

飼育条件下におけるマアナゴ生殖腺の周年変化-1

生殖腺の周年変化に及ぼす飼育水温の影響

中村尚隆¹・瀬川 勲²・家戸敬太郎^{1,3}

Annual changes in the gonadal development of the common Japanese conger,
Conger myriaster, under rearing conditions -1

Effects of rearing water temperature on the annual changes of gonadal development

Naotaka NAKAMURA¹, Satoshi SEGAWA² and Keitaro KATO^{1,3}

The common Japanese conger, *Conger myriaster*, is one of the most important fisheries resources in Japan. However, the catch of the common Japanese conger has decreased by nearly 80% over the past 25 years, and the early establishment of aquaculture and seedling production technology is required. In order to conduct the first stage of seedling production, egg collection, it is necessary to understand the maturation mechanism of the common Japanese conger, but there are still many unknowns, both in the wild and in captivity. To date, there have been no comparative studies of the interannual changes in the common Japanese conger gonads under different rearing conditions. In this study, we investigated the effects of different rearing water temperatures on the annual changes in the gonadal development. The fish were reared in an environment where the annual water temperature varied from 8.0 to 24.4°C ($16.1 \pm 5.0^\circ\text{C}$) and 8.5 to 19.5°C ($13.9 \pm 2.9^\circ\text{C}$) were designated as group 1 and 2, respectively. The GSI and egg diameter of females in group 1 increased until July, when the water temperature did not exceed 20°C. From August onward, the GSI and egg diameter decreased rapidly when the water temperature exceeded 20°C. In group 2, the GSI and egg diameter increased in August, when the water temperature did not exceed 20°C. In group 2, GSI and egg diameter increased in August and were significantly higher than in group 1 in September and October. The GSI of males was higher in the group 1 at most of the time except for the period of advanced regression.

¹富山実験場 (Toyama station, Aquaculture Research Institute, Kindai University, 3 Kairyu, Imizu, Toyama 933-0222 Japan)

²岩手県沿岸広域振興局水産部 (Iwate Coastal Regional Development Bureau Department of Fisheries, 6-50 Shin-machi, Kamaishi, Iwate 026-0043 Japan)

³白浜実験場 (Shirahama station, Aquaculture Research Institute, Kindai University, 3153 Shirahama, Nishimuro, Wakayama 649-2211 Japan)

飼育条件下におけるマアナゴ生殖腺の周年変化-1
生殖腺の周年変化に及ぼす飼育水温の影響

These results indicate that low water temperatures of less than 20°C in rearing condition lead to more advanced maturity in both males and females. However, water temperatures not exceeding 20°C per year were thought to suppress ovarian regression and cause large individual variation in maturity.

Key words: common Japanese conger, *Conger myriaster*, gonadal development, rearing temperature, annual change

日本は世界主要国の中でも有数の水産物消費大国であり、日本人が特に好む魚種のひとつにマアナゴ (*Conger myriaster*) がある。マアナゴは日本においては籠、釣り、はえ縄、底引き網、筒漁などで漁獲される。漁獲されたマアナゴは、江戸前の煮穴子のにぎり寿司、京都府八幡市の八幡巻、大阪泉州の天ぷら（天井）、広島県廿日市市のあなご飯など全国で幅広く利用されている。また、大型の個体は関西で伝助穴子と呼ばれ好んで消費されており、変態前のレプトケファルス幼生をノレソレと呼び珍味として消費する地域も存在する。このように変態前の幼生から大型の成魚までの様々な成長段階で幅広く調理されて利用されることも本種の特徴の一つである。

近年、マアナゴの漁獲量は急激に減少しており、あなご類として統計が公表されるようになった 1995 年には 12,978 t あった漁獲量も 2020 年には 2,739 t まで減少している（農林水産省：漁業・養殖業生産統計年報）。そのため、マアナゴの養殖技術、さらには種苗生産技術の早期な確立が強く求められている。しかし、本種の成熟・産卵についてはまだ多くが謎に包まれている。特に自然界での産卵に関する情報は極めて少ない。Kurogi et al. (2012) によりマアナゴの産卵場所は九州パラオ海嶺付近である可能性が高いと推測されているものの、産卵場所までの回遊ルート、産卵深度、孵化仔魚の遊泳メカニズムなど不明な点は多く残されている。また、マアナゴは水産資源としての重要性にも関わらず人工的な成熟誘導に関する研究は未だ少なく（宇藤(飯田)・堀江 2011 など）、飼育条件下での成熟機構に関してもまだ多くが謎のままである。そのためマアナゴの人為的な成熟誘導には外因性のホルモンが使用されており（堀江ら, 2001）、それにより得られた卵および仔魚の発生に関する唯一の報告がある（Horie et al. 2002）。過去にはホルモン処理を行わずに水温操作のみで排卵誘発に成功した例が 1 例のみ存在している（Utoh et al. 2013）。この成果はホルモンを用いないマアナゴの種苗生産技術の確立に大きく貢献することが期待されるが、そこで用いられている 6°C という低水温環境の長期間の維持は容易には実現できず、現在のところは実用化するのが困難である。

これまで本学水産研究所富山実験場でも様々な条件によって人工的な成熟誘導を行ってきた。しかし、いずれの実験でもこれまで良質な受精卵は得られていない。それらの実験結果から多くの問題が判明してきているが、特に深刻であるのが似たような環境や条件で実験を行ってもそれぞれの実験において再現性が極めて低いという点である。これはおそらく実験の開始時期、親

魚の年齢、親魚の飼育環境、ハンドリング回数など、ホルモンの種類や濃度といった制御可能な因子以外の条件の違いが結果に大きく影響しているためであると推察される。そのため、飼育条件下においてこれまでの実験よりもさらに基本的なマアナゴの成熟機構に関する情報が必要であると考えられた。

飼育条件下のマアナゴ生殖腺の周年変化についてはこれまでも Utoh et al. (2005) が報告しているが、これは単一の飼育条件での結果である。そこで本研究では、異なる水温および年齢の違いがマアナゴ生殖腺の周年変化にどのような影響を与えるのかについて調査した。この調査により、飼育条件下のマアナゴにおいて人工的に成熟させるのに適切な飼育条件が明らかになることが期待される。

本研究では、異なる水温で飼育したマアナゴの生殖腺を比較することにより、マアナゴ生殖腺の周年変化に及ぼす飼育水温の影響について調べた。マアナゴにおいては異なる水温で飼育した場合の生殖腺周年変化を比較した例はなく、本研究の目的は飼育水温が飼育条件下のマアナゴ生殖腺の周年変化にどのような影響を及ぼすのかについての知見を得ることである。

