

## 境港産クロマグロ肉質の簡易推定技術に関する研究

Study on Simple Techniques for Quality Evaluations of the Meat of Bluefin Tuna (*Thunnus Orientalis*) from the Port of Sakaiminato

加藤 愛\*・藤光洋志\*・長崎稔拓\*・根平美沙\*・小谷幸敏\*\*

Ai Kato, Hiroshi Fujimitsu, Toshihiro Nagasaki, Misa Nehira and Yukitoshi Kodani

\* 食品開発研究所 水畜産食品担当、\*\* 食品開発研究所

鳥取県内で水揚げされたクロマグロの内臓や魚体を用いて、ヤケ肉を推定する方法について検討した。ヤケ発生個体の血液検査を行ったところ、血中グルコース濃度が低くなっており、肝臓の血管周辺の細胞にネクロシスと思われる核の断片化が多く観察された。また、肝臓の色が白い個体と赤い個体があることが分かり、白い個体は、肝臓の脂質含有量が高いことが分かった。

A method of estimating burnt meat ("Yake-Niku") was investigated using the internal organs and bodies of bluefin tuna caught in Tottori prefecture. Blood examinations of the burned fish demonstrated that blood glucose levels were low and nuclear fragmentation, which may represent necrosis, was observed in the cells around the blood vessels in the liver. It was also found that there were fish with white and red livers and that those with white livers have a high liver lipid content.

## 1. はじめに

鳥取県境港では、夏季に生のクロマグロ(*Thunnus orientalis*)が多く水揚げされ、全国に流通されている。境港に水揚げされるクロマグロは「旋網漁法」により漁獲されたものであり、水揚げ後に卸売市場でエラや内臓が除去され、その後セリにかけられる。

一方、正確な原因は究明されていないが、マグロ類は漁獲時のストレスと緩慢冷却が関与していると考えられる「ヤケ肉」と呼ばれる現象が生じることがある。「ヤケ肉」の発生は商品の価値を著しく低下させるだけでなく、外観からでは判別できず、解体されて初めて判明することから、取り扱い漁港の信頼を著しく低下させる一因と考えられている。

これまでに、筆者ら<sup>1)</sup>は「ヤケ肉」はタンパク質の変性指標である塩溶解性、Mf-Ca-ATPase 比活性が著しく低下しているが、乳酸、K 値、pH においては差がないことを報告しており、その中で、心臓の硬さにより乳酸、K 値にわずかな差が見られたことから、心臓の硬さと肉質に何らかの関係があるのでは

ないかと推察している。

そこで、本研究では、卸売市場で取り除かれる内臓または魚体を用いて、魚体を解体することなく、「ヤケ肉」を推定できないか検討した。

## 2. 実験方法

## 2.1 供試材料

平成 30 年と令和元年のそれぞれ 6 月、7 月に鳥取県境港に水揚げされたクロマグロを用いた。

平成 30 年の個体番号を表 1 に、令和元年の個体番号を表 2 に示した。

表 1 平成 30 年にサンプリングした個体情報

個体番号	漁獲日	重量	雌雄	ヤケの有無
1	H30. 6. 11	36kg	メス	無
2	H30. 6. 11	40kg	オス	無
3	H30. 6. 26	70kg	メス	無
4	H30. 6. 26	74kg	オス	無
5	H30. 7. 3	約77kg	不明	有
6	H30. 7. 5	61kg	オス	有
7	H30. 7. 5	67kg	オス	有

表2 令和元年にサンプリングした個体情報

個体番号	内臓回収日	ヤケ発生 個体番号
1~21	R1. 6. 13	—
22~52	R1. 6. 20	—
53~84	R1. 6. 21	—
85~131	R1. 6. 24	—
132~150	R1. 6. 25	—
151~170	R1. 6. 26	—
171~203	R1. 7. 3	196
204~260	R1. 7. 5	213
261~293	R1. 7. 9	—
294~323	R1. 7. 10	—

