

資料

養殖クロマグロのヤケ肉発生防止技術の検討

中岡典義 森本 聡 酒井美希 八塚直紀

Study on prevention techniques for burnt meat of cultured Pacific Bluefin tuna *Thunnus orientalis*

NAKAOKA Noriyoshi and MORIMOTO Satoshi and SAKAI Miki and YATSUDUKA Naoki

養殖クロマグロについて、ヤケ肉の発生防止技術の開発を目的として、迅速・非破壊でヤケ肉発生を診断・予測する技術とヤケ肉発生を防止するための急速冷却技術について検討した。

ヤケ肉を診断・予測するために、マグロの硬さ、血中乳酸値、芯温について調べたところ、硬さと血中乳酸値を用いることで、ヤケ肉の可能性を予測できることが分かった。

急速冷却技術を開発するために、ブリとマグロの熱伝導シミュレーションを行ったところ、ブリについては、冷却時の実測とシミュレーション結果は概ね一致し、マグロについては、冷却時の温度変化を推定できることが分かった。

キーワード：養殖クロマグロ、ヤケ肉、筋硬度、血中乳酸値、芯温、冷却技術

はじめに

クロマグロは国内外で人気の高い魚種であり、各地で養殖が行われている。養殖クロマグロは網や釣りにより水揚げされるが、中には激しく苦悶する個体が発生する。このような個体から、ヤケ肉と呼ばれる異常肉¹⁾が散見されるが、ヤケ肉は外観からの判別が難しいため、出荷先でヤケ肉と分かった場合は、商品価値が著しく低下する。

そこで、本研究では養殖クロマグロについて、迅速・非破壊でヤケ肉発生を診断・予測する技術とヤケ肉発生を防止するための急速冷却技術について検討したので報告する。

実験方法

1. マグロの硬さとヤケ肉の関係

(1) 硬度計によるラウンド状のマグロの測定

出荷現場では、ヤケ肉の発生確率の高いマグロは他のマグロに比べて、出荷時に硬くなる傾向があると言われてしている。魚の硬さは、通常尾部の垂れ下がりにより測定²⁾するが、マグロの魚体は大きいため、測定が困難である。そこで、筋硬度計（(株)佐藤商事製 NEUTONE TDM-N1）とリバウンド式硬度計（(株)佐藤商事製 LM-100）による測定を検討した（図1）。


装置名	筋硬度計(NEUTONE TDM-N1)	リバウンド式硬度計(LM-100)
装置画像		
用途	主に人の肩こりの測定に使用	主に金属の硬度測定に使用
測定方法	上部の指圧ハンドルを押して測定	インパクトデバイスをノックすることで測定

図1 硬さ測定機器

マグロの魚体は大きく、場所により硬さが異なるため、硬さの判別が可能な箇所を検討した。出荷場において水揚げ後約 24 時間冷やし込んだマグロについて、胸ビレ横及び尻ビレ上を 2 種類の硬度計を用いて硬さを測定した。測定は 1 カ所につき 3 回行った。

(2) マグロの硬さの経時変化を測定

出荷場において漁港集荷時（水揚げ後約 6 時間）と出荷時（水揚げ後約 20 時間）に、硬度計を用いてマグロ 6 尾の尻ビレ上の硬さの測定を行い、硬さの経時変化を検討した。測定は 1 尾につき 3 回行った。

2. 血中乳酸値とヤケ肉の関係

(1) 筋肉乳酸値

A 業者が冷凍保存していた養殖クロマグロのヤケ肉①（軽度）、ヤケ肉②（重度）と正常肉の 3 検体について、筋肉乳酸値を測定した。魚肉を 10 倍希釈となるように蒸留水を加えミキサー処理し、No. 2 ろ紙（アドバンテック東洋(株)）でろ過した。ろ液をさらに 11 倍希釈して、乳酸測定キットデタミナー LA（協和メデックス(株)）により測定した。

(2) 血中乳酸値測定方法の検討

ヨコワと養殖ブリから採血したものを測定試料とした。携帯型の簡易乳酸測定装置であるラクテートプロ 2（アークレイ(株)製 LT-1730）とデタミナー LA の測定値を比較した。

(3) 血中乳酸値の経時変化

養殖クロマグロの水揚げ時、水揚げ冷やし込み 4 時間後、同 21 時間後に採血し、ラクテートプロ 2 を使用して、血中乳酸値を測定した。

3. 水揚げ時の芯温とヤケ肉の関係

水揚げ時に芯温が高いマグロに、ヤケ肉が発生している可能性が高いと考えられたため、水揚げ直後のマグロ約 500 尾の芯温を防水型中心温度計（(株)チノー製 MF500）により測定した。

