

I. 調査課題名 水産基盤整備生物環境調査「人工魚礁の高さが魚礁の蝸集機能に及ぼす効果の証明」

II. 調査実施機関及び担当者

(社)全国沿岸漁業振興開発協会 業務課 伊藤靖 石岡昇
水産工学研究所 漁場施設研究室 高木儀昌
水産大学校 海洋生産管理学科 生産システム学講座 濱野明 中村武史
山口県水産課 松島孝信、山口県水産研究センター 小林知吉 吉岡貞範 渡辺俊輝

III. 調査の狙い

本調査の目的は、魚礁の礁高(水深に対する比率)による魚礁効果の違いを現地調査により把握し、今後の新たな漁場整備事業の適切かつ効率的な実施に資するための基礎資料とするものである。このため、調査はすぐ近傍に天然礁がない、平坦な海域(海底)に水深の5割程度(礁高30m)の「試験施設(汎用型高層礁)」を設置した。また、調査対照区として水深の1割程度の礁高を持つ既設の「大型魚礁」を選定、また周辺の「天然礁」においても併せて効果調査を実施し、それらのデータの収集・検討を行った。

IV. 調査方法

1) 調査期間

平成11年度より平成13年度までの3年間(平成10年度には、担当者による準備会を設立して、計5回開催している)

2) 調査実施体制

水産庁からの委託を受けて、(社)全国沿岸漁業振興開発協会・水産工学研究所及び水産大学校・山口県が共同で実施した。

調査の実施及び結果の取り纏めに当っては、(社)全国沿岸漁業振興開発協会が設置した検討委員会の指導を受けた。(表1)

表1 水産基盤整備生物環境調査
(人工魚礁の高さが魚礁の蝸集機能に及ぼす効果の証明)汎用型高層魚礁調査 検討委員会名簿

氏名	所属	役職
柿元 皓	(元)水産大学校	教授
濱野 明	水産大学校	教授
大竹臣哉	福井県立大学	助教授
高木儀昌	水産工学研究所	漁場施設研究室長

3) 調査対象

調査対象は、本調査において平成11年5月に山口県阿武町沖に設置した「試験施設(汎用型高層礁)」及び、近傍の大型魚礁設置事業により造成された魚礁漁場(以下「対照礁」という。)並びに「天然礁(二島グリ)」とした。

調査対象位置

試験施設(汎用型高層礁：図1) 水深68m 34.34.41.5N 131.25.78.2E
鋼製魚礁 礁高30m(2,500m³) 1基
対照礁①(H4大型魚礁：図2) 水深70m 34.34.69N 131.25.63E

鋼製魚礁 礁高 9m×2 基
コンクリート製 2m 角型魚礁×189 基
対照礁②(H10 大型魚礁：図 3) 水深 65m
コンクリート製組立魚礁(礁高 7.5m×8 基,礁高 5m×4 基)
天然礁(二島グリ) 水深最浅部 8m、西端部の位置 34.34.99N 131.26.58E
東西・南北に 1.5~2.0km 程度の大きさ

相互の位置関係

試験施設←→対照礁①：約 500m (「相互に影響の範囲内」として想定：効果調査における主対照礁として設定)
試験施設←→対照礁②：約 700m (補助的な対照礁として設定)
試験施設←→天然礁：約 2km (「影響を受けない距離」として想定)

4) 試験施設の検討、製作・設置

本調査で使用する試験構造物は、上記目的を検証するための「試験礁」として位置づけた。その基本形状については、準備会において以下のとおり検討した。

なお、本調査における「高層魚礁」の定義は、a)既存製品の礁高(最大で 20m 程度)、b)すでに開発されている高層型の構造物(SR-35,35m)、c)施工性、等から、礁高として「30m」程度とした。

(1)調査実施の基本方針

本調査における高層礁の設置試験の手法としては、

(a)高層礁を単独で設置

(b)既存の大型魚礁と比較を行う

イ)既存の魚礁構造物とほぼ同規模で高さのある構造とする

ロ)既存の魚礁構造物の形状を考慮し、高層魚礁の形状を検討する

ハ)高層礁は、現在での最新の知見をもち込んだ形状とする

(c)本調査において、2 基(同規模・同構造の構造物を高さを変えて)設置する(例：縦(通常設置)vs 横倒し設置)

の手法が考えられたが、「(a) 単独設置」の手法は、単独では比較対象が無いので試験魚礁による効果を把握しにくいこと、また、本調査では「(b) 2 基設置」する手法は、予算の制約上困難であることから、(b)の既存の魚礁構造物(大型魚礁)と比較を行う手法をとることとした。

(2)試験施設(高層魚礁)の検討

調査目的に添って試験礁の基本構造を検討した。

① 試験礁の耐久性(設計耐用年数)

調査目的を満たすこと及び調査費の節減等を考慮して、設計における耐用年数を「10 年」とした。

② 規模

調査対照とする「既設の魚礁」と同規模(2,500 空 m³)とした。

③ 材質

高層型(30m 程度)の魚礁による試験となることから、その施工性・コスト等の観点から、材質は「鋼材」とした。

④ 基本形状

試験礁の基本形状は「既設の魚礁(大型魚礁)」と比較の条件を平等とすること、及び、本調査の効果を促進するとの観点から、既存の魚礁構造物の形状・配置を考慮して、高層魚礁の形状を検討した。具体的には高層魚礁が過剰に有利とならないように配慮し、下部構造は嵩上げの為との位置付け

で遮蔽物の無い単純な構造とした。

以上の検討を経て決定された、試験構造物（汎用型高層礁）を図1に示す

(3) 試験施設の設置場所の検討

上記調査目的に添った設置場所を選定した。

① 設置水深

「高層魚礁」の礁高（約30m程度）、及び、効果(潜水)調査のし易さから、施設設置水深は60～70m程度を候補海域とした。

② 設置場所（条件）

調査目的（「水深の1割」の検討を行う）に合致するように、高層魚礁の効果を独立して把握がしやすい設置場所（天然礁の影響を受けないこと）を前提とした。天然礁の影響を受けない範囲（周辺に天然礁がない海域の目安）としては、新規魚礁にかかる水産庁課長通達において1,000m範囲内の海底調査が求められていることから、1,000m内に天然礁が無い平坦な海域を候補海域とした。

また、高層魚礁の効果を明確に確認するためには、対照区として「高層魚礁と同規模（約2,500空m³程度）で高さが水深の1割程度の漁場」を設けて比較することが必要と考え、今回はすでに設置されている「大型魚礁漁場(2,500空m³程度)」を対照区として選定し比較調査を行うこととした。この際の「高層魚礁」と「既存魚礁」との設置間隔は、(相互に影響があり、それぞれの効果を把握できる距離として)500m程度とすることとした。

③ 調査候補海域

(a)日本海側、(b)対象魚種：浮魚類（ブリ・マグロ・アジ・サバ）、(c)県行政・水試の体制、(d)漁業者の体制、(e)調査のやりやすさ、(f)結果の速効性（南西>北東）、(g)既存天然・人工礁との位置関係、及び上記「設置場所」の条件等をかんがみ、「山口県、新潟県、山形県」等が候補としてあげられた。これを受けて、この内で最も適地と考えられる山口県へ打診を行い了解された。

具体的な設置場所は「山口県阿武町モドロ岬地先」とした。(図2)

5) 効果調査

効果調査は、試験施設(高層礁)及び対照礁並びに天然礁において、調査を実施した。調査項目及び実施機関（概要）は、表2のとおり。

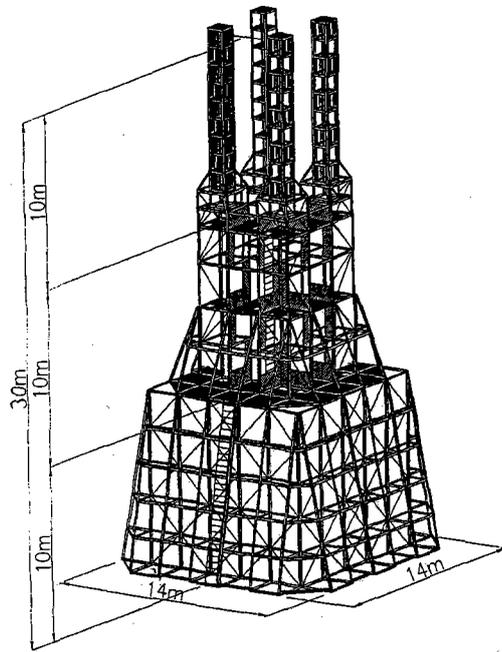
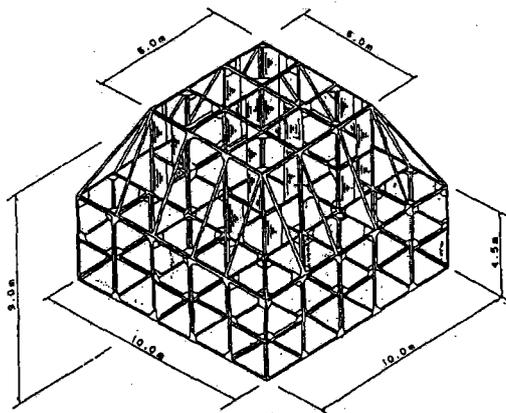
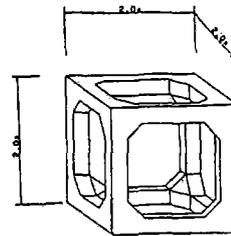


図1 試験施設（汎用型高層魚礁）鋼製魚礁 礁高30m(2,500m³) 1基

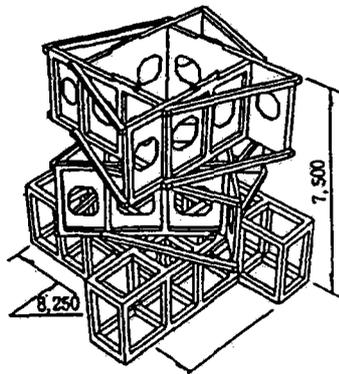


鋼製魚礁 礁高9m×2基

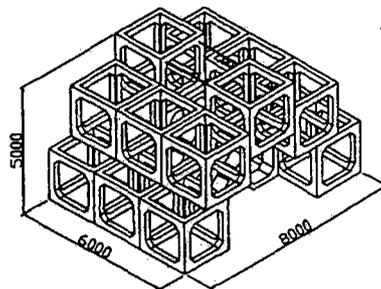


コンクリート製2m角型魚礁×189基

図2 対照礁①（H4大型魚礁）



コンクリート製組立魚礁 礁高7.5m×8基



コンクリート製組立魚礁 礁高5.0m×4基

図 対照礁②（H10大型魚礁）

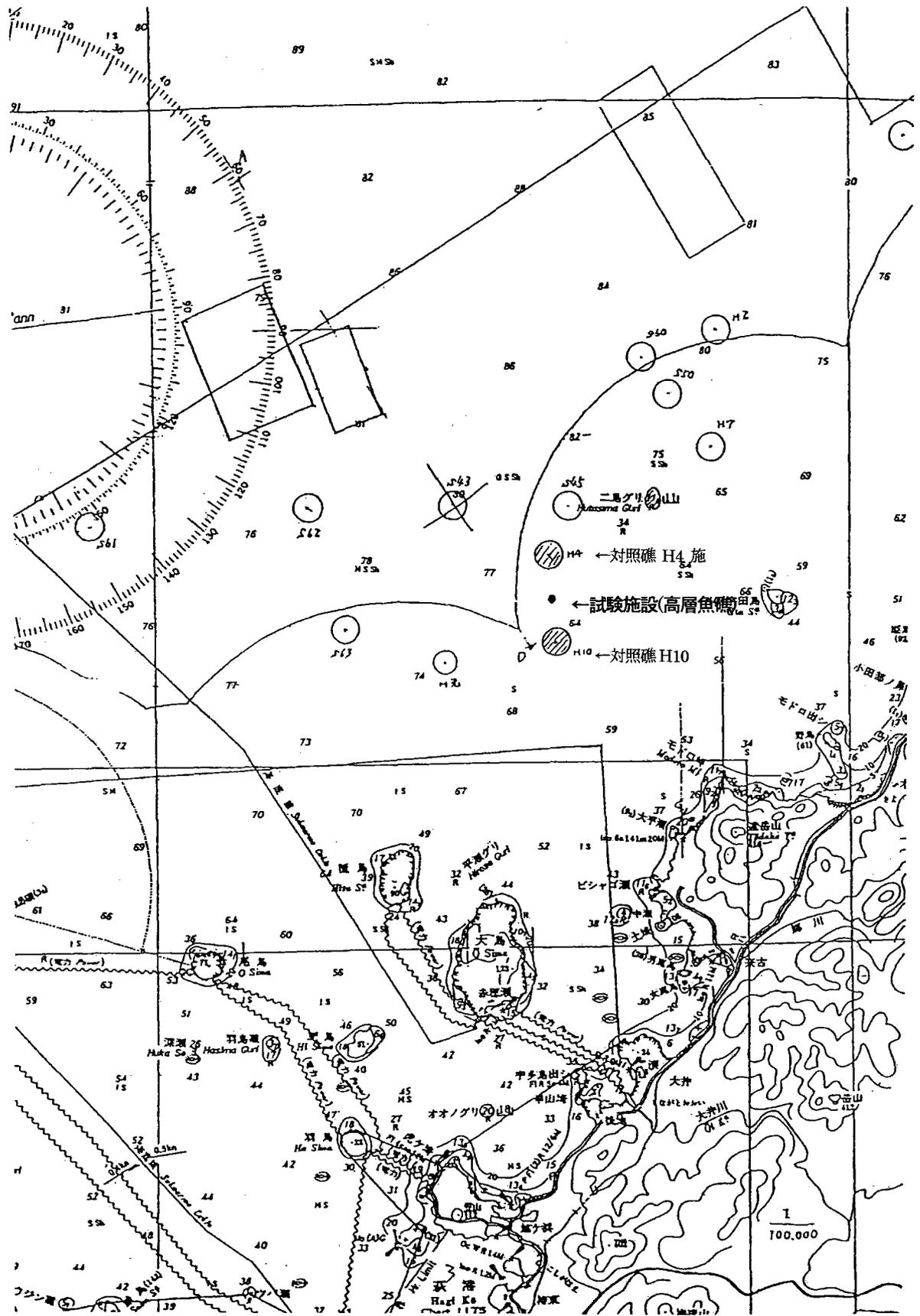


図2 調査海域

表2 調査項目及び実施機関（概要）

調査項目	平成 11 年度	平成 12 年度	平成 13 年度	備考
------	----------	----------	----------	----

試験施設

試験施設の検討、製作・設置	○	—	—	準備会、水工研・全振協
---------------	---	---	---	-------------

効果(追跡)調査【水産大学校・山口県】

①海洋環境調査				
海底地形	○			
海底底質		○	○	
流況	○	○	○	
水温・塩分	○	○	○	
プランクトン		○	○	
②音響資源調査				
通常魚探調査	○	○	○	
計量魚探調査	○	○	○	
釣獲・水中テレビ調査	○	○	○	
③標本船調査	○	○	○	

効果(追跡)調査【水工研・全振協】

④目視調査				
ROV 調査	○	○	○	
潜水調査	○	○	○	
⑤釣獲調査	○	○	○	
⑥魚探調査	○	○	○	
⑦プランクトン	○	○	○	

※ 調査は、「水工研・全振協」、「水大校・山口県」の2グループが共同で実施した。
山口県は平成 12～13 年度で調査に参画（平成 11 年度は水大校の調査実施に協力）した。