## 2.2 魚体の CT、片側開放型 NMR による非破壊測定

平成30年に水揚げされたクロマグロ7個体を国立大学法人鳥取大学医学部に搬送し、キャノンメディカルシステムズ(株)製CT装置Aquilionを用いてX線透過撮影を行った。解析はOsiriXを用いた。その後、鳥取県産業技術センターに搬送し、国立研究開発法人産業技術総合研究所所有の片側開放型NMR<sup>2)</sup>を用いて、非破壊測定を行い、水分子と共鳴する高周波磁場を与えたときの緩和時間(T<sub>2</sub>)を測定した。片側開放型NMRについては、令和元年度も引き続き測定を行った。

## 2.3 内臓の非破壊測定

平成30年にCT測定及びNMR測定したクロマグロの内臓を取り出し、心臓の硬さ、肝臓の色を測定するとともに、血液検査(クレアチンキナーゼ、乳酸)を行った。クレアチンキナーゼは、富士フィルム(株)製富士ドライケム4000V CPK-PIIIを使用し、乳酸はアークレイ(株)製ラクテート・プロ2 LT-1730を使用した。肝臓は凍結切片を作成し、ヘマトキシリン・エオジン重染色(HE染色)による組織観察を行った。

令和元年度は、水揚げされたクロマグロの内臓の心臓の硬さ、肝臓の色、肝臓の粗脂肪分析、血液検査、組織観察を行った。組織観察は一般染色であるHE染色及び脂肪染色として、oil red O染色を行った。

心臓の硬さは(株)コガネイ製 iB-Dent を用い、

肝臓の色は日本電色工業(株)製ハンディ色差計 NF555 を用いて測定した。肝臓の粗脂肪分析はソックスレー法を用いた。血液検査はオリエンタル酵母工業(株)に分析委託した。

## 2.4 個体追跡調査

令和元年に水揚げされたクロマグロの内、内臓をサンプリングした323個体に追跡調査タグをマグロの尾部に取り付け、その個体を購入、解体した事業者には脂ののり、ヤケ発生の有無について回答してもらった。

## 3. 結果と考察

### 3.1 CTによる魚体の非破壊測定

体温上昇、pHの低下や魚体の冷却不足が合わさることにより、魚体の深部でタンパク質の変性が生じ、結果的にヤケが発生していると考えられている。この現象は熱中症による司法解剖所見で観察される蒸れ肉<sup>3)</sup>と類似するのではないかと考えた。蒸れ肉部位はCT観察でガス発生が確認できることから、マグロの通常個体(n=4)及びヤケ発生個体(n=3)をCT解析した。マグロの通常個体とヤケ発生個体を調査したが、今回の結果からは明確な差が見られなかった(図1)。

### 3.2 片側開放型 NMR による魚体及び内臓解析

平成30年6月26日に漁獲された通常個体(n=2)を、鳥取県産業技術センター食品開発研究所において、魚体の側面および心臓、肝臓、幽門垂のNMR解析を行った。7月5日に漁獲されたヤケ発生個体(n=2)については、魚肉、内臓ともに-30°Cで急速凍結した後、国立研究開発法人産業技術総合研究所(つくば市)に発送し、流水解凍後、産業技術総合研究所内で解析を行った。

今回分析に用いたNMRは超電導磁石がφ10cmのものであり、表面から7mmの部位の測定を行った。魚体の側面からではヤケ発生部位までの測定はできなかったが、内臓は取り出して測定できるため、内

