

赤潮時における鞭毛藻類の光-光合成曲線

杉山 宏・佐々木康夫*・飯塚 昭二

Characteristics of Light-photosynthesis Curve of Flagellates in Red Tide

Hiroshi SUGIYAMA, Yasuo SASAKI, and Shoji IIZUKA

Characteristics of light-photosynthesis curve of flagellates causing red tide was examined. Our experimental organisms were *Prorocentrum micans*, *Olisthodiscus* sp., *Gymnodinium* sp. (called tentatively as *G.* type '65) and *Prorocentrum* sp. whose cell concentration and chlorophyll-a content were more than 7.6×10^3 cells ml^{-1} and $30 \mu g l^{-1}$, respectively. It was characteristic of their light-photosynthesis curves that maximum photosynthesis ranged widely from 1.4 to 14.2 mg C·mg chl-a $^{-1}$ ·hr $^{-1}$ and photo-inhibition of photosynthesis at high light intensity of about 100 klux was not recognized.

Meanwhile, cultured *Olisthodiscus* sp. decreased maximum photosynthesis as its population developed from the logarithmic phase to the stationary phase. Photo-inhibition was recognized at 40 klux in the logarithmic phase, but was not recognized even at 100 klux in the stationary phase. Another experiment was conducted with cultured *Olisthodiscus* sp. in early stationary phase, which was diluted with filtrated culture media to the cell concentrations of 10 and 50 percent. The result showed that maximum photosynthesis increased and photo-inhibition became more clearly in the proportion to the degree of dilution. The effect of the length of dark treatment on photosynthesis was examined with cultured *Olisthodiscus* sp. Photo-inhibition was recognized after dark treatment of less than 7 hours, but not after dark treatment of more than 12 hours.

In the view of the above, it is thought that the fluctuations of photosynthesis in red tide are dependent on the species of consisting organisms and on the population phase within the species. It seems that the disappearance of photo-inhibition is related to the shading effect of each cell in high concentration and to the length of dark treatment.

赤潮時の植物プランクトンの光-光合成曲線は、珪藻類では比較的多く知られているが、鞭毛藻類ではあまり知られていない。

珪藻類を原因とする赤潮では、Hogestu *et al.* (1959) と船越 (1973) が *Skeletonema costatum* (Greville) Cleve について、船越 (1974) が *Chaetoceros simplex* Ostensfeld について光-光合成曲線を求め、いずれも飽和光下における高い光合成速度と強光阻害がないことを報告しており、また、船越 (1974) はこの

光合成特性が赤潮時の高い現存量を支える一因となっているのではないかと述べている。

一方、鞭毛藻類を原因とする赤潮では、Eppley and Sloan (1965) が *Gymnodinium* sp. と *Cochlodinium* sp. との混合赤潮について、船越ら (1974) が *Prorocentrum* sp. について飽和光下の光合成速度を測定した報告があるが、その値はいずれも珪藻類に比べて著しく低い。本研究では、赤潮時の鞭毛藻類の光-光合成曲線を求め、その特性について検討した。

* 長崎市水産農林部水産種苗センター

Table 1. Profile of four red tides

Exp. No	Dominant species	Cell concentration (cells ml ⁻¹)	Chlorophyll-a (μg l ⁻¹)	NH ₄ ⁺ -N	NO ₂ ⁻ -N	NO ₃ ⁻ -N	PO ₄ ³⁻ -P
1	<i>Prorocentrum micans</i>	12.0×10 ³	132.4	2.5	0.7	0.8	3.6
2	<i>Olisthodiscus</i> sp.* <i>Skeletonema costatum</i>	15.6×10 ³	42.3	0.5	0.1	0.1	2.8
3	<i>Gymnodinium</i> type '65	7.6×10 ³	80.8	3.1	0.2	0.5	0.5
4	<i>Prorocentrum</i> sp.	64.2×10 ³	31.1	1.6	0.2	0.4	0.2

* The ratio of *Olisthodiscus* sp. to the total cell number was about 0.6.

