

北西太平洋海域におけるメジナおよび
クロメジナ（スズキ目メジナ科）の生活史戦略

日本大学大学院生物資源科学研究科生物資源生産科学専攻
博士後期課程

伊藤 洸

2018

目次

第Ⅰ章	序論	1
第Ⅱ章	黒潮上流域におけるクロメジナの性成熟	4
Ⅱ-1	緒言	4
Ⅱ-2	材料および方法	5
Ⅱ-2-1	供試魚の収集	5
Ⅱ-2-2	魚体の計測・計数方法	6
Ⅱ-2-3	メジナ属成魚の種判別	6
Ⅱ-2-4	PCR-RFLP 分析	7
Ⅱ-2-5	生殖腺指数 (GSI) の算出	7
Ⅱ-2-6	生殖腺の組織標本の作製	8
Ⅱ-2-6-1	凍結切片作製法	8
Ⅱ-2-6-2	パラフィン切片作製法	8
Ⅱ-3	結果	9
Ⅱ-3-1	GSI	9
Ⅱ-3-2	卵巢の発達段階	10
Ⅱ-3-3	精巢の発達段階	11
Ⅱ-3-4	生殖腺の組織形態	11
Ⅱ-3-5	澎湖島のメジナ属の種判別	12
Ⅱ-4	考察	13
Ⅱ-4-1	クロメジナの産卵場と産卵期	13
Ⅱ-4-2	クロメジナの性成熟	13
図, 表		15
第Ⅲ章	関東-伊豆および九州南部のメジナ属稚魚の出現種組成	22
Ⅲ-1	緒言	22

III-2	材料および方法	23
III-2-1	供試魚の採集	23
III-2-2	魚体の計測	23
III-2-3	DNA 分析に基づく種判別	24
III-2-4	統計解析	24
III-3	結果	24
III-3-1	相模湾の種組成	24
III-3-2	相模湾における出現時期	26
III-3-3	他海域における着底稚魚の出現種組成	27
III-3-4	メジナ属稚魚の標準体長と肥満度	27
III-4	考察	29
III-4-1	メジナの成育場利用	29
III-4-2	クロメジナの成育場利用	30
III-4-3	メジナ属の再生産における黒潮の重要性	32
	図, 表	35
第IV章	メジナ属魚類における海藻からの栄養摂取	46
IV-1	緒言	46
IV-2	材料および方法	47
IV-2-1	供試魚の収集	47
IV-2-2	魚体の計測および種判別	47
IV-2-3	試料の摘出	48
IV-2-4	胃内容物観察	48
IV-2-5	酵素活性試験	48
IV-2-5-1	粗酵素液の作製	49
IV-2-5-2	染色および脱色	49

IV-2-6	活性反応の判定	49
IV-3	結果	50
IV-3-1	胃内から検出された餌生物	50
IV-3-2	セルロース分解酵素活性反応の概要	50
IV-3-2-1	成魚	50
IV-3-2-2	若魚	50
IV-3-2-3	稚魚	51
IV-3-3	季節毎のセルロース分解酵素活性反応	51
IV-3-3-1	若魚	51
IV-3-3-2	稚魚	53
IV-3-4	若魚におけるセルロース分解酵素活性反応の種間差	54
IV-3-5	稚魚におけるセルロース分解酵素活性反応の種間差	55
IV-4	考察	55
	図, 表	58
第V章	総括	62
	謝辞	65
	参考文献	67

第 I 章 序論

スズキ目メジナ科の魚類はメジナ属 (*Girella* 属) 15 種と *Graus* 属 1 種からなり、メジナ属は日本近海に 3 種、北米カリフォルニア近海に 1 種、南太平洋東部海域に 4 種、オセアニア近海に 6 種、そして北アフリカ西岸の大西洋に 1 種が分布している (Yagishita and Nakabo, 2000)。このうち太平洋北西海域に分布しているのは、メジナ *Girella punctata*, クロメジナ *G. leonina*, およびオキナメジナ *G. mezinga* の 3 種である。南方系のオキナメジナは日本沿岸でほとんど漁獲されていないが、メジナとクロメジナは比較的漁獲量の多い種であり、日本沿岸各地で重要な水産資源として利用されている。

メジナとクロメジナの両種はいずれも広域的に分布しており、複数の国の排他的経済水域にまたがって生息している (Yagishita and Nakabo, 2000)。分布の北限は、太平洋側では両種ともに千葉県房総半島沿岸、日本海側のメジナでは新潟県沿岸、クロメジナでは対馬海峡付近と見なされている。分布の南限は、メジナでは中国の福建省沿岸、クロメジナでは香港沿岸と見なされている。日本国内だけでなく台湾や中国でも市場価値の高い水産魚として取引されていることから、両種の資源を適切に管理するためには、分布域全体を視野に入れ、国の垣根を越えて両種の生活史特性を明らかにする必要がある。

従来、日本近海におけるメジナ属魚類の繁殖生態は、メジナについて詳しく解明されてきた。メジナの生殖腺指数 (Gonadosomatic Index, GSI) は、種子島沿岸では 3 月、紀伊半島南部 (串本) と伊豆諸島北部 (下田) の沿岸では 4 月、九州北西部 (佐世保) の沿岸では 5 月に著しく高い値を示すことが報告されている (水江・三上, 1960 ; 前田ほか, 2002 ; Nakai et al., 2015 ; Takai et al., 2017) 。また、メジナの卵巣組織を観察した結果により、種子島沿岸では 3-4 月、伊豆諸島北部沿岸では 4-5 月に成熟した卵細胞が形成されることが報告されている (Takai et al., 2017) 。したがって、メジナは本州から九州にかけて複数の海域

で産卵しており，産卵期は種子島沿岸では3-4月，紀伊半島南部と伊豆諸島北部の沿岸では4-5月，九州北西部沿岸では5月であるとみなすことができる．この推定産卵期は，従来から考えられているメジナの産卵期（2-6月；荒賀，1997；小西，2014a）と概ね合致している．

一方，クロメジナについては成熟個体の報告例が未だに無い．荒賀（1997）では11-12月，小西（2014b）では10-2月がクロメジナの産卵期とみなされているが，種子島沿岸や伊豆諸島北部沿岸で漁獲されたクロメジナの生殖腺は，秋から冬にかけての時期においても未発達であることが報告されている（Nakai et al., 2015; Takai et al., 2017）．ただし，クロメジナの生殖腺は伊豆諸島北部海域よりも種子島海域の方が発達していたことから（Takai et al., 2017），種子島より南方の黒潮上流域にクロメジナの産卵場が存在していることが示唆された．

このように成魚の産卵期と産卵場に関する種間差は不明瞭な状況にあるが，着底稚魚の出現状況については明瞭な種間差が報告されている．Nakai et al. (2015) が伊豆半島南部沿岸の潮間帯におけるメジナ属稚魚（標準体長 25 mm 未満）の種組成を DNA 分析に基づき精査した結果では，クロメジナの稚魚は1-6月に出現したのに対し，メジナの稚魚は4-7月に出現していた．また，両種の組成は1-4月にはクロメジナに偏っていたのに対し，5-7月にはメジナに偏っていた（Nakai et al., 2015）．したがって，クロメジナはメジナより3-4ヶ月ほど早い時期に産卵している可能性が高いと考えられる．ただし，これは伊豆半島南部沿岸についての結果であり，他の海域におけるクロメジナ稚魚の出現状況については良く分かっていない．クロメジナの繁殖生態を解明するためには，成魚の成熟状況と稚魚の出現状況を並行して調べ，結果を照合する必要がある．

着底稚魚の成育に関しては，どのような餌物質が栄養源になっているかも良く分かっていない．一般にメジナ属魚類は，小型無脊椎動物とともに海藻を摂食する雑食者であると考えられている．仔稚魚は動物プランクトンを摂食して

いるが、成長に伴い海藻類などの植物が胃内容物の大部分を占めるようになることが報告されている（三郎丸・塚原，1984）。両種は海藻食に適した歯や消化管を持つことも報告されており（Kanda and Yamaoka, 1995; 神田，2011），胃内容物組成について報告されている傾向は消化器官の形態的特徴と合致している。しかしながら，消化吸收の面からはメジナ属魚類の海藻からの栄養摂取について疑問が呈されており（Clements and Choat, 1997），メジナ属魚類が実際に海藻を消化し栄養源としているかは未だ不明な状態にある。

以上の点を踏まえ，本研究では北西太平洋海域におけるメジナとクロメジナの産卵期と産卵海域，成育海域，および成育するための栄養源に焦点を絞り，両種の生活史に関する生態研究を実施した。台湾の国立台南大学との共同研究により台湾近海で漁獲されたクロメジナ成魚を収集するとともに，南西諸島の奄美大島沿岸と沖縄本島沿岸で漁獲されたクロメジナ成魚を収集し，成熟度分析を実施してメジナとクロメジナの繁殖特性の種間差を推定した。また，関東-伊豆地方および九州南部地方の沿岸域でメジナ属の稚魚を採集し，DNA 分析に基づいて両種の出現種組成を調べることにより，成育場利用特性の種間差を推定した。さらに，メジナ属魚類が何を栄養源にして成育しているかを推定するため，消化管の内壁および内容物について消化酵素活性試験を実施した。最終的に，これらの結果を総合することによりメジナとクロメジナの繁殖に関する生活史戦略を考察した。

第Ⅱ章 黒潮上流域におけるクロメジナの性成熟

Ⅱ-1 緒言

日本近海におけるメジナ属魚類の繁殖特性は、これまで主にメジナについて報告されてきた。メジナの生殖腺指数 (Gonadosomatic Index: GSI) は、種子島沿岸では3月、紀伊半島南部(串本)と伊豆諸島北部(下田)の沿岸では4月、九州北西部(佐世保)の沿岸では5月に著しく高い値を示す(Takai et al., 2017; 前田, 2002; Nakai et al., 2015; 水江・三上, 1960)。また、生殖腺の組織観察により、種子島沿岸では3-4月、伊豆諸島北部沿岸では4-5月に成熟した卵細胞が形成されることが報告されている(Takai et al., 2017)。したがって、日本近海におけるメジナの主産卵期は3-5月であり、産卵場は九州沿岸から伊豆諸島北部にかけての広い範囲に渡って形成されていると見なすことができる。

一方、クロメジナについては成熟個体の報告例がない。クロメジナの産卵期は11-12月(荒賀, 1997)もしくは10-2月(小西, 2014b)と記載されているが、種子島や伊豆諸島北部の沿岸で漁獲されたクロメジナの生殖腺は、秋から冬にかけて未発達であることが報告されている(Takai et al., 2017)。ただし、種子島産クロメジナのGSIの最大値は伊豆諸島北部における最大値より高く、卵巣の組織形態も種子島産クロメジナの方が成熟に近い段階にあったことから(Takai et al., 2017)、種子島は伊豆諸島北部よりもクロメジナの産卵場に近い可能性が示唆されている。そこで本研究では、種子島より南方の黒潮上流域にクロメジナの産卵場が形成されていると予想し、台湾近海および南西諸島近海のクロメジナについて成熟度分析を実施した。

本研究では、このように黒潮上流域に焦点を絞って分析を進める過程で、台湾海峡の澎湖島にメジナ属魚類の種苗生産を行っている施設があることを見出した(澎湖懸水産種苗繁殖場)。この施設では、「クロメジナ(黒瓜子鱺)」と呼ばれる種の人工種苗も飼育されていた。澎湖産人工種苗は、鰓蓋の黒い縁取り、

長い尾鰭，小さく数の多い鱗など，日本の沿岸海域で漁獲されるクロメジナと同じ形態的特徴を有していたが，産卵期と見なされている時期は 1-4 月で，従来よりクロメジナの産卵期と考えられてきた 11-12 月（荒賀，1997）や 10-2 月（小西，2014b）と著しく異なっていた．このような顕著な相違の原因としては，従来考えられていたクロメジナの産卵期が間違っていた可能性，もしくは澎湖産人工種苗が外部形態の酷似した別種である可能性が考えられる．

そこで本研究では，北西太平洋海域におけるクロメジナの繁殖特性を明らかにするために，黒潮上流域の台湾近海，および南西諸島の奄美大島沿岸と沖縄本島沿岸からクロメジナの成魚を収集し成熟度分析を行った．また，澎湖島の人工種苗について分子遺伝学的手法による種判別を実施し，日本産クロメジナとの同一性を検討した．

II-2 材料および方法

II-2-1 供試魚の収集

本研究では，黒潮沿いの台湾近海および南西諸島沿岸を対象海域とした．黒潮は，北向きに流れる西岸境界流である（安田，2011）．北緯 15-20 度付近を西に向かう北赤道海流がフィリピンから台湾にかけての海域で陸地にぶつかり，一部が北向きに転じて黒潮の源となる．台湾と石垣島の間を抜けて東シナ海に入った黒潮は，大陸棚の外縁に沿って北上し，九州南方のトカラ海峡を東に抜けて太平洋に入り日本沿岸を東向きに流れる．

2014 年 12 月，2015 年 3 月，2016 年 1-3 月，2016 年 12 月，2017 年 1-3 月，および 2017 年 12 月に台湾北部沿岸で漁獲されたクロメジナ成魚を計 103 尾収集した（Fig. 1）．2017 年 12 月の 1 個体は，澎湖島周辺海域で漁獲された個体であった．台湾北部沿岸では例年，12 月頃からクロメジナが漁獲され始め，翌春にはほとんど獲れなくなる（黄，私信）．そのため，4-11 月のクロメジナは入手

できなかった。南西諸島の奄美大島からは2013年12月と2014年2月に計8尾が収集され、沖縄本島からは2016年1月と2017年2月に計3尾が収集された (Fig. 1)。ほとんどの個体は釣獲により漁獲されたが、奄美大島の一部の個体は銚子で漁獲された。両島ともクロメジナの漁獲量は極めて少ないため、収集個体数は限定的であった。収集個体は-20℃の冷凍庫で保存した。

II-2-2 魚体の計測・計数方法

供試魚を解凍した後、体重（湿重量）、全長、尾叉長、および標準体長を計測するとともに、臀鰭鰭条数（棘条、軟条）、有孔側線鱗数、および背鰭中央下側線上方横列鱗数を計数した。また、供試魚を解剖して生殖腺、胃、および腸を摘出し、それぞれの重量を計測した。生殖腺は、ブアン溶液で2-3日間固定した後、99.5%エタノールに移し替え保存した。

II-2-3 メジナ属の種判別

成魚の種判別は、形態による判別方法に基づいて行った。Yagishita and Nakabo (2000) に従い、背鰭中央下側線上方横列鱗数、有孔側線鱗数、尾鰭の長さ、および鰓蓋後縁部の色に基づいてメジナとクロメジナを判別した。

澎湖島から収集したメジナ属稚魚の種判別は、Itoi et al. (2007) が報告したミトコンドリアDNA (mtDNA) のポリメラーゼ連鎖反応 (polymerase chain reaction, PCR) および制限酵素断片長多型 (restriction fragment length polymorphism, RFLP) を用いての判別方法に基づいて行った。DNAの抽出には供試魚の骨格筋を用い、Sezaki et al. (1999) に従い塩基配列情報を解読した。mtDNAの16S rRNA遺伝子領域と制御領域のDNA断片をPCRにより増幅した。Palumbi et al. (1991) とItoi et al. (2007) に従い、16S rRNA領域のプライマーには16SAR-Lm (5'-CGCCTGTTTATCAAAAACAT-3') と16SBR-Hm

(5'-CCGGTCTGAACTCAGATCACGT-3') を用い、制御領域のプライマーには fDloop F (5'-TTCCTGGCATTGTTTCCTACTTCAG-3') と ftRPhE R (5'-CCATCTTAACATCTTCAGTGTTATGC-3') を用いた。PCR反応液の全量は1反応あたり20 μ lとし、抽出DNA 5 μ lと *GoTaq Flexi* DNA polymerase (Promega, USA) 1ユニットに、5 \times Green *GoTaq Flexi* Buffer (Promega) を4.0 μ l, 5 μ Mのプライマーを2.6 μ l, 2.5 mMのdNTP Mixを1.6 μ l, 25 mMのMgCl₂ を2 μ l加えて調製した。PCR反応にはサーマルサイクラー (nexusGSX1, eppendorf) を用いた。95°Cで1分間保温した後、95°Cで10秒間、55°Cで30秒間、72°Cで45秒間を1サイクルとする温度処理を35サイクル行い、各領域を増幅させた。

II-2-4 PCR-RFLP分析

16S rRNA遺伝子領域のPCR産物5 μ lには制限酵素*Hinf*I (ニッポン・ジーン, 日本), 制御領域のPCR産物5 μ lには制限酵素*Xba*I (ニッポン・ジーン) を加え、それぞれ混合させた。混合液を37°Cで1時間保温し、酵素反応を活性化させた。染色液混合のアガロース (1%) で調整したゲルのスロットに試料を注入し、50 Vで40-50分間の電気泳動を施した。その後、青色LED照射下で蛍光を発するバンドパターンを確認し、種判別を行った。メジナの16S rRNA遺伝子を制限酵素*Hinf*Iで消化した場合には490 bpと123 bpの断片が生成され、制御領域を制限酵素*Xba*Iで消化した場合には429 bpと95 bpの断片が生成される。両酵素をクロメジナの遺伝子に用いた場合には切断部分がなく、PCR産物としてバンドが1本のみ現れる。

II-2-5 生殖腺指数 (GSI) の算出

GSIは、前田ら (2002) に従い生殖腺重量 (GW, g) と体重 (BW, g) を用いて以下の式により算出した。

$$\text{GSI} = (\text{GW} / \text{BW}) \times 10^2$$

各重量は小数点第 1 位まで計測した。

II-2-6 生殖腺の組織標本の作製

II-2-6-1 凍結切片作製法

卵巣の組織標本は Kawamoto (2003) に従い凍結切片作製法で作製した。70%エタノールで固定した卵巣標本を一晩流水中に浸してエタノールを除去した。ヘキサンとドライアイスの入ったデュア一瓶に卵巣組織を入れ、-80℃で急速凍結させた。その後、包埋剤を注入した容器に卵巣組織を入れ、再び凍結させた。凍結後、容器から凍結包埋ブロックを取り出し、ブロックを試料ホルダーに接着させた。この試料ホルダーを凍結マイクロームに取り付け、試料の温度が-15--20℃に達するまで静置した。トリミング後、卵巣組織を 5μm の厚さに薄切し、粘着フィルムに組織を貼り付けた後に 100%エタノール中に 10-20 秒浸した。エタノールを流水で洗浄し、ヘマトキシリン・エオジン (HE) 染色を施した。切片面を上に向けて、粘着フィルムをスライドガラス上に置き、切片上にヘマトキシリンを滴下して 5 分間染色した。試料を流水中で水洗いし、エオジンで 1 分間染色した後、エオジンを流水中で水洗いした。染色後、粘着フィルムの切片側とスライドガラスの接着面に、封入剤を滴下し密着させ、封入剤が乾燥するまで一昼夜以上静置した。その後、光学顕微鏡 (BX43, OLYNPUS) を用いて組織形態を観察した。

II-2-6-2 パラフィン切片作製法

精巣の組織標本はパラフィン切片作製法で作成した。精巣標本を 70%エタノ

ールで固定した後、一晚流水中に浸してエタノールを除去した。この精巣組織を70%、90%、100%のエタノールに1時間ずつ順に浸し、その後、無水エタノールに1時間浸して脱水する処理を3回繰り返した。さらに組織の透徹のためトルエン・エタノール混合液（トルエン：エタノール=1：1）に30分間浸し、次いでトルエンに30分間浸す処理を2回繰り返した。この組織を低融点パラフィンに1晩浸し、次いで高融点パラフィンに10分間浸す処理を2回繰り返した後、容器に組織と高融点パラフィンを流し込み包埋した。包埋組織を台木に付け、小型回転式マイクロトームで4 μ mの厚さに薄切した後、スライドガラスにのせ脱気水で伸展させ、十分に乾燥させた。切片をキシレンに5分間浸す処理を2回繰り返した後、無水、100%、90%、70%の各エタノールに5分間ずつ順に浸し、1分間流水で洗浄して脱パラフィンを行った。染色に際しては、ヘマトキシリン液で8分間染色した後に流水で10分間程洗浄し、エオジン液で30秒染色した後に流水で数秒間洗浄した。切片を70%、90%、100%の各エタノールに数秒ずつ順に浸し、次いで、無水エタノールに3分間程浸し、その後キシレンに5分間浸す処理を2回繰り返した。最後にMOUNT-QUICK (DAIGO SANGYO社)を用いてカバーガラスで封入し、光学顕微鏡 (BX43, OLYMPUS) で組織形態を観察した。

