

マアジの水産加工原料適性に関する研究

— とくにかまぼこゲル形成能について —

2001年12月

長崎大学大学院
海洋生産科学研究科
大 迫 一 史

目 次

| | 頁 |
|------------------------------------|----|
| 第1章 緒 論 | 26 |
| 第2章 マアジ魚体成分の周年変動 | 29 |
| 2-1 緒 言 | 29 |
| 2-2 実験方法 | 29 |
| 2-3 結果と考察 | 32 |
| 第3章 マアジかまぼこゲル形成能の周年変動 | 37 |
| 3-1 緒 言 | 37 |
| 3-2 実験方法 | 38 |
| 3-3 結果と考察 | 39 |
| 第4章 凍結貯蔵時におけるマアジすり身のゲル形成能の変化 | 47 |
| 4-1 緒 言 | 47 |
| 4-2 実験方法 | 48 |
| 4-3 結果と考察 | 49 |
| 第5章 マアジ肉中の脂肪酸組成の周年変動 | 54 |
| 5-1 緒 言 | 54 |
| 5-2 実験方法 | 55 |
| 5-3 結果と考察 | 56 |
| 第6章 総合考察 | 58 |
| 謝 辞 | 61 |
| 参考文献 | 61 |

略 語 表

本文あるいは図中で用いられている略語の正式名称は以下のとおりである。

| | |
|------|--------------------------------------|
| ATP | : Adenosine triphosphate |
| DHA | : Docosahecanoic acid |
| DM | : Dried matter |
| GSI | : Gonad somatic index |
| kD | : Inactivation rate constant |
| M | : Moles of sugar added to 1 kg of Mf |
| Mf | : Miofibrillar |
| n | : Numbers of fish |
| NMR | : Nuclear magnetic resonance |
| r | : Correlation coefficient |
| Tris | : Tris (hydroxymethyl) aminomethane |

第1章 緒 論

水産物、特に魚介類は、わが国における動物性タンパク質摂取量の約38%を占めており、動物性タンパク源としての魚介類への依存度は依然として高い¹⁾。中でも魚肉はタンパク質食品として量的にも重要な位置を占めており、種々の製品の製造に供されている²⁾。

一方、わが国において、かつては世界一を誇った水揚げもここ数年で減少の一途を辿り、水揚げおよび水揚げ額は平成元年から平成10年でそれぞれ56%および75%にまで落ち込んでいる³⁾。このような状況の中で、水産物の依然として高い需要に応えるため、水産物の輸入量は増大傾向にある⁴⁾。わが国のこのような状況は、長崎県の水産業に如実に現れており、大中型旋網漁業における水揚げ量の減少、以西底曳網漁業の衰退、また、それに伴い水産加工業に対する原料供給は逼迫した状況にある⁵⁾。

わが国において、輸入水産物は、消費者に対してタンパク質を供給するという重要な役割を担っているが、水産物の輸入は、輸入国元における国内需要の増大や資源状況の悪化の両面から中長期的には不安定な要素をはらんでいることは否めない。このようなことから、水産資源の保存・管理と持続的な利用に向けた取り組みを強化していかなければならない。

水産資源の保存・管理と持続的な利用に向けた具体的な取り組みがなされている魚種には現在、サンマ、スケトウダラおよびマアジ等、合計7種があり、これらには国連海洋法条約に基づいた漁獲可能量(TAC)が設定されている。これら魚種の中で、長崎県で水揚げされるマアジは平成11年では全国の水揚げの2割である4万1千トンを占め、これの高度利用化への取り組みは最も重要であると考えられる。

長崎県に水揚げされるマアジは長崎沿岸海域、東

シナ海で漁獲されるものがほとんどであり、これに対馬で水揚げされるものが加わる。長崎および対馬沿岸海域では主に中小型旋網漁業で漁獲され、東シナ海では大中型旋網および以西底曳網漁業で漁獲される。これらは主に漁場に基づいて「クロアジ」、「シロアジ」および「キアジ」⁶⁻¹³⁾などと呼ばれ、呼称の違いで取引価格に差が付けられる。この理由に、マアジの品質がこれら呼称により異なる、すなわち、「キアジ」は最も脂ののりがよく、次いで「シロアジ」で、「クロアジ」は脂ののりが悪いため、とされているが明確な根拠はない。さらに、魚類の粗脂肪含量は産卵期を中心とした周年変動があり、一般に、産卵期前には粗脂肪含量が増大し、産卵期後には減少するとされている¹⁴⁻²²⁾。マアジについての報告例¹⁸⁾もあるが、それは若狭湾のものに限定されており、さらに、春夏秋冬の4期の調査に留まり、産卵期前後を含んだ連続的なものではない。また、粗脂肪含量は摂餌活動に影響する海水の温度や餌料生物の多寡などの違いで同一魚種でも異なることが想定されるため、複数の漁場で漁獲される長崎県産マアジについては漁場毎の一般成分の周年変動についての知見が必要であると考えられた。これを明らかにすることは、マアジのかまぼこ原料適性を究明していく上で重要であるのみならず、マアジを持続的に利用していく上で、原料の特性に応じた加工品の合理的な選択をするための重要な基礎知見となる。実際、マアジの利用は、大きく練り製品と塩干品に分けられるが、これら両者に適する原料の特性は大きく異なる。すなわち、練り製品に望まれる原料特性としては、練り製品に加工した段階で足が強いことは当然として、その主成分である粗タンパク質含量が高いことが、また、冷凍すり身にした場合その保存性を見地から粗脂肪含量が低いことが挙げられるのに対して、塩干品には粗脂肪含量が高いことが望まれる。

次に、かまぼこ原料として重要な粗タンパク質含量と同時に重要な要素はその質である。志水ら²³⁾はマサバのゲル形成能を周年にわたって調査し、産卵期前にはゲル形成能が向上し、ゼリー強度と坐り指数の上昇、および戻り指数の低下が認められるが、産卵期後にはゼリー強度と坐り指数の低下、および戻り指数の上昇が認められることを報告しており、この原因に産卵期前後での魚体筋肉中のpHの変動を挙げている。また、黒川²⁴⁾もマイワシについて同様な調査を行い、マサバと同様な傾向があったことを報告しているが、この原因については特定されていない。ゲル形成能から若干話題がそれるが、大竹¹⁶⁾は、産卵期後のスケトウダラから製造したフィーレに見られる身割れについて魚体の栄養状態との関わりで研究を行っており、この原因として、スケトウダラは産卵前には絶食し、産卵後に体力の回復に伴って過剰摂餌を行うことを挙げている。過剰摂餌により、筋肉中のグリコーゲン含量が増大し、これが死後、乳酸に変化するため、筋肉中のpHの激しい低下を引き起こし、これがタンパク質を変性させるため身割れが生じるとしており、このような現象は魚類のゲル形成能の産卵期前後での変動と深く関係があることが推定される。このように、ゲル形成能の季節的変動の機構については明らかではないものの、ゲル形成能の季節的変動が明らかにされていないマアジにおいて、その様相を明らかにし、商品として不適当なゲルを形成する時期を呈示して水産加工業界に普及していくことが必要不可欠であると考えられた。

魚類のゲル形成能の季節的変動を明らかにし、良好なゲルが得られる時期を特定した場合、次に問題になるの良好なかまぼこ原料である魚肉をいかにして保存し、周年安定した商品の供給ができるかということである。魚肉の凍結および凍蔵中の変性防止については、西谷ら²⁵⁻²⁷⁾がスケトウダラの冷凍すり

身化に成功し、業界に大きな影響を与えた。スケトウダラは鮮度低下が速く、しかも凍結変性を受けやすいため資源が豊富であるにも関わらず不味い魚として省みられなかったが、変性抑制物質として糖を加えたすり身化の成功によりねり製品原料としての付加価値を賦与し、水産業界にとって画期的な技術となった。この冷凍すり身化技術は筋肉タンパク質の基礎的な研究から得られたものというよりはむしろ経験的な事実の積み重ねによって得られたものと考えるのが至当であり、これを契機として、凍結および凍蔵中の筋肉タンパク質に対する変性抑制物質の保護効果について多く研究がなされるようになった。

タンパク質の変性抑制としての糖質の研究は、魚肉すり身^{25,28,29)}、カタラーゼ^{30,31)}、ミオシン^{32,33)}、アクトミオシン³⁴⁻³⁷⁾、筋原繊維³⁸⁾を用いてなされており、それらの結果から効果が認められたものは、糖類ではスクロース、グルコース、ガラクトースおよびラクトース、糖アルコールではソルビトールおよびキシリトールであり、多糖類ではイヌリンまでの大きさ（重合度約30）までである。また、近年、それまで高価であったため、食品には用いられていなかったトレハロース（ α -D-glucopyranosyl-1, 1- α -D-glucopyranoside）が、微生物を用いた製法の確立により、安価に出回るようになった。トレハロースは、グルコースからなる二糖類であり、酵母類およびキノコ類に多く含まれる³⁹⁾が、他のオリゴ糖と比較して水をトリジマイド構造化し、安定した水和殻を形成する効果が高いこと、すなわち水分子の動きを抑制することが明らかにされており⁴⁰⁾、すり身の冷凍変性抑制効果を有することが推定された。

凍結におけるタンパク質と水、あるいは変性抑制物質存在下での水とタンパク質とのかかわり合いについては、主として系中の不凍水量の観点から研究されている。冷凍すり身に含まれる水のある部分は

氷結晶化し難いことが知られており、このような水は不凍水とよばれるとともに、一般に結合水と結びつけて考えられている。不凍水はある条件下（氷点下のある温度）で凍結していない水（unfrozen water）、すなわち凍りにくい水と本質的に凍らない水（unfreezable water）の2者に区別して考えられている⁴¹⁾。

不凍水量は凍結点以下の状態を測定するため、機器分析に委ねる部分が多く、1950年代より熱分析、誘電分散、NMRなどの測定方法を用いて行われるようになった。熱分析では Riedel⁴²⁾ がタラ肉中の水の氷結率を種々の温度で測定し、その曲線の外挿から、絶対零度でも凍らない水が存在することを推察している。また、Duckworth⁴³⁾、Parducci ら⁴⁴⁾ はタラ肉、卵白中の、また、Berlirin ら⁴⁵⁾ は牛血清アルブミン中の不凍水量を求めている。誘電分散法では Harvey ら⁴⁶⁾ がリゾチーム中の不凍水量を測定している。NMR 法では Sussman ら⁴⁷⁾ がタラ肉中の、また、Kuntz ら⁴⁸⁾ が各種タンパク質や核酸中の不凍水量を測定している。一方、本論文では示差走査熱量分析計（DSC）による不凍水量の測定法を用いた。これは、熱的に中性な基準物質と試料を昇降温させたときに生じる両者の差を熱エネルギー差を検出するものである。

上記のことから、良好なゲル形成能を長期間保持するには、マアジ肉に晒処理を施したものに、トレハロースを含む数種の糖および糖アルコールを添加して凍結保存し、ゲル形成能、筋原繊維 Ca-ATPase 活性および不凍水量を経時的に調査し、3者の相関について論ずることが必要であると考えた。

晒処理時における加工残滓に対する取り組みは、近年のエコロジーブームを背景として盛んになってきており、長崎県内のかまぼこ業界の中にも晒処理時に排出される粗脂肪やエキス成分に付加価値をつけて高度有効利用する動きがある。一方、食に対す

る健康志向の高まりは消費者の間で顕著であり、これにより、特に機能性物質が重要視されている。陸上動物脂の代表である牛脂や豚脂の主成分はオレイン酸やパルミチン酸で、植物油である大豆油や紅花油の主成分はリノール酸やオレイン酸である⁴⁹⁾。陸上生物由来の脂質では主成分となる脂肪酸は炭素数18以下の短鎖であり、飽和酸やモノエン酸が主要成分であり、不飽和度もトリエン酸程度までしかない⁴⁹⁾。これらの脂肪酸は、二重結合が少なく酸素に対して比較的安定なため、食品として多く用いられてきた。また、陸上生物の脂質は一般に成分組成にはほとんど個体差が無く、地域や季節を問わず種として一定であり、不飽和酸は n-6 系のものが主体である⁴⁹⁾。ところが最近、脂質摂取量の増加とともに飽和酸や n-6 不飽和酸の危険性が明らかになり、それらと拮抗的に働く n-3 系高度不飽和脂肪酸を豊富に含む魚油は健康志向が高まるなか、消費者の間で特に DHA が急速に注目されはじめた⁵⁰⁾。

魚類筋肉中の脂肪酸組成には周年変動があることが明らかにされており、これらは産卵期、冬季の餌生物の減少に対する適応等と結びつけて論じられている。カムチャッカニシン⁵¹⁾ では、産卵期前後で変動の激しいのはモノエン酸と飽和酸であることが明らかにされており、タイセイヨウニシン⁵²⁾ では冬季に向けてポリエン酸が蓄積することが明らかにされている。また一方で、魚体筋肉中の脂肪酸組成は餌料生物に由来する⁵³⁾ ことが明らかにされているため、複数の漁場で漁獲され水揚げされる長崎県のマアジの場合、漁場により脂肪酸組成が異なることが想定され、これらを明らかにすることにより、晒処理時に生じる粗脂肪から有用成分である高度不飽和脂肪酸を効率良く回収できると考えた。

以上のような観点から、本論文では、とくにゲル形成能を中心に、マアジの水産加工原料適性を明らかにするため、マアジ魚体成分の周年変動（第2章）、

マアジかまぼこゲル形成能の周年変動（第3章）、凍結貯蔵時におけるマアジすり身のゲル形成能の変化（第4章）およびマアジ筋肉中の脂肪酸組成の季節的変動（第5章）について述べる。

第2章 マアジ魚体成分の周年変動

2-1 緒言

マアジには回遊性群と非回遊性群（瀬付き）があり、両者の体色の違いから前者を「クロアジ」、後者を「キアジ」と称して区別し⁶⁻⁸⁾、両者には魚体の体高⁶⁾や粗脂肪含量にも違いがあることが指摘されている。一方、長崎県に水揚げされるマアジについては、文献の記述内容⁹⁻¹³⁾や魚市場関係者への聴取結果には若干の違いがあるものの総体的には五島灘を含む長崎沿岸海域で中小型旋網が漁獲するものを「シロアジ」、東シナ海で大中型旋網が漁獲するものを「クロアジ」、同海域で以西底曳網が漁獲するものには「シロアジ」と「クロアジ」があるとし、対馬沿岸海域で中小型旋網が漁獲するものは「キアジ」と称している。これらは、その名のと通りの体色をしており、体長に対する体高比（「シロアジ」と「キアジ」は「クロアジ」に比較して体高が高いと言われる）が異なり、粗脂肪含量は「キアジ」が最も高く、次いで「シロアジ」、「クロアジ」の順であるとされ、取引価格に差がつけられている^{9,10)}。しかし、「キアジ」は「クロアジ」よりも体長に対する体高が高いという数値的根拠を示す報告⁶⁻⁸⁾はあるが、体色と魚体筋肉成分についての数値に基づいた知見は無いようである。さらに、マアジやマイワシなどの多獲性魚類は、季節により粗脂肪含量が変動することが知られているが¹⁴⁻²²⁾、マアジについて漁場別に季節的変動を比較した報告は見られない。

よって本研究では、漁場別にマアジ体成分の季節的変動および魚体の色の比較を行なった。

2-2 実験方法

供試魚 1997年の7月から2000年の5月にかけて長崎および対馬沿岸海域で中小型旋網漁船が、東シナ海で大中型旋網および以西底曳網漁船が Fig. 1 に示した漁場で漁獲したマアジ (*Horse mackerel*, *Trachurus japonicus*) を用いた（以下、順に「長崎産」、「対馬産」、「大中網産」および「以西底曳産」とする）。長崎産、大中網産および以西底曳産は水揚げ当日のもの、対馬産は水揚げ後、氷蔵1～2日経過したもの、または加工業者が1～3ヶ月間冷凍保管したものを用いた。長崎産と以西底曳産の供試魚はほぼ周年得られたが、大中網産と対馬産の試料については、東シナ海における大中型旋網漁業の操業時期が4月から10月であるため、また、対馬は遠隔で、操業船の数が少ないなどのため周年の供試魚は

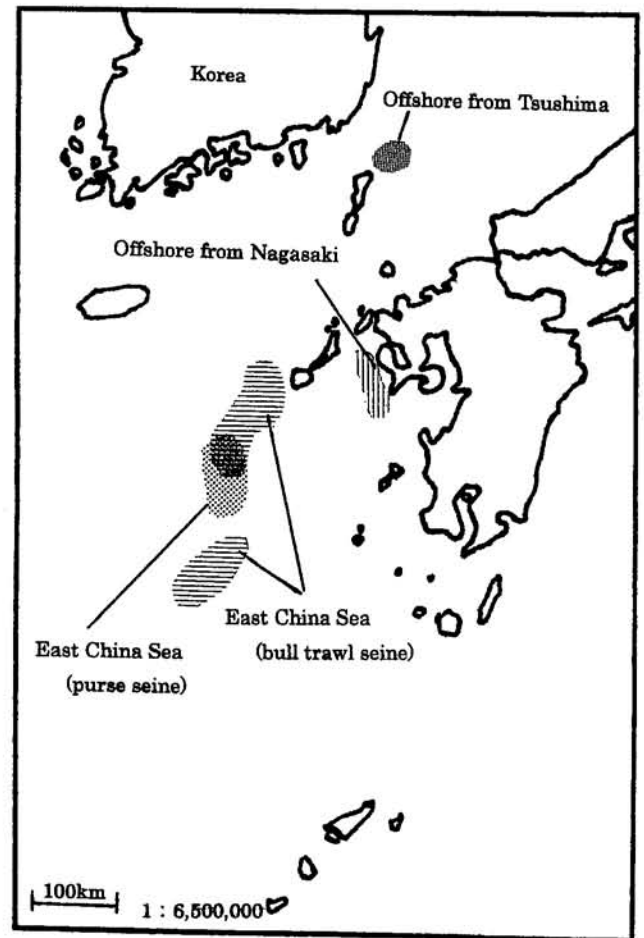


Fig. 1. Fishing areas of horse mackerel.

得られなかった。

生殖腺指数および肥満度の測定 尾叉長，体高および体重を測定後，尾叉長 (Fig. 2) が24cm以上のものを「大」，20~24cmものを「中」，20cm以下のものを「小」として分別し，供試尾数が10尾以下の場合は全てを，それ以上の場合は10尾を無作為に抽出し，生殖腺重量を測定後，生殖腺指数および肥満度を次式で求めた。

$$\text{生殖腺指数} = 100 \times \text{生殖腺重量} / \text{体重}$$

$$\text{肥満度} = 1000 \times \text{体重} / \text{尾叉長の3乗}$$

魚体成分分析試料の調製 「大」，「中」および「小」別に分別した供試魚の，鱗，内臓および骨を取り除き，表面の粘質物や水滴を十分に拭き取ったのち，Fig. 2に示すように背肉部を切り取った。それぞれの個体をまとめて皮付きのままミートチョッパーで細切し，均一化したものを分析に供した。なお，供試魚の概要を Table 1~4 に示した。

一般成分およびエキス態窒素量の分析 水分は，試料10gを精秤後，105℃で恒量にして，粗灰分は水分測定後の試料を600℃で灰化恒量して求めた。粗脂肪含量は Folch ら⁵⁴⁾の方法，粗タンパク質含量は Kjeldahl 法⁵⁵⁾で求めた全窒素量に6.25を乗じて算出した。また，エキス態窒素量は Konosu ら⁵⁶⁾の方法でエキス分を抽出後，Kjeldahl 法⁵⁵⁾で求めた。

色調の測定 無作為に抽出した10尾について，Fig. 3に示した2部位について色彩色差計 (ミノルタカメ

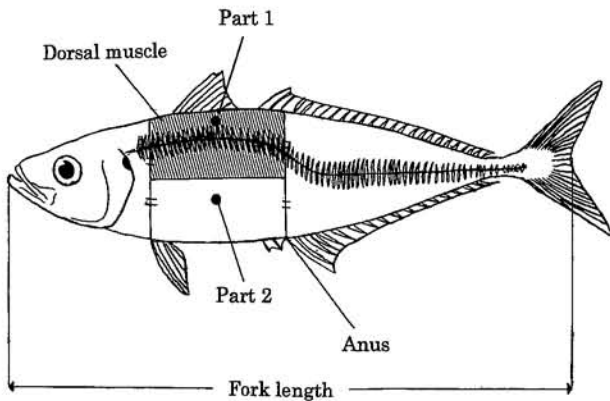


Fig. 2. Parts of dorsal muscle and colors measured.

