

# 1995年の瀬戸内海燧灘東部における カタクチイワシとマイワシの食性の比較

山本昌幸<sup>1†</sup>, 片山知史<sup>2</sup>

## Interspecific comparisons of feeding habit between Japanese anchovy *Engraulis japonicus* and Japanese sardine *Sardinops melanostictus* in eastern Hiuchi-nada, central Seto Inland Sea, Japan, in 1995

Masayuki YAMAMOTO<sup>1†</sup> and Satoshi KATAYAMA<sup>2</sup>

To examine the potential food competition between Japanese anchovy *Engraulis japonicus* (range in total length: 30–102 mm) and Japanese sardine *Sardinops melanostictus* (23–116 mm), stomach contents and nitrogen stable isotope ratios were compared between the two species simultaneously caught by drag-net in eastern Hiuchi-nada, central Seto Inland Sea, Japan, from July to September 1995. The stomach content items of Japanese anchovy were very similar to those of Japanese sardine, and the dominant prey items in percentage of weight of the both species were *Corycaeus affinis*, *Microsetella norvegica*, *Paracalanus parvus*, cypris larva of Balanomorpha, *Penilia avirostris* and alima larva of Stomatopoda. Compositions of zooplankton prey items of the two species in the same day showed a greater similarity than for the same species in different sampling days. Moreover, the values of the stable isotope ratio were not different between the two species. The results suggest the feeding habits of Japanese anchovy and Japanese sardine were similar, and hence there is an interspecific food competition in the case of limited food availability.

**Key words:** stomach contents, Japanese anchovy, Japanese sardine, stable isotope, Seto Inland Sea

### はじめに

マイワシ属やカタクチイワシ属などの小型浮魚類は、気候変動と対応して数十年規模の周期的な資源変動を繰り返すことが世界各地で報告されている(川崎, 1989; Lluch-Belda et al., 1992; Li et al., 1993; Takasuka et al., 2007)。日本周辺においては、マイワシとカタクチイワシの間で豊漁期と不漁期が入れ替わる魚種交替が確認されている。このような魚種交代現象は、気候変動が魚類の生残過程に影響を及ぼして引き起こされていると考えられているが、その具体的な機序については不明の点が多い。

瀬戸内海中央部に位置する燧灘では、カタクチイワシの漁獲量は、20,000tを超えた1980年代後半以降、減少し、

1995年には3,700tとなり、その一方、これまでほとんど漁獲されなかったマイワシが1990年代に入って増加し、1995年には1,500tとなった(Fig. 1; 中国四国農政局香川農政事務所, 1986–2010; 渡辺・橋本, 2005)。その後、1999年にマイワシの漁獲量は前年の約1/10の280tに落ち込んだが、それとは逆に2000年以降のカタクチイワシの漁獲量と加入量は、1990年代後半の約2倍に増加した(山本ほか, 2006)。マイワシがカタクチイワシの漁獲量を上回することはなかったが、両種の漁獲量の変動をみると、両種に種間関係が存在すると考えられる。さらに、両種の産卵期が重複し(Zenitani et al., 2001; 河野・銭谷, 2008; Mizuno et al., 2010)、両種の仔稚魚がともにカイアシ類を主な餌とすることから(山下, 1957; 田中, 2006; Yasue et al., 2011)、仔稚魚や産卵期の成魚における餌料の競合が両種の漁獲変動要因の一つと推測される。摂餌生態に関する研究は、カタクチイワシ(e.g. 魚谷ほか, 1978; 三谷, 1988; 吉田ほか, 1999; Yasue et al., 2010)、マイワシ(e.g. 中田, 1995; 平川・後藤, 1996; Watanabe and Saito, 1998)の両種ともに多数あるが、これらは単一種それぞれの摂餌生態の研究であった。同所分布するカタクチイワシとマイワシの食性を調べ

2011年9月27日受付, 2012年2月24日受理

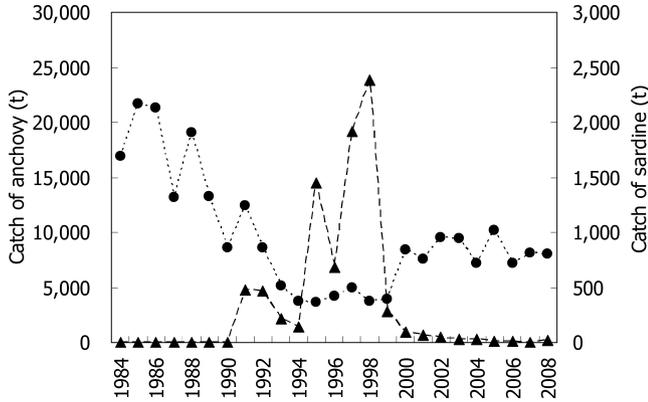
<sup>1</sup> 香川県水産試験場

Kagawa Prefectural Fisheries Experiment Station, 75-5 Yashimahigashi, Takamatsu, Kagawa 761-0111, Japan

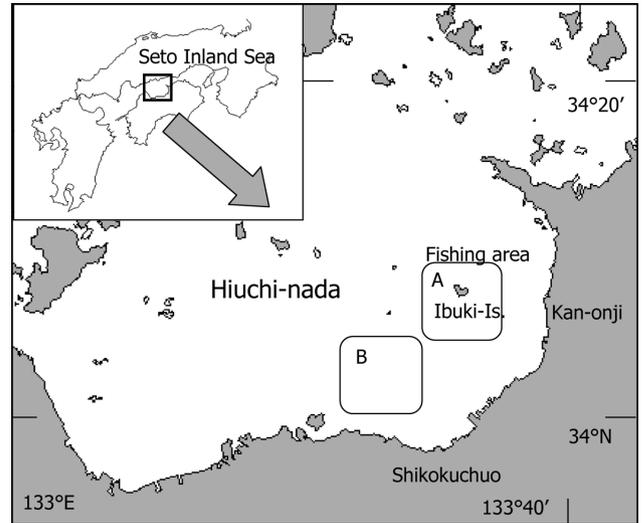
<sup>2</sup> 東北大学大学院農学研究所

Graduate School of Agricultural Science, Tohoku University, 1-1 Amamiya-machi, Tsutsumidori, Aoba-ku, Sendai, Miyagi 981-8555, Japan

† ky0554@pref.kagawa.lg.jp



**Figure 1.** Annual catch of Japanese anchovy *Engraulis japonicus* (solid circle) and Japanese sardine *Sardinops melanostictus* (solid triangle) in eastern Hiuchi-nada, Seto Inland Sea, Japan, from 1984 to 2008.



