

第4章 成熟に影響を及ぼす環境諸要因

(1) 電照期間中の水温が成熟に及ぼす影響

光とともに水温も生殖腺の発達に大きな影響を及ぼすことが、メダカ (Yoshioka '70) キンギョ (Yamazaki '65) ホンモロコ (ライ・バン・キエット、日比谷 '72)、カワマス (Hendason '63) やニジマス (酒井等 '71) 等の魚種で確められている。

これらの研究は卵巣卵内に卵黄胞・卵黄球等の卵黄物質が蓄積し、その容積が大きく発育肥大するいわゆる第2次成長期における水温の影響について検討したものである。しかしながら、染色仁期や周辺仁期の第1次成長期における生殖腺の発達に及ぼす水温の影響については殆んど検討されていない。アユでは卵巣卵が第1次成長期の未熟な状態のときでも、光周刺激を強く感受し、その結果、それ以降の成熟に大きな影響を及ぼすことが明らかとなった。このことは、この時期においても後に起る生殖腺成熟に効果する生理的メカニズムに、光周刺激がなんらかの形で関与していることを示唆している。

本章では生殖腺が未熟な状態のときの水温が、その後の生殖腺の発達にどのような影響を及ぼすかを検討するとともに、卵巣卵の組織学的変化についての観察所見を述べる。

実験方法

滋賀県水産試験場では年間にわたって水温変化のない18.6°Cの地下水と、季節的に水温が変動する琵琶湖水の2種類の用水が利用可能である。40 W白色蛍光灯3本を等間隔に設置した2×5 mのコンクリート製縦型飼育水槽2面を使用し、1面は地下水（以下地下水区と呼ぶ）を、他の1面は湖水（湖水区と呼ぶ）をそれぞれ注水した。なお湖水は強風や河川の濁水等により濁ることもあるので、湖水区の水深は10~15 cmと浅くし、両飼育水槽の照度に差が生じないようにした。

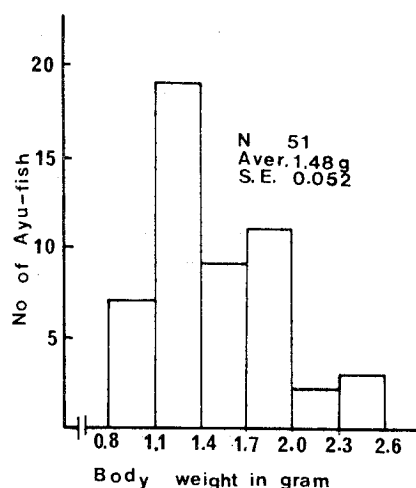


Fig.N-1-(1) Histogram of the body weight of Ayu-fish employed in the experiment-I.

N=Total number, Aver. = Average of body weight, S.E. = Standard error

ただし実際は実験中1日だけ少し濁っただけであった。

4月13日に北小松 地先の鰯で漁獲された種苗の中から図Ⅳ-1-(1)に示した体型のものを選別し、4月16日にそれぞれの水槽に放養するとともに、一部のものは更に自然日長で飼育を続け、5月2日にこれを取り上げて脂鰯を切断し、それぞれの飼育水槽に再度放養した。電照は4月16日から5月16日までの30日間、日没前から午前1時まで(約19.5L+4.5D)行った。したがって4月16日に放養したものでは30日間、また5月2日に放養したものでは14日間それぞれ電照したことになる。

本実験の目的は長日処理期間中の水温が、その後の成熟にどのような影響を及ぼすかを検討することにあるので、湖水区は電照中止直後から地下水区に切り替えた。

魚の取上げならびに測定は前実験と同様の方法で行い成熟状況を比較検討した。また取上げ時には、区毎に雌雄5尾ずつ採捕し、生殖腺をBouin固定後、常法によりパラフィン切片としHematoxylin-Eosin染色を施し、卵巣卵の組織学的観察を行うとともに卵巣卵の大きさについても測定した。

結果

図Ⅳ-1-(2)は湖水区の電照期間中の毎日の最高・最低の水温変化(自記水温計使用)を示したものである。日々の最高・最低の水温変動は大きい、全体的に見ると上昇傾向を示している。平均水

