



HOKKAIDO UNIVERSITY

Title	アイナメ(Hexagrammos otakii JORDAN et STARKS)の卵・仔魚期における形態変異と死亡に及ぼす温度の影響について
Author(s)	浜井, 生三; HAMAI, Ikusô; 久新, 健一郎 他
Citation	北海道大學水産學部研究彙報, 17(1), 1-32
Issue Date	1966-05
Doc URL	https://hdl.handle.net/2115/23269
Type	departmental bulletin paper
File Information	17(1)_P1-32.pdf



アイナメ (*Hexagrammos otakii* JORDAN et STARKS) の卵・仔魚期
における形態変異と死亡に及ぼす温度の影響について

浜井生三・久新健一郎

Effect of Temperature on the Form and Mortality during
the Embryonic and Early Larval Stages in the Greenling,
Hexagrammos otakii JORDAN et STARKS*

Ikusô HAMAI** and Kenichiro KYÛSHIN**

Abstract

Eggs and larvae of the greenling were reared under several temperature conditions in order to elucidate morphological variations and the factors influencing the survival rate during the embryonic and early larval stages. Eggs were artificially fertilized by the dry method in November, 1961 and placed in the closed circulation system of sea water. The experiments were carried out on five experimental sections at various temperature, i.e. 9°, 11°, 13°C, decreasing temperature from 11° to 7°C and also at unregulated room temperature, but 7°C was used for the larval stage in place of decreasing the temperature for eggs. Besides the above temperature conditions, chloromycetin sea water of 50 p.p.m. was also used at the lowest temperature and the room temperature sections for the larval stage to determine the effect of this antibiotic controlling bacteria. In all experimental sections of the larval stage, fed and unfed sub-sections were prepared, and nauplii of brine shrimp (*Artemia salina*) were provided for food for the larvae.

The development time from fertilization to hatching was 31~54 days at the experimental temperatures mentioned above and Arrhenius' temperature characteristic, μ , was ranged with about 20000~22000 at four stages of development, i.e. heart pulsation, appearance of melanophores on the dorsal portion of the embryo, full circling of embryo and hatching. About 78~85% of the fertilized eggs hatched in each experimental section except that of 9°C, in which the hatching rate was only 28%.

The experimental sections were compared in the larval stage to determine the mortality percentage or the survival curves. The reduction coefficients of population during the yolk sac period were calculated from the survival curves as 0.001~0.003 and experimental sections showed no significant difference. After the yolk sac period, there followed a period of high mortality, that was the critical period, during which the majority of larvae in the unfed section died of starvation. Of the survival rates at the end of the yolk absorption period ranged 13~38%, those of 9°C and 11°C were higher than the others. The survival rate of chloromycetin sections were two or three times higher than the non-chloromycetin sections at the same temperature. During the feeding period of larvae the reduction co-

* 1964年10月, 日本水産学会全国大会(於下関)で講演発表

** 北海道大学水産学部資源生物学教室

efficient of population varied significantly with the temperature within a range of 0.018~0.083, so that the higher the temperature was, the larger was the coefficient. The remarkable effect of chloromycetin was distinctly recognized as reducing the mortality rate.

The growth of several body parts in relation to body length or head length was influenced by the environmental temperature, that is, the lower the temperature was during the embryonic stage, the smaller were the percentage of head length, diameter of eye and diameter of auditory vesicle as compared with body length at the time of hatching, but it was supposed that the responsibility for external temperature would emerge as these morphological variations in the later stage after the period of the full-circled embryo.

A critical point was clearly found in the relative growth of ante-anal length (distance from tip of snout to anus), tail length (distance from anus to tail end) and trunk length (distance from posterior margin of auditory vesicle to anus) at the body length of about 8.6 mm. At this critical point the ante-anal length showed a shift from bradyauxesis to tachyauxesis, the tail length from tachyauxesis to bradyauxesis and the trunk length from bradyauxesis to iso- or tachyauxesis respectively, but the head length, the diameter of eye and the diameter of auditory vesicle exhibited simple tachyauxesis as compared with the body length.

Temperature operated on the body parts to raise the equilibrium constant k in the allometric equation, $\log y = k \log x + \log b$, where y and x represent length of body part and body length respectively, especially the influences upon the eye diameter were remarkable. Moreover, more intense operation of chloromycetin than temperature were obviously recognized, but its cause and effect were left for further investigations. The effects of the temperature and chloromycetin are different according to body parts or the developmental stages of larvae.

The linear relationship exists between the equilibrium constant and the other in every body part, i.e. $\log b = \beta - \kappa k$, where β and κ are constants, and the point (x_0, y_0) computed from $\kappa = \log x_0$ and $\beta = \log y_0$, which is the intersection of all allometric curves, corresponds to the critical point mentioned above, and furthermore to the critical point found on the absolute growth curve of body length, and the body length at this critical point is nearly equal to that of larvae at the stage at which yolk has been entirely absorbed.

There is a growth gradient along the antero-posterior axis of the body in the larval stage and the center of growth exists on both head and tail until the critical point has been attained, but because of increase of the equilibrium constant in the trunk a decline in the gradient from head to tail becomes clear after the critical period.

結 言

魚類の形態変異は遺伝要因と環境要因によるが、どの要因による場合でも変異によって種族あるいは系統群を識別しようとする漁業生物学的研究が現在まで数多く行なわれてきた。しかし形態変異のおきる機構については未詳のままに残されている点が多い。

筆者等は魚類の形態に変異をもたらす環境条件および種々の条件下における発育段階による感受性の相違と変異の程度を明らかにすることによって、系統群の研究をより解析的にし、また或る環境下で形成した生活適応としての形態的特徴と成長や個体群量（特に生活史の初期における発生量）との

関連を明らかにするために、1960年以来各種海産魚の卵、仔魚の飼育実験による研究を進めてきた。本報告は1961年における実験結果を取りまとめたものであり、前年度において飼育装置、餌料その他について予備実験を行なった。

北海道南部水域において、アイナメは刺網、延縄、底建網等で周年に亘って漁獲されるが、漁獲量は5~7月の春夏期と10~12月の産卵期に多い。産卵場は漁業者からの聞き取り調査によれば、岸寄りの水深2~30mの岩礁地帯であると推定される。アイナメの胚発生、仔魚の形態および生活史については、大島・中村(1942)¹⁾、山本・西岡(1948)²⁾、遊佐(1960)³⁾の研究がある。

本文に先だち、材料の採取に格別の御便宜をはかられた函館市金堀町中野崎長吉氏に深謝の意を表する。

材料および方法

I. 材 料

1961年11月28日、函館市金堀町沿岸の底建網で漁獲されたアイナメ雌雄各1個体(体長:雌337mm,雄304mm)を用い、漁獲約2時間後に実験室で乾導法により人工受精を行った。アイナメ卵は受精後直ちに互に粘着し合い、また他物に粘着する。使用した海水の温度は約14°Cである。受精時の卵色は淡褐色で、平均卵径は2.05mm(測定卵粒数15,標準偏差0.04mm,卵径範囲2.02~2.11mm)である。1960年度の実験結果*では塊状卵塊よりも板状卵塊の方が孵化率が高かったので、1961年度はすべて一層の板状卵塊にした。未受精卵をシャーレに入れ、筆毛で一層に並べ、その状態で媒精し海水を静かに注入すれば容易に板状卵塊を作ることができる。受精後、50ppmのクロロマイセチン海水で卵塊を十分に洗浄し、精液の残渣やその他の汚物を除去した。

II. 胚期の飼育

温度条件の異なる5実験区(第I区:13°C恒温,第II区:11°C恒温,第III区:9°C恒温,第IV区:飼育開始時を11°Cとし、0.4°C/6 daysの割りで降温し孵化時に7°C前後になるように温度調節を行った区**,第V区:室温放置区)を設け、送気式閉鎖環流装置で飼育を行った(第1図)。この装置は全実験区の卵が同じ水質の海水で飼育されるようにガラス管およびゴム管で連結して作ったもので、水は貯水槽(5)から飼育水槽(4)へ、さらに飼育水槽から貯水槽(7)へいづれも水位差によって流れ、貯水槽(7)に集った水は送気式揚水により砂の濾過槽(6)を通過して貯水槽(5)に貯わえられる。保温用のヒーター(3)とサーモスタット(2)を飼育水槽(4)を浸けた淡水タンク(1)に設置して、タンク内の水温を調節することによって間接的に飼育水槽内の海水温度を一定に保った。貯水槽(5)の水温は実験室内の気温に左右されやすいので、淡水タンクに浸したガラスの曲管を通して飼育水槽に注水し、水を攪拌する目的でガラスの細管で飼育水槽にかすかに送気した。貯水槽内の水は比重計で比重を測定し、蒸留水を適宜加えて蒸発による塩分濃度の変化を調節した。この閉鎖環流系に用いた水の全量は31lであり、貯水槽から各飼育水槽に流入する水量は毎分30~50ccで、飼育水槽内の水量は常に約2.5lである。4~5日毎に全水量の1/2を換水し、その際の排水と給水は貯水槽(5)で行った。なお、孵化の始った飼育水槽は順次環流装置よりはらずし、1~2日毎に全水量の換水を行った。孵化期間もガラスの細管で飼育水槽に送気した。飼育した卵数は実験区(飼育水槽数は第I, II, IIIおよびV区がおのおの1個,第IV区が2個)で若干異なり、約1700~2300粒である(第1表)。なお、水の攪拌と酸素補給のために胚期を通じて貯水槽(5)に送気を行った。飼育に使用し

* 孵化率は塊状卵塊7%,板状卵塊56%であった。ともに同じ親魚からえた卵を送気式閉鎖環流装置で飼育した結果である。水温は12~14°C。

** 1960年度の結果を参考にして温度勾配を決めた。

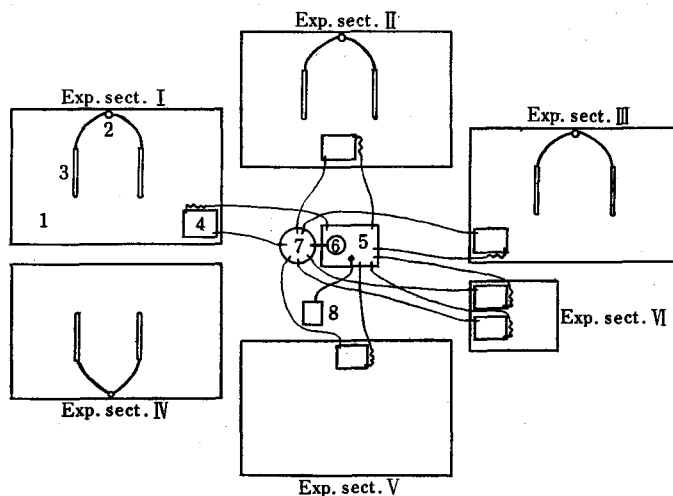


Fig. 1. Diagrammatic plane figure of closed sea water circulation system
 1: fresh water bath (70×110×34cm) 2: thermostat 3: heater (100W)
 4: glass rearing tank (16×19×19cm) 5: glass reservoir (22×29×29cm)
 6: sand filter 7: beaker (5L) 8: air pump

Table 1. Number of eggs and water conditions in rearing tanks during the developmental period of eggs

Exp. sect.	Total number of eggs	Number of hatched egg	Percentage of hatched egg	Temperature (°C)	
				Mean	Range
I	2201	1648	77.63	12.97±0.16	11.7~13.8
II	2425	1983	84.78	10.96±0.11	10.1~11.8
III	2428	659	28.14	9.00±0.14	7.6~10.4
IV	1970	1577	84.02	9.48±0.29	7.4~11.1
	1685	1348	81.80	9.49±0.30	7.4~11.4
V	2299	1801	81.24	7.37±0.55	3.5~11.0
Dissolved oxygen (cc/L)		Chlorinity (‰)			
Mean	Range	Mean	Range		
5.91±0.30	5.70~6.23	18.508±0.222	18.350~18.800		
5.91±0.33	5.65~6.28	18.404±0.328	18.080~18.795		
6.06±0.18	5.90~6.36	18.492±0.448	17.840~18.970		
6.05±0.22	5.92~6.34	18.452±0.505	17.870~18.995		
5.97±0.27	5.63~6.16	18.482±0.444	18.120~18.975		
6.13±0.14	6.00~6.31	18.477±0.461	17.785~18.970		

た水槽類の寸法は第1図に示す通りである。

III. 仔魚期の飼育

仔魚期の温度条件は胚期の場合と同様である。ただし、温度勾配をつけた第IV区の孵化期における水温は8°C前後で、孵化後は孵化時の水温をもって恒温とした。飼育はすべて静水条件で行い、溶存酸素量および塩素量の測定と死亡個体、餌料の残渣等を除去する際に採取した水量だけを補水した以外には換水しなかった。仔魚期の場合も塩分の調節には比重計を用いた。飼育に使用した水槽はガラス製角型2種類で、水量、飼育尾数、水槽数は第2表に示す通りである。餌料には *Artemia salina* の幼生を用い、各実験区に1~2個の無投餌区を設けた。投餌を開始した日は第I区では孵化後2~3日目、第II区では3~4日目、第III区では3~5日目、第IV区では3日目、第V区では5~6日目であり、投餌は隔日に行った。細菌による水質汚染の影響をみるためにクロロマイセチン海水(50ppm)による飼育を第IVおよびV区で試みた。飼育水槽への送気は餌料を与えるようになってから行った。*A. salina* の幼生は強い趨光性を持ち、飼育水槽の隅や実験室の窓側の器壁水面近くに蜻集するので、水槽内におけるアイナメ仔魚の分布と必ずしも一致しない。従って送気によって水を攪拌し、餌に仔魚が遭遇する機会を多くするように努めた。

Table 2. Water conditions in rearing tanks during the larval stage
A: glass tank 22×29×29(cm) B: glass tank 16×19×19(cm)

