

海洋深層水と表層海水で飼育されたニジマス *Oncorhynchus mykiss* の生残と成長および成熟

Survival, growth, and maturity of the rainbow trout
Oncorhynchus mykiss reared in deep seawater and surface seawater

野田 浩之¹・岡本 一利²・岡田 裕史³・高木 毅⁴

Hiroyuki NODA, Kazutoshi OKAMOTO, Hiroshi OKADA and Tsuyoshi TAKAGI

Abstract

We investigated the survival, growth, and maturity of the rainbow trout *Oncorhynchus mykiss* reared in deep seawater (DSW) and surface seawater (SSW) pumped from depths of 687 m and 24 m, from Suruga Bay. From November 2006 to April 2007, 52 and 51 fishes (average body weight, 90 g and 96 g, respectively) were reared in heated DSW at a temperature of 15°C and in SSW at natural temperature (12–16°C). As a result, the growth rates of the fishes reared in heated DSW and SSW, were 1.1% and 1.2% per day, respectively, and the survival rates were 48% and 41%, respectively. From February to April 2007, 32 fishes (average body weight, 378 g) were reared in DSW at natural temperature (7°C). The growth rate was 0.0% per day, and the survival rates was 88%. From June 2007, 10 fishes that survived in heated DSW (average body weight, 671 g) and DSW at natural temperature (average body weight, 377 g) were reared in heated DSW (15°C). In November 2007, the average body weight of these fishes was 1.96 kg and 1.29 kg, respectively, and their maturity rates were 71% and 29%, respectively. The fresh meat of mature female fishes was vermilion in color, but that of mature male fishes was a pale beige color. In April 2008, the maximum body weight of fish that survived in DSW at natural temperature was 3.42 kg before maturation. From June 2007, 6 fishes that survived in SSW (average body weight, 883 g) were reared in SSW. However, all the fishes died by the end of July. Although the techniques for restraining the maturation of fishes need to be improved, these findings demonstrate the possibility of rearing large rainbow trout by using DSW.

Key Words: Rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*), Deep seawater, Survival, Growth, Maturity

要 旨

淡水で養成されたニジマス（体重 93±38 g）を、2006 年 11 月から駿河湾の水深 687 m から取水し 15°C に加温した深層水（以下、深層水 A 区）で 52 尾、水温無調整の表層海水（12～16°C、以下、表層海水区）で 51 尾飼育した。2007 年 4 月までの日間成長率と生残率は両区で同様な値を示した。2007 年 6 月から、深層水 A 区生残魚 10 尾（体重 671±541 g）と、淡水で養成後 3 ヶ月間無加温（7°C）の深層水で飼育したニジマス 10 尾（体重 337±87 g、以下、深層水 B 区）を水温 15°C の深層水で、表層海水区生残魚 6 尾（体重 883±520 g）を水温無調整の表層海水でそれぞれ飼育した。表層海水区は 7 月下旬までに全て死亡した。深層水 A 区と B 区は 2007 年 11 月の

¹静岡県水産技術研究所駿河湾深層水水産利用施設（〒425-0032 静岡県焼津市鰐ヶ島 136-24）

²静岡県産業部水産資源室（〒420-8601 静岡県静岡市葵区追手町 9-6）

³静岡県水産技術研究所富士養鱒場（〒418-0108 静岡県富士宮市猪之頭 579-2）

⁴静岡県水産技術研究所（〒425-0033 静岡県焼津市小川 3690）

体重が 1.96 ± 0.95 kg, 1.29 ± 0.75 kg となり, 成熟率は 71% と 29% であった。さらに深層水 B 区では 2008 年 4 月に体重 3.42 kg に成長した未成熟個体があった。これにより深層水をニジマスの適水温に加温することによって大型魚の生産が可能なが確かめられた。

キーワード: ニジマス, 海洋深層水, 生残, 成長, 成熟

1. 緒 言

国内におけるニジマス *Oncorhynchus mykiss* の養殖は, 水温の低い大量の湧水や河川水が利用できる山間部を中心に行われている。生産の主体は用途が主に塩焼きである 100~150 g サイズであるが, 近年, 生食用や切り身として使い易い大型魚の需要が高まっている。ニジマスの生活史には陸封型と降海型があり, 全長は陸封型では 80~90 cm, 降海型は 1 m 以上に達する(西内, 1991)。北米やロシアでは大型になる降海型が遊漁や漁業の対象として重要視され(鈴木, 2004), 国内においても冬期に河川水より水温の高い海面で養殖を行うと成長が早いことが知られている(田代ら, 1974)。近年ではノルウェーやチリで海面養殖された大型魚がサーモントラウトと称して国内に大量に輸入されており, 物量および価格面において国産品を圧倒している。しかし, 消費者の国産食材への関心は高く, 安全・安心とともに品質や呈味の面でも特色を持った魚の生産が望まれる。

海洋深層水(以下, 深層水)は, 細菌数や汚染物質等が少ない清浄性, 周年を通して水温が低い低水温性, 水質の変動が小さい水質安定性等の水質特性を有する。深層水を飼育水に用いることで, 本種の海水中での周年飼育が可能となるほか, 清浄性によって表層海水よりも生残率が向上すること等が期待される。深層水を用いた本種の飼育については, 岡本・高瀬(2006)が成長と生残を報告しているが, 深層水と表層海水で飼育成績を直接比較した例はこれまでない。そこで, ニジマスを深層水と表層海水で飼育し, 成長および生残について比較するとともに, 深層水中で成魚まで飼育し成熟に関して若干の知見を得たので報告する。

