

マサバとゴマサバ仔魚の黒色素胞形成および体形の比較： 形態による種同定の再検討

佐々千由紀^{1†}, 斉藤真美², 北村 徹², 小西芳信¹, 塚本洋一¹

Larval morphology of *Scomber japonicus* and *Scomber australasicus*: Re-evaluation of morphological characteristics as species identifiers

Chiyuki SASSA^{1†}, Mami SAITO², Toru KITAMURA², Yoshinobu KONISHI¹ and Youichi TSUKAMOTO¹

Chub mackerel *Scomber japonicus* and spotted mackerel *S. australasicus* are important fishery resources in the western North Pacific and its adjacent seas. Larval morphology of these two species is similar, and no clear conclusion has been reached as to whether it is possible to distinguish larvae of the two species based solely on morphological characteristics. Using specimens fixed and preserved under the same conditions, we compared the larval morphology of *S. japonicus* and *S. australasicus* to investigate the possibility of morphological species identification. We used a total of 1,172 *Scomber* spp. larvae of <9 mm in body length (BL) collected in the southern East China Sea during February and March, 2004–2010. After observing morphometric characteristics and pigmentation, the species of each larva was identified by using polymerase chain reaction–restriction fragment length polymorphism analysis of mitochondrial DNA (mtDNA). We identified 590 *S. japonicus* and 582 *S. australasicus* larvae. There was no interspecific difference in BL at notochord flexion. In larvae of <7 mm BL, the frequency of occurrence of internal melanophores at the nape was significantly higher in *S. australasicus* than in *S. japonicus*. In larvae of 3.0–6.9 mm BL, the number of melanophores in a series along the ventral midline of the tail was significantly lower in *S. australasicus* than in *S. japonicus*. Pre-anal length relative to BL and head length relative to BL were significantly higher in *S. australasicus* than in *S. japonicus* in larvae of <4 mm BL and 4.0–6.9 mm BL, respectively. We applied discriminant analysis to use these characteristics to differentiate the species, but the accuracy rate was relatively low (76%) because of large overlaps in ranges of the characteristics for the two species. We conclude that mtDNA analysis is necessary to accurately identify larvae of these two *Scomber* spp.

Key words: chub mackerel, spotted mackerel, larval morphology, species identification, southern East China Sea, mitochondrial DNA

はじめに

マサバ (*Scomber japonicus* Houttuyn, 1782) とゴマサバ (*S. australasicus* Cuvier, 1832) は東アジアにおける重要な水産資源で、2004–2010年の日本の漁獲量はそれぞれ24万–33万トン、18万–27万トンであった(水産庁・水産総合研究センター, 2012)。これらの資源の適切な管理に資する資源評価の精度向上を図るためには、資源の年変動機構を理解することが重要である。一般に、生活史初期における生残の年変動が魚類資源の加入量の多寡を決定する主要な要

因と考えられており (Chambers and Trippel, 1997; Fuiman and Werner, 2002)、サバ属についても生活史初期の発育段階を種レベルで同定し、それらの分布、成長および生残について明らかにする必要がある。

世界の海洋においてサバ属はマサバ、ゴマサバ、タイセイヨウサバ (*S. scombrus* Linnaeus, 1758) および Atlantic chub mackerel (*S. colias* Gmelin, 1789) の4種によって構成される (Collette and Nauen, 1983; Scoles et al., 1998; Collette, 1999; Collette et al., 2001)。マサバはオセアニアと南米東岸

2013年6月6日受付, 2013年12月24日受理

¹ 独立行政法人水産総合研究センター西海区水産研究所

Seikai National Fisheries Research Institute, Fisheries Research Agency, 1551–8 Taira-machi, Nagasaki 851–2213, Japan

² 日本エヌ・ユー・エス株式会社

JAPAN NUS Co., Ltd., Yokohama Kanazawa High-technology Center 5F, Fukuura 1–1, Kanazawa-ku, Yokohama 236–0004, Japan

† csassa@fra.affrc.go.jp

を除く太平洋温帯域の沿岸、ゴマサバは北インド洋・西部太平洋亜熱帯域の沿岸（局所的にハワイ、メキシコ西岸にも分布）、タイセイヨウサバは北大西洋温帯域、Atlantic chub mackerelは大西洋亜熱帯域の東岸・西岸に主に分布する（Collette and Nauen, 1983; Collette et al., 2001）。いずれの種も重要な水産資源であることから、それらの仔魚の形態記載が行われてきた（矢部, 1953; 内田, 1958; 渡部, 1970; Berrien, 1977; 黒田ほか, 1982; Ozawa, 1984; Ambrose, 1996; Trnski and Neira, 1998; Richards, 2005; Mendiola et al., 2008）。アメリカ大西洋岸に混棲するタイセイヨウサバとAtlantic chub mackerel^{*1}の仔魚の形態を比較した研究によれば、両種には脊椎骨数、体形発育（肛門前部長／体長、体高／体長）および黒色素胞形成に違いが認められ、形態的特徴により容易に識別される（Berrien, 1977）。同様の結果は、産卵親魚の飼育・産卵誘導によって得たマサバ仔魚とタイセイヨウサバ仔魚の体形（口径、頭高、眼径など）を詳細に比較したMendiola et al. (2008)においても報告されている。

一方、マサバとゴマサバの仔魚の識別に関しては、矢部（1953）、渡部（1970）およびOzawa（1984）の研究がある。矢部（1953）は、東シナ海南部および薩南海域で採集したサバ属仔魚とマサバと報告された仔魚の知見^{*2}（内田, 1942, 1943）を比較し、肛門がより後位で尾部腹中線の黒色素胞数が少ないなどの特徴を有する採集個体（全長3.8–7.1 mm）をゴマサバと推定した。渡部（1970）は、伊豆・房総・常磐海域から得られたマサバ仔稚魚〔標準体長（SL）約4–19 mm〕の体長–頭長関係および体長–肛門前部長関係のグラフに、矢部（1953）がゴマサバと推定した6個体（3.7–5.9 mm SL）の測定値を加えて比較した。その結果、同一体長では頭長と肛門前部長ともにゴマサバの値がマサバより大きいことから、同じ発育期では、頭長や肛門前部長の相違により両種を区別できるとした。Ozawa（1984）は、南シナ海北部と東シナ海北部で採集したサバ属仔魚（2.3–9.2 mm SL）が、既往のマサバ仔魚では記載されることがない項部の黒色素胞^{*3}を有することに注目した。そして、最大個体の背部担鰭骨や背鰭棘の数がゴマサバ型を示したことから、これら項部色素胞をもつ仔魚をゴマサバとし、マサバにはそれが出現しないとした。しかし、これらの研究では、異なる海域から得られた仔魚の標本あるいは形態情報と比較したり、比較した標本数が極めて少なかったり、さらに種査定根拠が明確でないなどの問題が