V. 調査結果

【水産大学校・山口県】調査分

1. 海洋環境調査

1.1 目的

高層魚礁と既設魚礁が設置されている調査海域の海洋環境、特に魚群の蝟集に影響を及ぼすと考えられる、海底地形、海底底質、流況、水温・塩分の季節変化、さらにプランクトンの分布を中心に調査する。

1.2 材料及び方法

1.2.1 海底地形

計量魚探機より得られる水深情報をもとに、画像処理ソフト（Spygrass 社：Transform）を用いて調査海域の三次元海底地形図を作成した。画像の分解能は、クリギング補間法により1ピクセルあたり21.3×14.4 mとした。

1.2.2 海底底質

調査海域内の計20点でスミス・マッキンタイヤー採泥器を用いて採泥調査を行った。また、計量魚探機（古野電気製 200 kHz）に音響海底底質解析表示装置 RoxAnn（Marine Micro Systems 製）を接続し、海底の反射信号を利用して海底底質を調べた。

1.2.3 流況

ADCP（日本無線社 JLN-616）を用いて流況（流向・流速）の季節変化を調べた。調査期間は平成12年4月から平成13年2月の間である。計測深度は10 m、30 m、50 mの3層とし、1分ごとに各層の流向・流速を収集した。なお、本調査で得られた観測データについては潮流成分の除去を行わず、観測実測値をそのまま用いて解析した。

1.2.4 水温・塩分

CTD（Seabird 製）及び STD（アレック電子製）を用いて表層から海底付近までの水温・塩分を観測した。前者は調査海域内の26点で毎年2回（夏季5～7月の間、及び秋季10～11月の間それぞれ1回）実施し、後者は高層魚礁及び平成4年魚礁（以下、H4魚礁という）設置付近の4点で平成12年4月から平成13年2月の間、魚群分布調査の都度行った。

1.2.5 プランクトン

プランクトン調査は H4 魚礁近傍の観測点（34° 35.0' N, 131° 26.0' E）において、平成12年8月及び平成13年5～8月に計5回実施した。調査では MTD ネットによる3層（1 m、30 m、50 m 層）水平曳きにより動物プランクトンを採集した。採集物は採集後直ぐに10%濃度のホルマリンで固定した。

1.3 結果及び考察

1.3.1 海底地形

- ① 調査海域の海底地形は東西・南北方向に1.5～2 km 程度の広がりをもつ海山のような二島グリを中心に、水深60～80 mの平坦な海底が西方に向けて緩やかに傾斜していた。

- ② 二島グリ西方の水深 67 m の地点には 30 m 型高層魚礁、その北方約 0.2 マイル（水深 73 m）の地点には 9 m 型スリースター魚礁と 2 m 型コンクリート魚礁で構成される H4 魚礁が設置されている。さらに、高層魚礁の南方 0.7 マイル（水深 65 m）の地点には 7.5 m 型グレートリーフ魚礁と 5 m 型ブロック魚礁から成る平成 10 年魚礁（以下、H10 魚礁という）が設置されている。

1.3.2 海底底質

- ① 採泥器により採取された各測点における堆積物の平均粒径値の範囲は 0.09~1.59 mm、平均値は 0.35 mm であった。平均粒径値が 1.59 mm の最大値を示す二島グリ周辺を除くと、採取点における大きな差はみられなかった。
- ② 音響海底底質解析表示装置より得られた調査海域内の海底底質分布は、i) 岩礁 ii) 中礫 iii) 細砂 iv) 粗砂 v) 固くしまった砂の 5 段階に分けられた。二島グリは岩礁、それ以外の海域はごく一部に中礫がみられるものの、底質のほとんどは砂質であった。

1.3.3 流況

- ① 調査期間中に得られた 3 層（10 m, 30 m, 50 m 層）の流向・流速データのうち、C5（34° 34.0' N, 131° 26.0' E）付近のデータをスティックダイアグラムとして表した。この結果から 3 層とも調査期間（平成 12 年 4 月から平成 13 年 2 月）を通して 51.4 cm/s（1 ノット）を超える流速はみられなかった。また、流向は東～北東向きあるいは南西向きが卓越していた。
- ② 調査期間中、速い流れが観測された夏季における流況の水平分布を調べるため、平成 13 年 7 月の各層別（10 m, 30 m, 50 m 層）の流向、流速図を作成して検討した。流況は西流と南西流が卓越したが、二島グリ周辺の底層部では地形の影響を受け流れが一定でなくなる傾向が示された。

1.3.4 水温・塩分

平成 12 年 4 月から平成 13 年 12 月までの調査期間における水温・塩分の季節変化をタイムセクションプロットを用いて調べた。解析には高層魚礁及び H4 魚礁の南部に位置する測点 C5 を代表点として選定した。

- ① 水温躍層は 6 月中旬に形成され始め、8 月に顕著となり 9 月初旬頃まで継続する。その後 10 月頃から鉛直混合が進み、上層から下層まで一様化される。1~2 月頃には最低水温期を迎える。
- ② 塩分躍層は水温と同様に 6 月に形成され始め 8 月に顕著となる。その後 10 月下旬頃まで成層構造の名残りがみられるが、水温は 10 月に一様化するのに対し、塩分はその時期が 1 ヶ月遅れていた。
- ③ 水温・塩分躍層が形成される 7~8 月期における水温・塩分の水平分布を調べた。平成 13 年 7 月に観測した各層別（10 m, 30 m, 50 m 層）のデータをもとに、水温・塩分の水平分布図を作成した。この結果、水温の水平分布は各層毎には 0.2~1.2℃の差があるものの、高層魚礁及び既設魚礁付近では水温の差はほとんどみられなかった。これは塩分の水平分布でも同様の傾向を示した。
- ④ 高層魚礁周辺における海洋構造の鉛直的特性を知るため、高層魚礁を横切る定線を設定し、この定線下における水温・塩分の鉛直断面図を作成した。ここでは平成 13 年 7 月のデータを使用した。この結果、深度 20~30 m 層周辺に水温 24.0~25.0℃、塩分 33.0~33.5 psu の水温・塩分躍層が認められ、日本海南西沿岸域における夏季特有の「高温・低塩分」期の特徴を表していた。

1.3.5 プランクトン

- ① 平成 12 年 8 月 7 日 13:00（昼）、17:50（夕方）、同年 8 月 8 日 6:00（早朝）にプランクトン調査を実施した。この結果、沈殿量は早朝で 3.80 ml/m³ と最も多く、いずれの時間帯も 1 m 層より

30 m、50 m層の方が多かった。種組成はかいあし類や鞭毛虫が優占した。

- ② 平成13年5～8月にかけてプランクトン調査を実施した結果、沈殿量は5月で最も多く、次いで7月、8月、6月の順となった。
- ③ 平成13年5～8月にかけて実施した調査結果から、1ml中に含まれる動物プランクトンの数は、6月の30 m層が極めて多かった。優占種はワタセヨアミ、かいあし類、フジツボ類幼生であった。

2. 音響資源調査

2.1 目的

調査海域内の魚群分布や高層魚礁と既設魚礁に蝟集する魚群量の違いを把握するため、① 通常魚群探知機（古野電気製 FCV-140, 200 kHz 及び 28 kHz）による調査、及び② FQ-70 型計量魚群探知機（古野電気製 200 kHz 及び 50 kHz）とスキャニングソナー（古野電気製 CH-34, 162 kHz）を併用した調査を実施した。

2.2 材料及び方法

2.2.1 通常魚群探知機による魚群分布調査

通常魚群探知機による魚群分布調査では月1回の観測を原則として、高層魚礁及びH4魚礁で確認される魚群の出現回数を魚探機映像及び記録紙から計数した。また、魚群反応面積を高層魚礁とH4魚礁について比較することにより、魚礁効果の季節変化を調べた。

2.2.2 計量魚探機とスキャニングソナーを併用した魚群分布調査

調査海域における魚群分布と各魚礁に蝟集する魚群量を調べるため、計量魚探機とスキャニングソナーを用いた魚群分布調査を行った。計量魚探機による解析は、積分層を平成12年度は水平方向50 m×深度方向0.39 m、平成13年度では0.02 マイル×1 mに設定してSV (Volume back-scattering strength) 値を計測した。また、スキャニングソナーによる解析では、ビデオ装置に収録したソナー映像をビデオキャプチャボードを通してパソコンに取り込み、魚群規模を測定した。

2.2.3 釣獲及び水中テレビ（アイボール）調査

魚探映像に映し出されて魚種を確認するため、音響調査と同時に釣獲調査及びアイボールによる直接観察を行った。得られた漁獲物は後日、研究室において、全長、尾叉長、標準体重及び体重を測定した。

2.3 結果

2.3.1 通常魚探調査による魚群分布調査

- ① 平成12年度及び平成13年度に実施した通常魚探機調査の結果、魚群の出現回数は平成12年度で高層魚礁7回、H4魚礁6回、平成13年度では高層魚礁2回、H4魚礁4回と高層魚礁とH4魚礁の間に有意な差はみられなかった。
- ② 平成12年度の調査月ごとの高層魚礁における魚群反応面積は6～8月に大きく、7月で509 m²と高い値を示した。
- ③ 平成13年度の調査月ごとの高層魚礁における魚群反応面積は8月及び12月に大きく、特に8月では1343 m²と非常に高い値を示した。
- ④ 魚礁面積に対する魚群反応面積の比を高層魚礁とH4魚礁について求めた。これらの比を比較すると、高層魚礁の方がH4魚礁に比べ、平成12年度で1.81倍、平成13年度で1.47倍大きかった。

2.3.2 計量魚探機とスキャニングソナー併用法による魚群分布調査

2.3.2.1 計量魚探機による魚群分布調査

計量魚探機から得られる SA (Area back-scattering strength) 値を用いて、調査海域や魚礁設置周辺域における魚群の分布特性を検討した。本項では通常魚探機による魚探調査が行われなかった平成 12 年 5 月と 11 月、及び平成 13 年 7 月の結果を示す。

- ① 平成 12 年 5 月の観測では、高層魚礁周辺から南部海域の中層にかけて SA 値が -50 dB/m^2 程度の濃密なプランクトン層が広く分布していた。また、魚群反応は H10 魚礁周辺の底層 (Bottom-10 m) や二島グリ周辺の中層 (10-40 m) 及び底層にみられた。
- ② 平成 12 年 11 月においては 5 月にみられた海域全体に分布する濃密なプランクトン反応はほとんどみられなくなった。その一方で、 $-40 \sim -50 \text{ dB/m}^2$ 程度の小魚群が高層魚礁、H4 魚礁、H10 魚礁の中層と底層に分布していた。
- ③ 平成 13 年 7 月の魚群規模は平成 12 年 5、11 月にみられた魚群規模より大きく、その魚群密度も SA 値が $-35 \sim -45 \text{ dB/m}^2$ と 5、11 月に比べ高かった。これらの魚群は高層魚礁周辺、H4 魚礁、H10 魚礁周辺の海底付近を中心に密集して分布していた。

2.3.2.2 計量魚探機とスキャニングソナー併用法による魚礁別魚群量推定の比較

Hamano *et al.*^{1,2)}が提案した計量魚探機とスキャニングソナーとを併用した新しい魚群量推定法を用いて、高層魚礁、H4 魚礁、及び H10 魚礁に蟄集する魚群規模及び量を推定した。本法はスキャニングソナー情報をもとに魚群規模を三次元化することにより魚群体積を求め、さらに計量魚探機で得られた魚群密度の両者を掛け合わせるにより魚群量を推定するものである。ここでは、魚群の蟄集が高かった夏期に焦点を当て平成 13 年 7 月のデータを使用した。

(1) 魚群密度の推定

魚群密度を推定するためには、計量魚探機より魚群内で得られた平均 SV 値 (1 m×5 m) を対象魚 1 尾当たりの平均 TS (ターゲットストロングス) で除す必要がある。Foote³⁾による TS-体長 L の関係式 ($TS = 20 \log L - 67.4$; 但し定数は閉鰐魚) より TS を算出した。

- ① 音響調査と同時に実施した釣獲試験の結果、高層魚礁及び H10 魚礁近傍でマアジが 18 尾漁獲された。平均全長は 11.5 cm であった。
- ② マアジの平均全長を Foote の関係式に代入した結果、マアジ 1 尾当たりの平均 TS は -46.2 dB と推定された。
- ③ マアジ 1 尾当たりの平均重量は体長 TL-体重 BW の関係式 ($BW = 3.44 TL - 26.0$; 但し BW: 体重, TL: 全長) から 13.6 g と推定された。
- ④ 魚群反応を全てマアジと仮定して各魚礁に蟄集する魚群密度を推定した結果、高層魚礁で 6.05 g/m^3 、H4 魚礁で 1.46 g/m^3 、H10 魚礁で 4.94 g/m^3 と推定された。

(2) 各魚礁に蟄集する魚群体積及び魚群量の推定

- ① 各魚礁に蟄集する魚群体積を推定する第一段階として、スキャニングソナーで得られた断層画像を画像処理技術によりデジタル化し、これを針路方向に重ね合わせて魚群構造の三次元化を行った。
- ② 次に、①で得られた三次元画像の単位体積としての Voxel に X (左右方向)、Y (針路方向)、Z (深度方向) における実距離を掛けることにより各魚礁別の魚群規模及び体積を推定した。
- ③ 最後に先に述べた魚群密度にマアジ 1 尾当たりの平均重量及び魚群体積を掛け合わせるにより魚群量を試算した。この結果、高層魚礁で 0.4 トン、H4 魚礁で 0.05 トン、H10 魚礁で 0.36 トンと

推定され、高層魚礁が他の魚礁に比べ蛸集量が一番高い値を示した。

表 各魚礁に蛸集する魚群量の比較

	規模 高さ×幅×長さ(m)	体積 ×10 ³ (m ³)	平均密度 (g/m ³)	魚群量 (t)
高層魚礁	46×109×47	66.2	6.05	0.40
H4 魚礁	31×90×120	35.3	1.46	0.05
H10 魚礁	48×109×58	72.8	4.94	0.36

2.3.3 釣獲及び水中テレビ（アイボール）調査

- ① 音響資源調査と同時に実施した釣獲試験の結果は、平成12年度ではサビイ、アジ類、ウツラハギ、ブリ、シラ、カゴ、クツイ、ヤブ、サバ類、イナダ類、マトウイが漁獲された。一方、平成13年度ではブリ、ネブツダイ、イナダ類、アジ類、サビイ、サバ類、カサチウシ、マウ、カゴ、ウツラハギ、カサチウシが漁獲された。
- ② 水中テレビ調査では平成12年5月において高層魚礁に蛸集する小魚群を捕食しようとするブリの群れが観測された。また、平成12年11月では高層魚礁の上部にネブツダイ、さらにその周辺にウツラハギ魚群が蛸集する状況が観測された。

2.4 考察

魚群分布が水温・塩分の鉛直構造とどのような関係にあるのか、さらに、それが高層魚礁や既設魚礁や天然礁に対し鉛直的にどのような位置関係にあるのかを検討した。また、魚群量推定値についても併せて考察した。

