

プロダクトメーター（差働式検容計）による 大型試料の光合成および呼吸測定

横浜康継*・前川行幸**

*筑波大学下田臨海実験センター（415 静岡県下田市5-10-1）

**三重大学水産学部海藻増殖学講座（514 三重県津市江戸橋2-80）

YOKOHAMA, Y. and MAEGAWA, M. 1988. Measurements of photosynthesis and respiration of large samples by 'Productmeter', a differential gas-volumeter. Jpn. J. Phycol. 36: 29-36.

'Productmeter' has been regarded as suitable for measuring photosynthesis or respiration in small pieces of seaweeds or small individual animals since the capacity of reaction and compensation vessels attachable to its original type is 20-50 ml (YOKOHAMA and ICHIMURA 1969). However, larger vessels can be attached to an improved type of 'Productmeter' (YOKOHAMA *et al.* 1986). In this study the application of larger vessels of culture-flask type (ca. 200 ml in capacity) and desiccator type (ca. 300 ml) were examined for measuring photosynthesis and/or respiration of individuals of two species of young kelps, a marine fish and two species of marine benthic animals. The length of time required for attaining the temperature equilibrium was about 10 minutes when a culture-flask type vessel containing 50 ml of water was transferred from a bath of 5°C to one of 25°C, while it took about 20 minutes when a desiccator type vessel containing 50 ml of water was transferred from a bath of 5°C to one of 25°C. For measuring respiration of marine organisms in a vessel containing adequate amount of seawater, a CO₂ absorbent such as KOH solution was not necessary, probably because the seawater itself acted as an effective CO₂ absorbent. Photosynthesis and respiration rates of juvenile plants of *Eisenia bicyclis* (leaf area 38 cm²) and *Ecklonia cava* (leaf area 15 cm²) were determined with a culture-flask type vessel containing 50-75 ml of seawater. Respiration rates of *Haliotis diversicolor aquatilis* (a shellfish, 6.5 cm in shell length), *Toxopneustes pileolus* (a sea urchin, 5.6 cm in diameter) and *Scorpaenodes guamensis* (a fish, 8.6 cm in body length) were also determined with a desiccator type vessel containing 100 ml of seawater.

Key Index Words: *Ecklonia cava*—*Eisenia bicyclis*—*gasmetry*—*Haliotis diversicolor aquatilis*—*photosynthesis*—*respiration*—*Scorpaenodes guamensis*—*temperature equilibrium*—*Toxopneustes pileolus*.

Yasutsugu Yokohama, Shimoda Marine Research Center, University of Tsukuba, Shimoda 5-10-1, Shizuoka, 415 Japan; Miyuki Maegawa, Faculty of Fisheries, Mie University, Edobashi 2-80, Tsu, Mie, 514 Japan

生理生化学の分野でのガス代謝の研究には、ごく最近まで、ワールブルグ検圧計（吉川ら1953参照）が最も広く利用されてきたが、操作がかなり煩雑であるため、その使用はごく少数の研究者に限られていた。そのため光合成や呼吸の定量的測定も限られた専門家以外には困難であったが、差働式検容計の一種であるプロダクトメーター（YOKOHAMA and ICHIMURA 1969）

が開発されて以来、光合成や呼吸の定量的測定はそれほど困難なものでなくなった。この装置はワールブルグ検圧計に比べて、精度はほとんど劣らず、しかも操作がはるかに簡単であることから、主として生態学的立場からの藻類の光合成の研究に利用されるようになり、多くの成果があげられてきた（YOKOHAMA 1972, 1973, 横浜 1973 a, 1973 b, 畑・横浜1976, 影山・横浜1974, 1977, MIZUSAWA *et al.* 1978, KAGEYAMA *et al.* 1979, IKEHARA *et al.* 1981, KATAYAMA *et al.* 1985, 齊藤ら1986）。

さらに、この装置の理科教育への導入が試みられた

下田臨海実験センター業績 No. 480。本研究は文部省科学研究費補助金特定研究課題番号5812410および総合研究（A）課題番号60304100による研究の一部である。

が、その結果として生まれた改良型プロダクトメーター（横浜ら1986）は、高校生でも容易に操作できる手軽さに加えて、大型容器の装着が容易であるという利点を有するため、アラメやカジメの幼体1個体の光合成や呼吸あるいはウニ個体の呼吸などの測定にも利用されるようになった（松山・横浜1984, MAEGAWA *et al.* 1987, SAKANISHI *et al.* 1988）。しかし、その詳細については未報告のままになっていたため、ここに大型容器の実例と、それらを装着した改良型プロダクトメーターの使用例について報告する。

