

# 山口県日本海沿岸域のウルメイワシ棒受網漁業の ハロゲン水中集魚灯とLED水中集魚灯の配光特性

梶川和武<sup>1†</sup>, 伊藤貴史<sup>2</sup>, 毛利雅彦<sup>1</sup>, 渡邊俊輝<sup>3</sup>

## Underwater photon distribution for fishing lights (halogen and LED) used for round herring, *Etrumeus teres*, stick-held dip net fishing along Yamaguchi Prefecture in the Japan Sea

Yoritake KAJIKAWA<sup>1†</sup>, Takafumi ITO<sup>2</sup>, Masahiko MOHRI<sup>1</sup>  
and Toshiteru WATANABE<sup>3</sup>

**Abstract** : The spectral photon distributions in sea water from a 3 kW halogen fishing lamp and a 2 kW LED fishing lamps were investigated in Senzaki Bay, Yamaguchi Prefecture on 7 Dec 2009. Photon intensity in the from 450 to 710nm wavelength range was 250–350  $\mu$  mol at a depth of 4 m located 5 m away in the lateral direction from the halogen lamp, and this was the highest intensity at this sampling point. Photon intensities at depths of 0–4 m and within 10 m from the lamp were similar at the 450nm wavelength (7–10  $\mu$  mol) and the 540nm wavelength (20–40  $\mu$  mol. For the LED lamp (output 100%), photon intensity was 380  $\mu$  mol at the 450nm wavelength and 1500  $\mu$  mol at the 540nm wavelength at a depth of 4 m and a distance of 5 m in the lateral direction. Photon intensity was 9–10  $\mu$  mol at the 450nm wavelength and 90–100  $\mu$  mol at the 540nm wavelength at a depth of 0–4 m and over a distance of 10 m in a lateral direction. These results show that the spectrum characteristics and intensity of LED lamps are better suited for attracting round herring than halogen lamps, suggesting that LED lamps are more efficient for use in stick-held dip net fishing with lights.

**Key words** : Halogens, LED, Light, Photon, Herring fishery

### 緒 言

集魚灯とは、「漁業で、夜間に走光性のある水族を漁具の操作範囲に集め、漁獲効率を高めるために使用する光源装置」と定義される<sup>1)</sup>。集魚灯の歴史は古く、魚を磯や船べりに集めるいさり火漁法に用いられた「かがり火」に始まる。その後、石油灯やアセチレン灯などを経て、1950年代に入って、光源が電化され、白熱灯、ハロゲンランプ、メタルハライドランプとより明るい光を求めて集魚灯の開発が進められてきた<sup>2)</sup>。それに伴い、より明るい光を点灯させて、より多くの魚を集めようとする集魚灯の光力競争

の激化を招いた<sup>3)</sup>。このような中、2004年に漁船漁業開発推進会議で、社団法人マリノフォーラム21はイカ釣り漁船で使用した青色LED (Light Emitting Diode : 発光ダイオード) 集魚灯が従来使用している集魚灯の1/30の消費電力で、イカを従来の集魚灯と遜色なく漁獲できるとする発表を行った<sup>4)</sup>。以降、昨今の燃油価格の高騰化もあり、LED集魚灯が世間の注目を集めることとなった。

山口県の日本海側で着業している棒受網漁業の現在の登録漁船数は119隻で、県内の基幹漁業の1つである。本漁業の漁獲対象種はウルメイワシ、カタクチイワシで、加工まで行っている漁業者も存在する。しかし、近年は燃油価

2010年12月15日受付。 Received December 15, 2010.

