

海の実験教室

「イカの皮のなぞに迫る！

～色素胞を観察してみよう～



金沢海みらい図書館
Kanazawa Umimirai Library

 能登里海教育研究所
Institute of Noto SATOUMI Education and Studies

 日本 THE NIPPON
財団 FOUNDATION



縄文時代から日本人はイカを好んで食べている。イカの語源に関していくつかの説はあるが、「イ」は強調の接頭語,「カ」は「食」「ケ」がなまったものという説が有力である。日本人は、食べ物という認識でイカを食してきた。寄生虫を持つイカもあり,近年の冷凍技術の進歩により,冷凍処理で寄生虫を殺す事により刺身で食べることができるようになった。

イカを生食する時には、皮を剥く。例えばムラサキイカは、ムラサキイカの皮は外套膜^{がいどうまく}全体の4%に相当するので,1トンのイカを処理すると40kgの皮が捨てられる。このように,これまでイカの皮は、産業廃棄物としてしか認識されていなかった。

しかしイカの皮には色素胞が含まれており,イカが瞬時に体色を変化させる仕組みを知る教材になる。また著者らの研究により,イカの皮に機能性成分が含まれていることも明らかになった。さらに石川県鳳珠郡^{ほうす}能登町では,伝統的にイカの皮を利用した料理方法もある。古来よりイカを漁獲してきた町では,イカの皮に含まれる機能性成分を上手に食べていたことになる。

今回の実験教室で,参加の皆様に,イカの皮の価値を認識していただけることを祈念する。

金沢大学 環日本海域環境研究センター
臨海実験施設 施設長・教授
鈴木信雄

イカの体と皮の基本的構造

鈴木信雄（金沢大学）

はじめに

イカは外套膜^{がいとうまく}でおおわれ、コイやキンギョなどの魚類とは異なり硬いウロコや骨がないことから、紙を切るハサミでも解剖できる。内臓の構造も分かりやすい。イカは腸の周りに脂肪組織が付着せず、肝臓に脂質を蓄積することから、容易に内臓を観察することができる。胃・腸（盲のう）・直腸・肝臓・生殖巣（精巣・卵巣）に加えて、膵臓や腎臓も観察できる。またイカの眼は、人の眼と似た構造を持ち、高度に発達している。さらに、イカの特徴として、心臓に加えて、エラに血液を送るための心臓（鰓心臓）がある。

一方で皮にも特徴があり、4層構造の1層と2層の間に色素胞が備わっており、その色素胞には放射状の筋繊維がついており、瞬時に体色を変化させることができる。このように、イカは動物の体の基本構造を理解し、イカにしかない特徴も学べる身近な優れた教材である。

イカの皮の構造

スルメイカの表皮は4層の組織から構成されている。色素胞は、1層目と2層目の間に多く存在しており、2層目の内部にも存在している。イカの皮を剥くと、色素胞を除くことができるが、皮を完全にのぞくことはできない。特に4層目の皮は、筋肉と強く結合しているため、取り除くことはできない。この4層目の皮が残っているため、イカの外套膜を加熱すると、表皮を内側にして丸まるのは、この繊維が熱により収縮することに起因する。イカの皮を剥いた後、残っている繊維を包丁で切れ目を入れておくと、収縮しない。イカのでんぷらを作るときに、イカの筋肉（可食部）に切れ目を入れるのは、筋肉に強く結合した皮の繊維を断ち切るためである。

スルメイカなどは、皮を剥いて刺身で食べられている。スルメイカの皮を剥く機器も開発されている。一方、ムラサキイカは皮を剥いた後、冷凍保存する。通常、ムラサキイカは家庭料理というより、業務用に用いられ、特に中華料理によく利用されている。なお、ムラサキイカの皮は外套膜の4%もの重量があり、残念なことに、これまで産業廃棄物として処理されてきた。しかし後述のように、イカの皮には数多くの機能性成分が含まれており、料理方法を工夫することにより、食べることができる。さらに後述のように、色素胞の収縮・弛緩運動を見るための教材としても使用できる。

参考図書

石川宣次，1996：イカーその生物から消費まで―二訂版（奈須敬二、奥谷喬司、小倉通男共編）成山堂書店，東京，258-301.