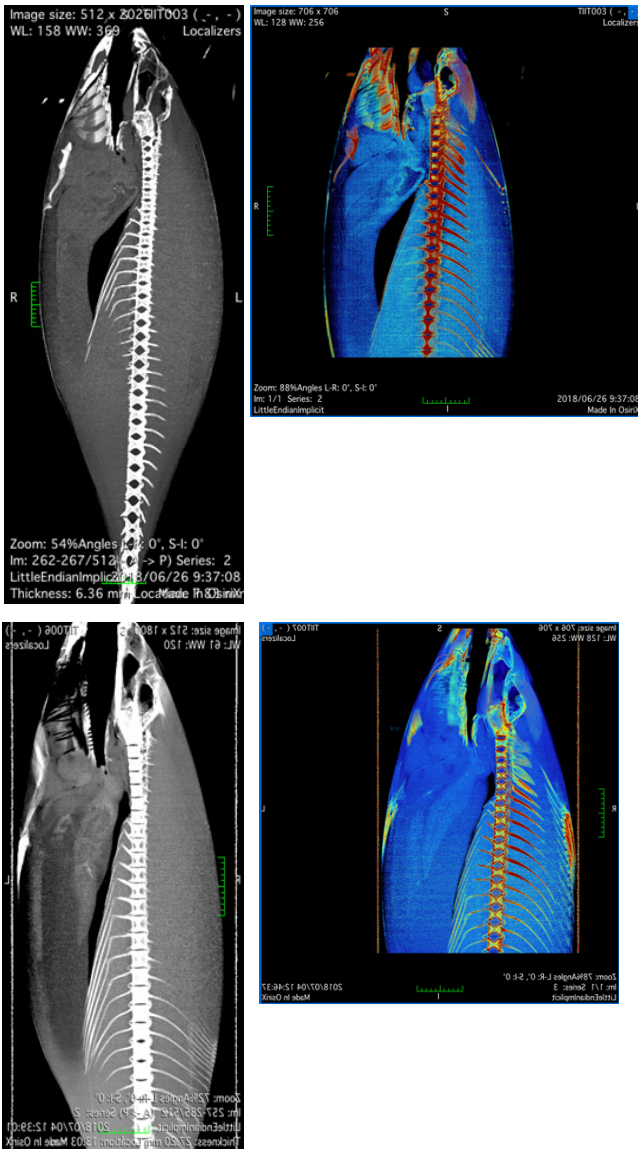


図1 クロマグロのCT画像

上段：通常個体 下段：ヤケ発生個体

左：全身表示 右：ヤケ発生部位拡大（サーフェスによる彩色）

部の状況を測定できていると考えられた。結果を表3に示した。

通常個体は生で測定、ヤケ発生個体は冷解凍後に測定しているため、冷解凍によるダメージが数値に影響している可能性があるが、水分子と共鳴する高周波磁場を与えたときの緩和時間 (T2)が、ヤケ個体の心室で低くなっていることから、ヤケ個体は水分子が動きにくくなっており、ヤケ個体で観察された心臓の硬化と関係しているのではないかと考えられた。また、ヤケ個体で幽門垂の T2 値が高いことから、冷却不足による自己消化の進行が起こっているのではないかと推察された (表3)。

表3 内臓の片側開放型 NMR での測定結果

部位	T2平均値 (ms)			
	3	4	6 (ヤケ)	7 (ヤケ)
心室	68	76	58	59
肝臓	51	70	69	74
幽門垂	82	103	209	152

冷凍でのダメージを考慮して、令和元年は、心臓の硬さの異なる個体(n=26)を冷蔵で国立研究開発法人産業技術総合研究所に発送し、NMR 解析を行ってもらった。その結果、心臓の硬さと T2 値には相関が見られたが (図2)、ヤケ発生個体の分析を行うことができなかつたため、今後の研究により明らかになることを期待したい。

