

A. 調査課題名：平成 14 年度水産基盤整備新技術開発調査

「島根県沖合海域における多機能性漁場造成技術の開発」

B. 実施期間及び担当者名：(社)全国沿岸漁業振興開発協会 業務課 伊藤靖 石岡昇

共同機関

：(独)水産工学研究所 漁場施設研究室長 高木儀昌

(独)水産大学校 生産システム学講座 濱野明 中村武史

島根県水産振興課 中東達夫 小谷孝治 仲村克広 中島芳満

島根県水産試験場 森脇晋平 為石起司 田中伸和 松本洋典

1. 調査目的

日本海西部海域における、沖合漁業（底曳網漁業、まき網漁業等）は近年のマイワシ資源等の減少、外国漁船との漁場の競合などによる漁場の荒廃等により、水揚げ金額の減少等大きな打撃を受けている。また、関係自治体等からの資金援助や経営者の自助努力は行われているものの、廃業する経営体も見られ、地域経済・雇用等への影響も懸念されている。

このような背景から、これまでの旧治整事業において受益対象とされていなかった沖合漁業を対象とした漁場造成の必要性が高まってきた。

また、まき網漁業等を対象とする沖合での漁場造成においては、既存の人工魚礁構造物に比べてより高く大規模な魚礁構造物が望まれている。近年の漁場造成（魚礁工事・施工）技術の向上から、既存の魚礁構造物に比べてより高層で大規模な魚礁構造物による漁場造成が技術的に可能となり、現実的な調査に取り組めることとなった。

このため、本調査は沖合漁業の主な操業水深帯である 100～200m の海域に大規模な漁場整備（事業化）を行うことを念頭において、平成 12 年 9 月に島根県浜田市沖の水深約 100m に設置した試験礁（礁高 40m）の、魚類増集状況を現地調査により把握し、新たな漁場造成の開発方式のための基礎資料を収集することを目的として実施された。

2. 調査概要

1) 調査期間

本調査は調査期間を 3 ヶ年間（平成 12 年度より平成 14 年度）として実施した。（なお、平成 11 年度は担当者による準備会を発足し、調査海域の現況等を把握するとともに、試験礁の基本構造等についての検討を行った。）

2) 調査実施体制

本調査は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、島根県及び水産大学校が共同で調査を実施した。なお、水産大学校は平成 13 年度より調査に参画している。

また、調査の実施に当っては、(社)全国沿岸漁業振興開発協会に検討委員会（表 1）を設置し、調査計画及び調査結果の検討・取り纏め等において指導を受けて実施した。

表 1 検討委員会 名簿

区分	氏名	所属	役職
検討会	柿元 皓	(元)水産大学校	教授
検討会	濱野 明	水産大学校	教授
検討会	高木儀昌	水産工学研究所	漁場施設研究室長
検討会	高橋伊武	(元)島根県水産試験場	場長

3) 調査の基本的な考え方

- ① 本調査は、沖合漁業（まき網漁業）を対象とした漁場造成の開発方式ための基礎資料を得ることを目的として実施した。
- ② このため本調査において実証調査を実施することとし、対象漁業の操業水深帯を含む沖合域の開発に資するため、実証調査は水深 100m 帯において実施した。
- ③ 実証調査の実施にあたっては、当該海域の操業形態等を考慮して、（浮魚礁タイプとせずに）海底設置型の人工魚礁を用いた。
- ④ 水深 100m 帯における、海底設置型の人工魚礁を用いた実証調査にあたり、「試験礁」を設置すると共に、同時期に漁場造成事業により設置された「大型魚礁」を調査対照区として設定して、魚類蠕集状況等を現地調査実施した。

3. 調査方法

実証調査の実施にあたり、試験礁の形状等について検討のうえ、製作・設置を行った。その後、効果調査として、視認(ROV)調査、魚探調査(普通魚探、計量魚探、スキャンニングソナー)、漁獲調査、プランクトン調査、物理環境調査等を実施し施設の安定性、生物の蠕集状況等を把握した。

- 1) 試験施設の検討：平成 11 年度に準備会を設置して、調査海域の現況等を把握するとともに、試験礁の基本構造等についての検討を行った。
- 2) 試験施設の製作・設置：前年度の準備会における検討を受けて、平成 12 年度に試験礁の製作・設置を行った。
- 3) 一般観測調査：以下の 4)～8)の調査実施当日毎に天候、風向、波浪等の気象・海象の目視観察及び、試験礁近傍で、水温・塩分計を用いて水面から海底付近まで測定した。

4) 視認(ROV)調査：

〔全振協・水工研〕

4-1) ソナー搭載 ROV による視認調査

平成 12 及び 13 年度に実施した視認(ROV)調査においては、ソナーを搭載した ROV を用いて蠕集魚群量を定量的に把握する手法について検討した。この手法の基本な考え方としては、

- ① 「魚群の単位水容量当り個体数」を ROV の VTR の映像からを計数する。
- ② 「魚群の水平方向の広がり(面積)」を ROV 搭載のソナーからを計測する。
- ③ 「魚群の鉛直方向の厚さ」を漁船搭載の魚群探知機により計測する。
- ④ 「蠕集魚の体重」を釣獲調査により把握する。

ことから、蠕集魚群量を推定している。

4-2) 通常 ROV(ソナー非搭載)による視認調査

平成 13 及び 14 年度においては、通常の ROV(ソナー非搭載)を用いて試験礁及び対照礁における蠕集魚の観察を行なうとともに、上記の手法を簡素化して、視認(ROV)調査の VTR 記録から「水 1m³当り個体数(重量) = 「魚群密度」を求めた。なお、魚類の観察は調査時に収録した VTR テープを後日再生し、潜水目視観察の方法に準じて魚種、大きさ(体長)、個体数、分布位置等について整理した。また出現魚類毎に類型化して、体長-体重関係式により重量に換算した。

- 5) 魚探調査：魚探調査は試験礁を中心に 6 ないし 8 方位線を設定し、各方位線の距離は 400m 程度とした。対照礁においても同様の手法で魚探調査を行なった。収録した魚探記録を航跡図と合わせて魚群位置を推定した。

- 6) 魚探による魚群量推定：魚探調査により得られた各魚群反応について、その断面積(計測値)、魚探のビーム幅、航走速度、記録送り速度、GPSの位置情報等から「魚群分布空容積」を計算した。次に、視認(ROV)調査で得た「魚群密度」を用いて

$$\text{「魚群分布空容積(m}^3\text{)」} \times \text{「魚群密度(kg/m}^3\text{)」} = \text{「魚群重量(kg)」}$$

により「魚群重量」を推定した。

- 7) 釣獲調査：漁獲調査は視認、魚探調査時に別の調査船で実施した。
- 8) 層別プランクトン採集：層別プランクトン採集は試験礁近傍で水面より20m、30m、40m、60m、70m、80mの各層にトラップ(吹流し式プランクトンネット)を設置し、動物プランクトン及びデトリタスを採集した。採集物は1日間程度静置して沈澱量を測定し、各層毎に主要出現種とその個体数を求めた。
- 9) 海底地形調査：試験礁設置に当り既往資料を収集することにより、当該海域の海底地形の状況を把握した。

[水大校・島根県]

10) 物理環境調査

① 海底地形調査

試験施設設置後に、試験礁及び対照礁が設置された海域周辺の海底地形を三次元的に明らかにするため、計量型魚群探知機を用いて海底地形調査を行った。

② 海洋環境調査

海洋環境調査では、平成13-14年の6月から11月の間、2年にわたって、島根県水産試験場試験船「明風」により、STDによる水温・塩分調査(データ出力50cm間隔)及び、ADCPによる潮流の観測(水深30m,50m,70m)を実施した。

- 11) 音響資源調査：島根県水産試験場試験船「島根丸」に設置された計量魚群探知機(フルノkk.製、FQ70型)により、試験礁及び対照礁の魚群の蝟集状況及び分布密度を調査した。

- 12) 漁獲調査：音響資源調査の魚群反応の魚種の識別及び、蝟集魚の組成やその性状の季節変化を把握するため、一本釣による漁獲調査を備船により実施した。また、浜田市漁協所属の中型まき網漁船の漁獲量の動向を把握した。

表2 調査項目及び実施機関（概要）

調査項目	H11 準備会	H12	H13	H14	備考
【試験施設】					
1)試験施設の検討	○				
2)試験施設の製作・設置		○	-	-	
【効果調査】全振協・水工研調査実施分					
3)一般観測調査			○	○	水温・塩分、気象・海象
4)視認(ROV)調査		○	○	○	H12はソナー搭載ROV、H13はソナー搭載ROV及び通常ROV、H14は通常ROVにより実施
5)魚探調査			○	○	普通魚探
6)魚探による魚群量推定			○	○	
7)漁獲調査			○	○	効果調査時に実施(魚種確認)
8)層別プランクトン採集			○	○	
9)海底地形			○		既往資料の収集
【効果調査】島根県・水産大学校実施分					
10)物理環境調査 海洋環境調査 海底地形調査			○	○	STD,ADCP 計量魚探
11)音響資源調査			○	○	計量魚探
12)漁獲調査		○	○	○	備船

水工研：水産工学研究所 漁場施設研究室

水大校：水産大学校 海洋生産管理学科 生産システム学講座

島根県：島根県水産振興課 及び 島根県水産試験場

全振協：社団法人全国沿岸漁業振興開発協会

※ 水産大学校は平成13～14年度の調査に参画した。

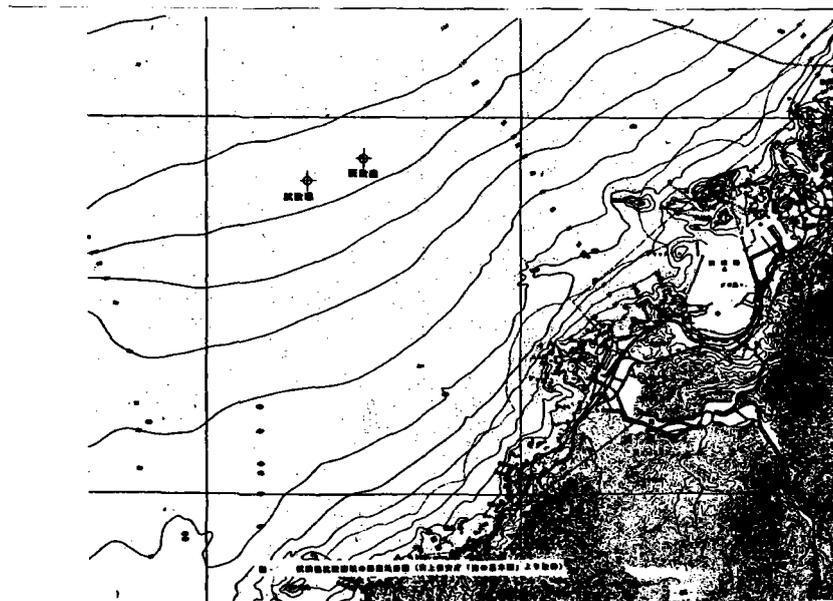


図1 試験礁及び参照礁の位置図

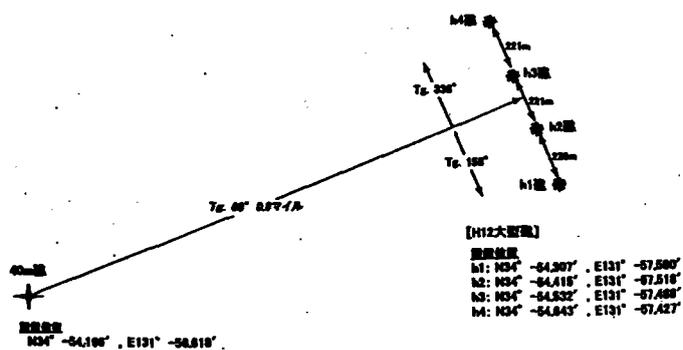


図2 試験礁及び参照礁の位置関係図

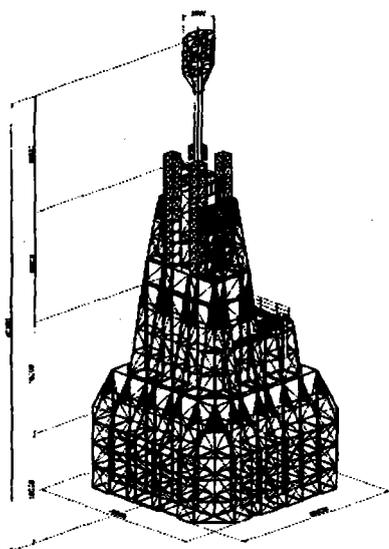


図3 試験礁(高層礁)の概略図

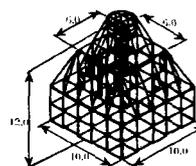


図4 参照礁(H12 大型礁)概略の概略図

4. 調査結果 (4-1)~4-9) 全振協・水工研、4-10) ~4-11)水産大学校、12) 島根県担当分)

