目10か所と参考項目4ヶ所を設定した。入力値に応じて評価コードを設けている。しかしまだ整理されていない状態にある。最終的に数値の低い順に良い所見に仕上げ中。品質評価は現在数値コード化されるので数値を表示するだけで相手側に超音波所見を伝達できる。すべての入力データはデータベースに蓄積されあらゆる分析、検索、リレーションを行えるのでデータ蓄積量に応じて検査および基準の精度は成長する。

検査日時 2009/12/08 産期 未産子胎コ 1  
検査コード F1 検査名 キハダマダロ 検査番号 22  
超音波評価コード 122122218

超音波全体印象 平滑臓器均一層状線境界 0.1  
超音波血合い 大腸状粗種中程度混れ 0.03  
血合い層厚 中層 0.003  
超音波血合い左右差 左側層 0.0001  
超音波血合い左右差 平滑臓器均一層状線境界 0.00001  
超音波中層線境界 クロス状、断続均等程度不鮮明中高混 0.000001  
超音波中層線境界 左層層 0.0000005  
超音波中層線境界 右層層 0.0000002  
超音波中層線境界 脊髄反射天幕状明瞭 0.00000003  
超音波中層線境界 不明瞭 0.000000001  
超音波中層線境界 脊髄線エコー片断無し 8e-11

内臓評価  
超音波評価  
超音波評価 15mm  
超音波ゲート  
腹中超音波写真



超音波全体印象像 最初に捉えられた印象を入力

超音波血合い像 血合いの状態を入力

超音波血合い層 観察できる層の深さを入力

超音波血合い左右差 左右差を観察し入力

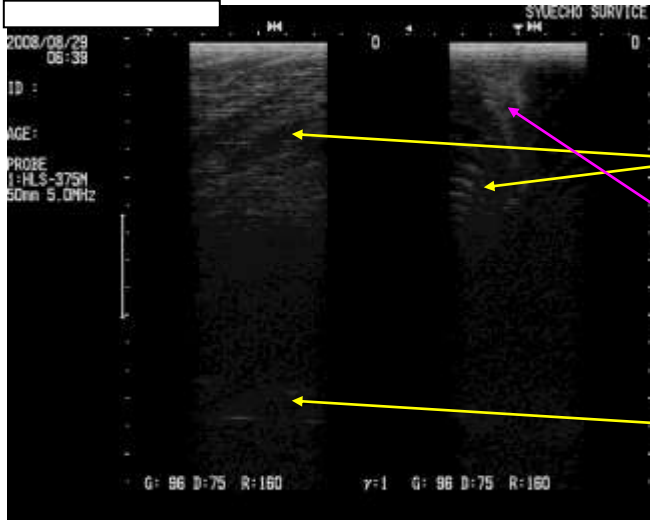
このようにして順次、以下の項目を入力していく。入力に際しては検査装置とデータベースパソコンを並べて、リアルタイムに入力する事が望ましい。

注)検査終了後にまとめて入力すると、空間構築された解析結果を反映困難とする。

## 7 超音波検査データ分析方法

品質上級パヤオマグロ背カミ、ナカ境界部の血合い超音波 B モード画像4を示す

画像4



血合い筋の構築は繊細均一  
血合い周囲の筋隔連続断裂無し

血合い筋のコメットエコー  
動脈本管に空気混入の所見

脊椎が整然と並び均等

品質上級パヤオマグロ背カミ、ナカ境界部の筋節超音波 B モード画像5を示す

画像5



筋隔平滑均一明瞭、連続性

筋節低エコー均一浅層反射

脊椎反射明瞭断続性、前方  
高エコー帯無し、

血合い筋は繊細均一浅層局限エコーで観察され血合い周囲の乱れなく筋節(普通身)との境界は不明瞭、動脈本管にコメットエコーを認め血の抜けの良さを示唆する。筋節は繊細均一低エコーで見られ、筋隔は平滑均一明瞭、断裂や異常輝度上昇等認めず、脊椎反射エコー線状明瞭、超音波透過性低下傾向、筋節(普通身)は乱れなく締まり(細胞が密)がよい事を示唆する。

超音波判定に対しての身質変化における理論的考察

マグロにおける焼けといわれる品質劣化において一般に最初に捌いた割面の色合いや性状(軟化や滲出液流出)にて判定されている。科学的基準や参考文献なども少

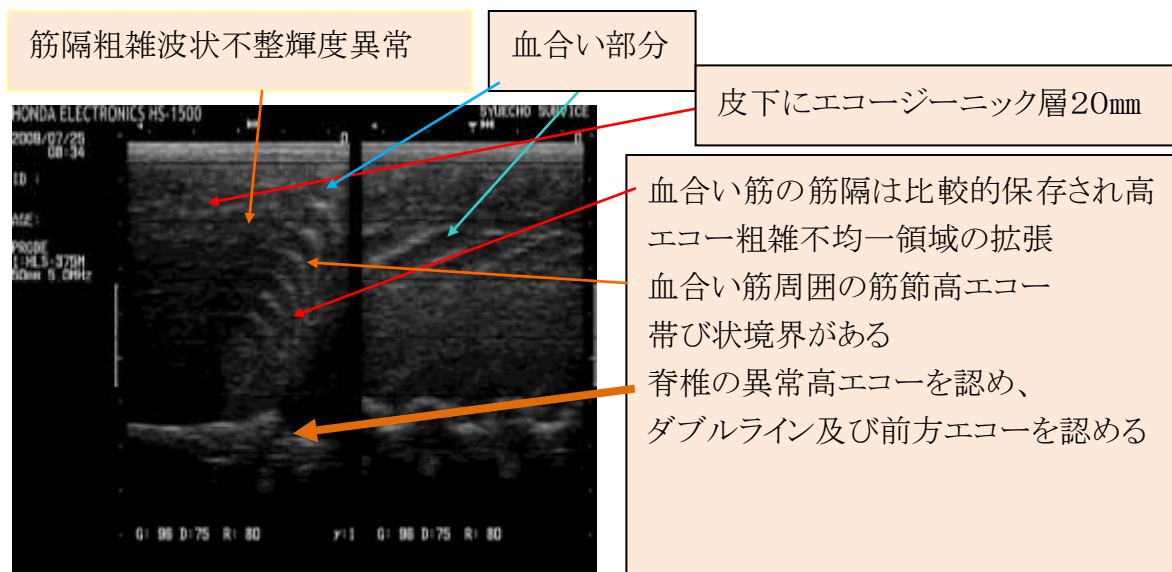


なく現在推奨される K 値測定法は検体持ち込みと判定時間を要するので現場にそぐわない。セリ人(判定者)の判断に従うのが現状である。これは長年の経験から算出された精度の高いものであるが、その匠の技は継承されない。あくまでも経験の積み重ねに依存する。

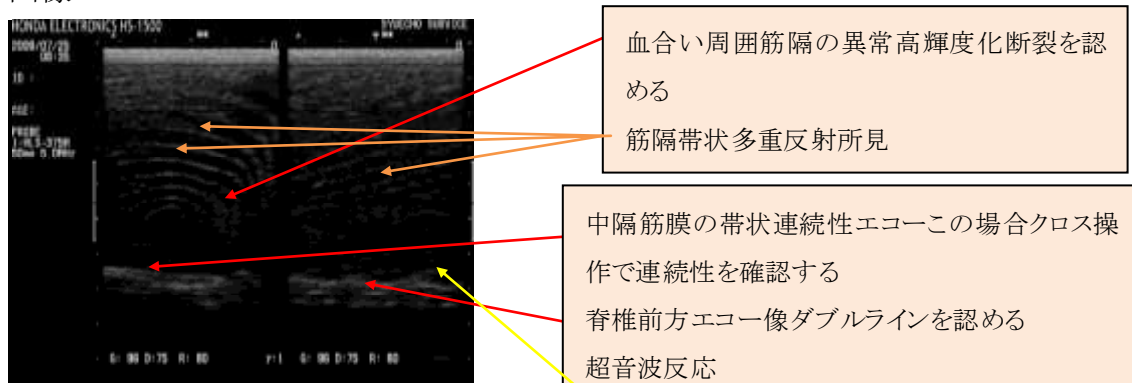
超音波装置はセリ現場で活用でき、リアルタイムに情報収集できる利点がある。得られた情報は携帯電話などのインターネット通信網を利用して遠く離れた判定者にリアルタイムに情報送信し判断するというシステム構築もさほど困難なではない。超音波における判定に関しては最も重要視される色合いを評価することは不可能である。しかし身質の軟化や熱蛋白凝固変化、細胞破壊による滲出液の出現や量など科学的かつ数値的に判定表示可能である。これは数値的に算出されたデータを基に次なる品質管理の基準方法の構築が行えるものと察する。

### 8 超音波所見例

①軽度焼けメバチマグロの超音波 B モード血合い画像6、背ナカ画像7を示す画像6



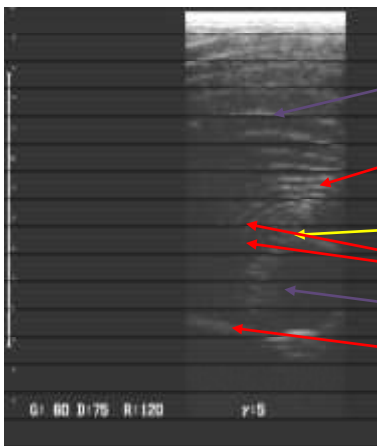
画像7



血合い筋は高エコー粗雑不均一化が進行し、血合い筋周囲の筋節(普通身)に高エ

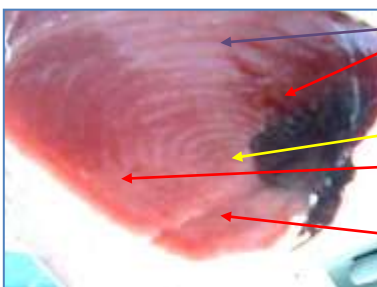
コー粗雑像が浸潤して観察される。粗雑感が高いのに比べて超音波透過性上昇を示唆する脊椎異常高エコー反射、さらに中隔筋膜の帯状高エコー連続所見が見られる

②中等度広範囲の焼けメバチ超音波 B モード背ナカ画像8、一致する剖面写真9を示す  
画像8



- 不整帯状高輝度筋隔
- 赤矢印の領域が高エコー粗雑に描出され、有る境界面に鏡面反射したものでありその作用反射点は魚輪中心部と示唆される
- 筋隔の断裂
- 超音波反応(鏡面像)
- 中隔筋膜エコー連続ダブルラインを呈す
- 超音波にて赤矢印に一致する領域
- 不整帯状高輝度筋隔に一致して身の剥がれを認める
- 魚輪中心部
- 焼けの境界(エコー所見に一致して筋隔は断裂している)
- 融解、解凍の起こった筋節

写真9 超音波に一致する剖面



超音波観察にて筋隔は帯状高輝度断裂所見を呈し、明らかな超音波反応を認める。特に異常高輝度粗雑筋隔所見領域に一致して身の内出血及びただれを認める。また筋隔中断境界に一致して筋隔、筋節の融解が見られる、中隔筋膜ダブルラインの所見は1mm程度の厚みの強い焼けが見られた。

