

魚類蝟集モニタリングシステムによる 魚礁効果の評価の高度化

独立行政法人水産総合研究センター水産工学研究所

¹水産情報工学部行動生態情報工学研究室 赤松友成

漁業生産工学部機械化研究室 高橋秀行

漁業生産工学部安全性研究室 松田秋彦

水産情報工学部資源情報工学研究室 高尾芳三

澤田浩一

水産土木工学部漁場施設研究室 高木儀昌

森口朗彦

調査実施年度：平成 13 ～ 15 年度

緒言

大深度における高層魚礁が、現在急速に広まっている。その設置水深は 60m から 100m に達し、潜水調査は容易ではない。しかし、多額の設置費用を要する大規模魚礁の事業評価には、これまで以上に定量的な魚礁効果判定が求められている。人工魚礁の設置には莫大なコストがかかるため、効果を正確に把握する必要がある。人工魚礁効果の調査手法としては、最も一般的な手法はダイバーによる潜水目視であり、並行して行われることが多いのが釣獲調査である。大規模な調査では調査船の計量魚群探知機を用いる場合もある。しかし、これらの手法にはいくつかの問題点がある。光学（目視）調査では魚の数や大きさなど定量的な情報が得にくく、漁獲調査では漁具の選択性の問題が付きまとう。音響調査は、複数魚種が混在する場合に魚種が区別できないなどの問題点がある。そして全てに共通の問題として、1 回あたりの調査期間の短さがある。調査範囲の大深度化にともない、ダイバーのリスクも増大する。

人工魚礁の効果調査において定量性を確保するため、魚類蝟集モニタリングシステム FISCHOM (Fish SCHOOL Monitoring system) を開発し、これを現場での長期観測に投入した。FISCHOM は、ステレオ方式のデジタルカメラ、魚群探知機、および周辺機器類を耐圧容器に格納した小型の無人観測装置である。カメラと魚探で同時に魚群を記録することで、FISCHOM 前方における蝟集魚群の分布位置、密度、魚種構成、サイズ組成などの時系列変化を、漁獲に頼らずに知ることが可能となる。FISCHOM はこれまでに計 7 回の実海域試験を行い、最長 8 日間の連続定点観測に成功し、魚礁の蝟集魚種構成、体長分布、蝟集効果範囲、日周変動などの定量的なデータを収集した。

調査方法

ステレオ撮影装置と小型魚群探知機の組み合わせにより、魚礁周辺の魚類の蝟集状況を確認できる新しいツールである「魚類蝟集モニタリングシステム FISCHOM」の開発には、4つの段階を必要とした。すなわち、1. 開発コンセプトの決定、2. 仕様の決定と製作、3. 校正、4. 現場での運用試験である。

1 開発コンセプト

FISCHOM は、漁獲せずに漁業資源の定点計測を行うことができる装置を目指した。現状の調査手法の問題点を改善すべく、我々は、定量的な情報の獲得、長期間定点観測、ローコスト、という3つの目標を掲げ、新手法の開発に着手した。

まず、魚種構成など個体の情報に優れる光学手法と、魚群密度など群の定量的情報に優れる音響手法との併用を考え、さらに光学手法において定量性を得るためステレオカメラを導入することとした。近年利用可能になった高解像度のデジタルスチルカメラを利用し、映像信号は2つの観察窓を通して、鏡で反射され、デジタル映像の1つのフレームに収まる仕組みを採用した。これにより、左右の映像の時間的同期をとる必要がなくなり、正確な距離や対象魚の大きさの推定に寄与できることとなった。

音響機器に関しては、市販の安価な魚群探知機を利用することとしたが、計測目的であるため、エコー出力の包絡線を電気的に取り出せるように、製造メーカーに改造を依頼することとした。

次に、光学・音響機器を1つの耐圧容器に格納し、バッテリー駆動とタイマー制御による長期定点観測を目指すこととした。センサ類の他に、フラッシュライト、タイマー、バッテリーを内蔵する。円筒形の筐体はステンレス製で耐圧深度 80m である。ただし、筐体の前面はカメラ用の窓として透明アクリルガラスを使用した（図 1）。ローコスト化のため、構成部品の大部分を市販品で揃え自作することにした。

