

外洋型人工海底「おおちゃんマリン1号」の 海域実験の成果の概要について

岡本 峰雄*¹ 升田 幹也*¹ 古島 靖夫*¹
齊藤 學*² 佐藤 啓一*²
小寺山 亘*³ 洪 性完*⁴

平成8年2月に、岩手県船越湾の水深40mの海域に設置された、外洋型人工海底「おおちゃんマリン1号」を用い、平成8年度の一年間、実海域実証試験が行われた。施設は鋼製溶接構造で、人工海底部(36.4×20.0m)、その上の機械室、下に吊ったバランスウエイトからなる。人工海底は通常水深7m層に沈み、機械室のみが海上にある。人工海底は簡単な操作で浮上させることができる。施設の主要部は5年間にわたって特別の検査や補修を要しないように設計製作し、設計波浪は有義波で10mである。この施設を用い、施設運用技術の検討、アワビ飼育試験、保守管理技術の研究、施設の水中検査及び水中補修工事のデモンストレーション、荒天時の施設の動揺特性計測、施設の浮魚礁機能の研究、藻類養殖漁場の海洋環境変動の研究、などの調査研究が行われた。その結果、この施設は、日本周辺の広大な沿岸海域を活用するための有望なものであるとともに、沿岸海洋研究のための有効な観測ステーションとして機能すると考えられた。ここでは、その成果の概要を報告する。

キーワード：潜降浮上型人工海底，養殖，海洋研究ステーション，人工魚礁

Field evaluation of offshore type submersible platform Ohchan Marine No.1 and experimental demonstrations of it

Mineo OKAMOTO*⁵ Mikiya MASUDA*⁵ Yasuo FURUSHIMA*⁵
Manabu SAITOH*⁶ Keiichi SATOH*⁶
Wataru KOTERAYAMA*⁷ Seong Wan HONG*⁸

*1 海域開発・利用研究部

*2 岩手県水産技術センター

*3 九州大学応用力学研究所

*4 鹿児島大学大学院連合農学研究科

*5 Japan Marine science and technology center

*6 Iwate prefectural fisheries technology center

*7 Research institute for applied mechanics, Kyusyu University

*8 The united graduate school of agricultural science, Kagosima university

By using the offshore type submersible platform Ohchan Marine No.1, anchored at a depth of forty meters several experimental studies have been conducted successfully during FY1996. The facility consists of an artificial sea floor (36.4×20.0m width) that floats at 7 meters below the surface, a machinery hut that projects above the surface at the center of the structure and a balance weight beneath the structure. The facility can be surfaced easily by using a water discharging pump in the water tank which is located at the center of it. From an operational point of view, the facility can be operated easily and safely by fishers and there was no fundamental problem which needed further improvement. Cultivation of abalone in a rough sea area was proved to be possible. Underwater inspection and repair manuals for emergency situations were examined by experimental inspection and demonstration of underwater works. Measurement of movement and load to the mooring chain under rough sea conditions were examined using monitoring instruments. Artificial reef study was conducted by diving observation and acoustic survey for more than one month. Current, water temperature, chlorophyll and nutrients were monitored by using the facility as an offshore monitoring station. As the results of these experimental studies, Ohchan Marine No.1 is expected to be one of the prospective technologies for utilizing vast coastal sea areas around Japan.

Key Words : Submersible platform, artificial sea floor, mariculture, monitoring station, artificial reef

1 はじめに

岩手県と海洋科学技術センターでは、内湾型の潜降浮上型人工海底「マリンあや1号」の概念が実験段階で成功と判断された^{1)~6)}ことから、平成6年度から、水深100mまでの沖合海域にまで設置できる外洋型の潜降浮上型人工海底の開発に着手した。新しい施設は「おおちゃんマリン1号」と名付けられ、平成8年2月、船越湾の水深40m海域に設置された⁷⁾。施設は外洋の高い波浪を受ける海域に設置されていることから、荒天時の動揺や係留系にかかる力の計測、耐久性などの面で正確かつ適切な追跡と解析が必要である。これらの検討を主体としながら、施設を用いたいくつかの実験・試験が行われた。実海域試験の期間は短く、現時点では必ずしも満足できる精度の結果は得られていないが、その概要を報告する。

2 外洋型人工海底の概要

外洋型の潜降浮上型人工海底「おおちゃんマリン1号」は、吉里吉里の造船所で建造され、「おおちゃんマリン1号」と名付けられ、平成8年2月17日に船越湾の水深40mの実験海域（図1）に設置された。施設は鋼製溶接構造物であり、人工海底部（縦36.4m、横20.0m、面積666m²）とその上に4本の支柱で支えられた機械室からなり、

2点でカテナリー係留されている。人工海底の10m下には、浮上時の安定性を増すバランスウエイトが吊り下げられている。人工海底は通常水深7m層に沈み、センタータンクの海水を排水することで浮上する。潜降状態と浮上状態の状況を写真1、2に示した。

3 平成8年度の海域実験結果の概要

外洋型人工海底「おおちゃんマリン1号」は平成8年2月に実験海域に設置された。この段階で施設の潜降浮上性能試験や運用慣熟訓練などが実施された。施設に装備された計測器は、荒天時の施設の動揺特性を測定する

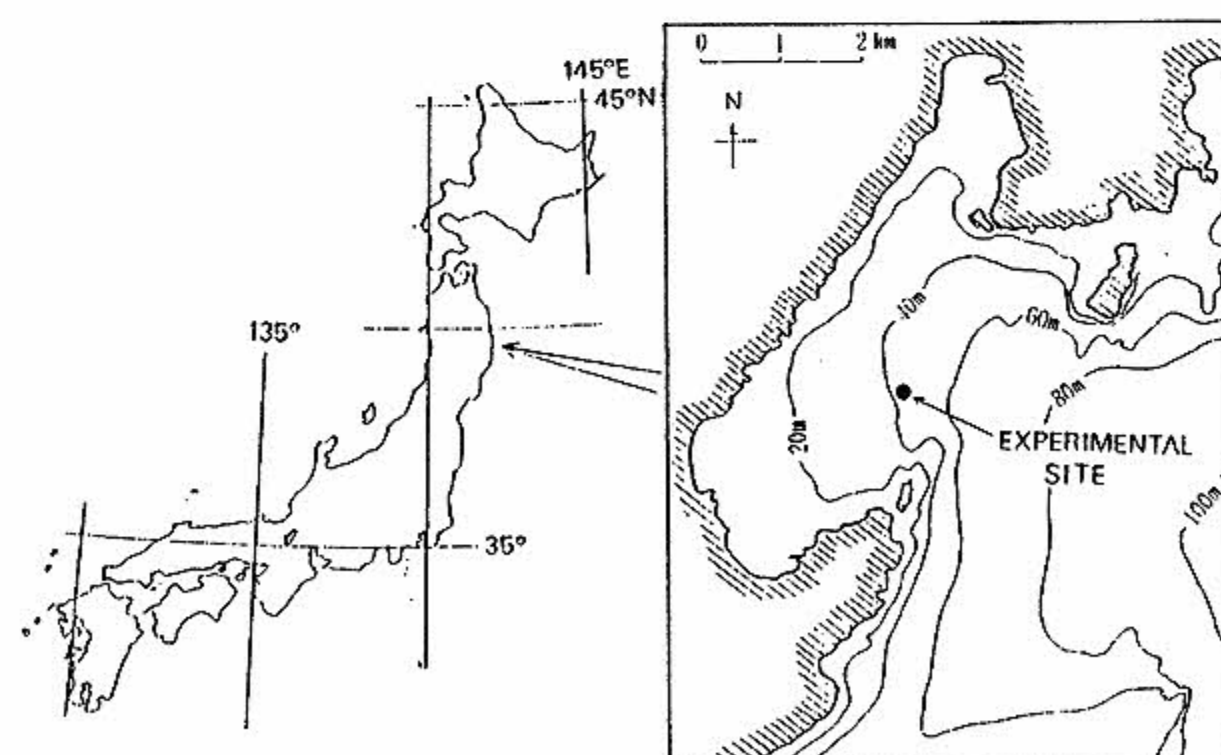


図1 実験海域

Fig.1 Experimental site of Ohcyan Marine No.1.

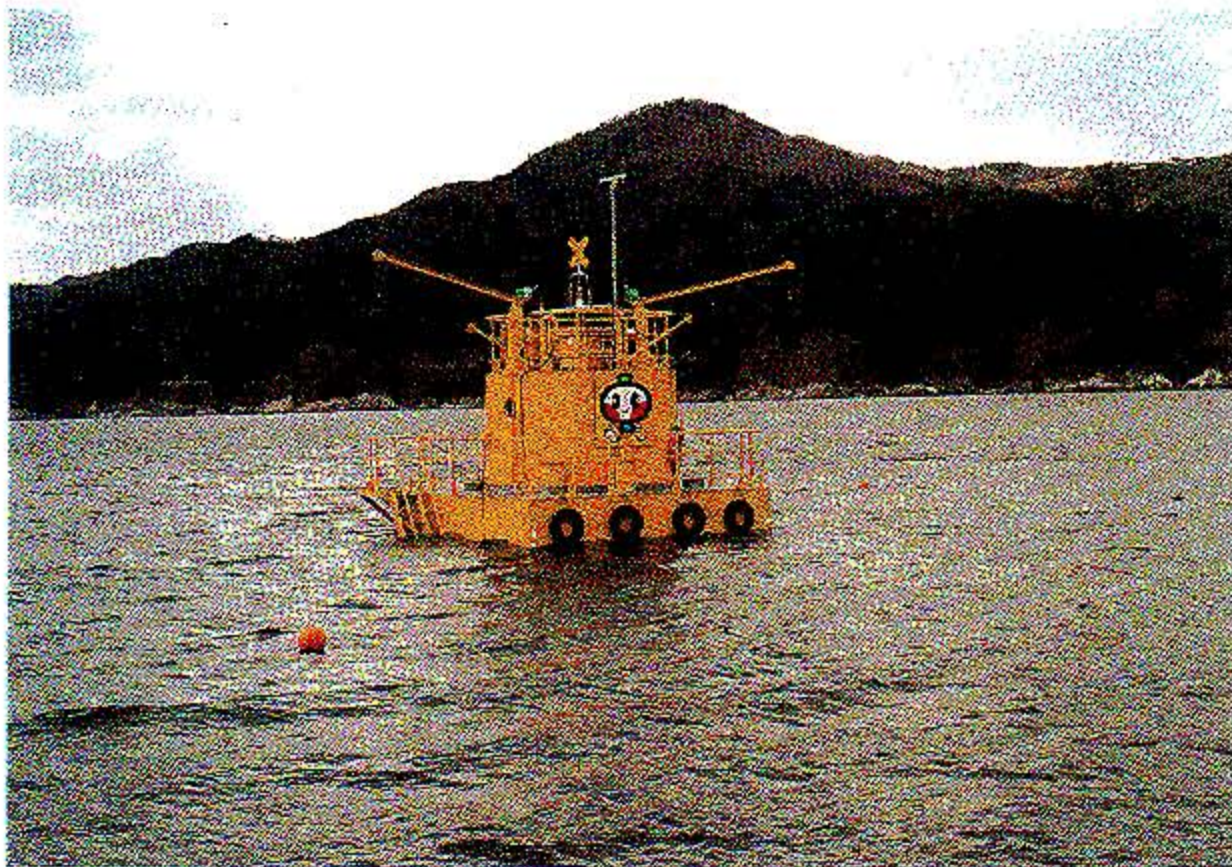


写真1 人工海底潜降状態
Photo 1 Ohchan marine at surfacing condition.



写真2 人工海底浮上状態
Photo 2 Ohchan marine at submerged condition (Normal).

