HOKKAIDO UNIVERSITY

Title	新川・春日川河口干潟域(瀬戸内海播磨灘)に生息する底生微細藻類の増殖ポテンシャル
Author(s)	一見, 和彦; 山下, 裕明; 澤山, 稔 他
Citation	日本プランクトン学会報, 55(1), 1-8
Issue Date	2008-02-26
Doc URL	https://hdl.handle.net/2115/57085
Rights	© [2008] 日本プランクトン学会
Type	journal article
File Information	montani-pura-55-1-8(ocr).pdf

Hokkaido University Collection of Scholarly and Academic Papers : HUSCAP

Bull. Plankton Soc. Japan 55(1): 1–8, 2008

日本プランクトン学会報
© The Plankton Society of Japan 2008

新川・春日川河口干潟域（瀬戸内海播磨灘）に生息する底生微細藻類の増殖ポテンシャル

一見和彦[1)]*・山下裕明[1)]・澤山　稔[2)]・多田邦尚[2)]・門谷　茂[3)]

[1)] 香川大学農学部附属浅海域環境実験実習施設　〒761-0130 香川県高松市庵治町鎌野 4511-15
[2)] 香川大学農学部　〒761-0795 香川県木田郡三木町池戸 2393
[3)] 北海道大学大学院環境科学院　〒060-0810 北海道札幌市北区北 10 条西 5 丁目

Growth potential of the benthic microalgal community inhabiting the Shinkawa–Kasugagawa estuary in the Seto Inland Sea, Japan

KAZUHIKO ICHIMI[1),*], HIROAKI YAMASHITA[1)], MINORU SAWAYAMA[2)], KUNINAO TADA[2)] AND SHIGERU MONTANI[3)]

[1)] *Marine Environment Research Station, Faculty of Agriculture, Kagawa University, Kamano, Aji, Takamatsu, Kagawa 761-0130, Japan*
[2)] *Faculty of Agriculture, Kagawa University, Miki, Kita, Kagawa 761-0795, Japan*
[3)] *Graduate School of Fisheries Sciences, Hokkaido University, Kita, Sapporo, Hokkaido 060-0810, Japan*
* *Corresponding author: E-mail: ichimi@ag.kagawa-u.ac.jp*

Abstract The annual growth potential of the benthic microalgal community inhabiting tidal flat sediments in Shinkawa–Kasugagawa estuary in the Seto Inland Sea, Japan was investigated. The growth activity of the community increased with increasing temperature. The growth rates at 6–23℃ (autumn–early summer) were 0.3–3.0 divisions d^{-1}, which were similar to those of pelagic phytoplankton species. Much higher growth rates up to ca.5 divisions d^{-1} were observed in summer at around 30℃. The growth rate of a unialgal culture strain of *Nitzschia* sp., dominated in the hot season was high (close to 4 divisions d^{-1}) at around 30℃. Growth activity was low during low tide when the tidal flat was exposed and high when the flat was submerged. Our results indicate that the benthic microalgal community inhabiting the subtropical tidal flat has an extremely high growth potential in summer, and sustains the majority of higher trophic organisms as a major primary producer of the tidal flat ecosystem.

Key words: benthic microalgae, diatom, tidal flat, growth rate, primary production

はじめに

底生微細藻類は干潟生態系の主要な一次生産者であり，これらによる生産が干潟に生息するより高次栄養段階の生物群を支えている．底生微細藻類の生態や生産性については北欧を中心とした研究者により知見が蓄積されており，例えば Round (1971), Admiraal (1984), McIntire & Moore (1977), Underwood & Kromkamp (1999) らの総説によってその詳細を知ることができる．干潟域では水温や塩分をはじめとした物理化学環境が短時間で大きく変動するだけでなく，干出時には太陽光に直接曝されるなど，干潟に生息する生物は深度の大きい海域と比較すれば非常に厳しい環境下に絶えず置かれて