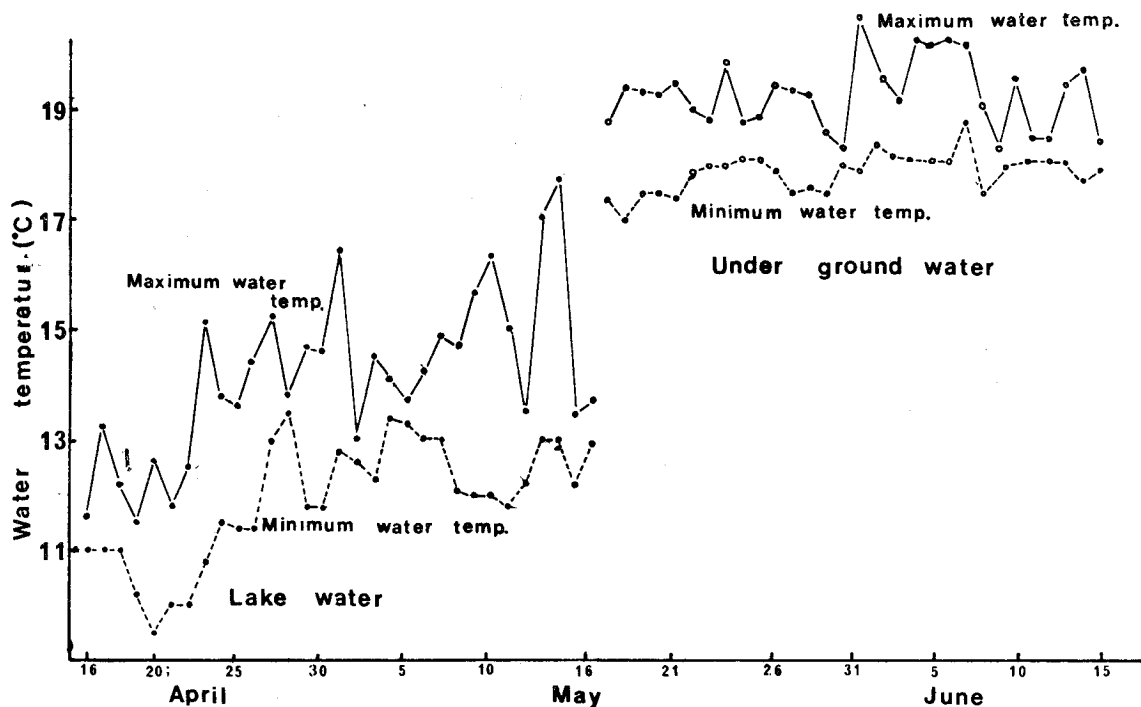


Fig. Ⅳ-1-(2) Daily changes of maximum and minimum water temperature during the long photoperiod, water temperature in section used under ground water measured in 30 days after the day returning natural day-length.

温は4月16日から25日までの10日間は11.5~12.0°C、4月25日から5月上旬までは13.0°C、それ以降は13.5°Cであった。したがって飼育水の平均水温は、30日間電照したものでは12.0~13.0°C また14日間電照したものでは13.0°C前後と考えられる。一方地下水の水温は電照期間中には測定しなかったが、それ以降約1ヶ月間測定した結果では、湖水区のような大巾な変動は見られず、平均水温は18.5°C程度であった。このことから電照期間中の水温は17~18°Cであると推定される。したがって電照期間中の地下水区と湖水区との飼育水温の差は、30日間電照のものでは4.5~5.5°C、また

14日間電照のものでは40°C程度と考えられる。

30日間電照したアユの成熟状況を見ると、地下水区では5月31日の成熟度は雄0.10、雌0.22で成熟はわずかに見られた程度であったが、その後は6月14日、28日、7月12日、8月8日の各採捕時には雄3.56、6.64、8.37、8.82また雌では0.80、3.78、5.89、15.30の成熟度を示し、その間の成熟は順調であった。一方湖水区では6月14日には雄0.03、雌0.18の成熟度でこの間の成熟は殆んど見られなかったが、その後は上記の採捕日ならびに8月22日には雄1.30、3.60、4.29、6.60、8.40、また雌では0.42、0.73、2.00、7.18、12.18の成熟度となった(図N-1-(3))。14日間電照した

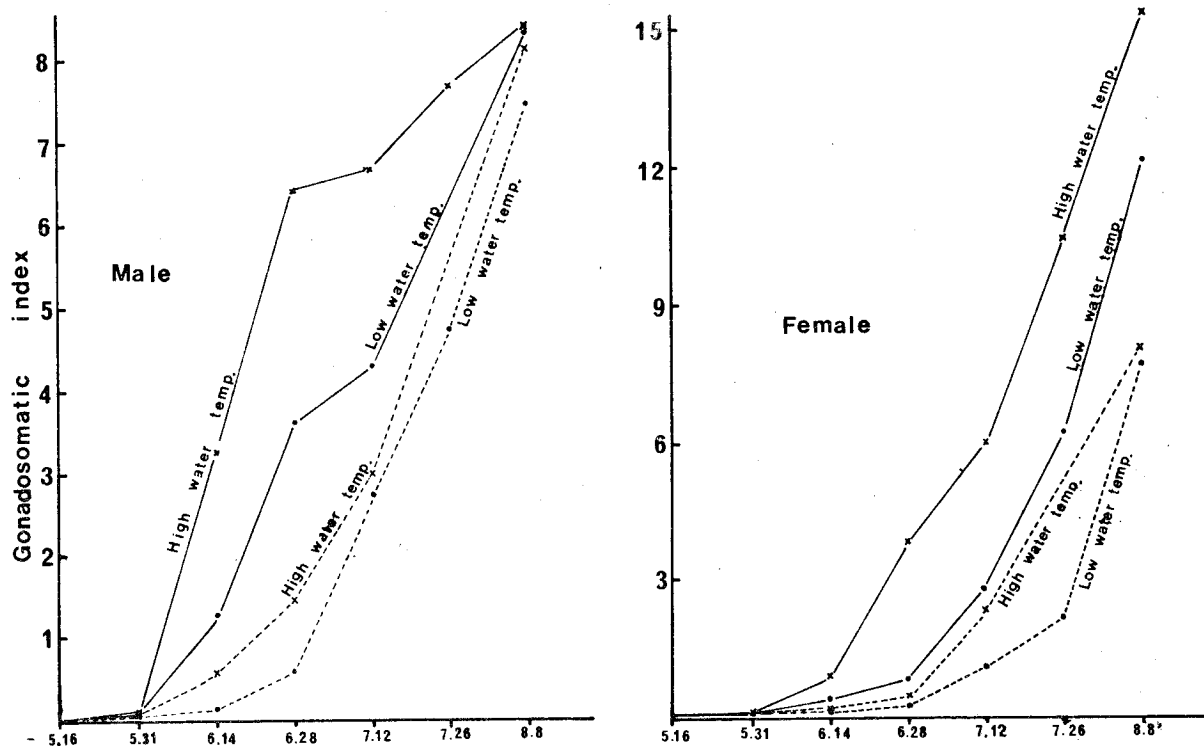


Fig.N-1-(3) Changes of the gonadosomatic index of Ayu-fish.
Solid lines = Reared in long photoperiod for 30 days.
Dotted lines = Reared in long photoperiod for 14 days.