- 1) 試験施設の検討：試験礁の形状は図3のとおりとした。なお、従来の鋼製魚礁の最大礁高35mから5m高い、礁高40mとしている。また、高層化へ対応するため振り子式高層魚礁としているのが構造的な特徴である。
- 2) 試験施設の製作・設置：試験礁は平成12年9月に島根県浜田市沖西方約10kmの水深約100mの位置(図1,図2)に設置した。なお、「試験礁(礁高40m)図3」及び、同時期にその近傍に沿整事業により設置された「大型魚礁(以下「対照礁(礁高12m×4基)」という)図4」を調査対象として、効果調査を実施した。各魚礁の概要は以下のとおりである。

【試験礁】

外形寸法： 16.8m(底面幅)×16.8m(底面奥行)×40.0m(高さ)

規模： 約3,500空 m^3 ×1基

重量： 121トン 主要資材：鋼材

沈設日： 平成12年9月18日

【対照礁】

外形寸法： 10.0m(底面幅)×10.0m(底面奥行)×12.0m(高さ)

規模： 806空 m^3 ×4基

重量： 17.5トン 主要資材：鋼材

沈設日： 平成12年9月19日

- 3) 一般観測：水温・塩分調査は以下の4)~8)の調査実施時に計測した。その結果平成13年,平成14年ともに、夏季から秋季にかけては水温、塩分ともに鉛直方向に顕著な変化(躍層)が認められた。一方、晩秋期には水温、塩分とも上、下層で差が少なく混合期となった。

4) 視認(ROV)調査：

4-1) ソナー搭載ROVによる視認調査

ソナーを搭載したROVを用いた蛸集魚群量の定量的な把握手法による調査結果では、調査時期(2回実施)により魚群密度に大きな差が見られた(春季期平均245g/ m^3 ,秋季期2,405g/ m^3)が、この調査手法の基本的な考え方が利用できることが確認された。なお、魚群密度の差は調査時期による魚体サイズの違いによるものやROVからの逃避行動などが考えられた。今後、実用化のためには更に知見を集積しその精度を向上することが必要である。

4-2) 通常ROV(ソナー非搭載)による視認調査

試験礁に出現した種と蛸集量を表3(総括表)及び表4に示す、また単位体積当たり出現魚群量を図5に示す。主にウマヅラハギ、マアジ幼魚、ヒラマサ、メダイで、平成13年6月~14年11月までに実施した8回の調査中ウマヅラハギは毎回、マアジ幼魚、ヒラマサが良く出現し、時期的にメダイが見られている。出現種数は5~12種、平均8種、単位体積当たり蛸集重量は53~631g/空 m^3 、平均203g/空 m^3 である。

これに対して対照礁では、主にウマヅラハギ、マアジ幼魚、メダイ、ヒラマサで、平成13年6月~14年11月までに実施した8回の調査中ウマヅラハギは毎回、マアジ幼魚、ヒラマサ、メダイが良く出現し、時期的にブリが見られている。出現種数は4~10種、平均7.4種、単位体積当たり蛸集重量は76~399/空 m^3 、平均156.5g/空 m^3 である。

このようにウマヅラハギは両礁ともに調査回次の度に観察されており、試験礁ではそれにマアジ幼魚、ヒラマサが多く出現し、対照礁では試験礁よりもメダイの出現回数が多くなった。また、出現種数は差が少な

表3 平成13、14年度 視認(ROV)調査,魚探,釣獲調査 結果一覧(総括表)

調査方法	項目	平成13年度											平成14年度							
		6月		7月			9月			10月		11月		9月		10月		11月		
【試験礁】		6/9	6/10	6/11	7/13	7/14	7/15	9/17	9/18	9/19	10/13	10/14	11/18	11/9	9/19	9/20	10/5	10/6	11/16	11/17
ROV	出現魚種数		5		5				9		9		11		12		6		7	
	主な出現魚種(上位3種)		アジ類 ウツシ メダイ		アジ類 ウツシ メダイ				アジ類 ウツシ マトウダイ		アジ類 ウツシ ヒラマサ		ウツシ アジ類 ヒラマサ		ウツシ ヒラマサ メダイ		ウツシ アジ類 ヒラマサ		ウツシ ヒラマサ メダイ	
	総出現尾数(尾)		3,103		25,455				5,629		2,679		1,712		871		3,578		2,309	
	推定魚群重量(kg)		186		2,208				265		680		116		363		1,176		875	
	単位体積当り出現重量(g/空m)		53		631				76		194		33		104		336		250	
ROV+魚探	推定魚群体積(m ³)		2,649				1,560	24,972			36,144		990		16,837		17,600		34,527	
	魚探反応主要構成魚種(魚群)		ウツシ				ウツシ アジ類	ウツシ アジ類			ウツシ ブリ アジ類		ウツシ アジ類		ウツシ アジ類		ウツシ アジ類 ヒラマサ		ウツシ ヒラマサ	
	ROV, 魚群密度(kg/m ³)		0.169				0.232	0.240			0.404		0.262		0.557		1.061		0.993	
	推定魚群重量(kg)		448				362	5,993			14,602		259		9,371		18,686		34,264	
	単位体積当り出現重量(g/空m)		0.128				0.103	1.712			4.172		0.074		2.677		5.339		9.790	
釣獲	釣獲人数																			
	釣獲時間																			
	魚種数		4	4		8		6	6	3	5	5	3	2		1名 11時~14時	3名 11時~14時	3名 11時~14時	2名 9時~10時	4名 10時~13時
	尾数(尾)		10	11		98		31	46	15	36	19	7	2		2	2	6	3	20
	総重量(g)		1,940	2,660		12,992		2,202	6,768	4,354	8,504	4,109	3,156	2,745		7	6	23	7	20
	CPUE(g/人/h)														5,057	6,872	12,370	3,648	22,936	
															1,686	764	1,374	1,824	1,911	
【対照礁】		6/9	6/10	6/11	7/13	7/14	7/15	9/17	9/18	9/19	10/13	10/14	11/18	11/9	9/19	9/20	10/5	10/6	11/16	11/17
ROV	出現魚種数			6		9				10	7		6			8		9		4
	主な出現魚種(上位3種)			ウツシ アジ類 メダイ		アジ類 ウツシ メダイ				アジ類 ウツシ メダイ	ウツシ アジ類 メダイ		ウツシ メダイ ブリ類			ウツシ ヒラマサ クロソイ		ウツシ ヒラマサ クロソイ		ウツシ アオハタ マトウダイ
	総出現尾数(尾)			2,239		6,809				2,114	620		210			364		741		328
	推定魚群重量(kg)			169		322				105	76		68			61		117		93
	単位体積当り出現重量(g/空m)			209		399				130	94		84		76		145		115	
ROV+魚探	推定魚群体積(m ³)			389		2,337				4,237	9,192		1,469			-				6,424
	魚探反応主要構成魚種(魚群)			ウツシ アジ類		ウツシ				ウツシ ウツシ	ウツシ		ウツシ			-				ウツシ
	ROV, 魚群密度(kg/m ³)			0.371		0.175				0.196	0.232		0.328			-				0.415
	推定魚群重量(kg)			144		409				830	2,133		482			-				2,694
	単位体積当り出現重量(g/空m)			0.178		0.506				1.027	2.636		0.596			-				3.343
釣獲	釣獲人数																			
	釣獲時間																			
	魚種数				2			5	7	9	4	4		1		1名 9時~10時		3名 9時~10時	2名 9時~10時	2名 8時~10時
	尾数(尾)				11			9	11	24	17	20		9		2		0	1	0
	総重量(g)				1,174			1,568	2,120	4,198	4,136	2,885		2,948		3		0	1	0
	CPUE(g/人/h)														2,089		0	59	0	
															2,089		0	29.5	0	

く、単位体積当たり蛸集量は試験礁の方が1.3倍多くなった。両礁は同じ海域のほぼ同じ水深帯に設置されており、環境的に大きな差はないことから、魚種や蛸集量の差異は構造の差（とくに礁高の差）によるものと考えられる。

表4-1 ROVで計測した出現種と蛸集量（試験礁）

年・月	主要種	種数	蛸集量	
			蛸集量(kg)	蛸集量(g/空)
13・6	マアジ、ウマツラハギ、ネンブ	5	186	53
13・7	マアジ、ウマツラハギ、メダイ	5	2,208	631
13・9	マアジ、ウマツラハギ	9	265	76
13・10	ウマツラハギ、ヒラマサ	9	680	194
13・11	マアジ、ウマツラハギ、ヒラマ	11	116	33
14・9	ウマツラハギ、ヒラマサ、メダ	12	363	104
14・10	マアジ、ウマツラハギ、ヒラマ	6	1,176	336
14・11	ウマツラハギ、ヒラマサ	7	875	250
平均		8.0	733.6	209.6

表4-2 ROVで計測した出現種と蛸集量（対照礁）

年・月	主要種	種数	蛸集量	
			蛸集量(kg)	蛸集量(g/空)
13・6	マアジ、ウマツラハギ、メダイ	6	169	209
13・7	マアジ、ウマツラハギ	9	332	399
13・9	マアジ、ウマツラハギ、メダイ	10	105	130
13・10	マアジ、ウマツラハギ、メダイ	7	76	94
13・11	ブリ、ウマツラハギ、メダイ	6	68	84
14・9	ウマツラハギ、ヒラマサ、	8	61	76
14・10	ウマツラハギ、ヒラマサ	9	117	145
14・11	ウマツラハギ	4	93	115
平均		7.4	127.6	156.5

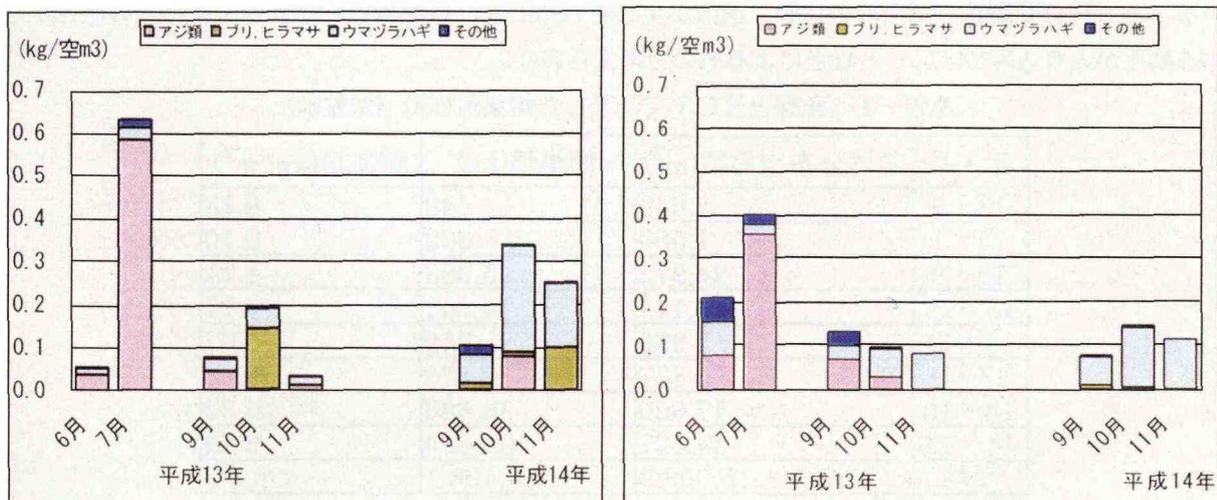


図5 視認(ROV)調査における単位体積当り出現魚群量（左図:試験礁、右図:対照礁）

5) 魚探調査：

魚探調査は上記の視認(ROV)調査と同時期の平成13年は6月～11月に5回実施した。試験礁に出現した魚群反応の魚種は視認調査の結果から6月から11月の通期でウマヅラハギが、これに9月はアジ類が加わったものと推察された。また、対照礁に出現した魚群反応はウマヅラハギが主体であると推察された。