③脊椎中心部限局のツナ缶レベルの強い焼け超音波 B モード画像10一致する剖面写真11を示す

画像10

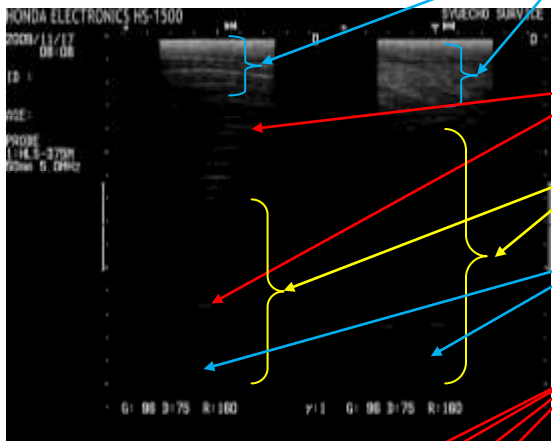
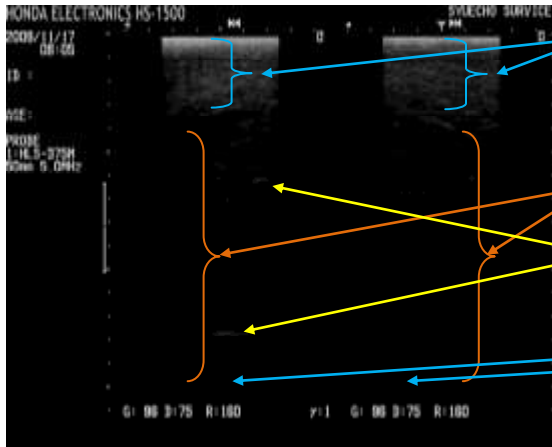
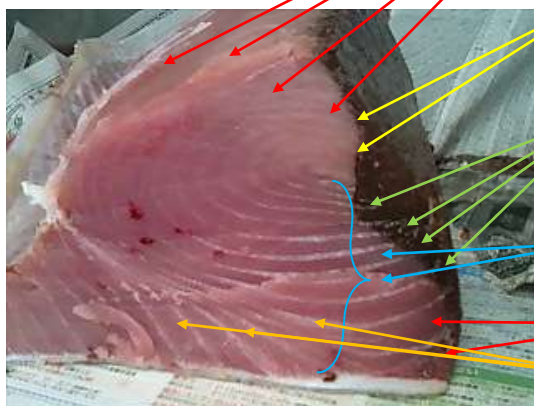


写真11



皮下脂肪層は30mm筋隔エコーレベル

エコーレベル無エコー

異常高輝度エコー

脊椎反射消失

皮下脂肪層は低エコー、均等平滑

異常高輝度エコー反射

エコーレベル無エコー

脊椎反射消失

焼けの境界、焼け部分の身は白濁

筋隔断裂を呈し血合い筋の色合いは焦げ付いた黒変に見られる

筋隔穿通、血合い筋内部まで筋隔は保存されている

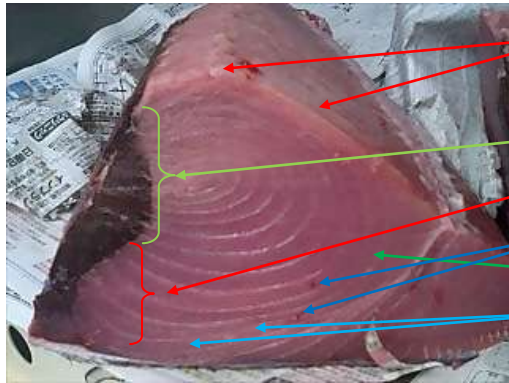
身は透明感が保存されている

軽度血の浸透を認める

細かく均一に油の乗りを認める

超音波画像は一見して、非常に良い品質のように印象を受ける。しかしそこが大きな落とし穴であり、重大な情報である脊椎反射が消失している事である。脊椎周囲の焼

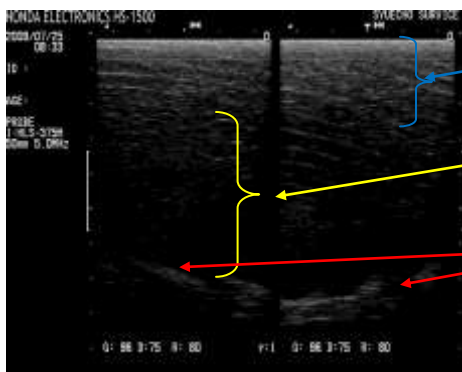
けが強く脊椎反射信号が阻害された現象によるものと推測する。血合い筋が比較的保存状態が良いので、血抜き処理が良かった事が超音波画像及び剖面写真で示唆される



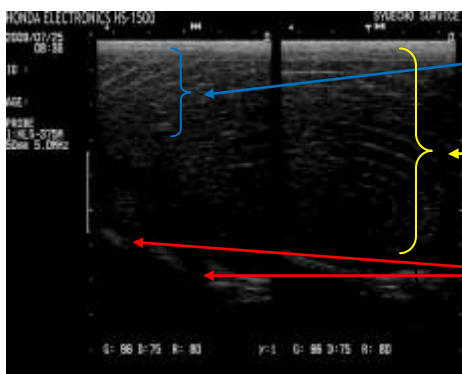
- 焼けの部分が骨を伝うように認められる
- 筋隔の血合い筋への穿通を認める
- 筋隔は血合い筋との境界で断裂
- 血のにじみ、筋隔からのドリップ無し
- 身質は透明
- 皮下脂肪は弱く地図状に不均一にのっている

ツナ缶レベルの強い焼けを認めていたが、普通身は劣化が軽微であった。筋隔剥離は見られず、血のこもりもほとんど見られず、溶血は無くシミは見られない。焼けの部分を取り除けば比較的品質は良いと考える。エコー所見も比較的身質はエコークリアーであり、脊椎反射消失が大きな所見とみられる。それが脊椎周囲に限局性に生じた強い焼けの所見ではないかと示唆する。刺身で賞味したテクスチャーはやや硬く油の甘さと酸味が強く香りはツナ缶の香りがした。

クロス操作による中隔筋膜の観察



- 筋隔、筋節共に比較的均一
- 筋隔の消失が見られ無エコー化が進行
- 中隔筋膜の肥厚と反射輝度低下を軽微に認める



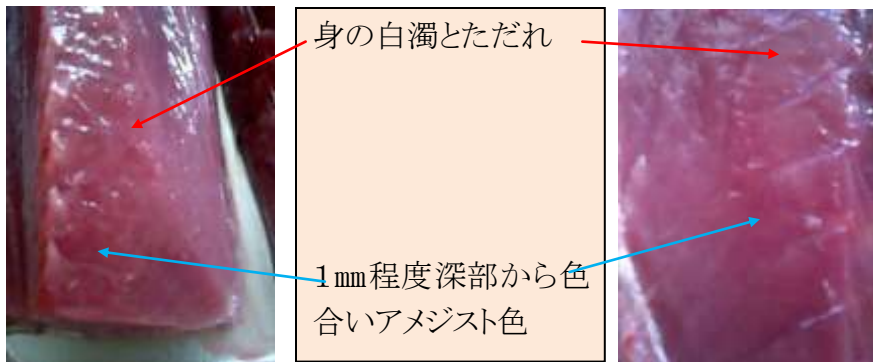
- 筋隔、筋節共に比較的均一
- 筋隔反射は認められ、魚輪構築が観察されています
- 中隔筋膜は無エコー、中骨の配列が明瞭に観察されています

写真は 20090725 水揚げの13キロのメバチマグロの背カミクロス方法両側中骨短軸、

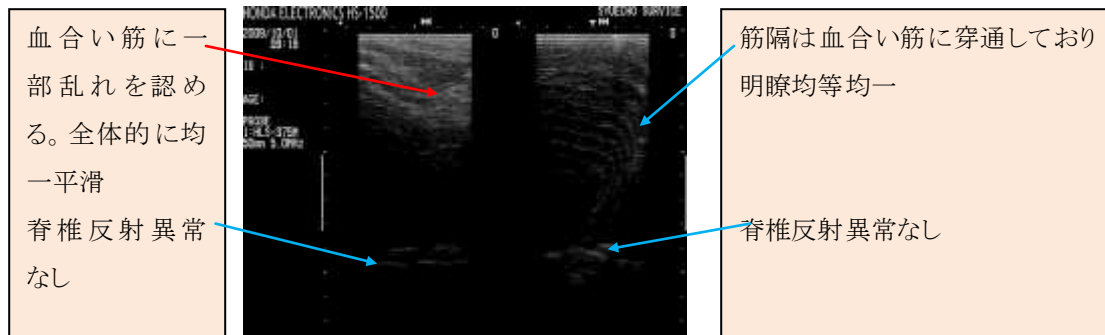
右長軸 5MHz 超音波 2 方向操作を行い左写真が中骨短軸、長軸 5MHz 超音波画像となり、所見として、筋節の厚み不均等、筋隔不整不明瞭帯状、魚輪消失、中隔筋膜不整肥厚不明瞭帯状反射出現し中隔反射(中隔骨)連続性を示す。

右写真は所見として、筋節の厚み均等、筋隔明瞭太線状、魚輪保存を認め、中隔筋膜無エコーで見られ、中隔反射(中隔骨)間隔性、明瞭反射を示す。

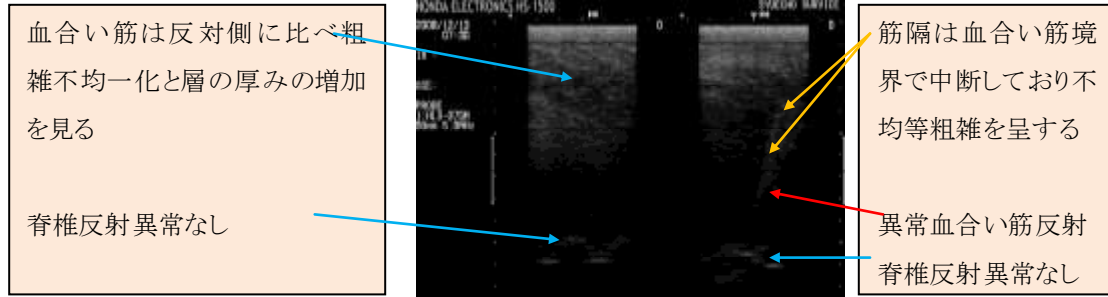
実際に捌いた評価は片側焼けであり乳酸アシドーシス焼けを左写真が示していた。焼け身は油の乗り多く皮下脂肪層は13mm前後であった。右の身は透明感のある朱色の身質で中骨付近5mmの厚みの黄土色不透明感があり、熱蛋白凝固焼けツナ缶詰のように蛋白凝固と明らかな白濁化が見られる1mm程度の膜状変化が表面を覆うように認められた。その領域は超音波観察での脊椎前方エコーに一致した。



### 乳酸アシドーシス焼け



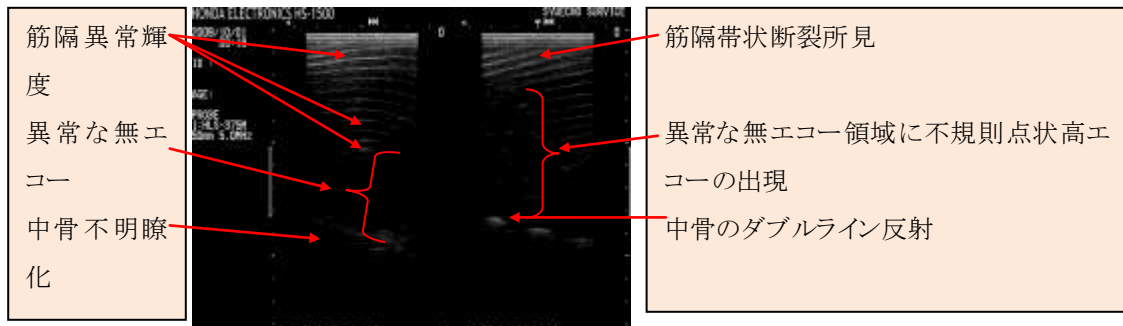
超音波血合い像 血合いスジは粗雑不均一領域が存在しているが全体的に繊細均一中層エコーで見られ血合いスジの品質は良いデータを示す。脊椎骨焼けで強く薄かった。



血合い筋は反対側に比べ粗雑不均一化と層の厚みの増加を見る  
脊椎反射異常なし

筋隔は血合い筋境界で中断しており不均等粗雑を呈する  
異常血合い筋反射  
脊椎反射異常なし

比較用別検体超音波血合い像 血合い筋は中層まで高エコー粗雑不均一、筋隔境界は高エコー粗雑不均一化が認められる。超音波透過性の亢進を脊椎反射レベルの上昇で確認できる。血合い焼けで広範囲の乳酸アシドーシス焼け及び血合いと普通身の境界を取り囲むように暗灰色に変色していた。