II-3 結果

II-3-1 GSI

2014年12月から2017年12月までの期間に台湾近海で漁獲されたクロメジナの雌のGSIは0.11–8.06の範囲にあり、最大値(8.06)は1月に認められた (Fig. 2a)。この最大値は伊豆諸島北部で漁獲された雌の最大値(3月, 0.23, Nakai et al., 2015) や種子島沿岸で漁獲された雌の最大値(1月, 4.02, Takai et al., 2017) より顕著に高かった。ただし、伊豆諸島北部のメジナについて報告されている

GSI の最大値は 15.45 であり (Nakai et al., 2015) , 台湾産クロメジナの最大値はメジナの最大値を下回っている。

台湾沿岸で漁獲されたクロメジナの雄の GSI 値は 0.02–4.62 の範囲にあり, 最大値 (4.62) は 12 月に認められた (Fig. 2b) . 雄の最大値は伊豆諸島北部で漁獲された雄の最大値 (3 月, 0.41, Nakai et al., 2015) より高かったが, 種子島沿岸で漁獲された雄の最大値 (1 月, 4.84, Takai et al., 2017) とはほぼ変わらない値であった。

奄美大島沿岸で漁獲されたクロメジナの GSI は, 雌では 0.24–6.89, 雄では 0.19–3.07 の範囲にあり, 最大値は雌雄とも 2 月に認められた (雌 6.89, 雄 3.07) (Fig. 3a, 3b) . 雌の最大値は台湾沿岸の最大値よりは低かったが, 種子島沿岸の最大値 (4.01) よりは高かった。沖縄本島沿岸で漁獲されたクロメジナの GSI は極めて低く, 最大値は 1 月の 0.01 という値であった (Fig. 3c) . 2 月の個体に至っては, 生殖腺が小さすぎて重量の計測さえできなかった。

このようにクロメジナの GSI は黒潮の上流側の海域で高い値を示す傾向にあった。特に卵巣の GSI でその傾向が強く, 伊豆諸島北部, 種子島沿岸, 奄美大島沿岸, 台湾沿岸の順に GSI の最大値が上昇していった。一方, 沖縄本島は台湾に近い南方海域に位置しているが, 黒潮の流路からは 100km 以上離れており, クロメジナの GSI は著しく低い値を示す結果となった。

II-3-2 卵巣の発達段階

本研究では Takai et al. (2017) を基にして卵巣を 7 段階に区分した。最初の「染色仁期 (F I)」には核内の仁が大きく目立つようになり, 次の「周辺仁期 (F II)」には核膜に沿って仁が並ぶようになる。「卵黄胞期 (F III)」には, 肥大化した細胞質中に卵黄胞が生じる。「卵黄球期 (F IV)」には, 細胞質内に顆粒状の卵黄球が現れる。「核移動期 (F V)」には, それまで中心部に位置していた核が, 細胞

の端へと移動する。「完熟期 (FVI)」に至ると核が消失し、卵黄球が融合して塊を形成する。「退縮期 (FVII)」には、産卵期を過ぎて産み残された卵巣中の卵が、崩壊しつつ体内に吸収されている。この7段階のうち、「核移動期 (FV)」と「完熟期 (FVI)」が最も成熟した発達段階である。

II-3-3 精巣の発達段階

本研究では Takai et al. (2017) を基にして精巣を6段階に区分した。「成長期 (MI)」には、精小嚢内に様々な成熟段階の細胞が出現し始めるが、主に精原細胞または精母細胞を含む包嚢群で満たされ、精細胞が極めて少ない。「成長期-成熟期 (MII)」には、成長期と同じく精小嚢内には様々な段階の細胞が存在しているが、精細胞の割合が高くなり、精子も多く形成される。「機能的成熟期 (MIII)」には、精小嚢内が精子で満たされ、精巣は十分に成熟する。機能的成熟期が最も発達した段階である。「成熟期-後放精期 (MIV)」には、精巣内に精子を多く残しながらも変態中の細胞が見られなくなり、隙間が目立つようになる。「後放精期 (MV)」には、精子が少数認められるものの、空所が増え嚢胞に接する壁が厚くなる。「休止期 (MVI)」には、精子が認められず、結合組織に沿って精原細胞のみが認められる。

II-3-4 生殖腺の組織形態

台湾近海で漁獲されたクロメジナの雌51個体のうち、10個体から完熟期の卵細胞が検出された。2個体は12月、7個体は1月、1個体は3月の漁獲個体であった。完熟期の雌個体が最も多かった1月は、GSIの最大値(8.06)が認められた月でもある(Figs. 2a, 4a)。GSI値が低下した2-3月の雌には、退縮期の個体が合計13尾含まれていた(Fig. 4a)。伊豆諸島北部沿岸や種子島沿岸の雌では、完熟期および退縮期は確認されていない(Takai et al., 2017)。台湾産クロメジナ

の分析結果は、伊豆諸島北部や種子島の結果と対照的であったといえる。

台湾近海で漁獲されたクロメジナの雄 52 個体のうち、9 個体から機能的成熟期の精巣が検出された。2 個体は 12 月、1 個体は 1 月、2 個体は 2 月、4 個体は 3 月の漁獲個体であった (Fig. 4b)。このように、雄の GSI 値が高かった 12-1 月には精巣の組織形態も機能的成熟期を迎えていた (Figs. 2b, 4b)。GSI 値の低下にともない、3 月には休止期の雄が 1 個体検出された (Fig. 4b)。雄の場合、伊豆諸島北部沿岸や種子島沿岸でも機能的成熟期および休止期の精巣が検出されており (Takai et al., 2017)、台湾の分析結果はこうした海域の結果と共通していた。

奄美大島沿岸で漁獲されたクロメジナの卵巣は成熟には至っていなかったが、発達段階は卵黄球期には達していた (Fig. 5a)。この結果は、雌の GSI の最大値が 6.89 と比較的高い値を示した結果と合致していた。雄では GSI 値はあまり高くなかったが、機能的成熟期の精巣が検出された (Fig. 5b)。一方、沖縄本島沿岸で漁獲されたクロメジナの生殖腺は、ほぼ全く発達しておらず雌雄の判別もできないほどであった。

雌雄とも、成熟した組織形態の生殖腺は必ずしも GSI 値の高い個体のみから検出されたわけではなく、GSI 値の低い個体からも検出された。台湾近海のクロメジナでは、GSI 値が 1.05 の雌や 0.08 の雄から成熟した生殖腺が検出されている (Figs. 2, 4)。

II-3-5 澎湖島のメジナ属の種判別

澎湖島の澎湖水産種苗繁殖場で飼育されていた人工種苗のメジナ属稚魚 30 個体を mtDNA の PCR-RFLP に供した結果、全ての個体がクロメジナと同定された (Fig. 6)。したがって、澎湖島の人工種苗は外部形態だけでなく DNA の塩基配列の面からも日本産のクロメジナと同一種であると見なしうる。

II-4 考察

II-4-1 クロメジナの産卵場と産卵期

台湾近海のクロメジナでは12月下旬から3月中旬にかけての期間に漁獲された雌10個体から完熟期の卵巣が検出されたが、奄美大島沿岸や沖縄本島沿岸の雌からは完熟期の卵巣は検出されなかった (Figs. 4a, 5a). 台湾近海の成熟個体のうち、7個体は1月に漁獲された個体であった (Fig. 4a). この結果は、1月に最大値 (8.06) を迎えた GSI の季節変動と合致していた (Fig. 2a). クロメジナは黒潮最上流域に近接する台湾近海で12月下旬から3月中旬にかけての時期に成熟し産卵しており、その最盛期は1月頃であることが示唆された (Fig. 4).

澎湖島の澎湖水産種苗繁殖場から収集した30個体の人工種苗は、mtDNA のPCR-RFLPを用いた種判別法により全てクロメジナと同定された (Fig. 6). したがって、澎湖島の人工種苗は日本産クロメジナと同一種であると見なすことができる. 澎湖島の人工種苗の産卵期は1-4月と考えられており (澎湖水産種苗繁殖場, 私信), 本研究で推定された産卵期 (12-3月) と概ね合致している. クロメジナの産卵期は、従来、11-12月 (荒賀, 1997) もしくは10-2月 (小西, 2014) と見なされてきたが、実際にはそれよりもずっと遅い時期であり、クロメジナが秋季に産卵する可能性は低いと考えられる.

ただし、クロメジナの分布域の南限は澎湖島よりも約1°N (約111km) 南方の香港と見なされていることに注意を要する (Yagishita and Nakabo, 2000). 香港周辺の中国沿岸域でクロメジナが秋季に産卵している可能性についても、今後検討する必要がある.

II-4-2 クロメジナの性成熟

台湾近海で漁獲されたクロメジナの GSI の最大値 (8.01) は、奄美大島 (6.89)

や沖縄本島 (0.01) の最大値よりも高く (Figs. 2a, 3a, 3c), 種子島 (4.01; Takai et al., 2017) や伊豆諸島北部 (0.23; Nakai et al., 2015) について報告されている最大値も上回っていた。注目すべきは、伊豆諸島北部, 種子島, 奄美大島, 台湾の順に GSI の最大値が高くなっている点である。この結果は、クロメジナの GSI が黒潮の下流域から上流域にかけて徐々に上昇していることを示唆している。種子島以南では、沖縄本島のみ GSI が際だって低い値であったが、これは 100km 以上離れた沖縄本島と黒潮流路の位置関係に起因していると考えられる。

台湾産クロメジナの GSI の最大値 (8.06) はクロメジナの値としては最も高かったが (Fig. 2a), 伊豆諸島北部のメジナの GSI 値よりは低かった (雌 15.45, 雄 16.54; Nakai et al., 2015)。クロメジナの成魚は台湾北部沿岸で成熟状態に達しているが、台湾南西沖の澎湖島周辺海域に移動する過程で生殖腺重量を更に増した上で産卵に至ると考えられる。

奄美大島沿岸で漁獲されたクロメジナの GSI の最大値 (6.89) は台湾の最大値 (8.06) に近かったが (Figs. 2a, 3a), 奄美大島の卵巣の発達段階は卵黄球期までの段階にあった (Fig. 5a)。奄美大島沿岸で性成熟個体が得られなかった要因としては、環境水温の地理的差異が関係している可能性が考えられる。気象庁の観測データによれば、2017 年 2 月中旬の海面温度は台湾南部近海では 24°C であったのに対し、奄美大島沿岸域では 21°C であった (気象庁: https://www.data.jma.go.jp/kaiyou/data/db/kaikyo/daily/sst_HQ.html)。台湾南部近海の高水温環境がクロメジナ成魚の性成熟を誘発している可能性がある。



Figure 1. The study area. The girellid fish were collected from Taiwan, Amami-Oshima Island, and Okinawa Main Island.

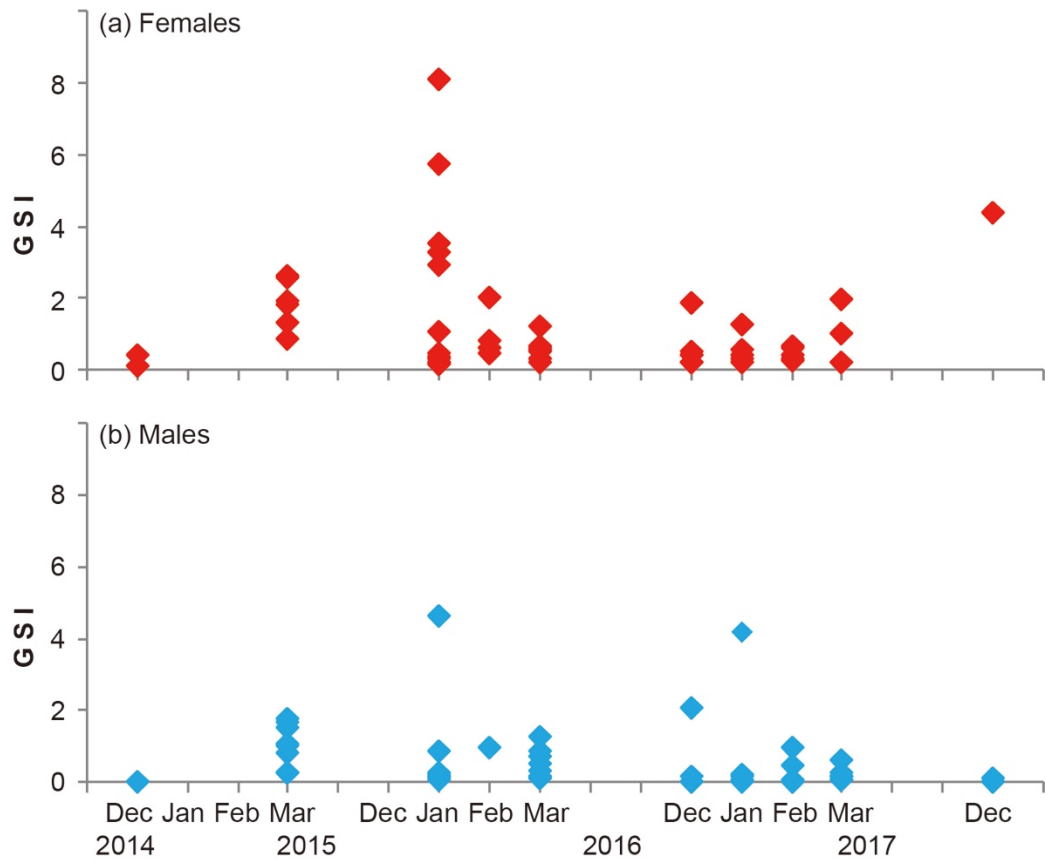


Figure 2. Monthly changes in GSI of *G. leonina* collected from the Taiwan region. (a) Females. (b) Males.

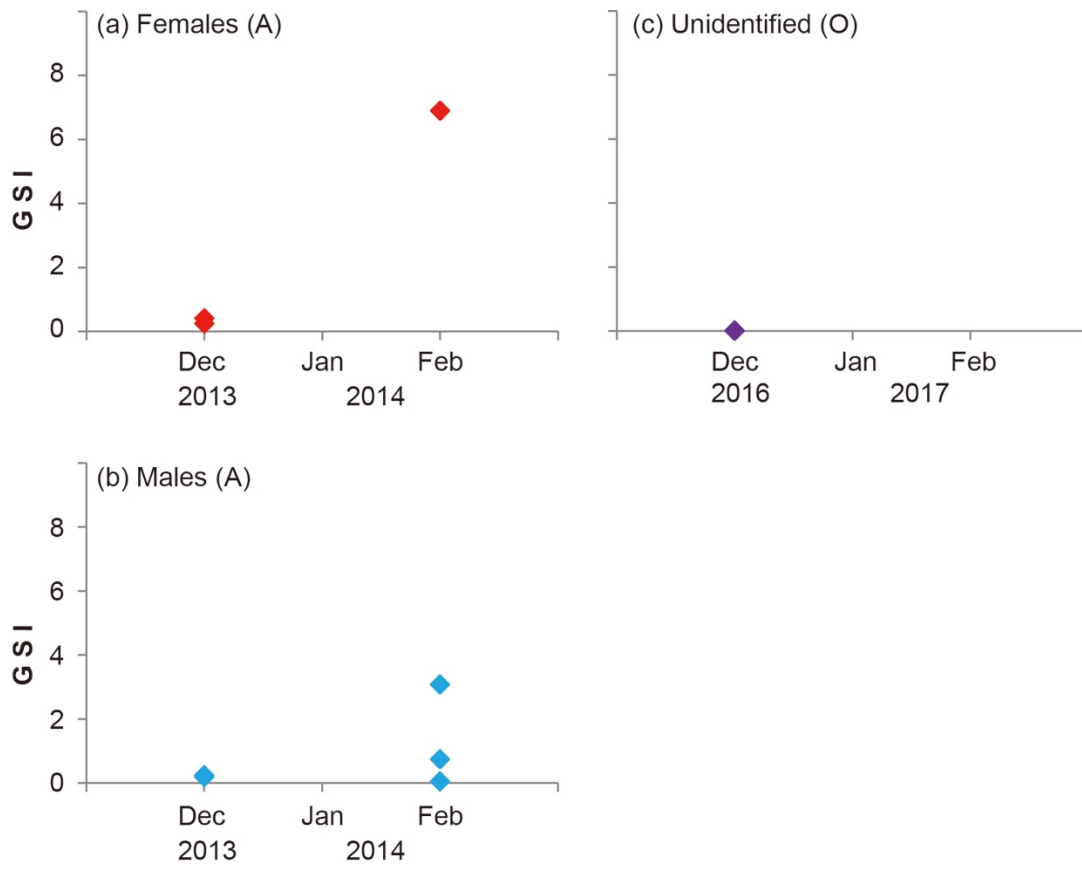


Figure 3. Monthly changes in GSI of *G. leonina* collected from the Amami-Oshima Island (A), and the Okinawa Main Island (O). (a) Females. (b) Males. (c) Unidentified.

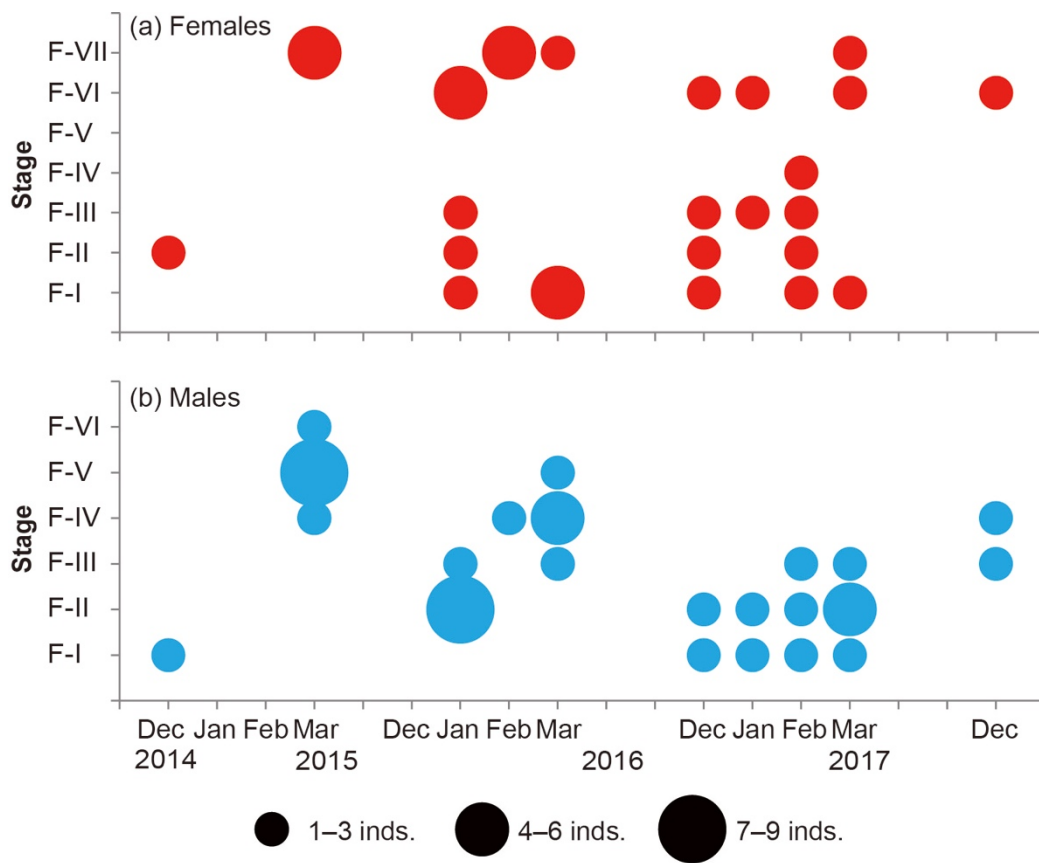


Figure 4. Monthly changes in the stages of gametogenesis for *G. leonina* collected from the Taiwan region. (a) Oogenesis in the ovary. (b) Spermatogenesis in the testis.

