総 説

異常性状の魚肉：ジェリーミートとヤケ肉

小長谷 史郎^{*1}A Review of the Abnormal Conditions of Fish Meat:
Jellied Meat and Yake-Niku, Spontaneously Done Meat

Shiro KONAGAYA

*Preservation Division, Tokai Regional Fisheries Research Laboratory,
5-5 Kachidoki, chuo-ku, Tokyo, 104*

異常性状の魚肉，あるいは異常魚肉に的確な一般的定義を与えることは困難なので，ここでは，魚肉の食品として好ましくない状態，あるいは変化を意味するものとする。この意味では，魚肉の性状や成分がその種に特有なものとは異なる場合以外に，鮮度保持，凍結貯蔵，解凍，加熱処理などが不適当であったために生じた変質も含まれる。かつて水産物がわが国の重要輸出品であった時代，クレームの対象となったものはほとんど異常（魚）肉ということになる。しかし紙面の制約からこれらについては割愛して，副題のジェリーミート，とくに原生動物の筋肉寄生が原因とされるジェリーミート，およびヤケ肉について概説したい。これらは原因的にも無関係であるが，前者は底棲性魚の利用の増大により発生頻度が高まり，後者はいわゆる赤身魚の新たな利用開発に伴い，重要な問題として意識されはじめたものである。

ジェリーミート

漁獲後の魚の筋肉が，腐敗とは無関係に進行的に軟化し，ついには流動状を呈するまで崩壊液化することがある。このような魚肉をわが国では一般にジェリーミートとよび，この現象をジェリー化という。ジェリーミートは発現の予知や初期発見が困難で，適当な防止策も現在のところ無い。魚種や漁場によっては，発生頻度が40%を超える場合もあり，水産業に大きな経済的損失を与えることも少なくない。

ジェリーミートに関する研究報告はアメリカやカナダでは今世紀初頭からみられるが，寄生虫学的な研究が多い。原因究明を意図した研究例は内外合せても10編に

満たない。

ジェリーミートには外見的に異なるいくつかのタイプがあると考えられるが，原因が解明されているものは少ないので系統的に分類することは不可能である。しかし少なくとも，原生動物に属する粘液胞子虫の筋肉寄生が原因とされるタイプと，産卵行動後の筋肉の生理的異常が原因とされるタイプの2つがあることは確かである。通称名による分け方は科学的根拠には乏しいが，実用上は便利な点もあるので，松本の記載¹⁾²⁾その他を参照して以下特徴を簡単に述べておく。

1. ジェリーミートのタイプ

(1) アズキ型

アズキ^{*2}と称される径2~5mm，長さ5~20mmの液

図1 キハダマダグロのアズキ型ジェリーミート（横断面）

^{*2} わが国ではミッチャ、ウミ、ガンチョウなどと呼ぶ地方もある。外国文献では milky condition, milkiness と呼ばれる場合が多いが，milky, jellied, mushy, pap, watery, greasy, pulpy を魚種名の前に付けて形容する例もみられる。jellied meat は和製英語のようである²⁾。

^{*1} 東海区水産研究所保蔵部（東京都中央区勝どき 5-5），東海区水産研究所業績 B713 号

化空胞 (milky pocket) が筋肉中に体軸に平行して、散在し、多い場合は横断面が蜂巢状 (図1) にみえる。進行したものでは、空胞周辺の輪郭が崩れて不定となり、隣接する空胞が連絡して筋肉組織は崩れ易くなり、さらに進行すれば、ほとんど骨と皮だけを残して全筋肉が崩壊液化する (アズキナガレ)。しかし、血合肉からジェリー化することはない。このタイプのジェリーミートには必ず粘液胞子虫の胞子が検出されるのでこれが原因とされている。アズキ型は発生頻度が最も高く、典型的なジェリーミートである。

(2) サン型

マグロなどの筋肉中に通称サンといわれる径5~10 mmの液化空胞 (図2) がみられることがある。空胞の

図2 メバチマグロのサン

形状は一定していないが普通体軸方向に長い。この中に筋肉の液化物と考えられる液が溜っている。進行したものでは径が1~5 cm、長さが5~10 cmにも及ぶ。空胞はアズキ型のように多数散在することはない、筋肉全体が崩壊液化することもない、さらに粘液胞子虫も検出されない。サン型はメバチマグロ、カツオに多く、キハダマグロにもときどきみられる。液化空胞中に米粒ないし大豆大の白色半透明の柔かい異物がしばしばみつかれるが、この本体は不明である。しかし、後述するサケ類では筋肉に寄生する粘液胞子虫の一種 *Henneguya salmicola* が真珠様の cyst を形成し、この周辺がサン状にジェリー化する。

(3) フクロ型

骨と皮を残して全筋肉が液化しているヒラメをわが国ではフクロヒラメと称している。これには、粘液胞子虫、その他の寄生虫は検出されない。同様なジェリーミートは、メキシコ湾のヒラメ *Paralichthys squamulentus*³⁾ 北米太平洋岸のカレイ (dover sole) *Microstomus pacificus*⁴⁾ にも知られている。このジェリー化の原因はプロテアーゼの作用と考えられる³⁾ が、実験的根拠は示されていない。アズキ型すなわち粘液胞子虫の寄生を伴

うジェリーミートも北米太平洋岸のカレイ (lemon sole) *Parophrys vetulus*⁵⁾ やベーリング海のコガネガレイ⁶⁾ などに知られているので、ヒラメ、カレイの類で粘液胞子虫によらないジェリーミートがフクロ型ということになる。

(4) 生理的条件によるジェリーミート

(ホッチャレ型?)