あり、沖山（1980）が指摘しているようにいまだ信頼できる形態的識別法が確立していない。

マサバに較べるとゴマサバはより暖水・沖合性が強く、日本の太平洋岸では両種の主産卵場は地理的におおむね分離している（落合・田中, 1998; Sugisaki et al., 2010）。一方、東シナ海南部には両種の産卵場が形成され、仔魚も数多く採集される海域であることから（Sassa and Tsukamoto, 2010）、両種の初期生態特性を比較するのに都合が良い。西海区水産研究所では2004–2010年に東シナ海南部で採集したサバ属仔魚をmtDNA分析により種同定し、初期生態を種別に解析しているが、同時に両種の形態学的な違いを検討するための観察データも蓄積させてきた。本報では、天然で同じ条件で採集され、固定・保管された標本を用いて、マサバとゴマサバ仔魚の黒色素胞形成と体形発育を詳細に比較し、形態による仔魚の種判別の可能性について再検討した。

材料と方法

標本の採集

サバ属仔魚の標本は2004年から2010年の2–3月に北緯25度30分から28度30分の東シナ海南部の陸棚縁辺域において、陽光丸（西海区水産研究所所属、499トン）により行った計7回の航海で採集した（Fig. 1, Table 1）。いずれの年も、グリッド状に設定した35–37測点において観測を実施した（Fig. 1, Table 1）。標本はボンゴネット（口径60 cm、目合0.34 mm）による水深150 mから海面までの傾斜曳き（ただし、調査測点の水深が150 m未満の場合は海底直上10 mから海面まで）により採集した。標本は採集後直ちに99%

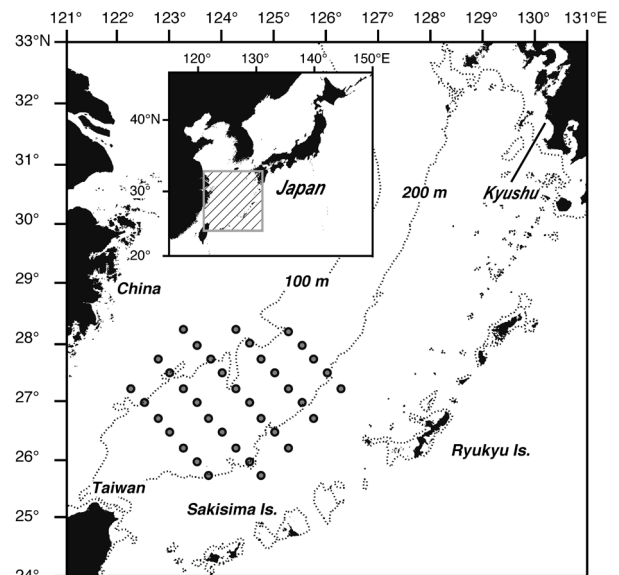


Figure 1. Sampling locations in the shelf-break region of the southern East China Sea during February and March of 2004–2010.

*1 原著論文ではマサバの学名 *Scomber japonicus* を用いているが、近年の研究より（Collette, 1999）、大西洋の *S. japonicus* は *S. colias* と変更された。

*2 内田恵太郎博士から提供を受けた全長9.0 mmのマサバ仔魚1個体も比較に用いている。

*3 小沢（1988）では「肩部体側筋始部下の黒色素胞」と記されているが、これは若干の混乱を招く名称であるので、ここでは「項部の黒色素胞」と呼ぶ。脚注4も参照。

エタノールに浸して保存した。

研究室において沖山 (1988) を参考にサバ属仔魚を選別し, 個体識別するために固有の番号を記した6 mlのスク

Table 1. Sampling dates in the shelf-break region of the East China Sea, the number of stations sampled (*n*) and the number of *Scomber japonicus* and *S. australasicus* larvae analyzed.

Date	<i>n</i>	<i>S. japonicus</i>	<i>S. australasicus</i>
27 February–10 March 2004	36	102	142
1–11 March 2005	37	170	84
23 February–7 March 2006	37	29	43
12–24 February 2007	37	41	11
17–25 February 2008	36	85	100
21 February–2 March 2009	36	41	142
18–27 February 2010	35	122	60
Total	254	590	582

リユー管瓶に個体ごとに保管した。これらすべての個体について, 実体顕微鏡に取り付けたデジタルカメラにより全体像の写真を撮影し, 体長 (BL) をマイクロメータにより0.1 mmまで計測した。体長は脊索屈曲前の前屈曲期仔魚 (preflexion larva) の場合には脊索長 (NL), 屈曲期仔魚 (flexion larva) と後屈曲期仔魚 (postflexion larva) の場合には標準体長 (SL) を測定した。

仔魚のmtDNA分析による種同定

本研究では, 9 mm BL未滿の仔魚1,172個体をmtDNA分析に供した。mtDNAのPCR-制限酵素断片長多型 (RFLP) 分析によるサバ属の種同定は, 以下の通り, 瀬崎ら (2001) およびSassa and Tsukamoto (2010) に従った。各個体の全DNAを抽出後, mtDNAのシトクローム*b*遺伝子の部分領域 (320 bp) をPCR (遺伝子反復増幅法) により増幅した。精製したPCR増幅産物をマサバおよびゴマサバのそれぞれの塩基配列を特異的に認識する制限酵素MvaIおよびMboIにより断片化処理を行った。制限酵素消化物の検出は, 1.5%