- ① 5月に観測された魚礁周辺における浮魚群の鉛直的分布は、水深40m付近に形成されつつある水温躍層の形成深度とほぼ一致することから、魚群の鉛直的分布に水温・塩分の海洋環境が大きな影響を及ぼしていると考えられた。
- ② 高層魚礁の設置水深と魚礁の高さは、海洋環境の変化の中で、魚群の蛸集と滞留にとって極めて重要な要件となる。
- ③ 鉛直混合により海水が一様化される11月は、海洋構造が魚群の鉛直的分布に与える影響は少なくなる。そのため、高さが異なる魚礁では浮魚類は高層魚礁に、底魚類は既設魚礁にそれぞれ蛸集する傾向がみられた。
- ④ 各魚礁に蛸集する魚群量を推定するため、三次元画像解析により魚群体積を推定したが、今回求めた魚群体積はソナーのビーム幅にもとづく画像拡大効果に対する補正は行っていない。従って、ビーム幅による画像拡大効果の補正については今後の課題が必要となる。

3. 標本船調査

3.1 目的

高層魚礁と対照魚礁としてのH4魚礁、H10魚礁、二島グリ、さらに他の魚礁やその他の漁場に来遊、蛸集する魚類がそれぞれの魚礁を季節変化を通してどのように利用しているのか、標本船調査のデータをもとに調べる。

3.2 材料及び方法

奈古漁業協同組合に所属する一本釣り漁船に漁獲場所、魚種、およその体長の記録を依頼して標本船調査を実施した。調査期間は平成11年度は6～11月、平成12年度は7～12月、平成13年度は7～1

月の間である。標本船隻数は平成11～12年度は3隻、平成13年度は5隻に依頼した。得られたデータはファジィクラスター解析法⁴⁾を用いて検討した。

3.3 結果

3.3.1 魚礁別漁獲物組成の特徴

3.3.1.1 年度別の魚礁と魚種の座標づけとファジィクラスターリング

魚礁別に漁獲される漁獲物組成の特徴を検討するため、平成12、13年度の11月の標本船データを用いて、各魚礁と魚種の座標づけとクラスターリングを行った。

- ① 各魚礁はA群(H4魚礁, 二島グリ, 高層魚礁(H.12))とB群(H10魚礁, 他の魚礁, 高層魚礁(H.13))の2群に識別され、魚種もSP-A1(イカ類, カサガシ類, プリ幼魚, カバチなど)、SP-A2(マグイ, イサキなど)、SP-B1(マグイ, ウマヅラギ, カサガシ, アジ類など)、SP-B2(カサガシ, プリ, ヒラマサ, ヒラメなど)の4群に識別された。
- ② 高層魚礁は①から平成12年度はA群、平成13年度はB群に識別され、これらの結果は、同じ魚礁であっても年度による漁獲物組成の変化により、異なる群に分類されることが示された。

3.3.1.2 魚礁別各魚種群の漁獲尾数

- ① 各魚礁における漁獲尾数は平成12年度の二島グリが突出して多い。
- ② 平成12年度の高層魚礁はSP-A1種(イカ類, カサガシ類, プリ幼魚, カバチなど)の回遊性浮魚類の漁獲割合が高く、平成13年度の高層魚礁はSP-B1種(マグイ, ウマヅラギ, カサガシ, アジ類など)の底魚類の漁獲割合が高い。
- ③ 他の魚礁、その他の漁場で漁獲尾数や種類数が多いのは、出漁回数が多いことに起因している。

3.3.1.3 Dufrene and Legendre の Indicator value 1 を用いた各魚礁群の指標種

各魚礁でどの魚種がどれ位多く漁獲されているのかを調べるため、A1魚礁群(イカ類, カバチ, カサガシ類, プリ幼魚など)を対象にDufrene and Legendre⁹⁾が提唱するIndicator value 1をファジィクラスターリングに拡張して検討した。

- ① カンパチは平成12年度の高層魚礁、カツオ類、プリ幼魚は平成12年度の二島グリ、アジ類及びキジハタは平成13年度の高層魚礁、イサキは平成13年度の二島グリ、マトウダイは平成13年度のH10魚礁でそれぞれ多獲された。

3.3.1.4 考察

- ① 年度別及び各魚礁別の魚種組成の特徴を座標づけとファジィクラスターリングにより識別した。この結果、高層魚礁では同じ魚礁であっても、平成12年度はA群、平成13年度はB群に分類された。従って、これらの結果は年によって漁獲される魚種の交替が大きく影響を及ぼしていると考えられた。
- ② 今回の標本船のデータにおいては、特に高層魚礁への出漁日数が少なかったため、今後は高層魚礁への出漁日数を増やし、各魚礁への出漁時期と出漁日数をできるだけ一致させたデータを収集する必要がある。

3.3.2 漁獲物の季節変化

漁獲物組成の季節変化を明らかにするため、各月ごとに得られた漁獲物データを用いて検討した。

3.3.2.1 各月と魚種の座標づけとファジィクラスターリング

平成11～13年度の各月の漁獲物組成の類似度に基づいて各月と魚種を座標づけした。

- ① 各月はA(6, 7, 8月)、B(8, 9, 10月)、C(11月)、D(12, 1月)の4群、各魚種もSP-A(イカ類, イサキ, など)、

SP-B(アジ類,カマス,カサガミ類など)、SP-C(ブリ幼魚,ヒラマサ幼魚など)、SP-D(マトウガイ,ダレイ,スズキなど)の4群に識別された。

- ② 各月は夏期(6~8月)、秋期(8~10月)、晩秋期(11月)、冬期(12,1月)に区分され、この海域の漁獲物組成は月とともに連続的に変化している。

3.3.2.2 月別各魚種群の漁獲尾数

- ① 漁獲尾数は夏期(6~8月)に多く、秋期~冬期に減少し、8月に最大となる。
- ② 種類数は秋期~晩秋期に増加し、11月に最大となる。
- ③ SP-A(イサキ類,イサキ,など)は夏期に、SP-B(アジ類,カマス,カサガミ類など)は秋期~冬期に、SP-C(ブリ幼魚,ヒラマサ幼魚など)は晩秋期~初冬期にかけて、また、SP-D(マトウガイ,ダレイ,スズキなど)は冬期に漁獲割合が高まる。

3.3.2.3 Dufrene and Legendre の Indicator value 1 を用いた各季節群の指標種

- ① 夏期(6~8月)は魚種は少ないがイサキ類とイサキが多獲された。漁獲尾数は他の季節に比べもっとも多かった。
- ② 秋期(8~10月)にはカマスやアジ類、サバ類、カンパチ、小型のタイ類、カツオ類といった回遊性の浮魚類を中心に多くの魚種が多獲されていた。
- ③ 晩秋期(11月)にはブリ幼魚、クエ幼魚、ヒラマサ幼魚など市場価値の高い魚種の増加がみられた。このことは、この時期がこの海域における低次生産から高次生産への食物連鎖の重要な時期になっていることを示している。
- ④ 冬期(12,1月)には魚種は減少するが、ブリに替わりヒラマサやスズキ、ヒラメ、マダイなど晩秋期同様に市場価値の高い魚種が多かった。

3.3.2.4 考察

- ① 標本船調査の結果から、高層魚礁における漁獲物組成は平成12年度ではカンパチなどの浮魚類、平成13年度ではアジ類やキジハタなどの底魚類が多獲されていることから、高層魚礁に蝟集する魚類は、年度による魚種交代や海洋環境の変化の中で、浮魚類から底魚類まで幅広く魚礁を利用しているものと考えられた。
- ② 各月における漁獲物組成の季節変化を調べた結果、秋期(8~10月)から冬期(12~1月)において、ヒラマサやスズキ、ヒラメ、マダイなど市場価値の高い魚種が漁獲されたことから、秋期から冬期にいたる季節はこの海域における漁業生産にとって非常に重要な時期と考えられる。今後はこの時期における海洋構造と魚群の蝟集状況を詳しく調査する必要がある。

要 約

- ① 平成12年度及び13年度に実施した通常魚探機による魚群分布調査から、高層魚礁における魚群の蝟集量は6~8月の夏期に多くなる傾向がみられた。
- ② 平成13年7月に実施した計量魚探機とスキャニングソナーを組み合わせた魚群量推定の結果から、高層魚礁は魚群密度及び魚群量とも他の既設魚礁に比べ魚群蝟集量が一番高い値を示した。
- ③ 高層魚礁の設置水深と魚礁の高さは水温・塩分躍層の形成水深との関連の中で、魚群の蝟集と滞留にとって極めて重要な要件になると考えられた。
- ④ 水温・塩分が海水の鉛直混合により一様化される11月には、高層魚礁は浮魚類に既設魚礁は底魚類に対してそれぞれ蝟集効果を発揮する傾向がみられた。
- ⑤ 標本船調査の結果から高層魚礁に蝟集する魚類は、年度による魚種交代や海洋環境の変化の中で、

浮魚類から底魚類まで幅広く魚礁を利用しているものと考えられた。

- ⑥ 各月における漁獲物組成の季節変化を調べた結果、秋期（8～10月）から冬期（12～1月）において市場価値の高い魚種が漁獲された。このことから、秋期から冬期はこの海域における漁業生産にとって非常に重要な時期と考えられた。

参考文献

- 1) Hamano, A., Nakamura, T. and Mizuguchi, N. 2001. Quantitative assessment of small pelagic school based on a three-dimensional analysis using a scanning sonar and echo-sounder. *The proceedings of the International Symposium. Acoustgear 2000*, 113-119.
- 2) Hamano, A. and Nakamura, T. 2001. Combined use of quantitative echo-sounder with scanning sonar to visualize semi-quantitative three-dimensional image of fish schools, *J. Nat. Fish. Univ.*, **50**, 1-12.
- 3) Foote, K.G., 1987. Fish target strength for use in echo integrator, *J. Acoust. Soc. Am.*, **82**, 981-987.
- 4) 品川汐夫・多部田修 1998. マクロベントスの調査データによる対応分析法と Rsn 法の比較. *日本水産学会誌*, **64**, 418-426.
- 5) Dufrene M. and P. Legendre, 1997. Species assemblages and indicator species: The need for a flexible asymmetric approach, *Ecological Monographs*, **67**, 345-366.

【全振協実施分】

4. 1 目視観察

- 1) 平成11～13年度調査期間中に試験礁の設置状況は、潜水やROVでの観察では試験礁の異常なく、洗掘・埋没も認められず安定していた。このことから試験礁自体の構造等は沈設時の状態にあった。
- 2) 試験礁への付着生物は、本年度調査終了時にヒドロ虫類、コケムシ類、管棲ゴカイ類、フジツボ類等で全体の80～90%に着生していた。この付着生物種は特徴的なものでなく、本海域に沈設されている人工魚礁の平均的な着生と推察される。
- 3) 平成11～13年の試験礁目視観察魚類の類型別出現を表7・2に示す。これによると全体では平成11年17種、12年23種、13年24種と種類数は増加傾向を示している。各類型ではI型の3カ年通算出現数7種に対し、3カ年共通出現種数0種(0%)、II型の通算出現種数15種、共通出現種数4種(27%)、III型の通算出現種数7種、共通出現種数2種(29%)、IV型の通算出現種数9種、共通出現種数2種(22%)となっている。このことから出現魚種数ではII型が最も多く、次いで、IV型、I・III型となっている。一方、3カ年の通算出現種数38種に対し、共通出現種数8種(21%)と少なく、毎年出現種が変わっており試験礁の鰓集魚類相は変化している。

表7・2 試験礁目視観察魚類の類型別出現

類型	平成11年	平成12年	平成13年	総種数・共通種数
I型	ニジギンボ、ミギマキ 2種・12%	ミノカサゴ、カサゴ、オキゴンベ 3種・13%	アナゴsp.、ミノカサゴ、ゴンズイ、カサゴ、オキゴンベ 5種・21%	7種・0種 0%
II型	ウスメバル、マハタ、ネンブツダイ、 イシダイ、ウマツラハギ、 アミメハギ、ハタンボsp. 7種・41%	ウスメバル、マハタ、ネンブツダイ、 イシダイ、ウマツラハギ、カワハギ、 テンジクダイsp.、クロソイ、マトウダイ、 キンチャクダイ、ウマツラハギ、 10種・43%	ウスメバル、クロソイ、アオハタ、サクラダイ、 テンジクダイsp.、ネンブツダイ、イサキ、 イシダイ、ウマツラハギ、カワハギ キンチャクダイ 11種・46%	15種・4種 27%
III型	ブリ、カンバチ、マアジ、ヒラマサ、シイラ 5種・29%	ブリ、カンバチ、イワシ類、アジsp. 4種・17%	アジsp.、ブリ、ヒラマサ、 3種・13%	7種・2種 29%
IV型	ササノハベラ、ハゼsp.、トラギス 3種・18%	ヒメジ、ササノハベラ、ホンベラ、ヒラメ、 リュウグウハゼ、ハゼsp. 6種・26%	イラ、ササノハベラ、クラケカトラギス、 リュウグウハゼ、ハゼsp. 5種・21%	9種・2種 22%
合計	17種	23種	24種	38種・8種 21%

3カ年の類型別出現量を表7・3に示す。これによると3カ年を通してIII・II型の2類型がそのほとんどを占め、特に11年にはIII型(マアジ)の出現が顕著であった。一方、12・13年はIII型以外の増加が目立っている。これはII型(ネンブツダイ)の増加に対し、III型の出現主体となっているアジ類の減少によるものと考えられる。3カ年を通して試験礁の目視観察ではIII型(72%)が優占出現類型となり、次いでII型(27%)が出現する傾向を示していた(図7・1)。

表7・3 試験礁目視観察魚種の類型別出現量・割合

類型	平成11年		平成12年		平成13年		3カ年平均	
	出現量(・)	%	出現量(・)	%	出現量(・)	%	出現量(・)	%
I	35	0.003%	1,903	0.2%	1,067	1.5%	2,294	0.1%
II	65,662	4.806%	266,505	35.0%	28,283	41.0%	341,595	15.9%
III	1,300,449	95.186%	491,246	64.5%	39,132	56.7%	1,804,739	83.9%
IV	70	0.005%	2,337	0.3%	576	0.8%	2,599	0.1%
合計	1,366,216	100%	761,991	100%	69,058	100%	2,151,226	100.0%

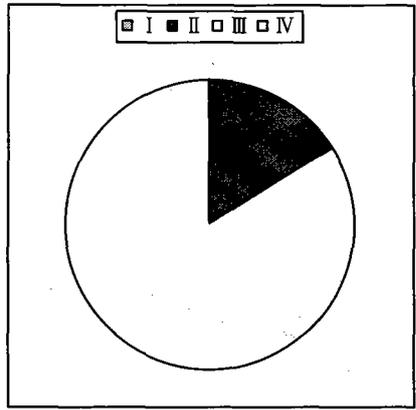


図7・1 3カ年通算した試験礁目視観察魚の類型別出現量割合

4) 11・13年の天然礁目視観察魚類の類型別出現を表7・4に示す。これによると全体で平成11年には39種、12年は47種、13年30種となっている。各類型ではII型の3カ年通算出現種数29種に対し、共通出現種数15種(52%)、I型通算出現種数8種、共通出現種数4種(50%)の2類型が高い出現傾向となっていた。出現魚種数ではII型がもっとも多く出現している。一方、3カ年の全体出現種数55種に対し、I・II型を中心に共通出現種数22種(40%)となった。

