

沖縄島沿岸域におけるグルクマの成熟様式と初期生活史

上原匡人^{1,4}・本永文彦¹・太田 格¹・海老沢明彦²・宮岡勇輝³・立原一憲³

¹ 〒 900-8570 沖縄県那覇市泉崎 1-2-2 沖縄県農林水産部水産課

² 〒 901-0354 沖縄県糸満市喜屋武 1528 沖縄県水産海洋技術センター

³ 〒 903-0213 沖縄県中頭郡西原町字千原 1 琉球大学理学部海洋自然科学科

⁴ 現所属：〒 904-0414 沖縄県国頭郡恩納村前兼久 59 恩納村漁業協同組合

(2020年10月26日受付；2021年4月8日改訂；2021年4月8日受理；2021年6月17日J-STAGE早期公開)

キーワード：グルクマ, 仔稚魚, 最小成熟体長, 産卵期, 沖縄島

魚類学雑誌
Japanese Journal of
Ichthyology

© The Ichthyological Society of Japan 2021

Masato Uehara*, Fumihiko Motonaga, Itaru Ohta, Akihiko Ebisawa, Yuuki Miyaoka and Katsunori Tachihara. 2021. Reproductive patterns and early life history of the Indian mackerel *Rastrelliger kanagurta* in the coastal waters of Okinawa Island, Ryukyu Archipelago, Japan. *J. Ichthyol.*, 68(2): 129-142. DOI: 10.11369/jji.20-037.

Abstract The Indian mackerel *Rastrelliger kanagurta* is an important coastal fishery resource for Okinawa Prefecture, southwestern Japan. However, much is still unknown about its life history. The early development, occurrence, sexual maturation, and reproductive cycle of the species was examined from specimens collected from the coastal waters of Okinawa Island, and management of the fishery evaluated. Larvae [3.4 mm notochord length-12.5 mm standard length (SL)] and juveniles (11.4-16.2 mm SL) of *R. kanagurta* were distinguished from other mackerel species by: 1) numbers of myomeres, 2) absence of spines on the preopercle posterior margins, 3) positional relationship between the upper and lower jaw tips, 4) melanophore pattern, and 5) distribution (allopatric). Both larvae and juveniles occurred in the offshore epipelagic zone of Nakagusuku Bay in May, June, and August, which coincided with the occurrence of high-gonadosomatic value adults in coastal waters. However, specimens were not encountered in extremely shallow coastal areas (e.g., tidal flats), although younger individuals may utilize such the offshore epipelagic zone of the bay, attaining fork lengths (FL) of ca. 8 cm. Individuals mature at ca. 26 cm FL, one year after hatching. *R. kanagurta* are primarily caught by set net fishery near Okinawa, small (immature) individuals accounting for > 45% of netted individuals in all months, except May and June, during the period from April 1985 to April 1987, and for > 35% of the examined individuals in all months, except June and July, between April 2011 and March 2016. These results for both periods suggest growth overfishing. Accordingly, immature individuals must be conserved to sustain the Okinawan population of *R. kanagurta*.

*Corresponding author: Onna Village Fisheries Cooperative, 59 Maeganeku, Onna, Okinawa 904-0414, Japan (e-mail: cladosiphon@lily.ocn.ne.jp)

グルクマ属 *Rastrelliger* は、インド・太平洋の熱帯・亜熱帯域に広く分布する表層遊泳性のサバ科魚類で、現在、*R. brachysoma* (Bleeker, 1851), *R. faughni* Matsui, 1967, グルクマ *R. kanagurta* (Cuvier, 1816) の3種が有効種として認められている (Matsui, 1967; Collette and Nauen, 1983; Muto et al., 2016). 本

属は、インド・太平洋諸国の重要な水産資源として漁獲されており (Collette and Nauen, 1983), その漁獲量が1950年の146,700トンから増加傾向を示し、2018年には約4.5倍の655,914トンに達している (FAO, 2021).

日本周辺海域では、有効3種のうち、グルクマ

の1種のみが九州南部から琉球列島にかけて分布し(吉野ほか, 1975; 中村, 1997; 中坊・土居内, 2013; 畑ほか, 2015; 畑・本村, 2016), 特に沖縄県では, 本種は“ぐるくまー”の方言名で親しまれ, 定置網や刺網の重要な漁獲対象種となっている(本永, 1991; 上原ほか, 2015). しかし, 沖縄島沿岸域における本種の漁獲量は減少の一途を辿っており, 過去27年間の漁獲統計情報に基づく評価では, 本種の資源水準が「低位」, 資源の長期傾向は「減少」と診断されている(太田ほか, 2017). したがって, 本種の有効な保全策や管理策を講じるためには, 生活史特性の集積が急務である.

広域に分布する本種の研究は, 水産上の重要性から多くの地域において報告があり, 年齢と成長, 成熟, 食性など生活史特性(Sekharan, 1958; Noble, 1962; Rao, 1962; George and Banbrji, 1964; Rao, 1967; Yohannan, 1979; Sousa and Gislason, 1985; Yohannan and Abdurahiman, 1998; Jayabalan et al., 2014; 上原ほか, 2015; Arrafi et al., 2016; Ghosh et al., 2016)をはじめ, 漁業実態(Sekharan, 1958; 本永, 1991; 太田ほか, 2017), 個体群動態や漁業管理(Guanco, 1991; Noble et al., 1992; Abdussamad et al., 2006, 2010; Amin et al., 2015; Ghosh et al., 2016; Sivadas et al., 2016; Koolkalya et al., 2017), 分布記録や形態学的・遺伝学的特性(吉野ほか, 1975; 畑ほか, 2015; 畑・本村, 2016; Muto et al., 2016)について報告されている. 対照的に, 本種の初期生活史に関する研究は少なく, 仔魚の記載(Silas, 1974; Richards and Jenkins, 2004; 小西, 2014)や出現様式(沖縄県水産試験場, 1979; 上原ほか, 2015; Renjima et al., 2016)の断片的な報告に留まっている. 特に, 仔魚の記載については, 他のグルクマ属魚類(*R. brachysoma* や *R. faughni*) と分布が重複する海域(Collette and Nauen, 1983; Collette, 2001; Froese and Pauly, 2020)で採集された標本が含まれており, 複数の種が含まれている可能性を考慮する必要がある.

本研究では, グルクマの初期生活史を明らかにするため, 他のグルクマ属2種と分布が重複しない沖縄島中城湾において小型曳網とシラスパッチ網による採集を行い, 得られたグルクマ仔稚魚の形態と出現様式を明らかにした. また, 沖縄島沿岸域で漁獲された個体の生殖腺指数と体長組成の経月的な変化を調べ, 産卵期や最小成熟体長を明らかにし, 沖縄島個体群の現状について考察した.

材料と方法

仔稚魚の採集 広範囲な発育段階を得るため, 仔稚魚の採集は, 小型曳網(幅4 m, 丈1 m, 目合1 mm)とシラスパッチ網(袖網長約68 m, 袖網丈約21 m, 袋網の開口幅および丈約3.8 m, 袋網の目合0.33 mm)を併用した(上原, 2015). 小型曳網による採集は, 2005年4月–2006年4月に毎月1回, 中城湾の干潟5ヶ所(砂質干潟2ヶ所:北中城, 中城泊; 泥質干潟3ヶ所:川田, 泡瀬, 佐敷)で行った. 採集時には, 袖網両端に取り付けた支持棒を各1名が保持し, 網口を最大限広げるようにして, 膝から腰程度の水深帯を汀線と並行に50 m, 歩いて曳網した(Fig. 1). 各地点での曳網は, 1調査ごとに2–3回とした. 干潟の底質は, 加納・上原(2015)に従い区分した. 採集物は冷蔵して持ち帰り, 選別後70%エチルアルコールで保存した.

シラスパッチ網による採集は, 漁船1隻を備して2006年1–12月に毎月1回, 中城湾の沖合4地点(平均水深; St. 1:14.2 m, St. 2:17.8 m, St. 3:30.6 m, St. 4:40.4 m)で2分間の曳網を行った(Fig. 1). 採集物は船上で直ちに5%海水ホルマリンで固定し, 研究室に持ち帰り, 水洗後70%エチルアルコールで保存した. 70%エチルアルコールに保存された採集物からは, 後日, シリーズ法(Leis and Carson-Ewart, 2004)によりグルクマ仔稚魚を選別し, 個体数の計数, 発育段階の記録, 形態の観察, 計測を行った.