2007 年 2 月 28 日受付，2008 年 1 月 21 日受理

いる．しかしながら，干潟底生微細藻類は広範囲な塩分条件下でも増殖が可能であること (Williams 1964, Mizuno 1992)，高照度下においても強光阻害による増殖抑制を受けにくい (Colijn & Buurt 1975, Admiraal & Peletier 1980, Pinckney & Zingmark 1991) など，干潟環境に適応した増殖生理を有していることが明らかとなっている．また，干潟底生微細藻類の生産性についても多くの報告があり，おおむね沿岸域で見られる一次生産速度，ないしそれよりも大きな値が測定されている (Colijn & de Jonge 1984, McIntier et al. 1996, Montani et al. 2003)．一次生産速度を見積もることは干潟生態系を理解するうえできわめて重要であるが，微細藻類が有する増殖速度を知ることはこれらの生産性を見積もるうえで一つの指標となる．浮遊性微細藻類の増殖速度についてはこれまでに多くの報告がなされてきた（例えば，Eppley 1977)．しかしながら，底生微細藻類の増殖速度については知見に乏しいだけでなく，これまでの知見は北欧が主体であったため，その多くが20℃前後の比較的温度の低い条件下で測定されたものである．言い換えれば，30℃あるいは30℃を超えるような高温条件下において，底生微細藻類の増殖活性を評価した研究はほとんどないのが現状である．

本研究では，干潟域の表層泥を培養することで，亜熱帯域の干潟に生息する底生微細藻類群が夏の高温期を含め，年間を通してどの程度の増殖ポテンシャルを有しているのか明らかにする目的で調査・実験を行った．

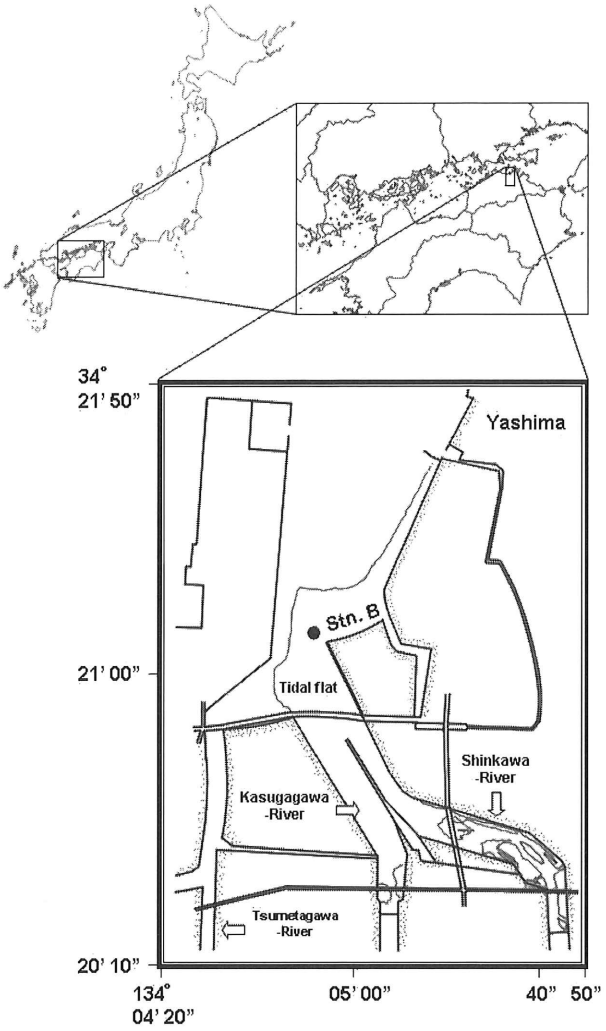


Fig. 1. Sampling site with Stn. B.

方　　法

1. 現場観測

香川県高松市郊外に位置する新川・春日川河口干潟域にStn. Bを設置し (Fig. 1)，2003年8月から2004年12月にかけて毎月干潮時に観測を行った．観測では5〜10本のプラスチックチューブ（内径3 cm）を用いて表層堆積物 (0〜5 mm) を採取し，よく撹拌した後に湿重量で0.5〜1 gの堆積物を90%アセトンで抽出し，クロロフィル *a* (Chl *a*) 濃度の測定に供した．これらは4℃，暗条件下にて24時間抽出後，分光法により測定し (Lorenzen 1967), Parsons et al. (1984a) によりChl *a* 濃度を算出した．泥温はアルコール温度計を用いて表泥直下を測定することで得た．また観測は定点が干出している時間帯に行っているため，水温および塩分はStn. Bから最も近い波打ち際でCTD (YSI, Model 30) により測定した．

