

レーダー画像解析による大阪湾のマアナゴ漁場の変動把握

米田佳弘¹, 吉田 司^{†2}, 小山善明²Fishing Ground Tracking of White-spotted Conger Eel (*Conger myriaster*) in Osaka Bay Based on Radar Images AnalysisYoshihiro YONEDA¹, Tsukasa YOSHIDA^{†2} and Yoshiaki KOYAMA²

Most of white-spotted conger eel fisheries in Osaka Bay have been carried out by basket trap fishing boat and a radar installed at the Kansai International Airport monitored tracks of the fishing boat to know fluctuation in fishing grounds during January 1-December 31, 2000. The radar tracks indicated seasonal fluctuation in fishing grounds. During January-March, fishing ground was formed mainly around the southwest area of the Bay, 30-40 m in depth. During April-June, it moved along the somewhat east side of the Bay and was formed in the central and inner area of the Bay, less than 20 m in depth. Particularly, during June 16-July 21, fishing ground in the inner area of the Bay disappeared with hypoxic water development, and it was formed concentrically at the outside margin of the water, 40% or less oxygen saturation. During August-September, fishing ground was not formed, because of the catch declining and few fishing boats. During October-December, fishing ground was formed mainly in the southwest area of the Bay, subsequently; it spread to the all area of the Bay. It was considered that these fluctuations in fishing grounds corresponded to the seasonal migration of white-spotted conger eels in Osaka Bay.

Key words: white-spotted conger eel, Osaka Bay, fishing ground formation, basket trap, radar, hypoxia

はじめに

大阪湾のマアナゴ (*Conger myriaster*) は、主にあなごかごと小型底びき網により漁獲され、その漁獲量は1999年では447トン、そのうち278トン(63%)があなごかごにより漁獲されている(中国四国農政局, 2001)。あなごかごは、1978年に大阪府に導入された漁業で、操業は午後3時に出港し、漁場に到着と同時に冷凍イワシ等の餌料の入ったかごを投入し始め、夏季は日没前から、冬季は日没まで待機して揚網を始め、午後10時頃まで行われる。

大阪湾のマアナゴは、冬夏季に深淺移動を行いながら、成長にともなって湾の南西部の深所へと移動すると推測されている(吉田, 1980)。大阪府立水産試験場が行った標本船調査や食性調査の結果から、マアナゴの漁場は湾中部から湾奥部に集中し、この海域は春から初夏にかけて餌料生物が豊富となり、マアナゴにとっては索餌が容易となる

ため、高密度に分布することができ、好漁場を形成する要因となっている(鍋島, 2001)。

大阪湾は、例年夏季には湾奥部で貧酸素水塊が発生し、底生動物や底魚類に大きな影響を及ぼしている(有山ほか, 1997)。近年の大阪湾における貧酸素水塊の出現状況は、大阪府立水産試験場の大阪湾漁場水質監視調査(1995~1999)によれば、貧酸素水塊の発生は5月下旬から6月初旬にかけて、湾奥部東岸域で形成されるが、大きく拡大することはない。7月に入ると湾奥部から発達してきた貧酸素水塊と合流し、神戸市ポートアイランドから大阪府泉佐野港を結ぶ線(以下、Line Aとする)以北は貧酸素化され、8月に最大面積を示すこととなる。貧酸素水塊の解消は例年9月中旬から10月初旬頃である。

本報は、レーダーの画像解析から、あなごかご漁場の空間的变化を年間にわたり、連続的に把握することが可能なことを示し、それによって得られた漁場と貧酸素水塊の分布の関係を検討する。

方法および資料収集

レーダーによる漁場探査方法

レーダーは、米田ほか(2000)が用いたものと同様の関西国際空港の北緯 34°25'54"、東経 135°14'39" に設置された

2002年1月21日受付, 2002年9月11日受理

¹ 関西国際空港株式会社

Kansai International Airport Co., Ltd. 1-banchi, Senshu kuko Kita, Izumisano, Osaka 549-0001, Japan.

² 株式会社シャトー海洋調査

Chateau Marine Survey Co., Ltd. 1-4-2, Katamachi, Miyakojima, Osaka 534-0025, Japan.

