

# イカ外套膜の破断特性にみられる異方向性と この現象に及ぼす加熱温度の影響

久木野 睦 子

## Influence of cooking temperature on the anisotropic rupture properties of squid mantle.

MUTSUKO KUGINO

### 要 約

本研究では、長崎魚市より購入したモンゴウイカ (*Sepia officinalis*) の外套膜を試料として用いた。購入直後の新鮮物を沸騰水中および60°Cの温湯で加熱し、外套膜の加熱にともなう物性変化を経時的に検索した。生イカの定速圧縮破断試験では、輪走筋方向に破断した方が輪走筋を横断して破断するよりも破断エネルギーは大きく、イカ肉の物性には異方向性が認められた。イカ肉を沸騰水中で加熱すると、いずれの方向の破断エネルギーも低下したが、破断エネルギーの低下は輪走筋方向に破断した場合に著しく、輪走筋を横断して破断した場合にはわずかであった。そのため、加熱10分以上では輪走筋方向に破断した方が輪走筋を横断して破断するよりも破断エネルギーは小さくなり、異方向性は逆転した。しかし、イカ肉を60°Cの温湯で加熱した場合は、いずれの方向の破断エネルギーも同じ程度まで低下し、加熱10分以上では破断方向による違いは認められず、イカ肉の破断エネルギーについての異方向性は見かけ上消失した。

### 緒 言

他の魚介類とは違って、イカ肉の食品としての価値は味よりも歯応え、すなわちその物性で評価されることが多い(Takahashi and Takei, 1955; Otwell and Hamann, 1979-a)。したがって、イカを加工利用、とくにイカ肉の物性を顕著に変化させる加熱処理をする場合、その処理がイカ肉の物性をどのように変化させるのかを把握することが重要である。しかし、加熱処理にともなうイカ肉の物性変化に関する実験報告は少なく、いまだ不明な点が多い。一般にイカ類は加熱すると硬くなりガムのような物性を示すと言われており(Ampola, 1974)、スルメイカ (*Ommastrephes sloani pacificus*) を用いた実験によれば、加熱したイカ肉は脱水、収縮を起こすとともに、破断張力は増大してイカ肉は硬化すると報告されている

(Migita,1953; Takahashi and Takei,1955)。しかし、一方では、アメリカケンサキイカ (*Loligo pealei*) (Otwell and Hamann,1979-b), カナダマツイカ (*Illex illecebroses*) (Stanley and Hultin, 1982), アルゼンチンマツイカ (*Illex argentinus*) (Kolodziejska et al.,1987)を用いた実験で、加熱したイカ肉の剪断力は低下し、イカ肉は軟化するとの報告もみられる。このようなちがいが測定条件や試料魚種あるいは試料の鮮度の違いなどに起因した問題であるかどうかは明らかではないが、加熱によるイカ肉の物性変化はいまだ一定の評価を得るに至っていない。従来、イカ肉の物性試験は比較的容易に行うことのできる引っ張り強度の測定によっておこなわれることが多かったが、近年ではイカ肉の物性測定方法のなかで人の咀嚼時における官能的評価にもっとも近い方法は定速圧縮破断試験であろうと考える者が多くなってきた(Akabane et al.,1981;Kuragano et al.,1984;Kugino et al.,1993)。そこで、本研究ではこの方法を用い、イカ肉の外套膜を試料として、加熱時におけるイカ肉の物性変化を経時的に詳しく調べることにした。

## 材料と方法

### 試料

本研究では、長崎魚市より購入したモンゴウイカ (*Sepia officinalis*)の外套膜を試料として用いた。購入後できるだけ早くに取り出した外套膜の外皮第一層と第二層を剥離した後、沸騰水中と60℃の湯浴で加熱し、加熱にともなう物性の変化を経時的に検索した。

