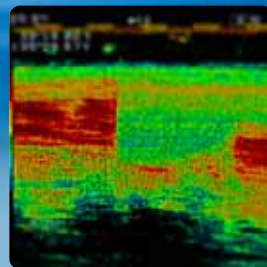


平成20年度

日本海沖合漁場におけるいか釣り漁業用発光ダイオード 水中集魚灯試験結果報告書



平成21年3月31日
石川県水産総合センター

ISHIKAWA PREFECTURE FISHERIES RESEARCH CENTER

目次

第1章 背景と目的	1
第2章 調査方法	
1. 集魚灯設備	2
2. 漁獲試験	3
3. 燃油消費量	3
4. 音響反応	4
5. 海中照度	4
第3章 結果と考察	
1. 試験海域の海況	6
2. 漁獲成績	6
3. 水中灯点灯条件の変更にもなう漁獲成績の変動	10
4. 水中灯光に対するスルメイカの反応行動	13
5. 集魚灯点灯時の海中照度分布	18
6. 漁獲成績と水中灯光に対するスルメイカの反応行動の関係	22
7. 水中灯の技術的課題と今後の調査	23
8. まとめ	25
付記・謝辞	26
引用文献	26
附表	27

石川県水産総合センター 担当者

海洋資源部長 柴田 敏

専門研究員 四方 崇文（調査・とりまとめ）

白山丸船長 島 敏明（調査船運航）

第1章 背景と目的

原油価格は、2003年に始まったイラク戦争を契機として、中国・インドなど新興国の経済発展による需要増、ハリケーン・カトリナによる米国石油精製施設の被害、イランの核兵器開発問題などの影響を受けて上昇基調にあったが、2007年夏の米国のサブプライムローン問題に起因する原油市場への投機資金の流入により急騰し¹⁾、2008年7月には一時145ドル/バレルにまで上昇した²⁾。この影響で国内の燃油価格は上昇し、漁船の燃油であるA重油の価格も2008年夏には120円/Lにまで達した³⁾。この価格は2000年代初頭の3倍以上であり、燃油高騰によって漁業経営が圧迫されている窮状を訴えるため、同年7月には全国の漁船20万隻が一斉休漁する事態となった。その後、世界的な景気低迷による需要減退、原油先物市場に対する規制の動きなどが重なり原油価格は下落に転じ、国内の燃油価格も低下して落ち着きつつある。しかし、世界の石油需要は新興国を中心に今後も拡大することが見込まれており⁴⁾、長期的には価格が上昇する可能性は高い。燃油を巡るこのような社会的背景から、漁業分野でも省エネルギーに対する関心が急速に高まっている。いか釣り漁業は漁業収入に対する燃油費の割合が他の漁業に比べて高く⁵⁾、燃油価格の変動の影響を受けやすいため、省エネルギー技術に対する期待が特に大きい漁業種類となっている。

現在、いか釣り漁業では、主にメタルハライド灯(MH: Metal Halide Lamp)が船上集魚灯(船上灯)として用いられているが、MH船上灯は多量の電力を消費するため、発電機関の燃油消費量も多く、中型いか釣り漁船では1隻あたり年間500kLものA重油を消費する⁶⁾。このため、消費電力の少ない発光ダイオード(LED: Light Emitting Diode)の集魚灯への応用が注目されている。石川県水産総合センターでは、(社)沖合いか釣り漁業協会の委託を受けて、平成17年度から3年間、日本海沖合のスルメイカを対象として、調査船白山丸(総トン数167トン)を用いて青色LED船上灯の実証試験を行った。その結果、MH船上灯の2/3程度を青色LED船上灯に置き換えて操業することで、従来操業の9割程度の漁獲量を維持しつつ、操業中の燃油消費量を半減できることが実証された⁷⁾。しかし、MH船上灯の2/3を換装するのに必要なLED船上灯の導入費は中型いか釣り漁船1隻あたり約6千万円にものぼることから、多くの漁業者が容易に導入できる技術には至っていないと考えられた。

いか釣り漁業では、船上灯の他に水中集魚灯(水中灯)が用いられる場合があり、北太平洋沖合海域のアカイカの昼間操業で成果をあげているほか、ニュージーランドスルメイカの操業では昼夜とも水中灯が用いられている。現在、中型いか釣り漁船では、本邦周辺海域での水中灯の使用が禁止されており、小型いか釣り漁船でも使用実績がなく、スルメイカに対する水中灯の効果は明らかでない。しかし、海面反射による光の損失が大きい船上灯に比べて、水中灯は海中への光の入射効率が高く、効果的な使用方法を見いだすことができれば、エネルギー効率が非常に高い集魚技術になりうる。そこで、水産総合センターでは、調光性や瞬間点灯性能などの操作性に優れたLED水中灯に着目し、その効果的な使用方法を明らかにするための調査を始めることにした。初年度の本年度は、夜間操業時のスルメイカの漁獲に対するLED水中灯の効果、並びに本種の行動に及ぼす水中灯光の影響を把握することを目的とし、日本海沖合海域で調査船白山丸による試験操業を実施した。本報告書では、調査結果を整理・考察するとともに、水中灯を実用化する上での技術的課題について検討した。

第2章 調査方法

1. 集魚灯設備

調査船白山丸には、船上灯として3kWのMH灯78灯、5kWのハロゲン(HG)灯10灯、400Wの水銀灯12灯が装備されており、これらの船上灯と水中灯を適宜併用して漁獲試験を行った(図1)。本調査には、(株)拓洋理研製の600W型青緑色LED水中灯2灯、2kW型青緑色LED水中灯1灯、5kW型白色MH水中灯1灯を用いた。600W型LED水中灯1灯と2kW型LED水中灯の電源部は船首楼内に、もう1灯の600W型LED水中灯と5kW型MH水中灯の電源部は機関室入口にそれぞれ設置した(図2)。船首側の水中灯は船首ローラーから、船尾側の水中灯は船尾ダビットから各1灯ずつ垂下して試験を実施した。

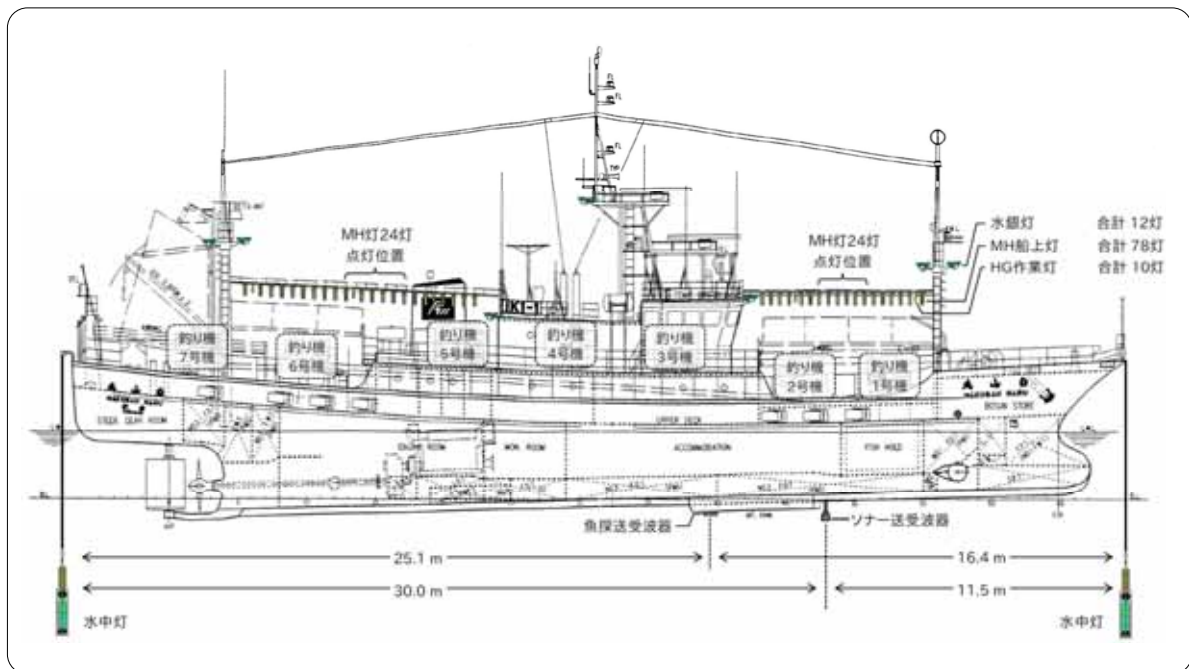


図1 調査船白山丸のMH灯、HG灯、水銀灯および水中灯、並びに釣り機の配置

本調査に用いたLED水中灯は、ピーク波長:499nm、波長半値巾:±15nm(LEDメーカーの仕様書のグラフ読み取りによる)であり、操作盤によって0~100%(順電流最大値)の範囲で連続的に光量の調節が可能で、ストロボ点灯(光量100%;点灯時間0.05秒)の間隔も0.1~10秒の範囲で設定可能であった。2kW型LED水中灯はストロボ点灯の時間も設定可能であったが、点灯時間は0.05秒にして使用した。5kW型MH水中灯についても、最大光量である「全光」から「減光1」~「減光5」まで6段階の光量調節が可能であった。

2. 漁獲試験

平成20年8月25日から9月2日(第1次航海)、9月17日から26日(第2次航海)、10月15日から23日(第3次航海)に大和堆付近の海域で漁獲試験を行った。出港前には、予め表面水温画像(漁業情報サービスセンター提供:NOAA/AVHRR画像)や中層水温図((独)水産総合研究センター提供:日本海海況予測システムJADE)を入手し、夜間可視光画像(農林水産研究情報センター提供:DMSP/OLS画像)や聞き取りにより漁場を把握したうえで試験に適した海域を選定した。そして、各航海の日中には、魚群探知機とソナーを用いて漁場探索を行い、操業位置を決定した。各操業点では、シーアンカー投入後に集魚灯を点灯し、日没後から日出前の夜間に漁獲試験を行った。自動いか釣り機((株)東和電気製作所製 MY-3DP)14台を用い、テグスには110cm間隔で釣り針24本を連結し、釣り具ラインの垂下水深を75mに設定して操業した。釣り機の運転台数や操業時間は海況や漁獲状況により適宜調整した。操業中は1時間毎に漁獲尾数と釣り機の運転台数を記録し、その結果からCPUE(釣り機1台1時間あたりの漁獲尾数)を算出した。漁獲した200尾のスルメイカの外套背長を測定し、階級幅1cmの外套背長組成を求めた。各操業点では、気象、海象、透明度を観測するとともに、アレック電子(株)製のSTD(AST1000)を用いて水深300mまでの水温と塩分を測定した。



図2 点灯時のLED水中灯(左)、各種水中灯(中央)および電源・安定器・操作盤(右)

3. 燃油消費量

調査船白山丸には1,300PSの主機関(主機)が1台、360PSの補機関(補機)と300kVA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、集魚灯の点灯条件や冷凍機の運転状況にあわせて、補機を1台または2台運転し、その燃油消費量を1時間毎に記録した。また、航行時や非操業時にも主機と補機の燃油消費量を定時に記録した。

4. 音響反応

水中灯光に対するスルメイカの反応行動を把握するために、フルノ電気(株)製の魚群探知機(FCV-1200L:周波数;88kHz,107kHz)とソナー(CSH-81:周波数;81kHz)を用いて音響反応の変化を調べた。音響反応の記録装置は図3のとおりで、魚群探知機(魚探)とソナーのRGB出力をPC・TVコンバーターでTV出力に変換し、それをHD・DVDレコーダーとノートパソコンに入力する構成とした。作業中はHD・DVDレコーダーに魚探とソナーの画像を連続録画するとともに、ノートパソコンで静止画を適宜記録した。音響反応の結果を評価するにあたって、魚探とソナーの送受波器の取付位置を把握しておく必要がある。調査船の一般配置図と船底機器装備要領図から取付位置を読み取ったところ、魚探の送受波器は船首から16.4m、船尾から25.1mの位置に、ソナーの送受波器はそれぞれ11.5mおよび30.0mの位置に取り付けられていた(図1)。

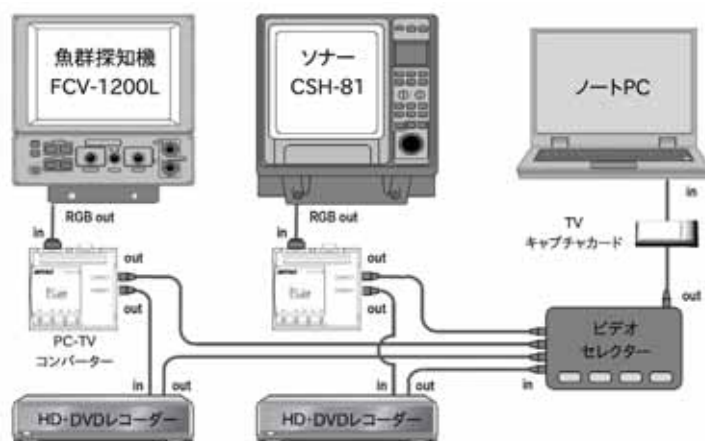


図3 魚群探知機とソナーの画像記録装置の構成

5. 海中照度

平成20年11月12日の夜間、石川県能登町沖(測定開始位置:北緯37度15.2分・東経137度14.0分)で調査船のMH船上灯78灯、MH船上灯24灯、HG灯10灯をそれぞれ点灯した。右舷側の1号釣り機と2号釣り機の間付近と6号釣り機付近のそれぞれの船縁と船外機船をロープで繋ぎ、ロープの長さを調節して舷外方向に0m、5m、10m、20m、30mおよび40mの距離に船外機船を定位させた。そして、アレック電子(株)製のメモリー式分光照度計(AL8W-CMP)を水深50mまで垂下し、船上灯点灯時の海中照度を測定した。なお、照度計単独では水深データが取得できないので、同社製のメモリー式水深計(ATD-HR)を同時に垂下し、両測器の時間データを基準にして照度と水深のデータセットを作成した。

同調査時には、図4に示した方法でLED水中灯点灯時の照度分布の測定を試みた。即ち、600W型LED水中灯のガード先端部とケーブルをロープでつないで水中灯の角度を0°、30°、60°、90°、120°、150°および180°(上下反転)に調節し、水中灯の中心より2.5m上部のケーブルに水深計を固定した。この水中灯を船尾から水深100mに垂

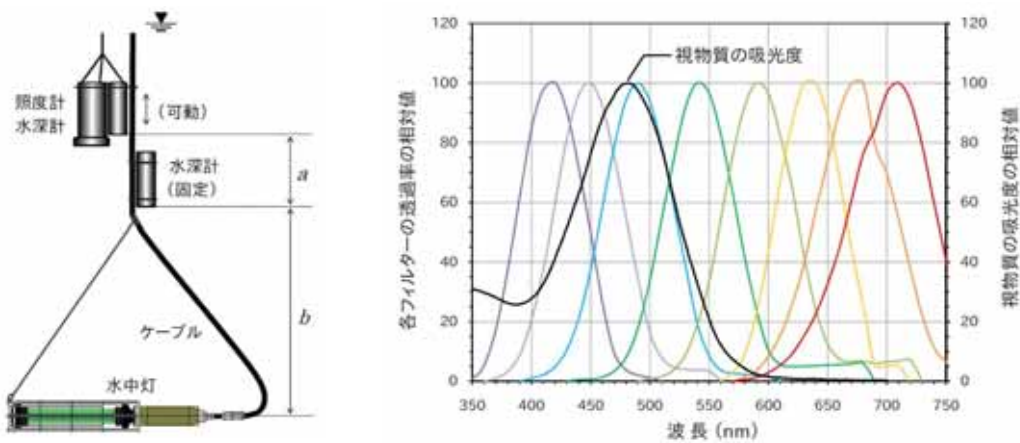


図4 LED水中灯の照度測定方法と照度計の分光特性およびスルメイカ視物質の吸収曲線

下し、分光照度計と水深計をケーブルに沿わせて降下することで角度別距離別の照度を測定した。なお、二つの水深計の水深差(a)にケーブルに固定した深度計と水中灯の距離(b)を足した値を水中灯と照度計の距離とした。

本調査に用いた照度計の分光フィルターの特性は図4に示したとおりである。このうち488nmを中心とする分光波長帯のフィルターはスルメイカの視物質の吸収曲線(提供:清道正嗣博士)に近い透過特性を有しており、この測定値がスルメイカに対する明るさの指標として適当と考えられる。本調査に用いた照度計はフィルターを通過した光をフォトダイオードで検出するものであるが、分光波長帯の間でエネルギー量に基づいた補正はなされていない。このため、分光波長帯間のデータは相互に比較できないが、同一波長帯のデータは光のエネルギー量の指標として比較が可能である。

第3章 結果と考察

1. 試験海域の海況

各航海とも日本海中央部の大和堆付近の海域で操業を行った(図5)。第1次航海では、北大和堆北東の北緯40度11分・東経135度14分から調査を開始し、東に移動しながら操業を行ったが、調査海域の資源密度が高かったため、大きく漁場移動することはなかった。第2次航海では、初日、北緯39度52分・東経134度34分で操業したが、翌日朝には多数の漁船に取り囲まれたため、漁場探索を兼ねて南東方向に46~62海里移動して操業を続けた。第3次航海では、初日、北緯39度15分・東経135度12分で操業したが、不漁であったため、北緯40度06分・東経135度11分に移動して3回操業した。しかし、この海域でも日ごとに漁獲成績が悪化したため、南西に移動して操業したもののやはり不漁であった。そして、最終日には初日の操業位置に近い海域に戻って試験を行った。本調査では、第12次操業(第2次航海)で多少時化したものの、その他は風の日が多く、海況は極めて良好であった。

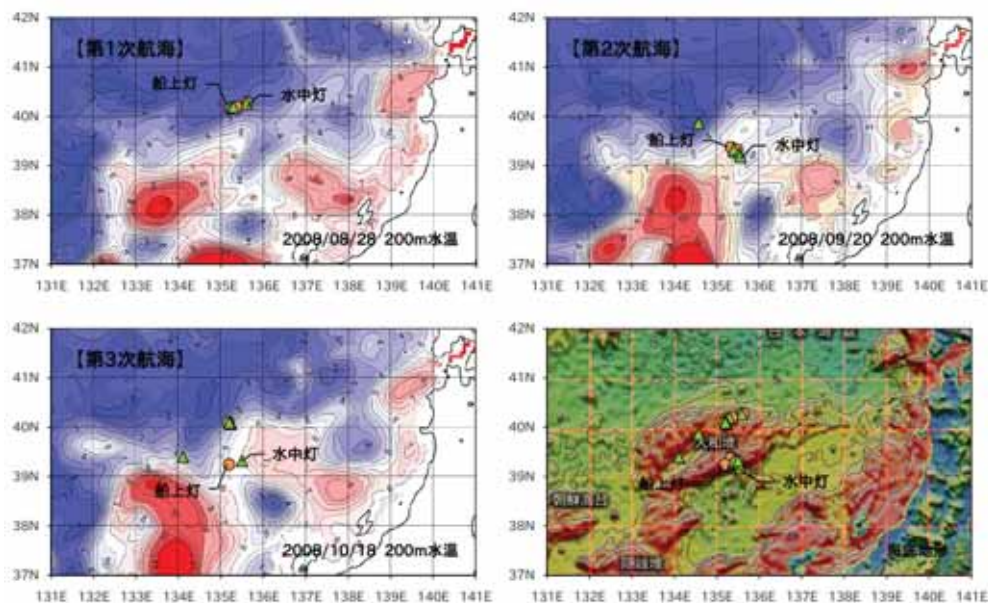


図5 各航海の操業位置と水深200m水温および海底地形

水温:(独)水産総合研究センターの日本海海況予測システムより。

2. 漁獲成績

(1) 第1次航海

第1次航海では、水中灯による操業とMH船上灯による操業を各3回実施した(図6:詳細は付表1・2)。第1次操業では、600W型LED水中灯を船首と船尾から水深40~50mに垂下し、MH船上灯24灯を点灯して操業を始めたが、水中灯の光量を100%にした22時までCPUEは13尾以下と低かった。この途中の20時から21時の間にシーア

ンカー調整のため一時的に水中灯を収容したところ、漁獲尾数が増える様子がみられた。そこで、22時から船尾の水中灯を消灯し、船首の水中灯を1秒間隔でストロボ点灯したところ、CPUEは一気に上昇した。このことから、水中灯を光量100%で点灯するより、ストロボ点灯するか減光するほうが良い可能性が考えられた。そこで再度、00時に船首と船尾の水中灯の光量を100%にしたうえで、01時に消灯し、さらに02時から船首の水中灯を1秒間隔でストロボ点灯したところ、CPUEは13尾から187尾に大きく上昇することが確認できた。

