

水中灯下に蝟集した魚群の行動の魚群探知機および 水中テレビカメラによる観察*

長谷川英一**・小林 裕**

Observation on the fish behaviour around the underwater lamps by fish sounder and underwater TV camera*

Eiichi HASEGAWA** and Hiroshi KOBAYASHI**

Abstract: Changes of fish behaviour around the underwater lamps were observed by using a fish sounder and an underwater video camera. Both the amount of fish in the beam angle of fish sounder and the amount of fish in the visual field of an underwater video camera changed in synchronizing with turning on and off the lamps. Isoillumination line of 1.0 lx had a tendency to become a boundary of fish distribution around the underwater lamps. It seemed that the minimum stimulus which influenced fish reaction to the changes in illumination was very low. The number of fish concentrated around the underwater lamps was estimated to be 0.47m^{-3} .

1. 緒 言

集魚灯が作る光環境に対する魚群の反応行動の発現過程としては、集魚灯光の発見、接近、滞留そして離散が考えられる。川村(1979a)は海況が穏やかで船の対水速度ゼロと考えられ、かつ船体動揺がほとんど無かったときの魚群探知機記録例を引用して、集魚灯に集まったゴマサバ群の動きを推察している。しかし、集魚灯の点滅や船の動揺などによる水中照度分布の変化にともなう集魚群の行動を観察することも、実際の操業時における魚群行動を推察する上に役立つと思われる。

本研究では、集魚灯を点滅させることにより人為的に水中照度分布を変化させ、それにとまなう集魚群の短周期的な離合集散を、魚群探知機および水中テレビカメラを使用し観察した。また、水中テレビカメラの被写空間内への出現個体数から蝟集魚群の密度を推定した。

2. 実験方法

1988年4月16日と21日の夜間(以下4月16日を4/16、4月21日を4/21と略記する)、Fig. 1に示す伊

豆諸島海域の大室出し付近の200m等深線上にて、三重大学練習船勢水丸(359トン)の右舷舷側から水深5mにメタルハライドランプM2000 BW-G、55mに高圧ナトリウムランプNH2000W、また、水深10mに水中テレビカメラを垂下した。以下、メタルハライドランプをA灯、高圧ナトリウムランプをB灯と呼ぶ。両水中灯と水中テレビカメラとの水平距離はおおよそ2~3mである。

魚群探知機の送受波器はボートデッキ後方のトロールウインチ制御室の下方船底に取り付けられており、周波数28KHz、指向角27度で記録された。ただし、4/21の20時43分から21時12分(以下20時43分を2043、21時12分を2112のように略記する)までの間と2153頃は周波数200KHzで記録した。また、2個の300Wハロゲンランプをもつ水中テレビカメラは船上のビデオ録画装置と接続した。魚群探知機の送受波器と水中灯との水平距離はおおよそ15mである。実験の概要をFig. 2に示す。

両水中灯を任意の時間間隔で点滅し、蝟集したマサバ *Scomber japonicus* およびゴマサバ *Scomber australasicus* 群の行動を上記の魚群探知機と水中テレビカメラで記録した。川村(1976)はマサバとゴマサバの網膜の組織学的形態の差にもとづく両種の行動の差を考慮する

*1990年5月9日受理 Received May 9, 1990

**三重大学生物資源学部、〒514 三重県津市上浜町 1515
Faculty of Bioresources, Mie University, Kamiha-
ma-cho, Tsu, Mie, 514 Japan

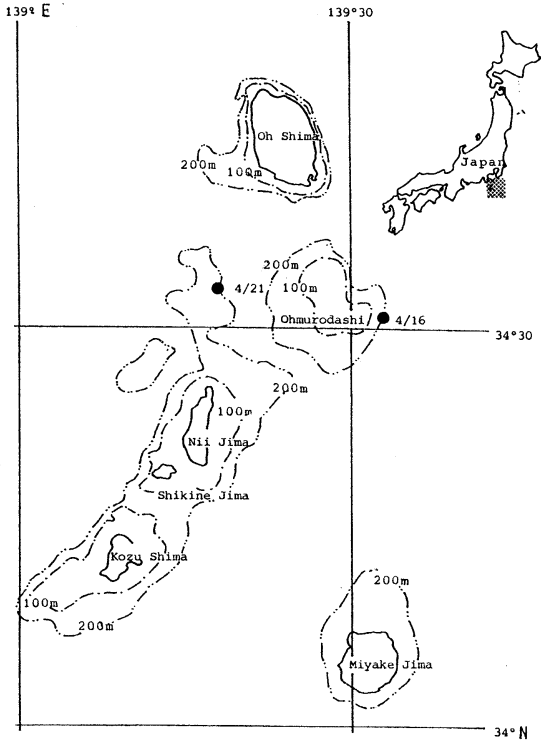


Fig. 1. Experimental area.

