配光特性を調整した水中灯を装備する沿岸小型イカ釣り漁船の漁獲解析

舩田 大作,^{1a*} 甲斐 修也,¹ 前川 英樹,^{1b} 山下由起子,² 松下 吉樹²

(2012 年 10 月 9 日受付, 2013 年 6 月 3 日受理)

¹長崎県総合水産試験場, ²長崎大学大学院水産・環境科学総合研究科Catch performance of coastal squid jigging boats equipped with underwater lamps
having a shading structureDAISAKU MASUDA,^{1a*} SYUYA KAI,¹ HIDEKI MAEKAWA,^{1b}
YUKIKO YAMASHITA² AND YOSHIKI MATSUSHITA²¹Nagasaki Prefectural Institute of Fisheries, Taira-machi, Nagasaki 851-2213, ²Graduate School of Fisheries
Science and Environmental Studies, Nagasaki University, Bunkyo-machi, Nagasaki 852-8521, Japan

This study examined the possibility of using underwater lamps in coastal squid jigging fishery. Fishing trials were carried out from 2009 to 2011 using coastal squid jigging boats (6.4–6.6 t) equipped with an underwater lamp apparatus with a shade to create high/low light intensity fields in the water column. The catch amounts of the squid jigging boats with the underwater lamp apparatus (experimental boats) were compared with the catch of a control boat equipped with conventional surface lamps, which simultaneously operated in the same water. The catch amounts of the experimental boats were significantly less than that of the control boat ($p < 0.05$). However, catch amounts were expressed as functions of squid abundance, lunar phase, tide, presence of dolphins and wind direction, and the effect of using the underwater lamp apparatus was insignificant in the generalized linear modeling analysis. Thus, the underwater lamps did not increase squid catch, but were considered useful for controlling the depth of squid aggregation by changing the depth of the lamps.

キーワード：イカ釣り, 一般化線形モデル, イルカ, 月齢, 水中灯, スルメイカ, 潮汐, 風向

長崎県では, 沿岸に来遊してくるスルメイカ *Todarodes pacificus*, ケンサキイカ *Photololigo edulis* 等を古くから沿岸のイカ釣りや定置網で漁獲しており,¹⁾ 現在もイカ釣りや定置網は沿岸水域における主要な漁業である。また, 頭足類(主としてイカ類)は, これまで海洋資源として利用されてきた多くの魚介類の資源が減少に転じる中, 近年, それらの減少した資源を補完する海洋資源として世界的に注目されている。²⁾

イカ釣り漁業は, 夜間に船上の集魚灯を点灯することでイカを集魚し, 擬餌針を用いて選択的に漁獲する。集魚灯の光源には, 明治後期から大正時代にかけては石油灯やアセチレン灯が, 1950 年代以降には漁船の動力化とともに電力を容易に得ることが可能となったことから

白熱灯が使われ, 近年では放電灯の一種であるメタルハライド灯が多用されている。こうした光源の変化とともに, 集魚灯の光が強いほど漁船周囲にイカが集まり, 漁獲量が増加すると考えられた結果, イカ釣り漁船間の光力競争は激化し, 1960 年代には, 数 kW であった消費電力は 1990 年頃には 300 kW を超えるまでに増大した。³⁾ 長崎県では現在, 資源の保護, 経営安定を図るという観点から, 5 トン以上 30 トン未満の漁船が行う小型イカ釣り漁業を許可漁業とし, 集魚灯の消費電力, 操業海域, 期間などを制限している。更に, 5 トン未満のイカ釣り漁船に対しても, 漁業法に基づく漁業調整委員会指示によって同様の規制が設けられている。⁴⁾ このように集魚灯の消費電力の上限を設定しても, 現在のイカ

* Tel : 81-95-850-6308. Fax : 81-95-850-6346. Email : masuda-daisaku@pref.nagasaki.lg.jp

^a 現所属 : 長崎県対馬振興局 対馬水産業普及指導センター (Tsushima Fisheries Extension Center, Nagasaki Prefecture Tsushima Regional Office, Tsushima, Nagasaki 817-0342, Japan)^b 現所属 : 長崎県水産部漁港漁場課 (Fishing Harbors & Grounds Division, Fisheries Department, Nagasaki Prefectural Government, Edo, Nagasaki 850-8570, Japan)

