

市販かまぼこの物性と低真空走査型電子顕微鏡観察 による微細構造の比較

森岡克司, Mohammed Ismail Hossain, 松井武史, 久保田賢, 伊藤慶明

Textural Properties and Microstructure of Commercial Fish Jelly Products (Kamaboko) by a Natural Scanning Electron Microscopy

Katsuji Morioka, Mohammed Ismail Hossain, Takeshi Matsui,
Satoshi Kubota and Yoshiaki Itoh

Kochi University, B-200 Monobe, Nankoku-shi, Kochi 783-8502

Texture measurement and a natural scanning electron microscopic observation ($\times 250$) of commercial fish jelly products (kamaboko) were performed in order to investigate the relation between textural properties and microstructure of kamaboko. Results obtained were as follows; (1) A three-dimensional network structure was observed in broiled kamaboko (yakiita kamaboko, sample 1 and 2), but not in steamed kamaboko (sashimi kamaboko, sample 3 and 4) under a natural scanning electron microscope. A natural scanning electron microscopic observation of steamed kamaboko showed a flat structure. (2) The jelly strengths of sample 1 and 3, made by the same company, were higher than those of sample 2 and 4. The jelly strength was higher in the lower (board side) of kamaboko than in the upper of it in all samples. (3) A finer network structure was observed in sample 1 than in sample 2. A natural scanning electron microscopic observation of sample 3 showed a flatter structure than that of sample 4. (4) A finer network structure was observed in the lower of kamaboko than in the upper in broiled kamaboko. A microscopic observation of the lower of steamed kamaboko showed a flatter structure than that of the upper of it. From all results, it was suggested that a differences in the microstructure of kamaboko affects the textural properties.

(Received Sep. 14, 2001; Accepted Apr. 2, 2002)

かまぼこの弾力に富んだ物性は、“足”と呼ばれ、品質を左右する最も重要な性質である。この足についてこれまで多くの研究者によって機器測定による評価が試みられており^{1)~10)}、引っ張り試験によるゲル強度¹¹⁾や押し込み試験によるジェリー強度⁵⁾が足の強さに対応すること、押し込み試験による破断曲線のパターンが足の質を示すこと¹⁰⁾などが明らかにされてきた。

一方、かまぼこの足は、筋原繊維タンパク質が三次元網状構造をつくることにより形成されると言われており¹¹⁾、この構造形成が物性に影響するものと推測されるが、かまぼこの微細構造に関する研究はそれほど多く見

られない^{12)~14)}。岡田ら¹²⁾は、光学顕微鏡を用いてかまぼこの組織観察を行い、無デンプンかまぼこ中に多孔質な構造や網目構造を認めた。また、佐藤ら¹⁴⁾は、透過型電子顕微鏡を用いてかまぼこの組織観察を行い、一部の試料に網目構造を認めたものの、観察した試料の大部分は何本かのフィラメントが凝集した状態で互いに結合した構造を示したと報告している。このように、これまでかまぼこ中で三次元の網状構造を実際に確認した例はない。また、これらの研究では、いずれもかまぼこ試料を固定・脱水・包埋あるいは乾燥などの前処理したもので組織観察しているが、これら試料作成過程は人工物を生

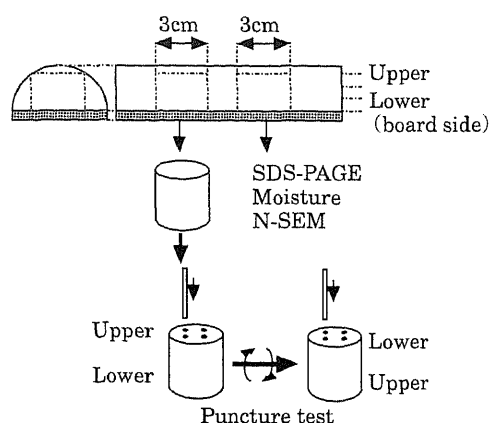


Fig. 1 Kamaboko sample used for texture measurement

Textural properties were evaluated with a rheometer (Sun CR-200D, Sun Scientific Co., Ltd.) by using the cylindrical plunger (3mm of diameter) at a plunging speed of 1mm/s. From the force-deformation curve recorded, a breaking strength (g) and a maximum dent (cm) were obtained. Jelly strength (g·cm) was expressed as a product of the breaking strength (g) and the maximum dent (cm).