イカの皮と体色変化のメカニズム

鈴木信雄（金沢大学）・亀 允斗（七尾高等学校）・端野開都（金沢大学）

はじめに

イカの皮は4層の構造からなり、色素胞は1層目と2層目あるいは2層目に分布している。イカの皮を剥ぐと、色素胞も一緒に取ることができる。なお、イカの色素胞は、イカが死んでもしばらくの間、収縮と弛緩を繰り返している。そこで著者らは、アオリイカの皮を剥ぎ取り、水を吸収しやすい紙（キムワイプ）に海水をしみこませて、その皮を紙に張り付けることで、イカの色素胞の収縮・弛緩活動を研究した。その研究成果の一部を紹介する。

色素胞の構造

イカは、色素胞と虹色素胞という2つの色素細胞を持っている。色素胞の中には、オモクロームと呼ばれる黒色、赤色、黄色の色素が、弾性のある袋（弾性小嚢）に入っている。一方、虹色素胞は色素を含んでおらず、光を反射する板を持っている。この両方の色素細胞により、イカは体表の色を多彩に変化させる。著者らは、特に色素を含む色素胞がどのような仕組みで動いているのかに興味を持ち、ホルモンによる調節を調べた。

著者らが注目したイカは、アオリイカである（図1）。アオリイカの色素胞は、イカが死んでも長い間、色素胞が収縮・弛緩運動を繰り返していることから、イカから皮を切り出した状態でイカの色素胞の運動を観察できると考えた。



図1 アオリイカの色素胞の収縮・弛緩運動

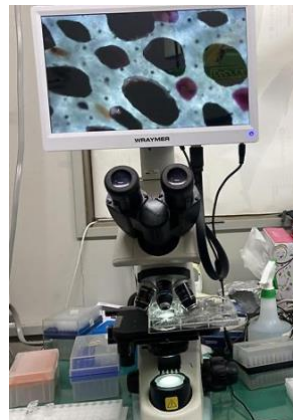


図2 アオリイカの色素胞の収縮・弛緩運動のビデオを撮影している様子
プレートに切り出した皮を人工海水でしめらせた紙の上に広げて、色素胞の収縮・弛緩運動を観察した。

アオリイカの皮を用いた色素胞の収縮・弛緩の仕組みの研究

アオリイカから皮を取り、人工海水をしみこませたキムワイプの上に、切り出した皮を広げた。その皮の収縮・弛緩運動をビデオに撮り、収縮・弛緩運動の回数をカウントした（図

2)。著者らが注目した色素胞は、黒色素胞である。アオリイカにおいて、黒色素胞が最も多いことから、この色素胞に注目して、黒色素胞の収縮・弛緩運動に対するホルモンなどの影響を調べる実験を行った。

ビデオ撮影については、録画開始 10 秒後に試薬を滴下し、5 分間の色素胞の収縮・弛緩の様子を録画した。それぞれの試薬で滴下前の 10 秒間の回数を計測した後、30 秒ごとに 290 秒までの回数を計測した。結果は、10 秒当たりの回数をとして計測した。

ホルモン（ノルアドレナリン）による色素胞の収縮・弛緩運動の調節

著者らは、アオリイカの色素胞に対する数種のホルモンの作用を調べた。アドレナリン及びノルアドレナリン、黒色素胞刺激ホルモンをアオリイカの皮に添加して、黒色素胞の収縮・弛緩運動を調べた。その結果、アオリイカの黒色素胞は、ノルアドレナリンのみが応答して、ノルアドレナリンを添加して 2 分後にアオリイカの黒色素胞の収縮・弛緩の回数が早くなった（図 3）。

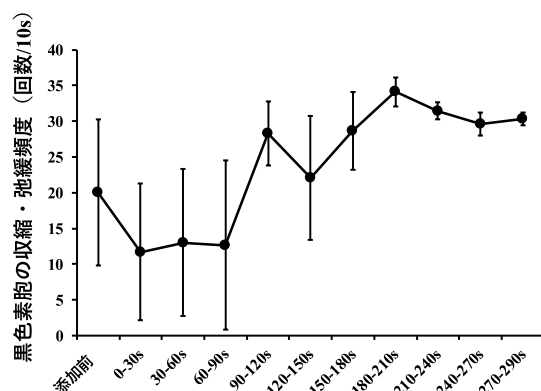


図3 ノルアドレナリン添加によるアオリイカの黒色素胞の収縮・弛緩頻度の変化
図中のデータは10秒(s)当たりの収縮・弛緩頻度を示す。ノルアドレナリン
(10^{-3} M) を添加して2分後に、黒色素胞の収縮・弛緩の頻度が上昇した。
n = 3