2. 擬似現場法による現場底生微細藻類群の増殖速度の測定

Stn. Bにおいて，毎月1回，日中の干潮時に2 mm深までの表層堆積物を採取した．堆積物試料は研究室に持ち帰った後，直ちに300 μm目合いのプランクトンネットを用いて大型の粒子および捕食者を取り除き，ろ過海水により初期Chl *a* 濃度が0.27〜1.2 μg L^{-1} となるように調整した懸濁試料を作製した．ろ過海水には，Stn. Bから最も近い波打ち際で採取しWhatman GF/Fでろ過したものを使用した．これら懸濁試料を50 mL容ねじ口試験管に30 mLずつ満たし，できる限り現場の干潟表層泥の温度・光強度に近似させるため，香川大学農学部屋上 (34°16.589N, 134°07.482E) の野外に設置し，昼夜を通しインキュベートした．なお，懸濁試料は20〜80本作製した．これらの実験区から試験管を毎日

任意に2〜3本ずつ取り出し，Chl *a* 濃度の測定に供した．すなわち，懸濁試料をWhatman GF/Fでろ過し，90%アセトンで抽出後，ターナー蛍光光度計(Turner Design, 10-AU Fluorometer)を用いてChl *a* 濃度を測定した(Holm-Hansen et al. 1965)．得られたChl *a* 濃度の経時変化より増殖曲線を作成し，その対数増殖期における増殖速度を以下の式から算出した．

$$増殖速度\ (\text{divisions}\ d^{-1}) = \{\log_2(Ct_2/Ct_1)\}/(t_2-t_1)$$

ここで Ct_1 および Ct_2 は，実験開始から t_1 および t_2 日後におけるChl *a* 濃度である．実験終了時には試験管内の優占種についても顕微鏡下で観察を行った．なお実験試料の水温については実験期間を通して測定を行い，照度については高松地方気象台（香川県の気象：2003年8月〜2004年12月）により観測された全天日射量(MJ m^{-2})と日長時間より実験期間中の日平均光量子量(μM photons m^{-2} s^{-1})を算出した．

3. 底生付着珪藻 *Nitzschia* sp. 培養株の増殖試験

温度に対する増殖応答

擬似現場法で得られた増殖速度は，表層堆積物中に存在したさまざまな微細藻類が混在する条件下で測定されているが，とくに大きな増殖速度が認められた2003年8月の実験海水中で優占していた *Nitzschia* sp. が室内培養系においても同様の増殖活性を示すのか，また温度に対しどのような増殖応答を示すのか明らかにする目的で以下の培養試験を行った．2003年8月にStn. Bの表層泥から *Nitzschia* sp. を分離し，培養株を作成した．50 mL容ねじ口試験に30 mLのESM培地(Okaichi et al. 1983)を添加し，*Nitzschia* sp. の培養液を一定量接種後，10, 15, 20, 25, 30, 35℃および40℃, 330 μM photons m^{-2} s^{-1} (14 : 10 LD)の条件下で培養を行った．各温度条件下で6世代以上経過した後，毎日ターナー蛍光光度計によりクロロフィル蛍光値を直接測定した．得られたクロロフィル蛍光値より増殖曲線を作成し，その対数増殖期における増殖速度を以下の式から算出した．