4. 熱伝導シミュレーション

(1) ブリ冷却時の熱伝導シミュレーションと実証実験

ブリ切り身の各種物性値を測定し、ラウンド状のブリを用いて冷却試験を行い、品温を測定した（図 2）。各種物性値について、熱伝導率は迅速熱伝導率計（京都電子工業(株)製 QTM-500）、比熱は熱分析装置（(株)リガク製 ThermoPlusEVO2 ステーション）、密度は体積と重量により算出した。また、3D 設計解析ソフト(Dassault Systemes SolidWorks 製 SolidWorks2014)を用いてブリの 3D 解析モデルを作成し、得られた物性値を与え、初期温度 21.6℃、周囲温度 2.4℃として熱伝導シミュレーションを行い、実測値と比較した。



図 2 冷却試験

(2) マグロ冷却時の熱伝導シミュレーション

マグロ切り身の各種物性値をブリ切り身と同様の方法で測定した。また、マグロ（約 80kg）の 3D 解析モデルを作成し、得られた物性値を用いて初期温度 31℃、周囲温度 -2℃として熱伝導シミュレーションを行った。

結果と考察

1. マグロの硬さとヤケ肉の関係

(1) 硬度計によるラウンド状のマグロの測定

筋硬度計及びリバウンド式硬度計を用いて胸ビレ横及び尻ビレ上の測定を行った結果を図3に示した。5尾を測定したところ、胸ビレ横は、筋硬度計で 70.5 ± 5.7 、リバウンド式硬度計で 353.9 ± 32.9 HLD、尻ビレ上は、筋硬度計で 42.2 ± 8.5 、リバウンド式硬度計で 221.5 ± 66.1 HLD であった。筋硬度計、リバウンド式硬度計ともに尻ビレ上での測定の方がA～Eのサンプルの個体差が大きく数値化され、また、実際に魚を触った硬さの感覚と測定値が同様の傾向を示していたことから、測定箇所は尻ビレ上が適していることが分かった（図4）。

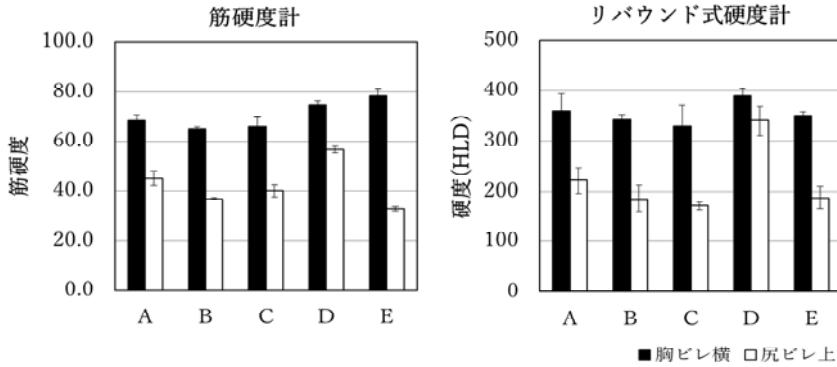


図3 各種筋硬度計による測定結果

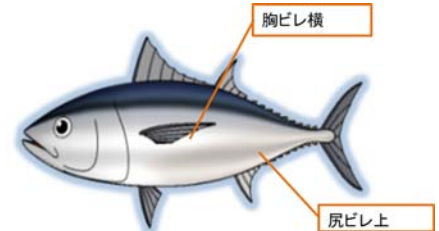


図4 測定場所

(2) マグロの硬さの経時変化を測定

リバウンド式硬度計を用いて測定したところ、6時間後に 269.8 ± 48.1 HLD、20時間後に 256.3 ± 54.3 HLD であり、経時変化は見られなかった。筋硬度計を用いた結果を図5に示すが、水揚げ後約6時間は 29.5 ± 7.3 、水揚げ後約20時間は 37.6 ± 8.1 であり、約6の上昇が見られ、筋硬度計を用いてマグロの死後硬直の程度が数値化できることが分かった。

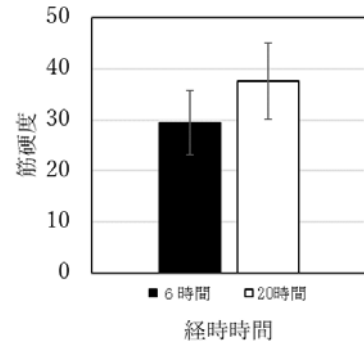


図5 マグロの硬さの変化測定

2. 血中乳酸値とヤケ肉の関係

(1) 筋肉乳酸値

図6に示すとおり、2検体のヤケ肉では、 109.4 mmol/l と 163.6 mmol/l、正常肉では、 58.9 mmol/l となり、ヤケ肉において筋肉乳酸値が高い傾向にあった。筋肉乳酸値はヤケ肉の判定に有効であると考えられた。

