

# イカ釣り LED 漁灯活用ガイドⅡ



いか釣り漁業漁灯技術研究会

国立研究開発法人 水産研究・教育機構  
開発調査センター

令和3年3月



## まえがき

令和の時代を迎え、AI や ICT 等の先端技術が一層注目され、水産業でもその導入が進んでいます。一方、人間活動によるCO<sub>2</sub>などの温室効果ガスの排出抑制が緊急課題となってきました。

イカ釣りは漁船漁業の中で最もシステム化が進んでいる漁業といえます。夜間操業では、イカを漁灯の光で誘い集め、自動釣機で釣獲し、さらに冷蔵、冷凍、箱詰め等、船上で流通可能な形態まで仕上げる一連の工程が確立しています。現在のイカ釣り漁業では、大光量で消費電力も多いメタルハライド（MH）漁灯が主に使われています。このMH漁灯に電力を供給する発電用機関の燃油消費量は膨大で、航行も含めた船全体の総燃油消費量に占める割合も大きく、漁業生産コスト削減の足かせになっています。加えて、近年、資源の減少や外国船の違法操業の影響により、主要対象種であるスルメイカの漁獲量が激減しており、本漁業の経営は極めて厳しい状況に追い込まれています。

以上の状況を受け、開発調査センターではMH漁灯からの転換を目指し、2013年からLED漁灯の実用化に向けた操業調査を行ってきました。その結果、LED漁灯が実用水準に到達する事を示せました。本ガイドは、LED漁灯の普及に向けて、調査結果の概要とLED漁灯の設置や活用方法の知見を紹介します。LED漁灯の導入を検討する際の参考として、今後、CO<sub>2</sub>の排出抑制や省エネルギー操業と経営安定にも役立てて頂ければ幸いです。

イカの生命とイカを育む自然環境に感謝しつつ。

執筆者一同

## 執筆者（所属），執筆担当部分

- 稲田博史（稲ツトわーく漁技研，元 東京海洋大学） 1-2, 4, 5
- 岡本 誠（水産研究・教育機構） 2-6
- 加藤慶樹（水産研究・教育機構） 5-3
- 酒井拓宏（海洋水産システム協会） 4-1, 5
- 貞安一廣（水産研究・教育機構） 2-4
- 四方崇文（石川県水産総合センター） 2-1
- 下光利明（水産研究・教育機構） 2-2
- 鈴木大智（水産研究・教育機構） 4-3, 6 5-1
- 高橋晃介（水産研究・教育機構） 4-2
- 高山 剛（惣菜店みならい屋，元水産工学研究所） 3-1~6
- 武下太郎（全国いか釣り漁業協会） 5-2
- 土山和彦（水産研究・教育機構） 4-4
- 松下吉樹（長崎大学水産学部） 1-3
- 宮原 一（水産研究・教育機構） 2-3, 5
- 山下秀幸（水産研究・教育機構） 1-1 2-7

# 目 次

まえがき

## 第1章 なぜLEDなのか

1-1 LED 漁灯普及に向けた背景	4
1-2 イカ釣り漁業の特性	6
1-3 光とは, LED とは	12
1-4 LED 漁灯のサンマ棒受網・旋網漁業等への導入	16
1-5 イカ釣り漁業における漁灯と釣機の変遷	18

## 第2章 イカ釣り漁灯のLED化に向けた取り組み

2-1 イカ釣り漁業への導入のための研究	22
2-2 船体周辺における放射照度分布の把握	26
2-3 MH 漁灯と LED 漁灯の比較操業	28
2-4 光源の違いはイカの集群量に影響するのか?	32
2-5 全灯 LED 化による操業実証: スルメイカ	34
2-6 全灯 LED 化による操業実証: アカイカ	36
2-7 アカイカの LED 水中灯試験	38

## 第3章 イカは光にどう反応するのか

3-1 光に集まるけど光が嫌い? 漁灯とイカの不思議な関係	42
-------------------------------	----

3-2	どのような光刺激にイカは集まる？	44
3-3	光源に向かうイカの遊泳速度	48
3-4	イカが嫌う光環境	52
3-5	漁場でのイカの動き	54
3-6	漁灯の働きとイカの応答，省エネルギーの可能性	58
第4章 LED 漁灯の導入に向けて		
4-1	LED 漁灯の種類	62
4-2	船体上部の重量増加，風圧抵抗	64
4-3	LED 漁灯の配光特性を活かした設置方法の工夫	66
4-4	燃油消費量	70
4-5	機関負荷を考慮した省エネルギー	74
4-6	LED 漁灯の特長活用法の検討	76
第5章 イカ釣り漁業の未来に向けて		
5-1	LED 漁灯の導入による収益の検討	80
5-2	LED 漁灯の普及に向けた検討課題	82
5-3	LED 漁灯が導くイカ釣り漁業の将来像	84
	あとがき	86
	付録：参考資料リスト	89

# 第1章

## なぜLEDなのか

---

イカ釣り漁業の技術的変遷を振り返りつつ、今後の持続的発展に向けて、LED漁灯導入の意義を考えます。

夜間のイカ釣り操業は、漁灯の光によって自船周囲のイカを集めるとともに出来るだけ船下に集積して、自動イカ釣機によって釣り上げ、他種生物の混獲も少なく、効率的な漁業であるといえます。しかしながら、漁灯の点灯に多くの燃油を必要とすることから、操業経費に占める燃油の割合が高く、燃油価格の変動によって経営環境が大きく左右されます。近年の原油価格の動向をみると、2014年のOPECによる原油減産の見送りまで投機的マネーが入ったことにより高騰し、その後、一時期より価格が下がっているものの、国際情勢や産油国の意向次第で再度価格が上がるものが懸念されています。

一方、2017年に「水銀に関する水俣条約」が発効し、水銀含有製品の製造、輸出・輸入の原則禁止が謳われています（環境省<http://www.env.go.jp/chemi/tmms/convention.html>）。水銀を封入した放電灯の一種で、主要な現行漁灯であるメタルハライド（MH）ランプは規制対象から除外されたものの、水銀原料の確保・貯蔵が困難となることは予想され、いつまでMH漁灯の生産が続くかは不透明です。したがって、発光効率の低い白熱灯や多くの燃油を使用し水銀を含む放電灯からの脱却と、その代替となる光源への移行は急務となっています。

また、世界的にも資源の持続的利用や環境への配慮が注目されており、2015年に開催された第21回気候変動枠組条約締約国会議（COP21）では、パリ協定（気候変動抑制に関する多国間の国際的な協定）が採択され、地球温暖化の抑制が求められています。この



ような動向も踏まえ、日本政府は 2050 年までに温室効果ガスの排出量を実質ゼロにする方針を発表しました。

こうした状況下で、イカ釣り漁業と同じように多くの漁灯を使用する燃油多消費型の我が国のサンマ棒受網漁業では、白熱灯から LED 漁灯への移行が比較的円滑に行われ、現在ではほとんどのサンマ棒受網船が LED 漁灯で操業しています。イカ釣り漁業でも MH 漁灯の代替として LED 漁灯の研究が数多く行われてきたものの、現状では一部の漁業者が LED 漁灯を部分的に導入するに留まり、全灯 LED 漁灯で操業している事例はわずかです。この状況から脱却し、イカ釣り漁業でも LED 漁灯の導入を進めることによって、その使い方次第で経費節減と共に、環境への配慮と効率的な操業を兼ねた漁業の実現が可能となり得ます。国際的にも掲げられている持続可能な開発目標（SDGs, 図 1-1）の一環としても、イカ釣り漁業の収益性改善による持続的発展を図ることが求められます。日本のイカ釣り漁業が、ハイテクであり、無用な混獲も無いことに加え、環境にも配慮した、次世代型漁業であることを世界にアピールする必要があるのではないのでしょうか。



図 1-1 SDGs の 17 の目標アイコン

2021年の日本で、漁灯や自動イカ釣機を使って釣獲している主なイカは、標準和名でツツイカ目アカイカ科のスルメイカとアカイカ、同じくヤリイカ科のケンサキイカとヤリイカです。このガイドでは主にスルメイカ対象（2-6、2-7 はアカイカ対象）のイカ釣り漁業について解説していますので、当項ではLED漁灯の応用に関連するスルメイカ釣り漁業の技術的な特性を要約します。

**スルメイカ釣り漁業の水揚量の年変動：**1956年～2020年までの65年間における日本のスルメイカの年間水揚量は、1968年の67万トンから2019年の4万トンの間で変動しており、そのうちイカ釣りによる水揚量は、1968年の64万トンから2019年の2万トン弱でした（海面漁業生産統計調査）。この60万トン余の年間水揚量の変動には資源や漁場形成の状況と共に、漁船数・従事者数、探索・漁獲・処理・保蔵等の技術・機能や利用・加工・消費の動向が関連しています。しかしながら、この国の周りの海で、年間60万トンを超える単年生の単一種を漁獲・利用してきた事実はイカ釣り漁業の潜在力を示しています。

なお、2011年以降のスルメイカの年間水揚量は年々減少しており、2016年からは最も水揚量が少なかった1986年の9万トンを下回る状態が続いています。特に、2018年から2020年には年間5万トンを割り込み、2019年は過去に例の無い不漁となっています。

**擬餌針と自動イカ釣機：**「イカ」の名は「出雲風土記（733年）」に現れ、「延喜式（927年）」には各地から朝廷への献上品として乾燥品が重要な産物であったと示されています。このことから、す

でに当時「イカ」を対象とした漁獲方法が存在したものと推察できます。

その一方で、現在使われている擬餌針の原型が記録に現れるのは1457年の佐渡です。鈎（はり）を放射状の旭光型に束ね、その中心軸に鉛錘を密着させた「群鈎錘」を使ったイカ釣りは佐渡の両津港で創始されたとあります。この群鈎の針先にはカエシが無く、現在のイカ釣針の原型となっています。イカ釣機の釣具ラインに連ねた擬餌針を捕捉して次々と船上に上がるイカを、人手を掛けずに脱鈎できることがイカ釣機の自動化に繋がりました。2021年現在、1m間隔で約30本連ねた擬餌針を1つのリールに巻き取るので、リール2個を備えた釣機1台で60本、10台の釣機で600本の擬餌針を使っています（図1-2）。この連結した擬餌針を左右の舷側から船下の設定深度に降下し、巻き上げるには、船体を風に横流し出来ません。こうすると風下舷の擬餌針は船底を引っ掻き、風上舷の釣具ラインは浅場に吹き流し状態となって釣獲に繋がりにくいのです。



図1-2 自動イカ釣機のリールに巻き取った擬餌針

**漂流操業とパラシュートアンカー**：そこで、現在のイカ釣り操業では、スパンカー（艫帆）を張って船首を風上に立て易くした船を魚群探知機やソナー等の超音波機器で探したイカ群の直上海面に運び、釣具ラインがイカ群に当たるようにこまめに操船する「探索（勘獲り）操業」か、パラシュートアンカー（潮帆：以下、パラアンカー）を入れてイカ釣り漁船の船首を風上に向け、パラアンカーが展張する水塊と共に船を流しながら釣る「漂流操業（図 1-3）」のいずれかを行います。動力あるいは自然の力を応用して、釣具ラインをできるだけ舷側直下に繰出し、そして、巻き上げるように船体位置を調節することで、釣具ラインが船下でなびくことを防ぎ、絡ませない、「針ケンカ」させないことが操業の技の一つです。その意味で、自然の力を応用してエネルギー消費を抑えイカを釣るパラアンカーの活用は、自然に対する負荷や漁業者の労力と経費の削減にとっても有効な工夫です。船首を風上に立てて船体が潮に乗って流れることで、時化による船体動揺をある程度抑え、「時化を風にして」荒天に対する釣機の稼働率を高めます。昼間にはイカ群のいる水塊と共に流れながら釣獲を続け、夜間には漁灯配光の揺れを抑え、灯光で誘い集めたイカを船下の釣具ライン可動範囲の極力浅い層で釣獲する工夫に繋がります。

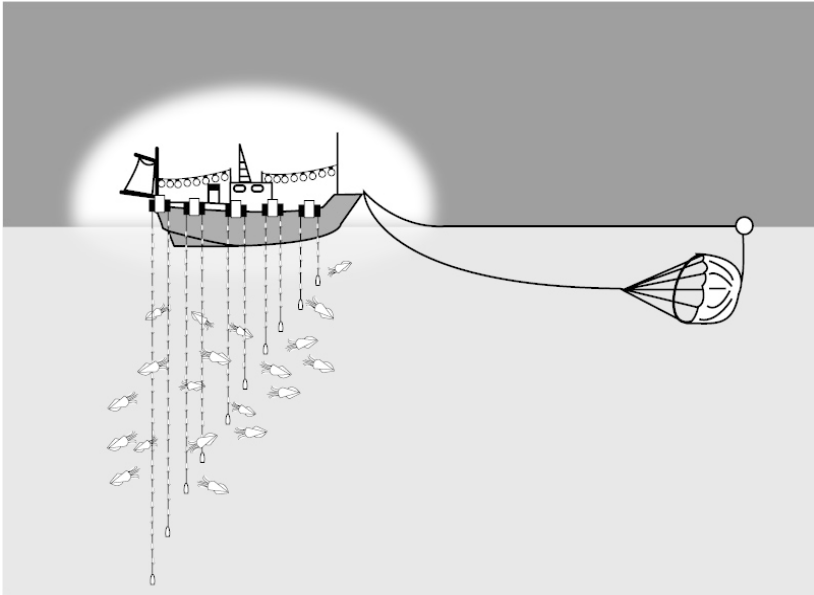


図 1-3 「漂流操業」中のパラシュートアンカー  
(加藤都子 模式図)

これからは、釣具ラインを海中で切断・紛失（ロスト）し難い材質や使い方とするか、ロストしても自然の中で環境負荷少なく分解し易い素材にすることが国際社会でも望まれています。摂餌に視覚を活用しているスルメイカに対しては、それらの素材や用具および操法が、船下の光環境で釣獲促進機能を発揮するかどうかも確認しなければなりません。

**LED 漁灯**：本書では、漁灯の歴史的変化は 1-5 項に示しますし、漁灯光源（1-3 項）、イカの光感覚と対光行動（第 3 章）、および光学的なフィルターとなる漁場海水の特性（1-3 項）は、続く各項で整理され、これまでに明らかになっている内容がわかり易く解説されています。ここでは、発光波長を選べ、光の強さや配光を調節し易いこと、即時に点灯可能で、水銀を含まず壊れ難い発光ダイオード（LED）の光源特性を活かすことと、メタルハライド（MH）漁灯に比べて大幅に省エネ可能な LED 漁灯の適切な応用展開が、環境負荷を抑えた産業としてのイカ釣り漁業の存続にも有効であることを提言します（図 1-4 参照）。また、紫外線（UV）を出さず、MH 漁灯に比べて昆虫の飛来が少なく、船上での製品作り、衛生管理あるいは労働環境にも都合が良いこと、さらに、LED 漁灯を搭載した遊漁船では、機関出力を下げることができ、エンジンや発電機の小型化が経費削減に繋がり、排気ガスの少なさも合わせて釣客にも船主にも好評であることを付け加えます。

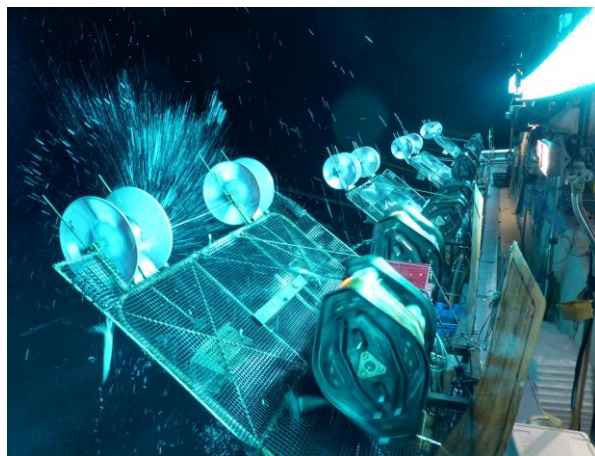


図 1-4 小型イカ釣り漁船による LED 漁灯使用例

**船間連絡とチームワーク**：他の多くの漁業種の操業と同様に、あるいはそれ以上にイカ釣り操業では、漁場探索・操業位置決めにおける船間連絡は重要です。単船では広域の漁場探索は実質的に困難ですし、僚船がいると、その漂流傾向や釣具ラインのナビキ情報を得て潮流に対する操業位置を決めることができます。また、安全操業・海難予防、漁獲物の種・サイズ・量の資源利用状況、漁灯・釣機の操法やマグロ類・イルカ等の害魚・害獣に関する僚船との情報交換はとても有用です。その意味で船団を組める隻数とチームワークによる船間連絡が必須の操業であり、漁船隻数を一定以上に保つことが必要です。

**イカ釣りと云う生業（なりわい）**：漁期・漁場を適切に選定するとイカの種やサイズはほぼ揃い、これにより釣獲と漁獲物処理作業の省人化が進み、箱詰めも含めた生鮮・冷凍出荷・活イカ出荷にも短時間で対応できます。

また、単年生のイカは、多年生のお種の漁獲物に起こり得る有害物質の経年的な体内蓄積はありません。さらに、イカ釣り漁業では、対象種の来遊や漁場形成によって好不漁の変動はありますが、このことを含め、資源の有効利用に役立つ漁業情報を得やすい漁業種類と言えます。

この生業の中に脈々と伝わる技・文化、自然環境と調和して人々が永く活かされる知恵が上記の各技術と操業法にみられ、LED漁灯の応用と適切に連携することが望まれます。

**光とは：**光は大気や水中、宇宙などを伝播するエネルギーで、電波やX線と同じ電磁波の一種です。海面を伝わる波と同じように電磁波にも波長の長短があり、テレビやラジオの電波の波長は長く、レントゲンに用いられるX線の波長は短く、光の波長域は電波とX線の間にあります（図 1-5）。また、光は波であると同時に光子という非常に小さな粒子としての性質も持っています。

光には、波長（波長によって色が異なる）、強さ、進む方向、偏光（波の振動する方向）という要素があります。一般に光の強さは色に対する人間の眼の感度（黄緑色（555 nm）に感度が高い）をもとに考えられた測光量（ルクスなど）で表されます。しかし、漁獲対象生物であるイカや魚の眼は人間の眼とは感度が違うので、漁灯の光の強さは放射量（エネルギー量）や光子数で表されることがあります。

