

# 海洋深層水で飼育されたハタハタの成熟と産卵

Maturation and Spawning of Japanese Sandfish  
*Arctoscopus japonicus* Reared in Deep Seawater.

森岡 泰三<sup>1</sup>・堀田 和夫<sup>2</sup>  
Taizo MORIOKA and Kazuo HOTTA

## Abstract

To investigate the possibility of using deep seawater for rearing Japanese sandfish (*Arctoscopus japonicus*) for brood stock and to obtain basic knowledge for promoting the brood stock management, spawning, effect of diets on growth and maturity and changes in gonad conditions of the fish were examined from June to December in 1999. The mean temperature of the deep seawater used was around 5°C.

In the spawning test, 84% of the fish survived, and 43% of the females spawned from October to November. Their first spawning was 2 months earlier than that of the wild ones.

The growth of the fish of experimental Group A, which were fed on a dry diet, was almost the same as that of Group B, which were fed on a fresh diet, but the maturity rate of Group A was superior to that of Group B. The maturity rate of the females of Group A was 77% versus 33% of Group B.

G.S.I. (gonad weight/body weight excluding the internal organs × 100) did not change in most of the fish from June to July, but afterwards it increased in more than half of the fish. The mean total length of mature females and males were 15.5cm and 13.8cm, respectively. These lengths nearly coincided with the size of the smallest mature wild fish.

Thus, these investigations proved that the brood stock management of this species using deep seawater is possible and suggested that some rearing conditions in deep seawater would hasten the spawning time. This will be very effective to reduce the mortality of the released fish, because the size of young fishes produced from the brood stock will be larger than that of the wild ones when they migrate to the sea after release. This study also suggests that in order to raise the spawning rate, a suitable diet must be chosen, and the growth of the fish should be promoted so that they can get mature by August.

**Key Words:** Deep seawater, sandfish, *Arctoscopus japonicus*, brood stock.

## 要 旨

海洋深層水を用いたハタハタの親魚養成が可能かどうかを明らかにし、養成技術の向上を図るために1999年6~12月に1歳魚の産卵試験、使用飼料の違いが成長成熟に及ぼす影響および生殖腺の発達過程調査を水温約5°Cで行った。産卵試験では生残率84%で雌の43%が天然よりも2ヶ月早期に産卵した。餌料試験では配合飼料を用いたA群が生餌を用いたB群よりも成熟率が高かった。生殖腺調査では成熟開始が8月であり平均全長15.5cmの雌13.8cmの雄が成熟したと推定された。海洋深層水を用いた親魚養成は可能である。産卵期が早いことは早期に種苗生産を行うことで天然よりも大型の稚魚を放流できることを意味する。成熟率を高めるには餌料を考慮し8月に成熟が始まるように成長を促進させる必要があると考えられた。

<sup>1</sup>日本栽培漁業協会能登島事業場 (〒926-0216 石川県鹿島郡能登島町曲)

<sup>2</sup>富山県水産試験場栽培・深層水課 (〒939-853 富山県滑川市高塚364)

## 1. はじめに

日本海のハタハタ *Arctoscopus japonicus* は、通常水深 200~300 m 帯に生息している。本種は同一産卵場に回帰する特性を持っていることが知られている (Okiyama, 1990; 杉山, 1995a)。産卵は冬期に水深 0.5~4 m の岩礁域の藻場で行われ、卵はホンダワラ類の基部に卵塊として産み付けられる。産卵数は他の多くの魚類に比べて少ないが (1 歳魚では約 600 粒), 卵の直径 (3 mm 以上), ふ化仔魚 (全長 13 mm) とも大きい (以上, 杉山, 1995a)。

富山湾奥部においては、12~1 月に成熟魚が沿岸で漁獲され (南ら, 1989; 長倉, 1995), 高価格で取引されている。しかし近年その漁獲量が著しく減少したため、富山県及び日本栽培漁業協会能登島事業場 (日栽協) では大量の人工種苗放流による湾内資源の回復を目指している。この種苗放流を行うには、まず受精卵を安定的に確保しなければならないが、天然親魚からの安定確保が難しいために、人工種苗から採卵用の親魚を育成する必要がある。

