

大阪湾におけるマアナゴの分布移動特性と生息地適性評価モデル

中村 義治* ・吉田 司** ・有山 啓之***
矢持 進**** ・玉井 恭一***** ・入江 隆彦*****
小出水 規行***** ・阪上 雄康***** ・小谷 野喜二*****

大阪湾におけるマアナゴの分布移動特性を定量的かつ時系列に把握するため、関西国際空港に設置されたレーダーの毎日の画像を解析して得られたあなご漁船の位置情報と毎日の海域別漁獲情報から 1 分メッシュの漁獲密度を捉え、大阪湾の季節毎のマアナゴ生息域を HEP 法により HSI を求め評価した。マアナゴの生息域は冬季には湾南西北部域で越冬し、夏季には湾中央部へと索餌のための移動が確認でき、マアナゴの生息環境となる水深、底質の含泥率、全硫化物、底層水の水温、溶存酸素及び餌料生物密度との関連性を客観的に解析した結果、マアナゴにとって HSI の高い、好適な海域はマアナゴの漁獲密度の高い海域を反映したことが判った。

1. はじめに

近年、顕在化してきた環境問題への意識と“自然再生推進法”の施行にともない過去に損なわれた生態系を取り戻すための対処法として、地域における生態系の機能解明と将来へのリスク評価に基づく生態系管理が必要となってきた。しかし、生態系を評価するための基礎となる生物データの空間分布や時系列動態の正確な把握は不十分であり、このことが各種評価モデルの不確実性の一因となっている。

本研究は、内湾生態系の環境機能的な評価(中村, 2000)の可能性について検討するため、大阪湾において生理・生態的知見の集積が良く行われている漁業生物に注目した。これらの種類を生態的特徴別に類型化し、生活史の大部分を対象海域とした大阪湾内に依存して生息する定住種の中から、生態系の上位種、漁場情報の連続性、漁獲情報の連続性を満たすマアナゴ (*Conger myriaster*) を評価対象種として選定した。

マアナゴの生息海域は、マアナゴを専門に漁獲するあなごの漁業活動を日々、レーダーにより追跡することにより推定できる(米田ら, 2003)。さらに本研究ではレーダーから得られる漁業種類別漁船の位置情報と標本船によって得られる漁獲情報をもとに漁獲密度を時空間的に連続して把握することができた。

これらのマアナゴの生息海域情報と海域環境情報から米国において開発事業の影響評価と計画に用いるために開発された生物生息地適性評価手法である HEP (Habitat Evaluation Procedures) のマニュアル (U.S. Fish and Wildlife Service, 1980) を参考に、独自の生息地適

性曲線 (SI: Suitability Index) とその総合指標となる HSI (Habitat Suitability Index) から、大阪湾のマアナゴの好適生息海域を定量的に評価した。

2. 資料および方法

(1) レーダーによるマアナゴの生息域の把握

レーダーは、図-1 に示す関西国際空港内に設置されたスロットアレイ型式 (空中線長 3,210 mm, 回転数 24 rpm, 水平ビーム幅 0.75°, 垂直幅 20°, 周波数 9,740 MHz, 古野電気株式会社製, FR-2120 Z, XN 5 AZ) である。レーダーから得られる画像は図-2 に示すとおりである。

あなご漁船の位置情報は、2000 年 1 月 1 日から 2000 年 12 月 31 日の間を毎日 15 分ごとにデジタル記録されたレーダー画像を基に、その日の最も多くの漁船が確認、識別された時刻のものを抽出して漁船の座標 (緯度、経度) をコンピュータ上で読み取ることにより求めた。