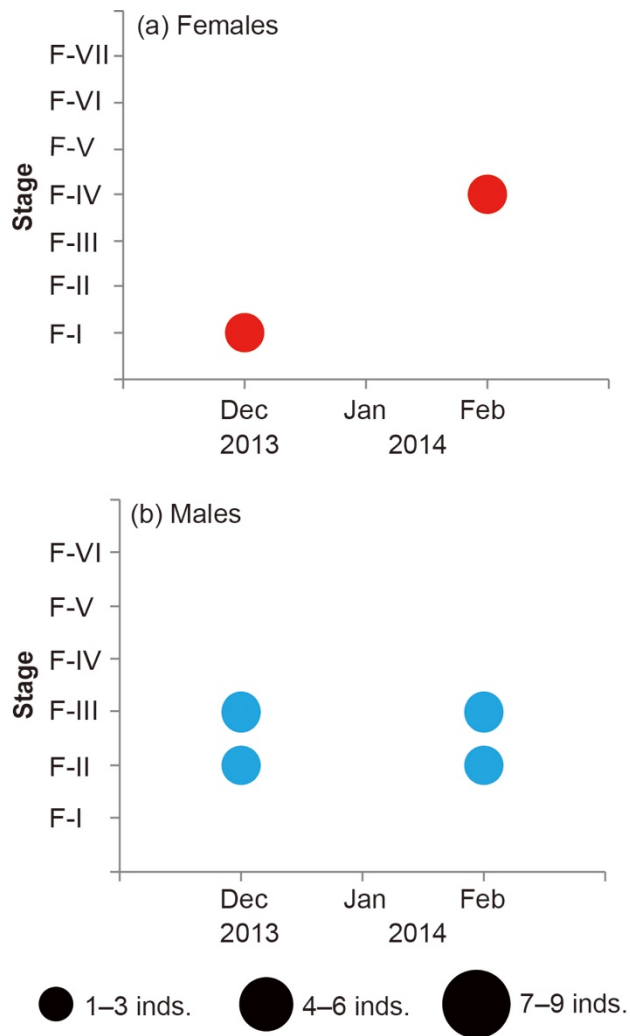


Figure 5. Monthly changes in the stages of gametogenesis for *G. leonina* collected from the Amami-Oshima Island. The sexes of the individuals collected from the Okinawa Main Island could not be identified. (a) Oogenesis in the ovary. (b) Spermatogenesis in the testis.

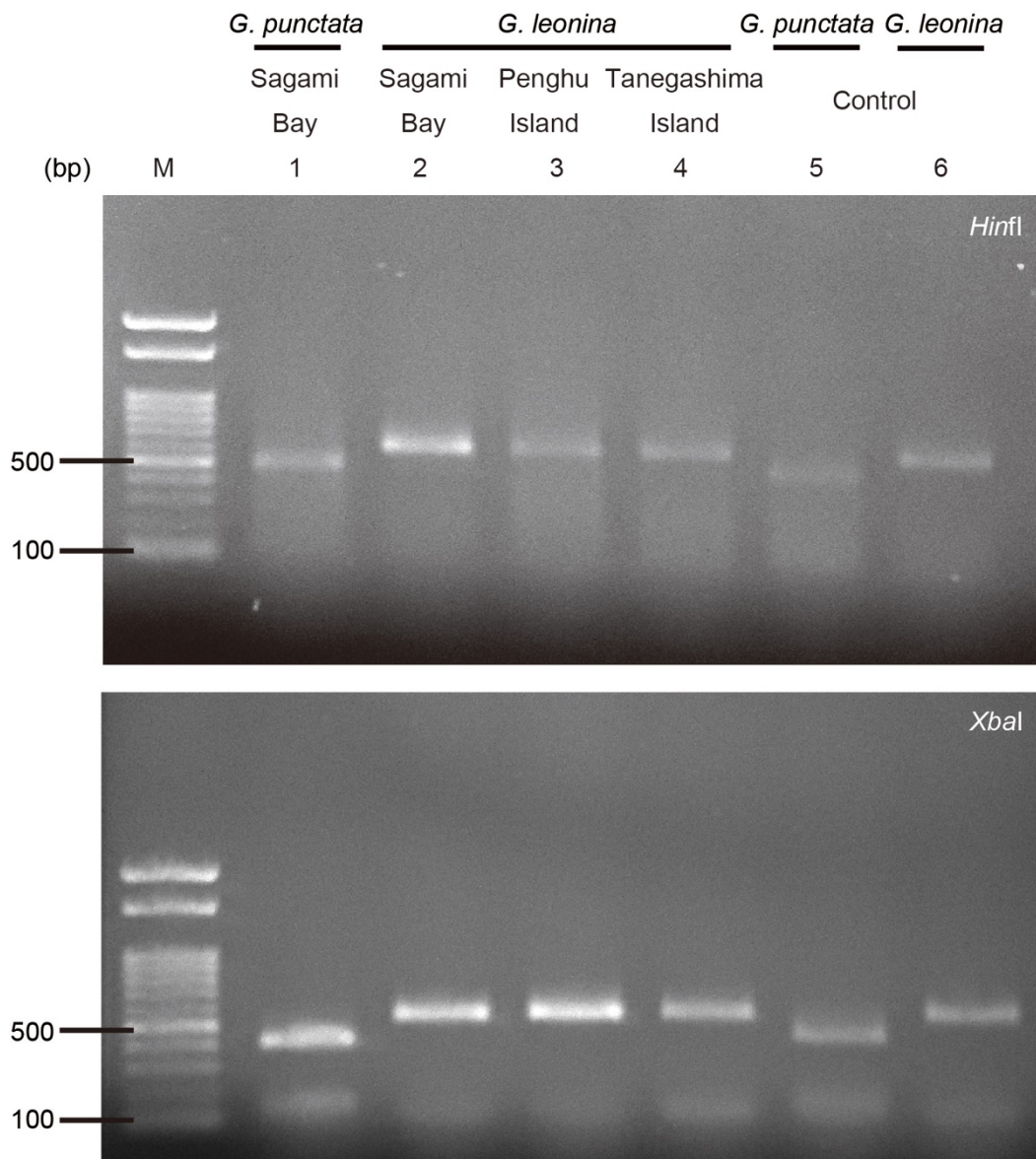


Figure 6. Typical PCR-RFLP profiles of the 16S rRNA gene and the control region obtained from *G. punctata* and *G. leonina*. PCR products for the 16S rRNA gene were treated with *HinfI* (upper panel), whereas those for the control region were digested with *XbaI* (lower panels). Lanes 1, *G. punctata*; lanes 2–4, *G. leonina*; lane 5, *G. punctata* control; lane 6, *G. leonina* control; lane M, the molecular size marker (100 bp ladder).

Table 1. The total (N) of *G. leonina* collected from the Taiwan region, Okinawa Main Island region, Amami-Oshima Island region.

Month	N	Females		Males		Unidentified		
		n	SL	n	SL	n	SL	
Off the northern part of Taiwan								
2014	Dec	3	2	310.0–318.0	1	226.4	0	—
2015	Mar	15	6	253.8–326.0	9	246.0–346.3	0	—
2016	Jan	22	13	292.4–371.9	8	301.8–354.1	1	301.5
	Feb	4	3	325.2–363.7	1	333.2	0	—
	Mar	16	7	303.8–411.2	9	302.2–390.0	0	—
2017	Dec	10	6	304.6–344.0	4	334.2–376.0	0	—
	Jan	10	5	308.2–344.6	5	301.9–338.9	0	—
	Feb	10	5	336.2–358.7	5	327.3–347.3	0	—
	Mar	10	3	328.7–367.4	7	318.4–364.3	0	—
Dec	3	0	—	3	331.6–348.8	0	—	
Total		103	50	253.8–411.2	52	226.4–390.0	1	301.5
Penghu Island								
2017	Dec	1	1	454.8	0	—	0	—
Total		1	1	454.8	0	—	0	—
Amami-Oshima Island								
2013	Dec	4	2	317.9–360.2	2	327.5–351.6	0	—
2014	Feb	4	1	321.5	3	311.4–327.4	0	—
Total		8	3	317.9–360.2	5	311.4–351.6	0	—
Okinawa Main Island								
2016	Jan	2	0	—	0	—	2	406.2–441.1
2017	Feb	1	0	—	0	—	1	273.8
Total		3	0	—	0	—	3	273.8–441.1

The number (n) of and range of standard length (SL, mm) are shown.

第Ⅲ章 関東-伊豆沿岸および九州南部沿岸における着底稚魚の出現種組成

Ⅲ-1 緒言

メジナ属稚魚の地理的分布については、成魚の分布と対照的に知見が乏しい。これは、稚魚の種判別が困難であることに起因していると考えられる。一般に、メジナとクロメジナを形態に基づいて判別する際には、背鰭中央下側線上方横列鱗数、有孔側線鱗数、尾鰭の長さ、および鰓蓋後縁部の色を基準とするが (Yagishita and Nakabo, 2000)、これらの形態学的基準は稚魚の同定には適用しにくい (Fujita et al., 2000)。そこで Itoi et al. (2007) は、ミトコンドリア DNA (mtDNA) のポリメラーゼ連鎖反応 (polymerase chain reaction, PCR) および制限酵素断片長多型 (restriction fragment length polymorphism, RFLP) を使用して両種を簡便かつ高感度で判別するための方法を開発した。

Nakai et al. (2015) は、この方法を利用して伊豆諸島北部 (下田) の相模灘におけるメジナ属稚魚の出現種組成を調べた。この海域の岩礁海岸や流れ藻から稚魚を採集し、標準体長 (SL) 25mm 未満の個体について DNA 分析を実施したところ、種組成に顕著な季節的変化が認められた。この海域では、メジナの稚魚が 4-7 月に出現し、特に 6 月に豊富に採集されたのに対し、クロメジナの稚魚は 1-6 月に出現し、特に 1-2 月に多く採集された (Nakai et al., 2015)。同様の種組成の変化は、間野・糸井 (2011) が伊豆半島沿岸で採集された標準体長 10-80mm の稚魚について DNA 分析した結果でも認められている。こうした種間差は、産卵期の種間差を反映している可能性が高いと考えられている。

第 2 章における成熟度分析の結果から、クロメジナの産卵期は 12-3 月であり、産卵場は黒潮上流域の台湾近海に形成されることが示唆された。一方、伊豆半島から九州にかけての海域におけるメジナの産卵期は 3-5 月であることが、成熟度分析の結果により示唆されている (Nakai et al., 2015, Takai et al., 2017)。両種の繁殖生態の全体像を捉えるためには、稚魚の出現種組成を広域的に調べて

成育場利用特性の種間差を推定し、両種の産卵期と照合する必要がある。

そこで本研究では、関東-伊豆地方および九州南部地方の海岸でメジナ属の着底稚魚を採集し、DNA分析に基づいて出現種組成を調べることにより、両種の成育場利用特性を推定した。特に、黒潮がメジナ属稚魚の成育に及ぼす影響を検討するため、黒潮に直接晒されていない相模湾の稚魚を経月採集して種組成を調べ、黒潮に晒された相模灘の種組成に関する Nakai et al. (2015) の結果と比較した。また、房総半島南部、東京湾、九州南東部、および種子島の海岸でも調査を実施し、成育場の地理的差異について検討した。

III-2 材料および方法

III-2-1 供試魚の採集

関東-伊豆地方、および九州南部の岩礁海岸でタモ網（網目 3 mm）を用いて、メジナ属稚魚を採集した（地点 S1-S5, B1, B2, Y, M1, M2, T1-T6; Fig. 7）。相模湾の北東部に位置する S1（葉山）では 2012 年 4 月から 2015 年 3 月、S2（江ノ島）では 2012 年 6 月から 2015 年 3 月、三浦半島の最南端に位置する S3（城ヶ島）では 2014 年 11 月から 2015 年 11 月、伊豆半島最東端の S4（伊東）では 2016 年 4 月から 2018 年 8 月にかけて毎月一回の経月調査を行った。また、補足調査として房総半島の B1（鴨川）で 2015 年 2 月から 8 月、B2（館山）で 2015 年 4 月から 8 月にかけて隔月調査を行った。さらに、浦賀水道の北に位置する Y（横浜）で 2014 年 6 月と 9 月、相模湾北部の S5（大磯）で 2012 年 7 月と 2015 年 7 月、九州南東部に位置する M1 と M2 および種子島の T1-T6 で 2017 年 3 月中旬に一回のみの調査を行った。調査は、大潮の最干潮時に実施した。

III-2-2 魚体の計測

採集した稚魚は、標準体長（SL, mm）と体重（湿重量, BW, g）の測定後、

99.5%エタノール溶液で固定した。稚魚の肥満度（K）は、両種について以下の式により計算した。

$$K = BW / SL^3 \times 10^5$$

肥満度の分析は、Nakai et al. (2015) により伊豆半島下田の岩礁海岸で採集されたメジナ属稚魚についても実施した。ただし、下田の一部の個体においては、データに欠損があったため、肥満度を計算することはできなかった。

III-2-3 DNA分析に基づく種判別

Itoi et al. (2007) が報告したmtDNAのPCR-RFLPによる種判別法を用いて稚魚を種同定した。各月において30個体以上の稚魚が採集された地点については、無作為に30個体を抽出してDNA分析に供した。採集個体数が30個体に満たなかった地点については、全個体をDNA分析に供した。DNA分析は、第II章と同じ方法で実施した。

III-2-4 統計解析

標準体長および肥満度の種間比較には Mann-Whitney の U 検定を用いた。稚魚の採集月と標準体長の関係を検討する際には、ピアソンの相関係数（*r*）を算出し相関の有意性を検定した。検定には、エクセル統計 2012（社会情報サービス、日本）を用いた。

III-3 結果

III-3-1 相模湾の種組成

2012年4月から2018年8月までの期間に、相模湾の岩礁海岸でメジナ属稚魚

を総計 2,638 個体採集した。そのうち 851 個体を mtDNA の PCR-RFLP に供した結果、メジナとクロメジナの出現種組成に顕著な差が認められた。分析に供した稚魚の 89.3% に当たる 760 個体はメジナであり、クロメジナはわずか 89 個体しか検出されなかった（判別不能 2 個体）。

相模湾北東部の S1（葉山）と S2（江ノ島）で実施された経月調査では、2012 年 4 月から 2014 年 6 月までの期間に S1（葉山）で 777 個体（Table 1）、2012 年 6 月から 2014 年 6 月までの期間に S2（江ノ島）で 376 個体の稚魚が採集された（Table 2）。S1（葉山）については 250 個体、S2 については 146 個体を DNA 分析に供した結果、メジナが高頻度で検出され、クロメジナの出現頻度は極めて低かった。S1（葉山）で採集された 250 個体の稚魚は、245 個体のメジナ（98.0%）と 5 個体のクロメジナ（2.0%）から構成されていた（Table 1）。同様に、S2（江ノ島）で採集された 146 個体の稚魚は、139 個体のメジナ（95.2%）と 7 個体のクロメジナ（4.8%）から構成されていた（Table 2）。

三浦半島の最南端に位置する S3（城ヶ島）の種組成は、S1（葉山）や S2（江ノ島）とは若干異なっていた。この地点では 2014 年 11 月から 2015 年 11 月にかけて経月調査を行い、2015 年 5–8 月に合計 365 個体のメジナ属稚魚を採集した。このうち 107 個体を DNA 分析に供した結果（Table 3）、91 個体のメジナと 15 個体のクロメジナが得られた。この地点でのクロメジナの組成比は 14.0% で、相模湾北東部の 2 地点（S1 と S2）の比率（2.0–4.8%）よりも高かった。

伊豆半島最東端であり相模湾最西部でもある S4（伊東）で採集されたメジナ属稚魚の種組成は、S1–S3 の種組成と異なる傾向にあった。この地点では、2016 年 4 月から 2018 年 8 月までの経月調査で合計 1,026 個体のメジナ属稚魚を採集した。このうち 312 個体を DNA 分析に供した結果（Table 3）、251 個体のメジナと 61 個体のクロメジナが得られた。この地点のクロメジナの組成比は 19.6% であり、相模湾の採集地点では最も高かった。

相模湾中央の北岸に位置する S5（大磯）では、2012 年 7 月と 2015 年 7 月の補足採集調査で合計 94 個体のメジナ属稚魚を採集した。このうち 36 個体を DNA 分析に供した結果（Table 3），S1（葉山）や S2（江ノ島）の結果と同様，メジナが高頻度で検出された。この地点の稚魚は，34 個体のメジナ（94.4%）と 1 個体のクロメジナ（2.8%）から構成されていた。

III-3-2 相模湾における出現時期

相模湾の岩礁海岸では，4 月から 8 月にかけてメジナの稚魚が採集され，3 月から 7 月にかけてクロメジナの稚魚が採集された。両種ともに 9 月から 2 月にかけての時期には，いずれの場所でも採集されなかった（Fig. 9; Tables 2, 3, 4, 5）。メジナの出現時期は地点間で若干異なっていたが，その差は約 1 ヶ月に過ぎなかった（S1・S4 4-7 月，S2・S3 5-8 月）。Nakai et al. (2015) が相模灘の下田沿岸で流れ藻を採集し浮遊仔稚魚の出現状況を調べた結果，5-6 月にメジナの稚魚が出現していた。また，下田の岩礁海岸で着底稚魚の出現状況を調べた結果では，4-7 月にメジナの稚魚が出現していた。このように，相模湾におけるメジナ稚魚の出現時期は，相模灘について報告されている出現時期と合致していた。

一方，クロメジナ稚魚の出現時期は，相模湾東部（S1-S3）と相模灘の間で大きく異なっていた（Fig. 9）。相模灘でクロメジナ稚魚が採集された時期は 1-6 月であり，特に 1-3 月にはクロメジナ稚魚のみが採集された（Nakai et al., 2015）。対照的に，相模湾東部のクロメジナ稚魚は，S1（葉山）では 4-5 月，S2（江ノ島）と S3（城ヶ島）では 5-6 月に採集されたが，1-3 月には採集されなかった。

相模湾の地点のうち伊豆半島最東端の S4（伊東）のみ，クロメジナの出現時期が若干異なっていた。この地点では，クロメジナ稚魚は 3 月から 6 月までの 4 ヶ月にわたり採集されており，S1（4-5 月）や S2-S3（5-6 月）よりも出現期間が長かった。3 月にクロメジナが採集されたのは S4 のみであることから，相模

湾では S4 に最も早くクロメジナが現れたことになる。S4 におけるクロメジナの出現時期は相模灘（下田）と相模湾東部（S1-S2）の出現時期の中間的な時期であった。

III-3-3 他海域における着底稚魚の出現種組成

房総半島の外房に位置する B1（鴨川）で隔月調査を実施した結果、4 月と 6 月に合計 231 個体のメジナ属稚魚が採集されたが、2 月と 8 月には採集されなかった（Fig. 9; Table 5）。4 月と 6 月に採集された稚魚を 30 個体ずつ DNA 分析に供した結果、4 月にはクロメジナ、6 月にはメジナのみが検出された。すなわち、メジナとクロメジナの調査期間を通しての組成比は 50% ずつであったことになる。一方、浦賀水道の最南端に位置する B2（館山）では、わずか 8 個体のメジナ属稚魚が採集された。DNA 分析により、これらの個体は全てメジナと同定された。2014 年 6 月には浦賀水道の北側の地点 Y（横浜）でもメジナ属稚魚が 1 個体採集された。DNA 分析により、この個体もメジナと同定された（Table 5）。

九州南東部に位置する宮崎県の海岸 2 地点（M1-M2）では、2017 年 3 月中旬の調査でメジナ属稚魚は 1 個体も採集されなかった（Table 5）。同じく 2017 年 3 月中旬に鹿児島県の種子島で実施した調査では、西側の地点（T1-T2）でメジナ属稚魚を 30 個体採集することができた。種子島東側の海岸（T4-T6）ではメジナ属稚魚を採集することはできなかった。DNA 分析の結果、種子島の着底稚魚は全てクロメジナと同定された（Table 5）。

III-3-4 メジナ属稚魚の標準体長と肥満度

DNA 分析に供された相模湾のメジナ属稚魚 851 個体の標準体長 (SL) は、12.3-46.8 mm の範囲にあった。メジナ稚魚 (n=760) の標準体長は 20.5 ± 5.4 mm (平均値 \pm 標準偏差) であり、クロメジナ稚魚 (n=89) の標準体長 (21.5 ± 4.8 mm) よ

りわずかに小さかった (Mann-Whitney の U 検定, $p < 0.01$) . 標準体長 20mm 未満の小型のメジナ稚魚は, S1 (12.6–19.9mm) , S2 (12.3–19.9mm) , および S3 (15.3–19.8mm) の 3 地点で認められた. クロメジナでは, 20mm 未満の稚魚は S1 (15.4–18.8 mm) と S3 (17.9–19.8 mm) の 2 地点で認められた. 房総半島の海岸では, メジナの小型稚魚 (<20mm) は B1 (15.8–19.9 mm) と B2 (13.6–17.0 mm) , クロメジナの小型稚魚は B1 (14.5–19.8 mm) で認められた.