ノルアドレナリンが黒色素胞に作用する仕組み

ノルアドレナリンがアオリイカの黒色素胞の収縮・弛緩運動を促すことがわかったので、次に、ノルアドレナリンが黒色素胞に作用する仕組みを調べた。ホルモンは、特定の場所に作用する。その特定の場所がホルモンを受け取る仕組みがある。ホルモンは、特定の場所にある受容体に結合して作用する。そこで、その受容体の種類を調べた。

アドレナリンの受容体は数種類あり、 α_1 、 α_2 、 β_1 及び β_2 の4つの受容体が存在する。そこで、ホルモンが受容体と結合することを妨げる物質（阻害剤）を用いて調べた。即ち、ホルモンと共に阻害剤を添加して、黒色素胞の収縮・弛緩運動が変化するかを調べた。もし、阻害剤により黒色素胞の動きが変化したら、その阻害剤が結合する受容体にホルモンが作用していることになる。そこで α_2 受容体の阻害剤としてヨヒンビン、 β 受容体の阻害剤としてプロプラノールを用いた。

ノルアドレナリンと共にヨヒンビンを添加すると、黒色素胞の収縮・弛緩運動の頻度は停止した（図4）。したがって、ノルアドレナリンは、アオリイカの黒色素胞の α_2 受容体に結合して収縮・弛緩運動していることが判明した。一方、プロプラノールを添加しても黒色素胞の収縮・弛緩運動の頻度は変化しなかったため、ノルアドレナリンは β 受容体には作用していないこともわかった。

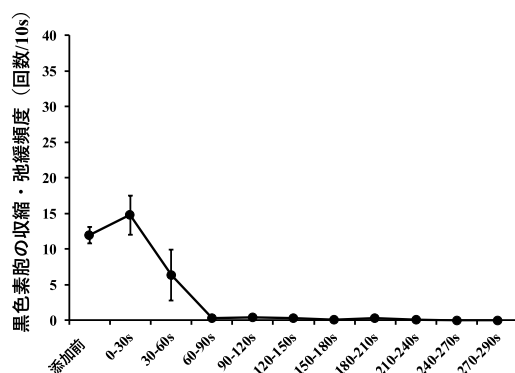


図4 ノルアドレナリンとヨヒンビンの同時添加によるアオリイカの黒色素胞の収縮・弛緩頻度の変化
図中のデータは10秒(S)当たりの収縮・弛緩頻度を示す。ノルアドレナリン (10^{-3} M) とヨヒンビン (10^{-3} M) を同時に添加すると、1分後に、黒色素胞の収縮・弛緩の頻度が停止した。n = 3

まとめ

イカの皮には色素胞が含まれており、その皮に含まれている色素胞は、しばらくの間、収縮・弛緩運動を行う。さらにこの動きは、ホルモンにより調節されていることがわかった。このようにイカの色素胞の動きを観察することは容易であり、イカの皮はホルモンの作用を調べる優れた教材だと思われる。

参考図書

窪寺恒己, 1996 : イカーその生物から消費まで—二訂版 (奈須敬二、奥谷喬司、小倉通男 共編), 第1章第2節, 成山堂書店, 東京, 33-68.

参考文献

- Loi PK, Saunders RG, Young DC, Tublitz NJ (1996) Peptidergic regulation of chromatophore function in the European cuttlefish *Sepia officinalis*. J. Exp. Biol., 199: 1177-1187.
- Kame, M., Hatano, K., Urata, M., Takahashi, T., Hirayama, J., Sekiguchi, T., Rafiuddin, A.M., Matsumoto, K., Sakatoku, A., Nakamura, A., Matsubara, H., Srivastav, A.K. and Suzuki, N.: Development of an *in vitro* bioassay system to examine the effects of bioactive substances on the chromatophores' movement using the epidermis of the bigfin reef squid *Sepioteuthis lessoniana*. Int. J. Zool. Inv., 9: 961-967 (2023)