産卵行動を終えた魚の筋肉が異常に軟化したり、ときに流動状になるものがある。顕著な例はわが国の河川に溯上、産卵後のシロザケにみられる。この状態にあるサケを通称ホッチャレと呼んでいる (後に詳述する)。

初夏、日本海や三陸沖で漁獲されるクロマグロに、脂肪が極めて少く、色が赤っぽく、コンニャクのようなテクスチャーの肉質のものが出現することがある。通称コンニャクと呼ばれる。産卵後のマグロで、体形がやせていて頭が大きくみえるいわゆるラッキョウといわれるマグロにみられる。産卵後比較的短期間 (約20日) のうちに回復して発現しなくなるといわれる。コンニャクは他のマグロ、たとえばメバチ、キハダにも、またマカジキにも発現する。

北太平洋のカレイの一種 (*Hippoglossoides platessoides*) に、出現する異常肉は身崩れし易く、肉は乳白色で光沢があり、指で触れるとブルブルとした感触があり、正常な肉に比べ水分が約4%高く、タンパク含量が低く、筋繊維間に間隙が生じているという。この異常肉の原因は、低温 (-1~0°C) 水域における産卵行動による筋肉タンパク質の消耗によるとされている⁷⁾。

2. ジェリーミートに検出される粘液胞子虫

これまでにしばしば記した粘液胞子虫とは、原生動物門 Phylum protozoa 胞子虫綱 Sporozoa, 極囊胞子虫亜綱 Cnidosporidia, 粘液胞子虫目 Myxosporidia に属し、マラリア原虫 (晩生胞子虫亜目, 住血胞子虫目) に比較的近い原生動物である。胞子虫綱は例外なく寄生性で宿主はほとんど全ての動物門に亘るが、粘液胞子虫目はもっぱら下等脊椎動物、とくに魚類 (淡水, 海水) の寄生虫として知られ、両棲類, 爬虫類, 昆虫, 環形動物に少数報告例がみられる。

魚類に寄生する粘液胞子虫の生活史は不明の部分が多いが、本種は中間宿主がなく、胞子は宿主の消化管内に摂取されると、脱殻し、アメーバ状となった胞子は、腸粘膜を貫通して血流に乗って好適寄生部位に達する。そこで分裂、増殖して寄生期の栄養体 trophozoite となり、多数の単核細胞 spront を生じ、これが種属保存のため感染能をもつ耐久体の胞子 spore となる。胞子は

表 1 文献にみられるジェリーミートの粘液胞子虫

魚 種 ^{*1}	漁 場	呼 称	粘 液 胞 子 虫	文 献
バラクーダ <i>Thyrsite autm</i>	オーストラリア近海 南アフリカ沖	Milky barracoota "	<i>Kudoa thyrsites</i> ^{*2} "	9) 11) 10)
カレイ類 オヒョウ <i>Hippoglossus stenolepis</i>	カナダ大西洋岸 北米大西洋岸	Mushy halibut Wormy halibut	<i>Chloromyxum</i> sp. ^{*3} <i>Unicapsula muscularis</i>	12) 13)
Lmon sole <i>Parophrys vetulus</i>	北米太平洋岸	Milky lemon sole	<i>Chloromyxum</i> sp. ^{*3}	5)
Dover sole <i>Microsomus pacificus</i>	北米大西洋岸	Milky Dover sole	<i>Chloromyxum</i> sp. ^{*3}	4)
Petrable sole <i>Eopsetta jordani</i>	"	Milky petrale sole	"	4)
Starry flounder <i>Platichthys stellatus</i>	"	Milky fiounder	"	4)
コガネガレイ <i>Limanda aspera</i>	ベーリング海	ジェリーミート	<i>Kudoa</i> sp.	6)
サケ類 <i>Onchorhynchus</i> 属 6 種	北 太 平 洋	Milky condition	<i>Henneguya salminicala</i>	14)~18)
Maquereau (サバの一種) <i>Scomber scomber</i>	ビスケー湾	リンゴジェリー	<i>Kudoa thyrsites</i> ^{**} に酷似	19)
メカジキ <i>Xiphias gladius</i> "	カナダ大西洋 日本太平洋岸	Jellied swordfish "	<i>Chloromyxum</i> sp. <i>C. musculoliquefaciens</i>	20) 21)~23)
メルルーサ類 South African stockfish <i>Merluccius capensis</i>	南アフリカ沖 モーリタニア沖	Milky south africa stock fish	<i>Kudoa thyrsites</i> ^{*2}	24) 25)
Cape John Dory <i>zeus capensis</i>	"	Milky Cope Jhon Dory	"	24)
Chili hake <i>Merluccius</i>	ペ ル ー 沖	?	<i>Kudoa</i> sp.	26) 27)
Pacific hak <i>M. productus</i>	バンクーバー沖	Jelled hake	<i>Chloromyxum</i> sp. ^{*3}	28) 29)
キハダマグロ <i>Thunnus albacares</i>	パ ン グ 海	ジェリーミート (アズキ)	<i>Hexacapsula meothunni</i>	30)~36)
スズキ <i>Lateolabrax japonicus</i>	日本太平洋岸	"	<i>Kudoa</i> sp.	1) 2) 21)
シイラ <i>Coryphaena hippurus</i>	"	"	<i>Kudoa</i> sp.	1) 2) 21)
トビウオ <i>Cypsilurus ago</i>	"	"	<i>Kudoa</i> sp. ^{*4}	2)

