

# 曝気装置について

佐々木 道 也

## 1 はじめに

養魚池や蓄養池では溶存酸素量が重要な飼育条件の一つとされている。一般に酸素の供給は、通気や水車などによって行っている場合が多いが、多分に経験的なものに頼っているのが現状であらう。

そこで、ここでは通気による曝気装置を主に取り上げ、魚の収容量と通気量等の関係を明らかにすることを試みた。

また、併せて二、三の曝気装置について、水中への酸素供給能力の比較を行った。

## 2 実験方法

水中への酸素溶入量については、石井<sup>(1)</sup>の式を基本とし、次式のKで検討することとした。

即ち ① 注入水がない場合

$$V \frac{dC}{dt} = K(C_s - C) - R \quad \dots\dots\dots ①$$

$$\therefore C = C_s - \frac{R}{K} \quad (t \rightarrow \infty)$$

② 注入水がある場合

$$V \frac{dC}{dt} = A(C' - C) + K(C_s - C) - R \quad \dots\dots\dots ②$$

$$\therefore C = \frac{AC' + KC_s - R}{A + K} \quad (t \rightarrow \infty)$$

但し A：注入水量

C'：注入水のD.O.

C：t時のD.O.

V：池の水容積

R：魚の酸素消費量

K：水深、水容積及び通気の状態等と関係のある係数

実験に先立ち、この式が実際に適用できるかどうかについて検討した。

5 ℓ入り平底フラスコに地下水を 6.25 ℓ 入れ、水深 24.6 cm のところにろ過板付きガス噴射管

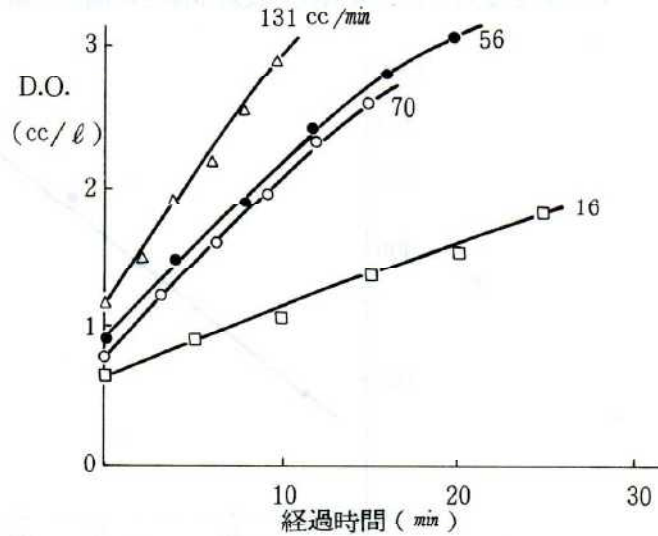
G 3 (φ 2 cm) を設置して、経過時間に伴う D.O. の変化を測定した。水温は約 18.5 °C であった。

