

## イカ肉の鮮度に関する研究

久木野 睦 子

Changes in Texture and Microstructure of Squid Mantle by Storage

Mutsuko Kugino

### 要 約

本研究では消費地までのイカの輸送方法の違いが、イカ肉の死後変化にどのような影響をおよぼすのかを明らかにするために、冷蔵輸送、冷海水蔵輸送、活魚輸送したイカおよび対照として漁獲後即殺したイカをさばいて取り出した外套膜筋肉を24時間冷蔵保存し、経時的にATP量、物性値および筋組織構造を調べた。その結果、活魚輸送した場合は即殺した場合のATP分解パターンと同様であったが、冷海水蔵輸送した場合は、さばいたときにすでにATPはほとんど分解しており、そのイカ筋組織には筋束間に大きな乖離を生じていることがわかった。また、レオメーターによる破断強度測定でも冷海水蔵輸送のイカ肉は特異な破断特性を示すことが明らかとなった。冷蔵輸送の場合、ATP分解のパターンは冷海水蔵輸送の場合と似通っていたが、イカ筋組織の観察像は対照とした漁獲後即殺したイカのそれに近いものであった。

### 緒 言

筆者はこれまで調理・加工にともなうイカ外套膜の堅さの変化を物性と組織構造の面から研究してきた (Kugino M et al., 1993; 久木野, 1994; Kugino M and Kugino K, 1994; Kugino M and Kugino K, 1995; Kugino M et al., 1997)。そして、外套膜の堅さは、外套膜筋繊維のほとんどが体軸を輪走しているイカ独特の構造から、この筋組織構造の変化に起因し、方向性を持った物性変化をすること、また、保存や加熱にともないイカ肉は軟化することを報告した。しかしながらイカ肉の物性変化に関する他の研究では必ずしも筆者らの結果と一致しない点も見られ (安藤ら1997; 安藤ら2000; Kagawa et al.; 2000香川ら2000; 安藤ら2000), これはそれぞれの実験で用いた試料イカの状態の違いが影響していることが原因であることが考えられる。これまで一定の方法で殺したイカについて保存にともなう物性や筋組織構造の変化を検討した報告はあるものの、漁獲後のイカの取り扱い方法の影響を比較検討した報告は見当たらない。魚肉の場合、死後の経過時間だけでなく死に至る経過によっても

魚肉の堅さは異なることが知られており(安藤1997)、イカの場合も当然その影響が予想される。

そこで本研究では、輸送方法に起因した試料イカの状態の違いが冷蔵保存中におけるイカ肉の死後変化にどのような影響を及ぼすのかを明らかにする目的で、漁獲後の生きたイカを異なる方法で輸送し、実験室にてさばいて外套膜を取り出し、これを24時間冷蔵庫(5℃)にて保存している間、経時的に筋肉中のATP量、レオメータによる物性測定および透過電子顕微鏡による筋組織構造の観察を行った。

## 試料および方法

### 材料

本研究では、長崎県近海で漁獲された体重約1kgの活きの良いアオリイカを入手し実験に供した。実験群は4つとし、漁獲後すぐに内臓神経を切断して即殺した群(漁獲後即殺群)、生きたイカを冷蔵ボックス(5℃)に入れて2時間輸送した後試料とした群(冷蔵輸送群)、生きたイカを氷を入れた海水中(0℃)に入れて2時間輸送した後試料とした群(冷海水蔵輸送群)、生きたまま活魚輸送車の水槽中に入れて2時間輸送した後試料とした群(活魚輸送群)とした。いずれのイカも実験室に搬入後は速やかに内臓および頭腕部、外皮第1層、第2層を除去して外套膜を調製した。調製した外套膜はポリエチレンフィルムで包み、5℃にて保存し6・12・24時間後に生の試料および20分間沸騰水中で加熱した試料を測定に供した。

### ATP量の測定

ATP量の測定は槌本らの核酸関連物質の測定方法(槌本ら1985)により行った。すなわち、各測定時における生イカ試料1gを低温下で10%過塩素酸により3回抽出した後、水酸化カリウムにてpH6.4に調整後、高速液体クロマトグラフィーにより測定した。カラムは $\mu$ -Bondapak C<sub>18</sub>, 3.9mm i.d.×30cm溶離液は0.05Mリン酸バッファー(pH6.8)、流速1.5ml/min、検出波長は254nmであった。

