

【研究論文】

三河湾三谷町地先におけるアマモの光合成特性

吉田 司*1・芝 修一*1・前川 行幸*2
阿部 真比古*2・鈴木 輝明*3・高倍 昭洋*4

Photosynthesis Characteristics of *Zostera marina* L.
at the Coast of Miya in Mikawa Bay, Aichi Prefecture, Japan

Tsukasa YOSHIDA*1, Syuichi SIBA*1, Miyuki MAEGAWA*2, Mahiko ABE*2,
Teruaki SUZUKI*3 and Teruhiro TAKABE*4

Abstract

Zostera marina L. form dense populations on shallow sandy and muddy bottoms in inner bay areas, and play important roles from ecological and fisheries points of view. In this study, photosynthesis characteristics of *Z. marina* were examined under several light intensity and the water temperature conditions, and the daily net production was estimated. Samples were collected from Miya in Mikawa Bay, Aichi Prefecture, Japan. Photosynthesis and dark respiration rates were measured under various light intensity and *in situ* temperature condition using a product meter and oxygen electrode system. *Z. marina* showed high light-saturated net photosynthetic rates ($1.5\sim 7.6\text{mgO}_2\text{gd.w.}^{-1}\text{h}^{-1}$). Dark respiratory rate of *Z. marina* was between 0.4 and $3.5\text{mgO}_2\text{gd.w.}^{-1}\text{h}^{-1}$. I_k values and compensation points ranged from 88 to $129\mu\text{mol m}^{-2}\text{s}^{-1}$ and from 13 to $111\mu\text{mol m}^{-2}\text{s}^{-1}$, respectively. Daily net production of *Z. marina* was estimated from the model equation of photosynthesis-light curve and the data on light intensity sampled in *Zostera* bed. High dark respiratory rate and low light intensity in the population lead to low net production, and result in withering and loss during the early summer season.

1. はじめに

アマモ *Zostera marina* L. は、比較的静穏な砂泥質の海底にアマモ場と呼ばれる大きな群落を形成する。アマモ場は沿岸域最大の一次生産者として、また、形成されたアマモ場の立体的な空間は、水生生物に隠れ家や生息場などを提供するとともに、食物網を通じて豊富な餌料環境を造り、沿岸とその周辺海域の漁業資源を基盤から支える重要な生態系となっている^{1,2)}。しかし、近年、アマモ場の減少が報告³⁾されており、海域環境の保全や漁

場開発のためのアマモ場造成が進められている⁴⁾。

効果的なアマモ場の造成や保全は、この生態系の機能を維持し、あるいは拡大させることにあり、各所でアマモの生育と分布を制限する環境因子などの生態的知見の集積が求められている。三河湾では透明度とアマモ場面積の推移は一致しており、水質の悪化による透明度の低下が干潟・浅場域底面への光量不足を招き、アマモの生育可能域が減少したことが、アマモ場の減少の大きな一因とされている⁵⁾。そこで、アマモ場の造成や保全を図るために、生物生産の基礎となるアマモの光合成特性を

2005年6月27日受付, 2005年9月22日受理

キーワード: アマモ, 光合成, 生産量

Key words: *Zostera marina* L., Photosynthesis, Production

*1 Chateau Marine Survey Co., Ltd. 1-4-2, Katamachi, Miyakojima, Osaka 534-0025, Japan. (株式会社シャトー海洋調査 〒534-0025 大阪市都島区片町1-4-2)

*2 Faculty of Bioresources, Mie University. 1515, Kamihama Tsu, Mie 514-8507, Japan. (三重大学生物資源学部 〒514-8507 三重県津市上浜町1515)

*3 Marine Resources Research Center Aichi Fisheries Research Institute, 2-1, Toyohama, Minamichita-cho, Chita-gun, Aichi 470-3412, Japan. (愛知県水産試験場漁業生産研究所 〒470-3412 愛知県知多郡南知多町豊浜2-1)

*4 Research Institute of Meijo University, 1-501 Siogamaguchi, Tenpaku, Nagoya 468-8502, Japan. (名城大学総合研究所 〒468-8502 名古屋市天白区塩釜口1-501)

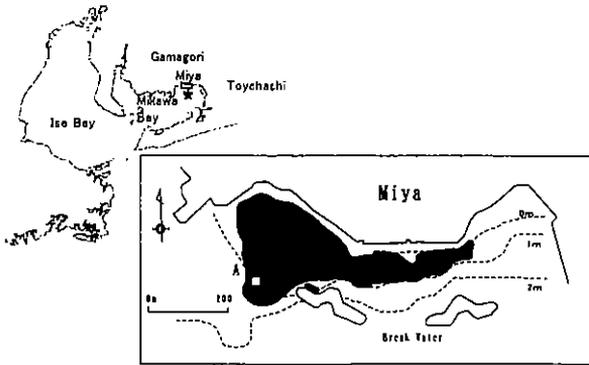


Fig. 1 Research location in the *Zostera* bed at Miya in Mikawa Bay.

