

天然稚魚と比較したヒラメ人工種苗の体型、脊椎骨および鰭条数の特徴

吉村 圭三^{*1}, 川下 正己^{*2}

Comparison of body proportions and meristic characters between hatchery-reared and wild Japanese flounder juveniles.

Keizo YOSHIMURA^{*1} and Masami KAWASHITA^{*2}

This article reports the morphological characteristics in hatchery-reared Japanese flounder, *Paralichthys olivaceus*, based on analysis of the seedlings produced by Haboro station of Hokkaido aquaculture promotion corporation in 1996, comparing with the wild juveniles collected from northern coast of Hokkaido during 1995 to 1996.

The hatchery-reared flounders had relatively deeper body and larger head than wild juveniles in equal standard length; resulting rather rhombic or round body shape in lateral aspect, against the stream-lined shape of the wild juveniles. The vertebrae of reared flounder shifted the mode to 37 in total counts versus 38 in wild, and were often deformed with fused vertebra. Though such anomaly and numerical reduction did increase the degree of body depth/length ratio particularly in the cases of heavy deformation, the relative shortening of body occurred independently of the anomaly or reduction. It was suggested that an allometric deviation was induced by rearing conditions in which the warmer water temperature and food nutrition play the important roles.

The numbers of dorsal and anal fin ray of the reared flounder were not significantly different from the wild juveniles and were correlated to vertebral numbers. It was considered that the number of fin rays are subordinate to the vertebral number, consequently the decrease of vertebral number offset the increase of fin rays which is often observed in the rearing with warmed water.

キーワード： ヒラメ, 人工種苗, 種苗性, 脊椎骨異常, 鰭条数

まえがき

魚類の人工種苗はしばしば天然魚と異なる形態的特徴を示し、これを指標に種苗性が評価されることがある¹⁾。ヒラメ人工種苗の形態的特徴の中で特に目に付きやすい体色異常に関しては古くから調査研究が行われ、近年では脊椎骨癒合等、骨格系にみられる異常に関する調査も進められるとともに、天然魚との比較により鰭条数や体型についても部分的に報告がなされている²⁻⁴⁾。しかし、人工種苗におけるこれらの形態的特徴を総合的に記載し、その相互関連について調査した例はみられない。

本報では、ヒラメ人工種苗の体型及び体節形質の特徴

を天然稚魚と総合的に比較検討した結果、得られた若干の知見を報告する。

材料および方法

材料のヒラメ人工種苗は、1996年に北海道栽培漁業振興公社羽幌事業所において生産された⁵⁾。これらは岩手県産の受精卵から5月に孵化し、同年9月まで同事業所において継続飼育されたものである。標本として、9月17日に全長59~104mmの25尾、9月24日に全長102~138mmの100尾、計125尾を採取した(Table 1)。

天然ヒラメ稚魚は、1995~1996年に北海道北部海域に

報文番号A366 (2003年1月27日受理)

*1 北海道立稚内水産試験場 (Hokkaido Wakkanai Fisheries Experimental Station, Suehiro, Wakkanai, Hokkaido 097-0001, Japan)

*2 北海道栽培漁業振興公社羽幌事業所 (Haboro Station of Hokkaido Aquaculture Promotion Corporation, Sakae, Haboro, Hokkaido 078-4123, Japan)

Table 1 Data on the seed production(above) and sampled specimens(below) of the hatchery-reared flounder.

Date of hatchery	Period(days)	Larval rearing		Intermediate rearing	
		temperature(°C) (mean)	Completed size(T.L.***,mm)	Period	temperature(°C)
May 24/29*, 1996	52/49	15.9~18.6(17.9)**	23.0/20.4	Jul. 15~	16.1~21.0

Sampling date	No. of specimen	T.L. range(mm)	Mean T.L.(mm)
Sep. 17	25	59-104	86.2
Sep. 25	100	102-138	120.0

notes *double schedule of the seed production scheme
 **controlled to 18°C
 ***total length

Table 2 Sampling data of wild juveniles of Japanese flounder at northern coast of Hokkaido.