む危険性も指摘されており、観察された構造が実際のかまぼこの構造を示すものであるかは不明である。

最近、我々は、生物試料を前処理しないで、試料室を低真空にし、また試料台を冷却することで試料表面の微細構造が観察可能な低真空走査型電子顕微鏡（以下、N-SEMとする）を用いてスケウダラ塩すり身ゲルの微細構造を観察し、N-SEMがかまぼこの微細構造観察に有効な手段となることを報告した¹⁵⁾。そこで本研究では、高知県産のかまぼこ4種の物性を測定するとともに、N-SEMにより微細構造を観察し、かまぼこの物性と構造の関係について検討した。

実験方法

1. かまぼこ試料

高知県産焼き板かまぼこA社製（試料1）、同B社製（試料2）、さしみかまぼこ（蒸し板かまぼこ）A社製（試料3）、同B社製（試料4）の4試料を用いた。

2. 物性及び水分の測定

Fig. 1に示したように試料から直径約3cmの円柱状

試料をかまぼこ板に対して垂直に切り出し、試料の表面側（Upper）または板側（Lower）から直径3mmの円柱状プランジャーを速度1mm/秒で押し込んで破断させ、破断強度（g）及び破断凹み（cm）を測定し、両者の積をジェリー強度とした。物性の測定数は、焼き板かまぼこは5点から9点、さしみかまぼこでは3点であった。

水分は、常圧加熱乾燥法により求めた。なお、同じ試料について2回測定した平均値を水分量（%）として示した。

3. SDS-ポリアクリルアミドゲル電気泳動（SDS-PAGE）

細切した試料約0.25gを精秤し、8M尿素-2% SDS-0.03% N-エチルマレイミドを含む50mMリン酸緩衝液（pH 7.0）を10ml添加し、テフロン製ホモジナイザーで磨砕し可溶化後、100℃で2分間加熱したものを還元試料とし、これに10%メルカプトエタノールを加えて還元したものを還元試料とした。この両試料についてWeberとOsborn¹⁶⁾の方法にしたがって3%ポリアクリルアミドゲルを用いて泳動した。

4. 低真空走査型電子顕微鏡による組織観察

前報¹⁵⁾にしたがってかまぼこのミクロトーム用刃による切断面を日立製低真空走査型電子顕微鏡S-2380Nを用いて、試料温度を-10℃、試料室圧力を7から20Pa、加速電圧を15kVで観察した。各かまぼこ試料の観察数は、5検体とした。

実験結果

1. 品質の異なるかまぼこの物性の比較

供試かまぼこ試料の押し込み試験による物性の測定結果をTable 1に示した。焼き板かまぼこでは、破断強度及びジェリー強度は試料1の方が表面側及び板側ともに統計的に有意に高く（1%または5%水準、以下同様）、逆に破断凹みは試料2の方が高い傾向を示した。さしみかまぼこでは、破断強度及びジェリー強度は試料3の方が表面側及び板側ともに有意に高く、逆に破断凹みは試料4の方が有意に高かった。焼き板かまぼことさしみかまぼこを比較すると、A・B両社製とも焼き板かまぼこで破断強度が高く、逆にさしみかまぼこで破断凹みが高い傾向が見られた。

次に各かまぼこの表面側と板側で物性を比較したところ、いずれのかまぼこでも破断強度及び破断凹みともに表面側に比べて板側で有意に高かった。かまぼこの足の強度に影響する因子としては、製造工程での加熱履歴、水分量やデンプン、卵白などの添加物の量などが挙げら

