

魚類蝟集モニタリングシステムによる高層魚礁の蝟集資源量の評価

独立行政法人水産総合研究センター

水産工学研究所 漁業生産工学部 機械化研究室 高橋秀行

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 安全性研究室 松田秋彦

水産土木工学部 漁場施設研究室 高木儀昌

1. 緒言

ダイバーによる目視調査を始め、従来行われてきた漁獲や魚探機等を用いた調査手法には、それぞれ、定量性、選択性、魚種判別等の点で問題を孕んでいる。また、1回あたりの調査期間が短く、日周変動等の時系列情報が得られないという共通の問題も存在する。多額の設置費用を要する大規模魚礁の設置事業等においては、これまで以上に定量的な設置効果の評価が求められている。定量性の高い時系列情報を得る方策として、定量的な情報が得られるセンサを搭載した定点観測装置の利用が考えられる。

水工研では、平成15年度までの水産基盤直轄調査等において、魚類蝟集モニタリングシステム **FISCHOM** (**FIsh SCHOol Monitoring system**) を試作した。**FISCHOM** は、タイマーにより任意のインターバルで駆動するステレオカメラと魚探機を搭載した定点観測装置である。テレオカメラと魚探機で魚群を記録することにより、**FISCHOM** 前方における蝟集魚群の分布範囲、密度、魚種構成、体長組成等の時系列変化等の情報を、漁獲に頼らず非破壊的に得ることが可能になる。実海域において、試作した **FISCHOM** の運用試験を実施し、最長約8日間の連続調査に成功し、実用の目処が立った。しかし、単体の **FISCHOM** では、魚礁の一部での状況しか知ることができない。

そこで本調査では、**FISCHOM** を複数台用意して人工魚礁の各部に同時に設置、観測を行うことで、魚礁全体における蝟集魚群の状態を定量的に把握することを主たる目的とする。

2. 調査方法

2. 1 改良型 FISCHOM の開発と多点同時観測調査の実施

多点同時定点観測調査を実施するため、改良型の FISCHOM (図 1) を開発し、複数台を製作した。改良型 FISCHOM における主な変更点は以下の 3 点である。(1) 従来型では同一筐体内に搭載していたステレオカメラと魚群探知機を分離し、別筐体に搭載することで、筐体を小型化した。(2) 省電力型の内蔵機器や大容量バッテリーの搭載により、連続稼働期間の延長を計った。(3) 操作性を改善するためレイアウトを工夫し、アクセスしやすい位置にスイッチを設けるなどの改良を施した。

平成 16 年度には、ステレオカメラを搭載したタイプ (以下、ステレオ型) 4 台、および魚群探知機を搭載したタイプ (以下、魚探機型) 2 台を用意した。平成 17~18 年度には、更に単眼型カメラを搭載したタイプ (以下、単眼型) 3 台を追加で用意した。

製作した改良型 FISCHOM を用いて、高層魚礁の多点同時観測調査を、平成 16 年に 1 回、平成 17 年に 2 回、平成 18 年に 2 回、合計 6 回実施した。

2. 1. 1. 平成 16 年度調査

平成 16 年度の調査は、10~11 月にかけて山形県温海沖高層魚礁 (SR-35 型、礁高 35m、設置深度約 60m) において実施した。本調査では、改良型 FISCHOM の試験運用を主眼とした。FISCHOM は、魚礁の周囲を均等に見渡すように配置した (図 2 参照)。即ち、魚礁頂部 (深度約 25m) 潮上側と潮下側にステレオ型と魚探機搭載型を 1 台ずつ、魚礁中腹 (深度約 50m) の潮上側にステレオ型を 1 台設置した (図 2)。魚礁中腹の潮下側へも設置予定であったが、台風の接近により魚礁倒壊の恐れがあったため、潮上側のみとした。魚礁頂部に設置した FISCHOM は動作確認のため約 10 日毎に回収・再設置し、魚礁中腹については約 20 日の設置期間の後に回収・再設置した。データ収録間隔は 1 回/1h とした。なお、頂部の一部については、平成 15 年度以

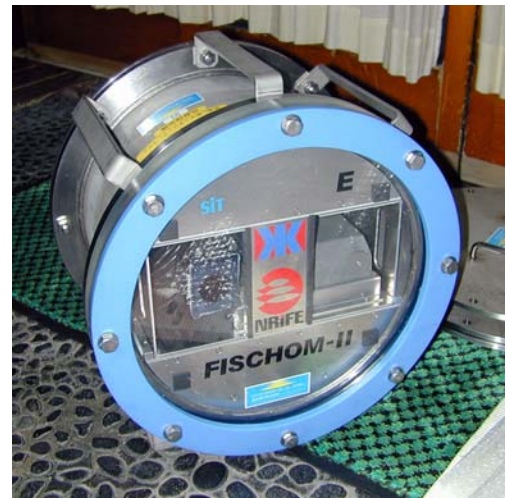


図 1 改良型 FISCHOM の外観
(魚探機型の例)

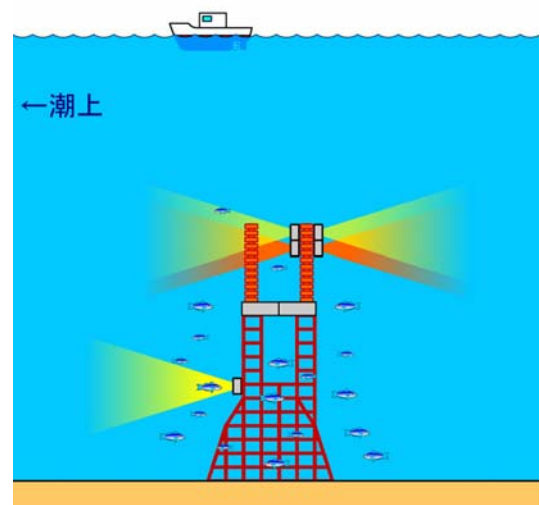


図 2 平成 16 年度調査における
FISCHOM の配置

前に試作した旧型の FISCHOM も併用した。

2. 1. 2. 平成 17 年度調査

平成 17 年度の 1 回目の調査は、7 月 2～21 日にかけて新潟県佐渡市羽茂沖の高層魚礁（水深 45m，礁高 21m）で行った。ステレオ型 4 台，単眼型 1 台，魚探機型 2 台の計 7 台の FISCHOM を投入し，魚礁の周囲と内部を均等に観察するように配置した。即ち，卓越する潮流に対し潮上側に向けて魚礁頂部にステレオ型と魚探機型を各 1 台，中腹部にステレオ型を 1 台，潮下側に向けて上層部にステレオ型と魚探機型を各 1 台，中層部にステレオ型を 1 台，魚礁内部に向けて単眼型を 1 台配置した（図 3）。データ収録間隔は 1 回／1h とした。稼働期間の延長のため，魚探機型にはリチウム電池を試験的に使用した。