容器の形と大きさ

従来用いられていた容器は Fig. 1 A に示すような三角フラスコ型のもので、容積は 20 ml からせいぜい 50 ml くらいまでであった。これに面積 3—5 cm² の海藻葉片と 5—10 ml の戸過海水を入れたものを反応容器とし、また反応容器の場合とほぼ同量の戸過海水のみを入れたものを対照容器とするのが適当と考えられている（横浜ら1986）。

大型試料のうち面積 10—40 cm² の海藻の個体あるいは葉片の光合成や呼吸を測定する場合は、Fig. 1 B に示すような培養びん型の容器を用い、またウニなどの動物の個体の呼吸の測定には、Fig. 1 C に示すようなデシケータ型容器を用いるのが適当である。

Fig. 2 に改良型プロダクトメーターの本体に培養びん型的大型容器を装着した状態を示す。既製品では毛細ゴム管 (RT) の先端に直接ゴム栓が接続されてい

るが、その大きさは小型の三角フラスコ型容器の口径に合わせてあるため、その部分を切除した末端にプラスチック製毛細管 (PT) を挿入し、その先を大型容器の口径に合ったゴム栓 (RP) に貫通させて用いている。

また、小型容器を用いる場合は目盛管 (G) として 0.1 ml のメスピペットを利用するが、大型容器を用いる場合は 0.5 ml あるいは 1 ml 程度のメスピペットを利用しなければならないことが多い。

温度平衡

検圧計と検容計のいずれを用いても、容器の温度変化は測定誤差の原因になるので、容器は恒温水槽に浸して、できるだけ一定の温度に保つようにする。

水槽の温度変化によって生じるはずの反応容器内のガスの体積変化を対照容器を用いて相殺する方式の差働式検容計の場合は、水槽の温度が実験終了までの間に 1℃程度変化しても實際上ほとんど問題なく、反応容器と対照容器との間の温度差が誤差を生むおもな原因となるので、水槽内に温度むらが生じないように注意すると同時に、双方の容器を水槽に浸してから、容器内の温度が水槽内の温度と等しくなるまで待って測定を開始することが必要となる。そのための時間すなわち温度平衡に達するまでの時間は、浸漬前の容器内の温度と水槽温度との差が大きいほど、容器の容積が大きいほど、また容積が同じでも容器の表面積が小さいほど長くなるはずである。

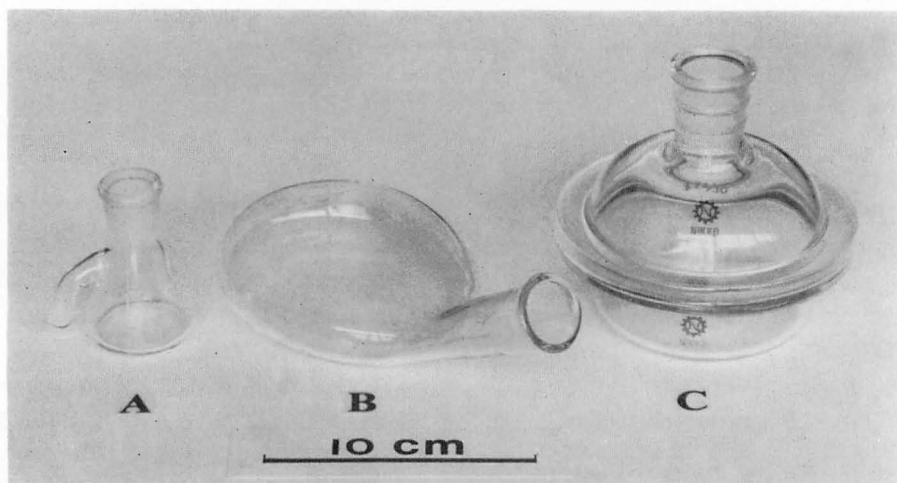


Fig. 1. Three types of vessels used for measuring photosynthesis and respiration with 'Productmeter'. A, Erlenmeyer flask type (ca. 30 ml in capacity); B, culture-flask type (ca. 200 ml in capacity); C, desiccator type (ca. 300 ml in capacity).

