

# 集魚灯を光源とした 海中照度分布シミュレータの開発

田原 卓弥<sup>1,a)</sup> 河野 周太<sup>1,b)</sup> 行成 功志<sup>1,c)</sup> 飯干 杏美<sup>1,d)</sup> 田中 康一郎<sup>1,e)</sup> 安樂 和彦<sup>2)</sup>  
藤井 敏<sup>3)</sup>

**概要:** 本稿では、集魚灯を光源とした海中の照度分布表示を行うシミュレータについて紹介する。近年、集魚灯として従来のメタルハライド灯や白熱灯に代わり LED 照明の導入が試みられている。しかしながら LED 照明はその高指向性や出力波長の違いにより、従来の照明とは異なる照射域を示す。また日々変動する海域の濁度を正確に把握するのは容易ではない。そのため従来の照明から習得した漁師の勘と経験では、LED 照明の海中における照度分布の把握が難しいのが現状である。そこで海中の濁度測定が可能な水中灯から得る濁度情報に基づいた集魚灯の海中照度分布の解析・表示を行えるシミュレータを開発に併せて、動作評価と実測データによる精度評価を行った。その結果 LED の特性と海域の濁度を考慮した照度分布の鮮明な表示が確認された。

**キーワード:** 集魚灯, LED 照明, 照度分布シミュレータ, 消散係数

## Development of Underwater Illuminance Simulator Using Fishing Lights

TAKUYA TAHARA<sup>1,a)</sup> SHUTA KAWANO<sup>1,b)</sup> KOSHI YUKINARI<sup>1,c)</sup> AZUMI IIHOSHI<sup>1,d)</sup>  
KOICHIRO TANAKA<sup>1,e)</sup> KAZUHIKO ANRAKU<sup>2)</sup> SATOSHI FUJII<sup>3)</sup>

**Abstract:** This paper introduces a underwater illuminance simulator using fishing lights. Using the LED lighting in place of incandescent lamp and metal halide lamp recently. However LED lighting showing a irradiation area different from the traditional lighting due to output wavelength and high directivity. In addition to accurately grasp the turbidity of waters fluctuate from day to day is difficult. Understanding of the illuminance distribution in the sea is difficult the intuition and experience of fishermen now. Therefore, we evaluated the development of underwater illuminance simulator based on the information turbidity for the underwater light. As a result, a clear indication of the underwater illuminance in consideration of the turbidity of the sea and the characteristics of the LED has been confirmed.

**Keywords:** Fishing Lights, LED Lightings, Underwater Illuminance Simulator, Extinction Coefficient

<sup>1</sup> 九州産業大学情報科学部情報科学科  
Faculty of Information Science, Kyushu Sangyo University

<sup>2</sup> 鹿児島大学水産学部  
Faculty of Fisheries, Kagoshima University

<sup>3</sup> 交和電気産業  
EMC-Kowa

a) k10jk075@st.kyusan-u.ac.jp

b) k11jk043@st.kyusan-u.ac.jp

c) k11jk131@st.kyusan-u.ac.jp

d) k11jk005@st.kyusan-u.ac.jp

e) tanaka@is.kyusan-u.ac.jp

## 1. 背景

漁法のひとつとして魚類の集光性を利用して漁獲する集魚灯漁がある。その集魚灯の照明として白熱灯やメタルハライド灯など、時代の流れとともに漁業用照明に最先端の照明技術の導入が積極的に行われ続けている。近年では低消費電力や長寿命、高指向性、出力波長の調節が可能という特長を持つ LED 照明の導入が試みられている。集魚灯

漁は魚類の集光性を利用し、魚群探知機の情報を基に水中灯を制御するため、集魚灯の海中における照度分布の正確な把握は漁業効率に直結する問題である。さらにLED照明の特長である指向性の高さから、不必要な海域への照射を軽減することが可能となる一方で、従来のメタルハライド灯や白熱灯の照明とは異なる照射域を示すことになる。また魚類の視感度や光の水中における透過特性を考慮した波長を選択できることにより、海中における照度分布が従来の照明とLED照明では大幅に変化した。これらに加えて日々変化する海域の濁度を正確に把握できなければLED照明の海中における照度分布の把握は難しい。よってLED照明の照度分布は、漁師各位が習得した従来の知識や経験則とは異なる照度分布を示すことになる。

LED照明を使用する者がLED照明の特長の理解や海域の濁度の把握が難航している現状を打破するため、LED照明を用いた集魚灯漁を効率化を図る目的のもと、JSTA-STEPの一貫として“低環境負荷型高輝度インテリジェント魚群コントロールLED照明の開発”を推進している。そのなかで濁度測定が可能な自律型LED水中集魚灯の開発 [1-6] を行っている。そして本稿では自律型LED水中集魚灯から得る濁度情報をもとに、水中灯の調光を行う者がLED集魚灯の海中における照度分布を可視化できる海中照度分布シミュレータの開発を行う。集魚灯を使用する者はシミュレータによる海域の濁度及びLEDの特長を考慮した集魚灯の海中照度分布と魚群探知機の情報を照らし合わせるにより効率的に魚を集めることができ、漁業効率の向上と後継者の育成に繋がることを目標とする。

