

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

米田佳弘¹, 吉田 司^{†2}, 長柄勇三²

Mechanism of Fishing Ground Formation of Sand Eel (*Ammodytes personatus*) larvae in Osaka Bay based on Radar Image Analyses

Yoshihiro YONEDA¹, Tsukasa YOSHIDA^{†2} and Yuzo NAGAE²

Sand eel larvae fisheries in Osaka Bay have been carried out by boat seine and radars equipped at the Kansai International Air Port monitored tracks of the fishing boat during February 24–April 10, 1997. The radar tracks indicated various patterns of movements of fishing boats associated with displacement of tidal front. In the early fishing season, the boats gathered to the frontal zone forming a circular-shape at the eastern part of the Akashi Straits during spring tide. It was caused by rip current forming convergence zone on the surface layer. However, the pattern gradually changed to several small circular forms with unstable pattern at the near neap tide. It was caused by disappearance of frontal zone. In the middle and late fishing seasons, these patterns were changed to spreading shapes with small patchiness. These results strongly suggest that the radar is useful method to describe fluctuation in fishing grounds associated with oceanic environmental fluctuation.

Key words: Sand eel, Osaka Bay, fishing ground formation, boat seine, radar

はじめに

内湾を中心とした漁場の把握は、漁船の単位努力量あたりの漁獲量と操業位置の聞き取り調査、調査船による漁船の移動と集合状態の観察などによって行われてきた。近年、この内湾での小型漁船の操業には、安全性の確保のために漁船の行動や位置情報をリアルタイムに収集・処理するシステムと漁獲可能量制度の導入による漁獲管理情報システムとが必要とされるようになった。

筆者らは、関西国際空港に取り付けられたレーダーを用いて、代表的内湾である大阪湾における漁場形成の実態の把握を行っている。その中で今回、イカナゴ (*Ammodytes personatus*) のシラスを対象に営まれている大阪府、兵庫県所属の機船船びき網（通称パッチ網）による漁場形成の実

態を、レーダー画像を用いて明らかにした。

イカナゴ親魚は、底質の選択性が強いことから、産卵場は限られた海域となっており、瀬戸内海東部海域では、播磨灘の鹿ノ瀬、大阪湾の沖ノ瀬付近の砂質底に、冬季に産卵する（浜田, 1985）。ふ化直後のイカナゴは産卵場周辺の比較的上層に分布し、瀬戸内海では水深5m層に最も多く、産卵場からの移動分散は、主として潮流などによる要素が大きいと推定されている。この時期は冬の季節風が連吹する季節でもあり、それによって生ずる吹送流も加わって、浮上したイカナゴの移動分散がさらに助長される（浜田, 1985; Nakata, 1988）。

遊泳力に乏しいこの時期のイカナゴは、特に、表層水が収束する潮日に捕捉され、潮日の移動や消長の影響を受けて輸送されるものと考えられている（中田・藤原, 1985; 藤原, 1994; 日下部・中島, 1996）。

そこで、本論文では、この潮日付近に集積するイカナゴを対象として、レーダー画像上の漁船密度変化をもとに、漁期・潮時別の漁場形成機構について検討した。

2000年2月18日受付、2000年6月1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, Katamati, Miyakojima, Osaka 534-0025, Japan.