A : Sampling site of *Z. marina* plants and light quantum meter was set here. Diagonally shaded part shows the seagrass bed area.

★ : Site of the auto-observation No.1 buoy of the institute.

三河湾，蒲都市，三谷町地先の現存藻場で調査・研究を行った。

沿岸生態系の基盤となるアマモの生長や生産および、繁殖は、光合成により生産された有機物をもとに営まれている。そのため、アマモの分布や有機物生産の主な制限要因となる光合成と光条件との関連を明らかにし、アマモの光合成特性および純生産量を求めることは重要となる。アマモの純生産量の推定には、アマモの生長様式を明らかにするとともに、群落内での光環境と光合成や呼吸速度を正確に測定する必要がある。これまで、アマモの光合成や呼吸速度の測定には葉切片が用いられてきたが⁶⁾、維管束植物であるアマモを切断することによるストレスは大きいものと考えられる。そこで、アマモを傷つけること無く、シュート全体を収納して光合成、呼吸速度が測定できる半閉鎖循環型アマモ光合成測定装置を作成し、光合成速度を測定した。また、得られたアマモの光合成—光特性が、現地の物質生産にどのように反映しているのかを明らかにしようとした。

2. 調査方法

1) アマモ場の環境

アマモの光合成速度測定時の水温、塩分は、Fig. 1に示した愛知県水産試験場が観測する三河湾、蒲郡沖自動観測ブイ（1号、センサーは水深-3.5mの浮動式）の2000年10月から2001年6月までのデータを参考とした。

水中光量の測定は、三河湾、蒲都市、三谷町地先のアマモ場の定点A（北緯34°48.1′東経137°15.4′、Fig. 1）にメモリー式光量子計（MPQ-1 三洋測器社製）をD.L.（基本水準面、以下同様）-1.0mの位置に設置し、2001年2、5、6月に1ヶ月間の連続観測を行った。いずれの観測も10分間ごとに1秒間隔で5回観測し、その平均値を光量子束密度（ $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ ）とした。

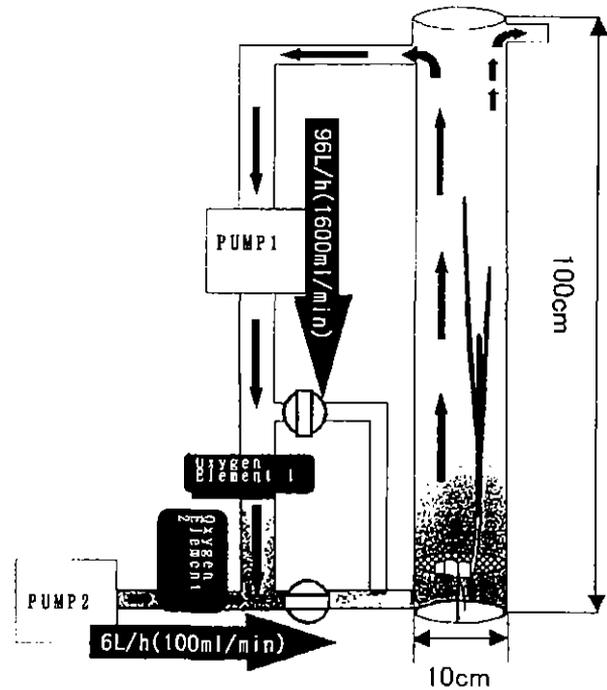


Fig. 2 Diagram of the chamber used for photosynthesis measurements.

The wall, top and bottom of the chamber were constructed of clear acrylic.