平成14年は9月～11月に3回行なったが、各調査回次ともに明瞭な魚群反応が見られた。視認調査の結果、9月の魚群反応魚種はウマヅラハギ、ヒラマサ、10月はウマヅラハギ、アジ類、ヒラマサ、11月はウマヅラハギ、ヒラマサと推察された。それに対して対照礁では、明瞭な魚群反応は11月に1回見られたのみでその反応はウマヅラハギと考えられた。(9,10月の調査では、魚群構造物とその直近の魚群を明瞭に分離できなかった)。また、これらの魚群反応は、魚礁の周辺や上層、潮上側に存在することが多い傾向があった。

6) 魚探による魚群量の推定

魚探調査で得られた魚群反応の断面積(計測値)から魚群分布空容積を推算し、これに視認調査で得られた魚群密度を乗じて全体の魚群量を推定した。その結果を表3(総括表)及び表5、図6に示す。

調査期間中に試験礁の周辺の魚探調査で得られた魚群分布空容積は389～36,144空m³、平均16,910空m³で、その魚群総重量は259～34,264kg、平均10,498.1kg、単位容積当たり蛸集量は0.07～9.79kg/m³、平均3.00kg/m³となった。

これに対して対照礁のそれらは、魚群分布空容積が389～9,192空m³、平均4,014.7空m³で、その魚群総重量は144～2,694kg、平均1,115.3kg、単位容積当たり蛸集量は0.18～3.34kg/m³、平均1.383kg/m³となった。

ここで両礁の単位体積当たり魚群量の平均値を単純に比較すると、試験礁の単位体積当たり蛸集魚群量は対照礁の2.2倍となったが、対照礁で魚群と魚礁施設が連続して記録されたために魚群反応を分離測定できなかった平成14年9月と10月のデータを除いて比較すると、試験礁は対照礁の約2倍となった。

図6から単位体積当たり魚群量は春よりも秋に多く、平成13年よりも平成14年の方が多くなっており、時間の経過と共に蛸集魚群量が増大する傾向がある。また、単位体積当たり蛸集魚群量は多くの場面で対照礁よりも試験礁に多くなっており、主として礁高の差によるものと推察される。

ROVによる計測の結果(表4)と魚探とROVによる計測の結果(表5)とを較べてみると、単位体積当たり蛸集量は試験礁の方が多くことは一致したが、両者の間に一定の傾向を見いだすことが出来ない。それはROV調査は礁体付近の魚群のみを計測しているのに対して魚探調査はかなり広い範囲を計測していること、ROV調査では魚群の移動、逸散が生じていること、魚探調査では音響伝搬特性の関係から生ずる誤差が入り込みやすいことなどによるものと考えられた。

表5-1 魚探とROVで計測した蛸集魚群量(試験礁)

年・月	魚群分布空容積(m ³)	蛸集量(kg)	蛸集量(kg/m ³)
13・6	2,649	448	0.13
13・7	1,560	362	0.10
13・9	24,972	5,993	1.71
13・10	36,144	14,602	4.17
13・11	990	259	0.07
14・9	16,837	9,371	2.68
14・10	17,600	18,686	5.34
14・11	34,527	34,264	9.79
平均	16,909.9	10,498.1	3.0

表5-2 魚探とROVで計測した蛸集魚群量(対照礁)

年・月	魚群分布空容積(m ³)	蛸集量(kg)	蛸集量(kg/m ³)
13・6	389	144	0.18
13・7	2,337	409	0.51
13・9	4,237	830	1.03
13・10	9,192	2,133	2.64
13・11	1,469	482	0.60
14・11	6,424	2,694	3.34
平均	4,008.0	1,115.3	1.38

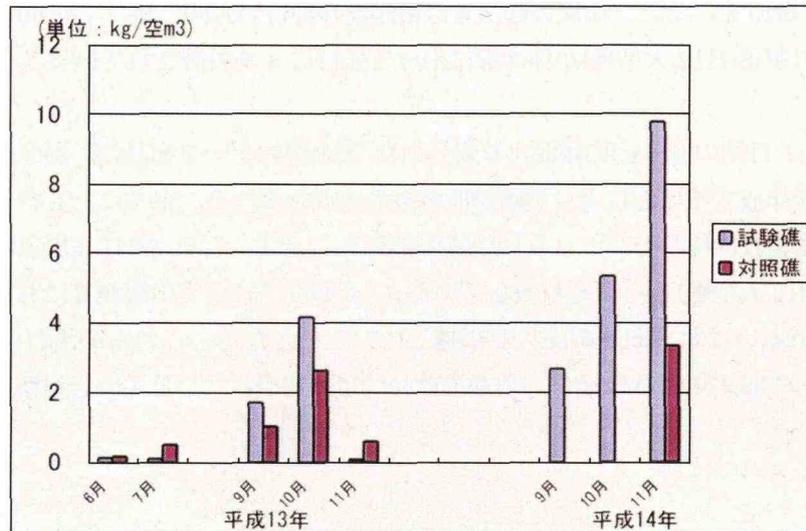


図6 魚探による単位体積当り推定魚群量

7) 釣獲調査：試験礁の釣獲調査では、平成13年は全体で23種、275尾、約49.5kgが漁獲された。主に釣獲された魚類は、6月はキダイ、アカアマダイ、7月はマアジ、ウマヅラハギ、9月はアジ類、ウマヅラハギ、マトウダイ、10月はアジ類、ウマヅラハギ、11月はウマヅラハギであった。平成14年は全体で9種、53尾、約35kgが釣獲された。主に釣獲された魚類は、9月はシイラ、10月はマアジ、11月はヒラマサ、ウマヅラハギとなっており、11月はヒラマサ13尾を含めた22kgが漁獲された。

一方、対照礁の釣獲調査では、全体で14種、101尾、約19kgが釣獲された。主に釣獲された魚類は7月はマアジ、9月はアジ類、ウマヅラハギ、10月はアジ類、サバ類、11月はウマヅラハギであった。平成14年は全体で3種、4尾、約2kgが釣獲された。釣獲調査による漁獲魚種数・重量ともに、全ての月で試験礁が対照礁を上回っていた。

8) 層別プランクトン採集：水深20,30,40,60,70,80mの各層別に採集したプランクトンの量は、年によって多少変化しているが、7月には水深40m以浅に多くそれ以深には極めて少なかった。9月は40m以浅に分布量が多いが80mにまで分布域が拡大し、10月には水深差がなくなって、11月には60m層を中心に分布するように変化した。

これらの分布層水深と魚探調査で得た魚群分布水深とは、必ずしも明確な関係が見られなかったが、節足動物の多い水深帯と魚群分布水深層とは重なることが多かった。

9) 海底地形調査：試験施設設置に当り当該海域の概況把握のために海底地形調査を実施した。海上保安庁水路部の「海の基本図」によると、当該海域は水深50mまでは急峻な場所が点在するが、これより沖側では

緩やかな海底傾斜となっていた。試験礁設置海域の水深100m帯では海底傾斜は1/100程度で、底質は砂泥、半径1km以内に天然礁等は無かった。

10) 物理環境調査：

① 海底地形

試験礁設置後に実施された、計量魚探機よるトランセクトに沿って連続的に得られた水深データとGPSによる位置情報を基に、三次元海底地形図(図7)を作成した。この結果から試験礁が設置された周辺海域では起伏差が小さく、緩やかな海底形状の中に試験礁が設置されていることがわかった。また、高層魚礁(試験礁)は水深100mの地点に設置され、最頂部の深度は60mであった。一方、対照礁(H12大型礁)が設置された海域(1km×1.6km)をみると、海底の起伏差は沿岸から沖合い方向にかけて約40mと大きく、その中央部に高さ12mの対照礁(H12大型礁)が等深線に沿って並行に4基設置されていることが確認された。

② 流況調査

平成13年6～11月期の計5回の観測より得られた70m層のデータを基に、画像処理ソフトを用いて水平流向・流速図を作成することにより魚礁設置付近の流況を調べた。さらに、これらの図に計量魚探機により探知した魚礁の設置位置をプロットした結果を図8に示す。○(1点)は高層魚礁(試験礁)を示し、○(4点)は対照礁(H12大型礁)をそれぞれ表している。この図から、全ての観測月において魚礁周辺の流れはおおむね北向きあるいは北東向きの流れが卓越していたことから、これらの流れの特徴は島根県沿岸の100m等深線に沿って流れる対馬暖流第一分岐の直接的影響を受けているものと推察された。

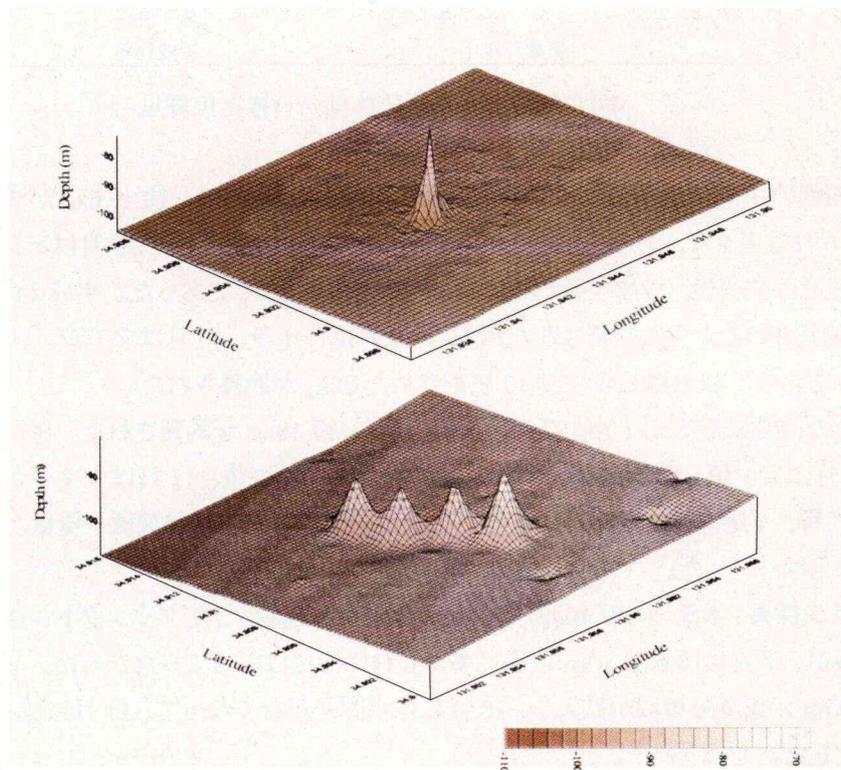


図7 調査海域の海底地形図(上:試験礁海域,下:対照礁海域)