Exp. sect.	Number of rearing tank	Number of larvae	Range of mean temperature (°C)	Range of mean dissolved oxygen (cc/L)	Range of mean chlorinity (‰)	Remark
I	6 (A) 1 (B)	353~389 99	12.96~13.06 12.94	5.74~5.98 5.82	18.576 18.168	Non fed
II	6 (A) 2 (B)	335~395 98, 105	10.91~10.94 10.90, 10.93	5.92~6.06 5.90, 6.16	18.399~18.735 17.810	Non fed
III	3 (A) 1 (B)	365~368 101	8.95~9.02 8.96	6.18 6.55	18.494	Non fed
IV	6 (A) 1 (B)	352~370 104	7.16~7.42 7.55	6.37~6.59 6.40	18.151~18.721 18.645	Chloromycetin (1) Non fed
V	6 (A) 2 (B)	352~396 104, 117	4.55~4.59 4.63, 5.08	6.65~6.78 6.46, 6.81	18.302~18.762 18.458, 18.588	Chloromycetin (1) Non fed

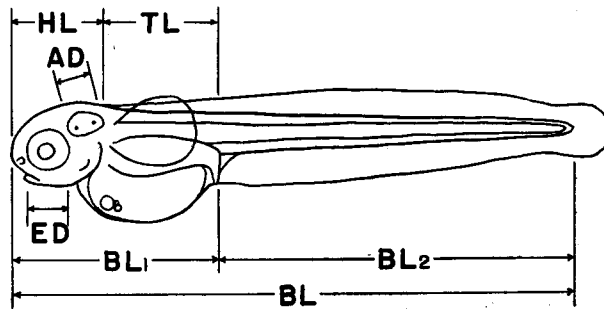


Fig. 2. Diagram to show the measurements of body parts of newly-hatched greenling larva

IV. 発生段階の観察と体部分の測定

全実験区について胚期に観察した発生段階は、桑実期、囊胚期被覆 $\frac{1}{2}$ 、原口閉鎖、胚体卵円周 $\frac{1}{2}$ 、心臓鼓動開始、胚体色素出現、胚体卵円周 $\frac{3}{4}$ 、胚体卵円周一巡ならびに孵化の 9 期であり、受精から各期までの経過時間を記録した。仔魚期では、体長 (BL)、肛門体長 (BL₁)、尾長 (BL₂)、頭長 (HL)、眼径 (ED)、耳胞径 (AD) および体重の測定を行った (第 2 図)。ただし、頭長は吻端から耳胞後縁までの長さである。耳胞径はその最長軸上で、またその他の体部分は体の前後軸に沿って測定した。体重は 1 回の測定尾数の全重量から平均値を求めた。仔魚の測定は実験区 I ~ V でそれぞれ 4, 4.5, 5, 5 および 7 日間隔で行うこととしたが、都合により測定日を変更したこともある。1 回の測定尾数は各飼育水槽で 5 尾を原則とした。

V. 環境の測定と死亡個体数の算定

物理・化学的環境条件の変動をみるために、毎日正午に全飼育水槽の測温を行い、また 4~8 日毎に一部の飼育水槽について飼育海水の溶存酸素量 (ウインクラー氏法による) と塩素量を測定した。胚期中は死亡数を調べなかったが、仔魚期では毎日正午に死亡個体数を計数した。

結 果

I. 飼育期間中の温度、溶存酸素量および塩素量の変動

胚期における恒温飼育区の平均温度は約 13°, 11° および 9°C であり (第 1 表), 実験当初に計画した温度条件を満足している。飼育期間中の温度変化をみると (第 3 図), 第 I, II および III 区でそれぞれ $\pm 1.3^\circ\text{C}$, $\pm 0.9^\circ\text{C}$, $\pm 1.4^\circ\text{C}$ の範囲内で変動し、日間最大温度差は 1.7°, 1.2° および 2.2°C である。第 IV 区は飼育当初の 11°C から次第に温度を低下させた実験区で、平均温度は 9.5°C,

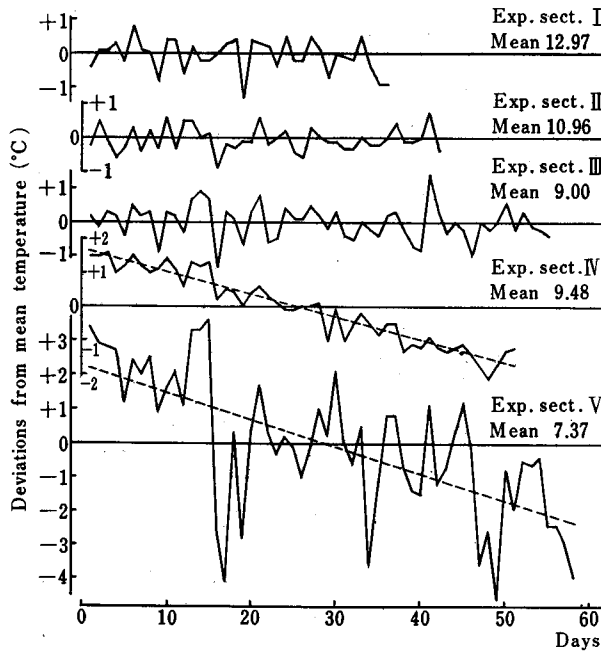


Fig. 3. Changes of temperature during the developmental period of eggs

温度勾配は約 $0.07^{\circ}\text{C}/\text{day}$ であり、孵化期には 8°C 前後の温度になっている。第V区の平均温度は 7.4°C であって、温度の変動は他区に比べて非常に大きく、日間最大温度差は 6°C にも及ぶ。長期傾向としてみれば温度低下の勾配は約 $0.08^{\circ}\text{C}/\text{day}$ で、孵化期には $3.5^{\circ}\sim 7.0^{\circ}\text{C}$ まで低下している。測温は正午に行ったものであるから、この区の時刻による温度の変動はさらに大きいものと考えられる。

仔魚期における飼育水槽の平均温度を第2表に、また温度の変化を第4図に示す。同一実験区の飼育水槽は同じ水浴槽中に置かれてあり、温度の変動はほぼ同様であるので、図には各区とも1飼育水槽の結果だけを示した。第I、IIおよびIII区の平均温度はそれぞれ 13° 、 11° および 9°C 前後で、温度の変動範囲は胚期と大差ない。第IV区の平均温度は $7.2^{\circ}\sim 7.6^{\circ}\text{C}$ である。平均温度からの偏差は約 $\pm 1.5^{\circ}\text{C}$ の範囲にあり、日間最大温度差は 2.3°C であって、温度の変動は第I~III区に比べて若干大きい。室温放置の第V区の平均温度は $4.6^{\circ}\sim 5.1^{\circ}\text{C}$ であって、日々の温度は 2.6°C から 8.0°C までの間を上下し、胚期の場合と同様に変動が極めて大きく、日間最大温度差は 7.5°C にも及ぶ。この区では胚期と同様、時刻による温度の変動は観測値よりも大きいものと考えられる。

次に溶存酸素量の変動をみると、胚期では各実験区の平均は $5.9\sim 6.1\text{cc}/\text{L}$ の間にあり(第1表)、いずれの区でも孵化期に近づくに従って減少する傾向が認められた。仔魚期の飼育水槽の平均は $5.7\sim 6.8\text{cc}/\text{L}$ であって(第2表)、胚、仔魚期とも低温条件のものほど溶存酸素量は若干多い。

胚期の平均塩素量は $18.4\sim 18.5\%$ で、実験区による差異はみられない(第1表)。一方、仔魚期における平均は $17.8\sim 18.8\%$ であり、実験区間または同一実験区でも水槽間に若干の差が認められる(第2表)。

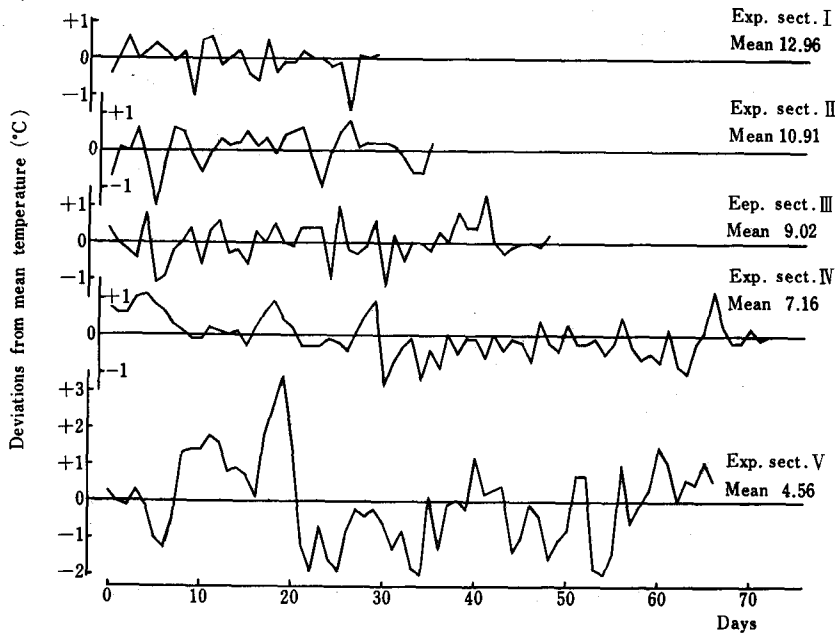


Fig. 4. Changes of temperature during the rearing period of larvae

II. 胚発生および孵化

アイナメの胚発生は一般硬骨魚と大差なく、第II区(平均温度 11°C 、温度範囲 $10.1\sim 11.8^{\circ}\text{C}$)の結果を要約すると次の通りである。

媒精後3時間で卵黄上に原形質盤の形成が明瞭にみられ(図版, 第1図), 6時間で第1分裂2細胞期(図版, 第2図), 9時間10分で4細胞期, 12時間で8細胞期(図版, 第3図), 15時間20分で16細胞期(図版, 第4図), 約24時間で桑実期(図版, 第5図), 35時間で胞胚期に至り, 60時間ですでに囊胚期に入り被覆約 $\frac{1}{4}$ (図版, 第6図), 77時間で被覆 $\frac{1}{2}$ (図版, 第7図), 97時間で原口が閉鎖する。107時間で眼胞原基が伺がわれ, クッペル氏胞が胚体の尾部腹面に認められ(図版, 第8図), 136時間でレンズ形成, 168時間で胚体の尾部伸長して卵黄より分離し, クッペル氏胞はすでに消失し, 183時間で胚体は卵円周の $\frac{1}{2}$ となる(図版, 第9図)。206時間で心臓の微かな鼓動が認められ, 胚体の運動が観察され始め, 219時間で胚体が卵円周の約 $\frac{2}{3}$ となり胚体背面に黒色色素が出現する(図版, 第10図)。258時間で胚体は卵円周の約 $\frac{3}{4}$, 卵黄囊上に血管が明瞭に認められ, 260時間では眼の縁辺に黒色色素胞が出現し, 353時間で胚体は卵円周一巡(図版, 第11図), 卵黄囊上の血管に血液流が認められ, 胸鰭が形成される。媒精後約810時間, すなわち34日目から孵化を開始し(図版, 第12, 13図), これより8日間で完了した。平均孵化日数は約37.5日である。

各実験区の発生経過を Worley (1933)⁴⁾ の図示法で比較する(第5図)。すなわち, 図の横軸を受精からの経過時間として, 原点を通る任意の直線上に恒温で飼育した第II区の主要発生段階(1: 桑実期, 2: 囊胚期被覆 $\frac{1}{4}$, 3: 原口閉鎖, 4: 胚体卵円周 $\frac{1}{2}$, 5: 心臓鼓動開始, 6: 胞体に色素出現, 7: 胚体卵円周 $\frac{3}{4}$, 8: 胚体卵円周一巡, 9: 孵化)をそれぞれの経過時間に対応させて位置づけ, これらの点に対応する縦軸の点を発生段階目盛として他区の結果を点記した。ただし, 受精は媒精と同時に起るものと仮定した。恒温飼育第I, II区の結果はそれぞれ原点を通る直線上にほぼ乗り, 受精から各発生段階に至る時間は比例的である。発生速度(発生直線が横軸となす勾配)は温度によって遅速があり, 第III区(9°C)では第I区(13°C)のほぼ1.6倍の時間がかかる。一方, 温度勾配のある第

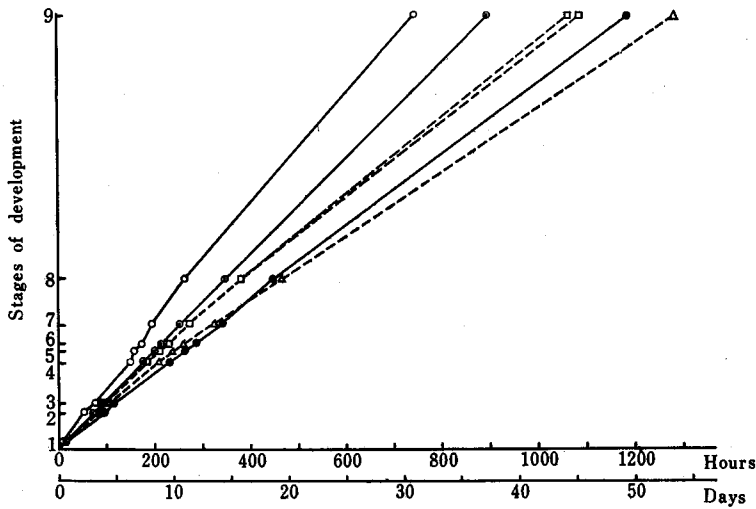


Fig. 5. The velocity of development at different temperatures
 Open circles: experimental section I Double circles: experimental section II
 Closed circles: experimental section III Squares: experimental section IV
 triangles: experimental section V
 1: morula stage 2: germ ring past equator 3: blastpore close
 4: embryo $\frac{1}{2}$ circle 5: heart pulsation 6: appearance of melano-
 phores 7: embryo $\frac{3}{4}$ circle 8: embryo full circle 9: hatching

IV, V区の結果は上に凸の曲線を示し、発生速度は温度の低下とともに次第に遅くなって行く。孵化所要日数は第I, II, III, IV および V区でそれぞれ約 31, 33, 50, 45 および 54 日であって、飼育平均温度の低いものほど長時間かかり、第V区 (7.4°C) の所要時間は第I区 (13°C) の約 1.7 倍である。

受精率は 96.4% であって、受精卵の孵化率は第I, II, IV, V区では 77.6~84.8% であるが、第III区は 28.1% で他区に比べて極端に低率を示している (第1表)。各区の孵化率を比較すると、第IV区の2水槽間 ($\chi^2=2.91$, $df=1$, $P>0.05$)、第II・IV区間および第IV・V区間に有意差は認められないが、その他の区間の差は極めて有意である (第3表)。

