

## 曲げ荷重により切断した凍結魚肉の切断面角度に及ぼす 筋線維配向角度の影響

岡本 清\*\*\*・羽倉義雄\*・鈴木寛一\*・久保田清\*

The Effect of Muscle Fiber Direction on the Cut Surface Angle of  
Frozen Fish Muscular Tissue Cut by Bending Force

Kiyoshi OKAMOTO\*\*\*, Yoshio HAGURA\*, Kanichi SUZUKI\*  
and Kiyoshi KUBOTA\*

\* Faculty of Applied Biological Science, Hiroshima University, 1-4-4  
Kagamiyama, Higashihiroshima-shi, Hiroshima 739

\*\* (Present address) Central Research Institute, Maruha Co., 16-2  
Wadai, Tsukuba-shi, Ibaraki 300-42

We have proposed a new cutting method named "Cryo-cutting" for frozen foodstuffs by applying a bending force instead of conventional cutting methods with band saw. This paper investigated the effect of muscle fiber angle ( $\theta_f$ ) to cut surface angle ( $\theta_s$ ) of frozen tuna muscular tissue at  $-70$ ,  $-100$  and  $-130^\circ\text{C}$  for the purpose of evaluating the applicability of the cryo-cutting method to frozen fishes. The results were as follows: (1) There were two typical cutting patterns ("across the muscle fiber" and "along the muscle fiber") in frozen fish. When muscle fiber angle was  $0^\circ \leq \theta_f \leq 30^\circ$ , the frozen muscular tissue test pieces were cut "across the muscle fiber" and almost all their  $\theta_s$  were  $90^\circ$ , and in particular at  $-70^\circ\text{C}$ , all the test pieces were cut at a right angle ( $\theta_s = 90^\circ$ ). When muscle fiber angle was  $40^\circ \leq \theta_f \leq 90^\circ$ , the test pieces were cut "along the muscle fiber" and all the test pieces were not cut at a right angle ( $\theta_s \neq 90^\circ$ ) except the case of  $\theta_f = 90^\circ$ . When muscle fiber angle was  $30^\circ \leq \theta_f \leq 40^\circ$ , the test pieces were cut in either of these two cutting patterns. (2) We predicted that whole frozen tuna body that made of muscle fiber and connective tissue, was possible to cut frozen tuna body (round shape) in a loin shape by bending them at  $\theta_f = 90^\circ$  and in a chunk shape by bending them at  $-70^\circ\text{C}$ .

(Received Jan. 18, 1996)

凍結マグロや冷凍ブロック牛肉等の凍結した食品材料を切断する際、一般には電動鋸が用いられる。この方法は魚肉、畜肉等の食品材料を素早く切断できるメリットがある反面、切断に伴い粉末状の肉の鋸くずが大量に発生する欠点もある。

通常凍結マグロは電動鋸を用いてロイン (loin, 四つ割)、あるいはチャンク (chunk, ころ) まで切断される (図1)。例えば一般的な大きさのマグロ (メバチマグロ、体長約 2 m, 体重約 130 kg) をチャンクに切断する場合

を想定して、1尾当たりの粉末状の鋸くずの発生量を試算すると、約 1 kg になる (上記の大きさのマグロ魚体を二重円錐 (図9) として扱い、体長を 4 等分するよう輪切りにした場合に、刃の厚さ (1 mm と仮定) 分の肉が全て粉末になるとして算出した)。1991年の国内における生鮮食用凍結マグロ (まぐろ、めばち、きはだ) の出荷量が約 10 万トン<sup>1)</sup> であることから、凍結マグロの鋸での切断により、大まかに見積もっても 1 年間に、食用に向かない粉末状の魚肉が 800 トン近く発生しているこ

\* 広島大学生物生産学部 (〒739 広島県東広島市鏡山 1-4-4)

\*\* (現住所) マルハ株式会社中央研究所 (〒300-42 茨城県つくば市和台 16-2)