レーダー画像に対しては、レーダー反射エコーの大きさ、航跡の長さ (操業時の速度)、漁船の集結状況 (漁場の形態)、漁業者への聞き取り、海上での漁業操業確認、

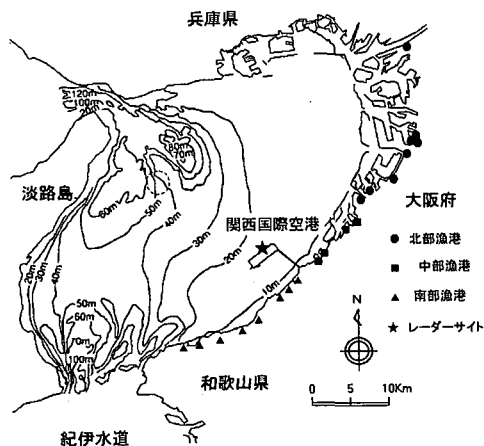


図-1 レーダーサイトの位置と大阪府の漁港

- ・ 水博 (独法) 水産総合研究センター水産工学研究所
- .. (社) 日本水産資源保護協会 技術専門員
- ... 農博 大阪府立水産試験場 主任研究員
- **** 正会員 農博 大阪市立大学助教授 工学部環境都市工学科
- ***** 理博 (独法) 水産総合研究センター西海区水産研究所
- 農博 (独法) 水産総合研究センター中央水産研究所
- ***** 正会員 農博 (独法) 農業工学研究所
- 関西国際空港(株) 建設事務所 調査係長
- 関西国際空港用地造成(株) 企画課長

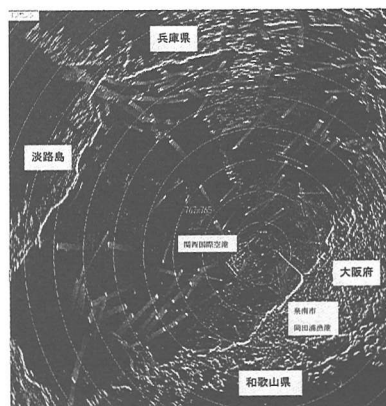


図-2 関西国際空港に設置されたレーダーによって得られた画像 (2000. 6. 12)
(午前3時, 泉南市岡田浦漁港からのあなごかご漁船の出魚状況を表す)

操業時間帯, 漁船の所属漁港等を参考にしてあなごかご漁船を判別した (小山ら, 2001)。

(2) 標本船を用いたマアナゴの漁獲密度の算定

生息海域の適性評価を行うため, 上記で把握されたレーダー画像によるマアナゴの漁場情報から漁獲密度 (1分メッシュ当たりの漁獲量) を推定した。推定には, 大阪府立水産試験場の漁況調査 (2000 a) を用いることとした。標本船調査は, 選ばれたあなごかご漁業者の毎日の漁獲量 (kg/日) を大阪湾について5分メッシュに18分割された海域に記載するものである。標本船調査資料についてもレーダー画像解析と同様に2000年1月1日から2000年12月31日の間のデータを使用した。漁獲密度は, 各5分メッシュで操業するあなごかご漁船の全てに標本船の漁獲量を重み付けし, 1分メッシュに再配分して求めた。

(3) 海域環境資料等の収集

大阪湾におけるマアナゴの生息環境を把握するため, 大阪湾の全域を対象に行われた環境調査から水深, 底質 (含泥率と全硫化物), 水質 (水温と溶存酸素量), 餌料の項目を抽出した。これらはグリッドデータであるため, 漁獲密度 (1分メッシュ) の分布と対応させるため測点間を空間補完して1分メッシュデータに再配分した。

引用した資料は, 水深は海上保安庁発行の大阪湾海図 (2000) から, 粒度組成と全硫化物は野上 (1980) が関西国際空港の建設に伴う漁業影響調査の一環として実施した底質調査から収集した。底層水温と溶存酸素量は大阪府立水産試験場の浅海定線調査 (2000 b), 大阪府立水産試験場の大阪湾水質監視調査 (2000 c) を参考にした。

また, マアナゴにとっての餌料生物であるエビ類の分布状況については小型底びき網漁船のレーダーから判読

した位置情報と標本船調査記録からマアナゴと同様の解析により把握した。収集したデータは, 漁獲密度も含めて GIS (Geographic Information System, ESRI 社製 ArcView) によりデータベース化して解析に供した。

(4) 生息地適性度のモデル化

HEP は, 対象生物の生息に影響を及ぼす環境因子を洗い出し, 科学的知見や現地調査から各因子について対象種の生息海域としての適性を示す評価指標 (SI 曲線) とこれらを結合した HSI から, 評価対象種の生息域としての適性を定量的に評価する手法である (U.S. Fish and Wildlife Service, 1980)。

