

## 宇和海におけるマアジ稚魚の来遊と暖水流入の関連

橋田大輔<sup>1†</sup>, 武智昭彦<sup>1</sup>, 富山 毅<sup>2</sup>

### Relationship between recruitment of the juvenile jack mackerel (*Trachurus japonicus*) and the warm water inflow in the Uwa Sea

Daisuke HASHIDA<sup>1†</sup>, Akihiko TAKECHI<sup>1</sup> and Takeshi TOMIYAMA<sup>2</sup>

愛媛県沿岸域において、尾叉長30–80 mmのマアジ稚魚の来遊と暖水流入の関連を調べた。稚魚の漁場は宇和島湾以北の沿岸域にのみ形成されていた。稚魚の漁期において、漁場を主操業域とするまき網船1統あたりの日別水揚量 (CPUE) が急激に上昇した時には、漁場へ流入する暖水が観測された。また、暖水流入の発生後でのCPUEは、発生前に比べて有意に高かった。これらのことから、マアジ稚魚は南方からの暖水の流入とともに宇和島湾以北の沿岸域に来遊していると考えられる。また、CPUEの急増時に認められた11例の暖水流入うち、4例は豊後水道東部での水温上昇を伴わない水道中央から流入する暖水であった。これまでマアジの漁況変動では、黒潮系暖水が豊後水道東部を北上し沿岸域に急激な水温上昇を引き起こす急潮に焦点が当てられていたが、豊後水道東部での昇温を伴わない水道中央部からの暖水流入も稚魚の来遊に強く関連することが示唆された。

We investigated the relationship between the recruitment of the juvenile jack mackerel *Trachurus japonicus* (ranging from 30 to 80 mm in fork length) to the coastal zone of Ehime Prefecture and the inflow of warm water. The fishing ground of the juveniles was formed in only the coastal zone of Uwajima Bay and northward. During the fishing season of the juveniles, the inflow of warm water to the fishing ground was observed when catch per purse seine fishing vessel, mainly operating in the ground, (CPUE) drastically increased. In addition, the CPUE after the inflow of warm water was significantly higher than before. From the above findings, it is likely that juvenile jack mackerel are recruited to the coastal zone of Uwajima Bay and northward with the inflow of warm water from the south. In 4 of 11 cases of the inflow of warm water observed at the time of the drastic increase in CPUE, the warm water flowed in from the middle of the Bungo Channel and was not accompanied by a rise in water temperature in the eastern side of the channel. Thus far, studies on variations in jack mackerel fishing conditions have focused on Kyucho, the northward advance of warm water of the Kuroshio system to the eastern side of the Bungo Channel, which causes a sudden rise in the water temperature of the coastal zone. However, our investigation indicates that the inflow of warm water from the middle of the Bungo Channel that is not accompanied by a rise in water temperature in the eastern side of the channel is also strongly related to the recruitment of the juveniles.

**Key words:** Juvenile jack mackerel, Recruitment, Warm water inflow, Fishing ground, CPUE

#### はじめに

マアジ *Trachurus japonicus* は日本周辺に広く分布する温暖

性の回遊魚であり (落合・田中, 1986), 太平洋に分布する太平洋系群と東シナ海から日本海に分布する対馬暖流系群の2系群で構成されている。このうち太平洋系群では、まき網による漁獲が70–80%を占めており、日向灘、豊後水道、紀伊水道、熊野灘では春から秋までの漁獲が多く、春から尾叉長18 cm以下の当歳魚が漁獲される (渡邊ほか, 2015)。

宇和海は、九州と四国の間にある豊後水道の東岸に位置し (Fig. 1), 浮魚類を対象にしたまき網漁業が盛んな海域である。2012年において、この海域におけるマアジの漁獲金額は13億8,300万円とサバ類に次いで多く、マアジは

2016年5月30日受付, 2017年4月10日受理

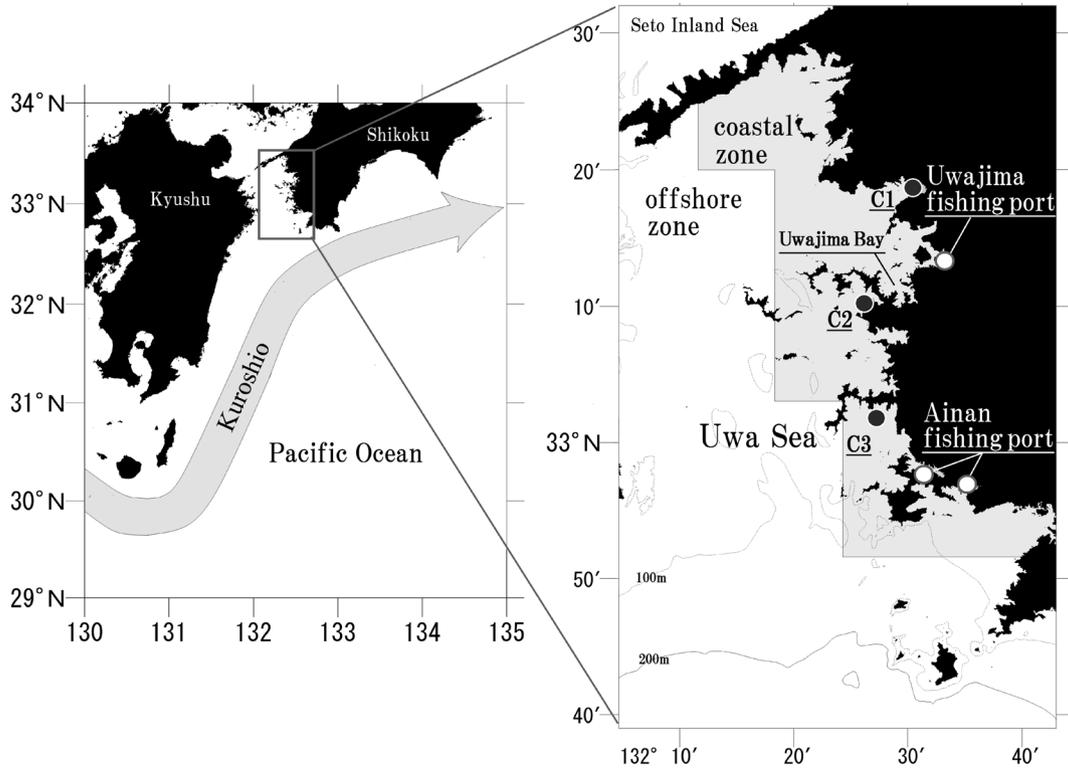
<sup>1</sup> 愛媛県農林水産研究所水産研究センター, 〒798-0104 愛媛県宇和島市下波5516

Fisheries Research Center, Ehime Research Institute of Agriculture, Forestry and Fisheries, Uwajima, Ehime 798-0104, Japan

<sup>2</sup> 広島大学大学院生物圏科学研究科, 〒739-8528 広島県東広島市鏡山1-4-4

Graduate School of Biosphere Science, Hiroshima University, Higashi-Hiroshima 739-8528, Japan

† hashida-daisuke@pref.ehime.lg.jp



**Figure 1.** Map showing the study area, Uwa Sea. The left figure shows a schematic view of Kuroshio Current. The solid circles (C1, C2, and C3) in the right figure show water temperature monitoring stations.