^{*1} 記載の古い順に並べた。^{*2} 古くは *Chloromyxum* と記載されているが *Kudoa* とすべき。²⁾^{*3} *Chloromyxum* か *Kudoa* か不明確である。^{*4} 極めて大型の胞子 (幅 36~37 μm)。

- a: メカジキの *Chloromyxum musculoliquefaciens*²¹⁾ (幅 8~10 μm)
b: バラクーダの *Kudoa thyrsites*¹¹⁾, 古くは *Chloromyxum thyrsites*²⁾ (幅約 12 μm)
c: キハダマグロの *Hexacapsula neothunni*³⁰⁾ (幅 9~13 μm, 右は極糸を弾出している)
d: サケ類の *Henneguya salminicola*¹⁵⁾ (全長約 50 μm)

図 3 ジェリーミートに検出される代表的粘液胞子虫

もはや宿主から栄養を摂取せず、宿主体外に解放される時期を待つ。粘液胞子虫の胞子は弾出性の極糸 polar filament を包蔵した極囊 polar capsule をもつのが特徴である。この目は胞子の形態からさらに細分されるが、分類方法は学者によって異なる*。Kudo は、広胞子

* 最新 (1980) の分類法 (原生動物図鑑, 猪木正三編, 講談社 (1981) pp. 597, pp., 775) によれば, 粘液胞子虫類は粘液胞子虫門となり, 双殻目, 双極垂目, 広胞子虫垂目, 扁胞子虫垂目, 多殻目に分けられ, *Kudoa*, *Hexacapsula* 属は多殻目に, *Chloromyxum* 属は広胞子虫目に入れられている。ただし表 1 の *Chloromyxum* は *Kudoa* に入れられている。

虫亜目 Eurysporea (2科5属), 球孢子虫亜目 Sphaerosporea (3科5属), 扁孢子虫亜目 Platysporea (4科9属) に分けている¹⁾⁸⁾。

文献に記載されているジェリミート, と検出された孢子虫をまとめて表1にあげた。表中の *Unicapsula*, *Chloromyxum*, *Kudoa* 属は球孢子虫目に属し, *Henneguya* 属は扁孢子虫目に属する。代表的な4種を図3に示す。

寄生様式に, 管腔内寄生, 組織寄生, 細胞内寄生の3様式があるといわれる⁸⁾。管腔内寄生は胆嚢, 膀胱などにみられ, 栄養体は浮遊または偽足で移動している。組織内寄生は皮膚, 筋肉, 鰓にみられ, 初期は偽足で移動し, ある場所で肉眼的にみられる球状の cyst (被囊体, 孢子袋) を形成する場合と, 不定形のまま孢子を形成する場合 (浸潤寄生) がある。メバチ, ミナミマグロなどの筋肉には通常ホシあるいはゴマといわれる径3~5mmの真珠様の *Kudoa* 属の cyst (図4) がしばしばみつ

図4 メバチのホシ (cyst)

右下は cyst から検出された *Kudoa* sp. の孢子 (×650)

る。この cyst はサシとは無関係のようである¹⁾ (ホシには本体不明のいくらか柔いものもあり, これはサシに関係あるらしい¹⁾)。養殖ハマチに, いわゆる kudoa 症⁸⁾といわれる筋肉および鰓に cyst が点在する感染症が発生したことがある。また, カムチャッカ, アラスカ, カナダで漁獲される北太平洋サケの6種の筋肉には高頻度 (最高40%) で *Henneguya salminicola* の cyst がみつかるという⁴⁾¹⁴⁾¹⁵⁾。事実, 最近アラスカから輸入したギンザケを原料とした燻製品に, これによると考えられるジェリミート¹⁸⁾が多発したことがある。細胞内寄生のものは少ないといわれる⁸⁾⁷⁾が, オヒョウの *unicapsula*¹²⁾, バラクタータの *kudoa*¹¹⁾, メルルーサ (ヘイク) の *chloromyxum*²⁹⁾, キハダマグロの *hexacapsula*³⁶⁾, メカジキ *chloromyxum* などの孢子はいずれも筋繊維中に検出される。キハダマグロの *hexacapsula* を1例として図5に示す。これらの孢子は全て筋繊維内にみられるので, 細胞内寄生といってもよいものと考えられる。

図5 *Hexacapsula* 感染キハダマグロの筋繊維 (上) と崩壊しはじめたところ (下) (×150)

感染の頻度は漁場が新しいほど高く, 漁獲を続けることによって減少するといわれる。パンクーバ沖のカレイ (lemon sole) の例では, 1951年から1954年の間に, 漁獲により資源量が約半分に減少したら, 感染率は21%から1%以下になったという⁵⁾。パンクーバ沖のヘイク (*M. productus*) でも同様な傾向がみられたが, 一時的なものにすぎないとする見方もある²⁸⁾。