ための波高計，風向風速計，動揺計測装置，2本の係留系の張力計のみであった。平成8年度の予算執行の遅れにより，現地実験本部の設置が平成8年5月となり，種々の試験研究が本格的に開始されたのは7月以降であった。極めて短期間の実証試験のため，必ずしも所期の計画を満足する成果は得られていないが，その概要は以下のようである。

3.1 施設運用技術の検討

施設の操作記録から，潜降・浮上の所要時間，燃料消費量その他を計測し，施設の不具合点や要改造箇所を検討するためのデータを得た。

(1) 運用状況

施設設置後の実験の経緯を概略的に表1に示した。潜降・浮上回数をみると，12月までの約10ヶ月間で59回であり，燃料の軽油は約100ℓを消費している。おおむね1回の運用ごとに1.6ℓ程度の軽油を消費していた。月

ごとの運用状況をみると，2月1回，3月3回，4月1回，5月3回，6月6回，7月10回，8月3回，9月8回，10月8回，11月10回，12月6回であった。運用目的はアワビ飼育カゴの設置やアワビへの給餌，施設への海洋観測機器の取り付けや回収，施設の清掃，保守管理技術研究等が主であった。

(2) 施設の安定性

施設の安定性に関しては，そこに乗り移ることができる海象の範囲では，潜降状態での動揺はかなり小さく，ほとんど自覚できない程度であった。浮上状態では，風波で白波がたつ程度までは作業可能であった。うねりに対しては，それに乗って緩やかに動揺し，また大きな波をかぶるようになり，作業は困難となる。うねりが高い場合，施設自体は安定していても，船の動揺が大きいため，乗り移るのは困難であった。

また潜降状態や浮上状態では傾斜がないのに，強風や大きな波浪のある時に潜降・浮上させる途中で，傾斜が一時的に5～6度になることが経験された。機械室を支える支柱部に水面が位置する状態において，施設の浮力が極めて小さくなるため，施設全体のわずかな傾斜が大きく増幅されるためであった。通常の高気象条件下では発生しないが，気になる現象である。施設でのアワビ給餌作業等は穏やかな日を選定して行うため，この傾斜は実際には何ら問題ではないが，将来的には何らかのスマートな解決策を検討する必要がある。

表1 「おおちゃんマリン1号」運用経過（概略）
Table 1 Outline of operational record

平成8年2月16日	進水（吉里吉里の造船所において）
2月17日	船越湾の実験海域に設置
3月6日	TV局，新聞社等へ公開
5月13日	コーナータンク内のバラスト調整による姿勢調整作業
7月3日	アワビ養殖実験開始
7月24日	アワビ給餌（コンブ）
8月21日	アワビ給餌
8月21日～30日	年次定期検査・潜水調査
9月13日	アワビ給餌
10月9日	アワビ給餌
10月21日～24日	バランスウェイト挙動計測装置設置
11月7日	アワビ給餌
12月12日	アワビ養殖実験終了

3.2 アワビ飼育試験

外洋波浪の影響を受ける海域でエゾアワビの養殖が可能であるのかを検討することは、人工海底の将来利用を図る上で重要な課題である。また施設でのアワビ養殖可能量を従来の「マリンあや1号」よりも飛躍的に増加させることも、経済性の面で大きな検討課題である。

(1) 鋼製アワビ飼育カゴの開発

まずアワビ養殖カゴの開発を行った。「マリンあや1号」で用いているアワビ養殖カゴは、塩化ビニール製のパイプをフレームとして樹脂製の網地を張ったものである。補強フレームの強度が弱いのと給餌・手入れの容易さを考慮して、カゴ（縦95cm、横95cm、深さ45cm）の深さを45cmと薄くし、内部のアワビ付着基盤となるシェルターを波形の一層のみとした。カゴ一個あたりのアワビ飼育量は約10kg程度でしかなく、また活用している水深範囲はわずかに45cmであった。

今回、鋼製の丸棒とアングル材を補強材にして、鋼製網地を張ったカゴを試作した。腐食はアルミニウムの電気防食で対処した。内部のアワビ付着基盤として、塩化ビニール板を縦に配置し、それを横棒で連ねる構造とした。大きさは「マリンあや1号」で用いているものより、深さを約2倍の95cmとした（縦95cm、横95cm、深さ95cm）。人工海底が浮上した状態でカゴの上半分が海面上に出るように固定できる構造として、操作性も高めた。これらの改造により、アワビの飼育可能量はカゴ一個あたり30～40kgになると考えられた。「おおちゃんマリン1号」には、このカゴを340個設置可能である。

(2) エゾアワビ飼育試験

飼育試験に用いたエゾアワビは、平成6年5月に採苗したもので、平成8年7月3日に人工海底での飼育が開始され、12月12日で終了した。7個のカゴに、殻長66～70mm、重量43～52gのものを1,770個、合計83.7kg収容した。カゴあたりの収容量は5.6～25kgであった。餌は養殖したコンブを用い、5ヶ月間に6回与えたのみである。写真3に給餌の状況、写真4に水中でのカゴの様子を示した。5ヶ月間の飼育の後、個体数は97個減少（死貝43個、不明54個）して1,673個（当初の94.45%）となった。殻長は70～74.7mm、重量は46～57g、総重量は84.6kgであった。総重量は、全数が生存していた場合には89.6kgとなっていたことになる。

(3) 飼育試験のまとめ

試験結果から、エゾアワビはあまり成長していなかったことになる。ただし新しく開発した飼育カゴによって、少なくともカゴ一個あたり25kgのアワビが飼育可能なことは実証された。施設全体でのアワビ収容量に換算すると8.5tとなる。5ヶ月間の給餌が6回でしかなかったのも注目すべきデータである。アワビの成長が不振であった原因については今後詳細に検討を加えるが、予想される項目は次のようである。

① アワビ飼育カゴの設置位置の不具合

カゴの固定位置が高めであったため、施設を浮上させるとカゴの約7割が海面上に位置し、アワビと餌のコンブが干出した。施設の保守管理技術研究のために、アワビの成長率が高い夏期に、頻繁に潜降・浮上させたことが悪影響を与えた可能性がある。

② 飼育サイズの問題

今回試験に用いた種苗は一般に成長が鈍るサイズと言われている。殻長は4mm程度大きくなっているもので、これが通常の成長速度である可能性もある。

③ 船越湾の水温環境の影響

今年度の夏期の水温の影響のために成長が鈍かった可能性。

④ 最終計測時に痩せていた可能性

12月は水温の低下によってアワビの摂餌量は大きく減少する。飼育開始時に比較すると殻の成長の割には重量が増えていない。計測時期が遅かったために、一度増加した体重が減少した可能性がある。

飼育試験の結果は、海洋環境や天然アワビ自体の同時期の成長などのデータと比較検討する必要があるが、少なくとも潜降・浮上型人工海底によって、外洋波浪の影響を受ける海域でのアワビ飼育が可能であり、成長はともかく、生存率も相当に高いことは実証された。飼育カゴの更なる改良や今後の種々の実験によって問題点を明確にして適切な対応を図っていきたい。

3.3 保守管理技術の研究

人工海底は、主要部分には塗装を施していない鋼製溶接構造の本体部分と、無塗装の鋼製チェーンやアンカーから構成される。一般にこうした海洋構造物は、毎年の検査補修や定期的な大補修を行うことで長期間の利用を行うのが当然であり、そうした検査や補修が義務付けられている。

人工海底は養殖を主目的にした特殊施設であり、現段階においては設置海域や利用範囲が限定されているため、



写真3 鋼製アワビ飼育カゴと給餌作業

Photo 3 Steel made abalone cultivating cage and feeding operation.

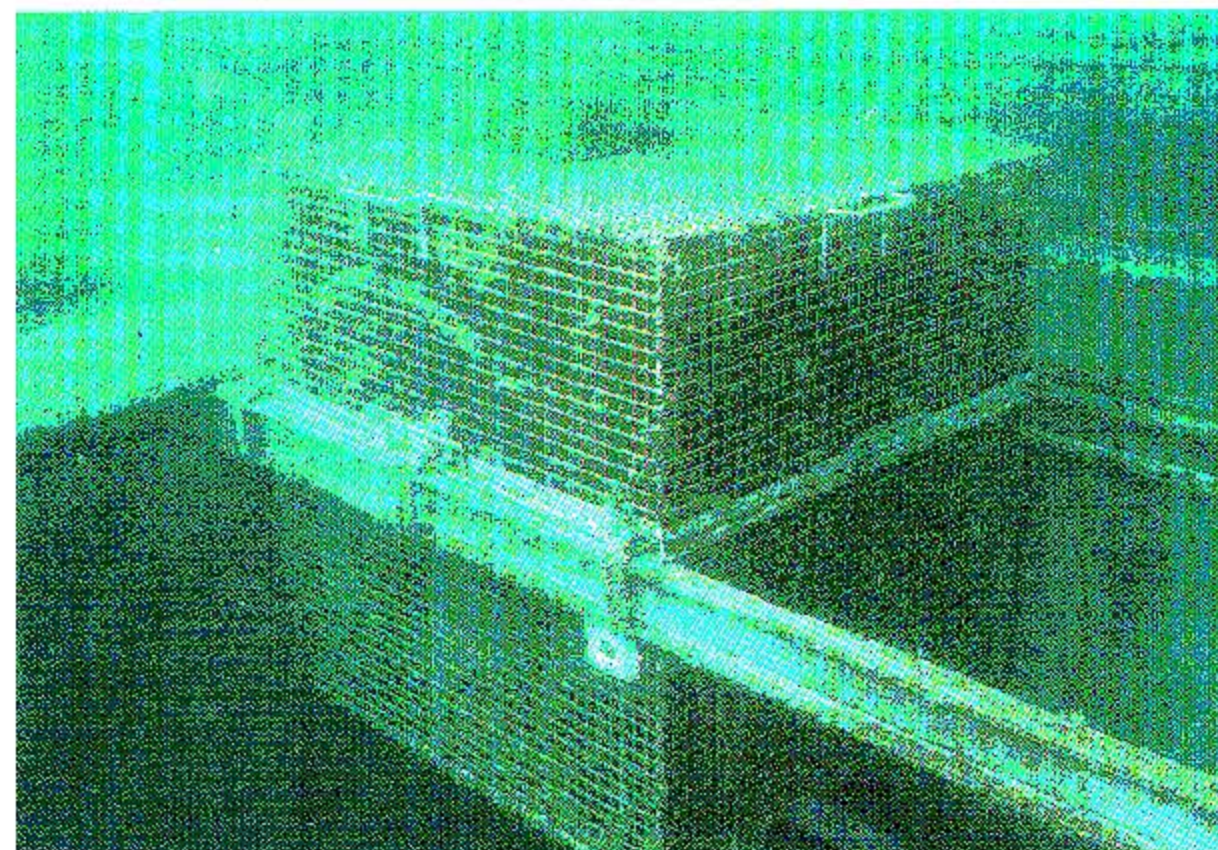


写真4 海中の状態

Photo 4 Abalone cultivating cage at submerged condition.



写真5 防食電位の計測

Photo 5 Measurement of cathodic protection potential.

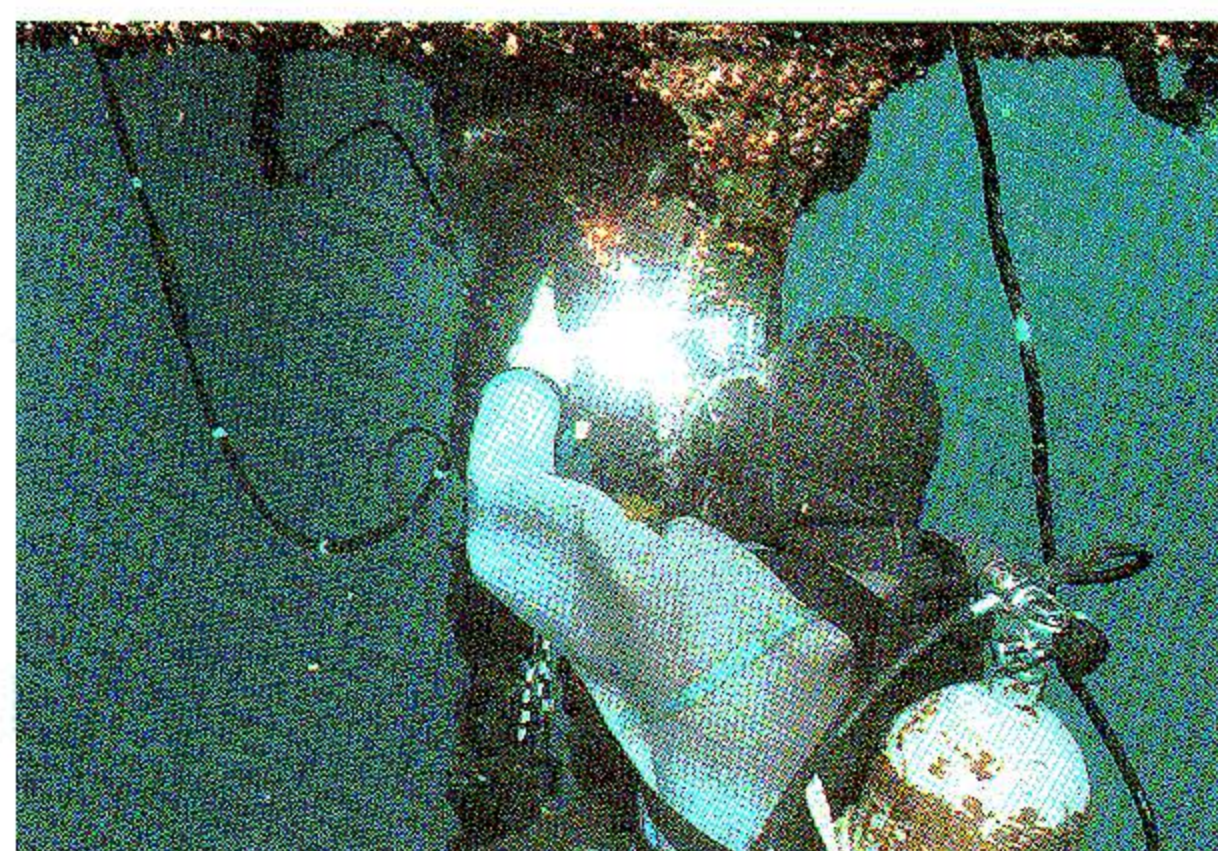


写真6 係留チェーンに水中溶接で張力計測センサーを取り付ける作業

Photo 6 Attaching tension gauge to the mooring chain by wet welding.