標本の形態観察および描画は, 描画装置付きの実体顕微鏡下で行った. 計測項目は, Leis and Carson-Ewart(2004)に従い, 脊索末端の上屈開始前および上屈中は脊索長(NL, notochord length)を, 上屈完了後は標準体長(SL, standard length)をそれぞれ測定し, そのほか肛門前長, 肛門後端から臀鰭基底始部までの長さ, 背鰭前長, 体高, 頭長(HL, head length), 上顎長, 吻長, 眼径を0.01 mmの精度で計測した. 体長階級別の発育段階や相対成長の記述においては, 脊索長と標準体長を合わせて体長(BL, body length)とし, 体長を除く各部位の測定は113個体について行った. 鰭条数の計数は, 体形計測を実施した113個体について行い, 各鰭の原基が出現後, 観察できた鰭条数を計数した. また, 筋節数の計数も, 体形計測を実施した113個体について行った. 発育段階は, Kendall et al.(1984)に従い, 前屈曲期仔魚(preflexion, 以降前屈曲期), 屈曲期仔魚

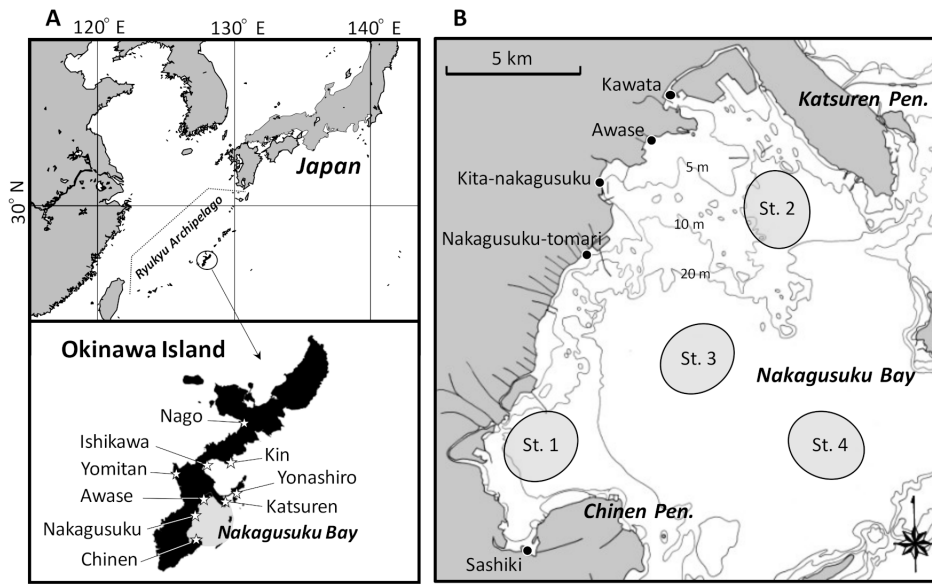


Fig. 1. Map of sampling sites. (A) *Rastrelliger kanagurta* measured and/or purchased (stars) from fish markets on Okinawa Island. (B) Larval and juvenile fishes sampled monthly from Nakagusuku Bay by small seine net (black dots) and shirasu trawl (gray circles).

(flexion, 以降屈曲期), 後屈曲期仔魚 (postflexion, 以降後屈曲期), 稚魚 (juvenile) に区分した. 記載に用いた標本は, 沖縄美ら島財団総合研究センターの魚類標本コレクション (URM-P 48920–48924) として登録した.

尾叉長測定と産卵期の推定 1985年4月–1987年4月に沖縄島の3ヶ所の鮮魚卸売市場 (読谷, 勝連, 知念; Fig. 1) において, 定置網で漁獲されたグルクマの尾叉長 (FL, fork length) を1 cm 単位で測定した. また, 2011年4月–2016年3月には, 沖縄島の8ヶ所の鮮魚卸売市場 (名護, 金武, 石川, 与那城, 勝連, 泡瀬, 中城, 知念; Fig. 1) で水揚げされたグルクマの尾叉長を1 cm 単位で測定した. なお, 各回の市場調査では, 原則として対象の全数を測定したが, 漁獲個体数が多く全数測定が困難な場合には, 競りの最小単位である1山の3–5割に相当する個体を無作為に抽出した.

本種の成熟様式を明らかにするため, 1988年5月–1989年8月に, 沖縄島沿岸域において定置網により漁獲された378個体 (19.1–37.3 cm FL) を標本として購入した. 購入した個体は, 氷蔵して研究室に持ち帰り, 尾叉長と体重 (BW, body weight) をそれぞれ1 mm, 1 g 単位で測定した. その後開腹して生殖腺を取り出し, 生殖腺の外部形態から雌雄を判別し, その重量 (GW, gonad

weight) を0.01 g 単位で秤量した. 生殖腺指数 (GSI, gonadosomatic index) を次式により算出し, その経月変化から沖縄島沿岸域における本種の産卵期を推定した.

$$GSI = GW / (BW - GW) \times 100$$

結 果

仔稚魚の同定 本研究で採集された稚魚 ($n = 17$, 11.4–16.2 mm SL; Fig. 2E) は, 筋節数31 (13 + 18), かつ前鰓蓋骨後縁の棘を欠くことで, サバ族に識別され (Richards and Jenkins, 2004; 西川, 2014), 上顎と下顎の先端がほぼ揃うことにより, グルクマと同定された (小西, 2014). また, 採集された仔魚 ($n = 288$, 3.4 mm NL–12.5 mm SL; Fig. 2A–D) は中庸に伸長し, 扁平した体を示すこと, 筋節数が31–32 (6–13 + 18–25) であること, 前鰓蓋骨後縁の棘を欠くこと, 頭部背面が丸みを帯び, 口裂は比較的小さいことでサバ族仔魚の形態 (Richards and Jenkins, 2004; 西川, 2014; 佐々・小西, 2014a) と一致した. これらの特徴に加えて, 本標本は, 首筋の体内の黒色素胞を欠くこと (マサバ *Scomber japonicus* とゴマサバ *S. australasicus* では, 首筋の体内に黒色素胞が出現する; 小西, 2014; 佐々・小西, 2014b, 2014c; 佐々ほか, 2014), 前屈曲期から屈曲期では, 頭頂部の黒色

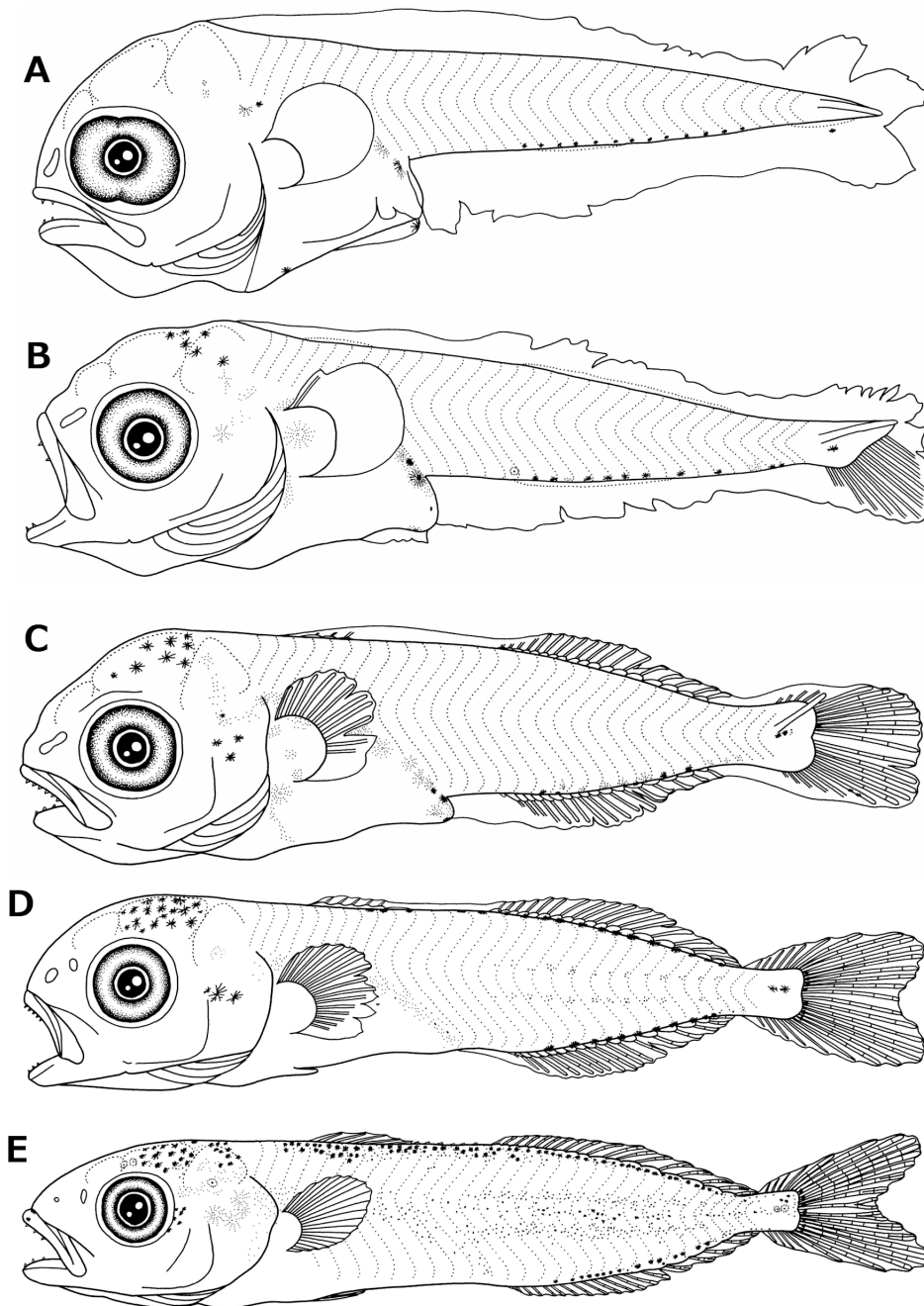


Fig. 2. Larval and juvenile stages of *Rastrelliger kanagurta* sampled from Nakagusuku Bay. (A) Preflexion larva, 3.4 mm NL, URM-P 48920. (B) Flexion larva, 5.1 mm NL, URM-P 48921. (C) Postflexion larva, 6.8 mm SL, URM-P 48922. (D) Postflexion larva, 9.1 mm SL, URM-P 48923. (E) Juvenile, 16.2 mm SL, URM-P 48924.