2) アマモの現存量

定点A付近において、2000年10、12月および2001年2月から6月まで1ヶ月ごとに、スキューバ潜水により、0.5×0.5mの方形枠内のアマモを採取し、株数、地上部と地下部の乾燥重量を測定した。各部位の乾燥重量は60℃で48時間送風乾燥させて求めた。

3) アマモの光合成速度

異なる光条件におけるアマモ草体の光合成速度（単位時間当たり酸素発生量）の測定は、幼草体の生長が盛んな2001年2月、現存量が最大となる5月および現存量が減少し始める6月に行った。

測定には、定点A付近から2月に採取した幼草体（平均草体長24cm、1株あたり平均地上部湿重量0.72g）を6株用い、栄養株については5月（平均草体長80cm、1株あたり平均地上部湿重量3.40g）と6月（平均草体長69cm、1株あたり平均地上部湿重量2.80g）にそれぞれ3株ずつ用いた。

幼草体は、光条件を0、12.5、25、50、100、200、400、800 $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ の8段階に設定し、プロダクトメーター（差働式検容計⁷⁾により草体全体の光合成速度を測定した。プロダクトメーターの反応容器は幼草体がすべて収まるように60mlの培養ビン型を用いた。反応容器のまわりのウォータージャケットは恒温水循環装置（TAITEC CL-150R）を用いて一定水温の水を流し、反応槽内の水温が約6℃（2月の現地平均水温）になるように調整した。



Fig. 3 Photo of vertical circulating water channel on lighting device.

Tank section 7.9×1.5×1.5m, equipped with 20 halogen lamps of 250W, and 20 metal halide lamps of 150W.

栄養株は、DOメーターを用いた半閉鎖型アマモ光合成測定装置 (Fig. 2) により 1 株あたりの光合成速度を測定した。この装置は、アマモ 1 株を収容した円筒型の同化筒 (直径 10cm, 長さ 100cm, 容量約 8 L) を通過した海水の溶存酸素濃度 (酸素電極 1; YSI 社製) と外部からの新鮮な海水の溶存酸素濃度 (酸素電極 2; YSI 社製) を 1 秒間隔で測定し、パーソナルコンピュータに記録させる。装置内の海水はポンプ 1 と 2 (20W, REI-Sea 社製) により循環させた。

アマモ 1 株あたりの光合成速度は、次式から求め、単位重量 (g) あたりの光合成速度に換算した。

$$P = \frac{(D_1 - D_2)}{t} \times R_2 \quad \dots\dots(1)$$

P : アマモ 1 株あたりの光合成速度 ($\text{mgO}_2 \text{ h}^{-1}$)

$D_{1,2}$: 酸素電極 1 と 2 における酸素濃度 (mg/l)

t : 反応時間 (h)

R_2 : ポンプ 2 での流量 (l/h)

本装置 (Fig. 2) によるアマモの光合成速度の測定は、照明装置 (ハロゲンランプ, 250W, 20個とメタルハライドランプ, 150W, 20個) を、愛知県水産試験場の回流水槽実験装置 (Fig. 3, 水槽部 7.9×1.5×1.5m) 内に設置して行った。

光条件は、水槽の底面から +50cm の水中光量が 0, 50, 100, 200, 300 $\mu\text{mol m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ になるように照明を調整した。水槽内の照明による水温の上昇を避けるために緩やかに海水を回流 (流速 0.03m/s) させ、水温を約 20°C (5 月, 6 月の現地平均水温) に維持した。アマモ場の定点 A と回流水槽の照明装置のスペクトル特性は水中分光放射照度計 (LI-COR, Li-1800) により確認した。

アマモの光合成特性を検討するため、さまざまな光強度で光合成および呼吸速度を測定し、光合成—光曲線を作成して、光飽和光合成速度 (P_{max}), 呼吸速度 (R), 光

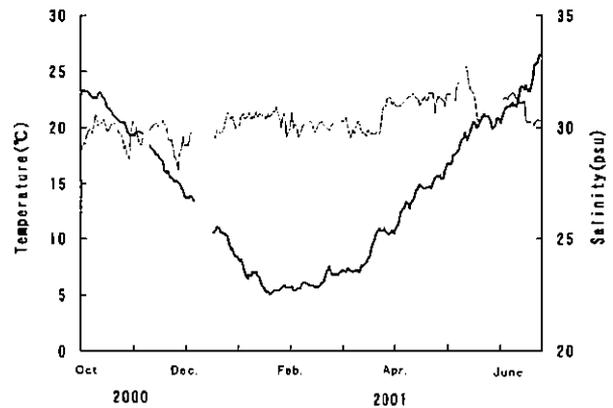


Fig. 4 Seasonal changes of water temperature (thick line) and salinity (thin line) from October 2000 to June 2001.