以下、本稿では研究概要、本システムの構成、実装した機能の詳細、そして本システムの開発、本システムの評価結果について述べ、結論で本稿の総括と今後の展望について言及する。

## 2. 研究概要

### 2.1 LED水中灯

図1に本稿がモデルとした水中灯を示す。モデルとした水中灯は側面の4面方向にLED素子が設置されており、上面側と下面側にはステンレス板が存在する。また図2にモデルとした水中灯の配光特性と、図3にその水中灯のスペクトル特性を示す。配光特性は図2のように左右に照度の広がりが見られる配光となっている。また図3に示した水中灯のスペクトル特性から、青色LEDをベースとしその上に塗布した蛍光体を用いて発光波長の制御を行い、魚類視感度ピークである500nm付近の520nmにピークを持つ波長体の広い光を放射するよう設計されていることがわかる。一方、短波長帯及び長波長帯は水中における光の透過率が500nm帯に比べて低く、特に長波長帯の透過率は極めて低いため、短波長帯及び長波長帯の出力は行われな設計となっている。



図1 LED水中灯

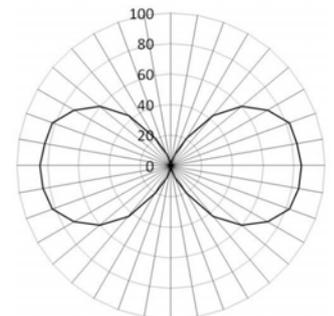


図2 LED水中灯の配光特性

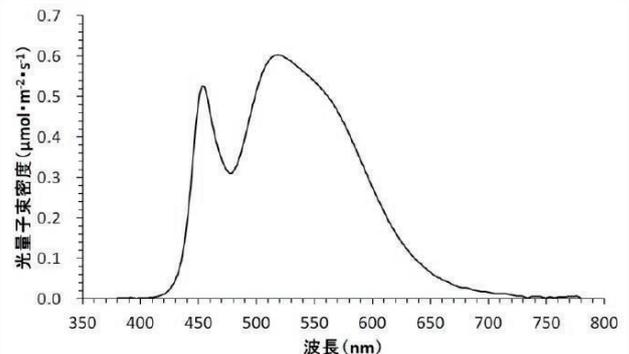


図3 LED水中灯のスペクトル特性

### 2.2 水中を進む光の減衰法則

水中に入射した平行光線は式(1)に示す、Beer-Lambertの法則に従い減衰する。

$$I_z = I_0 e^{-cz} \quad (1)$$

$I_0$  は基準となる位置での光の強さ、 $z$  は基準位置からの距離 ( $m$ )、 $c$  が消散係数 ( $m^{-1}$ ) である。なお、算出される光の強さは光子束密度 ( $\mu mol \cdot m^{-2} \cdot s^{-1}$ ) を用いる。また水中灯は点光源とみなされるため、点光源から放射状に広がりつつ伝搬されることから、式(1)に従って減衰しつつ、かつ、基準位置からの距離  $z$  の2乗にも反比例して減衰する。以上から、本稿で用いる水中を進む光の減衰法則を式(2)に示す。

$$I_z = \frac{I_0 e^{cz}}{z^2} \quad (2)$$

### 2.3 消散係数

消散係数とは海域の濁度を示すものである。式(1)及び式(2)を用いて光子束密度を算出する場合、海域の濁度である消散係数を代入することで、海域の濁度に応じた光子束密度の算出が可能となる。しかしながら、この消散係数は季節や海域によって変化するものである。なぜなら、濁度は海水中の浮遊懸濁物の種類や量によって変化するものであり、その浮遊物にはプランクトン等の生物性のもも多く、その量は日射量や水温によって変化するからである。よって海域の濁度を示す消散係数は、常に一定ではない。そのため海域の濁度に応じた光の強さを算出するには、消散係数をその場で推定しなくてはならない。

さらには消散係数は波長ごとに異なる．図 4 に測定海域別にみた代表波長の減衰傾向を示す [7]．いずれの海域においても 500nm 帯は消散係数は他波長に比べて低く，透過性が高いことを示している．一方，短波長側及び長波長側，特に長波長側では消散係数は 500nm 帯に比べて非常に高く，透過性が低いことがわかる．

以上より，図 3 に示した LED のスペクトル特性と，光の波長ごとに異なる消散係数を考慮することで，より精度の高い光量子束密度を算出することが可能である．式 (3) に光の波長ごとに異なる消散係数を考慮した光量子束密度算出式を示す．

$$I_{z360-780} = \int_{380}^{780} \frac{I_0(\lambda)e^{c(\lambda)z}}{z^2} d\lambda \quad (3)$$