飼育下のハタハタの産卵は、のとじま臨海公園水族館及び日栽協の冷却式循環ろ過水槽 (水温 5~10 °C) において 4 例が認められている (桶田, 1988; 島, 1989; 長倉, 1995)。しかし、水質が悪化しやすいために大量飼育が難しい。富山県水産試験場には深層水利用施設があり、水深 321 m から毎日約 3,000 m<sup>3</sup> の海洋深層水を汲み上げている (松里, 1994)。その水質は、低温 (1~2°C), 清浄などの諸性質を持っており (松里, 1994), 本種の親魚養成に関して極めて有効であることが予想された。そこで、同施設において、海洋深層水を用いて人工種苗から採卵用の親魚を育成する研究に取り組んだ。

海洋深層水を用いた、本種人工種苗の飼育は可能であることが確認されている (堀田, 1998; 堀田, 1999; 堀田, 2000)。今回は、種苗生産されたハタハタ 1 歳魚からの親魚養成が可能であるかどうかを産卵試験によって明らかにした。親魚養成技術向上のために、養成飼料の違いがハタハタ 1 歳魚の成長・成熟に及ぼす影響、さらに生殖腺の発達に

についての調査を行った。

## 2. 方 法

### (1) 供試魚と飼育水

1998 年 1 月 17 日に、富山県水見市沿岸で漁獲された天然親魚から人工授精により得た受精卵を、日栽協の陸上水槽において流水管理し、3 月 23 日にふ化した仔魚を用いて 5 月 25 日まで種苗生産を行った。同日、生産された 648 尾 (平均全長 45.4 mm) を陸上輸送して富山県水産試験場深層水利用施設の 6 m<sup>3</sup> 水槽に収容し、1999 年 6 月 10 日まで水温 4.1~6.8°C の海洋深層水を用いて配合飼料及び生餌により飼育した (生残率 66%)。この 1 歳魚 (平均全長 雌 12.6 cm, 雄 12.9 cm) を、以下の 3 つの試験に供した (Table-1)。試験は、すべて 1999 年 6 月 10 日に開始し、屋内の自然光下で実施し、照度調整は行わなかった。

### (2) 産卵試験

角型コンクリート製 4 m<sup>3</sup> 水槽 1 面に 200 尾 (雌雄比 1 : 1) を収容し、水温 2.7~4.8°C (平均 4.1 °C) の海洋深層水を回転率 15 回/日で換水し、産卵試験を行った (Table-1)。飼料は 1 日あたり市販のドライペレット (えずけーる 2 号, 中部飼料株式会社製) 40 g、及び生餌 (凍結されたオキアミ及びイカナゴを等量にスライスしたものに総合ビタミン剤を 2 % 添加したもの) 200g を給餌した。10 月 19 日に市販の人工海藻 (エスラン, 水産増養殖施設株式会社製) 9 本を水面から水槽底まで垂下し、産卵基盤とした。試験は 1999 年 12 月 31 日まで実施した。

### (3) 飼料試験

使用飼料がハタハタ親魚の成長、成熟に与える影響を把握するため、2 基の 1 m<sup>3</sup> 水槽にそれぞれ 45 尾 (雌雄比約 1 : 1) 収容し、ドライペレットと生餌による成長、成熟の比較を行った (Table-1)。飼育には水温 3.6~6.8°C (平均 5.1°C) の海洋深層水を回転率 15 回/日で換水し、A 区にはドライペレット 20 g を、B 区には生餌 50 g を、それぞれ毎

Table-1 Length, weight and number of *Arctoscopus japonicus* brood stock used and rearing conditions of each experiment <sup>1</sup>

