

マスノスケの飼育と全雌魚・性転換雄魚の作出について

高橋一孝

マスノスケ *Oncorhynchus tshawytscha* は英名でキングサーモンとも呼ばれ、サケ属魚類の中で最も大きくなる¹⁾。本邦には殆ど遡上してこないが、北アメリカではゲームフィッシュとして人気が高いという。また、魚体が大きく、脂がのっているため、大きな切り身のサーモンステーキが絶品といわれる²⁾。本種の養殖については北海道立水産孵化場や近畿大学の例があるだけで、国内では極めて少ない状況にある^{3,4)}。当所では、1993 (H5) 年に北海道大学から本種の発眼卵を導入し、将来の育種素材として継代飼育してきたが、利用については殆ど検討してこなかった。近年、信州サーモンに代表されるように新たな養殖対象魚が注目を浴びる中で、当所へも新魚種開発の要望が寄せられている。このため、前報⁵⁾で述べたとおりマスノスケの優良な特性を生かした異質三倍体魚の作出を試みた。しかしながら、原種であるマスノスケの養殖特性については、前述したとおり飼育例が少ないため不明な所が多く、また全雌化を図るためにも、前段として性転換雄魚の作出を行わなければならない。今回、手始めとして染色体操作による雌性発生及び性転換雄魚の作出について検討したので、その結果を報告する。

材料及び方法

当所で飼育しているマスノスケ親魚の過去の採卵状況は表1のとおりである。親魚を継代するだけの採卵のため産卵期は不明瞭であるが、大まかに見ると9月下旬から11月上旬までである。雌は3,4年で成熟産卵し、1尾採卵数は1,350粒、1粒卵重は251.7mgと、他のサケ科魚と比べて卵は極めて大きい。発眼率は31.7%とあまり良くないことが、過去のデータから読み取れる。今回の供試魚は2005 (H17) 年10月27日に採卵し、ふ化させ、飼育したものを用いた。2007年9月25日に取り上げし、2年魚の成熟状況を調べるとともに、前報⁵⁾で報告したとおり成熟雄魚の精子を用いて、ニジマスとの異質三倍体魚(雌雄混合型)を作出した。2008年10月14日に取り上げし、3年魚の成熟状況を調べたが、調査直後酸欠により大量死したため、この魚を用いて魚体測定した(図1,2)。10月26日に採卵した卵(雌3尾混合)を用いて雌性発生を行い、得られたふ化仔魚にメチルテストステロン(以下MTという)を投与し、性転換雄魚の作出を図った(実験1, 図3)。また、2009年10月20日と27日の2回、4年魚の雌親魚から採卵し雌性発生を行うとともに、同様に性転換雄魚の作出を図った(実験2, 図4)。雌性発生は、人工精しょうで希釈し不活性化した精液3ml (UV処理3.5分)を約1,000粒の卵に媒精し受精させた後、10分後に26°C20分間の水温処理をする方法で行った。雄は実験1,2ともマスノスケ(対照区)とニジマス(試験区)の精子を1尾ずつ用いた。性転換はふ化後週2回の頻度で計8~10回、150µg/Lの濃度のMT溶液に8時間浸漬し、さらに浮上後は1mg/1kg飼料のMT飼料を60日間経口投与した。性比は2010年9月1日に魚を解剖して生殖腺を取り出し低倍率で検鏡し、生殖腺に卵母細胞が見える個体を雌、見えない糸状の個体を雄、両方が混じった個体を間性と判定した。5年魚は2010年10月22日に3尾取り上げた(図6,7)。

飼育は、0年魚は26×40×有効水深16cm (16.6L)と64×44×同23cm (65L)のプラスチック水槽で、1年魚は屋内コンクリート池(1.5×4.6×0.45m)、2年魚は屋外コンクリート池(1.5×9.0×0.56m, 3.0×9.5×0.55m)で行った。稚魚の給餌は、市販の配合飼料を自動給餌器(フードタイマー)で1日6回適量行い、成魚は手撒きにて1日3回行った。飼育水温は周年12°Cの地下水を掛け流す流水式とした。

表1 過去の採卵状況

年度	年魚 (才)	採卵期間	1尾採卵数 (粒)	1粒卵重 (mg)	発眼率 (%)
1996	3	10/21-29	400	185.4	27.3
1997	4	9/22-10/21	1,400	309.9	57.9
1999	3	10/15-29	1,400	224.8	34.8
2002	3	10/28-11/6	1,300	260.3	25.0
2003	4	10/27	2,200	314.2	9.6
2005	3	10/27	1,400	215.3	35.7
平均			1,350	251.7	31.7

