

## アユの2地理的品種および1亜種の鱗相の比較研究

関 伸吾・村上直澄・高道 昭・谷口順彦

高知大学農学部栽培漁業学科

### Comparative Study on Circulus Formation of Scales from Two Geographical Races and One Subspecies of Ayu *Plecoglossus altivelis*

Shingo SEKI, Naozumi MURAKAMI, Akira TAKAMICHI,  
and Nobuhiko TANIGUCHI

Department of Aquaculture, Faculty of Agriculture, Kochi University, Monobe, Nankoku, Kochi 783, Japan

**Abstract:** The circulus formation was observed in scales of two geographical races of ayu *Plecoglossus altivelis altivelis*; amphidromous and landlocked forms, and the ryukyu subspecies *Plecoglossus altivelis ryukyuensis*. The depth and length of the scales and the first circulus, and the distance between the first and second circuli (DFSC) were measured in twelve spots of each individual. Although the circulus formation was different between spots within an individual, it was similar at the same spot among different individuals in each group. The circulus formation of the amphidromous and the ryukyu ayu was similar while distinct difference was observed between these two groups and the landlocked ayu particularly those on the middle part of the caudal peduncle region. Ratio of depth and length in diameter of the first circulus (DDFC / LDFC) and the DFSC in the amphidromous and the ryukyu ayu were over 1.3 and 24  $\mu$ m respectively, and those values in the landlocked ayu were less than 1.3 and 24  $\mu$ m respectively.

**Key words:** Ayu, Amphidromous form, Landlocked form, Ryukyu-ayu, Scale, Circulus formation, First circulus

## 緒 言

琵琶湖産陸封型アユは、同一条件下で飼育した場合には両側回遊型アユに遜色ない成長を示すことが知られており(関ら, 1984), 資源量も多いことから, その稚魚は日本各地の河川への放流用の種苗として利用されてきた。このような放流が行われている河川において, 放流魚と在来魚を区別できる標識があれば, 琵琶湖産陸封型アユの放流後の動態や在来の天然アユの資源量推定などが可能となる。生化学的遺伝標識であるアロザイムを指標にしたアユの放流種苗の動態調査はこれまでにいくつか報告されている(佐藤ら, 1982; 関・谷口, 1988; 谷口・高橋, 1989; Pastene et al., 1991; Seki et al., 1994)。しかし, このような遺伝標識ではアユ2地理的品種の個体レベルでの判別は不可能であり, それぞれの成長などに関する情報を得ることはできない。また, アロザイム分析においては多数の供試魚の採集を必要とすることも欠点の1つである。両地理的品種を耳石により判定(梅澤ら, 1990)することも可能であるが, この判別方法についても現場で判定ができない, 大型の個体では研磨の必要な場合があり, 手間がかかるという点で問題が残る。したがって, アユの資源生態学的研究においては, より簡便な個体毎の両系判別法の開発が望まれている。

鱗相は, 対象魚種の履歴の推定あるいは人工種苗と天然種苗との個体判別法として利用され

てきており、*Lates calcarifer* (Barlow and Gregg, 1991), タイセイヨウサケ (Lund and Hansen, 1991), マスノスケ (Schwartzberg and Fryer, 1993) などその有効性が報告されている。アユの2地理的品種、両側回遊型アユおよび琵琶湖産陸封型アユについても鱗相に差異があり、天然河川で採捕された集団において、中心核の有無により琵琶湖産陸封型個体を分別することが可能であることが報告されている (大島, 1956)。しかし、中心核の有無を判定する場合、適切な基準があるとはいえ、その個体判別法は実用化されているとはいいがたい。また、琵琶湖産陸封型アユの縦列鱗数、側線下方鱗数および側線上方鱗数は、両側回遊型アユより明らかに多いことが知られている (Nishida, 1986)。これらの違いも両地理的品種を判定する方法としてはやや煩雑であり、採集標本の個体判別法としては必ずしも実用的とは言えない。