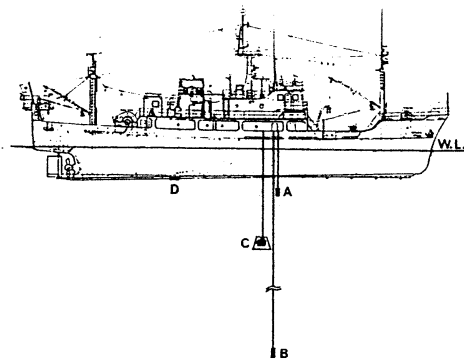


Fig. 2. Schematic diagram of experiment.
A: Upper underwater lamp. B: Lower underwater lamp.
C: Underwater TV camera.
D: Transducer of fish echo sounder.

この必要性を説いているが、両種の行動の差に関しては推測の域を出ないので、本実験では両種を分けずに扱った。

この魚群探知機記録紙上にあらわれる魚群の分布水深や魚群量を客観的に数量化するために、魚群探知機記録映像をビデオカメラで撮り、その魚群画像の明度の差をビデオデジタイザーシステム（朋栄 FVW-300,

FVW-300BE）により二値化処理した。二値化処理した映像は白と黒の映像に明瞭に区分され、そのいずれかの領域の面積をコンピューターディスプレイ上のドット数としてあらわすことができる。井上・有元（1985）は魚探記録紙上の映像を実際の魚群の断面積に比例しているものとして扱い、魚群量指数を定義しているが、本実験ではこのドット数を1分間あたりに換算して魚群量とみなし、その相対的な変化を比較した。なお、蝟集した魚種の確認は釣獲により行った。

3. 結果および考察

(1) 水中灯の点滅にともなう魚群量変化

両水中灯の点滅にともなう魚群探知機記録の変化を Fig. 3 (4/16) と Fig. 4 (4/21) に示す。A灯、すなわちメタルハライドランプの点灯で実験が開始される。魚探記録の最深部は4/16が200m、4/21が300mである。

記録紙中、丸で囲んだ箇所を拡大したものを下方に示

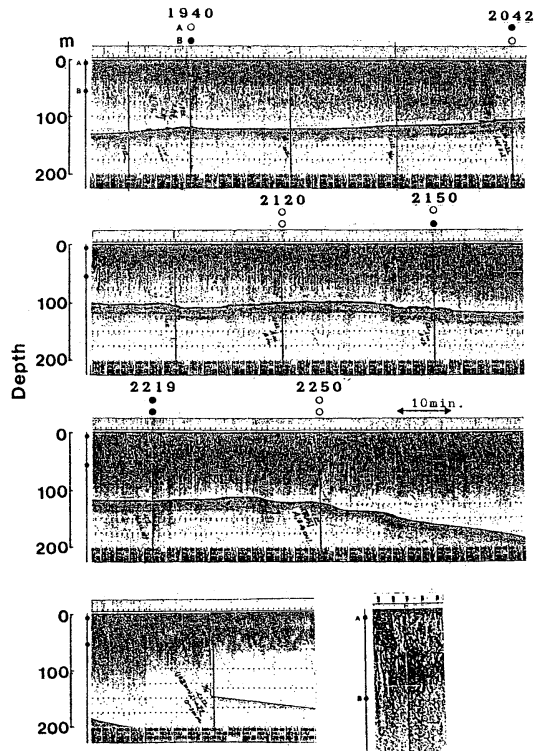


Fig. 3. Changes of fish echoes in response to changes in underwater light intensity, Apr. 16. A: Upper underwater lamp. B: Lower underwater lamp. ○: Turn on the lamp. ●: Turn off the lamp.

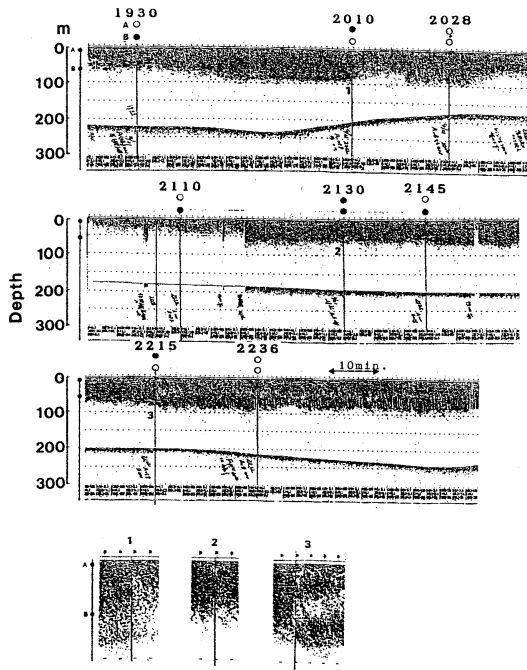


Fig. 4. Changes of fish echoes in response to changes in underwater light intensity, Apr. 21. Symbols are same as in Fig. 3.

