

人工知能技術を応用した 総合魚礁効果判定技術の開発

水産大学校 海洋生産管理学科

濱野 明・内田和良

共同調査機関：山口県外海水産試験場

調査実施年度：平成7～9年度

緒 言

沿岸域の漁場環境整備の一環として人工魚礁漁場造成事業を効果的に実施するためには、漁場環境や海洋環境との関連のなかで魚礁設置効果を総合的に評価する手法の開発が必要不可欠である。そのためには高精度で測定した魚礁設置位置、魚群の魚礁への蝟集状況、海洋環境などを総合的に検討し、これらの情報を蓄積・解析するデータベースを構築することが必要となる。しかし、従来の魚礁効果評価に関する研究では、取り扱うデータの時空間的スケールや形式が異なること、さらに魚礁に関する過去の履歴データが明らかでないケースが多いことなどから、既設の人工魚礁の有効な利用、および適切な管理がおこなえるような人工魚礁設置評価法が確立されていなかった。そこで、本研究では、音響機器を用いた海中リモートセンシング技術による水中音響情報を中心に、人工魚礁周辺で得られる時間・スケール・形式の異なる種々の海洋環境情報、漁獲による生物情報などのデータを、統合的に捉える地理情報システム（Geographic Information System:GIS）や人工知能（Artificial Intelligence: AI）技術を応用した総合魚礁効果判定技術の開発を試みた。初年度（平成7年度）は、人工魚礁漁場のインフラストラクチャーである魚礁の設置位置と構成礁の分布をサイドスキャンソナーで精密に測定し、魚礁の位置と構造を高い精度で明らかにした。次年度（平成8年度）では、季節ごとの音響資源調査、海洋調査と併せて漁獲調査を実施し、GISによる魚礁効果評価法について検討した。最終年度（平成9年度）ではGISやAI技術を応用した人工魚礁効果評価支援システム開発のための人工魚礁評価・管理システムの試作をおこなった。さらに、地理情報システムによる3次元化データベースの構築を考え、魚礁と魚群分布構造との関係の3次元表示化を試みた。

調査方法

1) 音響調査および海洋環境調査

音響調査：対象とした人工魚礁漁場は、1983年から1990年にかけて山口県長門海域に造成された大規模人工魚礁群（3海域：以下東部、中部、西部海域と呼ぶ）である。魚礁群を構成している群体礁は、それぞれが設置目的に応じ、魚礁の高さと設置密度、さらに魚礁範囲の広がり等を考慮して対象海域内に54箇所設置されている。¹⁾ 音響資源調査並びにCTDO（SBE-19）観測を1996年5月、8月、11月、1997年3月の4回、図1に示す海域において山口県外海水産試験場のくろしお（119トン）および第2くろしお（19トン）により実施した。用いた計量魚探機はFQ-70（古野電気製 200 kHz, 50 kHz）である。魚探機の較正は調査前若しくは直後に38.1mmのタングステンカーバイド球を用いておこなった。²⁾ 計量魚探機による音響調査は、東部、中部、西部の3海域ともに、沿岸から沖合い方向に200m間隔で、東西方向のトランセクトラインを設定し、8ノットの船速でおこなった。得られた音

響データは、データレコーダ（ソニー社製 PC208A）に収録し、後日実験室において解析した。

海洋環境調査：図1に示した地点において表層から海底付近までの水温、塩分、溶存酸素量を観測した。

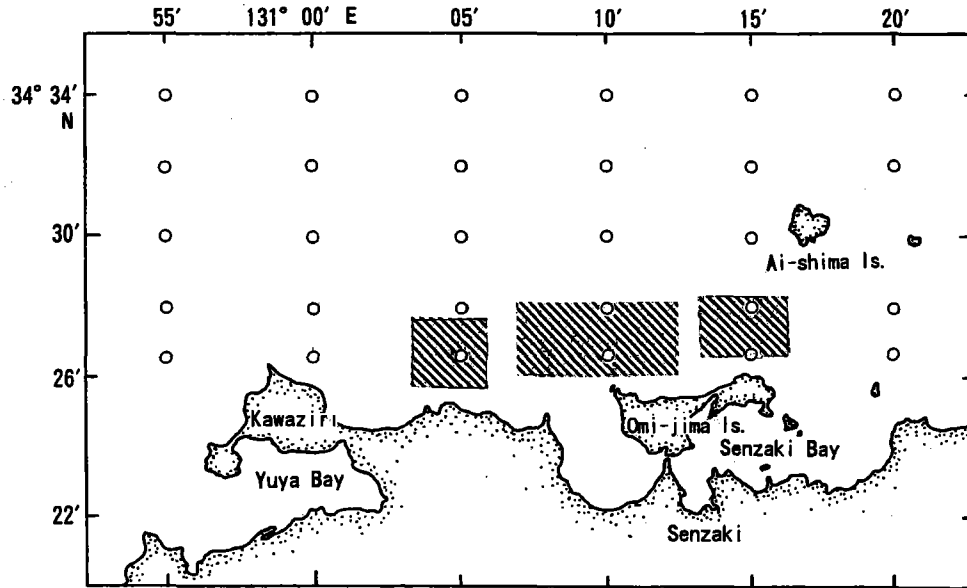


図 1 調査海域図

▨ : 調査海域 ○ : CTDO観測点

2) 漁獲調査

魚探映像に映し出された魚種を識別するため、音響調査に併せて棒受網、底刺網、抄網を用いて魚種確認を試みた。浮魚類については、棒受網（夜間）、抄網（昼間）を用い、海底付近に分布する魚種については、第2くろしおを用いて底刺網により漁獲調査をおこなった。ここで得られた漁獲データをもとに、人工魚礁周辺海域に分布する浮魚類と、底魚類の魚種確認について検討した。さらに、中層から底層にかけて分布する魚種については、適宜釣獲試験をおこない、水中テレビ（三井RTV-100 S型）による直接観察も併せて実施した。さらに、魚種確認のための、補助的な情報として調査期間中の5月と10月における仙崎港の定置網による漁獲量を検討した。

3) 地理情報システム (GIS)

コンピュータグラフィックの発達に伴い、ある地域内の空間対象物について得られる多様な情報を表示することが可能となった。その1つであるGISが都市計画や陸上の資源管理などの水産海洋以外の分野で幅広く応用されはじめている。これはユーザの目的によりデータを加工・処理し、情報間の相関を探索したり解析をおこなうシステムである。³⁾したがって、地理情報システムは単なるデータベースの域を越え、情報の高度利用やビジュアル化した情報の利用を目指したエキスパートシステムとして位置付けられる。⁴⁾

人工魚礁評価・管理システム構築のためのデータベース化に用いた資料は1991年から1997

年までにおこなったレーザ測距儀とサイドスキャニングソナーを用いた魚礁の設置位置の精密調査、計量魚探機による音響資源調査、CTDOによる海洋環境調査、漁獲試験調査、水中テレビカメラ調査により得られた生物情報などである。さらに、過去に調査された資料として1978年から1997年に調査報告された長門海域総合開発調査報告書⁵⁻⁹⁾のなかの、等深線図、天然礁の位置と規模、海底底質、漁獲統計資料などを用いた。データベースの作成および管理はGISソフトのMapInfo (MapInfo社)を用いた。今回の解析では季節変化を中心に魚礁周辺に蝟集する魚群分布の魚群蝟集機構をGIS技術のオーバーレイ (多重合成) 手法やバッファリング手法を用いて検討した。

結 果

1) 音響調査

計量魚探機から直接得られる情報は、魚群内の個体密度と個体の反射強度の積として出力される体積散乱強度 (SV) である。今回の解析では、エコー積分器の設定を水平方向 75 m、深度方向では 10 m 間隔に設定し、単位海表面当りの面積積散乱強度 (S_a) を求め、各調査海域内における魚群の水平分布を季節別に求めた。求められた S_a を画像処理ソフトで処理し各海域ごとの S_a 水平分布図を作成した。西部海域の S_a 水平分布図を 1 例として図 2 に示す。この図から 3 月における海洋生物の分布状況は -45 から -50 dB の植物プランクトン¹⁰⁾ と考えられる生物群が調査海域全体に広がっている様子がみられた。同様な傾向は西部海域だけでなく全海域においてもみられた。5 月には、一部、植物プランクトンと考えられる生物群の分布がみられるものの、魚礁周辺には -30 dB 程度の濃密な魚群が蝟集している状況が示された。8 月に入ってプランクトンの分布は 5 月と比較すると少なくなったが、魚礁周辺ではほぼ同じ程度の強度の分布が見られた。ただし、沖合い付近よりも、より沿岸水域にその分布が多い傾向にあった。特に天然礁周辺では、-40 dB 程度の強度を示す濃密魚群の蝟集がみられた。11 月に入ってからプランクトンのパッチと考えられる分布はほとんどみられず、魚礁周辺に蝟集する魚群とその他の水域との差が顕著に示された。このように、3 月から 11 月に至る S_a 水平分布状況から、魚礁付近に蝟集する魚群分布の季節的変化が明らかにされた。

