

## 日本海沖合漁場におけるイカ釣り漁業用青色 LED 漁灯の性能評価

四方崇文,\* 山下邦治, 白田光司, 町田洋一

(2012年4月26日受付, 2012年7月5日受理)

石川県水産総合センター

Performance evaluation of fishing lamp using oval-shaped blue LEDs for squid jigging fishery  
in offshore fishing grounds in the Sea of Japan

TAKAFUMI SHIKATA,\* KUNIHARU YAMASHITA, MITSUSHI SHIRATA AND YOUICHI MACHIDA

Ishikawa Prefecture Fisheries Research Center, Housu, Ishikawa 927-0435, Japan

The effectiveness of a light emitting diode (LED) fishing lamp consisting of 950 oval-shaped blue LEDs was investigated in offshore fishing grounds for the Japanese common squid *Todarodes pacificus* in the Sea of Japan. Squid jigging operations were conducted by R/V *Hakusan-Maru* (167 gross tonnes) equipped with 216 LED lamps and 78 metal halide (MH) lamps. Mean catch per unit effort was markedly lower in operations using only the 216 LED lamps (15 kW in total) but slightly lower in operations using both the 216 LED lamps and 24 MH lamps (87 kW in total) than using the 78 MH lamps (234 kW in total). The light from MH lamps widely spread in the sea surface layer but that from the LED lamps irradiated only a limited area near the vessel, suggesting that light distribution affected catch performance. Fuel consumption of the generator engine for lighting these lamps was proportional to the total electric power consumption of the lamps. Fuel consumption for lighting both the 216 LED lamps and 24 MH lamps was 37% of that for lighting the 78 MH lamps. These results indicate that fuel can be saved by the combined use of LED and MH lamps without a remarkable reduction of squid catch.

キーワード: LED, イカ釣り, 海中照度, 漁灯, スルメイカ, 日本海

スルメイカ *Todarodes pacificus* を漁獲対象とするイカ釣り漁業では漁業用光源 (漁灯) として主にメタルハライド灯 (MH 灯) が用いられている。これら漁船には大出力の MH 灯が多数取り付けられており, その消費電力は小型イカ釣り漁船では 180 kW, 中型イカ釣り漁船では 250 kW にも達する。このため発電機関の燃油消費量も膨大であり, 近年の燃油価格の上昇や高止まり傾向を受けて燃油費は一層増加し, 漁業経営を圧迫している。<sup>1)</sup> MH 灯は光の指向性が広く, 漁獲に寄与しないと考えられる上空や甲板上にも光を放射する。さらに, 発光波長域が広く, 海水中での消散が著しい長波長域の可視光のほか, 赤外線や紫外線も放射しており,<sup>2)</sup> 漁灯として最適な特性を有しているとはいえない面がある。これに対して発光ダイオード (LED: Light Emitting Diode) は設計や配置による配光調節の自由度が高く, 漁灯として用いた場合に無駄な方向への光の照射を少なくすることができる。また, 海水中での透過率が高く,<sup>3)</sup>

スルメイカの視感度<sup>4)</sup>も高い青色から青緑色の波長域で発光する LED を用いることでエネルギーの無駄をより少なくすることができる。このような観点から LED を用いた漁灯が省エネルギー技術として注目されるようになり, 2004 年以降, 本格的な実用化試験が進められるようになった。<sup>5)</sup> これらの試験では漁船に LED 灯を装備して操業を行い, 一般の MH 灯装備船を基準に漁獲成績を評価しているが, データ取得の一部を漁業者に任せている関係から LED 灯装備船と MH 灯装備船の操業状況が不明であったり, 漁獲量の正確さに疑問があるなど評価上の不備もみられた。加えて初期の実用化試験<sup>5)</sup> は小型イカ釣り漁船を対象としており, 沖合で操業する中型イカ釣り漁船での LED 灯の有効性は全く不明であった。このような状況を受けて石川県水産総合センターでは, 2005~2007年に中型イカ釣り漁船に近い装備を有する調査船白山丸を用い, 日本海沖合漁場では初めてとなる LED 灯の性能評価試験を行った。本報ではその

結果を報告するとともに、当時使用した LED 灯の問題点について検討した。

### 材料および方法

**漁灯設備** 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 3 kW の白色 MH 灯が 78 灯装備されており、これに高木綱業株式会社製の LED 灯を追加装備した。LED 灯 1 灯は重量 3.0 kg、外形寸法 771×250×51 mm のパネル型で、日亜化学工業株式会社製の配光半値角 30°の砲弾型青色 LED (NSPB510S) または白色 LED (NSPW510S) が 950 個取り付けられており、1 灯（パネル）当たりの消費電力は 0.07 kW であった。LED 灯は照射方向の前方に遮蔽物がない場所に設置した。具体的には、2005 年には青色 LED 灯 102 灯を鋼管フレームを用いて前後甲板上、ブリッジ横およびファンネル横に光の照射軸が水平面から 30°下方になるように設置した。2006 年には青色 LED 灯 102 灯を前後甲板上、ブリッ

ジ横およびファンネル横に照射軸が 20~30°下方向になるように設置し、さらに白色 LED 灯 30 灯をワイヤーを用いて前後甲板の左右舷側に照射軸が 25°下方向になるように設置した。2007 年には青色 LED 灯 216 灯を前後甲板上、ブリッジ横、ファンネル横（照射軸が 30°下方向になるように 102 灯）、前後甲板の左右舷側寄り（照射軸が 25°下方向になるように 30 灯）および釣機受台下（照射軸が 40°下方向になるように 84 灯）に設置した (Fig. 1)。2005~2007 年の設置条件について、LED 灯の照射軸と海面の交点（照射位置）を図形計算した結果、照射位置は舷側から 3.7~15.1 m 離れたところにあった。