釣り漁業の燃油消費量は依然として多く,^{5,6)} 近年の燃油高騰によって経営が悪化している。また, 地球温暖化対策や世界的な原油需要の高まりによる代替エネルギー開発の情勢を考慮すると, 化石燃料に対する依存度を下げる必要性は増しており, 省エネルギー技術の開発と普及は重要な課題になっている。そこで操業中の省エネルギー策として, 発光ダイオード (Light Emitting Diode, 以降, LED と呼ぶ) を用いた集魚灯の実用化試験が進められている。⁷⁻⁹⁾ しかしながら, 省エネルギーのためには, 光源をメタルハライドから LED に変更するだけでなく, 光源の特性に応じて配光も検討することが望ましい。

集魚灯を点灯するイカ釣り漁船からある程度離れた低照度域に分布するイカは, 光刺激を感知して光源方向へと移動し, 次に船周辺では高照度域を避けながら船体の影となる低照度域で滞留するという仮説が四方ら¹⁰⁾により報告されている。本研究でもこの仮説をもとに集魚灯設備とその配置の検討を行った。現在船上灯として用いられているメタルハライド灯は, 一般的に全方位に拡散する配光特性を持つので, 光がすべて海面方向に照射されているわけではなく, さらに海面方向に照射された光も水中に入射する際に海面で散乱・反射するので, 船上灯から放射された光は一部しか水中まで届かない。¹¹⁾ 一方, 水中灯の光は減衰の激しい水中で直接光を照射するため, 船上灯に比べると, 船から遠く離れた位置の個体にまで光を届けられないものの, 海面による光の散乱・反射がなくなる分, 漁船周辺の高照度域を避け, 漁船直下でイカの釣獲深度に分布するイカには出力が小さくとも効率的に光を届けることが期待できる。すなわち, 夜

間のイカ釣り操業に水中灯を使用することで, 漁船周辺の高照度域をこれまでよりも小さな電力でつくりだし, 更に水中灯の一部に影を付け, 低照度域をつくることにより, イカ釣り集魚灯の省電力化が期待できる。そこで本研究においては, 水中灯に海底方向へ照射する光を遮断して水中灯より下の方向に影をつくり出す構造の付加を考えた (以降, 水中灯と灯具をあわせて水中灯と呼ぶ)。すなわち, 船から離れた位置に分布するイカに対しては, 光の拡散, 反射, 散乱などが影響するものの, 水中灯よりも光を遠くまで届けることができる船上灯を利用し, 船の周囲に集まったイカに対しては, 水面による反射と散乱がなく, 漁船周辺の高照度域と漁船直下の低照度域をつくり出す水中灯を組み合わせた集魚灯配置を考案した。

この水中灯のイカ釣りへの導入の可能性を明らかにすることを目的に水中灯の有無について比較操業試験を行い, 得られたデータを一般化線形モデル (Generalized Linear Models, GLM) を用いて解析することで, 水中灯使用の有無が漁獲に与える影響を示す。

材料および方法

漁獲試験 スルメイカを対象とした漁獲試験を Fig. 1 に示す長崎県壱岐北部海域で, 2009 年 2 月 17 日～3 月 26 日 (2009 試験), 2010 年 1 月 18 日～3 月 25 日 (2010 試験), 2011 年 1 月 12 日～2 月 10 日 (2011 試験) の 3 つの期間に行った。操業回数 (1 操業は夕方から翌朝まで) は, 2009 試験は 23 回, 2010 試験は 30 回, 2011 試験は 22 回であった。

漁獲試験には, Table 1 に示す勝本町漁業協同組合所

Fig. 1 Fishing grounds off Iki. Each point (●) represents the location where fishing was carried out.