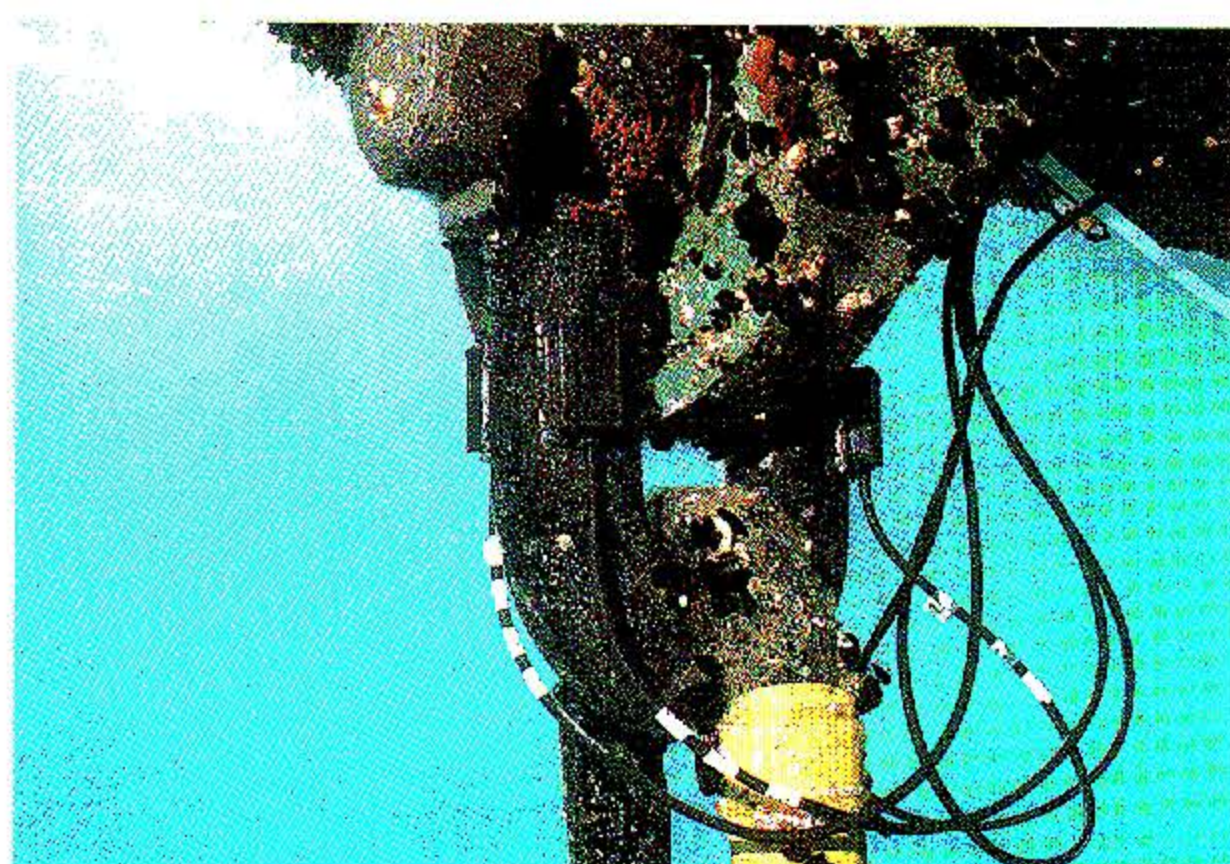


写真7 取り付けられた張力センサー

Photo 7 Tension gauges welded at mooring chain.

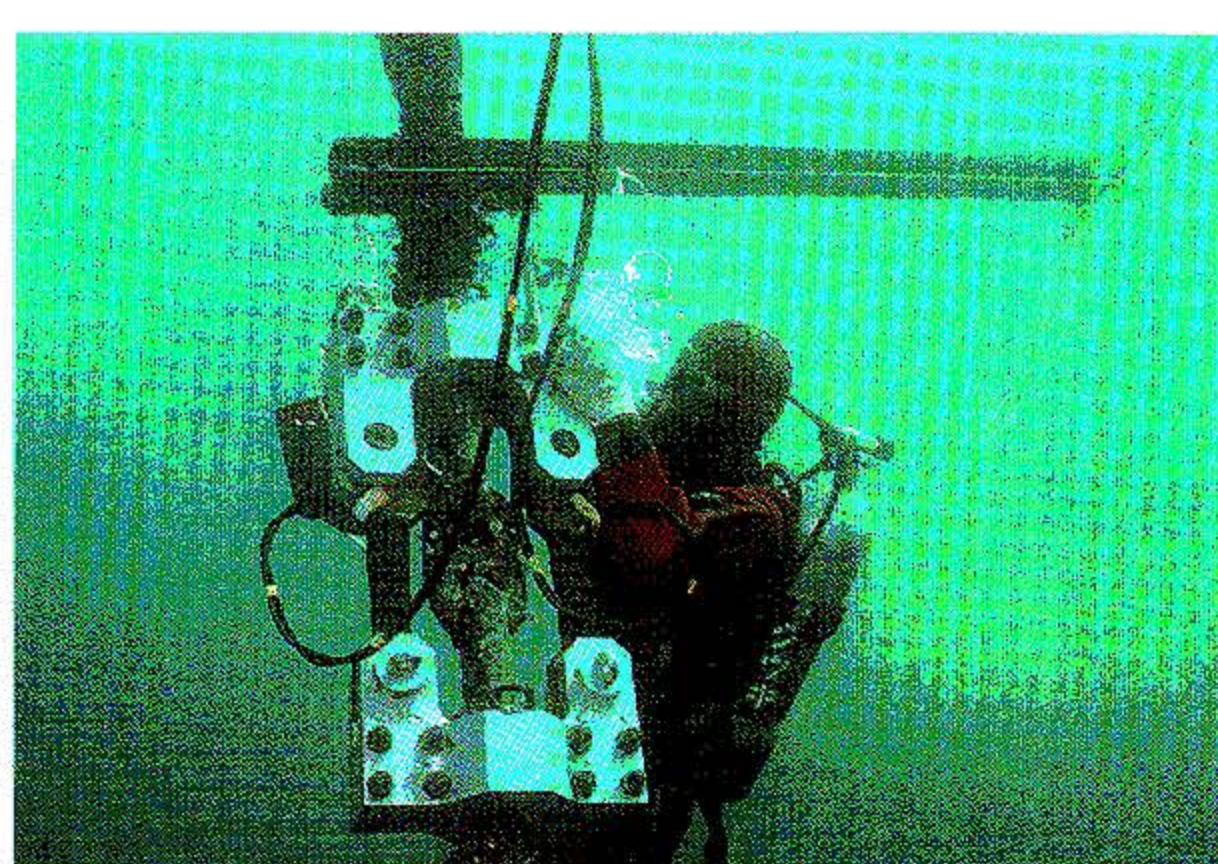


写真8 バランスウエイトへの張力センサー取り付け用金具の設置工事

Photo 8 Attaching tension measuring device to the balance weight chain.

検査は義務付けられてはいない。しかし研究開発の過程で、施設の自然劣化を追跡することは重要であり、また点検や補修を想定して基準作りを行うことは必要である。

内湾型人工海底「マリンあや1号」では、主要部分については5年間のノーメンテナンスという当初の計画を達成し、その間の施設の自然劣化の様子について、年に一度の水中非破壊検査で詳細に追跡してきた。外洋型人工海底「おおちゃんマリン1号」は、「マリンあや1号」で得られたデータを十分に配慮して設計・製作を行い、同様に5年間のノーメンテナンスとなるよう考慮した。そこで、各種海洋構造物の保守検査基準等を参考に⁸⁻¹²⁾、施設の保守管理基準、年次定期検査基準、検査用機器の開発を行うとともに、外洋型人工海底の実用化のための重要な基礎データを得ることとした。

(1) 保守管理基準の開発

人工海底を日常運用するうえでの、常時（運用したとき）点検項目、1ヶ月に一度程度点検する項目、3ヶ月に一度程度点検する項目について、運用中の気付き事項も含めて整理し、管理マニュアルを作成した。

施設の劣化状況についての正確なデータを取得するため、年次定期検査基準（案）を作成した。平成8年度はこの案をもとに、8月末に水中非破壊検査を主体にした計測を行い、その結果を基に最終的な定期検査基準の作成を行った。

(2) 水中非破壊検査等の実施

水中検査は、電気防食システム、係留ライン、バランスウエイト、人工海底本体について行った。また海水バラストシステムは解放検査を行った。係留チェーンの防食電位計測作業の状況を写真5に示した。

係留チェーンの直径計測は、本体周辺についてはノギスによって精度良く計測できたが、水深40mの海底に接する部分は計測できなかった。当初より、この部分の計測は水中ステレオカメラを用いて行う予定であり、試作装置で予備計測を試みた。しかし、異常な数でチェーンの表面に分布していた甲殻類（ワレカラ）や他の付着生物のため、チェーンの画像を0.1mm単位で正確に識別できず、海底部の計測を行うことはできなかった。

(3) 水中補修工事のデモンストレーション

施設が予期しない事態で破損して補修を要する時、現場でどの程度の作業が可能かをあらかじめ知ることは重要である。海上作業は予想できるため除外し、潜水での

工事可能範囲を知るため、水中溶接と水中補修の二項目のデモンストレーションを行った。

① 水中溶接

係留系に取り付けた張力計をさらに高精度なものに交換することを想定し、水中溶接によって、張力センサーの取り付け工事を行った。溶接の様子を写真6、取り付けられた張力センサーを写真7に示した。

② 水中補修

係留チェーンが磨耗した場合、全体的なものであれば完全交換を行うが、ごく一部が劣化した場合には、補強工事や一部切断しての交換工事等で対処するのが实际的である。

人工海底に各種の海洋観測機器を設置する作業などを行っていた際、うねりの大きい時に、バランスウエイトが人工海底とは少し異なった位相で上下していることが観察され、磨耗の大きい可能性が懸念された。そこで、バランスウエイトのチェーンを補修するための工事を想定しながら、チェーンを弛ませてその荷重を別の金具に持たせ、そこでチェーンにかかる張力を計測するための工事を行った。写真8に作業の状況を示した。

(4) まとめ

保守管理基準・検査基準等の作成を行う上で、最も大きな障害となったのは水深の大きさである。人工海底は、構造物の主体は水面付近に位置するため、容易にこうした作業を実施できる利点がある。しかし係留系については、最も劣化しやすいと想定されている海底との接触部を、チェーンの直径を計ることによって、確実にモニターしていくことが必要である。今回の施設は、ダイバーの空気潜水が可能で40mに設置しているため、若干の無理をすればデータの取得は可能である。しかし、将来の水深100m海域までの展開を想定すると、安全確実な計測法を開発しておく必要があり、今後の検討課題としたい。

3.4 荒天時の施設の動揺特性計測

施設の動揺と係留系にかかる力を海象・気象条件とともに計測し、模型試験で得られた結果とともに検討し、潜降・浮上型人工海底のモデル化を行うための現場データを計測した。

(1) 計測システム

計測装置の配置を図2に示した。計測用のアンプやデータ収録装置類は機械室内に配置し、機械室の屋上の海面

上 6 m の位置に、施設の受ける風力の計測のため風向風速計を取り付けた。測定位置は通常の 10 m より低い、気候計測のデータとして扱う場合には換算可能である。屋上には周囲の金属の影響を受けないタイプの方位計と太陽電池パネルも取り付けられた。通常の気候条件下では 6 W の電力を供給でき、計測機で用いる 5.5 W はまかなえるようにした。太陽電池にはバッテリーを接続し、あらかじめ充電しておくことで、太陽電池からの供給が無い場合でも半月間は計測が可能ないようにした。

機械室から張り出したブームと人工海底面の間に 1 組の容量型波高計を固定した。入射波を正確に計測するためには施設からセンサー部を極力離す必要があるが、本計測では、浮体構造物の挙動と波浪の位相差が重要であり、こうした計測手法を採用した。施設の長手方向と係留系は海岸線と平行に展開されており、波高計が施設によって受ける影響はあまり問題にはならないと考えた。

2 本の係留系の最上部には張力計を直接取り付けた。温度変化による誤差については、2 個の張力計と 2 個のダミーを設けることで解消できるようにした。

機械室には、3 個の加速度計と 3 個のピエゾ振動子型ジャイロスコープからなる動揺計を設置した。これにより、浮体の六分力を計測した。ジャイロでは軸回りの角速度を計測するが、2 個の値を用いて修正することで、加速度の影響を除去できる。ノイズや誤差の影響を除くため、バンドパスフィルター (1/15 Hz ~ 3 Hz) が用いられる。

(2) 海域実験

実海域での最初の計測は平成 8 年 2 月から開始された。図 3 に、得られたデータの一例を示す。計測は 2 時間ごとに 15 分間、3 Hz で行った。

風速は 80° の東であり、平均風速は 5 m / 秒でおおむね 2 m / 秒の振幅であった。係留系にかかる張力の位相は風やうねりと一致していた。人工海底は半潜水型的一种であり、係留系にかかる波による張力は小さい。記録から、風が張力に大きな影響を与えていることがわかる。

2 個の波高計の値はほぼ一致しており、その平均値が施設の動揺を解析するため、ピッチとロールの影響を除去するのに用いられる。波高計で得られた見かけの波は、波浪による施設の上下動の記録によって実際の波浪に換算される。入射波はうねりと風波からなり、施設の動揺は主としてうねりの影響によることがわかる。施設は岸近くにあり、北東の季節風で起きた風浪はあまり大きく

ないが、うねりは沖に開いている方向である南東から入射し、風とうねりの向きが大きく異なっている。係留系にかかる力の計算モデルの開発に際しては、この点に注意が必要である。