本研究では、アユ3系を個体レベルで判別する簡便な方法として、鱗相による判別法に注目しその有効性を検討することを目的とした。なお、ここではアユの2地理的品種および1亜種について、3系は遺伝的に異なる品種であるという観点から、本州産両側回遊型を“海系”、琵琶湖産陸封型を“琵琶湖系”、奄美産両側回遊型を“リュウキュウアユ”として表記した。

### 材料と方法

供試魚として用いた海系、琵琶湖系アユは、琵琶湖および高知県土佐湾沿岸で鱗の形成されている3月頃に採捕されたもので、これらは異なる養殖場で養成されていた後、6月以降は高知大学農学部淡水魚飼育施設に移しそれぞれ別の10トン水槽で飼育した。異なる養殖場で養成されたため初期の飼育条件については両地理的品種で統一できなかった。両地理的品種は実験に供する前に各集団それぞれ30個体についてMPI\*アロザイム遺伝子座を調べ、その遺伝子頻度の基準値をもとに (Seki et al., 1994), 佐藤らの方法 (1982) により混合率を算出し、両標本群がそれぞれ海系および琵琶湖系に対応するかを確認した。リュウキュウアユについては奄美大島の2つの天然河川において採集された各3個体計6個体を用いた (Table 1)。

**Table 1.** Sampling sites and dates of fish used in this study

Sampling site	Sampling date	Number of samples	Fork length * <sup>1</sup> (cm)
Amphidromous form (Tosa Bay) * <sup>2</sup>	1994.10.14	6	12.26±1.03
Landlocked form (Lake Biwa) * <sup>3</sup>	1994.10.14	6	12.82±3.41
Yanma River (Amami Island)	1993.7.27	3	11.31±0.75
Kawauchi River (Amami Island)	1993.7.27	3	10.75±0.61

\*<sup>1</sup> Mean ± standard deviation

\*<sup>2</sup> Cultured stocks which were caught from Tosa Bay in juvenile stage.

\*<sup>3</sup> Cultured stocks which were caught from Lake Biwa in juvenile stage.

鱗の採集は、以下の方法によった。魚体を十分に洗浄し、粘液を取り除いた後、軀幹部前部 (肩部～胸鱗基部)、中部 (背鱗～腹鱗前半部)、後部 (脂鱗～臀鱗前半部)、尾柄部のそれぞれ背部

側線周辺部，腹部計左体側12箇所より約30枚づつ鱗を採取した (Fig.1)。これらの鱗はマウントメディアにより封入した後，40~400倍で検鏡し，計数，計測を行った。各個体，各箇所における代表値は，それら約30枚の鱗より得られた値の平均値より求めた。計測部位はマイクロメーターを用いて計測した。計数および計測項目は隆起線数，鱗径および第1隆起線の

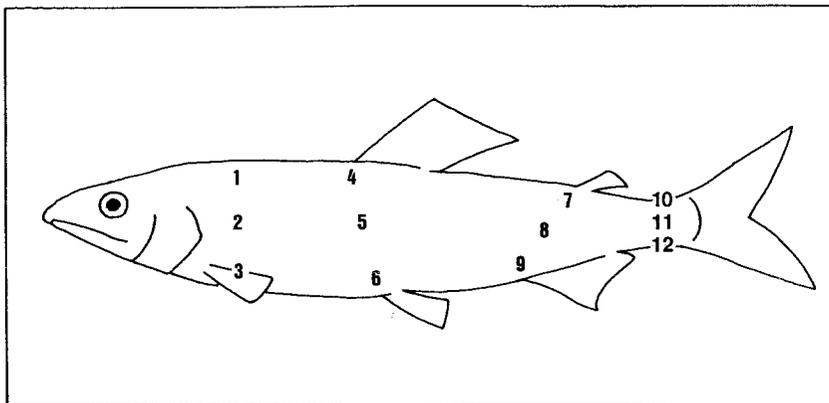


Fig. 1. Entire body of ayu, showing the 12 spots where scales were sampled

長径および短径，第1・第2隆起線間距離の6形質であった。形質の計測位置はFig.2に示した。鱗径，第1隆起線径については縦軸，横軸の長さに基づき，横軸長/縦軸長より鱗および第1隆起線の扁平率(DDFC/LDFC)を算出した。また，第1・第2隆起線間距離(DFSC)については，その鱗における第1・第2隆起線間で最も短い距離の部分を選んで計測した。観察の際，中心付近の隆起線の直径が他の鱗に比べて大きいあるいは不明瞭であり，隆起線数が他のものに比べ極端に少ない鱗については再生鱗と判断し，海系および琵琶湖系の判定には用いなかった。ただし，それぞれの計測部位について再生鱗を計数し，計数した総鱗数における正常鱗および再生鱗の割合から，各計測部位における正常鱗率を算出した。