2. 材料および方法

2.1 深層水と表層海水での比較飼育試験

静岡県水産技術研究所富士養鱒場(以下, 富士養鱒場)において, 2005 年 10 月 4 日に採卵し水温約 10℃の淡水中で飼育されたニジマス 103 尾を, 2006 年 11 月 9 日に同研究所駿河湾深層水水産利用施設へ搬入した。搬入時の体重(平均±標準偏差)は 93 ± 38 g, 総重量は 9,552 g であった。搬入後, 供試魚を 52 尾(体重 90 ± 36 g)と 51 尾(体重 96 ± 40 g)の 2 群に分け, 汲み置きした水道水を満たした容量 2.5 m³ の角型 FRP 水槽 2 槽にそれぞれ収容し, 52 尾には駿河湾の水深 687 m から取水し約 15℃に加温した深層水(以下, 深層水 A 区), 51 尾には水深 24 m から取水した水温無調整の表層海水(以下, 表層海水区)を, それぞれ毎分 0.8 L 注水し海水馴致を開始した。2 日目からは注水量を毎分 7.2 L に増加した結果, 4 日後までに 100%海水に移行した(Fig. 1A)。両試験区とも餌料には市販のニジマス用配合飼料を用い, ライトリッツの給餌率表(Leitritz, 1959)を参考に, 週 5~6 回, 1 日 2~3 回に分けて投与した。2007 年 1 月 21 日以降は色揚げ用配合飼料を使用した。注水量は, 試験池に設置されたモニタリング装置によって, 溶存酸素量 6 mg/L 以上を維持するため毎分 7.2~21.0 L の範囲で調整した。2007 年 4 月 20 日に両試験区とも全個体の体重測定を実施した。また, 2007 年 4 月 23 日には両試験区から 10 尾をサンプリングし, 筋肉の着色状況等を比較した。

2.2 成魚までの飼育試験

上記 2.1 の比較試験(深層水 A 区および表層海水区)の供試魚と同一の親魚群から同一日に採卵され水温約 10℃の淡水中で飼育されていたニジマス

32尾を、2007年2月27日に富士養鱒場から搬入した。搬入時の体重は 378 ± 60 g、総重量は12,108 gであった。搬入後、汲み置きした水道水を満たした容量2.5 m³の角型FRP水槽に収容し、水深687 mから取水した水温無調整の深層水（約7℃）を注水し、5日後までに100%海水に移行した。餌料にはニジマス色揚げ用配合飼料を用い、供試魚の摂餌状況にあわせて週5～6回、1日2～3回に分けて投与した。4月20日に全個体の体重を測定し、4月23日には10尾をサンプリングし、筋肉の着色状況等を調べた。5月9日から容量5 m³円形FRP水槽へ収容し、約15℃に加温した深層水を注水した。

2007年6月1日に上記の供試魚10尾（以下、深層水B区）と、深層水と表層海水での比較飼育試験終了後に生残した魚のうち深層水A区10尾、表層海水区6尾を、それぞれ容量5 m³円形FRP水槽へ収容し、深層水A区および深層水B区は約15℃に加温した深層水、表層海水区は水温無調整の表層海水をかけ流して飼育した。2007年6月1日の平均体重は深層水A区で 671 ± 541 g、深層水B区で 377 ± 87 gおよび表層海水区で 883 ± 520 gであった。2007年11月29日に全ての生残魚の体重測定を実施し、さらに成熟状況を調べるため触診によって排精および排卵の有無を確認した。2007年11月30日に、排卵が認められた個体と排精が認められた個体の一部を屠殺して筋肉の着色状況を確認するとともに、雌は総卵重を計測し、各個体から100粒程度の卵を抽出して平均卵重を求め、総卵数を推定した。

その後、深層水A区は成熟雌3尾と成熟雄1尾を除いた3尾（成熟雄1尾、未成熟個体2尾）、深層水B区は成熟雄2尾と成長不良個体を除いた4尾（全て未成熟個体）を、それぞれ容量5 m³円形FRP水槽へ収容し飼育を継続した。魚体識別が可能になるよう鰭の一部を切り取り、2008年3月12日以降は同一の水槽に収容して、全ての個体が死亡するまで15℃深層水で飼育を継続した。注水量は毎分15.0～21.0 Lの範囲で調整した。給餌は2007年10月までは週5～6日、それ以降は週3日とし、

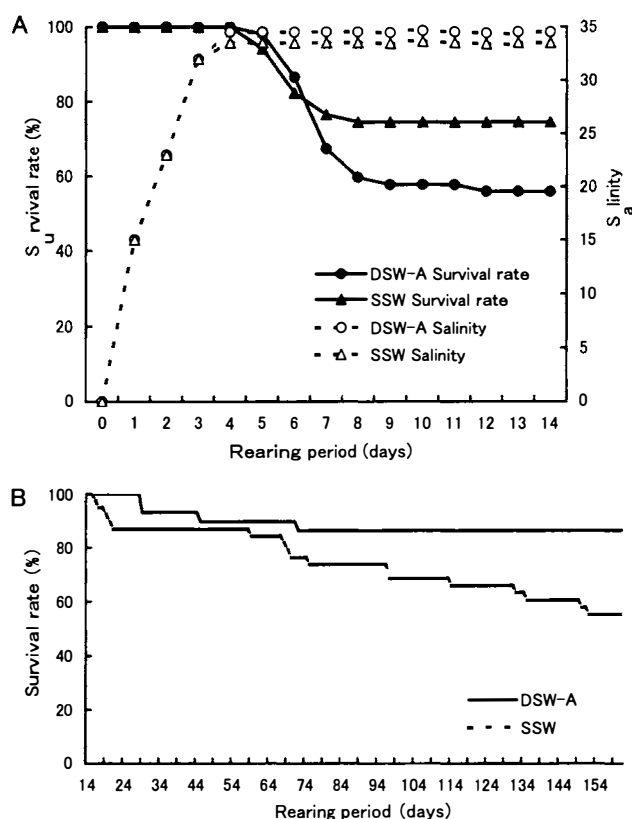


Fig. 1. (A) Daily changes in the survival rate of rainbow trout *Oncorhynchus mykiss* and the salinity in culture water for 14 days from the commencement of the experiment. (B) Daily changes in the survival rate of rainbow trout *Oncorhynchus mykiss* under different seawater from 14 days (after acclimation) to 162 days. Survival rate was reintroduced on the base of each number of the survived fish on the 14th day shown in A. DSW-A: heated deep seawater, SSW: surface seawater

