

超音波診断装置を利用したマグロの品質検査を行って得られた情報としてそれを利用するの次なるステップについて

### 1 はじめに

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。この超音波装置を漁協競り現場に持ち込み競りに並ぶマグロの目利き不可能な身質深部の品質評価を試みた。これら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、その情報を基に品質改良に功を奏したものについても述べていく。

### 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。これはセリ人の目利きという感性に左右され信頼性は高いとは言えない、そのため失敗を恐れてセリ値は不安定となっている。これを超音波装置で最も重要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、最終的にセリ値を安定させていくのを最終目的とした。しかしそれだけでは片手落ちとなりうるため、目利き失敗で焼けマグロなどの低品質マグロの品質改善改良策の構築まで踏み込んでいき、改善策の構築方法も検討していく。

### 3 方法

通常目利き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、重層、岩塩、窒素ガスなどを利用した品質改善に向けての研究も付随して行う。

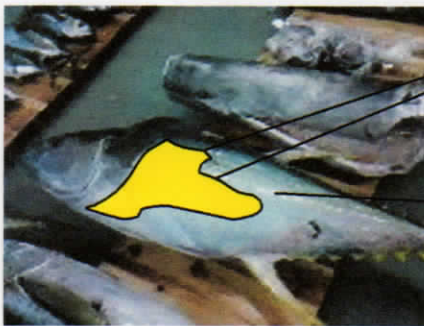
#### 4 マグロの超音波特性

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。

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

マグロの断面図(図2)を示す

楕円形の形状を脊椎が二分する。

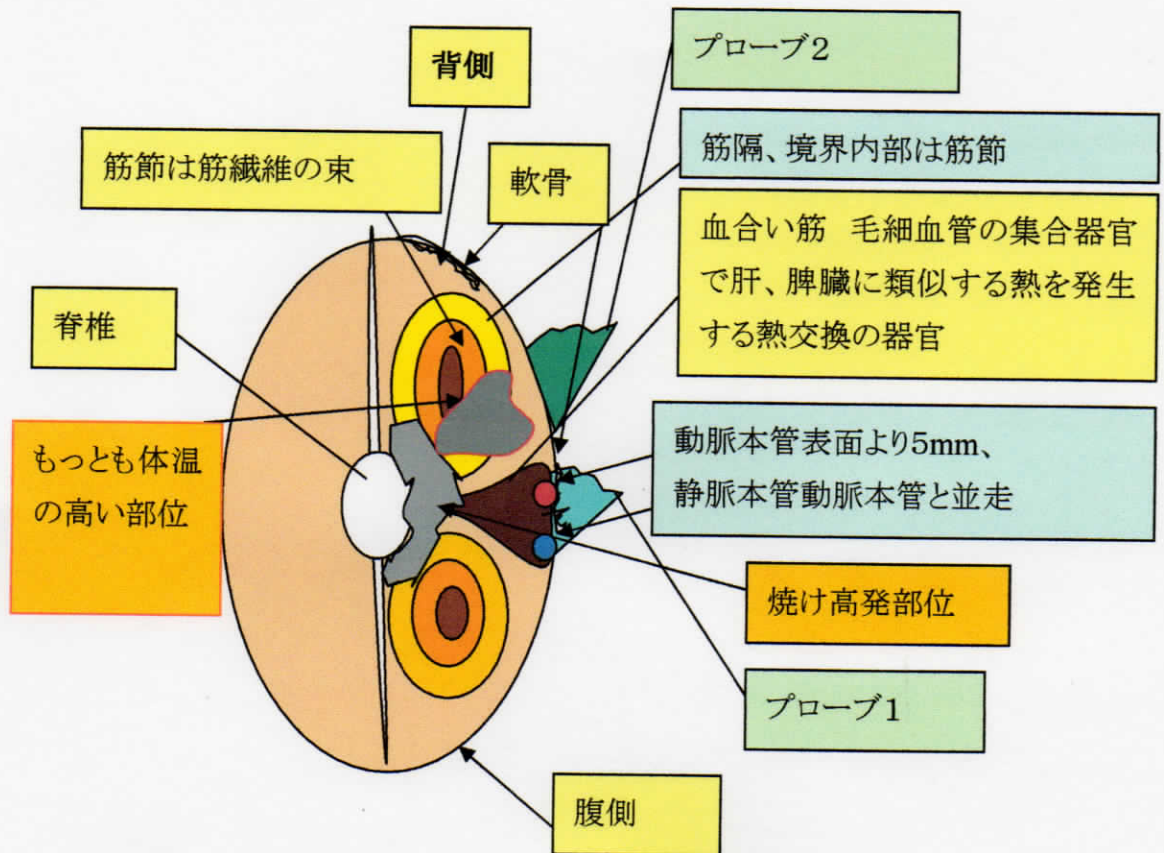
そして血合い筋で背側と腹側に更に二分される。

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