ここで  $I_0(\lambda)$  は光源の各波長の光量子束密度， $c(\lambda)$  は各波長の消散係数を示す．

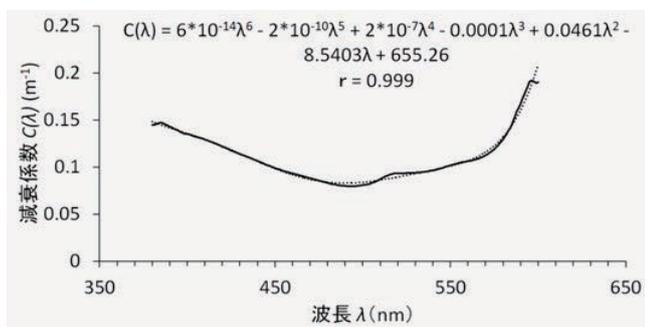


図 4 波長別の減衰係数

### 3. システムの機能と構成

#### 3.1 システムの機能

図 5 に本稿でモデルとした漁船「清漁丸」を示す．清漁丸は LED 水中灯を 6 台搭載していた．そのため本システムは最大水中灯 6 台の海中照度分布を表示する機能を実装する．そして海域の濁度と LED 水中灯の配光特性を踏まえて，各水中灯の水深及び点灯・消灯状態によって海中における照度分布の表示を実現する．



図 5 モデルとした漁船「清漁丸」

#### 3.2 システムの構成

図 6 に本稿のシステム構成図を示す．自律型水中灯から得る濁度情報と水深，点灯状態は船上に設置する Server の Raspberry Pi 内のデータベースに格納される [8]．本システムは Raspberry Pi 内のデータベースに格納された濁度情報，各水中灯の水深及び点灯状態の情報を非同期通信により取得する．非同期通信によりデータ通信中にもプロセッサ処理が可能のため，海中照度分布の表示を行うことができる．

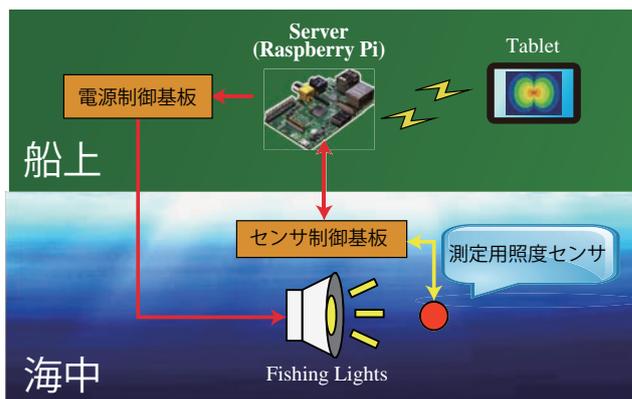


図 6 自律型 LED 水中集魚灯の非同期システムの構成

### 4. 開発

#### 4.1 解析方法

水中灯を点光源とした場合の海中照度分布解析の方法を図 7 及び図 8 に示す．図 7 に示しているように横 600pixels，縦 400pixels の範囲を設定し，左上を始点 (0, 0) として，右下を終点 (600, 400) とする．任意の点  $P(x, y)$  は始点 (0, 0) から (600, 0) まで X 軸の正方向に 2pixels 間隔で移動する．点  $P$  が (600, 0) に到達したら，X 座標を 0，Y 軸の正方向に 2pixels だけ移動させ，(0, 2) 地点から先述の方法と同様に，(600, 2) の地点まで点  $P$  を X 軸の正方向に 2pixels ずつ移動させる．これを点  $P$  が (600, 400) に到達するまで繰り返す．任意の点  $P$  が始点 (0, 0) から終点 (600, 400) まで移動することに併せて，任意の点  $P$  と水中灯の直線距離及び角度を順次算出していく．そのため図 8 に示したように，水中灯から  $2 \times 2$ pixels の左上の点までの直線距離及び角度を基に算出した光量子束密度が，その  $2 \times 2$ pixels の範囲の光量子束密度となる．

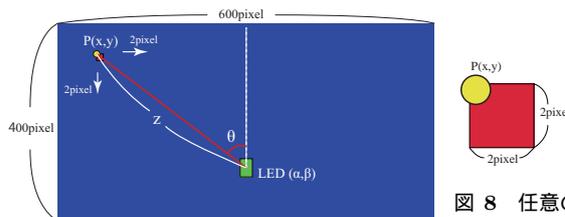


図 7 解析方法

図 8 任意の点 P

#### 4.2 三平方の定理を用いた立式

図9に水中灯から点Pまでの直線距離と角度の算出に用いた図式を示す。前述4.1小節の通りに移動する任意の点Pと水中灯までの直線距離及び角度を算出する方法として三平方の定理を用いた算出を行う。水中灯の座標を $(\alpha, \beta)$ とし、点Pの座標を $(x, y)$ とする。水中灯から点PまでのX軸の距離を $|x - \alpha|$ 、Y軸の距離を $|y - \beta|$ として算出する。そして水中灯から点Pまでの直線距離 $z$ を算出するため、三平方の定理を用いて式(4)と立式する。ここでの水中灯の座標も変数にすることで、水中灯の水深や投下位置も考慮することが可能となる。

$$z = \sqrt{(|x - \alpha|^2) + (|y - \beta|^2)} \quad (4)$$

さらに、水中灯と点Pの角度 $\theta$ を算出するために式(5)を立式する。

$$\theta = \arctan \frac{|x - \alpha|}{|y - \beta|} \times \frac{180}{\pi} \quad (5)$$