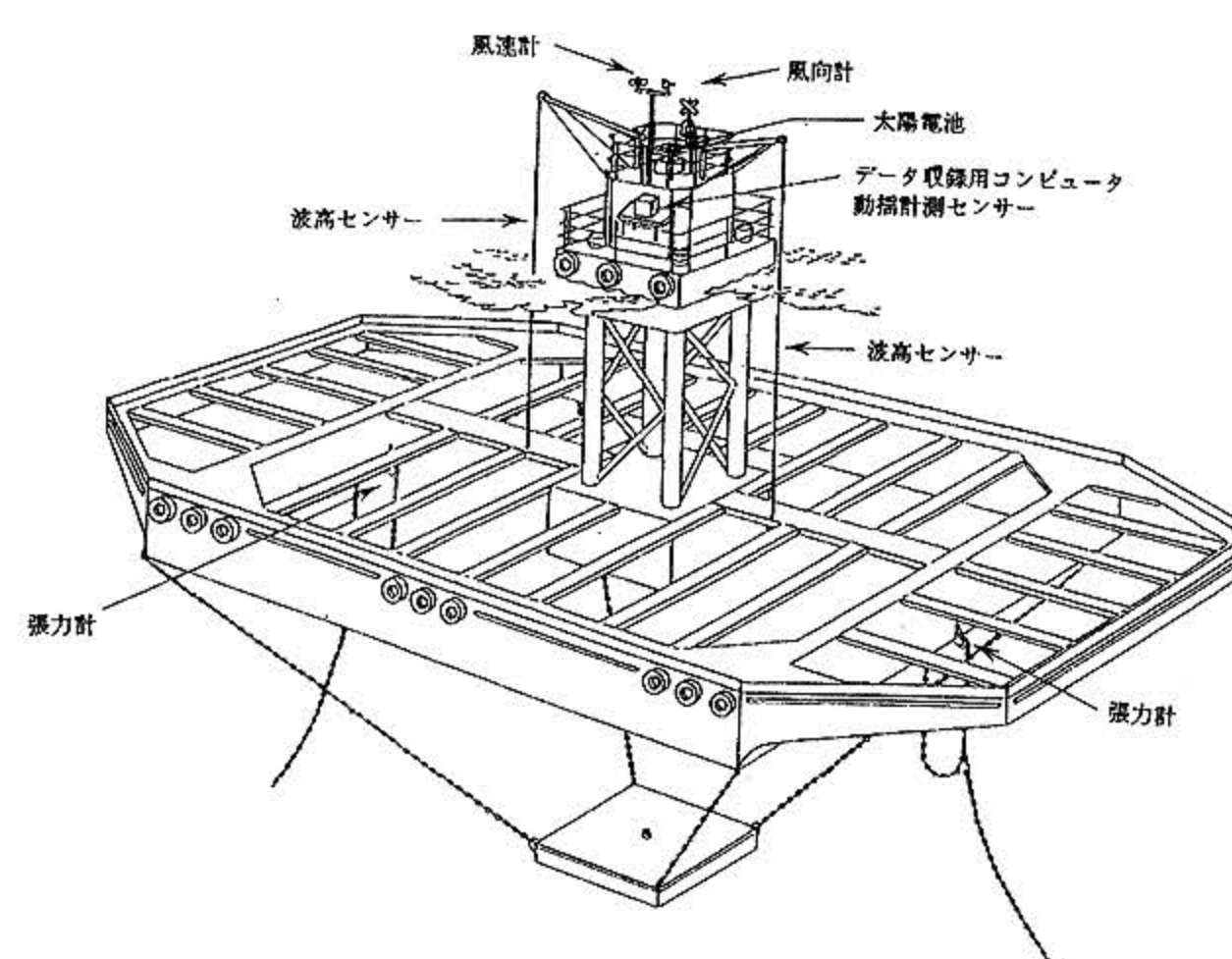


図 2 計測システムの配置
Fig. 2 Conceptual view of setup of movement and load measuring instruments.

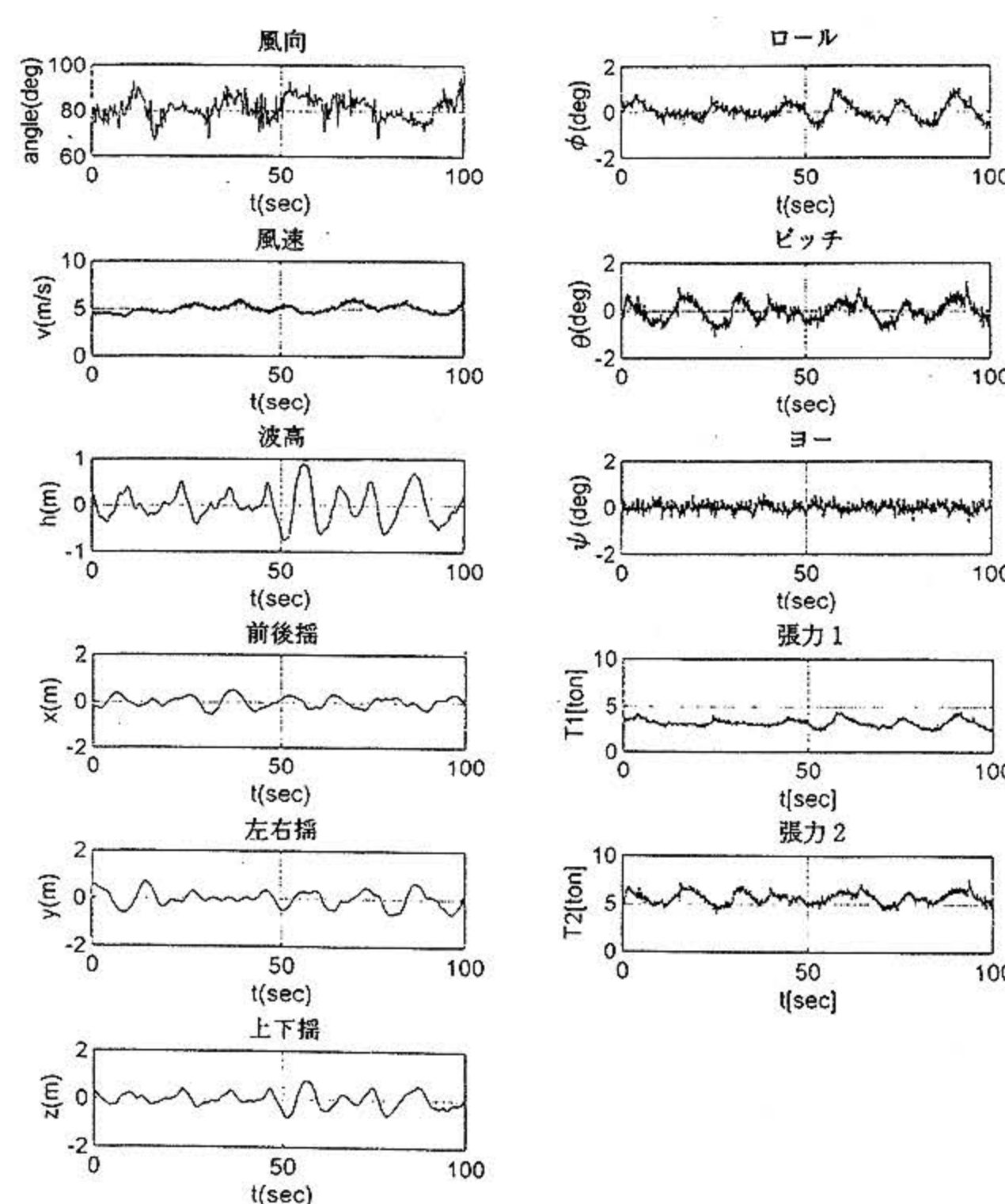


図 3 海域での計測結果例
Fig. 3 Example records of environmental condition and movement of the facility.

(3) まとめ

日本周辺で水深100mまでの海域の面積は約16万km²であり、国土面積の約42%に相当する。そうした海域に本施設を設置可能にするためには、異なる環境条件に対応できる施設設計基準の開発が重要である。そして安全性の確保のためには理論的かつ実験的な研究が不可欠であり、最終的には、数値モデルによって安全な設計ができるようにする必要がある。人工海底は小型であるため、施設に対して入射波浪が大きい。数値モデルの開発については、大型の石油生産用プラットフォームの場合のような線形のものよりも困難である。また、浅い海域の波浪が浅海波となることもモデル化の上で障害となる。係留系にかかるスナップロードの問題も線形計算では得られない。今後の研究によって新たな計算モデルの開発を進めていきたい。

3.5 施設の浮魚礁機能の研究

海上の浮体や中層の構造物にはさまざまな魚類が来遊し、なかにはそこを生活の場として、ある程度の期間住み着くものがある¹³⁻¹⁶⁾。外洋型の潜降浮上型人工海底「おおちゃんマリン1号」は、水深40mの海域に設置され、7m層で36.4×20.0mの大きさを持ち、近年設置され始めた大型浮き魚礁に比較してもはるかに大きい。しかも周囲の海底は平坦で近くには他の構造物が無く、理想的な実験用浮魚礁と考えられる。そこで浮魚礁の集魚メカニズムの解明を目的として、施設周辺に蟄集する魚類の行動を、二種の試みによって調査した。得られた多くのデータは解析中であるが、基本的な魚群分布構造を知ることができた。

(1) 実験用模型魚礁の設置とその追跡

人工海底下に垂下されたバランスウエイトは、5m四方の面積を持ち、施設の潜降時には水深17m層、浮上時には7m層に位置する。ここに小さな模型魚礁を4基設置し、水中テレビカメラや潜水観察によって魚類観察を行うことができるようにした。模型魚礁は海洋建設株式会社製のカキ殻を利用した魚礁素材「シェルナース」を用いて製作し、縦85cm、横85cm、高さ115cmとした。模型魚礁4基は陸上で組み立てられた後、脚部をバランスウエイトに埋め込んで固定された。図4に模型魚礁の構造、写真9にバランスウエイトへの埋め込み状況を示した。

(2) 魚群探知機による調査

人工海底周辺の魚群分布構造については、スプリットビーム型魚群探知機(SYMRAD-ES701)を用いた航走調査を行った。施設を中心にして図5に示したように、長さ590~720mの4本の調査測線を設定し、極力微速で直線航走を行った。調査は平成8年7月16日から開始し、8月21日までの調査可能日である21日間にわたり、27組(各4測線)のデータを取得した。このうち7月30日0時~8月1日0時については、昼夜の分布構造を調べるため、おおむね6時間ごとに8回の調査が集中的に行われた。

(3) 魚群の分布状況

潜水観察で確認された魚類は、ウスメバル幼魚、イシダイ幼魚、アナハゼ一種のみで、いずれもバランスウエイト上の模型魚礁の周囲を中心に分布し、同一の調査期間内に継続して見られた。(写真10, 11)

魚探機による昼間の調査では、図6に示したように、人工海底面の下層から海底にかけて、やや大型の魚類が見られることが多かった。分布範囲は人工海底から約20~30m以内の所で、群れとしてとらえられたことは少なく、分散状態であった。魚種は潜水観察では確認されていないが、釣獲試験によって全長20~25cmのマサバが漁獲されたり、施設を浮上させるとマサバが施設から離れたワレカラ等を捕食するために水面近くにまで浮上する現象が観察された。記録の標的強度(TS)は-41~-38dBで、マサバ1kgあたりのTS推奨値である-29.9dB(周波数50kHz)から換算すると、重量は80~160g程度と判断され、採集個体と同サイズであった。なお-54.5~-51.5dBの小型魚影が底層にみられたが、人工海底との関わりは感じられなかった。

夜間の調査では、図7に示したように、-41~-38dBの分散魚影が調査海域の全域の表層5~20mに分布している様子が把握された。昼間は人工海底面の下層や周囲の海底付近等に同一のTS値を持ったまばらな群れが見られたことから、夜間にマサバが分散を示したものと考えられる。また昼間と同様、-54.5~-51.5dBの小型のものが中層から底層に濃密にみられた。

7月30日の昼間、図8に示したように、TS-30.5dB~-29dBの濃密な魚群が人工海底のごく近辺に分布していた。滞留は短時間であった。マサバであれば0.9~1.3kgの大きさとなるが、この時期、近くの定置網で漁獲されていたのは1kg程度の小型ハマチが中心であり、この群れの通過と判断された。