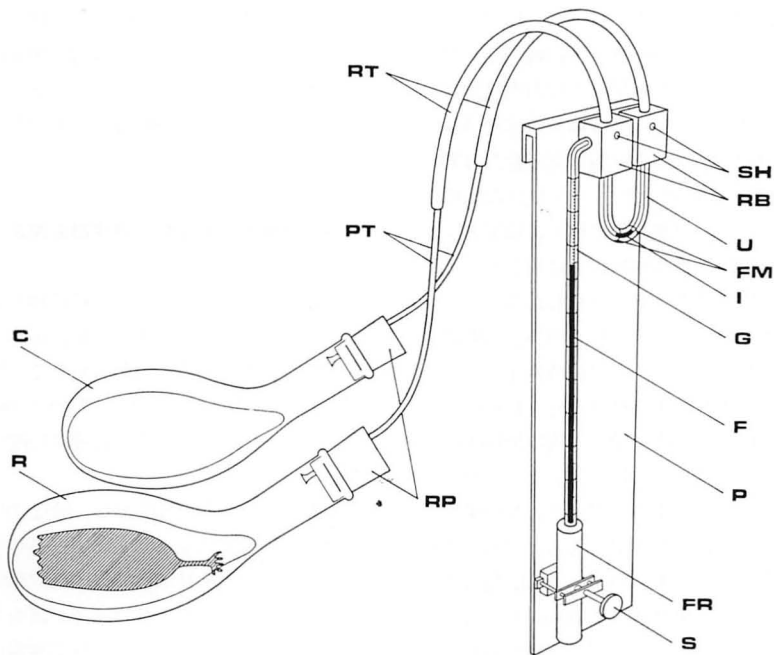


Fig. 2. A schematic diagram of the main part of 'Productmeter' with large culture-flask type vessels. RB, rubber blocks; SH, small holes; U, U-shaped capillary tube; FM, fixed marks; I, index drop (kerosene containing 0.01–0.02% sudan black); G, graduated capillary tube; F, colored fluid (aqueous solution containing 2% invert soap such as benzethonium chloride and 0.01–0.02% eosine); FR, fluid reservoir; S, screw clamp; RT, rubber capillary tubes; PT, plastic capillary tubes; RP, rubber plugs; R, reaction vessel containing juvenile kelp and adequate amount of filtered seawater; C, compensation vessel containing the same amount of filtered seawater as in the reaction vessel; P, plastic plate holding the system.

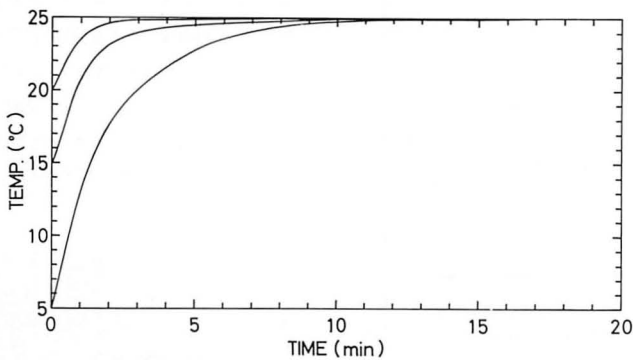


Fig. 3. Change with time of temperature in a culture-flask type vessel (200 ml in capacity) after being transferred from a water bath of 5, 15 or 20°C to one of 25°C.

容積 30–40 ml 程度の三角フラスコ型容器なら、初めの温度と水槽温度との差がかなり大きい場合でも、温度平衡に要する時間は10分以内であることが経験上明らかとなっているが、大型の容器については種々の条件下での温度平衡時間を調べておく必要がある。その直接的な方法は、水槽に浸した直後からの容器内の

温度変化を追跡することである。

実際には、電気温度計の感温部を貫通させたゴム栓で口を塞いだ容器をある温度の水槽から別の温度の水槽へ移した直後からの温度計の指針の経時変化を記録計に描かせるという方法で、容器内の温度変化の追跡を簡単に実施することができる。Fig. 3 は、容積 200

ml の培養びん型容器 (Fig. 1 B) を 5℃, 15℃あるいは20℃の水槽から25℃の水槽へ移し, 振幅 3 cm 周期毎分 100 回の往復運動を与えた場合の容器内温度の経時変化を, 宝工業株式会社製完全互換型温度計 MR-3 C および東亜電波工業株式会社製電気記録計 EPR-10 A を用いて追跡した結果である。5℃から25℃へ移した場合でも約15分で温度平衡に達し, 15℃および20℃からの場合の温度平衡時間はさらに短かく, それぞれ約12分および10分であったことがわかる。

海藻その他の水生生物を試料とする場合, 容器に適当量の水を入れるが, 容器内温度の経時変化は, 水の入っていない場合と異なる可能性がある。Fig. 4 は, 容積 30 ml の三角フラスコ型容器, 容積 200 ml の培養びん型容器および容積 300 ml のデシケータ型容器について, 水の入っている場合と入っていない場合とで温度の経時変化を比較した結果である。容器に入れた水の量は, 三角フラスコ型の場合は 5 ml, 培養びん型およびデシケータ型の場合は共に 50 ml である。空の容器も水の入った容器も共に 5℃の水槽から25℃の水槽へ移したのであるが, 水の入っている場合 (破線) の方が水の入っていない場合 (実線) よりはるかに速く温度平衡に達している。水の入っている場合の