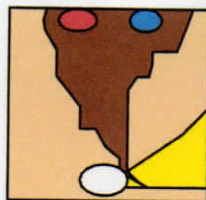
節で包まれている。よって筋繊維に異常が存在しなければ、平行な平滑のラインを呈す。背カミ、カマ、胸びれの鞘の表皮は硬く軟骨化しており超音波透過性は悪い。

図2



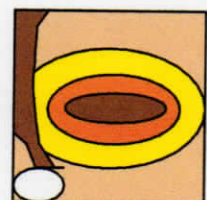
プローブ1の画像

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。脂肪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と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様エコーの出現が認められてくる。これらが複合的に起こった場合は焼けの可能性を示唆する。

## 5 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(\*2)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10ミリメートルのシステムを使用した。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、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。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、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ほぼ一致した。

## 6 超音波プローブ走査方法

焼け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)

滑らす走査は取らず、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

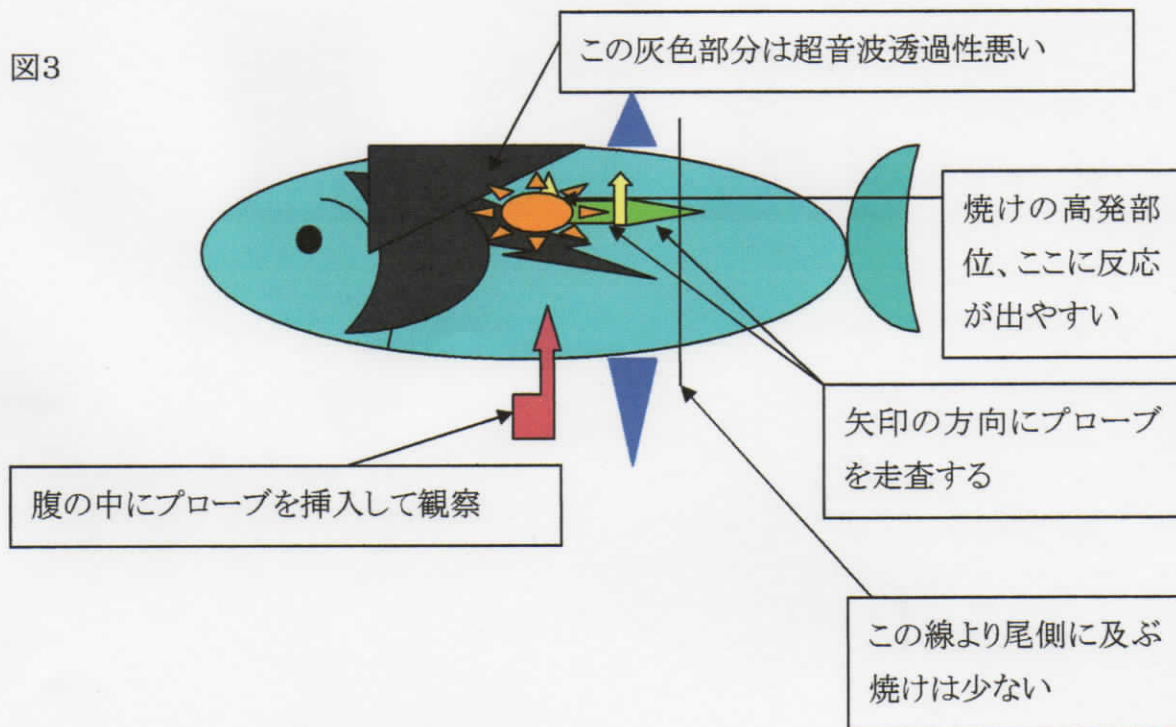
6-b-1 緑の矢印の始点胸びれ付け根の背カミより尾側に向かって縦断観察と横断観察を必ず行う事を基本とする。血合いの乱れや周囲との境界を観察する