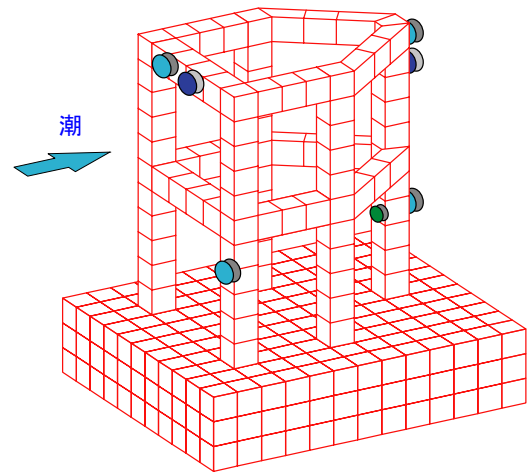


図 3 平成 17 年度調査における FISCHOM の設置位置（1 回目の調査）（水色：ステレオ型，紺：魚探機型，緑：単眼型）

平成 17 年度の 2 回目の調査は、9 月 27 日～11 月 2 日にかけて新潟県佐渡市羽茂沖の高層魚礁で行った。ステレオ型 4 台，単眼型 1 台，魚探機型 1 台の計 6 台の FISCHOM を投入した。設置位置は，魚探機型を頂部潮上側に 1 台のみとした他は 1 回目の調査と同様とした。データ収録間隔は 1 回／1h とした。ステレオ型は，途中 1 回の電池交換を行った。単眼型と魚探機型にはリチウム電池を試験的に使用した。

2. 1. 3. 平成 18 年度調査

平成 18 年度の 1 回目の調査は、5 月 25～7 月 25 日にかけて新潟県佐渡市羽茂沖の高層魚礁（水深 45m，礁高 21m）で行った。ステレオ型 4 台，単眼型 2 台，魚探機型 1 台の計 7 台の FISCHOM を投入し，魚礁の周囲と内部を均等に観察するように配置した。即ち，卓越する潮流に対し潮上側に向けて魚礁上層部にステレオ型と魚探機型を各 1 台，中層部にステレオ型を 1 台，下層部に単眼型を 1 台，潮下側に向けて上層部に単眼型を 1 台，中層部にステレオ型を 1 台，さらに魚礁内部に向けてステレオ型を 1 台配置した（図 4 左側）。データ収録間隔は 1 回／1h とした。ステレオ型および単眼型にはリチウム電池（17 年度調査で，30Ah で約 1 ヶ月以上連続可動することを実証済）を使用し，途中 1 回の電池交換を行った魚探機型については，途中 2 回の電池交換を行い，一部時期のみリチウム電池を試験的に使用した。

平成 18 年度の 2 回目の調査は、9 月 23 日～11 月 21 日にかけて同魚礁で行った。ステレオ型 4 台，単眼型 3 台，魚探機型 2 台の計 9 台の FISCHOM を投入した。設置位置は，潮上側の上・中・下層にステレオ型を 1 台ずつ，潮下側の上・中・下層に単眼型を 1 台ずつ，魚礁内側にステレオ型を 1 台，魚探機型を潮上側の上層

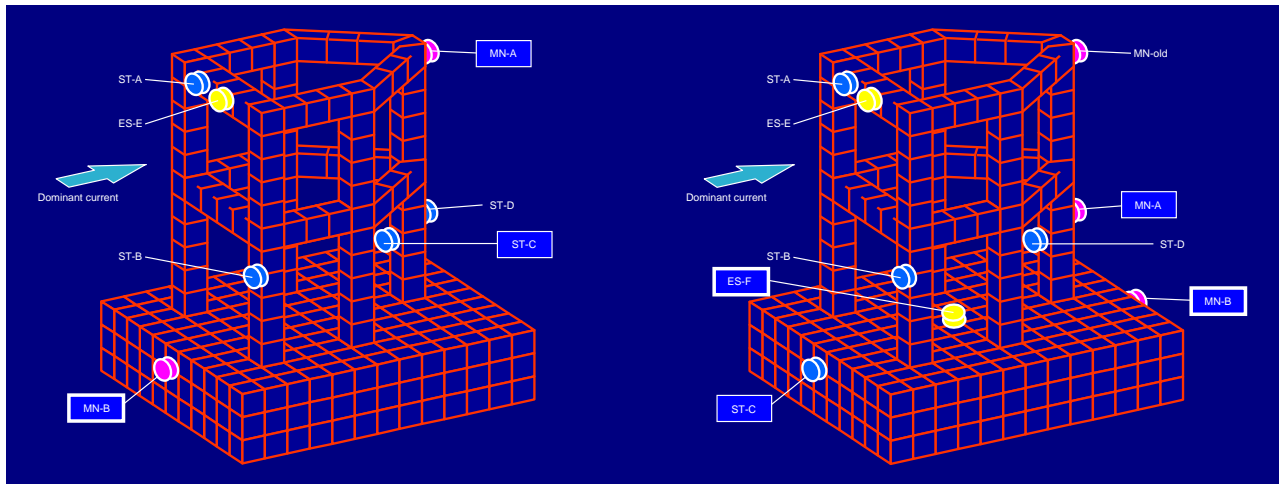


図 4 平成 18 年度 1 回目（左）および 2 回目（右）の調査における FISCCHOM の設置位置

部と魚礁内部に 1 台ずつとした（図 4 右側）。魚礁内部の魚探機型については、魚礁内部空間を下から見上げる向きで設置した。データ収録間隔は、ステレオ型および単眼型については 1 回 / 1h、魚探機型については 1 回 / 4h とした。60Ah のリチウム電池を使用し、途中電池交換は行わなかった。

