魚肉の物性の魚種間の差および鮮度低下による変化

畑 江 敬 子・玉利朱美夏・宮 永 邦 子・松本重一郎

(1984 年 12 月 10 日受理)

Species Difference and Changes in the Physical Properties
of Fish Muscle as Freshness DecreasesKeiko HATAE,*¹ Sumika TAMARI,*¹ Kuniko MIYANAGA,*¹
and Juichiro J. MATSUMOTO*²

The object of this study is to estimate objectively the species difference and the changes in the physical properties of fish meat during the post-harvest storage and to search for the changes of the muscular matters underlying the property changes. Muscles of five fish species: skipjack, flyingfish, common horse mackerel, plaice, and channel rock fish were stored at 4°C for 14 days. Sample fish were taken out in turn and submitted to measurements of physical properties, namely penetration of a needle, firmness and cohesiveness by a General Foods type Texturometer, respectively. The measured values of each measurement item varied from species to species. During the storage, each of them shifted to the values reflecting the softening of the muscle usually observed. The rate of softening varied from species to species. The extractability of myofibrillar-, sarcoplasmic-, alkali-soluble-, and stroma-protein fractions of five fish muscles did not show any significant changes during storage. The SDS-polyacrylamide gel electrophoretic patterns of these extracted protein fractions and of the myofibrillar proteins extracted after M. H. STROMER showed no difference with respect to the storage time. The muscle samples were broken by rotating blades and sieved by 7 mesh, the percentage of the pieces remaining on the sieve decreased with the decrease of the freshness. The muscle samples were homogenized and the length of the myofibril fragments or the sarcomere number of each fragment was estimated under a microscope. The percentage of the small myofibrils varied by the fish species, and the degree of fragmentation increased with the storage period. These results denoted that changes in the physical properties, namely softening of meat, during the post harvest storage were affected more by the changes of the muscle tissue structures than by the changes of the component proteins.

魚肉の鮮度はその食品価値を構成する重要な要素であるが、古くから魚肉を生（なま）で食べる習慣のある我が国では、鮮度に対して特に強い関心が払われている。魚肉の初期変化は、外観、風味、肉質などの変化に表われる。前二者は魚肉中の低分子量成分の消長に関係し、最近ではK値の測定によってその目安が与えられている。

しかしながら、古来より魚肉の新しさの評価を最も大きく支配しているものは肉質のかたさまたは軟らかさである。一般に市場では新鮮な魚肉ほど身のしまった肉質であることから、鮮度を評価するために指で押すことが行われている。このような魚肉の物性評価を客観化するために、いくつかの試みがなされた。田内ら¹⁾は田内式鮮度計により、Torry Research Station では Torry freshness meter²⁾ により、筋肉の弾力をはかった。

MESSTORFF³⁾ は 5 日間氷蔵した 4 種の魚にピストンを押し込み stiffness を測定した。EVERARDO ら⁴⁾ は熱帯性淡水魚を 21 日間氷蔵しパネルに生魚を手でさわった物性を評価尺度法で採点させている。BOTTA ら、^{5,6)} KREMSDORF ら、⁷⁾ LISTON ら⁸⁾ は魚を 15~21 日間冷蔵し加熱後食べさせて官能検査を行っているが、生の魚肉の物性は測定していない。

これらの研究の多くは物性の死後変化を経験的に記述するに止まり、その変化がいかなる内因によって生じたかについて答えているものはほとんど見られない。

他方、魚肉の肉質は魚種によって異なり、カツオ、マグロのように生鮮肉が比較的軟らかい魚種もあれば、ヒラメ、カレイのように比較的かたい魚種もみられる。これらの魚種による差異が何に由来するかについての研究

*¹ お茶の水女子大学食物学科 (Department of Food and Nutrition, Ochanomizu University, Ostuka 2-1-1, Bunkyo, Tokyo 112, Japan).

*² 上智大学化学科 (Department of Chemistry, Sophia University, Kioi 7-1, Chiyoda, Tokyo 102, Japan).