相模湾東部 (S1–S3) で経月的に採集されたメジナ稚魚の標準体長は, 春から夏にかけて増加していた (Fig. 10) . 1 月 1 日を起点とする経過日数と標準体長の関には有意な正の相関関係が認められたが, 相関係数は 0.25–0.71 であり, それほど高い値ではなかった (Table 6) . 一方, S4 における経過日数と標準体長の関の相関係数は -0.07–0.30 であり, 明瞭な関係性は認められなかった. S1–S4 で 4 月から 7 月にかけて採集された着底稚魚には, 常に標準体長 20mm 未満の小型稚魚が含まれていた.

クロメジナの標準体長の経時変化は不明瞭であった (Fig. 11) . 2014 年の S1 と 2013 年の S2 で採集した稚魚は高い相関係数 (0.82–0.91) を示したが, これらの相関は有意ではなかった ($p > 0.05$, Table 6) . 逆に, 2017 年に S4 で採集された稚魚の相関は有意であったが ($p < 0.0005$) , 相関係数は負の値 (-0.59) であった.

メジナ属稚魚の肥満度は, 相模湾北東部 (S1 および S2, $p < 0.05$) , 相模湾の最西端 (S4, $p < 0.01$) , および相模灘 (I, $p < 0.01$) においてはクロメジナよりもメジナにおいて有意に高かった (Mann-Whitney の U 検定; Fig. 12, Table 7) . 一方, 三浦半島最南端 (S3) の稚魚の肥満度は, メジナよりもクロメジナにおいて有意に高かった ($p < 0.05$) . 房総半島外房の地点 (B1) のみ, 有意な種間差は認められなかった ($p = 0.93$) .

Ⅲ-4 考察

Ⅲ-4-1 メジナの成育場利用

相模湾の岩礁海岸では、4-8月にメジナの稚魚が採集された。特に5-6月にはメジナ稚魚が定常的に出現したことから、相模湾はこの時期にメジナの成育場として利用されていることが示唆された。この出現時期は、相模灘（下田, I）のメジナ稚魚について報告されている出現時期と合致している（Nakai et al., 2015）。相模灘のメジナ稚魚は、5-6月に流れ藻から採集されるとともに4-7月に岩礁海岸で採集されている。このように、メジナは相模湾と相模灘の両海域において同じ時期に岩礁海岸に着底し、夏までそこで成育するものと考えられる。

相模湾では、4月から7月にかけて標準体長20mm未満の小型稚魚が定常的に採集された。一般に、メジナの稚魚は受精後53-60時間で孵化し（水戸, 1957）、その後、約1ヶ月間の浮遊生活を送った後に着底すると考えられている（鈴木, 2011）。したがって、4-7月に採集された20mm未満の稚魚は、3-6月に生まれたものと推算することができる。伊豆諸島北部の沿岸海域で採集されたメジナ成魚の成熟度分析では、雌雄とも4月にGSIの最大値が認められ（Nakai et al., 2015）、4-5月の雌から成熟段階の卵細胞が検出された（Takai et al., 2017）。この結果から、メジナは4-5月にこの海域で産卵することが示唆された。本研究で推算された小型稚魚の孵化時期（3-6月）は、伊豆諸島北部の産卵期とほぼ合致している。相模湾で5-6月に採集された着底稚魚の大半は、4-5月に伊豆諸島北部、伊豆半島、三浦半島などの近隣海域で生まれた個体であると推察される。

一方、4月に採集された稚魚の孵化時期は、メジナの浮遊期間が1ヶ月であると仮定した場合、3月と推定される。前述の通り、3月の雌のメジナ成魚は伊豆諸島北部海域では未成熟であることから、この海域のメジナは3月には産卵していない可能性が高い。また、紀伊半島南部（串本）のメジナについて成魚の

GSIが伊豆諸島北部海域と同様、4月に最大値になることが報告されていることから（前田，2002），伊豆半島から紀伊半島にかけての本州中部沿岸では、4-5月にメジナが産卵していると考えられる。したがって、4月の着底稚魚は黒潮の上流域で3月に生まれた個体であると推定される。Takai et al. (2017) は種子島沿岸で漁獲されたメジナ成魚について3月にGSIが最大値となり、3-4月に卵巣の組織形態が成熟段階に達することを報告した。このように黒潮の上流側では1ヵ月早くメジナが成熟することから、4月に相模湾で採集されたメジナ稚魚は黒潮の上流域で生まれて黒潮によって関東-伊豆沿岸まで輸送された個体であると考えられる。関東-伊豆沿岸まで輸送された個体の一部が、相模湾口の局所的な流れによって湾奥部まで運ばれて着底すると推察される。メジナの集団構造に関する最近の遺伝学的研究では、日本周辺の様々な海域から収集されたメジナの塩基配列は均質であり、海流が卵や仔稚魚を輸送することによりメジナの遺伝子流動が起きていることが示唆されている（Saito et al., 2008; Umino et al., 2009）。着底稚魚の出現種組成に関する本研究の結果は、DNA分析により示されたメジナの集団構造と合致している。

房総半島沿岸（B1・B2）の隔月調査では、6月にメジナ稚魚が採集されたのに対し、2，4，8月にはメジナ稚魚は採集されなかった（Fig. 9）。6月のB1とB2で採集された計208個体のメジナ属稚魚のうち、38個体をDNA分析に供した結果、全個体がメジナと同定された。この結果から、メジナは房総半島の沿岸海域を短期的に成育場として利用していることが示唆された。

III-4-2 クロメジナの成育場利用

相模湾の岩礁海岸で採集されたクロメジナの着底稚魚は計89個体であり、DNA分析に供された全851個体の10.5%に過ぎなかった。クロメジナは伊豆半島東端（S4）を除くと4-6月の約3ヶ月間しか出現しなかった。湾中央部北岸のS5

(大磯)では7月にクロメジナが採集されたが、標準体長が46.8mmと比較的大きかったことから、この個体は着底してから既に数ヶ月間を経っていたと考えられる。

相模湾と対照的に、相模灘では1月から6月の半年間にわたってクロメジナの稚魚が採集されており、特に1月から3月にかけてはクロメジナのみが採集されている (Nakai et al., 2015)。このようにクロメジナ稚魚の分布が地理的に異なっていた主因は、環境水温の海域差である可能性が高い。一般にクロメジナ稚魚については、最適水温が25.1–28.3°C、至適温度が26.1°Cであり、低温側の斃死水温が8.0–11.8°Cであると報告されている (下茂, 2000)。下田における海岸水温の定点観測では、2003–2007年の5年間における日別海岸水温 (午前10時データ) の平均値が、1月に15.3°C、2月に14.1°C、3月に14.5°Cになることが報告されている (吉原・高城, 2009)。一方、相模湾北東部のS2 (江ノ島) における海岸水温は、2月に約11°Cまで低下することが報告されている (吉安ほか, 2004; 植田, 2015)。冬の相模湾では海岸水温が低すぎるため、クロメジナ稚魚が生残できないと考えられる。

伊豆半島の東端 (S4) では、相模湾東部 (S1–S3) より早い3月の時期にクロメジナの稚魚が出現した (Fig. 9)。黒潮系の暖水は、相模灘を経て相模湾に流入し湾内の流況に影響を与えることが知られている (Hinata et al., 2003)。地点S4は黒潮系暖水の流入部に位置しているため、黒潮系暖水の影響を強く受ける。実際、伊東市における海水温の平年値の最低水温は、3月上旬で13.6°Cまでしか低下しないことが報告されている (静岡県水産技術研究所: <http://fish-exp.pref.shizuoka.jp/01ocean/1-4-1.html>)。こうした環境下では、早春の3月でもクロメジナは着底し生残できると考えられる。

房総半島の鴨川 (B1) で4月に採集された個体は全てクロメジナと同定されたが、他の月 (2, 6, 8月) にはクロメジナは全く採集されなかった。このことから、

房総半島沿岸域は春のごく短い期間にクロメジナの成育場として利用されていることが示唆された。

種子島の西側海岸（T1-T2）では3月中旬の採集調査でクロメジナの着底稚魚が30個体採集されたことから、種子島沿岸はこの時期にクロメジナの成育場として利用されていることが示唆された。こうした着底稚魚の出現にも関わらず、種子島沿岸で漁獲されたクロメジナの成熟度分析では、成熟した卵巣が検出されていない（Takai et al., 2017）。したがって、3月中旬に種子島の海岸で採集されたクロメジナ稚魚は、黒潮上流域で生まれて黒潮によって輸送され来遊・着底した個体であると考えられる。一方、九州南東部に位置する宮崎県の海岸（M1-M2）では、3月中旬の調査でクロメジナ稚魚が全く採集されなかった。種子島はトカラ海峡の北端に位置し黒潮に直接晒されているのに対し、宮崎沿岸は黒潮流路から若干隔たっている。そのため、クロメジナ稚魚は宮崎沿岸には来遊しにくいと考えられる。

III-4-3 メジナ属の再生産における黒潮の重要性

相模湾では、春から夏にかけて豊富にメジナの稚魚が採集されたが、クロメジナの稚魚はほとんど採集されなかった。両種の対照的な出現状況は、産卵場および黒潮という2つの要因に大きく影響を受けていると考えられる。メジナの産卵場は、伊豆諸島北部から九州にかけての各地に形成されることが報告されている（水江・三上, 1960; 前田ほか, 2002; Nakai et al., 2015; Takai et al., 2017）。したがって、メジナの浮遊仔稚魚の多くは、産卵場周辺域の海底に着底していると考えられる。一方、クロメジナの産卵場は、前章で述べた通り台湾近海に形成されていると考えられることから、卵や浮遊仔稚魚は黒潮の上流域から長い距離を輸送されて太平洋側日本沿岸に来遊し、黒潮流路沿いの海底に着底すると考えられる。相模湾は黒潮に直接さらされていないため、クロメジナの浮

遊仔稚魚は湾の奥部まで来遊しにくいと考えられる。

相模湾と相模灘のいずれにおいても、クロメジナの体長が時間の経過とともに増加することはなかった (Fig. 11) . この結果は、黒潮による長距離輸送の可能性を裏付けるものである。クロメジナの浮遊仔稚魚は黒潮の暖水中で成長しながら輸送され、その後、日本沿岸に着底する。様々な体長のクロメジナ稚魚が断続的に各地に来遊して岩礁海岸に着底するため、その成長過程を体長分布の経月変化から把握することは極めて困難である。

伊豆半島沿岸域 (S4, I) および相模湾北東部 (S1-S2) における着底稚魚の肥満度は、クロメジナよりもメジナの方が有意に高かった (Fig. 12, Table 6) . 前述したように、黒潮系の暖水は相模灘を通過して相模湾に流入することが知られている (Hinata et al., 2003) . 一般に黒潮の海水は、親潮の海水と比較して栄養塩濃度が低い (寺本, 1987) . 黒潮に輸送されるクロメジナ仔稚魚は、こうした貧栄養環境で浮遊生活を送っているため、飢餓状態になり肥満度を低下させている可能性がある。伊豆半島沿岸から相模湾北東部にかけてのクロメジナは、黒潮によって長距離を輸送されてきた個体であるため肥満度が低いと考えられる。

対照的に、相模湾東端の三浦半島先端 (S3) ではクロメジナの肥満度の方が有意に高くなっていた。さらに東方の房総半島外房 (B1) では、両種の肥満度に有意差が認められなかった (Fig. 12, Table 6) . 相模湾の東部には栄養塩に富む親潮系の海水が房総半島沖を通過して流入することが知られている (Senjyu et al., 1998) . そのため、相模湾東部は西部と対照的に親潮の影響を受けやすい環境となっている。房総半島周辺のメジナ属稚魚は、南下してきた親潮と北上してきた黒潮の前線間域を経て岩礁海岸に来遊し着底するため、その栄養状態は親潮の環境による影響を受けていると考えられる。

伊豆半島の沿岸域に着底するクロメジナ稚魚の多くは、成長に伴い黒潮の上流域に回遊すると推測される。イセエビのフィロゾーマ幼生の輸送に関する数値シミュレーション実験では、フィロゾーマ幼生は浮遊水深帯を調節することにより黒潮続流から黒潮再循環域へ移行する流れを利用でき、さらに黒潮循環域内の西方向の流れを利用できることが示されている (Miyake et al., 2013)。こうした輸送メカニズムにより、イセエビのフィロゾーマ幼生や遊泳能力の低い他の海洋生物は黒潮の上流域にたどり着けることが示唆されている。クロメジナ稚魚も、同じ輸送経路を利用すれば黒潮の上流域に到達できると考えられる。

台湾東岸沖を北上した黒潮は東シナ海の縁辺部に沿って流れるため、黒潮上流域まで到達したクロメジナ稚魚の一部はそのまま東シナ海縁辺部に輸送されていくと考えられる。クロメジナ成魚の漁獲量は、伊豆諸島北部海域では少ないが (Nakai et al., 2015)、種子島沿岸ではメジナより多い (Takai et al., 2017)。クロメジナ成魚は、東シナ海の周辺海域に比較的高い密度で生息しており、産卵期に黒潮上流域の台湾近海に集まって産卵すると考えられる。

本研究では、メジナとクロメジナの着底稚魚の分布パターンに明瞭な差異があることを明らかにした。この種間差は、浮遊期における輸送システムの種間差を反映していると考えられる。日本沿岸各地で産卵するメジナは、各地の局所的な流況に強い影響を受けて着底場所まで輸送されるのに対し、黒潮上流域で産卵するクロメジナは黒潮による長距離輸送に強い影響を受けると考えられる。

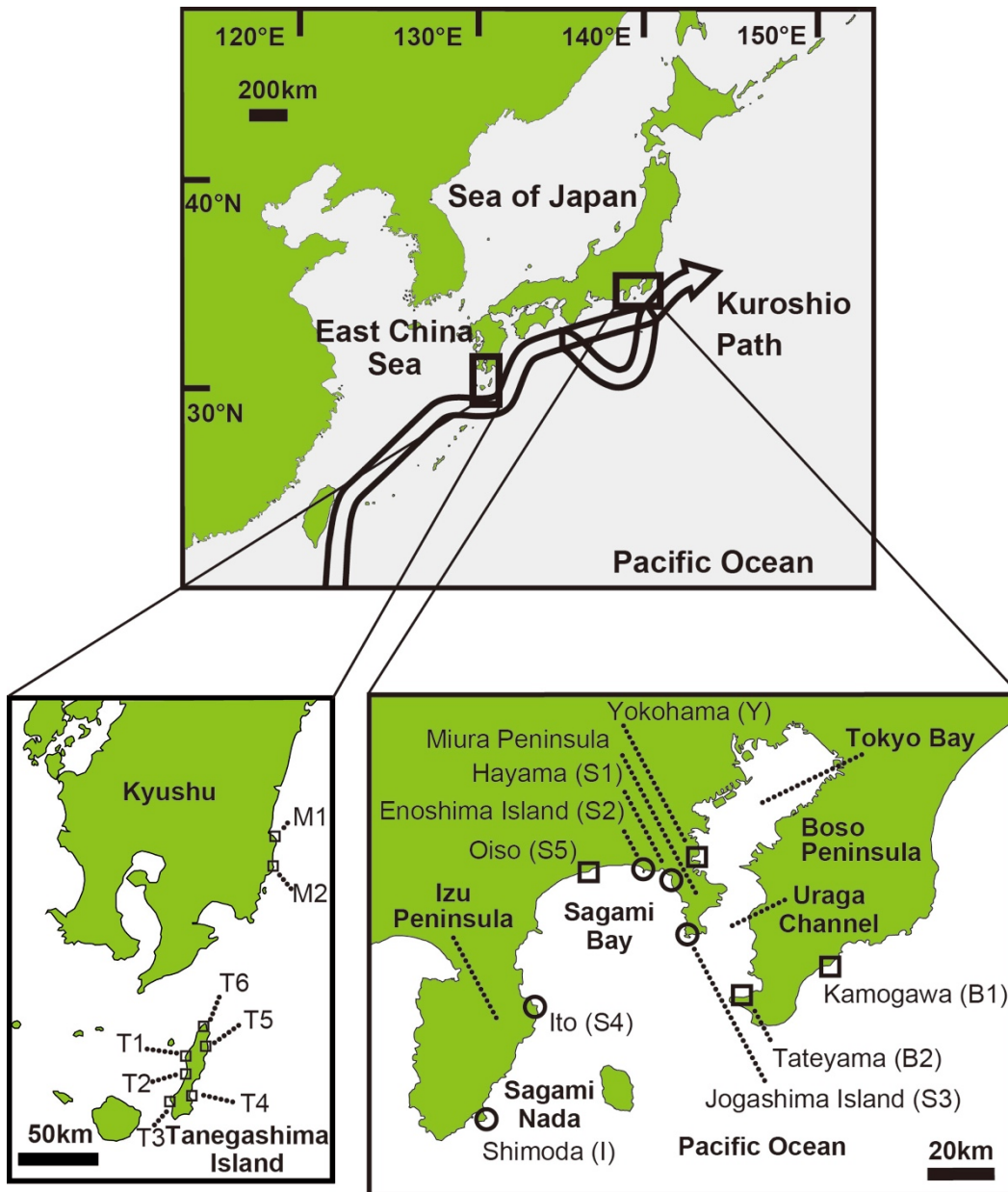


Figure 7. The study area. Year-round monthly sampling was conducted at five stations (open circles S1-S4 and I). Supplementary sampling was conducted at twelve stations (open squares S5, B1, B2, Y, M1-M2, T1-T6).