2. 1. 4. データ解析方法

良好に動作したものについては得たデータを解析に供した。ステレオ型については、左右画像の各々に撮影された魚を魚種別に計数し、平均を取って 1 撮影あたりの観察個体数とした。明瞭に両眼視された魚はステレオ計測により大きさを測定した。単眼型については、撮影された魚を魚種別に計数して 1 撮影あたりの観察個体数とした。単眼型はステレオ型の概ね 2 倍の観察体積を持つことから、ステレオ型の計数値との比較の際には、計数値に 0.5 を乗じた。魚探機型のデータについては、反射強度の自乗値を資源量インデックスとして扱い、水平方向の魚群分布のプロファイルを知る材料として用いた。

平成 17 年度の結果から、主要魚種別、サイズ別の蛸集傾向（蛸集部位、蛸集時間帯）を定量化した。また、平成 18 年度の結果から、魚礁近傍における魚群蛸集量を推定試算した。

2. 2. 従来型調査結果との比較

FISCCHOM で得たデータを検証するため、FISCCHOM（ステレオ型）による調査結果と、同時期に行われた従来型調査（ダイバー、ROV）の結果とを比較検討した。材料として、平成 16 年度に行った調査のデータを用いた。FISCCHOM による多点同時観測調査、従来型の目視調査を 10 月 8 日（ROV）、10 月 14 日午前および午後（ダイバー）、10 月 26 日（ダイバー）、11 月 8 日（ダイバー）の日中に実施した。ダイバー・ROV による目視調査は、FISCCHOM の設置や電池交換等と併せて行われたため、厳密には同時に観察した結果の比較はできない。そこで、従来型調査で

得た分布位置，魚種構成，魚体の大きさの平均的な姿と，FISCHOM が日中（9～15 時とする）に得た設置部位別の魚種構成，体長組成の平均値を比較した。

2. 3. 遊泳姿勢の推定

音響資源調査に資するため，FISCHOM のステレオ計測能力を応用して魚群の遊泳姿勢を推定することを目的に，推定精度の確認を行った。遊泳姿勢を推定するためには，撮影時の FISCHOM 自体の傾きを確認する必要がある。そこで，FISCHOM（ステレオ型）に傾斜ロガーを設置し，遊泳姿勢の推定を試みる事にした。また，ステレオ計測による遊泳姿勢推定精度を確認するための水槽実験を実施した。水槽中に水平に垂下した FISCHOM ステレオカメラの前方 2.5m の位置に，30 度間隔で遊泳姿勢を模擬するターゲットを垂下し，これを水平方向に 30 度ずつ回転させながら撮影した。ターゲット位置を撮影範囲の中央，左，上，左上に移動し，同様の撮影を繰り返した。撮影後に，得られた測定値と実際の値とのずれを確認した。

3. 調査結果

3. 1. 改良型 FISCHOM の開発と多点同時観測調査の実施

3. 1. 1. 平成 16 年度調査

平成 16 年度調査では，設置した全ての FISCHOM が良好に動作し（表 1），多数の鰯集魚群情報を得ることができた。

結果のうち，アジの観察尾数の時系列変化（図 5）および，ステレオ計測によるアジの尾叉長組成分布の推定結果（図 6）を示す。これらの図でわかるように，FISCHOM を用いた多点同時観測調査を実施することで，魚種別・サイズ別・設置部位別の出現傾向を定量的に知ることができることを実証した。

表 1 平成 16 年度調査における FISCHOM の動作状況

	潮上25m	潮下25m	潮上50m
第1期			
10月中旬	○	○	
第2期			○
10月下旬	○	○	
第3期			
11月上旬	○	○	○

3. 1. 2. 平成 17 年度調査

平成 17 年度のそれぞれの調査における FISCHOM の動作状況を表 2 にまとめた。ステレオ型は，全ての調査で良好に動作した。単眼型は，1 回目の調査での駆動期間が短かったが（電池が弱っていたと思

表2 平成17年度調査におけるFISCHOMの動作状況

調査期間	ステレオ				魚探機		単眼
	A	B	C	D	E	F	
July 2-21, 2005	○	○	○	○	×	×	△
Sep. 27-Nov. 2, 2005	○	○	○	○	△	---	○
Jan. 12-18, 2006	---	---	○	○	---	---	---

