線光源モデルを用いた小型イカ釣り漁船集魚灯の 水中照度分布解析

崔 漸 珍,^{1a} 荒川 久 幸,² 有元 貴 文,^{3*} 中村 善 彦³

(2002 年 3 月 28 日受付, 2002 年 8 月 8 日受理)

¹水産総合研究センター水産工学研究所, ²東京水産大学海洋環境学科, ³東京水産大学海洋生産学科

Underwater illuminance of line light source model for
fishing lamps of coastal squid jigging boats

SOKJIN CHOI,^{1a} HISAYUKI ARAKAWA,²
TAKAFUMI ARIMOTO^{3*} AND YOSHIHIKO NAKAMURA³

¹National Research Institute of Fisheries Engineering, Hasaki, Ibaraki 314-0421, ²Department of Ocean Science and Technology, ³Department of Marine Science and Technology, Tokyo University of Fisheries, Minato, Tokyo 108-8477, Japan

The cross sectional pattern of the underwater illuminance for the coastal squid jigging boat was calculated with a formula based on the line light source model which consists of the spatial luminous distribution of fishing lamp and the surface reflectance of light by Fresnel's law. The calculated pattern of the contour map of the cross sectional underwater illuminance fits with the observed pattern under the coastal squid jigging boat equipped with the total light output of 150 kW, 200 kW and 240 kW respectively, by considering the decreasing factor of luminous flux for fishing lamps due to their time of use.

キーワード：イカ釣り, 集魚灯, 線光源, 水中照度, 光束維持率

集魚灯はイカ釣り漁業, サンマ棒受網漁業, まき網漁業など, さまざまな漁業に利用されており, その歴史も古い。^{1,2)} 集魚灯光により作られる水中照度分布と漁獲とは密接な関係があるとされているが, 集魚灯光による水中の光環境については十分に把握されていない。田内³⁾によって提示された理論式による水中照度の計算法は, 佐々木,⁴⁾ 今村⁵⁻¹²⁾によって各種の漁法への応用として集魚効果等の検討がなされた。また, 柳川¹³⁾は点光源による水中照度計算法を実用化し, 長谷川¹⁴⁾は水中灯による水中照度分布を求め, その条件下で魚の運動軌跡を計算によって求めた。

しかし, これまでの理論式による水中照度の計算法は, 船上の集魚灯を点光源とみなしたものであった。その当時の集魚灯光源には白熱灯が 1~2 個程度使用されていたため,¹⁵⁾ 実用上は点光源としても問題ないとされてきた。しかし, イカ釣り漁船における集魚灯設備は戦

後の漁船動力化以後, そして特に 1970 年代以後, 年々増え続け, 現在は多数の集魚灯が船首尾方向に平行に 1 列または 2 列に装備されている。¹⁶⁾ このように甲板上に装備されている集魚灯に対し, 点光源として照度を推定すると実際の水中照度に対して大きな誤差が生じると考えられる。¹⁷⁾ 著者らは前報において小型イカ釣り漁船の集魚灯をある長さを持つ線光源として考えたときの海面照度の理論計算を行い, 集魚灯光源出力別に海面直下の照度を求めて実測値との比較からその有効性を確認した。¹⁷⁾

本報ではこの理論計算をさらに発展させて, 小型イカ釣り漁船の集魚灯を線光源として考えたときの水中照度計算が可能な理論式を作成し, 各光源出力別の水中照度の計算を行った。この結果を実測値と比較して線光源による水中照度計算理論式の有効性について検討を行った。

* Tel : 81-3-5463-0470. Fax : 81-3-5463-0360. Email : tarimoto@tokyo-u-fish.ac.jp

^a 日本学術振興会科学技術特別研究員 (Domestic Research Fellow of Japan Society for the Promotion of Science)