**Figure 2.** Collection area of both Japanese anchovy and Japanese sardine by drag-nets in Hiuchi-nada.

**Table 1.** Number and total length of Japanese anchovy *Engraulis japonicus* and Japanese sardine *Sardinops melanostictus* for stomach content analysis and stable isotope ratio analysis.

Date	Japanese anchovy				Japanese sardine			Fishing area*
	n	Total length (mm)		n	Total length (mm)			
		Mean	Range		Mean	Range		
<b>Stomach contents analysis</b>								
July 17, 1995	22	36.2	30–42	22	32.8	23–46	A	
Aug. 4, 1995	22	61.9	51–70	11	92.8	83–112	B	
Aug. 18, 1995	24	87.3	81–102	24	95.9	86–103	B	
Sep. 4, 1995	24	92.3	76–102	24	104.5	96–116	A	
<b>Stable isotope ratio analysis</b>								
July 3, 1995	4	33.3	24–39	4	29.9	20–37	A	

\* See Figure 2

た研究があるが (山下, 1957; Li et al., 1992; 田中, 2006; 伊東, 2009; Takagi et al., 2009; Yasue et al., 2011), 前者2報については, 胃内容物の分類群が高位でまとめられており, 詳細な食性の比較ができていない。また, 後者4報については, 植物プランクトン密度が低い海域での調査のためか, 胃内容物が動物プランクトンのみから構成されていた。両種ともに植物プランクトンも摂食すると報告されており (山下, 1957), 植物プランクトンの分布密度が高い海域での食性に関する調査が求められる。両種の餌料をめぐる競合の度合いが両種の資源量や, 動物プランクトンおよび植物プランクトンの分布密度によって, 変化することが予想されるが, 両種の食性の知見は, 魚種交替を議論する上で重要な情報となる。そこで本研究では, 植物プランクトンの分布密度の高い瀬戸内海中央部の燧灘におけるカ

タクチイワシとマイワシの胃内容物組成を調べた。これに加え, 胃内容物分析の結果を補完するため, 自然界の物質循環解析に有効な安定同位体比 (高井・富永, 2008) を活用し, 窒素安定同位体比 ( $\delta^{15}\text{N}$ ) から, 両種の栄養段階の差異を調べた。これらの結果に基づき, 両種の食性を比較した。

## 材料と方法

### 標本の採集

1995年7–9月に合計5回, 瀬戸内海燧灘東部において, 香川県の伊吹漁業協同組合のいわし機船曳き網で12–13時の間に漁獲されたカタクチイワシとマイワシを供試魚とした (Fig. 2, Table 1)。供試魚を氷蔵し, 約3時間かけて実験室に持ち帰り, 胃内容物分析と安定同位体分析に用いるイワシ

類をそれぞれ10%ホルマリンと99.5%エタノールで固定した。

#### 胃内容物の分析

ホルマリンで保存されていたカタクチイワシとマイワシからそれぞれ11-24尾を無作為に抽出し, 全長 $TL$  (mm) および体重 $BW$  (g) を測定した。その後, 胃を摘出し, まず胃内容物重量 $SCW$  (g) を測定した ( $TL, BW, SCW$  の測定分解能は, それぞれ1 mm, 0.1 g, 1 mg)。続いて実体顕微鏡下で, 山路 (1984) に基づいてできる限り下位の分類群まで同定し, 分類群ごとに個体数を計数し体積割合を測定した。さらに, 両種が摂餌しているカイアシ類の大きさを比較するため, 両種それぞれの胃内容物における主要カイアシ類4種類 (*Paracalanus* spp., *Oithona* spp., *Corycaeus* spp., *Microsetella* spp.) のコペポダイト (幼体) と成体の個体数割合を調べた。なお, ノープリウス幼生は出現個体数が少なく (後述), また, 種別に分類できなかったため, 解析から除いた。

#### 胃内容物データの分析

摂餌強度の指標として, 個体ごとに胃内容物重量指数 (stomach contents index,  $SCI$ ) を

$$SCI = (SCW/BW) \times 100 \quad (1)$$

で算出し, 採集日ごとに平均胃内容物重量指数 ( $MSCI$ )

$$MSCI = \sum SCI/n \quad (2)$$

を求めた。カタクチイワシについては, 年代間での摂餌状況を検討するため, 個体ごとに肥満度 (condition factor,  $CF$ ) を

$$CF = (BW/BL^3) \times 10^6 \quad (3)$$

で算出し, 採集日ごとに平均肥満度 ( $MCF$ )

$$MCF = \sum CF/n \quad (4)$$

を求めた。なお,  $BL$  は被鱗体長 (mm) を表し, 全長  $TL$  から

$$BL = 0.85 TL - 0.083 \quad (n = 1068, 24 \text{ mm} < TL < 108 \text{ mm}, r^2 = 0.99) \quad (5)$$

(山本昌幸, 未発表) を用いて算出した。

個体数組成百分率 (%N) は, 胃内容物の分析の各餌分類群に基づいた個体数から算出された。消化物を除いた各餌分類群の体積割合と胃内容物重量の積から, 個体ごとの各分類群の重量を算出し, その値に基づいて, サンプル内

の重量組成百分率 (%W) を算出した。サンプル内での餌分類群の出現頻度の百分率を求めた (%F)。餌生物のニッチ幅 (niche breadth) を評価するため, 採集日ごとにニッチ幅  $B$  (木元・武田, 1989) を次式で算出した。

$$B = 1/\sum q_i \quad (6)$$

ここで,  $q_i$  は餌生物  $i$  の個体数組成比であり, 前述の %N を 100 で割ったものである。 $B$  が大きいほどニッチ幅が広く, 小さいほど狭いことを表す。両種の胃内容物の重量組成比の概要をみるため, 胃内容物を大きく6分類群に分け (カイアシ類, ミジンコ類, フジツボのキプリス幼生, シヤコのアリマ幼生, 魚卵, その他), 採集日ごとに, それらの重量組成比を算出した。

カタクチイワシとマイワシの餌生物の重なり度合は, Jaccard による共通係数 (coefficient of community,  $CC$ ) と Pianka の  $\alpha$  指数 (Pianka's  $\alpha$  index,  $\alpha$ ) を用いて評価された (木元・武田, 1989)。両種の餌生物の共通種数を用いて類似度を評価する  $CC$  は, 次式によって算出した。

$$CC = c/(a + b - c) \quad (7)$$

ここで,  $a$  および  $b$  は, 両種がそれぞれ摂餌していた餌生物の種数,  $c$  は共通の餌生物種数である。 $CC$  は大きいほど餌生物の類似度が高いことを表す。さらに, 両種の餌生物の個体数を用いて類似度を評価する  $\alpha$  は, 次式によって算出した。

$$\alpha = \sum p_{1i} p_{2i} / [(\sum p_{1i}^2)(\sum p_{2i}^2)]^{(1/2)} \quad (8)$$

