

海洋 GIS と空間解析 :水産海洋分野における現状と展望

Marine GIS and Spatial analyses: Current situation and Prospects

西田 勤 (遠洋水産研究所)

ジェフ ミーディン Geoff Meaden (Canterbury Christ Church University College)

伊藤 喜代志 (環境シミュレーション研究所)

要旨

1. はじめに
2. 水産海洋分野 (7領域)における現状と展望
3. 概念およびソフトシステムにおける現状と展望
4. おわりに

謝辞

参考資料

要旨

水産海洋分野における「GIS による空間解析の現状と展望」について、過去2回の「水産科学・水圏生態分野における GIS 空間解析国際シンポジウム」で発表された論文を中心としてまとめた。水産海洋分野における GIS は、「時空間における複雑な水産海洋データマイニング」および「海洋生態系と調和した水産資源管理」を実行し、「創造性・新発見」をもたらす統合的空間解析ツールとして、産・官・学でその価値が高まっている。

1. はじめに

本稿では、水産海洋分野における「GIS による空間解析の現状と展望」について、既存の文献・資料をレビューし検討した。使用した主な資料は、過去2回行われた「水産科学・水圏生態分野における GIS/空間解析国際シンポジウム」の要旨集およびプロシーディングズで報告された水産海洋関連分野の論文^[1-4]と、その他の論文、報告などなどあわせて174件を参考にした(そのうち118件を主要参考文献として最後にリストした)。水産海洋分野を構成する7領域(計測、低次生産、環境、水産資源、輸送、海洋生態および漁海況)^[5]に関し、それぞれの現状をレビューし将来展望を論じた。図1は7領域の関係を示している。これら7領域における利活用例は、それぞれの領域

で独立したものはほとんど無く、複数の領域にまたがって関係していることが多い。そのため、各事例は最も関係している領域における利活用例として紹介した。また、7領域以外にも概念、空間解析ツール（ソフト、システムなど）に関しても検討した。本稿では、なるべく多くの事例・実例を紹介し、具体的に GIS・空間解析が水産海洋分野でどのように利活用されているかの現状を理解できるよう努め、それをもとに将来的な展望を述べた。尚、全体をまとめたものを表1に記載した。

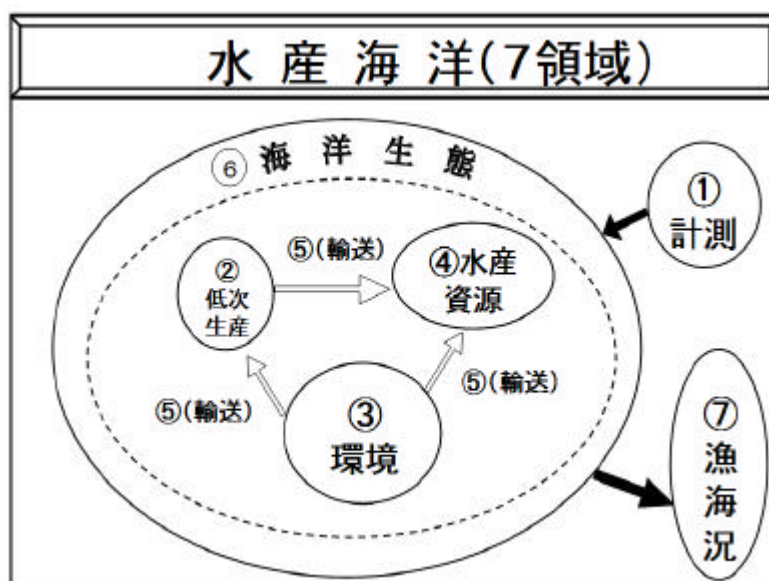


図1 水産海洋分野における7領域とその関係

2.水産海洋の7領域における現状と展望

計測

計測領域における手法には目的により種々のアプローチがある。GIS および空間解析に関わる主な計測手法は、RS(リモートセンシング)で、人工衛星・航空機などによる空からのRSと音響機器による海中におけるRSの2種がある。以下、それぞれに関し現状と展望を述べる。

空からのRS

人工衛星・航空機は種々のRS機器を搭載し目的に応じた情報を入手している。以前は人工衛星からのリモートセンシング情報による潮目、湧昇流モニタリング、漁場形成機構、回遊の研究が主流で、RS情報(衛星画像)そのものを定性的に利用した研究が多かった。これらはRSによって得られた画

像データのみで定性的な解析ができるので、特に GIS による空間解析と定義されていなかった。しかし最近では、衛星情報のほかに、マイクロ波を使った SAR、航空機からのデジタル写真、レーザーによる LIDAR 等の情報と漁業・環境に関するデジタル情報と組み合わせ、GIS をプラットフォームとした環境・水産生物の分布・密度に関する研究、漁海況予測など統合的な空間解析が活発に行われている。そのため RS と GIS を統合した空間解析は重要なトピックとなっている。以下に関連した事例を紹介する。

マイクロ波 (SAR) を使った RS は、昼夜・天候にかかわらず計測可能なため今後期待が寄せられている。例えば、グリーンランド南で SAR と GIS による風力・風向を天候、昼夜に限らず推定し船舶航行安全に寄与している[6]。そのほか、SAR と GIS による漁船・違法船(IUU)操業の監視と水産資源のモニタリング[6-7] (図 2)、GIS/LIDAR による水産生物の生息環境マッピング (ロシア)[8]、漁業モニタリングのための 10 種類のリモートセンシング・データに関する GIS による評価[9]、RS (航空デジタル写真)/GIS 技術を組み合わせた喜望峰沖のケルプ生物量評価 (南アフリカ)[10]などがある。また人工衛星と GIS を組み合わせた空間解析の事例には、サンマ回遊研究のための GIS と DMSP/OLS 画像による統合解析 (北太平洋)[11]、イカ漁船団の光による RS/GIS 漁獲努力量分布解析 (南東太平洋)[12]、日本周辺イカ漁業・資源解析[13]-[14]、ペルー沖アジ漁場形成と環境の研究[15]などがある。そのほか、GIS/RS による海洋生態系や漁業との相互作用に関する解析例も報告されている [16]-[18]。

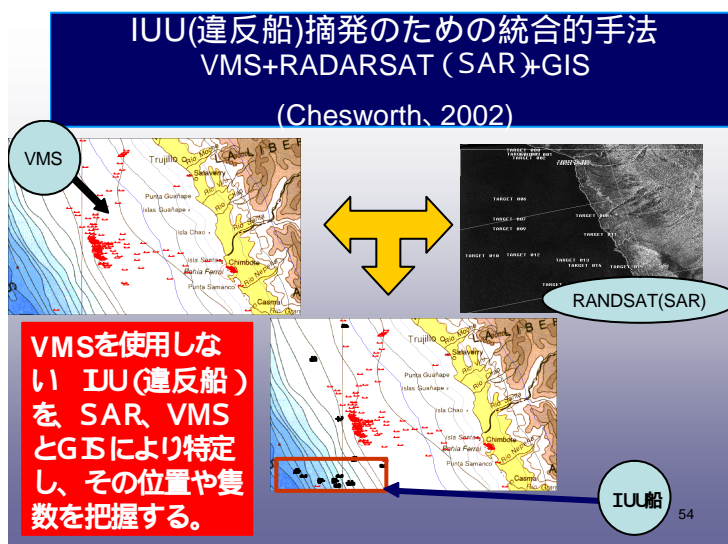


図 2 VMS,SAR および GIS を利用した IUU(違反船)探索に関する模式図

水中での RS

音響機器 (計量魚探、ソナー) で得られるデジタル情報と水深別環境情報を、GIS に取り入れ 3次元場を基盤とした、現存量推定、海底地形や底質マッピング、さらに魚群生態に関する研究が進展している。3次元情報が増加するにつれ精度の高い推定や結果が得られるようになってきている。マッピングの事例は、マルチビームソナーの海底地形の反射強度データによる底質・海底地形および海草ポシドニア藻場の GIS マッピング (チュニジア)^[19]、サイドスキャンソナーデータと GIS による海底地形マッピング^[20]などがある。また密度推定の事例では、「計量魚群探知機の 3次元 SA・SV 値データ」と「水温・生息水深情報」によるプランクトンとスケトウダラ密度昼夜別の推定 (道東沖)^[21]、水中 RS (デジタルビデオ) 情報によるキチジ密度・現存量の GIS による推定 (常磐沖)^[22]、音響調査データの GIS による現存量推定システム (ルウエー)^[23]および音響・環境データの GIS による地理統計的統合解析によるニシンの密度分布推定 (北海)^[24]などがある。

