

豊後水道における海洋環境とマアジの漁獲変動特性

金 熙容^{1†}, 稲井大典², 兼田淳史³, 武岡英隆³

Effect of ocean environments on the properties of catch variation of Jack mackerel (*Trachurus japonicus*) in the Bungo Channel

Heeyong KIM^{1†}, Taisuke INAI², Atsushi KANEDA³ and Hidetaka TAKEOKA³

Catch properties of jack mackerel, *Trachurus japonicus*, in the Bungo Channel, where is well-known for an intrusion of warm water from the Pacific Ocean, were examined from the seasonal-regional relationship between variation of age-0 jack mackerel landings and hydrographic conditions. Age-0 jack mackerels were caught from May through October in the central region of the Bungo Channel, while in the southern region they were caught throughout the year. This seasonal-regional difference of the catches in the channel is probably caused by the warm water intrusion associated with the development of stratification in the central region. It is therefore suggested that the age-0 jack mackerels in the southern region move to north with the intrusion of warm waters. It was also distinct that the catches of jack mackerel in the central region strongly depended on a spring recruitment originated from the southern region. Sampling of jack mackerel larvae revealed that the intrusion of warm water in April was accompanied by the inflow of the jack mackerel larvae from the southern region. Inter-annual catch variation of age-0 jack mackerel in the southern region was found to be caused by the generation of the Kuroshio frontal eddy off the Channel.

Key words: age-0 jack mackerel, catches property, warm water intrusion, the Kuroshio frontal eddy

はじめに

豊後水道は四国と九州の間に位置し、その南部は陸棚斜面上に位置する。その斜面域より南の豊後水道沖では、黒潮が九州東方沖から四国沖に向かって流れている (Fig. 1)。また、太平洋に対して開放的であるため、豊後水道の海洋環境は黒潮流軸変動、黒潮前線渦の形成などの数日から数年スケールの沖合の海洋変動の影響を強く受ける。特に、急激な水温上昇を伴う急潮は豊後水道の環境を左右する重要な物理現象である。豊後水道の急潮を太平洋と豊後水道の間の密度流と考えた場合、その発生を鉛直混合の変化として説明でき、成層状態が発達する夏季の小潮期に生じる

可能性が高いとされている (武岡ほか, 1992; Takeoka *et al.*, 1993)。春季でも表面加熱の増加や弱い季節風によって、夏季のような密度流の侵入条件を満たす場合があると考えられ、春季の暖水流入は、黒潮前線波動の発達に伴う黒潮暖水舌の四国南西部への衝突によって生じていることが報告された (Akiyama and Saitoh, 1993)。

東シナ海に主産卵場を持つマアジ *Trachurus japonicus* の仔稚魚は対馬暖流や黒潮によって輸送され、日本海あるいは太平洋沿岸漁場に加わる (浅見, 1974; 落合・田中, 1986; 木下・川嶋, 2001)。しかし、太平洋と日本海におけるマアジ漁獲は未成魚が主体になっているため (落合・田中, 1986; 濱田・竹下, 1987)、マアジ資源の低下が懸念されている。そのため、東シナ海で孵化した仔稚魚の分布特性や輸送経路などマアジ資源の初期生活史に関する研究が進められている (佐々・小西, 2002; 上原・三谷, 2002; 金ほか, 2002)。

豊後水道に生息するマアジについて、薬師寺 (2001) は肥満度と成熟度から、2歳魚以上で成熟する北部海域タイプと、肥満度が低く、若齢で成熟する南部海域タイプに大別し、北部海域群が豊後水道の資源を支えていると報告している。しかし、近年豊後水道においてマアジの漁獲は当

2004年12月23日受付, 2006年9月19日受理

¹ 東京大学海洋研究所

Ocean Research Institute, The University of Tokyo, 1-15-1, Minamidai, Nakano-ku, Tokyo, 164-8639, Japan.

² 愛媛県水産試験場

Ehime Prefectural Fisheries Experimental Station, Shitaba, Uwajima, Ehime, 798-0104, Japan

³ 愛媛大学沿岸環境科学研究センター

Center for Marine Environmental Studies, Ehime University, 2-5, Bunkyo-cho, Matsuyama, Ehime, 790-8577, Japan

