

プロダクトメーターによって測定したアマモの光合成量の季節的変化

尾田 正

Seasonal Changes of Photosynthesis and Respiration of Eelgrass *Zostera marina*
measured by 'Productmeter'

Tadashi ODA

キーワード：アマモ，光合成，呼吸，季節的変化

アマモ *Zostera marina* はアマモ属アマモ科に属し，北半球を中心に内湾の浅海域の砂泥に生息する種子植物である。アマモ場は我が国においても北海道から九州沿岸に普遍的に見られ，魚介類仔稚魚の成育の場として，また水質浄化の場¹⁾として水産上重要な役割を果たしている。しかし，近年は埋め立てや生活排水，工場排水の汚染などにより全国で藻場が消滅してきている²⁾。特に瀬戸内海では多くの藻場が消滅しており，岡山県においては大正年代後期に約4,200haあったアマモ場は1977年の調査では675ha³⁾，'89年の調査では約575ha⁴⁾となり，大正年代の約1/7と激減した。

アマモ場の消滅あるいは減少は，埋め立てなどによる物理的，直接的な原因によるもの以外に光量不足，波浪による流失，底質環境の悪化など間接的な原因が考えられる。これらのうち水中光量の減少はアマモの光合成速度に影響し，光補償点以下になれば枯死してしまう。また光合成速度は光量以外に水温の影響を受け，高水温では呼吸速度が上昇し，光補償点が上昇すると考えられる。

地球温暖化の影響を受けて岡山県海域においても水温の上昇が報告⁵⁾されており，その影響がアマモの光合成速度に与える影響を明らかにするためにアマモの光合成速度と呼吸速度を毎月測定し，その季節的変化を調査した。

岡山県ではアマモ場の再生のために'77年からアマモ場造成に関する基礎的研究を始め，'98年から'01年まで(株)マリノフォーラム21と共同でアマモ場造成技術を確立するための調査研究を行った。その一環としてアマモ

生育の制限要因となっている光環境について明らかにする目的でアマモの純光合成速度を指標とした光要求量を調査した。報告にあたり，光合成速度の解析方法など有益な助言をいただいた(株)芙蓉開発，プロダクトメーターを用いた光合成測定方法について指導して下さった筑波大学下田臨海実験センター元教授横浜康継博士に厚く御礼申し上げます。

材料と方法

測定に供試したアマモは，岡山県水産試験場沖にある黒島の多年生アマモ場から採取したものをを用いた。D.L-0.3m付近に分布するアマモを地下茎と根を有するように採取し，当场に運搬後，流水式水槽に収容した。採取して1日以上経過した後，内側の若葉を地下茎から約15cm上方の葉状部を長さ約3cm(1.5~2.0cm²)になるように鋭利な刃物で切除した。葉片に付いた微小藻類等はティッシュペーパーにより拭き取った後，ビーカー内に1日静置し，光合成活性が安定してから測定を行った。

光合成測定は，筑波大学下田臨海実験センター横浜教授らが藻類の光合成や呼吸量を測定するために開発，改良⁶⁾した差動式検容計であるプロダクトメーター(日光科学社製)を用いた。光源はスライドプロジェクターランプを用い，光条件を0, 25, 50, 100, 200, 400 μ E/m²/sの6段階，温度条件を自然海水温と自然海水温 \pm 3℃の3段階に設定した。1条件当たり異なる4株の葉片を4台のプロダクトメーターで同時に測定した。

酸素発生量は反応容器に収容した葉片に光を当てて振

とうし、光合成活性が安定した後、5分毎に7回読みとり、最小二乗法でアマモ葉片の1時間当たりの純光合成速度 ($\mu\text{l/h}$) を求めた。得られた純光合成速度は以下の式に基づいて標準状態 (0°C , 1気圧) に補正した。

$$V = V_t \times 273 / (273 + t)$$

ただし、 V_t は室温 $t^\circ\text{C}$ で得られた純光合成速度 ($\mu\text{l/h}$) を示す。

測定した葉片は -80°C のフリーザ内に保管し、その後、乾燥重量とクロロフィル量を測定した。クロロフィル量は葉片を10mlのN, Nジメチルホルムアミド (DMF) に浸し、 -20°C の暗所に24時間放置した後、上澄み液を664及び630nmにおける吸光度 (A_{664} 及び A_{630}) を分光光度計を用いて測定した。クロロフィルa量は以下の式^{7,8)}を用いて求めた。