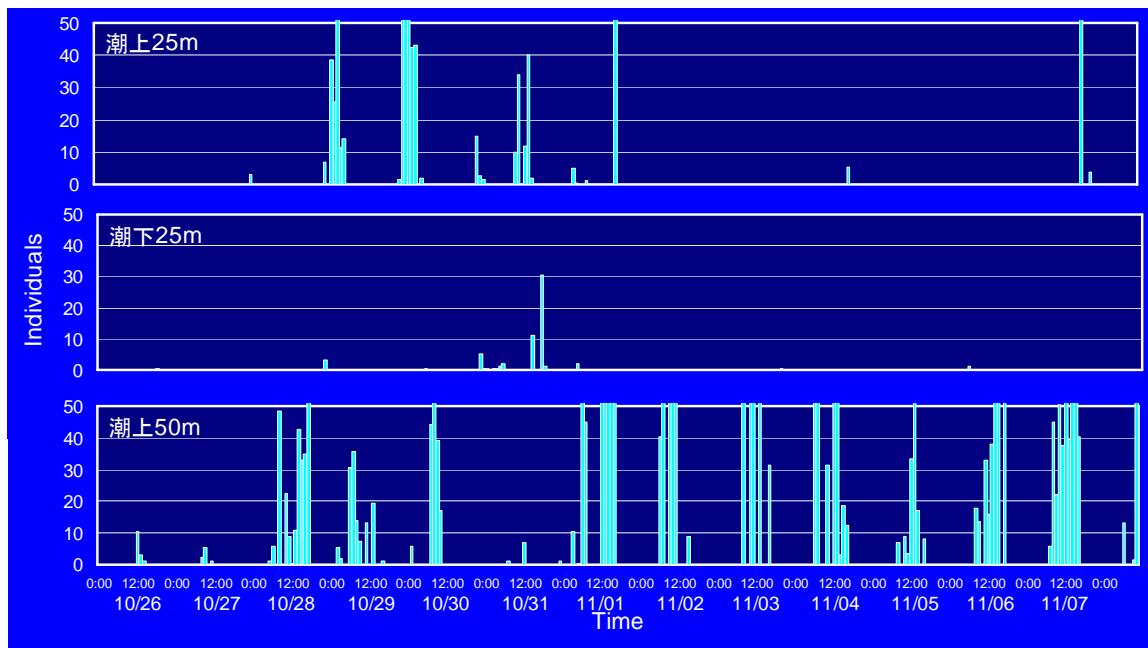


図5 平成16年度調査で得られたアジ観察尾数の時系列変化

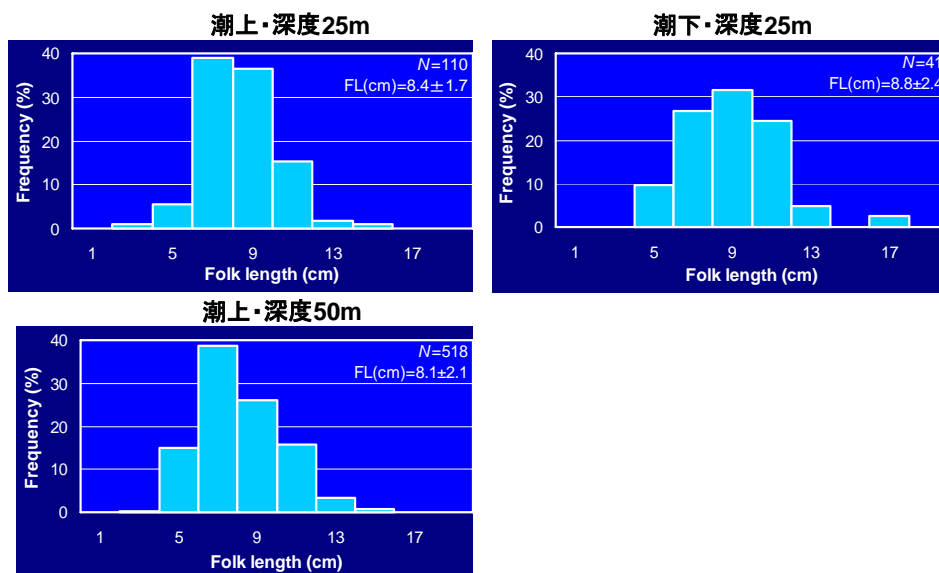


図6 平成16年度調査で得られたアジの尾又長組成分布

われる), 2回目の調査ではリチウム電池を用いて約1ヶ月の連続駆動に成功した。魚探機型については, 1回目の調査では動作せず(記録メディアの問題), 2回目の調査では駆動期間が想定していたよりも短かった。

1回目の調査結果を以下に概括する。総観察個体数は約23400尾であった。魚種別に見ると, メバル類が最も多く, 次いでスズメダイが多く観察された(図7-A)。設置部位別に見ると, 魚礁内部での観察個体数が最も多く, また, 上層より中層で多く見られる傾向があった(図8-A)。主要魚種別に見ると, まず, スズメダイ(ステレオ計測による尾又長推定値は約11~15cm)は魚礁内部と潮上上層に多く見られ(図9-A上), また時間帯別の出現パターンには明瞭な日周性が見られた(図

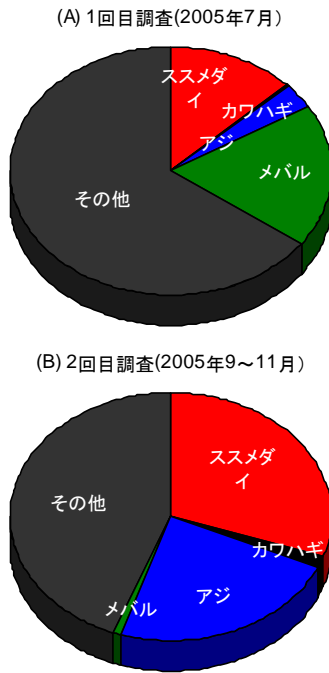


図 7 観察個体数の魚種別内訳

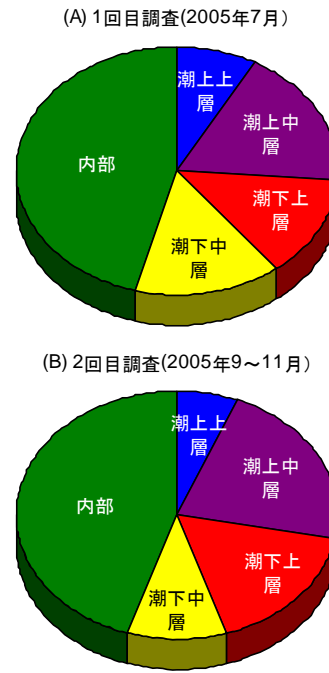


図 8 設置部位別の観察個体数内

10-A 上)。アジ類（ステレオ計測による尾叉長推定値は約 25～30cm）は、スズメダイと対照的に内部には殆ど現れず、潮下上層に最も多く見られた（図 9-A 中）。また、日周性はスズメダイ程明瞭ではないものの、夜間にはあまり出現しない傾向が見られた（図 10-A 中）。メバル類（ステレオ計測による尾叉長推定値は約 5～8cm、一部全長 20cm 前後）は観察個体の大部分が潮上中層部に集中しており（図 9-A 下）、またその時間帯は日出～昼頃の間集中していた（図 10-A 下）。