[†] yosida@chateau-kaiyou.co.jp

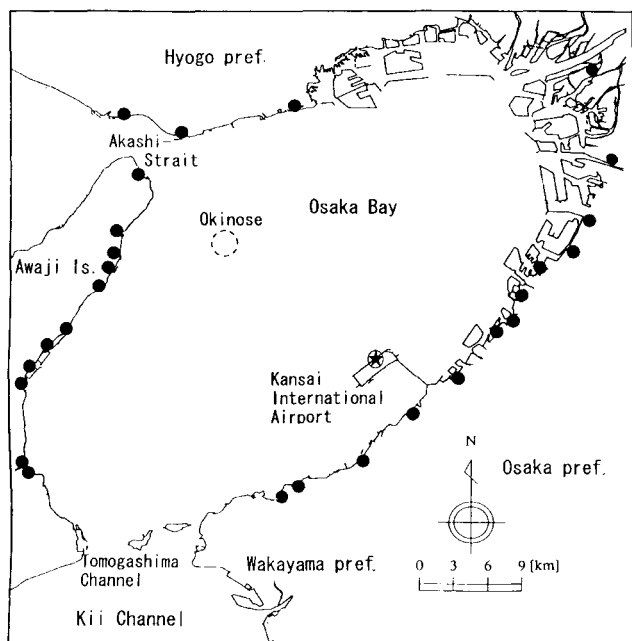


Figure 1. Map of Osaka Bay with a radar site and locations of fishing port of boatseine fishing boats. ★: radar site, ●: fishing port.

材料および方法

観測に用いたレーダーは、Fig. 1に示す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。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24rpm、水平ビーム幅0.75°、垂直幅20°、周波数9,740MHz（古野電気株式会社製、FR-2120Z、XN5AZ）である。

観測範囲は、大阪湾全体がなるべく網羅できるようにレーダー表示部の中心点を陸側にずらし（オフセンター）、12マイルレンジに設定した。レーダー画像はハードコピーで15分間隔に出力され、漁船の位置は、15分間の連続記録として航跡（尾引き部）とともに画像に記録される（Fig. 2）。したがって、画像を経時的に並べてみることにより、確認された漁船の出港から帰港までの航跡を追うことができる。

出力されたレーダー画像からの機船船びき網漁船の判別は、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）、操業時間帯および漁船の所属漁港などから行った。大阪湾で操業する機船船びき網の所属漁港は、大阪府、兵庫県を合わせて27ヶ所である（Fig. 1）。

機船船びき網漁船を判別した後は、各漁船の位置を、デジタイザーで読み取り、その座標（緯度、経度）と、観測日時分、漁業種類などの属性データとともにテキスト型式でデータベースに保存して、漁場図を作成した。

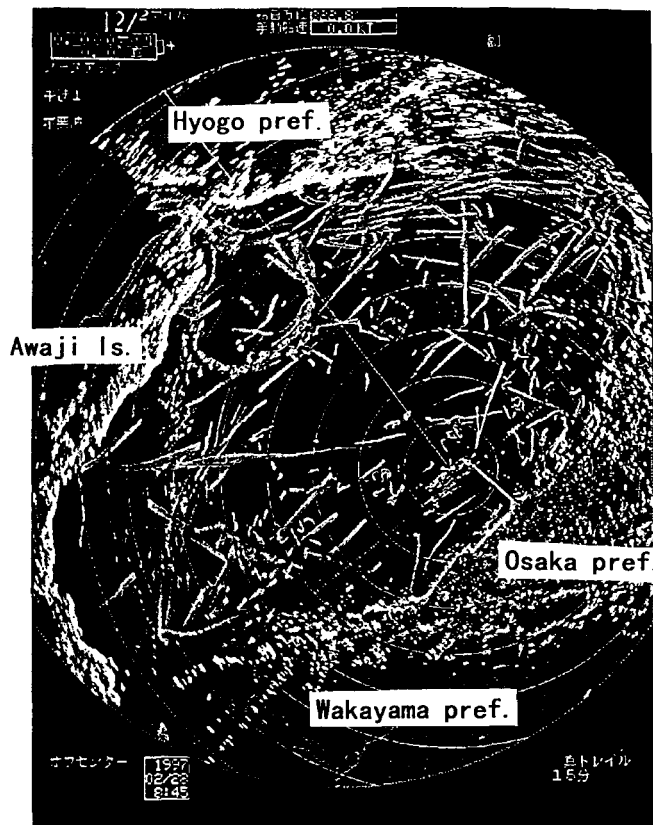


Figure 2. An example of a 15-minute running radar image of ships and fishing boats.