場合の成熟状況は、5月31日には両区とも雄0.01、雌0.15~0.16の成熟度を示し、6月14日には地下水区では雄0.58、雌0.22、また湖水区ではそれぞれ0.18、0.21の成熟度で、この間の成熟は両区ともわずかであった。その後は両区とも成熟は進み、6月28日、7月12日、8月8日には地下水区の雄では1.50、3.00、8.20、雌0.40、2.30、8.20の成熟度となり、また湖水区では雄0.60、2.80、7.70、雌0.30、1.00、7.70となった。

同一期間電照した地下水区と湖水区との成熟を比較すると、いずれの実験も水温の高い地下水区の方が成熟は早かったが、電照期間の差による成熟差の方が大きかった。水温の差異による成熟の差は成熟度で雄1、雌3以下の初期の成熟段階においてかなりの差が見られたが、それ以降の成熟は両区ともほぼ同一の速度で進み、電照期間ならびに日長時間を変えた場合に見られた成熟の遅速は見られなかった。

卵巣卵の組織学的観察の結果では、長日条件から自然日長に切り替えた時点の卵巣卵はいずれの区も染色仁期で、試験開始時のstageと変らなかったが、5月31日には各区とも周辺仁期となった。自然日長切り替え後30日間経過した6月14日には、14日間長日処理した区では周辺仁期にとどまっていたが、30日間長日処理した区では卵黄胞期に達し、この時点で長日処理期間の相違が卵巣卵の組

織像に明確な差となって現れた。しかしながら高水温区と低水温区との差は明瞭でなかった。6月28日には30日間長日処理した区は卵黄球期となった。

組織切片における卵巣卵の大きさを経時的に測定した結果を図N-1-(4)に示した。電照終了時の卵径は試験開始時の大きさ0.02 mmの約2.5~3.0倍の0.05~0.06 mmとなったが、電照期間ならびに水温による差は見られなかった。その後は30日間電照の地下水区では5月31日、0.11 mm、6月28日0.35 mmとなったのに対し、湖水区ではそれよりも小さくそれぞれ0.08 mm、0.15 mm、0.26 mmとなった。一方14日間電照の地下水区では上記の採集日には0.08 mm、0.12 mm、0.15 mm、また湖水区ではそれぞれ0.06 mm、0.11 mm、0.14 mmとなった。

このことから卵巣卵の発達は長日処理期間に大きく左右されるとともに電照期間中の水温によってもかなり影響を受けることが明らかとなった。

考 察

生殖腺が第1次成長期の未熟な状態の時でも、アユは光周刺激に対して強く反応していることは、その時期の長日条件如何で、成熟に大きな差が見られることから明らかである。卵巣卵の組織像や卵巣卵の大きさは、水温や長日処理期間を変えても処理期間中は殆んど変わらず、処理以降に有意差となって現れた。このことから、長日刺激や水温は速効的に直接生殖腺の発育に作用するのではなく、間接的に作用しているものと考えられる。この場合実態は明らかでないが、後に起こる生殖腺成熟に効果する生理的作用に何んらかの影響を興え、自然日長に戻した以降にそれが生殖腺の発達に効力を発揮されるのではないかと考えられる。

本実験の目的は電照期間中の水温が成熟に及ぼす影響について検討することであるが、云いかえると、後に起る生殖腺成熟に効果する生理作用に水温がどのように影響を与えるか検討することにほかならない。

魚類の成熟に関与する主要な環境要因が光周期ならびに水温であることは周知の事実であるが、それぞれの要因の成熟に及ぼす影響程度は魚種によって異なり、成熟が主として光周期によって決定される魚種もあれば、逆に水温が成熟の決定要因となる魚種もあり、また両方の要因が共に関与する魚種もある。また卵黄胞期・卵黄球期の第2次成長期の生殖腺と水温との関係において、キンギョやメダカのように一定限度内では高水温程発育が良好である(Yamazaki '65)場合と、ホンモロコのように生殖腺の発達に至適水温が存在する(ライ・バン・キエツト、日比谷 '72)場合とがあるが、第1次成長期のアユの生殖腺の発達と水温との間にも、恐らくこのような関係が存在するものと考えられるが、どちらの型に属するか不明である。しかしながら本実験の場合、水温差よりも長日処理期間

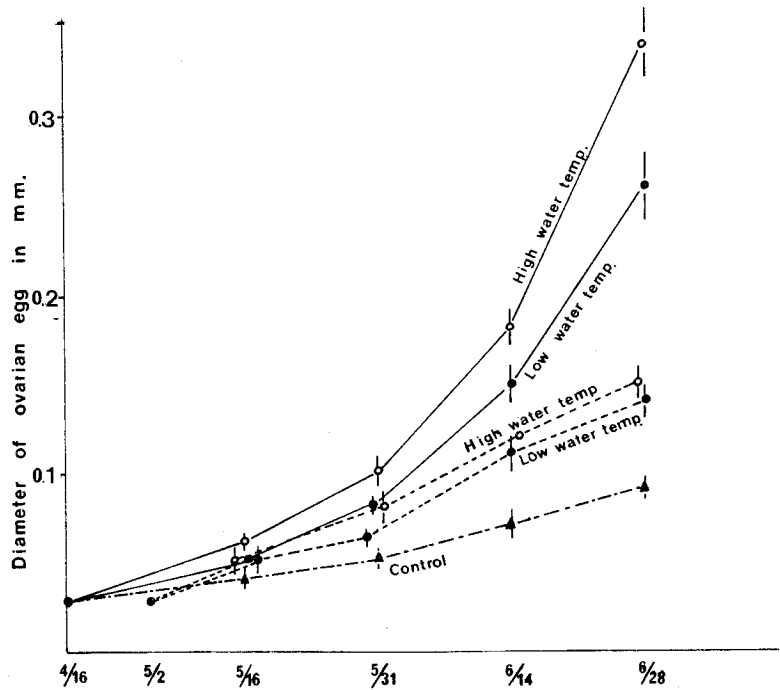


Fig. N-1-(4) Changes of the diameter of ovarian eggs in the histological preparation stained hematoxylin-eosin. Solid lines = Reared in long photoperiod for 30 days. Dotted lines = Reared in long photoperiod for 14 days.