上記の式(4)と式(5)で算出された解をそれぞれの水中灯から点Pまでの直線距離 $z$ 及び角度 $\theta$ とし、任意の点Pを前述4.1小節の通りに移動させることで、解析を行う海域を想定した横600pixels、縦400pixelsの範囲を2pixels間隔で水中灯から任意の点Pまでの直線距離及び角度を算出する。

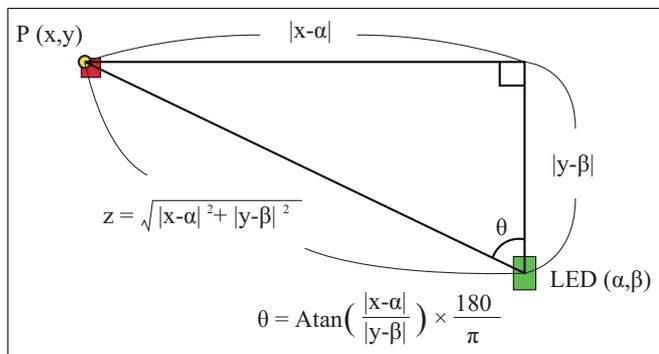


図9 三平方の定理を用いた直線距離及び角度算出

#### 4.3 光子束密度算出

前述4.2節で算出した任意の点Pの水中灯からの直線距離及び角度と消散係数から光子束密度の算出を行う。本研究では式(3)を用いた各波長ごとの消散係数を考慮した光子束密度の算出に先立ち、式(2)による、各波長ごとの消散係数は考慮せずに一定の消散係数を用いて光子束密度の算出を行うことにした。

#### 4.4 光子束密度に対応した表示色

前述4.3節で算出した光子束密度の値に応じて照度分

布の表示色は変更する。光子束密度に対応した表示色の対応表を表1に示す。光子束密度が $10^{-1}$ 以上、即ち水中灯付近で一番明るい範囲は赤で表示される。一方、光子束密度が $10^{-7}$ 以上 $10^{-6}$ 未満、つまり水中灯から遠くて暗い部分は青で表示される。また、光子束密度が $10^{-7}$ 未満の場合は海中照度分布の表示はされない。ここでの表示色が緑の場合はサバが群れを形成できる最小の光子束密度とされる[7]。よって表示色が青、もしくは表示色の該当が無い光子束密度は、魚類が集魚灯光によって群れを形成しないことを示す。

表1 表示色光子束密度の対応

表示色	光子束密度
赤	$10^{-1}$ 以上
橙	$10^{-2}$ 以上 $10^{-1}$ 未満
黄橙	$10^{-3}$ 以上 $10^{-2}$ 未満
黄	$10^{-4}$ 以上 $10^{-3}$ 未満
黄緑	$10^{-5}$ 以上 $10^{-4}$ 未満
緑	$10^{-6}$ 以上 $10^{-5}$ 未満
青	$10^{-7}$ 以上 $10^{-6}$ 未満

### 5. 評価

#### 5.1 アプリケーション詳細

図10に本アプリケーションの画面を示す。①が照度分布を表示する部分であり、②に表示されている各水中灯の点灯状態及び水深と、③に表示されている消散係数の値に応じて照度分布が表示される。また④のタブを切り替えることで船を正面から見た場合と真横から見た場合の海中照度分布を確認することができる。⑤の「詳細」及び「広域」ボタンを押下することにより、照度分布を表示する海域を5段階で変更することが可能である。⑥のボタンが「ネットワーク接続中」と表示されている場合はサーバ上にあるデータベースから各水中灯の点灯状態及び水深と消散係数を取得して自動で解析が行われる。この状態で⑥のボタンを押下すると「ネットワーク切断中」と表示され、ネット



図10 アプリケーション実行画面(ネットワーク接続中)

ワーク接続による各水中灯の点灯状態及び消散係数に応じた解析が中断され、図 11 の画面となる。図 10 と違う点は、照度分布を表示する為には手動で各水中灯の点灯状態及び水深を入力する点である。そのため「ネットワーク切断中」に限り⑦のボタンが表示され、⑦のボタンを押下することで各水中灯の点灯状態及び水深を入力することが可能となる。図 12 に各水中灯の点灯状態及び水深を入力する画面を示す。図 12 の画面にて各水中灯の点灯状態の入力と、水深を 0m から 800m までの範囲で入力可能であり、入力された状態や数値の応じて各水中灯の照度分布の解析・表示が行える。

表 2 アプリケーション詳細

番号	詳細
①	照度分布表示エリア
②	各水中灯の点灯状態及び水深表示
③	解析に用いる消散係数
④	照度分布表示方向の変更
⑤	表示海域の変更
⑥	ネットワーク接続/切断切り替え
⑦	各水中灯の点灯状態及び水深入力画面に遷移

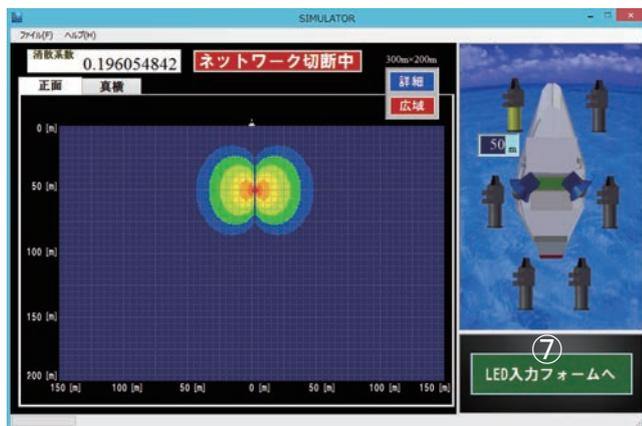


図 11 アプリケーション実行画面 (ネットワーク切断中)