2 仕様

光学センサにはデジタルカメラ（Nikon D-1x）を採用し、鏡で視野を左右に分割してステレオ化した。光源確保のためフラッシュライト 2基（Nikon SB-28DX）を装備した。音響センサには市販の小型魚探（本多電子 HE-5620）の改造品（反射音波形のエンベロープを導出可能にした）を、また、魚探信号の記録には DAT レコーダ（SONY TCD-D8）を使用した。センサ類を制御するタイマーは、プログラムリレー（Omron ZEN）を使用した。電源には定格容量 7.2Ah のバッテリー（日本電池 PORTALAC PE12V7.2）2基を用いた。筐体は、耐圧深度 80m の円筒形ステンレス容器（内寸φ 500 × 奥行 250mm）を製作した。一部に透明アクリルガラスを使用して視界を確保した。

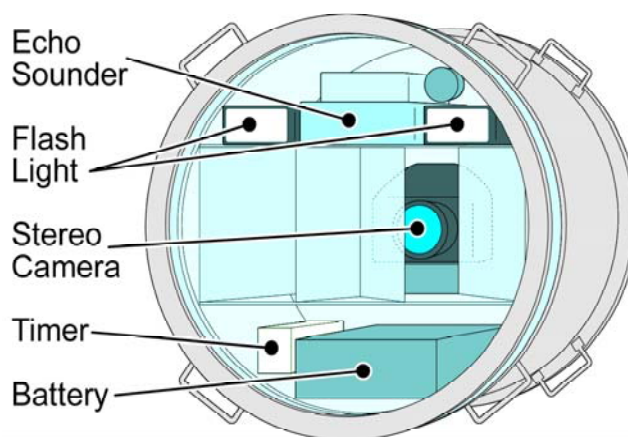


図 1 FISCHOM の内部構成

3 校正

FISCHOM を水産工学研究所の測器電子実験棟にある球面波水槽に設置し、映像および音響の標準ターゲットを移動台車より吊して、校正実験を行った。ステレオ撮影装置については、三次元画像の校正において一般的に使われる DLT(Direct Linear Transformation)法を用い、撮影範囲内における物体の三次元位置を検出できるようにした(図 2)。一方、魚群探知機の校正はタングステンカーバイト製の標準的な反射特性を持つターゲットを用いた。図 3 は、検出された反射強度を丸の大きさと表したグラフで、超音波ビームの幅に対応した指向特性が得られた。