† kimhy@ori.u-tokyo.ac.jp

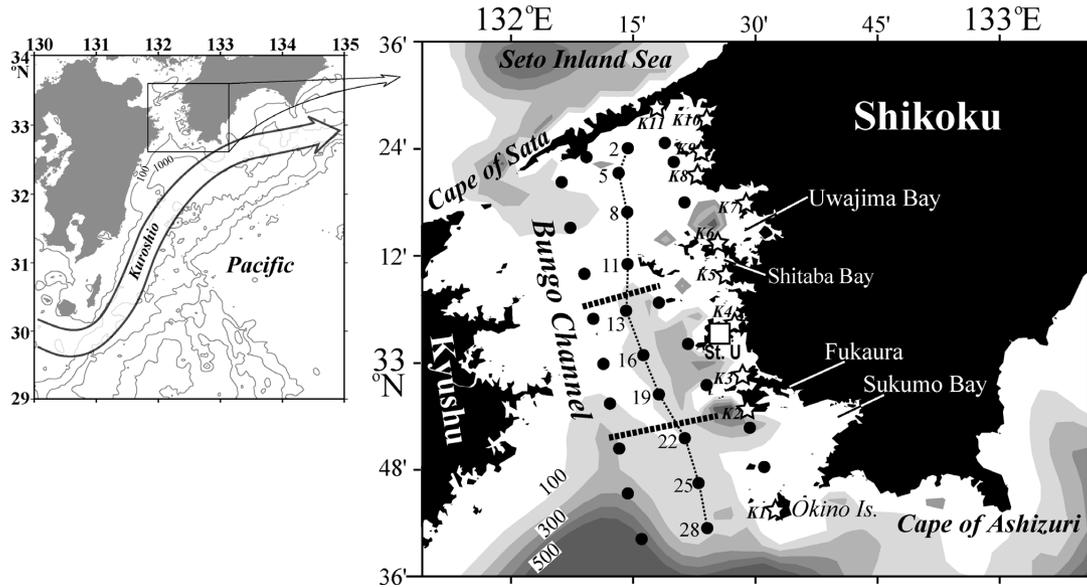


Figure 1. Map of the Bungo Channel with hydrographic and larval sampling stations (closed circles) by the Yosuh-Maruo of the Ehime Prefectural Experimental Station, and locations of water temperature monitoring system (white stars). A rectangle St. U indicates a station of water temperatures at 9 layers (2, 5, 10, 15, 20, 30, 40, 50, 60 m depths) in 1998. Two horizontal lines divide the channel into Northern, Central and Southern regions.

歳魚中心で主に南部と中部海域で行われていること (稲井, 2002), また, 水道南部の宿毛湾でも冬から初夏にかけてマアジが産卵を行っていることから (阪地, 2002), 豊後水道のマアジ資源に対する南部海域群の影響を考慮しなければならない。また, 豊後水道中部における1995~2000年のマアジの漁獲量と下波湾 (Fig. 1) における水温データから, マアジ当歳魚の漁獲量が, 急潮による急激な水温変動に大きな影響を受けることが見出される (稲井, 2002)。南部海域群と北部海域群のマアジ資源がどのような環境条件下で増減して豊後水道全体のマアジ資源を形成するのかを調べることは, 豊後水道マアジ資源の構造を明らかにすることにつながると考えられる。

そこで本研究では, 豊後水道において長期間にわたって行われた海洋調査結果とマアジ当歳魚の水揚げ量を解析し, 水道全域におけるマアジ個体群の移動や分布の特徴と海洋環境との関連性を明らかにし, 豊後水道内においてマアジの漁場加入に影響を及ぼす海洋環境を考察した。

資料と方法

マアジ漁獲量の季節変動を調べるため, 豊後水道東岸に位置する主要漁港のうち, 豊後水道南部の深浦と中部の宇和島における1995~2001年のまき網日別水揚げ量を用いた。また, 宇和島漁港で1980~2000年に月1~3回の頻度で行われた1997年と1998年の尾叉長測定データをもとに作成した月別体長組成を用いて, 新規加入群の出現や漁獲個体群の季節的推移を調べた。

豊後水道では, 愛媛県水産試験場, 愛媛県漁連および愛媛大学によって, 南部の沖ノ島から北部の佐田岬まで合計11測点 (Fig. 1) の水温モニタリングシステムが1991年から維持され, 海面下5mの水温が計測されている。本研究では, 1998年の定点K1の年平均水温を基準とし, 各測点での偏差を求め, 暖水流入の状況を把握して漁獲変動と対応させた。

水平・鉛直的な水温環境の変化に伴うマアジ仔魚の分布変化を調べるため, 愛媛県水産試験場のよしゅう丸によって1998年3, 4月に行われた豊後水道沿岸定線調査観測 (Fig. 1) の水温データと, 改良型ノルパックネット (口径: 45 cm, 目合: 0.335 mm) の水深150 mからの鉛直曳きによるマアジ仔魚採集結果を用いた。さらに, 豊後水道中部の測点U (Fig. 1) において水深2, 5, 10, 15, 20, 30, 40, 50, 60 mの9層で計測した1998年の日平均水温の時系列データと, 上述の水温モニタリングデータを用いて, 豊後水道内の季節的な成層状態変化を調べた。

豊後水道沖合での黒潮前線渦による暖水流入の発生を, 1995~2001年の3月から6月までの測点K1の水温データと漁業情報サービスセンター (JAFIC) によるNOAA衛星のAVHRRセンサーによる毎日の水温画像から確認し, その発生数を計数した。水温画像から目視で豊後水道内に暖水流入を伴い, 水深5mの水温モニタリングの時系列から2日で3°C以上の水温上昇を伴うものを前線渦の発生とした。ただし, 天候や雲によって暖水渦の発生や暖水の流入が衛星画像で確認されない場合は, 水温モニタリングの