Date	Location	Depth(m)	No. of specimen	T.L. range(mm)	Mean T.L.
Sep. 6, 1995	Tomamae	5-15	20	11.3-85	50.0
Sep. 7, 1995	Obira	5-15	8	9.8-96	47.2
Sep. 8, 1995	Mashike	10	3	66-114	86.7
Sep. 27, 1995	Funadomari	15	2	48-118	83.0
Oct. 23, 1995	Bakkai	10-15	3	117-139	126
Oct. 23, 1995	Toyotomi	5-10	4	101-133	110
Aug. 20, 1996	Sarufutsu	5	7	15.0-23.5	20.1
Aug. 22-Sep. 12, 1996	Bakkai	4-10	9	13.2-86	37.7
Sep. 12-19, 1996	Haboro	3-6	6	48-107	66.8
	total		62	9.8-139	56.5

において行われた放流適地調査⁶⁾で採集された、全長9.8~139mmの62尾を用いた(Table 2, Fig. 1)。なお、1995年9月13~19日には留萌支庁管内の初山別村及び苫前町で計2万尾の人工種苗が放流されている⁷⁾が、採集月日から判断すると、付近で採集された材料中に放流魚が混入している可能性は極めて低いと思われる。また、1996年8~9月には調査海域において同公社羽幌事業所に由来する計60万尾以上もの人工種苗が放流され⁵⁾、調査中にこれらの放流魚も採集されたが、放流後間もないために有眼側が特徴的な黒色を帯びた色調をしており、人工魚に特有な無眼側黒化の軽微な個体であっても、容易に天然稚魚から区別することができた。

材料のヒラメは5~10%海水ホルマリンで固定後、標準体長(以下体長)、最大体高(以下体高)を測定し、軟X線装置(SOFRON)により骨格写真を撮影した。また、頭部の大きさの指標として、前鋤骨前端から基底後頭骨後端までの直線距離を頭蓋骨長、体部の大きさの指標として、第1椎体から下尾骨後端までの直線距離を脊柱長と定義し、それぞれX線フィルム上で測定した(Fig. 2)。撮影状態が悪く骨の輪郭が不鮮明なものは計測しなかった。脊椎骨はX線フィルム上で計数し、脊椎骨数は尾部棒状骨を含めて示した。脊椎骨癒合は前後の椎体が明らかに接着し、それぞれの神経棘が放射状に生じている状

態で判断し、癒合箇所から生じる神経棘数を癒合に関与する総椎体数とみなした。背鰭及び臀鰭条数は、実体顕微鏡下またはX線フィルム上で計数した。最後列の鰭条は根元から分枝している場合でも1本と数えた。

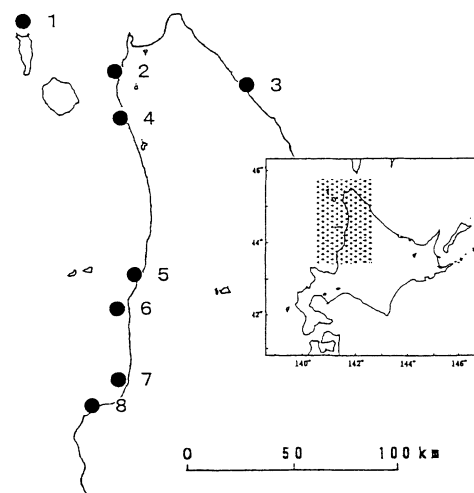


Fig.1 Sampling locations of wild juveniles of Japanese flounder. All specimens were collected with sledge net. Numbers indicate as follows: 1, Funadomari; 2, Bakkai; 3, Sarufutsu; 4, Toyotomi; 5, Haboro; 6, Tomamae; 7, Obira; 8, Mashike.

