

# 人工魚礁の配置計画手法に関する研究

水産工学研究所水産土木工学部

武内智行（現中央水産研究所）

明田定満・仲宗根琢磨・高木儀昌

木元克則（現西海区水産研究所）

調査実施年度：平成9年度～平成11年度

## 緒言

### 1) 研究の背景及び目的

魚礁の効果調査は今まで数多く行われてきたが、断片的な調査が多く、定量的な評価は必ずしも十分ではない。例えば、魚礁への魚類の蝟集状況に関する魚探調査や潜水調査は数多く行われているが、調査時の環境条件の把握が不十分な例が多く、環境条件と魚類の蝟集との関係を解析できない場合が多い。特に、魚礁の配置や構造を検討する場合、魚礁周辺の底質や餌料生物の蝟集に影響を及ぼす流動環境は重要な検討事項となるが、魚礁周辺の流動環境と魚類の蝟集状況に関する観測事例は極めて少ない。そこで、魚礁の種々の配置条件下における物理・化学・生物的環境条件及び魚類の蝟集状況に関する調査結果を再整理するとともに、現地において流動環境の微細調査と魚類等の蝟集状況調査を併せて行い、それらの結果を総合的に解析して、魚礁の効率的配置計画の基礎資料とする。

## 調査内容と方法

### 1) 全体概要

9～10年度は既往の効果調査等現地調査結果及び調査手法に関する資料の収集整理、問題点の抽出とその解決に向けた調査手法の検討を行った。また、特に流動環境等と魚礁配置との関係に焦点を当てた現地調査を行った。11年度は物理・化学・生物的環境条件と魚類の蝟集との関係についてのこれまでの結果を解析し、魚礁の配置計画手法を整理した。

### 2) 調査項目と調査方法

#### (1) 資料の収集整理

現行の人工魚礁漁場造成計画指針（以下、「計画指針」という）発行後の約10ヶ年分を主体に、魚礁の配置計画手法の検討に関係すると思われる資料を収集し、主な検討内容と結果を整理した。対象資料は、日本水産工学会誌、水産工学研究所研究報告及び同技報等、沿整事業に関する水産庁研究所研究報告書、人工礁漁場造成事業調査報告抄録集、東北海区人工魚礁技術研究会報告、南西海区魚礁研究会報告、各都道府県水試事業報告・研究報告等、である。合わせて600件余りの文献資料を整理した。また、魚礁設置事業及び人工礁漁場造成事業の計画設計書（抜粋）約250件を収集し、魚礁の配置形状等について整理した。

#### (2) 現地調査

魚礁周辺の流動環境等に関する総合的な現地調査は10年程前に実施された事例があるが<sup>1),2)</sup>、その当時は電磁流速計がようやく使用できるようになった時期であり、流速変動の微細観測を十分に行うことは出来なかった。本調査では電磁流速計と超音波流速計を用い、出来るだけ短い時間間隔で流速観測を行い、渦流や乱れを出来る限り測得しようと試みた。また、潜水による魚類蝟集状況調査を合

わせて行った。さらに、10年度は魚礁周辺の水温・塩分鉛直分布の観測も行った。

山形県温海町沖太夫礁（天然礁）周辺及び新潟県真野町沖人工魚礁周辺にて調査を実施した。9年度の使用計器は電磁流速計（アレック電子製ACM8M）2台と超音波流速計（鶴見精機製AICM2）4台（いずれも水温計付）の計6台である。10年度はACM8Mを3台、AICM2を4台の計7台を使用した。

表1 流速計の設定モード

年度	9年度		10年度
機種	AICM2	ACM8M	AICM2, ACM8M
測定モード	バースト	バースト	バースト
バースト間隔	30分	10分	30分
サンプリング間隔	0.5秒	0.5秒	0.5秒
サンプリング個数	800個	240個	1200個

表2 温海町沖の計器設置期間・設置深度等一覧（9年度）

	礁南側(B)	礁北側(A)	設置深度
上層	ACM8M-87A	ACM8M-88A	B + 50 m
中層	AICM2-3998	AICM2-4001	B + 30 m
下層	AICM2-3999	AICM2-4000	B + 10 m
水深	77 m	70 m	
投入時刻	7/22 9:26	7/22 10:02	(土嚢投入時刻)
回収時刻	7/24 11:25	7/24 11:44	(回収開始時刻)

#### ① 流速計の設定モード

温海町沖、真野町沖とも流速計による流速観測の設定モードは表1の通りとした。測定モードはバーストとし、サンプリング間隔は0.5秒とした。なお、バースト間隔及びサンプリング個数は年度（あるいは機種）により異なる。

#### ② 計器設置位置及び設置期間

温海町沖は水深が70～80mあり、礁高も50m程度あるため、9年度は2地点各3層の観測を行った（図1、表2）。また、10年度は2地点各3～4層の観測とした（図2、表4）。真野町沖は水深約29mの地点に1.8m型円筒型魚礁が乱積みされており、最大でも3～4段であるため、9年度は3地点各2層とした（図1、表3）。10年度は礁の上層も計測するため、2地点各3～4層の観測とした（図3、表5）。いずれも、2～3日間の観測とした。なお、10年度の観測は測定モードの関係から、温海町沖のデータ測得期間は7月29日の午後2時ないし6時頃までとなった。また、真野町沖では礁の東西に設置予定であったが、結果として礁の北側と南東側になった。