2) 海洋環境

日本海南西部の沿岸水域における一般的な海況は、基本的には日本海に流入する対馬海流水の季節変化の直接の影響を受け、明瞭な季節変化を示すことが指摘されている。¹¹⁾ すなわち沿岸水域における海水特性の季節的変化は夏を中心とした「高温・低塩期」と冬を中心とした「低温・高塩期」とに大きく分けられるが、厳密には両期の間に 5-6 月および 11 月を中心とした「温暖・高塩期」とも言うべき時期が存在する。そこで今回 3 月、5 月、8 月、11 月におこなった CTDO 観測から求めた長門海域における沿岸水域における水塊分布と季節的変化を検討した。図 3 は 40 m 等深面における各観測月の水温、塩分の水平分布である。この図に示すように、3 月は水温 13.8-14.35°C、塩分 34.54-34.56、5 月は水温 15.0-16.0°C、塩分 34.55-34.90 で温暖・高塩期に当たる。一方、8 月は水温 23.6-25.60°C、塩分 33.0-34.0 と高温・低塩期に入っていることが分かる。11 月は幾分、水温が夏季に比べると低くなって入るものの、19.0-20.75°C の暖かい水温であった。また、塩分は 33.9-34.0 の高い値を示すことから、夏季における「高温・低塩」期から冬季に代表される「低温・高塩」期に至る移行期の「温暖・高塩」に当たっていることが明らかにされた。一方、図 4 に示した

