

色彩色差計によるアマゴのスモルト化の定量的測定について

桑田 知宣・松田 宏典・都竹仁一

Measurement of Body Color on Smoltification in Amago Salmon
Oncorhynchus masou ishikawae by Colorimeter

Tomonori KUWADA・Hironori MATSUDA・Niichi TUZUKU

アマゴはふ化後満1年となる晩秋から冬にかけて降海型であるスモルトと河川残留型であるバーに相分化する。スモルトは相分化によって体表面が銀白色化し、これに伴ってアマゴの一般的特徴として良く知られているパーマークが見えにくくなる。塩焼きや甘露煮で食されることが多いアマゴでは、その外観が商品価値を左右する重要な要因であり、一般的にパーマークの明瞭なバーが好まれる。このため当場では、通常交配による選抜育種^{1), 2), 3), 4)}や雌性発生⁵⁾によるバー系統の育種を進めている。相分化の育種を行いう場合、特にバーとスモルトの判定は重要であり、毎世代一定の基準によってバーを選抜すること、選抜群のスモルト化の程度を客観的基準にもとづいて記録することが必要である。現在この判定は目視によって行われているが、バーとスモルトの体色変化は連続的であり、光の当たり具合によって見え方が異なるため、スモルト化の判別基準が判定者の相違や判定時の光の条件等によって異なってしまう。バーとスモルトの選抜を一定の基準で行うためには、相分化の程度を定量的に測定する手法の開発が必要である。最近、サクラマスにおいて体色を色彩色差計を用いて測定することによってスモルト化の程度を定量化する方法が報告された⁶⁾。そこで本研究では、この方法のアマゴへの適用について検討した。

材料及び方法

3種類の試験を行った。試験1と試験2では、それぞれ異なる機種の色差計を用いて、スモルトとバーの客観的な判定手法の開発を試みた。試験3では、機種や測定手法の違いによる判定精度の差を検討した。

試験1

試験は1996年12月18日に行った。当場で雌性発生を応用した育種試験で継代飼育されている魚を試験に用いた。体色の銀白色化と背鰭先端の黒化を指標とし目視によって大型バー、銀化バー、スモルトを選抜した。各選抜群の体色を個体別に色彩色差計によって測定し、体重を測った。計測部位は背鰭の下の側線上にあるパーマーク上と

した。スモルト化によってパーマークの確認出来ない個体については側線上の同位置と考えられる部位を測定した。色彩色差計は、照明方式が45-0法(JIS Z8722)、センサーの径が3mmのA社の携帯型色差計(以下A-3)を用いた。照明光源はD₆₅、色調はL*、a*、b*モード(JIS Z8729)で測定した(以下L、a、b)。Lは明度、aとbは色度を示し、aは(+)方向が赤、(-)方向が緑、bは(+)方向が黄色、(-)方向が青を意味する。

試験2

試験は1998年1月9日に行った。当場で雌性発生を応用した育種試験で継代飼育されている魚からバーとスモルトを選別し試験に用いた。色彩色差計は、照明方式がD-0法(JIS Z8722)、センサーの径が8mmのB社の携帯

型色差計（B-8）を用いた。B-8はサクラマスにおける報告⁶⁾で使用された機種である。照明光源はD₆₅、色調はL*、a*、b*モード(JIS Z8729)で測定した。

試験3

試験は1997年3月6日と1998年1月9日に行った。1997年の測定には、センサーの径が3mm(A-3)と10mm(A-10)のA社の携帯型色差計を用いた。A-3とA-10でそれぞれ異なるバー個体を測定した。実験1と同じ方法で測定した。色差計を体表面から離さないようにして同一個体の体色を連続して10回測定し、色彩色差計による体色測定の誤差について検討した。

1998年の測定に用いた色差計は、B-8である。測定部位は、背鰭の下の側線上のパーマーク上、背鰭の下の側線上のパーマーク以外の部位とした。スマルトとバー各1尾について体表から色差計を離さないようにして連続20回の測定を行った。また測定個体を変えて、連続測定をする際に体表からセンサーを1回ずつ離して同じパーマーク上を測定する場合と側線上をランダムに測定する場合についても調査した。

結果

試験1

各群のL、a、b値を第1表に示した。スマルトと大型バーのL値とb値の関係を第1図に、L値とa値の関係を第2図に示した。いずれの群においてもL値とb値

の間には正の相関、L値とa値の間には負の相関が認められた。スマルトのL値とb値の平均値はバーより高く、a値の平均値はバーより低かった。しかし、同じ値のL値について比較するとスマルトはバーに比べてa値が高く、b値が低い傾向があった。サクラマスでは、スマルトのL値、a値はバーより高く、b値はバーより低いと報告されている⁶⁾。本試験のa、b値の平均はサクラマスと異なったが、同じ値のL値で比較すればその報告と同じ傾向であった。一方、本試験の各群のa、b値の標準偏差は、その報告と比較すると非常に大きかった。