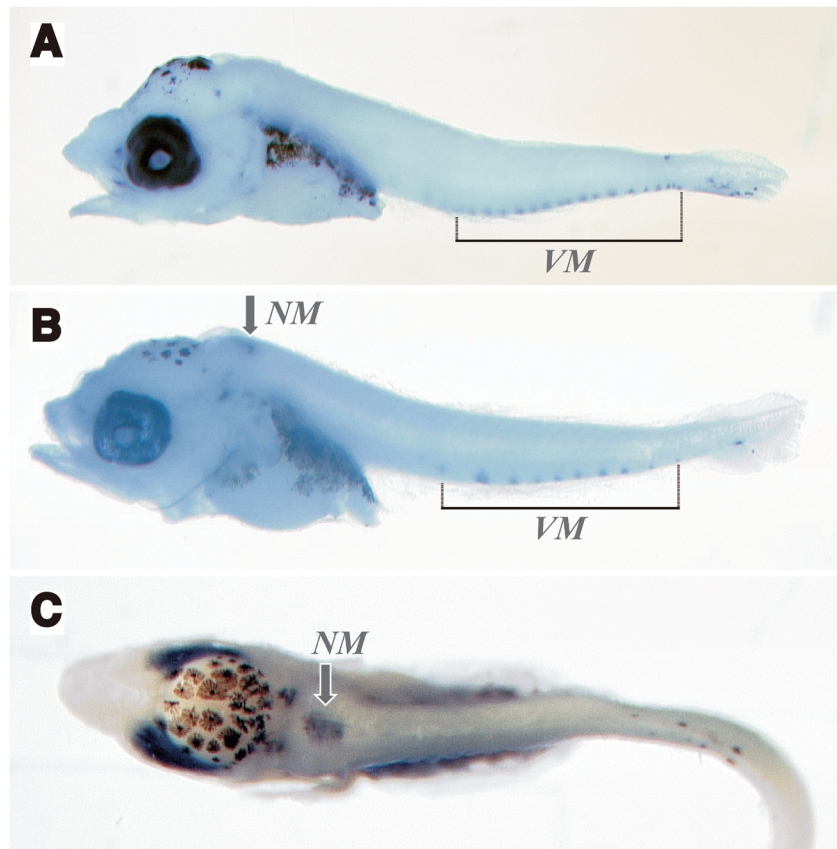


Figure 2. *Scomber* spp. larvae. (A) *S. japonicus* (4.3 mm in notochord length); (B) *S. australasicus* (4.4 mm in notochord length); (C) dorsal view of the head of *S. australasicus* (5.8 mm in standard length). NM and VM indicate internal melanophores at the nape, and the series of melanophores along the ventral midline of the tail, respectively. There were 17 melanophores observed along the ventral midline of the tail in *S. japonicus* larvae and 10 in *S. australasicus*.

アガロースゲル電気泳動後のエチジウムブロマイド染色により行い、DNA断片の泳動パターンから種同定した。本手法により、97.4%の個体について種同定ができた。

一方、瀬崎ら(2001)の報告にない泳動パターンを示す個体がわずかながら出現した(全体の2.6%)。これらには、シトクローム*b*部分領域のMvaIおよびMboIの制限サイトにおいて種内変異(制限酵素による切断部位が出現する突然変異や逆に切断部位が消失する突然変異)が確認されている(佐々ほか、未発表データ)。そこで、これらの泳動パターンを示したすべての個体については、シトクローム*b*部分領域のシーケンスを行い、得られた塩基配列データにGenBankから入手したマサバとゴマサバの塩基配列データ(DDBJ/EMBL/GenBank databases AB032515-AB032520)を加えて近隣結合樹を作成し、仔魚の塩基配列がどちらのクラスターに属するかによって種を判別した。

本研究では、母系遺伝するmtDNAを用いて種同定を行っており、マサバとゴマサバの交雑個体が出現した場合には、その識別ができない。これまで両種の天然交雑は確認されているものの、その出現頻度はサバ属全体に対して0.3%程度と低い(谷口ほか、1989; 齊藤、2001)。したがって、計1,172個体のサバ属仔魚を分析している本研究においては、仮に交雑個体が含まれていたとしても、結果の解釈に重大な影響は及ぼさないものと考えられる。

黒色素胞の観察および体形計測

mtDNA分析に供する前に、一部の仔魚については黒色素胞の観察および体形計測を行った。858個体については、項部*4の黒色素胞の有無の観察(Fig. 2A-C)および肛門から尾柄部までの尾部腹中線に沿って分布する黒色素胞の数を計数した(Fig. 2A, B)。また、692個体については、肛門前部長(PAL)と頭長(HL)を実体顕微鏡に取り付けたマイクロメータを使用して0.1 mmまで計測した。

マサバとゴマサバ仔魚の数量的な区別の可否を明らかにする目的で、上記4形質のうち有意差が認められたものを用いて、SYSTAT 11 (Systat Software, Inc.)により、線形判別分析を行った。なお、本分析には黒色素胞の観察と体形計測の両方を行ったサバ属355個体を用いた。

結果

個体数と体長組成

mtDNA分析により、分析に用いたサバ属仔魚のうち、590個体がマサバ、582個体がゴマサバであった(Table 1)。また、マサバとゴマサバ仔魚の平均体長±標準偏差はそれ

*4 中坊(2013)によると、「項部」とは、「後頭部の直後で、鰓孔上端の上から背鰭起部前方のあたりをさす」と規定している。また、Nakabo(2002)では項部の英名に「nape」をあたえている。項部(nape)は、魚類仔魚の形態記述に関する文献でも使われている用語である(Trnski and Neira, 1998)。

