

水中灯下における魚類の好適照度選択遊泳軌跡の推定

誌名	日本水産學會誌
ISSN	00215392
著者	長谷川, 英一 小林, 裕
巻/号	55巻10号
掲載ページ	p. 1707-1714
発行年月	1989年10月

水中灯下における魚類の好適照度選択遊泳軌跡の推定

長谷川英一, 小林 裕

(1989年3月29日受付)

Estimate of the Trace of Swimming Behavior of Fish around Underwater Lamps

Eiichi Hasegawa*¹ and Hiroshi Kobayashi*¹

Isoillumination lines produced by two underwater lamps were described with relation to the displacement of lights by current, the extinction of lights, the arrangement of lights and the reflection at water surface.

Under the condition of this irradiance, the trace of swimming behavior of fish was estimated by the method of computer simulation, and was described by X-Y plotter.

The result suggests that it is a reasonable motion for the fish to swim lazily or zigzag under the fish lamp, and it is necessary to consider the operating area of the fishing gear with relation to the lamp fishing.

集魚灯火での魚群の集中は好適照度を探す正の走光性のためであるとした見解がある。¹⁾ しかし、その一方で集魚灯下でのランダムな行動から判断し、人工光源下ではその照度分布の不自然さのため視覚的に混乱を起し、正しい光定位からの逸脱を生むという考え方²⁾もある。

1988年4月16日から21日にかけて伊豆諸島海域においてメタルハイドランプ M 2000 BW-G と高圧ナトリウムランプ NH 2000 W の2個の水中灯を垂下し、網集したマサバ *Pneumatopholus japonicus* (Houttuyn) 群の行動を水中テレビカメラで観察した。本研究ではそのときの結果に基づき、水中灯の水中照度分布を配光特性および水面での反射を考慮して求め、その条件下で魚が好適照度を求めながら遊泳すると仮定し、このときの運動軌跡を計算し求めた。

方 法

水中灯の物理的諸要素 水中灯の照度分布を求める際に考慮を払うべき物理的要素として、水中での光の減衰、配光特性、水面での反射などが挙げられる。

1. 水中での水中灯の光の減衰 2個の水中灯の分光分布を Fig. 1 に示す。高圧ナトリウムランプはオレンジ系のメタルハイドランプはグリーン系の発色を呈する。減衰率 μ は波長によって異なるが、ここでは一定と

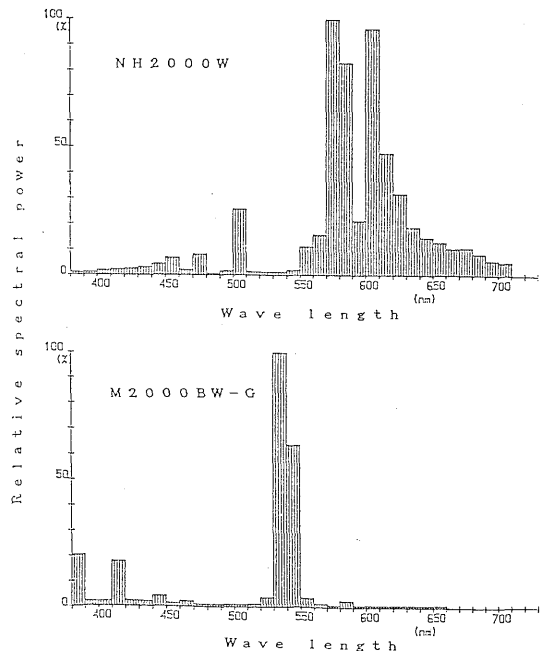


Fig. 1. Spectral distribution of the underwater lamp used for the experiment.

して放射照度は一律に $I = I_0 e^{-\mu x}$ (I_0 : 光源の光の強度, I : 光源から x の距離における光の強度) に従って減衰していくものと考え、佐々木,³⁾ 小倉ら²⁾の例に習い、水中

*¹ 三重大学生物資源学部 (Faculty of Bioresources, Mie University, Tsu, Mie 514, Japan).

*² 小倉通男, 井上 実, 小池 篤, 平山信夫, 竹内正一, 有元貴文, 三次信輔, 井上喜洋, 小山武夫: 昭和 59 年度農林水産業特別試験研究費補助金による研究報告書, サンマ棒受網漁業における操業形態の効率化に関する基礎的研究, 東京水産大学, 東京, 1985, pp. 64.

