

ケンサキイカの死後変化に関する研究

貯蔵条件と体色変化

岩本宗昭・山根玲子

魚類は死後しばらくすると、筋肉の伸縮性が失われて魚体が硬化する。硬直状態を数時間から数10時間持続したのち、硬直は解けて魚体の軟化や組織の分解が進み腐敗に至る。したがって、この死後変化の進行状態から、外観的に鮮度が判定できる。イカ類も魚類と同様な死後変化を示すものと考えられるが、イカ類には骨格がないため、魚類のように明瞭な硬直状態は認められない。そのため、イカ類の鮮度または品質は、一般に表皮の発色状態によって評価されるが、生鮮時の呈色状態は必ずしも一様ではなく、市場での評価・判定基準も区々である。

イカ類の生体における色素胞の運動は、視覚からの刺激により神経系が調節しているとされている¹⁾。しかし、神経系から切断された摘出表皮でも、色素胞の自律的な伸縮反応が認められており¹⁾、死後の色素胞の運動については、その機構がまだ明らかにされていない。

そこで、死後の色素胞の運動機構や運動に影響を及ぼす条件、または鮮度変化と体色変化の関係を明らかにするため、ケンサキイカについてまず2～3の貯蔵条件における死後のATP関連化合物の変化と体色の変化を追跡した。

実 験 方 法

試 料 漁獲後活かした状態で運搬し、水揚げされたケンサキイカ（平均体重108g、平均外套長14cm）を空中放置状態（気温24.7℃）で速やかに実験室に搬入し、図1に示すように(A)下水による直接氷冷5尾（うち2尾頭部神経中枢切断）、(B)上部体表をサランラップで被覆して下水による間接氷冷6尾（うち3尾頭部神経中枢切断）、(C)下水による間接氷冷6尾（うち3尾頭部神経中枢切断）の3区分に分けて、それぞれ発砲スチロール蓋付魚函（42×20×15cm）に貯蔵し、20℃の恒温室内に放置した。

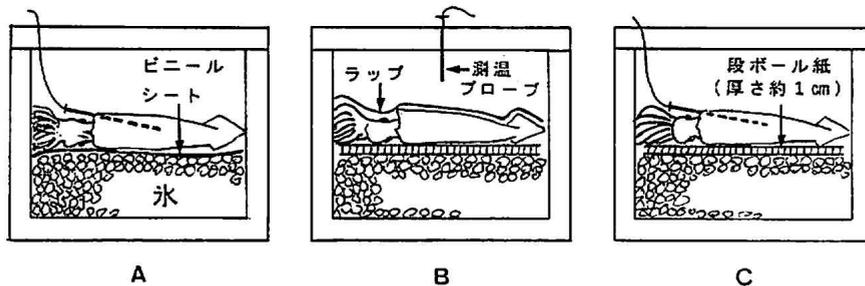


図1 試料イカの貯蔵方法

なお、分析用として各貯蔵区の神経切断イカと対照イカのうち、それぞれ1尾を供試し、経過時間毎に同じ試料から胸部筋肉を採取した。

ATP関連化合物の定量 筋肉2gを氷冷した10%過塩素酸5mlを加えてホモジナイズしたのち、3,000rpmで3分間遠心分離し、沈澱に10%過塩素酸3mlを加えて、再度遠心分離してはじめの上澄液と合わせ、KOH溶液でpHを6.5~6.8に調整した。生成した沈澱を遠心分離し、沈澱に中和過塩素酸3mlを加えて洗い、再度遠心分離してはじめの上澄液と合わせ、15~20mlに定容して分析試料液とした。ATPとその関連化合物は、データ処理装置(島津C-R I A)を装備した高速液体クロマトグラフ(島津L C-3 A)によって分別定量した。なお、分析条件は次のとおりである。

カラム:アサヒパックGS-320(7.6×500mm), 溶出液:0.2M NaH₂PO₄(pH2.9)