3. ジェリー化とプロテアーゼ

孢子虫は宿主の死後速やかに宿主体外に解放されるように, プロテアーゼを分泌して宿主の組織を破壊するものと推定されていた¹⁾。*Chloromyxum* sp. に感染しているヘイク筋肉の自己タンパク分解活性を種々の pH で測

図6 *Chloromyxum* sp. に感染しているヘイク筋肉の自己タンパク分解活性²⁹⁾

ホモジネイト (筋肉: 水=1:2) と等量の緩衝液 (0.2 M Mc ILVAIN) を混合して, 37°C で 30 分間インキュベイト, 等量の 10% TCA で停止, 濾液を FOLIN 法で発色

●—●: 重度の感染, ●—●: 軽度の感染, ○—○: 正常

定したところ、酸性域で極めて強い活性が示された（図 6）。感染している筋繊維と正常筋繊維を顕微鏡下で分離し、露光・現像・定着後の写真用乾板の膜面上でインキュベイトすると、感染筋繊維のある部分のゼラチン膜が消化されて透明化することから、感染筋繊維にプロテアーゼの存在が証明された（図 7）。同様な手法で切片を

図 7 感染筋繊維中のプロテアーゼの存在

A: 正常筋繊維（上）と感染筋繊維（下）

B: 写真用乾板で正常繊維（a）と感染筋繊維（b）各 2 本をインキュベイトした後の膜面

用いてキハダマグロ、メカジキの感染筋繊維にもプロテアーゼの局在性が証明されている³⁶⁾。

ジェリー化キハダマグロからは、全プロテアーゼ活性の 40～50% を占める分子量 6.2 万の成分と、約 30% の分子量 15 万の成分が分離された。ジェリー化メカジキからは、全活性の約 50% を占める分子量 4.7 万の主成分と、マイナー成分として分子量が 2.5 万～30 万の間で異なる 8 成分が分離された。ジェリー化コガネガレイ、ヘイクなどのプロテアーゼについてもある程度調べられている⁶⁾²⁹⁾。これらのプロテアーゼは全てチオールプロテアーゼで、活性は Hg^{2+} 、IAA、PCMB、Leupeptin、Antipain で完全に阻害される。

組織崩壊はこの感染筋繊維から始まり、次第に周辺筋繊維へ展開し（図 5）、液化空胞となることが組織学的に観察された。

これらの観察から、胞子虫がプロテアーゼを生産し、これにより組織が崩壊、すなわちジェリー化することが明らかとなった。ジェリー化は必ず宿主の死後であることを考え併せると、プロテアーゼ生産の時期は宿主の死後と考えられるが、宿主が生きているうちから生産しているが、宿主側に除去あるいは不活性化する機能がある可能性も考えられている¹⁾²⁰⁾。組織寄生すなわち cyst 中の protease の存在はまだあまり調べられていないが、サケの *Henneguya solminicola* の cyst 周辺には pH 8 付近で casein 分解活性は検出できなかったという¹⁸⁾。

4. いわゆるホッチャレ

現在わが国では天然で産卵するサケ（シロザケ）の姿をみることはほとんどないが、産卵行動前後のサケの筋

肉は軟弱、ときに流動状である。このような状態にあるサケをホッチャレと称することは、すでに述べた。類似的現象は、人工採卵（精）のために捕獲し、性成熟を待つため一時蓄養したサケ³⁹⁾や、沿岸で定置網で漁獲したものにもときに発現する。産卵回遊中のサケは絶食状態にあり、激しい運動と性成熟のため体成分をエネルギー源として消費しているといわれる⁴⁰⁾⁴¹⁾。産卵回遊前のものに比較すると、筋肉中の脂肪は約 10%、タンパク質（主として筋形質タンパク質）は約数%低く、その分だけ水分量が多い⁴²⁾⁴³⁾。また、カロチノイド色素は皮膚や卵に移行してしまっておりほとんどなく⁴¹⁾、ナトリウムが増加しているといわれる⁴⁰⁾⁴²⁾。

産卵回遊中のサケの筋肉中には強いプロテアーゼ活性が存在することがわかった。索餌回遊中のサケ（沖獲りサケ：以下回遊ザケと略す）、沿岸に回帰したサケの定置網による漁獲物中、肉質が正常なものの（回帰正常）、クリーム状（ホッチャレ）のもの（回帰異常）、および河川に溯上したもの（溯河ザケ）について、筋肉の自己タンパク分解活性を比較したところ、図 8 のようであった。

図 8 サケ（シロザケ）筋肉の自己タンパク分解活性

自己タンパク分解活性は、回帰ザケ、溯河ザケでは回遊ザケに比べて高く、とくに回帰異常ザケでは極めて高い。この活性によって、筋形質タンパク質と筋原繊維タンパク質は同程度分解されることがわかった。したがってホッチャレの原因はこのプロテアーゼによる組織崩壊であることは間違いない。プロテアーゼ活性は 1 mM pepstatin で 30～40%、1 mM leupeptin で 60～70% 阻害されるので、ただ 1 種のプロテアーゼによるものではなく、カテプシン B、D および類似酵素によるものと考えられる。その他、代謝に関連する多くの酵素活性も同様に高いことが考えられる。

筋肉がこのような状態（クリーム状）になれば運動は

もはや不可能と考えられ、多分魚は死ぬであろうが、筋肉の自己消化は魚の死後も継続すると考えられる。産卵回遊中のサケの生理や生化学的変化に関しては古くから多くの研究がある⁴⁰⁾が、不明の部分も多い。とくに食用として利用する立場からは、このようなサケの筋肉の生化学的問題や加工適性に関する問題は今後の興味ある研究課題となるであろう。