材料および方法

実験区 1 (Group 1)

瀬戸内海で捕獲されたマアナゴ稚魚を 2012 年 3 月に購入し、近畿大学水産研究所富山実験場に収容した。この魚にウナギ用配合飼料（東海、日清丸紅飼料）およびイカナゴ *Ammodytes personatus* を給餌し、1 年間飼育したもの（養成 2 年目）を供試魚として用いた。供試魚を 20 m³ 容のコンクリート水槽に雌雄それぞれ約 300 尾収容し、年間の飼育水温が 8.0~24.4°C（平均 16.1 ± 5.0°C）で変化するような環境で飼育した。2013 年 3 月~2014 年 3 月までの 1 年間、この親魚群から毎月 20 日前後に雌雄それぞれ原則として 5 尾ずつをサンプリングした。サンプリングした尾数、魚体重および全長を Table 1 に示した。サンプリングした魚は氷冷した海水で麻酔し、すぐに解剖して雌雄とも全長、体重および生殖腺重量を測定した。体重および生殖腺重量から生殖腺体指数（Gonado somatic index, GSI = 100 × 生殖腺重量 / 体重）を算出した。

雌については卵巣重量を測定後、卵巣の一部を切り取って実体顕微鏡（AZ100、Nikon）で観察し、画像処理ソフト（Motic Images Plus 2.3S、SHIMADZU）で無作為に選んだ 100 個の卵巣卵径を測定後、これまでの報告（Utoh et al., 2005）を参考に測定した 100 個の卵の上位 50 個の平均値をその個体の卵径とした。さらに、この 100 個の卵径を用いて 10 μm ごとの卵径組成を各個体で作成した。また、各個体で作成した卵径組成を月ごとに積み上げて合計することにより作成した卵径組成をその月の卵径組成とした。雄については腹部を圧迫して排精の有無を確認した。

飼育条件下におけるマアナゴ生殖腺の周年変化-1
生殖腺の周年変化に及ぼす飼育水温の影響

Table 1. Number of sample fish, body weight and total length in group 1 and 2 (mean \pm SD)

Group 1					Group 2				
Sampling month	Sex	Number of fish	Body weight (g)	Total length (cm)	Sampling month	Sex	Number of fish	Body weight (g)	Total length (cm)
March, 2013	Female	15	455 \pm 110	59.6 \pm 4.4	March, 2014	Female	5	425 \pm 130	61.1 \pm 4.1
	Male	5	142 \pm 26	44.0 \pm 2.3		Male	5	123 \pm 18	42.4 \pm 1.7
April, 2013	Female	5	511 \pm 91	63.5 \pm 3.0	May, 2014	Female	5	479 \pm 116	64.4 \pm 6.2
	Male	5	130 \pm 27	43.1 \pm 4.4		Male	5	158 \pm 30	47.3 \pm 2.0
May, 2013	Female	5	409 \pm 66	59.8 \pm 2.5	June, 2014	Female	5	450 \pm 91	62.4 \pm 4.6
	Male	12	148 \pm 21	44.5 \pm 2.2		Male	5	118 \pm 23	45.6 \pm 2.9
June, 2013	Female	5	420 \pm 74	61.3 \pm 3.3	July, 2014	Female	5	526 \pm 151	67.2 \pm 3.7
	Male	5	103 \pm 9	41.9 \pm 0.6		Male	5	115 \pm 26	45.0 \pm 1.7
July, 2013	Female	5	428 \pm 91	63.5 \pm 3.4	August, 2014	Female	5	483 \pm 55	65.4 \pm 2.0
	Male	5	129 \pm 19	47.0 \pm 2.0		Male	5	116 \pm 22	44.5 \pm 1.6
August, 2013	Female	5	408 \pm 87	63.6 \pm 2.5	September, 2014	Female	5	421 \pm 89	63.3 \pm 2.6
	Male	5	123 \pm 24	44.5 \pm 1.8		Male	5	131 \pm 12	43.8 \pm 2.4
September, 2013	Female	6	447 \pm 118	61.6 \pm 4.6	October, 2014	Female	5	428 \pm 67	65.2 \pm 1.8
	Male	5	126 \pm 22	45.3 \pm 1.6		Male	5	118 \pm 36	44.5 \pm 3.6
October, 2013	Female	6	396 \pm 61	64.4 \pm 2.8	November, 2014	Female	5	421 \pm 74	64.2 \pm 3.4
	Male	5	119 \pm 14	45.8 \pm 1.0		Male	5	148 \pm 34	46.3 \pm 2.1
November, 2013	Female	5	394 \pm 116	62.4 \pm 6.5	December, 2014	Female	5	410 \pm 100	73.3 \pm 4.0
	Male	5	125 \pm 23	44.2 \pm 2.3		Male	5	140 \pm 51	45.0 \pm 4.5
December, 2013	Female	5	387 \pm 67	62.4 \pm 3.8	January, 2015	Female	5	357 \pm 119	64.0 \pm 4.9
	Male	5	136 \pm 18	48.8 \pm 5.5		Male	5	146 \pm 25	46.9 \pm 2.0
January, 2014	Female	5	443 \pm 127	61.2 \pm 5.0	February, 2015	Female	3	360 \pm 80	62.8 \pm 3.5
	Male	5	121 \pm 21	44.1 \pm 2.4		Male	5	141 \pm 33	45.9 \pm 2.6
February, 2014	Female	5	429 \pm 138	65.3 \pm 3.0	March, 2015	Female	5	352 \pm 78	68.0 \pm 5.7
	Male	5	124 \pm 17	43.2 \pm 0.8		Male	4	155 \pm 19	47.7 \pm 1.3
March, 2014	Female	5	351 \pm 123	64.3 \pm 5.4					
	Male	5	123 \pm 18	42.4 \pm 1.7					

卵巣の一部は10%中性ホルマリンで固定後、常法に従いパラフィンに封入し、マイクロームで4 μ mの厚さの組織切片を作成して、ヘマトキシリン・エオジン染色を施した。染色した組織切片を顕微鏡で観察し、卵の成熟ステージを判別した。成熟ステージの決定はUtoh et al. (2003)の報告を参考に行い、周辺仁期、油球期、第一次卵黄球期、第二次卵黄球期、第三次卵黄球期および退行期の6ステージに分類した。組織切片内で最も成熟が進んだ卵のステージをその個体の成熟ステージとした。切片内の卵母細胞数が50個に満たない場合は全ての卵を観察し、切片内に十分な数の卵母細胞が確認できた場合は50個以上の卵を観察した。顕微鏡で観察した際に卵の内部環境が崩壊するなどして正常に成熟していないことが確認できたものを退行卵として計数した。観察できた卵のうち20%以上の卵が退行していた個体は退行期の個体とし、退行していた卵の割合によって退行率20~30%、退行率30~40%、退行率40~50%、退行率50%以上の4段階に分けて退行状態を区別した。

