

寄稿

大阪湾におけるレーダー画像解析によるカタクチイワシの
シラス漁場と海洋環境との関係米田佳弘¹, 吉田 司^{2†}, 中村憲司², 安部洋介², 岡本英明²Distribution of fishing grounds of larval Japanese anchovy (*Engraulis japonicus*)
based on Radar Image Analysis and Oceanographic Structures in Osaka BayYoshihiro YONEDA¹, Tsukasa YOSHIDA^{2†}, Kenji NAKAMURA², Yosuke ABE² and Hideaki OKAMOTO²

Commercial fishing of larval Japanese anchovy (*Engraulis japonicus*) in Osaka Bay has been carried out by boat seine nets. The fluctuation of the resources quantity can be understood from the relation of fishing grounds and oceanographic structures. The distribution of boat seine nets was estimated from the analysis of the radar image of Osaka Bay and relations between fishing grounds of larval Japanese anchovy and oceanographic structures were compared. The fishing grounds were observed in the areas affected by high sea surface temperature waters which inflowed from the Kii Channel. The fishing grounds were observed along clear fronts of water temperature. This study improved the accuracy to identify the fishing grounds and clarified the relation between the fishing grounds and oceanographic structures.

Key words: Japanese anchovy, Osaka Bay, fishing ground, boat seine, radar

はじめに

大阪湾では機船船びき網（通称パッチ網）によるシラスの漁獲量は、年間8,000トン前後で推移しており（中国四国農政局, 2005）、大阪湾の魚類漁獲量の20%を占める。シラスのほとんどはカタクチイワシ(*Engraulis japonicus*)である（鍋島ら, 2005）。大阪湾のカタクチイワシは、九州太平洋系群に属し、太平洋南区春季発生群と内海発生群との混合資源で、その内、太平洋南区春季発生群は3～5月に薩南海域から土佐湾で生まれ、黒潮によって輸送され、その一部が大阪湾に補給される（高尾, 1980）。

大阪湾においてはカタクチイワシのシラス（以下カタクチシラス）を対象とするパッチ網の漁獲量が多いことから主幹漁業として重要な位置を占めており、資源量の変動要因を理解するためにも漁場と海域環境の関連を明らかにすることは不可欠である。しかし、カタクチシラスの湾内における分布を空間的に示した事例は少ない。

また、大阪湾では例年、4月下旬からカタクチシラスを対象としたパッチ網漁が解禁される。解禁日は、2月下旬

から4月上旬までパッチ網によるイカナゴのシラス漁が行われているため、漁具の補修、網の載せ替えに要する準備期間、漁業者の休養期間を設けた後、解禁前の試験業によりカタクチシラスの全長を確認し、さらに紀伊水道での漁獲情報と合わせて決められている。

本研究では、大阪湾の春季におけるレーダーから得られるパッチ網漁船の位置情報と浅海定線調査の実施日および人工衛星画像が大阪湾全域で鮮明な日を抽出して、その空間的な分布の関連を明らかにすることができたので報告する。

方法および資料収集

レーダーによるパッチ網漁船の出漁状況

観測に用いたレーダーは、関西国際空港の北緯34°25'54"、東経135°14'39"に設置されたものである(Fig. 1)。レーダーの仕様はスロットアレイ型式、空中線長3,210mm、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-2120Z, XN5AZ）である。

レーダー画像は、1997年から2003年にカタクチシラスの解禁日から5月31日の期間の毎日、日中（6時から15時まで）に15分ごとに記録した。大阪湾で操業するパッチ網漁船の位置は、各日において最も多く漁船が確認された

2006年4月27日受付, 2006年12月28日受理

¹ 財団法人関西空港調査会 Kansai Airport Research Institute, 2-9-3, Tanimati, Chuo, Osaka, 540-0012, Japan.

² 株式会社シャトー海洋調査 Chateau Marine Survey Co., Ltd., 1-4-2, Katamati, Miyakojima, Osaka, 534-0025, Japan.