図 12 各水中灯の点灯状態及び水深入力画面

## 5.2 消散係数の決定

前述 2.3 小節の通り、消散係数は波長ごとに異なる。そして本稿でモデルとした LED の出力波長は図 3 に示した通りである。よって水中灯のスペクトル特性から各波長の消散係数を算出し、式 (3) に従って光量子束密度を算出することが望ましい。他方、本研究でモデルとした水中灯のスペクトル特性は図 3 に示した通り、520nm をピークに 420nm から 550nm 帯の波長帯が主に出力されている。また図 4 に示した波長別の消散係数の図から、短波長帯及び長波長帯の消散係数の変動は大きい、450nm から 550nm の間の消散係数の変動は少ないことが見受けられる。以上から、本稿でモデルとした水中灯のスペクトル特性と波長別の消散係数を考慮した結果、一定の消散係数を用いても波長別の消散係数を算出する場合に近い結果が得られると考える。よって本研究では波長別の消散係数を考慮した光量子束密度算出に先立ち、一定の消散係数を用いて光量子束密度の算出を行うことにした。

## 5.3 水中灯上面側及び下面側の照度分布表示

図 13 に本シミュレータによる水中灯の海中照度分布表示の一例を示す。赤枠で示した部分は照度分布が表示されていないことがわかる。前述小節の通り、モデルとした水中灯の上面側および下面側にはステンレス板存在するため、理屈上は上面側および下面側は照度 0 となる。しかしながら実際の測定では、上面側および下面側でも照度は 0 ではない。これは水中での光の散乱の影響により、上面側および下面側にも照射域が形成されるためである。だが本稿は式 (2) を用いることによる、光の散乱を考慮しない、点光源から放射されて直接到達する光の強さのみの算出を行っている。このことから実際には上面部および下面部は照射域が形成されるが、本システムによる照度分布の表示においては水中灯の上面部および下面部は照射域が形成されないものとする。

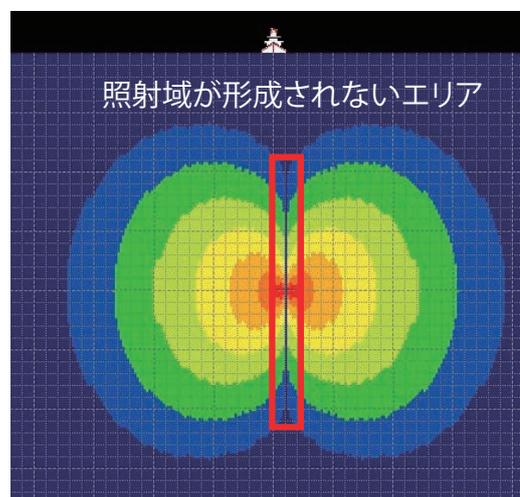


図 13 照射域が形成されないエリア

### 5.4 照度分布表示の鮮明さと処理時間

本稿における照度分布の解析・表示は前述 4.1 節の解析手順で光量子束密度の算出から表示を行う。そのため光量子束密度の算出結果の精度と表示の鮮明さは図 8 に示す四角形のサイズに依存する。表 3 に水中灯全 6 台点灯時解析を行った場合の図 8 の四角形のサイズと、その四角形のサイズで解析した場合の処理時間を表 3 に示す。処理時間は 10 回計測した平均処理時間を示している。本システムは解析開始から照度分布の表示までの処理時間の基準として、800msec 以内に完結させることを目標としている。表 3 から、四角形のサイズを小さくすることで光量子束密度はより高い精度で算出することが可能であるが、そのサイズに応じて計算量は莫大になり、その結果処理時間の遅延に繋がっていることがわかる。そして目標時間の 800msec の処理時間を上回っているのは四角形のサイズを 1×1pixel にした場合のみである。尚、測定に使用した PC はプロセッサ：Intel (R) CPU E5-1620 0 @ 3.60GHz，メモリ 16.0GB，CPU：4 コア 8 スレッドであった。

表 3 四角形のサイズと処理時間

四角形のサイズ	処理時間
1×1pixel	808msec
2×2pixels	229msec
4×4pixels	78msec
8×8pixels	39msec

さらに図 8 の四角形のサイズを 1×1pixel，2×2pixels，4×4pixels，8×8pixels に設定した場合、照度分布の表示の鮮明さにどの程度影響してくるかを示したものが図 14 である。8×8pixels の場合は照度分布の表示は起伏が激しく、4×4pixels の場合も起伏が目立ち、鮮明な照度分布表示が行われているとは言い難い。1×1pixel の場合と 2×2pixels の場合は、1×1pixel の方が起伏はやや少ないが、4×4pixels と 8×8pixels を比較した場合や、2×2pixels と 4×4pixels の場合と比較した場合に比べて視覚上の大差は無いと言える。