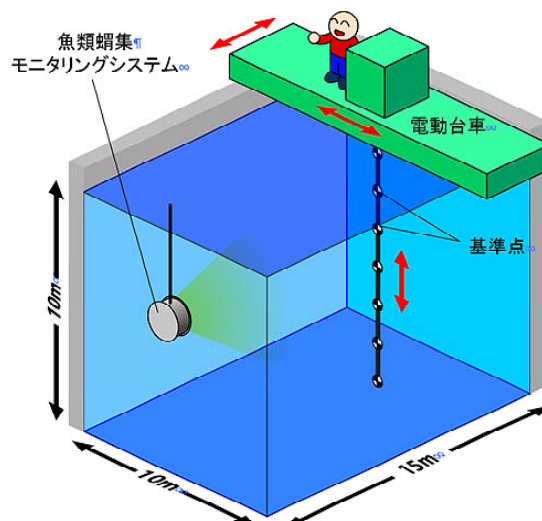


図 2 校正用セットアップ

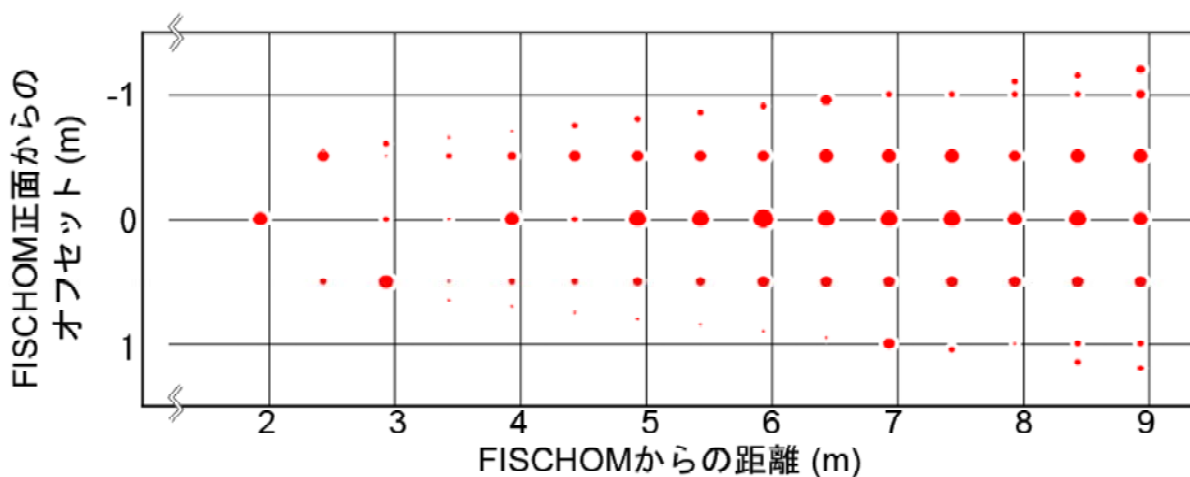


図 3 魚群探知機による検出強度の指向性

4 動作確認試験

FISCHOM を山形県温海町沖の高層魚礁(SR-35)に設置し、娚集魚群の観測を試みた。約半日間の観測を行った後に回収し、記録された情報を確認した。FISCHOM 潜行中、ステレオカメラ、魚群探知機ともに良好に動作し、海中において問題なく使用できることを確認した。これにより実用の目処が立ったため、実際の高層魚礁調査に投入した。

結果と考察

1 調査の概要

2003年5月24日に、FISCHOMを山形県温海町沖の高層魚礁(SR-35)に設置し、蛸集魚群の計測を行った。FISCHOMは、水中で沈下方向に1kgとなるよう浮力調節を行い、作業船上からロープで吊り下げた。ダイバー2名がこれを保持し、10年礁と呼ばれる本礁に最も近い魚礁の北北東側(岸側)のタワーの頂上部に取り付けた(図4, 5)。FISCHOMの動作間隔は30分とし、5日間の海中観測を行った。また、同様の手順で、(財)漁港漁場漁村技術研究所と共同で、2003年9月18



図4 FISCHOMの設置状況

日、9月26日、10月7日にも、同海域の魚礁にFISCHOMを取り付けた。取り付け位置は、常にタワー上部とした。このときのFISCHOMの動作間隔は1時間に設定した。

FISCHOMの回収は、設置と逆の手順で、設置より1~2週間後に行った。動作時間は、内蔵の充電電池容量で制限され、最短5日間、最長8日間であった。全ての調査においてFISCHOMは良好に動作し、その実用性が実証された。

2 光学調査

デジタルカメラにおいては、撮影可能な距離範囲(最大10m程度)における魚種別蛸集量を求めるとともに、ステレオ計測によって魚体の大きさや距離の推定を試みた。ここでは9~10月の調査を例に挙げる。各調査毎の累計観察個体数を表1に示す。最も支配的な魚種はマアジで、次いでウ

表1 魚種別の観察個体数

調査期間	Sep. 18- 24	Sep. 26 -Oct. 03	Oct. 07- 13
マアジ	1,695	380	347
ウマヅラハギ	108	35	181
ブリ	11	2	4
メジナ	5	1	5
マダイ	2	0	0
インダイ	5	0	0
不明	21	17	17
計	1,845	435	552