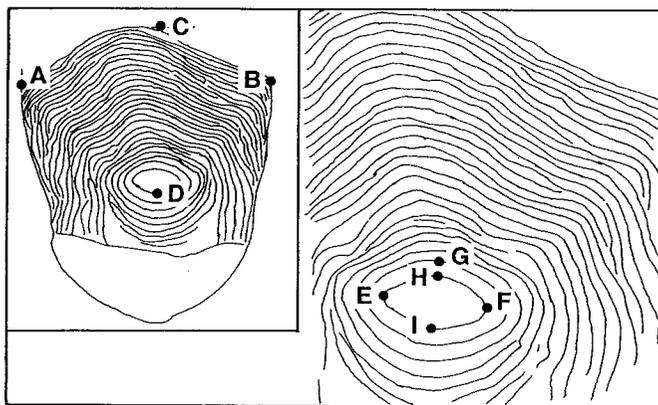


Fig. 2. Measured scale characters in each spot.

A-B; depth in diameter of the scale, C-D; length in diameter of the scale, E-F; depth in diameter of first circulus(DDFC), H-I; length in diameter of the first circulus(LDFC), G-H; distance between the first and second circuli(DFSC)

## 結 果

鱗相の採取部位別比較に用いた海系アユおよび琵琶湖系アユの標本群各30個体の MPI \* 100対立遺伝子頻度はそれぞれ0.900±0.039, 0.383±0.063であった。既報 (Seki et al, 1994) の両地理的品種の基準値によって、これらの標本群がそれぞれ純粋な海系アユと琵琶湖系アユ標本群にはほぼ対応していることが確認された。

隆起線数は個体によるばらつきが大きかったが、各個体内では採取部位ごとにほぼ一定の値を示し、軀幹部前部で少なく、軀幹部後部で多くなる傾向がみられた。同一個体内の各部位間の隆起線数には平均値で10本以上の差がみられた (Table 2)。正常鱗率は海系および琵琶湖系

**Table 2.** Percentage of normal scale and circuli numbers in amphidromous, landlocked, and ryukyu ayu

Sampling spot	Percentage of normal scale (%) * <sup>1</sup>			Circuli numbers * <sup>1</sup>		
	Amphidromous	Landlocked	Ryukyu	Amphidromous	Landlocked	Ryukyu
1	78.8± 8.8	86.4± 9.7	76.4±16.5	17.5±6.0	16.4±3.5	14.2±1.2
2	67.4±23.9	87.2±12.8	64.4±16.3	20.0±3.8	20.2±5.8	16.3±2.0
3	66.1±25.4	88.0±10.9	77.4±13.8	19.7±4.6	16.7±4.5	15.6±1.7
4	81.0±16.4	73.0±11.6	69.5± 6.8	20.2±6.7	20.1±5.2	18.5±2.1
5	75.3±12.0	80.2± 9.5	65.1±24.0	23.6±6.2	27.5±7.3	21.5±1.9
6	84.5±13.0	82.6± 5.7	73.7±11.2	22.9±6.4	26.4±8.7	19.9±2.2
7	71.3±18.9	74.0± 8.7	77.4±13.5	23.1±6.5	27.2±5.5	24.4±2.1
8	76.6±16.6	72.6±14.5	55.0±18.7	26.6±5.2	32.3±8.1	26.1±1.9
9	87.5±13.8	87.3±10.7	62.5± 9.4	25.7±7.4	23.3±9.9	23.4±2.3
10	69.6± 9.1	71.0±10.9	67.8±12.3	28.8±4.6	33.5±7.2	28.0±1.7
11	63.6±24.7	73.9±10.3	67.0±21.3	30.0±3.7	34.5±7.5	28.3±1.6
12	86.1±13.6	79.5±16.2	56.8±17.6	31.5±4.3	36.5±9.2	28.8±1.7

\*<sup>1</sup> Mean ± standard deviation (n = 6).

