

水温制御によるアカウニの成熟促進－II

野口 弘三*1・川原 逸朗・後藤 政則*2・真崎 邦彦*2

Promotion of Gonadal Maturation by Regulating Water Temperature in the Sea Urchin *Pseudocentrotus depressus*－II

Hiromitsu NOGUCHI, Itsuro KAWAHARA,
Masanori GOTO, and Kunihiko MASAKI

アカウニ *Pseudocentrotus depressus* は暖流の影響下にある岩礁地帯に生息しており、アワビ、サザエとともに最も重要な磯根資源の一つとなっている。

アカウニ資源は近年減少傾向にあるが、その対策として、佐賀県では1976年から本種の種苗生産に着手して天然海域に種苗放流を行ってきている¹⁾。しかし種苗生産数量には年変動がみられ、まだ生産技術の改善が必要である。その主な原因としては、陸上の種苗生産施設で1981年から毎年認められている低水温期における稚ウニの大量斃死があげられる²⁾。この大量斃死を防止するためには、斃死原因を解明して適切な予防対策を講ずることも1つの方法であるが、本種の生殖周期をコントロールして早期産卵を行い、水温があまり低下しない時期に種苗を配布することも有効な方法であると考えられる。佐賀県栽培漁業センターでは本種の種苗生産を開始して間もない1970年代には天然で産卵が開始される10月下旬から11月上旬にかけて採卵飼育を行っていた。その後伊東ら³⁾及び真崎・川原⁴⁾は、水温制御によるアカウニの成熟促進を試み、生殖巣の成熟を促進することに成功した。しかし、種苗を12月までに配布するには従来の成熟促進法ではまだ不十分であり、より早期に大量の卵及び精子を安定して得る方法を確立する必要があると考えられる。

本研究では従来の成熟促進方法に加え、2～6月までの期間を25°Cに加温して飼育するなどの水温制御を行い、親ウニ生殖巣の成熟促進を試み、従来よりかなり早い8月上旬から9月上旬に大量の卵、精子を得ることに成功した。水温25°Cにおける浮遊幼生の変態着底は、実験的には問題がないことが明らかにされており⁵⁾、水温

制御によって幼生を健全に飼育できれば、アカウニの種苗生産は8月中旬から下旬に採卵、9月上旬から中旬に変態着底という日程で実施できると思われる。

本論に入るに先立ち、本稿を校閲して頂いた長崎大学水産学部教授 吉越一馬博士、文献の収集等に便宜をはかって頂いた東北海区水産研究所 山崎 誠博士及び西海区水産研究所 清本節夫氏に厚くお礼申し上げます。

材料及び方法

実験は1991年2月から1992年2月まで行った。供試材料は佐賀県栽培漁業センター近くの鎮西町漁協名護屋岡支所で養殖されていた殻径30～50mmのアカウニを用いた。このアカウニは当栽培漁業センターで1989年の秋に種苗生産し、同支所に配布したものの一部である。なお養殖期間中の餌は主にヒジキとアラメであった。

飼育水槽は500ℓ循環ろ過水槽(1.2×0.9×0.6m)を使用した。水槽内にはネトロン籠(30×40×50cm)4ヶを垂下し、その中に供試ウニをそれぞれ約20個体ずつ収容した。飼育水槽は循環ろ過を併用した1日に1～2回転の流水式とした。通気量は1分間に約20～30ℓとし、照度は水槽全面を遮光して50lx以下とした。餌料は主にアナアオサあるいはアラメを2～10日に1回それぞれのネトロン籠当たり200～500g与えた。また一時期にはクロモも同様な方法で投与した。

Fig. 1に示したように、実験区は2～6月加温区(A)、19°C区(B)、13°C区(C)、5～6月加温区(D)及び8月降温区(E)の5区を設定し、海面における養殖群を対照区(F)とした。