結果及び考察

2年魚

2007年9月25日に2年魚の成熟状況を調査したところ、成熟した魚は雄魚のみで、雌魚は出現しなかった。雄魚の大きさは平均201g、GSIは12.8%であった(表2)。成熟状況が不明であったので、参考までに2010年12月28日に2年魚の成熟状況を調査したところ、9.1%の成熟雄魚が出現し、2007年度の結果と同様であった。成熟雄魚の体色は黄土色となり、大きさは88.7gと2007年度よりさらに小さかった(表3)。成熟状況は他のサケ科魚と同じように雄の早熟傾向が見られた。本種の飼育観察によると、ヒメマスと同様に回遊性が強く、円形池での飼育が適しているものと判断された。また、ニジマスとは異なり野性味が強く、警戒心(足音に対する敏感さ)もヒメマスとサクラマスの間程度であった。

表2 魚体測定(2年魚)

個体No.	BW(g)	GW(g)	性別	GSI(%)
1	136	14	雄	10.3
2	262	38	雄	14.5
3	206	28	雄	13.6
平均	201			12.8

表3 魚体測定(2年魚)

区分	未熟魚	成熟雄魚	合計
尾数(尾)	110	11	121
尾数割合(%)	90.9	9.1	100
平均体重(g)	113.2	88.7	111.0
総重量(kg)	12.45	0.98	13.43

3年魚

2008年10月14日における3年魚の成熟状況を表4に示す。446尾取り上げ、成熟雄魚は43.9%、成熟雌魚は9.9%出現し、雌は3年で初めて成熟した。その後酸欠により63尾(斃死率14.1%)死亡させたが、成熟状況は取り上げ魚とほぼ同じであった(表5)。へい死魚の一部を測定したところ、大きさは全長35.8cm、体長31.2cm、体重613gで、成熟雄のGSIは平均6.1%であった。雌魚には未熟魚も混じっていた(表6)。雌魚と雄魚の間には体重、体長、肥満度とも統計的な有意差はなかった(t検定、 $p>0.05$)。採卵後成熟魚は除去し、未熟魚のみ(178尾)飼育を続けた。

表4 3年魚の成熟状況

区分	取上尾数 (尾)	比率 (%)
未成熟魚	206	46.2
成熟雌魚	44	9.9
成熟雄魚	196	43.9
合計	446	100.0

表5 斃死状況

区分	斃死尾数 (尾)	比率 (%)
未成熟魚	28	44.4
成熟雌魚	3	4.8
成熟雄魚	32	50.8
合計	63	100.0

表6 魚体測定(3年魚)

項目	TL(cm)	BL(cm)	BW(g)	肥満度	GSI(%)	
					成熟雄	雌 ※
平均値	35.8	31.2	613	19.81	6.1	3.2
最大値	39.0	34.3	880	22.46	7.3	12.5
最小値	29.8	26.0	366	16.67	5.1	0.2
標準偏差	2.5	2.1	148	1.67	0.7	5.0
測定数	29	29	29	29	9	6

※一部未熟魚を含む

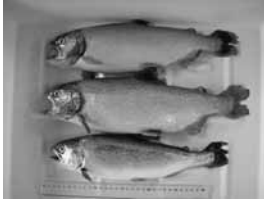


図1 3年魚斃死魚 (2008.10.15)



図2 生殖腺 (同左)



図3 3年魚雌 (2008.10.26 採卵)

4年魚

4年魚の成熟状況については調査しなかった。採卵した4年雌魚の魚体測定結果を表7に示す。平均体長は39.4cm, 平均体重は1,244g, 肥満度は20.0であった(図4)。雄魚は測定しなかった。採卵後成熟魚は除去し、未熟魚のみ(尾数不明)さらに飼育を続けた。

表7 魚体測定 (4年雌魚)

項目	TL(cm)	BL(cm)	BW(g)	肥満度
平均値	44.4	39.4	1,244	20.0
最大値	50.0	44.2	1,826	22.5
最小値	39.0	34.1	838	16.9
標準偏差	2.7	2.5	272	1.4
測定数	21	21	21	21



図4 4年魚雌 (2009.10.20)

5年魚

生残した3尾は産卵しなかったため解剖したところ、全て雌魚であった(表8)。平均体長は40.1cm, 平均体重は1,143g, 肥満度は17.3であった。GSIは1.1%と低く、一部産卵している個体も見られ、採卵適期を逃したものと考えられた。

表8 魚体測定 (5年雌魚)