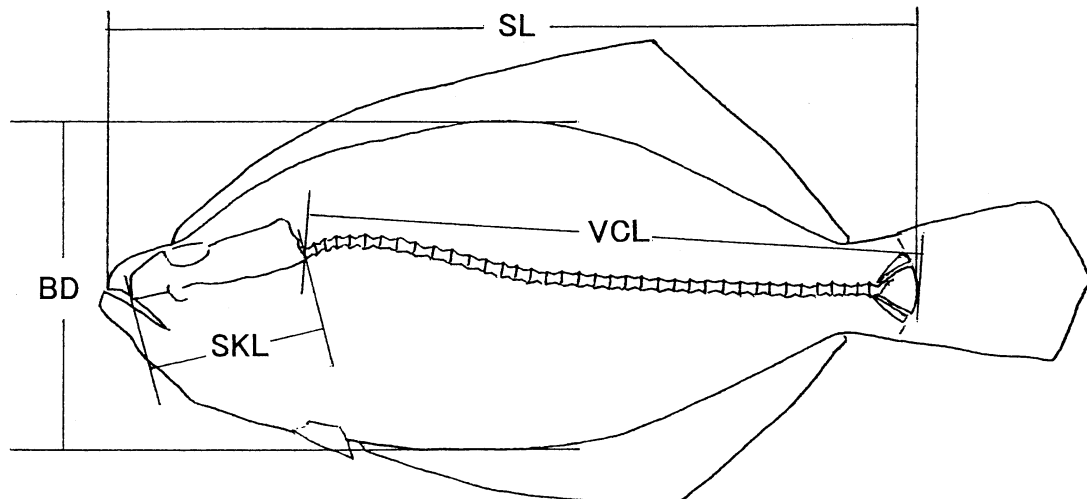


Fig.2 Schematic illustration for measurements of Japanese flounder, Abbreviations mean as follows: SL, standard length, distance from tip of snout to posteriormost end of hypural plates; BD, body depth, maximum body depth of individual; SKL, skull length, distance from tip of prevomer to end of basioccipital; VCL, vertebral column length, distance from anteriormost part of first vertebra to end of hypural plates.

結果

1. 脊椎骨癒合と脊椎骨数

人工種苗の67個体(53.6%)に脊椎骨癒合が観察された(Table 3)。癒合個体のうち37尾(55.2%)は1尾当たり1カ所、関与する椎体2個の比較的軽微なものであった。癒合が3カ所以上、関与する椎体が6個以上の重度のものは14個体(20.9%)で、最も多いものは癒合12箇所、椎体21個であった。脊柱の部位別にみると、第1~2椎体(腹椎)間の癒合が最も多く、癒合個体のうち42個体(62.7%)でみられた(Fig. 3)。これに対し、天然稚魚では62尾中1個体(1.6%)に癒合が観察された。癒合個体は第35~36椎体間が癒合していた。

人工種苗のうち癒合のみられなかった個体の脊椎骨数は36~39、平均37.38、癒合のみられた個体では35~39、平均37.48で、両者の分布型や位置に有意な差があると

Table 3 Vertebral deformation of hatchery-reared flounder(above) and details of abnormality(below).

No. of fused vertebra	0 (normal)	2-21 (abnormal)	Total
No. of specimen	58	67	125
Frequency(%)	46.4	53.6	100

No. of fused vertebra	2	3	4	5	6-21	Total
No. of specimen	37	6	8	2	14	67
Frequency(%)	55.2	9.0	11.9	3.0	20.9	100

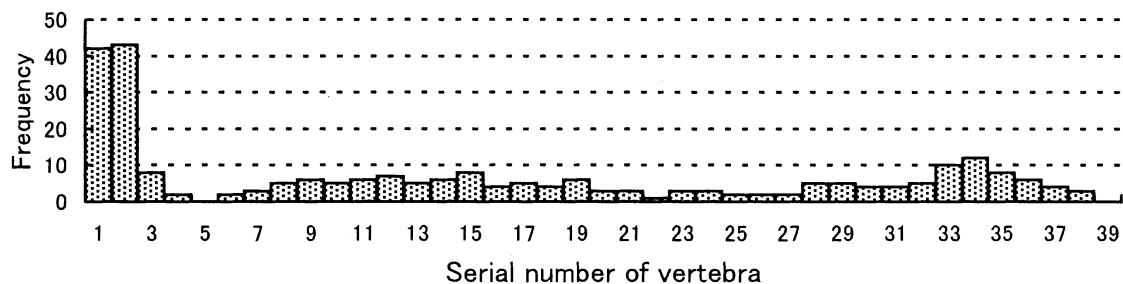


Fig.3 Frequency distribution of deformed site on the vertebral column of hatchery-reared Japanese flounder(N=67). Bars represent the number of deformed vertebra fusing with neighboring ones; e.g, the second vertebra of 42 individuals fused with the first, 6 with the third.

はいえなかった (Kolmogorov-Smirnov の 2 試料検定 ; $D=0.80, P=0.05$)。全人工種苗の脊椎骨数は平均 37.43 で、組成をみると 37 と 38 の個体がほぼ同数で併せて 90% 以上を占める。これに対し、天然稚魚の脊椎骨数は 37 ~ 39、平均 38.13 と多く、組成では 38 の個体が 80%、残りはほとんど 39 であり、明らかに人工種苗と異なっていた ($D=0.51, P=0.05$) (Fig. 4)。

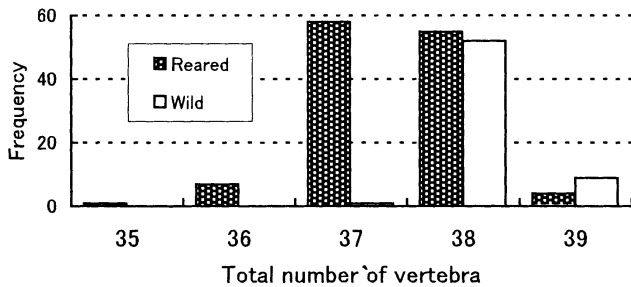


Fig.4 Frequency distribution of the total vertebral number including urostyle of hatchery-reared (closed bars; N=125) and wild (open bars; N=62) flounder. The numbers of fused vertebra were represented by counting the neural spines.

