

海洋深層水を用いて飼育した ハタハタ *Arctoscopus japonicus* 親魚の産卵と ふ化制御

Spawning of Japanese sandfish *Arctoscopus japonicus* brood stock
reared in pumped deep seawater and control of hatching

森岡 泰三¹・堀田 和夫²

Taizo MORIOKA and Kazuo HOTTA

Abstract

In Toyama Bay, catch of sandfish, *Arctoscopus japonicus*, has decreased dramatically. The authors have reared brood stock of the deep-sea (cold water) species using pumped deep seawater assuming the release of mass juveniles. As reported previously, we have already succeeded in collecting eggs from reared 1-year-old brood stock in tank. In the present study, the following trials were made to obtain mass eggs; continuing culture of the used brood stock (continuously-reared group, N=200) in 4 kℓ tank and mass production of 1-year-old brood stock (mass production group, N=3,250) in 33 kℓ tank. These brood stock cultures resulted in production of 189,400 eggs in prolonged spawning periods (2 to 3 months). Most of these eggs were kept in surface-sea water to control water temperature (elevating from 4 to 12 °C via 7 and 10 °C) during egg incubation. As the result, we could concentrate hatching at the expected timing (last week of December) to start the seedling production from the larvae earlier than the usual trial by two months. Furthermore, by culturing the larvae in land-based tank and subsequently in sea-based net cages, we could obtain larger seedlings by 30 mm in total length in May. Some problems, including prolonged spawning periods, low spawning rates (= number of females spawned per stocked) (20-43 %), low eyed-egg rates (47-73 %), low hatching rate (27%) and high initial dropout (>98% of dead juvenile in two weeks) during seed production were pointed out and discussed in relation to the culture conditions.

Key Words: *Deep seawater, sandfish, Arctoscopus japonicus, brood stock, spawning, hatching control*

要 旨

富山湾では深海産の有用魚種ハタハタの資源が激減しているため、著者らは、海洋深層水を用い、人工種苗の大量放流を想定した親魚養成を試みてきた。前報で報告したように、1歳魚の養成と採卵は既に成功しているので、今回は受精卵の大量確保を目的として、2歳魚の養成(200尾)と1歳魚の大量養成(3,250尾)を行った結果、いずれの親魚も成熟した。産卵は2ヵ月以上に及んだが、水温制御(4~12°Cの段階的昇温)によってふ化の同調を行い、70%以上のふ化を12月末の1週間に集中させ、通常よりも2ヵ月早く種苗生産を始めることができた。ふ化仔魚を水槽と網生簀で育成した結果、5月には通常より全長で30mm大きい稚魚が得られたが、生残率は48

¹独立行政法人水産総合研究センター厚岸栽培漁業センター (〒088-1108 北海道厚岸郡厚岸町筑紫恋)

²富山県水産試験場 (〒936-8536 富山県滑川市高塚364)

%と低かった。今回の試験では、産卵期間の長期化、産卵魚の割合、卵の発眼率とふ化率、ふ化仔魚の活力などに問題があり、餌料、日長、水温、飼育密度および産卵基盤の観点から考察を試みた。

キーワード：海洋深層水、ハタハタ、親魚、産卵、ふ化制御

1. 緒 言

ハタハタ *Arctoscopus japonicus* は、日本海では通常水深 200～300 帯に生息しているが、冬期に成熟魚が水深 0.5～4 m の岩礁域に移動し、直径約 3 mm の卵をホンダワラ類の基部などに卵塊として産み付ける (Okiyama, 1990)。本種は同一産卵場に回帰する特性があり、産卵数は 1 歳魚で約 600 粒と比較的少ない (杉山, 1995)。富山湾の奥部では、12～1 月にハタハタの成熟魚が漁獲されて高価格で取引される。しかし近年は漁獲量が著しく減少しており (藤田・堀田, 1997; 堀田・藤田, 1998)、受精卵の確保すら困難な状況にあって資源の枯渇が危惧された。このため、著者らは、富山県試験場の海洋深層水利用研究施設 (以下、深層水施設という) で、人工種苗の大量放流を想定した親魚養成に取り組んできた。これまでに、200 尾以下の小規模な飼育試験を行い、1 歳魚を自然産卵させることに成功し、生殖腺の発達過程や餌料成分が成熟に及ぼす影響についても知見を得たが、産卵が断続的であるうえ最大 500 粒/尾の卵しか得られなかった (森岡・堀田, 2001)。一方、ハタハタの産卵数は加齢とともに指数関数的に増大し (三尾, 1967)、受精からふ化までの所要日数も水温によって 38～124 日までの幅がある (森岡, 2001; 三戸, 1997)。これらのことから考えると、10 万尾程度の規模で種苗の大量生産を行うためには、1 歳魚であれば 1,000 尾程度の親魚養成が不可欠である。また、個体当たりの産卵数の増加を期待する意味では、2 歳魚についても採卵の可能性を探る必要がある。断続的に採取される受精卵の管理を効率よく行うためには、ふ化の同調化についても検討が望まれる。

そこで、著者らは、自然産卵させたハタハタ 1 歳魚 (森岡・堀田, 2001) の飼育を継続して 2 歳

時の産卵を観察したほか、これとは別の 1 歳魚を用いて親魚養成試験を実施した。また、約 2 ヶ月にわたり断続的に産出された受精卵を卵管理水槽内の水温を調整することによってふ化の同調を試みた。同時に、得られたふ化仔魚が種苗生産に適しているか否かを検証するため、仔魚の成長速度と生残状況を過去の生産記録と比較した。ここではこれらの成果について報告する。

2. 方 法

本研究では、2 歳魚の産卵試験および 1 歳親魚の大量養成試験を富山県滑川市の深層水施設で、ふ化の同調試験と仔魚の飼育試験を石川県能登島町の日本栽培漁業協会能登島事業場 (現、水産総合研究センター能登島栽培漁業センター、以下、能登島事業場という) で行った。これらの 4 実験の流れを Fig. 1 に示し、以下に詳細を述べた。

