

ウナギ養殖技術に関する研究—Ⅱ

網生簀養成用種苗の生産コストについて

熊丸 敦郎・鈴木 健二

1. はじめに

ウナギ養殖技術については、既に露地池やハウス池におけるシラスウナギから成鰻までの一貫生産技術として完成されているが、網生簀養殖技術については未だ実用化されていない。現在行われているウナギの養殖方法は、12月～1月にかけて、天然で採捕されたシラスウナギを陸上のハウス池に移入し、水温を上昇させて餌付けを行った後に配合飼料により成鰻まで飼育するというもので、飼育水加温のためかなりのコストがかかるといわれている。前報において、鈴木は網生簀でウナギを養殖するためには、シラスウナギの購入時期である冬季の湖内水温が低く、網生簀に種苗を収容する時期は5月末以降となることと、収容種苗サイズは40g以上が必要であること等を報告している。したがって、シラスウナギから40gサイズまではハウス養鰻と同じく加温飼育を行う必要があるが、その後は、熱源を使わない網生簀養成とするため、生産コストの軽減が図れるものと考えられる。網生簀養殖技術の実用化を検討する上においてはシラスウナギから出荷サイズに至る全行程における生産コストを求める必要があるが、ここでは、シラスウナギから40gサイズまでの網生簀養殖用種苗の生産コストについて内水試験結果及び既存の試験結果に基づいて試算を行い、いくつかの知見が得られたので報告する。

2. 材料と方法

(1) シラスウナギから40gサイズ種苗までの飼育試験

1991年1月16日に波崎共栄漁協から購入した平均体重0.18gのシラスウナギ500gを内水試屋内池(1.5m×3m×水深:0.5m)2面に収容した。以降、両飼育池とも同様な飼育管理を行い、体重測定は各飼育池毎に行った。海水から淡水への馴致のため、収容当初はC1=0.7%とし、2日後から地下水を注水して徐々に飼育水の淡水化を行った。水温は収容後2日目から、当初の10℃から1日に2から3℃ずつ上昇させ、10日後には29℃とした。以後の飼育水温は29～30℃に保った。給餌については収容後7日間は絶食とした後、次のように成育段階に応じて給餌飼料の種類を変えて飼育した。給餌開始から11日間は生餌(日清飼料社製、イトメイト)を体重の5～7%投与、その後4日間は生餌と餌付け用配合飼料(日清飼料社製、シラス用α)の混合飼料を投与して餌付けを行い、続いて10日間クロコ用配合飼料(日清飼料社製、クロコ90)を給餌し、以降5月14日までは成鰻用配合飼料により飼育した。この飼育試験の結果からシラスウナギから40gサイズまでの餌料効率、必要飼料量及び飼料代を求めた。

(2) ウナギの代謝量、摂餌量についての一般化

既存のウナギ飼育試験結果を整理し、体重と酸素消費量及びアンモニア排泄量との関係について一般化した。さらに、これらの一般式に基づいて、シラスウナギから40gサイズ種苗を生産するために必要な水量を求めた。

(3) 飼育水加温に要する燃料の量

ハウス施設内の池（5m*6m*水深：1m）に15℃の地下水を6.5ℓ/minの水量で注水した。1994年1月27日、この池を重油ボイラー（ノーリツ社製、R-800、定格出力：80,000Kcal/h）により加温し、温度センサー及び電磁弁を用いて池水温度を18.5℃に保った後、翌日の1日間に消費された重油の量を測定した。

3. 結果及び考察

(1) シラスウナギから40gサイズ種苗までの飼育試験

飼育試験における成長は図-1に示したとおりである。飼育開始37日以後の餌付け終了後においては直線性を示し、これを式に表すと次のようになった。

$$W=0.7936 * e^{0.0323 * D} \dots\dots\dots (1)$$

（ただし、W：魚体重（g/尾）、D：飼育日数（day）

飼育試験の結果、シラスウナギから平均40gサイズ種苗までに要する飼育日数は水温29℃で130日であった。なお、シラスウナギを収容した当初において16%程度の飼育池からの逃散があったため、飼育130日後の尾数歩留りが悪く、飼育130日後に40gサイズ以上の種苗となったのは当初収容した尾数の30%に留まった。総重量ではシラスウナギ500gが飼育120日後には41Kgとなったが、この飼育成績は初期における逃散を防止すれば、より良い成績が得られたものと思われる。この間の給餌量は表-1に示すとおり、生餌が2.4Kg、餌付け用飼料が4.7Kg、クロコ用飼料が5.5Kg、成魚用飼料が62.6Kgであり（成魚用飼料における飼料効率は0.65）、全飼料代としては27,256円であった。したがって、今回の飼育試験の結果においては、平均サイズ40gの種苗を1Kg養成するために665円の飼料代がかかったことになる。