人工種苗における癒合発生頻度が、脊椎骨数によって異なるかどうかを調べた。脊椎骨数 37 及び 38 の個体について、その癒合個体の割合を比較したところ、それぞれ 58 個体中 28 個体 (48.3%)、55 個体中 31 個体 (56.4%) であり、有意な差とはいえなかった (カイ 2 乗検定 ; $\chi^2=1.10, P=0.05$)

2. 背鰭・臀鰭条数

人工種苗及び天然稚魚の背鰭条数と臀鰭条数を Table 4 に示した。平均値は人工種苗の背鰭 74.69、臀鰭 55.29、天然稚魚の背鰭 73.43、臀鰭 56.35 であった。背鰭・臀鰭ともに人工と天然の間で差があるとは言えなかった ($D=0.213$ (背鰭), $D=0.206$ (臀鰭), $P=0.05$)。

背鰭・臀鰭条数と脊椎骨数の関係を調べた (Fig. 5)。なお、脊椎骨癒合個体も解析に含めた。背鰭・臀鰭ともに脊椎骨数と有意な正の相関があった ($t=7.62$ (背鰭), $t=7.01$

Table 4 Data on the numbers of dorsal and anal fin ray of hatchery-reared and wild flounder.

		N	Range	Mode	Mean	SD
Dorsal fin	Reared	108	66-83	74	74.69	3.38
	Wild	61	68-80	72	73.43	2.39
Anal fin	Reared	108	49-62	55	55.29	2.77
	Wild	60	51-62	58	56.35	2.15

(臀鰭), $P=0.05$)。

3. 体高 - 体長関係

人工種苗において、脊椎骨癒合と脊椎骨数が体型に及ぼす影響を評価するため、これらの関係を調べた (Table 5)。癒合椎体数と体高 / 体長比には有意な正の相関が認められたことから、癒合椎体が脊柱の短縮をもたらし、体高 / 体長比を増大させているといえる ($t=0.582, P=0.05$) (Fig. 6)。次に、脊椎骨癒合のない正常な人工種苗において、脊椎骨数と体高 / 体長比の関係をみたところ、脊椎骨が多くなるに従い体高が低くなる傾向みられたが、有意な負の相関とはいえなかった ($t=1.85, P=0.05$) (Fig. 7)。

Table 5 Variations on mean proportion of body depth in standard length (BD/SL) of reared flounder with vertebral numbers and deformations.

No. of fused vertebra	Vertebral number					
	35	36	37	38	39	
0	N=	0	3	30	24	1
	BD/SL	0.421	0.417	0.411	0.410	
2-5	N=	1	1	23	25	3
	BD/SL	0.457	0.442	0.422	0.412	0.415
6<	N=	0	3	5	6	0
	BD/SL	0.456	0.437	0.438		

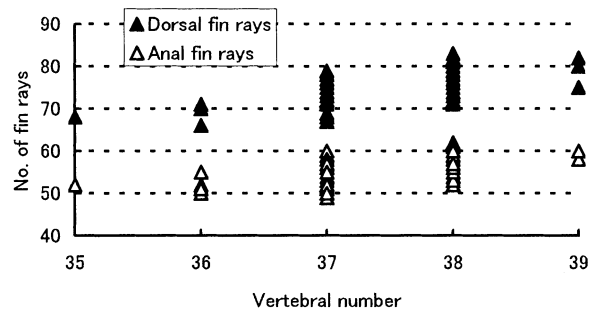


Fig.5 Relationships between the numbers of vertebra and dorsal/anal fin rays of hatchery-reared flounder (N=108).

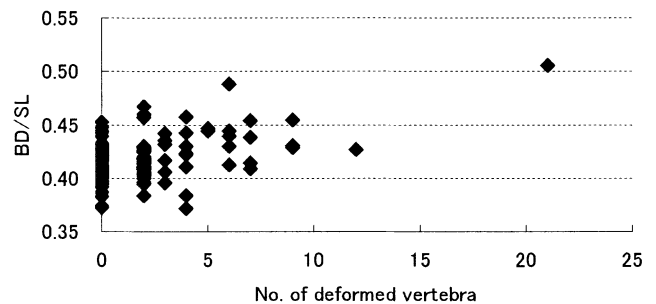


Fig.6 Relationships between the numbers of deformed vertebra and the proportion of body depth in SL (BD/SL) of hatchery-reared flounder (N=125).