Table 1 Physical properties and moisture of four kinds of kamaboko

Sample	Type	Portion	Breaking* ¹ strength (g)	Dent* ¹ (cm)	Jelly* strength (g·cm)	Moisture (%)
1	Broiled	Upper	752±151	1.15±0.09	877±244	77.7
		Lower	1196±128	1.35±0.06	1618±235	76.6
2	Broiled	Upper	526±46	1.19±0.04	624±65	79.0
		Lower	755±73	1.42±0.07	1077±153	78.7
3	Steamed	Upper	753±42	1.23±0.04	927±69	77.8
		Lower	1008±44	1.31±0.02	1321±70	77.4
4	Steamed	Upper	478±36	1.40±0.07	670±83	79.5
		Lower	685±43	1.54±0.03	1053±60	78.9

*¹, Mean ± S.D. (n=5-9 in broiled kamaboko, n=3 in steamed kamaboko)*², Mean (n=2)

Significant differences were discussed in the text.

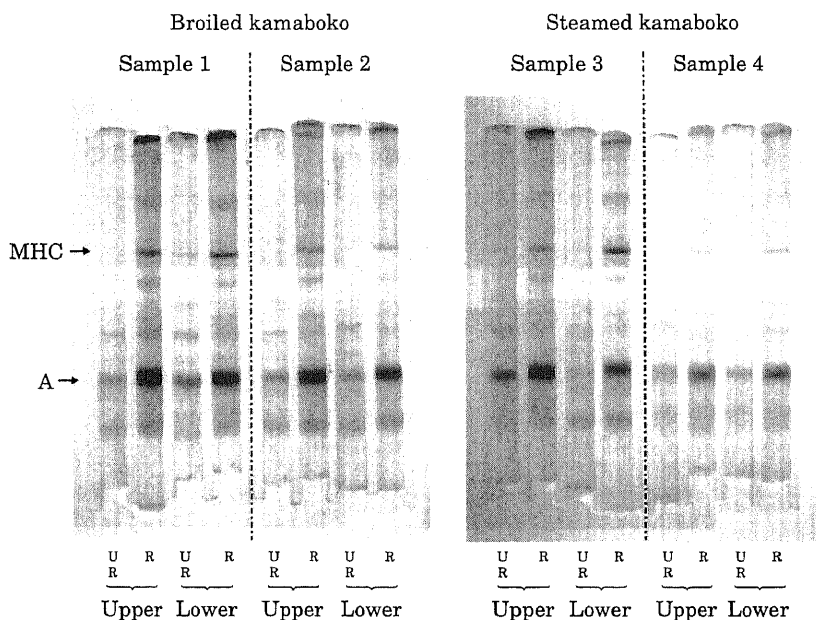


Fig. 2 SDS-PAGE patterns of four kinds of kamaboko

Electrophoresis was done according to the method of Weber and Osborn¹⁶⁾ by using 3% polyacrylamide gel. Abbreviations are as follows; UR, unreduced sample; R, reduced sample; MHC, myosin heavy chain; A, actin.

れる¹⁷⁾。このうち、加熱履歴については、かまぼこの形状が上下非対象であること、板側では表面側と異なり、板を通じて熱が伝わることなどから、表面側と板側では熱が伝わる速度が異なるものと考えられ、このことがゲ

ル強度の差を生んだ要因の一つであるものと推察される。一方、かまぼこの水分量やデンプン、卵白などの添加物の含量は、かまぼこ製造でのらい漬・副原料添加工程までは、差はないものと考えられるが、板付け工程以