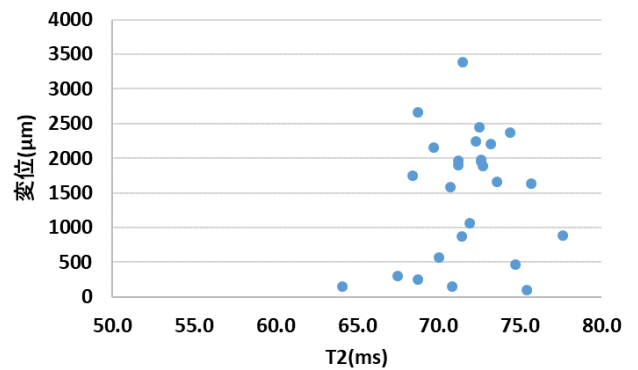


図2 心臓の硬さと片側開放型 NMR での測定結果

### 3.3 内臓の非破壊測定

平成30年に漁獲された個体の心臓の硬さを iB-Dent を用いて測定したところ、通常個体は心臓が柔らかく、ヤケ個体は硬いことがわかった (表4)。また、ヤケ個体の肝臓は肝臓の中心部と周辺部で色の違いが観察された (図3)。

表4 iB-Dent を用いた心臓の硬さの測定結果

個体番号	変位量 (μm) *
4	1,109
6	437
7	262

\*変位量大きいものほど柔らかい

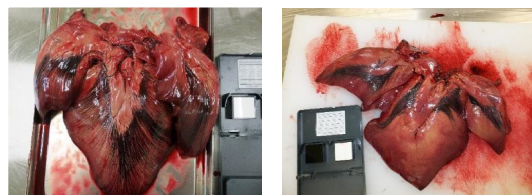


図3 肝臓の色

左：通常個体 右：ヤケ個体

血中の乳酸を測定した結果、通常個体とヤケ個体では差がなかったことから、マグロが水揚げされる時点においては、どちらも同程度になっており、ヤケ発生を判定することは難しいことが分かった（表5）。

血中のクレアチンキナーゼ活性を測定した結果を表6に示した。ヤケ発生個体は筋肉組織のクレアチンキナーゼが消失することが報告されており<sup>4)</sup>、血中クレアチン活性が上昇すると推察したが、ヤケ発生個体での上昇は見られなかった。

表5 血中乳酸濃度の測定結果

個体番号	乳酸 (mg/dL)
3	60
4	50
6(ヤケ)	67
7(ヤケ)	41

表6 血中クレアチンキナーゼ活性値の測定結果

個体番号	活性 (U/mg)
3	119.4
4	16.6
5(ヤケ)	25.6
6(ヤケ)	105.9
7(ヤケ)	151.8

平成30年度の結果を基に、令和元年度に市場で323個体の心臓及び肝臓を回収し、追跡調査を行ったところ、20個体の回答が得られた。そのうちヤケ発生個体は2個体であった。サンプリングした心臓をiB-Dentを用いて測定した結果と触診結果を図4に示し、肝臓の色むらとして、中心部と端部分の色の差を図5に示した。

当初心臓が硬く、肝臓に色むらのある個体はヤケ発生個体である可能性が高いと想定していたが、ヤケ発生を確認できた個体は心臓が硬くなく、色むらも確認されなかったことから、心臓の硬さや肝臓の色むらだけではヤケ発生を判別する指標にはならないことがわかった。