検出波長:250nm, 流速:1ml/min, 試料注入量:10~15μl, 溶出時間:35min

PHの測定 筋肉5gに5倍量の氷冷した水を加えてホモジナイズし、複合電極pHメータ(堀場F-8AT)で測定した。

結 果

貯蔵中の体温変化 図2に示すように、直接氷冷区は3時間後に1.8℃に降下し、48時間後には0.4℃を示した。間接氷冷区は3時間後に6℃に降下し、以後5~6℃で推移して48時間後には4℃を示した。函内上部空間の温度は3時間後に11℃まで降下し、以後9~11℃で推移した。なお、途中で試料採取や写真撮影のために、約30分開封したときの温度変化は図に示していないが、30~60分ではほぼ開封前の温度に戻った。

ATP関連化合物の消長 ATP関連化合物の標準試料と間接氷冷6時間後のケンサキイカ抽出試料液のクロマトグラムを図3に示した。

一般に海産無脊椎動物筋肉中のATP分解主経路は、ATP→ADP→AMP→(AdR)→HxR→Hxとされている²⁾。本実験ではAdR(アデノシン)は検出されず、IMPのピークが認められたが、量的には0.1μmol/g前後と微量であった。なお、中村ら³⁾もスルメイカで数%(組成比)のIMPを検出している。

図4に各試験区試料の貯蔵中における、ATP関連化合物の消長を示した。総量は8~9μmol/gであり、水揚げ後約1時間を経過した貯蔵開始直前(0hr)のATP量は組成比で40%であった。3時間後のATP量は、間接氷冷区の対照試料では10~20%で1μmol/g以上の値を示したが、その他の試料はいずれも1μmol/g以下に減少していた。また、ADPの蓄積量は少なく、速やかにAMPに分解され、3~9時間後にはAMPが55~76%と高い比率を示した。また、貯蔵温度が高いとAMPからHxRへの分解が速くなり、K値の上昇も促進された。なお、HxRの蓄積量は少なく、速やかにHxに分解された。

