サザエ *Turbo (Batillus) cornutus* の生殖巣成熟に関する研究

山 本 哲 生・山 川 紘

(1984 年 5 月 7 日受理)

The Gonadal Maturation in *Turbo (Batillus) cornutus*Tetsuo YAMAMOTO*¹ and Hiroshi YAMAKAWA*²

The reproductive cycles of the top shell *Turbo (Batillus) cornutus* in terms of gonad indices and oocyte diameter were related to histological developments of the gonad tissue, using specimen collected during the period July, 1979 to September, 1980 in Chikura coasts of Chiba prefecture, Japan.

Histological observation indicated that the ovary and testis ripened from May through September. The polygonal diagrams of egg size frequency were increased in May and dropped suddenly in September. The tendency in gonad indices was synchronous. The spawning was considered to occur in August and September. Immature group of 40-60 mm in shell height in the fisheries ground had little seasonal changes in the amount of smaller oocytes and gonad indices. In larger size of 60 mm in shell height, all of them had clear reproductive cycles.

The relation between the fecundity (F) and the shell height (H) was shown by the formula, $F=4.79 \times 10^{-8} \times H^{4.82}$, which was calculated in the condition of the maximal gonad growth in individual shells.

サザエ *Turbo (Batillus) cornutus* は本邦太平洋沿岸では奄美諸島から茨城まで、日本海沿岸では九州から北海道南西域にいたる各地の岩礁性海岸に分布しており、アワビ類とともに重要な磯根資源である。アワビ類に関しては本邦はもとより、世界的にも生理学的、生態学的知見が多数集積されているが、サザエに関する研究は比較的少なく、形態¹⁻³⁾ や分布^{1,3)} 成長¹⁻⁴⁾ 産卵期^{5,6-8)} 生活史⁹⁾ に関する生物学的な報告、および、最近の個体群の動態¹⁰⁾ や資源特性¹⁰⁾ を扱った報告が行なわれているにすぎない。

また、サザエの性成熟過程に関しては、韓国済州島産サザエについて 概括的な研究結果¹¹⁻¹²⁾ が示されているものの、岩礁域における原始腹足類の個体群構造にあわせて性成熟の様相を明らかにする知見は少ない。本報告はサザエの季節的な生殖活動の消長を計る指標として組織学的な手法と生殖巣熟度指数および生殖巣内の卵径分布との関連を究めることにより、季節的ならびに殻高別に性成熟過程について検討したものである。

材料および方法

生殖巣組織構造の周年変化 供試貝は 1979 年 7 月か

ら 1980 年 7 月にかけて、千葉県外房海域千倉地先 (Fig. 1) で漁獲したものを使用し、殻高 100 mm 以上 110 mm 未満のサザエの毎月約 20 個体を検査対象とした。

供試貝は採集後直ちに破殻して 20% 中性ホルマリンで固定し、約 5 時間後に内臓部を取り出し、生殖巣の先端 (conical appendage) から後端 (腎臓部) までの長さ (成熟期における平均長 19 cm) を測定した。次いで生殖巣各部位の成熟過程の差異を検査するため、生殖巣を先端から 1/3, 1/2, 2/3 の各部位で切断した (Fig. 2 に示す h, i, j はそれぞれ 1/3, 1/2, 2/3 の切断部位に相当する)。そして、生殖巣先端からまでの部分 g₁ はブアン固定後、70% アルコールで保存し、他の g₂, g₃, g₄ 各部分は 10% 中性ホルマリンで保存した。g₁ 部は常法に従って厚さ 4~5 μm のパラフィン切片とし、マイヤーの酸性ヘマラウムとエオシンの二重染色を行った。

なお、h と i 部分における断面積中に占める生殖巣面積の百分率を下式により求め、生殖巣熟度指数^{13,14)} (Gonad Index: GI と略す) を算定した。

$$GI = \frac{\text{Gonad area}}{\text{Total area of section}} \times 100 (\%)$$

*1 (現所属) (社) 全国底曳網漁業連合会 (National Federation of Medium Trawlers, Toranomon 1, Minato, Tokyo 105, Japan).

*2 東京水産大学資源増殖学科 (Laboratory of Marine Ecology, Tokyo University of Fisheries, Konan 4, Minato, Tokyo 108, Japan).

Fig. 1. Areas (A and B) where samples were collected at Chikura in Chiba prefecture.