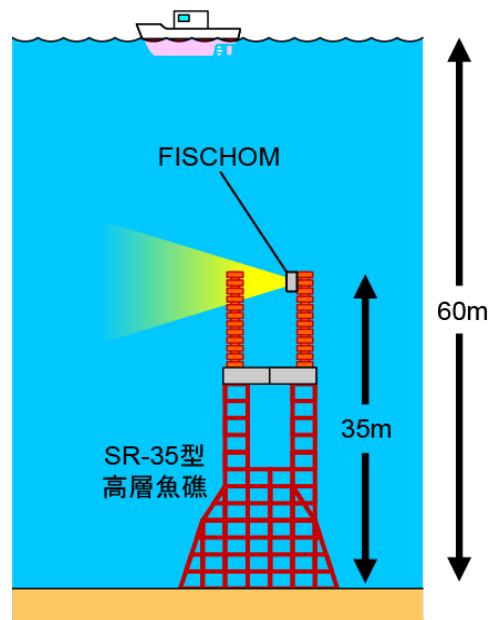


図5 FISCHOMの設置位置

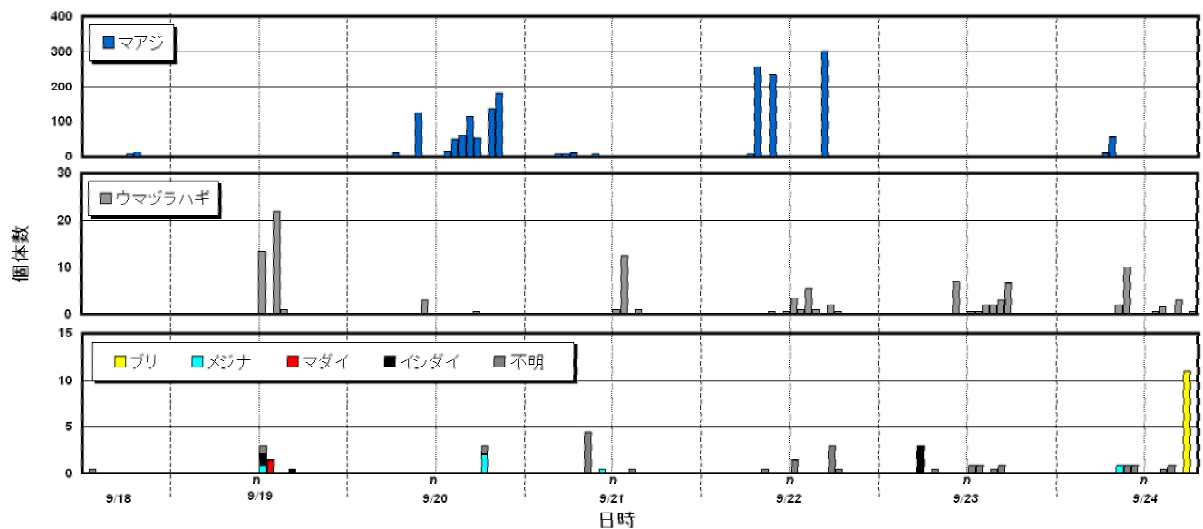


図6 魚種別観察個体数の時系列変化（9月18～24日）

マヅラハギが多く見られた。他にメジナ、ブリ、マダイ、イシダイ等が散見された。魚種別の個体数は、1時間毎の時系列変化として記述できる（図6）。図6で日周期性に注目すると、マアジは主に早朝と夕方に、ウマヅラハギは昼間に出現する傾向のあることがわかった。

調査期間中、最も多く見られたマアジについて、画像の一部からステレオ計測を試みた。尾叉長に相当するサイズとして、吻端と尾叉の間の2点間距離を計測したところ、概ね5～10cm程度と推定された（図7、表2）。