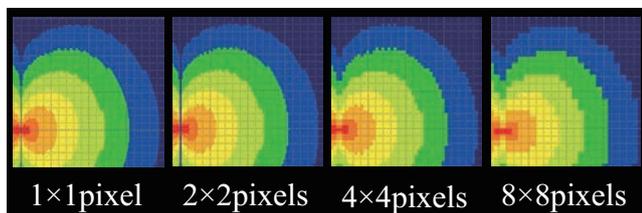


図 14 精度距離別シミュレーション結果の比較

表 3 及び図 14 の評価を表 4 に示す。1×1pixel の場合だと表示は鮮明だが、処理時間が大幅にかかり、目標とした 800msec 以内に処理を完結させることはできない。一方、8×8pixels は処理時間は最速と言えるが、照度分布の表示にはあまりにも形に起伏が激しいため向いていない。

4×4pixels の場合だと処理時間は 800msec 以内ではあるが、照度分布の表示にやや起伏が目立ち、鮮明とは言い難い。それと比較して 2×2pixels の場合は処理時間は 800msec 以内であり、かつ、照度分布は鮮明に表示される。以上より、本システムで使用する図 8 の四角形のサイズは 2×2pixels を採用した。

表 4 表 3 と図 14 の総括

精度距離	処理時間 800msec 以内	鮮明な表示
1×1pixel	×	
2×2pixels		
4×4pixels		
8×8pixels		×

### 5.5 水中灯の出力に対する照度値の変化

自律型 LED 水中灯は海中の濁度に応じて出力を変化させることで、海中の濁度が変化しても常に同一な照度分布になるように出力調整が自動で行われる。そのため本システムは水中灯の出力に対応する必要となってくる。そこで水道水又は海水を注入した水槽に水中灯を設置し、水平距離で 1m 離れた地点に照度計を設置して水中灯の出力に対する照度値の測定を行った。図 15 に水道水又は海水における水中灯の出力に対する照度値の変化を示す。水道水と海水では、同じ出力時にも照度値に開きがあることが分かる。これは海水は水道水に比べ懸濁物が多くあることによる濁度の違いにより、水道水よりも海水の方が照度値が低く推移したものと考えられる。一方、水道水と海水の両者に言えることは、水中灯の出力が 50% 以前までは線形に推移しているのに対して、水中灯の出力が 60% 以上になると、出力に対して照度値は線形に推移せず、効率が低下していることが分かる。これは本測定は水深 0.5m，幅 2m の水槽で行ったため実際の海中に比べて水中灯に対する広さが十二分に足りておらず、水中灯の本来の排熱効果が発揮されなかったため、高出力になるにつれて、出力に対する照度値の効率が低下したと考えられる。

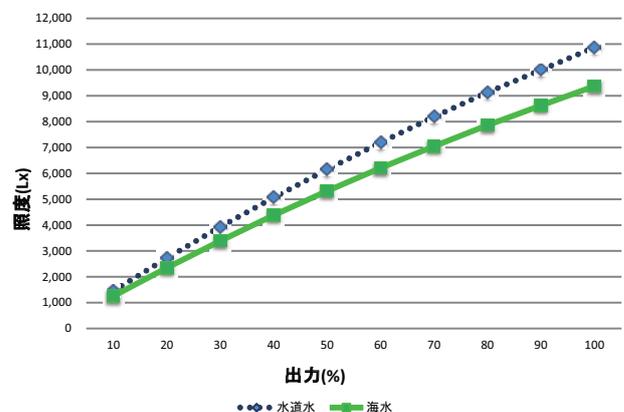


図 15 海水と水道水での照度値比較

次に水中灯の排熱効果の向上が、高出力時の照度値にどのような影響を及ぼすかについての測定を行った。小型ポンプを用いて水中灯の筒内部に水流を生じさせて対流を作り出すことで、高出力時にも水中灯の排熱効果の向上を目指した。図 16 に測定結果のグラフを示す。前述の測定の海水中で水中灯を点灯させた場合での出力に対する照度値の変化を緑の実線で示す。出力を 60%以上になると、出力に対する照度値の効率が低下する。そこで出力 0%から 50%の直線の近似曲線を一次関数で示して、水中灯の出力に対する理想的な照度値の推移とし、赤の点線で示す。そして排熱効果の向上を図った場合、その理想的な照度値の推移との比較をすることで、海中における水中灯の出力に対する照度値の変化を線形で変化させていかに判断する。