実験区2 (Group 2)

瀬戸内海で捕獲されたマアナゴ稚魚を2013年4月に購入し、本学水産研究所富山実験場に収容した。この魚に実験区1の供試魚と同様の餌飼料を与え1年間飼育したもの(養成2年目)を供試魚に用いた。供試魚は実験区1と同様のコンクリート水槽に同密度で収容し、年間の飼育水温が8.5~19.5°C(平均13.9 \pm 2.9°C)の環境で飼育した。サンプリングした尾数、魚体重および全長をTable 1に示した。サンプリングは2014年3月から2015年3月まで実験区1と同じように行った。なお、4月のサンプリングは実施しなかった。

統計分析

実験区 1 と実験区 2 では同じ養成 2 年目の供試魚とはいえ、年度も飼育水温も異なる。この二つを単純に比較することはできないかもしれないが、二つの実験区の結果の差の目安のひとつとして、GSI および卵径について、統計解析ソフト JMP10 (SAS Insutitute) を用いて Student の t 検定により実験区 1 と実験区 2 との間で有意差を検定した。結果の数値は全て平均値±標準偏差で示した。

結果

1) 雌

GSI

年間の飼育水温が 20℃を超えた実験区 1 では、6 月までは水温の上昇とともに平均 GSI は比較的小さい標準偏差のまま毎月増大した (Fig. 1)。水温が 22℃以上になる 7 月には標準偏差が最も高くなったものの、この月が年間で最大の GSI ($13.5 \pm 7.5\%$) を示した。水温が年間で最も高くなった 8 月以降は GSI が急激に低下した。7 月に最大となった標準偏差も GSI の低下とともに小さくなっていった。9 月以降は 11 月までほぼ横ばいで進み、この期間が年間で最も小さい GSI を示した。水温が約 16℃まで下がる 12 月以降は再び GSI が緩やかに増加していく傾向を示した。

年間の飼育水温が 20℃を超えなかった実験区 2 では、実験区 1 と同様に水温の上昇に伴って 6 月までは比較的小さい標準偏差のまま毎月 GSI が増大した (Fig. 1)。水温が 16℃まで上昇する 7 月になると標準偏差が大きくなり GSI がわずかに下がったものの、17℃を超えた 8 月にはさらに増加してこの月が年間で最大の GSI ($15.2 \pm 7.6\%$) となった。また、3 月から 8 月までの間では二つの実験区間での GSI に有意差はなかった。年間で水温が最も高くなる 9 月になっても実験区 2 の GSI は高い値が維持され、10 月以降は標準偏差および GSI が急激に減少していき、12 月以降はほぼ横ばいとなった。実験区 1 では 8 月以降急激に GSI が低下したのに対し、実験区 2 では GSI は 9 月まで高い値を維持したのちに低下したため、9 月および 10 月には二つの実験区間に有意差があった。

飼育条件下におけるマアナゴ生殖腺の周年変化-1
 生殖腺の周年変化に及ぼす飼育水温の影響

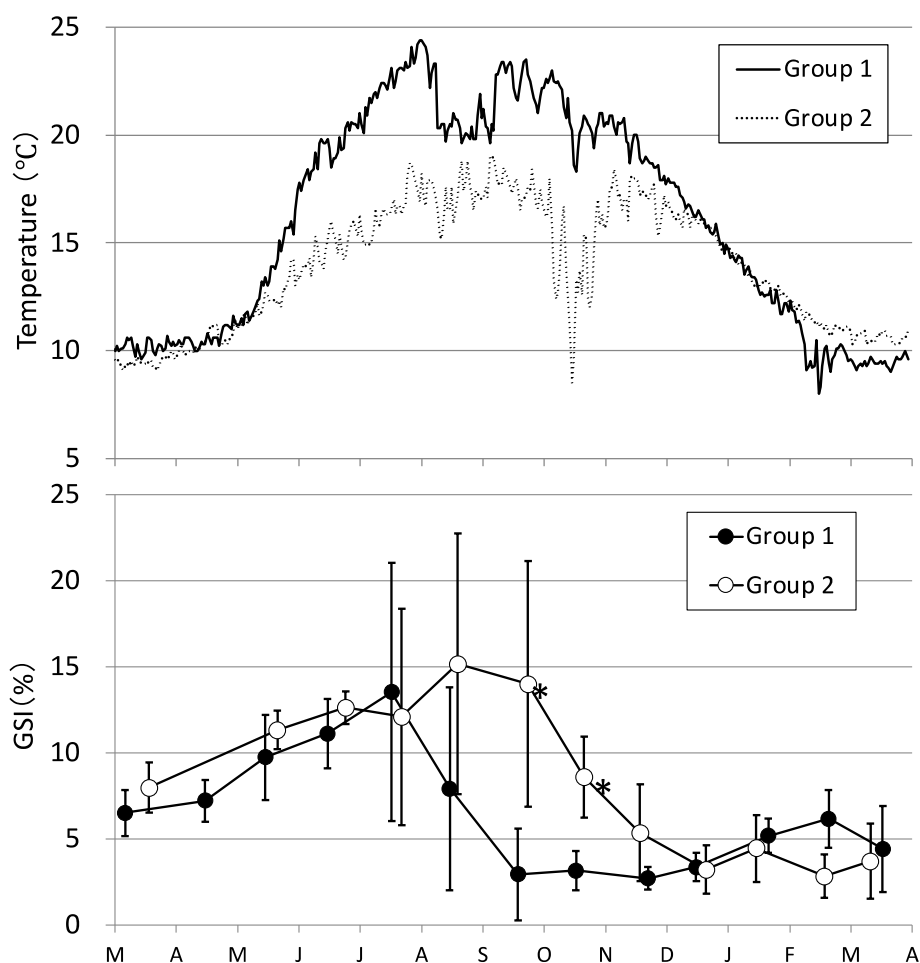


Fig. 1. Changes in water temperature and gonad-somatic index (GSI) of females in experimental group 1 and 2. Vertical error bars are standard deviations.

* Significantly different from the values of Group 1 (*t*-test, $P < 0.05$).