また、j で切断された g_4 側の断面から卵巣の一部を取り出し、スライドガラス上で卵塊を分離させた後、無作為に 200 個の卵母細胞の径（長径と短径の平均）を測定した。ただし、10 μm 未満のものは計測から除外した。

殻高別生殖巣成熟 1980 年 4 月から 1980 年 9 月にかけて殻高別（殻高 40 mm 以上 120 mm 未満）に生殖巣の成熟過程を調査した。供試貝は Fig. 1 における海域から得たものであり、殻高 40 mm 以上 80 mm 未満の個体は A 区域、殻高 80 mm 以上 120 mm 未満の個体は B 区域から殻高 10 mm 単位別に約 20 個体を採集した。採集したサザエは殻高、総重量を測定後、生殖巣組織構造の周年変化の調査における処理方法に順じ、各殻高別に生殖巣熟度指数（ただし h 部断面について）と卵径分布を計測した。

孕卵数 生殖巣が成熟した 1980 年 6 月から 8 月にかけて、生殖巣熟度指数を測定した殻高 40 mm 以上の個体を対象に各殻高群から選出した GI 値の高い個体の卵巣重量を測定した。次に g_4 側から卵巣塊 0.01 g を取り出し、卵巣卵を計数後、総孕卵数を求めた。ただし、卵径 170 μm 以下のものは計数から除外した。

Fig. 2. Gonad and adjacent regions to *Turbo*. Symbols h, i and j denote the sections for measurements of gonad indices. These three sections are spaced equally.

結 果

生殖巣の周年変化 (1) 配偶子形成過程 アワビ類の生殖巣が中腸腺を輪状に包んでいるのとは異なり、サザエの生殖巣は中腸腺の表面を被覆するように存在している。

卵巣の表面は 2 層の被膜からなり、外層は円柱上皮細胞、内層は膠原線維により構成されている。内層の膠原線維は生殖巣へ入り込み、その外層は生殖上皮からなっている。卵巣内には周年にわたり卵原細胞が存在する (Fig. 3-1)。卵原細胞は平均 8 μm で細胞質に乏しく径約 6 μm の核内には 1 個の小型な核小体が存在する（この段階をここでは Phase I と称する）。

卵原細胞はやがて卵母細胞となり、染色体が接合するとともに核小体が消失する。接合期の後、核内ではヘマトキシリンで濃染される 1 個の球形で大きな核小体が存在する。細胞はこの時期以後肥大し、細胞質は次第にヘマトキシリンで濃染されるようになる。一方、基底側には成長にともない柄杓が生じてくる (Fig. 3-2)。この頃の卵母細胞は径 10~40 μm である (Phase II)。

細胞長径 40~80 μm の卵母細胞では油球と考えられる小型の空胞様構造が出現している (Fig. 3-3)。細胞は洋梨型を呈し、核径 10~25 μm である (Phase III)。やがて細胞内にはエオシン好染の卵黄顆粒が現われるが、その大型のものはおよそ 3 μm である。

Fig. 3-1. Oogonia (arrow) in Phase I. ($\times 400$)

Fig. 3-2. Primary oocytes in Phase II. ($\times 400$)

Fig. 3-3. More advanced primary oocyte in Phase III. ($\times 400$)

Fig. 3-4. Oocytes in Phase IV. ($\times 100$)

Fig. 3-5. Ripe eggs in Phase V. ($\times 100$)

Fig. 3-6. Section of testis. sp: spermatogonia, sc: spermatocytes, st: spermatids, sz: spermatozoa ($\times 100$)

核 (径 60~100 μm) と核小体 (径約 12 μm) は肥大し、核小体には酸性性の液胞様構造が認められる。細胞質のほぼ全体を油球ならびに卵黄顆粒が占めるようになり、細胞長径は 120~200 μm に達し、卵母細胞はゼリ一層に囲まれる (Phase IV, Fig. 3-4)。

完熟状態に近づいたと思われる卵母細胞はほぼ球形で、生鮮状態では平均卵径 230 μm であり、固定後は平均卵径 180 μm である (Phase V, Fig. 3-5)。