供試魚の摂餌状況に応じて給餌量を調整した。2007年11月29日までの死亡魚は体重、それ以降の死亡魚は尾叉長、体重および生殖腺重量を測定した。死亡魚の外観から疾病が疑われた場合には、外部寄生虫検査として鰭、体表粘液および鰓を検鏡し、細菌検査として内臓よりBHI寒天培地を用いて細菌分離を試みた。

3. 結 果

3.1 深層水と表層海水での比較飼育試験

Table 1に、2006年11月9日から2007年4月20日まで深層水と表層海水で飼育したニジマスの飼育成績をまとめて示した。試験期間は162日で

Table 1. Survival, growth and feed performance of rainbow trout *Oncorhynchus mykiss* reared in deep seawater and surface seawater

Factors		DSW-A	SSW
Experiment period (Duration)		2006.11. 9– 2007. 4.20 (162)	2006.11. 9– 2007. 4.20 (162)
Rearing water ^{*1}		FW – Heated DSW	FW – SSW
Water flow	L/min	0.8~21.0	0.8~21.0
Number of fish reared		52	51
Initial	Body weight ^{*2}	90±36	96±40
	Total weight	4,680	4,871
Number of fish reared		25	21
Final	Body weight ^{*2}	562±278	681±304
	Total weight	14,055	14,297
Water temperature (Average)		13.0~15.3 (14.4)	12.2~16.1 (14.3)
Survival rate		48	41
Amount of feeding		14,480	14,620
Feed conversion efficiency ^{*3}		65	65
Daily growth rate ^{*4}		1.1	1.2

^{*1} FW Dechlorinated tap water
Heated DSW Deep seawater pumped from a depth of 687 m in Suruga Bay at a temperature of 15°C
SSW Surface seawater pumped from a depth of 24 m in Suruga Bay at natural temperature
^{*2} Data show means±S.D.
^{*3} Total body weight gain/Amount of feeding×10²
^{*4} (ln (Average final body weight)–ln (Average initial body weight))/Days×10²

あった。水温は深層水 A 区で 13.0~15.3℃（平均 14.4℃）、表層海水区で 12.2~16.1℃（平均 14.3℃）であった。試験開始から 14 日間の各試験区の生残率の推移を Fig. 1A に示した。試験開始後、塩分が 34 に達するまでの 4 日間は、両試験区とも生残率が 100%であったが、5 日後から死亡個体を確認されるようになり、その後、急激に生残率が低下したが、10 日後には安定した。また両試験区とも試験開始時には活発な摂餌行動が観察されたが、5 日目に塩分が 34 に達してから不活発となり、14 日後以降は再び活発な摂餌活動が確認されるようになった。14 日後の生残率は深層水 A 区で 56%、表層海水区で 75%であった。Fig. 1B に両試験区の 14 日目以降の生残率の推移を示した。ここでは試験開始 14 日後の生残率を 100%として表した。深層水 A 区では試験開始 72 日後に生残率が 86%となったが、その後、死亡した個体はなかった。表層海水区では、試験期間を通じて散発的に死亡個体が発生し、期間中の生残率は 55%に低下した。いずれの死亡魚にも外見上で病魚とみなされるような症状はなかった。通算の生残率は、深層水 A 区で 48%、

表層海水区で 41%であった。深層水 A 区と表層海水区の日間成長率は 1.1%/day と 1.2%/day、飼料効率はともに 65%であった。試験終了時の体重は、深層水 A 区では 562±278 g、表層海水区では 681±304 g であり、個体毎のばらつきが非常に大きく、両試験区の平均体重には統計的に有意な差は認められなかった（t 検定, $P>0.05$ ）。

3.2 成魚までの飼育試験

深層水 B 区の供試魚は試験開始 5 日後に塩分が 34 に達した以降も死亡個体は少なく、52 日後（2007 年 4 月 20 日）までの生残率は 88%と高かった。しかし摂餌が不活発で、52 日後の体重は 383±89 g で、試験開始時からほとんど成長していなかった。

Table 2 に 2007 年 6 月 1 日から 11 月 29 日までの深層水 A、B 各区と表層海水区における飼育成績をまとめて示した。試験期間は深層水 A 区と深層水 B 区で 181 日であったが、表層海水区では 2007 年 7 月 25 日までにすべての個体が死亡したため 54 日であった。水温は、深層水 A 区と深層水

Table 2. Survival, growth and feed performance of rainbow trout *Oncorhynchus mykiss* reared in deep seawater and surface seawater in the adult fish rearing experiment for 181 days after the experiment was initiated

Factors			DSW-A	DSW-B	SSW
Experiment period (Duration)			2007. 6. 1- 2007.11.29 (181)	2007. 6. 1- 2007.11.29 (181)	2007. 6. 1- 2007. 7.25 (54)
Rearing water ^{*1}			Heated DSW	Heated DSW	SSW
Initial	Number of fish reared		10	10	6
	Body weight ^{**2}	g	671±541	377±87	883±520
	Total weight	g	6,708	3,767	5,296
Final	Number of fish reared		7	7	0
	Body weight ^{**2}	g	1,960±946	1290±754	—
	Total weight	g	13,740	9,000	—
Water temperature (Average)			℃	℃	℃
Survival rate			%	%	%
Amount of feeding			g	g	g
Feed conversion efficiency ^{*1}			%	%	%
Daily growth rate ^{*1}			%/day	%/day	%/day

^{*1}See the foot note of Table1

^{**2}Data show means±S.D.