卵巣卵径

実験区 1 の卵巣卵径の平均値は GSI と同様に水温の上昇とともに 6 月までは比較的小さい標準偏差のまま増大し、水温が 20°C 付近まで上昇した 7 月には標準偏差が大きくなりながら平均値も増大してこの時が年間で最も高く ($456 \pm 178 \mu\text{m}$) なった (Fig. 2)。水温が最大となった 8 月および 9 月には大きい標準偏差のまま卵径が急激に低下し、9 月が年間の最低 ($257 \pm 173 \mu\text{m}$) となった。水温が低下し始めた 10 月以降は標準偏差が小さいまま 3 月まで徐々に卵径が増大した。

実験区 2 の卵巣卵径の平均値も 6 月までは比較的小さい標準偏差のまま卵径が増大した (Fig. 2)。7 月に一度、平均値は低下したものの 9 月にかけて再び増大し、9 月に年間の最大値 ($552 \pm 46 \mu\text{m}$) を示した。10 月以降は 12 月にかけて卵径が低下し、それ以降は $350 \sim 500 \mu\text{m}$ の範囲を上下しながら推移した。また、実験区 2 では 10 月以降標準偏差が小さくなった実験区 1 と異なり、7 月以降も標準偏差が大きい月が 3 月まで不定期に出現した。

卵径は、7 月を除く他の全ての月で実験区 2 の方が実験区 1 よりも高く、5 月, 6 月, 9~11

月, 1月および2月には有意差があった。

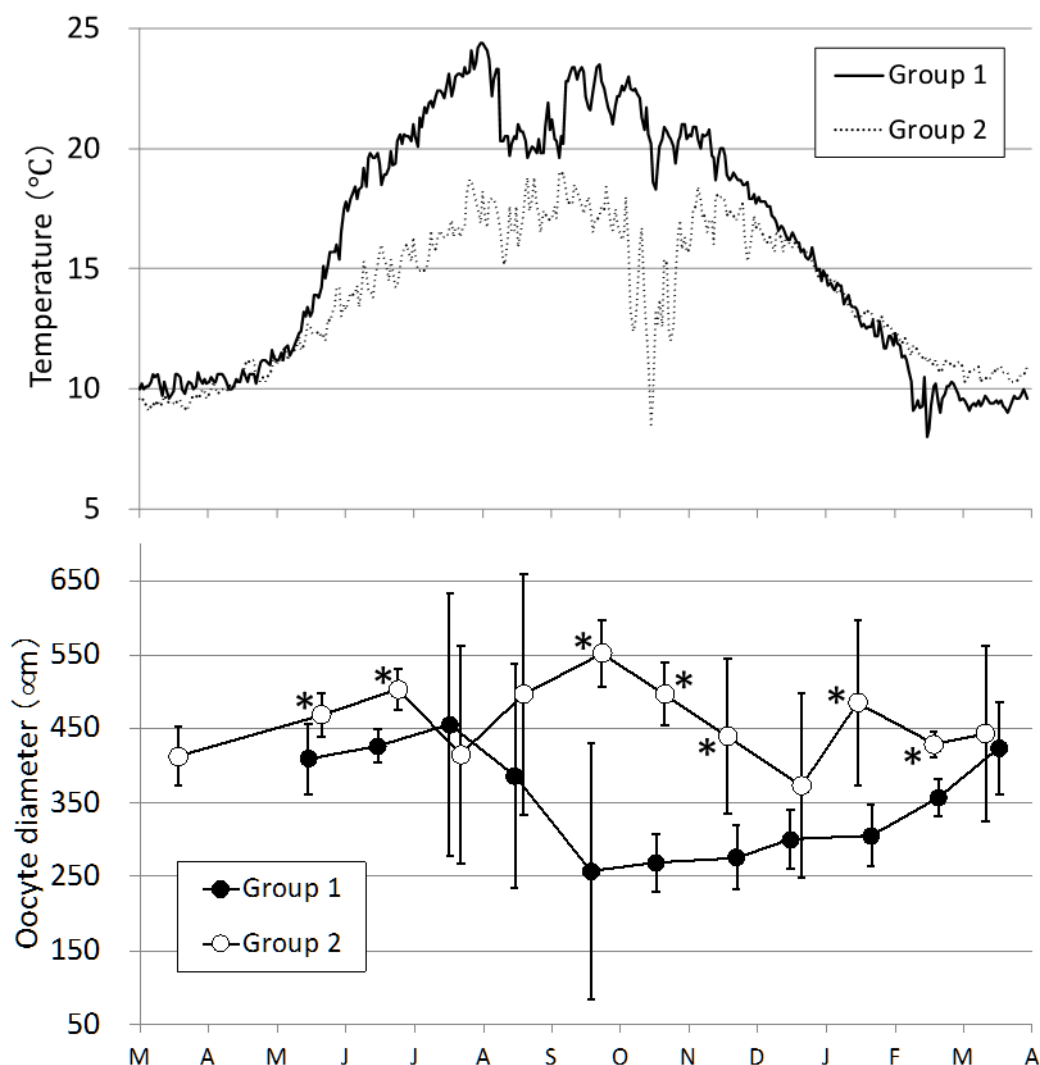


Fig. 2. Changes in water temperature and oocyte diameter in experimental group 1 and 2. Vertical error bars are standard deviations.
 * Significantly different from the values of Group 1 (t-test, $P < 0.05$).

卵巢卵径組成

実験区1の卵径組成は5月および6月に350~400 μmをピークとする単峰型のグラフとなった (Fig. 3)。7月になると大部分の卵が200 μm以下の卵母細胞をもつ個体が出現したことにより、グラフは100~150 μmと500~550 μmを中心とした二つの山を持つ多峰型のグラフとなった。その後、8月から9月へと時期が進むにつれて卵径の大きい卵母細胞が少なくなっていった。10月になると卵径450 μmを超えた卵は観察されなくなり、再び比較的卵径の揃った状態に戻り210~270 μmを中心とした単峰型のグラフとなった。11月以降は比較的卵径の揃った状態で少しずつ卵径が増大し、3月になると400 μm以上の卵を持つ個体も出現した。