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と脊椎の反射輝度で深部の超音波透過性を観察する。



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

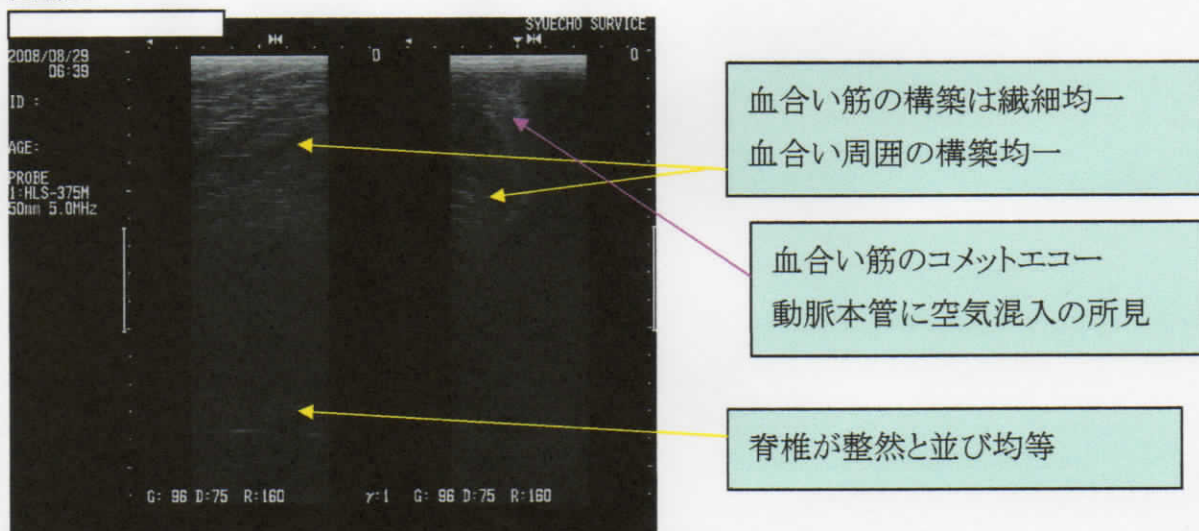
図3



## 7 超音波検査データ分析方法

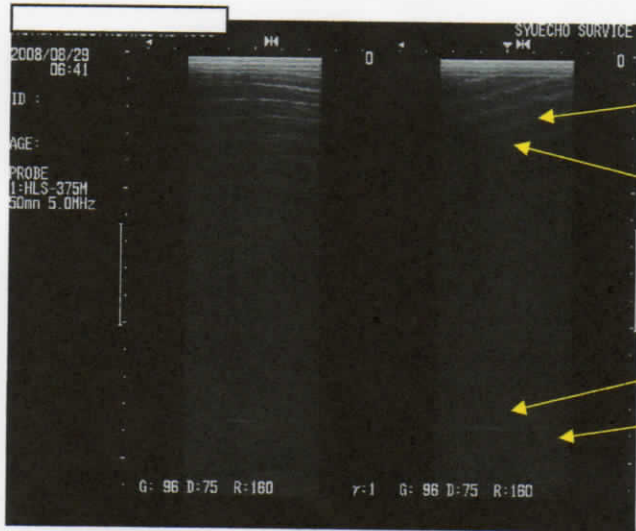
品質上級マグロ背カミ、ナカ境界部の血合い超音波 B モード画像4を示す

画像4



品質上級マグロ背カミ、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

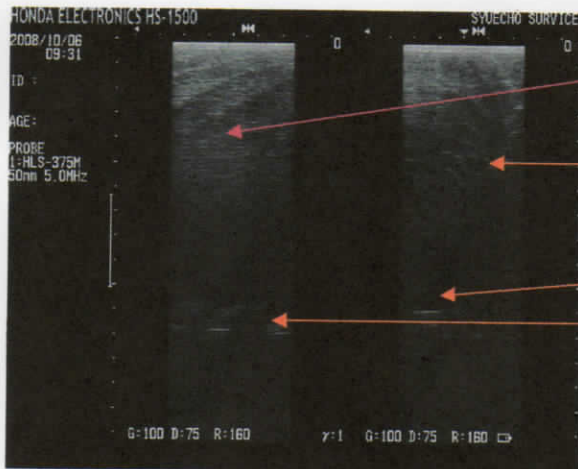
筋節低エコー均一浅層反射

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限局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、動脈本管にコメン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、脊椎反射エコー明瞭、超音波透過性良好であり、筋節(普通身)は乱れなく締まりが(細胞が密)よい事を示唆する。

焼けメバチマグロの血合い超音波 B モード像画像6を示す

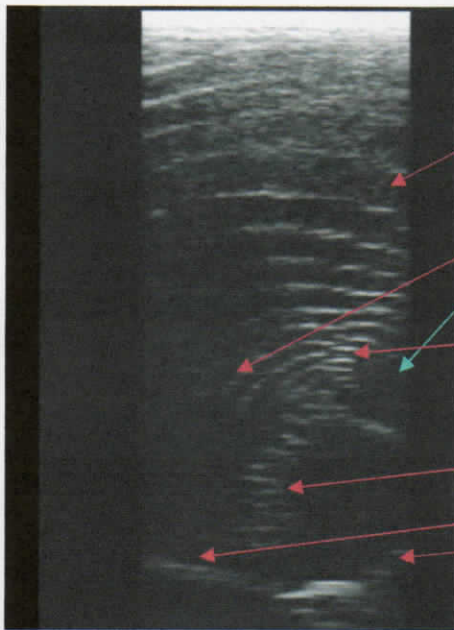