B区で14.4～16.6℃（平均15.2℃および15.3℃）、表層海水区で18.2～22.4℃（平均19.9℃）であった。表層海水区では、6月下旬に水温が19℃を上回ると摂餌量が低下し始め、7月中旬に20℃を上回ると死亡魚が確認され始め、7月23日に期間中の最高である22.4℃に達した2日後に最後の個体が死亡した。また、7月以降の死亡魚には体側の発赤や潰瘍が認められ、細菌検査の結果、ビブリオ属の菌が検出された。深層水A区および深層水B区では、9月までは活発な摂餌が観察されたが、10月から摂餌量が低下し、一部の個体に体色の黒化などの二次性徴が認められた。深層水A区と深層水B区の生残率はともに70％であった。深層水A区の死亡魚の体重は95 g, 170 g, 356 g, 深層水B区では134 g, 145 g, 271 gで、いずれも2007年6月1日の平均体重を下回る成長不良魚であり、試験期間を通じて外見上で病魚とみなされるような個体は出現しなかった。深層水A区と深層水B区の日間成長率は0.6％/dayと0.7％/dayであり、飼料効率はともに55％であった。

Table 3に2007年11月29日の生残魚の体重と成熟状況を示した。個体毎の体重は、深層水A区では0.44 kg～3.35 kg（平均1.96 kg）、深層水B区では0.16 kg～2.33 kg（平均1.29 kg）であっ

た。深層水A区では、7尾中放精個体が2尾、排卵個体が3尾あり、成熟率は71％であった。深層水B区では、7尾中放精個体が2尾で排卵個体はなく、成熟率は29％であった。深層水A区では体重1.50 kg以上の6尾中5尾が成熟していたのに対し、深層水B区では体重1.50 kg, 1.92 kg, 2.33 kgの3尾においても未成熟であった。

Table 4に、排卵個体の採卵数と卵性状の測定結果を示した。採卵個体3尾の体重は1.50～2.26 kg, 採卵重量は122～284 g, 採卵数は2,060～4,650粒、平均卵重は58.5～61.1 mgの範囲にあった。

Table 5に、2007年11月29日以降の個体毎の体重の推移と死亡時の体重、尾叉長および生殖腺重量の測定結果を示した。深層水A区の雄の成熟個体は2008年6月10日まで生残したが体重は次第に減少した。未成熟個体のうち、2007年11月29日の体重が1.54 kgであった個体は、2008年8月29日まで生残したが、体重は次第に減少し、死亡時の解剖の結果、重量1 gの卵巣が確認された。一方、体重が0.44 kgであった個体は、2008年4月26日に1.49 kg, 7月18日には1.94 kgに成長し、解剖の結果、重量52 gの発達途中の精巣が確認され、GSI（Gonad-somatic index 生殖腺重量／体重×10²）は2.8％であった。深層水B区の2007

Table 3. Appearance of mature fishes of rainbow trout *Oncorynchus mykiss* reared in deep seawater

No	DSW-A					DSW-B				
	Body weigh (kg)	Mature fish		Immature fish		Body weigh (kg)	Mature fish		Immature fish	
		Male	Female	Male	Female		Male	Female	Male	Female
1	3.35	○				2.33				○ ^{*1}
2	2.76	○				1.92				○ ^{*1}
3	2.26		○			1.55	○			
4	1.89		○			1.50			○ ^{*2}	
5	1.54				○ ^{*1}	0.80	○			
6	1.50		○			0.74			○ ^{*2}	
7	0.44			○ ^{*1}		0.16			○ ^{*2}	
Average	1.96					1.29				
(%)		71		29			29		71	
		29	43	14	14		29	0		

^{*1}Sex was confirmed by the anatomy on the death day
^{*2}Sex was uncertain

Table 4. Characteristics of eggs of the rainbow trout *Oncorynchus mykiss* matured in deep seawater

No ^{*1}		DSW-A3	DSW-A4	DSW-A6
Sampling date		2007.11.30	2007.11.30	2007.11.30
Body weight	kg	2.26	1.89	1.50
Number of eggs		4,650	2,730	2,060
Average egg weight	mg	61.1	58.5	59.3
Total egg weight	g	284	160	122

^{*1}Individual numbers were same as Table 3.

Table 5. Changes in the body weight of rainbow trout *Oncorynchus mykiss* reared in deep seawater in the adult fish rearing experiment after 181 days and the fork length and gonad weight of dead fishes

Factors	2007.11.29		2008. 4.26		Dead Fish						Remarks
	No ^{*1}	Body weight (kg)	Body weight (kg)	Date	Body weight (kg)	Fork length (cm)	Sex ^{*2}	Gonad weight (g)	GSI ^{*3} (%)	CF ^{*4}	
DSW-A	1	3.35	2.76	2008. 6.10	2.08	54.0	M	ND ^{*5}		13.2	Maaturity confirmed in Nov. 2007
	5	1.54	1.17	2008. 8.29	0.73	44.2	F	1	0.2	8.4	
	7	0.44	1.49	2008. 7.18	1.94	49.0	M	52	2.8	16.5	
DSW-B	1	2.33	3.42	2008.11.10	2.20	58.1	F	304	16.0	11.2	Maaturity confirmed in Feb. 2008
	2	1.92	1.44	2008. 7.12	0.84	48.9	F	133	18.9	7.2	
	4	1.50	—	2007.12.11	1.39	45.2		Tr ^{*6}		15.1	
	6	0.74	0.93	2008. 4.28	0.93	42.0		Tr ^{*6}		12.6	