*1 現、佐賀県玄海水産振興センター

*2 現、佐賀県水産振興課

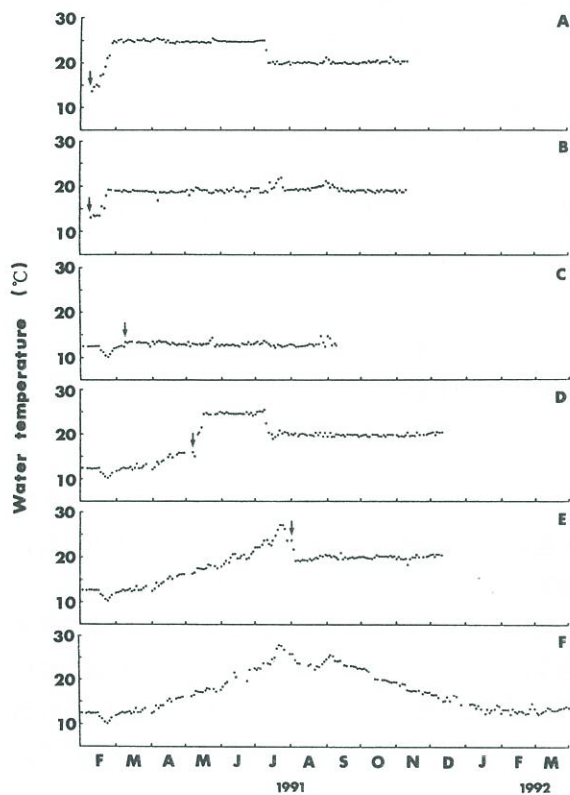


Fig. 1. Five different water temperature regimes for experimental groups of sea urchin (A-E) and water temperature of sea farming ground (F) where specimens were collected as control. Arrows indicate the date of the starting point for regulation.

2～6月加温区は、対照区の水温が25°Cを示す時期より約4カ月半早い時期に25°Cに加温した。すなわち2月10日から2月28日にかけて水温を13°Cから25°Cに徐々に上昇させ、7月10日まで25°Cで飼育した。7月11日から7月13日にかけて20°Cに降下させ、それ以後20°Cで飼育した。

19°C区は2月10日から2月26日にかけて水温を13°Cから19°Cに上昇させ、それ以後19°Cで飼育した。

13°C区は3月10日から水温13°Cで飼育した。

5～6月加温区は5月10日から5月18日にかけて水温を15°Cから25°Cに上昇させ、以後7月10日まで25°Cで飼育した。7月11日から7月12日にかけて20°Cに降下させ、それ以後20°Cで飼育した。

8月降温区は8月1日から8月6日にかけて水温を26°Cから20°Cに降下させ、その後20°Cで飼育した。

2～6月加温区及び5～6月加温区の設定温度25°C

は9月中旬頃の水温であり、13°Cは1月～3月頃の水温である。また2～6月加温区、5～6月加温区、19°C区及び8月降温区の設定温度19及び20°Cは、養殖アカウニが養殖場で産卵を開始する10月中旬頃の水温である。

供試アカウニは2～6月加温区、19°C区及び13°C区では1991年1月30日に、5～6月加温区では5月8日に、8月降温区では6月6日にそれぞれ搬入し、実験に供するまで当センターの陸上水槽でアナオサ、アラメを投与して飼育した。対照区の供試アカウニは使用の都度搬入した。

生殖巣の成熟状況を把握するために産卵誘発による産卵、放精の調査と生殖巣の組織学的観察を行った。

産卵誘発による産卵、放精の調査では産卵数、放精数を調べると共に雌雄個体の産卵誘発に対する反応率（以下、反応率と記述する）、1個体当たりの平均産卵数及び平均放精数を求めた。産卵誘発は口器を抜き取った後、体腔内に0.5モル KCl 液を0.5ml注入して行った。なお反応率は産卵誘発により放卵、放精が認められた個体数の供試個体数に対する割合を%で示した。産卵誘発による産卵、放精の調査は2～6月加温区については1991年3月12日から11月12日まで11回行い、1回の調査では、ランダムに取り出した7～10個体を使用した。19°C区では3月12日から11月12日まで10回調査し、1回の調査で8～10個体（11月12日の1回のみ3個体）を使用した。13°C区では3月12日から9月10日まで7回調査し、1回の調査に8～10個体を使用した。5～6月加温区では6月10日から11月12日まで9回調査し、1回の調査に9～10個体を使用した。8月降温区では8月9日から12月11日まで8回調査し、1回につき9～10個体を使用した。

対照区では1991年3月12日から1992年2月20日まで13回調査し、1回につき9～11個体を使用した。

生殖巣の組織学的観察では産卵誘発に用いた個体の生殖巣をブアン氏液で固定後5µmのパラフィン切片を作成し、ヘマトキシリン・エオシン染色を施して生殖巣の成熟状態を調査した。この調査における調査期間、調査回数及び供試個体数は、2～6月加温区、5～6月加温区及び8月降温区の調査回数がそれぞれ10回、7回及び6回であり、2～6月加温区の供試個体数が7～9個体であった以外は、上記の産卵誘発調査のそれと同じであった。