† yosida@chateau-kaiyou.co.jp

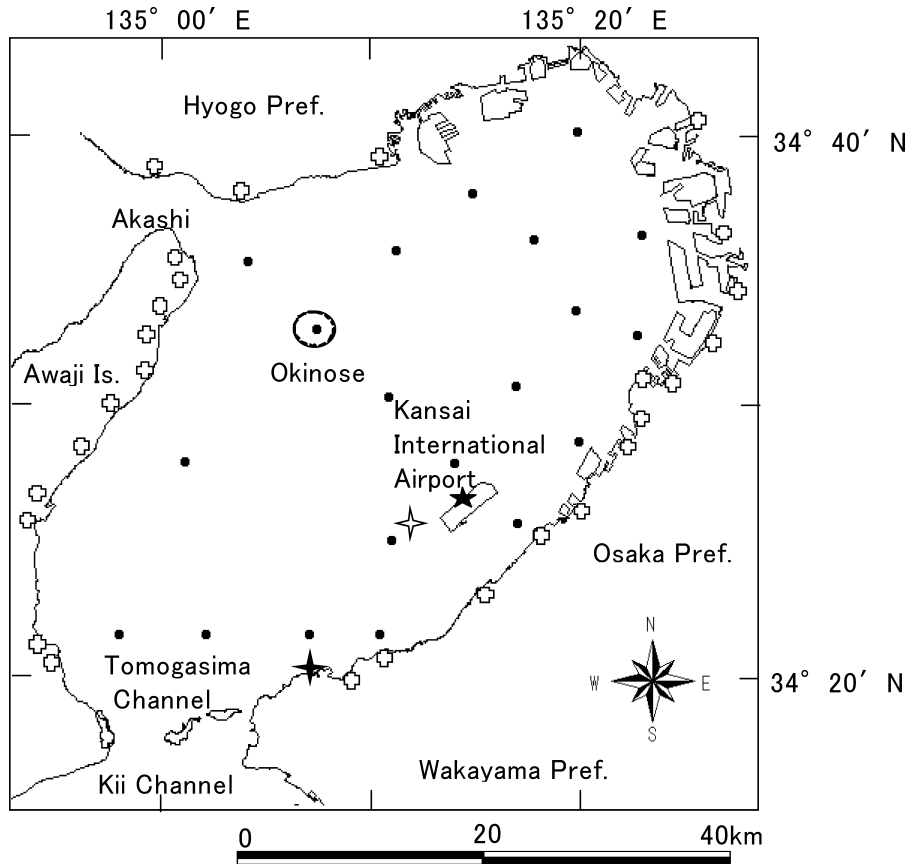


Figure 1. Map of Osaka Bay with the radar site, stations for observation, location of fishing ports of seine fishing boats.

☐: fishing port, ★: radar site, ●: station for monthly observation by the Osaka Prefectural Fisheries Research Institutes, ☆: Marine Tower, ✦: the Osaka Prefectural Fisheries Research Institutes.

時刻（午前9時前後）の画像を抽出し、操業する漁船の緯度と経度をコンピュータ上で読み取ることによって求めた。ただし1998年のパッチ網漁船の位置の読み取りは週1日の頻度で適宜、行った。

レーダー画像からのパッチ網漁船の判別は、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）、操業時間帯、経時的なレーダー画像から判断された漁船の所属漁港、漁業者への聞き取りおよび海上での漁業操業確認から得られた情報から行った（米田・吉田，2000，2001）。

日々の水温は、関西国際空港の南西沖に空港島建設に係る環境監視の一環として設けられた海域環境観測局（Marine Tower：北緯34°25'42"，東経135°12'02"，Fig. 1，以下MT局）で自動観測された水深3m層の毎日9時の水温データ（関西国際空港株式会社，1997～2003，私信）を収集した。

大阪湾内全域の海域環境

調査期間における大阪湾内全域の海域環境は、大阪府立水産試験場が行っている浅海定線調査および人工衛星画像に

よって把握した。大阪府立水産試験場が行っている浅海定線調査では、大阪湾に20定点(Fig. 1)が設けられ、毎月上旬に表層、水深5m、10m、20m、30mおよび底層で水温や塩分などが観測されている（大阪府立水産試験場，1997～2005）。本研究では1997年から2003年の4月と5月に行われた観測層のうち、表層および底層の中間層にあって全ての観測層に共通の最深観測層である10m層の観測値を用いることにした。人工衛星画像からは海面水温と海面クロロフィルa濃度を把握した。海面水温については、農林水産衛星画像データベース(URL: http://rms1.agsearch.agropedia.affrc.go.jp/menu_ja.html, 5 Apr. 2006)より1.1kmメッシュのNOAA/MCSSTの1997年から2003年の5月における毎日の画像を取得した。海面クロロフィルa濃度については、宇宙航空研究開発機構(JAXA)の地球観測センター(EORC)のホームページ(URL: http://kuroshio.eorc.jaxa.jp/ADEOS/mod_nrt/5, 5 Apr. 2006)で公開されている1.0kmメッシュのTERRA, AQUA/MODISの2001年から2003年の5月における毎日の画像を取得した。