はほとんどみられない。

この研究は、生の魚肉の物性の魚種間の差が何に基くかを求め、またそれぞれの魚種の保藏中の物性変化を客観的に測定し、かつ、その変化が何に基くかを解明することを目的とした。研究にあたっては経験的にかたさの異なる5魚種を選び、それぞれを4°Cで14日間保藏し、物性、タンパク質の状態、魚肉組織のほぐれやすさなどを経時的に測定し、物性変化の客観的認識とそれに関連する内因を求めようとした。

実験方法

試料 物性にちがいがあると思われる5魚種を用いた。各魚種の体重および採取時期は次の通りである。カツオ *Katsuwonus pelamis* (SJ),* 1210-2050 g, 4-6月, トビウオ family *Exocoetidae* (FF),* 200-302 g, 5および6月。マアジ *Trachurus japonicus* (HM),* 134-152 g, 9および10月。マコガレイ *Limanda yokohamae* (PL),* 341-510 g, 7および10月。キチジ *Sabastolobus macrokiri* (DR),* 210-555 g, 12月。カツオとトビウオは和歌山県串本沖で漁獲されたものを氷づめにし、26-30時間後に研究室に搬入した。マアジとマコガレイは活魚を入手した。キチジは千葉県銚子沖で漁獲されたものを氷づめにし12時間後に研究室に搬入した。試料魚は水分の変化を防ぐために、ポリエチレンフィルムで包みポリエチレン袋に入れて4°Cで2週間保藏し、0(または1), 2, 4, 7, 14日後に三枚におろし、毎回水分、pHおよび物性の測定、タンパク質の分析、組織構造の観察を行った。なお外観より見れば、7日後までは加熱後ほぼ食用可能と認められたが、14日後には食用不適と判断された。

水分および pH 水分は105°C、4時間常圧乾燥法で、pHは魚肉10gに50mlの水を加えて15秒間ホモジナイズした後pHメーター(堀場pHメーターF-8L)で測定した。

針入度 針入度試験機(日本油脂試験機工業(株)AN-201型)を用い、JIS K 2207法に従って、背肉を背骨に平行にならぶ10点について20°Cで針入度を測定し平均した。針は先端のところが長さ58mm、直径1mmを用い、重さ8.5gを負荷した。

かたさ 背肉の頭に近い部位から、背骨に平行な直方体(たて×横×高さ=15×15×9mm)を切りとり、20°Cで、テクスチュロメーター(全研、GTX-2型)で測定し、1Vあたりのピークの高さをかたさ(kg)とした。1試料魚につき4個の直方体を測定し平均を求めた。測定条件は、プランジャー:アルミニウム13φ、電圧:カ

ツオは4V、他は2V、クリアランス:1.5mm、チャートスピード:750mm/minである。

凝集性 かたさの場合と同様に切りとった試料をテクスチュロメーターで測定した。試料をプランジャーで2回咀嚼し、1回目に対する2回目のピークの面積比より算出した。測定条件はかたさと同じであるがクリアランスのみ3.0mmとした。

物性はいずれも2~4試料に対する測定値の平均を求めた。

タンパク質の抽出率の測定 Fig. 1のように筋原繊維タンパク質区分(Mfと略す。以下同じ)、筋形質タンパク質区分(Sp)、アルカリ可溶性タンパク質区分(As)、基質タンパク質区分(St)を得た。なおブレンダーは泡止め付きのもの(三光医理化(株))を使用し、実験はすべて4°Cで行った。Mf, Sp, As, 各区分はTCA可溶性窒素を除いた後マイクロケルダール法で窒素を定量した。測定は3試料について行い平均値を求めた。

抽出タンパク質の組成分析 Fig. 1の方法で抽出したMf, SpについてWEBER⁹⁾の方法に準じてSDS-ポリアクリルアミドゲル電気泳動分析を行った。ゲル濃度は7.5%である。またFig. 1の分画によって得たMfはSpが混入している可能性があるため、STOMER¹⁰⁾に従い筋原繊維を精製した。すなわち魚肉10gに0.25Mショ糖、1mm EDTAを含む0.05M トリス塩酸緩衝液(pH 7.6)、70mlを加えホモジナイズ後遠心分離した。沈澱を順次、1mm EDTA-0.05M トリス塩酸緩衝液(pH 7.6)、0.15M KCl、H₂Oと同様に処理して筋原繊維を得、同様に電気泳動分析を行った。