項目	TL(cm)	BL(cm)	BW(g)	肥満度	GSI(%)
平均値	45.0	40.1	1,143	17.3	1.1
最大値	49.0	43.5	1,508	18.3	1.2
最小値	42.2	37.5	816	15.5	2.4
標準偏差	3.6	3.1	348	1.6	0.4
測定数	3	3	3	3	3



図5 マスノスケ5年魚 (2010.10.22)



図6 同生殖腺 (2010.10.22)

次に、既往の文献と比較する。近畿大学では河川水(4.5~19.6℃)で飼育したところ1年魚106g, 2年魚522gに成長し、2年10月で全て斃死した。成長は極めて良好ではあったが、夏季の高水温時に減耗が多かった。雄は2年で成熟する個体が出現したが、雌の産卵個体はなかったと述べている⁴⁾。一方、北海道では湧水(5~14℃)で飼育したところ1年魚5.3g, 2年魚43.4g, 3年魚356g, 4年魚1,420g, 5年魚1,730gに成長し、4年魚で成熟した雄魚が15.7%出現したが、雌魚は成熟しなかった。また、5年魚で成熟した雌魚が出現したが、3割程度未熟魚が出現したという⁶⁾。当所の結果では、成熟雄魚は2年、成熟雌魚は3年魚から出現するので、後者の事例に比べると1年早かった。この違いは水温差による成長の違いが主な原因と考えられる。

雌性発生・性転換

3年魚の雌性発生の結果を表9に示す。対照区(cont1)の発眼率及び正常ふ化率はそれぞれ25.2%、8.4%と低く、卵質に問題があったものと考えられた。cont2及び3n区はふ化しなかった。G1n区は15.7%と発眼したが、ふ化はしなかった。一方、G2n区は、発眼率は平均5.3%、ふ化率は0.6%と低率で、5尾のふ化稚魚が得られただけであった。

次に、4年魚の雌性発生の結果を表10,11に示す。1回目の雌性発生では、対照区の発眼率は48.8%、正常ふ化率44.9%と高く、卵質は良好であったと判断された。雌性発生区の発眼率は4.7~14.3%で、合わせて209尾(6.7%)のふ化稚魚が得られた。一方、2回目では、対照区の発眼率が19.8%、正常ふ化率15.3%と1回目より低く、卵質に問題があったものと考えられた。雌性発生区の発眼率は0.9~5.4%で、合わせて38尾(1.5%)のふ化稚魚が得られた。雌性発生魚の餌付け開始時期は通常魚より4~7日遅れる傾向にあった。ふ化稚魚はその後標識して1群にし、飼育を続けた。

性比の調査及び魚体測定結果を表12,13に示す。3年魚で作出した稚魚(5尾)は途中ですべて斃死したため、調査できなかった。一方、4年魚で作出した稚魚は2010年9月1日に20尾調べたところ、生殖腺は糸状で雄魚と推定され、性転換率は100%であった(図7)。したがって、マスノスケは本方式で性転換雄魚を作出できることが明らかになった。なお、生残魚の55尾は今後成熟期(2011年秋季)の生殖腺の状況について引き続き調査を行う予定である。

表9 雌性発生(2008.10.26)

試験区	供試卵数 (粒)	発眼卵数 (粒)	発眼率 (%)	ふ化尾数 (尾)	正常 ふ化率 (%)
cont1	83	21	25.3	7	8.4
cont2	80	4	5.0	0	0.0
3n	70	0	0.0	0	0.0
G1n	70	11	15.7	0	0.0
G2n-1	389	22	5.7	5	0.6
G2n-2	401	19	4.7		

cont1:雄マスノスケ×雌マスノスケ、cont2:雄ニジマス×雌マスノスケ、3n:雄ニジマス×雌マスノスケ
G1n:半数体、G2n:雌性発生

表10 雌性発生1回目(2009.10.20)

試験区	供試卵数 (粒)	発眼卵数 (粒)	発眼率 (%)	ふ化尾数 (尾)	正常 ふ化率 (%)
cont1	443	216	48.8	199	44.9
G1n	320	60	18.8	1	0.3
G2n-1	454	55	12.1		
G2n-2	470	67	14.3		
G2n-3	438	62	14.2		
G2n-4	423	27	6.4	209	6.7
G2n-5	452	53	11.7		
G2n-6	454	27	5.9		
G2n-7	445	21	4.7		

採卵:10月20日、検卵:11月17日、ふ化:12月14日

表11 雌性発生2回目 (2009.10.27)