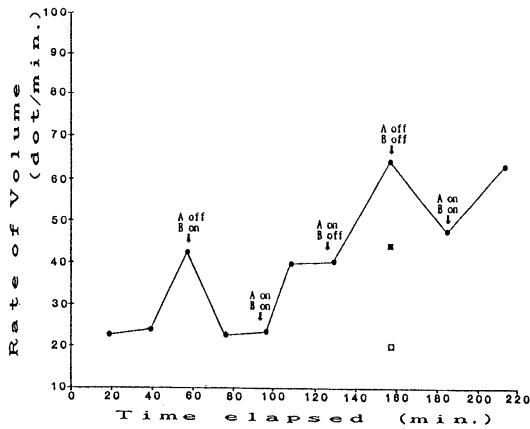


Fig. 5. Changes in the quantity of digitized fish echoes, Apr. 16. ●: Total quantity. ■: Quantity of upper fish echoes. □: Quantity of lower fish echoes.

したが、いずれも A 灯の消灯にともなう変化であり、A 灯を設置した水深 5m 付近より下方の魚探映像に大きな変化がみられ、魚影が消失した。また、4/16 2150 の両灯点灯から B 灯を消灯したとき、および 4/21 2215 の A 灯点灯、B 灯消灯から A 灯消灯、B 灯点灯にした

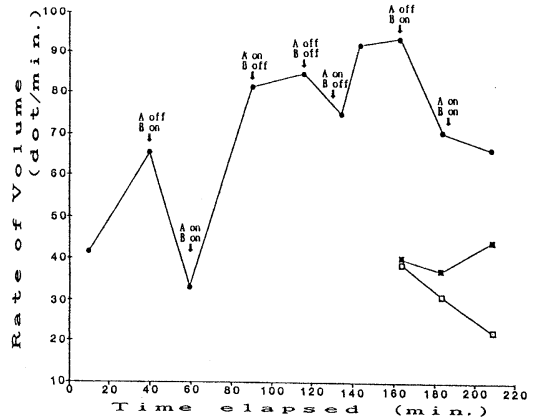


Fig. 6. Changes in the quantity of digitized fish echoes, Apr. 21. Symbols are same as in Fig. 5.

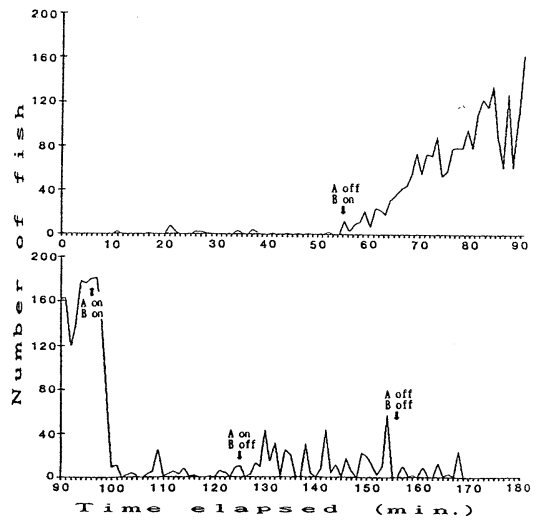


Fig. 7. Changes in the number of fish appeared in the underwater video camera's visual field, Apr. 16.

ときに蛸集魚群が上層と下層に分離する現象が観察された。

二値化処理した映像から求めた単位時間当たりの魚影面積、すなわち、送受波器指向角内の魚群量の水中灯点滅にともなう変動を Fig. 5 (4/16) と Fig. 6 (4/21) に示す。特に A 灯の点灯による増加、消灯による減少傾向が顕著にみられる。