**操業試験** 2005~2007 年に日本海沖合の大和堆付近の海域でスルメイカを対象としたイカ釣り操業を 51 回（7 航海）実施し、このうち操業開始から終了まで同一条件で漁灯を点灯した 42 回の操業を解析対象とした (Table 1)。日中に魚群探知機を用いて漁場探索を行い操業位置を決定した。操業前にシーアンカーを投入し、

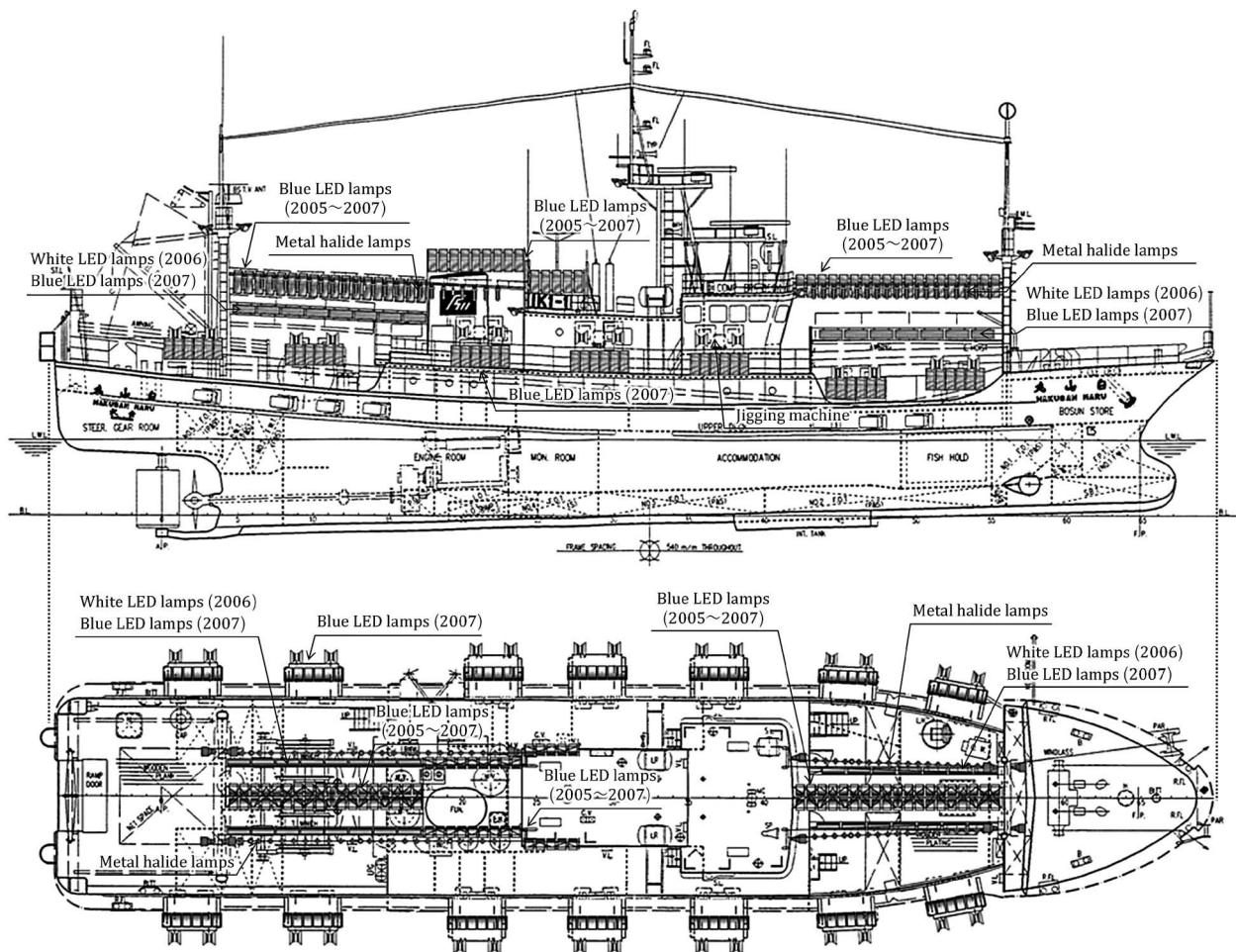


Fig. 1 Arrangement of shipboard metal halide lamps and LED fishing lamps in R/V *Hakusan-Maru* (167 gross tonnes). Upper figure, side view; lower figure, top view. Year in parentheses indicates the year in which LED fishing lamps were equipped.

日没後から日出前の夜間に漁灯を点灯し, 自動イカ釣機 (株式会社東和電機製作所製: MY-3DP) 14 台でスルメイカを漁獲した。釣具ラインにはナイロンテグスを用