筋隔異常輝度  
異常な無エコー  
中骨不明瞭化

筋隔带状断裂所見  
異常な無エコー領域に不規則点状高エコーの出現  
中骨のダブルライン反射

身質クロス超 筋節の带状断裂所見が表面から3センチ深部領域まで、また深部領域にも点在する高輝度点線状エコーを認め筋節剥離と深部筋節微細剥離を示唆する。中骨は明瞭断続性に見られ中隔筋膜の带状連続性は見られない。超音波透過性は上昇傾向を示し、中隔骨の異常高輝度反射を認める。身質軟化と筋隔剥離、鮮度低下を思わせる所見で注意レベルのデータを示す。釣り上げ後に暴れて、軽度骨焼けを示すものとして考えられ、脊椎から中骨に浸潤性にダブルラインを認める。深部身質は極度の無エコー化の亢進が見られる。実際の剖面写真を下記に提示する。

剖面写真

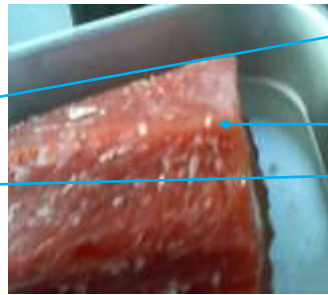


脊椎接触部にやや強めの焼けを認める  
中心部は比較的色彩よし

血合い筋は色合い良くただれは見られない

セリ直後ロイン肉眼写真 脊椎と中骨付着部に焼け(乳酸アシドーシス白濁変色)が見られる。超音波所見において筋隔带状の範囲に一致して身のはがれ(筋隔剥離)が認められ、中層部より深部中隔筋膜までの無エコー領域は身質の軟化で一般的に弱い広範囲な焼け(丸焼けとも称される)といわれる状態であった。

－5度空冷送風チルド保存6時間後



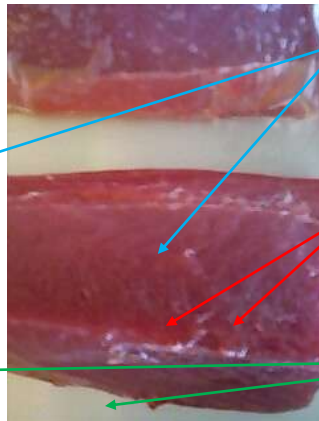
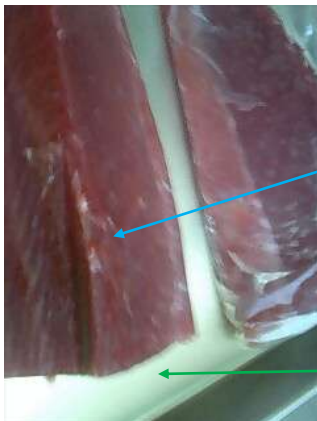
冷風処理のみでこれだけの色合いに回復  
若干オレンジ色を呈する  
血合い境界部と中心部は色合い  
良し

色合い良くなり焼けが確認できな

い。蛋白凝固がない状態。暴れ過ぎでの乳酸蓄積の状態が冷却送風により酸欠が回復したと示唆する。筋隔剥離は改善されていない。

メバチマグロ(10.3 キロ)例

7日操業セリ出し、胸鰭付け根血合いスジと尻尾 0,3,6,9 時方向の皮下血管をカットし  
つりさげ冷蔵保管、初期空冷送風温度マイナス7度にて72時間処理、冷蔵庫温度マ  
イナス3℃に変更して24時間経過後に捌いた。抜けた水分は30cc程度でほぼ透明  
であった。



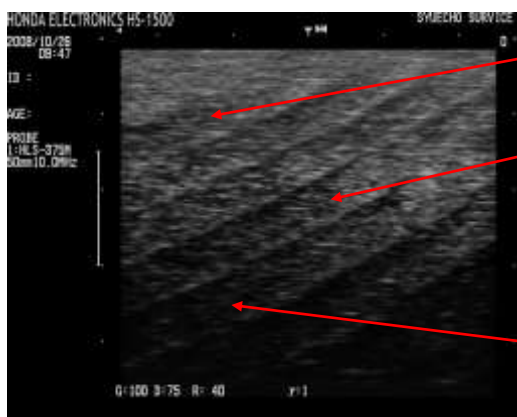
色合いはルビー色で良い、  
これから呼吸して鮮明な赤  
に発色してくる  
ジェリー化が認められる  
ドロップの流出なし

刺身に切ってもバラけることなく身はしっかりしており、透明感も保存されていた。香り  
生臭さは無い、味覚は薄い感じがした。本船のバチより味覚およびテクスチャーは保  
存されている。

## 9 その他超音波検査例

### 111 メバチマグロジェリーミート

類円形の低、無エコー結節が複数散在している。サシといわれている超音波所見



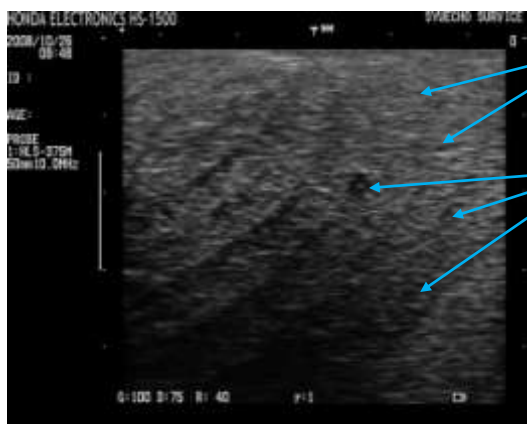
筋節に低エコー領域を認める

微小類円形低エコー結節をクラスタ状に認める

深部領域(皮膚側)に進むにつれ筋節の低エコー領域の拡大を認める

### 222 キハダマグロアズキ

大小不揃いの類円形無エコー結節を彌慢性に認める。アズキの超音波所見

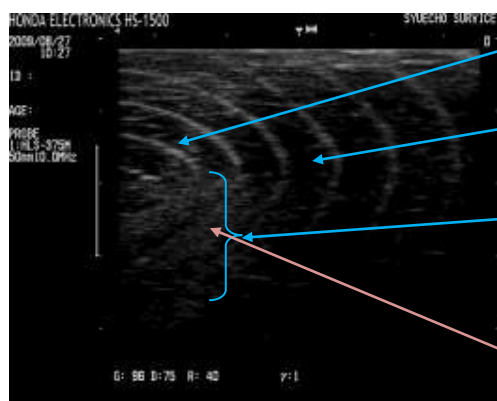


筋隔、筋節の境界は消失

類円形低エコー結節を彌慢性に認める

### 333 キハダマグロこんにやく

身質に高エコー粗雑な地図状領域を認める。筋隔の穿通を認める。一見してアーチファクトとして見間違える。



筋隔は明瞭平滑、連続性を示す

筋節は繊細均一、均等である。

高エコー不明瞭粗雑不整形領域を認める(肉眼所見の白色変化に一致する)

筋隔の穿通が認められる。(筋隔保存)

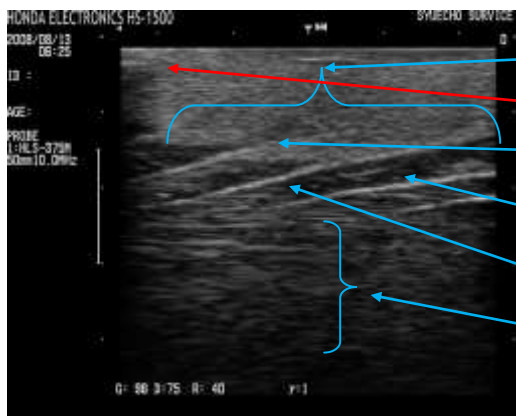


超音波上一致する所見は肉眼評価瀰漫性に見られた観察結果に対して、比較的狭いエコージェニック領域を認める、筋節および筋隔の保存性は良く乱れは無い。

海洋深層水散布マイナス2℃送風冷蔵処理20時間後

白い変質様領域が不鮮明になってきている。海洋深層水と空気による色合いの品質改善を認める。味覚などのテクスチャーは通常のマグロと大差なし、文献マグロの科学P229 参照によると、産卵後の体力の弱ったマグロに見られ、体力回復に伴い4週間程度で消えるとのこと、私の示唆するところ、シミの逆現象と考えられるいわゆるミオグロビンの抜けではないかと想定する。それらにより海洋深層水散布と空冷によるミオグロビンの酸化浸透促進により色合いがある程度回復したものと示唆される。超音波に一致する領域は発色不良で通称ガンといわれ返品されることが多い。味覚は薄いが一般の方にはわからない程度であった。文献ではヤマイ(こんにやく)と称される。

#### 444-1 キハダマグロ傷口の修復期脂肪沈着(通称ガン)



- 高エコー比較的均一な領域を認める
- 皮膚の断裂
- 筋隔の中断を認める
- 筋節は繊細均一均等に見られる
- 筋隔平滑均一を呈す
- エコージェニック粗雑不均一層を認める

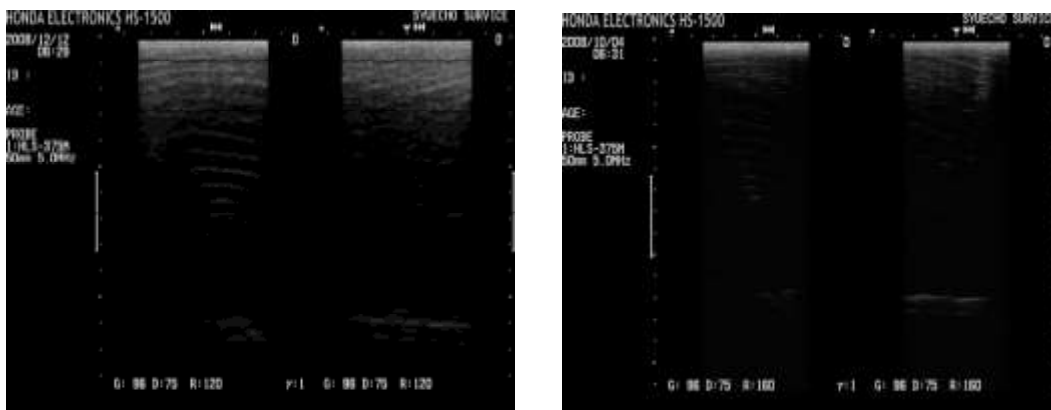
繊細均一周囲身よりエコーレベルの高い結節で、こんにやく程度の硬さの脂肪の塊であった

#### 444-2 キハダマグロ傷口修復末期筋繊維増殖期 ヤマイ(通称ガン)



結節は高エコー縮小し、筋隔の穿通が見られてきている。また皮膚の再生も認められ残り10mm程度の皮膚エコー消失レベルまで回復をみる。

## 555 左下キハダマグロ皮下脂肪層 30ミリの厚みと、右下油の乗りのない赤身



左写真は皮膚表面から深部にかけて30mmの高エコー層を認める

右写真は高エコー層は認めない、筋隔も細線状明瞭で見られる

### 10 マグロの品質について

マグロの品質で最も重要なのが鮮やかな朱色である色合いである。次に油の乗り具合、鮮度(身持ちの良さ)、香り、ドリップの量などと言われている。マグロの色合いは主に血液色素の酸素結合により支配され、酸化不足や酸化過度の場合に色合いは良くない傾向を示すとされている。色合いは温度管理でコントロール可能であり最も色づく(ミオグロビンが酸化する)温度帯域は $-7^{\circ}\text{C}$ 前後と文献に記載されており、その時真空で包装するか気密で包装するかで色づきに大きな違いを生じる。色づきすぎた場合海洋深層水処理を行うと振り出しに戻ることが実験で確認された。色づきすぎたり異臭を放つ場合は重層処理が効果を発揮する。それら多くの確立された技術を利用することによりマグロの品質改善は見込める。品質を向上させることがマグロにおいて可能でありその功を奏した例をあげる。