4月と5月のレーダー画像解析から把握した操業中の

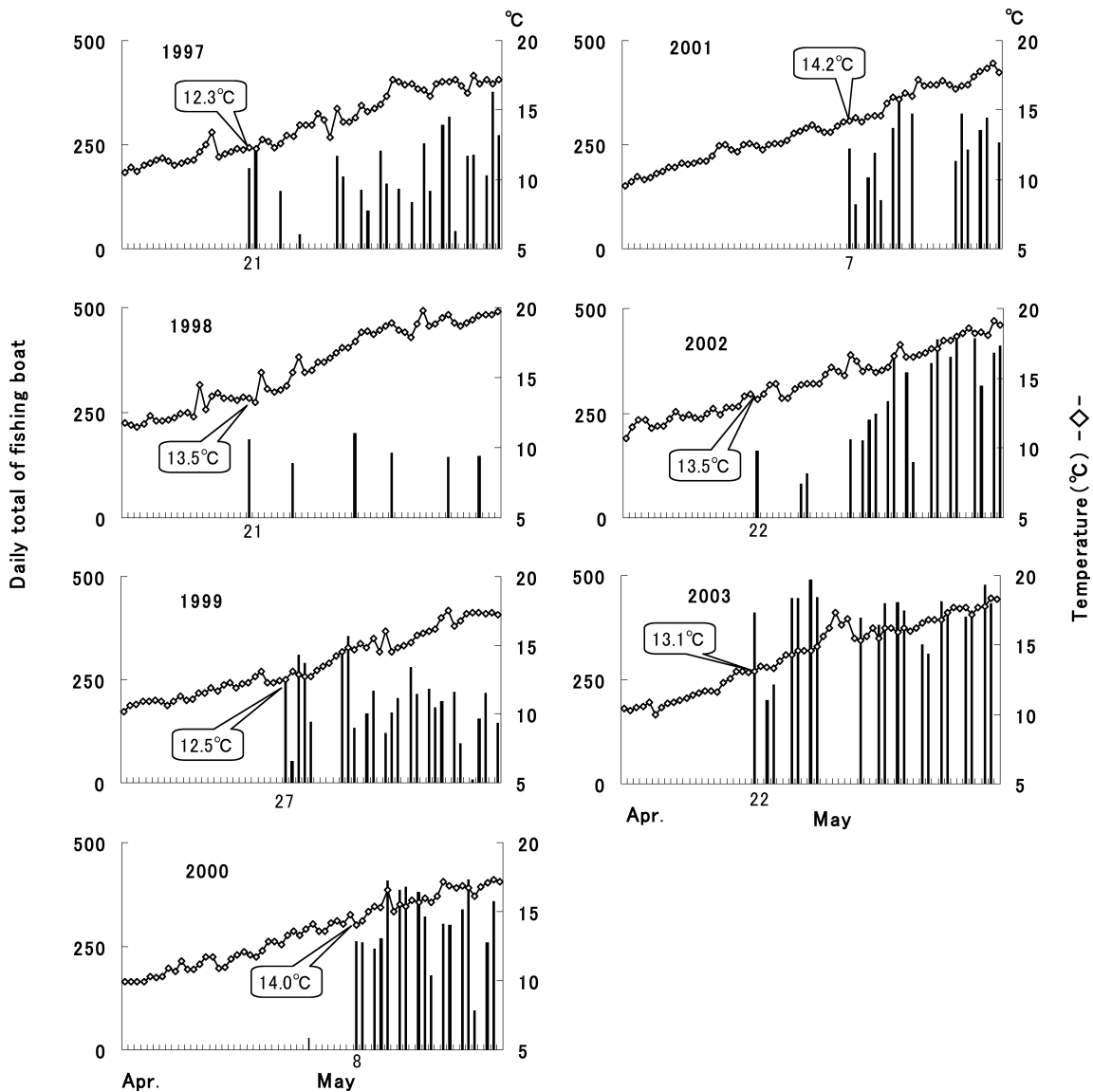


Figure 2. Daily number of seine boats and water temperature that was observed at 9 a.m. with 3 m depth of Marine Tower in the fishing season in spring. In 1998 data were analyzed only every 1 week.