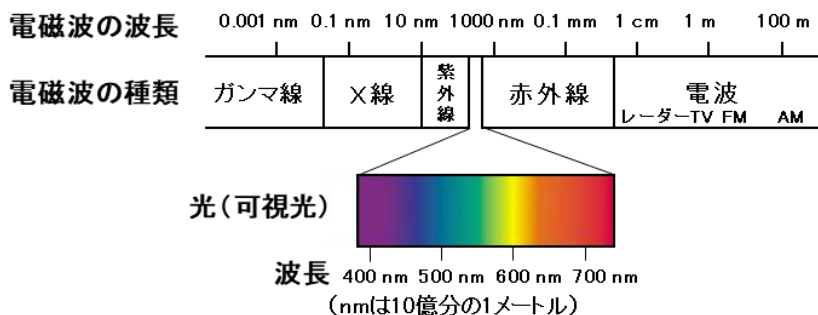


図 1-5 いろいろな電磁波と光



太陽や月の光は遥か遠くから届くので、地球上では光の進む方向はほぼ同じとなります。これと比較すると漁灯から漁獲対象生物がいる海面までの距離は短く、漁灯から放射された光は四方に広がり、光源から遠ざかるに従って、届く光の強さは急激に減少します。このようにして、空中に広がった漁灯の光はやがて海面に到達し、一部は海面で反射して海中には入らず、残りは海面で進む方向を変えて海中に入ります（図 1-6）。漁灯から近い海面の光は海中に入りやすくなります。一方、海中に入った光は、空中とは比べものにならないくらい急速に弱まりながら海中を進みます。これは海水が空気よりも光を多く吸収し、さらに海中の濁りなどが光を散乱させるためです。

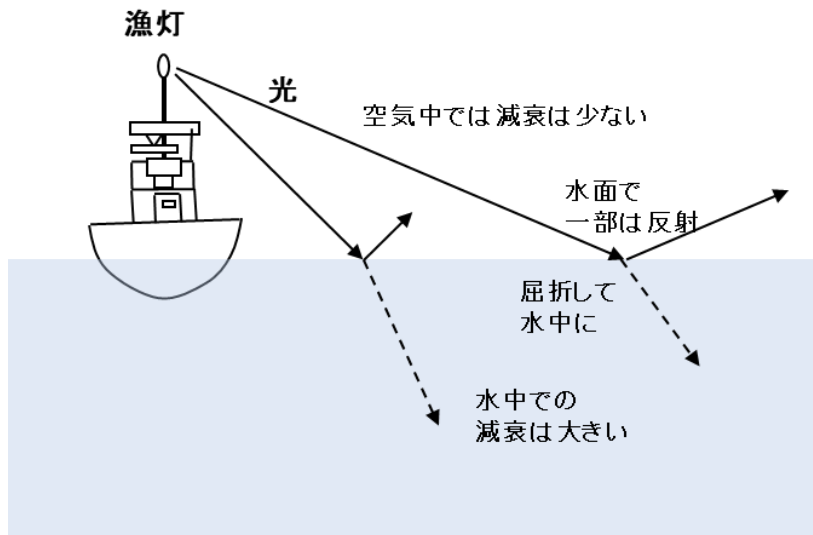


図 1-6 海面での光の反射と屈折

人間の眼が感じる光は可視光と呼ばれ、短い波長の光は紫色、波長が長くなるにつれて青、青緑、黄、橙、赤の色を呈します。太陽や白熱灯、ハロゲン灯などの光は様々な波長の可視光を含んでいるため白色に見えます。逆に、虹は白色の太陽光が波長成分に分かれる現象で、太陽の光が雨上がりの空に多く含まれる細かな水滴で屈折・反射し、様々な色の光に分かれることによって見えます。このように様々な波長の光を含む白色光が海中を進むとき、色（波長）によって海水に吸収される度合いが異なり、赤色、橙色、紫色などの光は吸収されやすいので、深くまで届きません。海が青く見えるのは、太陽光に含まれる光のうち、比較的吸収され難く、深くまで到達する青色や青緑色の光が散乱して再び海面に戻ってくるためです。また、海中での光の吸収は海域や季節によって多少異なっており、一般的に沿岸では青色よりも青緑色の光が吸収され難く、沖合では青緑色よりも青色の光が吸収され難い傾向にあります。

**LED とは：**光を発生させるものを「光源」と呼びます。漁灯の光源には歴史的に、松明（たいまつ）、ガスランプ、白熱灯、ハロゲン灯、メタルハライド灯などが用いられてきました。これらのうち、松明、ガスランプ、白熱灯、ハロゲン灯は、物質が高い温度になると熱とともに光を放射するという現象を利用しています。メタルハライド灯は蛍光灯や水銀灯などと同じで、発光管内の電極の間を電気が流れる放電現象で発光します。

一方、LED（発光ダイオード、Light Emitting Diode の頭文字）は、半導体（ダイオード）に電気を流すことで光を放射させます。白熱灯は発光すると同時に熱が生じますが、LED は電気を直接、光に変えます。したがってLED は他の光源と比べて発光効率が高く、発熱量が少ない光源です。またLED は長寿命です。原理的には半永久的

に発光しますが、部品の劣化などで少しずつ明るさが落ちることが知られています。

LED は、使用する半導体や蛍光物質の種類により、発光色を変えることができます。漁灯には青と黄色の波長の光を混ぜた擬似白色や青色、青緑色の LED が使われています（図 1-7）。LED は、点灯・消灯に時間を要しない、水銀などを含まないので環境に優しい、健康被害のもととなる紫外線を放射させないなどの特徴を持っています。

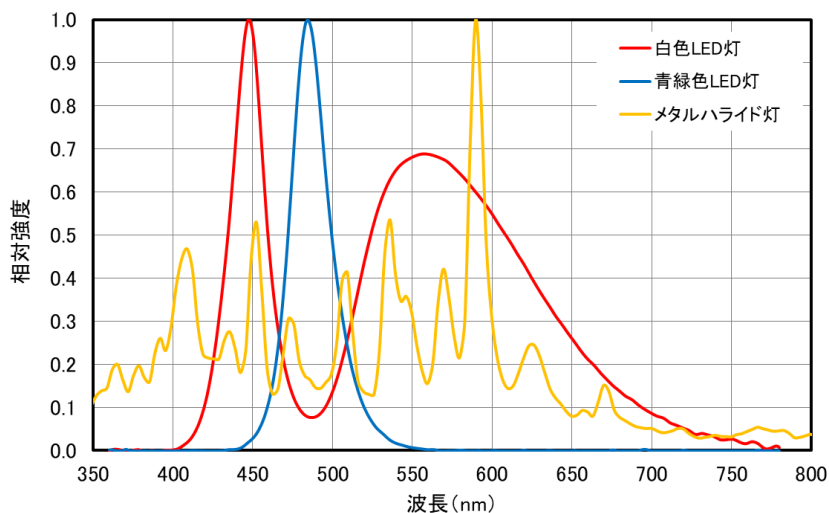


図 1-7 白色、青緑色の LED 灯とメタルハライド灯の波長成分

2000年以降、サンマ棒受網漁業や旋網漁業でもLED漁灯の開発・普及の取り組みが続いています。この過程では、これまで使い慣れた漁灯と同じ使い方もでき、環境負荷が小さく省エネで、既存光源と同等以上の生産効率を確保できることを意識してきました。その上で、漁業者がLED漁灯の発光特性を理解して使い方を工夫すれば、さらに成果向上が期待できる光源・艀装・操法を目指しました。

サンマ棒受網では、2009年末にはLED漁灯全装船が既存の白熱・MH漁灯船に優る漁獲成績と省エネ効果を実証し、実装・燃油・消耗品の経費節減も明らかになりました。その後、東日本大震災で多くの被災船が出た中、上記実績に基づき、LED漁灯の装備が代船建造・改修の補助要件に定められたことで、サンマ棒受網船への普及が加速しました(図1-8)。明らかになったLED漁灯の利点は多く、大幅な漁灯用燃油の削減と運航範囲の拡大、機関員の補機保守作業の軽減、白熱球の交換や灯竿張出し・収納の甲板作業に伴う危険・手間の低減、漁灯操法の簡略化・IT化、魚群誘導の時間短縮・効果向上、付加補機不要、灯具・配線の重量軽減→船体上部軽量化→運航の安全性向上、補機の騒音低減等で、これらに伴う経費減・収益増、省エネ・CO<sub>2</sub>排出抑制、労働・居住環境の改善と軽労化も顕著でした。難点は秋深まると白熱灯に比べ船上が寒いこと。しかし、懐は暖かくなるので「ヨロシイ」という乗組員の意見も多くありました。

西日本の旋網では水中灯利用に主眼が置かれ、棒受網漁業より漁灯数が少ないため、省エネ観点よりもLED漁灯操法による魚群行動の制御効果向上で、適所「適灯」の活用が進んでいます(図1-9)。



図 1-8 サンマ棒受網漁業の LED 漁灯

A: LED 漁灯(右)と白熱・MH 漁灯(左)  
実装船

B: 船首から見た LED 漁灯全装漁船

C: 夜間操業中の LED 漁灯全装漁船

D: LED 漁灯下のサンマ(約 25t 漁獲)

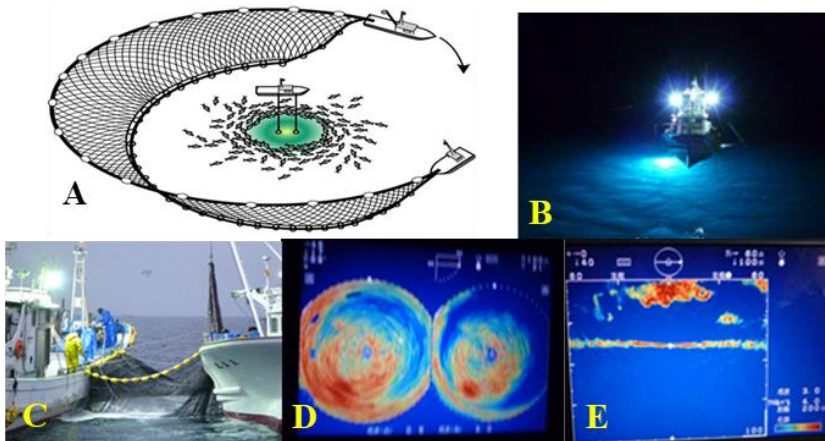


図 1-9 旋網漁業における LED 漁灯の利用例

A: 旋網操業(水中灯による魚群集約と投網)の模式図

B: LED 漁灯および水中灯を点灯した灯船による集魚過程

C: 日出後の魚汲み(右: 網船, 左: 運搬船)

D: 夜間の LED 漁灯および水中灯点灯時のソナー映像

E: LED 漁灯で集めたカタクチイワシ群のソナー映像(船体横断面)

前項 1-4 のサンマ棒受網や旋網漁業への LED 漁灯の導入過程では、これまでの白熱灯や MH 漁灯と同じように使え、さらに LED 光源の灯光の特徴を理解・活用すると、従前の漁灯以上の機能を発揮して省エネにも繋がるような経過で普及が実現しています。これらの網漁業では、目視や魚群探知機・ソナーの利用で対象種群の動きを即時モニタリングして漁灯操作で対象群の行動を変化させることで、具体的な漁獲に繋いでいます。

イカ釣り漁船に装備されている魚群探知機・ソナーで、誘集から釣獲促進に至るまでイカ群を捉えるには、当書に後述されている内容が参考になります。

次ページのソナー映像例は LED 漁灯を用いた作業中のものです。サンマ棒受網やアジ・サバ旋網では、白熱光源の時から作業過程における漁灯操法に工夫を重ねています。旋網の船上灯・水中灯における光源の役割分担と調光・点滅操作、サンマ棒受網で魚群状態を観察しながら行う LED 漁灯の点・消灯と点滅操作、明るさの調節（調光）、異なる波長光の利用にもイカ釣りの参考になる点があります。

年代毎の釣り方と漁灯光源の変化では、自動釣機の導入以降、漁灯と釣機の操法は相互に影響しながら発展してきました（図 1-10）。


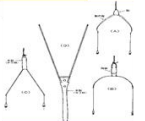





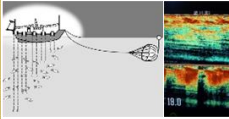
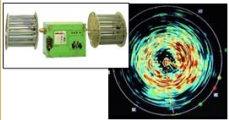

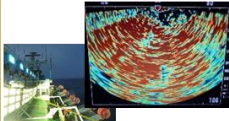


年代	漁 灯	釣り方 釣 機 音響測器等
'50	 燃焼光源 ↓ 白熱灯	 手釣り
'60	 白熱灯	手釣り→ 手動釣機 → 自動釣機
'70	 ハロゲン (HG) 灯 白熱灯の一種	 自動イカ釣機
'80	 メタルハライド (MH) 灯	自動釣機 単独作動 → 連係作動
'90	 MH 灯	 パラアンカーが効き、垂下する釣具イメージとその魚探映像
'00	 MHスリム灯 (間はHG灯)	 自動イカ釣機と釣獲持続作動中のソナー映像
'10	 MH 灯 ↓ LED 灯	 LED漁灯下で釣獲持続中の船体横断方向のソナー映像
'20	  LEDパネル式・吊下げ式	 2020年新造船の自動イカ釣機と船橋側方に設置したLEDパネル

図 1-10 イカ釣漁業における漁灯と釣り方の技術的変遷

白熱灯 <http://101lab.net/blog/2007/12/tokyo-web.html> <http://marinelamp.exblog.jp/5414279/>  
 ハロゲン灯 <http://www.marintec.jp/> MH灯 <http://www7a.biglobe.ne.jp/> 手釣り 大島幸吉(1957)  
 自動釣機 <http://www.sanmei-ele.co.jp/> <http://www.towa-denki.co.jp/product/squid/index.html>

今後、LED 漁灯を導入するにあたっては、浅い層で針ケンカも少なく、省エネも達成しながら効率良く釣獲する釣機の操法を漁灯操法と関連させながら工夫し続けることが重要です。最近の動向としては、自船周りには擬餌針捕捉促進に繋ぐことを目的に橙色LEDの光を照射し、遠方からの誘集には水色のLEDの光を使うなど、LEDの発光波長特性を応用する試験も進められています。

また、2020年のスルメイカ漁期には、水色のLED漁灯をMH漁灯の間、主に船橋の両舷に装備した新造の中型イカ釣り漁船2隻が出漁しました。両船の船頭の共通の言は「この船を30年使う内にはLED漁灯に変わる。次世代に向けLED漁灯の使い方にも慣れておきたい」と云うものでした。

2021年6月末現在、計8隻の中型イカ釣り漁船が船橋上部両舷に水色LED漁灯を設置して出漁しました。船橋付近の釣機で有効な釣獲も確認されています。そのうちの1隻からは、2020年漁期中に船橋脇の手釣りで釣獲深度がやや深くなる傾向がありそうだと報告が入っています。本書第3章で解説されるスルメイカの対光行動と符合する現象でしょうか？



# 第2章

## イカ釣り漁灯の LED化に向けた取り組み

---

LED 漁灯の全装導入に向けた一連の調査結果を紹介します。開発調査センターによる調査が始まる前の取り組みを簡単に紹介した後、LED 漁灯のみでの操業で、主な漁獲対象種であるスルメイカやアカイカをどの程度漁獲できたかについて紹介します。

イカ釣り漁業用 LED 漁灯の研究は 2000 年に始まり、マリノフォーラム 21 が小型イカ釣り漁船を対象に 2004～2006 年に実施した研究事業によって本格化しました。この研究では、MH 漁灯は上空や甲板、海面反射の強い遠方海面にも光を放射するため、海中に入射する光は全体の 1 割以下であるが、LED 漁灯は指向性が強く、海面に向けて設置することにより、放射された光の 8 割程度を海中に入射させることが可能とされました。また、青色 LED の発光効率は MH ランプの 4 割程度であるが、放射される光に占める青色光の割合が MH ランプの 10 倍もあり、スルメイカに光を感知させるうえで有効な光源であるとされました。これらに基づいて、青色 LED 漁灯では MH 漁灯の 1/32 の消費電力で同等に釣獲できる可能性があるとの試算が示され、実際に操業試験が行われました。その結果、LED 漁灯を用いることで燃油消費量を大幅に節減できることが実証されました。しかし、LED 漁灯装備船の漁獲量は MH 漁灯を装備した近隣船よりも少なく、LED 漁灯の釣獲性能は当初の想定よりも低いことが分かりました。

中型イカ釣り漁船を対象とした研究については、全国沖合いか釣り漁業協会（現、全国いか釣り漁業協会）が 2005～2007 年に実施した委託事業から始まりました。当時、沖合漁場での LED 漁灯の釣獲性能が不明であったことから、中型イカ釣り漁船と同規模の県調査船で試験が行われました。小型イカ釣り漁船の手法に準じて青色 LED 漁灯を船体近傍の海面に向けて設置し、LED 漁灯 102 灯（7.1 kW）による操業と MH 漁灯 78 灯（234 kW）による操業が行われま

した。その結果、LED 漁灯による操業の漁獲量は MH 漁灯による操業の 4 割程度であり、小型イカ釣り漁船と同様、LED 漁灯の釣獲性能は当初の試算よりも低いことが確認されました。その後、LED 漁灯による操業では船体近傍の海中照度が低いことが判明したため、海中照度を MH 漁灯による操業と同等とするために LED 漁灯を 216 灯に増設し、さらに MH 漁灯 24 灯を併用して操業が行われました。しかし、漁獲量は MH 漁灯 78 灯による操業の 9 割程度に留まり、季節によっては 4 割程度に落ち込むことが分かりました。LED 漁灯による操業では MH 漁灯に比べて船体から離れたところの海中照度が低く、このことが漁獲成績の劣る要因である可能性が指摘され、釣獲性能を高めるには船体近傍だけでなく、水平方向にも広く光を放射する必要があるとの考えが示されました。



図 2-1 最初期の LED 漁灯(左)と最新の LED 漁灯(右)

前述の研究が進むなか、2006～2010年に水産庁の省エネルギー技術導入効果実証試験事業の支援を受けて漁業者とメーカーによる実証試験が多数行われました。前述の研究では、指向性の鋭い砲弾型LEDが漁灯に用いられていましたが、釣獲性能を高めるには、広範囲に光を放射することが可能な、より明るく指向性の広い光源を用いる必要があるとの考えから、多くの実証試験で表面実装型LEDを用いた漁灯が使用されるようになりました。これらについては、海洋水産システム協会によって試験結果が総括され、小型イカ釣り漁船、中型イカ釣り漁船ともにLED漁灯を導入して消費電力を抑えることで燃油消費量が節減できること、LED漁灯とMH漁灯を併用するとMH漁灯装備船並み（9割以上）の漁獲が確保できること、MH漁灯の併用灯数が少ないと漁獲量が減少すること、LED漁灯による操業の漁獲成績は秋以降に低下しやすいことが明らかになりました。