ここで,  $p_{1i}$  および  $p_{2i}$  は, 各サンプルの餌生物  $i$  の割合である。そして, 本研究では, 両種の主要な餌料と考えられる動物プランクトンについての  $\alpha$  を求めた。

#### 安定同位体比の分析

1995年7月3日のエタノール保存サンプルから, 2010年にサンプルの最頻値サイズ (全長30mm前後) のカタクチイワシとマイワシをそれぞれ4尾取り出し, 全長を測定し (Table 1), よく水洗した後, 胸鰭後部の筋肉を採取した。その後, この筋肉片を, 凍結乾燥させて粉末状にすりつぶした。そして, これにクロロフォルム:メタノール (2:1) 溶液を加えて脱脂し, 恒温器 (約60°C) で約24時間乾燥後, 約0.8gを採取し分析に供した。

安定同位体比は, 元素分析器 (EA-1108 elemental analyzer, Carlo Erba) を接続した質量分析計 (Finnigan Mat ConFlo II, Mat 252) で測定し, 下式のとおり, 標準試料からの相対百分率で表した。

$$\delta^{15}\text{N} = (R_{\text{sample}} / R_{\text{standard}} - 1) \times 1000 (\%) \quad (9)$$

ここで、Rは $^{15}\text{N}/^{14}\text{N}$ である。 $^{15}\text{N}$ の標準試料には大気窒素の値を用い、ワーキングスタンダードとしてアラニン( $\delta^{15}\text{N} = -2.50\%$ )を用いた。なお、本研究では、炭素安定同位体比( $\delta^{13}\text{C}$ )を測定しなかった。これは、サンプルの $\delta^{13}\text{C}$ の測定の際、保存液であるエタノールの影響を正確に把握することができなかったためである。

## 結果

### 胃内容物組成

カタクチイワシとマイワシの平均胃内容物重量指数(MSCI)は、それぞれ0.45–0.68, 0.87–1.37であった(Tables 2, 3)。ニッチ幅Bは、カタクチイワシが2.9–5.4, マイワシが2.4–5.7であった。採集日ごとに両種のMSCIを比較すると、すべての日でカタクチイワシよりマイワシの方が高い値であった(U-test,  $p < 0.05$ )。7月17日のマイワシ2個体を除いて、空胃個体は観察されなかった。カタクチイワシの平均肥満度をみると、平均被鱗体長30.7mmの「銘柄名：カエリ」サイズが7.9, 52.5mmの「小羽」サイズが9.1, 70.0mm台の「中羽」サイズが9.9と10.0であった(Table 2)。

カタクチイワシとマイワシの餌生物の種数は、それぞれ96(植物プランクトン39; 動物プランクトン57)と104(43; 61)であった(Tables 2, 3)。両種ともに植物プランクトンは主に珪藻から構成され、個体数組成比が10%N以上、出現頻度が90%F以上と高い値を示す種(*Skeletonema costatum*, *Coscinodiscus* sp., *Thalassionema nitzschioides*, *Thalassiothrix frauenfeldii*)もみられたが、重量組成比はすべてが「+(0.04%W以下)」であった。重量組成比において、すべてのサンプルでカイアシ類が最も主要な構成種であったが、ミジンコ類や無脊椎動物の浮遊幼生も少なくなかった。主要な餌生物のカイアシ類において、キクロプス目の*Corycaeus*属、*Oithona*属、カラヌス目の*Paracalanus*属は、すべてのサンプルで出現し、出現頻度も高かった。また、*Microsetella norvegica*は、8月以降に出現した。ミジンコ類は、8月に重量組成比が高く、優占種は*Penilia avirostris*であった。フジツボのキプリス幼生は8月、シャコのアリマ幼生は、9月のカタクチイワシと8月のマイワシで重量組成比が高かった。魚卵は8月18日のマイワシで重量組成比が高く、魚卵の大部分はカタクチイワシ卵であった。なお、魚卵は、マイワシの胃内容物からのみ観察された。その他の構成種は、二枚貝のアンボ期幼生や十脚目の幼生であった。

カタクチイワシとマイワシが摂餌しているカイアシ類4種類の成長段階(大きさ)をみると、*Paracalanus* spp., *Oithona* spp. は、両種ともに成体の割合が高い一方、*Corycaeus* spp., *Microsetella* spp. は、コペポダイト(幼体)の割合が70%以上で、成体の割合が低かった(Fig. 4)。

カタクチイワシとマイワシの種間ならびに同種の胃内容物組成の類似度をみると、Jaccardによる共通係数CCとPi-

ankaの $\alpha$ 指数の2つの類似度ともに、同じ採集日におけるカタクチイワシとマイワシの間の類似度の方が、異なる採集日における同種および種間の類似度より高かった(Fig. 5)。

### 窒素安定同位体比

カタクチイワシとマイワシの $\delta^{15}\text{N}$ の平均値は、それぞれ、 $14.8 \pm 0.3\%$ (範囲: 14.2–15.2%)と $14.6 \pm 0.3\%$ (14.0–15.2%)であった。両種の $\delta^{15}\text{N}$ の平均値を比較したところ、有意差は認められなかった(U-test,  $p > 0.3$ )。

## 考察

本研究において、カタクチイワシの平均胃内容物重量指数(MSCI)は、0.45–0.68であった。マイワシの漁獲量がほとんどなくなり、カタクチイワシの漁獲量と加入量が1990年代後半の約2倍になった2002–2006年のカタクチイワシ成魚のMSCIは、1.3–4.6となった(山本・本田, 2008)。サイズが若干異なるものの、調査月および採集時刻は本研究とほぼ一致しており、また、MSCIが2倍以上であることから、本研究より2000年以降の摂餌量の方が高かったと考えられる。これに加えて、本研究におけるカタクチイワシの「カエリ」、「小羽」「中羽」の平均肥満度(MCF)は、それぞれ、7.9, 9.1, 9.9–10.0であったが、2003年と2004年の「カエリ」、「小羽」「中羽」のMCFは、それぞれ、7.6–9.2, 10.1–10.2, 9.9–10.3となり(山本, 2010)、本研究より2000年代のMCFの方が若干高い値となった。これらのことから、マイワシがほとんどいなくなった2000年以降の方が、本研究を実施した1995年よりカタクチイワシの摂餌環境が良好であった可能性が示唆される。