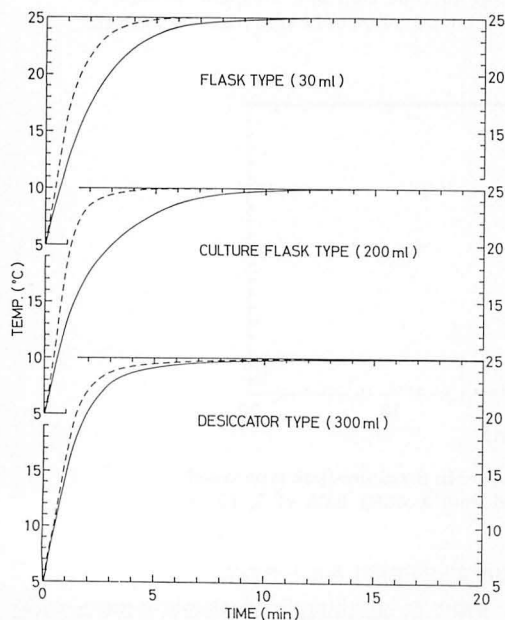


Fig. 4. Change with time of temperature in a vessel with (dotted line) or without (solid line) a definite amount of water (5 ml for a flask type vessel, and 50 ml for a culture-flask type vessel and a desiccator type vessel).

温度平衡時間は, 容積 30 ml の三角フラスコ型容器で約 8 分であるのに比べて, 容積 200 ml の培養びん型容器でも約 9 分というように, ほとんど差がみられないのに対して, 容積 300 ml のデシケータ型容器では約20分とやや長かった。

アラメ幼体の光合成および呼吸の測定

海藻の葉片あるいはコンブ科植物の幼体のような柔軟で平面的な試料には Fig. 1 B に示すような培養びん型容器が便利であると思われたので, 実際に容積 200 ml の同じ型の容器にアラメ *Eisenia bicyclis* の幼体を収容して (Fig. 5), 光合成と呼吸の測定を行なってみた。

Table 1 は, 水槽温度20℃, 照度 20 klux における藻体からの酸素発生を23℃の室内で測定した際の記録例である。アラメ幼体は前日に低潮線附近から採集して, 直射日光のあたらない窓辺で流水水中に保ち, 午前10時頃から実験に供した。反応容器に沝過海水 75 ml とともに 38.2 cm² の葉面積を有するアラメ幼体を入れたが, 長径約 12 cm 短径約 10 cm の培養びん型容器にとって, この藻体の大きさは最大収容限度に近い。対照容器には 75 ml の沝過海水のみを入れた。

反応容器はプロダクトメーター本体の左側のゴム栓 (RP) につなぎ, 対照容器は右側のゴム栓につないで, 両容器とも20℃の水槽内の止め金に固定し, 光馴化のために 20 klux の光を藻体に照射しながら振幅 3 cm 周期毎分 100 往復の振とうを約30分間続けた後, 反応容器のみをとりはずして沝過海水を入れ替え, ふたたびプロダクトメーター本体に装着し, 水槽内に固定して, 20 klux の光をあてながら, 温度平衡のために10

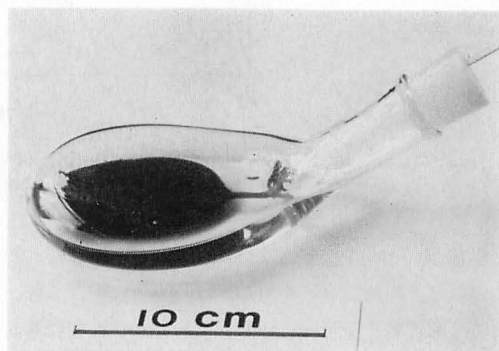


Fig. 5. A culture-flask type vessel (ca. 200 ml in capacity) containing a juvenile *Eisenia bicyclis* and 75 ml of filtered seawater.

Table 1. An example of the record of oxygen evolution by *Eisenia bicyclis* (a young kelp with leaf area of 38.2 cm²) placed in a culture-flask type vessel (ca. 200 ml in capacity) containing 75 ml of filtered seawater under 20 klux at 20°C. Room temperature (temperature of the graduated capillary tube) was 23°C. A, readings of the colored fluid meniscus in the graduated capillary tube; B, difference of each reading from the initial reading. May 21, 1987.