試験区	供試卵数 (粒)	発眼卵数 (粒)	発眼率 (%)	ふ化尾数 (尾)	正常 ふ化率 (%)
cont1	484	96	19.8	74	15.3
G1n	345	10	2.9	0	0.0
G2n-1	271	7	2.6		
G2n-2	278	8	2.9		
G2n-3	298	8	2.7		
G2n-4	302	7	2.3	38	1.5
G2n-5	289	4	1.4		
G2n-6	286	7	2.4		
G2n-7	276	15	5.4		
G2n-8	565	5	0.9		

採卵：10月27日、検卵：11月 日、ふ化：12月16日



図7 マスノスケ性転換雄魚 (2010.9.1)

表12 性比調査(2010.9.1)

調査数 (尾)	雄魚 (尾)	雌魚 (尾)	性転換率 (%)
20	20	0	100

表13 0年魚の魚体測定 (2010.9.1)

項目	TL(cm)	BL(cm)	BW(g)	肥満度
平均値	12.8	11.1	18.5	13.5
最大値	13.5	11.7	21.1	14.6
最小値	12.1	10.6	15.4	12.6
標準偏差	0.4	0.3	2.0	0.7
測定数	10	10	10	10

通常群

3年魚及び4年魚の採卵成績をそれぞれ表14,15に示す。3年魚の発眼率は4.7, 11.5%と前述したとおり低率であった。採卵開始時期の遅れが主な原因と考えられた。2回の浮上尾数の合計は290尾で、浮上率は3.8%であった。一方、4年魚の発眼率は14.9%, 正常ふ化率11.7%と過去の成績と比べてもさらに低く、1,308尾のふ化稚魚が得られたただけであった。1尾採卵数は400~700粒で過去の採卵成績と比べてかなり少なかったが、親魚の大きさは例年並みであったことから、この原因については不明である。また、1粒卵重は240~324mgで、年級が増すにつれて大型化する傾向にあった。北海道立水産孵化場では、4年魚と5年魚の採卵成績を比べると、5年魚の方が発眼率、ふ化率が高く、卵径も大きかったという⁶⁾。当所の結果も同様であった。1尾採卵数は5年魚で平均1,360(922~2,259)粒と、当所の4年魚(700粒)と比べても多い傾向にあった。当所の過去の発眼率は平均で31.7%と低く、今回の2回の採卵でも15%以下であったので、当所の飼育水温(12℃)の影響が大きいものと考えられる。産卵期は、北海道立水産孵化場では10月中旬から11月中旬であったのに対し、当所では9月下旬から11月上旬と、当所の方が3週間程度早い傾向にあった。

減耗要因については、北海道立水産孵化場では1,2年魚の春季に斃死が多いとし、水カビの付着、白内障の発生や銀毛(スモルト)に伴う生理障害を疑っている。また、池替え作業での脱鱗による斃死も多いという^{3,6)}。当所では保有する親魚数を毎回200~300尾と最小限にし、魚体測定も頻繁には行っていないので、大量斃死は観察されていないが、それでも春季のスモルト時期には脱鱗現象が見られるため、取り扱いには注意を払っている(図8)。

表14 3年魚の採卵成績 (2008. 10. 24, 26)

採卵回次	採卵尾数 (尾)	1尾採卵数 (粒)	1粒卵重 (mg)	採卵数 (粒)	発眼卵数 (粒)	発眼率 (%)	浮上尾数 (尾)	浮上率 (%)
1	10	452	313	4,521	214	4.7	290	3.8
2	8	388	240	3,101	358	11.5		

浮上尾数は1,2回分を混合した。

表15 4年魚の採卵成績 (2009. 10. 27)

採卵尾数 (尾)	1尾採卵数 (粒)	1粒卵重 (mg)	採卵数 (粒)	発眼卵数 (粒)	発眼率 (%)	ふ化尾数 (尾)	正常 ふ化率 (%)
16	698	323.5	11,174	1,662	14.9	1,308	11.7

0年魚及び1年魚の成長を図9,10,11に示す。0年魚の成長は、通常魚より雌性発生魚の方が良好であった。これは飼育密度の違いによるものと考えられた。

今後性転換雄魚の成熟を待ち、全雌魚の生産が可能か検討する必要がある。

表16 取上尾数 (2009年度)

採卵日	区分	12月25日	1月18日	2月9日	3月29日	4月22日	6月23日	9月1日	11月12日
10月20日	通常魚	199	184	181	148	147	136	115	110
10月27日	通常魚	1,308	1,307	未測定	1,275	1,049	534	処分 ※	
10月20日	雌性発生	209	110	103	79	87	82	75	47
10月27日	雌性発生	38	12	9	8				