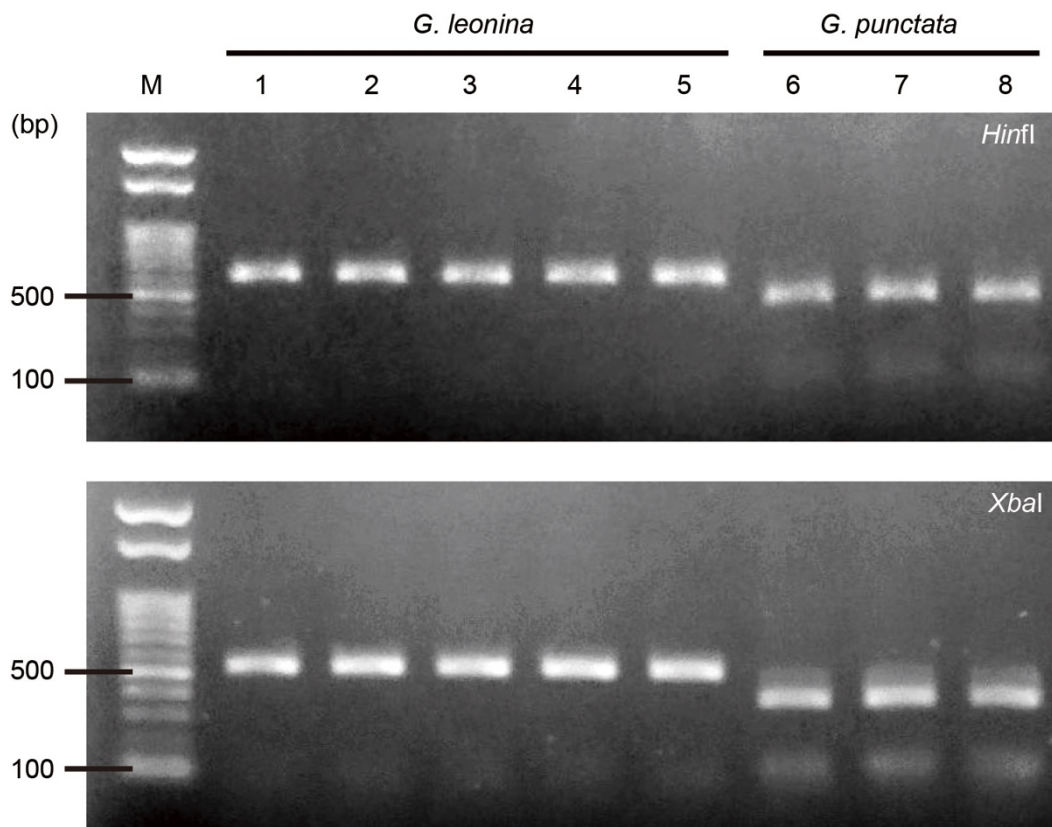


Figure 8. Typical PCR-RFLP profiles of the 16S rRNA gene and the control region obtained from *G. punctata* and *G. leonina*. PCR products for the 16S rRNA gene were treated with *HinfI* (upper panel), whereas those for the control region were digested with *XbaI* (lower panels). Lanes 1–5, *G. leonina*; lanes 6–8, *G. punctata*; lane M, the molecular size marker (100 bp ladder).

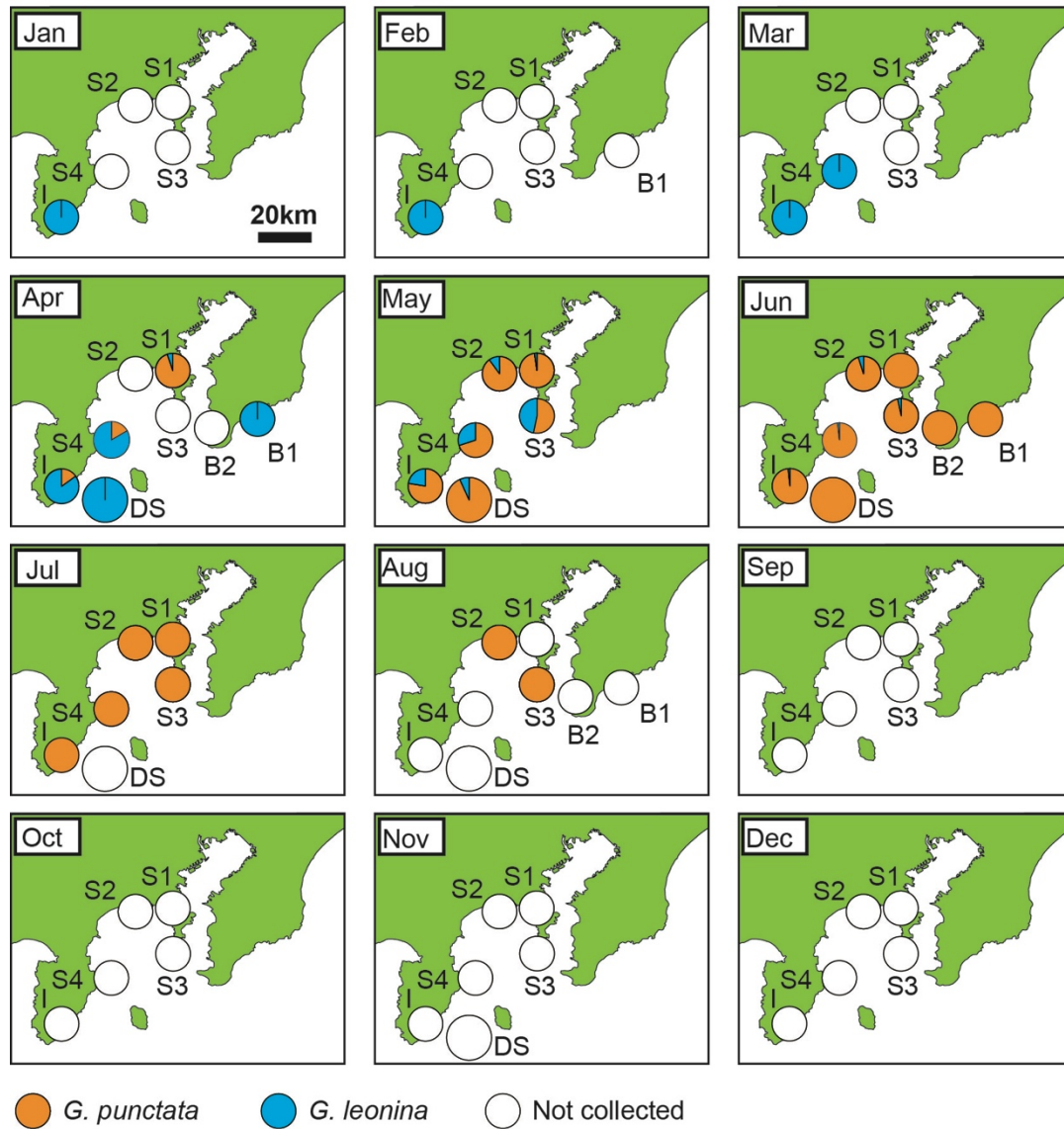


Figure 9. Seasonal changes in the species composition of the girellid juveniles collected from the rocky shore in Sagami Bay, Sagami Nada, and the coastal zone of the Boso Peninsula. The distributions are shown for the integrated data of S1 (2012–2015), S2 (2012–2015), S3 (2014–2015), S4 (2016–2017), B1 (2015), and B2 (2015) in the present research and I (2011–2012) in Nakai et al. (2015). The species composition of the juveniles collected from drifting seaweeds (DS) in Sagami Nada by Nakai et al. (2015) is also shown with larger circles.

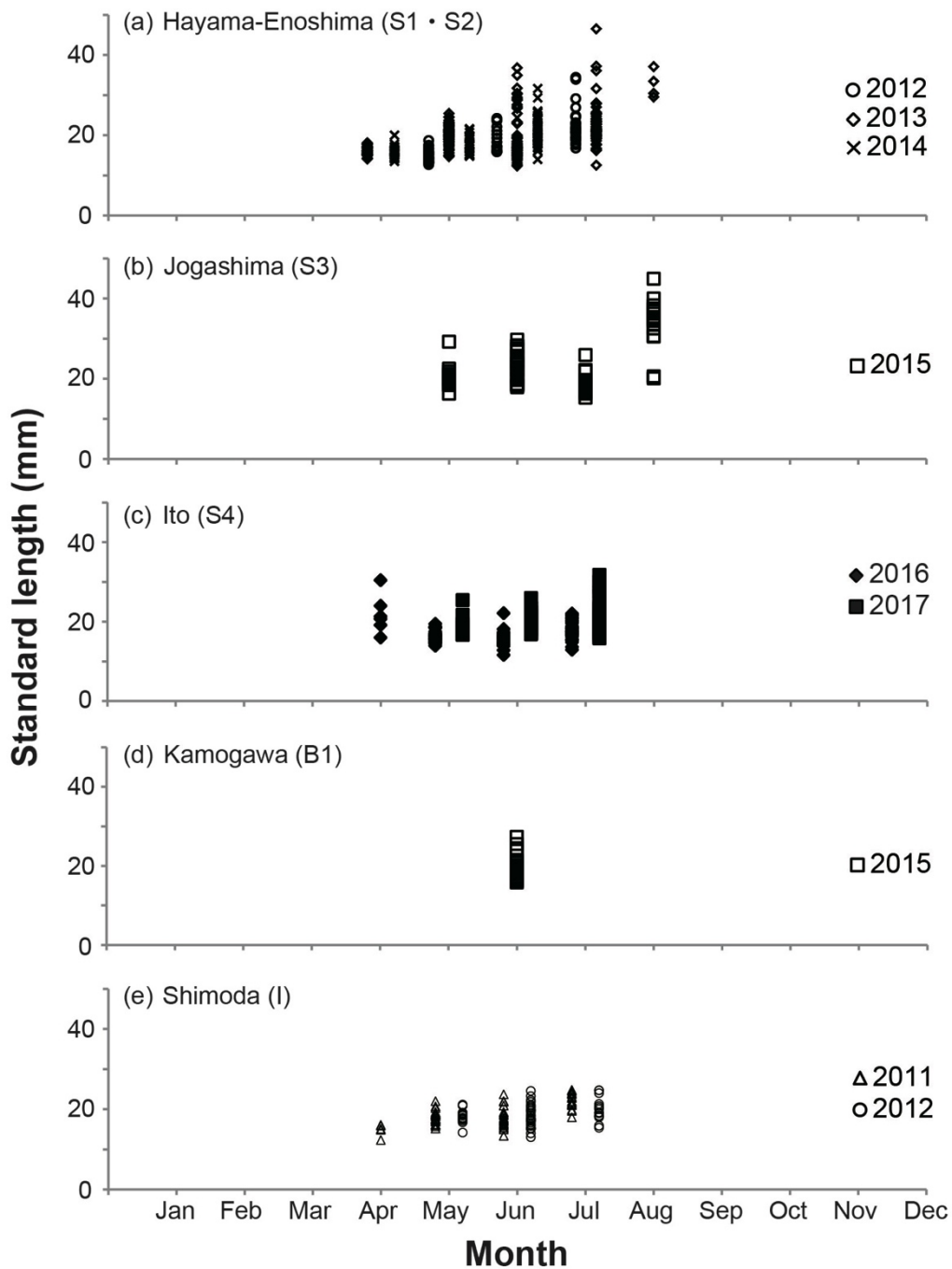


Figure 10. Seasonal changes of standard length in juveniles of *G. punctata* collected from the rocky shore. (a) The northeastern Sagami Bay: Hayama (S1) and Enoshima (S2). (b) Jogashima (S3). (c) Ito (S4). (d) Kamogawa (B1). (e) Shimoda (I): Data from Nakai et al. (2015)

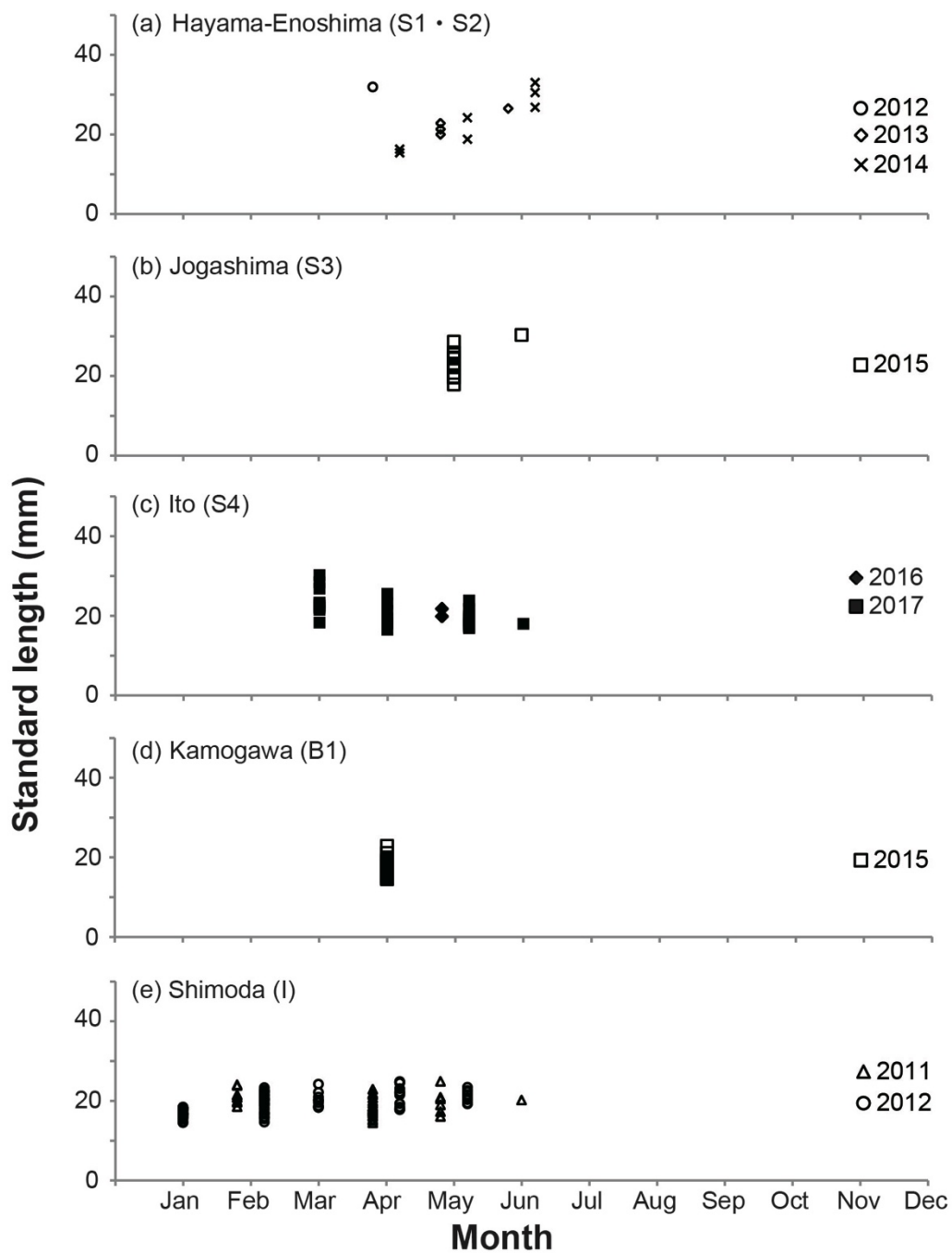


Figure 11. Seasonal changes of standard length in juveniles of *G. leonina* collected from the rocky shore. (a) The northeastern Sagami Bay: Hayama (S1) and Enoshima (S2). (b) Jogashima (S3). (c) Ito (S4). (d) Kamogawa (B1). (e) Shimoda (I): Data from Nakai et al. (2015)

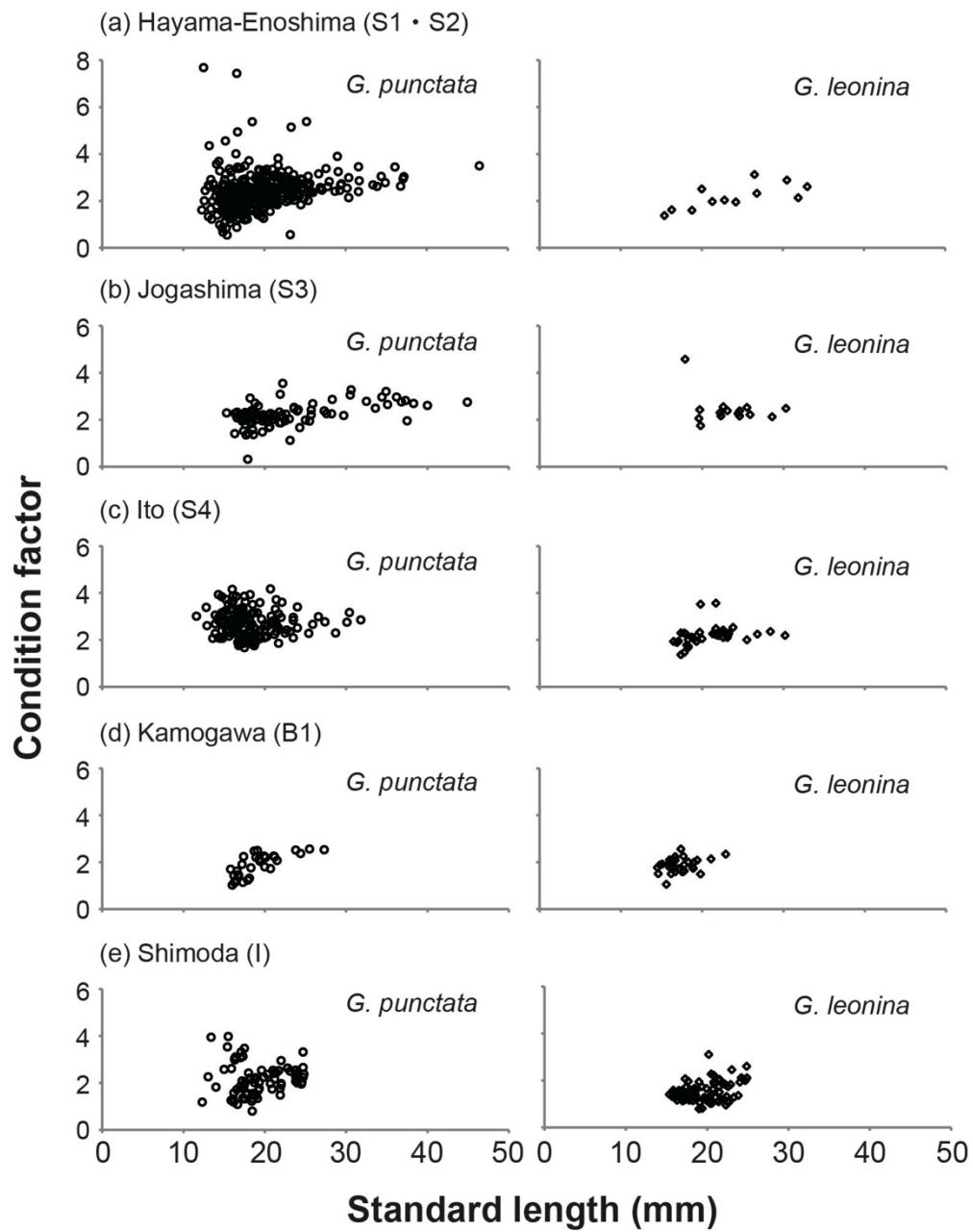


Figure 12. The relationship between body size (standard length) and condition factor (K). (a) The northeastern Sagami Bay: Hayama (S1) and Enoshima (S2). (b) Jogashima (S3). (c) Ito (S4). (d) Kamogawa (B1). (e) Shimoda: Data from Nakai et al. (2015)

Table 2. Species composition and body size (standard length) of juveniles of girellid fish collected in Hayama (S1) based on PCR-RFLP of mtDNA.

Month	n_1	n_2	<i>G. punctata</i>				<i>G. leonina</i>		
			n	Standard length (mm)		n	Standard length (mm)		
				mean \pm SD	min.–max.		mean \pm SD	min.–max.	
2012	Apr	1	1	0	—	—	1	31.9	—
	May	272	30	30	14.9 \pm 1.5	12.7–18.7	0	—	—
	Jun	13	13	13	19.0 \pm 3.0	15.9–24.2	0	—	—
	Jul	0	0	0	—	—	0	—	—
	Aug	0	0	0	—	—	0	—	—
	Sep	0	0	0	—	—	0	—	—
	Oct	ns	—	—	—	—	—	—	—
	Nov	0	0	0	—	—	0	—	—
	Dec	0	0	0	—	—	0	—	—
2013	Jan	0	0	0	—	—	0	—	—
	Feb	0	0	0	—	—	0	—	—
	Mar	0	0	0	—	—	0	—	—
	Apr	146	30	30	16.1 \pm 1.1	14.1–18.1	0	—	—
	May	107	30	30	19.3 \pm 2.8	14.7–25.4	0	—	—
	Jun	38	30	30	16.8 \pm 2.1	12.6–23.2	0	—	—
	Jul	29	29	29	23.8 \pm 6.3	16.2–46.5	0	—	—
	Aug	0	0	0	—	—	0	—	—
	Sep	0	0	0	—	—	0	—	—
	Oct	0	0	0	—	—	0	—	—
	Nov	0	0	0	—	—	0	—	—
	Dec	0	0	0	—	—	0	—	—
2014	Jan	0	0	0	—	—	0	—	—
	Feb	0	0	0	—	—	0	—	—
	Mar	0	0	0	—	—	0	—	—
	Apr	27	27	25	15.8 \pm 1.3	13.5–20.0	2	15.9 \pm 0.6	15.4–16.3
	May	105	30	28	17.8 \pm 2.0	14.8–21.6	2	21.5 \pm 3.8	18.8–24.2
	Jun	39	30	30	21.3 \pm 3.0	14.0–26.0	0	—	—
	Jul	0	0	0	—	—	0	—	—
	Aug	0	0	0	—	—	0	—	—
	Sep	0	0	0	—	—	0	—	—
	Oct	0	0	0	—	—	0	—	—
	Nov	0	0	0	—	—	0	—	—
	Dec	0	0	0	—	—	0	—	—
2015	Jan	0	0	0	—	—	0	—	—
	Feb	0	0	0	—	—	0	—	—
	Mar	0	0	0	—	—	0	—	—
Total	777	250	245	18.3 \pm 4.0	12.6–46.5	5	21.3 \pm 6.8	15.4–31.9	

n_1 , the total catch of the girellid juveniles; n_2 , the total of the individuals analysed for DNA.

ns, no sampling because of rough weather.