3 音響調査

魚群探知機能は、カメラの撮影範囲より遠方における魚群量の把握に用いた。魚群探知機のエコーの包絡線を電氣的にデジタルオーディオテープレコーダーに記録した。

図8は、調査期間中のエコーの平均値を表す。船底装

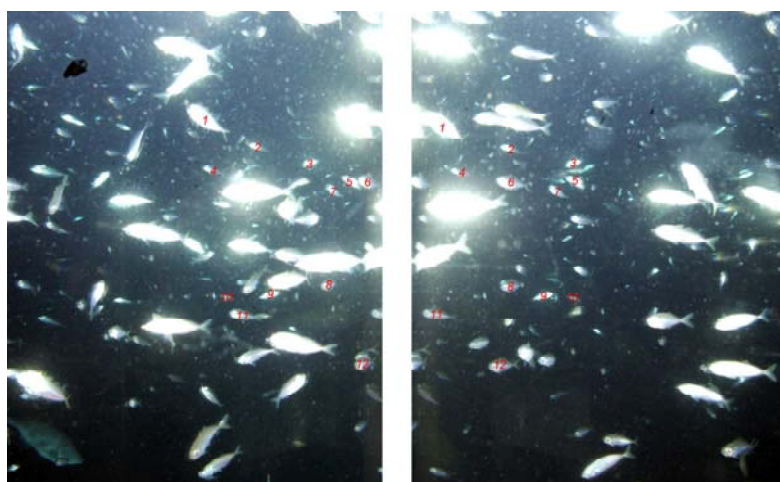


図7 ステレオ画像の例（9月22日7時10分撮影）

表2 ステレオ計測結果

魚体番号	尾叉長 (cm)	距離 (cm)
1	9.4	165.7
2	5.4	190.8
3	4.8	211.5
4	4.5	183.3
5	3.7	150.2
6	5.2	89.4
7	3.7	152.2
8	4.7	114.6
9	8.9	234.3
10	10.8	247.0
11	5.4	123.2
12	4.5	87.2

備の魚群探知機によって鉛直方向の情報を得る一般的な音響調査においては、1匹あたりの音響反射率であるターゲットストレングスで割ることで資源量を求めることができる。しかし、FISCHOMでは水平方向の情報を得るため、この方法は適用できない。そこで、ここでは「資源量インデックス(0～1の範囲で表す)」として扱うこととした。

得られたエコーには、発音時の大きな信号が距離換算で0.0～1.0mまで混入した。また、高層魚礁頂部の3本のタワーのうち、FISCHOMを設置したもの以外の2本からの直接反射が7.4m-10.3mに認められ、多重反射と思われるエコーが29.4m-32.7mに認められた。これら3つの強いエコーは図8に現れている。図8から人工的なエコーを取り除いたものが、魚類等からの反射を示している(図9)。

図9の資源量インデックスは、FISCHOMからの距離4m付近で最大値を示し、その後20mに至るまで急速に減少した。すなわち、FISCHOMから約20m以内における魚群密度が高く、遠方にはあまり魚群が存在していなかったことがわかった。魚礁の強い蝟集効果を示すと同時に、その効果範囲を定量的に示すことができた。

カメラでの撮影範囲である10m以内の資源量インデックスを積算すると、撮影可能範囲の目安である10m以内に約7割の資源が集まっていることがわかった(図10)。すなわち、蝟集魚の大部分は、カメラで撮影した画像からも確認可能であることが示唆された。映像情報による魚体長などの計測データが、蝟集魚群の特徴をある程度代表するものと考えられた。デジタルカメラの観察結果と同様に、資源の日周変動も認められた(図11)。資源の増減幅は極めて大きく、これが周期的に繰り返されている様子が認められた。