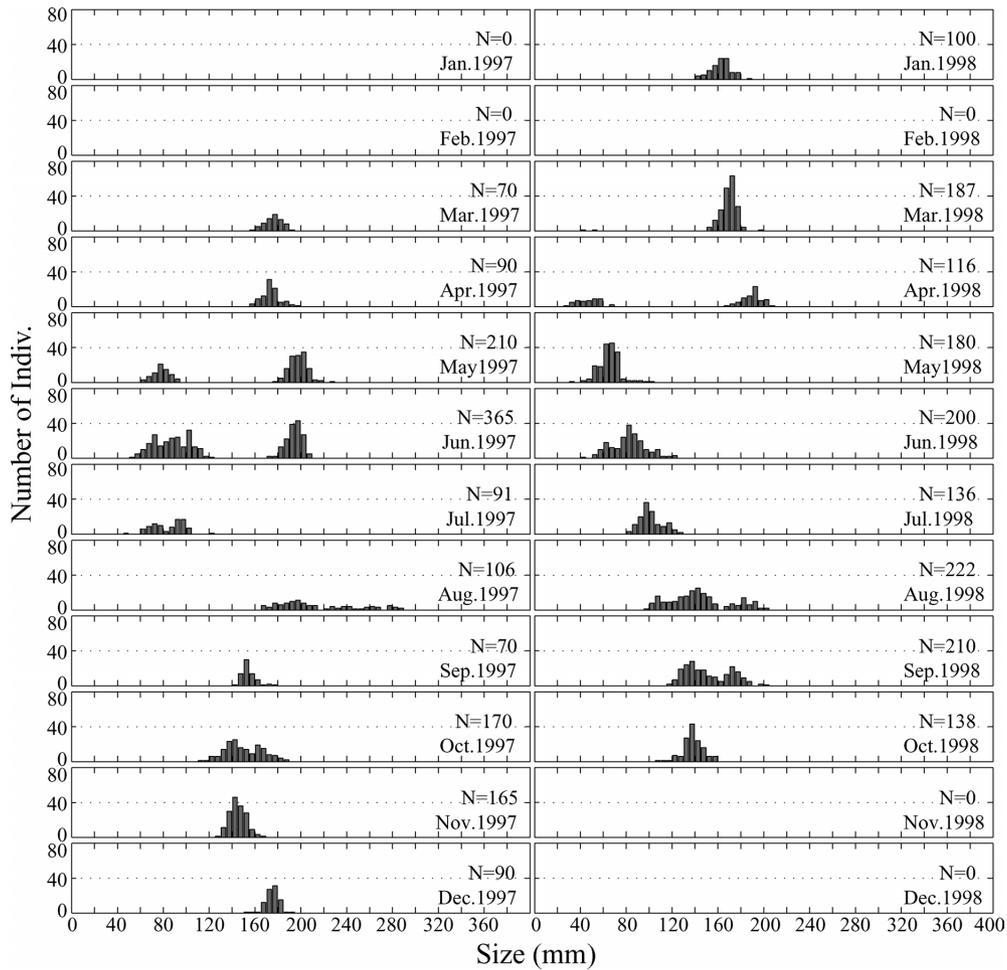


Figure 2. Frequency distribution of fork length of jack mackerels landed in the central region (Uwajima) of the Bungo Channel from Jan. 1997 to Dec. 1998.

データのみで判定し、豊後水道のマアジ当歳魚の漁獲変動との相関を検討した。

結果

マアジの体長組成と漁獲量変動の季節変動

豊後水道におけるマアジ漁獲の特性は稲井 (2002) によって既に記述されているが、ここでは季節変動を詳細に検討した。Fig. 2に1997年1月から1998年12月までの24か月間に水道中部で水揚げされたマアジの月別体長組成を示す。1997年の場合、5月から新規加入群が漁獲されはじめ、翌年4月ごろまで漁獲されているが、1998年には4月から現れた新しい年級群が1998年10月までのマアジ漁獲の主体となった。

一方、豊後水道における1998年のマアジ漁獲量の海域別・月別変動をみると (Fig. 3), マアジ当歳魚は南部海域では一年通して、中部海域では春から10月まで漁獲されている。しかし、北部海域ではマアジ当歳魚の漁獲期は中部海域と一致しているが、その漁獲量は極めて少ない。1

歳魚以上のマアジは、北部海域で1月から5月を中心に1年通して漁獲されており、中部海域の漁獲傾向と一致する。しかし、南部海域では、北部海域と違って6月から9月の間に漁獲が集中している。したがって、マアジ当歳魚については、中部海域に分布する当歳魚資源が北部海域に、1歳魚以上のマアジについては北部海域のマアジ群が中部海域の漁獲資源を支えているという構造が考えられる。

マアジ当歳魚の漁獲量変動と暖水流入

Fig. 4に宇和島と深浦における1998年のマアジ当歳魚漁獲量の日変動と、測点K1の水温の年平均を基準として求めたK1~K11の年平均偏差の時空間分布を示す。5月までは豊後水道中部と北部海域の低温化が顕著であり、南部からの暖水の流入は認められなかった。しかし、6月になると南部の測点K1から暖水が時間の経過とともに中部まで流入し始め、7月には水道全域に至った。10月になると、南部からの暖水流入は弱まり、中部にまで到達していなかった (Fig. 4a)。水道南部では1月からマアジ当歳魚が漁獲されはじめ、12月まで1年を通して漁獲が続いたが、中部で

