

## イカ釣り操業時に船上灯光により形成される船底下陰影部の スルメイカの誘集・釣獲過程における役割

四方崇文,<sup>1\*</sup> 島 敏明,<sup>1</sup> 稲田博史,<sup>2</sup> 三浦郁男,<sup>3</sup>  
臺田 望,<sup>4</sup> 貞安一廣,<sup>5a</sup> 渡部俊広<sup>5</sup>

(2010年8月18日受付, 2010年10月12日受理)

<sup>1</sup>石川県水産総合センター, <sup>2</sup>東京海洋大学海洋科学部, <sup>3</sup>古野電気株式会社,  
<sup>4</sup>株式会社拓洋理研, <sup>5</sup>鯛水産総合研究センター水産工学研究所

Role of shaded area under squid jigging boat formed by shipboard fishing light in the processes of gathering and capturing Japanese common squid, *Todarodes pacificus*

TAKAFUMI SHIKATA,<sup>1\*</sup> TOSHIKI SHIMA,<sup>1</sup> HIROSHI INADA,<sup>2</sup> IKUO MIURA,<sup>3</sup>  
NOZOMU DAIDA,<sup>4</sup> KAZUHIRO SADAYASU<sup>5a</sup> AND TOSHIHIRO WATANABE<sup>5</sup>

<sup>1</sup>Ishikawa Prefecture Fisheries Research Center, Housu, Ishikawa 927-0435, <sup>2</sup>Faculty of Marine Science, Tokyo University of Marine Science and Technology, Minato, Tokyo 108-8477, <sup>3</sup>Furuno Electric Co., Ltd., Chiyoda, Tokyo 101-0024, <sup>4</sup>Takuyo Co., Ltd., Maizuru, Fukuoka 810-0073, <sup>5</sup>National Research Institute of Fisheries Engineering, Fisheries Research Agency, Kamisu, Ibaraki 314-0408, Japan

The behavior of Japanese common squid *Todarodes pacificus* under a squid jigging boat (research vessel *Hakusan-maru*, 167 gross tons) was investigated with echosounder and sonar during jigging operations in the Sea of Japan. Shipboard metal halide lamps (234 kW) were lit at night, and operations were conducted until enough squid had been gathered. Thereafter, an underwater light emitting diode lamp (600 W) was set under the boat and turned on/off. A shaded area was formed under the boat by the light of shipboard lamps, but it was partially eliminated and deformed by the light of the underwater lamp. Many squid were in the shaded area before the underwater lamp was turned on, but almost all the squid located near and above the lamp moved away from the area immediately after the lamp was turned on. Catch per unit effort (CPUE) decreased markedly while the underwater lamp was lit. Thereafter, when the underwater lamp was turned off, the squid immediately gathered in the shade area and CPUE also increased. These results indicate that the shaded area formed by the light of shipboard lamps gathers the squid under the jigging boat and helps to capture them.

キーワード：スルメイカ, イカ釣り, 漁灯, 船上灯, 水中灯, 行動制御機能, 魚群探知機, ソナー

戦前のイカ釣り漁業では主に石油灯やアセチレン灯が漁業用光源（漁灯）として用いられた。<sup>1)</sup>戦後、スルメイカに対する高い需要と豊富な資源に支えられて、漁船の大型化と動力化、自動イカ釣り機や冷凍機の導入など重装備化が進み、船上漁灯（船上灯）についても白熱灯、ハロゲン灯、メタルハライド灯（MH灯）へとその時代の最先端の照明技術が導入されてきた。<sup>1)</sup>しかし、イカ釣り漁船間の漁獲競争のなかで大光量化が進み、当初数

キロワットであった船上灯の消費電力は1990年頃には300 kWを超えるまでに増大した。<sup>1,2)</sup>現在、大光量化の抑止という観点から、船上灯の消費電力は小型イカ釣り漁船で180 kW、中型イカ釣り漁船で250 kWに規制されているが、それでも消費電力は極めて多く、発電に要する燃油も膨大であり、中型イカ釣り漁船では年間の燃油消費量は約500 kLにも達している。<sup>3)</sup>このような技術展開を経た結果、イカ釣り漁業では燃油コストが増大

\* TEL : 81-768-62-1324. FAX : 81-768-62-4324. Email : shikata@pref.ishikawa.lg.jp

<sup>a</sup> 現所属：鯛水産総合研究センター開発調査センター (Marine Fisheries Research and Development Center, Fisheries Research Agency, Yokohama, Kanagawa 220-6115, Japan)

し、このことが経営を圧迫する大きな要因になっている。

以上の経緯に加えて、2003年以降、燃油価格は世界的に上昇する傾向にあり、地球温暖化対策として二酸化炭素の排出を抑制する必要性も増している。このため、イカ釣り漁業では発光ダイオード (LED: Light Emitting Diode) を用いた船上灯が省エネルギー技術として注目され、その実用化研究が活発に進められている。<sup>4,5)</sup> 現在のLED船上灯については、点灯時における船体周囲の海中照度はMH船上灯に匹敵する水準に達しているが、漁獲性能はMH船上灯に比べてやや低い水準に留まっており、その実用化には配光の適正化などの技術改善が必要になっている。<sup>6,7)</sup> しかし、スルメイカの誘集や釣獲において船上灯光がどのように機能しているのか未だ不明な点が多く、技術改善の方向性が見いだせない状況にある。このような現状を受けて、現在、著者らはイカ釣り漁業における灯光の機能を明らかにするための研究を進めている。夜間のイカ釣り操業では、船上灯光により形成される船底下の陰影部がスルメイカの集群や釣獲に重要であると考えられているが、<sup>8-10)</sup> このことを実証的に示した研究はない。そこで本研究では、船底下陰影部の機能を明らかにすることを目的として、船上灯によるイカ釣り操業時に船底下に垂下した水中灯を点灯・消灯して、陰影部を消失・出現させ、この時のスルメイカの行動を魚群探知機とソナーを用いて観察した。本調査では、船底下の光環境を水中灯で制御する必要があり、瞬間点灯や明るさの調節が可能なLED水中灯を使用した。その結果、スルメイカの行動が音響機器によって明瞭に観察でき、船底下陰影部の機能を知る手掛りが得られたので報告する。