ヤ ケ 肉

マグロに、肉色が白茶け透明感がなく、肉質は水っぽく、粘稠性がなく繊維性（バサバサした感じ）のある異常肉が発現することがある。このような魚肉を通称ヤケ肉（ヤケ身、ヤケ）と称している⁴¹⁾。ヤケのあるマグロはサン身用とならないので市場価値は極めて低く、関係業者の嫌悪する問題である。わが国では、夏季、太平洋岸の近海で、旋網（まきあみ）で漁獲される大型のキハダマグロ、メバチマグロ、クロマグロに多く、発生部位は普通、脊椎骨周辺であるが、ときに全魚体（普通肉）に及ぶこともある。

1961年、金光* はヤケ肉について研究した。表2に示

表2 正常肉およびヤケ肉のタンパク質の溶出性
(金光)

ヤケの程度	水分 (%)	タンパク-N (mg/g 筋肉)	筋形質 タンパク-N (%) ^{*2}	筋原繊維 タンパク-N (%) ^{*2}	pH
最も強いヤケ ^{*1} (魚体中心部)	71.9	34.2	12.7	5.3	5.77
中程度のヤケ ^{*1}	71.3	34.5	13.7	26.6	5.80
ほぼ正常肉 ^{*1}	71.1	35.7	13.6	58.9	5.79
正 常 肉 (尾 部)	72.2	31.7	11.2	66.7	5.77

*1 同一魚体隣接部位

*2 タンパク-N に対するパーセント

すように、筋原繊維タンパク質(MrP)が変性して塩溶液に対する溶出性が著しく低下しているが、筋形質タンパク質はほとんど溶出性を失っていないことを認めた。さらにヤケ現象と、当時ヨーロッパなどである品種のブタ(ランドレース、ポーランドチャイナ)に発生していたPSE筋肉(watery pork)⁴⁵⁾の現象との類似を指摘した。すなわち、ヤケの原因は死後筋肉の高温-低pHによるMrPの変性であろうと考えた。しかし、当時マグロの体温やMrPの安定性に関するデータは乏しく、原因について決定的な結論を下すには至らなかった。その後長い間この問題に関心が寄せられることはなかったが、最近に至って、多くの魚種に類似の現象が認めら

れ⁴⁴⁾、とくに多獲性赤身魚の利用加工面で重要な問題として認められるようになった。

1. 魚肉タンパク質の安定性

MrPの変性は魚肉の特性に重大な影響をもたらすことはいままでもない。とくに、生食用材料や練製品原料としては決定的な障害となる。MrPとくにアクトミオン(AM)の変性、ことに冷凍変性に関する研究例はぼう大である。

CONNELL⁴⁶⁾はAMの熱安定性は、その魚の棲息適温に関係し、棲息適温の低い魚のAMほど不安定であることを示唆した。最近、新井ら⁴⁷⁾は多くのデータからCONNELLの示唆を支持した。新井らはAMのCa-ATPase活性を安定性の指標として用いた。温度が一定ならばCa-ATPase活性の失活速度(変性速度)は見掛け上一次反応の式で表わせる。反応速度恒数に当る恒数を変性速度恒数(Kd)とすれば、Kdが大きいほどAMは不安定ということになる。筋原繊維を用いて測定してもKdは数値的には同じであった。表3にKdの魚種間の比較

表3 各種魚類筋原繊維の温度安定性の比較⁴⁷⁾

魚 種	不安定度 (変性速度恒数)	
	35°C	40°C
	(10 ⁻⁵ ・sec ⁻¹)	
(ウ サ ギ)	—	4
テ ラ ビ ア	1	7~13
ス ズ キ	2	22
コ イ	2~3	25~27
キ ハ ダ マ グ ロ	4	39~49
ブ リ	7	52
タ イ	7~9	111
ニ ジ マ ス	17~19	—
マ サ バ	18	—
マ ガ レ イ	18	—
ク ロ ソ イ	24~29	—
マ ダ ラ	160*	—
ホ ッ ケ	167*	—

* 変性が早すぎて正確な値が得にくい。

を示す。例えば熱帯産のテラピアのMrPは40°Cでウサギのその約3倍不安定で、比較的低温の水域に棲息するマダラ、ホッケでは35°Cでテラピアの約160倍も不安定ということになる。さらに彼らは、種々の温度におけるKdからARRHENIUSの式を用いて形式的に活性化エネルギーに当る数値(-ΔG)を算出し、魚類の棲息適温との関係を調べたところ、図9のようにみごとな相関性が示された。

またKdとpHの関係を図10に示す。Kdは魚種によって異なるので曲線は上下に移動するが、曲線の形状は

* 金光庸俊：大洋漁業株式会社(1962)

図 9 筋原繊維タンパク質の安定性と棲息適水温⁴⁷⁾ 図 10 サバ筋原繊維タンパク質 (35°C) の pH 安定性⁴⁷⁾

魚種間であまり変わらない、すなわち、pH の影響度合はほぼ一定である。 K_d を pH 7.6 と 5.8 で比較するとその比は 4~7 の範囲にあり、pH 5.8 では 7.6 のときの 4~7 倍不安定化することになる。この関係はウサギ M_iP でも同様であった。