実証試験が多数行われたことでLED漁灯の性能評価は進みましたが、青色に加えて青緑色や白色のLED漁灯も用いられるようになったこと、漁灯の設置角度や明るさを変えるとスルメイカの行動や釣獲が変化する事例が認められたこと、漁業者によって試験方法が異なったことなどから、LED漁灯の使いこなしや要求性能について様々な意見が出てくるようになり、かえって技術改善の方向性が定まらなくなるといった問題が生じました。一方、イカ釣り漁業では、スルメイカが集まり、釣獲されるまでの仕組み（誘集・釣獲過程）に関する知見が十分でないまま、漁業者の経験や漁獲競争を背景に大光量化・大消費電力化が進み、その結果としてイカ釣り漁業はエネルギー多消費型の漁業へと変貌しました。LED漁灯の技術改善の方向性を見出し、省エネルギー技術として確立するには、誘集・釣獲過程の解明が必須であるとの考えから、2009～2012年に水産工学

研究所・東京海洋大学・東和電機製作所・石川県水産総合センターによる共同研究が行われました。一連の研究により、スルメイカは広範囲から操業船に集まること、船体周囲に集まったスルメイカは高照度域を避けて船体前後の低照度域から船底下に入ること、船底下に入ったスルメイカは陰影部に集約されて釣獲されることなどが明らかになり、誘集・釣獲過程の全貌が初めて明らかになりました。さらに、スルメイカは水平に広がる光の光源に向かって遊泳すること、青緑色の光源に誘引されやすいこと、操業船に集まったスルメイカは減灯しても逃げないことも分かりました。そして、これらの知見からLED漁灯を設計・使用する際の方向性として、スルメイカを広く集めるために水平方向を強く照らすようにすること、集めたスルメイカを船底下に誘導するために船体周囲を明るくし過ぎないようにして船底下の陰影部と船体前後の低照度域を確保すること、省エネルギー操業を積極的に進めるためにスルメイカの集群状態を魚群探知機やソナーで確認し、適宜、漁灯を操作（減灯）することなどが示されました。

以上のように、LED漁灯の性能は着実に向上しており、スルメイカの誘集・釣獲過程に基づいた技術改良の方向性も示されています。2013年から始まった開発調査センターによる長期用船調査では、これまで積み重ねられた技術と知見が活かされており、配光を綿密に設計・調節することでLED漁灯単独でもMH漁灯装備船に近い釣獲が得られるようになっていきます。次項から開発調査センターによる長期用船調査の結果を詳しく紹介します。

イカ釣り漁業は、夜間に漁灯光を利用してイカを集めて釣獲することから、船体周辺の放射照度分布（光の広がりや強さ）が釣獲結果に影響する可能性があります。すなわち、LED 漁灯の単独利用で十分な釣獲性能を実現するためには、まず、LED 漁灯の放射照度分布を MH 漁灯に近づけることが必要だと考えました。

そこで、漁灯を点灯した船体周辺の放射照度分布を調べるために、船体中央から前後方向に 60 m、舷側から 10~40 m の範囲に測点を設けて放射照度を測定しました（放射照度の強さは、350~650 nm の波長域で積分した値）。また、実際に漁灯の装備位置を様々に変えるには多大な労力が必要となります。そこで、事前に光学シミュレーションソフトを用いて放射照度分布を推定して、LED 漁灯の適切な装備方法を探ることにしました。

中型イカ釣り漁船が MH 漁灯と LED 漁灯を点灯したときの放射照度分布を推定した結果、MH 漁灯は船体周囲の広範囲に光が広がっていました。一方、パネル型の LED 漁灯を船体横方向のみに向けて装備した場合は、船体前後方向が MH 漁灯に比べて極端に暗くなることがわかりました。次に、船体横方向から前後方向へと緩やかに放射照度が低下するように LED 漁灯を増設した場合、LED 漁灯でも MH 漁灯に近い状況を作り出せることがわかりました（図 2-2）。

シミュレーション結果を参考に、LED 漁灯を増設した後に実際に測定した放射照度分布は MH 漁灯に近い状況になりました（図 2-3）。以上のように、放射照度分布の実測とシミュレーションにより、LED 漁灯の装備方法が効率的に検討出来ました。

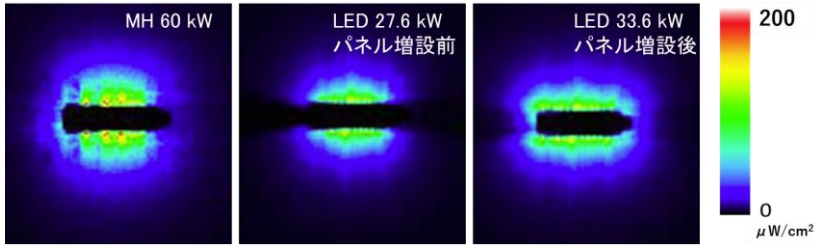


図 2-2 MH 漁灯と LED 漁灯の放射照度分布シミュレーション結果  
(上段)と船首側パネル増設前後の LED 漁灯配置(下段,  
左:増設前, 右:増設後)

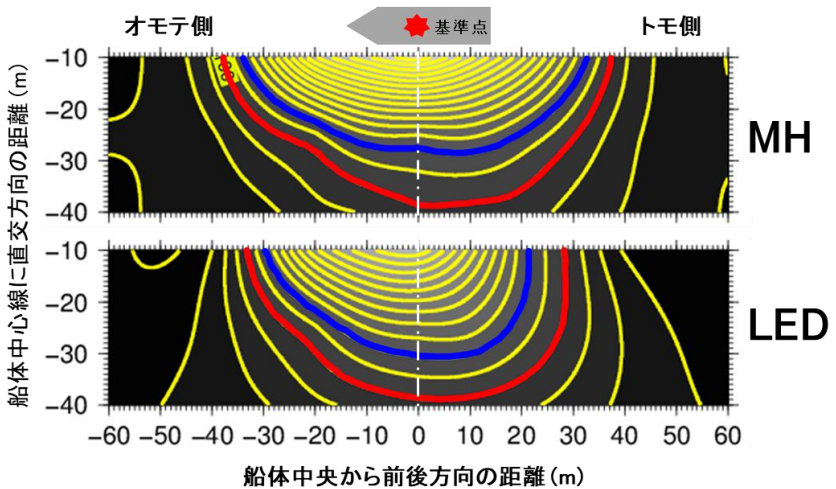


図 2-3 パネル増設後の放射照度分布  
(実測値, 青線と赤線は同じ放射照度の強さを示す)

これまでの LED 漁灯を使用した試験では、MH 漁灯を使用して操業した近隣船と漁獲成績を比較していました。しかし、近隣船の MH 漁灯を含む漁撈設備と操業方法は様々であるため、LED 漁灯の釣獲性能を正確に評価できませんでした。そこで、LED 漁灯と MH 漁灯の両方を装備した中型イカ釣り漁船 2 隻を使用して、スルメイカを対象とする比較操業を行いました。2 種類の漁灯の性能を厳密に比較するため、夜間操業において一方は LED 漁灯のみを、他方は MH 漁灯のみを使用し、翌夜にはそれぞれの船が前夜とは異なる漁灯を使用することを繰り返しました。この試験では、LED 漁灯の光の広がりや強さをどのようにすれば好漁に繋がるかという方向性を見出すため、2013 年および 2014 年に以下の 2 種類の比較試験を行いました。

**船体横方向の放射照度を同等にした場合：**2013 年漁期の比較試験では、パネル型の LED 漁灯を船体横方向に向けて装備し、船体から真横に 50 m 離れた位置で MH 漁灯と LED 漁灯の放射照度が同等になるように調整したところ、出力は LED 漁灯が 23 kW、MH 漁灯が 60 kW となりました（図 2-4）。この点灯条件で操業を行った結果、LED 漁灯を使用した場合に釣機 1 台あたりの釣獲尾数が少なくなる傾向が示されました（図 2-5）。LED 漁灯による操業で漁獲量が少なくなる要因として、LED 漁灯は船首方向と船尾方向が明らかに暗く、光の広がりが少ないこと（図 2-6）が考えられました。



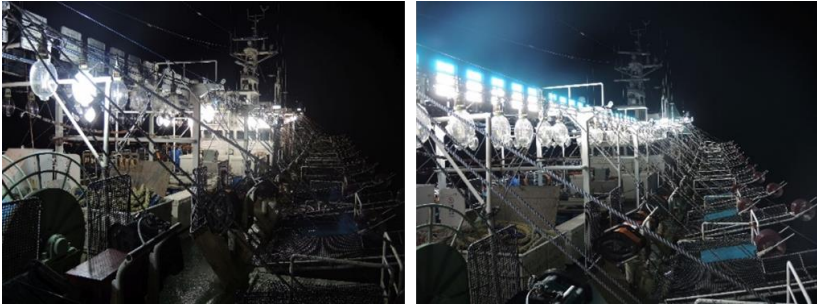


図 2-4 船体の正横 50 m 位置の放射照度を同等にしたときの  
MH 漁灯(左)とLED 漁灯(右)

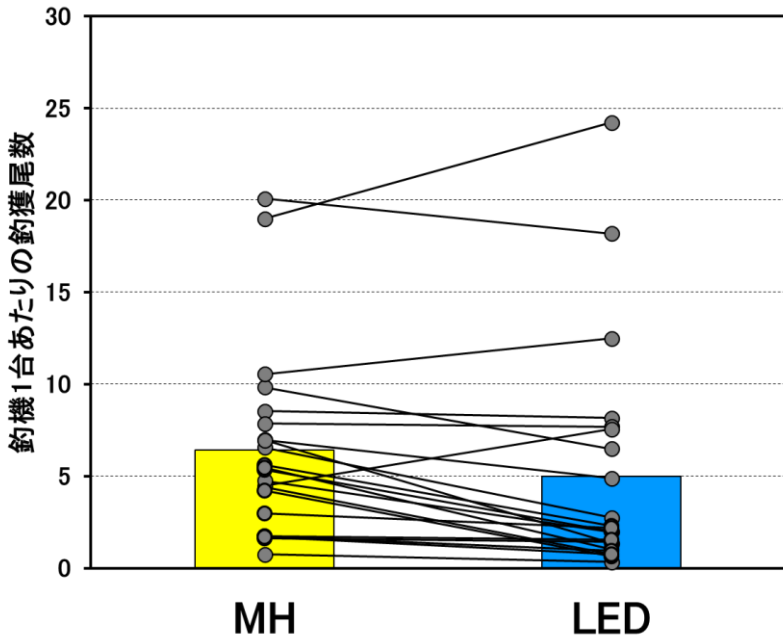


図 2-5 船体横方向の放射照度が同等の場合の釣獲状況の比較  
(繋いだ丸印は各操業日の1時間の釣機1台あたりの釣獲尾数)  
黄色と青色の棒グラフは平均値

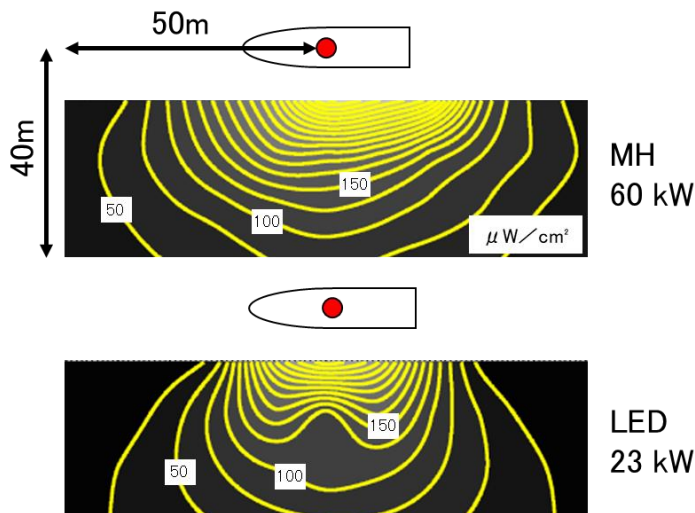


図 2-6 船体の正横 50 m 位置の放射照度が同等の場合の  
MH 漁灯(上)と LED 漁灯(下)の光の広がり と強さ

**各漁灯の放射照度分布を同等にした場合：**そこで、2014年漁期の比較試験では、LED 漁灯と MH 漁灯の光の広がり と強さが同等になるように、LED 漁灯を船首と船尾に増設しました (2-2 参照)。これにより LED 漁灯の出力は 33.6kW となりました。そして、船体周囲の放射照度測定により、LED 漁灯と MH 漁灯の光の広がり と強さが同等であることを確認した上で (図 2-7)，前回同様の比較試験を行いました。その結果、LED 漁灯による操業で MH 漁灯による操業と遜色のない釣獲が得られました (図 2-8)。

これらの結果から、LED 漁灯で MH 漁灯と同等の放射照度分布とすれば、MH 漁灯の半分程度の消費電力で同等の釣獲が得られることがわかりました。ただし、当業船の MH 漁灯の数はさらに多いので、LED 漁灯の実操業での有用性を実証するには、さらにスケールアップした調査 (2-5 参照) が必要となります。

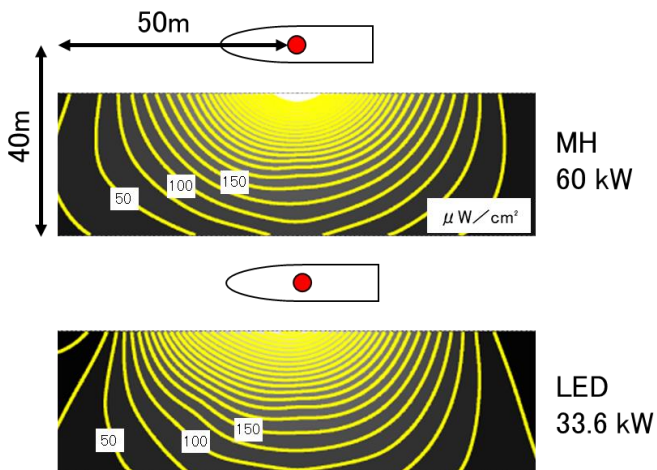


図 2-7 船体前後に LED 漁灯を増設したあとの光の広がり強さ  
 (上:MH 漁灯, 下:LED 漁灯)

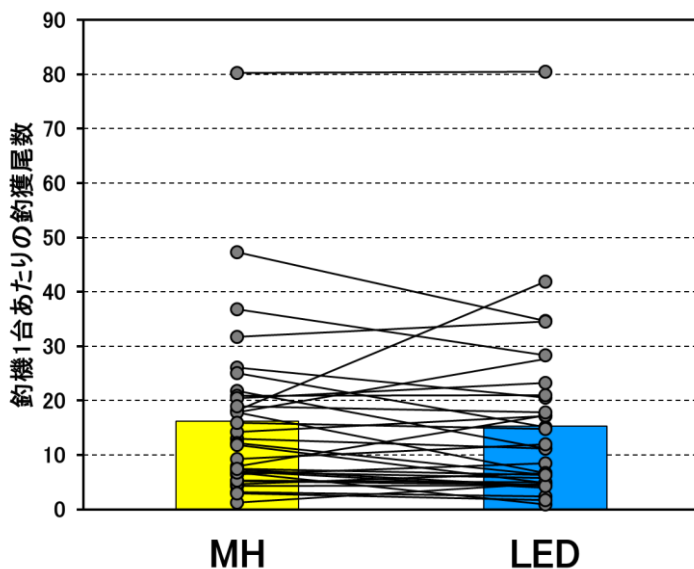


図 2-8 光の広がり強さを同等にした場合の釣獲状況の比較  
 (繋いだ丸印は各操業日の 1 時間の釣機 1 台あたりの釣獲尾数)  
 黄色と青色の棒グラフは平均値

MH 漁灯と LED 漁灯の 2 つの異なる光源を用いた操業で、船下に集まるイカの集群量，そして釣獲量に差があるかどうかを調べました。前項で示した 2014 年の比較試験と同様の条件として，MH 漁灯と LED 漁灯の両方を装備した中型イカ釣り漁船 2 隻において，LED 漁灯の光の広がり強さを MH 漁灯と同等になるように調整しました（2-3 参照）。そして，スルメイカを対象とした 9 回の操業中，船下に集まったイカの分布密度を計量魚群探知機で測定するとともに，操業 1 時間毎の釣獲尾数を記録しました。

操業中のイカの分布密度と釣獲尾数の推移を調べたところ，使用する漁灯の光源の違いに関係なく，釣獲尾数の増加とともに分布密度も上昇している様子が確認できました（図 2-9）。

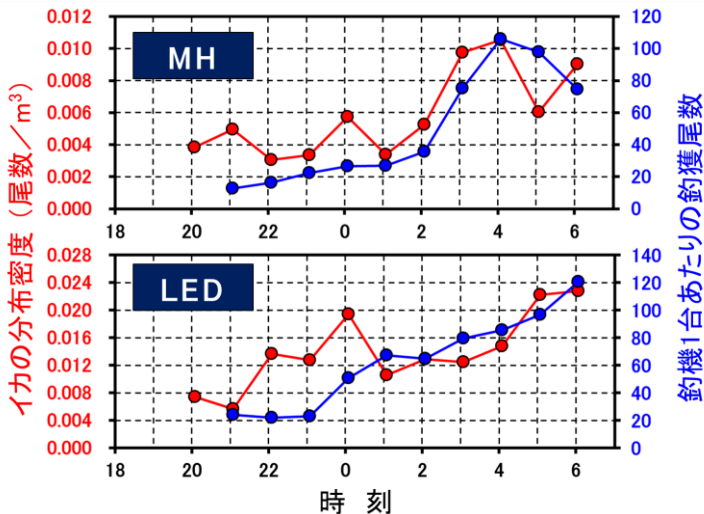


図 2-9 操業中の船下の分布密度(赤)と釣獲尾数(青)推移例

計量魚群探知機で測定した分布密度は、船下に集まったイカの集群量を反映していると考えられました。次に、9回の操業で得られたMH漁灯による操業時とLED漁灯による操業時の船下の分布密度を比較したところ、その差はほとんど無く（図 2-10）、イカの集群量はほぼ同等であることが分かりました。以上の結果から、船体周辺の放射照度分布がほぼ同じであれば、MH漁灯とLED漁灯で光源の種類が異なっても船下に集まるイカの量はほとんど変わらないことが分かりました。