画像6



血合い筋の構築が乱れ、高エコー粗雑不均一領域の拡張  
 血合い筋周囲の筋節高エコー帯び状境界がある  
 脊椎の異常高エコーを認め、ダブルライン及び前方エコーを認める

焼けメバチマグロ背カミ横断超音波 B モード画像7を示す

画像7



筋隔粗雑不整輝度異常

筋隔エコーの消失、断裂

血合い部分

血合い周囲筋隔の異常高輝度化  
断裂を認める

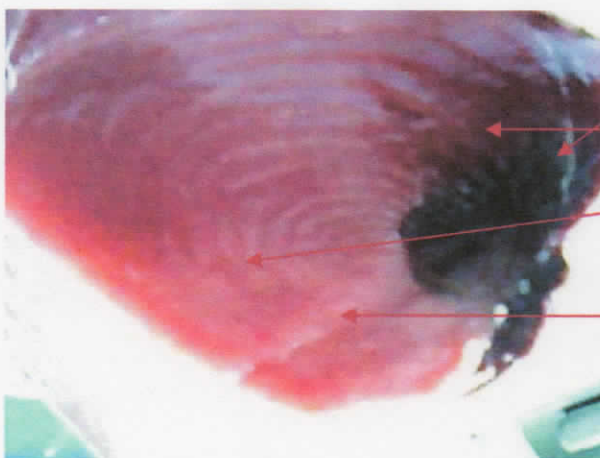
すりガラス様所見

中隔筋膜の帯状連続性エコー  
脊椎前方エコー像を認める

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筋節は粗雑不均一、内部エコーは高エコー化を伴い深部磨りガラス様異常エコーの出現を認める。筋隔不整断裂輝度上昇と帯状変化を認める。脊椎反射エコーレベルの低下を認め。脊椎前方帯状不明瞭反射を認める。

実際の同一部位の剖面写真8を示す

写真8



血合い筋の黒変色及び凝固  
周囲普通身への血の浸透変色

筋隔の断裂

身の白濁化、及び軟化が著明である。



## 8 データ統計・分析

以上の方法を基に直接セリ現場で外観591本、超音波データ収集404本、最終報告を受けた180本を産地(表1)、絞め方(表2)、マグロ模様(表3)の3項目に分類し、超音波検査データがあり且つ最終報告を受けたもの142本について超音波全体印象像(表4)のみで品質良いまたは焼けの分類を表による統計を試みた