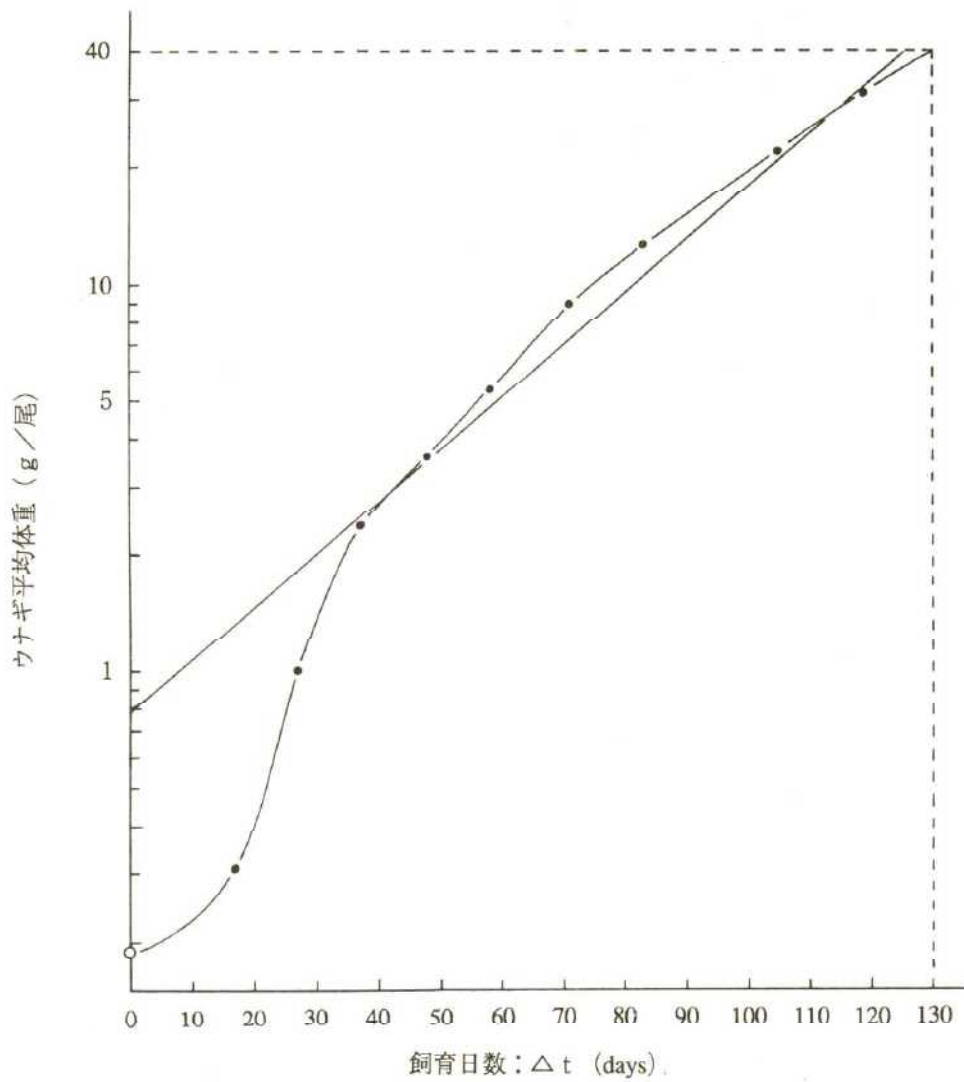
(2) ウナギの代謝量、摂餌量についての一般化

ウナギの代謝量に関しては既に多くの報告がなされているが、体重及び水温との関係で一般化されていないため、これらを整理した上で一般式化することを試みた。

① 酸素消費量：O₂cons（mg/day）

ウナギの体重と酸素消費量の関係については、山下^{1) 2)}により次の式で示されている。

$$O_2 (ml/l) = 0.3020 * W^{0.7427} \dots\dots\dots (2)$$



図一 室内加温池におけるシラスウナギの飼育結果

表一 ウナギ種苗養成に使用した飼料の種類及び量

飼料の種類	単価(円/kg)	使用量(kg)	飼料経費(円)
生 餌	4,700	2.4	11,280
餌付用飼料	711	4.7	3,342
クロコ用飼料	524.5	5.5	2,885
成鯉用飼料	242.5	40.2	9,749
合 計			27,256