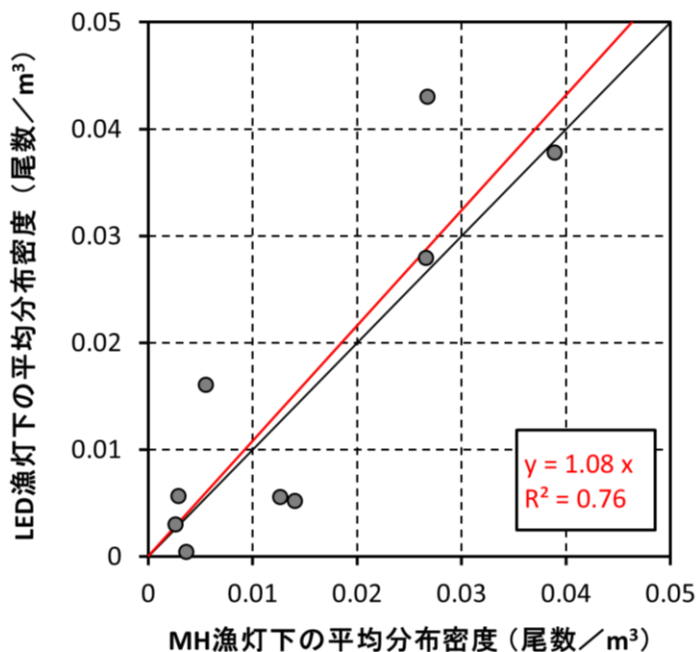


図 2-10 MH 漁灯とLED 漁灯点灯操業時における船下のスルメイカの分布密度の比較

中型イカ釣り漁船（調査船，図 2-11）を用いたスルメイカを対象とした操業について，MH 漁灯を装備する他船（当業船）と漁獲量の比較を行い，LED 漁灯の性能を評価しました。中型イカ釣り漁船の MH 漁灯は最大 250 kW と制限されていることから，ここで装備する LED 漁灯は，MH 漁灯 250 kW 相当の明るさとしました。

LED 漁灯の数と配置を決定する際には，光の広がりや強さが MH 漁灯 250 kW 相当と同程度になるように，シミュレーションを行いました。また，LED 漁灯の艀装に先立ち，船体の重心を計算して安全性を確認しました（4-2 参照）。これにより，調査船には 394 枚（出力 76.8 kW）の LED 漁灯が装備されました。この LED 漁灯の放射照度分布を測定したところ，光の広がりや強さは MH 漁灯と同等で，強さは MH 漁灯 225～249 kW 相当でした（図 2-12）。

2015 年の漁期に調査船から 30 マイルの範囲で同じ日に操業した当業船の漁獲量と比較した結果，調査船の一晩あたり製品数の合計は，当業船における製品数の\*中央値合計の 96 %に達し，LED 漁灯（76.8 kW）の釣獲性能は MH 漁灯からわずかに少ない程度でした（図 2-13）。また，調査船の燃油消費量を調べたところ，MH 漁灯を装備した当業船の 7 割程度に抑えられていました（4-4 参照）。

このことから，LED 漁灯を装備した中型イカ釣り漁船では，MH 漁灯を装備した当業船の約 7 割の燃油消費量で 9 割以上の漁獲量が得られ，LED 漁灯の燃油消費量あたりの漁獲量は MH 漁灯のおよそ 1.3 倍になりました。したがって，LED 漁灯の利用により，漁業生産のエネルギー効率を高められるといえます。



図 2-11 LED 漁灯を点灯した調査船

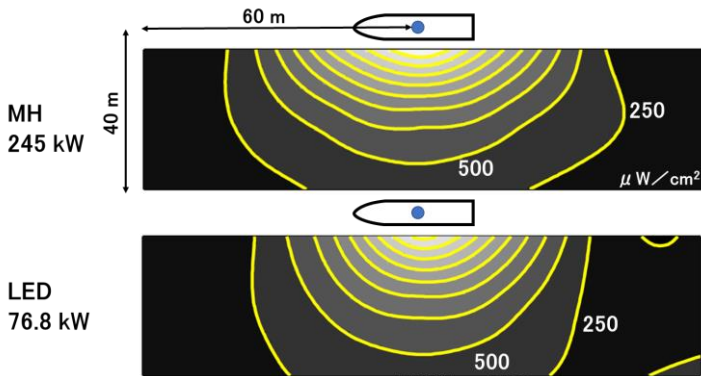
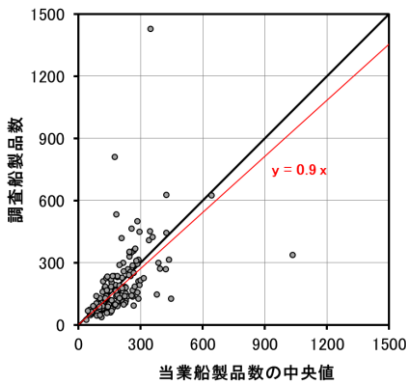


図 2-12 MH 漁灯を装備した当業船(上)とLED 漁灯を装備した調査船(下)の光の広がり強さ



\* 中央値：  
各当業船の製品数を小さい順に並べたときに、中央に位置する値。当業船の製品数には、操業日毎に極端に多い値や、逆に極端に少ない値が生じるため、平均値では実際の釣獲水準に合わない場合があります。

図 2-13 調査船と当業船の製品数比較(当業船の\*中央値と比較)

わが国のイカ釣り漁船によるアカイカ操業は主に北太平洋中央部と三陸沖で行われています。このアカイカを対象とした操業での LED 漁灯の性能評価を行うため、中型イカ釣り漁船に LED 漁灯を 394 灯（総消費電力 76.8 kW）装備し、2019 年漁期の 5～7 月に MH 漁灯を装備した当業船と夜間操業における漁獲量（胴肉製品数）を比較しました。その結果、操業期間を通じた LED 漁灯装備船の漁獲量は当業船の漁獲量中央値の 117 % となり、LED 漁灯の方が MH 漁灯よりも好漁でした（図 2-14, 15）。また、北太平洋中央部と三陸沖のいずれの漁場でも LED 漁灯を装備した船の漁獲量の方が多く、アカイカに対して有効であることが分かりました。アカイカを対象とした昼間操業では LED 水中灯の有効性も明らかにされており（2-7 項参照）、船上灯と水中灯の両方を LED に転換することで、漁獲量の増加と省エネルギー操業が両立できるものと期待されます。

スルメイカを対象とした調査（2-5 参照）では、LED 漁灯は MH 漁灯に比べて釣獲性能が幾分低い傾向でした。アカイカとスルメイカで LED 漁灯の有効性が異なる理由はまだ明らかになっていませんが、両種の光に対する反応や操業海域の海水の光学的特性の違いが関係しているかもしれません。このような点が明らかになれば、スルメイカに対してより有効な LED 漁灯の使用方法が見出せる可能性があります。

アカイカ操業と同じく、全灯 LED のスルメイカ操業での優位性を実証できれば良いのですが、そのためには LED 漁灯の適正配光や操業方法の改良について更に検討する必要があります。



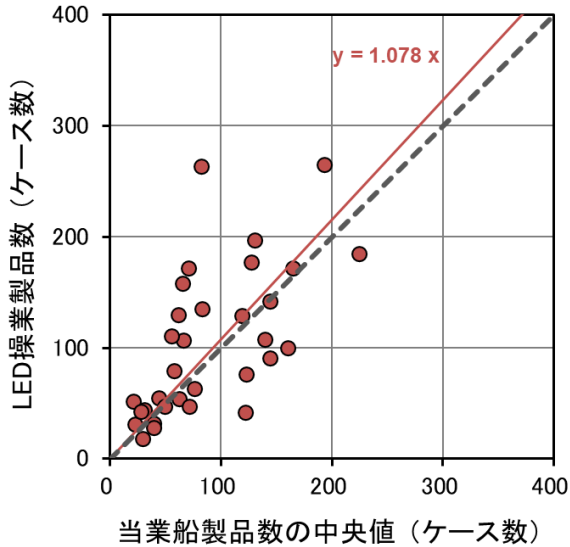


図 2-14 LED 漁灯装備船とMH 漁灯装備船(30 海里以内)の夜間操業におけるアカイカ漁獲量(胴肉ケース数)の比較(2019 年 5~7 月)

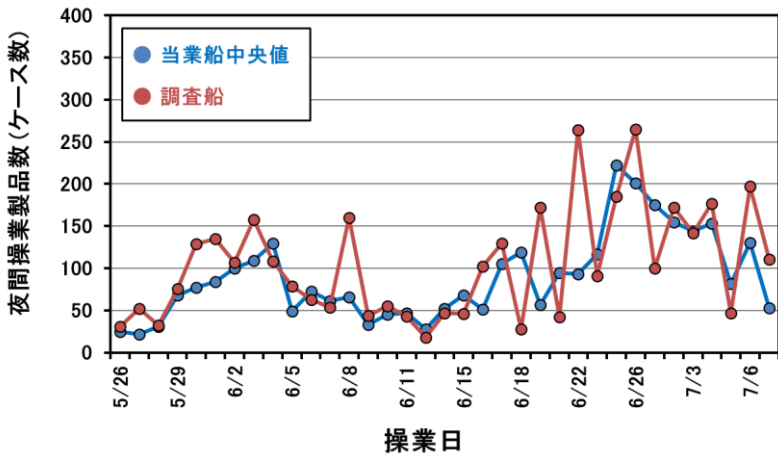


図 2-15 LED 漁灯装備船とMH 漁灯装備船の夜間操業におけるアカイカ漁獲量(胴肉ケース数)の推移(2019 年 5~7 月)

北太平洋のアカイカを対象とした釣りでは、昼間に水中灯を 150～250 m まで垂下し、さらにその 50～100 m 下まで漁具を投入して、深海のイカに漁具を視認させて釣上げる操業が行われています。そこで、2007 年の 5～7 月に、以下に示す比較操業試験を行いました。

**MH 水中灯と LED 水中灯の比較：**従来から用いられている 5 kW の MH 水中灯と 600 W の青色 LED 水中灯の比較操業試験を行いました。その結果、LED 水中灯でも MH 水中灯と遜色ない釣獲（釣糸巻上 1 回あたりの尾数）であることが確認できました（図 2-16）。

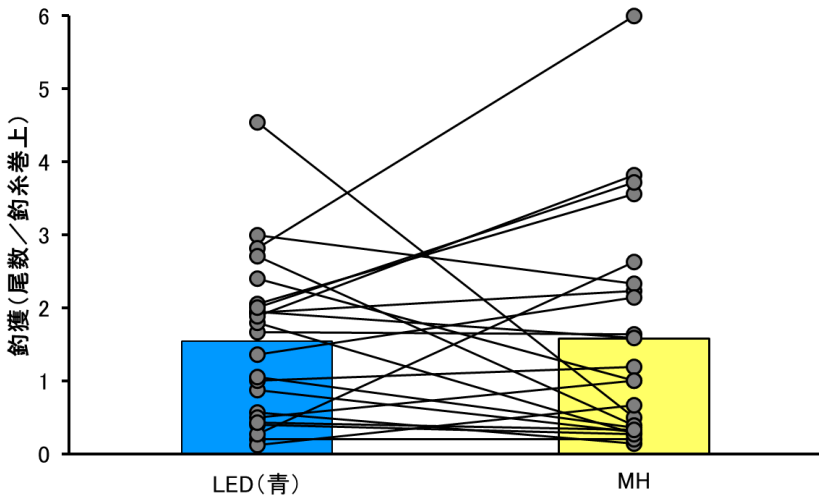


図 2-16 LED 水中灯と MH 水中灯での釣獲状況の比較  
 (繋いだ丸印は 23 回の比較操業試験の結果)  
 青色と黄色の棒グラフは平均値

**LED の色（波長）別および点滅の有無による釣獲比較：** 発光波長が異なる4種類のLED水中灯の漁獲能力を比較しました。各条件で発光強度を等しくした場合、釣獲は青緑あるいは青の条件で白や緑と比べてわずかに多くなりました（図2-17）。また、青色LED水中灯で1 Hz（1回/秒）の点滅機能を利用することで一時的に釣獲を大幅に向上させる例もありました（図2-18）。

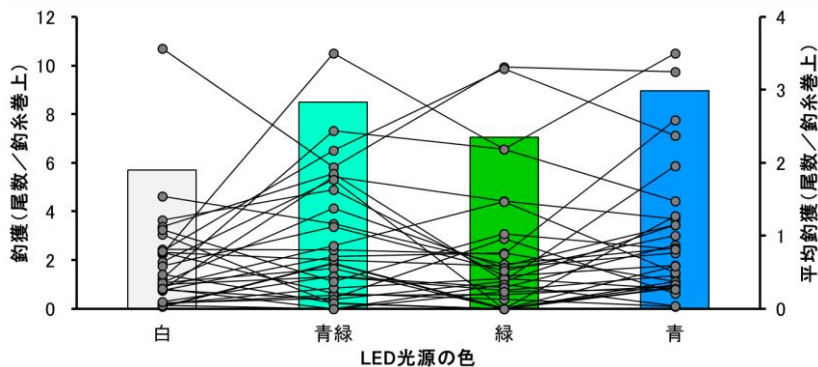


図 2-17 異なる色の水中灯光色による釣獲状況の比較  
(繋いだ丸印は30回の比較操業試験の結果)各棒グラフは平均値

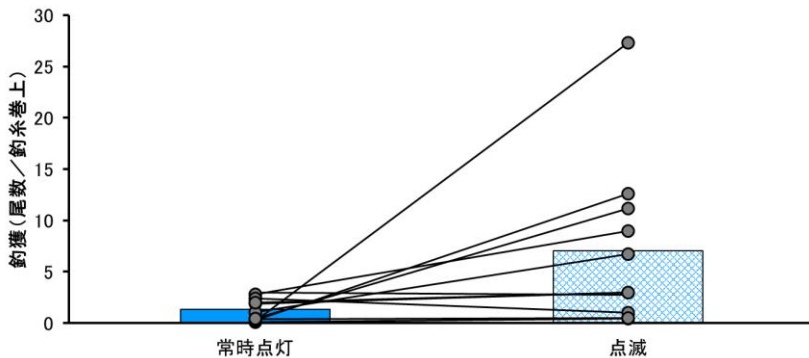


図 2-18 水中灯の常時点灯と点滅による釣獲の比較  
(繋いだ丸印は11回の比較操業試験の結果)  
青色と網掛けの棒グラフは平均値)



# 第3章

## イカは 光にどう反応するのか

---

LED 漁灯の光に対してイカはどういった行動をするのでしょうか？  
ここでは、光に対するイカの行動を改めて整理するとともに、詳細な観察が可能な水槽実験や実際の漁場でイカの行動を調べ、LED 漁灯を有効に使うためのアイデアをまとめました。

サンマ棒受網漁業やサバのたもすくい漁業では、夜間、船上に設置した漁灯の光を操作し、漁獲対象種の行動を制御することで、効率的に漁獲しています。サンマやサバには光に集まる性質（走光性）があり、操業中には漁灯下の海面近くに濃密な魚群を見ることができます（図 3-1）。

一方、イカ釣り漁業も、漁灯の光でイカを集めていますが、かなりの量の釣獲がある場合でも、船上からイカの群を見ることができません（図 3-2）。これは、イカが漁灯直下の明るい領域を避け、船下の影の部分に集まりやすいためです（図 3-3）。

イカは走光性を持つにも関わらず、明るいところを避けて影に集まる。相反する不思議な現象です。この現象の説明として、いくつかの仮説が提案されてきました。代表的なものは、好適照度説と呼ばれる仮説で、イカは弱い光刺激に誘引されるが、強い光を避けるため、結果的に適度な強さの光刺激を受ける環境に滞留するという考え方です。

漁獲性能の高い漁灯や効果的な漁灯の使い方を開発するためには、光に対するイカの行動特性を明らかにすることが重要です。この章では、スルメイカを対象とした実験で明らかになったイカの対光行動の特性をみていきます。

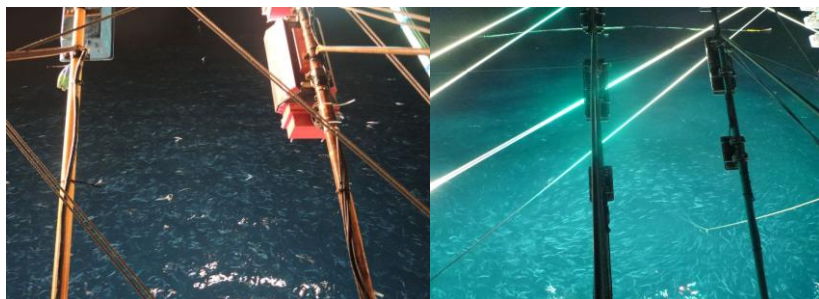


図 3-1 棒受網漁船の周辺に集まるサンマ  
(左:MH 漁灯, 右:LED 漁灯)

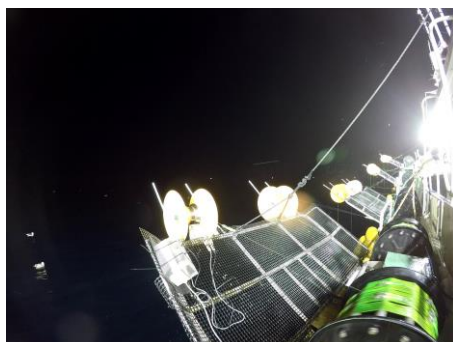


図 3-2 作業中のイカ釣り漁船

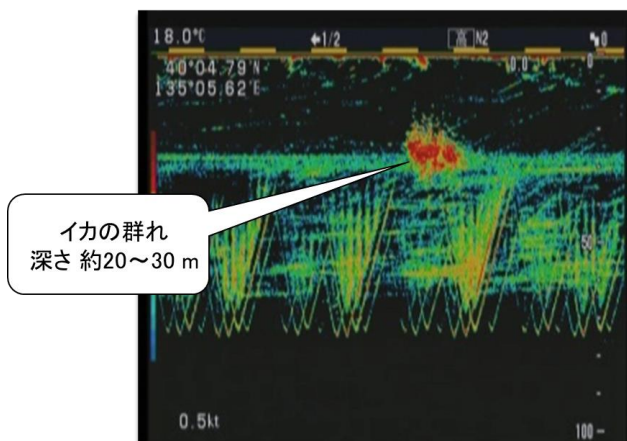


図 3-3 魚群探知機に映る船下のスルメイカ群  
(画像提供: 石川県水産総合センター)

スルメイカの対光行動を調べるため、水槽内のイカの群れ（オスとメス各 4 尾，平均外套長 231 mm，未成熟個体）に様々な条件で光を照射する実験を行いました。直径 4 m，深さ約 1 m の円形水槽の縁にパネル状の白色 LED 光源 1 個を下に 45 度傾けて設置しました。光源の下に光の透過度の異なる遮光板を取り付けられる構造とし，光源直下に影を作ったり，光源に近いほど光刺激が弱くなる環境を作ったりすることができます。

まず，水槽内に影を作らない条件で，スルメイカに LED の光を照射すると，イカはヒレを光源に向け，光源に接近しました。その後も，強い光を避けることなく，イカは光源の真下近くの位置に留まり続けました（図 3-4）。