イカの皮に含まれる機能性成分

鈴木信雄（金沢大学）・矢澤一良（早稲田大学）

はじめに

イカの可食部の筋肉、肝臓及び墨に注目した研究は多い。例えば、筋肉に含まれるタウリンは、イカの種類にもよるが 300～1,200 mg/100 g 含まれており、ヒトの血液中のコレステロールや血圧を下げる作用がある。肝臓には、機能性を有した脂肪酸（エイコサペンタエン酸：EPA やドコサヘキサエン酸：DHA など）が含まれている。墨には、免疫システムにかかわる細胞を活性化する物質も含まれている。一方、イカの皮を研究した例は少ない。皮は、産業廃棄物としてしか認識されていない。イカの皮に様々な機能性成分が含まれていることは、認知されていないという現状である。



図5 カビが生えたスルメ
スルメを長期間放置するとカビが生える。

コントロール 色素胞成分0.01%添加



図6 クロカビ (*Aspergillus niger*) の増殖に対する色素胞成分の影響
ムラサキイカから抽出した色素胞成分(0.01%)を添加した寒天培地にクロカビの胞子を1個添加して30℃で2日培養した。

イカの皮に含まれるカビの成長を促す物質

著者らは、ムラサキイカの皮から複数の機能性成分を同定した。そのきっかけになった現象は、スルメの色素胞によくカビが生えるという現象である（図 5）。この現象がきっかけとなり、ムラサキイカから色素胞成分を抽出して、色素胞に含まれるカビの成長を促す物質を調べた。カビの中でも最も増殖が良かったのは、クロカビである（図 6）。さらにこの物質は、アオカビ、ケカビ、ショウユコウジカビ、コウジカビの増殖も促すことがわかった（図 7）。

そこでカビの成長を促す物質の構造を決定するために、クロカビの増殖促進作用を指標にして色素胞成分を精製し、構造決定に成功した。ムラサキイカの皮から抽出した色素胞成分に含まれるカビの成長を促進する物質の正体は、コリンだった。コリンは、脳神経系にお

いて重要な働きを示す物質なので、ヒトの健康にもよい。なお、カビの成長を促す物質であるコリンは、おそらく後述のフォスファチジルコリン（PC）由来のコリンである可能性が高い。

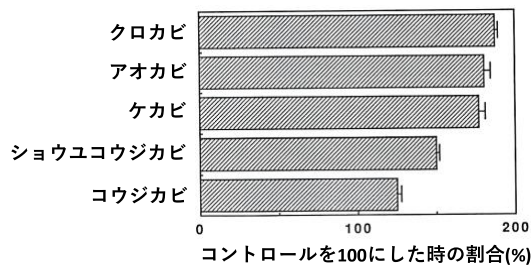


図7 ムラサキイカの皮から抽出した色素成分のカビの成長促進作用 (n = 5)

イカの皮に含まれる体に良い脂質

脂質には、体に蓄積する中性脂質と細胞膜を構成するリン脂質がある。市販のカプセルに入っているのは、魚から抽出した中性脂質由来の EPA や DHA である。一方、イカの皮に含まれる脂質は、中性脂質ではない。リン脂質である。レシチンとして知られている PC がイカの皮に含まれている。PC には EPA 及び DHA を含んでおり、特に DHA の含有量が高い（図 8、表）。



図8 中性脂質（A）とリン脂質（B）の化学構造
R, R', R''は脂肪酸を示す。中性脂質には、3個の脂肪酸(R, R', R'')が含まれている。一方、リン脂質には、2個の脂肪酸(R, R')が含まれている。ムラサキイカの皮に含まれるフォスファチジルコリンの脂肪酸組成を調べると56%の割合でDHAが含まれていた。したがって、RあるいはR'のいずれかがDHAであるぐらいに高純度でDHAが含まれている。

表 ムラサキイカの皮に含まれるリン脂質の主な脂肪酸組成(%)