いて 1.05 m 間隔で擬餌針 24 本を連結し, 下端に 1.1 kg の錘を付け, 錘の最大垂下深度を 75 m に設定して操業した。操業中には 1 時間単位で漁獲尾数を手作業で計数し, 釣機 1 台 1 時間当たりの漁獲尾数 (CPUE) を算出した。また, 操業開始後から順次漁獲した 200 尾の外套背長を船上で測定した。各航海では従来の操業方法である MH 灯 78 灯による操業 (M78 操業) を数回実施し, M78 操業の CPUE を基準として LED 灯を用いた操業 (LED 灯操業) の CPUE を評価した。LED 灯操業としては, 2005 年には青色 LED 灯 102 灯による操業 (B102 操業) を実施した。2006 年には青色 LED 灯 102 灯と白色 LED 灯 30 灯による操業 (B102W30 操業), MH 灯 24 灯と青色 LED 灯 102 灯による操業 (M24B102 操業), 並びに MH 灯 24 灯, 青色 LED 灯 102 灯および白色 LED 灯 30 灯による操業 (M24B102W30 操業) を実施した。2007 年には青色 LED 灯 216 灯による操業 (B216 操業), 並びに MH 灯 24 灯と青色 LED 灯 216 灯による操業 (M24B216 操業) を行った。M78 操業と LED 灯操業の CPUE を適正に比較するには, 両操業の漁場条件をできるだけ均等にしなければならない。このため好漁場発見後は同一海域で連日操業し, 漁場移動して LED 灯操業を行った場合には比較基準である M78 操業を同海域で実施した。スルメイカの分布状況や海水の光学特性は時期や海域によって変化し, これらが漁灯の漁獲性能に影響する可能性が考えられる。このため本研究では, 操業の時期と海域が概ね同一である航海毎 (月毎) に M78 操業と LED 灯操業の平均 CPUE を求め, M78 操業の CPUE を基準として LED 灯操業の漁獲成績を評価した。

**海中照度** 2005 年 11 月 30 日, 2006 年 11 月 10 日および 2007 年 8 月 6 日の夜間に石川県能登町沖で白山丸の漁灯を点灯し, 船体周囲の海中照度を測定した。船首甲板中央, 船体中央および船尾甲板中央の舷側から舷外方向に 5・10・20・30・40 m の位置, 並びに船首前方, 船首斜め前方, 船尾後方および船尾斜め後方の 5・10・20・30 m の位置に船外機船を定位させ (Fig. 2), 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 50 m まで垂下し, 下方向照度を測定した。白山丸と船外機船を繋いだロープの長さで両船間の距離を調節した。照度計だけでは深度が測定できないので, 照度計と同社製の記録式深度計 (ATD-HR) 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。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。スルメ

**Table 1** Records of squid jigging operations in this study

Date*1	Location		Lighting*2 condition	No. of squid caught
	Lat.	Lon.		
Nov. 13, 2005	N 39°46'	E 135°40'	B102	580
Nov. 14, 2005	N 39°35'	E 135°25'	M78	687
Nov. 15, 2005	N 39°56'	E 135°01'	M78	1,681
Nov. 16, 2005	N 39°49'	E 135°02'	B102	354
Nov. 17, 2005	N 39°03'	E 134°50'	B102	1,029
Nov. 18, 2005	N 39°01'	E 134°50'	M78	1,359
Nov. 19, 2005	N 39°15'	E 134°34'	B102	2,793
Nov. 20, 2005	N 39°15'	E 134°23'	M78	7,146
Nov. 21, 2005	N 39°14'	E 134°23'	B102	1,133
Nov. 22, 2005	N 39°11'	E 134°39'	M78	3,360
Aug. 24, 2006	N 39°59'	E 134°40'	M24B102W30	9,559
Aug. 25, 2006	N 39°51'	E 134°43'	M78	9,730
Aug. 26, 2006	N 39°50'	E 134°43'	M24B102W30	8,803
Aug. 27, 2006	N 39°47'	E 134°42'	M24B102W30	6,622
Aug. 28, 2006	N 39°46'	E 134°41'	M78	7,502
Sep. 22, 2006	N 39°44'	E 134°22'	B102W30	1,330
Sep. 23, 2006	N 39°56'	E 134°46'	M78	5,450
Sep. 24, 2006	N 39°55'	E 134°46'	B102W30	4,409
Sep. 25, 2006	N 39°49'	E 134°44'	M78	6,921
Sep. 26, 2006	N 39°40'	E 134°35'	B102W30	1,319
Sep. 27, 2006	N 39°55'	E 134°43'	B102W30	1,331
Oct. 19, 2006	N 38°57'	E 133°58'	M78	5,490
Oct. 20, 2006	N 39°00'	E 134°01'	M24B102	1,803
Oct. 26, 2006	N 39°28'	E 133°59'	M78	6,736
Oct. 27, 2006	N 39°28'	E 133°51'	M24B102	3,393
Aug. 21, 2007	N 39°59'	E 135°20'	M78	5,395
Aug. 22, 2007	N 39°59'	E 135°20'	M24B216	2,083
Aug. 23, 2007	N 40°27'	E 136°00'	M24B216	6,539
Aug. 24, 2007	N 40°28'	E 136°01'	M78	1,133
Aug. 25, 2007	N 40°02'	E 135°09'	M78	5,413
Aug. 26, 2007	N 40°02'	E 135°12'	M24B216	1,096
Sep. 19, 2007	N 39°14'	E 134°12'	M24B216	6,897
Sep. 20, 2007	N 39°14'	E 134°11'	M78	6,410
Sep. 21, 2007	N 39°13'	E 134°13'	B216	3,421
Sep. 22, 2007	N 39°18'	E 134°28'	M78	7,473
Sep. 23, 2007	N 39°21'	E 134°30'	M24B216	2,278
Sep. 24, 2007	N 39°20'	E 134°30'	M78	2,485
Sep. 25, 2007	N 39°26'	E 134°32'	B216	653
Oct. 14, 2007	N 39°29'	E 135°20'	M78	3,235
Oct. 15, 2007	N 39°25'	E 135°24'	M24B216	1,435
Oct. 16, 2007	N 39°35'	E 135°27'	M24B216	1,154
Oct. 17, 2007	N 39°30'	E 135°35'	M78	2,508

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

\*2 M, B, and W indicate use of MH, blue LED, and white LED lamps, respectively. The following numbers indicate the number of lit lamps.