マアナゴの漁獲密度と生息域に関連する環境因子から SI 曲線を作成した。SI は各環境因子についてマアナゴの棲みやすさを生息不可能な環境の 0.0 から最適な環境の 1.0 までの数値化した指標であり, SI 曲線に一般性を持たせるため, 既存の知見に基づいて, 最適な範囲や制限を簡明にするための境界線を設定した。

HSI は, 各 SI によって評価された環境因子を結合し, 生息海域環境の特性を数値化した総合指標で, 0.0 から 1.0 の数値で表われる。各 SI の結合は調和平均法とした。

$$HSI = \frac{1}{\sum_{i=1}^n \frac{1}{SI_i}}$$

$i=1\sim6$ (水深 SI, 水温 SI, 溶存酸素 SI, 含泥率 SI, 全硫化物 SI, 餌料生物密度 SI), n は項目数である。

3. 結 果

(1) マアナゴの移動分布特性

2000 年の1年間で確認されたあなごかご漁船は延べ 6,075 隻であった。マアナゴの漁獲密度の月別分布状況は図-3 に示すとおりである。

マアナゴの生息海域は1月から3月には湾南西部に見られ, 5月になると湾奥部に向けて移動し, 6月から7月には湾中央部となる。8月と9月には漁獲密度は低下し, 10月から12月には湾南西部を中心に大阪湾全域で生息が見られた。

(2) SI 曲線

大阪湾におけるマアナゴの分布移動特性から特徴のある2月と7月について, マアナゴの漁獲密度と環境応答性を示す水深, 含泥率, 硫化物, 底層水温, 底層の溶存酸素量および餌料生物量の関係から SI 曲線を作成し図-4 に示した。

大阪湾のマアナゴの漁獲密度は, 2月には湾南西部の水深 40 m から 50 m, 7月には湾中央部の水深 20 m 付近の含泥率が2月には60%~80%, 7月には90%付近の海域で高いが, 全硫化物は 1.0 mg/g 以上を示す海域での漁

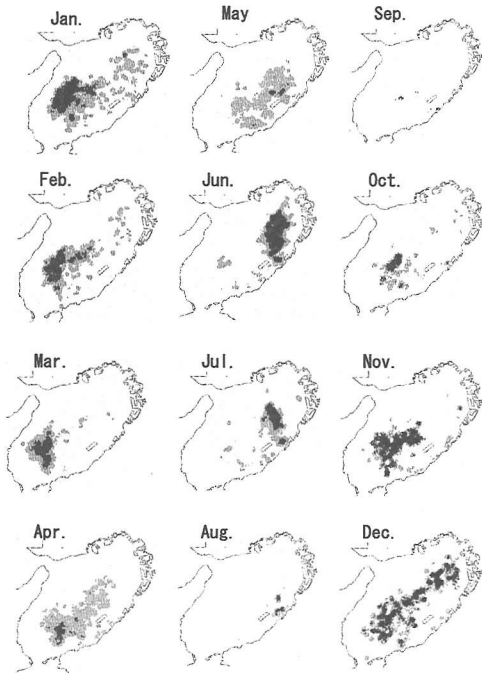


図-3 レーダー画像から解析したマアナゴの漁獲密度 (2000) (kg/月/0.1分メッシュ) の分布状況 (色の濃いところが漁獲密度の高いことを示す。)