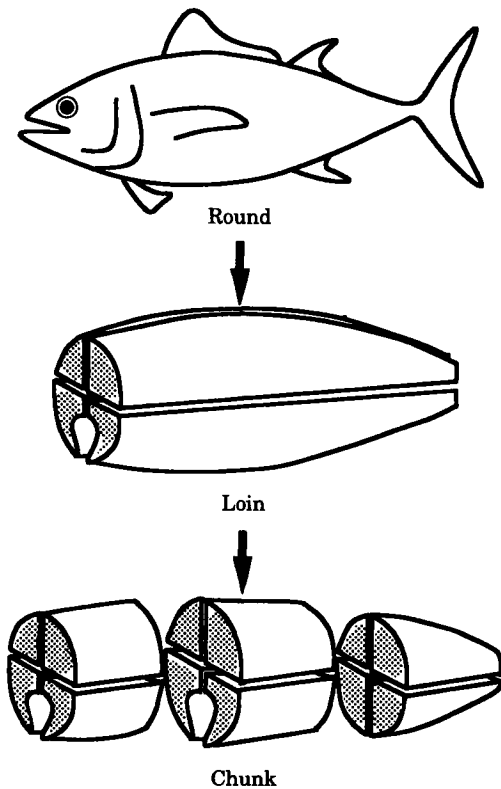


Fig. 1 Cutting process of frozen tuna with a band saw

となる。また電動鋸等の切断機械を洗浄する際には、粉末状の魚肉を含む排水が発生し、その排水処理にかかる二次的なコストも無視できないものと考えられる。これらマグロをはじめとする凍結食品材料を粉末が発生しない方法により切断することが可能となれば、従来廃棄されていた部分の肉を食用にできるため、切断加工工程における歩留まりの向上が可能となるだけでなく、排水処理など切断に伴う二次的なコストも低減できるものと考えられる。

上記の問題を解決する凍結食品材料の切断方法として、筆者らは低温切断法を提案し、この方法に関する基礎的な研究を行ってきた。低温切断法は、凍結食品材料を凍った状態のまま外部から荷重（曲げ荷重、引っ張り荷重等）を加え、材料自体に破壊を起こして切断を行う方法である。

凍結魚に曲げ荷重を加えて切断する場合の凍結切断の模式図を図2に示した。この方法では、切断の際に鋸を用いないため、粉末状の鋸屑が発生しない。また、鋸

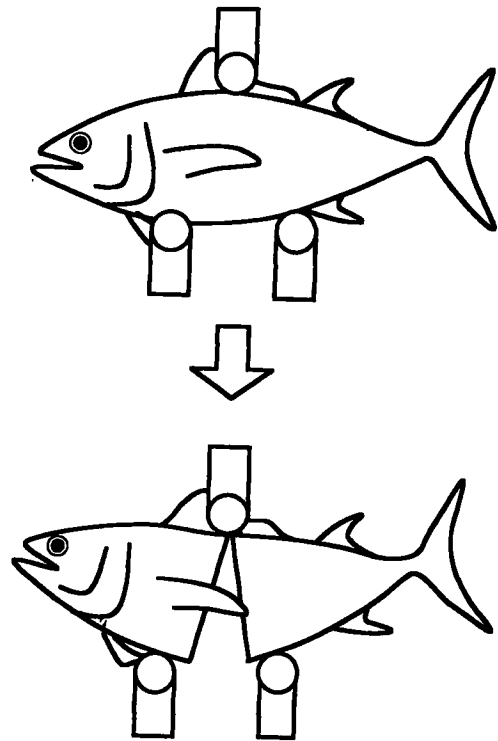


Fig. 2 Schematic illustration of the cryo-cutting method of frozen fish

を用いることにより生ずる種々の問題（刃先の食品内への混入、作業の危険性）が生じない。さらに凍結状態のまま切断を行うため加工中の品質劣化が生じない等の利点がある。

低温切断法による凍結魚の切断例として、サバ魚体を輪切りにした例を図3に示した。これは $-90^{\circ}\text{C}$ のブライン中で凍結したサバ魚体に対し、曲げ荷重を加えて切断したものである。切断面は魚体の長さ方向に対してほぼ直角となり、切断面も比較的平滑であった。また切断に伴う切りくずの発生もなかった。この低温切断法をマグロの切断加工に利用するためには、ロインに切断する場合には、切断面が魚体の長さ方向に対して平行になる必要があり、チャンクに切断する場合、図3のサバのように切断面が魚体の長さ方向に対して直角になる必要がある。

ところで図4-bに示すように、マグロの可食部分は側筋(Lateral muscle)と呼ばれる部分であり、この側筋は主として筋線維と結合組織から構成されている(図4-c)。さらに、この筋線維は、魚体内では頭部から尾部

