

音と光で魚を探る -探査技術最前線-

メタデータ	言語: Japanese
	出版者:
	公開日: 2024-07-19
	キーワード (Ja):
	キーワード (En):
	作成者: 澤田, 浩一
	メールアドレス:
	所属:
URL	https://fra.repo.nii.ac.jp/records/2010344

This work is licensed under a Creative Commons Attribution 4.0 International License.



音と光で魚を探る

－探査技術最前線－

澤田 浩一（水産工学研究所 水産情報工学部）

1. はじめに

水産資源の状態は、調査船を運航し直接対象魚種やその卵と稚魚を獲って調べるだけでなく、工学的な手法を用いても調べることができます。この工学的な手法を用いて、より正確に定量的な資源の把握ができるように、私たちは資源計測装置や情報処理技術に関する研究を行っています。工学的な手法というとちょっとイメージがしにくいかもしれませんが、例えば水中で超音波を發し、返ってきたエコーの強さから対象生物の量を推定する装置、あるいはイルカなどが持つ高性能な音響探査能力、いわゆるイルカのソナーを利用した次世代型魚群探知技術、また魚群行動のシミュレーションにより魚群構造を明らかにする技術などの開発に取り組んでいます。

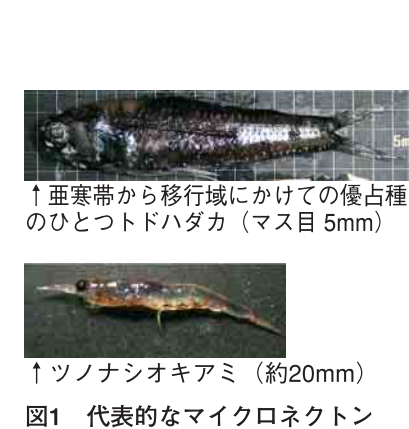


図1 代表的なマイクロネクトン

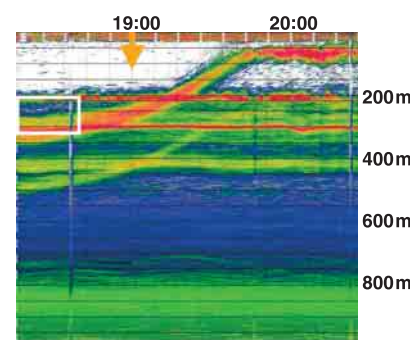


図2 ハダカイワシ科魚類などの日周鉛直移動矢印は日没時間。図中の白枠はJ-QUESTによる観察範囲を示す。

今回は、その中で音と光を利用した最前線の資源探査システム、J-QUESTについて紹介します。

2. 音と光で魚を探るとは

ハダカイワシ類、小型イカ類、オキアミ類などのマイクロネクトンは、世界中で莫大な資源量があり、アジやサバなど水産資源として重要な魚種の餌となっています（図1）。また、その多くは日周鉛直移動を行い（図2）、表層から深層への物質循環の役割を果たしていると考えられています。しかし、これらの役割を定量的に評価するためには、正確な資源量推定が必要となります。これまでのネット採集による分布密度の推定では、ネットの種類と採集対象生物によって、獲られやすさが異なるために、推定量に最

大で10倍もの差が生じていました。一方、計量魚群探知機（以下、計量魚探機）を使う音響手法は、対象生物に影響を与えることが少ないリモートセンシングであり、点の推定となるネット採集に比べ、はるかに多くのサンプリングが連続してできるので定量性が高いと考えられています（表1）。しかし、音響手法だけでは、種の識別や体長分布の推定ができません。そこで、光を使った技術、すなわちステレオカメラを併用して対象生物を撮影することにより、種の識別や体長推定が可能になります。これを実現する音響・光学複合生物観測システムがJ-QUESTです（図3）。

3. 音響による資源調査

音響調査では、パルスエコー法（やまびこの原理と同じ）を利用した計量魚探機を用います。計量魚探機は、数ミリ秒以下の短い時間、超音波を送信し、魚などのターゲットに反射して返ってくるエコーを受信します。送信から受信までかかった時間と音速（おおよそ1500m/s）からターゲットまでの距離が、受信したエコーの強さから体積当たりの反射強度（Sv）や一尾当たりの反射強度（Ts：ターゲットストレングス）の測定