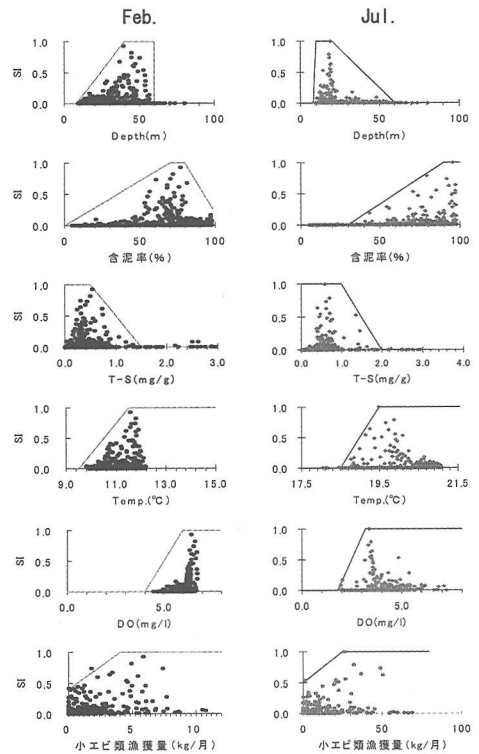


図-4 マアナゴ SI 曲線

獲密度は低い値となった。生息海域の底層水温は、2月では $10^{\circ}\text{C} \sim 12^{\circ}\text{C}$ の範囲にあり 12°C で、7月では $18^{\circ}\text{C} \sim 21^{\circ}\text{C}$ の範囲にあり、約 19.5°C 付近で漁獲密度が高い値となった。7月の底層の溶存酸素は 3.0 mg/l 以下を示す海域で漁獲密度は低い値を示した。餌料生物に当たるエビ類は、2月はエビ類の漁獲密度が低く、顕著な傾向は見られなかった。7月にはエビ類の漁獲密度の増加に伴い、マアナゴも増加傾向を示す海域とエビ類が多いにもかかわらず、マアナゴの生息が見られない海域があった。

このように、それぞれの SI 曲線はマアナゴの生息海域に対する環境応答性を示している。

(3) HSI とその空間分布

マアナゴの漁獲密度と HSI の関係を図-5 に示した。いずれも、分布の欠落線を指数曲線として表現でき、漁獲密度の高い海域は HSI が高い海域であることが示された。HSI の空間分布を図-6 に示した。HSI の高いマアナゴにとって好適な海域は2月では湾南西部で、7月は湾中央から湾南東部の海域となった。2月は漁獲密度の分布を反映した結果となったが、7月はマアナゴの漁獲密度が低い湾南東部でも HSI が高くなる傾向となった。

4. 考 察

(1) マアナゴの分布移動特性

マアナゴの湾奥部への移動は、湾奥部の底層水温が 14°C となり湾南西部との差がなくなる5月ごろから行われる。春季から初夏の湾奥部は、マアナゴの餌料となるスジハゼやテッポウエビ等の生物の現存量が最大となり、マアナゴは成長し現存量を増やす時期である(鍋島, 2001)。7月になると湾奥部に発生した貧酸素水塊の広がりとともに湾中央部へと移動し、水深 20 m 付近に生息域が集中する。2000 年7月における湾奥部での貧酸素水塊は酸素飽和度 50% 以下を示し、生息する生物量は低下する(大阪府立水産試験場, 2000)。8月と9月はマアナゴが高温による索餌活動を低下させることから休漁する者が多く、そのときの大阪湾の底層水温は全湾で 23°C 以上(大阪府立水産試験場, 2000)を示すことからマアナゴの索餌活動が低下する水温の目安と考えられる。

10月から12月は、湾奥部を含む大阪湾のほぼ全域に生息域が広がる。これは、環境の回復した湾奥部にまず多毛類や小型の甲殻類が出現し、続いてマアナゴの重要な餌料となるスジハゼやテナガテッポウエビが高密度に生息し、索餌活動が容易になったためと考えられる(鍋島, 2001)。その後は、水温の低下とともに湾奥部での生