2 歳魚の産卵試験

今回、産卵を観察したハタハタ 2 歳魚は、1998 年 1 月に富山県氷見市沿岸で漁獲された成熟魚から得た人工受精卵を、能登島事業場でふ化させ、種苗生産後 (3～6 月)、深層水施設で育成 (6 月～翌年 6 月) した 428 尾から抽出した。1999 年 6 月 10 日から同施設の水槽 (4 kℓ容) で飼育を行い、10 月 18 日～11 月 23 日に 1 回目の産卵を行ったもので、試験開始当初は雌雄各 100 尾、平均全長 (体重) は、雌が 12.6 cm (16.1 g)、雄が 12.9 cm (17.2 g) であった (Table 1)。以下、これを継続飼育群と呼ぶ。

飼育は、屋内 (照度 200 lx 以下) で海洋深層水を 15 回転/日で掛け流し、餌料として生餌 (オキアミとイカナゴの各スライス 1:1 に総合ビタミンを外割で 2%加えて混合したもの) 200 g と市販の配合餌料 (えずけーる 2 号, 中部飼料(株)製) 40 g

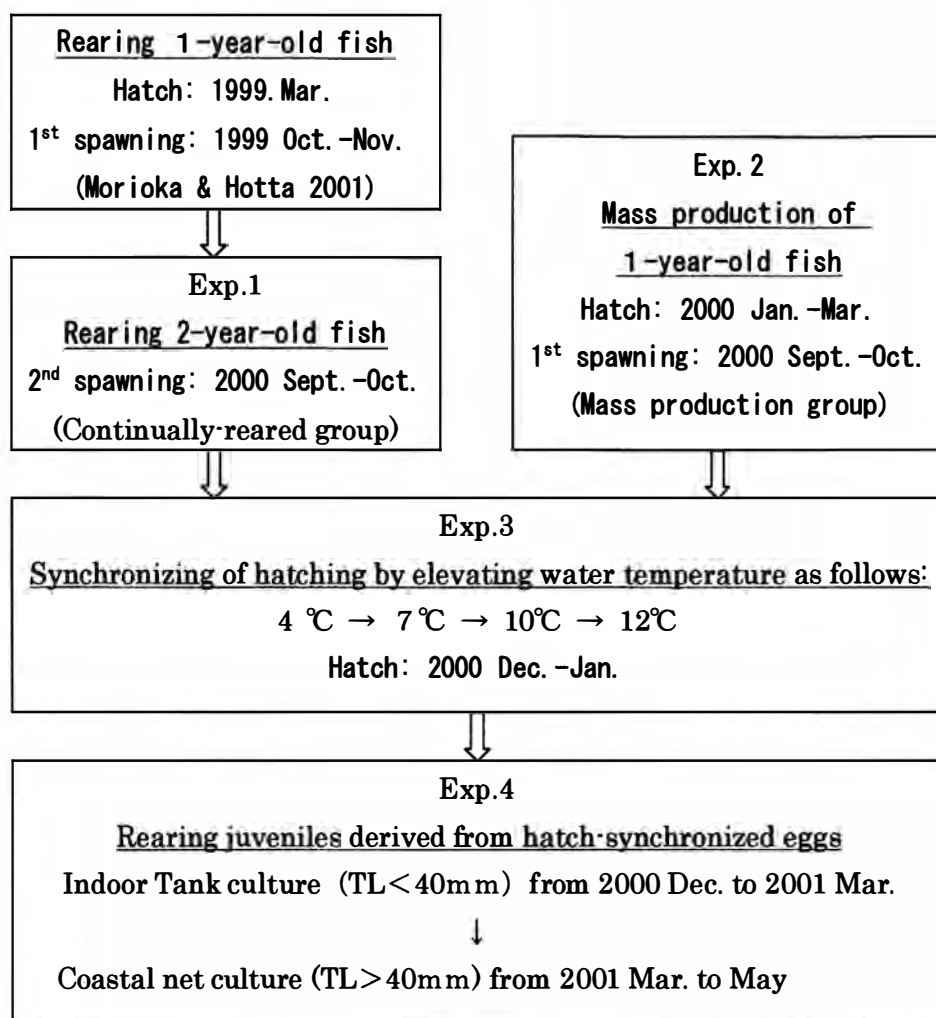


Fig. 1. Outline of the four experiments conducted in the present study.

Table 1. Initial size and number of brood stock of Japanese sandfish, *Arctoscopus japonicus*, used for Exp. 1 and Exp. 2 with their rearing conditions

Group	Sex	Initial size* ¹ and number of fish			Rearing conditions			Experimental period
					Tank water volume (kl)	Water temperature (°C) mean (range)	Diet kind* ² and each amount of feeding (g × day ⁻¹)	
		TL (cm)	BW (g)	<i>n</i>				
Continually-reared group (For Exp. 1)	Male	12.6 ± 1.0	16.1 ± 4.7	100	4.0	4.0 (2.4-5.5)	DP+FB (40+200)	Jun. 10, 1999- Dec. 31, 2000
	Female	12.9 ± 1.1	17.2 ± 4.8	100				
Mass production group (For Exp. 2)	Male	11.8 ± 0.9	13.8 ± 3.6	1,625	33.0	5.1 (2.8-7.9)	DP+FB (200+2,400)	Apr. 4, 2000- Dec. 31, 2000
	Female	11.4 ± 0.8	12.7 ± 3.5	1,625				

*¹ Mean ± SD.

*² DP: Dry pellet (Ezukeheru No. 2; Chubu Shiryo Co., Ltd.); FB: Fresh bait of sliced krill/sand lance (1/1) with 2 % of mixed vitamins.