図3 音響・光学複合生物観測システム（J-QUEST）

ができます。したがって、分布密度（n）は

$$n = \frac{S_v}{T_s}$$

で求めることができます。

4. 音響・光学複合生物観測システム、J-QUESTの開発

J-QUESTは、農林水産技術会議の特別研究「漁業資源調査のためのマリノセンシング技術の開発（平成8-11年度）」で開発した海中ロボット搭載を目的とした小型計量魚探機および高感度ステレオTVカメラからなる音響光学複合システムをベースとしています。

この時点では、有線式でない海中ロボットへの搭載を考えて、バッテリー駆動、データは内部収録としました。

次に、ニュージーランド、米国との国際共同研究「ダイナミックな日周鉛直移動を行う魚類のターゲットストレングスと生物学的情報の測定手法（平成13-15年度）」により、調査船から吊り下げ、深度250mまでにいる魚群に近づけることによって、Ts、魚種、体のサイズ、遊泳姿勢などを計測できるシステムとなり、J-QUESTと命名しました（図3）。

しかし、J-QUESTを用いた調査では、ハダカイワシ類の映像を得ることができませんでした。これは、J-QUESTに搭載した照明を点灯すると、夜間上昇していたハダカイワシ類の魚群が下がることから、照明光を忌避していることが原因と思われました。そこで、平成17年度に、ハダカイワシ類の視覚特性を調べるために、夜間表層に浮いてきたハダカイワシ類を生かした状態で採集し、その眼球を採取しました。採取時には、

できるだけデッキ上を暗くして、極力光に当たらないようにしました。採取した眼球から光に反応する視物質（網膜にある光の刺激を電気信号にかえる細胞に存在する色や明るさを感じる物質のこと。例えば青の視物質を持っていれば青い色を感じることができる。）の抽出を行い、光の波長別の感度特性（分光感度特性）を調べました（図4）。

これにより、暗順応（暗い環境に慣れた状態）しているハダカイワシ類の感度の高い波長は489nmと青色寄りにあることがわかりました。

視物質だけでなく、網膜の電位からも視覚特性を調べました。一般に、網膜に光が照射されると、網膜に電位が生じ、この活動電位を記録したものをエレクトロレチノグラムと呼んでいます。ハダカイワシ類を生かした状態で目の網膜に電極をつけ、いろいろな波長の光を照射して、網膜に生じる電位から波長別の反応を調べました（図5-a）。これにより、赤色より青色の光に強く反応していることがわかりました。また、同じ青色の光を照射しても、照射時間が短くなるにしたがって、ほとんど反応しなくなることがわかりました（図5-b）。さらに、光学顕微鏡に

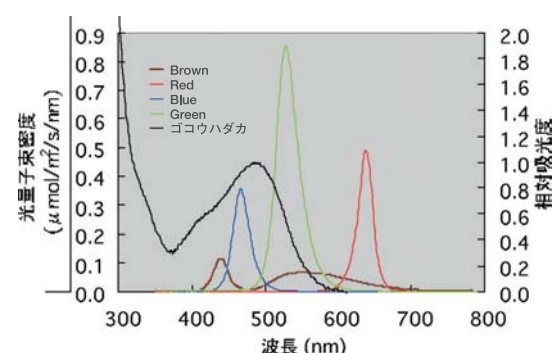


図4 ハダカイワシ類（ゴコウハダカ）の分光感度特性とLEDの発光波長

よる網膜断面の観察から、通常の魚類と異なり、明るいところで働く錐体（色を感じる細胞）がないこと、光を感じる細胞に入る光の量を調節する、すなわちサングラスの役割を果たす黒色顆粒がほとんどないことが明らかになりました。これらについては、今後、電子顕微鏡などを用い、より精密に確かめていく予定です。