Table 3. Species composition and body size (standard length) of juveniles of girellid fish collected in Enoshima (S2) based on PCR-RFLP of mtDNA.

Month	n_1	n_2	<i>G. punctata</i>				<i>G. leonina</i>		
			n	Standard length (mm)		n	Standard length (mm)		
				mean \pm SD	min.–max.		mean \pm SD	min.–max.	
2012	Jun	28	28	28	22.3 \pm 4.3	16.8–34.4	0	—	—
	Jul	ns	—	—	—	—	—	—	—
	Aug	0	0	0	—	—	0	—	—
	Sep	ns	—	—	—	—	—	—	—
	Nov	0	0	0	—	—	0	—	—
	Dec	0	0	0	—	—	0	—	—
2013	Jan	0	0	0	—	—	0	—	—
	Feb	ns	—	—	—	—	—	—	—
	Mar	0	0	0	—	—	0	—	—
	Apr	ns	—	—	—	—	—	—	—
	May	137	30	27	21.0 \pm 1.8	17.5–24.5	3	21.4 \pm 1.4	20.0–22.8
	Jun	117	30	29	22.5 \pm 7.1	12.3–36.8	1	26.5	—
	Jul	66	30	30	21.5 \pm 3.9	12.5–31.6	0	—	—
	Aug	4	4	4	32.6 \pm 3.4	29.5–37.1	0	—	—
	Sep	0	0	0	—	—	0	—	—
	Oct	ns	—	—	—	—	—	—	—
	Nov	ns	—	—	—	—	—	—	—
	Dec	ns	—	—	—	—	—	—	—
2014	Jan	0	0	0	—	—	0	—	—
	Feb	0	0	0	—	—	0	—	—
	Mar	ns	—	—	—	—	—	—	—
	Apr	0	0	0	—	—	0	—	—
	May	ns	—	—	—	—	—	—	—
	Jun	24	24	21	20.6 \pm 3.9	16.1–31.6	3	30.1 \pm 3.1	26.8–33.0
	Jul	0	0	0	—	—	0	—	—
	Aug	0	0	0	—	—	0	—	—
	Sep	0	0	0	—	—	0	—	—
	Oct	0	0	0	—	—	0	—	—
	Nov	0	0	0	—	—	0	—	—
	Dec	0	0	0	—	—	0	—	—
2015	Jan	0	0	0	—	—	0	—	—
	Feb	0	0	0	—	—	0	—	—
	Mar	0	0	0	—	—	0	—	—
Total		376	146	139	21.9 \pm 4.9	12.3–37.1	7	25.8 \pm 4.8	20.0–33.0

n_1 , the total catch of the girellid juveniles; n_2 , the total of the individuals analysed for DNA.

ns, no sampling because of rough weather.

Table 4. Species composition and body size (standard length) of juveniles of girellid fish collected in Jogashima (S3), and Ito (S4) based on PCR-RFLP of mtDNA.

Month	n_1	n_2	<i>G. punctata</i>			<i>G. leonina</i>			
			n	Standard length (mm)		n	Standard length (mm)		
				mean \pm SD	min.–max.		mean \pm SD	min.–max.	
Jogashima (S3)									
2014	Nov	0	0	—	—	—	—	—	
	Dec	0	0	—	—	—	—	—	
2015	Jan	0	0	—	—	—	—	—	
	Feb	0	0	—	—	—	—	—	
	Mar	0	0	—	—	—	—	—	
	Apr	0	0	—	—	—	—	—	
	May	73	30	16	20.2 \pm 1.7	16.3–23.1	14	22.9 \pm 2.9	17.9–28.6
	Jun	101	30	29	22.9 \pm 3.4	17.9–29.7	1	30.3	—
	Jul	174	30	30	18.3 \pm 2.0	15.3–25.9	0	—	—
	Aug	17	17*	16	34.0 \pm 6.4	20.1–44.9	0	—	—
	Sep	0	0	—	—	—	—	—	
	Oct	0	0	—	—	—	—	—	
	Nov	0	0	—	—	—	—	—	
Total		365	107	91	22.9 \pm 6.5	15.3–44.9	15	23.4 \pm 3.4	17.9–30.3
Ito (S4)									
2016	Apr	6	6	6	21.9 \pm 4.9	16.0–30.4	0	—	—
	May	66	30	28	16.3 \pm 1.4	13.9–19.4	2	20.8 \pm 1.3	19.8–21.7
	Jun	222	30	30	15.4 \pm 1.8	11.6–22.1	0	—	—
	Jul	84	30	30	17.8 \pm 2.3	12.9–22.0	0	—	—
	Aug	0	0	—	—	—	—	—	
	Sep	0	0	—	—	—	—	—	
	Oct	0	0	—	—	—	—	—	
	Nov	0	0	—	—	—	—	—	
	Dec	0	0	—	—	—	—	—	
2017	Jan	0	0	—	—	—	—	—	
	Feb	0	0	—	—	—	—	—	
	Mar	12	12	0	—	—	12	23.6 \pm 3.3	18.3–30.2
	Apr	7	7	0	—	—	7	20.3 \pm 3.2	16.5–25.5
	May	34	30	14	18.5 \pm 2.4	16.7–25.4	16	19.1 \pm 1.9	16.9–23.8
	Jun	100	30	29	19.5 \pm 2.1	16.8–25.9	1	18.0	—
	Jul	324	30	30	21.1 \pm 4.3	15.8–31.8	0	—	—
	Aug	0	0	—	—	—	—	—	
	Sep	0	0	—	—	—	—	—	
	Oct	0	0	—	—	—	—	—	
	Nov	0	0	—	—	—	—	—	
	Dec	0	0	—	—	—	—	—	
2018	Jan	0	0	—	—	—	—	—	
	Feb	0	0	—	—	—	—	—	
	Mar	0	0	—	—	—	—	—	
	Apr	23	23	0	—	—	23	19.1 \pm 2.8	14.9–27.7
	May	76	30	30	19.6 \pm 2.7	16.6–31.8	0	—	—
	Jun	48	30	30	23.1 \pm 5.3	17.6–43.5	0	—	—
	Jul	24	24	24	26.9 \pm 3.4	24.5–33.6	0	—	—
	Aug	0	0	0	—	—	0	—	—
Total		1026	312	251	19.8 \pm 4.5	11.6–43.5	61	20.2 \pm 3.2	14.9–30.2

n_1 , the total catch of the girellid juveniles; n_2 , the total of the individuals analysed for DNA.

*Species of one individual could not be identified because of degradation of DNA.

Table 5. Species composition and body size (standard length) of juveniles of girellid fish collected in Oiso (S5), Kamogawa (B1), Tateyama (B2), Yokohama (Y), and Tanegashima-Island (T) based on PCR-RFLP of mtDNA.

Month	n_1	n_2	<i>G. punctata</i>			<i>G. leonina</i>			
			n	Standard length (mm)		n	Standard length (mm)		
				mean \pm SD	min.–max.		mean \pm SD	min.–max.	
Oiso (S5)									
2012	Jul	88	30	30	30.1 \pm 3.4	24.5–36.5	0	—	—
2015	Jul	6	6*	4	27.6 \pm 7.9	21.2–37.9	1	46.8	—
Total		94	36	34	29.8 \pm 4.1	21.2–37.9	1	46.8	—
Kamogawa (B1)									
2015	Feb	0	0	—	—	—	—	—	—
	Apr	31	30	0	—	—	30	17.3 \pm 1.9	14.5–22.9
	Jun	200	30	30	19.3 \pm 2.9	15.8–27.3	0	—	—
	Aug	0	0	—	—	—	—	—	—
Total		231	60	30	19.3 \pm 2.9	15.8–27.3	30	17.3 \pm 1.9	14.5–22.9
Tateyama (B2)									
2015	Apr	0	0	—	—	—	—	—	—
	Jun	8	8	8	18.0 \pm 4.6	13.6–25.4	0	—	—
	Aug	0	0	—	—	—	—	—	—
Total		8	8	8	18.0 \pm 4.6	13.6–25.4	0	—	—
Yokohama (Y)									
2014	Jun	1	1	1	23.6	—	0	—	—
	Nov	0	0	—	—	—	0	—	—
Total		1	1	1	23.6	—	0	—	—
Stn. T1									
2017	Mar	10	10	0	—	—	10	19.3 \pm 3.8	15.8–29.1
Stn. T2									
2017	Mar	20	20	0	—	—	20	19.2 \pm 2.7	15.0–27.9
Total		30	30	0	—	—	30	19.2 \pm 3.1	15.0–29.1

n_1 , the total catch of the girellid juveniles; n_2 , the total of the individuals analysed for DNA.

Table 6. Correlation coefficients (r) between elapsed days from January 1 and standard length (mm) of the girellid juveniles monthly collected at Stns. S1–S4 and I. The values were calculated for each year.

Stn.	year	<i>G. punctata</i>	<i>G. leonina</i>
S1	2012	0.69 ($n = 43, p < 0.0001$)*	—
	2013	0.43 ($n = 119, p < 0.0001$)*	—
	2014	0.71 ($n = 83, p < 0.0001$)*	0.82 ($n = 4, p = 0.18$)
S2	2013	0.25 ($n = 90, p < 0.05$)*	0.91 ($n = 4, p = 0.09$)
S3	2015	0.49 ($n = 91, p < 0.0001$)*	—
S4	2016	-0.07 ($n = 94, p = 0.49$)	—
	2017	0.30 ($n = 73, p < 0.05$)*	-0.59 ($n = 36, p < 0.0005$)*
I	2011	0.54 ($n = 83, p < 0.0001$)*	-0.27 ($n = 39, p = 0.10$)
	2012	0.23 ($n = 66, p = 0.06$)	0.32 ($n = 94, p < 0.0001$)*

*, significant

Table 7. The condition factor (K) of *G. punctata* and *G. leonina* (10 percentile–median–90 percentile), and the significance of the interspecific differences in Mann-Whitney's U -test.

Stn.	<i>G. punctata</i>	<i>G. leonina</i>	Significance
S1 and S2	1.52–2.32–3.09 ($n = 346$)	1.50–1.95–2.21 ($n = 7$)	$p < 0.05$
S3	1.50–2.13–2.45 ($n = 67$)	2.05–2.29–2.55 ($n = 3$)	$p < 0.01$
S4	1.97–2.66–3.51 ($n = 159$)	1.74–2.17–2.46 ($n = 34$)	$p < 0.01$
B1	1.17–1.85–2.40 ($n = 28$)	1.51–1.89–2.24 ($n = 30$)	$p = 0.93$
I	1.33–2.16–3.08 ($n = 99$)	1.11–1.46–2.01 ($n = 106$)	$p < 0.01$

第IV章 メジナ属魚類における海藻からの栄養摂取

IV-1 緒言

一般に、メジナ属魚類は海藻と小型無脊椎動物をどちらも摂食する雑食者であると考えられている。三郎丸・塚原（1984）がメジナ属魚類の胃内容物組成を調べた結果では、仔稚魚期にはほぼ動物プランクトンのみが摂食されていたが、成長に伴い海藻類などの植物が胃内容物の大部分を占めるようになった。伊豆半島下田市周辺の若魚と成魚の胃内容物組成も同様であり、海藻類が胃内容物の大部分を占めていた（渡辺 2005；岡本 2012）。

形態的な面においてもメジナ属魚類は海藻食に適した特徴を有している。メジナとクロメジナの歯は三尖頭歯と呼ばれ、歯の先が三つに分かれている（Kanda and Yamaoka, 1995）。三尖頭歯で海藻を挟むことにより、藻体を齧り取ることができる。成長に伴い歯の形態は多少変化するものの、稚魚期における歯の形態に種間差は無い（神田, 2011）。消化管の長さも特徴的であり、メジナでは標準体長の 1.9 倍、クロメジナでは標準体長の 1.8 倍もの長さがある（神田, 2011）。こうした形態的特徴からも、両種が海藻類から栄養を摂取していることが示唆されている。

しかしながら、消化吸收の面からはメジナ属魚類による海藻からの栄養摂取について疑問が呈されている（Clements and Choat, 1997）。一般に、海藻類の主成分である多糖類は、アルギン酸などの細胞間粘質多糖、紅藻デンプンなどの貯蔵多糖、およびセルロースなどの細胞壁骨格多糖からなる（山田, 2013）。メジナ属の海藻利用に関する従来の研究では、後者の細胞壁骨格多糖に焦点が当てられてきた。陸上の反芻動物では胃内の共生微生物が牧草を発酵させることにより生じる短鎖脂肪酸が主な栄養源になっていることから、メジナ属についても消化管内の短鎖脂肪酸の濃度が測定され、細胞壁骨格多糖の発酵が起きているかが調べられている（Clements and Choat 1997）。その結果、メジナ属の

短鎖脂肪酸濃度は近縁のイスズミ属の濃度より明瞭に低かったことから、メジナ属の消化管内では共生微生物による発酵があまり起きていないことが示唆されている。これは即ち、メジナ属が反芻動物やイスズミ属と違い細胞壁骨格多糖を栄養源にしていないことを意味している。

本研究では、メジナ属魚類が本当に細胞壁骨格多糖を栄養源として利用していないかを検証するため、主要な細胞壁骨格多糖であるセルロースについて消化管内における分解酵素活性の検出試験を実施した。その上で、メジナ属魚類が海藻食を介して何を栄養源として摂取し成育しているかを考察した。

IV-2 材料および方法

IV-2-1 供試魚の収集

2013年1-12月に鹿児島県種子島沿岸で釣獲により漁獲されたメジナ属成魚124個体を収集した (Fig 13)。供試魚は種子島の市場から保冷状態で研究室に輸送され、魚体計測と解剖の後に -20°C で凍結保存された。2016年5月から2017年12月にかけての期間には、静岡県伊東市の漁港と磯でメジナ属若魚90個体を釣獲により採集した (Fig 13)。供試魚を保冷状態で研究室に持ち帰った後、 -20°C で凍結保存した。また、2017年4-12月に伊東市の汐吹公園の磯でタモ網 (目合3mm) を用いてメジナ属稚魚477個体を採集した (Fig 13)。稚魚は、魚体計測後、前部と後部に分けて保存した。消化管を含めた前部は -20°C で冷凍保存し、後部は99.5%エタノール溶液で固定して保存した。

IV-2-2 魚体の計測および種判別

全ての供試魚について、全長、標準体長、およびに体重 (湿重量) を計測した。成魚と若魚の種判別は、背鰭中央下側線上方横列鱗数、有孔側線鱗数、尾鰭の長さ、および鰓蓋後縁部の色に基づいて行った (Yagishita and Nakabo, 2000)。

DNA 分析は、第Ⅱ章と同じ方法で実施した。

IV-2-3 試料の摘出

成魚からは 70%エタノールで殺菌した器具を用いて胃を摘出し、胃壁と胃内容物について酵素活性試験を実施した。胃壁は、蒸留水で洗浄した上で実験に供した。成魚の腸は凍結保存されていなかったため、実験に供することはできなかった。

若魚からは、70%エタノールで殺菌した器具を用いて胃と腸を摘出した。2016 年には胃壁、胃内容物、腸壁、および腸内容物の 4 区分に分けた。2017 年には胃壁、胃内容物、腸壁の前部と後部、および腸内容物の前部と後部の 6 区分に分けた。胃壁と腸壁は、実験に際し蒸留水で洗浄した。

稚魚は、三郎丸・塚原（1984）に基づいて、標準体長の異なる 2 つのグループに分けた。三郎丸・塚原（1984）では、体長 20mm までの胃内から動物プランクトンのみが検出され、体長 20mm 以上の胃内で藻類が多く検出されている。本研究では、供試魚を標準体長 20-30mm と 30-50 mm の区分に分けた。標準体長 20-30mm の区分は、小型の浮遊・付着動物、付着珪藻を主とする植物性餌生物を摂食し始める時期に相当する。標準体長 30-50mm の区分は、海藻を主とする植物性餌生物の摂餌が増加する時期に相当する。

IV-2-4 胃内容物観察

実体顕微鏡（SZX7, OLYMPUS）を用いて若魚と稚魚の胃内容物を観察し、動物性、植物性、およびその他の区分に分けた。若魚については、釣り餌として使用したオキアミを除外した。

IV-2-5 酵素活性試験

IV-2-5-1 粗酵素液の作製

供試魚から抽出した試料を 1.5 μm マイクロチューブに入れ、リン酸・クエン酸緩衝液 (pH6.0) を試料の 5 倍量加えた。ホモジナイザーを使用して試料をすり潰し均一化した後に、遠心分離機 (テーブルトップマイクロ冷却遠心機, KUBOTA) で遠心分離し上澄みを抽出した (15000 \times g, 20 分, 4 $^{\circ}$ C)。コントロール試料としてはヒザラガイ *Acanthopleura japonica* を用い、同様の処理を施して粗酵素液を作製した。

IV-2-5-2 染色および脱色

カルボキシメチルセルロース (carboxymethyl cellulose, CMC) を基質とした寒天培地の 6 カ所に穴を開けて、コントロール試料, ブランク試料 (リン酸・クエン酸緩衝液), および粗酵素液試料を 15 μl ずつ注入し, 35 $^{\circ}$ C のインキュベーターで一晩放置した。コンゴレッド溶液を寒天培地の表面が万遍なく覆われるように注ぎ, 1 時間染色した。その後, コンゴレッド溶液を捨て, 同じ要領で塩化ナトリウム溶液を寒天培地に注ぎ, 30 分間の脱色処理を 2 回行った。

IV-2-6 活性反応の判定

目視による観察とデジタルカメラ撮影画像の色素情報解析により活性反応を判定した。画像の撮影に際しては, 実体顕微鏡の LED 照明架台の光量を最大にし, その上に白紙を 1 枚置き, 高さ 136.1 mm の直上から撮影した。酵素が CMC 基質に反応すると, コンゴレッドに染色された基質部分が脱色して白円が形成される。この白円の有無により酵素活性反応を判定した。画像解析による判定には山口 (1996) を参考にし, デジタルカメラで撮影した培地の画像を画像処理ソフト Photoshop6.3 (アドビー社, USA) で解析した。画像から光の三原色 (赤, 緑, 青) の色素成分を数値情報で求め, 判定の基準とした。酵素活性反

応があった場合には、緑と青の値が上昇したことから、この 2 成分の数値を基準とした。

IV-3 結果

IV-3-1 胃内から検出された餌生物

2016 年に採集された若魚の胃内からは、海藻類、端脚類、カニ類、オキアミ類、魚鱗、および貝類が検出された。2017 年に採集された若魚では、胃内容物に藻類が多く含まれている個体が多かった。その他には釣り餌として用いたオキアミのみしか認められなかった。稚魚の胃内からは、全長 20–30 mm と 30–50 mm のどちらの区分においても藻類と小型無脊椎動物が混在している状態で検出された。特に小型無脊椎動物は、どの個体にも含まれていた。

本研究で胃内から検出された餌生物は、三郎丸・塚原 (1984)、渡辺 (2005)、および岡本 (2012) の胃内容物分析で検出された餌生物と合致する傾向にあった。

IV-3-2 セルロース分解酵素活性反応の概要

IV-3-2-1 成魚

2013 年に種子島沿岸で漁獲された成魚 124 個体の胃内容物についてセルロース分解酵素活性を調べた結果、全体の 2% に当たる 2 個体でしか活性反応は検出されなかった。胃壁からは、全 124 において活性反応が検出されなかった。