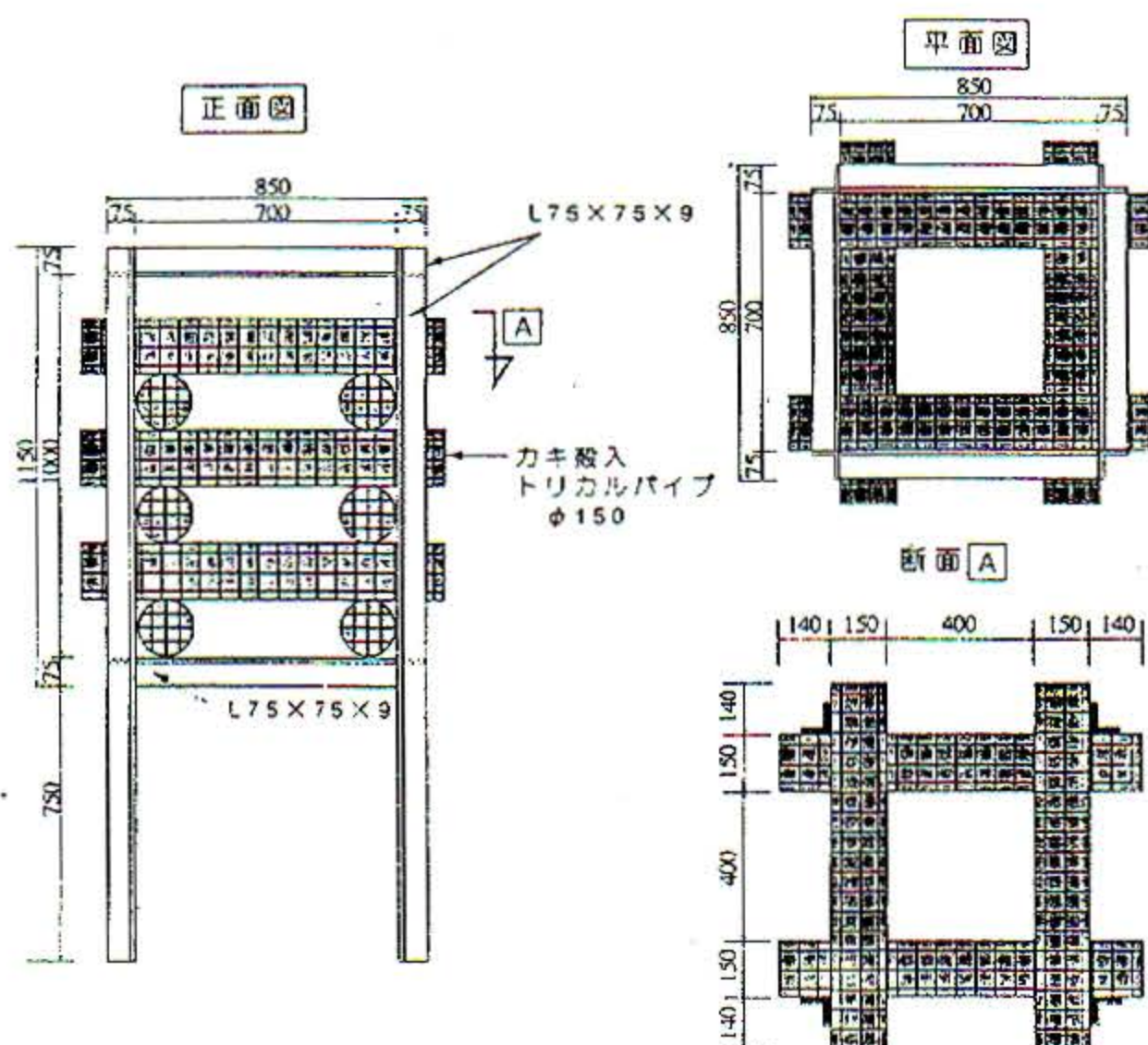


図4 実験用の模型魚礁

Fig. 4 Small scale experimental artificial reef settled on a balance weight.

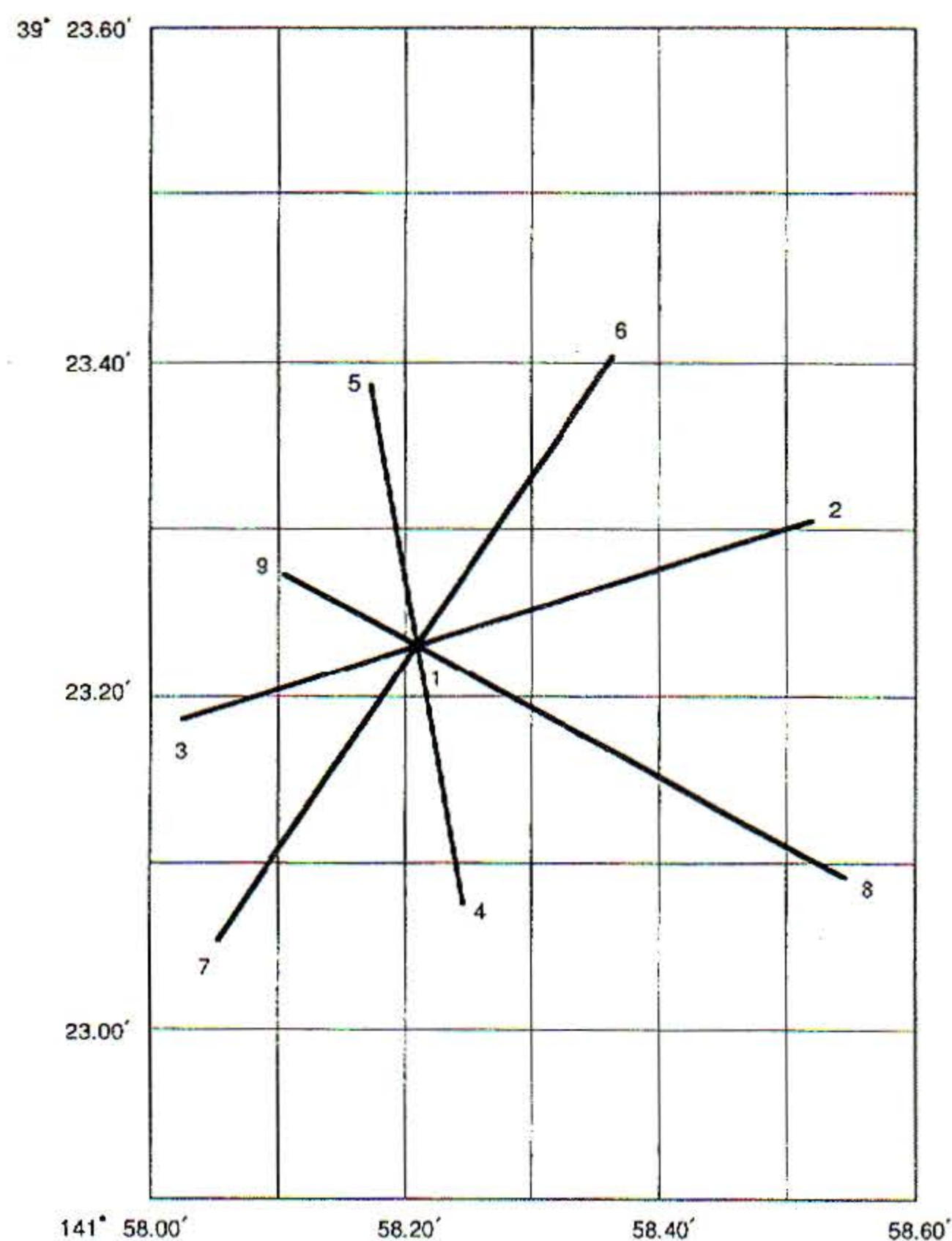


図5 人工海底を中心にした魚探航走調査の測線

Fig. 5 Acoustic survey lines for artificial reef study.



写真9 バランスウエイトに取り付けられた模型魚礁

Photo 9 Experimental artificial reef settled on a balance weight.

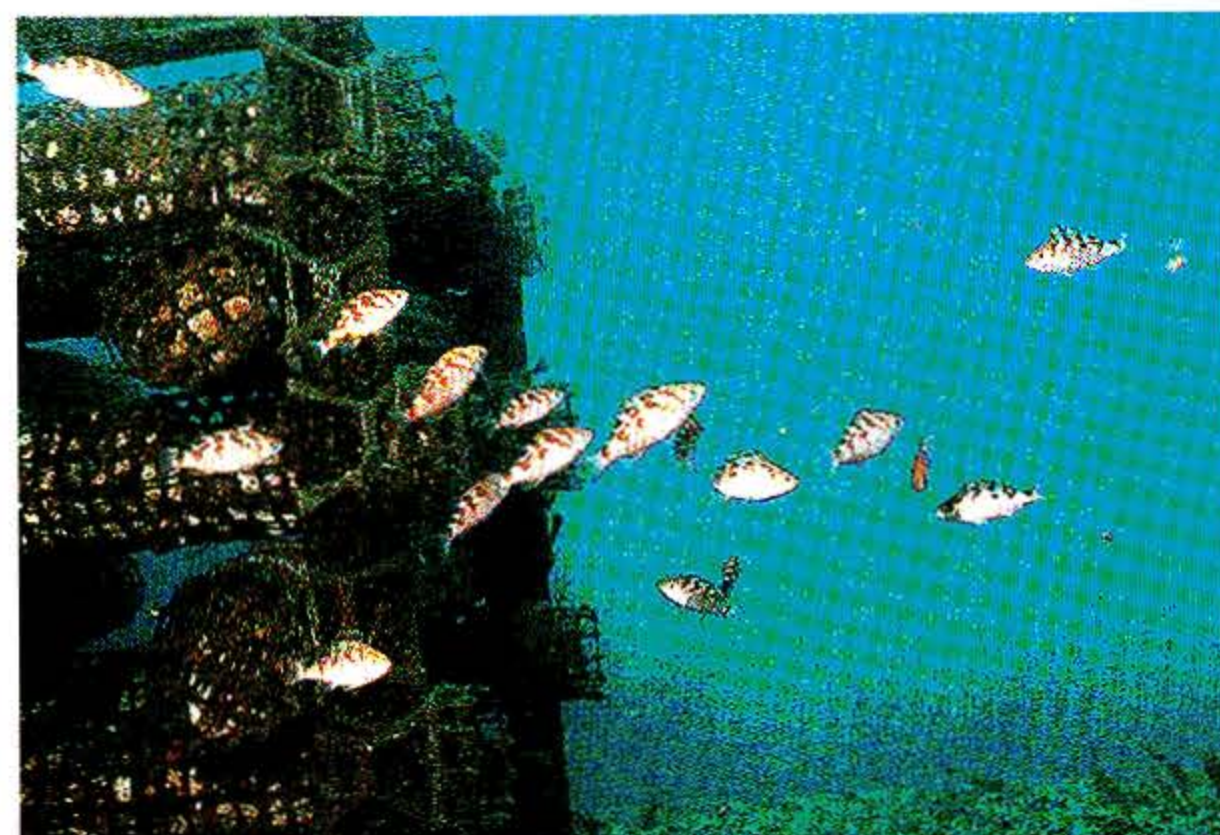


写真10 ウスメバル幼魚

Photo 10 Young *Sebastes thompsoni* around experimental artificial reef.



写真11 イシダイ幼魚

Photo 11 Young *Oplegnathus fasciatus* around experimental artificial reef.

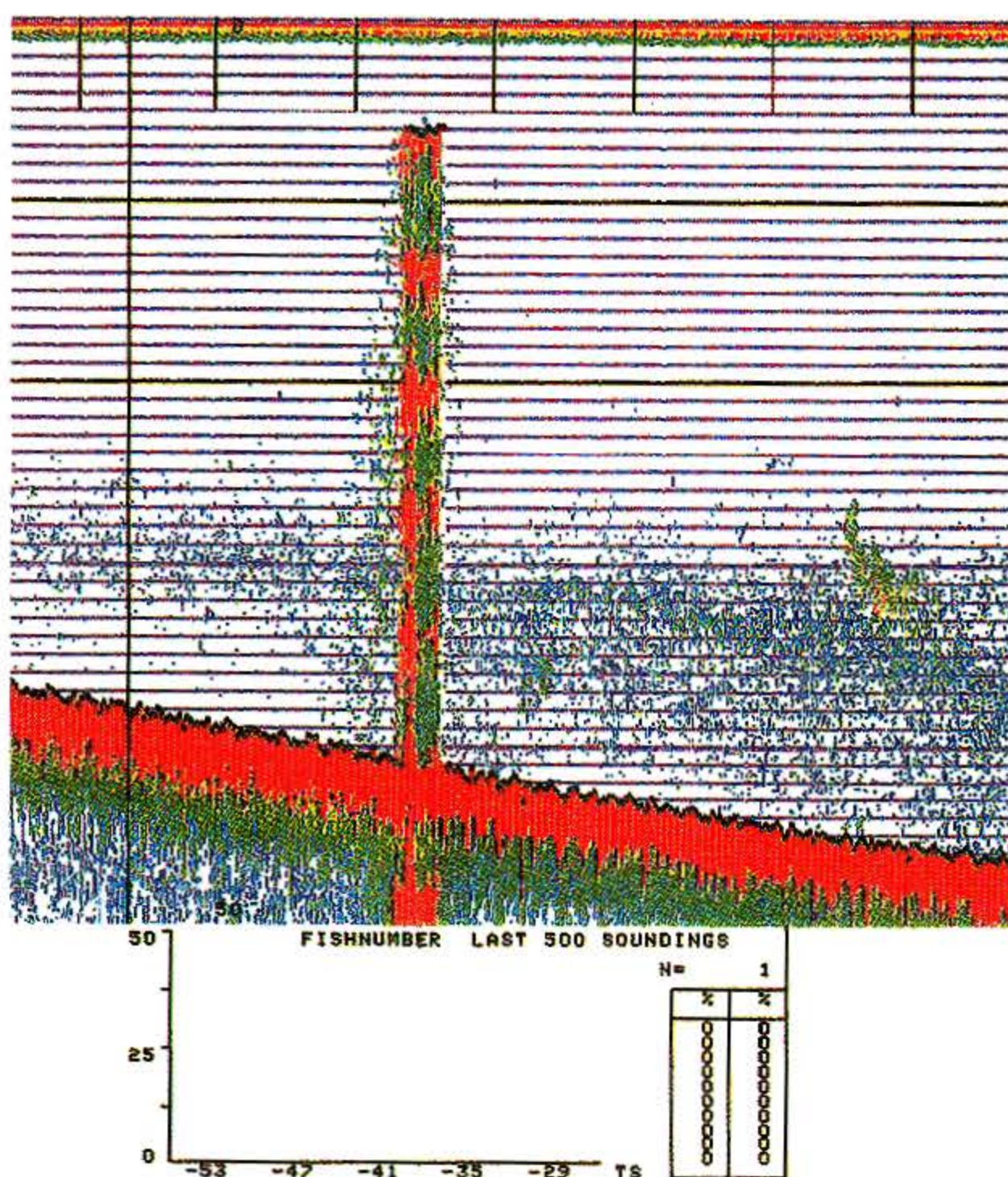


図6 人工海底の下層に昼間分布するマサバ幼魚
Fig. 6 Young *Pneumatophorus japonicus japonicus* distributed beneath the artificial sea floor during daytime.

