天然産着卵ふ化情報および飼育幼魚のアイソザイム分析から 推定された伊勢湾口トラフグの産卵集団構造

佐藤 良三, 鈴木 伸洋, 神谷 直明, 辻ヶ堂 諦, 岡田 一宏

(1999年3月24日受付)

Spawning Population of Ocellate Puffer *Takifugu rubripes*
at the Mouth of Ise Bay Estimated from Hatching Data of
Naturally Spawned Eggs and Isozyme Analysis of Reared Fry

Ryozo Sato,^{*1,*2} Nobuhiro Suzuki,^{*3,*4} Naoaki Kamiya,^{*5}
Akira Tsujigado,^{*6} and Kazuhiro Okada^{*7}

We obtained 69,168 naturally spawned eggs of the ocellate puffer from 11 sampling stations in the spawning ground off Anori, Mie Prefecture, using a skidnet on the 15th and 23rd April, 1993. Naturally spawned eggs were not distributed uniformly. The number of days required until hatching varied among the stations and was estimated to range from 4 to 10 days and a considerable number of parental fish were estimated to be involved in spawning. Fry from 4 stations were raised to an average standard length of 8.5~11.9 cm and then PGM isozyme in muscle and IDH isozyme in liver of fry were analyzed by horizontal starch-gel electrophoresis. The PGM-c gene frequencies of St. 4 and St. 10 in the eastern region were 0.806 and 0.816, respectively, whereas in the western region, St. 6 and St. 11 were 0.621 and 0.608, respectively. The IDH-N gene frequency of St. 4 was 0.707, in contrast that of St. 11 was 0.539. These results imply that two spawning groups, one in each of the eastern and western areas of this spawning ground existed. However, it is necessary to examine whether these spawning groups correspond to stocks. Moreover the number of parent fish spawned in the spawning ground were estimated to be at least 61 to 233 individuals from the frequencies of the rare genotypes and genes. These estimations obtained from isozyme analysis are supported by data on the distribution and hatching of naturally spawned eggs.

キーワード：トラフグ, 天然産着卵, ふ化日数, アイソザイム分析, 産卵集団構造

トラフグ *Takifugu rubripes* は, 3~6月に水温が15~17°C, 潮流の速い, 水深20~50 m, 底質が粗い砂礫の海域で産卵することが知られ, 日本周辺海域における産卵場は, 瀬戸内海, 九州から能登半島にかけての沿岸域および伊勢湾口など十数カ所に存在することが報告されている。¹⁾ そして, 産卵場の存在は, 産卵期に成熟親魚が漁獲される漁場があり, その周辺海域で生後数カ月まで幼稚魚が生息することから推測されている。伊勢

湾口,²⁾ 福岡湾口³⁾等では採集した天然産着卵をふ化・飼育し, その卵がトラフグであることの確認から, また, 瀬戸内海中中部海域の布刈瀬戸では天然産着卵, ふ化仔魚および着底稚魚^{*8)}の採集から, 産卵場所が特定されている。

アイソザイム分析は, 再生産構造を遺伝学的側面から解析できるという理由から, DNA分析とともにこれまで系群判別によく用いられてきた。⁴⁻⁶⁾ しかし, 幼稚魚

*1 養殖研究所日光支所 (Nikko Branch, National Research Institute of Aquaculture, Chugushi, Nikko, Tochigi 321-1661, Japan).

*2 現住所: 西海区水産研究所石垣支所 (Ishigaki Tropical Station, Seikai National Fisheries Research Institute, Ishigaki, Okinawa 907-0451, Japan).

*3 瀬戸内海区水産研究所 (National Research Institute Fisheries and Environment of Inland Sea, Ohno, Saeki, Hiroshima 739-0452, Japan).

*4 現住所: 養殖研究所 (National Research Institute of Aquaculture, Tamaki, Mie 519-0423, Japan).

*5 三重県庁 (Mie Prefectural Office, Komei, Tsu, Mie 514-0006, Japan).