#### ③ 水温・塩分鉛直分布観測

魚礁周辺の水温・塩分の鉛直分布観測を10年度に実施した。STDを使用し、温海町沖太夫礁周辺15測点（図2）で7月27日と30日に、真野町沖の魚礁を通る1測線15測点（図3）で8月26日と28日に行った。

#### ④ 魚類蝸集状況観察

9年度の潜水による魚類蝸集状況調査（目視観察と水中写真撮影）は7月23日（温海町沖）と9月4・5日（真野町沖）に行った。10年度の調査は7月28・29日（温海町沖）及び8月27日（真野町沖）に行った。

表3 真野町沖の計器設置期間・設置深度等一覧（9年度）

	礁北側(N)	礁南側(S)	礁東側(E)	設置深度
上層	ACM8M-88A	AICM2-4001	ACM8M-87A	B + 5 m
下層	AICM2-3999	AICM2-3998	AICM2-4000	B + 3 m
水深	29 m	29 m	29 m	
投入時刻	9/03 11:15	11:22	11:30	
浮上時刻	9/06 11:41	11:38	11:33	

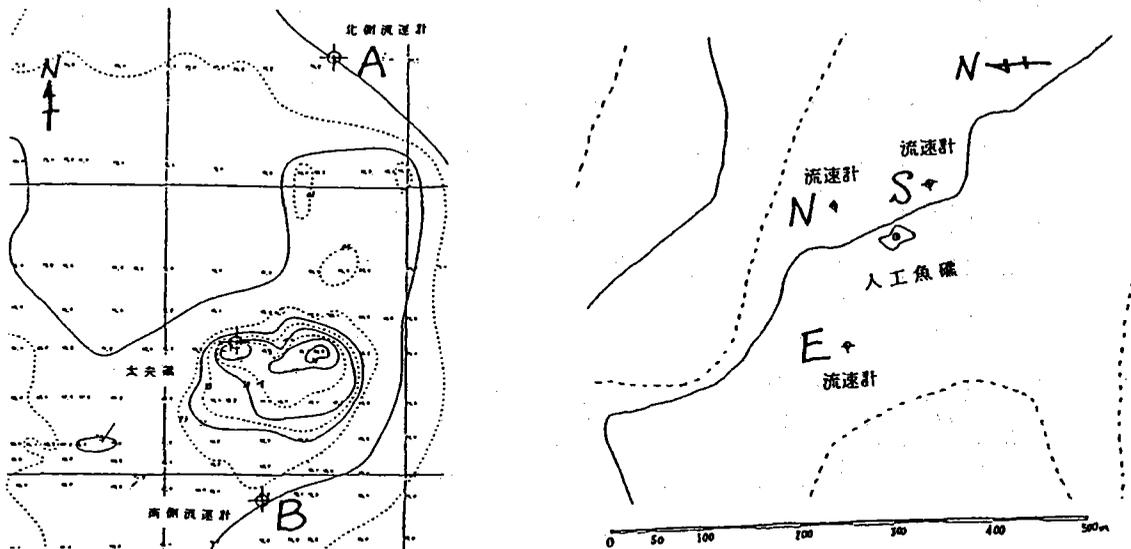


図1 測点位置図（9年度、左：温海町沖太夫礁周辺、右：真野町沖人工魚礁周辺）

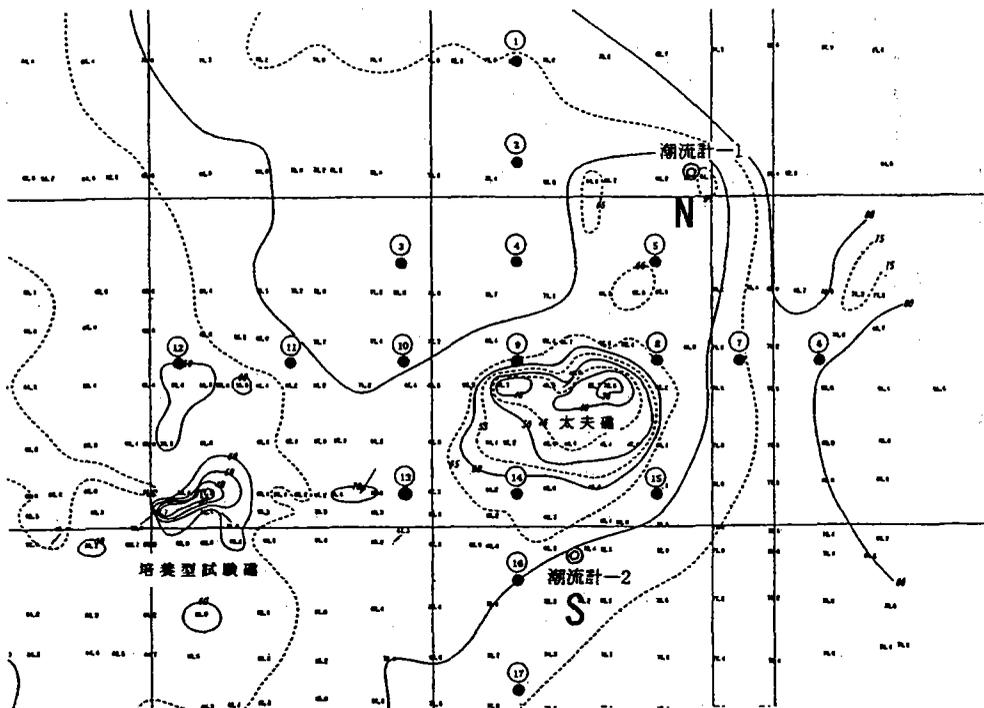


図2 測点位置図（温海町沖太夫礁周辺、10年度）

表4 温海町沖の計器設置期間・設置深度等一覧（10年度）

	礁南側(S)	礁北側(N)	設置深度
第1層	AICM2-4001	AICM2-3998	B + 1 0 m
第2層	AICM2-3999	AICM2-4000	B + 3 0 m
第3層	ACM8M-120A	ACM8M-87A	B + 5 0 m
第4層	---	ACM8M-88A	B + 6 0 m
水深	約70m	約70m	(STDデータにより補正予定)
投入時刻	7/27 10:46	7/27 10:58	(土嚢投入終了時刻)
回収時刻	7/30 14:00	7/30 13:47	(回収開始時刻)

表5 真野町沖の計器設置期間・設置深度等一覧（10年度）

	礁北側(A)	礁東側(B)	設置深度
第1層	AICM2-4001	AICM2-3998	B + 3 m