[†] yosida@chateau-kaiyou.co.jp

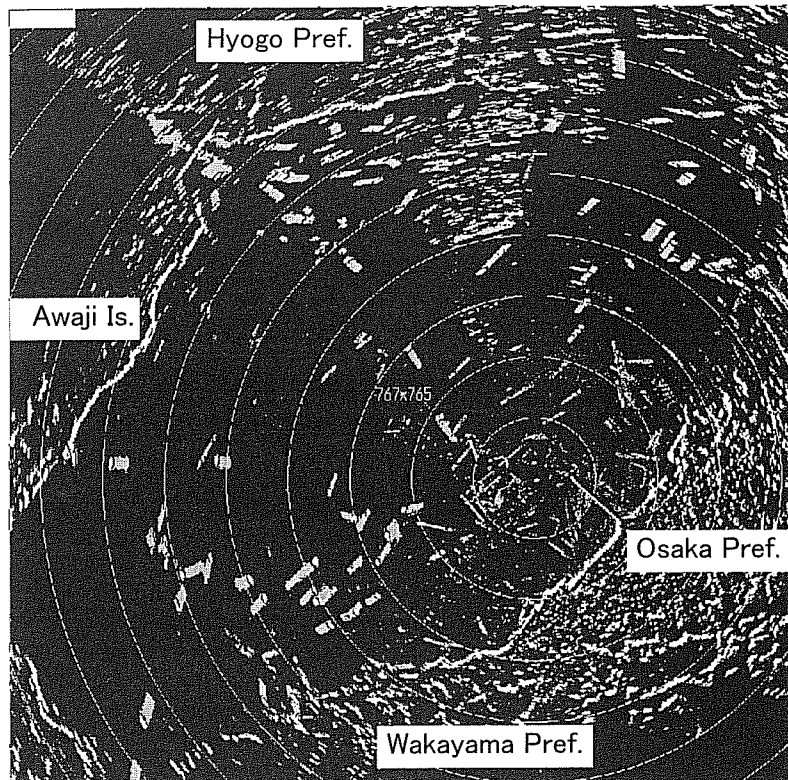


Figure 1. An example of a 15-minute running radar image of ships and fishing boats.

ものである。解析に用いたレーダー画像は、2000年1月1日から12月31日の間を、毎日15分ごとにデジタル記録されたものから抽出した (Fig. 1)。

レーダー画像によるあなごかご漁船の判別は、レーダー画像からの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）および漁業者への聞き取りと海上での漁業操業確認から得られた情報、操業時間帯、漁船の所属漁港などから行った。特に、午後3時の一斉出漁は、あなごかご漁船を特定する重要な要素であった。あなごかごは、大阪府漁業調整規則により1統当たり300かごまでに制限されており、その長さは直線で約12kmに及ぶ。しかし、かごは直線的に投入されるのではなく、その時期漁場が形成されている海域をジグザグに操船しながら操業し、再び、かごを投入し始めた地点付近へと戻ってくる。したがって、漁場は、かごの投入を開始してから、最も多くの漁船が確認、識別された時刻（ほぼ日没直後）の漁船の座標（緯度、経度）を毎日、コンピュータ上で読み取ることにより求め、漁船位置を月別に集計することにより漁場の季節変化を把握した。レーダー解析によれば、出漁が確認できた大阪湾のあなごかご漁船の主な所属漁港は、大阪府下の19ヶ所であった (Fig. 2)。

貧酸素水塊

本論文で扱う貧酸素水塊は、大阪府立水産試験場の大阪湾

漁場水質監視調査 (1996~2000) に従い、海底面上1mの酸素飽和度が40%以下の水塊とする。湾奥部における貧酸素水塊の動向は、関西国際空港株式会社により行われた大阪湾貧酸素水塊分布状況調査 (2000) を引用した。この調査は、大阪湾の湾奥部から湾中部にかけての海域を対象に、原則5日間隔で行われた。しかし、低気圧の通過や降雨により河川流量が増加したときは、その翌日より連続して毎日、5日間実施された。したがって、この時期のあなごかご漁場の変化は、貧酸素水塊の発生が確認された2000年6月16日の5日前の6月11日から貧酸素水塊が最大となる7月21日までのレーダー画像を解析し、漁船の位置を連日把握することで求めた。

漁業等関連資料の収集

大阪湾におけるマアナゴの漁獲量は中国四国農政局統計情報部が取りまとめた瀬戸内海地域における漁業動向 (1982~2001) を用いた。また、大阪湾のマアナゴの生態的知見や標本船による漁獲状況については鍋島ほか (1994, 2000, 2001) が実施した地域重要資源調査などを参考とした。レーダー画像解析から得られたあなごかご漁場の季節変化と合わせて大阪湾におけるマアナゴの移動・回遊経路を推察した。