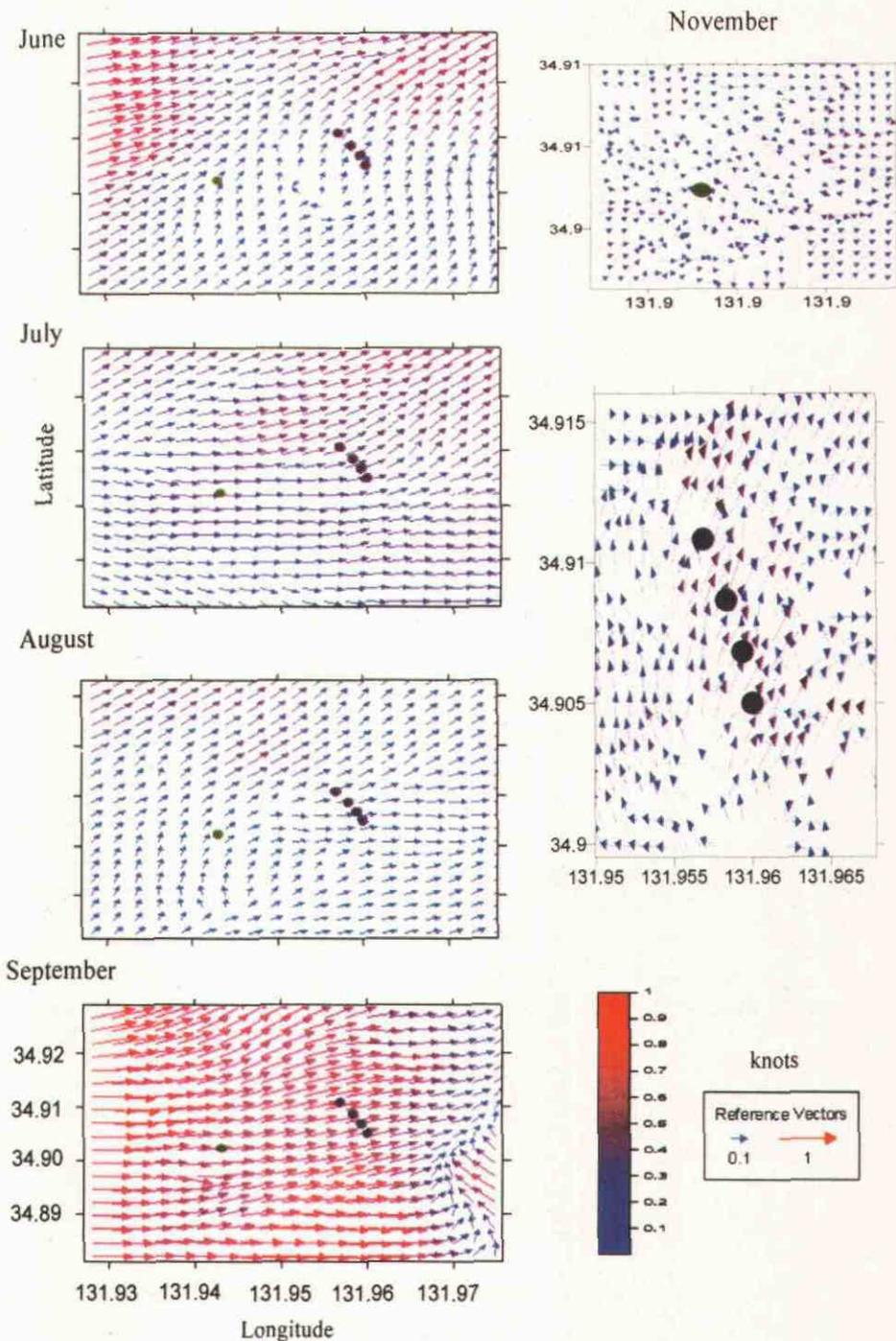


図8 各月における70m層の流向・流速図 (●(1点)試験礁, ●(4点)対照礁)

③水温・塩分調査

対馬暖流の物理環境変化に伴う本調査海域における漁場環境が季節的にどのように変化しているのか調べるため、平成13年6月～11月においてSTD観測より得られた水温・塩分の観測結果を例に検討した(図9:水温は実線で、塩分は破線で示した)。本調査海域は、対馬海峡から日本海へ流入する対馬暖流の直接的影響を受けて、水温、塩分とも季節的な変化を示す傾向が示唆された。

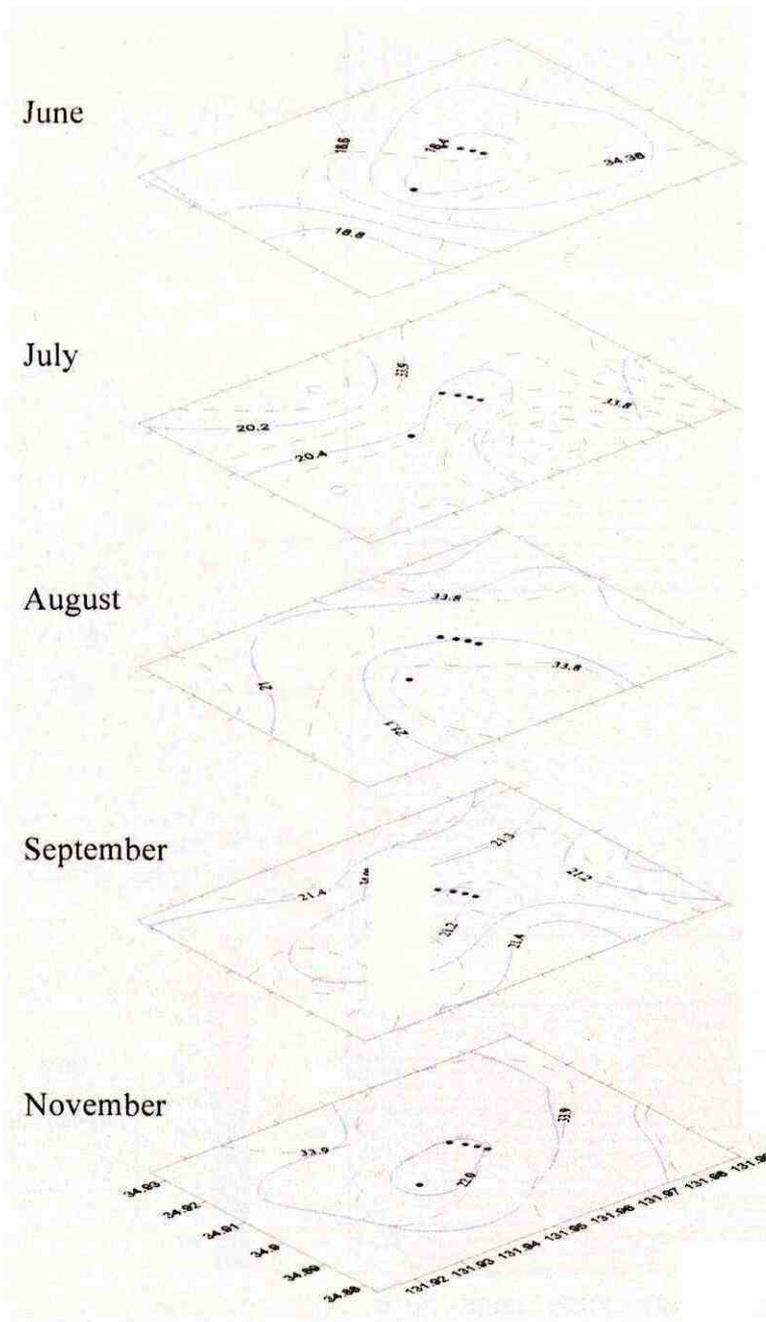


図9 各月における水温・塩分の水平分布図

11) 音響資源調査:

① 高層魚礁(試験礁)と対照礁(H12 大型礁)における水平的な魚群分布特性

高層魚礁(試験礁)と対照礁(H12 大型礁)に蛸集する魚群の水平分布特性の違いを季節変化を通じて調べるため、各月毎のSA(面積散乱強度: Area back scattering strength, dB) 水平分布図を作成して検討した。

図10は高層魚礁(試験礁)と対照礁(H12 大型礁)の二つのタイプ別に分けて、水平的な魚群分布特性を示したものである。図中、中央部に示される○点が各魚礁の設置位置を示しており、図上に描かれた実線は等深線である。また、右下に示すカラーバーはSAの強度を色別に表したものである。赤く示される-30~-50 dBの反応が濃密に魚群が分布していると考えられる所である。

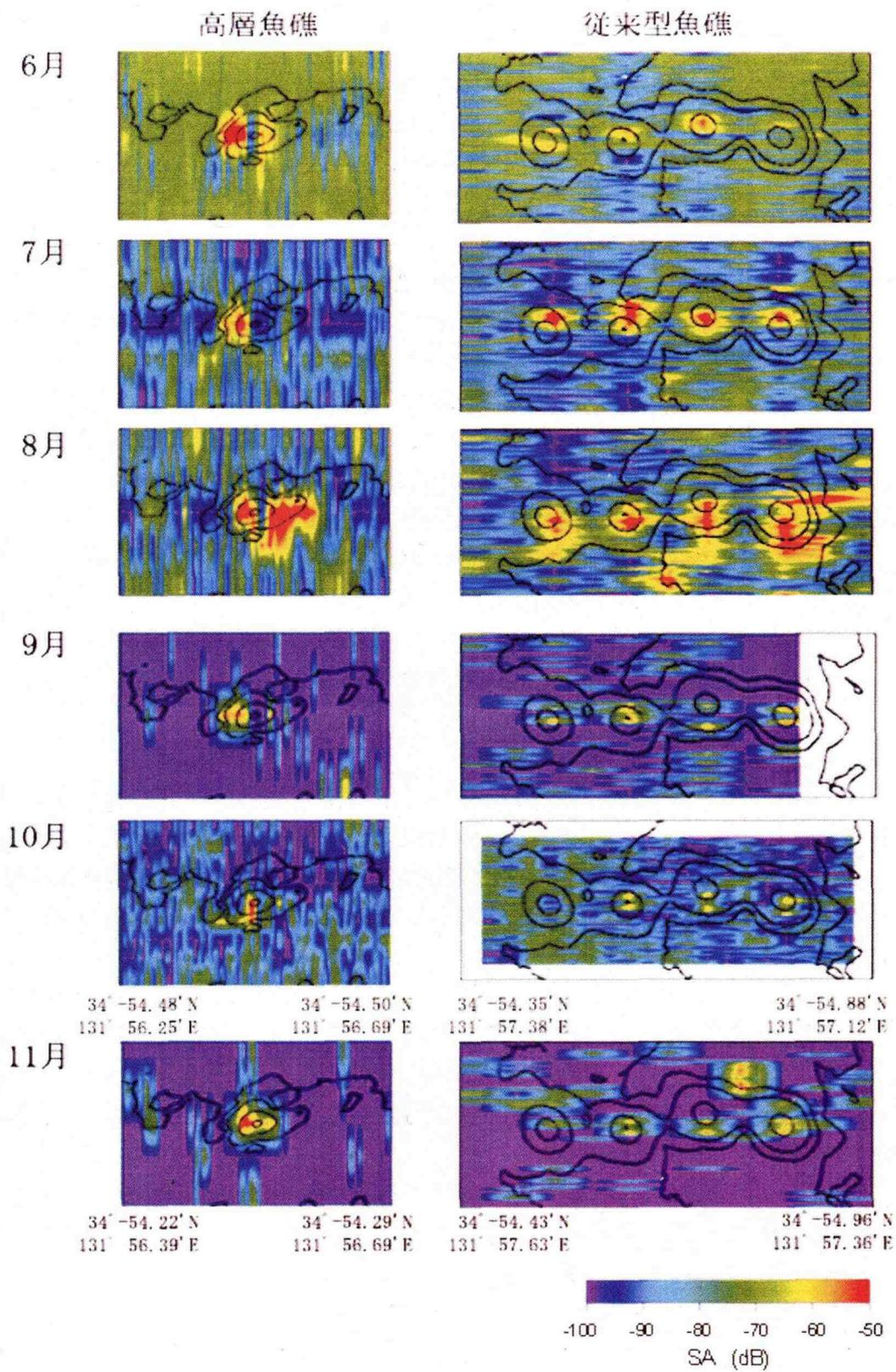


図10 高層魚礁及び対照礁(田12 大型礁)域における各月のSA水平分布図
 (水深10m~海底)

② 高層魚礁(試験礁)と対照礁(H12 大型礁)における鉛直的な魚群分布特性

②-1 平成 13 年度調査

計量魚探機調査で得られたエコーグラムに水温の鉛直プロファイルを重ね合わせることにより、高層魚礁(試験礁)及び対照礁(H12 大型礁)に蝟集する魚群の鉛直分布特性を検討した。

図 11 は平成 13 年 6-11 月において実施した各月ごとの結果を高層魚礁(試験礁)及び対照礁(H12 大型礁)に分けて表したものである。この図から、6 月では高層魚礁(試験礁)の頂上部に当る 20-40m の深度帯に形成された 19~21℃ の水温範囲に、濃密な魚群反応が連続的に観測された。これらの魚群反応は対照礁(H12 大型礁)を含む調査海域全体において観察されたことから、魚礁には関係なく分布する魚群反応と考えられた。

7 月では水深 70m 付近に形成される 19℃ の水温層を境にして魚群の分布形態が大きく分かれる傾向にあった。すなわち、水深 70m 付近の 19℃ 以上の水温帯では 6 月に 20-40m 層で連続的に観測された魚群反応が高層魚礁(試験礁)の頂上部付近において観測され、一方、19℃ 以下の水温帯では上層部の魚群よりは比較的大きなパッチを形成する魚群が高層魚礁(試験礁)及び対照礁(H12 大型礁)の近傍に分布した。8 月に入ると夏季特有の水温躍層が 20-40m の深度帯に形成されていたが、魚群は躍層以深の水深 60m から海底にかけて高層魚礁(試験礁)と対照礁(H12 大型礁)の直上及び近傍に蝟集した。これらの魚群分布と水温との関係を見ると、魚群は 19~21℃ の水温層に分布する傾向にあった。