精巣も卵巢と同様 2 層の被膜で覆われており、外層は円柱上皮細胞、内層は膠原線維から構成されている。内層の膠原線維は生殖巣へ入り込み、その外層は生殖上皮である。精原細胞は精巣内の最も若い生殖細胞であり、周年存在する。第 1 次精原細胞はおおよそ長径 8 μm の楕円体状で、核径はおおよそ 7 μm である。第 2 次精原細胞はほぼ球形で、細胞径おおよそ 6 μm 、核径おおよそ 5 μm である。第 2 次精原細胞は分裂増殖を行い、やがて第 1 次精母細胞となる。その核は楕円体を呈し、長径 4~5 μm である。第 2 次精母細胞は円形 (径 3 μm) で、細胞質はほとんど認められない。第 2 次精母細胞は第 2 成熟分裂を行なって精細胞となるが、その核は径 2 μm である。精細胞は変態して精子となる。精子は弾丸状で、エオシン好染の 2.5~3 μm の先体とヘマトキシリンに濃く染まる 3 μm の核および 40 μm 程度の尾部とからなる (Fig. 3-6)。

(2) 配偶子形成過程の月別変動 雌貝では 10 月から 12 月までの期間には Phase I と Phase II の状態にある個体が多かったが、1 月に初めて Phase III の卵母細胞を有する個体が出現した。そして、2 月には大部分の個体が Phase III の状態にあり、一部に Phase IV のものが認められた。3 月以後 Phase IV が漸増し、4 月にはこの状態が最多となり、次いで Phase V の成熟卵が混在しはじめた。5 月以降の個体の卵巢卵は Phase V となり、9 月まで続く。更に 10 月から 1 月にかけては Phase II 以上の卵母細胞は退行変性し、卵黄顆粒は融合してその形状は不整となり、細胞質とモザイク状をなしてやがて消失した。

雄貝では 10 月から 1 月までの期間には精巣は精原細胞と精母細胞に大部分を占められ、精子は極く僅かしか認められなかったが、2 月以後増加しはじめ、5 月には精子で充満した。以後 9 月まで精子の充満している精巣を有する個体が存在した。

(3) 生殖巣熟度指数の周年変化 雄貝と雌貝の生殖巣熟度指数の周年変化を Fig. 4 に示した。生殖巣の各 h, i, j 断面での GI 値の変化傾向は、周年にわたりほぼ大差がなかったため、図は h 部の GI 値を代表として示した。

雄貝では平均 GI 値は 7 月に 72%、8 月に 71% と

Fig. 4. Changes in gonad indices for males (solid circles) and females (open circles). In each case, mean $\pm$ S.D. is given.

Fig. 5. Monthly variations in the size frequency distribution of the oocytes.

高く、9 月に 45% と急激に減少し、その標準偏差が大きくなった。その後平均 GI 値は 10 月には 26% に減少し、2 月まで低い値を示した。そして、1 月には GI 値が 18% となり、その標準偏差も最小となった。3 月の GI 値は 34% で、以降、次第に増加し、7 月まで増加をつづけた。なお、5 月には成熟度が個体毎にかなりばらついたが、6 月末からの GI 値の急増とともに成熟度の個体差は小さくなった。

雌貝では 7 月には平均 GI 値が 81% と高かったが、8 月には 58% に急減し、かつ標準偏差が 7 月に比較し大きくなった。9 月の GI 値は 42% で、それは 8 月に引続き急速に減少し、11 月のそれは 28% と最小となった。更に、GI 値は 12 月から 4 月にかけて徐々に増加し、その過程において 1 月には標準偏差が大きくなった。以後、4 月から 6 月にかけて GI 値は急激に増加し、7 月にはそれは再び 91% と最大値を示した。7 月における標準偏差は年間を通し、最小であった。

(4) 卵径分布の周年変化 Fig. 5 に卵径分布の周年変化を示した。卵巢卵は、概略、小型卵 (未熟卵) と大型卵 (成熟卵) に分けられ、それらのモードはそれぞれ平均 30 μm と平均 200 μm にあった。そして、分布の状態

Fig. 6. Gonad indices classified by shell height for males (solid circles) and females (open circles) in 1980.

から小型卵は季節的に大型卵へ移行したと考えられた。大型卵の比率は7月において最高となった。一方、小型卵の比率は11月に高まり、その後7月にむけて徐々に低下していった。その間、10月から1月にかけては分布が大型卵部と小型卵部とに完全に分離した状態となった。

殻高別成熟度 1980年における殻高別の生殖巣成熟指数と卵径分布をFig. 6とFig. 7に示した。

殻高40-50mmではGI値に大きな変化がなく、しかもその値が小さかった。そして、卵径分布上は小型卵の比率が常に高かった。

殻高50-60mmでは7月に雌貝のGI値が高くなり、卵径分布においても大型卵の比率が高くなったが、他の月では小型卵の比率が常に高かった。そして、8月にGI値が減少し、標準偏差が小さくなる傾向を示した。雄貝においては、8月にGI値が高くなり、9月に減少した。