なお、恒温区の結果から Arrhenius の温度恒数 (μ) を求めれば、心臓鼓動開始期、胚体色素出現期、胚体卵円周一巡期および孵化期に達する速度についてそれぞれ 19600, 19600, 21800 および 19600 となる。3 温度条件の結果だけではあるが、9°~13°C におけるアйнаメの μ の値は 20000~22000 とみられる。

III. 形態変異

1) 孵化時における仔魚の体部分の体長に対する比率

孵化時の体長は実験区で若干異なり、その平均値は 7.9~8.5mm である。体部分の長さの体長に対する比率も実験区で異なり、平均値の範囲は BL_1 が 35.8~36.7%, BL_2 が 63.3~64.2%, TL (胴長) が 19.9~20.5%, HL が 15.5~16.4%, ED が 8.2~8.4%, AD が 5.4~5.8% である (第4表)。同一実験区内での孵化時の遅速により体部分の割合に変化があるかどうかを検査するために、区ごとに孵化期間中の孵化日ごとの体部分比率の均一性を検討した (第5表)。不均一性が認められたものは第III区の TL, 第IV区の BL_1 , BL_2 , TL, AD, 第V区の AD である。しかし、均一の場合には勿論、不均一の場合でも、これら体部分比率の平均値には孵化日による傾向的な変化はみられない。

次に孵化日による変動を無視して区間で比較すると (第6表)、 BL_1 , BL_2 および TL では第II区の分散が他区より有意に大きい。 BL_1 , BL_2 および TL の平均値では区間に有意差のみられる場合もあるが、胚期の温度条件による傾向的な差異はない。一方、HL では第II区の分散が他区のものより有意に大きい場合もあるが、平均値には温度が近似する区間では有意差は認められないが、高温条件で飼育したものほど大きい傾向がある。AD の平均値にもほぼ同様な傾向が伺われる。また ED の場合にも高温条件のものほどその平均値は大きい傾向がみられるが、有意差は第I区と第III, IV, V区の間だけに認められる。

2) 体部分の比成長

仔魚期の形態変異を比成長式 ($\log y = \log b + k \log x$) で検討した。ただし測定値 x , y には日令群の平均値を用いた。比成長を示す一例として第IV区の結果を第6-1, 2図に示す。 BL に対する BL_1 , BL_2 および TL の比成長は変移点をもつ折線となり、 BL に対する HL, ED, AD ならびに HL に対する ED, AD では直線的である。他区の結果も第IV区と類似している。

先ず実験区ごとに比成長の平衡恒数 k と回帰直線の修正平均値とについて飼育水槽間で比較すると、クロロマイセチン海水を使用した水槽が他水槽と異なる場合が極めて多く、普通海水の水槽間では有意差の認められる場合は全くない。従ってクロロマイセチン海水と普通海水とに別け、実験区ごとに測定値を一括して比成長式の二つの恒数を求め (第7表)、区間で比較を行った。

BL_1 -BL (第7-1図, 第7, 8表)

比成長の変移点は体長 8.6mm 前後にあり、体長がこれより小さい部分の k の値および修正平均

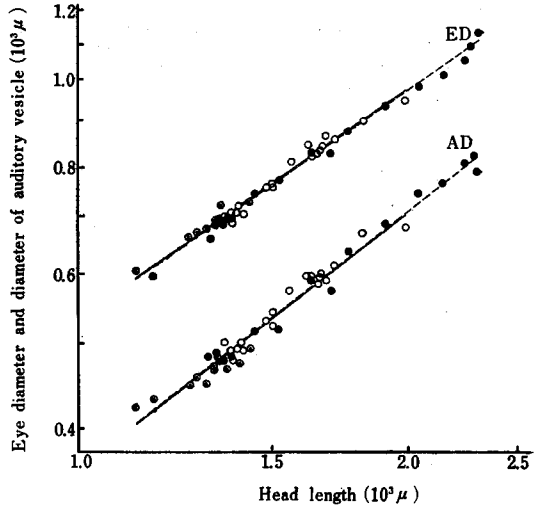
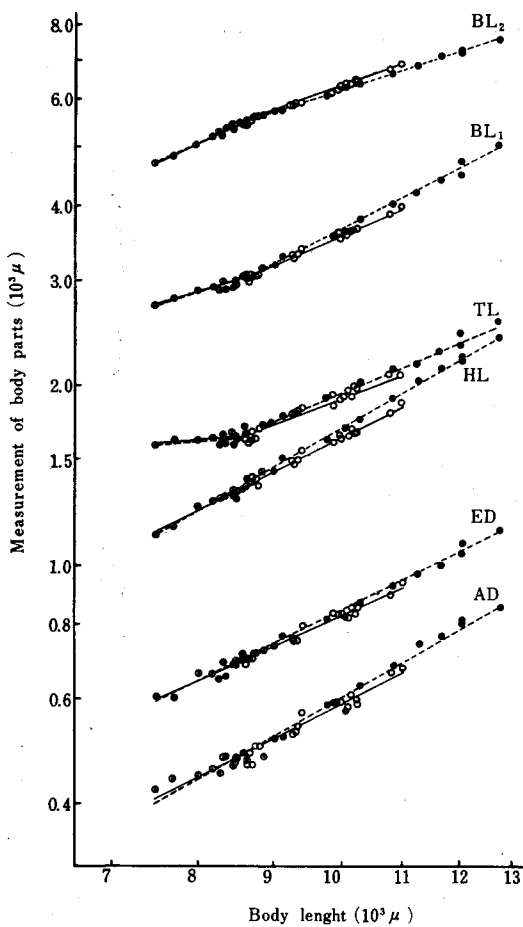


Fig. 6-2. Relative growth of eye diameter and diameter of auditory vesicle as compared with head length in the experimental section IV
Marks are the same as those in Fig. 6-1

← Fig. 6-1. Relative growth of body parts as compared with body length in the experimental section IV

Double circles: newly-hatched larvae
Closed circles: larvae reared in chloromycetin section

値*は区間で有意差はない。 k の値は0.57~0.76の範囲にあり、bradyauxesisを示す区が多い。変移点より大きい体長範囲では k の値は第IV区が第II区より有意に小さく、修正平均値は第IV区が他区より有意に小さい。またクロロマイセチン海水第V区の修正平均値は他区より有意に大きい場合が認められる。 k の値は1.16~1.33の範囲内にあり、tachyauxesisを示す区が多い。

BL₂—BL (第7-2図, 第7, 8表)

変移点のみられる体長はBL₁と同様である。またBL₁の場合とほぼ逆の比較結果が得られたことは、BL₂がBLとBL₁の差であることから当然のことである。変移点より小さい体長範囲では k の値は1.16~1.46であってtachyauxesisを示す区が多く、変移点より大きい体長範囲については0.79~0.91でbradyauxesisを示す場合が多い。

TL—BL (第7-3図, 第7, 8表)

変移点の現われる体長は8.6mm前後であるが、第V区では若干大きいところにみられる。変移点より小さい体長に対する k の値は第I区が第II区、クロロマイセチン第IV区および第V区より有意に小さいが、その値はすべて-0.22~0.41の範囲内にあつて著しいbradyauxesisを示し、体長の増

* 修正平均値を比較した結果はすべて省略した。

Table 3. Comparison of percentage of hatched eggs between experimental sections

Exp. sect.	II	III	IV	V
I	$\chi^2=37.13$ P < 0.001	$\chi^2=61.70$ P < 0.001	$\chi^2=24.30$ P < 0.001	$\chi^2=8.44$ P < 0.005
II		$\chi^2=670.68$ P < 0.001	$\chi^2=3.21$ P > 0.05	$\chi^2=9.91$ P < 0.005
III			$\chi^2=183.08$ P < 0.001	$\chi^2=412.28$ P < 0.001
IV				$\chi^2=2.72$ P > 0.05

df=1

Table 4. Percentages of body parts as against the body length at the time of hatching

Body part	Exp. sect.	I	II	III	IV	V
	n	28	12	40	57	42
BL ₁		36.32	36.69	35.79	36.00	36.07
BL ₂		63.68	63.31	64.21	64.00	63.93
TL		19.98	20.30	19.89	20.15	20.53
HL		16.43	16.39	15.90	15.85	15.54
ED		8.43	8.31	8.24	8.20	8.16
AD		5.81	5.78	5.61	5.59	5.37

Table 5. Comparison of body proportion at various hatching times in each experimental section

Figures on the upper line represent the variance ratio calculated from the values into which the percentage of body parts were transformed by Fisher's inverse sine transformation.

Body part	Exp. sect.	I	II	III	IV	V
	BL ₁		0.89 P > 0.20	2.87 P > 0.05	1.63 P > 0.05	2.48 P < 0.05
BL ₂		0.83 P > 0.20	2.75 P > 0.05	1.61 P > 0.05	2.59 P < 0.05	2.02 P > 0.05
TL		0.94 P > 0.20	0.66 P > 0.20	3.19 P < 0.05	2.27 P < 0.05	1.20 P > 0.20
HL		1.37 P > 0.20	0.73 P > 0.20	2.26 P > 0.05	1.71 P > 0.05	0.65 P > 0.20
ED		1.37 P > 0.20	0.45 P > 0.20	1.13 P > 0.20	1.24 P > 0.20	1.01 P > 0.20
AD		0.87 P > 0.20	0.48 P < 0.20	1.22 P > 0.20	3.35 P < 0.01	2.95 P < 0.05

Table 6. Comparison of body proportions of newly-hatched larvae between experimental sections
Percentages of body parts are transformed by the inverse sine transformation.

BL₁

Exp. sect.	I	II	III	IV	V	Variance
I		3.72 P < 0.01	1.02 P > 0.05	1.56 P > 0.05	1.41 P > 0.05	0.136
II	0.986 P > 0.20		3.78 P < 0.001	2.39 P < 0.05	2.64 P < 0.05	0.506
III	3.528 P < 0.001	2.496 P < 0.05		1.58 P > 0.05	1.43 P > 0.05	0.134
IV	1.882 P > 0.05	1.877 P > 0.05	1.497 P > 0.10		1.10 P > 0.20	0.212
V	1.459 P > 0.10	1.330 P > 0.20	1.938 P > 0.05	0.458 P > 0.60		0.192
Mean	37.66	37.27	36.74	36.87	36.91	

(F-test)

(t-test)

BL₂

Exp. sect.	I	II	III	IV	V	Variance
I		3.61 P < 0.01	1.06 P > 0.20	1.34 P > 0.05	1.37 P > 0.05	0.141
II	0.988 P > 0.20		3.83 P < 0.001	2.42 P < 0.05	2.64 P < 0.05	0.509
III	3.440 P < 0.005	2.470 P < 0.05		1.58 P > 0.05	1.45 P > 0.05	0.133
IV	1.852 P > 0.05	1.863 P > 0.05	1.469 P > 0.10		1.09 P > 0.20	0.210
V	1.421 P > 0.10	1.656 P > 0.10	1.889 P > 0.05	0.448 P > 0.60		0.193
Mean	52.44	52.73	53.26	53.13	53.09	

(F-test)

(t-test)

TL

Exp. sect.	I	II	III	IV	V	Variance
I		2.20 P < 0.05	1.84 P < 0.05	1.10 P > 0.20	1.20 P > 0.20	0.547
II	0.812 P > 0.40		4.04 P < 0.001	2.00 P < 0.05	2.64 P < 0.05	1.203
III	0.183 P > 0.80	0.765 P > 0.40		2.02 P < 0.05	1.53 P < 0.05	0.298
IV	1.094 P > 0.20	0.264 P > 0.70	1.212 P > 0.20		1.32 P > 0.05	0.602
V	2.675 P < 0.01	0.531 P > 0.50	3.146 P < 0.005	1.773 P > 0.05		0.456
Mean	26.48	26.76	26.51	26.67	26.94	

(F-test)

(t-test)

HL

Exp. sect.	I	II	III	IV	V	Variance
I		2.41 P < 0.05	1.08 P > 0.20	1.19 P > 0.20	1.41 P > 0.05	0.155
II	0.009 P > 0.90		2.59 P < 0.05	2.03 P < 0.05	1.71 P > 0.05	0.373
III	4.236 P < 0.001	2.094 P > 0.05		1.23 P > 0.05	1.51 P > 0.05	0.144
IV	4.637 P < 0.001	2.349 P < 0.05	0.533 P > 0.50		1.19 P > 0.05	0.184
V	6.468 P < 0.001	4.130 P < 0.001	3.045 P < 0.005	2.669 P < 0.01		0.218
Mean	23.91	23.89	23.50	23.46	23.22	

(t-test)

(F-test)

ED

Exp. sect.	I	II	III	IV	V	Variance
I		1.44 P > 0.05	1.79 P > 0.05	1.51 P > 0.05	1.25 P > 0.20	0.039
II	1.848 P > 0.05		1.25 P > 0.20	1.05 P > 0.20	1.15 P > 0.20	0.056
III	3.316 P < 0.005	0.727 P > 0.40		1.19 P > 0.05	1.43 P > 0.05	0.070
IV	4.704 P < 0.001	1.495 P > 0.10	1.018 P > 0.20		1.20 P > 0.20	0.059
V	5.324 P < 0.001	1.930 P > 0.05	1.486 P > 0.10	0.567 P > 0.50		0.049
Mean	16.89	16.75	16.69	16.64	16.61	

(t-test)

(F-test)

AD

Exp. sect.	I	II	III	IV	V	Variance
I		1.80 P > 0.05	1.03 P > 0.20	1.38 P > 0.05	1.75 P > 0.05	0.039
II	0.567 P > 0.50		1.87 P > 0.05	1.31 P > 0.20	1.03 P > 0.20	0.071
III	4.161 P < 0.001	2.261 P < 0.05		1.43 P > 0.05	1.81 P < 0.05	0.038
IV	5.351 P < 0.001	3.051 P < 0.005	1.625 P > 0.10		1.27 P > 0.20	0.054
V	9.735 P < 0.001	6.089 P < 0.001	7.192 P < 0.001	5.869 P < 0.001		0.069
Mean	13.96	13.91	13.76	13.68	13.39	

(t-test)

(F-test)

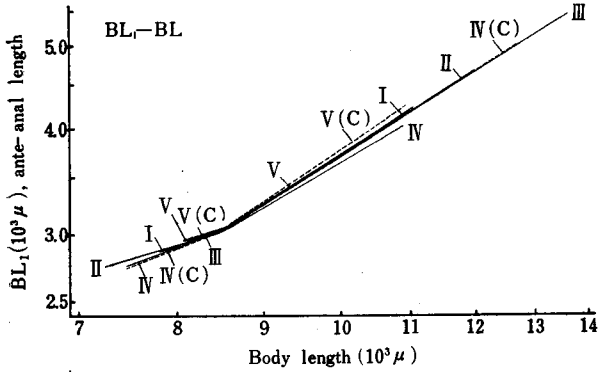


Fig. 7-1.