属のイカ釣り漁船2隻を用いた。1隻は、水中灯（メタルハライド（MH）6 kW または青緑色 LED 2 kW，株式会社拓洋理研製，試験年で異なる，Table 2）と船上灯（MH 9～39 kW または MH 0～24 kW と青色 LED 5.4 kW，高木綱業株式会社製，試験年で異なる，Table 2）を装備し，もう1隻は従来の船上灯（MH 45 kW）をそのまま使用した。以降では水中灯を装備した漁船を試験船，従来の船上灯を使用した漁船を対照船と呼ぶ。漁獲試験は試験船と対照船が同時に操業を行い，漁獲量を比較した（比較操業試験）。なお，試験船と対照船は，1海里離れた状態で操業開始した。

水中灯は，2つの光源を囲う鉄枠を有し，その一部を樹脂製遮光幕で覆うことで海底方向への光を遮断した（Fig. 2）。この水中灯をイカ釣り漁船中央の深度約5 m の位置に垂下して点灯した（Fig. 3）。

漁獲試験における試験船の集魚灯の組み合わせを Table 2 に示した。試験船の集魚灯は，2009 試験と 2010 試験では水中灯と船上灯を同時に点灯し，2011 試験ではイカ釣り操業前半には船上灯のみを点灯し，操業後半に青色 LED 船上灯と水中灯を点灯した。また，各試験において，水中灯の光源には，前半に MH，後半に青緑色 LED を使用した。対照船については，全ての操業において船上灯（MH 45 kW）を全て点灯した。

データ解析 比較操業試験の 75 操業分のデータに関して，試験船と対照船の集魚灯の点灯条件の違いによる

スルメイカの日々の漁獲量には差がないという仮説を Wilcoxon signed-rank test により有意水準 5% で検討した。

一方，イカ釣り漁業における漁獲には，集魚灯の出力や光源の種類だけではなく，様々の環境要因が影響することが知られている。¹²⁾ そこで比較試験操業におけるこ

Experimental boat

Fig. 3 Arrangement of the underwater lamps during fishing.

Table 1 Squid jigging boats used in the experiment

	Experimental boat	Control boat
2009 experiment		
17 Feb 2009–26 Mar 2009	6.6 t	4.8 t
2010 experiment		
18 Jan 2010–25 Mar 2010	6.6 t	6.6 t
2011 experiment		
12 Jan 2011–10 Feb 2011	6.4 t	7.3 t

Table 2 Lighting conditions and the number of operations in each year

	Underwater lamps	Surface lamps	Number of operations
2009 experiment			
17 Feb 2009–18 Mar 2009	MHs 6 kW	MHs 9–39 kW	19
19 Mar 2009–26 Mar 2009	LEDs 2 kW	MHs 33–39 kW	4
2010 experiment			
18 Jan 2010–9 Feb 2010	MHs 6 kW	MHs 0–15 kW, LEDs 5.4 kW	15
17 Feb 2010–25 Mar 2010	LEDs 2 kW	MHs 15 kW, LEDs 5.4 kW	15
2011 experiment			
12 Jan 2011–27 Jan 2011	MHs 6 kW	MHs 12–24 kW, LEDs 5.4 kW	11
28 Jan 2011–10 Feb 2011	LEDs 2 kW	MHs 18–24 kW, LEDs 5.4 kW	11

MH underwater Lamps

LED underwater Lamps

Fig. 2 Underwater lamps used in this study.

これらの影響と水中灯の効果を区別して評価するために GLM 解析を行った。比較操業試験における漁獲量 (箱数) には大きな分散が認められたため、モデルには、標本の平均とは独立に分散も自由に指定できる負の二項分布を採用^{13,14)}した。ここでは、漁獲の期待値 $E(C)$ と分散 $var(C)$ は以下の (1, 2) 式で表される。

$$E(C) = \mu \quad (1)$$

$$var(C) = \mu + \mu^2 / \theta \quad (2)$$

ただし、 $\mu (>0)$ は平均値、 $\theta (>0)$ は分散を決めるパラメータである。

まず、漁獲量 C は、イカ釣りの漁獲に影響を与える、漁場のイカ現存量や漁具能率によって変化する要因 f と漁獲努力量 E を用いて次の (3) 式で表されると仮定した。