殻高60-70mmでは雄貝のGI値は6月に最高になり、9月にかけて徐々に減少した。一方、雌貝のGI値は8月に最高になり、9月には減少した。そして、卵径

分布を検討したところ、7月と8月に大型卵の比率が高くなり、9月には小型卵のみとなった。

殻高70-80mmでは雌、雄貝はともに5月からGI値の増加をみ、7月に最高になった。その後、9月には急激に減少した。卵径分布では5月以降に大型卵の比率が高くなって8月まで続いたが、9月には小型卵の比率が極めて高くなった。

殻高80-90mmでは雌、雄貝はともにGI値が4月から6月にかけて増加し、8月に最高になったが、9月には急激に減少した。卵径分布では6月から8月まで大型卵の比率が高く、9月には小型卵が大部分を占めた。

殻高90-100mmでは雌、雄貝はともにGI値が5月から6月にかけて増加し、6月から8月まで高い値を示したが、9月には急激に減少した。卵径分布をみると、6月から8月までは大型卵の比率が高かったが、9月には小型卵の比率が高くなった。

殻高100-110mmでは雄貝のGI値は5月から6月にかけて急激に増加し、6月から8月まで高い値を示した。しかし、その後GI値は急激に減少した。GI値の標準偏差は6月が最小であった。雌貝のGI値は4月か

Fig. 7. The size frequency distribution of the oocytes classified by shell height in 1980.

ら6月にかけて急激に増加し、7月に最高値を示した。一方、7月から9月にかけて急激に減少したが、標準偏差は7月が最小であった。卵径分布上では5月から8月まで大型卵の比率が高かったが、9月には小型卵の比率が高かった。

殻高 110-120 mm では雌、雄貝はともに GI 値が4月から6月にかけて増加し、7月から9月にかけて急激に減少した。標準偏差は雌貝では6月、雄貝では7月に最小となった。卵径分布では4月から8月まで大型卵の比率が高かったが、9月には小型卵の比率が高かった。

孕卵数 同一個体において h 部と j 部断面から卵塊をとって卵径を比較すると構成状態に差が認められない

ことから、卵巣内の卵母細胞の分布状況は同一と考え、j 部断面の g₄ 側から 0.01 g 当りの卵数を調べ、総卵巣重量に換算した。なお、材料の 65 個体については成熟卵と考えられる卵径 170 μm 以上のものをのみ計数した。

孕卵数と殻高との関連性を Fig. 8 に示したが、両者は孕卵数を F (万粒)、殻高を H (mm) とした場合、 $F = 4.79 \times 10^{-8} \times H^{4.82}$ ($r = 0.943$) の関係式で表わすことができる。

なお、個体重量を W (g) とすると殻高との関係式は $H = 4.2394 \times W^{0.0076}$ と表わすことができる。

Fig. 8. The relationship between fecundity (F) and shell height (H) was shown by the formula, $F = 4.79 \times 10^{-8} \times H^{4.82}$. (Fecundity: number of ripe eggs counted in the fully ripe gonad of females collected from June through August in 1980).

考 察

LEE, J. H.¹¹⁾ 及び LEE, J. J.¹²⁾ は韓国産サザエの生殖細胞形成過程と性成熟周期について組織学的な研究を行ない、卵形成過程を4段階 (1: 卵原細胞期, 卵径 10 μ m, 2: 卵母細胞期, 卵径 50~60 μ m, 3: 卵母細胞期, 卵径 100~140 μ m, 4: 完熟期, 卵径 180~210 μ m) とした。著者らは富田¹⁰⁾ がエゾアワビで示した区分を適用し, LEE, J. H.¹¹⁾ と LEE, J. J.¹²⁾ の記述に加え, 雌性配偶子の形成過程を Phase I から Phase V までの5段階 (Phase I: 卵原細胞期, Phase II: 染色仁期・無卵黄期, Phase III: 油球期, Phase IV: 第1次卵黄球期・第2次卵黄球期, Phase V: 成熟期) に区分した。一方, 雄性配偶子は富田¹⁰⁾ GIRARD¹⁷⁾ 隆島ら¹⁸⁾ 奥野ら¹⁹⁾ が *Haliotis* 類で観察した結果と同様, 精原細胞, 精母細胞, 精細胞, 精子と形成過程が進行する。

