

〈寄稿〉

## 海産魚介類の親魚特性が仔稚魚の成長および生残に及ぼす影響 —クルマエビ, ブリおよびシマアジでの研究事例—

虫明敬一

### Maternal effects of marine fishes and shellfishes on the growth and survival of larvae and juveniles: examples of kuruma prawn *Marsupenaeus japonicus*, yellowtail *Seriola quinqueradiata* and striped jack *Pseudocaranx dentex*

Keiichi MUSHIAKE

Present studies were carried out to examine the maternal effects on the growth and survival of juveniles and larvae in both marine prawn (kuruma prawn *Marsupenaeus japonicus*) and fishes (yellowtail *Seriola quinqueradiata* and striped jack *Pseudocaranx dentex*). Survival rate in the seed production of kuruma prawn by pedigree assessment based on PCR-RFLP analysis of mitochondrial DNA D-Loop region and microsatellite DNA analysis using three polymorphic loci was investigated, and it was found the survival rate was dependent on the juveniles originated from the broodstock. In both yellowtail and striped jack, spawning results were depended on the diet fed with broodstock during the management. Larval activity was estimated by survival activity index (SAI) in these fishes, and no relationships were recognized between SAI of larvae and properties of eggs, *i.e.*, floating eggs rate, fertilized eggs rate, egg diameter or diameter of oil globules. However, larvae with the higher SAI value in yellowtail and striped jack survived more during the initial 10 days in the seed production. The SAI of larvae obtained from the younger broodstock showed the higher value in yellowtail. SAI of larvae from the same spawning groups in striped jack during the multiple spawning showed higher value at the beginning in the spawning season, and decreased gradually at the middle and late spawning season. These results demonstrate that the maternal effect is important in marine fishes and prawn and should be researched based on the scientific results.

**Key words:** maternal effect, marine fish, diet, survival rate, growth, larval activity

#### 1. はじめに

わが国の海産魚介類の種苗生産技術は、1960年代の餌料生物の大量培養技術開発の成功を受けて、その後、急速に進展した。2007年には放流用および養殖用を合わせると、国内では魚類45種と甲殻類35種が種苗生産されている(水産庁ほか, 2009)。生産された人工種苗は放流用あるいは養殖用として取り扱われているが、ほとんどすべての魚種において、対象とする種内での個体レベルよりも群として種間での生理学や生態学などに着目した研究・技術開発が進められてきた。そのため、厳密な意味での対象種ごとの個体レベルでの生物学的知見には乏しいといわざるを得

ない。

このような背景の下、親魚の特性がその後の仔稚魚の成長および生残に及ぼす影響について、今回は比較的個体レベルに近い研究として、わが国の水産重要対象種であるクルマエビ *Marsupenaeus japonicus*, ブリ *Seriola quinqueradiata* およびシマアジ *Pseudocaranx dentex* での事例について紹介する。

#### 2. クルマエビでの研究事例

旧日本栽培漁業協会においては1967-2000年までの間、毎年約1.2億-1.4億尾の放流用クルマエビ種苗の生産を行ってきた(日本栽培漁業協会, 2003)。放流用種苗については、1992年の地球サミットでの生物多様性保全条約の採択に基づく「野生集団の遺伝的多様性の保全」の重要性が強調されている。クルマエビの種苗生産に関しても、これまで放流用種苗の遺伝的多様性の保持に配慮する必要性が

2009年11月12日受付, 2009年12月21日受理

(独) 水産総合研究センター養殖研究所

National Research Institute of Aquaculture, Fisheries Research Agency,  
422-1 Nakatsuhamaura, Minamiise, Watarai, Mie 516-0193, Japan

mushiake@fra.affrc.go.jp

常々指摘されてきた。種苗生産過程における幼生の成長や生残率は、種苗生産を科学的根拠に基づいて評価するうえで、また、各親クルマエビ（以下親エビ）の特性を知る重要なメルクマールとなる。実際には、本種の産卵試験に供した親エビにより得られた幼生の生残状況などが異なる、すなわち、家系間の生き残りの違いが認められることが経験的に知られている。ここでは、菅谷（2005）が報告したクルマエビDNAマーカーによる親子判別技術を用いた種苗生産過程における家系間の成長と生残の違いについて紹介する。

実験は、異なる5尾の雌親エビから同一日に採卵された卵からふ化した幼生各10万尾ずつ計50万尾を同一のコンクリート製水槽（25kl）に同時に収容して飼育が開始された。飼育餌料には、通常のカクルマエビの餌料系列、すなわち、テトラセルミス *Tetraselmis tetraathele*、アルテミアノープリウス *Artemia salina* および市販の人工配合飼料を用い、

**Table 1.** Observed number of individuals in each family at three developmental stages among communally reared kuruma prawn.