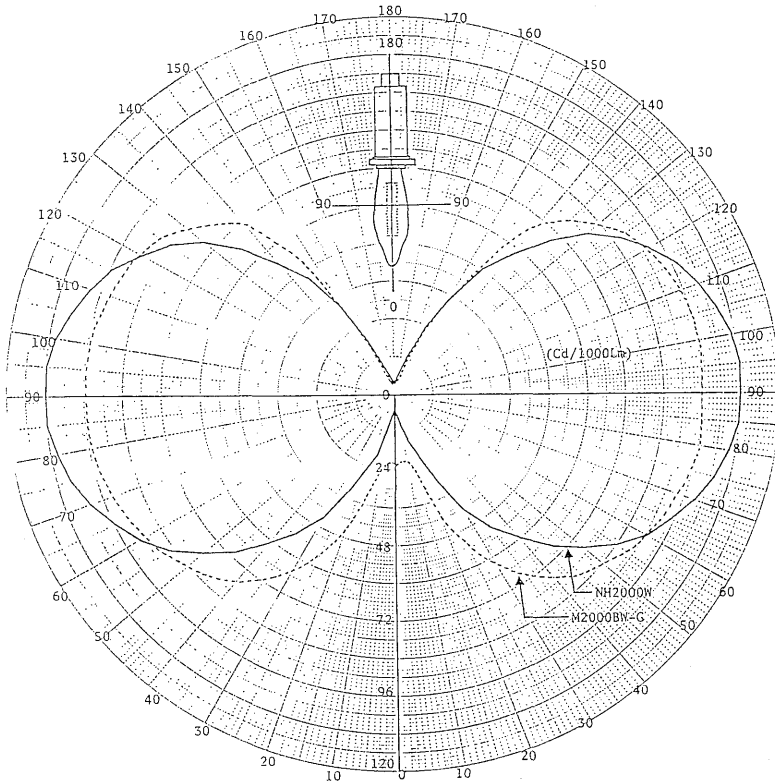


Fig. 2. Arrangement of the light emitted by underwater lamp.

光子数計により水深 1 m ごとの光子数を測定し求めた。伊豆諸島海域でメタルハイドランプが $\mu_1=0.257$, 高圧ナトリウムランプが $\mu_2=0.296$ と計算された。

2. 水中灯の配光特性 両灯の配光曲線を Fig. 2 に示す。両灯とも横方向の光の強度が大きく、上下方向では小さい配光を呈している。メタルハイドランプの 0 度方向の光度は 42.30×10^2 cd, 90 度方向の光度は 178.3×10^2 cd, 180 度方向の光度は 3.100×10^2 cd となる。一方、高圧ナトリウムランプはそれぞれ 12.50×10^2 cd, 205.0×10^2 cd, 3.100×10^2 cd となる。

3. 水中灯の光の水面での反射 水中灯から発せられた光のうち、水面へ向かう光は全反射する入射角以内では屈折光として空中へ出ていく光と水面で反射する反射光とに分かれる。この反射光に関しては Fresnel の式⁴⁾から各入射角に対する反射率を求めた。Fig. 3 にその結果を示すが、約 48.6 度以上の入射角では反射率は 100% すなわち、全反射することになる。

水中灯の等照度曲線 水中灯を 1 個設置した場合の水中照度の求め方に関しては、川上*や佐々木³⁾の考え方があがあるが、これらの手法を参考に 2 個の水中灯を垂下したときの模式図を Fig. 4 に示す。

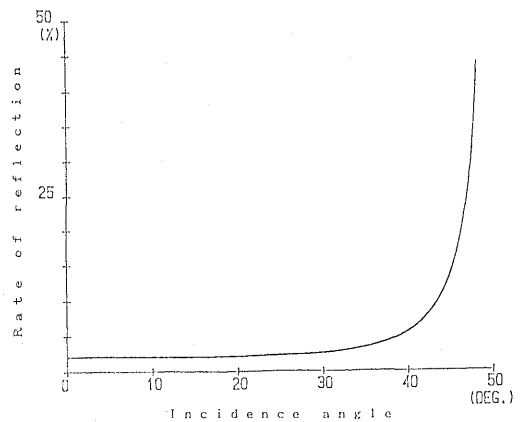


Fig. 3. Relation between the incidence angle and the rate of reflection at the water surface calculated by Fresnel's formula.

水深 P および Q (本研究では $P=5$ m, $Q=55$ m とした) にそれぞれ A 灯, B 灯を設置する。図の座標系において、照度を測定しようとする位置の座標(測定点)を M (U, V) とする。A 灯からの光は光路長 x_1 で直接測定点に達する光の強度と水面で反射 (あるいは全反射) し、光路長 x_3+x_4 を経過して到達する光の強度との和

* 川上太左英: 昭和 42 年度水産業改良普及員研修資料, 水産庁調査研究部 (1967).

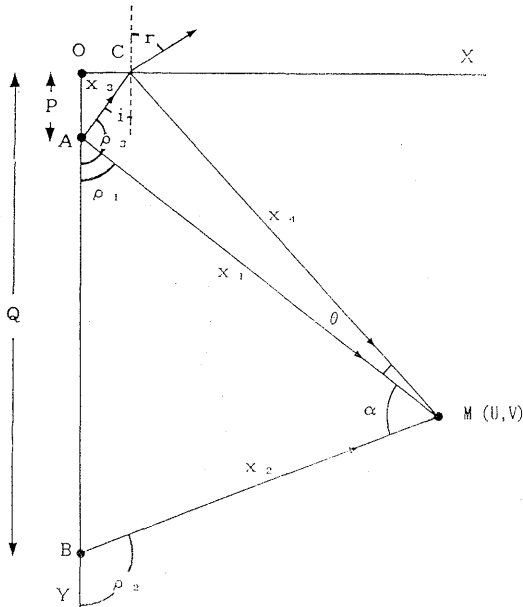


Fig. 4. Reflection and transmission of the lights emitted by two underwater lamps.