### 物性測定

イカ外套膜の破断特性値の測定はすでに報告した著者らの方法(Kugino et al.,1993)に従い、以下の条件にて行った (Fig. 1)。測定に供するためのサンプルはステンレス剃刀にて切り出した。サンプルの厚さを均一にするため、サンプルの切り出し部位は外套膜のほぼ中央のみとしてその厚さはすべてのサンプルで約7mmとし、正確に長さ30mm、幅15mmの長方形に切り出した。サンプルを切り出す方向は体軸に対して平行方向 (輪走筋に平行して破断するためのサンプル) と垂直方向 (輪走筋を横断して破断するためのサンプル) とした。破断特性値は20Kgロードセルを取り付けたRE-3305型レオメーター(Yamaden Co., Tokyo, Japan)を用いて測定した。測定サンプルは外皮を上にしてステージに置き、各破断特性値 (破断応力、破断歪み、破断エネルギー) を0.3mmステンレス板プランジャーを使った定速圧縮破断試験 (圧縮速度: 1 mm/sec; クリアランス: 0.1mm; 測定温度: 25℃) にて測った。

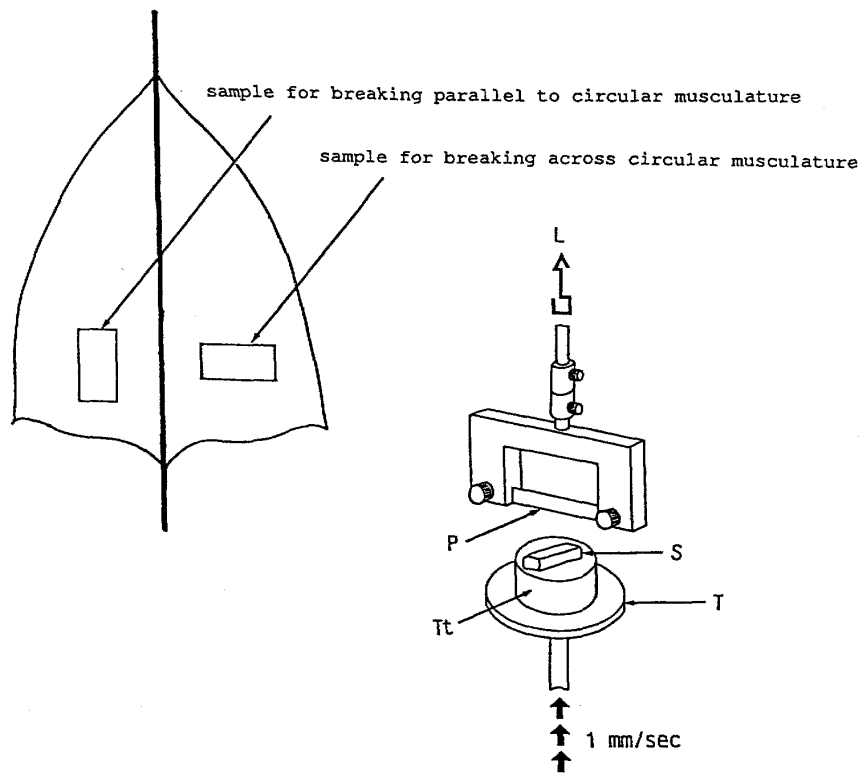


Fig. 1 Sample cutting method and illustration of the equipment for the determination of rheological properties. L, load cell; P, stainless steel plate plunger; S, specimen; Tt, teflon stage; T, stage of rheometer.

## 結 果

加熱にともなうイカ肉の物性変化をTable 1に示した。生イカでは、体軸に直交して破断（輪走筋方向に破断）した方が体軸方向に破断（輪走筋を横断して破断）するよりも破断エネルギーは大であり、イカ肉の物性には異方向性のあることがみとめられた。イカ肉を100°Cにて加熱するといずれの方向に破断した場合も破断エネルギーは低下してイカ肉は軟化した。しかし、加熱による破断エネルギーの低下は輪走筋方向に破断した場合に著しく輪走筋を横断して破断した場合にはわずかであった（Fig. 2）。加熱10分では、生るときとは反対に輪走筋を横断して破断した方が破断エネルギーは大きな値を示した。一方、イカ肉を60°Cにて加熱した場合には、いずれの方向の破断エネルギーも同じ程度まで低下し、加熱10分以上では破断方向による違いは認められず、イカ肉の破断エネルギーについての異方向性は見かけ上消失していた（Fig. 3）。

Table 1. Rupture properties of cooked squid mantle.