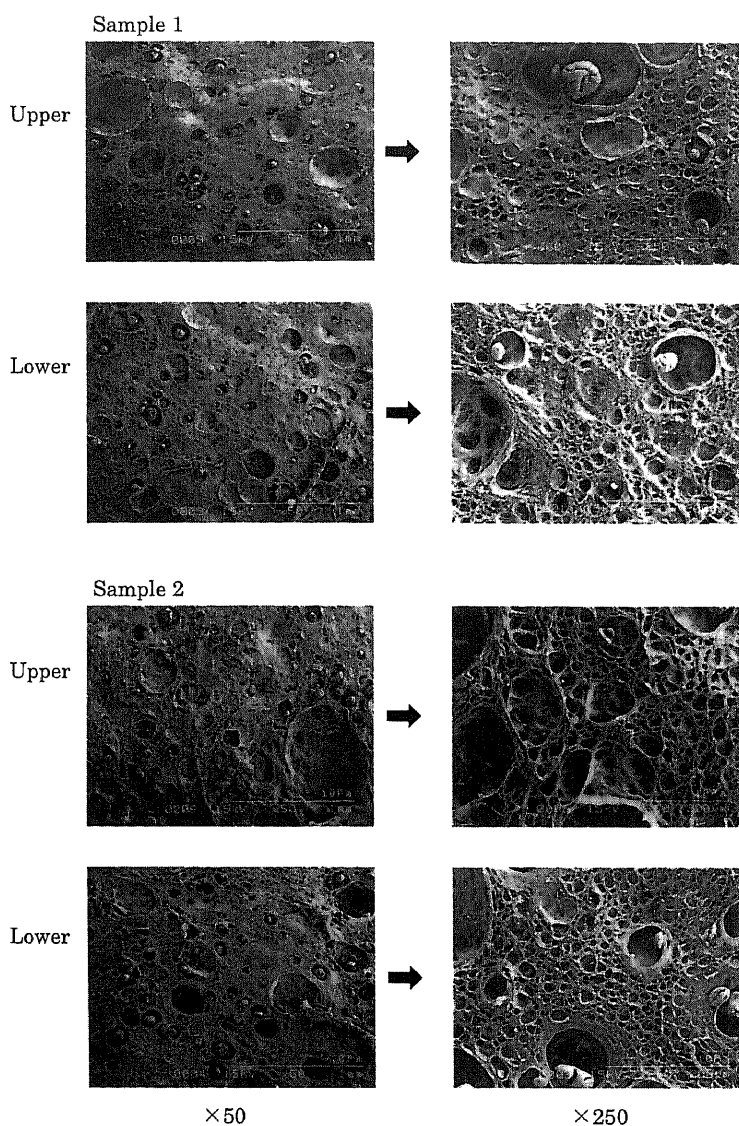


Fig. 3 Microstructure of broiled kamaboko (yakiita kamaboko)

A small gel block was cut from the kamaboko sample with a dissecting blade. The sample was mounted on copper sample holder with adhesive of vinyl acetate and examined by using a Hitachi S-2380N scanning electron microscope operated up to 15 kV.

降、板への水分の吸収や加熱による水分の蒸発などにより水分量が変化すると推察される。そこで各かまぼこ試料の水分量を表面側と板側について測定した (Table 1)。水分量 (%) は、焼き板かまぼこ、さしみかまぼこ共にジェリー強度の高い試料 1 及び 3 が試料 2 及び 4 に

比べて低かった。一方、各製品の表面側と板側で比較すると、すべての試料でジェリー強度の高い板側が表面側より若干低い値を示した。魚肉肉糊のアクトミオシン濃度 C とかまぼこの引っ張り強度 S の間には $S = kC^n$ (k , n は常数) の関係が認められている¹⁷⁾。このことから、同