### 材料および方法

**釣獲試験** 本調査には石川県水産総合センターの漁業調査指導船白山丸 (総トン数167トン) を用いた。白山丸にはイカ釣り用の3kW型白色MH船上灯が78灯装備されており、これに株式会社拓洋理研製の600W型青緑色LED水中灯 (LW-600C) と5kW型白色MH水中灯 (MTW-50W) をそれぞれ船首と船尾に追加装備した (Fig. 1)。2008年と2009年の8~10月に日本海中央部の大和堆付近の海域でイカ釣り操業を行った。それらの操業のうち本報ではTable 1の操業で得た結果をまとめた。操業前にシーアンカーを投入し、日没後から日出前の夜間にMH船上灯を全灯点灯し、釣具ラインに110cm間隔で擬餌針24本を連結した自動イカ釣機14台を稼働させ、釣具ライン下端の錘の垂下深度を75mに設定して操業した。操業中には1時間単位で釣獲尾数を計数し、釣機1台1時間当たりの釣獲尾数 (CPUE) を算出した。

**海中分光照度分布** 2008年11月12日の夜間に石川

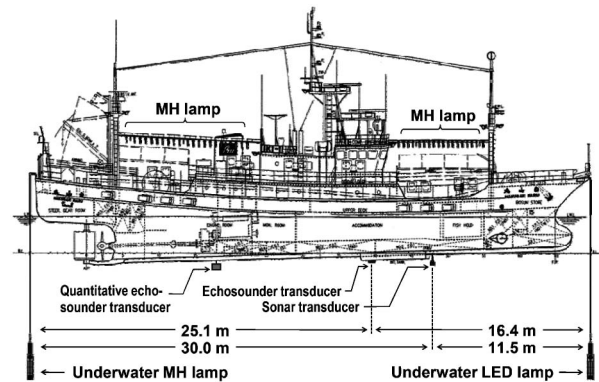


Fig. 1 Arrangement of shipboard metal halide (MH) lamps, underwater lamps and acoustic transducers in R/V *Hakusan-Marui*.

Table 1 Records of squid jigging operations in this report

Date*1	Location		No. of squid caught	CPUE*2
	Lat.	Lon.		
Sep. 19, 2008	N 39°23'	E 135°20'	5,639	53.7
Aug. 21, 2009	N 40°34'	E 136°07'	7,902	132.8
Aug. 22, 2009	N 40°12'	E 135°23'	8,304	106.6
Oct. 16, 2009	N 39°50'	E 134°42'	6,593	53.8
Oct. 20, 2009	N 39°43'	E 135°02'	6,936	39.6

\*1 Each operation was conducted between sunset and sunrise of the next day.

\*2 Catch per unit effort (number of squid caught/machine-hour).

県能登町沖 (N37°15.2', E137°14.0') で白山丸のMH船上灯を全灯点灯し、船首甲板および船尾甲板中央付近の右舷船縁2か所から舷外方向に0・5・10・20・30・40mの位置に船外機船を定位させ、船外機船からアレック電子株式会社製の記録式分光照度計 (AL8W-CMP) を受光面を上にして深度50mまで垂下し、下方向照度を測定した。白山丸と船外機船の距離は、両船をロープで繋ぎ、その長さで調節した。照度計だけでは深度が測定できないので、同社製の記録式深度計 (ATD-HR) と照度計を束ねて垂下し、データを読み出した後に時間を基準にして照度と深度のデータセットを作成した。同日にはロープを用いて姿勢を調整したLED水中灯を深度100mに垂下し、受光面を下にした照度計を電源ケーブル沿いに降下することで水中灯周囲の角度別距離別の照度分布を測定しようとした。しかし、水中灯と照度計の位置関係が安定しないため良好なデータは得られなかった。そこで、石川県水産総合センター飼育棟内で以下に述べる測定装置を用いて水中灯周囲の照度分布を調べた。

測定装置はFig. 2に示したとおりである。直径140cmの透明ポリカーボネート樹脂製円形水槽の中心に

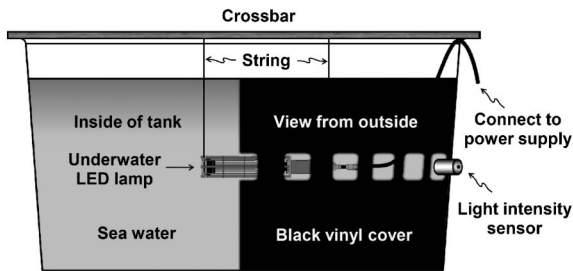


Fig. 2 Schematic diagram of tank used to measure light intensity distribution of underwater LED lamp.