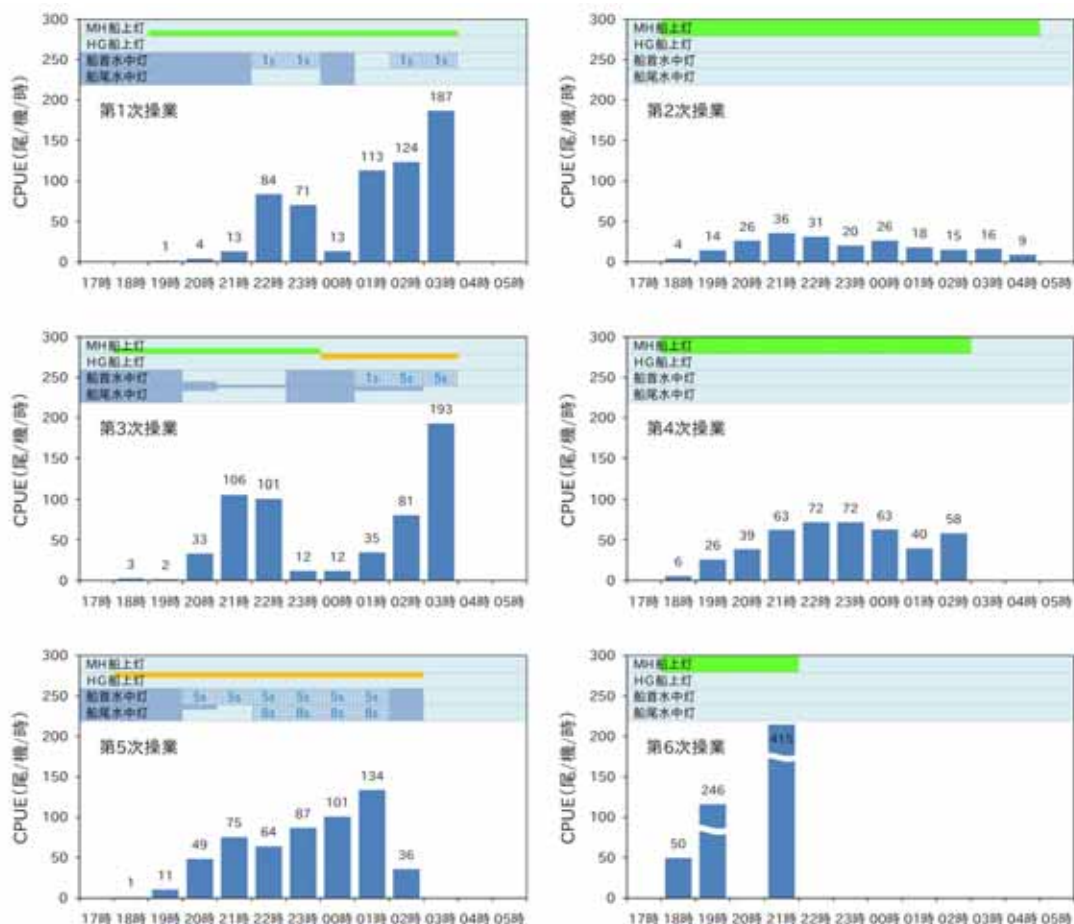


図6 第1次航海の各操業時における1時間毎のCPUEの推移

図中の帯は船上灯と水中灯の点灯条件で、MH灯を緑色、HG灯を黄色、LED灯を青色で示した。帯幅は点灯時間帯、高さは船上灯の点灯数と水中灯の光量を示す。ストロボ点灯は縦線で示した。水中灯の垂下水深等の詳細は付表2を参照。

第3次操業では、600W型LED水中灯を船首と船尾から水深40mに垂下して光量100%に設定し、MH船上灯24灯を点灯して操業を開始した。CPUEは20時まで3尾以下であったが、20時から23時に減光したところ、106尾に上昇した。漁獲成績が良好であったため、23時から水中灯の光量を100%にしてCPUEが低下することを確認したうえで、00時から船上灯をMH灯24灯からHG灯5灯に切り替えて操業を続けた。その結果、HG灯下でも水中灯の光量が100%の状態ではCPUEは低く、ストロボ点灯するか減光することで上昇することが確かめられた。また、02時からストロボ点灯の間隔を1秒から5秒にしたところ、CPUEはさらに上昇し、ストロボ点灯の間隔がある程度

長いほうが漁獲成績は良い可能性が考えられた。船上灯がHG灯でも漁獲成績は良かったことから、第5次操業では、600W型LED水中灯を船首と船尾から水深40mに垂下して光量100%に調節し、HG灯5灯を点灯して操業を開始した。20時から船首の水中灯を5秒間隔のストロボ光に、22時から船尾の水中灯を8秒間隔のストロボ光にして操業した結果、CPUEは49尾から134尾に上昇した。

LED水中灯を用いた操業のうちストロボ点灯または減光した時間帯のCPUEの平均値を求めたところ95尾であり、MH船上灯78灯による通常操業の平均値(59尾)を上回った。この結果から、水中灯の漁獲効果に期待が高まったが、通常操業である第6次操業の漁獲成績が極めて優れていたこともあり、水中灯の効果については、さらに試験操業を重ねた上で慎重に評価するべきと考えられた。

(2) 第2次航海

第2次航海では、水中灯による操業を5回、MH船上灯による操業を2回実施した(図7:詳細は付表1・2)。第7次操業では、600W型LED水中灯を船首と船尾から水深40mに垂下して光量100%に設定し、MH船上灯24灯を点灯して操業を開始した。19時から23時まで1時間毎にストロボ点灯の間隔を1秒または5秒にした結果、CPUEは1秒間隔よりも5秒間隔にした時間帯で高い傾向がみられた。さらに、00時から船上灯をHG灯4灯にしてストロボ点灯の影響を調べたところ、やはりCPUEは1秒間隔よりも5秒間隔にした時間帯で高かった。

第9次操業では、600W型LED水中灯を船首と船尾からそれぞれ水深50mと20mに垂下し、船首はストロボ点灯間隔5秒、船尾は光量100%に設定し、HG灯5灯を点灯して操業を開始した。23時までの途中で船尾の水中灯を消灯したが、CPUEの上昇は顕著でなかった。そこで、23時から船上灯をMH灯24灯に切り換え、00時から船首と船尾の水中灯を1時間毎に交互にストロボ点灯したところ、CPUEは徐々に上昇した。ストロボ点灯が効果的な水深については、この操業だけでは明らかでないが、船尾の水中灯を5秒間隔でストロボ点灯した03時から04時のCPUEが270尾と特に高かったことから、浅い水深でストロボ点灯したほうが良い可能性も考えられた。そこで、第10次操業では、600W型LED水中灯を水深20mに垂下し、MH灯24灯を点灯して操業を行った。00時まで1時間毎に消灯または5秒間隔でストロボ点灯したところ、CPUEは徐々に上昇したが、ストロボ光の効果は不明であった。その後、00時から04時まで船上灯をHG灯5灯にして操業したが、この間のCPUEはMH船上灯の点灯時よりも低く、ストロボ光の効果も不明であった。

第12次操業では、600W型LED水中灯を船首と船尾からそれぞれ水深30mと50mに垂下して光量100%に設定し、MH船上灯24灯を点灯して操業を開始した。20時からストロボ点灯の間隔を0.5秒とし、さらに21時から船首の水中灯を5秒間隔、船尾の水中灯を8秒間隔にして操業を続けたが、CPUEは22尾以下と低かった。00時に一旦水中灯を消灯し、02時から03時に船首と船尾の水中灯を光量100%で点灯したうえで、再び水中灯を消灯したところ、CPUEは69尾に上昇した。第1次操業でも水中灯を光量100%で点灯したうえで消灯することにより、CPUEが大きく上昇する現象がみられたことから、水中灯にはスルメイカを捕捉する一定の効果があると考えられた。

第13次操業では、600W型LED水中灯を浮子を用いて船尾から約50m後方の水深30mに垂下し、光量100%に設定し、MH船上灯24灯を点灯して操業を始めた。本操業では、MH水中灯を船尾から水深30~40mに垂下して

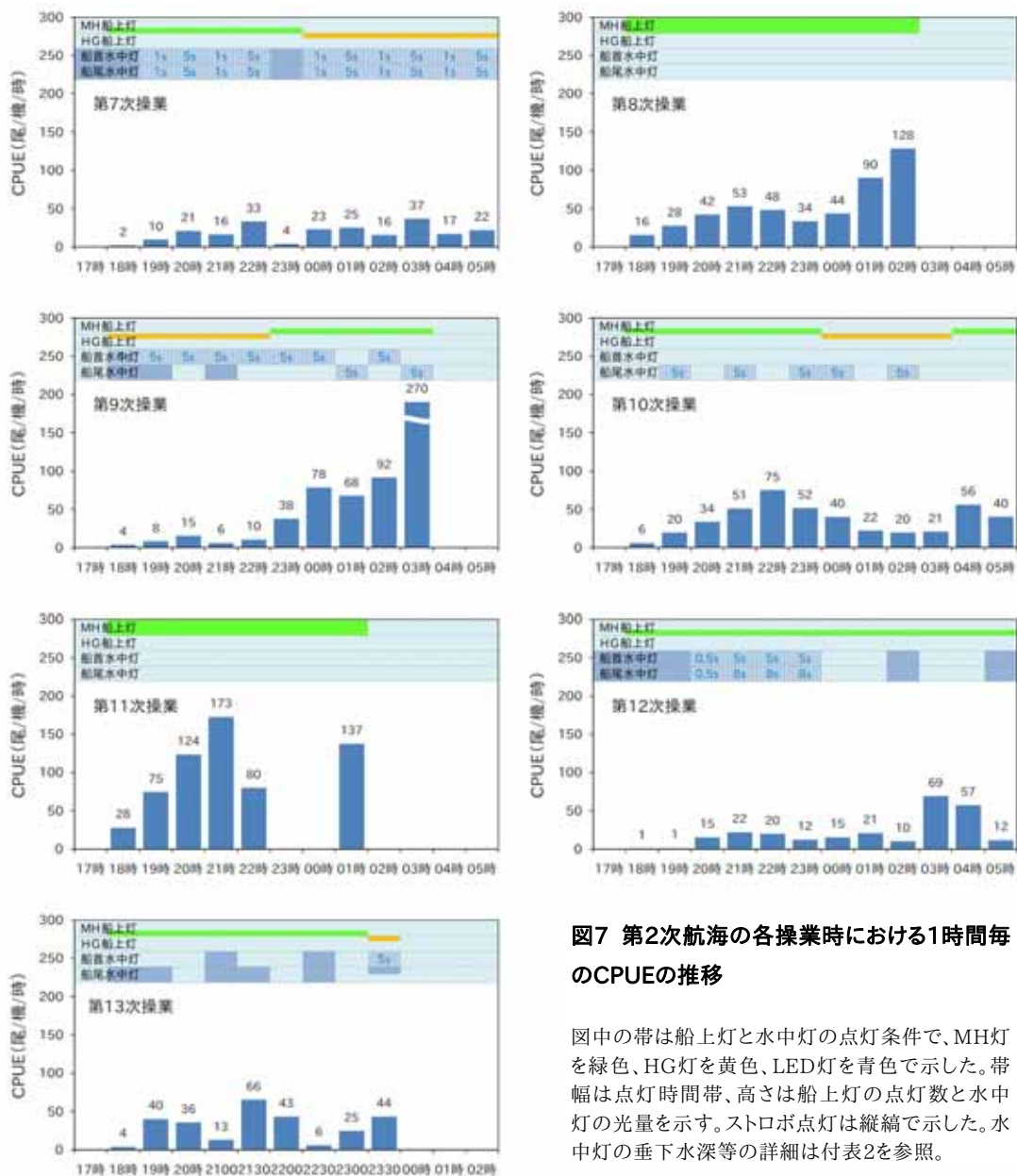


図7 第2次航海の各操業時における1時間毎のCPUEの推移

図中の帯は船上灯と水中灯の点灯条件で、MH灯を緑色、HG灯を黄色、LED灯を青色で示した。帯幅は点灯時間帯、高さは船上灯の点灯数と水中灯の光量を示す。ストロボ点灯は縦縞で示した。水中灯の垂下水深等の詳細は付表2を参照。

17時から点灯していたが、安定器不調のため19時に消灯・収容したところ、CPUEは4尾から40尾に上昇した。その後、20時に船尾後方のLED水中灯を消灯すると、CPUEは若干低下した。21時から30分毎に点灯条件をかえてCPUEを調べたが、21時に船首と船尾後方の水中灯を光量100%で点灯し、21時30分に船首の水中灯を消灯したところ、CPUEは13尾から66尾に上昇した。その30分後には、船尾後方の水中灯も消灯したが、CPUEはやや低下した。船首や船尾から水中灯を垂下したこれまでの操業では、光量100%にするとCPUEは低下し、消灯すると上昇することが観察されている。本操業では、船尾後方の水中灯を消灯するとCPUEはやや低下したことから、船体からある程度離れた位置であれば、水中灯を光量100%で点灯しても漁獲に対して悪影響はなく、むしろ漁獲成績が向上する可能性が考えられた。

LED水中灯を用いた操業のうち、漁獲成績が良好でなかったHG船上灯を用いた時間帯とLED水中灯2灯を光量100%で点灯した時間帯を除いて求めたCPUEの平均値は51尾であり、MH船上灯78灯による通常操業の平均値(73尾)を下回った。従って、第2次航海では、水中灯の有効性は認められなかった。

(3) 第3次航海

第3次航海では、水中灯による操業を4回、MH船上灯による操業を2回実施した(図8:詳細は付表1・2)。これまでの操業では、水中灯を光量100%で点灯してから消灯すると、CPUEが大きく上昇する現象が観察されており、水中灯にはスルメイカを捕捉(集魚)する効果があると推察された。そこで、水中灯でイカを集魚した後に水中灯から船上灯に光源を切り換えることで、イカを船下に誘導できるのではないかと考えた。このことを確かめるため、第16次操業では、2kW型LED水中灯と5kW型MH水中灯をそれぞれ船首と船尾から水深30mと20mに垂下して、光量100%(MH水中灯は「全光」)で点灯し、21時まで船上灯を消灯(通路灯と漁獲物処理場所の照明のみ点灯)して操業を行った。そして、21時にMH船上灯24灯を点灯し、5分程度待つてから水中灯を消灯したが、CPUEはあまり上昇しなかった。その後、MH灯24灯による操業を01時まで行ったもののCPUEは13尾以下と低かった。従って、操業海域の資源密度が低かったと考えられ、水中灯の集魚効果も評価できないと判断した。01時以降、LED水中灯を光量100%で5分間点灯後、10分間消灯する点滅サイクルにして操業したところ、CPUEはやや上昇した。これが水中灯の効果によるものか明らかでないが、長周期の点滅によって漁獲量が増加する可能性も考えられた。

第17次操業では、2kW型LED水中灯と5kW型MH水中灯を水深10mに垂下し、光量100%(MH水中灯は「全光」)に設定した。そして、MH船上灯24灯を点灯して操業を開始し、20時から2時間毎に水中灯の消灯と点灯を繰り返した。00時に水中灯を消灯するとCPUEはやや上昇したが、それ以外に大きな変動はみられなかった。第18次操業では、MH船上灯78灯を点灯し、23時から2kW型LED水中灯を船首から水深10mに垂下して、1時間毎に0.2秒間隔のストロボ点灯と消灯を繰り返したが、CPUEに目立った変動はみられなかった。第19次操業では、漁場探索で大きく移動したため操業開始が遅れた。20時にMH船上灯78灯を点灯し、22時から2kW型LED水中灯と600W型LED水中灯を水深10mに垂下し、1時間毎に5秒間隔のストロボ点灯と消灯を繰り返した。その結果、CPUEは徐々に上昇し、ストロボ光にした02時から03時に104尾に達した。第3次航海では、第15次操業と第19次操業の漁獲成績は良かったものの、他操業の漁獲成績は悪くて漁場移動が多かった。このため、MH船上灯78灯による通常操業と水中灯を用いた操業の漁獲成績は比較しなかった。

3. 水中灯点灯条件の変更にもなう漁獲成績の変動

本調査から、漁獲成績は水中灯の点灯条件によって大きく変動することが明らかになった。そこで、点灯条件変更前後の時間帯のCPUEを抽出・比較した。LED水中灯を水深20~50mに垂下した第1次航海と第2次航海の結果をまとめたところ(図9)、光量100%(2灯点灯)から減光(消灯を含む)するかストロボ点灯にした場合、CPUEは例外なく上昇し、平均値間に有意差($P<0.01$)が検出された。操業中にはスルメイカが徐々に蝟集するため、同一条件で操業を続けても、CPUEは上昇傾向になることが多い。このため、減光またはストロボ点灯から光量100%にした場

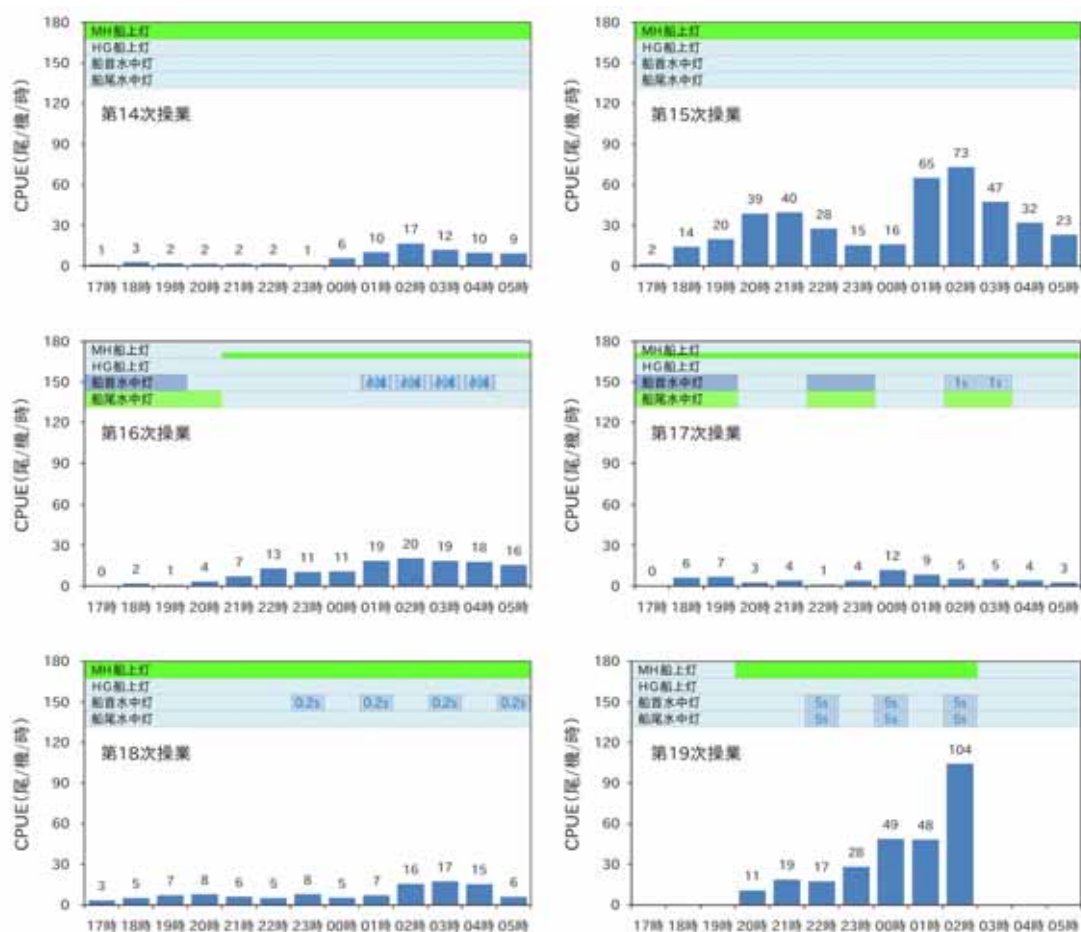


図8 第3次航海の各操業時における1時間毎のCPUEの推移

図中の帯は船上灯と水中灯の点灯条件で、MH灯を緑色、HG灯を黄色、LED灯を青色で示した。帯幅は点灯時間帯、高さは船上灯の点灯数と水中灯の光量を示す。ストロボ点灯は縦縞で示した。水中灯の垂下水深等の詳細は付表2を参照。

合についても同様に比較した。その結果、CPUEは例外なく低下し、平均値間に有意差 ($P < 0.01$) が認められた。次に、ストロボ点灯の影響を調べたところ、点灯間隔を1秒から5秒にした場合には、CPUEは上昇し、平均値間に有意差 ($P < 0.05$) が認められた。逆に点灯間隔を5秒から1秒にした場合には、平均値間に有意差は認められなかったものの例外なくCPUEは低下した。従って、600W型LED水中灯2灯を水深20~50mに垂下した場合、光量100%で点灯するよりも減光するかストロボ点灯したほうが漁獲成績は良く、ストロボ点灯については、1秒間隔より5秒間隔のほうが良いことが分かった。しかし、これらの比較では、水中灯を使用することで漁獲成績が向上したかどうか明らかでない。そこで、第10次操業と第19次操業の結果から、LED水中灯を消灯から5秒間隔のストロボ点灯にした場合とその逆の場合について、CPUEの変動を比較したところ、いずれの場合でもCPUEの平均値間に有意差は認められなかった(図10)。また、CPUEの変動を個別にみても一貫した傾向はみられず、LED水中灯の有効性は明らかでなかった。