生殖巣重量の変化は、産卵誘発及び組織切片作成に用いた個体を使用し生殖巣指数（ $GS I = \text{生殖巣重量} \times 100 / \text{全重量}$ ）を算出して検討した。調査時期、調査回数及び供試個体数は産卵誘発時のそれと同じであった。

結 果

1. 反応率

対照区及び各実験区の雌雄の反応率を Fig. 2 に示した。

対照区では3月12日には雌雄とも100%の反応率を示したが、4月10日には雌44.4%、雄100%、5月10日には雌37.5%、雄50%と反応率は低下し、6月10日以降8月9日までは雌雄とも0%であった。しかし、9月10日には雄で4個体中1個体(25.0%)に反応が認められ、雌では10月11日以降、雄では9月25日以降に反応率は100%となった。

2~6月加温区では3月12日及び4月10日には反応がみられなかったが、5月10日以降反応率は上昇し、雌では8月9日以降、雄で9月10日以降100%を示した。なお、雄では6月10日から8月9日までの3回のサンプリングでは雄個体が得られず、その反応率は不明であった。

19°C区では雌の反応率は3月12日には83.3%と高かったが、その後次第に低下し、7月10日及び8月9日に

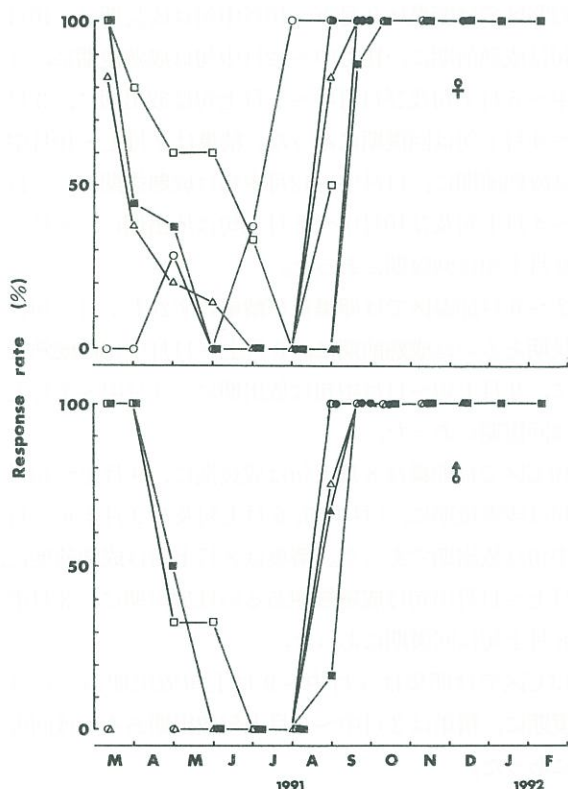


Fig. 2. Response rate of female and male individuals induced to spawn by KCl injection.
○, A; △, B; □, C; ●, D; ▲, E; ■, F. A-F: Explanation is shown in Fig. 1.

は0%であった。しかし反応率は9月10日には83.3%と上昇し、9月25日以降は100%となった。雄では3月12日以降8月9日まで反応する個体が全くみられなかったが、9月25日以降は反応率が100%となった。

13°C区では雌の反応率は3月12日に100%であったが、その後低下して、8月9日には0%となった。9月10日には50%の反応率を示した。雄の反応率は3月12日及び4月10日には100%であったが、その後低下し、7月10日及び8月9日には0%となり、9月10日以降は100%の反応率を示した。

5~6月加温区では、反応率は6月10日、7月10日及び8月9日には雌雄とも0%であったが、9月10日以降は雌雄とも100%であった。

8月降温区では反応率は8月9日には雌雄とも0%であり、9月10日には雄で66.7%、雌で0%であったが、9月25日以降は雌雄とも100%となった。

2. 産卵数

1個体当たりの平均産卵数を Fig. 3 に示した。

対照区では3月12日には 62.4×10^4 粒、4月10日には 0.3×10^4 粒、5月10日には 83.9×10^4 粒と春先にも若干の産卵がみられたが、6月10日以降は産卵がみられなくなった。しかし、9月25日以降産卵数は急激に増加し、11月12日には 923.0×10^4 粒となり、12月11日には $1,142 \times 10^4$ 粒とピークに達した。それ以後1月11日には 29.2×10^4 粒、2月20日には 22.2×10^4 粒と産卵数は急激に減少した。このように対照区の産卵数は明瞭な季節的变化を示し、養殖アカウニの産卵盛期は10月中旬から12月中旬であると思われる。