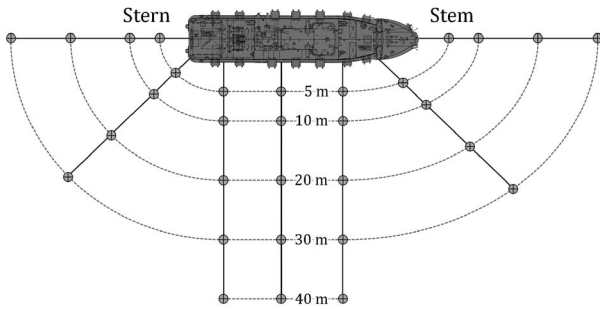


Fig. 2 Location of measurement points for underwater light intensity around R/V *Hakusan-Maru*.

イカは視物質を1種類しか持っておらず,<sup>6)</sup> その吸収極大波長は482 nmである。<sup>4)</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、本研究ではこの波長帯の測定値をスルメイカに対する照度の指標値とした。

**動物プランクトン** 灯光に漁獲対象生物が集まることの説明の一つとして索餌集群説がある。イカ釣り漁業でも灯光に集まったプランクトンを食べるためにスルメイカが集まる事例が報告されており,<sup>7)</sup> 漁灯の性能を評価するうえで餌生物の分布も調べておくことは重要である。スルメイカの餌生物は動物プランクトン、小型魚類、小型イカ類などである。<sup>8)</sup> これらのうち餌生物としての魚類やイカ類を操業中に定量的に採集するのは難しいため、船底下の動物プランクトンの分布を調べた。2006年の各操業の0時頃に改良型ノルパックネット(網口直径45 cm, 網目0.335 mm)を深度100 mから鉛直曳きして動物プランクトンを採集した。採集物はプラスチック容器に洗い入れて5%ホルマリン海水で固定した。この検体を沈殿法で濃縮し、顕微鏡下で種査定と計数を行った。

**燃油消費量** 白山丸には1300PSの主機1台、360PSの補機と300 kVAの発電機が各2台搭載されている。操業時には主機を停止し、M78操業では補機2台、LED灯操業では基本的には補機1台を運転した。操業中には補機の給油配管に取り付けられた流量計の値を1時間毎に記録し、燃油(A重油)の消費量を調べた。

## 結 果

**操業試験** 2005年にはLED灯だけを用了ときの漁獲の状況を把握するためにLED灯の単用操業を行った。その結果、B102操業の平均CPUEはM78操業の41%に留まった(Fig. 3)。LED灯単用操業でもスルメイカは漁獲できるが、漁獲成績の落ち込みが大きいことから、2006年には白色LED灯30灯を増設し、MH灯との併用操業を行った。同年8月に実施した

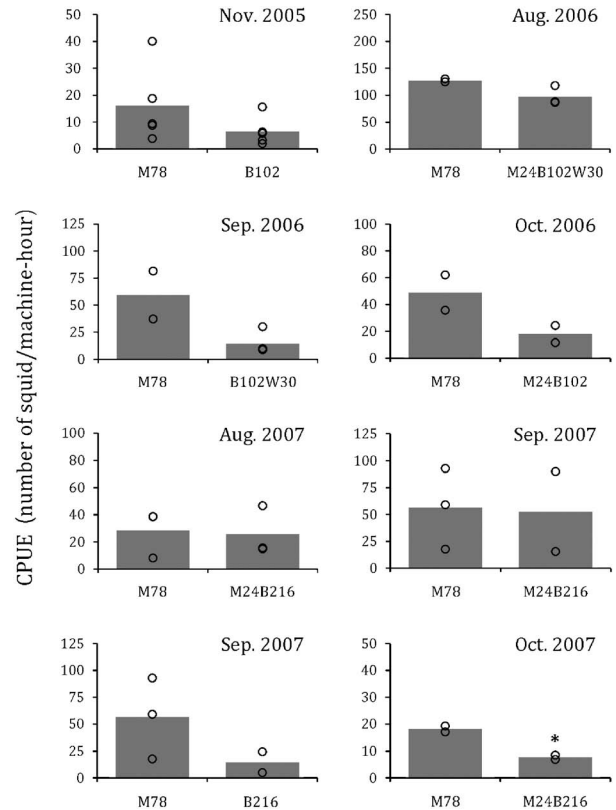


Fig. 3 Comparison of catch per unit effort (CPUE) between operation using only MH lamps and operation using LED lamps. CPUE is expressed as the number of squid caught per machine-hour. Open circles and gray bars indicate individual value and mean. M, B, and W indicate use of MH, blue LED, and white LED lamps, respectively. The following numbers indicate the number of lit lamps. Statistical difference between groups was tested using Student's *t*-test or Welch's *t*-test. Asterisk indicates a significant difference between groups ( $p < 0.05$ ).

M24B102W30操業の平均CPUEはM78操業の76%であり、MH灯の併用か白色LED灯の増設が漁獲成績の向上に寄与したと考えられた。そこで、同年9月にB102W30操業を行ったところ、同操業の平均CPUEはM78操業の24%と著しく低く、さらに後述のように白色LED灯の光の海中への入射は極めて少なかったことから、本実験で用いた白色LED灯の有効性は低いと判断した。同年10月にM24B102操業を実施したところ、同操業の平均CPUEはM78操業の37%と低く、青色LED灯102灯ではMH灯と併用しても十分な漁獲成績が得られないことが分かった。そこで、2007年には青色LED灯216灯を装備してMH灯との併用操業を行った。その結果、同年8月と9月に実施したM24B216操業の平均CPUEはそれぞれM78操業の91%および93%に向上した。同年9月のB216操業