- A; position of the upper lamp
- B; position of the lower lamp
- C; reflectional point at the water surface
- P; underwater length of the cable of upper lamp
- Q; underwater length of the cable of lower lamp
- x_1 ; distance from A to the observational point M (U, V)
- x_2 ; distance from B to the observational point M (U, V)
- x_3 ; distance from A to C
- x_4 ; distance from C to the observational point M (U, V)
- i; incidence angle
- r; refractive angle
- ρ_1 ; angle between line x_1 and the positive Y-axis
- ρ_2 ; angle between line x_2 and the positive Y-axis
- ρ_3 ; angle between line x_3 and the positive Y-axis
- α angle between line x_1 and line x_2
- θ ; angle between line x_1 and line x_4

になる。一方、B 灯からの光は、今回の実験の場合、水深 55 m に設置したため水面に到達するまでの減衰が大きく、この反射光は非常に小さくなるので、光路長 x_2 で直接測定点に到達する光の強度になる。測定点での光の強度はこの両者の和になる。図で示した光の道筋は水中灯と測定点との相対的位置関係により変化するため両灯の配光特性から照射方向 ρ_1, ρ_2, ρ_3 別の光源の光の強

度を定める必要が生ずる。また、点光源による照度についての入射角の余弦の法則⁹⁾から A 灯を直視すると B 灯からの光の強度はその $\cos \alpha$ 倍となり、B 灯を直視すると A 灯からの光の強度はやはりその $\cos \alpha$ 倍となる。

ただし、水中灯は完全拡散光源とみなすことができ、放射輝度はどの方向でも等しくなる¹⁰⁾と考えられるが、ここでは水中灯を点光源とみなし、余弦特性を適用した。

また、等照度曲線は A 灯を直視した場合と B 灯を直視した場合と 2 通り考えられるが、ここでは各測定点で測定される高い方の照度値を結んでできる曲線とした。

以上の前提条件により測定計算式をまとめると Fig. 5 となる。

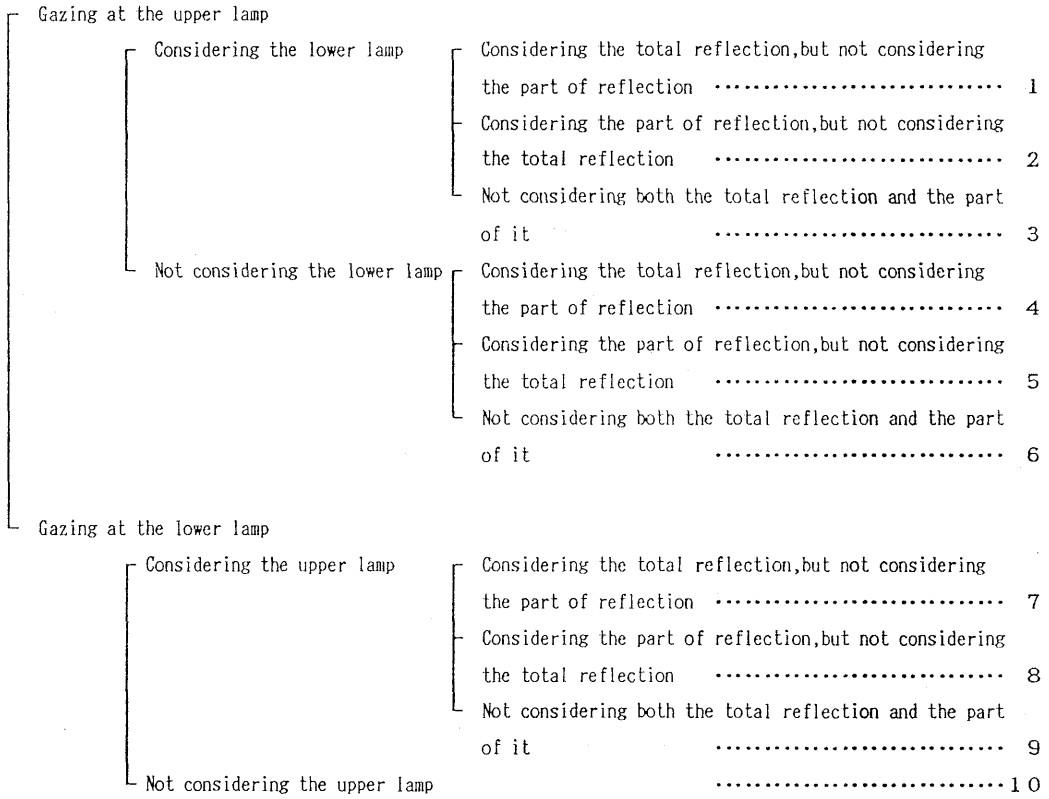
好適照度選択遊泳軌跡 等照度曲線を求める方法の項で述べたように、等照度曲線は照度測定点において 2 光源のうちのどちらかを直視した場合における値を結んだものであり、等照度曲線上であってもその等照度曲線を求めるに關与した光源を直視する方向からある角度ずれた方向をみると照度は小さくなる。また、もう一方の光源を直視した場合にもそのとき感知する照度はその等照度曲線の値より低い。すなわち、等照度曲線の内側であっても、視る方向によってはその位置で作られる等照度曲線の照度値より低い照度を感知することが当然に生ずる。