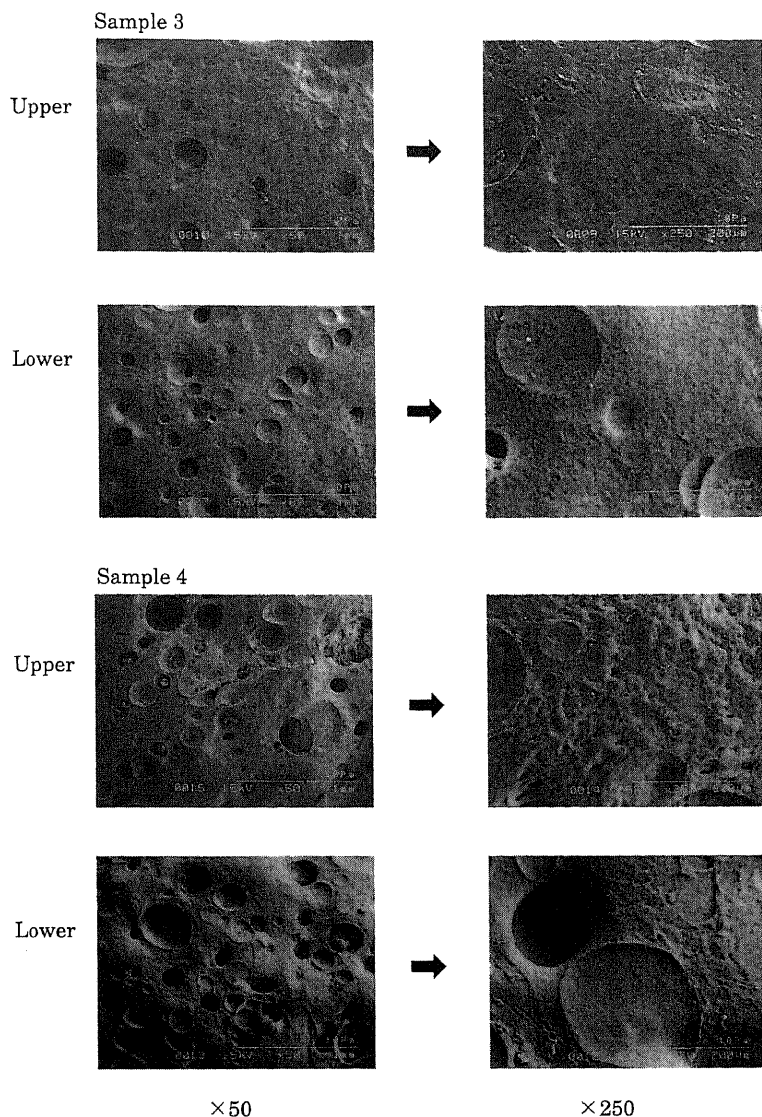


Fig. 4 Microstructure of steamed kamaboko(sashimi kamaboko)

A natural scanning electron microscopic observation was carried out according to the method as described in Fig. 3.

じ種類のかまぼこ間や同じかまぼこの表面側と板側では水分量の減少によるゲル形成を担うアクトミオシン濃度の増加より、ゲル強度の差が生じた可能性も考えられる。

2. SDS-ポリアクリルアミドゲル電気泳動像の比較

4種類のかまぼこの未還元及び還元試料のSDS-PAGE像をFig. 2に示した。未還元試料では、いずれの

試料もミオシン重鎖に相当するバンドは見られず、アクチンに相当するバンドがわずかに見られたのみである。一方、還元試料では、ミオシン重鎖に相当するバンドが認められるとともに、アクチンに相当するバンド濃度が増加した。このことから、いずれのかまぼこ中でもSS結合による高分子化が起こっているものと推察した。また、還元試料でゲルの上端に濃いバンドが認められた。

このバンドは、ミオシン重鎖の多量体であると考えられた。しかし、未還元及び還元試料の SDS-PAGE 像において、全体的に染色バンドの濃度が表面側に比べて板側で若干高いようであったが、表面側と板側の間にバンドパターンの差は見られず、表面側と板側で認められたジェリー強度の差は、SDS-PAGE 像からは説明困難であった。

3. N-SEM による微細構造の観察

焼き板及びさしみかまぼこの微細構造を Fig. 3 及び 4 に示した。焼き板かまぼこでは、試料 1 及び 2 共にところどころに大孔・小孔が見られ、その間に網状構造が認められた。また、小孔の中には大きさ数十 μm の粒状物を含むものも認められた。この粒状物は、大きさ・形状からデンプン粒ではないかと思われる (Fig. 3 左, $\times 50$)。大・小孔間の構造をさらに拡大して観察すると、いずれの試料でも三次元網状構造が認められた (Fig. 3 右, $\times 250$)。各試料でジェリー強度の高かった板側と低かった表面側の微細構造を比較すると、試料 1 及び 2 共に表面側に比べて板側でより細かい三次元網状構造が観察された。