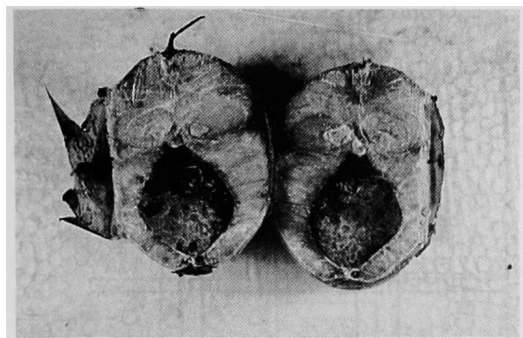


Fig. 3 Cut surface by cracking in frozen mackerel (The cryo-cutting was performed at  $-90^{\circ}\text{C}$ )

にかけて体軸に対しほぼ平行に配向している<sup>2)</sup>ことから、魚体をロインに切断する場合には、筋線維に沿った切断を行う必要があり、チャンクに切断する場合には、筋線維を断ち切る切断を行う必要がある。そのため、低温切断を用いてマグロの切断加工を行う際には、切断(荷重を加える)方向と、筋線維の配向角度との関係が切断の可否または良否を決定する要因になると考えられる。

そこで本研究では、曲げ荷重方向に対して試験片内の筋線維の配向角度を変化させた小型試験片をマグロの赤身肉から作成し、曲げ切断試験を行い、筋線維の配向角度が破壊様式に与える影響について検討を行うこととした。具体的には、筋線維の配向角度が切断後の試験片の破断面の角度に与える影響について検討し、さらに破断面の状況から筋線維を断ち切る切断が可能となる筋線維の配向角度範囲、および、筋線維に沿った切断が可能となる筋線維の配向角度範囲を決定することを本研究の目的とした。

## 実験方法

### 1. 実験試料

試料には凍結キハダマグロ [*Thunnus albacares* (Bonnoterre)] の赤身肉を用いた。赤身肉は入手後直ちに $-5^{\circ}\text{C}$ 程度まで昇温させ、凍結した状態のまま40 mm (長さ)×15 mm (幅)×15 mm (厚さ)の直方体状に切り出した。この際、筋線維の配向角度 $\theta_f$ (試験片を側面から見た場合に筋線維の配向方向と試験片の長さ方向とのなす角度)を $0^{\circ}\leq\theta_f\leq 90^{\circ}$ となるようにした(図6-b)。切り出した試験片は保存中の乾燥を防止するためポリ塩化ビニリデン製のラップで包み、 $-40^{\circ}\text{C}$ の冷凍庫内で

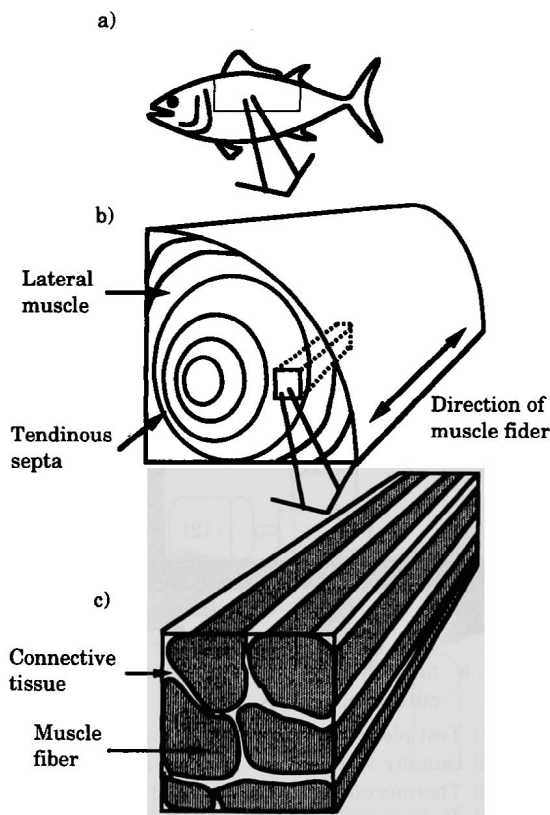


Fig. 4 The basic structure of muscle tissue in tuna

- a) Fish body
- b) Macroscopic structure of fish muscular tissue
- c) Microscopic structure of fish muscular tissue