2~6月加温区では7月10日に 24.1×10^4 粒産卵し、8月9日には 112.9×10^4 粒、9月10日には 300.6×10^4 粒、9月25日には 354.6×10^4 粒と徐々に増加した。9月30日には 503.3×10^4 粒とピークに達し、それ以降は10月11日には 475.3×10^4 粒、11月12日には 418.8×10^4 粒と減少傾向を示した。

19°C区では3月12日以降8月9日まで殆ど産卵せず、9月10日には産卵数は 134.9×10^4 粒となり、10月11日には 349.5×10^4 粒とピークに達した。11月12日には産卵数は 121.0×10^4 粒とやや減少した。

13°C区では8月9日以外の全ての調査日に産卵がみられたが、産卵数は少なく $0.2 \sim 22.6 \times 10^4$ 粒であった。

5~6月加温区では6月10日から8月9日まで産卵しなかったが、9月10日には 179.9×10^4 粒産卵し、それ以降急激に増加して11月12日には 998.0×10^4 粒とピークに達した。

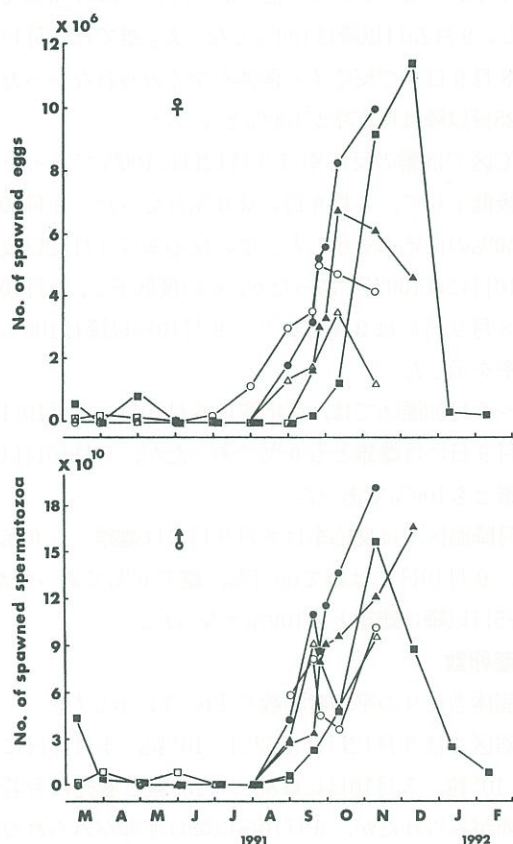


Fig. 3. Average numbers of spawned eggs and spermatozoa per individual of each sex in experimental groups (A-E) and sea farming group (F) of sea urchin. Explanation of symbols is shown in Fig. 2.

8月降温区では8月9日及び9月10日も産卵がみられなかったが、9月25日以降産卵数は急増し、10月11日には 682.1×10^4 粒とピークに達した。それ以降11月12日には 618.9×10^4 粒、12月11日には 457.8×10^4 粒と若干産卵数が減少した。

3. 平均放精数

1個体当たりの平均放精数を Fig. 3 に示した。対照区では3月12日に 436×10^8 個であったが、それ以降減少して6月10日から8月9日まで放精しなかった。9月10日には 65.6×10^8 個放精し、それ以降急激に増加して11月12日には $1,565 \times 10^8$ 個とピークに達した。12月11日以降は減少傾向を示し2月20日には 83.6×10^8 個となった。このように対照区の放精数も産卵数と同様に明瞭な季節的变化を示した。養殖における放精盛期は9月下旬から1月中旬であるが、放精盛期の期間は産卵盛期に比べるとより長くなっている。

2～6月加温区では9月10日に 581.4×10^8 個放精し、

それ以降放精数は次第に増加し、11月12日には $1,012 \times 10^8$ 個とピークに達した。19°C区では3月12日から8月9日まで放精しなかったが、9月10日には 291.3×10^8 個放精し、それ以降次第に増加して、11月12日には 950×10^8 個とピークに達した。

13°C区では3月12日に 19.9×10^8 個放精し、その後低下して、7月10日には放精がみられなくなった。しかし9月10日には再び 37.9×10^8 個の放精がみられた。