機船船びき網漁船の漁場解析は、イカナゴ漁が解禁となった1997年2月24日から漁期が終了する同年4月16日までの52日間の毎日について行った。

大阪湾で行われている機船船びき網は、2隻の網船、1隻の手船の通常3隻が1船団（1ヶ統）として操業され、これに運搬船が加わることもある。レーダー画像からは、網数を直接計数することはできないため、機船船びき網関連漁船と判別された全エコー数を3隻で割ることにより、その日の網数（機船船びき網出漁統数）とした。運搬船は、速度や航跡形状の違いにより区別した。

機船船びき網の漁場は、潮汐・潮流などによって左右され、漁期の初期および中、終期ではイカナゴの漁場の位置が異なる。したがって、漁場形成は、漁期の初期と中期のそれぞれ大潮、小潮前後の日のレーダー画像より機船船びき網漁船の全エコー数を読みとり、1時間毎の漁場として示した。

また、明石海峡の漁期中の潮流変化は海上保安庁潮汐表（1997）から、明石海峡西流時の流況は藤原（1995）から引用し、1997年2月25日および同年3月8日のそれぞれ西流時、午前8時の機船船びき網の漁場と重ね合わせ、潮流と漁場形成との関連性について検討を行った。

結 果

1997年漁期の出漁状況

大阪湾における1997年イカナゴ漁期の機船船びき網出漁統数は、Fig. 3に示すとおりである。

解禁日2月24日の出漁統数は漁期最高の149ヶ統がみられ、その後、出漁が多くみられる日は110ヶ統から130ヶ統、少ない日は40ヶ統から60ヶ統を繰り返しながら推移し、3月29日以降、出漁は50ヶ統を下回り、4月16日に漁期を終了した。漁期中の休漁は大阪府、兵庫県とも一斉に日曜日が当てられ、それ以外はほとんど休漁なく操業された。1997年漁期中の大阪湾でのイカナゴ漁獲量は8,196トン（中国四国農政局統計情報部、1998）と1995年および1996年の漁獲量の約2倍を示し、漁期も4月中旬まで続き、豊漁年となった。

漁場形成

Fig. 4は1997年2月から4月のイカナゴシラス漁期の明石海峡潮流（海上保安庁、1996）と操業時間帯を示したものである。明石海峡付近の潮流は、西流はほぼ高潮時に、東流はほぼ低潮時に流速が最強となる。解禁日は大潮（2月22日）から2日後にあたる。機船船びき網の操業は午前6

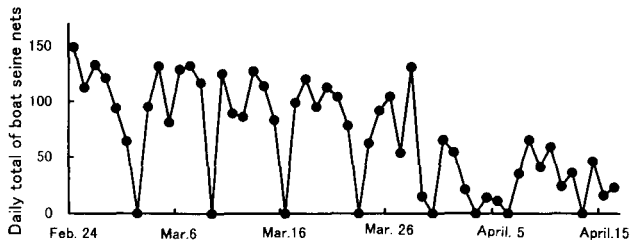


Figure 3. Daily number of boatseine during fishing season.

時から午後3時までである。操業時間帯は大潮付近では西流への転流時から西流最強時をはさんで次の東流への転流時までと、西流最強時から東流最強時にかけての時間帯となる。小潮付近では東流への転流時から東流最強時をはさんで次の西流への転流時の時間帯となる。

Fig. 5~7は、漁期初期の漁場形成の代表例として2月25日、3月4日、8日の操業が集中する午前7時から午前10時の間の機船船びき網の漁場を1時間毎に、Fig. 8は漁期中期の代表例として3月18日、21日、25日、28日の午前8時の漁場を画像解析結果から抽出したものである。

Fig. 5は漁期初期の大潮（2月22日）から3日後の2月25日にみられた漁場である。明石海峡東部が主漁場となり、その他に友ヶ島水道北部に小規模な漁場が形成された。この時間帯の明石海峡の潮流は西流時への転流時から西流最強時（午前9時36分）をやや過ぎたころであった。漁場は操業開始時から円弧状に形成され、時間の進行とともに徐々に収縮していく実態がみられた。円弧の中心は明石海峡東南に位置する沖ノ瀬で、その直径は最大約12kmに及んだ。