パッチ網漁船の緯度と経度，5月の人工衛星画像および4月と5月の浅海定線調査結果をGISソフトウェア（Geographic Information System Arc View, ESRI社）に取り込み，オーバーレイの簡便的手法によりカタクチシラス漁場と大阪湾の海域環境の空間的な比較を行った。

結果

パッチ網漁船の出漁状況

大阪湾におけるカタクチシラスを対象としたパッチ網漁船の1997年から2003年における4月と5月の毎日の出漁隻数とMT局における水深3m層の9時の水温変化をFig. 2に示した。図中の数字は解禁日の午前9時の水温である。

パッチ網漁船の出漁隻数は，4月では各年平均220隻（約73ヶ統，大阪湾のパッチ網漁業は基本的に網船2隻と手船1隻の3隻を1船団として操業していることから統数は確認隻数を3隻で除したものである），5月では平均280隻（約93ヶ統）であった。

MT局の1998年と2002年4月の平均水温はそれぞれ13.1°C，12.9°Cで，他の年に比べて高水温で推移した。2000年と2001年4月の平均水温はそれぞれ11.5°C，10.4°Cで，他の年に比べて低水温で推移した。

各年のカタクチシラス解禁日の水温は，1997年は4月21日で12.3°C，1998年は4月21日で13.5°C，1999年は4月27日で12.5°C，2000年は5月8日で14.0°C，2001年は5月7

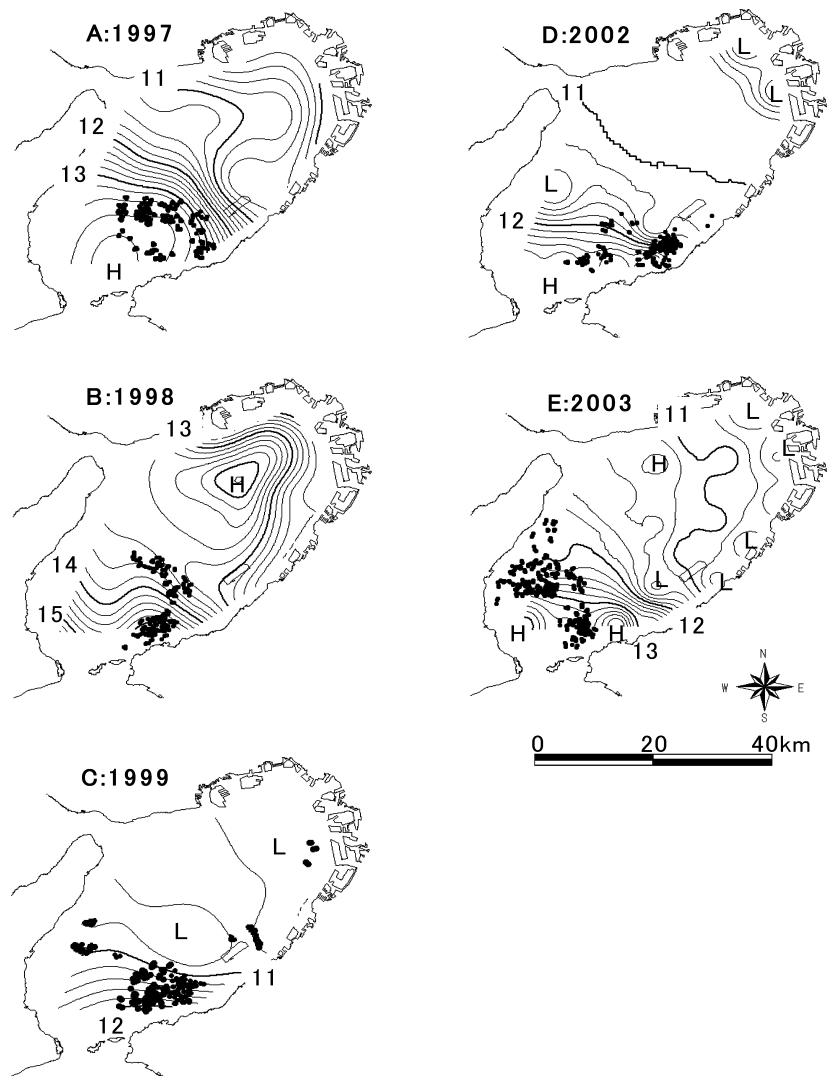


Figure 3. Distribution of seine boats and water temperature at 10m depth in April. Data of fishing boats A: 21 April 1997, $n=194$, B: 21 April 1998, $n=186$, C: 27 April 1999, $n=254$, D: 22 April 2002, $n=161$, E: 22 April 2003, $n=410$. ●: Fishing boat.