飼育条件下におけるマアナゴ生殖腺の周年変化-1
生殖腺の周年変化に及ぼす飼育水温の影響

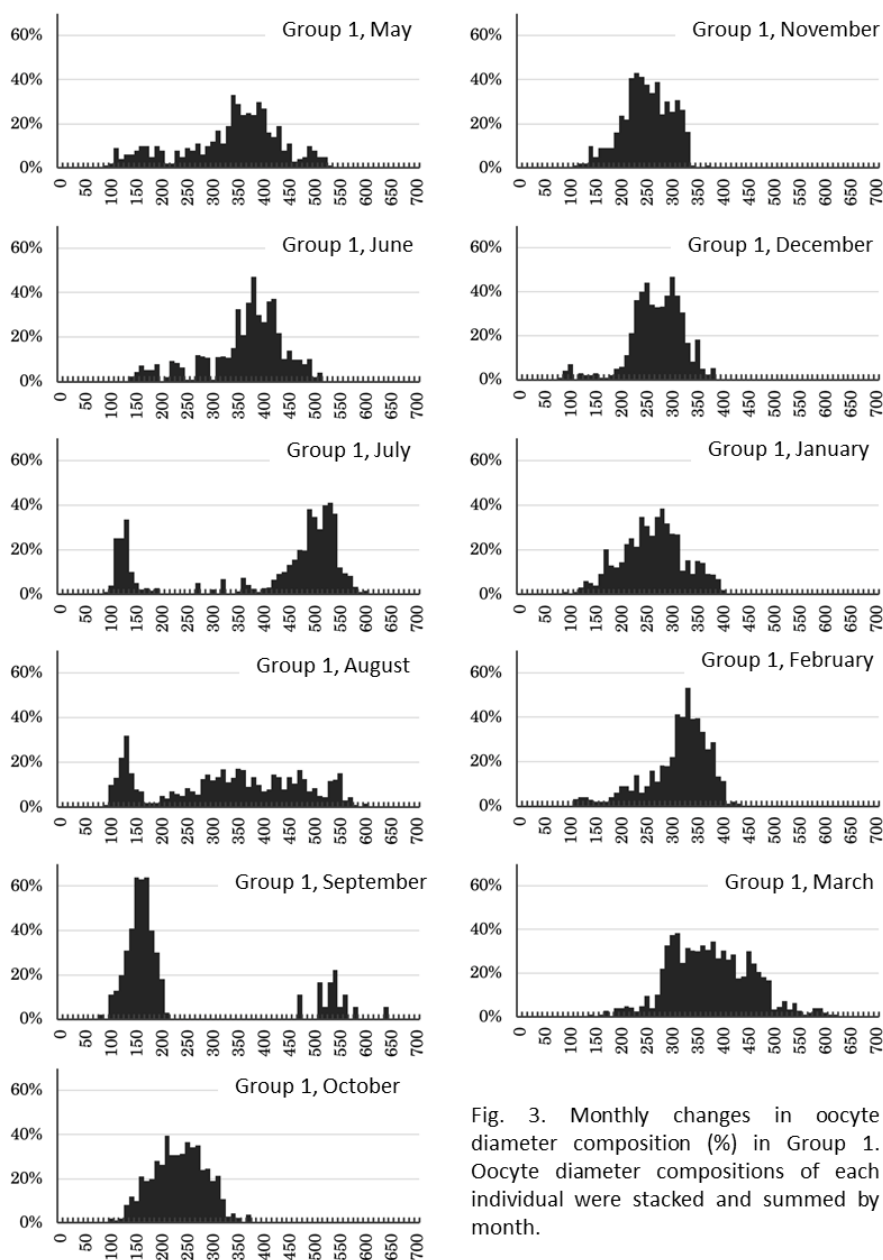


Fig. 3. Monthly changes in oocyte diameter composition (%) in Group 1. Oocyte diameter compositions of each individual were stacked and summed by month.

実験区2の卵径組成は5月には400~450 μm、6月には450~500 μmを中心とした単峰型のグラフとなった(Fig. 4)。7月になると実験区1と同様にグラフは二つの山を持つ形状に変化した。8月にはこの形状を維持しながら最大卵径がさらに増大した。9月になっても分布の形状、最大卵径はほぼ維持された。10月には小さな卵が増え始め、11月にはその傾向がさらに顕著になった。12月には大半が350 μm以下の卵になったものの、500 μm以上の大型の卵もわずかに存在した。1月になると再び大きい卵が増え始め、2月には100 μm以下の小さい卵が出現するとともに大型卵は450 μm以下になり、3月には再び卵径の大きい卵をもつ個体が出現した。