1. 水産大学校海洋生産管理学科 (Department of Fisheries Science of technology, National Fisheries University)
2. 水産大学校海洋生産管理学科専攻科生 (Graduate student, Department of Fisheries Science of technology, National Fisheries University)
3. 山口県水産研究センター外海研究部 (Japan Sea Division, Yamaguchi Prefectural Fisheries Research Center)

† 別刷り請求先 (Corresponding author) : kajikawa@fish-u.ac.jp

格の高騰化に加えて魚価が低迷しており、漁業経営は楽ではなく、着業隻数が年々減少している。このような現状を改善するべく、2008年に山口県漁業協同組合は省エネルギー技術導入促進事業（水産庁補助事業）で、本漁業の経営コストを削減するために、LED水中集魚灯（（株）高木網業、最大消費電力210w）の導入を目指して、LED水中集魚灯と既存の集魚灯であるハロゲン水中集魚灯（3kw）を用いた時による、それぞれの漁獲量の比較や省エネルギー効果の実証実験を実施した。この結果、LED水中集魚灯を使用した場合、燃油の消費量は既存の集魚灯の2-3割であったが、漁獲量は既存の集魚灯の場合の7割に減った。現段階において、省エネ効果は十分に認められたが、実用段階ではない<sup>5)</sup>。そこで、本研究では、既存の集魚灯と同等に魚を集めることができるLED水中集魚灯を開発するために、集魚灯周辺に透過している光に関する基礎的な資料を収集することにした。一般に、海中を透過する光の減衰は海水の性質の影響を受け、波長によって顕著に異なる<sup>6)</sup>。また、これまでの研究から、魚が集魚灯下に集まるのは魚の好む照度<sup>7)</sup>であり、かつ、視認できる波長範囲<sup>8)</sup>に適しているためと考えられている。すでに、イカ釣り漁船の船上灯の光が海中を透過する波長別の光量については報告<sup>9,10)</sup>されているが、本漁業が用いているハロゲン水中集魚灯についてはその例がない。したがって、本研究では、海中を透過している光のうち、魚が視認できる波長範囲の光量が集魚に大きく寄与しているとの仮説を立て、既存灯とLED水中集魚灯の海中に透過している光量を波長別に光量子数で計測した。ここでは、LED水中集魚灯の消費電力を変化させて、海中に透過する光量を計測し、既存灯の光量と比較した。

## 材料と方法

### 実験概要

2009年12月7日に山口県水産研究センター外海研究部の調査船「第2くろしお」（以降、調査船と記す）と船外機

船「ちどり」（以降、船外機船と記す）を用船して、仙崎湾の水深約30mの海域（34°24.722N, 131°14.570E）で、日没後の20：30頃から22：15頃までハロゲン水中集魚灯およびLED水中集魚灯の海中を透過している光の計測を実施した（Table）。なお、この日の月出は22：35、月齢は20.3前後であった。

本研究の対象とした水中集魚灯は、以下の2種類である。1つは油谷湾周辺海域で操業しているウルメイワシを漁獲対象とした棒受網漁船が使用しているハロゲン水中集魚灯（3kw）である。もう一つはLED水中集魚灯（拓洋理研（株）、型式LW-2000C-1、消費電力：2kW、主要発光波長505nm）である。また、水中集魚灯の海中を透過している光量の計測には小型メモリー分光光量子計COMPACT 8LW（JFEアレック（株）、型式：AL8W-CMP、以降、光量子計と記す）を使用した。本光量子計の分解能は1  $\mu\text{mol}$ で、測定範囲は0-60,000  $\mu\text{mol}$ である。本光量子計は光合成に有効な波長帯域を8波長帯に分割して、それぞれの波長帯の光量子数を同時に計測することができる。各8波長帯のフィルター特性のピーク波長と波長範囲は以下のとおりである（Fig. 1）。

1. 420nm (350-500nm), 2. 450nm (370-550nm),
3. 490nm (400-600nm), 4. 540nm (440-680nm),
5. 590nm (500-720nm), 6. 640nm (570-710nm),
7. 670nm (580-800nm), 8. 710nm (580-800nm),