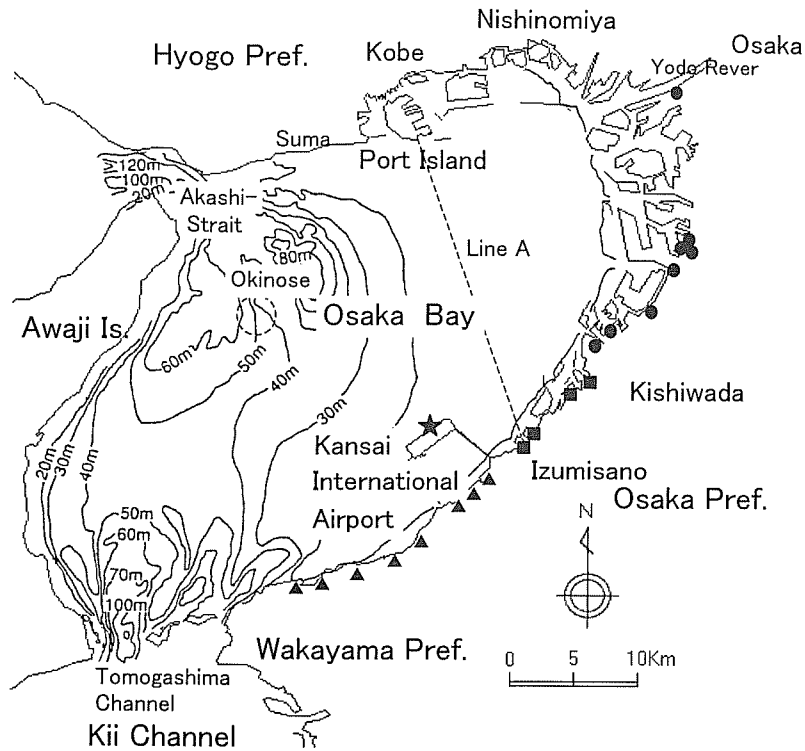


Figure 2. Map of the radar site and the fishing ports of basket trap fishing boats in Osaka Bay. ★: radar site, ●: North area fishing port, ▲: center area fishing port, ■: south area fishing port.

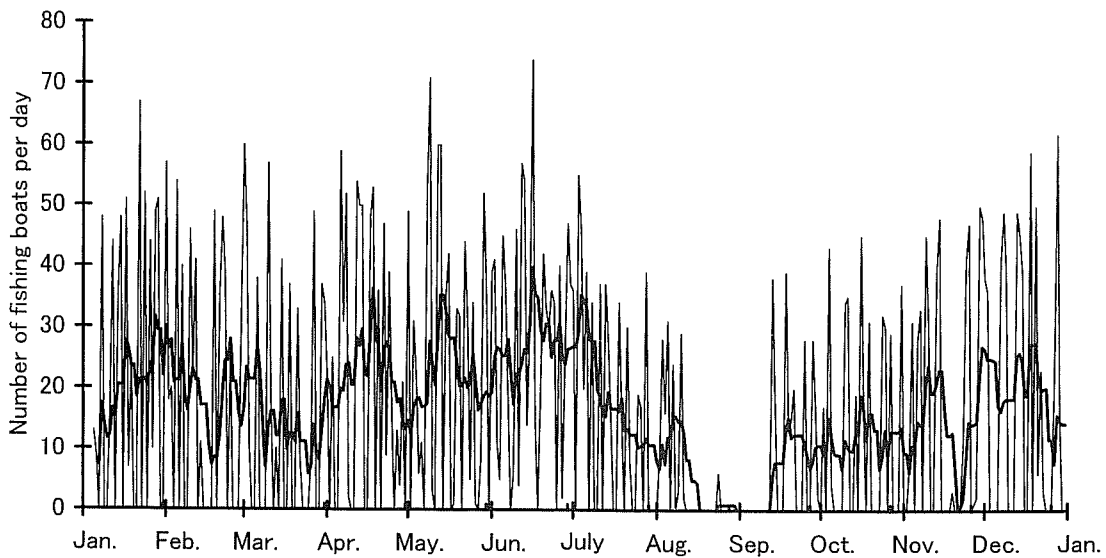


Figure 3. Daily changes of number of basket trap fishing boats observed in 2000. Bold line indicates fluctuation in the 7-day moving average.

結果

あなごかごの操業状況

2000年1月から12月にレーダー画像で確認された漁船は6075隻、操業は全体で197日に及んだ。1日当たりの平均出漁隻数は30隻から40隻程度であるが、マアナゴの加工

能力や市場価格を考慮しながら操業を行い、また、おおむね毎週水曜日と日曜日の2回を休漁とするため、1日の操業隻数は大きく変動し、1月、2月、12月には1日に60隻、5月、6月には70隻を越える漁船が操業した日も見られた (Fig. 3)。極小個体のマアナゴが多く入網する8月中旬から

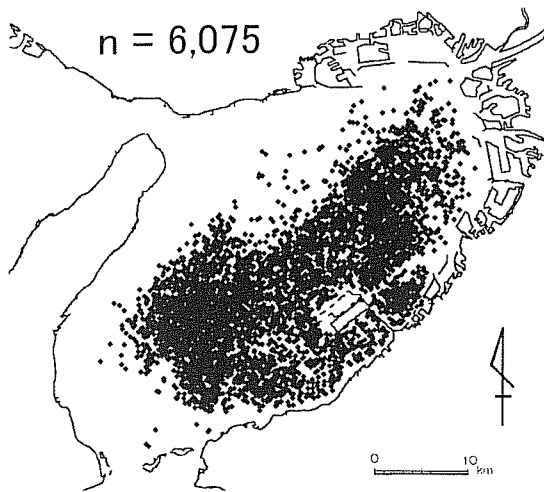


Figure 4. Conger eel basket trap fishing grounds observed throughout the year, January–December 2000.

