

アマゴの育種に関する研究—V

パー系（河川残留型）作出のための各産地系統の特性について

後藤 功一

Studies on the Breeding of Amago
Salmon, *Oncorhynchus masou ishikawae*- VCharacteristics of the Local Strains of Amago
Salmon for Produced Fluvial Form

Kouichi GOTOH

前報^{1) 2) 3)}から、同一起源の親魚群より選抜育種（相分化時期におけるパー、スモルト型が選抜指標）し、作出したパー及びスモルト系統について特性評価を行った結果、スモルト系育種については選抜方法及び系統の確立ができたものと考えられるが、パー系育種についてはいくつかの問題点が示唆された。このことは、両系統の作出に用いた母集団が養殖用種苗として雌親魚を効率的に確保するため（スモルト中に占める雌雄比を調べると絶対的に雌の比率が高い⁴⁾）にスモルトの選抜を行った集団であり、スモルト化形質の発現しやすい特性を持っていたと考えられ、選抜を行う母集団の遺伝的背景が重要であることが示唆された。

本報告は、パー系育種について再検討を行うため、新たに導入した各産地系統について特性評価を行い、パー系作出のための育種素材としての有用性について検討した。

本研究は、水産庁水産業振興事業調査等委託事業、新品種作出基礎技術開発研究の一部として実施された。

材料及び方法

供試魚は、スモルト選抜を加えていないと思われる愛媛、三重、山梨、岐阜産アマゴの4系統を用い、アイソザイム遺伝子を標識とし、遺伝的変異性について調査した。各系統の起源及び計量形質について第1表に示した。取り上げ直後の供試魚から、筋肉、肝臓を摘出し分析までの間-30℃で保存した。アイソザイムの検出は、各組織の解凍ドリップを用い、水平式デンブengel電気泳動法⁵⁾に依った。ゲル濃度は10%とし、クエン酸-N-(3-アミノプロピル)モルホリン (pH7.0) 緩衝液を用い、定電流 (4 mA/cm²) とした。第2表に分析した酵素、使用した組織、推定された遺伝子座を示した。遺伝子座及び対立遺伝子の推定については、藤尾ら⁶⁾によ

るサクラムス類の分析結果を参考にした。

また、上記の各産地系統（愛媛、三重、山梨産アマゴ）の遺伝的的特性評価と1994年5月から12月にかけて、同一環境条件下で行った特性評価（成長、相分化）⁷⁾との結果を基に、パー系作出のための育種素材としての有用性について検討した。（ただし、遺伝的的特性の調査で供試した岐阜系は、上記3系統と年産が異なるため除外した。）

結果及び考察

1. 各産地系統の遺伝的的特性の把握

アイソザイム分析の結果は、第2表に示すように10酵素の泳動像から26遺伝子座が推定され、そのうち*Gpi-3*、

第1表 各系統の起源及び計量形質

系 統	起 源 及 び 履 歴	採 集 時 期	調 査 個 体 数	被 鱗 体 長 (cm) (平均±S.D)	体 重 (g) (平均±S.D)
愛 媛 系	愛媛県内の河川産の天然アマゴより事業化、1993年に発眼卵で導入	1994年12月15日	50尾	17.2±2.7	76.6±31.0
三 重 系	三重県宮川（宮川水系）産の天然アマゴより事業化、1993年に発眼卵で導入	1994年12月15日	50尾	15.7±2.4	54.3±23.1
山 梨 系	山梨県佐野川（富士川水系）産の天然アマゴより事業化、1993年に発眼卵で導入	1994年12月15日	50尾	16.1±2.2	57.1±20.8
岐 阜 系	岐阜県飛騨川水系の天然アマゴより事業化、1995年成魚で導入	1995年8月17日	50尾	17.3±0.5	78.1±12.1