2. 漁獲時の魚の体温と筋肉 pH

魚類は変温動物であるから、一般に体温は環境水温に等しいか 1°C 程度高い。しかし運動が活発なマグロ、カツオなどでは、捕獲時体温を測定すると水温より数度高いことが知られていた⁴⁸⁾。CAREY⁴⁹⁾は、延縄 (はえなわ) で漁獲したマグロの筋肉中の温度分布を調べたところ、図 11 のように、温度は均一でなく脊椎骨に近い血合肉およびその周辺で最高で、水温より約 10°C 高かった (以下最も高い部分の温度を中心温度と呼ぶ)。彼はマグロ類の

筋肉には動脈と静脈が平行して走る特殊な構造があり、一種の熱交換器の機能を有し、冷たい動脈血によって筋肉内部が冷却されるのを防いでいると考え、したがってマグロ類は平常時でも高い体温を保っていると主張した。筆者も延縄で漁獲した多数のマグロの体温を測定した。捕獲時激しく運動するグループと、あまり運動しないグループとでは、中心温度は前者の方が高い傾向がみられた。また、マグロの運動に伴い体温が上昇することも認められた。したがって、捕獲時の逃避運動による体温上昇を無視できないと考えた⁵⁰⁾。山口⁵¹⁾は体温がある限界 (32°C) に達するとマグロには死に至るものと推定し、これを破壊温度と称した*。著者らの観察⁴⁴⁾によれば、マルソーダでは水温が 19°C (気温: 13°C) のとき (冬季) は漁獲時の苦悶運動により、体温は 20°C から 25~26°C まで上昇したが、水温が 24°C (夏季、気温 25°C) のときは体温が 25~26°C で、上昇は認められなかった。マルソーダの破壊温度は 25~26°C ということになり、魚の棲息適温と破壊温度とに関係があるかもしれない。しかし、全ての魚種でこのような体温上昇が認められるわけではない。

図 11 クロマグロ筋肉内の温度分布⁴⁹⁾ (環境水温: 19°C)

* マグロ類の高体温 (warm bodiedness) については、The physiological ecology of Tuna (G. D. SHARP and A. E. DIZON ed.) Academic Press. (1978) Chapter 4, pp. 207-283 に詳しい解説がある。

回遊性の魚いわゆる赤身魚では一般に筋肉の pH は魚の死後急速に低下し、pH の下限は 5.2 付近といわれる。低下速度や下限は筋肉中のグリコーゲン含量、致死条件や筋肉の温度によって異なる。筆者は延縄で漁獲した多くのマグロについて、ガラス電極を筋肉に直接突き刺して、pH を測定したところ、死後硬直中の筋肉 pH は 5.6 ~ 6.2 の範囲であった。糸川*は延縄で漁獲したキハダマグロで、死後 2 時間で筋肉 pH が 5.4 まで下るのを観察している。したがってマグロの死後筋肉の pH が最も低下したときは 5.4 ~ 5.6 と考えてよいであろう。

3. ヤケ肉が発生する条件

近海のマグロ延縄漁では、マグロを生きているうちにとり揚げ、直ちに鰓、内臓を除き、氷水で冷却している。このようにしても、水温が比較的高い夏季には、3 時間後には、とくに死後硬直の強いものに、ヤケ肉が発生しているといわれる。したがって、ヤケは漁獲後急速に進行するものと考えられ、死後硬直が強いものに発生頻度が高いのは筋肉の高温・低 pH と関係するものであろう。

そこで、キハダマグロ M₁P の変性速度の温度および pH 依存性を、筋原繊維細片を所定の pH-温度条件に 1 時間置いた後の M₁P の溶出性から、測定して、図 12 の

図 12 キハダマグロ筋原繊維タンパク質の pH 安定性⁴⁴⁾

筋原繊維細片の懸濁物を各種 pH に 1 時間放置した後、0.5 M KCl に溶出するタンパク量を測定

結果から得られた。キハダマグロ M₁P の安定性は pH 5.8 以下では pH の影響を大きく受け、25°C 以上で著しく不安定化することがわかった。先きに述べたように、死直後のマグロの筋肉では、25°C 以上、pH 5.8 以下という条件はむしろ普通にあり、このような温度と pH の条件が重なるとヤケが発生するわけである。

* 糸川貞之：三重県尾鷲水産試験場報告 (1969)

しかし、体温がマグロ程高くない魚、たとえばマルソーダ、ハマチ、イワシなどにも同様な現象が考えられたが、マグロでヤケ肉が発生する条件では説明できない。種々の魚種の筋原繊維細片を pH 7.0 と pH 5.5 で、いろいろな温度に 1 時間保った後の M₁P の溶出性は図 13 のようであった。溶出性が 50% 減少する温度 (T₅₀) を指標として、比較したものが表 4 である。調べた範囲で

図 13 筋原繊維タンパク質の pH 7.0 (○—○) と pH 5.5 (●—●) における温度安定性の比較⁴⁴⁾

①: スケトウダラ, ②: マイワシ, ③: マルソーダ, ④: キハダマグロ 測定条件は図 12 と同じ

表 4 筋原繊維タンパク質の安定性の比較⁴⁴⁾

魚 種	T ₅₀ (°C)	
	pH 7.0	pH 5.5
赤身魚		
キハダマグロ	35	27
カツオ	33	26.5
マルソーダ	34.5	24
ブリ	32	23
マイワシ	33	21
サバ	29	20
白身魚		
ヒラメ	33	23
スケトウダラ	29	11