(ただし、W：ウナギの体重g/尾)

次に、水温と酸素消費量の関係については、表-2に示したように摂餌時について高橋³⁾、江草⁴⁾、尾崎⁵⁾、絶食時について山下⁶⁾の報告がある。絶食時におけるデータは体重がほぼ一定であるので水温との関係を両対数グラフにプロットしたところ、図-2に示すように、サンプル数が3点と少ないものの、両者に相関性の高い関係が認められた。これを式で表すと(2)式となった。

$$O_2 \text{ (ml/Kg·hr)} = 20.132 * e^{0.092*T} \dots\dots\dots (3)$$

(ただし、T：水温℃、T ≤ 25℃)

(2)式、(3)式より

$$O_2 \text{ (ml/Kg·hr)} = A * e^{0.092*T} * W^{0.7427} \dots\dots\dots (4)$$

(4)式に表-2のデータを入れて係数：Aを求めた後、摂餌時と絶食時についてそれぞれAの値の平均値を求めると、摂餌時はA = 2.733 * 10⁻²、絶食時はA = 5.149 * 10⁻⁴となった。

以上により、ウナギの酸素消費量について、体重及び水温との関係は次の一般式で表される。

$$\text{摂餌時 } O_2 \text{ (ml/Kg·hr)} = 2.733 * 10^{-2} * e^{0.092*T} * W^{0.7427} * N \dots\dots\dots (5)$$

$$\text{絶食時 } O_2 \text{ (ml/Kg·hr)} = 5.149 * 10^{-4} * e^{0.092*T} * W^{0.7427} * N \dots\dots\dots (6)$$

(ただし、N：飼育尾数)

表-2 水温とシラスウナギの酸素消費量の関係 (既存報告データより)

摂餌条件	飼育重量 (kg)	平均体重 (g/尾)	飼育尾数 (尾)	水温 (℃)	酸素消費量 (ml/kg·hr) (ml/尾·hr)		係数：A	報告者
摂餌状態	1	2.46	407	15	109.49	0.2693	3.472*10 ⁻²	高橋 ³⁾
	1	5	200	25	150	0.75	2.275*10 ⁻²	江草 ⁴⁾
	1	0.201	3436	17	161	0.0469	2.453*10 ⁻²	尾崎 ⁵⁾
							Av. 2.733*10 ⁻²	
絶食4日後	1	0.116	8621	15	79.9	0.00927	4.708*10 ⁻⁴	山下 ⁶⁾
	1	0.128	7813	20	124.8	0.01597	5.510*10 ⁻⁴	山下 ⁶⁾
	1	0.133	8850	25	200.3	0.02633	5.228*10 ⁻⁴	山下 ⁶⁾
							Av. 5.149*10 ⁻⁴	

② アンモニア排泄量：NH₄-N (mg/day)

ウナギのアンモニア排泄量については、五十嵐⁶⁾による一定水温（：26℃）条件におけるの報告がある。そのデータを表-3、及び図-3に示した。これによると、酸素消費量の場合と同様に体重とアンモニア排泄量との間に高い相関性（r=0.997）が見られ、式に表すと次のようになった。

$$NH_4-N \text{ (mg/尾·day)} = 2.308 * W^{0.755} \dots\dots\dots (7)$$

(ただし、水温：T=26℃)