Cooking times (min)	Breaking parallel to circular musculature			Breaking across circular musculature		
	Stress ( $\times 10^6 \text{N/m}^2$ )	Strain (cm/cm)	Energy ( $\times 10^6 \text{J/m}^3$ )	Stress ( $\times 10^6 \text{N/m}^2$ )	Strain (cm/cm)	Energy ( $\times 10^6 \text{J/m}^3$ )
(a) Mantle cooked at 100°C						
# 0	$9.34 \pm 2.48$	$0.64 \pm 0.04$	$2.80 \pm 0.37$	$7.35 \pm 1.12$	$0.43 \pm 0.05$	$1.18 \pm 0.21$
3	$6.78 \pm 3.24$	$0.73 \pm 0.09$	$1.70 \pm 1.25$	$5.53 \pm 1.03$	$0.58 \pm 0.05$	$0.73 \pm 0.22$
10	$3.57 \pm 1.18$	$0.58 \pm 0.08$	$0.40 \pm 0.23$	$5.69 \pm 1.10$	$0.72 \pm 0.05$	$0.79 \pm 0.15$
30	$1.94 \pm 0.55$	$0.82 \pm 0.06$	$0.47 \pm 0.32$	$5.99 \pm 1.28$	$0.79 \pm 0.08$	$1.41 \pm 0.60$
(b) Mantle cooked at 60°C						
# 0	$9.34 \pm 2.48$	$0.64 \pm 0.04$	$2.80 \pm 0.37$	$7.35 \pm 1.12$	$0.43 \pm 0.05$	$1.18 \pm 0.21$
10	$6.16 \pm 1.58$	$0.66 \pm 0.10$	$1.16 \pm 0.74$	$7.61 \pm 0.86$	$0.78 \pm 0.11$	$1.45 \pm 0.63$
20	$5.52 \pm 2.32$	$0.67 \pm 0.13$	$1.19 \pm 0.94$	$9.05 \pm 1.44$	$0.75 \pm 0.06$	$1.53 \pm 0.63$
30	$6.53 \pm 2.12$	$0.75 \pm 0.06$	$1.57 \pm 0.56$	$5.95 \pm 1.05$	$0.72 \pm 0.08$	$0.89 \pm 0.46$

# Same sample are shown for easy comparison.

Rupture properties represent means and standard deviations for 5 separate experiments.

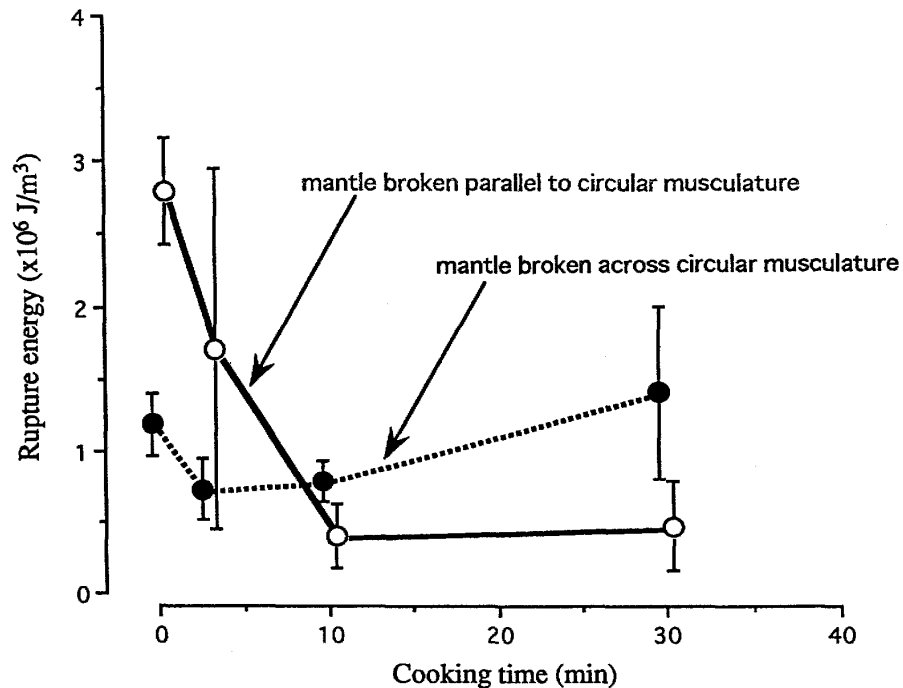


Fig. 2 Changes of rupture energy of squid mantle by cooking at 100°C. Values represent means and standard deviations for 5 separate experiments.