$$増殖速度\ (\text{divisions}\ d^{-1}) = \{\log_2(Ft_2/Ft_1)\}/(t_2-t_1)$$

ここで Ft_1 および Ft_2 は，実験開始後 t_1 および t_2 日におけるクロロフィル蛍光値である．

実験室的に作成した干出条件および冠水条件における増殖

堆積物表層に存在する *Nitzschia* sp. の増殖が，干出時と冠水時の条件下でどのように異なるのか明らかにする目的で以下の室内培養試験を実施した．450℃で有機物を強熱除去した干潟表層堆積物（Stn. Bにて採取）を平底のねじ口試験管（7.5 cm長）に0.5 cm深となるよう敷き詰め，さらにESM培地を堆積物表面まで加えた．これらを干出時の干潟を再現した干出区とし，さらにろ過海水を試験管上部まで添加した実験区を冠水区とした．これらを65℃で1時間滅菌した後，予備培養していた *Nitzschia* sp. の培養液を0.1 mL接種し，25℃, 130 μM photons m^{-2} s^{-1} (14 : 10 LD)の条件下で，冠水区については9日間，干出区については19日間培養を行った．なお各実験区とも試験管試料を20本ずつ作成し，培養開始後はそれぞれの実験区から毎日任意に1本ずつ取り出し，試験管内のChl *a* 含有量を測定した．すなわち，干出区は90%アセトンを直接10 mL加えたのに対し，冠水区は堆積物の直上水をWhatman GF/Fでろ過し，ろ過フィルターをねじ口試験管に戻した後，90%アセトンを10 mL加えた．これらを4℃，暗条件下にて24時間抽出後，ターナー蛍光光度計を用いてChl *a* 含有量を測定した(Holm-Hansen et al. 1965).

4. 夏期の干出時における現場表層堆積物中のChl *a* 濃度の変動

擬似現場法により得られた増殖速度は，海水を添加した，いわば冠水条件下で測定されており，光量子量がわずか数mmで大きく減少する表層堆積物中(Ichimi et al. in press)とは光条件も異なっている．そこで，干出時における現場表層堆積物において底生微細藻類群がどの程度の増殖を示すのか，明らかにする目的で以下の実験を行った．2004年8月24日，2005年7月22日および8月19日の干潮時に，Stn. B周辺において表層泥中のChl *a* 濃度の変動をモニターした．各観測日とも，Stn. B周辺が干出した直後に方形枠(25 cm×25 cm)を設置し，枠内からプラスチックチューブ（口径17 mm）を用いて表層堆積物を5本採取した．堆積物試料はできる限り正確に表層2 mmまでを分取し，速やかに90%アセトンで抽出後，Chl *a* 濃度の測定に供した．さらに設置していた方形枠が冠水する直前（干出から3〜4時間経過後）に再度方形枠内から表層堆積物を5本採取し，同様の方法で堆積物試料を90%アセトンで抽出し，Chl *a* 濃度の測定に供した．これらは4℃，暗条件下にて24時間抽出後，分光法(Lorenzen 1967)により測定し，

Parsons et al. (1984a) により Chl *a* 濃度を算出した．なお，各観測日とも天候は快晴であり，観測時中における泥温および光量子量の測定も併せて行った．

結　果

1. 現場観測

泥温および水温はともに同様の挙動を示し，2004年1月に5℃を下回る最低温となり，同年7月から8月にかけて33℃を超える高温が認められた (Fig. 2)．塩分は観測期間を通じてほぼ10～30 psuの間で変動し，初夏から秋にかけて低い塩分が認められる傾向にあった (Fig. 3)．表層堆積物中の Chl *a* 濃度は，1月以降，温度の上昇とともにその濃度も上昇する傾向にあり，夏期に最大（6月：15.0 $\mu g\ g^{-1}$dw）となった後は再び減少に転じた (Fig. 4)．なお，2004年5月には一時的な Chl *a* 濃度の減少が認められたが，とくにこの時期の干潟堆積物上には大型緑藻類のアオサが大量繁茂しており，遮光効果により底生微細藻類の増殖が抑制されたと考えられる．

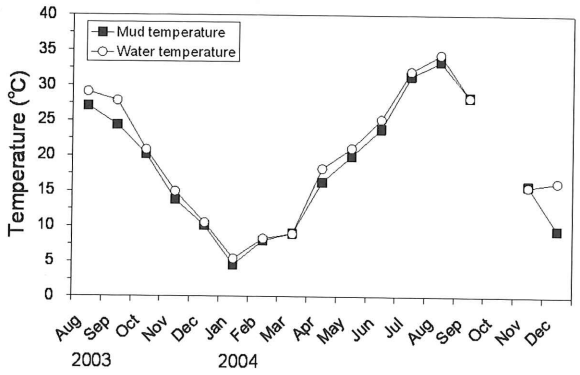


Fig. 2. Seasonal variation of mud temperature at Stn. B in diurnal low tide. Water temperatures were measured at the nearest shore from Stn. B.