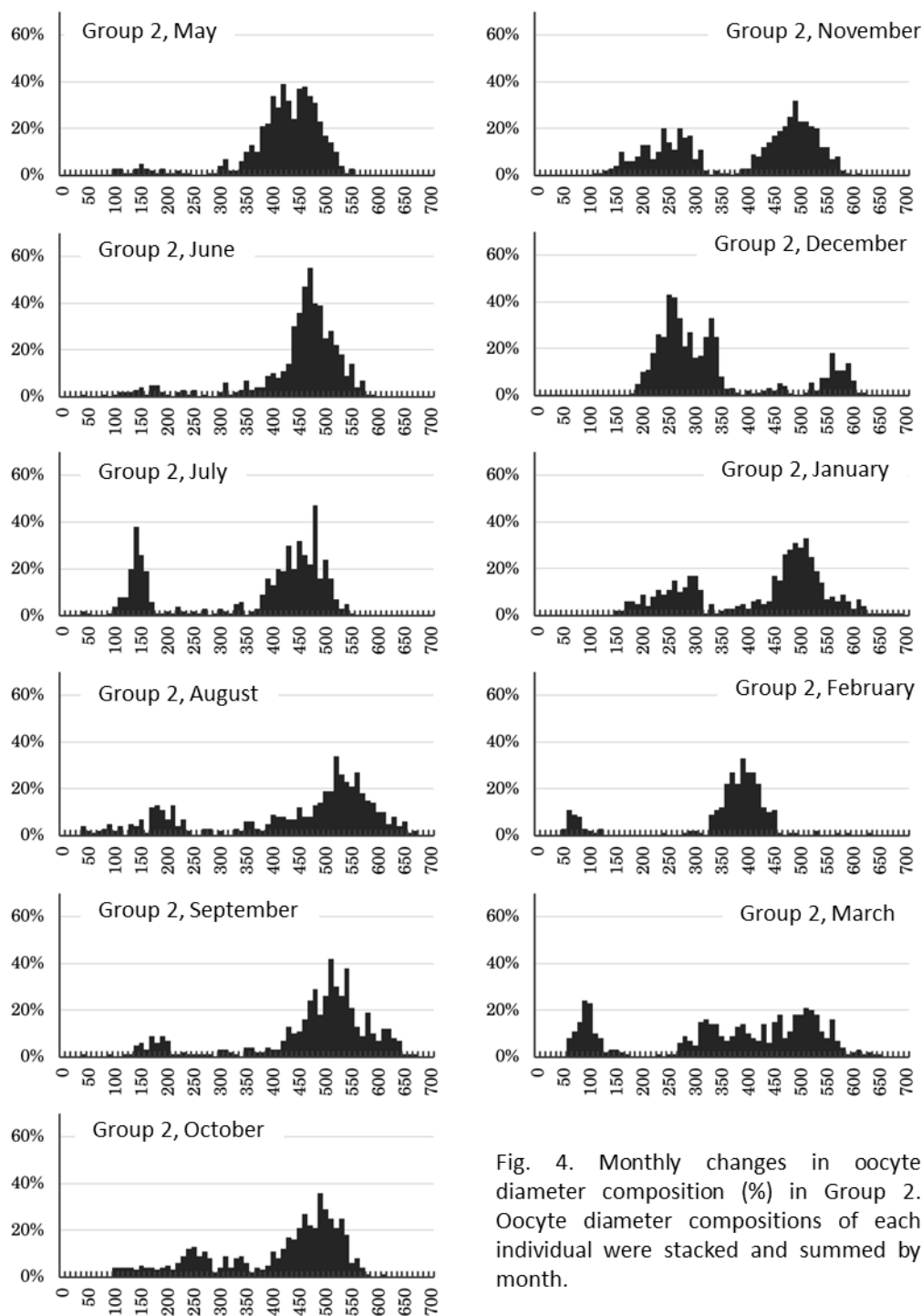


Fig. 4. Monthly changes in oocyte diameter composition (%) in Group 2. Oocyte diameter compositions of each individual were stacked and summed by month.

卵成熟ステージ

実験区1では6月まで全ての個体の卵成熟ステージは第二次卵黄球期であった (Fig. 5)。7月には退行した個体が出現し、第二次卵黄球期と退行したステージの両方が存在した。8月になると全ての個体の卵巣卵が退行していた。9月になると一部の個体のステージが油球期になり、油球期と退行したステージが混在していた。11月から1月までは全ての個体のステージが第一次

飼育条件下におけるマアナゴ生殖腺の周年変化-1
 生殖腺の周年変化に及ぼす飼育水温の影響

卵黄球期であった。2月になると第一次卵黄球期および第二次卵黄球期のステージが存在し、3月になると第三次卵黄球期のステージの個体が出現した。

実験区2 (Fig. 5) では3月、5月および6月には第一次卵黄球期または第二次卵黄球期のステージの個体が存在していた。7月になると第三次卵黄球期のステージをもつ個体が出現し、9月には退行した卵巣卵をもつ個体が出現した。退行した卵巣卵をもつ個体は1月まで存在したが、12月を除いて3月まで第三次卵黄球期の卵巣卵をもつ個体も同時に存在しており、個体差が非常に大きかった。

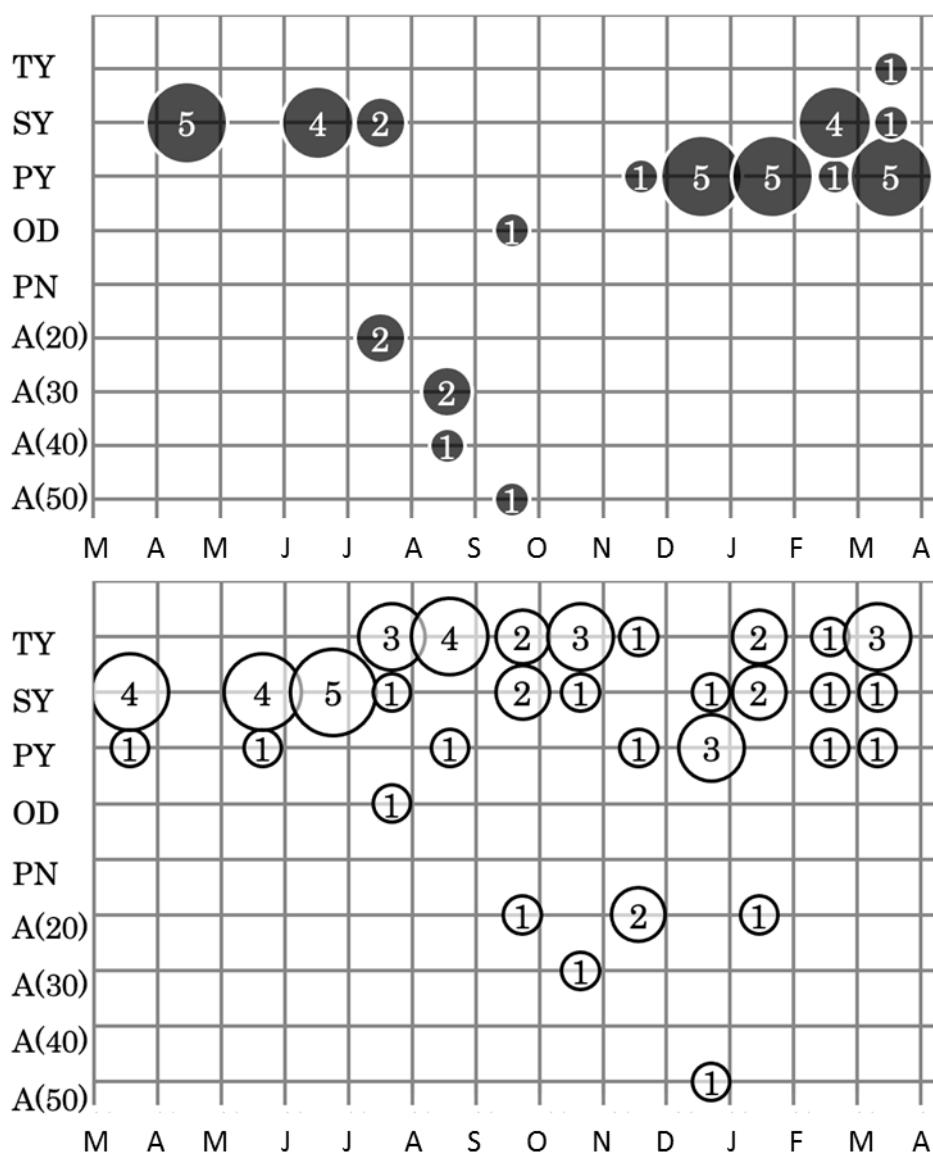


Fig. 5. Oocyte maturity stages in Group 1 and 2. ●, Group 1; ○, Group 2; TY, tertiary yolk globule stage; SY, secondary yolk globule stage; PY, primary yolk globule stage; OD, oil droplet stage; PN, peri-nucleolus stage; A(20), regression rate 20-30%; A(30), regression rate 30-40%; A(40), regression rate 40-50%; A(50), regression rate >50%.