表7・4 天然礁目視観察魚類の類型別出現

類型	平成11年	平成12年	平成13年	総種数・共通種数
I型	ゴンスイ、ミノカサゴ、オニカサゴ、カサゴ タカノハダイ、アナハゼ 6種・15%	ゴンスイ、ミノカサゴ、オニカサゴ、カサゴ タカノハダイ、オハグロペラ、ニジギンボ 7種・15%	ミノカサゴ、オニカサゴ、カサゴ、タカノハダイ、 オハグロペラ 5種・19%	8種・4種 50%
II型	メバル、キジハタ、アカハタ、イサキ、 キンギョハナダイ、ネンブツダイ、メジナ、 テンジユクダイsp.、キンチャクダイ、 イシダイ、イシガキダイ、スズメダイ、 ソラスズメダイ、マツバスズメダイ、アイゴ ニザダイ、カマスsp.、ウスバハギ、カワハギ ハコフグ、サクラダイ、カワハギsp.、 コブダイ 23種・59%	メバル、キジハタ、アカハタ、イサキ、 キンギョハナダイ、ネンブツダイ、メジナ、 テンジユクダイsp.、キンチャクダイ、 イシダイ、イシガキダイ、スズメダイ、 ソラスズメダイ、マツバスズメダイ、アイゴ ニザダイ、カマスsp.、ウスバハギ、カワハギ ハコフグ、ハタsp.、コスジシモチ、マダイ ハタンボsp.、イスズミ、ウマツラハギ 26種・55%	メバル、キジハタ、アカハタ、キンギョハナダイ、 メジナ、キンチャクダイ、イシダイ、イシガキダイ スズメダイ、ニザダイ、ウマツラハギ、カワハギ、 ネンブツダイ、イサキ、ハコフグ ソラスズメダイ、スズメダイsp. 17種・52%	29種・15種 52%
III型	ヒラマサ、マアジ、ツムブリ 3種・8%	イワシ類、タカベ、ヒラマサ、カンパチ、 アジsp. 5種・10%	タカベ、ヒラマサ、アジsp. 3種・11%	7種・1種 14%
IV型	ササノハベラ、カミナリベラ、ホンベラ、 イラ、ハゼsp.、ヒラタエイ、 ホンソメワケベラ 7種・18%	ササノハベラ、カミナリベラ、ホンベラ、 イラ、ハゼsp.、キュウセン、ニシキベラ、 イトヒキベラ、ヒラメ 9種・19%	ササノハベラ、ホンベラ、イラ、ニシキベラ、 イトヒキベラ 5種・19%	11種・3種 27%
合計	39種	47種	30種	55種・22種 40%

3カ年の類型別出現量を表7・5に示す。これによると3カ年ともII・III型の2類型がそのほとんどを占め、特に11年にはII型(スズメダイ・イサキ)の出現が顕著であった。12・13年は全体の出現量が多くなり、II型の出現量は11年に比べ増加しているが占有率は低下した。これは回游性の高いIII型(ヒラマサ・アジ類)が両年で増加したことによった。3カ年を通した天然礁の目視観察ではII型(81%)が優占出現類型となり、次いでIII型(17%)が出現する傾向を示していた(図7・2)。

表7・5 天然礁目視観察出現魚種の類型別出現量・割合

類型	平成11年		平成12年		平成13年		3ヶ年平均	
	出現量(・)	%	出現量(・)	%	出現量(・)	%	出現量(・)	%
I	7,911	0.8%	4,382	0.2%	4,684	0.3%	13,854	0.3%
II	972,250	95.8%	2,184,532	87.0%	1,091,408	60.6%	3,520,585	85.3%
III	18,913	1.9%	257,477	10.3%	699,438	38.9%	509,536	12.3%
IV	15,786	1.6%	65,260	2.6%	4,354	0.2%	82,497	2.0%
合計	1,014,860	100%	2,511,651	100%	1,799,884	100%	4,126,472	100.0%

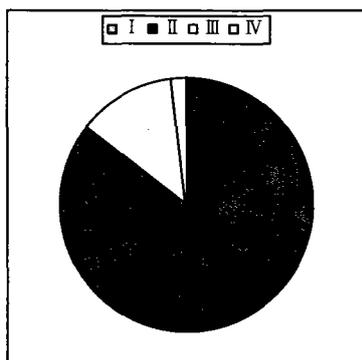


図7・2 3カ年通算した天然礁目視観察魚の類型別出現量割合

5) 試験礁と天然礁の目視観察に出現した魚類をI～IV型に区分した。各類型毎に両所の全出現種数と共通出現種数および共通種の出現率を表7・6に示す。これによると両所共通種の出現率が最も高いのはIII型で、次いでI、IVの順となった。全体での両所共通種出現率28%となり、魚種出現からみた試験礁と天然礁の共通性は低いと言える。

表7・6 3カ年を通して目視観察に出現したI～IV型の魚種数

類 型	両所全出現種数	両所共通出現種数	両所共通出現率
I	11	4	36%
II	36	7	19%
III	9	4	44%
IV	15	5	33%
合計	71	20	28%

3カ年を通し試験礁と天然礁で各類型毎に出現した重量を図7・3に示す。これによると試験礁ではIII型が、天然礁ではII型がそれぞれ優占類型種となっていることが判った。

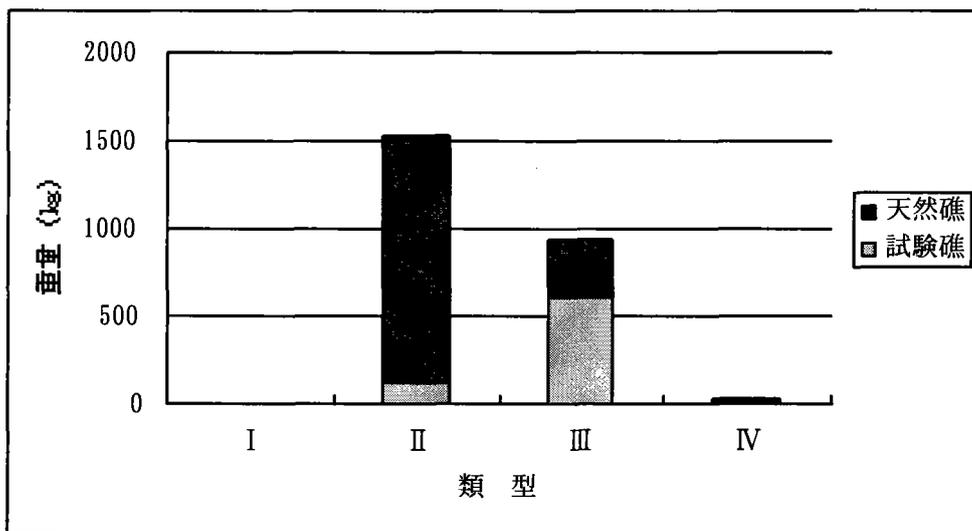


図7・3 3カ年を通して目視観察に出現したI～IV型の重量

4.2 水中テレビ調査

水中テレビは平成11年には主に吊り下げ式のアイボール・カメラを用いた。12・13年では自走式ROV1回の観察で100尾以上が観察された魚種を表7・17に示す。これによると試験礁と造成礁ともに主に出現しているのはII型のネンプツダイ、III型のアジ類となっている。この傾向は試験礁では目視観察結果と釣獲調査に、造成礁は釣獲調査に比較的適合する。このようにテレビカメラによる

調査で蛸集魚の定性的な資料を得ることとは比較的簡単にできた。またテレビカメラを使用することで長時間の観察が可能となり、潜水では観察できないブリ、カンパチ、ヒラマサ等の大型魚がアジ類を摂餌する様子を観察できた。

表7・17 ROV観察で100尾以上が出現した魚種と回数

調査対象 魚種名	試験礁		造成礁	
	12年度	13年度	12年度	13年度
ネンブツダイ	1	2	1	3
アジ類	1	1	2	1
ウマツラハギ	2			3
テンジクダイ科			1	
カワハギ		1		
調査回数	2	3	2	3

5. 釣獲調査

1) 平成11～13年に試験礁で釣獲した魚類の類型別出現状況を表7・7に示す。これによると平成11年・27種、12年・24種、13年12種が出現している。全体では41種で3カ年とも出現した魚種は7種(17%)となった。各類型ではI型で3カ年の通算出現種数2種に対し、共通出現種数1種(50%)、II型の通算出現種数11種、共通出現種数3種(27%)、III型の通算出現種数17種、共通出現種数2種(12%)、IV型の通算出現種数11種、共通出現種数0種(0%)となっている。このことから試験礁の釣獲魚出現魚種数からはIII型が優占出現類型となり、次いで、II・IV型となっていた。また、共通出現種数は少なく、蛸集魚類相の変化が窺える。

表7・7 試験礁釣獲魚の類型別出現

類型	平成11年	平成12年	平成13年	総種数・共通種数
I	カサゴ、ミノカサゴ 2種・7%	カサゴ 1種・4%	カサゴ 1種・8%	2種・1種 50%
II	マハタ、ウマツラハギ、ネンブツダイ、イサキ、イシモチ、スズメダイ、チダイ、カワハギ。 8種・30%	マハタ、ウマツラハギ、クロソイ、マトウダイ、キツネメバル、ネンブツダイ 6種・25%	マハタ、ウマツラハギ、ネンブツダイ 3種・25%	11種・3種 27%
III	サバフグ、ウルメイワシ、マアジ、マサバ、ブリ、マルアジ、シイラ、コシナガマグロ、カンパチ、ソウダガツオ 10種・37%	サバフグ、ウルメイワシ、マアジ、マサバ、ブリ、マルアジ、シイラ、コシナガマグロ、カンパチ、カタクチイワシ、サワラ、カナフグ、ムロアジ 13種・54%	ヒラマサ、マアジ、マサバ、コシナガマグロ、ハガツオ、マルソウダ。 6種・50%	17種・2種 12%
IV	カイトリ、アカエソ、イトヨリダイ、トラギス、ホウボウ、フグsp.、エソsp.、 7種・26%	マエソ、ワニエソ、ササノハベラ、カイトリ 4種・17%	カマス、マエソ 2種・17%	11種・0種 0%
合計	27種	24種	12種	41種・7種 17%

3カ年の類型別釣獲量を表7・8、また3カ年を通じた出現量割合を図7・4にそれぞれ示す。これによると1回の釣獲量は11年(10・11月平均値)に対し、12・13年は減少傾向にある。一方、3カ年ともIII型が卓越して釣獲された。これは12年ではブリ類の増加によるものであった。このことから試験礁の釣獲魚の類型別出現ではIII型が優占出現類型となり、次いで、II型となっていた。

表7・8 試験礁釣獲魚の類型別出現量・割合

類型	平成11年		平成12年		平成13年		3ヶ年平均	
	出現量(・)	%	出現量(・)	%	出現量(・)	%	出現量(・)	%
I	140	0.7%	175	1.9%	270	7.0%	405	1.3%
II	7,272	34.9%	2,527	27.8%	626	16.2%	10,007	32.1%
III	11,080	53.2%	5,870	64.7%	2802	72.6%	17,884	57.3%
IV	2,348	11.3%	501	5.5%	164	4.2%	2,904	9.3%
合計	20,840	100%	9,073	100%	3,862	100%	31,200	100.0%

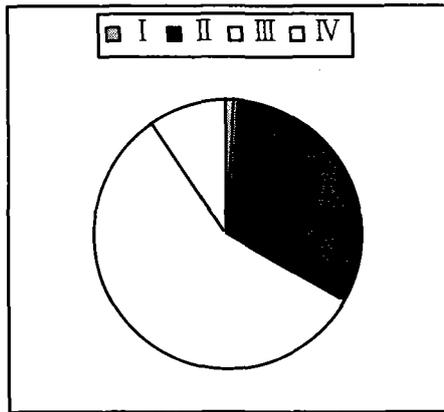


図7・4 3カ年を通した試験礁釣獲魚の類型別出現量割合

目視で観察魚の大きさと尾数を記録し、体長・体重関係式により魚類の重量推定を行なった。釣獲により得られた魚類の全長・湿重量の測定値と、目視観察の全長・推定湿重量を表7・9（平成12年度）に示す。これによると釣獲の実測値と推定値は比較的適合しており、推定値を用いた全体量の推定に過大評価の危険性は少ないことが判った。

表7・9 釣獲魚実測値と観察魚推定値の比較（平成12年度）

月	魚種名	方法	釣獲		目視観察	
			全長範囲 (cm)	平均体重 (・)	全長範囲 (cm)	推定体重 (・)
6月	マアジ <i>Trachurus japonicus</i>		12.5	18.9	5.0~10.0	7.0
7月	マアジ <i>Trachurus japonicus</i>		9.5~13.3	20.8	5.0~15.0	16.0
	ウマツラハギ <i>Thamnaconus modestus</i>		26.4~36.5	371.1	30.0~35.0	370.0
9月	ネンブツダイ <i>Apogon semilineatus</i>		8.5~11.2	10.7	8.0~10.0	11.3
	マアジ <i>Trachurus japonicus</i>		10.8~25.8	89.8	12.5	30.0
	ウマツラハギ <i>Thamnaconus modestus</i>		35.0	352.0	30.0	370.0
	シイラ <i>Coryphaena hippurus</i>		35.3	266.0	35.0	200.0
10月	マアジ <i>Trachurus japonicus</i>		18.3~23.2	80.8	17.5	82.0
	ウマツラハギ <i>Thamnaconus modestus</i>		31.1~31.4	498.0	30.0	370.0
	ブリ <i>Seriola quinqueradiata</i>		40.3~46.6	934.2	40.0	691.0

注：目視観察魚の体重推定には、全長範囲の中間値を計算に用いている。

2) 平成11・13年に造成礁で釣獲した魚類の類型別出現を表7・10に示す。これによると平成11年・27種、12年・20種、13年14種が出現している。全体では38種で3カ年とも出現した魚種は8種(24%)となった。各類型ではI型で3カ年の通算出現種数2種に対し、共通出現種数1種(50%)、II型の通算出現種数12種、共通出現種数2種(17%)、III型の通算出現種数13種、共通出現種数4種(31%)、IV型の通算出現種数11種、共通出現種数1種(9%)となっている。このことから造成礁釣獲魚の類型別出現魚種数はIII型が優占出現類型となり、次いで、II型、IV型となった。

表7・10 造成礁釣獲魚の類型別出現

類型	平成11年	平成12年	平成13年	総種数・共通種数
I	カサゴ	カサゴ	カサゴ、ミノカサゴ	2種・1種
	1種・3%	1種・5%	2種・14%	50%
II	ウマツラハギ、マハタ、チダイ、カワハギ、クロソイ、キダイ、マダイ、スズメダイ、ネンブツダイ、キジハタ	ウマツラハギ、マハタ、チダイ、マトウダイ	ウマツラハギ、ウスメバル、マハタ、	12種・2種
	10種・37%	4種・20%	3種・21%	17%
III	マアジ、マルアジ、ウルメイワシ、マサバ、カタクチイワシ、コシナガマグロ、シイラサバフグ	マアジ、マルアジ、ウルメイワシ、マサバ、カタクチイワシ、コシナガマグロ、サワラブリ、カンバチ、ムロアジ、	マアジ、マサバ、アカヤガラ、マルアジ、コシナガマグロ、ブリ	13種・4種
	8種・30%	10種・50%	6種・43%	31%
IV	ササノハベラ、アマダイ、イトヨリダイ、フグsp.、カイワリ、トラギス、エソsp.	マエソ、ヒイラギ、ササノハベラ、カイワリ、ワニエソ	ササノハベラ、マエソ、イトヨリダイ	11種・1種
	8種・30%	5種・25%	3種・21%	9%
合計	27種	20種	14種	38種・8種 21%

3カ年の類型別釣獲量を表7・11、また3カ年を通した出現量割合を図7・5にそれぞれ示す。これによると平成11年ではII型が、12年ではIII型が卓越して釣獲されている。これはブリ類の増加によるものであった。一方、13年はII・III型が比較的多く釣獲された。このことから造成礁の釣獲魚