Idh-1,2、*Ldh-3・4*、*Mdh-1*、*Me-2*、*Pgm-1*、*Pgm-3*の7遺伝子座（*Idh-3・4*、*Ldh-1・2*は2つ遺伝子座が重複していると考えられ、これらの酵素の変異がどちらの遺伝子座の対立遺伝子によるものか判断できなかったため、一つの遺伝子座とした。）で変異が認められた。ただし、これらの中で、愛媛系は*Me-2*、三重系は*Gpi-3*、*Pgm-1*、岐阜系では*Me-2*が単型であった。また、サクラマス（ヤマメ）とアマゴの遺伝的差異について、*Pgm-1*遺伝子座のA対立遺伝子頻度がアマゴで高く、サクラマス（ヤマメ）で低いという報告がある⁶⁾。本試験で用いたアマゴ4系統の結果も、A対立遺伝子頻度が高い傾向を示した。

各系統間において遺伝的分化の程度を知るため、変異の認められた7遺伝子座の遺伝子頻度の差の検定（*t*-検定）を行った（第3表）。各系統間で有意差（ $P < 0.05$ ）の認められなかった遺伝子座は*Pgm-1*のみであった。しかし、その他の遺伝子座では、各系統間で少なくとも3遺伝子座以上で有意差（ $P < 0.05$ ）が認められたことから、それぞれ遺伝的に独立した集団であると考えられた。

各系統において変異の認められた遺伝子座（*Idh-3・4*、*Ldh-1・2*遺伝子座を除く）のそれぞれの表現型頻度（観察値）がHardy-Weinbergの平衡式に基づく遺伝子型頻度（期待値）と矛盾しないかを χ^2 検定によって検定したところ、各系統とも観察値と期待値とがよく一致しており、各系統はそれぞれHardy-Weinbergの法則に従ったメンデル集団であると考えられた（第4表）。

各系統間の遺伝的類縁関係を知るため、Neiの公式⁸⁾により、集団間の遺伝的距離を求め（第3表）、さらに、各系統の遺伝的類縁関係を第1図に示した。各系統間の遺伝距離は、平均0.007936（0.002809～0.013127）となり、遺伝的類縁関係から、愛媛、三重系と山梨、岐阜系の2つのグループに分けられた。Neiの遺伝的距離0.01を地方品種の分化の基準値とすると、愛媛と三重系の間では0.002809、山梨と岐阜系の間では0.006557と、地方品種以下の分化であった。両グループ間の遺伝距離は、0.009564とおよそ地方品種の分化程度であった。アマゴと近縁であるサクラマスについて、Okazakiによれば、天然サクラマスのアイソザイム分析結果から調べた河川間の遺伝距離の平均は、0.0028であると報告され⁹⁾、藤尾らによれば、養殖集団間の遺伝距離の平均は、0.0050であると報告されているように⁶⁾、養殖集団においては、継代飼育の過程で遺伝的分化が促進される傾向が強いことが伺われる。今回の結果では、アマゴ養殖集団間の平均は、0.007936とサクラマス養殖集団間より遺伝的分化が大きいことが示された。天然アマゴにおけるアイソザイム分析の報告はほとんどないが、近縁の天然サクラマス集団のものとそれ程異なるとは考えにくく、各地域集団の遺伝的組成の違いというよりも、継代飼育の過程で遺伝的分化が進んだ可能性の方が強いと考えられた。

各系統の遺伝的変異性について、第5表に示した。その検討には、*Idh-3・4*、*Ldh-1・2*を除く10酵素24遺伝子座を用いた。その結果、平均ヘテロ接合体率の期待値（*He*）は平均0.033（0.030～0.034）であり、これらの変

