

## 明暗環境下におけるケンサキイカ *Uroteuthis edulis* の 網膜運動反応

梶川和武<sup>1†</sup>, 安本信哉<sup>2</sup>

### Retinomotor Response of Swordtip Squid *Uroteuthis edulis* under Light and Dark Condition

Yoritake Kajikawa<sup>1†</sup> and Shinya Yasumoto<sup>2</sup>

**Abstract** : The objective of this study was to gain histological insights into the retinomotor response of swordtip squid (*Uroteuthis edulis*) to determine the state of retinal adaptation under fishing light. In this study, the retinomotor response of swordtip squid under a light condition and dark condition was examined histologically. Squid under the light condition were irradiated by a halogen lamp from above the experimental tank for 2 hours. On the other hand, squid under the dark condition were in an experimental tank that was closed and completely covered with a blackout curtain for 2 hours. For both conditions, the thicknesses from the limiting membrane to the retinal surface and the black pigment layer were measured from tissue specimens, and the ratio (%) was calculated, which was used as an index of retinal adaptability. Results showed the index of retinal adaptation for the dark-adapted condition was 33.3% for a mantle length of 223 mm and 25% for a mantle length of 164 mm. On the other hand, the index of retinal adaptation for the light-adapted condition of two tested individuals with mantle lengths of 200 mm and 218 mm was 100% for both. The results suggested that the retinal adaptation state can be judged by observing the layer of black pigment in the retina as in the case of Neon flying squid and Japanese flying squid, which are species of Oegopsida.

**Key words** : retinomotor response, swordtip squid, light and dark adaptation, black pigment, Fishing technology

## 緒言

ケンサキイカ *Uroteuthis edulis* を主漁獲対象とした沿岸イカ釣り漁業は、山陰西部から九州北部で盛んに行われている。山口県におけるケンサキイカの水揚げは、その多くがイカ釣り漁業によって水揚げされている<sup>1)</sup>。山口県で操業している沿岸イカ釣り漁業は、日没後に集魚灯(離岸距離3.5マイル以内であればハロゲン灯、3.5マイル以上であればメタルハライド灯を使用)<sup>2)</sup>によって、主にケンサキイカやヤリイカを誘引し、船体の周囲に集め、擬餌針の一種であるスツテを使って手釣りで釣獲している。元来、イカ釣り漁業は集魚灯による燃油の消費量の総燃油消費量に占め

る割合が他の漁業に比べて高いため<sup>3)</sup>、昨今の燃油高騰化によって、燃油費が漁業経費に占める割合が高くなっており、漁業経営を圧迫してきた<sup>4)</sup>。

山口県沿岸イカ釣り漁業においてもLED集魚灯の開発に関する研究が進められ、また、LED集魚灯の実用化に向けて実証試験なども行われてきた<sup>2)</sup>が、現時点において実用化には至っていない。

LED集魚灯には、指向性が強く発光面方向にのみ照射することができ、かつ特定の波長域の光のみを出力できる特性があり、既存灯に比べ消費電力を抑えることができる<sup>5)</sup>。しかし、LED集魚灯の導入には、ケンサキイカの対光行動に適合した配光に調整しなければならない。イカ類は視

1. 国立研究開発法人水産研究・教育機構水産大学校海洋生産管理学科  
(Department of Fisheries Science of Technology, National Fisheries University)

2. 国立研究開発法人水産研究・教育機構水産大学校生物生産学科  
(Department of Applied Aquabiology, National Fisheries University)

† 別刷り請求先 kajikawa@fish-u.ac.jp

覚機能が非常に優れている<sup>9)</sup>ことから、擬餌針の捕捉は視覚に依存していると考えられている<sup>7)</sup>。したがって、イカ釣り漁業では他の集魚灯漁法と異なり、集魚するのみではなく、擬餌針を視認させることができる光環境を提供する必要があると考えられる。このため、既存灯下の釣獲時の光環境下におけるイカ類の視感度特性を把握することがLED集魚灯の配光分布を設計する上で重要な知見となる。

組織学的手法は古くから確立された手法であり、その知見は生物の行動や組織・器官の反応を裏付ける上で重要となる。これまでにイカ類における光に対する行動学的な研究はなされている<sup>8)</sup>。しかしながら、網膜反応の組織学的な知見は少なく、開眼垂目であるスルメイカやアカイカに関する報告<sup>9, 10)</sup>はあるが、閉眼垂目のケンサキイカに関する知見は見当たらない。