類型別出現量ではⅢ型が優占出現類型となり、次いで、Ⅱ型となった。

表7・11 造成礁釣獲魚の類型別出現量・割合

類型	平成11年		平成12年		平成13年		3ヶ年平均	
	出現量(・)	%	出現量(・)	%	出現量(・)	%	出現量(・)	%
I	240	3.7%	242	2.2%	577	10.0%	674	3.5%
II	4,290	65.8%	1,590	14.3%	1713	29.6%	6,451	33.0%
III	1,737	26.6%	9,083	81.9%	2801	48.3%	11,754	60.2%
IV	255	3.9%	170	1.5%	705	12.2%	660	3.4%
合計	6,522	100%	11,085	100%	5,796	100%	19,539	100.0%

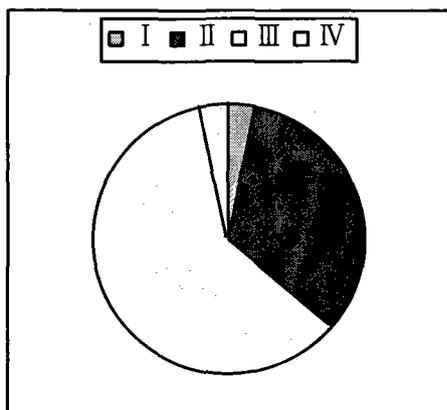


図7・5 3カ年を通した造成礁釣獲魚の類型別出現量割合

3) 平成11～13年に天然礁で釣獲した魚種の類型別出現を表7・12に示す。これによると平成11年・33種、12年・32種、13年9種が出現している。全体では51種で3カ年とも出現した魚種は8種(16%)となった。各類型ではI型で3カ年の通算出現種数5種に対し、共通出現種数2種(40%)、II型の通算出現種数20種、共通出現種数3種(15%)、III型の通算出現種数12種、共通出現種数2種(17%)、IV型の通算出現種数14種、共通出現種数1種(7%)となっている。このことから天然礁釣獲魚の類型別出現魚種数はII型が優占出現類型となり、次いで、IV型、III型となった。

表7・12 天然礁釣獲魚の類型別出現

類型	平成11年	平成12年	平成13年	総種数・共通種数
I	カサゴ、オハグロペラ、フサカサゴ、ミノカサゴ、 4種・12%	カサゴ、オハグロペラ、オニカサゴsp. 3種・9%	カサゴ、オハグロペラ 2種・22%	5種・2種 40%
II	ネンブツダイ、スズメダイ、イサキ、カワハギ、ウマツラハギ、アイゴ、キジハタ、フエフキダイ、マツバスズメダイ、サクラダイ、ハナダイsp.、テンジユクダイsp.、アイゴ、マハタ、シキシマハナダイ 15種・45%	ネンブツダイ、スズメダイ、イサキ、カワハギ、ウマツラハギ、アイゴ、キジハタ、タカベ、マツバスズメダイ、オオスジイシモチ、カマスsp.、アカハタ、コスジイシモチ 13種・41%	ネンブツダイ、イサキ、スズメダイ 3種・33%	20種・3種 15%
III	マアジ、マルアジ、サバフグ、カンパチ、モロ、カマス、シイラ、マサバ、 7種・21%	マアジ、マルアジ、ムロアジ、カンパチ、ムツブリ、ヒラマサ 7種・22%	ヒラマサ、マアジ 2種・22%	12種・2種 17%
IV	キュウセン、ササノハベラ、トラギスsp.、イトヨリダイ、ホウライヒメジ、エソsp.、トカゲエソ 7種・21%	キュウセン、ササノハベラ、オキトラギス、オキナヒメジ、アカエソ、ワニエソ、ヒラメ、ニシキベラ、ホンベラ 9種・28%	ササノハベラ、ニシキベラ 2種・22%	14種・1種 7%
合計	33種	32種	9種	51種・8種 16%

3カ年の類型別釣獲量を表7・13、また3カ年を通した出現量割合を図7・6にそれぞれ示す。これによると11年ではIII型が卓越し、12・13年ではII・III型が比較的多く釣獲された。このことから天然礁の釣獲魚類型別出現量ではIII型が優占出現類型となり、次いで、II型となっていた。

表7・13 天然礁釣獲魚の類型別出現量・割合

類型	平成11年		平成12年		平成13年		3ヶ年平均	
	出現量(・)	%	出現量(・)	%	出現量(・)	%	出現量(・)	%
I	115	0.6%	110	1.6%	306	4.1%	327	1.2%
II	4,432	24.4%	2,256	32.9%	1730	23.1%	7,265	26.4%
III	12,992	71.7%	3,534	51.5%	5280	70.6%	18,286	66.5%
IV	590	3.3%	956	13.9%	167	2.2%	1,602	5.8%
合計	18,129	100%	6,857	100%	7,483	100%	27,480	100.0%

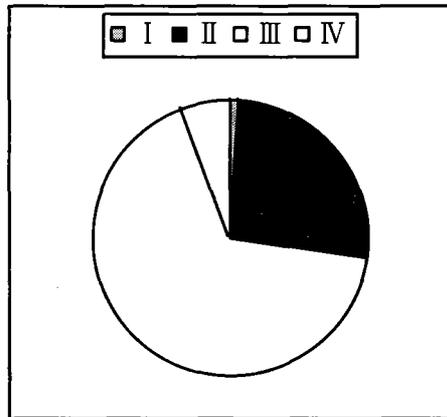


図7・6 3カ年を通した天然礁釣獲魚の類型別出現量割合

4) 各年度ごとの試験礁・造成礁・天然礁釣獲魚の共通出現種を表7・14・1に示す。これらによると平成11年ではI型でカサゴ1種、II型でマハタ、ウマツラハギ、スズメダイ、カワハギの4種、III型でマアジ、マサバ、マルアジ、シイラの4種、IV型でイトヨリダイ、エソ類の2種で、全体で11種が共通出現種となっている。平成12年ではI型でカサゴ1種、II型でウマツラハギの1種、III型でマアジ、カンパチ、マルアジ、ブリ、ムロアジの5種、IV型でワニエソ、ササノハベラの2種で、全体で9種が共通出現種となっている。平成13年ではI型でカサゴ1種、II型0種、III型でマアジの1種、IV型0種で、全体で2種が共通出現種となっている。3ヶ年を通して出現しているのはI型でカサゴ、III型でマアジの2種であった。このうちマアジは試験礁、造成礁、天然礁の3ヶ所で量的にも多く出現していた。

表7・14・1 平成11年度釣獲調査に出現した魚類

類型	試験礁 カサゴ、ミノカサゴ	造成礁 カサゴ	天然礁 カサゴ、オハグロベラ、フサカサゴ、 ミノカサゴ、 4種・12%	共通出現種
I	2種・7%	1種・3%	4種・12%	4種・1種 25%
II	マハタ、ウマツラハギ、ネンブツダイ、イサキ、 イシモチ、スズメダイ、チダイ、カワハギ、 8種・30%	ウマツラハギ、マハタ、チダイ、カワハギ、 クロソイ、キダイ、マダイ、スズメダイ、 ネンブツダイ、キジハタ 10種・37%	ネンブツダイ、スズメダイ、イサキ、カワハギ、 ウマツラハギ、アイゴ、キジハタ、フエフキダイ マツバスズメダイ、サクラダイ、ハナダイsp.、 テンジユクダイsp.、アイゴ、マハタ、 シキシマハナダイ 15種・45%	22種・4種 18%
III	サバフグ、ウルメイワシ、マアジ、マサバ、ブリ マルアジ、シイラ、コシナガマグロ、カンパチ ソウダガツオ 10種・37%	マアジ、マルアジ、ウルメイワシ、マサバ、 カタクチイワシ、コシナガマグロ、シイラ サバフグ 8種・30%	マアジ、マルアジ、サバフグ、カンパチ、モロ、 カマス、シイラ、マサバ、 7種・21%	13種・4種 31%
IV	カイワリ、アカエソ、イトヨリダイ、トラギス ホウボウ、フグsp.、エソsp.、 7種・26%	ササノハベラ、アマダイ、イトヨリダイ、 フグsp.、カイワリ、トラギス、エソsp. 8種・30%	キュウセン、ササノハベラ、トラギスsp.、 イトヨリダイ、ホウライヒメジ、エソsp.、 トカゲエソ 7種・21%	14種・2種 14%
合計	27種	27種	33種	

表7・14・2 平成12年度釣獲調査に出現した魚類

類型	試験礁	造成礁	天然礁	共通出現種
I	カサゴ 1種・4%	カサゴ 1種・5%	カサゴ、オハグロベラ、オニカサゴsp. 3種・9%	3種・1種 33%
II	マハタ、ウマツラハギ、クロソイ、マトウダイ キツネメバル、ネンブツダイ 6種・25%	ウマツラハギ、マハタ、チダイ、 マトウダイ 4種・20%	ネンブツダイ、スズメダイ、イサキ、カワハギ ウマツラハギ、アイゴ、キジハタ、タカベ、 マツバスズメダイ、オオスジシモチ、 カマスsp.、アカハタ、コスジシモチ 13種・41%	18種・1種 6%
III	サバフグ、ウルメイワシ、マアジ、マサバ、ブリ マルアジ、シイラ、コシナガマグロ、カンパチ カタクチイワシ、サワラ、カナフグ、ムロアジ 13種・54%	マアジ、マルアジ、ウルメイワシ、マサバ、 カタクチイワシ、コシナガマグロ、サワラ ブリ、カンパチ、ムロアジ、 10種・50%	マアジ、マルアジ、ムロアジ、カンパチ、ムツ ブリ、ヒラマサ 7種・22%	15種・5種 33%
IV	マエソ、ワニエソ、ササノハベラ、カイワリ 4種・17%	マエソ、ヒイラギ、ササノハベラ、カイワリ、 ワニエソ 5種・25%	キュウセン、ササノハベラ、オキトラギス、 オキナヒメジ、アカエソ、ワニエソ、ヒラメ、 ニシキベラ、ホンベラ 9種・28%	12種・2種 17%
合計	24種	20種	32種	

表7・14・3 平成13年度釣獲調査に出現した魚類

類型	試験礁	造成礁	天然礁	共通出現種
I	カサゴ 1種・8%	カサゴ、ミノカサゴ 2種・14%	カサゴ、オハグロベラ 2種・22%	3種・1種 33%
II	マハタ、ウマツラハギ、ネンブツダイ 3種・25%	ウマツラハギ、ウスメバル、マハタ、 3種・21%	ネンブツダイ、イサキ、スズメダイ 3種・33%	8種・0種
III	ヒラマサ、マアジ、マサバ、コシナガマグロ、 ハガツオ、マルソウダ、 6種・50%	マアジ、マサバ、アカヤガラ、マルアジ、 コシナガマグロ、ブリ 6種・43%	ヒラマサ、マアジ 2種・22%	10種・1種 10%
IV	カマス、マエソ 2種・17%	ササノハベラ、マエソ、イトヨリダイ 3種・21%	ササノハベラ、ニシキベラ 2種・22%	5種・0種
合計	12種	14種	9種	

5) 3ケ年を通して試験礁・造成礁・天然礁釣獲魚の共通出現種割合を表7・15に示す。これによると試験礁・造成礁では全体で60%と共通性が高いことが判った。天然礁は試験礁と造成礁のいずれにもⅢ型以外は共通性は低かった。

表7・15 3ケ年を通した試験礁・造成礁・天然礁釣獲魚の共通出現種割合

類型	試験・造成共通	試験・天然共通	造成・天然共通	3箇所共通
I	50%	40%	20%	20%
II	53%	32%	24%	19%
III	67%	45%	47%	38%
IV	62%	26%	16%	19%
合計	60%	35%	27%	24%

3ケ年を通して試験礁、造成礁、天然礁釣獲魚の重複度指数の検討を下式により行なった。その結果を表7・16に示す。

$$C\lambda = 2\sum n_{li} \cdot n_{2i} / (\lambda_1 + \lambda_2) N_1 \cdot N_2, 0 \leq \lambda \leq 1 (\pm)$$

$$\lambda_1 = \sum n_{li} (n_{li} - 1) / N_1 (N_1 - 1), \lambda_2 = \sum n_{2i} (n_{2i} - 1) / N_2 (N_2 - 1)$$

ただし、N₁、N₂は第1組及び第2組におけるサンプル総数、n_{li}、n_{2i}はそれぞれの組における第i番目の区分に属するサンプル数、Sは区分の組み数である。

表7・16 試験礁・造成礁・天然礁釣獲魚の重複度指数

	平成11年	平成12年	平成13年
試験礁・造成礁	0.5167	1.0213	0.9754
試験礁・天然礁	0.1022	0.5529	0.9898
造成礁・天然礁	0.9605	0.7431	0.9970

重複度指数からみた釣獲魚は、平成11年では試験礁は造成礁と重複の関係が窺われるが、天然礁とは異なる魚類群集構成となっていることが明らかである。一方、造成礁は天然礁とは高い重複度を示していることが判る。平成13年には3礁間の重複度は同程度となっており、試験礁の魚種組成が天然礁に近付いているとも言える結果となった。表面的な共通種では異なるが、魚類群集構成から見ると、時間の経過にともないより近い群集構成となった。

6) 3ケ年を通して試験礁・造成礁・天然礁釣獲魚の類型毎の出現量を図7・7に示す。これによると試験礁・造成礁・天然礁のいずれも釣獲魚はⅢ型が優占出現類型となり、次いで、Ⅱ型となっていた。

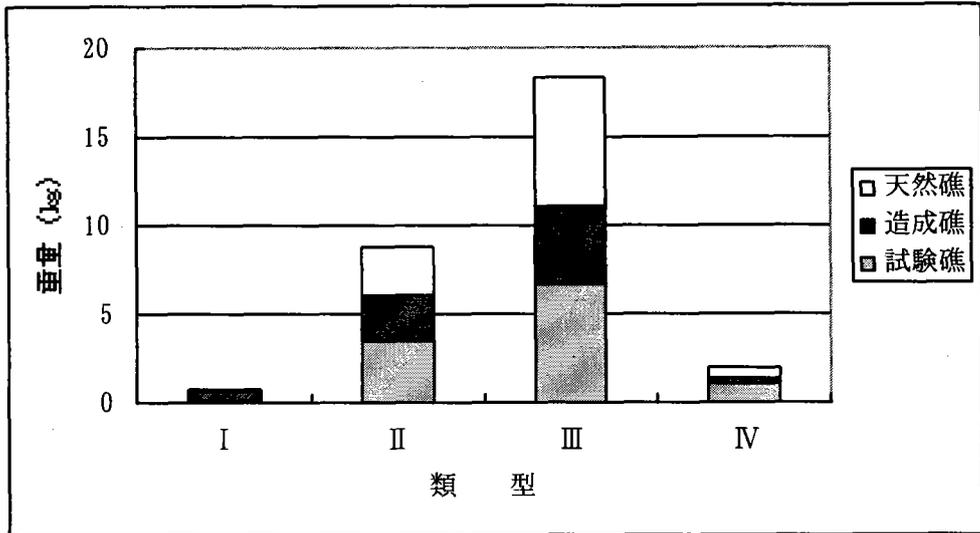


図7・7 3ケ年を通した試験礁・造成礁・天然礁釣獲魚の類型別出現量割合

6. 魚探調査

試験礁と比較対象とした造成礁の各年度における最大魚礁反応面積 (A) と各月の最大魚群反応面積 (B) を求め B/A を魚礁魚群反応比とした。また、各年度の魚探調査で収録した試験礁および造成礁の最大魚礁反応面積は年度により異なったことから、図7・7に示すように aa' 、 $b'b'$ の面積を計算し、計算による最大魚礁反応面積を求めた。また、試験礁は1基で2,500空、造成礁は全体で約2,500空であったことから、魚礁規模が同じなので魚群反応面積の比較も行なった。