Table 1. Body size, GSI, condition factor, general components and extractive nitrogen of horse mackerel caught offshore from Nagasaki

| More than 24cm in fork length | | | | | | | | | | | |
|-------------------------------|----|------------------|-----------------|-----------------|-------------------|--------------------------------|--------------|-----------------|-------------------|---------------|-------------------------------|
| Date sampled | n | Fork length (cm) | Body Depth (cm) | Body weight (g) | GSI ¹⁾ | Condition factor ²⁾ | Moisture (%) | Crude lipid (%) | Crude protein (%) | Crude ash (%) | Extractive nitrogen (mg/100g) |
| 1998/ 21st Oct. | 45 | 24.5 ± 0.6 | 6.7 ± 0.4 | 221.6 ± 17.3 | 0.1 ± 0.1 | 14.2 ± 0.6 | 73.8 | 5.2 | 20.5 | 1.4 | 399.5 |
| 1999/ 20th Aug. | 5 | 27.4 ± 1.1 | 7.2 ± 0.2 | 296.0 ± 21.5 | 0.1 ± 0.1 | 14.5 ± 0.8 | 72.0 | 6.3 | 20.6 | 1.4 | 365.0 |
| 7th Sep. | 5 | 25.7 ± 0.6 | 6.8 ± 0.1 | 247.2 ± 17.6 | 0.2 ± 0.1 | 14.6 ± 0.6 | 67.3 | 12.0 | 19.4 | 1.3 | 341.5 |
| 16th Sep. | 5 | 24.7 ± 0.5 | 6.8 ± 0.4 | 236.7 ± 18.5 | 0.3 ± 0.2 | 15.6 ± 1.1 | 69.9 | 8.6 | 21.0 | 1.3 | 392.8 |
| 29th Sep. | 5 | 28.4 ± 0.6 | 7.3 ± 0.2 | 325.8 ± 14.0 | 0.2 ± 0.2 | 14.2 ± 0.3 | 68.1 | 10.9 | 20.9 | 1.3 | 343.2 |
| 5th Nov. | 5 | 24.9 ± 0.4 | 6.2 ± 0.2 | 206.8 ± 10.0 | 0.3 ± 0.0 | 13.4 ± 0.4 | 75.5 | 2.6 | 21.4 | 1.6 | 391.8 |
| 18th Nov. | 5 | 25.2 ± 1.0 | 6.6 ± 0.2 | 223.9 ± 19.3 | 0.4 ± 0.5 | 14.0 ± 0.6 | 73.7 | 4.4 | 20.8 | 1.5 | 361.9 |
| 2000/ 12th Jan. | 5 | 26.9 ± 0.3 | 7.0 ± 0.1 | 283.2 ± 13.8 | 3.5 ± 0.8 | 14.5 ± 0.5 | 69.9 | 8.7 | 20.7 | 1.4 | 325.2 |
| 28th Mar. | 5 | 25.3 ± 0.7 | 7.0 ± 0.3 | 244.8 ± 20.5 | 6.5 ± 1.2 | 15.1 ± 0.5 | 72.8 | 5.8 | 20.0 | 1.3 | 361.4 |
| 13th Apr. | 3 | 24.7 ± 0.7 | 5.8 ± 0.2 | 186.3 ± 10.1 | 3.8 ± 2.6 | 12.4 ± 0.8 | 75.5 | 2.0 | 21.8 | 1.4 | 344.6 |
| 17th Apr. | 5 | 25.4 ± 0.3 | 6.4 ± 0.2 | 231.6 ± 2.6 | 5.4 ± 1.3 | 14.1 ± 0.6 | 75.4 | 3.1 | 20.3 | 1.4 | 365.7 |
| Average | | 25.7 | 6.7 | 245.8 | - | 14.2 | 72.2 | 6.3 | 20.7 | 1.4 | 363.0 |
| 20 to 24cm in fork length | | | | | | | | | | | |
| 1998/ 22nd Jun. | 45 | 21.2 ± 0.9 | 5.3 ± 0.3 | 135.6 ± 16.2 | 0.1 ± 0.2 | 14.3 ± 1.1 | 71.8 | 7.5 | 20.5 | 1.4 | 436.3 |
| 28th Jul. | 45 | 22.2 ± 0.9 | 5.5 ± 0.4 | 167.7 ± 22.9 | 0.1 ± 0.1 | 15.1 ± 0.1 | 74.2 | 4.6 | 20.8 | 1.6 | 444.1 |
| 27th Aug. | 45 | 21.7 ± 0.8 | 5.5 ± 0.2 | 140.0 ± 11.0 | 0.1 ± 0.1 | 13.7 ± 0.8 | 75.2 | 3.5 | 20.7 | 1.5 | 422.0 |
| 22nd Sep. | 45 | 23.0 ± 0.6 | 5.7 ± 0.2 | 177.7 ± 11.3 | 0.2 ± 0.2 | 14.7 ± 0.5 | 71.4 | 7.4 | 20.6 | 1.4 | 426.2 |
| 1999/ 6th Jul. | 10 | 21.4 ± 0.6 | 5.5 ± 0.3 | 142.7 ± 14.3 | 0.0 ± 0.1 | 14.6 ± 0.9 | 69.7 | 8.5 | 20.5 | 1.4 | 398.0 |
| 15th Jul. | 7 | 23.0 ± 0.8 | 6.0 ± 0.1 | 183.3 ± 12.7 | trace | 15.0 ± 0.6 | 68.8 | 10.6 | 19.2 | 1.3 | 345.3 |
| 11th Aug. | 19 | 20.6 ± 0.5 | 5.3 ± 0.2 | 128.6 ± 8.8 | 0.3 ± 0.2 | 14.8 ± 0.5 | 72.0 | 7.4 | 20.5 | 1.3 | 374.1 |
| 20th Aug. | 10 | 21.7 ± 0.9 | 6.2 ± 0.4 | 157.0 ± 21.5 | 0.0 ± 0.0 | 15.4 ± 0.6 | 72.1 | 6.4 | 20.5 | 1.4 | 389.7 |
| 9th Sep. | 20 | 22.1 ± 0.6 | 6.1 ± 0.3 | 158.5 ± 15.0 | 0.0 ± 0.1 | 14.7 ± 0.9 | 72.9 | 5.4 | 20.5 | 1.5 | 388.8 |
| 29th Sep. | 7 | 21.4 ± 0.9 | 5.5 ± 0.3 | 145.0 ± 20.7 | 0.1 ± 0.2 | 14.6 ± 0.6 | 73.1 | 5.9 | 21.6 | 1.5 | 366.3 |
| 18th Oct. | 20 | 22.1 ± 0.7 | 5.9 ± 0.3 | 158.2 ± 17.0 | 0.1 ± 0.2 | 14.7 ± 0.6 | 71.0 | 7.1 | 21.4 | 1.4 | 338.0 |
| 19th Nov. | 5 | 20.6 ± 0.4 | 5.1 ± 0.2 | 117.9 ± 5.1 | 0.2 ± 0.2 | 13.5 ± 0.6 | 72.1 | 6.7 | 20.1 | 1.5 | 339.7 |
| 30th Nov. | 10 | 21.6 ± 0.7 | 5.5 ± 0.3 | 145.4 ± 16.9 | 0.5 ± 0.3 | 14.3 ± 1.1 | 73.7 | 5.2 | 20.3 | 1.4 | 341.4 |
| 9th Dec. | 7 | 21.2 ± 0.8 | 5.3 ± 0.3 | 126.0 ± 19.4 | 0.2 ± 0.3 | 13.1 ± 0.7 | 75.1 | 4.1 | 21.1 | 1.5 | 358.8 |
| 14th Dec. | 19 | 21.9 ± 0.6 | 5.4 ± 0.2 | 141.7 ± 12.0 | 0.7 ± 0.4 | 13.5 ± 0.7 | 73.1 | 5.4 | 20.8 | 1.5 | 361.9 |
| 2000/ 26th Feb. | 10 | 21.7 ± 0.7 | 5.5 ± 0.2 | 143.1 ± 17.9 | 4.8 ± 1.2 | 13.9 ± 0.5 | 76.0 | 2.8 | 20.5 | 1.5 | 351.5 |
| 9th Mar. | 10 | 21.0 ± 0.9 | 5.3 ± 0.3 | 135.5 ± 16.0 | 6.2 ± 1.0 | 14.6 ± 0.9 | 75.8 | 2.3 | 20.9 | 1.4 | 355.0 |
| 13th Apr. | 7 | 22.0 ± 1.1 | 5.4 ± 0.2 | 146.6 ± 18.5 | 4.5 ± 1.2 | 13.8 ± 0.9 | 73.3 | 5.0 | 20.4 | 1.4 | 359.9 |
| 26th May | 7 | 20.3 ± 0.4 | 5.0 ± 0.2 | 119.7 ± 7.8 | 2.0 ± 1.0 | 14.4 ± 0.5 | 72.2 | 7.3 | 20.7 | 1.4 | 343.7 |
| Average | | 21.6 | 5.5 | 145.8 | - | 14.4 | 72.8 | 5.9 | 20.6 | 1.4 | 375.8 |

Table 3. Body size, GSI, condition factor, general components and extractive nitrogen of horse mackerel caught in the East China Sea (purse seine)

| 20 to 24cm in fork length | | | | | | | | | | | | |
|-------------------------------|--------|------------------|-----------------|-----------------|-------------------|--------------------------------|--------------|-----------------|-------------------|---------------|-------------------------------|--|
| Date sampled | | Fork length (cm) | Body Depth (cm) | Body weight (g) | GSI ^{*1} | Condition factor ^{*2} | Moisture (%) | Crude lipid (%) | Crude protein (%) | Crude ash (%) | Extractive nitrogen (mg/100g) | |
| 1997/ 5th Jul. | n = 45 | 21.3 ± 1.6 | 5.5 ± 0.2 | 146.2 ± 10.4 | 0.0 ± 0.1 | 15.2 ± 0.7 | 68.2 | 12.5 | 19.2 | 1.2 | 376.4 | |
| 27th Aug. | n = 45 | 20.6 ± 1.1 | 5.1 ± 0.2 | 129.3 ± 21.1 | 0.2 ± 0.2 | 14.4 ± 0.6 | 70.9 | 9.3 | 19.4 | 1.3 | 349.1 | |
| 26th Sep. | n = 45 | 21.5 ± 0.8 | 5.2 ± 0.2 | 132.7 ± 16.4 | 0.2 ± 0.3 | 13.4 ± 0.8 | 71.9 | 7.2 | 19.6 | 1.5 | 345.8 | |
| 24th Oct. | n = 45 | 21.8 ± 0.5 | 5.3 ± 0.1 | 145.1 ± 11.6 | 0.1 ± 0.1 | 14.0 ± 0.8 | 72.1 | 8.0 | 19.3 | 1.5 | 369.4 | |
| 1998/ 23rd Apr. | n = 45 | 20.8 ± 0.8 | 5.0 ± 0.2 | 131.2 ± 13.5 | 0.3 ± 0.6 | 14.6 ± 0.9 | 74.7 | 4.7 | 20.2 | 1.5 | 399.1 | |
| 21st May | n = 45 | 20.7 ± 0.4 | 5.2 ± 0.1 | 131.9 ± 8.1 | 0.2 ± 0.2 | 14.9 ± 0.6 | 71.4 | 8.2 | 20.0 | 1.4 | 378.2 | |
| 18th Jun. | n = 45 | 21.0 ± 0.9 | 5.3 ± 0.1 | 138.0 ± 9.8 | 0.2 ± 0.2 | 14.9 ± 1.0 | 69.4 | 10.7 | 19.4 | 1.3 | 397.3 | |
| 1999/ 21st Jul. | n = 10 | 22.3 ± 0.4 | 5.2 ± 0.2 | 154.4 ± 8.3 | 0.1 ± 0.1 | 13.9 ± 0.3 | 71.7 | 7.5 | 19.8 | 1.3 | 324.8 | |
| 2000/ 11th May | n = 8 | 20.5 ± 0.5 | 5.2 ± 0.2 | 125.0 ± 11.4 | 0.7 ± 0.7 | 14.4 ± 0.6 | 70.1 | 8.3 | 20.3 | 1.4 | 346.8 | |
| Average | | 21.2 | 5.2 | 137.1 | - | 14.4 | 71.2 | 8.5 | 19.7 | 1.4 | 365.2 | |
| Less than 20cm in fork length | | | | | | | | | | | | |
| 2000/ 11th May | n = 8 | 18.8 ± 0.6 | 4.7 ± 0.1 | 96.0 ± 7.4 | 0.1 ± 0.2 | 14.5 ± 0.6 | 70.1 | 9.0 | 19.8 | 1.4 | 375.9 | |

Data are the Mean ± Standard deviation. All samples were caught by large- and medium- type purse seiners.

*¹ and *² are the same as in Table 1.

Table 4. Body size, GSI, condition factor, general components and extractive nitrogen of horse mackerel caught offshore from Tsushima

| More than 24cm in fork length | | | | | | | | | | | | |
|-------------------------------|--------|------------------|-----------------|-----------------|-------------------|--------------------------------|--------------|-----------------|-------------------|---------------|-------------------------------|--|
| Date sampled | | Fork length (cm) | Body Depth (cm) | Body weight (g) | GSI ^{*1} | Condition factor ^{*2} | Moisture (%) | Crude lipid (%) | Crude protein (%) | Crude ash (%) | Extractive nitrogen (mg/100g) | |
| 1997/ 7th Nov. | n = 45 | 24.5 ± 1.0 | 6.2 ± 0.2 | 194.1 ± 11.5 | 0.3 ± 0.1 | 13.3 ± 0.4 | 76.2 | 3.1 | 19.7 | 1.6 | 361.5 | |
| 17th Dec. | n = 45 | 24.9 ± 1.4 | 6.0 ± 0.3 | 207.2 ± 27.4 | 0.3 ± 0.3 | 13.5 ± 0.8 | 75.1 | 4.5 | 20.7 | 1.4 | 371.5 | |
| 1999/ 20th Aug. | n = 7 | 24.9 ± 0.9 | 6.4 ± 0.2 | 228.4 ± 18.7 | 0.0 ± 0.1 | 14.9 ± 0.5 | 68.3 | 12.5 | 17.8 | 1.2 | 348.3 | |
| 20th Sep. | n = 7 | 29.1 ± 1.2 | 7.4 ± 0.2 | 338.9 ± 29.5 | 0.3 ± 0.1 | 13.7 ± 0.8 | 68.0 | 11.9 | 19.2 | 1.3 | 321.4 | |
| 29th Oct. | n = 8 | 25.1 ± 0.8 | 6.4 ± 0.2 | 222.5 ± 16.4 | 0.2 ± 0.3 | 14.0 ± 0.5 | 75.1 | 4.5 | 19.5 | 1.3 | 360.6 | |
| Average | | 25.7 | 6.5 | 238.2 | - | 13.9 | 72.5 | 7.3 | 19.4 | 1.4 | 352.7 | |
| 20 to 24cm in fork length | | | | | | | | | | | | |
| 1998/ 30th May | n = 45 | 20.5 ± 1.2 | 5.0 ± 0.3 | 135.0 ± 22.7 | 0.2 ± 0.1 | 15.5 ± 1.0 | 71.5 | 8.7 | 19.6 | 1.3 | 360.2 | |
| 4th Aug. | n = 45 | 21.3 ± 1.1 | 5.4 ± 0.3 | 139.5 ± 21.5 | 0.2 ± 0.1 | 14.4 ± 0.5 | 68.8 | 11.8 | 19.2 | 1.4 | 383.7 | |
| 1999/ 20th Aug. | n = 7 | 23.5 ± 0.6 | 6.0 ± 0.2 | 187.2 ± 17.4 | 0.1 ± 0.3 | 14.4 ± 0.6 | 69.7 | 10.6 | 18.4 | 1.2 | 346.6 | |
| 20th Sep. | n = 1 | 23.9 ± - | 6.2 ± - | 194.2 ± - | trace | 14.2 ± - | 73.7 | 5.4 | 19.9 | 1.3 | 347.4 | |
| 2000/ 3rd May | n = 6 | 20.7 ± 0.4 | 5.4 ± 0.1 | 149.2 ± 7.8 | 0.1 ± 0.1 | 17.0 ± 0.9 | 61.9 | 18.5 | 17.5 | 1.2 | 325.6 | |
| 8th Aug. | n = 9 | 20.7 ± 0.8 | 5.3 ± 0.2 | 128.3 ± 12.4 | trace | 14.4 ± 0.8 | 73.4 | 6.3 | 20.0 | 1.3 | 368.0 | |
| Average | | 21.8 | 5.6 | 155.6 | - | 15.0 | 69.8 | 10.2 | 19.1 | 1.3 | 355.2 | |
| Less than 20cm in fork length | | | | | | | | | | | | |
| 1998/ 29th Apr. | n = 45 | 18.5 ± 1.4 | 4.4 ± 0.4 | 91.3 ± 21.1 | 0.4 ± 0.7 | 14.3 ± 1.1 | 69.0 | 11.2 | 19.5 | 1.3 | 370.3 | |
| 2000/ 19th Mar. | n = 9 | 19.3 ± 0.4 | 4.9 ± 0.2 | 106.7 ± 7.9 | 0.1 ± 0.1 | 14.9 ± 0.8 | 70.7 | 9.0 | 19.9 | 1.3 | 372.0 | |
| 7th Apr. | n = 9 | 19.2 ± 0.4 | 4.9 ± 0.2 | 116.5 ± 7.3 | trace | 16.3 ± 0.6 | 67.8 | 11.9 | 19.1 | 1.2 | 368.2 | |
| 15th Jun. | n = 10 | 19.3 ± 0.9 | 5.0 ± 0.3 | 122.8 ± 18.4 | trace | 17.1 ± 0.9 | 59.0 | 23.7 | 17.6 | 1.2 | 294.0 | |
| Average | | 19.1 | 4.8 | 109.3 | - | 15.7 | 66.6 | 14.0 | 19.0 | 1.2 | 351.1 | |

Data are the Mean ± Standard deviation. All samples were caught by medium- and small- type purse seiners.

*¹ and *² are the same as in Table 1.

ラ製 CR-300A 型) で L*, a* および b* 値を求め、彩度 (C*値) を次式で算出した。

$$C^* = \sqrt{a^{*2} + b^{*2}}$$

有意差の検定 直線間の比較は共分散分析により、また、平均値の比較は最小有意差法⁵⁷⁾ による検定を行ない、ともに有意水準 5% 以下を有意差とした。

2-3 結果と考察

魚体サイズ、生殖腺指数および肥満度 Table 1~4 に漁場別、東シナ海産については漁業種類別に魚体サイズ、生殖腺指数、肥満度および体成分を示した。

大中網産では「大」が得られず、また、「小」が1回しかサンプリング出来なかったが、他は「大」、「中」および「小」別に漁場間ではほぼ同程度の尾叉長のものを得ることができた。大中網産は、周年を通して尾叉長が18.0~22.8cmのものしか得られなかったため、長崎産、以西底曳産および対馬産もこの範囲の尾叉長のものについて、Fig. 4 に尾叉長と体高の関係を示した。

対馬産は尾叉長の分散が他と異なるため、比較は行なわないが、これを除く3者で回帰直線を比較したところ、長崎産は他に比較して傾きは有意に大きく、切片は小さかったが、以西底曳産と大中網産の

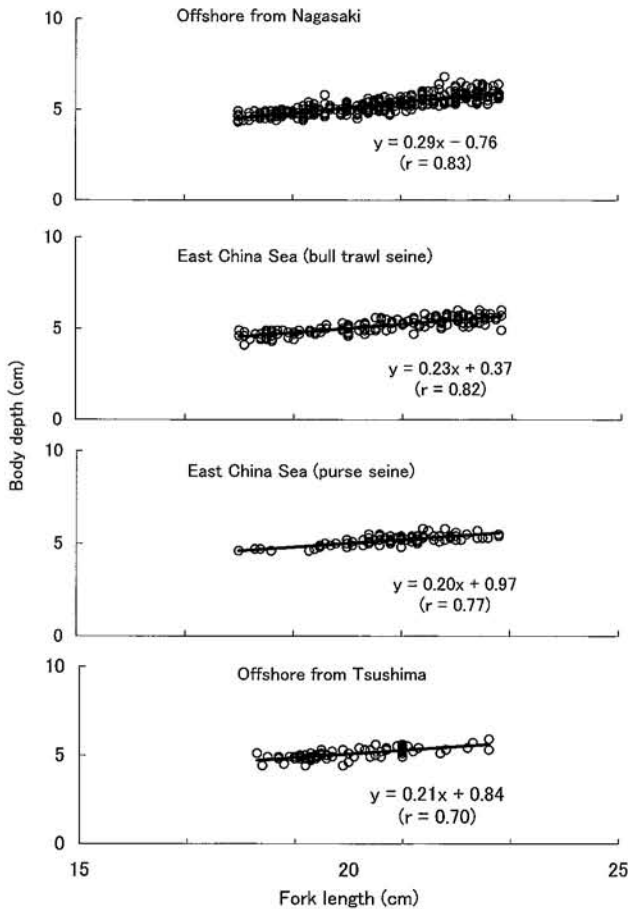


Fig. 3. Relation between fork length and body depth.

間には有意差は認められなかった。緒言でも触れたとおり、「シロアジ」は「クロアジ」に比較して体長に対する体高が高いとされているが⁹⁻¹²⁾、本研究での長崎産を「シロアジ」、大中網産を「クロアジ」とすればこれを裏付ける結果となった。しかし、得られた回帰直線に尾叉長の値を代入すると、体高の差は僅かであり（尾叉長22cmでは長崎産、以西底曳産、大中網産および対馬産でそれぞれ、5.62、5.43、5.37および5.46cm）、視覚的にその差を判別するのは難しいように思われた。畔田と落合⁷⁾は、沖合回遊性と瀬付きのマアジを比較し、前者に比較して後者は明らかに尾叉長に対する体高比が大きいことを報告しているが、供試魚採取に際して沖合回遊群と瀬付き群の代表的なものを選別しているためこの傾向がより明確になったものと考えられる。

長崎産および以西底曳産の生殖腺指数は2～5月

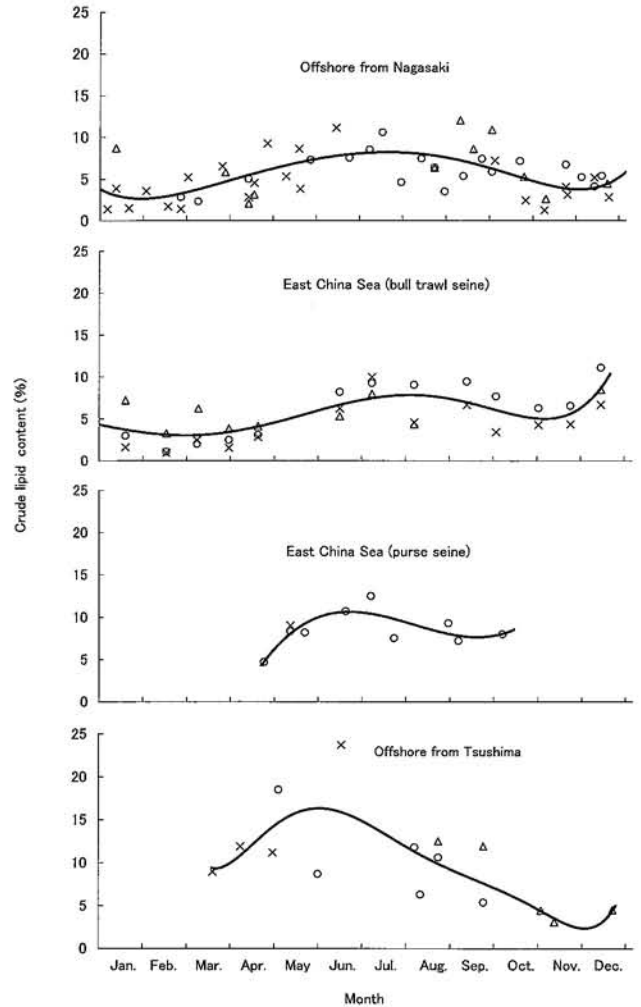


Fig. 4. Seasonal changes in crude lipid content of horse mackerel meat. Δ , more than 24cm in fork length; \circ , 20 to 24cm; \times , less than 20cm.

で高い値を示し、この傾向は長崎産と以西底曳産の「大」および長崎産の「中」サイズのもので顕著であったが、長崎産の「小」、以西底曳産の「中」および「小」の生殖腺指数の周年変動は比較的小さかった。一方、大中網産および対馬産では長崎産や以西底曳産に見られた生殖腺指数の増大期は確認できなかった。日本周辺海域のマアジの系群、回遊経路は複雑で完全にはまだ明らかにされていないようであるが、現在最も信頼されている知見⁸⁾をもとに推定すると、本研究の長崎産と対馬産は九州北部群、以西底曳産および大中網産は九州北部群と東シナ海中部群を併せたものである。九州北部群の産卵期は2月中旬から8月中旬、東シナ海中部群の産卵期は1月上旬か

ら7月下旬⁸⁾であり、また、本研究の生殖腺指数についての結果から、長崎産と以西底曳産の産卵期は2～5月頃と推定した。大中網産と対馬産は生殖腺指数の増大期が確認出来なかったが、大中網産は漁場に大きな隔たりの無い以西底曳産と産卵期は同時期、また、対馬産は、同海域のマアジの産卵期が4～6月頃との報告⁵⁰⁾があり、さらに、長崎産と同系群とされている³⁾ことから長崎産と同時期であると思われる。

肥満度は各漁場とも春季から夏季にかけて高い値を示し、冬季にかけて減少した。また、対馬産の肥満度は5月と6月に高い値(17.1)を示し、他の漁場の最高値(長崎産:16.3, 以西底曳産:15.6, 大中型旋網:15.2)よりも高かった。

マアジ筋肉中の水分と粗脂肪含量 Table 1～4に漁場別に、東シナ海産については漁業種類別に一般成分およびエキス態窒素量を示した。水分は漁場および魚体サイズに関わらず粗脂肪含量と逆の関係を示した。粗脂肪含量は、以西底曳産の12月の供試魚に若干異なった傾向が見られるものの、総体的には漁場に関わらず冬季から春季にかけて増大し、夏季から冬季にかけて減少する傾向を示した(Fig. 5)。「大」、「中」および「小」のサイズ別試料が揃う漁場(大中網産以外)について、粗脂肪含量の各サイズ別総平均値を算出し、その差の検定を試みたが、有意差は認められなかった。そこで、各漁場に共通する

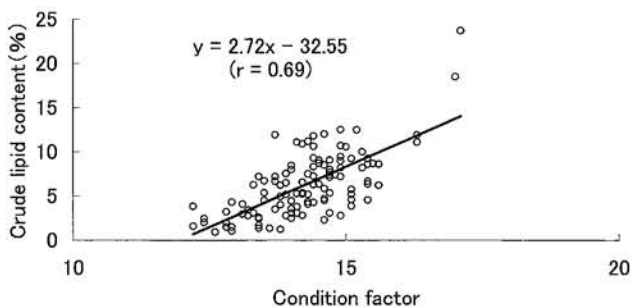


Fig. 5. Relation between condition factor and crude lipid content of horse mackerel caught in four fishing areas.