低次生産

本領域における、GIS の利活用および空間解析の現状は、他の領域に比べ事例は少なく SeaWiFS^[25]や MODIS^[26]などの衛星からの海色情報を GIS へリンクさせた解析がある。事例として、北東太平洋においてプランクトンのバイオマス・分布・群集に関する GIS 解析がある^[17]。低次生産は水産海洋分野での基礎として他の領域へ関係し影響を与えているので、海色情報と他領域の情報による総合的・有機的な解析が進展中で、今後発展が見込まれている。

海洋環境

海洋環境は、水産海洋における他領域 (水産資源、低次生産、輸送、漁海況) の変動に影響を与えるので基礎的で重要な要因である。そのため、海洋環境のみを取り扱った事例は少なく、水産資源、輸送、低次生産を組み合わせた 2次元のマッピングや複数変数のオーバーレイ解析などの定性的な事例が多かった。事例として、海底地形がまぐろはえ縄 CPUE へ及ぼす影響 (インド洋)^[27]、海洋環境の時空間変動に関するモデル化 (北海)^[28]、GIS による水温 anomalies と漁獲量の関係 (地中海)^[29]、スコティア海 (南極) における南極オキアミの環境変動解析^[30]、海洋環境がまぐろはえ縄漁業の釣獲率に与える影響 (インド洋キハダ・マチ)^{[31]-[32]}、小型浮魚生息域と海洋環境の時空間的相関関係に関する研究 (マラッカ海峡)^[33]、GIS によるマサバ漁場の動態と海洋環境の空間的相関関係に関する研究 (チリ)^[34]がある。しかし、最近ではオーバーレイ解析を数量化し変数間の定量的関係の把握を行う事例も多くなっている^{[31]-[32]}。また、事例は少ないが、複数の海洋情報をオーバーレイ (たとえば表

面水温 + 海底地形 + 流れ)し 海洋環境を総合的に把握して、漁況予測に利用している^[35]。また、海底地形を 3次元モデル (ソリッドモデル、ワイアフレームモデルなど)で表示し、それを回転することで臨場感のある可視化が可能となっている^{[36]-[37]}。さらにそれらの 3次元海底地形と電子標識 (記録型、追跡型、ポップアップ型)による水産生物の軌跡を海洋環境要因とオーバーレイし、回遊生態と海底環境との関係を把握する研究も進んでいる^{[36]、[38]}が、情報間の時空間単位が不一致になるといった問題があり、その解決が重要な課題となっている (詳細は、5.概念・ソフト・システム 情報における現状と展望参照)。また、この場合、軌跡は線的なため 3次元でも比較的容易に表示できるが、水温や塩分構造の 3次元表示や複数要因の 3次元オーバーレイ表示・コタ(等密度線)推定は情報量が多く、技術的に困難な面があり断面図を重ね合わせたりして表示している^[39]。そのため、スーパーコンピュータを駆使して行なう事例もある^[40]が、最近ではパソコンでも実行可能になりつつある。

水産資源

水産資源領域ではさらに「分布」、「資源評価モデル」、「空間数値解析」、「混獲」、「漁業管理」の 5分野に分けて検討する。

分布

水産生物の分布密度の表示は情報を地図上に視覚化する最も基本的な機能で、長年種々の GIS ないし代用ソフトウェア (主に 2次元)を用いて行われてきている。また、パソコンが普及する以前は、ソフトを使用せず手による水産資源分布図も広い意味で GIS による表示としている^{[41]-[42]}。米国では 1996 年に Magnuson-Stevens 水産資源保全管理法が改正され、Essential Fish Habitat (EFH)に関する研究が重要視されるようになった。これは、水産生物の基本的なハビタット(生息域)をマッピングする業務で、米国における多くの公官庁研究機関で GIS により実施されている。これは、水産生物の生活史・季節別の分布図作成することで水産資源漁業管理のための基礎知見を得たり EFH が脅かされている海域を特定し、対応が手遅れにならないようにするための目的で実施されている。また、米国以外でも、同様な動きが多くの国で進行している。米国の EFH 関連の実例として中部太平洋マグロ類^[43]、生物の多様性 (biodiversity) (米国)^[44]、ミシシッピ沿岸域における水産生物の EFH に関する報告^[45]がある。そのほか関係した事例として、約 40 年における 50 万件の体長データに基づくサママグロのサイズ別分布図^[46]、全世界における水産資源の漁獲量・漁獲努力量のマッピング^[47]、海洋版 GIS^{[48]-[49]}による排他的経済水域における水産資源分布図 (マレーシア)^[50]、鯨目視調査データを GIS で解析しアカボウクジラとマッコウクジラの分布特性 (生息域)の特徴 (ニューイングランド沖)^[51]、小型浮魚生残に必要な環境要因の地図化 (カリフォルニア沖)^[52]、GIS によるアフリカヤリイ

カ分布に関する時空間解析 (南アフリカ)⁵³⁾などがある。

水産生物の密度分布と海洋環境情報を用いGISによるHSI (Habitat Suitability Index: 生息域適性指標)に関する研究事例も徐々に報告されつつある。HSIは、保全生態学でよく用いられるもので、数学的アプローチと統計的アプローチがある。数学的アプローチは、メッシュ毎に種々の環境に関する平均的生息適性指標を簡単な数式により一元化し、総合的な最適指標を計算しそれを地図化し生息域最適域を表示する方法 (図3)で、ドーバー海峡シタビラメ⁵⁴⁾、ミナミマグロ^{38), [55]}、太平洋クロマグロ^[38]などへの適応例がある。一方、統計的アプローチは、空間単位 (メッシュ) (例えば1度区画や5度区画)と時間単位 (たとえば月、四半期など)をサンプリングユニットとして最適生息指標を推定しMAP化する手法である。すなわち、各メッシュにおけるCPUEなどの密度指標は通常、年、季節、環境などに影響されているため、GLMなどの多変量解析手法で標準化し、偏りのない指標をメッシュ毎に計算しその値をGISで地図化する手法である。オレンジラッフィーとキハダに関し通常のGAMとGLMで行なった事例⁵⁶⁾と、データの空間構造を考慮し空間GLMを用いてインド洋キハダに関し行なった事例⁵⁷⁾がある。

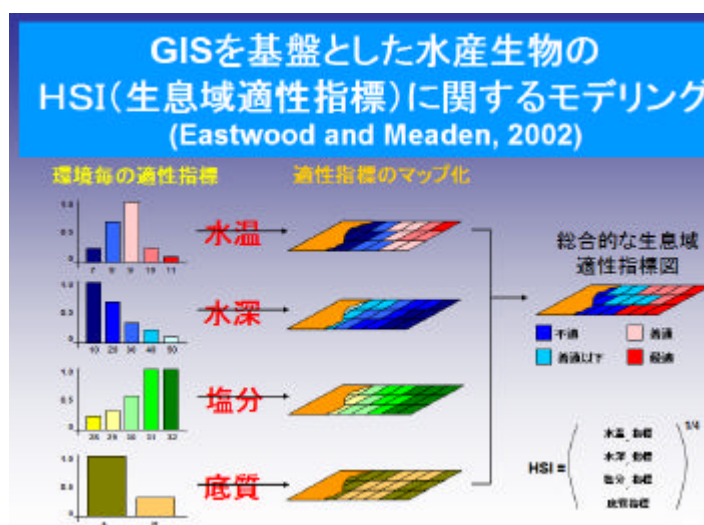


図3 GISを基盤とした水産生物のHSI (生息域最適指標) MAP化

水産資源モデル

水産資源モデルで使用されるデータ (漁獲量、漁獲努力量、年齢組成、成熟、成長パターンなど)は、地理的位置 (geo-reference) を持った情報で、通常その性質は空間 (海域) により異質である。従って、これらの変動を考慮した資源解析はより現実的であるが、通常資源モデル解析では一般に全ての空間における要因をプールして行われている。そのため、空間におけるピクセル単位の情報や情