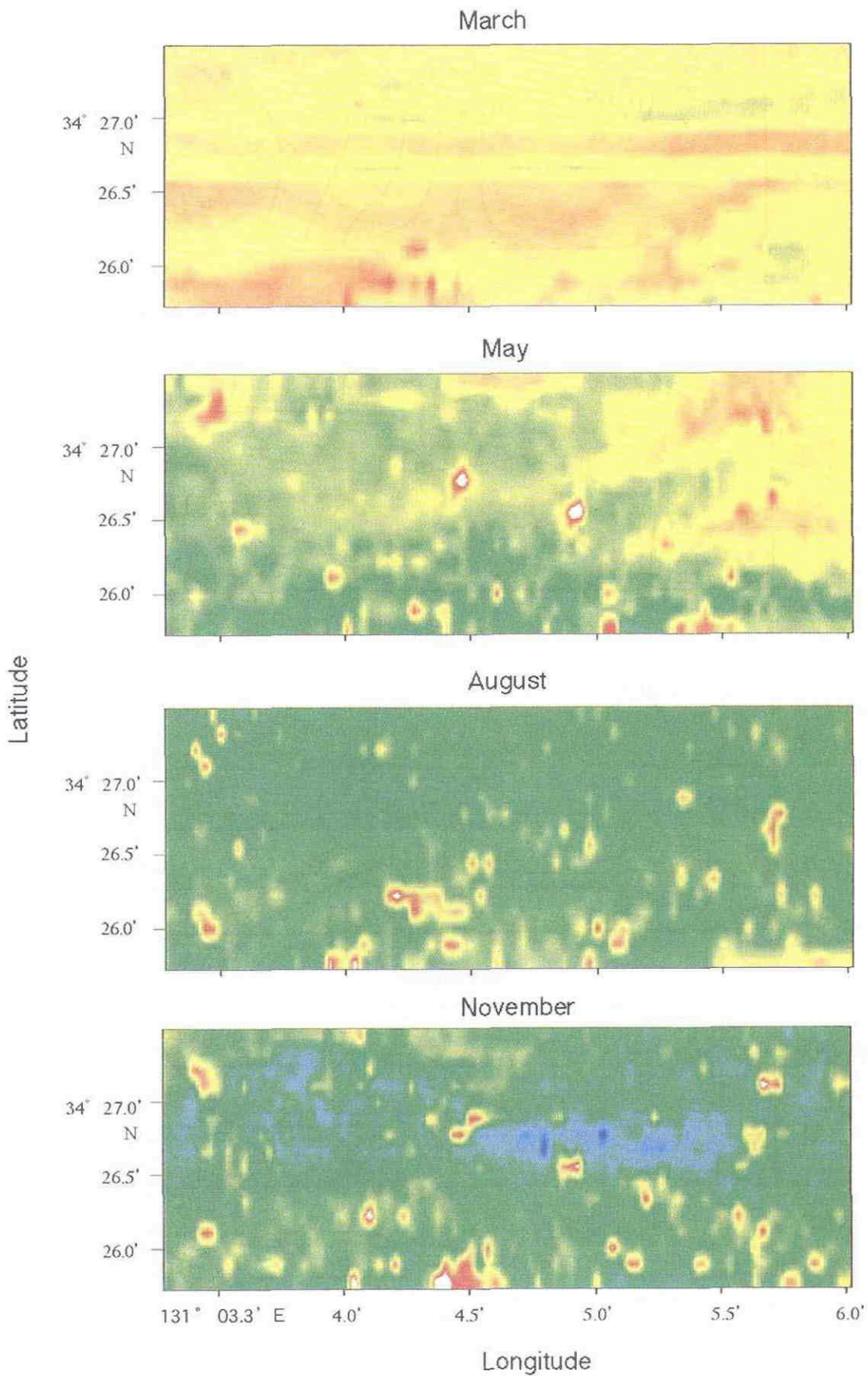


図2 西部海域礁の面積散乱強度 S_a の水平分布図

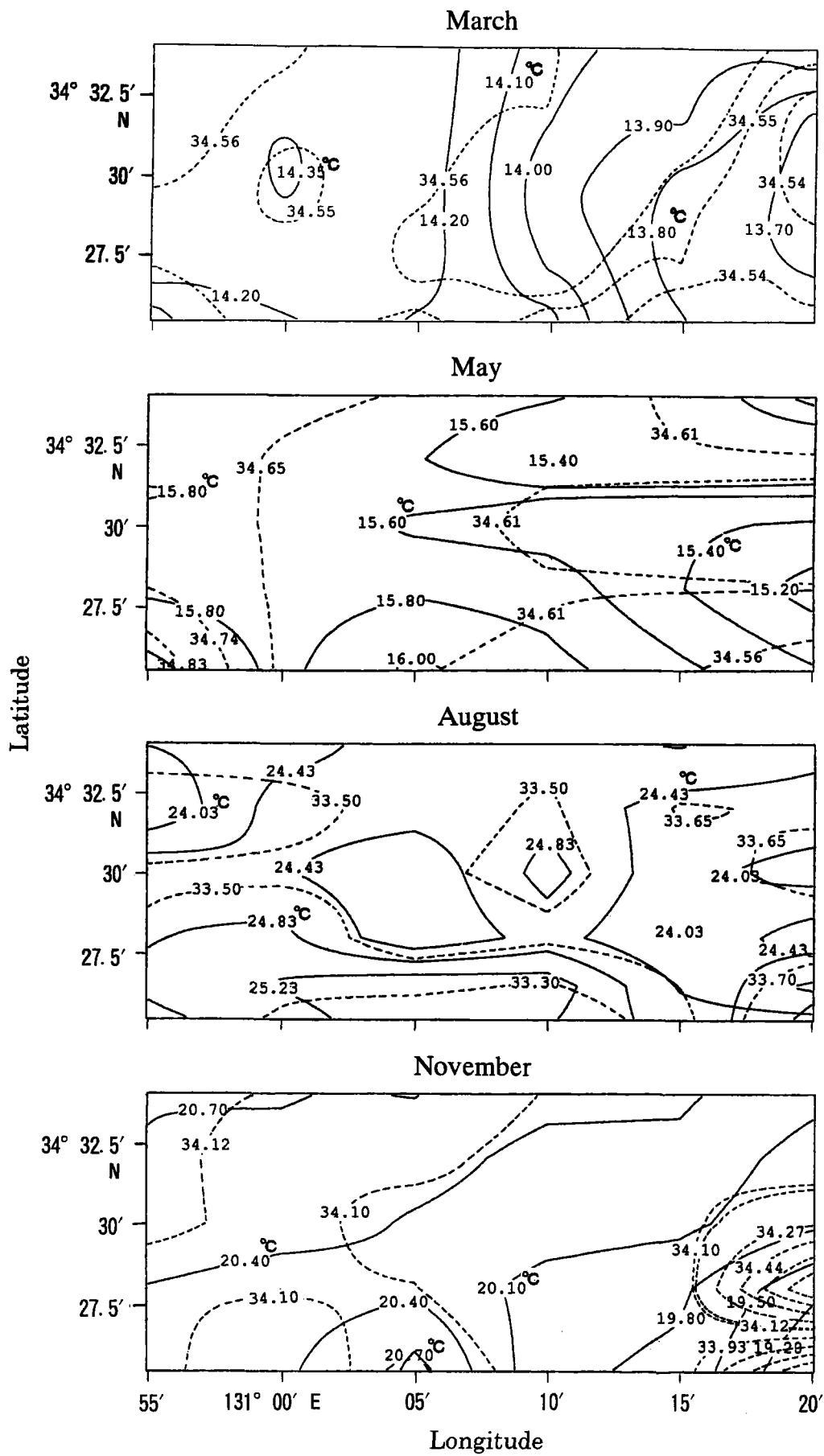


図3 40 m 等深面における各観測月の水温・塩分の水平分布
 ——: 水温 - - - - : 塩分

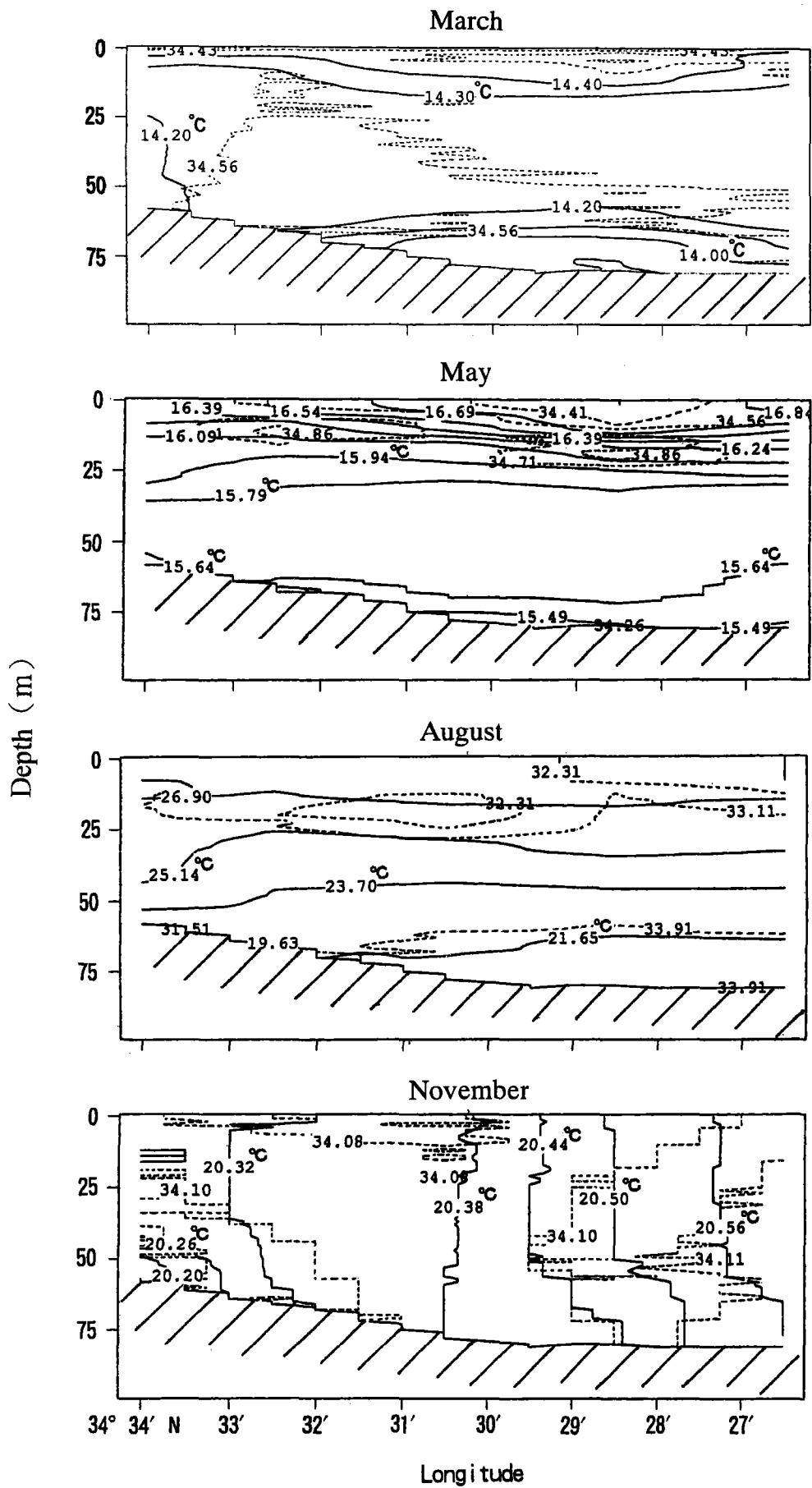


図4 西部海域付近の水温・塩分の鉛直分布
 —— : 水温 - - - - : 塩分

鉛直分布から調査水域は3月-5月の時期には塩分34.6の高塩水に覆われているが、8月になると表層付近の塩分は低下するとともに、水温は上昇し、夏季特有の季節躍層が20m層を中心に形成されていることが認められた。図5はこれらの状況をCTDO観測データをもとに3次元コンピュータグラフィックで作成した図である。一方、11月に入ると鉛直混合によって、ほぼ沿岸部の水は全体的に温暖・高塩な水に均質化され、夏に形成されていた季節的な躍層が消滅していることが分かった。