補償点 (I_c), 光合成飽和光合成速度での光量子束密度 (I_k), 立ち上がり勾配, 好適光量子束密度 (I_{opt}) を求めた。また、光合成—光曲線は、アマモの純光合成速度 (P ; 光合成速度から呼吸速度を差し引いた値) を光強度の関数として表した次式⁸⁾により近似し、モデル化した。

$$P = P_{\text{max}} \left[1 - e^{-\frac{\alpha E_d}{P_{\text{max}}}} \right] - R \quad \dots\dots(2)$$

P : 純光合成速度 ($\text{mgO}_2 \text{ g.d.w.}^{-1} \text{ h}^{-1}$)

P_{max} : 光飽和光合成速度 ($\text{mgO}_2 \text{ g.d.w.}^{-1} \text{ h}^{-1}$)

α : 定数

E_d : 光量子束密度 ($\mu\text{mol m}^{-2} \text{ s}^{-1}$)

R : 呼吸速度 ($\text{mgO}_2 \text{ g.d.w.}^{-1} \text{ h}^{-1}$)

1 日あたりの純生産量は、2 月の幼草体, 5 月および 6 月の栄養株ごとに求めた(2)式に、2002 年 2 月, 5 月, 6 月の草体が受ける平均的な光量子束密度 (定点 A: D.L. - 1.0m で 10 分間ごとに観測された各時刻の月平均値) を代入して求めた純光合成速度の日周変動を積分して求めた⁹⁾。

3. 結 果

1) アマモ場の環境

(1) 水温・塩分

蒲郡沖 1 号ブイにおける 2000 年 10 月から 2001 年 6 月までの水温と塩分の経時変化を Fig. 4 に示した。

水温は、5.1~26.5°C の範囲にあり、2 月は 5~7°C, 5 月は 15~20°C, 6 月は 20~26°C を示した。塩分は、28~32psu の範囲にあり、3 月から 5 月にはほぼ 30psu 以上となった。

(2) 水中光量

2001 年 2 月, 5 月と 6 月のアマモ場内の D.L. - 1.0m (Fig. 1, 定点 A) における水中光量の光量子束密度の日変化を Fig. 5 に示した。光量子束密度は、5 月の南中時に最も高く 430.2 $\mu\text{mol m}^{-2} \text{ s}^{-1}$, 次いで 2 月には

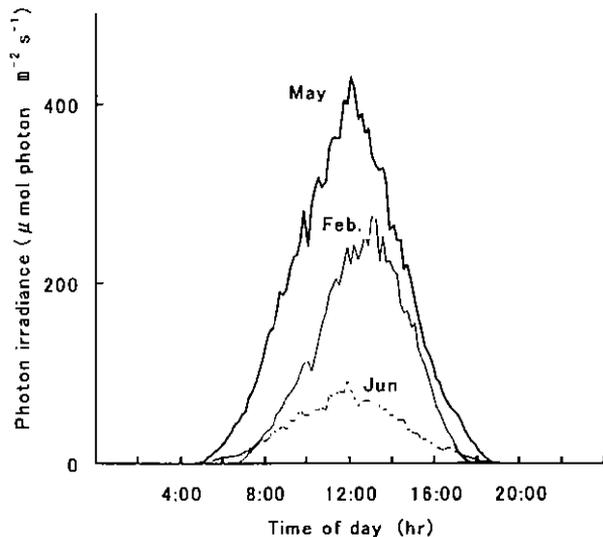


Fig. 5 Diurnal changes in estimated photon irradiance of *Z. marina* in the seagrass bed at D.L. -1.0m.

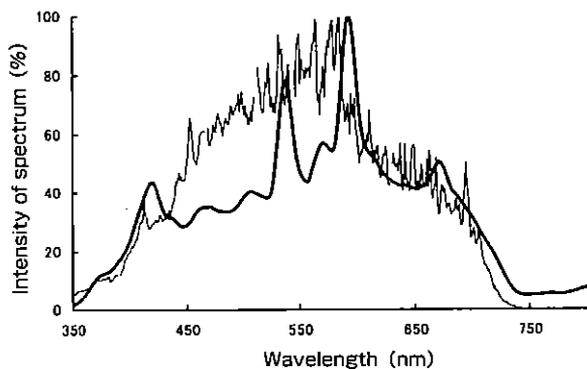


Fig. 6 Intensity of spectrum in the seagrass bed (thick line) and in the vertical circulating water channel using the lighting device (thin line).