をほぼ毎日給餌した (Table 1)。飼育水温は 2.4 ~ 5.5 °C であり、2 歳時 6 ~ 9 月の平均水温 (4.5 ~ 4.9 °C) は、1 歳時に比べて 0.5 °C 前後高めに推移した (Fig. 2)。産卵に際しては本種の産卵生態か

ら基盤が必要と判断し、9 月 12 日 ~ 12 月 31 日にキンギョ藻を模した人工海藻 3 本 (商品名エスラン、水産増養殖施設 (株) を水面から垂下し、さらに魚網 1 枚 (丈 45 cm × 巾 100 cm, 目合 7 cm)

を中層に垂下した。

飼育期間中は毎日死亡魚を計数したほか、3～6ヵ月間隔で雌雄各15尾の全長と体重を測定し平均値を求めた。また、雌雄の体重平均値に生残尾数を乗じた値を魚体総重量とし、飼育密度（魚体総重量/飼育水量, kg/kℓ）と日間給餌率（給餌量/魚体総重量, kg/魚体重/日）を推定した。

産卵の観察では、産出された卵塊の数を産卵尾数と判断し、雌の収容尾数に対する産卵尾数の割合を産卵率（%）とした。なお、雌雄は雄特有の泌尿突起で判別した。産卵数は、卵塊から無作為に抽出した22.5gを計数して得た単位重量当たりの卵数（50.7粒/g）を卵塊重量に外挿して求めた。さらに、産卵日からの積算水温が300℃に達した段階で卵塊を2分割し、断面に認められた100個前後の卵数に占める発眼卵数の割合を発眼率（%）とした。

1歳親魚の大量養成・採卵試験

大量養成試験は、2000年4月4日に雌雄各1,625尾の1歳魚を八角型コンクリート水槽（33kℓ容、ビニールシート上屋付き）に収容して行った（Table 1）。この1歳魚は1999年1月に富山県水見市沿岸で漁獲された成魚から得た人工受精卵を能登島事業場でふ化させ、種苗生産後（3～5月）、深層水施設で育成（5月～翌年4月）した10,410尾から抽出した。試験開始当初（4月4日）の平均全長（体重）は、雌が11.8cm（13.8g）、雄が11.4cm（12.7g）であった。以下、これを大量養成群と呼ぶ。

飼育は、上屋を透過した自然光（照度3,000lx以下）下で、海洋深層水を6回転/日で掛け流し、餌料は生餌と配合飼料を毎日各々2,400gと200g給餌した。配合飼料は自動給餌機（YDF160型、YAMAHA（株）製）を用いて給餌し、当初は「えづけーる2号」、9月8日以後は比重が比較的小さく水中で拡散しやすい「ひらめ2号」（ヒガシマル（株）製）に切り替えた。

飼育水温は2.8～7.9℃（平均5.1℃）で、5月が最も高く、4～8月の平均水温5.4～6.8℃は継続飼育群の2歳時よりも高温であった（Fig. 2）。

産卵基盤には金魚藻とホンダワラを模した人工海

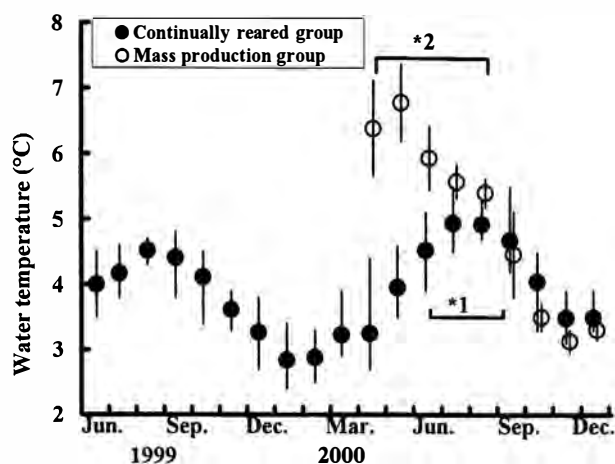


Fig. 2. Monthly changes in average (with range) of water temperature.

*1 Average values between marked months in continually-reared group were significantly greater than those year before (*t*-test, $p < 0.05$).

*2 Average values marked in those months in mass production group were significantly greater than those of continually-reared group.

藻各4本と漁網（丈60cm×幅80cm、目合3cm）2枚を用い、9月12日～12月31日に設置した。人工海藻は50cm間隔で水面から水槽底に垂下し、漁網は中層に垂下した。

飼育密度、給餌率、成長と生残、産卵に関するデータの収集は継続飼育群と同様に行った。

水温調整によるふ化の同調化試験

本研究では、継続飼育群および大量養成群が9月～12月に産卵したので、ふ化を12月31日前後に集中させるため、全体の90%以上を占める9月14日～10月10日の産出分を能登島事業場に移送して水温管理を行った。卵は産卵の多い日を中心に3日から16日の期間で6群に分け、森岡（2001）が示したふ化日数（10℃で約40日）、ふ化盛期までの積算水温（同じく約570℃）、および低水温では積算水温が小さくなること（3℃では積算水温379℃）（三戸，1997）を参考に、上記群ごとに積算水温が 520 ± 30 ℃になるよう昇温パターンを数値代入法により設定し、4℃、7℃、10℃および12℃（天然海水温）の各水槽に順次移してふ化の同調を試みた（Table 2）。

4～10℃の水槽には海水冷却装置を備えた角型コンクリート水槽（10kℓ容）3面を用い、中央部

Table 2. Incubation periods and accumulative water temperature of each egg group of Japanese sandfish, *Arctoscopus japonicus* in Exp.3