$$\text{クロロフィルa量 } (\mu\text{g/ml}) = 11.47A_{664} - 0.40A_{630}$$

測定は'98年12月から'99年11月まで毎月1回実施した。

結 果

葉片の固形物量 アマモ葉片の湿重量と乾燥重量の割合から求めた固形物量 (%) は冬期の1, 2月に最も高

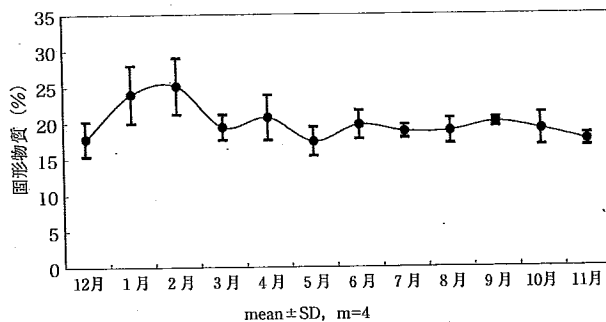


図1 葉片固形物量の季節的变化

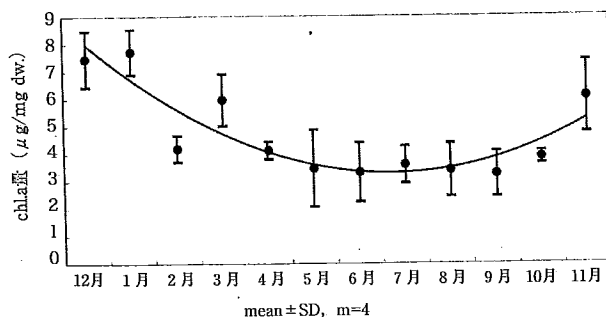


図2 葉片面積当たりのクロロフィルa量の季節的变化

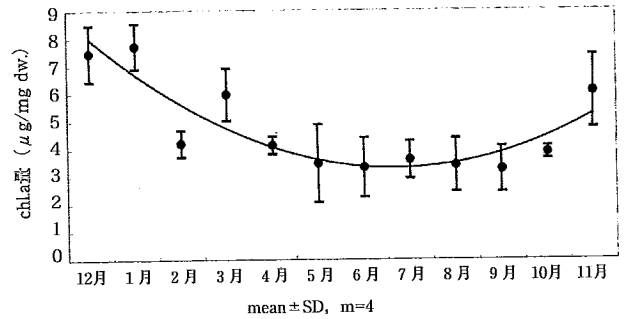


図3 葉片乾燥重量当たりのクロロフィルa量の季節的变化

く、25%近くにまでなったが、春から秋には約20%で変化はなかった (図1)。

クロロフィルa量 葉片面積当たりのクロロフィルa量は分枝期 (10~3月) に20~25 $\mu\text{g/mg dw.}$ と高く、伸長期 (4~6月) から衰退期 (7~9月) にかけては15~20 $\mu\text{g/mg dw.}$ と低くなった (図2)。また、乾燥重量当たりのクロロフィルa量の変化もほぼ同様であったが、5~9月は12, 1月の約半分量であった (図3)。これは、冬季においては日射量が春季や夏季に比べて減少することから、陰 (弱光) 適応し、細胞当たりのクロロフィルa量を増加させてIk (光合成速度の飽和開始光強度) を低くしているものと考えられる。

PI曲線 (光合成-光曲線) クロロフィルa量当たりの光合成速度 ($\mu\text{l}/\mu\text{g chl.a/h}$) は2月の 5.5°C のケースを除いていずれも光強度の上昇と共にはじめは直線的に増加するが、100 $\mu\text{E}/\text{m}^2/\text{s}$ を超えると対数曲線的な緩やかな増加を示した (図4)。

12~3月の低水温期においては200~400 $\mu\text{E}/\text{m}^2/\text{s}$ の増加は非常に緩やかで横ばい傾向にあることから、Ikは400 $\mu\text{E}/\text{m}^2/\text{s}$ 付近にあると考えられる。しかし、4~8月においては200~400 $\mu\text{E}/\text{m}^2/\text{s}$ まで増加が連続していることから400 $\mu\text{E}/\text{m}^2/\text{s}$ 以上にあると考えられる。すなわち水温上昇期から高温期にかけては光強度が上昇するほど光合成速度の増加は著しくなった。

各月の光合成速度は、総じて水温が高いほど増加する傾向を示した。また、光合成速度が最も小さかったのは低水温期の12~3月であったが、これは乾燥重量当たりのクロロフィルa量が多かったためにクロロフィルa量当たりの光合成速度が低い結果になったと考えられる。