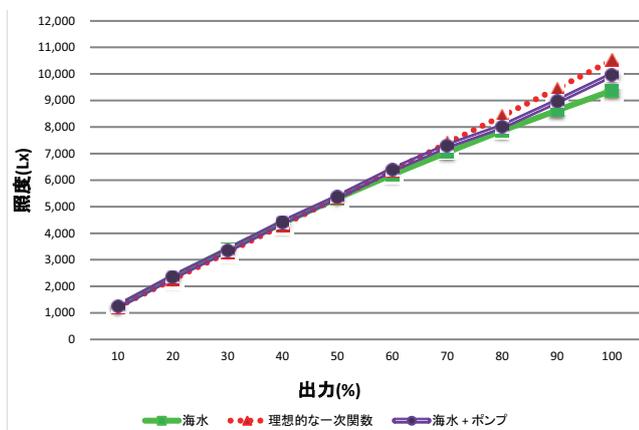


図 16 排熱効果向上による出力に対する照度値

ポンプを稼働させた測定では、ポンプの稼働による気泡による光の散乱が影響して、照度値が一定の値を示さなかった。そのため 10 回連続で照度値を記録し、その平均値をその出力の照度値とした。そのグラフを紫の実線で示す。図 16 の結果から、出力が 50%まではポンプの有無に関わらずほぼ同値で推移しているが、出力が 60%以上になると、ポンプを稼働させなかった場合に比べて、ポンプを可動させた場合の方が照度値は高い値を示した。これによりポンプを稼働させなかった場合よりも、ポンプを可動させた場合の方が、水中灯の出力に対する照度値の効率が向上していることがわかる。よってポンプの稼働、いわゆる対流による排熱効果の向上が、高出力時の照度値に影響を与えることが示された。

しかしながら、ポンプを稼働させた場合でも、60%以上の出力に対する理想的な照度値の推移とポンプを可動させた場合の照度値とは、ポンプを稼働させた場合の照度値の方が低い値で推移した。その原因としては、水中灯は水槽ではなく海洋で使用されることを目的としているため、本測定で使用した水槽では、水中灯の排熱効果が十二分に発揮されていないことが考えられる。海洋は大量の水を要しており、かつ、海洋は水深が下がるにつれて水温は低下

する。そのため今回の測定による水槽でのポンプの稼働による排熱よりも、海洋ではより高い排熱効果が期待される。よって海洋では水中灯の出力に対する理想的な照度値の一次関数に近い、出力と照度値の関係になることが予想される。以上より、本稿において水中灯の出力の変化に対する照度値変化は線形に変化させるものとする。

### 5.6 自律型水中灯の濁度情報と消散係数の関係性

本稿では自律型水中灯から得る濁度情報に基づいた海中照度分布の解析・表示を目指す。そのため自律型水中灯から得る濁度情報から、本システムで用いている消散係数を推定できなければならない。自律型水中灯から得る濁度情報による消散係数の推定に先立ち、同測定場所において測定日時が異なる場合、即ち海域の濁度だけ変化した場合に、自律型水中灯の濁度情報と測定データから導き出される消散係数が、両者共に海域が濁っている、或いは澄んでいる結果を示すことが可能か測定によって評価する。図 17 に測定日別の測定データの近似曲線から消散係数を算出したグラフを示す。消散係数は数値が低ければ低いほど海域が澄んでいると判断できる。図 17 の結果から、2013 年 12 月 16 日より 2014 年 1 月 7 日の方が消散係数が低く、海域が澄んでいることが示されている。

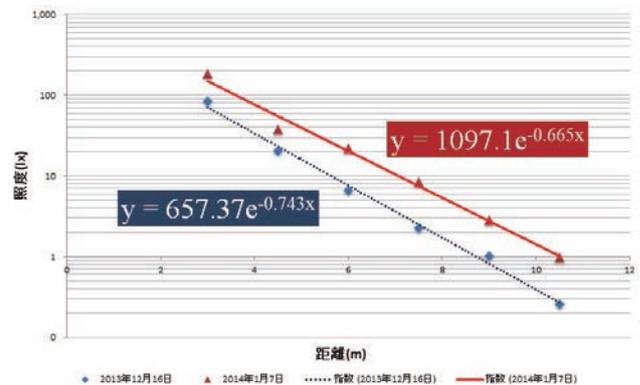


図 17 海中における水中灯からの直線距離と照度値

一方、自律型水中灯の濁度情報と測定データから導き出した消散係数と関係性については更なる測定によって評価を行う。また現段階では自律型水中灯の濁度情報から消散係数の推定は未実装である。その理由としては、自律型水中灯から得る濁度情報から傾きを算出するのは手動でグラフ化した後に濁度情報として有効な範囲だけ抜粋して近似曲線によって傾きを算出している。また、その濁度情報から消散係数を推定する方法が考案されていないため、現段階では濁度情報から消散係数を推定することはできない。自律型水中灯から得る濁度情報に基づいたシミュレーションを行うにあたっての今後の課題として、測定を重ねることで、より多くの測定データから自律型水中灯から得る濁度情報と消散係数の関係性を明確にする必要がある。

### 5.7 実測値とシミュレーション結果の比較

本稿のシステムの精度評価として、福岡県新宮浜河口付近で実測値とシミュレーション結果の比較を行った。図 18 に実測値とシミュレーション結果を比較したグラフを示す。実測値の単位は照度 (lx), シミュレーション結果は光量子束密度 ( $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ ) のため単純比較ができないので、水中灯からの直線距離による減少傾向を比較することにした。その結果、シミュレーション結果よりも実測値が高い数値で推移しているのが分かる。