	パルミチン酸	ステアリン酸	オレイン酸	アラキドン酸	エイコサペンタエン酸 (EPA)	ドコサヘキサエン酸 (DHA)
PC	25.00	2.64	1.09	0.93	6.80	56.70
PE	3.22	3.56	7.86	5.66	31.90	24.50
PI	5.35	0.93	21.52	7.32	29.38	20.96
Sph	17.56	0.83	30.17	2.93	16.90	13.34
PS	52.30	1.62	9.35	2.12	11.50	5.35

PC: フォスファチジルコリン; PE: フォスファチジルエタノールアミン; PI: フォスファチジルイノシトール; Sph: スフィンゴミエリン; PS: フォスファチジルセリン

EPA は血管や心臓などの循環器系に多く存在し、血圧の調整や炎症抑制による血管の健康維持に関与している。DHA は脳や目の網膜などの神経系に多く存在し、脳の発達や神経組織の機能調整、さらに眼の網膜機能の維持する役割を持っている。ヒトには欠かすことができない大切な脂肪酸である。またリン脂質は脳・神経系を構成する成分であり、そのリン脂質の中に EPA や DHA が含まれている。イカの皮には、脳・神経系を構成する EPA 及び DHA を含むリン脂質そのものが存在する。さらに矢澤らは、リン脂質型の EPA にダイエット効果を見出した。脳卒中を引き起こしたラットにリン脂質型の EPA を与えると、EPA の血圧低下作用に加えて、腎臓や副睾丸に着いた脂肪組織の重量が 3 割ほど低下することもわかった。したがって、中性脂質ではなく、リン脂質に含まれる EPA 及び DHA は、ヒトの健康によい。後述のイカの皮の料理法を参考にしていきたい。

イカの皮に含まれる糖質

ムラサキイカの皮から抽出した色素胞成分には、主成分としてエリスリトールが検出された。色素胞成分 (20 mg) 中 18.8 mg のエリスリトールが含まれていた。現在、エリスリトールは特定保健用食品の機能性成分にも上げられ、次のような機能性が注目されている。1) エリスリトールは腸から体内に吸収されるが、代謝されない糖アルコールであり、カロリーが低い食材として使用されている。代謝されないことから、糖尿病の患者の甘味料としても用いられている。2) 虫歯の原因菌に利用されず、非う蝕性であるが、ショ糖の 70-80% の甘さがある。3) 溶解時に熱を奪う割合が他の糖質より高く、口に入れると冷たく感じ、デザート用の甘味料としても用いられている。

イカの皮に含まれる色素

イカの色素胞中に存在する赤紫色の色素 (図 9) はオモクロムに属し、オミンと同定されている。しかしながら、この色素の構造やその他の性質については、ほとんど知られていない。メタノールに溶解した赤紫色の色素をねじ口付き試験管に入れて、95℃で 10 分間加熱した。ねじ口付き試験管に入れたのは、加熱によるメタノールの蒸発を防ぐためである。加熱前後の色素の吸光度の変化を図 10 に示す。加熱前後の色素の変化を分光光度計で測定した結果、加熱前後とも 490 nm 付近に吸収極大を持ち、加熱前後の吸光度には変化がみられなかった。