*6 三重水産技術センター伊勢湾分場 (Fisheries Research Institute of Mie, Shiroko, Suzuka, Mie 510-0243, Japan).

*7 三重県尾鷲栽培漁業センター (Mie Prefecture Fish Farming Center, Owase, Furue, Owase, Mie 519-3922, Japan).

*8 鈴木伸洋, 佐藤良三: 平成9年度日本水産学会春季大会講演要旨集, p. 55.

および成魚を用いた研究では、一腹仔間の生残率の違い、遺伝子型による適応値の違い、各産卵場で生まれた群の移動、さらには索餌期に生まれ故郷が異なる系群の混合等を伴うことがあり、産卵群或いは系群の取り扱いが複雑となる。産卵場においても産卵が長期にわたり、親魚の遺伝的組成に差異が生じ、産卵期間を通じて次世代の遺伝的組成が一定という保証はない。一方、天然卵やふ化仔魚を用いた場合には、それらの大量採集および種の同定の難しさなどから、産卵集団構造の把握にアイソザイムおよびDNA分析による遺伝学的解析法が十分展開された研究はほとんどみられないのが現状である。

伊勢湾口のトラフグ産卵場では、1990年および1992年に大量の天然産着卵が採集され、それらからふ化・飼育した幼魚のアイソザイム分析により、遺伝学的手法による産卵集団構造の研究が可能となり、天然産着卵の産卵に関与した親魚数が推定された。⁷⁾ 本研究では、天然産着卵による産卵集団構造の研究手法をさらに発展させることを目的に、伊勢湾口のトラフグ産卵場における天然産着卵の分布状態の把握、産卵日の推定、アイソザイム分析による遺伝的組成および再生産に関与した親魚数の推定など産卵集団構造に関する基礎的知見を得た。

材料と方法

三重県伊勢湾口の安乗沖のトラフグ産卵場において、1993年4月15日および23日に間口97 cm、高さ19 cm、長さ300 cmのソリネットを用いて、水深30~40

mの11カ所の曳網地点(St.)からトラフグの天然産着卵を採集した(Fig. 1)。卵の採集方法については神谷ら²⁾に従った。ソリネットの曳網面積は漁業探知機の記録経路を測って求めた。天然産着卵の産卵日を推定するために、St. 1, 4, 6, 7, 9, 10 および 11 の天然産着卵を別々の100 l水槽に収容して自然水温約17°Cでふ化させ、各ロットのふ化日数を記録した。また、各St.で採集された卵の産卵日を推定するために、同海域で漁獲したトラフグ天然魚の人工受精を4月11日に行い、採集した天然産着卵と同じ条件で一腹卵のふ化に要する日数を調べた。そして、各々のSt.で採集した天然産着卵が各々の日に産卵された卵数(以後、産卵指数と称した)を算出した。

アイソザイム分析の供試魚は、ふ化仔魚の多かったSt. 4, 6, 10 および 11 から人工飼育して得たもので、ふ化仔魚をふ化終了日から6月14日までは500 l水槽で飼育し、St. 4, 6 および 10 の群はそれ以降5トン水槽へ移したが、白点病が発生したため8月24日に取り上げた。また、St. 11 の群は6月14日以降6トン水槽に移し、9月22日まで飼育した。この間の平均水温は17.0°Cから23.9°Cであり、仔魚期の餌はシオミズツボワムシを、稚魚期以降は配合飼料を与えた。そして、これら4カ所全てのSt.の幼魚の筋肉中PGM(フォスフォグルコムターゼ)アイソザイムを、また、St. 4, 11 では肝臓中IDH(イソクエン酸脱水素酵素)アイソザイムを、トリスブクエン酸(pH 8.0)を緩衝液とするでん粉ゲル電気泳動法⁴⁾により分析した。St. 間の

Fig. 1. Sampling stations in the spawning ground of ocellate puffer at the mouth of Ise Bay.
—: Sampling stations on 15, April, ----: Sampling stations on 23, April.