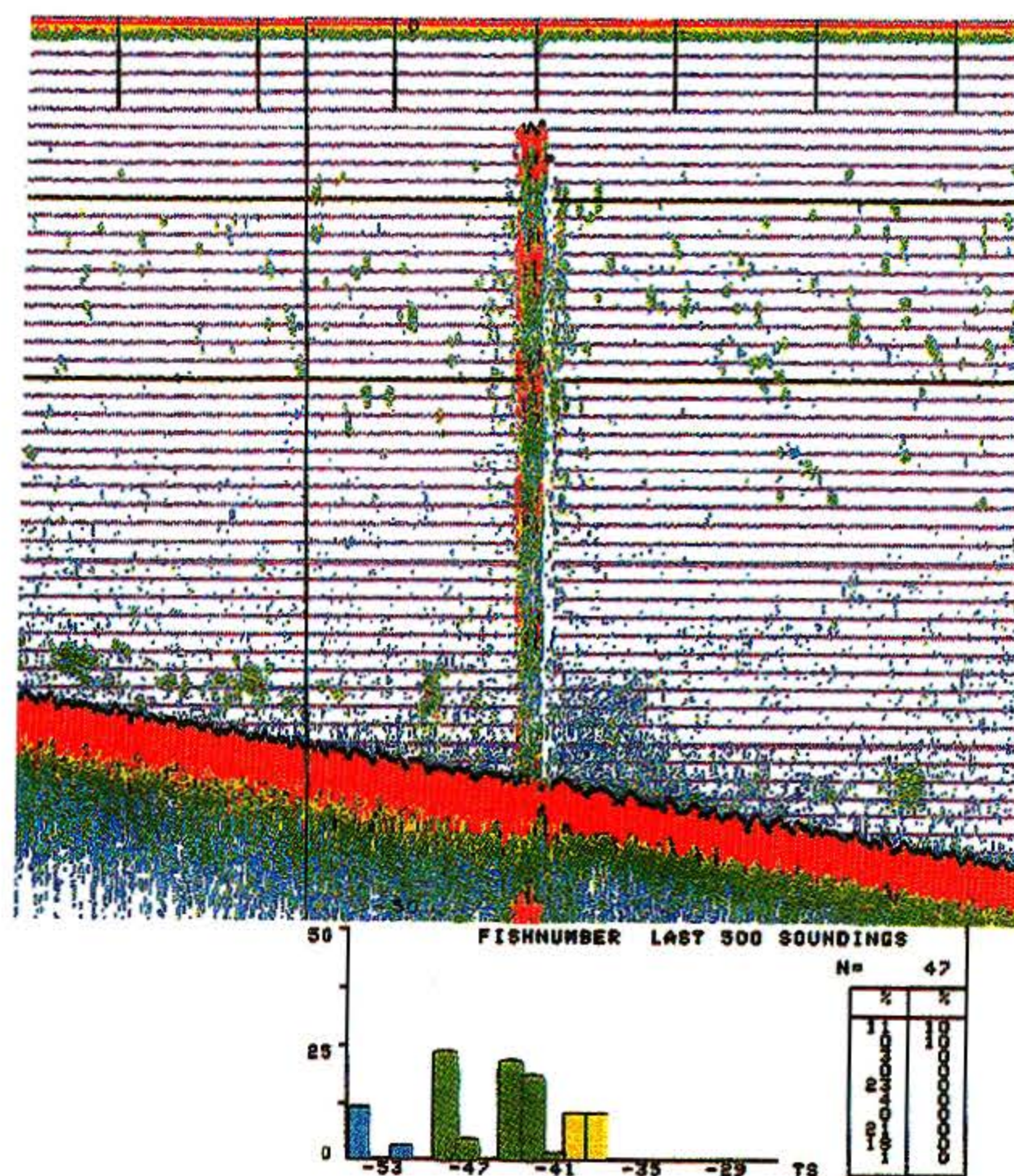


図7 夜間分散したマサバ幼魚
Fig. 7 Young *Pneumatophorus japonicus japonicus* scattered in surface layer during nighttime.

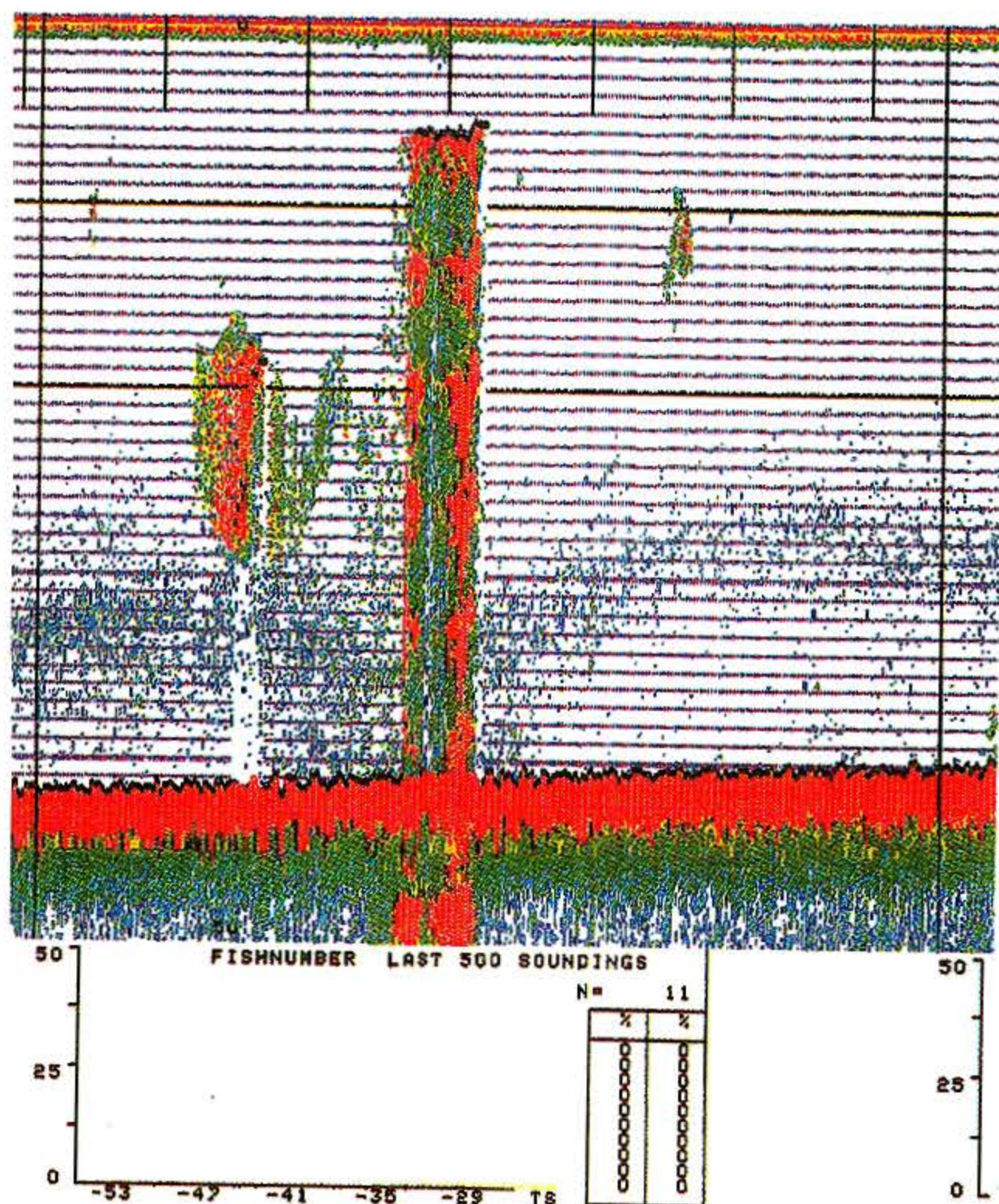


図8 施設に接近したハマチの群れ
Fig. 8 Young *Seliora quinqueradiata* through near the artificial sea floor.

(4) まとめ

本施設はイシダイ幼魚やウスメバル幼魚に対しては模型魚礁を主体として一時的な生活の場となり、より遊泳力の強いマサバ幼魚に対しては、昼間の成群の場として機能していたと考えられる。この他、多くの興味ある魚探記録が得られており、詳細な解析は今後の課題である。また、昼夜連続での魚探調査や水中テレビカメラを用いた模型魚礁の昼夜観察等は、計測の準備を整えていたにもかかわらず海象条件の制限で実行できなかった。より具体的な結論を得ることが今後の課題である。

3.6 藻類養殖漁場の海洋環境変動の研究

船越湾における藻類に対する環境収容力（すなわち船越湾の養殖場としての能力はどの程度あるのか）という点に着目し、藻類養殖漁場で生産量を決定する要因について検討を行うため、「おおちゃんマリン1号」を観測ステーションとして、各種の海洋観測を行った。船越湾における海洋観測データは希薄なため、平成8年度は主に基礎データの取得に重点を置き、施設及びその周辺海域における水温・塩分・流れ及び栄養塩類等の計測を行った。さらに外洋水（親潮や津軽暖水）の変動と船越湾の物理環境との関わり合いについて検討した。

(1) 観測項目と場所

海洋観測は主として平成8年7月～10月（以下、観測期間）にかけて行い、その後、自記式観測装置を用いた計測を継続している。観測点の位置を図9に示した。人工海底以外の定点（Sig.01-04）は航路標識ブイである。計測項目と内容は次のようである。

① 水温・塩分・クロロフィル・濁度

人工海底「おおちゃんマリン1号」において、クロロテック（アレック社製）を用い、水温・塩分・クロロフィル及び濁度を、1日1回、鉛直的に計測した。データは観測期間内に約50日分を収集した。同時に北原式採水器を用い、鉛直的に6層採水を行った。採水はクロロフィルのキャリブレーションを主な目的としたため、採水日はランダムである。

② 流れ

人工海底面下5m（約12m層）及び、バランスウエイト下5m（約22m層）の2層に流速計を設置し、流向・流速及び水温の連続観測を行った。本計測は以後も定期的に行われている。

本来、流速計は海底から係留する方法等が取られており、設置・回収には手間を要する。また測器が比較的重いので、ブイ等への設置は困難であった。しかし人工海底を用いることにより、その作業は軽減された。人工海底を観測ステーションとして用いた場合の大きな利点といえよう。

③ 水温

外洋水の船越湾への流入・流出を把握するため、Sig.01, 02, 03において、水温の連続観測を8月から行った。計測間隔はいずれも20分ごとであり、Sig.01では、水面下1mから10層、Sig.02では4層、Sig.03では3層の計測を行った。これらの水温計の設置には航路標識ブイを利用した。計測は現在も継続中であり、Sig.04はこれから水温計を設置する予定点である。

④ その他

船越湾におけるクロロフィルの短期変動を把握するために、Sig.02でクロロテックを用い、6時間ごとの昼夜連続観測を平成8年7月30日～8月1日に、6時間連続観測（1時間ごと）を10月18日にそれぞれ行った。同時に採水も行った。

(2) 結果

① 水温・塩分・クロロフィルの変動

図10～図12に、平成8年7月15日～7月31日の人工海底付近における水温・塩分及びクロロフィルの変動

を示す。7月15日～18日にかけて、低温・高塩分水の分布が見られ、同時に上層のクロロフィルの高濃度の分布が見られる。その後、湾内は低塩分化され、7月20日頃からまた沖合水の侵入が見られ、湾内は成層状態になる。同時に、上層に高クロロフィルのパッチが形成されるのが分かる。7月29日以降成層状態が弱まり、高クロロフィルの分布は下層に移動している。

以上のことから、7月後半の人工海底付近の海域では、約1週間程度の周期で、成層・混合を繰り返し、成層が発達しているときに、高クロロフィルの分布は上層（約10m以浅）に存在し、成層が崩れるとその分布は下層（約25m付近）に移動することが分かった。さらに、約1週間程度の周期で沖合水の分布が見られることから、船越湾の海水交換は1週間程度の周期で行われることが推測される。

② 流速変動

同時期の人工海底上層（約12m層）の流速の東西成分を図13に示した。流れは西向き（浪板方向）に強く、強流時は約30cm/s（約0.6ノット）を示し、平均では約10cm/s（約0.2ノット）となった。この図において、水温や塩分が急激に変動している時期に西向きの流速が強くなっているのが分かる。この時期、下層の流速計は測器の不調により取得できなかったが、上層から流入した沖合水は、下層あるいは湾北部及び南部から流出している可能性が高いことが示唆された。

③ 沖合の水温変動

8月のSig.01における5m層と50m層の水温変動を図14に示した。5m層の水温には大きな変動は見られないが、50m層には、数日程度の周期で顕著な水温変動が見られる。この変動は内部潮汐による影響を示すものであると考えられる。よって、内部潮汐による沖合水の伝搬によって船越湾の海水交換は行われている可能性が強いことが示唆される。

(3) まとめ

計測データの一部を紹介したが、現在データ解析の途中段階であり、また流れや水温については計測を継続している状態である。今後、これらの結果を解析し、どのようなことが明確になるか、またどのような観測を新たに行う予定であるのかを以下に示す。