カタクチイワシとマイワシの空胃ではないすべてのサンプルの胃内容物から珪藻が観察され、両種が植物プランクトンを摂餌していることが明らかとなった。また、8月には、カイアシ類以外のミジンコ類の*Penilia avirostris*、フジツボのキプリス幼生と二枚貝アンボ期幼生が主な餌となることもあった。太平洋沖合域におけるカタクチイワシ(田中, 2006; Takagi et al., 2009)とマイワシ(中田, 1995; 田中, 2006; Takagi et al., 2009)では、一部のサンプルで甲殻類の卵が両種の胃内容物の優占種となっていたが(田中, 2006)、その他の大部分の報告では、カイアシ類が胃内容物の優占種であった。一方、九州筑前海沿岸のカタクチイワシでは、珪藻類の摂餌が確認され、二枚貝アンボ期幼生が10月の主な餌となっていた(吉田ほか, 1999)。さらに、相模湾奥部において7–10月に漁獲されたカタクチイワシでは、カイアシ類以外に、後期仔魚期ではミジンコ類、稚魚期ではフジツボのキプリス幼生、二枚貝のアンボ期幼生も主な餌となっていた(三谷, 1988)。本研究のサンプルでは、外洋域の既往の知見とは異なり、植物プランクトンやカイアシ類以外の動物プランクトンのミジンコ類や浮遊幼生がカタクチイワシやマイワシの餌と植物プランクトン

**Table 2.** Mean stomach contents index (MSCI), niche breadth (B) of stomach contents and stomach contents composition of Japanese anchovy *Engraulis japonicus*; in total number (%N), percentage of weight (%W) and frequency of occurrence (%F) in 1995.

Date	17 July			4 Aug.			18 Aug.			4 Sep.		
Number of samples	22			22			24			24		
Number of empty individuals	0			0			0			0		
Mean stomach contents index (MSCI)	0.68			0.61			0.45			0.65		
Niche breadth (B)	5.4			4.7			3.9			2.9		
Mean body length (mm)	30.7			52.5			74.1			78.4		
Mean condition factor (MCF)	7.9			9.1			9.9			10.0		
	%N	%W	%F	%N	%W	%F	%N	%W	%F	%N	%W	%F
<b>Phytoplankton</b>												
Diatoms												
<i>Melosira sulcata</i>							5.9	+	8.3	0.5	+	4.2
<i>Melosira</i> sp.							3.9	+	4.2	0.3	+	4.2
<i>Skeletonema costatum</i>							0.7	+	4.2	13.7	+	58.3
<i>Stephanopyxis palmeriana</i>				11.4	+	45.5				1.6	+	20.8
<i>Thalassiosira</i> sp.				0.3	+	4.5	2.3	+	12.5	0.5	+	8.3
<i>Coscinodiscus asteromphalus</i>	18.4	+	13.6	4.7	+	31.8	0.5	+	4.2	0.2	+	8.3
<i>C. gigas</i>							0.3	+	8.3			
<i>Coscinodiscus</i> sp.	4.6	+	4.5	9.7	+	72.7	48.4	+	91.7	1.6	+	62.5
<i>Bacteriastrium varians</i>										5.6	+	54.2
<i>Chaetoceros affine</i>										0.2	+	4.2
<i>C. decipiens</i>										0.2	+	4.2
<i>C. lorenzianum</i>							2.2	+	4.2			
<i>C. coarctatus</i>							8.4	+	20.8			
<i>C. danicum</i>							4.9	+	4.2			
<i>Chaetoceros</i> sp.										0.2	+	4.2
<i>Biddulphia sinensis</i>				19.7	+	59.1	1.5	+	8.3	0.6	+	20.8
<i>Ditylum brightwellii</i>	27.6	+	9.1	0.8	+	4.5						
<i>Eucampia zodiacus</i>				9.7	+	27.3						
<i>Streptothecca thamensis</i>				0.6	+	4.5						
<i>Fragilaria</i> sp.				0.3	+	4.5						
<i>Thalassionema nitzschioides</i>							2.0	+	8.3	53.0	+	100.0
<i>Thalassiothrix frauenfeldii</i>							1.0	+	4.2	19.0	+	87.5
<i>Pleurosigma</i> sp.				0.3	+	4.5				0.1	+	4.2
<i>Nitzschia pungens</i>				1.1	+	9.1	4.6	+	16.7	2.0	+	41.7
<i>Bacillaria paradoxa</i>							1.0	+	4.2			
Chrysophyceae							0.5					
<i>Dictyocha fibula</i>				37.5	+	100.0	0.7	+	4.2			
<i>Distephanus speculum</i>							+	+	8.3			
Dinophyceae												
<i>Pyrophacus horologicum</i>										0.3	+	4.2
<i>Ceratium furca</i>										0.1	+	4.2

+: &lt;0.04%

瀬戸内海におけるカタクチイワシとマイワシの食性の比較

Table 2. continued

Date	17 July			4 Aug.			18 Aug.			4 Sep.		
	%N	%W	%F	%N	%W	%F	%N	%W	%F	%N	%W	%F
<b>Zooplankton</b>												
Cladocera												
<i>Evadne tergestina</i>				0.6	+	9.1	0.2	0.7	45.8			
Polyhemidae							0.1	1.6	8.3			
<i>Penilia avirostris</i>				0.1	13.9	59.1						
Copepoda												
<i>Paracalanus parvus</i>	2.3	16.3	9.1	+	1.0	9.1	+	+	8.3	0.1	11.7	79.2
<i>Paracalanus</i> sp.							+	+	4.2			
<i>Centropages</i> sp. (cf. <i>yamada</i> i)				+	+	4.5						
<i>Centropages</i> spp.										+	8.8	16.7
Pontellidae							+	+	4.2	+	1.6	4.2
<i>Acartia erythraea</i>							0.1	1.5	12.5	0.1	10.6	58.3
<i>Tortanus forcipatus</i>							0.1	0.8	12.5	+	0.8	8.3
Calanoida	2.3	1.5	9.1	+	+	9.1	0.2	0.5	33.3	+	+	29.2
<i>Oithona</i> spp.				+	+	9.1	+	+	4.2	+	+	4.2
<i>Oncaea media</i>				+	+	13.6	0.3	0.7	29.2	+	0.4	41.7
<i>Oncaea</i> spp.							0.2	+	29.2			
<i>Saphirella</i> spp.				+	+	9.1	+	+	4.2	+	0.1	8.3
<i>Corycaeus affinis</i>	9.2	17.9	18.2	1.1	26.5	95.5	2.2	22.6	91.7	0.1	5.9	87.5
<i>Corycaeus</i> spp.							0.1	+	16.7			
Cyclopoida				0.1	0.3	9.1	0.1	+	25.0	+	0.3	8.3
<i>Microsetella norvegica</i>							4.1	20.0	91.7	0.2	13.6	95.8
<i>M. rosea</i>							0.1	0.5	8.3			
<i>Euterpina acutifrons</i>										+	0.2	16.7
Harpacticoida							+	+	4.2			
Copepodite of <i>Calanus</i>												
Copepodite of <i>Paracalanus</i>	5.7	13.2	22.7				0.1	0.5	16.7	0.1	5.0	79.2
Copepodite of <i>Centropages</i>							+	+	4.2	+	0.7	16.7
Copepodite of <i>Acartia</i>										+	0.1	16.7
Copepodite of <i>Oithona</i>	3.4	+	9.1	0.1	+	27.3	+	+	4.2	+	+	8.3
Copepodite of <i>Oncaea</i>				+	+	9.1	0.2	+	29.2	+	+	8.3
Copepodite of <i>Corycaeus</i>	24.1	36.6	27.3	0.7	10.7	86.4	0.2	+	25.0	+	+	37.5
Copepodite of <i>Microsetella</i>										+	+	33.3
Egg of <i>Copepoda</i>				0.1	+	18.2				+	+	4.2
Malacostraca												
<i>Lucifer</i> sp.										+	4.2	8.3
Decapoda							+	+	4.2			
Larva and egg												
Gastropoda larva							+	+	8.3	+	0.4	8.3
Umbo larva of Pelecypoda				0.6	9.8	72.7	0.3	0.1	58.3	+	0.2	50.0
Polychaeta larva	1.1	1.8	4.5	+	+	4.5						
Nauplius of Balanomorpha				0.1	+	27.3	0.5	1.1	54.2			
Cypris of Balanomorpha				0.5	37.0	86.4	2.1	34.3	95.8	+	2.8	37.5
Calyptopis of Euphausiacea							+	+	4.2			
Zoea of Anomura										+	2.1	4.2
Zoea of Macrura							+	+	4.2			
Zoea of Brachyura				+	0.8	4.5	0.1	4.1	20.8	+	3.8	16.7
Megalopa of Brachyura							+	9.3	12.5	+	2.1	4.2
Zoea of Decapoda	1.1	12.7	4.5				+	1.6	4.2	+	2.1	4.2
Alima of Stomatopoda										+	22.6	4.2