表1)産地別

産地	データ入力本数	品質良い	焼け	焼け比率
A	427	55	28	34%
B	84	24	34	58%
C	76	20	15	43%

表1の分析)

焼けの確率では表のごとく $B > C > A$ となり、焼け対策をマニュアル的に実行している漁業者(漁師)の比率に相当し、組織レベルでの対策取り組みの大きさにより焼けを減少させることがうかがえる。

表2絞め方(処理方法)

絞め方(処理方法)	品質良い	焼け	焼け比率
鰓、腸除去のみ	47	43	48%
血抜き胸鰭刺し追加	27	24	47%
延髄絞め追加	5	1(*)	17% (0%)

注) \*マークは焼けていないとの報告を受けたが、身質軟化強く焼けとした

表2の分析)

表2はマグロの絞め処理の多いほど焼けを減少させる結果を得ている。胸鰭刺し血抜き処理は鰓、腸除去のみとの焼け比率の差が少ない理由は、血抜きの失敗や無駄に暴れさせてしまったのが原因と考えられ、超音波観察上血抜き処理により明らかに血合い筋が繊細均一になっていた。さらに延髄絞め(脊柱管の中にワイヤーをシモまで貫通させたもの)は結果が良く表れている。これは揺れる船上で正確な処理を実行できる技術を持ち合わせているので、他に比較して焼けの発生は極度に少ないしかし処理総本数が少ない。超音波観察において最も血合いおよび普通身の透明感が強く美しく感じた。海洋深層水吸入血抜き処理もこれに類似する結果のデータを得ている。



表3マグロ模様

マグロ模様	観察総数	品質良い	焼け	焼け比率
鮮明模様	13	9	4	30%
模様多い	20	16	4	20%
模様あり	73	40	33	45%
模様薄い	14	4	10	71%
模様消失	7	4	3	43%

表3の分析)

表3はマグロ模様の描出と焼けの相関についての分析結果であり、相対的に模様の描出量に応じて焼けは減少傾向を示す。鮮明模様の検体における焼け比率が若干高い理由は産地がほとんどC産地であったからではないかと推測する。これらを考慮した場合において相関性はあるものと察する。

表4超音波検査全体印象

超音波全体印象像項目	品質良い	焼け	焼け比率
血合い筋、筋節繊細均一クリアー	57	4	15%
多重反射ノイズで評価困難	1	1	50%
血合い筋軽度粗雑、筋節表層	21	6	22%
血合い筋粗雑、筋節中層帯状	5	18	78%
血合い筋粗雑強い、筋節中層帯状断裂	2	13	87%
血合い筋、筋隔、筋節、脊椎周囲粗雑著明	0	14	100%

表4の解析)

表4の分析はマグロ1本を胸鰭直下より4横指尾側の血合い筋および背カミ表面から脊椎中隔までの半身側に分けて両面各々1分程度の観察における第一印象を解析したものであり、最もこれが焼けの評価に効果を示した。表に示すとおりで相関性が高く、ある程度安定した基準が構築できるものと考えられる。多重反射ノイズで評価困難であったものの理由として、身が生きていて刺激に対して筋肉の収縮によるノイズの発生のためではないかと察する。実際にB産地においてマグロを捌くときに身が痙攣をおこして動いたのを確認できた。しかし無理な刺激を与えず検査を行えば回避可能であると察する。

## 9 考察そして次なるステップ品質改善策について

今回の分析結果により、セリ現場確認精度において超音波および肉眼割面との対比評価は組織空間分解能(最大75マイクロメートル)通常300マイクロメートルで肉眼所見と同レベルであると察する。それが超音波装置を利用することによりおおよそではあるが非破壊的に深部まで観察評価可能である。これは漁業関係者にとって良報であり、訃報ともとれる。写真は字のごとく真実を映し且つその瞬間的な記録データとして表示され特に超音波はリアルタイム性が高いのが特徴となっている。