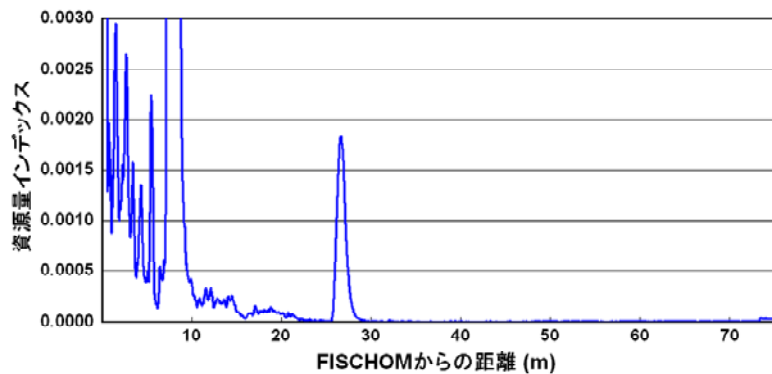


図8 水平方向のエコー (9月18-24日の平均)

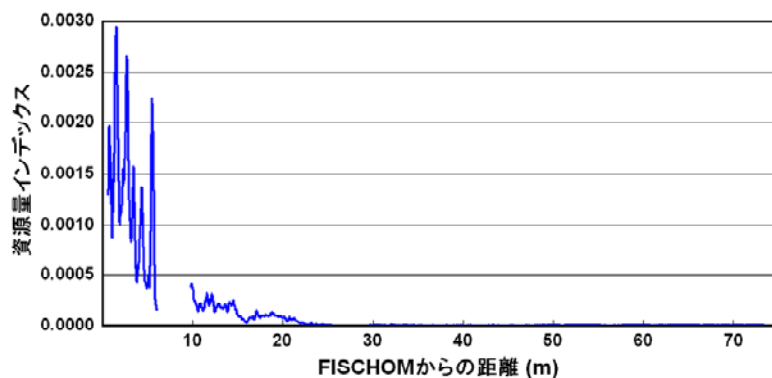


図9 魚類等からのエコー

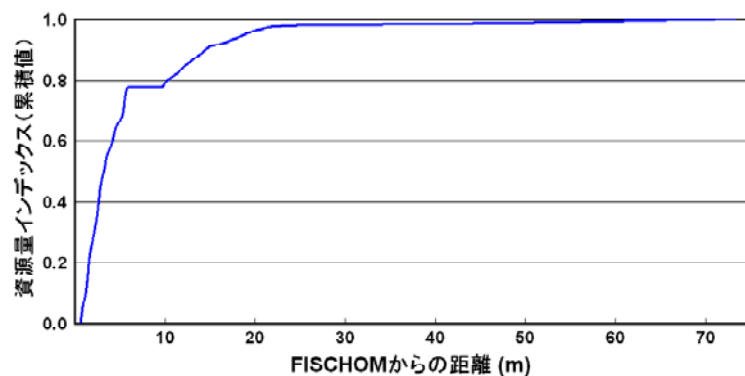


図10 距離方向に積算した資源量インデックス

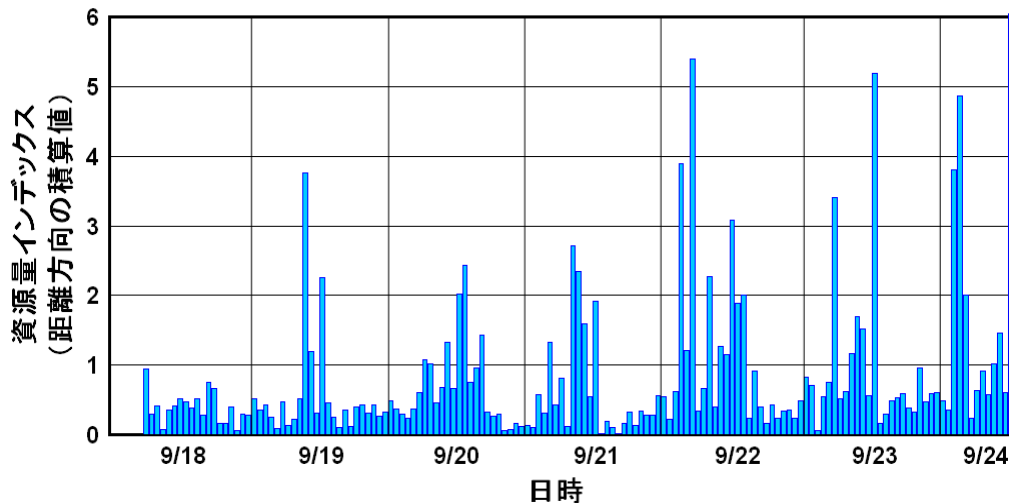


図 11 積算した資源量インデックスの時系列変化

考察

本事業の結果、人工魚礁において、数日間にわたり昼夜を問わず定点観測を行うことができる新たなツールを提案し、その有効性を実証できた。

FISCHOM 単体での観測範囲は、人工魚礁の極一部に限定される。カメラの片眼視野の撮影範囲（画角：縦 43 度，横 35 度，距離:10m）の体積は約 46m^3 ，魚群探知機の超音波ビームが照射される範囲（頂角：22 度，距離：75m）の体積は約 $16,000\text{m}^3$ である。このような局所的な範囲での資源量変動は、蛸集魚群量を知る上で重要な考察要因となる。今回の結果に見られた資源量の変動要因としては、温度躍層や潮汐等の影響の可能性も考えられるが、その説明は今後の課題として残されている。