### 物性測定

イカ外套膜の破断特性値の測定は著者らの方法によって行った(Kugino M and Kugino K, 1994)。測定試料はステンレス剃刀にて一定のサイズ(30×15mm)に切り出した。試料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試料)と垂直方向(輪走筋を横断して破断するための試料)とした。破断特性値は20kgロードセルを取り付けた山電社製RE-3305型レオメータを用いて測定した。外皮を上にして測定試料をステージに置き、0.3mm厚ステンレスプランジャーを使った定速圧縮破断試験(圧縮速度:1mm/sec, クリアランス:0.1mm)により求めた。

## 組織観察

組織観察は著者らの方法により行った (Kugino M and Kugino K, 1994)。

## 結 果

図1にはイカ筋肉1gあたりのATP量の推移を示した。保存開始時点では、活魚輸送群と漁獲後即殺群ではATP量が高い値を示したが、冷蔵輸送群ではおよそその半分、冷海水蔵輸送群ではほとんど検出できなかった。保存6時間後では、活魚輸送群と漁獲後即殺群のATP量は2/3程度に減少し、冷蔵輸送群と冷海水蔵輸送群では検出できなかった。保存12時間後では、漁獲後即殺群でのみ若干のATPが検出された。

図2には保存にともなう生イカの破断エネルギーの変化を示した。(a)は輪走筋方向に破断した場合、(b)は輪走筋を横断して破断した場合である。輪走筋方向に破断した場合、保存にともなっていずれの群も破断エネルギーは減少したが、冷蔵輸送群で若干高い値を示す傾向がみられた。一方、輪走筋を横断して破断した場合、保存開始時では漁獲後即殺群と活魚輸送イカは高い値を示し、その後経時的に低下した。冷蔵輸送群と冷海水蔵輸送群では保存にともなう破断エネルギーの減少は見られなかった。

図3にはイカを加熱した場合の破断エネルギーの変化を示した。(a)は輪走筋方向に破断した場合、(b)は輪走筋を横断して破断した場合である。輪走筋方向に破断した場合、どの群も生イカの破断エネルギーにくらべると顕著に低く、また、保存中の変化もそれほど明確では