第2層	AICM2-3999	ACM8M-120A	B + 5 m
第3層	ACM8M-88A	ACM8M-87A	B + 7 m
第4層	---	AICM2-4000	B + 16m
水深	約29m	約29m	
投入時刻	8/26 10:19	8/26 10:23	(土嚢投入終了時刻)
回収時刻	8/28 11:11	8/28 11:25	(浮子浮上時刻)

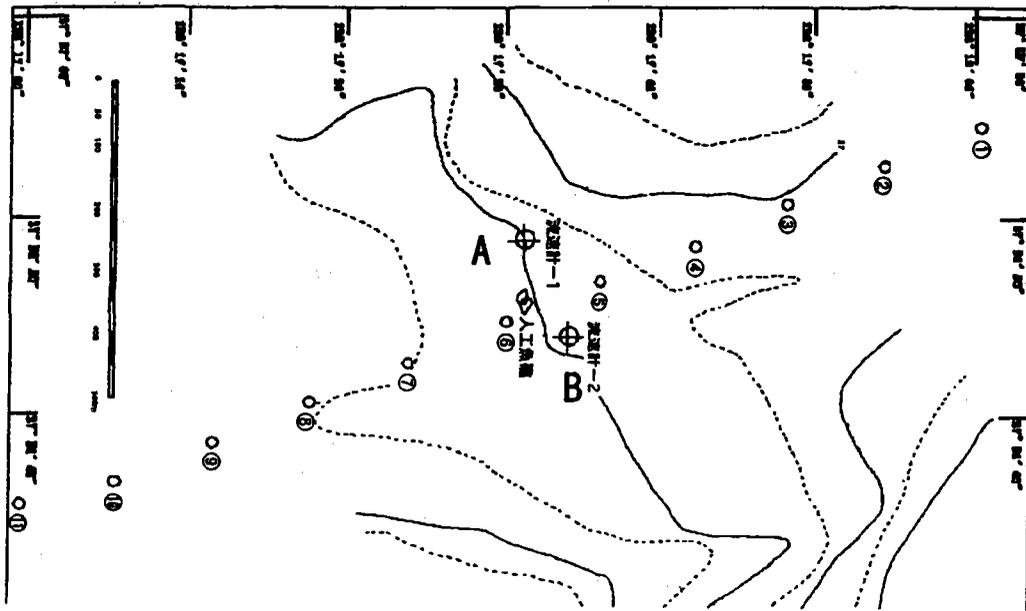


図3 測点位置図（真野町沖人工魚礁周辺、10年度）

## 調 査 結 果

### 1) 資料収集整理結果

9年度に収集した600件以上の資料を整理した。なお、資料の収集整理結果は、人工魚礁漁場造成計画指針改訂に係る編集委員会に随時報告し活用した。また、魚礁設置事業及び人工魚礁漁場造成事業の計画設計書（抜粋）約250件を整理した。

その結果、魚礁調査資料の大半は、魚類の蝸集状況観察や漁獲調査あるいは魚礁の洗掘・埋没状況観察に関するものであることがわかった。また、魚類の蝸集状況・漁獲状況と周囲の環境条件との相互関係を含めた総合的な調査・検討例は極めて少なかった。なお、調査事例の中には「計画指針」の内容をほぼ追認する結果も多くあった。一部には、湧昇流発生工や高層魚礁などの新たな試みもみられた。計画設計書を整理した結果からは、魚礁の配置形状に関して次のような傾向が認められた。

- ①単位魚礁に小型単体（角型ブロック、円筒型ブロック等）を使用する場合は、乱積み又は整積みにし、円形状又はドーナツ状に配置する例が多い。ドーナツ状配置の場合は中央に中型・大型単体を配置している。
- ②中型単体（組立型魚礁等）を使用する場合は、円形状又はドーナツ状あるいは矩形状に分散配置する例が多い。ドーナツ状配置の場合は、中央に中型・大型単体を配置する例が多い。
- ③魚礁群については、上述の単位魚礁を矩形状あるいは菱形状に配置する例が多い。
- ④魚礁群の配置と流れや地形との関係については、対象魚種の生息水深や魚道を配慮した等深線沿いの配置、沖側から岸側に魚類を誘導・滞留させるような配置、魚群との遭遇率を向上させるための流れに直交方向の配置、等に分けられた。また、操業に配慮した配置もあった。