5～6月加温区では6月10日から8月9日まで放精がみられなかったが、9月10日以降急激に増加し、11月21日には $1,912 \times 10^8$ 個とピークに達した。

8月降温区では8月9日には放精しなかったが、9月10日には 274×10^8 個放精し、それ以後急激に増加し、12月11日には $1,654 \times 10^8$ 個とピークに達した。

このように対照区及び各実験区とも雄の方が雌よりも早く成熟しかつ遅くまで放精する傾向にあった。

4. 生殖巣の成熟過程

対照区及び各実験区における生殖巣の成熟度は、Fujiの基準⁶⁾によって区分し、Fig. 4 に示した。なお、生殖巣の成熟度判定に用いた個体は、産卵誘発後の個体であった。

対照区では卵巣は9月下旬～10月中旬は成長期に、10月中旬は成熟前期に、10月中～12月中旬は成熟後期に、3月中～5月上旬及び11月中～2月上旬は放出期に、3月中～9月下旬は回復期にあった。精巣は9月上～10月中旬は成熟前期に、11月中～12月中旬は成熟後期に、3月中～4月上旬及び10月中～2月上旬は放出期に、4月上～9月上旬は回復期にあった。

2～6月加温区では卵巣及び精巣いずれも7月上旬は成長期あるいは成熟前期に、8月上～11月中旬は成熟後期に、9月上旬～11月中旬は放出期に、3月中～7月上旬は回復期にあった。

19°C区では卵巣は8月上旬は成長期に、9月上～10月中旬は成熟後期に、3月中旬、6月上旬及び9月上旬～11月中旬は放出期であった。精巣は8月上旬は成熟前期に、9月上～11月中旬は成熟後期あるいは放出期に、3月中～8月上旬は回復期にあった。

13°C区では卵巣は3月中～9月上旬放出期あるいは回復期に、精巣は3月中～9月上旬放出期あるいは回復期にあった。

5～6月加温区では卵巣、精巣いずれも8月上旬は成長期あるいは成熟前期に、9月上～11月中旬は成熟後期あるいは放出期に、6月上～8月上旬は回復期にあった。

8月降温区は、卵巣は9月上旬は成長期に、9月下旬～12

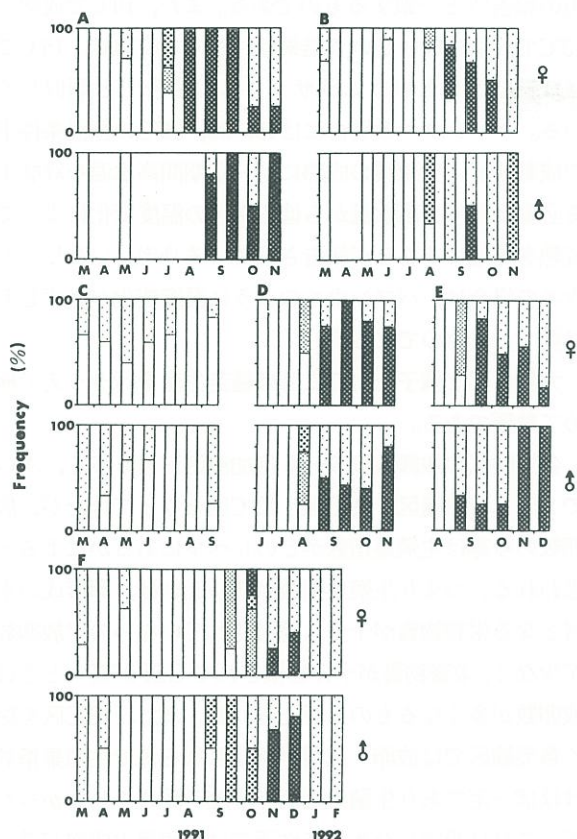


Fig. 4. Maturation processes expressed by gonadal stages in histological sections of female and male individuals of the sea urchin groups under different water temperature regimes. A-F: Explanation is shown in Fig. 1.

□, Recovery stage; ▨, Growing stage;
▩, Premature stage; ■, Mature stage;
▤, Spent stage.

