

## 同一電極法による魚介類の酸素消費量の連続測定装置\*<sup>1</sup>

門脇秀策\*<sup>2</sup>・中園貫幸\*<sup>2</sup>・加世堂照男\*<sup>2</sup>・平田八郎\*<sup>3</sup>

### An Apparatus for Continuous Records of Fish Metabolism by a Single Oxygen Electrode\*<sup>1</sup>

Shusaku KADOWAKI\*<sup>2</sup>, Tsurayuki NAKAZONO\*<sup>2</sup>,  
Teruo KASEDO\*<sup>2</sup> and Hachiro HIRATA\*<sup>3</sup>

#### Abstract

The present experiments were conducted to measure the oxygen consumption of fish by a single electrode in a constant flow system.

A cylindrical respiratory chamber with feces collector was employed in this experiment. The oxygen electrode of DO meter (YSI model 57) with stirrer was suspended from an arm which was manipulated by the vertical movement of water within a pipet cleaner. The electrode was alternated between inlet water and outlet water of the respiratory chamber at ten minutes intervals by this apparatus.

The coefficient of relationship between fish metabolism measured by oxygen electrode and the values obtained by the Winkler method was +0.98 for the resting metabolism of yellowtail (Av.  $136 \pm 11$  ml/kg/hr) at temperatures of 12.1 to 13.1°C.

It can be said from these results that the single oxygen electrode method: has superior efficiency (i.e. lower instrumental error) in comparison to double oxygen electrodes at inlet and outlet of the respiratory chamber; has similar accuracy to the Winkler method; and thus, merits the recording of hourly dissolved oxygen variations.

#### まえがき

魚類の酸素消費量の測定は古くからウィンクラー法によっておこなわれているが (HIRATA, 1973; 板沢, 1970; 田村, 1940), 近年, 諸計器の開発とともに良質な酸素計による測定が可能になってきた (DJANGMAH *et al.* 1980, 萩原, 1977; 小山, 1957; 栗山, 1974). 計器利用の場合は測定に時間を要しないこと, また, 連続記録が可能であり, 資料の微細な解析に役立つことが多い (平田・他, 1978 a, b; 門脇・他, 1978 a, b). 小山 (1957) は注・排水に別個の電極をセットして淡水魚類の酸素消費の連続的測定をおこなっているが, 筆者ら

\*<sup>1</sup> 鹿児島大学水産学部附属水産実験所業績12号 (Contribution No. 12 from Fish. Res. Lab., Fac. Fish., Kagoshima Univ.)

\*<sup>2</sup> 鹿児島大学水産学部附属水産実験所 (Fish. Res. Lab., Fac. Fish., Kagoshima Univ., Azuma-cho, Izumi-gun, Kagoshima, 899-14 Japan)

\*<sup>3</sup> 鹿児島大学水産学部増殖生理学講座 (Lab. Fish Cultivation Physiol., Fac. Fish., Kagoshima Univ., Kagoshima, 890 Japan)

もそれと同じ方法で測定したところ、電極やDOメーター等の器差による相違が認められた。

それで今回、一個のポーログラフ式酸素電極によって呼吸室の注・排水中に含まれる酸素量を交互に自動測定できるように工夫した。その結果、ハマチなどの酸素消費量を3~4日間にわたって連続的に記録することができた。しかもその値はウィンクラー法と同程度の精度であることがわかったので、ここにその装置について報告する。

### 測定装置

酸素消費量の測定は、流水式呼吸室(田村, 1940)を用いておこなった。その装置は Fig. 1 に示す如く、呼吸室(A)の一部に除糞用のパイプ(B)をとりつけ、試水の浄化に留意した。呼吸室は、2個の5l容白色ポリエチレン製細口薬用ビンの底をそれぞれ切除し、魚体を水中でその内部に収容した後、両ビンの底部を接合させた。その際、接合部から試水の出入を避けるために、やや大きめの円筒で接合部のカバー(C)を施し、魚体長に応じて呼吸室内の容積をアコーディオン式に加減できるようにした。