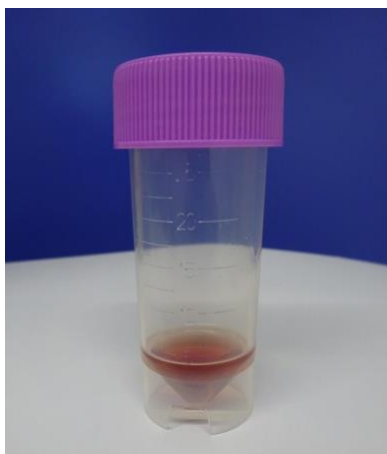


図9 ムラサキイカの皮から抽出した赤紫色の色素

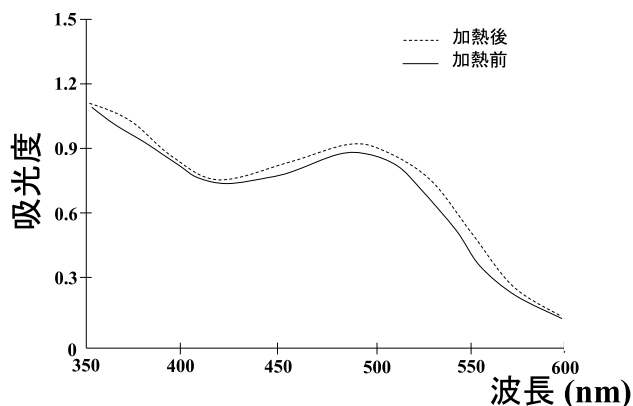


図10 ムラサキイカの皮から抽出した色素の熱安定性（鈴木他, 2010より改変）

食品添加物として使用されている天然物由来の色素特に赤色系の色素は、退色しやすい。また、天然物由来の赤色色素として有名なコチニールは昆虫から抽出された色素なので、消費者には受け入れ難い。一方、イカの皮から抽出された赤紫色の色素は 95℃、10 分間の加熱にも耐えた。さらに予備的に、この色素をスケトウダラのスリミに添加し、加熱後その色の変化を調べても、色素のみの加熱実験と同様に、変化しなかった。またその色素の由来がイカなので、消費者には馴染みやすい。したがって、この色素成分は、食品添加物に応用できる可能性がある。

イカの皮に含まれる紫外線吸収物質

ムラサキイカの皮を塩酸-メタノールで抽出した溶液を分光光度計で分析した結果、紫外線領域（294 nm）に吸収極大を持つ物質を検出した（図 11）。イカは海面を泳いでいることから、太陽の光に含まれている紫外線の影響を受ける。その紫外線から身を守るために、イカの皮には、紫外線吸収物質が含まれていると考えられる。イカ以外の海産無脊椎動物においても、同様な機構が備わっている可能性が高い。

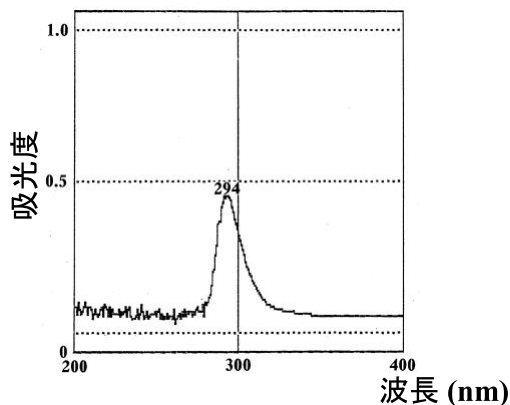


図11 ムラサキイカの皮に含まれる紫外線吸収物質（鈴木他, 2010より改変）

まとめ

イカの皮にはカビの成長を促進するコリン、EPA 及び DHA を含むリン脂質、エリスリトール、熱に安定な赤紫色の色素、紫外線吸収物質が存在することが明らかになった(図)。これらは、食品添加物のみならず医薬品にまで発展する可能性を秘めている。イカの皮は産業廃棄物となっているが、これらの成分の特徴を生かして、イカの皮の有効利用につなげていきたい。