$\mu\text{mol}/\text{筋肉}1\text{g}$

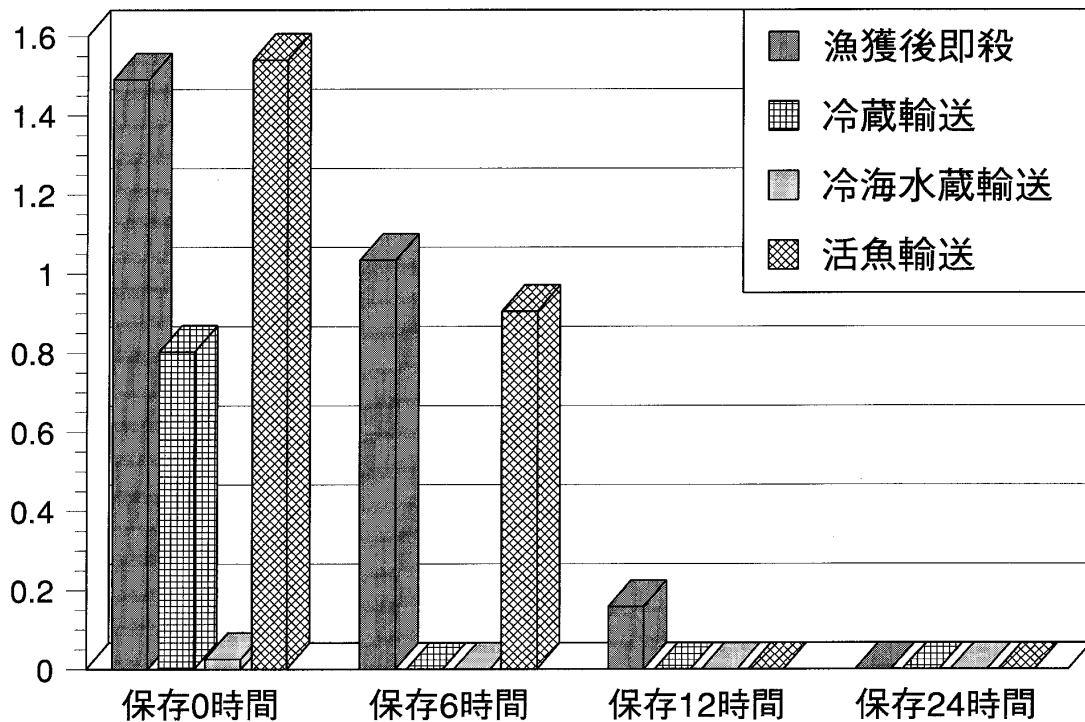


図1 保存にともなうATP量の減少

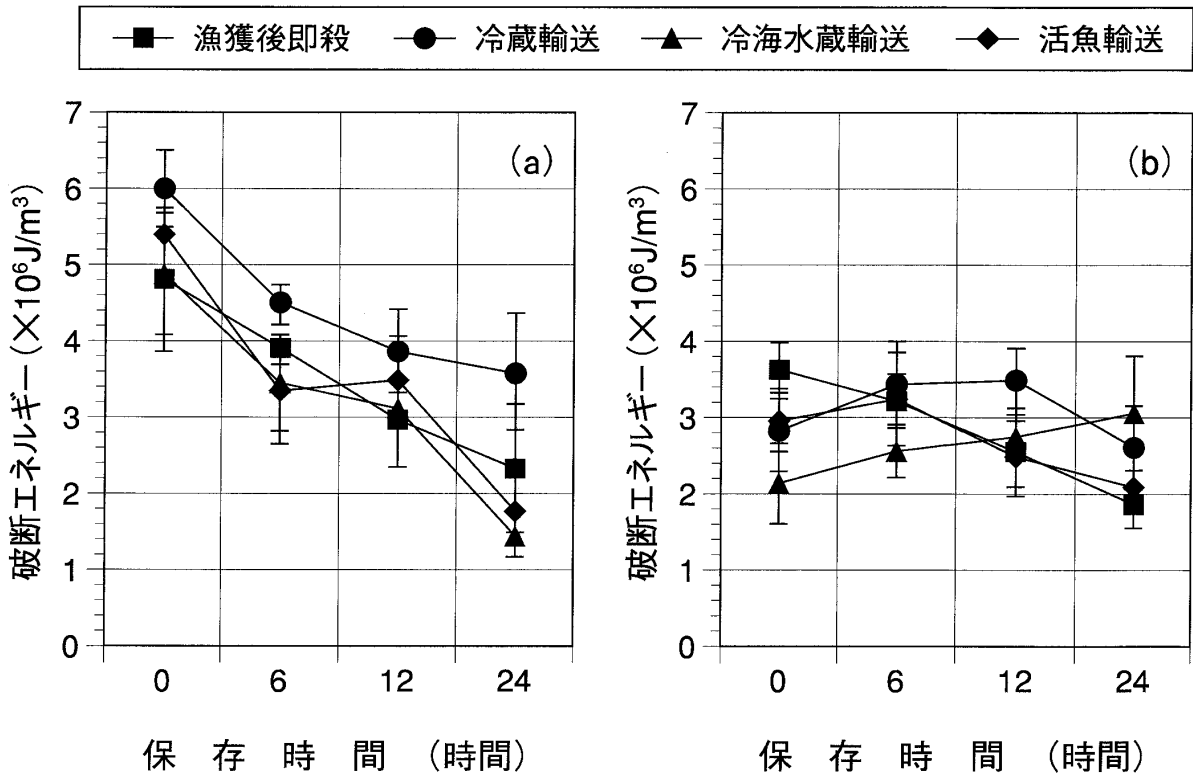


図2 保存にともなう生イカ肉の破断エネルギーの変化