Experiment	Initial size <sup>2</sup> and number of fish						Rearing conditions				
	Female			Male			Tank water volume (m <sup>3</sup> )	Water temperature (°C)		Diet	
	(Group)	TL (cm)	BW (g)	n	TL (cm)	BW (g)		mean	(range)	Feed (g × day <sup>-1</sup> )	
Spawning test <sup>3</sup>		100			100			4.0	4.1 (2.7–4.8)	DP, FB 40, 200	
Diet test	(A)	22			23			1.0	5.0 (3.6–6.8)	DP 20	
	(B)	12.6±1.0	16.1±4.7	21	12.9±1.1	17.2±4.8	24	1.0	5.1 (3.6–6.8)	FB 50	
Investigation of fish maturity		53			52			4.0	4.0 (3.2–4.9)	DP, FB 20, 100	

<sup>1</sup> Indoor tanks in Toyama Prefectural Fisheries Research Institute were used for experiments. The intensity of illumination was not regulated. The experiment of the natural spawning was carried out from June 10 to December 31. Both of the diet test and the investigation of fish maturity were carried out from June to December 10.

<sup>2</sup> Mean ± SD

<sup>3</sup> Six artificial seaweeds were fixed in the rearing tank as spawning bases from October 19 to December 31.

<sup>4</sup> DP; Commercially available dry pellet (Ezukeheru No.2; Chubu Shiryo Co., Ltd.), FB; Fresh bait of sliced Krill/Sand lance (1/1) with 2 % of mixed vitamins.

日給餌した。試験は1999年12月10日まで行った。試験終了時に全長、体重を測定後腹部を圧迫し、その時熟卵が排出されるか、あるいは排精する個体を成熟個体と見なした。また、成熟個体についてはG.S.I.（生殖腺重量/内臓除去重量×100）を測定した。

#### (4) 成熟度調査

4 m<sup>3</sup> 水槽1面に105尾（雌雄比約1:1）を収容し、水温3.2~4.9°C（平均4.0°C）の海洋深層水を回転率15回/日で換水し、1日あたりドライペレット20g及び生餌100gを給餌して12月10日まで飼育した（Table-1）。試料の採取は月に1回（7月、8月）または2回（9~12月）行い、1回につき雌雄各5尾（12月10日は雌8尾、雄3尾）を採取した。試料はその日のうちに全長、体重、G.S.I.を測定した。さらに雌は個体当たり100粒の卵巣卵を無作為に抽出して卵径を測定した。

### 3. 結 果

#### (1) 産卵試験

6月10日~12月31日まで実施された産卵試験における月別の平均水温は、4.0°C, 4.2°C, 4.5°C, 4.4°C, 4.1°C, 3.6°C及び3.3°Cであった。測定された水温は前日との差が平均0.2°C、最大0.6°Cであ

り、飼育期間を通じて安定していた。

産卵試験の結果を示した（Table-2）。10月30日~11月23日にかけて断続的に産卵が認められ（水温範囲3.4~3.7°C）、100尾の雌から43卵塊（558g）が得られた。産卵数は約3万粒（544粒/10gを558gに外挿）、また発眼率（67%）から、受精率は約70%と推定された。試験期間中の生残率は84%であり、12月10日における雌雄の平均全長は、それぞれ14.7cm及び14.2cmであった。

#### (2) 飼料試験

6月10日~12月10日まで実施された飼料試験における月別の平均水温は、A区では5.0°C, 5.0°C, 5.7°C, 5.3°C, 4.8°C, 4.2°Cおよび4.1°Cであった。B区ではA区とほぼ同じ5.2°C, 5.5°C, 6.0°C, 5.5°C, 4.9°C, 4.2°C及び3.9°Cであった。測定された水温の前日との差は、A区では平均0.3°C及び最大2.0°C（8月6日）、B区では平均0.3°C及び最大1.8°C（9月20日）であり、A区の8月6日、B区の9月20日を除き、水温は比較的安定していた。

飼料試験の結果を示した（Table-2）。試験中にB区で1尾死亡したのみで、飼育密度の大きな変化はなかった。試験終了時におけるA区の平均全長（雌15.9cm、雄14.7cm）はB区（雌15.6cm、雄14.2cm）とほぼ同じであったが（p>0.05,

Table-2 Length, weight and survival and maturity rates of *Arctoscopus japonicus* brood stock