月中旬は成熟後期あるいは放出期にあった。精巣は9月上～12月中旬は成熟後期あるいは放出期に、8月上旬は回復期にあった。

このように、対照区と各実験区いずれも雄が雌に比べ成熟が早い傾向が認められた。

5. 生殖巣指数 (GSI) の変化

対照区及び各実験区における GSI の月別変化を Fig. 5 に示した。なお、GSI 算出に用いた個体は、産卵誘発後の個体であった。

対照区では、GSI は3月12日に9.0であったものがそれ以後上昇し、放卵・放精初期の9月10日から9月25日には17.1～17.4の高い値を示した。GSI は放精・放卵が本格化した10月11日以降急激に低下し、1月11日には3.8と最低値を示した。放卵・放精のピークは11月12日及び12月11日であった。この時期には GSI は減少段階にあっ

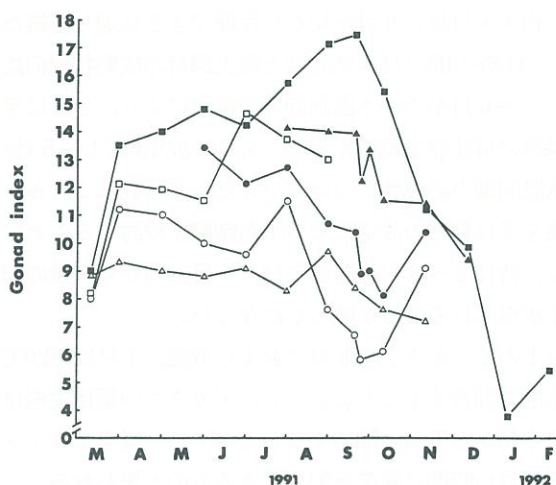


Fig. 5. Seasonal changes of gonad index in the sea urchin groups reared under different temperature regimes. Explanation of symbols is shown in Fig. 2.

た。このように対照区の GSI は9月に最高、1月に最低を示す明瞭な季節的变化を示すことが明らかとなった。なお、生殖巣をサンプリングする際に卵あるいは精子が流れ出した調査日は12月11日、1月11日及び2月20日であった。

2～6月加温区では、GSI は4月10日から8月9日までは9.6～11.5の範囲内で変動し、その変動幅は小さかったが、放卵放精が盛んになるに従い減少傾向を示した。

19°C区では、GSI は3月12日から11月12日までの全期間を通して7.2～9.7と他区に比べ値と変動幅がいずれも小さく、放卵・放精の盛期と思われる10月11日も7.6の値を示した。

13°C区では、GSI は3月12日に8.2であったが7月10日には14.6とピークを示し、その後は若干減少した。

5～6月加温区では、GSI は6月10日から8月9日までは12.1～13.4の範囲内で変動していたが、放卵・放精とともに低下していった。

8月降温区では、GSI は8月9日に14.1、9月10日に14.0であったものが、放卵・放精とともに減少し、12月11日には9.4となった。

考 察

種苗生産技術開発を目的とした水温制御によるアカウニの成熟促進については、これまでに伊東³⁾及び真崎・川原⁴⁾の研究がある。伊東³⁾は飼育水温を8月に19～20°C、

9月に17~19°Cに調整することによって、天然の産卵期より約1ヶ月早い9月下旬から採卵できる見通しを得た。また、真崎・川原⁴⁾は天然海域と陸上飼育の成熟状況の比較、5~6月からの水温制御等の検討により、さらに早期採卵の可能性を示唆するとともに、放卵期(1~5月)の水温制御の必要性について示した。本研究はこれらの結果を受け種々の設定による水温制御を検討することにより、特に2~6月加温区では、8月上旬から大量の卵、精子が得られることが明らかになった。

以上のことから2~6月に25°Cに昇温、7月以降20°Cの水温で飼育することによって、アカウニの種苗生産は8月中旬から下旬に開始することができ、従来より1ヶ月ほど早い時期に種苗を配布できるものと思われる。