^{*1}Individual numbers were same as Table 3.
^{*2}F-Female, M-Male
^{*3}Gonado-somatic index: Gonad weight/Body weight×10²
^{*4}Condition factor: Body weight (g)/(Fork length) 3×10³
^{*5}No data
^{*6}Trace (less than 1 g)

年 11 月 29 日の体重が 1.92 kg であった個体は、次第に腹部の膨らみが增大したため、2008 年 2 月 6 日に触診した結果、排卵が確認され 152 g の卵を搾出した。ただし、その後は体重が減少し、2008 年 7 月 12 日に死亡した。一方、2007 年 11 月 29 日に体重が 2.33 kg であった個体は、2008 年 4 月 26 日に 3.42 kg に成長し、外観と触診の結果、成熟の兆候は認められなかった。その後、11 月 10 日まで生残したが体重は 2.20 kg まで減少し、重量 304 g (GSI 16%) の発達した卵巣が確認された。2007 年 11 月 29 日の体重が 1.50 kg と 0.74 kg であった個体は、それぞれ 2007 年 12 月 11 日および 2008 年 4 月 28 日まで生残したが、死亡時にも発達した生殖腺は確認されなかった。

3.3 魚体および筋肉の状態

2007 年 4 月 23 日にサンプリングした深層水 A 区、表層海水区および深層水 B 区の飼育魚の一部の外観および筋肉の状態を Fig. 2 に示した。4 月のサンプリング魚は、いずれの個体においても発達した生殖腺は確認されなかった。外観は各試験区ともに背部が青みを帯び、体側は銀白色で、虹色のバンドは確認できなかった。筋肉は深層水 A 区、表層海水区では色揚げ飼料の影響で朱色に着色されていたが (Fig. 2A, 2B)、深層水 B 区では薄いベージュ色であった (Fig. 2C)。

2007 年 11 月 30 日の雌雄の成熟魚の一部の外観と筋肉の状況を Fig. 3 に示した。雌 (Fig. 3A) の体色は明るく銀白色を呈しており、筋肉は朱色を呈していたが、4 月の未成熟魚と比較すると色が薄かった。一方、雄 (Fig. 3B) は体色の黒化が著しく、筋肉は退色して薄いベージュとなっていた。

4. 考 察

深層水と表層海水での比較飼育試験において、両試験区ともニジマスは順調に成長し、日間成長率および飼料効率は同様な値を示した (Table 1)。ニジマスの飼育に適した水温範囲は 13~18℃とされている (田代ら, 1974)。本試験では水温調整をし

なかった表層海水区の水温も上記の範囲内にあり、平均水温も深層水 A 区と 0.1℃の差であったことから、同様の水温条件であれば、深層水と表層海水の間で成長と飼料効率には差が生じないことが判明した。

海水馴致開始時からの生残率も、深層水 A 区で 48%、表層海水区で 41%と大きな差は生じなかった。両試験区のニジマスは、生残率の推移と摂餌行動の変化から、馴致開始から約 2 週間で海水環境に順応したことが示唆されたが、海水馴致後の生残率は深層水 A 区のほうが表層海水区に比べ高かった (Fig. 1B)。したがって、海水馴致期間中の生残率を改善できれば、深層水飼育による生残率はさらに向上できる可能性がある。岡本・高瀬 (2006) は、平均体重 9.5 g のニジマスを 3 日間かけて 16.5℃に調温した駿河湾深層水へ馴致した際の生残率が 28%であったと報告している。今回、平均体重 90 g のニジマスを用いた深層水 A 区の馴致期間中の生残率は 56%と高かった。表層海水を用いた試験においても、ニジマスの海水に対する抵抗性は魚体の大きさによって異なることが知られている (栗倉, 1962; 北島・佐藤, 1965; Gorie, 1993)。さらに Gorie (1993) は 150 g 以上のニジマスは淡水から海水への直接移動に耐えるとしている。以上から、深層水への馴致においてもより大型の種苗を用いることで生残率を改善できると考えられる。また北島・佐藤 (1965) は、体重約 100 g のニジマスを淡水から $\sigma_{15}10\sim\sigma_{15}18$ (塩分 14.1~24.6 に相当) の汽水に直接移行させ、その後 9 日間で 100%海水にした結果、100%近い生残率が得られたことを報告している。本試験の深層水 A 区では淡水から 100%深層水への移行期間は 4 日間であったことから、馴致期間の延長によっても生残率が改善されるものと考えられる。

岡本・高瀬 (2006) は平均体重 9.5 g のニジマスを駿河湾深層水への馴致後、平均水温 14.7℃で 323 日飼育し、飼育日数 (x) と平均尾叉長 (y) について $y=0.0728x+8.9744$ 、尾叉長 (x) と体重 (y) について $y=0.0152x^{2.9845}$ の関係式を求めている。両関係式から本試験の深層水 A 区の開始