LED 水中灯を横向きに懸架し、水槽内を海水で満たし、水槽の壁面と底面、並びに水面の全てに黒色のビニールフィルムを空気が入らないように張り付けた。そして、水中灯の全周 24 方向の照度を測定するための窓として水槽側面のビニールフィルムに 24 カ所「コ」の字型の切れ目を入れ、照度測定時に 1 カ所ずつ開閉できるようにした。この状態で水中灯を点灯して内部を目視で観察し、壁面や水面での光の反射がほとんど無いことを確認した。2008 年 11 月 14～18 日の夜間に室内照明を消灯したうえで水中灯を点灯し、測定窓に照度計の受光面を押し当てて照度を測定した。この方法では水槽壁面での光吸収の影響があるため、別途、壁面の吸収率を測定して計算により壁面の影響を除去した。この照度を初期値とし、その光が各方向に拡散と消散により減衰しながら広がる<sup>11)</sup>として水中灯周囲の距離別の照度を計算により求めた。

本調査に用いた照度計は 8 種類のバンドパスフィルターで分光した光の強度をフォトダイオードで測定する構造であり、カタログデータではフィルターの中心波長は 398・437・488・542・589・629・678・707 nm、半値全幅は概ね 60～80 nm であった。この照度計に関してメーカーに確認したところ、波長帯間でエネルギー量や光子数に基づいた調整はされておらず、得られる値は個々のフォトダイオードの電流の相対値であり、異なる波長帯の値は相互に比較できないことが分かった。しかし、同一波長帯の値については、その波長帯の放射照度の指標値とみなすことができる。スルメイカは視物質を 1 種類しか持っておらず、その吸収極大波長は 482 nm である。<sup>12,13)</sup> 照度計のバンドパスフィルターのうち中心波長 488 nm のフィルター特性がスルメイカ視物質の吸収曲線に類似することから、<sup>14)</sup> 本研究ではこの波長帯の値をスルメイカに対する照度の指標値とした。

**音響機器による行動観察** 白山丸には古野電気株式会社製のカラー魚群探知機 FCV-1200L (周波数: 107 kHz) とスキャニングソナー CSH-81 (周波数: 81 kHz) が装備されており、両機器のアナログ RGB コンポーネント映像信号を動画ファイルに変換してハードディスク

に記録した。操業中に CPUE が高まり、船底下にスルメイカが集群した段階で水中灯を点灯・消灯し、その時のスルメイカの行動を魚群探知機とソナーを用いて観察した。釣機稼働中には上下する擬餌針や錘が魚群探知機に映り、行動観察が困難になるので調査時には釣具ラインを巻き上げて釣機を停止した。

**計量魚群探知機による分布密度測定** LED 水中灯点灯前後のスルメイカの分布密度を計量魚群探知機で測定した。計量魚群探知機には SIMRAD 社製 EK60 システムを用い、送受波器には周波数 70 kHz の同社製 ES70-11 を用いた。調査時には送受波器をステンレス製のフレーム (54×54×54 cm) に固定し、白山丸のファンネル横の左舷側ダビットから音響ビームが鉛直下向きになるように深度 5 m に垂下した。使用した計量魚群探知機はスプリットビーム式であり、*in situ*法によりスルメイカのターゲットストレンジス (TS) を測定した。2009 年 8～9 月の調査で測定した TS は -42.5～-44.4 dB であった。本調査の漁獲物サイズに近い外套長 23 cm 前後の個体では -37.2～-48.2 dB (周波数: 28.5～120 kHz) の TS が報告されており、<sup>15-20)</sup> 本調査で測定した TS はこの範囲にあった。音響データは Myriax 社製のソフトウェア Echoview で解析した。調査期間の日中にはタングステンカーバイド製標準球を用いて送受波感度を校正した。

## 結 果

**LED 水中灯の発光特性** 円形水槽を用いて測定した LED 水中灯の配光曲線は Fig. 3 に示したとおりである。灯具を直立させた垂下姿勢では照度は水平方向に最も強く、鉛直方向に最も弱かった。この水中灯には LED が円筒状に配置されているため、立体的にはドーナツ型の配光であることが分かった。水中灯に実装された LED の発光色は青緑色であり、カタログデータではピーク波長は 499 nm 前後、半値全幅は概ね 30 nm であった。このため 488 nm と 542 nm の波長帯の照度が卓越し、それ以外の波長帯では光はほとんど検出されなかった。LED 水中灯の明るさ (光量) は操作盤により 0～100% (最大値) の範囲で調節可能であった。そこで、調節値をかえて照度を測定したところ、調節値に対して照度は S 字型の曲線となり (Fig. 4)、調節値 100% の照度を 100% とすると、調節値 40% 以下では照度の相対値は調節値より低かった。

**海中分光照度分布** MH 船上灯点灯時に船首甲板および船尾甲板の中央付近の 2 ヶ所から舷外方向に向かって測定した 488 nm 帯の照度について、距離別・深度別に平均値を求めた (Fig. 5)。照度は船体中央から 5～10 m 付近の表層で最も高く、それよりも舷外方向には比較的緩やかに、船底下方向には急激に低下し、船底下

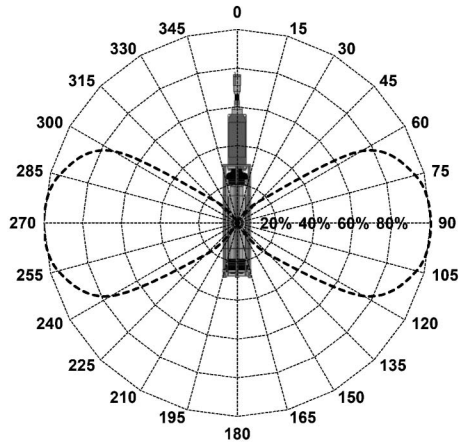


Fig. 3 Light intensity distribution of underwater LED lamp. Light intensity was measured in the 488 nm band.