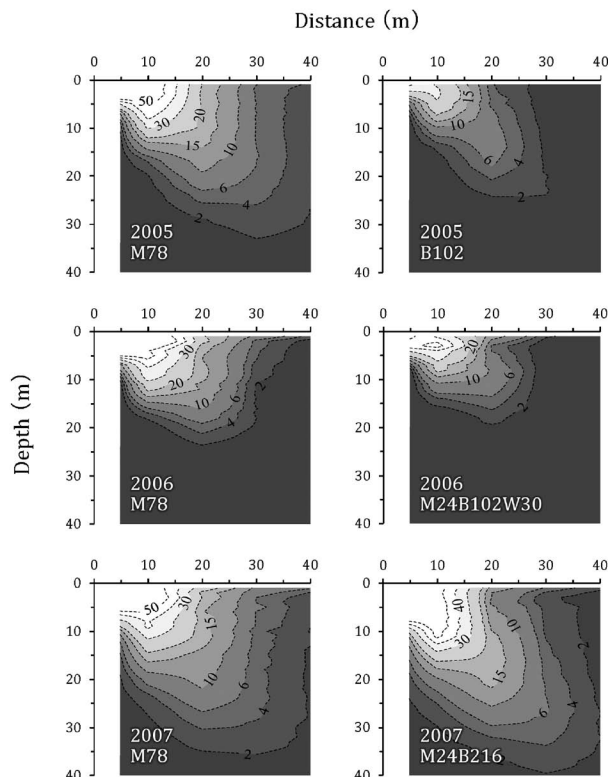
の平均 CPUE は M78 操業の 26% と低く、MH 灯の併用が LED 灯操業の漁獲成績の向上に大きく寄与したことが分かった。しかし、同年 10 月の M24B216 操業では平均 CPUE は M78 操業の 42% に留まり、M24B216 操業の漁獲の安定性は低いことが分かった。各操業の平均外套長について、航海別に M78 操業と LED 灯操業の平均値を比較したが、その差は 3% 以下と小さく、有意差も検出されなかった (Student's *t*-検定)。従って、M78 操業と LED 灯操業では漁獲物の大きさに差がないことが分かった。

**海中照度** 漁灯点灯時の舷外方向の照度分布は船首甲板中央、船体中央および船尾甲板中央の各測定線ともに類似していたので、これら測定線の距離別深度別の 488 nm 帯の照度の平均値から舷外方向の照度分布図を作製した (Fig. 4)。M78 操業の照度は舷側から 5~10 m 付近の海面直下で最も高く、それよりも舷外方向には比較的緩やかに、船底下の方向には急激に低下した。2005 年の B102 操業でも照度は舷側から 5~10 m 付近の海面直下で最も高く、それよりも船底下の方向には急激に低下した。しかし、B102 操業の照度は M78 操業よりも全般的に低く、特に舷側から概ね 20 m 以遠・深度 20

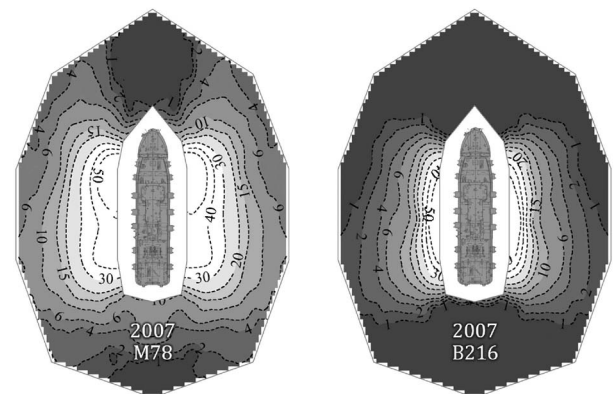
m 以浅の範囲で低かった。2006 年の M24B102W30 操業の照度は M78 操業よりも全般的に低く、やはり舷側から概ね 20 m 以遠・深度 20 m 以浅の範囲で低かった。同年には B102W30 操業と B102 操業の照度も測定したが、両操業条件の 488 nm 帯の照度はほぼ同じであり、488 nm 帯より長波長側の照度も極めて微弱であった。従って、本調査に用いた白色 LED 灯については、漁灯としての効果はあまりないと判断した。2007 年の M24B216 操業の照度は測定範囲全体では M78 操業を上回る水準にまで上昇した。しかし、舷側から概ね 20 m 以遠・深度 20 m 以浅の範囲では M24B216 操業の照度は M78 操業よりも低かった。そこで、MH 灯と LED 灯の光の広がり进行比较するために M78 操業と B216 操業の深度 2 m における照度の水平分布を比較した (Fig. 5)。その結果、M78 操業では船体周囲の広範囲の海面下に光が入射しているのに対して、B216 操業では船体左右近傍の海面下に集中して光が入射していることが分かった。

**動物プランクトン** 船底下の動物プランクトンの種類別平均分布密度を調べた結果、いずれの操業でもカイアシ類と尾虫類が卓越していた (Fig. 6)。漁灯の点灯条件と動物プランクトンの分布密度に明らかな関連性は認められなかった。

**燃油消費量** 操業時の 1 時間当たりの燃油消費量と漁灯の総消費電力の関係を調べたところ (Fig. 7)、両者の間には強い正の相関が認められ、漁灯 1 kW 当たりの燃油消費量は 0.259 L/時であることが分かった。従って、漁灯点灯のための燃油消費量は M78 操業では 60.6 L/時、M24B216 操業では 22.5 L/時、M24B102 操業では 20.5 L/時、B216 操業では 3.9 L/時、B102 操業では 1.8 L/時であり、LED 灯を使用して MH 灯の点灯数を減らすことで漁灯点灯のための燃油消費を大幅節



**Fig. 4** Vertical distribution of underwater light intensity measured in the 488-nm band in the port-starboard direction of R/V *Hakusan-Maru*. Light intensity is expressed as a percentage of the maximum value measured in each year's M78.