2 回目の調査結果を、1 回目の調査結果と比較しながら以下に概括する。総観察個体数は約 25400 尾であった。魚種別に見ると、スズメダイが最も多く、次いでアジ類が多く観察された（図 7-B）。設置部位別の蜻集傾向は、1 回目の調査とほぼ同様であったが、潮下側では中層より上層で若干多く見られる傾向があった（図 8-B）。主要魚種別に見ると、まず、スズメダイ（ステレオ計測による尾叉長推定値は約 11～13cm）は各部位で多く見られ、中でも内部と潮下中層で多く見られた（図 9-B 上）。また、時間帯別の出現パターンには 1 回目と同様に明瞭な日周性が見られた（図 10-B 上）。アジ類（ステレオ計測による尾叉長推定値は約 8～12cm、24～33cm）は、1 回目の調査と対照的に大部分が内部に見られた（図 9-B 中）。また、昼間に出現し、夜間にはあまり出現しない傾向が明瞭であった（図 10-B 中）。メバル類（ステレオ計測による全長推定値は約 20～22cm）は観察数が少なく、蜻集部位や出現時間帯に明瞭な傾向は見られなかった（図 9-B 下、図 10-B 下）。

平成 17 年度の調査によって、新潟県佐渡氏羽茂沖の高層魚礁における蜻集魚の分布位置や日周性などの特徴を定量的に把握する事ができた。

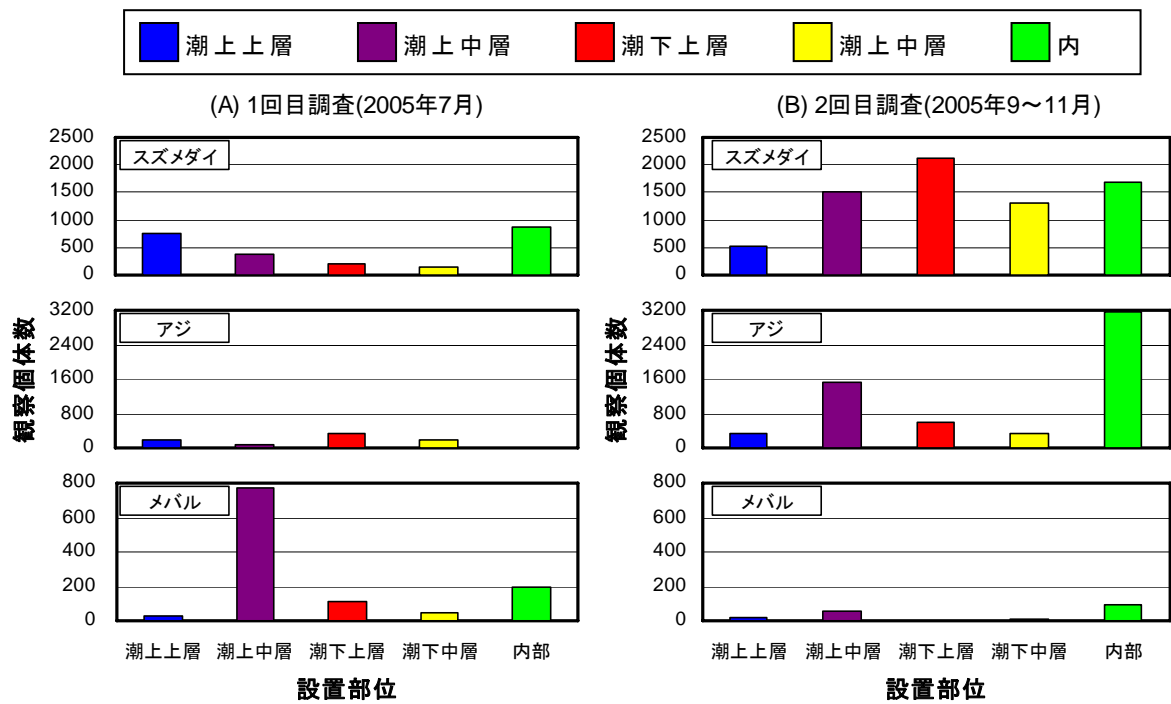


図 9 平成 17 年度調査における主要魚種の設置部位別総観察個体数

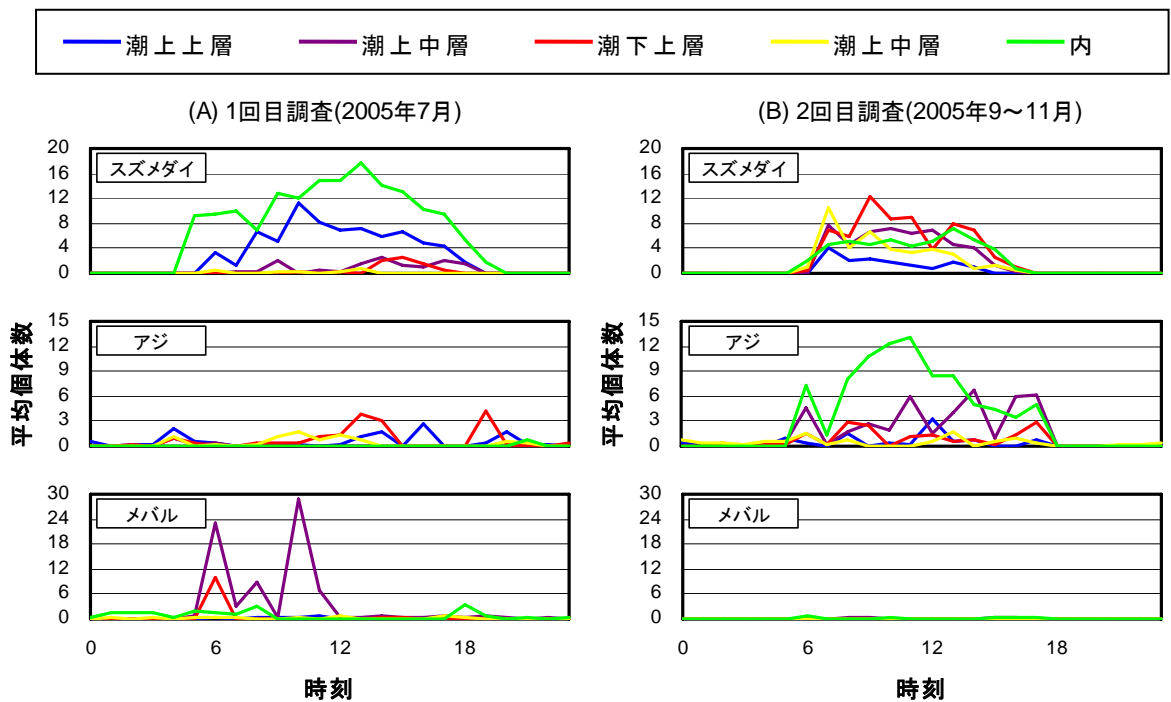


図 10 平成 17 年度調査における主要魚種の時間帯別の平均観察個体数

3. 1. 3. 平成 18 年度調査

いずれの調査においても、全てのカメラ型は良好に概ね動作した（極一部で画像破損が見られた）。一方で魚探機型は、1 回目の調査ではいずれも 1 週間程度の稼働期間であった。

1 回目の調査結果を以下に概括する。総観察個体数は約 64,000 尾であった。魚種別に見ると、メバル類が最も多く、次いでアジが多く観察された（図 11）。設置部位別に見ると、魚礁内部での観察個体数が最も多く、また、北側（潮下側）に多く出現する傾向があった（図 12）。観察されたアジのうち、ランダムに 100 尾程度を選定し、ステレオ計測によって尾叉長を求めたところ、平均 30.2（±4.5SD）cm であった（図 13）。尾叉長に時期や魚礁部位による違いは見られなかった。