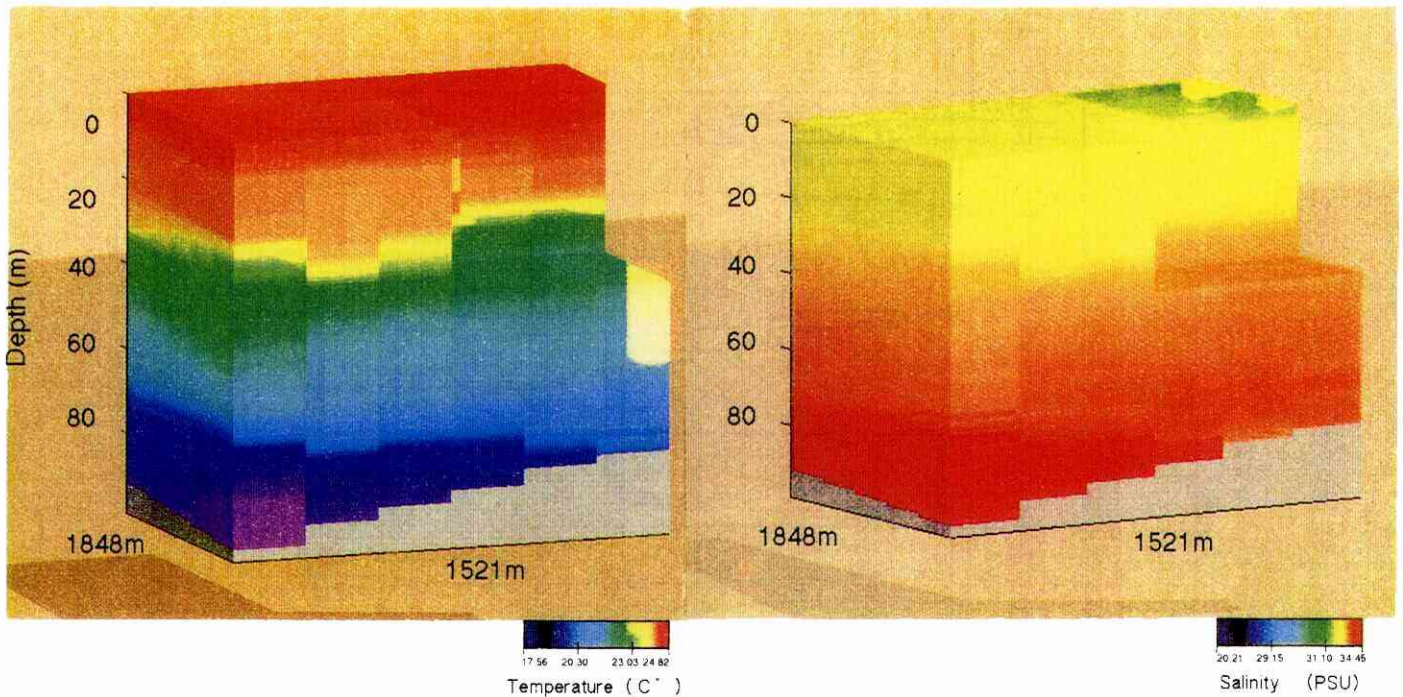


図5 水温・塩分の3次元グラフィック図

3) 漁獲調査

棒受網、底刺網、抄網、釣獲、水中テレビにより、それぞれの季節において魚探映像に現れた魚影の魚種確認をおこなった。図6-8は5月から11月において実施した底刺網、抄網、一本釣りによる漁獲状況の結果である。5月(図6)の底刺網ではアカアマダイ、ソウハチ、ウマズラハギ、カサゴの漁獲が多く見られ、また抄網ではウマズラハギの漁獲がその漁獲量のほとんどを占めていた。一本釣りではイサキが西部海域で多く漁獲されたが、棒受網は漁獲できるほどの魚群の蟄集が見られず、漁獲は皆無であった。8月(図7)においては、棒受網でウルメイワシ、カタクチイワシなどの浮魚類の漁獲もみられるようになってきた。これは、結果1)で述べたように低温・高塩期から高温・低塩期に移行するに伴い、魚種の組成も変化してきたためであると考えられる。11月(図8)では棒受網でブドウイカ、マサバが多く漁獲され、底刺網、抄網ではカワハギ類の漁獲が目立った。このように、漁獲結果からは当海域における各季節ごとの出現種については、ほぼ従来の知見を裏付ける結果を示した。また魚種確認のための補助的な情報として仙崎港の定置網による漁獲結果を検討した結果、5月、10月ともに定置網では、試験操業で捕獲された魚種とほぼ同じような魚種が漁獲されていることが分かった。しかし、人工魚礁周辺に蟄集する魚種をリアルタイムで識別する方法については、まだ多くの問題があり、今後は、魚礁周辺に分布する魚群のための新しいサン

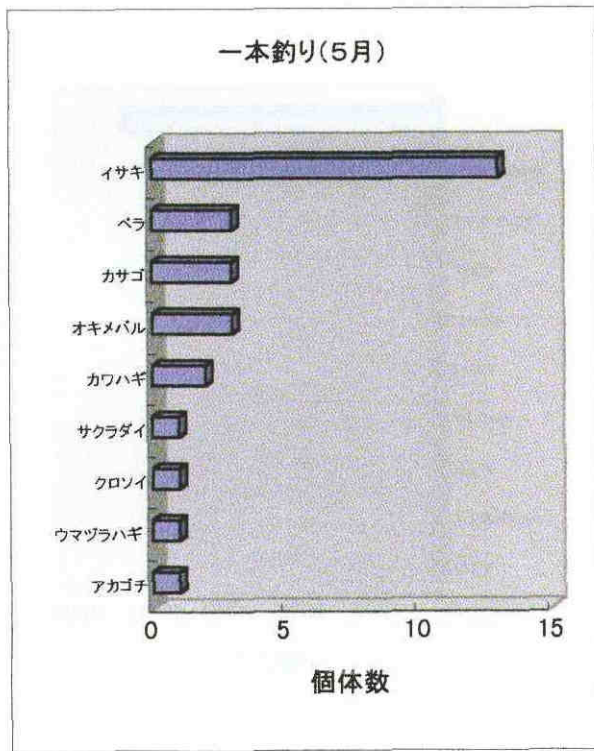
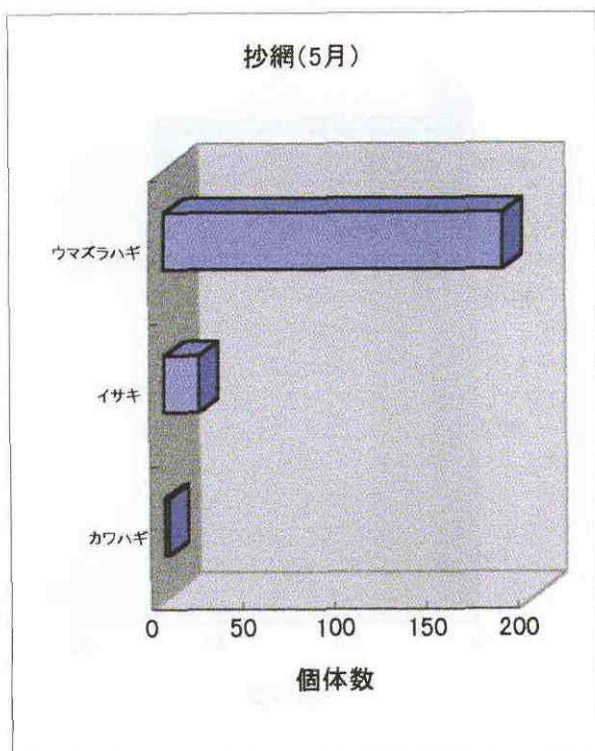
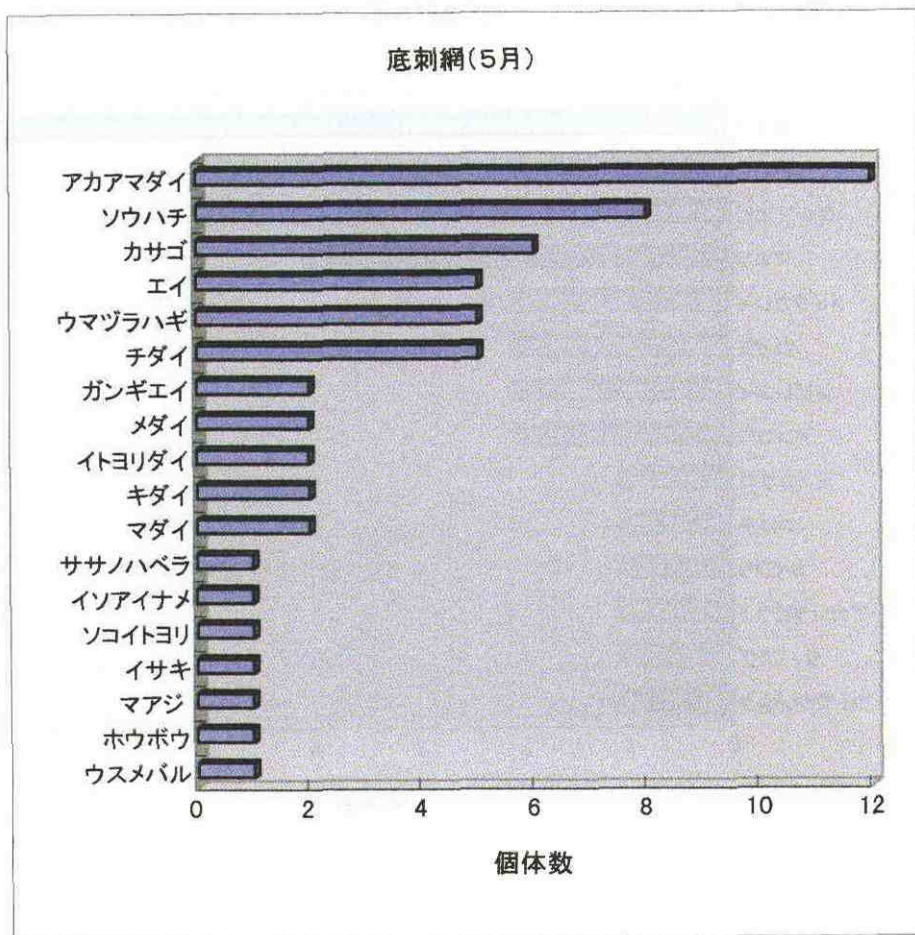