Fig. 4 において照度測定点 M (U, V) に魚が位置している場合を考える。

前述の水中照度を求める考え方に従えば、図中の魚が感知する照度は B 灯から直接到達する光、A 灯から直接到達する光および A 灯から発した光が一旦水面で反射して到達する光の各光の進行方向と魚の頭位方向とが成す角度の余弦と各光の強度の積との和となる。この図の例では魚の頭位方向は、B 灯から直接到達する光の方向から反時計回りに 90 度未満の範囲と A 灯が水面で反射して到達する光の方向から時計回りに 90 度未満の範囲とで囲まれる領域内を動くことになる。その領域の外側では魚は光刺激を感知し得ない。この領域内で魚が最適と思われる照度を感知する方向に頭位を向けさらにその方向に速度 V で遊泳し、 t 秒後にその地点で同様の動作を行う。この繰り返しにより魚が水中灯の照度下を移動していくものと考えた。

好適照度を感知する頭位方向 ϕ を求めたための流れ図を Fig. 6 に示す。

水中灯下における魚の任意の出発点を (X, Y) とし、その位置と水中灯との相対的位置関係から各光路長 x_1, x_2, x_3, x_4 を求め、また、Fig. 2 から水中灯の各照射角度 ρ_1, ρ_2, ρ_3 ごとの光源の強度 I_0, II_0, III_0 を求める。さらに、A 灯から発した光の水面での反射光が全反射するか否かを判断する。頭位方向 ϕ は B 灯から直接到達す



- 1 $I = I_0 e^{-\mu_1 x_1} + I_0 e^{-\mu_1 (\alpha_1 + x_1)} \cos \theta + II_0 e^{-\mu_2 x_2} \cos \alpha$
- 2 $I = I_0 e^{-\mu_1 x_1} + I_0 e^{-\mu_1 x_2} \cdot I_r / I_0 \cdot e^{-\mu_1 x_1} \cos \theta + II_0 e^{-\mu_2 x_2} \cos \alpha$
- 3 $I = I_0 e^{-\mu_1 x_1} + II_0 e^{-\mu_2 x_2} \cos \alpha$
- 4 $I = I_0 e^{-\mu_1 x_1} + I_0 e^{-\mu_1 (\alpha_1 + x_1)} \cos \theta$
- 5 $I = I_0 e^{-\mu_1 x_1} + I_0 e^{-\mu_1 x_2} \cdot I_r / I_0 \cdot e^{-\mu_1 x_1} \cos \theta$
- 6 $I = I_0 e^{-\mu_1 x_1}$
- 7 $I = I_0 e^{-\mu_1 x_1} \cos \alpha + I_0 e^{-\mu_1 (\alpha_1 + x_1)} \cos (\alpha + \theta) + II_0 e^{-\mu_2 x_2}$
- 8 $I = I_0 e^{-\mu_1 x_1} \cos \alpha + I_0 e^{-\mu_1 x_2} \cdot I_r / I_0 \cdot e^{-\mu_1 x_1} \cos (\alpha + \theta) + II_0 e^{-\mu_2 x_2}$
- 9 $I = I_0 e^{-\mu_1 x_1} \cos \alpha + II_0 e^{-\mu_2 x_2}$
- 10 $I = II_0 e^{-\mu_2 x_2}$

$$I_r = [\{ (n_2 \cos i - n_1 \cos r) / (n_2 \cos i + n_1 \cos r) \}^2 + \{ (n_1 \cos i - n_2 \cos r) / (n_1 \cos i + n_2 \cos r) \}^2] / 2 \cdot I_0$$

Fig. 5. Explanatory diagram of solution.
 n_1 ; refractive index of the air
 n_2 ; refractive index of the water
 I_r ; refracted light intensity
 I_0 ; light intensity of the underwater lamp A
 II_0 ; light intensity of the underwater lamp B
 I ; light intensity of the observational point
 μ_1 ; absorption coefficient of the lamp A
 μ_2 ; absorption coefficient of the lamp B