$$C = fE \quad (3)$$

本研究では、漁獲努力量 E を日々の操業時間 (h) とした。イカ釣りの漁獲に与える要因 f には、集魚灯設備 (Boat),¹²⁾ 操業した日の月齢 (Lunar),¹²⁾ 潮汐 (Tide), 風向 (Wind), 漁船周囲におけるイルカの出現 (Dolphin) と漁場のイカの現存量 (N) を考慮した。日々の漁獲量は、上述の影響要因を組み入れた以下の log リンク関数のモデル式を仮定した。

$$\begin{aligned} \ln C = & \beta_0 + \beta_1 Boat + \beta_2 Lunar + \beta_3 Tide \\ & + \beta_4 (Lunar \times Tide) + \beta_5 Dolphin \\ & + \beta_6 Wind + \beta_7 N + \text{offset } E + \varepsilon \end{aligned} \quad (4)$$

ここで、試験船は、各試験において、前半は MH、後半は青緑色 LED 水中灯を装備したので、それぞれの試験における水中灯の効果を比較するため、Boat を試験ごとおよび水中灯の種類ごとに 6 つに分類した (2009MH, 2009LED, 2010MH, 2010LED, 2011MH, 2011LED)。また、対照船は、年ごとに異なる漁船を使用したため、Boat を試験ごとに 3 つに分類した (2009, 2010, 2011)。月齢 (Lunar) の影響として、満月の時期には、月明かりによって環境照度が高くなることで、集魚灯の効果が低下することが考えられる。また月齢が異なると月の出現する時間帯も変化し、漁獲量に影響を与える可能性も考えられるので、Lunar を新月 (new), 上限半月 (half 1), 満月 (full), 下弦半月 (half 2) の 4 つに分類した。潮汐 (Tide) は、大潮 (fast), 中潮 (medium), 小潮 (slow) の 3 つに分類した。更に、潮汐の変動には月齢が影響することから、月齢と潮汐の影響をそれぞれ単独に考えるとともに、交互作用としても考慮した。試験船と対照船によるイルカ目撃情報 (Dolphin) と操業日の風向 (Wind) は、冬季の沓岐北部海域におけるイカ釣りでは、イカ釣り操業中にイルカが出現した場合や東方向の風の日には、イカの漁獲が低くなることを漁業者が指摘しているため、それぞれ 2 つのカテゴリ変数 (Dolphin [presence, absence], Wind

[east, west]) として影響を考慮した。なお、イルカ目撃情報は、操業中にイルカが出現した場合には、船長がイルカの出現を操業日誌に記載しており、操業日誌からイルカの出現の有無を確認した。操業日の風向については、気象庁長崎海洋気象台芦辺観測所における気象データにより操業日の最多風向を求め、北北東～南方向を east, 南南西～北を west とした。漁場のイカの現存量 (N) は、各年の月ごとに異なるものと仮定し、7 つのカテゴリ (2009 Feb, 2009 Mar, 2010 Jan, 2010 Feb, 2010 Mar, 2011 Jan, 2011Feb) に分類した。漁獲努力量 (E) は、各操業における操業時間である。今回の漁獲試験に用いた漁船は、イカ釣り機等の設備が同規模であったので、努力量の指標とした。また、操業時間が長いほど漁獲が増加すると考え、漁獲量 C が E と線形関係であることを示す offset 項としてモデルに組み入れた。また、 ε は、誤差項である。 $\beta_0 \sim \beta_7$ は、各説明変数のパラメータ推定値である。

一般化線形モデルの適用とパラメータの推定には、統計解析ソフト R ver.2.12.1, MASS パッケージの glm.nb を用いた。モデルの採択には、null モデルの状態から次第に説明変数を増やし、それぞれのモデルにおける AIC (Akaike's information criterion) を算出し、最も小さな AIC の値を持つモデルを選んだ。