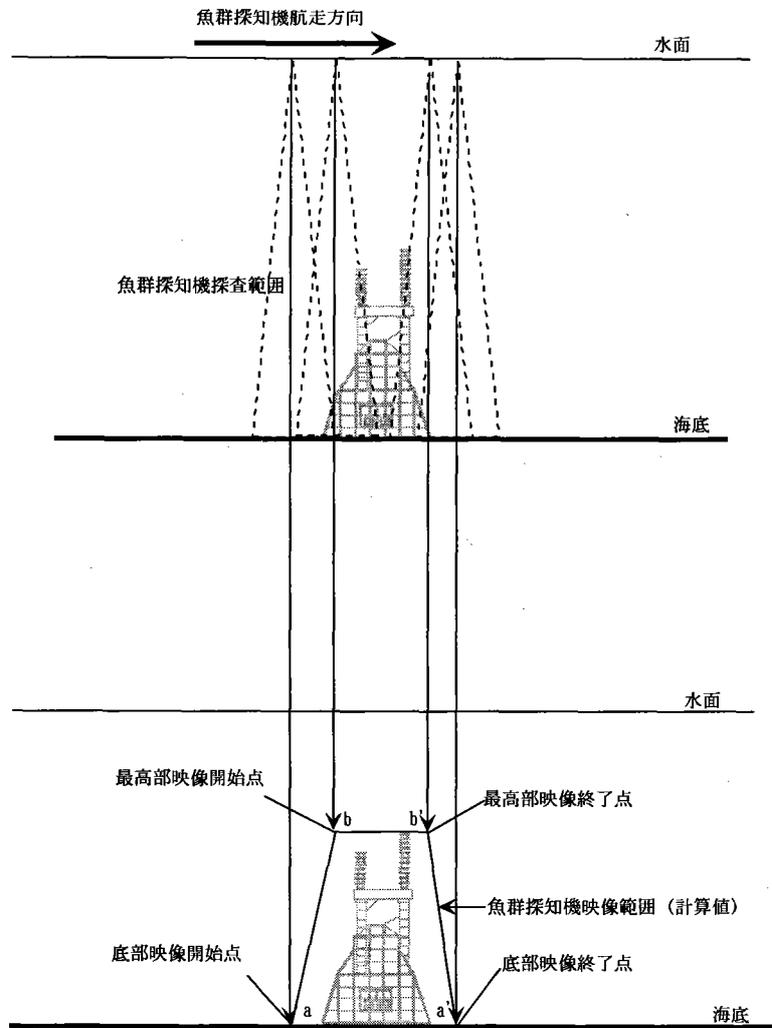


図7・7 人工魚礁魚探反応計算値算出法の概略

- 1) 3年間の試験礁および造成礁の魚礁魚群反応比を表7・18 19に示す。ここでは魚礁から分離した反応を目視・釣獲・水中テレビ調査結果からアジ類と推定した。以下分離した魚群反応を対象として検討した。試験礁では、魚群反応面積は年々減少傾向にある。一方、造成礁では平成12年度に最大を示し、13年度には減少しており、試験礁とは多少異なる傾向にある。試験礁および造成礁とも出現しているのはアジ類と推定している。平成11年度は試験礁に多く蛸集し、造成礁への蛸集は少ない傾向であった。平成12・13年には試験礁、造成礁の両方に蛸集した格好になっている。このうち平成13年度では6～9月の間にはアジ類は試験礁および造成礁付近に小群で来遊し、試験礁と造成礁のどちらかに蛸集していた。10月には大きな群れとなり両方に蛸集したが、11月にはこの海域から移動したとの推測もできた。

表7・18 試験礁魚探調査における各月の魚礁魚群反応比 (B/A)

年度 月	平成11年度		平成12年度		平成13年度	
	実測値 1,360m ²	計算値 690m ²	実測値 700m ²	計算値 690m ²	実測値 572m ²	計算値 690m ²
6月	0.735	1.449	0.443	0.449	0.685	0.568
7月	0.864	1.703	0.786	0.797	0.385	0.319
9月	0.607	1.196	0.650	0.659	0.203	0.168
10月			0.236	0.239	1.252	1.038
11月	0.647	1.275			0.056	0.056
平均	0.713	1.406	0.529	0.536	0.516	0.430

表7・19 造成礁魚探調査における各月の魚礁魚群反応比 (B/A)

年度 月	平成11年度		平成12年度		平成13年度	
	実測値 340m ²	計算値 215m ²	実測値 190m ²	計算値 215m ²	実測値 468m ²	計算値 430m ²
6月	0.559	0.884	0.895	0.791	0.501	0.540
7月	0.926	1.465	1.263	1.116	1.299	1.414
9月	0.221	0.349	2.316	2.047	0.359	0.391
10月			3.184	2.814	1.308	1.423
11月	0.162	0.256			0.556	0.605
平均	0.467	0.738	1.914	1.692	0.804	0.874

注：平成11・12年度は造成礁の計算値は1基とし、平成13年度は2基で計算をしてある。

- 2) 平成11・13年の試験礁と造成礁で記録された各月の魚群反応面積の変化を図7・8・10に示す。これによると平成11年には4回の調査全てで試験礁の魚群反応面積は800m²以上あるとともに、造成礁より大きい面積となっている(図7・8)。

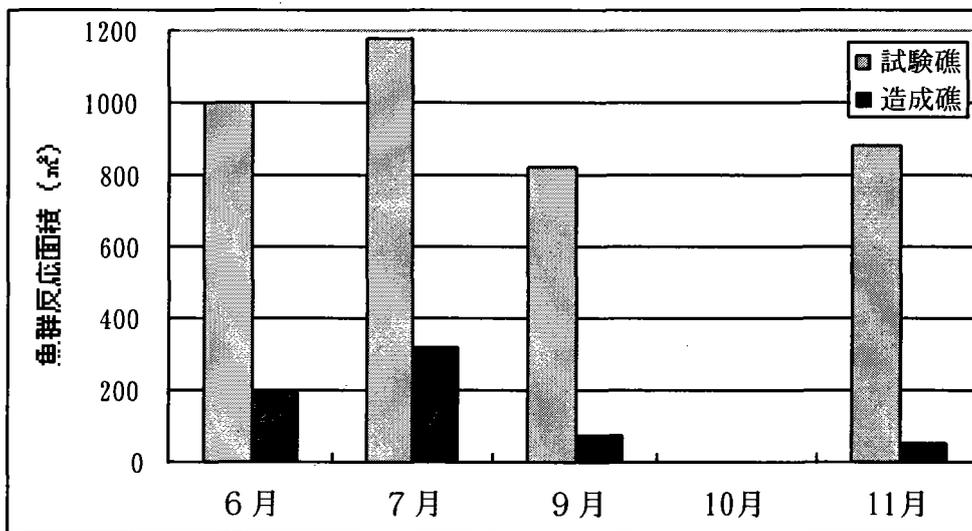


図7・8 平成11年の試験礁と造成礁の魚群反応面積

平成12年では4回中3回は試験礁の反応面積が造成礁より勝っているが、魚群反応面積が400m²以上は2回であった。11年と比べると、全体的に反応面積が減少している(図7・9)。

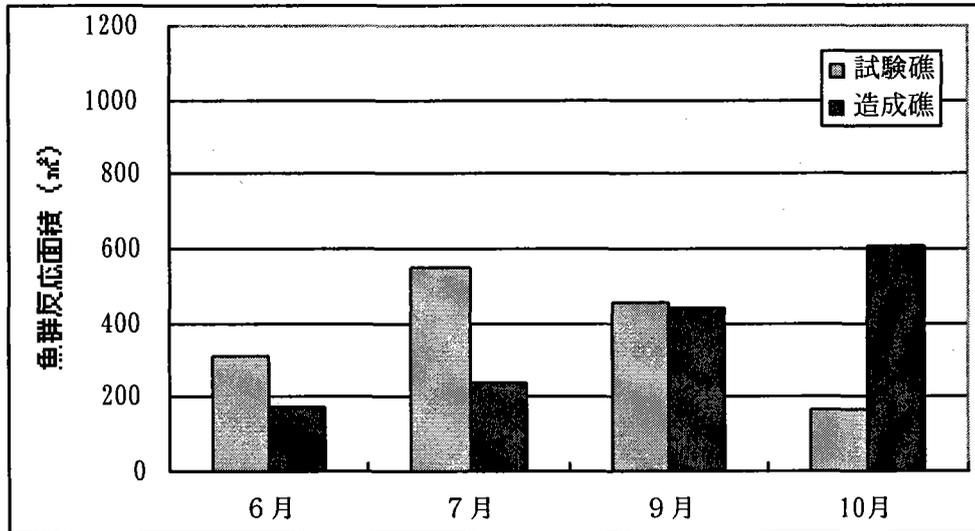


図7・9 平成12年の試験礁と造成礁の魚群反応面積

平成13年は5回の調査で試験礁の魚群反応面積が造成礁より上回ったのは2回のみであり、12年と同様に全体的に反応面積は、11年と比べ減少していた(図7・10)。

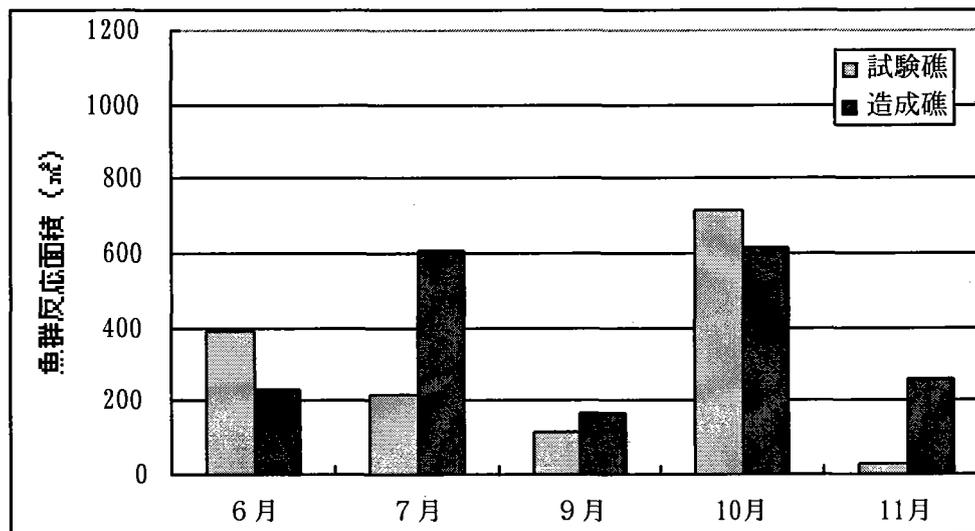


図7・10 平成13年の試験礁と造成礁の魚群反応面積

- 3) 平成11～13年に試験礁と造成礁で記録された各月の魚群反応を図7・11に示すように測定し、それぞれの数値から魚群の体積を求めた。ただし、図中のD1は魚群最浅部水深、W1は同水深での魚探掃海幅 ($D1 \times \tan \theta / 2$, θ は魚探の指向角 17°)、 $D2 \cdot W2$ は同様とし、魚群の幅は $(W1 + W2) \div 2$ で計算した。また、魚群の反応を楕円形、円形、四角形、台形、三角形などに区分して平面積を求めた。この平面積に魚群幅をかけて魚群体積とした。また、魚探反応は赤色、黄色、白色と魚群量の反射強度でその表示色が異なる。この反射強度を平成11年度の潜水調査に出現した体長20cmのマアジ(湿重量120g)魚群を標準にしてみた場合、魚探表示が赤色の時には3～9尾程度の群れであったことから、赤色を3尾/ =360g / とする。同様に黄色では1～2尾であったことから、1尾/ =120g / 、白色では1～1尾以下で0.3尾/ =40g / とし、それぞれの魚群反応の魚群量を重量として求めた。

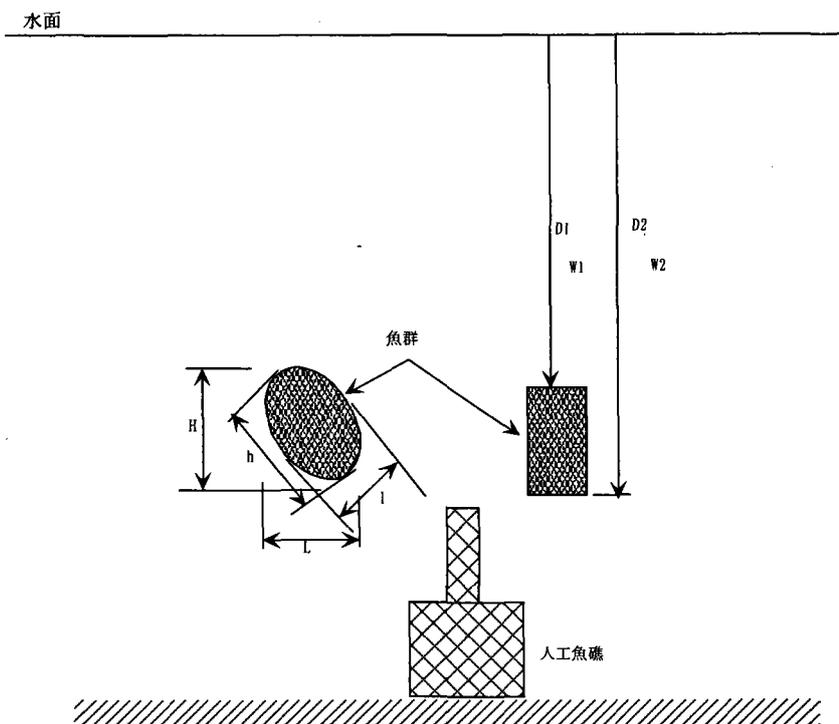


図7・11 魚群体積計算のための測定値

平成11年に試験礁と造成礁で得られた各月の魚群反応の総魚群量等を表7・20に示す。これによると試験礁では、魚群の出現は6 11月の4回の調査で5 11群が出現し、総体積は7,900 30,910、1群当り1,580 (11月) 3,864 (6月)、総魚群量は576 kg (9月) 3,192 kg (6月)となっている。一方、造成礁では魚群の出現は1 8群、総体積は900 6,100、1群当り625 (6月) 1,525 (7月)、総魚群量は36 kg (9月) 498 kg (7月)となっている。このことから平成11年度は試験礁の魚群増集量が造成礁と比べ多くなっている。

表7・20 平成11年度魚探調査で出現した魚群量等

年, 月	場 所	出現魚群数・A	総体積 (・)・B	B/A (・)	総魚群量 (kg)・C	C/B (g)
1999, 6	試験礁	8	30,910	3,864	3,192	103
	造成礁	2	1,250	625	162	130
1999, 7	試験礁	11	18,260	1,660	730	40
	造成礁	4	6,100	1,525	498	82
1999, 9	試験礁	5	10,800	2,160	576	53
	造成礁	1	900	900	36	36
1999, 11	試験礁	5	7,900	1,580	1,052	133
	造成礁	2	1,700	850	116	68