Fig. 6は漁期初期の小潮（3月2日）から2日後の3月4日にみられた漁場である。漁場は明石海峡東部と友ヶ島水道北部にみられた。この時間帯の明石海峡の潮流は東流への転流時から東流最強時（午前10時31分）に向かう。明石海峡東部海域では小円弧状の漁場を示したが時間とともに塊状へと変化した。また、操業する漁船の間隔も大潮期より広く保たれ、一ヶ所を目指して集中する漁場形成はみられなかった。

Fig. 7は漁期初期の大潮（3月9日）1日前の3月8日にみられた漁場である。この時間帯の明石海峡の潮流は西流最

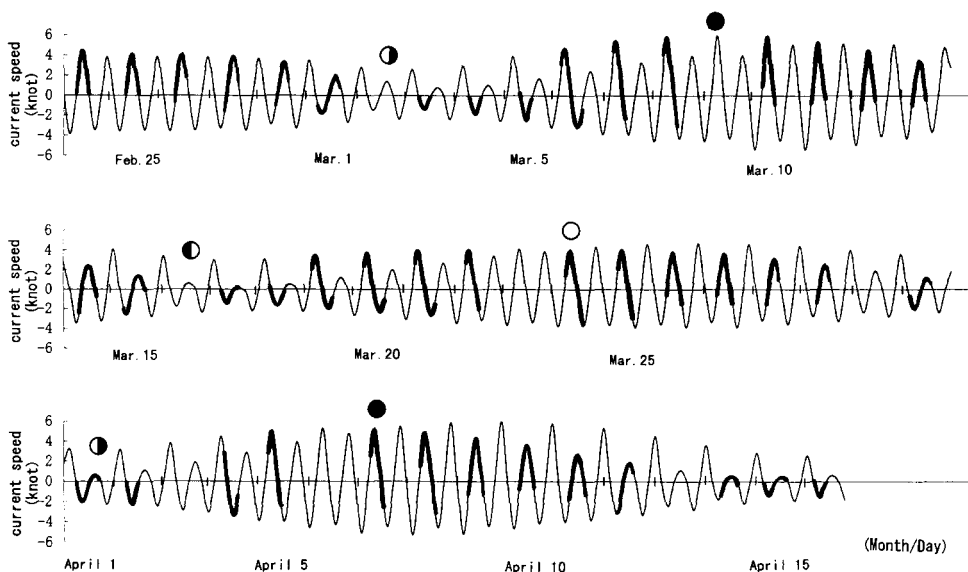


Figure 4. Time series of tidal current speed in the Akasi Straits thin line and operating time of boatseine fishing boats solid line.

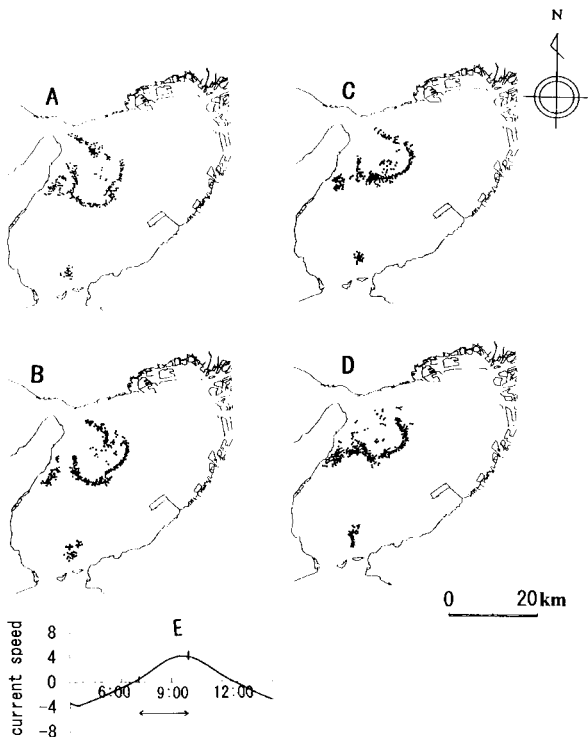


Figure 5. Positions of fishing boats in the early fishing season on February 25, three days after the spring tide. A: 7:00, B: 8:00, C: 9:00, D: 10:00, E: Tidal period.