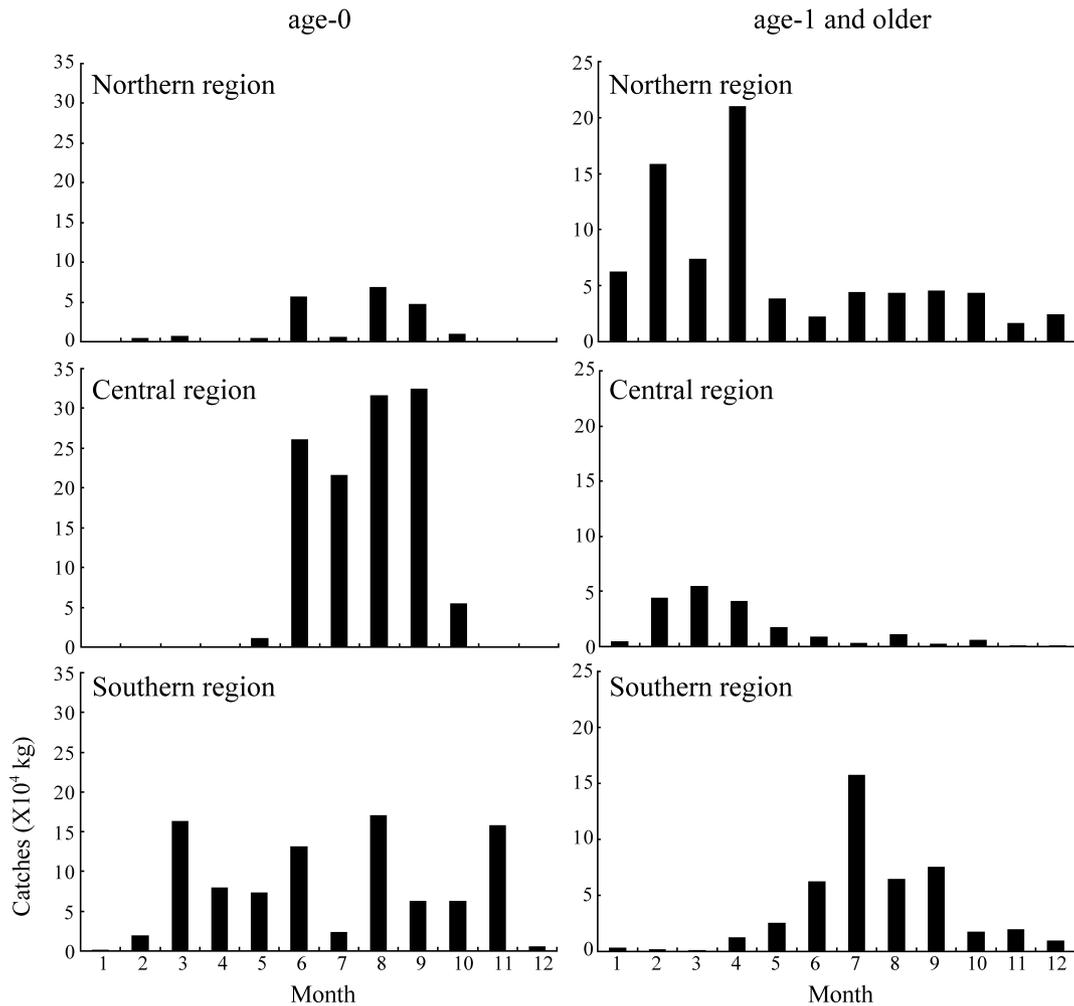


Figure 3. Monthly variation of the catches of age-0 (left panels) and age-1 and older jack mackerels (right panels) in the Northern, Central, and Southern regions of the Bungo Channel in 1998.

は4月までほとんど漁獲されず、5月中旬に漁獲が始まり10月まで続いた。10月には漁獲量が急激に減少し、11月になるとほとんど漁獲されなくなった (Fig. 4b, c)。両海域の他の年の漁獲データからも1998年と同様の傾向が見られることから、近年の豊後水道における典型的な漁獲特性であると考えられる。

測点Uにおける2~60mの多層水温観測のうち、水深2mと60mでの日平均の水温時系列を用いて (Fig. 5) 鉛直混合の状況を見た。3月までは表層と下層の水温差がほとんどなく、2mから60m深の全ての水深で混合が発達しているが、4月から6月にかけて両水深の水温差は大きくなり、徐々に成層が発達していると推察できる。この成層状態は9月まで続くが、10月下旬から再び水温差が小さくなり、混合が強くなると考えられる。中部海域での成層形成が Fig. 4a で示されている暖水侵入より早く、また鉛直安定度の減少が暖水退却より早めに見られるのは暖水侵入の発生機構によるものである。

このように中部海域におけるマアジ当歳魚の漁獲期間が中部海域での成層形成期間と一致していることから、中部海域においてマアジ当歳魚の漁獲量の季節変動は豊後水道の海洋構造の変化により南部海域に分布しているマアジ当歳魚群の移動によることが示唆された。