結果を第 1 図に示したが、図中の数字は通気量である。各点は実測値であり、実線は実測値を用いて理論式から求めた K (平均値) を使用して描いた計算値である。

この図から明らかなように、実測値と計算値は極めてよく一致し、十分使用できるものと考えた。

なお、D.O. の測定は、D.O. メーターに自記記録計を接続して行った。また、通気の実験は全て 5 ℓ

の平底フラスコに地下水を満たし、G 3 の散気板を用いて実施した。

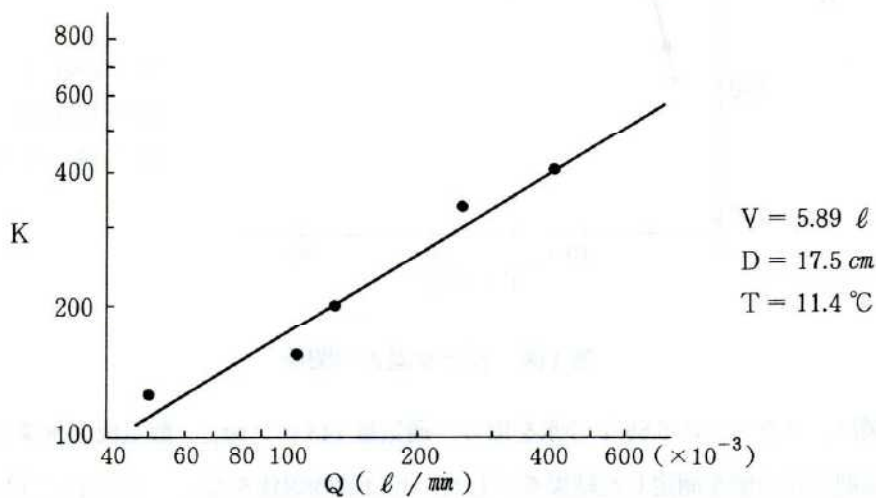


第 1 図 実測値と計算値との関係

### 3 結果と考察

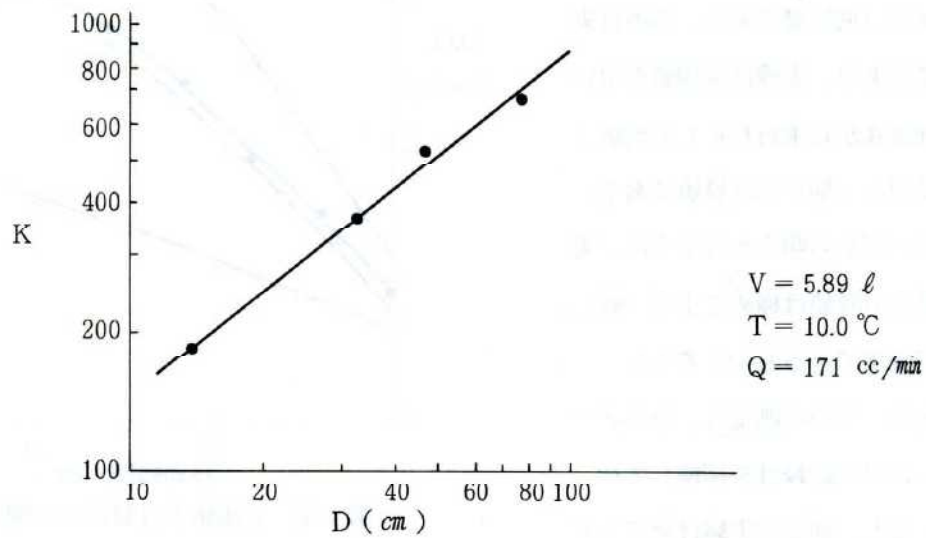
#### (1) 通気における K を決める要因

フラスコに 5.89 ℓ の水を入れ、水深 17.5 cm のところに散気板を設置して、通気量と K との関係調べた。測定中の水温は 11.4 °C であった。結果を第 2 図に示した。なお、V は水容積、D は散気板の設置水深、Q は通気量である。K と通気量との関係は両対数グラフで直線となり、 $K = 708.1 Q^{0.61}$  と表わすことができる。



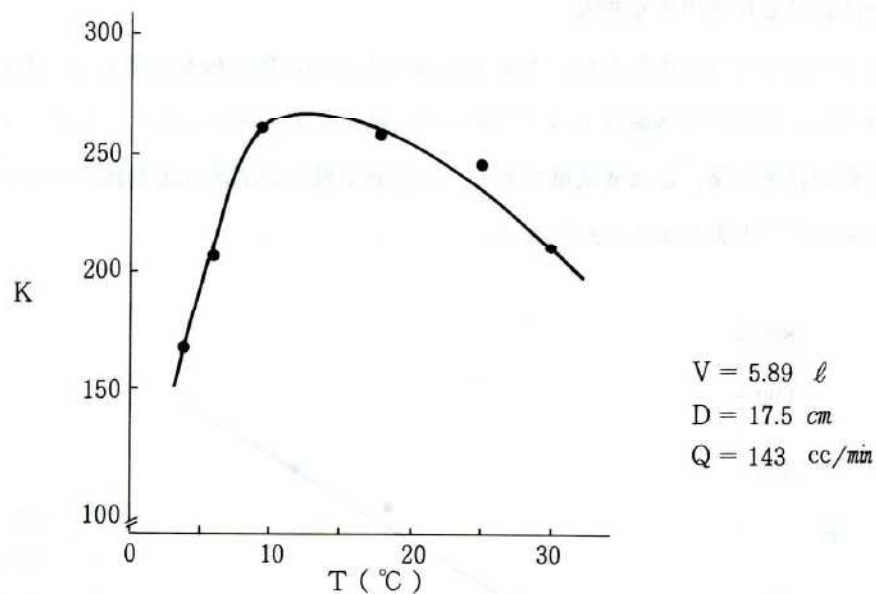
第 2 図 K と通気量の関係

次に、フラスコに 5.89 ℓ の水を入れ、水温 10.0 °C、通気量 171 cc/min の条件下で、散気板の位置を変えて K と散気板の設置水深との関係を調べた。



第3図 Kと散気板の設置水深との関係

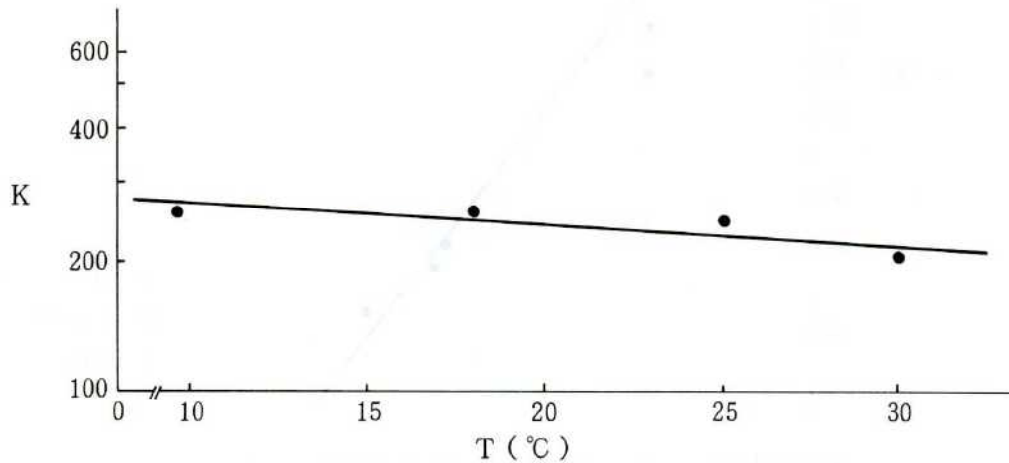
第3図に示したように、近似的に  $K = 25.1 D^{0.77}$  と表わされ、散気板の設置水深が深い程 K の値が大きくなっている。