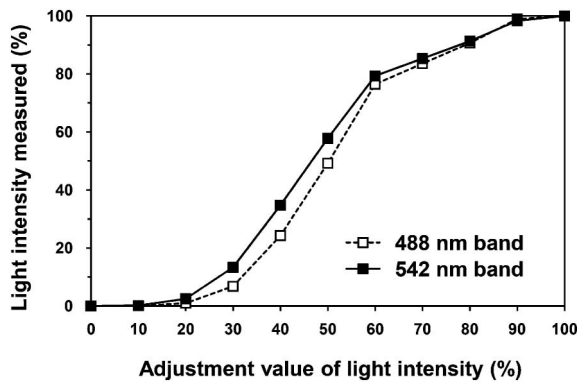


Fig. 4 Relationship between adjustment value of light intensity of underwater LED lamp and relative value of light intensity measured.

に扇状の陰影部が形成されていることが確認できた。この実測結果に LED 水中灯周囲の照度の計算値を加算したものを水中灯点灯時の照度分布とした。計算により照度を求める場合、消散係数の設定しだいで光の広がりが増える。本報では 2005 年 11 月に大和堆付近で実施したイカ釣り調査航海時に太陽光を光源とし、本調査と同一の照度計を用いて 1 日 1 回計 8 回測定した深度 50 m 以浅の 488 nm 帯の消散係数の平均値 (0.083) を計算に用いた。深度 20 m および 50 m で LED 水中灯 1 灯を光量調節値 100% で点灯したときの照度分布を計算したところ (Fig. 5), 水中灯の光によって船底下陰影部が部分的に消失・分断されるため、水中灯の垂下深度が深くなるほど陰影部が押し下げられ、扇状であった陰影部の形状も損なわれてしまうことが分かった。

**釣獲試験** 2009 年 10 月 16 日と 20 日の操業時にそれぞれ MH 水中灯と LED 水中灯を深度 50 m に垂下し、1 時間単位で点灯 (LED 水中灯の光量調節値は 100%

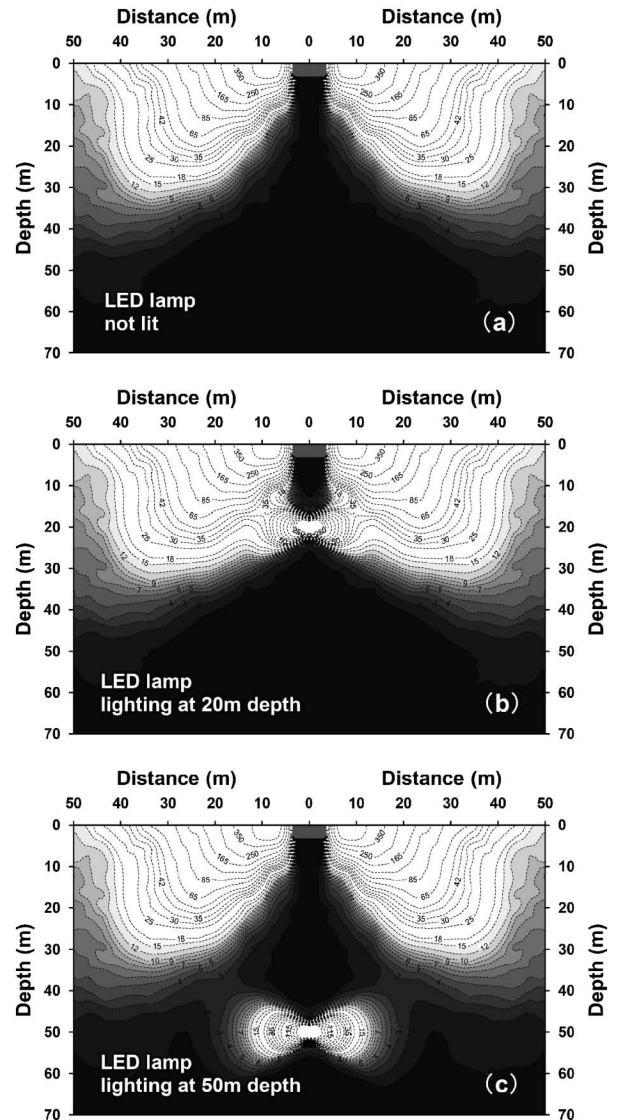


Fig. 5 Vertical distribution of underwater light intensity measured in the 488 nm band in the port-starboard direction of R/V *Hakusan-Marui*. Numbers in the figure are electric output value of light intensity sensor (AL8W-CMP, ALEC Electronics Co., Ltd.). a: All shipboard MH lamps were lit. b, c: All shipboard MH lamps and underwater LED lamp were lit.

とした) と消灯を繰り返した。両操業の 1 時間毎の CPUE について消灯状態から点灯した場合と点灯状態から消灯した場合に分けて結果を整理したところ、LED 水中灯と MH 水中灯のいずれでも CPUE は水中灯を点灯すると有意に低下し (Wilcoxon の符号付順位検定,  $p < 0.01$ ), 消灯すると有意 ( $p < 0.01$ ) に上昇した (Fig. 6)。