第1、2図に示したようにL値単独では、両群間でかなりの重なりが認められるため、両相を分ける境界を両群のL、a、b値を用いて線形判別分析によって求めた。サクラマスの報告⁶⁾ではa値を解析に含めていないが、a値を含めたほうが精度が高まるため、本研究ではa値を含めて分析を行った。

線形判別分析の結果を第2表に示した。yは判別得点を示し、バーとスマルトの境界はy=0である。スマルト寄りの個体は正の値をとり、バー寄りの個体は負の値をとる。一致率は、y>0をスマルト、y<0をバーと判別した場合の目視による判別との一致割合を示している。一致率は、全体で96.8%となった。

バー、銀化バー、スマルトの判別得点の頻度分布を第3図に示した。判別得点の分布は2峰性を示し、判別得点の低いピークはバーと銀化バーが、高いピークはスマルトが主体となっていた。銀化バーの判別得点の平均値(-3.43)は、バーのそれ(-7.58)より大きく、スマルト(7.58)より小さかった。このように判別得点の平

第1表 色差計(A-3)を用いた場合のバー及びスマルトの
体色のL・a・b値(平均値±標準偏差)

相	L	a	b
スマルト(62)	67.06±7.68	7.52±44.81	15.23±19.48
バー(64)	46.18±5.55	16.40±33.93	10.12±14.81

()内は供試尾数

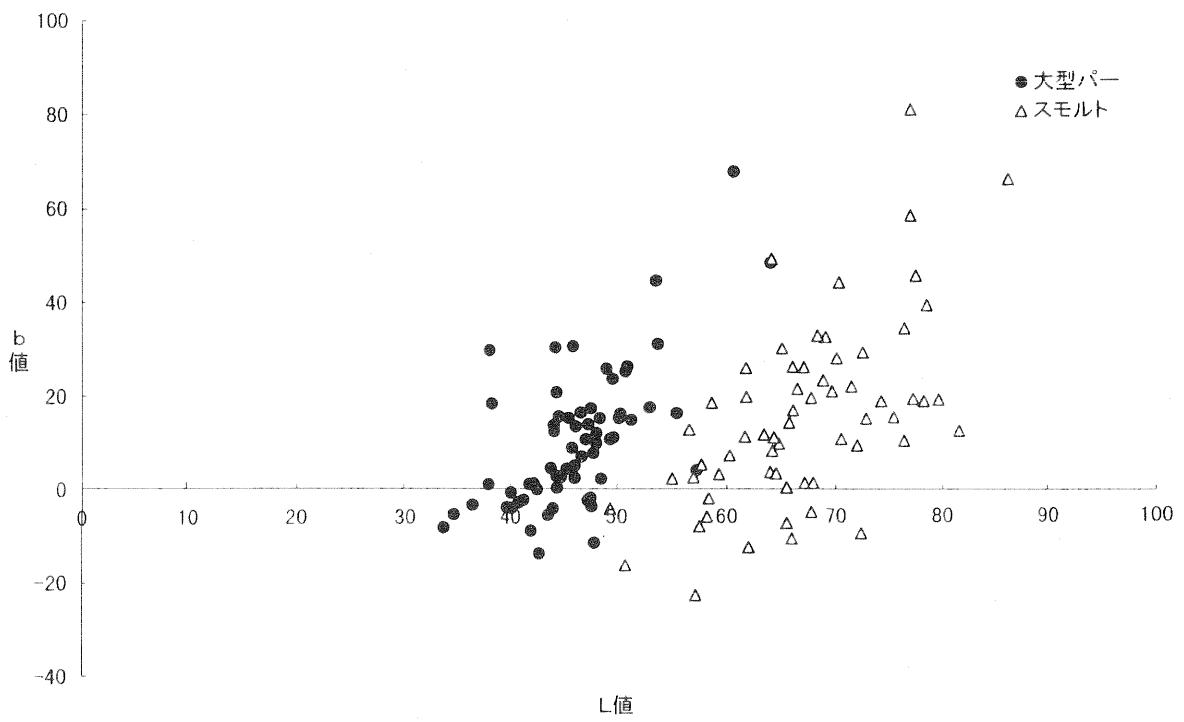
第2表 色差計(A-3)を用いた場合の判別式及び判別得点と目視との一致率

判別式	相	判別得点	一致率(%)
$y = 0.767L + 0.044a - 0.091b - 42.80$	バー(64)	-7.58±3.28	98.4
	スマルト(62)	7.58±4.44	95.2