Time	A	B
0 min	6	0 μ l
1	45	39
2	84	78
3	126	120
4	165	159
5	207	201
6	248	242
7	288	282
8	330	324
9	369	363
10	406	400

分間振とうした後、振とうを継続したまま以下の手順にしたがって測定を開始した。

測定開始に先だって、目盛管 (G) 内の着色液 (F) の先端を目盛の上端近くにまで押し上げておく。振とう開始後約10分経過したところでプラスチックプレート (P) を傾けることによりU字管 (U) 内の液滴 (I) の左端を左側の定線 (FM) に合わせながら、左右のゴムブロック (RB) 前面の小孔 (SH) をビニールテープの小片で塞ぐ。プラスチックプレートを垂直に戻した後に、調節ネジ (S) を廻して液滴の左端を左側の定線に正確に合わせ、着色液 (F) の先端の位置を読み取り、この時を測定開始時 (0分) とする。液滴は時間とともに右へ移動するが、1分ごとに調節ネジを廻して液滴をもとの位置へ正確に戻し、着色液先端の位置を読み取るという操作をくり返す。Table 1 の A 欄の値は各時点での着色液先端の読み取り値であるが、それらの値から0分の値をさし引くと、0分から各時点までの間に藻体から発生した酸素の量 (B 欄) が得られる。B 欄の値を縦軸にとり、時間を横軸にとると Fig. 6 の上段のグラフが得られる。各点がある勾配の直線に沿って並んでいることから、酸素発生が一定の速度で進んだことがわかる。その速度は 2.40 ml O₂ · h⁻¹ と算定されるが、この値は目盛管の温度 (室温に等しい) が23°Cの時に得られたものなので、273/(273+23) を乗じて標準状態 (0°C · 760 mmHg)

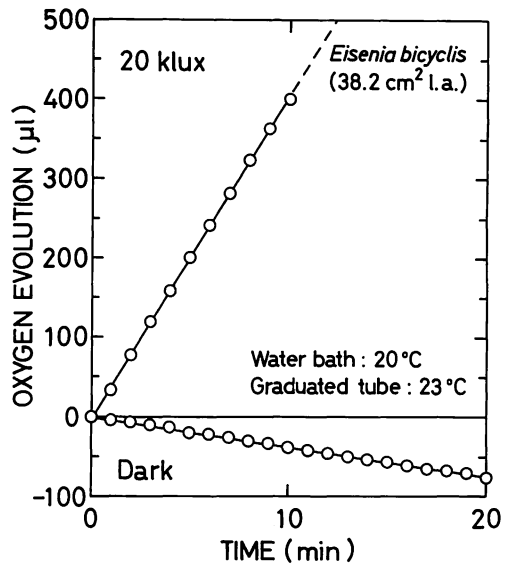


Fig. 6. Time courses of oxygen evolution and consumption by a juvenile *Eisenia bicyclis*. Drawn from the data shown in Tables 1 and 2.

における値 2.21 ml O₂ · h⁻¹ を得る。

Table 2 は、20°C · 暗黒という条件下での同じアラメ幼体による酸素消費を23°Cの室内で測定した際の記録例である。前述の光合成測定の終了後、まず左右のゴムブロックの小孔を塞いでいたビニールテープ片をほぼ同時にはがしてから、反応容器のみをとりはずして汙過海水を入れ替え、暗黒中で10分間振とうした後、測定を開始した。

この場合の手順で光照射下における酸素発生測定の場合と異なるのは、目盛管 (G) 内の着色液 (F) の先端を初めに目盛の下端近くに下げることとU字管 (U) 内の液滴 (I) はその右端を右側の定線 (FM) に合わせることの2点である。またこの場合、反応速度がかなり低いので、目盛管には 0.1 ml のメスピペットを使用したほうがよい。

Table 2 の A 欄の値は各時点における着色液先端の読み取り値、B 欄の値は各時点の値から0分の値をさし引いたものであるという点は Table 1 の場合と同じであるが、B 欄の値が負になるという点が Table 1 と異なる。これは負の酸素発生すなわち酸素吸収が生じていることを示している。

Table 2 の B 欄の値からは Fig. 6 の下段のグラフが得られるが、藻体が一定の速度で酸素を吸収したことがわかる。その速度は 257 μ l O₂ · h⁻¹ と算定されるが、やはりこの値の得られた時の目盛管の温度は23°C だったので、その値に 273/(273+23) を乗じて標準

Table 2. An example of the record of oxygen consumption by *Eisenia bicyclis* (a juvenile kelp with leaf area of 38.2 cm²) placed in a culture-flask type vessel (ca. 200 ml in capacity) containing 75 ml of filtered seawater in the dark at 20°C. Room temperature (temperature of the graduated capillary tube) was 23°C. A, readings of the colored fluid meniscus in the graduated capillary tube; B, difference of each reading from the initial reading. May 21, 1987.