PGM および IDH アイソザイム遺伝子頻度の違いは遺伝子頻度の均一性により検定した。天然産着卵の産卵に関与した親魚数は, 稀に出現する遺伝子型頻度および遺伝子頻度を指標⁷⁾として推定した。なお, この推定は, 交配・産卵, 天然産着卵の分布およびソリネットによる採集が無作為であり, 各集団がハーディー・ワインベルグ平衡であるという仮定のもとで行った。

結 果

天然産着卵の採集結果および産卵日の推定 ここでは毎年産着卵が採集される範囲を産卵場^{2,7)}として, 産着卵の St. ごとの採集卵数, 曳網面積当たりの採集卵数, ふ化率, 各日のふ化割合などを Table 1 に示した。4 月 15 日と 23 日に 11 カ所の St. から採集した天然産着卵数は合計 69,168 粒であった。St. 6 の曳網方向は最初西から東へ, その後南の方向であり, St. 5 では北から南へ, そして反転して南から北の方向であった。その他 9 カ所の St. ではほぼ南北に曳網した。その結果, St. 4, 7, 10 および 3 は産卵場の西方海域, St. 6, 2, 9 および 11 は東方海域に位置することになる (Fig. 1)。11 カ所の

の St. のうち 7 カ所で 1,000 粒以上の天然産着卵が得られ, 平均採集卵数は 6,288 粒 (49~29,200 粒), 平均曳網面積は 879 m² (332~1,674 m²), 1 m² 当たりの平均採集卵数は 8.3 粒 (0.1~41.4 粒) であり, St. によりかなり異なっていた (Table 1)。

次に, 受精からふ化まで 10 日間を要したものととして, 各 St. の推定産卵日と産卵指数を求めた (Fig. 2)。産卵場のほぼ中央部に位置する St. 1, 4, 6 では 4 月 8 日或いは 9 日に産卵があり, 12 日の産卵が一番多く, 14 日まで産卵が続いたものと推測された。産卵場の西方海域に位置する St. 7 と 10 および東方海域に位置する St. 11 では 4 月 14 日, また東方海域の St. 9 では翌 15 日から産卵が確認された。西方海域では 18 日が産卵のピークであり, 東方海域では 20 日或いは 21 日が産卵のピークであった。St. 4 と 6 との間, さらに St. 9, 11 と 10 との間では産卵日のピークを含め産卵日のパターンが異なり, 当該産卵場では, 産卵期間は最も短く推定しても 4 月 8 日~23 日の 16 日間に亘り, そのピークは 12 日と 20 日であった。

アイソザイム分析による産卵群構造の推定 4 カ所の

Table 1. Number of naturally spawned eggs sampled of ocellate puffer and their density, hatchability, hatching date and percentage hatching for each date

Station	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	Artificial seed
Date of sampling	4/15	4/15	4/15	4/15	4/15	4/15	4/23	4/23	4/23	4/23	4/23	4/11*1
No. of eggs sampled	1628	720	244	29200	148	3954	3700	49	4725	11370	12430	208000
Towing area (m ²)	332	761	900	706	968	1674	914	886	831	996	706	—
No. of eggs/m ²	4.9	0.9	0.3	41.4	0.2	2.4	4.0	0.1	6.3	12.0	18.5	—
No. hatching	589	—	—	18662	—	2155	3407	—	2685	8631	7414	174600
Hatchability (%)	36.2	—	—	63.9	—	54.5	92.1	—	56.8	75.9	59.7	83.9
Percentage hatching at each date	4/18	0.7										
	19			9.5		15.5						
	20	1.0		1.7		25.3						76.7
	21	26.3		22.1		39.6						23.3
	22	15.1		46.1		17.0						
	23	35.7		10.1		2.5						
	24	21.2		10.6			44.6			2.5	0.4	
	25						42.9		0.7	1.9	1.0	
	26						8.3		0.2	1.6	0.1	
	27						4.1		0.2	5.0	0.1	
	28								0.1	33.5	0.1	
	29								3.8	24.6	0.6	
	30								58.0	24.9	35.1	
	5/01								26.6	6.1	45.6	
	02								6.4		13.7	
	03								4.0		3.4	

*1 Fertilized date, — : No data.