Family	Stage*		
	P21	P41	P82
1	12	27	19
2	84	40	70
3	36	39	32
4	18	44	29
5	0	1	0
Total	150	150	150

\* P21, P41 and P82 show 21, 41 and 82 day-old at the postlarval stage, respectively.

ポストラバ82日齢（P82と記載）まで混合飼育を継続した。ここで、ポストラバ期の記載方法はHudinaga（1942）の報告した記載とは異なり、ポストラバ期に達した段階からの日齢で記載する方法が通例的に使用されているため、その記載方法に準じた。P82までの間、P21、P41およびP82の時点で水槽から無作為に毎回150尾をサンプリングし、ミトコンドリアDNAのD-Loop領域における制限酵素断片長多型（RFLP）と3ローカスのマイクロサテライトDNA多型に基づいた親子判別によって生き残り状況を調査した。

その結果、家系（異なる雌親に由来する種苗）ごとに種苗生産過程の各ステージにおける幼生150尾中の生残尾数に偏り、すなわち、生残率の違いが認められた（Table 1）。また、全家系の平均全長に対する各家系の平均全長を比較すると、各家系間で有意な成長の差が認められた（Fig. 1）。このような違いが、真に親エビからの遺伝的な違いに影響を受けているのか、あるいは飼育環境に適応した遺伝子を有する家系のみが良好な成長や生残を示したのかの詳細については不明であるが、興味深い現象である。このような親の特性が仔魚（幼生）の成長・生残にいかんにか反映しているかに関する研究事例については、今後、魚類においても実施されるべきと考えられる。

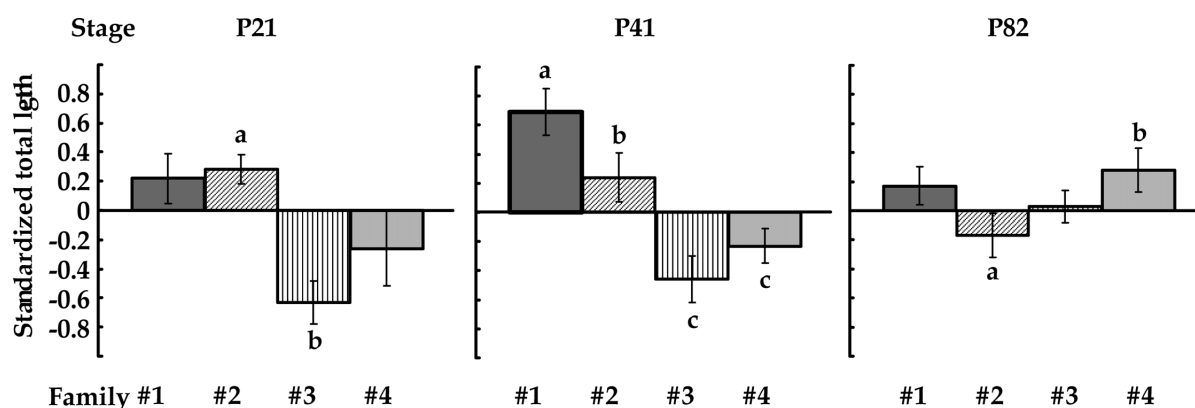
### 3. 魚類での研究事例

魚類においては、これまで放流用あるいは養殖用の種苗生産を問わず厳密な意味で個体レベルでの親魚特性を把握するような種苗生産手法は取り入れられてこなかった。そのため、群として捉えた親魚の特性と仔稚魚の成長および生残に及ぼす影響について、ブリとシマアジで行われた事例について紹介する。