本文に入るに先立ち、内容について御討議をいただいた、本学部に江春彦教授に感謝の意を表する。

方 法

長崎県下大村湾および長崎湾で発生した赤潮海水を表面採水により採取し、これらの光—光合成曲線を求めた。

採取した試験海水は、渦鞭毛藻類、黄緑色藻類に属する *Prorocentrum micans* Ehrenberg (実験1), *Olisthodiscus* sp. (実験2), *Gymnodinium* sp. (実験3) および *Prorocentrum* sp. (実験4) を優占種とする4種類の赤潮海水である。なお、本実験に用いた *Gymnodinium* sp. は筆者らにより *Gymnodinium* type '65 と仮称される種であり、本論文では以下この名称を用いることとする。各試験海水中における各種の優占度は、実験1, 3, 4ではそれぞれ90%以上であり、実験2では原因種の優占度を60%とする *Skeletonema costatum* との混合赤潮である。各試験海水の性状を Table 1 に示した。

各試験海水は実験室に持ち帰った後、酸素ビン(容量100ml)に配水し、照度別に3~6時間露光後、光合成速度を測定した。光合成速度の測定は実験1, 2は¹⁴C法で、実験3, 4はO₂法でおこなった。照度は実験毎に異なるが、最低3kluxから最高98kluxまでの範囲を(ただし実験3では20kluxまで)、4~8段階に分けて測定をおこなった。照度の測定は水中照度計(鶴見精機製)を用いた。実験1, 2, 4は、水温を一定に保つために流水を循環させた水槽の外に光源(単一光源で東芝レフランプ150WHC屋外用を使用した)を置き、それからの位置を変えることにより、また、これによっては得られぬ低照度は白色ビニール布で酸素ビンをおおうことにより減光した。実験3は、光合成測定用水槽を用い、光源は東芝白色蛍光灯4本で、水槽の中心部(ここでは18kluxが得られる)からの位置を変えることにより、また、白色ビニール布でおおうことにより減光した。露光時間は実験1, 2では6

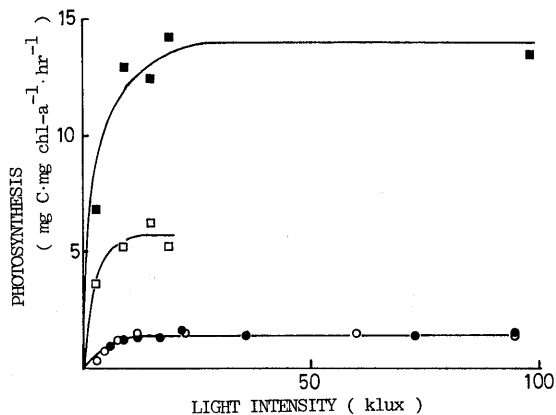


Fig. 1. Light-photosynthesis curves of flagellates, causing red tide. ○—○ *Prorocentrum micans*, ●—● *Olisthodiscus* sp., □—□ *Gymnodinium* type '65, ■—■ *Prorocentrum* sp.

時間、実験3, 4では3時間である。測定時の水温は22~25°Cであった。O₂法で得た光合成速度は、¹⁴C法で得たそれとの比較を容易にするため、炭素取り込み速度に換算して示した。この際、PQ商は1.25とした(Ryther, 1956)。

chlorophyll-aの測定は蛍光法でおこない、栄養塩類(NH₄⁺-N, NO₂⁻-N, NO₃⁻-NおよびPO₄³⁻-P)の測定は海洋観測指針(1970)によった。

結 果

各赤潮海水の光—光合成曲線をFig. 1に示した。*Prorocentrum micans*赤潮と*Olisthodiscus* sp.赤潮の飽和光下における光合成速度は、1.6 mg C · mg chl-a⁻¹ · hr⁻¹, 1.4 mg C · mg chl-a⁻¹ · hr⁻¹でほとんど等しく、*Gymnodinium* type '65赤潮では6.2 mg C · mg chl-a⁻¹ · hr⁻¹ (20.7 mg O₂ · mg chl-a⁻¹ · hr⁻¹)であった。また、*Prorocentrum* sp.赤潮では14.2 mg C · mg chl-a⁻¹ · hr⁻¹ (47.3 mg O₂ · mg chl-a⁻¹ · hr⁻¹)であった。*Gymnodinium* type '65赤潮を除くいずれの赤潮も約100