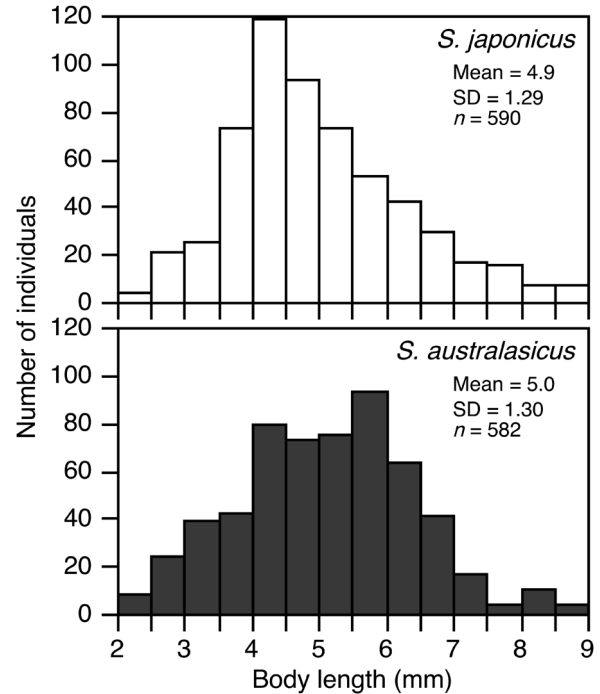


Figure 3. Length-frequency distributions of *Scomber japonicus* and *S. australasicus* larvae examined in this study. SD: standard deviation.

ぞれ 4.9 ± 1.29 mm BL, 5.0 ± 1.30 mm BLであった(Fig. 3)。

脊索屈曲

脊索屈曲は、マサバでは3.8 mm BL、ゴマサバでは3.9 mm BLにて生じ始めた(Fig. 4)。その後、徐々に屈曲期仔魚の割合が増加し、両種とも5.0–5.9 mm BLの個体の80%以上は屈曲期仔魚であった(Fig. 4)。6 mm BL以降、後屈曲期仔魚の割合が増加し、マサバは6.8 mm BL、ゴマサバは6.7 mm BL以降はすべて後屈曲期仔魚となった。Fig. 4より、体長と発育ステージの出現頻度の関係に種間で違いが認められなかったため、以降、仔魚体長を基本として形態を両種で比較した。

項部の黒色素胞

項部の黒色素胞は2.0–2.9 mm BLのマサバ仔魚では認められず、出現頻度は3.0–3.9 mm BLの22.1%から7.0–8.9 mm BLの90.9–94.4%まで体長とともに次第に増大した(Fig. 5)。ゴマサバの場合、2.0–2.9 mm BLですでに50%の個体で項部に黒色素胞の出現が認められた(Fig. 5)。その出現頻度は3.0–4.9 mm BLで83.1–86.2%まで上昇し、5.0–8.9 mm BLでは90.9–100%の個体で認められた。

種間で項部の黒色素胞の出現頻度を各体長階級について較べると、7 mm BL未満の各体長階級においてゴマサバの方がマサバより有意に高い出現頻度を示した(Fisherの直

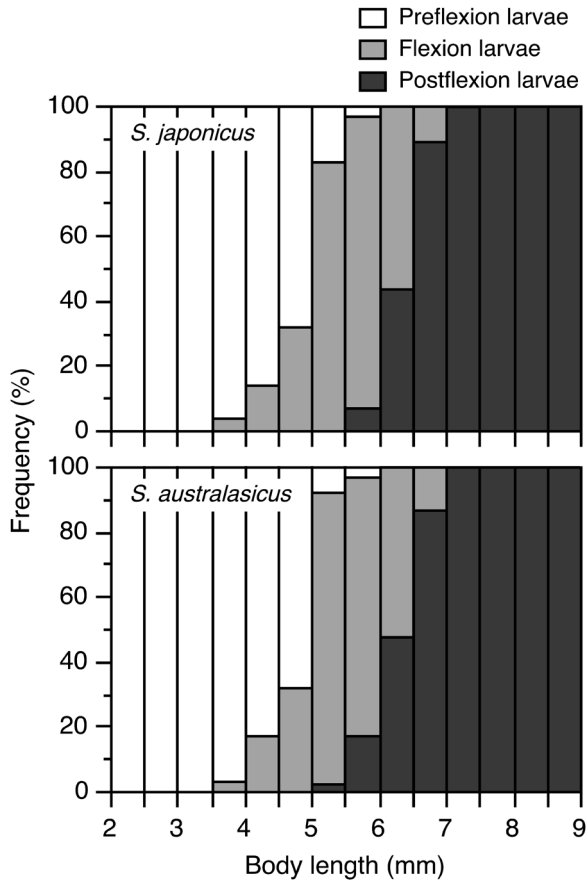


Figure 4. Frequency of occurrence of the three larval stages of *Scomber japonicus* and *S. australasicus* in relation to body length.

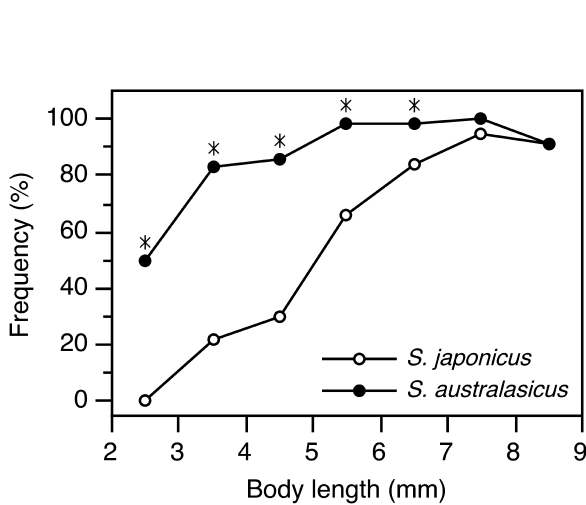


Figure 5. Frequency of occurrence of internal melanophores at the nape in *Scomber japonicus* and *S. australasicus* larvae in relation to body length. Asterisks indicate significant differences between the two species (Fisher's exact test, $p < 0.05$).

接確率法; $p < 0.05$, Fig. 5). その一方で, 7.0–8.9 mm BLでは出現頻度に違いは認められなかった ($p > 0.05$).

いずれの種においても, 項部の色素胞は5 mm BL未満では体表面に認められたが, 約5 mm BL以降から体内に埋没し始めた. 項部の色素胞は8 mm BL未満までは実体顕微鏡下で鮮明に確認できるが, 8 mm BL以降になると, さらに体内に埋没し, 観察しづらくなった. このため, 両種とも8.0–8.9 mm BLでの出現頻度が7.0–7.9 mm BLのそれと比較して若干低下した (Fig. 5).