春季、豊後水道におけるマアジ仔魚分布と海洋構造

1998年3、4月の水道入口から佐多岬までの南北断面の水温の鉛直分布を Fig. 6 に示す。3月の時点では水道内はまだ混合が強く、水道沖からの暖水流入が弱い (Fig. 6a)、4月には水道内では成層が発達し始め、水温18°Cの等温線が豊後水道中部の宇和島沖の St. 11 まで張り出している (Fig. 6b)。このような海洋構造の変化によるマアジ仔魚の分布の変化を、水深10mでの水温の水平分布と3月と4月のマアジ仔魚の分布を比較して調べた (Fig. 7)。南部の宿毛湾沖と中部で顕著な水温前線が形成された3月にはマアジ仔魚は採集されなかったが、沖からの暖水流入に伴い、4月には南部海域に分布の中心を持つマアジ仔魚が北部海

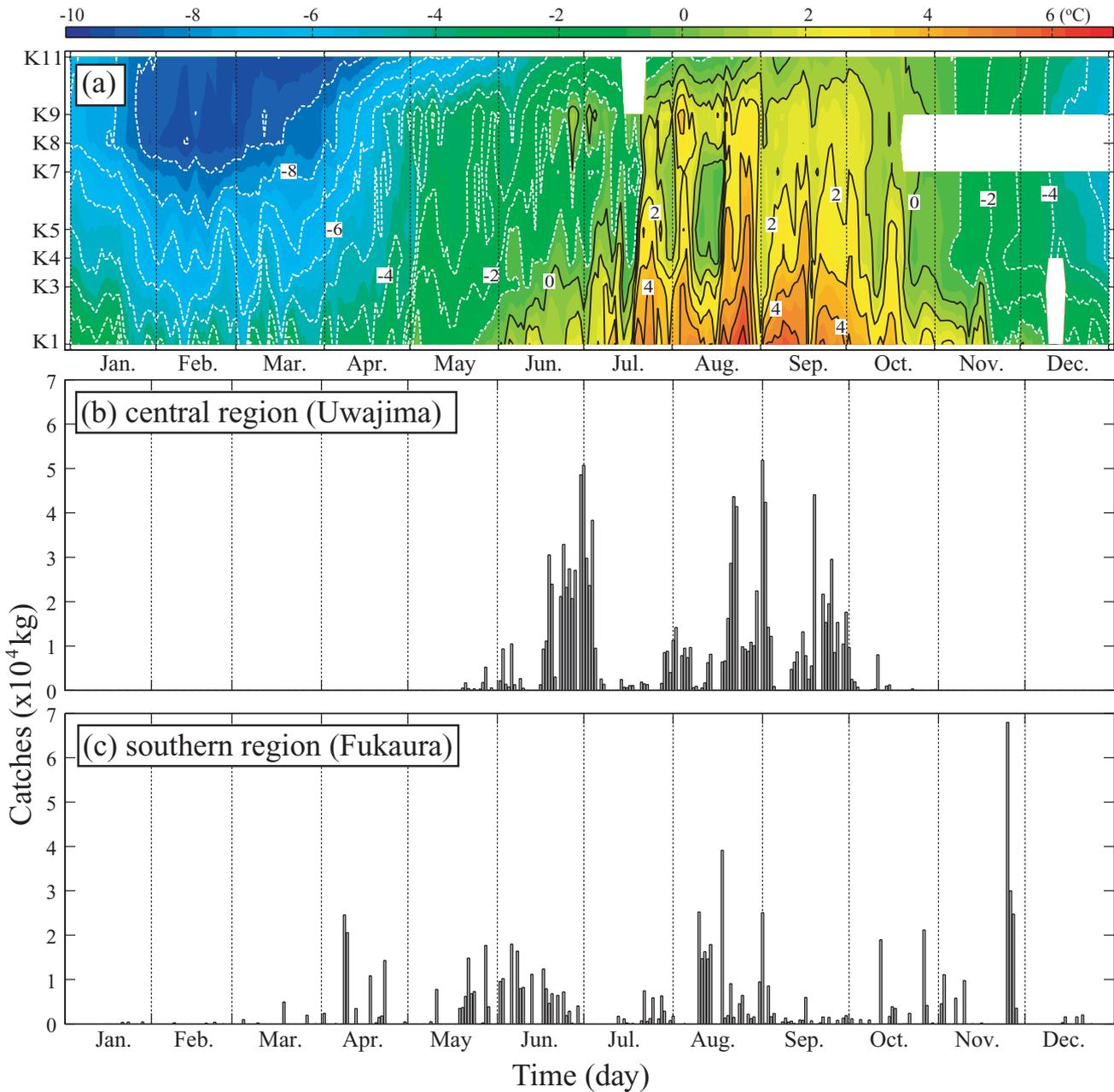


Figure 4. (a) Water temperature anomaly at 5 m depth observed by the monitoring system shown as stars in Fig. 1, and daily landings (bars) of age-0 jack mackerel in (b) the central region (Uwajima) and (c) the southern region (Fukaura) of the Bungo Channel.

