シンポジウム記録 水産における光利用技術と基礎研究の動向

I-1. 魚類による光の受容と集魚灯設計への応用

安樂和彦,¹ 遠藤将一,¹ 松岡達郎,¹ 水田 敬,²田中康一郎,³ 藤井 敏⁴¹鹿児島大学水産学部, ²鹿児島大学工学部,³九州産業大学情報科学部, ⁴交和電気産業I-1. Perception of light in fishes and its
application to fishing light designingKAZUHIKO ANRAKU,¹ MASAKAZU ENDO,¹TATSURO MATSUOKA,¹ KEI MIZUTA,²KOUICHIRO TANAKA,³ AND SATOSHI FUJII⁴

¹Faculty of Fisheries, Kagoshima University, Shimoarata, Kagoshima 890-0056, ²Faculty of Engineering, Kagoshima University, Korimoto, Kagoshima 890-0065, ³Faculty of Information Science, Kyushu Sangyo University, Higashi, Fukuoka 813-8503, ⁴KowaDenki Co. Ltd., Izumi, Kagoshima 899-0403, Japan

本報告では、水田（鹿児島大学工学部）が講演した「高輝度 LED 灯具の開発と技術的課題」および安樂（同大学水産学部）の「魚類による光の受容」の概略を述べる。

漁獲の効率性を高める道具として集魚灯が用いられ、漁業者は魚類の光に対する行動特性を巧みに利用した操業方法を確立してきている。漁業における温室効果ガス排出量の削減はもとより、近年の燃油価格の高騰を背景とし、企業等による高効率灯具開発が進められ、研究者による対光行動特性の解明とその成果の産業へのフィードバックが求められている。魚類視覚に関する基礎的研究においても同様に、それを如何にして集魚灯開発や魚群集行の解明等に応用するか、その方法論を確立する必要がある。

集魚灯により放射された光は、漁獲対象生物の生息する水を媒質として伝搬され、最終的に光感受器で受容され個体の行動を誘発する。効率的な灯具開発において、水中での透過性の高い光や魚類視覚の分光感度にマッチした光の選択が有効に働くことは明らかであり、漁業分野においても、魚類視覚の構造や機能に関わる研究、灯光に対する行動の水槽あるいはフィールドでの研究が行われてきている。

シンポジウムでは、水田により高輝度 LED 灯具開発のための技術開発の一例を紹介し、安樂が魚類の視覚についての基礎知見を概説するとともに、筆者らが現在取り組んでいる魚類視覚の分光感度特性の解明および、海中における光の波長と透過性の関係の簡易定量化法について述べた。

1. 高輝度 LED 灯具開発のための排熱技術の一例

LED 照明においては、投入されたエネルギーのうち光に変換されるエネルギーは 30% 程度であり、残りの 70% 程度は熱として放出される。それ故に、LED チップを集密に配列した高輝度 LED 灯具の開発においては排熱技術の確立が不可欠である。筆者らは、フラットヒートパイプ型ヒートスプレッダ (FGHP, 株式会社モレックス喜入社開発) を用いた LED 実装基板を開発し、その排熱効率の高さと LED の実装基板としての有効性を実証してきている。水産業における高輝度集魚灯の開発においても有効な技術と考えている。

2. 魚類視覚の分光感度

魚類網膜には光を受容する錐体視細胞と桿体視細胞の 2 種類が存在する。錐体は明環境下で機能的であり色覚に関与することが知られており、桿体は暗環境下で機能する。灯火利用漁業の漁獲過程において魚群の誘集を想定する場合には対象生物は暗環境下にいるため、集魚開始当初の行動には桿体が強く関係すると考えられる。

視覚の分光感度を明らかにする方法は種々存在し、電気生理学的に単一視細胞あるいは網膜全体の光刺激に対する電気的活動を記録・分析する方法、単一視細胞の分光吸収特性を計測する方法（顕微分光計測）、行動学的方法が代表的である。筆者らは光刺激に対する網膜活動を記録する網膜電図 (ERG) を用い、灯火利用漁業対象魚種の分光感度閾値を複数の波長光に対してそれぞれ求め、それら閾値の逆数を求め最大値が 1 となるように規格化し分光視感度としている。桿体視細胞の光を吸収する視物質はロドプシンであることは既知であり、通常、桿体の感度曲線は 500 nm にピークを持つ単峰型を示す。ヒトの視覚においては暗所および明所での視感度は標準化されており、それぞれの標準視感度曲線が公開され、灯具の分光放射照度（放射量）からヒトの視覚に作用する測光量を求めるために利用されている。魚類においても分光視感度は多くの魚種で明らかにされてきており、各魚種の視感度曲線を関数表示することでヒトの視覚と同様に測光量の推定を可能とし、異なる波長特性を持つ集魚灯ごとに刺激効率を比較する等の目的に利用可能である。筆者等は視感度曲線の推定に視細胞の分光吸収特性を表すテンプレート式を用いることを提案している。

3. 海水の光透過性の簡易定量法

水中を進む光の伝搬距離に対する減衰は下式に示す Beer-Lambert の法則に従うことが周知である。

$$I_z = I_0 e^{-cz}$$

ここでは、 z は伝搬距離で、 I_0 はもとの放射照度、 I_z は距離 z (m) 伝搬された位置での放射照度、 c は光の減衰

を決定する消散係数である。水中での光の減衰は水分子や水中に多数浮遊する懸濁物による光の吸収と散乱により説明され、消散係数はその両者を加味した値である。一般的にも青緑色の光が透過性が高いと知られているように、消散係数の値は波長に依存して大きく異なり、さらに季節や海域によっても透過特性は大きく異なり、漁船周囲での照度分布を推定しようとする場合等、消散係数を簡易的に求める方法が必要となる。筆者らは、小型分光放射照度計と小型 PC を接続して筐体に収容し、日中の鹿児島湾において水深 2–50 m の間で海中に入射した光の照度計測を行い、得られたデータを基に、波長別に深度（伝搬距離）と放射照度の関係を Beer-Lambert の法則に回帰させ消散係数 c を求めた。ただし、厳密な消散係数の計測とは異なるので我々はこれを減衰係数としている。結論として、冬季鹿児島湾で推定した減衰係数は波長 490 nm で最小値を示し、短波長および長波長

側に向けて増大する傾向を示した。490 nm における減衰係数は約 0.1 であり、透明度の高い沿岸域の消散係数として知られる値の範囲に推定できている。

4. 集魚灯周りでの照度分布の推定

上記の方法により波長別の減衰係数推定を可能とすることで、従来型の白熱灯やハロゲン灯、さらには多様な波長構成を実現可能な LED を光源とする集魚灯周囲での放射照度分布の比較も可能となる。筆者らは上述の鹿児島湾で計測・推定した波長 380–600 nm の間で求めた減衰係数を用い、白熱灯、ハロゲン灯、LED を光源とする水中集魚灯周囲での照度分布をシミュレーションしている。このような評価手法は、従来型集魚灯を LED 等の新規灯具に換装する際に、現状の灯具の効果を維持するにはどの程度の出力の新規灯具を必要とするかを推定する、また、灯火利用漁船周囲での照度分布を推定するために有益であると考ええる。