+: <0.04%

**Table 3.** Mean stomach contents index (*MSCI*), niche breadth (*B*) of stomach contents and stomach contents composition of Japanese sardine *Sardinops melanostictus*; in total number (%N), percentage of weight (%W) and frequency of occurrence (%F) in 1995.

Date	17 July			4 Aug.			18 Aug.			4 Sep.		
Number of samples	22			11			24			24		
Number of empty individuals	2			0			0			0		
Mean stomach contents index ( <i>MSCI</i> )	0.95			1.31			0.87			1.37		
Niche breadth ( <i>B</i> )	5.7			3.3			2.4			3.1		
	%N	%W	%F	%N	%W	%F	%N	%W	%F	%N	%W	%F
<b>Phytoplankton</b>												
Diatoms												
<i>Melosira sulcata</i>				0.8	+	18.2	1.6	+	8.3	0.4	+	8.3
<i>Skeletonema costatum</i>				2.5	+	27.3	1.5	+	12.5	15.1	+	91.7
<i>Stephanopyxis palmeriana</i>				5.1	+	81.8	2.1	+	20.8	1.1	+	29.2
<i>Thalassiosira</i> sp.				3.4	+	45.5	2.0	+	8.3	+	+	4.2
<i>Coscinodiscus asteromphalus</i>	9.7	+	13.6	0.7	+	27.3	5.0	+	70.8	0.2	+	16.7
<i>C. wailesii</i>							0.2	+	4.2			
<i>Coscinodiscus</i> sp.	18.9	+	36.4	15.2	+	72.7	63.9	+	100.0	7.4	+	95.8
<i>Rhizosolenia alata</i>							0.2	+	4.2	+	+	4.2
<i>Bacteriastrum varians</i>				0.3	+	9.1	2.3	+	12.5	4.5	+	70.8
<i>Bacteriastrum hyalinum</i>							0.3	+	4.2	0.9	+	8.3
<i>Chaetoceros affine</i>							0.7	+	4.2	0.2	+	4.2
<i>C. compressum</i>							0.6	+	4.2	0.2	+	4.2
<i>C. densum</i>							2.1	+	16.7			
<i>C. denticulatum</i>										0.1	+	4.2
<i>C. coarctatus</i>							2.0	+	12.5			
<i>Chaetoceros</i> sp.				0.3	+	9.1	2.4	+	16.7			
<i>Biddulphia longicruris</i>				0.1	+	9.1						
<i>B. sinensis</i>				1.0	+	45.5	0.2	+	8.3	+	+	4.2
<i>Ditylum brightwellii</i>	1.1	+	4.5	0.7	+	45.5				+	+	8.3
<i>Eucampia zodiacus</i>				1.3	+	36.4						
<i>Thalassionema nitzschioides</i>				1.0	+	45.5				52.8	+	100.0
<i>Thalassiothrix frauenfeldii</i>							0.6	+	8.3	13.1	+	95.8
<i>Pleurosigma</i> sp.							0.9	+	20.8	0.2	+	12.5
<i>Nitzschia pungens</i>				2.7	+	81.8	5.7	+	41.7	1.6	+	33.3
Chrysophyceae												
<i>Dictyocha fibula</i>				12.8	+	81.8	0.3	+	8.3	0.1	+	12.5
<i>Distephanus speculum</i>				50.3	+	90.9						
Dinophyceae												
<i>Dinophysis ovum</i>										0.1	+	4.2
<i>Dinophysis</i> sp.										0.1	+	4.2
<i>Pyrophacus horologicum</i>							1.8	+	41.7	0.5	+	25.0
<i>Protoperdinium</i> sp.							1.8	+	33.3	0.5	+	37.5
<i>Ceratium furca</i>										+	+	8.3
<i>C. kofoidii</i>										+	+	4.2
<i>C. fusus</i>							0.1	+	4.2			
<i>C. tripos</i>							0.2	+	4.2			
<i>Gonyaulax</i> sp.				0.1	+	9.1						