第4図 Kと水温との関係

第4図に、フラスコに 5.89 ℓ の水を取り、通気量 143 cc/min、散気板の水深 17.5 cm として、水温別の K の値を測定した結果を示した。K は放物線状をなし、水温 15 °C 付近に最大値があるものと思われる。

実際の養魚に於ては、水温 10℃ 以上の場合が多いので、ここでは 10℃ 以上について考えると、第 5 図に示したように、近似的に片対数グラフで直線となり、 $K = 295.0 e^{-9.5 \times 10^{-3} T}$  と表わされるものと考えた。



第 5 図 K と水温との関係 ( $9.7 \leq T \leq 30.0 \text{ } ^\circ\text{C}$ )

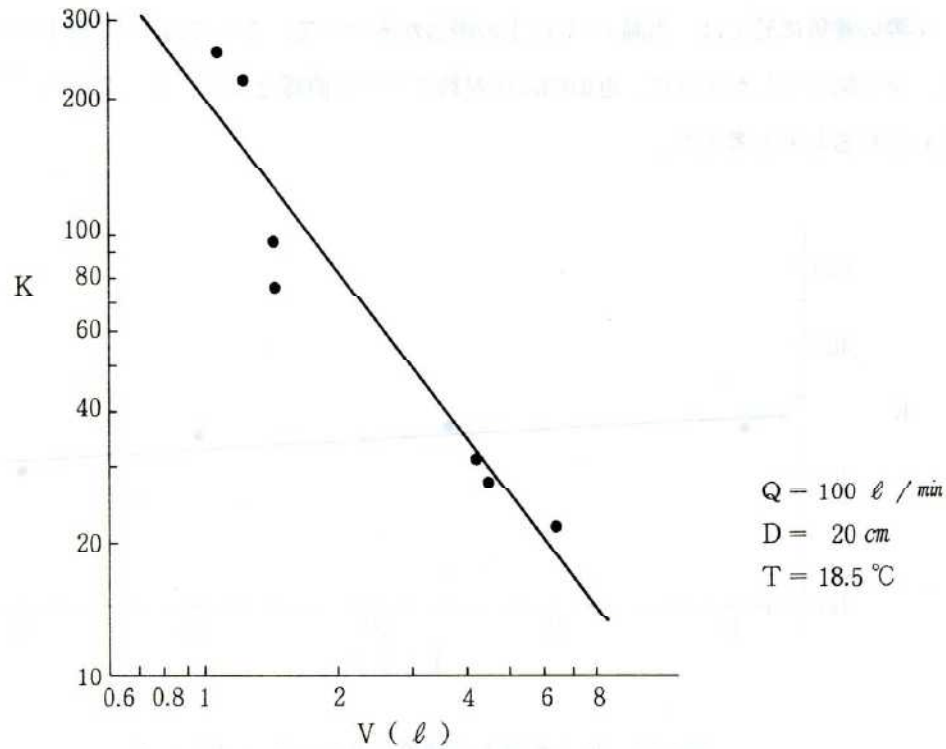
K が水容積や通気の状態など、種々の要因と関係のある係数であることは既に述べた。そこで、次に水容積と K との関係調べた。第 1 表にその結果を示したが、散気板の設置水深及び通気量が異なっているため、先に述べた K と通気量及び K と散気板の設置水深との関係式から換算して K を求めた。

この計算して求めた K と水容積との関係は、第 6 図のように示され、 $K = 196.8 V^{-1.27}$  と近似的に表わすことができる。

第 1 表 K と水容積との関係

V	D	Q	T	K	$K \left( \begin{smallmatrix} D=20.0 \\ Q=100.0 \end{smallmatrix} \text{に換算} \right)$
4.19 ℓ	12.2 cm	88 cc/min	18.5 °C	83.4	31.6
1.20	37.0	25	18.5	184.4	222.8
1.43	5.2	30	18.5	18.3	75.8
1.43	27.8	30	18.5	84.2	95.7
4.53	13.1	95	18.5	87.0	27.4
1.05	32.5	22	18.5	152.0	252.9
6.25	24.6	131	18.5	191.9	22.2