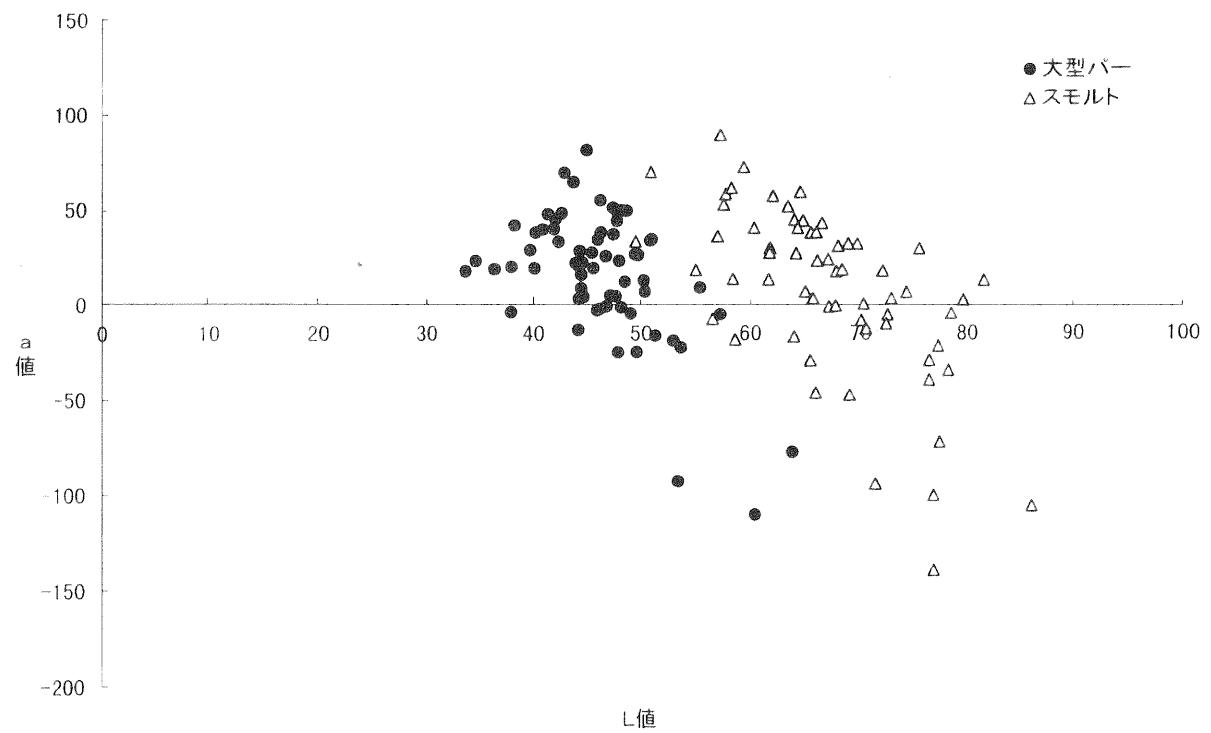
相の()内は供試尾数

判別得点は平均値±標準偏差

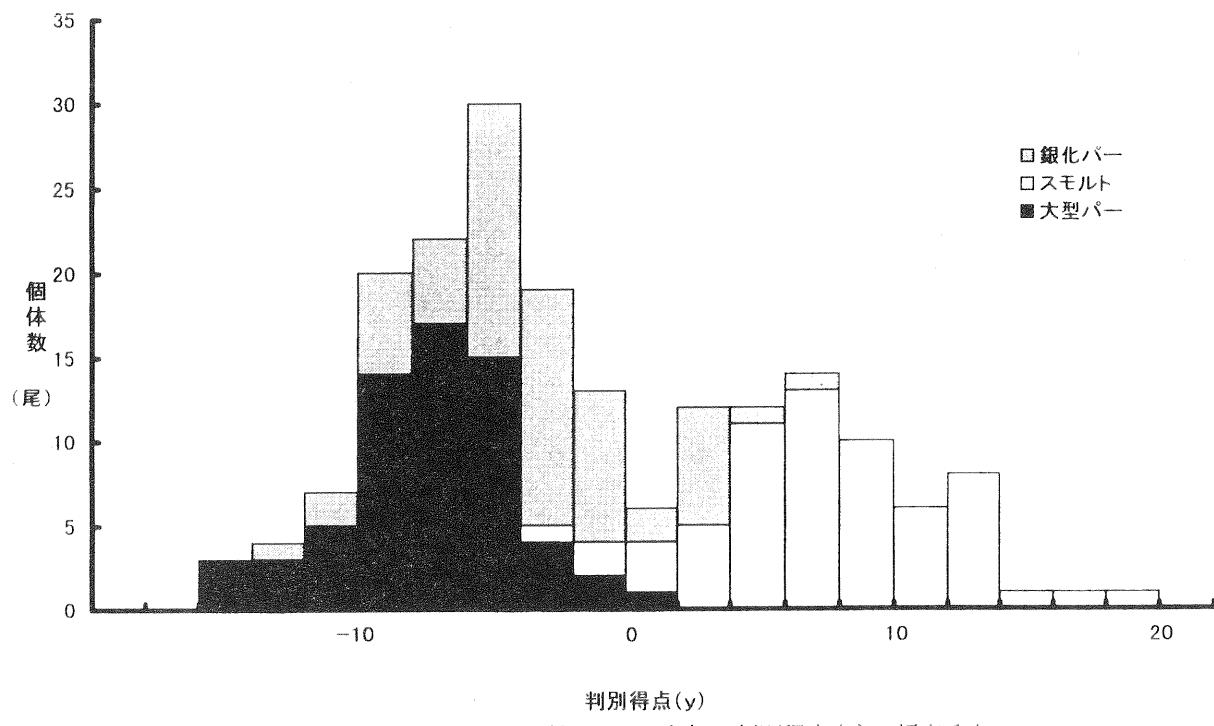
一致率=一致数/供試尾数×100



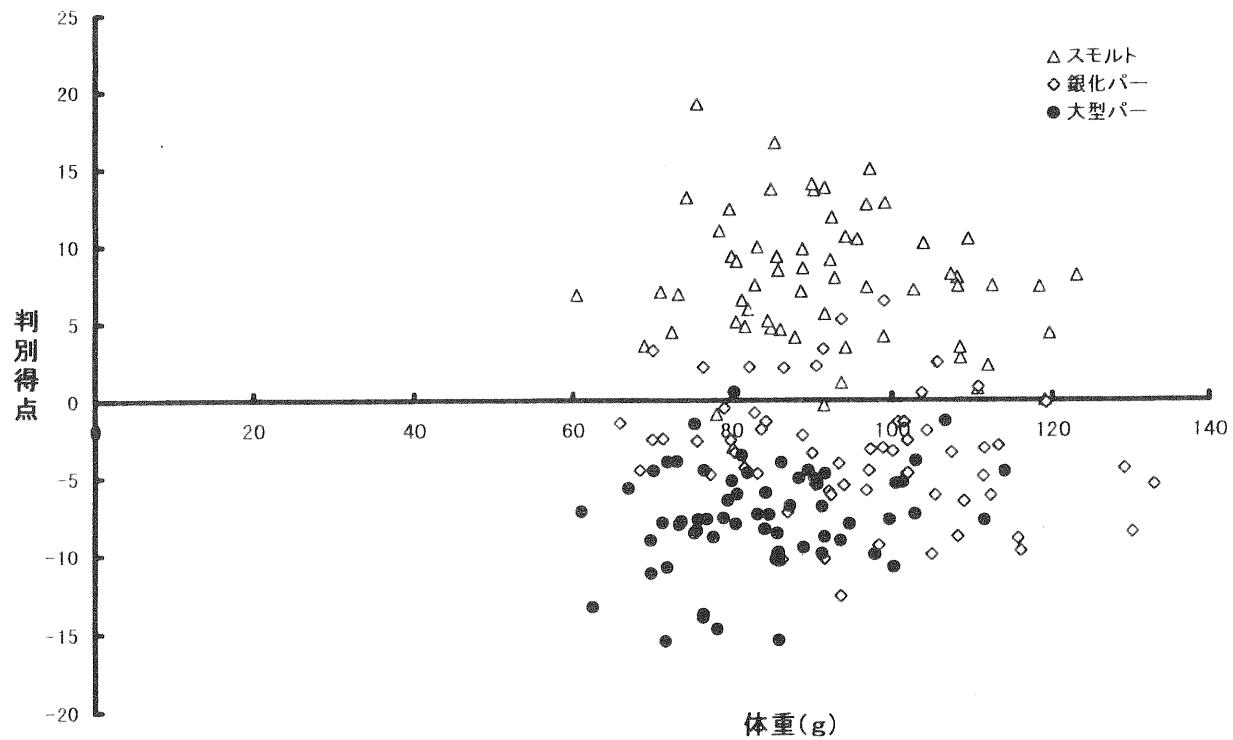
第1図 パーとスモルトのL値とb値の関係



第2図 パーとスモルトのL値とa値の関係



第3図 アマゴの12月における各相の判別得点(y)の頻度分布



第4図 12月のアマゴの各相の体重と判別得点の関係

均値は、目視判別による各相の順序と一致していた。しかし、判別得点の範囲は、-12.6から6.41にまでおよんでおりバー及びスモルトのそれと大きく重なっていた。

体重と判別得点の関係を第4図に示した。銀化バー群

で弱い負の相関が認められたほかは、体重と判別得点との間に一定の傾向は認められなかった。

実験2

各群のL、a、b値を第3表に示した。スマルトとバーのL値とb値の関係を第5図に、L値とa値の関係を第6図に示した。バー群のL値とb値、L値とa値の間に正の相関が認められた。しかし、スマルト群にはL値とb値、L値とa値の間に相関が認められなかった。スマルトのL値は、バーのそれより高く、重なることなく分離した。スマルトのa値とb値は、バーより低い傾向があった。スマルトのa値がバーより低いという傾向は、サクラマスにおける報告⁶⁾と異なっていた。