そこで、本研究ではケンサキイカの明暗順応状態における網膜運動反応に関する組織学の基礎的な知見を得ることを目的として、明環境下と暗環境下のケンサキイカの網膜運動反応を観察した。

## 材料と方法

### 供試個体

供試生物は、山口県漁業協同組合通支店所属の沿岸イカ釣り漁船で釣獲されたケンサキイカを用いた。2018年11月8日に供試生物を通漁港から山口県栽培漁業公社外海栽培漁業センターのビニールハウス内の飼育水槽へ活魚水槽を用いて運搬した後、無給餌で4日間飼育した。本研究では、明暗環境下で供試生物を馴致させるための実験水槽として、内壁が白色のクーラーボックス(内寸:L 50 cm × W

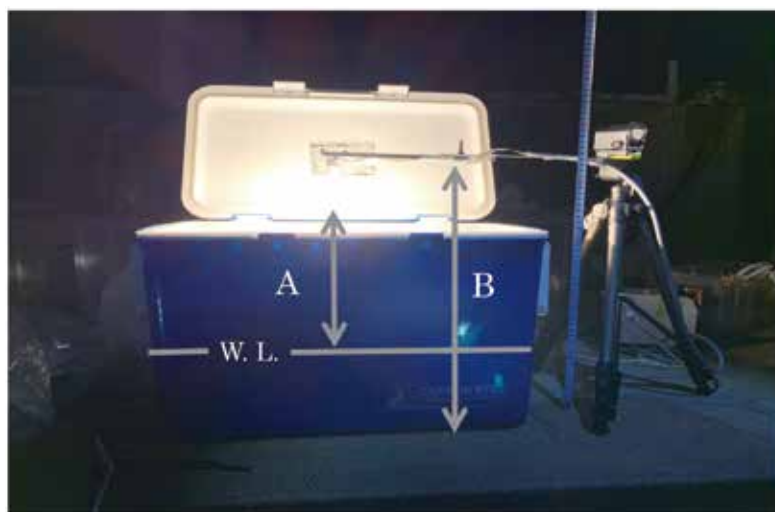
24 cm × D 30 cm)を用いた。本実験では、供試生物を明環境下に馴致させるために、11月12日日没後に、飼育水槽から搬出した供試生物3尾を実験水槽に投入した後、実験水槽の中央部の水面から20 cmの高さに設置したハロゲンランプ(200 W)を点灯させた(Fig.1)。一方、供試生物を暗環境下に馴致させるために、11月13日正午過ぎ、飼育水槽から搬出した供試生物3尾を実験水槽に投入した後、上蓋を閉め、その上に実験水槽全体が覆い被さるように暗幕を掛けた。明環境下、暗環境下のいずれにおいても供試生物を2時間馴致させた。その後、実験水槽から供試生物を取り出し、速やかに眼球を摘出して、ブアン液で固定した。さらに、眼球を摘出したそれぞれの供試生物の外套背長を計測した。本研究では明環境下での供試生物の中、外套背長200 mm, 218 mmの個体、暗環境下での供試生物の中、外套背長223 mm, 164 mmの個体をそれぞれ網膜運動反応の観察対象の供試個体として用いた。

### 明環境下における光環境の計測

実験水槽の上方から照射したハロゲンランプによって形成された光環境の下方放射照度を分光放射照度計(JAZ-COMBO, Ocean Optics Inc.)で計測した。下方放射照度の計測点は、実験水槽の中央部分の水面直上に相当するハロゲンランプの先端から直下20 cmの1点のみとした。

### 組織標本の観察

ブアン液で固定された眼球は、研究室に持ち帰り、後日、エタノール系列で脱水したのちにキシレンで透徹してパラフィン包埋した。定法にしたがって厚さ4 μmのパラフィン切片を作製して、マイヤーのヘマトキシリン・エオジン



**Fig.1** Experimental tank with halogen lamp for light condition.  
A: Distance from surface of water to lamp; 20cm  
B: Height of halogen lamp stand; 45cm

(HE)染色を施して光学顕微鏡で観察して、網膜の順応度を求めた。順応度は、Inada<sup>9)</sup>の方法にしたがい、境界膜から網膜表面および黒色素顆粒層までの厚さを計測し、その比率(%)を算出した。