結 果

試験船と対照船の漁獲量比較 2009～2011 試験の 1 日当たりの漁獲量は、2009 試験の試験船が 1～31 箱 (平均 7.2 ± 71.88 SD), 対照船が 2～73 箱 (平均 13.1 ± 337.63 SD), 2010 試験の試験船が 1～41 箱 (平均 5.9 ± 76.02 SD), 対照船が 1～95 箱 (平均 11.3 ± 301.14 SD), 2011 試験の試験船が 1～74 箱 (平均 21.9 ± 411.61 SD), 対照船が 1～98 箱 (平均 25.9 ± 629.90 SD) であった (Fig. 4)。3 期間における試験船の漁獲量は、対照船よりも有意に少なくなった (Wilcoxon signed-rank test, $p < 0.05$)。

沿岸イカ釣り漁獲モデル解析結果 比較操業試験の 75 操業のデータを対象として、集魚灯条件のほか月齢、潮汐、イルカの出現、風向の影響なども含め、比較操業試験の漁獲を GLM 解析した。その結果、AIC の値が最小となったモデルは、イカの現存量と月齢、イルカの出現、風向、月齢と潮汐の交互作用を説明変数とするモデル 11 で、集魚灯設備の影響要因は含まれなかった (Table 3)。モデル 11 によって予測した漁獲と比較操業試験の漁獲結果を比較すると、実際の漁獲結果が 60 箱より少ない場合には、モデルによる予測値は、実際の漁獲をよく表現できていた (Fig. 5)。

モデル 11 の説明変数の係数を Table 4 に、この係数をもとに各要因が漁獲量に与える影響を Fig. 6 に示し

Fig. 4 Comparisons of catch amount between the experimental and the control boats. *designates significant difference at $p < 0.05$. The band in the box is the median values and the bottom and top of the box are the lower and upper quartiles, respectively. The ends of the whiskers represent the 1.5 interquartile range and plots depicted as open circles designate the outliers.

Table 3 The formulae and values of statistics from GLM analysis

Formula	Null deviance	Null d.f.	Residual deviance	Residual d.f.	AIC	θ (s.e)
0 $C \sim 1$	166.85	149	166.85	149	1093.3	0.82 (0.090)
1 $C \sim \text{offset } E$	163.16	149	163.16	149	1079.6	0.87 (0.096)
2 $C \sim \text{offset } E + \text{Boat}$	222.46	149	155.47	141	1039.0	1.23 (0.148)
3 $C \sim \text{offset } E + \text{Lunar}$	207.34	149	157.39	146	1041.7	1.14 (0.134)
4 $C \sim \text{offset } E + \text{Tide}$	170.09	149	162.24	147	1075.9	0.91 (0.102)
5 $C \sim \text{offset } E + \text{Dolphin}$	181.69	149	160.40	148	1061.5	0.98 (0.111)
6 $C \sim \text{offset } E + \text{Wind}$	181.62	149	160.71	148	1061.9	0.98 (0.112)
7 $C \sim \text{offset } E + N$	271.79	149	154.36	143	1003.9	1.55 (0.199)
8 $C \sim \text{offset } E + \text{Lunar} + \text{Lunar} \times \text{Tide}$	232.12	149	155.38	142	1030.4	1.29 (0.157)
9 $C \sim \text{offset } E + N + \text{Lunar} + \text{Lunar} \times \text{Tide}$	355.87	149	152.22	136	977.4	2.14 (0.302)
10 $C \sim \text{offset } E + N + \text{Lunar} + \text{Lunar} \times \text{Tide} + \text{Dolphin}$	412.90	149	153.18	135	960.1	2.58 (0.390)
11 $C \sim \text{offset } E + N + \text{Lunar} + \text{Lunar} \times \text{Tide} + \text{Dolphin} + \text{Wind}$	434.62	149	152.86	134	954.9*	2.75 (0.422)
12 $C \sim \text{offset } E + N + \text{Lunar} + \text{Lunar} \times \text{Tide} + \text{Dolphin} + \text{Wind} + \text{Boat}$	455.37	149	147.85	128	955.7	2.92 (0.454)

* Lowest AIC value.