は、最も頻繁にヤケ肉が発生するキハダマグロの M₁P が最も安定ということになった。これはヤケ肉発生に漁獲時の体温が大きく影響することを物語るものである。

赤身魚の中ではサバ、イワシの M₁P が最も不安定で、低 pH の影響を受け易い(新井⁴⁷⁾は、pH の影響度は魚種間でほぼ一定といっているが、魚種間のわずかな違いが、ヤケ発生の有無には大きく影響すると考えられる)。したがってこれらの魚では、もし pH が同じであれば、マグロよりはるかに(約 10°C)低い温度でヤケが発生することが考えられる。白身魚のスケトウダラの

M₁P は極めて不安定であるが、死後筋肉の pH が 6.8 以下になることはないの、これにはヤケは発生しないものと考えられる⁴⁴⁾。しかし、同じく白身魚のオヒョウでは Chalkiness といわれるヤケ肉類似の現象が知られている。これは 10 日間ぐらゐの氷蔵中に発生するが、漁獲直後の筋肉 pH が 5.90~6.64 のグループでは Chalkiness の発生率が 33%、漁獲後安静にさせた後殺したグループでは pH が 6.25~6.85 であって、全く発生しなかったという⁵²⁾。

以上の考察から、ヤケ肉は魚類、とくに赤身魚には一般に起り得るものであり、筋肉が高温-低 pH の条件(少なくとも高温または低 pH)にさらされないようにすることは、漁獲物の品質保持上配慮すべき基本的な事項である。

あ と が き

これまで主として、粘液胞子虫が原因のジェリミート、産卵後の魚の異常およびヤケ肉について述べた。再三述べたように、原因不明のジェリミートも多く、また、本稿では触れなかったが、マグロやカジキなどでは、業者(東京築地市場)がヤマイと称している筋肉のさまざま異常、異物、脂肪の異常な蓄積などが問題にされる。もし注意深く観察すれば小型の魚でも種々の異常肉があるものと考えられる。著者の最も気がかりとする点は食品衛生上の問題がほとんど解決していないことである。もちろん、ヤケ肉や、産卵など魚の生理的異常に原因するものが衛生上問題になるとは考えられない。粘液胞子虫自体は人体に無害とされ³⁾、それによる症例も全く報告されていない。しかし、決して好ましい食品とはいえないので、食品衛生学の立場からの研究が待たれる。

文 献

- 1) 松本浩一：日本輸出冷凍水産物検査協会参考資料第 7 号，1 (1954)。
- 2) 松本浩一：ジャパンプードサイエンス 2, (2), 67 (1962)。
- 3) LOVE, T. D.: *Comm. Fish. Rev.*, **23**, 9 (1961)。
- 4) PATASHNIK, M. and GRONINGER, Jr. S.: *J. Fish. Res. Bd. Canada*, **21**, 335 (1964)。
- 5) FORRESTER, C. R.: *Fish. Res. Bd. Canada. Rept. Pac. Coast Sta.*, **105**, 11 (1956)。
- 6) 小長谷史郎：日水誌，**46**, 1019 (1980)。
- 7) TEMPLEMAN, W. and ANDREWS, G. L.: *J. Fish. Res. Bd. Canada*, **13**, 147 (1956)。
- 8) 内田 亨：動物系統分類学 1. (中山書店，東京)，p. 84 (1962)。
- 9) JONSTON, T. H. and CLELAND, J. B.: *J. Roy. Soc. New South Wales*, **44**, 406 (1910)。
- 10) GILCHRIST, J. D. F.: *Trans. Roy. Soc. South Africa*, **11**, 263 (1924)。
- 11) WILLIS, A. G.: *Australian J. Sci. Res. (Ser. B)*, **2**, 379 (1949)。
- 12) THOMPSON, W. F.: *Rept. Comm. Fish. British Colombia for 1915*, 129 (1916)。
- 13) DAVIS, H. S.: *Rept. U. S. Comm. Fish. for 1923 Appendix VIII*, 1 (1923)。
- 14) WARD, H. B.: *J. Parasitol.*, **6**, 49 (1919)。
- 15) FISH, F. F.: *J. Parasitol.*, **25**, 169 (1939)。
- 16) DAVIS, H. S.: *Trans Amer. Microscop. Soc.*, **63**, 311 (1944)。
- 17) BOYD, J. W. and TOMLINSON, N.: *J. Fish. Res. Bd. Canada*, **22**, 849 (1965)。
- 18) 栗倉輝彦・木村喬久：魚病研究，**12**, 179 (1977)。
- 19) PERARD, C. H.: *C. R. Acad. Sci. Paris*, **186**, 106 (1928)。
- 20) M'GONIGLE, R. H. and LEIM, A. H.: *Fish. Res. Bd. Canada, Atl. Prog. Rept.*, **19**, 3 (1937)。
- 21) MATSUMOTO, K.: *Bull. Japan. Soc. Sci. Fish.*, **20**, 469 (1954)。
- 22) TSUCHIYA, Y. and TATSUKAWA, Y.: *Tohoku J. Agric. Res.*, **4**, 251 (1954)。
- 23) 土屋靖彦・工藤英郎：冷凍，**32**, 172, 175 (1957)。
- 24) DAVIS, R. and BEYER, E.: *Nature*, **159**, 714 (1947)。
- 25) FLETCHER, J. I., HODGKISS, W., and SHEWAN, J. M.: *The Fishing News*, Oct. 6, 1951, 11 (1951)。
- 26) SALAS, E. M.: *Institute Mar Peru, Informe No. 40*, 1 (1973)。
- 27) OKADA, M., ARECHE, N. T., and YSHIKAWA, Y. E.: *Bull. Japan. Soc. Sci. Fish.*, **47**, 229 (1981)。
- 28) Utilization Research Division: FAO Fish. Report No. 203, 99 (1978)。
- 29) 小長谷史郎・青木徹夫：東海水研報，105 号，1 (1981)。
- 30) ARAI, Y. and MATSUMOTO, K.: *Bull. Japan. Soc. Sci. Fish.*, **18**, 293 (1953)。
- 31) 浅川末三・須田 明：南海水研報，5 号，169 (1957)。
- 32) 浅川末三：南海水研報，5 号，179 (1957)。
- 33) KONAGAYA, S., BITO, M., and AMANO, K.: *Bull. Japan. Soc. Sci. Fish.*, **36**, 597 (1970)。
- 34) KONAGAYA, S. and AMANO, K.: *Bull. Japan. Soc. Sci. Fish.*, **37**, 904 (1971); **39**, 1169 (1973)。
- 35) 小長谷史郎，日水誌，**48**, 543 (1982)。
- 36) 小長谷史郎：東海水研報，106 号，56 (1982)。
- 37) 中島健次・江草周三：魚病診断指針，3，水産庁，p. 55 (1976)。
- 38) 江草周三：魚の感染症，(恒星社厚生閣，東京)，p. 389 (1978)。
- 39) 宇野 勉・徳永俊夫・中村全良：北海道水研報，14 号，89 (1956)。