Egg group		Incubation periods in 4 stages of water temperature				Accumulative water temperature (°C)* ²
Name	Spawning period	4 °C	7 °C	10 °C	12 °C	
T1	Sep. 14-Sep. 29	Ovip.* ¹ -Dec. 13	Dec. 14-17	Dec. 18-21	Dec. 21-Hatching	493-553
T2	Sep. 30-Oct. 8	Ovip.-Dec. 1	Dec. 2-10	Dec. 11-21	Dec. 21-Hatching	514-550
T3	Oct. 9-Oct. 15	Ovip.-Nov. 15	Nov. 16-17	Dec. 18-21	Dec. 22-Hatching	513-541
T4	Oct. 16-Oct. 24	Ovip.-Nov. 15	Nov. 16-30	Dec. 1-21	Dec. 23-Hatching	502-530
T5	Oct. 25-Oct. 27	Ovip.-Nov. 15	Nov. 16-30	Dec. 1-13	Dec. 13-Hatching	527-535
T6	Nov. 2-Nov. 10	Ovip.-Nov. 16	Nov. 16-30	Dec. 1-3	Dec. 3-Hatching	499-523

*¹ Ovip: Oviposition; *²: From oviposition to Dec. 31.

Table 3. Details of rearing larvae and juveniles of Japanese sandfish, *Arctoscopus japonicus*, in Exp.4

Equipment	Initial size and number of fish		Rearing period and conditions			Final size, number and survival rate			
	<i>n</i>	TL (mm)* ¹	<i>n</i>	Period	WT (°C)* ³	Diet* ⁴	TL (mm)* ¹	<i>n</i>	Survival rate (%)
Indoor tank (80 m ³ of Octagonal R. C) (75 kℓ)	1	13.1±0.2	39,380	Dec. 25, 2000- Mar. 13, 2001 (78 day)	9.0 (7.8-12.5)	Ar-n, DP1, DP2, DP3 F-ZP	40.8±2.8	20,100	51.0
Sea net-cage* (23×3×2.5 m) (20 kℓ)	2	40.8±2.8	20,100	Mar. 13, 2001- May. 5, 2001 (53 day)	11.1 (7.8-14.5)	F-ZP, DP3 N-ZP	66.2±8.5	19,150	95.3

*¹ Mean ± SD.

*² Sea net-cage being provided with a 60W of night-lighting from the above.

*³ Mean water temperature with range.

*⁴ Ar-n; *Artemia* nauplii, DP1-DP3; Dry pellet (Type B-400, Type B-700 and Type C-700: Kyowa Hakko Co., Ltd.); F-ZP; Frozen-zooplankton; N-ZP; Light-allured natural zooplankton.

に卵塊を入れた袋網を垂下して 0.2 回転/日で海水を掛け流して管理を行った。12 °C の水槽 (0.5 kℓ 容) 2 基にはプラスチック製の円筒籠 (直径 16 cm × 60 cm, 目合い 3 mm) 2 個を入れ, 各籠に第 1 ~ 2 回採卵の卵塊 (140,000 粒, うち発眼卵 105,000 粒) と第 3 ~ 6 回採卵の卵塊 (34,770 粒, うち発眼卵 20,370 粒) を分けて収容した。卵管理は 20 回転/日で海水を掛け流して行った。排水は, ふ化仔魚が流出しないように目合 0.2 mm のストレーナを介して行った。

ふ化仔魚の計数は毎日行い, 水槽の底に沈んだ死亡魚の数と滞泳している仔魚の数の合計をふ化尾数とした。

仔魚の飼育試験

種苗生産試験は, 上記のふ化の同調によって得られた仔魚のうち, 2000 年 12 月 25 日 ~ 2001 年 1 月 4 日にふ化した 39,380 尾 (平均全長 13.5 mm) を用いた (Table 3)。収容期間に 11 日の幅があっ

たが, 後の議論で便宜的に飼育の開始日 (0 日目) を 12 月 25 日とした。

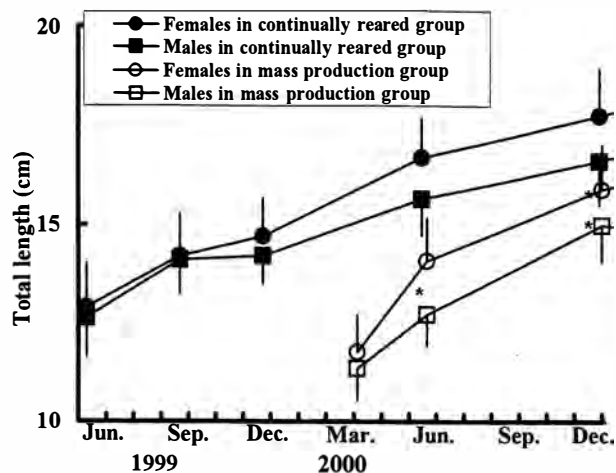
飼育は, 平均全長 40 mm に達するまで屋内の八角形水槽 (75 kℓ 容) で 2001 年 3 月 14 日までの 78 日間行い, その後, 海上の網生簀 (3 × 3 × 2.5 m, 実容量 20 kℓ) 2 面で 5 月 7 日までの 53 日間行った。以後, これらの飼育をそれぞれ水槽飼育, 網生簀飼育と呼ぶ。

水槽飼育は, 水温 7.8 ~ 12.5 °C (平均 9.0 °C) のろ過海水を掛け流し (15 回転/日), 飼育 4 ~ 78 日目にはアルテミアのノープリウス幼生 (600 ~ 3,700 万個/日) と配合飼料 (初期餌料協和 B-400, B-700, C-700 いずれも協和発酵(株)製, 35 ~ 200 g/日) を給餌し, 40 日目以降は凍結プランクトン (SETY 社製, 40 ~ 450 g/日) も与え, 底掃除を毎日行って死亡魚を計数した。