報間の距離を考慮した水産資源評価モデルの必要性が、認識されつつある。試験段階であるが、GIS を基盤とした、プロダクションモデル、年齢組成モデルが開発されつつある。プロダクションモデル事例では、地中海の底魚類のCPUE の空間分布と、港からの距離、網の深さの地理情報を含んだ漁獲努力量データを用いGIS によるシェーファー型拡張プロダクションモデル解析がある^[58]。また、VPA タイプの事例では、南アフリカにおける panga 資源の解析に関し、年齢組成の空間変動を Age structure model に取り込み、GIS により行う方法を開発した報告がある^[59]。両者ともモデルは開発途上で、今後の進展が期待されている。

空間数値解析

GIS を利用してデータの空間的構造 (地理的距離、面積) を考慮した空間統計解析 (geostatistics) 、空間統計検定、空間数理解析手法や密度・資源量推定が発展しつつある。たとえば、資源量指数 (例 :CPUE、計量魚探の体積後方散乱強度 SV 値など) から等密度面に関し、GIS をプラットフォームとしてクリギング (空間的内挿法) で推定し、面積を掛け累計し資源量を推定し、さらに geostatistics でその分散を推定する方法がある。

空間数理解析および統計検定・解析では次の事例がある。米国ニューイングランドの漁業管理においては、GIS と mathematical programming model を組み合わせて、空間 (メッシュ) を考慮した複数種の底魚漁業における種々のパラメータに関する最適化^[60]、米国メイン州ではウニ資源調査をするため、GIS による最適なサンプリング計画を決定する方法を開発している^[61]。空間統計検定では、通常の t 検定にジオスタティスティクス概念を組み込み、空間的に分布する 2 種グループの平均密度の有意差を検定する空間 t -テストを開発し、それを太平洋オヒョウ CPUE 分布データに応用した^[62]。その結果、通常の t 検定では有意差がなかったが、空間 t 検定では有意差が生ずるといった逆の結果が得られた。また、GLM など水産生物の CPUE を標準化する場合、CPUE の独立性が仮定されているが、水産生物の個体間距離が近い場合、隣接した CPUE は同様の性質を持つため、仮定 (独立性) が満足されない。この問題に対処するため、CPUE の空間的自己相関を組み込んだ Spatial-GLM を使って、インド洋キハダ CPUE の標準化を試みた^[63]。

次に、空間構造を考慮した資源量・密度推定では以下の事例がある。GIS を基盤とした geoduck clam 資源量推定 (カナダ)^[64]、GIS を基盤とした底魚資源量推定 (地中海)^[65]、GIS を用いた非ユークリッド場における資源量推定 (米国メリーランド州)^[66]、デジタル写真情報から海草の資源量の GIS による推定^[67]、サーファー (ソフトウェア) を GIS に取り込み linear variogram によるクリギング (空間内挿) により資源密度に関するコンタ (等密度面) 推定などがある^[50]。空間内挿法には、minimum

curvature, nearest neighbor, polynomial regression、Shepard's method などの手法があるが、分布状況、メッシュサイズなどの条件でコンタ推定結果は大きく変わる。今後、分布パターンや解像度に応じて、どのクリギング法を使用すれば最も現実的なコンタ推定ができるのか、空間数理統計専門家とのクライテリアに関する共同研究が必須である。

また、音響調査データによる現存量推定でも GIS やジオスタティスティクスを応用した手法が発展しつつある。以下に幾つかの事例を紹介する。マレーシア EEZ 内における音響資源調査を計量魚探 (FURUNO FQ70) により行い、SV データを海洋版 GIS (Marine Explorer) ^{[48],[49]} を使い現存量を推定した^[50]。豪州南西部においてミナミマグロ幼魚加入量の資源調査を全周ソナーにより行っている。すなわち、ソナー士が発見し推定した魚群ト数を基に、DISTANCE ^[68] (ライントランスセクト法を解析するソフトウェア) と海洋版 GIS を組み合わせ、調査期間中における 1 歳魚加入群の資源量を推定した^[69]。(淡水魚ではあるが)音響調査データによる GIS を基盤とした 3D クリギングによる現存量推定 (オーストラリア) ^[70] や対話型 GIS による資源量の推定が試みられている (ルウエー) ^[23]。

混獲管理

GIS で混獲生物の時空間分布を把握し、混獲生物の生息する海域での操業を避けることで混獲緩和対策を実施する国や漁業機関が増加している。特に管理の厳しい北米で活用が多い。混獲種・漁獲対象種の平均的状況における情報による活用が主流だが、環境変動による分布変動も考慮した手法も進展中である。事例としては、ベーリング海のオヒョウはえ縄漁業における海鳥混獲緩和のためにデータベース構築および GIS による海鳥分布の研究・混獲緩和技術開発 (北太平洋) ^[71]、混獲緩和解析ツールとしての GIS (米国アラスカ州) ^[72]、アラスカ湾底魚漁業の混獲種 (カニとサケ) 漁獲緩和に関する GIS による時空間別サンクチュアリー (保護区) の特定^[73] およびネズミイルカ混獲回避のための GIS による漁業管理 (米国メイン州ハドック漁業) ^[74] などがある。

漁業管理

漁業管理分野では、行政において GIS の利活用が最近年活発化しており特に漁獲努力量・漁船モニタリングでの応用が多い。事例として、メルレーサ・ホール漁船分布の時空間変動に関する GIS 解析 (ナムビア) ^[75]、スクーター漁業の漁獲努力量の GIS による空間的分布 (セーシェル) ^[76]、GIS による甲殻類トロール船モニター・システム (ポルトガル) ^{[6],[7]}、漁獲努力量の空間モデルネットワーク (地中海) ^[77] がある。特に、SAR (ランドサット衛星) 前出の VMS および GIS による IUU (違反船) 摘発 ^[6] や漁船 (操業位置) を監視するため VMS/GPS や C-MAP (電子チャート) と GIS をリンクさせた手法

[78]が、地域漁業管理機関 (たとえばFFA、NAFO など)や外国船が自国 EEZ で操業する漁業国で活発になっている (たとえば、ニュージーランド⁶⁾、セーシェルなど。インドやモーリシャスは計画中)⁹⁾。これとは別に、混獲、漁船経営、経済要因、最適漁獲を総合的に考慮した GIS による生態系管理手法の開発が米国で進展している。GIS による漁獲努力量管理 (米国ジョージバンク)⁸⁰⁾、生態系漁業管理 (ニューイングランド沖)⁸¹⁾、および海洋漁業の実態とそれに依存する沿岸域経済状況の包括的マッピング (豪州)⁸²⁾、および 沿岸漁業振興 (日本)¹¹⁸⁾に関する事例がある。

輸送

水産海洋の輸送領域においては、特に水産動物の動きを GIS で解析しモデル化する手法や、電子標識 (記録型、追跡型、ポップアップ型)情報による水産生物の動きと環境情報 (流れ、水温ほか)を組み込んだ 3D-GIS 解析が進展中である。しかし、移動情報と環境情報の時空間スケールが異なる場合が多くその統一化が解析上の問題となっている。事例としては、記録型標識データと海洋環境データの GIS による移動生態に関する統合的解析 (中縄マンタ・太平洋クロマグロ)³⁶⁾、³⁸⁾、GIS による回遊魚の熱代謝 Cost-Path モデリング (米国・大西洋さけ類)⁸³⁾および水産生物の動きに関する GIS 解析・ジオスタティスティクス解析 (米国アラスカ州)⁸⁴⁾などがある。

海洋生態系

海洋生態系領域では、複数領域における多種多様な情報の相互作用に関するオーバレイによる定性的解析が多かったが、最近はその結果を基にした数値解析や空間的なシミュレーションに関する研究も増えてきている。事例として、GIS による北太平洋のサケ生態系に関する研究 (米国)⁸⁵⁾、RS/GIS によるベンゲラ生態系の研究 (フランス・南アフリカ)⁸⁶⁾、SOMBASE (生物の多様性と生態に関する GIS による地理学的解析) (英国)⁸⁷⁾、東南アジアの危機に瀕したサンゴ礁の脆弱性に関する GIS マッピング (ICLARM)⁸⁸⁾、GIS による小型浮魚類分布とエル・ニーニョとの相互関係に関する研究 (インドネシア)⁸⁹⁾、GIS によるインド洋キハダ・マグチの分布に影響を与える環境要因の生活史別検討および最適環境要因スペクトラム作成³¹⁾-³²⁾などがある。また、水産生物の資源量シミュレーションに使われる ECOPATH/ECOSIM は点推定であるが、それを空間に拡張した GIS/ECOSPACE による空間的なシミュレーションも開発途上にある⁹⁰⁾。