また、両日ともに水中灯点灯後少なくとも 160 分までの間は、水中灯の点滅にともなう魚群量の増減にかか

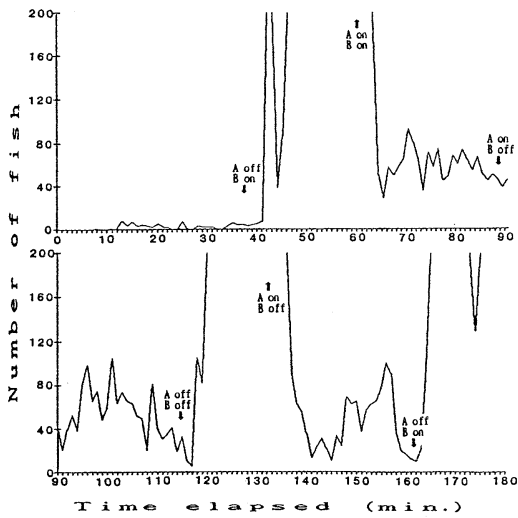


Fig. 8. Changes in the number of fish appeared in the underwater video camera's visual field, Apr. 21.

わらず、蛸集魚群量は時間経過にもなって次第に増加している。これは集魚灯下のスルメイカの行動を魚群探知機で観察し、時間の経過にしたがい船底下の集魚量が多くなるとした名角（1972）の報告と同様の結果になった。

A 灯よりさらに 5m 下方の水深 10m に設置した水中

テレビカメラの視野内に出現した個体数の変化を Fig. 7 (4/16) と Fig. 8 (4/21) に示す。出現個体数を 1 分毎に計数した結果であるが、Fig. 5, 6 とは対照的に A 灯の点灯によって出現個体が減少し、消灯により増加しているのがわかる。A 灯の消灯にともない水中テレビカメラのハロゲンランプに魚群が誘引されたものと考えられる。このときの蛸集魚群の水中テレビカメラ視野内への出現は周期的であり、出現個体数の増大はその周期の短縮と出現魚群数の増加によってもたらされ、逐次集魚灯下に集まる魚群はその照射された周辺域に滞留し、かつ群れでその回りを移動遊泳していることが想像される。また、水中灯の点滅と水中テレビカメラの視野内の出現個体数の変動が同調していることから、水中灯がつくる照度の変化が蛸集魚群の量および分布に大きく影響していることが推察できる。

(2) 照度分布の変化と魚群分布

水中灯の点滅にともなう照度分布の変化と魚群の分布との関係を調べた。Fig. 9 (4/16) と Fig. 10 (4/21) に結果を示す。図中の等照度曲線は長谷川・小林（1989）の方法により求めたものであり、魚群分布の濃淡は魚探映像を前述の方法により二値化し、模式化したものである。福田（1988）は集魚灯が海中につくる光の場を分光放射照度であらわす必要性を説いているが、本研究ではメタルハライドランプと高圧ナトリウムラン

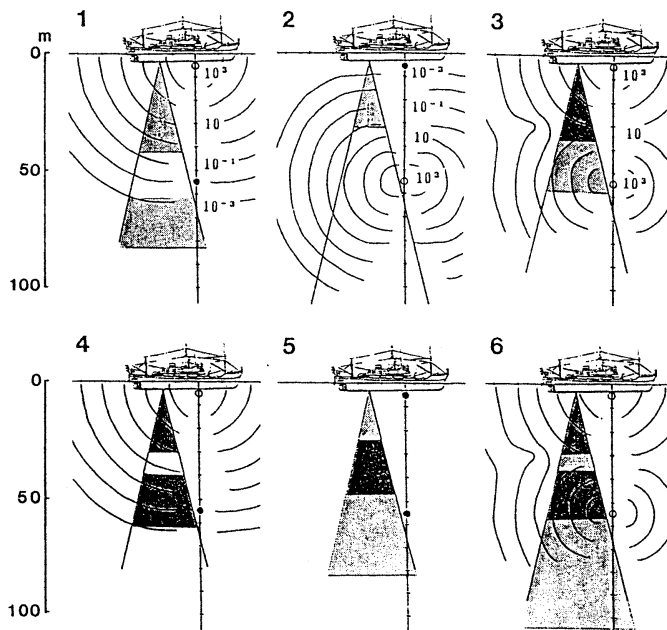


Fig. 9. Underwater isoillumination line and the superimposed fish echoes, showing the changes in vertical distribution of fish in response to changes in underwater light intensity, (1~6) Apr. 16.