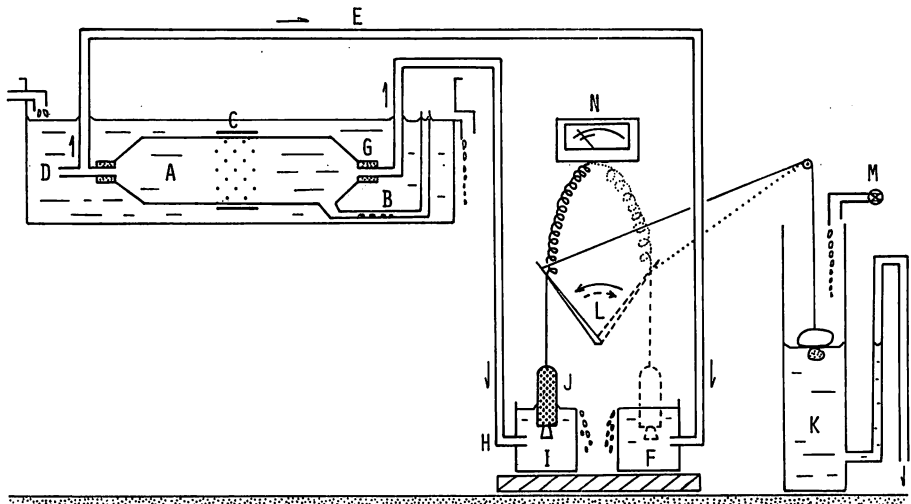


Fig. 1. A schematic view of the apparatus for measurement of oxygen consumption in fish by a single electrode.

A: Respiratory chamber, B: Excretion collector, C: Joint cover, D: Inlet of respiratory chamber, E: Inlet pipe, F: Inlet O<sub>2</sub> box, G: Outlet of the respiratory chamber, H: Outlet pipe, I: Outlet O<sub>2</sub> box, J: Oxygen electrode, K: Pipet cleaner, L: Lift, M: Bulb, N: Oxygen meter.

呼吸室の注水口(D)からの試水の一部は、T型パイプで分岐し、内径8mmのビニール管(E)により試水箱(F)へ注入し、一方、排水口(G)からの試水は同径同質の管(H)によって試水箱(I)にそれぞれ導いた。その導入水量は呼吸室と試水箱との落差を長・短することによって調節した。これら両試水箱中の酸素量は同一の酸素電極(J)を用いて「交互」

に測定するように工夫した。電極はおよそ 15 l 容の自動ピペット洗浄筒 (K) を用い、その水位の上下運動を利用して、電極垂下用のリフト (L) と連動せしめ、洗浄筒内が空水状態のときに注水口側の試水箱 (F) に、また満水状態のときに排水口側の試水箱 (I) にくるように、交互に稼動させた。その稼動時間は、洗浄筒内への注水速度に比例するが、本装置では注入弁 (M) を調節して、1 時間に両方の試水箱を 3 往復、つまり 10 分間毎に交互移動をはかった。

なお、本実験に用いた DO メーターは水中スターラー付 YSI-57 型であり、また、その記録計は YEW-3052 型である。

### ハマチでの記録例とウィンクラー法との比較

供試魚は、本水産実験所地先の生簀から投餌直前のハマチを移送し、呼吸室内に 4 時間ほど馴化せしめたのち、酸素量の連続測定を開始した。呼吸室での飼育期間は 4 日間とした。また、魚体重は 1,065 g であった。呼吸室の容積と魚体積との比はほぼ 10 : 1 の割合になるように、呼吸室の容積はほぼ 11 l に調節した。この装置は室内窓際の自然光下に設置し、室温状態のもとでおこなった。

Fig. 2 は呼吸室内の流量を 3.44 l/min に調節した際の DO 変化の記録例である。この記録例から、注水口の酸素量と排水口のそれとの差によって酸素消費量を算出し、1 時間毎の平均値で表示すると、Fig. 3 のように整理することができる。実験開始後 24 時間内のハマチの酸素消費量は変化に富むことが多かったが、2 日目から 4 日目にかけてのそれは次第に安