第6図 Kと水容積との関係

(2) 養魚池におけるK

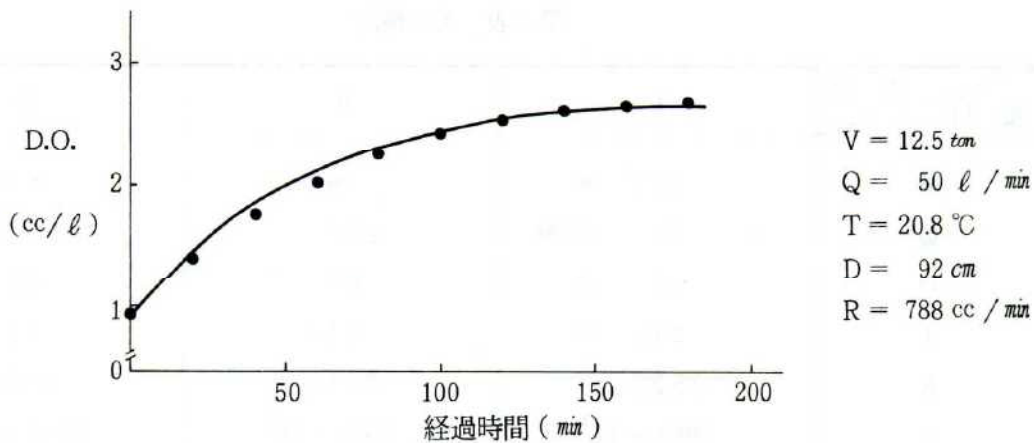
室内実験では①式が使用でき、Kについても  $K = a \cdot e^{-9.5 \times 10^{-3} T} \times Q^{0.61} \cdot D^{0.77} \cdot V^{-1.27}$  (但し  $9.7 \leq T \leq 30.0$ ) と表わされることが判った。

そこで、ここでは養魚池等において①式が適用できるかどうか、また、適用できる場合には、Kの一般式を得る目的で検討を加えた。

試験は  $4.76 \times 2.76 \times 0.92 \text{ m}$  ( $V = 12.5 \text{ ton}$ ) のティラピアの飼育池 (平均体重  $240 \text{ g}$ , 放養尾数  $2,163$  尾) を用いて行った。試験前日から全て絶食とし、池への注水も測定中は行わなかった。

通気は市販の養魚用 Air-stone (直径  $3 \text{ cm}$ , 高さ  $5 \text{ cm}$  の円柱状) を  $11$  個、池底に設置して行った。曝気を止め、池水の D.O. が約  $1 \text{ cc}/\ell$  になってから試験を開始した。D.O. の測定に際しては、水中ポンプで池水を良く混合し、D.O. の分布が均一になるよう努め、D.O. メーターを自記録計に接続して行った。結果を第7図に示したが、図中の実線は先に掲げた理論式から求めた計算値である。なお、式中のティラピアの酸素消費量 (R) について次のようにして求めた。

飼育中の魚の酸素消費量については種々の問題があるが、<sup>(2)(3)(4)</sup>ここでは基礎代謝量に、その  $60\%$  の値を加えたものを用いることとした。<sup>(5)</sup>また、ティラピアの基礎代謝量について



第7図 Air-stoneによる酸素の溶入

ては熊丸<sup>(6)</sup>の  $O_2 \text{ ml/day} = 0.60 e^{0.14 T} \cdot W^{0.63}$  (但し,  $T$ : 水温 $^{\circ}C$  ( $15.5 < T < 25$ ),  $W$ : 体重 $g$ )を使用した。

このように求めた  $R$  から①式を用いて計算して得られた値と、実測値は第7図のようによく一致しているので、今後の実験における計算でも、 $R$ はこの方法によって求めることにした。

通気による実験は、全てG3のガス噴射管を散気板として使用して行ってきたが、市販の Air-stone を用いた場合でも、①式が適用できることが判ったので、Air-stone でも  $K = a \cdot e^{-9.5 \times 10^{-3} T} \cdot Q^{0.61} \cdot D^{0.77} \cdot V^{-1.27}$  の関係が成立するものと考えた。

しかし、これまでの結果は全て実験室内で得られたものであり、水容積や通気量など、実際の養魚池での場合と比較すると、いずれも極めて小さい。そこで  $a$  については、テラピアの養魚池を用い、水容積、通気量及び Air-stone の設置水深を変えて  $K$  を求め、この値から逆算して  $a$  を求めることにした。

実験の条件並びに結果を第2表に示したが、これより  $a$  は、平均値の  $117.5 \times 10^3$  とすることにした。

養魚用 Air-stone にも種々のものがあるが、勿論一概にはいわれないが、ここで求めた値を用いて作った③式を養魚用 Air-stone を使用した場合の  $K$  の一般式とすることにした。

$$K = 117.5 \times 10^3 e^{-9.5 \times 10^{-3} T} \cdot Q^{0.61} \cdot D^{0.77} \cdot V^{-1.27} \dots\dots\dots \textcircled{3}$$

但し  $T$ : 水温 ( $^{\circ}C$ ,  $9.7 \leq T \leq 30.0$ )