魚肉のほぐれやすさ 魚肉を噛んだときのくずれやすさを目安として下村らの方法¹¹⁾に準じて“ほぐれやすさ”を測定した。すなわち15×15×9mmに切った魚肉のブロック25gを、10,000rpmで回転する刃を持つミル(東芝コーヒーミル、40Vで使用)の中で5分間攪拌して細片とし、300ml 2% NaCl 4% 酢酸溶液中に懸濁した。このものを7メッシュのふるいを通した後遠沈し、7メッシュのふるいを通過しない細片の重量の全体に対する割合を求め、“ほぐれやすさ”とした。

筋原繊維の断片化率 TOKIWA¹²⁾の方法に従い背肉について筋原繊維の長さの分布を測定し、サーコメア数4以下の筋原繊維の全体に対する割合を求めた。

実験結果

水分および pH 水分とpHは5魚種間に差が認められ(Fig. 2)、カツオは水分が少なくpHが低く、キチジは水分が多くpHが高かった。しかし、それぞれの魚種

* () 内は記号、Fig. ではこの記号を用いる。

Fig. 1. Fractionation of fish muscle proteins.

Fig. 2. Water content and pH of five fish species stored at 4°C for 14 days. Symbols are, SJ: skipjack, FF: flyingfish, HM: common horse mackerel, PL: plaice, CR: channel rock fish.

Fig. 3. Changes in the penetration of five fish species during storage at 4°C. Penetration was measured with a penetrometer. Symbols SJ, ..., CR are the same as in Fig. 2.

の値は14日間保蔵中に大きな変化を示さなかった。pHの結果は、内山ら¹³⁾のカツオ、ヒラメを9日または17日間氷蔵した結果およびNGら¹⁴⁾のマナガツオを18日間氷蔵した結果と一致していた。橋口ら¹⁵⁾も、7魚種を5日間冷蔵したときにpHと水分には変化があまりなかったと報告している。

物性 針入度はカツオの数値が最も高くアジがこれに次ぎ、キチジ、マコガレイは数値が低く魚種間の差が示された (Fig. 3)。また、いずれの魚種についても針入度は経時的に高くなった。これは保蔵に伴い経時的に身が軟らかくなることを示していると考えられた。2日後の値が小さいのは死後硬直によるものと考えられる。

テクスチュロメーターによるかたさ (Fig. 4) は、マコ

ガレイ、キチジはかたく、カツオ、マアジは軟らかいことが示された。かたさの順位は針入度と逆であった。すなわちかたい魚種は針が針入しにくい魚種であることが示された。

凝集性はどの魚種においても経時的にわずかに低下し、口に入れて数回噛んだ時にくずれやすくなることが示された (Fig. 5)。

タンパク質の分析 タンパク質の抽出率を5魚種について経時的に測定し、各タンパク質の全量に対する割合を Fig. 6 に示した。いずれのタンパク質も抽出率では保蔵による顕著な影響は見られず、ほぼ一定の値を示した。

これまで氷蔵あるいは冷蔵した魚肉のタンパク質の溶

Fig. 4. Changes in the firmness of five fish species during storage at 4°C. Fish muscle was cut into the block (15×15×9 mm) and determined the hardness with a Texturometer, using an aluminum plunger ϕ 13, under a voltage 4 or 2, and clearance of 1.5 mm. A term firmness was adopted here as to correspond with the hardness after SZCZESNIAK. Symbols SJ, . . . , CR are the same as in Fig. 2.

解性についてはいくつかの報告があり、志水ら¹⁶⁾はハマトビウオなど4魚種を1週間氷蔵し、1週間後に筋原繊維タンパク質の不溶化が著しいことを報告している。また、梅本¹⁷⁾はイシガレイの肉を20gずつ16日間貯蔵し、筋原繊維タンパク質は12日まで減少することを報告した。江平ら¹⁸⁾によれば、イシガレイの5% NaCl可溶区は氷蔵15日までほとんど変化せず、内山ら¹⁹⁾もカツオとヒラメを9日または17日間氷蔵しても0.6M KCl可溶性タンパク質に顕著な変化は認めていない。Ngら¹⁴⁾もハタを18日間氷蔵して筋原繊維タンパク質、筋形質タンパク質にはほとんど差がなかったと報告している。

このようにタンパク質の溶解度が報告により異なるのは塩濃度、pH、組織破碎の方法など抽出方法が異なるため¹⁸⁾と考えられる。Fig. 6で筋原繊維タンパク質が0または1日後より2日後の方が抽出率が高くなっているこ

Fig. 5. Changes in the cohesiveness of five fish species during storage at 4°C. Cohesiveness was determined in the same manner of the firmness except clearance of 3.0 mm. Symbols, SJ, . . . , CR are the same as in Fig. 2.