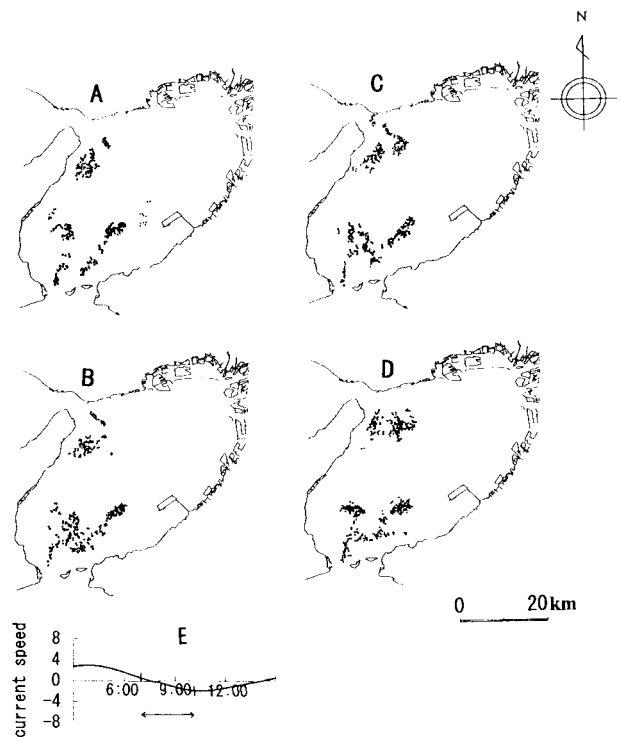


Figure 6. Positions of fishing boats in the early fishing season on March 4, two days after the neap tide. A: 7:00, B: 8:00, C: 9:00, D: 10:00, E: Tidal period.

強時（午前7時29分）から東流への転流時に向かう。漁場は淡路島東岸沿いに南北と神戸沖から関西国際空港島北西沖にかけて帯状にみられ、Fig. 5の円弧状の漁場がさらに大阪湾湾中央部に拡大され、その日の操業時間帯では大きな変化がみられなかった。また友ヶ島水道北部にも小円弧状の漁場形成がみられた。

Fig. 8-aは漁期中期の小潮（3月16日）から2日後の3月18日にみられた漁場である。この時間帯の明石海峡の潮流は東流への転流時であった。漁場は関西国際空港の北西2マイルから6マイルおよび仮屋、佐野沖に塊状を示した。

Fig. 8-bは漁期中期の大潮（3月24日）3日前の3月21日にみられた漁場である。この時間帯の明石海峡の潮流は西流から東流への転流時に向かう。漁場は明石海峡から大阪湾湾中央に向けて南東に帯状を示し、湾中央では塊状となった。

Fig. 8-cは漁期中期の大潮（3月24日）から1日後の3月25日にみられた漁場である。この時間帯の潮流はほぼ西流最強時にあたる。漁場は湾中央からやや南西寄りに塊状となった。

Fig. 8-dは漁期中期の大潮（3月24日）から4日後の3月28日にみられた漁場である。この時間帯の潮流はほぼ東流への転流にあたる。漁場は明石海峡東部海域や泉大津、淡輪沖に塊状にみられた。