$Q$ : 通気量 ( $l/min$ )

$D$ : Air-stone の設置水深 ( $cm$ )

$U$ : 池の水容積 ( $l$ )

第2表 Kの検討

項目 \ 区分	I	II	III
V	12.5 ton	9.4	12.5
Q	50 ℓ/min	100	100
D	92 cm	69	92
T	21.0 °C	21.0	21.0
K	252.5	311.1	318.8
a	$139.5 \times 10^3$	$97.5 \times 10^3$	$115.4 \times 10^3$

## (3) 曝気装置の検討

曝気装置として、(A) Air-stone による通気 (B) 水車 (C) 水中ポンプによる循環式落下 (D) 水中ポンプによるジェット方式 (水中ポンプによって水を噴射する際に空気中から酸素ガスを吸引し、水と同時に水中に噴射する方式を指す。) の四つの方式を取り上げ、これらの酸素溶入の能力について比較検討した。なお、比較を容易にするため、所要電力を 400 W に統一し、先に述べたテラピア養魚池 (水深 92 cm, 水容積 12.5 ton) を用いて行った。

送風装置には種々のものがあり、能力も異なるが、ここでは A 社製のブロワー (所要電力 400 W, 圧力 0.3 kg/cm<sup>2</sup>, 風量 0.27 m<sup>3</sup>/min) を例にとることとした。しかし、手元にこのブロワーがないために、同じ A 社製の 2.2 KW (圧力 0.3 kg/cm<sup>2</sup>) の同一方式のブロワーの実験値から換算して行った。

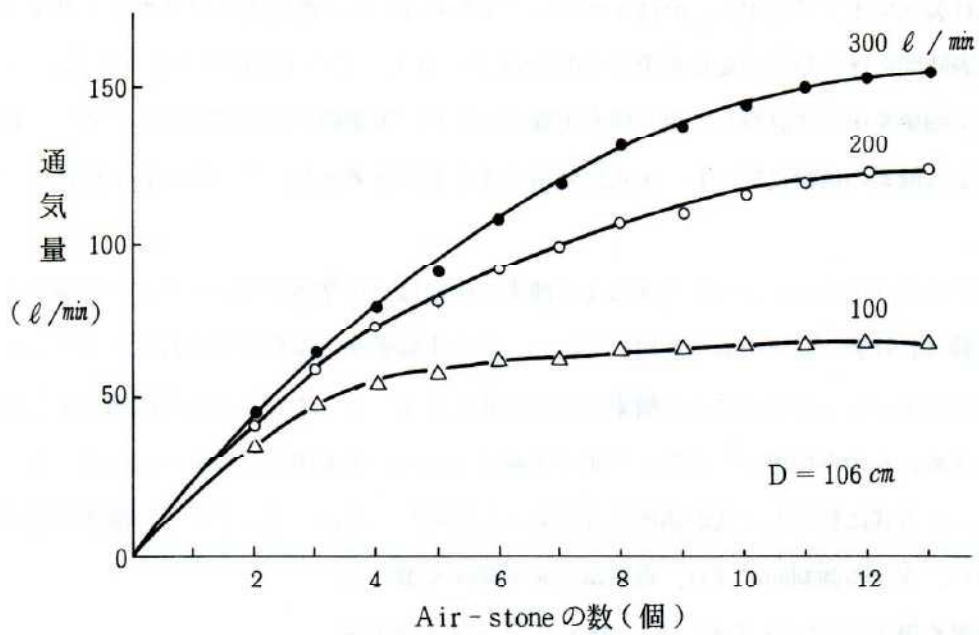
第 8 図に 2.2 KW のブロワーを用いて、通気量におよぼす Air-stone の影響について調べた結果を示した。

この実験に用いた Air-stone は今迄の実験に用いたと同一の養魚用 Air-stone であり、その設置水深は 106 cm であった。この図からも明らかなように、Air-stone を付けることによって、通気量は約 60% に減じることが判る。しかし、この値は、配管の長さ、Air-stone の目づまり等、種々の条件によって異なると思われるが、ここでは便宜的にこの値を用いることとする。これによると 400 W のブロワーの場合、Air-stone を付けることによって約 0.16 m<sup>3</sup>/min の通気量となる。この通気量を用い、③式から K を求めると K = 436.0 となる。