9 月になると表層付近の水温は下降し始めて等温層の厚さは深くなる中で、魚群は高層魚礁(試験礁)の直上に形成された水温 19-21℃ の範囲に分布した。

そして、11 月になると鉛直混合が進み上層から低層までほとんど均質化された水温構造となっていたが、それに反して魚群反応は両魚礁においてほとんどみられなくなった。

②-2 平成 14 年度調査

図 12 は平成 14 年度の調査結果を示したものである。平成 14 年度の結果と平成 13 年度の結果を比較すると、8 月以降は高層魚礁(試験礁)及び対照礁(H12 大型礁)ともに季節変化に伴う魚群の蝟集特性に大きな違いは認められなかった。しかし、それ以前の 6 月及び 7 月では平成 13 年度と平成 14 年度において相違点がみられた。そこで、本項ではこれら 2 つの月に注目して高層魚礁(試験礁)及び対照礁(H12 大型礁)における魚群の鉛直的な分布特性について記述する。

まず、6 月における魚群は平成 13 年度では高層魚礁(試験礁)の頂上付近に形成された 19-21℃ の水温帯に連続的な魚群反応が観測されたが、平成 14 年度ではこれらの反応は高層魚礁(試験礁)及び対照礁(H12 大型礁)ともにほとんど観測されなかった。しかしながら、魚群は高層魚礁(試験礁)の頂上部にのみ比較的大きなパッチを形成して分布した。そして、これらの魚群が分布した高層魚礁(試験礁)の頂上部における水温は平成 13 年度同様、19-21℃ であった。

一方、7 月では平成 13 年度において 6 月同様、高層魚礁(試験礁)の頂上部に当る水深 40m 付近に形成された 19-21℃ の水温帯に魚群反応が連続的に観測されたが、平成 14 年度ではこれらの水深帯に水温躍層が形成されはじめたことにより、魚群は躍層以深に分布して高層魚礁(試験礁)及び対照礁(H12 大型礁)の側面や直近に蝟集した。また、これらの魚群が分布した海底付近の水温は約 21℃ 台であった。

高層魚礁

従来型魚礁

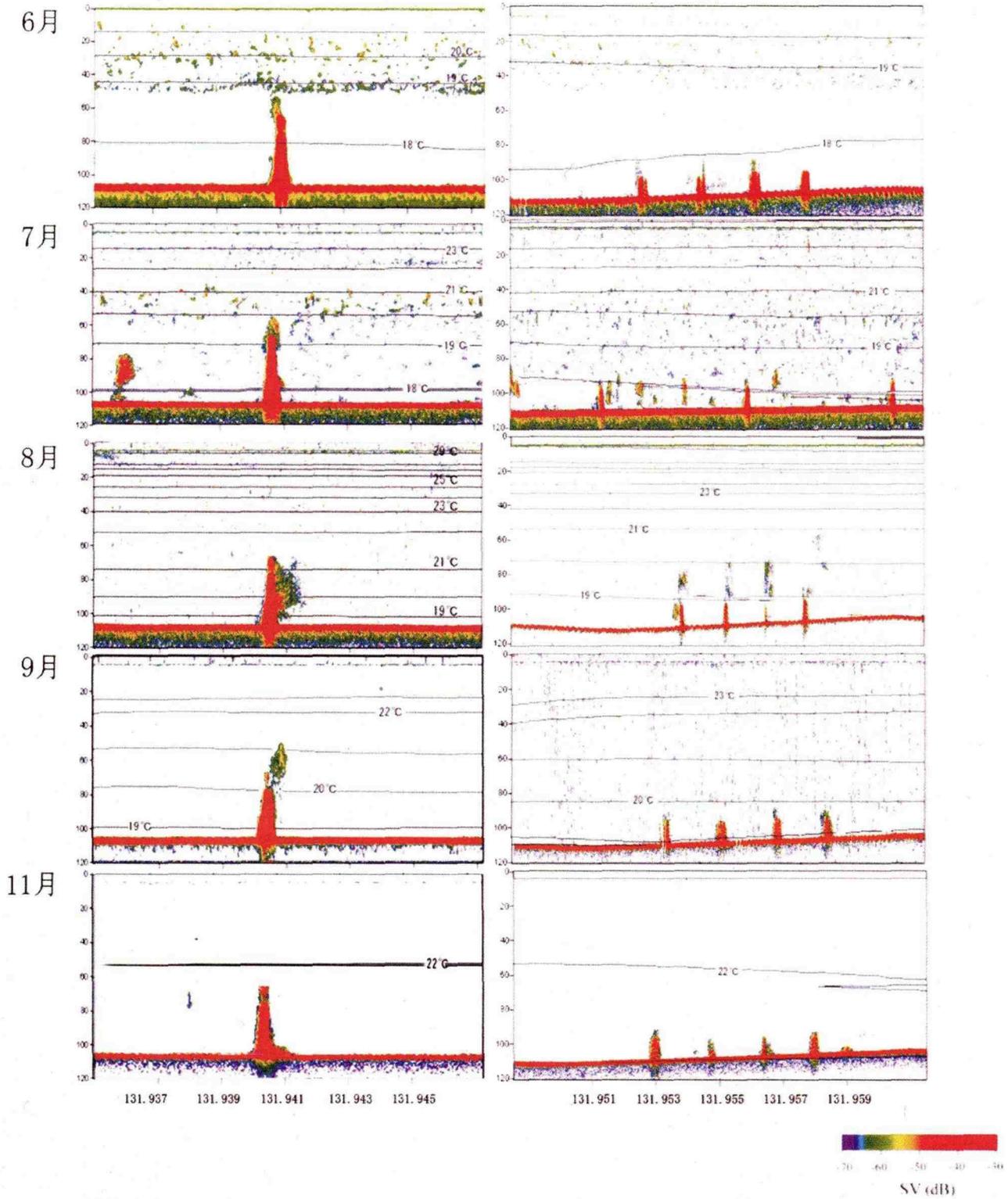


図 11 高層魚礁及び対照礁(H12 大型礁)域における各月のエコーグラムと水温鉛直分布プロファイルの関係 (平成 13 年度)

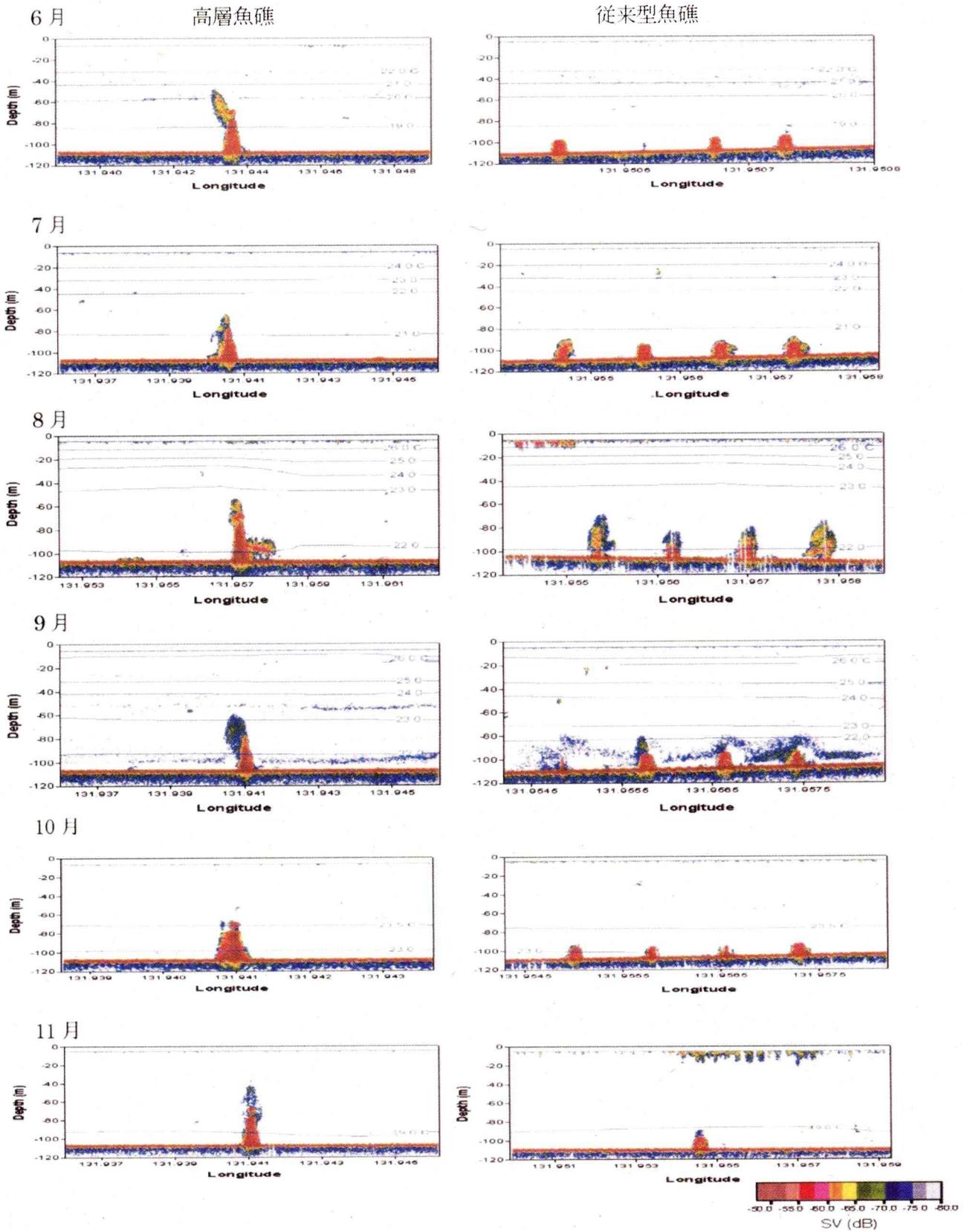


図12 高層魚礁及び対照礁(H12 大型礁)域における各月のエコーグラムと水温鉛直分布プロファイルの関係 (平成14年度)

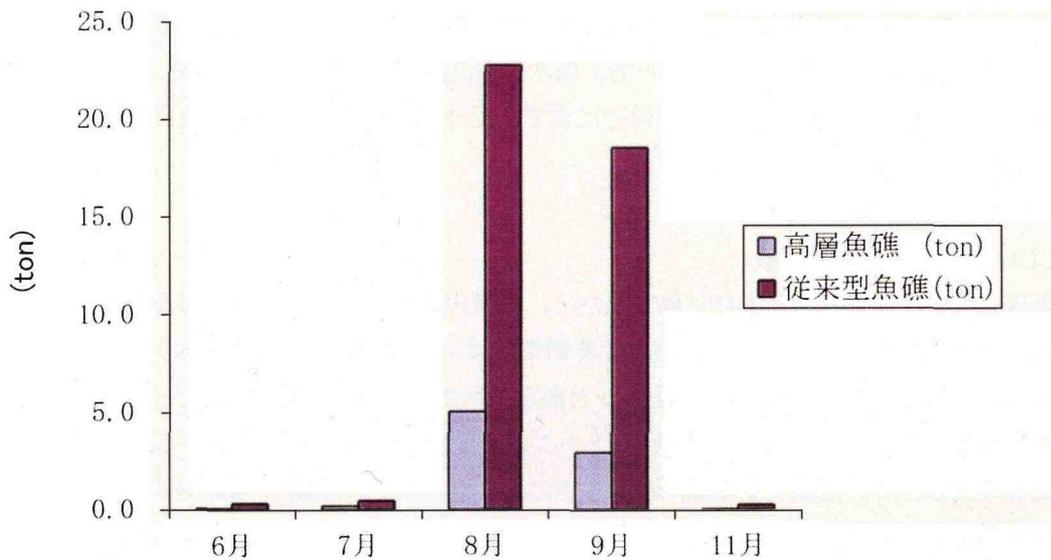
以上の結果から当該魚礁域における魚群分布と水温との鉛直的な関係をみると、6～11月に魚礁周辺に蛸集した魚群は概ね19～23℃の水温範囲に分布し、これらの水温帯の鉛直的な季節変化に対応して分布する傾向にあった。特に、水温躍層が形成される6～9月の初夏から夏にかけて、浮魚群は水温躍層以深の高層魚礁(試験礁)の頂上部に分布する傾向を示した。これらのことから考察すると、水温躍層が形成される初夏から夏にかけては、水温躍層の形成深度と高層魚礁(試験礁)の最頂部の深度は魚群の蛸集、滞留にとって極めて重要な要件であると考えられた。一方、海水の鉛直混合がすすむ10月から11月にかけては水温が一様化されるため、魚群は表層から海底付近にまで広く分布して、それぞれの魚礁の直上や直近に蛸集するものと考えられた。