第5、6図に示したようにL値単独でもバー群とスマルト群を分けることが出来るが、精度を高めるため、両相を分ける境界を両群のL値、a値、b値を用いて線形判別分析によって求めた。

線形判別分析の結果を第4表に示した。一致率は100

%となり、各群の判別得点は重なることなく分離した。

実験3

色差計を動かさず同じ測定を繰り返した時のL、a、b値と判別得点について第5表に示した。いずれの色差計においても、同じ測定を繰り返した時の各測定項目の測定値にはバラツキが認められた。

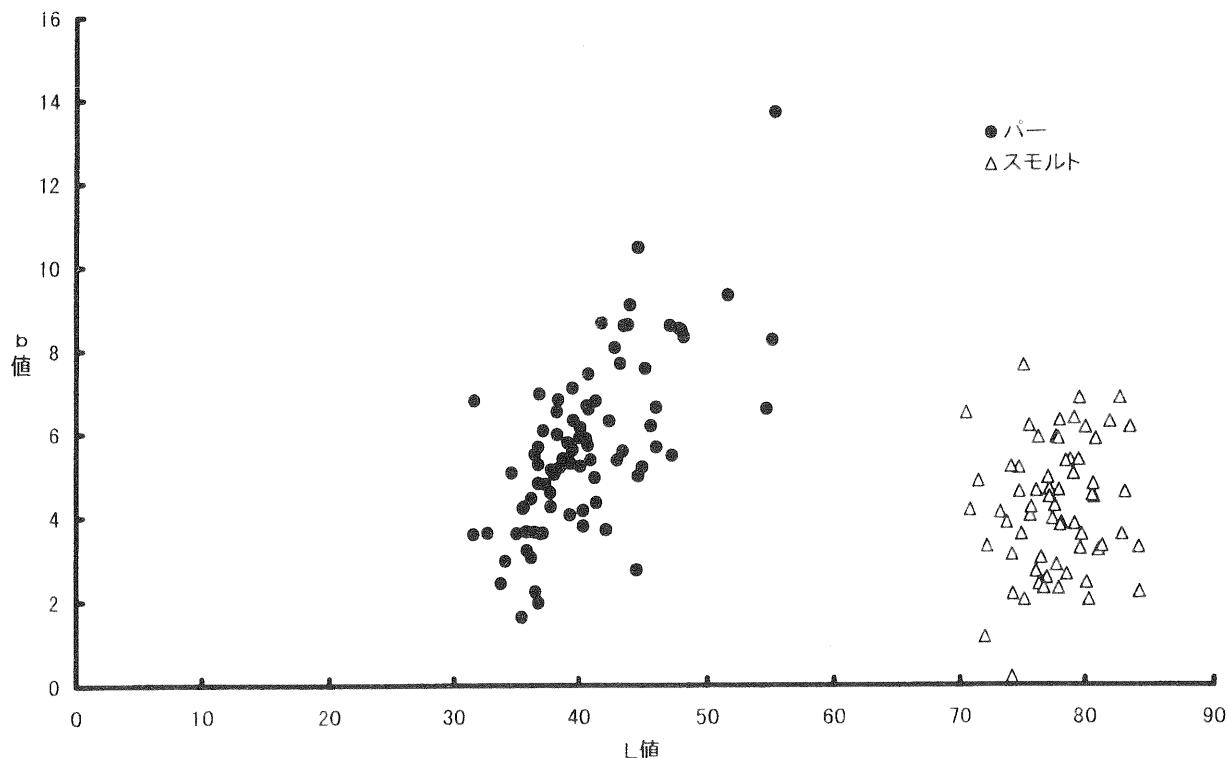
A機種によって色差計を動かさずにバーのバーマーク上を測った場合のL、a、b値と判別得点の標準偏差は、センサーの径が大きい程小さかった。しかし、B-8はA-10よりL、a、b値と判別得点の標準偏差が小さかった。