蛸集魚の夜間の動向に関する知見を得るために、今回の調査で初めて設置した魚礁下層部について、アジとメバルの時間帯別出現頻度を求めたところ（図 14）、アジは絶対数こそ少ないものの夜間に頻出する傾向が見られ、

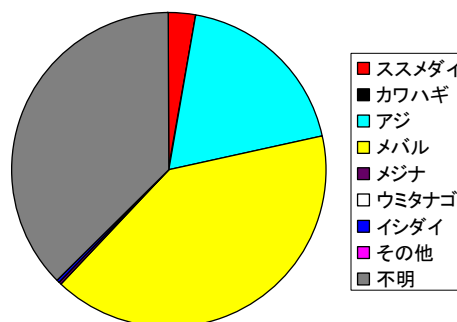


図 11 魚種別の出現頻度
（平成 18 年度 1 回目調査）

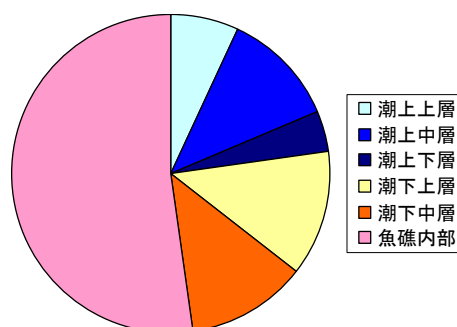


図 12 魚礁部位別の出現頻度
（平成 18 年度 1 回目調査）

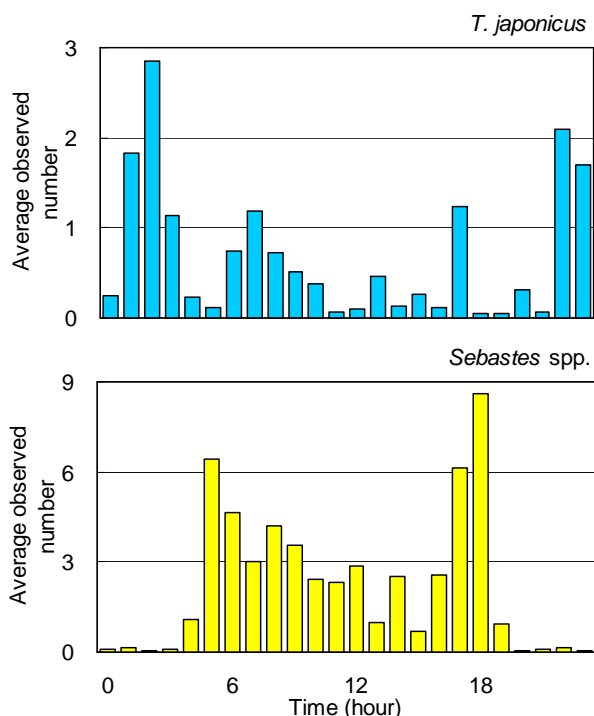


図 14 魚礁下層部におけるアジおよびメバルの時間帯別平均出現頻度
（平成 18 年度 1 回目調査）

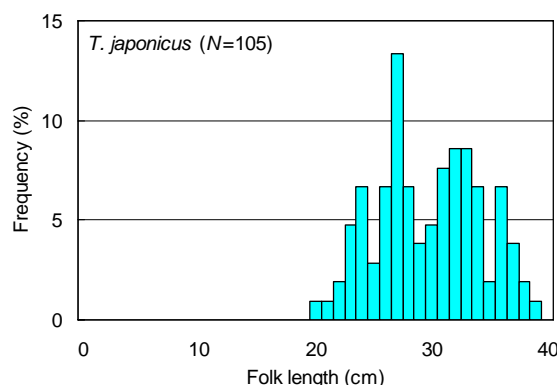


図 15 ステレオ計測によるアジの体長組成
（平成 18 年度 1 回目調査）

夜間に海底付近で分散的に存在することが確認された。一方でメバルは、過去の調査と同様に主に日中にのみ観察された。メバルは夜間には、FISCHOMの撮影範囲よりさらに海底寄り、または魚礁下層部の内部等に存在した可能性があると考えられた。

魚礁近傍における蛸集量の推定にあたっては、FISCHOMの設置位置に合わせて魚礁内部及び近傍（FISCHOM前端から5mの範囲）の容積をほぼ均等に分割し（図15）、それぞれの容積に対してFISCHOMの観察範囲の容積が占める割合およびFISCHOMによる観察個体数の計数値から、それぞれの部位における蛸集量を求めた。そして、各魚礁部位における推定値を合算して、推定蛸集量とした。図16は、本調査の最初の一週間におけるアジの時間帯別平均出現尾数に基づいて推定蛸集量の日周変動を示したもので、これによると蛸集量は時間帯によって約700～17,000尾と大きく変動し、平均約7,000尾という結果になった。