**Table 3.** Depth and length in diameter of scale of amphidromous, landlocked, and ryukyu ayu

Sampling spot	Length in diameter of scale (μm) * <sup>1</sup>			Depth in diameter of scale (μm) * <sup>1</sup>		
	Amphidromous	Landlocked	Ryukyu	Amphidromous	Landlocked	Ryukyu
1	534.9±115.1	439.8± 53.2	433.9± 74.9	975.1±129.9	815.4±199.3	1076.0±118.9
2	743.3±145.1	710.1±194.1	594.6± 97.2	1221.5±574.0	1343.5±358.2	1478.4±170.0
3	608.9±128.3	477.4± 88.1	535.2±135.5	746.9±365.1	847.0±217.6	1161.3±214.4
4	640.3±114.9	518.2±108.7	556.1± 78.7	1209.2±184.6	992.4±228.3	1239.5±141.5
5	857.4±172.4	799.9±204.6	784.6±152.9	1599.3±240.2	1367.8±380.6	1634.3±262.6
6	788.1±134.1	727.1±221.7	675.0±112.2	1085.7±190.8	1051.9±209.0	1272.9±172.8
7	738.8± 96.3	668.7±113.8	775.6±131.5	1296.1±275.9	1143.7±264.9	1344.7±185.0
8	920.7±117.1	874.2±186.1	931.4±146.2	1372.6±205.7	1251.2±264.8	1384.7±121.0
9	852.4±157.2	837.5±291.3	746.3±110.1	1368.8±248.2	1284.8±510.6	1245.3±129.9
10	830.1± 87.8	759.1±147.5	872.0± 69.1	1178.8±130.4	1030.3±243.3	1270.2±112.1
11	921.0±112.4	833.3±134.7	887.3± 95.3	1199.2±170.0	1074.0±261.9	1217.9±110.0
12	901.7±105.9	801.7±194.5	856.4±151.7	1324.6±225.0	1152.0±286.7	1272.9± 97.6

\*<sup>1</sup> Mean ± standard deviation (n = 6).

アユにおいては軀幹上・中部に比べ，軀幹下部 (Spots 3, 6, 9, 12) で高い値を示す例が多かった。尾柄部 (Spots 10~12) ではほかの部位に比べやや低い値を示した (Table 2)。鱗径は個体差が大きかったが，第1隆起線径における個体差は，特に，琵琶湖系およびリュウキュウアユにおいて小さかった (Tables 3, 4)。鱗の扁平率は軀幹部前部から尾柄部に向かって小さくなるが，海系アユと琵琶湖系アユの間で明瞭な違いは認められなかった。

**Table 4.** Depth and length in diameter of 1st circulus of amphidromous, landlocked, and ryukyu ayu

Sampling spot	Length in diameter of 1st circulus ( $\mu\text{m}$ )* <sup>1</sup>			Depth in diameter of 1st circulus ( $\mu\text{m}$ )* <sup>1</sup>		
	Amphidromous	Landlocked	Ryukyu	Amphidromous	Landlocked	Ryukyu
1	127.4±22.4	119.9±4.8	103.2± 4.9	182.2±60.4	154.1±13.7	163.0±27.1
2	138.1±11.3	144.5±8.4	110.2± 4.6	309.0±35.2	274.7±36.7	246.2±14.0
3	126.5±17.8	120.6±3.7	100.3± 6.2	170.8±48.0	163.6±18.5	157.7±29.2
4	143.5±17.1	126.0±8.6	121.6± 6.2	200.6±40.3	166.1± 9.3	161.3±12.3
5	145.0±16.5	132.5±9.1	115.9± 5.0	314.6±62.6	232.9±22.0	232.2±19.9
6	141.6±19.5	122.4±7.9	117.8± 6.4	194.5±49.5	154.1±18.6	159.3±11.0
7	155.3±24.5	130.0±9.4	131.1± 7.9	206.0±37.6	158.6±12.1	170.1±12.2
8	156.2±13.1	135.8±7.5	126.1± 6.9	270.1±30.1	203.8±16.2	199.6±15.6
9	140.8±18.3	120.1±7.6	117.4± 4.2	174.7±35.3	143.8±12.7	148.2±13.1
10	137.7±12.1	114.1±8.8	136.6± 8.0	165.0±21.5	133.3±13.5	162.1±12.2
11	144.1± 6.9	127.3±5.9	129.0± 8.6	209.5±20.6	153.5±10.6	170.0±12.0
12	133.5±16.0	108.3±6.6	125.9±15.9	165.6±25.0	126.3± 8.9	149.4±22.3