水中照度測定および照度計算方法

小型イカ釣り漁船の水中照度測定 小型イカ釣り漁船の集魚灯光による水中照度を、1994年11月2日に長崎県対馬沖の漁場において豊玉町所属の小型イカ釣り漁船（豊進丸；16 Gt., 以下実験船とする）に乗船し、夜間に測定を行った。水中照度測定時の天気は晴れ、月齢は27.8であったため、月光による影響はほとんどなかった。Fig. 1に実験船の集魚灯配置および各出力別の集魚灯の点灯条件を示す。実験船に装備された集魚灯は、メタルハライド灯70個（3 kW；40個、4 kW；30個）とハロゲン灯7個（3 kW）であり、これらの集魚灯は水面から約3.5 mの高さで船首尾方向に2列に配置された。集魚灯光源の出力条件は240 kW 装備に対して、200 kW および 150 kW に減灯した場合を含めて合計3段階に設定した。集魚灯の点灯は左右2列のそれぞれで同出力とし、かつ船首尾方向で均等となるように留意した。したがって、水中照度の計算において光源の長さは各光源出力別に等しいものとした。実験には2隻の漁船を用い、それぞれの舷側中央部と中央部をロープで結び、2隻の船を100 m 間隔に並列させた状態で各船をアンカーによって固定した。水中照度の測定には水中照度計（Ishikawa IU-2B, 最小目盛 0.2 lx）を用い、ロープに添って作業船を移動させながら測定した。測定位置

は船橋部の自動釣り機直下の水面を基準とし、水平方向は距離100 m まで5～20 m 間隔で、水深方向は1～5 m 間隔で水深50 m まで測定を行った。測定された結果から各光源出力条件別に水中等照度曲線分布を作図した。Table 1に集魚灯光源出力別の水中照度測定および照度計算に用いた小型イカ釣り漁船の要目を示した。

水中照度計算法の前提条件 集魚灯による水中照度の計算には以下の条件を仮定した。

- ① 集魚灯光源は一定のスペクトルおよび配光特性を持つ線光源とする。
- ② 集魚灯光源の位置は水面より上方にあるものとする。
- ③ 海水中での光の散乱および吸収に関連する物質の分布は均一であり、光の場の光学的性質は一定とみなす。
- ④ 水中での光の散乱は一次散乱のみを考慮し、水中での光の吸収・散乱の計算には一次光線による光の減衰として考える。
- ⑤ 照度計算領域は集魚灯から光が直接海面に到達し、船体の影にならない範囲を対象とする。

線光源による水中照度計算法 照度計算に用いた線光源による水中照度の計算理論式は次のように求められる。

Fig. 2のように、水面上 $h_o(m)$ の高さに、長さ L

Fig. 1. Arrangement of fishing lamps for coastal squid jigging boat. ○: Metal halide lamp 3 kW ●: Metal halide lamp 4 kW *: Halogen lamp 3 kW □: Light on ■: Light off

Table 1. Principal items of coastal squid jigging boat and light output

Boat dimensions	
Tonnage	16.0 Gt.
Length	20.5 m
Width	4.5 m
Freeboard	1.0 m
Length of lamp arrangement	17.0 m
Lamp height from water level	3.5 m
Lamp arrangement	2 rows
Fishing lamps dimensions	
Metal halide lamps	4 kW × 30
	3 kW × 40
Halogen lamps	3 kW × 7
Total luminous of metal halide lamp (3 kW)	360000 lm
Total luminous of metal halide lamp (4 kW)	480000 lm
Metal halide lamp's diameter (3 kW)	250 mm
Metal halide lamp's diameter (4 kW)	280 mm

Fig. 2. Model concept of line light source for underwater illuminance calculation.

(m) の線光源が設置されていると考える。この単位長さ当たりの光源軸に鉛直な方向の光度を $I(cd)$ とした時、角度 θ から $\theta + \Delta\theta$ の範囲 (但し $\theta + \Delta\theta < 90^\circ$) で光が放射された場合、線光源の微小部分 dl の P_i 点から P_j 点方向における光度は $I dl \cos \alpha$ となり、光源の一端を含む鉛直平面内の海面上屈折点 P_i から P_j の各点に到達

