

マグネシウムイオンの鎮静作用を利用したヤリイカと スルメイカの活輸送, とくに輸送後の冷凍 および冷蔵試料との品質の比較

船津 保 浩,^{1*} 川崎 賢 一,² 臼 井 一 茂,³
仲手川 恒,³ 清水 俊 治,⁴ 阿 部 宏 喜⁵

(2006 年 6 月 22 日受付, 2006 年 8 月 30 日受理)

¹酪農学園大学酪農学部食品科学科, ²近畿大学農学部水産学科, ³神奈川県環境農政部水産課,
⁴諏訪東京理科大学電子システム工学科, ⁵東京大学大学院農学生命科学研究科

Transportation of live squids using sedative effect of magnesium ion,
with special reference to the quality difference from frozen and chilled samples

YASUHIRO FUNATSU,^{1*} KEN-ICHI KAWASAKI,² KAZUSHIGE USUI,³
HISASHI NAKATEGAWA,³ SHUNJI SHIMIZU⁴ AND HIROKI ABE⁵

¹Department of Food Science, Faculty of Dairy Science, Rakunogakuen University, Ebetsu, Hokkaido 069-8501,
²Laboratory of Aquatic Food Science, Department of Fisheries, Faculty of Agriculture, Kinki University, Nara
631-8505, ³Kanagawa Prefectural Environmental Agricultural Administration of Fisheries Section, Yokoha-
ma, Kanagawa 231-8588, ⁴Department of Electronic System Engineering, Suwa Tokyo Rika University, Toyo-
hira, Chino, Nagano 391-0292, ⁵Department of Aquatic Bioscience, Graduate School of Agricultural and Life
Science, The University of Tokyo, Tokyo 113-8657, Japan

Live spear squid and Japanese common squid were sedated in seawater containing 20 mM MgSO₄ (Mg-SW). For sedation, seawater temperature was slowly reduced from 15 to 7°C with ice bags. After sedation, live spear squid and Japanese common squid were individually accommodated in a highly gas impermeable plastic bag with 0.6 and 1.0 L of Mg-SW, respectively, and the bags were filled with oxygen and sealed tightly. They were transported at 5°C taking about 27 h by truck. For comparison, samples quickly frozen in liquid nitrogen and instantly killed samples were also transported at -20°C and 5°C, respectively. Changes in various components were measured. Arginine phosphate and ATP contents decreased greatly by transportation in sedated Japanese common squid. There was no clear difference in sensory scores between sedated and chilled Japanese common squid. However, arginine phosphate and ATP contents did not decrease by transportation for spear squid. The mantle muscles of sedated spear squid were more transparent and had a more favorable texture than chilled or frozen samples.

キーワード : ATP, アルギニンリン酸, 活輸送, 官能評価, スルメイカ, マグネシウムイオン, 麻酔, ヤリイカ

現在, イカの大部分は生鮮・冷凍で流通しているが, その品質は可食部が不透明で歯ごたえも弱いのが一般的である。近年, 消費者のニーズにより透明感やコリコリした歯ごたえのある活イカの需要が増加している。これまでに著者ら^{1,2)}は, 硫酸マグネシウムを添加した海水

に活きたホタルイカを浸漬するとホタルイカは鎮静状態となること, またその作用を活輸送に応用することにより, 従来法の約3倍量の試料を高品質の状態で富山から首都圏に輸送可能であることを報告してきた。ホタルイカはイカ類の中では小型であるが, 日本ではスルメイ

カ, ヤリイカ, コウイカおよびアオリイカ等のホタルイカよりも大型なイカが一部で活輸送されている。しかし, 従来の活イカ輸送は水槽の水重量の約1割程度しか輸送できず,³⁾ 大量輸送が困難なこと, 輸送コストが高いことおよび輸送中に共食いが起こること⁴⁾等の問題点がある。山中ら⁴⁾は水温麻酔と格子ポケットを組み合わせることで, 活スルメイカの共食いを防止し, 高品質の状態で輸送することを可能にした。水温麻酔⁵⁾はスルメイカ, トビイカ, アカイカには効果的であるが, ヤリイカには無効であること, 輸送コストが高いことなどから大量輸送にはまだ課題があった。近年, 仲野⁶⁾は活イカを輸送する際のカプセルを考案し, 輸送コストを下げる工夫をしている。しかしながら, このような背景の下で輸送コストの低減や共食い防止だけでなく, 小スペースでの大量輸送が可能な活輸送方法についての研究例はほとんどない。そこで, 本研究ではマグネシウムイオンの鎮静作用をヤリイカとスルメイカの活輸送に応用し, 麻酔処理中や輸送後の品質を検討した。また, 従来流通している冷凍および冷蔵試料も調製し, 輸送後の麻酔試料, 冷蔵試料および冷凍試料の品質を輸送前の試料のそれと比較検討した。

試料および方法

試料 2003年2月に相模湾においてイカ釣り船で漁獲されたヤリイカ *Loligo bleekeri* とスルメイカ *Todarodes pacificus* を試料とした。試料の湿重量はヤリイカで160~210 g, スルメイカで200~400 gであった。生息水温は発育段階や漁獲場所等で異なるが, 相模湾での漁獲時でスルメイカとヤリイカの生息水温は約14~17℃であった。

鎮静作用の誘導方法 ヤリイカおよびスルメイカ各6匹を約15℃の20 mM MgSO₄ 海水30 Lに入れ, 通気しながら鎮静作用を誘導した。急激な温度低下によるイカの疲労を抑えるため, 真空包装した氷で徐々に温度を下げながら約2時間かけて約7℃まで冷却した。なお, ストレスにより海水中に墨を吐いたり, アンモニアを放出することによる海水の汚濁を防止するため, 約10℃の温度になった時点で同じ温度の新しい20 mM MgSO₄ 海水と交換した。

袋詰め, 梱包および輸送方法 ガスバリア性の高い袋(CANSFILM, 四国化工製)に鎮静状態となったヤリイカ一匹と約5℃の20 mM MgSO₄ 海水0.6 Lを入れ酸素封入した。酸素封入した試料3個を発泡スチロール製の容器に入れ, 新聞紙を上からかぶせ, その上に保冷剤を置き, 梱包し, クール宅配便で神奈川県から愛媛県まで約27時間かけてトラック輸送した(麻酔試料)。スルメイカの場合はヤリイカに比べて大きいため20 mM MgSO₄ 海水1.0 Lを用いて同様の処理をし, 輸送