\*<sup>1</sup> Mean ± standard deviation ( $n = 6$ ).

**Table 5.** Ratio of depth in diameter of 1st circulus (DDFC) per length in diameter of 1st circulus (LDFC) of amphidromous, landlocked, and ryukyu ayu

Sampling spot	DDFC/LDFC * <sup>1</sup>		
	Amphidromous	Landlocked	Ryukyu
1	1.41±0.29	1.29±0.10	1.58±0.19
2	2.25±0.13	1.91±0.27	2.15±0.27
3	1.34±0.19	1.36±0.11	1.57±0.20
4	1.39±0.13	1.32±0.04	1.35±0.10
5	2.17±0.32	1.78±0.21	2.01±0.16
6	1.37±0.21	1.26±0.09	1.36±0.05
7	1.33±0.10	1.23±0.06	1.31±0.13
8	1.74±0.13	1.51±0.14	1.59±0.10
9	1.24±0.13	1.20±0.05	1.27±0.08
10	1.21±0.07	1.17±0.03	1.20±0.07
11	1.46±0.13	1.21±0.03	1.32±0.09
12	1.24±0.09	1.17±0.04	1.19±0.10

\*<sup>1</sup> Mean ± standard deviation ( $n = 6$ ).

一方, 第1隆起線の扁平率では, それら系間で有意に異なる例が多かった (Table 5)。特に, Spot 11の鱗では, 琵琶湖系アユに比べ海系アユで第1隆起線の扁平率が高く, 平均値において琵琶湖系と海系各6個体間36の組み合わせの80.6%でその差は有意であった ( $t$ 検定,  $P < 0.05$ )。

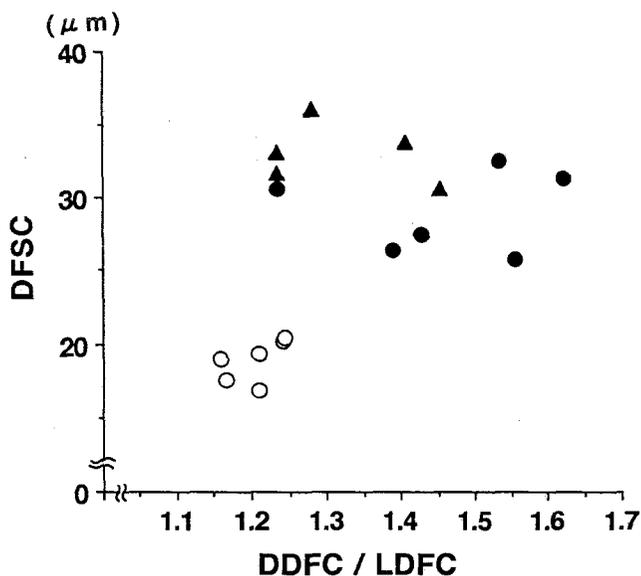
**Table 6.** Distance between the 1st and 2nd circuli (DFSC) in amphidromous, landlocked, and Ryukyu ayu