### 2) 現地調査結果

#### (1) 平均流速・水温の経時変化

9年度の結果の一例を図4に示す。図4 aは温海町沖測点B中層、図4 bは真野町沖測点E下層の結果である。温海沖ではほぼ南北方向の流速成分が卓越していると考えられるが、この結果では南寄りの成分が強くてきている。水温変動はさほど大きくなかった。真野町沖では東西方向成分が卓越していると考えられるが、この結果では、南南東寄りの潮流が卓越していた。東寄りの成分が見られるときに水温が低下しているのは、沖合から水温の低い水塊が岸方向に這い上がってきているためと考えられる（後述の水温鉛直分布の項を参照）。

10年度の温海町沖の平均流速と平均水温の経時変化の例を図5に示す。同様に真野町沖の結果の例を図6に示す。いずれも潮汐周期による変動が認められる。温海町沖では、北寄りの流向が卓越しているが、下層では南寄りの流向も多い。また、層により流向の異なる場合が多い。これに対し、真野町沖では、温海町沖に比べて水深が浅く、流速計の上下方向の設置間隔が短いこともあるが、おおむね同じような流向であるが、8月27日の昼前のように、層によって流向の異なる場合もある。

真野町沖の平均水温は半日周期で大きく変動しており（ただし、海底上16mのデータを除く）、これは沖合水の湾内への差込等によるものと考えられる（後述の水温鉛直分布の項を参照）。

#### (2) 流速の微細変動

10年度の流速の生データの一例を図7に示す。上層ほど表面波浪の影響を受けているが、下層でも若干の変動がある。これらの生データを周期分解して渦や乱れの成分を抽出しようとしたが、波浪成分の影響が大きく、分離が困難であった。

なお、全体を通してみると、一方向に流れが卓越する場合と、流れが弱く、波浪の影響を受けて流向がやや不規則に変化する場合とがあった。

#### (3) 水温の微細変動（周期10秒以内の成分）

10年度の温海町沖の水温観測データの周期成分分解結果の一例を図8に示す。この例では、12:31、

VELOCITY MEASUREMENT B+30m SOUTH SIDE ATSUMI

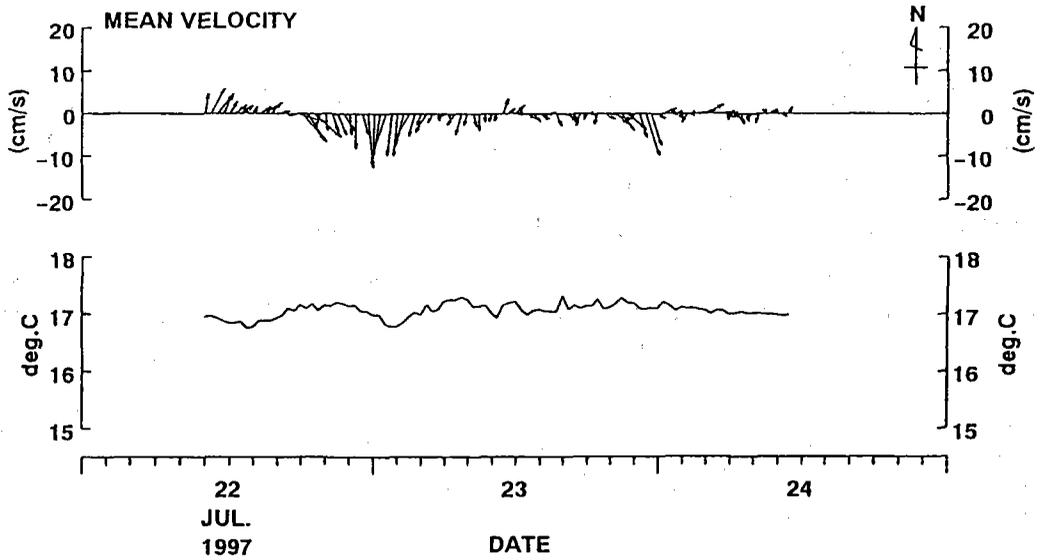


図 4 a 平均流速・水温の時系列変化の例 (温海町沖、9年度測点B中層)