した。なお, 封入した酸素量は, 実際に測定していないが, 封入した全容量から20 mM MgSO₄ 海水量と試料の湿重量を差し引いて算出すると, ヤリイカとスルメイカでそれぞれ約0.5~0.6 Lおよび約1.1~1.3 Lと推定される。また, 比較として冷蔵および冷凍試料を調製した。冷蔵試料は漁獲直後の試料即殺(活けしめ)し, 一匹ずつポリエチレン製の袋に入れ, 保冷剤を入れて梱包し, 冷蔵(5℃)で輸送した(冷蔵試料)。冷凍試料は上記の方法で即殺後, 液体窒素で急速凍結し, 冷凍(-20℃)で輸送した(冷凍試料)。なお, 冷凍試料の解凍は, 常温で約1.5時間かけて行った。また, 冷凍および冷蔵試料は, それぞれ輸送前に20 mM MgSO₄ 海水で鎮静作用を誘導することはしなかった。

外観観察 輸送後(漁獲約35時間後)に袋を開封し, 新しい人工海水(マリンソルト(S-JI-TE-2, Tetra社製)200 gを5 Lの水道水に溶解したもの, 約5℃)に入れて, 通気しながら約1時間放置した後外観観察を行った。外観は回復遊泳できる試料とできない試料, 色素胞の開閉の有無, 筋肉の白濁度を観察し, それらの数をカウントした。

麻酔処理中および輸送後の海水の濁度の測定 麻酔処理中(鎮静作用誘導中)および輸送後の海水の濁度は, 海水を採水し, 550 nmの吸光度から測定した。

麻酔処理中および輸送後の海水のアンモニア態窒素濃度の測定 麻酔処理中および輸送後の海水のアンモニア態窒素(NH₄-N)濃度はインドフェノール法⁷⁾により測定した。

生体成分の抽出 麻酔試料の外観観察後, Kawashima and Yamanaka⁸⁾の方法に準じて生体成分の抽出を行った。すなわち, 試料の胴部2.5 gに冷7.5%過塩素酸10 mLを加えてホモジナイズ後に遠心分離(10,000 g×10分間)を行い, 分離した上清を氷冷しながら10 N KOHで中和し, 生成した結晶を遠心分離により除去後, 50 mLに定容した。以下, この試料を生体成分分析用試料とした。なお, 冷蔵試料および冷凍試料の生体成分の抽出も麻酔試料の抽出時とほぼ同時に行った。

生体成分分析法 分析試料液中のアルギニンリン酸量はMatsumoto and Yamanaka⁹⁾の方法, オクトピン量はVollmer *et al.*¹⁰⁾の方法, ATP関連化合物量はMatsumoto and Yamanaka¹¹⁾の方法で定量した。遊離アミノ酸の定量には上記の生体成分分析用試料をセルロースアセテートフィルター(0.45 μm)でろ過後, アミノ酸自動分析計(日立L-8500A)に供した。また, D/L-乳酸量はNoll¹²⁾の方法で測定した。

官能評価 開封した麻酔試料を海水に移し替えて, 外観観察を行った後, 刺身にして食した際の透明感, 歯ごたえおよび味についての官能評価を山中ら⁴⁾の方法に準じて行った。冷凍および冷蔵試料の官能評価も麻酔試料

の外観観察終了後、同時に刺身にして行った。パネルはイカが好きな人5名で、パネルの構成は年齢20~40歳代で、男性3名、女性2名であった。また、評価は評点法¹³⁾を用いた。すなわち、外観では、透明感があり、変色なしを3、透明感はあるが、若干変色しているを2、やや透明感はあるが、明らかに変色しているを1、透明感がなく、変色が著しいを0とした。歯ごたえでは、コリコリした活づくりの歯ごたえを3、コリコリしているが、やや軟らかいを2、少しコリコリしているが、軟らかいを1、非常に軟らかいを0とした。呈味では、甘味があり、うまいを3、やや甘味がありうまいが、今一歩もの足りないを2、甘味はほとんどないが、イカの味はするを1、甘味はなく、まずいを0とした。

統計解析 輸送後の冷凍、冷蔵および麻酔試料の遊離アミノ酸組成、ATP 関連化合物量、アルギニンリン酸量、オクトピン量および官能評価の有意差は *t*-検定で検定した。

結 果

麻酔処理中と輸送後の海水の濁度と $\text{NH}_4\text{-N}$ 濃度の変化 麻酔処理中と輸送後の海水の濁度と $\text{NH}_4\text{-N}$ 濃度の変化をそれぞれ Fig. 1 および 2 に示す。ヤリイカの場合 (Fig. 1A, 2A), 麻酔処理中と輸送後の海水の濁度はともに 0.1 より低かった。また、麻酔処理中の海水の $\text{NH}_4\text{-N}$ 濃度 (a と b) は、麻酔処理前の海水 (表層水) の $\text{NH}_4\text{-N}$ 濃度¹⁴⁾ (<0.05 mg/L) に比べてわずかに上昇したが、輸送後の個体 (c, d, e) では大きく増加し、約 3~5 mg/L であった。一方、スルメイカの場合、麻酔処理中 (a と b) の海水の濁度はほとんど変化しないが、輸送後に濁度は増加し、とくに試料 e では濁度の著しい増加がみられた。また、スルメイカの $\text{NH}_4\text{-N}$ 濃度の輸送後の増加はヤリイカの場合のそれに比べて、約 2~6 倍であった (Fig. 2B)。また、麻酔処理中の海水の $\text{NH}_4\text{-N}$ 濃度は海水 (表層水) の $\text{NH}_4\text{-N}$ 濃度に比べてやや増加したが、輸送後には 8~13 mg/L と大きく増加し、この値はヤリイカのその約 3 倍であった (Fig. 2B)。

外観観察 輸送後の麻酔試料を約 5°C の人工海水に戻し、約 1 時間外観観察を行った。ヤリイカの場合、開封直後には色素胞は完全に収縮しており、筋肉は透明で墨吐きも認められなかった。また、時間の経過と共に色素胞に変化がみられた (Fig. 3A, B)。約 1 時間後、色素胞はほぼ元の状態に復元し、海水から取り出してみると、腕や鰭の動きはみられるが、輸送前に観察された漏斗の激しい動きは認められなかった (Fig. 3C)。解剖してみたところ、体液の緩やかな動きが観察された (Fig. 3D)。以上の現象は、ヤリイカ 3 匹とも同じように観察された。一方、スルメイカの場合 (図示せず)、輸送中

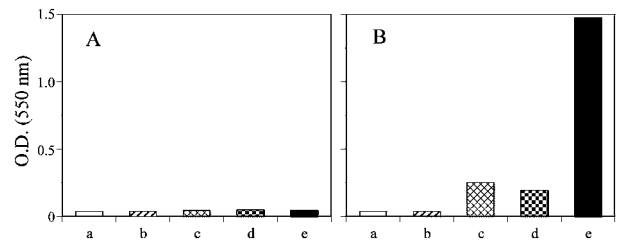


Fig. 1 Turbidity of cold seawater containing 20 mM magnesium sulfate (Mg-SW) during sedation induction and after transportation A: Spear squid; B: Japanese common squid. a: during sedation induction about 30 min after start-up, when the seawater temperature was shifted from about 15°C to 10°C. b: during sedation induction about 60 min after start-up, when the seawater temperature was shifted from about 10°C to 7°C. c, d, e: Three individuals after transportation in 20 mM Mg-SW.

