ねり製品に関する研究—X.

かまぼこにおける筋原繊維の分散状態
に関する電子顕微鏡観察

三宅正人・林孝市郎・田中明子・丹羽栄二

(1970年11月24日受理)

Studies on Fish Meat Jellies (Kamaboko)—X.

Electron Microscopic Observations on Dispersion of
Myofibrils in KamabokoMasato MIYAKE, Koichiro HAYASHI, Akiko TANAKA,
and Eiji NIWA*

The electron micrographs of the dispersed phases of myofibrils in the process of manufacturing Kamaboko from fish muscle and of the subcellular structures in Kamaboko have already been presented by the authors. This paper deals with a further study on the fine structure of Kamaboko by electron microscopy, clarifying a network structure which is composed of myofilaments and other protein components in myofibrils.

The method of preparing specimens for electron microscopy and that of preparing Kamaboko were the same as reported earlier. Specimens were examined in JEM-5 and JEM-7 electron microscopes of Japan Electron Optical Laboratory Co., Ltd..

It was found that there existed a difference between the dispersed phase in Kamaboko of high elasticity (Ashi) and that of low elasticity. With respect to the fine structure of Kamaboko heated after insufficient grinding, it was shown that the Z-lines still remained and between them were found the aggregates of myofilaments.

Finer structures were observed more clearly in Kamaboko prepared after sufficient grinding. Segments of the Z-lines, aggregates of myofilaments and the fine filaments having projections (knobs) along their length, reminiscent of the heads on myosin molecule, were well dispersed and thus suggesting that the myofilaments of the network structure might be the aggregates (or polymers) of myosin, binding with actin filaments which extend on each side of the segments of the Z-lines.

三宅らは前に、電子顕微鏡による観察の結果、かまぼこの製造工程において、魚肉の筋原繊維がどのように崩壊、分散して行くか¹⁾、また坐りや戻りの現象はどのような分散状態の変化に基づくものであるか²⁾を明らかにした。

一方、ソーセージに関する電子顕微鏡観察は、西尾³⁾、深沢⁴⁾、高橋⁵⁾らの報告があるが、筋原繊維中のミオフィラメントの分散状態については報告されていない。

三宅らの前の観察ではミオフィラメントの分散像について精度の欠けるうらみがあつたが、今回の実験では詳しい画像を得、筋原繊維の分散過程について、また製品中におけるその分散状態について新知見を得ることができたので、これらについて報告する。

* 三重県立大学水産学部 (Faculty of Fisheries, Prefectural University of Mie, Tsu, Mie, Japan)

実験材料および方法

原料魚は津市魚市場で入手したマアジおよび、日本冷蔵（株）津工場より入手したアブラガレイの無塩冷凍すり身である。

かまぼこ試料調製法 かまぼこは常法により調製し、無塩冷凍すり身の場合は解凍後、3%の食塩を加えて播潰、調製した。アジの加塩冷凍すり身は、精肉を5区分に分け、魚肉のみの標準と他の4つの添加区（食塩、蔗糖、アルギニンなどの組合せ）について、それぞれ播潰後、冷凍、冷蔵したもの⁶⁾を用いた。小田原かまぼこは市販最高級品で、実験に用いたかまぼこ試料中最高の足を有し、グチのみを用いた無でん粉の製品であった。

電子顕微鏡試料作製法 前報¹⁾と同じであるが、電子顕微鏡は日本電子（株）製 JEM-5、および JEM-7 を使用した。

実験結果

足の強いかまぼこ、足の弱いかまぼこにおける微細構造の差 既に前報^{1,2)}から推察されるように、筋原繊維の分散状態が密であるか、粗であるかによって足の強弱が決まるものであつて、その状態を Pl. I, Figs. 1, 2, 3 に示した。Fig. 1 は常法でつくつたアジかまぼこであり、Fig. 2 は同じアジを用いアルギニンを魚肉に対し 0.5% 添加してつくつたかまぼこである。Fig. 3 は小田原かまぼこである。

播潰によって起こる筋原繊維の崩壊過程 無塩のアブラガレイ冷凍すり身を用い、播潰不十分（塩すり 5 分間）の塩すり身を加熱したかまぼこにおける分散像を Pl. I, Fig. 4 に示した。なお同じ試料を電子顕微鏡の倍率を高めとつた写真が Fig. 5 である。

かまぼこにおけるミオフィラメントの分散 これは、マアジを用いてつくつた冷凍すり身⁶⁾を冷蔵 5 カ月後に取り出してつくつた、かまぼこより得られた。用いたすり身は、3%の食塩と 1%のアルギニンを加えてつくつた冷凍すり身、および 10%の蔗糖、3%の食塩と 1%のアルギニンを加えてつくつた冷凍すり身であるが、前者よりつくつたかまぼこの写真を Pl. II, Fig. 1 に、後者よりつくつたかまぼこの写真を Fig. 2 に示した。