図6 5月の漁獲状況

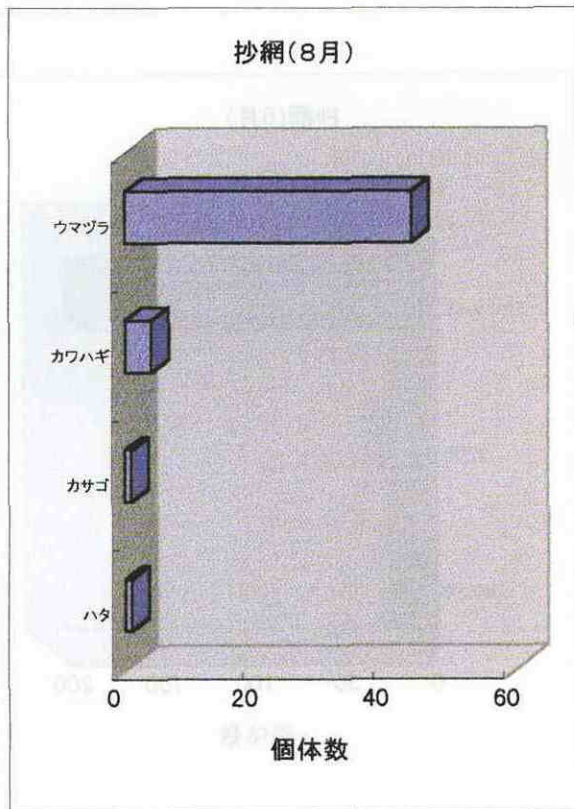
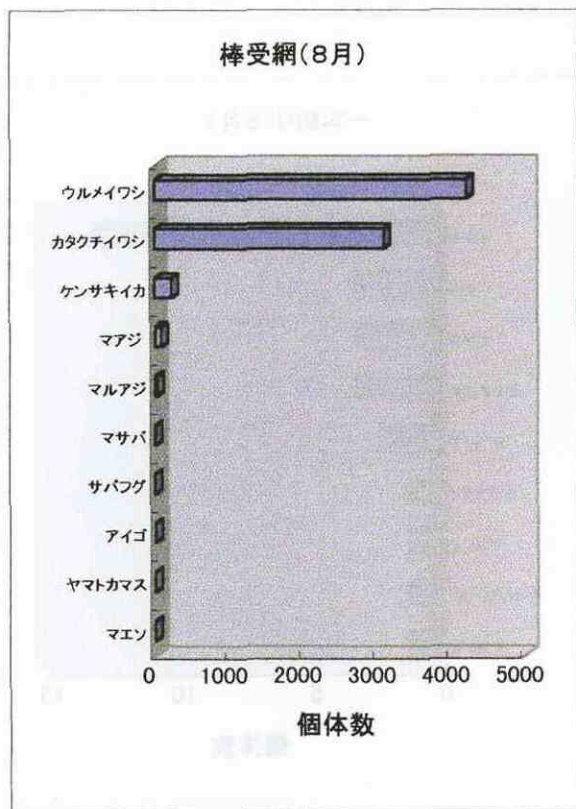
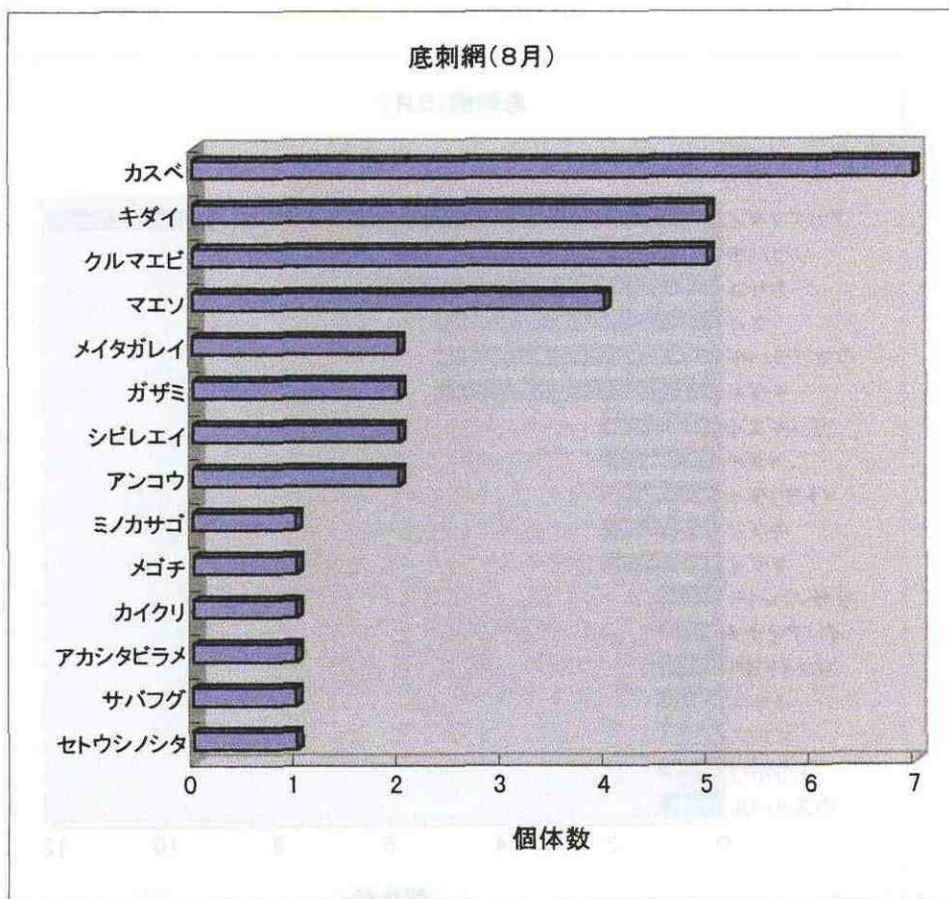