Fig. 2. Spawning dates distribution at each sampling stations, estimated with the assumption of 10 days of hatchery period.

Arrows indicate the sampling dates.

Table 2. Genotypic frequencies and gene frequencies of PGM isozyme of ocellate puffer fry reared from naturally spawned eggs

Station	No. of fish	Genotypic frequencies* ¹							Gene frequencies				χ^2 value* ²
		bb	bc	cc	bd	be	cd	ce	b	c	d	e	
4	121	2 (3.5)	34 (33.0)	79 (78.6)	3 (0.5)	0 (0.5)	0 (2.3)	3 (2.3)	0.169	0.806	0.012	0.012	0.24
6	120	11 (15.0)	61 (52.8)	42 (46.3)	1 (0.7)	1 (1.4)	1 (1.2)	3 (2.5)	0.354	0.621	0.008	0.017	2.40
10	125	1 (2.2)	29 (26.9)	82 (83.2)	1 (0.7)	1 (1.1)	4 (4.1)	7 (6.5)	0.132	0.816	0.020	0.032	0.24
11	116	9 (12.5)	51 (46.3)	41 (42.9)	3 (2.3)	4 (2.6)	4 (4.2)	4 (4.8)	0.328	0.608	0.030	0.034	0.85

*¹ Expected number of fish in parentheses.

*² Calculation for the genotype bc, cc and other genotypes.

St. のトラフグ幼魚の PGM アイソザイムの遺伝子型頻度および遺伝子頻度を Table 2 に示した。PGM アイソザイムの遺伝子型 bb, bc および cc の出現頻度は St. 間で異なり、PGM-c 遺伝子の頻度は St. 4 と St. 10 の間、St. 6 と St. 11 との間ではほぼ一致していたが、前者の群と後者の群の PGM-c 遺伝子頻度は 1 % 水準で有意差が認められた。ちなみに、前者群は産卵場の西方海域、後者群は東方海域から採集したものである (Fig. 1)。これら St. 間の PGM-c 遺伝子頻度の違いが分析した供

試魚の大きさの違いによって生じたかどうかを検討するために、St. ごとに比較的尾数の多い遺伝子型 bc と cc との間で、標準体長と体重の平均値の差の検定を行った (Table 3)。その結果、4 カ所の St. の何れの場合においても、遺伝子型間で体長および体重の違いが認められず、St. 間で認められた遺伝子型頻度および遺伝子頻度の違いには、分析魚の大きさは影響していないことが明らかとなった。一方、IDH アイソザイムにおいても、St. 4 と St. 11 との間で 1 % 水準の有意差があり (Table

Table 3. Comparison of standard length and body weight between the two genotypes of PGM isozyme in ocellate puffer fry

Station		4		6		10		11	
Genotype		bc	cc	bc	cc	bc	cc	bc	cc
Standard Length (cm)	No. of fish	34	79	61	42	29	82	51	41
	Mean	8.89	8.95	8.90	9.05	8.62	8.52	11.93	11.87
	Standard deviation	0.47	0.44	0.60	0.52	0.40	0.39	0.38	0.46
	t_0 value	0.66		1.31		1.40		0.69	
Body Weight (g)	No. of fish	34	79	61	42	29	82	51	41
	Mean	28.31	29.27	30.67	31.06	25.92	25.29	68.55	66.19
	Standard deviation	3.95	4.06	5.41	5.96	3.05	3.42	7.31	8.39
	t_0 value	1.16		0.34		0.87		1.57	

Table 4. Genotypic frequencies and gene frequencies of IDH isozyme of ocellate puffer fry reared from naturally spawned eggs

Station	No. of fish	Genotypic frequencies*1			Gene frequencies		χ^2 value
		NN	NF	FF	N	F	
4	121	59 (60.5)	53 (50.1)	9 (10.4)	0.707	0.293	0.39
11	116	32 (33.7)	61 (57.6)	23 (24.7)	0.539	0.461	0.40

*1 Expected number of fish in parentheses.