域のSt. 11付近にある水温前線の南方側まで分布していた。**黒潮前線渦の形成と漁獲量変動**
 豊後水道における暖水流入は、南部海域と中部海域のマアジ魚群の移動や分布に重要であることが示唆された。南部海域におけるマアジ当歳魚の漁獲変動も暖水流入と関連する環境要因の影響を受ける可能性が高いと考えられたので、1995~2001年の豊後水道南部に水温上昇を伴う黒潮前線渦の発生頻度と豊後水道南部（深浦）のマアジ当歳魚の

水揚げ量との関係を調べた (Fig. 8)。その結果、マアジ当歳魚の漁獲量と前線渦発生の間には有意な相関を持っていることが示され ($R^2=0.72$)、前線渦の発生が当歳魚の漁獲量の変動に主要な役割を果たしていることが示唆された。前線渦は暖水流入の直接的原因として南部海域に分布するマアジ当歳魚が中部海域まで北上できる生息環境を作りだし、水道全体におけるマアジ分布に影響を及ぼしていると考えられる。

考 察

本研究により, 豊後水道中部におけるマアジ当歳魚の漁獲量の季節変動は, 水道の成層にともなう南部からの暖水流入の季節的变化によっておこることが示唆された。つまり, 豊後水道の中部で漁獲されるマアジ当歳魚は, 3月から6月の間に豊後水道の南部海域に分布し, 暖水流入とともに中部海域へ来遊した群だと考えられる。また, 暖水流入の直接的な原因である豊後水道沖の黒潮前線渦の形成は, マアジ漁獲変動に重要な役割を果たすと考えられる。すなわち, 前線渦により起こされる暖水流入は, 豊後水道内の沿

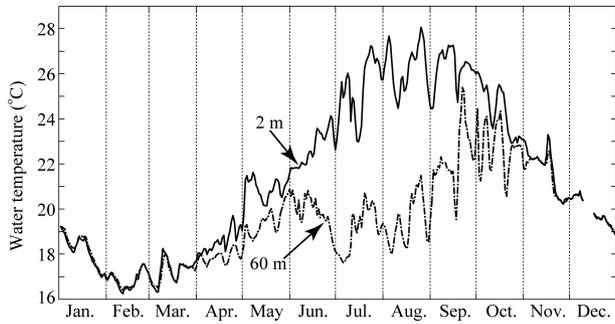


Figure 5. Temporal variation of daily mean water temperatures observed at 2 m (solid line) and 60 m depth (dashed-dotted line) at St. U in 1998.

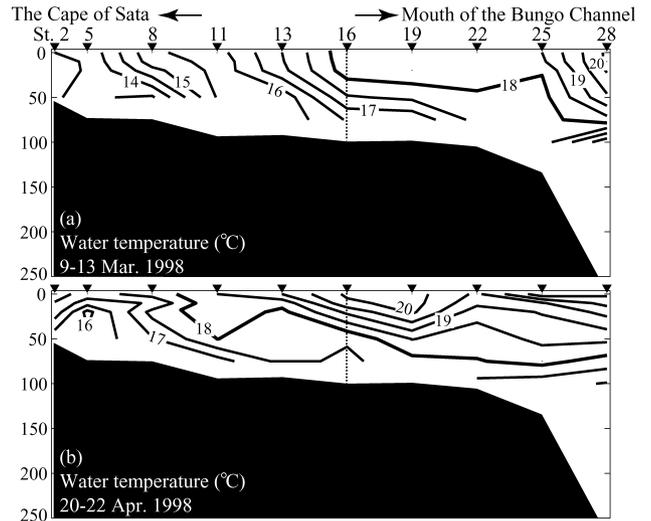


Figure 6. Vertical profiles of water temperatures (solid lines) from the mouth of the Bungo Channel to the Cape of Sata observed by the *Yoshu-Maru*, research vessel of the Ehime Prefectural Experimental Station, in the Bungo Channel in (a) March and (b) April 1998. Dotted vertical lines indicate the closest location to the multi-layers observation station of water temperature at St. U shown as a rectangle in Fig. 1.