一方で、人工魚礁全体の蛸集状況を把握するためには、FISCHOM を複数台用意し、高層魚礁のいくつかの観測点に設置して、蛸集資源量の同時観測を行う方法が考えられる。これにより、季節、時間帯、潮汐、深度などの様々な条件による蛸集資源量の変動を、魚種別・魚体長別に実測することが可能となり、人工魚礁の蛸集効果に関する多くの情報が得られる。最終的に、魚礁設置による蛸集効果の経済的な価値を明確にすることができるだろう。本年度でこの課題は終了するが、次年度以降も、この技術を多点同時観測に応用し、蛸集資源のモニタリングを行うことが期待される。

試作型の FISCHOM には、耐圧筐体内の機器配置や配線、操作方法等の面で改善の余地が残されている。今後は、機器配置の最適化、記憶媒体やバッテリーの大容量化など一部改修を行い、定点観測可能期間の長期化を図るとともに、操作性を改善しマニュアルを作成するなどして、魚礁調査の担当者が容易に利用できるシステムを実現したい。

FISCHOM の漁業資源観測への応用は、我が国最大手の魚群探知機メーカーである古野電気（株）も関心を寄せており、事業化などの展開も考慮する必要がある。また、最終年度に当たる今年度は、特許出願をはじめ、多くの成果発表も行った。