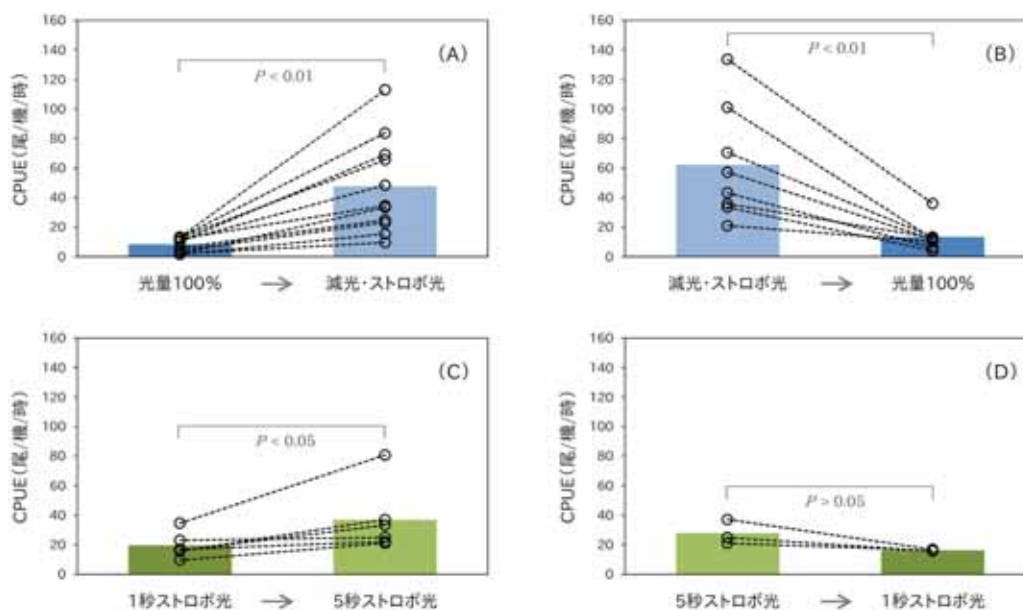


図9 LED水中灯の点灯条件の変更にもなうCPUEの変動

第1次航海と第2次航海で実施した操業の隣接する時間帯のデータを抽出。光量100% (600W型LED水中灯2灯点灯)から減光またはストロボ点灯した場合(A)、減光またはストロボ点灯から光量100%にした場合(B)、ストロボ点灯の間隔を1秒から5秒にした場合(C)、ストロボ点灯の間隔を5秒から1秒にした場合(D)。棒グラフは平均値。対応のある t 検定で比較。

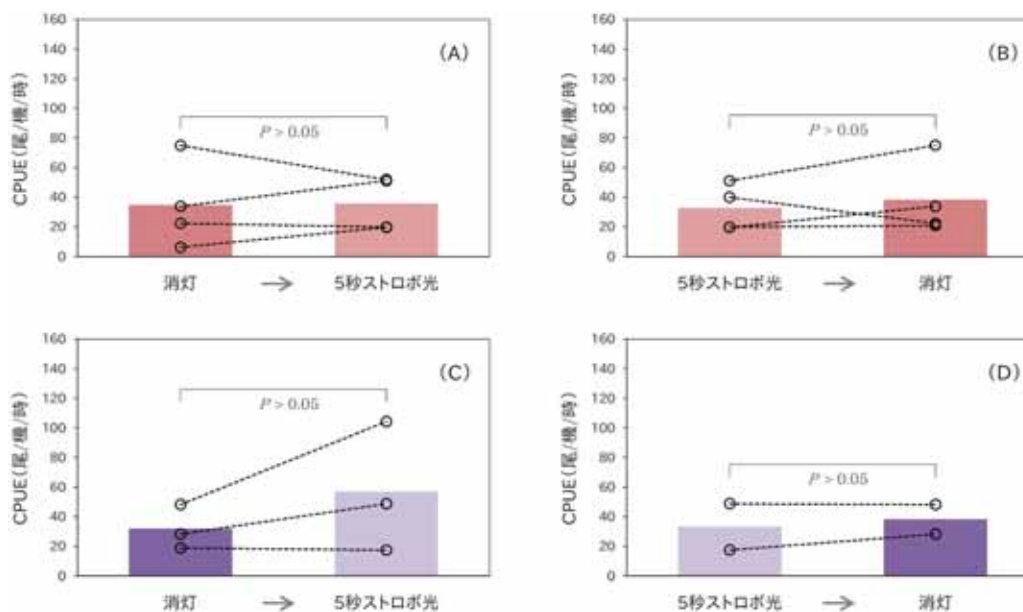


図10 LED水中灯の点灯条件の変更にもなうCPUEの変動

第10次操業と第19次操業の隣接する時間帯のデータを抽出。水中灯の垂下水深は第10次操業(A・B)では20m、第19次操業(C・D)では10m。消灯から5秒間隔のストロボ点灯した場合(A・C)と5秒間隔のストロボ点灯から消灯した場合(B・D)。棒グラフは平均値。対応のある t 検定で比較。

4. 水中灯光に対するスルメイカの反応行動

水中灯の点灯条件が漁獲成績に大きく影響することは明らかであるが、その原因を知るには水中灯光に対するスルメイカの反応行動を観察する必要がある。しかし、漁場でイカの行動を直接観察するのは困難であるため、本調査では点灯条件の変更にもなう魚探とソナーの音響反応の変化から行動を推定することにした。作業中には、釣り針と錘が音響反応として記録され、イカの反応が識別し難くなるので、釣り具ラインを収容、釣り機を停止したうえで反応を観察した。また、釣り機を停止した直後は、イカの反応が安定していないため、反応が安定するのを待ってから観察を開始した。

第8次作業では、MH船上灯78灯を点灯した条件下で反応を観察したところ、水中灯消灯時には水深20~90mの船下にイカが分布していることが確認できた(図11)。そこで、600W型LED水中灯を船首から水深20m、50mおよび80mに垂下し、光量100%で点灯して反応の変化を観察した。水中灯を水深20mおよび50mに垂下した場合には、点灯によってそれぞれ水深30m以浅および60m以浅の反応が消失し、水中灯の消灯により再び反応が現われる様子が観察された。イカの分布層の下限に近い水深80mに水中灯を垂下した場合には、点灯直後に船下の反応が全部消失し、その後、水深20m付近からイカが徐々に船下に入り込む様子がみられたが、点灯中は水深50m以深に反応が現われることはなかった。水中灯の点灯によって魚探反応が消失することから、船下からイカが逃避・離散していることは明らかであり、水中灯光はイカに対して威嚇刺激となり、その刺激は水中灯の垂下水深より上層を遊泳するイカに対して非常に強く、下層を遊泳するイカに対しては弱いと考えられた。さらに、水深80mで水中灯を点灯したときの反応からも明らかなように、威嚇効果は点灯直後に最も強く、次第に弱まる傾向がみられ、光刺激に対する馴れが生じていると考えられた。

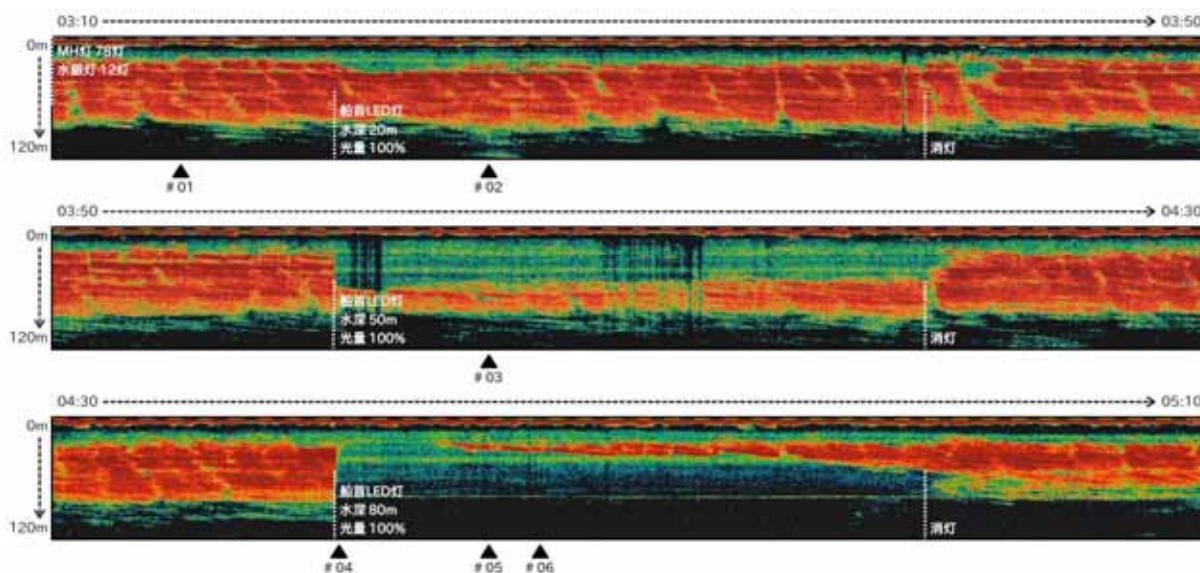


図11 LED水中灯の点灯条件が魚探画像に及ぼす影響（第8次作業）

三角印の位置と数字は図15のソナー画像の記録時刻と画像番号を示す。

第9次操業では、MH船上灯24灯を点灯し、600W型LED水中灯を船首から水深50m、船尾から水深20mに垂下した(図12)。水中灯を5秒間隔でストロボ点灯した場合には、その垂下水深に関わらずイカは水深15~60mの船下に分布しており、水中灯の垂下水深が浅い反応が消失する様子もみられなかった。このことから、5秒間隔のストロボ光はイカに対して大きな影響を及ぼさないと考えられた。その後、船首の水中灯をストロボ点灯した状態でMH船上灯を消灯し、HG船上灯5灯を点灯したところ、イカの分布層が水深10~50mに浮上する現象が確認された。さらに、HG灯の点灯数を2灯にしたところ、分布層の下限が60m付近に下がる様子がみられ、この状態で水中灯を消灯しても、再び5秒間隔でストロボ点灯しても反応はほとんど変化しなかった。HG灯の点灯数を減らすことで分布層が広がった理由は不明であるが、5秒間隔のストロボ光はイカに対して顕著な威嚇効果を持たないことが再確認された。

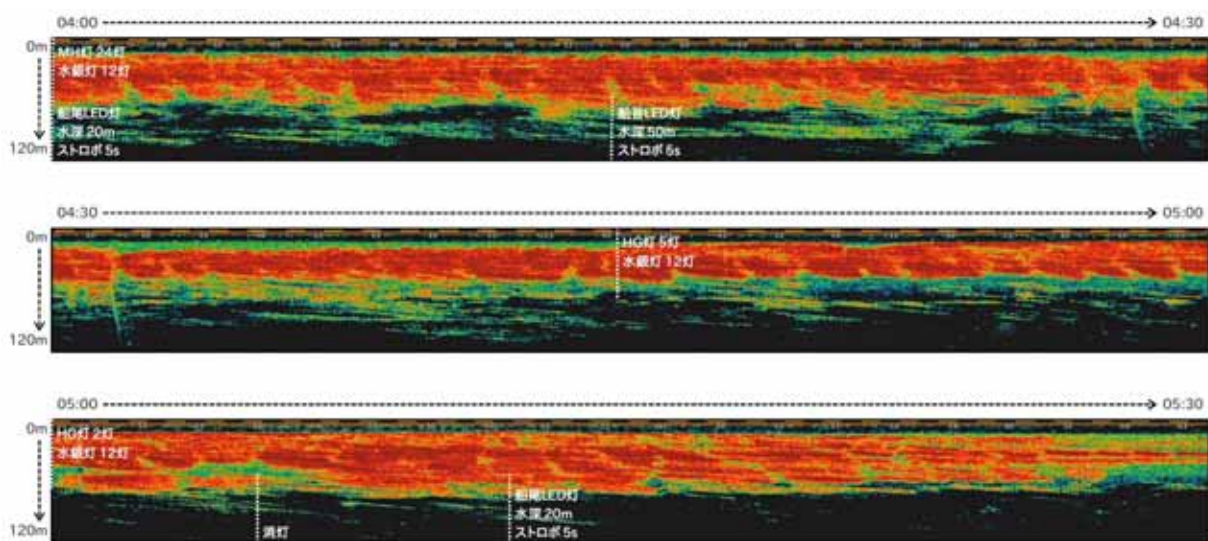


図12 LED水中灯の点灯条件が魚探画像に及ぼす影響 (第9次操業)

第11次操業では、漁獲物処理のために釣り機を停止した23時から01時の間と操業を終了した02時以降にMH船上灯78灯を点灯した条件下で魚探反応を観察した(図13)。同操業では、波による魚探反応の泡切れが多かった。さらに、釣り機停止後もしばらく反応が安定しなかったため、十分に時間を置いてから水中灯の操作を開始するようにした。23時から01時には、600W型LED水中灯を船尾から水深40mに垂下し、消灯状態から徐々に光量を上げて光量100%にした後、光量を下げて再び消灯した。点灯前には、水深15~65mにイカの反応が認められ、点灯後も光量20%まで大きな変化はなかったが、光量を30%にした時点で水深40m以浅の反応が消失する様子が観察された。その後、光量80%までは水深20~30mに反応が現われるものの断続的となり、光量100%では水深40m以浅の反応がほとんど消失した。次に、光量を下げたところ、光量40%まで水深20~30m付近の反応は断続的であり、光量20%から水深40m以浅の反応が連続的に現われるようになった。02時から04時には、ストロボ光の影響を調べるため、船尾から水深40mに垂下した水中灯を10秒間隔でストロボ点灯し、間隔を徐々に短くして0.1秒とした

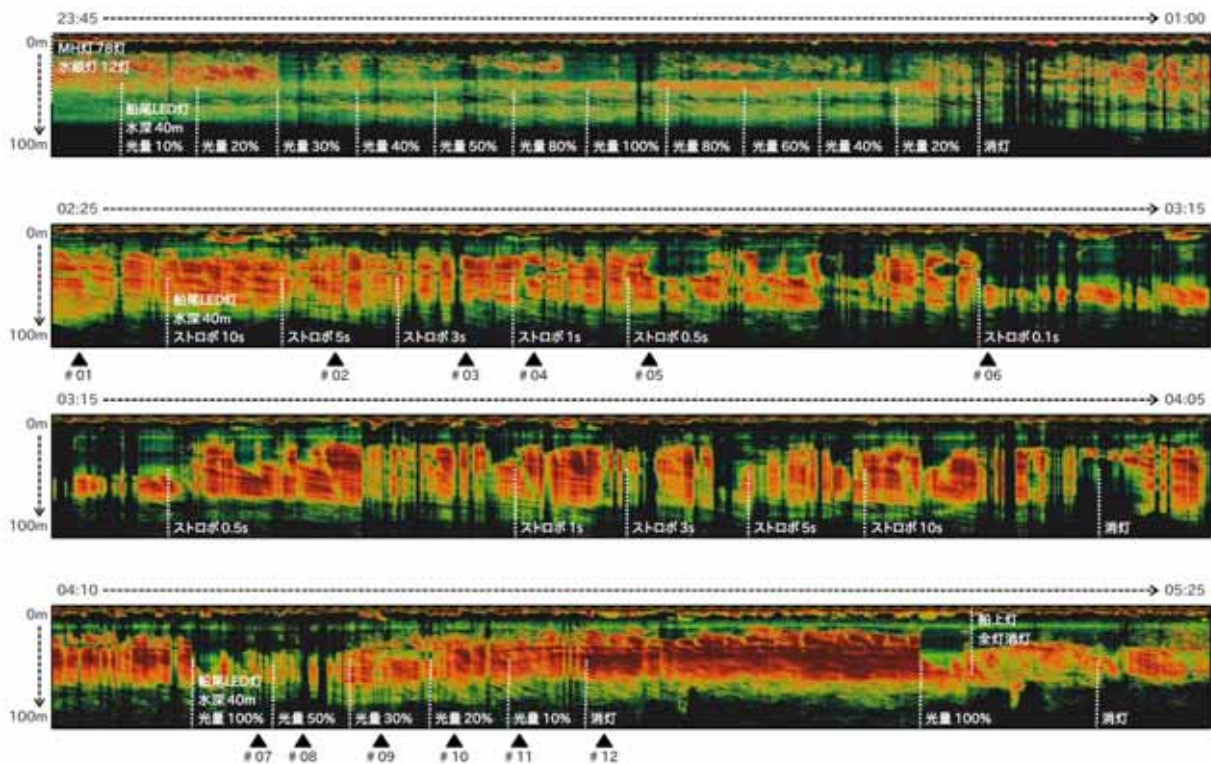


図13 LED水中灯の点灯条件が魚探画像に及ぼす影響（第11次操業）

三角印の位置と数字は図16のソナー画像の記録時刻と画像番号を示す。

後、間隔を長くして再び10秒に戻した。点灯前には、水深20～80mにイカの反応が認められ、点灯後も3秒間隔まで大きな変化はみられなかった。その後、1秒間隔にすると一時的に水深30～40m付近の反応がなくなる様子が観察され、0.5秒間隔では水深40m以浅の反応が断続的となり、さらに0.1秒間隔では水深50m以浅の反応が消失した。ストロボ点灯の間隔を長くした場合も0.5秒間隔では反応が断続的であり、1秒以上の間隔では水深40m以浅の反応が泡切れの部分を除いてほぼ連続的にみられるようになった。さらに、04時から、水中灯を光量100%で点灯し、その後、徐々に光量を下げて反応を観察した。その結果、光量100～50%では水深40～50m以浅の反応がなく、光量30%で水深40m付近に反応が現われ、光量20%以下では消灯時と同様の反応になった。以上の結果から、600W型LED水中灯の光量を30%以上、ストロボ間隔を1秒以下にして点灯すると、魚探反応に威嚇刺激の影響が現われ、その影響は明るいほど、そしてストロボ間隔が短いほど顕著であることが分かった。

第19次操業では、MH船上灯78灯を点灯した条件下で600W型LED水中灯を船尾から水深10mに垂下して魚探反応を観察した。ストロボ点灯の間隔を5秒、1秒、0.1秒へと短くした後、光量100%で連続点灯したところ、5秒間隔と1秒間隔にした直後に一時的に水深30m以浅の反応が消失する様子がみられたが、その後は0.1秒間隔にしても光量100%にしても大きな変化はみられなかった(図14)。次に、水中灯を水深50mに垂下し、消灯状態から光量100%で点灯したところ、水中灯の垂下水深以浅の反応が消失することが確認された。水中灯を消灯してイカの反応が戻るのを待ってから、ストロボ点灯の間隔を5秒、1秒、0.1秒へと短くしたところ、0.1秒にした直後に水深

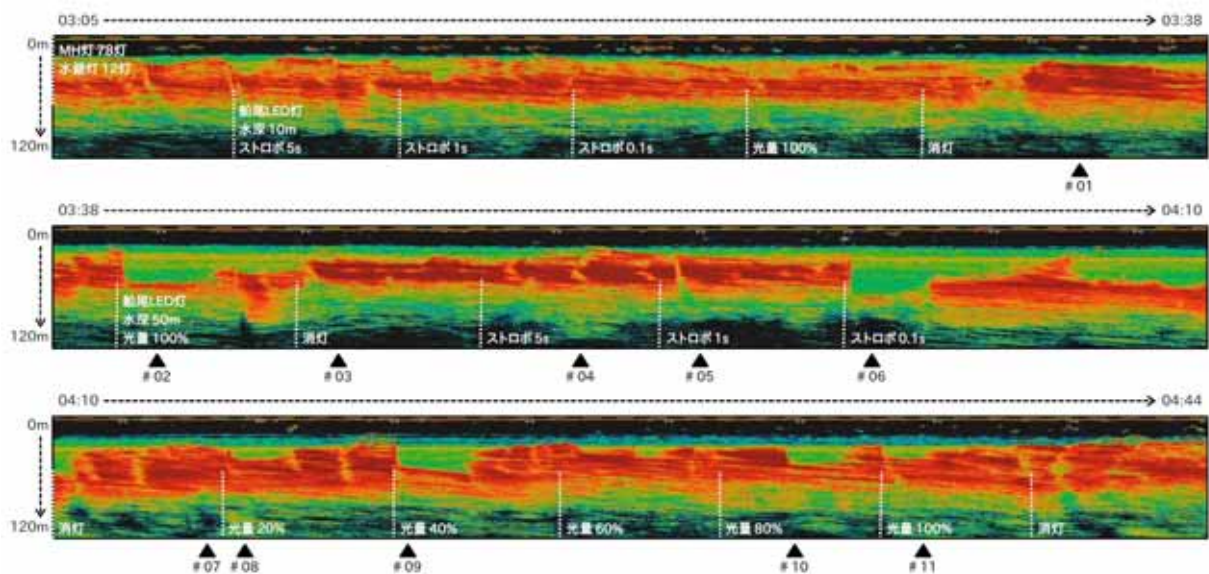


図14 LED水中灯の点灯条件が魚探画像に及ぼす影響（第19次操業）

三角印の位置と数字は図17のソナー画像の記録時刻と画像番号を示す。

70m以浅の反応が消失し、点灯中には水深50m以浅に反応はほとんど現われなかった。これらの結果から、ストロボ光と連続光のいずれの場合でも、水中灯の垂下水深が深いほど威嚇効果は大きいと判断された。その後、水中灯を消灯して反応が戻るのを待ってから、光量を100%まで徐々に上げたところ、光量を20%と40%にした直後に一時的に水深40～50m以浅の反応が消える様子がみられたが、光量100%にしても反応が大きく消失する様子はみられなかった。これに対して、水中灯の光量を消灯状態から一気に100%にした場合には、魚探反応が大きく消失したことから、光刺激に対するイカの反応行動は受光履歴によって変化し、徐々に明るくなる場合には、馴れのため威嚇効果が弱まるものと推察された。