これらの結果を踏まえて、平成18年から3年間の予定で、J-QUESTでハダカイワシ類の映像を映すことができるように、ハダカイワシ類に見えない、あるいは行動に影響を与えない照明方法の開発に取り組んでいます。図4に白色の光、青色の光、緑色の光、赤色の光を発光する発光ダイオード（LED）の分光特性を色別に示しました。黒い線はハダカイワシ類を感じる光を示しています。黒い線を見ますと600nm以上の光に対してはほとんど光として感じないことがわか

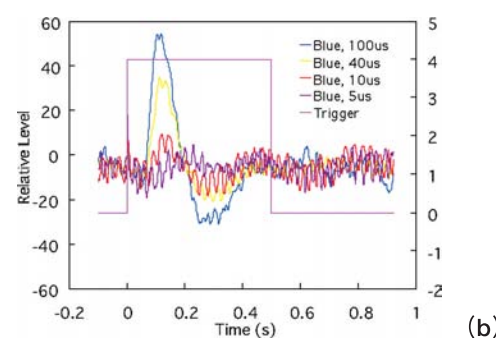
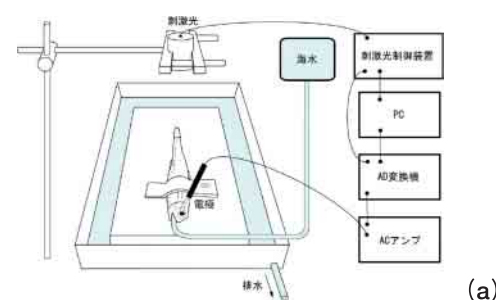


図5 網膜電位測定のための装置の模式図(a)と点灯時間が5、10、40、100 μ 秒と異なる青色光の刺激により発生した電気信号(b)

ります。すなわち、赤色の光を照明として使えば、ハダカイワシ類には見えないと推定できますので、行動に影響を与えないでハダカイワシ類を観察できると考えられます。また、ハダカイワシ類が光として感じる青色の光であっても、照射時間を短くすることによって網膜の電位反応がなくなりますので（図5-b）、照射時間を適切に設定することによっても、同様のことができると考えています。

現在のところハダカイワシ類の映像を収録するまでには至っていませんが、それ以外ではサンマ、カタクチイワシ、サバ類、タコイカ、などたくさんの生物のステレオ画像、エコーデータを収録することができました（図6）。

5. おわりに

ハダカイワシ類の中で、典型的な日周鉛直移動を行うトドハダカは、昼間300-500mの深度にいますが、夜間数十mの表層まで上昇します。

J-QUESTでは、深度250mまでにいる生物の観測が可能でしたが、さらに改良を加えたJ-QUEST χ （図7）では、深度500mまでがその観察範囲となり、昼間におけるトドハダカの観察



図6 カタクチイワシを襲うタコイカの映像 2004 July 30、02:21:43（SMT）、J-QUEST 深度25m。

も可能となります。

このため、新規に耐圧型のスプリットビーム式送受波器の開発を行いました。本送受波器は、均圧型とよばれる構造を持ち、送受波器単体であれば、深度1000mの深海でも使用できます。また、静水圧によって送信レベルが変化しないように工夫してあります。照明は、赤色と青色の各2灯のLED照明から構成され（図8）、点灯時間と消灯している時間、すなわち照明のインターバル周期をかえることによって、ハダカイワシ類に見えない照明条件が設定できるようになっています。

今後、J-QUEST χ を利用することにより、ハダカイワシ類に限らず、図6に示したような捕食行動など、これまで得られなかった生物の生態について知見が得られるものと考えています。



図7 海上実験中のJ-QUEST χ 下側に突出しているのが500m耐圧型送受波器。

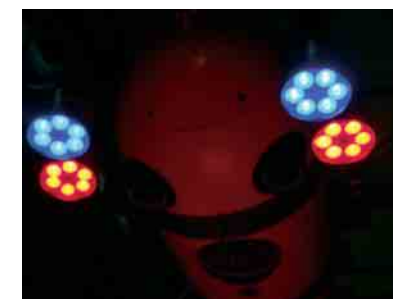


図8 赤、青のLED照明を点灯したJ-QUEST χ 送受波器は未装着。