Sampling spot	DFSC ( $\mu\text{m}$ )* <sup>1</sup>		
	Amphidromous	Landlocked	Ryukyu
1	17.4±4.1	15.6±1.4	19.7±2.9
2	24.1±3.4	18.9±3.5	25.6±2.3
3	18.9±2.4	16.5±1.0	20.6±4.3
4	23.6±2.7	19.9±1.5	24.1±2.6
5	28.7±2.4	19.4±3.0	28.8±1.9
6	27.2±4.0	20.0±2.6	29.2±1.0
7	28.5±1.9	18.9±1.9	30.1±2.7
8	29.2±2.7	20.9±1.8	33.3±2.4
9	28.4±3.8	21.6±2.7	28.4±2.4
10	25.4±2.1	20.6±6.3	30.7±3.7
11	29.0±2.6	19.0±1.3	33.0±2.1
12	26.5±2.8	18.0±1.6	29.4±4.4

\*<sup>1</sup> Mean  $\pm$  standard deviation ( $n = 6$ ).

第1・第2隆起線間距離においては (Table 6), 海系, 琵琶湖系の両地理的品種間で多くの部位において平均値に有意な違いが認められ, 特に, Spot 7およびSpot 11の鱗においては琵琶湖系と海系各6個体間36の組み合わせのすべてで第1・第2隆起線間距離の差は有意であった ( $t$ 検定,  $P < 0.05$ )。Spot 11の鱗の各個体における第1隆起線の扁平率 (DDFC/LDFC) と第1・第2隆起線間距離 (DFSC) の関係を Fig. 3に示した。扁平率1.3および第1・第2隆起線間距離24  $\mu\text{m}$  を基準として海系および琵琶湖系は判別可能であった。

リュウキュウアユ内2地点間で有意差の認められる例は少なかった。リュウキュウアユの第



**Fig. 3.** Diagram of the distance ( $\mu\text{m}$ ) between the first and second circuli (DFSC) and the ratio of depth and length in diameter of the first circuli (DDFC/LDFC) in each group, ●; amphidromous form, ○; landlocked form, ▲; ryukyu subspecies

1 隆起線の扁平率は海系アユと琵琶湖系アユの中間的な値を示した (Table 5)。一方，第 1・第 2 隆起線間距離はどの採取部位においても海系アユに比べればやや大きな値を示した (Table 6)。第 1・第 2 隆起線間距離について，リュウキュウアユと海系アユの間では有意差が認められる例が少ないものの，リュウキュウアユと琵琶湖系アユの間では Spot 7, 8, 11, 12 の 4 箇所において，36 の組み合わせの全てにおいて有意な差が認められた。

海系，および琵琶湖系アユの Spot 11 における鱗を Fig.4 に示した。

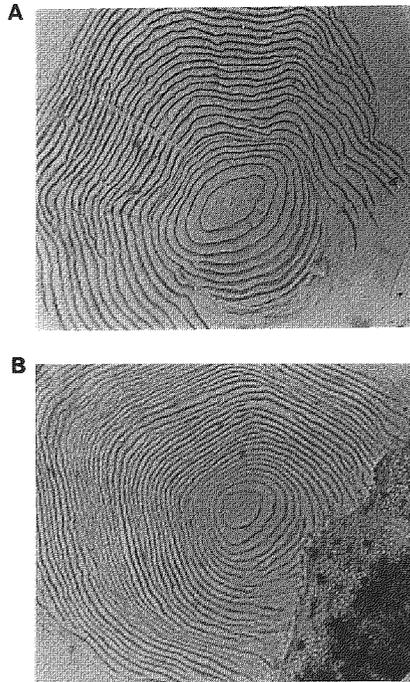


Fig. 4. Circulus formation of the scales taken from spot 11 of different forms of ayu studied. A; amphidromous form, B; landlocked form

## 考 察

鱗の採取部位により鱗相が大きく異なることは，*Oncorhynchus* 属において報告されている (加藤，1968；大熊，1991)。このことは，鱗相による識別を行う場合に，個体間で共通の部位から鱗の採取を行うことが重要であることを示唆している。鱗相が採取部位により異なる原因としては，鱗が形成される時期が関係しているものと考えられる。例えば，アユにおいて鱗は全長 30mm 前後で尾柄部より形成され始め，軀幹前部へと発達していくことが，海系人工採苗アユで報告されている (隆島，1976)。隆起線数が軀幹前部で少なく，尾柄部特に中心部に向かって多くなる傾向はその部位の鱗の形成時期によく対応している。マダイでは鱗の隆起線形成と水温との関係が天然海域および飼育実験によって報告されており (戸嶋ら，1995；荒井・坂本，1996)，低水温において隆起線数が増加することが示されている。このような事実は，採取部位