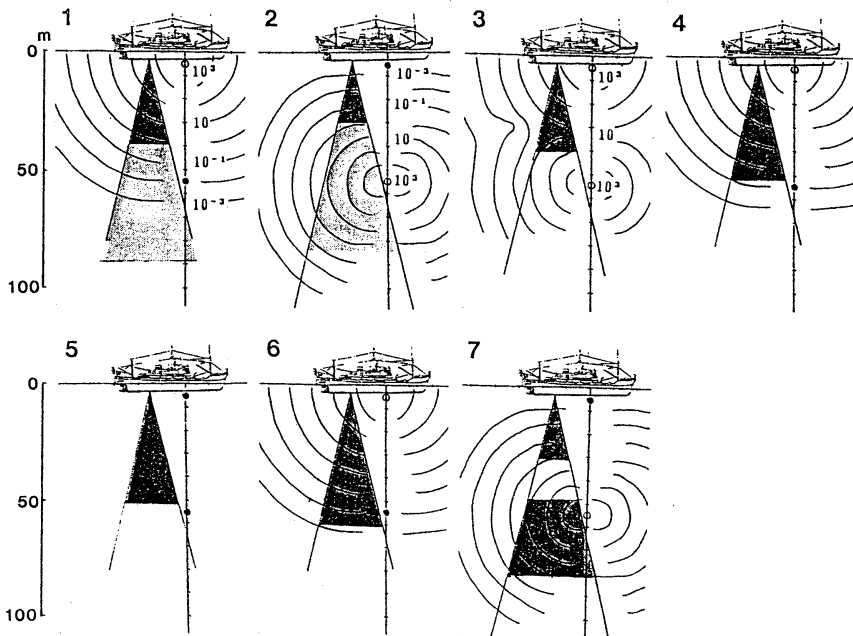


Fig. 10. Underwater isoillumination line and the superimposed fish echoes, showing the changes in vertical distribution of fish in response to changes in underwater light intensity, (1~7) Apr. 21.

アの分光分布の違いは扱わず、配光特性の違いのみを考慮して照度を算出した。

4/16では、A灯を点灯すると $1 \sim 10^3 1x$ 未満の等照度曲線内とB灯付近の $10^{-3} 1x$ 等照度曲線の下方に分かれて分布し (Fig. 9-1), A灯を消灯して、B灯を点灯すると $1 1x$ 等照度曲線より上層部のみ魚群の分布がみられた (Fig. 9-2)。両灯を点灯すると両灯の設置水深間で分布が下方に延長した。しかし、A灯がつくる $1 1x$ 等照度曲線より上方が主な分布域である (Fig. 9-3)。B灯を消灯すると両灯の中間付近の層の魚群が消失、 $10 1x$ 等照度曲線より上方と $1 1x$ 等照度曲線より下方の2層に魚群が分かれた (Fig. 9-4)。両灯を消灯すると両灯の設置水深の中間付近に分布が移動し (Fig. 9-5), 両灯を点灯すると再び上下2層に魚群が分かれた (Fig. 9-6)。4/21では、A灯を点灯すると $1 1x$ 等照度曲線の上方に主な分布がみられ (Fig. 10-1), A灯を消灯して、B灯を点灯すると若干分布水深を浅くし、 $1 1x$ 等照度曲線の上方表層部に分布した (Fig. 10-2)。両灯を点灯すると両灯によってつくられる等照度曲線の谷間にあたる $1 1x$ 等照度曲線付近より上方に分布を延長した (Fig. 10-3)。B灯を消灯するとさらに分布は延長し、B灯が設置された水深付近の $10^{-2} 1x$ 等照度曲線までの間に分布した (Fig. 10-4)。両灯を消灯させてもその分布は変動せず (Fig. 10-5), A灯を点灯すると $10^{-3} 1x$ 等照度曲線

まで分布を伸ばした (Fig. 10-6)。最後にA灯を消灯して、B灯を点灯するとその分布は $1 1x$ 等照度曲線より上方と $10^2 1x$ 等照度曲線より下方に分かれた (Fig. 10-7)。

黒木・中馬 (1955) は2台の魚群探知機を用い、灯に集まるカタクチイワシ群の立体的構造を調べ、魚群が過大の照度範囲には寄らないことを示した。また、今村 (1972) は、魚は光源の光束の中心帯を避けてその周辺の水域に滞留している時間が長いと述べている。すなわち、これらのことは集魚灯がつくる等照度曲線と魚群の分布とが相似形になることを意味し、ある照度値の等照度曲線が魚群の分布を決定する基となることを示唆するものといえよう。今回の結果では、 $1 1x$ 等照度曲線が魚群分布の境界域になる傾向が比較的多くみられたが、等照度曲線と魚群の分布との間には明確な関係は見出せない。ただし、両日ともに集魚群が上層と下層に分離したときの照度変化に着目すると、相対的に低い等照度曲線域に位置していた魚群が消失したための魚群の分布変動となっている。