+: &lt;0.04%

## 瀬戸内海におけるカタクチイワシとマイワシの食性の比較

Table 3. continued

Date	17 July			4 Aug.			18 Aug.			4 Sep.		
	%N	%W	%F	%N	%W	%F	%N	%W	%F	%N	%W	%F
<b>Zooplankton</b>												
Rotatoria												
Philodinidae										+	+	8.3
Sagittidea												
<i>Sagitta</i> spp.										+	0.7	12.5
Cladocera												
<i>Evadne tergestina</i>	2.1	3.4	18.2	+	1.6	54.5	+	0.9	58.3			
<i>Podon</i> sp.										+	+	4.2
Polyhemidae				+	+	18.2	+	0.3	16.7			
<i>Penilia avirostris</i>				0.7	22.2	100.0	0.1	1.5	54.2	+	+	16.7
Copepoda												
<i>Paracalanus parvus</i>	5.9	8.0	63.6	0.1	1.8	72.7	+	0.9	45.8	0.1	13.1	91.7
<i>Paracalanus</i> sp.										+	+	4.2
<i>Centropages</i> sp. (cf. <i>yamada</i> i)							+	+	4.2			
<i>Centropages</i> spp.							+	+	12.5		+	8.3
<i>Acartia omorii</i>	0.1	0.8	4.5									
<i>Acartia erythraea</i>				+	+	9.1	+	0.4	37.5	0.1	20.9	87.5
<i>Acartia</i> spp.										+	2.6	8.3
<i>Tortanus forcipatus</i>							+	4.7	25.0	+	0.4	20.8
Calanoida	5.0	6.8	63.6	+	0.6	72.7	+	0.6	20.8	+	6.7	70.8
<i>Oithona</i> spp.	3.3	2.4	27.3	+	+	9.1	+	+	16.7	+	+	20.8
<i>Oncaea media</i>				+	+	9.1	+	+	8.3	+	+	25.0
<i>Oncaea</i> sp. (cf. <i>media</i> )							+	+	4.2			
<i>Oncaea</i> spp.							+	+	16.7	+	+	4.2
<i>Saphirella</i> spp.				+	+	9.1	+	+	25.0	+	+	25.0
<i>Corycaeus affinis</i>	3.0	5.1	18.2	0.1	11.7	100.0	0.1	6.6	91.7	0.1	17.3	95.8
<i>Corycaeus</i> spp.				+	+	9.1				+	0.3	4.2
Cyclopoida				+	+	9.1				+	1.9	8.3
<i>Microsetella norvegica</i>				0.1	1.7	72.7	0.4	13.6	91.7	0.1	11.8	95.8
<i>M. rosea</i>										+	+	4.2
<i>Euterpina acutifrons</i>										+	+	16.7
Harpacticoida										+	+	8.3
Copepodite of <i>Calanus</i>	1.9	15.8	9.1									
Copepodite of <i>Paracalanus</i>	33.8	46.7	81.8	0.1	1.2	90.9	0.1	2.1	62.5	+	2.9	75.0
Copepodite of <i>Centropages</i>	0.1	+	4.5				+	+	8.3	+	+	4.2
Copepodite of <i>Acartia</i>	0.4	+	13.6				+	+	25.0	+	0.7	25.0
Copepodite of <i>Calanoida</i>							+	1.8	20.8	+	+	4.2
Copepodite of <i>Oithona</i>	6.4	4.3	9.1	+	+	9.1	+	+	37.5	+	+	25.0
Copepodite of <i>Oncaea</i>							+	+	12.5	+	+	25.0
Copepodite of <i>Corycaeus</i>	4.7	6.5	27.3	0.1	2.3	81.8	0.1	2.0	66.7	+	+	45.8
Copepodite of <i>Microsetella</i>				+	+	27.3	0.1	3.1	70.8	+	0.1	33.3
Nauplius of <i>Copepoda</i>	0.3	+	9.1									
Egg of <i>Copepoda</i>	2.9	0.3	9.1	+	+	63.6	0.1	+	70.8	+	0.8	79.2
Malacostraca												
<i>Lucifer</i> sp.				0.1	+	9.1	+	8.6	4.2	+	+	4.2
Isopoda	0.1	+	4.5									
Appendicularia												
<i>Oikopleura</i> sp.										+	+	4.2

+: &lt;0.04%

Table 3. continued

Date	17 July			4 Aug.			18 Aug.			4 Sep.		
	%N	%W	%F	%N	%W	%F	%N	%W	%F	%N	%W	%F
Larva and egg												
Umbo larva of Pelecypoda				+	+	27.3	+	1.0	12.5			
Polychaeta larva										+	0.5	20.8
Cyphonautes larva										+	+	8.3
Nauplius of Balanomorpha				+	+	54.5	+	0.9	54.2	+	+	8.3
Cypris of Balanomorpha				0.3	39.8	100.0	0.1	16.6	79.2	+	1.0	41.7
Furcilia of Euphausiacea							+	+	8.3			
Zoea of Anomura										+	4.0	20.8
Mysis of <i>Lucifer</i>							+	+	8.3	+	0.3	4.2
Zoea of Macrura				+	10.9	18.2				+	4.4	20.8
Zoea of Brachyura							+	+	8.3	+	1.3	33.3
Megalopa of Brachyura										+	1.1	4.2
Zoea of Decapoda				+	0.7	18.2	+	7.5	16.7	+	5.4	33.3
Alima of Stomatopoda				+	4.4	9.1	+	9.4	8.3	+	+	4.2
Egg of Japanese anchovy				+	+	27.3	+	16.9	83.3	+	1.0	8.3
Fish egg				+	1.1	36.4	+	0.5	4.2	+	0.8	12.5
Fish larva							+	+	4.2			

+: <0.04%

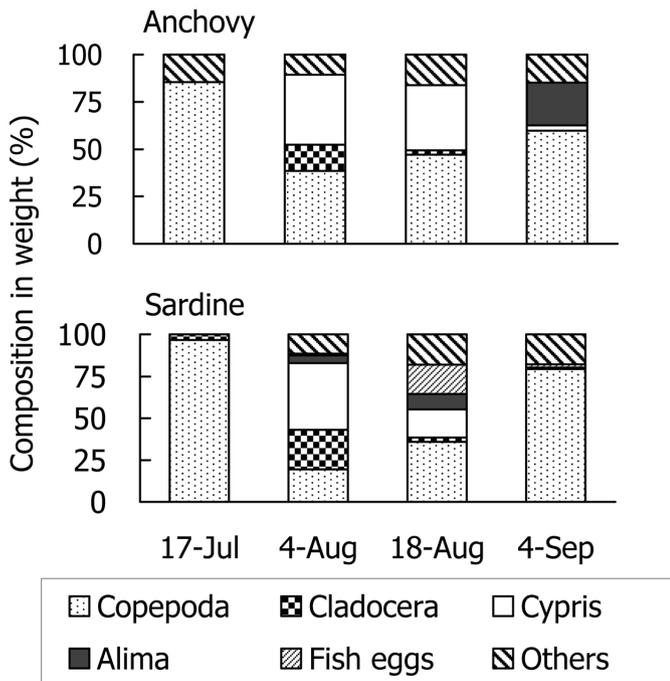
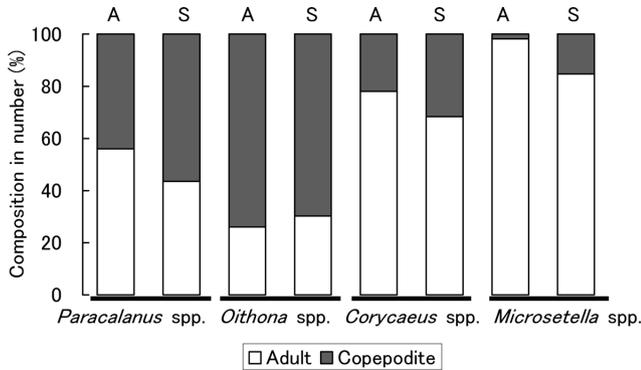


Figure 3. Composition of the prey zooplankton in the stomach contents (percent weight) of Japanese anchovy and Japanese sardine in 1995. Digested items were excluded from this analysis.