ところで、海洋生態系を考慮した資源・漁業管理は、1995 年に FAO の「責任ある漁業」規範が世界の全漁業国で採択されたことにより、現在重要な課題となっている。そのため、各漁業国の行政機関では、責任ある漁業を果たすため海洋生態系と調和した管理手法に関し GIS を基盤として開発して

いる。例えば、米国では禁漁海域を含む複数の底魚魚種管理及び漁船の収益を考慮したエコシステム管理に対し GIS を導入しつつある (米国ジョージバンク)^[91]。また、メキシコでは海洋生態系管理手法を Ecopath (生態系数値解析ソフトウェア) と GIS を組み合わせた方法により開発中である (メキシコ湾)^[92]。

漁海況

漁海況領域は、水産海洋分野全領域の出口として総合的な空間解析が基礎となるため、多くのパラメータを組み込み GIS の特性を十分活かした技術が進展中である。特に、水産生物の空間分布・密度パターン予測技術は、その前段階で定性解析・数値モデル化が必要であるが、今までは定性解析のみによる直感的な漁海況が主流であった。しかし、多くの情報のデジタル化が可能となり空間数値解析・モデル解析が軌道に乗りつつあり、それに伴いより精度の高い漁海況予測が開発されつつある。事例としては、日本海スルメイカの産卵海域を、人工衛星からの表面水温と海底地形情報を使用し GIS で予測する方法の開発^[93]、日本周辺における小型浮魚類の漁場予測^[35]、GIS による漁海況予測システム (黒海)^[94]、リモートセンシングと GIS による漁場予測技術の開発 (チリ)^[95]などがある。

3. 概念およびソフトシステムに関する現状と展望

概念

水産海洋分野における GIS の概念 (考え方) も、最近急速に変化してきている。水産海洋分野における GIS は 1980 年ころより陸用ソフトにより利用されてきているが、1990 年代後半まで CAD タイプのお絵かきツール・地理情報目録ツールといった固定概念が根強かった。しかし、最近では空間数値解析、空間モデリング、予測なども GIS で実行できるようになり、それらの機能をもった水産海洋専用の GIS も開発されたため、GIS は単なるマッピングツールから脱皮し、総合的空間解析ツール (情報 + 可視化 + 解析)、さらに 2D・4D におけるリアルワールドの再現・予測を目指した「知的創造ツール」として変貌しつつある。これらの概念の変化を論じた参考文献として、「GIS が美的マッピングツールという誤認識を暴く^[96]」、「水産科学における GIS 新世紀における展望」(第 1 回 GIS シンポジウム基調講演)^[97]、GIS による水産海洋情報空間解析のクリティカルレビュー」(第 2 回基調講演)^[98]および本シンポジウムの基調講演^[99]などがある。

第2回GISシンポジウムの基調講演では、GISをアメーバにたとえ、GISの3機能(情報・可視化・空間解析)は、種々の問題解決にむけ三位一体で多様に進化しているとその概念を説明している。すなわち、GISは、データベースを基礎として、可視化、空間解析の3機能をもっており、ある問題に関しては、データベースと可視化で解決できるが、別な問題は、空間数値解析も必要とする。つまり、GISは空間に関する問題解決に向け、必要に応じ3方向の次元に向け丁度アメーバのようにさまざま方向へ運動しているとその概念を表現している(図4)。

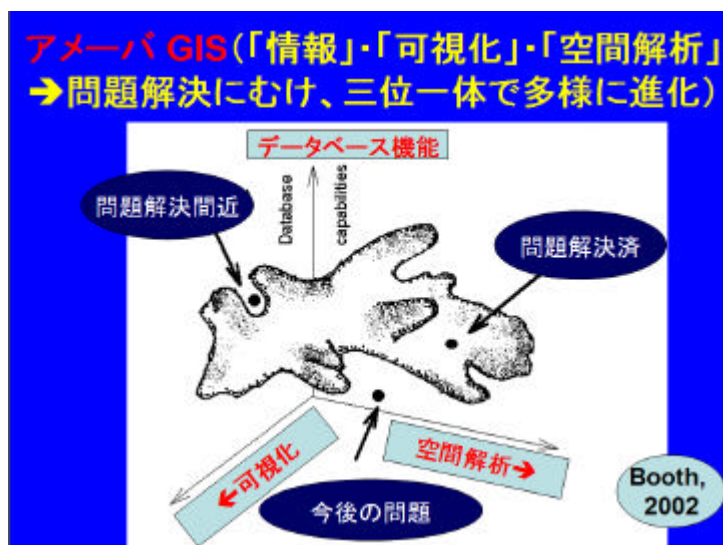


図4 (水産海洋における)GIS機能をアメーバにたとえた概念図

ソフト・システム

水産海洋分野におけるGISの利活用・普及を遅らせている原因の一つとして、水産海洋分野特有の情報を処理できる専用GISソフトが皆無であった点である。実際、過去2回のGISシンポジウムで紹介された研究例の90%以上は、陸専用ソフトウェアを使用しており、多くの場合GIS専任技師1-2名が科学者をサポートする形で研究が進行している。日本の研究・ユーザー環境では欧米のようにGIS専用テクニシャンを雇う予算的余裕がないので、研究者自らが陸用GISソフトを使用する必要がある。しかし、一般にそれらのソフトは習熟するまで多くの時間がかかる。また、予算が確保できた場合には、GIS専門会社へユーザーの対象海域におけるアプリケーションの作成を依頼する場合も多い。この方法では、多額の経費が必要でしかも汎用性もないという欠点がある。これらの要因が水産海洋分野でのGIS利活用を遅らせている主な原因となっている。

水産海洋情報へ利用される一般陸用ソフトも市販され多く利用されている。しかしそれらはGISのある機能を特化したものが多い。データベースではMS/ACCESS、オラクルほか、表示ではMAP/INFO、

SAS など、コンタ推定では Surfer、Noesys Transform、衛星情報では MultiSpec、ERDAS、SEADAS (フリー) TeraScan など、鉛直断面作図では spy glass ほか、海底地形 (データベース) では GEBCO、電子海図では ルウエーの C-MAP、空間数値解析では S-Plus などの特化タイプ専用ソフト、アプリケーションが充実している。しかし、GIS では一枚の電子地図上で全てのタイプ (機能) に関する空間解析を行うことが必要条件 (理想的) である。空間解析のタイプが異なるごとにそれに合った特化ソフトを使用するようでは、総合的解析が効率的に実行できないので真の GIS 解析とは言いがたい。また、総合的陸用 GIS ソフトもあり (ArcInfo、ArcView、ほか) 頻繁に利用されているが、海洋水産情報へ特化されていないため、目的とする水産海洋分野の空間解析を実行するまでに相当な準備が必要となっている。また、自分で準備ができない場合には、専門会社へ外注する場合も多い。また 3D 機能も含んだ無料または廉価な GIS ソフトないし代用ソフト (GRASS、GMT など) も多種あるが、水産海洋情報に適応させるまでは、同様な理由で準備に相当時間がかかるようである^{[39]、[100]}。

以上のことを踏まえ、自分で GIS を駆使できる場合を除き、理想的には全ての海洋水産情報に対応でき、かつ特有の空間解析が 3 次元場で実行可能な専用 GIS ソフトウェアが必要となる。しかも簡単に使用できるものでなければ普及・汎用化しない。これらの欠点をカバーする水産海洋関連する GIS ソフトが、過去の 2 回の GIS シンポジウムで 3 件紹介された。海洋の 4 D 情報を処理する GIS ソフト^[101]、計量魚群探知機情報の視覚化と現存量推定ための GIS ソフト^{[21]、[102]}、および水産・海洋情報専用 GIS ソフトウェアである^{[48] - [49]}。最後のソフトには、全世界の等深線が含まれており水産海洋の基礎情報から衛星情報までプログラミングなしで容易に取り扱うことができ、前述の特化型ソフトの機能を全てカバーしているというメリットがあり、今後の進展が期待されている。