本研究では計測が可能な8波長帯のうち、前述した波長帯2, 4, 6および8を解析の対象とした。以降、それぞれの波長帯の表記はピーク波長を記す。

### 光量子の計測方法

水中集魚灯の海中を透過する光量の計測は、以下の手順で行った。まず、水中集魚灯を調査船から投入し、通常の操業時に設置する水深3.5mで固定した。次に、船外機船に光量子計を搭載して水中集魚灯の計測ポイントへ移動し

**Table** Time table of experiment

Halogen					LED												
Depth	Horizontal distance from the fishing lamp				Depth	Horizontal distance from the fishing lamp											
	5m	10m	20m	30m		5m			10m			20m			30m		
					100%*	50%*	25%*	100%*	50%*	25%*	100%*	50%*	25%*	100%*	50%*	25%*	
0m	20:31:16	20:47:50	20:55:55	21:02:54	0m	21:14:54	21:21:04	21:25:53	21:32:53	21:38:02	21:43:39	21:49:09	21:53:49	21:57:54	22:04:10	22:08:22	22:11:48
5m	20:31:57	20:48:22	20:56:27	21:03:29	5m	21:15:33	21:21:32	21:26:25	21:33:17	21:38:34	21:44:02	21:49:33	21:54:14	21:58:16	22:04:35	22:08:40	22:12:09
10m	20:32:35	20:48:51	20:56:54	21:04:01	10m	21:16:11	21:21:57	21:26:52	21:33:37	21:39:05	21:44:24	21:49:53	21:54:36	21:58:39	22:04:59	22:08:55	22:12:25
15m	20:33:14	20:49:18	20:57:22	21:04:35	15m	21:16:37	21:22:24	21:27:19	21:34:04	21:39:33	21:44:51	21:50:13	21:55:06	21:59:05	22:05:19	22:09:12	22:12:42
20m	20:33:47	20:49:46	20:57:49	21:05:12	20m	21:17:09	21:22:49	21:27:48	21:34:28	21:40:11	21:45:15	21:50:29	21:55:28	21:59:25	22:05:38	22:09:29	22:13:02
25m	20:34:23	20:50:14	20:58:18	21:05:44	25m	21:17:40	21:23:17	21:28:19	21:34:56	21:40:39	21:45:39	21:51:07	21:55:47	21:59:46	22:05:59	22:09:40	22:13:20
30m	20:34:54	20:50:42	20:58:51	21:06:21	30m	21:18:05	21:23:44	21:28:49	21:35:20	21:41:08	21:46:02	21:51:34	21:56:13	22:00:03	22:06:17	22:10:05	22:13:40

\* Output power

た。計測ポイントに到着後、船外機船から光量子計を降ろして、計測を開始した。計測時、光量子計は、CTD保持用の金枠に設置し、水中集魚灯を投下した調査船の舷側地点から、金枠からの懸糸を人力で引っ張ることで、測光面が光源方向へ向くように工夫した。ここでは光量子計を海水面から水深30mまで、約10m/min.のスピードで人力により海中へ投入し、光量子数を1秒ごとに連続計測した (Fig.2)。なお、計測中は、水中集魚灯を降ろしている調査船と光量子計を降ろしている船外機船との距離が一定になるように、両船間をロープで連結させて、ロープが常に張った状態を保持した。本研究では、両船間を結ぶロープ長を光源から光量子計までの水平距離とした。計測は最初にハロゲン水中集魚灯を点灯させ、水平距離5mの地点から開始し、以降、船間距離を10、20および30mに伸ばして実施した。ハロゲン水中集魚灯の計測終了後、LED水

中集魚灯を消費電力100%で点灯させ、水平距離が5mの地点から計測を開始し、以降、ロープ長を10、20および30mに伸ばして、それぞれの地点で計測を行った。続いて、消費電力を50%および25%にして、前述と同様にロープ長を変化させて、順次計測を実施した。

## 結果

本研究では使用した測器の最小計測値である  $1 \mu\text{mol}$  以上を解析の対象とした。以下に、ハロゲン水中集魚灯およびLED水中集魚灯の配光特性について、それぞれ記述する。