IV-3-2-2 若魚

2016 年度における若魚の分析検体 47 個体のうち、全体の 40% に当たる 19 個体から活性反応が検出された (Fig. 14)。このうち、消化管壁から活性反応が認められたのは、胃壁で 10 個体 (検出率 21%)、腸壁で 7 個体 (15%) であった。

(Fig. 14). 一方、胃内容物で活性反応が認められたのは、分析検体 41 個体のうち 14 個体 (34%) であった。反応が認められた 14 個体のうち、86%に当たる 12 個体の胃内から端脚類やカニ類などの小型甲殻類が検出された。腸内容物で活性反応が認められたのは、分析検体 46 個体のうち 11 個体 (24%) であった。反応が認められた 11 個体のうち、45%に当たる 5 個体の胃内から小型甲殻類が検出された。

2017 年度における若魚の分析検体 21 個体では、1 個体 (5%) からしか活性反応が検出されなかった (Fig. 15)。この個体では、腸内容物 (前部, 後部), 胃壁と腸壁 (前部, 後部) で反応が認められた。2017 年度には、若魚の胃内容物からは 1 個体も活性反応が認められなかった。

IV-3-2-3 稚魚

標準体長 20-30mm のメジナ属稚魚 92 個体を分析に供した結果、全体の 42% に当たる 38 個体から活性反応が検出された (Fig. 16)。このうち、消化管壁から活性反応が認められたのは、胃壁で 1 個体 (検出率 2.6%), 腸壁で 1 個体 (2.6%) のみであった。標準体長 30-50mm のメジナ属稚魚 30 個体を分析に供した結果では、全体の 43%に当たる 13 個体から活性反応が検出された (Fig. 17)。このうち、消化管壁から活性反応が認められたのは、胃壁で 1 個体 (7%), 腸壁で 1 個体 (7%) のみであった。

IV-3-3 季節毎のセルロース分解酵素活性反応

IV-3-3-1 若魚

2016 年 6 月に採集されたメジナ属若魚 24 個体は、メジナ 22 個体とクロメジナ 2 個体から構成されていた。メジナ 22 個体のうち活性反応が認められた個体の数は、胃内容物では 11 個体、胃壁では 10 個体、腸内容物では 5 個体、腸壁

では3個体であり、検出頻度はそれぞれ50.0%、45.6%、22.7%、および13.6%となっていた。腸より胃の方が検出頻度が高い傾向にあった。一方、クロメジナ2個体で活性反応が認められたのは、胃内容物で2個体、胃壁で2個体、腸内容物で2個体、腸壁で1個体となっていた。腸壁以外では、両個体で活性反応が認められている。

2016年8月に採集されたメジナ属若魚2個体は、いずれもクロメジナであった。活性反応が認められた個体の数は、胃内容物では1個体、腸壁では1個体であり、胃壁と腸内容物では反応が認められなかった。

2016年10月に採集されたメジナ属若魚3個体は、メジナ1個体とクロメジナ2個体から構成されていた。メジナでは、いずれの区分においても反応が認められなかった。クロメジナでは両個体の腸内容物と腸壁から反応が検出された。

2016年11月に採集されたメジナ属若魚6個体は、メジナ1個体とクロメジナ5個体から構成されていた。メジナ1個体では腸内容物からのみ反応が検出され、他の区分では反応が認められなかった。クロメジナでは、いずれの個体においても反応が認められなかった。

2016年12月に採集されたメジナ属若魚2個体は、いずれもメジナであった。活性反応は1個体の腸内容物からのみ検出され、他の区分では反応が認められなかった。

2017年1月（2016年度）に採集されたメジナ属若魚10個体は、メジナ6個体とクロメジナ4個体から構成されていた。メジナ6個体のうち活性反応が認められた個体の数は、胃内容物では2個体、腸内容物では2個体であり、他の区分では反応が認められなかった。クロメジナでは、いずれの個体においても反応が認められなかった。

2017年6月に採集されたメジナ属若魚1個体はメジナであった。どの区分においても反応が認められなかった。

2017年7月に採集されたメジナ属若魚15個体は、メジナ14個体とクロメジナ1個体から構成されていた。メジナ14個体のうち活性反応が認められた個体の数は、胃内容物では0個体、胃壁では1個体、腸内容物では1個体、腸壁では1個体であり、どの区分においても検出頻度は僅か0.0–7.1%しかなかった。クロメジナ1個体では、いずれの区分においても反応が認められなかった。

2017年10月に採集されたメジナ属若魚1個体はメジナであった。全区分から反応は認められなかった。

2017年11月に採集されたメジナ属若魚4個体は、いずれもメジナであった。どの区分においても反応は認められなかった。

IV-3-3-2 稚魚

2017年3月に採集されたメジナ属稚魚13個体は、全てクロメジナであった。体長区分20–30mmのクロメジナ9個体のうち活性反応が認められた個体の数は、胃内容物では9個体、腸内容物では9個体であり、胃壁と腸壁では反応が認められなかった。体長区分30–50mmのクロメジナ4個体のうち活性反応が認められた個体の数は、胃内容物では4個体、腸内容物では4個体であり、やはり胃壁と腸壁では反応が認められなかった。

2017年4月に採集されたメジナ属稚魚6個体も、全てクロメジナであった。体長区分20–30mmのクロメジナ5個体のうち活性反応が認められた個体の数は、胃内容物では5個体、腸内容物では5個体であり、胃壁と腸壁では反応が認められなかった。体長区分30–50mmのクロメジナ1個体では、胃内容物と腸内容物で反応が検出されたが、やはり胃壁と腸壁では反応が認められなかった。

2017年5月に採集されたメジナ属稚魚5個体は、メジナ4個体とクロメジナ1個体から構成されていた。両種とも、体長区分20–30mmと30–50mmの双方で活性反応が全く検出されなかった。

2017年6月に採集されたメジナ属稚魚7個体は、全てメジナであった。体長区分20–30mmのクロメジナ4個体のうち活性反応が認められた個体の数は、胃内容物では2個体、腸内容物では2個体であり、胃壁と腸壁では反応が認められなかった。体長区分30–50mmのクロメジナ3個体のうち活性反応が認められた個体の数は、胃内容物では2個体、胃壁では1個体、腸内容物では2個体、腸壁では1個体であり、検出頻度はそれぞれ67.0%、33.0%、67.0%、および33.0%となっていた。

2017年7月に採集されたメジナ属稚魚94個体は、全てメジナであった。体長区分20–30mmのメジナ72個体のうち活性反応が認められた個体の数は、胃内容物では23個体、腸内容物では22個体であり、胃壁と腸壁では反応が認められなかった。体長区分30–50mmのメジナ22個体のうち活性反応が認められた個体数の数は、胃内容物では7個体、腸内容物では7個体であり、やはり胃壁と腸壁では反応が認められなかった。

IV-3-4 若魚におけるセルロース分解酵素活性反応の種間差

セルロース分解酵素の活性反応が認められた44個体のメジナ属若魚のうち、29個体はメジナ、15個体はクロメジナであり、それぞれ全体の65.9%と34.1%を占めていた。メジナの各部位における活性反応は、胃内容物では13個体(44.8%)、胃壁では10個体(34.5%)、腸内容物では10個体(34.5%)、腸壁では6個体(20.7%)で認められた。このように、メジナでは胃内容物の検出率が高かった。一方、クロメジナの各部位における活性反応は、胃内容物では3個体(20.0%)、胃壁では2個体(13.3%)、腸内容物では5個体(33.3%)、腸壁では5個体(33.3%)で認められた。クロメジナの場合、腸における検出率が比較的高くなっていた。

IV-3-5 稚魚におけるセルロース分解酵素活性反応の種間差

セルロース分解酵素の活性反応が認められた 51 個体のメジナ属稚魚のうち、33 個体はメジナ、18 個体はクロメジナであり、それぞれ全体の 64.7%と 35.3%を占めていた。メジナの各部位における活性反応は、胃内容物では 33 個体 (100%)、胃壁では 1 個体 (3.0%)、腸内容物では 32 個体 (97.0%)、腸壁では 1 個体 (3.0%) で認められた。このように、メジナの活性反応はほぼ消化管内容物のみから検出された。クロメジナの各部位における活性反応は、胃内容物では 33 個体 (100%)、胃壁では 1 個体 (5.6%)、腸内容物では 32 個体 (100%)、腸壁では 1 個体 (5.6%) で認められた。クロメジナでも活性反応はほぼ消化管内容物のみから検出された。

IV-4 考察

メジナ属の若魚におけるセルロース分解酵素活性反応の検出率は、メジナとクロメジナのいずれにおいても 2016 年と 2017 年の間で大きく異なっていた (Figs. 14, 15)。2016 年の若魚では分析検体 47 個体の 40%に当たる 19 個体で活性反応が検出されたのに対し、2017 年の若魚では分析検体 21 個体のうち僅か 1 個体 (5%) からしか活性反応が検出されなかった。この調査年間での差異は、胃内容物の種類の違いに起因していると考えられる。2016 年の若魚では胃内容物で酵素活性反応が認められた 14 個体のうち、86%に相当する 12 個体の胃内から端脚類やカニ類などの小型甲殻類が検出された。一方、2017 年の若魚では胃内容物のほとんどが藻類によって占められていた。ヨコエビ類などの端脚類は、自身でセルロース分解酵素を産生し分泌していることが知られている (森下, 1990 ; Tanimura et al. 2013)。若魚の胃内で検出されたセルロース分解酵素の活性反応は、捕食された小型無脊椎動物から胃内に浸出した酵素によるものである可能性が高いと考えられる。

メジナ属の稚魚におけるセルロース分解酵素活性反応の検出率は、体長区分 20–30mm と 30–50mm の両区分において胃腸の内容物で高く胃壁や腸壁で低い傾向にあった (Figs. 16, 17). これは、メジナとクロメジナの両種に共通していた。魚類に関してはセルロース分解酵素を自ら産生する種の報告例は無い。胃壁や腸壁から活性反応が検出された個体では胃腸の内容物でも活性反応が検出されていることから、胃壁や腸壁から検出された活性反応は胃腸の内容物中の酵素が蒸留水による洗浄でも洗い流されず胃腸の内壁に残留していたことによるものと考えられる。どちらの体長区分においても、分析に供された稚魚の胃内容物には藻類と小型無脊椎動物が混在しており、小型無脊椎動物はほぼ全ての個体の胃内容物に含まれていた。稚魚の胃腸内容物で認められた活性反応も、捕食された小型無脊椎動物などから浸出したセルロース分解酵素に起因しているものと推察された。

分析に供された稚魚のうちセルロース分解酵素の活性反応が検出された個体の比率は、体長区分 20-30mm で 42%、30-50mm で 43%であった。採集月によっては更に低い検出率の場合もあった。この結果から、セルロース分解酵素は安定的にメジナ属稚魚の消化管内に含まれているわけではないことが示唆された。消化管内に消化酵素が安定的に含まれていないのならば、メジナ属稚魚が海藻に含まれるセルロースを定常的な栄養源として利用しているとは考えにくい。

海藻は畜産動物の餌料としても古くから利用されてきた (Makkar et al., 2016). 通常の牧草で飼育された反芻動物のルーメン液は海藻を投与されても効率的に消化できないが、海藻を長期間給餌された反芻動物のルーメン液では海藻の消化効率が上昇することが報告されている (Greenwood et al., 1983). したがって、消化管内の環境が海藻分解能を持つ微生物の増殖に適しているならば、海藻中の細胞壁骨格多糖は海藻食者の栄養源になりうると考えられる。メジナ属魚類の場合には、消化管内の環境がそうした微生物の増殖にあまり適していなかった

め、消化管内が継続的に海藻で満たされていても海藻分解能を持つ微生物の増殖はあまり進まず、細胞壁骨格多糖の消化分解は進まないものと推察される。

本研究でセルロース分解酵素の活性反応が低い頻度でしか検出されなかったことから、メジナ属魚類は海藻中のセルロースをほとんど利用していないことが示唆された。消化管内では細胞壁骨格多糖の消化分解はあまり進んでおらず、こうした多糖類はメジナ属の主な栄養源にはなっていないことが示唆された。メジナ属は海藻類を嚙り取って生食するため、藻体に含まれる貯蔵多糖などを海水中にあまり溶出させずに消化管内へ送り込むことができる。メジナ属魚類は、貯蔵多糖などの多糖類を主要な栄養源として摂取していると考えられる。また、海藻とともに摂食している小型無脊椎動物も副次的な栄養源になっていると考えられる。

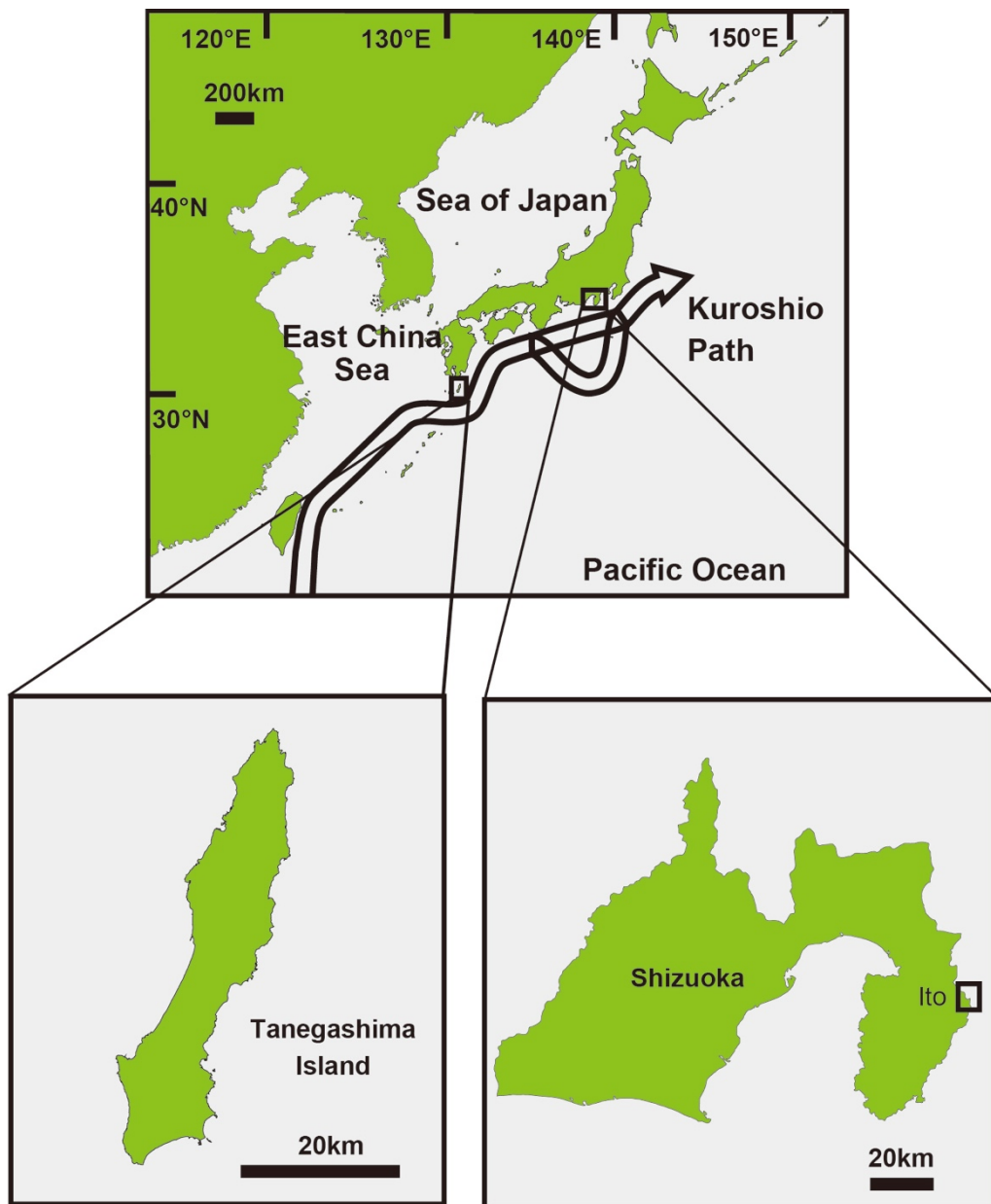


Figure 13. The study area. The girellid fish were collected from the Tanegashima Island (adults) and the eastern Izu Peninsula (juveniles and the young).

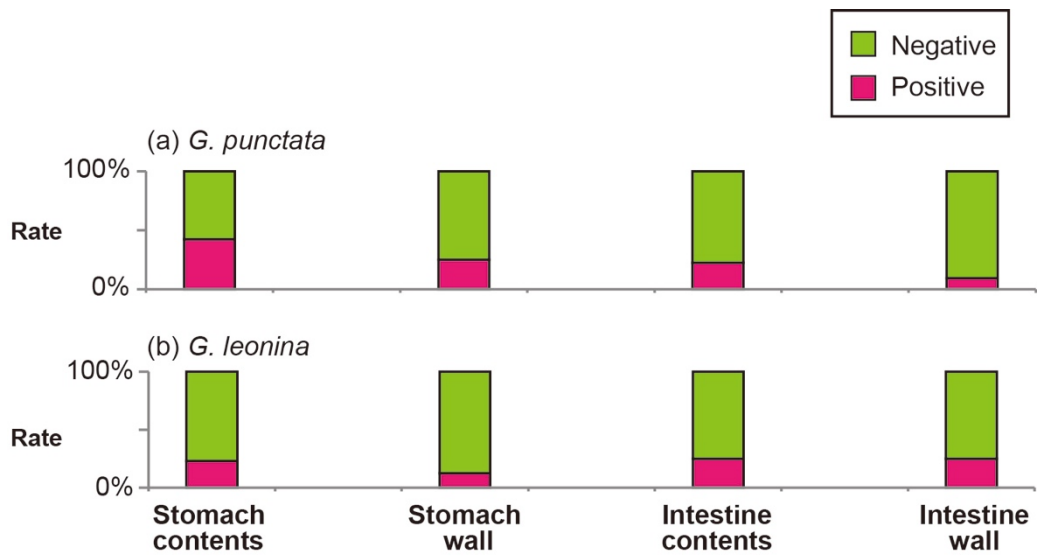


Figure 14. The detection rate of cellulolytic enzyme activity in the young of the girellid fish in 2016. (a) *G. punctata* (N=32). (b) *G. leonina* (N=15).

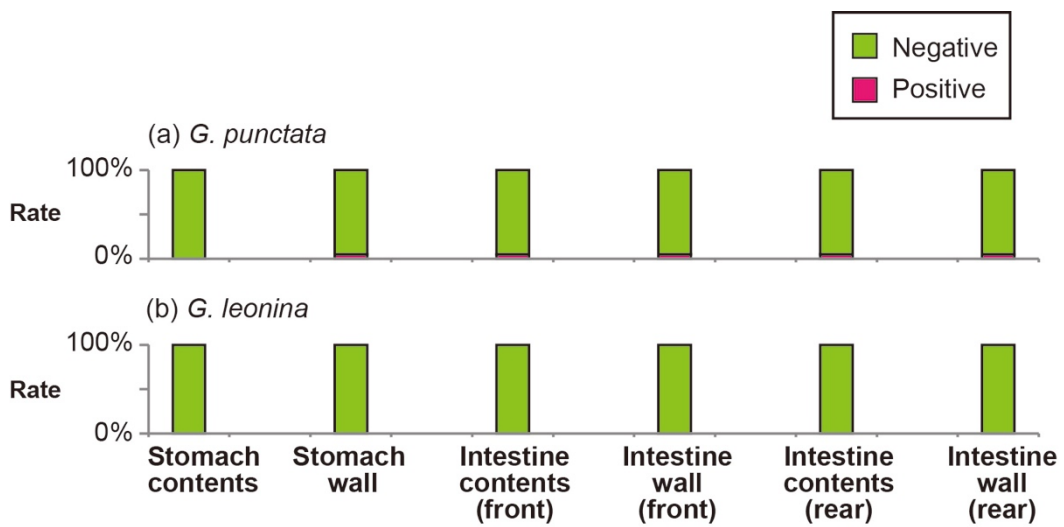


Figure 15. The detection rate of cellulolytic enzyme activity in the young of the girellid fish in 2017. (a) *G. punctata* (N=20). (b) *G. leonina* (N=1).