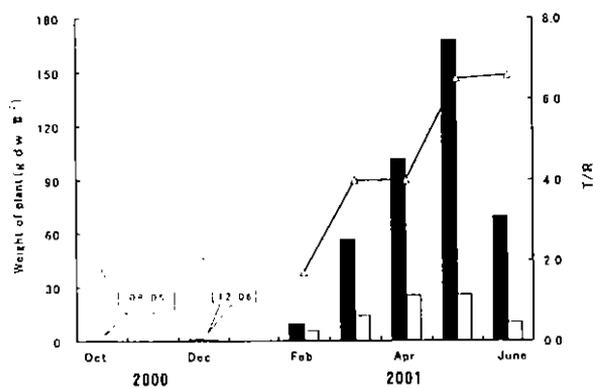


Fig. 7 Seasonal change of weight of *Z. marina* plants. ■, shoot biomass (T); ▨, rhizome biomass (R); -△-, T/R rate

$271.1 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ となった。6月は頻発する赤潮の発生により、他の月に比べて低い値となった。

アマモ場と回流水槽の照明装置の光スペクトルを Fig. 6 に示した。回流水槽の照明装置は、波長415~420nm, 535~540nm, 590~595nmおよび670nm付近にエネルギーの卓越する領域がみられ、500nm以下の領域で、アマ

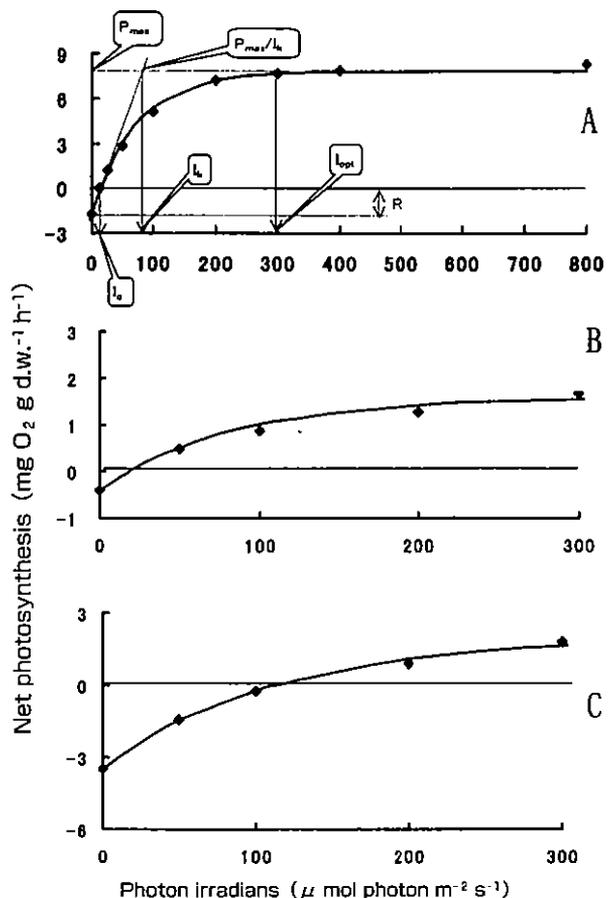


Fig. 8 Photosynthesis-light curves of *Z. marina* in February (A), May (B) and June (C) 2001.

モ場より相対光子束密度が低い傾向を示すものの、主な波長域は、350~750nmの範囲にあり、光合成有効波長域を満足していた。

2) アマモの現存量

2000年10月から2001年6月までの 1m^2 あたりのアマモの地上部乾燥重量(T)と地下部乾燥重量(R)および T/R を Fig. 7 に示した。

アマモの地上部は、2000年10月に 0.8gd.w.m^{-2} (株数は200株, g-dry weightをgd.w.と略す。以下同様)を示し、2001年5月には 168.0gd.w.m^{-2} (株数は380株)となり、6月には 69.6gd.w.m^{-2} (株数は192株)に減少した。地下部は、2000年10月に 0.4gd.w.m^{-2} を示し、2001年4月には 25.4gd.w.m^{-2} で、5月にはほとんど増加はみられず、6月には 10.6gd.w.m^{-2} となった。 T/R は、2000年10月から2001年2月には1.7~2.0を示し、2月、4月には4.0と倍増した。5月には6.5となり、6月には6.6とほとんど変化しなかった。三河湾、三谷町地先のアマモは、地下部に比べて、地上部が多い現存量を示しながら推移した。