**魚群探知機による行動観察** 操業中に船底下にスルメイカが集群した段階で水中灯を点灯・消灯し、その時の魚群探知機反応の変化を観察した。釣機稼働中には擬餌

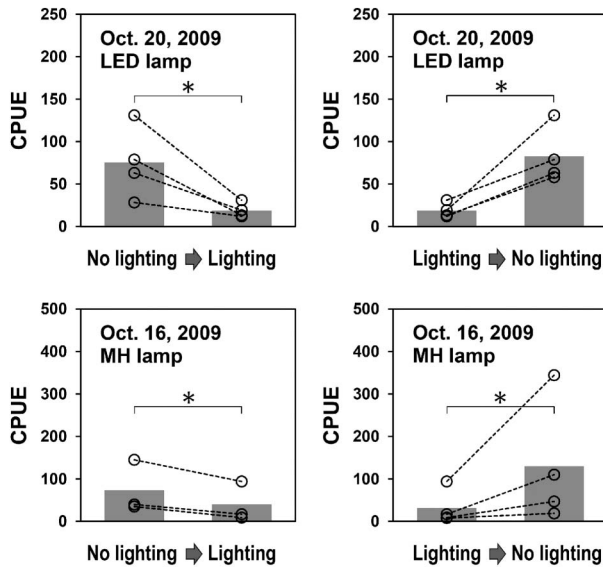


Fig. 6 Changes in catch per unit effort (CPUE) with lighting and no lighting of underwater LED and MH lamps. Underwater lamps were set at 50 m depth. CPUE is expressed as the number of squid caught per machine-hour. Each bar indicates mean CPUE. Asterisk indicates significant difference between groups ( $p < 0.01$ , Wilcoxon signed-rank test).

針や錘の反応が強いことに加えて、スルメイカの行動が活発であるため行動観察が困難である。しかし、釣機を停止するとスルメイカの行動が鎮静化し、魚群探知機にはスルメイカは層状反応として映り、観察しやすい状態になることがこれまでの調査で分かっていた。そこで本調査では釣機を停止して反応が安定するのを待ってから観察を開始した。2008年9月20日と2009年8月23日の水中灯消灯時にはそれぞれ深度20~80 mと深度20~50 mに層状の反応がみられた (Fig. 7)。船首から深度50 mに垂下したLED水中灯を光量調節値100%で点灯したところ、水中灯の垂下深度付近より上層の反応が数秒のうちに消失した。水中灯点灯中には、この深度層に反応が現れることはほとんどなかったが、消灯すると1分以内に水中灯より上層に反応が現れて水中灯点灯前の状態に戻った。このような反応の変化はLED水中灯に特有の現象である可能性もあるため、2009年10月17日にMH水中灯を船尾から深度50 mに垂下して同様の実験を行った。水中灯消灯時には深度30~100 m付近に反応がみられ (Fig. 7)、点灯後4分程度してから深度50 m以浅の反応が消失する様子が観察された。LED水中灯に比べてMH水中灯では反応が変化するまでに時間がかかったが、これは点灯してから所定の明るさに達するまでに時間を要するMH灯の特性によるものと考えられた。その後、MH水中灯を消灯すると再び深度50 m以浅に反応が現れた。従って、LED水中

灯とMH水中灯のいずれでも点灯・消灯にともなう反応の変化は同様であると判断した。

水中灯を点灯すると水中灯の垂下深度付近より上層の反応が消失することから、水中灯の垂下深度によって反応の変化が異なる可能性が考えられた。そこで、2008年9月20日にはLED水中灯の垂下深度を20および80 mにした実験も行った (Fig. 8)。垂下深度が20 mの場合には水中灯点灯直後に深度30 m以浅の反応が消失しただけで、それ以深の反応に変化は認められなかった。垂下深度が80 mの場合には水中灯点灯直後にほとんど全ての反応が消失し、その後、深度30 m付近から50 m付近にかけて反応が徐々に現れる様子がみられた。このように水中灯の垂下深度が深いほど水中灯点灯直後の反応の消失は顕著であった。2009年8月22日にはLED水中灯の光量調節値を変えて反応の変化を観察した。その結果、調節値を10%から30%に上げた段階で水中灯より上層の反応が消失し、水中灯が明るいほど反応の消失は顕著であることが分かった。

**ソナーによる行動観察** 2008年9月20日にLED水中灯を船首から深度20, 50および80 mに垂下して光量調節値100%で点灯し、ソナー画像の変化を観察した (Fig. 9)。ソナーのレンジは100 m、俯角は60°に設定した。深度20 mで点灯した場合には消灯時に比べて船首側の船体に近い部分の反応がやや弱まったものの大きな変化はなかった。しかし、深度50 mで点灯したときは、概ね半径30 mの範囲・深度50 m以浅の反応が消失し、深度80 mで点灯したときに至っては、概ね半径50 mの範囲・深度87 m以浅にわたって反応が消失した。このように水中灯の垂下深度が深いほど反応の消失する範囲は広いことが明らかになった。

2009年8月22日にはLED水中灯を船首から深度50 mに垂下し、光量調節値を変えて反応の変化を観察した (Fig. 10)。調節値10%で点灯したときの反応は消灯時と大差なかった。しかし、調節値30%で点灯すると概ね半径30 mの範囲・深度50 m以浅の反応が消失し、調節値100%では概ね半径35 mの範囲・深度60 m以浅の反応が消失し、水中灯が明るいほど反応の消失する範囲は広いことが明らかになった。

**計量魚群探知機による分布密度測定** 2009年8月22日と23日にLED水中灯点灯前後のスルメイカの分布密度の変化を調べた (Fig. 11)。通常の魚群探知機で観察されたのと同様、計量魚群探知機でもLED水中灯消灯時には層状の反応が見られ、水中灯を点灯すると水中灯の垂下深度付近よりも上層の反応が消失することが確認された。しかし、計量魚群探知機では反応が消失するまでに30~40秒を要し、水中灯点灯後3分程度すると水中灯より上層の反応がやや増加した。通常の魚群探知機に比べて計量魚群探知機のほうが送受波器と水中灯の