産業上重要な魚種となっている（農林水産省大臣官房統計部, 2014）。とりわけ唐揚げ用の原料として高い需要がある尾叉長30 mm以上80 mm未満の個体（以下、マアジ稚魚）は高い魚価で取引され、地域のまき網漁業者の重要な収入源となっている。しかし、漁業収入を左右する漁獲量の変動は大きく、漁業者からは漁期前の漁況予測が要望されている。また、その漁況予測については、計画的な製品製造を図るうえで重要な情報となるため地域の加工業者からも要望が高い。このように地域の水産関係者からマアジ稚魚を対象にした漁況予測が求められているが、そのためには漁場の形成実態を把握し、漁場形成に関連する来遊機構を明らかにすることが重要である。

本種は全長30 mmに達するまでにはすべての鰭が完成し、運動能力が高まる（落合ほか, 1982）。尾叉長45–80 mmに成長すると集群して沿岸域に来遊し（梶原, 1957）、その後は浮魚の性質とともに底魚の性質を有し、島や瀬などに付く習性がある（山田・梶原, 1954; 川崎, 1959）。このため、マアジ稚魚の漁場や漁場形成に関連する来遊機構を明らかにすることは、来遊後の長期的な漁況の動向や資源の合理的な管理を検討するうえでも重要である。

宇和海が位置する豊後水道は太平洋に対して開放的で、その海洋環境は外洋からの暖水流入の影響を強く受けてい

る。このような海洋環境とまき網の漁況変動とは密接に関連しており、水道東部、中央部、西部から北上する黒潮系暖水の流入経路の違いやその強弱により、漁場形成や漁獲量、あるいは出現魚種に変化が生じることが報告されている（花岡, 1972）。宇和海のマアジについては、当歳魚水揚量の変動が、黒潮系暖水が水道東部を北上して沿岸域に急激な水温上昇を引き起こす急潮（武岡ほか, 1992; Takeoka et al., 1993）の影響を受けることが示唆されている（稲井, 2002; 金ほか, 2007）。しかしながら、これまでの研究は、7–8月の夏季を中心に発生する急潮（武岡ほか, 1992）とマアジ当歳魚の漁況変化を対象としたものであり、4–6月に漁獲されるマアジ稚魚の来遊機構は不明である。

本研究では、宇和海におけるまき網漁業の操業実態および漁獲量の分布からマアジ稚魚の漁場を特定した。また、漁場形成に係る来遊機構を明らかにするため、水道東部だけでなく、より沖合の水温分布も把握することができるNOAA衛星画像により暖水流入を日単位で把握し、漁獲状況の変化を根拠としたマアジ稚魚の来遊と暖水流入との関連性を検討した。

**Table 1.** Number of assessments conducted in Uwajima and Ainan fishing ports, during the period from 2009 to 2015.

UWAJIMA fishing port	Jan	Feb	Mar	Apr	May	Jun	Jul	Aug	Sep	Oct	Nov	Dec
2009			15	19	21	23	17	19	16	15	9	3
2010	3	3	15	20	19	22	18	19	16	5	4	4
2011	4	3	14	15	16	18	13	13	15	12	4	5
2012	5	6	11	13	13	12	13	15	13	12	6	4
2013	5	5	13	16	17	16	16	12	14	16	7	5
2014	4	8	13	15	15	12	13	10	12	15	10	8
2015	8	11	12	14	15	15	12					

AINAN fishing port	Jan	Feb	Mar	Apr	May	Jun	Jul	Aug	Sep	Oct	Nov	Dec
2009			8	13	15	15	12	13	11	7	7	4
2010	5	4	12	15	12	14	16	14	14	4	3	4
2011	3	3	14	17	15	13	16	14	15	12	4	5
2012	4	4	15	15	15	13	15	14	13	17	4	4
2013	4	4	15	16	18	16	17	15	13	16	8	8
2014	6	8	15	13	16	14	15	12	12	16	10	8
2015	10	9	11	15	13	15	14					

## 材料と方法

### 漁獲量データ

まき網漁業によって漁獲されたマアジ当歳魚の大半は、愛媛県漁業協同組合連合会宇和島支部と宇和島漁協（以下、宇和島港）、愛南漁協深浦本所と南内海支所（以下、愛南港）（Fig. 1）に水揚げされる（稲井，2002）。水揚げされたマアジは、宇和島港では尾叉長（以下、FL）170 mm前後、愛南港ではFL 190 mm前後を境に小型の個体はゼンゴ銘柄、大型の個体はアジ銘柄に区分され、マアジ稚魚はゼンゴ銘柄に該当する。このため、漁獲量データは両港から報告のあった日別・漁船別のゼンゴ銘柄水揚量を用いた。

### 市場調査

マアジ稚魚の漁期・漁場を把握するため、宇和島港と愛南港において2009年3月–2015年7月の期間に月に3–23回の頻度で市場調査を実施した（Table 1）。調査当日に漁獲物を水揚げしていたまき網漁業者を対象に、調査当日から2日前までの水揚物について、その漁獲位置、漁獲日時を聞き取った。また、漁獲位置ごとの投網回数を聞き取るとともに、水揚物が複数地点で漁獲されていた場合はアジ銘柄、ゼンゴ銘柄、それぞれについて、水揚量に対する漁獲位置ごとの漁獲割合を聞き取った。聞き取りによって漁獲位置等の情報を得ることができたまき網船の統数は、対象とする期間に水揚げした延べ30,774統のうち延べ19,291統であった。

ゼンゴ銘柄に区分された水揚物のうち、漁獲位置を特定できた水揚物の一部から原則30尾以上をランダムに抜き取り、現場または研究室に持ち帰り1 mm単位で尾叉長を測定するとともに0.01 g単位または0.1 g単位で体重を測定

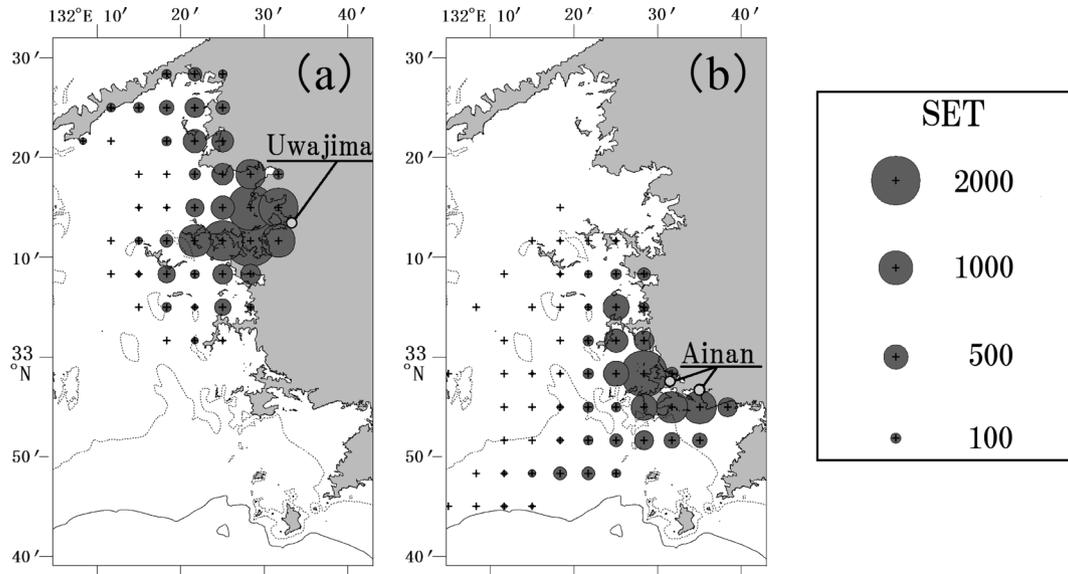
した。測定によって得た尾叉長・体重の測定データは水揚日別・緯度経度200秒マス目（以下、漁区）別のデータセットとして整理した。得られたデータセットは1,354データで、1データセットにおける測定数の平均は48.6尾（最小15尾、最大200尾）であった。

### マアジ稚魚の漁場・漁期およびCPUEの把握

マアジ稚魚の漁獲量分布を把握するため、2009–2015年の3–6月に愛南港と宇和島港に水揚げされたゼンゴ銘柄2,468トンのうち市場調査によって漁獲位置が特定できた1,986トンの水揚量データを水揚日別・漁区別に整理した。なお、水揚物が複数地点で漁獲されていた場合は、市場調査の際に聞き取った漁獲位置ごとの漁獲割合を乗じることで漁区別水揚量を求めた。水揚日別・漁区別に整理した水揚量データと尾叉長測定データを用いて、以下の式から漁区ごとに*t*月における尾叉長区分*l*の水揚量 $C_{tl}$ を算出した。

$$C_{tl} = C_t \times \sum_d (C_d \times H_{dl}) / \sum_d C_d \quad (1)$$

ここで、*l*はFL 20 mm以上FL 45 mm未満、FL 45 mm以上FL 80 mm未満、FL 80 mm以上FL 140 mm未満、FL 140 mm以上の4区分、 $C_t$ は*t*月の漁区ごとのゼンゴ銘柄水揚量を示す。また、 $C_d$ 、 $H_{dl}$ は漁区ごとに水揚日*d*におけるゼンゴ銘柄水揚量とゼンゴ銘柄測定重量に対する尾叉長区分*l*の測定重量の割合である。得られた漁区ごとの月別尾叉長区分別のゼンゴ銘柄水揚量 $C_{tl}$ を3–4月、5–6月の二月ごとに集計し、GISソフトMarine Explorer Ver.4（株式会社環境シミュレーション研究所）を用いて、尾叉長区分*l*の水揚量分布図を作成した。



**Figure 2.** Distribution of the fishing efforts (number of sets) of the purse seiners that landed at (a) Uwajima fishing port and (b) Ainan fishing port during 2009–2015. The plus sign indicates that there was a few fishing effort.