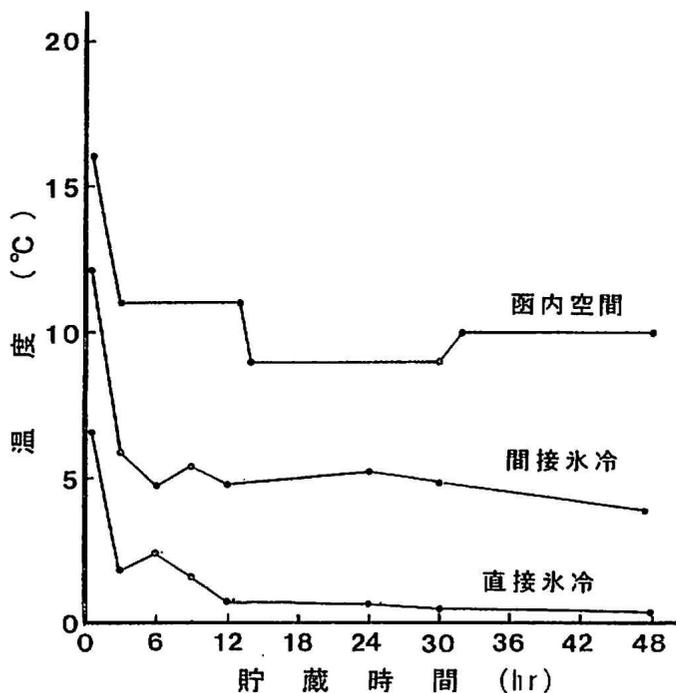


図2 ケンサイキカ貯蔵中の体温変化

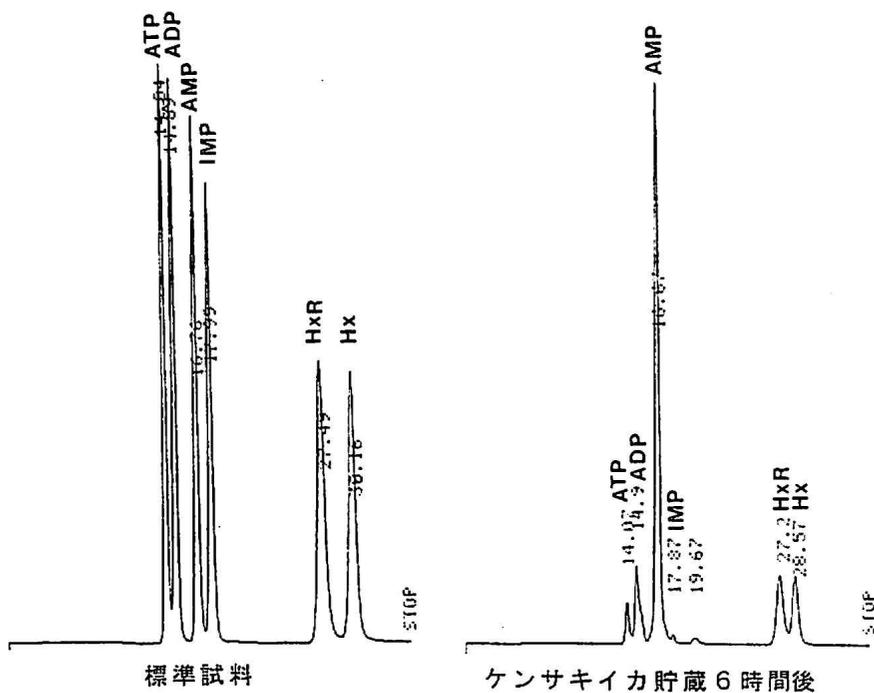


図3 ATP関連化合物のクロマトグラム

ATP: アデノシン3りん酸, ADP: アデノシン2りん酸, AMP: アデニール酸
 IMP: イノシン酸, HxR: イノシン, Hx: ヒポキサンチン

対 照 試 料

神 経 切 断 試 料

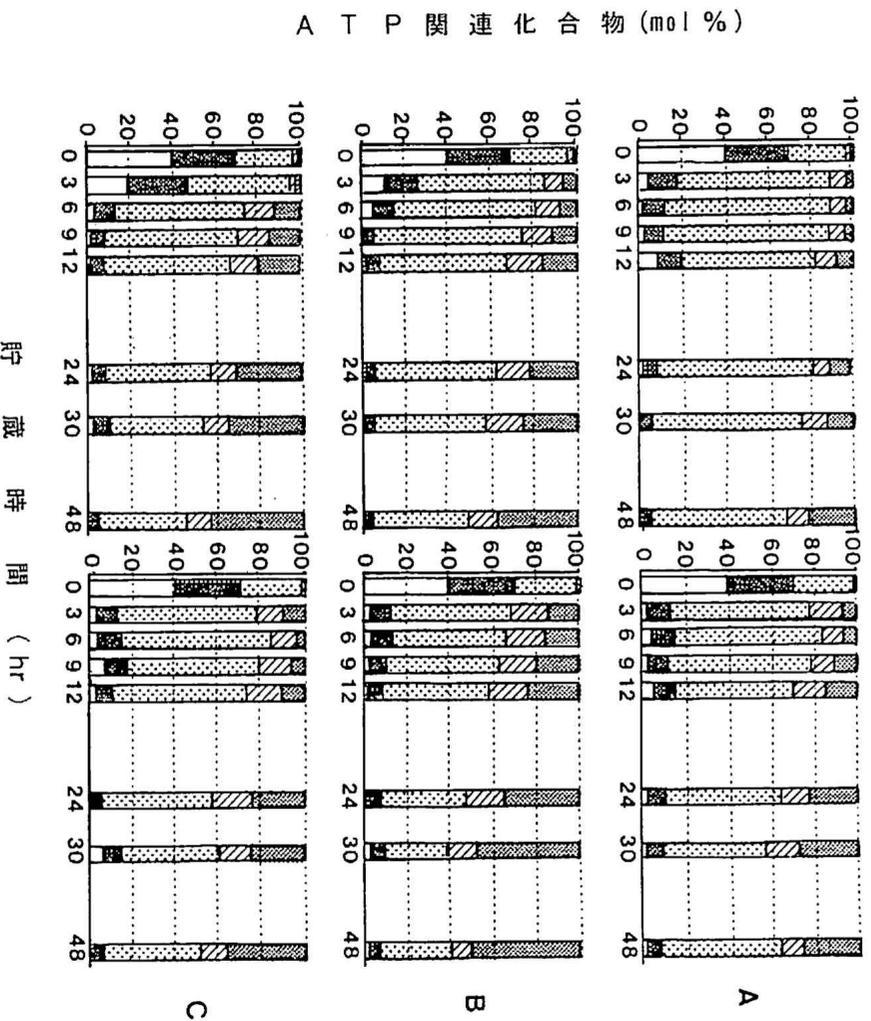
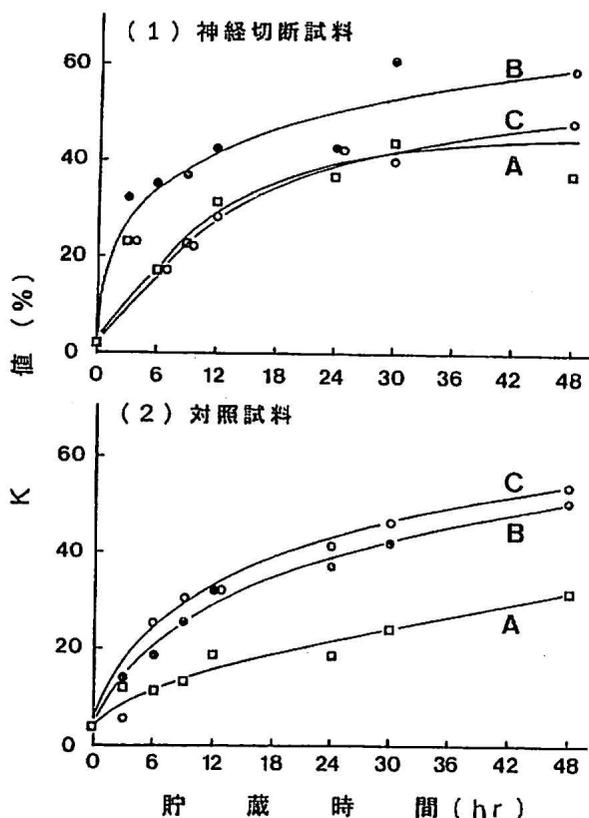


図 4 ケンサイイカ貯蔵中の ATP 関連化合物の消長
(A : 直接水冷区, B : 間接水冷ラック区, C : 間接水冷区)

図 5 は神経切断試料(1)と切断しない対照試料(2)に区分して、各貯蔵区の K 値変化を比較したものである。貯蔵開始直前 (0 hr) の K 値は 2~4% であり、対照試料においては、体温が 2°C 以下に保持された直接水冷区と、体温が 5°C 前後の間接水冷区の間で顕著な差が認められ、48 時間後の K 値は前者の 31% に対して、後者は 50% 以上と高い値を示した。一方、神経切断試料では貯蔵温度による差は認められず、ラックラック被覆試料が高い値で推移し、48 時間後の K 値は 40~60% であった。

体色の変化 表 1 に貯蔵中の観察結果をまとめて示した。入手時の試料イカは、胴肉は透明で内臓が透けて見え、表皮の色素胞も活発に凝集、拡散しており、完全な致死状態とは思えない状態であった。