次に，光源直下に影が形成される条件で光を照射すると，イカは光源に接近するものの，影に入ると直ちに後退または反転して照射域に戻りました。その後，イカは小刻みに照射域と影の間で出入りを繰り返し，主に影の外側の明るい領域に滞留しました（図 3-5）。

最後に，透過率を段階的に変化させた遮光板を設置し，光源に近いほど光刺激が弱くなるようにしました。その結果，イカは最初の実験と同様に光源直下に集まりました（図 3-6）。



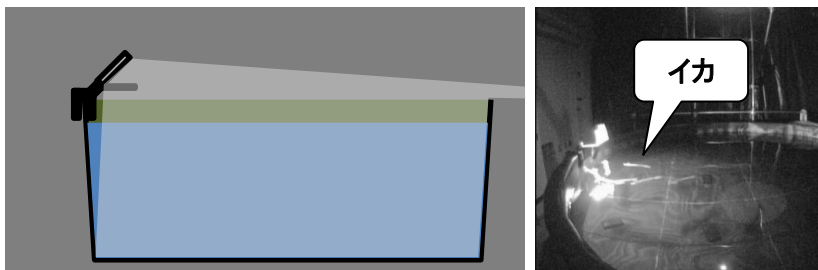


図 3-4 影を作らない照明条件(左)と光源に集まるスルメイカ(右)

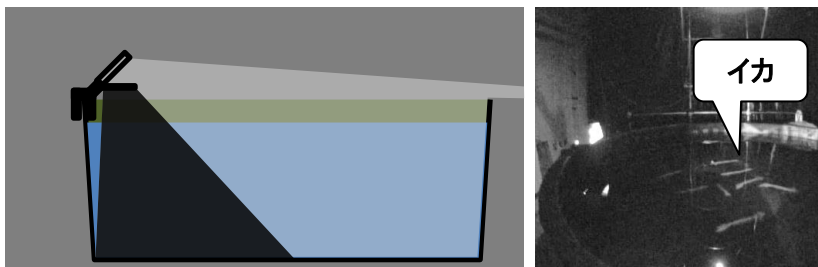


図 3-5 光源直下に影が形成される照明条件(左)と  
影の外側に集まるスルメイカ(右)

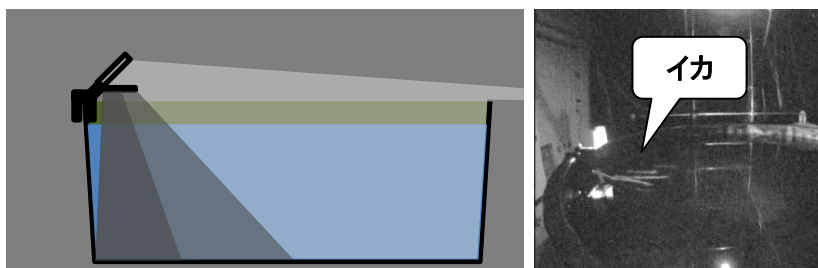


図 3-6 光源に近いほど光刺激が弱くなる照明条件(左)と  
光源に集まるスルメイカ(右)

以上の実験結果から、スルメイカの対光行動の特性として、次のことが考えられます。

先ほど紹介した実験では、最もイカの滞留頻度が高かったところの光の強さ（放射照度）は、影を作らない条件では  $91.8 \mu\text{W}/\text{cm}^2$ 、影を作る条件では  $15.7 \mu\text{W}/\text{cm}^2$ 、光源に近いほど光刺激が弱くなる条件では  $10.2 \mu\text{W}/\text{cm}^2$  であり、最大で9倍の差がありました（図3-7）。従って、光の強さはイカの滞留位置にほとんど影響しないと考えられます。一方、光源を点灯すると、イカは光源にヒレを向けて接近しました。水槽内のどの位置にいるイカも同様な反応を示したことから、光の強さに関係なく、横方向から照射される光に対してイカは接近行動を示すと考えられます。次に、イカが滞留する場所における光源とイカの位置関係に着目すると、いずれの条件でも、イカは自身から光源が見える範囲内で、光源がなるべく真上になる位置に滞留しました。以上を整理すると、イカ自身が持つ横方向からの光に誘引される性質と光源がなるべく上になる位置に滞留する性質によって、光源とイカの位置関係が決まると考えられます。

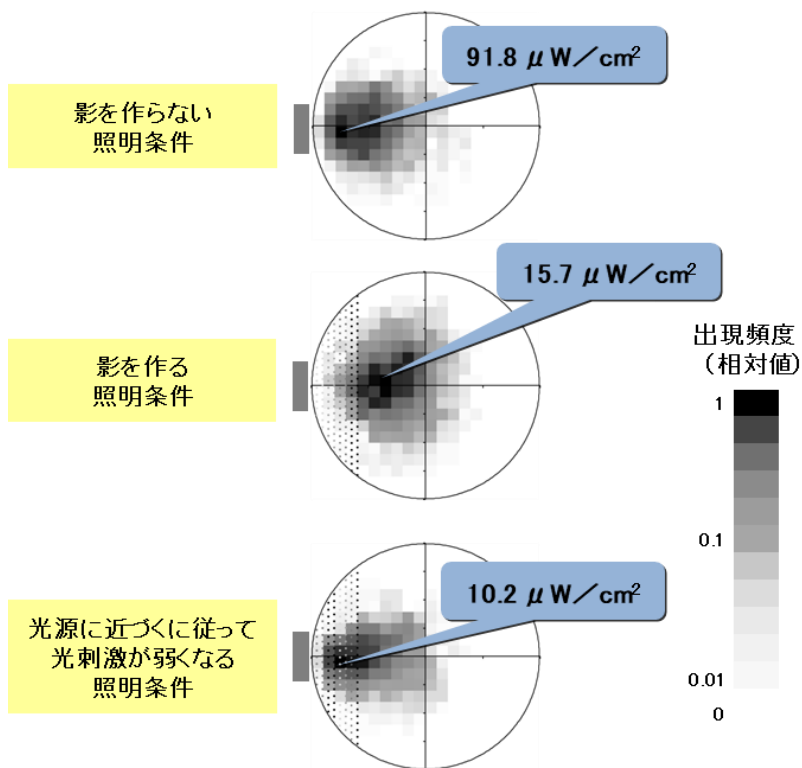


図 3-7 20 cm 四方におけるスルメイカの 1 秒毎, 合計 10 分間の  
累積出現頻度。

各条件で, 最も出現頻度が高かった領域を 1 とした場合の  
相対値をグリッドの濃淡で示した。吹き出しは最も出現頻度  
が高い領域とその場所における放射照度を示す。

光源に向かって移動するスルメイカの遊泳速度を計測する実験を行いました。縦 9.5 m、横 5.0 m、深さ 3.0 m の大型水槽の縦方向の両壁面にパネル状の LED 光源を 1 つずつ設置し、それらを交互に点灯することによってスルメイカを往復遊泳させ、画像解析で遊泳速度を計測しました（図 3-8）。

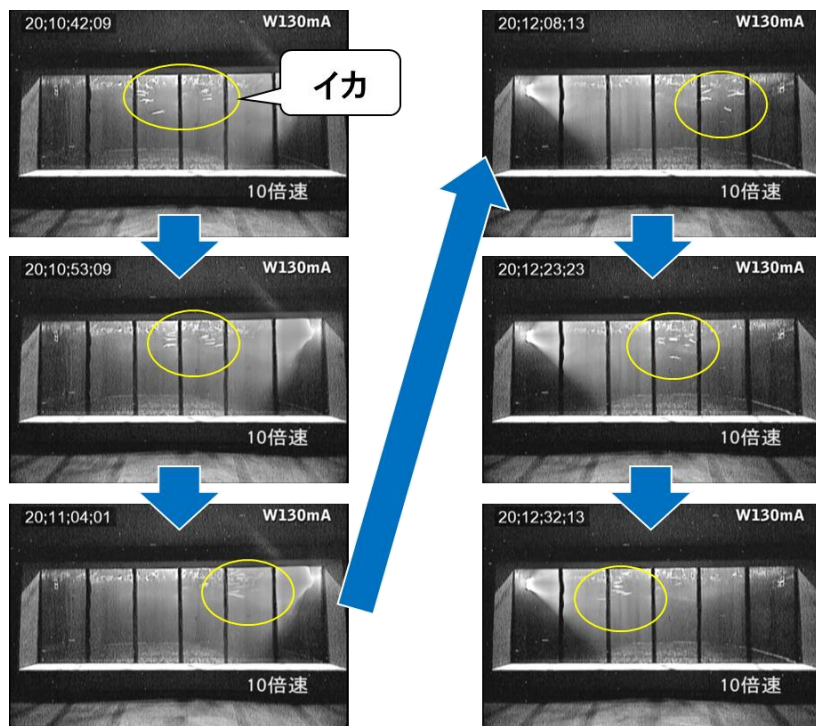


図 3-8 光源の切り替えに追従して水槽内を往復するスルメイカ

光の波長や強さによる反応の違いを調べる実験では、発光色が白、青、緑、赤、青緑、水色の 6 種類の光源を用い、発光強度（素子に流す電流値）を 8 段階に設定しました。赤色以外の光源を点灯すると、スルメイカはヒレを光源に向け光に向かって水面近くを遊泳しましたが、赤色光はスルメイカにとって視認されにくいため光に対する明瞭な遊泳行動はみられませんでした。白、青、緑、青緑、水色の各光源について、発光強度を変えて遊泳速度を計測したところ、平均遊泳速度は毎秒 150～251 mm であり、遊泳速度に明らかな差は認められませんでした（図 3-9）。

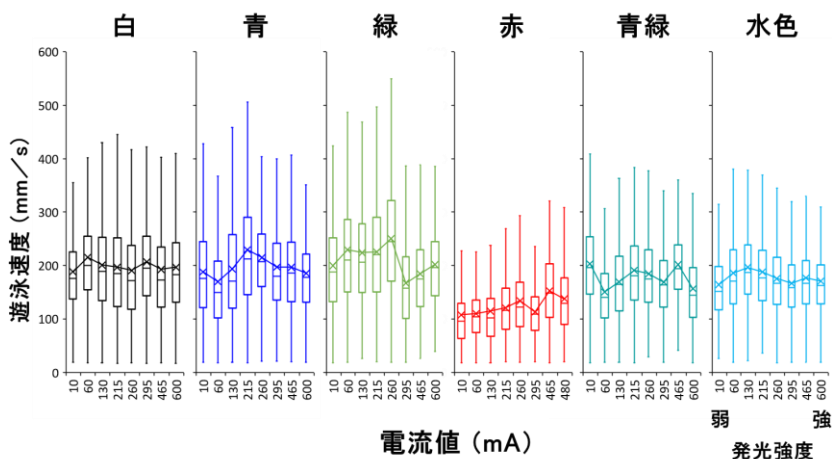


図 3-9 発光色(波長)の異なる光源に対するスルメイカの遊泳速度の分布および平均値(×)

また，光に対するイカの反応の持続性を調べる実験では，壁面に設置した2つの白色LED光源を交互に点灯してイカを長時間往復させ，遊泳速度の変化を調べました。平均遊泳速度は実験開始3時間後まで毎秒150～200mmでした。その後，遊泳速度は徐々に低下しましたが，実験開始から9.5時間後でも毎秒106mmを維持しており，光源に向かって遊泳する反応が消えることはありませんでした(図3-10)。

以上の結果から，この実験条件の範囲では，スルメイカの走光性が促進されるような光色や明るさは存在しないこと，光刺激に対する反応は長時間継続することが分かりました。

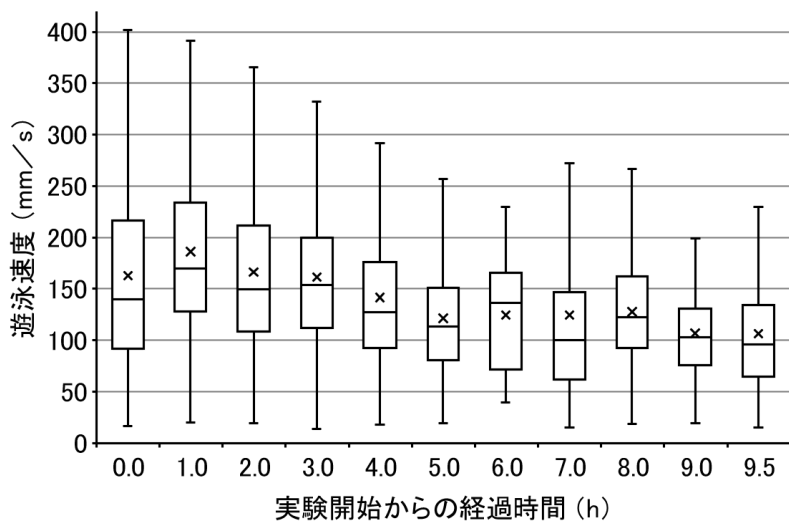


図 3-10 実験開始からの経過時間とスルメイカの  
遊泳速度の分布および平均値(x)

ここまで紹介した水槽実験から、光に対するスルメイカの行動は、光源の光色や光の強さが異なっても同様に光源に接近することが明らかとなりました。では、最初の疑問に立ち返って、なぜイカ釣り漁船の周りの海面近くにイカは集まらないのでしょうか？

船上の漁灯を点灯した状態で水中灯を深度 50 m の船下に垂らして点灯し、スルメイカの動きを魚群探知機で観察した実験によると、点灯直後に水中灯の周囲、特に水中灯よりも上に分布するイカが逃避し、反応が消失することが確認されました（図 3-11）。この結果から、イカは自身の下方が明るい環境を極端に嫌うと推察されます。

空中から海中に入射した光は水や水中の懸濁物によって様々な方向に散乱します。このため、漁灯の強烈な光が入射するイカ釣り漁船周囲の海面下では、散乱光も強く、水面方向だけでなく海底方向も比較的明るい環境になっています（図 3-12）。スルメイカは散乱光が強い海面近くを避け、散乱光が微弱な船下の深いところに集まるものと考えられます。



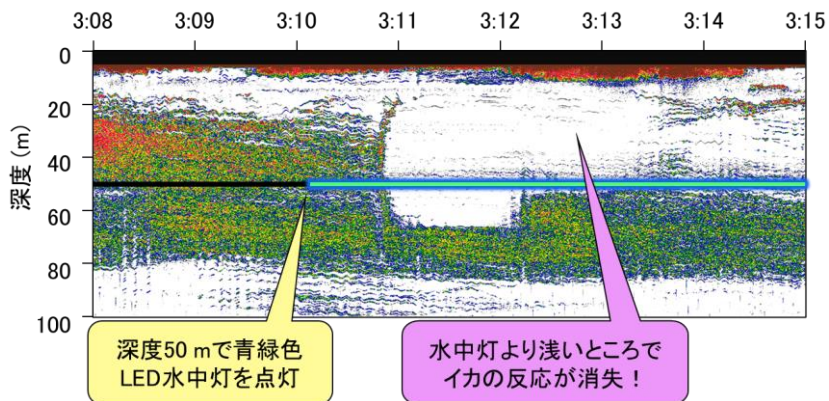


図 3-11 水中灯の点灯によって消失するスルメイカの魚探反応(画像提供:石川県水産総合センター)

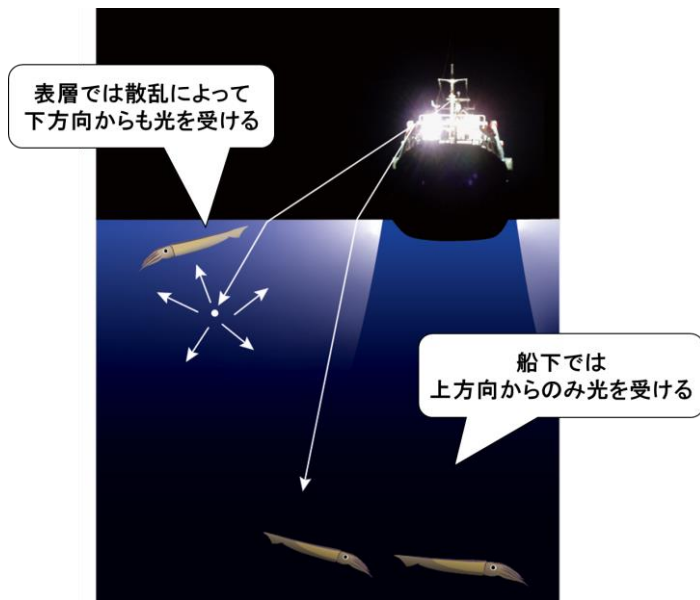


図 3-12 イカ釣り船周辺の表層と船下の光環境の違い

水槽実験では、様々な条件で光に対するイカの行動を調べました。しかし、水槽という人工的な環境がイカの行動に影響している可能性があります。そこで、実際の漁場でスルメイカに発信機を付けて放流し、漁灯の光に対する反応を調べる実験を行いました。

実験では、深度センサー付きの発信機をスルメイカに装着して放流しました。また、受信機を装着した複数のブイを一定間隔で漂流させ、その延長線上に漁灯を点灯した漁船を配置し、漁船からも受信機を垂下することで、スルメイカが漁船に到達するまでの行動を追跡できるようにしました（図 3-13）。

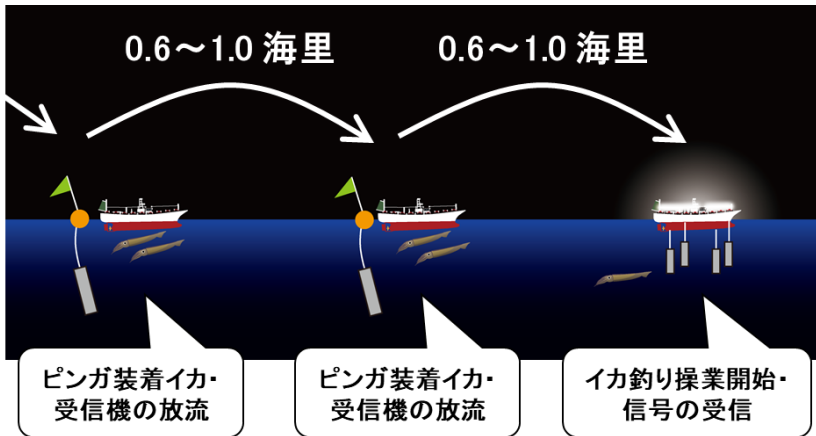


図 3-13 実験の手順

図 3-14 の事例では、発信機を装着したスルメイカは 2 時間 40 分かけて約 3 海里を移動し、漁船に到達したことが分かりました。発信機の信号は複数の受信機に記録されており、放流点からイカ釣り漁船までほぼ真っ直ぐに進んだと考えられました。イカ釣り漁船に到達したスルメイカは漁船近くに 3 時間以上滞留した後、遠ざかりました。