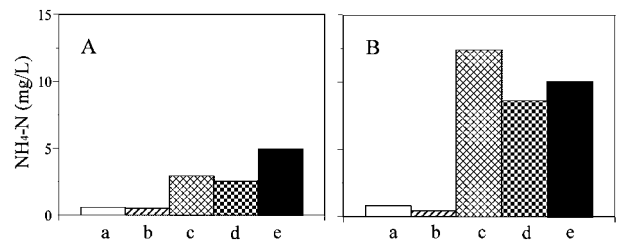


Fig. 2 Ammoniacal nitrogen content in cold seawater containing 20 mM Mg-SW during sedation induction and after transportation A: Spear squid, B: Japanese common squid. Refer to the legend of Fig. 1 for column labels (a-e).

に墨を吐いた試料のみは、色素胞の戻りも遅く、解剖しても体液の流れはみられなかった。他の 2 匹はヤリイカの場合とほぼ同様であり、腕や鰭の動きも認められた。全体的にヤリイカの方がスルメイカよりも筋肉が透明であった。

遊離アミノ酸組成 輸送後のヤリイカおよびスルメイカ外套筋中の遊離アミノ酸組成をそれぞれ Table 1 および 2 に示す。ヤリイカの場合、輸送前の試料 (対照) はプロリン、アルギニン、タウリン、グルタミン酸およびアラニンが多かった。輸送後、麻酔試料でもこれらの遊離アミノ酸が多い傾向が認められたが、アスパラギン酸が対照に比べて僅かに増加していた。冷凍および冷蔵試料では麻酔試料とよく似た傾向を示したが、グルタミン酸のみが対照および麻酔試料に比べて有意に減少した。一方、スルメイカの場合 (Table 2)、対照はヤリイカの場合と異なり、プロリンが多く、グルタミン酸、タウリンおよびアラニンが少なく、ヒスチジンおよびリシンが多い傾向がみられた。輸送後、麻酔試料ではヤリイカと異なり対照に比べてアラニンおよびロイシンの僅か

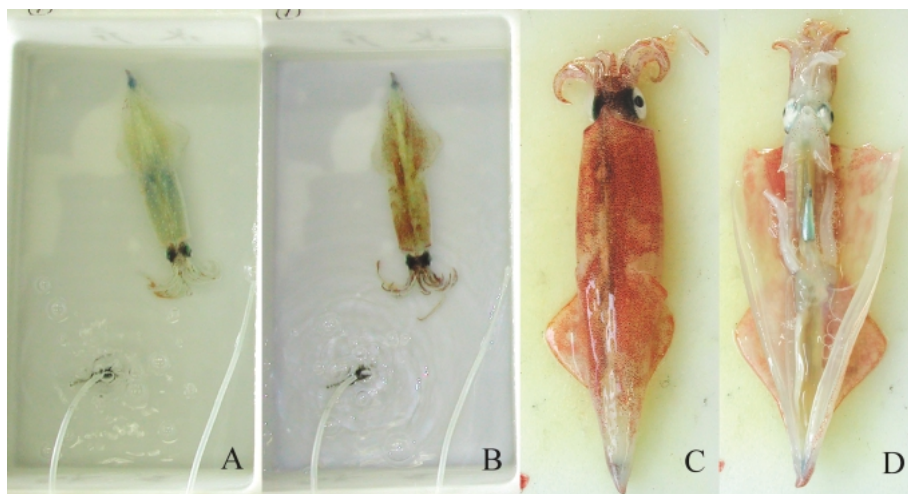


Fig. 3 Recovery from sedated condition after transportation and the appearance of the recovered spear squid A: a squid sample immediately after taking out of the film and resting in artificial cold seawater. B: a sample after resting in artificial cold seawater for about 0.5 h. C: a squid sample after taking out from artificial cold seawater. D: a sample immediately after dissection of sample C.

Table 1 Free amino acid compositions of the mantle muscle from spear squid after transportation under different conditions ($\mu\text{mol/g}$)

Amino acid	Control ^{*1}	Frozen ^{*2}	Chilled ^{*3}	Sedated ^{*4}
Taurine	27.1 \pm 1.1	28.6 \pm 10.4	33.6 \pm 3.7	27.3 \pm 9.9
Aspartic acid	0.4 \pm 0.1	0.6 \pm 0.3	0.4 \pm 0.1	1.1 \pm 0.4*
Threonine	0.6 \pm 0.1	1.0 \pm 0.2	0.8 \pm 0.2	0.7 \pm 0.1
Serine	0.4 \pm 0.1	0.6 \pm 0.2	0.6 \pm 0.1	0.5 \pm 0.4
Glutamic acid	12.0 \pm 1.3	1.7 \pm 0.5***	1.1 \pm 0.3***	14.0 \pm 1.9
Glycine	6.5 \pm 1.1	6.0 \pm 0.8	7.1 \pm 2.6	5.3 \pm 0.2
Alanine	10.3 \pm 1.1	10.3 \pm 4.7	13.6 \pm 2.3	11.8 \pm 5.0
Proline	45.8 \pm 16.3	37.5 \pm 4.8	49.1 \pm 1.3	45.1 \pm 14.1
Citrulline	ND	ND	ND	ND
Valine	0.4 \pm 0.1	0.6 \pm 0.1	0.4 \pm 0.1	0.5 \pm 0.1
Cystine	tr	tr	tr	tr
Methionine	0.6 \pm 0.3	1.1 \pm 0.2	0.7 \pm 0.3	1.0 \pm 0.2
Isoleucine	tr	0.3 \pm 0.1	0.2 \pm 0.1	0.2 \pm 0.1
Leucine	0.4 \pm 0.1	0.6 \pm 0.2	0.4 \pm 0.1	0.4 \pm 0.1
Tyrosine	tr	0.2 \pm 0.1	tr	tr
Phenylalanine	tr	0.2 \pm 0.1	tr	tr
Ornithine	0.3 \pm 0.1	0.7 \pm 0.3	0.3 \pm 0.1	0.3 \pm 0.1
Lysine	0.6 \pm 0.1	0.7 \pm 0.1	0.6 \pm 0.1	1.0 \pm 0.5
Histidine	0.6 \pm 0.2	1.0 \pm 0.6	0.8 \pm 0.4	0.8 \pm 0.3
Arginine	26.8 \pm 1.4	22.8 \pm 4.1	22.3 \pm 4.3	27.8 \pm 1.6
Total	132.8 \pm 23.5	114.5 \pm 27.8	132.0 \pm 16.1	137.8 \pm 35.0

^{*1} Control: squid just before transportation.