4月から10月採取試料について、各漁場別に粗脂肪含量の総平均値を算出して漁場間の差を検定したところ、対馬産マアジの粗脂肪含量が最も高く、それ以外の漁場のものには有意差はなかった。著者らは、マルソウダ¹⁴⁾やマイワシ²¹⁾の筋肉中の粗脂肪含量が産卵期前に上昇し、産卵期および産卵期後に極端に低下するのとは異なり、マアジは産卵期前の冬季には粗脂肪含量が低下し、産卵期および産卵期後の春季から夏季に筋肉中の粗脂肪含量が上昇することを明らかにした⁵⁹⁾が、本研究結果でも同様の結果を得た。すなわち、Table 1～4に示したように対馬産を除く他のマアジの産卵期は2～5月と推定されるがこの時期は漁場に関わらず粗脂肪含量の上昇期に当たり、産卵期後と思われる6～7月での粗脂肪含量の低下も見られない。さらに、「大」、「中」および「小」のサイズ別試料が揃う長崎産と以西底曳産とともに、生殖腺指数の変動が見られるサイズと比較的変動の小さいサイズで、産卵期前後での粗脂肪含量の挙動に大きな違いは無い。その原因として、マアジの筋肉の粗脂肪含量は産卵期などの内的要因より水温や餌料の多寡などの外的要因の影響を大きく受けるためと推定したが、本研究結果もこれを裏付けた。水温が18℃以下ではマアジはほとんど成長しないので⁶⁰⁾、海水温が低い冬季にはマアジの摂餌活動が鈍って粗脂肪含量が低下し、春季の水温の上昇に伴って摂餌活動が活発になり、粗脂肪含量が上昇することが推察される。ちなみに、当水試の漁海況週報には、年間を通して最も水温が高いのが8～9月頃、低いのが2～3月頃であり、1998年では8月下旬の長崎沿岸海域(五島灘)、東シナ海(男女群島)および対馬沿岸海域(対馬北部)の水温はそれぞれ29、29および27℃、2月中旬のそれらは、それぞれ17、18および14℃とある。また、対馬産は他に比較して高い粗脂肪含量を示し、「キアジ」は粗脂肪含量が高いとの評価⁸⁻¹²⁾と符号したが、対馬沿岸海域に

は渦流や湧昇流が存在し、海底の地形が平坦な東シナ海や潮流の変化に乏しい長崎沿岸海域に比較して海流が非常に複雑であり⁶¹⁾、このため餌料生物が豊富に生息することが想定され、このことが影響したと思われる。一方、粗脂肪含量が低いとされる大中網産、すなわち「クロアジ」⁸⁻¹²⁾は本研究結果では「シロアジ」^{9,10,12)}と言われる長崎産と遜色無いことが明らかとなった。

肥満度と粗脂肪含量に同様な周年変動が見られたため、Table 1～4に示した各供試魚の肥満度の平均値と粗脂肪含量との関係を検討したところ、両者間には高い正の相関が見られた (Fig. 6)。

その他の一般成分およびエキス態窒素量 総体的に粗タンパク質含量には周年変動は認められずほぼ一定であり、Table 1～4の全ての平均値は $19.9 \pm 0.9\%$ であったが、対馬産の背肉では、「中」の2000年5月3日および「小」の2000年6月15日のように粗脂肪含量が特に高い供試魚では低下した。漁場別に「大」、「中」、「小」の粗タンパク質含量の比較を行なったところ、長崎産では「大」と「中」には差が認められなかったが、ともに「小」よりも有意に高い値を示した。以西底曳産では「大」、「中」、「小」の順に高い値を示し、対馬産にはサイズの別で有意差は認められなかった。次に、同サイズの供試魚の粗タンパク質含量を漁場間で比較すると、「大」と「小」では長崎産が他に比較して高い値を示し、以西底曳産と対馬産の間には差が認められなかった。また、「中」においても長崎産が高い値を示し、大中網産を含めた他の漁場間では差が認められなかった。

エキス態窒素含量は各産地のいずれも季節的な変動は示さなかった。また、長崎産と対馬産にはサイズの違いによる差は認められなかったが、以西底曳産は「大」、「中」、「小」の順に高い値を示した。次に、サイズ別に漁場間の比較を行なったところ、「大」と「小」においては長崎産および対馬産マアジには

差が無く、ともに以西底曳産に比較して有意に高い値を示した。また、「中」では、長崎産、大中網産および対馬産に有意差は認められず、いずれも以西底曳産より高い値を示した。

一般に魚類筋肉の一般成分は、粗タンパク質含量がほぼ一定の20%で、残りを水分と粗脂肪含量が分け合うとされている⁶²⁾が、マイワシでは粗脂肪含量が極端に高い時期には粗タンパク質含量が低下したとの報告²⁰⁾がある。検定の結果、有意差は認められなかったものの他と比較して粗脂肪含量の平均値が高い大中網産、および他と比較して有意に粗脂肪含量が高い対馬産が、比較的低い長崎産よりも粗タンパク質含量が低かったが、マアジにもマイワシと同様のことが生じているのかも知れない。一方、長崎産に比較して、以西底曳産は粗タンパク質含量とエキス態窒素量が低かったが、これには漁獲後の保存方法や水揚げまでの経過日数の違いの影響が考えられる。すなわち、中小型および大中型旋網漁業はいずれも夜間に操業し、漁獲物は直ちに運搬船の魚槽に水氷漬けの状態に収容して漁港に水揚げされる。漁獲後、水揚げまでに要する日数は、前者は半日、後者は漁場が前者より遠いので1～2日である。一方、以西底曳網漁業は1～3時間曳網して漁獲した漁獲物を冷海水中に投入して冷却後、魚種や大きさ別に選別して箱だて（魚箱に魚を並べる操作）するが、マアジの場合は発泡スチロール箱に水氷と一緒にに入れて蓋をして船倉に収容し、数量的にまとまったところで運搬船に託送して水揚げするため、漁獲後2～4日を経過する。そこで、漁獲後2～3日経過して入港した以西底曳網の運搬船から直接マアジを入手し、実験室で発泡スチロール箱から魚体（平均尾叉長および魚体重はそれぞれ $22.6 \pm 0.6\text{cm}$ および $153.3 \pm 14.3\text{g}$ ）を取り出し、残りの水氷の氷を溶解させ、脱脂綿で濾過して大きな固形物（鱗や海藻）を除去後、さらに遠心分離した。この上澄液を濾過

(濾紙は ADVANTEC 5A) し、この上澄液の窒素量とトリクロロ酢酸で除タンパク質したものの窒素量を Kjeldahl 法¹⁹⁾ により分析した。この結果、氷水中には総魚体重の0.1%の窒素、および0.05%の非タンパク態窒素(エキス態窒素)が存在し、これらはマアジから溶出したものと思われた。これらの値を以西底曳産の「中」の平均値に加えると、漁獲から水揚げまでにあまり時間を要しない長崎産の粗タンパク質含量およびエキス態窒素含量の平均値に近い値となる。以西底曳産ではサイズの小さいものほどエキス態窒素量が少なかったが、このような傾向は他産地産には見られず、サイズの小さいものほど氷水浸漬中の影響を受けやすいことが窺われた。

粗灰分含量には周年変動、漁場による違いおよび

サイズでの違いは認められなかった。

色調 長崎産、大中網産および対馬産の体表の色調は、サイズや漁場に関わらず Fig. 3 に示した部位1は部位2に比較してL*値が小さい、すなわち暗い色調を呈した (Table 5)。畔田と落合²⁾は、「クロアジ」は「キアジ」に比較して背部は黒く、季節による変化は少ないが、腹部は夏季には顕著な黄褐色で、冬季には黒みを増す。また、田中と落合³⁾はキアジの背部は黄褐色であるとし、山田⁴⁾は瀬付アジ、すなわち「キアジ」は回遊性の「クロアジ」に比較して腹部がやや黄金色と報告している。そこで、前述の通称⁴⁻⁸⁾に準じて、クロアジ(大中網産)、キアジ(対馬産)およびシロアジ(長崎産)の3者の体色を比較した。まず、背部である部位1 (Fig. 3) につ

Table 5. Colors of horse mackerel caught offshore from Nagasaki, in East China Sea and offshore from Tsushima

| Offshore from Nagasaki | | Part 1 | | | | Part 2 | | | |
|------------------------|-----------------|------------|------------|------------|-----------|------------|------------|-----------|-----------|
| | | L* | a* | b* | C* | L* | a* | b* | C* |
| More than 24cm | 1998/ 21st Oct. | 40.3 ± 2.8 | -1.0 ± 0.3 | -1.7 ± 1.6 | 2.3 ± 1.1 | 83.8 ± 3.0 | -0.9 ± 0.3 | 1.3 ± 1.5 | 1.9 ± 1.1 |
| 20 to 24cm | 1998/ 22th Jun. | 45.0 ± 4.3 | -0.7 ± 0.8 | -0.4 ± 1.7 | 1.8 ± 0.7 | 82.2 ± 2.9 | -1.0 ± 0.3 | 1.1 ± 1.0 | 1.6 ± 0.8 |
| | 28th Jul. | 35.6 ± 3.5 | -0.8 ± 0.7 | -2.4 ± 0.3 | 2.6 ± 0.4 | 80.3 ± 3.5 | -1.1 ± 0.5 | 0.7 ± 0.9 | 1.6 ± 0.4 |
| | 27th Aug. | 35.9 ± 5.1 | -2.2 ± 0.9 | 1.6 ± 1.1 | 3.0 ± 0.8 | 83.3 ± 4.3 | -1.9 ± 0.6 | 0.9 ± 2.3 | 2.9 ± 1.2 |
| | 22nd Sep. | 33.4 ± 2.4 | -0.9 ± 0.4 | -0.3 ± 1.0 | 1.4 ± 0.2 | 82.6 ± 2.4 | -1.6 ± 0.7 | 1.5 ± 1.6 | 2.5 ± 1.3 |
| Less than 20cm | 1997/ 20th Nov. | 38.5 ± 4.9 | -1.9 ± 0.7 | -0.3 ± 1.4 | 2.3 ± 0.9 | 79.9 ± 5.2 | -1.3 ± 0.7 | 3.2 ± 1.6 | 3.6 ± 1.5 |
| | 19th Dec. | 33.6 ± 3.7 | -1.5 ± 0.7 | -1.1 ± 1.0 | 2.2 ± 0.6 | 84.9 ± 1.9 | -2.1 ± 0.7 | 1.9 ± 1.9 | 3.3 ± 0.8 |
| | 1998/ 21st Jan. | 36.9 ± 5.5 | -1.4 ± 0.5 | -0.3 ± 2.1 | 2.2 ± 1.1 | 83.8 ± 2.7 | -1.1 ± 0.6 | 2.5 ± 1.3 | 2.9 ± 1.1 |
| | 17th Feb. | 35.9 ± 2.1 | -1.7 ± 0.5 | 1.4 ± 1.5 | 2.5 ± 1.1 | 78.8 ± 3.2 | -1.4 ± 0.5 | 4.1 ± 1.6 | 4.4 ± 1.5 |
| | 26th Mar. | 35.8 ± 8.2 | -1.7 ± 0.8 | 0.0 ± 1.9 | 2.4 ± 0.7 | 79.1 ± 6.5 | -0.8 ± 0.7 | 3.1 ± 2.5 | 3.6 ± 1.9 |
| | 17th April | 38.0 ± 5.3 | -1.5 ± 0.7 | 1.2 ± 1.5 | 2.3 ± 0.8 | 82.3 ± 3.7 | -1.4 ± 0.6 | 2.8 ± 1.6 | 3.2 ± 1.5 |
| | 18th May | 40.9 ± 2.8 | -1.2 ± 0.5 | 0.3 ± 1.9 | 2.0 ± 1.1 | 85.0 ± 3.3 | -1.0 ± 0.3 | 2.1 ± 1.8 | 2.6 ± 1.3 |
| Average | | 37.5 | -1.4 | -0.2 | 2.2 | 82.2 | -1.3 | 2.1 | 2.8 |
| In East China Sea* | | Part 1 | | | | Part 2 | | | |
| | | L* | a* | b* | C* | L* | a* | b* | C* |
| 20 to | 1997/ 5th Jul. | 38.7 ± 4.5 | -1.3 ± 0.8 | -0.9 ± 1.4 | 2.1 ± 0.6 | 80.8 ± 2.9 | -0.5 ± 0.4 | 1.6 ± 0.5 | 1.7 ± 0.5 |
| | 27th Aug. | 39.2 ± 4.1 | -0.8 ± 0.4 | -2.3 ± 1.0 | 2.5 ± 0.8 | 80.7 ± 4.3 | -0.5 ± 0.2 | 1.0 ± 0.7 | 1.2 ± 0.6 |
| | 26th Sep. | 40.0 ± 3.6 | -1.0 ± 0.4 | -0.3 ± 1.0 | 1.4 ± 0.6 | 79.2 ± 2.7 | -0.6 ± 0.3 | 2.4 ± 1.2 | 2.5 ± 1.2 |
| | 24th Oct. | 35.8 ± 3.9 | -0.7 ± 0.7 | -2.2 ± 1.5 | 2.6 ± 1.3 | 77.8 ± 5.2 | -0.3 ± 0.6 | 3.0 ± 1.0 | 3.0 ± 1.1 |
| | 1998/ 23th Apr. | 33.9 ± 3.8 | -0.7 ± 0.6 | 0.6 ± 1.7 | 1.8 ± 0.8 | 76.8 ± 4.7 | -0.7 ± 0.6 | 2.8 ± 2.2 | 3.3 ± 1.6 |
| | 21st May | 41.6 ± 4.1 | -1.3 ± 0.6 | 0.8 ± 1.3 | 1.9 ± 0.6 | 84.7 ± 2.3 | -0.9 ± 0.5 | 3.9 ± 1.1 | 4.0 ± 1.0 |
| | 18th Jun. | 40.2 ± 3.4 | -1.4 ± 0.4 | -1.4 ± 1.4 | 2.3 ± 0.7 | 81.8 ± 2.7 | -0.9 ± 0.5 | 2.8 ± 0.7 | 3.0 ± 0.8 |
| Average | | 38.5 | -1.0 | -0.8 | 2.1 | 80.2 | -0.6 | 2.5 | 2.7 |
| Offshore from Tsushima | | Part 1 | | | | Part 2 | | | |
| | | L* | a* | b* | C* | L* | a* | b* | C* |
| More than 24cm | 1997/ 7th Nov. | 34.2 ± 3.1 | -0.8 ± 0.5 | -1.8 ± 1.0 | 2.0 ± 1.0 | 79.9 ± 5.2 | -0.5 ± 0.3 | 3.2 ± 1.6 | 3.6 ± 1.5 |
| | 17th Dec. | 34.5 ± 1.7 | -0.6 ± 0.6 | -2.4 ± 1.0 | 2.6 ± 0.7 | 84.9 ± 1.9 | -0.2 ± 0.3 | 1.9 ± 1.9 | 3.3 ± 0.8 |
| 20 to | 1998/ 30th May | 33.5 ± 4.1 | -0.7 ± 0.5 | -0.9 ± 0.6 | 1.3 ± 0.3 | 78.3 ± 5.7 | -0.5 ± 0.5 | 1.4 ± 0.5 | 1.6 ± 0.4 |
| | 4th Aug. | 42.0 ± 4.1 | -1.0 ± 0.4 | -0.2 ± 1.1 | 2.1 ± 1.0 | 81.3 ± 3.1 | -0.5 ± 0.3 | 2.2 ± 1.0 | 2.3 ± 0.9 |
| Less than 20cm | 1998/ 29th Apr. | 42.3 ± 5.7 | -0.9 ± 0.9 | 0.1 ± 2.8 | 2.6 ± 1.4 | 77.2 ± 2.8 | -0.6 ± 0.3 | 2.4 ± 1.1 | 2.5 ± 1.1 |
| Average | | 37.3 | -0.8 | -1.1 | 2.1 | 80.3 | -0.5 | 2.2 | 2.7 |

All data are the Mean ± Standard deviation for 10 samples. Part 1 and 2 are shown in Fig.3.

*All samples were caught by large- and medium- type purse seiners.

いて、顕著に色の違いが現れる夏季²⁾、すなわち8月に漁獲された「中」サイズのもので比較すると、L*値は有意差が認められなかったものの、a*値は大中網産と対馬産が同等であり、ともに沿岸産より高い値を示し、b*値は長崎産、対馬産、大中網産の順に大きな値を示した。次に、腹部である部位2について比較したところ、L*値およびb*値は3者間で有意差は認められなかったものの、a*値は大中網産と対馬産のものは同等であり、ともに沿岸産より高い値を示した。すなわち、8月に限って言えば、「クロアジ」、「シロアジ」および「キアジ」で背部の黒さは変わらない。黄色みは「キアジ」が「クロアジ」より強いが、「シロアジ」の方がさらに強く、また、a*値が3者とも負の値を示したことから、黄褐色というよりむしろ黄緑色の方に近い。腹部においても「クロアジ」と「キアジ」では明るさ、黄色みともに差異がみられず、これらに比較して「シロアジ」は緑色が強い。このように、本研究結果は、畔田と落合⁷⁾、および、田中と落合⁸⁾の報告と大きな違いがあったが、先にも述べたとおりサンプリング方法の違いから生じる結果かも知れない。また、山田⁹⁾が報告している腹部の「黄金色」の定義は定かではないが、あざやかさを示すC*値は「シロアジ」、「キアジ」、「クロアジ」の順に高かった。しかし、これらの差異はTable 5から分かるとおり、数値的にはごく僅かで、さらに著者には視覚的には判別できなかった。また、粗脂肪含量と背部のb*値の間に相関があるかを検討したところ、対馬産にのみ $y=3.4x+11.5$ (x: b*値, y: 粗脂肪含量: $r=0.93$, $p<0.05$) の関係が成り立った。すなわち、粗脂肪含量が高い時期は背部の黄色が増すという結果が得られた。マアジの体表の色調にはカロチノイド系色素が大きく関与しており⁶³⁾、さらにこのカロチノイドは餌生物由来⁶³⁾であるとされている。対馬産の胃内容物は全ての供試魚の胃からオキアミのみが検出されたが、他漁場

のものからは、小型魚類、イカ類などが主体でオキアミが検出される頻度は対馬産よりも少なく、このことが関係していると思われる。

以上の結果から、マアジの粗タンパク質含量は、対馬産で見られるように極端に粗脂肪含量が高いものを除けば季節や魚体サイズに関らずほぼ一定の20%であり、かまぼこ原料としてタンパク質の量的には問題が無いことが明らかになった。また、マアジはいずれの漁場においても晩春から初夏(5~7月)にかけては粗脂肪含量が高いため、晒工程時の排出物の低減、および、残留した粗脂肪による長期冷凍保存時の脂やけを防ぐという観点からは冷凍すり身への加工を避け、粗脂肪含量が高いものが好まれる塩品干品等への用途に向ける方がよさそうである。また、近年、従来からの晒処理を施したすり身は、風味が悪い等の理由で落とし身の冷凍すり身に対する需要が多くなりつつある。以西底曳網漁業で漁獲されるマアジ、特に小型魚の場合、水揚げ時までエキス成分の流出が認められるため、これを防ぐ何らかの方策が必要であろう。

第3章 マアジのゲル形成能の周年変動

3-1 緒言

長崎地方に水揚げされるマアジは1997年では約9万4千トンであり、全国の約30%を占め、重要な産地魚である。本魚は惣菜用、加工用に利用されており、一部はねり製品の原料にも周年利用されている。魚類は魚種ごとにゲル形成能に特異性があり、さらに同一魚種でも年齢、系群、季節などの違いによってゲル形成特性が異なることが知られている⁶⁴⁾。魚類のゲル形成能の季節的変動に関する報告は、マアジと同様に多獲性魚種と言われるマイワシ²¹⁾やマサバ²³⁾についてなされている。しかし、長崎地方産マアジはもとより、他地域のそれについての報告はみ

られない。また、マアジは、これら赤身魚とスケトウダラやエソなどの白身魚との中間魚とされており、ねり製品原料としての利用特性を明らかにすることは他魚種の特性和比較する上で重要な知見になるものと考えられる。

本研究では、1998年11月から1999年12月に長崎沿岸域で漁獲されたマアジについて周年のゲル形成能を、落し身、清水晒肉およびアルカリ塩水晒肉について調べ、検討した。

3-2 実験方法

供試魚 1998年11月から翌年の12月にかけて、中小型旋網漁船が漁獲し、長崎港に水揚げされた死後硬直中のマアジ(Horse mackerel, *Trachurus japonicus*)のうち、他のサイズに比較して周年安定して漁獲される「中」サイズとして取引されるものを用いた。供試魚の漁獲場所は、入手時の聞き取りをもとにFig. 6に示した。

魚体サイズの計測および生殖腺指数の算出 15kg入りトロ箱から無作為にマアジ20尾を取り出し、魚体重、尾叉長および生殖腺重量を計測した。生殖腺指

数は次式により算出した。

$$\text{生殖腺指数} = 100 \times \text{生殖腺重量} / \text{魚体重}$$

落し身、清水晒肉およびアルカリ塩水晒肉の調製 供試魚はいずれの月も総重量約50kgを用い、鱗を取り除き、粘質物を拭き取ったのち、フィレマシーン(日本フィレスタ製S-701型)でフィレーにした。これを網ロール式採肉機(備文機械製作所製NF2D-X型、孔直径4mm)にかけて落し身を採取した。清水晒は落し身の5倍量の水道水で3回行い、アルカリ塩水晒は、5倍量の0.2%炭酸水素ナトリウム(和光純薬工業製食品添加物用)、0.15%塩化ナトリウム(和光純薬工業製特級)水溶液で行なったのち、5倍量の0.3%塩化ナトリウム水溶液で2回行なった。水晒終了後、高速遠心脱水機(ニックリ製BEM-13S型)を用いて予備脱水し、さらに加圧脱水機(駒形機械製作所製KS-1型)を用いて脱水した。

加熱ゲルの調製 落し身、清水晒肉およびアルカリ塩水晒肉を5℃の冷蔵庫内でミートチョッパー(南常鉄工製M-22型)を用いて細切し、肉重量に対して3%の塩化ナトリウムを加え、高速カッター(ステファン社製UM-5型)で3分間脱気播潰した。なお、このとき、清水晒肉とアルカリ塩水晒肉は播り上がり時の水分が79%になるよう冷水道水を加水した。播潰した肉糊は直ちに手回しスタッパー(ディック社製GL型)を用いて折り径42mmの塩化ビニリデンのケーシングチューブに100gを充填したのち、30℃から90℃まで10℃間隔で、それぞれ20分間加熱と2時間加熱したゲルを調製し、加熱終了後、直ちに氷水で冷却した。

なお、落し身、清水晒肉およびアルカリ塩水晒肉の調製の工程および、加熱時までの各工程の品温は10℃以下に保った。

一般成分およびpHの測定 水分は、試料10gを精秤後、105℃で恒量にして求めた。試料を600℃で灰化後恒量にして粗灰分とした。粗タンパク質含量は

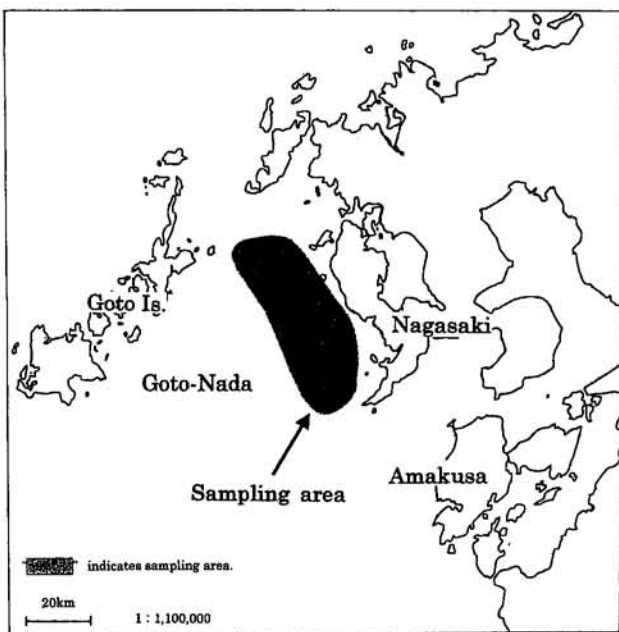


Fig. 6. Sampling area of horse mackerel.