網生簀飼育では生簀中央の水面直上に照明装置 (60 W 電球) と自動給餌機 (YDF-160 型,

Table 4. Results of spawning period, spawning rates and eyed-egg rates in two brood stock groups of Japanese sandfish, *Arctoscopus japonicus*

Group	Spawning period* ¹	Spawning rate* ²	No. of eggs collected	eggs/fish	Eyed-egg rate* ³
Continually-reared group (For Exp. 1)	Oct. 18–Nov. 23, 1999 (37 days)* ⁴	43.0	30,000	698	67.0
	Sep. 12–Dec. 4, 2000 (84 days)	36.0	28,000	778	46.8
Mass production group (For Exp. 2)	Sep. 8–Dec. 18, 2000 (102 days)	20.0	161,400	495	72.7

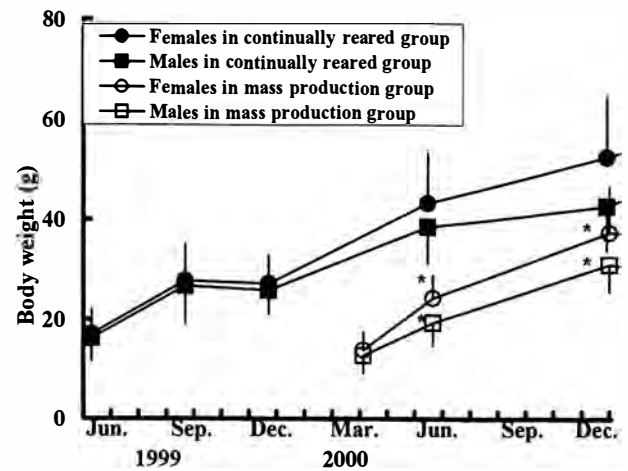
*² Number of fish spawned/Females stocked×100.*³ Number of eyed-eggs/eggs collected×100.*⁴ Data from Morioka & Hotta (2001).Fig. 3. Growth of Japanese sandfish, *Arctoscopus japonicus*, brood stocks in terms of total length with SD.* Average values between asterisked months in mass production group were significantly greater than those in 1999 of continually reared group (t -test, $p < 0.05$).

YAMAHA 製) を設置し, 電照直下に天然の餌生物を集めるとともに, 飼育水槽と同様の凍結プランクトン (400 g/日/網生簀) と配合飼料 (700 g/日/網生簀) を給餌した. 生簀網は約 1 週間間隔で交換し, 死亡魚は毎日計数した. 飼育期間中の海水温は 7.8 ~ 14.5°C (平均 11.1°C) であった.

3. 結 果

2 歳魚の産卵

2 歳魚となった継続飼育群は, 2000 年 9 月 12 日 ~ 12 月 4 日の 84 日間産卵が認められ, 産卵率は 36%, 総卵数は 28,000 粒, 発眼卵率は 47% であった (Table 4). Table 4 には比較のために 1

Fig. 4. Growth of Japanese sandfish, *Arctoscopus japonicus*, brood stocks in terms of body weight with SD.* Average values between asterisked months in mass production group were significantly greater than those in 1999 of continually reared group (t -test, $p < 0.05$).

歳時の産卵に関する諸値 (森岡・堀田, 2001) も掲げてある. 2 歳魚は, 1 尾当りの産卵数の平均値 (778 粒) では 1 歳時 (698 粒) を上回ったが, 産卵数や発眼卵数の平均値では小さくなっており, いずれも 1 歳時との間で有意差が認められた (U 検定, $p < 0.05$). また, 漁網に産み付けられた卵塊が 22 個と最も多く, 残りは人工海藻と水槽底に各 7 個認められた.

飼育期間中の成長のうち, 全長の変化を Fig. 3, 体重の変化を Fig. 4 に示した. 試験終了時, 雌雄の平均全長 (体重) は, それぞれ 17.7 cm (43.3 g) と 16.6 cm (42.7 g) に達していた. 飼育期間中の生残率の推移を Fig. 5 に示した. 死亡は 1999 年 11 月中旬 ~ 12 月末と 2000 年 9 月下旬 ~ 12 月末

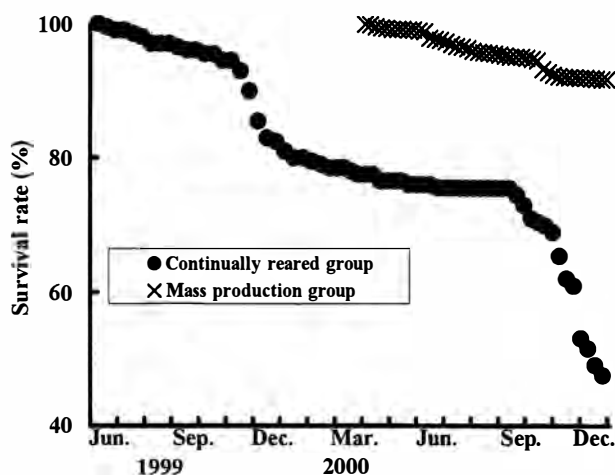


Fig. 5. Survival rates in two brood stock groups of Japanese sandfish, *Arctoscopus japonicus*.