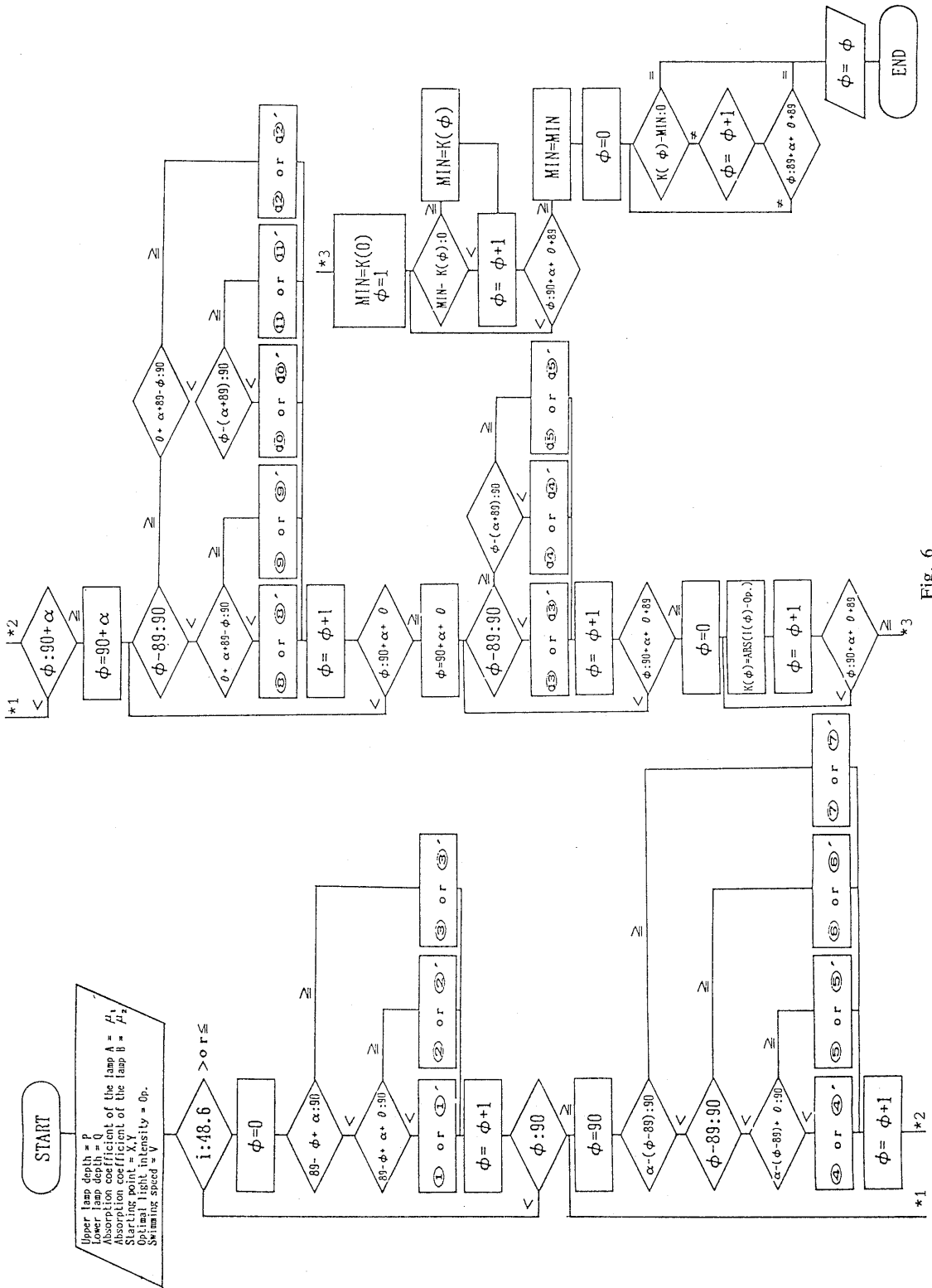


Fig. 6

- ① $I(\phi) = I_0 e^{-\mu_1 x_1} \cos(89 + \alpha - \phi) + I_1 I_0 e^{-\mu_2 x_2} \cos(89 - \phi) + I_1 I_0 e^{-\mu_1 (\alpha_2 + x_2)} \cos(89 + \alpha + \theta - \phi)$
 ② $I(\phi) = I_0 e^{-\mu_1 x_1} \cos(89 + \alpha - \phi) + I_1 I_0 e^{-\mu_2 x_2} \cos(89 - \phi)$
 ③ $I(\phi) = I_1 I_0 e^{-\mu_2 x_2} \cos(89 - \phi)$
 ④ $I(\phi) = I_0 e^{-\mu_1 x_1} \cos(89 + \alpha - \phi) + I_1 I_0 e^{-\mu_2 x_2} \cos(\phi - 89) + I_1 I_0 e^{-\mu_1 (\alpha_2 + x_2)} \cos(89 + \alpha + \theta - \phi)$
 ⑤ $I(\phi) = I_0 e^{-\mu_1 x_1} \cos(89 + \alpha - \phi) + I_1 I_0 e^{-\mu_2 x_2} \cos(\phi - 89)$
 ⑥ $I(\phi) = I_0 e^{-\mu_1 x_1} \cos(89 + \alpha - \phi)$
 ⑦ $I(\phi) = I_1 I_0 e^{-\mu_2 x_2} \cos(\phi - 89)$
 ⑧ $I(\phi) = I_0 e^{-\mu_1 x_1} \cos(\phi - (\alpha + 89)) + I_1 I_0 e^{-\mu_2 x_2} \cos(\phi - 89) + I_1 I_0 e^{-\mu_1 (\alpha_2 + x_2)} \cos(89 + \alpha + \theta - \phi)$
 ⑨ $I(\phi) = I_0 e^{-\mu_1 x_1} \cos(\phi - (\alpha + 89)) + I_1 I_0 e^{-\mu_2 x_2} \cos(\phi - 89)$
 ⑩ $I(\phi) = I_0 e^{-\mu_1 x_1} \cos(\phi - (\alpha + 89)) + I_1 I_0 e^{-\mu_1 (\alpha_2 + x_2)} \cos(89 + \alpha + \theta - \phi)$
 ⑪ $I(\phi) = I_1 I_0 e^{-\mu_1 (\alpha_2 + x_2)} \cos(89 + \alpha + \theta - \phi)$
 ⑫ $I(\phi) = I_0 e^{-\mu_1 x_1} \cos(\phi - (\alpha + 89))$
 ⑬ $I(\phi) = I_0 e^{-\mu_1 x_1} \cos(\phi - (\alpha + 89)) + I_1 I_0 e^{-\mu_1 (\alpha_2 + x_2)} \cos(\phi - (\alpha + \theta + 89)) + I_1 I_0 e^{-\mu_2 x_2} \cos(\phi - 89)$
 ⑭ $I(\phi) = I_0 e^{-\mu_1 x_1} \cos(\phi - (\alpha + 89)) + I_1 I_0 e^{-\mu_1 (\alpha_2 + x_2)} \cos(\phi - (\alpha + \theta + 89))$
 ⑮ $I(\phi) = I_1 I_0 e^{-\mu_1 (\alpha_2 + x_2)} \cos(\phi - (\alpha + \theta + 89))$
- ①' $I(\phi) = I_0 e^{-\mu_1 x_1} \cos(89 + \alpha - \phi) + I_1 I_0 e^{-\mu_2 x_2} \cos(89 - \phi) + I_1 I_0 e^{-\mu_1 x_2} \cdot I_r / I_0 \cdot e^{-\mu_1 x_1} \cos(89 + \alpha + \theta - \phi)$
 ②' $I(\phi) = I_0 e^{-\mu_1 x_1} \cos(89 + \alpha - \phi) + I_1 I_0 e^{-\mu_2 x_2} \cos(89 - \phi)$
 ③' $I(\phi) = I_1 I_0 e^{-\mu_2 x_2} \cos(89 - \phi)$