Kjeldahl 法⁵³⁾ で全窒素量を求めたのち6.25を乗じて求めた。粗脂肪含量は Folch ら⁵⁴⁾ の方法で求めた。pHは試料 3 gに10倍量の脱イオン水を加えて摩砕後、測定した。

加熱ゲル形成能の測定 調製したゲルは、レオメーター（不動工業製 NRM-2003J 型）を用いて押し込み試験を行なった。すなわち、厚さ25mm幅に輪切りにした加熱ゲルを、5 mmの球形プランジャー、試料台上昇速度 6 cm/minで測定し、破断したときの荷重を破断応力 (g) および破断時までの距離を破断凹み (mm) とした。また、破断応力と破断凹みの積をゼリー強度 (g・cm) とした。折り曲げ試験は西岡⁵⁵⁾ の方法に準じて 1～5 の 5 段階で示した。圧出水分率は厚さ 5 mm幅に輪切りにした加熱ゲルを 1 cm角に切り、円形濾紙で二重に挟み（内側と外側はそれぞれ ADVANTEC 製 No.5A および 2、ともに直径55mm）、遊離水分測定器（中央理化製）を用いて、10kg/cm²の圧力で 1 分間加圧後加熱ゲルを取り出し、減じた重量を圧出水分とし、加圧前の重量に対する百分率で示した。また、破断応力、破断凹みおよびゼリー強度は 6 回測定分の平均値を、圧出水分率は 3 回測定分の平均値を結果に示した。

坐り指数および戻り指数は志水ら⁶⁰⁾ の方法に従って求めた。前者は50℃で20分間加熱した加熱ゲルのゼリー強度に対する40℃で2時間加熱した加熱ゲルのゼリー強度の割合を百分率で表し、後者は50℃で20分間加熱した加熱ゲルのゼリー強度に対する60℃で2時間加熱した加熱ゲルのゼリー強度の割合を1から減じたものの百分率で表した。

加熱ゲルの色調の測定 厚さ25mm幅に輪切りにした加熱ゲルの切断面について色彩色差計（ミノルタカメラ製 CR-300A 型）でハンター-L, a, b 値を求め次式により算出した。

$$\text{ハンター白色度} = 100 - \sqrt{(100 - L)^2 + a^2 + b^2}$$

3-3 結果と考察

供試マアジの性状と組成 漁獲時期別の供試魚の魚体サイズ、生殖腺指数および落し身の一般成分を Table 6 に示した。魚体サイズの特に小さかった1998年12月を除いた各月の供試魚の尾叉長と体重の平均値はそれぞれ21.4±1.7cmおよび144.0±31.5g、変動係数はそれぞれ7.9%および21.9%であった。

生殖腺指数は1月頃から上昇し始め、2～5月の平

Table 6. Body size, GSI and general components of sample horse mackerel

| Date sampled | Fork length (cm)*1 | Body weight (g)*1 | GSI*1,2 | Moisture (%) | Crude lipid (%) | Crude protein (%) | Crude ash (%) |
|-----------------|--------------------|-------------------|-----------|--------------|-----------------|-------------------|---------------|
| 1998/ 18th Nov. | 22.2 ± 0.6 | 153.6 ± 13.7 | 0.2 ± 0.2 | 76.7 | 3.1 | 19.8 | 1.3 |
| 16th Dec. | 15.9 ± 0.7 | 59.8 ± 6.1 | 0.1 ± 0.1 | 79.7 | 1.5 | 18.6 | 1.3 |
| 1999/ 13th Jan. | 20.1 ± 0.8 | 111.8 ± 11.1 | 0.9 ± 0.5 | 77.6 | 2.1 | 19.8 | 1.5 |
| 8th Feb. | 23.8 ± 0.7 | 193.7 ± 18.4 | 3.4 ± 1.4 | 76.3 | 3.5 | 20.1 | 1.6 |
| 9th Mar. | 19.6 ± 0.9 | 118.1 ± 15.4 | 2.1 ± 1.2 | 74.7 | 6.0 | 19.3 | 1.4 |
| 6th Apr. | 20.4 ± 0.7 | 127.0 ± 11.1 | 2.2 ± 1.0 | 74.3 | 6.6 | 19.7 | 1.3 |
| 10th May | 20.4 ± 0.8 | 130.3 ± 16.9 | 2.1 ± 1.2 | 70.2 | 9.9 | 19.7 | 1.2 |
| 7th Jun. | 19.4 ± 0.5 | 104.9 ± 22.7 | 0.5 ± 0.6 | 70.6 | 8.8 | 19.4 | 1.3 |
| 6th Jul. | 21.6 ± 0.7 | 147.5 ± 15.1 | 0.0 ± 0.1 | 73.1 | 7.7 | 19.9 | 1.3 |
| 11th Aug. | 20.6 ± 0.5 | 128.6 ± 8.8 | 0.3 ± 0.2 | 71.8 | 8.8 | 19.6 | 1.3 |
| 9th Sep. | 22.1 ± 0.6 | 158.5 ± 15.0 | 0.0 ± 0.1 | 73.8 | 5.2 | 20.0 | 1.3 |
| 18th Oct. | 22.1 ± 0.7 | 158.2 ± 17.0 | 0.1 ± 0.2 | 73.1 | 5.9 | 20.3 | 1.3 |
| 5th Nov. | 24.6 ± 0.9 | 197.3 ± 19.0 | 0.1 ± 0.2 | 77.1 | 2.2 | 20.2 | 1.4 |
| 14th Dec. | 21.9 ± 0.6 | 141.7 ± 12.0 | 0.7 ± 0.4 | 75.7 | 3.1 | 21.0 | 1.4 |

*1 Mean ± standard deviation. (n=20)

*2 GSI=100 × Gonad weight/Body weight.

均値は2.1~3.4と高く、6月に低下した。また、卵巣は1月のものでは卵粒が認められなかったが、2~5月のものでは認められ、6月のものでは小さかったが卵粒が残存しているものもあった。九州沿岸域から東シナ海域に棲息するマアジには九州北部群、東シナ海中部群および同南部群の3系群があるとされている⁸⁾が、本研究の供試魚は漁獲場所から推定すると九州北部群のものであると考えられる。また、この系群の産卵期は2月中旬から8月中旬であるとされており⁸⁾、本研究の供試魚の生殖腺指数は2~5月に高い値を示していることからこの時期が産卵期であることが窺える。

落とし身の粗脂肪含量は1998年11月から翌年2月にかけて低く、3月から上昇し始め5~8月に高い値を示したのち、冬季に向けて低下する傾向を示した。一般に、魚類の粗脂肪含量は産卵期を中心に大きく変動するとされており⁶²⁾、マイワシ²¹⁾およびマルソウダ¹⁴⁾の粗脂肪含量は産卵期にかけて上昇したとの報告がある。しかし、マアジの粗脂肪含量は、生殖腺充実期である11~2月、および生殖腺指数が高い2~5月では低く、むしろ産卵期の終了する頃または終了後と思われる5~8月で高い値を示しており、マアジの場合、粗脂肪含量の挙動と産卵期とは無関係に思われた。また、若狭湾のマアジ⁶⁰⁾は18℃以下の低水温期ではほとんど成長しないことが明らかにされているが、このことが摂餌量と関係あるとすれば、マアジの場合、粗脂肪含量の挙動は産卵などの内的要因よりも、水温や餌料の多寡などの外的要因に支配されていると推定される。水分含量は粗脂肪含量と逆の傾向を示し、両者には強い負の相関($y = -0.976x + 78.175$, $r = -0.961$; 水分 y : 粗脂肪)が認められた。粗タンパク質含量は魚体が小さかった1998年12月のものが18.6%と低い値を示し、1999年12月のものが21.0%と高い値を示したが、その他の月は19.3%~20.3%と漁獲時期に関わらずほぼ一

定の値を示した。黒川²⁰⁾は、マイワシでは1~5月にかけて15.3±0.4%から18.3±0.5%と増加するが、産卵期前の多脂肪期および産卵期の高水分の魚肉では粗タンパク質含量の低下が見られたと報告している。これと比較すると、マアジの粗タンパク質含量は高位で安定しており、タンパク質の量的な面から、マアジはねり製品原料としての高い利用加工適性を有すると言える。粗灰分含量は時期的な変動が見られなかった。

マアジ肉糊の加熱ゲルの性状 落とし身、清水晒肉およびアルカリ塩水晒肉から調製した加熱ゲルのpH、ハンター白色度、水分含量および粗脂肪含量をTable 7に示した。落とし身のpHは6月に若干の低下が認められたがそれを除けば大きな変動は無く、清水晒肉とアルカリ塩水晒肉については落とし身で見られた6月での低下も認められずほぼ一定であった。また、いずれの時期においてもpHは、高い順にアルカリ塩水晒肉、清水晒肉、落とし身であった。

落とし身、清水晒肉およびアルカリ塩水晒肉を30℃で20分間加熱した加熱ゲルのハンター白色度は1998年11月と1999年12月に幾分の違った変動は見られるものの、総体的には冬季から夏季に向けて上昇し、さらに冬季に向けて低下する傾向を示した。マイワシ²⁰⁾のハンター白色度は、産卵期の前後で一定の傾向をもった変動をすることが報告されており、このことはマイワシのヘム色素に一定の季節的変動があることに起因しているとされている⁶⁷⁾が、同様のことがマアジにも言える。また、清水晒肉とアルカリ塩水晒肉から調製した加熱ゲルのハンター白色度は漁獲時期にかかわらず近似し、両者とも落とし身から調製した加熱ゲルとの差はほぼ一定であった。予備実験の段階で、30℃で20分間加熱した加熱ゲルのハンター白色度は、播潰後の肉糊と差は認められなかったため、実験の効率上これを生すり身のハンター白色度に置き換えるが、晒処理を行なってすり身を製

Table 7. The meat pH and Hunter's whiteness, moisture and crude lipid of kamaboko gel from horse mackerel caught offshore from Nagasaki

| Date sampled | pH | | | Hunter's whiteness (heating at 30°C for 20 min) | | | Hunter's whiteness (heating at 90°C for 2 hours) | | | Moisture (%) | | | Crude lipid (%) | | |
|-----------------|--------|--------|----------|---|------|--------|--|------|--------|--------------|------|--------|-----------------|------|--------|
| | N.L.*1 | F.W.*2 | A.S.W.*3 | N.L. | F.W. | A.S.W. | N.E. | F.W. | A.S.W. | N.L. | F.W. | A.S.W. | N.L. | F.W. | A.S.W. |
| 1998/ 18th Nov. | 6.39 | 6.43 | 6.77 | 44.4 | 53.6 | 52.8 | 60.2 | 68.7 | 67.8 | 73.9 | 78.6 | 78.5 | 3.1 | 1.6 | 1.6 |
| 16th Dec. | 6.57 | 6.73 | 7.01 | 40.9 | 46.6 | 46.5 | 53.8 | 58.6 | 59.3 | 76.8 | 77.5 | 79.2 | 1.4 | 1.3 | 1.0 |
| 1999/ 13th Jan. | 6.47 | 6.78 | 7.06 | 42.8 | 49.9 | 49.1 | 56.9 | 63.8 | 63.7 | 74.1 | 78.9 | 78.4 | 2.1 | 1.7 | 1.7 |
| 8th Feb. | 6.18 | 6.65 | 6.99 | 44.7 | 53.0 | 51.8 | 56.1 | 64.2 | 62.9 | 72.8 | 78.6 | 79.0 | 3.4 | 2.2 | 1.8 |
| 9th Mar. | 6.46 | 6.83 | 7.08 | 46.8 | 53.9 | 54.6 | 59.8 | 65.1 | 65.5 | 72.0 | 78.6 | 78.4 | 5.9 | 3.4 | 3.6 |
| 6th Apr. | 6.48 | 6.81 | 7.09 | 49.3 | 55.7 | 56.1 | 58.4 | 66.2 | 63.4 | 71.2 | 78.6 | 78.7 | 6.4 | 4.0 | 3.6 |
| 10th May | 6.34 | 6.85 | 7.12 | 49.8 | 57.6 | 57.0 | 62.7 | 70.8 | 69.0 | 67.8 | 78.7 | 78.8 | 9.6 | 4.5 | 4.7 |
| 7th Jun. | 6.04 | 6.66 | 6.84 | 49.2 | 55.6 | 55.7 | 58.9 | 66.7 | 65.5 | 69.8 | 78.5 | 78.8 | 8.6 | 3.2 | 3.2 |
| 6th Jul. | 6.29 | 6.75 | 7.01 | 51.6 | 57.2 | 56.1 | 62.7 | 68.7 | 69.8 | 70.0 | 78.3 | 78.8 | 7.5 | 3.2 | 2.9 |
| 11th Aug. | 6.30 | 6.83 | 7.10 | 51.6 | 57.1 | 56.1 | 62.7 | 69.8 | 68.7 | 68.6 | 78.7 | 78.6 | 8.5 | 3.0 | 3.3 |
| 9th Sep. | 6.46 | 6.79 | 7.03 | 49.1 | 55.1 | 53.9 | 62.2 | 71.3 | 70.7 | 70.7 | 78.6 | 78.7 | 5.0 | 1.7 | 1.9 |
| 18th Oct. | 6.25 | 6.62 | 7.02 | 49.3 | 56.2 | 56.1 | 59.4 | 69.0 | 66.7 | 69.5 | 78.8 | 78.8 | 5.7 | 2.0 | 1.7 |
| 5th Nov. | 6.43 | 6.72 | 7.02 | 41.7 | 50.2 | 48.8 | 54.8 | 62.3 | 61.8 | 73.7 | 79.2 | 79.1 | 2.1 | 1.5 | 1.2 |
| 14th Dec. | 6.22 | 6.45 | 6.75 | 48.4 | 56.1 | 55.7 | 59.1 | 66.2 | 64.9 | 72.0 | 79.0 | 78.9 | 3.0 | 2.5 | 2.3 |

*1 'N.L.' means no leaching.

*2 'F.W.' means fresh water leaching.

*3 'A.S.W.' means alkaline salt water leaching.

造する場合は、落とし身のハンター白色度を晒処理前にあらかじめ測定しておき、晒段階で落とし身のハンター白色度に応じた何らかの漂白処理を行えば、周年、同等のハンター白色度のすり身を効率よく製造できると思われる。さらに、落とし身から調製した90℃で2時間加熱のゲルのハンター白色度も同様に季節的変動が認められ、落とし身と清水晒肉、および落とし身とアルカリ塩水晒肉のゲルとの差は周年ほぼ一定であった。

落とし身から調製したゲルの水分含量と粗脂肪含量は落とし身の成分 (Table 6) を反映し、春季から夏季にかけて高く、冬季には低い傾向を示した。清水晒肉とアルカリ塩水晒肉から調製したゲルの水分含量は播漬時に水分を調整しているためほぼ一定の79%であり、粗脂肪含量は、同時期の両者には大きな差異が認められなかった。

マアジ肉糊の加熱によるゲル化パターン 産卵期前後のマアジゲル形成能の特性を明らかにするため Fig. 7 に産卵期であると思われる3月、産卵期直後であると思われる6月、産卵後の回復期と思われる9月、生殖腺が発達し始める11月のものの温度-ゲル化曲線を示した。落とし身、清水晒肉およびアルカ

リ塩水晒肉ともに、3月と6月のものの各温度のゼリー強度は、9月と11月のそれよりも低い値を示した。また、3月と6月では水晒の有無による、60℃と70℃の戻りの温度帯付近でのゼリー強度と折り曲げ試験の結果に明確な差は認められなかったが、9月と11月ではアルカリ塩水晒肉は他に比べてゼリー強度および折り曲げ試験で若干高い値を示した。志水ら⁶⁶⁾は7月に漁獲されたマアジ肉の加熱ゲルでは水分82%、pH6.7~6.9に調整して引っ張り試験によりゲル強度を測定しているため単純比較はできないが、60~70℃の温度帯で戻っておらず、その温度-ゲル化曲線は本研究結果と大きく相違する。本研究結果では、優れたゲル形成能を有する9~11月の肉においてもこの温度帯でのゼリー強度の低下は確認されており、同じマアジでもそのゲル化特性には地域差があることが推察される。また、他魚種と比較すると、本研究で用いたマアジと漁獲海域が同じであるマイワシ²⁾ではアルカリ塩水晒後、50℃で20分間加熱したゲルの産卵期前のゼリー強度は、最高値で666g·cmを示すのに対して、産卵期後の最低値では33g·cmを示している。一方、マアジのゼリー強度は産卵期前の11月のものでは641g·cmと同程度を示

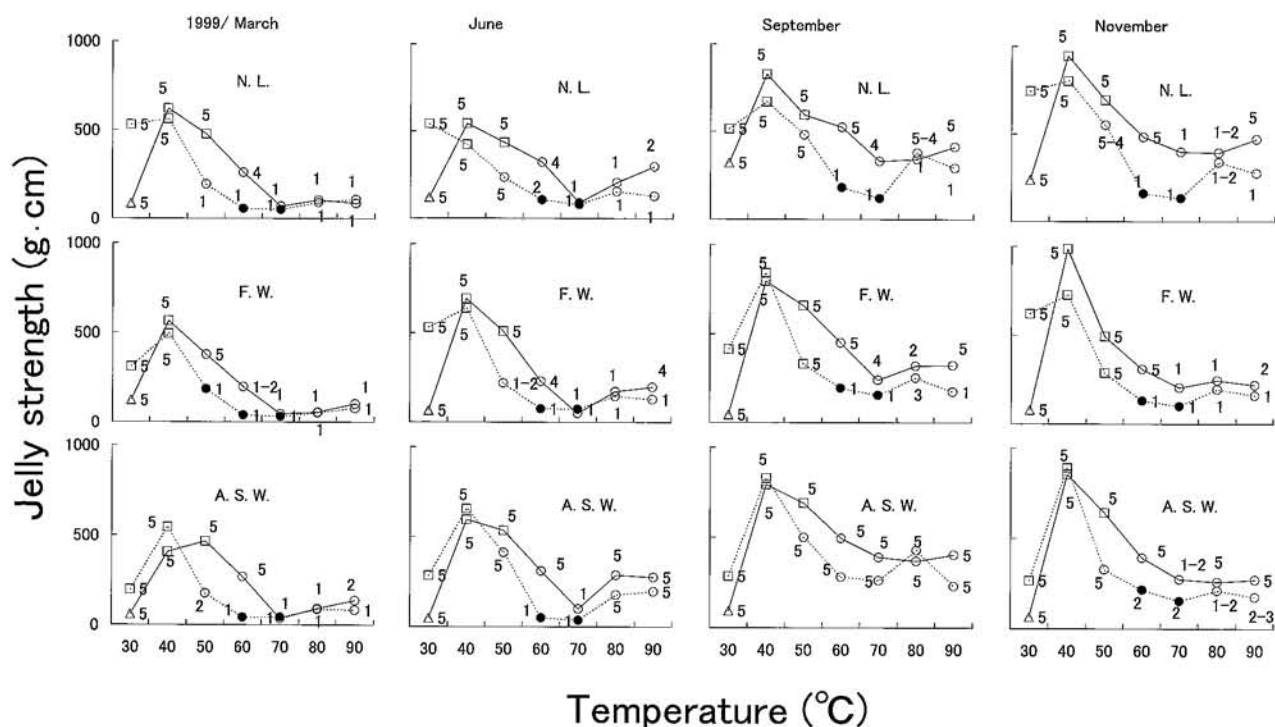


Fig. 7. Temperature-gelation curves of kamaboko gel from horse mackerel caught offshore from Nagasaki. The solid and dotted lines represent the jelly strength of kamaboko gel heated for 20 min and 2 hours, respectively. Numerals show the score for the strength of samples evaluated by the folding test: '1', broken into two parts, and '2', cracked when a 0.5cm thick disc was folded in half, '3', broken, '4', cracked, and '5', not cracked when the disc was folded into four. Δ , paste; \square , raw jelly; \circ , kamaboko jelly; \bullet , disintegrated gel. 'N.L.', 'F.W.' and 'A.S.W.' mean 'No leaching.', 'Fresh water leaching.', and 'Alkaline salt water leaching.', respectively.

すが、産卵期後の6月では535g·cmを示し、マイワシほど産卵期後のゼリー強度の低下が顕著ではない。また、坐りの温度帯である40°Cについて比較すると、産卵期前の2月のマイワシアルカリ塩水晒肉では20分および2時間加熱でのゼリー強度はそれぞれ350および440g·cmであるが、産卵期後の3月のマイワシでは両加熱時間とも200g·cmにまで低下しほぼ半減するのに対して、マアジアルカリ塩水晒肉では産卵期前の11月では40°Cの20分および2時間加熱で、それぞれ854および889g·cmであるが産卵期後の6月では596および656g·cmまでしか低下しない。松宮と望月¹⁵⁾はマアジの粗脂肪含量、グリコゲンおよび乳酸含量を周年にわたって調べた結果、時期による大きな差異は無く、産卵期前後での飢餓状態や過剰摂餌は窺えなかったとしている。一方、タラ¹⁶⁾では産

卵期後に飢餓状態になり、その後、回復のための過剰摂餌がみられ、この時期のタラは肉質が悪く、身割れを起こすことが知られている。同様の報告例がないので推定の域を出ないが、マイワシ²⁰⁾では産卵期後の粗脂肪含量の大きな低下が確認されており、このことが産卵期後の飢餓状態を意味しているのであればタラと同様に過剰摂餌期に肉質の劣化が起こる可能性もあり、これがマアジに比べて明瞭な変動を持つ原因かも知れない。また、マサバ¹⁷⁾が生殖腺充実期にタンパク質溶解度が減少し、筋肉タンパク質の不溶化が生じるのに対して、マアジ¹⁵⁾では若干の溶解度の低下が見られるものの周年約70%以上の高い溶解率を示すという報告もあり、ゲル形成能の周年変動がマイワシと比較して小さいマアジは、多獲性回遊魚のなかではねり製品原料適性が高いと言

える。

マアジ肉糊の坐りやすさと戻りやすさ Fig. 8 に40℃で20分間加熱のゲルの破断応力、破断凹みおよび圧出水分率と、坐り指数の周年変動を示した。40℃で20分間加熱したゲルすなわち坐りゲルの破断応力は、1998年12月のものを除き、いずれのゲルも11月から翌年の3月にかけて急激に低下し、落とし身では6月まで、晒肉では5月まで低い値を保ち、その後、11月まで一貫した増加傾向を示した。同じ漁獲時期で比較すると、清水晒肉およびアルカリ塩水晒肉の坐りゲル形成能には顕著な差異が認められなかった。落とし身から調製した坐りゲルの破断凹みは11月から

翌年の1月まで一定した高い値を示したのち、7月まで漸減し、8月も同程度の低い値を示した。9月には高い値に転じ、10~12月までは高い値を保った。清水晒肉とアルカリ塩水晒肉は類似した挙動を示し、明瞭な差異は見られなかった。すなわち、魚体の小さかった1998年12月のものを除くと、11月から翌年の1月では高い値を示したのち、3月まで急激に低下した。その後は6月まではほぼ一定の値を示し、6月から8月にかけてさらに低下した。8月から9月に増加に転じ、10月から12月にかけてさらに増加した。圧出水分率は、次に述べる90℃で20分間加熱したゲルと比較して低く、明瞭な差異は認められなかった。以上のように、マアジでは産卵期を中心にゲル形成能が低下する傾向が見られた。すなわち、坐りの温度帯である40℃で加熱したゲルのゼリー強度は、生殖腺が発達し始める11月および12月に増大し、産卵期が終末に近づくにつれてこれらは急激に低下した。マイワシ²¹⁾とマサバ²³⁾でも潜在ゲル形成能が生殖腺充実期に増大し、産卵期後には低下するという同様な報告がなされている。マサバ²³⁾ではこの原因として、筋肉のpHの季節的変動の影響が挙げられているが、マイワシ²¹⁾ではpHの変動は認められず産卵期を中心とする潜在ゲル形成能の変動の原因は特定されていない。本研究で用いたマアジについては後者と同様にpHがゲル形成能の周年変動の原因ではないように思われた。マアジでは、粗脂肪含量の季節的変動がゼリー強度に影響を及ぼしていることも考えられる。すなわち、落とし身ではゼリー強度が低下する3~6月は粗脂肪含量の高い5~8月の範囲に含まれる。一方、これと同様に清水晒肉とアルカリ塩水晒肉においても粗脂肪含量の高い時期は3~8月であり、ゼリー強度が低下する時期と一致する。詳細な結果は示さないが、このことに関連して、市販のマアジ落とし身にアルカリ塩水晒を施し、晒水から回収したマアジの粗脂肪を晒肉に添加し、

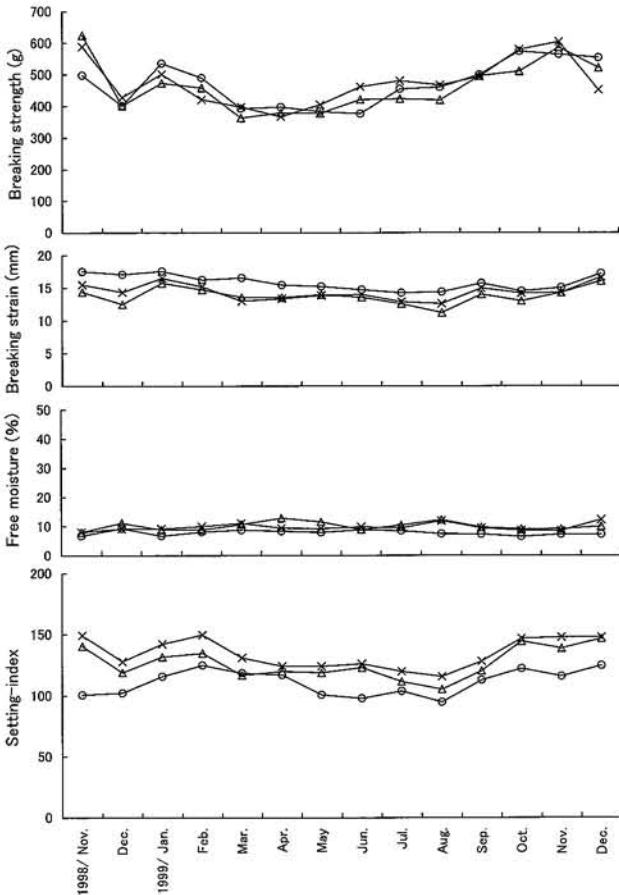


Fig. 8. The seasonal changes in breaking strength, strain, free moisture of kamaboko gel heated at 40℃, and "setting" properties of kamaboko gel from horse mackerel caught offshore from Nagasaki. ○, No leaching; ×, Fresh water leaching; △, Alkaline salt water leaching. The "Setting-index" indicates the percentage of "J.S_{40℃} · 2h / J.S_{50℃} · 20min".