第 9 図に 400 W の B 社製養魚用水車を用いた場合の経過時間に伴う DO の変化を示した。

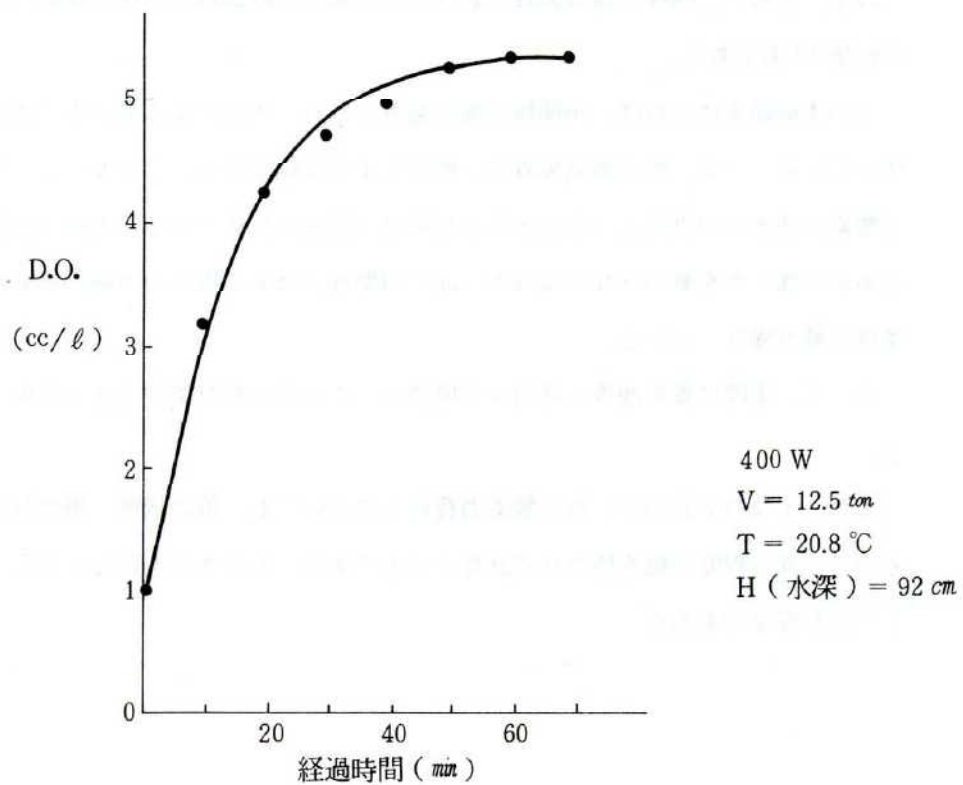
図中の実線は①式から求めた K の平均値から計算して得た値である。この図から水車を用いた場合も、①式が適用できるものと考えた。この時の K は 1060.5 と高い値であった。

循環式落下による池水への酸素供給は、コイの蓄養池で良く行われている。ここでは 400 W



(図中の数字は Air-stone をつけない状態での通気量)

第8図 通気量におよびす Air-stone の影響



第9図 水車による酸素の溶入



のC社製水中ポンプを用い、直径5 cmのパイプから1.6 mの落差をつけて池水を循環させた。

経過時間に伴うDOの変化を第10図に示した。また、この実測値をもとに①式から求めたKの平均値を用いて計算して得た値を実線で示した。実測値と計算値は良く一致し、循環式落下による酸素の供給に於ても、①式が使用できるものと考えた。この時のKの値は396.8であった。

水中ポンプによるジェット方式による酸素の供給は、円型池で用いられている場合が多い。試験はD社製250 Wのものを用いて行い、この実験値から換算して比較することとした。

第11図にジェット方式による酸素の溶入の変化を示した。また、この実測値をもとに、①式から求めたKの平均値から計算した値を実線で示した。実測値と計算値とはほぼ一致しており、ジェット方式に於ても①式が適用できるものと考えた。次に、この250 Wの酸素供給装置の吸気口に、空気を強制的に送り、吸気量とKの関係を調べた。

結果を第12図に示したが、 $K = 48.8 Q^{0.45}$ と表わされる。

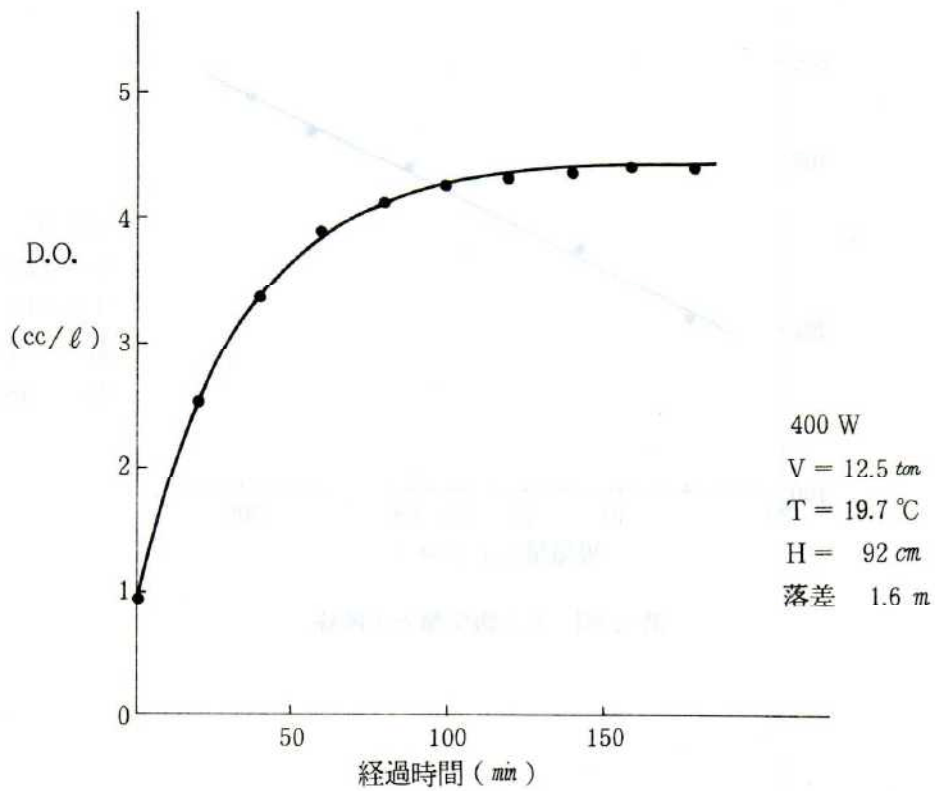
D社製の400 Wの同一装置による吸気量は、性能表によると約103  $\ell / \text{min}$  (水深1 m)であるから、この値を用いるとKは392.8となる。