 ④' $I(\phi) = I_0 e^{-\mu_1 x_1} \cos(89 + \alpha - \phi) + I_1 I_0 e^{-\mu_2 x_2} \cos(\phi - 89) + I_1 I_0 e^{-\mu_1 x_2} \cdot I_r / I_0 \cdot e^{-\mu_1 x_1} \cos(89 + \alpha + \theta - \phi)$
 ⑤' $I(\phi) = I_0 e^{-\mu_1 x_1} \cos(89 + \alpha - \phi) + I_1 I_0 e^{-\mu_2 x_2} \cos(\phi - 89)$
 ⑥' $I(\phi) = I_0 e^{-\mu_1 x_1} \cos(89 + \alpha - \phi)$
 ⑦' $I(\phi) = I_1 I_0 e^{-\mu_2 x_2} \cos(\phi - 89)$
 ⑧' $I(\phi) = I_0 e^{-\mu_1 x_1} \cos(\phi - (\alpha + 89)) + I_1 I_0 e^{-\mu_2 x_2} \cos(\phi - 89) + I_1 I_0 e^{-\mu_1 x_2} \cdot I_r / I_0 \cdot e^{-\mu_1 x_1} \cos(89 + \alpha + \theta - \phi)$
 ⑨' $I(\phi) = I_0 e^{-\mu_1 x_1} \cos(\phi - (\alpha + 89)) + I_1 I_0 e^{-\mu_2 x_2} \cos(\phi - 89)$
 ⑩' $I(\phi) = I_0 e^{-\mu_1 x_1} \cos(\phi - (\alpha + 89)) + I_1 I_0 e^{-\mu_1 x_2} \cdot I_r / I_0 \cdot e^{-\mu_1 x_1} \cos(89 + \alpha + \theta - \phi)$
 ⑪' $I(\phi) = I_1 I_0 e^{-\mu_1 x_2} \cdot I_r / I_0 \cdot e^{-\mu_1 x_1} \cos(89 + \alpha + \theta - \phi)$
 ⑫' $I(\phi) = I_0 e^{-\mu_1 x_1} \cos(\phi - (\alpha + 89))$
 ⑬' $I(\phi) = I_0 e^{-\mu_1 x_1} \cos(\phi - (\alpha + 89)) + I_1 I_0 e^{-\mu_1 x_2} \cdot I_r / I_0 \cdot e^{-\mu_1 x_1} \cos(\phi - (89 + \alpha + \theta)) + I_1 I_0 e^{-\mu_2 x_2} \cos(\phi - 89)$
 ⑭' $I(\phi) = I_0 e^{-\mu_1 x_1} \cos(\phi - (\alpha + 89)) + I_1 I_0 e^{-\mu_1 x_2} \cdot I_r / I_0 \cdot e^{-\mu_1 x_1} \cos(\phi - (89 + \alpha + \theta))$
 ⑮' $I(\phi) = I_1 I_0 e^{-\mu_1 x_2} \cdot I_r / I_0 \cdot e^{-\mu_1 x_1} \cos(\phi - (89 + \alpha + \theta))$

Fig. 6. Flowchart for calculation of the direction of detecting an optimal light intensity for the fish around two underwater lamps.

$i \leq 48.6$: apply the formula with prime (①'~⑮')

$i > 48.6$: apply the formula without prime (①~⑮)

る光の方向から反時計回りに 90 度未満の範囲 (ここでは 89 度とした) を起点 0 度とし, A 灯が水面で反射して到達する光の方向から時計回りに 90 度未満の範囲 (ここでは 89 度とした) までを時計回りに 1 度刻みで変化させる。その 1 度ごとの魚の感知照度のうち最適な照度に最も近い照度を感知しうる方向を求める。こうして求めた頭位方向 ϕ と遊泳速度 V とから魚の移動後の新しい座標 (X, Y) が決まる。

結果および考察

2 個の水中灯が作る照度条件下における魚の遊泳軌跡

を求めるためのパラメーターとして好適照度と遊泳速度を定める必要がある。魚の好適照度といってもその魚がどのような目的をもった行動のときかによってその選択照度は異なることが考えられる。田村⁹⁾によれば明所視では色覚と形態視覚が働き, 暗所視では運動視覚と明暗感覚が働くとされている。また, Verheyen⁷⁾によれば同種の魚であっても幼魚と成魚とではその選択照度が異なり, 昼間と夜間とでその活動性が異なることを指摘している。