粗脂肪のゲル形成能に及ぼす影響を調べた。すなわち水分含量を81.4%に調整したアルカリ塩水晒肉に肉重量の3%の食塩を加えて搗潰後、さらに0~5%の粗脂肪を加えて40℃で20分間加熱し、粗脂肪含量がそれぞれ1.1, 2.1, 3.0, 4.9, 5.8%の6種類のゲルを得た。これらのゼリー強度はそれぞれ358, 359, 366, 360, 357, 369g・cmであり、粗脂肪含量が5.8%以下では粗脂肪はゼリー強度を低下させる要因ではないことが推察された。

また、坐り指数の季節変動をみると、落とし身のそれは1998年12月を除き、11月から翌年の2月にかけて上昇し、4月まで同程度の高い値を示したのち、8月にかけて低下した。再び9月に上昇して12月までほぼ一定の値となった。周年を通じて、清水晒、アルカリ塩水晒、落とし身の順に高い傾向が見られたが、清水晒肉とアルカリ塩水晒肉のそれは同様な傾向を示し、1998年12月を除き、11月から2月まで高い値を示し、3月から9月にかけて比較的低い値となり、10月から12月にかけて高い値を示した。また、清水晒肉およびアルカリ塩水晒肉の坐り指数には、落とし身に見られた4月から8月にかけての急激な低下は見られなかった。坐り指数が産卵期前後で変動し、産卵期前は坐りやすく、産卵期後は坐りにくいという結果を得たが、これは黒川のマイワシ²¹⁾の結果と同様であった。また、坐り指数は明らかに清水晒肉とアルカリ塩水晒肉が落とし身よりも周年高い値を示した。これは、晒処理によって過剰な粗脂肪やゲル形成阻害物質等が取り除かれた結果⁶⁸⁾であろう。

戻りの温度帯である60℃で20分間加熱したゲルの破断応力は魚体の小さかった1998年12月を除くと、若干の変動が見られたものの、いずれのゲルも1998年11月から翌年4月にかけて低下する傾向を示し、12月にかけて増加傾向を示した (Fig. 9)。すなわち、戻りの温度帯においても坐りと同様、産卵期を中心とする周年変動が見られた。また、この傾向は官能

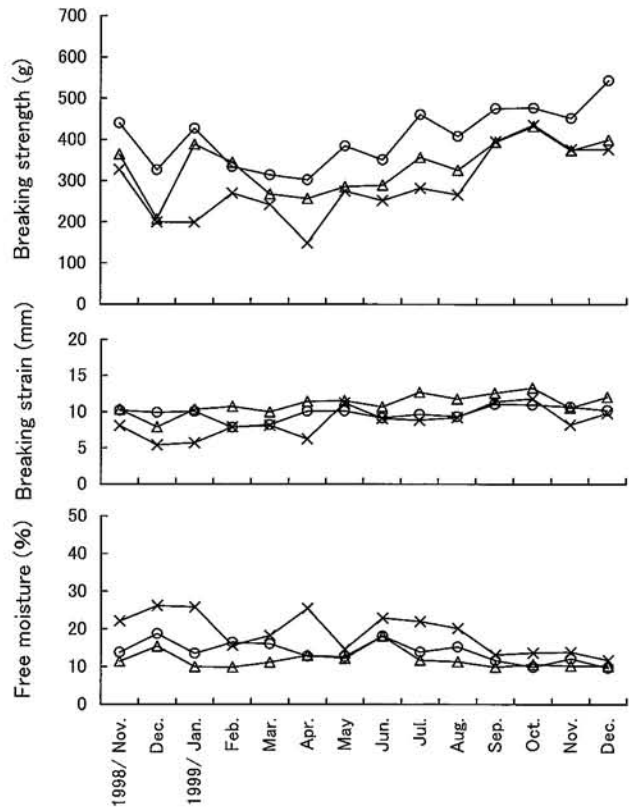


Fig. 9. The seasonal changes in breaking strength, strain and free moisture of kamaboko gel heated at 60℃ for 20 min. The symbols are the same as in Fig. 8.

的にも明らかで、戻りの著しい4月頃のゲルは他と比較してゼリー強度の高いアルカリ塩水晒肉においても、少し強く握ると崩壊してしまうほど脆かったが、それほど戻らない12月頃のゲルは崩壊しなかった。破断凹みは3者肉ともに、1998年11月から1999年4月に低く、5月から増加し始めて10月まで増加傾向を示したが、この傾向は清水晒で最も顕著であった。圧出水分率は、破断応力に呼応した傾向を示し、破断応力が高い時期には低く、低い時期には高かった。清水晒肉と比較するとアルカリ塩水晒肉は、周年を通して、破断応力および破断凹みが大きい値を示し、圧出水分率が低い傾向を示した。すなわち、周年を通して、アルカリ塩水晒肉には清水晒と比較して戻りの低減が認められた。本研究では戻り因子⁶⁹⁻⁷⁴⁾についての生化学的分析は行っていないが、何らかの戻り因子の活性に周年変動があり、これら

が清水晒よりもアルカリ塩水晒によって効率的に除去されていることが推測される。

また、戻り指数について、Fig. 7に示した3月、6月、9月および11月の温度-ゲル化曲線から算出した結果をTable 8に示した。落とし身は3月に他の月に比較して若干高い値を示しているが、産卵期前後での戻り指数の変動は明らかではなかった。これに対して清水晒肉とアルカリ塩水晒肉では、3月と6月に比較して9月と11月が低い値を示しており、産卵期およびその直後に比較して産卵後の回復期および生殖腺の発達が開始される時期は戻りにくいという結果が得られた。これは、志水のマサバ²³⁾および黒川のマイワシ²¹⁾の結果と同様であった。また、同じ漁獲時期で比較すると、3月と6月では落とし身が晒肉に比較して戻り指数が小さく、9月と11月で

Table 8. The seasonal changes in the "disintegration" properties of kamaboko gel from horse mackerel caught offshore from Nagasaki

| | Disintegration-index ^{*1} | | | |
|----------------------|------------------------------------|------|------|------|
| | 1999/ Mar. | Jun. | Sep. | Nov. |
| N.L. ^{*2} | 88.4 | 75.6 | 69.4 | 77.0 |
| F.W. ^{*3} | 90.0 | 85.2 | 70.6 | 73.5 |
| A.S.W. ^{*4} | 91.2 | 90.6 | 59.4 | 66.4 |

^{*1} $(1 - J.S_{60^{\circ}C \cdot 2h} / J.S_{50^{\circ}C \cdot 20min}) \times 100$

^{*2-4} Abbreviations are the same as in Table 2.

はアルカリ塩水晒肉が落とし身と清水晒肉に比較して小さいという結果が得られ、晒処理の有無と戻りやすさとは無関係に思われたが、これは、晒処理は戻り速度の軽減には役立たないとした志水ら⁷⁵⁾の結果と繋がるものであった。

マアジ肉糊のゲル形成能 Fig. 10に、90℃で20分間および2時間加熱したゲルの破断応力、凹みおよび圧出水分率を示した。20分間加熱の破断応力は、1998

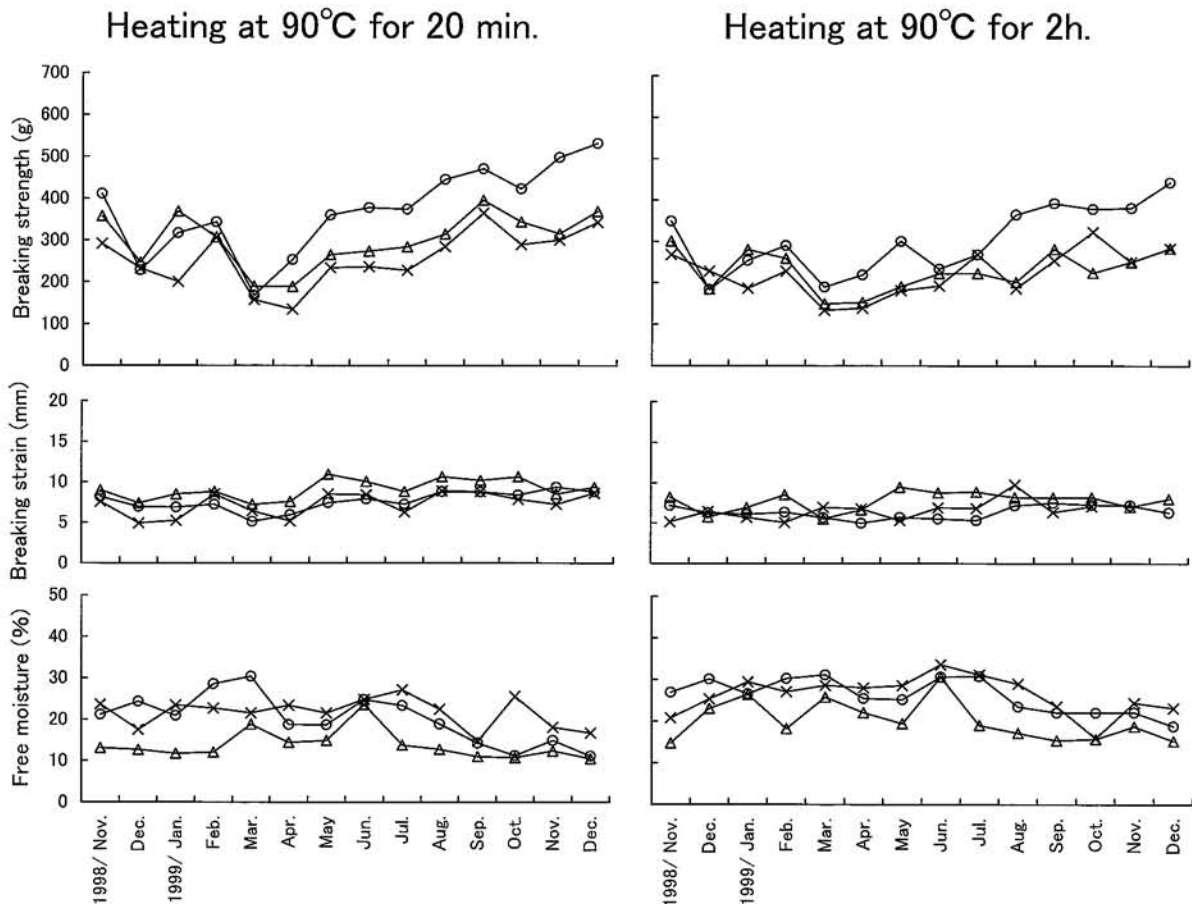


Fig. 10. The seasonal changes in breaking strength, strain and free moisture of kamaboko gel heated at 90°C for 20 min and 2 hours. The symbols are the same as in Fig. 8.

年11月から翌年の1月までは幾分変動が認められるが、3者肉とも2月から3月にかけて急激に低下し、その後9月まで一貫した増加傾向を示した。落とし身の破断応力は10月にやや低下したものの、11月から12月にかけて増加し、清水晒肉とアルカリ塩水晒肉ではともに10月にやや低下したのち、11月から12月にかけてほぼ横這いとなった。また1998年11月から翌年3月までは明瞭でなかったが、4月から12月までは破断応力は常に、落とし身、アルカリ塩水晒肉、清水晒肉の順に高い値を示した。2時間加熱のゲルも総体的に同様の変動を示したが、同時期の20分間加熱のものと比較すると、破断応力が低い4~6月頃のものでは顕著な差は無いが、それ以外の時期では2時間加熱のゲルの値が、20分間加熱のゲルよりも低い値であった。さらに、20分間加熱では、アルカリ塩水晒肉は清水晒肉に比較して周年高い値を示したが、2時間加熱では同程度の値となった。破断凹みは、両加熱温度ともに周年変動は見られなかったが、アルカリ塩水晒肉は落とし身および清水晒肉と比較して、20分間加熱では周年高い値を示し、2時間加熱では3者肉の差は明確でなかった。圧出水分率にも明瞭な季節変動は認められなかったが、両加熱温度とも、周年、アルカリ塩水晒肉の値が落とし身と清水晒肉に比較して低い値を示した。落とし身は水分含量を調整していないため比較を避けるが、清水晒肉およびアルカリ塩水晒肉の40℃加熱ゲル(Fig.8)と90℃ゲルの両者を比較すると、坐りの温度帯である40℃で20分間加熱のゲルで、破断応力および破断凹みにおいて、周年同様な値を示し、明瞭な差異は認められない。しかし、90℃で20分間加熱したゲル、すなわち調理温度でのゲルにおいては、アルカリ塩水晒肉は清水晒肉と比較して周年を通じて破断応力、破断凹みともに大きい値を示し、圧出水分率は低く、弾力があり、しなやかで、保水性の高いゲルとなる。しかしその一方で、90℃で2時間

加熱に見られるように、長時間の加熱はアルカリ塩水晒の優位性を損なうものであるため、かまぼこを製造する上で留意する必要がある。一般にアルカリ塩水晒が清水晒に比較してゲル形成能の向上をもたらす場合、その原因として、pHをゲル形成能の高い中性域へ移動することと筋形質タンパク質などのゲル形成阻害物質の除去などが挙げられている⁶⁹⁾。マアジの場合、40℃で20分間加熱のゲルには清水晒とアルカリ塩水晒で明瞭な差異がなかったことから、pHの移動がゲルの形成を促進したとは考えにくい。一方、水分含量が一定で、粗脂肪含量も大差がない清水晒肉とアルカリ塩水晒肉の90℃で20分間加熱したゲルでは破断応力、破断凹みおよび圧出水分率ともに明瞭な差異が見られたことから、40℃到達時までに一旦形成されたゲルが、清水晒肉では50℃以上の温度帯で何らかのゲル形成阻害物質⁷⁰⁾により破壊された可能性も考えられる。Fig. 11に、40℃、60℃および90℃加熱での恒温水槽に肉糊を投入してから品温変化を示した。各温度ともに目的の品温となるまでに15分程度を要しており、目的温度での滞留時間は20分間加熱では5分、120分間加熱では105分であった。

以上の結果から、マアジを原料としてかまぼこを

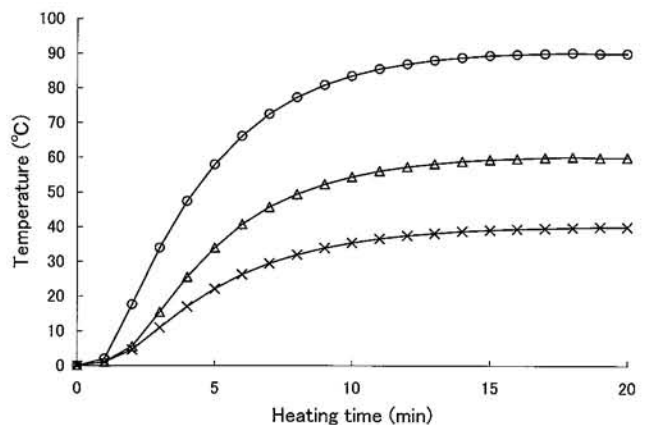


Fig. 11. The changes in temperature of fish meat heated at 40, 60 and 90℃ respectively in the water bath.
○, Heated at 40℃; △, Heated at 60℃; ×, Heated at 90℃.

製造する場合、マイワシのそれ²¹⁾と比較するとその変動は小さいとはいえ、周年でゲル形成能が変動し、とくに産卵期から産卵期後はいずれの温度帯での加熱においてもゼリー強度が低く、坐りにくく戻りやすいため、他の時期と同等のゲルを得るには酵素製剤の利用や2段階加熱などのゲルの補強が必要であろう。今回はゲル形成能の季節的変動を研究するにとどまったが、これら補強措置の研究が今後の課題である。また、一方で、マアジは塩干品原料として用いられることも多く、塩干品としては粗脂肪含量が高いものの方が好まれる傾向にあるが、産卵期から産卵期後のゲル形成能の低い時期は粗脂肪含量の高い時期に含まれるため、この時期のものは塩干品原料として使用することも方策の一つとして考えられる。晒処理は、マアジにおいて、すり身の色を白くすることと魚臭の除去という点では必要不可欠であるが、清水晒肉とアルカリ塩水晒肉を比較すると、ハンター白色度には差が無いが、物性および保水性ではアルカリ塩水晒肉の方が周年を通して優っており、アルカリ塩水晒はマアジにとって有効な晒法であることが明らかとなった。

第4章 凍結貯蔵時におけるマアジすり身のゲル形成能の変化

4-1 緒言

魚肉ねり製品の原料となる魚肉は凍結保存中にタンパク質の性状が変化し、かまぼこのゲル形成能が低下する。従来から、凍結貯蔵中における魚肉タンパク質の変性を抑制するため、糖質、アミノ酸、有機酸などの変性抑制物質を添加することが行われている⁷⁶⁾。特に糖類は以前から経験的にタンパク質の変性を抑制することが知られており、その優れた実用例はスケトウダラ冷凍すり身の貯蔵に見られる。

一方、タンパク質の変性は魚種により異なり、冷

蔵や冷凍などの温度に関わらず温水性の魚種が冷水性の魚種よりも温度耐性が高いとされている。福田はこのことを5魚種について比較し、ムネダラ、スケトウダラ、サケ、マイワシ、マサバの順に冷凍耐性が弱いことを報告している^{77,78)}。マアジは温水性魚とされているが、冷凍耐性についての知見がないまま経験的にソルビトールやショ糖を用いて冷凍すり身が製造されているのが現状である。

また、近年、トレハロース (α -D-glucopyranosyl-1, 1- α -D-glucopyranoside) の食品に対する応用についての研究が行われはじめた。トレハロースはグルコースからなる二糖類であり、酵母類およびキノコ類に多く含まれる³⁹⁾。従来、その製造は酵母からの抽出により行われていた⁷⁹⁾が、製造コストがかかるため高価格となり、食品にはほとんど利用されていなかった。近年、澱粉からの酵素を用いた製法の確立により、低価格で流通するようになったことから、食品への利用も多くなってきており、その食品に対する機能性については魚肉加熱時におけるトリメチルアミン生成の抑制の効果⁸⁰⁾、加熱による不飽和脂肪酸の分解および揮発性アルデヒド生成抑制効果⁸¹⁾などの知見がある。

また、タンパク質の変性とその抑制物質との関わりは、タンパク質周囲の水和水が重要な役割を果たしていることが推定されている⁸²⁻⁸⁵⁾。トレハロースは、数種のオリゴ糖と比較して水をトリジמיד構造化し、安定した水和殻を形成する効果が高いこと、すなわち水分子の動きを抑制することが明らかにされており⁴⁰⁾、すり身の冷凍変性抑制効果を有することが推定される。

そこで、本研究では、マアジのすり身の冷凍耐性、特にトレハロースの冷凍変性抑制効果を、スクロース、グルコースおよびソルビトールのそれと比較検討した。

4-2 実験方法

供試魚および供試糖 1999年7月に東シナ海の大中型旋網漁業で漁獲されたマアジ (*Horse mackerel*, *Trachurus japonicus*) 257kg, 約1,600尾を用いた。この中から無作為に抽出した供試魚20尾の魚体重および尾叉長はそれぞれ 159.2 ± 9.5 gおよび 22.3 ± 0.4 cm (ともに平均値±標準偏差)であった。

糖類は、トレハロース (林原商事製トレハオース), スクロース (和光純薬工業製一級), ソルビトール (和光純薬工業製一級) およびグルコース (和光純薬工業製特級) をサンプルミル (Cyclotec社製1093型) を用いて微粉化したものを用いた。

冷凍すり身の調製 供試魚は、鱗を取り除き、粘質物を拭き取ったのち、フィレマシーン (日本フィレスタ製S-701型) でフィレーにした。これを網ロー式採肉機 (備文機械製作所製NF2D-X型, 孔直径4mm) にかけて落とし身を採取した。落とし身は、5倍量の0.2%炭酸水素ナトリウム (和光純薬工業製食品添加物用), 0.15%塩化ナトリウム (和光純薬工業製特級) 水溶液で晒したのち、さらに、5倍量の0.3%塩化ナトリウム水溶液で2回晒した (アルカリ塩水晒)。水晒終了後、高速遠心脱水機 (ニックリ製BEM-13S型) を用いて予備脱水し、さらに加圧脱水機 (駒形機械製作所製KS-1型) を用いて脱水した。マアジから調製したアルカリ塩水晒肉に対して水分含量が80%となるよう冷蒸留水を加え、糖を2.5~10.0%添加し、擂潰機を用いて10分間攪拌して均一化したものをすり身とした。糖無添加のものを同様に処理し対照とした。次にすり身を280gずつ小分けしてビニール袋に入れ、厚さ7mmになるよう均一に整形したのち-60℃の送風式急速凍結庫で凍結した。すり身の品温が-25℃以下になったのを確認した後、-25℃の冷凍庫で135日間保存した。急速凍結中のすり身の品温は、すり身の中心部に温度計 (江藤電気製EF型) のプローブを挿入して測定し