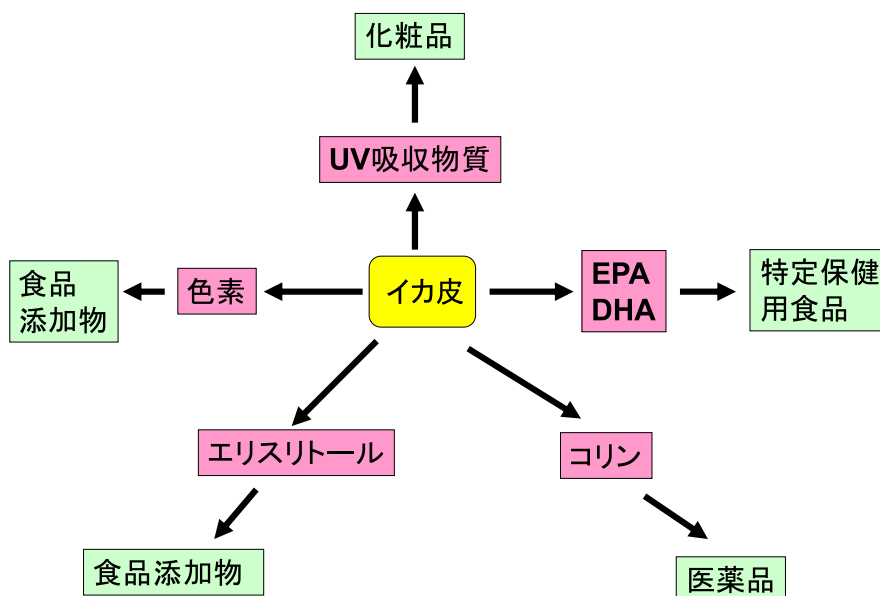


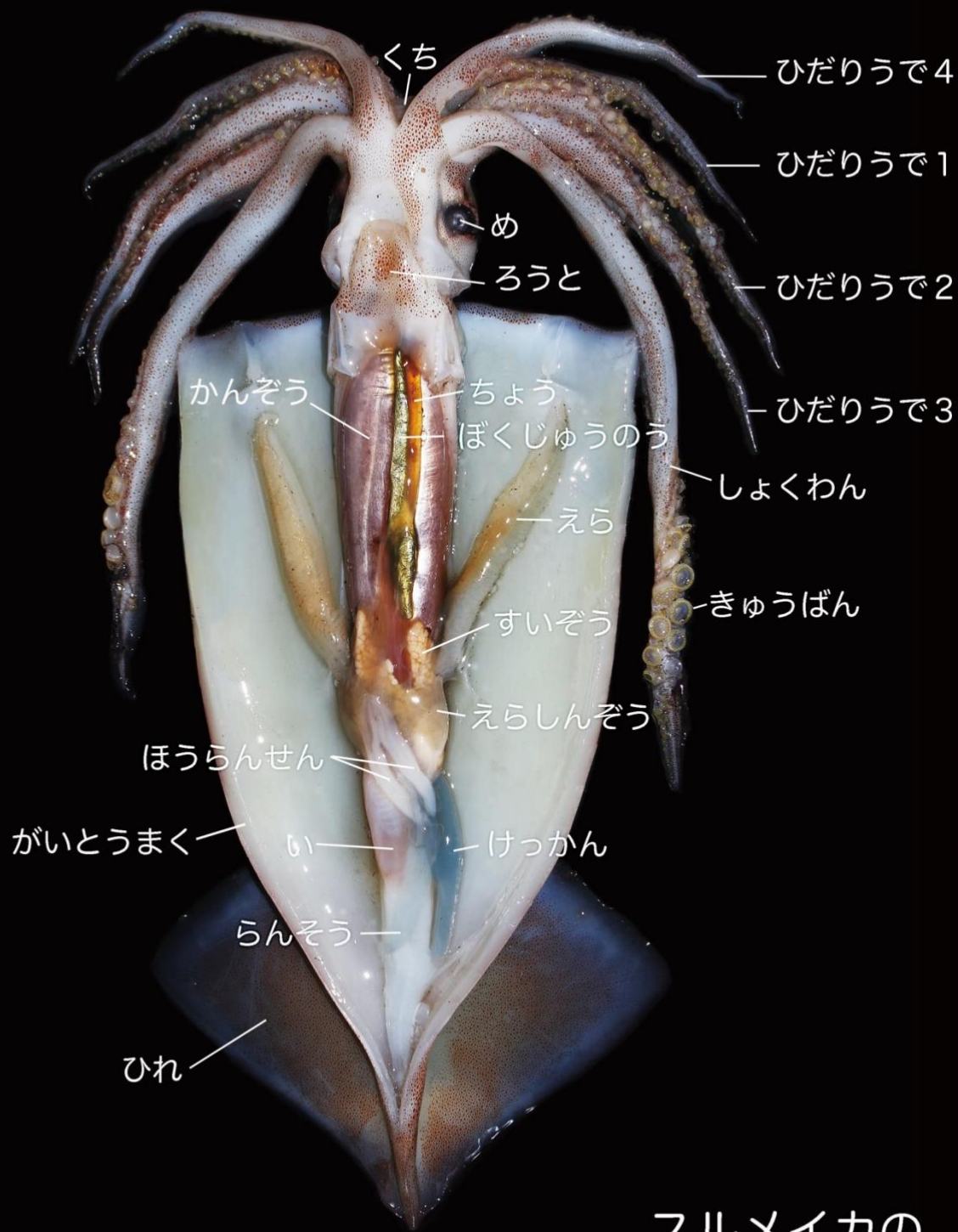
図12 イカの皮に含まれる機能性成分

参考図書

石川宣次, 1996 : イカーその生物から消費まで—二訂版(奈須敬二、奥谷喬司、小倉通男共編)成山堂書店, 東京, 258-301.