以上、求めた、四種の曝気装置におけるKの値から経過時間に伴う酸素の溶入状態を示したのが第13図である。

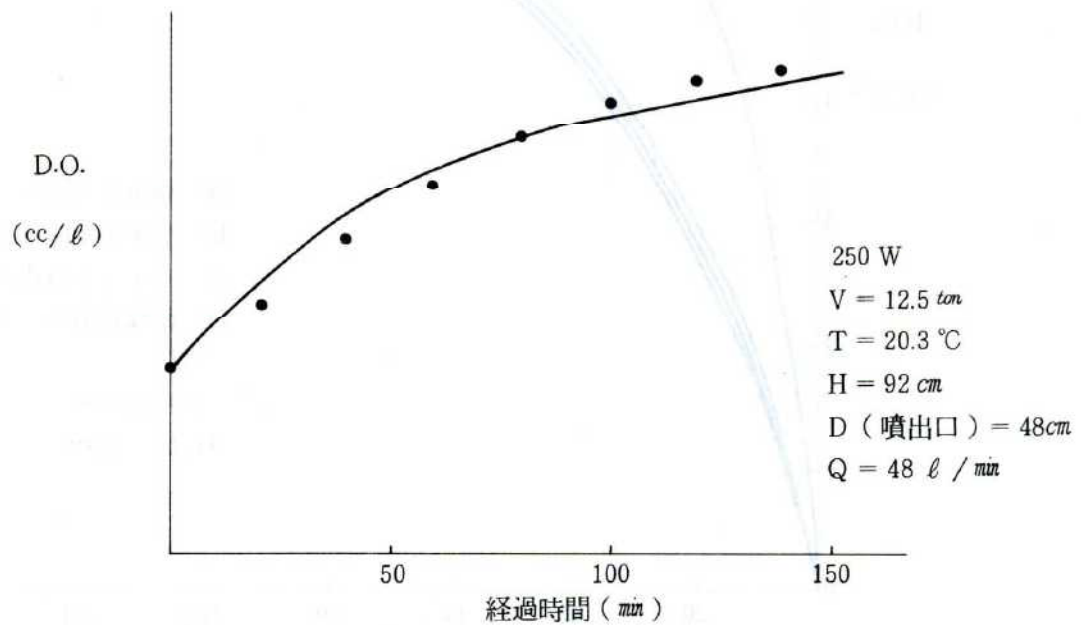
この実験結果によれば、四種類の曝気装置のうち、水車によるものが一番効率が良く、群を抜いている。一方、他の曝気装置は、皆同じような傾向を示している。しかし、これはあくまで酸素の池水への供給という面からみた場合の性能の比較である。実際の養魚池では稚魚池などあまり強く水を動かさない場合や、逆に円型池ではある程度の水流が必要な場合など、飼育条件が種々異なっている。

従って、実際に養魚池等に適用する場合は、これらの飼育条件を十分考慮して選ぶ必要がある。

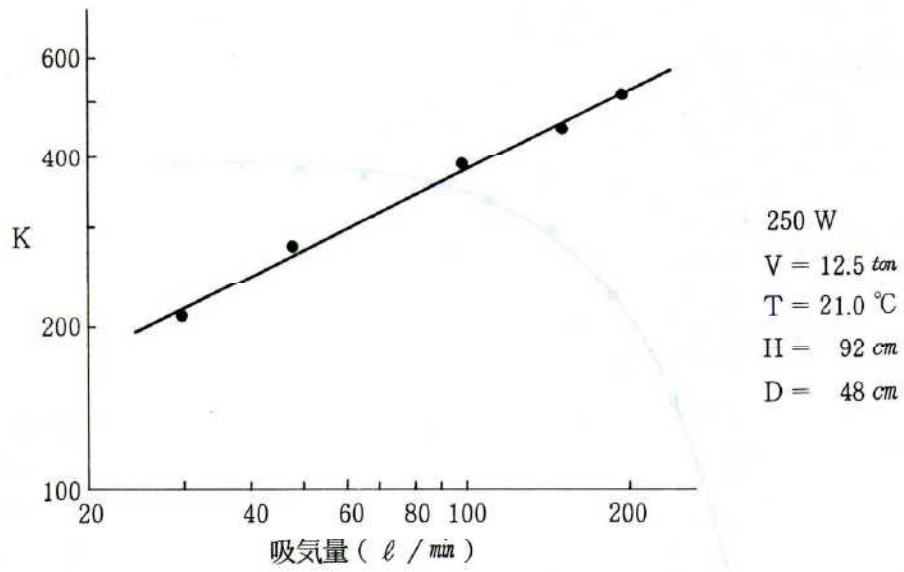
また、①及び②式のR(魚の酸素消費量)についても、魚の状態(摂餌など)によって異なるので、或る程度の幅を持たせて計算すべきであり、あくまでも目安を得るという目的で使用した方が安全であろう。