た。すり身の中心温度は凍結開始から50分以内に全て-25℃になった。

ゲルの調製およびゲル形成能の測定 凍結貯蔵中の冷凍すり身を経日的に冷凍庫から取り出して5℃の冷蔵庫に半日放置して解凍後、その30gを筋原繊維Ca-ATPase活性と示差走査熱分析による不凍水量測定用、250gをゲル調製用のサンプルとして分別した。すり身250gに対して3%の塩化ナトリウムを加え、擂潰機 (石川式18号) で30分間攪拌擂潰し、擂潰した肉糊は直ちに折り径42mmの塩化ビニリデンのケーシングチューブに100g充填した。これを40℃で60分間の予備加熱した後、90℃で30分間加熱したゲル (二段加熱ゲル) および90℃で30分間加熱したゲル (一段加熱ゲル) を調製し、加熱終了後、直ちに氷水で冷却した。調製したかまぼこは、レオメーター (不動工業製NRM-2003J型) を用いて押し込み試験を行なった。すなわち、厚さ25mm幅に輪切りにした加熱ゲルを、5mmの球形プランジャー、試料台上昇速度6cm/minで測定し、破断したときの荷重を破断応力 (g) および破断時までの距離を破断凹み (mm) とした。また、破断応力と破断凹みの積をゼリー強度 (g·cm) とした。破断応力、破断凹みおよびゼリー強度は6回測定分の平均値を結果に示した。

一般成分、pHおよび色調の測定 水分は、試料10gを精秤後、105℃で恒量にして求めた。試料を600℃で灰化後恒量にして粗灰分とした。粗タンパク質含量はKjeldahl法⁵⁵⁾ で全窒素量を求めたのち6.25を乗じて求めた。粗脂肪含量はFolchら⁵⁴⁾ の方法で求めた。pHは試料3gに10倍量の脱イオン水を加えて摩擦砕後、測定した。また、得られたマアジ落とし身の一般成分およびpHは、水分72.9%, 粗タンパク質18.3%, 粗脂肪8.2%, 粗灰分1.4%およびpH6.25であり、アルカリ塩水晒肉の一般成分およびpHは、水分80.0%, 粗タンパク質15.0%, 粗脂肪5.2%, 粗灰分0.5%

およびpH7.12であった。色調は厚さ25mm幅に輪切りにした加熱ゲルの切断面について色彩色差計（ミノルタカメラ製CR-300A型）でハンターL, a, b値を求め次式により算出した。

$$\text{ハンター白色度} = 100 - \sqrt{(100-L)^2 + a^2 + b^2}$$

筋原繊維の調製および筋原繊維Ca-ATPase活性の測定 筋原繊維（Mfと略記）の調製は加藤らの方法⁸⁰⁾に準じて以下のように行なった。すり身15gを乳鉢で均一化した後、4gを精秤し、3倍量の0.1M KCl-20mM Tris-maleate buffer (pH7.0)を加え、ブレンダー（日本精機製HB型）でホモジナイズ（6,000rpm, 90秒間）したのち、ナイロンネット（#16）を通過させて結合組織を除去した。次に、この濾液に20% Triton X-100溶液を終濃度が1%になるように加え、30分間放置後、同 Buffer で上澄みが透明になるまで洗浄した。得られたMfを30mlの同 Buffer と共にポーター型テフロンホモジナイザーを用いてホモジナイズ（600rpm, 2min）して懸濁液とした。Mf Ca-ATPase 比活性は終濃度100 mM KCl, 5mM CaCl₂, 25mM Tris-maleate (pH7.0), 1mM ATP, Mf 0.2-0.4mgの存在下、25℃で測定した。

Mf Ca-ATPase は、凍結前の比活性に対する凍結貯蔵後のその比率を lnCa-ATPase(Relative)として示し、冷凍変性速度恒数 (K_D) は次式により求めた。

$$k_D = (\ln C_0 - \ln C_t) / t$$

ここでC₀およびC_tはそれぞれt日間貯蔵前後におけるMf Ca-ATPase 活性（相対値）である。

示差走査熱分析による不凍水量の測定 不凍水量の測定は、示差走査熱量計（セイコー電子工業製DSC-100型）を用いて、若松らの方法⁸¹⁾に準じて次のように行った。すなわち、試料20mgをアルミニウム製密封試料容器に詰めて精秤した後、試料温度-40℃か

ら最終温度25℃まで昇温速度1.0℃/minで融解熱量を測定した。すり身中の融解熱量は自由水によるものと仮定して凍結水量を算出し、常圧乾燥法（105℃）で測定した水分含量からこれを減じて不凍水量とし、乾物重量に対する不凍水量 (gH₂O/g dried matter) を示した。

4-3 結果と考察

凍結貯蔵中におけるすり身のゲル形成能 凍結貯蔵中における糖を添加したマアジすり身のゲル形成能の変化を Fig. 12 に示した。凍結直後は対照の二段加熱ゲルの破断応力は、一段加熱ゲルのその約2倍を示した。また、二段加熱ゲルの凹みは一段加熱ゲルのそれに比べて若干高かった。凍蔵中、対照の一段加熱ゲルの破断応力および凹みのいずれも徐々に低下したが、二段加熱ゲルのゲル形成能は冷凍直後から大きく低下した。すなわち、凍蔵30日目までに破断応力が703gから318g, 破断凹みは13mmから8mmへと急速に低下し、以後徐々に低下するという二段階の低下様式を示した。また、凍蔵中、二段加熱ゲルの破断応力および凹みは一段加熱のそれより高かった。凍蔵30日目以後の対照は擂潰時に明らかに糖添加のものに較べてゾルになりにくい傾向を示した。糖添加すり身では、2.5%添加すり身の二段加熱ゲルは凍蔵30日目までに急速に破断応力および破断凹みが低下したが、5.0%以上の添加のものではその傾向は小さくなり、緩慢に低下した。

次に、糖の添加量や種類の違いを明確にするために、凍結前の二段階加熱ゲルのゼリー強度に対する凍蔵中のそれらの相対値を示した (Fig. 13)。対照のゼリー強度は凍蔵30日目で凍結前の30%にまでに急速に低下した後徐々に低下し、凍蔵135日目は26%になった。糖添加すり身のゼリー強度は凍蔵中、対照のそれに比べて高い値を保持したが、その強度はいずれの糖も添加量の増加に伴って高くなり、5-7.5

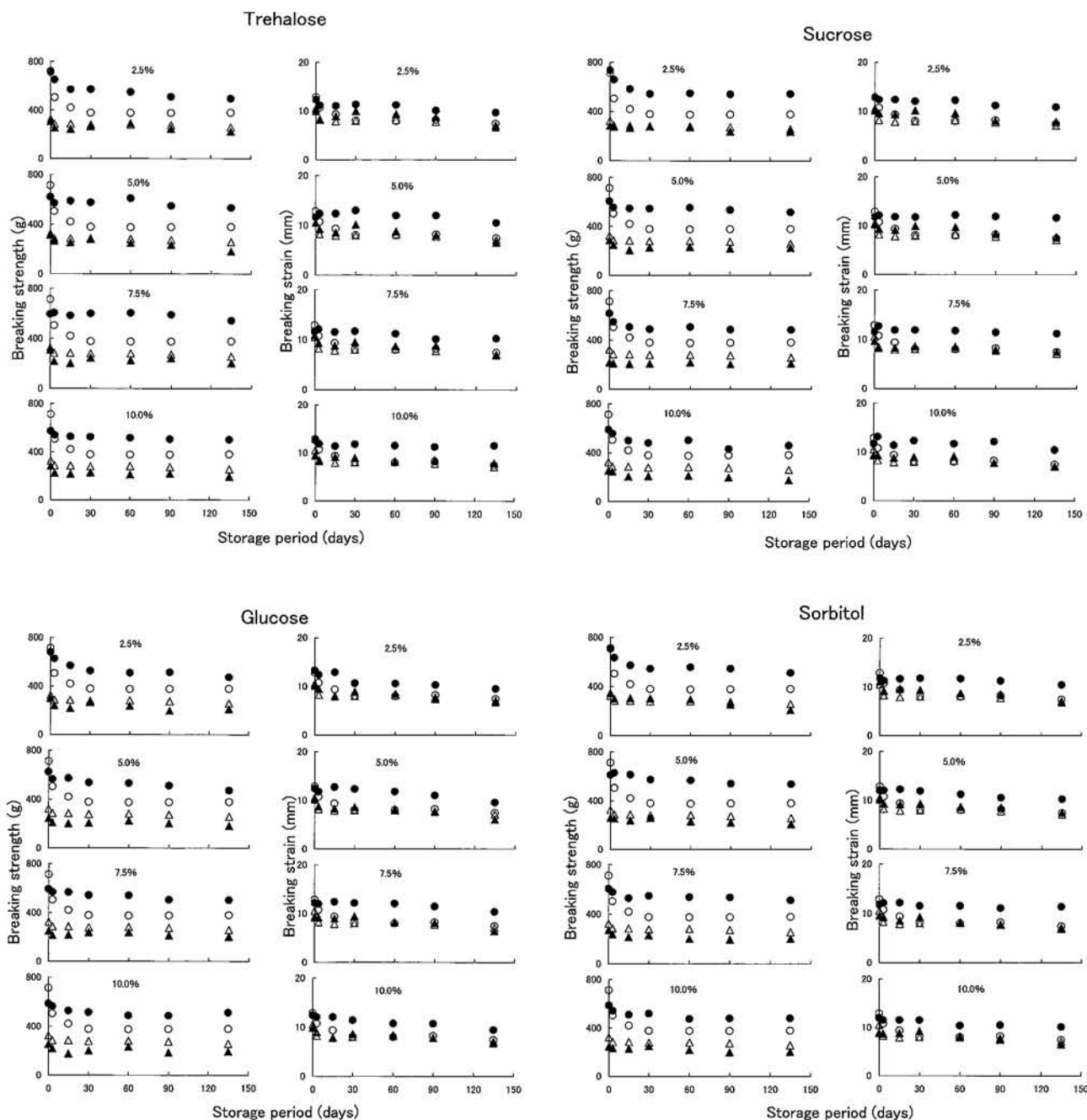


Fig. 12. Changes in breaking strength and strain of kamaboko gel from frozen surimi stored at -25°C . ●, and ▲, are the kamaboko gel heated at 40°C for 60 min before heated at 90°C for 30min and heated at 90°C for 30min respectively. Open and closed symbols are kamaboko gel from surimi without and with sugar respectively.

%添加のものが最も高く、10%添加ではむしろ低くなった。糖の種別効果を5%添加でみると、スクロース>トレハロース>ソルビトール>グルコースの順に大きかった。

凍蔵中におけるゲルのハンター白色度の結果については図示しなかったが、糖添加の有無や濃度に関

わらず経日的な大きな変動は認められなかった。すなわち、対照の一段加熱ゲルの凍結前および凍蔵135日目のそれはそれぞれ64.4および64.2、トレハロース、スクロース、グルコースおよびソルビトールを10%添加した一段加熱ゲルのそれは、凍結前でそれぞれ63.3、62.2、60.9および62.1、また、135日目のそ

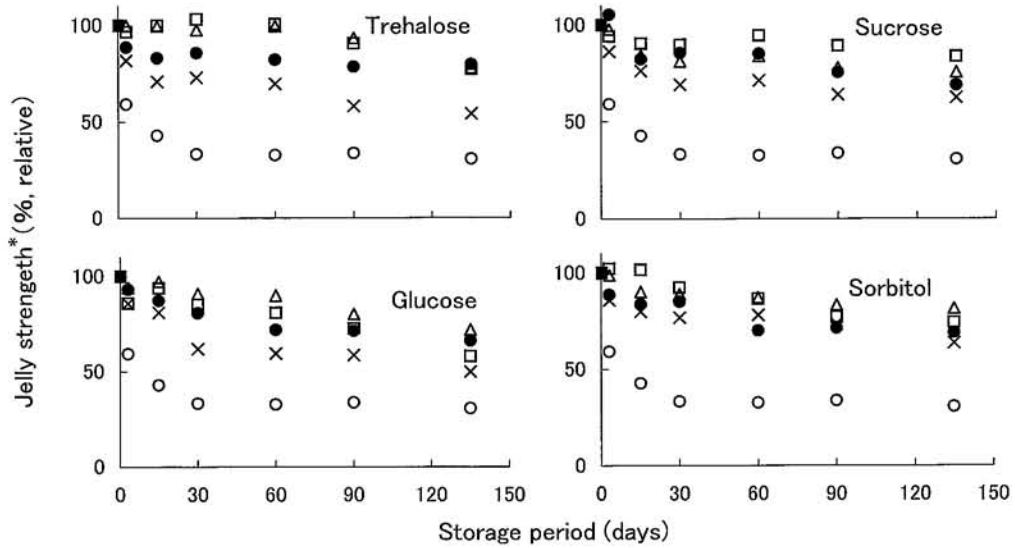


Fig. 13. Changes in jelly strength of kamaboko gel from frozen surimi stored at -25°C . "○" are the surimi without sugar, "×", "□", "△" and "●", are the surimi added with 2.5, 5.0, 7.5 and 10.0% of sugar to weight of surimi.
* Datas are expressed as percentage of jelly strength to those before frozen.

れはそれぞれ63.2, 61.2, 63.4および62.5であった。
凍結貯蔵中におけるMfタンパク質の変性 糖を添加したすり身の凍結貯蔵中の変性をMf Ca-ATPase全活性を指標として検討し、その結果をFig. 14に

示した。対照は凍蔵30日目までに残存活性が凍蔵初日の40%まで急速に低下し、その後、比較的緩慢に低下し、二段階による変性様式を呈した。糖を添加したものも濃度や種類に関係無く同様に二段階の変

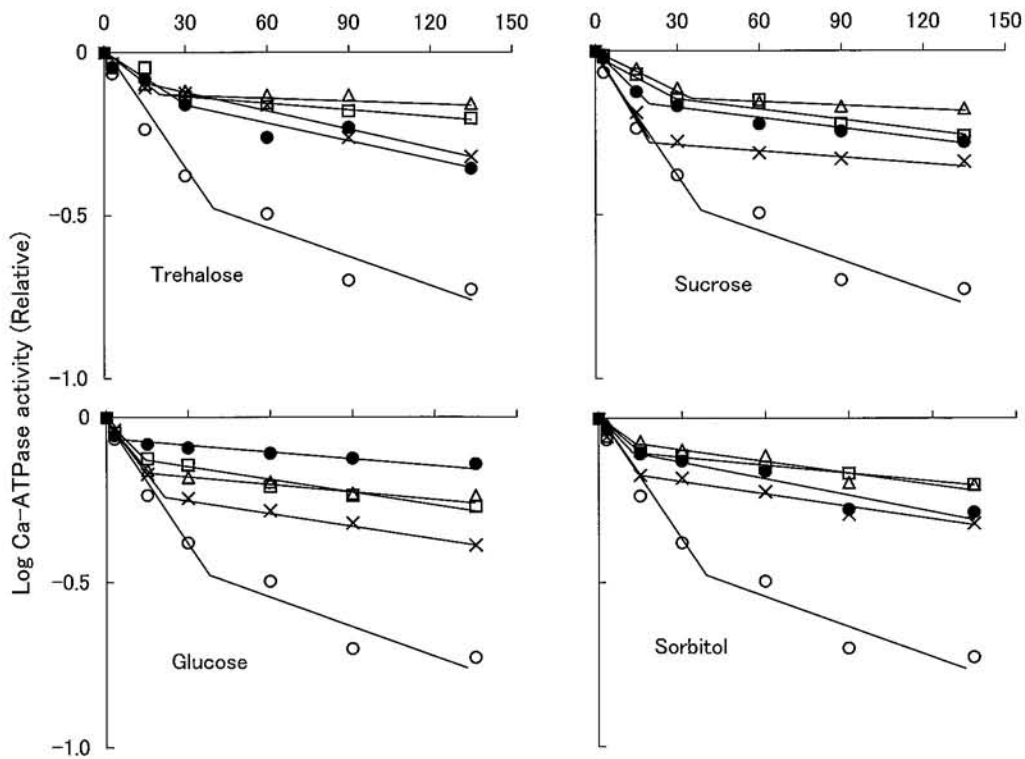


Fig. 14. Changes in total Ca-ATPase activity of myofibrils of surimi from horse mackerel during storage at -25°C . Symbols in the figure are the same as in Fig. 13.

性様式を示したが、対照のものとは比べて変性の程度が緩やかであった。糖の添加濃度の増大に伴って、いずれも変性抑制効果が増大し、トレハロース、スクロースおよびソルビトールでは7.5%添加で変性抑制効果が最も高く、10%の添加ではむしろ効果が低下した。また、グルコースでは10.0%添加が最も効果が高かった。

次に、凍結貯蔵中のCa-ATPase全活性から変性速度恒数 k_D ($\times 10^3/\text{day}$)を求め、糖の種類の違いで変性抑制効果に差があるかを検討した (Table 9)。糖添加すり身の初期の変性速度恒数 k_{D1} および後期の変性速度恒数 k_{D2} はいずれも対照のそれに比較して小さく、糖添加によりすり身の冷凍変性が抑制されていた。また、トレハロース、スクロース、およびソルビトール添加すり身の k_{D1} および k_{D2} は7.5%添加で最小値を示した。これに対してグルコースのそれらは添加濃度の増大に伴って小さくなったが、 k_{D1} は他

Table 9. A constant of inactivating speed of total myofibrillar Ca-ATPase in surimi from horse mackerel during storage at -25°C

| Conc. (%) | $k_{D1}^{*1,2}$ | $k_{D2}^{*1,2}$ |
|-----------|-----------------|-----------------|
| Control | 29.1 | 7.6 |
| Trehalose | 2.5 | 9.7 |
| | 5.0 | 10.5 |
| | 7.5 | 9.2 |
| | 10.0 | 12.2 |
| Sucrose | 2.5 | 21.3 |
| | 5.0 | 11.1 |
| | 7.5 | 8.8 |
| | 10.0 | 12.9 |
| Glucose | 2.5 | 28.2 |
| | 5.0 | 22.2 |
| | 7.5 | 28.0 |
| | 10.0 | 14.3 |
| Sorbitol | 2.5 | 28.0 |
| | 5.0 | 17.6 |
| | 7.5 | 15.0 |
| | 10.0 | 20.1 |

*1 k_{D1} and k_{D2} mean first and second steps of inactivating speed respectively.

*2 k_{D1} and k_{D2} are the slope of straight line shown in Fig. 14.

の糖に比べると2から3倍大きく、変性抑制効果は小さかった。冷凍変性抑制効果を糖の種類間で比較すると、7.5%添加ではスクロース>トレハロース>ソルビトール>グルコースの順に大きかった。

不凍水量の変化 糖5.0%添加すり身の不凍水量の変動を Fig. 15 に示した。対照の不凍水量は凍蔵15日目で凍結前の70%までに減少し、その後徐々に低下した。これに対して、糖添加すり身の不凍水量は、対照に比べて増加し、種類別効果を比較すると、グルコース>トレハロースであり、スクロースとソルビトールはこれよりも低い値を示した。凍蔵中、糖添加すり身の不凍水量も対照と同様に低下したが、同じ凍蔵日数では対照よりも多かった。

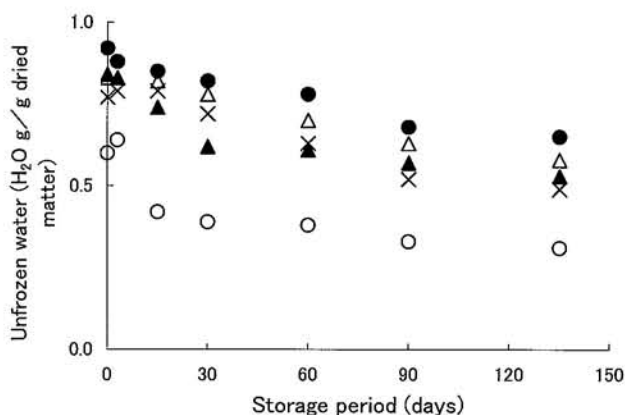


Fig. 15. Effect of sugar on the amount of unfrozen water in surimi from horse mackerel during storage at -25°C . Sugar were added 5% to the weight of surimi. ●, glucose; △, trehalose; ×, sucrose; ▲, sorbitol; ○, control.

すり身のゲル形成能、Mf Ca-ATPase 活性および不凍水量との関係 Table 10 に、5.0%のトレハロースを添加したすり身の、ゼリー強度と Mf Ca-ATPase 全活性値、ゼリー強度と不凍水量および、Mf Ca-ATPase 全活性値と不凍水量の相関関係を示した。トレハロースを添加したすり身のゼリー強度と Mf Ca-ATPase 全活性値以外は全て一次式に有意に回帰した。

魚類 Mf タンパク質の冷凍変性様式は、魚種、変

Table 10. Relations among total Mf Ca-ATPase activity of myofibrils, amount of unfrozen water in surimi and jelly strength of kamaboko gel from horse mackerel during storage at -25°C

| | Jelly strength (X) ^{*1} -ATPase activity(Y) ^{*2} | - Jelly strength (X) - Unfrozen water ^{*3} (Y) | ATPase activity (X) - Unfrozen water(Y) |
|------------|---|--|--|
| Control | Y=0.4X-28.7 (r=0.90, p<0.005) | Y=0.0005X+0.21 (r=0.84, p<0.01) | Y=0.001X+0.238 (r=0.97, p<0.001) |
| Treahalose | Y=0.4X-54.5 (r=0.69, p>0.05) | Y=0.0013X-0.16 (r=0.87, p<0.005) | Y=0.002X+0.192 (r=0.93, p<0.001) |
| Sucrose | Y=0.8X-305.7 (r=0.82, p<0.05) | Y=0.0020X-0.65 (r=0.78, p<0.05) | Y=0.002X+0.109 (r=0.93, p<0.001) |
| Glucose | Y=0.4X-17.9 (r=0.86, p<0.01) | Y=0.0009X+0.20 (r=0.96, p<0.001) | Y=0.002X+0.335 (r=0.92, p<0.001) |
| Sorbitol | Y=0.4X-47.0 (r=0.84, p<0.01) | Y=0.0015X+-0.33 (r=0.88, p<0.005) | Y=0.003X-0.101 (r=0.96, p<0.001) |

*1-3 mean jelly strength of kamaboko gel (g・cm), total Mf Ca-ATPase activity of myofibrils (Pi μmol/min/4g of meat) and amount of unfrozen water in surimi (gH₂O/gDM) from horse mackerel respectively.