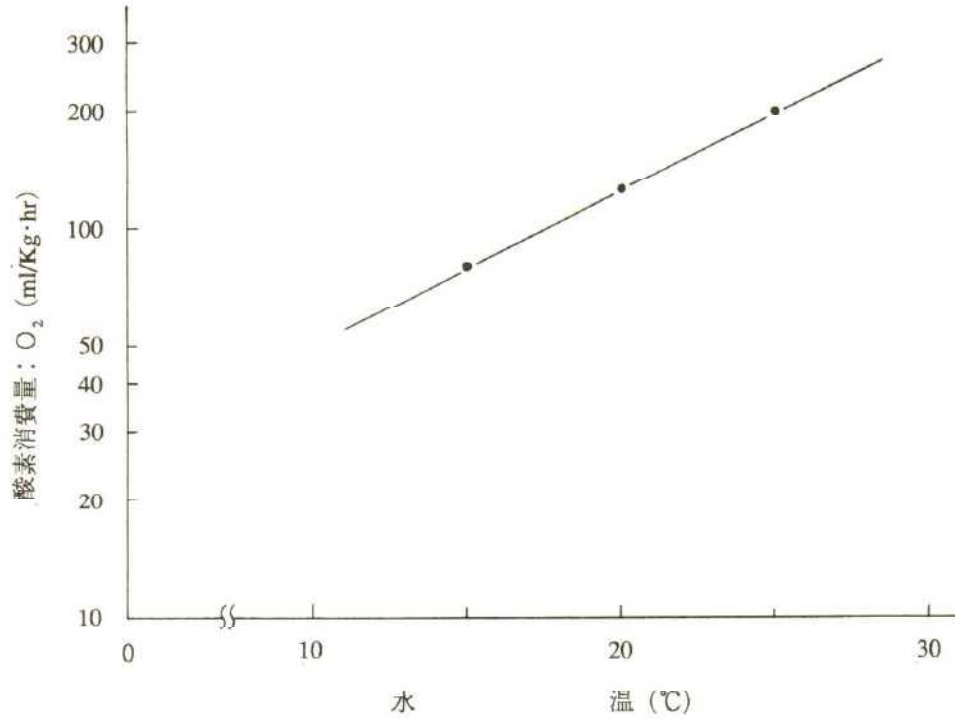


図-2 水温とウナギ (B.W.≒0.1g) の酸素消費量の関係

表-3 一定水温条件 (26°C) におけるウナギのアンモニア排泄量 (五十嵐⁶⁾ の報告データによる)

飼育重量 (kg)	平均体重 (g/尾)	飼育尾数 (尾)	NH ₄ -N排泄量	
			(mg/kg·day)	(mg/尾·day)
1	39.1	44	918.8	35.89
1	114.4	25.6	731.55	83.70
1	50	20	918.4	45.92
1	100	10	731.5	73.15

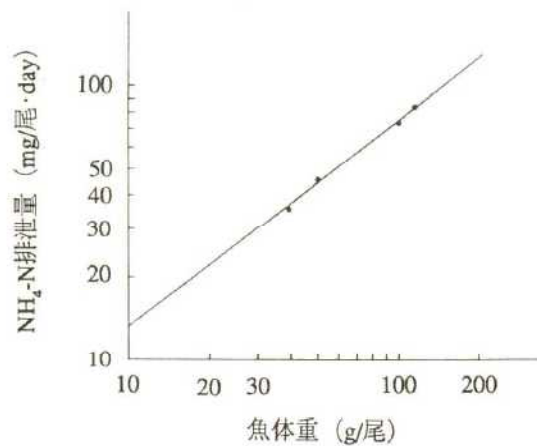


図-3 ウナギ魚体重とアンモニア排泄量の関係

さらに、さきの酸素消費量と水温の関係、即ちウナギの代謝量が $e^{0.092 \cdot T}$ に比例関係にあることから、

$$NH_4-N \text{ (mg/尾} \cdot \text{day)} = B * e^{0.092 \cdot T} W^{0.755} \dots\dots\dots (8)$$

と表すことが出来る。このTに水温：26℃を代入してBの値を求める。ただし、ウナギの代謝量は25℃以上ではほぼ一定となるとみなし、T=25を代入すると、B=0.2314となり、水温が25℃以下におけるウナギのアンモニア排泄量についての一般式が得られる。

$$NH_4-N \text{ (mg/day)} = 0.2314 * e^{0.092 \cdot T} * W^{0.755} * N \dots\dots\dots (9)$$

(ただし、 $T \leq 25^\circ\text{C}$ 以上においては(7)式に尾数：Nを乗じた式となる。)

次に、(9)式を用いてシラスウナギから40gサイズ種苗に養成するために必要な水量を求める。

養成池への注水量をP (ℓ/day) とすると、水温：T (℃)、平均魚体重：W (g/尾)、収容尾数：N (尾) における養成池水中のアンモニア濃度： C_N (ppm) は次のように表される。

$$C_N \text{ (ppm)} = 0.2314 * e^{0.092 \cdot T} * W^{0.755} * N / P \dots\dots\dots (10)$$

五十嵐ら⁸⁾によると、ウナギのアンモニア許容濃度はpH:7.5の時10.5 (ppm) 以下であるという。したがって、ウナギの排泄するアンモニア量は成長にともなって増加するわけであるが、飼育池水中のアンモニア濃度を常に10ppm以下とするよう注水量を増やしてやれば、ウナギは異状なく成育するということになる。したがって、飼育池水のアンモニア濃度を常に10ppm以下に保つために必要な水量の試算を行うこととする。