#### 10-1 焼けの改善例

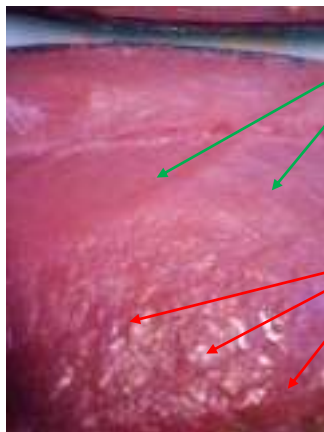
超音波において右身中心部に焼けを示唆するデータを得た14キロのメバチマグロセリ落とし直後に胸鰭付け根の両側動脈本管を5センチほど切開し尻尾の血管4ヶ所に切り込みを入れ海洋深層水 Gmo 調合液原液を表皮全体に30cc霧吹きで散布し冷蔵庫温度マイナス3から $4^{\circ}\text{C}$ でつりさげて血抜きを行いながら熟成処理96時間保管処理を行った。



4日後に捌いたロイン写真、右背カミに

焼けを思わせる色ボケを認めるが身質の締り良い、両側背カミ血合いスジは緑変が見られ(スルファミオグロビン変化)、比較的、血合いスジ中心部に局限しており身質への浸透は肉眼観察において確認できなかった。マイナス10℃以下の冷凍処理を行うと緑変は明瞭になり異臭を放つ場合が多いので血合いスジにこのような所見が得られた場合は冷凍保存は原則行わない。やむなく冷凍保存する必要がある場合は、20パーセント濃度の海水と海洋深層水の調合液で洗浄しスルファミオグロビンの除去を行うと緑変防止効果が認められた。

焼け部分のアップ写真シミは認められず、血抜き処理と温度管理による品質向上を認



血抜き洗浄処理によりシミが見当たらない

白濁変化していた領域が明るい朱色に変化している。ゼリー状変化を明らかに認める

める。焼けの後遺症として身質のゼリー状軟化は残るが、焼

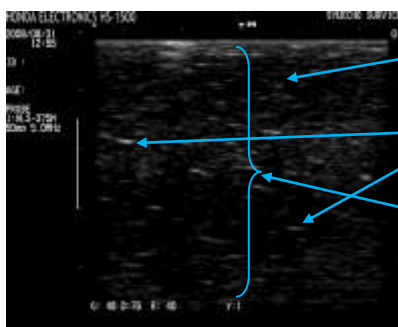
けとは評価できないレベルに色合いは改善されており肉眼目利きでは焼けとはされない。焼けは改善されている。超音波においては焼けていた部分の無エコー化が進行しテクスチャーは歯ごたえのなく味覚も薄いゼリー化傾向を示す。超音波上改善は確認できない。

超音波5MHz 観察において



組織エコー反射を認める  
筋隔細線状に認める  
全体的に整然均等エコーを呈す

左身質エコー反射良好

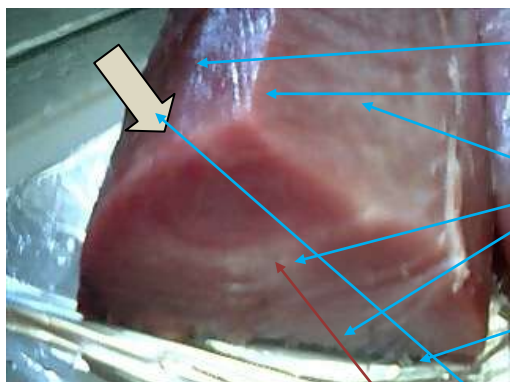


組織のエコー反射の低下を呈す  
高輝度点状エコーを瀰漫性に認める  
全体的に無エコー化が見られ高低エコー粗雑を呈す

右身質、エコー反射は低下し無エコー化の進行

10-2 色合いの改善

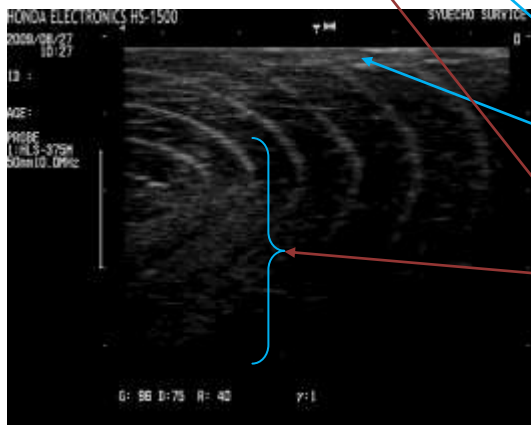
焼けとは異なる焼け様所見(こんにやく)の品質改善



血合い筋  
脊椎付着部  
白色性の浸潤を領域性に認める  
外皮側

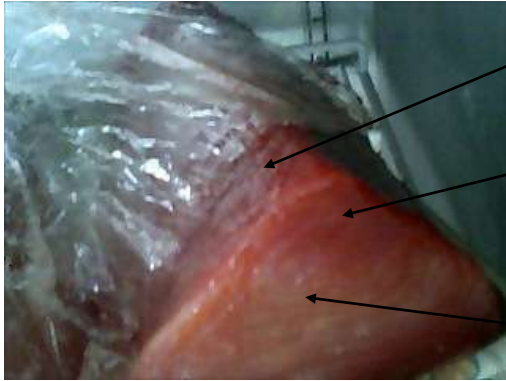
マグロ焼け様所見

マグロ焼け様超音波所見10MHz



この方向から観察した左右反転写真  
血合い筋側  
白色変化領域  
一致する超音波画像領域

超音波上一致する所見無し、それらしきエコーゾーン領域を認める、超音波観察において脂肪沈着ととれるスペックル性を示す焼けや身質変化は認められない。通称ガンといわれ返品されることが多い



マイナス5℃空冷に送風による24時間調整後、表面の薄氷を認める(深層水処理無し)

朱色は深く鮮明になってきている

白色変質部も朱色に色づいてきている

温度調整のみにて、24時間経過は色合いの回復(発色)を認める。うっすらと筋隔及び魚輪が浮き出てきており、超音波観察における筋隔の保存性所見(穿通所見)の立証につながった。刺身に切って色ムラは肉眼的に軽微であり味覚及びテクスチャーは上級品に比べアジが薄目傾向を示した。それ以外はなんら差異を感じ取れなかった。注意事項としてこの状態に回復したものに海洋深層水を散布したら元の白っぽく薄い色合いに戻ってしまった。海洋深層水作用原理で考えて、色合いが生きた状態に回復したと示唆され振り出しに戻った。

### 10-3 冷凍焼け防止

#### アカジミノーバイの色合い保持

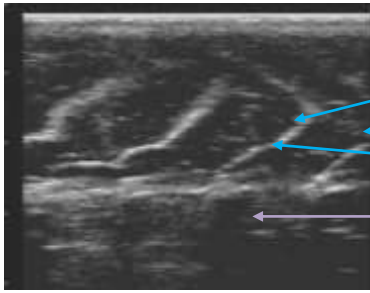
海洋深層水効果を確認のため深層水処理してマイナス20℃冷凍30日保管したアカジミノーバイの解凍後の写真である。比較的取れたての色彩や眼球のつぶれはなく透明感を示している。肉眼では釣りたてと差がない。超音波検査において軽度のエコーレベルの上昇を認め、筋繊維の保存を認めた



目は透明で張りがある

模様は保存されている

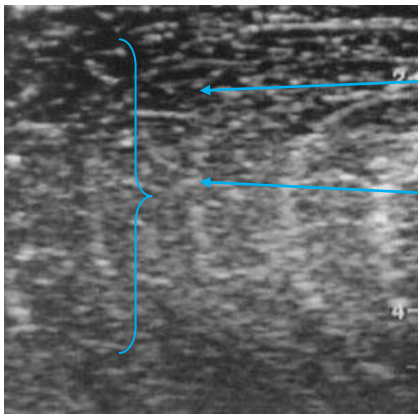
鰭先端に乾燥所見が存在する



筋節は軽度高エコー粗雑を呈す  
筋隔は帯状高輝度粗雑化を認める  
線、点状高エコー筋繊維の保存  
超音波透過性上昇を示す高輝度底面  
エコー

#### 10-4 その他参考

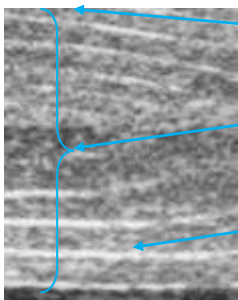
##### 10-4-1 身が生きた状態のマグロエコー所見(超音波周波数11MHz)



筋繊維の保存を示す微細点状エコーを均一整然に認める  
全体的に、筋節繊細均一、筋節細線状均等平滑

繊細均一な筋節に均等平滑な筋隔の構造で見られる。赤身のきれいな上級キハダマグロの超音波像である

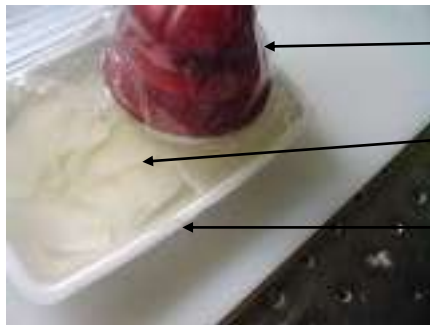
##### 10-4-2 冷凍焼けを起こしたマグロの超音波所見(超音波周波数11MHz)



筋節の高輝度粗雑化を認める  
全体的に押しつぶれた所見で観察され、高輝度粗雑不均一化を認める  
筋隔は帯状高輝度化を明瞭に深部領域まで認め超音波透過性の亢進を示唆する

10-4-1 を冷凍、解凍を2回繰り返して冷凍焼けを強制的に作り上げた超音波像であり身はつぶれ高エコー粗雑を呈し、筋隔帯状明瞭、超音波透過性の促進を見る

#### 10-4-3 超音波美顔器でソデイカを純白に仕上げる

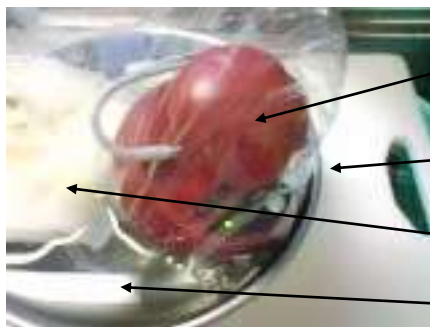


1MHz 超音波美顔器

ソデイカ短冊の青いシミは消失し純白に変化している

容器は発砲スチーロールで超音波吸収作用考慮、漬け液は25℃水道水

#### 10-4-4 超音波美顔器で洗浄解凍

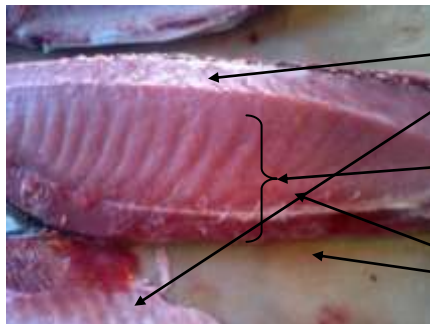


1MHz 超音波美顔器

容器はステンレスボール反射散乱効果を考慮、漬け液は35℃海水

-40℃冷凍ソデイカ短冊の塊  
解凍シミ抜き、はがれたソデイカ短冊

#### 10-4-5 骨熱上昇、血合い熱上昇、乳酸アシドーシス焼けの複合、丸焼け状態、



ツナ缶レベルの焼け脊椎から中骨に伝うような強い焼け

アシドーシス変化表面に強い焼けがかぶっている

溶血した染色液状の血液

この例はサメに食いつかれ暴れまわり、突然サメが放して釣り上げた例であり、ある仲買人はまずくて食えないから放したと言っていた、しかしあまりの熱の上昇により熱くて食いついていられなかったと考える。それだけ強く焼けていた。

## 10 研究所の移動型品質検査設備



- 参考書、白衣、手袋収納ボックス
- 作業台
- ペーハー測定器、酸素濃度計、デジタルメモリー型温度計、1MHz 超音波美顔器配備アルミケース
- 本多電子製 HS-1500—5/7/10MHz 超音波装置
- 3.5MHz 超音波装置
- バッテリーインバータ搭載移動ケース
- データ入力用ノート型パソコン