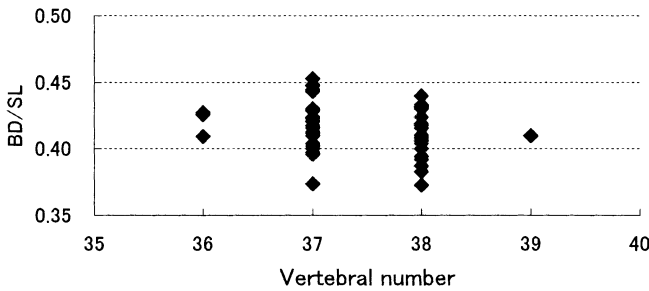


Fig.7 Relationships between vertebral number and the proportion of body depth in SL(BD/SL) of hatchery-reared flounder (N=58). Individuals with vertebral deformation were omitted.

脊椎骨癒合のない人工種苗及び天然稚魚の体高 - 体長関係をFig. 8 に示した。体高(y)及び体長(x)を対数変換し、それらの直線回帰から求めたアロメトリー式

$$y = a x^b$$

における平衡定数bは、人工種苗で1.015、天然稚魚で0.987であり、いずれも1に非常に近かったことから、体高 - 体長を直線関係と見なし、両者の回帰直線を共分散分析により比較した。その結果、人工種苗は天然稚魚に比べて有意に傾きが大きかった(ANCOVA; $t=3.07, p=0.05$)。このことから、脊椎骨癒合のない人工種苗においても天然稚魚と異なる体高 - 体長関係を示すということが出来る。

脊椎骨癒合のない人工種苗及び天然稚魚の体高 / 体長比と体長の関係を Fig. 9 に示した。体高 / 体長比の平均値は人工種苗が平均0.414、天然稚魚は0.375で前者が明らかに大きく (t 検定; $t=12.9, p=0.05$)、両者は0.4を境界にほぼ分けることができた。次に、脊椎骨数の影響を除くため、脊椎骨数38の個体のみで人工種苗及び天然稚魚の体高 / 体長比を比較した。平均体高 / 体長比はそれぞれ0.411、0.376で、明らかに人工種苗の方が大きかった (t 検定; $t=8.80, p=0.05$)。

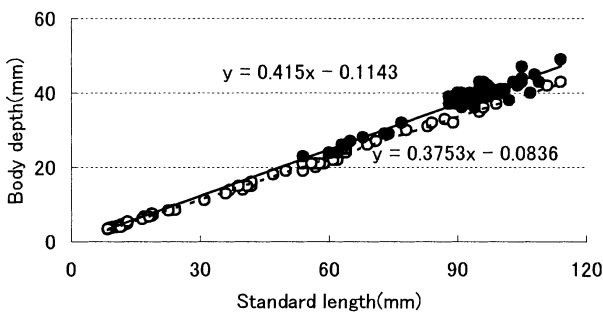


Fig.8 Relationships between the standard length and body depth comparing hatchery-reared (closed circles; N=58) and wild (open circles; N=61) flounder. Individuals with vertebral deformation were omitted.

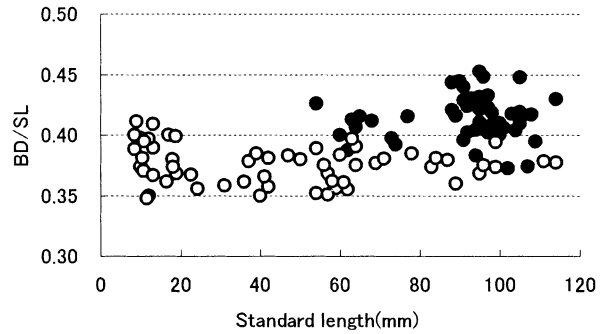


Fig.9 Relationships between standard length (SL) and the proportion of body depth in SL(BD/SL) comparing hatchery-reared (closed circles; N=58) and wild (open circles; N=61) flounder. Individuals with vertebral deformation were omitted.