第2表 調査したアイソザイムに見られた遺伝的変異

酵素	組織	遺伝子座	対立遺伝子	愛媛系	三重系	山梨系	岐阜系
α G P D	筋 肉	<i>α Gpd-1</i>	A	1.000	1.000	1.000	1.000
		<i>α Gpd-2</i>	A	1.000	1.000	1.000	1.000
		<i>α Gpd-3</i>	A	1.000	1.000	1.000	1.000
G P I	筋 肉	<i>Gpi-1</i>	A	1.000	1.000	1.000	1.000
		<i>Gpi-2</i>	A	1.000	1.000	1.000	1.000
		<i>Gpi-3</i>	A	0.080	0	0.090	0.200
			B	0.920	1.000	0.910	0.800
		<i>Gpi-4</i>	A	1.000	1.000	1.000	1.000
I D H	筋 肉	<i>Idh-1</i>	A	1.000	1.000	1.000	1.000
		<i>Idh-2</i>	A	1.000	1.000	1.000	1.000
		<i>Idh-3•4</i>	A	0.005	0	0.180	0
			B	0.685	0.440	0.520	0.695
			C	0.310	0.560	0.255	0.305
			D	0	0	0.045	0
L D H	筋 肉	<i>Ldh-1•2</i>	A	0.105	0.255	0.115	0.365
			B	0.895	0.745	0.885	0.635
		<i>Ldh-3</i>	A	1.000	1.000	1.000	1.000
		<i>Ldh-4</i>	A	1.000	1.000	1.000	1.000
		M D H	筋 肉	<i>Mdh-1</i>	A	0.020	0
B	0.980				0.980	0.930	0.770
C	0				0.020		
<i>Mdh-2</i>	A			1.000	1.000	1.000	1.000
<i>Mdh-3</i>	A			1.000	1.000	1.000	1.000
<i>Mdh-4</i>	A			1.000	1.000	1.000	1.000
M E	筋 肉			<i>Me-1</i>	A	1.000	1.000
		<i>Me-2</i>	A	0	0.150	0.120	0
			B	1.000	0.850	0.880	1.000
		<i>Me-3</i>	A	1.000	1.000	1.000	1.000
O D H	肝 臓	<i>Odh</i>	A	1.000	1.000	1.000	1.000
6 P G D	肝 臓	<i>6pgd</i>	A	1.000	1.000	1.000	1.000
P G M	肝 臓	<i>Pgm-1</i>	A	0.980	1.000	0.980	0.990
			B	0.020	0	0.020	0.010
		<i>Pgm-2</i>	A	1.000	1.000	1.000	1.000
		<i>Pgm-3</i>	A	0.490	0.590	0.840	0.930
			B	0.510	0.410	0.160	0.070
			C	0	0	0	0
		S O D	肝 臓	<i>Sod</i>	A	1.000	1.000

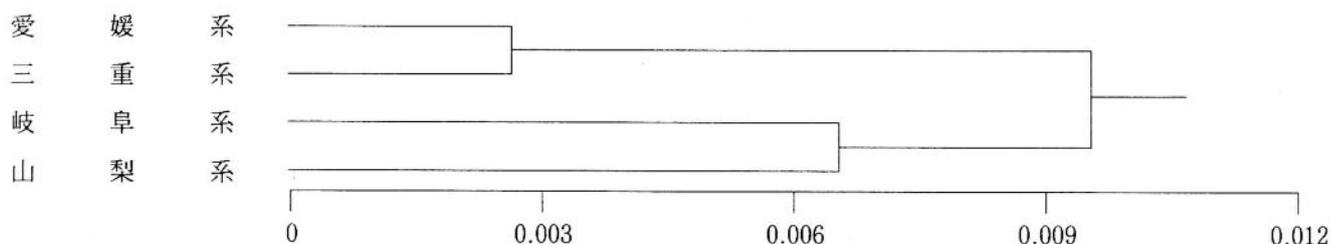
第3表 各系統間で遺伝子頻度に有意差の認められた遺伝子座数* (上段)と遺伝的距離(下段)

			愛媛系	三重系	山梨系	岐阜系
愛媛系					3	4
三重系			0.002809		4	6
山梨系			0.007008	0.006153		6
岐阜系			0.013127	0.011962	0.006557	