9月中旬の約1ヶ月間は、大阪府のあなごかご漁業者が資源管理のため禁漁期としている。このため、Fig. 3からもこの期間には出漁している漁船はほとんど認められなかった。

あなごかご漁場の季節変化

大阪湾におけるあなごかごの漁場は、年間を通してみると、兵庫県須磨、淡路島、友が島の沿岸域を除く、大阪府寄りの砂泥質の海底で広く操業され、特に湾中部から湾奥部に集中して見られた (Fig. 4)。

あなごかごの漁場を月別に見ると Fig. 5 に示すとおりである。2000年1月から3月は湾南西部の水深が40mから50mの深所が漁場の中心となり、大阪府の中南部の漁業者により操業された。湾奥部は大阪府北中部の漁業者による操業であった (Fig. 5)。4月から5月にかけての漁場は、大阪府沿岸海域の底層水温の上昇とともに湾南西部の深所を中心とした漁場は沿岸域へと拡大し、その後、湾奥部へ向かう傾向を示した (Fig. 5)。6月には漁場の中心は湾奥部に移り、湾南西部で僅かに操業しているのはほとんど大阪府南部の漁業者によるものであった (Fig. 5)。7月になると湾奥部での操業はほとんど見られなくなり、Line A に集中した漁場が見られた (Fig. 5)。8月、9月は、休漁期を挟むため、出漁隻数は少なくなった。8月の漁場はLine A 付近に見られ、9月になると漁場は、8月の漁場から南西方向に水深40m付近まで拡大した。両月とも湾奥部での操業はほとんど行われていない (Fig. 5)。10月から11月には、湾奥部で操業が見られるようになり、大阪湾の漁場のほぼ全域で操業されるが、漁場の中心は湾南西部であった (Fig. 5)。12月は湾南西部での操業隻数も増加し、大阪湾の漁場の全域で操業された (Fig. 5)。

貧酸素水塊の拡大と漁場の変化

あなごかご漁場の季節変化をみると、夏季の7月から9月

にかけてはLine Aより奥部での操業がほとんど見られなかった。Fig. 6 は、2000年6月から7月にかけての大阪湾における貧酸素水塊の発達過程とあなごかごの操業位置を同時に示したものである。貧酸素水塊は、6月16日頃から大阪府沿岸の岸和田市付近に形成され始めた。この時期の漁場は湾奥部にあった (Fig. 6)。6月21日には貧酸素水塊は湾奥部から湾東岸域に見られ (Fig. 6)、6月26日に酸素飽和度が40%以下を示す貧酸素水塊の面積は104 km²となった (Fig. 6)。すなわちこの間の漁場は、貧酸素水塊が湾奥から湾中部にかけての湾東岸域に拡大したことから6月16日までの漁場に比べ、沿岸から沖合へ、そして湾奥部から湾中部へと移動し、貧酸素水塊の縁辺部に漁場が集中する傾向を示した。6月29日には貧酸素水塊は101 km²となり、酸素飽和度が10%以下の海域は解消した。漁場はLine Aに集中する形となった (Fig. 6)。6月30日には湾奥部で120 km²の貧酸素水塊が確認され、西宮沖を中心に拡大を続け、7月3日には152 km²に至った。漁場は再び湾奥からの貧酸素水塊の拡大、南下にともなって、Line Aに沿った形で南南東方向へ移動する傾向を示した (Fig. 6)。7月6日は湾奥部から湾東岸域にかけて貧酸素水塊が見られ、Line A以北は酸素飽和度が40%以下となり、その面積は158 km² (Fig. 6) となった。7月11日にかけて酸素飽和度が40%以下の範囲は湾中部に拡大し、その面積は183 km²となった (Fig. 6)。漁場はLine Aに沿って形成された貧酸素水塊の縁辺部に集中する形となった。7月16日に観測された貧酸素水塊は179 km²を示し、また、酸素飽和度が10%以下の強度の貧酸素水塊は全体の約3割を占めた。漁場は貧酸素水塊の南西方向への拡大に伴って、漁場も南西方向に押し寄せられた形となった (Fig. 6)。7月21日には貧酸素水塊は湾奥から湾東岸を舌状に南下する形状となり、その面積は185 km²を示した。その貧酸素水塊の縁辺部に形成され、7月16日までの漁場に比べ、さらに南西方向に押し出された形となった (Fig. 6)。この貧酸素水塊は7月26日に解消された。このように、6月中旬から7月のあなごかご漁場は、湾奥部で形成された貧酸素水塊を避けるように徐々に南下して、湾中部での操業が中心となった。

考 察

大阪湾におけるマアナゴは、冬季1月から5月にレプトケパルスで来遊したものが、5月から6月前半を中心に変態を完了し底生生活に入る (反田, 2001)。その後のマアナゴの成長は極めて早く、8月には全長20cmのモードとして漁獲に加わり始め、10月には26cm、11月には29cm、翌年2月には30cm、5月には34cm、8月には40cmとなり、12月には45cmに達する (鍋島, 1994)。マアナゴの販売は全長28cm程度から可能となり、そして、価格の高い中サイズ (全長35cmから43cm) は12月から7月にかけて多く漁獲される (鍋島, 1994)。

