

高 坤山：海水の流速が褐藻ホンダワラの光合成による酸素発生に及ぼす影響

Kunshan Gao: Effects of seawater current speed on the photosynthetic oxygen evolution of *Sargassum thunbergii* (Phaeophyta)

The photosynthetic oxygen evolution of *Sargassum thunbergii* adult plants was measured with changing seawater current speeds ($0.5-1.2 \text{ cm s}^{-1}$) using a flow-through system. It was found that the rate of oxygen evolution increased with increasing seawater current speed. No significant difference between *S. thunbergii* adult and juvenile plants was found in light-saturated photosynthetic oxygen evolution rates at a constant seawater current speed (0.7 cm s^{-1}).

Key Index Words: diffusion boundary layer—Phaeophyta—photosynthesis—*Sargassum thunbergii*—water current.

Kunshan Gao, Kansai Environmental Engineering Center, Nakazaki-nishi 2-3-39, Kita-ku, Osaka, 530 Japan

沿岸海域で一次生産者として重要な役割を果たしている海藻は、海水の流れにさらされている。そのような流れが海藻の一次生産の基礎となる光合成にどのような影響を及ぼすかは極めて興味深い問題である (Wheeler, 1980)。

海水の流速は、海水が海藻の表面近くを通る際にその表面との摩擦抵抗によって藻体面に向かって低下し、境界層ができる。これは流速境界層と呼ばれる。一方、光合成の進行に伴う炭酸や栄養塩の取り込みと酸素の発生は、呼吸による酸素消費と CO_2 の発生を伴うが呼吸速度は同化速度より遙かに小さいので、藻体面に近づくにつれて炭酸濃度が低くなり酸素濃度が高くなるような拡散境界層が存在することになる (Fig. 1)。海水の流速と拡散境界層との関係は次のような式で表される。

$$\frac{\text{流速境界層の厚さ}}{\text{拡散境界層の厚さ}} = \text{Schmit 数}$$

Schmit 数は定数であるから、拡散境界層の厚さは流速境界層の厚さに比例し、流れが速くなればなるほど流速境界層が薄くなるので拡散境界層は薄くなる。したがって、海水の流れは炭酸や栄養塩の取り込みと酸素発生・消費に影響を及ぼすと思われる。淡水産ミズハコベでは、光合成時に CO_2 輸送抵抗の80%以上が境界層によるものと推定されている (Madsen 1984)。

本実験は1987年2月に舞鶴湾で採集したウミトラノオの生体 (長さ30-50 cm) の主枝を用いて行い、海水の流れが光合成による酸素発生速度に及ぼす影響を調べた。内径3 cm, 長さ70 cmの同化パイプの中に

サンプルを固定し、流入海水と流出海水の溶存酸素 (D.O.) 濃度の差から酸素発生速度 (P) を次式により求めた (Gao 1989)。

$$P = (A - B) \times F \times 60 \times 1/W$$

ここに、A と B はそれぞれ流出海水と流入海水の D.O. 濃度であり、F は流量 ($l \text{ min}^{-1}$)、W はサンプルの乾燥重量 (85°C, 24時間) である。海水は舞鶴湾から汲み上げた天然海水を砂と活性炭で濾過したものを使用し、その水温は海と一致し 10°C であった。光合成による酸素発生は、 $960 \mu\text{E m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ の光強度下 (発熱電球, 110 V, 150 W) で測定した。ウミトラノオ

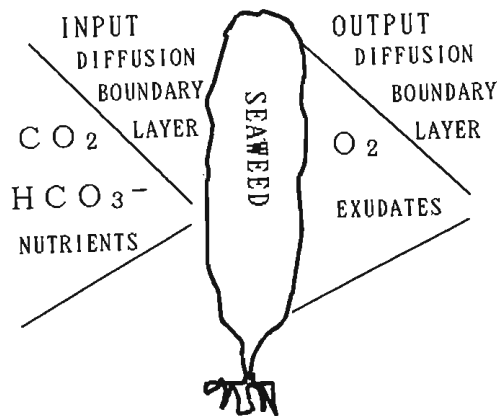


Fig. 1. Illustration of input and output diffusion boundary layers near the surface of seaweeds. The width between the oblique lines indicates the thickness of input or output diffusion boundary layer.