遊泳深度に着目すると（図 3-15），漁船に向かって移動している間は海面近くを遊泳していますが，漁船の近くでは深度 50 m 付近に留まり，漁船から遠ざかると再び海面近くを遊泳することが分かりました。

以上の結果から，水槽実験と同様に漁場においてもスルメイカは水面近くを光源に向かって長時間遊泳することが確認されました。さらに，新たな知見として，全てのイカが光に向かって移動するわけではなく，漁灯から遠ざかる個体やしばらく漁船近くに滞留してから遠ざかる個体もいることが分かり，漁船に接近する個体と漁船から離れる個体のバランスによって船下の個体数が増減するものと推察されました。

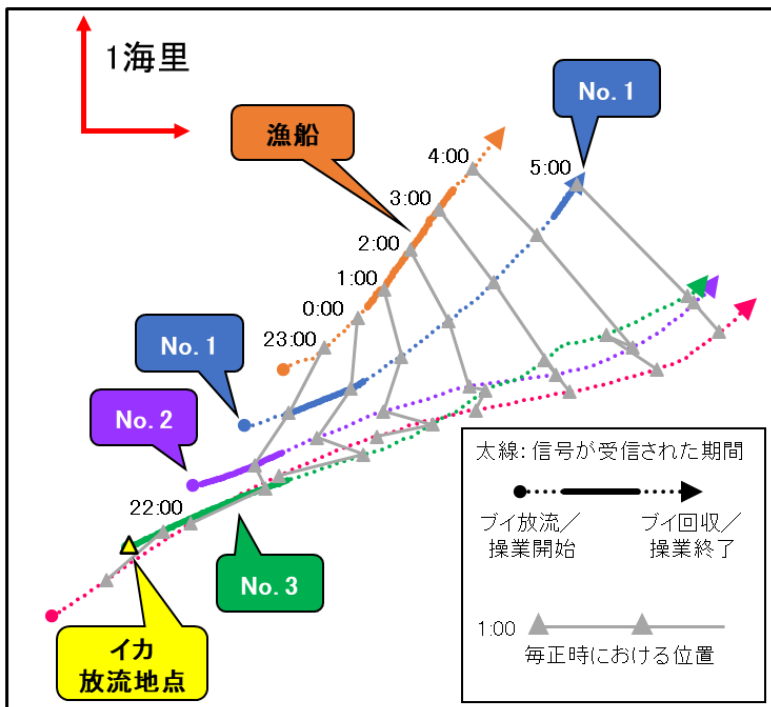


図 3-14 ブイ(No.1~3)および漁船の経時漂流位置とスルメイカからの信号受信状況の例

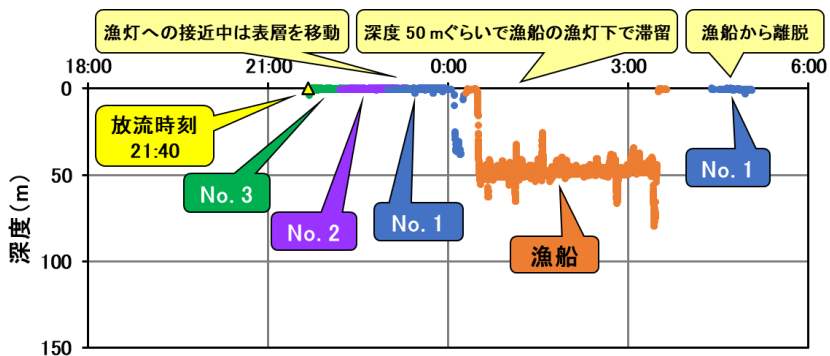


図 3-15 上図と同じ個体の遊泳深度の推移

これまでに行われた実験や観察の結果を総合すると、イカ釣り漁業の釣獲過程は次のように考えることができます。まず、遠くから到達する漁灯の光刺激によってイカは海面付近を遊泳して漁船方向に移動を開始します。次いで、漁船近くにまで到達したイカは散乱光の強い海面付近を避け、遊泳深度が深くなります。その結果、イカは散乱光が微弱でほぼ真上から光を受けられる船下に滞留するようになり、最終的に擬餌針を捕捉して釣獲されると考えられます（図 3-16）。

イカ釣り漁業の省エネルギー化を図るには、このような誘集・集約・釣獲の過程を損なうことなく、エネルギーの無駄を省く必要があります。具体的には、エネルギー変換効率の高い光源を用いることや、イカを集める上で必要ではない方向への光の照射を抑制することなどが考えられます。さらに、これまで紹介したように、イカは強い散乱光を避ける性質があることから、過剰に明るく、海水中で散乱しやすい短波長の光を多く放射する漁灯はイカを遠ざけ、釣獲を妨げてしまう可能性があります。省エネルギー漁灯を導入する際には、イカを遠ざけない特性に着目して漁灯を選択し、さらにイカを集めるうえで必要ではない方向への光照射を極力少なくできるよう設置することがポイントになると考えられます。

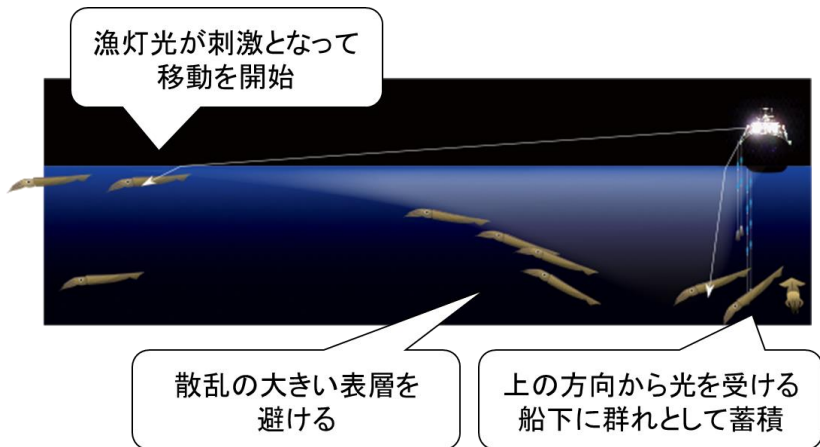


図 3-16 イカ釣り漁船の下にイカ群が蓄積される過程





# 第4章

## LED 漁灯の導入に向けて

---

LED 漁灯の導入を検討する準備として、漁灯を設置する際に考えられる工夫の仕方や省エネに向けた実際の燃油消費量の削減状況などを紹介します。

現在、イカ釣り漁業の他、漁灯を利用するサンマ棒受網漁業、旋網漁業等広く普及が進んでいる LED 漁灯の種類は、図 4-1 のように大別されます。用途に合わせて様々な構造のものがありますが、いずれの漁灯も電子基盤に小さな LED 素子を敷き詰めた構造になっており、これらを最大出力で一斉点灯させることが多いため、内部の LED 発光部や電源基板部では熱が発生します。LED 素子は熱に弱いいため、漁灯の用途にあわせて、外部へ効率よく放熱するよう工夫して設計されています。

また、漁灯の発光色（発光波長）についても、海水の透過特性に合わせた LED 素子を使用している製品からエネルギー変換効率の高い LED 素子を使用した製品等、多岐にわたっています。

**船上灯（パネル型）**：既存漁船の船上に設置されたメタルハライドランプやハロゲンランプ、白熱電球の代替を目的として開発された漁灯で、LED 素子を配した電子基板を筐体で囲ったシンプルな構造になっており、LED 漁灯の中ではイカ釣り漁船だけでなく、サンマ棒受網漁船にも広く普及している漁灯です。前述した熱対策として筐体にヒートシンク等を配して表面積を増やして効率よく放熱する「空冷式」と電子基板を水で冷却する「水冷式」があります。

**船上灯（吊り下げ型）**：パネル型の漁灯は既存の漁灯と比較し、表面積や重量が大きいことから、これらを船体上部に設置すると重心が上がって船体動揺が大きくなる傾向があり、特に小型漁船でその傾向が強く表れます。そこで、これらの影響を低減することを目的とし、吊り下げ型の漁灯も開発されています。

**水中灯**：中型イカ釣り漁船のアカイカ操業や旋網漁業で利用されている水中灯の代替を目的として開発されたLED水中漁灯です。外見は、既存の漁灯と同様の形状をしておりますが、光源部はLED素子を配した電子基板で構成されています。既存光源とは異なり、調光が容易にできることが特徴です。なお、熱対策は、水中で点灯することに対応して海水で冷却する設計となっています。

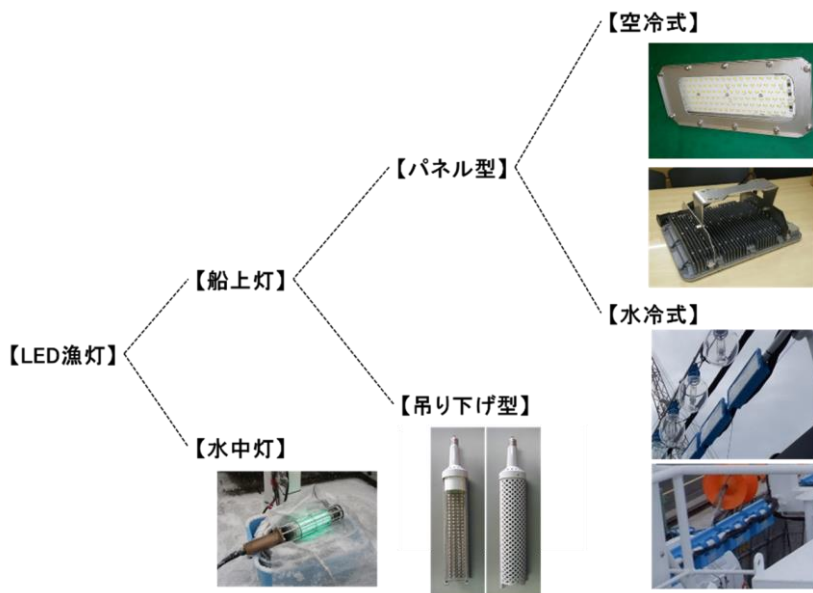


図 4-1 LED 漁灯の種類

パネル型の LED 漁灯を搭載すると，その数量によっては従来の MH 漁灯に比べて喫水線上の重量が増加し，復原性が低下する可能性がでてきます。また，球形の MH 漁灯に比べてパネル型の LED 漁灯では，横風を受ける面積が増加することも懸念されます。

そこで，開発調査センターでの実証調査に先立ち，中型イカ釣り漁船の完成図面と LED 漁灯搭載計画から，追加重量や風圧側面積等を算出しました。

MH 漁灯またはパネル型の LED 漁灯搭載時における燃油や清水を満載した状態での船体の重量，喫水線上の風圧側面積，横メタセンタ高さ（横方向の傾斜に対する安定性の判断指標）および傾斜角を表 4-1 に，風により生ずる傾斜角のイメージを図 4-2 に示しました。

満載状態の船体重量は，LED 漁灯を搭載することで 1.25 トン増加し，喫水線上の風圧側面積は 14.6 m<sup>2</sup> 増加しました。

これにより，横メタセンタは 0.02 m 減少し，横揺れ角は 0.5 度増加しましたが，船舶安全法船舶復原性規則の横メタセンタ高さ 0.35 m 以上，傾斜角 17 度以下の条件を満たしていることから，LED 漁灯搭載後も安全性が確保されていることを確認しました。

表 4-1 MH 漁灯またはパネル型 LED 漁灯搭載時の  
風圧関連数値

	船体重量 (トン)	風圧側面積 (m <sup>2</sup> )	横メタセンタ高さ (m)	傾斜角 (度)
MH	374.85	148.12	0.505	13.9
LED	376.10	162.72	0.485	14.4

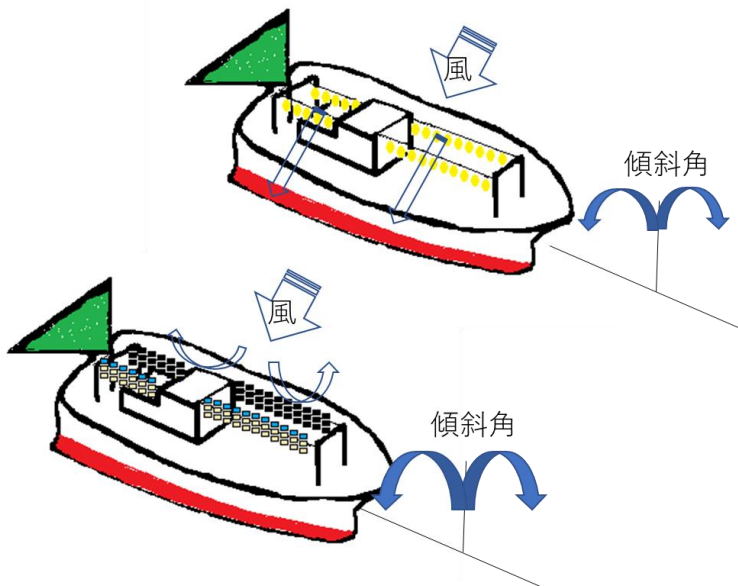


図 4-2 風圧側面積と傾斜角

上側:MH 漁灯を搭載したイカ釣り漁船

下側:LED 漁灯を搭載したイカ釣り漁船

傾斜角: 船体重心から船首方向に引いた水平線に対し  
船体が左右にどれだけ傾くかを示す

※ MH 漁灯の灯具は球形に近く灯具間隔が比較的広いため、横風が抜けていくが、パネル型の LED 漁灯が密に設置された場合は、横風の一部は遮断されて風圧抵抗となる。

漁灯を用いるイカ釣り漁業では、イカを広範囲から集めるために遠方まで漁灯の光が届くようにすること、船体周囲に集まったイカを釣獲するために船下の釣具ライン操作範囲にイカを誘導して滞留させることが重要になります（3-6 参照）。一方、LED 漁灯の設置位置によっては、船体の両舷側が MH 漁灯に比べて明るくなる場合があります。この場合、LED 漁灯による船体周囲の陰影部は MH 漁灯よりも狭くなり、イカを船下に誘導し、滞留させ難い光環境になる可能性があります。そこで、船体近傍の放射照度を低減させる方法を検討しました。

**LED 漁灯の設置角度の調整：**船体近傍の放射照度を低下させるために、水平方向に光を照射するように設置していた LED 漁灯をやや上に向けてみました。LED 漁灯の取り付け角度を、水平照射を 0 度とした場合と、水平よりもやや上向きになるように 5 度または 10 度上方に傾けた場合について、船体中央正横の 10 m 離れた位置で放射照度を測定したところ、設置角 0 度に比べて 5 度および 10 度では、放射照度がそれぞれ 5 % および 14 % 低下していました（図 4-3）。一方、船体正横の 40 m 離れた位置では、設置角度が違ってても放射照度はほとんど変化しませんでした。このため、LED 漁灯を少し上に向けることで、遠方を照らす光を損なうことなく船体近傍の放射照度を低減させ、イカを滞留させるための船下の陰影部を拡大できます。

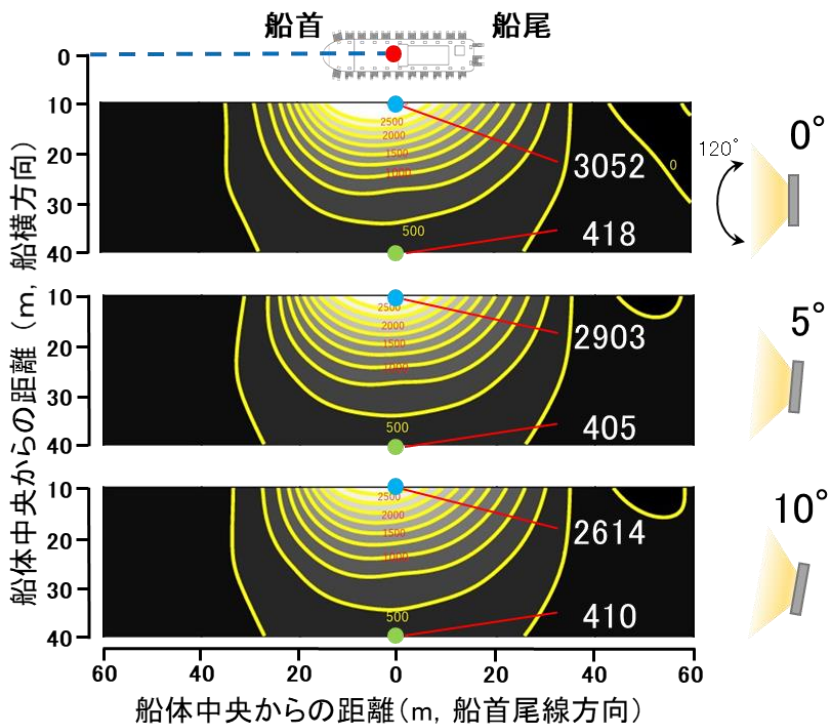


図 4-3 LED 漁灯の取付角度の違いが放射照度に及ぼす効果

(単位:  $\mu\text{W}/\text{cm}^2$ , 波長範囲: 350 ~ 650 nm)

黄色の線は放射照度の等しい値(等照度曲線)を示す  
赤点は船体中央, 縦軸横軸は船体中央からの距離 (m)

**遮光板の取付け**：船体近傍の放射照度を下げるもう一つの方法として、LED 漁灯の下に遮光板を取付けてみました（図 4-4）。LED 漁灯の設置角度は 0 度とし、遮光板がある場合とない場合で船体近傍の放射照度を比較したところ、遮光板を取付けることで船体近傍の放射照度を 13 %低下させることが確認できました（図 4-5）。つまり、遮光板を取付ける方法でも LED 漁灯をやや上に向けて取付けるのと類似した効果が得られると分かりました。また、照度分布の変化は検証していませんが、船体そのものを遮光に利用する方法として、LED 漁灯を低い位置に設置することや、船体中央寄りに設置する方法も考えられます。