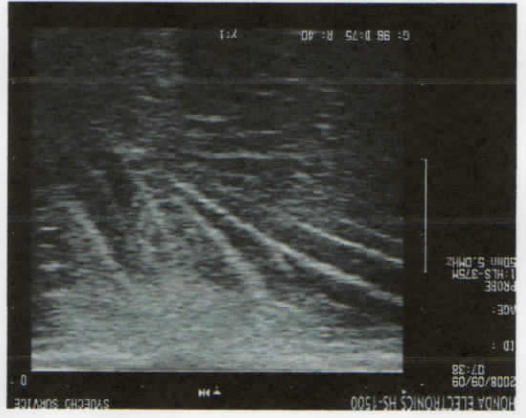
品質劣化の最大の原因と考えられるのが、赤血球の溶解身質への浸透蓄積、つまり血抜き処理の不完全処理により起こることがデータ結果(超音波にて同定可能)で得られ、これが最も品質の良否のカギを握ると言っても過言ではないと考えられる。この血抜き処理などを含めた初期処理は漁師さんに一存し、荒れ狂う海上の処理において完璧はありえない、つまり血抜き処理の悪いマグロは常に存在すると考えられる。したがって焼けマグロも季節に関係なく常に存在していた。これは乗組員の多い本船においても少なからず起っていた。パヤオマグロと大差なく感じられ、私の実際に賞味したテクスチャーにおいて両者に差はなく、各々の保存期間における保存方法の差異によるものと推測され処理過程による味覚の変化と捉えられた。

超音波にて簡易に判定できた検査例および着目点

### 111 メバチマグロジェリーミート







444 キハダクロ ヤマイ(通称カン)

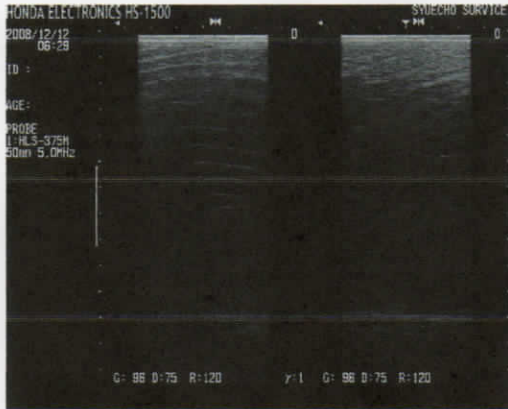


333 キハダクロニにか



222 キハダクロアキ

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



着目1 魚輪(筋節)の間隔の均等性を観察する。(均等平行か変形押し潰れているか)

着目2 筋膜(筋隔)の周囲身質に対する反射を観察する(高エコー、低エコー)高エコー帯状は筋隔のはがれが多く、低エコー不明瞭筋隔は油の乗りの良い場合(いわゆるトロ)が多く内出血やヤマイなどの病変の時類似するエコー所見を認めた。

着目3 筋隔の連続性や性状を観察する(低エコー、高エコー線状、帯状、中断などないか)

着目4 身質の低エコー領域の検出と境界の存在、その後方エコーの透過性の変化の有無を観察する。(中骨の反射レベル確認)

着目5 Gain STC モニター輝度、ダイナミックレンジ、 $\gamma$  値を一定にしておく(他の検体データ値を参考出来る、比較出来る)

着目6 表面付近と深部のエコーレベルの変化に注意する。深部と表面のエコーレベルが同等又はそれ以上の場合深部身質の乱れを示唆する。

着目7 血合いの乱れや超音波透過性、血合い周囲の筋隔の高エコー帯状不整の場合血抜き処理悪く、血合い筋は固まり焼けただれている状態が多い

注意 密着を良くするためキテコの介在は多重反射を増大させ、観察しづらくなる。

## 12 考察

○ 1 メバチ、クロマグロ、キハダ、ビンナガの順に体温が高い事を念頭に入れる。魚種別にデータ収集する必要があり同じマグロ類でも身の細かさ、鱗、表皮のエコー特性は同一ではない。考慮して検査する必要がある。