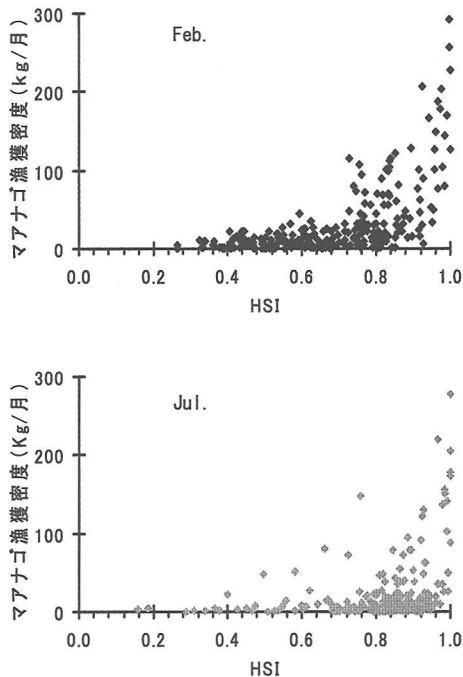


図-5 マアナゴの漁獲密度と HSI の関係

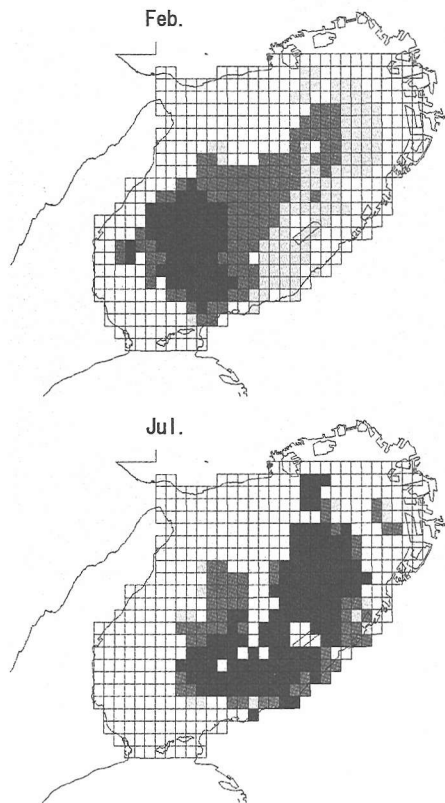


図-6 マアナゴの HSI の空間分布
(色の濃いところが HSI の高いことを示す)

物量も低下し、水温が高く、索餌活動の容易な湾口部で越冬する。このようにマアナゴの生息海域は初夏に湾奥への摂餌、冬季には湾南西部へ越冬のための移動を行っていることがうかがわれた。

本研究から得られた知見と既往知見をもとに大阪湾のマアナゴの分布移動特性の概要を図-7に、生態的特徴を生活段階に区別してまとめたものを表-1にそれぞれ示した。

(2) 生息地適性評価モデルによる検討

大阪湾におけるマアナゴ未成魚期の良好な生息海域は、砂泥底の全硫化物が1.0 mg/g 以下、底層の溶存酸素は3.0 mg/l 以上の、小型魚類やエビ類等の餌料生物が豊富な環境で、HSI の高い海域は、夏季に餌料生物が豊富で、湾奥部で発生した貧酸素水塊の影響が及ばない湾央部であり、また、冬季には水温が高く、安定した湾南西部で、いずれも含泥率60%以上の海域であった。不適な海域は明石海峡から沖ノ瀬周辺海域、友ヶ島水道北部海域の底質が礫質の海域と貧酸素が発生する湾奥部海域であった。

マアナゴの漁獲密度と HSI の分布傾向はよく対応し、HSI の高い海域はレーダー画像から推定される漁獲密度の高い海域と一致している。7月にはマアナゴの漁獲密度分布と HSI の間に大阪湾南東岸部で不適な海域が見られたが、この原因については今後の課題である。

レーダー画像と標本船データの解析から生態系上位種の生息域が定量的かつ時系列的に把握できることが明らかとなり、客観的に環境因子との関連性を解析することができた。したがって、本研究で得られた結果は、大阪湾における総合的な環境変化に係る影響評価や他海域へ

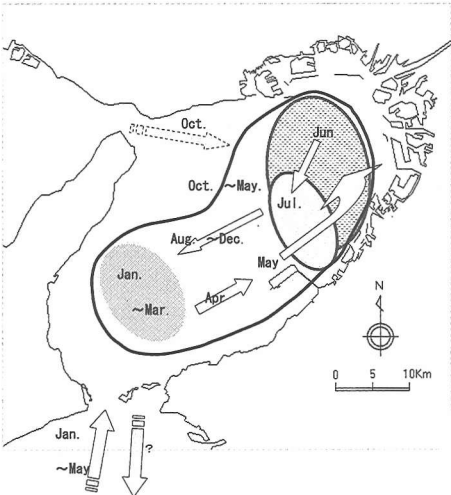


図-7 マアナゴの移動・回遊状況
(米田ら, 2003 を一部改変)