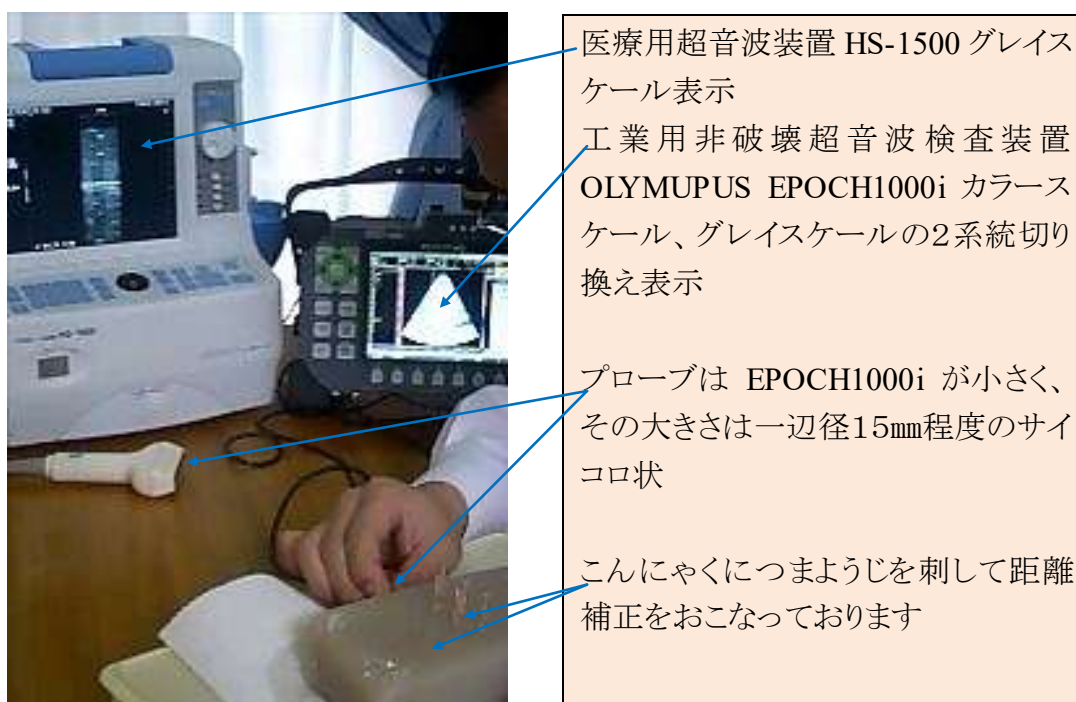
当研究所の車載移動設備を示します。写真中央は本多電子製 HS-1500—5/7/10MHz マルチ周波数リニアプローブ搭載型、手前ノート型パソコンデータベースソフトウェアメーカープロ9、右アロカ 3.5MHz 単周波数リニアプローブ搭載型、後列アルミケース内にペーハー測定器、酸素濃度計、デジタルメモリー型温度計、1MHz 超音波美顔器配備、その他バッテリーインバータ搭載移動ケース、参考書、白衣、手袋、セリ内履き雨靴を装備し各セリ現場周りを行っております。超音波装置は医療診断用であり医師または看護師、臨床検査技師、診療放射線技師のいずれかの国家資格を有した者のみに取り扱いの制限がある。それ以外の方は違法行為となる。私の所有する国家資格は診療放射線技師免許である。その特定者以外での検査制限を解決するための手段として工業用超音波非破壊検査装置があり、代用可能な装置 OLIMPUS 社製 EPOCH 1000i の登場により特定国家資格を有しなくても利用可能となった。これは品質検査専用機器なので特定免許を必要とせず利用できる。これにより誰でも検査可能となり判定基準及び表示が確立しやすくなる利点がある。カラースケール表示なのでエコーレベルは色合い変化にて確認でき視覚的評価が簡易になる。(詳細機能は省く)



## 11-2 工業用超音波非破壊検査装置の応用試験例、マグロ以外の超音波検査例

写真は OLYMPUS 社製 EPOCH1000i の工業用超音波非破壊検査装置であり、特徴は、フェーズドアレイ方式のセクター走査により2次元の視覚的評価が可能な製品である。開発は金属の微細破損を検出するための目的で製品化され、実用例として航空機の金属破損を検出するために利用されている。

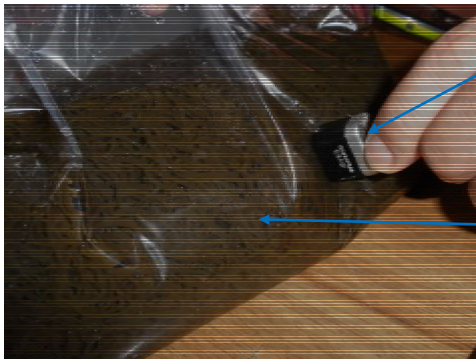
次の写真は OLYMPUS EPOCH1000i の応用実験の為調整を行っているものです。画面左が医療用超音波装置 HS-1500 で右が OLYMPUS EPOCH1000i の5MHzフェーズドアレイ方式に音響レンズ無しで工業用装置で、これからマグロを観察するための下準備中の状況です。



音速設定を両装置同一にするため、こんにやくにつまようじを20mmピッチで刺してそれぞれの装置の距離計測値が一致するようにEPOCH装置の音速を調整した。ちなみに設定音速は1530メートルに設定調整し、こんにやくは測定結果によると22mmで計測され音速1400程度の音速と示唆される計算値を得た。

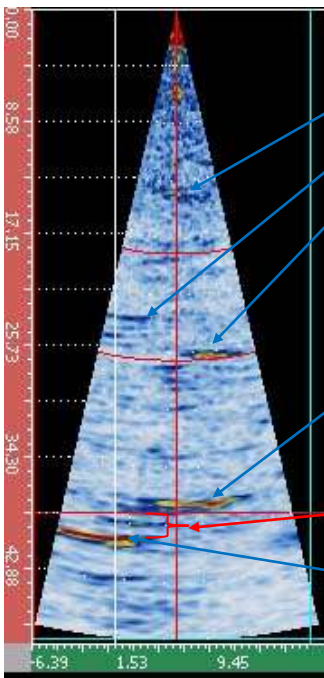
11-①超音波非破壊検査装置 EPOCH1000i 応用実験例

完熟もずく 検査



EPOCH1000iフェーズドアレイプローブ

もずくの茎が密に存在して見られます



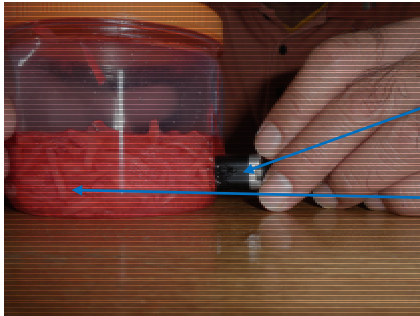
もずくの茎を明瞭に捉えております。  
全体的にこの画像で何を観察しているか  
困難です  
プローブ走査すると形状や状態が把握で  
きました

底面エコーとします

底面エコー段差

底面エコーは振り角が大きくなると下方に  
表示されています

11-②紅ショウガ検査

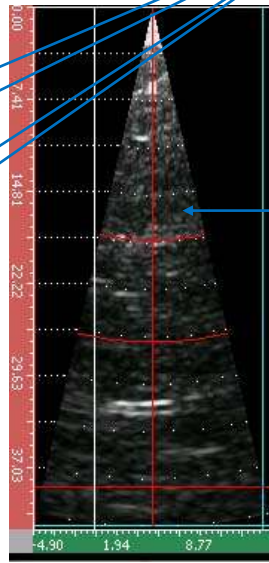
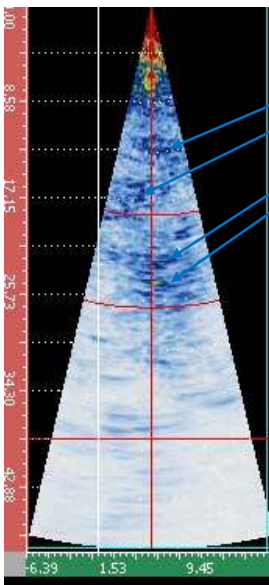


EPOCH1000iフェーズドアレイ  
プローブ

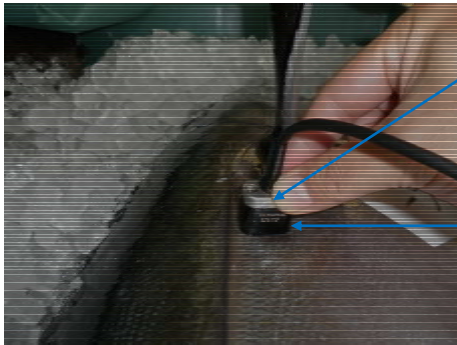
比較的まっすぐな紅ショウガが密  
に存在します

紅ショウガを捉えておりますがや  
はり形状を把握できません。  
プローブ走査で形状認識困難

グレイスケールはプローブ操作で  
空間的の形状が観察評価可能



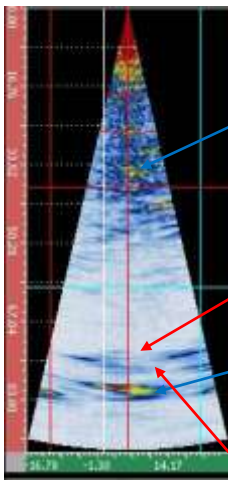
11-③メバチマグロ血合い筋ラウンド状態での観察



EPOCH1000iフェーズドアレイプローブ

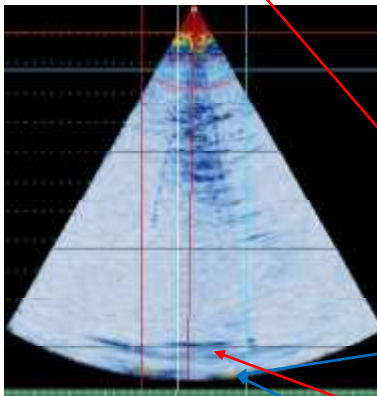
横断面にプローブはスキャンしています

弓型の血合い筋形状を確認できます

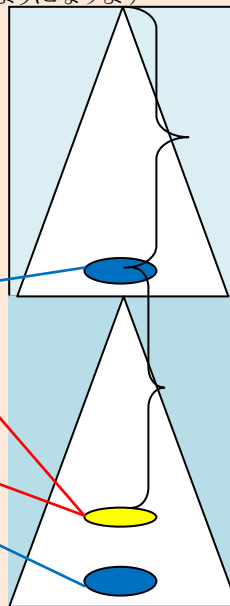


下にある脊椎反射を認めます、これはリアルタイムマジックで、前のスキャンの多重反射の表示となります

実際の脊椎反射を明瞭に認めます

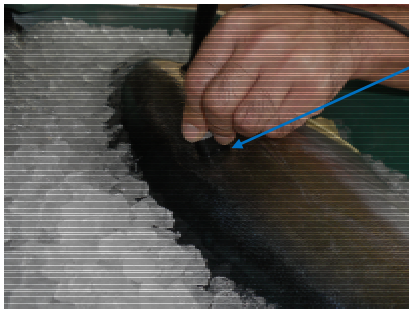


原理は図のようになります



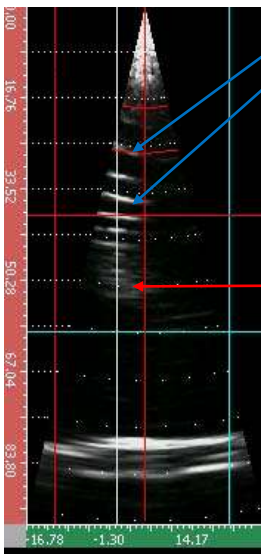
青は真の脊椎反射像で黄色はプローブ面との多重反射アーチファクト(虚像)