① 湾内の循環系—湾内はどのような流れになっているか

② 海水交換過程—どの程度の周期で湾内の水が交換しているのか

③ クロロフィル・栄養塩類の分布—①, ②の影響を受けどう変動するのか。クロロフィルは、環境収容力を検討するための指標となる。

④ 基礎生産量の見積—クロロフィル及び硝酸塩から推測。環境収容力を検討するための重要な量的指標となる。

⑤ ボックスモデル構築のためのデータ取得—湾内の塩分収支から湾内の海水交換過程を算出。そのためには、船越湾内でクロロテックによるグリッド観測（数日に1回）が必要。

⑥ 船越湾の環境（管理）保全に対する考え方

人工海底が設置された船越湾は、三陸沿岸のほぼ中央に位置する。三陸沖合は世界三大漁場のひとつと言われるほどの好漁場であり、沿岸でもサケ・マスを中心にした漁業が盛んに行われている。一方養殖漁業は、ワカメ・ホタテガイ・カキ等を中心に行われている。こうしたなか、高価な磯根資源であるアワビやウニの生産量は最盛期の約5分の1に落ち込んでいる。この原因として、磯焼けや護岸工事等に伴う藻類（藻場）の減少、藻類養殖による表層での栄養塩類の消費などが考えられているが、明確な結論は得られていない。人工海底は、これらの問題を解決するための効果的な施設といえる。すなわち、減少傾向にあるアワビ等の生産量を向上させるための養殖の場を提供し、さらには付近海域の海洋環境変動のモニタリングステーションとして活用できる研究施設であると言えよう。

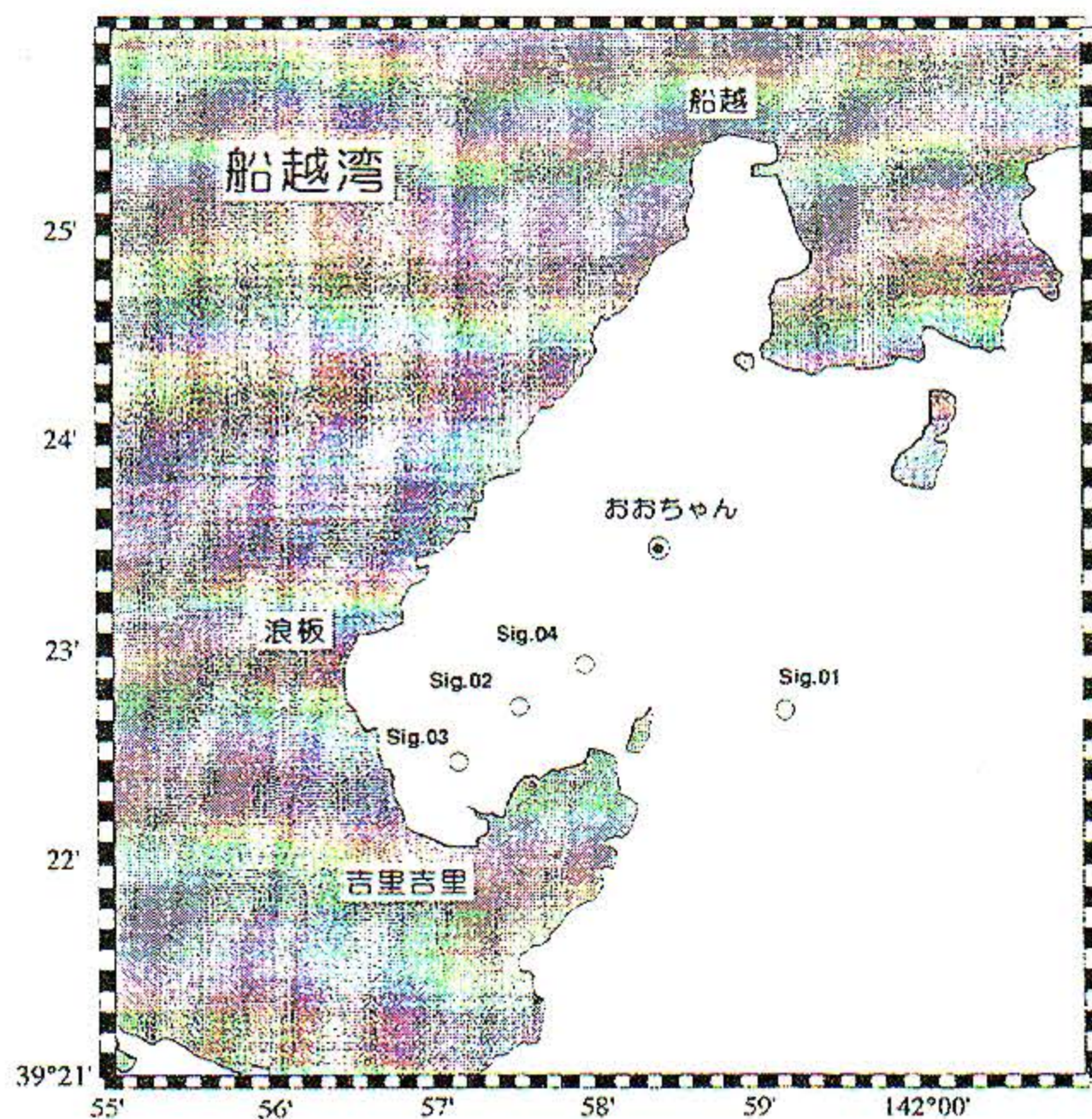


図9 船越湾における観測点の位置

Fig.9 Location of environmental monitoring station.

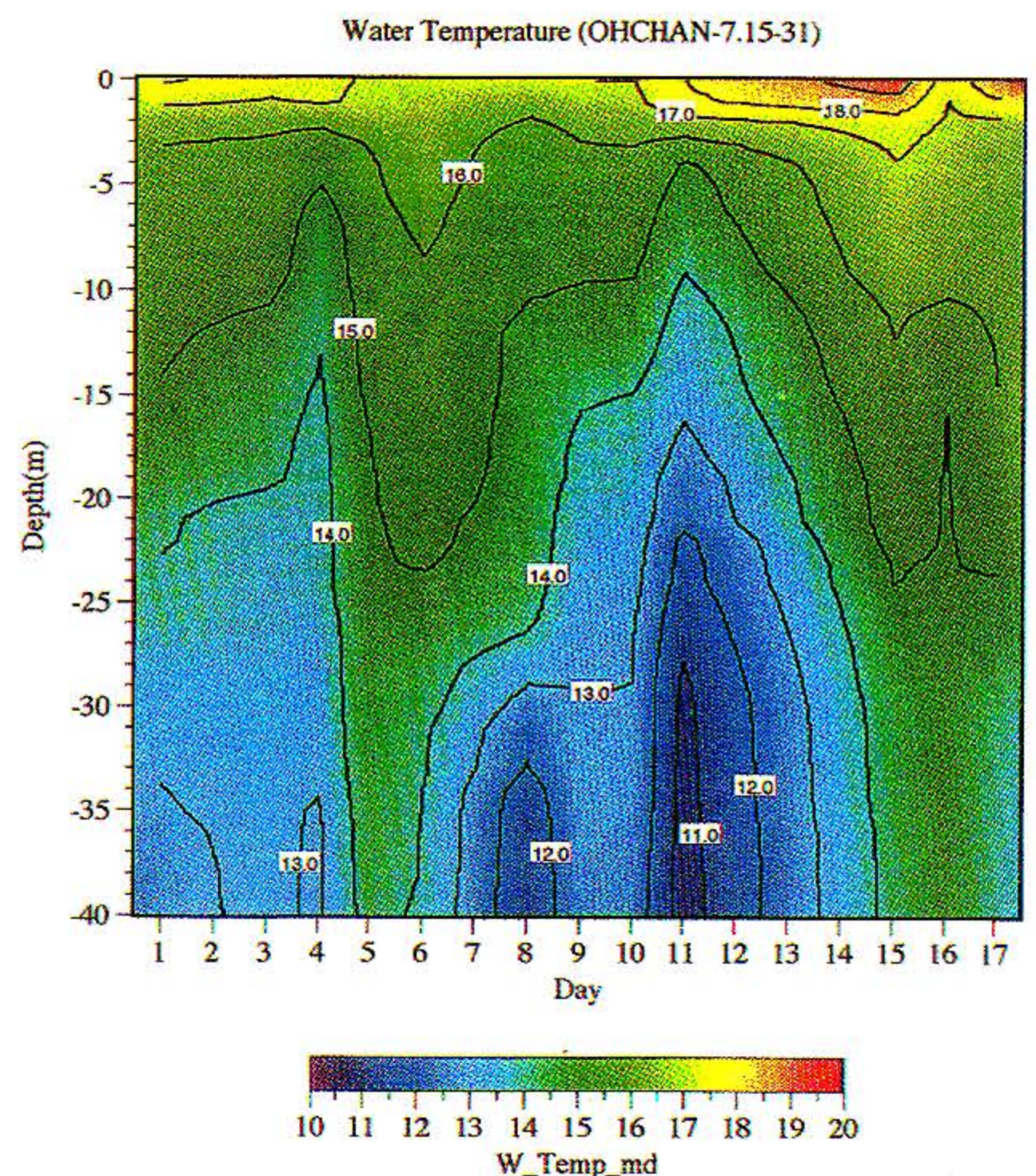


図10 人工海底で計測した水温の変動

(平成8年7月15日～7月31日)

Fig.10 Water temperature at Ohchan Marine No.1.

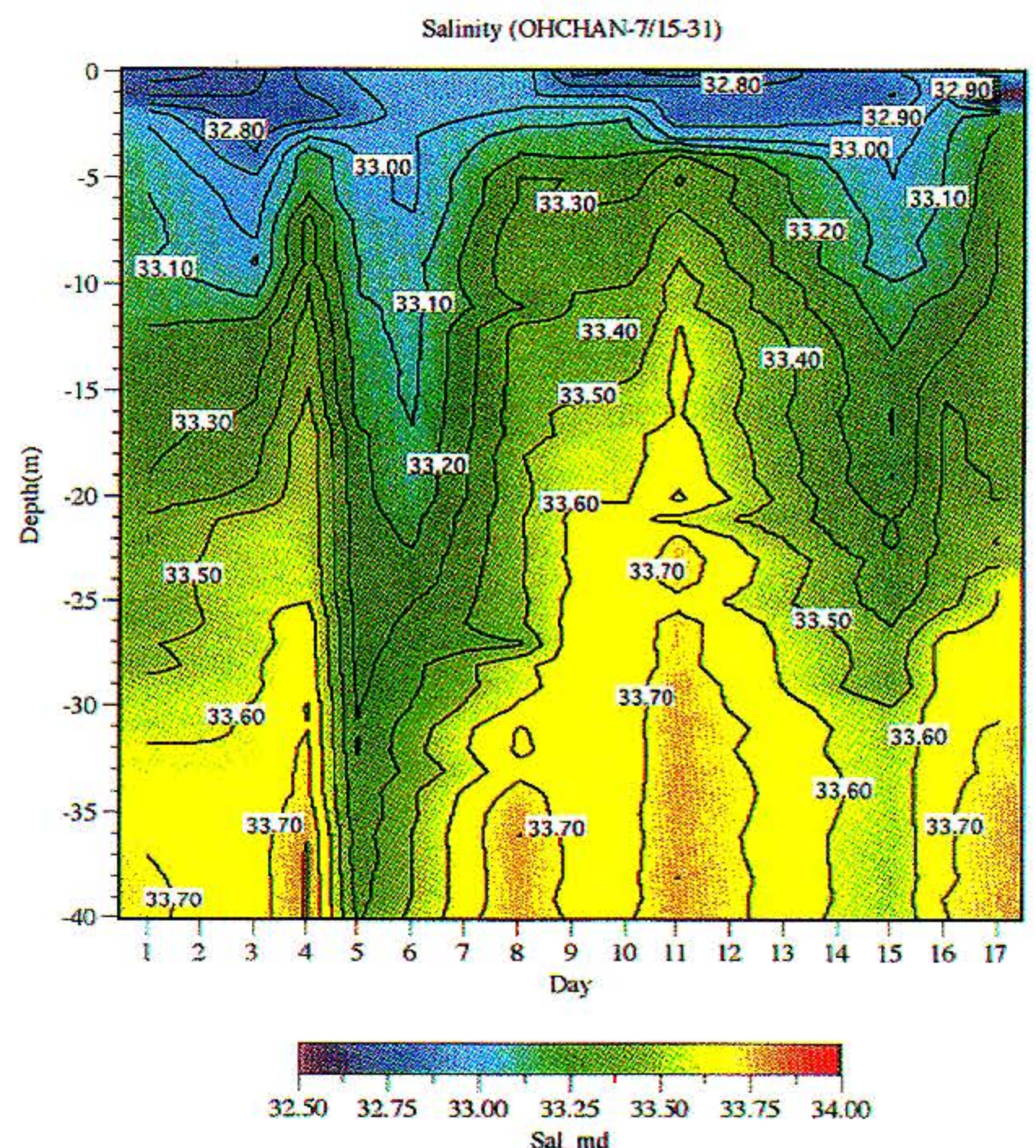


図11 人工海底で計測した塩分の変動

(平成8年7月15日～7月31日)

Fig.11 Salinity at Ohchan Marine No.1.