に集中しており、完熟卵の一部を体外に露出させた状態で死亡した魚が比較的多かった。1999年末と2000年末時点の生残率はそれぞれ82.0%と47.5%であった。生残尾数と魚体重から推定した飼育密度は、1999年が0.8～1.3 kg/kℓ、2000年が0.8～1.6 kg/kℓであった。また、配合飼料と生餌の日間給餌率は、1999年が0.9～1.2%と3.8～6.0%、2000年が0.6～1.3%と3.2～6.5%であった。

大量養成した1歳親魚の産卵

大量養成群では、9月8日～12月18日の102日間産卵が認められ、産卵率は19.8%、総産卵数は161,400粒であった（Table 4）。発眼率は72.7%で、継続飼育群の1歳時とほぼ同じであった（*U*検定、 $p > 0.05$ ）が、産卵数の平均値（495粒）は、継続飼育群の1歳時（698粒）よりも有意に小さかった（*U*検定、 $p < 0.05$ ）。大量養成群が産んだ卵塊は漁網に産み付けられたものが183個と最も多く、残りはホンダワラ型人工海藻で72個、水槽底で71個を認めた。

飼育期間中の成長はFig. 3とFig. 4に示したとおりで、試験終了時は雌雄の平均全長（体重）はそれぞれ15.9 cm（37.5 g）と15.0 cm（31.0 g）に達していた。これらの平均値を継続飼育群の1歳時の6月および12月の各値と比較したところ、大量養成群は雄の6月の全長（有意差なし）を除き、継続飼育群よりも有意に大きかった（*t*-検定、 $p <$

0.05）。生残率は92%と高く（Fig. 5）、著しい死亡は認められなかった。生残尾数と魚体重から推定した飼育密度は1.4～3.1 kg/kℓで、継続飼育群の約2倍であった。配合飼料と生餌の日間給餌率は、継続飼育群よりもやや低く、それぞれ0.2～0.4%と2.3～5.1%であった。

水温調整によるふ化の同調化

ふ化水槽では、12月22日～翌年の1月4日に合計47,596尾のふ化が認められ、その70%以上が12月25～31日の1週間に集中していた（Table 5）。産卵からふ化までの積算水温は381～613℃で、ふ化が集中したのは417～564℃であった。全卵数並びに発眼卵数に対するふ化率はそれぞれ27%と38%で、ふ化の直前直後に死亡する個体が多く認められた。底掃除によって廃棄された仔魚の数は全体の17%（8,215尾）にのぼった。

卵のふ化同調で得た仔魚の飼育

水槽飼育では、仔魚の平均全長は飼育0日目に13.3 mmであったが、30日目に23.0 mm、54日目に29.9 mmとなり、終了時（78日目）には40.8 mmに達した（Fig. 6）。引き続いて実施した網生簀飼育では、終了時の53日目（通算131日目）に66.2 mmに達した。飼育日数（*D*）と平均全長（*TL*）との間には直線回帰式が成立し（Fig. 6）、日間成長速度は水槽飼育が0.34 mm/日、網生簀飼育が0.51 mm/日となっていた。水槽飼育では20,135尾を取り揚げ、このうち20,100尾を海上網生け簀で飼育、最終的に19,243尾を取り揚げた。陸上飼育と網生簀飼育の各期間の生残率は各々51.1%と95.7%で、通算48.9%であった。一方、底掃除の際に確認することができた死亡魚の数は合計5,536尾で、その80%以上が飼育開始後2週間以内に集中していた（Fig. 6）。

4. 考 察

2歳魚と大量養成魚（1歳魚）の産卵

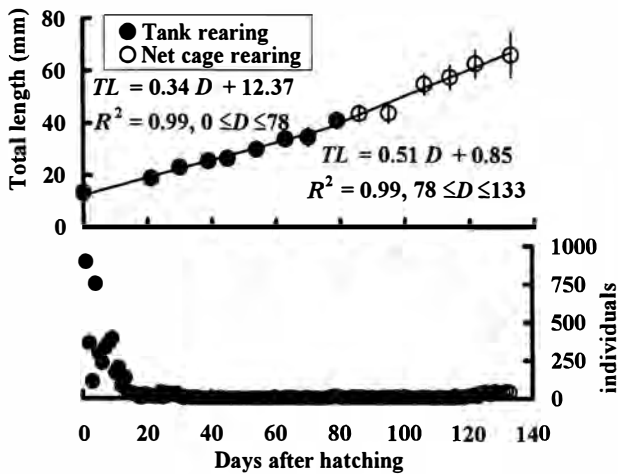
本研究では、初年の産卵を終えたハタハタ1歳魚の飼育を継続すれば、少なくとも2歳時にも採卵ができることを確認した。また、大量採卵を目指

Table 5. Daily changes in number of Japanese sandfish, *Arctoscopus japonicus*, larvae hatched

Date	T1-T2*1		T3-T6*2		Total number hatched (ind.)
	Accumulative WT (°C)	No. of larvae hatched (ind.)	Accumulative WT (°C)	No. of larvae hatched (ind.)	
2000 Dec.	22	381-455			250
	23	393-467			2,200
	24	405-479			3,800
	25	417-491	415-477	66	4,752
	26	429-503	427-487	737	7,168
	27	441-516	439-500	884	6,834
	28	453-528	451-512	1,326	7,600
	29	465-540	463-524	398	3,556
	30	477-552	475-536	348	2,944
	31	490-564	488-548	249	2,390
.....					
2001 Jan.	1	502-577	500-561	187	2,463
	2	514-589	512-573	104	1,762
	3	526-601	524-585	95	1,450
	4	539-613	536-597	29	427
Total					47,596

*1 140,000 eggs including 105,000 eyed-eggs, collected through Sept. 14 to Oct. 8.

*2 34,770 eggs including 20,370 eyed-eggs, collected through Oct. 9 to Nov. 11.

Fig. 6. Growth in terms of average total length with S.D. (upper) and daily number of the fish which was found dead (lower) of Japanese sandfish, *Arctoscopus japonicus*, larvae and juveniles.