摘要

1. 人工魚礁の設置位置の大深度化にともない増大しつつあるダイバー調査のリスクを軽減し、かつ、ダイバー調査を上回る定量性と観測時間、コストパフォーマンスを実現する新しい定点観測システム「魚類蝟集モニタリングシステム (FISCHOM)」を開発し、実用化に向けた試験調査を行った。
2. FISCHOM は、 $\phi 50 \times 25\text{cm}$ の耐圧容器に、ステレオ方式デジタルカメラとフラッシュライト、魚群探知機、そしてこれらを間歇駆動するためのタイマーとバッテリーを内蔵する装置である。デジタルカメラのステレオ方式は、鏡を利用して 1 台のカメラの撮影範囲を 2 分割することで実現し、装置の簡素化とコストダウンに寄与した。
3. 試作した FISCHOM を半日程度潜水させ人工魚礁頂部に固定して動作確認を行ったところ、良好な動作を確認、実用の目処が立った。
4. 平成 15 年度の山形県・温海沖 SR-35 型高層魚礁における効果調査において、本格的な運用を行った。調査回数は計 4 回、延べ約 29 日（連続定点観測期間は最大 8 日間）の調査を行い、いずれにおいても良好な動作を確認した。データ収録間隔は、1 回 / 1 時間とした。
5. FISCHOM のカメラで撮影した映像から、魚種別の個体数の時系列変化および、ステレオ計測による魚体の大きさに関する情報を得た。9 ~ 10 月の調査期間における魚種構成はマアジが圧倒的に多く、次いでウマヅラハギが多く見られた。両種の出現頻度には明確な日周期性が見られ、マアジは朝と夕方、ウマヅラハギは昼間に頻出する傾向があった。ステレオ計測によると、マアジの大きさ（尾叉長）は概ね 5 ~ 10cm 程度と推定された。他にブリ、メジナ、マダイ、イシダイなどが散見された。
6. FISCHOM の魚群探知機で記録したエコーからは、カメラで撮影可能な範囲より遠方に至るまでの魚群分布の情報を得た。結果、FISCHOM 設置位置から水平方向で約 75m までの範囲では、調査時期を問わず、ほとんどの魚群が 20m 以内に集中していた。また、カメラの撮影可能範囲の目安である 10m 以内に限定しても 7 割以上の魚群が含まれることがわかった。距離方向で積分したエコーの時系列変化を見ると、カメラで得た時系列変化と同様に明瞭な日周期性が見られた。すなわち、魚群の出現は日中に集中していた。
7. 以上のことから、FISCHOM が水産資源調査のツールとして、非常に有効であることが実証された。
8. 今後、魚礁調査の担当者が容易に利用できるシステムとするため、耐圧容器内の機器配置の最適化、バッテリーや記憶メディアの大容量化、操作性の改善、マニュアル作成などを検討したい。
9. FISCHOM は、観測可能範囲において詳細かつ定量的な情報の収集が可能である。しかし、単体の使用では観測可能範囲が限られるため、人工魚礁全体の状況を捉えることができない。そこで今後の調査では、複数台の FISCHOM を用意して同時に使用し、多点同時観測を行うことを検討したい。また、同時に水温や潮流等を計測することで、魚群の蝟集状態との関連を調査することができるだろう。

公表された研究成果等

1 特許出願

- 1) 高橋秀行・松田秋彦・赤松友成，2004：水中観測記録装置及びその装置を用いて魚群情報をモニタリングする方法（特願 2003-128540）

2 成果発表

- 1) 高橋秀行・松田秋彦・高木儀昌・赤松友成，2004：光学・音響複合型魚群観測システム FISCHOM を用いた人工魚礁の蝟集効果範囲の推定，平成 16 年度日本水産工学会 学術講演会，平成 16 年 5 月 28～30 日，山口県国際総合センター，山口県。（予定）
- 2) 高橋秀行・松田秋彦・赤松友成，2004：定量的な人工魚礁評価のための魚類蝟集モニタリングシステム FISCHOM の開発，平成 16 年度日本水産学会春季大会，平成 16 年 4 月 1～5 日，鹿児島大学，鹿児島県。（予定）
- 3) 高橋秀行・高木儀昌・赤松友成，2004：魚類蝟集モニタリングシステム FISCHOM を用いた人工魚礁蝟集魚群の観測の試み，平成 16 年度日本水産学会春季大会，平成 16 年 4 月 1～5 日，鹿児島大学，鹿児島県。（予定）
- 4) 赤松友成・高橋秀行・松田秋彦，2003：格安電器店でできる海洋生物観測機器，サイエンティスト，4，18-26.
- 5) 高橋秀行・松田秋彦・高木儀昌・赤松友成，2003：光学・音響複合型魚群観測システム FISCHOM による人工魚礁蝟集魚群の定量的な観測，平成 15 年度日本水産工学会 秋季シンポジウム，平成 15 年 9 月 26 日，近畿大学，奈良県.
- 6) 高橋秀行・松田秋彦・赤松友成，2003：人工魚礁の効果調査のための魚類蝟集モニタリングシステムの開発，第 17 回海洋工学シンポジウム，平成 15 年 7 月 17～18 日，日本造船学会，船の科学館，東京.
- 7) 赤松友成・高橋秀行・松田秋彦，2002：画像音響統合型の魚類蝟集モニタリングシステム，日本水産学会第 46 回漁業懇話会，平成 14 年 4 月 1 日，近畿大学，奈良県.