4), PGM アイソザイム同様に産卵場の西方海域と東方海域との間で違いが認められた。以上の結果から、伊勢湾口産卵場の St. 間で PGM および IDH アイソザイムの遺伝子頻度に違いが認められ、1つの産卵場に遺伝子頻度を異にする2群が存在していたことが明らかになった。

次に、稀に出現する遺伝子型頻度および遺伝子頻度から、採集した天然産着卵に関与した親魚数を推定した。PGM アイソザイムの稀に出現する遺伝子型は bd, be, cd および ce であり、St. 4 を除き4つの全ての遺伝子型が検出された (Table 2)。St. 4 では遺伝子型 be, cd は出現しなかったものの、PGM-d および PGM-e 遺伝子は存在していた。4つの St. の PGM-d 遺伝子頻度は 0.008~0.030 であり、PGM-e 遺伝子頻度は 0.012~0.034 であった。まず、各 St. における各遺伝子型の期待値および各遺伝子型が生まれるために必要な集団の大きさ (期待値の逆数) を推定した (Table 5)。その結果、どの St. においても出現頻度が一番低い遺伝子型は bd であり、それらの頻度は 0.0041~0.0197 であった。bb, bc, cc および稀に出現する遺伝子型 bd, be, cd, ce を

加えた7つの遺伝子型をもつ集団から次世代に生まれる遺伝子型を示したのが Table 6 である。全部で49組の組み合わせがあるが、遺伝子型 bd は15の組み合わせから生じ、Table 5 の期待値を当てはめると、どの St. においても遺伝子型 bd が一番高い頻度で生まれる交配は bc×cd (雌雄がどちらでも可の2組) であった。St. 6 で計算すると、雌親の遺伝子型 bc が 2.3 尾 (0.4397 の逆数) 中 1 尾、雄親の遺伝子型 cd が 101.0 尾 (0.0099 の逆数) 中 1 尾存在すれば、次世代に bd が生まれることになる。すなわち、bd が生まれるには $2.3 \times 101.0 = 232.3$ となり、親魚が 233 尾必要となる。これらの計算過程で誤差をできるだけ小さくするために、雌雄双方の尾数を少数として扱い、推定尾数は少数以下切り上げとした。同様な方法で他の St. についても計算すると、本研究で得られた天然産着卵には少なくとも 61~233 尾の親魚が関与したことが推定された。

考 察

本研究では、三重県安乗沖のトラフグ産卵場において、11カ所の St. から天然産着卵約 69,000 粒を採集し、7カ所の St. から得た天然産着卵のふ化日数を調べた。産卵場とはほぼ同じ水温 17°C 前後で飼育した人工受精卵は10日後に100%ふ化を完了したこと、St. 11 では天然産着卵のふ化が採集後10日で完了したことから、受精からふ化まで10日間を要したのものとして、各 St. における産卵指数を推定した (Fig. 2)。但し、この推定にはふ化しなかった卵もふ化した卵と同様に発生が進んだものと仮定した。産卵は一見産卵場中央に近い海域で始まり、次第にその周辺に広がったことが伺えた (Fig. 2)。しかし、中央に近い海域の St. 4, 1 および 6 では4月16日以降にも産卵の可能性があり、周辺海域の St. 10, 9 および 11 では13日以前にも産卵の可能性

Table 5. Expected genotypic frequencies of PGM isozyme at each station and the estimated minimum population size required for existence of the genotypes

Station	4		6		10		11	
Genotype	Exp. gen. freq.* ¹	Pop. size* ²	Exp. gen. freq.* ¹	Pop. size* ²	Exp. gen. freq.* ¹	Pop. size* ²	Exp. gen. freq.* ¹	Pop. size* ²
bb	0.0286	35.0	0.1253	8.0	0.0174	57.5	0.1076	9.3
bc	0.2724	3.7	0.4397	2.3	0.2154	4.6	0.3988	2.5
bd	0.0041	243.9	0.0057	175.4	0.0053	188.7	0.0197	50.8
be	0.0041	243.9	0.0120	83.3	0.0084	119.0	0.0223	44.8
cc	0.6496	1.5	0.3856	2.6	0.6659	1.5	0.3697	2.7
cd	0.0193	51.8	0.0099	101.0	0.0326	30.7	0.0413	24.2
ce	0.0193	51.8	0.0211	47.4	0.0522	19.2	0.0413	24.2
Combination of crosses* ³	bc × cd	191.7	bc × cd	232.3	bc × cd	141.2	bc × cd	60.5