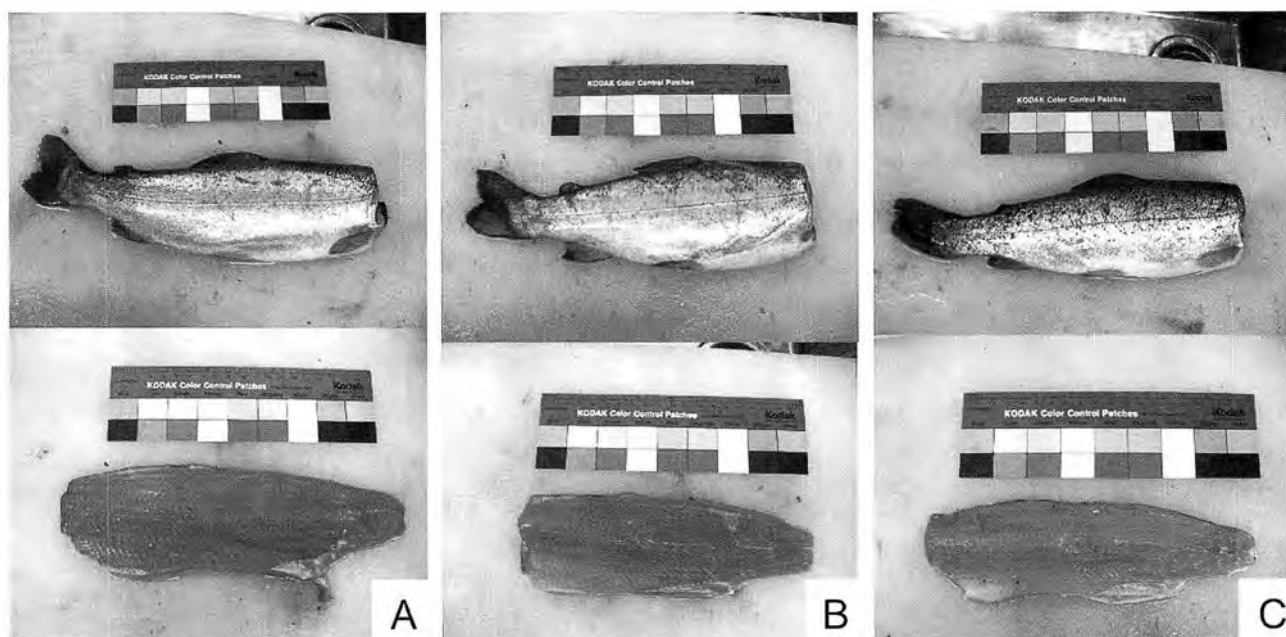


Fig. 2. Outlook of rainbow trouts (top) and their meats (bottom) in three culture experiments. (A) Fish reared in heated deep seawater at a temperature of 15°C during 5 months. (B) Fish reared in surface seawater during 5 months. (C) Fish reared in deep seawater at a temperature of 7°C during 3 months.

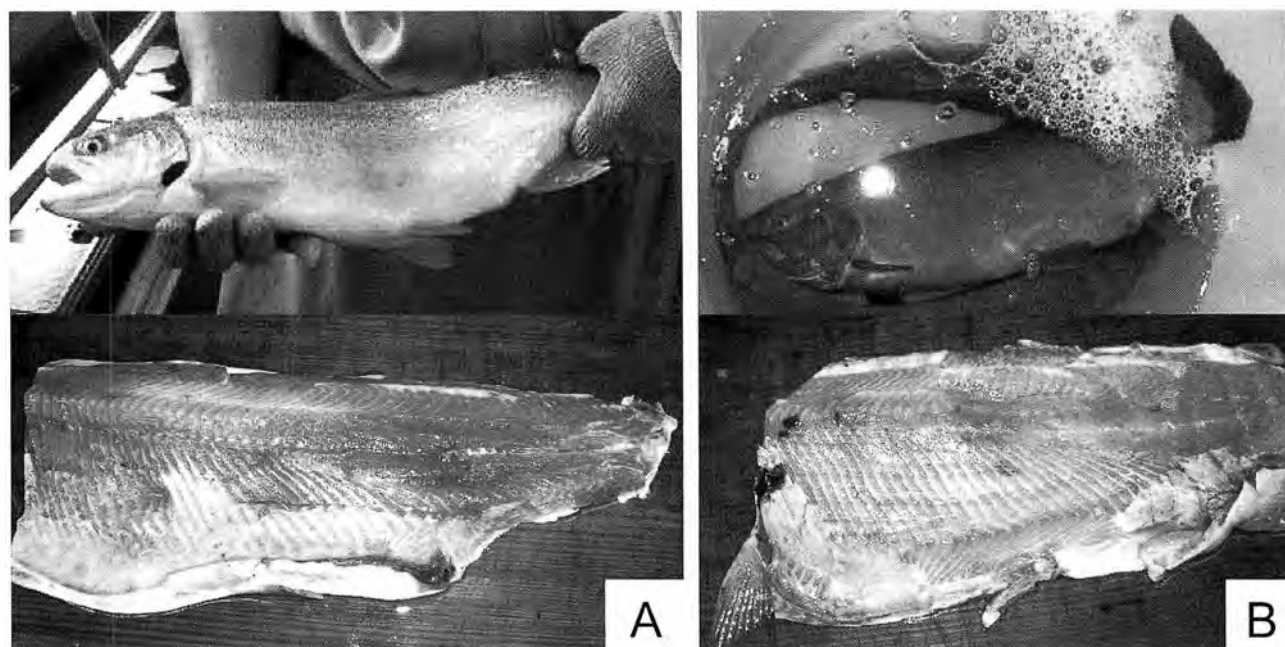


Fig. 3. Matured female (A) and male (B) rainbow trout (top) reared in heated deep seawater at a temperature of 15°C during 12 months (24-month-old) and their meats (bottom).