さらに GIS 利用法に関する展望としては、stand alone (個人利用) としての GIS は、前述のような専用ソフトの活用の普及・汎用化が考えられる。しかし、複数のユーザーが共通の GIS を効率的・経済的に利用するには、今後インターネット (WEB) GIS が発展していくと見られる^[103]。インターネット GIS には次の 2 種がある。一つは、管理 (プロバイダー) 側がエンジン (GIS) とデータを持ち、そのシステムの中でエンドユーザーがデータを選択し一定の目的で主に定性的な GIS 解析を実行するタイプである。このシステムを利用すれば、たとえば国や国際機関の水産統計処理および情報の可視化を行う際、標準化された GIS MAP が得られるかつ共有できるメリットがある。すでに幾つかの機関で実施されているが、現在の実験段階のところが多い。事例として国連 FAO 水産局の FGIS^[104]、マレーシアプトラ大学 (マラッカ海峡水産資源・環境プロジェクト)^[105]、米国ハワイ周辺まぐろはえ縄情報検索システム^[106]、水産研究のための WEB GIS システム (米国)^[107] などがある。その他、海洋情報では米国 (NOAA、NASA など) を中心に同様なシステムが数多く広く日常的に利用されている。インターネット GIS のもう 1 つのタイプは、ユーザーグループのエンジンとしての GIS が中枢にあり、ユーザーは自分の

情報を自由にその GIS を解してユーザー自身で独立な空間解析を実施できる方法である。したがって、前者タイプでは、エンジン (GIS) 情報共に共有し標準化された空間解析が実行できるが、後者タイプでは、エンジン (GIS ソフト) をインターネットで複数のユーザーで共有し、データはユーザー自身のものを使用し独立した空間解析を実行できる、といった違いがある。

最近漁船の操業に係る GIS システムが実用化されている。まず、漁業者専用 GIS システムや電子ログと GIS をリンクしたシステム (FishTrek および OceanLogic) (米国アラスカ州)^{[108]-[109]}、FishCAM (英国)^[110]、OLFISH (南アフリカ)^[111]が開発されている。これらは、GPS を組み込んだ A4 サイズの GIS として現場で好漁場に関わる情報を蓄積し漁場予測に利用されており、他の漁業国へも波及しつつある。一方、国や漁業管理機関が、漁船の違反操業をモニターするため、VMS、RS、電子ログと GIS をリンクさせたシステムが発展している。例えば、GeoCrust (ポルトガル)^[112]や ODFOMS (英国)^[113]といったシステムがある (詳細は、本稿「水産資源 漁業管理」を参照)。これは、管理側にとって VMS による操業位置以外の魚種、漁獲量、漁獲努力量、サイズ規制に関する違反行為を、電子ログを義務づけ、操業後 GIS 解析によりモニターするシステムである。また、電子ログは精度の高い操業活動の情報を収集しデータ処理を迅速化し、行政担当機関にとって漁業統計年鑑を短期間に発行できるメリットがあり、現在トライアルで実施されている。

その他の関連システムとして、水揚げ調査、サンプリングプログラムはパーム (ポケット型) PC に GPS・GIS を組み込んだ携帯 GIS^[114]が開発されフィールドで使用されつつある。また、水産海洋 GIS で使用する全球レベルにおける海洋情報のデータベースも整備されてきている。例えば、フランス水産研究機関 (RD) の GAO (海洋情報データベース) は大西洋・インド洋の海洋情報^[115]を、遠洋水産研究所海洋・南大洋部データベースは三大洋をカバーしている^[116]。また、水産海洋情報における時空間単位の不一致の問題があり (図 5)、せっかくある貴重な情報も GIS 解析をする際、単位の大きいものに揃える必要となり十分に利用できないケースが多い。そのため、情報の国際的規格化が重要な課題となっている^{[98], [117]}。

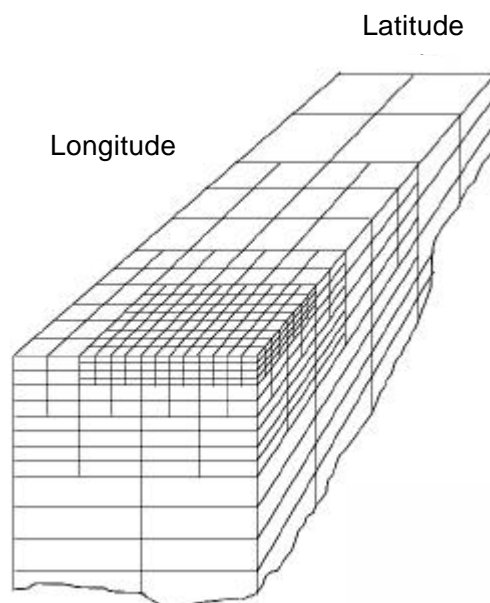


図5 水産海洋情報 (緯度、経度、深度)における空間単位 (リゾリューション)の種類²⁾。
 (GISによる空間解析において標準的なサンプリングユニットを考察するための模式図)

4. おわりに

GISは、基本的には空間解析の道具としての役割を果たすツールである。しかし、本稿で紹介したようにGISの機能が多方面で進化してきているので、以前のような単純なお絵かきソフトから脱却し、「複雑な時空間情報のデータマイニング」および「創造性・新発見」ツールとしてその価値が、世界の産・官・学で認識されつつある。その意味で、水産・海洋分野において、だれでもが使いやすい水産海洋専用総合型GISソフトウェアが普及し汎用化すれば、準備までの時間やプログラミングに費やす膨大な時間がなくなり、科学者、管理者、教育の場において空間解析を専門家に頼ることなくユーザー自身で短時間に行うことができるようになる。そうすればGIS解析結果の吟味・再解析のためのフィードバックなどの本質的な作業により時間を割り当てることができる。それにより、早く正確で質の高い空間解析が可能となる。例えば水産資源管理の場合には適切なdecision makingが迅速に下せるようになりGISによる空間解析は今後ますます活性化することになる。21世紀に直面している食糧危機を緩和するためにも、持続的な水産資源の生産管理方法の開発が必要である。また同時に、海洋生態系に調和した責任ある漁業も課せられている。例えば、通常の資源解析で算出したTAC、MSYなどを、関係する要因(禁漁期・海域、混獲、複数魚種漁業、漁船経営、食害、幼魚・産卵魚保護海域など)を考慮し、漁獲量、漁獲努力量を時空間に振分けるような統合的エコシステム漁業管理の実践もGISを駆使すれば可能となろう。そのためには、水産海洋分野の全領域に対応したツールとしてのGIS、特に水産海洋専用総合型GISの必要性は今後ますます高まるものと考えられる。