2) 雄

雄の GSI はどちらの実験区でも 5 月に最大 (実験区 1 : $3.8 \pm 1.8\%$, 実験区 2 : $5.0 \pm 1.2\%$) となった (Fig. 6)。実験区 2 ではこの時にはサンプリングした 5 尾のうち 4 尾で排精が確認された。5 月のサンプリング時の水温は実験区 1 で 13.5°C 、実験区 2 で 12.1°C であった。6 月には GSI は低下し、それ以降も減少を続けた。実験区 1 では 10 月に平均値が最も低くなり ($0.2 \pm 0.1\%$)、実験区 2 では 1 月に最も低くなった ($0.5 \pm 0.1\%$)。どちらの実験区でも最も低くなった翌月からは緩やかに GSI が上昇していく傾向を示した。また、雄の GSI には実験期間を通して両実験区間に有意差はなかった。

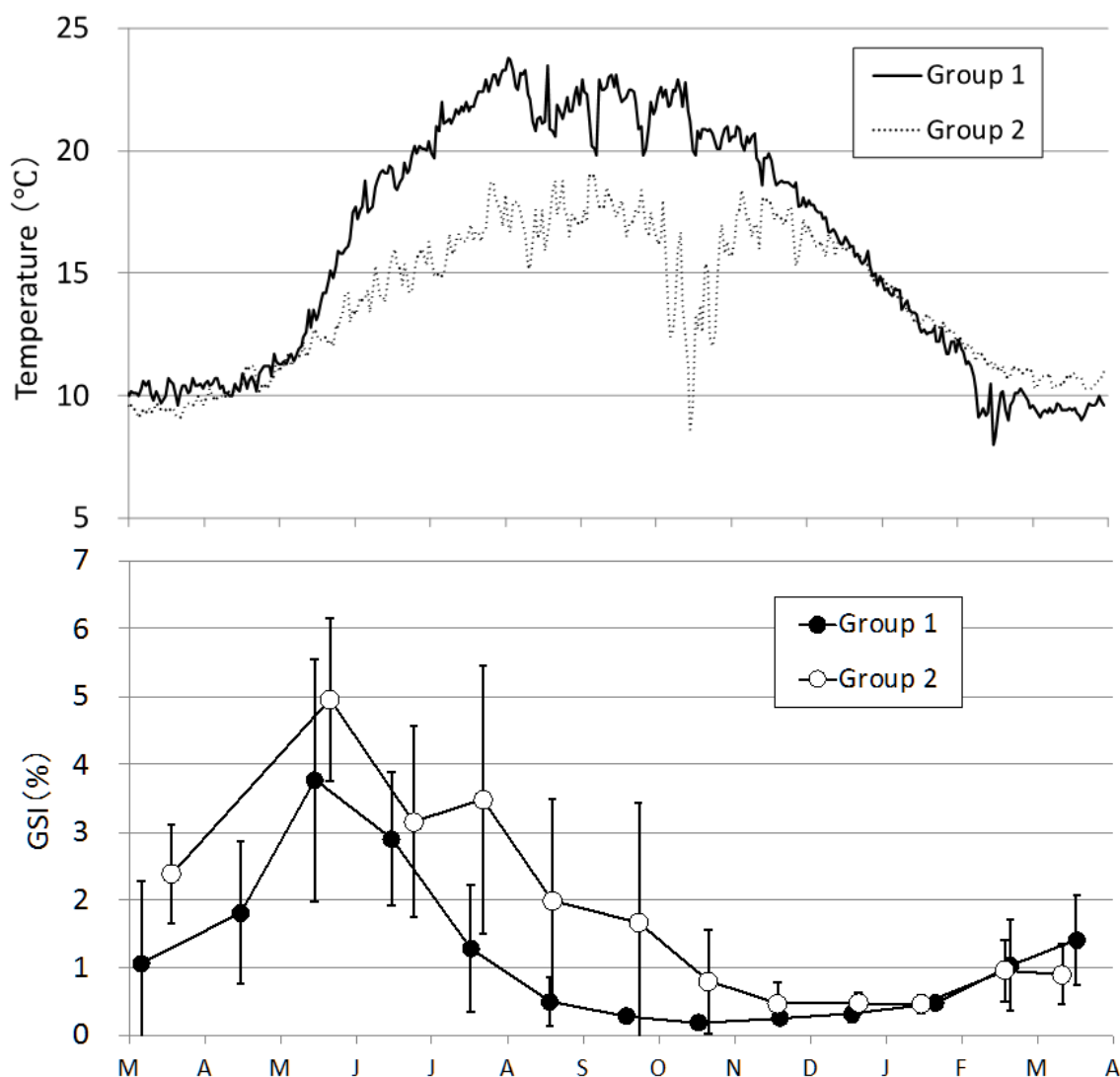


Fig. 6. Changes in water temperature and gonad-somatic index (GSI) of males in experimental group 1 and 2. Vertical error bars are standard deviations.

飼育条件下におけるマアナゴ生殖腺の周年変化-1 生殖腺の周年変化に及ぼす飼育水温の影響

考察

雌に関しては、実験区 1 において 7 月に最大の GSI および卵径を示した一方で実験区 2 では 8 月まで増大を続け、年間の最大値は 20℃を超えなかった実験区 2 の方が実験区 1 よりも高くなった。さらに、実験区 2 では 9 月になっても 8 月とほぼ同じ GSI を保った。これらから、飼育条件下のマアナゴでは飼育水温を 20℃以下に保つことにより GSI および卵径をより増大させることができ、さらにそのピークを長く維持させることが可能であることがわかった。各実験区で GSI および卵径が最大となった 7 月から 9 月の期間の組織切片を見てみると、実験区 1 では GSI がピークの時でも退行しているか、成熟が進行していても第二次卵黄球期かのいずれかであった。一方、実験区 2 では GSI が最大の時は 1 尾のみ第一次卵黄球期の個体であったものの、ほとんどの個体が第三次卵黄球期に達した個体であった。このことから、水温を 20℃以下にすることによって卵成熟ステージを第三次卵黄球期まで進行させることができると考えられた。飼育条件下のマアナゴについては、水温が 20℃付近で生殖腺が退行することが知られており (Chiba et al. 2005; Utoh et al. 2005; 宇藤(飯田)・堀江 2011)、実験区 2 においては実験区 1 と比較して 20℃近くまで水温が上昇するまでに長い期間を要した上に 20℃を越えなかったことが退行を遅らせ、その結果、より高い GSI、卵径および卵成熟ステージを実現させた可能性が考えられる。20℃を越えない水温下での飼育により雌の GSI、卵径および卵成熟ステージが高い傾向を示した一方で、実験区 1 および実験区 2 ともに水温が下降していった 11 月から 1 月にかけては GSI が低い値を示した。Utoh et al. (2013)は、10℃から 20℃の水温で 1.5 年飼育したマアナゴを水温が 12℃まで下降したときにさらに 6℃にまで下げて 5 ヶ月間維持後、10℃に昇温することで 1 個体ではあるがホルモン投与することなく排卵させることに成功している。この結果は、水温の下降が本実験のように GSI を低下させるだけでなく、条件によっては成熟を大きく促進することを示している。今後は、10℃前後の低水温がマアナゴ雌の成熟に及ぼす影響について詳細に検討する必要がある。