た。イカの現存量の変化により、漁獲量は2009年2月に比べて2009年3月が0.27倍 ($p < 0.05$)、2010年1月が0.54倍 ($p < 0.05$)、2010年2月が0.31倍 ($p < 0.05$)、2010年3月が0.31倍 ($p < 0.05$)、2011年1月が0.58倍 ($p > 0.05$)、2011年2月が1.10倍 ($p > 0.05$)に変化すると推定された。イカ釣りの漁獲には、月齢の影響が大きく、満月に比べて新月が5.01倍 ($p < 0.05$)、上弦半月が3.17倍 ($p < 0.05$)、下弦半月が2.23倍 ($p < 0.05$)となると推定された。またイルカが出現しない場合には、イルカが出現したときに比べて漁獲量は2.53倍 ($p < 0.05$)、風向に関しては、西方向の風の場合には、東方向の風に比べて漁獲量は1.62倍 ($p < 0.05$)、月齢と潮汐の交互作用に関しては、満月の中潮(旧暦: 13, 18日)に1.77倍 ($p > 0.05$)、上弦半月の中

潮(旧暦: 4-6, 12日)に1.47倍 ($p > 0.05$)、下弦半月の中潮(旧暦: 19-21, 27日)に1.22倍 ($p > 0.05$)、新月の中潮(旧暦: 3, 28日)に0.44倍 ($p < 0.05$)となり、これらの要因はイカ釣りの漁獲に影響を与えていた。

考 察

比較操業試験の結果から、試験船と対照船の単純な漁獲量の比較では、試験船の漁獲量は、対照船よりも有意に少なくなった ($p < 0.05$)。

今回の比較操業試験で試験船に用いた船上灯の出力は、水中灯の出力も考慮して対照船よりも低く設定した。荒川ら¹⁵⁾は、船上のMH灯の点灯出力と海中の放射照度の関係を調べ、スルメイカの視感度のピーク¹⁶⁾

Fig. 5 Comparison of predicted catch (boxes) and observed catch (boxes): ○, experimental boats; ×, control boats.

Table 4 Parameter estimates, standard errors (s.e.), Wald's statistics (W), and their *p*-value in the optimal generalized linear model (11) fitted to the experiment

Parameter	Estimate	(s.e.)	W	<i>p</i> -Value
Intercept	-2.40	(0.32)	-7.53	<0.001*
<i>N</i>				
2009 Mar	-1.31	(0.25)	-5.26	<0.001*
2010 Jan	-0.61	(0.30)	-2.03	0.04*
2010 Feb	-1.17	(0.26)	-4.47	<0.001*
2010 Mar	-1.17	(0.29)	-4.02	<0.001*
2011 Jan	-0.54	(0.29)	-1.90	0.06
2011 Feb	0.10	(0.26)	0.38	0.71
<i>Lunar</i>				
half 1	1.15	(0.24)	4.83	<0.001*
half 2	0.80	(0.26)	3.10	0.002*
new	1.61	(0.29)	5.55	<0.001*
<i>Dolphin</i>				
absence	0.93	(0.20)	4.59	<0.001*
<i>Wind</i>				
west	0.48	(0.16)	2.97	0.003*
<i>Lunar × Tide</i>				
full: medium	0.57	(0.46)	1.25	0.21
half1: medium	0.38	(0.20)	1.89	0.06
half2: medium	0.20	(0.23)	0.86	0.39
new: medium	-0.86	(0.29)	-2.91	0.004*

* Statistically significant ($p < 0.05$). Estimate of intercept includes effects of the basis of incorporated factors as categorical variables (*N*, 2009 Feb; *Lunar*, full; *Dolphin*, presence; *Wind*, east).

に近い波長 510 nm の光の放射照度は舷外方向に 90 m 離れた点でも表層付近では出力の増加に応じて高くなることを報告し、船上灯の光源出力の増加による漁獲量の増大は、他の波長の光に比べて水中での減衰が少ない 490~510 nm の光がより広い範囲にまで届くことに関

Fig. 6 Changes in relative catch amount by factors taken in this study, estimated by the optimal generalized linear model (11). Initial condition is 2009 Feb, Lunar full, Dolphin, Wind east, new moon. Horizontal dotted line means the effect in the initial condition. Vertical line indicates relative catch amount against the initial condition.