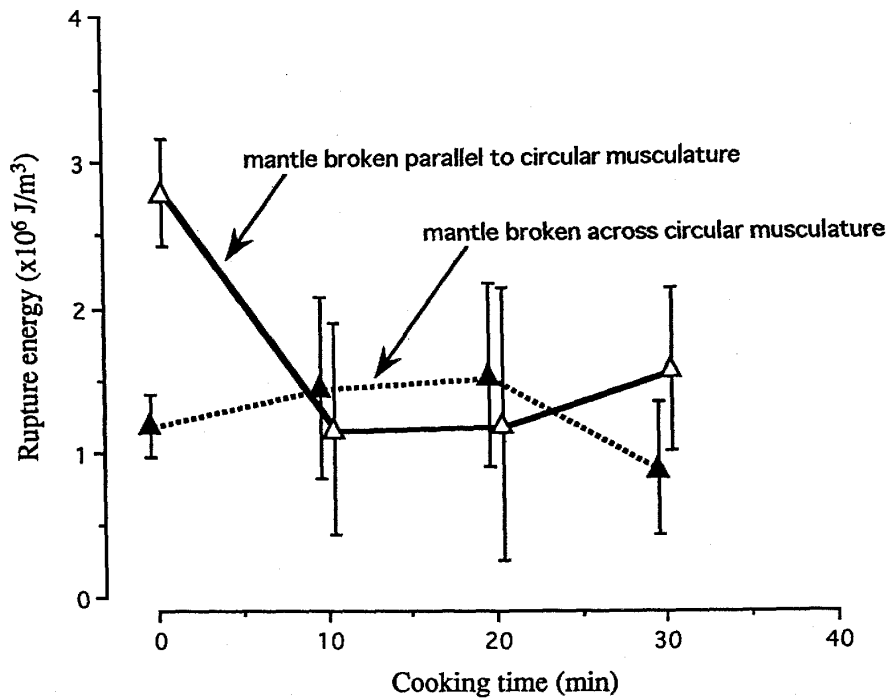


Fig. 3 Changes of rupture energy of squid mantle by cooking at 60°C. Values represent means and standard deviations for 5 separate experiments.

## 考 察

イカ外套膜は構造的にも化学組成的にも他の魚介類とは大きく異なり、非常にユニークである(Matsumoto,1959; Katsumi and Matsumoto,1969; Ward and Wainwright,1972; Moon and Hulbert,1975; Gosline and Shadwick,1983) (Fig. 4)。イカ外套膜の外皮は4層からなり、普通に皮を剥ぐと第1層と第2層だけが除かれる。加熱処理などによって第3層は剥離するが、体軸の方向に構築されたコラーゲン線維を主成分とする第4層はごく薄いが強じんで、筋層に密着しているために剥ぐことが難しい。この第4層は加熱により著しく変性し、加熱イカ肉に生じるねじれの原因といわれている(Suyama,1980)。イカ外套膜のほとんどを占めるのは筋層であり、筋層に含まれる筋線維のほとんどは体軸を中心として輪状に走る輪走筋である。また、ごく一部の筋線維は体軸から放射状に走る放射状筋である。このような構造を持つイカ外套膜を加熱した場合の組織構造および物性の変化においてはいくつかの要素が複合的に関与することが予想される。イカ筋肉組織には筋線維間の結合を担ったり、筋繊維層を包括して強固に結び付けるような働きをもった結合組織が非常に乏しいことが知られており(Moon and Hulbert,1975; Suyama,1980)、イカ筋肉組織を熱湯中で加熱すると、結合組織のネットワークは可溶化とゼラチン化によって著しく