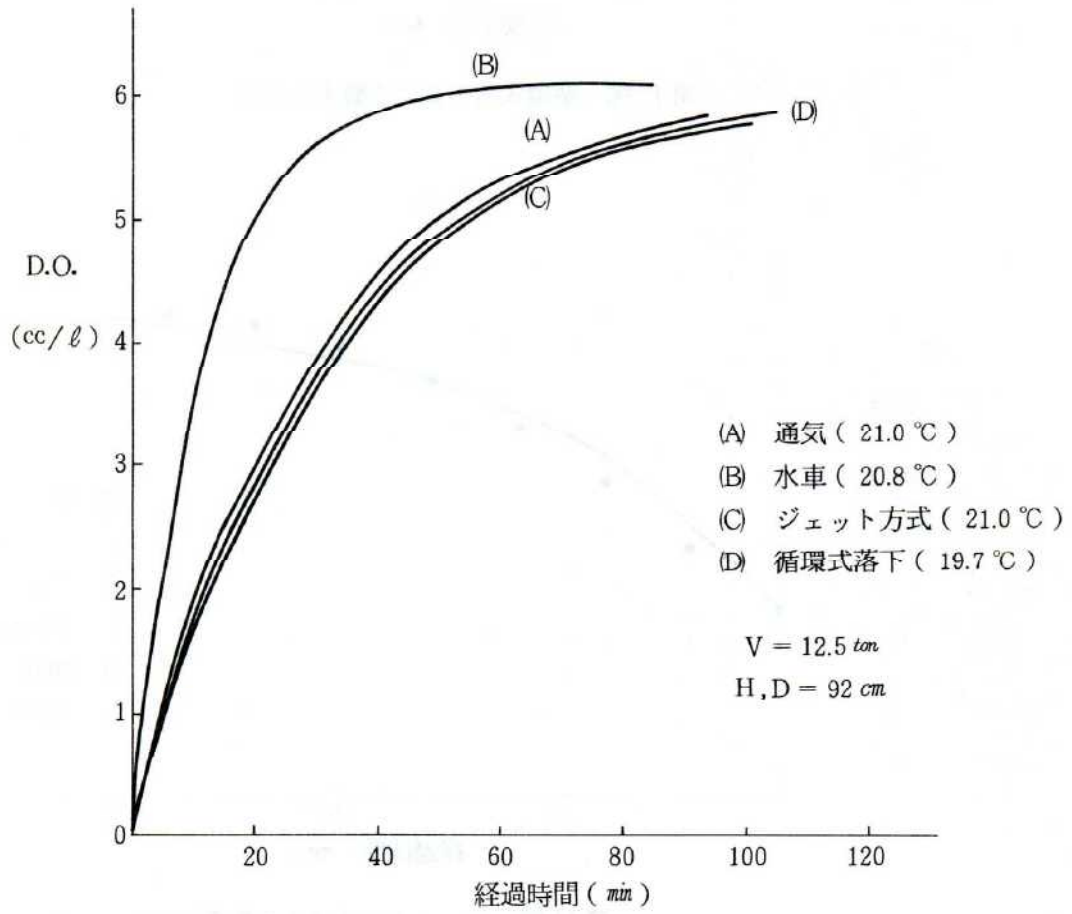
第10図 循環式落下による酸素の溶入



第11図 ジェット方式による酸素の溶入



第 12 図 K と吸気量との関係



第 13 図 各種曝気装置による酸素の溶入

#### 4 参 考 文 献

- (1) 石井一美 1932 活魚輸送用気泡発生器の研究 日水会誌 1(3)
- (2) 尾崎久雄 1970 魚類生理学講座 No.2 緑書房
- (3) 井上裕雄 1978 養魚講座 No.4 緑書房
- (4) 橋本芳郎 1973 養魚飼料学 恒星社厚生閣
- (5) Winberg 1956 尾崎久雄(1970)魚類生理学講座 No.2(緑書房)から引用
- (6) 熊丸敦郎 他 1982 昭和56年度 赤潮対策技術開発試験報告書 茨城県内水面水産試験場