別の鱗相の違い、特に隆起線数の違いが、水温の影響を受けていることを示唆している。

一方、地理的品種別に考えた場合、海系アユと琵琶湖系アユでは鱗径において明瞭な差異は認められない。したがって、もし両系の隆起線数に違いがあるとするなら、その隆起線数の大小は鱗の隆起線間隔に影響を与えることが予想される。海系アユにおいては、鱗が形成され始める全長30mm前後は天然海域においては最も海水温の低い時期に相当するが、その時期においても沿岸海水温が10℃以下に下がることはない。一方、琵琶湖系アユで鱗が形成される2月から3月(東, 1970)にかけて、琵琶湖の水温は6~9℃に低下する。つまり、鱗の形成初期の水温は、海系に比べ琵琶湖系においてははるかに低い。そのような水温の違いが、両地理的品種の鱗形成初期の隆起線間距離の違いに反映している可能性が推定される。リュウキュウアユにおいても全長30mm前後で鱗が形成されることが報告されており\*<sup>1</sup>, 高知県沿岸に比べ水温の高い奄美大島のリュウキュウアユの隆起線間距離が海系アユに比べやや大きい値を示すこともこのことを支持する。しかし、サケマス類やキンギョでは、水温の違いは隆起線間隔には影響せず(帰山, 1984), 給餌量(Gray and Senta, 1931; Bilton and Robins, 1971a, 1971b), あるいは餌料の質(池田ら, 1974a, 1974b)などが影響を与えるという報告もある。隆起線間隔に及ぼす環境諸要因の影響は魚種によって異なる可能性もあり、筆者らがここで推定した水温の影響についても、今後これら3系間で厳密な飼育実験を行い、十分な検討を行う必要がある。また、第1隆起線の扁平率についても、体高および肥満度で、海系および琵琶湖系の間に明瞭な差異がないにもかかわらず縦列鱗数、側線下方鱗数および側線上方鱗数は琵琶湖産陸封型アユで多くなっており(Nishida, 1986), このことは第1隆起線における扁平率を小さくする要因となると考えられる。しかし、一方で鱗径の扁平率には両系で明瞭な違いが認められないことから、第1隆起線の扁平率のみに両系で違いが認められる原因については断定はできない。今後飼育条件の違いによる鱗相の違いの検討あるいは鱗形成初期の形態の検討などによる確認が必要と考えられる。

これまでの報告からは、このような鱗相の違いは孵化後の生活履歴の違いを反映している可能性が高いと考えられる。したがって、種苗生産で継代された集団については適用できない。いずれにせよ、このような鱗相の違いは天然の琵琶湖系種苗における簡便で有効な標識であり、資源生態学的研究において利用価値は高いものと考えられる。

## 謝 辞

本研究において、天然の海系および琵琶湖系種苗を提供いただいた高知県芸陽漁業協同組合に感謝する。また、奄美産リュウキュウアユの採集については、現水産大学校助手高木基裕氏の協力をいただいた。ここにあわせて感謝の意を表する。

## 文 献

- 荒井修亮・坂本 巨, 1996. マダイ稚魚期の飼育水温と鱗の隆起線形成との関係. 日水誌, 62, 213-216.  
東 幹夫, 1970. びわ湖における陸封型アユの変異性に関する研究

\*<sup>1</sup> 崎山直夫・四宮明彦: リュウキュウアユの卵内発生と仔稚魚の成長に伴う形態変化. 平成5年度日本水産学会秋季大会講演要旨集, p105 (1993).