3) アマモの光合成速度

2月の幼草体の $0\sim 800 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ の光子束密度における光合成速度を Fig. 8-A に、5月と6月の栄養株の $0\sim 300 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ の光子束密度における光合

Table 1 Parameters of the photosynthesis-light curves of *Z. marina* determined in February, May and June 2001.

	P_{max}	R	I_k	P_{max}/I_k	I_c	I_{opt}
Feb.	7.7	1.7	88	0.086	13	300
May	1.5	0.4	93	0.016	18	300
June	1.6	3.5	129	0.012	111	300

P_{max} and R in : $\text{mgO}_2 \text{gd.w.}^{-1} \text{h}^{-1}$, I_c , I_k and I_{opt} in : $\mu \text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$

成速度を Fig. 8-B, C に示した。光合成—光曲線は、幼草体では $800 \mu \text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ まで、栄養株では $300 \mu \text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ の範囲で強光阻害は認められない飽和型の曲線となった。

光合成—光曲線から得られたパラメータを Table 1 に示した。2月の幼草体の光飽和光合成速度 (P_{max}) は、 $7.6 \text{mgO}_2 \text{gd.w.}^{-1} \text{h}^{-1}$ を、呼吸速度 (R) は、 $1.7 \text{mgO}_2 \text{gd.w.}^{-1} \text{h}^{-1}$ であった。光補償点 (I_c) は $13 \mu \text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ となった。5月と6月の栄養株の光飽和光合成速度は、 $1.5 \text{mgO}_2 \text{gd.w.}^{-1} \text{h}^{-1}$ と $1.6 \text{mgO}_2 \text{gd.w.}^{-1} \text{h}^{-1}$ を、呼吸速度は5月には $0.4 \text{mgO}_2 \text{gd.w.}^{-1} \text{h}^{-1}$ となった。6月の呼吸速度は $3.5 \text{mgO}_2 \text{gd.w.}^{-1} \text{h}^{-1}$ と高く、光飽和光合成速度を上回った。光補償点は5月では $18 \mu \text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ であり、6月には $111 \mu \text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ と高い値を示した。光飽和光合成速度での光量子束密度 (I_k) は2月の幼草体で $88 \mu \text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ を示し、5月、6月に上昇した。立ち上がり勾配は逆に 0.086 から 0.012 へと低下した。好適光量子束密度 (I_{opt}) は幼草体、栄養株のいずれも $300 \mu \text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ であった。

アマモの純光合成速度の日周変動を Fig. 9 に、1日あたりの純生産量を Fig. 10 に示した。純光合成速度は、各月とも南中時付近の時間帯で高く2月の幼草体で $7.6 \text{mgO}_2 \text{gd.w.}^{-1} \text{h}^{-1}$ 、次いで5月の栄養株で $1.6 \text{mgO}_2 \text{gd.w.}^{-1} \text{h}^{-1}$ となった。6月は最大光合成速度を呼吸速度が上回ったことから純光合成速度はマイナスとなった。1日あたりの純生産量は、2月の幼草体では、 $28.6 \text{mgO}_2 \text{gd.w.}^{-1} \text{d}^{-1}$ 、5月の栄養株では $9.6 \text{mgO}_2 \text{gd.w.}^{-1} \text{d}^{-1}$ 、6月では $-64.5 \text{mgO}_2 \text{gd.w.}^{-1} \text{d}^{-1}$ となった。

4. 考 察

三河湾、三谷町地先のアマモの多くは、発芽後半年程度で生殖株を発達させて開花、結実する。さらに6月からの赤潮の発生などによる水中光量の低下、夏季の高水温、底質の還元化により、草体は越冬することなくほとんどが枯死、流失する¹⁰⁾。このように、本海域のアマモは、1年生の特徴が強く、種子による有性繁殖を主体として維持されていることがうかがわれた。1年生アマモでは地下茎が短く、ほとんどない場合もある¹¹⁾。本海域のアマモの地上部 (T) と地下部 (R) の比 (T/R) は、生育