外套膜透明感の変化についてみると、直接水冷区(A)で 3 時間後、間接水冷区(B, C)では 6 時間後



A : 直接水冷区□, B : 間接水冷ラップ区●, C : 間接水冷区○

図5 ケンサキイカ貯蔵中のK値変化

にやや低下し、その後はいずれも12時間後まで顕著な変化がなかった。しかし、24時間後にはいずれも透明感の明らかな低下が認められた。

体色の変化は、直接水冷区と間接水冷区(C)では3時間後に外套膜の頭部と尾部で体色に明確な差が認められ、頭部側の半分は色素が凝集して見えなくなり白色化し、尾部側は逆に色素が拡散して発色していた。このことは色素胞周辺の筋繊維が頭部側で弛緩状態にあり、尾部側で収縮状態にあることを示している。一方、間接水冷ラップ区(B)は外套膜が全体的に白色化しており、表皮の筋繊維が弛緩状態にあるものと推察される。その後直接水冷区と間接水冷区(C)は、9時間後まで顕著な体色変化はなかったが、12時間後の観察では、外套膜の頭部側にも色素の拡散部分が広がって、頭部と尾部における体色の差がみられなくなった。また、間接水冷ラップ区(B)は、12時間後においても外套膜が全体的に白色化したままであり、色素は凝集状態にあった。そこで、ラップを止めた場合の変化をみるために、この時点からラップをしないで貯蔵した。

直接水冷区(A)は24時間後の観察で、外套膜は軟化して丸みを失い、全体的に濃く発色したイカと白色化したイカに分かれてきた。そして30~48時間後には新鮮感が低下し、体色もやや薄くなり、茶色から紫色へ変化した。間接水冷区(B,C)は、30時間後から外套膜の軟化が認められ、48時

表1 ケンサキイカ貯蔵中の観察による評価

貯蔵時間	貯蔵区分		
	直接氷冷区(A)	間接氷冷ラップ区(B)	間接氷冷区(C)
0	外套膜(胴部)は透明で、内臓が透けて見え、表皮の色素胞も活発に凝集、拡散していた		
3	透明感やや低下した。 胴部の頭部側白色化(色素凝集)、胴部の尾部側発色(色素拡散)	透明感はあるが、胴部は全体的に白色化	透明感あり 胴部の頭部側白色化 胴部の尾部側発色
6	透明感変化なし 全体的に呈色度弱くなる	透明感やや低下した 胴部上下部分発色	透明感やや低下した 呈色状態変化なし
9	顕著な変化なし	顕著な変化なし	顕著な変化なし 全体的に呈色度強くなる
12	透明感変化なし 胴部の頭部側にも部分的に色素の拡散が認められ、白色部と呈色部の境目がなくなった	顕著な変化なし (以後ラップとり止め)	透明感変化なし 胴部の頭部側も発色し、全体的に呈色してきた
24	透明感の低下進行 呈色の境目がなくなり、発色個体と白化個体出現 胴部軟化	透明感の低下進行 発色個体と白化個体出現	透明感の低下進行 胴部の頭部側が白化した個体出現
30	新鮮感やや低下 呈色度弱くなる (茶色→紫色)	顕著な変化なし 呈色度やや弱くなる 胴部軟化	顕著な変化なし 胴部やや軟化
48	新鮮感さらに低下 呈色度さらに弱くなる	新鮮感低下 全体的に白化 (呈色部茶色)	新鮮感低下 全体的に白化 (呈色部茶色)

間後には新鮮感が低下し、全体的に白色化した。なお、発色部は茶色であった。なお、ラップを止めた間接氷冷区(B)も、24時間後には発色したイカと白色化したイカに分かれてきた。