順応光と刺激光との関係を両者の対数で表したものを t. v. r. (threshold-versus-radiance) 曲線といい STILES (1939) によって示されたが、その曲線は順応光の強さが増大すると感度の低下を来すことを示している。すなわち、相対的に低い照度域に順応していた個体は高

い照度域に順応していた個体よりも光に対する感度は高く、水中照度分布の変化に鋭敏に反応したと考えられる。しかし、両灯の点滅条件の変化が同じであっても、必ずしもそのつど同じ反応行動があらわれるとは限らない。

この原因として、水中灯の点滅刺激が連続しているために(30分ないし60分間隔)、ある照度分布が形成されたとしてもその状態での魚群の適性な分布状態に至るまえに新たな刺激が与えられたこと、また、川村(1979b)によるとサバは30分で明あるいは暗順応を完了するが、網膜組織での反応と行動とにタイムラグがあれば以前の刺激の影響が残存することも考えられる。今村(1968)が述べたように、魚の灯付の現象は連続的なある時間を単位に取り扱うことが望ましく、照度が変化する場合には特にその単位をどの程度におくかによって結果が異なることが予想される。

(3)水中灯下における魚の受光量

集魚灯下の魚がある地点で感知しうる光を考える際に

は一方からの光ばかりではなく、水面での反射光やあるいは複数光源の場合にはあらゆる方向からの光を感受するわけであり、魚を中心として全周方向からの光の量を平均したものが必要となる。そこで今田(1983)の考え方にしたが、魚が感受する光量を照度としてとらえ平均受光量を定義した。長谷川・小林(1989)と同様の方法により両灯と魚の位置とを含む平面内で魚が全周方向へ1度刻みで頭方を向け、そのつど感受する光量(照度)を計算し、本実験において送受波器指向角内に位置する魚が感受する照度の頻度分布を両灯の点滅の各条件で求めた。両灯を点灯したときの10mから80m深までの10m毎の受光量の頻度分布をFig. 11に、A灯のみを点灯したときの頻度分布をFig. 12に、B灯のみを点灯したときの頻度分布をFig. 13に示す。

いずれの場所においても魚の受光量の頻度分布は低照度域で最大の頻度を示し、例えばA灯点灯時の10m層など魚が照度値の高い等照度曲線域に位置するときにお

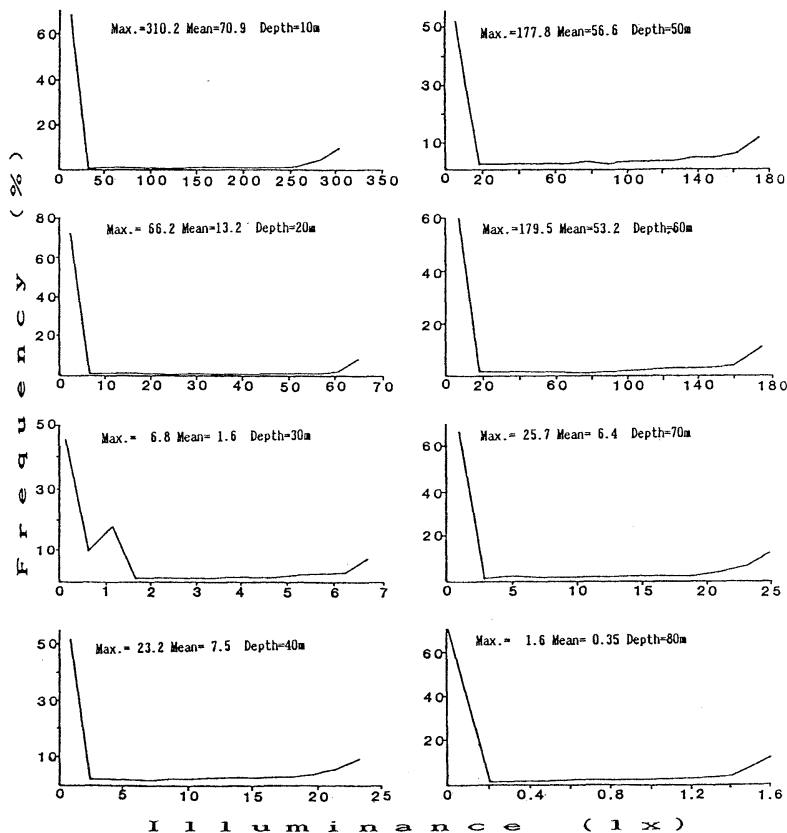


Fig. 11. Frequency distribution of the light intensity that fish receive in the beam angle of fish sounder in the case of both underwater lamps turn on. Max: Maximum value of the light intensity (lx) fish receive. Mean: Mean value of the light intensity (lx) fish receive.