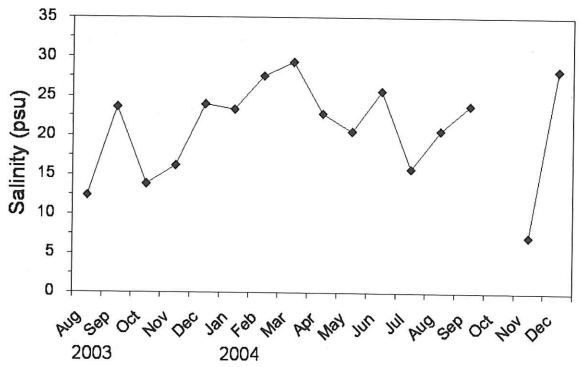


Fig. 3. Seasonal variation of salinity at the nearest shore from Stn. B in diurnal low tide.

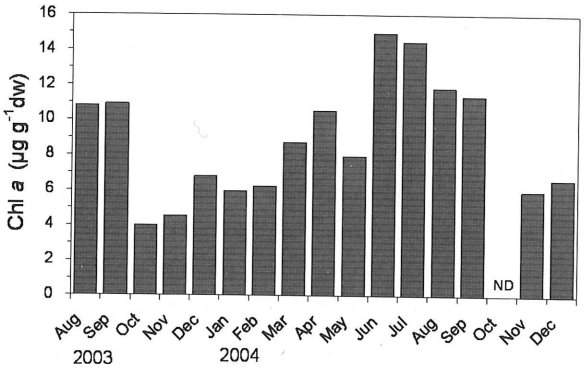


Fig. 4. Seasonal variation of Chl *a* contents in the surface sediments at Stn. B.

2. 擬似現場法から見積もった現場底生微細藻類群の増殖ポテンシャル

Fig. 5 に各培養実験時における試験管内の平均水温および平均光量子量（高松地方気象台2003年8月～2004年12月）を示す．実験時の水温は，調査干潟域の泥温お

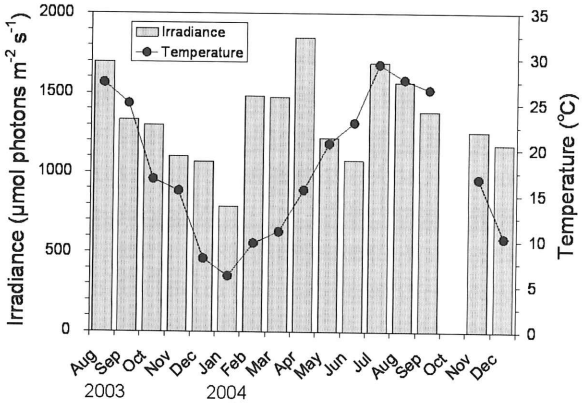


Fig. 5. Temperature and irradiance during the outdoor incubation on the roof of Faculty of Agriculture, Kagawa University.

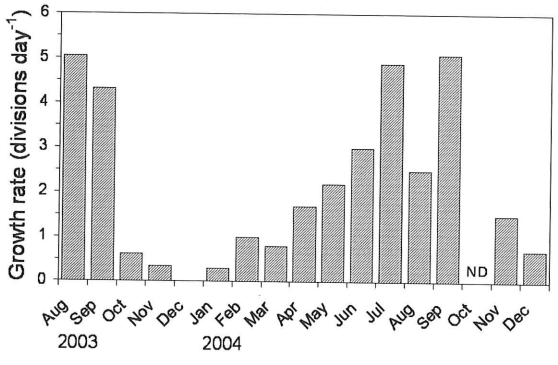


Fig. 6. Monthly changes in growth rates of natural benthic microalgal communities measured by the outdoor incubation method.