素胞が乏しく（マサバとゴマサバでは、顕著に出現する；小西，2014；佐々・小西，2014b，2014c），肛門前端的黑色素胞が明瞭に認められること（マサバとゴマサバでは，出現しないか存在してもかなり小さい；小西，2014），後屈曲期では，

尾柄部に黑色素胞が2個出現すること（佐々・小西，2014b，2014c）からグルクマ仔魚と同定した。

仔稚魚の形態と発育 採集された本種の体長範囲と発育段階は，3.4 mm NL–16.2 mm SLの前屈曲期から稚魚であった（Fig. 2）. 脊索の屈曲は3.7

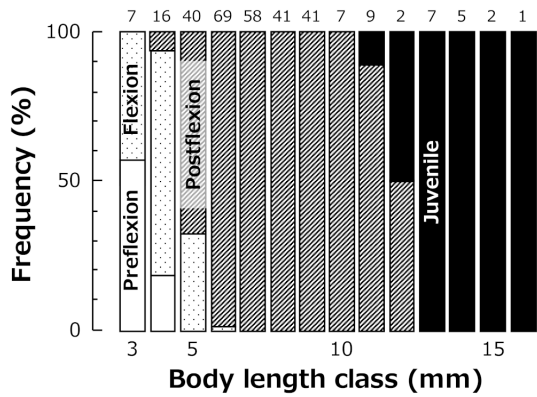


Fig. 3. Frequency of each developmental stage in different body length classes of *Rastrelliger kanagurta*. Number of specimens in each size class is shown above each bar.

mm NL で始まり、その後、急激に屈曲期の割合が増加し、4 mm BL 台では 70.0% 以上が屈曲期であった (Fig. 3)。5 mm BL 台以降、後屈曲期の割合が増加し、7–10 mm BL 台はすべて後屈曲期であった。11 mm BL 台で稚魚が出現し、13 mm BL 台以降はすべて稚魚であった。

観察に用いた仔稚魚 ($n = 113$) は、頭部背面が丸みを帯び、体高が中庸 (20.5–33.5% BL ; Fig. 4) で、体型は尾部後方に向かって緩やかに細くなった。頭長は、前屈曲期 (3.4–4.2 mm NL) で中庸 (23.0–27.5% BL) であったが、成長に伴い緩やかに増大し、稚魚 (11.4–16.2 mm SL) では 29.8–34.6% BL に達した。また、肛門位置は成長に伴

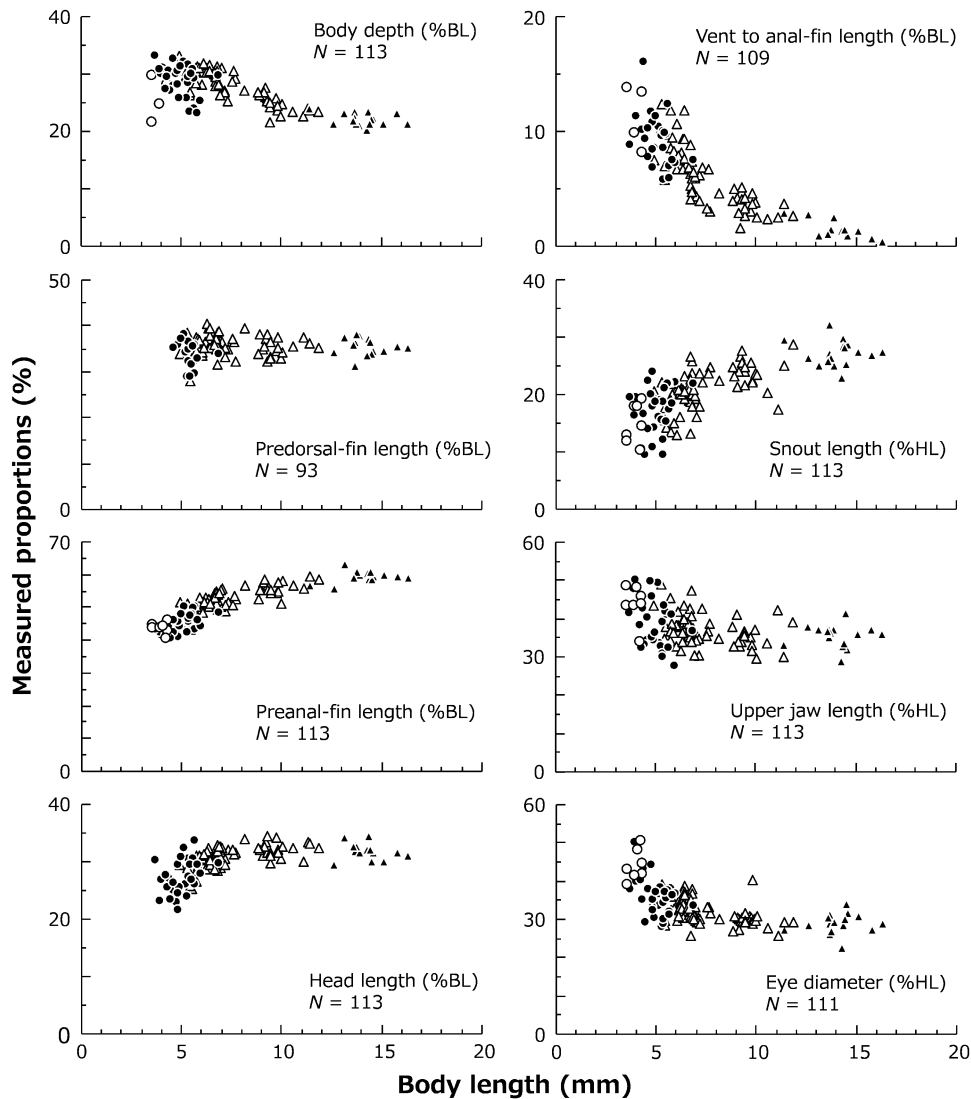


Fig. 4. Plots of proportional measurements of larval and juvenile *Rastrelliger kanagurta*. BL, body length; HL, head length; open circles, preflexion larvae; closed circles, flexion larvae; open triangles, postflexion larvae; and closed triangles, juveniles.

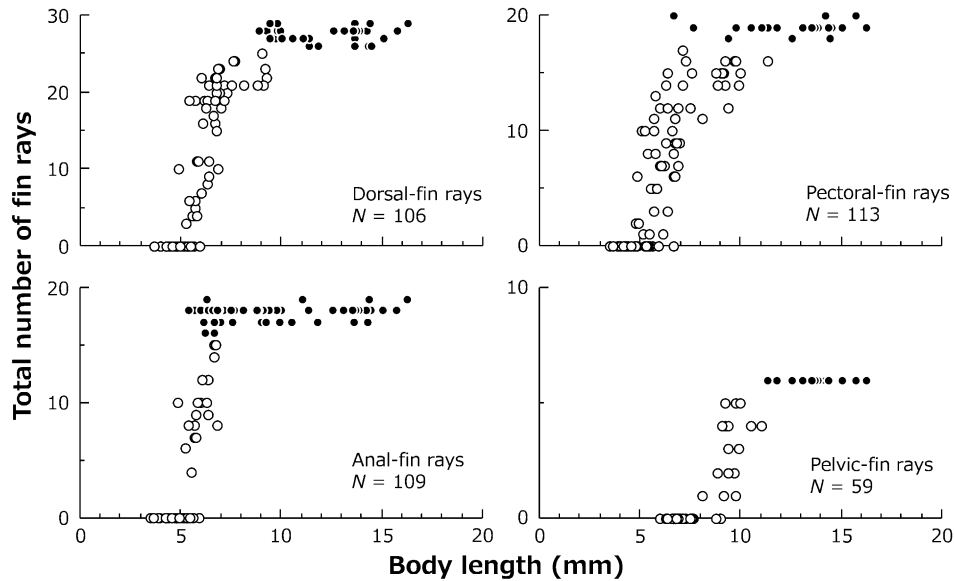


Fig. 5. Changes in total numbers of dorsal-, pectoral-, anal-, and pelvic-fin rays (open circles, developing elements; closed circles, completely developed) related to body length in larval and juvenile *Rastrelliger kanagurta*.