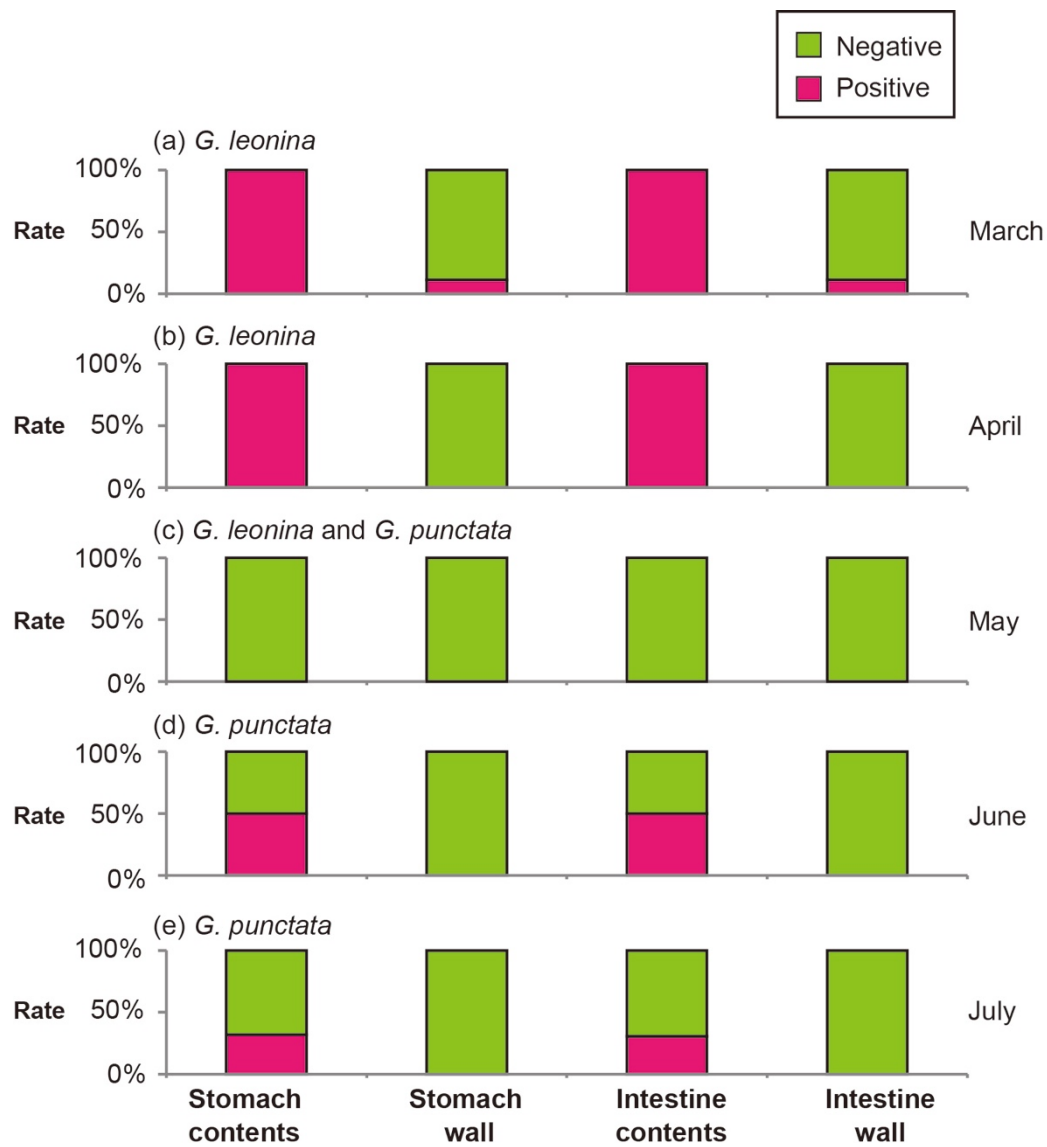


Figure 16. The detection rate of cellulolytic enzyme activity in the girellid juveniles of 20-30 mm standard length in 2017. (a) *G. leonina* (N=9). (b) *G. leonina* (N=5). (c) *G. leonina* (N=1) and *G. punctata* (N=3). (d) *G. punctata* (N=4). (e) *G. punctata* (N=72).



Figure 17. The detection rate of cellulolytic enzyme activity in the girellid juveniles of 30-50 mm standard length in 2017. (a) *G. leonina* (N=4). (b) *G. leonina* (N=1). (c) *G. punctata* (N=1). (d) *G. punctata* (N=3). (e) *G. punctata* (N=22).

第V章 総括

12-3月に台湾近海で漁獲されたクロメジナの成魚からは成熟期の卵細胞が検出され、GSIも1月に高い値を示した。また、1-4月に産卵すると考えられている澎湖島の人工種苗個体はmtDNAのPCR-RFLPによりクロメジナと同定された。したがって、クロメジナは台湾近海で冬から早春にかけての時期に産卵しているものと推察された。従来、クロメジナの産卵期は11-12月（荒賀, 1997）もしくは10-2月（小西, 2014b）と考えられてきたが、クロメジナについては成熟した個体の報告例が無く、クロメジナが秋季（10-11月）に産卵すると見なされた根拠は不明である。クロメジナの地理的分布域の南限に近い台湾近海であっても、完熟期の卵細胞が検出されたのは12月以降であったことから、本種が秋季に産卵する可能性は低いと考えられる。ただし、地理的分布域の南限とされる香港は澎湖島より更に約1°N（約111km）南方に位置している。クロメジナが香港近海で秋季に産卵している可能性についても、今後検討する必要がある。

クロメジナの着底稚魚は、黒潮沿いの相模灘では1-3月に豊富に出現することが報告されているが（Nakai et al., 2015）、黒潮に直接晒されていない相模湾の調査では冬季に全く出現しなかった。冬季の相模湾における低水温環境では、クロメジナの稚魚は生残できないと考えられる。クロメジナの稚魚は黒潮に輸送される過程で黒潮流路に近い岩礁底に着底し、1-3月でも比較的温かい水温環境の中で成育していると考えられる。

一方、メジナの着底稚魚は、黒潮に晒されていない相模湾でも晩春から初夏にかけての時期に豊富に出現していた。メジナについては完熟期の卵細胞が3-5月の時期に伊豆半島沿岸から九州沿岸にかけての広い範囲にわたって検出されており、この時期が日本沿岸におけるメジナの産卵期であることが示唆されている（Takai et al., 2017）。このようにメジナの産卵期はクロメジナの主産卵期（1-3月）より2ヶ月遅いため、着底稚魚は春季の昇温後の環境で成育すること

ができる。そのため、メジナの稚魚は黒潮に晒されていない相模湾も成育場として利用できるものと考えられる。すなわち、メジナの再生産機構に及ぼす黒潮の影響はクロメジナほど大きくないものと考えられる。

消化管内におけるセルロース分解酵素の活性反応の検出頻度は、両種とも成長段階に関わらず低かった。このことから、海藻類に含まれる難分解性のセルロースは、メジナ属の主要な栄養源になっていないことが示唆された。貯蔵多糖のような易分解性の成分がメジナ属魚類の主要な栄養源になっていると考えられる。

本研究の結果から、クロメジナとメジナの生活史を繁殖戦略の観点から特徴付けることができる。クロメジナの繁殖戦略は低緯度地方の高水温環境に依存する傾向が強く、日本沿岸のクロメジナ資源は黒潮の輸送によって支えられていることが示唆された。成魚は台湾近海の熱帯・亜熱帯海域を産卵場として利用するため、冬季であっても温かい海水中で繁殖できる。この海域で生まれた稚魚の一部は、黒潮に輸送されて太平洋側の日本沿岸域に來遊し、流路沿いの比較的温かい環境に着底して主に海藻を摂食しながら成育する。こうした特徴から、クロメジナは言わば「暖水海域依存型」の繁殖戦略をとっていると見なすことができる。一方、メジナは日本沿岸各地で春に環境水温が上昇してから繁殖するため、稚魚は黒潮から離れた場所でも着底し主に海藻を摂食しながら成育することができる。こうした特徴から、メジナは言わば「春季昇温依存型」の繁殖戦略をとっていると見なすことができる。メジナとクロメジナは北西太平洋海域において対照的な繁殖戦略をとりながら、資源を維持していると考えられる。

クロメジナが成熟する台湾近海のうち産卵場が形成されている海域は、人口種苗施設のある澎湖島の周辺域であると考えられる。台湾海峡の南部に位置するこの海域は、日本の水産重要種であるカンパチの産卵場としても利用されて

いることが近年明らかにされた (Hasegawa et al., 2017). 産卵海域が未だに不明な日本産水産生物の中には、クロメジナやカンパチと同様にこの海域で産卵している種がいると予想される. 現在, 台湾政府の政策により澎湖島の南方に水産生物の保護区を設置する計画が進行中である (行政院農業委員會水産試験所澎湖海洋生物研究中心, 私信). 保護区の設定が日本産水産生物の資源状態にどのような影響を及ぼすか注視する必要がある. また, 澎湖島周辺における仔稚魚の量が増えたとしても, 日本沿岸域の海藻藻場が減少すれば海藻を摂食とするクロメジナの成育は妨げられてしまう可能性が十分に考えられる. メジナ属の資源を持続的に利用するため, 海藻藻場の保全を図っていく必要がある.

謝辞

本研究の実施にあたっては、日本大学生物資源科学部海洋生物資源科学科水族生態学研究室の高井則之准教授と中井静子助教に終始ご指導とご鞭撻を頂いた。同学科増殖環境学研究室の杉田治男特任教授と糸井史朗准教授には、DNA分析のご指導を頂くと共に、研究全般にわたりご指導とご支援を頂いた。同学科海洋生物生理学研究室の朝比奈潔教授と鈴木美和准教授、および水圏生物病理学研究室の間野伸宏准教授には、生殖腺の組織学的観察についてご指導とご支援を頂いた。同学科海洋生物資源利用学研究室の松宮政弘教授、福島英登准教授、柿崎博美博士、および大学院生の藤森翔氏には、酵素活性試験についてご指導とご支援を頂いた。以上の皆様に厚く御礼申し上げます。

国立台南大学（台湾）の黄銘志助理教授には、台湾近海で漁獲されたクロメジナの収集にご協力頂くとともに、研究全般にわたりご指導とご支援を頂いた。行政院農業委員會水産試験所澎湖海洋生物研究中心の黄丁士主任、謝恆毅博士、および陳其欽研究員には、台湾のメジナ属魚類に関する有益な情報をご提供頂いた。また、長崎大学大学院水産・環境科学総合研究科水産増殖学研究室の阪倉良孝教授と長谷川隆真博士からも、台湾のメジナ属魚類に関する有益な情報をご提供頂いた。皆様に心より御礼申し上げます。

日本大学生物資源科学部海洋生物資源科学科魚群行動計測学研究室の小嶋隆人教授には、主査として本論文をご審査頂いた。また、同学部動物資源科学科飼養学研究室の梶川博教授と同学部生命農学科緑地環境科学研究室の大澤啓志

教授には，副査として本論文をご審査頂いた．厚く御礼申し上げます．

最後に，大学院もしくは 4 年次の研究課題として本研究の実施にご協力頂いた水族生態学研究室の飯野祐大氏，井上海氏，中井義満氏，高橋元美氏，大塚一輝氏，荻野雄輝氏，加藤裕太氏，三澤翔太氏，福岡浩弥氏，および大杉華代氏と，終始ご支援を頂いた同研究室の皆様には感謝の意を表す．

参考文献

- 荒賀忠一. 1997. メジナ科. 岡村 収・尼岡邦夫 (編), pp. 414.
山溪カラー名鑑日本の海水魚. 山と溪谷社, 東京.
- Clements K D, Choat J H. 1997. Comparison of herbivory in the closely-related marine fish genera *Girella* and *Kyphosus*. *Marine Biology*., 127: 579-586.
- Fujita S, Takahashi I, Niimi K. 2000. Use of iridophore pigmentation patterns to separate juveniles of two *Girella* species (Girellidae). *Ichthyological Research*., 47: 397-400.
- Greenwood Y, Orpin C G, Paterson I W. 1983. Digestibility of seaweeds in Orkney sheep. *Proceedings of the Physiological Society*., 343: 120.
- Hasegawa T, Yen H M, Chen J R, Kuo C L, Kawabe R, Sakakura Y. 2017. Collection and aging of greater amberjack *Seriola dumerili* larvae and juveniles around the Penghu Island. Taiwan. *Ichthyological Research*., 64: 145-150.
- Hinata H, Miyano M, Yanagi T, Ishimaru T, Kasuya T, Kawamura H. 2003. Short-period fluctuations of surface circulation in Sagami Bay induced by the Kuroshio Warm Water Intrusion through Ooshima West Channel. *Oceanography in Japan*., 12: 167-184 (in Japanese).
- Itoi S, Saito T, Shimojo M, Washio S, Sugita H. 2007. Identification of *Girella punctata* and *G. leonina* by PCR-RFLP analysis. *Ices Journal of Marine Science*., 64: 328-331.
- Kanda M, Yamaoka K. 1995. Tooth and gut morphology in relation to feeding in three girellid species (Perciformes: Girellidae) from southern Japan. *Netherlands Journal of Zoology*., 45: 495-512.
- 神田 優. 2011. 食べ方までわかるメジナの歯. 海野徹也・吉田将之・糸井史朗 (編), pp. 175-183. メジナ釣る? 科学する?. 恒星社厚生閣, 東京.

- 小西芳信. 2014a. メジナ科. メジナ [メジナ属]. 沖山宗雄 (編), pp. 955–956.
日本産稚魚図鑑第二版. 東海大学出版会, 東京.
- 小西芳信. 2014b. メジナ科. クロメジナ [メジナ属]. 沖山宗雄 (編), pp. 957.
日本産稚魚図鑑第二版. 東海大学出版会, 東京.
- 前田充穂・木村清志・中坊徹次. 2002. 和歌山県串本におけるメジナの年齢と成長. 日本水産学会誌, 68: 859–865.
- 間野伸宏・糸井史朗. 2011. メジナとクロメジナの出会い. 海野徹也・吉田将之・糸井史朗 (編), pp. 19–24. メジナ釣る? 科学する?. 恒星社厚生閣, 東京.
- 水戸 敏. 1967. メジナの卵発生と仔魚期. 魚類学雑誌, 6: 105–108.
- Makkar HPS, Tran G, Heuze V, Giger-Reverdin S, Lessire M, Lebas F, Ankers P. 2016. Seaweeds for livestock diets: a review. International Publisher of Science, Technoligy and Medicine., 212: 1–17.
- Miyake Y, Kimura S, Itoh S, Chow S, Murakami K, Katayama S, Takeshige A, Nakata H. 2015. Roles of vertical behavior in the open-ocean migration of teleplanic larvae: a modeling approach to the larval transport of Japanese spiny lobster. Marine Ecology Progress Series., 539: 93–109.
- 水江一弘・三上健彦. 1960. メジナ生殖巣の成熟および季節的循環に関する研究. 長崎大学水産学部研究報告, 9: 18–32.
- 森下達雄・荒木利芳・関口秀夫・菅原 庸・上野隆二. 1990. 藻場の端脚類におけるセルラーゼの存在. 三重大学大学院生物資源学研究科紀要, 3: 87–95.
- Nakai S, Higuchi T, Iino Y, Itoi S, Sugita H, Takai N. 2015. Spawning ecology of *Girella punctata* and *G. leonina* (Perciformes: Girellidae) in the coastal waters of the Izu Peninsula, Japan. Estuarine and Coastal Marine Science., 38: 12–20.

- 岡本一紀. 2013. 伊豆半島近海に生息するメジナ属 2 種の食性 (2012 年度卒業論文). 日本大学生物資源科学部海洋生物資源科学科.
- Palumbi S, Martin A, Romano S, McMillan W O, Stice L, Grabowski G. 1991. The Simple Fool's Guide to PCR, Version 2. Department of Zoology and Kewalo Marine Laboratory, University of Hawaii, Honolulu.
- 三郎丸隆・塚原 博. 1984. 福岡北部沿岸におけるメジナの生活史. 九州大学農学部学芸誌, 39: 35–48.
- Saito T, Washio S, Dairiki K, Shimojo M, Itoi S, Sugita H. 2008. High gene flow in *Girella punctata* (Perciformes, Kyphosidae) among the Japanese Islands inferred from partial sequence of the control region in mitochondrial DNA. *Journal of Fish Biology.*, 73: 1937–1945.
- Senjyu T, Asano N, Matsuyama M, Ishimaru T. 1998. Intrusion events of the intermediate Oyashio Water into Sagami Bay, Japan. *Journal of Oceanography.*, 54: 29–44.
- Sezaki K, Begum A R, Wongrat P, Srivastava P M, SriKantha S, Kikuchi K, Ishihara H, Tanaka S, Taniuchi T, Watabe S. 1999. Molecular phylogeny of Asian freshwater and marine stingrays based on the DNA nucleotide and deduced amino acid sequences of the cytochrome *b* gene. *Fisheries Science.*, 65: 563–570.
- 下茂 繁・秋本 泰・高浜 洋. 2000. 海生生物の温度影響に関する文献調査. 海洋生物環境研究所研究報告, 2: 1–351.
- 鈴木伸洋. 2011. 子メジナの変貌. 海野徹也・吉田将之・糸井史朗 (編), pp. 13–18. メジナ釣る? 科学する?. 恒星社厚生閣, 東京.
- Takai N, Ito T, Iino Y, Yamamoto T, Suzuki M, Asahina K, Itoi S, Nakai S, Mano N, Huang M, Sugita H. 2017. Sexual maturation of *Girella punctata* and *G.*

- leonina* (Perciformes: Girellidae) in the neritic sea off the Pacific coast of Japan. *Estuarine and Coastal Marine Science.*, 40: 7–16.
- Tanimura A, Liu W, Yamada K, Kishida T, Toyohara H. 2013. Animal cellulases with a focus on aquatic invertebrates. *Fisheries Science.*, 79: 1–13.
- 寺本俊彦. 1987. 黒潮. 和達清夫 (編), pp. 182–193. 海洋大辞典. 東京堂, 東京.
- 植田育男・荒 功一. 2015. 江の島の海岸におけるミドリイガイの生息状況と理化学的条件. 神奈川自然誌資料, 36: 31–36.
- Umino T, Kajihara T, Shiozaki H, Ohkawa T, Jeong D S, Ohara K. 2009. Wild stock structure of *G. punctata* in Japan revealed shallow genetic differentiation but subtle substructure in subsidiary distributions. *Fisheries Science.*, 75: 909–919.
- 渡辺雅士. 2006. 下田市周辺海域におけるメジナの食性に関する研究 (2005 年度卒業論文). 日本大学生物資源科学部海洋生物資源科学科.
- Yagishita N, Nakabo T. 2000. Revision of the genus *Girella* (Girellidae) from East Asia. *Ichthyological Research.*, 47: 119–135.
- 山田信夫. 2013. 海藻の炭水化物と食物繊維. pp. 132–135. 海藻利用の科学. 成山堂書店, 東京.
- 山口敏康・高橋尚文・中川泰孝・竹内正昭. 1996. 魚体切断面の画像解析法による脂質含量の迅速測定. 日本食品科学工学会誌, 43: 1086–1091.
- 安田一郎. 2012. 黒潮の構造. 島 一雄・關 文威・前田昌調・木村伸吾・佐伯宏樹・桜本和美・末永芳美・長野 章・森永 勤・八木信行・山中秀明 (編), pp. 20–21. 水産ハンドブック. 講談社, 東京.
- 吉原喜好・高城秀光. 2009. 過去 5 年間 (2003 年～2007 年) の月平均水温との比較. 田の浦湾沿岸観測結果. 日本大学生物資源科学部下田臨海実験所, 17: 6.

吉安洋史・植田育男・朝比奈潔. 2004. 相模湾, 江ノ島におけるミドリイガイの生殖周期. 日本付着生物学会誌, 21: 19–26.