上記の結果から明らかなように、アカウニの生殖巣の成熟には飼育水温が支配的に関与していると考えられる。ウニの生殖巣成熟と環境因子との関係に関してはこれまで多くの報告^{1,3,7-18)}があり、生殖巣成熟と水温との関係についても、種々の報告がある^{1,3,7,8,10,13,14,16-18)}。このうちByrne¹⁸⁾は生殖巣の成熟と海水温との関係について述べ、生殖巣の成熟は海水温の年較差の大きい地域では海水温に影響されていると報告している。吉田¹³⁾、Yamamoto *et al.*¹⁴⁾及び Sakairi *et al.*¹⁵⁾はウニ類(アカウニ、バフンウニ、ムラサキウニ)生殖巣の発達に及ぼす環境要因の影響について実験を行い、その中でこの3種のウニでは生殖巣の成熟に光条件は重要な役割を果たしておらず、水温が生殖巣の成熟を支配する重要な環境因子であることを示している。また、吉田¹³⁾は各ウニには生殖巣成熟を許容するそれぞれの種に固有の温度域が存在し、生殖細胞の成熟にはまず栄養の蓄積が必要であり、そのためにはある温度以上の水温が必要であり、高水温側に成熟許容域を持つアカウニ、ムラサキウニは許容温度に保たれれば栄養蓄積をすることができ、生殖巣は自動的に成熟してくると推測している。さらに恒温条件下ではバフンウニは15, 20, 25°Cで、ムラサキウニでは15°Cで成熟がみられないが、アカウニでは20°Cで、ムラサキウニでは20, 25°Cで成熟し、同じ恒温条件下でもウニの種類によって成熟可能な温度条件が違っているとしている。

今回のアカウニの実験では、13°Cで飼育した場合生殖巣の成熟はみられなかったが、2~6月加温区、5~6月加温区、8月降温区及び19°C区では生殖巣の成熟がみられた。生殖巣の成熟がみられたのは生殖巣が発達するいずれかの時期に19°C以上の水温を経験した区であり、アカウニは高水温側に成熟許容域を持っているという吉

田の報告¹³⁾と一致するものである。また、19°Cで成熟し13°Cで成熟しないという結果は、20°Cで成熟し、15°Cでは成熟しないというムラサキウニの場合¹⁵⁾と類似している。バフンウニの場合には15, 20, 25°Cの恒温条件下で成熟せず、生殖巣の成熟には一定期間高水温を経験する必要があり、高水温から低水温への温度変化によって成熟を開始することが報告されている^{15,16)}。しかしアカウニの場合は、バフンウニのように温度変化が必ずしも必要ではないのであろう。

大量の卵と精子を得ることは種苗生産を行ううえで極めて重要である。

各実験区の放卵数は5~6月加温区が最も多く、次いで2~6月加温区、19°C区、13°C区となっていたが、放卵数の多寡は生殖巣指数がどのレベルにあるかによると思われる。つまり生殖巣指数が低いときは、卵形成の素材となる栄養物質が十分に蓄積されていないので放卵数が少なく、栄養物質が十分蓄積されてGSIが高いときは放卵数が多くなるものと考えられる。また、13°C区を除く各実験区では放卵・放精が開始されるまで生殖巣指数はほぼ一定であり生殖巣指数の増加が認められなかったが、これは設定した水温条件下では生殖巣の成熟が進み栄養物質の蓄積がなかったためと考えられる。しかし13°C区は13°C恒温であるにも関わらず生殖巣指数の増加が認められたが、これは低水温のため生殖巣の成熟が行われず、そのかわりに生殖巣への栄養物質の蓄積が行われたためとも考えられる。また各実験区は対照区に比べ、成熟は促進されたが放卵数のレベルは低く、さらに、13°C区では他の実験区に比べGSIが高かったが産卵数は最も少なかった。このことも同様の理由によるものであろう。

本研究の結果によれば、佐賀県ではアカウニは水温制御により8月中旬から下旬には採卵・採精できる。本種の浮遊幼生の変態着底上限水温は25°Cであるとされているので、佐賀県では9月上旬から中旬頃には変態着底可能な水温となり、この時期に変態着底させることにより、種苗を従来より早く生産して配付できるものと思われる。しかし8月中旬から下旬に採卵した場合、幼生飼育は高水温時期に行わざるを得ない。アカウニ幼生を健全に飼育できる上限水温は23°C~24°Cであるとされている^{19,20)}。アカウニの早期採卵技術がほぼ確立した現在、残された課題は高水温期に大量の浮遊幼生を健全に飼育する方法を確立することといえよう。

要 約

1. アカウニの成熟を促進するため水温設定が異なる実験区（5区）と対照区（1区）を設け実験を行った。
2. 2～6月加温区での雌雄個体の反応率は雌では8月9日以降、雄では9月10日以降100%となった。
3. 実験区での産卵は7月10日以降みられたが、平均産卵数が100万粒以上になったのは2～6月加温区では8月9日以降であった。
4. 実験区での放精は9月10日以降みられた。9月10日の2～6月加温区での放精数は 581×10^8 個であった。
5. 生殖巣の組織学的観察結果によると成熟後期は実験区では8月から12月に、対照区では10月から12月にみられた。
6. 生殖巣指数は殆どの実験区では変動幅が小さかったが、放卵放精後は急激に低下した。対照区では9月に最高、1月に最低を示した。
7. アカウニの種苗生産は、親ウニを2～6月に25°Cに昇温、7月以降20°Cの一定水温で飼育することによって8月中旬から下旬に開始でき従来より早期に種苗を生産し配布できるものと思われる。