*¹ Expected genotypic frequencies.*² Population size.*³ Combination of crosses which produce the genotype bd with the highest frequencies in Table 6.**Table 6.** Expected genotypic segregation ratios in ocellate puffer fry from each cross of the PGM isozyme genotypes

Genotype* ¹	bb	bc	bd	be	cc	cd	ce
bb	4bb	2bb, 2bc	2bb, 2bd	2bb, 2be	4bc	2bc, 2bd	2bc, 2be
bc	2bb, 2bc	bb, 2bc, cc	bb, bc, bd, cd	bb, bc, be, ce	2bc, 2cc	bc, bd, cc, cd	bc, be, cc, ce
bd	2bb, 2bd	bb, bc, bd, cd	bb, 2bd, dd	bb, bd, be, de	2bc, 2cd	bc, bd, cd, dd	bc, be, cd, de
be	2bb, 2be	bb, bc, be, ce	bb, bd, be, de	bb, 2be, ee	2bc, 2ce	bc, bd, ce, de	bc, be, ce, ee
cc	4bc	2bc, 2cc	2bc, 2cd	2bc, 2ce	4cc	2cc, 2cd	2cc, 2ce
cd	2bc, 2bd	bc, bd, cc, cd	bc, bd, cd, dd	bc, bd, ce, de	2cc, 2cd	cc, 2cd, dd	cc, cd, ce, de
ce	2bc, 2be	bc, cc, be, ce	bc, be, cd, de	bc, be, ce, ee	2cc, 2ce	cc, cd, ce, de	cc, 2ce, ee

*¹ Genotype dd, de and ee were not observed in this study.

があったが、St. 7 では 18 日以降の産卵はなかったものと考えられる。本研究では受精からふ化までの日数を 10 日としたが、もし 9 日として計算してもこれらの傾向は大きく変わらないであろう。伊勢湾口安乗沖のトラフグ産卵場での時期による産卵場所の違いについては、今後さらに情報を収集し、検討する必要がある。

ソリネットによる天然産着卵の採集効率に関する情報はないが、曳網面積 1 m² 当たりの平均採集卵数は 8.3 粒 (0.1~41.4 粒) であり、天然産着卵が一様に分布していなかったことが考えられる (Table 1)。これは卵採集がランダムに行われたとの前提での論議であるが、もしそうであるならば、St. 9 や 11 の産卵指数の小さい日の存在 (Fig. 2) は、ソリネットの採集効率がそれほど大きくないことを意味する。従って、St. 10, 4, 9 および 11 の産卵指数の大きかった日には相当数が産卵されたものと考えられる (Fig. 2)。また、各 St. の産卵期間は

最も短く見積もっても平均 7 日間 (4~10 日間) となり、比較的長期に及んでいたものと考えられる。以上述べたように、トラフグの天然産着卵の採集情報およびふ化情報から得られた知見は、相当数のトラフグ親魚が産卵に参加したことを示唆している。このことは、後述するように、天然産着卵に関与した親魚数の多さからも裏付けられよう。

本研究では、同一の産卵場と考えられる比較的狭い海域の St. 間で PGM および IDH アイソザイムの遺伝子頻度に違いが認められた。その原因として先ず考えられることは、採集した天然産着卵に関与したトラフグ親魚数の少なさである。しかし、再生産に関与する親魚数が少ない場合には、交配が無作為に行われたとしても St. 間の遺伝子頻度に違いが生じたり、遺伝子型の観察値と期待値の間に統計学的なずれが認められる場合が多い。本研究では、St. 間の遺伝子頻度に違いは認められたも