### ハロゲン水中集魚灯の配光特性

ハロゲン水中集魚灯から水平距離5、10および20mの地

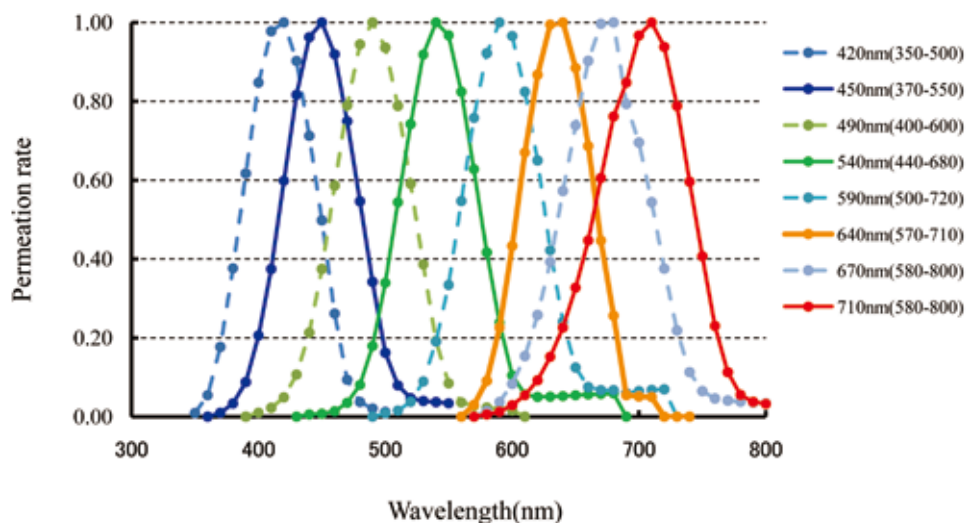


Fig. 1. Band-pass filter characteristics for photon intensity measurement instruments.

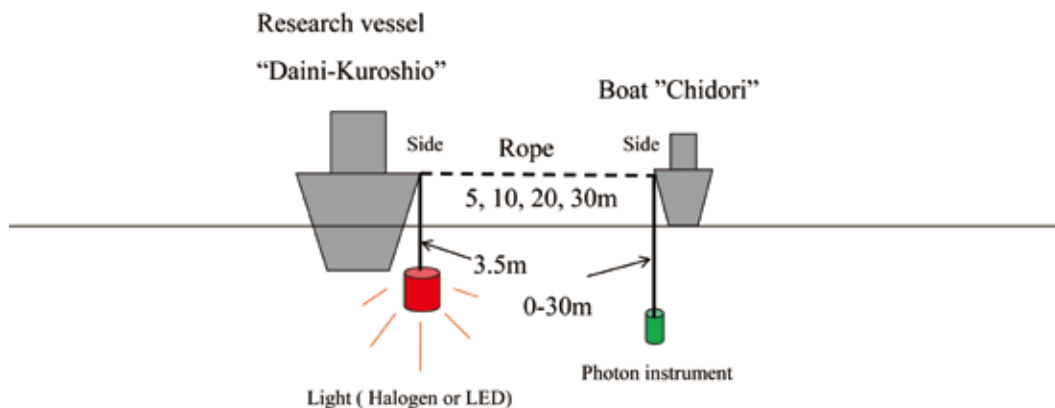


Fig. 2. Methods for measuring photon intensity for halogen and LED lamps.