魚探反応の観察結果から、水中灯光に対するスルメイカの反応行動の概略が明らかになった。しかし、魚探では送受波器直下のイカの分布状況しか観察できないため、水平方向にどの程度の範囲まで影響があるのか不明である。そこで、水平方向の分布状況をソナーで観察した。第8次操業では、船首のLED水中灯の垂下水深を変えて光量100%で点灯したが、垂下水深20mでは消灯時に比べて右舷前方の反応がやや弱く、同水深50mでは右舷前方から左舷後方に反応のない部分が生じ、同水深80mでは全周にわたってほとんどの反応が消失する様子がみられた(図15)。また、垂下水深80mの場合には、魚探でもみられたように水深50m以浅の範囲に徐々にイカが戻ってくる様子が観察された。ソナーの表示レンジを100mに設定していたため水中灯光が影響する範囲は明確ではないが、水深80mで水中灯を点灯した直後は、送受波器を中心に少なくとも半径50mの反応が消失しており、船首の水中灯と送受波器が水平方向に約10m離れていることを考慮すると、水中灯を中心に半径60mの範囲のイカが威嚇され逃避したと考えられた。

第11次操業では、ストロボ点灯の間隔と光量の影響を調べた。その結果、5秒間隔のストロボ点灯では、反応は消灯時と概ね同じであったが、3秒間隔では水深30m以浅の反応が弱まる様子がみられた(図16)。そして、1秒間

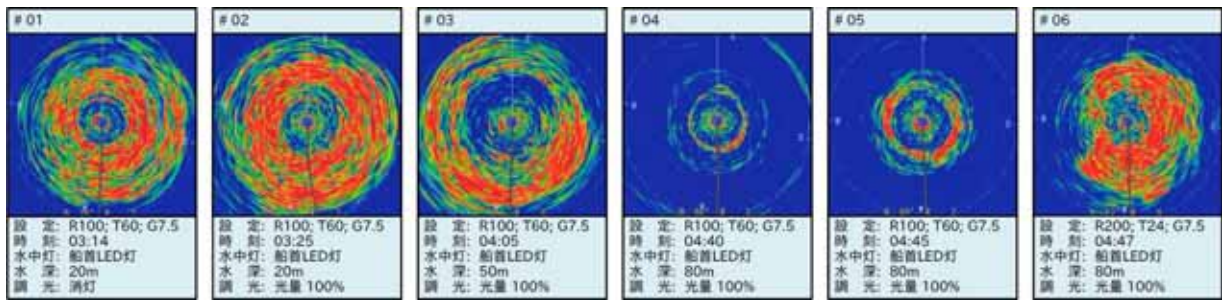


図15 LED水中灯の点灯条件がソナー画像に及ぼす影響（第8次操業）

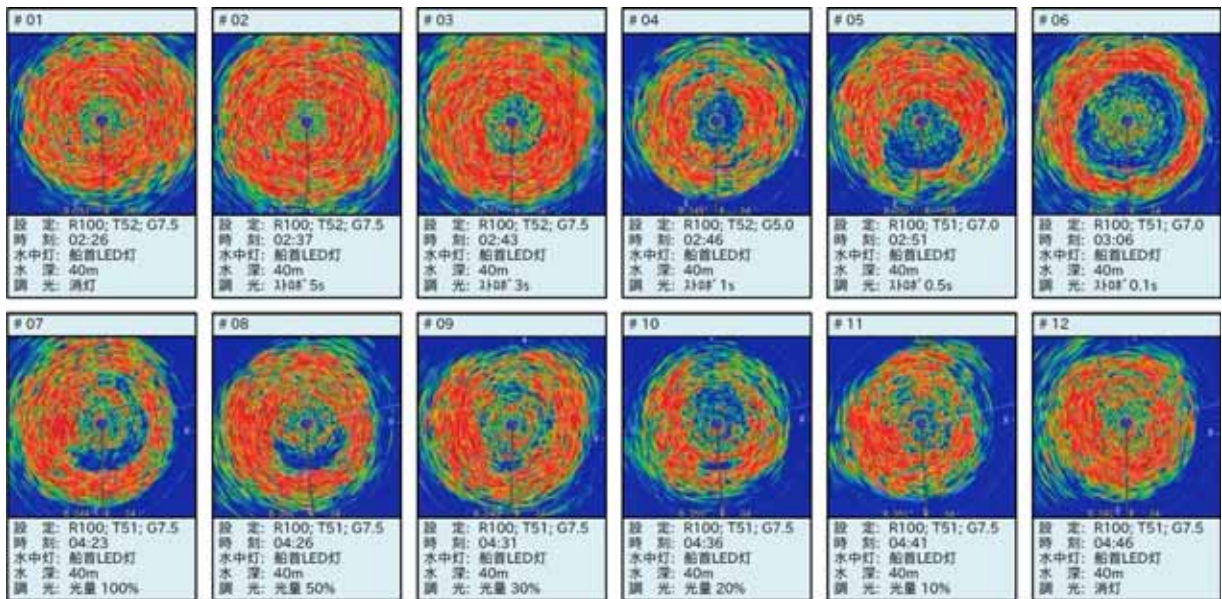


図16 LED水中灯の点灯条件がソナー画像に及ぼす影響（第11次操業）

隔では水中灯垂下位置の右舷側にも反応の弱い範囲が生じ、その範囲が0.5秒間隔では大きく広がり、0.1秒間隔では送受波機よりも船首側の範囲にまで拡大した。次に、光量を弱めたときの変化を調べたところ、光量100%では送受波機よりも船首側にまで反応の弱い範囲が広がっていたが、その範囲は光量の低下とともに縮小し、光量10%では消灯時とほぼ同じ状態になった。これらの結果から、ストロボ点灯の間隔が短いほど、そして明るいほどイカの逃避する範囲が拡大することが分かった。0.1秒間隔のストロボ光と光量100%の連続光では、送受波機から船首方向へ約30mに渡って反応が消えており、船尾の水中灯と送受波器が水平方向に約30m離れていることを考慮すると、第8次操業の結果と同様、水中灯を中心に半径60mの範囲のイカが逃避したと考えられた。

第19次操業では、ストロボ光と連続光の影響を再検証したところ、消灯状態から光量100%で点灯した場合と0.1秒間隔でストロボ点灯した場合に反応が広範囲に消失する様子が確認された(図17)。また、消灯状態から水中灯の光量を徐々に上げた場合には、光量100%でも反応の消失する範囲が狭かったことから、刺激に対する馴れのため逃避する範囲が縮小したと考えられた。

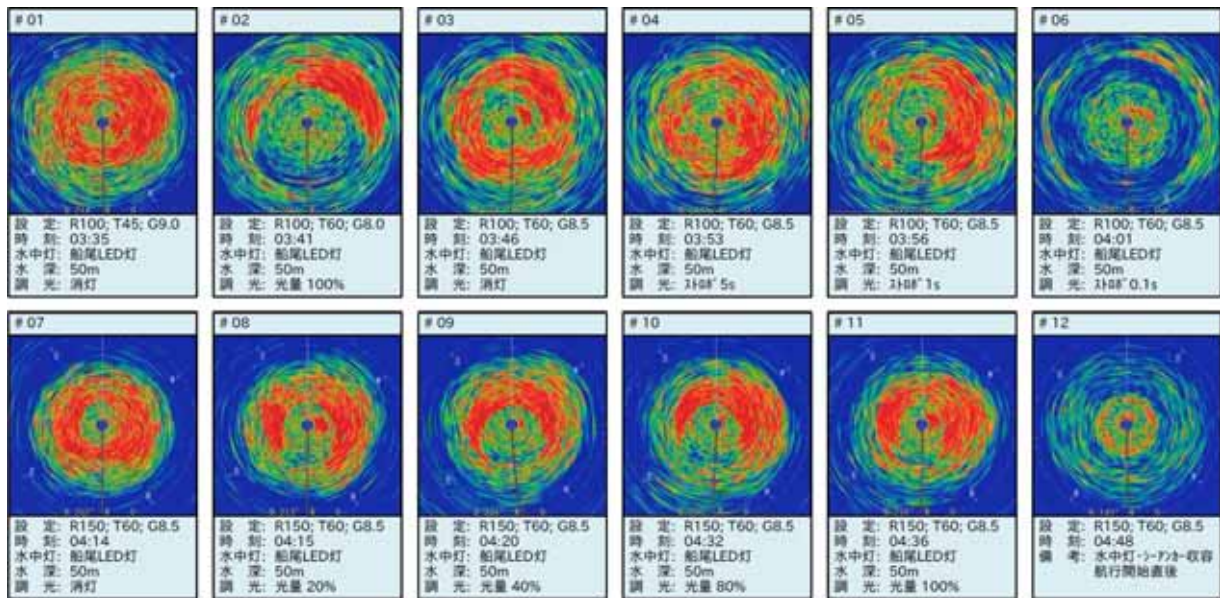


図17 LED水中灯の点灯条件がソナー画像に及ぼす影響（第19次操業）

5. 集魚灯点灯時の海中照度分布

これまでの調査結果から、水中灯の点灯条件が漁獲成績に及ぼす影響、並びに水中灯光に対するスルメイカの反応行動の一端が明らかになった。これらの現象を理解するうえで、海中の灯光環境を把握することが特に重要になるため、集魚灯点灯時の海中照度を測定した。空中から海中に入射する光は海面で屈折し、海中では鉛直上方±48.6°の範囲内に集中するため、船上灯の場合には、船体周囲のどの位置からでも照度計のセンサー面を海面に向けておくことで照度が測定できる。しかし、本調査で用いた照度計で水中灯の光を測定する場合、センサー面を常に水中灯に向ける必要がある。従って、船上灯と水中灯の併用時の照度分布を同時に測定することは不可能である。このため、本調査では、第2章で説明した方法(図4)で600W型LED水中灯の周囲の照度を測定し、その分布を船上灯点灯時の船体周囲の照度分布に重ね合わせることで、両灯併用時の照度分布を再現しようと考えた。

水中灯点灯時の角度別距離別の488nm帯の実測結果をまとめたところ(図18)、水中灯の発光面と照度計のセンサー面を平行にしたとき(センサー面を鉛直下方に向けているので、水中灯の角度を90°にしたとき)に照度が最も高くなるはずであるにもかかわらず、水中灯直近では角度120°で最大になるなどの問題が生じていることが分かった。この原因として、水中灯と照度計の相対角度が海中では一定しないこと、照度計のセンサー面が水中灯ガードの陰に入ることなどが考えられた。そこで、実測値と距離別照度の計算値を比較することで、実測値の妥当性をさらに検証することにした。計算には水中灯直近の照度として後述の水槽実験の最大値を用い、拡散と消散による減衰を考慮した次式により照度を求めた。 $I_z = I_0(1/Z^2)\exp(-KZ)$ ここで、 I は照度、 Z は距離、 K は消散係数である。実際に計算する場合、消散係数をどう設定するかが問題であるが、照度測定を行った海域の透明度は14mであり、Jerlovの光学的水型としてはIII型であったため、III型水型の透過率曲線から求めた488nmの消散係数⁸⁾を用いて照度を試算した。その結果、実測値が計算値を大きく上回る結果となり、前述のような実測値を低下させる技術

的問題を考慮すると、試算値が実態にあっていないと考えられた。水中灯の照度測定時には、船上作業のために点灯した船上灯の影響を受けないようにするため、水中灯を水深100mに垂下しており、その水深帯では表層付近よりも濁度が低く、透明度が高かった可能性がある。そこで、I型水型の消散係数を用いて照度を計算したところ、実測値にかなり近い値が得られた。しかし、水中灯から離れると実測値と計算値の誤差が大きくなる傾向がみられ、この原因として、表層付近の濁度の高い海水の影響が出てくること、水中灯ガードの陰が拡大して照度計がその陰に入りやすくなることなどが考えられた。以上のことから、水中灯の場合、照度を実測するうえで解決すべき技術的問題が多く、現時点では計算値を用いたほうが良いと判断した。そこで、次に、照度分布の計算に必要な基礎データを得るための水槽実験を行った。

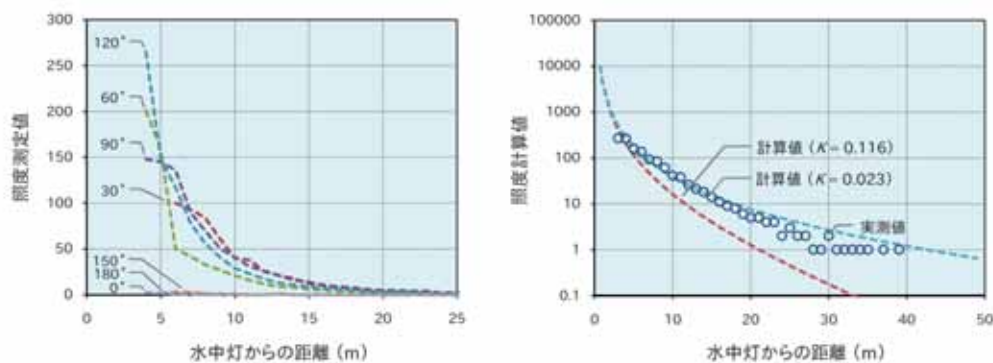


図18 LED水中灯点灯時の照度の実測値と計算値（分光波長帯:488nm）

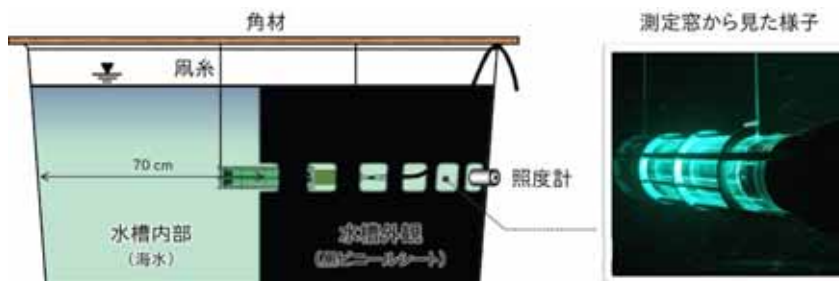


図19 透明パンライト水槽を用いたLED水中灯の配光特性の測定装置

水槽実験では600W型LED水中灯の配光特性を測定した。その測定装置は図19に示したとおりであり、直径140cmの透明パンライト水槽の内部に海水を満たし、風糸を用いて水中灯を横向きに懸下し、水中灯発光面の中心が水槽中央に位置するよう設置した。また、水中灯のガード(金属棒)の陰が測定の妨げにならないように調整した。この状態で水中灯を点灯したところ、水槽の側面と底面、並びに水面で光が強く反射することがわかった。そこで、水槽の側面と底面を濡らしながら黒のビニールシート(園芸用黒マルチシート)を空気が入らないように貼り付け、さらに水面にもシートを同様にして浮かべた。この状態で内部を観察したところ反射光がほぼ無くなっていることが確認できた(図19)。そして、水中灯の全周24方位の照度を測定するための窓として、壁面のビニールシートに

「コ」の字型に切れ目を入れ、この測定窓に照度計を押し当てて照度を測定した。水槽実験は、平成20年11月14日から18日の日没後に水産総合センター飼育棟内で室内照明を消して実施した。測定した配光曲線は図20に示したとおりで、通常の垂下姿勢では放射光の鉛直断面は水平方向に最も強く、鉛直方向に非常に弱いバタフライ型であった。この水中灯にはLEDが円筒状に配置されているので、通常の垂下姿勢では水平方向の全周に光を均等に放射しており、立体的な配光はドーナツ型となる。水中灯コントローラーの光量調節値を30%、50%および100%にして配光を測定したが、光量による配光の変化はなかった。次に、光量を段階的に変えて、角度90°の測定窓から照度を測定したところ、光量50%以下では光量が低いほど、488nm帯と437nm帯の割合が減少し、542nm帯の割合が増加することが分かった。実際、目視でも光量が高いと青緑色であるが、光量を低くすると緑色になることが確認できた。さらに、488nm帯と542nm帯の照度と光量の関係をみたところ、光量に対して照度はS字型の曲線となり、例えば、光量100%に対する光量30%の照度は488nm帯では7%、542nm帯では13%になることが分かった。但し、刺激の物理的強度に対する感覚量はウェーバー・フェヒナーの法則に従うと考えられるので、光量30%にしたときにスルメイカが光量100%のときの7～13%の明るさとして感知していることにはならない。

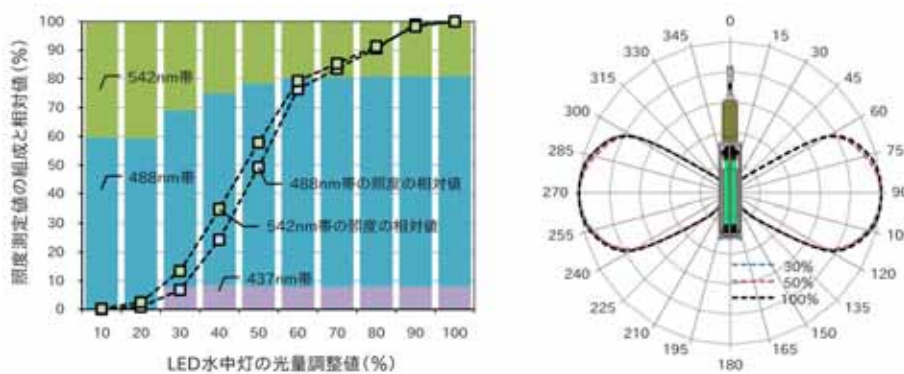


図20 600W型LED水中灯の光量別の照度の組成、相対値および配光曲線

次に、水槽実験で得られたデータから、水中灯点灯時の角度別距離別の照度を計算により求め、船上灯点灯時の船体周囲の照度分布に重ね合わせて加算することで、両灯併用時の488nm帯と542nm帯の照度分布を再現した(図21・22)。水槽実験では水槽外壁から照度を測定しているため、照度計算にあたっては外壁による減衰の影響を除去する必要がある。そこで、写真フィルム確認用のライトボックス(光源:蛍光灯,発光面:27×17cm)を光源とし、これを海水を抜いた水槽内壁に押しあてて外壁から照度を測定し、水槽外壁を介さないで測定した場合を対象として減衰率を求め、この減衰分を水槽実験の測定値に加えることで水中灯周囲70cmにおける照度値とした。そして、この照度値が各方向に拡散と消散による減衰を受けながら低下するとして、水中灯点灯時の照度分布を計算した。再現図では水中灯の垂下水深を10mと40mに設定した。水深10mの場合には、照度実測時の水型がIII型であったため、III型の透過率曲線から求めた両波長の消散係数を用い、水深40mの場合には、いか釣り漁業が営まれる海域の水型が主にII型であることから⁸⁾、II型の消散計数を用いた。488nm帯の照度分布をみると、MH船上灯78灯点灯時には、照度は船縁から10m程度離れた海面下で最も高く、それより舷外方向には比較的緩やか

に、船下方向には急激に低下し、船下に低照度域が形成されることが確認できた。ここに、600W型LED水中灯1灯を垂下して光量100%で点灯すると、垂下水深10mでは船下の低照度域の上層の一部が失われるだけであるが、垂下水深40mでは低照度域の多くが失われることが明らかとなった(図21)。しかし、垂下水深40mの場合でも、光量を30%に下げれば、低照度域がある程度確保されることが分かった。また、水中灯光は拡散と消散により急速に減衰するため、水中灯近くの照度は極めて高いものの、船上灯に比べて光の広がりが狭いことが分かった。MH船上灯24灯点灯時には、船体周囲の照度が全体的に低くなるものの、その分布はMH灯78灯点灯時に類似していた。HG船上灯10灯点灯時には、船体周囲の照度はさらに低くなり、水中灯を光量100%で点灯した場合、船上灯光と水中灯光の水平方向への広がりは概ね同等であった。542nm帯の照度分布についても、488nm帯のそれに類似していた(図22)。