参考文献

Deng, C., Watanabe, K., Yazawa, K. and Wada, S.: Potential for utilization of the lipid and DHA-rich fatty acid of integument of squid *Ommastrephes bartrami*. *Food Res. Intern.*, 31: 697-701 (1998)
Suzuki, N., Yazawa, K., Yamada, A., Uemura, D., Kitabayashi, K., Yano, S., Fukutsuka, N. and Koto, N.: Mold growth factors in squid integument. *Nippon Suisan Gakkaishi*, 59: 1801 (1993)
鈴木信雄, 矢澤一良, 渡部和郎, 繁森英幸, 山田昭浩, 畠 伸彦, 田中雅子, 前 成美, 矢野純博, 稲葉信策, 中間俊彦, 笹山雄一: イカの皮に存在する生理活性物質及び色素. *日本海域研究*, 41: 1-5 (2010)

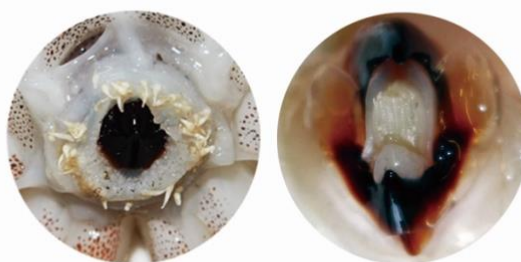


はらがわのうちがわ

スルメイカの
からだのなか

【解剖手順の参考】

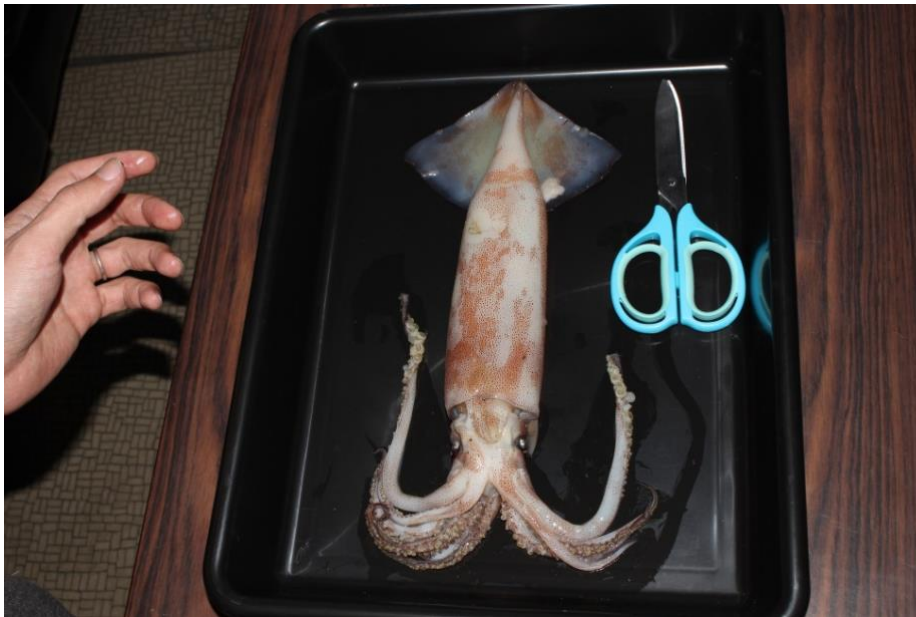
1. まず、ひれやうでを広げてみましょう。がいとうまくが黒っぽい色の方が、せなかがわです。白っぽい色の方が、はらがわです。うでの本数をかぞえてみたり、うでのまんなかにある口をみたりしてみましょう。口は鳥のくちばしのような形をしています。



▲イカの口です

◀黒っぽい色のせなかがわを上にして置いたところ

2. ろうとがある白っぽい色のはらがわを上、黒っぽい色のせなかがわを下にして置きます。手前からひれの先の方まで、ハサミで切ります。とびらを開くように、がいとうまくを左右に開きます。★イカの下じきのようになります。



▲はらがわ（白っぽい方）を上にして置いたところです



▲がいうまくのまんなかを切ります