このことから、脊椎骨癒合や脊椎骨数の減少がみられない人工種苗においても、やはり天然稚魚よりも大きな体高を示すことが出来る。

4. 頭蓋骨長 - 脊柱長関係

脊椎骨癒合のない人工種苗及び天然稚魚の頭蓋骨長 - 脊柱長関係をFig. 10に示した。頭蓋骨長と脊柱長は明らかなアロメトリーを示し、頭蓋骨長 / 脊柱長比は体サイズが大きくなるに伴い低下する。そこで、それぞれ対数変換した測定値から回帰直線を求め、共分散分析により比較した(Fig. 11)。その結果、両者の残差分散及び傾きに有意な差はみられなかったが (ANCOVA; $F=1.18, t=1.68, p=0.05$)、 y 切片では人工種苗が天然稚魚よりも有意に大きかった(ANCOVA; $t=2.18, p=0.05$)。このことから、同じ体長では常に人工種苗のほうが天然稚魚より頭部が大きいといえる。

考察

ヒラメ人工種苗において、体高 / 体長比が天然稚魚よりも大きい傾向があることが報告されている⁸⁾。実際に、本報で扱った1996年産人工種苗は、天然稚魚の体型が側

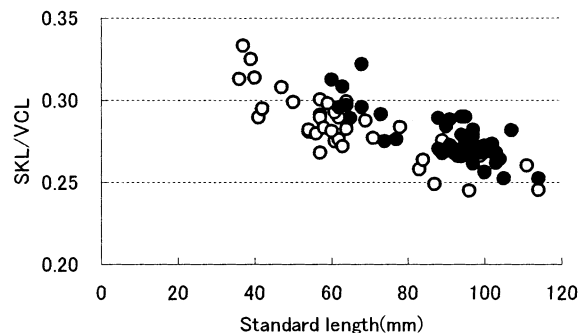


Fig.10 Relationships between the standard length (SL) and the proportion of skull length in vertebral column length (SKL/VCL) of hatchery-reared (closed circles; N=49) and wild (open circles; N=39) flounder. Individuals with vertebral deformation were omitted.

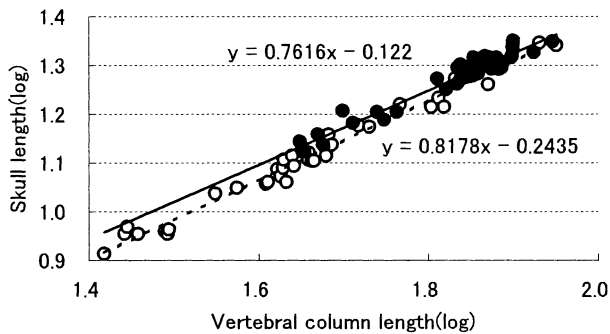


Fig.11 Relationships between the vertebral column length and skull length in logarithm comparing hatchery-reared (closed circles; N=49) and wild (open circles; N=39) flounder. Individuals with vertebral deformation were omitted.

面（有眼・無眼側）からみてほぼ紡錘型であるのに対し、やや菱形を帯びたマガレイ、スナガレイなどカレイ類を思わせる体型や、全体に丸みを帯びてずんぐりした体型が多くみられた。その原因として、人工種苗にしばしば生じる脊椎骨癒合によって脊柱が短縮され、体高/体長比が天然魚より大きくなっていることが予想された。このことは、重度の癒合個体が明らかに短躯型の体型を示すことから容易に推察できる。しかし、脊椎骨癒合のない正常個体のみにおいても明らかに天然稚魚より大きな体高/体長比を示していることから、癒合だけがその根本的な要因であるとは言い難い。なお、本報では癒合発生部位別の体型変化について検討は行わなかったが、癒合部位、箇所数や癒合椎体の変形程度によって、体型変化に及ぼす影響もまた様々であることが予想される。

一般に魚類では発生初期の水温の変異に伴って脊椎骨数が増減することや、餌料中のビタミン類等栄養素の過不足が骨格形成異常を引き起こすことが知られている²⁹⁾。ヒラメの脊椎骨数は通常38 - 39個といわれ¹⁰⁾、本報で扱った天然稚魚においてもそれが確認されたことから、天然においては安定した形質であると考えられる。人工種苗にみられたモードの移動（減少）は、孵化後の加温飼育(18℃)⁵⁾や、脊椎骨の骨化が完了する変態期における餌料の栄養条件等が影響していると思われる。なお、減少はほぼすべての場合尾椎骨で起こっており、通常11である腹椎骨数が減少していた例は、125尾中わずかに1例(10に減少)であった。人工種苗における脊椎骨の減少は、直観的には脊柱の短縮、さらには体高の増大に帰結するように思われるが、本報では脊椎骨数と体高/体長比に負の相関傾向が伺われたものの、有意とは認められなかった。また、脊椎骨数38の正常個体のみでの比較においてもなお天然稚魚より大きな平均体高比を示していることをみても、脊椎骨の減少が人工種苗における体高増加の根本的な原因とは言い難い。