の差異の方が成熟に大きな開きを示したことから考えると、この時期のアユは水温よりも光周期の方が成熟に強い影響力を持っていると云ってもさしつかえないであろう。

要 約

30日間ならびに14日間の長日処理期間中水温を変えて飼育し、その後同一水温にし自然日長に戻して、成熟を促進し、その成熟状況から第1次成長期の生殖腺の発達に及ぼす水温の影響について検討するとともに、卵巣卵の組織学的観察ならびに卵巣卵の大きさについても検討した。

(1) 電照期間中の成熟に対する水温の影響は自然日長への切り替え後約1～1.5月間の発達段階において成熟の遅速という形で現れた。それ以降の成熟はほぼ同一の速度で成熟し、水温の影響は見られなかった。

(2) 卵巣卵の組織学的観察ならびに卵巣卵の大きさを測定した結果、水温や長日処理を変えても、処理期間中は卵巣卵の組織像や卵の大きさには有意差は見られず、自然日長切り替え以降に明確な差が認められた。

(3) 上記のことから卵巣卵が第1次成長期の未熟な時期における長日処理ならびに水温の影響は速効的に直接生殖腺の発達を促すのではなく、後に起る生殖腺成熟に効果する生理的作用に影響を及ぼし、自然日長に戻した以降に、これが生殖腺の発達に効力を発揮するものと考えられる。

(4) この場合、成熟に対する影響力は水温よりも光周期の方が強いと云える。

(2) 春期の照度が成熟に及ぼす影響

照射光の明るさがアユの生殖腺の発達に影響を及ぼすことは、すでに白石('75b)ならびに羽生・鈴木等('71)によって明らかにされている。ただしこれらの実験は夏期から秋期にかけて実施されたので、卵巣卵が第2次成長期に当る時期に実施したことになる。

アユは染色仁期や周辺仁期の第1次成長期の未熟な時期でも、光周刺激に対して強い感受性を示し、その後の成熟に大きな影響を興えることは、すでに著者の実験で明らかにしたとおりである。

本実験では第1次成長期に当る未熟な時期の照度が、その後の成熟に及ぼす影響を明らかにするとともに、成熟促進親魚から得られた卵の特性についても検討した。

実験方法

2×5mのコンクリート製縦型飼育水槽をスクリーンで、第4章に用いた区画と同様の区画5面を作製し、それぞれの区画の中央に40W白色蛍光灯を設置した。

本実験は1977年、1978年に下記要領で実施した。

第1実験(1977年)

本実験は飼育水槽全面を黒ビニール幕で覆い、自然光が内部に入らないようにし、各区画の蛍光管を梨地ビニール、薄手の黒ビニール、寒冷紗で覆い照度を調節した。各区画の照度は図Ⅳ-2-(1)に示したように第1区画では、最低0.3 lux, 最高1.2 lux, 平均0.7 lux、第2区画ではそれぞれ0.8 lux, 2.5 lux, 1.4 lux、第3区画では1.5 lux, 10.0 lux, 4.6 lux、第4区画では4.9 lux, 48.0 lux, 16.5 lux、第5区画では12.5 lux, 114 lux, 47.8 luxであった。

4月13日に北小松地先の川で漁獲されたアユを搬入し、その中から体重約2gのものを選別し、4月16日に各区画に放養し、4月16日から5月31日までの45日間、それぞれの照度で午前5時点灯、午前1時消灯の20L+4Dの日長条件で飼育した後、午前5時点灯、午後6時消灯の13L+11Dの日長条件で切り替えた。

第2実験 (1978年)

4月7日から5月6日までの30日間、約19.5L+4.5Dの長日条件で飼育した。長日条件飼育中は自然光と不足時間のみそれぞれの照度で電照し、それ以後は自然日長に戻した。照度が40.4%低下する寒冷紗を1区11枚、2区9枚、3区7枚、4区5枚、5区3枚、6区1枚を用いて、それぞれの蛍光管を覆い照度を調節した。各区の照度分布を図N-2-(2)に示したが平均照度は1区0.3lux、2区1.2lux、3区3.7lux、4区10.8lux、5区、6区は33.9lux、95.0luxであった。3月29日に野洲川地先の躰で漁獲したアユを搬入し、その中から体重2g前後のものを選別し、各区に100尾ずつ放養した。両実験とも水温18.6°Cの清澄な地下水を用い、飼料には日本配合飼料KK製のアユ用クランブルを与えた。取り上げならびに測定については前章の実験と同様である。

第1実験が終了した時点で、成熟が顕著に促進された4区、5区の雌親魚を取り上げ、ホルマリン固定後成熟度23以上のもの41尾を選び、卵巣卵の卵径(万能投影器にて測定)ならびに重量法(久保・吉原'57)により、1次卵の抱卵数を調べるとともに、産卵させて得られた受精卵ならびに