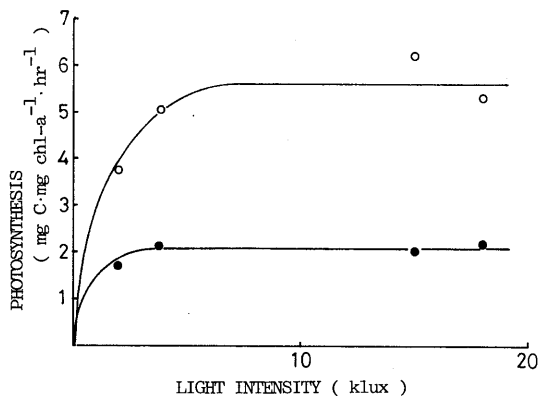


Fig. 2. Light-photosynthesis curves of *Gymnodinium* type '65 in different patches.

klux の高照度下においても強光阻害はみられなかった。*Gymnodinium* type '65 赤潮については、少なくとも測定の最高値である 20klux までは強光阻害はみられなかった。

考 察

測定結果から鞭毛藻類を原因とする赤潮の光-光合成曲線については、次の2点を特徴として指摘することができる。すなわち、i) 飽和光下における光合成速度は、1.4から 14.2 mg C · mg chl-a⁻¹ · hr⁻¹の広い範囲にあり、採取時の赤潮の状況によりかなり異なるらしいこと、ii) 強光下における阻害現象が起こらないらしいことである。前者については、既往の文献(Eppley and Sloan, 1965; 船越, 1974) にみられない高い値も含まれており、後者については珪藻赤潮の特徴として知ら

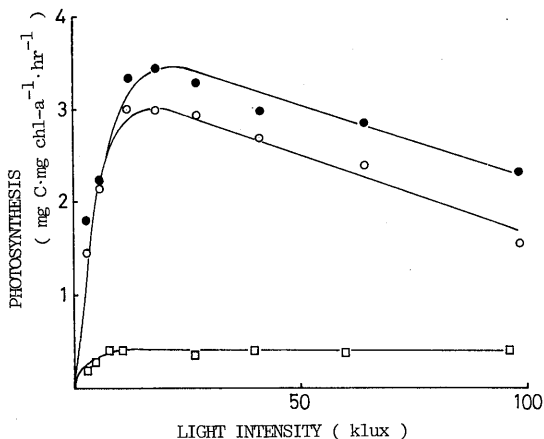


Fig. 3. Light-photosynthesis curves of cultured *Olithodiscus* sp. in different phases. ○—○ in middle logarithmic phase, ●—● in late logarithmic phase, □—□ in stationary phase.

れているのみであるので、これらについて他の赤潮と培養種とを用い補足実験をかねた考察をこころみた。

(1) 水域による光-光合成曲線のちがい

使用した試験海水は、実験3赤潮と同一日のほとんど同時刻の同一水域で採取した *Gymnodinium* type '65 赤潮海水 (細胞数, 64.1 × 10³ cells ml⁻¹, chl-a, 528.5 μg · l⁻¹, NH₄⁺-N, 3.9 μg-at. l⁻¹, NO₂⁻-N, 0.2 μg-at. l⁻¹, NO₃⁻-N, 0.4 μg-at. l⁻¹, PO₄³⁻-P, 18.7 μg-at. l⁻¹) である (実験5)。実験3と同一方法で光-光合成曲線を求めたが (Fig. 2), 飽和光下における光合成速度は 2.3 mg C · mg chl-a⁻¹ · hr⁻¹ (7.5 mg O₂ · mg chl-a⁻¹ · hr⁻¹) で、実験3と同一原因種であるにもかかわらず著しく低い。この両者の採集場所が距離にせずか2000mへだたっているだけであるのに、このように光-光合成曲線が異なるのは、パッチを異にすると近距離であっても光-光合成曲線が異なることがあることを示している。この差異は、実験5赤潮が既往の文献で知られている最高値に近い chlorophyll 量であったこと、および採取時のその他の状況とから個体群生長の末期に達したパッチであることによると考えられる。