の、その違いはランダムではなく、東西の違いであった。また、4つのSt.とも各遺伝子型頻度に統計学的な偏りは認められず、ハーディー・ワインベルグの法則が成立していた (Table 2)。さらに、全てのSt.において稀に出現する遺伝子型および遺伝子が検出されたことは、産卵親魚数が少ない時には考えにくいことである。木村⁸⁾は、集団が限りなく大きく、任意交配が続けられ、淘汰・突然変異・移住が働かない、すなわち、ハーディー・ワインベルグの法則が成立する集団であれば、遺伝子頻度および遺伝子型頻度は毎代不変で、接合体系列は配偶子系列の2乗に等しいことを理論的に説明している。もし、トラフグの各St.がハーディー・ワインベルグ平衡に近似した親魚数から形成されていたならば、稀に出現する遺伝子型頻度および遺伝子頻度を指標として天然産着卵に関与した親魚数を推定することができる。⁷⁾ PGM アイソザイムにおける4対立遺伝子の存在は理論的には10遺伝子型を出現させ、100組の遺伝子型の組み合わせが期待される。本研究では7遺伝子型が検出されたために遺伝子型の組み合わせは49組となる (Table 6) が、幼魚の分析尾数をさらに多くすれば、新たな遺伝子型が出現する可能性があり、産卵に関与した親魚数はさらに増えることが予想される。ここで推定した親魚数はあくまで最少尾数であり、計算上は61~233尾より多いと考えられるが、これらの推定値は理想的集団の仮定から求めたものであり、実際に再生産に関与した尾数と異なっている可能性は否めない。しかし、どのSt.の遺伝子型頻度もハーディー・ワインベルグ平衡から大きくずれていなかったことは、各St.の推定値に大きな違いはないものと考えられる。4カ所のSt.から推定された平均産卵親魚数が少なくとも157尾 (61~233尾)であったことは、本研究で認められたSt.間の遺伝子頻度の違いが、天然産着卵に関与した親魚数の少なさに起因していなかったものと考えられる。

次に考えられるSt.間の遺伝子頻度の違いの原因は、アイソザイム分析に用いた分析魚の大きさの違いや、飼育過程における生残率の違いである。先ず前者については、どのSt.においても遺伝子型bcとccの間の体長および体重に有意差がなく、分析魚の大きさの違いは遺伝子型頻度へ反映していない (Table 4)。また、トラフグのヘテロ接合体同志の交配を行い、本研究とほぼ同じ飼育条件で得たトラフグ幼魚の分離比の検討では、特定の遺伝子型の生残率の違いは認められていない。⁹⁾ 本研究では、どのSt.においても遺伝子型頻度に大きなずれが認められなかったことは、遺伝子型による生残率の違いはなかったものと考えられよう。

以上述べたように、St.間のPGM-c遺伝子頻度の違いは、天然産着卵に関与した親魚数の少なさ、分析魚の大きさの違いおよび遺伝子型による生残率の違いから生じたという可能性は少なく、1993年の伊勢湾口産卵場におけるトラフグ産卵集団は、遺伝子頻度を異にする少なくとも2群から成り立っていた可能性が考えられた。

1つの産卵場において、少なくとも遺伝子頻度の異なる2つの群の存在が認められたことをどのように考えれば良いのであろうか。先ず考えられるのは産卵場への回帰性の厳密性である。佐藤ら¹⁰⁾は瀬戸内海・布刈瀬戸のトラフグが生まれ故郷の産卵場へ回帰することを示唆した。また、本研究と同じ伊勢湾口のトラフグについても産卵場への回帰性が示唆されている。^{*9)} 産卵海域はもとより、産卵場所への回帰性が厳密であるならば、本研究で得られた結果は理に適うことになる。しかし、伊勢湾口におけるトラフグの産卵場所は年により若干ずれており、⁷⁾ ごく限定した産卵場所への厳密な回帰性は成立しない可能性がある。田中は、系群を“資源変動の単位であり、動態研究において対象とすべき基本的単位”と定義し、系群分離のためには産卵場の独立性の証明が必須条件で、産卵場の在り方、産卵場への回帰行動、さらに分布・回遊に関する情報が必要であり、系群判別には、生化学的方法、形態や体節形質の比較、標識放流のほか生活史や生態などの総合的な比較研究がなされなければならないと述べている。¹¹⁾ 1993年の伊勢湾口のトラフグ産卵場において、PGM-cおよびIDH-N遺伝子頻度がSt.間でそれぞれ約0.200, 0.170違っていた。これらの違いは統計学的に1%水準で有意であり、系群の違いとして十分に扱える。しかし、St.が極めて隣接しており、伊勢湾口の産卵集団に関する生態学的および漁業情報が十分でなく、さらに系群判別には総合的な研究が必要であるという田中の定義¹¹⁾に従うならば、すぐに系群の違いと結論付けをしないで今後の検討課題とした方が賢明であろう。