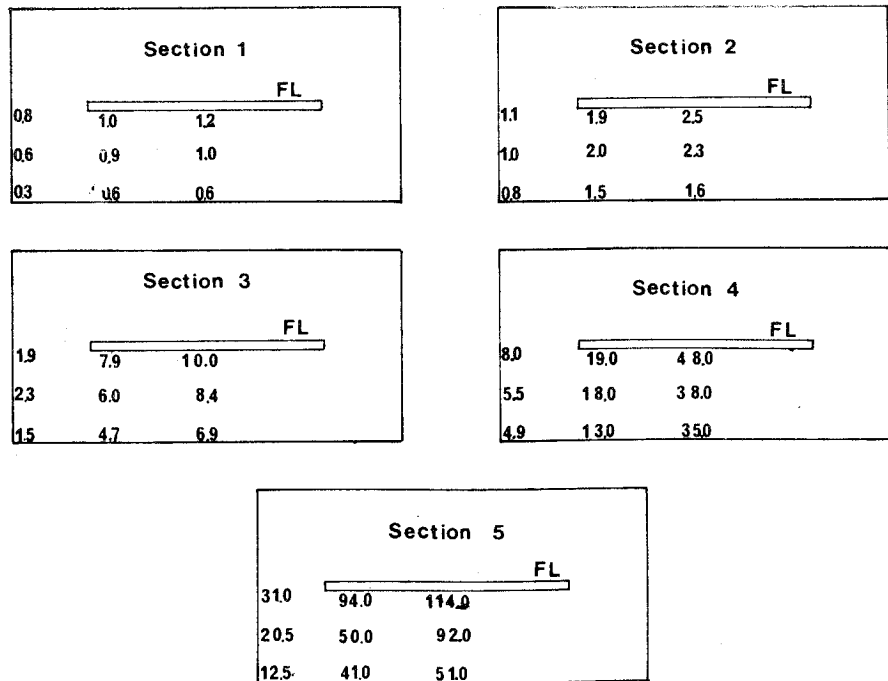


Fig. N-2-(1) Intensity of illumination on the water bottom in sections in Experiment-I.

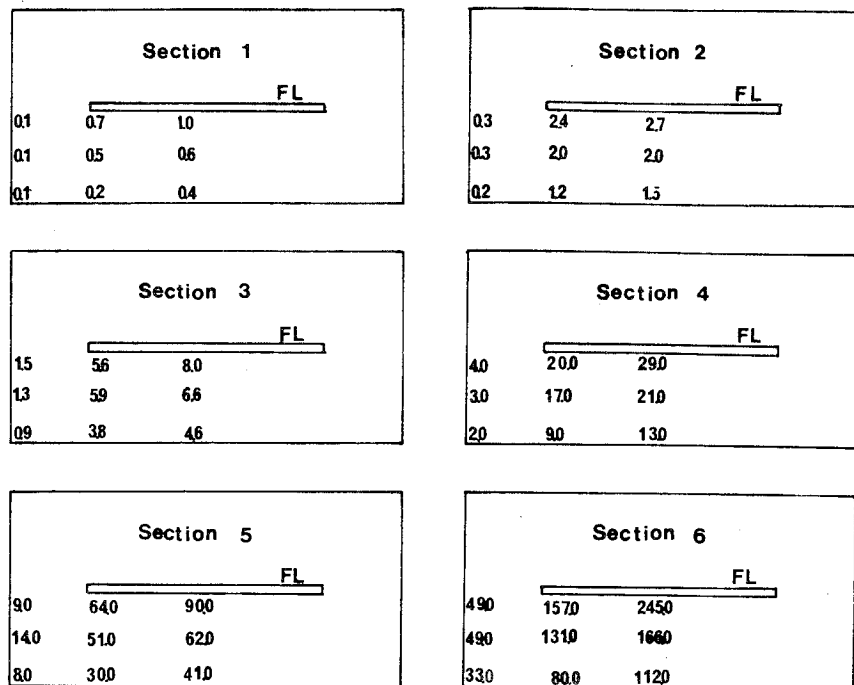


Fig. N-2-(2) Intensity of illumination on the water bottom in sections in Experiment-II.

孵化仔魚の大きさ（万能投影器にて測定）についても測定し、自然日長飼育魚のそれと比較した。

結果及び考察

第1実験

照度の最も低い第1区画では、6月14日雄0.06、雌0.32の成熟度を示し、6月28日、7月12日に雄3.8、7.2、雌4.5、17.4の成熟度となった。第3区画では上記の採捕日には雄0.25、6.8、7.8雌0.52、12.5、23.7の成熟度を示し、また第2区画の成熟は第1区画と第3区画の成熟の中間的な推移であった。第4区画ならびに第5区画では6月14日雄0.36、0.87、雌0.50、0.50、6月28日雄7.6、7.5、雌14.7、13.7、また7月12日には雄8.6、8.9、雌24.2、23.6の成熟度を示し、両区画の成熟は他の区画のそれよりも顕著であったが、両区の成熟には有意差は見られなかった（図N-2-(3)）。

以上の実験結果から平均照度0.7 luxの低い照度でも成熟に対して有効であり、0.7~16.5 luxの範囲では照度が高いと成熟は促進され、照度と成熟との間に正の相関が見られ、更にそれ