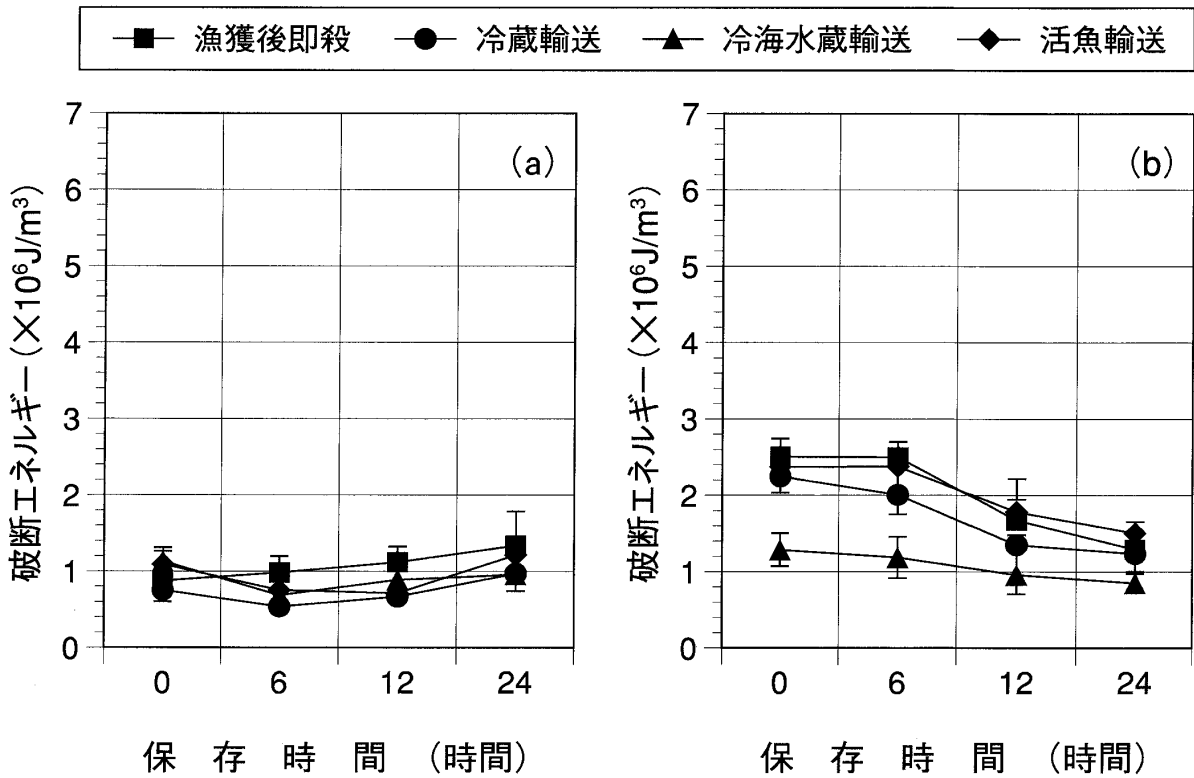


図3 保存にともなう加熱イカ肉の破断エネルギーの変化

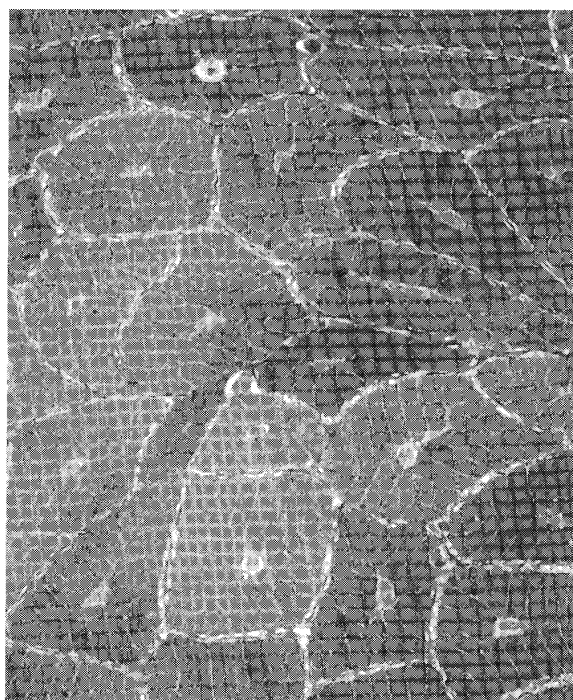
なかった。輪走筋を横断して破断した場合は、どの群も生イカよりやや低い値を示し、保存にともなって若干低下する傾向を示した。また、冷海水蔵輸送群は他の群よりもやや低い値を推移していた。