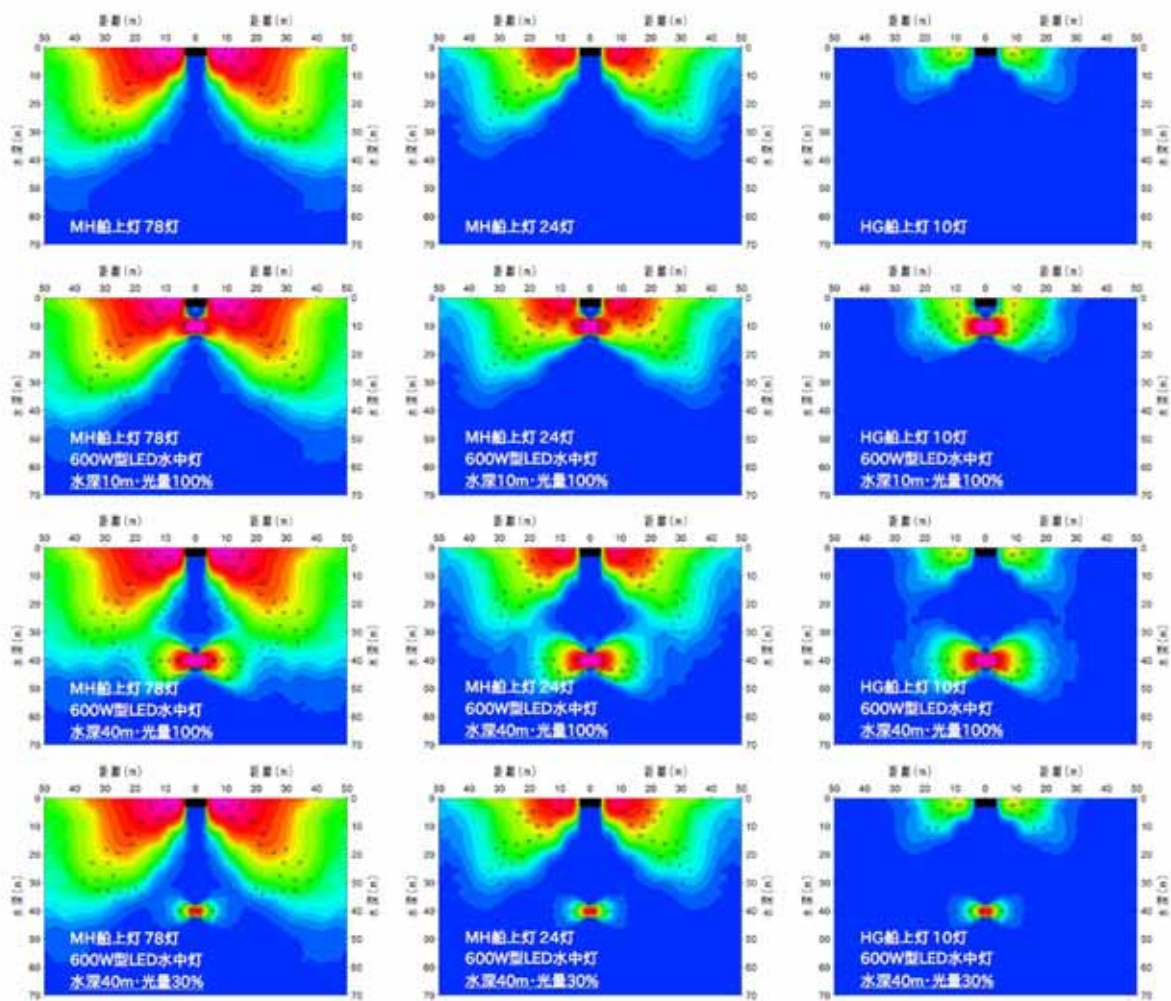


図21 集魚灯点灯時の海中照度分布の鉛直断面 (分光波長帯:488nm)

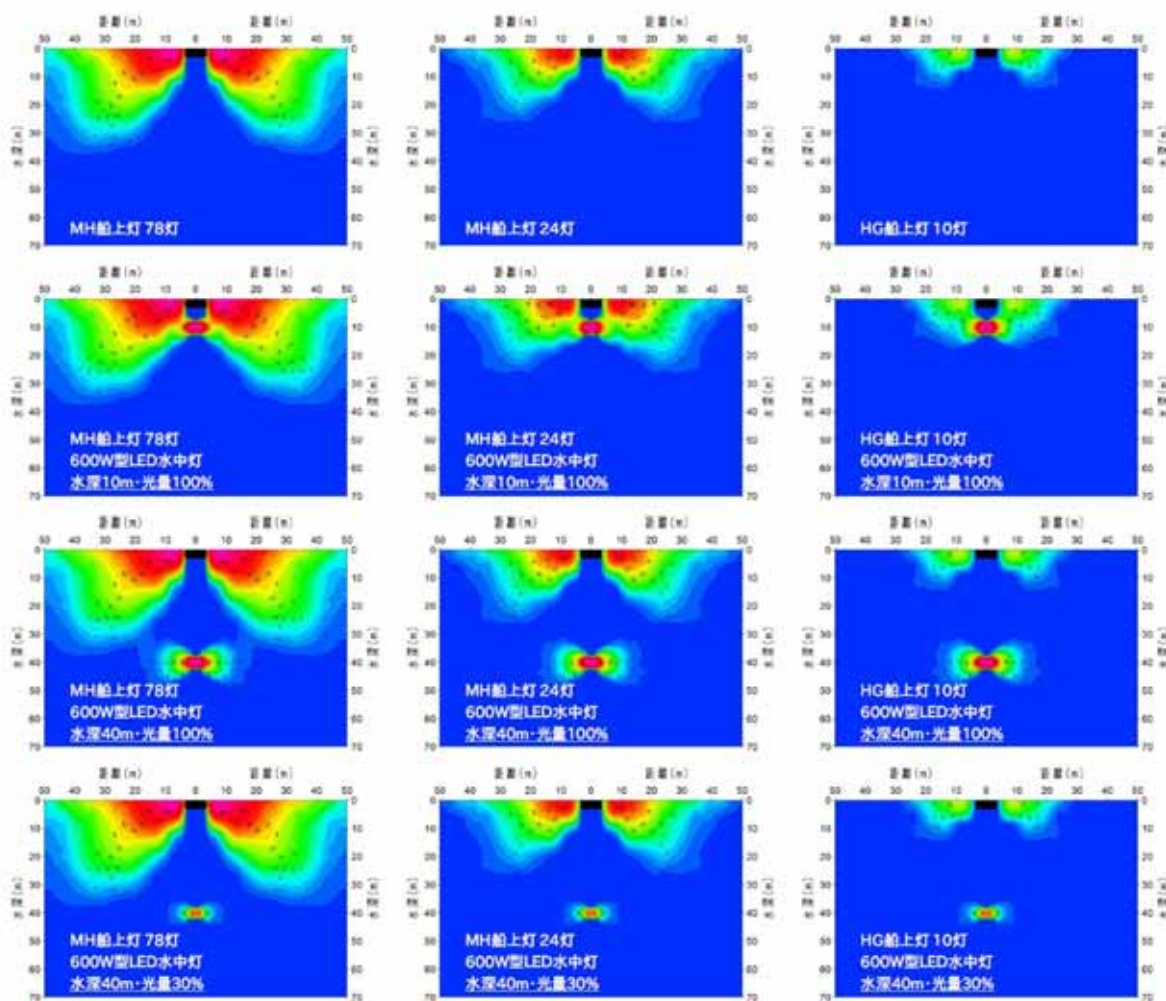


図22 集魚灯点灯時の海中照度分布の鉛直断面（分光波長帯:542nm）

6. 漁獲成績と水中灯光に対するスルメイカの反応行動の関係

本調査から、集魚灯点灯時の照度分布と水中灯光に対するスルメイカの反応行動が明らかになった。これらの結果から、作業時に観察された漁獲成績の特徴的変動が合理的に説明できる。試験作業では、LED水中灯を光量100%で点灯すると、漁獲成績が顕著かつ速やかに低下する現象が観察された。これは、音響調査の結果から明らかのように、水中灯光が威嚇刺激となり、船下からイカが逃避・離散するためである。また、ストロボ点灯の間隔の影響については、5秒間隔より1秒間隔のほうが漁獲成績は悪かった。音響調査でも、ストロボ点灯の間隔が5秒程度ではイカは目立った反応行動を示さないが、間隔を1秒以下にすると船下から逃避・離散することが確認されており、漁獲成績の結果に合致する。

船上灯点灯時には、舷外海面下に高照度域、船下に低照度域が形成され、低照度域にスルメイカが多く分布することが分かっている^{9,10}。また、漁獲されたスルメイカの網膜は暗順応状態にあり、生理的にも低照度に順応した状

態であることが明らかにされている¹¹⁾。従って、本種には高照度域を避ける習性があり、船上灯によって形成された海面下の明暗環境がイカを船下へ誘導し、滞留させるという行動制御機能を担っていると考えられる⁷⁾。音響調査では、水中灯光の威嚇効果はイカが光に馴れることで徐々に弱くなることが分かったが、水中灯を光量100%で点灯している間に漁獲成績が良くなることはなかった。照度測定では、水深40mにLED水中灯を垂下して光量100%で点灯すると、船下の低照度域の多くが失われてしまうことが判明した。つまり、水中灯光によって船下の低照度域が失われてしまうような場合には、水中灯光がイカに対して威嚇刺激になることに加えて、船上灯の行動制御機能も損なわれてしまうため、漁獲成績が向上しなくなると考えられる。

7. 水中灯の技術的課題と今後の調査

前記の内容から明らかなように、船上灯と水中灯の併用操業において漁獲成績を向上させるには、水中灯の威嚇効果を低減することと船上灯の行動制御機能を損なわないことが課題であり、その課題を克服したうえで、さらに漁獲効率を高めるための技術を確立しなければならない。水中灯の光量を下げること、威嚇効果や行動制御機能への悪影響を軽減できるが、これでは水中灯光の影響範囲を狭めることになり、水中灯を集魚灯として積極的に利用しようとする本調査の目的からはずれてしまう。このため、光量を下げること以外の方法を探る必要がある。

音響調査と照度測定の結果では、水中灯の垂下水深が浅いほど威嚇効果は小さく、船下の低照度域の消失も軽微であることから、垂下水深を表層付近に設定することで漁獲成績の悪化を防止できると推測される。このことを期待して、第3次航海では水中灯を水深10mに垂下して操業を行ったが、漁場条件が良好でなかったため十分な結果が得られなかった。今後、水中灯の垂下水深が漁獲成績に及ぼす影響について検討する必要がある。一方、ストロボ光については、点灯間隔を長くすることで威嚇効果を軽減することが可能であったが、威嚇効果がなかった5秒間隔の場合、漁獲成績は水中灯を消灯したときと大差なかった。ストロボ光でも水中灯の垂下水深が浅いほど威嚇効果は小さいことから、垂下水深の影響を考慮しながらストロボ光の効果を検証する必要がある。

本調査では、水中灯を光量100%で点灯してから消灯することで、CPUEが跳ね上がる現象が観察された。この現象を利用することで、漁獲成績が向上するのではないかと考え、第16次操業では水中灯を光量100%で5分間点灯後、10分間消灯する長周期の点滅条件下で漁獲試験を行った。その結果、明らかな変動ではなかったものの漁獲成績はわずかに上昇した。前述のように、船上灯により形成された海面下の明暗環境がイカの船下への誘導と滞留に関与していると考えられるが、船下への誘導に時間を要する場合があるようである。図23は第19次操業の釣り機運転中の音響調査の結果であるが、最初、ソナー画像の左舷前方の水平距離140m・水深80m付近にイカと思われる反応がみられ、この反応が距離を保ちながら12分間以上かけて右舷側へと移動し、ソナー画像から反応が消失した直後に魚探の水深80m付近に反応が出現した様子であり、実際に漁獲尾数も増加した事例である。この画像から、イカが船下へ入るにあたって、船体周囲の高照度域が障壁になっており、高照度域付近を通過するのに光に対する馴れが必要であったことが窺える。水中灯を長周期で点滅したとき期待される効果として、点灯時にイカの高照度に対する馴れを促進し、その後の消灯によってイカを速やかに船下に誘導できることが考えられる。もし、このような効果があれば、点滅時間を最適化することで集魚したイカを効率良く漁獲できるようになるかもしれない。

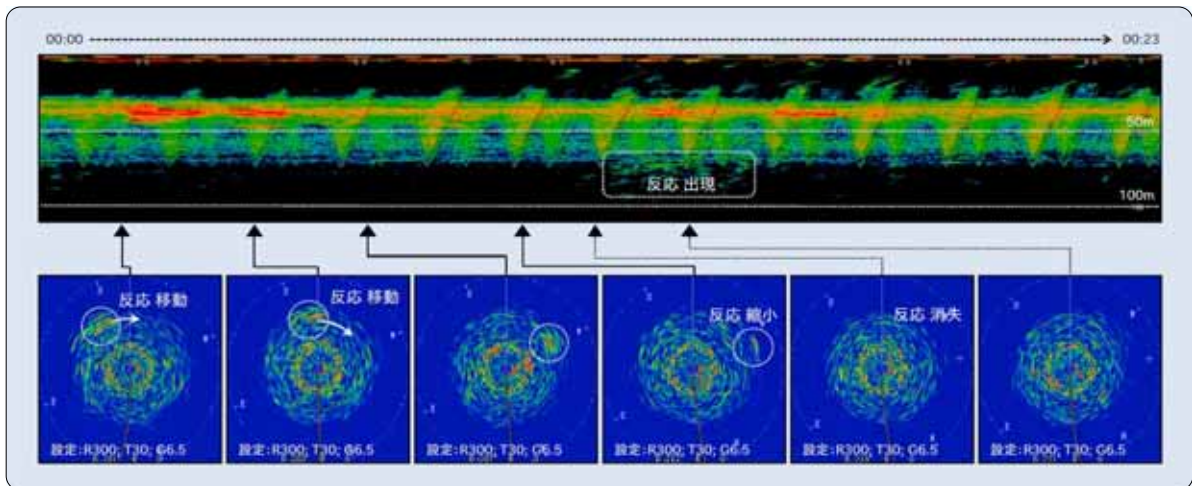


図23 船体周囲を回遊した後に船下に出現したとみられるスルメイカの反応

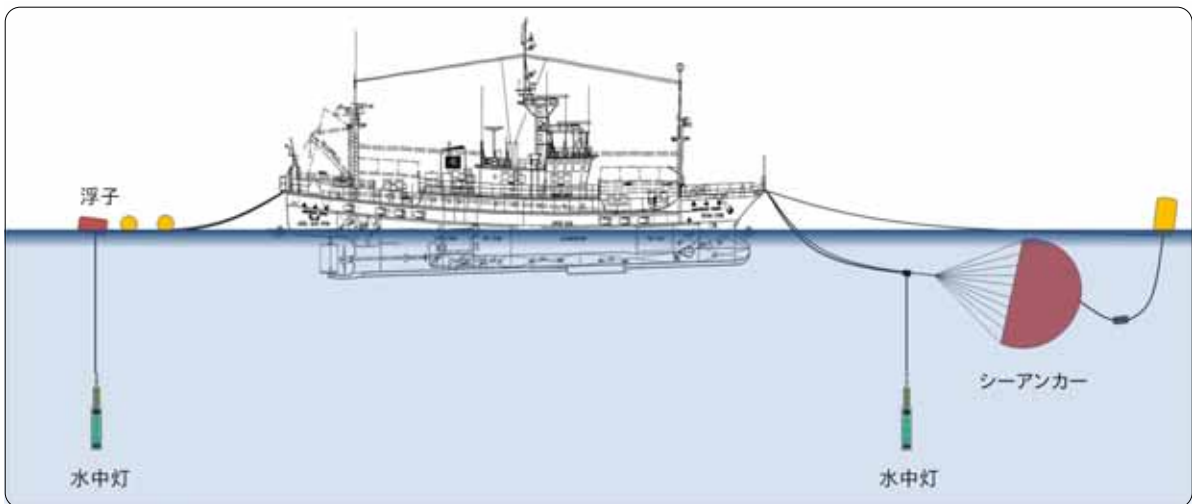


図24 シーアンカーと浮子を利用した水中灯の垂下方法

船体よりある程度離れた位置から水中灯を垂下することができれば、光量100%で点灯しても船下の低照度域を損なわないため、漁獲成績の低下を防ぐことが可能であり、水中灯による集魚効果も期待できる。このような観点から、第13次操業では、浮子を利用してLED水中灯を船尾から約50m後方に流し(図24)、光量100%で点灯して操業を行った。その結果、船体からある程度離れた位置であれば、水中灯を光量100%で点灯しても漁獲に対する悪影響がないことが確認できた。そこで、第15次操業前の日中には、通常操業の中でできる方法として、シーアンカーを利用して水中灯を船体から離して垂下することを試みた。しかしながら、この日は風であったためシーアンカーの効きが悪く、水中灯が徐々に船体に近づいてソナーでも位置確認できなくなってしまった。この方法は、シーアンカーの効き具合の影響を強く受けるため、水中灯が水平方向にも鉛直方向にも定位置しないことが問題であった。

ニュージーランドスルメイカを対象としたいか釣り漁業では、船上灯と水中灯を併用した操業が行われており、効果をあげている。この漁業は水深80~150m程度の陸棚海域で営まれているが、これは本種が陸棚海底付近に分布するためであり、このような分布特性が水中灯の効果を高める要因になっている可能性がある。つまり、この漁業では水中灯を海底付近にまで垂下して使用しているが、水中灯光の威嚇効果を利用することで、通常漁獲し難い海底からイカを浮上させて船下に誘導し、漁獲につなげていることが考えられる。本邦周辺のスルメイカも沿岸域では陸棚海底上に分布していることから、沿岸域では水中灯を用いることで漁獲量が増加する可能性が考えられる。沿岸域で試験操業を行うことで、水中灯の漁獲特性や効果的な利用方法への糸口が見つかるかもしれない。

魚類の走光性は季節や成長段階によって変化することが知られており、サンマやイワシでは産卵期になると光に対する反応が鈍くなることが報告されている¹²⁾。本調査では、水中灯を使用した操業の漁獲成績は、8月には比較的良好であったが、9月と10月には不振であった。日本海沖合のスルメイカは主に秋季発生系群であり、水温が低下する秋頃から交接が活発化して生殖腺も急速に発達する。従って、性成熟や成長にともないスルメイカの光に対する反応が変化した結果、水中灯の効果に変化が生じた可能性が考えられる。次年度以降の調査では、季節や成長段階にも着目しながら、調査・研究を進める必要がある。

8. まとめ

調査初年度の本年度は、スルメイカを対象とした場合の水中灯の使用方法について、資料や情報がほとんどなく試行錯誤の調査になった。このような中、本報告書では、調査結果をできるだけ詳細に記録することに留意した。調査結果と今後の課題を列挙すると以下のとおりである。

1. スルメイカの主な漁獲層である水深30~50mに600W型LED水中灯を垂下して、光量100%の連続光か、間隔1秒以下のストロボ光にすると、漁獲成績は速やかかつ大幅に低下する。漁獲成績の低下を防ぐには、光量を30%以下にするかストロボ間隔を5秒以上にする必要がある。
2. 水中灯の点灯により漁獲成績が低下する原因は、水中灯光が威嚇刺激となり船下からイカが逃避離散すること、並びに船下の低照度域が消失して船上灯の行動制御機能が損なわれることにある。
3. 水中灯の威嚇効果は、水中灯の垂下水深より上層のイカに対しては非常に強いが、下層のイカに対しては弱い。このため、水中灯の垂下水深を浅くすることで、威嚇の影響を低減することができる。
4. 船上灯と水中灯の併用により漁獲成績を向上させるには、水中灯の威嚇効果を低減することと船上灯の行動制御機能を損なわないことが課題であり、その課題を克服したうえで、さらに漁獲効率を高めるための技術を確立しなければならない。

本年度の調査では、水中灯によって漁獲量が増加することを示す結果は得られなかった。しかし、水中灯光に対するスルメイカの反応行動と漁獲量の関係について、興味深い結果が得られ、いか釣り漁業の集魚のメカニズムが実証的に明らかになりつつある。これらの科学的知見を基礎として、効果的かつ効率的な集魚灯の設計が可能になることが期待される。

付記・謝辞

石川県水産総合センターは、農林水産省の平成20年度「新たな農林水産政策を推進する実用技術開発事業(第2回緊急対応型調査研究)」である「LED漁灯と超音波測器によるイカ群の行動制御と釣獲技術の構築」の調査協力機関であり、本調査の一部は、当センター、東京海洋大学、(株)拓洋理研、古野電気(株)が協力して実施したものである。また、本調査の実施にあたって、東京海洋大学の稲田博史准教授、並びに(株)拓洋理研の臺田望氏から水中灯の取り扱いについて、古野電気(株)の三浦郁男氏から魚群探知機とソナーの取り扱いについて助言を頂いた。記して謝意を表す。

引用文献

- (1) 財団法人日本エネルギー経済研究所石油情報センター: Oil now 2008, <http://oil-info.ieej.or.jp/data/oilnow2008.pdf>, 2008.
- (2) Energy Information Administration: Petroleum(oil)prices and crude oil import costs, <http://www.eia.doe.gov/emeu/international/oilprice.html>, 2008.
- (3) 財団法人日本エネルギー経済研究所石油情報センター: 産業用価格・A重油・月次調査, <http://oil-info.ieej.or.jp/price/price.html>, 2008.
- (4) Organization of the Petroleum Exporting Countries: World oil outlook 2008, <http://www.opec.org/library/World%20Oil%20Outlook/pdf/WOO2008.pdf>, 2008.
- (5) 長谷川勝男: 我が国の漁船の燃油消費量, 水産工学研究所技報, 2008, 30, p.9-15.
- (6) 北陸農政局統計情報部: 石川県農林水産統計年報(水産編), 2003, p.118-119.
- (7) 四方崇文: 平成19年度日本海漁業操業効率化支援事業・漁場形成状況等調査事業・青色発光ダイオード実証化試験報告書, 石川県, 2008, 64p.
- (8) 四方崇文: 平成17年度日本海漁業操業効率化支援事業・漁場形成状況等調査事業・青色発光ダイオード実証化試験報告書, 石川県, 2006, 41p.
- (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, 日本水産学会誌, 1996, 62(3), p.420-427.
- (10) H. Arakawa, S. Choi, T. Arimoto, Y. Nakamura: Relationship between underwater irradiance and distribution of Japanese common squid under fishing lights of squid jigging boat, Fisheries Science, 1998, 64(4), p.553-557.
- (11) H. Inada: Retinomotor response and retinal adaptation of Japanese common squid *Todarodes pacificus* at capture with jigs, Fisheries Science, 1996, 62(5), p.663-669.
- (12) 井上実: 視覚, 魚の行動と漁法(井上実著), 恒星社厚生閣, 1978, p.63-100.