#### 3.1. ブリ

##### 3.1.1. 養成飼餌料別にみた親魚の採卵成績

試験には冷凍生餌（マアジ *Trachurus japonicus*: マサバ

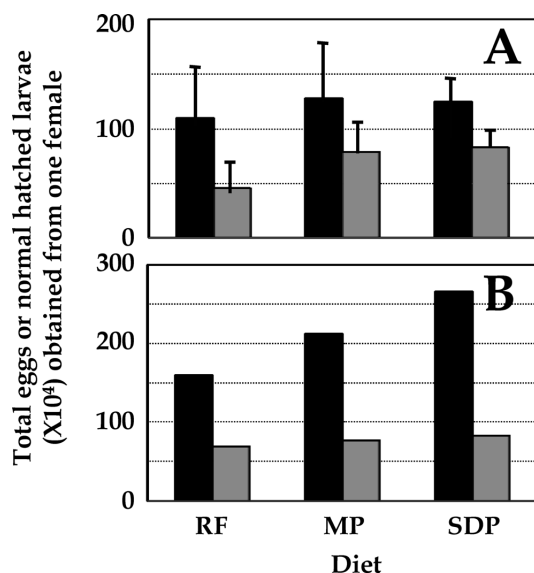


**Figure 1.** Average standardized total length within each full-sib group at three stages of development. Different letters (a, b, c) in each panel indicate significant differences (Mann-Whitney *U*-test,  $p < 0.05$ ).

*Scomber japonicus*=1:1) (RF), モイストペレット (市販粉末飼料: 魚介肉ミンチ=1:1) (MP) および市販ドライペレット (SDP) をそれぞれ給餌して養成したブリ親魚 (平均魚体重5.6kg) を供した (虫明ほか, 1995). 各飼餌料を給餌した親魚群20尾 (雄:雌=10:10) を人工授精による採卵試験に10尾 (雄:雌=5:5), 残り10尾 (5:5) は水槽内 (コンクリート製: 実容量65kl) での誘発産卵試験に供した. 人工授精による採卵試験および誘発産卵試験とも, 親魚の排卵・排精を促すためにHCG (human chorionic gonadotropin) を親魚の魚体重1kg当たり600IUとなるように筋肉内注射した. 人工授精はHCG注射48時間後に実施し, 誘発産卵では水槽内に産卵された卵を隣接する採卵水槽で回収する方式を採用した.

人工授精による採卵試験では, 採卵可能であった雌親魚1尾当たりの採卵数で比較すると, RF, MPおよびSDP給餌区でそれぞれ110万粒, 128万粒および124万粒と, MP給餌区で最も多くの卵が得られた (Fig. 2上). また, 雌親魚1尾当たりの正常ふ化仔魚数で比較すると, RF, MPおよびSDP給餌区でそれぞれ45万尾, 79万尾および83万尾となり, MPおよびSDP両給餌区はRF給餌区よりも有意 ( $p<0.01$ ) に高い値を示した.

次に, 誘発産卵試験では産卵試験期間中の各給餌区の雌親魚1尾当たりの産卵数は, RF, MPおよびSDP給餌区でそれぞれ160万粒, 213万粒および267万粒であり, SDP給餌区で最も多くの産卵数が認められた (Fig. 2下). MPお



**Figure 2.** Results of egg collection by artificial insemination (A) or induced spawning (B) from yellowtail fed with different diets. Vertical bars represent standard deviations. Solid squares, total eggs collected per one female; gray squares, normal hatched larvae; RF, raw fish; MP, moist pellet; SDP, soft dry pellet.

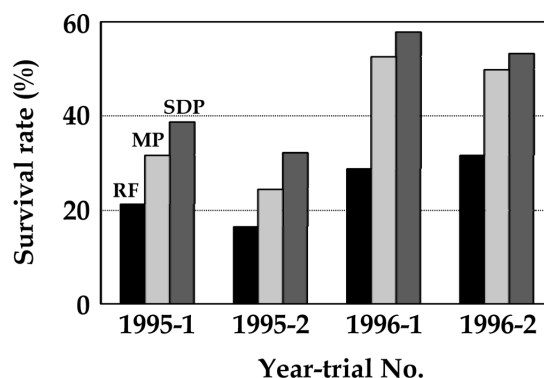
およびSDP給餌区とRF給餌区との間に有意 ( $p<0.01$ ) な差が認められた. また, 親魚1尾当たりの正常ふ化仔魚数で比較すると, RF, MPおよびSDP給餌区でそれぞれ69万尾, 77万尾および83万尾と, 人工授精の場合と同様にSDP給餌区で最も多い結果となった.

これらの試験結果から明らかなように, 親魚に給餌する飼餌料の種類によりその後の産卵成績が異なることが示された. このことは他の多くの海産魚でも認められている現象である. ブリ天然親魚の場合には, 上述の養成親魚ほど実際に摂餌している餌料にバリエーションはないと推察されるが, その場合でも産卵回遊する際の餌生物の種類や時期により脂質含量などが大きく変化するため, それに基づいて変化する親魚の栄養状態により産卵成績や卵質に少なからず影響があるものと推察される.