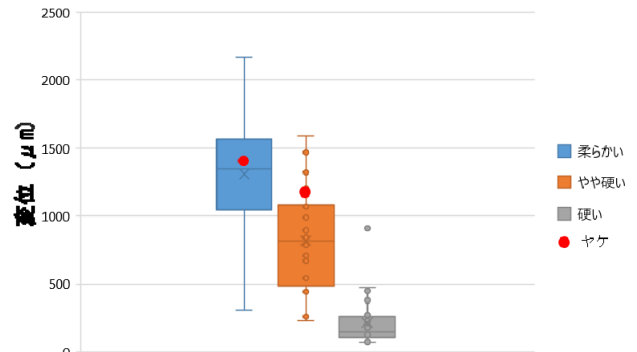


図4 心臓の硬さと触診結果

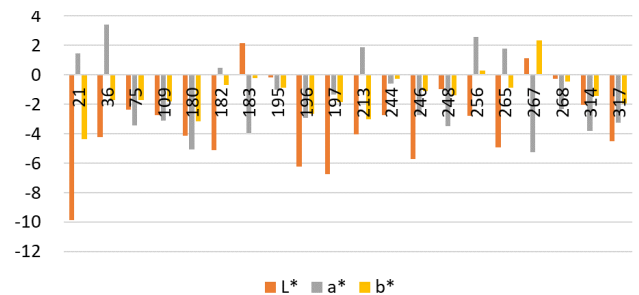


図5 肝臓の中心部分の色と端部分の色の差  
9, 11がヤケ個体

追跡調査で回答のあった20個体については、脂ののりについても分析を行った。肝臓の色が白い個体(L値が高い個体)は、肝臓の脂質含有量が高い傾向にあることが分かった(図6)。しかし、肝臓の脂質含有量が高い個体でも、魚体の脂ののりは少ないと回答があった個体があったため、栄養状態や産卵などにより、体脂肪と内臓脂肪には差が生じると考えられた。脂ののりに関しては、CT観察がより正確に判断できると考えられるが、実用化は難しいため、近赤外分光法<sup>5), 6)</sup>やフィッシュアナライザー<sup>7)</sup>などによる測定が有効と考えられる。

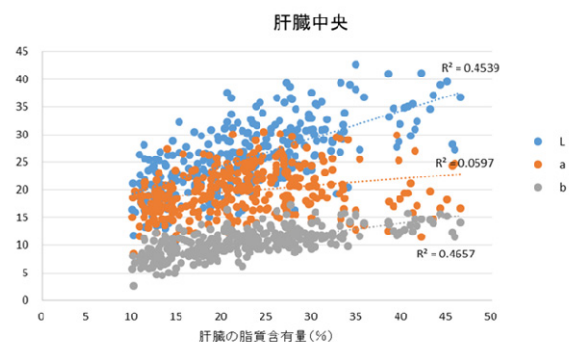


図6 肝臓の色と脂質含有量

### 3.4 血液検査

追跡調査により回答のあった20個体の血液検査を行った。漁獲後水揚げまでに1日程度経過した個体からの血液採取であり、溶血が進行していたため、希釈して分析を行った。サンプル数が少ないが、ヤケ発生個体は、血中グルコース濃度が低くなっていることが分かった（図7）。これは、ヤケ発生の要因である、漁獲時に暴れて血中グルコース濃度が低下し、乳酸が上昇する仮説を支持する結果である。今後サンプル数を増やして分析することにより、ヤケ発生を推察する要因になるかもしれないと推察する。

表7 血中グルコース濃度

個体番号	グルコース濃度 (mg/dL)
196(ヤケ)	80
256	85
109	90
213(ヤケ)	90
317	115
182	125
268	125
248	135
267	135
36	140
246	145
183	150
75	155
21	180
195	180
314	195
265	235
197	310
180	425
244	430

### 3.5 組織観察

平成30年に漁獲されたマグロの肝臓の凍結切片を作成し、HE染色を行ったところ、ヤケ発生個体は血管周辺の細胞にネクロシスと思われる核の断片化が多く見られた（図7）。令和元年に漁獲されたマグロにおいても同様の結果が得られた。漁獲時に暴れることによる体温上昇および、冷却不足による深部の高温維持によるヤケ肉発生を支持する結果であると考えられた。