考 察

足の強いかまぼこでは筋原繊維の構成成分を主とする分散系の像が密であり、足の弱いかまぼこでは粗であることが、Pl. I の Figs. 1, 2, 3 で明らかにわかる。すなわち、Fig. 1 は足が弱く、Fig. 2 および Fig. 3 は足が強い。塩基性アミノ酸を添加すると足の強いかまぼこが得られることは既に報告したが⁷⁾、この写真で見られるように、アルギニンを 0.5% 加えたかまぼこでは、組織がち密になつてることが明らかである。また著者の用いた小田原かまぼこはグチのみを原料魚としていた時の試料であり、アジの場合と違ふち密な組織像を与えているが、これは魚種による筋肉の崩壊し易さとか製造条件の差によるものと思われる。

この程度の拡大率では細かいつながりがよくわからないが、密度が濃いだけで組織としてのつながりがないとすると、脆いものになることは当然推察できる。事実は、さらに細かいつながりがあるのであつて、これについて以下に述べる。すなわち、播潰操作により筋原繊維がどのように分散して行くかについては、Pl. I, Figs. 4, 5 に示されているように、Z線が残存し中間にミオフィラメント群が単一分散、または絡み合つた状態に分散している（凝集体）ことが明らかである。よく見るとフィラメント群は互につながっているらしく見えるが、これについてはさらに播潰を十分行なつたかまぼこの写真（Pl. II, Figs. 1, 2）を見るとよくわかる。すなわち、ミオフィラメントによる細かい網状構造がはつきり認められる。ただし、播潰不十分の場合に見られるはつきりした Z線の存在はもはや認め難い。

以上の事実から、魚肉を食塩とともに播潰すると、前報¹⁾のように筋原繊維のミオフィラメントが水和膨

潤し (0.6 M KCl 中でミオシン A は単離することが知られているので、前報の写真で脱離して行くオタマジャクシのような細い繊維は、恐らくミオシン分子であろう)、漸次筋原繊維としての組織から離脱すると同時に組織が崩壊して行く。播潰が進むと Pl. I, Figs. 4, 5 のかまぼこに示されるように、Z 線がぎれぎれながら残り (Z 線はなかなかこわれ難いことが HUXLEY⁸⁾ によつて認められている)、その中央にミオフィラメント群による凝集繊維群が見られ、この両者の間に細いミオフィラメントによる網状組織が見られるようになる。さらに播潰が進むと、Z 線も中央の凝集繊維群も一層分散し、Pl. II, Figs. 1, 2 のかまぼこのように (Fig. 1 は全体の網目状態がわかるもの、Fig. 2 は結節部が比較的わかり易いものを示したが、根本的には同質で後者の試料の方が薄いようである)、全体として見ると Z 線の断片と凝集繊維群との間に、結節のあるミオフィラメントによる細かい網状組織がつくられるようになり、これがかまぼこの微細構造の根元をなすものであることがわかる。この結節のある細いフィラメントは、直接倍率 20,000× なら必らずかまぼこ試料中に認められるもので、これが最小単位の一つと考えられる。

それでは、このミオフィラメントは何であろうか。深沢ら⁴⁾ はソーセージの結着性や保水性はミオシン A によるものであり、アクチンとトロポミオシンは直接関係のないことを報告している。ミオシン A は重合し易いことが知られており、橋本⁹⁾ はミオシン多量体とアクトミオシン (長さ $\sim 7,000\text{\AA}$ の芋虫状) とが、つながりながら分子間結合によつて絡まり合つて網状構造をつくり、その内部に水や脂肪をとり込んでいるものがソーセージであると想像している。また、高橋⁵⁾ によると、 $10,000\text{\AA}$ の F-アクチンにミオシン A 分子が一定方向に矢じり状に配列しており、これらが $220\text{\AA}$ の間隔でいかだ状に寄集まつている像が得られた。HUXLEY⁹⁾ はアクトミオシンの長い分子が並列している像や、単離した I 帯では Z 線を中心に左右に約 1μ のアクチンフィラメントが刷毛状につながっている像を得、またミオシン分子凝集体の写真からミオシン分子の配列について模式図を提出している。また、ZOBELL ら¹⁰⁾ により低イオン強度の溶液から結節のあるミオシンの糸状多量体を得られている。