点における配光特性をFig.3に示した。水平距離5mの地点では、ハロゲン水中集魚灯を沈めた水深4m付近の光量子数が波長450nmでは180  $\mu$  mol, 波長540nmでは260  $\mu$  mol, 波長640nmでは330  $\mu$  mol, 波長710nmでは340  $\mu$  molであり、いずれも最高値であった。しかし、5m以深になると、光量子数は極端に減少し、水深6-8m付近では各波長の光量子数はいずれも10  $\mu$  molに低下した。水深10m付近になると、光量子が観測されたのは波長540nmのみで、2  $\mu$  mol以下であった。

これに対して、ハロゲン水中集魚灯から水平距離10mの地点では、波長450nm, 540nmのみ光量子が計測され、各波長の光量子数は海表面から水深4m付近まで、それぞれ10  $\mu$  mol, 30  $\mu$  mol前後で一様に分布した。以降、水深が深くなるにつれて、光量子数が急激に減衰し、波長450nmは水深6mの2  $\mu$  mol, 540nmは水深11mで、1  $\mu$  molのそれぞれ最小値を示した。

さらに、ハロゲン水中集魚灯から水平距離20mの地点になると、波長540nmのみ光量子が計測され、水面から水深5m付近まで1  $\mu$  molで一様に分布した。

### LED水中集魚灯の配光特性

ここでは実施した実験条件のうち、光量子が計測された消費電力100%のLED水中集魚灯から水平距離5, 10および20mの地点における配光特性をFig.4-1, 消費電力50%のLED水中集魚灯から水平距離5および10mの地点における配光特性をFig.4-2, 消費電力25%のLED水中集魚灯から水平距離5mの配光特性をFig.4-3に示した。LED水中集魚灯では波長450nmおよび波長540nmのみ光量子が計測され、消費電力100%, 水平距離5mの地点の光量子数はLED水中集魚灯を沈めた水深4m付近で、それぞれ380  $\mu$  mol, 1500  $\mu$  molであった。同地点のハロゲン水中

集魚灯の光量子数に比べて、波長450nmでは1.5倍, 波長540nmでは5.8倍の値を示した。しかし、水深が4m以深になると、各波長の光量子数はハロゲン水中集魚灯に比べて大きく減少し、波長450nmでは5mを少し超えたところまで、波長540nmでは10m付近までしか光が到達していなかった。

LED水中集魚灯から10mの地点の波長450nmの光量子数は海表面から水深5m付近まで10  $\mu$  mol前後の値を示し、ハロゲン水中集魚灯の5m地点の光量子数とほぼ同等の値であった。これに対して、同地点の波長540nmの光量子数は海表面から水深5m付近まで100  $\mu$  mol前後の値を示し、同地点におけるハロゲン水中集魚灯の光量子数の3.3倍の値であった。以降、水深が深くなると大きく減衰し、水深5mを少し超えたところにおける波長450nmの光量子数は2  $\mu$  molで、水深10-13mにおける波長540nmの光量子数は1  $\mu$  molで、それぞれ最小値であった。

LED水中集魚灯から20mの地点では、波長540nmのみ光量子が計測され、海表面から水深5m付近まで5  $\mu$  molで一様に分布した。以降、水深が10-13m付近の光量子数は1  $\mu$  molであった。消費電力50%のLED水中集魚灯から光量子が計測されたのは波長540nmのみで、5mの地点における光量子の分布は消費電力100%の時と同様に水深4m付近で最高値を示し、45  $\mu$  molであった。以降の水深では急激に光量子数が減少し、水深6mで1  $\mu$  molであった。

消費電力50%のLED水中集魚灯から10mの地点の光量子数は海表面から水深4m付近までが2-4  $\mu$  mol, 水深4-7mでは1  $\mu$  molであった。

消費電力25%のLED水中集魚灯から光量子が計測されたのは5mの地点の波長540nmのみであった。ここでも、光量子数は水深4m付近で最高値の7  $\mu$  molを示し、以降、水深5mで、計測最小値である1  $\mu$  molまで減衰した。