い後進して、後屈曲期 (4.8–11.7 mm SL) で体中央を越え、肛門前長は稚魚で 56.1–63.5% BL に達した。対照的に、肛門後端から臀鰭基底始部までの長さの体長比は、肛門位置の後進に伴い減少した。背鰭前長の体長比は 28.2–40.9% であった。上顎長および眼径の頭長比は、前屈曲期で大きく (上顎長: 34.4–48.9% HL; 眼径: 39.6–51.0% HL), 成長に伴い緩やかに減少し、7 mm SL 以上でそれぞれ 29.1–43.2%, 23.0–40.8% であった。吻長の頭長比は前屈曲期から稚魚にかけて緩やかに増加した。

記載に用いた最小個体 (Fig. 2A) では、胸鰭はうちわ状の膜鰭で、臀鰭および下尾骨の原基が出現していた。3 mm BL 台以降、下尾骨および尾鰭鰭条の形成が進み、胸鰭鰭条も形成されはじめ、第 1 背鰭、第 2 背鰭、背鰭小離鰭の原基が出現した。5 mm BL 台では、背鰭、臀鰭、小離鰭、胸鰭の鰭条の形成が急速に進み、7 mm BL 台までに臀鰭鰭条数と臀鰭小離鰭数が、9 mm BL 台で第 1 背鰭条数、第 2 背鰭条数、背鰭小離鰭数がそれぞれ定数 (第 1 背鰭鰭条数 IX–XI, 第 2 背鰭鰭条数 I, 11–12, 背鰭小離鰭数 5, 臀鰭鰭条数 I–I, 10–12, 臀鰭小離鰭数 5) に達した (Figs. 2B–D, 5)。また、6 mm 台以降には腹鰭原基が出現し、胸鰭と腹鰭はともに 11 mm BL 台で定数 (胸鰭鰭条数 18–20, 腹鰭鰭条数 I, 5) に達した (Figs. 2D, 5)。

記載に用いた最小個体 (3.4 mm NL: 前屈曲期)

は、筋節数が $7 + 24 = 31$ であった (Fig. 2A)。黒色素胞は頭頂部、耳胞、軀幹部前半の腹中線上、消化管背面、肛門前端、尾部の腹中線上、下尾骨の直下に認められた。5.1 mm NL の屈曲期は、筋節数が $8 + 23 = 31$ であった (Fig. 2B)。頭頂部と消化管背面の黒色素胞は数を増し、新たに鰓蓋部、消化管前面、尾柄部に黒色素胞が出現した。6.8 mm SL の後屈曲期は、筋節数が $9 + 22 = 31$ であった (Fig. 2C)。鰓蓋部、消化管前面、尾柄部の黒色素胞は数を増し、新たに尾鰭上葉の基部および尾鰭上に黒色素胞が出現した。9.1 mm SL の後屈曲期は、筋節数が $10 + 21 = 31$ であった (Fig. 2D)。尾鰭基部の黒色素胞は、上葉から下葉にかけて数を増した。また、背鰭棘条基底から背鰭軟条基底、尾部上下の体内部に黒色素胞列が出現した。記載に用いた最大個体 (16.2 mm SL: 稚魚) は、筋節数 $13 + 18 = 31$ で、肛門が定位置に達した (Fig. 2E)。背鰭棘条基底から背鰭軟条基底、尾部上下の体内部、尾部体側中央に出現した黒色素胞は濃密となり、前方へ拡大した。また、頭頂部、耳胞、尾柄部の黒色素胞も数を増し、新たに眼球後方に黒色素胞が出現した。

仔稚魚の出現時期と水平分布 本種の仔稚魚は、干潟域には出現せず、5月に湾中央 (St. 3)、6月に湾全域、8月に湾中央 (St. 3) と湾口部 (St. 4) から採集された (Fig. 6)。出現量は6月に最も多く (42.8 個体/曳網)、前屈曲期から稚魚ま

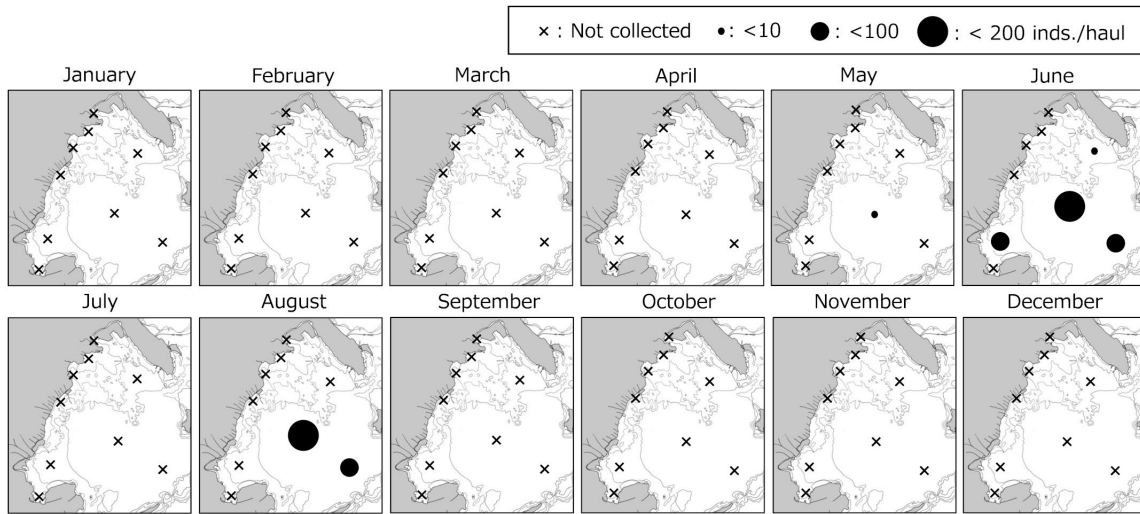


Fig. 6. Seasonal changes in horizontal distribution of larval and juvenile *Rastrelliger kanagurta* sampled by small seine net and shirasu trawl from Nakagusuku Bay.

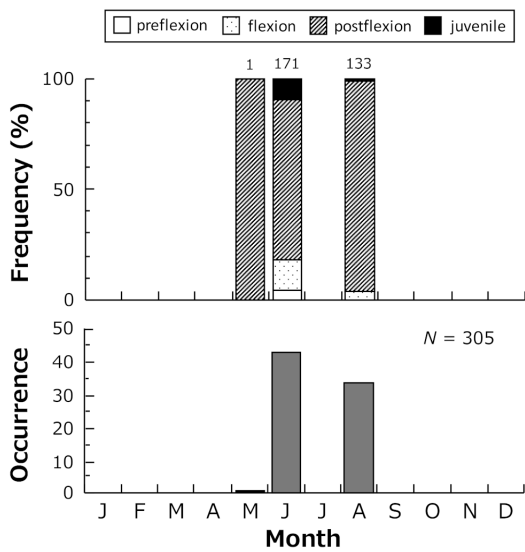


Fig. 7. Monthly changes in occurrence (number of individuals per haul) and frequency of each developmental stage of *Rastrelliger kanagurta* collected by shirasu trawl from Nakagusuku Bay. Numbers on bars indicate sample size.

での各発育段階が出現した (Fig. 7)。出現期間中、体長組成における明瞭なモード推移は認められなかった (Fig. 8)。

産卵期と最小成熟体長 本種の生殖腺指数の経月変化を Fig. 9 に示す。雌の GSI は、4-7 月に 1.00 以上の個体が確認され、特に 5-7 月には 10.00 以上の高い個体 (最高値 6 月; GSI 16.41) が出現した。8 月以降はすべて 1.00 未満であった。雄の GSI は雌と同様の傾向を示し、5-7 月に 1.00 以上

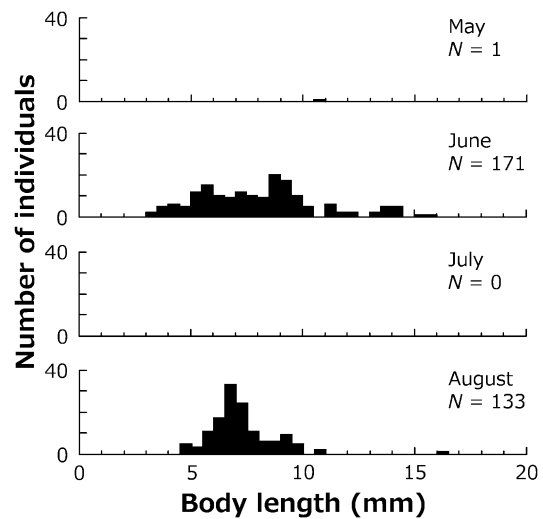


Fig. 8. Monthly changes in body length frequency of *Rastrelliger kanagurta* collected by shirasu trawl from Nakagusuku Bay.