図 4-4 LED 漁灯パネルの下方に取付けた遮光板



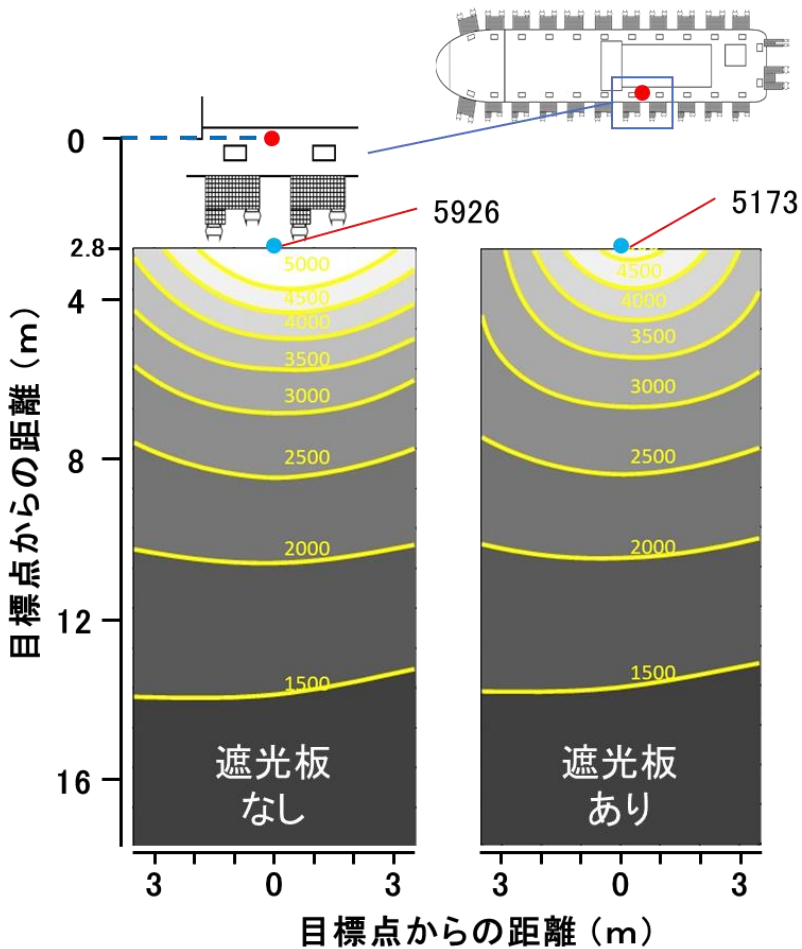


図 4-5 LED 漁灯に取付けた遮光板が放射照度に及ぼす効果

(単位:  $\mu\text{W}/\text{cm}^2$ , 波長範囲: 350 ~ 650 nm)

黄色の線は放射照度の等しい値(等照度曲線)を示す

赤点は目標点であり距離を算出するため遮光板付近に設置

縦軸横軸は目標点からの距離 (m)

LED は発光効率が高く、長寿命であるため、屋外や屋内の照明として広く普及してきており、省エネの実現や電気料の節約にも大きく貢献しています。イカ釣り漁船の燃油消費量は船体規模、漁場位置、漁獲対象種によって様々ですが、漁灯点灯に要する燃油の使用割合が大きいことは共通しています。このため、MH 漁灯を LED 漁灯に換装することで燃油消費量を削減することが可能です。開発調査センターでは、調査船とした中型イカ釣り漁船に MH 漁灯 250kW 相当の明るさの LED 漁灯（総消費電力 76.8 kW）を装備し（図 4-6）、MH 漁灯を装備した他の当業船と同様に操業しながら様々なデータを集めました。ここでは、全灯を LED 漁灯とした中型イカ釣り漁船の燃油消費量を調べた結果を紹介します。



図 4-6 LED 漁灯を装備した中型イカ釣り漁船

MH 漁灯を装備した中型イカ釣り漁船は操業時に発電用エンジンである補機を 2 台運転していますが、LED 漁灯のみを装備した場合には、補機 1 台で冷凍機を含む全ての船内機器に電力を供給することができました。漁灯光源別に比較したところ、LED 漁灯操業時の補機の燃油消費量は、MH 漁灯操業よりも平均で 43 %削減されたことが分かりました（図 4-7）。

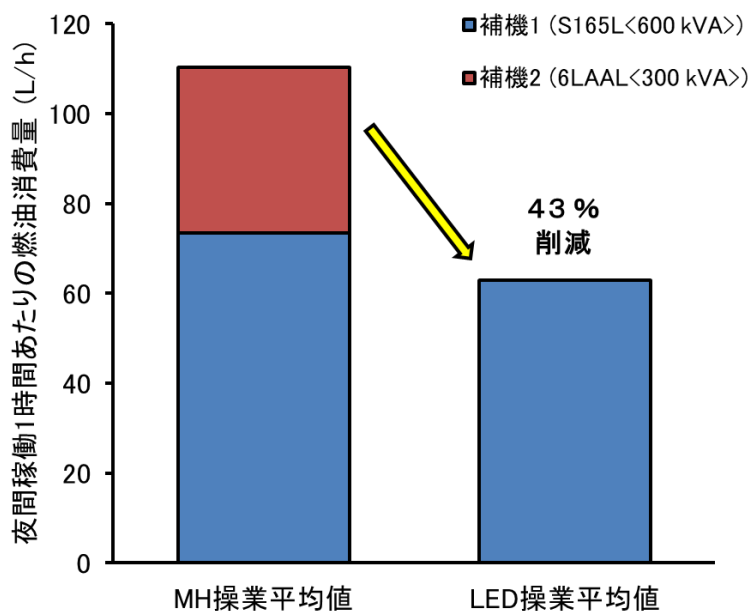


図 4-7 スルメイカ夜間操業中の補機による燃油消費量の平均値  
（同一船で異なる光源の漁灯を用いた場合の比較）

次に、アカイカ操業とスルメイカ操業を対象として、漁場移動や探索といった主機の運転を含む航海全体で燃油がどの程度削減されたのか調べてみました。

北太平洋中央部を漁場とするアカイカ操業に 1 航海従事した中型イカ釣り漁船の MH 漁灯と LED 漁灯の燃油消費量を比較したところ、燃油消費量が 22 %削減されることが分かりました（図 4-8）。アカイカ操業は漁場までの距離が長く、1 航海で搭載した燃油をほぼ使い切ってしまう。LED 漁灯を導入して操業に要する燃油消費を少なくすることで、漁場滞在日数を伸ばすことができ、1 航海の総漁獲量が増えるというメリットがあります。

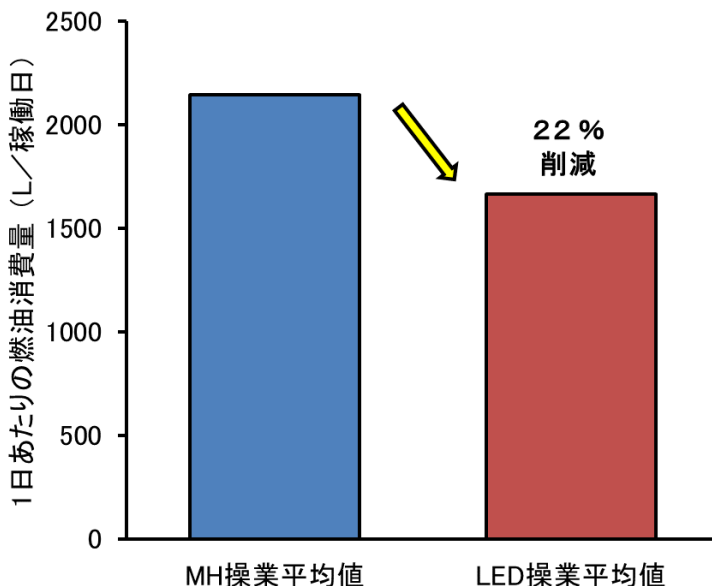


図 4-8 アカイカ操業の 1 日あたり燃油消費量の平均値  
（同一船で異なる光源の漁灯を用いた場合の比較）

次に、日本近海を漁場とするスルメイカ操業に従事する中型イカ釣り漁船の漁期中の燃油積込量と総稼働日数から 1 日稼働あたりの燃油消費量を求め、調査船の燃油消費量と比較しました。その結果、LED 漁灯を装備した調査船の燃油消費量は MH 漁灯を装備する当業船に比べて 33% 少なく、アカイカ操業よりも燃油消費量節減の効果が大きいことが分かりました（図 4-9）。スルメイカ操業はアカイカ操業に比べて漁場が近く、漁期中により多くの日数を操業に充てられることなどが、高い燃油節減効果をもたらす要因になっていると考えられます。

以上のように、MH 漁灯（250kW）の約 3 分の 1 の総消費電力である LED 漁灯では、燃油消費量を十分に削減可能なことがわかりました。

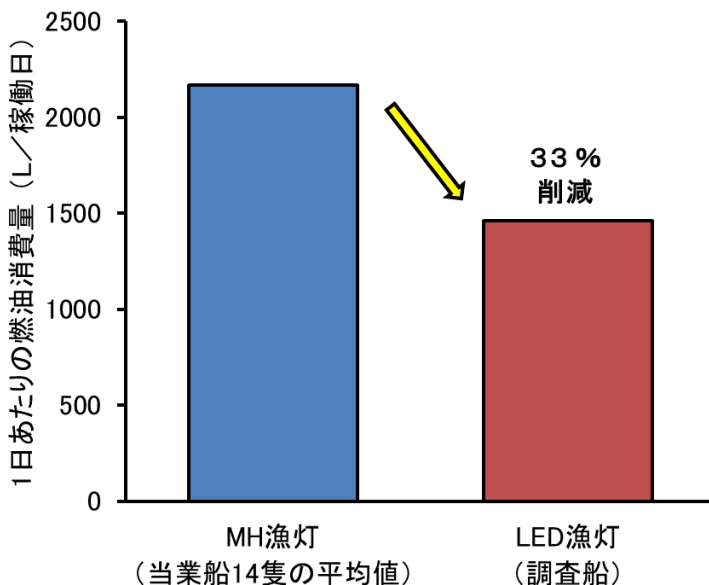


図 4-9 スルメイカ操業の 1 日あたり平均燃油消費量  
(LED 漁灯の調査船と MH 漁灯の当業船の比較)

イカ釣り漁船の漁灯に供給する電力の発電方法は、補機で発電機を回して発電する方法（主に 100 トン以上の中型イカ釣り漁船）と主機で発電機を回して発電する方法（主に 20 トン未満の小型イカ釣り漁船）の 2 種類に分けられます（図 4-10）。

**中型イカ釣り漁船：**近年の新造船を調べたところ、441 kW（600 馬力）の補機と 500 kVA の発電機を 2 基搭載しており、操業時にはいずれか 1 組を運転して、漁灯、釣機、冷凍機などの電力を賄うような構成が一般的となっています。中型イカ釣り漁船では、漁獲物を冷凍保存するために、操業していないときにも冷凍機を運転し続ける必要があります。この時には、漁灯よりも消費電力の少ない冷凍機に対して、大型の補機を運転して発電する状態となっており、必要以上の燃油を消費しています。漁灯を LED に換装し、操業時の消費電力が削減されれば、補機と発電機を出力・容量の小さいものに置き換えることができます。この場合、漁灯の点灯に要する燃油が少なくなるだけでなく、操業していないときの燃油消費も少なくなります。また、出力・容量の小さい補機と発電機を導入することで、建造コストの削減や機関室のスペースに余裕ができるというメリットもあります。

**小型イカ釣り漁船：**一般的な小型イカ釣り漁船では、航行用エンジンである主機で発電機を回し、漁灯に電力を供給しています。この場合、主機を小型・小出力のものに置き換えることはできませんが、漁灯の消費電力を抑えることで、主機にかかる発電負荷が下がり、操業中の燃油消費量が少なくなります。発電機については、漁

灯の消費電力に見合った小型ものに換装することができ、機関室のスペースに余裕ができるなどの副次効果が見込めます。

近年の新造船を調べたところ、90 kW（120 馬力）程度の補機と100 kVA 程度の発電機を有する船があります。このような船に LED 漁灯を導入し、作業時の消費電力を削減することができれば、中型イカ釣り漁船と同様、主機を停止し、補機のみで運転できる可能性があり、更なる燃油節減効果が期待できます。



図 4-10 漁灯に供給する電力の発電方法

LED 漁灯を発光させるメカニズムは、従来の MH 漁灯とは異なります（1-3 参照）。ここでは、MH 漁灯では出来ない LED 漁灯の特長を活かした使い方について検討します。

夜間、漁灯を使うイカ釣り漁業では、夜明け前にそれまで点灯していた漁灯を消したり、点灯する漁灯数を減らしたりすることで、一時的に釣獲量が増加する現象が昔から知られています。この漁灯操作は「電気ショック（略してショック）」と呼ばれ、LED 漁灯でも実施可能です。例えば、全点灯状態の LED 漁灯を上から 1 段ずつ減灯することで（図 4-11），1 時間あたりのスルメイカの釣獲量がそれまでよりも格段に増加する場合があります（図 4-12）。この時の魚群探知機の映像を確認すると、ショック開始から 15 分経過後からイカ群と推定される反応が増している傾向が確認できます（図 4-13 上段）。また、ショック操作前後の舷側付近の水面下 5 m における光環境を水中カメラで確認すると、全点灯時はかなり明るいものの、LED 漁灯を減灯する毎に暗くなる状況が確認出来ました（図 4-13 下段）。

以上のことから、ショック操作をすることで、それまで船体周囲に集まっていた釣獲されていなかったイカ群が、減灯により船体周囲の海中が暗くなることで船下に集約されたものと推測されます。LED 漁灯は、MH 漁灯と違い、点灯と消灯を自在に繰り返すことができるので、1 晩の操業で何度もショック操作が可能です。また、その他にも LED 漁灯の光量調整や点灯・消灯自在な機能を活用することにより、さらなる釣獲効率の向上が期待されます。



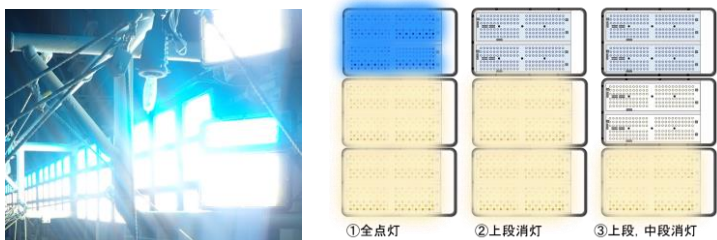


図 4-11 LED 漁灯の全点灯時(左)と段階的消灯の模式図(右)

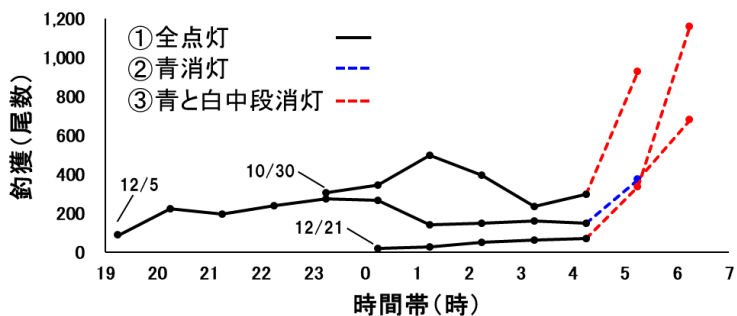


図 4-12 LED 漁灯のショック操作前後の釣獲変化(2020 年)

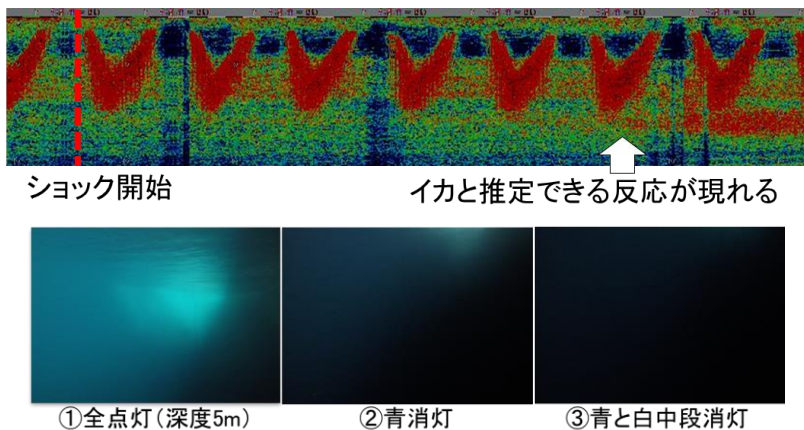


図 4-13 LED 漁灯操作時の魚探映像(上段)と水中映像(下段, ショック操作前後の舷側付近の水面下 5 m から海面方向を撮影)



# 第5章

## イカ釣り漁業の 未来に向けて

---

LED 漁灯の積極的な活用による利点も含め、ここでは今後のイカ釣り漁業が進むべき方向性を考えます。LED 漁灯を使った操業による採算性はどの程度なのか、また、導入に向けてはどのような課題があるのかを整理し、今後のイカ釣り漁業の将来像について提案します。

LED 漁灯を使用することにより、MH 漁灯に比べて燃油消費量が削減されます（4-4 参照）。一方、MH 漁灯の他船に対して、LED 漁灯の調査船はスルメイカの漁獲量がやや減少しました（2-5 参照）。LED 漁灯の実用化に向けては、MH 漁灯を使用する当業船に比べてどれほどの漁獲量があれば収益の面で同等になるかを確かめた上で、安定した漁業経営について検討する必要があります。

近年の漁獲状況、漁獲物と燃油の単価および調査で得られた燃油消費量の情報から利益指数を算出し（表 5-1）、LED 漁灯を使用した夜間操業で当業船と収益が同等になる漁獲水準を調べました（表 5-2）。スルメイカ操業では、燃油単価が 50 円/L と安価な時は、LED 漁灯の使用による燃油消費量削減の効果が小さく、当業船の約 93 % の漁獲量が必要となります。一方、燃油単価が 100 円/L と高価な時は、当業船の約 86 % の漁獲量で収益がほぼ同等になります。

2015～2019 年の操業のうち、調査船と当業船の両方が夜間移動なしの条件で比べた場合、調査船の漁獲量は、スルメイカ操業で当業船の約 9 割、アカイカ操業で約 1 割増の漁獲でした。この結果から、LED 漁灯のみでも、スルメイカ操業では当業船と同等の収益があり、アカイカ操業では当業船以上の収益が得られたと考えます。

以上のように、LED 漁灯の導入により、イカ釣り漁業を取り巻く環境が不安定でも、アカイカ操業とスルメイカ操業を効率良く組み合わせる等の工夫で、十分な収益を確保しつつ漁業経営の安定を図る方法も考えられます。今後の課題として、スルメイカ不漁時の LED 漁灯での漁獲低下原因を明らかにし、改善する必要があります。

表 5-1 利益指数の算出条件と方法

対象	イカ単価 (円/kg)	総漁獲量 (トン)	操業数 (日)	燃油消費量 (L/稼働日)	
				MH漁灯	LED漁灯
アカイカ	350	120	50	2,140	1,670
スルメイカ	600	100	120	2,167	1,460

利益指数(円)=[イカ単価×総漁獲量]－[燃油消費量×燃油単価]

表 5-2 LED 漁灯使用時の利益指数が MH 漁灯操業と同等になる漁獲水準

燃油価格が低下した場合 (A重油:50円/L)

MH漁灯操業と利益指数が同等になる漁獲水準

アカイカ操業	97.2 %
スルメイカ操業	92.9 %

燃油価格が2020年末水準の場合 (A重油:70円/L)