### 3.1.2. 親魚飼餌料別にみた仔魚の生残率

上記のブリの養成飼餌料別誘発産卵試験で得られたふ化仔魚を用いて, 飼育初期10日間の飼育を行い, 初期生残率の比較を試みた (虫明, 1996). 初期飼育試験は1995年と1996年に各2回計4回実施した. 飼育試験には1klのポリエチレン製水槽を使用し, 各飼餌料を給餌した親魚の群として初回産卵と3回目の産卵で得られたふ化仔魚2,000尾を計数しながら収容した. 初期飼育の餌料にはシオミズツボワムシを使用した. 試験期間中の飼育水温はふ化水温 (20°C) プラス1°Cの21°Cとした. 仔魚が日齢10に達した段階で飼育を終了し, 水槽から全仔魚を計数しながら取り上げて生残率を求めた.

その結果, いずれの試験においても [SDP] > [MP] > [RF] の順に高い生残率を示した (Fig. 3). これらの結果は, おおむね上記の飼餌料別の採卵成績のよし悪しと合致しており, これまで経験的に知られている海産親魚の産卵数が多いときの仔魚ほどその後の生残状況も良好であることを裏付ける結果となった.



**Figure 3.** Survival rate of yellowtail larvae obtained from broodstock fed with different diets among the initial 10 days of the seed production. RF, raw fish; MP, moist pellet; SDP, soft dry pellet.

### 3.1.3. 仔魚の活力評価と生残率

種苗生産を行う現場では、より健全な種苗を生産することは量産と並ぶ大きな目標である。そのためには、良質な卵や活力の高いふ化仔魚を得る必要がある。良質な卵は、産卵親魚の栄養状態に大きく左右されるため、優良親魚の養成が重要となってくる。一方、仔魚の活力に関しては、これまでも経験的あるいは感覚的にある程度とらえられてきているものの、活力を仔稚魚の体重などと同様に数値化しない限り、科学的な検討対象とすることは困難である。人工種苗の質的評価に関してはサケ *Oncorhynchus keta* (中野・白旗, 1988) で魚の成長記録と生体成分の分析や遊泳速度の測定による種苗性評価、またマダイ *Pagrus major* (福原, 1974; 慶徳ほか, 1985; 福原, 1986; 丸山ほか, 1986) では無給餌飼育による仔魚の質的選別および空中乾出や麻酔抵抗性による種苗性の評価について検討がなされている。また、カサゴ *Sebastes marmoratus* ではふ化仔魚の無給餌飼育(飢餓耐性試験)を行い、その生残尾数と生残日数から無給餌生残指数 (survival activity index: 以下SAIと略記) を求めて、ふ化仔魚の活力判定の評価指標とすることが提案されている(新聞・辻ケ堂, 1981)。このSAIがブリ(虫明ほか, 1993) およびシマアジ(虫明・関谷, 1993) のふ化仔魚の活力判定の有効な指標となることがすでに報告されており、本報ではこのSAIを用いたブリふ化仔魚の活力評価の結果を紹介する。なお、SAIは次式(新聞・辻ケ堂, 1981) により算出される。

$$SAI = N^{-1} \sum_{i=1}^k (N - h_i) \times i$$

ここで、 $N$ は試験開始時のふ化仔魚数、 $h_i$ は*i*日目の累積死亡尾数、および*k*は生残尾数が0となるまでの日数である。

ブリふ化仔魚のSAIと仔魚の飼育初期10日間の生残率との関係について、1988年から1992年にかけて得られた仔魚の初期飼育試験を行った(虫明ほか, 1993)。その結果をFig. 4に示した。日齢10までの初期生残率( $x$ )とSAI( $y$ )との間には、

$$y = 0.22x + 10.19 \quad (r^2 = 0.64)$$

と正の相関関係が認められた。今回の試験により、ブリ仔魚のSAIが高いふ化仔魚のロットほどその後の飼育試験での初期生残率も高いことが示され、現在もこの知見はブリの種苗生産現場において活用されている。なお、ここでは図は示さないが、ふ化仔魚のSAIと浮上卵率、受精率、卵径および油球径との間には、特に関連性は認められなかったが、ふ化率との間にのみ有意な相関関係が認められた(虫明ほか, 1993)。

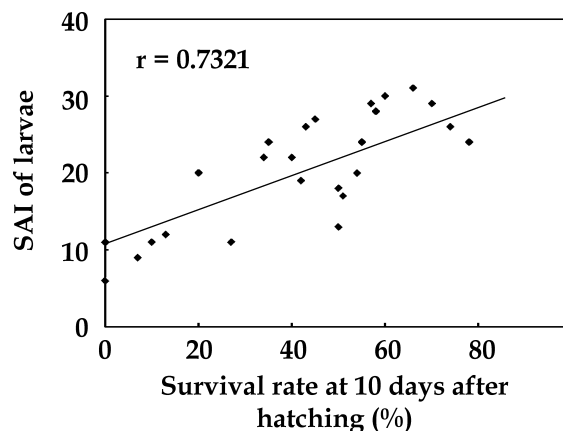


Figure 4. Relationship between SAI of hatched larvae and survival rate of fed larvae in 10 days after hatching in yellowtail.