^{*2} Frozen: frozen squid after transportation at -20°C .

^{*3} Chilled: squid transported under chilled condition at 5°C .

^{*4} Sedative: squid after resting in artificial cold seawater for about 1 h after transportation in 20 mM Mg-SW at 5°C .

tr, trace ($<0.1 \mu\text{mol/g}$); ND, not detected.

Values are mean \pm SD from 3 individuals.

The significance between the control and other samples was analyzed by the *t*-test: * $p < 0.05$ and *** $p < 0.001$.

Table 2 Free amino acid compositions of the mantle muscle from Japanese common squid after transportation under different conditions ($\mu\text{mol/g}$)

Amino acid	Control	Frozen	Chilled	Sedated
Taurine	19.4 \pm 3.8	22.7 \pm 1.9	17.5 \pm 0.4	14.6 \pm 1.6
Aspartic acid	0.2 \pm 0.1	0.4 \pm 0.1	0.3 \pm 0.1	0.9 \pm 0.6
Threonine	1.3 \pm 0.2	1.0 \pm 0.1	1.1 \pm 0.3	1.0 \pm 0.3
Serine	0.3 \pm 0.1	0.6 \pm 0.2	0.5 \pm 0.1	0.5 \pm 0.2
Glutamic acid	5.3 \pm 2.5	0.7 \pm 0.2*	0.5 \pm 0.2*	2.4 \pm 1.1
Glycine	4.6 \pm 0.3	8.9 \pm 1.0**	13.9 \pm 4.2*	6.3 \pm 1.2
Alanine	4.3 \pm 0.1	14.3 \pm 3.9*	13.6 \pm 2.3**	8.4 \pm 1.9*
Proline	70.5 \pm 2.8	63.8 \pm 3.7	79.6 \pm 16.2	65.7 \pm 14.2
Citrulline	tr	ND	tr	tr
Valine	1.2 \pm 0.3	0.4 \pm 0.1*	0.3 \pm 0.2*	0.8 \pm 0.2
Cystine	0.3 \pm 0.1	1.1 \pm 0.7	1.1 \pm 0.8	1.1 \pm 0.9
Methionine	1.0 \pm 0.3	1.4 \pm 0.1	1.1 \pm 0.7	1.2 \pm 0.3
Isoleucine	0.7 \pm 0.2	0.2 \pm 0.1*	0.2 \pm 0.1*	0.5 \pm 0.1
Leucine	0.4 \pm 0.1	0.6 \pm 0.1	0.7 \pm 0.1	1.3 \pm 0.1***
Tyrosine	0.2 \pm 0.1	0.2 \pm 0.1	0.2 \pm 0.1	0.2 \pm 0.1
Phenylalanine	tr	tr	tr	tr
Ornithine	0.4 \pm 0.1	0.2 \pm 0.1	0.5 \pm 0.3	0.4 \pm 0.1
Lysine	5.0 \pm 0.3	2.9 \pm 1.1	2.2 \pm 0.6**	4.2 \pm 1.2
Histidine	9.0 \pm 0.7	5.9 \pm 1.7**	9.3 \pm 3.7	7.6 \pm 2.3
Arginine	28.5 \pm 8.5	17.1 \pm 3.1	22.3 \pm 16.0	32.6 \pm 4.1
Total	152.6 \pm 20.6	142.4 \pm 18.3	164.9 \pm 46.5	149.7 \pm 30.5

Refer to the caption of Table 1 for sample conditions.

tr, trace ($<0.1 \mu\text{mol/g}$); ND, not detected.

Values are mean \pm SD from 3 individuals.

The significance between the control and other samples was analyzed by the *t*-test: * $p < 0.05$, ** $p < 0.01$ and *** $p < 0.001$.

な増加が認められた。また、冷凍および冷蔵試料では麻酔試料より変動が大きく、対照に比べグリシン、アラニンの大きな増加と、グルタミン酸、バリン、イソロイシンおよびリシンの減少が共通してみられた。さらに、冷凍試料ではこれら以外にヒスチジンの有意な減少が認められた。

ATP 関連化合物量 輸送後のヤリイカおよびスルメイカ外套筋中の ATP 関連化合物量を Fig. 4 に示す。ヤリイカの麻酔試料の場合、対照に比べて ATP 関連化合物量は輸送後もほぼ同程度であり、ATP 含量が高く、ADP および AMP も検出されるが、IMP, HxR および Hx (略記号は Fig. 4 参照) はほとんど検出されなかった。しかし、冷凍および冷蔵試料では、対照に比べて ATP がほぼ消失し、AMP が大きく増加し、HxR, Hx もやや増加する傾向が示された。一方、スルメイカの場合 (Fig. 4B), 対照に比べて輸送後の麻酔試料では ATP, ADP の減少, IMP, Hx の増加がみられた。また、冷凍試料では ATP, ADP の減少, 冷蔵試料では ATP, ADP, AMP の減少, IMP の僅かな増加, Hx の増加が認められた。いずれの試料でも ATP の減少がみられたが、麻酔試料の方が、冷凍および冷蔵試料のそれよりも減少量が少なかった。また、スルメイカの冷凍お