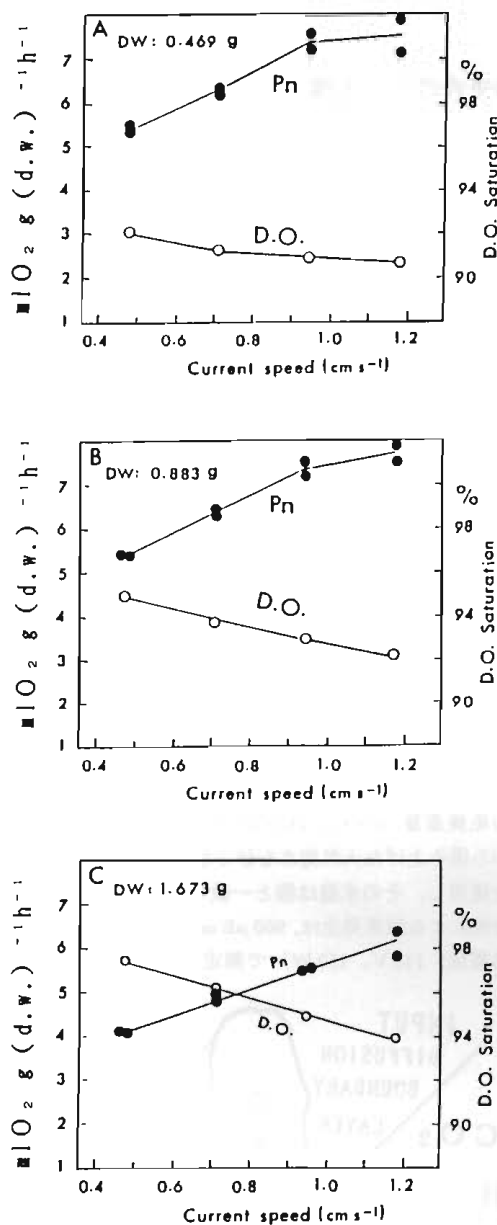


Fig. 2. Relationships of light-saturated photosynthetic oxygen evolution of *Sargassum thubergii* adult plants and D.O. saturation of outflowing seawater to the current speed in the pipe with different amounts (dry weight, D.W.) of samples (A: 4, B: 6, C: 8 plants). Measured on February 6, 1987.

の光合成は、この光強度下で飽和し、強光阻害は見られなかった (Gao 1989)。

Fig. 2 に示すように、流速 $0.5 \sim 1.0 \text{ cm s}^{-1}$ の範囲で

Table 1. Photosynthetic oxygen evolution [$\text{ml O}_2 \text{ g (d.w.)}^{-1} \text{ h}^{-1}$] at varied seawater current speeds and D.O. saturations in *S. thubergii* adult plants.

Current speed (cm s^{-1})	D.O. saturation, %		
	91 ± 1	94 ± 1	98 ± 1
0.47	5.45	5.40	5.55
0.71	6.25	6.35	6.26
0.94	7.40	6.43	6.48
1.18	7.60	6.10	6.73

Table 2. ANOVA of oxygen evolution as a function of seawater current speed (CS) and D.O. saturation.

Source	df	SS	MS	F
D.O.	2	0.773	0.387	2.38
CS	3	3.518	1.173	7.23*
Error	6	0.975	0.163	
Total	11	5.266		

* Significant at 0.05 level.