池水中アンモニア濃度を10ppm以下とするウナギの養成池への収容量上限及び必要水量：P(ℓ/day) は次式で表される。

$$10 \geq 0.2314 * e^{0.092 \cdot T} * W^{0.755} * N / P \dots\dots\dots (11)$$

$$P \text{ (ℓ/day)} \geq 0.2314 * e^{0.092 \cdot T} * W^{0.755} * N / 10 \dots\dots\dots (12)$$

シラスウナギから40gサイズ種苗に至るまでに必要な全水量：Ptについては上記(12)式と当内水試飼育試験結果による成長(1)式を用いて、実質加温飼育日数：5～130日間の積分値を求めた。

なお、シラスウナギの養成は、一般的に水温26℃以上で行われ、またウナギの代謝量は25℃以上ではほぼ一定と見なされるため、T=25を代入した。

$$Pt(1) \geq \int_5^{130} 0.4616 * (0.7936 * e^{0.0323 \cdot D})^{0.755} * NdD \dots\dots\dots (13)$$

$$\geq 180.30 * N$$

したがって、40gサイズの種苗を1Kg (N=25尾) 生産するためには、4,5071以上の水量が必要である。

なお、(13)式の計算は数値積分(ロンバーク法)¹⁰⁾により、ポケットコンピューター(SHARP PC-E550)を用いて行った。

③ 日間最大摂餌量：Rmax (dry wt. g/day)

ウナギの摂餌量に関しては、夏期の網生簀飼育において給餌後の消化管内容重量により摂餌量を求めた赤野⁹⁾の報告がある。このデータの中から、ウナギの給餌1回当りの飽食量を求めるため

に、体重当りの摂餌量が比較的大きい値を選んで両対数グラフにプロットしたものが図-4である。これにより、ウナギの体重：W (g/尾) と飽食量：R (dry wt. g/尾) の関係を式に表すと

$$R \text{ (dry g/尾)} = 0.0685 * W^{0.757} \dots\dots\dots (14)$$

なお、この飽食量は給餌1回分であり、一般にウナギへの給餌は2回行われているため、日間最大摂餌量：Rmaxはこの値の2倍とした。

$$R_{\max} \text{ (dry g/尾} \cdot \text{day)} = 0.137 * W^{0.757} \dots\dots\dots (15)$$

さらに、水温との関係について、呼吸量、アンモニア排泄量と同様に比例係数： $e^{0.092 * T}$ を含めると

$$R_{\max} \text{ (dry g/day)} = 0.1374 * 10^{-2} * e^{0.092 * T} * W^{0.755} * N \dots\dots\dots (16)$$

で表される。

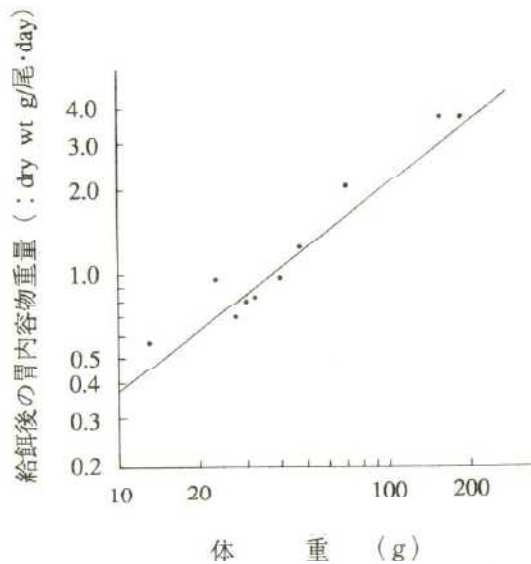


図-4 ウナギ体重と摂餌量の関係 (赤野⁹⁾)

(3) 飼育水の加温に要する燃料の量

ハウス池 (5m*6m*水深：1m) に15℃の地下水を6.5 l/minの水量で注水し、重油ボイラーにより加温し、池水温度を18.5℃に保った結果、24時間で消費された重油の量は26.4 lであった。即ち、24時間の注水量：9,360 lを3.5℃上昇させたわけであるから、カロリー量としては：32,760Kcalであり、これに要した重油は26.4 lであったことになる。

このことから、霞ヶ浦周辺地域の冬期における平均的な地下水の水温：15.5℃からウナギの飼育水温：26℃に加温すると、注水量：1 lにつき重油0.00987 l (：10.5Kcalの熱量相当) が必要なこと