文 献

- 1) 伊東義信・山田 徹・有吉敏和・野田進治・伊藤史郎 (1985) : ウニ類(アカウニ, バフンウニ, ムラサキウニ)の種苗生産の現状と問題点. 昭和55～58年度佐賀県栽培漁業センター事業報告, 79-96.
- 2) 真崎邦彦・野口弘三・金丸彦一郎 (1988) : アカウニの種苗生産過程における稚ウニの大量斃死について. 西海区ブロック藻類・介類研究会報, 5, 45-59.
- 3) 伊東義信・真崎邦彦・金丸彦一郎・伊藤史郎 (1987) : アカウニの生殖巣成熟促進に対する飼育水温コントロールの効果. 佐賀栽培センター研報, 1, 1-4.
- 4) 真崎邦彦・川原逸朗 (1995) : 水温制御によるアカウニの成熟促進-I. 佐賀栽培センター研報, 4, 93-100.
- 5) 野口弘三・川原逸朗・金丸彦一郎・後藤政則 (1993) : アカウニ幼生の変態着底と水温の関係について. 佐賀栽培センター研報, 2, 57-60.
- 6) Fuji, A. (1960) : Studies on the biology of the sea urchin. *Bull. Fac. Fish. Hokkaidou Univ.*, 11, 1-14.
- 7) Bennett, J. and Giese, A. C. (1955) : The annual reproductive and nutritional cycles in two western sea urchins. *Biol. Bull.*, 109, 226-237.
- 8) Boolootian, R. A. (1966) : Reproductive physiology, in "Physiology of Echinodermata". Interscience Publishers. pp. 561-614.
- 9) 三輪勝利 (1966) : ウニの生化学的研究. 北水研報告, 31, 73-88.
- 10) Cochran, R. C. and Engelman, F. (1975) : Environmental regulation of the annual reproductive season of *Storonylocentrotus purpuratus*. *Bull. Biol.*, 148, 394-401.
- 11) Pearse, J. S., Pearse, V. B. and Davis, K. K. (1986) : Photoperiodic regulation of gametogenesis and growth in the sea urchin *Storonylocentrotus purpuratus*. *J. Exp. Zool.*, 237, 107-118.
- 12) 吾妻行雄・菅原義雄 (1988) : キタムラサキウニの生殖周期と餌料摂取について. 北水試研報, 30, 43-49.
- 13) 吉田正夫 (1988) : ウニ類生殖巣の発達におよぼす環境要因の影響, 「昭和62年度海洋資源生物再生産の初期過程研究成果報告書」, 130～139.
- 14) Yamamoto, M., Ishine, M. and Yoshida, M. (1988) : Gonadal maturation independent of photic conditions in laboratory-reared sea urchins, *Pseudocentrotus depressus* and *Hemicentrotus pulcherrimus*. *Zool. Sci.*, 5, 979-988.
- 15) Sakairi, K., Yamamoto, M., Ohtsu, K. and Yoshida, M. (1989) : Environmental control of gonadal maturation in laboratory-reared sea urchins, *Anthocidaris crassispina* and *Hemicentrotus pulcherrimus*. *Zool. Sci.*, 6, 721-730.
- 16) 伊藤史郎, 柴山雅洋, 小早川淳, 谷 雄策 (1989) : 水温制御によるバフンウニ *Hemicentrotus pulcherrimus* の成熟, 産卵促進. 日水誌, 55(5), 757-763.
- 17) McClintock, J. B. and Watts, S. A. (1990) : The effects of photoperiod on gametogenesis in the tropical sea urchin *Euclidaris tribuloides*. *J. Exp. Mar. Biol. Ecol.*, 139, 175-184.
- 18) Byrne, M. (1990) : *Mar. Biol.*, 104, 275-289.
- 19) 伊藤史郎・小早川淳・谷 雄策 (1986) : アカウニ浮遊幼生の飼育適水温について. 栽培技研, 15, 12-14.
- 20) 伊東義信 (1987) : アカウニ種苗生産の現状と問題点(上). 水産の研究, 6, 52-57.