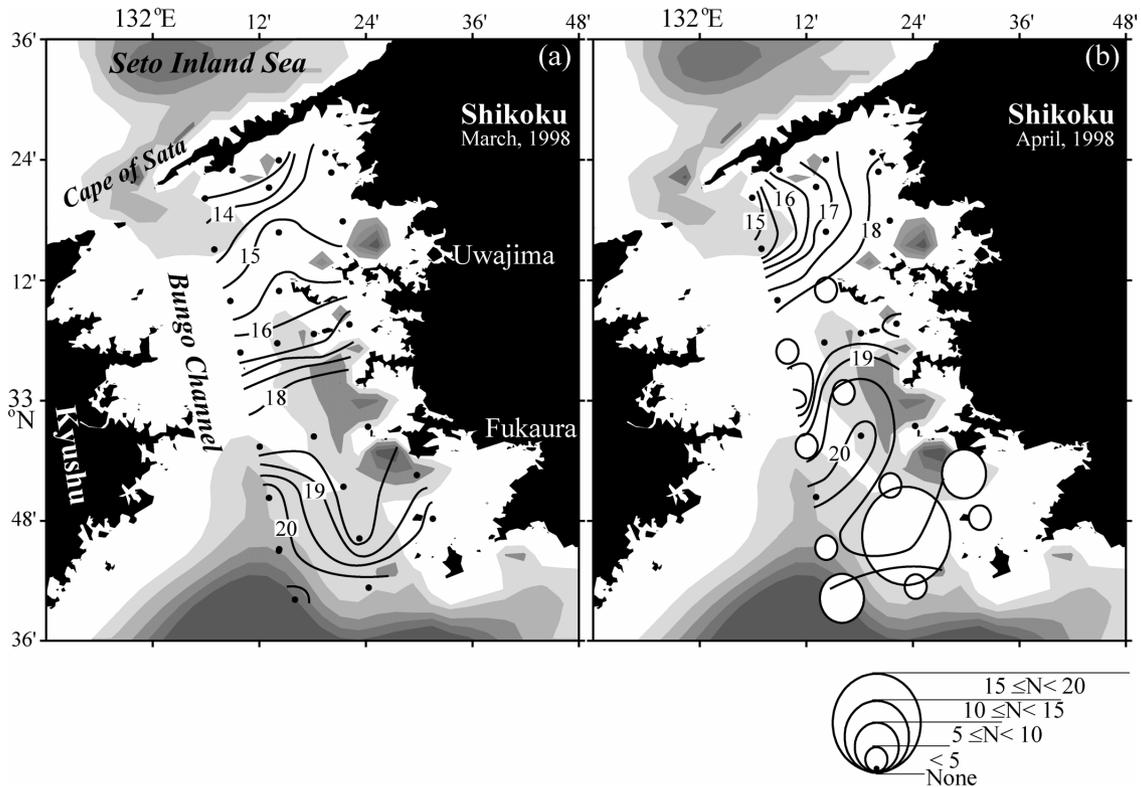


Figure 7. Horizontal distributions of water temperature (solid lines) and jack mackerel larvae (open circles) in the Bungo Channel (a) March and (b) April 1998.

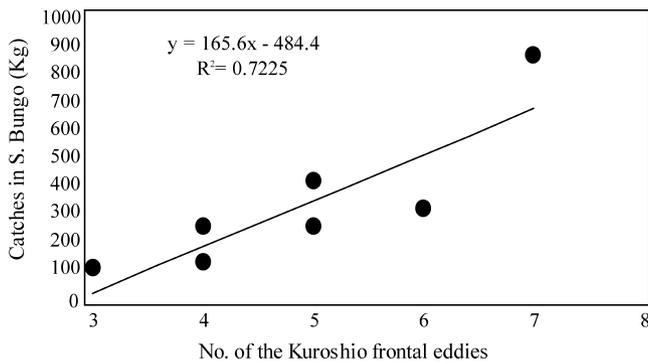


Figure 8. Correlation between the number of the Kuroshio frontal eddies generated off the Bungo Channel and the catches of age-0 jack mackerel in the southern region (Fukaura) of the Bungo Channel from 1995 to 2001.

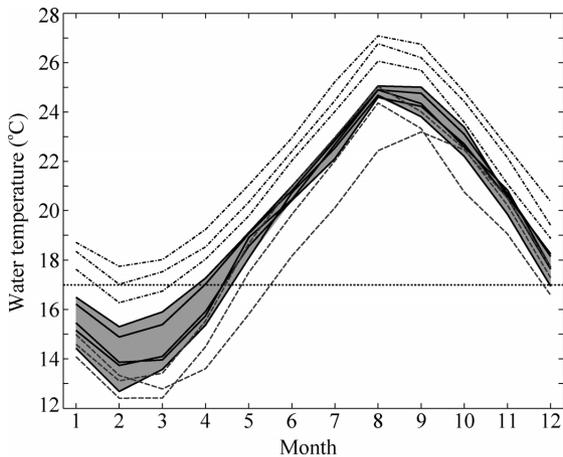


Figure 9. Variation of monthly mean water temperature from 1991 to 2002 in the southern (solid-dotted lines, St. K1 to K3), the central (solid lines with gray shaded, St. K4 to St. K8), and the northern (dashed lines, St. K9 to St. K11) regions of the Bungo Channel. A horizontal dotted line indicates an isothermal line of 17°C. A gray zone indicates the range of water temperature at the central region.

岸水と高温の沖合水の間形成される水温前線を北上させることによって南部に分布しているマアジ資源の北上を可能にし、その後の季節的な表面加熱によって水温勾配が解消されて、北部海域まで分布が拡大するのである。

1998年4月に出現した新規加入群の尾叉長は25.0~70.0 mmであった。落合ほか(1982)の飼育実験結果(ふ化後41日目:全長26.0 mm, ふ化後46~60日目:全長55 mm未滿)を考慮すると、4月の新規加入群は1月下旬から3月上旬に孵化したことになる。豊後水道における1月から5月の産卵期を通じて南部海域の深浦産のマアジは尾叉長約220 mm以上、北部海域の八幡浜産のマアジの場合、270 mmを超える個体が成熟する(薬師寺, 2001)。中部の宇和島産マアジの体長組成から1~3月に尾叉長が220 mm

を超える個体は見られなかった。また、満1歳の飼育魚は、水温20~23°Cで成熟するが(落合ほか, 1983)、19°C以下では完熟しない。3, 4歳魚(尾叉長21.0~32.3 cm)では産卵適水温は17~18°Cで、これ以上水温が上昇すると卵母細胞が退行することが報告されている(落合ほか, 1980)。豊後水道中部(St. K4~K8)のマアジ漁場における1~3月の表面下5 mの平均水温は17°Cを上回ることはなかった(Fig. 9)。したがって、この時期に水道中部に成熟個体が分布するとは考えにくく、4月に出現する新規加入群は豊後水道南部海域もしくは北部海域の由来であると考えられた。