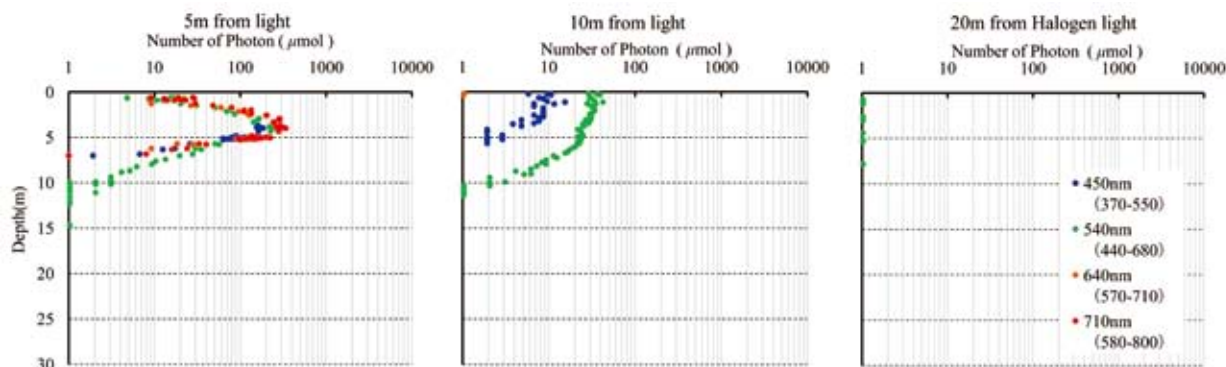


Fig. 3. Vertical spectral photon distribution at distances of 5, 10 and 20 m in the lateral direction from the halogen lamp.

考 察

配光特性の比較

ハロゲン水中集魚灯, LED水中集魚灯ともに, 光源から水平距離5m付近では光源の設置した水深の光子数が最も高い値を示した。しかし, 水深が5m以深になると, 光子数は大きく減少した。これは両灯ともに水平方向へ

の出力が大きいことを示唆している。特に, LED水中集魚灯ではその傾向が強く, 光源の設置水深より深くなると, 光はほとんど透過しておらず, LED水中集魚灯はハロゲン水中集魚灯に比べて, 指向性が強いことが明らかになった。しかし, 光源から水平距離10mの地点になると, 両灯の光は海面から水深4m付近までほぼ一般的な光子数が計測された。水深4m以深では波長540nmの光の減衰が

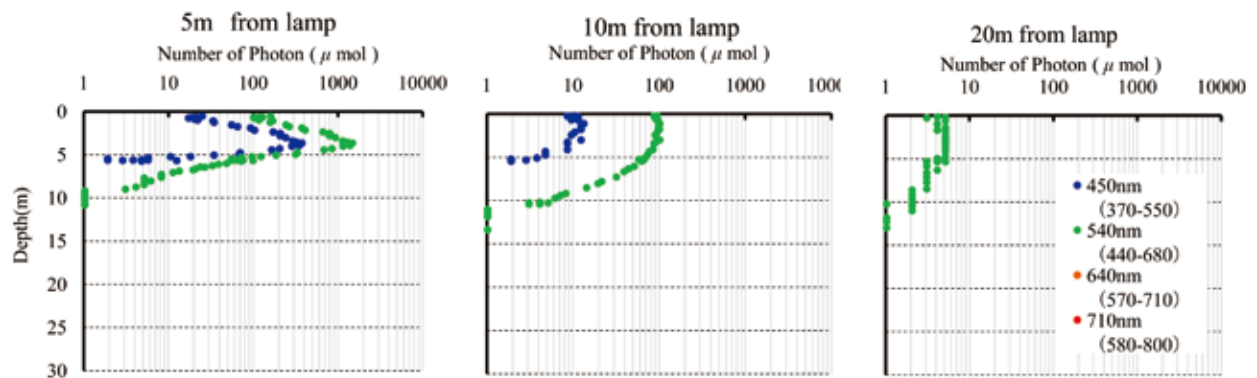


Fig. 4-1. Vertical spectral photon distribution at distances of 5, 10 and 20 m in the lateral direction from the LED lamp (output : 100%).