になる。

さきに述べたように、40gサイズの種苗を1Kg生産するためには、少なくとも4,507ℓの地下水を注水しなければならないから、これに必要な重油の量は38,141となる。さらに、重油の購入価格を65円/ℓとすると、これにかかる燃料経費は2,479円となる。

ウナギの網生簀養殖用種苗養成にかかる経費として、燃料経費の他に、施設費、シラスウナギ購入費（20万～30万円/Kg）、飼料代、地下水揚水にかかる電気代等があるが、40gサイズ種苗（養中）の購入価格が4,000～5,000円/Kgであることからすると、重油を熱源として使用することは不適當であり、より安価な熱源を利用する必要がある。

4. 要 約

- (1) シラスウナギを室内加温池において飼育試験を行った結果、網生簀用種苗サイズ：40gまでに、必要な飼育日数は130日であった。なお、今回の飼育試験においては、飼育開始後130日後に40g以上になったウナギの尾数は、当初収容したシラスウナギ尾数の約30%であった。
- (2) 40gサイズの網生簀用種苗を1Kg養成するために、665円の飼料代が必要であった。
- (3) 今回の飼育試験及び既存の資料により、ウナギの代謝量及び摂餌量について整理し、次のように一般式化した。

酸素消費量： O_2 (ml/hr) について

$$\text{摂餌時： } O_2 \text{ (ml/hr) } = 2.733 * 10^{-2} * e^{0.092 * T} * W^{0.7427} * N$$

$$\text{絶食時： } O_2 \text{ (ml/hr) } = 5.149 * 10^{-4} * e^{0.092 * T} * W^{0.7427} * N$$

アンモニア排泄量： NH_4-N (mg/day) について

$$NH_4-N \text{ (mg/day) } = 0.2314 * e^{0.092 * T} * W^{0.755} * N$$

日間最大摂餌量： R_{max} (dry g/day) について

$$R_{max} \text{ (dry g/day) } = 1.374 * 10^{-2} * e^{0.092 * T} * W^{0.755} * N$$

(ただし、W：魚体重 (g)、T：水温 (°C)、N：飼育尾数)

- (4) 上記、アンモニア排泄量の一般式を用いて、シラスウナギから40gサイズ種苗養成までに必要な水量を次式により求めた。

$$Pt(1) \geq \int_5^{130} 0.4616 * (0.7936 * e^{0.0323 * D})^{0.755} * NdD$$

(ただし、ウナギのアンモニア許容濃度：10ppm、水温 $\geq 25^\circ\text{C}$ 、D：飼育日数)

飼育日数：5日目から130日の間で、40gサイズ種苗を1Kg（25尾）養成するためには8634.5ℓ以上の水量が必要である、ものと試算された。

- (5) 重油ボイラーにより飼育水を加温した場合には、注水量1ℓにつき0.00987ℓの重油が必要である。
- (6) 40gサイズ種苗を1Kg養成するためにかかる重油代は2,479円と試算された。

- (7) ウナギ種苗養成に使用する熱源として、重油はコスト高であり、より安い熱源を利用する必要がある。

引用文献

- 1) 山下 一臣, 1976: ウナギの酸素消費量-1. 静岡水試事業報告書
- 2) 山下 一臣, 1977: ウナギの酸素消費量-2. 静岡水試事業報告書
- 3) 高橋 仁助, 1943: 水産動物の酸素消費概率. 水産学雑誌, No.51, P.7~24
- 4) 江草 周三, 1958: 養殖ウナギの酸素消費量について. 魚類学雑誌, Vol.7, No.2/3/4, P.49~56
- 5) 尾崎 久雄, 1970: 魚類生理学講座, 第2巻, 緑書房, P.161~253
- 6) 山下 和臣, 1978: シラスウナギの酸素消費量について. 静岡水試研究報告No.12, P.55~61
- 7) 五十嵐保正, 1987: 高水温域におけるウナギのアンモニア排泄量について. 静岡水試研究報告 No.22, P.55~60
- 8) 五十嵐保正、岡 英夫, 1985: ウナギの摂餌、成長に及ぼすアンモニアの影響について. 静岡水試事業報告
- 9) 赤野 誠之, 1973: ウナギ網生簀養殖について-1. 網生簀における餌付き. 本誌No.11, P.45~51
- 10) ポケットコンピューター (PC-E500/PC-E550) 取扱説明書, P.42~43