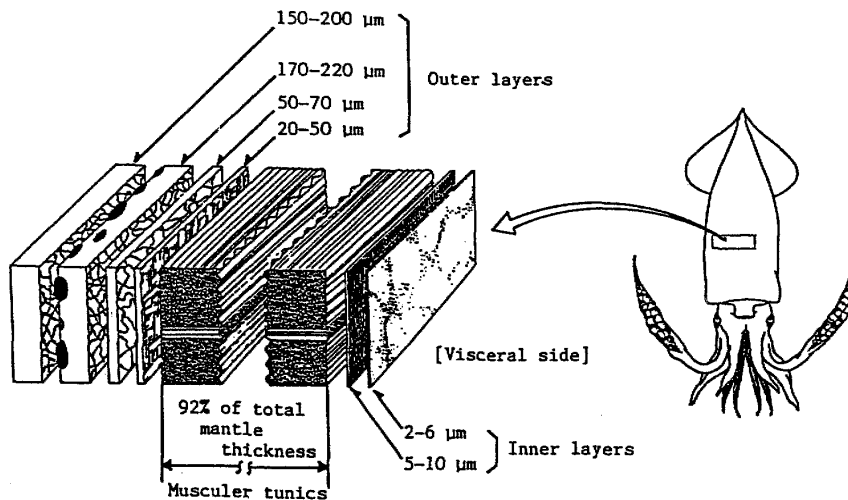


Fig. 4 Schematic diagram of structure of squid mantle. The squid mantle consists of four outer layers and two inner layers, with musculature between them. The muscle fibers are oblique muscles, with extremely narrow diameter. The muscular tunics are a layer of muscles fibers running spirally around the mantle about the body axis. The layer of muscle fibers runs radially around the body axis.

断裂、消失するとともに筋漿タンパクの凝固、分解によって全体の10%近くの蛋白質が筋組織より溶出し、連続的に脱水が生じる(Otwell and Hamann,1979-a; Stanley and Smith, 1984; Sikorski and Kolodziejska,1986; Kolodziejska et al.,1987)。一方、走査電顕での観察によれば加熱によって筋原線維蛋白質は変性して凝固、収縮し、組織密度は上昇することが報告されている(Stanley and Smith,1984; Otwell and Giddings,1980)。加熱によって生じるこのような筋繊維の微細構造変化は、筋線維蛋白質自体の凝縮、硬化を予想させるだけでなく、筋層構造の崩壊による脆弱化を引き起こしているであろうことを推察させる。本研究における物性の測定結果では、生イカ外套膜の破断エネルギーは輪走筋方向に破断する方が輪走筋を横断して破断するよりも大であり、沸騰水での加熱によっていずれの値も低下した。また、破断エネルギーの低下は輪走筋方向に破断した場合において著しく、10分以上の加熱では生イカ肉とは逆に輪走筋を横断して破断したときの破断エネルギーは輪走筋方向に破断する場合よりも高値を示した。冷凍したアメリカケンサキイカ(*Loligo pealei*)を解凍、温湯加熱したときの物性をしらべたOtwell and Hamann(1979-b)の実験においても、加熱によってイカ肉の剪断力は低下するとともに、加熱イカ肉を輪走筋を横断して剪断したときの剪断力は輪走筋方向に剪断したときよりも大きく、イカ肉の物性変化には異方向性があることを報告している。彼らは、イカ肉の物性におけるこのような異方向性は体軸方向に構築された外皮結合組織のゼラチン化や筋線維の熱硬化に起因しているであろうと推察した。Kuo et al.,(1990)も、同様に解凍したカナダマツイカ(*Illex illecebroses*)とア

メリケンサキイカ (*Loligo pealei*) を加熱した実験で、加熱イカ肉のひっぱり強度の低下は輪走筋方向に剪断するほうが輪走筋を横断して剪断するよりも顕著であり、イカ肉の物性におけるこの異方向性は体軸方向に構築される外皮コラーゲン線維が加熱によって可溶化、ゼラチン化することに関係しているのではないかと推察した。その後、彼らはこの問題について酵素分解処理を利用した検討をおこなった結果、イカ肉の物性におけるこの異方向性は外皮コラーゲン線維の可溶化とゼラチン化だけで生じているのではなく、筋繊維など他の組織成分の変化が共同して影響しているであろうと推論している。また、本実験においても生イカを60°C（コラーゲンの可溶化とゼラチン化が生じる温度）の温湯で加熱した場合には沸騰水加熱において認められたイカ肉物性変化の異方向性がほとんどみられなかったことから、イカ肉の異方向性は外皮コラーゲン線維の可溶化とゼラチン化だけでは説明できない。