験に使用するまで保存した。

### 2. 曲げ切断試験機

凍結魚肉の曲げ切断試験には、自作の材料試験機を用いた(図5)。試験機には、液体窒素(5)をヒーター(6)で強制的に沸騰蒸発させ、断熱容器内の温度をコントロールできる冷却装置が組み込んである。これにより曲げ切断用治具(4)および試験片(1)を試験温度まで冷却し、さらに一定温度で断熱容器を保持した状態で切断試験を行うことができる。曲げ切断試験には通常の3点曲げ試験に用いる治具を用いた。図6-aに3点曲げ切断用の治具を示した。曲げ切断試験では、試験片を上側から荷重点、下側から2つの支点により挟み、荷重点と支点間の上下方向の距離を狭めることにより試験片に曲げ荷重を加え

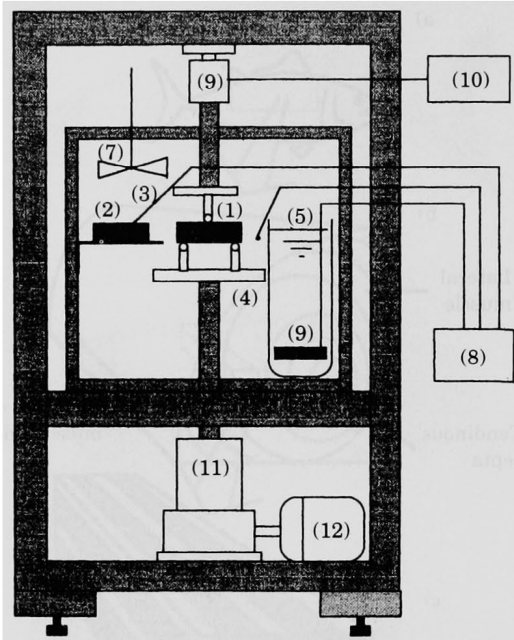


Fig. 5 Schematic diagram of the experimental cutting apparatus

- |                      |                |
|----------------------|----------------|
| (1) Test piece       | (7) Agitator   |
| (2) Dummy test piece | (8) Controller |
| (3) Thermocouple     | (9) Load cell  |
| (4) Jig              | (10) Recorder  |
| (5) Liquid nitrogen  | (11) Balljack  |
| (6) Heater           | (12) Motor     |

た。また、下側の 2 つの支点間の距離は 20 mm とした。

### 3. 実験手順

-40°C で保存しておいた試験片を取り出し、曲げ切断用治具の支点上に載せ、冷却装置により治具および試験片を試験温度 (-70, -100, -130°C) まで冷却した。温度測定用のダミー試験片 (2) の中心温度が試験温度に達した後、約 30 分間試験温度で保持し、その後、曲げ切断試験を行った。変形速度は 4 mm/min とし、試験片が完全に切断するまで曲げ荷重を加え続けた。切断試験終了後、試験片の破断面角度  $\theta_s$  (試験片を側面から見た場合破断方向と試験片の長さ方向とのなす角度) を、分度器を用いて測定した (図 6-b)。 $\theta_s$  は筋線維の配向角度  $\theta_t$  と同様に、破断面が試験片の長さ方向に垂直な場合を 90° とした (図 6-c)。