**Fig. 5** Horizontal distribution of light intensity measured in the 488-nm band at 2-m depth. Light intensity is expressed as a percentage of the maximum value measured in M78.

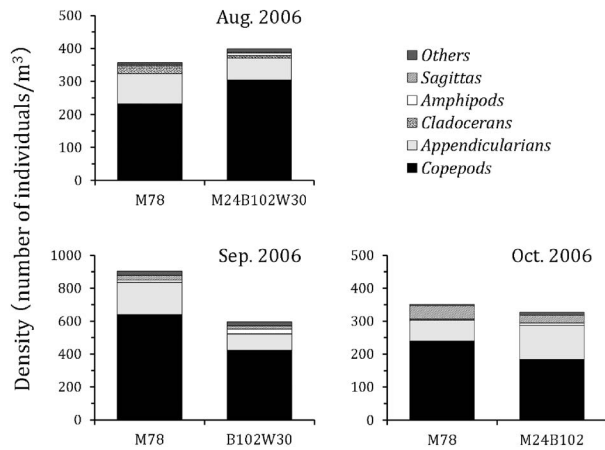


Fig. 6 Mean density of zooplankton under the vessel during squid jigging operations. Samples were taken from 0–100 m depth with a NORPAC net.

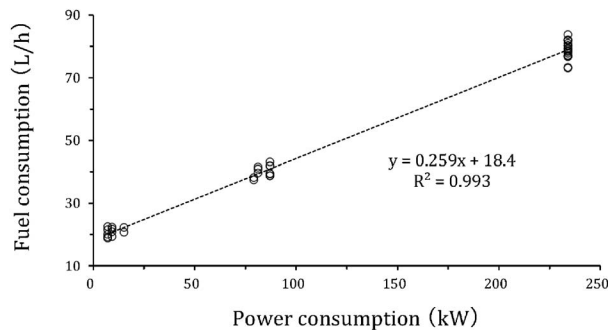


Fig. 7 Relationship between electric power consumption of fishing lamps and fuel consumption of generator engine in R/V Hakusan-Maru.

減できることが分かった。

## 考 察

本研究を始めたときには、沖合漁場における LED 灯の有効性は全く不明であったので、小型イカ釣り漁船における実用化試験<sup>5)</sup>を参考とし、その設置基準に合わせて青色 LED 灯 102 灯を装備して調査を行った。しかし、B102 操業の平均 CPUE は M78 操業より低く、当初期待したほどの漁獲成績は得られなかった。イカ釣り漁業では、光源出力（点灯数）が大きいほど海中照度は高く、<sup>9,10)</sup> 漁獲量も多くなる傾向が認められている。<sup>10,11)</sup> 船体周囲の海中照度を測定したところ、B102 操業の海中照度は M78 操業に比べて低く、光量不足により漁獲成績が劣るのではないかと考えられた。そこで、LED 灯を増設するとともに MH 灯との併用操作を行った結果、LED 灯操業（M24B216 操業）の平均 CPUE を最大で M78 操業の 93% にまで向上させることができた。さらに、この操業の漁灯点灯のための燃油消費量は M78

業の 37% であり、大幅な燃油節減を達成していることを確認した。

このように沖合漁場でも、MH 灯と LED 灯を併用することで漁獲量のある程度維持しつつ漁灯点灯のための燃油を大幅に節減できることが明らかになった。しかし、LED 灯操業の平均 CPUE は最大でも M78 操業の 93% であり、LED 灯操業では M78 操業よりも漁獲量が少なくなることに注意する必要がある。つまり、水揚金額が多い漁船では 1 割程度の漁獲量の減少でも大きな減収となり、これを上回るだけの燃油費削減の効果がなければ LED 灯導入の経済的メリットは生じない。このような観点から、以下では漁船の水揚金額、漁灯点灯のための燃油消費量、燃油価格などを踏まえて LED 灯導入の経済性について検討する。社団法人石川県沖合いかつり漁業協会の 2006～2011 年の資料によると、石川県の中型イカ釣り漁船の年別漁船別の水揚金額は 79～212 百万円（中央値 133 百万円）であり、水揚金額には大きな差がある。なお、中型イカ釣り漁船が生産する冷凍スルメイカは規格統一されているため、漁期全体では漁船間で単価の差はほとんどなく、水揚金額は漁獲量に比例して変動する。一方、漁灯点灯のための燃油消費量については、漁灯の消費電力と燃油消費量の関係から求めることができる。本研究では漁灯 1 kW 当たりの燃油消費量は 0.259 L/時であり、中型イカ釣り漁船でもこれに近い 0.260 L/時（文献記載値より計算）、<sup>12)</sup> 0.265 L/時（同計算）、<sup>13)</sup> 0.250 L/時、<sup>14)</sup> 0.212 L/時、<sup>15)</sup> という値が報告されている。中型イカ釣り漁船の漁灯の総消費電力は 250 kW（規制値）であり、6～12 月の漁期中の操業日数を 190 日、1 日の漁灯点灯時間を 11 時間、漁灯 1 kW 当たりの燃油消費を 0.249 L/時（前出の平均値）とすると、漁灯点灯のための燃油消費量は漁期当たり 130 kL となる。本研究の漁灯の消費電力は M78 操業では 234 kW、M24B216 操業では 87 kW であり、同 LED 灯操業では消費電力を 63% 削減した。中型イカ釣り漁船でも同様に LED 灯を導入して消費電力を 63% 削減すると漁期中に燃油を 82 kL 節減できることになる。以上の数値に基づいて、LED 灯導入前の水揚金額と LED 灯導入による収支差額を燃油単価別に計算した（Fig. 8）。LED 灯の導入によって水揚金額が一定割合で減少する場合には、導入前の水揚金額が多い漁船ほど減収額が大きくなる。一方、LED 灯導入による漁灯点灯に要する燃油の節減量は漁船間で同等であり、燃油費の削減額は燃油単価によって上下する。LED 灯の導入によって水揚金額が 10% 減少する場合、収支は燃油単価が 80 円/L では全ての漁船でマイナスになり、燃油が 140 円/L に高騰してもやはり大部分（87%）の漁船でマイナスになる。一方、LED 灯の漁獲性能を高めて水揚金額の減少を 5% に抑えた場合、収支は燃油単価 80