Time	A	B
0 min	95.0	0 μ l
1	91.0	-4.0
2	89.6	-6.0
3	85.0	-10.0
4	80.9	-14.1
5	75.0	-20.0
6	73.0	-22.0
7	68.9	-26.1
8	64.7	-30.3
9	61.1	-33.9
10	57.0	-38.0
11	52.9	-42.1
12	49.5	-45.5
13	44.9	-50.1
14	41.5	-53.5
15	48.5	-56.5
16	34.1	-60.9
17	29.9	-65.1
18	27.2	-67.8
19	24.5	-70.5
20	19.0	-76.0

状態における値 237 μ l O₂·h⁻¹ を得る。

海産動物の呼吸測定

魚類や底生動物を収容する容器として、デシケータ型の容器 (Fig. 1 C) を試作した。内径 8.2 cm 容積 300 ml のこの容器を用いて、殻長 6.5 cm 重量 27.7 g のトコブシ *Haliotis diversicolor aquatilis* (軟体動物門腹足綱ミミガイ科) (Fig. 7 A), 直径 5.6 cm 重量 64.4 g のラッパウニ *Toxopneustes pileolus* (棘皮動物門ウニ綱ラッパウニ科) (Fig. 7 B), 体長 8.6 cm 重量 13.9 g のイソカサゴ *Scorpaenodes guamensis* (脊椎動物門魚綱カサゴ科) (Fig. 7 C) の呼吸を測定してみた。

Fig. 8 は、23°Cの室内で、反応容器には動物個体と戸過海水 100 ml, 対照容器には戸過海水 100 ml のみを入れ、20°Cの水槽を用いて測定したときの結果であ

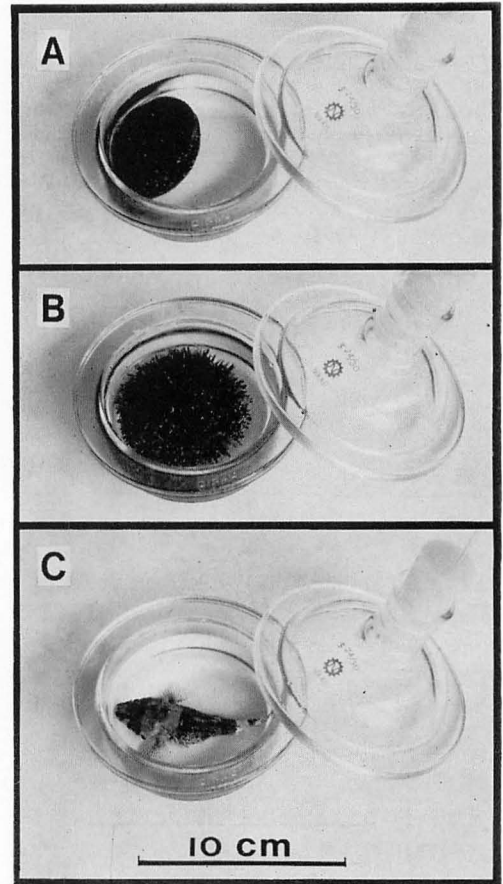


Fig. 7. Desiccator type vessels containing marine animals and 100 ml of filtered seawater. A, *Haliotis diversicolor aquatilis*; B, *Toxopneustes pileolus*; C, *Scorpaenodes guamensis*.

る。振とうは、トコブシとラッパウニの場合には振幅 3 cm 周期毎分100往復であったが、イソカサゴの場合には周期を毎分50往復とした。

ラッパウニの場合には、測定を継続した30分間にわたって酸素消費速度が一定に保たれたが、トコブシの場合には測定開始後20分頃、またイソカサゴの場合には測定開始後10分頃にそれぞれ酸素消費速度がいったん低下し、それ以後は測定終了時まで一定の酸素消費速度が保たれた。トコブシとイソカサゴの呼吸速度の低下は、容器内の環境と振とうに個体が馴化した結果であろう。

CO₂ 吸収剤の問題

検圧計や検容計を用いて生物の呼吸による酸素吸収を測定する方法では、生物の酸素吸収に伴って放出さ

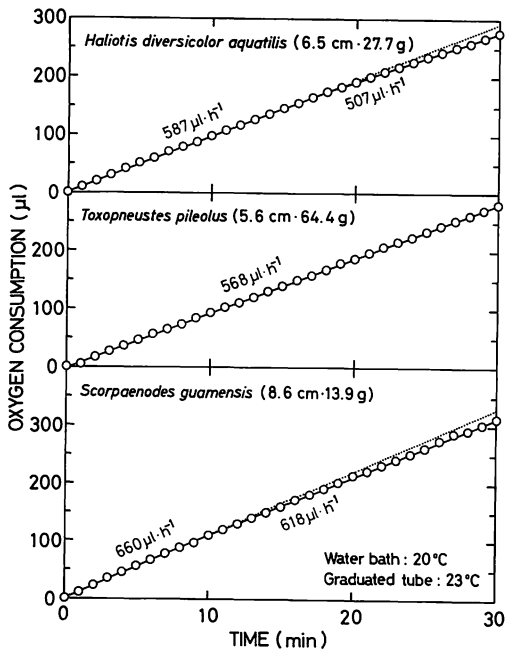


Fig. 8. Time courses of oxygen consumption by three kinds of marine animals at 20°C. Room temperature was 23°C. The volume of oxygen is expressed as that at 23°C·760 mm Hg.