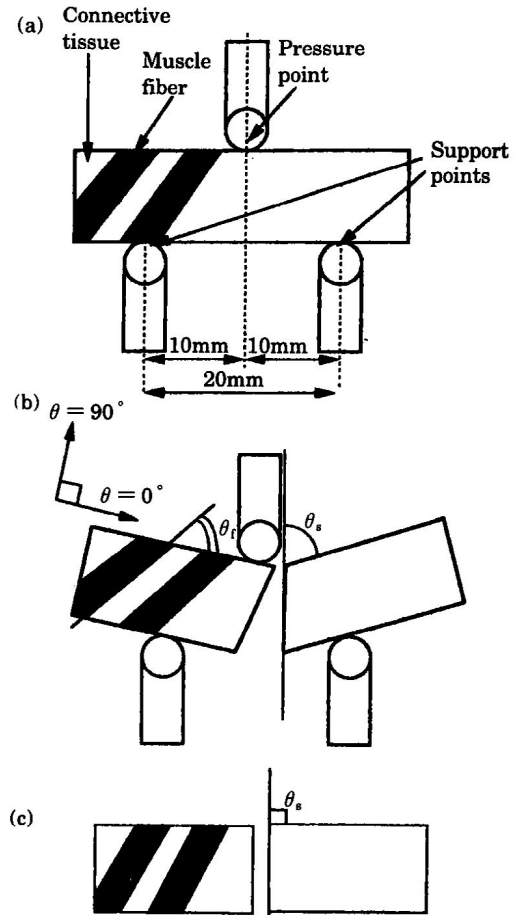


Fig. 6 The jigs for cutting test by three points bending

- A test piece of frozen tuna muscular tissue which is applied three points bending force
- The definition of muscle fiber angle ( $\theta_t$ ) and cut surface angle ( $\theta_s$ )
- A test piece in the case of  $\theta_s = 90^\circ$

### 実験結果および考察

#### 1. 切断面角度 $\theta_s$ と筋線維配向角度 $\theta_t$ との関係

任意の筋線維配向角度  $\theta_t$  を持つ試験片に対して切断試験を行い、試験後の切断面角度  $\theta_s$  を測定し、切断面角度  $\theta_s$  の筋線維配向角度  $\theta_t$  依存性を検討した。筋線維配向角度  $\theta_t$  に対して  $\theta_s$  をプロットした結果を図 7 に示した。

各試験温度において、一部の試験片を除き、筋線維の

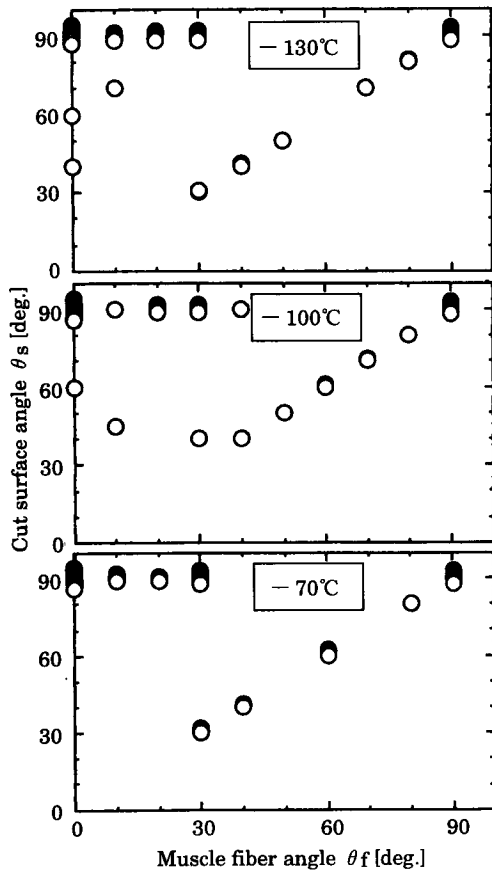


Fig. 7 Effect of muscle fiber angle ( $\theta_f$ ) on the cut surface angle ( $\theta_s$ ) of a test piece in frozen tuna muscular tissue

配向角度が  $0^\circ \leq \theta_f \leq 30^\circ$  の範囲で、試験片の切断面角度は  $\theta_s = 90^\circ$  となった。この筋線維配向角度範囲では、試験片の筋線維配向角度に関わらず常に切断面角度は  $\theta_s = 90^\circ$  となっており、また一部の試験片でも、 $\theta_s \neq \theta_f$  となっている。これは試験片の切断が筋線維自体を切断していることを表わしており、この場合筋線維の長さ方向に沿った切断は全く起こっていない。本論文では以後、このような切断機構を「筋線維を断ち切る切断」と呼ぶ(図 8-a)。

筋線維の配向角度  $\theta_f$  が  $30^\circ$  以上の場合に注目すると、 $-70^\circ\text{C}$  と  $-130^\circ\text{C}$  では  $40^\circ \leq \theta_f \leq 90^\circ$  の範囲で、また、 $-100^\circ\text{C}$  では  $50^\circ \leq \theta_f \leq 90^\circ$  の範囲で、切断面角度  $\theta_s$  は筋線維配向角度  $\theta_f$  と一致した。