操業地点ごとの投網回数が把握できた延べ19,259統のまき網船がおこなった21,149回の投網の分布を見ると (Fig. 2), 後述するマアジ稚魚の漁場は宇和島港に入港したまき網船の操業域に含まれていた。また, 聞き取りをおこなった延べ19,291統の99.8%が水揚げ前日の夕刻から当日早朝に操業をおこなっていた。したがって, 宇和島港に水揚げされたマアジ稚魚は前日夕刻から当日早朝にかけ, マアジ稚魚の漁場で漁獲されたものと判断された。このため, 宇和島港に水揚げされ, ゼンゴ銘柄に区分された測定個体数に占めるマアジ稚魚の割合が50%を超えた日の前日から最後に超えた日までをマアジ稚魚の漁期 (以下, 漁期) とした。また, 漁期中に宇和島港に入港したまき網船1統あたりのゼンゴ銘柄水揚量 (CPUE) を漁場におけるマアジ稚魚の分布量の指標とし, 日別に整理した。なお, まき網船による水揚げがなかった日についてはCPUEを算出なかった。各年漁期におけるCPUEの日別データのうち最大値に対するCPUEの相対値が, まき網船の水揚げが無かった日を含め9日以内に0.5以上単調増加した期間において, 暖水流入の有無を調べた。

#### マアジ稚魚の漁期における暖水流入の把握

漁場への暖水流入の把握にあたっては, 午前8時から翌日8時におけるNOAA衛星のAVHRR信号を処理し, 漁業情報サービスセンターが記録保存した1.1 km単位の観測点ごとの日合成海面水温データを用いた。このうち, 雲による影響を避けるため, 13°C以下を削除した海面水温データ (以下, 衛星観測データ) を使用した。なお, 前述のように日中でのまき網船の操業は極めて少なかったため, 8時から翌日8時の海面水温の日合成データである衛星観測

データの日付は翌8時時点の日付として取り扱った。また, 急潮の発生による沿岸域の水温変化を捉えるため, 宇和海沿岸の3地点 (C1–C3, Fig. 1) に水温計 (ゼニライトブイ社製ZFU-WT2-S, JFEアドバンテック社製AT-DI-MおよびOnset Computer社製Hobo Water Temp Pro v2) を設置し, 海面下5 mの水温を1時間または2時間ごとに測定した。

衛星観測データの解析期間は2009–2015年の漁期開始4日前から漁期終日までとし, 北緯32度39分00秒–33度32分00秒, 東経132度05分00秒–132度43分00秒の瀬戸内海を除く海域 (Fig. 1) について, 曇りの少ない日, すなわち衛星観測データのうち海面水温が取得できた観測点数が1,500以上あり, かつ宇和島湾を含む北緯33度12分15秒以北の宇和海沿岸域においても50以上認められた日を選び, 解析に用いた。解析に用いた観測日数は, 2009年は30日, 2010年は21日, 2011年は4日, 2012年は16日, 2013年は26日, 2014年は21日, 2015年は17日である。これら衛星観測データから宇和島湾を含む北緯33度12分15秒以北の宇和海沿岸域の水温データを抽出し, その日平均値を求めた上で, 過去4日間と比較して水温が単調増加している期間を把握した。このうち, 1°C以上の水温上昇が認められる期間でかつ最も水温の高い日を, 暖水流入発生日とした。また, 暖水流入の発生が漁場におけるマアジ稚魚の分布量に影響を与えるか検証するため, Wilcoxon符号順位和検定法によってCPUEの4日間の日平均値を暖水流入発生日前後で比較した。なお, 検定の対象期間には漁期前も含まれているが, 漁期前における市場調査ではマアジ稚魚は漁獲されていなかった。ただし, 漁期前の検定対象となる期間全てについて調査はしておらず, 同期間に

マアジ稚魚の漁獲があった可能性も考えられた。このため、検定対象となる期間のうち漁期前のまき網船1統あたりのゼンゴ銘柄水揚量もマアジ稚魚の分布量を反映していると仮定し検定をおこなった。

## 結 果

### 尾叉長組成の季節推移とマアジ稚魚の漁場

いずれの年においても5-6月にFL 50-70 mmにモードを持つ体長群の加入が認められ、7月以降はこの新規加入群を漁獲していた (Fig. 3)。マアジ稚魚に該当するFL 30 mm以上80 mm未満の個体は、新規加入群の一部として5-6月に漁獲されており、7月以降はほとんど漁獲されていなかった。

マアジ稚魚の漁獲前にあたる3-4月には前年に加入したと推定されるFL 140 mm以上の個体が北緯33度以南を中心とした海域で漁獲されていた (Fig. 4)。5-6月になると、いずれの年においても、宇和島湾以北の沿岸域にマアジ稚魚が出現しており、同海域にマアジ稚魚の漁場が形成されていた。また、マアジ稚魚のうちFL 45 mm未満の小型の個体に比べ、各年ともにFL 45 mm以上の大型の個体が多かった。

### 各年漁期におけるCPUEの変動と暖水流入の発生状況

漁期は、2010年を除くすべての年で5-6月の間にあった (Table 2)。各年漁期における日平均のCPUEは56 kg・統<sup>-1</sup> (2012年) から574 kg・統<sup>-1</sup> (2011年) の間で変動していた。漁期中において、ゼンゴ銘柄に区分された個体の平均尾叉長は44-183 mmであり、その大半は45-80 mmの間であった (Fig. 5)。各年漁期におけるCPUEの日別データのうち最大値に対するCPUEの相対値が9日以内に0.5以上単調増加した期間は、2009-2015年漁期において12例が認められた。この12例のうち、2011年5月28日-6月1日と2013年5月29日-6月1日の期間は雲のため衛星観測データが取得できず、暖水流入の有無を検証できなかった (Fig. 6)。残り10例については、期間中に19-23°Cの暖水がマアジ稚魚の漁場へ流入していることが確認された (Figs. 6, 7)。

**Table 2.** Fishing season and CPUE of juvenile jack mackerel.

Year	Fishing season	CPUE (kg・boat <sup>-1</sup> ・day <sup>-1</sup> )		
		Avg.	Max.	Min.
2009	May 12-June 27	246	439	0
2010	May 9-July 8	228	1005	6
2011	May 5-June 15	574	1297	0
2012	May 14-June 16	56	486	4
2013	May 7-June 20	321	752	24
2014	May 12-June 17	173	419	11
2015	May 28-June 30	563	2296	2

このうち、2009年5月25日、2013年5月7日、2014年6月1日、2014年6月10日に発生した暖水流入では、発生日から数日前において宇和海東部の沿岸で水温の急激な上昇は観測されなかった (Fig. 6)。

CPUEが顕著に増加した期間以外にも9回の暖水流入が発生し、2009-2015年漁期に確認された暖水流入は計20回であった (Fig. 6)。CPUEの4日間の日平均値を、20回の暖水流入の発生日前後で比較すると (Table 3)、暖水流入前のCPUEに比べ、暖水流入後のCPUEが有意に高かった (Wilcoxon符号順位検定法 $p=0.021$ )。