一方、北部海域の産卵親魚群が南部海域の群より多く水道内のマアジ資源の再生産に寄与する可能性が高いとされている(薬師寺, 2001)。しかし、マアジの月平均漁獲量は北部(79.6 t)、中部(195.3 t)、南部海域(215 t)の順で、そのうち、中部と南部での当歳魚漁獲量はそれぞれ漁獲量の90, 84%を占める(稲井, 2002)。また、南部と中部海域の当歳魚漁獲量が豊後水道全体のマアジ漁獲量の約73%をも占めており、北部海域のマアジ当歳魚群が中部海域の当歳魚資源を支えられると考え難い。したがって、中部のマアジ当歳魚は暖水流入と中部海域の成層の発達により南部海域から移動したものであると思われる。

山川・武田(2001)は鹿児島・宮崎・大分・愛媛での1997~1998年以降のマアジ漁獲減少傾向は東シナ海に由来する群の減少によるものであると示唆しており、前川ほか(1988)は1970年代後半以降、相模湾のマアジ漁獲量の増減には東シナ海に由来する冬生まれ群の相模湾への加入量変動が大きく係わっているとしている。特に、4月から5月にかけて相模湾に来遊し、翌年夏季まで漁獲の対象となる当歳魚(尾叉長5~10 cm)の補給源は、その成長速度からみて九州南方海域由来の2~4月生まれ群であると推定している(木下・川嶋, 2001; 木幡, 1972)。相模湾での報告や本研究で示された前線渦の形成に伴う外洋水の流入の影響などを考えると、豊後水道の南部海域におけるマアジ当歳魚資源に占める東シナ海や太平洋生まれ群の割合を考慮しなければならない。

謝辞

本研究をまとめるにあたり、貴重なご意見とご助言を頂いた東京大学海洋研究所の北川貴士博士に深甚なる謝意を表す。また、豊後水道各漁港におけるマアジの漁獲量と観測データを収集して頂いた愛媛県水産試験場の方々全員に厚く御礼申し上げる。

引用文献

- Akiyama H. and S. Saitoh (1993) The Kyucho in Sukumo Bay induced by Kuroshio warm filament intrusion. *J. Oceanogr.*, **49**, 667-682.
 浅見忠彦(1974) 日本南海域における魚卵・稚仔分布と主要魚類補給域として役割. *水産海洋研究会報*, **25**, 176-193.

- 稲井大典 (2002) 豊後水道東部海域におけるマアジ当歳魚の漁獲と水温との関係について. 黒潮の資源海洋研究 **3**, 47-51.
- 上原伸二・三谷卓美 (2002) 太平洋岸におけるマアジ仔稚魚の分布. 月刊海洋, 号外 **31**, 99-105.
- 落合 明・榎田 晋・長谷川泉・睦谷一馬 (1980) マアジの採卵とふ化仔魚の成長について. 栽培技研, **9**, 47-52.
- 落合 明・睦谷一馬・榎田 晋 (1982) マアジ卵発生と初期発育. 魚雑, **29**, 86-92.
- 落合 明・睦谷一馬・榎田 晋 (1983) 養殖1歳マアジの成長, 成熟および人工産卵について. 日水誌, **49**, 541-545.
- 落合 明・田中 克 (1986) マアジ. 新版魚類学 (下), 恒星社厚生閣, 788-797.
- 木下淳司・川嶋尚正 (2001) 相模湾定置網漁業におけるマアジ漁獲量の変動と体長組成について. 黒潮の資源海洋研究 **2**, 35-38.
- 木幡 孜 (1972) 相模湾重要魚類の生態-II (マアジについて). 神水試研告, **12**, 55-72.
- 金 熙容・木村伸吾・杉本隆成 (2002) 数値実験から見たマアジ仔稚魚の輸送経路. 月刊海洋, 号外 **31**, 119-125.
- 佐々千由紀・小西芳信 (2002) 東シナ海におけるマアジ仔稚魚の分布と輸送. 月刊海洋, 号外 **31**, 92-98.
- 阪地英男 (2001) 高知県宿毛湾におけるマアジ (きあじタイプ) の産卵期と成熟年齢. 黒潮の資源海洋研究 **2**, 39-44.
- 武岡英隆・秋山秀樹・菊池隆展 (1992) 豊後水道の急潮. 沿岸海洋研究ノート, **30**, 16-26.
- Takeoka H., H. Akiyama and T. Kikuchi (1993) The Kyucho in the Bungo Channel, Japan —Periodic intrusion of oceanic warm water—. J. Oceanogr., **49**, 369-382.
- 濱田律子・竹下貢二 (1987) 東シナ海海域におけるマアジの漁獲量変動について. 水産海洋研究会報, **51**, 91-94.
- 前川千尋・青山雅俊・水津敏博 (1988) 相模湾の最近の漁況とマアジ資源について. 水産海洋研究会報, **57**, 47-57.
- 山川 卓・武田保幸 (2001) 熊野灘におけるマアジの成長と漁獲特性. 黒潮の資源海洋研究 **2**, 27-34.
- 薬師寺房憲 (2001) 豊後水道におけるマアジ *Trachurus japonicus* (TEMMINCK et SCHLEGEL)の成熟と相対成長. 黒潮の資源海洋研究 **2**, 17-21.