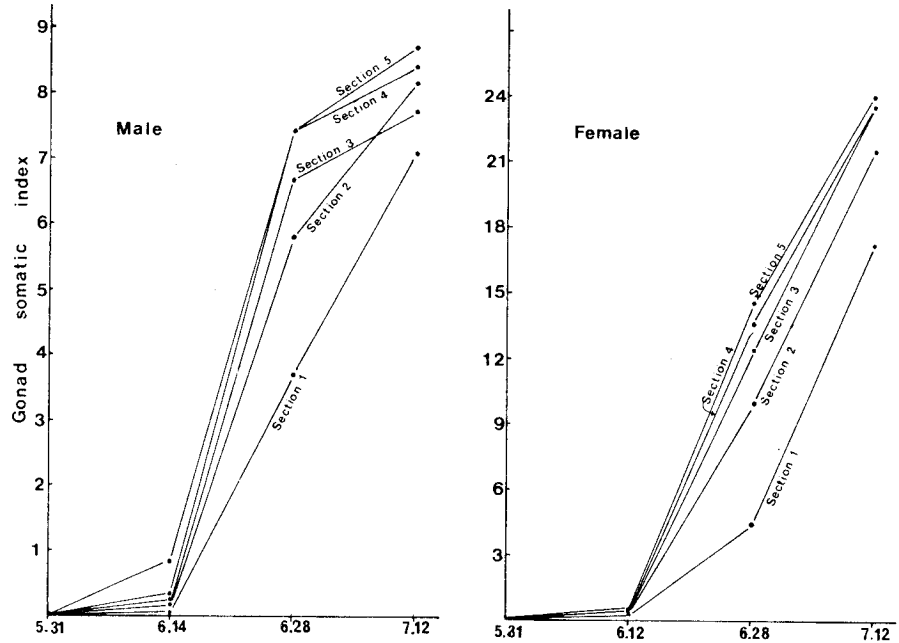


Fig. N-2-(3) Changes of gonadosomatic index in sections in Experiment-I.

以上の相関が見られ、更にそれ

以上の照度になると、すべて成熟は顕著に進み、差は見られなくなると云える。

第2実験

各区画の雌雄別の成熟状況を図N-2-(4)に示した。

第1区画ならびに第2区画では、自然日長切り替え後から約70日経過した7月14日の成熟度は雄0.04、0.15、雌0.18、0.27で生殖腺の発達は殆んど見られず長日処理の効果は認められなかった。第3区画の成熟は5月19日、6月2日、16日には雄0.012、0.052、0.329、また雌ではそれぞれ0.117、0.240、0.264の成熟度を示し、その間の成熟は殆んど見られなかったが、それ以降に成熟し、6月30日7月14日の成熟度は雄1.22、2.55、雌0.46、0.82となった。第4区画の成熟は第3区画のそれよりも顕著で、上記の採捕日には雄0.03、0.79、1.77、4.04、4.75、雌0.115、0.256、0.436、0.700、4.16の成熟度を示した。第5区画ならびに第6区画では6月2日には雄2.43、2.41、雌0.68、1.34の成熟度を示し、6月16日雄5.71、4.81、雌3.44、2.48、6月30日雄6.65、6.55雌5.67、9.27、また7月14日には雄7.06、7.04雌7.50、13.09の成熟度を示し、その間の成熟は直線的で顕著であった。しかしながら両区の成熟に有意差は見られなかった。

本実験の結果から、平均照度が1.2 lux以下では長日処理による成熟促進の効果は全く見られず、3.7 luxの照度になってその効果が見られるようになり、また3.7~33.9 luxの照度範囲では成熟と照度との間に正の相関が見られ、更にそれ以上の照度となると、成熟は顕著に進み差は見られなく

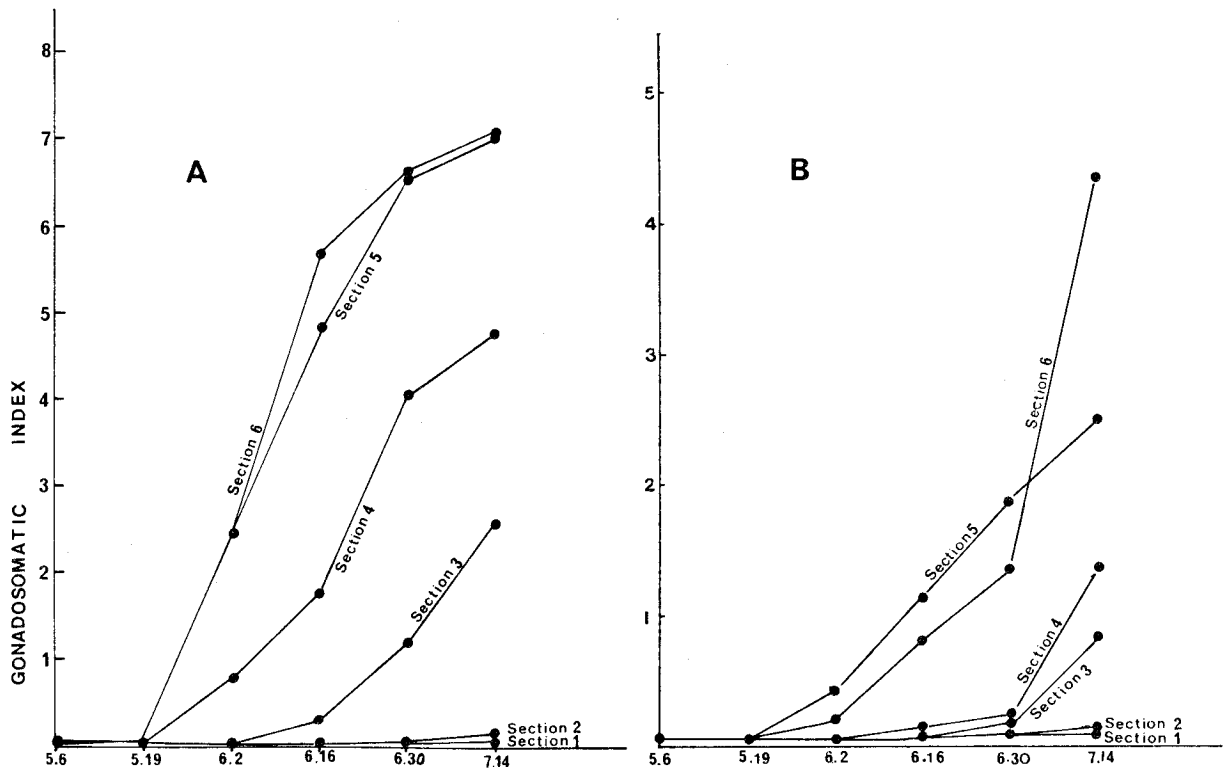


Fig. N-2-(4) Changes of gonadosomatic index in sections in Experiment-II.
A=Male, B=Female.