れる CO₂ を反応容器内の気相から除去することによって測定が可能となる。そのため的手段として、ワールブルグ検圧計の場合には、容器の中央に円筒状の副室を設け、その中に CO₂ 吸収剤として 20% KOH 溶液を入れている。プロダクトメーターの場合にも、Fig. 1 A に示した小型の三角フラスコ型容器はワールブルグ検圧計に倣ったものであるが、海藻葉片あるいは小動物等を収容する都合上、容器中央の副室は設けず、KOH 溶液を入れる場合には側室を利用している。

大型容器にも、呼吸測定の場合は CO₂ 吸収剤を入

れるための測室などが必要と考えられるが、海産生物の呼吸測定の場合には、試料とともに反応容器に収容される海水が CO₂ 吸収剤の役割を果たすため、KOH 溶液等を使わずにすむものと期待される。

実際に本研究では KOH 溶液等の特別な CO₂ 吸収剤は用いずにアラムの幼体およびトコブシ等の海産動物の呼吸を測定したのであるが、得られた結果 (Fig. 6 および Fig. 8) は良好なものと言える。もし反応容器内の海水が試料から発生する CO₂ に対して吸収剤としての機能を十分に果たしえない状態にあったとすれば、海水の CO₂ 吸収能は時間とともに低下する状態にあったはずであり、そのために試料の酸素消費速度が時間とともに低下したように誤認させる結果が得られるはずである。しかし Fig. 6 と Fig. 8 のすべての測定において直線性が維持されていることから、少くとも測定が継続された時間内には反応容器内の海水が CO₂ 吸収剤として十分に機能していたものと判断される。

Fig. 9 は葉面積約 15 cm² のカジメ *Ecklonia cava* の幼体について 20°C で得られた光合成—光曲線である。暗黒中での酸素消費の測定も、光照射下の酸素発生測定と同様に KOH 溶液を用いず、容積 200 ml の培養びん型容器に藻体のほかは 50 ml の戸過海水のみを入れて行なったが、暗黒中の酸素消費速度を表わす点が弱光部の各光強度における酸素発生速度を表わす点を結んだ直線の延長上にある。この事実は暗黒中においてカジメ幼体から発生した CO₂ のほとんどすべてが容器内の海水に捕捉されたことを明確に示している。

考 察

大型容器を用いる場合の問題点は温度平衡に要する時間がかかなり長くなることにあると予想されたが、本

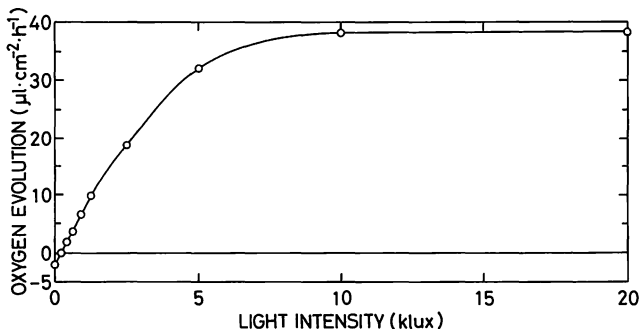


Fig. 9. Photosynthesis-light curve at 20°C of a young *Ecklonia cava* (leaf area 15 cm²).

研究で用いた容積 200—300 ml の容器の場合、ある量の水を入れて用いれば、恒温水槽との温度差が 20°C あっても、10—20 分で温度平衡に達することが判明した。

容積 200 ml, 長径 12 cm, 短径 10 cm の培養びん型容器に汙過海水 75 ml とともに収容した葉面積 38.2 cm² のアラメ幼体で光合成および呼吸速度を求めることができたが、この藻体の大きさはこの培養びん型容器の収容力の限界に近いものと思われる。より大きな容器を用いればより大きな藻体を試料とすることができるはずであるが、温度平衡に達する時間をできるだけ短くするために容器をできるだけ扁平な形にしたほうがよい。

アラメ幼体の呼吸測定は 20 分間、海産動物の呼吸測定は 30 分間続けたが、通常は 10 分間程度の測定で充分であることが Fig. 6 および Fig. 8 に示した結果からわかる。しかしトコブシおよびイソカサゴのように個体の心理あるいは生理に起因した呼吸速度の変化が生じる可能性がある場合には、長時間にわたる測定も必要となるであろう。