係すると考察している。そこで 2010 試験と 2011 試験では、水中での減衰が少ない前述の波長範囲に近い光（ピーク波長 470 nm）を放出する青色 LED 船上灯¹⁷⁾を追加して、スルメイカを広範囲から誘集しようと考えた (Table 2)。さらに 2011 試験では、操業前半は出力の大きな船上灯の組み合わせ (MH + 青色 LED) でより広範囲のスルメイカを集魚し、操業の後半には MH 船上灯を消灯することによって、燃油消費の削減を図りながら集魚したスルメイカを水中灯下の陰影部に駆集させることを意図して漁獲試験を行った。その結果、2009 試験と 2010 試験の試験船の平均漁獲量が対照船の 0.52~0.55 倍程度であったことにに対し、2011 試験の試験船の平均漁獲量は対照船の 0.85 倍と改善された。

次に船周囲に誘集されたイカに対する水中灯の効果について考察する。イカ釣りにおける水中灯の効果は、これまでの先行研究より対象種や操業時間帯で異なっている。大型アカイカの昼釣り操業では、水中集魚灯をアカイカが昼間遊泳する深層まで垂下し、点灯することによって、アカイカが水中灯からある程度の範囲まで接近し、水中灯を使用することで漁獲に対して正の効果があることを確認している。^{18,19)} 一方、日本海中央部の大和堆付近の海域におけるスルメイカを対象とした夜間のイカ釣り操業では、操業中に水中灯を船下に垂下して点灯した結果、水中灯より上に分布していたイカが船底下から逃避して釣獲尾数が減少し、消灯すると水中灯より下に逸散していたイカが陰影部に集群して釣獲尾数が増加

した。¹⁰⁾ このように夜間操業においては、水中灯がつくりだす高照度域に釣り具を下しても漁獲は期待できない。他の影響要因を考慮した GLM 解析の結果からは、水中灯と船上灯を併用した試験船の集魚灯設備と対照船の集魚灯設備で漁獲量が有意に影響を与えるとは判断されなかった。

GLM 解析では、試験船と対照船の漁獲量は、月ごとのイカの現存量に加えて、月齢と潮汐、イルカの出現、操業日の風向で説明された。これらの影響要因のうち、月齢に関しては、島根県隠岐島の冬季のスルメイカ一本釣り、²⁰⁾ 東シナ海のケンサキイカ釣操業²¹⁾で、イルカの影響に関しても本研究と同じ海域（山下、未発表）や地中海のイカ釣操業²²⁾で報告されている。また、潮汐の影響もイカ群と遭遇する確率を高めるために漂流を行う操業方法では、一般的に知られている。⁴⁾ 当該海域における操業では、操業前半は潮流流によって北又は北東方向に漂流し、操業後半にかけてその方向が反転することが一般的である。しかし東寄りの風が卓越した場合、操業前半の風と潮流流の向きが逆となることから、イカの誘集を行うべき操業前半の漂流距離が短くなり十分な集魚ができないことと釣り具ラインを真下に下すことが困難になり、隣接する釣り具ラインとの絡まる可能性が高まることなどによって、漁獲が減少したと考えられる。

本研究における水中灯と船上灯の併用は、対照船の従来の集魚灯設備と比べて、漁獲を増加させる効果は認められなかった。しかし、漁船付近に誘集したイカ群の行動や分布を制御する場合には利用できる可能性がある。すなわち四方ら¹⁰⁾が行った日本海のスルメイカを対象として行った水中灯の試験では、水中灯を点灯することで、スルメイカが海底方向へ逃避しており、本研究で提案する海底方向の光を遮断した水中灯は、船底下の陰影部を海底方向に任意に移動させる機能を有し、例えば密集操業で自船の周辺のイカが他船の船上灯光の影響を受けることが好ましくないような状況において、イカの鉛直分布を他船の船上灯光の影響が小さい海底方向に制御することも期待できる。そのためには船上灯と水中灯の出力や配光、あるいは本研究で明らかにした漁獲に影響を与える環境要因の変化に対する船周囲のイカ群の行動や分布の変化を船上で観察・把握できることが重要である。近年では西日本のイカ釣り漁船にもスキャニングソナーを搭載した船が増えつつある。こうした機器を使用しながら、さらに各集魚灯の出力や配光を調整してイカ群の分布や行動を制御するための知見の蓄積が望まれる。