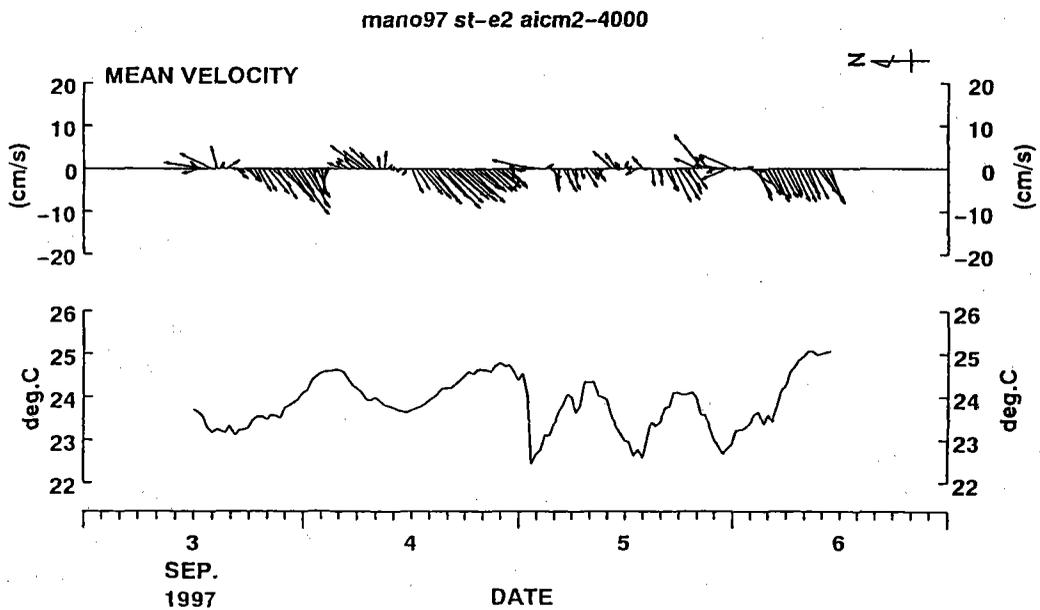


図 4 b 平均流速・水温の時系列変化の例 (真野町沖、9年度測点E下層)

12:33, 12:34に0.1℃程度の変動が見られる。他にも1分半ないし数分程度の間隔で微細変動する例が見られ、これらは礁からの渦の放出 (及び渦に伴う乱れ) による変動の可能性が高いと思われる。

なお、真野町沖でも微細変動が若干は認められたが、これは水温の全体的な変動時に限られているため、水塊移動に伴う乱れと考えられ、礁に起因する乱れの確認は本調査ではできなかった。

(4) 流速のスペクトル解析結果

MEMによるスペクトル解析の一例を図9に示す。周期が数秒付近のピークは波浪によるものと考えられる。それより短い周期にピークが見られたり、エネルギーレベルがやや高いことがある。これは礁による乱れに起因するものと考えられるが、断定するためにはさらに詳細な解析が必要である。

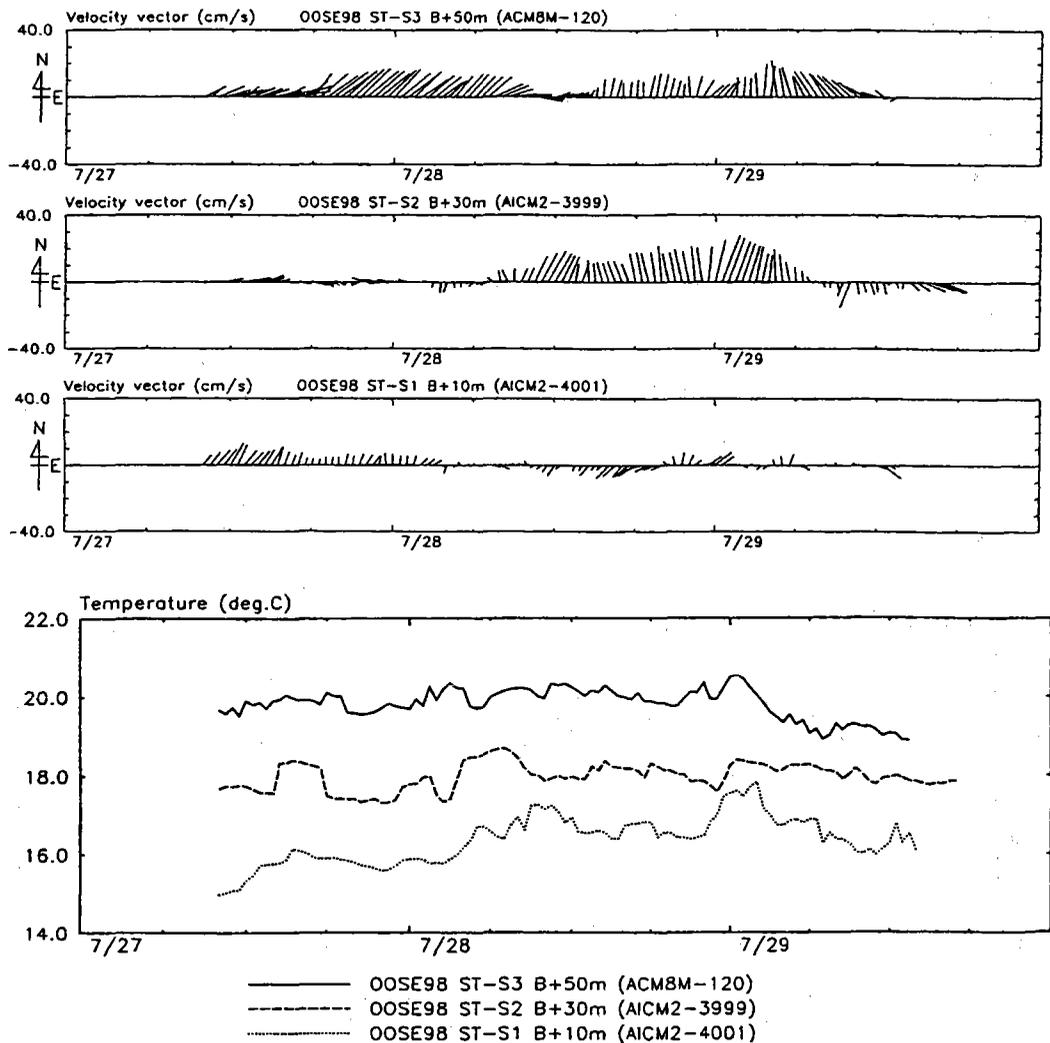


図5 平均流速・水温の経時変化（温海町沖、10年度測点S）

### (5) 水温・塩分鉛直分布

10年度の温海町沖の南北方向の断面の水温鉛直分布を図10に示す。中層には礁の地形に起因すると思われる地形波的な水温分布が見られる。図11の真野町沖の水温鉛直分布では、沖合から湾内に底層水が進入して来ている様子がわかる。