バーのバーマーク外の各測定項目の平均値は、バーマーク上のそれに比べて全ての測定項目について高かった。スマルトのバーマーク外の各測定項目の平均値は、バー

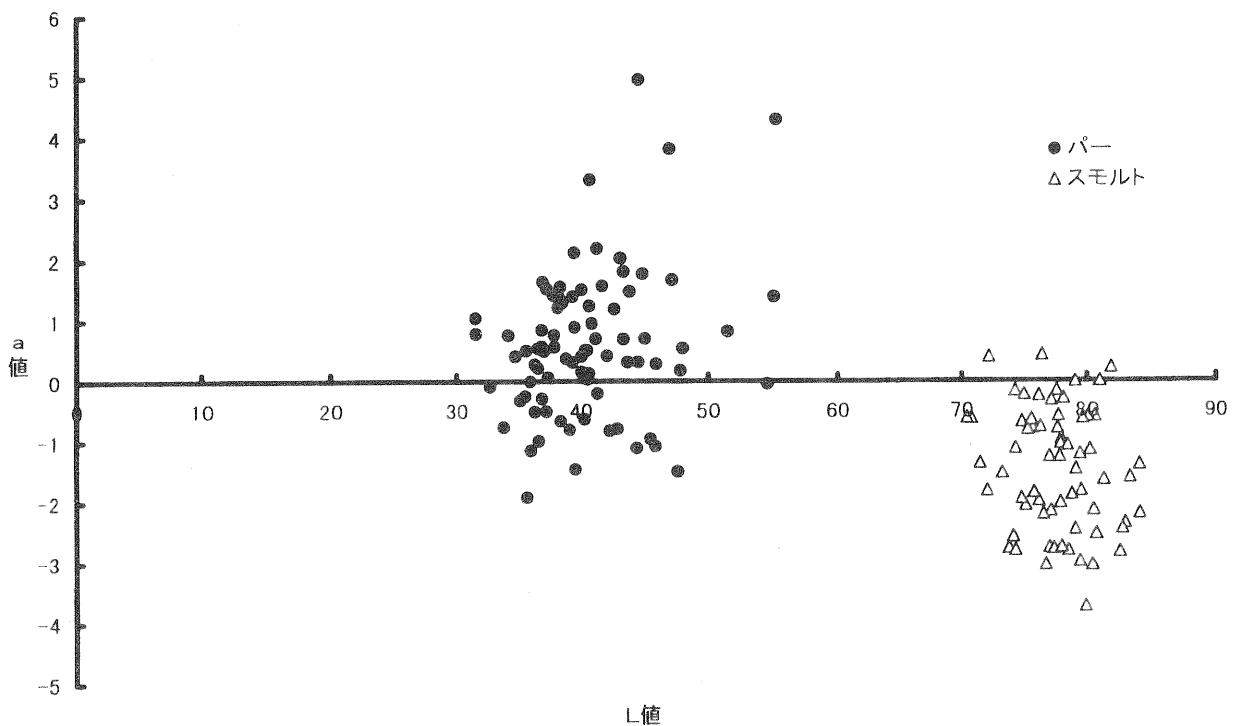
第3表 色差計(B-8)を用いた場合のバー及びスマルトの体色のL・a・b値(平均値±標準偏差)

相	L	a	b
スマルト(65)	77.61±3.19	-1.46±1.01	4.22±1.53
バー(82)	40.48±4.94	0.59±1.21	5.68±2.06

()内は供試尾数



第5図 パーとスマルトのL値とb値の関係



第6図 パーとスモルトのL値とa値の関係

第4表 色差計(B-8)を用いた場合の判別式及び判別得点と目視との一致率

判 別 式	相	判別得点	一致率(%)
$y = 2.917L - 1.089a - 3.718b - 154.32$	パー (82) スモルト (65)	-57.98 ± 10.97 57.98 ± 10.50	100 100

相の()内は供試尾数

判別得点は平均値±標準偏差

一致率=一致数／供試尾数×100

第5表 色差計を動かさず同じ測定を繰り返した時のL・a・b値と判別得点(平均値±標準偏差)

測定機器	測定回数	相	測定部位	L	a	b	判別得点
A-3	10	パー	パーマーク上	36.24 ± 2.11	27.78 ± 14.42	3.33 ± 2.32	-14.09 ± 1.68
A-10	10	パー	パーマーク上	44.60 ± 1.22	11.52 ± 8.73	1.28 ± 4.19	-8.21 ± 1.23
B-8	20	パー	パーマーク上	43.43 ± 0.38	0.10 ± 0.10	8.61 ± 0.57	-59.75 ± 1.17
	20	パー	パーマーク外	49.39 ± 0.23	2.14 ± 0.07	10.10 ± 0.22	-50.16 ± 0.39
	20	スモルト	パーマーク上	81.67 ± 0.56	-0.75 ± 0.17	1.56 ± 0.22	78.93 ± 1.27
	20	スモルト	パーマーク外	84.94 ± 0.95	-1.68 ± 0.14	3.59 ± 0.04	81.94 ± 2.99

A-3、A-10の判別得点は判別式 $y = 0.767L + 0.044a - 0.091b - 42.80$ によって算出

B-8の判別得点は判別式 $y = 2.917L - 1.089a - 3.718b - 154.32$ によって算出

マーク上のそれに比べてL値とb値が高く、a値が低かった。

B-8の測定方法によるL、a、b値と判別得点の違いについて第6表に示した。判別得点の標準偏差は、ス

モルト、パーともに側線上のランダムな点を測定した場合に最も大きかった。色差計を1回ずつ離して再び同じパーマーク上を測定した場合の判別得点の標準偏差は、色差計を離さずに測定した場合(第5表)のそれに比べ