## 考 察

### マアジ稚魚の漁場およびCPUEの日別・年別変動

本研究によって、マアジ稚魚の漁場が5-6月に宇和島湾以北の沿岸域において形成されることが明らかとなった。宇和島湾で操業をおこなうまき網船は目合い5 mm程度の網地も使用する (広田・河野, 1992) ため、まとまった分布があればFL 45 mm未満の小型個体も多獲されると考えられる。しかしながら、漁獲量に占める小型個体の割合は極めて低く、その組成の大部分は、集群して沿岸域に來遊するFL 45 mm以上FL 80 mm未満の個体 (梶原, 1957) で占められていた (Figs. 4, 5)。これらのことから、マアジ稚魚のうち主にFL 45 mm以上FL 80 mm未満の個体が宇和島

**Table 3.** Comparison of mean CPUE for 4 days before and after warmer water inflow.

Date	Mean CPUE (before warm water inflow)	Mean CPUE (after warm water inflow)
13-May-09	0	147
25-May-09	110	250
7-Jun-09	305	362
17-Jun-09	401	318
22-May-10	100	236
4-Jun-10	836	813
12-Jun-10	269	257
18-May-11	355	755
28-May-12	14	207
11-Jun-12	36	27
7-May-13	18	311
14-May-13	322	155
22-May-13	235	116
26-May-13	175	92
14-Jun-13	533	629
14-May-14	19	38
1-Jun-14	128	251
10-Jun-14	102	272
31-May-15	197	1521
2-Jun-15	767	1582

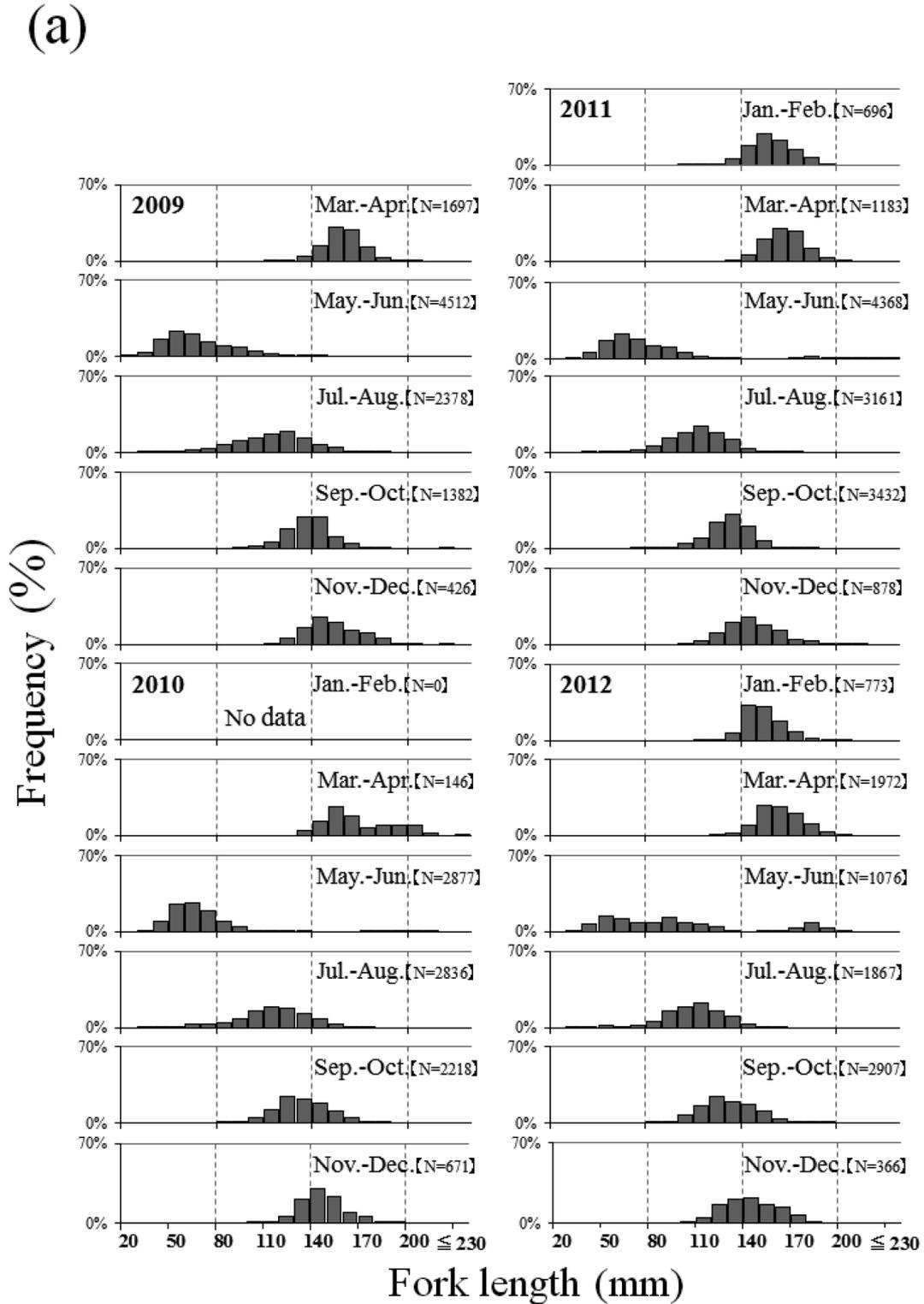
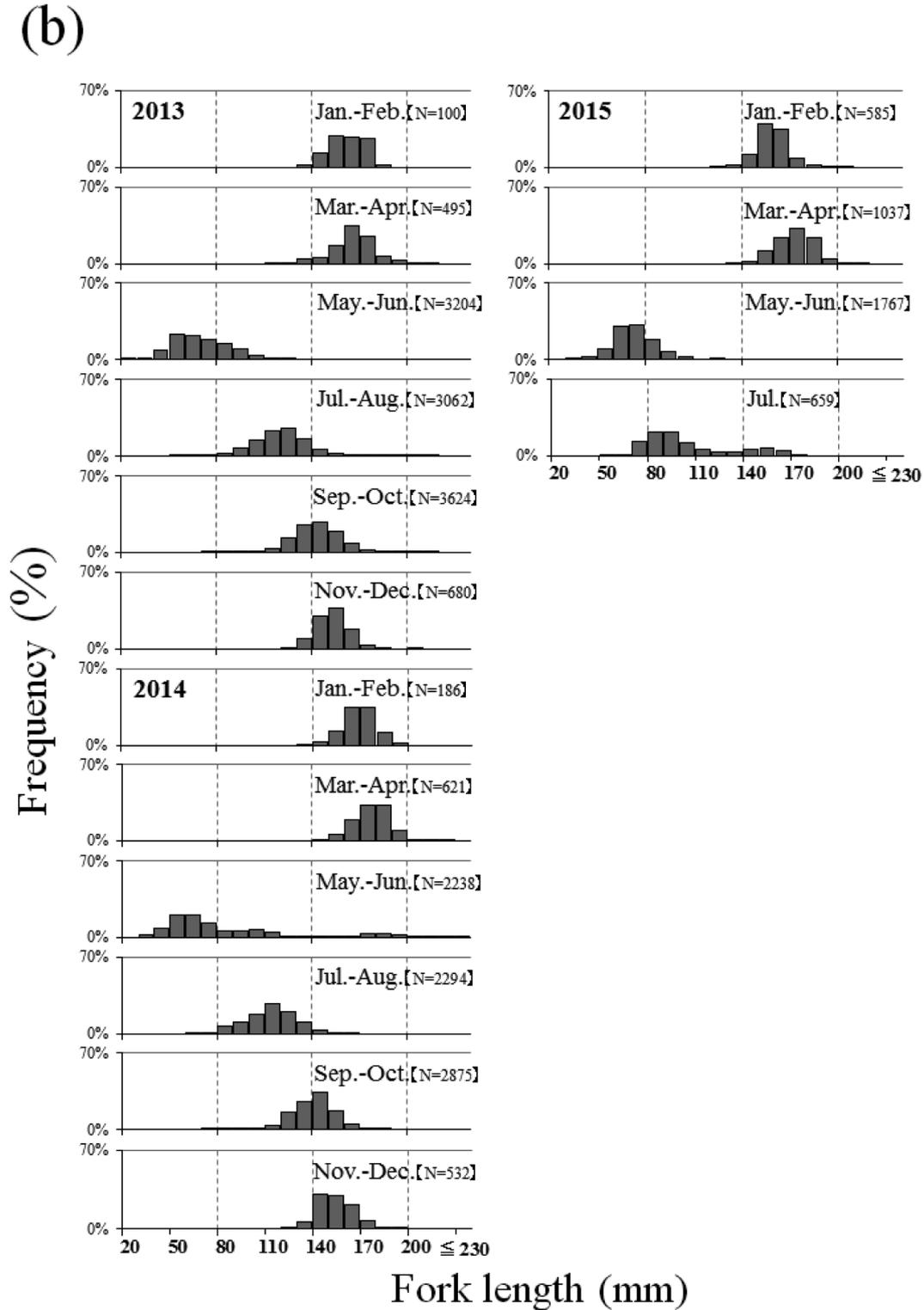