図4には保存0時間の生イカ肉の透過電顕による筋組織構造観察結果を示した。漁獲後即殺群および活魚輸送群では個々の筋線維構造や筋線維間結合構造が明瞭に観察され、極めてインタクトな状態が観察された。冷蔵輸送群についてもほぼ同様の像が観察されたが、わずかながら筋線維間に間隙が生じている部分も見られた。冷海水蔵輸送群では筋線維間に著しい乖離が生じており、筋線維間結合構造の破壊物と思われる低電子密度の物質が筋線維間に一様に観察された。また、一部には筋原線維間に乖離を生じている筋線維も観察され、広範な組織破壊が観察された。

図5には保存24時間の生イカ肉の透過電顕による筋組織構造観察結果を示した。漁獲後即殺群と活魚輸送群では、筋線維間に間隙が生じており、また、筋原線維間にも若干の乖離が生じていることが広範に観察された。しかし筋原線維構造は維持されているように見られた。冷蔵輸送群では筋線維間および筋原線維間の乖離がさらに進んでいることが観察された。冷海水輸送群では筋線維間および筋原線維間の乖離は保存開始時と同様に顕著であったが、その間隙部分に見られた低電子密度の物質は減少していた。

## 考 察

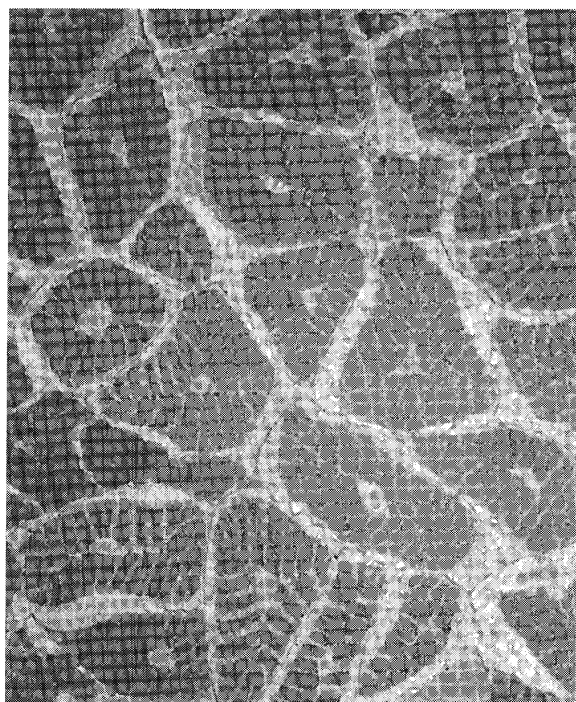
本研究では消費地までのイカの輸送方法の違いが、イカ肉の死後変化にどのような影響をおよぼすのかを明らかにするために、冷蔵輸送、冷海水蔵輸送、活魚輸送したイカおよび対照として漁獲後即殺したイカをさばいて取り出した外套膜筋肉を24時間冷蔵保存し、経時的にATP量、物性値および筋組織構造を調べた。魚肉では鮮度低下にともなう魚肉中のATPがADP、AMPを経てヒポキサンチンとなることから核酸関連化合物の相対量を計算して鮮度の指標として用いられる(山中ら1995)。イカの場合、このATP分解反応は一般の魚類にくらべ速く進むと考えられていることから(石川, 1991)、ATP関連化合物すべてから算出される鮮度指標ではなく、細胞内エネルギー通貨であるATPの存在を知ることが細胞レベルにおける生物活性や生死を推察する上で有効であると考えられる。本実験において保存6時間までの筋肉中ATP量は活魚輸送群と漁獲後即殺群とでほぼ同様の高い値を示しており、この時点では筋組織レベルにおいて生命活動をある程度維持していることが推察される。筋組織の死後変化はATPの消失する保存12時間前後から開始すると推察される。しかし、保存12時間においては漁獲後即殺群で若干のATPが測定されたのに対し、活魚輸送群ではATPが検出できなかったことから、ADPからATPを再合成するために用いられる筋肉内エネルギー物質が2時間の輸送中にある程度消耗されたことが推察される。また、実際の活魚輸送が長時間に及ぶ場合も少なくないことを考えると個体死後の保存中におけるATP