尾部腹中線の黒色素胞数

マサバの尾部腹中線の黒色素胞数は2.0–2.9 mm BLの平均15.8個から8.0–8.9 mm BLの平均10.6個までほぼ直線的に減少した (ピアソンの相関係数; $r = -0.424$, $n = 419$, $p < 0.05$, Fig. 6). 一方, ゴマサバの黒色素胞数は2.0–2.9 mm BLで平均14.8個であるが, 3.0–3.9 mm BLになると12.0個と大きく減少した. 4 mm BL以降は標準偏差が大きいものの, 平均値は10–12.3個の範囲で体長とともに緩やかに減少した ($r = -0.284$, $n = 439$, $p < 0.05$, Fig. 6).

種間で尾部腹中線の黒色素胞数を各体長階級について較べると, 3.0–6.9 mm BLの各体長階級においてのみゴマサバの黒色素胞数の方がマサバより有意に少なかった (t 検定; $p < 0.05$, Fig. 6). これら違いが認められた4つの各体長階級について, 尾部腹中線の黒色素胞数を種別にヒストグラムで示した (Fig. 7). いずれの体長区分においても黒色素胞数は両種で大きく重複していたが, 3.0–3.9 mm BLで黒色素胞数が9未満の個体はすべて, 4.0–5.9 mm BLで黒色素胞数が10未満の個体の95.7%はゴマサバであった. 一方, 5.0–5.9 mm BLで黒色素胞数が17以上の仔魚はすべて

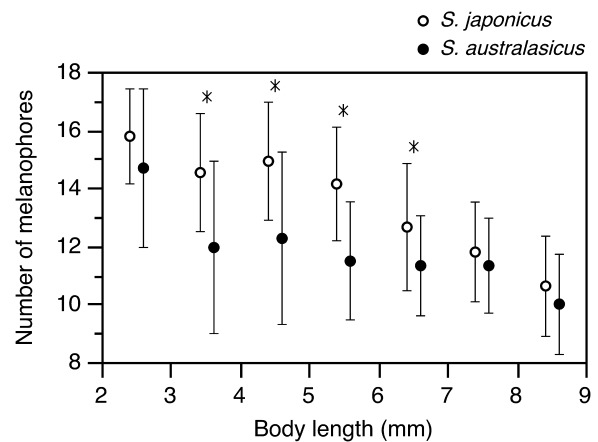


Figure 6. Number of melanophores in a series along the ventral midline of the tail in relation to body length in larvae of *Scomber japonicus* and *S. australasicus*. Vertical bars represent \pm standard deviation of the mean. Asterisks indicate significant differences between the two species (t -test, $p < 0.05$).

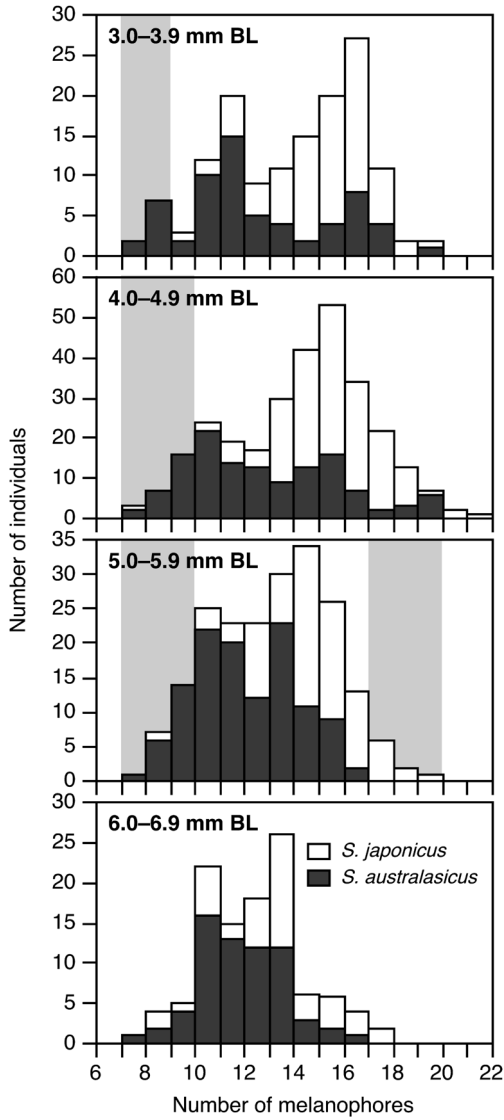


Figure 7. Distribution of the number of melanophores in a series along the ventral midline of the tail of *Scomber japonicus* and *S. australasicus* in four size classes. Ranges without large overlap between the two species (i.e. possible ranges for identifying species using this characteristic) are shown in grey.

てマサバであった。

肛門前部長と頭長

両種とも、体長に対する肛門前部長 (PAL/BL) と頭長 (HL/BL) は仔魚の成長にともない直線的に増大した (Fig. 8)。PAL/BL は、マサバでは 2.0–2.9 mm BL の 44% から 8.0–8.9 mm BL の 56% まで、ゴマサバでは 2.0–2.9 mm BL の 42% から 8.0–8.9 mm BL の 61% まで増大した (Fig. 8)。HL/BL は、マサバでは 2.0–2.9 mm BL の 26% から 8.0–8.9 mm BL の 30% まで、ゴマサバでは 2.0–2.9 mm BL の 26% から 8.0–