魚探機型が稼働した3期間に得られた音響データから求めた平均的な資源量インデックス分布を図17に示す。いずれの場合も、魚礁から20m程度までの範囲にほとんどの魚群が蛸集していることを示していた。

3. 2. 従来型調査との比較

従来型調査およびFISCHOMで日中に観察された魚種構成を図18に示す。支配的な魚種がアジ類であったのは両者で同じであったが、FISCHOMの観察結果の方がアジの占める割合が高かった。また、メバル類は従来型調査でのみ観察された。

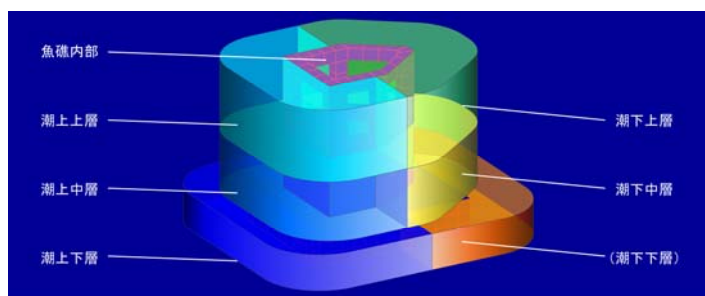


図15 魚礁近傍及び内部容積の分割イメージ

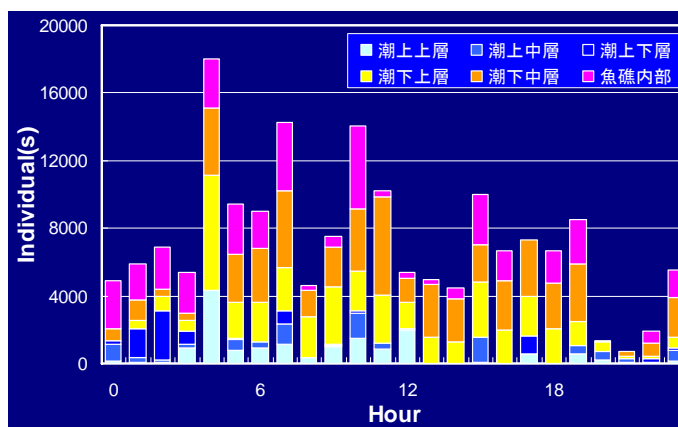


図16 アジの時間帯別推定蛸集量
(調査開始から1週間の平均値)

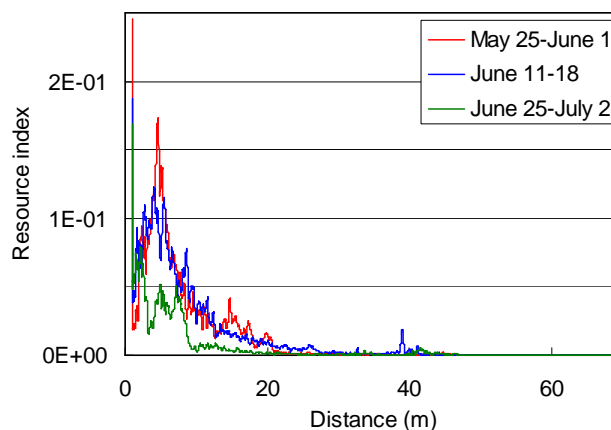


図17 魚探機型による蛸集範囲推定結果

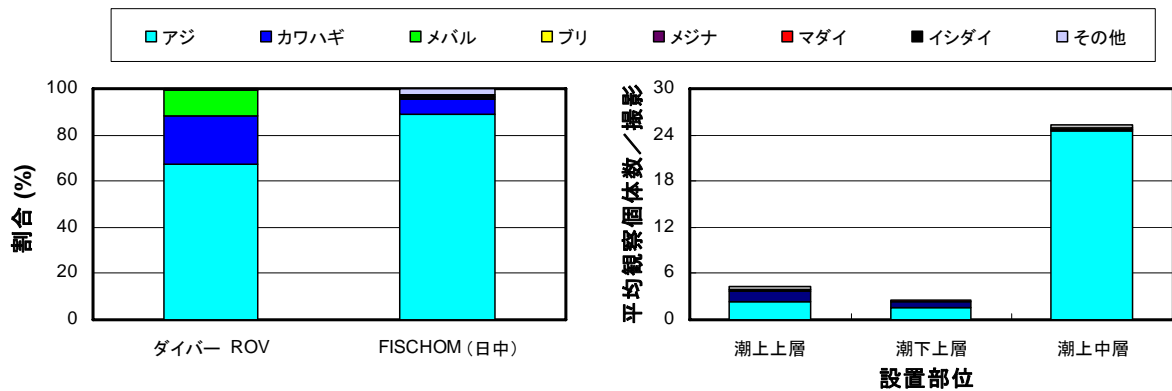


図 18 従来型調査と FISCCHOM で得た魚種構成（平成 16 年 10～11 月 山形県温海沖高層魚礁）（※従来型調査の資料は「平成 16 年度人工魚礁の効果指標の検討報告書（(財) 漁港漁場漁村技術研究所）」より）