の個体が確認され、特に 6 月には 10.00 以上の高い個体 (GSI 11.44) が出現した。8 月以降はすべて 1.00 未満であった。

尾叉長と GSI の関係を見ると (Fig. 10)、雌では、26.1 cm FL で GSI 1.00 以上の個体が出現し始めた。雄では、27.0 cm FL 以上で GSI 1.00 以上の個体が出現した。

尾叉長組成の経月変化 2011 年 4 月-2016 年 3 月の市場調査より、本種は、沖縄島沿岸域において定置網、刺網、一本釣りで漁獲され、総測定個体数に占める漁法別個体数の割合がそれぞれ

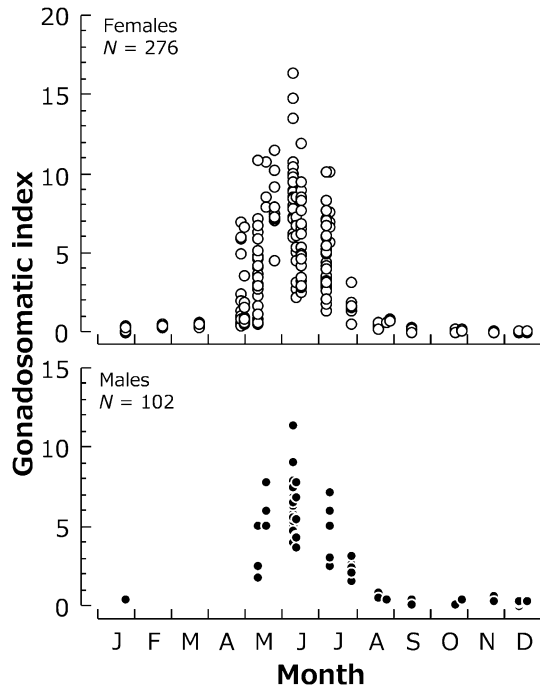


Fig. 9. Monthly changes in gonadosomatic index of *Rastrelliger kanagurta* (open circles, females; closed circles, males) caught by set net fishery from May 1988 to August 1989.

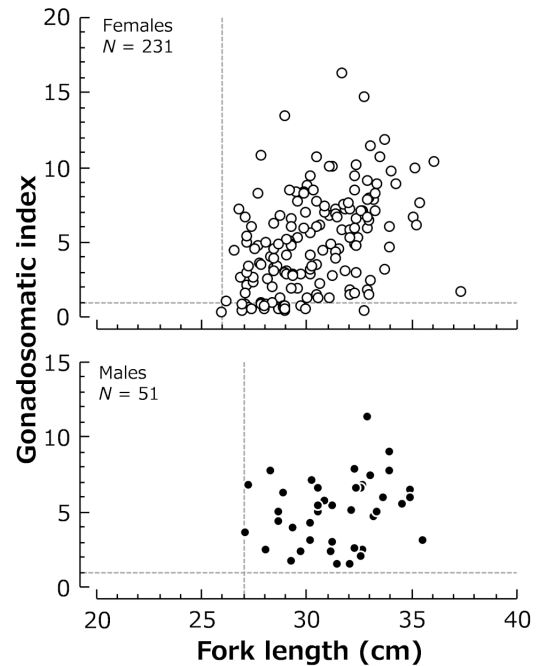


Fig. 10. Relationship between fork length and gonadosomatic index (GSI) of *Rastrelliger kanagurta* (open circles, females; closed circles, males) sampled from May to July in 1988 and 1989. Dashed line indicates smallest individual with a GSI value >1.

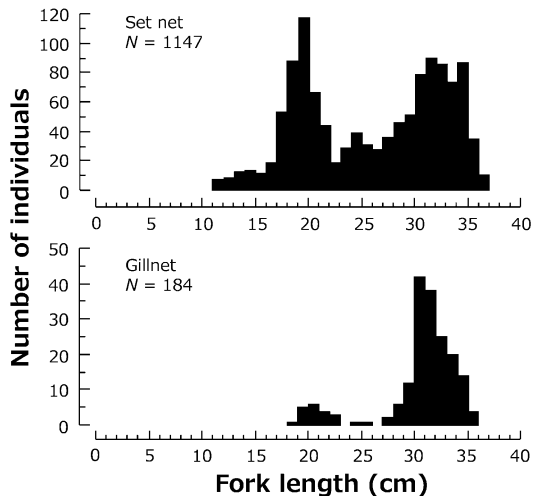


Fig. 11. Fork length frequency of *Rastrelliger kanagurta* landed at fish markets on Okinawa Island from April 2011 to March 2016. All individuals landed were measured in principle. In instances of very large individual numbers, specimens corresponding to 30–50% of each lot (the smallest commercial auction unit used in the market) were randomly selected.

86.0%, 13.8%, 0.2%となり、定置網と刺網で99%に達した。主な漁法別の尾叉長は、定置網が11–36 cm FL (平均 ± 標準偏差: 25.6 ± 6.5 cm FL, $n = 1,147$), 刺網 18–35 cm FL (30.0 ± 3.8 cm FL, $n = 184$)であった (Fig. 11)。

1985年4月–1987年4月(前期間)における本種の尾叉長組成は、7月に14–15 cm FLにモードが認められ、これらは経月的に成長して翌年7月には27–28 cm FLに達した (Fig. 12)。各月において、GSI 1.00未満であった26 cm FL未満の個体が測定個体数に占める割合は、年間を通して大きく変動し、5–6月を除いたすべての月で45%以上を占めた (Table 1)。2011年4月–2016年3月(後期間)における尾叉長組成は、8月に13–14 cm FLのモードを有する小型群が出現し、これらは経月的に成長し、翌年8月には30 cm FLと33 cm FLにそれぞれモードが認められた。26 cm FL未満の個体の割合は、定置網が0–93.9% (全体47.0%)、刺網が0–50.0% (11.4%)で、特に定置網では、6–7月を除いたすべての月で35%以上を占めた (Table 1)。さらに、8–10月における26 cm FL未満の個体は、前期間では2峰型を示した

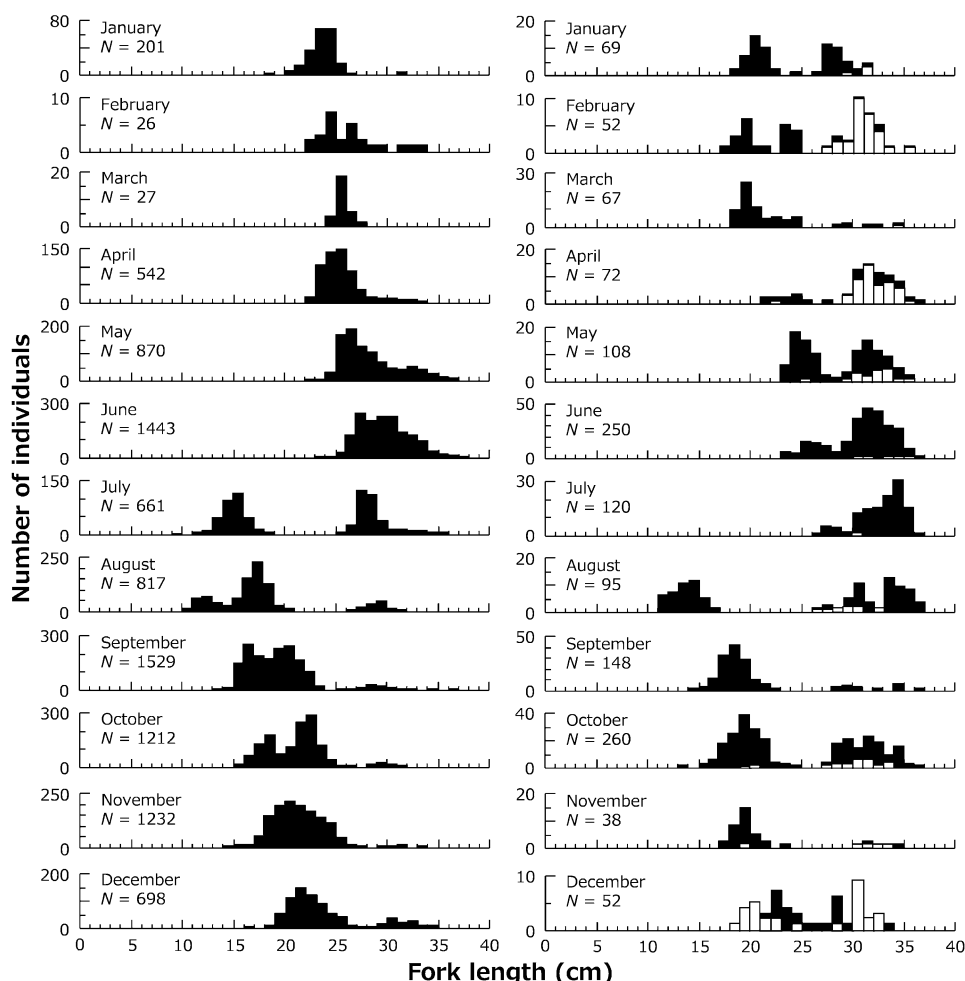


Fig. 12. Monthly changes in fork length frequencies of *Rastrelliger kanagurta* landed at fish markets on Okinawa Island. Left side, measured individuals of *R. kanagurta* caught by set net fishery from April 1985 to April 1987. Right side, measured individuals of *R. kanagurta* caught by set net (black bars) and gillnet (white bars) fisheries from April 2011 to March 2016. All individuals landed were measured in principle. In instances of very large individual numbers, specimens corresponding to 30–50% per lot (the smallest commercial auction unit used in the market) were randomly selected.