日で 14.2°C 、2002年は4月22日で 13.5°C 、2003年は4月22日で 13.1°C であった。なお、1997年の解禁日は4月21日であったが、その後、不漁のため休漁となった。水温が 13°C を超えたのは1997年4月26日で、本格的に再開した5月5日の水温は 14.1°C であった。また、1999年は解禁の翌日には 13.1°C となった。

4月の漁場と水温

1997年から1999年および2002年と2003年の4月における漁場と浅海定線調査による水深10m層の水温をFig. 3に示した。なお、2000年と2001年については5月からの操業であったのでここでは示さなかった。

1997年では、紀伊水道からの高温水の水塊が友ヶ島水道から関西国際空港南端と淡路島北端を結ぶラインにまで

広がり湾中央部で等水温線が密になった。漁場は高温水の海域内に広がっていた。1998年では湾口部から湾奥部にかけて高温水を示した。漁場は湾南東部の海域にみられた。

1999年と2002年では、湾奥部から湾中央部にかけて低温水の水塊が広がり、高温水の水塊は湾口部付近に留まっていた。漁場は湾南東部の高温水の海域に集中した形となった。2003年では、等水温線が湾南東部で密となり、南西部では比較的緩やかとなった。漁場は湾南東部から南西部の海域へ広がる形となった。

5月の漁場と水温、クロロフィルa濃度

天候が良好で、かつパッチ網漁業の操業時間帯と人工衛星の大阪湾上空への飛来時間のズレが小さかった5月のうち、カタクチシラス漁場と海域環境の関連が良く表現され

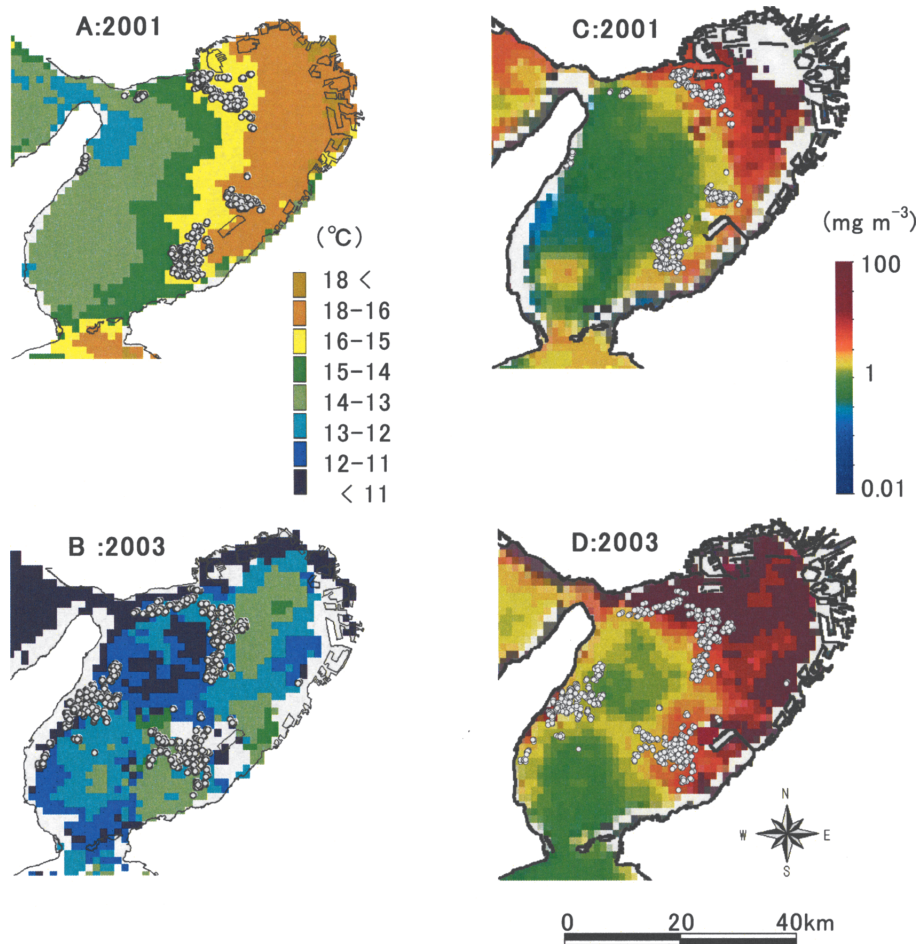


Figure 4. Distribution of seine boats, sea surface temperature (NOAA/MCSST, A~B) and surface chlorophyll-a (C~D). Surface temperature of A: 14 May 2001 and B: 1 May 2003. Surface chlorophyll-a of C: 13 May 2001 and D: 3 May 2003. Data of fishing boats : A, C: 14, 15 May 2001, $n=655$ and B, D: 1, 2 May 2003, $n=938$. ○: Fishing boat.