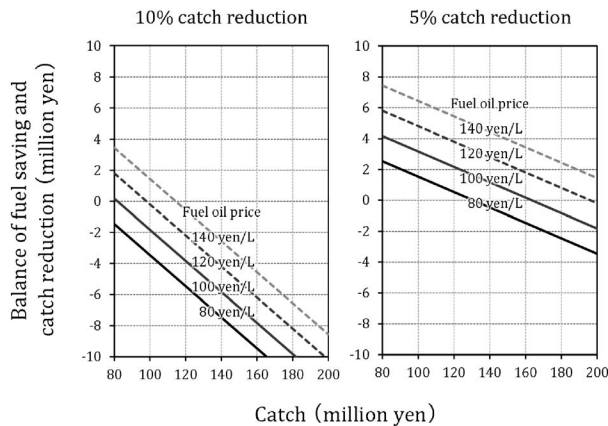


Fig. 8 Trial calculation of the economic balance of fuel saving and catch reduction in offshore squid jigging boats equipped with LED lamps. The x-axis shows the catch before equipping the boats with LED lamps.

円/Lでは47%の漁船でプラスとなり、燃油単価100円/Lでは86%の漁船でプラスとなり、さらに燃油単価140円/Lでは全ての漁船でプラスになる。前述のようにM24B216操業の平均CPUEは最大でもM78操業の93%であり、10月の操業では42%に落ち込んだことから、本研究と同型のLED灯を漁船に導入した場合には漁獲量は10%以上減少する可能性が高い。従って、同LED灯に関しては中型イカ釣り漁船に導入する経済的メリットはないと判断した。以上の検討から、燃油節減効果を維持しつつ漁獲量（水揚金額）の減少を5%以下に抑えることがLED灯の技術改良の一つの目標になるといえる。

小型イカ釣り漁船では海面反射を少なくして光を効率良く海中に入射させるため、指向性の強いLED灯を船体近くの海面に向けて設置して、操業試験が行われた。<sup>5)</sup> 本研究でもこれを参考に同型のLED灯を設置したが、小型イカ釣り漁船の設置基準では船体周囲の海中照度はM78操業より低かった。そこで、LED灯を増設してMH灯24灯を併用したところ、海中照度は測定範囲全体ではM78操業を上回る水準に上昇した。しかし、LED灯の光は船体左右近傍の海面下に集中して入射しており、舷側から概ね20m以遠・深度20m以浅ではLED灯操業の照度はM78操業よりも低かった。従って、船体から離れたところの表層付近の照度が漁獲成績に関係している可能性がある。MH灯点灯時の海中照度を数値計算した報告によると、<sup>3)</sup> 表層付近では光源から遠ざかるほど水平方向への照度勾配が緩やかになる傾向があり、波浪やうねりを想定した計算条件では、光源からある程度離れると海面の反射率がむしろ低下して光の入射割合が高まるため、照度勾配が一層緩やかになる。このように表層付近では広範囲に光が広がることに

加えて、点灯数を増やすとその増加分に応じて照度も高くなることも示されている。荒川ら<sup>9)</sup>は、MH灯の出力（点灯数）別に海中照度を測定しており、表層付近では照度は舷側から90m離れていても光源出力に比例して変化することを報告している。そのうえで、一般に光源出力が大きいほど漁獲量が多くなる<sup>10,11)</sup>理由として、水平方向への光の広がりスルメイカの誘集に関する可能性を指摘している。灯光のない自然条件下では、夜間、スルメイカは表層付近に分布しており、<sup>16,17)</sup> これらを広範囲から集めるにはLED灯でも水平方向への光の広がりが大きいほど有利と考えられる。LED灯の漁獲性能を向上させるには、このことを念頭においた技術改良と配光設計が重要である。翻って本研究と小型イカ釣り漁船における実用化試験<sup>5)</sup>でのLED灯の設置方法を評価すると、両試験ともに光を海中に効率よく入射させることのみ意識してLED灯を船体近くの海面に向けて設置しており、前述の議論を踏まえると手法として短絡的であったと言わざるを得ない。実際、本研究では小型イカ釣り漁船で示されていたLED灯の設置基準<sup>5)</sup>の2倍以上のLED灯を用いたが、LED灯単用操業では漁獲成績は著しく劣っていた。従って、指向性の強い光を海面反射の少ない船体近くの海面に照射するような方向での技術展開ではLED灯の性能向上はほとんど期待できないと考えられる。

近年、イカ釣り漁業用のLED灯には高出力で指向性の広い平面実装型LEDが用いられるようになってきている。<sup>12-15,18-21)</sup> 青色LED灯についても、本研究の結果を踏まえて大幅な設計変更が加えられ、LED灯だけでも船体近くの海中照度が十分に高く、従来のLED灯に比べて指向性が広がっている。この青色LED灯については、既に小型イカ釣り漁船と中型イカ釣り漁船の両方で実証試験が行われており、<sup>13,15,19-21)</sup> 試験後も漁期を通じて実用に供されている。しかし、これらのLED灯装備船でもMH灯の併用は不可欠であり、MH灯の併用灯数を少なくすると漁獲量が一般のMH灯装備船より少なくなるという問題が依然として残されている。現用のLED灯についても海中照度の鉛直分布や水平分布を測定し、設計や設置方法に関して改善すべき点がないか精査する必要がある。