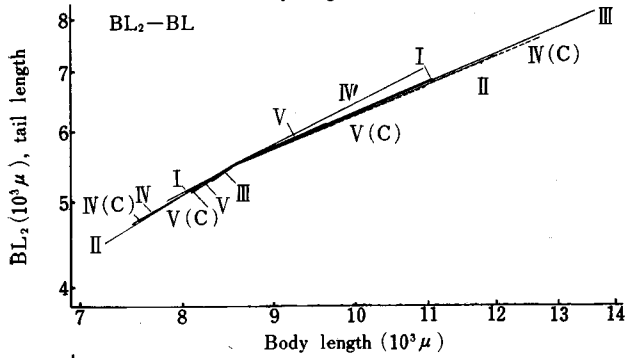


Fig. 7-2.

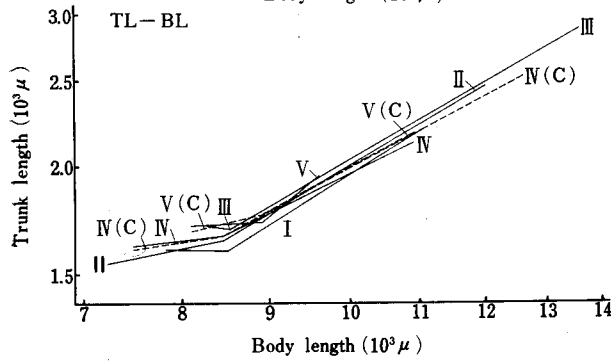


Fig. 7-3.

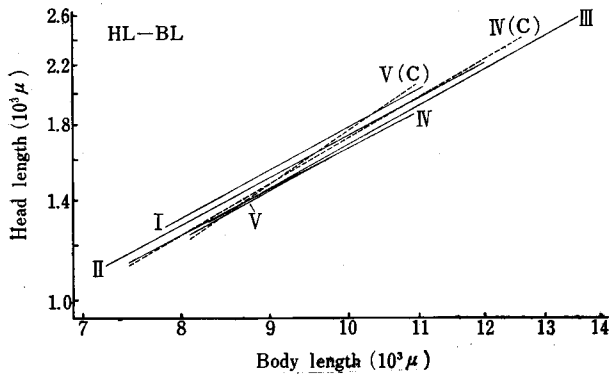


Fig. 7-4.

Fig. 7. Relative growth of body parts as compared with body length or head length in each experimental section

Roman figures denote the experimental section, i.e. I 13°C, II 11°C, III 9°C, IV decreasing temperature, V room temperature and (C) chloromycetin section.

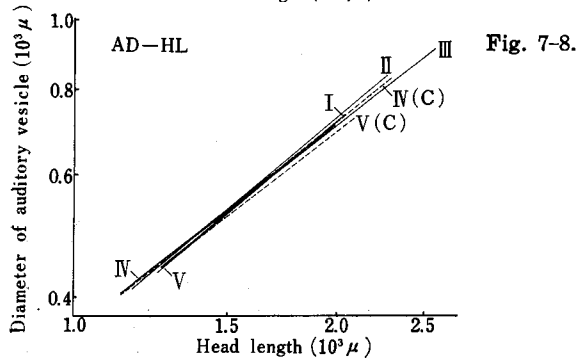
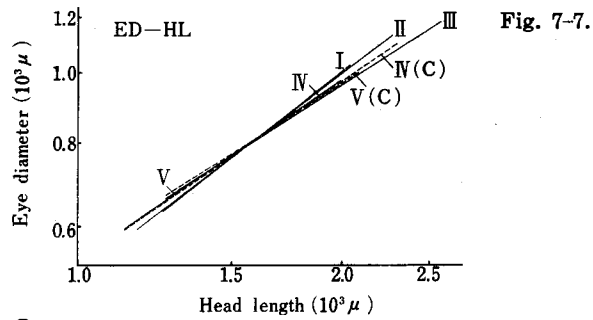
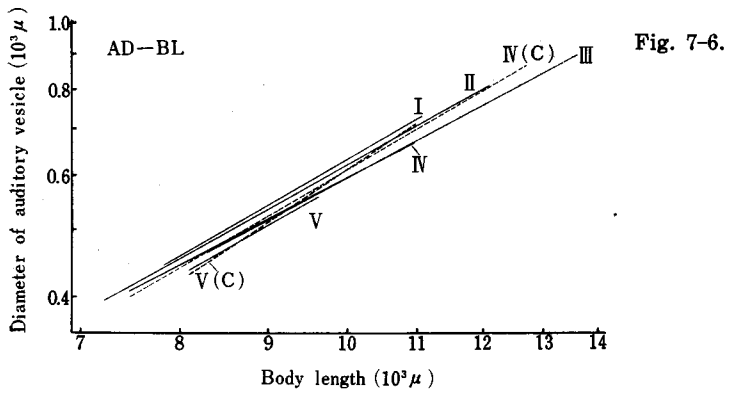
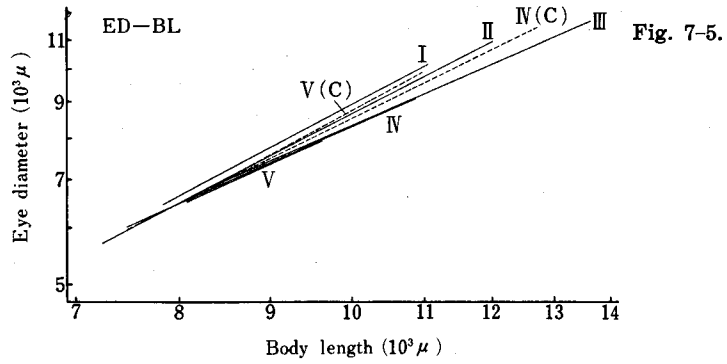


Table 7. Equilibrium constant k and another constant $\log b$ in the allometric equation, $\log y = k \log x + \log b$, where y and x are length of body part and body length respectively

Figures in brackets represent 95% confidence interval of k .

Cp.: critical point in relative growth

C : chloromycetin section

* : bradyauxesis ** : tachyauexesis

Exp. sect.		I	II	III	IV	IV(C)	V	V(C)
BL ₁ -BL (<Cp.)	n	15	8	8	15	15	14	10
	k	0.681* (0.487~ 0.875)	0.575* (0.384~ 0.766)	0.704 (0.299~ 1.179)	0.737* (0.626~ 0.920)	0.763* (0.569~ 0.957)	0.601* (0.309~ 0.893)	0.567 (0.127~ 1.007)
	log b	0.807	1.220	0.717	0.585	0.480	1.121	1.253
BL ₁ -BL (>Cp.)	n	15	15	13	16	12	7	8
	k	1.266** (1.178~ 1.354)	1.275** (1.226~ 1.324)	1.255** (1.169~ 1.341)	1.159** (1.074~ 1.244)	1.276** (1.194~ 1.358)	1.257 (0.840~ 1.674)	1.325** (1.194~ 1.496)
	log b	-1.493	-1.530	-1.452	-1.075	-1.535	-1.459	-1.725
BL ₂ -BL (<Cp.)	n	15	8	8	15	15	14	10
	k	1.161 (0.978~ 1.344)	1.236** (1.079~ 1.393)	1.455 (0.925~ 1.985)	1.160** (1.079~ 1.241)	1.181** (1.063~ 1.299)	1.305** (1.151~ 1.459)	1.389** (1.098~ 1.680)
	log b	-0.826	-1.119	-1.979	-0.819	-0.900	-1.390	-1.719
BL ₂ -BL (>Cp.)	n	15	15	13	16	12	7	8
	k	0.860* (0.809~ 0.911)	0.834* (0.807~ 0.861)	0.834* (0.775~ 0.893)	0.908* (0.856~ 0.960)	0.808* (0.767~ 0.849)	0.782 (0.562~ 1.022)	0.826* (0.741~ 0.911)
	log b	0.360	0.463	0.465	0.172	0.568	0.629	0.493
TL-BL (<Cp.)	n	15	8	8	15	15	14	10
	k	-0.044* (-0.515~ ~0.427)	0.374* (-0.072~ ~0.820)	-0.217* (-1.177~ ~0.743)	0.208* (-0.033~ ~0.449)	0.252* (-0.139~ ~0.643)	0.123* (-0.575~ ~0.821)	0.412* (-0.822~ ~1.646)
	log b	3.374	1.744	4.079	2.401	2.229	2.747	1.615
TL-BL (>Cp.)	n	15	15	13	16	12	7	8
	k	1.218** (1.038~ 1.398)	1.160** (1.036~ 1.284)	1.123 (0.967~ 1.278)	0.962 (0.774~ 1.150)	1.058 (0.932~ 1.184)	1.516 (0.888~ 2.144)	1.060 (0.538~ 1.582)
	log b	-1.584	-1.341	-1.188	-0.558	-0.938	-2.753	-0.944
HL-BL	n	30	23	21	31	27	21	18
	k	1.348** (1.287~ 1.409)	1.323** (1.245~ 1.401)	1.376** (1.321~ 1.431)	1.311** (1.240~ 1.382)	1.434** (1.386~ 1.482)	1.360** (1.180~ 1.540)	1.702** (1.584~ 1.820)
	log b	-2.139	-2.052	-2.275	-2.018	-2.501	-2.216	-3.558
ED-BL	n	30	23	21	31	27	21	18
	k	1.334** (1.258~ 1.410)	1.282** (1.196~ 1.368)	1.115** (1.067~ 1.163)	1.136** (1.067~ 1.205)	1.234** (1.184~ 1.284)	1.205** (1.067~ 1.343)	1.370** (1.297~ 1.443)
	log b	-2.384	-2.186	-1.538	-1.619	-2.005	-1.892	-2.538
AD-BL	n	30	23	21	31	27	21	18
	k	1.408** (1.331~ 1.485)	1.368** (1.275~ 1.461)	1.328** (1.271~ 1.385)	1.291** (1.184~ 1.398)	1.400** (1.302~ 1.498)	1.401** (1.191~ 1.611)	1.631** (1.507~ 1.755)
	log b	-2.831	-2.677	-2.536	-2.389	-2.818	-2.834	-3.737
ED-HL	n	30	23	21	31	27	21	18
	k	0.978 (0.912~ 1.046)	0.961 (0.896~ 1.026)	0.810* (0.786~ 0.834)	0.859* (0.809~ 0.909)	0.857* (0.817~ 0.895)	0.838* (0.713~ 0.963)	0.797* (0.748~ 0.846)
	log b	-0.230	-0.171	0.310	0.154	0.220	0.159	0.353
AD-HL	n	30	23	21	31	27	21	18
	k	1.034 (0.968~ 1.100)	1.029 (0.973~ 1.085)	0.961 (0.914~ 1.008)	0.969 (0.878~ 1.060)	0.976 (0.914~ 1.038)	1.019 (0.917~ 1.121)	0.953 (0.893~ 1.013)
	log b	-0.562	-0.541	-0.325	-0.349	-0.373	-0.515	-0.311

Table 8. Comparison of equilibrium constant in the allometric equation of larvae between experimental sections

Figures on the upper line in every table show the variance ratio between each experimental section.

Cp.: critical point in relative growth

C : chloromycetin section

Exp. sect.	I	II	III	IV	V	IV(C)	V(C)
I		0.83 P>0.20	0.05 P>0.20	0.30 P>0.20	0.26 P>0.20	0.39 P>0.20	0.26 P>0.20
II	0.04 P>0.20		0.26 P>0.20	2.62 P>0.05	0.04 P>0.20	2.50 P>0.05	0.00 P>0.20
III	0.04 P>0.20	1.69 P>0.20		0.05 P>0.05	0.20 P>0.20	0.04 P>0.20	0.28 P>0.20
IV	3.55 P>0.05	6.70 P<0.01	2.52 P>0.05		0.70 P>0.20	0.07 P>0.20	0.55 P>0.20
V	0.14 P>0.20	0.12 P>0.20	0.11 P>0.20	1.23 P>0.20		0.75 P>0.20	0.01 P>0.20
IV(C)	0.03 P>0.20	0.00 P>0.20	0.16 P>0.20	4.32 P<0.05	0.05 P>0.20		0.53 P>0.20
V(C)	0.18 P>0.20	0.13 P>0.20	0.21 P>0.20	3.77 P>0.05	0.04 P>0.20	0.06 P>0.20	

BL₁-BL (>Cp.)

BL₁-BL (<Cp.)

Exp. sect.	I	II	III	IV	V	IV(C)	V(C)
I		0.50 P>0.20	1.50 P>0.20	0.08 P>0.20	0.67 P>0.20	0.06 P>0.20	1.72 P>0.20
II	2.69 P>0.05		0.77 P>0.20	1.27 P>0.20	0.08 P>0.20	1.43 P>0.20	0.94 P>0.20
III	0.46 P>0.20	0.54 P>0.20		2.79 P>0.05	0.78 P>0.20	0.29 P>0.20	0.07 P>0.20
IV	2.02 P>0.05	0.51 P>0.20	3.42 P>0.05		2.28 P>0.05	0.19 P>0.20	2.94 P>0.05
V	0.11 P>0.20	0.76 P>0.20	0.20 P>0.20	0.13 P>0.20		0.67 P>0.20	0.84 P>0.20
IV(C)	2.91 P>0.05	0.04 P>0.20	0.58 P>0.20	10.22 P<0.01	0.83 P>0.20		1.21 P>0.20
V(C)	0.54 P>0.20	0.10 P>0.20	0.00 P>0.20	3.63 P>0.05	0.53 P>0.20	0.10 P>0.20	

BL₂-BL (>Cp.)

BL₂-BL (<Cp.)