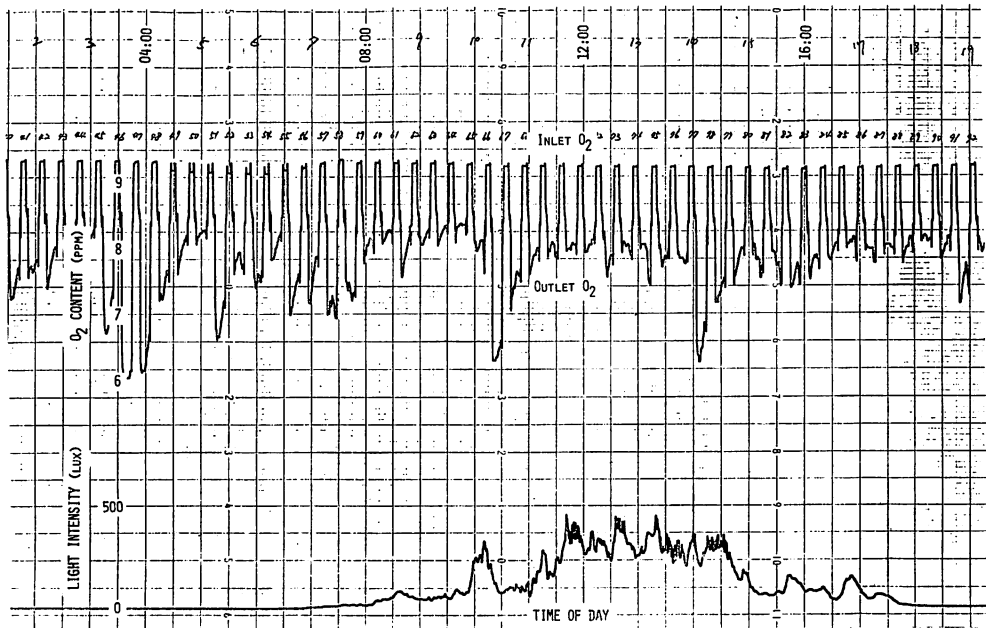


Fig. 2. Examples of continuous DO recording of yellowtail by a single oxygen electrode.

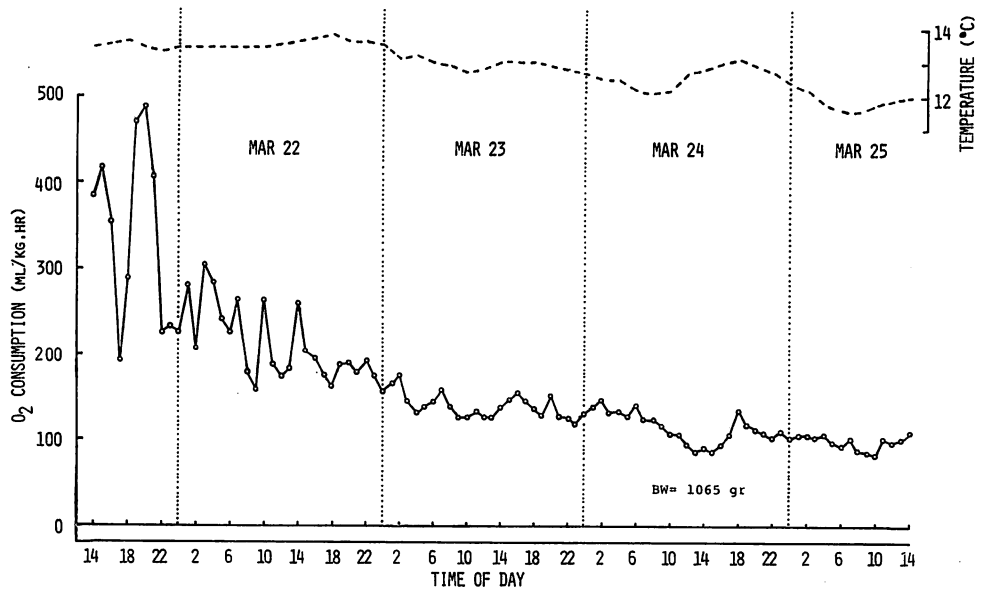


Fig. 3. Diurnal variation of oxygen consumption measured by a single electrode.