付表1 試験操業・生物測定・海洋観測結果(1)

試験操業結果	操業	水中灯試運転		第01次操業		第02次操業		第03次操業		第04次操業		第05次操業				
	操業の種別	水中灯		水中灯		船上灯		水中灯		船上灯		水中灯				
	操業開始位置 N	39	6.6	40	11.1	40	9.5	40	11.6	40	11.3	40	16.0			
	E	135	29.8	135	14.1	135	13.1	135	17.4	135	22.3	135	35.6			
	操業終了位置 N	39	7.2	40	11.9	40	10.3	40	12.7	40	11.1	40	16.3			
	E	135	29.8	135	15.6	135	14.8	135	18.8	135	21.4	135	36.7			
	操業開始時刻	08/26 02:00		08/26 19:00		08/27 18:30		08/28 18:30		08/29 18:30		08/30 18:30				
	操業終了時刻	08/26 04:00		08/27 04:00		08/28 05:00		08/29 03:30		08/30 02:30		08/31 03:00				
	操業時間(時)	2.00		8.50		10.00		9.00		8.00		8.00				
	釣機台数(機)	14.0		14.0		14.0		14.0		14.0		14.0				
	努力量(時・機)	28.0		119.0		140.0		126.0		112.0		112.0				
	釣獲尾数(尾)	261		7,222		2,891		6,713		5,687		6,854				
	CPUE(尾/時/機)	9.32		60.69		20.65		53.28		50.78		61.20				
	補機運転台数	1		1		2		1		2		1				
	燃油消費(L/時)	28		37		82		34		81		27				
生物測定結果	外套背長組成	14 cm														
		15 cm														
		16 cm														
		17 cm														
		18 cm	1	1%												
		19 cm	2	1%										4	2%	
		20 cm	9	5%	6	3%	2	1%	2	1%				10	5%	
		21 cm	32	16%	14	7%			5	3%				20	10%	
		22 cm	51	26%	22	11%	8	4%	22	11%	5	3%		31	16%	
		23 cm	48	24%	30	15%	31	16%	26	13%	13	7%		51	26%	
		24 cm	24	12%	37	19%	34	17%	23	12%	20	10%		39	20%	
		25 cm	15	8%	28	14%	40	20%	40	20%	35	18%		17	9%	
		26 cm	9	5%	25	13%	33	17%	38	19%	48	24%		10	5%	
		27 cm	2	1%	16	8%	26	13%	23	12%	35	18%		12	6%	
		28 cm	5	3%	15	8%	17	9%	15	8%	32	16%		4	2%	
		29 cm			6	3%	6	3%	6	3%	10	5%		1	1%	
30 cm	2	1%	1	1%	1	1%			2	1%						
31 cm					2	1%							1	1%		
32 cm																
	合計	200	100%	200	100%	200	100%	200	100%	200	100%	200	100%			
	平均体重(g)	260		353		422		386		404		340				
海洋観測結果	海洋観測位置 N	39	6.5	40	5.0	40	10.4	40	9.6	40	10.9	40	11.5	40	16.0	
		E	135	29.6	135	0.0	135	14.3	135	13.4	135	17.1	135	20.4	135	35.7
		観測日時	08/26 01:15		08/26 11:05		08/27 17:30		08/28 16:05		08/29 16:05		08/30 16:00			
		天気	C		C		R		C		R		C			
		雲量・雲形	— —		10 Sc		10 Sc		10 Sc		10 St		10 Sc			
		風向・風速(m/s)	SW 1.6		SE 5.3		E 2.0		E 9.5		SSW 3.2		N 8.3		NE 3.3	
		気温(℃)	20.1		22.6		22.2		20.5		22.0		20.5			
		気圧(hpa)	1013.6		1014.5		1014.2		1011.3		1009.6		1012.6		1014.3	
		波・うねり	2 3		2 3		2 3		3 3		2 2		3 3		2 2	
		透明度(m)	—		18		21		17		20		18		21	
	水温・塩分	0 m	22.4	33.99	21.3	33.98	21.6	34.02	21.3	33.93	21.5	33.93	21.5	33.93	21.7	33.96
			22.25	33.95	20.78	33.95	20.95	34.01	21.15	33.92	21.23	33.91	21.42	33.93	20.88	33.79
			20.70	33.69	13.13	34.27	12.13	34.12	11.25	34.11	13.99	34.01	16.80	33.56	11.59	34.14
			12.11	34.17	10.37	34.13	9.41	34.04	8.96	34.11	9.99	33.89	11.24	34.14	9.99	34.21
			8.31	34.14	6.86	34.09	6.92	34.05	6.34	34.00	6.89	34.04	8.14	34.13	7.65	34.08
			5.57	34.02	4.50	33.95	5.00	33.99	4.49	33.98	5.03	34.00	5.94	34.02	5.61	34.01
4.30			33.98	3.23	33.97	3.63	33.96	3.40	33.98	3.76	33.99	4.08	33.98	4.14	33.99	
2.57			33.99	1.98	33.96	2.31	33.99	2.21	33.97	2.39	33.97	2.55	33.97	2.53	33.97	
200 m	1.50	33.97	1.56	33.98	1.63	33.98	1.53	33.98	1.59	33.99	1.66	33.99	1.80	33.99		
300 m	0.88	34.00			1.11	33.98	1.06	34.00	1.03	33.99	1.13	34.00	1.12	33.97		
備考		日没 /25 18:41 日出 /26 05:23 月没 /25 14:28 月出 /25 23:35 月齢 23.7		※観測補間点		日没 /26 18:41 日出 /27 05:23 月没 /26 15:37 月出 /27 00:43 月齢 24.7		日没 /27 18:38 日出 /28 05:23 月没 /27 16:26 月出 /28 01:55 月齢 25.7		日没 /28 18:38 日出 /29 05:25 月没 /28 17:08 月出 /29 03:12 月齢 26.7		日没 /29 18:36 日出 /30 05:26 月没 /29 17:41 月出 /30 04:26 月齢 27.7		日没 /30 18:33 日出 /31 05:25 月没 /30 18:08 月出 /31 05:34 月齢 28.7		
		※12海里以内 2隻操業														

付表1 試験操業・生物測定・海洋観測結果(2)

試験操業結果	操業	第06次操業		沿岸漁場調査		第07次操業		第08次操業		第09次操業		第10次操業					
	操業の種別	船上灯		船上灯		水中灯		船上灯		水中灯		水中灯					
	操業開始位置 N	40	17.0	38	28.7	39	52.0	39	22.6	39	17.6	39	20.2				
	E	135	36.9	136	2.1	134	34.2	135	20.0	135	24.0	135	23.9				
	操業終了位置 N	40	17.2	38	28.7	39	50.8	39	21.5	39	15.8	39	19.6				
	E	135	38.0	136	2.3	134	35.9	135	20.5	135	25.3	135	25.9				
	操業開始時刻	08/31 18:30		09/17 23:30		09/18 18:00		09/19 18:00		09/20 18:00		09/21 18:00					
	操業終了時刻	08/31 21:15		09/18 01:30		09/19 05:30		09/20 03:00		09/21 03:55		09/22 05:30					
	操業時間(時)	1.75		2.00		9.58		7.50		8.33		9.58					
	釣機台数(機)	14.0		14.0		14.0		14.0		14.0		14.0					
	努力量(時・機)	24.5		28.0		134.2		105.0		116.7		134.2					
	釣獲尾数(尾)	5,245		98		2,515		5,639		6,872		4,864					
	CPUE(尾/時/機)	214.08		3.50		18.75		53.70		58.90		36.25					
	補機運転台数	2		2		1		2		1		1					
	燃油消費(L/時)	86		71		30		79		32		34					
生物測定結果	外套背長組成	14 cm			3	3%				1	1%		2	1%			
		15 cm			11	11%				1	1%	1	1%	12	6%		
		16 cm			12	12%				2	1%	3	2%	19	10%		
		17 cm			23	23%		4	2%	3	2%	2	1%	13	7%		
		18 cm			15	15%		2	1%	2	1%	1	1%	2	1%		
		19 cm			12	12%		5	3%	5	3%	8	4%	3	2%		
		20 cm	1	1%	6	6%		5	3%	8	4%	11	6%	6	3%		
		21 cm	2	1%	5	5%		11	6%	13	7%	17	9%	4	2%		
		22 cm	12	6%	4	4%		5	3%	11	6%	33	17%	20	10%		
		23 cm	29	15%	5	5%		17	9%	14	7%	25	13%	30	15%		
		24 cm	30	15%	2	2%		26	13%	33	17%	46	23%	33	17%		
		25 cm	41	21%				28	14%	49	25%	29	15%	29	15%		
		26 cm	38	19%				32	16%	33	17%	10	5%	17	9%		
		27 cm	28	14%	1	1%		16	8%	11	6%	7	4%	8	4%		
		28 cm	8	4%				30	15%	8	4%	3	2%	1	1%		
29 cm	10	5%	1	1%		11	6%	4	2%	3	2%	1	1%				
30 cm						5	3%	1	1%	1	1%						
31 cm	1	1%				2	1%	1	1%								
32 cm						1	1%										
合計	200	100%	100	100%		200	100%	200	100%	200	100%	200	100%				
平均体重(g)	382		122		390		280		314		340						
海洋観測結果	海洋観測位置	N	40	16.6	38	28.8	39	47.0	39	52.1	39	22.7	39	17.9	39	20.1	
		E	135	36.5	136	2.1	134	21.0	134	34.1	135	19.8	135	24.0	135	23.1	
		観測日時	08/31 16:05		09/17 23:05		09/18 12:35		09/18 16:35		09/19 17:30		09/20 16:30		09/21 16:25		
		天気	C		C		BC		BC		C		BC		C		
		雲量・雲形	10	Sc	—	—	3	Cs	3	Cs	10	Ci	4	Ci	10	Sc	
		風向・風速(m/s)	NE	5.3	E	3.6	S	5.8	SSW	3.2	NE	6.2	NE	2.5	N	2.2	
		気温(°C)	20.1		22.8		26.0		24.2		23.8		22.0		21.9		
		気圧(hpa)	1012.6		1015.4		1012.8		1011.8		1014.2		1011.8		1011.2		
		波・うねり	2	2	2	1	2	1	2	1	2	2	2	2	2	1	
		透明度(m)	20		—		23		25		17		21		23		
		水温・塩分‰	0 m	21.4	33.98	24.1	33.63	23.5	33.75	22.5	33.78	23.4	33.69	22.9	33.79	23.7	33.43
			10 m	17.84	33.59	23.61	33.60	22.27	33.57	19.91	33.94	21.64	33.80	21.47	33.76	22.18	33.74
			20 m	11.33	34.21	20.49	33.88	19.19	33.95	17.74	33.81	19.30	33.86	19.09	33.95	19.61	33.91
			30 m	9.67	34.18	15.07	34.25	15.71	34.16	14.47	33.99	17.43	34.10	16.62	33.83	17.41	34.09
			50 m	7.89	34.13	9.40	34.09	11.55	34.10	9.08	34.11	11.99	34.32	12.41	34.28	13.09	34.28
75 m	5.70		34.03	6.83	34.07	7.81	34.04	5.24	34.01	7.15	34.03	8.32	34.15	8.33	34.14		
100 m	4.29		33.99	4.80	33.97	4.94	33.99	3.29	33.96	4.89	33.93	5.48	33.97	5.48	33.97		
150 m	2.50		33.96	2.35	33.96			1.92	33.96	2.60	33.95	3.02	33.97	2.83	33.95		
200 m	1.78	33.99	1.47	33.98			1.36	33.97	1.86	33.95	2.08	33.97	1.97	33.99			
300 m	1.13	33.98	0.80	34.02			0.95	33.98	1.06	33.98	1.08	33.98	1.06	34.00			
備考		日没 /31 18:31 日出 /01 05:26 月没 /31 18:32 月出 /01 06:42 月齢 0.3		日没 /17 18:01 日出 /18 05:40 月没 /18 08:39 月出 /17 18:42 月齢 17.3		※観測補間点		日没 /18 18:05 日出 /19 05:47 月没 /19 10:05 月出 /18 19:15 月齢 18.3		日没 /19 18:00 日出 /20 05:44 月没 /20 11:14 月出 /19 19:48 月齢 19.3		日没 /20 17:58 日出 /21 05:45 月没 /21 12:25 月出 /20 20:33 月齢 20.3		日没 /21 17:57 日出 /22 05:46 月没 /22 13:27 月出 /21 21:29 月齢 21.3			
		※12海里以内 5隻操業						※17~20時周 囲クジラ遊泳 ※14海里以内 7隻操業				※2隻光茫視認		※12海里以内 2隻操業			

付表1 試験操業・生物測定・海洋観測結果(3)

		第11次操業		第12次操業		第13次操業		沿岸漁場調査		第14次操業		第15次操業				
試験操業結果	操業の種別	船上灯		水中灯		水中灯		船上灯		船上灯		船上灯				
	操業開始位置	N	39 19.6	39 15.0	39 11.0	38 29.5	39 15.0					40 5.8				
		E	135 28.6	135 31.6	135 33.4	136 0.2	135 11.5					135 10.9				
	操業終了位置	N	39 19.0	39 12.1	39 8.9	38 28.9	39 12.0					40 4.9				
		E	135 29.6	135 32.3	135 33.7	136 0.1	135 11.4					135 13.1				
	操業開始時刻	09/22 18:00		09/23 18:00		09/24 18:00		10/15 20:15		10/16 17:30		10/17 17:30				
	操業終了時刻	09/23 01:55		09/24 05:30		09/25 00:00		10/15 22:15		10/17 06:00		10/18 06:00				
	操業時間(時)	5.00		9.58		4.50		2.00		12.50		12.50				
	釣機台数(機)	14.0		14.0		14.0		14.0		14.0		14.0				
	努力量(時・機)	70.0		134.2		63.0		28.0		175.0		175.0				
	釣獲尾数(尾)	7,191		2,934		1,843		3		1,048		5,787				
	CPUE(尾/時/機)	102.73		21.87		29.25		0.11		5.99		33.07				
	補機運転台数	2		1		2		2		2		2				
	燃油消費(L/時)	82		35		41		75		79		79				
生物測定結果	外套背長組成	14 cm	1	1%	14	7%										
		15 cm	1	1%	34	17%										
		16 cm	2	1%	28	14%							2	1%		
		17 cm	1	1%	32	16%					3	2%	3	2%		
		18 cm	1	1%	9	5%	2	1%	1	33%	7	4%	3	2%		
		19 cm			2	1%					12	6%	4	2%		
		20 cm			1	1%	1	1%			19	10%	8	4%		
		21 cm	11	6%	5	3%	2	1%	1	33%	11	6%	6	3%		
		22 cm	27	14%	6	3%	20	10%	1	33%	16	8%	19	10%		
		23 cm	53	27%	16	8%	43	22%			15	8%	28	14%		
		24 cm	50	25%	30	15%	54	27%			26	13%	36	18%		
		25 cm	31	16%	10	5%	34	17%			26	13%	34	17%		
		26 cm	11	6%	9	5%	25	13%			26	13%	28	14%		
		27 cm	5	3%	1	1%	11	6%			20	10%	15	8%		
		28 cm	2	1%	3	2%	3	2%			7	4%	13	7%		
		29 cm	2	1%			2	1%			8	4%				
	30 cm	2	1%			3	2%			4	2%	1	1%			
31 cm																
32 cm																
合計	200	100%	200	100%	200	100%	3	100%	200	100%	200	100%				
平均体重(g)	294		209		292		-		354		368					
海洋観測結果	海洋観測位置	N	39 19.9	39 14.9	39 11.1	38 29.6	39 15.4	40 0.1	40 5.8							
		E	135 28.1	135 32.5	135 32.3	136 0.1	135 11.4	134 58.1	135 11.0							
	観測日時	09/22 16:30		09/23 16:30		09/24 16:30		10/15 20:00		10/16 16:10		10/17 13:15		10/17 16:25		
	天気	BC		C		C		BC		BC		BC		BC		
	雲量・雲形	7 Ac		9 Ac		10 Ac		-		8 Ci		9 Ci		8 Ci		
	風向・風速(m/s)	SSW 3.3		NNW 9.7		NE 5.6		NW 2.8		SSW 5.3		SSW 4.8		SSW 3.6		
	気温(℃)	23.2		18.7		17.8		19.3		20.5		20.8		19.2		
	気圧(hpa)	1010.6		1012.4		1018.4		1025.3		1025.3		1025.0		1024.8		
	波・うねり	1 1		5 4		3 2		2 1		2 2		2 3		2 3		
	透明度(m)	21		16		20		-		17		21		20		
	水温・塩分‰	0 m	23.9	33.59	21.4	33.81	20.9	33.91	20.3	33.65	20.0	33.70	18.7	33.84	17.9	34.03
		10 m	21.79	33.75	21.75	33.80	20.98	33.89	19.89	33.69	19.50	33.70	17.47	33.85	17.53	34.01
		20 m	19.57	33.81	18.13	33.97	19.79	33.31	19.83	33.70	19.28	33.76	17.34	33.83	17.47	34.05
		30 m	16.69	34.13	16.38	34.12	16.50	34.15	19.62	33.72	18.51	33.65	17.18	33.83	16.49	33.98
		50 m	11.78	34.25	11.90	34.24	11.80	34.25	15.66	34.30	14.87	34.35	10.50	34.16	9.63	34.04
		75 m	7.60	34.11	8.15	34.11	8.18	34.10	12.52	34.33	11.46	34.24	6.43	34.00	6.26	34.04
		100 m	5.23	34.01	5.84	34.05	5.78	34.04	9.10	34.17	8.27	34.13	4.46	34.00	4.69	34.00
150 m		2.71	33.97	3.10	34.00	3.13	34.00	4.28	33.98	3.73	33.98	2.47	33.97	2.61	33.99	
200 m	1.81	33.98	1.87	33.99	2.06	33.97	2.31	33.96	2.19	33.96	1.65	33.98	1.84	33.98		
300 m	1.00	34.01	1.09	33.99	1.09	33.99	1.03	33.99	1.11	33.98			1.09	33.99		
備考		日没 /22 17:55 日出 /23 05:46 月没 /23 14:20 月出 /22 22:34 月齢 22.3		日没 /23 17:53 日出 /24 05:47 月没 /24 15:04 月出 /23 23:45 月齢 23.3		日没 /24 17:52 日出 /25 05:48 月没 /24 15:03 月出 /25 01:02 月齢 24.3		日没 /15 17:13 日出 /16 06:05 月没 /16 07:35 月出 /15 17:11 月齢 15.8		日没 /16 17:17 日出 /17 06:11 月没 /17 08:58 月出 /16 17:50 月齢 16.8		※観測補間点		日没 /17 17:18 日出 /18 06:13 月没 /18 10:16 月出 /17 18:31 月齢 17.8		
		※12海里以内 3隻操業		※12海里以内 9隻操業		※12海里以内 8隻操業								※24海里以内 13隻操業		

付表1 試験操業・生物測定・海洋観測結果(4)