水温を自然水温から $\pm 3^\circ\text{C}$ 上下させることにより、自然水温に比べて呼吸速度、純光合成速度ともに光量子数が増加すればするほど増加する傾向が認められた (図5)。

呼吸速度 0 $\mu\text{E}/\text{m}^2/\text{s}$ における光合成速度の絶対値

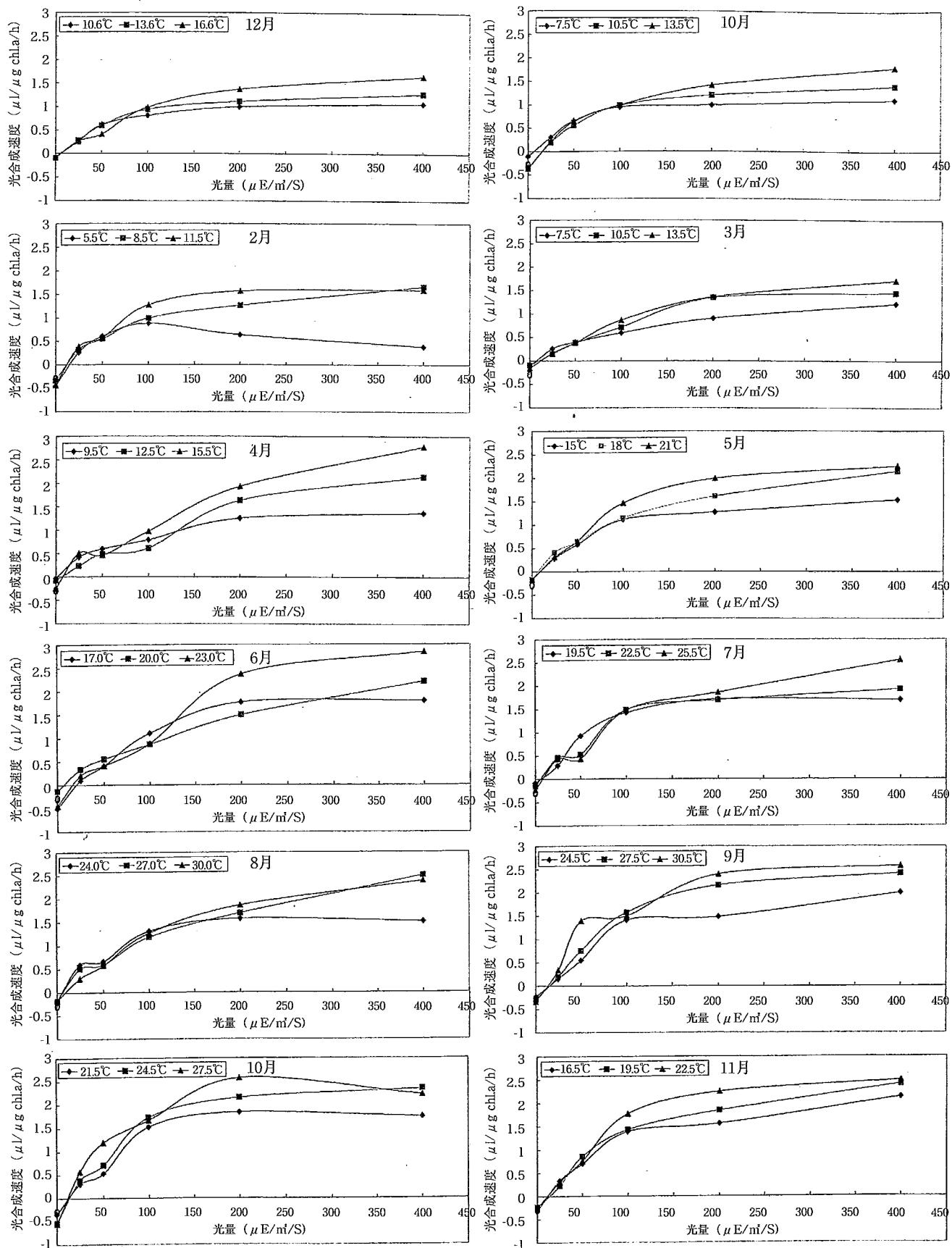


图4 光合成-光曲线季节的变化

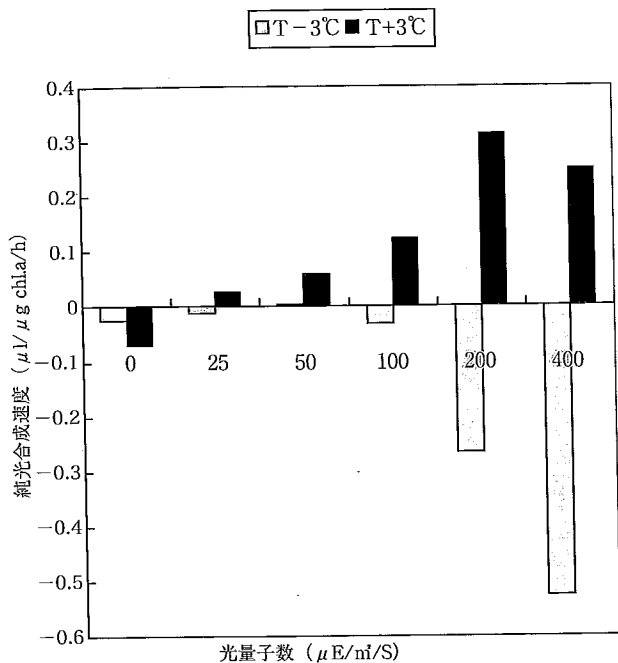


図5 自然水温 (T) ± 3°Cとした条件下における純光合成速度の変化
T時の値を基準 (0) として表にした

は呼吸速度を示しているが、高水温時に呼吸速度が大きくなる傾向は見られなかった (図6)。このことは、アマモは水温の季節的な緩やかな上昇と共にその環境に適応し、短時間の水温上昇でなければ呼吸速度や光合成速度は著しい増加をしないことを示していると考えられた。しかし、この点に関しては、 $0 \mu E/m^2/s$ の測定時に一部の葉片では細胞間隙から気泡が出た可能性や異常値を示した葉片があったために、精度に若干の問題が残った。

考 察

アマモの光合成に関する測定は多くの研究者達^{9,14)}によって報告されているが、1年を通じて毎月測定したのはDeninison¹⁵⁾の報告と本報告があるだけである。本実験と測定方法が異なることから、単純に比較することはできないが、Dennisonの報告では水温が高いほど呼吸速度が増加しているのに対し、本実験ではそのような傾向は認められなかった。