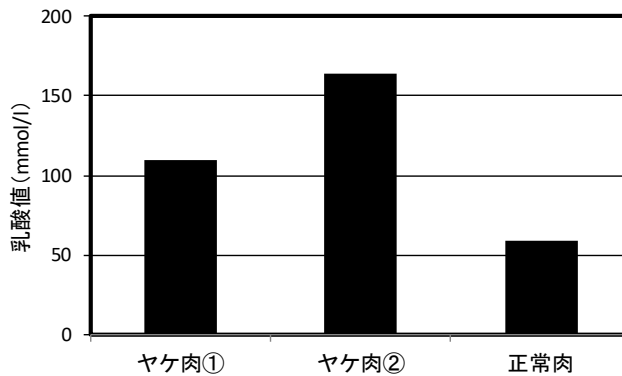


図6 マグロヤケ肉と正常肉の筋肉乳酸値

(2) 血中乳酸値測定方法の検討

図7に示すとおり、簡易乳酸測定装置であるラクテートプロ2とデタミナーLAを用いて血中乳酸値を測定した結果、それぞれ方法の間で相関が認められた。このことから、簡易乳酸測定装置ラクテートプロ2により血中乳酸値が測定可能であることが分かった。

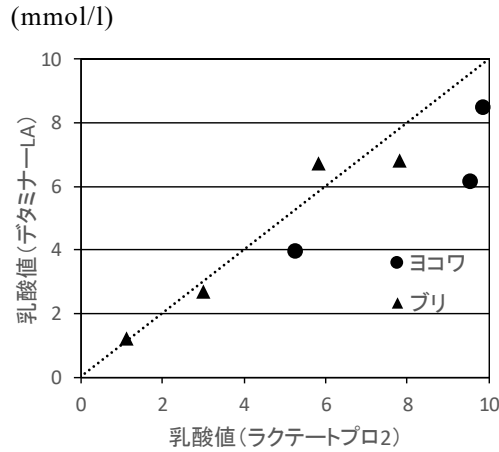


図7 血中乳酸値測定方法の比較

(3) 血中乳酸値の経時変化

血中乳酸値の経時変化を表1に示した。水揚げ時は0.9~14.0mmol/l、水揚げ冷やし込み4時間後は2.5~25.0mmol/l以上、同21時間後は、14.0~25.0mmol/l以上であった。血中乳酸値の推移は個体により異なっていた。追跡調査の結果、これら3個体からヤケ肉の発生は確認されなかった。しかし、前項で明らかになったように、ヤケ肉は筋肉乳酸値が高い傾向にあることから、血中乳酸値の高い個体はヤケ肉である確率が高いと考えられ、血中乳酸値が比較的高い個体は、自社加工に用いることで、出荷先でのヤケ肉発生リスクを低減できる可能性がある。

表1 血中乳酸量の経時変化

No.	血中乳酸値 (mmol/l)		
	水揚げ時	4時間後	21時間後
1	0.9	2.5	14.0
2	2.5	6.9	Hi*
3	14.0	Hi*	20.9

※Hi：血中乳酸値が25.0mmol/lより高い

3. 水揚げ時の芯温とヤケ肉の関係

水揚げ直後のマグロ約500尾の芯温を図8に示した。追跡調査の結果、芯温を測定したマグロのうち、3尾からヤケ肉が確認されたが、この3尾の芯温は正常なマグロの値と大きく違っておらず、水揚げ時の芯温からヤケ肉の可能性を判断することはできないことが分かった。

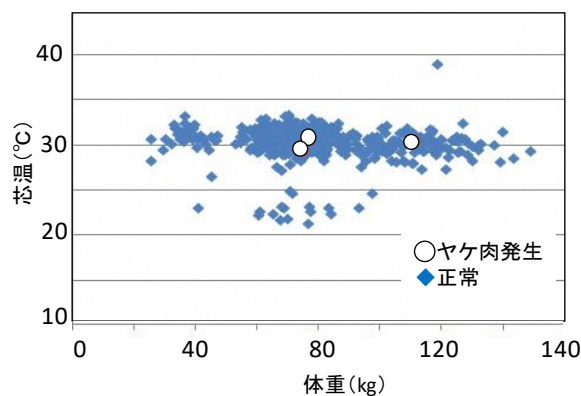


図8 水揚げ時の芯温とヤケ肉の有無

4. 熱伝導シミュレーション

(1) ブリ冷却時の熱伝導シミュレーションと実証実験

ブリの各種物性値は熱伝導率 $0.4437 \text{ W/m} \cdot \text{K}$ 、比熱 $3655 \text{ J/kg} \cdot \text{K}$ 、密度 993 kg/m^3 であった。熱伝達率はブリの切り身の実験結果から逆解析により推測した $270 \text{ W/m}^2 \cdot \text{K}$ とした。図 9 のとおりブリの実測とシミュレーション結果は概ね一致した。