表1 水産海洋分野におけるGIS空間解析の現状と展望」の174編の文献に基づくまとめ

領域(*) / 副領域	現状を把握するために使用した参考資料における代表的文献の短縮題名	現状と展望	
(1) 計測 15%	音響調査 BEAM音響調査データのGISによる現存量推定システム(ノルウェー) サイドスキャンソナーデータに基づく海底地形マッピング(米国カリフォルニア) 音響環境データの地理統計的統合解析によるニシンの密度分布推定(北海) マルチビームソナーとGISによる海草ポシニア藻場分布地図化(チュニジア)	以前は、RS情報(衛星画像)そのものを、定性的に利用した研究が主流であった。最近では、衛星画像はもとより、その他のRS(SAR画像、航空機からのデジタル写真、LIDAR等)のデジタル情報を、GISに取り入れた、環境・水産生物の分布変動に関する研究が増えてきている。また、音響調査(計量魚探、ソナー)のデジタル情報や水深別環境情報を、GISに取り入れ、3次元場を基盤とした、現存量推定、海底地形マッピング、さらに魚群生態に関する研究も、進展している。	
	RS (リモートセンシング) GIS/LIDARによる水産生物の生息環境マッピング(ロシア) 漁業のためのリモートセンシング・データ(10種データのGISによる検討) RS/GIS技術を使った西ケープ海岸沖のケルプ生物量評価(南アフリカ) サンマ回遊研究のためのGISとDMSP/OLS画像による統合解析(北太平洋) イカ漁船の光によるRS/GIS漁獲努力量分布解析(東太平洋) SARによる漁船操業の監視と水産資源のモニタリング(英国・カナダ)		
(2) 低次生産 1%	プランクトンのバイオマス・分布・群集に関するGIS解析(北東太平洋)	事例は少ないが、今後増加が見込まれる。	
(3) 海洋環境 13%	海底地形がまぐろはえ縄漁業の釣獲率に与える影響(インド洋キルガ・ムイ) SSTと海底地形の間で生態動態を考察するための空間的技術(米国) 海水温アノマリーと漁獲分布の空間相関に関するGIS解析(地中海) スコティア海(南極)における南極オキアミの環境変動解析(日本) 小型浮魚生息域と海洋環境の時空間的相関関係に関する研究(マラッカ海峡) GISによるマサバ漁場の動態と海洋環境の空間的相関関係に関する研究	環境のみを取り扱った論文は皆無で、これと水産資源、輸送、低次生産を組み合わせた研究例が多い。今までは、2次元オーバレイ解析が主流であったが、今後は、3次元解析、また数値解析による、定量的関係の把握や予測に関する基礎研究が進展しよう。	
(4) 水産資源 42%	分布 マコガレイの空間的分布に関する調査：地勢統計学的アプローチ(ドイツ) 海洋版GISによる排他的経済水域における水産資源分布図(マレーシア) アカボウフナとマッコウクジラの分布推定(米国ボストン沖) 小型浮魚生残に必要な環境要因の地図化(カリフォルニア沖) アフリカヤリイカの分布に関する時空間解析(南アフリカ)	水産海洋情報は、海域により異質なため、空間を考慮した水産資源評価モデルの必要性が、広く認識されてきている。試験段階であるが、GISを基盤とした、プロダクションモデル、年齢組成モデルが開発されつつある。さらに、GISと空間統計手法を組み合わせた、密度推定・豊度推定に関する研究が、第2回シンポジウム(2002)で、飛躍的に増加した。	
	数値解析・モデル GISを用いた非ユークリッド場における資源量推定(米国メリーランド州) 空間的相関のある情報に対する地理統計学的t-テスト(太平洋オヒョウ) 生態系漁業管理のためのGISと数値的プログラミングによるアプローチ(米国) GISを基盤とした年齢組成資源評価モデル(南アフリカ) GISをプラットフォームにした余剰生産モデル、底魚資源の空間的評価(伊) 水産資源の空間的変動のモデル化とヴァリオグラム解析(米国) GISによるサンプリング計画の最適条件決定(米国メイン州ウニ資源調査) ミナミマグロ加入量変動のGISによる空間解析(日本)		
	混獲 底はえ縄船で混獲される海鳥のGISによる混獲緩和技術開発(北太平洋) 混獲緩和解析ツールとしてのGIS(米国アラスカ州) 底魚漁業対象魚種の混獲を高めるためのGISによる技術開発(米)		管理の厳しい北米で活用が多い。混獲種・漁獲対象種の平均的状況における活用が主流だが、環境変動を考慮した手法も進展中。
	管理 GISによる禁漁海域決定戦略および生態系漁業管理(ニューイングランド沖) メルルーサ・トロール漁船分布の時空間変動に関するGIS解析(ナムビア) 海洋漁業の実態とそれに依存する沿岸域経済状況の包括的マッピング(豪州) スクナー漁業の漁獲努力量のGISによる空間的分布(セーシェル) GISによる甲殻類トロール船モニター・システム(ポルトガル) 地中海西部における商業漁業対象種の漁場地図製作(イタリア)		VMS/GPSとGISをリンクさせた漁船監視システムが開発途上にある。電子ログとGISによる、新たな漁業情報収集システムも、欧米で開発段階である。混獲、漁船経営、最適漁獲を、総合的に考慮したGISによる生態系管理手法の開発が、米国で進展している。
(5) 輸送 3%	GISによる回遊魚の軌代謝 Cost-Path モデリング(米国：大西洋サケ類) 記録型標識データと海洋環境データのGISによる統合的解析(マンタの事例) 水産生物の動きに関するGIS解析および地理統計学的解析(米国アラスカ州)	対象水産生物の動きの時空間(特に水深)スケールに直接対応した環境情報(流れ・水温ほか)を用いた、3D-GIS解析が進展中。	
(6) 海洋生態 10%	GISによる北太平洋のサケ生態系プロジェクト(米国) メキシコ湾生態系研究：漁業管理のためのGIS技術の応用(メキシコ・加) RS/GISによるベンゲラ生態系研究(フランス・南アフリカ) SOMBASE：生物の多様性と生態に関するGISによる地理学的解析(英国) 東南アジアの危機に瀕したサンゴ礁：被害状況GISマッピング事業(SEAFDEC) 小型浮魚類分布とエル・ニーニョとの相互関係(インドネシア)	多種多様な情報から、空間的相関関係を探るため、主にオーバレイによる試行段階にある。ECOPATH/ECOSIMを拡張したGIS/ECOSPACEによる空間的シミュレーションも開発途上にある。今後は、海洋生態管理手法として、行政でも重要なツールとなる。	
(7) 漁海況 4%	GISによる漁海況予測システム(黒海) リモートセンシングとGISによる漁場予測技術の開発(チリ)	海洋生態の全領域が関係するため、GISの特性を十分活かした技術が進展中である。	
GIS 12%	概念 GISが美的マッピングツールという誤認識を暴く(南アフリカ) 水産科学におけるGIS新世紀における展望(第1回シンポジウム基調講演)(英) GISによる水産海洋情報空間解析のクリティカルレビュー(第2回基調講演)	GISはマッピングツールから空間解析ツールへ変貌し、空間統計・数値解析を組み合わせ、定量的関係を把握する方向に進んでいる。	
	ソフトウェア & システム GAO：海洋情報データベース及びソフトウェア(大西洋・インド洋) 計量魚群探知機情報の視覚化と現存量推定のためのGISシステム(日本) GISにリンクした電子ログブックの開発(米国・カナダ・南アフリカ) Marine Explorer(水産海洋専用GIS)(日本) GeoCrust1.0(漁業データ専用GIS)・VMS・ログブックシステム(ポルトガル) VIBES & FishTrek：漁業者専用のGIS(A4サイズの海洋情報システム)(米)		

(*) %は、各領域における文献出現のパーセント頻度を示す。

5. 謝辞

本稿を執筆するにあたり、次の方々に大変お世話になったのでこの場を借りて深謝します (敬称略で last name のアルファベット 順で記載)。Tony BOOTH (南アフリカ:ローズ大学)、Simon CHESWORTH (英国 RANDARSAT 社)、Paul EASTWOOD (英国 Lowestoft 水産研究所)、濱野 明 (水産大学校)、清藤 秀理 (北海道大学)、Zarine KEMP (英国 :Kent大学)、斎藤 克弥 (漁業情報サービスセンター)、柴 友紀子 (遠洋水産研究所 臨時技術職員)、南場 隆矢 (株 国際水産技術開発)、田中 美弥子 (遠洋水産研究所 臨時技術職員)。

参考資料

[注]本稿では、Fishery/Aquatic GIS Research Group 主催による過去 2回の GIS シンポジウムにおける要旨集および論文集 (下記[1]-[4] <http://www.esl.co.jp/Sympo/index.htm>)からの文献を数多く引用した。そのため、それらから引用した論文は、例えば [23] Parke et al. (1999) : 論文タイトル. [1]: 54-56.のように記載した。

[1] Nishida (ed.) (1999): Abstract Proceedings of the First International Symposium on GIS in Fishery Sciences (水産科学における第 1 回 GIS 国際シンポジウム要旨集) (Seattle, Washington, USA). : 109pp.

[2] Nishida et al. (2001) (eds.): Proceedings of the First International Symposium on GIS in Fishery Sciences (水産科学における第 1 回 GIS 国際シンポジウム論文集) :486pp.

[3] Nishida and Shiba (eds.) (2002): Abstract Proceedings of the Second International Symposium on GIS/Spatial analyses in Fishery and Aquatic Sciences (水産科学・水圏生態分野における第 2 回 GIS 空間解析国際シンポジウム要旨集) (Univ. of Sussex, UK). : 106pp.