よび冷蔵試料では、ヤリイカの場合のように AMP の大きな増加はみられなかった。

アルギニンリン酸量およびオクトピン量 輸送後のヤリイカおよびスルメイカの外套筋中のアルギニンリン酸量を Fig. 5 に、オクトピン量を Fig. 6 に示す。まず、アルギニンリン酸量をみると、ヤリイカの場合 (Fig. 5A), 対照では $17.6 \mu\text{mol/g}$ であるが、輸送後の麻酔試料では対照とはほぼ同じで $20.0 \mu\text{mol/g}$ の値であった。しかし、冷凍および冷蔵試料では前項の ATP と同様にアルギニンリン酸は著しい減少を示し、いずれも $2.0 \mu\text{mol/g}$ 以下であった。一方、スルメイカの場合 (Fig. 5B), 対照はヤリイカの場合と同じでアルギニンリン酸量は $18.5 \mu\text{mol/g}$ であったが、輸送後はいずれの試料でも減少し、麻酔試料で $4.5 \mu\text{mol/g}$, 冷凍および冷蔵試料で共に $0.2 \mu\text{mol/g}$ であった。アルギニンリン酸の減少量は麻酔試料の方が冷凍および冷蔵試料のそれに比べ小さい傾向が示された。

輸送後のヤリイカおよびスルメイカの外套筋中のオクトピン量をみると、ヤリイカの場合 (Fig. 6A), 対照では $1.0 \mu\text{mol/g}$ であり、輸送後の麻酔試料でもほぼ同じであった。しかし、冷凍および冷蔵試料では、それぞれ $3.9 \mu\text{mol/g}$ および $6.0 \mu\text{mol/g}$ と対照および麻酔試料と

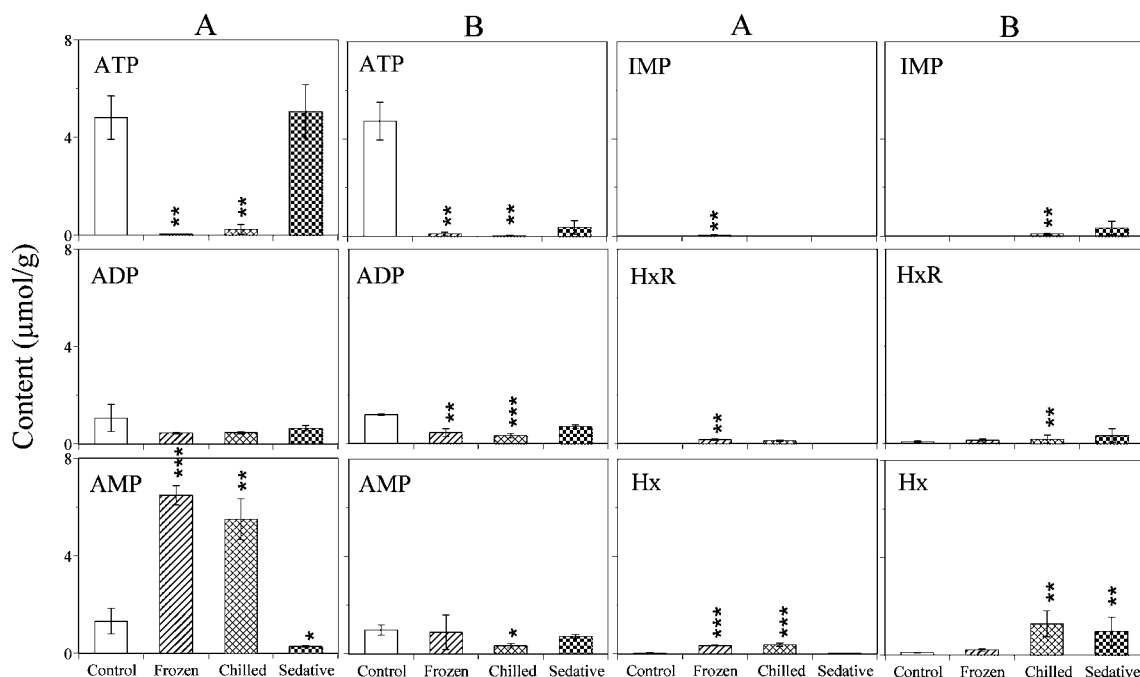


Fig. 4 The levels of ATP and its related compounds in the mantle muscle of squid before and after transportation A: Spear squid; B: Japanese common squid. □, Control; ▨, Frozen; ▩, Chilled; ▪, Sedative. See Table 1 for control, frozen, chilled and sedated samples. Values are mean \pm SD from 3 individuals. The significant difference between the control and other samples was analyzed by tive *t*-test. * $p < 0.05$, ** $p < 0.01$ and *** $p < 0.001$. ATP, adenosine 5'-triphosphate; ADP, adenosine 5'-diphosphate; AMP, adenosine 5'-monophosphate; IMP, inosine 5'-monophosphate; HxR, inosine; Hx, hypoxanthine.

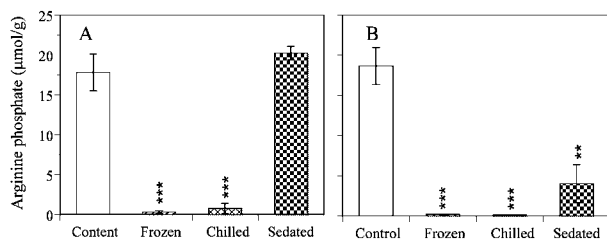


Fig. 5 The level of arginine phosphate in the mantle muscle of squid before and after transportation A: Spear squid; B: Japanese common squid. □, Control; ▨, Frozen; ▩, Chilled; ▪, Sedative. See Table 1 for control, frozen, chilled and sedated samples. Refer to the legend of Fig. 4 for values and significance.

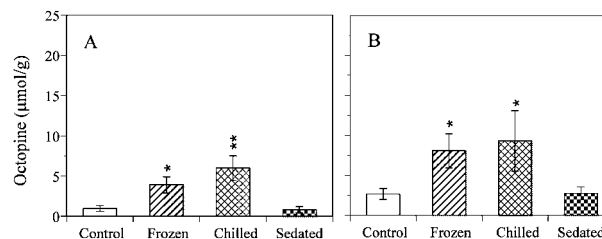


Fig. 6 The level of octopine in the mantle muscle of squid before and after transportation A: Spear squid; B: Japanese common squid. □, Control; ▨, Frozen; ▩, Chilled; ▪, Sedative. See Table 1 for control, frozen, chilled and sedated samples. Refer to the legend of Fig. 4 for values and significance.