定した値を示した。それで、安静時におけるハマチの基礎代謝量は、測定開始後36時間から60時間の平均値で、 $136 \pm 11 \text{ ml/kg/hr}$ と算定された。この値は、Table 1に示す如くウィンクラー法による既報(京都水試, 1966; 長崎水試, 1966; 高橋, 1943)の値との比較を試みたところ、類同性の高いことが伺えた。

以上のべた電極法によるハマチの呼吸量の測定と並行して、同一条件の試水をウィンクラー法によって測定し、これら両法によって得られた酸素消費量をそれぞれ比較した。Fig. 4に示す如く、両法の相関係数は+0.98と算出された。さらに、電極法により得られた酸素消費量を $x$ 、ウィンクラー法により得られたそれを $y$ とすると、 $x, y$ 間に $y = 1.043x - 2.2$ という関係式がえられた。

Table 1. Examples of oxygen consumption of yellowtail.

Body weight (g)	Temperature (°C)	O <sub>2</sub> consumption (ml/kg/hr)	Method*	Reference
700	18.3	180	F	NAGASAKI ('66)
735	15.4-15.7	236	F	NAGASAKI ('66)
850	14.4-14.6	150	F	KYOTO ('70)
850	8.1- 9.3	65	F	KYOTO ('70)
1,855	21.7	186	C	TAKAHASHI ('43)
1,065	12.1-13.1	$136 \pm 11$	F	present experiment

\* F: flow system, C: closed system.

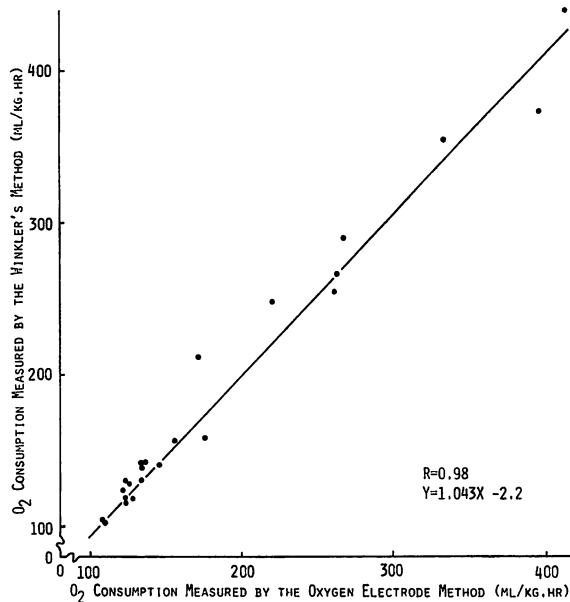


Fig. 4. Relationship between oxygen consumption measured by a single oxygen electrode method and oxygen consumption obtained by the Winkler method.

## 考 察

ウィンクラー法による水中溶存酸素量の測定は、外洋水や河川の上流水などのように、有機物含量の少ない試水に対して適しているが、多量の有機物や還元物質を含む試水には使えないことが指摘されている（気象庁，1970）。それに比べて、酸素電極法による測定は、ガス透過性のテフロン膜が試料と電極との間を隔絶するようになっており、この隔膜は溶存酸素のみを透過させるがほかの共存物質の分子は透過しにくいので、ウィンクラー法やその変法に比べて有機物の影響を受けにくいことが知られている（山縣・大喜多，1973）。なお、本実験に用いた酸素電極はポーログラフ式であり、ガルバニ式に比べて応答が速いことが特徴である（栗山・他，1974）。

魚の酸素消費量の測定をおこなう際、その呼吸室内で糞などの蓄積がしばしば見られるので、そのような試水の酸素量を測定するには、ウィンクラー法よりむしろ電極法の方が適合しているといえよう。