なると云える。

以上のことから卵巣卵が未熟な状態の時期でも、照度は成熟に対してかなり強い影響を持つことが判明した。

上記2実験の結果を比較すると、第1実験では平均照度0.7 lux以下でも成熟に対して有効であったが、第2実験では平均照度がその約2倍であったにも拘らず、長日処理の効果は全く見られなかった。また成熟と照度との間に相関的な関係が見られる照度範囲は、第1実験では0.7~16.5 lux、であったのに対し、第2実験3.7~33.9 lux程度と考えられ、また成熟は顕著に進み成熟に差が見られなくなる最低の照度を求めると、第1実験では16.5 lux、第2実験では33.9 lux程度と推定された。

このように第1実験と第2実験とでは結果に大差が見られ、これらの値は第1実験よりも第2実験の方が遥かに高かった。

第1実験では試験開始から試験終了時まで、即ち幼魚期から完熟に達するまでの期間一貫して、それぞれの照度で飼育し、その間それぞれの照度で長日ならびに短日処理を行ったが、第2実験では自然日長で飼育し、長日処理期中の不足時間のみそれぞれの照度で照射した。したがって第1実験と第2実験とでは、実験条件の設定に大きな相異があり、それが原因で両者の実験結果に大きな開きが生じたものと考えられる。

このことは光に関する環境が変われば、アユの成熟に関する照度の閾値や上記した両者の関係はかなり変動することを意味するものと云えよう。

照度と成熟との関係はメダカ (Yoshioka '74) やアユ (白石 '65b, 羽生・鈴木等 '71) でそれぞれ検討されている。白石は長日条件で飼育した場合、成熟抑制効果が見られる最低の照度は雌雄で異なり、雄0.1 lux, 雌0.2 luxであるとしているのに対し、羽生・鈴木等の結果では長日条件で水底

の照度を変えて飼育し、成熟度の変化をくり返し調べた結果では1～3 luxの照度範囲では照度が高い程、生殖腺の発達を抑制する効果が強く現れるとし、白色蛍光灯で成熟度を1以下に抑制出来る臨界照度は約7 lux程度と推定した。これらの実験は夏季から秋季にかけて行われ、卵巢卵が卵黄胞期、卵黄球期かそれに近い状態で、しかも以前にかなりの照射を受けた供試魚を用いての検討であり、

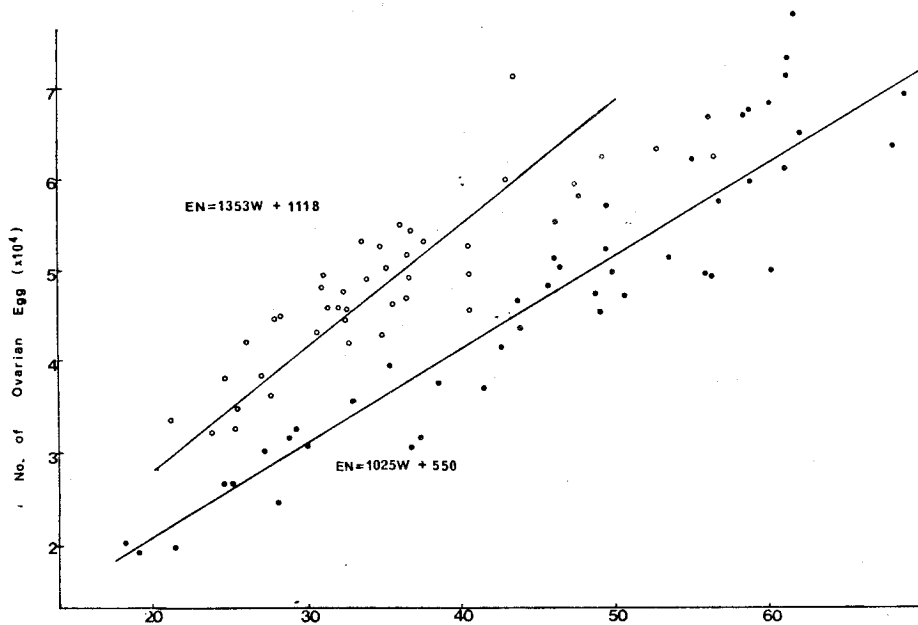


Fig.N-2-(5) Relationship between number of ovarian egg and body weight.
○=Ayu-fish treated in Experiment-I. ●=Control.

生殖腺が未熟な状態の時期における照度と成熟との関係を検討した本実験の結果と直ちに比較することは出来ないと思われる。

成熟促進アユの抱卵数 (EN) と魚体重 (BW) ならびに体重 (BL) との関係、自然日長飼育魚のそれと対比させて図N-2-(5)、図N-2-(6)にそれぞれ示した。

成熟促進アユのこれらの関係は $EN=1354 BW+1118$, $NE=1.862 BL^{4.064}$ の式で表わされ、自然日長飼育魚のそれは、 $EN=1025 BW+550$, $EN=2.523 BL^{3.778}$ で、