Fig. 6. Effect of the storage time on the extractability of myofibrillar (Mf)-, sarcoplasmic (Sp)-, alkali-soluble (As)-, stroma (St)-proteins of five fish species. Fractionation was done as in Fig. 1. Symbols, SJ, . . . CR are the same as in Fig. 2.

とは、右田らの報告²⁰⁾と一致している。すなわちイカ肉およびコイ肉で2日目以降の試料は1日目の試料にくらべてミオシン区タンパク質量が増加し、これは肉質が軟らかくなっていたことが原因であると述べている。しかし、それ以外は物性変化を説明できるような著しい変化は認められなかった。

ここで Sp の割合は多い順にカツオ、トビウオ、マア

Fig. 7. SDS-polyacrylamide gel electrophoretic patterns of myofibrillar (Mf)- and sarcoplasmic (Sp)-protein fraction, and myofibrillar protein extracted after STOMER¹⁰⁾ of the Plaice stored at 4°C up to 14 days.

Fig. 8. Changes in the percentage of muscle remaining on the 7 mesh sieve. Symbols, SJ, ..., CR are the same as in Fig. 2. Fish muscle was cut in the block (15×15×9 mm) and 25 g sample was broken in a mill (10,000 rpm) for 5 min followed by suspending in 300 ml 4% CH₃COOH 2% NaCl solution, then sieved and weighed after centrifugation.

ジ、マコガレイ、キチジの順となっている。この順序は先に著者ら²¹⁾が報告した、加熱した時のかたさの順序と一致しており、「ふし」になる魚には非ミオシン区タンパク質が多く、「でんぷ」の原料になる魚には同タンパ

ク質が少ないという高橋の総説²²⁾と一致する。

電気泳動分析の結果は泳動パターンに魚種間で若干差がみられたが、バンドの数が多いため定量的な比較はむずかしく、物性の魚種間の差と関連づけられるような傾向はみとめられなかった。さらに、これらタンパク質組成にはいずれの魚種についても保藏中にほとんど変化が見られなかった。一例として Fig. 7 にマコガレイの電気泳動パターンを示した。

橋口*はソーダガツオを 5°C で 17 日間保藏し、9 日目にミオシン区とトロポミオシン区に変化を認めているが、本研究ではそのような変化は見られなかった。また KREMSDORF ら⁷⁾は、20 日間氷蔵した Pacific rattail の筋原繊維タンパク質と筋形質タンパク質の SDS 電気泳動パターンは、いずれも 15 日目までは変化なく 20 日目に低分子の弱いバンドが見られたと報告している。本研究結果は、14 日間冷蔵する間にタンパク質はそれほど変化を示さず、魚肉の物性の著しい変化を構成タンパク質の変化に関連づけることはできなかった。

組織構造 Fig. 8 に示すように、魚肉を一定の力で攪拌した場合、マアジ、カツオはほぐれやすく、マコガレイ、キチジはほぐれにくい。また、いずれの魚種も経時的にほぐれやすく、細かくちぎれやすくなった。その変化速度は魚種により差があり、マアジ、カツオのようにほぐれやすい魚種は一層ほぐれやすく、マコガレイやキチジのようなほぐれにくい魚種はそれほど変化しなかった。

筋原繊維の断片化率の測定結果は Fig. 9 に見られるように魚種間に明らかな差が認められ、さらに 14 日間冷蔵する間に筋原繊維は一層断片化しやすくなり、その

* 橋口 亮・鈴木和威：日本食品工業学会講演要旨集 p. 25 (1892)。

Fig. 9. Changes in the rate of fragmentation of five fish species during storage at 4°C. Fragmentation was determined by counting the sarcomere number under a microscope of 500 myofibrils which were obtained by homogenizing the fish muscle (10 g) in KCl-EDTA-borate buffer (pH 7.0). The percentage of 1-4 sarcomere myofibrils was shown in the figure. Symbols, SJ, ..., CR are the same as in Fig. 2.