- I. 発育初期の分布様式と体形変異について. 日生態会誌, 20, 63-76.
- Barlow, C. G., and B. A. Gregg, 1991. Use of circuli spacing on scales to discriminate hatchery and wild barramundi, *Lates calcarifer* (Bloch). *Aquacult. Fish. Manage.*, **22**, 491-498.
- Bilton, H. T., and G. L. Robins, 1971a. Effects of feeding level on circulus formation on scales of young sockeye salmon (*Oncorhynchus nerka*). *J. Fish. Res. Bd. Canada*, **28**, 861-868.
- Bilton, H. T., and G. L. Robins, 1971b. Effects of starvation feeding and light period on circulus formation on scales of young sockeye salmon (*Oncorhynchus nerka*). *J. Fish. Res. Bd. Canada*, **28**, 1749-1755.
- Gray, J., and S. B. Senta, 1931. The growth of fish IV. The effect of food supply on the scales of *Salmo irideus*. *J. Exp. Biol.*, **8**, 55-62.
- 池田弥生・尾崎久雄・安田秀明, 1974a. キンギョの鱗成長に及ぼす給餌量の影響. 日水誌, **40**, 859-868.
- 池田弥生・尾崎久雄・安田秀明, 1974b. キンギョの鱗の成長に対する種々の餌料の効果. 日水誌, **40**, 877-887
- 婦山雅秀, 1984. サケ幼魚の鱗形成に及ぼす水温の影響. 宮城水試研報, **7**, 4-10.
- 加藤守, 1968. カラフトマスの魚体各部位による鱗形質の相違について. 日水研報, **19**, 61-64.
- Lund, R. A. and L. P. Hansen, 1991. Identification of wild and reared Atlantic salmon, *Salmo salar* L., using scale characters. *Aquacult. Fish. Manage.*, **22**, 499-508.
- Nishida, M., 1986. Geographic variation in the molecular, morphological and reproductive characters of the ayu *Plecoglossus altivelis* (Plecoglossidae) in the Japan-Ryukyu Archipelago. *Japan. J. Ichthyol.*, **33**, 232-248.
- 大熊一正, 1991. サクラマス魚体各部位の鱗形質の相違と鱗の発現. さけ・ますふ研報, **45**, 35-46.
- 大島正満, 1956. 球磨川荒瀬堰堤が鮎の生態に及ぼしたる影響. 魚雑, **5**, 1-11.
- Pastene, L. A., K. Numachi, and K. Tsukamoto, 1991. Examination of reproductive success of transplanted stock in an amphidromous fish, *Plecoglossus altivelis* (Temminck et Schlegel) using mitochondrial DNA and isozyme markers. *J. Fish Biol.*, **39**(Suppl. A), 93-100.
- 佐藤良三・中賢治・石田力三, 1982. アイソザイムの魚類放流試験への適用の可能性. 養殖研報, **3**, 11-19
- Schwartzberg, M., and J.K. Fryer, 1993. Identification of hatchery and naturally spawning stocks of Colombia Basin spring chinook salmon by scale pattern analyses. *North Am. J. Fish. Manage.*, **13**, 263-271.
- 関伸吾・谷口順彦・村上幸二・米田実, 1984. 湖産アユと海産アユの成長・成熟および行動の比較. 淡水魚, **10**, 101-104.
- 関伸吾・谷口順彦, 1988. アイソザイム遺伝標識による放流湖産アユの追跡. 日水誌, **54**, 745-749.
- Seki, S., N. Taniguchi, N. Murakami, A. Takamichi, and I. Takahashi, 1994. Seasonal changes in the mixing rate of restocked ayu juveniles and assessment of native stock using allozyme marker. *Fisheries Sci.*, **60**, 31-35.
- 隆島史夫, 1976. 人工採苗アユの体形異常について
- II. 仔魚における骨格形成異常. 東水大研報, **62**, 99-112.
- 谷口順彦・高橋勇夫, 1989. 生化学的遺伝標識によるアユ放流種苗の追跡について  
—那賀川での調査事例—. 月刊海洋, **21**, 270-275.
- 戸嶋孝・桑原昭彦・藤田眞吾, 1995. 対馬暖流域におけるマダイ鱗の第1輪径組成の海域差. 日水誌, **61**, 874-879.
- 梅澤彰馬・塚本勝巳, 1990. 耳石微細構造による湖産・海産アユの判別法. 日水誌, **56**, 1919-1926.