図7 8月の漁獲状況

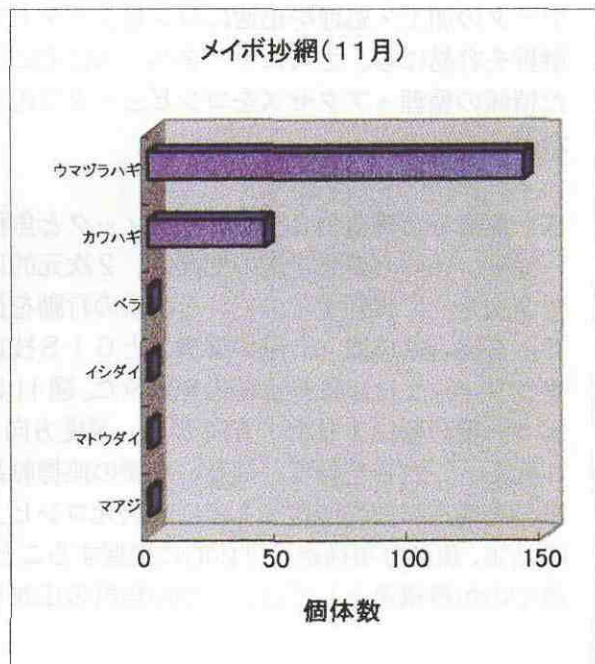
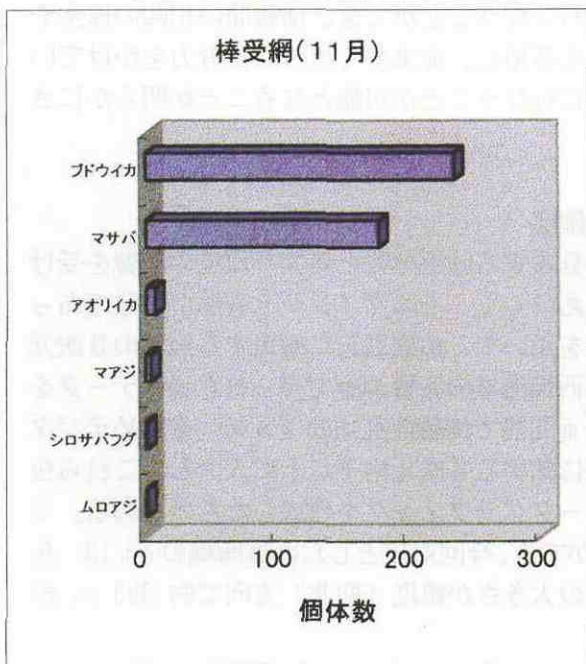
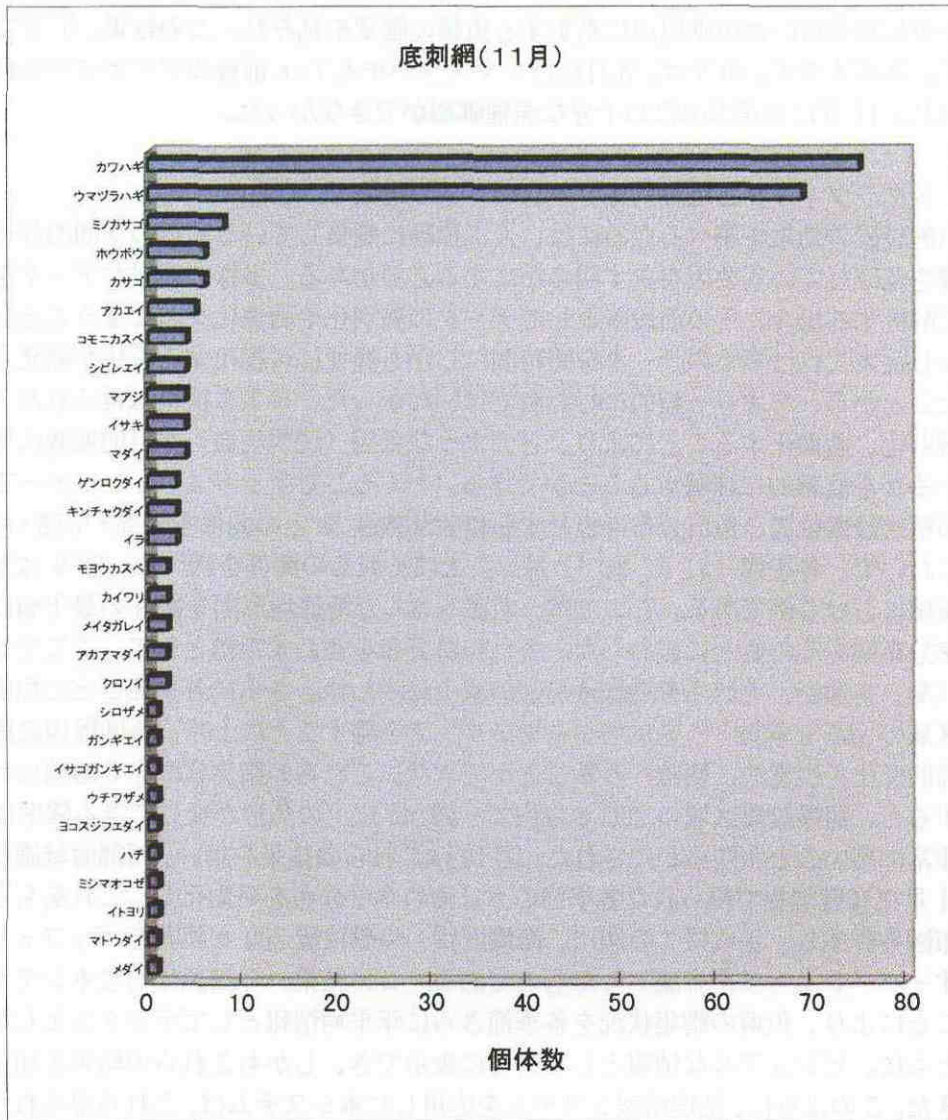


図8 11月の漁獲状況

プリング手法や採取漁具の開発を進めていく必要があると考察された。また、5月、8月、11月に水中テレビを用いた魚礁周辺に蛸集する魚種の確認を試みた。この結果、5月ではアカアマダイ、スズメダイ、カサゴ、8月にはウマズラハギと7cm前後カタクチイワシの群れが確認された。11月には荒天のため十分な魚種確認ができなかった。

4) GISグラフィックと地理情報データベースの構築

人工魚礁設置の効果を調べるためには、人工魚礁に蛸集している魚群の空間的分布とそれらに影響を及ぼしている要因をまず明らかにする必要がある。多様で複雑なデータを数理的な方法で解析する場合、その前段階としてデータの層別化や画像化をおこなうことが望ましい。しかし従来これは多くのデータを短時間にしかも簡便に可視化する方法が開発されていなかったことから、あまり一般的に行われてはいなかった。GIS技術は得られたデータの景観を層別化、画像化することにより、どのような要因(説明変数)が目的変数に影響を及ぼしているかを直感的に理解することができる。¹²⁾そこでサイドスキャンソナーで得られた魚礁の精密設置位置と魚群分布を表わす面積散乱強度 S_a との関係を東部・中部・西部の各海域礁において、各季節(3、5、8、11月)ごとにそれらの関係を調べた。図9は対象海域の西部海域における例である。ここでは、魚礁を含んだ海底地形図を図9の最下層に示し、魚礁精密分布図をその直上に表わした。また魚群分布を表わす指標として、ここでは面積散乱強度(S_a)を用い、それらを海底地形図の直上に示した。さらに各季節ごとの魚群分布図に魚礁区域の200m範囲¹³⁾を示すバッファリングを施すことにより、魚礁周辺に魚群の蛸集の季節的变化を視覚的に明瞭にみることができた。これらの蛸集状況を3海域にわたり比較検討すると、魚礁設置区域の200m以内で-50dB以上の魚群が発見できる確率は平均約75%と非常に高いことが明らかにされた。図10はこれらの結果を用い、西部海域礁において5、8、11月に音響調査で得られた各季節の S_a 値の水平分布を平均化し、これをもとに平均 S_a 分布図を作成し、さらにこの図に、海底底質、魚礁位置200m範囲をバッファリングした図をオーバーレイ(多重合成)したものである。この結果、今回試作した本システムを利用することにより、魚群の蛸集状況を各季節さらに年平均情報としてデジタルとして取り出せるとともに、ビジュアルな情報として瞬時に表示でき、しかもこれらの結果を加工することができた。このように、地理情報システムを応用した本システムは、これら得られた情報・データの加工・処理を迅速にコンピュータ上でおこなうことができ、情報間の相関の探索や解析を容易にし、さらにデータベースにそのまま蓄積し、従来多くの時間と労力をかけていた情報の整理・アクセスをコンピュータで迅速に行なうことが可能となることが明らかにされた。

5) 魚群分布構造の3次元グラフィックと魚種確認

従来、魚群の蛸集状況の把握は、2次元的に分布する陸上生物と異なり環境の影響を受けて3次元的に移動するので、それらの行動を捉えにくく、モニタリングと表示が困難であった。今回音響機器(計量魚探機)とGIS技術を用いて、魚礁周辺に蛸集する魚群の3次元グラフィックによる構造解析を試みた。図11は西部海域の音響調査で得られた音響データをエコー積分器により水平方向25m、深度方向1m間隔で体積散乱強度(SV)を求めデジタル化し、これらを緯度、経度、水深の座標軸系に関する3次元格子点上に入力し、これら魚群分布構造の音響情報をもとに3次元コンピュータグラフィックを作成したものである。この結果、魚群分布構造を立体的に把握することができ、今回対象とした西部海域のNo.13魚礁での魚群構造としては、一つの魚群の広がり大きさが緯度(南北)方向で約200m、経