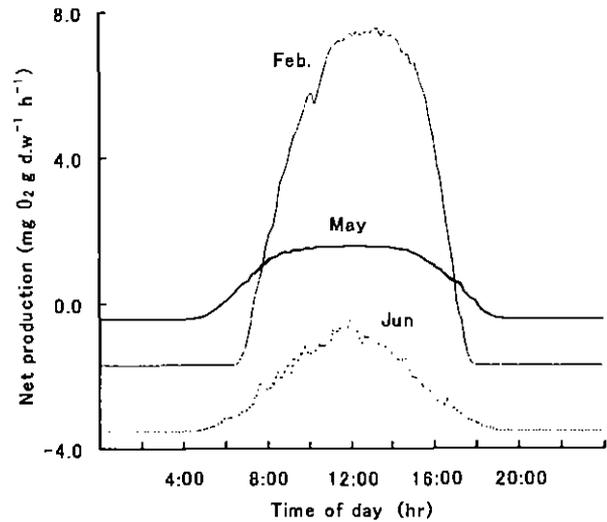


Fig. 9 Diurnal changes in estimated net photosynthesis of *Z. marina* in the seagrass bed at D.L. -1.0m.

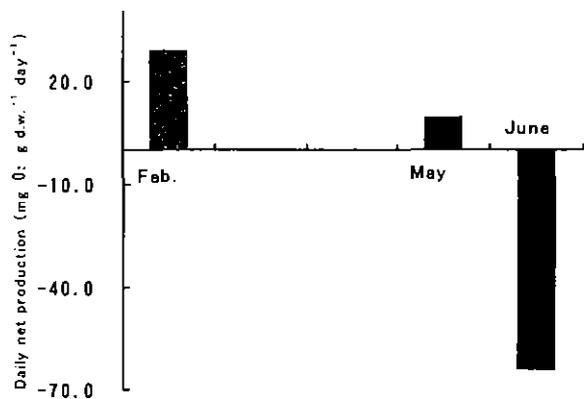


Fig. 10 Estimated daily net production of *Z. marina* in the seagrass bed at D.L. -1.0m.

期間を通じて1を上回っており、1年生アマモの特徴を示した。また、本海域のアマモ場の地上部と地下部を含めた現存量は、 $1.2 \sim 194.0 \text{gd.w.m}^{-2}$ で、国内外のアマモの現存量 ($70 \sim 1016 \text{gd.w.m}^{-2}$)¹²⁾ と比較して少ない。

三河湾三谷町地先のアマモの光合成—光曲線から求めた光飽和光合成速度 (P_{max}) は、2月の幼草体では $7.6 \text{mgO}_2 \text{gd.w.}^{-1} \text{h}^{-1}$ を示し、草体を盛んに生長させる。5月には光合成部位の現存量が最高となるが光飽和光合成速度 $1.5 \text{mgO}_2 \text{gd.w.}^{-1} \text{h}^{-1}$ に低下する。光補償点 (I_c) は、2月には $13 \mu \text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ 、5月には $18 \mu \text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ 、6月には $111 \mu \text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ を示した。補償光度は呼吸と立ち上がり勾配によって決まり、6月の高い光補償点は高い呼吸速度によるものであった。

三重県松名瀬海岸の多年生アマモ群落の光補償点は、水温 10°C には $6.89 \mu \text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ 、水温 20°C には $10.44 \mu \text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ 、 25°C には $13.67 \mu \text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ と水温 10°C で最も低く¹³⁾、オランダ内湾の多年生アマモの光補償点は、3月には $28.3 \mu \text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ 、8月には $47.3 \mu \text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ 、10月には $18.5 \mu \text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ と10月で最も低く、立ち上がり勾配は10月に最高とる¹⁴⁾。このようにアマモ

の光合成特性には、生活環および環境の変化に伴い大きく変化する。また、既往知見との比較から地域的にも変化する可能性が示唆された。

1日あたりの純生産量は、2月に最も高く、5月は2月の1/3程度となった。6月には赤潮などによりアマモ場内の光量子束密度が光補償点を下回り、純生産量はマイナスとなり、主に水中光量の不足がアマモの枯死・流失を早める原因にもなったと考えられた。三重県松名瀬海岸の多年生アマモ群落においても、アマモ群落に到達する光量が、アマモの生育水深を決定する重要な要因の一つである¹³⁾としており、水中の光量は、アマモ群落の成立、枯死、流失に大きく関与しているものと考えられた。