## 結 果

### 明環境下における光量

実験水槽の中央部水面直上で計測された分光放射照度(Fig. 2)は、波長が長くなるにつれて、光量が大きくなる傾向を示した。波長350 nmの場合、放射照度は0.1  $\mu\text{W}/\text{cm}^2$ であったが、波長600 nmの場合の放射照度は6.8  $\mu\text{W}/\text{cm}^2$ であった。一般に、イカ類の最大吸収波長は480~490 nmの範囲にあること<sup>11)</sup>が知られており、その波長域における放射照度は2.2~2.8  $\mu\text{W}/\text{cm}^2$ であった。

### ケンサキイカの網膜運動反応

ケンサキイカの眼球組織標本を観察したところ、明環境下に馴致させた供試個体においては黒色素顆粒が網膜表面まで移行していた(Fig. 3A)。それに対して、暗環境下に馴致させた供試個体では網膜表面またはその辺縁に黒色素顆粒は観察されず、境界膜から網膜表面側にわずかに移行した黒色素顆粒がみられた(Fig. 3B)。さらに、網

膜順応度を算出したところ、明環境下に馴致させた供試個体はいずれも100%であった。一方、暗環境下に馴致させた供試個体の網膜順応度は33.3%および25%であった。

## 考 察

高山ら<sup>10)</sup>は、アカイカの網膜運動反応を調べた実験において、75Wのハロゲンランプを2灯照射させた光環境下において、速やかに網膜の明順応度が100%近くになったことを報告している。本研究の明環境下における実験水槽の中央部水面に照射されたハロゲンランプの光量は、アカイカが速やかに明順応を示した実験時に照射した光量に比べて、大きかった。このため、本実験で照射した光量は、同じ頭足類であるケンサキイカの網膜を明順応状態にするのに十分な光量であったと推察される。

供試個体の網膜運動反応の観察を行い、網膜順応度を算出したところ、明環境下ではいずれも100%であった。この結果はInada<sup>9)</sup>および高山ら<sup>10)</sup>がそれぞれ示したスルメイカおよびアカイカの結果と同様であった。つまり、明環境下に馴致させたケンサキイカの眼球は明順応状態であったと推察される。一方、暗環境下に馴致させた個体の網膜順応度は33.3%および25%であった。Inada<sup>9)</sup>および高山ら<sup>10)</sup>によると、暗順応状態における網膜順応度は、スルメイカで

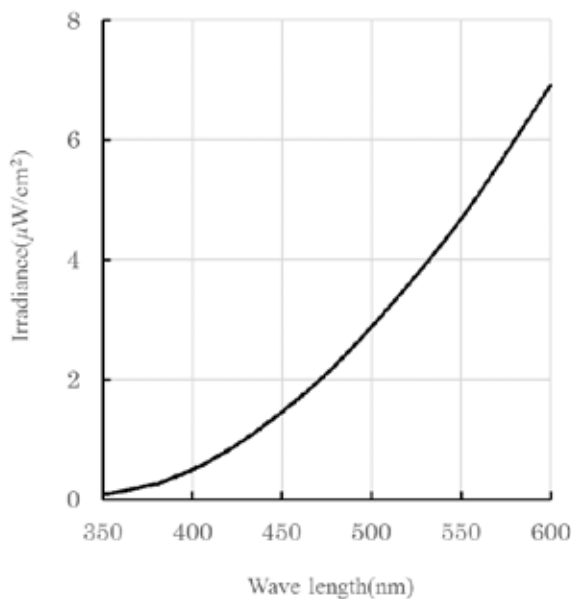


Fig.2 Distribution of downward spectral irradiance at the center of the water surface that is experiment tank under light condition.