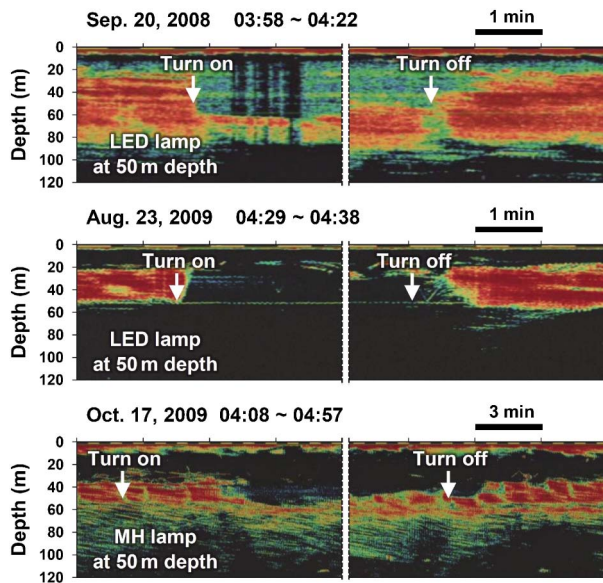


Fig. 7 Changes in echogram of squid after turning on/off underwater LED and MH lamps. Shipboard MH lamps were continuously lit. Jigging machines were stopped during the acoustic observation.

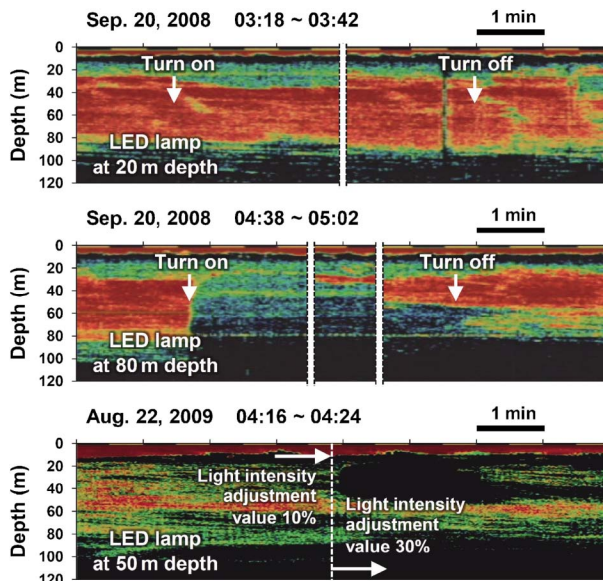


Fig. 8 Changes in echogram of squid after turning on/off the underwater LED lamp and adjusting light intensity of the underwater LED lamp. Shipboard MH lamps were continuously lit. Jigging machines were stopped during the acoustic observation.

距離がより離れていたため、計量魚群探知機では反応が変化するまでに時間を要したと考えられた。図中の枠で囲んだ部分について、水中灯点灯前後の1m<sup>3</sup>当たりのスルメイカの尾数を求めたところ、8月22日の調査では点灯前：0.042尾、点灯後：0.000尾、8月23日の調査では点灯前：0.412尾、点灯後：0.000尾であった。

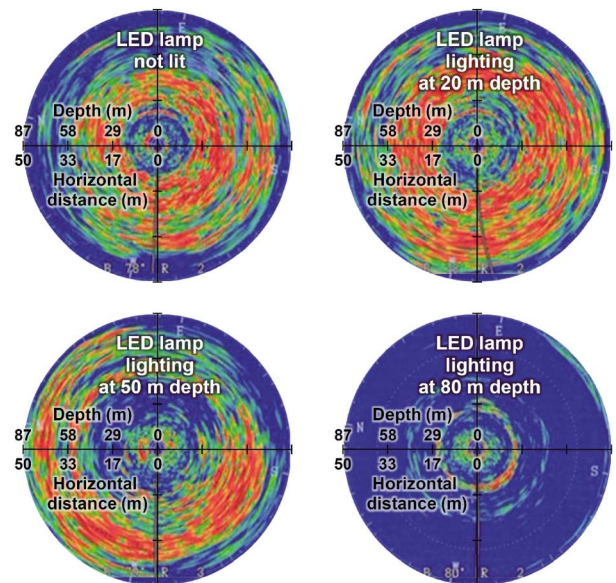


Fig. 9 Effect of setting depth of the underwater LED lamp on the sonar image of squid. Range and tilt angle of sonar were set to 100 m and 60 degrees, respectively. The observation was conducted from 03:14 to 04:40 Sep. 20, 2008.

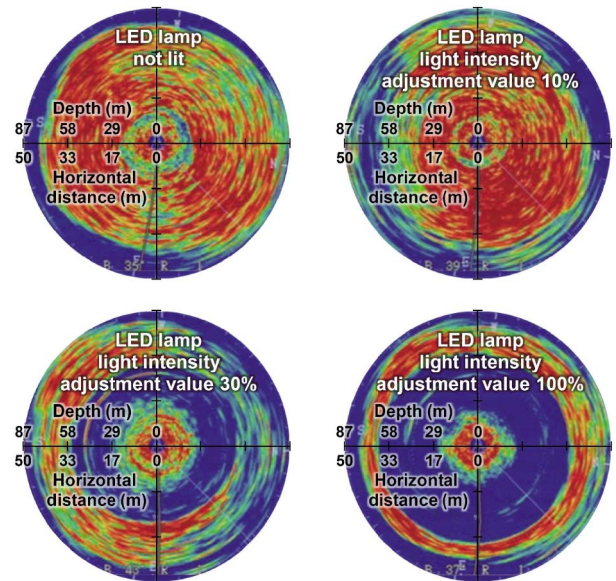


Fig. 10 Effect of light intensity of the underwater LED lamp on the sonar image of squid. Range and tilt angle of sonar were set to 100 m and 60 degrees, respectively. The observation was conducted from 03:10 to 04:11 Aug. 22, 2009.