調査結果を以上のような生殖細胞の成熟過程に関する組織学的区分に基づいて明らかにし得た生殖周期, GI および卵径分布の周年変化に対応させると, 卵径 10~40 μ m の卵原細胞・卵母細胞期 (10月~11月), 卵径 40~100 μ m の卵母細胞期 (12月~1月), 卵径 100~170 μ m の卵母細胞期 (2月~5月), 卵径 170 μ m 以上の成熟期 (6月~7月), 放卵期 (8月~9月) の各期に変遷することが判明する。10月の組織切片からは大

型の卵母細胞が退化変性をおこし始める。その後, 当海域の供試貝には翌年の5月までに再成熟する個体は認められなかった。

サザエは若令期を浅海域で過ごし, 成長に伴ない漸深域に移行する習性²⁾がある。本研究対象域 (Fig. 1) では, A域には高令貝が生息せず, B域の漸深域には若令貝が少ないことから, A域 (水深 0~2 m) から殻高 40~80 mm の個体, B域 (水深 2~9 m) から殻高 80~120 mm の個体を採集した。Fig. 6 と Fig. 7 をもとに各殻高別に卵径 170 μ m 以上の成熟卵が生殖巣に形成される割合を月別にみると, 5月にA域から急速に成熟が始まる。Fig. 7 の5月の殻高 80 mm から 110 mm までの個体に認められるようにこの時期においてはB域ではA域に比較し成熟が遅く, 6月になって短期間に成熟卵径に達することから, 生息環境の部分的な差異が成熟初期には成熟具合に影響を与えているものと推測することができる。

サザエについて網尾²⁾ が5月から9月の水温上昇期に成熟個体が認められると報告している。一方, 本研究対象水域の環境水温は9月においても依然として高いにもかかわらず, 生殖巣から成熟卵が消失してしまっている。従って, 環境水温の上昇は成熟に関係するが, 高水温期と成熟期が一致するわけではない。

最後に, 本研究を行なうにあたり, 適切な御指導を賜った東京水産大学宇野 寛教授に感謝の意を表わす。さらに, 永年にわたり御鞭撻下さり, 論文の校閲をいただいた東京大学大島泰雄名誉教授, ならびに東京水産大学隆島史夫助教授に, 厚くお礼申し上げる。材料の採取にあたり, 千葉県水産試験場種苗研究室佐藤 新室長および研究員の方々に, 格別の御配慮と御助言をいただいた。ここに記し, 心より感謝するものである。

文 献

- 1) 猪野 峻: 日水誌, **19**, 410-415 (1953).
- 2) 網尾 勝: 農水講研報, **4**, 57-68 (1956).
- 3) 宇野 寛: 東水大特別研報, **6**, 1-74 (1962).
- 4) 野中 忠・中川征章・佐々木正・松浦勝巳: 静岡水試研報, **2**, 59-66 (1969).
- 5) 阿井敏夫・野中 忠・佐々木正: 日水誌, **30**, 828-830 (1964).
- 6) 阿井敏夫: 日水誌, **31**, 105-112 (1965).
- 7) 松岡祐輔: 京都水試研報, 132-139 (1975).
- 8) 坂井英世: 新潟裁セ, **4**, 135-138 (1981).
- 9) 林 育夫: *Venus*, **42**, 212-216 (1983).
- 10) 伏見 浩: ベントス研連誌, **19/20**, 59-70 (1980).
- 11) J. H. LEE: *Bull. Korean Fish. Soc.*, **13**, 125-134 (1980).

* 千葉県水産試験場調査報告 24 (1971)

- 12) J. J. LEE: *Bull. Mar. Resour. Res. Inst. Jeju Nat. Univ.*, **7**, 29-51 (1983).
- 13) 猪野 峻・原田和民: 東海区水研研報, **31**, 275-281 (1961).
- 14) I. HAYASHI: *J. Mar. Biol. Ass. U.K.*, **60**, 415-430 (1980).
- 15) 富田恭司: 北水試報告, **7**, 1-17 (1967).
- 16) 富田恭司: 北水試報告, **9**, 56-61 (1968).
- 17) A. GIRARD: *Rev. Trav. Pêches Marit.*, **36**, 163-184 (1972).
- 18) 隆島史夫・奥野 勝・西村和久・野村 稔: 東水大研報, **65**, 1-8 (1978).
- 19) 奥野 勝・隆島史夫・山川 紘: 東水大研報, **65**, 9-13 (1978).
- 20) 田中邦三・石田 修・坂本 仁・田中種雄: ベントス研連誌, **19/20**, 51-58 (1980).
- 21) 堀川博史・山川 紘: 南西海区水研研報, **14**, 71-81 (1982).