Figure 3. (a) Frequency distribution of fork length of jack mackerel classified into the Zengo brand

湾以北の沿岸域に集群して来遊することで、同海域に漁場が形成されたと考えられる。

漁場におけるマアジ稚魚のCPUEの顕著な増大は、漁場

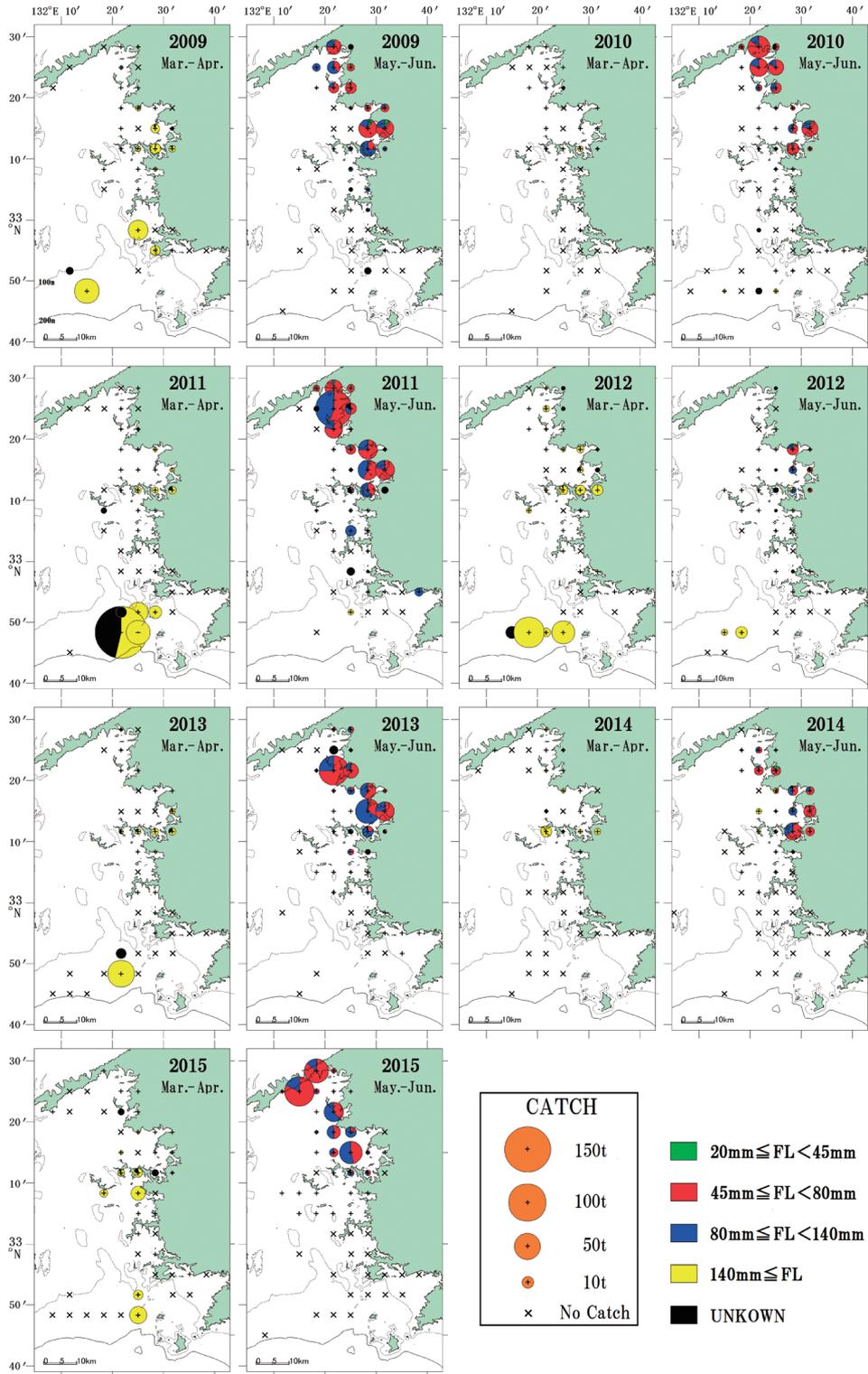
となった宇和島湾以北沿岸への暖水流入と同期していた。また、暖水流入発生前のCPUEに比べ、発生後のCPUEが有意に高かったことから、数日単位の短期的なCPUEの変



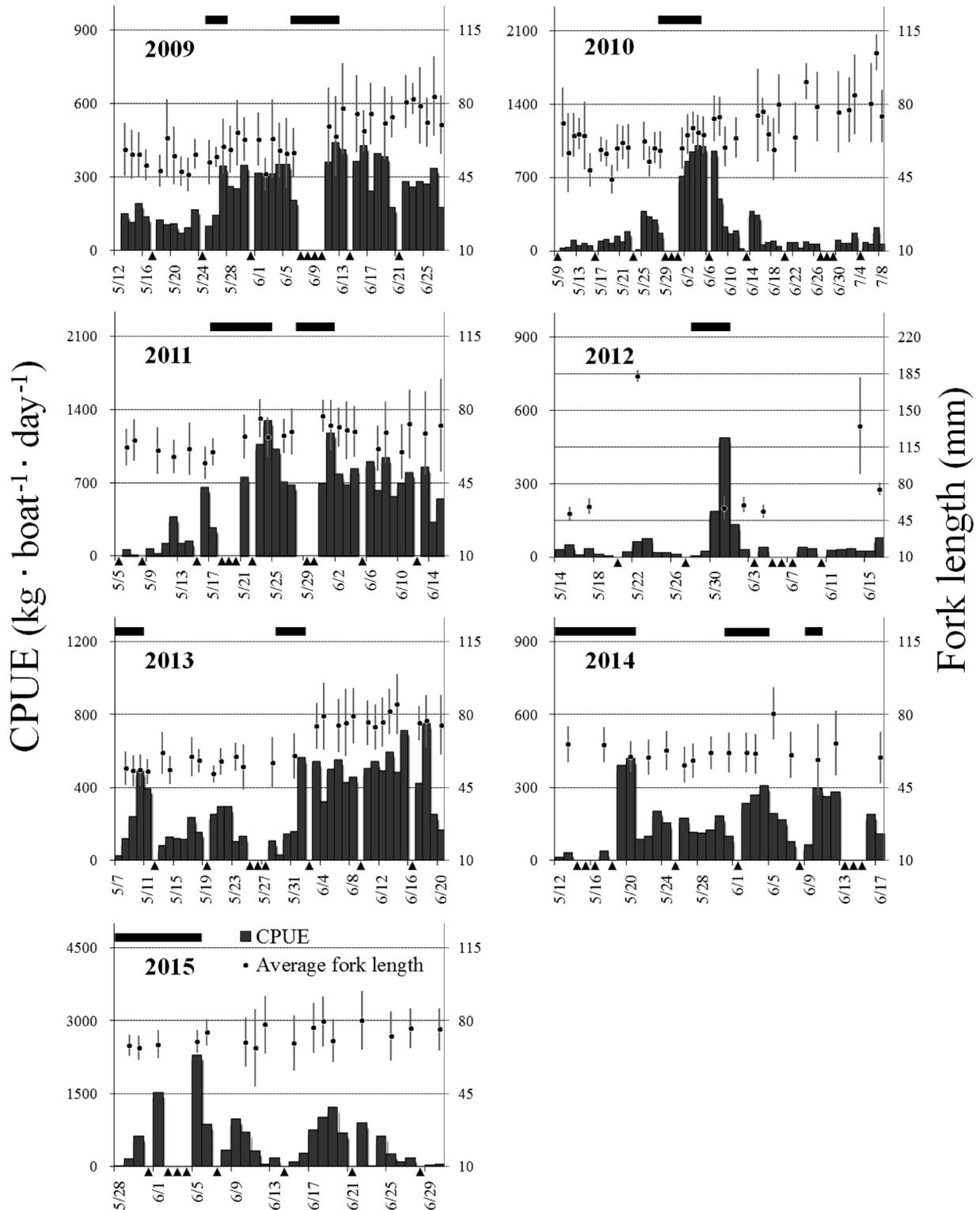
caught by the purse seine fishery in the Uwa Sea during 2009–2012. (b) Same as (a) but during 2013–2015.