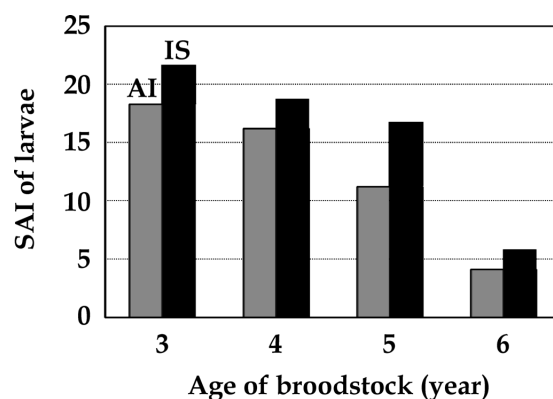


Figure 5. Effects of age of broodstock and methods of egg-collection on SAI of yellowtail larvae. AI, SAI of larvae obtained from artificial insemination; IS, SAI of larvae from induced spawning.

### 3.1.4. 親魚の年齢と仔魚の活力

人工種苗を稚魚の段階から一貫してSDPを給餌して育成したブリ親魚の満3歳から6歳までの間、毎年行った人工授精による採卵および誘発試験で得られた仔魚のSAIをFig. 5に示した。その結果、人工授精および誘発産卵といった採卵方法とは無関係に若齢の親魚から得られた仔魚ほど高いSAIを示した(虫明ほか, 1993)。この知見は、種苗生産現場においても生かされており、満3-4歳魚を中心に採卵が行われているのは、高齢魚ほど長期間の親魚養成が必要で不慮の事故などによるリスクと養成コストが高くなるので回避されていることと、得られる仔魚のSAIが低下するためである。なお、定置網などで漁獲されるブリ天然親魚を採卵用親魚に供する場合にも、海上小割生簀などでの養成年数が長くなるほど仔魚のSAIは低下することが報告されている(虫明ほか, 1993)。

### 3.2. シマアジ

#### 3.2.1. 養成飼餌料別にみた親魚の採卵成績

試験には冷凍生餌（マアジ:スルメイカ *Todarodes pacificus*:エビ（種不明）=2:2:1）（RF）、モイストペレット（市販粉末飼料:魚介肉ミンチ=1:1）（MP）および市販ドライペレット（SDP）をそれぞれ給餌して養成したシマアジ親魚（平均魚体重4.8kg）を供した（虫明, 1996）。各飼餌料を給餌した親魚群12尾（雄:雌=6:6）をそれぞれ別のコンクリート製水槽（実容量65kl）に収容し、水槽内での誘発産卵試験に供した。なお、親魚の排卵・排精を促すために水槽収容直前にHCGを親魚の魚体重1kg当たり600IUとなるように筋肉内注射した。なお、シマアジの場合にはブリに比べて皮膚が非常に糜爛しやすい魚種のため、人工授精による採卵には不向きな魚種であるため、人工授精による採卵試験は実施していない。

試験の結果、産卵試験期間中の各給餌区の雌親魚1尾当たりの産卵数は、RF、MPおよびSDP給餌区でそれぞれ213万粒、82万粒および198万粒と、これまでシマアジの親魚養成で使用してきたRF給餌区で最も高い値を示した（Fig. 6）。また、雌親魚1尾当たりの正常ふ化仔魚数は、RF、MPおよびSDP給餌区でそれぞれ132万粒、35万粒および146万粒となり、SDP給餌区が最良の結果を示した。

シマアジに限らず海産魚の海上小割生簀での親魚養成におけるMPの使用は、成熟・産卵に有効な添加物や疾病対策上の抗生物質などを容易に混入させることができるなど多くの有利な点を有する飼餌料として知られている。しかし、陸上水槽内での親魚養成の際には海水中でRFやSDPと比較すると短時間に溶出しやすく、水槽内が乳白色に汚濁されやすいという欠点を有している。シマアジのように、飼餌料の給餌を視覚で確認して摂餌する魚種にとっては、この汚濁は水質の悪化とともに、餌の視認性が悪くなる