- 40) LOVE, R. M.: in "The Chemical Biology of Fish" Vol. 1, 1st ed. (Academic Press). p. 97 (1970).
- 41) 五十嵐久尚・座間宏一: 日水誌, **18**, 618 (1953).
- 42) GREEN, C. W.: *J. Biol. Chem.*, **39**, 435 (1919).
- 43) THURSTON, C. E. and NEWMAN, H. W.: *Fish. Ind. Res.*, **2**, 15 (1962).
- 44) 小長谷史郎・小長谷庸夫: 東海水研報, 96号, 67 (1978).
- 45) 藤巻正生: 化学と生物, **2**, 138 (1964).
- 46) CONNELL, J. J.: *Biochem. J.*, **80**, 503 (1961).
- 47) 新井健一: 魚肉ソーセージ, No. 210, 3 (1980), (日水誌 に投稿中).
- 48) 末広恭雄: 魚類学 (岩波書店, 東京), p. 177 (1951).
- 49) CAREY, F. G.: *Scientific America*, **228**, 36 (1973).
- 50) KANAGAYA, S., Yamabe, K., and AMANO, K.: *Bull. Japan. Soc. Sci. Fish.*, **35**, 410 (1969).
- 51) 山口裕一郎: 日水誌, **39**, 1021 (1973).
- 52) TOMLINSON, N., GEIGER, S. E. and DOLLINGER, E.: *J. Fish. Res. Bd. Canada*, **23**, 925 (1966).
(昭和57年1月22日受理)

新刊紹介

Thin-Layer Chromatography

FRIED B. and SHERMA J. 著

Chromatographic Science Series として刊行されているものの第17巻である。分析法に関する書物には、各種の応用を多くの文献から集めたものと、実験手法を細かく指示するものがあるが、本書は後者である。写真およびイラストを用いて、TLCの手法を示している。各種の担体の特性、溶媒の特性なども表として示されており便利である。後半は、脂質、アミノ酸、炭水化物、天然色素、その他についての実例が集められている。最近では高速液体クロマトグラフィーが全勢であるが、現場の分析ではまだまだ有用である。できればほん訳が出版されると良い。

B5版 320頁 49.50ドル (米国外は20%高)

Marcel Dekke, Inc., 270 Madison Avenue,
New York, NY 10016

新刊紹介

Alkalophilic Microorganisms

—A New Microbial World—

HORIKOSHI K. and AKIBA T. 著

著者らは微生物の研究を行っている内に、高アルカリ性の環境下において生育する細菌を見出し、アルカリ性発酵により生産される酵素に注目して研究を現在続けている研究者である。本書は著者らの研究を中心として、好アルカリ性細菌について内外の研究の解説を行ったものである。内容は好アルカリ性微生物の単離と同定、好アルカリ性微生物の生育条件、好アルカリ性細菌の性質、好アルカリ性細菌の分子生物学、好アルカリ性細菌の酵素およびその工業的応用 (洗剤・脱毛剤としてのプロテアーゼ、サイクロデキストリンの生産、セルラーゼの生産、レイヨン廃棄物の利用、抗生物質の生産など) の各章に分かれている。中でも酵素に関する記述に重点がおかれていて、微生物関連の大学関係、学生、研究機関および産業界の方々にとって好著である。

菊版 213ページ, 1982年発行, 定価 5600円

Japan Scientific Societies Press (学会出版
センター(株)) and Springer-Verlag

(〒113 東京都文京区本郷 6-2-10)