しかし、2本の電極を用いて、呼吸室の注・排水中の酸素量を別個に測定した場合にはDOメーターや電極による器差が生じるので僅少差の読み取りを必要とする魚介類の呼吸測定には不都合である。

本装置でとくに重視したことは、器差によるエラーを避けるために、同一の酸素電極を用いて、いかにして注水口と排水口との試水の酸素量を自動的にかつ昼夜連続して測定するかであった。上述した如く、1本の酸素電極で自動ピペット洗浄筒の水位上下運動と電極垂下

用のリフトとの連動により、注・排水中の DO 量を「交互」に測定できるよう工夫した。その時間間隔は、およそ10分間程度の交互運動であれば、ハマチなどの呼吸量のミクロな変動を読みとることができた。

しかし電極法による測定操作には、電極の特性に注意する必要がある。山縣・大喜田(1973)によれば、電極に発生する電流は電極付近の酸素分子の数に比例するとのことであり、DO メーターを用いる際には試料中の溶存酸素濃度と電極付近のそれとが平衡になるように注意しなければならない。そのため、電極の感受部を一定流速以上で試水を攪拌する必要がある。本実験では、3.44 l/min の割合で試水の流入を計ったこと、また DO 電極に専用の水中スターを併用したことなどによって、電極感度に対する流速の影響はほぼ解消したものである。

### 引用文献

- DJANGMAH, J. S., J. DAVENPORT and S. E. SHUMWAY (1980): Oxygen consumption of the west african blood clam *Anadara senilis*. *Mar. Biol.*, **56**, 213-217.
- 萩原文二 (1977): “電極法による酸素測定”. (講談社サイエンティフィック, 東京, 日本).
- HIRATA H. (1973): Diurnal rhythm of metabolic and activity rates in juvenile atlantic salmon, *Salmo Salar* LINNAEUS. *Mem. Fac. Fish., Kagoshima Univ.*, **22**, 73-93.
- 平田八郎・山口照男・植田総一・門脇秀策・東川勢二 (1978 a): 赤道周辺海域における DO の航走連続記録-I. 低酸素帯の検出方法とその分布. *日水誌*, **44**, 819-821.
- (1978 b): 赤道周辺海域における DO の航走連続記録-II. 低酸素帯と懸濁物量ならびにマグロ類の釣獲率との関係. *日水誌*, **44**, 823-826.
- 板沢 靖 (1970): “魚類生理” 45-88, (恒星社厚生閣, 東京, 日本)
- 門脇秀策・加世堂照男・中蘭貫幸 (1978 a): 浅海養殖漁場における DO の航走連続記録-I. 2・3の記録例とその解析, 特に DO と養魚密度. *鹿大水紀要*, **27**, 273-282.
- ・平田八郎 (1978 b): 浅海養殖漁場における DO の航走連続記録-II. 給餌に伴う浮遊懸濁物の拡散. *鹿大水紀要*, **27**, 283-290.
- 気象庁 編 (1970) “海洋観測指針” (日本気象協会, 東京, 日本).
- 小山富康 (1957): 淡水魚の酸素消費の連続的測定. *北大応電研彙報*, **9**, 216-221.
- 栗山 弘・伊藤 彰・紫田定信・高橋睦子 (1974): 水質検知器について. 主として DO メーターについて. 第28回建設省技術研究会, (建設省資料).
- 京都府水産試験場 (1970): 京都府水産試験場報告, **38** Y. 8-15.
- 長崎県水産試験場 (1966): 活魚輸送技術研究報告-III. (総括), 1-67.
- 高橋仁助 (1943): 水産動物の酸素消費概率. *水雑*, **51**, 7-24.
- 田村 正 (1940): 外圍の変化が魚類に及ぼす影響に就て, 第二報, 冬季における各種海産魚類の呼吸状態並びに夏季との比較. *水雑*, **46**, 56-66.
- 山縣 登・大喜多敏一 (1973): “環境汚染分析法13. DO・BOD・OC” (大日本図書, 東京, 日本).