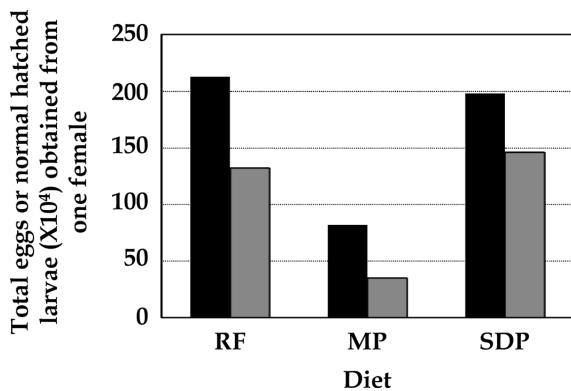


Figure 6. Results of natural spawning without hormone injection in striped jack fed with different diets. Solid squares, total eggs collected per one female; gray squares, normal hatched larvae; RF, raw fish; MP, moist pellet; SDP, soft dry pellet.

という点で不向きといわざるを得ない。

#### 3.2.2. 親魚飼餌料別にみた仔魚の生残率

ブリと同様に各飼餌料で養成した親魚からの初回産卵で得られたふ化仔魚を用いて、初期の10日間の飼育実験を試みた（虫明, 1996）。試験条件の設定や飼育方法は、飼育水温をふ化水温（22°C）プラス1°Cの23°Cとした以外は、上述のブリの方法に準じた。

その結果、日齢10における仔魚の生残率は、[RF] ≧ [SDP] > [MP] となり、おおむね上記の産卵結果のよし悪しと一致する傾向を示した（Fig. 7）。

#### 3.2.3. 仔魚の活力と生産成功率

上述したブリと同様に、シマアジにおいてもふ化仔魚の活力を数値化するためにSAIを産出し、その後の種苗生産事例における取り上げ（全長30mm）までの成功率との関連性を調査した（虫明・関谷, 1993）。

1988年から1992年にかけて行ったシマアジの種苗生産試験結果とそれぞれの飼育に供した仔魚と同じロットのふ化仔魚のSAIをTable 2に示した。なお、1990年には本種

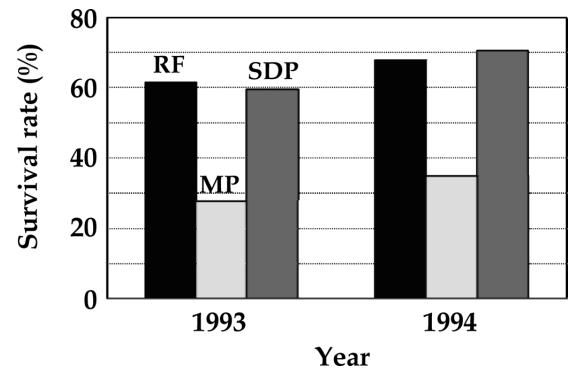


Figure 7. Survival rate of striped jack larvae obtained from broodstock fed with different diets among the initial 10 days of the seed production. RF, raw fish; MP, moist pellet; SDP, soft dry pellet.

Table 2. Relationship between SAI of larvae and results of seed production of striped jack.

Year	SAI* <sup>1</sup> of larvae				
	0-6	6-12	12-18	18-24	24-30
1988	0/1* <sup>2</sup>	—	2/2	—	—
1989	0/1	—	2/3	4/5	1/1
1991	0/2	1/1	7/8	—	—
1992	—	—	1/1	7/7	2/2
Total	0/4	1/1	12/14	11/12	3/3

\*<sup>1</sup> Survival activity index.

\*<sup>2</sup> Number of seed production trials successful/conducted.

におけるウイルス性神経壊死症 (Yoshikoshi and Inoue, 1990) の発生により種苗生産ができなかったため表から除外した。

SAIが6以下のロットのふ化仔魚を使用した4例の種苗生産では、すべて事例で仔魚の死亡率が高く、ふ化後10日目までに飼育を中止せざるを得なかった。一方、SAIが6より高いロットを使用した生産事例では、30例のうち27例で全長30 mm前後の沖出しサイズの種苗を生産することができた。今回の試験により、SAIが6より高いシマアジふ化仔魚を用いると、飼育初期の減耗も比較的少ないことが確かめられた。その後の研究により、シマアジではSAIが12以上の仔魚のロットを種苗生産に供することで、疾病の発生による大量死亡の発生などの特別な理由がない限り、健全な種苗の生産が可能なのことがわかってきた (虫明, 未発表)。なお、今回は特に結果を示さないが、ふ化仔魚のSAIと浮上卵率, 受精率, ふ化率, 卵径および油球径との間には特に関連性は認められなかった (虫明・関谷, 1993)。