Experiment (measured group)	Fish size <sup>*1</sup>				Survival rate (%)	Number of females from which mature eggs were collected/conducted and total number of mature eggs.		Number of males from which mature spermatogonia were squeezed out/conducted.	
	Female		Male			Females	Eggs		
	TL (cm)	BW (cm)	TL (cm)	BW (cm)					
Spawning test <sup>*2</sup>	14.7±1.0	25.8±4.7	14.2±0.7	27.2±5.7	83.5	43/100 (43%)	30,000		
Diet test	(A)	15.9±1.0	44.2±12.1 <sup>*3</sup>	14.7±0.8	28.1±5.3 <sup>3</sup>	100.0	17/22 (77%)	9357 <sup>*4</sup> 8/23 (35%)	
	(B)	15.6±1.3	33.3±10.8	14.2±0.8	23.4±5.0	97.8	7/21 (33%)	3526 <sup>*4</sup> 9/24 (38%)	
Investigation of fish maturity (immature) <sup>*5</sup>	13.8±1.0	22.0±4.4	13.2±1.3	20.1±5.4		95.2			
fish maturity (mature) <sup>*5</sup>	15.5±1.3 <sup>*6</sup>	37.8±11.1 <sup>*6</sup>	13.9±0.8	24.5±5.2 <sup>*6</sup>					

\*1 Fish size (mean ± SD) in the natural spawning and diet test were measured on December 10.

\*2 Natural spawning intermittently occurred from October 30 to November 23.

\*3 These mean values were significantly greater than those in group B ( $p<0.05$  t-test). These differences were ascribed to the difference of their gonad weight.

\*4 These mature eggs were squeezed out from the fish bodies.

\*5 The fish whose gonad development was not recognized from August to December were grouped into 'immature', and the fish whose gonad development was recognized were grouped into 'mature'.

\*6 These mean values were significantly greater than those in the 'immature' group ( $p<0.05$ , t-test).

t 検定), A 区の平均体重 (雌 44.2 g, 雄 28.1 g) は B 区 (雌 33.3 g, 雄 23.4 g) よりも有意に大きかった ( $p < 0.05$ ). しかし, 肥満度 (内臓除去重量/全長<sup>3</sup> × 10<sup>3</sup>) の平均は 11.1~11.7 の範囲にあって有意差が認められなかった ( $p > 0.05$ ). このことから, 今回の体重差は生殖腺重量の差によるものであったと判断された. A 区では 22 尾中 17 尾に熟卵 (合計 9,357 粒) が, 23 尾中 8 尾に排精が認められた. これに対し, B 区では 21 尾中 7 尾に熟卵 (合計 3,526 粒) が, 24 尾中 9 尾に排精が認められた. この結果から, ドライペレットは生餌よりも特に雌の生殖腺の発達促進に有効であることが示唆された. なお, 熟卵, 排精が認められた個体の G.S.I. は雌雄それぞれ 40.2~58.8 及び 4.7~14.1 であった.

### (3) 成熟度調査

6 月 10 日~12 月 10 日まで実施された本試験における月毎の平均水温は, 3.8°C, 3.9°C, 4.2°C, 4.1°C, 3.9°C, 3.6°C 及び 3.5°C であった. 測定された水温の前日との較差は平均 0.2°C, 最大 1.7°C (11 月 15 日) であり, 11 月 15 日を除き, 水温は比較的安定していた.

6 月 10 日~8 月 10 日までのハタハタの生殖腺

は, その多くが未発達で, G.S.I. が 2 以下であった (Fig.-1). しかし, 9 月 1 日には G.S.I. が上昇しており (平均で雌 10, 雄 7), 雌雄とも 8 月に成熟が始まったことを確認した. 雌の G.S.I. はその後 12 月 1 日 (平均 24) まで上昇した後自然産卵により低下した (Fig.-1 A). 11 月 1 日~12 月 10 日に調査した 21 尾中 7 尾から熟卵が腹部圧迫によって得られ, 3 尾が産卵済みであった. 一方, 雄の G.S.I. は 9 月 30 日~11 月 1 日に峰 (平均 10.4~14.8) を示した後低下した (Fig.-1 B). 本種は, G.S.I. の下降後に排精が始まることが知られている (岡崎, 1992; 杉山, 1995a). 今回, 排精は 9 月 30 日及び 12 月 10 日にそれぞれ 1 尾及び 3 尾認められ, その個体の G.S.I. は 6~10 であった. 卵径については, 6 月, 7 月はすべて 1.5 mm 未満であったものが, 8 月には 1.5 mm 以上, 9 月以降, 特に 11 月, 12 月では 3 mm 以上のものが出現した (Fig. 2).