田内および林⁸⁾は集魚灯下でのウルメイワシの集魚状態をさぐり糸を降ろして観察し, 魚はたまたま 0.01 lx

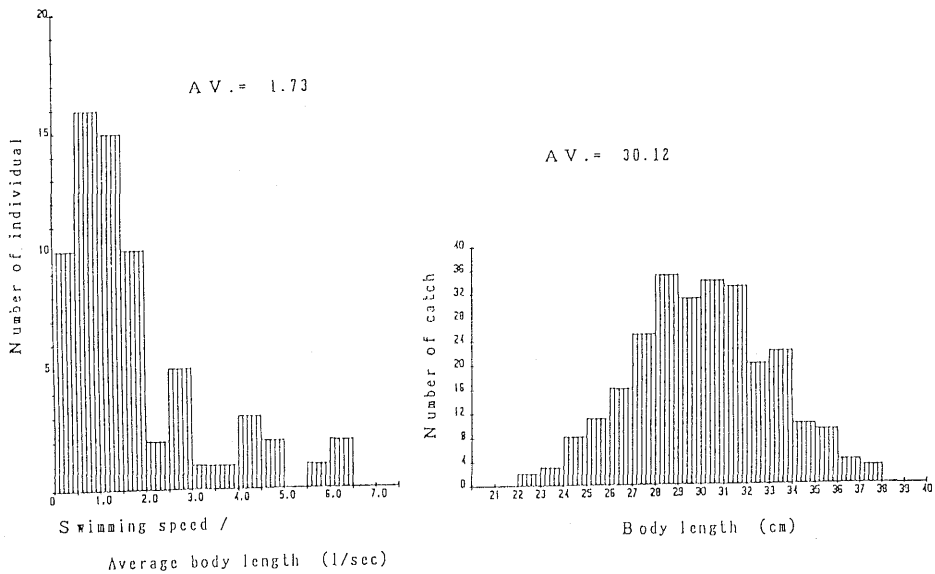


Fig. 7. Swimming speed of the fish photographed by the underwater video camera, estimated by the value (left side) of the distance of movement divided by the body length, and the composition (right side) of body length of the fish caught by the angling.

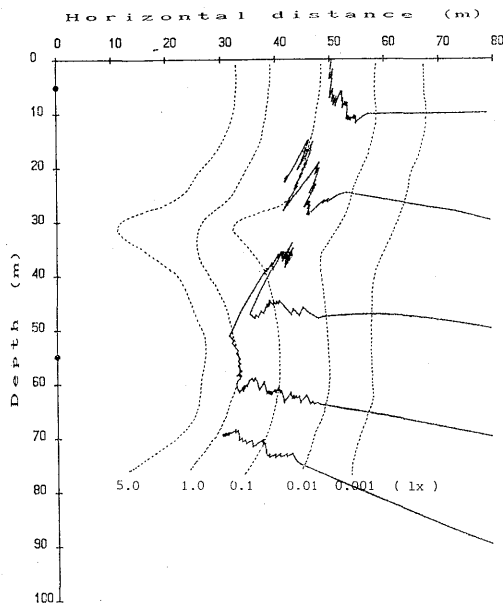


Fig. 8. Isoillumination line and trace of swimming behavior of fish estimated by computer simulation.

程度の明るさのところに来ると光源を認めてそれに集るものと推察している。田村⁹⁾は円錐体の活動し始める明るさが集魚灯の効果のおよぶ明るさと一致するならば、集魚灯の対象になる魚種において円錐体の活動し始める

明るさを定めることは重要な意義を有することになりと述べ、スズキの場合で真夜中以降の後半夜に 0.01 lx で明暗順応の移行状態を示すことをみている。¹⁰⁾ また、Brunner¹¹⁾ は Elritze で 0.01 lx 近辺の値において同様の結果を得ている。今村¹²⁾は光の明るさに対してサバが安定する水域は 0.01 lx 位のところであると述べ、走光性の強い魚でも長時間強い光に照射された場合は明るい光の部を避け、0.01 lx 位の明暗の境界部に移るとしている。

以上のことを鑑み、本研究においては好適照度を 0.01 lx と定めた。

次に集魚灯下での魚の遊泳速度であるが、これに関しては、水中テレビカメラの視野内を横切るマサバ群のなかでカメラレンズと平行に遊泳していると判断される個体を選択し、それが毎秒体長の何倍の距離を遊泳しているかを再生画像上で測定した。また、同時に釣獲されたマサバの体長組成を求めた。その結果を Fig. 7 に示す。集魚灯下に網集したマサバの遊泳速度は最小で毎秒体長の 0.22 倍、最大で毎秒体長の 6.43 倍となり、その平均値は 1.73 となった。Bainbridge¹³⁾ によると紡錘形をした魚の巡航遊泳速度はおおよそ毎秒体長の 2~3 倍と見積もられるとしているが、今回の結果はこれよりやや小さい結果となった。釣獲された個体の最小体長は 22.5 cm、最大体長は 37.5 cm であり、平均体長は 30.12 cm となった。釣りによる漁獲選択性を無視すれば遊泳速度の体長比の平均値 1.73 1/s と平均体長 30.12 cm の積 52.1

cm/s が集魚灯に網集したマサバ群の遊泳速度となる。これはカメラの視野内を平行に横切ると仮定したときの値であるため、遊泳軌跡を求める際の速度としては 55.0 cm/s を用いた。