ただし、これらの報告は生組織について行なわれており、加熱製品であるかまぼこの微細構造にそのまま適用することはできないであろうが、かまぼこの電子顕微鏡写真を見ると、前述のように結節のある細いミオフィラメントが網状構造をつくっているのが認められ、結節間の長さは約 $450\sim 1,250\text{\AA}$ 、幅は $<10\text{\AA}$ に見える。この像は ZOBELL らの得たミオシン分子の凝集体 (多量体) に非常によく似ている。たん白質分子が熱凝固すると β 構造をとることが考えられるので、生組織の長さとは大分変ると思われるが、上の ZOBELL らの像や、HUXLEY の得た凝集体と模式図から考え、写真におけるミオフィラメントはミオシン分子の多量体で、結節は heavy meromyosin の頭部に相当するものではないかと推察される。

要 約

かまぼこの微細構造を電子顕微鏡により調べ、かまぼこの足の素因を分子レベルにおいて確かめようとした。

すなわち、かまぼこは魚肉の筋原繊維を構成するミオフィラメントが、先ず食塩により水和膨潤し崩壊した筋原繊維から分散しすり身をつくるが、播潰の中頃では Z 線が残存し Z 線と Z 線の間ミオフィラメントの凝集物ができ、残存 Z 線とミオフィラメント凝集物の間にミオフィラメントの細かい網状のつながりが生成することが認められた。なお一層播潰すると、Z 線も凝集物も細かく分散し区別でき難くなるが、中間の網状構造は結節のあるせん細なフィラメントから成立つことが認められる。このミオフィラメントは形から見て恐らくミオシンの多量体で、結節は heavy meromyosin の頭部に相当し、このミオシン多量体がミオシン凝集体および、Z 線の断片から出ているアクチンにつながっているものと推察した。

なお、足の強いのかまぼこ弱いものにおいては、筋原繊維構成成分の分散密度にはつきり差のあることが認められた。

この実験にあたり、JEM-7 型電子顕微鏡使用について便宜を与えられた日本電子株式会社に厚く謝意を

表する次第である。

文 献

- 1) 三宅正人: 本誌 31, 464~470 (1965).
- 2) 三宅正人・上住南八男: 三重県立大学水産学部紀要 5 (3), 313~316 (1965).
- 3) 西尾重光: 肉の科学 4, 47~76 (1963). 日本食肉研究会出版.
- 4) T. FUKAZAWA, Y. HASHIMOTO, and T. YASUI: *J. Food Sci.*, 26, 541~549 (1961).
T. FUKAZAWA, Y. HASHIMOTO, and T. YASUI: *ibid.*, 26, 331~336 (1961).
- 5) 高橋興威: 蛋白質核酸酵素 12, 61~67 (1967).
- 6) M. MIYAKE, A. TANAKA, and K. KAWAKAMI: *Rep. Fac. Fish., Pref. Univ. Mie*, 6 (3), 159~163 (1969).
- 7) 三宅正人・川上 謙: 本誌 32, 446~449 (1966).
- 8) H. E. HUXLEY: *J. Mol. Biol.*, 7, 280~308 (1963).
- 9) 橋本吉雄: 畜肉の科学と製造 p. 165, 養賢堂 (1966).
- 10) C. R. ZOBELL and F. D. CARLSON: *J. Mol. Biol.*, 7, 78~89 (1963).

Explanation of Plate I.

- Fig. 1. EMP of Kamaboko of low elasticity, which was prepared from the meat of jack mackerel *Trachurus japonicus*. Magnification: 12,500× (direct, 5,000×)
- Fig. 2. EMP of Kamaboko of high elasticity, which was prepared from the same meat. Magnification: 12,500× (direct, 5,000×)
- Fig. 3. EMP of Odawara Kamaboko of which elasticity was very high. Magnification: 12,000× (direct, 4,000×)
- Fig. 4. EMP of Kamaboko which was prepared from frozen meat paste (Reitosurimi) of Aburagarei *Atheresthes evermanni* after insufficient grinding. Magnification: 10,000× (direct, 5,000×)
- Fig. 5. Same as the sample in Fig. 4. Magnification: 34,000× (direct, 15,000×)

Explanation of Plate II.

- Fig. 1. EMP of Kamaboko which was prepared from frozen meat paste (jack mackerel) containing 3% NaCl and 1% arginine based on meat. Network structures are shown all over the specimen. Magnification: 40,000× (direct, 20,000×)
- Fig. 2. EMP of Kamaboko which was prepared from frozen meat paste (jack mackerel) containing 3% NaCl, 10% sucrose and 1% arginine based on meat. Network structures and fine filaments having projections along their length are shown. Magnification: 40,000× (direct, 20,000×)

Plate I.

Plate II.