動、すなわち漁場となる宇和島湾以北沿岸域へのマアジ稚魚の来遊には、宇和島湾以北沿岸域へ流入する暖水の発生が密接に関連していると考えられる。

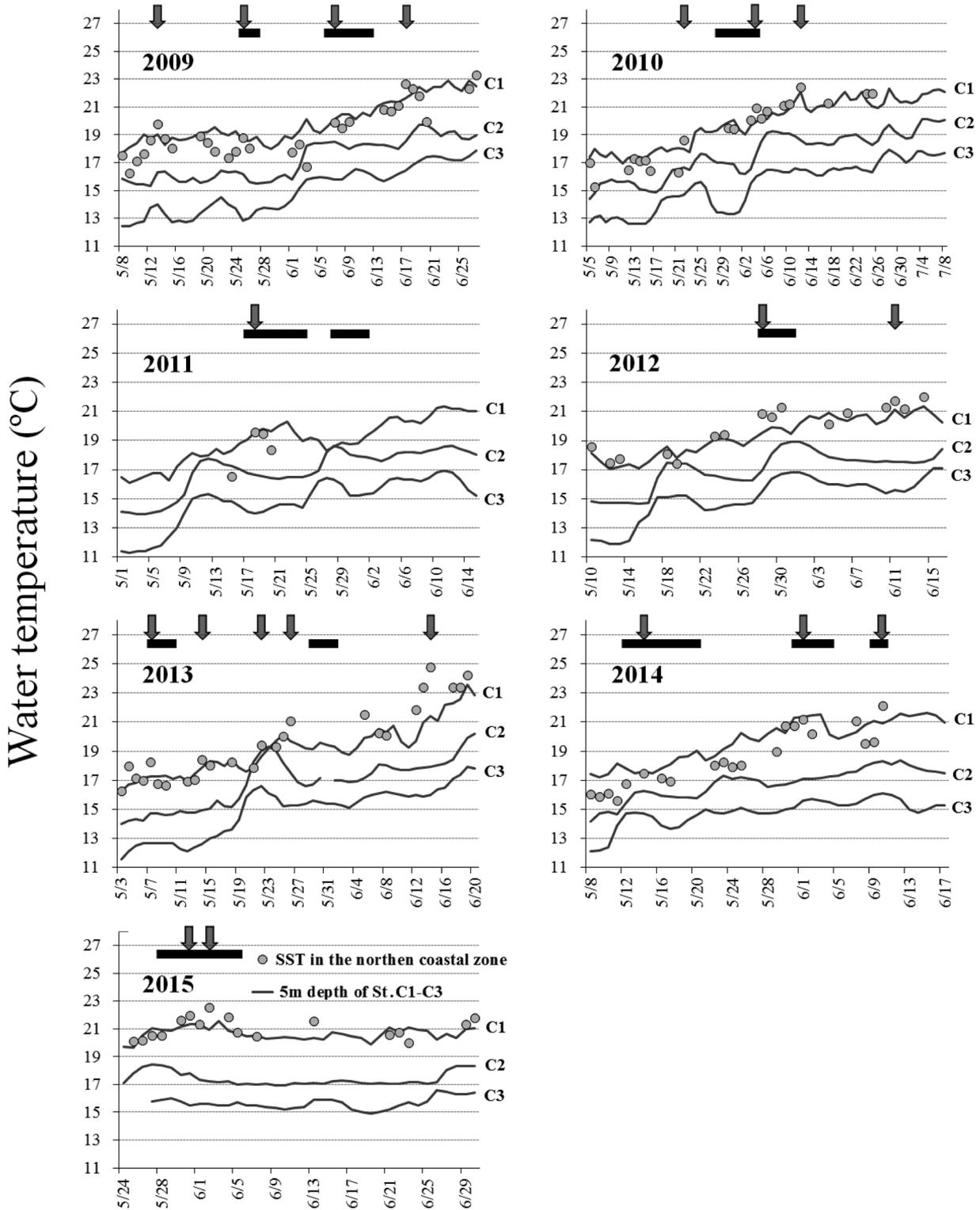
薩南～紀伊半島沿岸の海域を対象にした1997年4月に実施された方形枠稚魚網による仔稚魚の採集調査では、全長4.3–60.6 mmのマアジが採集され、その多くが表層(1 m層)



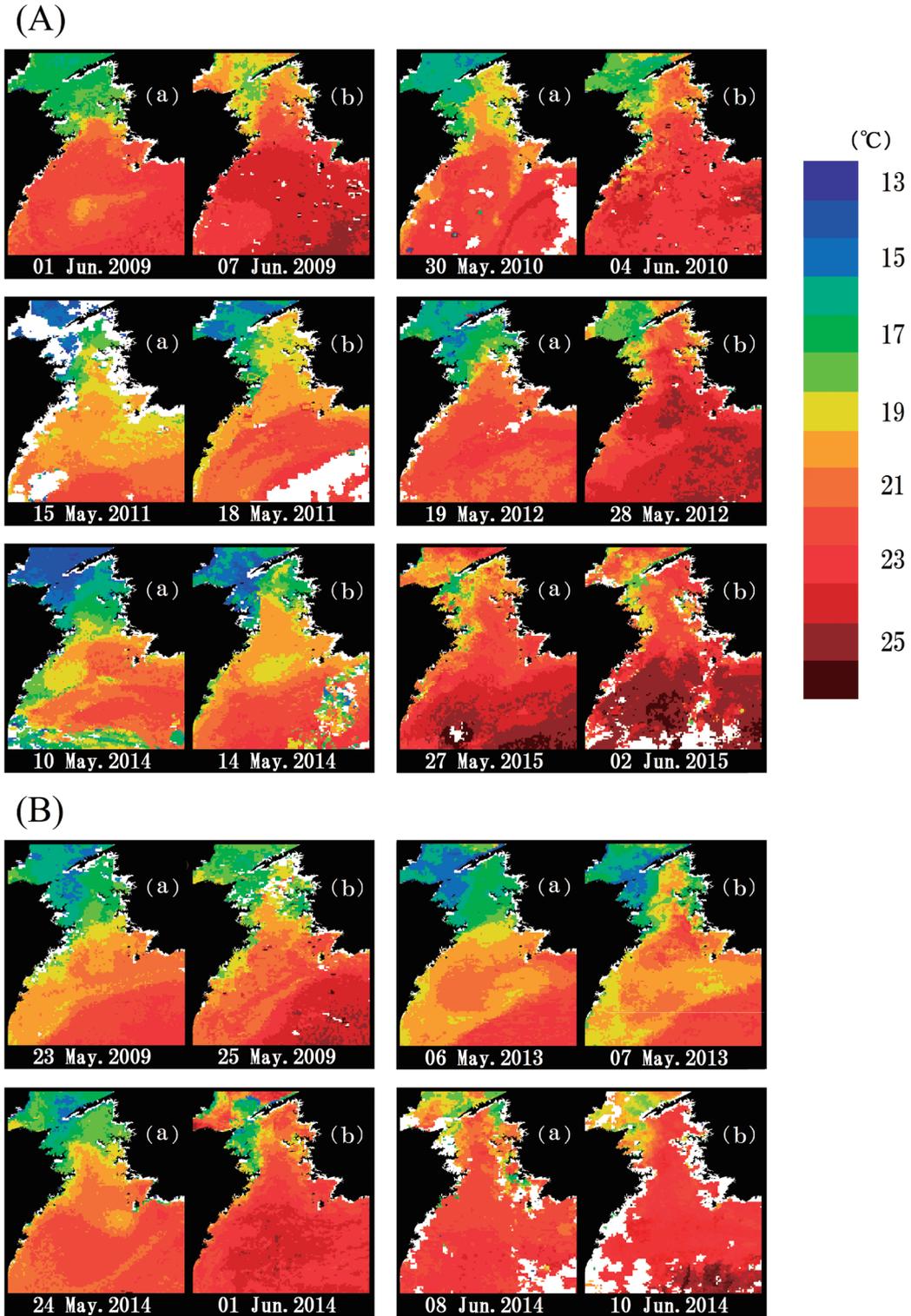
**Figure 4.** Catch distribution and fork length classes of jack mackerel classified into the Zengo brand. Colors in the distribution indicate classes by fork length: green, individuals  $\geq 20$  mm and  $< 45$  mm fork length; red, individuals  $\geq 45$  mm and  $< 80$  mm; blue, individuals  $\geq 80$  mm and  $< 140$  mm; yellow, individuals of  $\geq 140$  mm; black, unknown.