よび水温 (Fig. 2) とほぼ同様であった．また，実験時の平均光量子量は冬期（12月～1月）および梅雨期（5月～6月）に700～1,200 μM photons m^{-2} s^{-1} と低く，春期（2月～4月）および夏期（7月～8月）に≧1,500 μM photons m^{-2} s^{-1} と高かった．

底生微細藻類群の増殖速度は温度の上昇とともに増加した (Figs. 5, 6)．2004年1月から6月にかけて増殖速度は 0.3 divisions d^{-1} から 3.0 divisions d^{-1} まで増加し，7月および9月には約5 divisions d^{-1} というきわめて高い増殖速度が認められた．また，2003年の8月にも同様の増殖速度が認められた．秋期以降は両年とも温度の低下とともに増殖速度は減少した．

実験終了時に増殖・優占していた微細藻類について顕微鏡観察した結果，高水温期には *Nitzschia* 属をはじめとした比較的付着性の弱い底生珪藻が卓越する傾向にあった．これに対し，低水温期には培養実験に用いた試験管壁へ強固に付着する *Hantzschia* 属を主とした付着性の強い底生珪藻が卓越した．また春期および秋期の温暖期にはこれら底生珪藻のほかに *Cyclotella* などの小型円心目珪藻類が一部混在する場合も認められた．

3. *Nitzschia* sp. 培養株の増殖特性

10℃から40℃の温度条件下で *Nitzschia* sp. を培養した結果，40℃では増殖が認められなかったものの，10～35℃の広い温度範囲で増殖が可能であった (Fig. 7)．また，10～20℃における増殖速度は 0.4～2.5 divisions d^{-1} であったが，30℃でほぼ4 divisions d^{-1} という非常に高い増殖速度が認められ，35℃においても3 divisions d^{-1} 程度の高い増殖速度を有していた．

実験室的に作成した干出および冠水条件下で行った *Nitzschia* sp. の培養結果を Fig. 8 に示す．堆積物上に海水が存在する冠水区では，試験管内の Chl *a* 含有量が速やかに増加し，培養開始後4日目に最大値（約5 μg test $tube^{-1}$）を経て，その後は徐々に減少した．干出区では Chl *a* 含有量の緩やかな増加が認められたものの，7日目に 1.5 μg test $tube^{-1}$ に達した後はそれ以上の増加は認められなかった．これらの結果から求めた対数増殖期における増殖速度は，干出区で 0.77 divisions d^{-1}，冠水区で 2.0 divisions d^{-1} であった．

4. 夏期の干出時における現場表層泥中の Chl *a* 濃度の変動

初期 Chl *a* 濃度，および3～4時間経過後の Chl *a* 濃度を Table 1 に示す．泥温は各観測日とも30℃前後の高温下にあり，観測時間中の平均光量子量も 1,767～1,953 μM photons m^{-2} s^{-1} という高い照度下にあったが，表層堆積物中の Chl *a* 濃度はほとんど変化していな

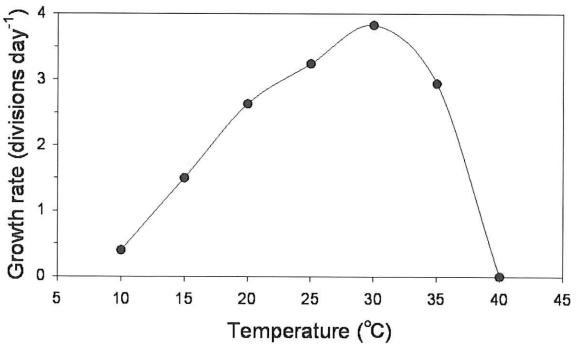


Fig. 7. Growth rates of *Nitzschia* sp. culture strain at various temperatures under 330 μM photons m^{-2} s^{-1} (14 : 10 LD).

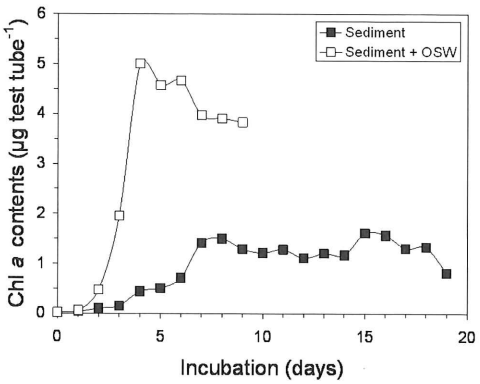


Fig. 8. Growth process of *Nitzschia* sp. culture strain under with and without overlying seawater (OSW). The incubation was carried out at 25℃ under 130 μM photons m^{-2} s^{-1} (14 : 10 LD).