海藻の光合成測定の場合には、途中で光合成速度が著しく上昇することがある。このようなことは実験前に弱光下に置かれていた藻体によくみられるので、強光への馴化によって生じたものと考えられる。そのため強光下での光合成測定の場合には、長時間の測定が必要と考えられるが、光合成の進行に伴って反応容器内の海水の CO₂ 濃度がある程度以上低下すると光合成の律速因子になるので、とくに強光下では長時間の測定は避けなければならない。本研究において、アラメ幼体を汙過海水とともに反応容器に入れ、光照射下で 30 分間振とうした後、海水を入れ替えて実験を開始したのは以上のような理由による。

呼吸測定の場合には、海水は CO₂ 吸収剤として機能し、そのため反応容器に試料とともに適量の汙過海水を入れた場合には、特別な CO₂ 吸収剤を用いる必要のないことが明らかとなった。しかし陸生生物あるいは干出時の海産生物の呼吸を測定する場合には、20% KOH 溶液等の CO₂ 吸収剤が必要となり、それを入れる部分を反応容器に設けなければならない。また本研究で用いた生物は、海藻ではアラメおよびカジメの幼体、海産動物では体長あるいは直径 10 cm 足らずのトコブシ、ラッパウニおよびイソカサゴの合計 5 種のみであったが、今後容器の形状を工夫することによって、より多様な生物を実験の対象とすることができるであろう。容器の形状に合わせた振とう機と水槽の開発も必要となるが、市販の振とう機と水槽のセットを改造して利用することも可能である。

引用文献

- 畑 正好・横浜康継 1976. 本邦北部産海藻の光合成—温度特性. 藻類 24: 1-7.
- IKEHARA, N., ISA, Y. and YAMASATO, K. 1981. The separation of Zooxanthellae from a coral, *Euphyllia glabrescens* (Chamisso and Eysenhardt). Sesoko Mar. Sci. Lab. Tech. Rep. (8): 1-5.
- 影山明美・横浜康継 1974. 生育深度を異にする褐藻の光合成特性. 藻類 22: 119-123.
- 影山明美・横浜康継 1977. 深所性緑藻の色素と光合成. 藻類 25: 168-175.
- KAGEYAMA, A., YOKOHAMA, Y. and NISIZAWA, K. 1979. Diurnal rhythm of apparent photosynthesis of a brown alga, *Spatoglossum pacificum*. Bot. Mar. 22: 199-201.
- KATAYAMA, N., TOKUNAGA, Y. and YOKOHAMA, Y. 1985. Effect of growth temperature on photosynthesis-temperature relationships of a tide pool alga *Cladophora rudolphiana* (Chlorophyceae). Jap. J. Phycol. 33: 312-316.
- MAEGAWA, M., YOKOHAMA, Y. and ARUGA, Y. 1987. Critical light conditions for young *Ecklonia cava* and *Eisenia bicyclis* with reference to photosynthesis. Hydrobiol. 151/152: 447-455.
- 松山恵二・横浜康継 1984. 簡易型ガス検容計によるウニ類の呼吸速度の測定. 北水試月報 41: 207-213.
- MIZUSAWA, M., KAGEYAMA, A. and YOKOHAMA, Y. 1978. Physiology of benthic algae in tide pools I. Photosynthesis-temperature relationships in summer. Jap. J. Phycol. 26: 109-114.
- 斉藤宗勝・片山舒康・横浜康継 1986. 大植産海藻の光合成—温度特性について. 大植臨海研究センター報告 (12): 9-14.
- SAKANISHI, Y., YOKOHAMA, Y. and ARUGA, Y. 1988. Photosynthesis measurement of blade segments of brown algae *Ecklonia cava* Kjellman and *Eisenia bicyclis* Setchell. Jpn. J. Phycol. 36: 24-28.
- YOKOHAMA, Y. 1972. Photosynthesis-temperature relationships in several benthic marine algae. Proc. 7th Intl. Seaweed Symp.: 286-291.
- YOKOHAMA, Y. 1973. A comparative study on photosynthesis-temperature relationships and their seasonal changes in marine benthic algae. Int. Revue ges. Hydrobiol. 58: 463-472.
- 横浜康継 1973 a. 生育深度を異にする緑藻の光合成特性. 藻類 21: 70-75.
- 横浜康継 1973 b. 生育深度を異にする紅藻の光合成特性. 藻類 21: 119-124.
- YOKOHAMA, Y. and ICHIMURA, S. 1969. A new device of differential gas-volumeter for ecological studies on small aquatic organisms. Journ. Oceanogr. Soc. Japan 25: 75-80.
- 横浜康継・片山舒康・古谷庫造 1986. 改良型プロダクトメーター(差動式検容計)とその海藻の光合成測定への応用. 藻類 34: 37-42.
- 吉川春寿・小倉安之・関根隆光・森田茂広・高橋 甫編 1953. ワールブルグ検圧計. 南江堂, 東京.