※魚病発生のため殺処分とした。

※雌性発生魚は3月29日以降標識して混養飼育とした。

表17 平均体重の変化 (2009年度)

採卵日	区分	12月25日	1月18日	2月9日	3月29日	4月22日	6月23日	9月1日	11月12日
10月20日	通常魚		0.94	2.08	3.93	5.29	9.62	13.76	15.90
10月27日	通常魚	未測定	0.68	0.82	1.39	1.66	3.38	処分 ※	
10月20日	雌性発生		1.15	2.54	6.28	7.18	13.9	17.52	28.0
10月27日	雌性発生		0.68	2.00	6.25				



図8 1年魚 (2010.4.12)

鱗の先端が顕著に黒化している

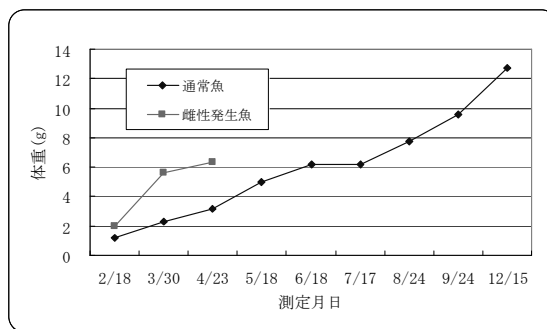


図9 0年魚の成長 (2008年採卵群)

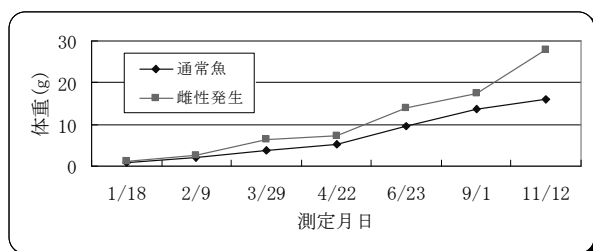


図10 0年魚の成長 (2009年採卵群)

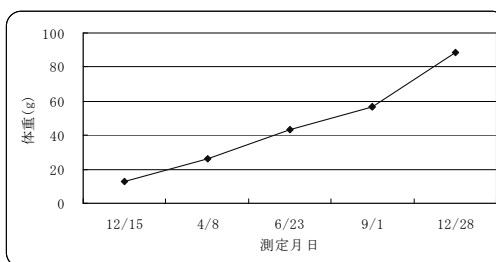


図11 1年魚の成長 (2008年採卵群)

要 約

1. 新たな養殖対象魚種としてマスノスケの利用を図るため、染色体操作による雌性発生及び性転換雄魚の作出について検討した。
2. マスノスケは、雄魚は2年魚、雌魚は3年魚で初めて成熟した。
3. 平均体重は2年魚で200g、3年魚で600g、4年魚で1,200gに達した。
4. 1尾採卵数は3年魚400~450粒、4年魚700粒、1粒卵重は3年魚240~313mg、4年魚324mgであった。発眼率は4.7~14.9%と低率であった。
4. 4年魚親魚から採卵した卵で雌性発生したところ、最高6.7%の正常ふ化率を示し、合計247尾のふ化稚魚が得られた。
5. 性転換雄魚作出のためMT投与を試みたところ、9月1日時点で75尾の稚魚(平均体重18.5g)が得られ、このうち20尾中20尾が雄魚であった。
6. 今後性転換雄魚の成熟を待ち、全雌魚の生産が可能か検討する必要がある。

文 献

- 1) 川那部浩哉・水野信彦・細谷和海(1989)：日本の淡水魚．山と溪谷社，東京，334-338.
- 2) 長澤和也・鳥澤雅 (1991)：24 マスノスケ．漁業生物図鑑，北のさかなたち.(株)北日本海洋センター，札幌市，80-81.
- 3) 寺尾俊郎・松本春義・岡田鳳二・斉藤清造 (1973)：マスノスケの淡水及び海水飼育試験．北海道立水産孵化場研究報告第28号，23-39.
- 4) 大家正太郎・清水壽一・堀川芳明・山本慎一・中村元二(1984)：マスノスケの淡水及び海水飼育．近畿大学水産研究所報告，No.2，129-142.
- 5) 高橋一孝(2009)：サケ科魚類の新しい養殖対象種について—ニジノスケ・サクラヒメ異質三倍体の作出—．山梨県水産技術センター事業報告書，第36号，1-5.
- 6) 北海道立水産孵化場(1978)：マスノスケの種苗生産研究．昭和52年度事業成績書，206-214.