試験操業結果	操業	第16次操業		第17次操業		第18次操業		第19次操業					
	操業の種別	水中灯		水中灯		水中灯		水中灯					
	操業開始位置 N	40	4.3	40	5.8	39	23.9	39	19.4				
	E	135	14.2	135	12.1	134	6.1	135	29.8				
	操業終了位置 N	40	3.4	40	7.7	39	23.8	39	14.8				
	E	135	14.7	135	15.2	134	6.8	135	29.6				
	操業開始時刻	10/18 17:30		10/19 17:30		10/20 17:30		10/21 20:00					
	操業終了時刻	10/19 06:00		10/20 06:00		10/21 06:00		10/22 03:00					
	操業時間(時)	12.50		12.50		12.50		7.00					
	釣機台数(機)	11.0		14.0		14.0		14.0					
	努力量(時・機)	137.0		175.0		175.0		98.0					
	釣獲尾数(尾)	1,825		877		1,517		3,871					
	CPUE(尾/時/機)	13.32		5.01		8.67		39.50					
	補機運転台数	1		1		2		2					
燃油消費(L/時)	30		35		81		80						
生物測定結果	外套背長組成	14 cm											
		15 cm											
		16 cm											
		17 cm	1	1%					2	1%			
		18 cm	1	1%	3	2%	1	1%	1	1%			
		19 cm	7	4%	4	2%	1	1%	2	1%			
		20 cm	3	2%	10	5%	5	3%	5	3%			
		21 cm	7	4%	16	8%	8	4%	5	3%			
		22 cm	13	7%	18	9%	21	11%	11	6%			
		23 cm	17	9%	25	13%	29	15%	23	12%			
		24 cm	25	13%	32	16%	31	16%	38	19%			
		25 cm	45	23%	37	19%	41	21%	34	17%			
		26 cm	35	18%	22	11%	34	17%	26	13%			
		27 cm	19	10%	19	10%	15	8%	24	12%			
		28 cm	19	10%	8	4%	7	4%	17	9%			
		29 cm	8	4%	6	3%	4	2%	10	5%			
	30 cm					3	2%	2	1%				
31 cm													
32 cm													
合計	200	100%	200	100%	200	100%	200	100%					
平均体重(g)	358		268		313		363						
海洋観測結果	海洋観測位置 N	40	4.4	40	5.9	39	23.9	39	19.8				
		E	135	13.9	135	11.7	134	6.4	135	30.0			
	観測日時	10/18 16:10		10/19 16:05		10/20 16:20		10/21 19:30					
	天気	BC		BC		C		C					
	雲量・雲形	9	Ci	9	As	10	Sc	—	—				
	風向・風速(m/s)	SSE	3.2	ENE	3.7	NNE	3.9	SSE	1.2				
	気温(℃)	18.4		20.5		17.8		17.0					
	気圧(hpa)	1026.6		1022.2		1021.3		1024.0					
	波・うねり	1	1	2	2	2	2	1	1				
	透明度(m)	22		20		16		—					
	水温・塩分‰	0 m	18.5	33.88	18.6	33.90	20.1	33.65	19.9	33.69			
		10 m	17.19	33.83	17.64	33.83	19.93	33.64	19.62	33.74			
		20 m	16.46	33.97	17.34	33.89	19.32	33.78	18.87	33.84			
		30 m	16.32	33.99	16.53	33.89	19.01	33.88	18.24	33.89			
		50 m	10.45	34.09	10.26	34.12	12.86	34.28	14.30	34.34			
		75 m	6.77	34.05	6.60	34.07	9.62	34.22	10.72	34.22			
		100 m	4.86	34.01	4.92	34.02	6.47	34.05	7.44	34.09			
150 m		2.71	33.99	2.65	33.97	3.19	33.95	3.40	34.01				
200 m	1.84	33.98	1.78	33.97	1.74	33.97	2.11	33.99					
300 m	1.10	33.97	1.07	33.99	1.03	33.99	1.00	33.99					
備考	日没 /18 17:19 日出 /19 06:14 月没 /19 11:23 月出 /18 19:24 月齢 18.8		日没 /19 17:16 日出 /20 06:14 月没 /20 12:20 月出 /19 20:25 月齢 19.8		日没 /20 17:17 日出 /21 06:19 月没 /21 13:08 月出 /20 21:44 月齢 20.8		日没 /21 17:18 日出 /22 06:20 月没 /22 13:46 月出 /21 22:57 月齢 21.8		※船上灯点灯直後、サンマ多数遊泳				

付表2 試験操作時間帯別結果(1)

水中灯試運転													夜操業 総合			
操作開始:2008/8/26 02:00 39-06.6N 135-29.8E; 操作終了:2008/8/26 04:00 39-07.2N 135-29.8E																
時間帯:	16~17	17~18	18~19	19~20	20~21	21~22	22~23	23~00	00~01	01~02	02~03	03~04	04~05	05~06		
釣獲尾数(尾)											38	223			261	
努力量(時・機)											14.0	14.0			28.0	
CPU(尾/時/機)											2.7	15.9			9.32	
燃油消費(L)											26	30			28	
補機運転台数											1	1			1	
船上水銀灯(灯)											12	12			-	
船上作業灯(灯)											10	10			-	
船上MH灯(灯)											-	-			-	
種類											LED*	LED*			-	
水深											50m	50m			-	
調光											備考	備考			-	
種類											LED*	LED*			-	
水深											50m	50m			-	
調光											備考	備考			-	
備考	LED*=600W青緑LED水中灯; 02:00~02:30 舳艫水中灯100%; 02:30~03:00 舳艫水中灯80%; 03:00~03:15 舳艫水中灯40%; 03:15~03:30 舳水中灯1sストロボ; 舳水中灯40%; 03:30~03:45 舳艫水中灯1sストロボ; 03:45~04:00 舳水中灯1sストロボ; 舳水中灯消灯															
第01次操業															夜操業 総合	
操作開始:2008/8/26 19:00 40-11.1N 135-14.1E; 操作終了:2008/8/27 04:00 40-11.9N 135-15.6E																
時間帯:	16~17	17~18	18~19	19~20	20~21	21~22	22~23	23~00	00~01	01~02	02~03	03~04	04~05	05~06		
釣獲尾数(尾)				17	54	184	1,173	988	186	1,582	1,729	1,309			7,222	
努力量(時・機)				14.0	14.0	14.0	14.0	14.0	14.0	14.0	14.0	7.0			119.0	
CPU(尾/時/機)				1.2	3.9	13.1	83.8	70.6	13.3	113.0	123.5	187.0			60.69	
燃油消費(L)				37	38	41	34	28	35	44	39	39			37	
補機運転台数				1	1	1	1	1	1	1	1	1			1	
船上水銀灯(灯)				12	12	12	12	12	12	12	12	12			-	
船上作業灯(灯)				-	-	-	-	-	-	-	-	-			-	
船上MH灯(灯)				24	24	24	24	24	24	24	24	24			-	
種類		LED*	LED*	LED*	LED*	LED*	LED*	LED*	LED*	LED*	LED*	LED*			-	
水深		50m	50m	40m	40m	40m	40m	40m	40m	40m	40m	40m			-	
調光		100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%			-	
種類		LED*	LED*	LED*	LED*	LED*	LED*	LED*	LED*	LED*	LED*	LED*			-	
水深		50m	50m	50m	50m	40m	-	-	40m	-	-	-			-	
調光		100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%			-	
備考	LED*=600W青緑LED水中灯; 16:00 水中灯点灯															
20:15~21:00 ヲア-調整のため舳水中灯収容; 20:15~20:45 ヲア-調整のため舳水中灯収容; 03:00~03:30 漁獲物処理のため舳機全機停止																

付表2 試験操業時間帯別結果(2)

第02次操業		操業開始:2008/8/27 18:30 40-09.5N 135-13.1E; 操業終了:2008/8/28 05:00 40-10.3N 135-14.8E													夜操業 総合		
時間帯:		16~17	17~18	18~19	19~20	20~21	21~22	22~23	23~00	00~01	01~02	02~03	03~04	04~05	05~06		
釣獲尾数(尾)				27	200	367	498	436	286	369	250	105	227	126		2,891	
努力量(時・機)				7.0	14.0	14.0	14.0	31.1	14.0	14.0	14.0	7.0	14.0	14.0		140.0	
CPU(尾/時/機)				3.9	14.3	26.2	35.6	31.1	20.4	26.4	17.9	15.0	16.2	9.0		20.65	
燃油消費(L)				83	82	83	90	90	71	86	86	91	76	63		82	
補機運転台数				2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2		2	
船上水銀灯(灯)				12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12		-	
船上作業灯(灯)				-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-		-	
船上MH灯(灯)				78	78	78	78	78	78	78	78	78	78	78		-	
種類				-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-		-	
水深				-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-		-	
(船首:船)				-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-		-	
調光				-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-		-	
種類				-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-		-	
水深				-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-		-	
(船尾:艦)				-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-		-	
調光				-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-		-	
備考																	
02:30~03:00 ｼﾞｰﾌﾞｰ調整のため釣機全機停止																	
第03次操業		操業開始:2008/8/28 18:30 40-11.6N 135-17.4E; 操業終了:2008/8/29 03:30 40-12.7N 135-18.8E													夜操業 総合		
時間帯:		16~17	17~18	18~19	19~20	20~21	21~22	22~23	23~00	00~01	01~02	02~03	03~04	04~05	05~06		
釣獲尾数(尾)				18	25	467	1,483	1,415	169	169	485	1,132	1,350			6,713	
努力量(時・機)				7.0	14.0	14.0	14.0	14.0	14.0	14.0	14.0	14.0	7.0			126.0	
CPU(尾/時/機)				2.6	1.8	33.4	105.9	101.1	12.1	12.1	34.6	80.9	192.9			53.28	
燃油消費(L)				37	35	34	37	34	44	35	26	27	29			34	
補機運転台数				1	1	1	1	1	1	1	1	1	1			1	
船上水銀灯(灯)				12	12	12	12	12	12	12	12	12	12			-	
船上作業灯(灯)				-	-	-	-	-	-	5	5	5	5			-	
船上MH灯(灯)				24	24	24	24	24	24	-	-	-	-			-	
種類				LED*	LED*	LED*	LED*	LED*	LED*	LED*	LED*	LED*	LED*			LED*	
水深				40m	40m	40m	40m	40m	40m	40m	40m	40m	40m			40m	
(船首:船)				100%	100%	30%	10%	10%	100%	100%	100%	100%	100%			100%	
調光				100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%			100%	
種類				LED*	LED*	LED*	LED*	LED*	LED*	LED*	LED*	LED*	LED*			LED*	
水深				40m	40m	40m	40m	40m	40m	40m	40m	40m	40m			40m	
(船尾:艦)				100%	100%	30%	10%	10%	100%	100%	100%	100%	100%			100%	
調光				100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%			100%	
備考																	
LED*=600W青緑LED水中灯; 16:00 水中灯点灯																	

付表2 試験操業時間帯別結果(3)

第04次操業													夜操業 総合	
操業開始:2008/8/29 18:30 40-11.3N 135-22.3E; 操業終了:2008/8/30 02:30 40-11.1N 135-21.4E														
時間帯:	16~17	17~18	18~19	19~20	20~21	21~22	22~23	23~00	00~01	01~02	02~03	03~04	04~05	05~06
釣獲尾数(尾)			40	364	542	876	1,010	1,009	881	557	408			
努力量(時・機)			7.0	14.0	14.0	14.0	14.0	14.0	14.0	14.0	7.0			
CPU(尾/時/機)			5.7	26.0	38.7	62.6	72.1	72.1	62.9	39.8	58.3			
燃油消費(L)			82	81	87	86	81	76	74	85	78			
補機運転台数			2	2	2	2	2	2	2	2	2			
船上水銀灯(灯)			12	12	12	12	12	12	12	12	12			
船上作業灯(灯)			-	-	-	-	-	-	-	-	-			
船上MH灯(灯)			78	78	78	78	78	78	78	78	78			
種類			-	-	-	-	-	-	-	-	-			
水深			-	-	-	-	-	-	-	-	-			
(船首:船)			-	-	-	-	-	-	-	-	-			
調光			-	-	-	-	-	-	-	-	-			
種類			-	-	-	-	-	-	-	-	-			
水深			-	-	-	-	-	-	-	-	-			
(船尾:船)			-	-	-	-	-	-	-	-	-			
調光			-	-	-	-	-	-	-	-	-			
備考														

第05次操業													夜操業 総合	
操業開始:2008/8/30 18:30 40-16.0N 135-35.6E; 操業終了:2008/8/31 03:00 40-16.3N 135-36.7E														
時間帯:	16~17	17~18	18~19	19~20	20~21	21~22	22~23	23~00	00~01	01~02	02~03	03~04	04~05	05~06
釣獲尾数(尾)			9	148	679	1,055	897	1,215	1,412	936	503			
努力量(時・機)			7.0	14.0	14.0	14.0	14.0	14.0	14.0	7.0	14.0			
CPU(尾/時/機)			1.3	10.6	48.5	75.4	64.1	86.8	100.9	133.7	35.9			
燃油消費(L)			27	25	29	27	30	23	25	25	32			
補機運転台数			1	1	1	1	1	1	1	1	1			
船上水銀灯(灯)			12	12	12	12	12	12	12	12	12			
船上作業灯(灯)			5	5	5	5	5	5	5	5	5			
船上MH灯(灯)			-	-	-	-	-	-	-	-	-			
種類			LED*	LED*	LED*	LED*	LED*	LED*	LED*	LED*	LED*			
水深			40m	40m	40m	40m	40m	40m	40m	40m	40m			
(船首:船)			100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%			
調光			LED*	LED*	LED*	LED*	LED*	LED*	LED*	LED*	LED*			
種類			LED*	LED*	LED*	LED*	LED*	LED*	LED*	LED*	LED*			
水深			40m	40m	40m	40m	40m	40m	40m	40m	40m			
(船尾:船)			100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%			
調光			LED*	LED*	LED*	LED*	LED*	LED*	LED*	LED*	LED*			
備考	LED*=600W青緑LED水中灯; 16:00 水中灯点灯 01:30~02:00 漁獲量調整のため舳艫水中灯を100%に調光、この間の釣獲尾数は184尾、努力量は14機×0.5時間、表中の01~02時の漁獲成績は01:00~01:30の結果													

付表2 試験操業時間帯別結果(4)

第06操業		操業開始:2008/8/31 18:30 40-17.0N 135-36.9E; 操業終了:2008/8/31 21:15 40-17.2N 135-38.0E												夜操業 総合		
時間帯:		16~17	17~18	18~19	19~20	20~21	21~22	22~23	23~00	00~01	01~02	02~03	03~04	04~05	05~06	
釣獲尾数(尾)				349	3,445	-	1,451									5,245
努力量(時・機)				7.0	14.0	-	3.5									24.5
CPUE(尾/時/機)				49.9	246.1	-	414.6									214.08
燃油消費(L)				86	83	110	66									86
補機運転台数				2	2	2	2									2
船上水銀灯(灯)				12	12	12	12									-
船上作業灯(灯)				-	-	-	-									-
船上MH灯(灯)				78	78	78	78									-
水中灯 (船首:軸)	種類			-	-	-	-									-
	水深			-	-	-	-									-
	調光			-	-	-	-									-
水中灯 (船尾:艫)	種類			-	-	-	-									-
	水深			-	-	-	-									-
	調光			-	-	-	-									-
備考	20:00~21:00 漁獲物処理のため釣機全機停止; 希にみる大漁のため21:15操業終了															
沿岸漁場調査		操業開始:2008/9/17 23:30 38-28.7N 136-02.1E; 操業終了:2008/9/18 01:30 38-28.7N 136-02.3E												夜操業 総合		
時間帯:		16~17	17~18	18~19	19~20	20~21	21~22	22~23	23~00	00~01	01~02	02~03	03~04	04~05	05~06	
釣獲尾数(尾)									18	49	31					98
努力量(時・機)									7.0	14.0	7.0					28.0
CPUE(尾/時/機)									2.6	3.5	7.0					3.50
燃油消費(L)									69	89	55					71
補機運転台数									2	2	2					2
船上水銀灯(灯)									12	12	12					-
船上作業灯(灯)									-	-	10					-
船上MH灯(灯)									78	78	-					-
水中灯 (船首:軸)	種類								-	-	-					-
	水深								-	-	-					-
	調光								-	-	-					-
水中灯 (船尾:艫)	種類								-	-	-					-
	水深								-	-	-					-
	調光								-	-	-					-
備考	23:30~00:50 MH灯78灯点灯、00:50~01:30 作業灯10灯点灯															

付表2 試験操業時間帯別結果(5)

第07次操業		操業開始:2008/9/18 18:00 39-52.0N 134-34.2E; 操業終了:2008/9/19 05:30 39-50.8N 134-35.9E														夜操業 総合	
時間帯:		16~17	17~18	18~19	19~20	20~21	21~22	22~23	23~00	00~01	01~02	02~03	03~04	04~05	05~06		
釣獲尾数(尾)				25	112	246	189	390	47	270	292	184	434	197	129	2,515	
努力量(時・機)			11.7	11.7	11.7	11.7	11.7	11.7	11.7	11.7	11.7	11.7	11.7	11.7	5.8	134.2	
CPUE(尾/時/機)			2.1	9.6	21.1	16.2	33.4	4.0	23.1	23.1	25.0	15.8	37.2	16.9	22.1	18.75	
燃油消費(L)			30	34	35	37	39	38	22	22	25	24	24	26	27	30	
補機運転台数			1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	
船上水銀灯(灯)			12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	
船上作業灯(灯)			-	-	-	-	-	-	-	4	4	4	4	4	4	-	
船上MH灯(灯)			24	24	24	24	24	24	24	-	-	-	-	-	-	-	
種類			LED*	LED*	LED*	LED*	LED*	LED*	LED*	LED*	LED*	LED*	LED*	LED*	LED*	LED*	
水深			40m	40m	40m	40m	40m	40m	40m	40m	40m	40m	40m	40m	40m	40m	
調光			100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	
種類			LED*	LED*	LED*	LED*	LED*	LED*	LED*	LED*	LED*	LED*	LED*	LED*	LED*	LED*	
水深			80m	40m	40m	40m	40m	40m	40m	40m	40m	40m	40m	40m	40m	40m	
調光			100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	
備考			LED*=600W青緑LED水中灯; 16:00水中灯点灯; 17:00~20:00船体周囲クジラ遊泳、水中灯のLEDは手動で可能なかぎり同調させた 23:15~23:30ソナー収容のため水中灯取容; 作業灯1灯は「X」切のため点灯せず														
第08次操業		操業開始:2008/9/19 18:00 39-22.6N 135-20.0E; 操業終了:2008/9/20 03:00 39-21.5N 135-20.5E														夜操業 総合	
時間帯:		16~17	17~18	18~19	19~20	20~21	21~22	22~23	23~00	00~01	01~02	02~03	03~04	04~05	05~06		
釣獲尾数(尾)				182	324	493	619	565	392	511	1,054	1,499				5,639	
努力量(時・機)			11.7	11.7	11.7	11.7	11.7	11.7	11.7	11.7	11.7	11.7	11.7	11.7	11.7	105.0	
CPUE(尾/時/機)			15.6	27.8	42.3	53.1	48.4	33.6	43.8	43.8	90.3	128.5				53.70	
燃油消費(L)			55	90	73	81	81	81	84	83	90	76				79	
補機運転台数			2	2	2	2	2	2	2	2	2	2				2	
船上水銀灯(灯)			12	12	12	12	12	12	12	12	12	12				-	
船上作業灯(灯)			-	-	-	-	-	-	-	-	-	-				-	
船上MH灯(灯)			78	78	78	78	78	78	78	78	78	78				-	
種類			-	-	-	-	-	-	-	-	-	-				-	
水深			-	-	-	-	-	-	-	-	-	-				-	
調光			-	-	-	-	-	-	-	-	-	-				-	
種類			-	-	-	-	-	-	-	-	-	-				-	
水深			-	-	-	-	-	-	-	-	-	-				-	
調光			-	-	-	-	-	-	-	-	-	-				-	
備考			03:00~05:45 LED水中灯を垂下して、点灯条件毎の魚探ソナー画像を調査														

付表2 試験操作時間帯別結果(6)

第9回操作業		操作開始:2008/9/20 18:00 39-17.6N 135-24.0E; 操業終了:2008/9/21 03:55 39-15.8N 135-25.3E														夜操業 総合	
時間帯:		16~17	17~18	18~19	19~20	20~21	21~22	22~23	23~00	00~01	01~02	02~03	03~04	04~05	05~06		
釣獲尾数(尾)				44	98	180	69	119	440	915	791	1,067	3,149			6,872	
努力量(時・機)			11.7	11.7	11.7	11.7	11.7	11.7	11.7	11.7	11.7	11.7	11.7			116.7	
CPUE(尾/時/機)			3.8	8.4	15.4	5.9	10.2	10.2	37.7	78.4	67.8	91.5	269.9			58.90	
燃油消費(L)			26	27	25	27	27	26	34	42	32	40	37			32	
補機運転台数			1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1			1	
船上水銀灯(灯)			12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12				
船上作業灯(灯)			5	5	5	5	5	5									
船上MH灯(灯)									24	24	24	24	24				
種類			LED*	LED*	LED*	LED*	LED*	LED*	LED*	LED*	LED*	LED*	LED*				
水深			50m	50m	50m	50m	50m	50m	50m	50m		50m					
調光			λ100% 5s	λ100% 5s	λ100% 5s	λ100% 5s	λ100% 5s	λ100% 5s	λ100% 5s	λ100% 5s		λ100% 5s					
種類			LED*	LED*	LED*	LED*	LED*				LED*		LED*				
水深			20m	20m	20m	20m	20m				20m		20m				
調光			100%	100%	100%	100%	100%						λ100% 5s				
備考		LED*=600W青緑LED水中灯; 18:00水中灯点灯 03:55~05:45水中灯点灯条件毎の魚探・ソナー画像を調査															
第10回操作業		操作開始:2008/9/21 18:00 39-20.2N 135-23.9E; 操業終了:2008/9/22 05:30 39-19.6N 135-25.9E														夜操業 総合	
時間帯:		16~17	17~18	18~19	19~20	20~21	21~22	22~23	23~00	00~01	01~02	02~03	03~04	04~05	05~06		
釣獲尾数(尾)				72	230	395	596	876	605	467	260	231	244	653	235	4,864	
努力量(時・機)			11.7	11.7	11.7	11.7	11.7	11.7	11.7	11.7	11.7	11.7	11.7	11.7	5.8	134.2	
CPUE(尾/時/機)			6.2	19.7	33.9	51.1	75.1	75.1	51.9	40.0	22.3	19.8	20.9	56.0	40.3	36.25	
燃油消費(L)			34	39	36	39	36	36	43	34	23	26	26	35	41	34	
補機運転台数			1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	
船上水銀灯(灯)			12	12	12	12	12	12	12								
船上作業灯(灯)										5	5	5	5				
船上MH灯(灯)			24	24	24	24	24	24	24					24	24		
種類																	
水深																	
調光																	
種類					LED*	LED*	LED*	LED*	LED*	LED*		LED*					
水深					20m	20m	20m	20m	20m	20m		20m					
調光					λ100% 5s	λ100% 5s	λ100% 5s	λ100% 5s	λ100% 5s	λ100% 5s		λ100% 5s					
備考		LED*=600W青緑LED水中灯; 19:00水中灯点灯															