**Figure 5.** Daily changes in CPUE (kg · boat<sup>-1</sup> · day<sup>-1</sup>) and average fork length of jack mackerel classified into the Zengo brand during the fishing season at Uwajima fishing port. Horizontal bars indicate the period when CPUE increased remarkably. Vertical bar shows standard deviations of fork length. The solid triangle shows that there was no landing.



**Figure 6.** Daily changes in water temperature at 5 m depth of St. C1-C3 (Fig. 1) and at sea surface in the northern coastal zone of the Uwa Sea. Horizontal bars indicate the period when CPUE increased remarkably. The arrow indicates timing of warm water inflow. The scale for St. C2 and St. C3 is shifted 3°C and 6°C downward, respectively.



**Figure 7.** Distribution of sea surface temperatures (a) before and (b) after the drastic increase in CPUE of juvenile jack mackerel. Water temperature was described by the NOAA/AVHRR. The data were (b) on days with significant CPUE increases and (a) recorded 1–9 days earlier. Colored bars show sea surface temperature of centigrade. The upper imageries (A) show the warm water inflow accompanied by the coastal water temperature rise, and the lower imageries (B) show the warm water inflow without coastal water temperature rise.

水温約21°Cの黒潮と沿岸水が接するフロント域の沿岸水側に分布していたことが報告されている(上原・三谷, 2004)。また, 九州南東岸を対象に2002年, 2003年4月に実施された同調査においても標準体長3–46 mmのマアジが黒潮フロント域や黒潮暖水舌の先端に多く分布していたことが報告されており(上原・三谷, 2007), 春季太平洋岸では, マアジ稚魚は黒潮または黒潮系暖水と沿岸水が接するフロント域を中心に分布していると考えられている(上原・三谷, 2007)。本研究においてCPUEが顕著に増大した10の期間に発生した暖水流入は, 上原・三谷(2004)が報告したマアジ稚魚の分布水温帯21°Cを中心とする19–23°Cであり, 日向灘方向へ舌状に張り出した暖水塊(黒潮暖水舌)が見られる海域から水道沖合を通過して漁場に流入しているように見受けられる(Fig. 7)。これらのことから, マアジ稚魚は, 水温19–23°C前後の海域, 特に黒潮暖水舌が形成される水道南方の黒潮と沿岸水のフロント域を中心とした海域から, 暖水の流入とともに宇和島湾以北の沿岸域に来遊したものと推察される。

各年漁期における日平均のCPUEは2012年漁期の56 kg・統<sup>-1</sup>から2011年漁期の574 kg・統<sup>-1</sup>の間で変動していた。このうち, 解析に用いた衛星観測日数がほぼ等しい2012年漁期と2015年漁期においては, 暖水の発生回数はそれぞれ2回見られたが, 両年のCPUEには大きな差が認められた(Table 2)。したがって, マアジ稚魚の来遊量の年変動については暖水流入の発生よりも, 年ごとの加入量変動, すなわち孵化から加入にいたる輸送・生残過程が大きな影響を与えていると考えられる。

孵化後3日目に第1輪が形成され, その後は1日1本の割合で形成される(Xie et al., 2005)耳石輪紋の本数と尾叉長の関係(西山, 2013)から, 2009–2015年5–6月に漁獲されたマアジ稚魚の孵化月を年ごとに推定すると, 87–98%が3–4月に孵化していることになる。一方, 2009–2015年3–4月のC1における水温の月平均値は13.0–16.4°Cであり, 産卵の至適水温(海面水温)と推定されている17.1–28.0°C(Takasuka et al., 2008)より低く, マアジ稚魚の孵化海域が宇和島湾周辺以外にあることが示唆される。来遊量の年変動に大きな影響をあたえらる輸送・生残過程を検討するためには, マアジ稚魚の孵化海域についてより詳細な検討が今後必要である。

#### 沿岸水温の変動と暖水の進入経路

CPUEの急増時に観測された11例の暖水流入のうち, 4例の暖水流入では, 沿岸域の急激な水温上昇は観測されなかった。この4例の暖水流入の進入経路は, 沿岸域ではなく, 水道中央部にあたる沖合域を北上した後, 宇和島湾以北の沿岸域に流入しているように見受けられる(Fig. 7)。黒潮系暖水の進入を抑制する潮流による鉛直混合効果や潮汐残差流渦による水平混合の効果は, 豊後水道全域で一様に働いているのではなく, 地形の複雑な海域で局所的に働

いていることが示されている(武岡・小泉, 1994; Nagai and Hibiya, 2012; Nagai and Hibiya, 2013)。したがって, この4例は, 鉛直混合や潮汐残差流渦による水平混合の時間的, 空間的な強さの違いによっては, 暖水が地形の複雑な沿岸域ではなく沖合域を北上し, 沿岸水温の急激な上昇が引き起こされない場合があることを示しているものと考えられる。すなわち, マアジ稚魚の来遊やその短期的な漁況変動には, 沿岸域の急激な水温変動だけでは捕捉できない水道中央部を北上し漁場へ流入する暖水も関連することが本研究によって初めて示唆された。

残る7例については, 急潮の発生の目安となる数日以内に2–3°C以上の沿岸水温の上昇(小泉, 2002)が観測された。これまでマアジ当歳魚の数日単位の短期的な漁況変動については, 急潮にともなって観測される沿岸域での急激な水温上昇と関連があることが指摘されている(稲井, 2002)。したがって, この7例については, 従来から指摘されていた急潮によって, 宇和島湾以北の沿岸域にマアジ稚魚が来遊しCPUEが上昇したのと考えられる。ただし, 宇和島湾以南においても急潮にともなう沿岸水温の上昇が認められたにもかかわらず, マアジ稚魚の漁場は同海域に形成されなかった。急潮の発生時には, 宇和島湾以南の水道東部では, 水道沖合を中心に平均的に50 cm・s<sup>-1</sup>程度, 最も顕著なもので70 cm・s<sup>-1</sup>を超える北向きの表層流が発生する(Takeoka et al., 1995)。この流速値は, 30分～数時間疲労することなく泳ぎ続けられ体長の2–3倍とされている巡航速度(塚本, 1993), マアジ稚魚では体長と尾叉長の換算式(徐ほか, 1988)から8.0–22.0 cm・s<sup>-1</sup>と推定される値より大きい。また, 宇和島湾以南の沿岸域に侵入した暖水は急潮の北方向への伝播にともない沖合域へ流出することも示されている(Takeoka et al., 1995)。これらのことから, 急潮の発生に伴う北向きの強い表層流, または急潮の北方向への伝播に伴う沿岸域から沖合域への暖水の流出により, マアジ稚魚は宇和島湾以南の海域に留まることができず, 漁場が形成されなかったと推測される。