これらの筋線維配向角度範囲では、試験片の筋線維配

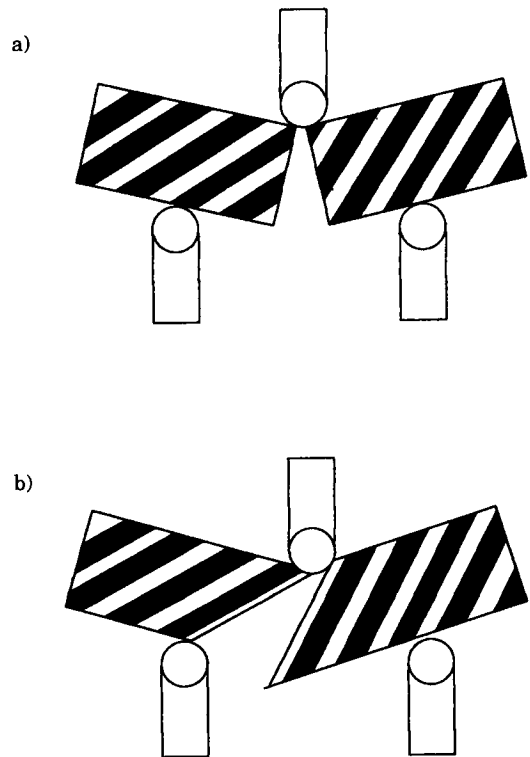


Fig. 8 Two typical cutting patterns of test pieces in frozen tuna muscular tissue

- a) Cutting across the muscle fiber
- b) Cutting along the muscle fiber

向角度と切断面角度との間には  $\theta_s = \theta_f$  の関係が得られ、筋線維の長さ方向に沿った破壊が起こっていることがわかる。ところで凍結した魚肉、畜肉の結合組織の強度は、筋線維と比べて圧倒的に小さい<sup>3)4)</sup>ことから、この場合には筋線維を束ねている結合組織の破壊によって切断が起こっていると考えられる。本論文では以後、このような切断機構を「筋線維に沿った切断」(図 8-b)と呼ぶ。

また、中間的な筋線維の配向角度では、 $-130^\circ\text{C}$  と  $-70^\circ\text{C}$  では  $\theta_f = 30^\circ$  の時に、 $-100^\circ\text{C}$  では  $\theta_f = 30^\circ$  と  $40^\circ$  の時に、試験片毎に  $\theta_s = 90^\circ$ 、 $\theta_s = \theta_f$  のいずれかが現われた。これらの筋線維配向角度では、試験片ごとに「筋線維を断ち切る切断」「筋線維に沿った切断」のどちらか一方が現われていると考えられる。

従って凍結魚肉に対して低温切断を行う場合には、曲げ荷重方向に対する筋線維の配向方向より、「筋線維を断ち切る切断」又は「筋線維に沿った切断」のどちらか

一方の切断機構により、試料の切断が起こると考えられる。

## 2. 凍結マグロの切断の可能性について

凍結魚肉の低温切断に関する知見に基づき、低温切断法による凍結マグロの切断の可能性について検討を行った。ここでは、ラウンドの凍結マグロをロイン又はチャンク(図1)に切断する場合に限って検討を行った。また実際のマグロの切断においては、表皮、骨など赤身肉以外の魚体構成要素も切断の良否に影響すると考えられるが、それらの影響に関しては今後の課題とし、今回は赤身肉の影響について検討を行った。

まず凍結魚体をロインに切断する際には、前述のとおり「筋線維に沿った切断」を行う必要がある、それは $\theta_t = 90^\circ$ の場合を指す。実験結果より、 $\theta_t = 90^\circ$ の場合には、すべての試験片で切断面角度 $\theta_s = 90^\circ$ となっていることから、低温切断法による凍結マグロのロイン切断は安定して行うことができるものと考えられる。