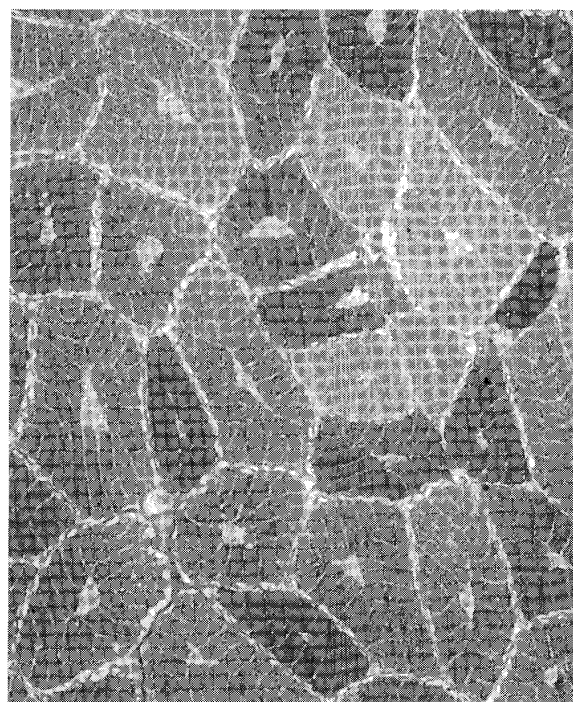
漁獲後即殺



冷蔵輸送



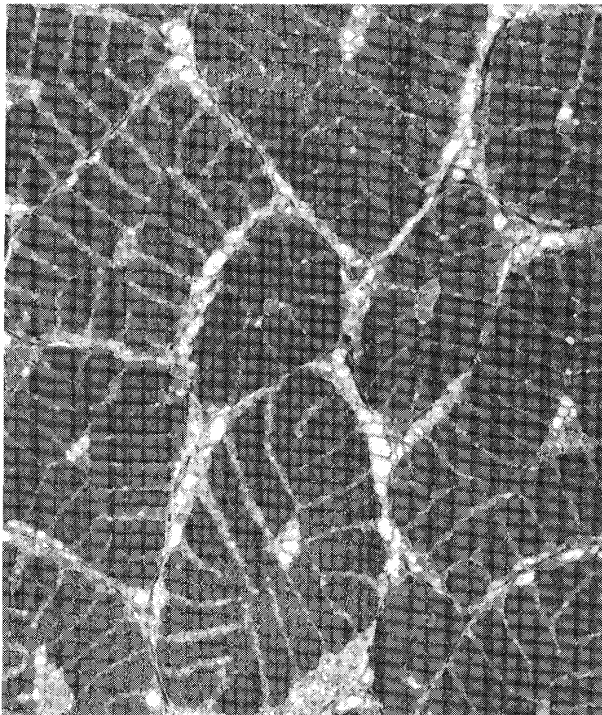
冷海水蔵輸送



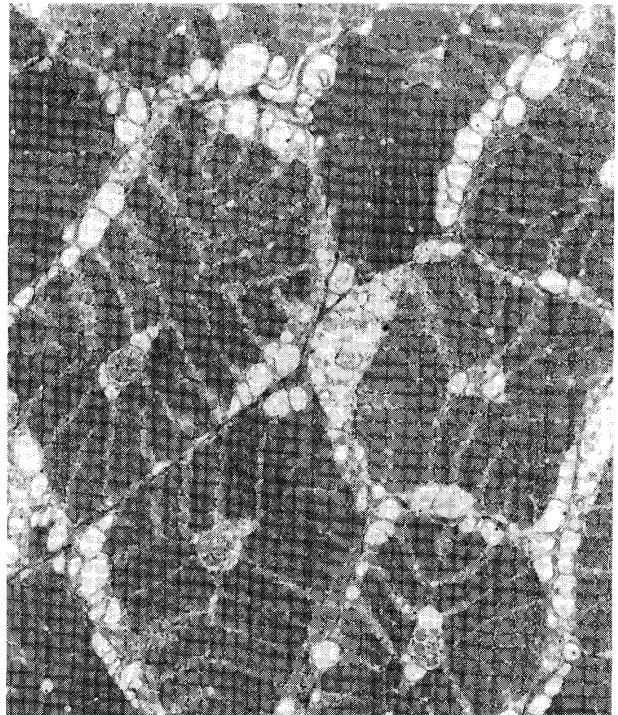
活魚輸送