比べて有意に高かった。また、スルメイカの場合 (Fig. 6B), ヤリイカの場合とほぼ同じ傾向であったが、対照および麻醉試料のオクトピン量 (2.7 および 2.8 $\mu\text{mol/g}$) がヤリイカのそれよりもやや多い点や冷凍および冷蔵試料のオクトピン量の増加 (8.1 および 9.3 $\mu\text{mol/g}$) がヤリイカのそれら (3.9 および 6.0 $\mu\text{mol/g}$) よりも大きい点でヤリイカの場合と異なっていた。なお、ヤリイカおよびスルメイカの場合共に、L-乳酸の生成量は少なく、輸送前と比べて僅かな変化しか認められなかった。また、D-乳酸も同様の傾向であった。

官能評価 輸送後のヤリイカとスルメイカ外套筋の官

能評価結果を Table 3 に示す。ヤリイカの場合、外観と歯ごたえでは試料間に明らかな違いがみられ、麻醉試料の方が冷凍および冷蔵試料に比べて、透明感が高く、変色がみられず、コリコリした活づくりの歯ごたえであった。呈味については、試料間に大きな違いはみられなかった。

スルメイカの場合、麻醉試料と冷蔵試料では透明感、歯ごたえおよび呈味には違いがみられなかった。しかし、麻醉試料と冷凍試料には外観と歯ごたえに関しては明らかな違いがみられた。麻醉試料は冷凍試料よりもコリコリしており、やや甘味があった。したがって、スル

Table 3 Sensory evaluation of the squid mantle muscle after transportation under different conditions

	Sedated	Frozen	Chilled
Spear squid			
External appearance	3.0±0.0	0.2±0.4***	1.2±0.4***
Texture	2.8±0.4	0.6±0.5***	1.0±0.7***
Taste	1.6±0.9	1.2±1.1	1.8±0.4
Japanese common squid			
External appearance	1.8±0.8	1.0±0.7*	1.8±0.8
Texture	1.6±0.5	1.2±1.3	1.8±0.8
Taste	2.4±0.5	1.4±1.1*	2.2±0.8

See Table 1 for sample conditions.

Values are mean±SD from 3 individuals.

The significance between the sedative and other samples was analyzed by the *t*-test: **p*<0.05 and ****p*<0.001.

External appearance: 3.0, very transparent and no turbidity; 2.0, transparent but slightly turbid; 1.0, slightly transparent but turbid; 0, opaque and very turbid.

Texture: 3.0, favorable tough texture; 2.0, tough but slightly tender; 1.0, slightly tough but tender 0, very tender.

Taste: 3.0, sweet and palatable; 2.0, slightly sweet and delicious but unsatisfactory; 1.0, no sweet taste but squid taste; 0, not sweet at all and unpalatable.

メイカでは透明感や歯ごたえで麻酔試料が冷蔵試料と区別出来ない点でヤリイカの場合と異なった。

考 察

様々な活輸送方法とマグネシウムイオンによる軟体動物の鎮静作用誘導方法の特徴 透明で歯ごたえのある活イカを食したいという消費者のニーズや、近海で漁獲されるイカと船上冷凍イカとの差別化をしたいという漁業者の要望により、様々な活輸送に関する研究開発が行われている。最近では電気的ショックにより運動機能を抑制する方法¹⁵⁾や輸送中の排水を浄化し、酸素付加させながら輸送する方法¹⁶⁾などの工夫がなされている。活イカ輸送以外にも、氷温貯蔵による鮮度保持効果（色や筋肉の物性の保持）¹⁷⁾などの研究も行われている。

本研究では近海で漁獲されるヤリイカやスルメイカを試料として、輸送コストの低減、共食い防止、小スペースでの大量輸送を目指し、マグネシウムイオンの鎮静作用を利用した活イカ輸送を行った。本研究で用いた方法であるが、これまでにアフリカマイマイ *Achatina fulica* やアメフラシ *Aplysia californica* などの軟体動物ではマグネシウムイオンが神経機能をブロックする効果があることが報告され^{18,19)} この作用をイカ類の活輸送に応用したものである。まず、鎮静状態を誘導するのに適切な MgSO_4 濃度は予備試験²⁰⁾により、外観観察と海水中の $\text{NH}_4\text{-N}$ 濃度で判断する限りヤリイカやスルメイカの場合もホタルイカの場合と同様に 20 mM であった。Mes-

senger *et al.*²¹⁾は、イカ類やタコ類が塩化マグネシウム (MgCl_2) により鎮静状態となり、13~22℃の温度範囲で回復することや塩化マグネシウムは中枢神経に作用し、外傷なしに鎮静作用の誘導が可能であると報じている。Garcia-Franco²²⁾はアオリイカ *Sepioteuthis sepioidea* の鎮静作用を誘導するのに適切な MgCl_2 と MgSO_4 濃度はそれぞれ 1.5~2% と 3~4% と報告している。また、Namba *et al.*²³⁾はマガキ *Crassostrea gigas* の閉殻筋を持続的に弛緩させるため 0.369 M 塩化カルシウム溶液に浸漬すると、180 分後には約 77% の個体の閉殻筋が弛緩し、海水に戻すと 24 時間以内にすべての貝の運動が再開したと報告している。さらに、上水樽、安楽²⁴⁾は、閉殻筋の収縮と脳の回復には 0.4 M MgCl_2 溶液 5 mL を 19 g のツキヒガイの閉殻筋に注射する方法が良いことを報告している。本研究では、ヤリイカやスルメイカの鎮静作用の誘導を目的としているため、アオリイカや貝類で用いられたマグネシウムイオンに比べて濃度は低い、外観観察では筋肉の収縮や硬直は認められず、むしろ弛緩に近い状態であった。

輸送後のヤリイカとスルメイカ試料の海水の濁り、海水中の $\text{NH}_4\text{-N}$ 濃度および外観観察の違い 共食い防止や小スペースでの輸送を考慮した場合、予備試験²⁵⁾から試料に対して約 2~3 倍の容量の MgSO_4 海水での低温輸送が効果的と考えられた。本実験条件下での輸送後（漁獲約 35 時間後）は、いずれの試料でも海水の濁りや海水中の $\text{NH}_4\text{-N}$ 濃度の増加がみられた (Figs. 1, 2)。しかし、明らかにヤリイカの方がスルメイカよりも海水の濁りが少なく、 $\text{NH}_4\text{-N}$ 濃度の上昇度合いも小さかった。輸送後の試料を通気しながら冷海水に戻して外観観察を行ったが、回復遊泳はみられなかった。しかし、ヤリイカの場合、解剖すると体液の動きが観察され、官能評価でも冷凍および冷蔵試料に比べて透明感と歯ごたえで明らかに異なっていた。著者ら¹⁾はこれまでにマグネシウムイオンの鎮静作用を利用したホタルイカの活輸送（高密度輸送）を行ってきたが、漁獲約 33 時間後でも輸送した試料の約 8 割で復活遊泳が可能であった。そこで、輸送試験と同様な方法でヤリイカとスルメイカの保管試験を実施したところ、保管約 10 時間（漁獲後約 15 時間）までであれば回復遊泳は可能であることを確認した（結果は図示せず）。ホタルイカの場合は、生息温度が約 0~13℃ と広範囲²⁶⁾のため下水（約 0℃）で輸送しても輸送時のストレスが少なく、また、輸送スペースもヤリイカやスルメイカよりも広い範囲であるため大部分の試料が漁獲約 33 時間後でも回復遊泳が可能であったと考えられる。ヤリイカやスルメイカとホタルイカのこの違いには、大きさの違いによる酸素消費量の差異も大きく効いているものと思われる。