性抑制物質の濃度、pHなどにより異なり、変性が速いものでは二段階の変性様式、遅いものでは一段階の変性様式をとることが知られている³⁶⁾。コイ³⁸⁾、マイワシ⁸⁸⁾、マサバ⁸⁸⁾ およびワニエソ⁸⁹⁾などは前者の変性様式を示すことが知られているが、本実験に用いたマアジアルカリ塩水晒肉のすり身も、凍蔵30日目までにMfタンパク質の変性が急激に、その後は緩慢に進行した。糖を添加したすり身も同様に二段階の様式を呈したが、これは糖無添加すり身に比較して緩慢であった。また、凍蔵中におけるすり身のゲル形成能の変化は、Mfタンパク質の変性と同じ傾向が認められた。

凍蔵中におけるすり身の変性に対する糖の濃度の影響をみると、すり身のゲル形成能とMf Ca-ATPase活性の結果から、糖の種類に関わらず2.5%添加ですり身の劣化は抑制されるものの、5.0および7.5%添加で大きな効果を示すことが明らかになった。しかし、10%の糖添加量ではかえって効果は小さくなり、すり身劣化の抑制効果と糖の添加量は必ずしも比例しなかった。松本ら¹⁷⁾は、0.1-1Mのスクロースおよびソルビトール存在下のコイMf懸濁液 (pH5.8) を-20°Cの冷凍下で調べた結果、糖の添加量とMf

Ca-ATPase活性の変性抑制は比例関係にあったことを報告している。スクロースおよびソルビトール1M溶液を冷凍すり身中に換算すると、それらはそれぞれ34%および18%も存在することになり、本結果がすり身に対して10.0%、すなわち終濃度として魚肉中に9.1%の糖が存在することにより5.0%や7.5%添加に比較して冷凍変性抑制効果が低下した結果と大きく異なった。この原因としてはMf懸濁液と冷凍すり身の水分含量が異なることから、これが糖の効果に影響を及ぼしていることが考えられる。いずれにせよ、冷凍すり身への過剰の糖の添加は糖の変性抑制効果をかえって弱めることになり、従来からかまほこ業界で使用されているスケトウダラ冷凍すり身中に5-8%の糖添加が行われていることと符合する。

凍蔵初期ですり身の劣化に対する糖の効果は、種類により若干の違いが認められた。すなわち、凍蔵60日目までは、トレハロースを5.0および7.5%添加したすり身のゲル形成能はほとんど低下していないが他の同濃度のものでは10%程度の低下が見られ、トレハロース添加Mfタンパク質の一段階における変性速度恒数も他の糖添加のものに比較して若干小

さい傾向を示した。5.0%トレハロース添加すり身のゲル形成能とMf Ca-ATPase全活性値にのみ、相関関係が低かった原因については、本研究結果からは特定できなかった。

魚肉タンパク質の凍蔵中における変性の原因については、これまで多くの研究がなされており、様々な機構⁹⁰⁻⁹⁷⁾が解明されているが、主要な原因は氷晶の生成による非極性基間の疎水結合と極性基周囲の水和層の破壊であると考えられている⁸²⁻⁸⁵⁾。糖添加によるタンパク質の冷凍変性抑制機構は、糖がタンパク質分子周囲の不凍水量を増加させ、氷晶の生成を抑えることが機構の一因として説明されている^{82,83,98)}。このことを確かめるために糖5%添加すり身中の不凍水量を検討したところ、これが糖の種類に関わらず、すり身のゲル形成能およびMf Ca-ATPase全活性値と密接な関わりがあることを認めた。本実験結果 (Fig. 15) に示されるように、不凍水量は糖の添加により明らかに増加し、凍蔵中に不凍水量は徐々に低下したが、対照に比較して糖添加のそれは多かった。不凍水量は、凍蔵中のすり身ゲルのゼリー強度の低下が速く、 k_{D1} が比較的大きかったグルコース添加のものが最も多く、次いでトレハロースであり、不凍水量の多寡とタンパク質の変性抑制効果は必ずしも一致しない。このような傾向は魚類Mfタンパク質の冷凍変性に対するキチンの防止効果について調べた Arredondo ら⁸⁹⁾の結果にも見られ、冷凍変性抑制の要因の一つに不凍水が関与していると考えられるが、それ以外の要因も存在する可能性が示唆された。

以上の結果から、トレハロースは冷凍すり身の変性に対して抑制効果を有し、一般的に使用されているスクロースやソルビトールに比較して遜色ないことが明らかとなった。一方、トレハロースは魚臭成分の一つであるトリメチルアミンの加熱時の生成を抑制する効果⁸⁰⁾や不飽和脂肪酸の分解を抑制する効

果⁸¹⁾が他の糖に比較して大きいことが明らかにされていることから食品への有用性は高いと考えられる。

第5章 マアジ肉中の脂肪酸組成の周年変動

5-1 緒言

長崎地方に水揚げされるマアジは、周年惣菜用、加工用に利用されており、一部はねり製品の原料にも利用される。著者らは前報⁹⁹⁾で、本魚種のかまぼこ原料適性を調べ、産卵期後はゲル形成能が低下し、その後冬季に向けて増大することを明らかにしたところである。近年のエコロジブームのなかで、水産加工業界では水晒廃液から有用成分、特にポリエン酸を抽出し、これに付加価値を付けて高度有効利用しようとする動きがあり、晒工程時に排出される粗脂肪中の脂肪酸組成についての知見が求められている。また、機能性が明らかにされているDHA等⁹⁹⁻¹⁰²⁾のポリエン酸の組成は、漁場の違いで差異を有することが推定される。

一方、魚類の粗脂肪含量^{14,18,103,20,21)}および脂肪酸組成^{14,18,103)}には季節的変動があることが知られている。マアジの粗脂肪含量については著者らが長崎、対馬沿岸海域および東シナ海で漁獲されたものについての周年変動を明らかにし¹⁰⁴⁾、粗脂肪中の脂質クラスおよび脂肪酸組成については田代らの研究¹⁸⁾がある。しかし、著者らの報告¹⁰⁴⁾は粗脂肪含量の季節的変動にとどまり、田代らの脂肪酸組成についての報告¹⁸⁾は春夏秋冬での差異を述べたものであり、周年の変動に関する知見はみられない。また、魚類筋肉の脂肪酸のうち、DHAについては海産魚にこれを生合成する酵素が欠落しているため、餌生物の影響を大きく受けることが明らかにされている¹⁰⁵⁻¹⁰⁷⁾が、漁場間あるいは成長段階での組成比の差異は不明である。よって本研究では長崎、対馬沿岸海域および東シナ

海で漁獲されたマアジの脂肪酸組成の季節的変動を検討した。

5-2 実験方法

供試魚および供試サンプルの調製 第1章で述べた供試魚および供試サンプルを用いた。また、胃内容物はこのときに取り出し、肉と同様に一様にした。

脂肪酸の測定 Folch らの方法⁵⁴⁾ で肉と胃内容物から抽出した粗脂肪を、塩酸を触媒としてメタノール中で1.5時間沸騰させて脂肪酸メチルエステルを得た。これを、シリカゲルを充填したオープンカラムに投入し、ジクロロメタンを流して夾雑物を除去した。脂肪酸の分析はキャピラリーカラム (Supelco Omegawax-TM250, 30m×0.25mm×0.25 μ m id; スプリット比, 25:1) を装着したガスクロマトグラフ (島津製作所製GC17A) で分析した。なお、インジェクター、カラムおよびディテクターの温度はそれぞれ 290 $^{\circ}$ C, 205 $^{\circ}$ C および 290 $^{\circ}$ C に保った。キャリアガスは窒素を用い、17ml/min の流量で分析し

た。

統計解析 第1章と同様の方法で行なった。

5-3 結果と考察

脂肪酸の季節的変動 各漁場とも晩春から初夏 (5~7月) にかけて粗脂肪含量は高く、晩秋から春 (10~4月) にかけて低いという季節的変動を示した¹¹⁾。脂肪酸組成は漁場やサイズの違いによる差は無く、また、主要な脂肪酸は 16:0; 16:1 n-7; 18:0; 18:1 n-7,9; 20:5 n-3 および 22:6 n-3 であり、これらの合計は脂肪酸全体の70%以上を占めた。主要な脂肪酸は 16:0 であり、いずれの試料においても最も含量が多かった。18:0, 16:1 n-7, 18:1 n-7 および 18:1 n-9 が次いで含量が多く、不飽和脂肪酸の中で最も含量が多いのは 22:6 n-3 (DHA) であった。これら全ての飽和酸や不飽和酸は他の魚類に一般的にみられる脂肪酸であった。次に、飽和酸, モノエン酸, ポリエン酸および DHA の組成比を Fig. 16 に示した。Area 1 (長崎産) および 2 (以西底曳産) で漁獲さ

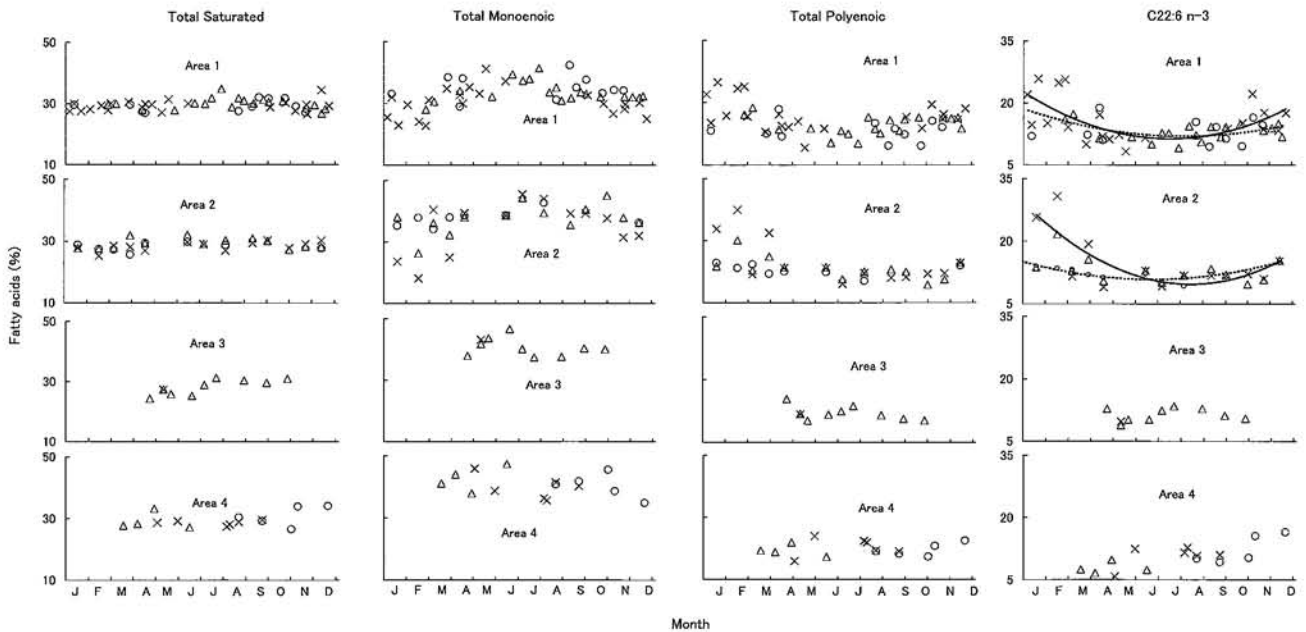


Fig. 16. Seasonal changes in fatty acid composition of dorsal muscle of horse mackerel. 'O', 'Δ' and 'X' mean the fish 'more than 24cm', '20 to 24cm' and 'less than 20cm' in fork length respectively. The solid line represents the regression curve of DHA content of fish less than 20cm in fork length, and dotted lines in Area 1 and 2 represent the that of fish 20 to 24cm and more than 24cm in fork length respectively.

れるマアジはいずれもサイズに関わらず飽和酸の組成比は周年変動が小さくほぼ一定であり、モノエン酸は粗脂肪含量が多い晩春から初夏にかけて高く、粗脂肪含量が少ない時期には低い傾向を示した。ポリエン酸はモノエン酸とは逆の傾向を示した。Area 1および2の試料のモノエン酸とポリエン酸の相関を調べたところ、これらの組成比の間には Area 1 および 2 でそれぞれ、 $Y = -0.90X + 52.9$ ($r = -0.88$, $p < 0.001$) および $Y = -0.79X + 50.5$ ($r = 0.93$, $p < 0.001$) の負の相関を示した。以上の結果から、飽和酸は周年ほぼ一定の30%で、残りの70%をモノエン酸とポリエン酸が占めるが、その比率は季節によって異なり、粗脂肪含量が多い晩春から初夏にかけてはモノエン酸が高く、粗脂肪含量が少ない冬季にはポリエン酸が高いことが明らかになった。また、ポリエン酸の周年変動はポリエン酸の中で組成比が最も高いDHAの多寡によるものと思われた。

一方、一般に魚類の脂肪酸組成は餌生物に由来するところが大きいとされている¹⁰⁸⁾ことから胃内容物についての検討を試みた。Area 1で漁獲されたものは、春季から秋季にかけてオキアミや小型魚類が主

体で、冬季にはこれに加えて小型のイカが見られ、さらにサイズの大きいものでは小型魚の割合が高かった。Area 2および3（大中網産）で漁獲されたものはともに胃内容物が溶解しており、生物種の特定が出来なかったが、魚鱗が認められたこと、および抽出した粗脂肪が赤みを帯びることがあったことなどから、小型魚類やオキアミなどが主体であると推察された。Area 4（対馬産）で漁獲されたサンプルの胃内容物は全てオキアミであった。マアジ肉中および餌生物中の脂肪酸組成の詳細は示さないが、両者間で脂肪酸種の違いは無かった。飽和酸、モノエン酸およびポリエン酸の組成比の周年変動に一定の傾向は見られず、餌生物とマアジ肉中の脂肪酸組成の相関は低かった (Fig. 17)。

魚体サイズによるDHA組成の周年変動の違い 次に、有用性が高く、かつ含量の多いDHAについて、魚体サイズの違いで組成比の周年変動に違いがあるかを Area 1 および 2 で検討した。まず、Area 1 では、中および小サイズはともに夏季に最低値を示す二次曲線に有意に回帰し、小サイズのものが中よりも大きな変動を示した (Fig. 16)。Area 2 では、大およ

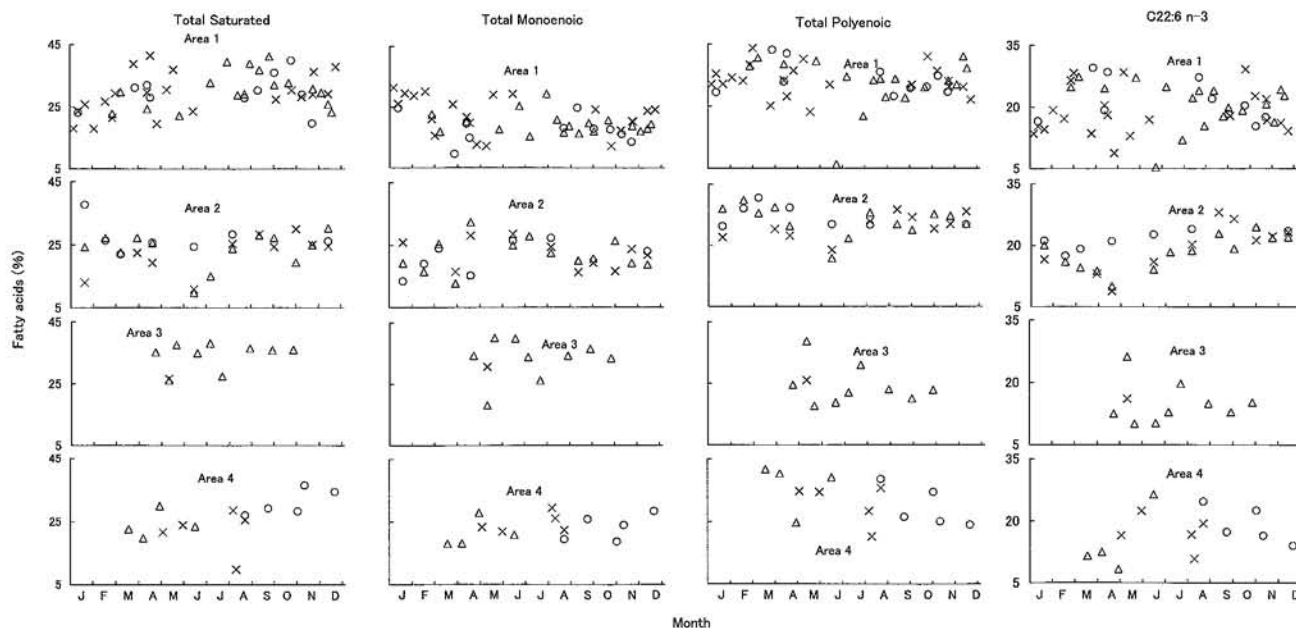


Fig. 17. Seasonal changes in fatty acid composition of intro-substance in stomach of horse mackerel. Symbols in the figure are the same as in Fig. 16.

び小サイズのものは、ともに夏季に最低値を示す二次曲線に有意に回帰し、小サイズのものが大サイズのものより大きな変動を示した。また、周年の変動を平均値で比較すると、Area 1では小サイズのもが他のサイズに比較して有意に高い値を示したが、Area 2では大、中および小サイズの間には有意差が認められなかった。

以上の結果から、マアジ肉中のDHAには周年変動があり、これはサイズの小さいものに、より明瞭に現れることが明らかになった。また、サイズの違いによるDHAの組成比の差異の有無は明らかではなかった。

漁場間での脂肪酸組成の比較 全ての漁場から供試魚が得られた4月から10月の肉と胃内容物の脂肪酸組成を漁場間で比較した (Fig. 18)。Area 1で漁獲された試料中のモノエン酸含量は他の漁場のものに比較して若干低い値を示したが、それを除けばいずれの脂肪酸も漁場間で大きな差異は無かった。一方、胃内容物の飽和酸とモノエン酸は漁場間で大きな差異が認められ、飽和酸ではArea 1および3の試料

が、モノエン酸ではArea 3の試料が他に比較して高い値を示した。ポリエン酸およびDHAの組成比は漁場間で大きな差異が無かった。

コイ¹⁰⁹⁾の脂肪酸はモノエン酸、飽和酸、ポリエン酸の順に β 酸化されやすいことが明らかにされており、本研究結果はこれらの知見と符号した。すなわち、餌生物中の脂肪酸組成は一定の季節的変動がないにも関わらず、モノエン酸は粗脂肪含量が高い時期には組成比が高く、粗脂肪含量が低い時期には組成比が低かった。このことはこれらがエネルギーとして消費されやすく、粗脂肪含量の周年変動に大きな影響を与えるものと考えられる。飽和酸は一定の値を示すことから、モノエン酸の次に消費されやすく、粗脂肪含量と同様に増減する。これに対して、DHAを主とするポリエン酸は粗脂肪含量と逆の傾向を示すことから、前二者に比較して消費されにくい。魚肉とその餌料中のDHAについてはこれまで多くの研究がなされて来ており、海産魚はDHAを合成することが出来ない¹¹⁰⁾ため、肉中のDHAは全て餌料由来とする見方が有力である。また、カツオ

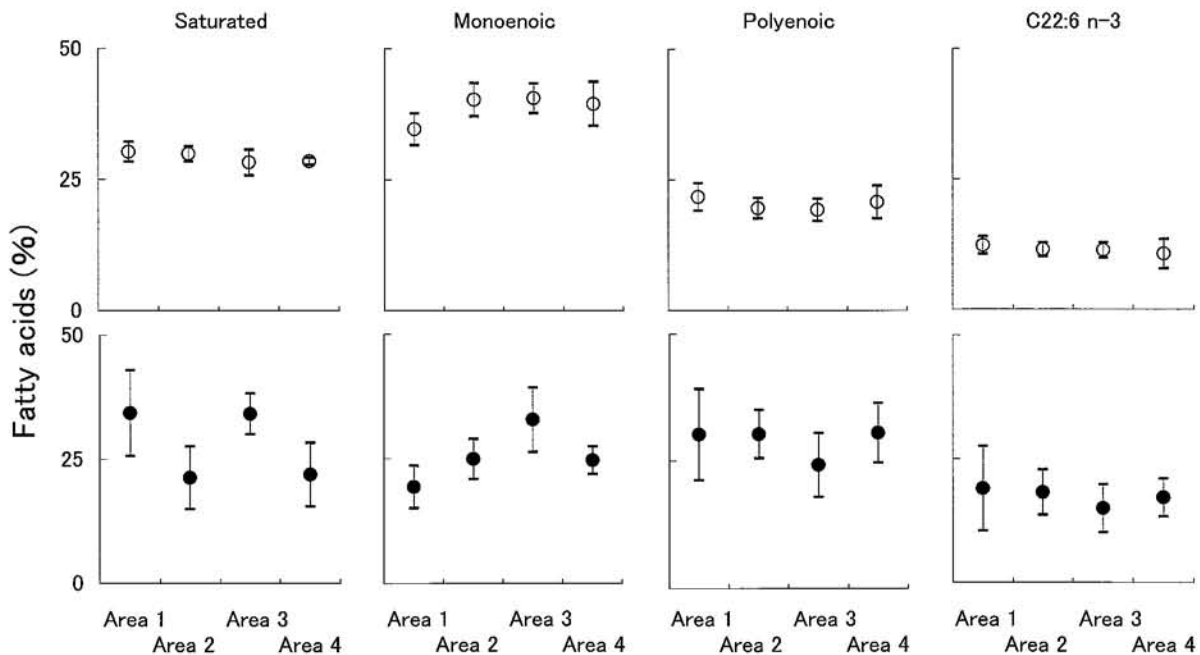


Fig. 18. Fatty acid composition and DHA content in lipid of horse mackerel. Open and closed symbols represent that of dorsal muscle and stomach content respectively. The bars top and bottom mean standard deviation.