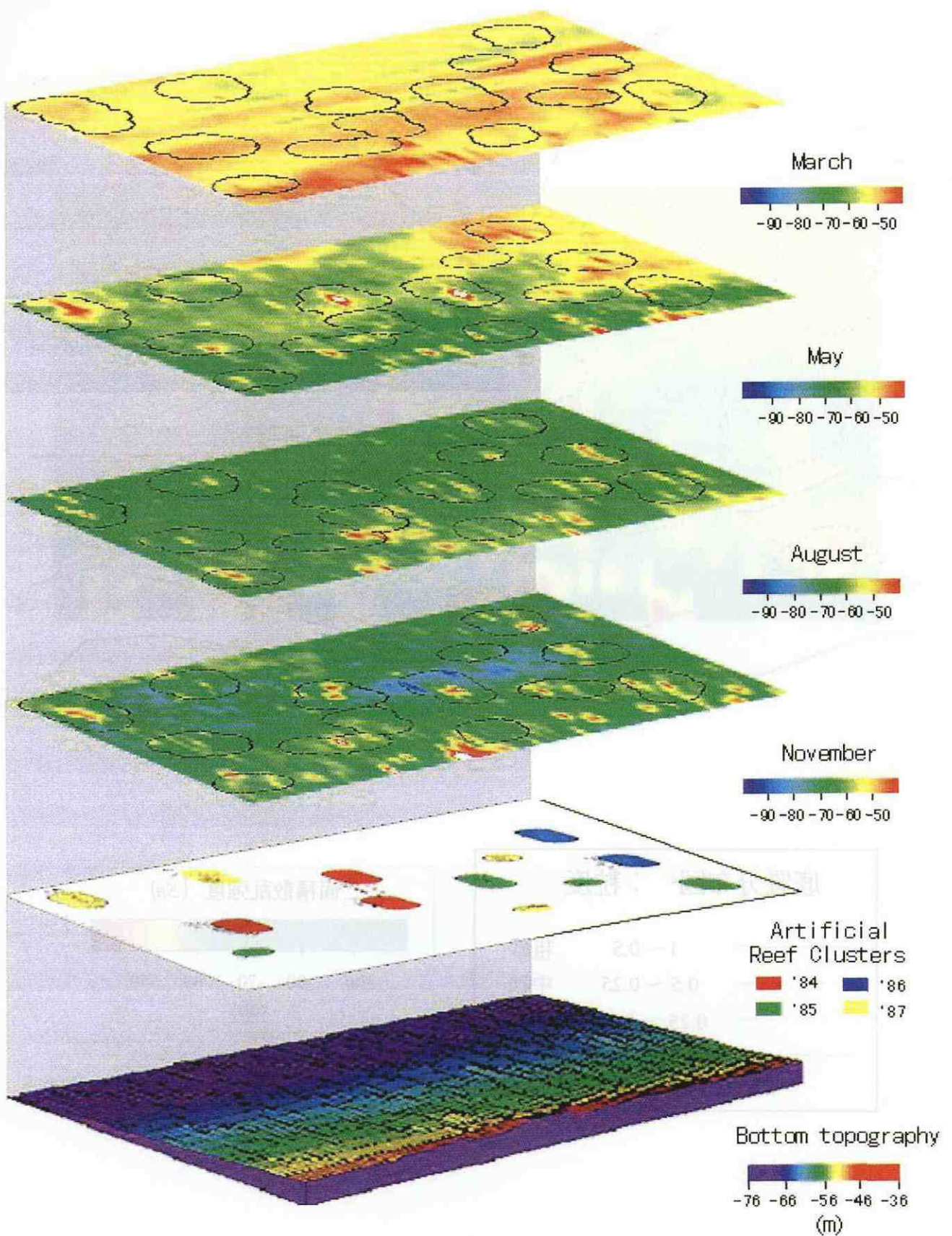


図9 西部海域礁における Sa 分布、魚礁位置、海底地形の層別化

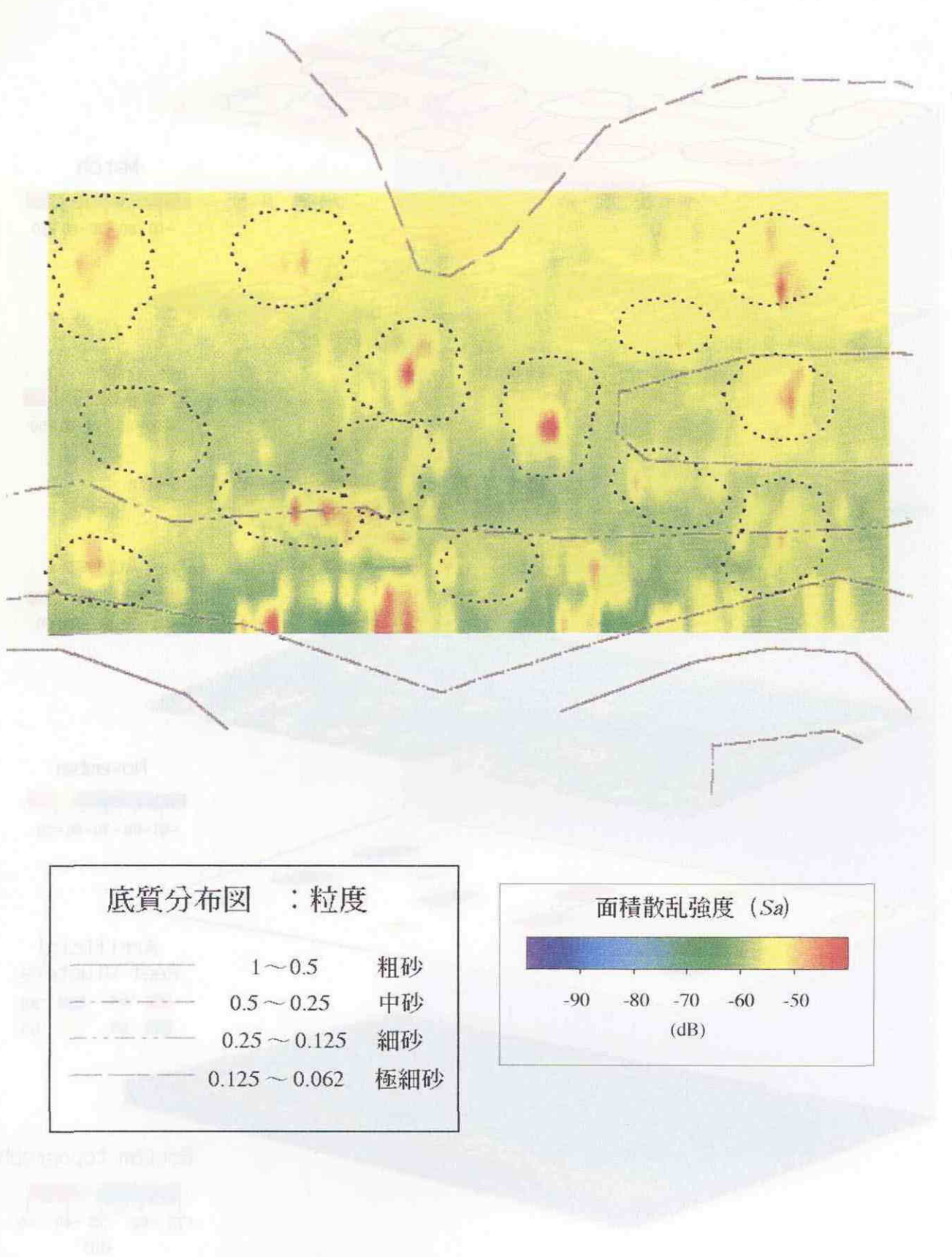


図 10 西部海域礁の平均 S_a 分布、魚礁区域 200m 範囲、海底底質のオーバーレイ図

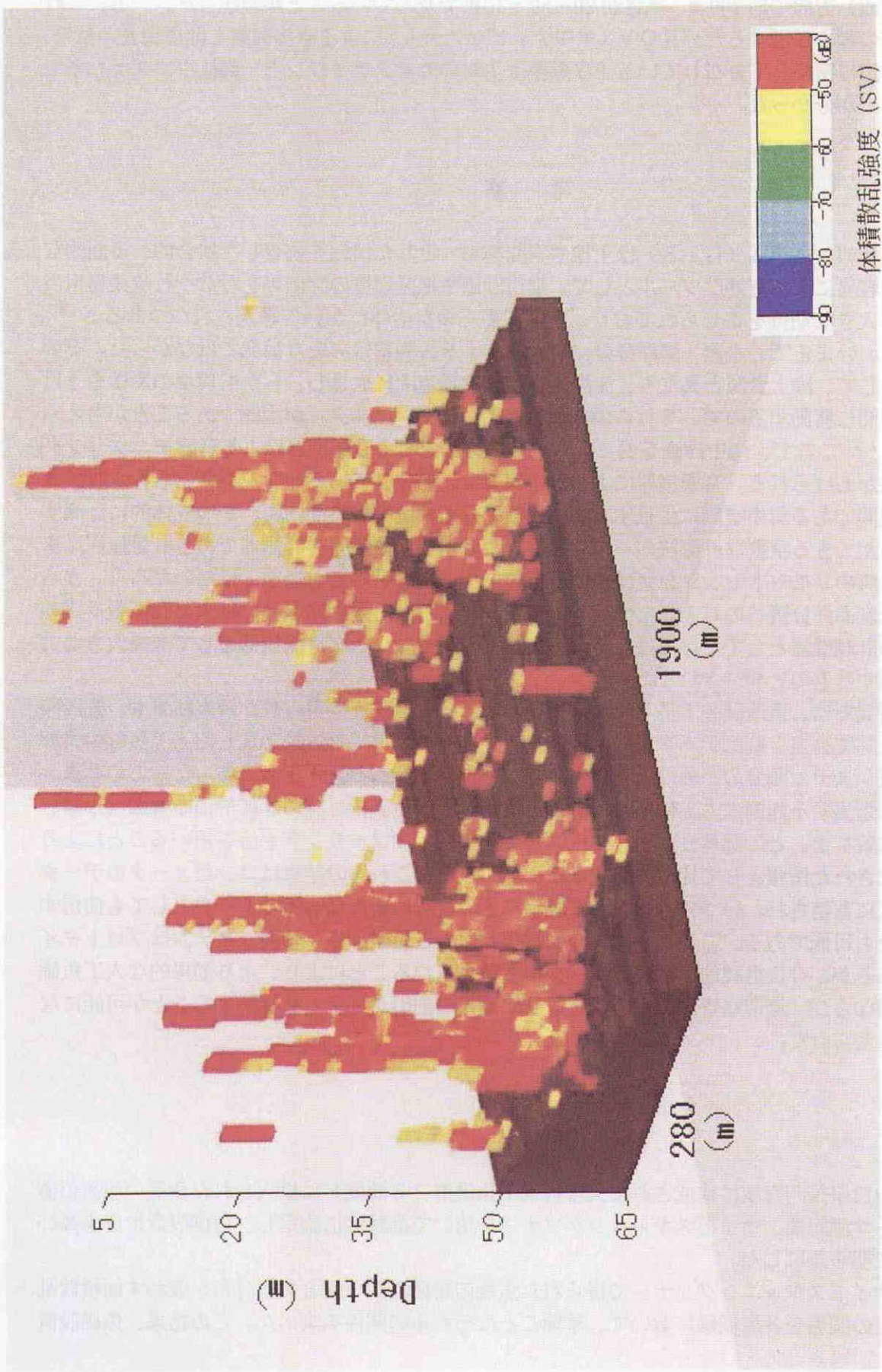


図 11 魚群分布構造の3次元グラフィック図
(沖合いから岸に向かって見た模式図)

度（東西）方向で約 200 m、高さが 20–50 m にまで及んでいることがわかった。一方、これら魚群の種を識別するため ROV（水中テレビシステム）による直接観察と漁獲調査の結果、魚礁周辺に密集して分布している主な魚種は 7cm のカタクチイワシと一部にウマズラハギであることが分かった。

考 察

地理情報システム（GIS）は土地や空間をキーとした情報を統合し、総合的、多面的な利用を容易にする有効なツールとして、都市計画や地区環境の評価等を行なう行政業務担当者から大きな期待を寄せられており、すでに多くの自治体において導入されつつある。¹⁴⁾ しかし、いままで、水産・海洋分野における GIS の利用はあまり活発ではなかった。その理由として、陸上資源と異なり、海洋生物が 3次元空間に生息し、しかも環境の影響をうけて短時間に移動するので、それらの行動を捉えにくく、モニターが困難であることが考えられる。¹⁵⁾ ここで、海中探査をおこなう 1つの方法として音響機器による音響モニタリング調査法があげられる。音響機器による海中探査は、海中リモートセンシングとも称され、3次元空間である海中空間に生息する海洋生物の分布状況を短時間内に、かつ立体的に計測することができる重要な計測法の一つである。この水中音響情報の計測器である計量魚探はまさに、海中リモートセンシングに必要な不可欠なツールと言っても過言ではないだろう。さらに、水産海洋分野への GIS と併用した効果を考えると計量魚探機は、従来の資源量推定のための計測機器としてだけではなく、海中リモートセンシング計測機器として今後大きな力を発揮するものと期待される。

本研究では、現地調査で得られた結果を中心に過去の調査で得られた調査結果や、既に印刷物として公表されたデータ用い、地理情報システム（GIS）を応用した人工魚礁効果評価支援システム開発のための人工魚礁評価・管理システムの試作をおこなった。この結果、魚礁に集まる魚群の人工構築物に対する機能を人工魚礁相互間の比較や他の要因（水深、海底底質など）との関連性などをオーバーレイ手法、バッファリング手法を用いることにより可視化された情報として比較検討することができた。これらの結果はコンピュータのデータベースに蓄積され、いつでも画面上に表示でき、さらに新たな解析のデータとしても使用することも可能である。このように、今回試作した人工魚礁評価・管理システムはプロトタイプであるが、今後継続的な調査とデータの蓄積を重ねることにより、より効果的な人工魚礁の利用ならびに適切な管理のため指針並びに情報の創出システムを構築することが可能になると考えられた。

摘 要

1. 山口県長門海域に造成された大規模人工魚礁群（3海域）に投入された魚礁の設置位置をレーザ測距儀、サイドスキャニングソナーを用いて高精度に測定し、魚礁設置位置を高い精度で明らかにした。
2. サイドスキャニングソナーで得られた魚礁の精密設置位置と魚群分布を表わす面積散乱強度との関係を各海域礁において、季節ごとにそれらの関係を調べた。この結果、魚礁設置

区域の 200 m 以内で -50 dB 以上の魚群が発見できる確率は平均約 75% と非常に高く、魚群の魚礁への蝟集効果が高いことが示された。

3. 地理情報システムを応用した人工魚礁評価支援システム開発のためのプロトタイプデータベースを構築した。本システムは魚群分布と魚礁位置や底質、水深との関係を迅速に検討し、解析する有効なシステムであると考えられた。

4. 今後、新たな人工魚礁の設置や漁場造成を行なうこと以上に、すでに設置された人工魚礁の利用・管理が重要になってくるものと思われる。そのためにも、魚礁設置効果の評価法の確立並びに、モニタリング技術の開発が急がれる。