した1歳魚の養成試験では、3,000尾超の親魚を比較的高い生残率(92%)で飼育することができた。しかし、継続飼育された2歳魚の場合、1歳時に比べて1尾当たりの産卵数が増えたが、一方で産卵率や発眼率が低く、完熟卵の一部を体外に露出させた状態での死亡も多かった。大量養成群(1歳魚)の場合は、継続飼育群の1歳時と2歳時と比べて発眼率では優れていたが、1尾当たりの産卵数や産卵

率は最も低かった。産卵期間は、継続飼育群(2歳時)が約3カ月、大量養成群(1歳魚)が約4カ月で、継続飼育群(小規模試験)の1歳時よりも3~4倍長く、受精卵を短期間に集中して得ることができなかった。

成熟・産卵に関わる要因

このように、2歳魚までの継続飼育や1歳魚の大量養成は産卵率の低下や産卵期間の長期化、産卵途中の死亡などが問題となるため、現時点では採卵の効率化が期待できず、飼育技術に改善の余地がある。産卵途中の死亡は体力不足に伴う衰弱が想起されるが、一般に、魚類の成熟と産卵には種の特性に加えて、餌料、光、水温、流れ、密度、水質などの要因の関与が考えられ(野村, 1964; 古川ら, 1991)、今後はこれらの要因を個別に検討する必要がある。ここでは、今後の比較研究を効率的に進めるための参考とすべく、飼育技術と特に関係の深い餌料、日長、水温、飼育密度および産卵基盤について、現時点で考えられる点を整理しておく。

まず、餌料についてであるが、物性、粒径、成分、給餌量がハタハタの飼育に不相当であれば、摂餌不良や成長低下の原因となり、生残率や産卵率の低下

を招くことが懸念される。大量養成群の飼育前半や継続飼育群で用いた配合飼料は、生餌よりも成長、成熟および産卵に有効であった（森岡・堀田，2001）が、大型水槽では沈降速度が大きいために拡散しにくかった。このため、大量養成群の飼料は飼育途中で比重が比較的軽いものに変更した。同一期間の比較データではないが、大量養成群の成長と生残率が継続飼育群の1歳時を上回ったことや、産卵途中の死亡が認められなかったことから考えると、ある程度の改善効果があったことが示唆される。

なお、海域におけるハタハタの成長速度（北浜，1968；三尾，1967；池端，1986）は調査海域や年によっても異なるが、三尾（1967）による計算体長を加藤・大内（1956）に従って全長に変換し、今回の飼育魚と比べてみると、1歳時の全長は両群とも計算値と同等以上であったのに対して、継続飼育群の2歳時はやや小さかった。したがって、大型魚の育成においては、餌料の量や質の面で改善の余地があると思われる。

日長については、天然では長日条件の8月に成熟が始まり、短日条件である12月～翌年1月中旬の実質2週間が産卵期であるとされている（杉山，1995；長倉，1995）。森岡・堀田（2001）および本研究の産卵期も9月上旬～12月中旬の短日条件であった。しかし、天然に比べて産卵が早まる理由については不明である。

水温に関して、北部日本海のハタハタは、産卵期（12月）には12℃前後の水深帯に生息しており、その後、1.5℃前後の深海（250m前後）に移動する（杉山，1995）。しかし、5月頃に、一時的に比較的高水温の200m以浅に出現することも知られている（杉山，1991）。漁業者からの聞き取りによれば、このような深淺移動は富山湾と隣接する能登半島周辺海域でも行われていると考えられており、北部日本海では移動先の水温は最低でも4℃以上（秋田県水産振興センター，1996）と推定されている。したがって、ハタハタでは高水温刺激が成熟の引き金となると予想されるので検証する必要があると考える。

飼育密度については、高密度の場合にオニオコゼ

Inimicus japonicus の産卵数が低下すること（森岡，1991）やシマアジ *Pseudocaranx dentex* のストレスが高まること（虫明，未発表）が知られており、魚の産卵に関わる重要な要因と考えられる。今回、産卵率が特に低かった大量養成群は、継続飼育群の約2倍の密度（最大3.1 kg/kl）で飼育されていた。ブリ *Seriola quinqueradiata* では、1 kg/kl前後の飼育密度であれば産卵等に特に問題のないことが知られており（有元ら，1999）、ハタハタの場合も、これを目安として適正密度に抑える必要がある。

ハタハタの産卵基盤について、桶田（1988）は、飼育水槽内にホンダワラ、コンブ、およびワカメを模した人工海藻を設置し、ホンダワラタイプの特に茎が2本に分かれた部位やその周辺に集中的に産卵していたことを認めている。また、島（1989）は、キンギョ藻を模した人工海藻と竹の枝を束ねた産卵基盤を水槽内に設置したところ、人工海藻に34個、竹に25個、水槽底に77個の卵塊を認め、水槽底の卵塊は基盤から落下したものと推察している。天然では、ホンダワラ類の他に定置網などにも卵塊が産み付けられることが知られている（南・田中，1985；藤田・堀田，1997）。本研究では、卵塊は漁網に多く産み付けられ、人工海藻、特にキンギョ藻タイプではほとんど認められなかったことから、人工的な産卵基盤としては人工海藻よりも漁網が有効と考えられる。漁網は人工海藻よりも揺れが少なく、適度の空間があり、魚体の安定や魚の蛸集に有利なために卵を産み付けやすいと推察される。

水温調整によるふ化の同調化

9月中旬から約2ヵ月にわたり産出された卵のふ化の70%以上が12月末の1週間に集中していた（Table 5）。天然卵のふ化も盛期が約1週間である。したがって、今回の水温調整によるふ化の同調という観点では成功したと考えられる。

しかし、全卵数および発眼卵数に対するふ化尾数の割合はそれぞれ27%および38%であり（Table 5）、卵塊の内側では腐敗した卵やふ化直前に死亡した卵が多く認められた。ふ化直後に死亡した個体はふ化仔魚全体の17%を占めており、また種苗生産期間中の死亡は、生産開始直後の2週間に集中

していた (Fig. 6). 天然卵の場合, 受精卵は一般に 80%以上ふ化し (森岡, 2001), ふ化仔魚の飢餓による半数死亡日数は 24.5 日で, ふ化後 2 週間内の死亡はほとんど見られない (森岡, 未発表). これらのことから, 今回のふ化率は天然卵と比較して低く, ふ化した仔魚の多くは種苗生産に適していなかったと判断される. ふ化率が低率であった原因としては, 受精率が低かったこと, 通水量が不足していたために卵塊の内側で卵の腐敗が連鎖的に進行したこと, 卵質が低かったことなどが想起されることから, これらの点に留意する必要がある.