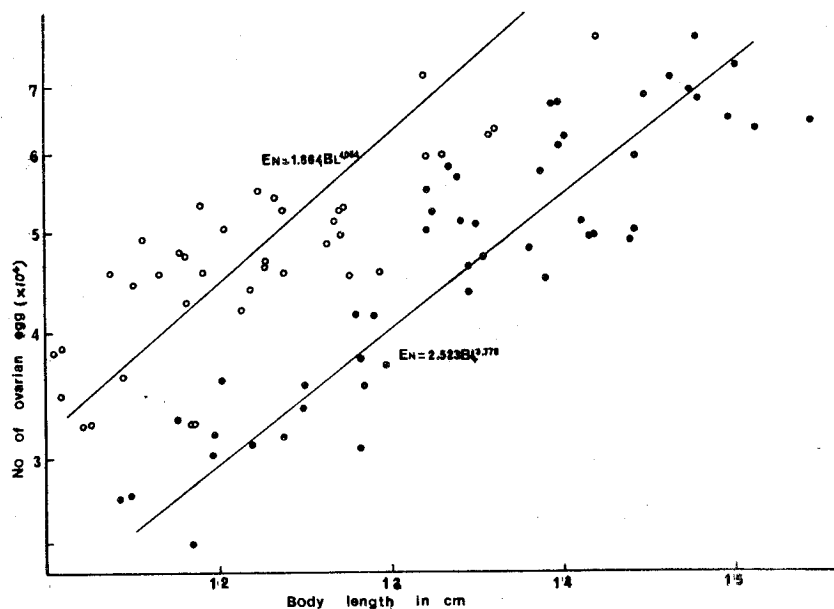


Fig.N-2-(6) Relationship between number of ovarian egg and body length.
○=Ayu-fish treated in Experiment-I. ●=Control

抱卵数は自然日長飼育魚よりも成熟促進のアユの方が多かった。

一方、成熟度が23以上の卵巣卵の大きさは成熟促進アユでは、長径 0.706 ± 0.0024 mm、短径 0.642 ± 0.0024 mmで、自然日長飼育魚のそれはそれぞれ 0.776 ± 0.0024 mm、 0.691 ± 0.007 mmであり、成熟促進アユの方が小さかった。受精卵ならびに孵化仔魚の大きさも同様で、両者の間に有意差が見られ、成熟促進アユの受精卵ならびに仔魚の大きさは 0.830 ± 0.0028 mm、 4.97 ± 0.022 mmであったのに対し、自然日長飼育魚のそれはそれぞれ 0.914 ± 0.003 mm、 5.61 ± 0.025 mmであった。

本実験の結果成熟促進して得られた卵は小型化が著しく、抱卵数が多くなることが判明した。このような現象は成熟促進のカワマス (Corson '55, Henderson '72) やニジマス (野村等 '62) でも見られる。伊藤 ('67) は湖産アユは海産アユ卵にくらべ卵径が小さく、孵化仔魚も小型となるので、種苗生産においては海産アユ卵を用いる方が稚仔魚の飼育に有利であると報告している。

人工河川利用による湖産アユ資源の維持には成熟促進アユ親魚も利用する計画であるが、この場合抱卵数が多いことは事業的に有利であるが、卵径は湖産アユのそれよりも更に小型であるので、事業を進める上で一つの欠点となることも予想される。しかしながら莫大な仔アユを流下させ、それ以降は天然の生産力に依存せねばならない本事業にとっては仔アユの量的確保が先決であろうと考えられるので、まず孵化仔魚の大きさよりも卵数の多少を重要視した方がよいように思われる。

要 約

アユ幼魚をそれぞれの照度で一貫して飼育し、その間その照度で長日ならびに短日処理した場合と、長日処理期間中は自然光を主体に不足時間のみ、それぞれの照度で照射して成熟を促進させた場合との成熟に及ぼす照度の影響について比較検討した。また本技法で顕著に成熟が促進された親魚の抱卵数、卵径、仔魚の大きさについて、自然日長飼育魚のそれと比較した。

(1) それぞれの照度で長日ならびに短日処理を施した場合の成熟は、平均照度 0.7 luxの低い照度でも有効であり、 $0.7 \sim 16.5$ luxの照度範囲では照度は高いと成熟は促進され、照度と成熟との間に正の相関が見られ、またそれ以上の照度になると、成熟は顕著に進み成熟促進効果に差は見られなかった。

(2) 自然光を主体に不足時間のみ人工光でそれぞれの照度で長日処理した場合の成熟は、平均照度 1.2 lux以下では成熟促進の効果が全く見られず 3.7 luxになってはじめてその効果が見られるようになり、 $3.7 \sim 33.9$ luxの照度範囲では成熟との間に正の相関が見られた。またそれ以上の照度になると成熟に差は見られなかった。

(3) 以上のことから生殖腺が未熟な状態の時期でも、照度は成熟に対してかなり強い影響を持つことが判明した。

(4) 本実験から成熟に対する臨界照度や成熟との間に相関が見られる照度範囲は、照度に関する実験設定条件によりかなり変動することが明らかとなった。

(5) このことにより、アユは光に関する棲息環境が変れば、成熟に対する照度の閾値や上記両者の関係はかなり変動するものと考えられる。

(6) 成熟促進アユの抱卵数と魚体重(BW)ならびに体重(BL)との関係は $EN = 1.354 BW + 1118$ 、 $EN = 1.864 BL^{4.064}$ の式で表わされ、自然日長飼育魚のそれは $EN = 1025 BW + 550$ 、 $EN = 2.523 BL^{3.778}$ で抱卵数は成熟促進アユの方が多かった。

(7) 成熟促進アユの卵巣卵の大きさは長径 0.706 ± 0.0024 mm、短径 0.642 ± 0.0024 mmであったのに対し、自然日長飼育魚のそれはそれぞれ 0.776 ± 0.009 mm、 0.691 ± 0.007 mmで、両者の間に有意差が見られ成熟促進アユの方が小さかった。受精卵ならびに孵化仔魚の大きさも同様であった。