やマグロのような高速回遊をする魚類は、 β 酸化されやすいモノエン酸や飽和酸がポリエン酸よりも先に消費されるため、結果的にDHAが組織中に多く蓄積するとされる¹¹¹⁻¹¹⁴⁾。これらの知見から、マアジ粗脂肪中のDHAが季節的変動を示す理由が以下のように考察される。すなわち、各漁場ともマアジの代謝が低下する⁶⁰⁾水温が18℃以下かそれに近い値となる冬季から、水温が上昇し始める春季にかけて徐々に摂餌が活発になり粗脂肪含量が上昇していく。次に秋季に向けて活発な索餌回遊に伴い粗脂肪中の飽和酸とモノエン酸が先に消費されDHAを主とするポリエン酸が肉中に蓄積される結果高含量を示すが、冬季には摂餌活動が不活発になり蓄積されていたポリエン酸を消費する。これと全く同じ傾向がタイセイヨウニシン⁵²⁾にも見られる。また、Area 1と2ではDHAの変動は魚体の小さいものが大きいものに比較して変動が大きかったが、マアジは成長に従って回遊は不活発になり、成長が止まると瀬付になるとされている⁸⁾。このことから回遊が盛んな若齢魚では β 酸化が活発に行われることが想定され、このことは上述のことが影響しているものと考えられる。また、マアジ肉の脂肪酸組成は漁場間でそれほど大きな差異がみられないのに対して、胃内容物の脂肪酸組成は漁場間で差異が認められた。このことは、マアジには一定の脂肪酸組成が生理的に必要であり、生理的安定性を保持していることを示唆している。

第6章 総合考察

魚類の体成分やその加工適性について述べた報告は多数存在するものの、同一の漁場で漁獲されたものを原料の性状から加工時に排出される残滓まで体系的にまとめられたものは見かけられない。さらに、同一の漁場であっても季節によりその筋肉成分や加工原料適性は異なることが想定される。このような

観点から、本論文では長崎県に水揚げされるマアジの水産加工原料適性、特にかまぼこ原料としてのマアジを、原料の性状から加工残滓に至るまでを論じてきた。

マアジは緒論においても述べたが、わが国の漁業の中でも重要魚種として位置づけられており、消費者にも非常に馴染み深い魚種でありながら、その生態については未解明なところが多いようである。また、それを加工原料として用いる場合、用途が何であるにせよ魚体成分の性状は情報として必要不可欠であるが、わが国で最もマアジの水揚げが多い長崎県産のものについては、漁場別に体成分の比較を行なった知見は見られない。但し、マアジは漁業関係者の間では「シロアジ」、「クロアジ」および「クロアジ」と漁場に基づいて呼称され、ある程度評価が決まっており⁶⁻¹³⁾、これに基づいて取引価格が形成されているが、その根拠は曖昧である。著者が長崎魚市で、東シナ海の大中型旋網漁業で漁獲されたマアジ、すなわち通称「クロアジ」を仲買業者数人に提示して、シロ、クロ、キアジのいずれかを尋ねたところ明瞭な回答は返って来なかった。このようにマアジの取引価格が形成される一方、東シナ海の水産漁業は困窮を極めており、すなわち、大中小型旋網および以西底曳網漁業の水揚げ量は減少する一方であり、以西底曳網漁業においてはほとんどの経営体が廃業した。第1章で述べたとおり、以西底曳網漁業におけるマアジは漁獲から水揚げまでの保存法に若干の問題点あったものの、粗脂肪含量をはじめ形態、表皮の色調等に、「シロアジ」と呼称されて取引価格が「クロアジ」よりも高いマアジと比較して遜色なかった。このことからマアジは品質に応じた価格形成を行うため、本研究結果の普及啓蒙をこれから行っていかなくてはならないと考える。

さらに、これをかまぼこ原料としての観点から考察すると、以西底曳網漁業で漁獲されるものは若干

粗タンパク質含量が低い傾向が見られたが、魚体サイズの違いによる粗脂肪および粗タンパク質含量の差はほとんど見られない。かまぼこ原料として用いられる魚体サイズは経済性から鮮魚としての需要が少ない小型のものが用いられており、現行の業態が最良ということになる。また、粗脂肪含量が高いものは一般に練り製品には不向きとされ、これを除去する様々な方策が講じられて来た¹¹⁶⁾。しかし、いずれも大規模な設備を必要とし、また、マアジの場合、粗脂肪含量が高い時期のものは取引価格が高いため、粗脂肪含量が高いものは塩干品等、粗脂肪含量が高いものが好まれる加工品に用いるのが適当であると思われる。

ゲル形成能は季節的変動を有することが数魚種について知られているが、マアジについては知見がなく、これについて検討した(第3章)。マアジのゲル形成能の季節的変動はマイワシ²⁴⁾およびマサバ²³⁾に比較すると小さく、また、マアジに比較すると全般的にゲル形成能が高く、かまぼこ原料として優れていた。

マアジは、マイワシ、マサバを含め、スケトウダラおよびカタクチイワシと並んでわが国の水揚げの上位を占める¹¹⁷⁾。緒言でも述べたが、わが国の水産資源を持続的に有効利用していく上で、これら魚種は重要であるが、練り製品の原料として最も使用されるスケトウダラ資源が激減している現在にあっては、多獲性魚種のなかでゲル形成能が高い、すなわちかまぼこ原料適性が高いマアジは、より重要性が増している。

アルカリ塩水晒法はマイワシ等の赤身魚のゲル形成能を向上させるために開発された⁶⁸⁾。マアジの場合、赤身魚と白身魚の間とされており、その生態も一般の赤身魚が回遊魚と言われ、終生回遊を行うのに対して、マアジは成長に伴って回遊が不活発になり、大型になると俗にいう「瀬付き」の状態にな

るとされる⁸⁾。一方で、かまぼこ業界では、マアジには赤身魚同様アルカリ塩水晒が用いられている。赤身魚にはアルカリ塩水晒が有効であるが、その機構にはpHをかまぼこ形成能の高い中性域へ移動することと筋形質タンパク質などのゲル形成阻害物質の除去⁶⁸⁾が挙げられているが、マイワシやマサバに比較してそれほどpHの低下が顕著ではないマアジについてはその効果の有無は報告されていなかった。本研究で検討を行なった結果、その効果は他の魚種に対する効果と同様に万全では無く、産卵期後の低いゲル形成能をかまぼことして優良なレベルまでに高めるには至らなかった。第2章において、マアジの粗脂肪含量が高い時期は産卵期後にあたることを述べたが、粗脂肪含量が高いことに加え、ゲル形成能が低いこの時期にあっては、先にも述べたとおり、粗脂肪含量が高いことを生かせる加工品への利用が得策と考えられた。

第2章および3章で述べてきたとおり、マアジは産卵期後である夏季を除いて高いゲル形成能を有し、練り製品原料としては優れていることを述べたが、次の問題としてかまぼこ原料としてのマアジの安定供給が考えられる。

一般に、魚類筋肉のタンパク質は冷凍すると保管中に変性し、それをかまぼこ原料に用いた場合ゲル形成能は冷凍前に比較して低いものになるが、これを解決するために開発されたものが冷凍すり身である。冷凍すり身は、品質を落とさずに長期間の凍結保管を可能にする、また、需要に応じて必要な量を用いて練り製品を製造できるという観点から、計画生産を行うためには必要不可欠である。また、頭部、内臓および骨等、かまぼこには不必要な部分をあらかじめ取り除くため、保管や輸送のコストの低減にも繋がる。冷凍すり身には、ふつう冷凍変性防止剤として5~8%の糖類と0.1~0.3%の重合リン酸塩が加えられている。

糖類としては、現在主にスクロースやソルビトールが現在使われている。近年、トレハロースが市場に安価に出回るようになった。トレハロース (α , α -トレハロース) はグルコースからなる非還元性の二糖類で、これには結合様式の異なる α , β -および β , β -の2種類の異性体がある。 α , β -トレハロースをネオトレハロース, β , β -トレハロースをイソトレハロースと呼び, α , α -トレハロースを一般にトレハロースと称している。トレハロースの水産物への機能性は、第4章で述べたとおり、魚肉加熱時におけるトリメチルアミン生成の抑制⁸⁰⁾、加熱による不飽和脂肪酸の分解および揮発性アルデヒド生成抑制⁸¹⁾などが挙げられているが、これ以外の特徴として、低甘味性、耐熱・耐酸性、澱粉老化抑制効果、タンパク質変性抑制効果、吸湿抑制効果、非う蝕性、SOD様活性物質の安定化作用が挙げられている¹¹⁸⁾。本研究ではタンパク質抑制効果について着目し、マアジアルカリ塩水晒肉の冷凍耐性、および一般に使用されている糖を添加した場合の冷凍耐性に加え、トレハロース添加した場合の冷凍耐性について研究を行なったが、耐熱・耐酸性や澱粉老化抑制効果等も、魚肉練り製品においては着目すべき特性であり、今後これらについての研究も課題である。また、これら食品に対する機能性に加え、医薬分野での利用も期待されており、トレハロースについては総合的な研究がなされていくであろう。

第1章でも述べたが、タンパク質の変性抑制物質としての糖質の研究は、魚肉すり身^{25,28,29)}、カタラーゼ^{30,31)}、ミオシン^{32,33)}、アクトミオシン³⁴⁻³⁷⁾、筋原繊維³⁸⁾を用いてなされており、いずれの場合についても冷凍変性抑制効果が認められている。本研究においては、冷凍変性抑制効果を冷凍すり身のゲル形成能、Mf Ca-ATPase活性および不凍水量の3者の相関から述べてきた。本研究結果が示すように、3者間には強い正の相関が認められ、互いに密接な関わり

り合いを持つことが明らかになった。一方、Mf Ca-ATPase活性の低下は不凍水量のみからは説明できない点もあった。すなわち、凍蔵中におけるすり身のゲル形成能の低下抑制効果はトレハロース、スクロース、ソルビトールおよびグルコースのなかでグルコースが最も劣り、さらに、Mf Ca-ATPase活性の低下抑制に対してもグルコースの効果が最も低かったにも関わらず、グルコースの不凍水量が最も多い傾向がみられた。本研究結果からはこの原因はわからないが、不凍水の増大以外にも、糖がタンパク質の変性を抑制する機構がありそうに思われた。

水産加工業において、加工時に排出される加工残滓の問題は切り離すことができない。長崎県においては、冷凍すり身製造時における排出物である頭部、内臓、中骨等はミール工場に送られフィッシュミールの原料となる。また、これまで困難とされていた水晒廃液の活用についても業界の自助努力により、水溶性成分は調味料に、また、脂溶性成分はDHAを抽出し、エチルエステル化されて食品添加物として販売されている。

そのなかで、機能性が有用視されているポリエン酸、とくにDHA¹⁰¹⁾は、消費者の健康志向に対する高まりのなかで、今後の需要も増大することが考えられる。ところが、水晒廃液からこれを効率的に抽出しようとする場合、魚類の脂肪酸組成には周年変動があることが明らかにされており^{14,18,103)}、マアジ筋肉中のDHAおよび、それを含む粗脂肪含量は大きく変動するため、これらの情報が不可欠となる。本研究結果から、マアジ筋肉中のDHAの絶対量は粗脂肪含量と連動して変動するため、晩春から初夏にかけては水晒廃液から多量のDHAを回収できるが、同時に商品価値が低いモノエン酸および飽和酸の含量も多い。一方、粗脂肪含量の低い冬季ではDHAの組成比が高いため、量は少ないが回収率は良い。よって、工場の規模や設備規模とこれらの結果を併

せて効率的な回収法を検討する必要がある。

以上のことから本研究結果は水産利用加工分野の発展、工場に寄与できるものと考えられる。

謝 辞

本研究を遂行するに当たり、終始後懇篤なるご指導を賜った長崎大学大学院生産科学研究科 野崎征宣教授に心から感謝し、厚く御礼申し上げます。また、本論文をとりまとめるにあたり、御助言、御校閲の労を賜った長崎大学大学院生産科学研究科 石原 忠教授、西ノ首英之教授、右川睦久教授に厚く御礼申し上げます。

また、学位を取得するにあたって、ご理解とご便宜を頂いた神代和道氏（元 長崎県総合水産試験場長）、小坂安廣氏（長崎県総合水産試験場長）、黒川孝雄氏（長崎県総合水産試験場次長）に感謝し、ご理解、ご便宜およびご協力を頂いた樋口通治氏（長崎県総合水産試験場水産加工開発指導センター所長）、および水産加工開発指導センターの方々に感謝します。

さらに、投稿論文作成にあたってご教授を頂いた、齋藤洋昭博士（独立行政法人水産総合研究センター中央水産研究所）、四井敏雄博士（長崎県総合水産試験場前場長）、長尾秀明氏（対馬支庁農政水産部長）に感謝します。

参考文献

- 1) 農林統計協会：漁業白書（平成11年度版），農林統計協会，東京，pp.2（2000）。
- 2) 農林統計協会：漁業白書（平成11年度版），農林統計協会，東京，pp.6（2000）。
- 3) 農林統計協会：漁業白書（平成11年度版），農林統計協会，東京，pp.29（2000）。
- 4) 農林統計協会：漁業白書（平成11年度版），農林統計協会，東京，pp.34（2000）。
- 5) 長崎県：長崎県水産業振興基本計画，長崎県，長崎，pp.17（2001）。
- 6) 山田鉄雄：対馬暖流開発調査報告書，145-176（1958）。
- 7) 畔田正格，落合 明：日水誌，28，967-978（1962）。
- 8) 田中 克，落合 明：「魚類学(下)」(田中 克，落合 明編)，恒星社厚生閣，東京，pp.788-803（1986）。
- 9) 八木庸夫：「シーフードの新時代」(21世紀の水産を考える会編)，成山堂，東京，pp.124-138（1994）。
- 10) 濱田英嗣：「水産物輸入と消費・流通の変化等に関する総合研究」(大日本水産会編)，大日本水産会，東京，pp.87-106（1991）。
- 11) 石黒正吉：「干もの塩もの」，毎日新聞社，東京，pp.94-98（1975）。
- 12) 岸田周三：「東シナ海・黄海の魚」(西海区水産研究所編)，西海区水産研究所，長崎，pp.170-171（1986）。
- 13) 守田修治，成澤哲夫：サライ，20，18-33（1996）。
- 14) 盛岡克司，堺 周平，竹上千恵，小島 渥：日水誌，65，732-738（1999）。
- 15) 松宮政弘，望月 篤：日大農獣医研報，53，56-61（1996）。
- 16) 大竹茂夫：New Food Industry，24，8-11（1982）。
- 17) 松宮政弘，大竹茂夫：日水誌，50，299-305（1984）。
- 18) 田代勇生，伊藤真吾，露木英男：日食工誌，28，309-317（1981）。
- 19) 座間宏一：「白身の魚と赤身の魚」(日本水産学会編)，恒星社厚生閣，東京，pp.53-67（1976）。
- 20) 熊谷昌士：「水産動物の筋肉脂質」(鹿山 光編)，恒星社厚生閣，東京，1985，pp.139-148。

- 21) 黒川孝雄：日水誌, 49：1741-1746 (1983).
- 22) 元廣輝重：「水産利用原料」(野中順三九編), 恒星社厚生閣, 東京, pp.270-283 (1987).
- 23) 志水 寛：昭和54年度多獲性赤身魚の高度利用技術開発研究成果の概要(水産庁研究部研究課), 水産庁, 東京, pp.50~57 (1980).
- 24) 黒川孝雄：日水誌, 49：1057-1063 (1983).
- 25) 田元 馨, 福見 徹, 西谷喬助, 田中 修, 武田二美雄：北水研報, 23, 50-60 (1961).
- 26) 西谷喬助, 武田二美雄, 田元 馨, 田中 修, 久保 正：北水試研報, 21, 44-60 (1960).
- 27) 西谷喬助, 田元 馨, 福見 徹, 相沢 悟, 武田二美雄, 田中 修, 北林 透：北水試月報, 18, 122-135 (1961).
- 28) Ikeuchi T, Shimizu W：Nippon Suisan Gkkaishi, 29, 157-160 (1963).
- 29) 川島孝省, 新井健一, 斎藤恒行：日水誌, 39, 525-532 (1973).
- 30) Shikima K, Yamazaki I：Nature, 190, 83-84 (1961).
- 31) Shikima K：Sci. Rep. Tohoku Univ. Ser. IV. (Biol), 29, 91-106 (1963).
- 32) Hashimoto Y, Yasui T：Nature, 211, 194-195 (1966).
- 33) Yasui T, Morita J, Takahashi K：J. Biochem., 60, 303-316 (1966).
- 34) 新井健一, 高橋英明, 斎藤恒行：日水誌, 36, 232-236 (1970).
- 35) 川島孝省, 大場明子, 新井健一：日水誌, 39, 1201-1209 (1973).
- 36) 新井健一, 高士令二：日水誌, 39, 533-541(1973).
- 37) Noguchi S, Oosawa K, Matsumoto J J：Nippon Suisan Gakkaishi, 42, 77-82 (1976).
- 38) 松本行司, 大泉 徹, 新井健一：日水誌, 51, 833-839 (1985).
- 39) 奥 和之, 澤谷郁夫, 茶園博人, 福田恵温, 栗本雅司：食科工, 45, 381-384 (1998).
- 40) 櫻井 実, 井上義夫：生物物理, 37, 326-330 (1997).
- 41) 永嶋伸也：食品工業における科学・技術の進歩(I)(日本食品工業学会編), 光琳, 東京, pp. 1-6 (1983).
- 42) Riedel L：Kaltechnik, 8, 374-377 (1956).
- 43) Duckworth R B：J. Food. Technol., 6, 317-323 (1971).
- 44) Parducci L G, Duckworth R B：J. Food. Technol., 7, 423-429 (1972).
- 45) Berlin E, Kilan P G, Pallanch M J：J. Colloid Interface Sci., 34, 488-494 (1970).
- 46) Harvey S C, Hoekstra P：J. Phys. Chem., 76, 2987-2994 (1972).
- 47) Sussman M V, Chin L：Science, 151, 324-325 (1966).
- 48) Kuntz I D：J. Am. Chem. Soc., 93, 514-516 (1971).
- 49) 齋藤洋昭：化学と生物, 34, 107-113 (1996).
- 50) 齋藤洋昭：食品工業, 36, 33-43 (1989).
- 51) 近藤 尚：北大水産彙報, 25, 68-77 (1974).
- 52) Hardy R, Mackie P：J. Fd. Agric., 20, 193-198 (1969).
- 53) 金沢昭夫：「現代の水産学」(日本水産学会出版委員会編), 恒星社厚生閣, 東京, pp.278-286 (1994).
- 54) Folch J, Lees M, Stanley G H S.：J. Biol. Chem., 226, 497-509 (1957).
- 55) 菅原 潔, 副島正美：「蛋白質の定量法」(瓜谷郁三, 志村憲助, 中村道徳, 船津 勝編), 東京大学出版会, 東京, pp.23-73 (1977).
- 56) Konosu S, Watanabe K, Shimizu T：Nippon Suisan Gakkaishi, 40, 909-915 (1974).

- 57) 奥野忠一：「応用統計ハンドブック」(応用統計ハンドブック編集委員会編)，養賢堂，東京，pp.207-209 (1986)。
- 58) 三淵英弘：対馬暖流開発調査報告書，133-145 (1958)。
- 59) 大迫一史，山口 陽，清原 満，野崎征宣：日水誌，67，252-260 (2001)。
- 60) 鈴木智之：日水研報，24，67-76 (1973)。
- 61) 井上尚文：「対馬暖流－海洋構造と漁業」(日本水産学会編)，恒星社厚生閣，東京，pp.27-41 (1974)。
- 62) 橋本周久，豊水正道，鴻巣章二，池田静徳：「新水産ハンドブック」(川島利兵衛，田中昌一，塚原 博，野村 稔，隆島史夫，豊水正道，浅田陽治編)，講談社，東京，pp.449-500 (1990)。
- 63) 新井健一，奥積昌世，小泉千秋，鴻巣章二，志水 寛，須山三千三，西元諄一，野田宏行，森光國，山口勝巳：「水産食品学」(須山三千三，鴻巣章二編)，恒星社厚生閣，東京，pp.71-92 (1991)。
- 64) 志水 寛：「魚肉ねり製品」(志水 寛編) 恒星社厚生閣，東京，9-24 (1984)。
- 65) 西岡不二男：魚肉ソーセージ，226：1-11 (1993)。
- 66) 志水 寛，町田 律，竹並誠一：日水誌，47；95-104 (1981)。
- 67) 石川宣次，中村邦典，藤井 豊，山野玄三，杉山豊樹，篠崎和夫，飛田 清，山口安男：東海水研報，99，31-42 (1979)。
- 68) 西岡不二男：「魚肉ねり製品」(志水 寛編) 恒星社厚生閣，東京，pp.62-73(1984)。
- 69) 志水 寛，西岡不二男：日水誌，40：267-270 (1974)。
- 70) 岡田 稔：「魚肉ねり製品」(岡田 稔，衣巻豊輔，横関源延編) 恒星社厚生閣，東京，189-212 (1981)。
- 71) 木下政人：日水誌，64，593-596 (1998)。
- 72) 成田公義，平岡芳信，城 敦子，王 錫昌，二宮順一郎，岡 弘康，中村 治，伊東慶明：食科工，47，41-45 (2000)。
- 73) Lanier T C, Lin T S, Hamann O D, Thomas F B : J. Food Sci., 46, 1643-1645 (1981)。
- 74) Cao M J, Hara K, Osatomi K, Tachibana K, Izumi T, Ishihara T : J. Food Sci., 64, 644-647 (1999)。
- 75) 志水 寛，吉本晴樹，清水 亘：日水誌，28，610-615 (1962)。
- 76) 岡田 稔：「かまぼこの科学」成山堂，東京，pp.182-183 (1999)。
- 77) 福田 裕：「水産加工とタンパク質の変性制御」(新井健一編) 恒星社厚生閣，東京，pp.9-16 (1991)。
- 78) 福田 裕：「現代の水産学」(日本水産学会編集委員会編) 恒星社厚生閣，東京，pp.338-341 (1994)。
- 79) Stewart L C, Richtmyer N K, Hudson C S : J. Am. Chem. Soc., 72, 2059 (1950)。
- 80) 奥 和之，茶園博人，福田恵温，栗本雅司：食科工，46，319-322 (1999)。
- 81) 奥 和之，茶園博人，福田恵温，栗本雅司：46，749-753 (1999)。
- 82) 花房尚史：「食品の水」(日本水産学会編) 恒星社厚生閣，東京，pp.9-24 (1973)。
- 83) Kavanau J L : Kavanau JL. Structure and function in biological membrane Vol. 1, Holden day, San Francisco, pp.171-248 (1965)。
- 84) Nemethy G, Scheraga H A : J. Chem. Phys, 36, 3382-3400 (1962)。
- 85) Nemethy G, Scheraga H A : J. Chem. Phys., 36, 3401-3417 (1962)。
- 86) 加藤 登，内山 均，塚本志朗，新井健一：

- 日水誌, 43, 857-867 (1977).
- 87) 若松利男, 佐藤 泰: 農化, 53, 415-420 (1979).
- 88) 大泉 徹, 坂田則寿. 新井健一: 昭和56年度日本水産学会春季大会講演要旨集, 237 (1981).
- 89) Arrendo E, 中村行雄, 山下康充, 市川 寿, 後藤信治, 長富 潔, 野崎征宣: 冷凍, 15, 125-133 (1998).
- 90) Yoshikawa K, Inoue N, Kawai Y, Shinano H: Fisheries Sci., 61, 804-812 (1995).
- 91) Yoshikawa K, Inoue N, Kawai Y, Shinano H: Fisheries Sci., 61, 813-816 (1995).
- 92) Kitazawa H, Kawai Y, Inoue N, Shinano H: Fisheries Sci., 61, 1037-1038 (1995).
- 93) Ohnishi M, Tsuchiya T, Matsumoto J J: Nippon Suisan Gakkaishi, 44, 27-37(1978).
- 94) Dyer W J, Fraser D I: J. Fish. Res. Bd. Canada, 16, 43-52 (1959).
- 95) Finn DB: Contr. Canada Biol. Fish. N. S., 8. 311-320 (1934).
- 96) Sych J, Lacroix C, Adambounou T, Castaigne F: J. Food. Sci., 55, 1222-1227 (1990).
- 97) Ramirez J A, Martin-Polo M O, Bandman E: J. Food Sci., 65, 556-560 (2000).
- 98) 野口 敏: 「魚肉タンパク質」(日本水産学会編) 恒星社厚生閣, 東京, pp.91-108 (1977).
- 99) 藤本健四郎: 「水産脂質」(藤本健四郎編) 恒星社厚生閣, 東京, pp.111-122 (1993).
- 100) 藤田孝夫: 「水産食品と栄養」(鴻巣章二編) 恒星社厚生閣, 東京, pp.54-69 (1984).
- 101) 奥田拓道: 「健康・栄養食品事典」東洋医学舎, 東京, pp.715-717 (1998).
- 102) 奥田拓道: 「健康・栄養食品事典」東洋医学舎, 東京, pp.678-681 (1998).
- 103) 座間宏一: 「白身の魚と赤身の魚」(日本水産学会編), 恒星社厚生閣, 東京, pp.53-67 (1976).
- 104) Osako K, Yamaguchi A, Kurokawa T, Kuwahara K, Saito H, Nozaki Y: Fisheries Sci., 印刷中.
- 105) Kanazawa A, Teshima S, Ono K.: Comp. Biochem. Physiol., 63B: 295-298 (1979).
- 106) Kayama M, Tsuchiya Y, Mead J F.: Nippon Suisan Gakkaishi, 29, 452-458 (1963).
- 107) Yamada M, Kobayashi K, Yone Y: Nippon Suisan Gakkaishi, 46, 1231-1233 (1980).
- 108) Watanabe T: Comp. Biochem. Physiol., 73(B), 3-15 (1982).
- 109) Murata H, Higashi T: Nippon Suisan Gakkaishi, 45: 211-217 (1979).
- 110) Owen J M, Adron J W, Middleton C, Cowey C B: Lipids, 10, 528-531 (1975).
- 111) Saito H, Ishihara K, Murase T: J. Food . Agric., 73. 53-59 (1997).
- 112) Saito H, Watanabe T, Murase T: Biosci. Biotec. Biochem., 59, 2186-2188 (1995).
- 113) Ishihara K, Saito H: Fisheries Sci., 62, 840-841 (1996).
- 114) Watanabe T, Murase T, Saito H: Comp. Biochem. Physiol., 111(B), 691-695 (1995).
- 116) 昭和56年度多獲性赤身魚の高度利用技術開発・水産加工廃棄物等利用技術開発研究成果の概要(水産庁研究部研究課), 水産庁, 東京, pp.87-101 (1984).
- 117) 農林統計協会: 漁業白書(平成11年度版), 農林統計協会, 東京, pp.74 (2000).
- 118) 茶園博人: 第1回トレハロースシンポジウム記録集, 株式会社林原生物化学研究所, 東京, pp.2-10 (1998).