## 謝 辞

石川県水産総合センターの元海洋資源部長桶田浩司氏には本研究のきっかけを与えて頂いた。漁業調査指導船白山丸の乗組員の皆様には洋上調査全般に御尽力頂いた。社団法人マリノフォーラム21の元理事長弓削志郎氏、元専務理事藤田純一氏には本研究に格別の御理解と御支援を頂いた。社団法人全国沖合いかつり漁業協会の元会長理事岩澤龍彦氏、元参事美斉津利幸氏、元参与青

山孝夫氏には事業遂行の全般に御支援頂いた。高木綱業株式会社の元常務取締役の堀田庄三氏には調査開始に間に合うよう LED 灯を迅速に御準備頂いた。以上の皆様に深く感謝申し上げます。本研究は財団法人日韓・日中新協定対策漁業振興財団の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の一環として、社団法人全国沖合いかつり漁業協会の委託により石川県水産総合センターが実施したものである。本研究で使用した LED 灯の一部は社団法人マリノフォーラム 21 から借り受けたものである。ここに記して謝意を表する。

## 文 献

- 1) 長谷川勝男. わが国における漁船の燃油使用量と CO<sub>2</sub> 排出量の試算. 水産技術 2010; 2: 111-121.
- 2) 中野邦昭, 清水義則. 漁灯光減としての白熱灯, 放電灯, LED. 「漁灯を活かす技術・制度の再構築へ」(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; 57-71.
- 3) 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.
- 4) 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.
- 5) 社団法人マリノフォーラム 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つり漁業革命事業グループ. 平成 16~18 年度青色発光ダイオード集魚灯によるイカつり漁業革命事業に関する報告書, 社団法人マリノフォーラム 21, 東京. 2005~2007.
- 6) 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.
- 7) 新谷久男. スルメイカの資源. 水産研究叢書 16, 日本水産資源保護協会, 東京. 1967; 43-46.
- 8) 内川和久. スルメイカの摂餌生態. 平成 23 年度スルメイカ資源評価協議会報告, 日本海区水産研究所, 新潟. 2012; 60-84.
- 9) 荒川久幸, 崔 漸珍, 有元貴文, 中村善彦. 小型イカ釣り漁船の集魚灯光の海中放射照度分布, 日水誌 1996; 62: 420-427.
- 10) 平成 8 年度小型いかつり光力適正化検討事業実態調査・実証調査報告書総集編. 全国漁業協同組合連合会, 東京. 1996.
- 11) 高山 剛. 小型イカ釣り漁船における集魚灯運転コストと漁獲量の関係について. 平成 15 年度イカ類資源研究会議報告, 日本海区水産研究所, 新潟. 2004; 17-20.
- 12) 白嶺水産株式会社. 中型イカ釣り漁船 (138 トン型) における LED 集魚灯導入実証化試験. 平成 19 年度省エネルギー技術導入促進事業報告書, 社団法人海洋水産システム協会, 東京. 2008; 129-154.
- 13) 有限会社旺貴水産. 中型イカ釣り漁業における新型 LED 集魚灯による省エネルギー化実証試験. 平成 20 年度省エネルギー技術導入促進事業報告書, 社団法人海洋水産システム協会, 東京. 2009; 37-61.
- 14) 白嶺水産株式会社. 中型イカ釣り漁船 (183 トン) における主要漁灯としての拡散配光型 LED 漁灯導入実証試験. 平成 21 年度省エネルギー技術導入促進事業報告書, 社団法人海洋水産システム協会, 東京. 2010; 9-29.
- 15) 有限会社旺貴水産. LED 集魚灯による中型イカ釣り漁船の省エネルギー化実証試験. 平成 22 年度省エネルギー技術導入促進事業報告書, 社団法人海洋水産システム協会, 東京. 2011; 85-98.
- 16) Kawabata A, Yatsu A, Ueno Y, Suyama S, Kurita Y. Spatial distribution of the Japanese common squid *Todarodes pacificus* during its northward migration in the western North Pacific Ocean. *Fish. Oceanogr.* 2006; 15: 113-124.
- 17) 平成元~2 年度沖合漁場総合整備開発基礎調査日本海大和堆海域報告書 (本文編). 海洋水産資源開発センター, 東京. 1990~1991.
- 18) 白嶺水産株式会社. 中型イカ釣り漁船 (183 トン) における主要漁灯としての拡散配光型 LED 漁灯導入実証試験 (中間報告). 平成 20 年度省エネルギー技術導入促進事業報告書, 社団法人海洋水産システム協会, 東京. 2009; 85-100.
- 19) 有限会社旺貴水産. 中型イカ釣り漁業における LED 集魚灯による省エネルギー化実証試験. 平成 21 年度省エネルギー技術導入促進事業報告書, 社団法人海洋水産システム協会, 東京. 2010; 65-94.
- 20) Yamashita Y, Matsushita Y, Azuno T. Catch performance of coastal squid jigging boats using LED panels in combination with metal halide lamps. *Fish. Res.* 2012; 113: 182-189.
- 21) Matsushita Y, Azuno T, Yamashita Y. Fuel reduction in coastal squid jigging boats equipped with various combinations of conventional metal halide lamps and low-energy LED panels. *Fish. Res.* 2012; 125-126: 14-19.