Exp. sect.	I	II	III	IV	V	IV(C)	V(C)
I		6.93 P<0.05	1.16 P>0.20	0.79 P>0.20	5.74 P<0.05	5.58 P<0.05	5.76 P<0.05
II	0.41 P>0.20		0.86 P>0.20	0.72 P>0.20	0.40 P>0.20	0.23 P>0.20	0.01 P>0.20
III	0.71 P>0.20	0.16 P>0.20		0.91 P>0.20	0.36 P>0.20	0.64 P>0.20	0.81 P>0.20
IV	4.45 P<0.05	3.42 P>0.05	1.84 P>0.05		0.07 P>0.20	0.04 P>0.20	0.19 P>0.20
V	0.86 P>0.20	1.25 P>0.20	1.11 P>0.20	3.33 P>0.05		0.10 P>0.20	0.23 P>0.20
IV(C)	2.55 P>0.05	1.55 P>0.20	0.50 P>0.20	0.86 P>0.20	2.47 P>0.05		0.07 P>0.20
V(C)	0.67 P>0.20	0.31 P>0.20	0.98 P>0.20	2.26 P>0.20	1.04 P>0.20	0.00 P>0.20	

TL-BL (>Cp.)

TL-BL (<Cp.)

Exp. sect.	I	II	III	IV	V	IV(C)	V(C)
I		0.21 P > 0.20	0.43 P > 0.20	0.65 P > 0.20	0.12 P > 0.20	4.93 P < 0.05	37.71 P < 0.001
II	0.93 P > 0.20		1.27 P > 0.20	0.05 P > 0.20	0.14 P > 0.20	6.68 P < 0.05	27.49 P < 0.001
III	25.81 P < 0.001	11.47 P < 0.01		2.22 P > 0.20	0.05 P > 0.20	2.75 P > 0.05	31.85 P < 0.001
IV	15.85 P < 0.001	6.89 P < 0.05	0.26 P > 0.20		0.33 P > 0.20	8.69 P < 0.01	39.27 P < 0.001
V	2.65 P > 0.05	0.56 P > 0.20	1.76 P > 0.05	0.81 P > 0.20		0.84 P > 0.20	11.20 P < 0.01
IV(C)	5.25 P < 0.05	1.06 P > 0.20	12.15 P < 0.01	5.54 P < 0.05	0.15 P > 0.20		23.20 P < 0.001
V(C)	0.42 P > 0.20	1.61 P > 0.20	35.87 P < 0.001	20.47 P < 0.001	5.26 P < 0.05	8.28 P < 0.01	

HL-BL

ED-BL

Exp. sect.	II	III	IV	V	IV(C)	V(C)
I	0.43 P > 0.20	3.01 P > 0.05	3.27 P > 0.05	0.01 P > 0.20	0.01 P > 0.20	11.38 P < 0.01
II		0.53 P > 0.20	1.20 P > 0.20	0.08 P > 0.20	0.25 P > 0.20	9.99 P < 0.01
III			0.39 P > 0.20	0.62 P > 0.20	1.51 P > 0.20	25.22 P < 0.001
IV				0.90 P > 0.20	2.23 P > 0.05	17.06 P < 0.001
V					0.00 P > 0.20	4.15 P < 0.05
IV(C)						6.60 P < 0.05

AD-BL

Exp. sect.	I	II	III	IV	V	IV(C)	V(C)
I		0.16 P > 0.20	24.97 P < 0.001	8.76 P < 0.01	4.06 P < 0.05	11.16 P < 0.01	18.62 P < 0.001
II	0.01 P > 0.20		18.75 P < 0.001	5.95 P < 0.05	2.41 P > 0.05	8.80 P < 0.01	13.05 P < 0.001
III	3.52 P > 0.05	3.72 P > 0.05		3.49 P > 0.05	0.33 P > 0.20	4.07 P > 0.05	0.27 P > 0.20
IV	1.42 P > 0.20	1.40 P > 0.20	0.03 P > 0.20		0.12 P > 0.20	0.00 P > 0.20	3.35 P > 0.05
V	0.06 P > 0.20	0.03 P > 0.20	1.05 P > 0.20	0.37 P > 0.20		0.09 P > 0.20	0.47 P > 0.20
IV(C)	1.54 P > 0.20	1.69 P > 0.20	0.14 P > 0.20	0.02 P > 0.20	0.30 P > 0.20		3.53 P > 0.05
V(C)	3.40 P > 0.05	3.26 P > 0.05	0.04 P > 0.20	0.07 P > 0.20	1.31 P > 0.20	0.21 P > 0.20	

ED-HL

AD-HL

大にともなう TL の成長は殆んどみられない。また修正平均値の差はまちまちである。変移点より大きい体長に対する k の値では第 I 区と第 IV 区間に差が認められる外には有意差は認められない。 k の値は 0.96~1.52 であり、第 I、II 区は *tachyauexesis*、その他の区は *isoauexesis* を示している。

HL—BL (第7-4 図, 第7, 8 表)

クロロマイセチン海水区以外での k の値は 1.31~1.38 で区間に差異は認められないが、クロロマイセチン海水区の値 (第 IV 区 1.43, 第 V 区 1.70) は普通海水区より有意に大きい。クロロマイセチン海水区の中でも低温条件で飼育した第 V 区の値が第 IV 区より大きい。HL はいずれの区でも BL に対し *tachyauexesis* を示す。修正平均値は第 I 区が第 II、III 区より、また高温条件の第 I、II 区は低温条件の第 III、IV、V 区 (クロロマイセチン海水区を除く) よりそれぞれ有意に大きく、第 III、IV、V 区間およびクロロマイセチン海水区間には有意差はない。

ED—BL (第7-5 図, 第7, 8 表)

k の値は第 I 区が 1.33, 第 II 区が 1.28 でこの間に、また第 III、IV、V 区 (クロロマイセチン海水区を除く) では 1.12~1.21 でこれらの間にも有意差は認められないが、前二者が後三者より大きい傾向を示す。クロロマイセチン海水区の値は普通海水区よりいずれも大きく、また同じくクロロマイセチン海水区でも温度の低い第 V 区の方が第 IV 区より大きい。ED の比成長は各区で *tachyauexesis* を示している。修正平均値の比較結果は HL の場合とほぼ同様である。

AD—BL (第7-6 図, 第7, 8 表)

k の値はクロロマイセチン海水第 IV 区と対照の第 IV 区との間に有意差が認められず、また普通海水第 V 区の修正平均値がクロロマイセチン海水区を除いた他区より小さい外は、HL の場合と同様な比較結果が得られた。 k は普通海水区 1.29~1.41, クロロマイセチン海水区 1.40 および 1.63 であって、AD は BL に対していずれも *tachyauexesis* を示している。

ED—HL (第7-7 図, 第7, 8 表)

10°C 以上の条件で飼育した第 I、II 区の k の値が他区より有意に大きい。この場合にはクロロマイセチン海水区と対照区との間に差異はみられない。 k の値は第 I 区が 0.98, 第 II 区が 0.96 であってともに *isoauexesis* を示し、その他の区では 0.80~0.86 で *bradyauexesis* を示す。修正平均値には第 I 区と普通海水第 V 区間に有意差が認められる。

AD—HL (第7-8 図, 第7, 8 表)

k の値は 0.95~1.03 で区間に有意差はなく、いずれの区でも *isoauexesis* を示している。修正平均値には区間に差異の認められる場合もあるが、温度条件による傾向的な差異はない。

3) 比成長の一般的傾向

比成長の平衡恒数 k と定数 $\log b$ との関係を

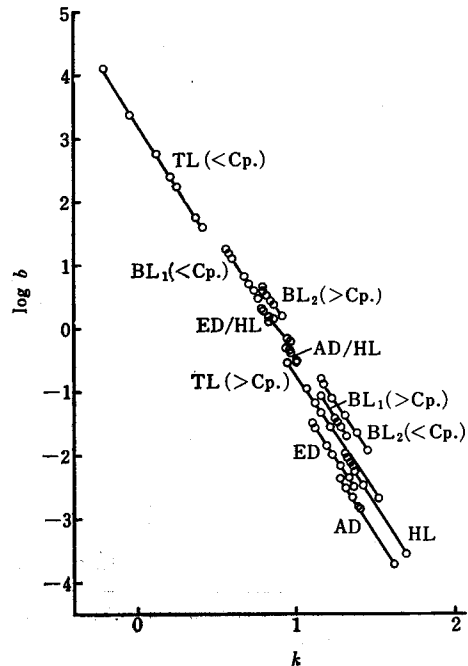


Fig. 8. Relationship between equilibrium constant k and the constant $\log b$ in the allometric equation
Cp.: critical point in relative growth

Table 9. Constants κ and β in the equation, $\log b = \beta - \kappa k$, regarding the allometry of body parts as against body length

Body part		κ	t-test	β	t-test
BL ₁	>Cp.	3.918	} t = 0.574 df=10 0.25 < P < 0.30	3.466	} t = 0.638 df=10 0.25 < P < 0.30
	<Cp.	3.930		3.481	
	combined	3.937	3.488		
BL ₂	>Cp.	3.947	} t = 0.860 df=10 0.20 < P < 0.25	3.754	} t = 0.894 df=10 0.15 < P < 0.20
	<Cp.	3.921		3.730	
	combined	3.928	3.740		
TL	>Cp.	3.916	} t = 0.106 df=10 0.45 < P < 0.50	3.202	} t = 0.569 df=10 0.25 < P < 0.30
	<Cp.	3.919		3.217	
	combined	3.932	3.222		
HL		3.959		3.180	
ED		3.863		2.763	
AD		3.971		2.743	

Table 10. Comparison of the constants, κ and β , in $\log b - k$ relations between body parts

Body part		BL ₂	TL	HL	ED	AD
BL ₂	t	/	24.9	8.26	/	/
	df		24	17		
	P		<0.005	<0.005		
TL	t	0.201	/	0.072	/	/
	df	24		17		
	P	0.40-0.45		0.45<		
HL	t	0.627	0.623	/	/	/
	df	17	17			
	P	0.25-0.30	0.25-0.30			
ED	t	0.738	0.861	0.924	/	0.133
	df	17	17	10		10
	P	0.20-0.25	0.20-0.25	0.15-0.20		0.40-0.45
AD	t	0.718	0.741	0.007	0.946	/
	df	17	17	10	10	
	P	0.20-0.25	0.20-0.25	0.45<	0.15-0.20	

Comparison of κ

Comparison of β

みると、測定した体部分のすべてに明瞭な直線関係が認められる(第8図)。これらの直線を

$$\log b = \beta - \kappa k \quad (\kappa, \beta \text{ は定数})$$

で表わすと κ, β の値は体長に対する各部分の比成長において、変移点を持つ BL_1, BL_2 および TL では変移点の前後で極めて近い値を示し、t-検定の結果は有意差を認め得ない(第9表)。従って変移点の前後を一緒にしても直線はよく適合する(第8図)。また、体長に対するすべての体部分についても κ の値には有意差が認められない(第10表)。しかし β の値は BL_2 -TL 間, BL_2 -HL 間には大きな有意差があり、ED-AD 間および TL-HL 間には有意差が認められない。これらのことは各体部分の k - $\log b$ 直線は殆んど平行であり、TL と HL および ED と AD との直線は非常に接近していることを示している。

k - $\log b$ 直線が成立することは Lumer (1936)⁹⁾ によればすべての比成長曲線が特定の一点に会することであり、この点を (x_0, y_0) とすると

$$\kappa = \log x_0, \quad \beta = \log y_0$$

である。 BL_1, BL_2 および TL でそれぞれの変移点より小さい時期も大きい時期もすべての飼育条件における $k, \log b$ が同一の直線上にあることは、点 (x_0, y_0) が変移点に一致することを意味し、さらに各体部分についての κ に有意差がないことは、どの体部分についても x_0 は同一であり、変移点の体長は等しいことを意味する。体長に対する各体部分の関係で κ の値は 3.863~3.971 であるが、変移点の認められた BL_1, BL_2, TL の3つの関係では 3.928~3.937, 平均で 3.932, x_0 の値に直せば 8.47~8.65mm, 平均で 8.55mm となり、実際の測定とよく一致する(第7-1, 2, 3図)。変異点の認

Table 11. Size of body parts computed from allometric equations at the body lengths of 9.5 and 10.5mm

'% BL' shows percentage of body parts as against body length and 'ratio' is the index for length of body parts, that of the section V and IV being 100 at the body lengths 9.5mm and 10.5mm respectively. C: chloromycetin section

BL	Exp. sect.		I	II	III	IV	IV (C)	V	V (C)
	Body part								
9.5 mm	HL	length (μ)	1672	1625	1580	1575	1598	1564	1632
		% BL	17.60	17.11	16.63	16.58	16.82	16.46	17.18
		ratio	106.9	103.9	101.0	100.7	102.2	100	104.4
	ED	length (μ)	837	820	793	794	802	794	816
		% BL	8.81	8.63	8.35	8.36	8.44	8.36	8.59
		ratio	105.4	103.3	99.9	100.0	101.0	100	102.8
AD	length (μ)	589	582	558	558	564	549	564	
	% BL	6.20	6.13	5.87	5.87	5.94	5.78	5.94	
	ratio	107.3	106.0	101.6	101.6	102.7	100	102.7	
10.5 mm	HL	length (μ)	1911	1853	1811	1793	1841		1931
		% BL	18.20	17.65	17.25	17.08	17.53		18.39
		ratio	106.6	103.4	101.0	100	102.7		107.6
	ED	length (μ)	955	931	884	885	906		935
		% BL	9.10	8.87	8.42	8.43	8.63		8.91
		ratio	107.9	105.2	99.9	100	102.4		105.7
AD	length (μ)	677	666	637	634	648		663	
	% BL	6.45	6.34	6.07	6.04	6.17		6.31	
	ratio	106.8	105.1	100.5	100	102.2		104.7	

められなかった HL, ED および AD においても、点 (x_0, y_0) 付近で比成長曲線が交わる傾向があり、HL に対する ED の曲線もまたほぼ一点に会している (第 7-7 図)。