輸送後のヤリイカとスルメイカの生体成分の違い ヤ

リイカとスルメイカで輸送後の疲労の程度を確認するため、輸送後の試料の外套筋中の生体成分の分析を行った。ヤリイカの場合、輸送前に比べ、麻酔試料では、輸送後のアルギニンリン酸量や ATP 量がほぼ同程度であった。しかし、冷凍および冷蔵試料では、輸送後のアルギニンリン酸量や ATP 量の減少、AMP 量の大きな増加および HxR と Hx の増加がみられた (Figs. 4, 5)。また、麻酔試料では輸送前に比べて輸送後にオクトピン量は変化しないが、冷凍および冷蔵試料ではオクトピン量の増加がみられた (Fig. 6)。麻酔試料では遊離アミノ酸組成に大きな変化はみられなかったが、冷凍および冷蔵試料では輸送後にグルタミン酸量の大きな減少が認められた (Table 1)。これまでに頭足類筋肉の嫌気的条件下でのグルコース代謝では、アルギニンリン酸からアルギニンが遊離し、解糖経路で生じたピルビン酸との脱水縮合反応でオクトピンが生成されることが知られている。²⁴⁾ ヤリイカの場合、麻酔試料では疲労が抑制されているため、生体成分には大きな変化はみられないが、冷凍および冷蔵試料では、上記の代謝経路での死後のオクトピンの生成が認められたものと考えられる。一方、スルメイカの場合、麻酔試料でも輸送前の試料に比べてアルギニンリン酸量、ATP 量、ADP 量の減少や Hx 量の増加、アラニンおよびロイシンの増加がみられた (Fig. 4, 5 および Table 2)。これらの変化は、ヤリイカでは認められず、麻酔試料でも輸送中の疲労の度合いが異なると考えられた。言い換えれば、ヤリイカはスルメイカに比べて低酸素下および閉鎖的環境下での輸送ストレスに耐えるイカであると考えられる。また、冷蔵および冷凍試料でもスルメイカの場合は、AMP の蓄積がみられず、グリシンとアラニンの増加、グルタミン酸およびイソロイシンなどの減少がみられ、ヤリイカの場合とグルタミン酸の減少を除いては大きく異なった。これはヤリイカの方がスルメイカに比べ、寒帯域を除く広い範囲の新旧大陸沿岸に分布するという生息環境の違い²⁷⁾ や遊泳性の違い²⁸⁾ にもよると思われるが、詳細は不明である。ヤリイカとスルメイカの冷凍および冷蔵試料では輸送後にグルタミン酸の減少がみられた点は共通していた (Table 1 および 2)。これらの原因については目下のところ不明である。さらに、Hochachka ら²⁹⁾ は、ジンドウイカ科の *Alloteuthis subulata* を極度に疲労させるとアルギニンとプロリンが大きく減少することを報告している。本研究では、ヤリイカとスルメイカの麻酔試料ではともにアルギニンとプロリンには変化が認められなかった。これは、これらの遊離アミノ酸は他の遊離アミノ酸に比べて量的に多く、個体差も大きかったためと考えられる。

輸送後のヤリイカとスルメイカの官能評価の違い 輸送後の官能評価をみると、ヤリイカの場合、麻酔試料は

疲労がかなり少ないため、冷凍および冷蔵試料よりも明らかに透明感や歯ごたえが良かった (Table 3)。呈味性は冷凍および冷蔵試料の方が高い値を示したが、これは、麻酔試料に比べ、冷凍および冷蔵試料では Glu 量は少なく、AMP 量が多いためにうま味が増強されていることが考えられる。スルメイカの場合、麻酔試料が冷蔵試料と透明感や歯ごたえの点で違いがみられなかった理由は、麻酔試料でもスルメイカでは筋肉が白濁しており、そのことが官能的な評価低下の要因の一つと考えられる。なお、いずれの試料もマグネシウムイオンによる苦味は全く感じられなかった。

ヤリイカとスルメイカの輸送前の即殺時の魚種間評価の違いについてであるが、神奈川水産総合研究所で共同研究者と調査したところ、両者は共に外観、歯ごたえは同じ評点 3 であり、呈味の点では評点が 2 で、魚種間に大きな違いはないと感じられた。また、共同研究者との調査でも輸送後のヤリイカの麻酔試料の官能特性については輸送前 (即殺直後) とほぼ同様であると推定された。今後は輸送前の試料を含めた同じパネルによる官能評価やイカの品質を評価するための輸送前後のイカの活動電位の違い³⁰⁾ についても調査する必要があると思われる。

以上の結果から、マグネシウムイオンの鎮静作用を応用したヤリイカとスルメイカの活輸送では輸送後 (漁獲約 35 時間後) の品質変化の進行に違いがみられ、ヤリイカの方がスルメイカよりも透明感や歯ごたえが良好に保持されていた。一方、スルメイカは輸送中に墨を吐き、海水中の $\text{NH}_4\text{-N}$ 濃度が上昇し、ストレスによる疲労が進み、輸送後の品質 (透明感や歯ごたえなど) は冷蔵試料と大差がなかった。今後は、イカの種類に応じた鎮静状態の誘導方法や輸送時のストレスの軽減方法 (適切な輸送温度、酸素濃度および輸送時の海水中の $\text{NH}_4\text{-N}$ 濃度の上昇抑制) などの工夫が必要と考えられる。

謝 辞

本研究は水産庁水産物品質保持技術基礎調査事業の一環として行われたものである。本研究を遂行するにあたり、ご助言をいただいた元北海道大学水産科学研究院教授関仲夫博士に深く謝意を表します。また、輸送試験にご協力いただいた四国化工株式会社金地宏和氏、愛媛県工業技術センター企画調整室主任研究員平岡芳信博士並びに北海道立工業技術センター研究開発部水産食品加工科長吉岡武也博士、魚津漁協同組合専務浜住博之氏並びに富山県食品研究所食品加工課主任研究員小善圭一氏に厚く感謝します。