表-1 大阪湾のマアナゴの生態的特徴

生活史	生態的特徴	参考文献
レプトケファルス期	1月から5月に来遊 浮遊生活, 生息水温 11℃以上	反田 (2001) 日水資 (1983)
変 遷 期	5月から6月前半を中心に変遷, 水温 15℃で20日間程度 沿岸の砂礫底の生息, 食性は動物プランクトン, 底生小型甲殻類, 多毛類	反田 (2001) 同上
稚 魚 期	変遷完了 (孵化後 10ヶ月程度) 後砂泥底域に移行, 平均全長 74 mm	日水資 (1983)
未成長期	8月: 全長 20 cm, 10月: 26 cm, 11月: 29 cm, 翌年2月: 30 cm, 5月: 35 cm 大阪湾内での成熟は見られない。	鍋島 (1994) 同上
成 長	冬期にはエビ類等の甲殻類が主体, その他スジハゼ等の魚類, 夏季にはスジハゼ等の魚類やテナガ テッポウエビ等のエビ類が主体	鍋島 (1994)
食 性	生息水深は 10~60 m, 春季~秋季: 20 m 付近, 冬季: 40 m 付近が主漁場 60%以上の海域が漁場 1.0 mg/g 以下の海域が漁場 漁獲水温 10~21℃ 水温 23℃以上で索餌活動が低下 (推定) 湾奥部の低層水温が 14℃となり湾口部との差がなくなる5月ごろに湾奥部に向けて移動開始	米田ら (2003) 本研究 " " "
生息環境	水 深 含 泥 率 全硫化物 水 温	
溶存酸素	水温 20~23℃において溶存酸素量 1.9 ml/l (30%) で狂奔, 1.3 ml/l (24%) で仮死 3.0 mg/l 以上の海域が漁場	大水試 (1962) 本研究

の応用を示唆するものとなった。

しかし、生態系の総合的な評価を考えた場合、より多様な生物の相互関連や種ごとの重み付け等も考慮していく必要がある。また、生物の環境応答性の精度をさらに向上させるためには、生物情報に合わせた時空間的に連続した環境情報の把握が重要となる。今回、解析に使用したレーダー画像解析から得られた漁場情報はこれらの要件を満たしていた。

参 考 文 献

大阪府水産試験場 (1962): マアナゴの陸上短期蓄養試験昭和 37 年度 大阪府水産試験場事業報告, pp. 75-86.
大阪府立水産試験場 (2000 a): 漁況調査, 平成 11 年度大阪府立水産試験場事業報告.
大阪府立水産試験場 (2000 b): 浅海定線調査, 平成 11 年度大阪府立水産試験場事業報告.
大阪府立水産試験場 (2000 c): 大阪湾漁場水質監視調査, 平成 11 年度大阪府立水産試験場事業報告.
海上保安庁 (2000): 大阪湾 海図 150 A.

小山善明・吉田 司・米田佳弘・阪上雄康 (2002): 工事関係船舶の航行安全管理のための漁業種類別の操業状況通報システムについて, 第 19 回技術発表講演会予稿集, 社団法人 海洋調査協会, pp. 29-33.
社団法人 日本水産資源保護協会 (1983): マアナゴ, 水生生物生態資料(続), pp. 10-13.
中村義治 (2000): 生態系における構造と機能の評価方法に関するレビュー, 水産工学研究収録, 8, pp. 168-169.
鍋島靖信 (2001): マアナゴの成長と食性, 月刊海洋, 33, pp. 544-550.
野上和彦 (1980): 底質調査, 関西国際空港建設のための漁業環境影響調査委員会報告, 社団法人日本水産資源保護協会, pp. 212-260.
反田 實 (2001): 瀬戸内海東部におけるマアナゴ漁業と資源管理, 月刊海洋, 33, pp. 571-574.
米田佳弘・吉田 司・小山善明 (2003): レーダー画像解析による大阪湾におけるマアナゴ漁場の変動把握, 水産海洋研究, 67, pp. 1-8.
U. S. Fish and Wildlife Service, Division of Ecological Services (1980): Habitat Evaluation Procedures.