このように, 本試験においては雌雄とも 8 月中に成熟が始まり, 11~12 月中旬に雌が完熟したことが示された.

岡崎 (1992) は, 成熟期 (卵巣卵に卵門が形成され, 卵核胞が動物局側に局在するようになる時期から排卵がおこるまで) のハタハタの卵径が

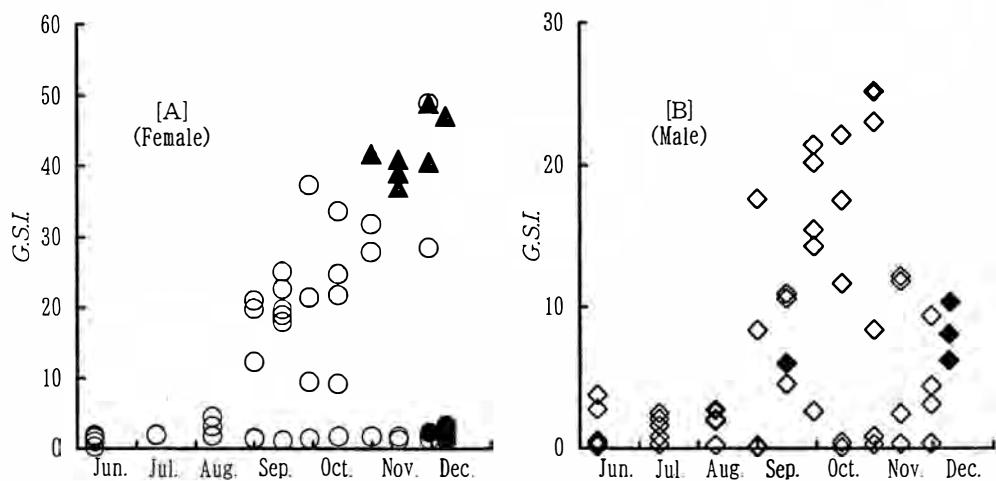
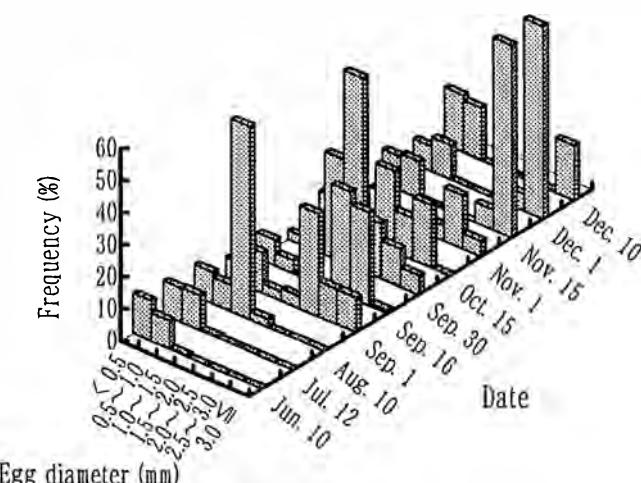


Fig. -1 Changes of G.S.I. (gonad weight/body weight excluding the internal organs  $\times 10^2$ ) of females [A] and males [B] of *Arctoscopus japonicus* brood stock collected from June 10 to December 10

The solid circles show the fish that already spawned. The solid triangles show the fish from which mature eggs were squeezed out. The solid diamonds show the fish from which mature sperms were squeezed out.