さしみかまぼこでは、試料 3 及び 4 共に焼き板かまぼこ同様、ところどころに大孔・小孔が見られたが、その間に網状構造は認められず、全体的に滑らかな構造であった (Fig. 4 左, $\times 50$)。また、試料 4 の表面側を除き、小孔中に粒状物は認められなかった。拡大して観察しても、三次元網状構造は見られず (Fig. 4 右, $\times 250$)、さらに 1000 倍まで拡大して観察しても三次元網状構造は見られず、全体的に滑らかであった。かまぼこの表面側と板側の N-SEM 観察像を比較すると、試料 3 及び 4 共に表面側に比べて板側でより滑らかであった。

考 察

高知県産市販ねり製品の物性を測定し、その微細構造との関係について検討した。焼き板とさしみかまぼこでは、同じ会社の製品で比較すると (試料 1 と 3, 試料 2 と 4), 焼き板かまぼこで破断強度が若干高く、逆にさしみかまぼこで破断凹みが高くなる傾向であった。また、いずれのかまぼこも破断強度・破断凹み共に表面側に比べて板側で高い傾向が認められた。これまでに市販のかまぼこの物性を測定した報告は多数見られるが^{(1)~(10)}、本研究で見られたかまぼこの表面側と板側で物性が著しく異なることを報告した例はない。今回の結果は、かまぼこの物性測定、化学成分の定量及び組織観察を行う際には、使用する部位には注意する必要があることを示唆し

ている。

沼倉ら⁽¹¹⁾は、スケトウダラ塩すり身坐りゲルの物性とゲル中のタンパク質組成との関係を研究し、ゲル強度の増加の様式はミオシン重鎖の交差結合 (多量化) 反応と強く関わっていることを報告した。本研究においても、SDS-PAGE によるかまぼこ中のタンパク質組成の解析を行い、物性との関係について検討したが、物性とタンパク質組成の間に一定の関係は見られなかった。西本ら⁽¹²⁾は、スケトウダラ肉糊の坐り (25℃) に伴うゲル形成能とミオシン重鎖の交差結合能の間には高度の直線関係が成立すると報告している。これらのことから、電気泳動像によるタンパク質の重合及び分解挙動の解析は、一定の条件下 (加熱時間・温度) で調製した試料間でその物性を比較するのに有効な手段ではあるが、今回のように製法の異なる製品の物性を比較する場合、ゲルの強度を示す目安となるものの、必ずしもその強度に対応するものではないと考えられる。

次に、N-SEM によりかまぼこの微細構造を観察したところ、焼き板かまぼこでは、いずれの試料でも三次元網状構造が認められた。岡田ら⁽¹³⁾は、光学顕微鏡を用いてかまぼこの組織観察を行い、無デンプンかまぼこ中に多孔質な構造や網目構造を認めた。また、佐藤ら⁽¹⁴⁾は透過型電子顕微鏡を用いてかまぼこの組織観察を行い、一部の試料に網目構造を認めたものの、観察した試料の大部分は何本かのフィラメントが凝集した状態で互いに結合した構造を示した。また、一部の試料で見られた網目構造の観察像から、三次元網状構造の存在を示唆した。今回我々は、市販の焼き板かまぼこ中に三次元網状構造が存在することを初めて確認した。さらに、ジェリー強度の高い板側で、強度の低い表面側に比べて、またジェリー強度の高い試料 1 で、強度の低い試料 2 に比べて、細かい三次元網状構造が認められたことは、微細構造が物性に影響することを示しているものと考えられる。

一方、さしみかまぼこでは、焼き板かまぼこで観察された三次元網状構造は見られず、全体的に滑らかな構造をしており、微細構造に明らかな差が認められた。また、同じかまぼこでは、ジェリー強度の低い表面側に比べて強度の高い板側でより滑らかであった。さしみかまぼこは、伝統食品であるかまぼこ類の中では比較的新しいタイプの製品で、他のかまぼことは異なる独特のテクスチャーを持っており、物性の測定結果からも、焼き板かまぼこことジェリー強度に大差ないものの、破断強度が低く、破断凹みが高いなど異なる特徴を持っていた。このような物性と微細構造の差は、(1)添加物の種類・量が異