のに対し、後期間では単峰型を示した。漁獲された最小個体は、前期間が 8 cm FL、後期間が 10 cm FL であった。

考 察

仔稚魚の形態 本研究では、他のグルクマ属 2 種と分布が重複しない沖縄島中城湾で採集されたグルクマ仔稚魚の成長に伴う形態発育を記載した (Figs. 2-5). 本種仔魚の形態については、インド南西海域・ラッカディブ海産 (Silas, 1974), トレス海峡産 (Richards and Jenkins, 2004), タイ湾・アンダマン海産 (小西, 2014) の天然個体に基づ

く記載がある。これらと本研究で得られた仔魚を比較すると、頭部背面が丸みを帯びること、口裂が比較的小さいこと、前鰓蓋骨後縁に棘を欠くこと、筋節数が 31–32 であること、仔魚期を通じて首筋の体内に黒色素胞が出現しないことが共通した。しかし、黒色素胞の出現様式については、同じ発育段階においても相違が認められた。すなわち、沖縄島産では、屈曲期以降に尾柄部で、後屈曲期以降に鰓蓋部で、それぞれ黒色素胞が認められたが、インド南西海域・ラッカディブ海産では認められなかった (Silas, 1974)。また、後屈曲期については、沖縄島産で尾柄部の黒色素胞が 2 個であったが (Fig. 2C, D), トレス海峡産では 1 個、

Table 1. Numbers of total individuals and individuals < 26 cm fork length (FL) measured each month at Okinawa Island fish markets

Months	Set net (April 1985 to April 1987)			Set net (April 2011 to March 2016)			Gillnet (April 2011 to March 2016)		
	Ind. measured	<26 cm FL	IR (%)	Ind. measured	<26 cm FL	IR (%)	Ind. measured	<26 cm FL	IR (%)
January	201	197	98.0	65	36	55.4	4	0	0.0
February	26	14	53.8	23	21	91.3	29	0	0.0
March	27	21	77.8	66	60	90.9	1	0	0.0
April	542	390	72.0	23	9	39.1	49	1	2.0
May	870	199	22.9	90	38	42.2	18	1	5.6
June	1,443	30	2.1	243	23	9.5	7	0	0.0
July	661	327	49.5	118	0	0.0	2	0	0.0
August	817	733	89.7	85	40	47.1	10	0	0.0
September	1,529	1,468	96.0	148	131	88.5	0	0	-
October	1,212	1,172	96.7	231	137	59.3	29	3	10.3
November	1,232	1,209	98.1	33	31	93.9	5	1	20.0
December	698	590	84.5	22	13	59.1	30	15	50.0
Total	9,258	6,350	68.6	1,147	539	47.0	184	21	11.4

Immature fish ratio (IR) - number of individuals < 26 cm FL divided by total number of individuals measured in each month.

タイ湾・アンダマン海産では1-2個であった (Richards and Jenkins, 2004; 小西, 2014). さらに, タイ湾・アンダマン海産 (小西, 2014) では, 尾柄部以外にも喉部や上顎先端の上方に黒色素胞が認められ, 沖縄島産と明瞭に異なった. 同種内でも個体群間の遺伝的差異により黒色素胞の出現様式が異なることが報告されているものの (上原・立原, 2016), 本研究を除いて, 記載個体が採集された海域は, グルクマ属3種の分布が重複すること (Collette and Nauen, 1983; Collette, 2001; Froese and Pauly, 2020) を考慮すると, この黒色素胞の出現様式の差異は, 種間の違いを反映している可能性が強く示唆される. Muto et al. (2016) は, グルクマ属3種の遺伝的・形態的差異を明らかにしており, これら3種の種同定の際には, 体高の相対成長に留意すべきであることを結論付けている. しかし, 彼らは, 10 cm FL以上の個体について比較検討を行っていることから, この形態的特徴が10 cm FL未満の個体にも適用可能か検討を要す. このため, 現時点では, グルクマ属複数種の分布が重複する海域で採集された仔稚魚については, 形態的特徴のみで同定することが困難と考えられる.

なお, 本研究では, 第2背鰭と臀鰭に棘が確認されたが, 八重山産グルクマ稚魚 (7.8 cm FL) でも, 本研究同様, 第2背鰭と臀鰭に棘が確認されている (下瀬・今井, 印刷中). Matsui (1967) や Collette and Nauen (1983) は, グルクマ属の痕跡的な臀鰭棘について言及しているが, 第2背鰭

棘については言及していない. また近年, 形態的特徴を報告した畑ほか (2015), Muto et al. (2016), 畑・本村 (2016) でもこれら鰭の棘について言及はない. 本研究では, これら鰭の棘について, いずれも分節や分枝が認められなかったことから, 下瀬・今井 (印刷中) を支持し, 棘条と判断した. 今後, 詳細な検討が望まれる.

産卵特性と出現様式 尾叉長とGSIの関係から, 雌の最小成熟体長は26 cm FLであると考えられた (Fig. 10). また, GSIが最も高かった6月を誕生月と仮定すると, 6月に孵化した本種は12月に約20 cm FL, 翌年5月には約25 cm FLになり (Fig. 12), 約1年で最小成熟体長に達すると考えられた. 本種の成熟サイズについては, インドネシアの個体群で全長19.6 cm (Arrafi et al., 2016), インドの個体群で体長18.3-21.7 cm (Rao, 1967; Ghosh et al., 2016), モザンビークの個体群で20-21 cm (Sousa and Gislason, 1985) とされている. 全長や尾叉長など測定体長の定義が示されていない報告も含まれており, 単純な比較はできないものの, 低緯度地域の個体群の成熟体長は, 沖縄島の個体群に比べて, 同等あるいは小型である可能性が示唆された.

沖縄島のグルクマは, 雌では5-7月にGSI 10.00以上が, 雄では少なくとも5-7月にGSI 5.00以上の個体がそれぞれ確認され (Fig. 9), 高いGSIを有する個体の出現時期は雌雄でよく一致した. 沖縄島周辺では, 沖合の海表面 (0 m) の平均水温

は1-3月まで22°C台で推移し、4月から増加し始め、5月には25°Cを超え、7-8月には28°C台に達した後、12月にかけて減少する (Uehara et al., 2018). すなわち、高いGSIを有する個体の出現時期は、海水温の上昇期に相当し、仔稚魚の出現時期とも概ね一致した (Figs. 6, 7). Renjima et al. (2016) は、インド南西海域において本種の産卵盛期に仔魚採集を行い、出現時の海洋環境データを記録しているが、本種と考えられる仔魚が最も採集された南側の海域 (6月) の海水温は25.0-29.4°Cであった。これらから、本種の沖縄島個体群は、海水温が25°Cを超え、水温の上昇期である5-7月 (3ヶ月) に最も産卵が活発となることが示唆され、低緯度の個体群に比べて盛期の期間 (4-9ヶ月: Sousa and Gislason, 1985; Yohannan and Abdurahiman, 1998; Arrafi et al., 2016; Ghosh et al., 2016; Sivadas et al., 2016) が同等あるいは短くなる傾向が認められた。

本種の仔稚魚は、5, 6, 8月に湾内の沖合に出現し、湾内の干潟では採集されなかった (Figs. 6, 7). これまでにも、本種の仔稚魚は、沖縄海域の外洋域をはじめ、マングローブ域、藻場、サンゴ礁池では確認されておらず (Tachihara et al., 2003; 石原, 2012; 野田・立原, 未発表), 金武湾内の沖合定点で全長33.8 mmと38.0 mmのグルクマと推察される稚魚が採集されている (沖縄県水産試験場, 1979). また、インド南西海域の沿岸表層でも本種と考えられる仔魚が採集されており (Renjima et al., 2016), インド南部では、イワシ用刺網により体長6 cmから漁獲されはじめることが報告されている (Abdussamad et al., 2010). 本研究においても、本種は8 cm FLから沿岸域の定置網に入網し、水揚げされた (Fig. 12). 本種の成魚は、プランクトンを濾過摂食することから (Noble, 1962; Rao, 1962), プランクトンの豊富な沿岸表層が主な生息域とされる (Bay of Bengal Large Marine Ecosystem Project, 2012; 中坊・土居内, 2013). これらの結果は、本種が孵化後、成魚と同じ沿岸表層域に加入し、その海域で成育することを示唆している。

沖縄島個体群の現状 本種の沖縄島個体群は、孵化後約1年で産卵可能個体が出現し、海水温の上昇期に産卵が活発となった (Figs. 9, 10, 12). 本海域で孵化したと考えられる仔魚は、湾内の沖合表層域に出現し (Fig. 6), 沖合表層域で成長を続けた後、8 cm FLを過ぎた頃から主に定置網で漁獲され始めた (Fig. 12).