ている例を Fig. 4 に示した. 図中の A, B はそれぞれ 2001 年 5 月 14 日, 2003 年 5 月 1 日の海面水温を示しており, C, D はそれぞれ 2001 年 5 月 13 日, 2003 年 5 月 3 日の海面クロロフィル a 濃度を示している. パッチ網漁船の出漁隻数については A と C では 2001 年 5 月 14 日と 15 日, B と D では 2003 年 5 月 1 日と 2 日のデータを重ね合わせたものである.

2001 年は湾奥部から大阪府沿岸に沿って, 水温 $16^{\circ}\text{C}\sim 18^{\circ}\text{C}$ で, クロロフィル a 濃度は 10 mg m^{-3} 以上であったが, 湾西部では水温 $13^{\circ}\text{C}\sim 15^{\circ}\text{C}$ で, クロロフィル a 濃度は低かった. 漁場はこの 2 つの水塊の境界線に沿って南北にみられた. 2003 年は大阪湾北西部に水温 12°C 以下, クロロフィル a 濃度も 1 mg m^{-3} 以下を示す円形状の水塊が顕著であった. 湾奥部には水温 12°C 以上, クロロフィル a 濃度が 10 mg m^{-3} 以上を示す水塊がみられた. さらに湾口部には水温 12°C 以下, クロロフィル a 濃度も 1 mg m^{-3} 以下を示す水塊があった. 漁場はそれぞれの水塊の境界線に

沿ってみられ, その形は円弧状であった.

1997 年から 2000 年と 2002 年の 5 月の大阪湾におけるカタクチシラス漁場と大阪湾浅海定線調査で観測された水深 10 m 層の水温分布を Fig. 5 に示した.

1997 年は明石海峡から湾央・湾奥部に 13°C 台の水塊が広く張り出し, 等水温線は大阪湾東部沿岸に押し寄せられた形となった. 漁場はその外縁にみられ, 沿岸に張り付いた形となった. 1998 年は調査期間中, 最も高水温を示し, 湾口部では 19°C 以上となった. 漁場は湾東部の等水温線が密になった海域にみられた. 1999 年は水温 15°C 台の水塊が友ヶ島水道から関西国際空港北端と淡路島北端を結ぶラインにまで広がり, 湾中部で等水温線が密になった. 漁場は 15°C 台の湾南東部で湾口部から空港島北端まで連続してみられた. 2000 年は湾口部からの 14°C 台の水塊が湾西部と湾奥部に広がり, 湾東部で等水温線が密になっていた. 漁場はその水塊と湾奥水の境界線周辺でみられた.