### 3.2.4. 親魚の産卵時期と仔魚の活力との関係

村井ほか (1985) は、シマアジ親魚の卵巣卵を組織学的に調査し、本種の卵巣卵の発達は非同期発達型に属すること

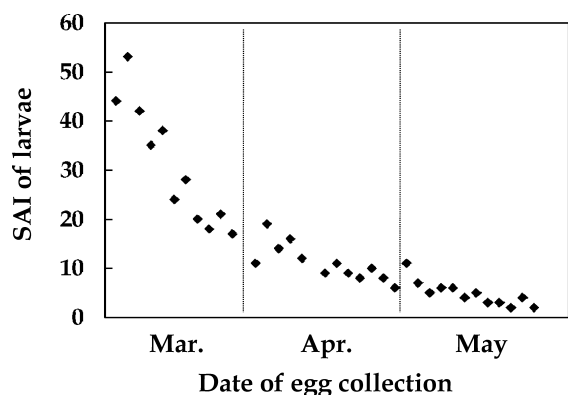


Figure 8. Changes in SAI of hatched larvae from natural spawning in striped jack.

を報告している。このような非同期発達型卵巣卵の発達を示す魚種は多回産卵型魚種に多くみられ、産卵期は一般に長く、その間に未発達の卵母細胞から卵黄形成期への補充が起こると報告されている (高野, 1989)。シマアジも全く同様で、本種が多回産卵型の魚種であることを裏づけている。シマアジでは雌雄比をほぼ1:1に設定すると、産卵水槽内の飼育水温が24°Cに到達するまでの間、自然条件下で約2ヶ月間産卵し、群としてみれば1シーズンに40回以上の多回産卵を繰り返すことが判明している (虫明, 1996)。

1991年に自然条件下で産卵を開始した親魚について、群としてみた場合の総産卵回数は計35回に及んだ。この試験で得られたすべての産卵回次のふ化仔魚を用いて、上記のSAIを調査した。その結果、仔魚のSAIは産卵初期に高く、群としての産卵回数が増えるに従って低下する傾向がみられた (Fig. 8)。このような産卵末期に仔魚や幼生の活力が著しく低下する現象は、シマアジ (虫明・関谷, 1993; Watanabe et al., 1998) だけでなく、これまでにブリ (虫明ほか, 1993; Mushiake et al., 1994; 虫明ほか, 1995)、キジハタ *Epinephelus akaara* (萱野・尾田, 1990; 萱野ほか, 1998) およびアサヒガニ *Ranina ranina* (浜田ほか, 2002) でも報告されている。その原因は、親魚の多回産卵に伴う体力の消耗に起因しているとは推定されているが (虫明, 1996)、まだ直接的な証明はなされていない。今後、この点においても個体レベルでの研究開発も必要となろう。

### 3.3. まとめ

ブリおよびシマアジ両親魚の養成飼餌料、採卵方法、卵質および仔魚の活力の観点から得られた仔魚の生残に及ぼす影響について整理した (Table 3)。養成飼餌料の観点から、卵の良否は親魚の特性というよりもむしろ後天的な栄養状況を反映することが多くの海産魚で報告されており、採卵用親魚を養成する場合の重要な要素の一つである。採卵方法については、ブリおよびシマアジでそれぞれHCGを利用した誘発産卵および自然条件下の自然産卵で得られた仔魚の生残・成長が最も良好なことが経験的に知られてい

Table 3. Effects of broodstock management properties on their larvae in yellowtail and striped jack.

Items	Yellowtail	Striped jack
Diets*1	RF<MP<SDP	MP<RF=SDP
Egg collection*2	AI<IS	IS<NS
Egg quality	No relationships between SAI*3 of larvae and properties of eggs, i.e., floating rate, fertilization rate, egg diameter or diameter of globules	
Larval activity	The larvae showing higher SAI values in the starvation test also showed higher survival rates in the seed production from 0 to 10 days after hatching.	

\*1 RF, raw fish; MP, moist pellet; SDP, soft dry pellet.

\*2 AI, artificial insemination; IS, induced spawning by hormone injection; NS, natural spawning without hormone injection.

\*3 Survival activity index.