平成11年度調査で試験礁の魚群出現水深と水深別出現魚群体積を図7・12に示す。これによると魚群出現水深は、試験礁上部の水深40m付近から上層部にかけて多く出現し、試験礁が高いことで立体的に魚群が増集している。一方、造成礁での魚群出現水深と魚群体積を図7・13に示す。造成礁の魚群出現水深は造成礁上部から上層部にかけて出現し、造成礁は試験礁と比べ礁高が低いことから魚群がほとんど水深50m以深で出現している。

試験礁の魚群形成水深は、塩分の変化点が水深15 30mに明瞭であった7月には、この変化点より下層の安定した水深帯に出現している。

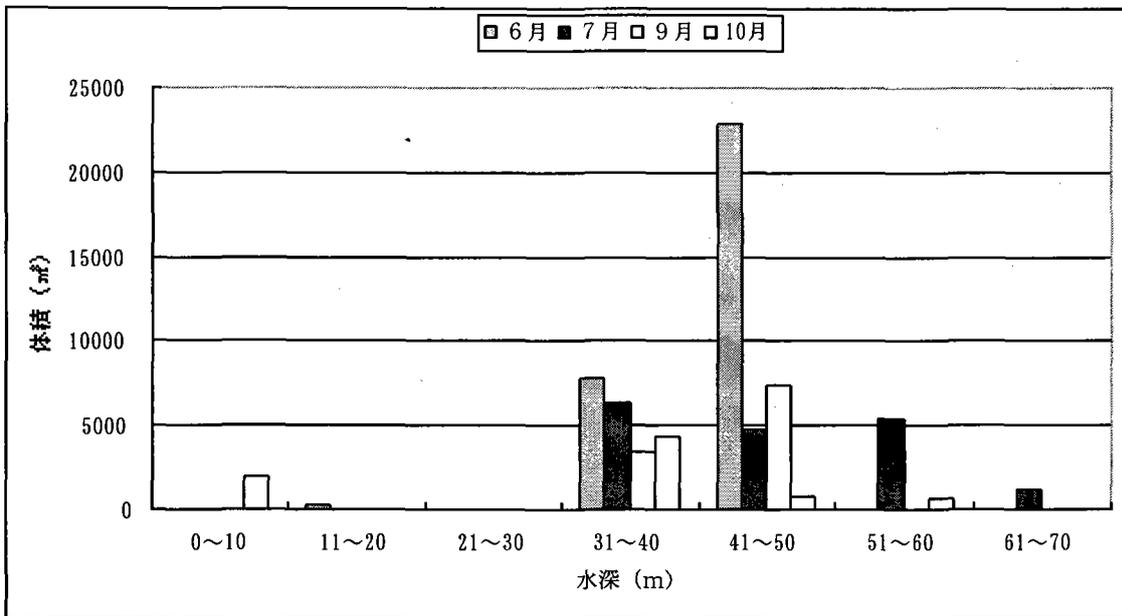


図7・12 試験礁

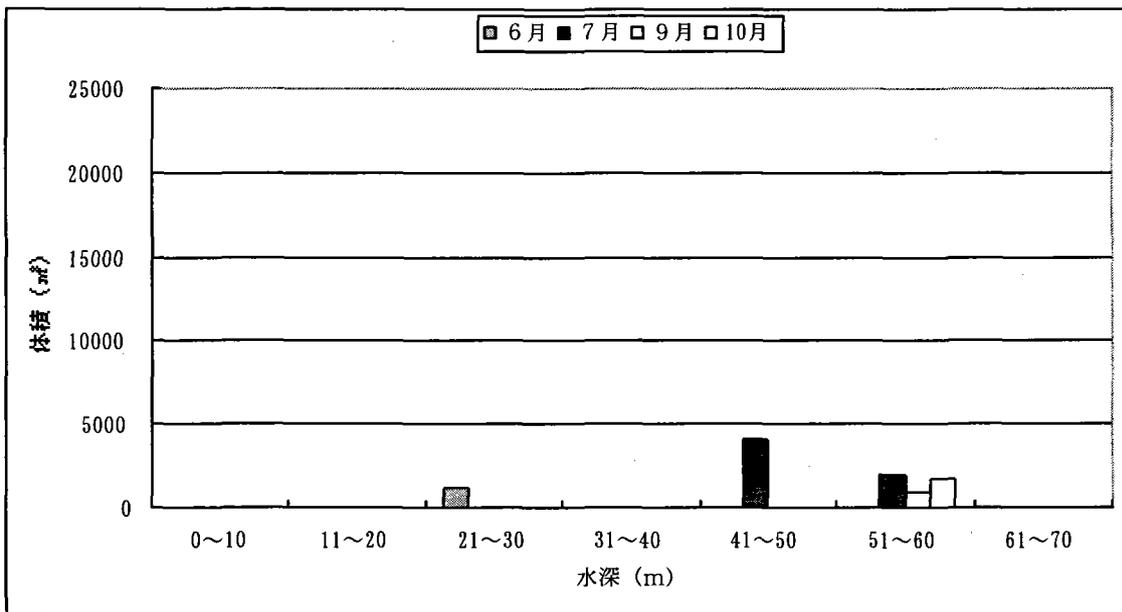


図7・13 造成礁

平成12年に試験礁と造成礁で得られた各月の魚群反応の総魚群量等を表7・21に示す。これによると試験礁では、魚群の出現は6 10月の4回の調査で6 10群が出現し、総体積は3,500 12,550、1群当り448 (10月) 1,569 (7月)、総魚群量は385 kg (10月) 1,722 kg (7月)となっている。一方、造成礁では魚群の出現は6 13群、総体積は5,530 16,110、1群当り790 (6月) 2,020 (10月)、総魚群量は221 kg (6月) 1,166 kg (9月)となっている。このことから平成12年度の魚群増集量は6 7月は試験礁で多く、9 10月では造成礁で多くなっている。

表7・21 平成12年度魚探調査で出現した魚群量等

年, 月	場 所	出現魚群数・A	総体積 (・)・B	B/A (・)	総魚群量 (kg)・C	C/B (g)
2000, 6	試験礁	6	3,500	583	868	248
	造成礁	7	5,530	790	221	40
2000, 7	試験礁	8	12,550	1,569	1,722	137
	造成礁	6	8,000	1,333	320	40
2000, 9	試験礁	6	7,110	1,185	1,580	222
	造成礁	13	16,110	1,239	1,668	104
2000, 10	試験礁	10	4,480	448	385	86
	造成礁	7	14,140	2,020	1,542	109

平成 12 年度調査で試験礁の魚群出現水深と魚群体積を図 7・14 に示す。これによると魚群出現水深は試験礁中段部から下段部付近にかけてやや多く出現し、試験礁が高いことで上段部や上層部を含め立体的に魚群が蟄集している。一方、造成礁での魚群出現水深と魚群体積を図 7・15 に示す。造成礁での魚群出現水深は造成礁上部から上層部にかけて出現し、平成 11 年度と同様に造成礁では試験礁と比べ礁高が低いことから魚群がほとんど水深 50m 以深で出現している。

平成 12 年では試験礁の魚群形成水深は、塩分の変化点が水深 30～35m に明瞭にあった 9 月には、この変化点より下層の塩分濃度の安定した水深帯に出現している。これは平成 11 年と同様であった。

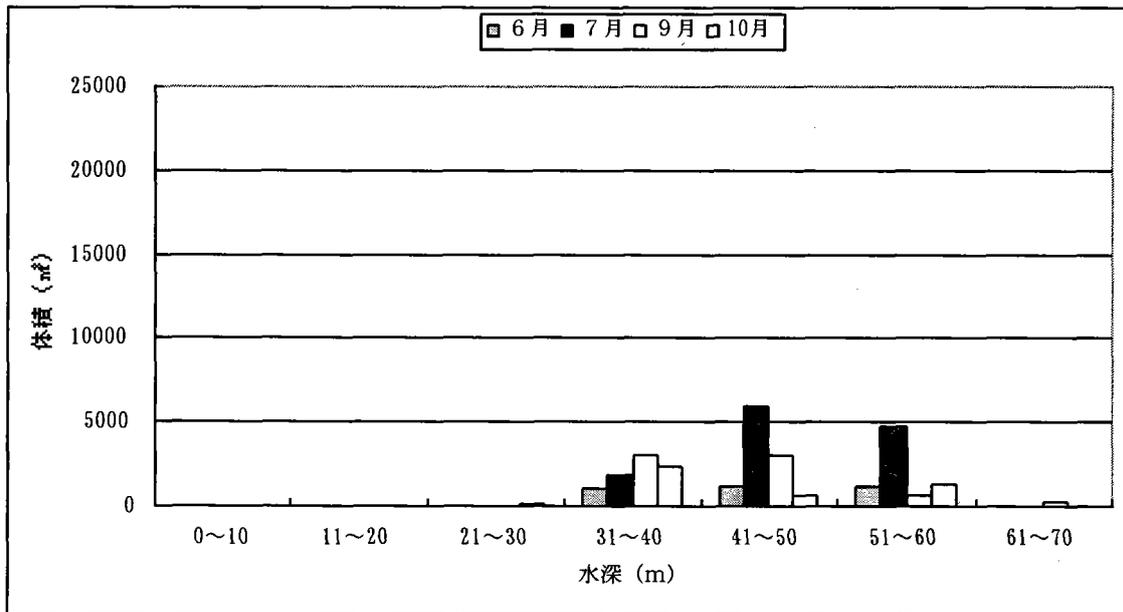


図 7・14 試験礁

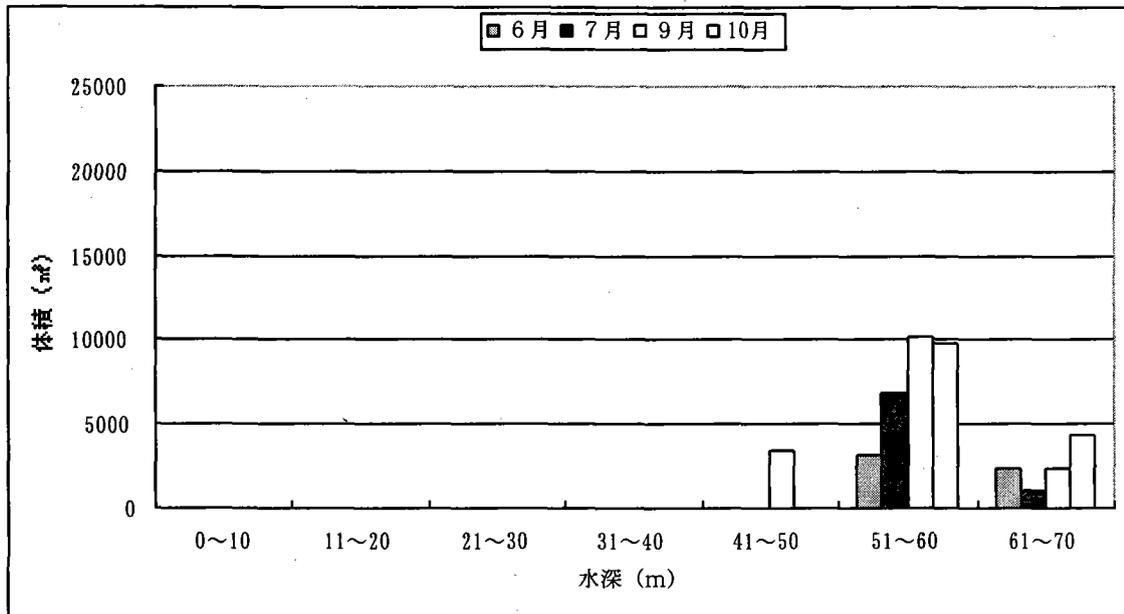


図7・15 造成礁

平成13年に試験礁と造成礁で得られた各月の魚群反応の総魚群量等を表7・22に示す。これによると試験礁では、魚群の出現は6 11月の5回の調査で6 50群が出現し、総体積は950 16,765、1群当り158 (11月) 846 (10月)、総魚群量は38 kg (11月) 669 kg (6月)となっている。一方、造成礁では魚群の出現は8 21群、総体積は5,780 24,030、1群当り158 (11月) 2,578 (10月)、総魚群量は231 kg (11月) 961 kg (7月)となっている。このことから平成13年度の魚群増集量は6月は試験礁で多く、7 11月では造成礁で多くなっている。

表7・22 平成13年度魚探調査で出現した魚群量等

年, 月	場 所	出現魚群数・A	総体積 (・)・B	B/A (・)	総魚群量 (kg)・C	C/B (g)
2001, 6	試験礁	50	16,765	335	669	40
	造成礁	21	12,820	610	513	40
2001, 7	試験礁	10	5,200	520	265	51
	造成礁	17	24,030	1,414	961	40
2001, 9	試験礁	9	3,340	371	134	40
	造成礁	11	6,390	581	256	40
2001, 10	試験礁	16	13,530	846	541	40
	造成礁	8	20,620	2,578	825	40
2001, 11	試験礁	6	950	158	38	40
	造成礁	8	5,780	723	231	40

平成13年度調査で試験礁の魚群出現水深と魚群体積を図7・16に示す。これによると魚群出現水深は試験礁上層から下段部付近にかけて多く出現し、試験礁が高いことで立体的に魚群が増集している。一方、造成礁での出現水深と魚群体積を図7・17に示す。造成礁の魚群出現水深は造成礁上部から上層部にかけて出現し、平成11 12年と同様に造成礁では試験礁と比べ礁高が低いことから魚群がほとんど水深60m以深で出現していることが判る。

平成13年では試験礁の魚群形成水深は、7、9月の水温、塩分の変化が比較的大きかった両月をみた場合、水温、塩分の変化が少なくなる水深30m以深に魚群が出現している。この時の水温は20 22℃、塩分濃度は34psu程度のところで変化が少なくなる。この変化がなくなった水深帯より下層に、魚群が形成されることがほとんどとなっている。