11-④メバチマグロ背カミラウンド状態での観察

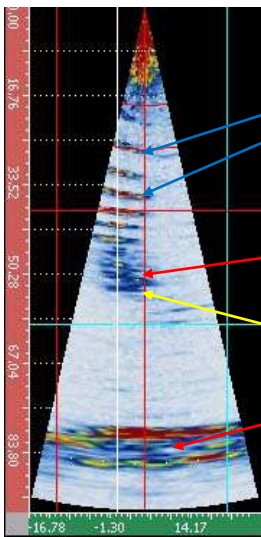


EPOCH1000iフェーズドアレイプローブ

筋隔を明瞭に認めます



高輝度領域を認めます。多重反射ノイズ? 部分的油の乗りまたは出血などの異常身

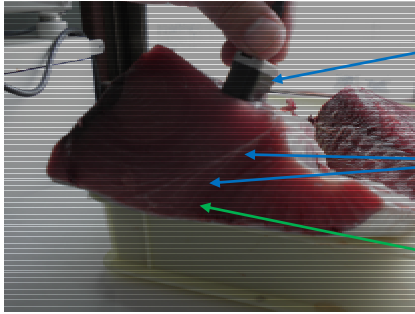


筋隔を明瞭に認めます

高輝度領域を認めます。形状から血合い筋部油の乗りと毛細血管のスペckルと示唆される

底面エコーに多住反射として重なっている

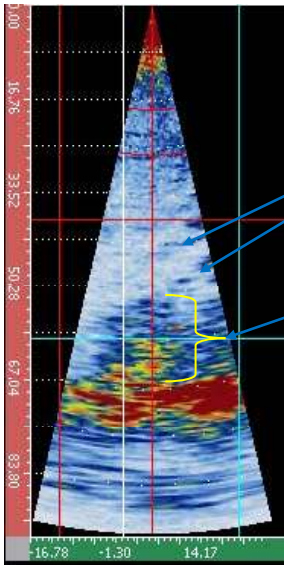
11-⑤メバチマグロブロックカット面脊椎方向から皮に向けての観察



EPOCH1000iフェーズドアレイプローブ

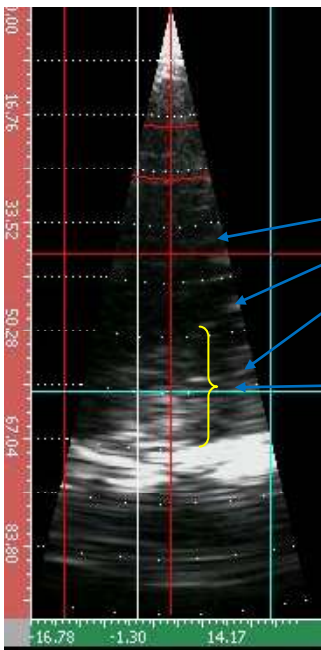
太い筋隔(スジ)を認めます

僅かながら油が部分的にのって白っぽく見えます



不明瞭ながら筋隔を認めます

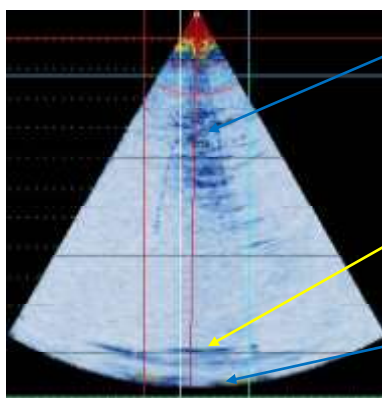
油の乗りを証明する青いエコー表示が確認できます。多彩な色合いで不均等に混在することがうかがえます



不明瞭ながら筋隔を認めます。

油の乗りを示唆する高輝度粗雑領域を認め、内部構造も確認できます

## 11-⑥メバチマグロセミドレス血合い筋の観察



EPOCH1000iフェーズドアレイプローブ  
胸鰭付け根より尾側5センチにプローブを  
当てています

メバチ80キロクラスのセミドレス氷保管生  
那覇のセリで当日入手

弓状の血合い筋構築が明瞭に観察され  
ます。青い均一の色合いで見られます

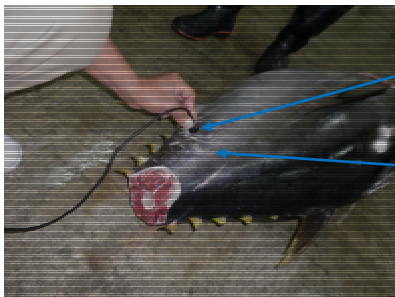
脊椎の多重反射アーチファクトを認めま  
す(超音波透過性良好とみなします)

脊椎反射がギリギリの視野で認められま  
す

この画像情報から示唆されることは、超音波透過性が良好で均一なので安定した身質、皮下に20mmのエコージャーニック層を認めるので油の乗りはそのレベルで、超音波透過性が良いことも油の乗りが軽微と評価される。血合い筋やその周囲にエコージャーニック領域が存在せず比較的均一明瞭に見られる事から内部身質に大きな乱れは生じにくいと考えられます。その他脊椎の描出状態や脊椎前方異常輝度信号も存在しない事もその評価に貢献する所見となります

超音波による評価はリアルタイムに観察しプローブを走査しながら情報を空間的且つ理論的に分析していく事が最も重要であり、予想する空間を理解するつまり物体の構造(マグロの解剖)を熟知しており、超音波物理の習熟がその背景に存在しなければ評価は成り立ちません。EPOCH1000i誰でも利用可能な装置であり、その機能はマグロのみならずあらゆる方面への検査評価が可能な検査装置です。アーチファクトとなるビーム角変異は音速計算上重要なアーチファクトであり、対象物質の音速測定(油の乗り具合)を比較的簡易に計算できると考えられ、その計算方法はスネルの法則計算式やセクタスキャン方式のビーム角変更遅延時間設定の差でも計算可能であり、音速設定をリアルタイム可変できるのでさらに精度よく油の乗り具合という品質評価つまり美味しさの音響学的規格数値の提供が可能となる

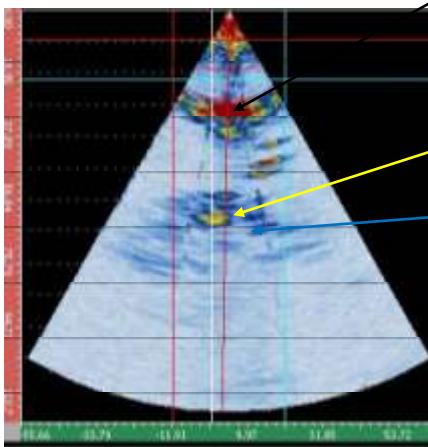
11-⑦メバチマグロドレス面脊椎方向から皮に向けての観察



EPOCH1000iフェーズドアレイプローブ

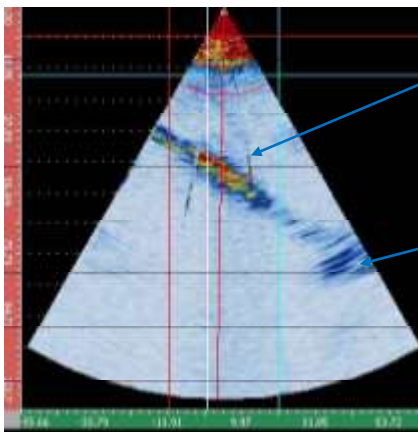
メバチ腹シモの操作で写真の位置で異常所見が出現

短軸像で異常高輝度の領域を認めます



脊椎反射信号? 多重反射アーチファクト? この画像で判断できません

長軸像やリアルタイム観察により脊椎反射と確認できる

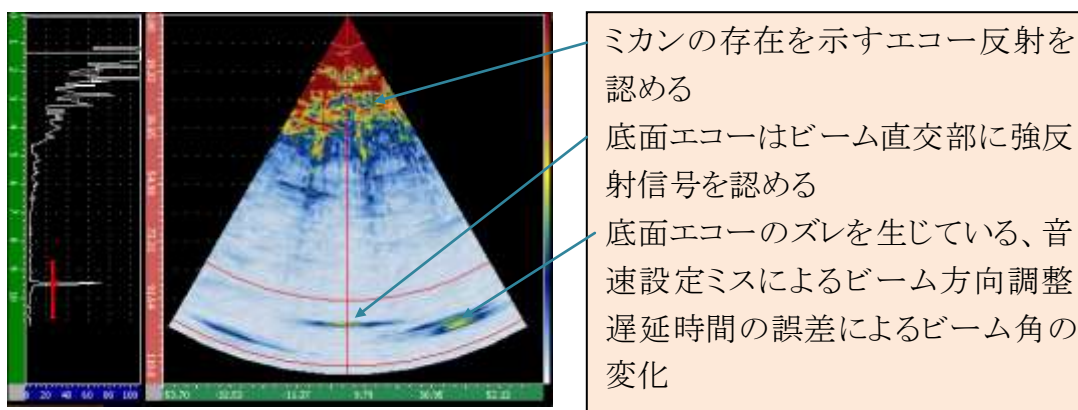


長軸像にて骨に向かう索状構造を認め中心部に強い肥厚を認めます

脊椎反射を認めます。信号が弱いのはビーム角が大きい事による。また横流れも大きい

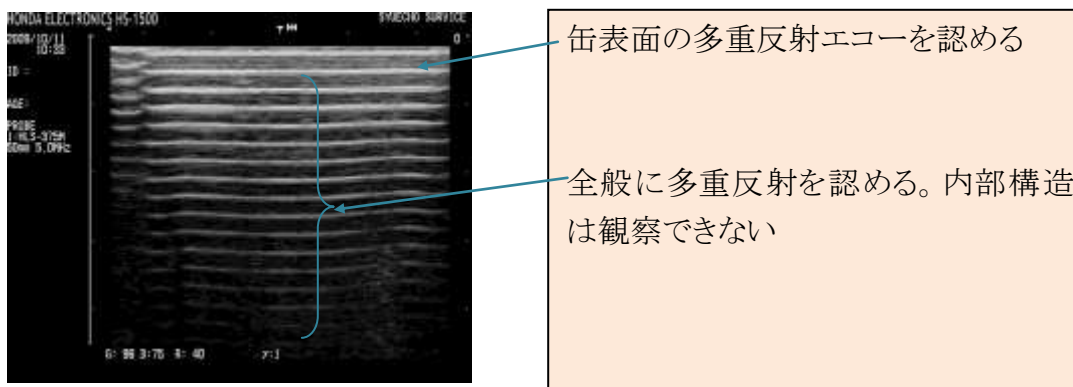


ミカンの缶詰の画像を示します。これは OLIMPUS 社で行われた初期テストであり音響インピーダンスに非常に差のある境界を透過した微弱なミカンの存在を描出している。内部で起こる缶表面の多重反射アーチファクトが比較的軽微であり、缶の形状によるものか、装置のフィルター機能なのかは解明はなされていない。



類似する方法にてトマトの缶詰の HS-1500 装置 5MHz 超音波像

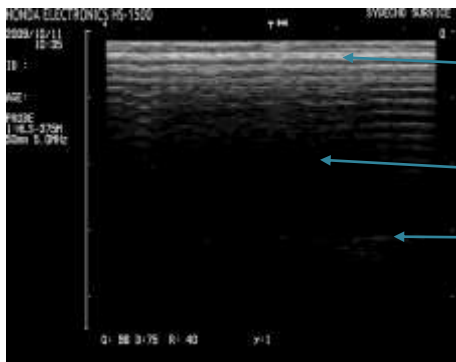
内部のエコー信号は読み取れない、缶表面とプローブ表面との密着の悪さで多重反射が全層に認められる。鱗の分厚い魚や殻の硬いイセエビや蟹等も検査観察時にこのような現象が生じている。



この写真は縞模様が均一均等に出現しております。プローブと缶表面で起こった多重反射アーチファクトであり、プローブの音響整合層と音響レンズの厚み間隔で現象が生じています。これで逆計算するとその厚みは 2 mm から 2.5 mm と推測されます

### アルミパックのミートソース超音波像

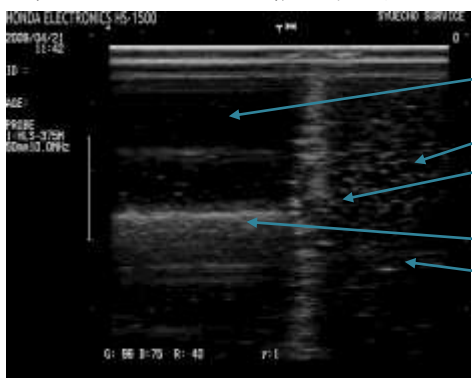
反対側のアルミパック面の反射信号を認める、内部性状観察困難、ダイナミックテストにて内部の物質の流動性の観察はできた。