ヒラメにおいては、背鰭・臀鰭の担鰭骨・鰭条は脊椎骨よりやや遅れて骨化が始まること¹¹⁾、人工種苗では、変態期の飼育水温が高いほど背鰭・臀鰭条数が多くなることが知られている¹²⁾。本報において、背・臀鰭条数が脊椎骨数と正の相関を示したことは、これらの鰭条数がその発生順位上、脊椎骨数に従属的であることを示唆する。また、脊椎骨数38以上の人工種苗の平均背鰭・臀鰭条数をみると、それぞれ76.53, 56.82であり、背鰭では天然稚魚より明らかに多かった(D=0.417)(Fig.12)。このことは、加温飼育に伴う鰭条数の増加を示唆するが、親魚産地の違いによる遺伝的差異が作用している可能性もある。人工種苗全体としては、脊椎骨数の減少に伴う鰭条数の減少傾向と、加温飼育等に伴う増加傾向が相殺され、見かけ上では天然稚魚との差が生じなかったと解釈できる。

体高以外にも、魚類人工種苗では部分長の体長比が天然魚としばしば異なることが知られている¹³⁻¹⁵⁾。本報における頭蓋骨長と脊柱長の関係では、同じ脊柱長に対して、人工種苗では天然稚魚よりも頭蓋骨が大きい結果が得られた。このことは、人工種苗では頭部に対して体部の発達程度が天然稚魚より低いことを示唆し、同じ大きさの天然稚魚よりもいわば幼型的な体型であるということが出来る。頭蓋骨長と体高の関係をみると、人工・天

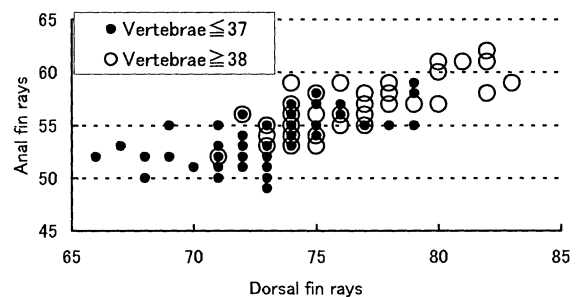


Fig.12 Relationships between the numbers of dorsal and anal fin rays comparing individuals of reared flounder with vertebrae less than 37 (closed circles; N=55) and more than 38 (open circles; N=48).

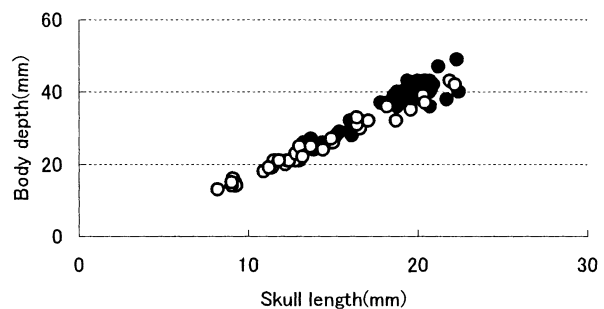


Fig.13 Relationships between skull length and body depth comparing hatchery-reared (closed circles; N=49) and wild (open circles; N=39) flounder. Individuals with vertebral deformation were omitted.

然ともほぼ比例関係にあり(Fig.13)人工種苗において脊柱長が相対的に短縮しているにもかかわらず、それに伴う体高の減少傾向はみられない。体高がむしろ頭部の大きさに依存することは、最大体高部が体中央より頭部寄りに位置することからも理解しやすく、人工種苗の体型を決定づけているのは頭部に対する体部の相対的短縮であると言える。このような成長様式の偏りの原因として考えられるのは、加温飼育による変態サイズの小型化と変態期間の短縮¹⁶⁾、餌料中の栄養素の過不足による(総数の減少や癒合以外の)脊椎骨要素や軟骨の発達不足などであるが、これらの具体的検討と解明は今後の課題である。