メタルハライドランプ ($\mu_1=0.257$) と高圧ナトリウムランプ ($\mu_2=0.296$) の 2 個の水中灯をそれぞれ 5 m と 55 m に垂下し、こうして出来る照度条件下において、点光源による照度についての入射角の余弦の法則⁹⁾ を満たしながら魚が照度 0.01 lx を探し求め、55.0 cm/s で遊泳行動をすると仮定したときの鉛直断面内での軌跡を

Fig. 8 に実線で示す。破線は等照度曲線を示す。ただし、好適照度を探索する時間間隔 t を 1 秒とし、ほぼ定位置での移動を繰り返すのみで移動に新たな方向性が認められなくなった時点で演算を中止した。

魚群が最初より光源の付近にあることは極めて稀で自由に緩やかに移動する魚群がたまたまある程度の照明に遭遇して初めて光源を認めてこれに集る¹⁴⁾ものと考え、最初に魚が光を感知する地点を光源から水平距離で 80 m、水深を 10 m, 30 m, 50 m, 70 m, 90 m の 5 通りとした。いずれの場合も選択照度である 0.01 lx 等照度曲線に到達するまではその位置での最大照度を感知する方向へ遊泳するため直線的な経路をたどる。その後、等照度曲線内にあっても頭位方向によっては魚は 0 lx から光源を直視したときの照度値までの照度幅を感知するわけであり、0.01 lx 等照度曲線の内側に侵入してからは遊泳行動はかなり変化に富みジグザグ行動や緩慢な遊泳行動をしながら移動し、好適照度である 0.01 lx に最も近似される照度を感知する場所が次第に限定されてくるため停滞する。最初に魚が光を感知する地点により各遊泳軌跡は異なるが、いずれの場合とも光源からある距離を保って停滞する。今村¹⁵⁾によると魚は光源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く、光源を中心とした中空のドーナツ状の占位分布をなすという。今回の遊泳軌跡の結果はこれと同様である。

また、このような結果は、Verheyen²⁾ が指摘した集魚灯下での魚のランダムな行動が正しい光定位の結果として当然に起こり得る反応現象であり、漁法的には漁具の作用域に考慮を払う必要があることを示唆するものである。

火光による照度分布と集魚状態、さらにはその操業方法に関しては種々の研究¹⁸⁻²³⁾がなされているが、漁場環境と対象魚種の行動特性を把握することにより集魚灯下

での魚群の離合集散過程をシミュレートできれば火光利用漁業の能率化に役立つものと考えられる。

本稿を終わるに当たり、貴重な御助言を頂いた三重大大学教授野々田得郎博士ならびに東京水産大学助教授有元貴文博士に感謝申し上げるとともに、実験に御協力頂いた岩崎電気株式会社、三重大学浅野謙治博士、練習船勢水丸乗組員各位に謝意を表す。

文 献

- 1) 井上 実: 魚の行動と漁法, 第 1 版, 恒星社厚生閣, 東京, 1978, pp. 85.
- 2) F. J. Verheyen: Modern Fishing Gear of the World, 1, Fishing News Books, London, 1959, pp. 548-549.
- 3) 佐々木忠義: 集魚灯, イデア書院, 東京, 1953, pp. 44-45.
- 4) 井上 敏, 小谷正雄, 玉虫文一, 富山小太郎: 理化学辞典増訂版, 岩波書店, 東京, 1958, pp. 1088.
- 5) 照明学会編: 光をはかる, 日本理工出版会, 東京, 1987, pp. 58-61.
- 6) 田村 保: 魚類生理 (川本信之編) 20. 視覚, 恒星社厚生閣, 東京, 1977, pp. 451-479.
- 7) F. J. Verheyen: Modern Fishing Gear of the World, 1, Fishing News Books, London, 1959, pp. 572-573.
- 8) 田内森三郎, 林 寿: 水講報告, 21, 121-130 (1926).
- 9) 田村 保: 水産学集成 (末広恭雄, 大島泰雄, 檜山義夫編) 魚類の視覚について, 東京大学出版会, 東京, 1957, pp. 721-750.
- 10) 田村 保: 日水誌, 22, 742-746 (1957).
- 11) G. Brunner: Z. vergl. Physiol., 21, 296-316 (1934).
- 12) 今村 豊: うみ, 6, 243-262 (1968).
- 13) R. Bainbridge: J. exp. Biol., 35, 109-133 (1958).
- 14) 宮崎千博: 日水誌, 16, 235-238 (1950).
- 15) 今村 豊: 日水誌, 38, 877-880 (1972).
- 16) 今村 豊: うみ, 6, 17-43 (1968).
- 17) 今村 豊: うみ, 6, 136-147 (1968).
- 18) 今村 豊: うみ, 6, 190-208 (1968).
- 19) 草下孝也: 日水誌, 25, 17-21 (1959).
- 20) 草下孝也: 日水誌, 31, 187-191 (1964).
- 21) 黒木敏郎, 中馬三千雄: 鹿児島大学水産学部紀要, 6, 77-81 (1955).
- 22) 前田 弘: 日水誌, 21, 159-163 (1955).
- 23) 伊佐良信: 日水誌, 27, 493-500 (1961).