図4 保存開始時における生イカ外套膜組織 (×3500)

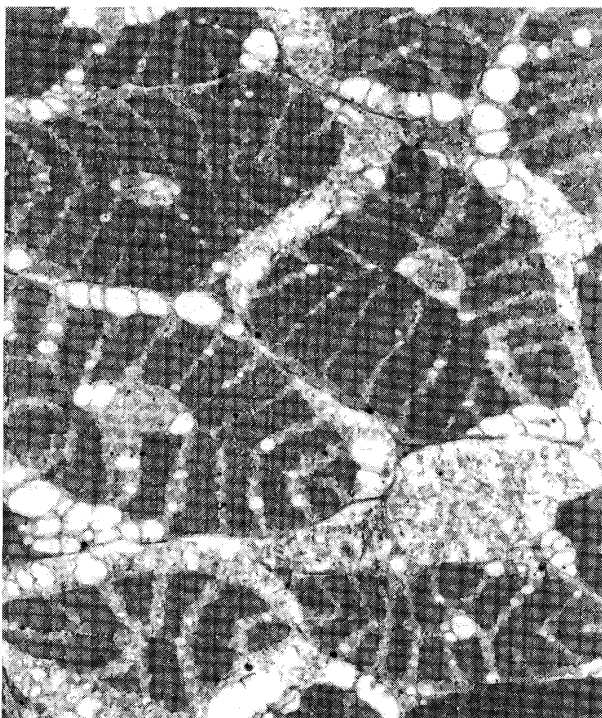




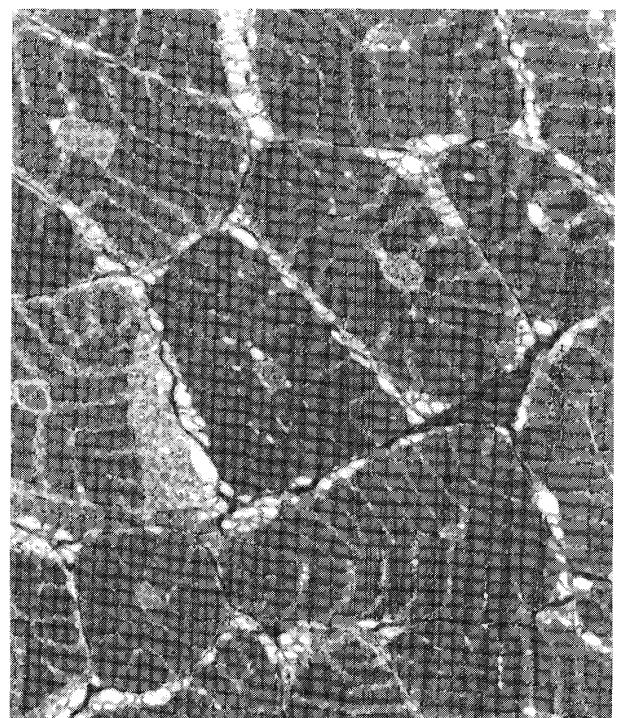
漁獲後即殺



冷蔵輸送



冷海水蔵輸送



活魚輸送

図5 保存24時間後における生イカ外套膜組織 (×7500)