する法線照度 $dE_n(lx)$ は次式で求められる。^{17,18)}

$$dE_n = \left(\frac{I dl \cos \alpha}{r^2} \right) \cos \alpha \quad (1)$$

したがって全長 L の光源による海面上の屈折点 P_i から P_j の各点における法線照度 E_n は次のように求められる。^{17,18)}

$$E_n = \int_0^{\alpha_0} dE_n = \frac{I}{2R} (\alpha_0 + \sin \alpha_0 \cos \alpha_0) \quad (2)$$

海中内の被照点 Q に到達する光量 $dE_{n\phi}$ は、海面における反射によって減少し、透過率 (k_ϕ) を乗じた光量が水中に進み、さらに光が水中を r' (m) だけ進む過程で海水の吸収・散乱によって $e^{-\mu r'}$ に減衰する。^{2,7)} ここで μ は海中における光の減衰率 (消散係数) である。海中の被照点 Q における法線照度 $dE_{n\phi}$ は次式で与えられる。

$$dE_{n\phi} = E_n \cdot k_\phi \cdot e^{-\mu r'} \cdot \cos^2 \beta \cdot dl' \quad (3)$$

ここで、 E_n は集魚灯光源の単位長さ当たりの光度 (I) と小型イカ釣り漁船の要目から求められる海面上の屈折点 P_i から P_j 各点の水面照度であり、海面上において仮想の線光源状態を形成する。消散係数と海水の透明度 $D(m)$ の関係は、 $\mu = 1.7/D$ として与えられる。⁷⁾ 本研究で水中照度の観測を行った対馬沖における透明度は 17 m であったので、 μ の値は 0.1 となる。また、 k_ϕ は光の透過率であり、Fresnel の式に空気中の屈折率 1.00 及び海水の屈折率 1.33 を用いて求められる。¹⁹⁾

また、Fig. 3 のように集魚灯光源から放射された光が Q 点に到達するために水面で屈折する海面上の点 P では Snell の法則から $\sin \theta = n \cdot \sin \phi$ が成り立つ。¹⁹⁾ ここで、 n は空気に対する海水の相対屈折率である。したがって、Snell の法則を用いてイカ釣り漁船の光源直下の水面から、光の屈折点 P までの距離 (x) は次の式により求められる。

$$\frac{x}{\sqrt{x^2 + h_o^2}} = \frac{n(y-x)}{\sqrt{(y-x)^2 + d^2}} \quad (4)$$

ここで、 h_o は水面から集魚灯光源までの高さ、 d は観測点 Q までの水深、 y は光源から観測点 Q までの水平距離となる。¹⁹⁾ 式 (4) を x について展開すると次式のようなになる。

$$0.8x^4 - 1.6x^3y + ((1.8h_o^2 - d^2) + 0.8y^2)x^2 - 3.6h_o^2xy + 1.8y^2h_o^2 = 0 \quad (5)$$

x は h_o, d, y などの定数を入力することにより、数値的に求められる。さらに、照度計算のモデルとなった実験船の要目から集魚灯光の最小入射角 (θ_{min}) は 32.7° 、最小屈折角 (ϕ_{min}) は 23.9° と算出された。この最小屈折角 (ϕ_{min}) は集魚灯光が直接に到達する最小境界線となり、これよりも内側では船体による影の範囲となる。

したがって、全長 L の光源による水中の被照点 Q における法線照度 $E_{n\phi}$ は式 (3) より次のように示される。

Fig. 3. Model concept of light refraction point and shadow area by the squid jigging boat.

$$E_{n\varphi} = \int dE_{n\varphi}$$

$$= \int \frac{I}{2R} (\alpha_0 + \sin \alpha_0 \cos \alpha_0) \cdot k_\varphi \cdot e^{-\mu r'} \cdot \cos^2 \beta \cdot dl' \quad (6)$$