温度やクロロマイセチン添加の有無などの環境条件が異なっても比成長の変移点がほぼ 1 点に集中することは興味ある事実であって、非常に成長の小さい変移点以前については後述するが、変移点以後の体各部分の比成長は、次に述べるように環境条件の差異に従って変移点から放散的に増大する傾向をみることができる。すなわち、温度によって傾向的な変異の認められた HL, ED および AD の 3 部分について、体長 9.5 および 10.5mm のときの推定値を比成長式から求めて第 11 表に示す。表には体長に対する比率と、体長 9.5mm の場合には最低温度の第 V 区の値を、また体長 10.5mm の場合には第 IV 区の値を 100 とした指数を示した。普通海水第 V 区の体長範囲は 8.07~9.62mm であるので、体長 10.5mm のときの推定値は求めなかった。これらの体部分を実験区間で比較すると (クロロマイセチン海水区を除く)、体長 9.5 および 10.5mm で HL は 16.5~17.6% および 17.1~18.4%, ED は 8.4~8.8% および 8.4~9.1%, AD は 5.8~6.2% および 6.0~6.5% で、体長 9.5mm のときの比率は孵化時の体長 7.9~8.5mm における値 (第 4 表) より、また体長 10.5mm のときの値は体長 9.5mm より大きい。これは前述したようにこれら 3 部分とも比成長が *tachyauexesis* であるためである。ED の比成長で 13°C および 11°C の高温条件で飼育した第 I 区と第 II 区の平衡恒数が他区より大きい結果は、表示した比率および指数の差にみられる。すなわち、第 I, II 区は体長 9.5mm でクロロマイセチン海水区を除いた他区よりそれぞれ 5.4% および 3.3% 大きい、体長 10.5mm ではその差はさらに大きく 7.9% および 5.2% となる。クロロマイセチン海水区の比率は対照区より大きく、体長の増加とともに差は大きくなり、体長 10.5mm における HL の値はむしろ第 I および II 区の値に近似している。

体軸に沿って測定した HL, TL, BL₂ 3 部分の平衡恒数を比べると (第 9 図)、変移点より小さい体長範囲での成長傾斜 (Huxley: 1950⁹⁾, 清水: 1958⁷⁾ の形は V 字型を示し、成長の弱い部分は胴部にある。また変移点より大きい体長範囲では、体の後部になるに従って平衡恒数が低くなる傾斜がみられ、成長の中心は頭部にあると考えられる。

IV. 仔魚期における死亡および生残曲線

仔魚の死亡率は同一実験区内でも水槽間で若干の相違はあるが、同一条件で飼育した結果をこみにして死亡率を検討した。第 10 図に第 I 区の日別死亡率と累積死亡率を示す。日別死亡率は無投餌および投餌のいずれの区でも孵化後 7 日目から高まり、無投餌区ではその後も死亡率が高まって孵化後 13 日目までに全個体が死亡した。一方、投餌区では孵化後 13 日目に約 35% の高死亡率を示したが、その後は若干低下して約 20% 前後のところを大きく変動した。他区における日別および累積死亡曲線の形は第 I 区の結果と類似している。累積死亡曲線から

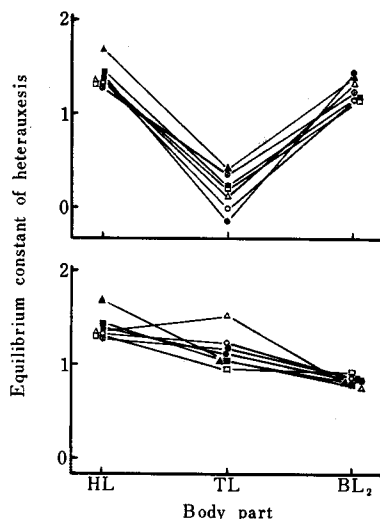


Fig. 9. Growth gradient in larval stages:
 Open circles: experimental section I
 Double circles: experimental section II
 Closed circles: experimental section III
 Open squares: experimental section IV
 Closed squares: experimental section IV (chloromycetin)
 Open triangles: experimental section V
 Closed triangles: experimental section V (chloromycetin)

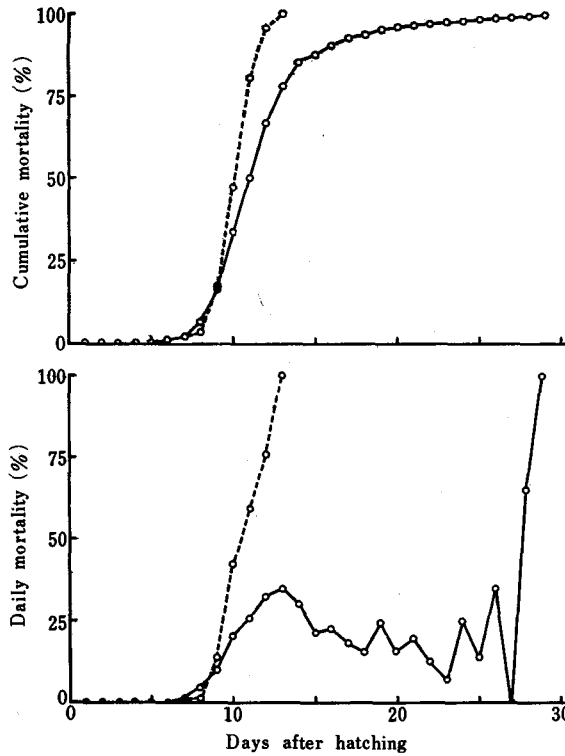


Fig. 10. Percentage mortality for experimental section I
Full line represents the mortality curve for fed larvae and dotted line for unfed larvae.

Table 12. Duration of time in days from hatching to 25%, 50% and 75% death estimated from the curve of cumulative mortality
C: chloromycetin section

Exp. sect.	Non fed			<i>A. salina</i>			<i>A. salina</i> (C)		
	25%	50%	75%	25%	50%	75%	25%	50%	75%
I	9.2	10.0	10.8	9.6	11.0	12.8			
II	10.0	10.6	11.8	10.6	13.0	17.4			
III	11.4	12.2	12.9	11.6	13.1	20.6			
IV	12.5	14.7	16.3	12.8	15.0	17.4	17.2	19.7	48.6
V	19.0	20.8	22.1	21.4	23.0	25.7	28.0	50.0	61.6

飼育当初の個体数の 25%、50% および 75% が死亡するまでに経過した日数をみると、投餌区の方が無投餌区より若干長いが 25% と 50% 死亡点での差は僅少である (第 12 表)。しかし、クロロマイセチン海水投餌区では上記の各死亡点までの日数が長く、この区の生残率が極めて良好なことを示している。

次に、飼育当初の仔魚尾数を 1000 とした生残曲線を見ると、投餌区では 3 期を分けることができ

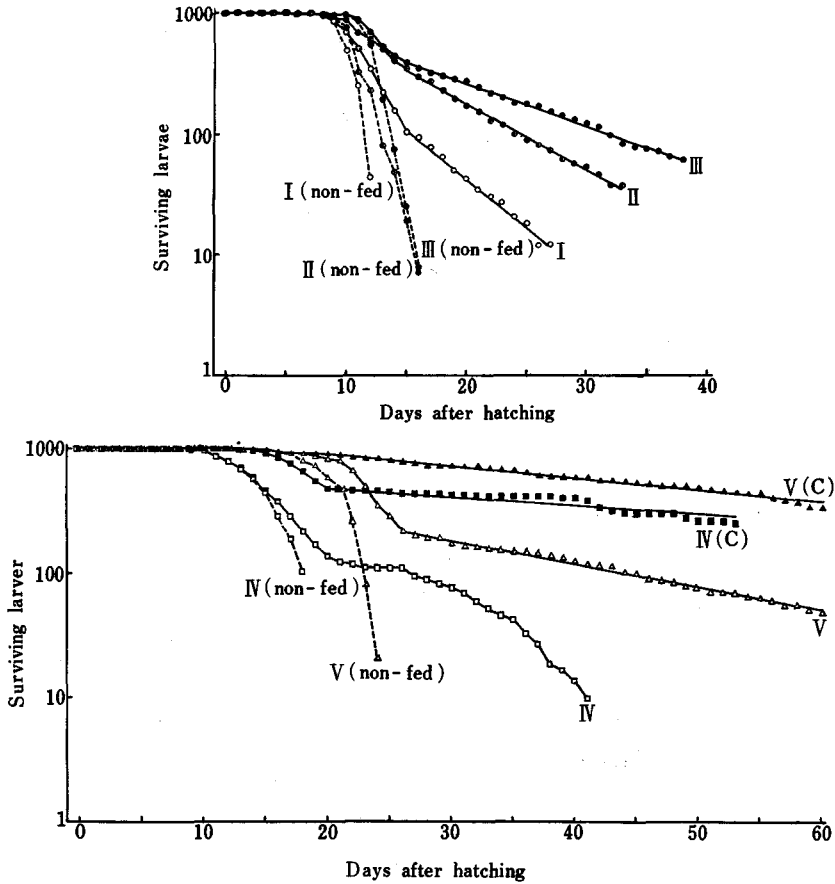


Fig. 11. Survival curves for each experimental section, composed of the original numbers of larvae as being 100
Notations in Roman figures and marks are the same as those in Fig. 7 and those in Fig. 9 respectively.

る (第 11 図)。すなわち第 I 期は孵化直後の死亡率が極めて低い時期であって、減少係数は第 I ~ III 区が 0.003, 第 IV および V 区が 0.001 であって無投餌区とクロロマイセチン海水投餌区ではこれよりやや小さめであるがその差は極めて微小である。第 2 期は死亡率が急激に高まって後にほぼ一定した値を示すようになるまでの時期で、無投餌区ではこの期間のうちに大部分の個体が死亡する。このように死亡率が急昇し始める時期は第 I 区では孵化後 9 日目, 第 II 区では 10 日目, 第 III 区では 11 日目, 第 IV 区では 11 日目 (クロロマイセチン海水区では 14 日目), 第 V 区では 17 日目であり, この期間の生残曲線は逆 S 字形を示す。第 3 期は第 2 期の後に死亡率が比較的安定する時期で, 生残曲線はほぼ直線的となる。減少係数は第 I 区 0.083, 第 II 区 0.054, 第 III 区 0.035, 第 V 区 0.018 であり, クロロマイセチン海水第 IV 区が 0.008, 同じく第 V 区が 0.007 である。ただし第 IV 区では生残曲線が直線的でなく, 漸減する曲線を描く。第 3 期の減少係数は低温条件のものほど小さく, 区間の差はいずれも有意である。第 V 区ではクロロマイセチン海水区が普通海水区より減少係数の値が有意に低い。第 2 期の終りすなわち第 3 期初めにおける生残率は第 I ~ V 区でそれぞれ 13, 34, 38, 18 および

22% であって, 11° および 9°C 恒温の第IIおよびIII区の結果が良好である。第IV, V区のカロマイセチン海水区では 49% と 78% の生残率を示す。

V. 成長

仔魚の成長を第 12 図に示す。無投餌区では孵化時の体長 7.9~8.5mm から孵化後 9~10 日目までに 8.3~8.6mm に増大したが, その増量は僅少であり図には省略した。この期間の投餌区の成長

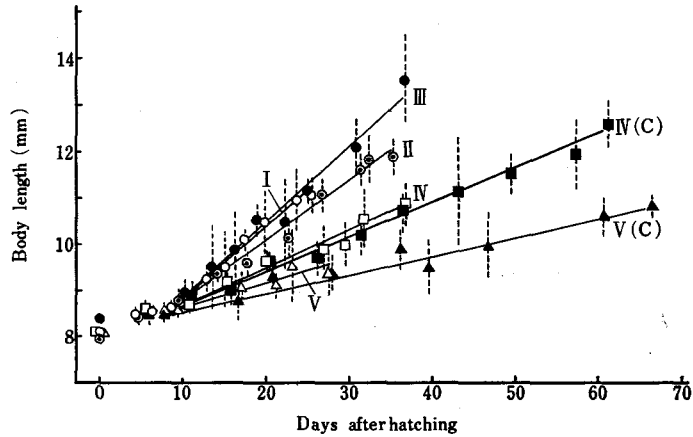


Fig. 12. Growth curves of body length

Notations in Roman figures and marks are the same as those in Fig. 7 and those in Fig. 9 respectively. Vertical lines represent 95% confidence intervals of mean body length.

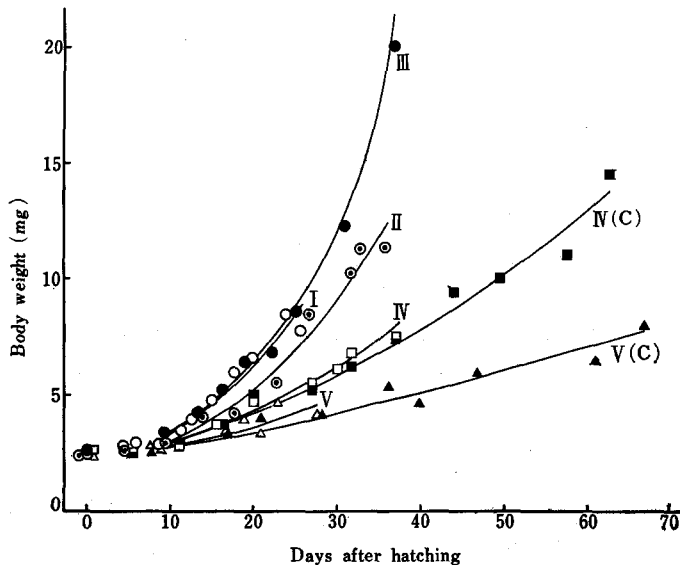


Fig. 13. Growth of body weight

Notations in Roman figures and marks are the same as those in Fig. 7 and those in Fig. 9 respectively.