る。卵質については、長く研究は行われてきているものの、いまだに明確な定義さえなく、真の意味での卵質を評価できているとは言い難い。今回報告したブリとシマアジについても、浮上卵数、受精率あるいは卵径などの項目と仔魚の生残・成長そのものとの関連性については明確ではない。ただし、先に述べたように仔魚の活力 (SAI) とその後の生残との関係については、両種とも SAI の値が高いロットほど、日齢 10 までの生残率が高いことが判明している。今後、海産魚類についても個体レベルでの種の特性を明らかにし、科学的根拠に基づく種苗生産研究の実施が望まれる。

### 引用文献

- 福原 修 (1974) 初期の飢餓がマダイ仔魚の生残り、成長および発育に及ぼす影響について。南西海区水産研究所研究報告, 7, 19-29.
- 福原 修 (1986) 種苗の健全性。「マダイの資源培養技術」田中克・松宮義晴編, 恒星社厚生閣, 東京, pp. 26-36.
- 浜田和久・浜崎活幸・虫明敬一 (2002) アサヒガニふ化幼生の活力判定の試み。水産増殖, 50, 79-84.
- Hudinaga, M. (1942) Reproduction, development and rearing of *Penaeus japonicus* Bate. Jap. J. Zool., 10, 305-422.
- 萱野泰久・何 玉環・原 隆・福永丈人 (1998) 年齢組成の異なるキジハタ親魚群の自然産出卵の卵質。水産増殖, 46, 213-218.
- 萱野泰久・尾田 正 (1990) 池中養成したキジハタ自然産出卵の卵質について。岡山県水産試験場報告, 5, 48-52.
- 慶徳尚寿・安江 浩・田中 実・花岡絹代・中杉祥子・裏崎憲子 (1985) タイ類種苗生産 1. ふ化仔魚の活力。広島県栽培漁業協会種苗生産事業報告, 4, 6-7.
- 丸山敬悟・津村誠一・森岡泰三 (1986) マダイ種苗の健全性に関する試験—1 粗放的生産魚と集約的産出魚の比較。栽培漁業技術開発研究, 15, 157-167.
- 村井 衛・青木雄二・西村和久・隆島史夫 (1985) 小笠原父島沿岸域における天然シマアジの性成熟過程と産卵期。水産増殖, 33, 76-81.
- 虫明敬一 (1996) シマアジおよびブリの親魚養成技術の開発に関する研究。特別研究報告, 9, 日本栽培漁業協会, 東京, 62 pp.
- 虫明敬一・藤本 宏・新聞脩子 (1993) ブリふ化仔魚の活力判定の試み。水産増殖, 41, 339-344.
- Mushiake, K., K. Kawano, W. Sakamoto and I. Hasegawa (1994) Effects of extended daylength on ovarian maturation and HCG-induced spawning in yellowtail fed moist pellets. Fish. Sci., 60, 647-651.
- 虫明敬一・河野一利・Wisuthi Verakunpiriya・渡邊 武・長谷川泉 (1995) 市販ソフトドライペレットを給餌したブリの採卵結果。日本水産学会誌, 61, 540-546.
- 虫明敬一・関谷幸生 (1993) シマアジふ化仔魚の活力判定の試み。水産増殖, 41, 150-160.
- 中野 広・白旗総一郎 (1988) サケの健苗性評価について。日本水産学会誌, 54, 1263-1269.
- 日本栽培漁業協会 (2003) (3) 種苗生産技術開発。日本栽培漁業協会 40 年史, 日本栽培漁業協会, 東京, 53-76.
- 新聞脩子・辻ヶ堂 諱 (1981) カサゴ親魚の生化学的性状と仔魚の活力について。養殖研究所研究報告, 2, 11-20.
- 菅谷琢磨 (2005) “成長の良いクルマエビ” はつくれるか?。平成 15 年大分県沿岸漁業等動向報告書。九州農政局大分統計・情報センター, 45-47.
- 水産庁・水産総合研究センター・全国豊かな海づくり推進協会 (2009) 平成 19 年度栽培漁業種苗生産, 入手・放流実績 (全国) pp. 107.
- 高野和則 (1989) 卵巣の構造と配偶子形成。「水族繁殖学」隆島史夫・羽生 功編, 緑書房, 東京, pp. 3-34.
- Watanabe, T., V. A. Robert, K. Mushiake, K. Kawano, V. Kiron and S. Satoh (1998) The first spawn-taking from striped jack broodstock fed soft-dry pellets. Fish. Sci., 64, 39-43.
- Yoshikoshi, K. and K. Inoue (1990) Viral nervous necrosis in hatchery-reared larvae and juveniles of Japanese parrotfish, *Oplegnathus fasciatus* (Temminck & Schlegel). J. Fish Dis., 13, 69-77.