③ 魚礁間における魚群蛸集量の比較

魚群の魚礁への蛸集効果を定量的に評価するため、計量魚探機より得られた結果を基に、各月別の魚群蛸集量の推定を試みた(図13)。平成13年度の魚群蛸集量は、高層魚礁では6月0.04トン、7月0.19トン、8月5.04トン、9月2.92トン、11月0.02トンと推定された。一方、対照礁(H12大型礁4基の合計値)においても6月0.3トン、7月0.5トン、8月22.8トン、9月18.5トン、11月0.2トンと6月から8月にかけて魚群量は増大し、その後減少する傾向が明らかにされた。また、魚礁1基に対する魚群蛸集量を高層魚礁と対照礁(H12大型礁)とで比較すると、高層魚礁及び対照礁(H12大型礁)ともにほぼ同程度の値となった。

平成14年度の魚群蛸集量は高層魚礁では6月0.95トン、7月0.42トン、8月1.99トン、9月0.12トン、10月0.06トン、11月0.45トンと推定された。一方、対照礁(H12大型礁4基の合計値)では6月0.34トン、7月5.09トン、8月5.16トン、9月0.17トン、10月0.02トン、11月0.47トンと推定され、魚群蛸集量は高層魚礁、対照礁(H12大型礁)ともに平成13年度に比べると少なかった。また、平成13年度同様に魚礁1基に対する魚群蛸集量を高層魚礁と対照礁(H12大型礁)で比較した結果、7月を除く全ての月において対照礁(H12大型礁)に比べ高層魚礁で高い蛸集量を示した。

(a) 平成13年度



(b) 平成14年度

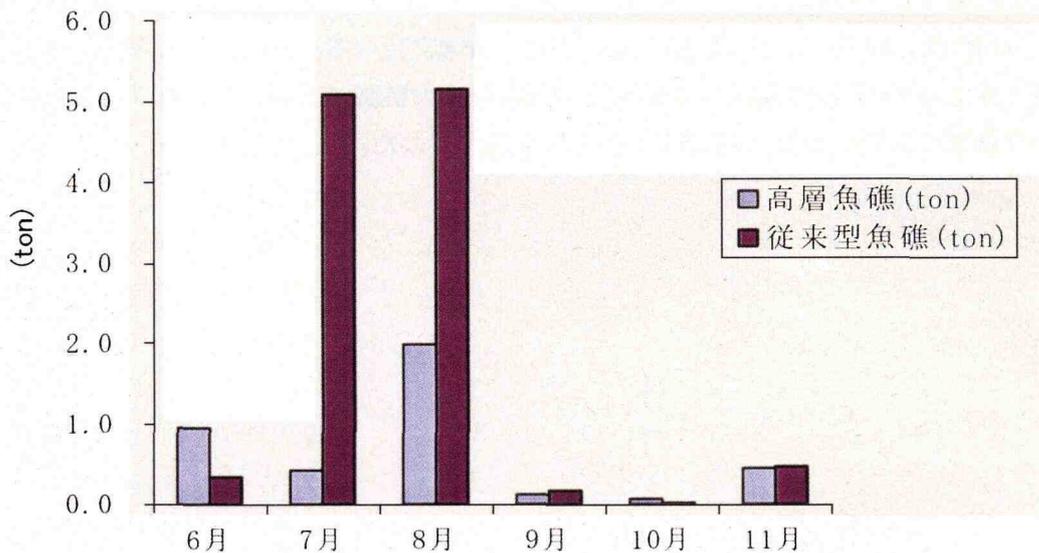


図13 各月毎の魚群蝟集量

④ 異なる魚礁形状による魚群蝟集効果の統計的検討

前項までに得られた結果を統計的に検討するため、魚群蝟集効果に及ぼす魚礁形状の違いと季節変化の関係を $m \times n$ 分割表で表し、 χ^2 検定を行った。検定のために用いたデータは各月毎に推定した高層魚礁と従来型魚礁に蝟集する魚群蝟集量を尾数データに変換したものである。 χ^2 検定の結果、魚礁形状の違いと季節変化の関係は、平成13年度： $\chi_0^2=4928.3 > \chi_{.05(4)}^2=9.5$ 、平成14年度： $\chi_0^2=9023.7 > \chi_{.05(4)}^2=11.07$

と5%水準の危険率で有意であるとみなすことができた。これは、季節によって高層魚礁(試験礁)と対照礁(H12 大型礁)の蝟集効果に差があることを意味する。すなわち、各月によって蝟集効果が高い魚礁は異なることを表している。このことは季節とともに回遊・滞留する魚種交代の変化が魚群蝟集効果に影響を及ぼしていると考えられ、このことは図11、12の結果に示すとおり季節躍層と魚群の鉛直的分布との関係が大きく影響を及ぼしていることが原因の一つと考えられた。

12) 漁獲調査：

12)-1 浜田沖におけるマアジの資源動向について

浜田市漁協所属の中型まき網における1日1ヶ統当たりのマアジの月別漁獲量の動向を図14に示した。これによると、平成13年は平年(平成10~12年)の漁獲動向とは大きく異なっており、例年漁獲が少ない7月に漁獲のピークが見られ、逆に春や冬に漁獲が少なかった。特に、7月に多く漁獲されていたのは通常10月前後から漁獲の主体となる0歳魚で、平成13年は3ヶ月も前から漁獲されていた。これは、単にまき網が通常では漁獲しない小型のマアジを早くから狙ったためではなく、平成13年級群の発生量が多かったためである。平成14年は、ほぼ平年に近い漁獲動向を示していたが、1~3月の漁獲が少なく、10月に尾叉長210mm前後の1歳魚が多く漁獲されていた。

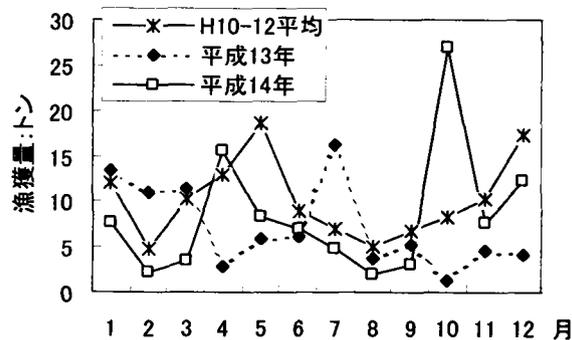


図14 浜田市漁協所属の中型まき網における1日1ヶ統当たりのマアジの月別漁獲量

12)-2 釣獲調査結果

(1) 釣獲調査による蝟集魚種の確認

平成12年10月~平成14年11月までの間に標本船による釣獲調査で確認された魚種組成は、40m高層礁、H12大型礁ともにマアジの漁獲尾数が最も多く、漁獲全体に占める割合は、40m高層礁で47% (227尾/486尾)、H12大型礁では65% (447尾/693尾)であった。その他の魚種では、マサバ、ブリ、ウマツラハギ、マルアジ等の漁獲尾数が多く、両魚礁で合計34種類が漁獲された。40m高層礁ではマアジを主体に28種類が漁獲され、H12大型礁と比較しブリ、ヒラマサの漁獲が多かった。H12大型礁ではマアジを主体に28種類が漁獲され、40m高層礁と比較しクロマグロ、ソウダガツオ類の漁獲が多かった。

(2) 釣獲試験による漁獲動向

図15に主な漁獲対象種であるマアジの標本船による1日当たり漁獲尾数の月別魚礁別動向を示した。各魚礁ともにマアジの漁獲が多かったのは7、8月で、小型魚を中心に漁獲された。さらに、H12大型礁では11月にも多く漁獲されていた。調査期間を通してH12大型礁の方が40m高層礁より漁獲尾数が多い傾向が見られた。

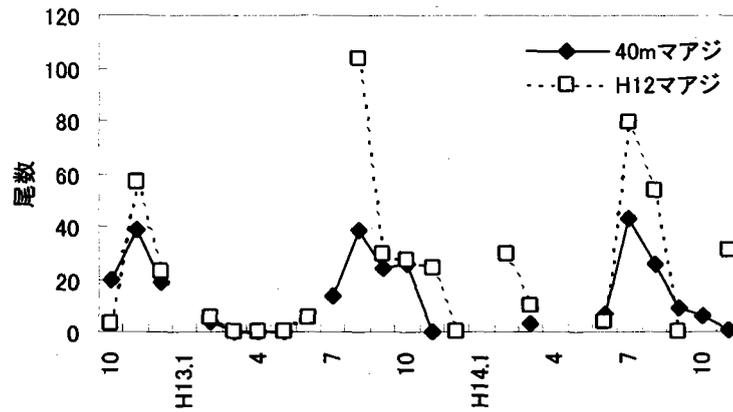


図 15 標本船によるマアジの1日当たり漁獲尾数の月別魚礁別動向

次に、標本船による1日当たりの総漁獲量とマアジの漁獲量の月別魚礁別漁獲動向を図 16、17 に示した。また、浜田市漁協所属の一本釣漁船（以下、浜田一本釣という）の1日当たり漁獲量 kg/隻・日（以下、CPUE という）との比較も行った。

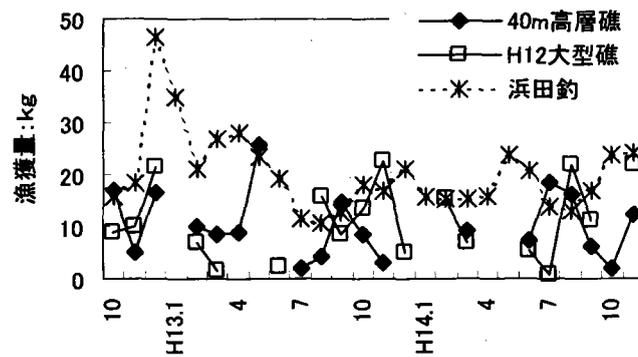


図 16 標本船による1日当たり総漁獲量の月別魚礁別動向

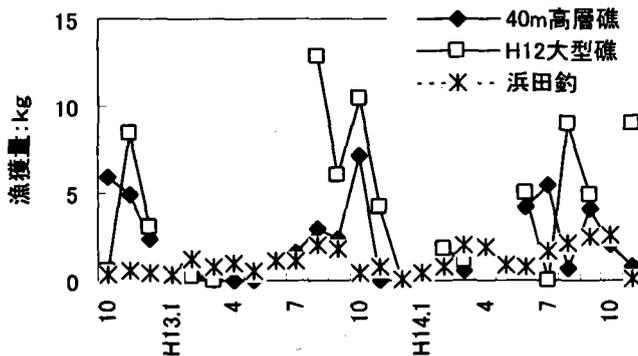


図 17 標本船によるマアジの1日当たり漁獲量の月別魚礁別動向

調査期間全体の総漁獲量の CPUE をそれぞれ比較すると、40m高層礁では 9.79kg、H12 大型礁では 11.05kg と、いずれも浜田一本釣の 20.18kg を下回った。月別にみると、一般に漁獲量が減少する8月前後では各魚礁とも浜田一本釣の値を上回っており、H12 大型礁では 11 月にも浜田一本釣の値を上回っていた。

調査期間全体のマアジの CPUE は、40m高層礁では 2.08kg、H12 大型礁では 4.93kg と、いずれも浜田一本釣の 1.1kg を上回った。特に H12 大型礁では、マアジの漁獲量が多く、総漁獲量の 45%を占めて

いた。マアジの CPUE の月別動向を見ると、2～5月頃では両魚礁とも浜田一本釣の値を下回っていたが、その他の月では浜田一本釣の値を上回っていた。魚礁別に比較すると中～大型魚の蛸集が多かった H12 大型礁の方が、ほとんどの月で 40m 高層礁におけるマアジの CPUE の値を上回っていた。

ただし、浜田一本釣との比較を行う際には、今回の漁獲調査は魚礁の頂上付近から底までの範囲でより多くの魚種を採集することを主眼においたため、季節に応じて魚価の高い特定の魚を集中的に狙い、漁具や釣獲水深をそれに応じて使い分ける通常の操業形態に比べ、漁獲効率が劣っていることを考慮する必要がある。