ここで、 $\angle P_i Q P_k = \beta$ であり、 $dl' = R' \cdot \sec^2 \beta \cdot d\beta$ 、 $R' = r' \cdot \cos \beta$ であるのでこれを式(6)に代入すれば次式のように求められる。

$$E_{n\varphi} = \frac{I}{2R} (\alpha_0 + \sin \alpha_0 \cos \alpha_0) \cdot k_\varphi \cdot r' \cdot e^{-\mu r'}$$

$$\times \int_0^{\beta_0} \cos \beta \cdot d\beta$$

$$= \frac{I}{2R} (\alpha_0 + \sin \alpha_0 \cos \alpha_0) \cdot k_\varphi \cdot r' \cdot e^{-\mu r'} \cdot \sin \beta_0 \quad (7)$$

さらに、被照点Qにおける水平面照度 $E_{h\varphi}(lx)$ は次式で与えられる。

$$E_{h\varphi} = E_{n\varphi} \cdot \cos \varphi \quad (8)$$

以上の理論式に基づいて、小型イカ釣り漁船の集魚灯出力条件別による水中照度計算を行った。

結 果

電球の配光曲線 Fig. 4は照度計算及び実測に用いたメタルハライド灯3kWおよび4kWの配光曲線を示したものである。同図に示した配光曲線はメタルハライド灯2kWを用いて電圧245V、電流8.0Aの条件で点灯させ、光源の真下を0°、真上を180°として、各角度別光度を測定した実測値を基に、3kWと4kWの全光束を用いて比例計算したものである。同図によると光源の

Fig. 4. Distribution curve of luminous intensity by metal halide lamp.

放射角度別光度(cd)は、90°方向において最も明るく、3kWの場合17250cd、4kWの場合23000cdとなる。また、光源真下と真上方向で最も暗く、3kWの場合3000cd、4kWの場合4000cdとなった。

実測による集魚灯光源出力別水中照度分布 対馬沖において実際のイカ釣り漁船について、光源の出力240kW、200kW、150kWの条件別に水中照度を測定してその分布をFig. 5に示した。各図の中に示した斜線は実験船の要目により求めた集魚灯光の最小入射角(32.7°)に対する水中への屈折角(23.9°)の範囲であ

Fig. 5. Observed iso-illuminance curve for the cross section area by measurement. R: Roller, 2.5 m from the ship center

る。光源出力 240 kW の場合、舷側方向から最も近い部分で 1300 lx、水深 45 m 付近で 1 lx の等照度曲線分布が得られており、釣り機ローラ直下を基準として 23.9°の斜線範囲内では船体により集魚灯光の直接入射が制限され、船体による陰影域を作り、水深別水中照度は急激に減少している。また、光源出力を 240 kW から 150 kW までに減少することにより等照度曲線 1 lx 値の最も深い水深は 45 m から 35 m に浅くなり、光源出力の減少により全体的に水中照度は暗くなることが認められる。実験船によって作られた 1 lx までの水中等照度曲線断面面積の比、すなわち、船上の集魚灯光による水中の影響範囲を光源出力条件別に求めると 240 : 200 : 150 kW で 100 : 89 : 87 となっており、200 kW と 150 kW の割合差が 240 kW と 200 kW の割合差より小さくなっている。

船側方向の水平距離別透過率 (k_p) の変化 実験船の集魚灯は水面から高さ 3.5 m に配置されている。この条

Fig. 6. Penetration rate according to the distance from light source and the incidental angle.

件で光源直下から船側方向について距離別の透過率と入射角度を Fresnel 式により求めて Fig. 6 に示した。船側方向距離別透過率は光源直下から水平距離が 3 m までは約 100% 入射する結果となっているが、実際には船の甲板部によって遮断される。しかし、水中照度の実測および計算の対象となった船側方向距離が 3~100 m の海面上に到達する光は、集魚灯配光曲線の放射角度として 40~88°の範囲から放射されたものであり、船側方向距離 100 m の海中に透過する光の割合は約 20% に過ぎないことがわかる。さらに光源からの距離が遠くなると、海面における光の透過率は低くなり、集魚灯配光曲線の放射角度としては 89.7°の部分から放射された光が到達する船側方向水平距離 1000 m の海水面では約 2.2% しか海中に入射しないこととなる。