## 考 察

スルメイカを対象としたイカ釣り操業では船上灯光により形成される船底下の陰影部が重要であることが以前から指摘されている。船上灯の出力が数キロワット程度

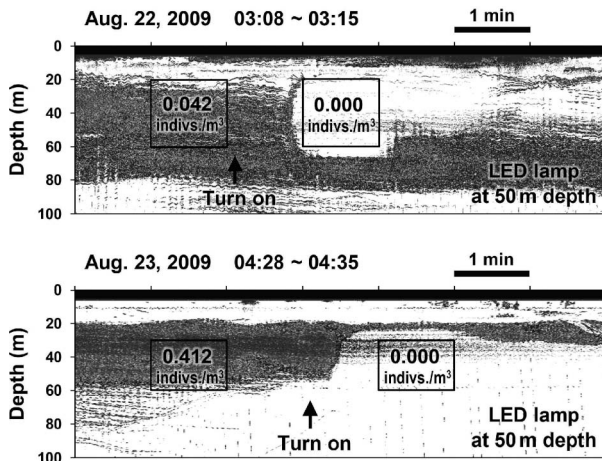


Fig. 11 Changes in echogram of quantitative echosounder (split-beam SIMRAD EK60 system) after turning on the underwater LED lamp. Density of the squid was calculated within the area enclosed with line.

であった1950年代から1960年代には既にスルメイカは光の直射域を避けて船底下陰影部によく集まるとされており、光の直射域と船縁の影の境界付近から船体寄りの海面に釣具ラインを下ろすと良く釣れ、光が直射する海面に釣具ラインを下ろした場合には釣獲尾数が著しく少なかったことが報告されている。<sup>8)</sup> 船上灯の出力が大幅に増大した現在、大光量化によって釣獲深度は深くなっているが、<sup>1)</sup> それでも漁業者の多くが船底下陰影部の重要性を経験的に認め、船上灯の配置や釣具ラインの降下位置に注意を払っている。このようなことが以前から認識されていたにも関わらず、海中照度との関連でスルメイカの分布が調べられたのは比較的最近のことである。Arakawa *et al.*<sup>9)</sup> はスルメイカの分布をソナーで調べて分光放射照度分布と比較し、スルメイカの分布の舷外方向断面は三角形であり、その形状は照度分布（陰影部）に対応していることを明らかにした。さらに、Inada<sup>10)</sup> は網膜の黒色素の移動からスルメイカの明暗環境に対する順応状態を調べ、船上灯光の下で釣獲した個体のほとんどが暗順応状態であったことから、スルメイカは視覚機能の面でも陰影部の低照度環境で擬餌針を捕捉するのに適した状態であることを報告している。しかし、船上灯光により作り出される海面下の光環境がスルメイカの行動や釣獲にどのように作用しているのかという行動制御機能についてはあまり分かっていない。このことを明らかにするには、海面下の光環境を意図的に変えてスルメイカの行動を観察する能動的実験が必要である。

以上の理由から、本研究では船上灯による操業時にスルメイカが集群した段階で船底下に垂下したLED水中灯を点灯・消灯し、このときのスルメイカの行動を魚群探知機とソナーで観察した。音響機器で行動を観察する

には、その反応がスルメイカであることを確認する必要がある。そこで水中灯操作前後の音響反応と釣獲成績の変化を比較した。水中灯を点灯すると魚群探知機やソナーの反応が消失する現象がみられ、このような場合にはCPUEも大きく低下した。さらにLED水中灯の点灯にともなう音響反応の消失は水中灯を操作してから数秒程度で確認でき、釣獲尾数の減少も目視で明瞭に分かるほど顕著かつ速やかであった。従って、魚群探知機とソナーによって捉えられた反応はスルメイカであると判断できる。

LED水中灯を明るく点灯したときほどスルメイカの反応の消失が顕著であったことから、スルメイカには明るい環境を避ける性質があり、船底下陰影部はスルメイカの集群に不可欠の要素であることは明らかである。水中灯点灯時には水中灯の垂下深度付近より上層に分布するスルメイカが選択的に逃避することが魚群探知機とソナーによる観察で明らかとなり、計量魚群探知機による調査でも水中灯の垂下深度付近より上層にはスルメイカはほとんど分布しないことが確認された。この結果から水中灯の垂下深度とスルメイカの逃避行動の間に密接な関係があることが予想されたため、LED水中灯の垂下深度を変えて行動を観察した。その結果、水中灯の垂下深度が深いほど船底下陰影部からの逃避は顕著であり、水中灯点灯中にはスルメイカは水中灯より深いところに広く分布することが分かった。一方、照度分布の測定結果から、水中灯を点灯すると船上灯によって形成された扇状の陰影部が部分的に消失して分断されるため、水中灯の垂下深度を深くするほど陰影部は押し下げられ、陰影部の形状も損なわれてしまうことが分かった。水中灯点灯時にはこのような照度分布になるため、スルメイカは水中灯より深いところに広く分布するようになったと考えられる。さらに水中灯を点灯した状態から消灯して船底下陰影部を出現させたところ、水中灯よりも深いところに広く分布していたスルメイカの一部が陰影部に浮上・集群し、釣獲尾数も急増することが確認された。この結果は、船上灯光によって形成された船底下陰影部には船体周囲に集めたスルメイカを船底下の釣獲しやすい位置に誘導・集約して、釣獲に結び付ける機能があることを示している。