1.6~3.0 mm であったことを報告している。今回、このような直径の卵が認められた個体の G.S.I. は 5 以上、また排精も 5 以上の個体に認められた。そこで G.S.I. が 5 以上の個体を生殖腺が発達した、あるいは発達中の個体であると想定した場合、8~12 月における発達個体の平均全長（雌 15.5 cm, 雄 13.9 cm）は、発達しなかった個体（雌 13.8 cm, 雄 13.2 cm）よりも大きかった ( $p < 0.05$ , t 検定) (Table-2)。全長 15 cm 以上の雌及び 13 cm 以上の雄には生殖腺が発達した個体が多かった (Fig.-3)。

#### 4. 考 察

産卵試験においては、84% の生残率で雌の 43% が 10~11 月に産卵した (Table-2)。成熟度調査においても 11~12 月に完熟が認められた (Fig.-1)。餌料試験においては 95% 以上の生残率で雌の 33% 及び 77% が完熟した (Table-2)。この結果から、海洋深層水を用いた本種の親魚養成が可能であることが明らかにされた。

飼育下のハタハタの産卵については、冷却式の循環ろ過水槽（表層水を 5~10°C に冷却）内でも認められてはいる（桶田, 1988；島, 1989；長倉, 1995）。しかし、生残率は 30% 以下の低率であり、夏季の水温上昇や水質の悪化による全滅例も多い {例えば島 (1989)}。今回、高生残率が得られたのは、飼育水が水温 4~5°C で安定していたこと、さらに深層水を 15 回転/日で掛け流したことによって水質が清浄に保たれることによると推察される。富山県水産試験場が汲み上げている深層水は低温 (1~2°C)，清浄であることが知られており（松里, 1994），また本種成魚が生息する水深 200~300 m 帯の水温は、1~6°C であると推定される（松里, 1994）。

本州沿岸における本種の産卵期は、12 月から翌年の 1 月であり（杉山, 1995a；長倉, 1995），産卵期間は実質約 2 週間以内であることが報告されている（杉山, 1995a）。天然魚と比較すると、今回のハタハタは産卵開始が 1~2 ヶ月早く、かつ産卵期間が長かった。

産卵開始が早期であることは、早期に種苗生産が開始できる、すなわち大型の放流用種苗を確保することを可能にし、放流魚の生残率を向上させる可能性があることを意味していた。本種は沿岸水温 12 °C 以下（杉山, 1988b）の 4 月中に放流を行う必要があり、2 月、3 月にふ化する天然親魚由來の放流魚では、放流サイズが平均全長 4 cm に満たないためか被食が認められている（秋田県, 1997）。これに対し、通常よりも 2 ヶ月早く生産を開始したハタハタでは、5 月上旬に平均全長 8 cm に達した事例がある（森岡, 1999）。このような大型種苗であれば被食に対して有利だと考えられる。

しかし、産卵期間の長いことはふ化仔魚をまとめて得たいという種苗生産の効率化に関して不利である。今回の産卵期間をいかに短縮するかが今後の課題である。ハタハタの産卵が早期化、長期化する現象は、循環ろ過水槽を用いた飼育においても確認されていることから（桶田, 1988；島, 1989；長倉, 1995），深層水特有の現象であるとは考えにくい。

魚類の成熟・産卵には光、水温、流れ、密度、水質、餌料など様々な要因が関係しており、特に光（日長）と水温が重要な要因であることが知られている（野村, 1964；古川ら, 1991）。今回を含む飼育下のハタハタの産卵は、天然と同じかやや高めの水温 (4~10°C) 及び屋内自然光、あるいは自然光に日中の照明が加わった条件下で認められている。その日長条件は屋外の条件にほぼ等しいと考えてよく、天然魚の生息水深における条件とは異なっていると推察される。すなわち、産卵の早期化、長期化には光と水温が関係していると考えられ、その関係を実験的に明らかにすることが産卵期間を短縮させるために必要である。

他方、親魚養成を効率的に行うには、ハタハタの成熟率（成熟個体数/全個体数）を上げる必要がある。この問題については、今回ドライペレットが生餌よりも高い成熟個体比率が得られた (Table-2)。また、8 月以降の平均全長が雌 15.5 cm 及び雄 13.8 cm の個体に生殖腺の発達が認められた (Table-2, Fig.-3)。これらは天然魚の成熟の生物学的の最小型（雌全長 17 cm, 雄 15 cm, いずれも