(2) 個体群の生長過程による光-光合成曲線のちがい

試験生物は、単一種培養の *Olithodiscus* sp. (本学部平山和次博士から、試料の提供を受けた) である。

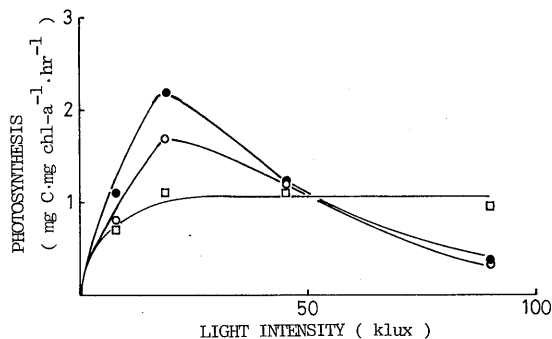


Fig. 4. Light-photosynthesis curves of cultured *Olithodiscus* sp. in different cell concentration. ○—○ cell concentration of 50% ●—● cell concentration of 10%, □—□ control.

培養基はErd-Schriber+ビタミン培地、水温は 21~24°C、10klux の連続光で培養し、その対数期中期、後期および定常期の試料を用い、光-光合成曲線を求めた (実験6, Fig. 3)。飽和光下における光合成速度は、対数期のもものでは中期および後期の試料で 3.0 mg C · mg chl-a⁻¹ · hr⁻¹ および 3.4 mg C · mg chl-a⁻¹ · hr⁻¹ とあまり差はないが、定常期のもものでは 0.4 mg C · mg

chl.-a⁻¹・hr⁻¹と著しく低くなる。また、強光阻害は、対数期には約40kluxからみられるが、定常期には約100kluxでもみられなかった。このように、培養 *Olithodiscus* sp. では個体群の生長とともに、飽和光下における光合成速度は低下するが、強光下における阻害はみられなくなる。定常期に著しく光合成速度が低下し、強光阻害がみられなくなるのは、生長ともなう活性の変化と高密度による自己しゃへい等の原因が考えられる。

(3)細胞密度による光—光合成曲線のちがい

試験生物は培養 *Olithodiscus* sp. を用い、その培養条件は実験6と同一である。この定常期初期の試料を

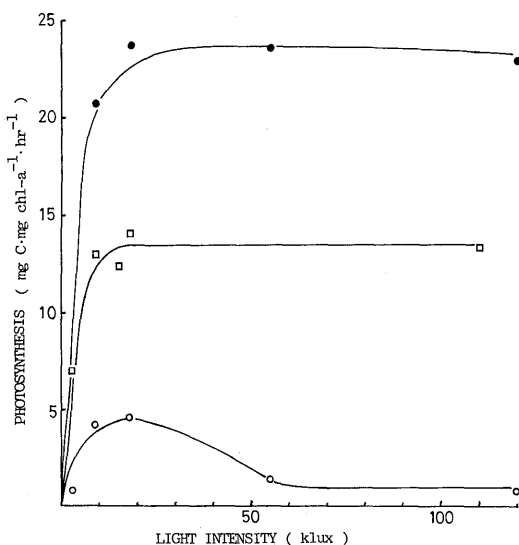


Fig. 5. Light-photosynthesis curves of *Prorocentrum* sp. after dark treatment and low light treatment.

●—● dark treatment, ○—○ low light treatment (7 klux), □—□ control.

培養液で細胞密度が10%, 50%になるように希釈し、光—光合成曲線を求めた(実験7, Fig. 4)。飽和光下における光合成速度は、細胞密度が低い方が高く、2.3 mg C·mg chl.-a⁻¹・hr⁻¹ (7.5 mg O₂·mg chl.-a⁻¹・hr⁻¹)であり、細胞密度が高い方は、約1/2の1.1 mg C·mg chl.-a⁻¹・hr⁻¹ (3.5 mg O₂·mg chl.-a⁻¹・hr⁻¹)であった。強光阻害は、細胞密度が低くなると強くみられる。これらのことから、細胞密度が高くなると自己しゃへいの効果が現われるのではないかと考えられる。

(4)暗処理による光—光合成曲線の変化

赤潮時の *Skeletonema costatum* が高い光合成速度をもち、また、強光阻害がみられないという特性は、その後の光条件によって変化することが知られている

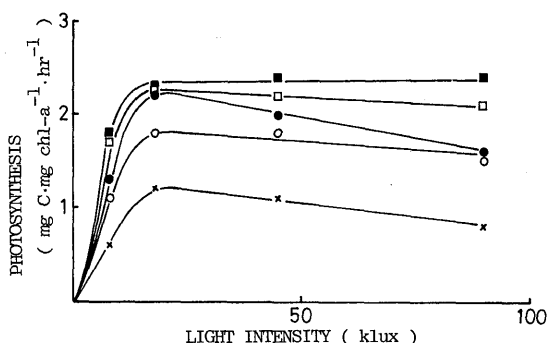


Fig. 6. Light-photosynthesis curves of cultured *Olithodiscus* sp. at different time of dark treatment.