Table 1. Variation of Chl *a* concentrations during low tide at around Stn. B.

Date	Bottom material	Temperature at surface sediment	Experimental period	Chl *a* (μg g^{-1}dw)	
				Initial conc.	Final conc.
04/8/24	sand	32.9℃	3 hrs	17.5±1.6	17.8±1.0
	mud			30.5±2.7	30.2±3.0
05/7/22	sand/mud	29.9℃	3 hrs	24.7±2.8	27.9±3.6
05/8/19	sand	31.1℃	4 hrs	16.7±2.0	16.2±1.4

Table 2. Growth rates of estuarine benthic diatoms in culture and field conditions.

Benthic diatoms	Growth rate (divisions d^{-1})	Culture condition Temperature & Irradiance	References
Achnanthes brevipes	0.6–1.1	18℃ μM photons $m^{-2} s^{-1}$	Mizuno (1992)
Amphiprora alata	0.8–1.3	20℃ 16,000–23,000 lux	Williams (1964)
A. paludosa	2.8	25℃ 85 μM photons $m^{-2} s^{-1}$	Admiraal (1977a)
A. paludosa	2.8	22–29℃ Culture in the field	Admiraal & Peletier (1980)
Bacillaria paradoxa	1.0	20℃ 16,000–23,000 lux	Williams (1964)
Fragilaria fasciculata	1.4–1.6	18℃ 180 μM photons $m^{-2} s^{-1}$	Mizuno (1992)
Gyrosigma fasciola	0.9–1.2	20℃ 16,000–23,000 lux	Williams (1964)
G. spencerii	0.7–0.8	20℃ 16,000–23,000 lux	Williams (1964)
G. spencerii	0.8	22–29℃ Culture in the field	Admiraal & Peletier (1980)
Navicula arenaria	1.25	$<$20℃ 85 μM photons $m^{-2} s^{-1}$	Admiraal (1977b)
N. arenaria	0.9	22–29℃ Culture in the field	Admiraal & Peletier (1980)
N. cryptocephala	1.1–1.3	18℃ 180 μM photons $m^{-2} s^{-1}$	Mizuno (1992)
N. elegans	0.1–0.4	18℃ 180 μM photons $m^{-2} s^{-1}$	Mizuno (1992)
N. salinarum	2.2	22–29℃ Culture in the field	Admiraal & Peletier (1980)
Navicula sp.	1.7–1.9	20℃ 16,000–23,000 lux	Williams (1964)
Navicula sp.	2.0–2.5	20℃ 16,000–23,000 lux	Williams (1964)
Navicula sp.	2.4	21℃ 55 μM photons $m^{-2} s^{-1}$	Montani et al. (2003)
Nizschia closterium	2.0–3.2	20℃ 16,000–23,000 lux	Williams (1964)
N. dissipate	2.5	25℃ 85 μM photons $m^{-2} s^{-1}$	Admiraal (1977a)
N. laevis	2.6–2.8	20℃ 16,000–23,000 lux	Williams (1964)
N. obtusa	1.4–1.5	20℃ 16,000–23,000 lux	Williams (1964)
N. sigma	0.6–1.1	20℃ 16,000–23,000 lux	Williams (1964)
N. sigma	0.56	25℃ 85 μM photons $m^{-2} s^{-1}$	Admiraal (1977a)
N. thermaloides	1.4–1.5	20℃ 16,000–23,000 lux	Williams (1964)
Pleurosigma angulatum	0.4–0.6	20℃ 16,000–23,000 lux	Williams (1964)
P. elongatum	0.1–0.4	18℃ 180 μM photons $m^{-2} s^{-1}$	Mizuno (1992)
Rhopalodia musculus	0.6	20℃ 16,000–23,000 lux	Williams (1964)
Surirella ovata	1.6–2.0	18℃ 180 μM photons $m^{-2} s^{-1}$	Mizuno (1992)

いか，わずかに増加するにとどまった．

考　　察

底生微細藻類，とくに干潟底生珪藻の増殖生理については，既述のとおり主に北欧の研究者によりほとんどの知見が寄せられている．北欧の干潟という環境設定から，底生珪藻の増殖速度はその多くが20℃前後の温度帯で測定されており，おおむね0.1～3 divisions d^{-1} 程度の増殖速度が得られている (Table 2)．これら底生珪藻の増殖速度は，沿岸域に生息する浮遊性珪藻とほぼ同様であり (Eppley 1977)，20℃前後の温度条件下では浮遊性珪藻も底生珪藻も同様の増殖活性を有していると思われる．