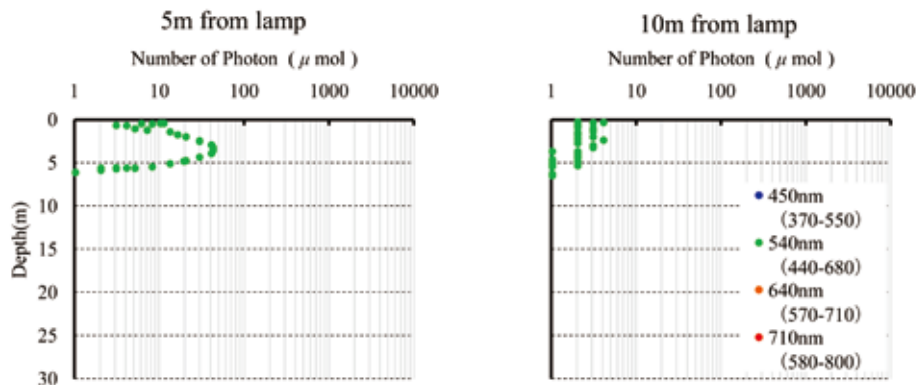


Fig. 4-2. Vertical spectral photon distribution at distances of 5 and 10 m in the lateral direction from the LED lamp (output : 50%).

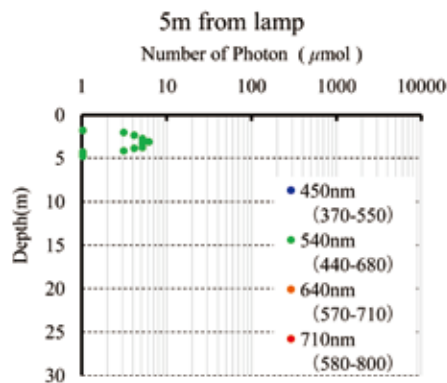


Fig. 4-3. Vertical spectral photon distribution at a distance of 5 m in the lateral direction from the LED lamp (output : 25%).

水平距離 5 m の場合に比べて緩やかであった。水平距離が 20 m になると、その傾向が顕著になった。以上の結果から、光源から水平距離 10 m 程度離れると、光源の設置水深のみではなく、海表面から 5 m 程度までにおいて、一様に分布することが明らかになった。これは水平距離が 10 m になると、水中集魚灯から出力する水平方向の光量は海中を透過して減衰し、海表面の反射や海中の懸濁物質によって散乱した光量と同程度になっていることに起因すると推察される。

#### 海中に透過しやすい波長帯

ハロゲン水中集魚灯の場合、光源から水平距離 5 m の地点では解析対象である 4 波長帯の光がすべて透過していた。しかし、10 m の地点で透過する光は波長の短い 450 nm, 540 nm に限定され、540 nm の光の方がより多く透過していることが分かった。LED 水中集魚灯の場合も同様で、消費電力 100% の場合、水平距離 5 m の地点では波長 450 nm, 540 nm の光の透過が認められたが、水平距離 20 m まで到達した波長は 540 nm のみであった。これらのことから、光源の発光波長範囲は両灯で異なり、ハロゲン水中集魚灯では長波長側の光が多く出力されていたことが示された。また、光源から離れると、両灯ともに波長 540 nm の光だけが透過することは調査海域の海水の性質による影響が大きいと考えられた。

水の消散係数は、波長が 500 nm 以上になると、極端に大きくなることが分かっている<sup>6)</sup>。しかし、海水中の懸濁粒子による光の消散係数は、短波長ほど大きくなっていく<sup>6)</sup>。また、海中に分布する植物プランクトンの主要な光合成色素の 1 種であるクロロフィル a は、450 nm 付近と 680 nm 付近ともに高い光吸収帯を有する<sup>11)</sup>。Jerlov<sup>12)</sup> が求めた各海域の波長別の透過率を見ると、外洋水では 500 nm 以下の光はほとんど透過し、500 nm よりも長波長側では波長が長くなるにつれて、透過率が大きく減少する傾向がある。これに対して、沿岸水は海中に植物プランクトンが多く分布しているため、550 nm の波長帯の透過率が最大値を示し、波長が短くなれば、あるいは波長が長くなればなるほど、透過率が減少する傾向を示している。本研究の結果も Jerlov が求めた沿岸水の透過率の傾向に類似しており、調査した海域においても、海中に浮遊する懸濁物質や植物プランクトンによる吸収の増大が光の透過に影響したと推察される。