年間の飼育水温を 20℃以下にすることにより飼育条件下のマアナゴ雌において卵巣卵の退行を抑制し成熟をより進行させることができた。しかし、いずれの試験区においても 7 月には GSI および卵径の非常に小さな個体が出現した。実験区 2 におけるこのような個体の組織切片を観察すると、ほとんどの個体が周辺仁期あるいは油球期であった。また、6 月までの実験区 2 では第一次卵黄球期以下の卵を持つ個体しかいなかった。このことから、これらの個体は成熟が進んだ卵が退行したことにより吸収あるいは崩壊し、次世代の卵母細胞が残ったためこのように小さい卵径を示した可能性が考えられる。かつてマアナゴは一生に一度だけ産卵すると考えられていたが、近年の研究により飼育条件下のマアナゴは複数回産卵することが可能であるとされており (Utoh et al. 2005)、今回の結果はこれに矛盾しないものであった。7 月以降も 20℃以上の水温が続いた実験区 1 では、8 月になると組織切片を観察した全ての個体で卵巣に退行卵が確認でき、それ以降は再び成熟することがわかった。一方で、年間を通じて 20℃を超えなかった実験区 2 では最も水温が高くなる 9 月に退行している卵を持つ個体が 1 尾のみ確認できた。この

実験区では10月以降は、ほとんどの月で退行したか、あるいは油球期以前の未熟な卵を持つ個体と第三次卵黄球期の発達した卵を持つ個体の両方が同時に存在した。今回の結果と飼育条件下のマアナゴ雌においては20℃付近の水温が退行を引き起こすとしている過去の報告(Chiba et al. 2005; Utoh et al. 2005; 宇藤(飯田)・堀江 2011)から考えると、今回の実験区2において見られたこのような成熟段階の二極化は20℃以下の水温が退行を抑制したことによるものと考えられる。つまり、20℃を下回る6月には比較的揃った状態で成熟が進んでいたが、7月になり水温が20℃に近づくと一部個体の卵巣卵が退行し始めた。8月から9月にかけて水温がさらに20℃に近づき、退行しなかった卵巣卵をもつ個体の成熟はさらに進んだが、一部の個体ではすでに退行が進んでいた。10月以降は水温が再び低下し始めたため、この時点で退行していない卵巣卵をもつ個体の卵巣は退行することなく、その後も第三次卵黄球期のまま移行したと考えられる。

飼育条件下のマアナゴの雄においては退行が進んだ時期を除いてほとんどの時期で実験区2の方が実験区1よりもGSIが高くなった。また、雄においては雌とは異なり成熟のピークを迎えた後には成熟度の大きな個体差などはなかった。マアナゴ雄の退行は15℃で起こる(宇藤(飯田)・堀江 2011)と考えられており、今回の結果でもいずれの実験区においても15℃を下回る5月のサンプリングまではGSIが毎月増大していたが、6月になり15℃を上回るとGSIが低下しており、マアナゴ雄の退行に関するこれまでの報告を確認する結果となった。

今回の結果から、飼育条件下のマアナゴにおいては飼育水温を20℃以下にすることによって雌雄どちらでもGSIを高くすることができた。雌に関しては卵径も20℃以上の飼育条件下よりも大きくすることができ、卵成熟ステージを第三次卵黄球期まで進めることが可能であることがわかった。逆にマアナゴ雌では退行に20℃以上の水温が必要であり、周年の飼育水温が20℃を上回らない環境では一部の個体において退行が起きずに成熟が進んだままの状態になる可能性もあることがわかった。魚類は成熟に大きなエネルギーを用いることから、退行が抑制され成熟が進んだままの状態で長期間飼育することがマアナゴにどのような影響を与えるかについては不明であり、今後検討する必要がある。とはいえ、現在のところは、飼育条件下のマアナゴにおいては20℃以下で飼育することにより雌雄いずれでも成熟をより進行させることが可能であり、人工的な成熟誘導を行うのに適していることが推察された。

文献

- Chiba, H., S. Ijiri, M. Iwata, M. Nakamura, S. Adachi and K. Yamauchi (2005) Changes in serum steroid hormones during ovarian development in the captive common Japanese conger *Conger myriaster*(brevoort). *Aquaculture*, **53**, 189-198.
- Horie, N., T. Utoh, Y. Yamada, A. Okamura, H. Zhang, N. Mikawa, A. Akazawa, S. Tanaka and H. Oka (2002) Development of embryos and larvae in the common Japanese conger *Conger myriaster*. *Fish. Sci.*, **68**, 972-983.

飼育条件下におけるマアナゴ生殖腺の周年変化-1
生殖腺の周年変化に及ぼす飼育水温の影響

堀江則行・宇藤朋子・山田祥朗・岡村明浩・張 寰・三河直美・田中 悟・岡 英夫 (2001) ホルモン投与によるマアナゴの催熟と排卵誘発. 日本水産学会誌, **67**, 842-849.

Kurogi, H., N. Mochioka, M. Okazaki, M. Takahashi, Miller, M. J., K. Tsukamoto, D. Ambe, S. Katayama and S. Chow (2012) Discovery of a spawning area of the common Japanese conger *Conger myriaster* along the Kyushu-Palau Ridge in the western North Pacific. *Fish. Sci.*, **78**, 525-532.

農林水産省統計部：漁業・養殖業生産統計. http://www.maff.go.jp/j/tokei/kouhyou/kaimen_gyosei/index.html.

宇藤（飯田）朋子・堀江則行 (2011) マアナゴの種苗生産技術に関する研究. 日本水産学会誌, **77**, 775-778.

Utoh, T., N. Horie, A. Okamura, N. Mikawa, Y. Yamada, S. Tanaka, H. Oka and K. Tsukamoto (2013) Water temperature manipulation can induce oocyte maturation and ovulation in the common Japanese conger, *Conger myriaster*. *Aquaculture*, **392-395**, 120-127.

Utoh, T., N. Horie, A. Okamura, Y. Yamada, S. Tanaka, N. Mikawa, A. Akazawa and H. Oka (2003) Oogenesis in the common Japanese conger *Conger myriaster*. *Fish. Sci.*, **69**, 181-188.

Utoh, T., N. Horie, N. Mikawa, A. Okamura, Y. Yamada, A. Akazawa, S. Tanaka and H. Oka (2005) Annual changes in ovarian development and plasma estradiol-17 β level in reared female common Japanese conger, *Conger myriaster*. *Fish. Sci.*, **71**, 38-47.