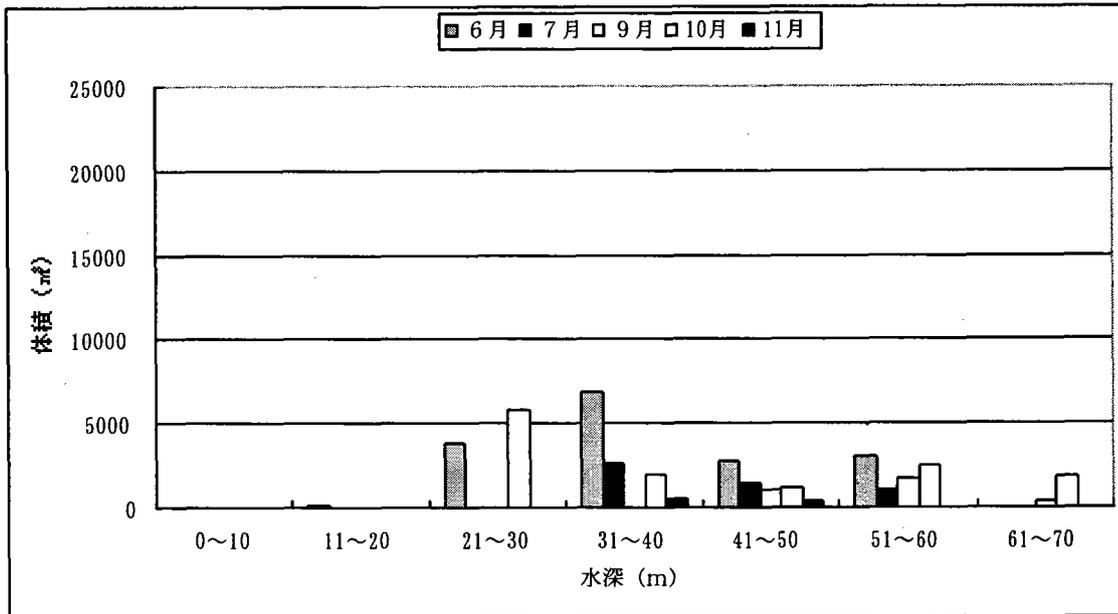


図7・16 試験礁

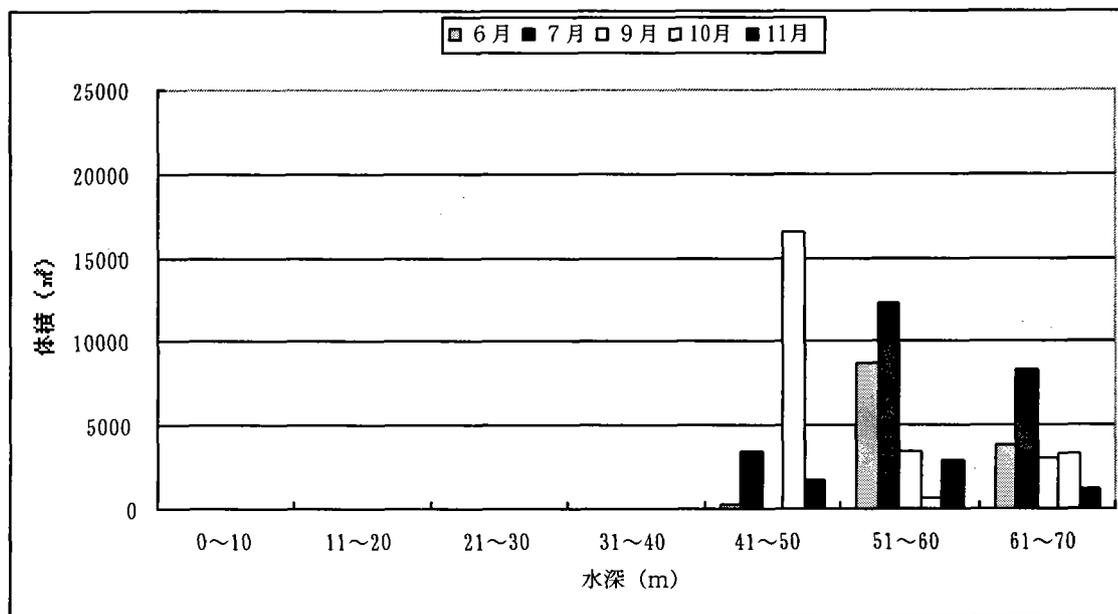


図7・17 造成礁

魚群の出現水深と魚礁高の関係は、平成11～13年の試験礁と造成礁の結果より明らかである。試験礁は魚礁高が高いことにより魚群が立体的に蟄集している。一方、造成礁でも立体的に蟄集しているが試験礁と比べ魚礁高が低いことから魚群の位置は深いところにある。

7. プランクトン採集

プランクトン採集でプランクトンの出現傾向は、平成11年では各調査時に出現種は変化しており、7月に多かったウスカワミジンコやクモヒトデ類幼生は、9月には出現しなくなった。同様の傾向がノクティルカ属や矢虫類でもあった。一方、コペポータ類は4回とも出現していた。平成12年では各調査時に出現種は変化しているものの、調査期間を通して幼生を含め節足動物の出現割合が高い傾向を示していた。平成13年では出現量として多いのは、節足動物で7月の中層を除く他の全てで優占種となっている。また、1 当り沈殿量では7月10月は上・中層で多いのに対し、下層で

は少なかった。9月・11月は全体に沈殿量は少なくなっていた。

他の調査によると、これらのプランクトンを試験礁に蝟集しているアジ類が食べていることは明らかである。一般的に魚類の餌料となっている節足動物の出現傾向と試験礁蝟集魚の推定総重量について図7・15 17に示す。これによると節足動物出現量の最大月と蝟集魚群量の最大月の間には、ほぼ1ヶ月のずれが3カ年とも認められる。また、プランクトンの出現と魚群出現水深の関係は、平成11年9月には上層（水深20m）でプランクトンが多く出現しているのに対し、魚群は30m以深の出現となっている。平成12年では7月に上層（水深20m）でプランクトンが多く出現し、魚群は30m以深の出現となっている。これらのことから本調査を実施した昼間では試験礁に蝟集している魚群は、流れてくるプランクトン（餌料）とは関係なく魚群を形成している。この魚群形成は昼間では魚礁の形状（高さ）に専ら依存しているようであった。

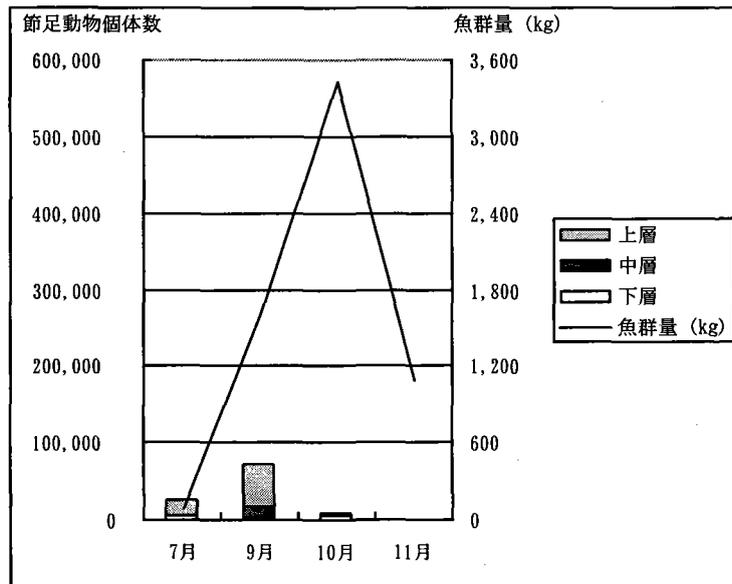


図7・15 平成11年の節足動物出現量と試験礁蝟集魚推定重量

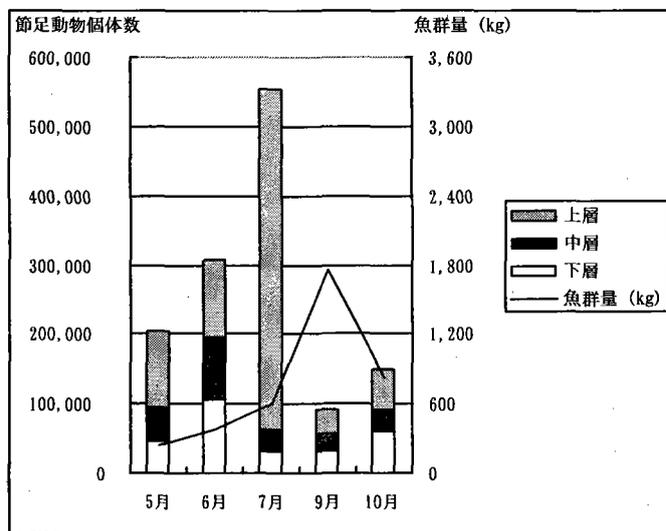


図7・16 平成12年の節足動物出現量と試験礁蝟集魚推定重量

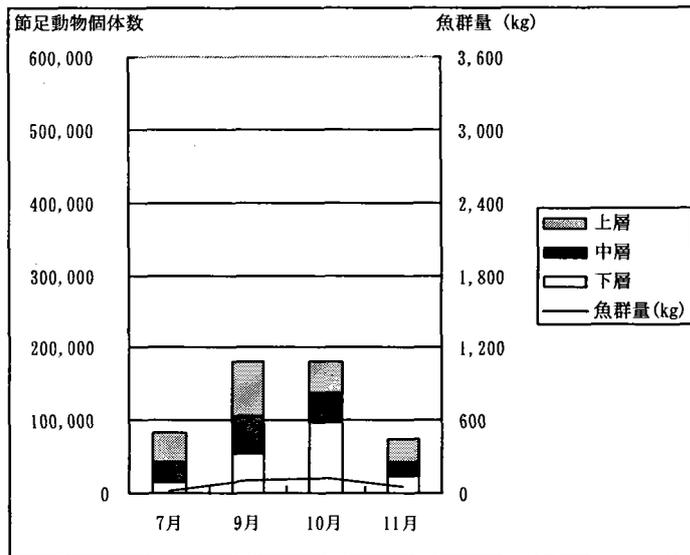


図7・17 平成13年の節足動物出現量と試験礁蛸集魚推定重量

8. 総合考察

高さ30mの汎用型高層魚礁の効果を把握する目的で、その試験礁と対照区とした高さ9mの造成礁や最浅部水深8mの天然礁について、環境調査、潜水調査、水中テレビ観察、ROV観察、魚群探知機調査、釣獲調査を平成11年から3年間実施した。

「海況」

調査期間中の水温の鉛直分布は下層ほど低くなり、塩分のそれは下層ほど高くなる傾向がみられ、秋季にはそれらの上下差が極めて小さくなって循環期を迎えており、山口県日本海沿岸域に一般的に見られる海況条件下にあった。

「礁の状態」

調査期間中は試験礁、造成礁とも平坦な砂泥の海底に安定して設置されており、礁体にはフジツボ、ウズマキゴカイ、管棲ゴカイ類、ヒドロ虫類などの付着生物が着生し、3年目の調査では試験礁の礁体の80～90%が被覆された。また、水深の浅い天然礁ではクロメ、ホンダワラ、アミジグサなどの藻類が繁茂していた。

「出現種」

調査期間中に試験礁で潜水観察された魚種数は最大24種で、各年ともに秋季に種類数が増大した。一方、天然礁では圧倒的に出現種類数が多く、48種が観察された。また、出現種の組成は調査年によって変化したが、3年間の平均値で、試験礁ではマアジを主体に、ヒラマサ、カンパチなどのⅢ型種が72%を占め、次いでウマヅラハギ、メバル類などのⅡ型種が27%となったが、天然礁ではスズメダイ、イサキなどのⅡ型種が81%、ヒラマサ、アジ類などのⅢ型種が17%で、両礁の魚種組成には大きな差が見られた。

一方、試験礁、造成礁、天然礁の各礁で行なったサビキ釣り、アミ餌釣り、ルアー釣りによる釣獲調査の漁獲物の魚種組成は、各礁ともにⅢ、Ⅱ、Ⅳ、Ⅰ型の順に多く、試験礁沈設後3年経過した時点の各礁間の重複度指数はいずれも高い値を示し、生物群集としては近い構成となっているようにみえる。このように目視観察の結果と異なるのは、沈設後の経過時間による蛸集魚群の変化と、釣獲と言う漁法による魚種の選択性との両要因によっている可能性がある。

「蛸集量」

試験礁と造成礁における魚探調査の結果、蛸集魚群の反応面積は各年度とも常に試験礁の方が大き

な値を示しており、礁の高さが魚群蛸集量を大きくしていると考えられる。

一方、試験礁で潜水計測した魚類の単位体積当り換算生物量は、平成 11、12、13 年の各調査年ごとの魚礁空容積当り最大蛸集生物量は、それぞれ 1,698 g /空、699 g /空、52 g /空で、特に少なかった平成 13 年を除くと、新潟県、大分県などの他水域における人工魚礁の魚群蛸集量の水準に比較して遜色ないレベルにある。また、平成 13 年は山口、島根県沿岸海域へのマアジ資源の来遊量が極めて低水準にあったと言われており、試験礁水域へのマアジ資源の補給量の低下が、それに関連するヒラマサなどの蛸集量に影響して、蛸集量全体を引き下げた可能性がある。

「魚群分布」

潜水観察によると、試験礁における魚群分布形態は一般的にウマツラハギ、カワハギ、ハタ、メバル類などは礁全体に分布し、マアジ類が礁中段や礁の潮上側のやや離れた場所に、ヒラマサ、カンパチなどが礁上部から中段部にかけて分布している。そして、これらの分布形態は大型の捕食者の存在に関連して変化している傾向が見られるほか、各礁における魚探調査の結果では、流れと関連して魚群反応が潮上側へと偏在する様子も確認されている。設置型水中テレビによる調査では、潜水者に対してマアジ、ウマツラハギなどが魚礁内部に移動したり、比較的礁へ密着する分布に変化し、潜水者がいなくなると礁の潮上側や上層部へと広く分布するように変化する。また、ブリ、カンパチ、ヒラマサが、アジ類を捕食する行動も観察され、捕食者と被捕食者の摂餌関係がそれら種の魚礁への蛸集量や分布形態に関係していると考えられた。

試験礁と造成礁における魚探調査の結果、礁高の高い試験礁における魚群分布は、水深 40～50m を中心にして全層に広く分布する傾向があるが、礁高 9m の造成礁では、魚群は水深 50m 以深の底層に偏った分布となっていることが多い。また、それらの魚群分布は水温・塩分鉛直分布の変化量が大きい水深（躍層）よりも深い場所に多く見られているが、トラップで採集調査した流下デトリタスやプランクトン分布量とは直接的な関係は見られていない。つまりこの高層魚礁における魚群の分布は、礁の高さによって鉛直方向に大きく拡大されると同時に、水域の水温・塩分鉛直分布によってもある程度制限されていると考えられる。

「総括」

比較的平坦な海底に設置された高さ 30m の汎用型高層魚礁は、ほぼ同規模の高さ 9m の造成礁や天然礁に較べると、マアジやそれに関連して蛸集するヒラマサ、カンパチなどの捕食者が多く蛸集し、魚群分布範囲が水深方向に広く、蛸集魚群総量も多い傾向が見られ、この形式の高層魚礁は平坦な海域に設置されても、十分にその機能を発揮できる構造であると判断できた。また、魚群の分布は礁高に左右されるだけでなく、水域の水温、塩分の鉛直分布、流れの状態などの物理的環境要因や、捕食者の存在などの生物的環境要因によっても制約を受けているので、これらの高層魚礁の設置に当たっては、事業の対象とする魚種やそれに関連する魚種のほか、水域の諸環境要因との関連も検討する必要がある。

9. 参考文献

- 柿元・大久保（1985年5月）：新潟県沿岸域における人工魚礁の総合的研究と事業、新潟県水産試験場
(社)全国沿岸漁業振興開発協会（2000年10月）：沿岸漁場整備開発事業人工魚礁漁場造成計画指針
-平成12年度版-
(社)全国沿岸漁業振興開発協会（1999年11月）：平成11年度沿岸漁場整備開発基礎調査 -沿岸漁場整備
開発基礎調査その2-
青森県水産試験場・他（2001年5月）：日本海マアジ長期漁況予報（2001年5～9月）
木本新作（1978年4月）：動物群集研究法Ⅰ -多様性と種類組成- 共立出版（株）
阿部宗明（1988年3月）：原色魚類検索図鑑1～3、（株）北隆館
内田 亨（1987年5月）：新日本動物図鑑上・中・下、（株）北隆館
岩井 保（1986年5月）：魚の図鑑①・② （株）保育社
尼岡・中谷・矢部（1995年9月）：北日本魚類大図鑑（株）北日本海洋センター
益田・尼岡・荒賀他（1984年12月）：日本産魚類大図鑑 東海大学出版会
岡本金太郎（1987年7月）：日本海藻誌（株）内田老鶴圃
野田光蔵（1998年7月）：日本海の海藻（株）風間書店
西村三郎 編（1992年10月）：原色検索日本海岸動物図鑑Ⅰ・Ⅱ （株）保育社