幼草体が生長するためには、光補償点以上の光量を受ける必要がある。したがって、幼草体の生育限界を正確に推定するためには、光補償点付近の弱光環境での詳しい光合成速度の測定が必要である。本装置により光合成および呼吸活性を詳しく測定することができ、この手法を用いることにより、物質生産・物質消費の視点からアマモの生態現象を解明することが可能となった。

今後は、アマモの生産量推定に影響を与える要因についての知見を集積し、推定される生産量の妥当性や地域的な特性についての検討が必要である。

5. ま と め

三河湾、三谷町地先のアマモは、1年生の特性を示し、種子による有性繁殖を主体として維持されていた。三河湾、三谷町地先のアマモの光合成—光曲線から求めた光飽和光合成速度 (P_{max}) は、2月の幼草体では $7.6 \text{ mg O}_2 \text{ gd.w.}^{-1} \text{ h}^{-1}$ 、生長した5月には $1.5 \text{ mg O}_2 \text{ gd.w.}^{-1} \text{ h}^{-1}$ 、光補償点 (I_c) は、2月には $13 \mu \text{ mol m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ 、5月には $18 \mu \text{ mol m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ 、6月には $111 \mu \text{ mol m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ を示した。その他の光合成パラメータにも生活環および環境変動に伴う変化がみられた。アマモの1日あたりの純生産量は、光合成—光曲線のモデル式とアマモ場の光強度のデータから見積もられ、群落に到達する光量および呼吸速度がアマモの1日あたりの純生産に大きく影響していた。

謝 辞

本研究の実施にあたって、適切なお指導をいただいた社団法人日本水産資源保護協会 原 武史博士に厚くお礼申し上げます。

参 考 文 献

- 1) 小松輝久：沿岸漁場環境 幼稚仔成育場の環境藻場・海中林、沿岸の環境圏。フジ・テクノシステム、東京、pp.407-419, 1998
- 2) 鈴木輝明・家田喜一：三河湾奥に存在するアマモ場内・外の魚類群集の相違。愛知県水産試験場研究報告, 10, pp.21-24, 2003
- 3) 環境庁自然保護局, (財)海中公園センター：第4回自然環境保全基礎調査。海域生物環境調査報告書(干潟, 藻場, 珊瑚礁調査) —藻場—, 2, 400p, 1994
- 4) 武田和也：三河湾の漁場環境の推移—干潟・浅場及び藻場を中心に—。総合郷土研究紀要, 50, pp.231-238, 2005
- 5) 前川行幸：アマモ場再生実験～英虞湾に適したアマモ移植～。第3回英虞湾の再生を考えるシンポジウム講演集, pp.16-19, 2003
- 6) 尾田 正：アマモの光合成活性測定に関する2, 3の実験。岡山水試研究報告, 14, pp.8-10, 1999
- 7) 横浜康継・前川行幸：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。藻類, 36, pp.29-36, 1988
- 8) W.L. Webb, Newton, D. Starr: Carbon dioxide exchange of *Alnus rubra* a mathematical model. Oecologia, 17, pp.281-291, 1974
- 9) M. Maegawa, W. Kida, Y. Yokohama and Y. Aruga: Comparative studies on critical light condition for young *Eisenia bicyclis* and *Ecklonia cava*. Jpn. J. Phycol, 36, pp.166-174, 1988
- 10) 吉田 司・芝 修一・小山善明・新井義昭・鈴木輝明：アマモ場造成に必要な生育環境条件に関する研究。水産工学, 40(3), pp.205-210, 2004
- 11) 今尾和正・伏見 浩：浜名湖におけるアマモの生態、特に1年生アマモの成立要因。藻類, 33, pp.320-327, 1985
- 12) 鈴木 款：海洋生物と炭素循環。東京大学出版会, p.193, 1997
- 13) M. Abe, N. Hashimoto, A. Kurashima, and M. Maegawa: Estimation of light requirement for the growth of *Zostera marina* in central Japan. Fish. Sci. 69, pp.890-895, 2003
- 14) B. Olesen, K. Sand-Jensen: Seasonal acclimatization of eelgrass *Zostera marina* growth to light. Mar. Ecol. Prog. Ser. 94, pp.91-99, 1993