次に、凍結魚体をチャンクに切断する際には、図2に示すようにマグロ魚体の体軸に対して垂直に曲げ荷重を加えて、魚体を輪切りにする必要がある。従って、この場合「筋線維を断ち切る切断」を行う必要がある。今回測定した温度範囲で「筋線維を断ち切る切断」が起こる筋線維配向角度は $0^\circ \leq \theta_t \leq 20^\circ$ であるが、 $-100^\circ\text{C}$ 、 $-130^\circ\text{C}$ では、この角度範囲において切断面角度 $\theta_s = 90^\circ$ とならない試験片が10~20%の割合で存在した。しかし $-70^\circ\text{C}$ においては $0^\circ \leq \theta_t \leq 20^\circ$ の範囲ですべての試験片が $\theta_s = 90^\circ$ となった。このことから低温切断により凍結マグロをチャンクに切断する場合には、 $-70^\circ\text{C}$ に凍結し、筋線維配向角度を $0^\circ \leq \theta_t \leq 20^\circ$ に設定して曲げ荷重を加えることにより、切断面が直角になると考えられる。また凍結マグロを $-100^\circ\text{C}$ 、 $-130^\circ\text{C}$ に凍結し、同様に曲げ荷重を加えた場合、大部分の試料は切断面が直角となるが一部の試料では切断面が直角とはならないものも発生すると考えられる。

ところで、実際に凍結マグロをチャンクに切断する場合、次のような問題がある。すなわち魚体内部では、筋線維は魚体頭部から尾部にかけて体軸に対しほぼ平行に配向している<sup>2)</sup>ことから、魚体の中心(脊椎)付近では、筋線維の配向角度 $\theta_t$ は $0^\circ$ に近いが、魚体の表面付近では、筋線維は表面に沿って配向しているため、 $\theta_t$ は体軸に対してある角度を持っている。従って魚体内部の $\theta_t$ は、魚体の中心から表面に向かって $\theta_t = 0$ から徐々にその角度が増加することになる。つまり実際に魚体を輪切りにする際には、魚体表面における $\theta_t$ と魚体中心付近の

$\theta_t$ が異なることになり、このような場合の切断の可能性を新たに検討する必要がある。そこで本研究では、体軸に対する筋線維配向角度が最も大きくなる魚体表面付近の $\theta_t$ の値が、マグロのチャンク状切断(輪切り)の可否を決定すると仮定した。

そこでマグロの魚体(図9a)の形状を、図9bに示すような二重円錐<sup>5)</sup>と仮定し、魚体表面の筋線維の体軸に対する配向角度 $\theta_A$ (魚体側面における角度)、 $\theta_B$ (魚体上部、下部表面における角度)を、標準的なマグロの形状(体長、体幅、体高)に関する文献値<sup>6)</sup>を用いて算出した(表1)。その結果、4種類のマグロ(キハダ、ビンナガ、メバチ、ミナミ)における魚体表面の $\theta_A$ 、 $\theta_B$ は、すべて $20^\circ$ 以下であった。従って、これらのマグロがキハダマグロと同様の物性を持つものと仮定すると、 $-70^\circ\text{C}$ 、 $-100^\circ\text{C}$ 、 $-130^\circ\text{C}$ にマグロを凍結し、曲げ荷重によりチャンク状に切断する場合には、赤身肉には「筋

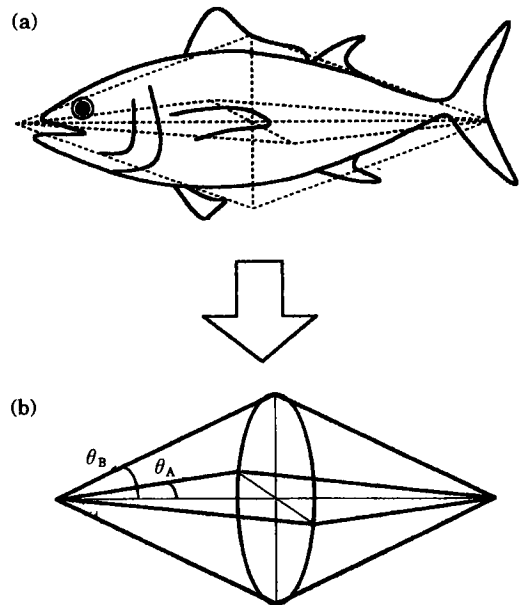


Fig. 9 Double ellipse-cone model of a tuna body

- a) A tuna body  
b) Double ellipse-cone model ( $\theta_A$ : Angle between a tangent to the body surface along the lateral line and parallel line to the spinal column.  $\theta_B$ : the angle between a tangent to the body surface along the median line and parallel line to the spinal column.)