* : 危険率5%で有意差の認められた遺伝子座の数

第4表 各系統のアイソザイム多型における観察値と期待値の差の χ^2 値

			<i>Gpi</i> -3	<i>Mdh</i> -1	<i>Me</i>	<i>Pgm</i> -1	<i>Pgm</i> -3
愛媛系			0.509	1.941	-	0.103	0.320
三重系			-	1.941	1.530	-	0.670
山梨系			0.422	0.278	0.929	0.103	0.127
岐阜系			3.125	0.098	-	-	1.994



第1図 各系統の遺伝的類縁関係

異水準は同程度と考えられた。一方、サクラマス養殖集団の平均ヘテロ接合体率は、0.023から0.074で平均0.050という報告がある⁶⁾。今回の試験結果と比較すると、各系統の変異水準は、この報告の値に比べやや低い値であった。

平均ヘテロ接合体率の観察値 (H_o) と期待値 (H_e) の比 (H_o/H_e) は、1より低ければ検出した遺伝子座のホモ過剰の傾向を示し、高ければヘテロ過剰を示し、遺伝的な平衡状態が乱れている場合の指標となるものであるが、今回検出した遺伝子座では、0.973 ~ 1.091と1に近い値を示し、各系統についてはホモ過剰、ヘテロ過剰の傾向は認められなかった。

以上のことから、今回検出した遺伝子座において、各系統とも変異水準は同程度であり、遺伝的な平衡状態が保たれている集団であると考えられ、パー系育種を行うための育種素材として、各系統は適正であることが示唆された。