5. 今後の課題としては、継続的な音響調査、海洋環境データ、漁獲データの実施、ならびにデータのデータベース化が行なわれる必要がある。さらにエキスパートシステムとの結び付きにより検索機能を拡張し、魚種判別を含めたエキスパートシステム構築の可能性が考えられる。¹⁶⁾

引用文献

- 1) 山口県, 1983: 長門海域総合開発事業設計調査報告書, 158 pp.
- 2) K. Foote, H. G. Knutsen, G. Vestnes, D. MacLennan and J. Simmonds, 1987: Calibration of acoustic instruments for fish density estimation: a practical guide. *Cooperative Research Report*, ICES No. 144, 57pp.
- 3) J. Star and J. Estes: 入門地理情報システム. 岡部篤行, 貞広幸雄, 今井 修訳, 共立出版, 東京, 1992, 235 pp.
- 4) 町田 聡, 1994: 地理情報システム, 山海堂, 東京, 178 pp.
- 5) 山口県, 1979: 長門海域総合開発調査 昭和 53 年度調査結果報告書, 67 pp.
- 6) 山口県, 1980: 長門海域総合開発調査 昭和 54 年度調査結果報告書, 1-108 pp.
- 7) 山口県, 1981: 長門海域総合開発調査報告書, 5-12.
- 8) 山口県, 1994: 長門海域総合開発事業調査報告書, 32-39.
- 9) 山口県, 1997: 山口県外海地区人工礁・天然礁調査資料 (II), 73 pp.
- 10) 中村武史・濱野 明・上野俊士郎・内田和良・藤石昭生, 1997: 計量魚探機による *Thalassiosira diprocyclus* 春季ブルーム分布調査, 平成 9 年日本水産学会中国・四国支部 8 月例会講演要旨集, 2.
- 11) 小川嘉彦, 1981: 日本海南西沿岸水域の海況特性とその漁業生物学的意義, 山口県外海水産試験場研究報告, 18, 1-96.
- 12) A. Hamano, K. Uchida, S. Hara and S. Hiyama, 1996: Application of GIS as the preliminary step to assess the influence of environmental conditions on the distribution of fish around reefs. *Proceedings of international symposium on Sustainable Development of Coastal Zone and Sea. Proceeding II*, 549-554.
- 13) 内田和良・濱野 明・前田 弘・久保田勝彦・田淵清春, 1995: 大規模群体礁の設置効果の定量的評価. *Proceedings of international conference on ecological system enhancement technology aquatic environments*. Vol-1, 18-23.
- 14) P. A. バーロー, 1990: 地理情報システムの原理 - 土地資源評価への応用 -. 安仁屋政武・

- 佐藤亮訳, 古今書店, 東京, 232 pp.
- 15) 西田 勤, 1993 : 水産海洋分野におけるGISの応用. 月刊海洋, 274, 227-232.
- 16) Geoff J. Meaden, 1996 : Potential for geographical information system (GIS) in fisheries management. *In* Computers in Fisheries Research. ed. Bernard A. Megrey and Erlend Moksness, Chapman & Hall, London, 41-79.