付表2 試験操業時間帯別結果(7)

第11次操業													夜操業 総合		
操業開始:2008/9/22 18:00 39-19.6N 135-28.6E; 操業終了:2008/9/23 01:55 39-19.0N 135-29.6E															
時間帯:	16~17	17~18	18~19	19~20	20~21	21~22	22~23	23~00	00~01	01~02	02~03	03~04	04~05	05~06	
釣獲尾数(尾)			327	871	1,442	2,014	933	-	-	1,604					7,191
努力量(時・機)			11.7	11.7	11.7	11.7	11.7	-	-	11.7					70.0
CPU(尾/時/機)			28.0	74.7	123.6	172.6	80.0	-	-	137.5					102.73
燃油消費(L)			71	74	79	85	85	87	88	85					82
補機運転台数			2	2	2	2	2	2	2	2					2
船上水銀灯(灯)			12	12	12	12	12	12	12	12					-
船上作業灯(灯)			-	-	-	-	-	-	-	-					-
船上MH灯(灯)			78	78	78	78	78	78	78	78					-
種類			-	-	-	-	-	-	-	-					-
水深			-	-	-	-	-	-	-	-					-
(船首:舳)			-	-	-	-	-	-	-	-					-
調光			-	-	-	-	-	-	-	-					-
種類			-	-	-	-	-	-	-	-					-
水深			-	-	-	-	-	-	-	-					-
(船尾:艫)			-	-	-	-	-	-	-	-					-
調光			-	-	-	-	-	-	-	-					-
備考	22:55~01:05 漁獲物処理のため釣機全機停止; 23:55~01:05.02:30~05:45 水中灯点灯条件毎の魚探・ソナー画像を調査														
第12次操業													夜操業 総合		
操業開始:2008/9/23 18:00 39-15.0N 135-31.6E; 操業終了:2008/9/24 05:30 39-12.1N 135-32.3E															
時間帯:	16~17	17~18	18~19	19~20	20~21	21~22	22~23	23~00	00~01	01~02	02~03	03~04	04~05	05~06	
釣獲尾数(尾)			14	17	180	257	233	144	179	245	120	808	669	68	2,934
努力量(時・機)			11.7	11.7	11.7	11.7	11.7	11.7	11.7	11.7	11.7	11.7	11.7	5.8	134.2
CPU(尾/時/機)			1.2	1.5	15.4	22.0	20.0	12.3	15.3	21.0	10.3	69.3	57.3	11.7	21.87
燃油消費(L)			35	36	35	37	36	33	33	37	30	35	34	35	35
補機運転台数			1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
船上水銀灯(灯)			12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	-
船上作業灯(灯)			-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
船上MH灯(灯)			24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	-
種類			LED*	LED*	LED*	LED*	LED*	LED*	LED*	LED*	LED*	LED*	LED*	LED*	-
水深			30m	30m	30m	30m	30m	30m	30m	30m	30m	30m	30m	30m	-
(船首:舳)			100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	-
調光			LED*	LED*	LED*	LED*	LED*	LED*	LED*	LED*	LED*	LED*	LED*	LED*	-
種類			LED*	LED*	LED*	LED*	LED*	LED*	LED*	LED*	LED*	LED*	LED*	LED*	-
水深			50m	50m	50m	50m	50m	50m	50m	50m	50m	50m	50m	50m	-
(船尾:艫)			100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	-
調光			LED*	LED*	LED*	LED*	LED*	LED*	LED*	LED*	LED*	LED*	LED*	LED*	-
備考	LED*=600W青緑LED水中灯; 17:00 水中灯点灯; 時化のため漁獲不振														

付表2 試験操作時間帯別結果(8)

第13次操業															
操作開始:2008/9/24 18:00 39-11.0N 135-33.4E; 操業終了:2008/9/25 00:00 39-08.9N 135-33.7E															
時間帯:	16~17	17~18	18~19	19~20	20~21	21 ⁰⁰ ~21 ³⁰	21 ³⁰ ~22 ⁰⁰	22 ⁰⁰ ~22 ³⁰	22 ³⁰ ~23 ⁰⁰	23 ⁰⁰ ~23 ³⁰	23 ³⁰ ~00 ⁰⁰	00~01	01~02	02~03	夜操業 総合
釣獲尾数(尾)			43	467	418	60	306	202	28	116	203				1,843
努力量(時・機)		11.7	11.7	11.7	11.7	4.7	4.7	4.7	4.7	4.7	4.7				63.0
CPU(尾/時/機)		3.7	40.0	35.8	12.9	65.6	43.3	6.0	24.9	43.5					29.25
燃油消費(L)		40	38	43	23	23	20	20	20	21	21				41
補機運転台数		2	2	2	2	2	2	2	2	2	2				2
船上水銀灯(灯)		12	12	12	12	12	12	12	12	12					-
船上作業灯(灯)											5				-
船上MH灯(灯)		24	24	24	24	24	24	24	24	24					-
種類						LED*			LED*		LED*				-
水深						40m			40m		40m				-
調光						100%			100%		100%				-
種類		LED**	LED**	LED**	LED**	LED**	LED**		LED**		LED**				-
水深		50m	50m	50m	50m	30m	30m		30m		30m				-
調光		100%	100%	100%	100%	100%	100%		100%		50%				-
備考	LED*=600W青緑LED水中灯; LED**=浮子を利用して600W青緑LED水中灯を艫より水深30mに垂下して全光点灯; 18:00~19:00 5KWMH水中灯を艫より水深40mに垂下して全光点灯; 18:00~19:00 5KWMH水中灯を艫より水深30mに垂下して全光点灯; 19:00 電源ファン故障のためMH水中灯取容														
第14次操業															
操作開始:2008/10/15 20:15 38-29.5N 136-00.2E; 操業終了:2008/10/15 22:15 38-28.9N 136-00.1E															
時間帯:	16~17	17~18	18~19	19~20	20~21	21~22	22~23	23~00	00~01	01~02	02~03	03~04	04~05	05~06	夜操業 総合
釣獲尾数(尾)					1	1	1								3
努力量(時・機)					10.5	14.0	3.5								28.0
CPU(尾/時/機)					0.1	0.1	0.3								0.11
燃油消費(L)					75	75	75								75
補機運転台数					2	2	2								2
船上水銀灯(灯)					12	12	12								-
船上作業灯(灯)															-
船上MH灯(灯)					78	78	78								-
種類															-
水深															-
調光															-
種類															-
水深															-
調光															-
備考	水中灯結線のうえ点灯確認														

附表2 試驗操業時間帶別結果(9)

第14次操業		操業開始:2008/10/16 17:30 39-15.0N 135-11.5E; 操業終了:2008/10/17 06:00 39-12.0N 135-11.4E														夜操業 總合
時間帶:	16~17	17~18	18~19	19~20	20~21	21~22	22~23	23~00	00~01	01~02	02~03	03~04	04~05	05~06	夜操業 總合	
釣獲尾數(尾)		9	38	28	23	23	22	11	81	142	233	168	138	132	1,048	
努力量(時・機)		7.0	14.0	14.0	14.0	14.0	14.0	14.0	14.0	14.0	14.0	14.0	14.0	14.0	175.0	
CPUE(尾/時/機)		1.3	2.7	2.0	1.6	1.6	1.6	0.8	5.8	10.1	16.6	12.0	9.9	9.4	5.99	
燃油消費(L)		81	81	89	75	83	81	76	75	78	74	80	76	82	79	
補機運轉台數		2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	
船上水銀灯(灯)		12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	-	
船上作業灯(灯)		-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
船上MH灯(灯)		78	78	78	78	78	78	78	78	78	78	78	78	78	-	
種類		-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
水深		-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
(船首:船)		-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
調光		-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
種類		-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
水深		-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
(船尾:艙)		-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
調光		-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
備考																
第15次操業		操業開始:2008/10/17 17:30 40-05.8N 135-10.9E; 操業終了:2008/10/18 06:00 40-04.9N 135-13.1E														夜操業 總合
時間帶:	16~17	17~18	18~19	19~20	20~21	21~22	22~23	23~00	00~01	01~02	02~03	03~04	04~05	05~06	夜操業 總合	
釣獲尾數(尾)		11	200	277	542	556	388	215	225	912	1,024	663	449	325	5,787	
努力量(時・機)		7.0	14.0	14.0	14.0	14.0	14.0	14.0	14.0	14.0	14.0	14.0	14.0	14.0	175.0	
CPUE(尾/時/機)		1.6	14.3	19.8	38.7	39.7	27.7	15.4	16.1	65.1	73.1	47.4	32.1	23.2	33.07	
燃油消費(L)		78	78	75	77	79	78	79	83	77	80	82	87	74	79	
補機運轉台數		2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	
船上水銀灯(灯)		12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	-	
船上作業灯(灯)		-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
船上MH灯(灯)		78	78	78	78	78	78	78	78	78	78	78	78	78	-	
種類		-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
水深		-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
(船首:船)		-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
調光		-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
種類		-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
水深		-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
(船尾:艙)		-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
調光		-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
備考																

付表2 試験操業時間帯別結果(10)

第16次操業		操業開始:2008/10/18 17:30 40-04.3N 135-14.2E; 操業終了:2008/10/19 06:00 40-03.4N 135-14.7E														夜操業 総合	
時間帯:	16~17	17~18	18~19	19~20	20~21	21~22	22~23	23~00	00~01	01~02	02~03	03~04	04~05	05~06			
釣獲尾数(尾)		0	7	3	14	100	181	147	151	261	285	242	231	203	1,825		
努力量(時・機)		2.0	4.0	4.0	4.0	14.0	14.0	14.0	14.0	14.0	14.0	13.0	13.0	13.0	137.0		
CPUE(尾/時/機)		0.0	1.8	0.8	3.5	7.1	12.9	10.5	10.8	18.6	20.4	18.6	17.8	15.6	13.32		
燃油消費(L)		19	19	19	17	31	35	33	34	32	33	34	38	42	30		
補機運転台数		1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1		
船上水銀灯(灯)		-	-	-	-	12	12	12	12	12	12	12	12	12	-		
船上作業灯(灯)		-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-		
船上MH灯(灯)		-	-	-	-	24	24	24	24	24	24	24	24	24	-		
種類		LED**	LED**	LED**	-	-	-	-	-	LED**	LED**	LED**	LED**	LED**	-		
水深		30m	30m	30m	-	-	-	-	-	30m	30m	30m	30m	30m	-		
調光		100%	100%	100%	-	-	-	-	-	点滅*	点滅*	点滅*	点滅*	点滅*	-		
種類		MH*	MH*	MH*	MH*	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-		
水深		20m	20m	20m	20m	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-		
調光		全光	全光	全光	全光*	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-		
備考	LED**=2000W青緑LED水中灯、17:30点灯; MH*=5000W白灯水中灯、17:00点灯; 日中ソーラーにLED水中灯を取り付けたが、ソーラーの効きが良くなかったため中止 全光*=消灯5分前に減光3に調整; 水中灯のみの集魚効果確認できず; 点滅*=5分点灯(100%)-10分消灯の繰り返し																
第17次操業		操業開始:2008/10/19 17:30 40-05.8N 135-12.1E; 操業終了:2008/10/20 06:00 40-07.7N 135-15.2E														夜操業 総合	
時間帯:	16~17	17~18	18~19	19~20	20~21	21~22	22~23	23~00	00~01	01~02	02~03	03~04	04~05	05~06			
釣獲尾数(尾)		3	88	94	37	56	15	55	164	119	75	74	60	37	877		
努力量(時・機)		7.0	14.0	14.0	14.0	14.0	14.0	14.0	14.0	14.0	14.0	14.0	14.0	14.0	175.0		
CPUE(尾/時/機)		0.4	6.3	6.7	2.6	4.0	1.1	3.9	11.7	8.5	5.4	5.3	4.3	2.6	5.01		
燃油消費(L)		36	41	38	33	34	33	36	32	34	33	35	35	38	35		
補機運転台数		1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1		
船上水銀灯(灯)		12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	-		
船上作業灯(灯)		-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-		
船上MH灯(灯)		24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	-		
種類		LED**	LED**	LED**	LED**	LED**	LED**	LED**	LED**	LED**	LED**	LED**	LED**	LED**	-		
水深		10m	10m	10m	-	-	10m	10m	-	-	10m	10m	-	-	-		
調光		100%	100%	100%	-	-	100%	100%	-	-	点滅*1s	点滅*1s	-	-	-		
種類		MH*	MH*	MH*	MH*	-	MH*	MH*	-	-	MH*	MH*	-	-	-		
水深		10m	10m	10m	10m	-	10m	10m	-	-	10m	10m	-	-	-		
調光		全光	全光	全光	全光	-	全光	全光	-	-	全光	全光	-	-	-		
備考	LED**=2000W青緑LED水中灯、16:30点灯; MH*=5000W白灯水中灯、16:30点灯 02:20~02:30ソーラー調整のため舳水中灯収容																

付表2 試験操業時間帯別結果(11)

第18次操業		操業開始:2008/10/20 17:30 39-23.9N 134-06.1E; 操業終了:2008/10/21 06:00 39-23.8N 134-06.8E													夜操業 総合
時間帯:	16~17	17~18	18~19	19~20	20~21	21~22	22~23	23~00	00~01	01~02	02~03	03~04	04~05	05~06	
釣獲尾数(尾)		24	73	100	111	87	73	111	76	100	219	243	216	84	1,517
努力量(時・機)		7.0	14.0	14.0	14.0	14.0	14.0	14.0	14.0	14.0	14.0	14.0	14.0	14.0	175.0
CPU(尾/時/機)		3.4	5.2	7.1	7.9	6.2	5.2	7.9	5.4	7.1	15.6	17.4	15.4	6.0	8.67
燃油消費(L)		81	93	78	82	75	77	78	80	76	79	78	84	89	81
補機運転台数		2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2
船上水銀灯(灯)		12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	-
船上作業灯(灯)		-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
船上MH灯(灯)		78	78	78	78	78	78	78	78	78	78	78	78	78	-
種類		-	-	-	-	-	-	LED**	-	LED**	-	LED**	-	LED**	-
水深		-	-	-	-	-	-	10m	-	10m	-	10m	-	10m	-
調光		-	-	-	-	-	-	λ10μs*0.2s	-	λ10μs*0.2s	-	λ10μs*0.2s	-	λ10μs*0.2s	-
種類		-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
水深		-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
調光		-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
備考	LED**=2000W青緑LED水中灯														
第19次操業		操業開始:2008/10/21 20:00 39-19.4N 135-29.8E; 操業終了:2008/10/22 03:00 39-14.8N 135-29.6E													夜操業 総合
時間帯:	16~17	17~18	18~19	19~20	20~21	21~22	22~23	23~00	00~01	01~02	02~03	03~04	04~05	05~06	
釣獲尾数(尾)					150	263	244	396	683	675	1,460				3,871
努力量(時・機)					14.0	14.0	14.0	14.0	14.0	14.0	14.0				98.0
CPU(尾/時/機)					10.7	18.8	17.4	28.3	48.8	48.2	104.3				39.50
燃油消費(L)					84	86	86	67	76	80	82				80
補機運転台数					2	2	2	2	2	2	2				2
船上水銀灯(灯)					12	12	12	12	12	12	12				-
船上作業灯(灯)					-	-	-	-	-	-	-				-
船上MH灯(灯)					78	78	78	78	78	78	78				-
種類					-	-	LED**	-	LED**	-	LED**				-
水深					-	-	10m	-	10m	-	10m				-
調光					-	-	λ10μs*5s	-	λ10μs*5s	-	λ10μs*5s				-
種類					-	-	LED*	-	LED*	-	LED*				-
水深					-	-	10m	-	10m	-	10m				-
調光					-	-	λ10μs*5s	-	λ10μs*5s	-	λ10μs*5s				-
備考	漁場探索のため操業開始を遅らせた; LED**=2000W青緑LED水中灯; LED*=600W青緑LED水中灯 03:00~04:50 水中灯点灯条件毎の魚探・ソナー画像を調査														

付表3 機関燃油消費量調査結果(2)

	主機関				補機関				補機関(操業時)※1				補機関(非操業時)※2			
	消費量 (L)	運転時間 (時)	消費速度 (L/時)		消費量 (L)	運転時間 (時)	消費速度 (L/時)		消費量 (L)	運転時間 (時)	消費速度 (L/時)		消費量 (L)	運転時間 (時)	消費速度 (L/時)	
2008/09/17	午前	76	2.25	33.78	67	3.42	19.61	—	—	—	—	67	3.42	19.61	—	—
	午後	1060	11.08	95.64	314	12.00	26.17	69	1.00	69.00	245	11.00	22.27	245	11.00	22.27
2008/09/18	午前	1130	10.50	107.62	305	12.00	25.42	144	2.00	72.00	161	10.00	16.10	161	10.00	16.10
	午後	320	3.17	101.05	321	12.00	26.75	213	6.00	35.50	108	6.00	18.00	108	6.00	18.00
2008/09/19	午前	263	2.75	95.64	263	12.00	21.92	148	6.00	24.67	115	6.00	19.17	115	6.00	19.17
	午後	541	5.25	103.05	609	12.00	50.75	464	6.00	77.33	145	6.00	24.17	145	6.00	24.17
2008/09/20	午前	—	—	—	584	12.00	48.67	496	6.00	82.67	88	6.00	14.67	88	6.00	14.67
	午後	—	—	—	284	12.00	23.67	165	6.00	27.50	119	6.00	19.83	119	6.00	19.83
2008/09/21	午前	—	—	—	331	12.00	27.58	222	6.00	37.00	109	6.00	18.17	109	6.00	18.17
	午後	172	2.00	86.00	350	12.00	29.17	227	6.00	37.83	123	6.00	20.50	123	6.00	20.50
2008/09/22	午前	—	—	—	294	12.00	24.50	185	6.00	30.83	109	6.00	18.17	109	6.00	18.17
	午後	14	0.33	42.00	623	12.00	51.92	481	6.00	80.17	142	6.00	23.67	142	6.00	23.67
2008/09/23	午前	10	0.50	20.00	549	12.00	45.75	458	6.00	76.33	91	6.00	15.17	91	6.00	15.17
	午後	—	—	—	317	12.00	26.42	212	6.00	35.33	105	6.00	17.50	105	6.00	17.50
2008/09/24	午前	—	—	—	304	12.00	25.33	204	6.00	34.00	100	6.00	16.67	100	6.00	16.67
	午後	8	0.25	32.00	363	12.00	30.25	247	6.00	41.17	116	6.00	19.33	116	6.00	19.33
2008/09/25	午前	1283	12.00	106.92	245	12.00	20.42	—	—	—	245	12.00	20.42	245	12.00	20.42
	午後	301	2.58	116.52	182	12.00	15.17	—	—	—	182	12.00	15.17	182	12.00	15.17
2008/09/26	午前	85	1.25	68.00	117	8.67	13.50	—	—	—	117	8.67	13.50	117	8.67	13.50
	午後	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
水中灯操業時の合計																
船上灯操業時の合計																
総計		5263	53.92	97.61	6422	216.08	29.72	3935	81.00	48.58	2487	135.08	18.41	2487	135.08	18.41

※1※2: 非操業時、水中灯操業時には補機1台(第13次操業のみ2台)、船上灯操業時には補機2台を運転

※1: 未明から明け方に操業終了した場合でも5:30まで集魚灯点灯し、6:00に燃油量を確認

表紙写真について

上段 中型いか釣り漁船 出漁の前に石川県小木港に碇泊する漁船。石川県の中型いか釣り漁船隻数は青森県に次いで多く、小木港は本州日本海側最大の基地となっている。

中段 調査船白山丸 総トン数167トン、いか釣りのほか、底びき網などの調査を実施する。いか釣り調査では、日本屈指の調査能力を有する。
日本海の夕焼け 日本海中央部の大和堆付近での操業前の様子。水平線上に中型いか釣り漁船の集魚灯の光が見える。

下段 スルメイカの漁獲 自動いか釣り機で釣り上げられた瞬間。空中に引き上げられた直後に勢いよく海水を吹き出す。
魚群探知機の画像 水中灯の点灯前後の画像。点灯によりスルメイカの反応が大きく変化したことがわかる。
発光ダイオード(LED)水中灯 本調査で使用したLED水中灯。水槽内に設置し、ハレーションを防ぐため光量を下げて撮影。



石川県水産総合センター

〒927-0435 石川県鳳珠郡能登町宇出津新港3丁目7番地

TEL 0768-62-1324 FAX 0768-62-4324

<http://www.pref.ishikawa.jp/suisan/center/>