やミジンコ類, 甲殻類・貝類の浮遊幼生の密度が高い可能性が考えられる. カイアシ類以外のプランクトンも, 主な餌生物となるのは, 内湾・沿岸域における両種の食性の特徴といえるだろう.

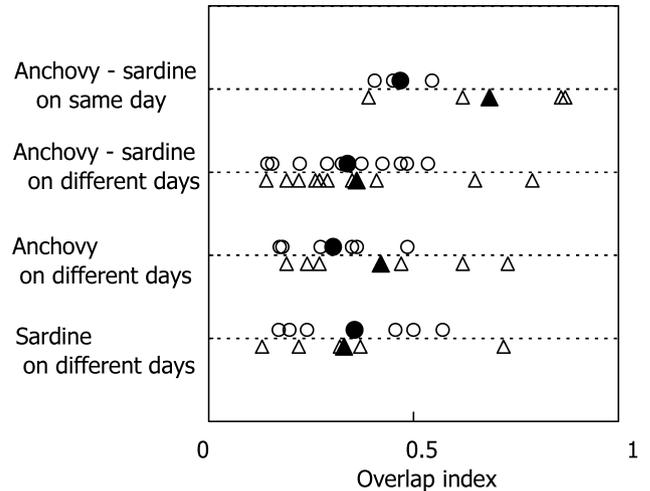
本研究において, 同じ採集日における種間の類似度は, 異なる採集日における同種の類似度より高かった. また, 紀伊水道におけるカタクチイワシ, マイワシ, ウルメイワシ後期仔魚においても, カイアシ類を主な餌とし, 同じ月における種間の%N組成が, 異なる月における同種の%N組成よりも類似していた (Yasue et al., 2011). このことから, カタクチイワシとマイワシは, ある特定の生物を選択して摂餌しているのではなく, 環境中の生物を非選択的に摂餌している可能性が考えられた. 本研究において, 両種が摂餌していた4種類のカイアシ類のコペポダイトと成体の割合には, 種間で大きい違いはみられなかった. 紀伊水道のカタクチイワシ, マイワシ, ウルメイワシ後期仔魚が摂餌していたカイアシ類において, 体幅は3種で重なり合っていた (Yasue et al., 2011). また, 相模湾と太平洋沖合域におけるカタクチイワシとマイワシの餌生物の体幅も重なり合っていた (田中, 2006). これら胃内容物組成の結果および餌生物サイズの検討から, 両種のサイズ選択性にも大きい違いはないことが示唆された. 胃内容物の分析に加えて, 安定同位体比を調べた結果, 両種の $\delta^{15}\text{N}$ に有意差は認められず, 両種の稚魚は同じ栄養段階にあると推定された.



**Figure 4.** Composition (percent in number) of adult and copepodite of the 4 major copepods consumed by Japanese anchovy (A) and Japanese sardine (S) in 1995. In the present study, while Japanese anchovy did not consume nauplii of copepoda, Japanese sardine did so but only a few nauplii were found in the samples of 17 July.

胃内容物と窒素安定同位体比の比較から、カタクチイワシとマイワシの食性は類似していることが明らかとなり、両種の間を餌をめぐる競争が存在することが示唆された。両種の食性が類似していても、環境中に十分な餌があれば、餌生物の競争が起こり得ない。そこで、瀬戸内海中央部における両種の最も重要な餌生物であるカイアシ類の密度をみると、本調査海域燧灘の西部に位置する広島湾の1988年の調査では、カタクチイワシの成長や生残に十分なカイアシ類ノープリウス幼生がいなかったと報告されている(上・山岡, 1990)。さらに、カタクチイワシの漁獲量が1990年代後半より増加した2000年代前半の燧灘においても、カイアシ類の密度によって、カタクチイワシ仔魚の生残率や(Zenitani et al., 2007; 2011)成長率が変動した(Zenitani et al., 2009)。以上のことから、本調査海域のカイアシ類の密度は、カタクチイワシとマイワシの資源量に対して十分でないと考えられる。さらに、前述のカタクチイワシのMSCIやMCFの比較から、本研究を実施した1995年の餌料密度は2000年以降よりも低かった可能性が示唆され、さらにカタクチイワシとマイワシが同時に漁獲されていた1990年代後半に両種の間で餌生物の競争があり、マイワシの存在によってカタクチイワシの餌料環境がさらに厳しくなると推察される。

1990年代に多獲されていたマイワシは、1999年に急減し、それ以降はほとんど漁獲されなくなった。一方、2000年以降のカタクチイワシの漁獲量は、マイワシが多獲されていた1990年代後半の約2倍に増加した。このカタクチイワシの漁獲量の増加は、2000年以降に1990年代後半よりカイアシ類などの密度が高くなったことに加え、燧灘に来遊・産卵していたマイワシとの仔稚魚期と産卵期における餌生物の競争が解消されたことで餌料環境が好転し、仔稚魚期の生残率・成長率が向上したことに一因があると推察



**Figure 5.** Degree of diet overlap (overlap index) and coefficient of community of food items (circles) and Pianka's  $\alpha$  index of prey zooplankton (triangles) in Japanese anchovy and Japanese sardine. Open and solid symbols indicate the individual values and the mean values, respectively. These indices calculated for the samples captured on the same day and on the different days were compared.