2. 育種素材としての有用性の検討

上記、各産地系統の遺伝的特性評価の結果から、各系

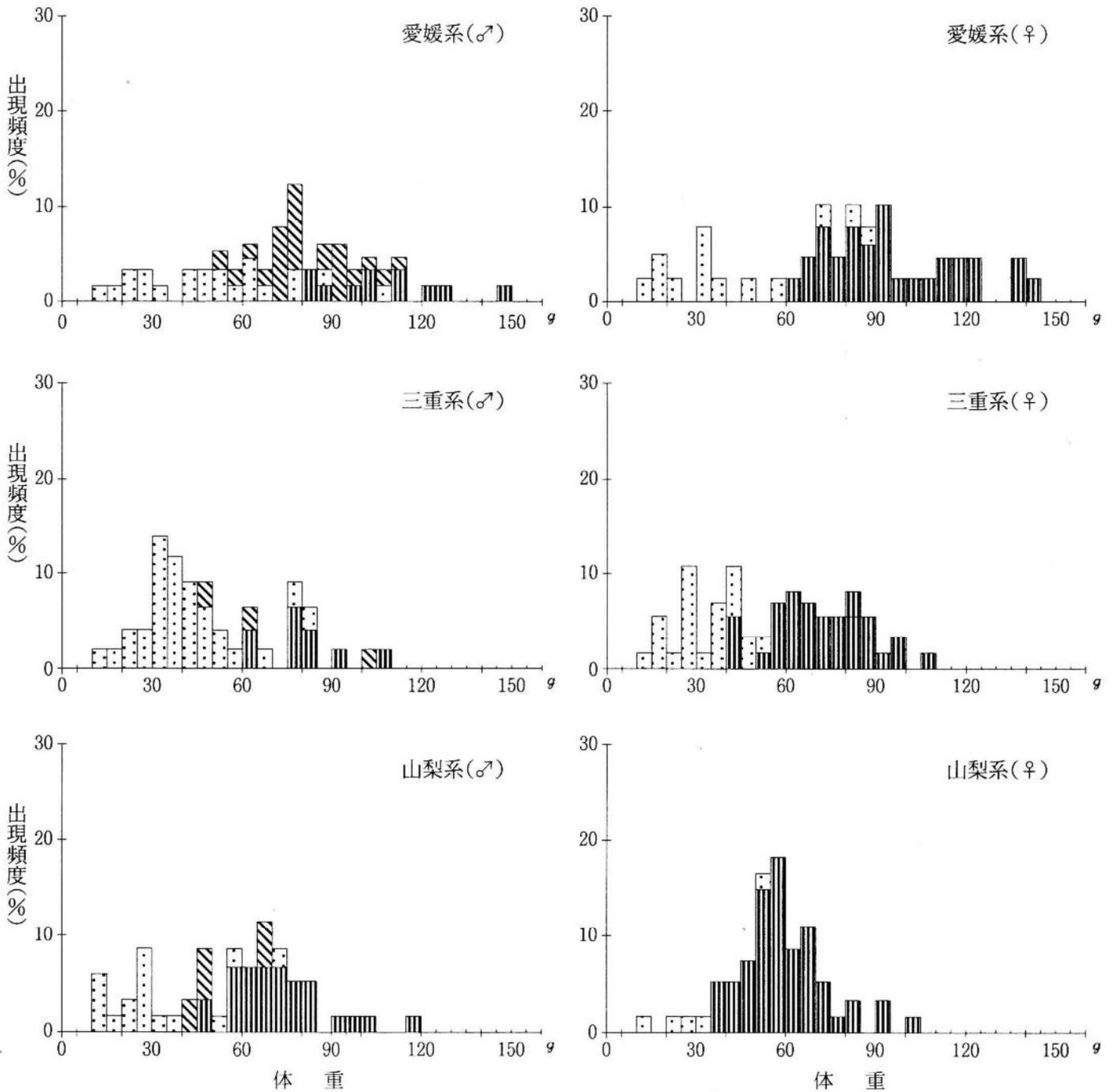
統の変異水準は同程度であり、遺伝的には特に問題が生じていない集団であることが示唆され、育種素材として適正であると考えられた。そこで、管理環境下における特性評価の結果⁷⁾から、パー系作出のための育種素材としての有効性について検討した。各系統の雌雄別相分化状況について第2図に示した。体重と相分化の関係をみると、雄のスマルトの最小体サイズは愛媛系80~85g、三重系60~65g、山梨系45~50gと各系統間に差がみられ、雌でもスマルトの最小体サイズは雄より小型化するが、同様の傾向を示した。また、最小体サイズが小型の系統程、出現率は増加する傾向がみられ、3系統間にスマルト化形質の発現に関する系統差が認められた。アマゴのクローンを用いた実験で、各クローン群間でスマルトの出現サイズが異なることから、体サイズとスマルト化の関係については、比較的遺伝支配が強いと考えられる¹⁰⁾。また、前報²⁾でも、パー、スマルト系統間において、スマルトの出現サイズが異なっており、スマルト系統では、雌雄ともに20~25gであるのに対し、パー系統では、雄魚40~45g、雌魚30~35gと相違が認められる等の報告がある。従って、スマルト化形質の発現につ

第5表 各系統の遺伝的変異性の比較

	愛媛系	三重系	山梨系	岐阜系
Ho	0.029	0.036	0.037	0.036
He	0.030	0.033	0.034	0.044
Ho / He	0.967	1.091	1.088	1.059

Ho : 平均ヘテロ接合体率 (観察値)

He : 平均ヘテロ接合体率 (期待値)



第2図 各系統の雌雄別体重組成と相分化状況(1994年12月15日)

||||| : スモルト □●● : パー // : 成熟魚

いて集団を評価する場合、環境要因の影響を受けやすい
スマルトの出現率等で評価するよりも、遺伝的な要因の
強いスマルトの最小体サイズで比較した方が良いと考え
られる。