程度は魚種間で明らかな差があった。食肉の熟成に伴う軟化の過程の一つとして、筋原繊維の連続的構造が脆くなり物理的衝撃を加えると容易に切断されて小片となることが知られている。²³⁾ この変化速度が魚種により差があることが示された。

考 察

生の魚肉の物性を針入度、かたさ、凝集性により測定したところ、いずれの測定値も魚種間に差のあることが示された。すなわちカツオは針入度の測定値が大きく、かたさの測定値は小さく、凝集性の測定値は小さかったが、マコガレイ、キチジは、対照的に針入度が小さく、かたさが大きく、凝集性が大きかった。これらの物性測定値はいずれの魚種についても、4°Cで14日間保蔵する間に肉質が軟化する方向に変化した。その変化速度は魚種により差のあることが認められた。

われわれが魚を生で食べるのは新鮮な場合に限られるので、2日後のかたさの順序を見ると、マコガレイ、キチジ、トビウオ、マアジ、カツオとなっている。この順序はわれわれが感覚的に持っている魚肉のイメージと一致する。物性測定値はこのイメージを客観的に表示して

いると認められた。

一般にさしみを作る時は魚種によって切り方を変える習慣があり、カツオは厚く切り、カレイは薄くそぎ作りや細作りとしている。^{24,25)} これは身の軟らかいものは厚く、身のしまったものは薄く切ることで口ざわりを調節しているのである。

タンパク質については定量的にも定性的にも保蔵中に大きな変化が認められなかった。これまで魚肉の物性変化の原因をタンパク質の変化にもとめてタンパク質の抽出率等を測定した研究は少なくないが死後硬直をめぐって抽出率に若干の変化のあること^{26,27)}が報じられた他は、あまり顕著な成果は得られていない。魚肉の物性変化は分子レベルでの変化の測定によっては説明することができない。

一方、肉眼で観察できる程度の組織構造の丈夫さの程度としてとらえた魚肉の“ほぐれやすさ”は、針入度、かたさ、凝集性で測定した物性と関連づけることができた。“ほぐれやすさ”で示された順序は、かたさの順序とはほぼ一致し、針入度とはほぼ逆の順序となった。肉質がかたく針入しにくい魚種はほぐれにくかった。また、いずれの魚種も鮮度低下によりほぐれやすくなることは、針入度、かたさ、凝集性の測定値の変化と対応した。なお、マコガレイでは、保蔵0~2日の間でかたさの変化が著しいにも拘らずほぐれやすさにそれほど大きな差がないのは、2日後でも非常にほぐれにくいために0日目との差が現れなかったためである。魚肉の組織構造の丈夫さの差および鮮度低下により丈夫さが弱まるのが物性の魚種間の差および鮮度低下による軟化としてあらわれたものと考えられる。

このことは光学顕微鏡レベルで観察される微細構造としてとらえられた筋原繊維の断片化率によっても裏づけられた。物性測定でかたさいことが示されたマコガレイ、キチジは、短く断片化した筋原繊維の割合が少なく、トビウオとマアジがそれに次ぎ、カツオは最も多かった。筋原繊維の断片化率はいずれの魚種も保蔵により増加し、物性と同じ傾向を示しながら変化した。

以上のように物性変化は、組織構造の変化で示されたような外力に対する組織構造の脆弱化に関連していると考えられ、構成タンパク質およびその変化の影響よりも組織構造の変化の影響の方が大きいことが示唆された。

要 約

1. カツオ、トビウオ、マアジ、マコガレイ、キチジの5魚種を4°C14日間保蔵し、それらの物性変化を針入度、テクスチュロメーターによるかたさ及び凝集性により測定した。その結果、これらの測定値は魚種間の差を示すことができた。保蔵により物性値は魚肉が軟化す

る方向に移動したが、その変化速度は魚種間に差がみられた。

2. 抽出率および SDS-ポリアクリルアミドゲル電気泳動によるタンパク質組成の変化は、14 日後までほとんどみられなかった。

3. 一定の外力を加えた場合の魚肉のほぐれやすさおよび筋原繊維の断片化率は、魚種間に差があり、いずれの魚種も保藏中に、よりほぐれやすくなり断片化率は大きくなった。その変化速度は魚種間で差が認められた。