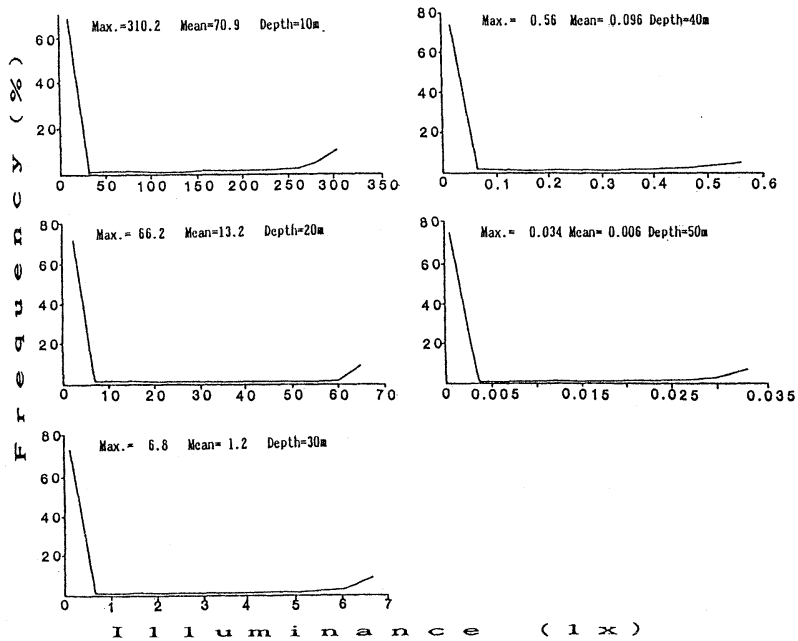


Fig. 12. Frequency distribution of the light intensity that fish receive in the beam angle of fish sounder in the case of upper underwater lamp turns on and lower underwater lamp turns off. Max: Maximum value of the light intensity (lx) fish receive. Mean: Mean value of the light intensity (lx) fish receive.

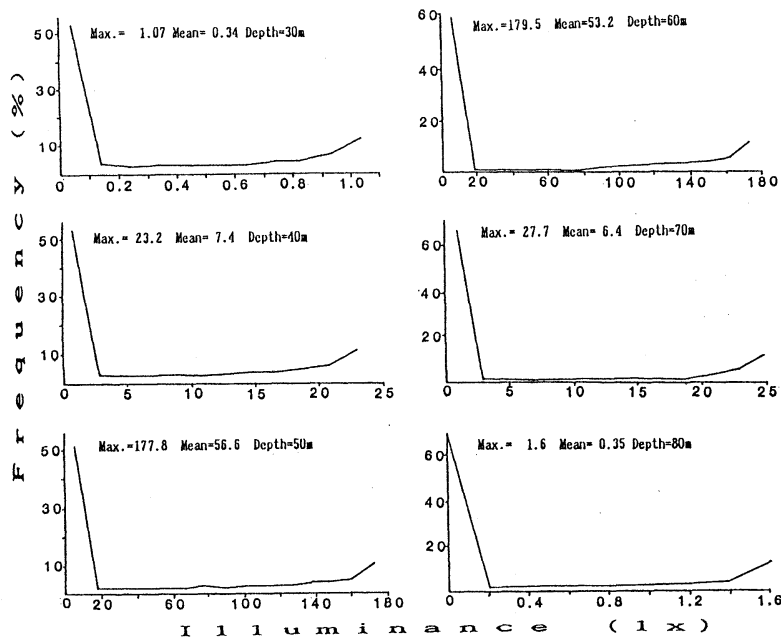


Fig. 13. Frequency distribution of the light intensity that fish receive in the beam angle of fish sounder in the case of upper underwater lamp turns off and lower underwater lamp turns on. Max: Maximum value of the light intensity (lx) fish receive. Mean: Mean value of the light intensity (lx) fish receive.