の消失は本実験結果よりもさらに早いであろうことが予想される。冷蔵輸送群では筋肉内エネルギー物質は輸送中にある程度消耗され、保存中の早い時期に ATP は消失することが示されており、保存 6 時間の時点においては筋組織の死後変化が進んでいると推察される。冷海水蔵輸送群では輸送後の時点ですでに ATP は消失しており、おそらく冷海水に入れた瞬間に筋組織は死に至り、輸送中から死後変化が始まったと考えられる。

ATP 量の測定結果が類似していた漁獲後即殺群と活魚輸送群はレオメータにより測定した破断エネルギーの結果も類似していた。冷海水蔵輸送および冷蔵輸送では異なる破断エネルギーの測定結果を得たことも ATP 量の測定結果との関連を暗示するものの、本実験結果よりその関係を解析するには至らなかった。生イカを輪走筋方向に破断したときの破断エネルギー値は、いずれの群も、保存時間の経過にしたがって急速に低下していたが、このことは保存 24 時間の生イカ肉の観察像と符合する。すなわち、筋線維間および筋原線維間に生じた乖離は、筋線維間結合構造および筋原線維間結合構造が破壊されて組織構造が物理的に脆弱化していることを示唆しており、これが保存中に生じた破断エネルギーの急速な低下の原因であることを推察させる。同時に電子顕微鏡像では筋原線維の構造が比較的よく保たれていることが観察されたことは、筋線維を横断して破断した場合における破断エネルギーの低下が保存中を通じてあまり進まなかったことを説明するものと考えられる。

なお、本研究は 1999 年度活水女子短期大学特別研究費の助成を受けて行ったことを付記し、謝意を表します。

### 参 考 文 献

- 安藤正史 (1997) 「魚肉の軟化機構」, 魚介類の細胞外マトリックス, 恒星社厚生閣, 東京。73~75
- 安藤真美 (1997) 凍結解凍したモンゴウイカ外套膜の加熱調理に伴う物性変化へのコラーゲンの関与, 家政誌 48 315-321
- 安藤真美, 安藤正史, 塚正泰之, 牧之段保夫, 三好正満。(2000) コラゲナーゼ溶液への浸漬によるヤリイカ外套膜結合組織の崩壊 日本家政学会 vol.51 No 5 396~404
- 石川宣次, 「鮮度変化」 270-272, イカ—その生物から消費まで—東京, 1991
- Kagawa, M., Matsumoto, M., Hatae, K.,: Differences in Texture among Three Varieties of Squid and the Effect of Cold Storage on the Texture J Home Econ. Jpn. 51 (8) 699~708 (2000)
- 香川実恵子, 木村早智, 松本美鈴, 畑江敬子, 3種のイカ肉の加熱によるテクスチャー変化, 日本家政学会誌, vol.51 o11 1037~1044 (2000)
- Kugino, M., Kugino, K., and Wu, Z. (1993) . Rheological properties of dried squid mantle change on softening. J. Food Sci., 58, 321-324.
- 久木野 睦子. (1994) . 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. 活水論文集., 37, 21-28.



- Kugino, M. and Kugino, K. (1994) . Microstructural and rheological properties of cooked squid mantle. J. Food Sci., 59, 792-796. cooked squid mantle. J. Food Sci., 59, 792-796.
- Kugino, M. and Kugino, K. (1995) . Changes in the microstructure and rheological properties of squid mantle due to cooking in an NaCl solution and soy sauce. J. Home Econ. Jpn., 46, 751-757.
- Kugino, M., Kugino, K., and Ogawa, T. (1997) . Changes in microstructure and eological properties of squid mantle during storage. Food Sci. Technol. Int. Tokyo., 3, 157-162.
- 槌本六良, 三嶋敏雄, 宇津木輝洋, 北島俊一, 矢田殖朗, 保田正人: 動揺の激しい詮無いでの ATP 関連化合物の分離定量法—逆層分配カラムによる高速液体クロマトグラフィー法, Bulletin of the Japanese Society of Scientific Fisheries 51 (8) 1363-1369 (1985)
- 山中英明, 「魚介類の死後変化」, 魚介類の鮮度と加工・貯蔵, 7-11成山堂書店, 東京1995