12月) (杉山, 1995a) に近い。このようなことから、成熟率を高めるためには飼料成分を検討するとともに、成熟が開始される8月までに雌では全長15 cm以上、雄では14 cm以上に育成することが有効ではないかと考える。

## 5. まとめ

今回の研究を通じ、海洋深層水を用いた本種の親魚養成が可能であることが明らかにされた。産卵開始が早期であることは、早期の種苗生産によって通常よりも大型の種苗を海に放流できる点で有利である。産卵期間を短縮し、成熟率を向上させることができて課題である。産卵期間を短縮するには、光と水温条件の検討が必要であると思われる。成熟率の向上については、飼料成分を考慮すること、及びハタハタの成長を促進させることが有効であることが示唆された。

## 謝 辞

本報告にあたり、深層水施設での飼育実験の機会を与えていただいた富山県水産試験場、及び本稿の取り纏めのために適切な助言を賜った同試験場職員諸氏に深謝する。

## 参考文献

- 1) 秋田県 1997 : ハタハタ. 平成8年度特定海域新魚種定着促進技術開発事業報告書. 水産庁. 秋田 1-9.
- 2) 古川清、会田勝美、吉岡基、佐藤英雄、羽生功 1991 : シロギスの産卵リズムに及ぼす光周期と水温の影響. 日水誌, 57 (12), 2193-2201.
- 3) 堀田和夫 1998 : ハタハタ親魚養成に関する技術開発研究. 平成9年度富山県水試年報. 70-73.
- 4) 堀田和夫 1999 : ハタハタ親魚養成に関する技術開発研究. 平成10年度富山県水試年報. 50.
- 5) 堀田和夫 2000 : ハタハタ親魚養成に関する技術開発研究. 平成11年度富山県水試年報. 51-54.
- 6) 松里寿彦 1994 : 富山県の深層水利用施設. さいばい, 72, 11-17.
- 7) 南卓志、梨田一也、今村明 (1989) : 富山湾におけるハタハタの接岸・産卵状況. 第3回ハタハタ研究協議会報告. 秋田県. 42-44.
- 8) 三戸充 1998 : えりも町におけるハタハタの増殖とその取り組みについて. 平成9年度「育てる漁業研究会」講演要旨. 北海道栽培漁業研究公社. 13-28.
- 9) 森岡泰三 1999 : ハタハタの種苗生産. 平成9年度日栽協事業年報. 200-201.
- 10) 長倉義智 1995 : ハタハタの親魚養成. 平成5年度日栽協事業年報. 49-50.
- 11) 野村稔 1964 : 魚類の成熟・産卵と外部環境要因. 水産増殖, 12 (3), 159-168.
- 12) 岡崎巧 1992 : ハタハタの種苗育成に関する基礎研究. 平成4年度東京水産大学大学院修士学位論文. 1-44.
- 13) 桶田俊郎 1988 : 展示水槽内におけるハタハタの産卵とふ化について. 第2回ハタハタ研究協議会報告. 秋田県. 29-31.
- 14) Okiyama, M. (1990): Contrast in Reproductive Style Between Two Species of Sandfishes (Family Trichodontidae). *Fish. Bull. U.S.*, 88, 543-549.
- 15) 杉山秀樹 1995a : ハタハタ. 日本の稀少な野生水生生物に関する基礎資料(II). 日本水産資源保護協会. 247-281.
- 16) 杉山秀樹 1988b : ハタハタの産卵および初期生活史を中心とした生態. 日本水産学会東北支部会報, 38, 7-9.
- 17) 島康洋 1989 : 第3回ハタハタ研究協議会報告. 秋田県. 75-80.
- 18) 小善圭一、堀田和夫、瀬戸陽一、辰巳勲、本間昭郎 2000 : 深層水排水の水質と再利用. 海洋深層水研究. 1 (1). 63-70.

(2001. 3. 8 受付, 2001. 5. 24 受理)