ヒラメ人工種苗における脊椎骨格形成異常については、近年餌料の改良等による防除対策が進められ、遺伝子の発現に対応した骨格系の発生機構も明らかにされつつある¹¹⁾。現在、種苗生産現場では、一見して短躯型である重度の脊椎骨癒合個体はあまりみられないが、1~2カ所程度の比較的軽微な癒合個体は、生産ロットによって今なお高率で現れることがある。これらの軽微な癒合や脊椎骨数の減少、また本報で示された体型の幼型化が、人工種苗の体機能や放流後の生残率、さらに漁獲後の商品価値にどのような影響を与えているのかについては、ほとんど調査されていないが、人工種苗放流の効果を正当に評価するために、今後明らかにする必要がある。

謝辞

本報への取り組みを示唆して下さい下さった元函館水産試験場資源増殖部長草刈宗晴博士に感謝する。また、計数作業に協力して頂いた元稚内水産試験場臨時職員、佐藤美香子氏、佐藤みゆき氏及び氏家砂織氏に感謝する。

要約

- 1996年北海道栽培漁業振興公社羽幌事業所産ヒラメ人工種苗の体型と体節筋質を、1995~1996年北海道北部日本海産ヒラメ天然稚魚と比較検討し、人工種苗の種苗性を考察した。
- 人工種苗の脊椎骨数は約半数の個体に椎体の癒合が観察され、天然稚魚より1個少ない37にモードがあった。
- 人工種苗の背・臀鰭条数は脊椎骨数と正の相関を示したが、数では天然稚魚と差がなかった。このことは、脊椎骨数の減少に伴う鰭条数の減少が加温飼育による増加傾向と相殺された結果と考えられた。
- 人工種苗の体高/体長比は椎体癒合数と正の相関があった。脊椎骨癒合のない人工種苗の体高は天然稚魚より大きく、脊椎骨数38の個体のみと比較でも同様で

あった。

- 人工種苗は天然稚魚に比べ頭蓋骨長が大きかった。人工種苗では相対成長の偏りによる体部の短縮によって天然稚魚よりも体高が大きくなり、脊椎骨の減少や癒合によってその傾向が助長されていると考えられた。

文献

- 中野広："1. 種苗の評価基準". 放流魚の健苗性と育成技術. 東京, 恒星社厚生閣, 1993, 9-18.
- 竹内俊郎："8. 健苗育成と栄養要求". ヒラメの生物学と資源培養. 東京, 恒星社厚生閣, 1997, 96-106.
- 山形県：平成9年度放流技術開発事業報告書 異体類. 北海道他. 1998, 山形1-10.
- 竹野功璽, 葭矢護, 宮嶋俊明：若狭湾西部海域産ヒラメの背鰭および臀鰭条数にみられる未成魚と成魚間の差異. 日水誌. 67(6), 1051-1055(2001)
- 川下正己, 渡邊郁夫, 小林元："ヒラメ種苗生産事業". 北海道栽培漁業振興公社平成8年度種苗生産事業報告書. 41-56(1999).
- 吉村圭三：道北海域における天然ヒラメ稚魚について. 北水試だより. 43, 1-5(1999)
- 水産庁・日本栽培漁業協会：平成7年度栽培漁業種苗生産, 入手・放流実績(全国), 資料編. 1997, 412p.
- 二平章：天然産ヒラメと人工種苗ヒラメの体高比の相違. 茨城水試研報. 28, 113-115(1990)
- 能勢幸雄, 石井丈夫, 清水誠："1.3 系群". 水産資源学. 第2刷. 東京, 東京大学出版会, 1992, 22-35.
- 沖山宗雄：ヒラメの初期生活史に関する研究. 稚魚期の形態及び近縁種との比較. 日水研報告. 25, 39-61(1974)
- 鈴木徹：骨格の発生と奇形の発症システム - 遺伝子解析を通じて分かったこと -. 養殖研ニュース. 46, 24-29(2000)
- Kinoshita I, Seikai T, Tanaka M and Kuwamura K: Geographic variations in dorsal and anal fin ray counts of juvenile Japanese flounder, *Paralichthys olivaceus*, in the Japan Sea. *Environ. Biol. Fish.* 57, 305-313(2000)
- 松宮義晴, 金丸彦一郎, 岡正雄, 立石賢：マダイ人工放流魚と天然当歳魚の外部形態の比較. 日水誌. 50(7), 1173-1178(1984)
- 福原修："種苗の健全性". マダイの資源培養技術. 東京, 恒星社厚生閣, 1986, 59-74.
- 田中克："飼育魚と天然魚の比較". 放流魚の健苗性と育成技術. 東京, 恒星社厚生閣, 1993, 19-30.
- 乃一哲久："2. 初期生態". ヒラメの生物学と資源培養. 東京, 恒星社厚生閣, 1997, 25-40.