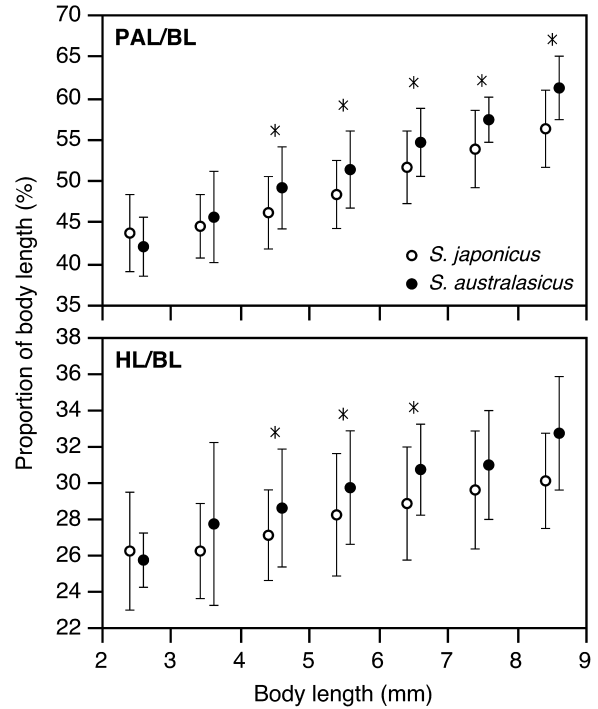


Figure 8. Changes in body proportions through the early development of *Scomber japonicus* and *S. australasicus*. Vertical bars represent \pm standard deviation of the mean. Asterisks represent significant differences between the two species (*t*-test, $p < 0.05$). PAL, pre-anal length; HL, head length; BL, body length.

8.9 mm BL の 33% にまで増大した (Fig. 8)。

PAL/BL は 4 mm BL 以上の各体長階級の仔魚において、ゴマサバの方がマサバより有意に大きかった (*t*検定; $p < 0.05$, Fig. 8)。また、HL/BL は 4.0–6.9 mm BL の各体長階級の仔魚において、ゴマサバの方がマサバより有意に大きかった (*t*検定; $p < 0.05$)。しかし、これらの形質については上記の体長範囲以外では両種の差は認められなかった (*t*検定; $p > 0.05$)。

判別式

9 mm BL 未満の仔魚について、体長 (BL)、両種で有意な違いが認められた項部の黑色素胞の有無 (NM)、尾部腹中線の黑色素胞数 (VM)、肛門前部長 (PAL) および頭長 (HL) のデータを用いた線形判別分析により以下の判別関数 z を得た。なお、これら 4 つの形質すべての観察データがそろっているマサバ 158 個体、ゴマサバ 197 個体を用いた。

$$z = -3.933 + 1.452BL - 2.202NM + 0.232VM - 0.994PAL - 1.329HL$$

Table 2. Classification matrix of *Scomber japonicus* and *S. australasicus* larvae based on discriminant analysis. Cases in row categories were classified into the column categories.

	<i>S. japonicus</i>	<i>S. australasicus</i>	Accuracy (%)
<i>S. japonicus</i>	108	50	68
<i>S. australasicus</i>	34	163	83
Total	142	213	76

Table 3. Percentage of species correctly identified by the discriminant we developed, in relation to larval body length. *n*, total number of fish larvae examined.

Size class (mm BL)	<i>n</i>	Accuracy (%)
2.0–3.9	56	82
4.0–4.9	98	81
5.0–5.9	107	76
6.0–6.9	53	68
7.0–8.9	41	61

この判別式において、プラスあるいはマイナスの判別得点を与えられた個体は、それぞれマサバ、ゴマサバと判別される。マサバ仔魚の正解率は68%、ゴマサバ仔魚の正解率はそれより高い83%であった (Table 2)。また、本研究で用いたサバ属標本355個体全体での正解率は76%であった。

作成した判別式の正解率を体長別に Table 3 に示した。正解率は2.0–3.9 mm BL、4.0–4.9 mm BLにおいてそれぞれ82%、81%と比較的高い値を示したものの、体長の増大とともに低下し、7.0–8.9 mm BLの正解率は61%であった。

考 察

近年は分子生物学的手法を用いた仔魚の種同定がかなり一般的に行われるようになったが (Chow et al., 2003; 秋元ほか, 2005; Aoyama et al., 2007; Paine et al., 2008), ホルマリンで保存した標本では分析が難しいことや、設備が必要で作業に手間と費用がかかるため、形態学的にマサバとゴマサバの仔魚が識別できれば研究の推進上、有益である。両種のホルマリン固定された卵はその卵径の違いにより種同定でき (西田ほか, 2001), 現在ではこの同定法に基づいた卵計数データにより、日本の太平洋岸におけるマサバとゴマサバの産卵量推定が行われている (水産総合研究センター中央水産研究所, 2010; 水産庁・水産総合研究センター, 2012)。本研究は、両種が同所的に出現する東シナ海南部で採集し、同じ条件で固定・保存した標本をmtDNA分析により種同定したマサバとゴマサバの仔魚に基づき、その形態学的な違いを詳細に比較検討した最初の知見である。解析の結果、同じ体長で較べた場合、項部の

黒色素胞の出現頻度、尾部腹中線の黒色素胞数、肛門前部長および頭長に両種で違いがあることが分かった。以下にこれまでの報告と今回明らかになった結果を比較し、知見を整理する。

Ozawa (1984) はゴマサバ仔魚では項部に黒色素胞群が出現し、マサバ仔魚にはそれが認められないとし、本色素胞群の有無を種同定のための形質としている。Trnski and Neira (1998) はオーストラリア東南岸産のゴマサバの仔魚を記載し、同様に項部の黒色素胞 (原著では one melanophore dorsally on nape と記述されている) を本種の特徴の一つに挙げている。本研究においても、7 mm BL未満の場合、ゴマサバ仔魚の方が項部における黒色素胞の出現率は有意に高かった。5 mm BL未満の仔魚の場合には、項部の黒色素胞の出現率はマサバとゴマサバでそれぞれ0–30%、50–86%と種間で大きな差があるので、種同定の手がかりとなり得る。特に、3 mm BL未満では、約半数のゴマサバは項部の黒色素胞を持つ一方で、マサバはそれらを持たないので、3 mm BL未満で項部の黒色素胞を持つサバ属仔魚はゴマサバと同定できる。また、5.0–7.9 mm BLではゴマサバ仔魚は項部の黒色素胞群をほぼ100%有するので、これがない個体をマサバとすることは可能であろう。しかし、マサバにおいても項部の黒色素胞群の出現頻度は成長とともに上昇し、ゴマサバのそれと重複するので、この黒色素胞の有無だけでは正確な種判別は困難である。項部の黒色素胞の有無に注目した両種の仔魚の識別法 (Ozawa, 1984) は海外の研究者にも採用されている例があり (Chiu, 1999), サバ属両種の仔魚の出現時期や分布の記載がある文献については内容の解釈において注意が必要である。