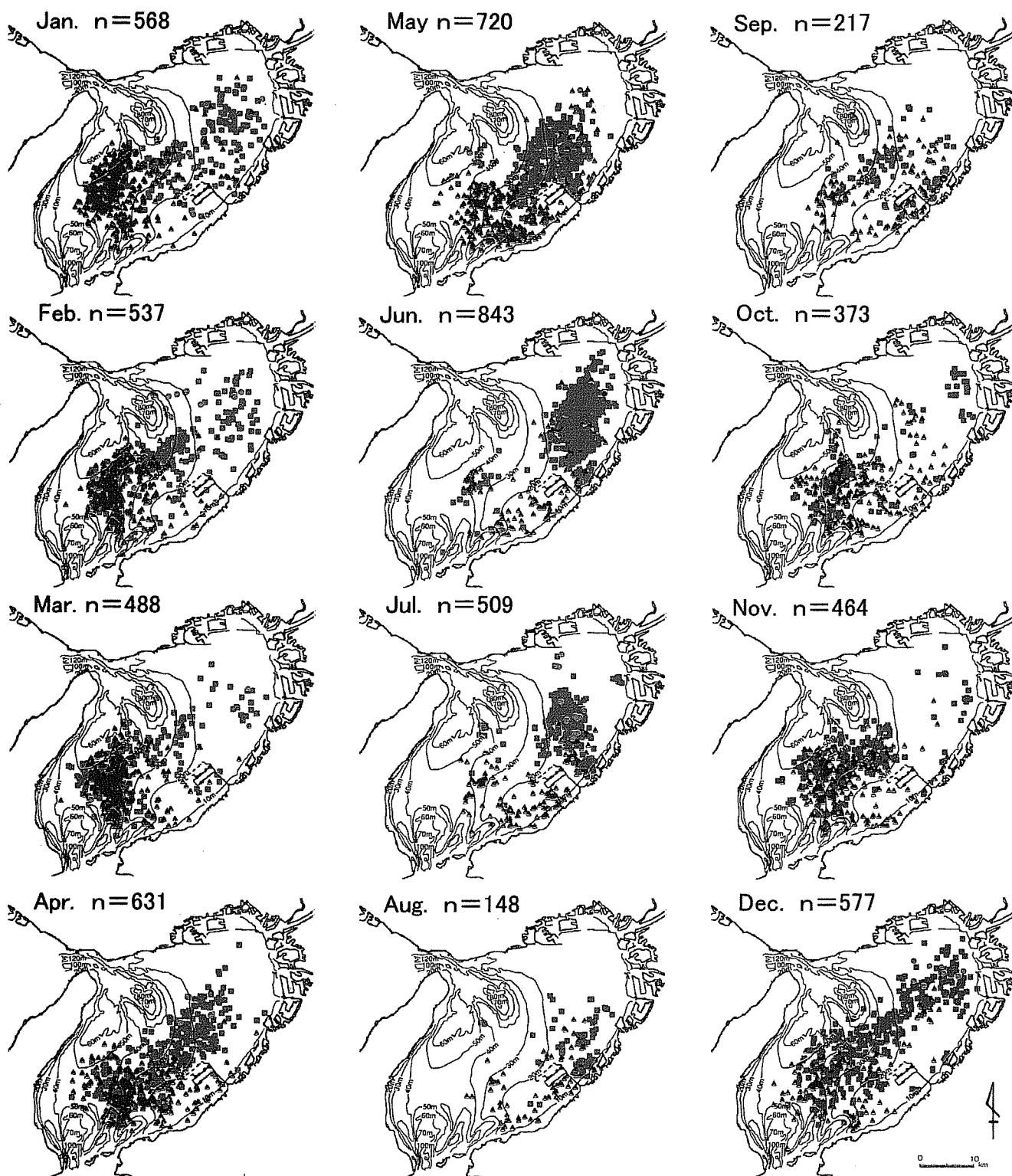


Figure 5. Conger eel basket trap fishing grounds from January to December 2000. Each dot indicates a single fishing boat position and "n" in the diagrams indicates the total confirmed number of the boats per month. Greencircles, Redsquares and bluetriangles, indicate the boats belong to the fisheries cooperative associations of northern, central, and southern part, respectively, in Osaka Bay.