(3) マアジの蛸集状況

釣獲調査で漁獲されたマアジの月別尾叉長組成を魚礁別に図 18 に示した。この結果、魚礁に蛸集するマアジは、サイズ（年齢）によって動向が異なることが示唆された。マアジの産卵盛期は3～5月頃であることから、本報告では4月を誕生月として年齢を計算し、各年齢ごとにその漁獲状況を検討した。

その結果、尾叉長 100mm 前後の 0 歳魚は 7 月頃から各魚礁で漁獲され始め、翌年まで漁獲が継続する傾向が見られた。しかし、平成 14 年は 9 月以降 0 歳魚の漁獲が見られず、過去 2 年間とは違う結果であった。尾叉長 190mm 前後の 1 歳魚は年によって漁獲される時期が大きく異なっており、平成 13 年の 7、8 月は各魚礁で漁獲の主体であったが、平成 14 年の夏では 8 月に H12 大型礁で漁獲されただけであった。また、平成 12 年の 10～12 月には 1 歳魚が各魚礁で漁獲されていたが、平成 13、14 年とも 9、10 月にほとんど漁獲がなく 11 月になって H12 大型礁でまとまって漁獲されただけであった。尾叉長 260mm を超える 2 歳魚以上は主に 6 月と 9 月以降に漁獲が見られたが、平成 14 年の 7 月には各魚礁で 2 歳魚以上の漁獲が見られ、特に H12 大型礁で多く漁獲されていた。

次に、浜田沖でまき網によって漁獲されたマアジと各魚礁で漁獲されたマアジの月別平均尾叉長の比較を図 19 に示した。この結果、まき網の平均尾叉長を下回ったのは 40m 高層礁の 8 月だけであり、他の月では 40m 高層礁、H12 大型礁ともに、まき網の値を上回っていた。

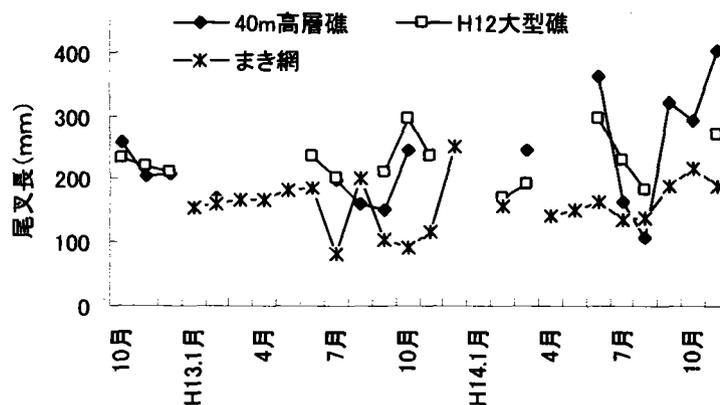


図 19 漁獲されたマアジ平均尾叉長の月別動向

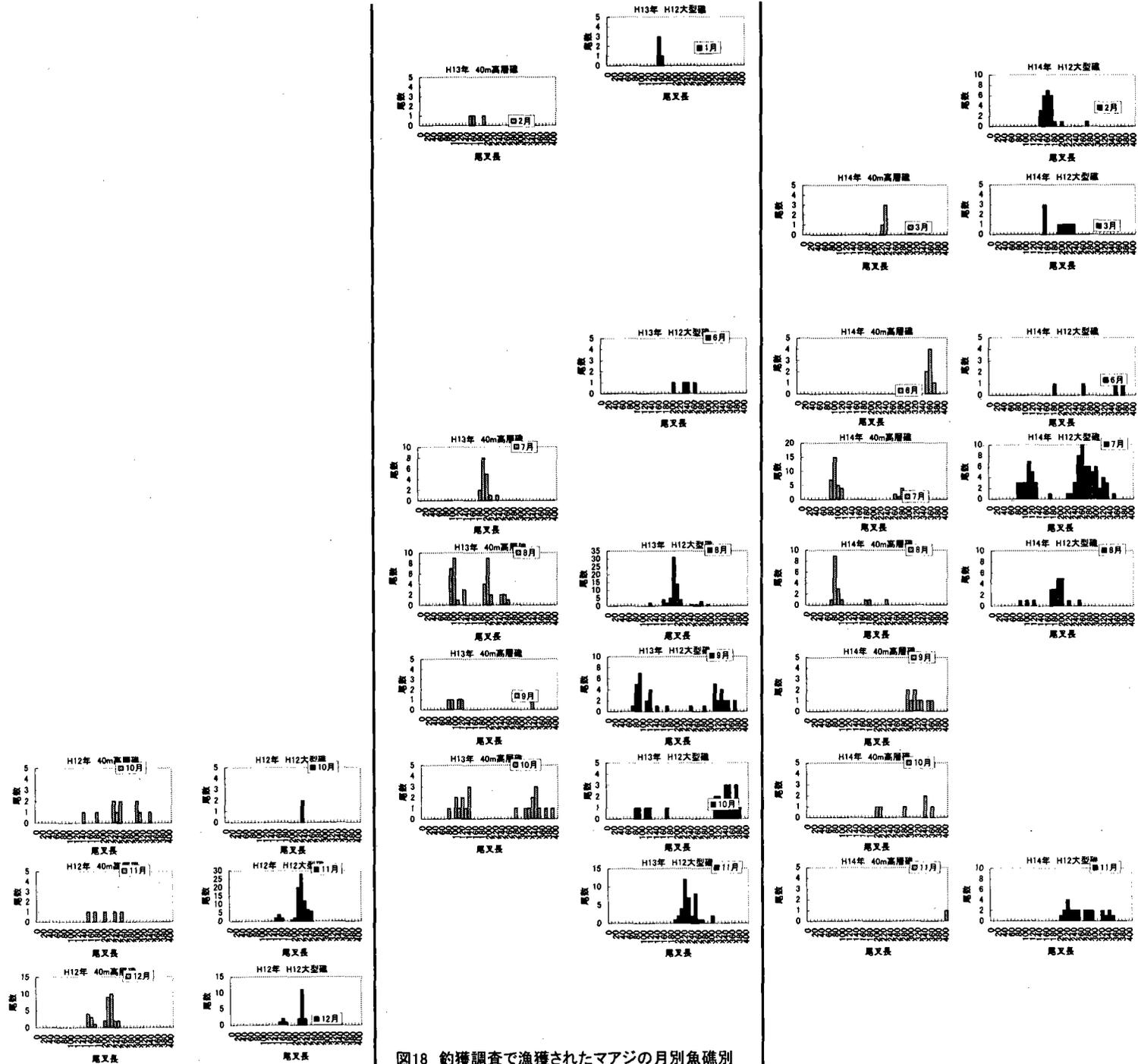


図18 釣獲調査で漁獲されたマアジの月別魚礁別

(4) マアジの性状調査

釣獲調査で漁獲されたマアジに関して、精密調査を実施し摂餌状況、肥満度、成熟度について解析し、40m 高層礁・H12 大型礁におけるマアジの性状を比較した。

・摂餌生態と肥満度

生息場所による餌環境の良否を評価する指標として、摂餌個体の割合（以下“群摂餌率”）、肥満度を用了。図 20、21 にそれぞれの月別、魚礁別の動向を示した。

群摂餌率—— 胃内容物を有する個体数 / 測定個体数 × 100

肥満度—— 内臓除去重量 (g) × 10² / FL³ (mm)

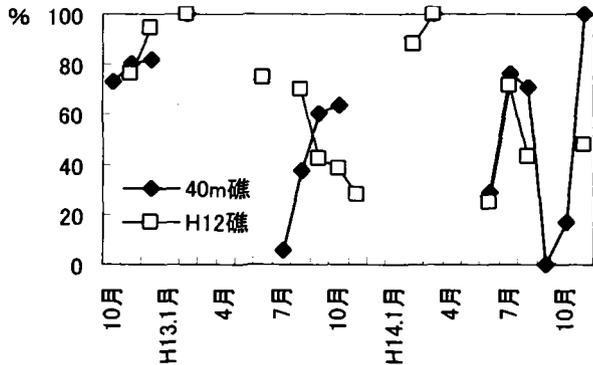


図 20 各魚礁で漁獲されたマアジの群摂餌率

群摂餌率を見ると、平成 13 年の 7～10 月の間で大きな違いが見られた以外は同じ動向を示していた。また、季節的な傾向は特に見られなかった。

次に肥満度を見ると、40m 高層礁におけるマアジの肥満度は、H12 大型礁のものより低い傾向が見られた。特に、平成 14 年 3 月以降は H12 大型礁の方が常に 40m 高層礁の値を上回っていた。これは、平成 14 年 3～11 月に漁獲されたマアジが 40m 高層礁では小型魚と大型魚が漁獲の主体であったのに対し、H12 大型礁では中型魚も多く漁獲されていたことが要因の 1 つと考えられた。実際、平成 14 年 3～11 月に各魚礁で漁獲されたマアジの尾叉長と肥満度の関係を見ると、同じサイズでは魚礁間に差は見られず、尾叉長 200～300mm のマアジの肥満度が最も高くなっていた (図 22)。

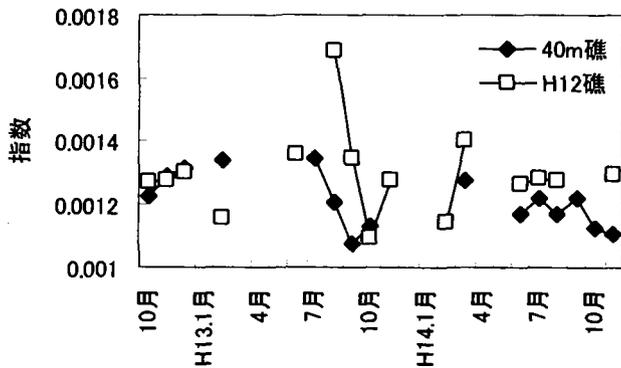


図 21 各魚礁で漁獲されたマアジの肥満度

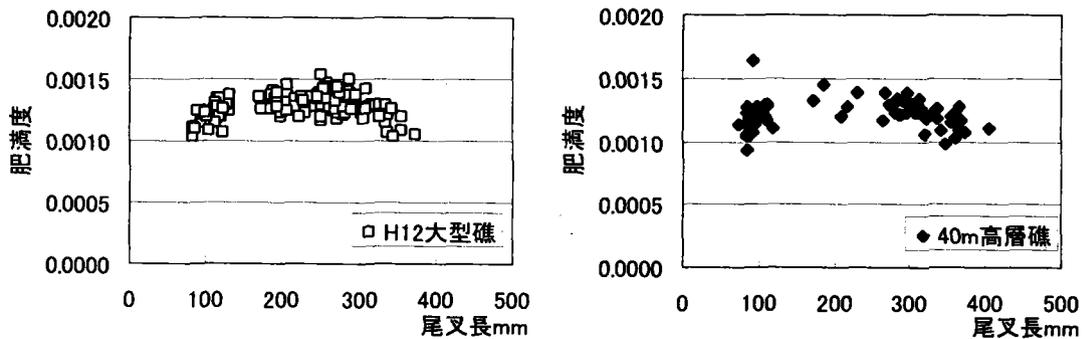


図 22 平成 14 年に漁獲されたマアジの尾叉長—肥満度の関係

・生殖腺指数

マアジの成熟度みるため、雌雄別生殖腺指数 (GSI) を用いて検討した (図 23)。ただし、生殖腺が

未発達なため雌雄が確認できなかった個体は除いて集計を行った。

GSI ——— 生殖腺重量 (g) × 10⁴ / 内臓除去重量 (g)