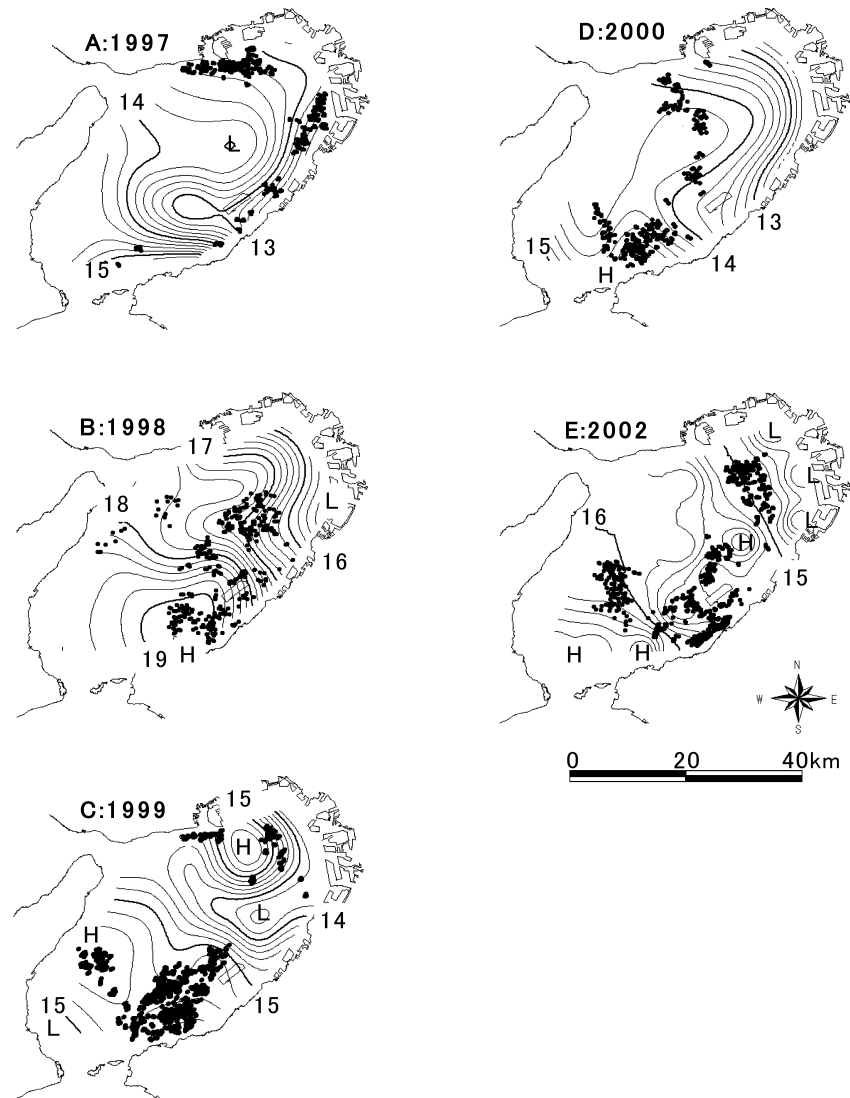


Figure 5. Distribution of seine boats and water temperature at 10m depth in May. Data of fishing boats A: 12 and 13 May 1997, $n=389$, B: 8 and 14 May 1998, $n=354$, C: 6 and 7 May 1999, $n=669$, D: 8 May 2000, $n=262$, E: 14 and 16 May 2002, $n=729$. ●: Fishing boat.

2002年は1998年に次ぐ高水温となり、湾中央部で15°C台の水塊が広がった。漁場はその周辺海域でみられた。

考 察

紀伊水道から補給されるカタクチシラス春仔群が大阪湾で漁獲され始めるのは調査期間中では毎年4月21日以降であった。大阪湾で漁獲されるカタクチシラスの全長は主として20 mm~25 mm (日齢は43日)で、その成長は水温とよく対応しており、水温が高いほど早く成長して漁獲サイズとなる (辻野・渡, 2001)。本研究でMT局における水深3m層の9時の水温と解禁日の関係をみたところ、解禁日は概ね毎年13°C台となっていることが明らかとなった。従来、漁業者は解禁前の試験操業から主にカタクチシラス

の全長を確認し、さらに紀伊水道での漁獲情報を合わせて解禁日を調整する。さらに、大阪湾では例年2月下旬から4月上旬までパッチ網によるイカナゴのシラス漁が行われている。カタクチシラスの解禁日の決定には漁具の補修、網の載せ替えに要する準備期間、漁業者の休養といった社会的な事情も解禁日を決定する要素となっているが、本研究で水温が解禁日を決定する際の指標となる可能性が示唆された。

大阪湾における各年の解禁日から判断すると4月は、紀伊水道から大阪湾へカタクチシラスが補給される時期であると考えられる。この時期の漁場は、紀伊水道から湾内へ進入する高水温の水塊分布に対応した形となった。1999年と2002年は、紀伊水道から進入する高水温の水塊が湾

奥部の低水温を示す海域と接し、等水温線が密になった湾南東部の境界線(潮目)付近やその高水温側が漁場となった。1997年と2003年は、紀伊水道から進入する高水温の水塊が淡路島側に強く張り出す形となり、それにとまって漁場は西部海域へ広がる様相となった。

5月の大阪湾におけるカタクチシラスの漁場は、異なる水塊が接する潮目に多く形成されることが明らかとなった。このような水塊構造は還流や反流などの流れによって特徴づけられる。

大阪湾の湾奥東部では一年を通じて成層している。成層海域の上層水は、淀川から流入した淡水の影響を強く受け、この湾奥水は淀川河口域で南向きの流れとして現れ、時計回りに回転しながら水平方向に広がりをもせる(藤原ら, 1989; Fujiwara *et al.*, 1994)。これが水温とクロロフィル a 濃度の人工衛星画像でみられる湾奥部から大阪湾東岸沿いに南下する高水温-高クロロフィル a 濃度の湾奥水にあたる。湾西部では、明石海峡大潮期の東流時に海峡から沖ノ瀬の北側に向かって $2\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$ を越える速い流れが、ジェット状になって流入し、沖ノ瀬還流を形成する。この還流は明石海峡が西流に転じて南東方向への進行を続け、その大きさは12kmにも及び(藤原, 1995)、これが人工衛星画像でみられる明石海峡の東部海域に円形状の低水温-低クロロフィル a 濃度の湾中央水にあたる。湾南部では、友ヶ島水道の北流最強時から南流への転流時頃に友ヶ島の北側4km~11kmの海域に発生する友ヶ島反流がある(石塚ら, 1999)。この反流は紀伊水道の水塊を大阪湾内に輸送する役割があり(Fujiwara *et al.*, 1994)、これが人工衛星画像でみられる湾南西部の高水温-低クロロフィル a 濃度を示す紀伊水道由来の水である。