文 献

- 1) 船津保浩, 川崎賢一, 阿部宏喜. 麻酔技術を応用したイ

- カ類の高鮮度流通技術, 「水産物の品質・鮮度とその高度保持技術」(中添純一, 山中英明編)恒星社厚生閣, 東京. 2004; 120-128.
- 2) 船津保浩, 川崎賢一, 阿部宏喜, 臼井一茂, 仲手川恒. マグネシウムイオンの鎮静作用を利用した新しい活輸送技術の提案—ホタルイカの活輸送技術の改良—. *New Food Industry* 2005; **47**: 1-8.
- 3) 鈴木恒由. スルメイカの飼育と活輸送. 「イカーその生物から消費まで—」, (奈須敬二, 奥谷喬司, 小倉通男編) 成山堂書店, 東京. 1991; 212-232.
- 4) 山中英明, 鬼丸良道. 活イカの流通システム—漁獲から消費まで—. *海洋水産エンジニアリング* 2000; **10**: 1-8.
- 5) 島崎健二, 桜井泰憲. 平成2年度スルメイカ人工飼育技術開発研究事業報告書, 函館市水産連合協議会, 函館. 1990; 1-15.
- 6) 仲野 肇: 活イカ等の輸送用カプセル及びこのカプセルを用いた包装体. 1994, 実用新案公開第 10189 号.
- 7) 都築俊文. 「水の分析」. 第4版. (日本分析化学会北海道支部編) 化学同人, 東京. 1994; 253-256.
- 8) Kawashima K, Yamanaka H. Effect of storage temperature on the post-mortem biochemical changes in scallop adductor muscle. *Nippon Suisan Gakkaishi* 1992; **58**: 2175-2180.
- 9) Matsumoto M, Yamanaka H. Studies on rigor-mortis of kuruma prawn muscle. *Nippon Suisan Gakkaishi* 1991; **57**: 2121-2126.
- 10) Vollmer M, Hochachka PW, Mommsen TP. Octopine dehydrogenase and phosphoarginine kinase in squid *Loligo opalescens* mantle: cooperation of two enzymes at the arginine branchpoint in cephalopod muscle. *Can. J. Zool.* 1981; **59**: 1447-1453.
- 11) Matsumoto M, Yamanaka H. Postmortem bio-chemical changes in the muscle of kuruma Prawn during storage and evaluation of the freshness. *Nippon Suisan Gakkaishi* 1980; **56**: 1145-1149.
- 12) Noll F. In: Bergmeyer HU (ed.) *Methods of Enzymatic Analysis*. 3rd edn., Vol. 6. Verlag Chemie, Weinheim. 1984; 582-588.
- 13) 野中敏雄, 山口静子. 評点法, 評点尺度法. 「調理化学実験ハンドブック」(福場博保, 宮川金二郎編) 建帛社, 東京. 1986; 385.
- 14) 松永明信. 深層水の成分及び清浄性. 「21世紀の資源富山湾深層水」(富山湾深層水利用研究会編) 桂書房, 富山. 2001; 4-7.
- 15) ト部俊郎. 活魚等の運動機能の抑制方法および抑制処置装置ならびに抑制処理された活魚等の保存方法. 2000; 特許公開第 166420 号.
- 16) ト部俊郎. 活魚輸送装置および活魚輸送方法. 2002; 特許公開第 360113 号.
- 17) Ando M, Hashimoto H, Harada R, Yamane A. Effect of super chilling storage on maintenance of freshness of kuruma Prawn. *Food Sci. Technol. Res.* 2004; **10**: 25-31.
- 18) Yoshida M, Kobayashi M. Neural control of the buccal muscle movement in the African giant snail *Achatina fulica*. *J. Exp. Biol.* 1991; **155**: 415-433.
- 19) Alevizos A, Weiss KR, Koester J. Synaptic actions of identified peptidergic neuron R 15 in *Aplysia*. I. Activation of respiratory pumping. *J. Neurosci.* 1991; **11**: 1263-1274.
- 20) 船津保浩, 川崎賢一, 臼井一茂, 仲手川 恒, 阿部宏喜, 金地宏和. マグネシウムイオンの麻酔作用を用いたスルメイカおよびヤリイカの活輸送. 富山県食品研究所研究報告 2004; **5**: 47-55.
- 21) Messenger JB, Nixon M, Ryan KP. Magnesium Chloride as an anaesthetic for cephalopods. *Comp. Biochem. Physiol.* 1985; **82**: 203-205.
- 22) Garcia-Franco M. Anaesthetics for the squid *Sepioteuthis sepioidea* (mollusca: cephalopoda). *Comp. Biochem. Physiol.* 1992; **103**: 121-123.
- 23) Namba K, Kobayashi M, Aida S, Umematsu K, Kondo Y, Miyata Y. Persistent relaxation of the adductor muscle of oyster *Crassostrea gigas* induced by magnesium ion. *Fish. Sci.* 1995; **61**: 241-244.
- 24) 上水樽豊己, 安楽和彦. ツキヒガイ閉殻筋への塩化マグネシウム注射による開殻. 日本誌 1999; **65**: 856-859.
- 25) 稲村 修. 「ほたるいかのはなし」 魚津印刷, 富山. 1994; 17-27.
- 26) Hochachka PW. 頭足類におけるグルコースとアルギニン代謝の共役. 「低酸素適応の生化学」(橋本周久, 阿部宏喜, 渡部終五訳) 恒星社厚生閣, 東京. 1983; 55-67.
- 27) 一井太郎. 未利用資源と開発. 「イカーその生物から消費まで—(三訂版)」(奈須敬二, 奥谷喬司, 小倉通男編) 成山堂書店, 東京. 2002; 219-226.
- 28) 酒井光夫. 日本近海. 「イカーその生物から消費まで—(三訂版)」(奈須敬二, 奥谷喬司, 小倉通男編) 成山堂書店, 東京. 2002; 123-166.
- 29) Hochachka PW, Mommsen TP, Storey J, Storey KB, Johansen K, French CJ. The relationship between arginine and proline metabolism in cephalopods. *Mar. Biol. Lett.* 1969; **4**: 1-21.
- 30) 船津保浩, 清水俊治. 活動電位による軟体動物の生死判別法と測定装置. 2003; 特許公開第 52653 号.