は流速の増加に伴って流出海水の酸素飽和度は直線的に低下したが、ウミトラノオの光飽和酸素発生速度はほぼ直線的に増加した。流速が2倍になると酸素発生速度は30~40%増加した。また、酸素発生速度はサンプルの量が少ない場合 (Fig. 2A, B) には 10 cm s^{-1} 以上の流速で飽和するような傾向がみられた。酸素飽和度並びに海水の流速の変化によるウミトラノオの酸素発生速度の変動について分散分析 (ANOVA) を行ったところ (Table 1, 2), 酸素発生速度に対する酸素飽和度の変化の有意な影響は認められなかったが、海水の流速の影響は有意であった ($P < 0.05$)。

ウミトラノオの幼体と成体 (主枝) について同じ時期 (1987年2月) に同じ光源を用い、同じ測定手法 (流速 0.7 cm s^{-1}) で測定した光飽和酸素発生速度を比較したところ (Table 3), 平均値では成体の主枝の方が

Table 3. Comparisons of light-saturated photosynthetic oxygen evolution rates [$\text{ml O}_2 \text{ g (d.w.)}^{-1} \text{ h}^{-1}$] between juvenile and adult plants of *Sargassum thubergii*.

Juvenile plants	Adults plants (main branch)
5.5 ± 0.5	5.87 ± 0.70
(n=3, Feb. 4) ^a	(n=6, Feb. 6) ^b

Dry weight of samples (a, 6; b, 18 individual plants) used in the pipe: a, 0.797 g; b, as indicated in Fig. 2.

幼体より高かったが、t-testの結果では有意差は認められなかった($P > 0.05$)。暗所での酸素消費速度についても比較したが(流速約 0.5 cm s^{-1})、幼体と成体の差は認められず、約 $0.4 \text{ ml O}_2 \text{ g (d.w.)}^{-1} \text{ h}^{-1}$ であった。

Wheeler (1980)によれば、ジャイアントケルプ *Macrocystis pyrifera*の光合成による酸素発生速度は、密閉容器内の海水の回転速度の増加に伴って増加した。また、藻体の表面に乱流か層流が存在することによって境界層の厚さも大きく変化し、それによって光合成速度も変化することが指摘されている(Wheeler 1980)。藻体の表面に乱流か層流が形成されるのは、海水の流況だけでなく海藻の形態にも左右されると考えられる。前報(Gao and Umezaki 1989)ではウミトラノオの幼体(10月)を用いて測定したが、本実験と同じ流速範囲では流速の変化に伴う酸素発生速度($1000 \mu\text{E m}^{-2} \text{ s}^{-1}$, 16°C)の変化は認められなかった。ウミトラノオの幼体は広皮針形の初期葉を持つが、成体は線形の葉を主枝また側枝にいっぱい付けている。このような成体と幼体の形態的な違いによって海水の流れに差が生じ、それがウミトラノオの光合成による酸素発生速度に異なるインパクトを与えたものと考えられる。

謝 辞

本報告の原稿は東京水産大学の有賀祐勝教授に読んで頂いた。本文のデータは博士論文の一部であり、京都大学大学院農学研究科博士課程において同大学の梅崎 勇教授と有賀祐勝教授にお世話になった。ここに厚くお礼を申し上げる。

文 献

- Gao, K. 1989. Studies on Photosynthesis of *Sargassum* Plants. Doctoral Thesis, Kyoto University.
- Gao, K. and Umezaki, I. 1989. Studies on diurnal photosynthetic performance of *Sargassum thunbergii* I. Changes in photosynthesis under natural sunlight. *Jpn. J. Phycol.* 37: 89-98.
- Madsen, T. V. 1984. Resistance to CO_2 fixation in the submerged aquatic macrophyte *Callitriche stagnalis* Scop. *J. Exp. Bot.* 35: 338-347.
- Wheeler, W. N. 1980. Effect of boundary layer transport on the fixation of carbon by the giant kelp *Macrocystis pyrifera*. *Mar. Biol.* 56: 103-110.

(530 大阪市北区中崎西2丁目3-39

関西総合環境センター)