線光源照度計算による水中照度分布 線光源モデルによる水中照度計算法により、船体中央部舷側方向の断面の水中照度を計算で求め、光源出力条件別に Fig. 7 に示した。各図の影の部分は実験船の要目により求めた集魚灯光の最小入射角 (32.7°) に対する水中への屈折角 23.9°の範囲を示す。

同図によると光源出力 240 kW の場合、光源に最も近い水面で約 10000 lx、光源から 25 m、水深 25 m の位置での照度は約 1000 lx、水平距離 40 m、水深 45 m では約 100 lx と計算された。また、光源出力 200 kW および 150 kW の場合は等照度曲線の分布形態は 240 kW

Fig. 7. Calculated iso-illuminance curve for the cross section area.

とほぼ同じであるが、同じレベルの等照度曲線分布深度は光源出力が大きいほど深くなり、実測値（Fig. 5 参照）に比べて過大な計算結果となった。実験船直下から 1 lx までの等照度曲線の平面分布面積の比として比較すると光源出力 240 : 200 : 150 kW で 100 : 83 : 63 となり、実測された光源出力 200 kW と 150 kW の 1 lx までの等照度曲線分布面積に比べて割合の差が大きい。

補正計算による水中照度分布 実測の水中照度分布は計算結果に比べて全体的に低い値を示した。水中照度低下の原因としてランプの使用時間による光束低下が考えられる。そこで、線光源理論によって計算された光源出力 240 kW の水中照度分布について光束維持率を想定して等照度曲線を求めてみた。すると 1 個当たり集魚灯光源の光束が集魚灯配光曲線の各角度別平均 65% まで低下したという条件で実測値とほぼ一致している（Fig. 8）。しかし、海面近くでの 100, 10, 1 lx の等照度曲線分布は、補正計算値が実測値より明るくなっており実測値と若干離れている。この光は主に水面上屈折点 10 m

Fig. 8. Comparison of the calibrated and measured iso-illuminance curve for the cross section area. R: Roller, 2.5 m from the ship center

以遠の距離に到達して水中に入射した集魚灯の光であり、集魚灯配光曲線の放射角として換算すると 70.7° 以上から放射された光のベクトル成分である。

考 察

本研究では小型イカ釣り漁船の集魚灯光を線光源と仮定した場合の理論式から、集魚灯光源出力条件別の水中照度分布を計算して実際の測定結果と比較した。しかし、理論計算と現場測定による水中等照度曲線の分布深度とその形状には違いがみられた。そこで、集魚灯光源の光束が 65% まで低下したものとし、配光曲線の角度別光束を調整して補正計算した結果、実測による水中照度分布の形状と分布深度はほぼ一致した（Fig. 8）。

今回の現場測定においては気候および海況条件は非常に良好であったため、海水の光学的特性等を含めた海洋環境的な要因の影響²⁰⁾は小さく、光源の使用時間、設置位置や配列などの光源側の物理的な諸要因条件が実測値と計算値の違いに大きく影響したと考えられる。特に、集魚灯の使用時間および設置位置や配列は水中照度計算結果に直接に影響する最も重要な設定条件である。

実際に集魚灯は入力電圧と点灯時間によって光束維持率が異なり、²¹⁾ 集魚灯として多く使用されているメタルハライド灯は入力電圧 250 V で 2000 時間使用した場合に光源出力は新製品に比べて約 58% まで劣化すると報告されている。²¹⁾ イカ釣り漁船の 1 日の作業時間が 8~10 時間であることを考えると、2000 時間は作業日数 200 日に相当する使用期間である。多くのイカ釣り專業船の年間作業日数は 150~200 日前後であると報告されており、²²⁾ 本研究の水中照度測定に使用した実験船の集魚灯も約 1 年以上の使用時間を持っていることから、集魚灯光源の光束低下が生じたと考えられる。