定置網は、来遊魚群の入網を待って漁獲を行う受動漁具であり (森, 1979), 時として幼稚魚など小型魚を大量に漁獲してしまう問題がある。本研究においても、前・後期間とも、小型魚の定置網漁場へ加入以降、概ね成熟体長に達するまで多獲されている点で共通していた (Table 1; Fig. 12). 太田ほか (2017) は、過去27年間の漁獲統計情報に基づき、本種の漁獲量と漁獲努力量が共に減少しているが、その減少幅は漁獲努力量よりも漁獲量で大きいことから、資源の長期傾向を「減少」と診断している。このように、未成魚の多獲実態は、沖縄島個体群における資源状態の悪化の一因になっている可能性を示唆し、沖縄県の定置網漁業において、箱網の目合の一部拡大や小型魚を分けるための分離網の活用など適切な管理措置が急務であることを示している。

一方、本研究では、前期間と後期間で、小型魚の漁場への加入時期や8-10月における小型魚の尾叉長組成に違いも認められた (Fig. 12). マサバでは、産卵期間の長期的な変化について検討されており、1990年代以降、1970年代と比べて産卵量のピークが遅れ、産卵期の年変動が大きく不安定になっていることが報告されている (渡邊, 2010). 本研究でも、小型魚は、前期間に対して後期間の加入時期が1ヶ月遅れていたことから、過去に比べて産卵の開始時期が遅くなっている可能性がある。また、本研究で認められた両期間の8-10月に見られた小型魚の尾叉長組成の違いは、産卵期あるいは加入の不安定性を示唆するものなのかもしれない。魚類の成熟・産卵には、水温や日長などの環境要因が強く影響していることが明らかにされているが (清水, 2006), 親魚の繁殖特性が加入量変動に及ぼす影響を無視できないこと (栗田ほか, 2010) や資源の減少に伴う生活史特性の変化も考慮する必要があること (Murawski et al., 2001) も広く認識されつつある。今後、本種の形態や生活史特性に関する詳細な研究を行うとともに、漁業に関する継続的なモニタリングが望まれる。

謝 辞

本研究を行うにあたり、一般財団法人沖縄美ら島財団総合研究センターの吉野哲夫研究顧問及び国立研究開発法人水産研究・教育機構西海区水産研究所の下瀬 環博士にはグルクマ属に関する有益な情報を賜った。にぬふぁ星企画の故三浦信男

氏には中城湾の定置網に関する情報を、佐敷・中城漁業協同組合の腕波正徳氏には調査船の使用と操船を、いであ株式会社の細谷誠一氏、田端重夫氏、鳥居高志氏、塩根嗣理氏、沖縄環境調査株式会社の桜井 雄氏、有限会社鴻洋の武井直行氏には、シラスパッチ網の使用の便宜と調査の協力を頂いた。沖縄科学技術大学院大学の前田 健博士と一般財団法人沖縄美ら島財団総合研究センターの岡 慎一郎博士には標本登録の便宜を、琉球大学（当時）の石原大樹氏、徳永圭史氏、村田真孝氏、近藤 正氏、石川哲郎氏には調査や採集物のソーティングを手伝って頂いた。名護、読谷村、金武、石川、与那城町、勝連、沖縄市、佐敷・中城、知念の各漁業協同組合の職員および関係者の方々には、標本購入や市場調査のために様々な便宜を図って頂いた。エナゴには英文校閲を賜った。なお、本研究の一部は、亜熱帯総合研究所（現公益財団法人沖縄科学技術振興センター）受託研究費、農林水産省の「資源管理体制推進事業」および内閣府沖縄振興特別推進交付金事業のうち「沖縄沿岸域の総合的な利活用推進事業」の援助を受けた。ここに記して謝意を表する。

引用文献

- Abdussamad, E. M., H. M. Kasim and P. Achayya. 2006. Fishery and population characteristics of Indian mackerel, *Rastrelliger kanagurta* (Cuvier) at Kakinada. *Indian J. Fish.*, 53: 77–83.
- Abdussamad, E. M., N. G. K. Pillai, H. M. Kasim, O. M. M. J. H. Mohamed and K. Jeyabalan. 2010. Fishery, biology and population characteristics of Indian mackerel, *Rastrelliger kanagurta* (Cuvier) exploited along the Tuticorin coast. *Indian J. Fish.*, 57: 17–21.
- Amin, A. M., M. M. Sabrah, A. A. El-Ganainy and A. Y. EL-Sayed. 2015. Population structure of Indian mackerel, *Rastrelliger kanagurta* (Cuvier, 1816), from the Suez Bay, Gulf of Suez, Egypt. *Int. J. Fish. Aquat. Stud.*, 3: 68–74.
- Arrafi, M., M. A. Ambak, M. P. Rumeaida and Z. A. Muchlisin. 2016. Biology of Indian mackerel, *Rastrelliger kanagurta* (Cuvier, 1817) in the western waters of Aceh. *Iran. J. Fish. Sci.*, 15: 957–972.
- Bay of Bengal Large Marine Ecosystem Project. 2012. Management advisory for the Bay of Bengal Indian mackerel fishery: https://www.boblme.org/BOBLME_2012_Leaflets_RFMAC.html. (参照 2020-9-1)
- Collette, B. B. 2001. Scombridae. Pages 3721–3756 in K. E. Carpenter and V. H. Niem, eds. *FAO species identification guide for fishery purpose. The living marine resources of the western central Pacific*, vol. 6, no. 4. FAO, Rome.
- 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 Fisheries Synopsis, no. 125. FAO, Rome. 137 pp.
- FAO. 2021. *Fishery Statistical Collections, Global Production*: <http://www.fao.org/fishery/statistics/global-production/en>. (参照 2021-1-23)
- Froese, R. and D. Pauly. 2020. *FishBase, World Wide Web electronic publication (version 12/2019)*: www.fishbase.org. (参照 2020-9-1)
- George, K. C. and S. K. Banbrji. 1964. Age and growth studies on the Indian mackerel *Rastrelliger kanagurta* (Cuvier) with special reference to length-frequency data collected at Cochin. *Indian J. Fish.*, 11A: 621–638.
- Ghosh, S., M. V. H. Rao, V. U. Mahesh, M. S. Kumar and P. Rohit. 2016. Fishery, reproductive biology and stock status of the Indian mackerel *Rastrelliger kanagurta* (Cuvier, 1817), landed along the north-east coast of India. *Indian J. Fish.*, 63: 33–41.
- Guanco, M. R. 1991. Growth and mortality of Indian mackerel *Rastrelliger kanagurta* (Scombridae) in the Visayas Sea, Central Philippines. *Fishbyte*, 9: 13–15.
- 畑 晴陵・伊東正英・鎗木紘一・本村浩之. 2015. 鹿児島県北部から得られたサバ科魚類グルクマ *Rastrelliger kanagurta* の記録. *Nature of Kagoshima*, 41: 161–166.
- 畑 晴陵・本村浩之. 2016. 鹿児島県北部から得られたサバ科魚類グルクマ. *Nature of Kagoshima*, 42: 327–332.
- 石原大樹. 2012. 沖縄島サンゴ礁池に出現する仔稚魚相の季節的变化と初期生活史. 琉球大学大学院理工学研究科博士論文. 488 pp.
- Jayabalan, N., S. Zaki, F. Al-Kiyumi, L. Al-Kharusi and S. Al-Habsi. 2014. Age, growth and stock assessment of the Indian mackerel *Rastrelliger kanagurta* (Cuvier, 1817) along the Sohar coast of Oman. *Indian J. Fish.*, 61: 1–6.
- 加納光樹・上原匡人. 2015. 成育場としての泥質干潟域の重要性. 望岡典隆・木下 泉・南 卓志 (編), pp. 41–54. *魚類の初期生活史研究*. 恒星社厚生閣, 東京.
- Kendall, A. W. Jr., E. H. Ahlstrom and H. G. Moser. 1984. Early life history stages of fishes and their characters. Pages 11–22 in H. G. Moser, W. J. Richards, D. M. Cohen, M. P. Fahay, A. W. Kendall, Jr. and S. L. Richardson, eds. *Ontogeny and systematics of fishes*. *Am. Soc. Ichthyol. Herpetol., Spec. Publ.* (1).
- 小西芳信. 2014. グルクマ. 沖山宗雄 (編), pp. 1391–1392. *日本産稚魚図鑑 第二版*. 東海大学出版会, 秦野.
- Koolkalya, S., U. Matchakua and T. Jutagate. 2017. Growth, population dynamics and optimum yield of