また、脂質含有量についても、色の白い肝臓は oil red O 染色により、脂肪滴が多く観察され、粗脂肪分

析と同様に脂質含有量が多いことを示していた（図8）。

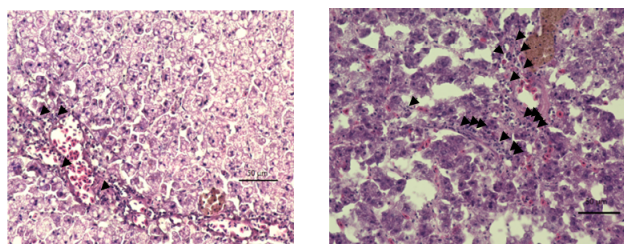


図7 肝臓の組織観察（HE染色）  
左：通常個体 右：ヤケ発生個体  
矢印（▶）はネクロシスと思われる核の断片化部分を示す

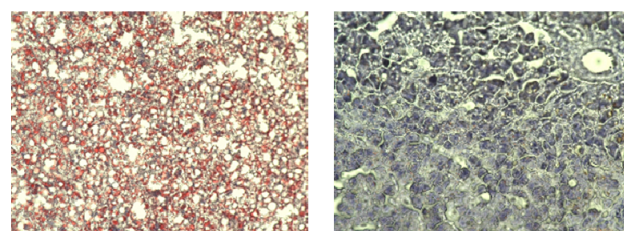


図8 肝臓の組織観察（Oil Red O染色）  
左：白い肝臓 右：赤い肝臓

## 4. おわりに

境港で水揚げされたクロマグロの品質を推定するため、魚体及び内臓を測定した。

心臓の硬さが硬い個体、やわらかい個体があり、肝臓の色むらのある個体があることが分かったが、これらの現象はヤケ発生の指標にはならないことが分かった。

ヤケ発生個体の血液検査を行ったところ、血中グルコース濃度が低くなっており、また、肝臓の血管周辺においてネクロシスと思われる核の断片化が多く見られた。

肝臓の色が白い個体と赤い個体があることが分かり、白い個体は、肝臓の脂質含有量が高いことが分かった。

片側開放型 NMR 解析や組織切片の観察により、ヤケ肉発生を推察できる可能性はあるが、水揚げ現場での判断を行うには、コスト面、作業面で問題があり、別の判断指標を用いるなど、今後のさらなる検討が必要であると考えられた。

## 謝 辞

本研究において、マグロの CT 撮影にご協力いただきました国立大学法人鳥取大学医学部社会医学講座法医学分野の飯野守男教授はじめ研究室の皆様、マグロの片側開放型 NMR 解析にご協力いただきました国立研究開発法人産業技術総合研究所 地質調査総合センター 地圏資源環境研究部門 物理探査研究グループ 上級主任研究員の中島善人様、組織切片の作成にご協力いただきました国立大学法人鳥取大学医学部解剖学講座の椋田崇生講師はじめ研究室の皆様には感謝いたします。

## 文 献

- 1) 小谷幸敏、加藤愛、本多美恵、石原幸雄；境産クロマグロのヤケ肉に関する研究，鳥取県産業技術センター研究報告，13, p.1-10 (2010).
- 1) 中島善人；牛の霜降り状態が NMR でわかる！？－片側開放型 NMR が拓く新たな可能性－，化学，70(11), p.25-28 (2015).
- 2) 的場梁次、近藤稔和；死体検案ハンドブック，金芳堂，p.168-170(2014).
- 3) 落合芳博；クロマグロで発生したヤケ肉における肉質の変化および水溶性タンパク質の変性，日本水産学会誌，76(4), p.695-704 (2010).
- 4) 秋田佳林、竹内萌、松原久；クロマグロの脂肪分布と近赤外分光法を用いた粗脂肪測定，青森県産業技術センター食品総合研究所研究報告，7, p.9-13 (2016).
- 5) 広瀬あかり、吉武政広、小野寺純、大場邦夫、榊原卓哉、伊藤暁、芦田慎也、椎名康彦；近赤外分光分析法による養殖クロマグロの脂質含量測定，日本水産学会誌，82(5), p.753-762 (2016).
- 6) 久保久美子、古賀恵実、松本欣弘、桑原浩一；簡易測定器による非破壊での養殖クロマグロ肉の脂肪量推定の可能性，長崎県水産試験場研究報告，40, p.20-27 (2014).