第6表 色差計(B-8)を測定ごとに離して同じ個体を測定した時のL・a・b値と判別得点(平均値±標準偏差)

相	測定部位	L	a	b	判別得点
バー	バーマーク上	36.43±2.28	-0.114±0.39	6.89±2.12	-73.54±2.59
バー	測線上ランダム	43.25±3.32	0.86±0.49	8.07±2.58	-59.09±2.88
スマルト	バーマーク上	81.20±1.00	-0.02±0.88	4.04±1.04	67.54±4.47
スマルト	測線上ランダム	79.70±2.52	-0.06±0.21	2.11±1.04	70.35±8.79

測定は各個体20回行った。

判別得点は判別式 $y = 2.917L - 1.089a - 3.718b - 154.32$ によって算出

て大きかった。いずれの測定条件においても、スマルトの判別得点のバラツキはバーのそれより大きかった。

考 察

実験1及び実験2で目視による判別と色差計による判別との一致率がともに高い値を示したことからアマゴのバーとスマルトは、色彩色差計によって得られるL、a、b値を用いて判別できることが示された。しかし、実験1で銀化バーの判別得点の範囲がバー及びスマルトのそれと大きく重なってしまうことが示すように、必ずしも各個体の判別得点は目視による相分化の状態を正確に反映しているわけではなかった。これは実験3の結果が示すように測定誤差によって同一個体の判別得点にバラツキが生じることや目視による相の判別に誤差があることによって生じると考えられる。また、実験1と2の結果を比較すると、実験1の各群のa、b値の標準偏差が実験2より大きい、判別式が全く異なる、バー、スマルトの判別得点の平均値が大きく異なるなどの相違が認められた。これらの相違は、測定に用いた色差計の機種によって生じたと考えられる。相分化の定量化を行う場合には、同じ個体を繰り返し測定した時の判別得点のバラツキが小さい機種が望ましい。従って実験3の結果よりB-8がA-3、A-10より優れていると考えられる。3機種の判別得点の標準偏差は、それぞれ1.18と1.68、1.23であり大きな差がないようであるが、実験1と2の結果が示すようにバー、スマルトの判別得点の平均値の差が大きく異なっており、B-8のほうがバーとスマルトの違いを大きな判別得点の差として検出するため、B-8とA-3、A-10の精度には判別得点の標準偏差以上に大きな違いがあると考えられる。B-8とA-3、A-10では照明方式が異なっている。B-8の照明方式(D-0法)は、測定試料に対して輝度がほぼ均等な光源によってあらゆる方向から照明し、反射光を垂直に受光する⁷⁾。

一方、A機種の照明方式(45-0法)は、測定試料を45°C方向から照明し、その反射光を垂直に受光する⁷⁾。魚の体表面には凹凸があり光が乱反射するため、一定の角度からの反射光のみを測定する45-0法では反射光が一定せず測定値がバラツクと推察される。これに対してD-0法ではあらゆる角度から光が当たられるため、乱反射の影響が相殺されると推察され、このような照明方式の違いが両機種の精度に影響したと考えられる。

色差計を1回ずつ体表から離して測定した場合の判別得点のバラツキが、色差計を体表につけたまま測定した場合の判別得点のバラツキより大きいのは、色差計の押しつけ圧や微妙な角度の違いによると推察される。また、側線上をランダムに測定した場合の判別得点のバラツキが大きいのは、バーマーク上とバーマーク以外の部位で色差計の測定値が異なるためと考えられる。異なる個体を色差計で測定する場合には、バーマークの大きさに個体差があるため、色差計の測定面に含まれるバーマークの割合は一定にはならない。従って実際の測定で生じる測定誤差は、色差計を1回ずつ体表から離して同じところを測定した場合より大きく、側線上をランダムに測定した場合より小さいと考えられる。B-8で同じ個体(スマルト)の側線上をランダムに測定した場合の判別得点は正規分布となり(コルモゴロフスミルノフ検定)、その平均値は70.4、最大値は84.2、最小値は54.3であることより、1回の測定によって得られた判別得点は、最大で平均値から前後におよそ15ズレる可能性がある。従って、各個体1回の測定によってバーとスマルトを判別する場合には、0を中心として判別得点-15から15の間は誤判定を含む可能性があり完全な判定を下せない。この範囲は銀化バー等の中間相として処理すべきであろう。また、この結果は色差計による一回のみの測定によって微妙な相分化の程度の違いを定量化することは困難であることを示している。各個体の相の程度を定量化したい場合には、1個体について複数回の測定を行う必要があると考えられる。一方、群としての定量化を行う場合に