MH漁灯操業と利益指数が同等になる漁獲水準

アカイカ操業	96.1 %
スルメイカ操業	90.1 %

燃油価格が高騰した場合 (A重油:100円/L)

MH漁灯操業と利益指数が同等になる漁獲水準

アカイカ操業	94.4 %
スルメイカ操業	85.9 %

ここまで述べてきたように、従来のMH漁灯をLED漁灯に換装すると、スルメイカ操業ではやや漁獲が減少するものの、操業に要する経費の削減によって採算がとれる見込みが確認されました。また、エネルギー効率に優れたLED漁灯を利用することによって、温室効果ガスの排出抑制にも寄与し、地球環境にも優しい漁業としてイカ釣り漁業の存在価値を高めることにも繋がります。さらに、これまで危惧されていた、MH漁灯が発する紫外線（UV）による乗組員の健康被害の問題も解決され、MH漁灯の管球破損による水銀汚染やイカ製品へのガラス片の混入等の恐れも解消します。

以上のように、LED漁灯がもたらす恩恵は様々ですが、その普及には以下のような課題も残されています。

**初期投資への対応：**近年の平均的な中型イカ釣り漁業の経費や賃金を除いた年間利益は、およそ700～1,000万円程度であり（全国いか釣り漁業協会調べ）、5年に一度の漁船の定期検査や中間検査、大規模修繕も考慮すると、MH漁灯からLED漁灯への換装に要する経費の捻出は容易ではありません。これらのことに対応するために、新たな漁業体制の構築を目指し、必要に応じて水産庁の漁業構造改革総合対策事業などの補助事業を活用することも選択肢の1つと考えられます。

**光力競争からの脱却：**白熱灯、ハロゲン灯、MH灯のいずれを使用していた時代でも、より強い光を用いることで操業位置の確保とイカがより多く釣れるとの考えから光力競争が激化し、その光力を上げるために多くの燃油を消費する結果となっていました。効率的

な光源としてLED漁灯が普及しても、かつてと同じ光力競争が繰り返されては、経費の増大につながります。業界において、光力の上限を定めた上で、漁業者自身が確実に遵守する仕組み作りが必要となります。

**給与体系の見直し：**従来から多くの漁業で導入されている給与制度は、漁獲量に応じて給与が上下する歩合制です。その場合には、漁業収益がよくても漁獲量の減少とともに給与が減少し、乗組員の士気の低下に繋がります。LED漁灯が普及した場合、漁獲は少なくとも経費の削減で収益が増えることも予測され、同時に資源への圧力の抑制と、漁業経営の安定にも貢献するものと考えられます。一方で、乗組員給与の低下は人手不足を招き、結果として安定的な漁業経営を脅かすとするれば、現在の給与体系を見直す余地があります。このため、経営者と乗組員が一丸となって漁業経営と資源の持続的利用に向けた意識を醸成することが重要です。

**操業パターンの検討：**漁業経営には、資源変動など制御不能な要因も影響します。近年のスルメイカの不漁のような場合には、アカイカ操業も選択肢となります。北太平洋のアカイカ操業では、漁獲におけるLED漁灯の優位性が確認されています。また、漁場が遠方であり、航行用、冷凍用、漁灯用の燃油の節約が求められており、消費電力の少ないLED漁灯はアカイカ操業には好適と考えられます。資源状況に応じた操業パターンの選択を的確に行えば、収益性の改善が期待されます。

以上のようにいくつかの課題はありますが、それぞれを解決し、LED漁灯を使用した新たなイカ釣り漁業の生産体制を構築することによって、イカ釣り業界の発展に繋ぐことが可能でしょう。

イカ釣り漁業は、我が国のいか類食糧や食材を供給する重要な漁業であり、将来もその役割を担っていくでしょう。この漁業の継続・発展には、右の図 5-1 に示した 4 つの視点を達成し、新たな漁業生産体制の確立を目指す必要があります。そして、これらの視点を満たすための 1 つの近道が、LED 漁灯の導入ではないでしょうか。

LED 漁灯の利用により、イカの誘集に必要な電力量を大幅に低減できるとともに、LED ならではの光色（発光波長）の選択と柔軟な調光（光の強弱、点滅）、適切な配光が可能となります。当然、燃油消費量の削減にも繋がり、同時に温室効果ガスの排出を抑制します。また、発電に掛かる補機関の負荷が減るため、通常保守や機関換装の労力と費用軽減も期待されます。漁獲面では、アカイカを対象とした場合の優位性は当書に示した通りですし、LED 漁灯では点・消灯と調光の自由度が高まるため、いわゆる「電気ショック」操作の多様化でも漁灯利用の幅が広がります。また、今回の試験操業では十分に検討出来ませんでした。LED 漁灯の光色の違いに対して、イカ類の行動がどのように変化し、効率的な釣獲に繋がるかどうかといった点も興味深いところです。

また、「効率的な操業の実現」に向けて、更なる工夫も考えられます。1 つは、漁場探索の一層の効率化を目指した海洋環境情報の活用です。普段の操業の漁場探索時には表面水温の情報も参考にしているかと思います。例えば、表面水温以外にも、中層深度の水温情報も含めたあらゆる海洋環境情報と漁獲の関係をビッグデータとして収集・活用出来れば、漁場探索技術の高度化が図れるかもしれ



ません。また、「効率的な操業の実現」には自動イカ釣機の一層有効な活用も期待されるところです。自動イカ釣機の各種設定は漁撈長の経験に基づいて決められているかと思います。もし、釣機の色々な設定に対する釣獲結果をデータとして集め、魚群探知機やソナーに現れたイカ群の反応を釣機の動作と連動させることが出来れば、効率的な釣獲が可能になるでしょう。

近年、水産分野でも情報通信技術（ICT）や人工知能（AI）を積極的に活用したスマート化が進んでいます。これらの技術は上述したビッグデータを処理して適切な判断を行うツールとして優れています。今後は、AIを活用して効率的に漁場を探索し、LED漁灯光をその場の状況に適合させてイカを集め、自動イカ釣機を適切にコントロールして効率良く釣獲する。そんな操業の実現も近くまで来ています。

## 新たなイカ釣り漁業の確立に向けた視点

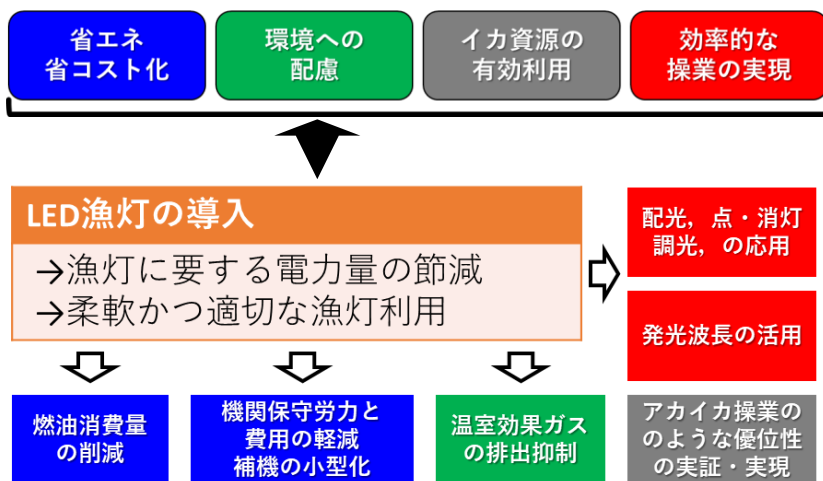


図 5-1 イカ釣り漁業の展望とLED漁灯の導入効果

## あとがき

本書で取り扱った中型イカ釣り漁船を対象とした全灯 LED 漁灯による実証操業は、現在の自主的な光力制限であるメタルハライド漁灯 250kW 相当に LED 漁灯の光の広がりと強さを合わせて、各種の試験操業を行ってきました。また、これまでの数多くの LED 漁灯の実用化を目指した調査研究で得られた知見を活用しつつ、LED 漁灯の特長を最大限利用する方法も検討してきました。その結果として、アカイカを対象とした LED 漁灯操業では、既存の MH 漁灯船を上回る釣獲である上に省エネも達成しました。一方、スルメイカを対象とした場合では、右図に示すように、年間の漁獲量が少なくなるほど、MH 漁灯を使う他船の平均的な製品数（中央値）に対する LED 漁灯の調査船の製品数割合が減少する傾向となりました。このように、比較的資源が豊富であった年には MH 漁灯操業の他船をやや下回る程度の漁獲でしたが、資源状況の低下とともにその差が大きくなっていました。ただし、アカイカ操業同様に大幅な省エネは実現しており、採算面では当業船平均と大差なく、特に、燃油単価とイカ単価次第で十分な収益が確保できます。

さて、本書の編集は令和元年から令和3年に行っていますが、まさにスルメイカの歴史的な不漁が続いている時期と重なっています。さらには、令和2年から始まった新型コロナウイルスの感染拡大による影響は、水産業界にも飛び火し、じわじわと漁獲物の販売金額の低下が起こっているようです。加えて、昨今の度重なる異常気象は、地球温暖化が主たる要因の一つである

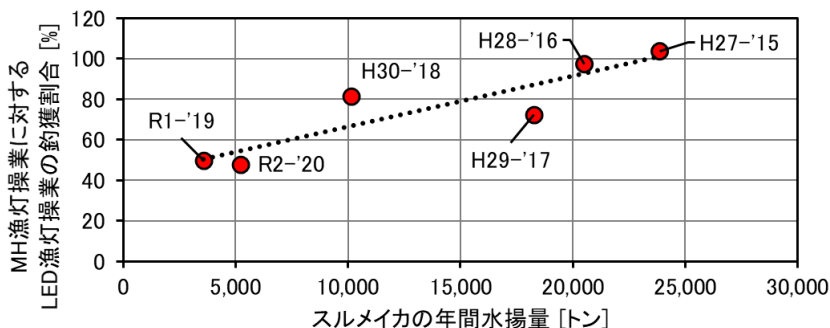


図 スルメイカの年間水揚量とMH 漁灯操業に対するLED 漁灯操業における釣獲割合との関係  
 ※ 年間水揚量: 中型イカ釣り漁船のみを対象  
 ※ 釣獲割合: 当業船(MH 漁灯操業)の製品数の中央値に対する調査船(LED 漁灯操業)の製品数の割合

と考えられており、世界規模での対策が急務です。このことは、典型的な燃油多消費型の漁業であるイカ釣り漁業にとって他人事ではありません。このように、本漁業を取り巻く状況は劇的に変わりつつあり、この漁業が大きな変革に向けて動き出す時期が迫っているのかもしれません。

漁灯の光でイカを集めて釣り上げるイカ釣り漁業は、ある意味で「待ち」の漁業要素を含んでいるとも考えられます。そのため、サンマ棒受網漁業や旋網漁業のような漁灯を制御しながら網で漁獲する漁業とは異なり、イカ釣り漁業ではLED 漁灯の現場普及が一気に進むことは困難かもしれません。また、イカ釣り漁業は、漁灯に要する設備投資がそのまま漁獲量に結びつく漁業であると言われていています。さらに、既存のMH 漁灯からLED 漁灯への全換装となると、少なくともMH 漁灯に関連する

資機材を全て新しくするよりも経費が高くなることが予想され、費用対効果の面で依然として厳しい状況が現実です。この点は、業界や国が一丸となって取り組むべき課題です。

他方、漁船漁業と加工業等の関連産業は常に持ちつ持たれつの関係性を保ってきており、イカ釣り漁業においても、加工向けとして一定以上の原料供給が求められています。その供給を続けていくためには十分な漁獲の確保が必須となりますが、そのためにはイカ釣り漁船の隻数も一定以上の数を維持する必要があります。これは、隻数の減少が沖合での漁場探索効率の低下を招くなど、操業の効率にも関係するためです。しかしながら、スルメイカの不漁や乗組員不足による廃業もあり年々隻数が減少しています。

以上を踏まえ、いか類食糧や食材を安定供給する役割をイカ釣り漁業が今後も続けていくためには、スルメイカはじめイカ類資源の有効利用と、より効率的な生産システムおよび持続的な漁業経営の確立がますます重要になってきます。そのための方策の一つとして、省エネ操業に繋がる LED 漁灯の業界全体での普及が有望ではないでしょうか。本書で示した実証調査の結果が活用され、新たなイカ釣り漁業の構築に向けて頂けると幸いです。

日本のイカ釣り漁業には、LED 漁灯の応用を一つの手段として、目前に迫りつつある「排ガスによる炭素税」負担の少ない漁業として持続的に発展することを願っています。そのために、我々研究機関としては、業界が一丸となって進める LED 漁灯の全面的な利用に向けた取り組みに、出来得る限りのサポートを続けたいと考えています。

稲田博史，小倉通男．イカ釣漁業における集魚灯の変化．東京水産大学論集，24，189-207，1988年．

稲田博史．イカ釣り漁業における漁獲技術に関する研究．日本水産学会誌，71，717-720，2005年．

山下秀幸，越智洋介，小河道生．平成19年度海洋水産資源開発事業報告書（資源対応型：いか釣Ⅰ．北太平洋中・西部海域＜第二吉丸＞）．独立行政法人水産総合研究センター 開発調査センター，2008年．

高橋晃介，越智洋介，小河道生．平成20年度海洋水産資源開発事業報告書（資源対応型：いか釣Ⅱ（北太平洋中・西部海域：第二吉丸））．独立行政法人水産総合研究センター 開発調査センター，2009年．

稲田博史，有元貴文，長島徳雄，飯田浩二編．水産学シリーズ166（日本水産学会監修）漁灯を活かす技術・制度の再構築へ．恒星社厚生閣，2010年．

社団法人海洋水産システム協会．水産庁補助事業 省エネルギー技術導入効果実証試験事業 成果集別冊．2011年．

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．日本水産学会，77，53-60，2011年．

「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」  
共同研究機関. イカ釣り LED 漁灯活用ガイド. 独立行政法人水産総合  
研究センター 水産工学研究所, 2013 年.

高山 剛. スルメイカ *Todarodes pacificus* の対光行動とイカ釣り漁業の  
漁獲過程に関する研究. 博士論文, 東京海洋大学, 2014 年.

高橋晃介, 阿保純一, 谷口皆人, 平松 猛, 佐谷守朗, 山下秀幸, 越  
智洋介. 平成 25 年度海洋水産資源開発事業報告書 (いか釣<日本周辺  
海域>). 独立行政法人水産総合研究センター 開発調査センター,  
2015 年.

高橋晃介, 貞安一廣, 阿保純一, 谷口皆人, 平松 猛, 平野満隆, 佐  
谷守朗, 山下秀幸, 高山 剛, 上野康弘, 柴田玲奈, 田丸 修. 平成  
26 年度海洋水産資源開発事業報告書 (いか釣<日本周辺海域>). 国  
立研究開発法人水産総合研究センター 開発調査センター, 2015 年.

高橋晃介, 宮原 一, 谷口皆人, 土山和彦, 阿保純一, 平野満隆, 貞  
安一廣, 高山 剛, 佐谷守朗, 山下秀幸. 平成 27 年度海洋水産資源開  
発事業報告書 (いか釣<日本周辺海域>). 国立研究開発法人水産研  
究・教育機構 開発調査センター, 2016 年.

松下吉樹. 小型イカ釣り漁船のエネルギー収支. 水産工学, 52, 189-  
195, 2016 年.

四方崇文. イカ釣り漁業におけるスルメイカの誘集・漁獲過程に関する  
研究. 水産工学, 52, 197-203, 2016 年.

高山 剛. いか釣り漁業における漁灯配光の把握と最適化. 水産工学,  
52, 205-208, 2016 年.

高橋晃介，阿保純一，貞安一廣，谷口皆人，平野満隆，高山 剛，山下秀幸．スルメイカの対光行動とイカ釣り漁業の漁獲過程．水産工学，52，209-215，2016年．

田丸 修．システムとしてのイカ釣り漁業．水産工学，52，217-222，2016年．

古原和明．長崎県における光源出力抑制の取り組み．水産工学，52，223-225，2016年．

串崎康文，松下吉樹．いか釣り漁業の合理化について．水産工学，52，227-231，2016年．

山下秀幸，越智洋介，高橋晃介，大久保照享，田添 伸．夜間イカ釣り漁業の合理化に向けて．水産工学，52，233-237，2016年．

藤尾多茂，近藤匡毅．蛍光体、発光装置及び蛍光体の製造方法．特開2017-155217，2018年10月17日．

高橋晃介，宮原 一，土山和彦，下光利明，原 孝宏，鶴 専太郎，山下秀幸．平成28年度海洋水産資源開発事業報告書（いか釣＜日本周辺海域＞）．国立研究開発法人水産研究・教育機構 開発調査センター，2018年．

宮原 一，岡本 誠，土山和彦，高橋晃介，山下秀幸，明田定満，高山 剛，柴田玲奈，田丸 修，松井 萌．平成29年度海洋水産資源開発事業報告書（いか釣＜日本周辺海域＞）．国立研究開発法人水産研究・教育機構 開発調査センター，2019年．

岡本 誠，宮原 一，土山和彦，高橋晃介，貞安一廣，山下秀幸，越智洋介，高山 剛，松井 萌．平成 30 年度海洋水産資源開発事業報告書（いか釣＜日本周辺海域＞）．国立研究開発法人水産研究・教育機構 開発調査センター，2019 年．

松井 萌，高山 剛，山本 潤，藤森康澄，桜井泰憲．白色 LED 光に誘引されるスルメイカの遊泳速度の測定．日本水産学会誌，86，59-66，2020 年．

下光利明，岡本 誠，鈴木大智，宮原 一，高橋晃介，貞安一廣，山下秀幸．令和元年度海洋水産資源開発事業報告書（いか釣＜日本周辺海域および北太平洋海域＞）．国立研究開発法人水産研究・教育機構 開発調査センター，2020 年．

鈴木大智，岡本 誠，下光利明，宮原 一，加藤慶樹，土山和彦，高橋晃介，貞安一廣．令和 2 年度海洋水産資源開発事業報告書（いか釣＜日本周辺海域および北太平洋海域＞）．国立研究開発法人水産研究・教育機構 開発調査センター，2021 年．



－本書の内容に関する問い合わせ先－

国立研究開発法人水産研究・教育機構 開発調査センター

〒221-8529 神奈川県横浜市神奈川区新浦島町 1-1-25

テクノウェイブ 100 6F

Tel : 045-277-0184 Fax : 045-277-0209

イカ釣り LED 漁灯活用ガイドⅡ（第2版）

---

2021年7月印刷・発行

編集 いか釣り漁業漁灯技術研究会

国立研究開発法人水産研究・教育機構 開発調査センター

発行 国立研究開発法人水産研究・教育機構 開発調査センター

〒221-8529 神奈川県横浜市神奈川区新浦島町 1-1-25

テクノウェイブ 100 6F

---