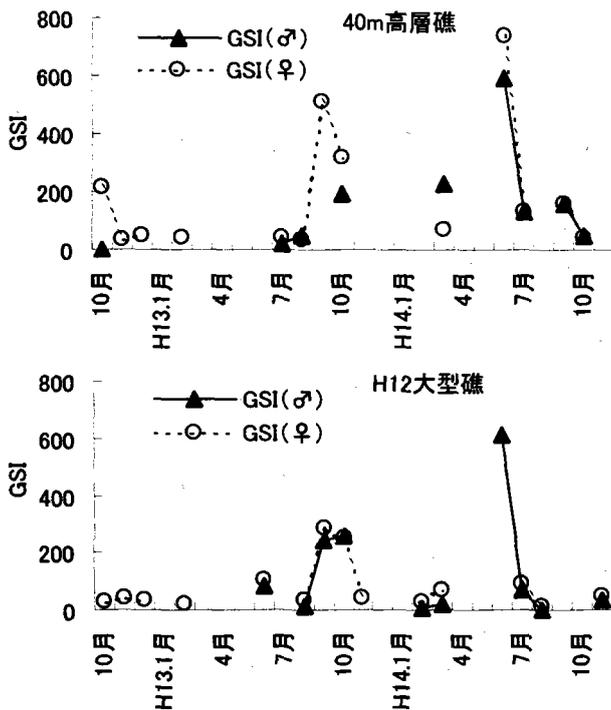


図 23 各魚礁で漁獲されたマアジのGSIの月別変動

12)-3 まとめ

40m 高層礁、H12 大型礁ともに最も蝟集効果が認められた魚種はマアジであった。魚礁の頂上部が中層近くまで達する 40m 高層礁では 7、8 月頃に出現する 0 歳魚を主体とした小型魚に対して蝟集効果が高く、海底に 4 基配置された H12 大型礁では 2 歳魚以上の中～大型魚に対し蝟集効果が高いという傾向が見られた。ただし、1 歳魚に関してはハッキリとした差が見られなかった。

過去の対馬暖流系マアジに関する知見¹⁾によると、0 歳魚は大きな群で広く沖合を回遊し、1 歳魚から徐々に回遊パターンが複雑となり次第に底魚の性質も見られ始め、2 歳魚以上になるといわゆる“瀬付きアジ”のようになり、海底付近を移動していると考えられている。このことから、年齢による魚礁への蝟集状況の違いは、マアジの成長段階における行動生態の変化に関係していると推測された。事実、標本船の聞き取り調査によると、操業の際にもサイズによって釣獲される水深帯が異なっており大型魚は海底近くに多く、小型魚は海底より上の水深帯で漁獲されることが多いということであった。

こうした違いは、音響調査による各魚礁に蝟集する魚群量の推定結果にも反映されていると考えられ、平成 13 年の 7、8 月に 40m 高層礁に蝟集した魚群量が H12 大型礁を上回っていたのは、浜田沖に 0 歳魚が大量に来遊していたことと、1 歳魚が各魚礁に蝟集していたためと推測された。逆に、平成 14 年の 7、8 月に H12 大型礁に蝟集した魚群量が 40m 高層礁を上回っていたのは、0 歳魚の加入が平成 13 年ほど多くなかったことと、H12 大型礁では 7 月に 2 歳魚以上が、8 月には 1 歳魚が多く蝟集していたためと推測された。また、9 月以降はいずれの年も H12 大型礁に蝟集した魚群量が 40m 高層礁を上回っていたが、これも魚礁に蝟集していたマアジが主に 2 歳魚以上であったためと考えられた。

次に、各魚礁に蝟集する魚群量とまき網で漁獲されるマアジの漁獲量の月別変動を比較すると、まき網の漁獲量が最も少なくなる 8 月に各魚礁に蝟集する魚群量が最も多くなっており、正反対の結果となって

GSI の変動を見ると、各魚礁とも同じ傾向を示していたが、季節変動を見ると年によって生殖腺の発達時期に違いが見られた。通常マアジの産卵は 3～5 月が最盛期であり、平成 14 年は 6 月に値が最も高く、例年どおりの結果を反映していたが、平成 13 年は 9、10 月に GSI の値が高くなっていた。平成 13 年の 9、10 月頃に、生殖腺が特に発達していたのは、尾叉長 300mm 以上の大型魚であり、小型魚は性別判定も出来無い状態であった。高齢のマアジの中で特に瀬付きとなる個体の中には、秋に産卵するものが過去にも確認されていることから、平成 13 年秋に漁獲されたマアジもこうした個体群であったと考えられた。

いた。これもマアジの成長に伴う行動生態の変化がその要因と推測され、夏場の魚礁に通常ではまき網の漁獲対象にならない0歳魚が蝟集することと、その他の期間では、まき網で漁獲されるマアジより大型の高齢魚が蝟集するためと推測された。

5. 総合的要約と考察

本調査は沖合漁業を対象とした漁場造成の方法を検討するため、島根県沿岸の沖合漁業（旋網漁業）の主な水深帯である水深100mに、高さ40mの高層魚礁振り子式高層魚礁（試験礁）を平成12年9月に設置するとともに、同時期に漁場造成事業により設置された魚礁（高さ12m、4基）を対照区として比較試験を行い高層型魚礁の効果について検討を行った。調査は全国沿岸漁業振興開発協会、水産工学研究所、水産大学校、島根県水産試験場が担当し、専門家による委員会によって調査指導、結果の検討を行った。

1) 海底地形

海上保安庁水路部の既存資料調査、および計量型魚群探知機による海底形状、設置魚礁の状況を調査した。その結果、水深50mまでの水域では部分的に急峻な場所もあるが、それ以深の水域では緩やかな海底傾斜で、試験礁付近では1/100程度の傾斜で、1,000m以内に岩礁はない。また、対照区はそれよりも急深であるが海底は平坦で、等深線にそって4基並んで設置されている。

2) 流況

平成13年に5回観測した結果から、水域の水深70m層の流向・流速を図化した。水域の流況は北、北東の流れが卓越し、島根県沿岸の100m等深線に沿って流れる対馬暖流第一分支流の直接的影響を受けていると考えられた。

3) 水温・塩分

平成13年6～11月にSTDで観測した結果、水域の水温・塩分水平分布を図化した。水域の水温・塩分は対馬暖流第一分支流の直接的影響を受けていると考えられた。平成13年と14年の魚群調査時に行った魚礁位置における各層観測の結果、水温は概ね上層が高く下層に低くなったが、11月には上下層がほぼ同じ温度になり循環期となった。塩分は概ね上層が低く、下層が高く、11月には上下差がなくなって循環期となっている。水温、塩分ともに7月に最も大きな上下差が見られ、水深20～40m、60～80m付近で急激な変化（躍層）が見られた。

4) プランクトンの鉛直分布

水深20～80mの間に6層の調査層を設けてプランクトンを採集した結果、7月は40m以浅に多く、10月には水深差が少なくなって、11月には60m層を中心に分布するように変化し、水温鉛直分布に対応して分布層が移動している。特に魚群分布層との関連は明かではなかった。

5) 蝟集魚群調査

(1) ソナー付きROVによる調査

ROVの映像から魚群密度を測定し、ROV装着のソナーと漁船の魚探から魚群分布空容積を求め、蝟集魚群量を推定する方法で実施した。蝟集魚群の逃避行動や蝟集魚の体長の変化などによって計測魚群密度にばらつきが見られた。この方法の基本的な考え方は利用可能であるが、精度向上のためにさらなる研究と検討が必要であると考えられた。

(2) ROVによる調査

ROVの映像から蝟集魚群量を推定した。その結果、両礁ともにマアジ、ウマヅラハギ、ヒラマサ、メダイなどが多く確認され、とくに試験礁ではマアジ幼魚、ヒラマサが多く、対照礁ではメダイが多く見られ

た。また、単位当たり蛸集重量は試験礁が 203gr/空 m³ で対照礁の 156.5gr/m³ の 1.3 倍となった。より浅い水域の魚礁効果調査においては潜水目視計測がなされているが、潜水調査が困難な水深域における目視計測調査方法としては、このような調査方法も利用可能であると考えられた。しかし、ROV 計測は潜水計測に較べると行動性能に劣るために計測精度が低下する問題がある。また、この調査結果は潜水計測と同様に水中視程範囲内の魚群を計測しているものであり、また、浮魚類を含めた魚群分布域はかなり広い範囲にわたることから、実際の蛸集量よりも低い値となっていることが推定される。

(3) ROV と魚探による調査

ROV の映像から魚群密度を計測し、魚群探知機で魚群分布空容積を計測して、蛸集魚群量を推定した。その結果、単位当たり蛸集重量の平均値は試験礁が 3.00kg/空 m³ で対照礁は 1.383kg/m³ の約 2.2 倍となった。この調査方法の基本的な考え方は利用可能であるが、魚群分布空容積の測定精度において、魚群探知機の音波伝搬特性から生ずる誤差が入り込みやすい問題があり、実用化のためにはさらなる研究が必要であると考えられた。

(4) 計量型魚群探知機による調査

平成 13、14 年度に計量型魚群探知機によって魚群分布調査を行った結果、水温躍層が形成される 6～9 月にかけて、魚群は躍層の形成される水深層以深の水温 19～21℃の試験礁の頂部に蛸集し、この時期躍層形成水深と魚礁頂部の深度がとくに浮魚群の蛸集、滞留に重要な要因となっている。そして鉛直混合が進む 10～11 月には水温が一様化されて、魚群分布は深度方向に拡大され各礁近辺に分布するようになる。両礁付近に分布する魚群量は調査した両年とも 6 月から 8 月にかけて蛸集魚群量が増大し、その後減少する傾向が見られた。 χ^2 検定をした結果、両礁の魚群分布の差異は季節によって蛸集効果が異なることが明確であり、魚群の交代、そして季節躍層の鉛直分布との関係が大きく影響していると考えられた。

(5) 漁獲調査

試験礁と対照礁においてさびき釣りによる漁獲調査を行った結果、マアジ、ウマヅラハギ、ヒラマサ、マトウダイ、シイラ、サバ類などが釣獲され、魚種数、漁獲量共に試験礁の方が多くなった。

6) 標本船調査

旋網漁業の漁獲状況から、調査期間中の浜田市沿岸域のマアジの資源量は、平成 13 年発生群の 0 歳魚が多かったが、14 年度は平年並みで秋季に 1 歳魚が漁獲された。期間中に実施した一本釣り漁船の標本船調査の結果、マアジ、マサバ、ブリ、ウマヅラハギ、ヒラマサ、クロマグロ、ソーダガツオなどが釣獲され、マアジの割合が試験礁では 47%、対照礁では 65%であった。試験礁ではマアジのほかブリ、ヒラマサが多く、対照礁ではクロマグロ、ソーダガツオが多くなった。両礁ともに 7～8 月は小型のマアジが多く、11 月には対照礁の方で多く漁獲された。

調査期間中の両礁における総漁獲量の CPUE は浜田一本釣りのそれよりも低かったが、全体的に漁獲量が低下する時期に礁における CPUE が大きくなっており、資源量が低下した時に魚礁に魚群が集中している。また、両礁におけるマアジの CPUE と浜田一本釣りのそれとを比較すると、2～5 月期を除く月で両礁の方が大きく調査全期間では大きな差が生じた。さらに、旋網によるマアジの漁獲量が低下する 8 月に両礁のマアジ魚群量が最も多くなっており、この時期旋網と対照とならない 0 歳魚が魚礁に蛸集し、その他の季節には大型で底棲性を帯びた高齢個体が魚礁に蛸集するためであると考えられた。

魚礁の頂部が 40m で水域の中層まで達する試験礁では 0 歳魚を中心とする小型魚の蛸集が顕著で、礁高が 12m の対照礁では 2 歳魚以上の大型魚の蛸集効果が高い傾向が見られた。これはマアジの成長に伴う分布水深の選択性の影響であると考えられる。

7) 生物調査

釣獲調査で漁獲されたマアジの群摂餌率は季節的な変動は見られなかった。また、肥満度は発育段階によって変化し、両礁間にとくに差異は認められなかったことから、蛸集行動と餌料生物との関係は明かではなかった。

8) 総合的考察

同じ時期に、水深 100m のほぼ同じ環境にある礁高 12m と 40m の人工魚礁効果を対照として様々な方法で調査し比較した結果、両礁の魚群分布の差異は季節によって蛸集効果が異なり、魚群の交代、そして季節的に形成される躍層の鉛直分布との関係が大きく影響していることが明らかになった。卓越種となったマアジでは魚礁の頂部が海底から中層まで達する試験礁では0歳魚を中心とする小型魚が、礁高の低い対照礁では2歳以上の大型魚が蛸集し、成長に伴う分布水深の選択性の影響であると考えられた。このことから礁高の高いことが水温躍層を形成する時期や秋季の回遊魚の多い時期など一定の条件下において魚群の蛸集に有利に作用することが推察され、それぞれの魚礁事業において対象とする種、発育段階、漁法によって、魚礁構造を選択することが重要であると考えられた。