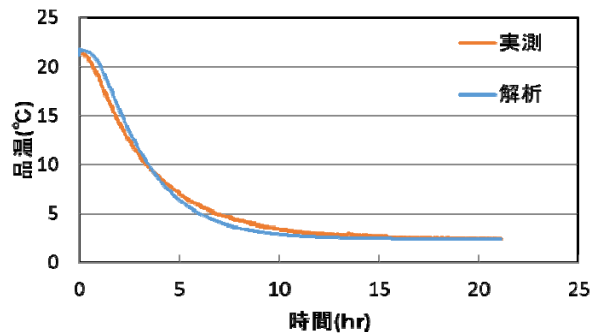


図 9 ブリのシミュレーション

(2) マグロ冷却時の熱伝導シミュレーション

マグロの各種物性値は熱伝導率 $0.4847 \text{ W/m} \cdot \text{K}$ 、比熱 $3244 \text{ J/kg} \cdot \text{K}$ 、密度 1092 kg/m^3 であった。熱伝達率はマグロの切り身の実験結果から逆解析により推測した $120 \text{ W/m}^2 \cdot \text{K}$ とした。熱伝導シミュレーションの結果は、図 10 に示されるとおりであり、マグロ中央部の温度が高いことが分かる。経時変化を図 11 に示すが、約 13.5 時間で 10°C 以下になることが推定された。なお、魚体重等、ほぼ同様の条件において現場で冷却を行った場合、 10°C に下がるまで約 17 時間を要した。マグロの体成分は個体差が大きく、また現場での冷却は温度が不安定であるため差が生じたと考えられるが、シミュレーションの精度を上げることが今後の課題である。

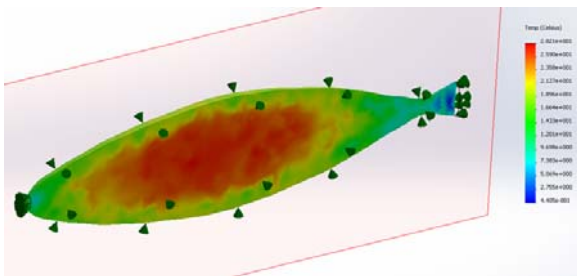


図 10 マグロのシミュレーション結果 (断面図)

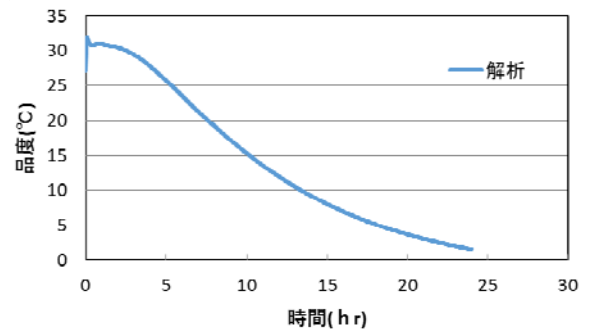


図 11 マグロのシミュレーション結果

ま と め

養殖クロマグロの迅速・非破壊でヤケ肉発生を診断・予測する技術と発生防止のための急速冷却技術について検討し、次のことが明らかとなった。

1. マグロの硬さの測定には尻ビレ上が適しており、筋硬度計を用いてマグロの死後硬直の程度が数値化できることが分かった。
2. ヤケ肉は通常肉と比べ、筋肉乳酸値が高いことが分かった。また、ラクテートプロ 2 を使って血中乳酸値を測定できることが分かった。
3. 筋硬度計による硬さやラクテートプロ 2 による血中乳酸値を調べることで、ヤケ肉が疑わしい個体が把握でき、出荷先でのヤケ肉発生リスクを低減できることが分かった。
4. 水揚げ時の芯温からヤケ肉の可能性を判断することは困難であることが分かった。
5. ブリ冷却時の温度変化をシミュレーションすることができた。これを応用してマグロ冷却時の温度変化を推定できることが分かったが、シミュレーションの精度を上げることが今後の課題である。

文 献

- 1) 小長谷史郎:異常性状の魚肉 ジェリーミートとヤケ肉, 日本食品工業学会誌, 29 (6), 379-388 (1982).
- 2) 尾藤方通, 山田金次郎, 三雲泰子, 天野慶之: 魚の死後硬直に関する研究-I 改良 Cutting 法による魚体の死後硬直の観察, 東海区水産研究所研究報告, 109, 89-96 (1983).