また、川端¹⁰⁾、Abe etc.¹³⁾はプロダクトメーターを使用してPI曲線を求めており、それによればやはり水温の上昇とともに呼吸速度が増加している。これらの違いが生じた原因は不明であるが、本実験では低水温時や高水温時には呼吸速度が異常値を示したことが多かったことが結果的に水温と呼吸速度の関係を不明瞭にした、と考えられる。

純光合成速度はいずれの月においても $25 \mu E/m^2/s$ で

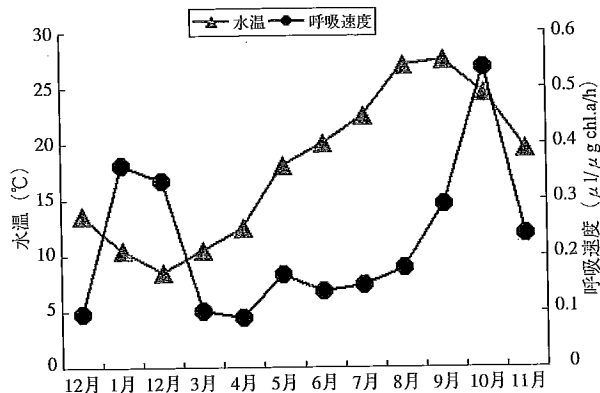


図6 呼吸速度の季節的变化

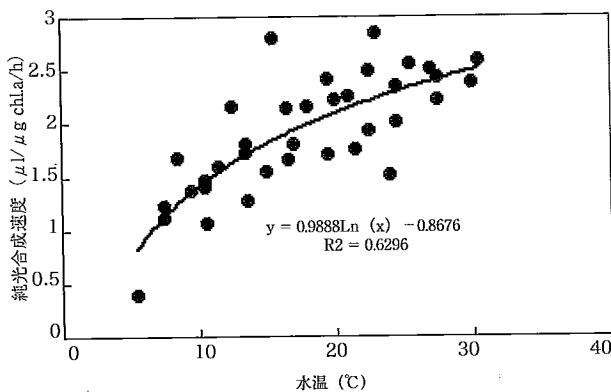


図7 飽和光量における水温と純光合成速度の関係

0を超えていることから、補償光量は $25 \mu E/m^2/s$ 以下であり、グラフから $10 \sim 20 \mu E/m^2/s$ であると考えられる。Dennison and Alberte⁹⁾は $20^\circ C$ において $10 \mu E/m^2/s$ 、川端¹⁰⁾は $20 \mu E/m^2/s$ としており、本実験と近い値であった。また、Abe etc.¹³⁾は根茎をつけた若いアマモ全体を用いて測定し、 $20^\circ C$ で $10.44 \mu E/m^2/s$ と報告しており、本実験より若干低い値となっているが、このことは根茎も呼吸していることから低い値となったものと考えられた。