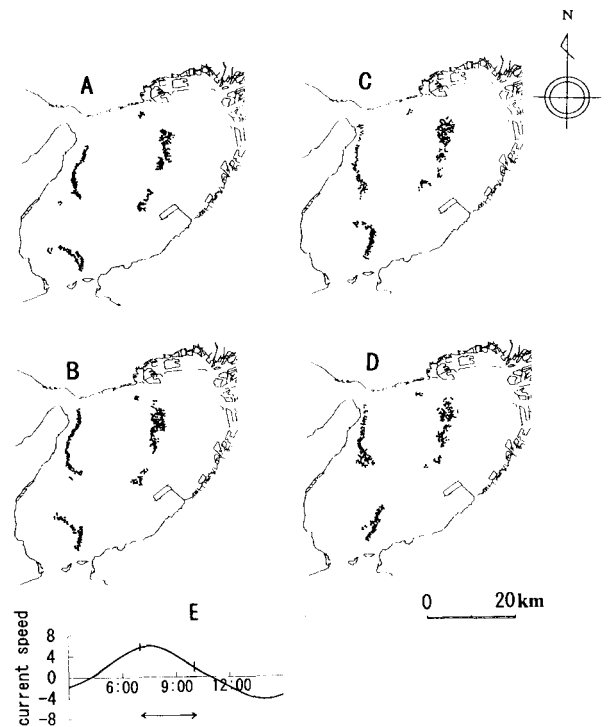


Figure 7. Positions of fishing boats in the early fishing season on March 8, one day before the spring tide. A: 7:00, B: 8:00, C: 9:00, D: 10:00, E: Tidal period.

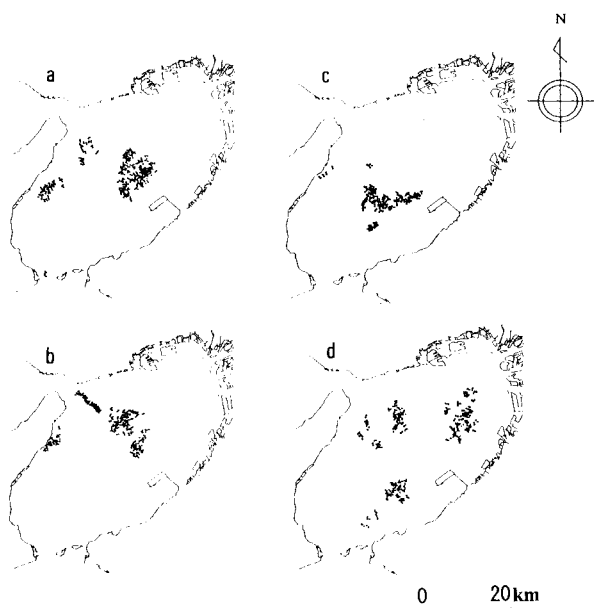


Figure 8. Positions of fishing boats in the middle fishing season. a: Fishing boats at 8:00 on March 18 two days before the neap tide, b: Fishing boats at 8:00 on March 24 three days before the spring tide, c: Fishing boats at 8:00 on March 25 one day after the spring tide, d: Fishing boats at 8:00 on March 28 four days after the spring tide.

このように、イカナゴシラス機船船びき網漁期の中・終期には大阪湾中央部を中心に湾内に分散した漁場形成となった。

考察

ふ化直後のイカナゴは産卵場周辺の比較的上層に分布し、瀬戸内海では水深5m層に最も多いとされている。(浜田, 1985; 日下部・中島, 1995)。

したがって、イカナゴの瀬戸内海東部への資源加入は、西からの季節風による吹送流が大きな正の要因としてあげられ、この西風がふ化した仔魚の拡散を助長し、仔魚期の生残率を高め、さらには隣接する備讃瀬戸からの仔魚の添加も助長することで加入量を増加させる方向に働くことが明らかにされている(浜田, 1985; 土井, 1971; 中田・平野, 1984; Fujiwara et al., 1990; 日下部ほか, 1997)。