図 19 FISCCHOM で日中に観察された魚種別平均個体数（平成 16 年 10～11 月 山形県温海沖高層魚礁）

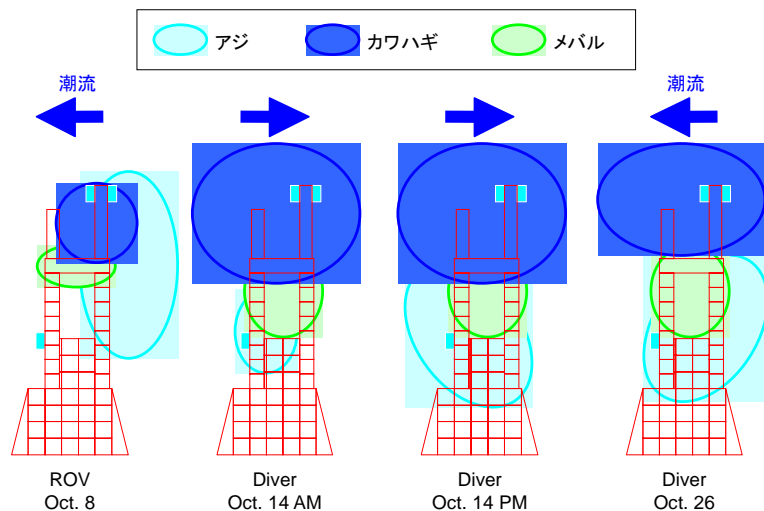


図 20 従来型調査による蜻集魚群の分布状況（平成 16 年 10 月 山形県温海沖高層魚礁）（※「平成 16 年度人工魚礁の効果指標の検討報告書（(財) 漁港漁場漁村技術研究所）」より）

FISCCHOM で日中に観察した設置部位別の平均個体数（魚種別）を図 19 に示す。支配的な魚種であったアジ類は魚礁中層で圧倒的に多く見られた。上層ではアジ類の他にカワハギ類も多く見られた。一方で、従来型調査による魚種別の分布位置を見ると（図 20）、アジ類は中層を中心に潮上側に偏って分布していた。カワハギ類は上層に分布していた。FISCCHOM では見られなかったメバル類が魚礁内部に多く見られた。アジ類およびカワハギ類の分布位置は、FISCCHOM と従来型調査の結果は概ね一致していた。しかし、上層の潮上側と潮下側で、アジ類の観察数には顕著な差がなかった（図 19）。これは、調査期間中の日中、流向のばらつきが大きく、卓越する流向がなかったためと思われる。メバル類は FISCCHOM で観察しな

かった魚礁内部に多く分布していたため、従来型調査でのみ観察されたと思われる。

FISCHOM のステレオ計測によるアジ類の尾叉長は、全平均 $8.2 \pm 2.0SD(\text{cm})$ で、FISCHOM の設置部位による差はなかった。従来型調査では、魚の大きさを 5cm ないし 10cm 単位の範囲で仕分けするに留まっているが、アジ類は全て 5~10cm に仕分けされており、FISCHOM の結果と概略一致していた。

これらのことから、魚礁規模等に応じて FISCHOM を適切に設置して調査を行えば、魚種構成、魚種別の分布位置、魚の大きさ等を、従来型調査より定量的に把握できるものと考えられた。

3. 3. 遊泳姿勢の推定

ターゲットを撮影した画像から遊泳姿勢の推定した際の測定誤差を図 21 に示す。なお、試験の際に傾斜ロガーが動作しなかったため、傾斜ロガーによる初期値の補正は行わなかった。遊泳姿勢は、ターゲットが撮影範囲の中央ないし左にあるときに比較的正確に推定され、RMS 誤差は最大でも 2 度以内に収まった（ただしこの中に FISCHOM 筐体の傾きがオフセット値として含まれる可能性がある）。一方で、ターゲットが撮影範囲の上にあるときには誤差が増大した。

4. 考察

本事業においては、複数台の改良型 FISCHOM を用いた高層魚礁蛸集魚群の多点同時定点観測調査を計 5 回にわたって実施、その魚種別・サイズ別の時空間変動を定量化するとともに、最終的に魚礁近傍における蛸集魚群量を試算推定することができた。これによって、本事業の主たる課題は達成できた。FISCHOM を用いた魚礁近傍における魚群蛸集量の推定方法は、従来型の目視調査に比べて客観性や定量性の面で優れており、また、船底装備の魚群探知機や釣獲調査に比べてバイアスの少ない質の高い定量データが得られる、優れた手法である。FISCHOM の魚礁への配置や、魚礁近傍空間の容積分割の方法については、今後更なる検討が必要ではあるものの、定点観測による魚礁効果調査の高度化について、実用化の目処が立ったと考える。

平成 18 年度に推定した魚礁近傍におけるアジの蛸集量によれば、蛸集量にも日周性があり、時間帯により大きく変動するものと思われる。これは、いわゆる時間断面蛸集量を得る従来型の調査手法における、調査に適した時間帯に関して重要な示唆を与えるものであり、同時に時間断面蛸集量による蛸集効果の説明の限

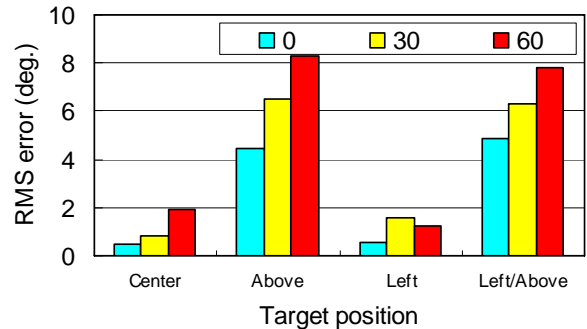


図 21 遊泳姿勢の測定誤差
(凡例はターゲットの水平回転角度)

界を示しているとも考えられる。

本事業の成果は特定の魚礁におけるものであり、本手法を汎用的な魚礁効果調査手法として実用化するには、複数の魚礁において適用可能であることを実証する事業の展開が必要と考える。

摘要

- ・高層魚礁における魚群蝟集効果を正確に求めるため、点観測装置 FISCHEM による多点同時観測調査を実施した。
- ・FISCHEM（ステレオカメラ型および単眼カメラ型）により、設置部位毎に魚種別の観察個体数の時系列を定量化した。
- ・FISCHEM（ステレオカメラ型）により、両眼視された魚の体長を推定した。
- ・上記の解析結果より、魚種別・サイズ別・魚礁部位別の蝟集傾向を定量化した。
- ・魚礁近傍における魚種別の蝟集量を推定した。
- ・従来型調査に比して定量性が高くバイアスの少ない多点同時定点観測による蝟集効果調査手法の実用化の目処が立った。

参考文献

（財）漁港漁場漁村技術研究所：平成 16 年度人工魚礁の効果指標の検討報告書