また, 理論式による光源出力条件別水中照度分布 (Fig. 7) および補正計算による水中照度分布結果 (Fig. 8) の海面近くにおける 100, 10, 1 lx の等照度曲線分布は計算値が実測値より高く計算されている。これは, 水中照度計算の際に前提条件として海水中での光の散乱および吸収に関連する物質の分布は均一であり, 光の散乱は一次散乱のみ考慮したため, 理論式が現場の複雑な環境条件には対応できず, 計算上では実測値より明るく計算されたと考えられる。また, 実験に用いたイカ釣り漁船の集魚灯は2列配置となっているが, 計算では1列として仮定して計算したことにも原因があると考えられる。イカ釣り漁船における集魚灯の配列は一般的に総光源出力 60 kW 前後で1列から2列に変わると報告されており,¹⁶⁾ 2列の場合, 前方の集魚灯から放射された光の一部は後方の集魚灯, 特に集魚灯の保護ガラスによって遮断または反射され, 水中照度の増加には貢献しないことが考えられる。本研究において実測値より明るく計算された各水深における水平方向の等照度曲線は, 光源直下からおよそ 10 m 以遠の水面屈折点に照射された光であり, 集魚灯配光曲線の放射角として換算すると 70.7° 以上の角度から放射された光成分である。2列の集魚灯配置を持つ実験船の集魚灯配置寸法にもとづいて船体方向の水中照度を計算するとこの角度から放射された光のほとんどは前方に配置されている集魚灯によって遮断された状態となる。

このようなイカ釣り漁船集魚灯の配置と使用時間に伴う光源出力の低下などを含めた集魚灯側の物理的条件の違いは水中における等照度曲線の分布形状だけではなく, 集魚効果にも影響することになる。^{5-8,23,24)} さらに, 実測値と理論値を比較して補正作業を行うことによってイカ釣り漁船に装備されている集魚灯の水中に対する実際の照射効率および集魚効果などを推定することが可能となる。

一方, 船上の光源から放射される光源出力の増加による水中照度影響範囲について検討すると, 実測値および計算値ともに船上の光源出力増加に比べて, 水中照度に影響する範囲は比較的狭いことが確認された (Fig. 5, 7)。すなわち, 光源出力条件を 150 kW から 240 kW まで 63% に増加させた場合, 実験船直下から等照度曲線 1 lx までの総面積比は理論値で 37%, 実測値では 13% しか増加しない結果となった。これは光が空中を進行する際に距離の逆 2 乗法則に従って減衰して海面に到達し,^{18,20)} さらに, 光は海面によって反射され, 残りのわずかな光が海中に入射するためであり,¹⁷⁾ 船上における光源出力の増加と比例した水中照度影響範囲の増加は期待できないことが確認された。

最後に, 本研究では水中照度計算として漁船中央部の舷側方向の断面部分を対象としており, 実際にイカが集

まる船体直下の部分²⁶⁾についての検討は行っていない。船体直下における水中照度分布の把握は集魚灯光によって作られる水中の光環境と対象生物の集魚効果などの関連性を明らかにするために重要な課題である。この問題については水槽実験および実測による検討を重ね, 船体直下方向における水中照度計算の新たなモデルを構築する必要がある。これらの各部分における水中照度計算モデルが完成され, 総合的に検討することによってイカ釣り漁船の集魚灯光と対象生物の漁獲機構について詳しく解明することが出来るであろう。さらに, 黒木²⁷⁾ は海中の光環境と生物の生態との関係をより詳細に検討するためには, 光を波長別のエネルギー量として表示すべきであると報告した。稲田,²⁰⁾ 荒川ら²⁸⁾ はイカ釣り漁船の集魚灯光による波長別海中放射照度分布等について検討しており, さらにこのような水中の波長別エネルギー分布計算等の課題についても今後検討する必要がある。

謝 辞

本研究は全国小型いか釣り協議会 (現在, 全国いか釣り漁業協議会) による水産庁補助事業「小型いかつり光力適正化検討事業」の一環として実施された測定結果を用いて行われた。事業にご尽力賜った全国漁業協同組合連合会の中村孝哲氏, 乗船調査にご協力いただいた長崎県対馬豊玉町漁業協同組合並びに同所属の小型イカ釣り漁船豊進丸船長原田政範氏を始め関係各位に深甚なる謝意を表する。また, 本稿に対し貴重な助言をいただいた水産工学研究所渡部俊広漁法研究室長およびご校閲を賜ったお二人の方々に心よりお礼申し上げる。