[4] Nishida et al. (eds.) (2004): Proceedings of the Second International Symposium on GIS/Spatial analyses in Fishery and Aquatic Sciences (水産科学・水圏生態分野における第 2 回 GIS 空間解析国際シンポジウム論文集) (Univ. of Sussex, UK). : (編集中)

[5]水産海洋学会(2003):水産海洋学会創立 40 周年記念大会講演要旨集. 217pp.

[6] Chesworth (2002) : Space-based surveillance and the role of SAR for operational fisheries and aquatic resource monitoring. [3]:11.

[7] Afonso-Dias (2004): A dedicated GIS to estimate and map fishing effort and landings per unit effort for the Portuguese crustacean trawl fleet. [4].

- [8] Shatoshin (Science and Technical Firm Complex Systems, Russia)(私信)
- [9] Rogers and Simpson (1999): Remotely-sensed Data Products For the Fisheries: A Review and Synthesis of over 10 Different Data Sources and Their Potential Use in the Fisheries. [1]:72.
- [10] Sampson et al. (2001) : A comparison of manual and GIS methods to estimate kelp biomass on the Norhtern Cape coast of South Africa. [2]:157-166.
- [11] Saitoh et al. (1999): An Application of Marine GIS and DMSP/OLS Visible Images to Study on Migration Dynamics of Pacific Saury off Sanriku, Northwestern North Pacific. [1]:18.
- [12] Waluda (2002): Using lights to track squid fishing fleets from space. [3]: 10.
- [13] Kiyufuji et al. (1999): Analysis of Japanese Common Squid Fishing Boat Distribution around Japan by DMSP/OLS Visible Data. [1]:70.
- [14] Kiyofuji et al. (2004): Spatial relationships between Japanese common squid (*Todarodes pacificus*) fishing grounds and fishing ports-An analysis using remote sensing and geographical information system. [4]
- [15] Pena et al. (1999): Study of Spatial Dynamics of Jack Mackerel Fishing Grounds and Environmental Conditions Using a GIS. [1]:21.
- [16] Rodgers et al. (1999): The North Pacific Rim Salmon Ecosystem Project. [1]:19.
- [17]Brodeur et al. (1999): Analysis of Ichthyoplankton Abundance, Distribution and Species Associations in the Western Gulf of Alaska and Bering Sea. [1]:96.
- [18]Freon et al. (1999): The VIBES Project -Combining a Fishery GIS with 3D and Individual-based Models. [1]:100.
- [19] Komatsu et al. (2004): Mapping Posidonia meadows on Messioua Bank off Zarzis, Tunisia, using multi-beam sonar and GIS. [4].
- [20] Friedlander et al. (1999): Sidescan Sonar Mapping of Benthic Trawl Marks on the Shelf and Slope off Northern California - A Comparison with Fishing Effort. [1]:98.
- [21] Miyashita et al. (2002)Development of visualization system for fish and plankton stock assessment using a quantitative echo sounder. [3]:17.
- [22] Watanabe and Watanabe (2004): GIS analysis for abundance estimation of kichiji rockfish, *Sebastolobus macrochir* G., on the continental slope of Jo-ban fishing ground, northeastern Japan: analysis of images recorded with the towed video camera system using GIS. [4].
- [23] Totland and Godo (2001): BEAM - an interactive GIS application for acoustic abundance estimation. [2]: 195-201.
- [24]Gimano and Fernandes (2004): A stochastic approach to modelling spatial uncertainty in the distribution of pre-spawning North Sea Herring while accounting for environmental variables. [4].

- [25] <http://simbios.gsfc.nasa.gov/>
- [26] <http://modis.gsfc.nasa.gov/>
- [27] Nishida et al. (2004): Study of bathymetry effects on the nominal hooking rates of yellowfin tuna (*Thunnus albacares*) and bigeye tuna (*Thunnus obesus*) exploited by the Japanese tuna longline fisheries in the Indian Ocean. [4].
- [28] Lucas and Budgell (2004): Characterizing spatial and temporal variability of marine conditions in the North Sea, 1985-2000. [4].
- [29] Kapantagakis et al. (2002): Analysis of fisheries catch data in relation to temperature anomalies in SE Mediterranean using GIS. [3]:33.
- [30] Naganobu and Itoh (2002): Environmental variability of Antarctic krill (*Euphausia superba*) in the Scotia Sea, Antarctica. [3]:34.
- [31] Romena (2000): Factors affecting distribution of adult yellowfin tuna (*Thunnus albacares*) and its reproductive ecology in the Indian Ocean based on Japanese tuna longline fisheries and survey information (MS thesis, Department of Biology, Vrije Universiteit Brussel, Belgium). : 87pp.
- [32] Bo (2003): Factors affecting distribution of adult bigeye tuna (*Thunnus obesus*) and its reproductive ecology in the Indian Ocean based on Japanese tuna longline fisheries and survey information (上海水産大学、修士論文)
- [33] Musse et al. (2004): Spatio-temporal variations of oceanographic features and their influences on pelagic fishery in the Straits of Malacca using GIS analysis. [4].
- [34] Pena et al. (2001): Spatial dynamics of jack mackerel (*Trachurus symmetricus murphyi*) fishing grounds and environmental conditions using a GIS. [2]: 107-113.
- [35] 斎藤克弥 (2004): 水産GISの開発と漁業情報サービスへの利用. 月刊海洋5月特集号 (本誌)
- [36] http://www.esl.co.jp/3D/3d_1.htm
- [37] Pink (ed.) (2000): Integrated Coastal Management (ICG publication). 240pp.
- [38] 独立行政法人水産総合研究センター 遠洋水産研究所 (2003): まぐろ・かつおグループ/混獲グループ資源調査研究成果報告会報告書. : 353pp.
- [39] Wood (2004a): Visualisation of fisheries data using free scientific visualization software. [4].
- [40] Manley and Tallot (1990): Volumetric visualization. *Oceanography* 3(1).
- [41] 西田 勤 (1999): 漁業と資源の情報学 第6章 地理情報システム (GIS) (厚生社厚生閣水産学シリーズ 121). : 58-68.
- [42] Meaden and Chi (1996): Geographical Information Systems- Applications to marine fisheries

- (FAO Fisheries Technical Paper 356). : 335pp.
- [43] Parke (1999): Identifying Essential Fisheries Habitat with GIS-Problems and Prospects in the Central Pacific. [1]:54.
- [44] Bain (1999): Aquatic Gap Analysis: Demonstration of a Geographical Approach to Aquatic Biodiversity Conservation. [1]:94.
- [45] Brown (1999): Identifying and Assessing Essential Fish Habitat Using GIS. [1]:53.
- [46] Nishida and Lyne (1996) : Preliminary spatial analyses on distributions of young southern bluefin tuna (*Thunnus maccoyii*) (CCSBT/RMWS/96/18). : 17pp.
- [47] Watson (2004): Spatial allocation of global fisheries landings using rule-based procedures. [4].
- [48] Itoh and Nishida (2001): Marine Explorer - Marine GIS software for fisheries and oceanographic information. [2] : 427-327.
- [49] 伊藤喜代志・西田 勤 (2004): 海洋版GISソフトウェアの将来性(月刊海洋 5 月特集号:本誌)
- [50] Ali et al. (1999) : Introduction and application of the Marine GIS in Understanding the Spatial Distribution of Marine Fish Resource in the Southeast Asia Region - A Case Study in the Exclusive Economic Zones of Malaysia. [1] :56.
- [51] Waring et al. (1999): Characterization of Beaked Whale(*Ziphiidae*) and Sperm Whale (*Physeter macrocephalus*) Summer Habitats in Shelf-edge and Deeper Waters off the Northeast US. [1] :88.
- [52] Logerwell and Smith (2001): GIS mapping of survivors ' habitat of pelagic fish off California. [2] :51-64.
- [53] Olyott et al. (1999) : The Use of a GIS to Understand the Spatial and Temporal Biology of the Chokka Squid *Loligo vulgaris reynaudii* on the Southeast Coast of South Africa. [1] :92.
- [54] Eastwood and Meaden(2004) : Introducing greater ecological realism to fish habitat models. [4].
- [55] 独立行政法人水産総合研究センター 遠洋水産研究所 (2004): まぐろ・かつおグループ/混獲グループ資源調査研究成果報告会報告書(印刷中).
- [56] Barratt et al. (2004): Modelling the distribution of fish resources using oceanographic variables, statistical methods and GIS technologies. [4]
- [57] Nishida and Chen (2004): 農林水産省農林水産技術会議パイオニア特別研究成果報告書 (内部資料)
- [58] Corsi et al. (1999): Integrating GIS and Surplus Production Models : A New Approach for Spatial Assessment of Demersal Resources ? [1] :32.
- [59] Booth (1999): Integrating Age-structured Stock Assessment within a GIS Framework. [1] :31.