は無投餌区より多少良好であり、孵化後 9~10 日目、体長約 8.6~8.7mm のところに成長の変移点が同われる。変移点以後の成長は直線的である。この変移点は比成長の変移点ともほぼ一致し、生残曲線第 2 期の初めに当る。成長は高温条件のものほど良好である。ただし第 III 区 (9°C) の成長は第 I 区 (13°C) とほぼ同様であった。クロロマイセチン海水区の成長は対照区のそれと大差ない。第 I 区では孵化後 23 日で約 11 mm, 第 II 区では 36 日で 12.2 mm, 第 III 区では 37 日で 13.2 mm, 第 IV 区では 37 日で 10.8 mm, 同区クロロマイセチン区では 60 日で 12.5 mm, 第 V 区では 28 日で 9.6 mm, 同区クロロマイセチン海水区では 67 日で 10.9 mm の体長に達した。孵化後 23 日までの推定成長量は第 I~V 区 (クロロマイセチン海水区を除く) でそれぞれ 2.8, 2.6, 2.5, 1.6 および 1.2 mm である。

飼育期間中の体重の増加は指数曲線的である (第 13 図)。最も成長の良かった第 III 区では孵化時の 2.5mg から孵化後 37 日の 19.8mg まで増重した。孵化時の測定値を除いた仔魚期の体長と体重の関係は

$\log W = \log w + a \log L$ (W : 体重 mg, L : 体長 μ , a および w は定数) で表わすことができる (第 14 図)。回帰線の増重係数 a と修正平均値は実験区間で、また同一実験区でもクロロマイセチン海水区と対照区間で有意差はなく、全区の測定値をこみにすると $a=4.39$, $\log w=16.83$ となる。仔魚期における体長の増大にともなう増重率はかなり大きいものといえよう。

考 察

以上の諸結果が示すように仔魚の形態変異は既に孵化時において観察され、HL, ED および AD の 3 部分は胚期を高温で過ごしたもののほど体長に対する比率は大きい。従って体部分の大きさに変異を与える温度要因の感受期は、胚期に既にあることは明らかである。胚期では体部分の測定を行っていないために変異の起きる発生段階を指摘することはできないが、9°C 恒温の第 III 区と受精直後の 11°C から孵化時に 7°C になるように温度勾配をつけた第 IV 区とを比べると、胚期の平均温度はそれぞれ 9°C と 9.5°C であって後者が 0.5°C 高いにもかかわらず、孵化時の HL, ED および AD の BL に対する比率は前者の値より小さめになっていて、低温の影響をより多く感受したものと考えられる (第 4 表)。第 IV 区の温度変化をみると (第 3 図)、卵が 9°C 以下の温度で飼育されたのは受精後 30 日すなわち胚体卵円周一巡期の 10 日以降であるから (第 5 図)、変異に対する温度効果が現われたのは受精後 30 日以後、すなわち胚発生の後期にあると推論される。Tåning (1952)⁹⁾ は sea trout

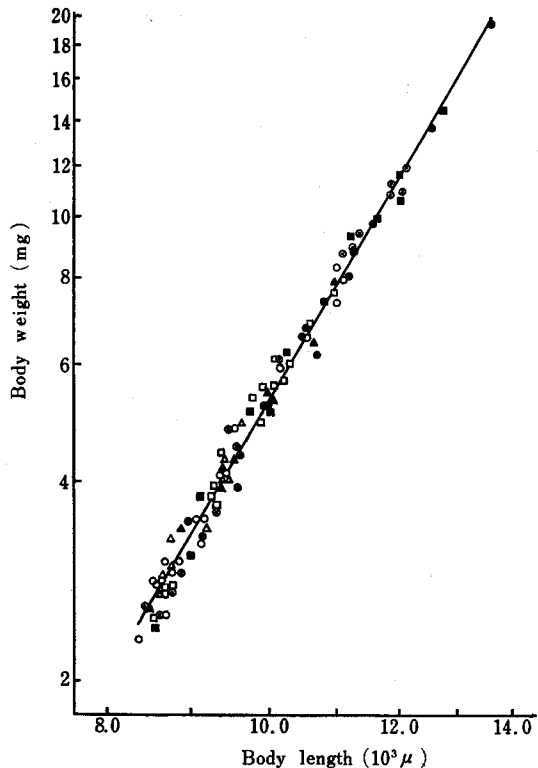


Fig. 14. Relationship between body length and body weight
Marks are the same as those in Fig. 9.

(*Salmo trutta trutta*) の飼育実験から、胚期の温度を変えることによって脊椎骨数に変異することを明らかにしている。これらのことから体節的または非体節的形態の変異を明らかにする場合には、胚期における環境要因の変動が極めて重要であると考えられる。

仔魚期の比成長で特に BL_1 , BL_2 , TL について変移点が認められ、しかもその変移点に向って比成長が集中することは上述したところである。 HL , ED , AD については変移点は明瞭でないが、これら3部分の $k-\log b$ 関係から求めた κ の値は変移点の値に近似し、 HL , ED , AD も他の部分と同様にほぼ同じ体長で比成長曲線が集中すると考えてよい (κ のすべての値の間に有意差が認められない)。この集中点すなわち変移点の体長 (平均 8.55 mm) は環境条件の如何にかかわらず体長の成長にみられる変移点の大きさすなわち体長約 8.6~8.7 mm とほぼ一致する (第12図)。従って上述したように胚発生の後期に生じたと考えられる体部分の変異も、孵化後この変移点に達すれば環境条件の如何にかかわらずほぼ一定の体形に發育するものと考えられる。しかし、変移点以後の比成長において、環境条件の影響に従って放散的成長とともに再び変異は拡大する。この変移点は生残曲線の急降下すなわち死亡率の急上昇の始まる時期に起り、仔魚が卵黄を吸収し尽し、自家營養期を終って外部から盛んに營養摂取を始める時期であって、卵黄による自家營養によって伸び切った体長に当たると考えられる。従って環境条件の相異によってこの点に達するまでの時間的遅速はあっても、体形には遺伝的均一性が現われるものであるとすれば、生物学的に非常に興味ある事実である。温度の影響については部分的であるが k の値の BL_1 における第II区と第IV区の差、 TL における第I区と第IIおよびV区との差、 HL における第I区と第IV区の差、 ED における第I区と第III、IV区、第II区と第III、IV区との差等にみられる。温度とクロロマイセチンの累加された影響については非常に多くの例をみることができ、特に HL , ED および AD 、すなわち頭部全体或はその器官に対する影響が著しい (第7表)。そして、温度の影響は上に挙げた有意差のあった場合においてすべて高温ほど k の値を大きくするように働いている。

形態に変異をもたらすクロロマイセチンの効果は顕著である。クロロマイセチン海水は低温条件の第IVおよびV区で用いたが HL , ED , AD とも普通海水による対照区より比成長が大きい。また変移点以後の BL_1 でも第IV区と同様な結果が得られたが、 BL_2 では逆になっている。体前部と後部とでは効果が異なることを示すものかも知れない。水質その他の細菌学的な環境測定を行っていないために、その効果が魚体に対し直接的なものか或は間接的なものか不明であるが、海水中の細菌類の繁殖を抑制することによって仔魚の排泄物、餌の残渣および死亡個体などの分解を抑制し、これが例えば $Ammonia-N$, $Nitrite-N$, $Nitrate-N$ 等を微量に保つことによって水質の汚染を防止したことは確かであろう。

比成長に対する温度効果は低温ほど平衡恒数 k の値を低下せしめ、クロロマイセチン効果は k の値を高めることであることは上述の通りであるが、低温でクロロマイセチンを添加した場合と、クロロマイセチンを加えない高温の場合との比較は非常に興味ある事実を示している。すなわち HL と AD においてはクロロマイセチン海水区の k の値は低温にもかかわらずより高温な実験区の k の値より有意に高い場合が多く、逆の場合は皆無であり、他はすべて有意差の認められない場合である。ところが眼径ではクロロマイセチン海水区がより高い k の値をもつのは普通海水第III区までであって、第II区との比較では有意差なく、最も高温の第I区に対してはクロロマイセチン海水区の方が k の値は小さい。このことは温度とクロロマイセチンとの効果がおよそ 11°C 前後を境として互に他に打ち勝つことを意味するものと考えられる。ただし、このことが ED にのみ表われて HL や AD には表われないのは、効果の感受性が体部分で異なることと、温度に対する感受性の強い眼の部分も感受性の弱い耳部その他頭部分と相殺され、 HL に対しては温度に対して感受性の弱い部分の比成長が優位に表

われたためと理解される。このことは HL に対する ED と AD との k の値の比較からもいうことができる。すなわち AD では実験区間に有意差のみられる場合は全くなく、温度に対しても、またクロロマイセチンに対しても耳胞部分は感受性が弱いのにくらべ、ED では高温ほど k の値が大きいが、クロロマイセチン海水区に対しては第 I 区と第 II 区のみが有意に大きく、第 III 区は有意差を示さない。すなわち眼においては温度効果はクロロマイセチン効果よりも大きいことがわかる。ただし、眼も耳胞も体全体に対しては *tachyauexesis* であるのに、HL に対しては眼は概して *bradyauexesis*、耳胞は *isoauexesis* であることと温度効果との関係は今後の問題として残される。

変移点以前の比成長に対して温度は変移点以後とは逆の効果を及ぼしているようにみえることは前述の通りであるが、クロロマイセチンは常に同じ影響を持つように考えられる。すなわち、例数は少ないが TL においてクロロマイセチン海水区は第 I 区よりも大きい k の値を示しているからである。しかし、これは温度の効果による場合と区別することができない。

形態に変異をもたらす環境条件の効果は、条件の種類、体部分および発育段階によって異なることは上述の通りであるが、これらはまた魚種によってもそれぞれ異なるようである (Martin: 1949⁹⁾, 浜井・久新・木下: 未発表¹⁰⁾)。

BL₂ の比成長は変移点の前で *tachyauexesis* から *bradyauexesis* に変っている。また TL は変移点以前では著しい *bradyauexesis* か或は無成長であるが、変移点後は *tachyauexesis* か或は *isoauexesis* になる。HL は常に最も高い *tachyauexesis* を示す。これらのことは胚期には体の前後両端部に成長の中心があったものが、卵黄吸収を終って外界から栄養摂取を始めれば当然消化管の発育は促進され、TL が延びてくるとともに初期仔魚の浮游生活への適応により尾部の比成長は一時的に抑えられて、頭部の成長中心だけが残されるという成長傾斜の生態学的変化によるものと考えられる。コイ *Cyprinus carpio* の成長においてもこのような成長傾斜が観察されている (Hamai, 1941)¹¹⁾。

次に胚、仔魚の死亡に関する諸結果を総合しよう。

胚期では日毎の死亡数を調べていないので、発生過程における死亡率の変化から死亡しやすい感受期を指摘することはできないし、また温度条件によって死亡曲線を比較することもできないが、孵化率は第 III 区の結果を除けば約 78~85% であって 11°C で飼育した第 II 区が最高値を示し、それより高いか或は低い温度では孵化率は低下している。第 III 区の孵化率は約 28% であって他区に比べて極めて不良である。この区の温度条件は 9°C 恒温で、孵化率 83% の第 IV 区と 81% の第 V 区の間温度である。飼育した卵の密度も他区と大差なく、孵化開始までの期間は他区の飼育水槽とともに同一環流装置に連結しており、また孵化期までの胚の発育、生残の状態も他区とはほぼ同様であることを観察している。従って孵化率の不良な原因は温度や卵密度以外の孵化時における要因に求めなければならないが明らかでない。

アイナメの産卵期の温度は山本・西岡 (1948)²⁾ によれば陸奥湾で 9~12 月の間で 19°~14°C である。筆者等が北海道南部水域噴火湾々口に面する鹿部村沿岸で調査した産卵盛期の水温は 10 月中旬~11 月上旬で約 17°~11°C である。従って本実験の胚期の温度中第 III, IV および V 区では天然条件よりも低温で飼育したことになるが、その孵化率は 11°C および 13°C で飼育した結果と大差ないものと考えられる。このことからアイナメ卵が正常に発育するための温度帯はかなり広いものといえよう。また、温度管理を行わなかった第 V 区の最大温度日変化は 6°C にも及ぶが、孵化率は 81% を示した。天然産卵場での温度日変化についての調査結果はないが、アイナメ卵の温度変化に対する耐容性はかなり大きいものと考えられる。

仔魚期の死亡は本実験の範囲内では、生残曲線から卵黄期、卵黄吸収期およびその後の期に分けて考えることができる。卵黄期は仔魚が栄養源を主に自己の卵黄に依存している時期であり、この期間

の死亡個体数は極めて少なく、減少係数は 0.001~0.003 であって高温条件のものは低温のものより若干大きい傾向がみられたが、投餌、無投餌およびクロロマイセチン海水投餌の諸区間で差異はなかった。投餌区での仔魚の摂餌は投餌開始日或はその翌日から観察された。すなわち、無投餌区の仔魚が集中的に死亡する卵黄吸収時の大部以前から摂餌し始めるようになるのであるが、投餌区でも卵黄吸収時には死亡率が高まる。このような現象は多くの海産魚の飼育実験に同様にみられることであって（倉田：1959¹²⁾、藤田：1962¹³⁾、Blaxter：1962¹⁴⁾、Shelbourne：1963¹⁵⁾）、その原因については幾多の論議が行われているが、その主因は卵黄吸収期或はそれ以前における仔魚の餌つきの良否に帰せられそうである。本実験では投餌開始後の摂餌個体数の割合や卵黄吸収時における死亡個体の胃内容を直接調べていないが、外観して空胃状態にあると判定されたものが死亡個体の大部分を占めていたところより、何等かの原因で摂餌し得なかった個体が無投餌区と同じく大量に餓死したものと考察される。投餌区では卵黄吸収時の大量死亡の起った後に死亡率は再び安定してくる。この時の生残率はクロロマイセチン海水区を除くと 13~88% で、11°C と 9°C の結果が良好であった。一方、クロロマイセチン海水区では生残率が対照区より極めてよく、2~3倍の高率を示したことは興味深い。クロロマイセチンの生残に及ぼす直接的な効果は不明であるが、細菌の繁殖を抑制することによって水質を良好な状態に保ったものと考えれば、卵黄吸収時前の仔魚の餌つきの良否に水質が密接に関連しているのかも知れない。Oppenheimer (1955)¹⁶⁾ は Pacific sardine (*Sardinops caerulea*) 等の卵飼育実験に数種の抗生物質を用いてその効果を論じ、死亡率を高める要因として海水中の細菌学的条件もまた重要であることを指摘している。卵黄吸収時以後の死亡率は卵黄期と同様に高温条件のものほど高い傾向を示している。この期の場合でも卵黄吸収期と同様にクロロマイセチン海水区の死亡率は対照区より顕著に低い。またこの期の死亡個体の大部分は胃中に餌料が観察されているので、死因は卵黄吸収時とは異なるが、主因が餌料、水質、疾病等のどの要因によるものか不明である。