しかし、イカナゴが潮流や吹送流などにより実際どのような過程で移動分散していくのかについて論じたものは少ない。

明石海峡大潮期の潮流は、東流時には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する。このとき流入した海水は、時計回りの渦と反時計回りの渦のペア、渦対を形成し、明石海峡が西流に転じても南東方向への進行を続ける。この渦対全体の大きさは12kmにも及ぶ。また、大阪湾の東部では、湾

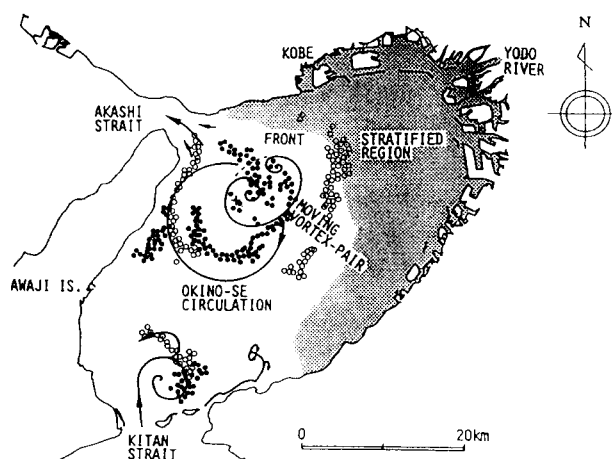


Figure 9. Schematic view of tidal currents and distribution of fishing grounds of sand eels larvae in the Akashi Straits at the spring tide. Solid and open dots indicate position of fishing boats at 8:00 on February 25 and at 8:00 on March 8, respectively. Arrows indicate the direction of current.

奥から南下してきた河川系水と紀淡海峡から北上してきた流れとが岸和田沖で衝突し、合流して北西流となる。この流れと東流ごとに発生し、拡大する渦対とがぶつかり合い明瞭な潮目が形成される(藤原, 1995)。

このように発生した渦対は、海底からのまき上げによる著しい濁りを伴うため船上から容易に確認することができる。明石海峡周辺での濁り水の存在は、機船船びき網を行う地元漁業者の間では昔から経験的に知られており、イカナゴがこの濁り水の境、潮目を目指して操業されていることは筆者らも現地観察によって確認している。

Fig. 9は、明石海峡西流時の流況(藤原, 1995より引用)と1997年2月25日、1997年3月8日のそれぞれ西流時、午前8時のイカナゴシラス機船船びき網の漁場を重ね合わせたものである。漁船隻数は、実際より間引いて表示したが、潮目への漁船の集結が明確に把握できた。

上述してきたように、潮目への漁船の集結は、表層水の収束線がイカナゴを集積する場となり漁場が形成されていることを示している。遊泳力の弱いイカナゴが単に潮目に力学的要因により捕捉されているためにみられる現象なのか、あるいは別の要因も加わっているのかまだ解明されていない。しかしこのような漁場形成は、潮目がイカナゴとともに遊泳力の乏しい餌料生物の集積を促し、イカナゴが連続的に摂餌できる良好な環境を提供している可能性も示している。

流れや季節風の状態から考えて、播磨灘でふ化、成長し、明石海峡の東流に乗って大阪湾に移動分散してきたイカナゴと、大阪湾沖ノ瀬周辺でふ化、成長したイカナゴとの混合群によって明石海峡東部の漁場が形成されると考えられる。大潮前後に漁場が形成される位置は、イカナゴが大阪

湾やその湾中央部に輸送される東流最強時刻から操業開始時刻までの時間が大きな要因となる。その際、東流最強時刻から操業開始までの時間が短い大潮付近では明石海峡東部の沖ノ瀬の海峡寄りに漁場が形成される。また、東流の繰り返しとともに輸送され、渦対内部に集積されたイカナゴは、渦対の南東方向への進行とともに沖ノ瀬環流に乗って湾中央部にまで広がることになる。

なお、小潮前後では流速も弱いいため明確な潮目の形成は見られない(藤原, 1981)。したがって、漁業者が操業の目印とする潮目が確認できず、それぞれの経験や魚群探知機により、イカナゴ魚群を探索して操業している。そのため漁場形態が不安定となり、漁船間隔の広がりを生じさせたものと考えられる。