○ 2 熟成度 死後硬直前、初期、硬直、終末、軟化など



- 3 体軸の変形 ピンと張り真直ぐまたは屈曲や湾曲していないか
- 4 表面粘液量と鱗の状態(毛羽立ちなど無いか)
- 5 表面皮膚の状態、硬く引き締まっているか、プカプカ浮き上がりが発生していないか。
- 6 マグロの模様
- 7 血液の状態及び性状
- 8 尻尾の切り口所見及び味覚
- 9 漁師の教えてくれる秘技又はミス

上記をふまえて超音波で拾い上げる所見は以下に上げる項目を基準としている。

- 1 血合い内部エコー像
- 2 血合い周囲エコー像
- 3 筋節及び筋隔所見
- 4 超音波透過性
- 5 中隔筋膜反射所見
- 6 脊椎又は中隔前方エコー
- 7 超音波反応＝深部身質の構築の乱れ所見
- 8 領域性の超音波信号変化(特に寄生虫やヤマイ等の病変、油の層厚)

### 13 最後に

これらの情報を元にマグロの目利きをした場合、精度は70パーセントぐらいまでたどり着けるようになってきた。しかしこれ以上を望んだ時判定が逆転する事が起っている。また品質の基準が標準化されていないのが最大の理由である。

まだ始まったばかりであり、焼けに遭遇するたびに大きな失敗を起こしている。原因は思い込みによる失敗と一般の評価基準の確立がなされていない事による評価不一致などが原因となっている。

思い込みを持って研究に入ると、とんでもない失敗を起こしてしまう。独断と偏見に偏らないよう、自分に言い聞かせている。日本超音波医学会の診断基準を常に参考とし、得られた情報は超音波基礎(超音波物理)に照らし合わせて科学的検討を重ねるよう努めている。精度の高い検査方法が確立出来るのはまだ先の段階である。あと1年、10年、?年くじけずに継続して行く。2008年は海水温が異常に高く焼けを多く発生していたので、研究情報収集には最適の年と察する。しかし原油価格の高騰により研究経費は予想以上に上昇しているのも現状であり、高い仕入れに、安売りの現状は余儀

なくされている。消費価格を上げるためには品質を上げ、そして省エネで安定安全な流通システムを早急に構築しなければならない、つまりブランド化が目標とされる。

焼け対策や品質向上の研究を沖縄県X漁協の漁師の方々と共同で研究を8月6日より開始している。Y丸の生締め前に海洋深層水をえらに散布して鮮度維持を計った実験が高い品質向上を認めた(本土出荷でセリ値が高水準であったと報告を受けている)。漁師さんは品質向上の為の創意工夫を始めている。特に年配の漁師が超音波検査を依頼してくれるので非常に嬉しく楽しい毎日を過ごせている。質問に対してのアドバイスが不十分であるが専門書を取り寄せ私なりの勉強を積み上げている。

焼け等の品質評価を行うのみでは将来性が無い、超音波装置で品質を評価し品質向上の為の次なる技術構築について、海洋深層水などで品質維持を計る実験やその原理、応用として超音波ソノレーションにより海洋深層水をマグロの身質の深部まで非破壊的に送り込んだり、急速均温冷凍を試みたり超音波利用の実用性及び省エネ性の検証も平行して行っている。超音波洗浄機に利用されているマイクロバブルやキャビテーション方式の超音波利用もマグロの品質改善効果を期待でき照射周波数により酵素の活性化や不活性化を調節可能であり、身質深部を非破壊的に観察し、加工を並行して行える能力を秘めている。医療における人体の診断治療の技術進歩のように魚介類の品質評価及び品質向上など将来性は高いと考えられる。原理およびシステムは魚群探知機とほぼ同じであり、魚群探知機を高周波探査センサーに変更することにより漁船ランブル内の氷蔵保存状態のままで品質評価が可能であり、ランブルの殺菌にマグロ漁で主に利用されている超音波周波数25kHzで殺菌できる。小型漁船のランブルはファイバー樹脂での構築が最も多くこの樹脂は雑菌の繁殖がステンレスなどに比較して簡易に除菌洗浄困難である。しかし超音波でこれを解決できる。