このように、スマルト化する体サイズは遺伝的な要因
が強く、個体や系統によって異なることから、パー系育
種を行う上で、スマルト化する体サイズのより大きい系
統から、大型のパー個体を選抜し育種することが、スマ
ルト化率の低い系統（パー系）を作出するための選抜方
法として有効であると考えられる。しかし、アマゴと近
縁であるサクラマスでは、日周期等の季節的条件が整っ
た時に、一定の体サイズ以上に成長していることが、ス
モルト化の条件になると考察されている¹¹⁾。アマゴの
スマルト化も同様な傾向がみられ、同一系統でも成長を
促進させるような環境条件とそうでない条件で飼育した
場合、スマルトの最小体サイズが異なることが分かって
いる²⁾。しかし、今回用いた3系統は、受精日は若干異
なるものの、発眼期から相分化時期まで、同一環境条件
下で飼育した集団であるため、スマルト化が決定された
後の成長が異なる可能性は小さいと考えられた。そこで、
スマルトへの分化サイズが大きい愛媛、三重系の2系統
が、育種素材として有用と考えられた。

今後の課題として、スマルト化する体サイズについて
の選抜効果が期待されるか否かは、用いた集団の遺伝的
背景により異なると考えられ、相分化形質に関する遺伝
的パラメーター（遺伝率、遺伝相関など）を推定しておく
必要がある。

要 約

1. パー系育種について再検討を行うため、新たに導入
した各産地系統の遺伝的特性評価及び管理環境下にお
ける特性評価を行い、パー系作出のための育種素材とし
ての有用性について検討した。
2. 上記4系統の遺伝的特性を、アイソザイム遺伝子を
標識として調査した。
3. 10酵素の泳動像から26遺伝子座が推定され、7遺
伝子座で変異が認められた。推定された遺伝子座にお
いて、各系統の変異水準は同程度であり、遺伝的な平衡状態
の保たれている集団であると考えられた。また、各系統の
異質性については、それぞれが遺伝的に独立した集団で
あることが示唆された。
4. 遺伝的特性評価から、各系統は遺伝的には特に問題

がない集団であることが示唆され、管理環境下における
特性評価（成長、相分化）を基に、スマルトへの分化サ
イズが大きい愛媛、三重系の2系統がパー系の育種素材
として有用であると考えられた。

文 献

- 1) 後藤功一, 1994; アマゴの育種に関する研究-I 河
川残留型及び降海型アマゴの相分化にお
ける系統特性について. 岐水試研報, No
39, 21-28.
- 2) ———, 1995; アマゴの育種に関する研究-II 河
川残留型及び降海型アマゴの相分化にお
ける系統特性について-2. 岐水試研報,
No.40, 11-18.
- 3) ———, 1996; アマゴの育種に関する研究-IV 同
一起源の親魚群より作出したパー系(河
川残留型)及びスマルト系(降海型)ア
マゴの遺伝的特性について. 岐水試研報,
No.40, 11-18.
- 4) 本荘鉄夫, 1977; アマゴの増殖に関する基礎研究.
岐水試研報, No.22,1-103.
- 5) 沼知健一, 1989; アイソザイムによる魚介類の集団
解析. 日本水産資源保護協会, 28-47.
- 6) 藤尾芳久・中嶋正道, 1989; アイソザイムによる魚
介類の集団解析. 日本水産資源保護協会,
97-100, 306-321.
- 7) 岐阜県水産試験場, 1995; 平成6年度新品種作出基
礎技術開発事業研究成果の概要, 121-137.
- 8) Nei.M, 1972; Genetic Distance between popula-
tions. Amer.Natur, No106, 283-292.
- 9) Okazaki.T,1986; Genetic variation and popula-
tion structure in masu salmon,
Oncorhynchus masou of Japan. Soc.Sci.
Fish, 52, 1365-1376.
- 10) 岐阜県水産試験場, 1994; 平成5年度地域バイオテ
クノロジー実用化技術研究開発促進事業
報告書, 7-15.
- 11) 宇藤 均, 1981; サクラマス *Oncorhynchus*
masou BREVOOT の生活史と生態分
岐. 博士学位論文, 北海道大学, 函館,
1-288.