なること、(2)加熱方法が異なることなどの製造条件の差による可能性が考えられる。さしみかまぼこは、焼き板かまぼこと比べてデンプンを含まないこと、比較的低温で長時間坐らせてから本加熱を行うなどの点が異なっている。このような製造条件のうち、物性と微細構造の差がどの因子に起因しているのかについては今回の研究から明らかではないが、焼き板かまぼこさしみかまぼこで、物性と微細構造の間に一定の傾向が見られたことは、物性が微細構造に関係することを示唆しており、非常に興味深い。これらかまぼこの物性と微細構造形成に及ぼす添加物や加熱方法などの製造条件の影響については、現在スケトウダラ冷凍すり身を用いて検討中である。

要 約

市販のかまぼこ 4 種の物性を測定するとともに、低真空走査型電子顕微鏡 (N-SEM) により微細構造を観察した。

(1) 焼き板かまぼこさしみかまぼこでは、水分含量に差はないが、物性は異なっており、また焼き板かまぼこでは、N-SEM 観察により三次元網状構造が認められ、一方、さしみかまぼこでは、網状構造は認められず、全体的に滑らかであった。

(2) 焼き板かまぼこでは、試料 2 に比べてジェリー強度が高く、水分含量が低い試料 1 でより細かい網状構造が観察され、さしみかまぼこでも同様に試料 4 に比べてジェリー強度が高く、水分含量が低い試料 3 でより滑らかな構造をしていた。

(3) 表面側と板側とを比較するとすべての試料において板側で破断強度・凹みともに高く、また水分含量が低かった。

(4) 微細構造については、焼き板かまぼこで表面側に比べて板側でより細かい網状構造が観察され、さしみかまぼこでは、表面側に比べて板側でより滑らかであった。

以上の結果から、かまぼこの物性には、その微細構造

の差が影響しており、その差は水分含量とともに製法の違いが関与しているものと推察した。

文 献

- 1) 志水 寛, 清水 亘, 日水誌, **19**, 596 (1953).
- 2) 三宅正人, 堀口吉重, 林孝一郎, 日水誌, **21**, 1241 (1956).
- 3) Ninomiya K., *Nippon Suisan Gakkaishi*, **22**, 301 (1956).
- 4) 志水 寛, 清水 亘, 日水誌, **26**, 911 (1960).
- 5) 岡田 稔, 東海水研報, **36**, 21 (1963).
- 6) 志水 寛, 西岡不二男, 近大食研報, **2**, 23 (1964).
- 7) Takagi I. and Watanabe H., *Nippon Suisan Gakkaishi*, **39**, 653 (1973).
- 8) 山野善正, 江本三男, 吉岡正久, 福井義明, 日食工誌, **20**, 358 (1973).
- 9) 青木久尚, 望月 篤, 露木英男, 日食工誌, **29**, 180 (1982).
- 10) 森岡克司, 志水 寛, 日水誌, **56**, 923 (1990).
- 11) 岡田 稔, 新版魚肉ねり製品, 岡田 稔, 衣巻豊輔, 横関源延編 (恒星社厚生閣, 東京), p. 189 (1981).
- 12) 岡田 稔, 右田正男, 日水誌, **22**, 265 (1956).
- 13) 三宅正人, 林孝市郎, 田中明子, 丹羽栄二, 日水誌, **37**, 534 (1971).
- 14) 佐藤繁雄, 土屋隆英, 松本重一郎, 日水誌, **50**, 1869 (1984).
- 15) Kubota S., Tamura Y., Morioka K. and Itoh Y., *J. Food Sci.*, (in press).
- 16) Weber K. and Osborn M., *J. Biol. Chem.*, **244**, 4406 (1969).
- 17) 志水 寛, *New Food Industry*, **23** (9), 65 (1981).
- 18) 沼倉忠弘, 関 伸夫, 木村郁夫, 豊田恭平, 藤田孝夫, 高間浩蔵, 新井健一, 日水誌, **51**, 1559 (1985).
- 19) 西本真一郎, 橋本昭彦, 関 伸夫, 木村郁夫, 豊田恭平, 藤田孝夫, 新井健一, 日水誌, **53**, 2011 (1987).

(平成 13 年 9 月 14 日受付, 平成 14 年 4 月 2 日受理)