- Indian mackerel, *Rastrelliger kanagurta* (Cuvier, 1816), in the Eastern Gulf of Thailand. Int. J. Agric. Technol., 13: 1065–1075.
- 栗田 豊・米田道夫・松山倫也. 2010. 産卵親魚個体群の繁殖能力と加入量変動—母性効果研究の現状と今後の展開—. 水産海洋研究, 74 (特集号): 1–3.
- Leis J. M. and B. M. Carson-Ewart (eds.). 2004. The larvae of Indo-Pacific coastal fishes: An identification guide to marine fish larvae, 2nd edition. Brill, Leiden. 850 pp.
- Matsui, T. 1967. Review of the mackerel genera *Scomber* and *Rastrelliger* with description of a new species of *Rastrelliger*. Copeia, 1967: 71–83.
- 森 敬四郎. 1979. 定置網の漁獲選択性. 日本水産学会 (編), pp. 46–64. 漁具の漁獲選択性. 恒星社厚生閣, 東京.
- 本永文彦. 1991. 沖縄島における定置網漁業調査. 沖縄県水産試験場 (編), pp. 94–102. 平成元年度沖縄県水産試験場事業報告書. 沖縄県水産試験場, 沖縄.
- Murawski, S. A., P. J. Rago and E. A. Trippel. 2001. Impacts of demographic variation in spawning characteristics on reference points for fishery management. ICES J. Mar. Sci., 58: 1002–1014.
- Muto, N., U. B. Alama, H. Hata, A. M. T. Guzman, R. Cruz, A. Gaje, R. F. M. Traifalgar, R. Kakioka, H. Takeshima, H. Motomura, F. Muto, R. P. Babaran and S. Ishikawa. 2016. Genetic and morphological differences among the three species of the genus *Rastrelliger* (Perciformes: Scombridae). Ichthyol. Res., 63: 275–287.
- 中坊徹次・土居内龍. 2013. サバ科. 中坊徹次 (編), pp. 1648–1654. 日本産魚類検索 全種の同定 第3版. 東海大学出版会, 秦野.
- 中村 泉. 1997. グルクマ *Rastrelliger kanagurta*. 岡村 収・尼岡邦夫 (編), p. 657. 山溪カラー名鑑 日本の海水魚 第3版, 山と溪谷社, 東京.
- 西川康夫. 2014. サバ科. 沖山宗雄 (編), pp. 1385–1386. 日本産稚魚図鑑 第二版. 東海大学出版会, 秦野.
- Noble, A. 1962. The food and feeding habits of the Indian mackerel, *Rastrelliger kanagurta* (Cuvier) at Karwar. Indian J. Fish., 9A: 701–713.
- Noble, A., G. Gopakumar, N. G. Pillai, G. M. Kulkarni, K. N. Kurup, S. Reuben, M. Sivadas and T. M. Yohannan. 1992. Assessment of mackerel stock along the Indian coast. Indian J. Fish., 39: 119–124.
- 太田 格・秋田雄一・上原匡人・海老沢明彦. 2017. 沖縄島沿岸域における水産資源の27年間の動向と現状. 沖縄県水産海洋技術センター事業報告書, 77: 35–60.
- 沖縄県水産試験場. 1979. 沖縄近海に出現する稚仔魚. 沖縄県水産試験場資料 no. 39. 沖縄県水産試験場, 沖縄. 65 pp.
- Rao, K. V. N. 1962. Food of the Indian mackerel, *Rastrelliger kanagurta* (Cuvier) taken by drift-nets in the Arabian Sea off Vizhingam, South Kerala. Indian J. Fish., 9A: 530–541.
- Rao, V. R. 1967. Spawning behavior and fecundity of the Indian mackerel, *Rastrelliger kanagurta* (Cuvier), at Mangalore. Indian J. Fish., 14: 171–186.
- Renjima, G. S., V. N. Sanjeevan, B. R. Smitha, C. B. L. Devi and M. Sudhakar. 2016. Early developmental stages of the Indian mackerel *Rastrelliger kanagurta* (Cuvier) along the Kerala-Mangalore coast of southeastern Arabian Sea. J. Mar. Biol. Ass. India, 58: 69–80.
- Richards, W. J. and G. P. Jenkins. 2004. Scombridae. Pages 693–700 in J. M. Leis and B. M. Carson-Ewart, eds. The larvae of Indo-Pacific coastal fishes: an identification guide to marine fish larvae, 2nd edition. Bill, Leiden.
- 佐々千由紀・小西芳信. 2014a. サバ属. 沖山宗雄 (編), pp. 1386–1387. 日本産稚魚図鑑 第二版. 東海大学出版会, 秦野.
- 佐々千由紀・小西芳信. 2014b. マサバ. 沖山宗雄 (編), pp. 1387–1389. 日本産稚魚図鑑 第二版. 東海大学出版会, 秦野.
- 佐々千由紀・小西芳信. 2014c. ゴマサバ. 沖山宗雄 (編), pp. 1389–1391. 日本産稚魚図鑑 第二版. 東海大学出版会, 秦野.
- 佐々千由紀・斉藤真美・北村 徹・小西芳信・塚本洋一. 2014. 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. 水産海洋研究, 78: 36–44.
- Sekharan, K. V. 1958. On the south Kanara coastal fishery for mackerel, *Rastrelliger canagurta* (Cuvier) together with notes on the biology of the fish. Indian J. Fish., 5: 1–31.
- 清水昭男. 2006. 魚類の生殖周期と水温等環境条件との関係. 水産総合研究センター研究報告, 別冊4: 1–12.
- 下瀬 環・今井秀行. 印刷中. ゴマサバ *Scomber australasicus* 成魚の八重山海域からの記録と Scombrini 族の臀鰭棘について. Fauna Ryukyuna.
- Silas, E. G. 1974. Larvae of the Indian mackerel, *Rastrelliger kanagurta* (Cuvier) from the west coast of India. Indian J. Fish., 21: 233–253.
- Sivadas, M., S. M. Sathakkathullah, K. S. Kumar and K. Kannan. 2016. Assessment of impact of fishing on Indian mackerel *Rastrelliger kanagurta* (Cuvier, 1816) in Tuticorin, south-east coast of India. Indian J. Fish., 63: 33–38.
- Sousa, M. I. and H. Gislason. 1985. Reproduction, age and growth of the Indian mackerel, *Rastrelliger kanagurta* (Cuvier, 1816) from Sofala Bank, Mozambique. Rev. Inv. Pesq., 14: 1–28.
- Tachihara, K., K. Nakao, K. Tokunaga, Y. Tshako, M. Takada and T. Shimose. 2003. Ichthyofauna in mangrove estuaries of the Okinawa, Miyako, Ishigaki and Iriomote Islands during August from 2000 to 2002. Bull. Soc. Sea Water Sci. Jpn., 57: 481–490.

- 上原匡人. 2015. 琉球列島におけるドロクイ属2種の資源生態および初期生活史に関する研究. 琉球大学大学院理工学研究科博士論文. 393 pp.
- Uehara, M., A. Ebisawa and I. Ohta. 2018. Reproductive traits of deep-sea snappers (Lutjanidae): Implication for Okinawan bottomfish fisheries management. *Reg. Stud. Mar. Sci.*, 17: 112–126.
- 上原匡人・本永文彦・立原一憲・太田 格・海老沢明彦. 2015. 沖縄島周辺海域におけるグルクマの生物学的特性. 沖縄県水産海洋技術センター事業報告書, 75: 49–52.
- 上原匡人・立原一憲. 2016. 沖縄島中城湾に出現するドロクイ属2種の仔稚魚の形態変化. 水産増殖, 64: 321–331.
- 渡邊千夏子. 2010. マサバ太平洋系群の繁殖特性の変化とその個体群動態への影響. 水産海洋研究, 74 (特集号): 46–50.
- Yohannan, T. M. 1979. The growth pattern of Indian mackerel. *Indian J. Fish.*, 26: 207–216.
- Yohannan, T. M. and U. C. Abdurahiman. 1998. Maturation and spawning of Indian mackerel. *Indian J. Fish.*, 45: 399–406.
- 吉野哲夫・西島信昇・篠原士郎. 1975. 琉球列島産魚類目録. 琉球大学理工学部紀要 理学編, 20: 61–118.