本研究では、天然産着卵の分布・ふ化情報や、天然産着卵から得られた幼魚のアイソザイム分析から、伊勢湾口産卵場で産卵したトラフグの産卵集団構造の解明を試みた。しかし、トラフグの産卵行動、産着卵の分布、ソリネットの採集効率などの情報はなく、この海域の産卵場の広さや総産卵量の推定もできていない。今後、伊勢湾口を産卵場とするトラフグ系群の適切な資源管理および資源培養を遂行していくためにも、本研究で得られた知見をさらに発展させ、これまでの調査では不足している詳細な生態的情報の収集に努めていかなければならない。さらに、本研究で用いた産卵集団構造の調査・解析

*9 中島博司, 津本欣吾, 佐藤良三: 平成9年度日本水産学会秋季大会講演要旨集, p. 21.

法を新しい研究手法の切り口として、発展させていく必要があろう。

謝 辞

本論文をまとめるにあたり、懇切なるご指導とご校閲を頂いた東京大学大学院農学生命科学研究科教授岸野洋久博士に謹んで感謝の意を表します。

文 献

- 1) 佐藤良三, 小嶋喜久雄: トラフグの分布・回遊特性. 漁業資源研究会議報, **29**, 101-113 (1995).
- 2) 神谷直明, 辻ヶ堂 諦, 岡田一宏: 伊勢湾口安乗沖におけるトラフグの産卵場. 栽培技研, **20**, 109-115 (1992).
- 3) 日高 健, 高橋 実, 伊東正博: トラフグの資源生態に関する研究 I—福岡湾周辺における卵と幼稚魚の分布—. 福岡水試研報, **14**, 1-11 (1988).
- 4) 佐藤良三: 集団遺伝学的手法による系群解析, 「トラフグ

の漁業と資源管理」(多部田修編), 恒星社厚生閣, 東京, 1997, pp. 41-52.

- 5) 岡本浩明, 山崎文雄, 三島清吉: 日本近海に生息するイカナゴ個体群の遺伝的分化. 日水誌, **54**, 1297-1304 (1988).
- 6) 小林時正, 岩田宗彦, 沼知健一: 日本の北部海域で産卵するニシン地域性集団間の遺伝的分化. 日水誌, **56**, 1045-1052 (1990).
- 7) 佐藤良三, 中 賢治, 神谷直明: アイソザイム遺伝子を指標とした放流試験と産卵場調査. 月刊海洋, **26**, 505-509 (1994).
- 8) 木村資生: 集団遺伝学概論, 培風館, 東京, 1960, 307pp.
- 9) 佐藤良三, 神谷直明, 岡田一宏, 鯉江秀亮: トラフグのPGM, IDH 及びMDH アイソザイムにおける遺伝子型の分離比の検討. 南西水研報, **30**, 91-99 (1997).
- 10) 佐藤良三, 鈴木伸洋, 柴田玲奈, 山本正直: トラフグ *Takifugu rubripes* 親魚の瀬戸内海・布刈瀬戸の産卵場への回帰性. 日水誌, **65**, 689-694 (1999).
- 11) 田中昌一: 水産資源学総論, 恒星社厚生閣, 東京, 1985, 381pp.