なお、塩分の鉛直分布については、真野沖では水温分布にほぼ対応した成層構造をしていた。温海町沖でも、降雨時の表面付近の低塩分化を除き、ほぼ水温分布に対応した成層構造であった。

### (6) 魚類蛸集状況観察結果

9年度の温海町沖の潜水による観察では、全体で13種が観察された。ウスメバルとスズメダイは小型の個体が数多く見られ、メジナとウマツラハギは比較的大型の個体が多数観察された。真野町沖では、2回の潜水で22種が観察された。メバルとマアジが数多く蛸集していた。この他ではスズメダイとオキタナゴが多かった。

10年度の温海町沖の観察では、2回の潜水であわせて18種が観察された。メジナ、マダイ、キツネメバル、ブリ、マハタ、キジハタの6種は比較的大型の個体が多数観察された（25cm以上の個体がそれぞれ35～250尾）。スズメダイとウマツラハギは比較的小型であったが、多数出現していた（7～15cmの個体が10,000尾以上）。比較的大きな群の蛸集状況の概略図を図12に示す（注：45m以深は潜水していない）。真野町沖では、13種が観察された。比較的大型で個体数が多かったのはマアジとメバ

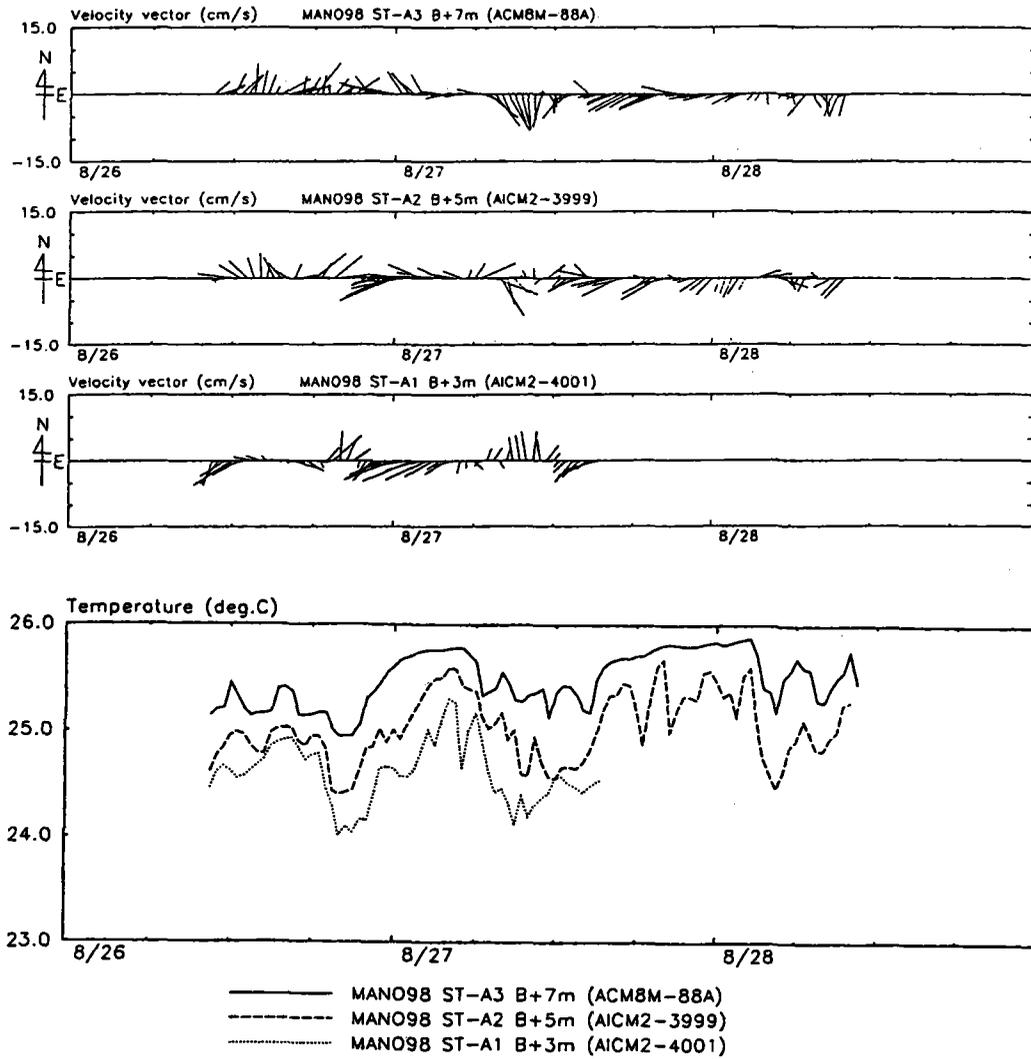


図6 平均流速・水温の経時変化（真野町沖、10年度測点A）

OSE98 ST.N 1998.7.27-30.