本報では海中照度分布の変化に対するスルメイカの行動から船上灯光の機能を考察した。ここで再度、水中灯光とスルメイカの行動に注目すると、LED水中灯の配光は上下対称であったが、点灯時には水中灯の垂下深度付近より上層に分布するスルメイカが選択的に逃避しており、海底方向への光より海面方向への光がより強い威嚇刺激として作用した可能性がある。つまり、灯光に対するスルメイカの行動は、照度のような明るさ以外に、光源との位置関係や光の照射方向といった空間的要素に

も影響を受けていることが考えられる。今後、これらの要素を考慮した実験を行い、灯光の機能について検証を重ねる必要がある。

## 謝 辞

本調査に協力いただいた漁業調査指導船白山丸の乗組員に深く感謝する。本研究の一部は、平成20年度新たな農林水産政策を推進する実用技術開発事業「LED漁灯と超音波測器によるイカ群の行動制御と釣獲技術の構築（課題番号：2055）」、並びに平成21年度新たな農林水産政策を推進する実用技術開発事業「イカ釣り漁業におけるLED漁灯の応用による効率的生産技術の開発（課題番号：21059）」により実施した。ここに記して関係各位に感謝の意を表す。

## 文 献

- 1) 稲田博史, 小倉通男. イカ釣り漁業における集魚灯の変化. 東京水産大学論集 1988; **24**: 189-207.
- 2) 荒川久幸. 集魚灯技術. 「スルメイカの世界—資源・漁業・利用—」(有元貴文, 稲田博史編)成山堂書店, 東京. 2003; 203-221.
- 3) 四方崇文. 平成18年度日本海漁業操業効率化支援事業・漁場形成状況等調査事業青色発光ダイオード実証化試験報告書. 石川県水産総合センター, 能登. 2007.
- 4) 平成16~18年度青色発光ダイオード集魚灯によるイカ釣り漁業革命事業に関する報告書. (株)マリノフォーラム 21 海域総合開発研究会青色発光ダイオード集魚灯によるイカ釣り漁業革命事業グループ, 東京. 2005~2007.
- 5) 平成18~21年度省エネルギー技術導入促進事業報告書. (株)海洋水産システム協会, 東京. 2007~2010.
- 6) 水産業における省エネルギー対策と合理的なエネルギー消費の在り方について. (株)水産総合研究センター水産業エネルギー技術研究会, 東京. 2009.
- 7) 藤原里美, 佐野栄作, 臺田 望. 船上漁灯と水中漁灯. 「漁灯を活かす技術・制度の再構築へ」(稲田博史, 有元貴文, 長嶋徳雄, 飯田浩二編) 恒星社厚生閣, 東京. 2010; 72-91.
- 8) 小倉通男, 名角辰郎. イカ釣り漁業と火光. 日水誌 1972; **38**: 881-889.
- 9) Arakawa H, Choi S, Arimoto T, Nakamura Y. Relationship between underwater irradiance and distribution of Japanese common squid under fishing lights of a squid jigging boat. *Fish. Sci.* 1998; **64**: 553-557.
- 10) Inada H. Retinomotor response and retinal adaptation of Japanese common squid *Todarodes pacificus* at capture with jigs. *Fish. Sci.* 1996; **62**: 663-669.
- 11) 森川由隆, 柏 俊行. 漁灯による海中光の特性とその測定. 「漁灯を活かす技術・制度の再構築へ」(稲田博史, 有元貴文, 長嶋徳雄, 飯田浩二編) 恒星社厚生閣, 東京. 2010; 40-56.
- 12) 原 富之. 頭足類網膜の感光性色素. 「現代動物学の課題3 光感覚」(日本動物学会編) 学会出版センター, 東京. 1986; 53-88.
- 13) 清道正嗣, 鬼頭勇次. ホタルイカの眼. 「ホタルイカの素顔」(奥谷喬司編) 東海大学出版会, 東京. 2000; 85-134.
- 14) 四方崇文. 平成17年度日本海漁業操業効率化支援事業・漁場形成状況等調査事業青色発光ダイオード実証化試験報告書. 石川県水産総合センター, 能登. 2006.
- 15) Arnaya I, Sano N. Studies on acoustic target strength of squid V, Effect of swimming on target strength of squid. *Bull. Fac. Fish. Hokkaido Univ.* 1990; **41**: 18-31.
- 16) Arnaya I, Sano N, Iida K. Studies on acoustic target strength of squid I, Intensity and energy target strengths. *Bull. Fac. Fish. Hokkaido Univ.* 1988; **39**: 187-200.
- 17) Arnaya I, Sano N, Iida K. Studies on acoustic target strength of squid IV, Measurement of the mean target strength of relatively large-sized live squid. *Bull. Fac. Fish. Hokkaido Univ.* 1989; **40**: 169-181.
- 18) 川端 淳. スルメイカのターゲットストレングスの測定. 東北水研研報 1999; **61**: 29-40.
- 19) 川端 淳. 計量魚探を使った1996~2001年の三陸北部海域におけるスルメイカの現存量推定. 平成14年度イカ類資源研究会議報告, 北海道区水産研究所, 釧路. 2003; 77-82.
- 20) Kang D, Iida K, Mukai T, Kim J. Density and sound speed contrasts of the Japanese common squid *Todarodes pacificus* and their influence on acoustic target strength. *Fish. Sci.* 2006; **72**: 728-736.