4. 以上の結果より、物性測定で示された魚種間の差および鮮度による変化は、構成タンパク質よりも組織構造の差および変化の影響の方が大きいことが示唆された。

試料を御提供いただきました和歌山県参事（経済部担当）広岡茂久氏、和歌山県串本漁業協同組合長吉村宮一氏に感謝いたします。

引用文献

- 1) 田内森三郎・広瀬郁郎・和田英夫：水産講習所研究報告，**26**, 81-87 (1931).
- 2) Torry Research Station Annual Report: 1972, p. 4.
- 3) J. MESSTORFF: in "Fish as Food" (ed. by G. BORGSTROM), Vol. 1, Academic Press, New York, 1961, pp. 390.
- 4) L. M. EVERARDO, D. B. RODRIGUEZ-AMAYA, and M. A. C. MORAES: *J. Food Sci.*, **48**, 1075-1077 (1983).
- 5) J. R. BOTTA and D. H. SHAW: *J. Food Sci.*, **40**, 1249-1252 (1975).
- 6) J. R. BOTTA and D. H. SHAW: *J. Food Sci.*, **41**, 1285-1288 (1976).
- 7) D. L. KREMSDORF, R. V. JOSEPHSON, A. A. SPINDLER, and C. F. RHLEGER: *J. Food Sci.*, **44**, 1044-1048 (1979).
- 8) J. LISTON, J. G. CHAPEL, and J. A. STERN: *Food Technol.*, **15**, 19-22 (1961).
- 9) K. WEBER and M. OSBORN: *J. Biol. Chem.*, **244**, 4406-4412 (1969).
- 10) M. H. STROMER, D. E. GOLL and L. E. ROTH: *J. Cell Biol.*, **34**, 431-445 (1967).
- 11) 下村道子・常木 悦・板橋文代・松本重一郎：調理科学，**17**, 105-112 (1984).
- 12) T. TOKIWA and H. MATSUMIYA: *Bull. Japan. Soc. Sci. Fish.*, **35**, 1099-1109 (1969).
- 13) 内山 均・鈴木たね子・江平重男・野口栄三郎：日水誌，**32**, 280-285 (1966).
- 14) C. S. NG, Y. N. CHIN, P. Y. LIM, C. E. TAN, S. E. YEAP, S. NIKKUNI, and M. BITO: 日水誌，**49**, 769-775 (1983).
- 15) 橋口 亮・鈴木和威・松本文夫：日食工誌，**31**, 1-9 (1984).
- 16) 志水 寛・清水 亘：日水誌，**26**, 806-809 (1960).
- 17) 梅本 滋：東海水研報，**6**, 81-85 (1971).
- 18) 江平重男・内山 均：日水誌，**45**, 121-127 (1979).
- 19) 志水 寛・清水 亘：Mem. Coll. Agric., Kyoto Univ. Special Number, 68-76 (1958).
- 20) 右田正男・松本重一郎・青江憲道・最首とみ子：日水誌，**24**, 51-58 (1958).
- 21) K. HATAE, F. YOSHIMATSU, and J. J. MATSUMOTO: *J. Food Sci.*, **49**, 721-726 (1984).
- 22) 高橋豊雄：ニューフードインダストリー，**2**(9), 38-48 (1960).
- 23) 高橋興威：食品タンパク質の科学—化学性質と食品特性(山内文男編)，食品資材研究会，東京，1983, pp. 176.
- 24) 上田フサ：上田フサのおそうざい手ほどき，女子栄養大学出版部，東京，1981, pp. 106.
- 25) 梅棹忠夫・辻静雄監修：日本の料理 第一巻，pp. 174, 第二巻 pp. 186, 講談社，東京，1975.
- 26) 鈴木たね子・右田正男：日水誌，**28**, 61-72 (1962).
- 27) K. OKUTANI, J. J. MATSUMOTO, and M. MIYATA: The Technology of Fish Utilization, International Symposium, (ed. by R. KREUZER), Fishing News (Books), 1964, pp. 65-67.