文 献

- 1) 三次信輔. 集魚灯ガイド, さかな, 東海水研 1971; 7: 60-93.
- 2) 井上 実. 漁具と魚の行動, 恒星社厚生閣, 東京. 1985; 173-185.
- 3) 田内森三郎. 水産物理学, 朝倉書店, 東京. 1948; 204-207.
- 4) 佐々木忠義. 集魚灯, イデア書院, 東京. 1953; 154.
- 5) 今村 豊. 漁業における火光の集魚効果とその操業の研究 (I), うみ 1968; 6: 17-43.
- 6) 今村 豊. 漁業における火光の集魚効果とその操業の研究 (II), うみ 1968; 6: 32-43.
- 7) 今村 豊. 漁業における火光の集魚効果とその操業の研究 (III), うみ 1968; 6: 26-44.
- 8) 今村 豊. 漁業における火光の集魚効果とその操業の研究 (IV), うみ 1968; 6: 11-30.
- 9) 今村 豊. 灯火漁業の研究-I. 田辺湾の入網漁業について, 日水誌 1961; 27: 425-429.
- 10) 今村 豊. 灯火漁業の研究-II. サバの跳ね釣りについて, 日水誌 1961; 27: 430-436.
- 11) 今村 豊. 灯火漁業の研究-III. 灯火利用の釣り漁業について, 日水誌 1961; 27: 437-439.
- 12) 今村 豊. 灯火漁業の研究-IV. サンマ棒受網漁法につい

- て, 日水誌 1961; **27**: 440-445.
- 13) 柳川三郎. 集魚灯の特性に関する研究-1. 点光源による水中照度の計算法について, 東水大研報 1973; **60**: 1-7.
- 14) 長谷川英一, 小林 裕. 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 1989; **55**: 1707-1714.
- 15) 稲田博史, 小倉通男. イカ釣り漁業における集魚灯の変化, 東水大研報 1988; **24**: 189-207.
- 16) 崔 漸珍, 有元貴文. 小型いか釣り光力適正化検討事業実態調査・実証調査報告書, 全国漁業協同組合連合会, 東京. 1996; 40.
- 17) 崔 漸珍, 中村善彦, 有元貴文. 集魚灯による小型イカ釣り漁船周辺の海面照度分布, 日水誌 1997; **63**: 160-165.
- 18) 照明学会編. 照明工学, オーム社, 東京, 1983: 55-77.
- 19) 山田幸五郎. 光学の知識, 東京電気大学出版局, 東京, 1978; 39-43.
- 20) 稲田博史. 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 1988; **75**: 487-498.
- 21) 石川敏夫. 最近の集魚灯について, 漁船 1997; **327**: 44-51.
- 22) 農林水産省統計情報部. 平成4年漁業・養殖業生産統計年報, 農林統計協会, 東京. 1994: 126-131.
- 23) 草下孝也. 白熱灯及び蛍光水銀灯の集魚効果と水中照度, 日水誌 1959; **25**: 17-21.
- 24) 草下孝也. 蛍光灯の集魚効果と水中照度, 日水誌 1964; **31**: 187-191.
- 25) Arakawa H, Choi SJ, Arimoto T, Nakamura Y. Relationship between underwater irradiance and distribution of japanese common squid under fishing lights of a squid jigging boat, *Fish. Sci.* 1998; **64**: 553-557.
- 26) Choi SJ, Arakawa H. Relationship between the catch of squid, *Todarodes pacificus* Steenstrup, according to the jigging depth of hooks and underwater illumination in squid jigging boat, *J. Korean Fish.* 2001; **34**: 624-631.
- 27) 黒木敏郎. 海洋環境測定, 恒星社厚生閣, 東京. 1982; 26-70.
- 28) 荒川久幸, 崔 漸珍, 有元貴文, 中村善彦. 小型イカ釣り漁船の集魚灯光の海中放射照度分布, 日水誌 1996; **62**: 420-427.