KSDATE= 98 7 27 12 25

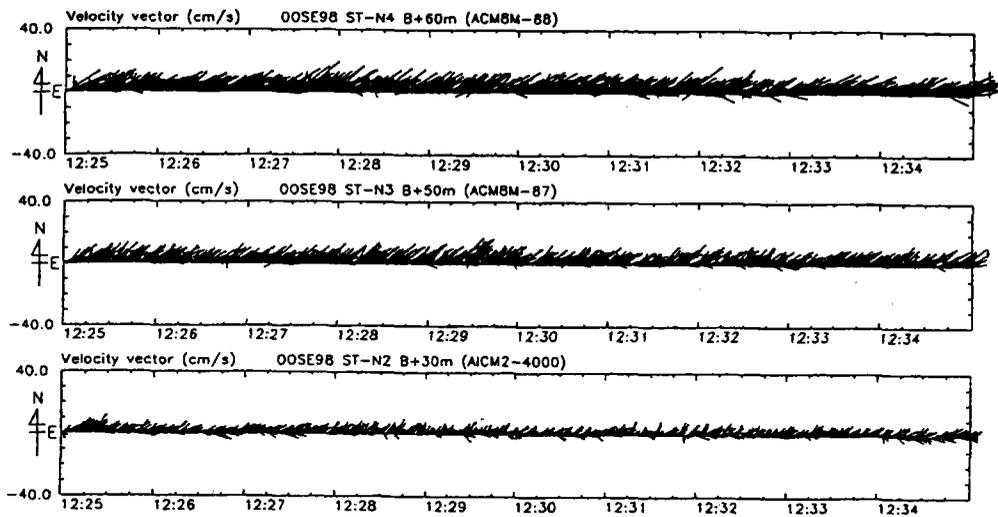


図7 流速の微細変動例

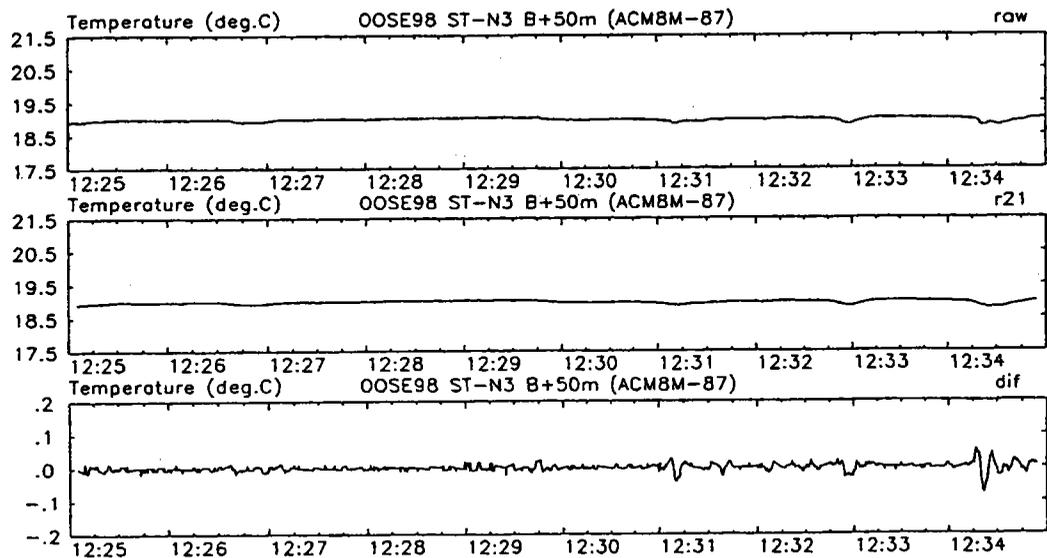


図8 水温の微細変動分析結果例  
 (上：生データ、中：周期10秒以上の成分、下：周期10秒未満の成分)

ルであった。ウスメバルやスズメダイは小型であるが、多数蛸集していた。蛸集状況の概略図を図13に示す。

### 考 察

以上のように、本研究での資料収集整理からは、魚類の蛸集状況と周囲の環境条件とを総合的に調査・解析した事例は少なかったものの、「計画指針」をほぼ追認する結果や新たな試みの例が得られた。また、魚礁の配置形状のおおよそのタイプ分けを行うことが出来た。

微細流動環境に焦点を当てた現地調査からは、礁からの渦の放出によるものと思われる水温の微細変動を確認することが出来た。このことは、ストローハル数の検討結果からも裏付けられた。すなわち、ストローハル数  $S = f \cdot d / u$  ( $f$ : 周波数、 $d$ : 直径、 $u$ : 流速) は通常  $0.15 \sim 0.2$  程度と考えられ、渦の放出周期  $T = d / (u \cdot S)$  は、 $d$  及び  $u$  と  $S$  を与えれば求めることができる。例えば、温海町沖太夫礁の頂部を想定し、 $S = 0.2$ 、 $d = 10\text{m}$ 、 $u = 20\text{cm/s}$ 、とすると、 $T = 250\text{sec}$  となる。従って、おおよそ測得した微細変動周期に一致した値が得られる。ただし、真野町沖ではこのような変動は測得されていない。これは、真野町沖の魚礁の規模がそれほど大きくなく、また計器が流れの主方向からずれた位置に設置されたこと及び魚礁の規模に比べると若干離れた位置に設置されたことなども影響していると考えられる。