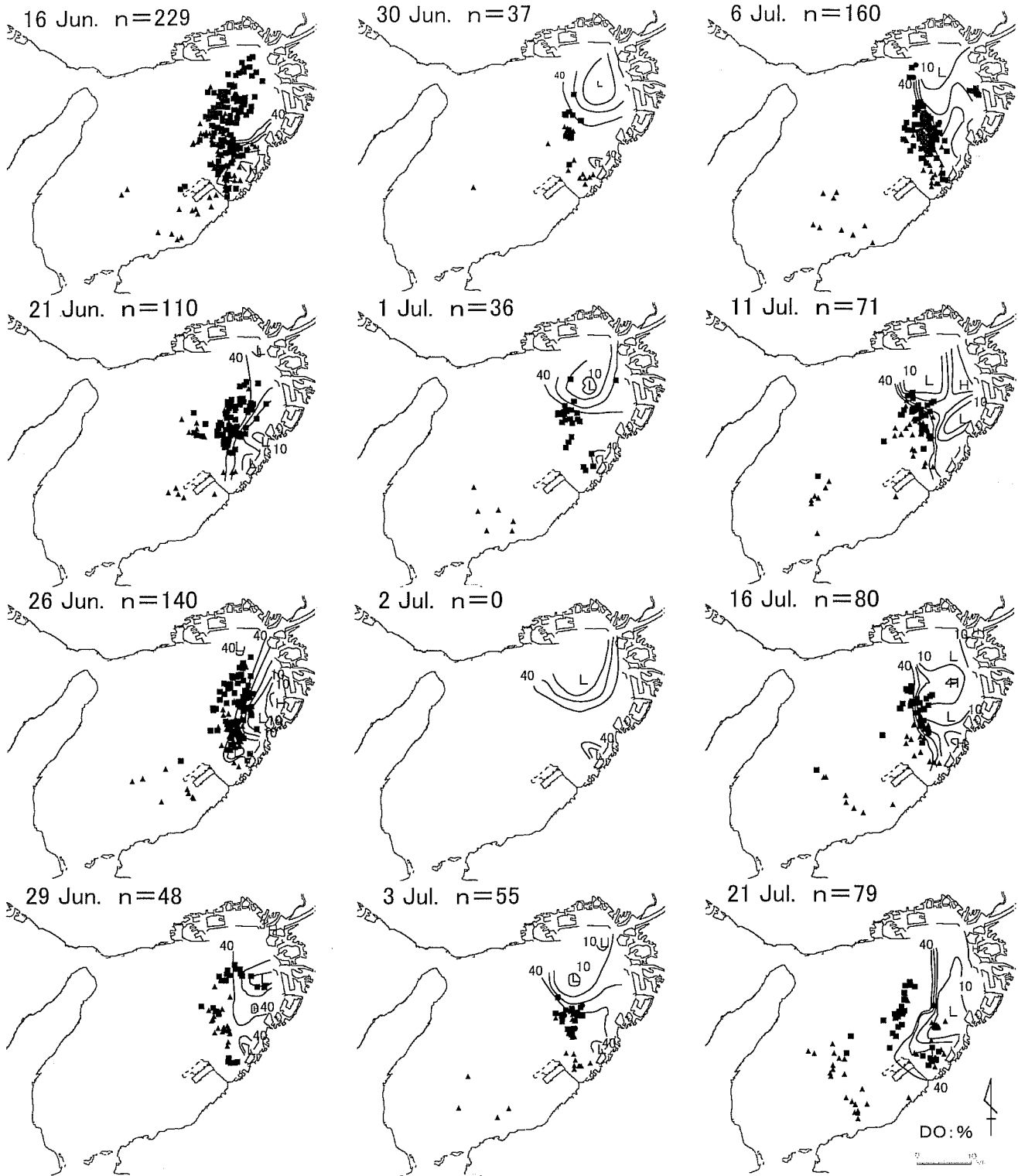


Figure 6. Distribution of hypoxic water, from June 16 to July 21, 2000 and conger eel basket trap fishing ground. Lines indicate 10%, 20%, 30% and 40% oxygen saturation limits. Each black spot indicates a single fishing boat and “n” is the total number of the boats during five days before oxygen saturation measurement.

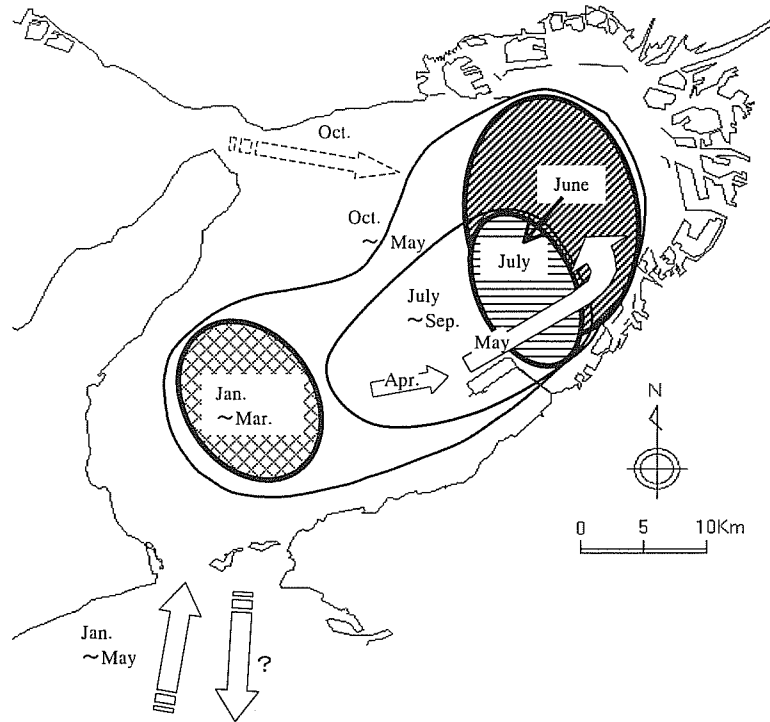


Figure 7. Schematic view of seasonal migration of white-spotted conger eels in Osaka Bay. Arrows show the direction of their migration, the fishing grounds from October to March are formed within the range of large circle and seasonal main fishing grounds are formed within the classified circles. Fishing grounds in August and September are not indicated because of the catch declining and few fishing boats.