いても、60%以上の確率で10 lx相当の光量しか感受していない。このことから水中照度および水中照度分布の変化にともなう魚群分布の変動に影響する最小刺激値(minimum stimulus)はかなり小さいことが想像される。また、前述したように魚群の分布が等照度曲線に相似するようなことがあったとしても、その分布を決定している照度値はその位置での等照度曲線の照度値よりはかなり低く、平均受光量が関与しているのではないかと考える。

(4) 水中灯に蝟集した魚群の密度

本実験において蝟集したサバ群の密度を、A灯を消灯したときに水中テレビカメラのハロゲンランプに誘引されて出現した個体数から推定した。水中テレビカメラの被写空間容積Vについては岡本ら(1979)の式があるが、使用した水中テレビカメラの水平、垂直視野が異なるため、水平、垂直視野を平均化し、被写空間を円錐体とみなした

$$V = \pi L^3 (\sin(\alpha/2) + \sin(\beta/2))^2 / 12$$

(L: 視程距離, α : 水平視野, β : 垂直視野)

の式で近似することにした。視程距離についてはモニター上の被写寸法の実物長Yとカメラから被写体までの距離Xとの関係の水槽実験で求め($Y = 1.04e^{-0.009X}$ 決定係数=0.946)、実験海域でモニター上に写し出された魚のうち、個体識別ができる最小の個体と同時に釣獲されたサバ群の平均体長30.1cmの比から見積った。

A灯を消灯したときから5秒おきに水中テレビカメラの再生画像を静止させ、出現個体数を数えた。その結果、平均出現個体数は8.1尾、標準偏差3.9尾となった。 $\alpha = 51.2^\circ$, $\beta = 34.0^\circ$, $L = 5.0m$ を上式に代入して求められた被写空間容積は17.16m³となり、蝟集魚群の密度は0.47尾/m³と見積られた。魚種は異なるが黒木・中馬(1955)が八田網の集魚灯に集まったカタクチイワシ群の密度を魚群探知機の記録と漁獲尾数とで見積もったときの前半夜での値とほぼ等しい結果となった。

4. 要 約

水中灯下に蝟集した魚群の行動を魚群探知機および水中テレビカメラで観察し、以下の結果が得られた。

- (1) 水中灯の点滅と魚探機の魚群映像および水中テレビ視野内出現個体数の変動とはよく同調していた。
- (2) 1 lx等照度曲線が魚群分布の境界域になる傾向が多く観察された。
- (3) 魚が感受する受光量の頻度分布は低照度で高く、水

中照度あるいは水中照度分布の変化にともなう魚群分布の変動に影響する最小刺激値はかなり低いことが想像された。

(4) 水中灯下に蝟集したサバ群の密度は0.47尾/m³と見積もられた。

謝 辞

本稿をまとめるに当たり御助言を頂いた東京水産大学名誉教授井上実博士並びに教授有元貴文博士に御礼申し上げるとともに、本研究の遂行に当たり御協力頂いた岩崎電気株式会社、三重大学生物資源学部練習船勢水丸乗組員一同ならびに卒研究生の佐藤圭一氏に感謝する。

文 献

- 長谷川英一, 小林 裕 (1989): 水中灯下における魚類の好適照度選択遊泳軌跡の推定. 日水誌, **55**, 1707-1714.
- 今田 克 (1983): 水中平均照度計の開発. 日水誌, **49**, 1-5.
- 今村 豊 (1968): 漁業における火光の集魚効果とその操法の研究 (I). La mer, **6**, 17-43.
- 今村 豊 (1972): 昭和47年度日本水産学会春季大会シンポジウム 火光利用の漁業について. 日水誌, **38**, 877-880.
- 稲田博史 (1988): いか釣り操業船下の水中分光放射照度について. 東水大研報, **75**, 487-498.
- 井上喜洋・有元貴文 (1985): 相模湾定置網漁場における魚群性状. 日水誌, **51**, 1798-1794.
- 川村軍蔵 (1976): マサバの網膜の組織学的研究. 鹿児島大学水産学部紀要, **25**, 143-149.
- 川村軍蔵 (1979a): ゴマサバの視覚とその釣り漁法への応用に関する基礎的研究-VII 集魚灯下の魚群運動の魚探機による観察. 日水誌, **45**, 1355-1358.
- 川村軍蔵 (1979b): ゴマサバの視覚とその釣り漁法への応用に関する基礎的研究-III 網膜運動反応. 日水誌, **45**, 553-555.
- 黒木敏郎・中馬三千雄 (1955): 灯に集まる魚群の立体的記録例について. 鹿児島大学水産学部紀要, **6**, 77-81.
- 名角辰郎 (1972): 昭和47年日本水産学会春季大会シンポジウム 火光利用の漁業. 日水誌, **38**, 886-889.
- 岡本峰雄・黒木敏郎・村井 徹 (1979): 人工魚礁近傍の魚群生態に関する基礎的研究-I 魚群量の予備調査. 日水誌, **49**, 1085-1090.
- STILES, W. S. (1939): The directional sensitivity of the retina and the spectral sensitivities of the rods and cones. Proc. Roy. Soc. Lond., **127B**, 64-105.