謝 辞

本研究の操業実験にご協力頂いた勝本町漁業協同組合並びに同漁業協同組合所属のイカ釣り漁業者、本研究で利用した集魚灯に関する情報と資料を提供いただいた高

木網業株式会社、株式会社拓洋理研、長崎天幕株式会社に深く感謝申し上げます。また、本報のご校閲を賜った編集委員ならびに2名の査読者の方々には有益なご指摘とご助言をいただいた。ここに記して謝意を表する。

文 献

- 1) 片岡千賀之. 第2章 戦前における長崎県のイカ釣り漁業とスルメ加工の展開. 「長崎県漁業の近現代史」長崎文献社, 長崎. 2011; 39-67.
- 2) FAO. Review of the state of world marine fishery resources. FAO Fisheries Technical Paper. 2005; **457**: 175.
- 3) 有元貴文. 集魚灯技術. 「スルメイカの世界」(有元貴文, 稲田博史編). 成山堂書店, 東京. 2003; 203-221.
- 4) 日本水産学会監修. 「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. 2010.
- 5) 高山 剛. 小型いか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. 日水研. 2004; 17-20.
- 6) 渡邊一仁, 田原聖隆, 藤森康澄, 清水 晋, 三浦汀介. イカ漁業の LCI と環境負荷. 環境科学誌 2006; **19**(1): 15-24.
- 7) 山本憲一, 甲斐修也, 一丸俊雄, 高木信夫, 鎌田正幸. イカ釣り LED 集魚灯 (船上灯) 試験 (ながさき型新水産業創出事業). 平成19年度長崎水試事業報告. 長崎県総合水産試験場, 長崎. 2008; 34-35.
- 8) 社団法人マリノフォーラム 21. 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. 社団法人マリノフォーラム 21, 東京. 2005~2007.
- 9) 鈔海洋水産システム協会. 平成18~21年度省エネルギー技術導入促進事業報告書. 鈔海洋水産システム協会, 東京. 2007~2010.
- 10) 四方崇文, 島 敏明, 稲田博史, 三浦郁男, 臺田 望, 貞安一廣, 渡部俊広. 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. 日水誌 2011; **77**: 53-60.
- 11) 有元貴文, 中村善彦. 線光源モデルを用いた小型イカ釣り漁船集魚灯の水中照度分布解析. 日水誌 2003; **69**: 44-51.
- 12) 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.
- 13) Venables WN, Dichmont CM. GLMs, GAMs and GLMMs: an overview of theory for applications in fisheries research. *Fish. Res.* 2004; **70**: 319-337.
- 14) Venables WN, Ripley BD. Modern applied statistics with S. Springer-Verlag Press, New York. 2002.
- 15) 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.
- 16) 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.
- 17) 四方崇文, 山下邦治. 平成19年度日本海沖合海域におけるいか釣り用青色発光ダイオード船上集魚灯試験結果報告書. 石川県水産総合センター, 能登. 2008.
- 18) 稲田博史, 廣川純夫, 宮崎勝男, 木村正晴. 水中集魚灯を利用した昼間操業における大型アカイカの釣獲特性.

- 日水誌 1995; **61**: 732-737.
- 19) 稲田博史, 廣川純夫, 谷津明彦. 大型アカイカの昼釣り操業における水中集魚灯の効果. 日水誌 1996; **62**: 73-77.
- 20) 浜部基次. 月齢に伴うスルメイカの生態行動. 日水誌 1964; **30**: 209-215.
- 21) 萩野隆太. 東シナ海, 1992 年漁期ケンサキイカの資源状態と漁況の変動要因について. 神水試研報 第 14 号. 1993; 65-70.
- 22) Buscaino G, Bellante A, Buffa G, Filiciotto F, Maccarrone V, Di Stefano V, Tranchida G, Mazzola S. Depredation of striped dolphin on squid fishery and behavioural responses to interactive pinger. *J. Acoust. Soc. Am.* 2011; **129**: 2399.