時平均体重 90 g から終了時平均体重 562 g までの所要日数を求めると 214 日となり、本試験の飼育期間のほうが 52 日短かった。また岡本・高瀬 (2006) の報告では深層水馴致終了時から体重 100 g までの生残率は 55%，平均体重 629 g までの生

残率は 29% であることから、体重 100 g から 629 g までの生残率は 53% と推定される。本試験の深層水 A 区の海水馴致終了時から試験終了時までの生残率は 86% と高かった。したがって、深層水によるニジマス養殖には、体重 10 g 程度の種苗を用

いるよりも体重 90 g 程度の種苗を用いた方が、深層水馴致期間中の生残率、馴致後の成長および生残において有利になると考えられた。

成魚までの飼育試験において表層海水区のニジマスは、22℃を超えた 7 月 25 日までに全ての個体が死亡した。死亡魚からビブリオ属の菌が検出されたことからビブリオ病の発症が死亡要因と考えられるが、山吹 (1972) は海水温度 22~23℃がニジマスの生存可能水温の限界としており、飼育水温からも同時期が表層海水による飼育の限界であったと考えられる。これに対し 15℃に加温した深層水で飼育したニジマスは疾病等による死亡もなく順調に成長した。しかし、深層水 B 区のニジマスは、7℃の深層水で飼育した期間の生残率は高かったものの、摂餌不良で成長しなかった。このことは、駿河湾の水深 687 m から汲み上げた深層水の水質はニジマスの飼育に適している一方で、適温に加温しないと成長が望めないことを示している。

深層水 A 区と深層水 B 区のニジマスは深層水飼育開始後 9~12 ケ月後 (ふ化 24 ケ月後) の秋に成熟個体が出現した (Table 3)。深層水中でのニジマスの成熟については Katase *et al.* (1988) が報告しているが、国内の深層水を用いた試験では初の事例である。青島ら (1998) は富士養鱒場において淡水中で飼育され、9~11 月に成熟したニジマスの採卵量と卵性状を測定し、体重 1.18~3.14 kg の親魚からの採卵重量は 84~322 g、平均卵重は 27.9~72.3 mg、採卵数は 1,802~6,510 粒であったことを報告している。今回、富士養鱒場産のニジマスを用い、平均体重 90 g から深層水中で養成した体重 1.50~2.26 kg の親魚からの採卵成績と卵性状の測定値は、同報告と比べて遜色なかった。また、Katase *et al.* (1988) は、深層水中で成熟したニジマスから採取した受精卵の飼育試験を実施し、発眼まで平均 75%の生残率であったことを報告している。このことは、淡水の利用も可能な施設であれば、深層水による養殖の実施場所において種苗の生産も可能であることを示している。

しかし、ニジマス大型魚の養殖を目的とする場合には、飼育魚の成熟は成長の遅滞によって生産効率

を低下させ、さらに筋肉中の粗脂肪やカロテノイド量の減少など肉質も劣化させるので好ましくない (野田, 1985)。深層水で飼育した本試験の成熟魚、特に雄の成熟魚においても、体色の黒化や筋肉の退色が顕著に認められ (Fig. 3B)、商品価値が大幅に減少すると考えられる。深層水 A 区と深層水 B 区の 2007 年 11 月の成熟状況を比較すると (Table 3)、同様な体重の雌において深層水 A 区は成熟していたのに対し、深層水 B 区は未成熟であった。さらに深層水 B 区では翌年 4 月に 3.4 kg に達した時点においても未成熟の個体があった。ニジマスの初産魚の卵巣の成熟は魚の大きさと密接な関係があり (山本ら, 1965)、大型個体が成熟すると成長が一時停滞するのに対し、成熟しない小型個体は成長し続け、その年に成熟する個体と成熟しない個体の体長は、産卵期前では前者、産卵期後になると後者が大きくなる (加藤, 1975)。深層水 A 区のニジマスは、ふ化後水温約 10℃の淡水で飼育され 2006 年 11 月から約 15℃の深層水で飼育されたのに対し、深層水 B 区のニジマスは 2007 年 2 月までは水温約 10℃の淡水、2007 年 5 月までは水温 7℃の深層水、その後水温 15℃の深層水で飼育された。2007 年 6 月時点の深層水 A 区と深層水 B 区の体重は深層水 A 区のほうが大きかったが、その後摂餌状況に応じて給餌量を調整して飼育を継続した結果、2007 年 11 月までの日間成長率は深層水 B 区のほうが若干高くなった (Table 2)。以上のことから、2007 年 11 月に深層水 B 区の雌が成熟しなかったのは、2006 年 11 月から 2007 年 5 月まで、深層水 A 区より低水温で飼育した影響で卵巣が十分発達せず、15℃の深層水での飼育に移行後は成熟の影響もなく順調に成長したためと考えられる。

本試験では飼育個体数が少ないため、今後さらに飼育事例を増やして検討する必要はあるが、深層水での養殖開始時期や種苗の大きさ、あるいは飼育水温の調整による成長速度の抑制によって、1 歳での雌の成熟を抑制し未成熟のまま体重 3 kg 以上まで養成できる可能性が示された。ニジマスにおいては日照時間の調整によって採卵時期を制御する技術が確立されており (田代ら, 1974)、年間を通じて様々

な大きさの種苗が入手可能である。また、海面生簀での養殖では飼育水温の人為的な制御は不可能であるが、海洋深層水を用いた陸上養殖では、表層海水との熱交換等によって比較的容易に水温のコントロールが可能である。