Figure 7 は、レーダーの画像から解析したあなごがご漁場の変化とマアナゴの生態的知見（反田, 2001; 鍋島ほか, 1994）をもとに大阪湾におけるマアナゴの分布や移動状況を示したものである。

大阪湾の湾南西部は紀伊水道からの外洋水の影響を受けて、1月から3月には底層水温が10~12°C、6月、7月には18~21°Cを示し、過去5年間の平均値で見ると水深20m以浅と比較して1°C程度高い海域となっている（大阪府立水産試験場, 1996~2000）。マアナゴの漁場は冬季には水深が深く、水温の高い湾南西部が漁場の中心となる。春季から初夏には湾奥部の水温が上昇し、湾南西部との差がなくなると、湾奥部に向けて移動し、6月には湾中部から湾奥部が漁場の中心となり、冬季と夏季で深浅移動を行っていることが確認できた (Fig. 5)。

しかし、7月の漁場は湾奥部に発生した貧酸素水塊の広がりとともに徐々に湾中部へと移動し、Line Aに漁場が集中し、湾奥部での漁場は見られなくなった (Fig. 6)。

大阪湾の貧酸素水塊の形成は、湾奥から東部海域の停滞域を中心に成層が発達する高温期とされ、その消長は海象条件によって変動し、出現海域が縮小することもある（城, 1986, 1989）。

2000年7月における貧酸素水塊は、水深20m以浅で酸素飽和度50%以下となり、8月には貧酸素化が極度に進行し

て、湾奥部は無酸素化した。なお、6月下旬の一時的な酸素飽和度10%以下の貧酸素水塊の解消は、大阪市内の総降水量が50mmを示し、淀川の流量が、最大600t・s⁻¹に及び、また、海上では南から南南西の風が卓越し、風速は10m・s⁻¹を越え、有義波高は100cmを示し、最大波高は200cmに達したことから（関西国際空港株式会社, 2000）、海水が激しく攪拌されたためと考えられた。

夏季に底層水の貧酸素化が見られる大阪湾の奥部は、海底の堆積物中の強熱減量、全硫化物量の値が高くなり、甲殻類と魚類の現存量も8月に最小を示す（城, 1986, 1989; 有山ほか, 1997）。8月に最小となるのは、酸素飽和度が1~22%という海域の強い貧酸素化が原因で、移動能力の大きいヨシエビやカレイ類、マアナゴなどの大型魚介類の一部は貧酸素水塊を避けて移動して、移動能力の小さな底生生物は死滅するためである（有山ほか, 1997）。また、大阪湾で夏季にヨシエビやマコガレイ等が多獲される場所は、酸素飽和度が40%以下の貧酸素水塊の縁辺部に集中し、貧酸素水塊の動きとともに多獲位置も移動する（安部ほか, 1993, 1995; 有山ほか, 1997）。貧酸素水塊を避けて海域を移動する現象は、大村湾、東京湾、Chesapeake湾等でも報告されている（辻田, 1953; 小林, 1993; Pihl *et al.*, 1991）。底生の甲殻類や魚類の貧酸素耐性についてはいくつかの研究例があり、大阪湾では酸素が1~22%になる夏

季には大型甲殻類や魚類の種類数, 個体数, 湿重量は大きく減少することが確認され(有山ほか, 1997), 大村湾では酸素が $1 \text{ ml} \cdot \text{l}^{-1}$ 以下になると底生水族は逃避または斃死し(森ほか, 1973), 東京湾では酸素が $1.4 \text{ ml} \cdot \text{l}^{-1}$ 以上であれば大型底生動物は生息できるとしている(風呂田, 1991). また, ヨシエビは酸素飽和度が20%以下でも短期間なら耐えられるが, これが長期間に及ぶと生存は困難とされる(Yamochi et al., 1995).

このように夏季の湾奥部では, 貧酸素水塊の発生により, まず, 一般的に貧酸素に対する耐性が小さく, マアナゴの餌料となる小型魚類や甲殻類が死滅あるいは忌避する. マアナゴにとっては餌料不足となるとともに, さらに貧酸素化が進行するとマアナゴの忌避移動を引き起こすと考えられる.

このため, 貧酸素水塊の縁辺にあなごかご漁船が集中するのは, 上述した理由により貧酸素水塊を忌避して南下移動した群と, 湾中部に生息する群とが遭遇し, 高密度となったことが漁場の形成をもたらしたものと考えられた.

このような貧酸素水塊の消長と密接に関連した魚類や甲殻類の移動行動は, 拡大する貧酸素水塊の縁辺部で集中的に漁獲される「潮押し」という現象として捉えられている(有山ほか, 1997).

8月, 9月は, 休漁期を挟むため, 出漁隻数は少なくなる. 両月とも湾奥部に漁場は見られない. 8月の漁場はLine A付近に見られ, 9月の漁場は8月の漁場から南西方向に水深40m付近まで拡大する(Fig. 5).

10月, 11月の漁場は, 湾奥部を含む大阪湾漁場のほぼ全域に広がる. この時期には, 湾奥部の貧酸素水塊を避けて湾中部へ移動していたマアナゴも回帰を始め, 新規加入群や播磨灘からの資源添加も加わって湾奥部でのマアナゴ資源は急速に回復する(鍋島, 1994, 2001). 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の移入, 出現が見られ始め, 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大量移入して, マアナゴにとって索餌活動が容易になるためと考えられている(有山ほか, 1997; 鍋島ほか, 1992).