なお、仔魚期の実験区中最低温度条件で飼育した第V区（平均温度 4.6~5.1°C）の温度日変化は極めて大きく、2.5°C 近くまで温度が低下したことも屢々あった。しかし前述したように、死亡率は実験区のうちで最も低く、また温度日変化に対応する死亡率の変動はみられないので、アイナメ仔魚の致死温度の下限はかなり低いものと推定される。

以上述べたように、仔魚期の死亡率は温度が高いほど高い結果が得られたが、本報告で算出した死亡率（減少係数）は物理時間を基準したものであるから、総べての生活現象が温度比例的に進むという法則性から考えれば、死亡が生態的原因による場合でも生理的原因による場合でも極めて当然の結果といえよう。この実験のように、激しい変態途上にある胚期および仔魚期の生残率に及ぼす温度効果を論ずるためには、適切な发育段階をもって生物時間とし、それに対応する温度その他の環境条件をもって十分検討することが必要である。本飼育実験で変態を終えた個体は1尾もない。従って温度による形態変異も发育速度の違いから生ずる发育段階の相異による見掛けの変異を生物学的時間すなわち发育段階別の変異と峻別することは難しい。なお、計測的形態形質は、发育段階の初期に数が固定する体節的形質とは異なり、发育段階と環境要因とによって複雑に変異すると考えられるので、当初に述べた研究目的のためには、先ず卵から成魚に至る飼育を成功させることが必要である。

要 約

魚類の形態と死亡率とに及ぼす温度の影響を明らかにする目的で、アイナメの受精卵および孵化仔魚の飼育実験を行った。その結果は次のように要約される。

1) 乾導法で人工受精した卵を、温度条件の異なる5実験区（第I、II、III区：恒温 13°C、11°C、9°C、第IV区：平均 9.5°C、飼育当初の 11°C より低下勾配 0.07°C/日 で降温、第V区：平均 7.4°C、

室温放置)で飼育した。飼育容器には送気式閉鎖環流装置を用いた。受精率は約 96% である。

仔魚期の温度条件は第 I, II, III区が胚期と同様, 第IV区が平均 7.2°~7.6°C, 第V区が平均 4.6°~5.1°C (室温放置)である。胚, 仔魚期ともに室温放置の第 V 区の温度の変動は極めて大きい。各実験区に無投餌区を, また第IV区と第V区にクロロマイセチン海水区 (50ppm) を設けた。餌料として brine shrimp (*Artemia salina*) の幼生を与えた。

2) 孵化所要日数は第 I ~ V区でそれぞれ 31, 34, 50, 45 および 54 日であって, 高温であるほど発生速度が速い。恒温区の結果から心臓鼓動開始, 胚体色素出現, 胚体卵円周一巡および孵化の 4 期から求めた Arrhenius の温度恒数は 20000~22000 である。孵化率は 77.6~84.8% で, 第IIおよびIV区が高く, 至適温度はおよそ 10°~11°C と考えられる。9°C の第III区では他区に比べて極端に低い 28.1% を示し, 何等かの温度以外の原因によるものと考えられる。

3) 温度による形態変異を検討するために仔魚の 6 つの体部分を測定した。孵化時におけるこれら体部分長の体長に対する比率は, 肛門体長が 35.8~36.7%, 尾長が 63.3~64.2%, 胴長が 19.9~20.5%, 頭長が 15.5~16.4%, 眼径が 8.2~8.4%, 耳胞径が 5.4~5.8% である。頭長, 眼径および耳胞径は胚期に高温で飼育したもののほど比率が大きくなり, 形態変異をおこす感受期は胚発生の後期にあると推定された。

4) 仔魚期における形態変化を比成長式で検討した。肛門体長, 尾長および胴長の比成長には体長 8.6mm 付近に変移点が認められた。仔魚期において tachyauexesis を示す部分は肛門体長 (変移点以後), 尾長 (変移点以前), 頭長, 眼径および耳胞径であり, bradyauexesis を示す部分は肛門体長 (変移点以前), 尾長 (変移点以後) および胴長 (変移点以前) である。変移点以前の胴部の成長は殆んど認められない。成長傾斜は変移点より小さい体長範囲では V 字型を示し, 胴部の成長が極めて弱いことを示す。変移点より大きい体長範囲では頭部に成長の中心があつて体後部に行くほど低下する。すなわち変移点で成長傾斜が変化するが, これは摂餌による胴部の成長促進にともなう生活型の変化によるものと考えられる。

5) 仔魚期の形態変異に対する温度効果は眼径に最も強く現われ, 高温ほど比成長の平衡恒数 k の値を高めるように働く。この効果は変移点の認められる肛門体長と胴長とでは, 変移点以前においては逆に働くように考えられる。尾長に対しては温度効果は殆んど認められない。すなわち温度効果は体部分および発育段階によって異なり, その発現は温度差によっても異なる。

クロロマイセチンの効果も比成長平衡恒数を高めるように働くが, 温度効果よりも強力に作用し, 低温でもクロロマイセチンの存在は温度効果を凌駕して k の値を高める傾向が認められた。クロロマイセチン効果も体部分によって異なり, 頭長, 眼径および耳胞径でその効果が強く, 尾長には効果が認められない。

6) 比成長式における平衡恒数 k と定数 $\log b$ との間には $\log b = \beta - \kappa k$ (β および κ は定数) なる直線的関係が成立し, $\kappa = \log x_0$, $\beta = \log y_0$ で表わされる点 (x_0 , y_0) は比成長の変移点に一致する。この点は成長曲線からも検証され, また次に述べる生残曲線における卵黄吸収期とも一致し, 自家栄養によって成長し得る最大の大きさと体形を示すものと考えられる。

7) 生残曲線から仔魚期の死亡過程を卵黄期, 卵黄吸収期およびその後の摂餌期の 3 期に分けることができる。卵黄期の減少係数は 0.001~0.003 であつて環境条件の相異による差は殆んどない。無投餌区の大部分の個体が集中的に死亡する卵黄吸収期の死亡率には実験区間で差異があり, この時期を経て死亡率がほぼ一定の値を示すようになる摂餌期の生残率は 13~38% で (クロロマイセチン海水区を除く), 11°C と 9°C で飼育した結果が良好であつた。一方, クロロマイセチン海水区では対照区の 2~3 倍の高い生残率を示した。摂餌期における減少係数は 0.007~0.083 であつて, 高温条件

のものほど大きい。またクロロマイセチン海水区の値は対照区より極めて小さく、生残率を良好にするクロロマイセチンの顕著な効果が認められた。

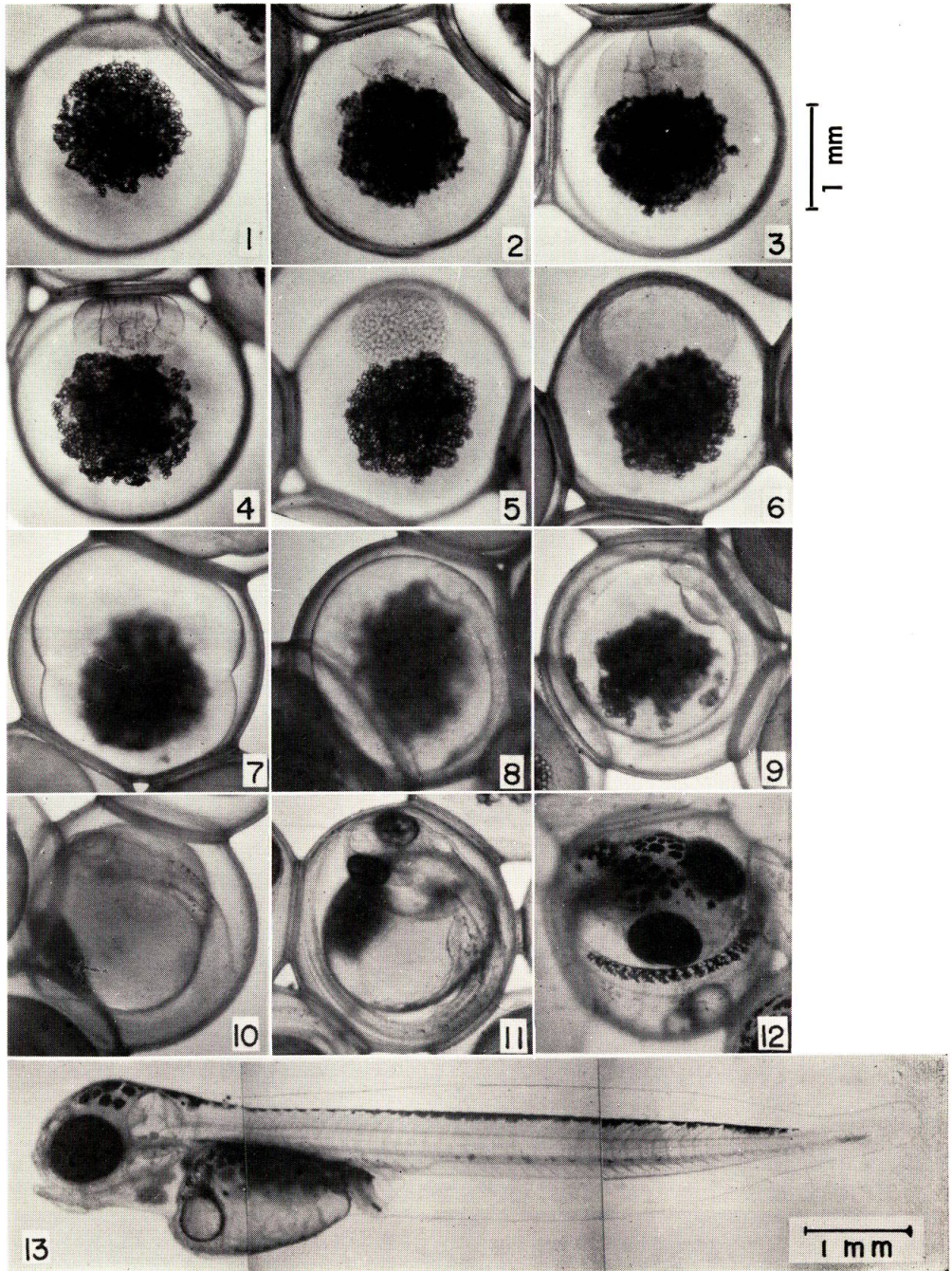
8) 飼育期間中の仔魚の成長は高温条件のものほど良好な結果を得た。本実験での仔魚期における最長飼育期間は平均温度 $4.5^{\circ}\sim 5.1^{\circ}\text{C}$ で飼育したクロロマイセチン海水第V区の67日(日令群の平均体長 10.9mm), また最大体長に達した例は 9°C 恒温で飼育した第III区の 13.2mm (日令 37日の平均) である。この体長で変態を終えた個体は1尾もない。体長と体重の関係は $\log W=16.83+4.39 \log L$ (W : 体重 mg, L : 体長 μ) で示される。

文 献

- 1) 大島泰雄・中村中六 (1942). アイナメの生活史について. 水産学会報, 9, 81~88.
- 2) 山本護太郎・西岡丑三 (1948). アイナメの産卵習性ならびに発生経過. 生物, 3(5), 167~170.
- 3) 遊佐多津雄 (1960). 主要魚種の発生について——アイナメの発生. 東北海区水研底魚情報, 26, 76~80.
- 4) Worley, L. G. (1933). Development of the eggs of the mackerel at different constant temperatures. *Jour. Gen. Physiol.*, 16(5), 841~857.
- 5) Lumer, H. (1936). The relation between b and k in systems of relative growth function of the form $y=bx^k$. *Amer. Nat.*, 70, 1~4.
- 6) Huxley, J. S. (1950). A discussion on the measurement of growth and form — Relative growth and transformation. *Proc. Roy. Soci.*, (B), 137, 465~469.
- 7) 清水三雄 (1959). 相対成長. 269 p. 東京; 協同医書出版社.
- 8) Täning, Å. V. (1952). Experimental study of meristic characters in fishes. *Biol. Rev. Cambridge Phil. Soc.*, 27(2), 169~193.
- 9) Martin, W. R. (1949). The mechanics of environmental control of body form in fish. *Univ. of Toronto Studies Biol. Ser.*, No. 58, 1~73.
- 10) 浜井生三・久新建一郎・木下哲一郎. スケトウダラの形態変異および死亡について (未稿).
- 11) Hamai, I. (1941). A study of the growth of fish, *Cyprinus carpio* L. *Sci. Rept. Tohoku Imp. Univ., Biol.* 16(1), 17~89.
- 12) 倉田 博 (1959). ニシン稚魚の飼育について. 北水研報告, 20, 117~138.
- 13) 藤田矢郎 (1962). 日本産主要フグ類の生活史と養殖に関する研究. 長崎県水試論文集, 2, 1~121.
- 14) Blaxter, J. H. S. (1962). Herring rearing—IV. Rearing beyond the yolk-sac stage. *Mar. Res. Scot.*, 1962, No. 1, 1~18.
- 15) Shelbourne, J. E. (1963). Marine fish culture in Britain II. A plaice rearing experiment at Port Erin Isle of Man, during 1960, in open sea water circulation. *Jour. du Cons.*, 28(1), 70~79.
- 16) Oppenheimer, C. H. (1955). The effect of marine bacteria on the development and hatching of pelagic fish eggs and control of such bacteria by antibiotics. *Copeia*, 1955, No. 1, 43~49.

Explanation of Plate

- Fig. 1. Artificially fertilized greenling eggs, protoplasmic germ disc, 3 h after fertilization, 11°C
- Fig. 2. 2-cell stage, 6 h
- Fig. 3. 8-cell stage, 12 h
- Fig. 4. 16-cell stage, 15 h 20 m
- Fig. 5. Morula stage, 24 h
- Fig. 6. Gastrula stage, germ ring extends about one fifth of yolk sphere, 60 h
- Fig. 7. Germ ring just past equator, 77 h
- Fig. 8. Optic lobes and Kupffer's vesicle firstly distinguishable, 107 h
- Fig. 9. Embryo approximately $\frac{1}{2}$ circle, 183 h
- Fig. 10. Appearance of melanophores on the dorsal portion of embryo, 219 h
- Fig. 11. Embryo nearly full circle, 353 h
- Fig. 12. Embryo shortly before hatching, 824 h
- Fig. 13. Larva just hatched, body length 7.8 mm



HAMAI & KYÛSHIN: Form and mortality of greenling