○—○ 2 hours dark treatment, ●—● 7 hours dark treatment, □—□ 12 hours dark treatment, ■—■ 20 hours dark treatment, ×—× control.

(船越, 1973)。そこで、高い光合成速度を示した実験4の *Prorocentrum* sp. 赤潮を測定前18時間暗黒条件下および弱光条件下(7 klux)に置いた後、70~80kluxの強光を3時間照射し、これらの条件が及ぼす影響を求めた(実験8, Fig. 5)。飽和光下における光合成速度は、暗処理では23.8 mg C·mg chl.-a⁻¹・hr⁻¹ (79.1 mg O₂·mg chl.-a⁻¹・hr⁻¹)であり、弱光処理では4.6 mg C·mg chl.-a⁻¹・hr⁻¹で、暗処理は弱光処理の約5倍の高い光合成速度を示した。また、強光阻害は暗処理ではみられないが、弱光処理ではみられ、約100kluxで飽和光下の光合成速度の約20%に減少した。

このように、赤潮時の光合成特性は、弱光処理をしたものでは失われ、一定時間の暗処理では維持されることが考えられたので、次に、培養 *Olithodiscus* sp. を用い、暗処理時間の長短が及ぼす影響について検討した。培養条件は実験6と同一である。処理時間は、2, 7, 12, 20時間で、それらの光—光合成曲線を Fig. 6に示した。いずれも飽和光下における光合成速度は、処理しないものより高くなるが、7時間以下の比較的短時間処理では強光阻害がおこるのに対し、12時間以上の比較的長時間処理ではそれがみられなかった。これらの結果からみて、暗処理および処理時間の長短が光合成特性の維持ひいては光合成活性を高めるのに重要な役割を果していることがわかる。これを昼夜の別がある天然の光リズムに関連して考えてみると、夜間の存在は翌日の赤潮の光合成活性に重要な役割を果しているのではないかと推測される。

要 約

長崎県下大村湾および長崎湾で発生した鞭毛藻類を原因とする4赤潮の光-光合成曲線を求めた結果、その特徴は次の諸点にあることがわかった。

(1)飽和光下における光合成速度は、 $1.4\sim 14.2 \text{ mg C}\cdot\text{mg chl.}^{-1}\cdot\text{hr}^{-1}$ の広い範囲にあり、それは赤潮を構成する種および個体群の生長過程と関連するようである。特に、対象となる個体群が活発に増殖をおこなっている群であるか否かによって異なる。

(2)天然の赤潮では強光下における光合成阻害がみられなかった。これは高密度による自己シャヘいおよび昼夜のリズムのうち夜間の存在と関連があるらしいことが推測された。

文 献

Eppley, R. and P. Sloan, 1965 : Carbon balance

experiments with marine phytoplankton. *J. Fish. Res. Bd. Canada*, **22** (4), 1083-1097.

船越真樹, 1973 : 東京湾の赤潮現象。東京湾汚濁現象調査委員会報告書, pp. 145-172.

船越真樹, 1974 : 赤潮時の珪藻の光合成能をめぐって。日本生態学会講演要旨集, p. 91.

船越真樹・中本信忠・宝月欣二, 1974 : 東京湾の基礎生産と赤潮の役割。文部省特定研究・人間の生存と自然環境。内湾生物と汚濁。pp. 115-128.

Hogetsu, K., M. Sakamoto and H. Sumikawa, 1959 : On the high photosynthetic activity of *Skeletonema costatum* under the strong light intensity. *Bot. Mag.*, **72** (856), 421-422.

気象庁(編), 1970 : 海洋観測指針 (日本海洋学会)。Ryther, J. H., 1956 : The measurement of primary production. *Limnol. and Oceanogr.*, **1**, 72-84.