PHの変化 貯蔵前のpHは6.9で、その後顕著な変化がなく48時間後の平均値は6.8であった。

考 察

イカ類の貯蔵中におけるATP関連化合物の消長を追跡した実験例は少ない。ケンサキイカの場合、著者ら⁴⁾が以前に行った実験結果では、水揚げ後、氷水に約1時間浸漬した時点の測定で、ATPは痕跡程度、K値は14.6%であり、氷蔵(1℃以下)1日後では41.6%であった。なお、同時に行った蓄冷剤貯蔵(1℃以下)では1日後19.6%、2日後28.3%とK値は異常に低い値で推移した。また、中村ら³⁾はスルメイカについて、水揚げ時(水揚げ直後に煮熟した試料)の4尾平均K値が6.8%、氷蔵(1℃)12時間後18.5%で、以後2℃の恒温器中で24時間経過(通算36時間)後39.5%であったと報告している。これら実験結果は、すでに指摘されているように⁵⁾、イカ類のATPおよびその関連化合物の分解速度が魚類に比べて速いことを示しており、貯蔵温度が高いとAMP→HxR→Hxへの変化が速くなり、Hxが蓄積される。

イカの表皮色素の凝集と拡散は、色素胞周辺の筋繊維の伸縮によって起こり、筋繊維が弛緩状態であれば、色素顆粒が凝集して見えなくなって白色化し、筋繊維が収縮すると、色素顆粒が拡散して発色状態を呈する¹⁾。したがって、筋収縮のエネルギー源であるATPが残存する硬直前の状態では、色素の凝集と拡散のいずれも可能であるが、ATPが消失した硬直後は筋繊維の伸縮性が失われ、色素が凝集状態か拡散状態で固定されるものと考えられる。また、解硬・軟化した場合は、筋繊維が張力を失い、見かけ上弛緩した状態となるので、色素は凝集し白色化する。そしてさらに鮮度低下が進行すると、色素胞が壊れて色素が溶出しはじめ体表が全体的に赤色化するであろう。以上の推論は、実際に観察された死後の体色変化と大きく矛盾していない。ただ、硬直から軟化の過程では、その進行の程度が異なるためか、個体により呈色状態に差が認められた。すなわち、直接氷冷区(A)と間接氷冷区(C)の試料は硬直初期においては、ほぼ同様な呈色傾向を示していたが、硬直終期には両区とも発色したものと白色化したものの両方が認められた。また、ラップした間接氷冷区(B)は、貯蔵後全ての試料が白色化した。ラップを取り止めたのは発色したものと白色化したものの両方が出現している。

以上の結果から、筋肉部のATPが消失したのちでも、表皮の色素胞は活動することが可能であり、その持続時間には個体差もあるが、直接氷冷区(A)より間接氷冷区(B,C)の方がやや長いものと推察される。また、体表をラップシートで被覆すると、色素は凝集する傾向が認められ、色素胞の運動に何らかの影響を与えていることが伺われるほか、図4と表1から、外套膜の透明感の低下と筋肉中のATPの消失とは概ね同調しているものと推察される。

今回の実験では、水揚げ後約1時間経過した試料であったためか、神経を切断した試料と対照試

料の死後変化に顕著な差が認められなかった。今後活イカを試料としてさらに実験を行い、死後変化に関する試料の収集を図り、体色変化の機構を明らかにしたい。

文 献

- 1) 藤井良三：色素細胞，東京大学出版会，東京，1976，pp. 23-127.
- 2) 新井健一：海産無脊椎動物筋肉中のヌクレオチド，日本誌32，174-179(1966).
- 3) 中村邦典・石川宣次・木本清輝・水野 雄：貯蔵中のスルメイカの鮮度変化，東海水研報，No.118，45-49(1985).
- 4) 岩本宗昭・内山 均：保冷材使用による漁獲物の鮮度について，東海水研報，No.60，185-190(1969).
- 5) 斉藤恒行：水産動物におけるATPならびに関連化合物，日本誌27，461-470(1961).