- 多重反射ノイズが強い
- 無エコー信号の消失
- 底面エコーを僅かに認める

内部観察が困難な割に多重反射ノイズが軽微です。表面が柔らかくノイズを吸収して減少したことによります

### ペットボトルにサラダ油と水を入れて境界面像



- 水の領域は無エコークリアー
- 油の領域エコージーニック
- 境界面は高輝度帯状、断裂様所見を認め左傾斜を示す。
- 水ボトル底面エコー折り返し像
- 油ボトル底面エコー折り返し像

水の音速と減衰定数(透過性)がわかる

### 中央の境界面の平面像



- 内部無エコー類円形の変化を認める。超音波性質上油に沈む水のバブルと示唆される
- エコージーニックな微細構造が水に浮かんで見られる。水に浮かぶ油のバブルと示唆される。

バブルの形状で水と判定

この実験で水の性質が異なることが判別できます。これを利用して何か新しい技術が創出されると考えられます

ビニールパック烏賊の塩辛写真

塩辛超音波写真 10MHz

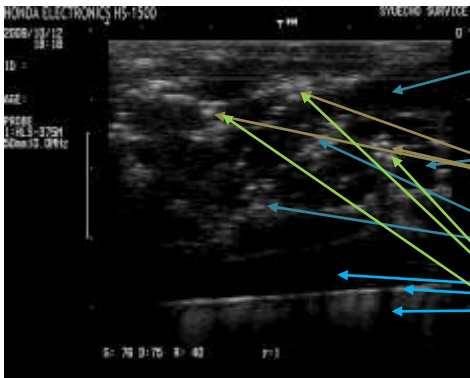
漬けたれはエコーゼニック、烏賊の身は低エコー均一で面積計算により重量当たりの正身量がわかる。



超音波プローブ

烏賊の短冊

漬けダレ



烏賊短冊の長軸像、低エコー均一

烏賊短冊の短軸像、低エコー均一

微小高輝度エコーを認める

漬けダレ、高輝度粗雑不均一

アコースティックシャドウを認める

微小高輝度エコーは足の殻と示唆される

紅ショウガ

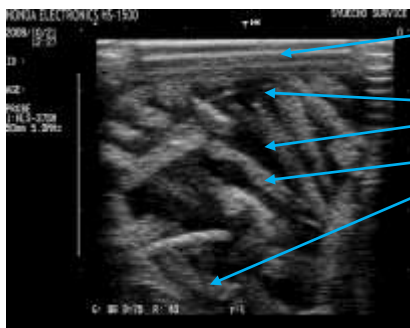


プラスチック容器

漬けダレ

超音波プローブ

紅ショウガ



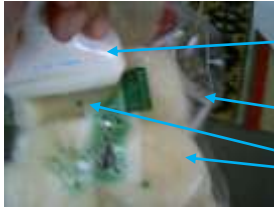
プローブ整合層による多重反射アーチファクト

無エコークリアーな漬けダレ

超音波透過性の不良な生姜は十分に漬け込まれ透過性良好となり内部観察可能となっており、減衰も軽微である  
漬け込まれた生姜と判断できる

通常農産物は細胞質に空気を多く含み超音波で観察困難である。しかしこの紅ショウガは超音波透過性も良く内部構造も確認できている。理由は漬けたれが十分に生姜に浸透し空気層に水分が十分に供給された事による。

## べったら漬け



超音波プローブ

微量の水分(漬けダレ)

大根の切り身



超音波透過性は非常に悪く大根の切り身の形状も確認できない。水分の除去による繊維成分の圧縮により超音波透過性不良を示唆する。生の大根は空気を身質に多く含み超音波透過不良を呈す。

大根の水分を除去しているの超音波透過性は無しに近い  
しらたき

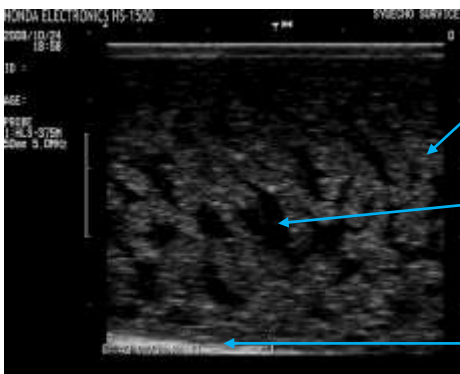


超音波プローブ

ビニールパック内部は漬けダレでみ  
たされている

ソーメン状のしらたきが密に内封されて  
いる

## しらたきの超音波像



しらたきの比較的低い均一なエコー反  
射を示し微細果粒が数珠様に細長く  
連なって観察される

漬けダレは無エコークリアー

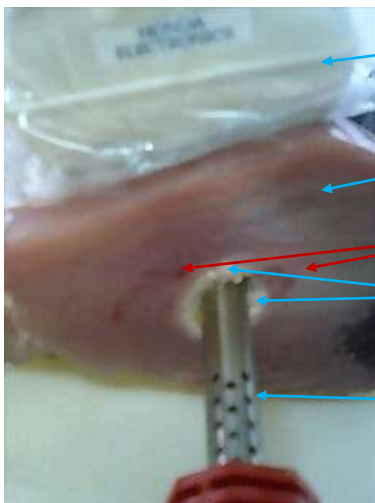
底面エコーは高輝度明瞭でみられ、超  
音波透過性良好である

しらたきは明瞭に観察される。水分の多さを推定できる

## マグロ焼け実験

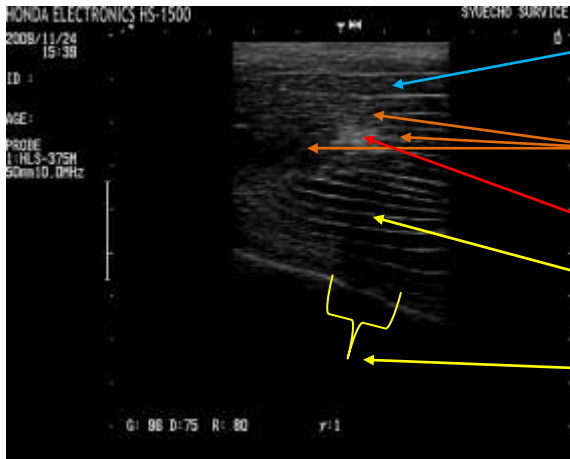


- HDD 内蔵カラーモニター
- 超音波プローブ
- キハダマグロ中トロ背シモブロック
- はんだごてを差し込んで加熱

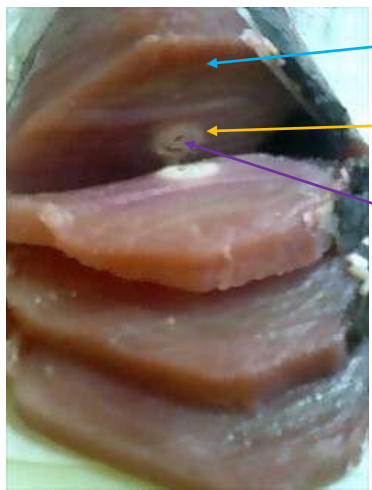


- 超音波プローブ
- キハダマグロ中トロ背シモブロック
- 血のにじみ
- はんだごての熱で焼けが進行
- はんだごて

この実験の意味合いとして、理論的に理解できている現象の確認のための検証であり、強く焼けた部分はストロングエコーにアコースティックシャドウを伴う現象でみられた。初期ははんだごての映像から徐々に周囲に広がる低エコー領域の出現、そして高輝度反射に変化し領域は拡大してその領域は超音波透過を遮断してしまう。



筋繊維明瞭  
 筋繊維の変化が見られはじめる  
 明らかに高エコー粗雑  
 筋隔軽度不明瞭化  
 アコースティックシャドウの出現

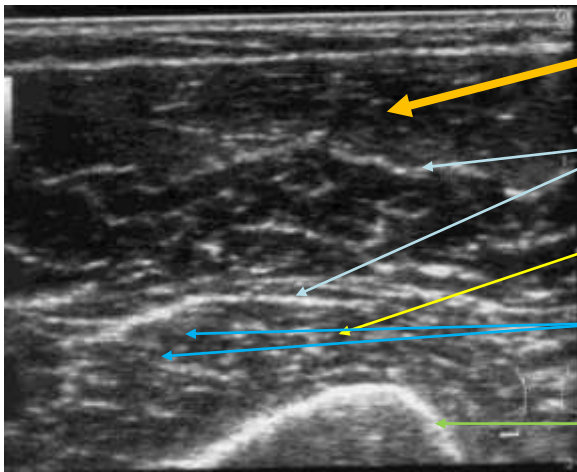


特に変化は見られない  
 明らかな焼け  
 中心部にはんだごての挿入跡を認める

実験により焼け部は超音波観察上高エコー粗雑に変化し、その度合いにより後方エコーの消失(シャドウ)の出現が見られる

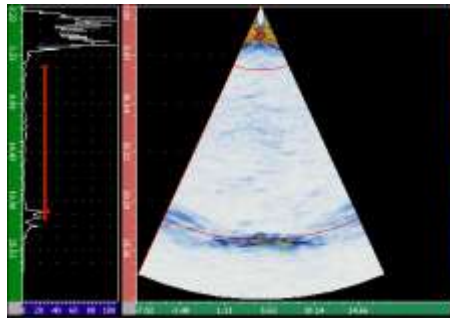
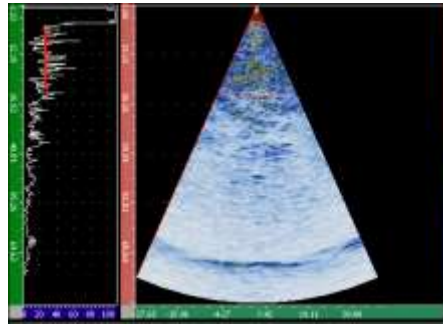
上腕二頭筋収縮(力瘤)上腕筋伸展超音波像

収縮は筋細胞が密になり低エコー均一及び透過性の促進を示す  
 伸展は筋細胞は疎になり収縮時に比べて高エコー粗雑不均一で観察される  
 屈伸運動を行いながらリアルタイム観察すると筋肉の伸縮領域とその加減の判断ができる。うっ血の場合もこのように観察されることが多く、また内出血の場合にはエコーフリースペースの出現が見られる事が多かった。



上腕二頭筋は収縮により筋繊維は密になり低エコー化変化を示す  
 筋膜は波状  
 筋膜は平滑  
 上腕筋は伸展し筋繊維は細くなりエコージーニックで見られる。  
 点在性に無エコー微細管空構造も見られる  
 上腕骨の境界面