Table 1 The value of  $\theta_A$  and  $\theta_B$  of several kinds of tuna

	Yellowfin tuna (Kihada maguro)	Albacore (Binnaga maguro)	Bigeye tuna (Mebachi maguro)	Blue fin tuna (Minami maguro)
Degree of shape A (Width/Length) [-]	0.176	0.211	0.200	0.184
Degree of shape B (Height/Length) [-]	0.244	0.276	0.318	0.244
$\theta_A (= \tan^{-1} A)$ [deg.]	9.98	12.46	11.31	10.43
$\theta_B (= \tan^{-1} B)$ [deg.]	13.71	15.43	17.64	13.71

(From reference 5)

線維を断ち切る切断」が起こるため、切断面はほぼ直角に近い角度になると考えられる。現状では骨、表皮の影響については未検討であるが、これらの影響がわずかなものであるならば、直角に近い切り口でマグロ魚体を輪切りにすることも可能であるものと考えられる。

### 要 約

筆者らは凍結した食品材料を鋸を用いずに切断する方法（低温切断法）を提案し、さらにこの方法を凍結魚肉の切断に応用することを目指している。本報告では、 $-70^{\circ}\text{C}$ 、 $-100^{\circ}\text{C}$ 、 $-130^{\circ}\text{C}$ において任意の筋線維配向角度  $\theta_i$  を持つキハダマグロ試験片の曲げ切断試験を行い、破断面角度  $\theta_r$  に与える  $\theta_i$  の影響について検討を行った。

切断試験の結果、以下のことが明らかとなった。(1) 凍結魚肉を曲げ荷重により切断した場合、切断様式は筋線維の配向角度  $\theta_i$  に依存し、 $0^{\circ} \leq \theta_i \leq 30^{\circ}$  では「筋線維を断ち切る切断」が起こり、 $40^{\circ} \leq \theta_i \leq 90^{\circ}$  では「筋線維に沿った切断」が起こることが明らかとなった。また、 $30^{\circ} \leq \theta_i \leq 40^{\circ}$  付近では、2つの切断様式が同時に現われることが明らかとなった。(2) 「筋線維を断ち切る切断」が起こる場合には、 $-70^{\circ}\text{C}$  に凍結して切断することにより切断面が直角になる可能性が高くなることが明らかとなった。また「筋線維に沿った切断」が起こる場合には、凍結温度にかかわらず  $\theta_i = 90^{\circ}$  になるように設定して曲げ荷重を加えることにより、安定して直角に切断できることが示唆された。(3) 実際の凍結マグロを低温切断法でチャンク状に切断する際に、切断面が直角になる可能性について、文献値に基づき検討を行った。この際筋線維

配向角度  $\theta_i$  が最大となるマグロ体表面付近における  $\theta_i$  が切断の可否を決定すると仮定した。その結果、メバチマグロ、ミナミマグロ、キハダマグロ、ピンナガマグロとも、 $\theta_i$  は  $20^{\circ}$  以下となり、この場合赤身肉に「筋線維を断ち切る切断」が起こると考えられ、表皮、骨の影響を除いて考えれば、直角に近い切り口でマグロを輪切りにできる可能性が高いことが示唆された。

本研究を行うにあたり、実験装置の製作にご協力いただきました広島大学生物生産学部付属機械工作室仲井敏技官に篤くお礼申し上げます。なお本研究の一部は平成6年度文部省科学研究費補助金（課題番号0676012、研究代表者羽倉義雄）で行ったものである。記して謝意を表わします。

### 文 献

- 1) 農林水産省経済局統計情報部：第68次農林水産省統計表、((財)農林統計協会、東京)、p. 482 (1993).
- 2) 野中順三九ら：新版水産生物学（恒星社厚生閣、東京）p. 11 (1976).
- 3) MUNRO, P.A.: *Meat Sci.*, 8, 43 (1983).
- 4) OKAMOTO, K., HAGURA, Y., SUZUKI, K. and KUBOTA, K.: *Development of food engineering* (ed. by YANO, T., MATSUNO, R. and NAKAMURA, K.), (Blackie Academic & Professional), p. 253 (1994).
- 5) 東京水産大学第7回公開講座編集委員会：マグロ—その生産から消費まで（成山堂書店、東京）、p. 229 (1981).

(平成8年1月18日受理)