以上のことから、大阪湾のイカナゴシラスを対象とした機船船びき網の漁場形成は、漁期初期の大潮前後にみられる明石海峡東部海域の円弧状漁場、小潮前後にやや不安定にはなるが小円弧状漁場、そして明石海峡東部海域以外の海域や漁期中・終期にみられた塊状漁場であった。このような明石海峡周辺の漁場形成は、潮流や潮目の変化と密接に関わっており、また、それ以外の周辺海域ではイカナゴの成長に伴う生息場所の移動が密接に関わって漁場が形成されているものと考えられる。

また、ときおり、友ヶ島水道の北部海域に小円弧状や塊状の漁場がみられたが、これは友ヶ島水道の南部や北部にある砂質底がイカナゴの産卵場となっており(浜田, 1985; 反田, 1998)、そこから移動、分散してきたイカナゴシラスを狙った漁場である。また、この漁場は友ヶ島水道の流況によるところが大きい、その流況は現在のところよくわかっていない。

明石海峡を中心とした大阪湾内における流れの構造とレーダーによる漁場把握方法により、潮目を目指した漁船の集積する過程と潮流との対応関係が明らかとなり、潮汐と湾内の流動状況からイカナゴシラスを対象とした機船船びき網の漁場形成を予測する可能性が見い出された。今後は、各潮時での流れやフロントの形成と漁場の関係を明らかにしていくとともに、標本船による漁業日誌をもとに、

レーダー画像解析から得られる漁船位置データを漁獲量として取り扱えるように検討を進めるつもりである。

謝辞

本研究を進めるにあたり、有益な御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巨教授、京都大学大学院情報学研究科荒井修亮助教授に厚く感謝申し上げます。

引用文献

- 中国四国農政局統計情報部(1998)平成9年度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.
- 上井長之(1971)イカナゴの発生量数値予測。長期漁況予報東海区、東海区水産研究所、23, 37-42.
- 藤原建紀(1981)瀬戸内海における海水交流。海の気象、31, 1-19.
- Fujiwara, T., H. Nakata, M. Tanda and J. Karakawa (1990) Biological and physical parameters of sand eel larvae in the eastern Seto Inland Sea. Bull. Japan. Soc. Sci. Fish., 56, 1029-1037.
- 藤原建紀(1994)イカナゴ資源の盛衰をめぐる海洋環境。第5回瀬戸内海水産振興フォーラム資料、瀬戸内海水産開発協議会、pp. 34-68.
- 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, 85-93.
- 浜田尚雄(1985)我が国におけるイカナゴの生態と漁業資源。水産研究叢書、36。日本水産資源保護協会、東京、85 pp.
- 反田 實(1998)イカナゴと底質、沿岸の環境圏、フジテクノシステム、pp. 348-355.
- 海上保安庁(1996)平成9年潮汐表。日本水路協会、東京、454 pp.
- 日下部敬之、中島昌紀(1995)イカナゴ資源生態調査。平成5年度大阪府立水産試験場事業報告、pp. 109-116.
- 日下部敬之、中島昌紀(1996)イカナゴ資源生態調査。平成6年度大阪府立水産試験場事業報告、pp. 109-116.
- 日下部敬之、小松輝久、玉木哲也、中島昌紀、青木一郎(1997)ニューラルネットワークによる瀬戸内海東部のイカナゴ加入量予測。水産海洋研究、61, 375-380.
- 中田英昭、平野敏行(1984)構造モデルによる漁場環境変化予測。海洋科学、16, 644-649.
- 中田英昭、藤原建紀(1985)明石海峡周辺部における地形性渦の形成と漁場環境。水産土木、21, 67-74.
- Nakata, H. (1988) Wind effects on the transport of Japanese sand eel larvae in the eastern part of Seto Inland Sea. Bull. Japan. Soc. Sci. Fish., 54, 1553-1561.