今回, あなごかごの漁場をレーダーで追跡することにより, マアナゴの大阪湾における季節的な空間分布や生態的な一面が明らかになった. レーダー画像解析から求まる漁船の位置情報は, ほぼ出漁漁船の全数を網羅しており, その漁船の分布は海域環境に対する応答性を的確に表していると考えられる.

現在, レーダーの画像解析からは, 機船船びき網, あなごかご漁船の他に, 小型底びき網, さわら流網, 刺網, 釣漁業の漁船判別が可能である. さらに, あなごかご, 機船船びき網, 小型底びき網漁業については漁獲調査および標本船調査を実施しており, 今後は, レーダー画像解析から得られる漁船位置データを対象魚種ごとに漁獲量あるいは

現存量として取り扱えるようにし, 海域環境データと合わせて各種の環境応答性について検討するつもりである.

また, 底魚類については, 漁業者は直接, 貧酸素水塊を確認することができないことから, 長年の経験と水色の変化を指標として, 貧酸素水塊のその年の位置を判断していると言われており, 漁場形成と水色情報との関連についてもその情報を集めて検討を進めたいと考えている.

謝 辞

本研究を進めるにあたり, 有益なご助言と御校閲をいただいた京都大学農学研究科海洋生物資源学講座坂本 亘教授に厚く感謝申し上げます. また, 大阪府立淡水魚試験場主任研究員鍋島靖信氏には, 大阪湾のマアナゴについて貴重な情報をいただいた. ここに, お礼申し上げます.

引用文献

- 安部恒之・鍋島靖信・日下部敬之(1993) 広域回遊資源(カレイ類, ヒラメ, マダイ)調査. 平成3年度大阪水試事業報告, 77-84.
- 安部恒之・日下部敬之・鍋島靖信・辻野耕實(1995) 大阪湾におけるヨシエビの漁業生物学的研究. 大阪水試研報, 9, 57-75.
- 有山啓之・矢持 進・佐野雅基(1997) 大阪湾奥部における大型底生動物の動態について. I. 甲殻類と魚類の種類数・個体数・湿重量の季節変化. 沿岸海洋研究, 35, 75-82.
- 有山啓之・矢持 進・佐野雅基(1997) 大阪湾奥部における大型底生動物の動態について. II. 主要種の個体数・分布・体長組成の季節変化. 沿岸海洋研究, 35, 83-91.
- 中国四国農政局統計情報部(2001) 平成11年瀬戸内海地域における漁業動向. 中国四国農林統計協会協議会, 岡山, 91 pp.
- 風呂田利夫(1991) 東京湾内底生動物の生き残りと繁栄. 沿岸海洋研究ノート, 28, 160-169.
- 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, 571-574.
- 城 久(1986) 大阪湾における富栄養化の構造と富栄養化が漁業生産におよぼす影響について. 大阪水試研報, 7, 1-174.
- 城 久(1989) 大阪湾の貧酸素水塊. 沿岸海洋研究ノート, 26, 87-98.
- 小林良則(1993) 東京湾における低酸素水域の分布と小型底びき網の漁獲量の関係. 神奈川水試研報, 14, 27-39.
- 関西国際空港株式会社(2000) 大阪湾貧酸素水塊分布状況調査, 175 pp.
- 森 勇, 徳永武雄, 桑岡亦好, 藤本哲夫(1973) 大村湾の底層貧酸素水と底生有用水族の分布. 日本誌, 39, 753-758.
- 鍋島靖信, 安部恒之, 日下部敬之(1994) 地域重要資源調査(その2. マアナゴ). 平成4年度大阪水試事業報告, 110-122.
- 鍋島靖信(2000) マアナゴ. 平成10年度大阪水試事業報告, 118-123.
- 鍋島靖信(2001) マアナゴの成長と食性. 月刊海洋, 33, 544-550.
- 大阪府立水産試験場(1996~2000) 浅海定線調査. 平成6~11年度大阪水試事業報告.
- 大阪府立水産試験場(1996~2000) 大阪湾漁場水質監視調査. 平成6~11年度大阪水試事業報告.
- Pihl, L., S.P. Baden and R.J. Diaz(1991) Effect of periodic hypoxia on distribution of demersal fish and crustaceans. Mar. Biol., 108, 349-360.
- 辻田時美(1953) 大村湾の海洋生態学の一考察. 日本海洋学会誌, 9, 23-32.
- Yamochi, S., H. Ariyama and M. Sano(1995) Occurrence and hypoxic tolerance of the juvenile *Metapenaeus ensis* at the mouth of the Yodo River, Osaka. Fish. Sci., 61, 391-95.
- 米田佳弘, 吉田 司, 長柄勇三(2000) レーダー画像解析による大阪湾におけるイカナゴシラスの漁場形成機構. 水産海洋研究, 64, 138-143.
- 吉田俊一(1980) 大阪湾およびその周辺海域におけるマアナゴの資源生態. 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.