#### マアジ稚魚の来遊後の挙動

マアジ稚魚は宇和海に来遊後, 直ちに他海域へ移動するわけではなく, 来遊海域にしばらく留まっていることが考えられる。実際に, 2009–2015年3–6月では, FL 80–140 mmのマアジは稚魚とほぼ同じ宇和島湾以北沿岸域で5–6月に漁獲されており, 宇和島湾以南の海域での漁獲は極めて少なかった(Fig. 4)。対照的に, 豊後水道西岸では2009–2014年5–6月において漁獲されたマアジのうちFL 140 mm以下の個体は0–17%と低かった(西山ほか, 2010, 2011, 2012, 2013, 2015; 中尾ほか, 2015)。このことから, 2009–2015年においては, マアジ稚魚は宇和島湾以北沿岸域に来遊した後, すぐには他海域へ移動せず, 5–6月の期間においては宇和島湾以北沿岸域またはその周辺に留まっていたものと考えられる。

一方、翌年3-4月におけるゼンゴ銘柄の漁場は宇和島湾より南の海域に形成されていた (Fig. 4)。また、2009-2013年において、5-6月に宇和海中部 (宇和島港) で水揚げされたゼンゴ銘柄と、主体が当歳魚となる7-12月での日向灘におけるマアジとで、年別漁獲量の動向は一致しており、7-12月に日向灘で漁獲される当歳魚が宇和海からの来遊資源である可能性が示されている (甲斐, 2015)。5-6月に宇和島湾以北沿岸域に来遊したマアジ稚魚が7月以降、沿岸域に留まるのかあるいは南方海域へ移動するのは宇和海およびその周辺海域における当歳魚の漁況予測やその合理的な管理を考えるうえにおいて極めて重要な情報であり、より詳細な検討が今後必要である。

## 謝辞

水揚げ作業時にもかかわらず、大変貴重な情報を提供頂きました漁業者の方々に厚く御礼申し上げます。また本研究のきっかけを与えて頂きました小泉喜嗣博士、データの整理に協力頂いた愛媛県農林水産研究所水産研究センターの浅井早美氏に深く感謝申し上げます。

## 引用文献

- 花岡藤雄 (1972) 南西海区のまき網漁場における短期の海況変動と漁況について。南西海区水産研究所研究報告, **5**, 11-24。
- 広田祐一・河野芳己 (1992) 愛媛県宇和島湾におけるおきあみ漁業。南西外海の資源・海洋研究, **8**, 89-95。
- 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。
- 甲斐史文 (2015) 日向灘におけるまき網の漁況予報の再構築。黒潮の資源海洋研究, **16**, 19-28。
- 金 熙容・稲井大典・兼田敦志・武岡英隆 (2007) 豊後水道における海洋環境とマアジの漁獲変動特性。水産海洋研究, **71**, 1-8。
- 梶原 武 (1957) 若年マアジの生態学的研究-I。長崎大学水産学部研究報告, **5**, 13-22。
- 川崎 健 (1959) マアジの生態についての基礎的研究。東北海区水産研究所研究報告, **13**, 95-107。
- 小泉喜嗣 (2002) 豊後水道東岸域における急潮と植物プランクトンの増殖機構に関する研究。愛媛県水産試験場研究報告, **10**, 1-91。
- 西山雅人・真田康広・中里礼太・景平真明・尾上静正 (2010) 資源に関する基礎調査。平成21年度大分県農林水産研究指導センター水産研究部事業報告, 大分県農林水産研究指導センター水産研究部, 63-81。
- 西山雅人・真田康広・行平真也・井本有治 (2011) 資源に関する基礎調査。平成22年度大分県農林水産研究指導センター水産研究部事業報告, 大分県農林水産研究指導センター水産研究部, 25-41。
- 西山雅人・徳光俊二・安部洋平・井本有治 (2015) 資源に関する基礎調査。平成25年度大分県農林水産研究指導センター水産研究部事業報告, 大分県農林水産研究指導センター水産研究部, 20-39。
- 西山雅人・徳光俊二・斉藤真美 (2013) マアジ当歳魚の日齢査定を用いた大分県沿岸域におけるふ化日組成の推定。中央ブロック卵・稚仔、プランクトン調査研究担当者協議会研究報告, **33**, 170-174。
- 西山雅人・徳光俊二・行平真也・井本有治 (2012) 資源に関する基礎調査。平成23年度大分県農林水産研究指導センター水産研究部事業報告, 大分県農林水産研究指導センター水産研究部, 40-57。
- 西山雅人・徳光俊二・行平真也・井本有治 (2013) 資源に関する基礎調査。平成24年度大分県農林水産研究指導センター水産研究部事業報告, 大分県農林水産研究指導センター水産研究部, 22-41。
- Nagai, T. and T. Hibiya (2012) Numerical simulation of tidally induced eddies in the Bungo Channel: A possible role for sporadic Kuroshio-water intrusion (kyucho). *J. Oceanogr.*, **68**, 797-806。
- Nagai, T. and T. Hibiya (2013) Effects of tidally induced eddies on sporadic Kuroshio-water intrusion (kyucho). *J. Oceanogr.*, **69**, 369-377。
- 中尾拓貴・内海訓弘・安部洋平・井本有治 (2015) 資源に関する基礎調査。平成26年度大分県農林水産研究指導センター水産研究部事業報告, 大分県農林水産研究指導センター水産研究部, 27-46。
- 農林水産省大臣官房統計部 (2014) 平成24年漁業・養殖業生産統計年報, 90-188。
- 落合 明・睦谷一馬・謀田 晋 (1982) マアジの卵発生と初期發育。魚類学雑誌, **29**, 86-92。
- 落合 明・田中 克 (1986) マアジ。「新版魚類学(下)」恒星社厚生閣, 東京, 788-797。
- 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。
- 武岡英隆・小泉喜嗣 (1994) 平成5年度急潮現象予知手法開発研究報告書, 9-25。
- Takasuka, A., Y. Oozeki and H. Kubota (2008) Multi-species regime shifts reflected in spawning temperature optima of small pelagic fish in the western North Pacific. *Mar. Ecol. Prog. Ser.*, **360**, 211-217。
- Takeoka, H., Y. Tanaka, Y. Ohno, Y. Hisaki, A. Nadai and H. Kuroiwa (1995) Observation of the Kyucho in the Bungo Channel by HF radar. *J. Oceanogr.*, **51**, 699-711。
- 塚本勝巳 (1993) 魚類の遊泳運動: 水中への適応。比較生理生化学, **10**, 249-262。
- 上原伸二・三谷卓美 (2004) 太平洋沿岸へのマアジの加入過程。水産学シリーズ139「マアジの産卵と加入機構—東シナ海から日本沿岸へ—」恒星社厚生閣, 東京, 69-82。
- 上原伸二・三谷卓美 (2007) 太平洋岸南部におけるマアジの加入過程。月刊海洋, **39**, 539-544。
- 渡邊千夏子・川端 淳・上村泰洋・赤嶺達郎・亘 伸吾・水戸啓一 (2015) 平成26年度我が国周辺水域の漁業資源評価。平成26年度マアジ太平洋系群の資源評価, 水産庁, 東京, 78-105。
- Xie, S., Y. Watanabe, T. Saruwatari, R. Masuda, Y. Yamashita, C. Sassa and Y. Konishi (2005) Growth and morphological development of sagittal otoliths of larval and early juvenile *Trachurus japonicus*. *J. Fish Biol.*, **66**, 1704-1719。
- 徐 剛・有元貴文・井上 実 (1988) マアジ *Trachurus japonicus* の遊泳速度の測定。日本水産学会誌, **54**, 1493-1497。
- 山田鉄雄・梶原 武 (1954) 九州北西域のアジ漁業について。対馬暖流開発調査研究報告, **1**, 63-76。