また、本研究で取り上げている漁業の主要漁獲対象種であるウルメイワシの桿体の最大吸光度は 500 nm であること

が分っている<sup>13)</sup>。桿体が機能するのは薄明時における光環境の場合である。すなわち、遠方から魚が集魚灯を認識する時に働く機能と想定することができる。今回使用した LED 水中集魚灯ではハロゲン水中集魚灯に比べて消費電力は小さい。しかし、ウルメイワシの視感度に近い波長帯を限定してより多く出力していた。したがって、今回の研究で用いた LED 水中集魚灯はハロゲン水中集魚灯に比べて、より遠方にいるウルメイワシに対しても認識させることができると推察される。

#### 消費電力を変化させた場合の LED 水中集魚灯の光量

水平距離 5 m の地点における消費電力 100%、すなわち、2 kW の LED 水中集魚灯から出力された波長 540 nm の光子数は、ハロゲン水中集魚灯の同波長の光子数の 5.8 倍であった。消費電力 50% すなわち 1 kW にすると、波長 540 nm の光子数は 1/30 に減少し、消費電力 25%、すなわち 500 W にすると、光子数は 1/215 まで減少した。本研究で取り上げた LED 水中集魚灯において、魚の視感度が高い 540 nm の波長帯の光量をハロゲン水中集魚灯と同程度に出力するには、消費電力 1 kW では少ないことが明らかになった。今後は、これらの出力が魚群を効率的に蝟集し漁獲するのに適切であるかを判断するために、配光に対して、魚群がどのように分布するのかを明らかにする必要がある。

## 謝 辞

本研究を行うにあたり、東京海洋大学の荒川久幸博士には海中の光の計測方法についてご指導頂いた。ここに深く感謝申し上げます。また、海上実験の際には、山口県水産研究センター海外研究部の調査船「第 2 くらしお」の政木船長をはじめ、乗組員の方々にご協力頂いた。ここに厚く御礼を申し上げます。

## 参考文献

- 1) (社) 日本水産学会：水産学用語辞典、恒星社厚生閣、東京 98-99 (1989)
- 2) 長谷川英一：集魚灯漁業の変遷と日本各地の現状、三重大生物資源紀要、10、131-140 (1993)
- 3) 稲田博史：イカ—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、

- 260-267 (2002)
- 4) (社) 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技術資料. MF21, 技術資料No.63 (2007)
- 5) 山口県漁業協同組合：平成20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, 185-195 (2009)
- 6) 杉森康宏, 坂本 亘：海洋環境光学. 東海大学出版, 東京, 80-128 (1985)
- 7) 井上実：魚類の対光行動とその生理. 日水誌, 38, 907-912 (1972)
- 8) 長谷川英一：集魚灯利用旋網の漁獲過程と魚類の行動に関する研究. 日水誌, 61, 485-489 (1995)
- 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, 62, 420-427 (1996)
- 10) 森川由隆, 柏俊行：漁灯を活かす技術・制度の再構築へ. 稲田博史, 有元貴文, 長島徳雄, 飯田浩二編. 恒星社厚生閣, 東京, 40-56 (2010)
- 11) 藤田善彦：光合成と物質生産 (宮地重遠, 村田吉男編), 理工学社, 東京, 530 (1980)
- 12) N. G. Jerlov. Optical classification of ocean water, in "physical aspects of light in the sea", Univ. Hawaii Press, Honolulu, 45-49 (1964)
- 13) 長谷川英一：総説魚類の視覚生理と行動制御への応用. マリンバイオテクノロジー研究会報, 7, 3-15 (1994)