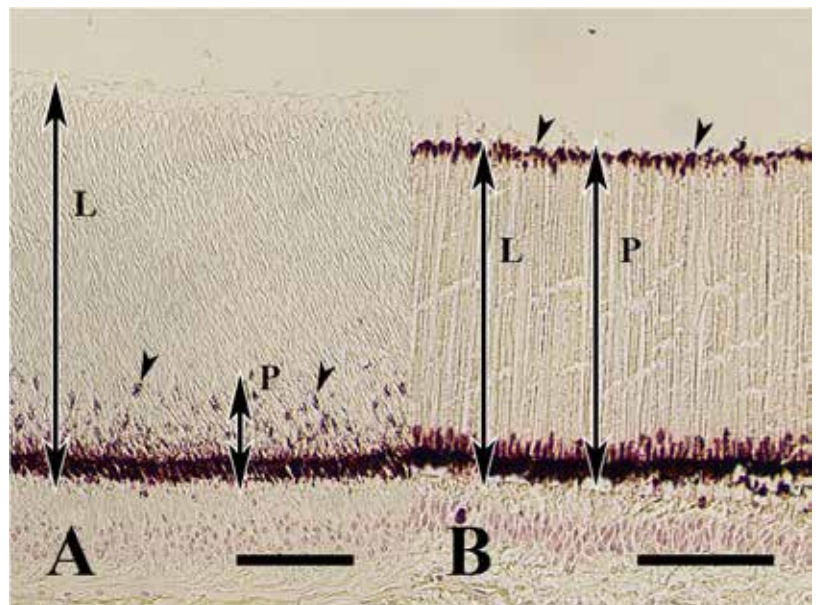


Fig. 3 Light microscopic images of the retina of swordtip squid (HE; bars = 100  $\mu\text{m}$ ).

A: Dark adapted retina. B: Light adapted retina. L: Thickness from limiting membrane to surface of retina. P: Thickness of black pigment (arrowheads) layer after migration.

は28%以下、アカイカでは10~20%であることを報告している。暗環境下におけるケンサキイカの網膜順応度はそれらよりもやや高い値であったが、明環境下における眼球の網膜順応度とは明瞭な差があることから、これらの個体の眼球は暗順応していたと判断した。ケンサキイカの暗順応状態の網膜順応度がやや高い傾向が認められたのは、開眼垂目であるスルメイカやアカイカと比較した場合における閉眼垂目であるケンサキイカの特徴である可能性がある。しかし、本研究の供試個体数は2尾と少ないため、この傾向を明らかにするためにはさらに個体数を増やして検証する必要がある。

本研究で得られた結果から、ケンサキイカの場合、スルメイカやアカイカの場合と同様に網膜の黒色素顆粒層の位置を観察することで、網膜の順応状態を判断できることが示唆された。本研究で得られた知見は、実操業の集魚灯下におけるケンサキイカの擬餌針を視認する光環境下における視感度特性を把握するために、本種の網膜の順応度を調べる手法として有効であると考えられる。また、本漁業へLED集魚灯を導入するためには、LED集魚灯の光量を変化させた光環境下におけるケンサキイカの網膜の順応度についても調べていく必要がある。

## 謝 辞

本研究は、2018年度学内横断プロジェクト「持続生産可能な沿岸イカ釣り漁業における漁業生産システムの構築」の一環として実施されたものである。本実験にご協力頂いた山口県栽培漁業公社外海第一生産部長 桶屋幸司氏及び山口県水産研究センター外海研究部専門研究員 渡邊俊輝博士に深く感謝申し上げます。

## 参考文献

- 1) 森脇晋平：日本海南西部沿岸海域におけるケンサキイカ *Photololigo edulis* の生態とその漁況に関する研究。島根水試研報, **8**, 1-111 (1994)
- 2) 山口県漁業協同組合：小型イカ釣り漁業における4.4トン型漁船での青色LED集魚灯導入実証化試験。平成18年度省エネルギー技術導入促進事業報告書。(社)海洋水産システム協会, 東京, 11-19 (2007)
- 3) 長谷川勝男：我が国の漁船の燃油消費量。水工研技報, **30**, 9-15 (2008)
- 4) 四方崇文：イカ釣り漁業。漁灯を活かす技術・制度の再構築へ。恒星社厚生閣, 東京, 121-133 (2010)
- 5) 中野邦昭, 清水義則：漁灯光源としての白熱灯, 放電灯, LED。漁灯を活かす技術・制度の再構築へ。恒星社厚生閣, 東京, 57-71 (2010)
- 6) 奈須敬二, 奥谷喬司, 小倉通男：イカ-その生物から消費まで。成山堂書店, 東京, 1-381 (2002)
- 7) 稲田博史：いか釣り漁業に使われている灯光の効果に関する研究。博士学位論文, 北海道大学, 函館, 37-46 (1988)
- 8) 桜井泰憲, 鳴海 誠, 松井 萌, 高山 剛：光源の発光特性とイカ類の反応行動。日水誌, **79**, 882(2013)
- 9) H. Inada : Retinomotor response and retinal adaptation of Japanese common squid *Todarodes pacificus* at capture with jigs. *Fish Sci*, **62**, 663-669 (1996)
- 10) 高山剛, 稲田博史, 渡部俊広：灯火に対するアカイカの網膜運動反応と虹彩の遮光機能。日水誌, **64**, 631-635 (1998)
- 11) 清道正嗣, 成田欣也：ホタルイカの視物質と網膜構造の特異性。生物物理, **33**, 207-211 (1993)