一方、雄は深層水 B 区においても 2007 年 11 月に成熟魚が確認された (Table 3)。雄は同一の水温で飼育した場合に雌よりも 1 年早く成熟する割合が高いとされ (加藤, 1975)、精巣の成熟と魚の大きさとの関係も雌ほど強くないとされることから (太田ら, 1965)、低水温飼育を実施しても成熟抑制の効果は低いことが予想される。さらに、本試験でも確認されたように成熟魚の肉質は雌より雄のほうが劣る。したがって、深層水で大型魚の生産を行うには雌を選別して用いるか、二次性徴が現れた時点で雄は早期に出荷する必要があると考えられる。

今回、深層水の利用によって、国内でもニジマスの周年海水飼育が可能であることが確かめられ、これによる大型魚の生産に期待が持てた。ニジマスは海水飼育により、淡水飼育と比べて肉質成分が変化し、呈味が向上することが知られている (野田, 1985)。他のサケ科魚類において海水飼育によって総アミノ酸量 (服部ら, 1997) や脂肪酸組成 (Ota *et al.*, 1978) が変化することが知られている。また、マダイ *Pagrus major* では深層水への馴致により、死後硬直の遅延、遊離アミノ酸の増加および物性の向上が誘起され (井上ら, 1998)、ヒラメ *Paralichthys olivaceus* では深層水飼育によって筋肉の水溶性窒素含量が増加し、官能試験で表層水飼育魚より高い評価を得られたことが報告されている (村田ら, 1996)。これらのことから、深層水を用いた大型ニジマスの養成によって既存のものとは呈味の異なる商品の生産が期待される。今後は、成熟によって商品価値が低下する個体の出現割合を減らすための技術開発を進め、深層水を利用した大型ニジマスの生産技術を確立するとともに、淡水あるいは表層海水で飼育したニジマスとの体成分の比較によって、深層水養殖ニジマスの食品としての付加価値を明らかにする必要がある。

謝 辞

ニジマスの入手にご協力頂いた静岡県水産技術研究所富士養鱒場 五十嵐保正前分場長 (現水産技術研究所利用普及部長)、死亡魚の細菌検査を実施していただいた同養鱒場鈴木基生主任、そして試験魚の飼育にご協力頂いた同研究所駿河湾深層水水産利用施設職員の方々に深く感謝いたします。

文 献

- 青島秀治・後藤裕康・植松久男・渡辺 清・阿久津哲也・高野良夫・藤田信一・石高康治 (1998) ニジマス親魚の採卵量調査. 平成 9 年度静岡水試事報, 234-237.
- 栗倉輝彦 (1962) ニジマスの海水に対する抵抗性について (I). 水産孵化場研報, 17, 41-48.
- Gorie, S. (1993) Relationship between Seawater Adaptability and Body Weight in 0+ Landlocked Rainbow Trout. Nippon Suisan Gakkaishi, 59, 487-491.
- 服部克也・白井隆明・神田文雄・鈴木 健・平野敏行 (1997) ホウライマスを雌親とする異質三倍体魚の海水飼育による筋肉エキス成分の変化. 愛知水試研報, 4, 57-63.
- 井上広滋・塩谷 格・三星 亨・森岡克司・伊藤慶明・小畠 渥・佐竹幹雄 (1998) 深層水飼育による養殖魚の品質変化. 海洋深層水 '97-富山シンポジウム講演記録集, 富山県, 117-120.
- Katase, S. A., A. W. Fast and D. K. Barclay (1988) Induced maturation, ovulation, and spawning of rainbow trout, *Salmo gairdneri*, in an OTEC seawater system. OTEC Aquaculture in Hawaii, 132-142.
- 加藤禎一 (1975) ニジマスの成長と再生産諸形質の関係. 淡水区水研研報, 25, 83-115.
- 北島 力・佐藤正明 (1965) ニジマスの海水養殖に関する研究-I ニジマスの海水馴致について. 水産増殖, 13, 29-38.
- Leitritz, E. (1959) Trout and Salmon Culture. Fish. Bull., 107, 1-169.
- 村田 修・高橋範行・亀島長治・矢田 茂・来田秀雄・熊井英水 (1996) 深層水によるヒラメの飼育. Bull. Fish. Lab. Kinki Univ., 5, 125-130.
- 西内修一 (1991) ニジマス, 漁業生物図鑑 北のさかなたち (長澤和也・鳥澤雅編). 北日本海洋センター, 札幌, pp. 58-63.
- 野田宏行 (1985) ニジマスの肉質改善について. 第 10 回養鱒技術協議会要録, 岐阜県, 66-76.

- 岡本一利・高瀬 進 (2006) 海洋深層水で飼育されたニジマス *Oncorhynchus mykiss* の生残および成長. 海
深研, 7, 1-6.
- 太田 勲・山本喜一郎・高野和則・坂口任一 (1965) ニジマスの成熟に関する研究-Ⅱ 1年魚の精巣の発達について. 日水誌, 31, 597-605.
- Ota, T., Takagi, T. and Terao, T. (1978) Changes in Fatty Acid Composition of Masu Salmon, *Oncorhynchus masou* Reared in Sea Water. Bull. Fac. Fish. Hokkaido. Univ., 29, 155-163.
- 鈴木俊哉 (2004) サケ科魚類のプロファイル 5 ニジマス. さけ・ます資源管理センターニュース, 12, 9-10.
- 田代文男・立川 亘・鎌田淡紅朗・田村栄治・青江 弘・矢辺芳治 (1974) 養魚講座 10 ニジマス. 緑書房, 東京, 270 pp.
- 山吹孝司 (1972) ニジマスの海水馴致および海水養成について. 新潟水試研報, 1, 72-80.
- 山本喜一郎・太田 勲・高野和則・石川徹二 (1965) ニジマスの成熟に関する研究-Ⅰ 1年魚の卵巣の発達について. 日水誌, 31, 123-132.
- (2009年8月3日受付; 2009年11月9日受理)