ほぼ飽和光量と考えられる $400 \mu E/m^2/s$ における純光合成速度は水温が高いほど高くなり (図7)、水温 $10^\circ C$ では約 $1.5 \mu l/\mu g chl.a/h$ 、水温 $20^\circ C$ では約 $2.0 \mu l/\mu g chl.a/h$ 、水温 $30^\circ C$ では約 $2.5 \mu l/\mu g chl.a/h$ となり、川端¹⁰⁾の結果とは異なった。異なった原因は本実験が月毎にサンプルを採取しているために、サンプルが季節の弱光条件、強光条件に対して陽-陰適応をしていることによるものと思われた。

Dennison and Alberte⁹⁾は $20^\circ C$ における飽和光量を $100 \mu E/m^2/s$ としているのに対し、本実験や川端の実験ではそれよりも高くなった。

アマモはそれぞれの分布場所の環境に適応して光合成を行っており、同一海域でも浅所と深所に生えているア

マモにおいても光合成特性は異なる⁹⁾ことからアマモ場の造成を行うに当たっては、当該海域の環境条件やアマモの生理特性を十分に把握する必要があると考えられる。

文 献

- 1) 倉敷市大島地先アマモ場環境調査委員会, 1994: 倉敷市大島地先アマモ場環境調査学術報告書, 1 - 83.
- 2) 相生啓子, 1998: 日本の海藻—植物版レッドリストより—, 海洋と生物, 114, 7 - 12.
- 3) 岡山県, 1979: 岡山県沿岸海域の藻場調査—藻場の分布について—, 77 - 101.
- 4) 環境庁・働海中公園センター, 1994: 第4回自然環境保全基礎調査, 海域生物環境調査報告書, 第2巻藻場, 400pp.
- 5) 藤沢邦康・小橋啓介・林 浩志, 2002: 備讃瀬戸及び播磨灘における水温経年変化について, 岡山水試報, 17, 87 - 90.
- 6) 横浜康継・片山 康・古谷庫造, 1986: 改良型プロダクトメーター (差働式検容計) とその海藻の光合成測定への応用, 藻類, 34, 37 - 42.
- 7) Speziale.B.J., Schreiner.S.P., Giammetteo.P.A., and Schindler.J.E., 1984: Comparison of N, N - dimethylformamide, dimethyl sulfoxide and acetone for extraction of phytoplankton chlorophyll, *Can.J.Fish.Aquat.Sci.* 41, 1519 - 1522.
- 8) Henley.W.J.and Dunton.K.H., 1995: A seasonal comparison of carbon, nitrogen, and pigment content in *Laminaria solidungula* and *L. saccharina* (Phaeophyta) in the Alaskan Arctic, *J.,Phycol.*31, 325 - 331.
- 9) Dennison.W.C.and Albert.R.S., 1985: Role of light period in the depth distribution of *Zostera marina* (eelgrass), *Mar.Ecol.Prog.Ser.*25, 51 - 61.
- 10) 川端豊喜, 1993: アマモ場造成に関するアマモの生態学的研究, 1 - 181.
- 11) 香川県水産試験場, 1988: 昭和62年度赤潮対策技術開発試験報告書, 1 - 54.
- 12) 川崎保夫・飯塚貞二・後藤 弘・寺脇利信・渡辺康憲・菊池弘太郎, 1988: アマモ場造成法に関する研究, 電力中央研究所報告U14, 1 - 231.
- 13) Mahiko Abe, Naoko Hashimoto, Akira Kurashima and Miyuki Maegawa, 2003: Estimation of light requirement for the growth of *Zostera marina* in central Japan, *Fish.Sci.*69, 890 - 895.
- 14) 尾田 正, 1999: アマモの光合成測定に関する2, 3の実験, 岡山水試報, 14, 8 - 10.
- 15) Dennison W.C., 1987: Effects of light on seagrass photosynthesis, growth and depth distribution, *Aquat.Bot.*27, 15 - 26.