卵のふ化同調で得た仔魚の種苗性

卵のふ化同調で得た仔魚を用いて水槽および網生簀で行った種苗生産 (通算 131 日間) で平均全長 66.2 mm の稚魚を生産したが, その日間成長速度 (0.34 ~ 0.51 mm/日) は, 天然稚魚の 0.23 ~ 0.46 mm/日 (安村, 1984; 南・田中, 1985; 杉山, 1988) と同等以上であった. 今回, 通常の種苗生産 (森岡, 2001) の場合よりも 2 ヶ月以上早期に生産を開始することができた結果, 放流の時期, すなわち沿岸水温の上昇に伴って天然稚魚が深所に移動を始める 5 月 (杉山, 1988) には, 全長で 30 mm 以上大きい種苗を得ることができ, 外部標識 (腹鰭切除) の装着も可能であった. 外部標識は放流魚の追跡を容易にし, 放流用種苗の大型化は被食の回避に有効と考えられる. よって, このような種苗が得られたことは深層水施設における親魚養成の大きな成果といえる.

しかし, 生産尾数および生残率 (通算) は 19,243 尾および 48.9%であり, 10 万尾規模の種苗生産には至らなかった (Table 3). 飼育開始 2 週間目以降は著しい死亡が認められなかったことから (Fig. 6), 生産目標を大きく下回った原因は採卵数やふ化率が低く, 卵質が劣っていたことに帰せられる. したがって, ハタハタの大量放流を成功させるためには, 成熟と産卵の制御に改良を重ねて産卵率を高め, 卵質やふ化仔魚の質を向上させることが極めて重要である.

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, 並びに本稿のとりまとめのために適切な助言を賜った同試験場職員諸氏, 藤田大介東京海洋大学助教授に深謝する. 結果をとりまとめるに際し, 本種の生態特性に関する有益な情報を提供していただいた秋田県水産振興センターの杉山秀樹内水面部長に厚くお礼申し上げます.

文 献

- 秋田県水産振興センター (1996) 1986 ~ 1995 年海洋観測データ. 漁況海況予報事業報告書, 秋田県, 秋田, p. 223.
- 有元 操・虫明敬一・中野昌次 (1999) ブリの採卵. 栽培漁業技術シリーズ 5 「ブリの親魚養成技術開発」, (日裁協編), 日昇印刷株式会社, 東京, pp. 19-40.
- 藤田大介・堀田和夫 (1997) 最近の富山県ハタハタ漁獲量の減少. 富山県水産試験場研究報告, 9, 19-34.
- 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, 2193-2201.
- 堀田和夫・藤田大介 (1998) ハタハタ. 富山湾の魚たちは今, 富山県水産試験場編, 桂書房, 富山, pp. 64-65.
- 池端正好 (1986) ハタハタ種苗生産試験について. 昭 59 年秋田水試裁セ事業報告, 232-236.
- 加藤源治・大内 明 (1956) 重要魚属の漁業生物学的研究ハタハタ. 日水研報告, 4, 197-215.
- 北浜 仁 (1968) 室蘭沖合のハタハタの体長および年齢. 北水試月報, 25 (10), 25-31.
- 南 卓志・田中 実 (1985) アカヒゲ漁で漁獲されたハタハタ稚魚. 日水研報, 35, 1-10.
- 三尾真一 (1967) ハタハタの資源生物学的研究. 日水研報, 18, 3-37.
- 森岡泰三 (1991) オニオコゼの親魚養成. 平成元年度日裁協事業年報, 80.
- 森岡泰三 (2001) ハタハタの親魚養成. 平成 11 年度日裁協年報, 78-82.
- 森岡泰三・堀田和夫 (2001) 海洋深層水で飼育されたハタハタの成熟と産卵. 海深研, 2, 65-71.
- 長倉義智 (1995) ハタハタの親魚養成. 平成 5 年度日裁協事業年報, 49-50.
- 野村 稔 (1964) 魚類の成熟・産卵と外部環境要因. 水産増殖, 12 (3), 159-196.
- 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, 秋田, pp. 29-31.
- Okiyama, M. (1990) Contrast in reproductive style between two species of sandfishes (Family Trichodontidae), Fish. Bull. U.S., 88, 543-549.
- 三戸 充 (1997) 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, pp. 13-28.
- 島 康洋 (1989) 養成飼育したハタハタの水槽内自然産卵について. 第3回ハタハタ研究協議会報告書, 秋田県, 秋田, pp. 75-80.
- 杉山秀樹 (1988) 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, 7-8.
- 杉山秀樹 (1991) 日本海北部海域におけるハタハタの漁場形成. 日本海ブロック試験研究集録, 21, 67-76.
- 杉山秀樹 (1995) ハタハタ. 日本の希少な野生水生生物に関する基礎資料 II (水産庁・日本水産資源保護協会編), 博秀工芸, 東京, pp. 247-281.
- 杉山秀樹 (1999) ハタハタの漁業実態と資源生態に基づく資源管理. 月刊海洋, 17, 177-185.
- 山本喜一郎・長浜嘉孝・山崎文雄 (1966) 金魚の周年採卵方法について. 日水誌, 32, 977-983.
- 安村 明 (1984) 天然ハタハタ稚子生態調査. 昭和57年度秋田県水試事業報告書, 53-70.
- (2004. 12. 9 受付, 2005. 3. 4 受理)