される。今後、カタクチイワシ漁獲量増加の要因の解明のため、餌料環境や水温などの環境条件やカタクチイワシ仔稚魚の成長率・生残率を1990年代後半と2000年代と比較し、餌料環境とカタクチイワシ資源量の関係を明らかにする必要がある。

## 謝辞

伊吹漁業協同組合のパッチ網の漁業者の皆様には検体の収集にご協力いただいた。香川県水産試験場の安部享利氏をはじめとして皆様には調査に対して多大なご協力をいただいた。これらの方々に深謝する。

## 引用文献

- 中国四国農政局香川農政事務所 (1986–2010) 香川農林水産統計年報 (1984–2008年), 香川県農林水産統計協会。
- 平川和正・後藤常夫 (1996) 日本海南部富山湾におけるマイワシ仔魚 (*Sardinops melanostictus*) の餌料。日水研研報, **46**, 65–75。
- 伊東 宏 (2009) 駿河湾湾奥におけるシラス地曳網で採集された稚仔魚の食性。水産海洋研究, **73**, 181–189。
- 川崎 健 (1989) 浮魚の生態と資源変動の解明。水産海洋研究, **53**, 178–191。
- 木元新作・武田博清 (1989) 「群集生態学入門」。共立出版, 東京, 125–151。
- 河野悌昌・銭谷 弘 (2008) 1980–2005年の瀬戸内海におけるカタクチイワシの産卵量分布。日水誌, **74**, 636–644。
- Li, X. Y., T. Kawasaki and H. Honda (1992) The niches of the far eastern sardine and Japanese anchovy. Asian Fish. Sci., **5**, 315–326。
- Li, X. Y., T. Kawasaki and H. Honda (1993) A mechanism to explain fluctuations in population size of the far eastern sardine (*Sardinops sagax melanostictus*). Asian Fish. Sci., **6**, 51–71。
- Lluch-Belda, R., A. Schwartzlose, R. Serra, R. Parrish, T. Kawasaki, D.

- Hedgecock and R. J. M. Crawford (1992) Sardine and anchovy regime fluctuations of abundance in four regions of the world oceans: A workshop report. *Fish. Oceanogr.*, **1**, 339–347.
- 三谷 勇 (1988) 相模湾シラス漁場におけるカタクチシラスの食性. *日水誌*, **54**, 1859–1865.
- Mizuno, K., J. Shoji, H. Zenitani, N. Kono, T. Maehara and T. Kishida (2010) Spatial distribution of Japanese sardine, gizzard shad and Japanese anchovy larvae in the Sea of Hiuchi, central Seto Inland Sea, in the 1990s. *Bull. Jpn. Soc. Fish. Oceanogr.*, **74**, 159–166.
- 中田 薫 (1995) 消化管内容物の重量と組成からみた黒潮周辺海域におけるマイワシ仔魚の餌料条件. *中央水研研報*, **7**, 265–275.
- Takagi, K., A. Yatsu, H. Itoh, M. Moku and H. Nishida (2009) Comparison of feeding habits of myctophid fishes and juvenile small epipelagic fishes in the Western North Pacific. *Mar. Biol.*, **156**, 641–659.
- 高井則之・富永 修 (2008) 安定同位体比分析を始める人たちへ. 「安定同位体スコープで覗く海洋生物の生態」富永 修・高井則之編, 厚生社恒星閣, 東京, 9–30.
- Takasuka, A., Y. Oozeki and I. Aoki (2007) Optimal growth temperature hypothesis: Why do anchovy flourish and sardine collapse or vice versa under the same ocean regime? *Can. J. Fish. Aquat. Sci.*, **64**, 768–776.
- 田中寛繁 (2006) カタクチイワシを中心とした小型浮魚魚類の摂餌生態の比較研究. 東京大学, 博士論文, 189 pp.
- 上 真一・山岡 達 (1990) 広島湾におけるカタクチイワシ仔魚の餌料環境, 橈脚類ノープリウスの鉛直・水平分布. *水産海洋研究*, **54**, 341–351.
- 魚谷逸郎・出羽 敦・浅井克敏 (1978) カタクチシラスの食性と摂餌選択について. *日水誌*, **44**, 427–434.
- 渡辺昭生・橋本博明 (2005) 資源減少期に瀬戸内海中央部燧灘でみられたマイワシ漁獲量の急増とその原因. *水産海洋研究*, **69**, 263–270.
- Watanabe, Y. and H. Saito (1998) Feeding and growth of early juvenile Japanese sardines in the Pacific waters off central Japan. *J. Fish Biol.*, **52**, 519–533.
- 山本昌幸 (2010) 瀬戸内海燧灘東部で漁獲されたカタクチイワシ未成魚の脂肪含量と脂肪酸組成. *香水試研報*, **11**, 7–9.
- 山本昌幸・相田 聡・河本 泉・銭谷 弘 (2006) カタクチイワシ瀬戸内海系群 (燧灘) の資源評価. 第37回瀬戸内海東部カタクチイワシ等漁況予報会議および第23回 (最終回) 瀬戸内海西部浮魚分科会会議報告. 瀬戸内海区水産研究所, 111–114.
- 山本昌幸・本田恵二 (2008) 瀬戸内海燧灘東部におけるカタクチイワシ成魚の粗脂肪含量と脂肪酸組成. *香水試研報*, **9**, 5–9.
- 山下秀夫 (1957) 九州西海域に於けるイワシ, アジ, サバ類の餌料の相互関係について. *西海区水研研報*, **11**, 45–53.
- 山路 勇 (1984) 「日本海洋プランクトン図鑑 (第3版)」. 保育社, 大阪, 538 pp.
- Yasue, N., R. Doiuchi, Y. Yoshimoto and T. Takeuchi (2010) Diet of late larval Japanese anchovy *Engraulis japonicus* in the Kii Channel, Japan. *Fish. Sci.*, **76**, 63–73.
- Yasue, N., A. Takasuka and K. Shirakihara (2011) Interspecific comparisons of growth and diet among late larvae of three co-occurring clupeoid species in the Kii Channel, Japan. *Mar. Biol.*, **158**, 1709–1720.
- 吉田幹英・池内 仁・杉野浩二郎・神園真人 (1999) 筑前海沿岸域のカタクチイワシの食性. *福岡水技研報*, **9**, 19–24.
- Zenitani, H., N. Kono and Y. Tsukamoto (2007) Relationship between daily survival rates of larval Japanese anchovy (*Engraulis japonicus*) and concentrations of copepod nauplii in the Seto Inland Sea, Japan. *Fish. Oceanogr.*, **16**, 473–478.
- Zenitani, H., N. Kono and Y. Tsukamoto (2011) Simulation of copepod biomass by a prey-predator model in Hiuchi-nada, central part of the Seto Inland Sea: Does copepod biomass affect the recruitment to the shirasu (Japanese larval anchovy *Engraulis japonicus*) fishery? *Fish. Sci.*, **77**, 455–466.
- Zenitani, H., N. Kono, Y. Tsukamoto and R. Masuda (2009) Effect of temperature, food availability, and body size on daily growth rate of Japanese anchovy *Engraulis japonicus* larvae in Hiuchi-nada. *Fish. Sci.*, **75**, 1177–1188.
- Zenitani, H., K. Tsujino, K. Saiura and T. Kato (2001) Interannual fluctuations in recruitment and egg production of Japanese sardine in the Seto Inland Sea. *Bull. Jpn. Soc. Fish. Oceanogr.*, **65**, 145–153.