魚類の蛸集状況と流動環境との関係については、表中層魚は潮上側に位置することが多いが、礁に接近して定位する魚種は必ずしも潮上側に位置するとは限らず、潮上側以外の礁の周囲にも位置していた。

## 摘 要

(1)本研究により、魚礁周辺で渦流の生じている可能性を現地観測から示すことができた。渦流や乱れは圧力変動として、魚類の側線等を刺激し、魚礁への蠕集に関与しているとの仮説がある。今後、渦流や乱れをより定量的に把握することにより、魚礁の構造・配置計画の改善に資することができる。

(2)資料の解析結果からは、若干数ではあるが、魚礁の配置計画に関するデータを得ることができた。これらの資料は、人工魚礁漁場造成計画指針の改訂に活用され、その内容に反映されている。

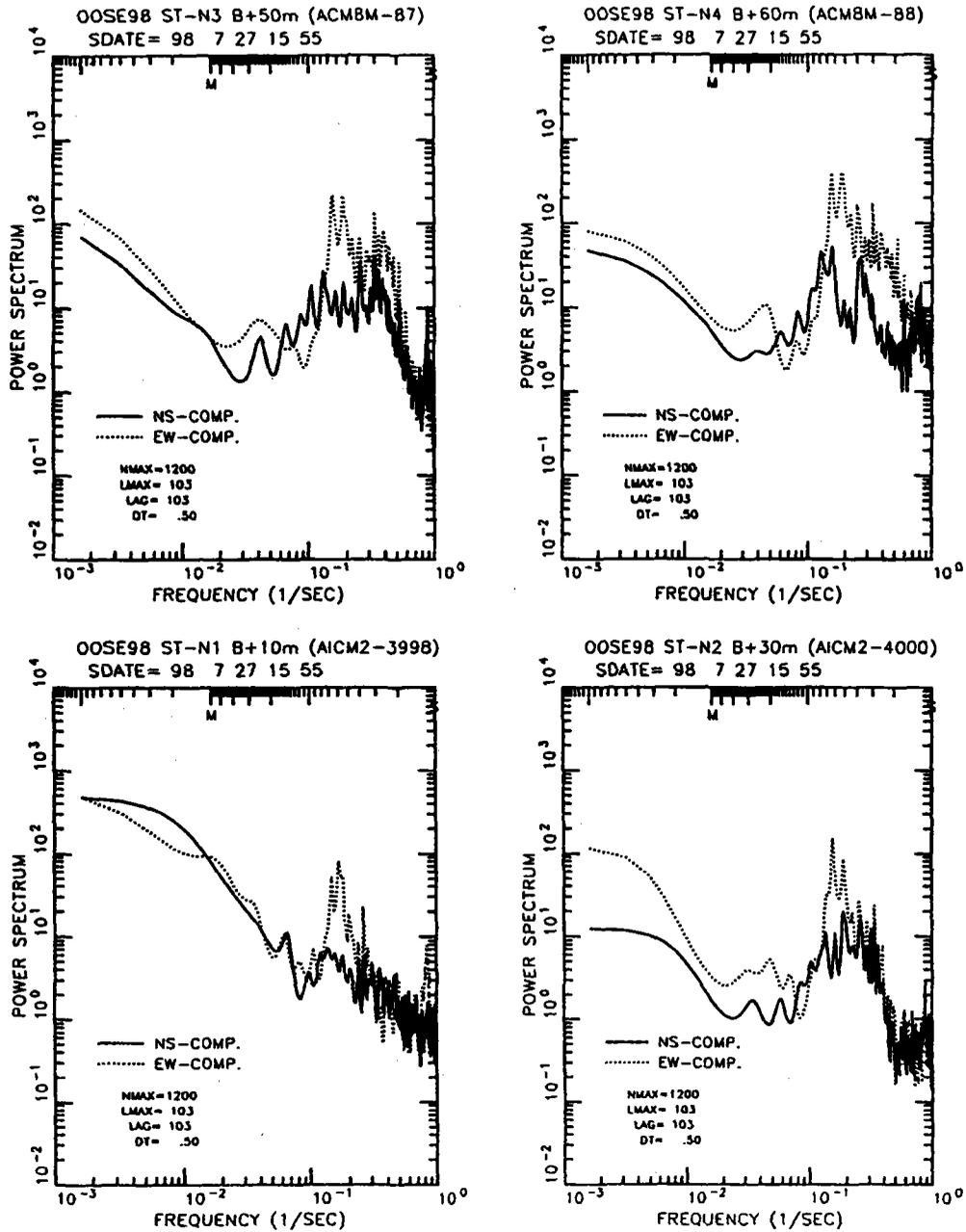


図9 流速のスペクトル解析結果の一例





武内智行・仲宗根琢磨(1998)：魚礁周辺の流動環境調査について、日本水産工学会学術講演会講演論文集、pp.21-24.

松本英明・武内智行(1998)：海底に設置した物体周辺の三次元流況シミュレーションについて、日本水産工学会学術講演会講演論文集、pp.25-28.

武内智行(1999)：魚礁漁場造成計画の基本的要素、日本水産工学会学術講演会講演論文集、pp.185-186.

Takeuchi,T.(1999): Field Observation of Velocity and Temperature Fluctuations around a Reef, Proceedings of 7th CARAH (第7回人工魚礁及び人工生息場に関する国際会議論文集) ,pp.537.