- [60] Walden (1999): Integrating GIS and Mathematical Programming Models to Assist in Fisheries Management Decisions. [1] :30.
- [61] Grabowski et al. (2002): Developing a computer simulation program to determine optimal sampling strategies : A case study of the Maine sea urchin fishery. [3] : 50.
- [62] Chen and Leickly (2004) : A test for spatially correlated data: an alternative to the traditional t-test. [4].
- [63] Nishida and Chen (2004): Incorporating spatial autocorrelation in the General Linear Model with application to the yellowfin tuna (*Thunnus albacares*) CPUE standardization of longline fisheries in the Indian Ocean (Fisheries Research, special issue) (印刷中)
- [64] Murfitt and Hand (2004): Acoustical Substrate Classification for the Improved Estimation of Geoduck Clam Abundance and Distribution. [4].
- [65] Pertierra and Valavani (1999) : Using a GIS Platform for the Compilation of Demersal Species' Biomass Indices off Catalan Coast, NW Mediterranean Sea. [1]:27.
- [66] Jensen et al. (2002): Application of Geostatistics to Estimating Stock Size in Estuaries: A Non-Euclidean Approach to Variogram Calculation and Kriging. [3] :47.
- [67] Sampson et al. (2001): A comparison of manual and GIS methods to estimate kelp biomass on the Northern Cape coast of South Africa. [2]: 157-166.
- [68] Laake et al. (1994): DISTANCE USER 'S GUIDE(Colorado Cooperative Fish & Wildlife Res. Unit, Colorado State Univ.). : 84pp.
- [69] Nishida et al. (2001): Spatial dynamics of southern bluefin tuna (*Thunnus maccoyii*) recruitment. [2]: 89-106.
- [70] Wanzenbock and Gassner (2001): GIS Supported Assessment of Fish Stocks in Austrian Lakes. [2]: 329-335.
- [71] Smoker (1999): Distribution of Seabird Bycatch by North Pacific Longline Fleet. [1]:84.
- [72] Mikol (1999): GIS as a Bycatch Reduction Tool. [1]: 24.
- [73] Ackley (1999): Using GIS to Manage Alaska 's Groundfish Fishery Bycatch. [1]:25.
- [74] Daniel Sheehan (MIT, USA) (私信)
- [75] Johnsen (2004) : A visualisation of the spatial and temporal dynamic in the Namibian hake trawl fishery - a tool to understand the complexity of a fishery. [4].
- [76] Payet (2002): Spatial distribution of fishing effort in the Seychelles schooner fishery. [3]:41.
- [77] Ensich et al. (2002): Spatial fishing effort modelling network. [3]:40.
- [78] August (1999): Vessel monitoring and GIS in Fisheries Enforcement. [1]: 60.
- [79] Jude Talma (セーシェル水産局) (私信)

- [80] Taylor and Polloni (2002): Recent efforts towards effective management of the Gulf of Maine/Georges Bank fisheries using GIS technology. [3]:37.
- [81] Edwards et al. (2001): Ecosystem-based management of fishery resource management on Georges Bank (United States). [2]: 202-214.
- [82] Larcombe and Brooks (2002) :Comprehensive mapping of commercial marine fisheries and their dependant coastal communities, south-eastern Australia. [3]: 39.
- [83] Sheehan and Kocik (1999): Thermal Cost -Path Modeling of Atlantic Salmon Ocean Migrations. [1]: 93.
- [84] Hooge et al. (1999): The Animal Movement Program: Integrating GIS with Statistical Analysis and Modeling of Animal Movements. [1]: 14.
- [85] Rodgers et al. (1999): The North Pacific Rim Salmon Ecosystem Project. [1]:19.
- [86] Drapeau (2002): Satellites images exploration GIS tools for the Benguela ecosystem. [3]:8.
- [87] Griffiths et al. (2002): Southern ocean mollusc database, SOMBASE: A tool for biogeographic analysis in diversity and ecology. [3]: 81.
- [88] Burke and Noordeloos (2002): Reefs at Risk in Southeast Asia: A map-based model on threats to coral reefs. [3]: 43.
- [89] Mathews et al. (2001): Effects of frontal systems, upwelling, and EL-Nino on the small pelagic fisheries of the Lesser Sunda Islands, Indonesia. [2]: 65-88.
- [90] Adult et al. (1999): A spatially dynamic multistock production model (Can J Fish Aquat Sci 56: Suppl.1). : 4-25.
- [91] Edwards et al. (2001):Ecosystem-based management of fishery resource management on Georges Bank (United States). [2]: 202-214.
- [92] Vidal (1999): Spatially Structured Model of the Gulf of Mexico Ecosystem: An Approach to Use Mapping Information for Fisheries Management. [1]:90.
- [93] Sakurai et al. (2000): Changes in inferred spawning areas of *Todarodes pacificus* (Cephalopoda: Ommastrephidae) due to changing environment conditions(ICES J Mar Sci 57). : 24-30.
- [94] Panov et al. (2001): Contribution to the knowledge of methods for assessment and forecasting of the state of marine ecosystems in the fishing areas of the World Ocean on the basis of space monitoring data. [2]:215-219.
- [95] Silva et al. (2004): EFISAT project: Predictability of pelagic fishing ground off Chile using RS and GIS .[4].
- [96] Booth (1999): Debunking the Myth that a GIS is a Glorified Mapping Tool. [1]: 4.

- [97] Meaden (2001): GIS in fisheries science-foundations for the new millennium. [2]:3-29.
- [98] Booth (2004): Spatial statistics and aquatic GIS. [4].
- [99] Meaden (2004): Challenges to the use of GIS in Fisheries Oceanography (月刊海洋 5 月特集号:本誌)
- [100] Wood (2004b): Open-source and freely available GIS software & resources. [4].
- [101] Kiefer et al. (1999): A 4 Dimensional Oceanographic Information System. [1]:13.
- [102] 鉄村 光太郎・宮下 和士(2004): 水産海洋音響情報解析のための GIS ソフトの開発(月刊海洋 5 月特集号:本誌)
- [103] Plewe (岡部ら訳) (1997 原著、2001 訳本) インターネットGIS(古今書院). : 217pp.
- [104] Carocci and Taconet (2002): The GIS component of a web-based Integrated Knowledge Organization System. [3]:12.
- [105] 国際協力事業団 (2003): マレーシア水産資源・環境研究計画終了時評価報告書 (自然水・JR 03-013) : 106pp.
- [106] <http://www.nmfs.hawaii.edu/fmpi/fmep/hilong/charts/>
- [107] Huang (1999): A Web-based GIS System for Fisheries Research. [1]:78.
- [108] Simpson and Anderson (1999): Fish Trek-Putting GIS into the Hands of the Fishing Fleet. [1]:10.
- [109] <http://www.oceanlogic.com/>
- [110] Zaire Kemp (University of Kent, UK) (私信)
- [111] Barkai and Bergh (2002): OLFISH: An electronic logbook: A demonstration of unique, wheelhouse, electronic solution for the collection, management and utilization of commercial fishing data. [3]:19.
- [112] Afonso-Dias et al. (2002): GeoCrust 1.0 - A dedicated GIS to estimate and map fishing effort and LPUE using VMS and landings data. [3]:104.
- [113]Purchase et al. (1999): Ocean Data and Fleet Operations Management System (ODFOMS). [1]:7.
- [114] <http://www.junipersys.com/>
- [115] Marsac (1999): GAO-a Software Linked to Oceanographic Databases and Dedicated to Fisheries Science. [1]:17.
- [116] <http://pcocn4.enyo.affrc.go.jp/products.html>
- [117] 平田 更一 (2004): GIS 技術の国際規格化とその将来 (月刊海洋 5 月特集号 :本誌)