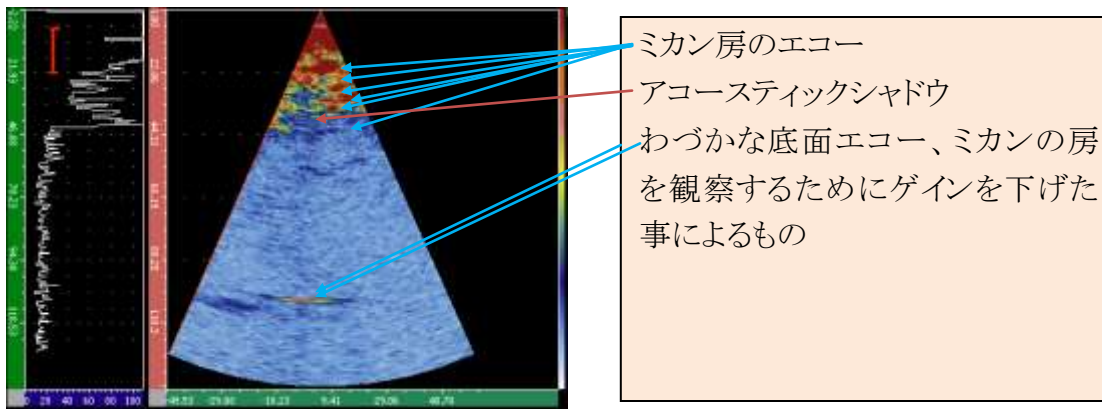
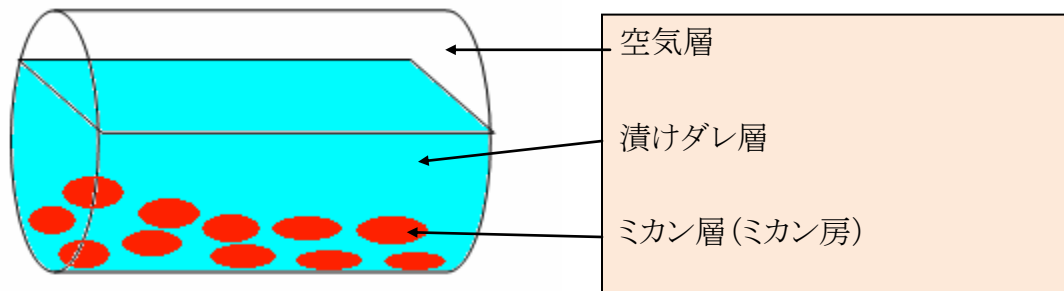
OLIMPUS 社技術部 EPOCH1000i でのこんにやく検査



OLIMPUS 社技術部でのミカン缶詰実験



ミカン缶詰  
 超音波探触子



2009年12月15日時点の報告書としてご報告申し上げます。明日にはこの記載内容が大幅に改正されている可能性があります。研究が続く限り！

#### 考察

本船マグロにおける氷蔵保存(0℃海水)の場合キハダマグロの生食可能日数は5週間であり、よって流通期間を2週間として操業日数は3週間以下と計算されている。(文献1) 数週間経過したマグロの品質が日帰りまたは数日操業のマグロより評価は高い。

私の調査研究を行っているセリ場(漁協元卸業者)に水揚げされるマグロは氷蔵保存の日帰りまたは数日操業のマグロが多くを占めている。特徴として身は生きた状態の高い鮮度を有しており時には捌くときに刺激により身が伸縮痙攣をおこすほど釣りあげてからセリに出る時間が短い。これは身の鮮度の高さとしてはブランド性が非常に高いものと察する。品質評価としてはあまり高くなく焼けが多く長期保存困難と考えられており水揚げ時から数日が生食可能日数とされている。それが何故なのか超音波非破壊検査を行いながら調査した結果、確立された近海マグロの処理方法が普及していないか、構築されていない事に限る。同じ海域で同じマグロを釣り上げて品質に差がある事は処理技術の差に限ると考えられる。釣り方が違うという評があるが処理技術の適応性の小型船舶であるがための設備搭載不可能や処理技術未熟さであり釣り方が変わればおのずとそれに応じた最適な処理工程も存在すると考えられる。

超音波検査データからはじき出された結果として、最も多い品質劣化の所見として血合いスジの乱れや筋隔のただれ剥離状所見が多く、血抜き処理の不適切や不必要



に暴れさせたと思われる観察結果を示しており、生き締め精度が低い状況を示唆する。理論的な手順の精度は高くない、また実際に自分の釣り上げたマグロを外見でしか判断できない状況が処理技術向上の妨げになっている。仲卸業者の口癖にマグロは開けてみないとわからないと言われることがある。これは外見で品質は判断できないということを示している事になる。傾向として技量の高い漁師のマグロの評価は高い。しかし漁師の感と経験量は個々の感性に依存し理論的に構築され立証された技術の実行性は高いとは言えない、それがもっとも品質の向上処理技術の発展進歩の遅れを招いている。最も重要なのが血抜き処理であり興奮して心拍の上昇したマグロは血液の圧をあげ体内に送る特に血合い筋に多くそそがれ血合い筋は熱発生する(焼けは血合い周囲を取り囲むように見られる観察結果からその機能は理解できる。臨界温度はおよそ45℃ではないかと考える)また血液は流れが止まると凝固し始め、そして溶血すると身質に浸透しやすくなる→細菌増殖→腐敗へと急速に進行する。次に暴れさせない為の締めの処理となる特に血液の流動性が高い状態を維持しつつ暴れさせない処理であり脳をつぶしても脊椎神経の反応で暴れる。暴れると脊椎特にナカ近辺の高速折れ曲がり運動によって熱を発生する。これは血合い筋のように生理的調節機能は働かない物理的熱エネルギーなので上昇温度は暴れたスピード×時間に比例し臨界点は持たない80℃の温度上昇を認めたとの報告もある。実際に脊椎接触部に強い焼けを認める。(この場合超音波観察上脊椎前方エコーの出現と明らかな高エコー粗雑領域変化を認める。ツナ缶レベルまで達すると超音波透過は0になり無エコークリアーに観察される) 現在焼けを無くすことは不可能とされており焼けマグロは存在し、しかし対策及び後処理により品質を向上させる方法が存在することが実験により見出された。流通経路における処理技術はどのような品質レベルのマグロであっても処理や保管、流通方法は旧来の方式と変化はない。まだ身の生きている状態の近海マグロは後処理によっても十分品質向上可能と考える。私の後処理にて最も品質向上結果を示したのは、海洋深層水を外面皮膚などに散布し牛などの保存管理法のように主要血管を切り開き、つりさげエアブラスト冷蔵マイナス5℃で保管による脱血テストをおこなった結果表皮は均一に乾燥しそれに伴って収縮し、結果絞り出す作用も働き重力によって不要な水分や血液の滴下抜き処理が行え品質向上結果を得た、品質向上の観察結果として捌いた直後の身質断面はルビー色の暗褐色状態で、次第に明るい透明感のあるアメジスト色の明るい朱色に変化しマイナス5度ラップ包装環境において24時間維持し色合いの変化とドリップの流出は認めなかった、さらに0℃ロイン保管3日においてドリップの流出は無く、異臭も感じられなかった。これらの実験より水揚げ後でも後処理で品質向上を行うことは可能である。品質の高いものにこのような処理を行うと無意味な時間経過による計時劣化が起こり商品価値を引き起こす可能性がある。それを見極めるために超音波で内部身質を非破壊的に観察し選別することは重要とかがえられる。いずれ規制も入りマグロ水揚げ激減する時代が来ると予想さ

れるので将来的に少ないマグロを損失なく品質安定維持しかつ冷凍ではない生マグロを多く提供する技術及び流通連携は早急に構築に取り組む必要性がある。そのため超音波非破壊検査は必要であり誰でも使用可能な OLYMPUS1000i の検査判定方法の構築は急務となってくる。

まとめ

私は超音波装置を利用したマグロの非破壊検査を2003年より開始した、2004年に株式会社琉球光和、コニカミノルタ沖縄営業所、沖縄県水産試験場、港川漁業協同組合の協力による実験により得られたデータにより有効性が示され、その成果を沖縄県職員提案に提出し最優秀賞を得た、当時の知事はすぐに沖縄ブランド構築実用化に向けて取り組むとの発表がなされた。その後も研究は続け、沖縄県立南部医療センター・こども医療センター放射線主任技師職を退職し2008年4月よりマグロの研究に取り組むことで現在の領域に達する事が出来た。これは多くの方々のご協力であつてあげたものであり、株式会社マルサン及び糸満漁協には多大なる助言、指導、ご協力をいただいた。

\* これまでの成果を見据えて

今まで見えなかった領域のマグロの身質を見て品質を評価する事は非常に良い結果をもたらす事は事実である。しかしながら評価する技術が進歩しても、それに付随する後処理技術の構築を並行して行わなければ、結果はある一部の特定者に大きな利益をもたらして非特定者は多くの不利益者を作る大きなリスクを秘めている。沖縄近海のマグロ漁の主役は小型船舶に乗組員数人程度であり装備も本船のような設備はされていない。課題となる本船マグロレベルの処理は困難である。そのため水揚げ時のマグロの評価は上がらない、しかし本船と同じ冷蔵方法を行っている。私の提案として漁師の方々には必要最小限の重要処理として暴れさせないで取り込み、保存ランブルの水質に十分配慮した塩分濃度と酸素分圧そして身を生き続けさせる水温管理に徹してもらい、残った処理は水揚げ時に陸上で待機している私たちが処理を敏速に行うことにより本船レベル以上の品質改善効果は見込めると考える。処理を完了してからセリ出しする事がタイムロスではなく鮮度維持時間延長と品質向上の両者を図ることができる。それは漁師と連携の取れる私たちの行う業務改善である。改善した品質を次なる連携網に提供する事も私たちの解決すべき重要な課題である。ちなみに本船マ

グロを時々使用する、ここ最近は頻度が増えつつあり品質は決して良いとは言えない、色合いは均一で美しい、身は柔らかく均一な軟化傾向を示し、脊椎周囲の身はジェリーミートが多く慎重に包丁を入れないと身崩れを起こしてしまうものが比較的多い、超音波観察上では焼けと見る所見を呈している。色合いは良いが味覚は無い。旨味も感じられない、しかし一般の方々には色合いで美味しく感じるらしく目隠しした場合は逆に日帰り操業の焼けマグロがおいしいと判定する傾向を示した。色合いも味覚のうちに入るのがマグロである。鮮やかな朱色、それが自然の発色であれば味覚もよいはず

であるが、本船マグロにおいても新たな技術開発は急務ではないかと察する。技術開発は日々進歩しており昨日まで不可能な技術が今日は確立されているのが時世の流れであり進歩していく技術を利用するためには知識自体も上乘せしていかなければならない。周囲に後れを取らない為にもたゆまない広域の知識(先行する業務技術の収集、全く関係のない他の類似技術への関心)の収集は永遠に続いていく。ある程度の知識と技術を伴った経験領域を超えると横につながりだす。医療現場において超音波検査士は不足している。そのため食品関係にその技術および知識を備えた技術者に検査を依頼する事は困難である。食品関係の技術者を育成していかなければこの研究は意味をなさない。誰でも使用可能な EPOCH1000i での検査方法確立は絶対的に必要となる。高く売る品質改良ではなく、高く買っても納得のいく品質を維持する技術を身につけていかなければ私たちは自然消滅し、外食産業に食の主流を取られ、日本食をいずれ輸入する時代になるかもしれない。実際にその傾向は始まっている。なぜなら外国との取引に利益率が良くなってきている傾向を示しだした。マグロを輸出し始めているのである。

#### 最後の本音

私の超音波目利きデータと、実際の開けた評価と一致しないのが現状である。前者は科学的でありながら歴史はない、後者の歴史は長いが第三者の納得する根拠に正確性は高くなく理論的に乏しい。マグロは開けてみないとわからないと言われる現在の評価方法、言い逃れにすぎないと断言する。従来の感性で作業を引きずっていくと将来性は無い。マグロも激減し規制が入ってきた現在に生き残る道は新たなる展開が必要であり、古い概念を捨て去ってから未来が始まると私は考える。自然界で生き残ってきたマグロはそれぞれに、その個性があり、その個性を評価してそれを望む消費者の要望に応じた処理技術で対応可能であるものと確証を得てきた。どこでだれが変革しなければならぬのか、それは生産、流通、消費者すべての方々が進歩、改変しなければこれから到来する資源枯渇の状況には生き残れない。誰かが倒れると連鎖的に一気に壊滅状態の危機に陥る寸前である。マグロに限らずすべての消費流通は回りまわって最終的にあなた自身に影響を及ぼす。消費のみならず自身の生活基盤をもその影響は加速的に大きくなる方向に現在の不況は進行している。これから必要な事は窮地に陥る前の見極めと対策を個人レベルで行う必要があり、これまでつながりなかつた連携網の連携及び情報交換、共同開発などが未来につながる最初の業務と考える。景気が落ち着いてから競争を仕掛けても遅くないと私は考える。マグロのデフレスパイラルは世界流通規模で考えたらあり得ないと示唆する。新しいエネルギー源の養殖マグロの生産コストは以上に高い物と推測する。マグロは当然高価になる、しかし高価で売るためには品質を上げることが必要となる