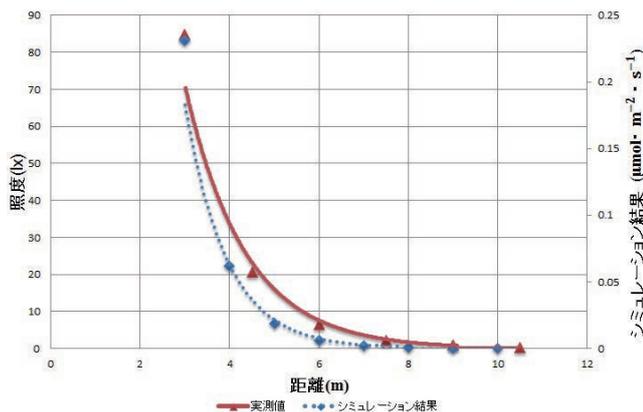


図 18 実測値とシミュレーション結果の比較

実測値がシミュレーション結果よりも高い数値で推移した原因は、測定環境によるものと推察する。図 19 と図 20 に両者の状況を図示する。これより、測定した環境が水中灯が海面に近いことによる、測定地点に直接到達する光に加えて海面で全反射して到達する光 [9] が存在したと考える。両者水中灯と点光源とみなす点では一致しているが、シミュレーション結果は任意の地点までの直進する光だけを算出する。他方、測定を行った環境は河口付近だったため、水深は最大で 2m 程度であった。そのため任意の地点までの直進する光だけでなく、海面で反射して任意の地点に到達する光があったものと考えられる。以上より、実測値に近いシミュレーションを行うには、海面における光の全反射も考慮する必要がある。

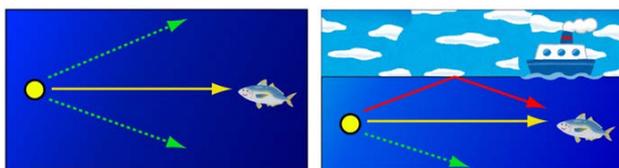


図 19 光源が海面から遠い場合 図 20 光源が海面から近い場合

## 6. 結論

本稿は集魚灯を光源とした海中照度分布シミュレータの開発を行った。実際の漁船をモデルとして各集魚灯の海中

における照度分布を、海域の濁度や LED の特長を考慮した解析・表示を実装した。動作評価では水中灯 6 台のシミュレーションを、配光特性や各水中灯の点灯状態及び水深を考慮した表示を可能とした。またサーバを介した自律型水中灯から得る情報に応じた自動解析・表示も実現した。一方、測定による実測値と本システムのシミュレーション結果の比較による精度評価では、本稿のシステムの精度は不十分だという結果となった。評価結果から、実際の漁業の現場での水中灯の使用場面を想定した開発を推進する必要があると言える。また、集魚灯漁は魚群探知機の情報が必要不可欠となるため、本稿のシステムと魚群探知機を照合する方法を考案することが本稿のシステムが現場で使用されることに繋がると考える。今後は海上での測定を検討して、本システムと実測値の比較を行うことで精度の向上を目指し、本システムが漁業効率の向上と後継者の育成の助けになることを期待する。

## 7. 謝辞

本研究の一部は、JST A-STEP の支援で実施した。

## 参考文献

- [1] 吉武伸泰, 田中康一郎, 安樂和彦, 藤井敏: 自律型 LED 水中集魚灯のための水濁測定機能の実装とその評価, 第 12 回情報科学技術フォーラム (FIT2013) 論文集, pp. D-44 (2013).
- [2] 吉武伸泰, 行成功志, 田中康一郎, 安樂和彦, 藤井敏: 水濁測定機能のための LED と照度センサの性能評価, 第 21 回電子情報通信学会九州支部学生会講演会論文集, p. B-26 (2013).
- [3] 吉武伸泰, 山本雄太, 公文彰彦, 田中康一郎, 安樂和彦, 藤井敏: 自律型 LED 水中集魚灯における輝度制御機能の実現, 第 20 回電子情報通信学会九州支部学生会講演会論文集, p. D-44 (2012).
- [4] 行成功志, 吉武伸泰, 田中康一郎, 安樂和彦, 藤井敏: 自律型 LED 集魚灯のための水圧測定機能の検討, 第 21 回電子情報通信学会九州支部学生会講演会論文集, p. B-36 (2013).
- [5] Yoshitake, N., Tanaka, K., Anraku, K. and Fujii, S.: An Implementation of Automatic Brightness Control Function in LED Underwater Fishing Lights, in *Proceedings of the 28th International Technical Conference on Circuits/Systems, Computers and Communications (ITC-CSCC 2013)*, pp. 695 – 698 (2013).
- [6] Yoshitake, N., Tanaka, K., Anraku, K. and Fujii, S.: A Design of a Controller with High Sensitive Light Sensors for LED Underwater Fishing Lights, in *Proceedings of the 27th International Technical Conference on Circuits/Systems, Computers and Communications (ITC-CSCC 2012)*, pp. G-M1-03 (4 pages) (2012).
- [7] 安樂和彦, 塩山泰平, 松岡達郎, 田中康一郎, 藤井敏: 水中での光透過性を考慮して求めた各種集魚灯光源周りで光の分布, 平成 25 年度日本水産学会春季大会論文集, p. 11 (2013).
- [8] Raspberry Pi Foundation: *Raspberry Pi Getting Started Guide*.
- [9] 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, 日本水産学会誌, Vol. 55, No. 10, pp. 1707-1714 (1989).