本実験結果および上述の報告などを考え合わせると、イカ肉物性の異方向性に及ぼす外皮コラーゲン線維の影響はそれほど大きなものではないように考えられる。むしろ、加熱イカ肉の軟化および異方向性を引き起こしている主な原因は、筋線維蛋白質の熱変性による脱水、収縮に起因した筋線維間結合の断裂など、筋組織構造の崩壊による筋層の脆弱化であろうと推察されるが、明確な結論を得るためには加熱時における外套膜筋組織の微細構造変化を電子顕微鏡レベルで詳細に調べる等の今後の研究が待たれる。

## 謝 辞

終わりに、本研究の一部は文部省平成5年度科学研究費補助金（課題番号05780036）の助成を受けて行ったものであることを記して感謝の意を表する。

## 引用文献

- Akabane, H., Kobayashi, M., and Nakahama, N.1981. Textural properties-microstructure relationships in process of preparing soy protein gel, *J. Home Econ. Jpn.*32:426.
- Ampola, V.G.1974. Squid-its potential and status as a U.S. food resource. *Marine Fish. Rev.* 36:28.
- Gosline, J.M. and Shadwick, R.E.1983. The role of elastic energy storage mechanisms in swimming: an analysis of mantle elasticity escape jetting in the squid, *Loligo opalescens*. *Can.J.Zool.*61:1421.
- Katsumi, S. and Matsumoto, J.J.1969. Studies on the water-soluble proteins of the squid muscle; a comparative study of the mantle and the arm muscle protein. *Bull.Japan.Soc.Sci.Fish.*35:685.

- Kolodziejska, I., Sikorski, Z.E., and Sadowska, M.1987. Texture of cooked mantle of squid *illex argentinus* as influenced by specimen characteristics and treatments. J. Food Sci.52:932.
- Kugino, M., Kugino, K., and Wu, Z.1993. Rheological properties of dried squid mantle change on softening. J. Food Sci.58:321.
- Kuo, J., Peleg, M., and Hultin, H.O.1990. Tensile characteristics of squid mantle. J. Food Sci.55:369.
- Kuragano, T., Hasegawa, M., and Wada, Y.1984. Compressive breaking properties of cookies. J. Home Econ. Jpn.35:307.
- Matsumoto, J.J.1959. Studies on muscle proteins of the squid. Bull. Tokai Reg. Fish. Res. Lab. 23:51.
- Migita, M.1953. Characteristics of squid meat. Bull. Japan Soc. Sci. Fish.18:116.
- Moon, T.W. and Hulbert, W.C.1975. The ultrastructure of the mantle musculature of the squid *symplectoteuthis oualaniensis*. Comp. Biochem. Physiol.52B:145.
- Otwell, W.S. and Hamann, D.D.1979-a. Textural characterization of squid: scanning electron microscopy of cooked mantle. J. Food Sci.44:1629.
- Otwell, W.S. and Hamann, D.D.1979-b. Textural characterization of squid: instrumental and panel evaluations. J. Food Sci.44:1636.
- Otwell, W.S. and Giddings, G.G.1980. Scanning electron microscopy of squid, *Loligo pealei*: raw, cooked, and frozen mantle. Mar. Fish. Rev.42:67.
- Sikorski, Z.E. and Kolodziejska, I.1986. The composition and properties of squid meat. Food Chemistry20:213.
- Stanley, D.W. and Hultin, H.O.1982. Quality factors in cooked north atlantic squid. Can. Inst. Food Sci. Technol. J.15:277.
- Stanley, D.W. and Smith, A.K.1984. Microstructure of squid muscle and its influence on texture. Can. Inst. Food Sci. Technol.17:209.
- Suyama, M.1980. Soshiki. In Ika no Riyo p.38. Satake, H., Koseisha Koseikaku, Tokyo, Japan.
- Takahashi, T. and Takei, M.1955. On the toughness of boiled squid meat. Bull. Japan Soc. Sci. Fish.20:1015.
- Ward, D.W. and Wainwright, S.A.1972. Locomotory aspects of squid mantle structure. J. Zool. Lond.167:437.