約5 mm BLからマサバとゴマサバ仔魚の頭長と肛門前部長の成長に違いがあり、同じ体長同士で較べるとゴマサバの方がいずれも大きい値を示す可能性が指摘されていた (渡部, 1970)。本研究において、PAL/BLは4 mm BL以上の各体長階級の仔魚において、ゴマサバの方がマサバより有意に大きく、HL/BLは4.0–6.9 mm BLの各体長階級の仔魚において、その平均値はゴマサバの方がマサバより有意に大きかった。本研究では、採集後、直ちにエタノールに浸して保管した仔魚について体形計測を行ったため、仔魚の体長収縮の影響が予想されるものの (Moku et al., 2004), 得られた結果はホルマリン固定標本を用いた渡部 (1970) の観察と一致した。しかし、PAL/BLとHL/BLは両種で大きく範囲が重複しており、仔魚の体形から種同定することは困難であった。

本研究より、同じ体長区分で比較するとマサバとゴマサバ仔魚で尾部腹中線の黒色素胞数の平均値に有意な違いが認められた。矢部 (1953) は、ゴマサバ仔魚の尾部腹中線の黒色素胞数はマサバ仔魚のそれに較べて少ない可能性を指摘しており、本結果はこれと一致した。本研究より、本色素胞数は両種で重複する範囲は広いものの、3.0–3.9 mm

BLで黒色素胞数が9未満、4.0–5.9 mm BLで黒色素胞数が10未満の仔魚の大部分はゴマサバ、5.0–5.9 mm BLで黒色素胞数が17以上の仔魚はマサバであることがわかった。よって、この限られた範囲については尾部腹中線の黒色素胞数により一部個体の種判別が可能であると思われる。いずれの種においても体長が大きくなるに従ってこの黒色素胞数は減少し、一部は筋肉内に埋没して計数できなくなり、7 mm BL以上では両種の間に違いは認められなかった。

本研究より、マサバとゴマサバの仔魚を同じ体長で比較すると、項部の黒色素胞の出現頻度、尾部腹中線の黒色素胞数、肛門前部長および頭長は両種で異なることが分かった。しかし、平均値に両種で有意な違いが認められたこれら4形質を用いて作成した判別式の正解率は、解析に用いた355個体で76%に留まった。体長別に正解率をみると、5 mm BL未満においては約80%と比較的高いが、これは5 mm BL未満の仔魚では、項部黒色素胞の出現頻度および尾部腹中線の黒色素胞数の種間の相違が他の体長階級に較べて大きいためである。両種仔魚の形態学的な違いが小さくなる5 mm BL以上の個体においては判別式の正解率は低下し、7.0–8.9 mm BLでは61%となり、実質的に判別は困難である。以上のことは、上述した4形質の平均値はマサバとゴマサバで異なるものの、範囲が大きく重複しており、種判別の分類形質としては不十分であることを示している。現段階では、マサバとゴマサバ仔魚の確実な種同定にはmtDNA分析など分子生物学的な手法が必要であると結論づけられる。

謝 辞

陽光丸の船長、士官並びに乗船員の方々には標本を採集するにあたり多大な援助を賜りました。草稿を読んでいた故中山宗雄博士に感謝いたします。望岡典隆博士には文献収集に際し、ご協力いただきました。本研究は水産庁国際資源調査等水産対策事業の一環として実施した。

引用文献

秋元清治・瀬崎啓次郎・三谷 勇・渡部終五 (2005) ミトコンドリア16S rRNA 遺伝子判別法によるキンメダイ卵および仔魚の同定と伊豆諸島周辺海域における分布様式。日水誌, **71**, 205–211.

Ambrose, D. A. (1996) Scombridae: mackerels and tunas. In: Guide to the Early Stages of Fishes in the California Current Region, ed. H. G. Moser, Calif. Coop. Ocean. Fish. Inves., CALCOFI Atlas No. 33, La Jolla, 1270–1285.

Aoyama, J., S. Wouthuyzen, M. J. Miller, Y. Minegishi, M. Kuroki, S. Suharti, T. Kawakami, K. Sumardiharga and K. Tsukamoto (2007) Distribution of leptcephali of the freshwater eels, genus *Anguilla*, in the waters off west Sumatra in the Indian Ocean. Environ. Biol. Fish., **80**, 445–452.

Berrien, P. L. (1977) Eggs and larvae of *Scomber scombrus* and *Scomber japonicus* in continental shelf waters between Massachusetts and

Florida. Fish. Bull. U.S., **76**, 95–115.

Chambers, R. C. and E. A. Trippel (eds) (1997) Early Life History and Recruitment in Fish Populations. Fish and fisheries series 21. Chapman & Hall, London, 596 pp.

Chiu, T. S. (1999) Marine Fish Larvae and Juveniles around Taiwan. National Museum of Marine Biology & Aquarium, Kaohsiung, 296 pp. (In Chinese).

Chow, S., K. Nohara, T. Tanabe, T. Itoh, S. Tsuji, Y. Nishikawa, S. Uyeyanagi and K. Uchikawa (2003) Genetic and morphological identification of larval and small juvenile tunas (Pisces: Scombridae) caught by a mid-water trawl in the western Pacific. Bull. Fish. Res. Agen., **8**, 1–14.

Collette, B. B. (1999) Mackerels, molecules, and morphology. In: Proceedings of the 5th Indo-Pacific Fish Conference (Nouméa, 3–8 November 1997), eds. B. Séret and J.-Y. Sire, Société Française d'Ichtyologie & Institut de Recherche pour le Développement, Paris, 149–164.