このような大阪湾の流れの構造から類推すると、大阪湾で漁獲されるカタクチシラスは、紀伊水道から友ヶ島反流によって大阪湾へ補給され、湾奥へと進む。しかし、湾東部では湾奥から南下してきた湾奥水があり、関西国際空港西岸沖付近で北上してきた友ヶ島反流と衝突し、潮目を形成する(藤原ら, 1997)。この海域でカタクチシラスは滞留し、漁期初めには漁場がみられる。その一部は発生した北西流によって湾東南部から淡路島沿岸へと移送され、淡路島沿岸で漁場を形成すると考えられる。この漁場には、パッチ網漁船の移動から推察すると友ヶ島水道から直接、補給されたカタクチシラスも存在すると考えられる。湾東南部に滞留したカタクチシラスは、水温の上昇や湾奥水と中央水の勢力バランスに支配されながら餌料の豊富な湾奥部へと移送される。パッチ網漁船が湾奥水と中央水が接する海域に集中することからも大阪湾のカタクチシラス漁場は、流れの構造に支配されて形成されることがうかがわれた。

一般に、海水の性質が急に变化する海洋前線は回遊魚にとっては目にみえない障壁で、前線を越える生理的な準備のため、前線付近には魚群が集積しやすく、性質が異なる海水の境界では水の混合によってプランクトンの生産が盛んであり、餌を求めて魚群が集まる。そのために前線付近には好漁場が形成されることが多い(渡邊, 2005)。本研究は大阪湾のカタクチシラスを対象としたパッチ網の漁場も潮目の形成と対応しており、ちょうどカタクチシラスが集積すると想定される場と一致することを示したと考えられる。

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大学院農学研究科藤原建紀教授に厚く感謝申し上げます。調査を開始した頃より適切にご指導をいただいた京都大学名誉教授、現近畿大学水産研究所坂本亘教授に厚くお礼申し上げます。大阪府立水産試験場には浅海定線調査、関西国際空港株式会社にはレーダー画像や環境監視に係る水温データの利用を快諾していただいたことを心よりお礼申し上げます。

引用文献

- 中国四国農政局統計情報部 (2005) 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.
- 藤原建紀, 肥後武彦, 高杉由夫 (1989) 大阪湾の交流と潮流・渦。海岸工学講演会論文集, **36**, 209-213.
- Fujiwara, T., H. Nakata, K. Nakatsuji (1994) Tidal-jet and vortex-pair driving of residual circulation in a tidal estuary. *Cont. Shelf Res.*, **14**, 1025-1038.
- 藤原建紀 (1995) 大阪湾の生態系を支配する流れの構造。瀬戸内海, **2**, 3, 85-93.
- 藤原建紀, 宇野奈津子, 多田光男, 中辻啓二, 笠井亮秀, 坂本亘 (1997) 外洋から瀬戸内海に流入する窒素・リンの負荷。海岸工学論文集, **44**, 1061-1065.
- 石塚正秀, 松田真人, 西田修三, 中辻啓二 (1999) 大阪湾における友ヶ島反流の現地観測。海岸工学論文集, **46**, 481-485.
- 鍋島靖信, 山本圭吾, 谷中寛和 (2005 a) 浮魚類資源調査。平成15年度大阪府立水産試験場事業報告。
- 大阪府立水産試験場 (1997~2005) 浅海定線調査。平成9~15年度大阪府立水産試験場事業報告。
- 高尾亀次, 石岡清英, 土井長之, 林 凱夫, 吉田俊一, 鈴木 猛, 堀木信夫 (1980) 大阪湾およびその周辺海域におけるカタクチイワシの資源生態。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。
- 辻野耕實, 渡 智美 (2001) 大阪湾におけるカタクチイワシの成長。大阪府立水産試験場研究報告, **13**, 11-18.
- 米田佳弘, 吉田 司 (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.
- 米田佳弘, 吉田 司 (2001) 大阪湾におけるイカナゴ漁場の動態と潮流。海と空, **77**, 59-64.
- 渡邊良朗 (2005) 自然変動する生物資源。海の生物資源, 海洋生命系のダイナミクス, **4**, 東海大学出版会, 東京, 1-18.