は、各個体1回の測定でも群の判別得点の平均値が真の平均値から大きくズレることはないと考えられる。

本試験ではパーマークの青い色を色差計で測ることによって相の判別を試みた。これはパーではパーマークが明瞭なのに対してスモルトでは不明瞭なためである。ところが、パーのb値はスモルトより高い傾向を示した。これはパーのパーマークがスモルトのそれより黄色いと判定されたことを示している。このような結果はサクラマスについても報告されている⁶⁾。なぜ、このようなことが起こるのかは不明であるが、色差計の値が当初の期待どおりパーマークの青い色を反映していないことは確かである。一方、パーのパーマーク以外の体側の色はやや黄色味を帯びている。また、実験3の結果が示すようにパーマーク以外の場所を測定した場合でも、スモルトの判別得点は高く、パーは低い。このことは測定部位がパーマーク以外でも良いことを示しており、むしろパーマーク以外の部位を測定したほうが精度がよくなる可能性も考えられる。今後パーマーク以外の部位を測定した場合について検討する必要がある。

判別得点を線形変換したスモルト指数は尾叉長と正の相関を示したと報告されている⁵⁾。スモルト指数は判別得点の大きさに応じてその値が大きくなるため、これは判別得点の大きさと尾叉長との間に正の相関があったことを示している。しかし、本試験では実験1の結果が示すように判別得点と体重との間には正の相関は認められなかった。アマゴの場合、8月下旬から9月下旬に臨界分化サイズに達したものがスモルトに分化すること、分化を左右する臨界分化サイズの大きさは遺伝的影響によって変化することが知られている⁶⁾。また、サクラマスについてもスモルト化と成長には密接な関係があると考えられている⁸⁾。このため臨界分化サイズに関する遺伝変異が小さい群では、小さな個体はパーに、大きな個体はスモルトに分化する。このようなケースでは、本来判別得点と体サイズとの間に相関がなくても、スモルトへの分化の影響によって判別得点と体サイズは正の相関を示すと考えられる。サクラマスにおける報告のパーは、一定サイズより小さい傾向が見受けられる。一方、本試験では臨界分化サイズに関する変異が大きい群から選抜したほぼ同サイズのパーとスモルトを測定している。両試験の供試魚におけるこのような違いが、判別得点と体重との間係の相違になったと考えられる。

相分化の育種を行うには、パーとスモルトを客観的基準に基づいて判定し、各世代の選抜群の相分化の状態を定量化して記録する必要があるが、目視による判定では

それが困難であった。本研究成果は、このような問題を解決し相分化の育種における安定的な選抜技術の確立に役立つと考えられる。

要 約

1. 3機種の色彩色差計を用いてアマゴの背鰭下側線上を測定(L、a、b値)することによりアマゴのスモルト化の定量化を試みた。また、その際の測定精度についても検討した。
2. パーとスモルトの測定値(L、a、b値)の線形判別分析より判別式を得た。判別式によって算出される判別得点(y)によってパーとスモルトを判別することができた。
3. 色差計の機種によって精度が異なっていた。相分化の判定を行う場合には照明方法がD=0法の機種が優れていると考えられる。
4. 同じ測定を繰り返した場合でも判別得点にはバラツキが認められた。実際の測定時に想定される判別得点のバラツキを考慮すると1個体1回の測定によって銀化パーなど中間相の相分化の状態を正確に定量化することは困難であった。
5. 色差計によってパーとスモルトの判定を行う時には、判別の境界であるy=0の前後は、誤判定の可能性を含むため中間相として判定するのが良いと考えられる。
6. 色差計による判定方法は、相分化の育種における安定的な選抜技術の確立に役立つと考えられる。

文 献

- 1) 田代文男・高橋 誠・天野 賢, 1983; アマゴの増殖に関する研究—XXII スモルト型アマゴの出現率の異なる2つの系統について, 岐水試研報, №28, 9-16.
- 2) 熊崎博・田代文男, 1988; アマゴの増殖に関する研究—XXVI アマゴ及びヤマメの相分化に及ぼす飼育条件の影響について, 岐水試研報, №33, 1-20.
- 3) 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群特性について, 岐水試研報, №39, 21-28.

- 4) ———, 1997; 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. 岐水試研報,
　　No.42, 11-16.
- 5) KUWADA,T., Y.KAWASE And H.USUDA, 1999 ;
Relationships Between Growth And Smoltification
In Amago Salmon *Oncorhynchus masou ishikawai*
(Basic Study Towards Establishing A Parr
Strain). Bull. Nalt. Res. Inst. Aquacult.,
Suppl.1, 45-48.
- 6) 千田康司・木島明博, 1994; 色彩色差計によるサクラマスのスマルト化の定量的測定法について,
水産育種, 20, 55-61.
- 7) ミノルタ 色差計使用説明書
- 8) HIRATA,T., A.GOTO, And F.YAMAZAKI, 1988 ;
Individual Growth And Smoltification of
Juvenile Masu Salmon, *Oncorhynchus masou brevoorti*, Under Rearing Condition.
J.Fish.Biol. 32, 77-84.