Collette, B. B. and C. E. Nauen (1983) FAO species catalogue. Vol. 2. Scombrids of the World. An annotated and illustrated catalogue of tunas, mackerels, bonitos and related species known to date. FAO Fish. Synop., **125**, 1–137.

Collette, B. B., C. Reeb and B. A. Block (2001) Systematics of the tunas and mackerels (Scombridae). In: Tuna: Physiology, Ecology, and Evolution. Fish Physiology 19, eds. B. A. Block and E. D. Stevens, Academic Press, San Diego, 1–33.

Fuiman, L. A. and R. G. Werner (eds) (2002) Fishery Science. The Unique Contributions of Early Life Stages. Blackwell Publishing, Oxford, 326 pp.

黒田一紀・山本公夫・平野保男 (1982) マサバ卵とその類似卵の発生と同定。東海水研報, **107**, 33–52.

Mendiola, D., Y. Yamashita, M. Matsuyama, P. Alvarez and M. Tanaka (2008) *Scomber japonicus*, H. is a better candidate species for juvenile production activities than *Scomber scombrus*, L. Aquaculture Res., **39**, 1122–1127.

Moku, M., K. Mori and Y. Watanabe (2004) Shrinkage in the body length of myctophid fish (*Diaphus* slender-type spp.) larvae with various preservatives. Copeia, **2004**, 647–651.

Nakabo, T. (ed.) (2002) Fishes of Japan with Pictorial Keys to the Species, English Edition. Tokai University Press, Tokyo, 1749 pp.

中坊徹次 (編) (2013) 「日本産魚類検索 全種の同定 第三版」. 東海大学出版会, 東京, 2428 pp.

西田 宏・和田時夫・大関芳沖・瀬崎啓次郎・斉藤真美 (2001) 卵径によるさば属卵の種判別の可能性。日水誌, **67**, 102–104.

落合 明・田中 克 (1998) サバ類。「新版魚類学 (下) 改訂版」落合 明・田中 克編, 恒星社厚生閣, 東京, 829–855.

中山宗雄 (1980) 稚魚分類学入門 (6) サバ型変態。海洋と生物, **10**, 334–339.

中山宗雄 (編) (1988) 「日本産稚魚図鑑」. 東海大学出版会, 東京, 1154 pp.

Ozawa, T. (1984) The postlarvae of spotted mackerel *Scomber australasicus* CUVIER (Pisces, Scombridae). Bull. Jpn. Soc. Sci. Fish., **50**, 1317–1321.

小沢貴和 (1988) サバ属 *Scomber*. 「日本産稚魚図鑑」中山宗雄編, 東海大学出版会, 東京, 611–613.

Paine, M. A., J. R. McDowell and J. E. Graves (2008) Specific identification using COI sequence analysis of scombrid larvae collected off the Kona coast of Hawaii Island. Ichthyol. Res., **55**, 7–16.

Richards, W. J. (2005) Chapter 191. Scombridae: mackerels & tunas. In: Early Stages of Atlantic Fishes: an Identification Guide for the Western Central North Atlantic, ed. W. J. Richards, Taylor & Francis, Boca Raton, 2187–2228.

斉藤憲治 (2001) リボゾーム DNA の変異を利用した種判別法。東

- 北水研ニュース, **62**, 2-5.
- Sassa, C. and Y. Tsukamoto (2010) Distribution and growth of *Scomber japonicus* and *S. australasicus* larvae in the southern East China Sea in response to oceanographic conditions. *Mar. Ecol. Prog. Ser.*, **419**, 185-199.
- Scoles, D. R., B. B. Collette and J. E. Graves (1998) Global phylogeography of mackerels of the genus *Scomber*. *Fish. Bull. U.S.*, **96**, 823-842.
- 瀬崎啓次郎・久保島康子・三谷 勇・福井 篤・渡部終五 (2001) ミトコンドリア・シトクローム**b**遺伝子によるマサバおよびゴマサバの種判別とホルマリン固定浮遊卵同定への応用. *日本水誌*, **67**, 17-22.
- Sugisaki, H., M. Nonaka, S. Ishizaki, K. Hidaka, T. Kameda, Y. Hirota, Y. Oozeki, H. Kubota and A. Takasuka (2010) Status and trends of the Kuroshio region, 2003-2008. In: *Marine Ecosystems of the North Pacific Ocean, 2003-2008*, eds. S. M. McKinnell and M. J. Dagg, *PICES Spec. Publ.* **4**, 330-359.
- 水産庁・水産総合研究センター (2012) 平成23年度我が国周辺水域の漁業資源評価. 1743 pp.
- 水産総合研究センター中央水産研究所 (2010) 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. 178 pp.
- 谷口順彦・向井龍男・関 伸吾・津田恭敬 (1989) マサバ・ゴマサバ. アイソザイムによる魚介類の集団解析. 海洋生物集団の識別等に関する先導的評価手法の開発事業報告書. 日本水産資源保護協会, 371-384.
- Trnski, T. and F. J. Neira (1998) Scombridae: tunas, mackerels, bonitos. In: *Larvae of Temperate Australian Fishes. Laboratory Guide for Larval Fish Identification*, eds. F. J. Neira, G. A. Miskiewicz and T. Trnski, University of Western Australia Press, Nedlands, 412-415.
- 内田恵太郎 (1942) 朝鮮近海に於けるサバの生活史. *日本水誌*, **11**, 79-80 (講演要旨).
- 内田恵太郎 (1943) 魚類の生活史概説. *海洋の科学*, **3**, 1-10.
- 内田恵太郎 (1958) マサバ *Scomber japonicus* HOUTTUYN. 「日本産魚類の稚魚期の研究 第1集」内田恵太郎・今井貞彦・水戸 敏・藤田矢郎・上野雅臣・庄島洋一・千田哲資・田福正治・道津喜衛編, 九州大学農学部水産学第二教室, 金子書店, 福岡, 47-49.
- 矢部 博 (1953) ゴマサバ *Scomber tapeinocephalus* と推定される後期仔魚と稚魚 (予報). *南海水産業績集*, **1**, 1-5.
- 渡部泰輔 (1970) マサバの発育初期における形態・生態ならびに資源変動に関する研究. *東海水研報*, **62**, 1-283.