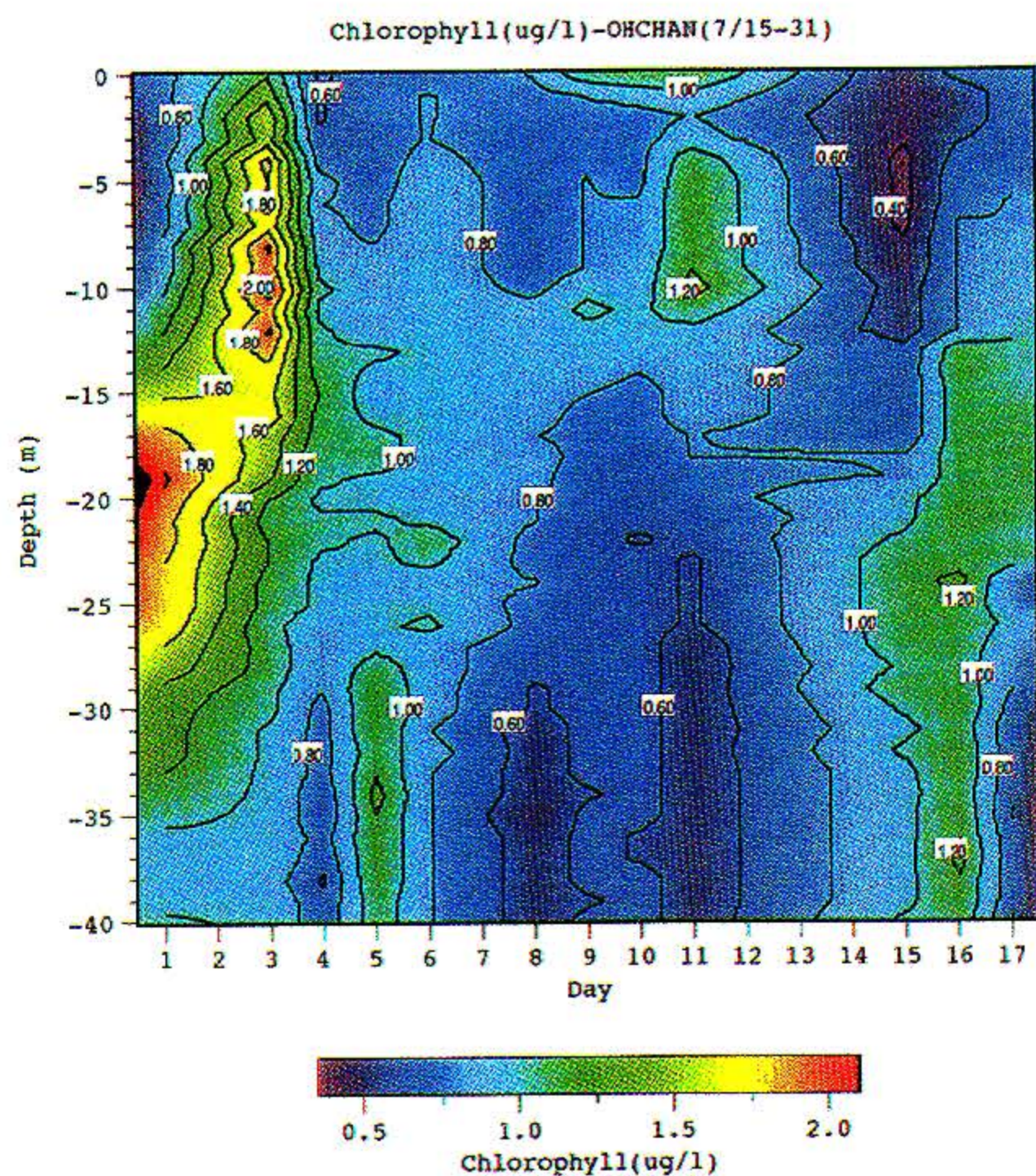


図12 人工海底で計測したクロロフィルの変動
(平成8年7月15日～7月31日)
Fig.12 Chlorophyll at Ohchan Marine No.1.

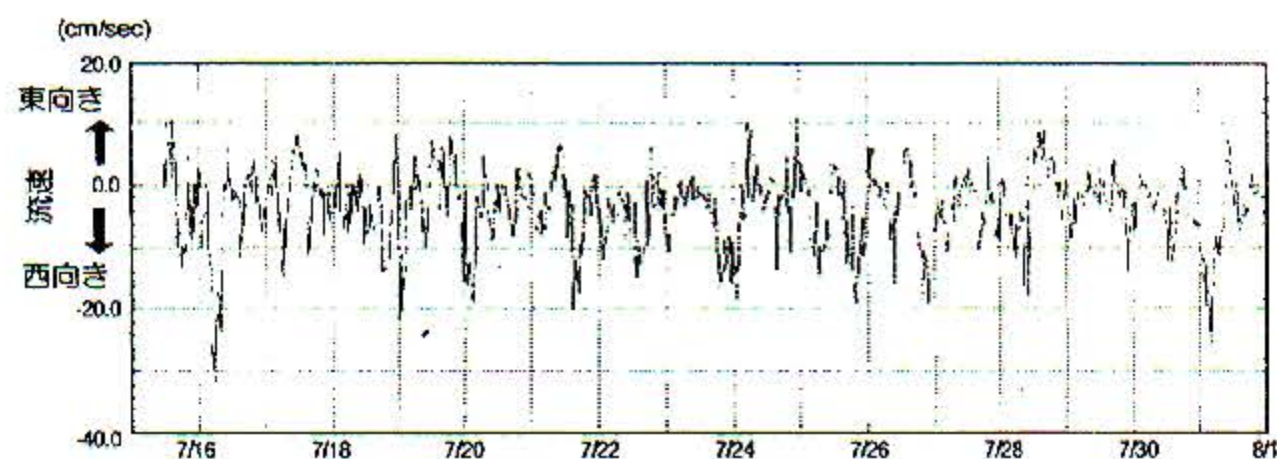


図13 人工海底で計測した水深12m層の東西成分の流速
(平成8年7月15日～7月31日)
Fig.13 E-W component of current at 12m depth layer
at Ohchan Marine No.1.

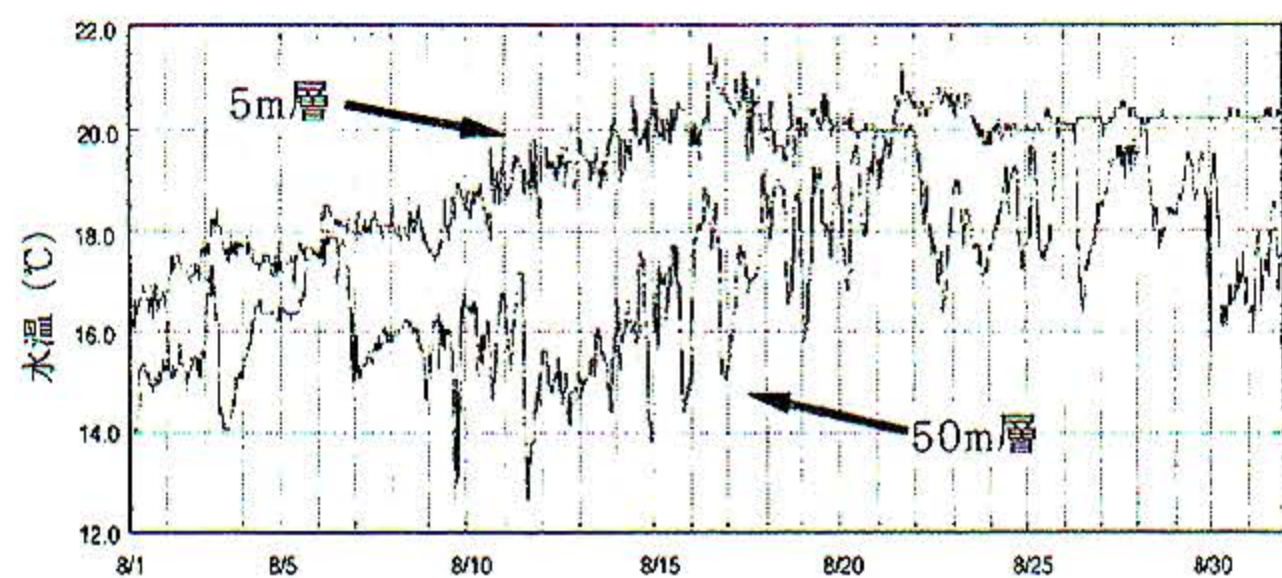


図14 Sig.01における水深5m層と10m層の水温変動
(平成8年8月1日～9月1日)
Fig.14 Water temperature at 5m and 10m depth layer
at Sig. 01.

(4) その他

人工海底では、この他、藻場造成を目的としたスガモの移植試験、光環境の計測試験等を行った。この結果については以後に報告される予定である。

当初の計画では、冬季、施設が遡上サケの行動に与える影響について昼夜にわたって調査する予定であったが、海象条件や湾内の数多くの航海上の障害物の存在などによる困難性のため実施できなかった。夏期の魚探調査の結果から、施設に滞留する魚類は体重約100gのマサバ程度までで、1kgサイズのハマチになると滞留は時間単位もしくはそれ以下でしかないことが知られている。サケ類の性質と大きさを考えると、ハマチと同様に、施設による行動の変化はほとんど無いと推定される。この点については今後も検討課題としていく予定である。

4 まとめ

岩手県船越湾の水深40mの海域に、平成8年2月17日に設置された、外洋型人工海底「おおちゃんマリン1号」について、短期間に、それ自身の基本性能確認、それを利用してのアワビ飼育試験や海洋研究、そして施設を設置したことで形成された魚類生態系、その他多くの試験研究が行われた。

多くの実海域実証試験によって基礎的なデータが取得されている現在、得られた結果からは、施設の構造・耐候性に特に問題点はなく、操作面でも特に大きな問題は指摘されていない。生物飼育施設としての評価は、短期間の試験を行ったのみであり、さらにデータを蓄積する必要がある。海洋観測ステーションとしても有効に活用できることも実証されており、従来の海洋観測では得られなかった高い精度のデータが集積されている。

今後、施設の耐久性、生物飼育施設としての評価をさらに緻密な計測によって追跡するとともに、施設を海洋観測ステーションとして活用し、船越湾の環境変動メカニズムの解明に寄与していく計画である。

謝 辞

本研究開発の実施に際しては、海洋科学技術センター 海域開発・利用研究部、岩手県企画振興部、岩手県林業水産部、岩手県釜石地方振興局、岩手県水産技術センター、大槌町、大槌町漁業協同組合、九州大学応用力学研究所、東京大学海洋研究所、東京大学海洋研究所大槌臨海研究センター、鹿児島大学水産学部、北海道大学理学部の関係者が、それぞれ担当項目を最善の努力で対応・検討することで実験がスムーズに遂行された。海中空間利用研

研究会の委員諸氏には施設の今後の展開について貴重な助言を賜った。各種の試験研究にあたっては、川崎重工業株式会社、東京製網株式会社、小岩金物株式会社、海洋建設株式会社、岩手工業株式会社、九州計測器株式会社、マリーン開発株式会社、菊地技研企画株式会社の協力をいただいた。これら多くの関係各位に厚くお礼申し上げる。

参考文献

- 1) 日本深海技術協会：沿岸域における海洋研究・海洋利用の動向及びそれに必要な技術の抽出に関する調査 報告書. pp.1-289.(1993)
- 2) 岡本峰雄・和泉正憲・遠藤良雄：潜降浮上型人工海底の実用化研究－I 人工海底の開発について. JAMSTECTR, 28, pp. 57-68. (1992)
- 3) 富田慎一・岡本峰雄・佐藤公助・木下栄八：潜降浮上型人工海底の実用化研究－I 施設の製作と運用について. JAMSTECTR, 28, pp.69-85. (1992)
- 4) 鈴木貞夫・支倉 理・長洞幸夫・内藤 稔・高橋 禎：潜降浮上型人工海底の実用化研究－I アワビ・クロソイ養殖試験について. JAMSTECTR, 28, pp. 87-105. (1992)
- 5) 岡本峰雄・長濱 修・高津尚之：係留型鋼製海洋構造物「マリンあや1号」の耐久性の追跡について. 第12回海洋工学シンポジウム, pp. 171-178. (1954)
- 6) Okamoto M., O. Nagahama and N. Takatsu: Investigation of the durability of submerging/surfacing fishery cultivation facility Marine Aya No.1, Recent advances in marine science

and technology '94, pp. 653-666. (1995)

- 7) 岡本峰雄・山口仁士・升田幹也・長澤忠雄・高津尚之：外洋型人工海底「おおちゃんマリン1号」の開発について. JAMSTECTR, 36, pp. .(1997) (投稿中)
- 8) 日本海事協会：鋼船規則B編 船級検査, pp. 13-73. (1996)
- 9) 日本海事協会：鋼船規則検査要領B編 船級検査, pp. 13-49. (1996)
- 10) Det Norske Veritas: Rules for classification of mobile offshore units, Mobile offshore units in operation, pp. 1-20. (1994)
- 11) 船のメンテナンス研究会：船のメンテナンス技術, 第6章海洋構造物の保守管理, 成山堂書店. pp. 195-207. (1996)
- 12) メガフロート技術研究組合：防食電位モニタリング装置の開発. pp. 1-99. (1996)
- 13) 岡本峰雄：人工藻場プラントにおける魚群の日周行動について. 日水誌, 49, pp. 177-182. (1983)
- 14) 岡本峰雄：人工藻場プラント周辺の魚群行動について. 日水誌, 49, pp. 687-692. (1983)
- 15) 岡本峰雄：天然礁の魚類層との比較からみたタイヤ魚礁の機能について. 日水誌, 55, pp. 197-203. (1989)
- 16) 岡本峰雄：但馬沖中層浮魚礁周辺の昼間の魚影分布について. 日水誌, 58, pp. 1291-1299. (1992)

(原稿受理：1997年5月30日)