擬似現場法により測定した干潟底生微細藻類群の増殖速度は，2003年12月の結果（増殖せず）を除き，6℃～23℃の条件下において0.3～3.0 divisions d^{-1} の範囲にあった (Figs. 5, 6)．これらの増殖速度は過去の報告値とよく一致している．しかしながら，25～30℃を超える高水温期には約5 divisions d^{-1} というきわめて高い増殖速度を有していた．また，高水温期に優占した *Nitzschia* sp. の単離培養株を用いてその温度に対する増殖応答を検証したところ，擬似現場法で得られた5 divisions d^{-1} には及ばなかったものの，ほぼ4 divisions d^{-1} の増殖速度が得られた (Fig. 7)．いずれの値も珪藻類の増殖速度としては過去にほとんど報告されたことのない著しく高い値である．新川・春日川河口干潟が位置する瀬戸内海播磨灘の年間水温は，ごく浅瀬などを除けばおおむね7℃～28℃の範囲にあり，30℃に達するのはごくまれである．夏期に播磨灘で単離した *Skeletonema costatum* および *Chaetoceros didymum* について筆者らが行った増殖速度の測定試験では，両種は20～25℃に最大増殖速度を有しており，30℃でその増殖速度は著しく減少した（一見，未発表）．したがってこれら沿岸種は，生息する海域が持つ温度範囲に適応した増殖生理を有していると考えられる．干潟に生息する微細藻類は，沿岸海域とは異なり，低温から高温まできわめて広い温度環境に曝される．高温期に観察されたきわめて高い増殖速度は，干潟に生息する底生微細藻類群がこのような高温にもよく適応していることを示すもので

あろう．また，実験期間中における温度および光量子量 (Fig. 5) と底生微細藻類群の増殖速度 (Fig. 6) との関係を見ると，高照度条件下にあった 2004 年 2 月から 4 月には高い増殖活性が認められず，底生微細藻類群の増殖は照度よりも温度に依存していると考えられる．本実験の結果からも明らかなように，底生微細藻類が 1,000 μM photons m^{-2} s^{-1} を超えるような強光環境下においてもほとんど増殖抑制を受けないこと (Colijn & Buurt 1975, Admiraal & Peletier 1980, Pinckney & Zingmark 1991) も夏期にこのような著しく高い増殖速度を持ち得る理由であろう．また紫外線は微細藻類の増殖を阻害することが一般的に知られているが（例えば，Neale 1987），Peletier et al. (1996) は干潟に生息するさまざまな付着珪藻を用い，その増殖に与える紫外線の影響を調べた結果，ほとんどの付着珪藻はその影響を受けないことを見いだした．本研究の擬似現場法においても測定試料は太陽光下に直接曝されているが，このような条件下においてきわめて高い増殖速度が得られたことも干潟の底生微細藻類が紫外線に対し強い耐性を持つことを示すものである．前述したように，底生微細藻類の増殖速度を高温・高照度条件下で測定した例はこれまでにほとんど見当たらないが，底生微細藻類の環境適応能力を考慮すれば，他の海域に生息する底生微細藻類も高温・高照度条件下では大きな増殖速度を有している可能性は十分考えられる．

実験室的に作成した干出・冠水条件における *Nitzschia* sp. 培養株の増殖試験において，冠水区では速やかな増殖が認められたのに対し，干出区では増殖速度が小さかったうえに最大増殖量も低い値のまま推移した (Fig. 8)．この理由としては以下の可能性が考えられる．干出区では *Nitzschia* sp. の増殖できる空間が冠水区と比較して著しく小さい．Stn. B で得られた表層堆積物の有光層，すなわち天空光の 1% 照度深 (Parsons et al. 1984b) は約 1.7 mm と見積もられており (Ichimi et al. in press)，試験管内で *Nitzschia* sp. が増殖できる空間は堆積物の極表層のみに限られている．これに対し冠水区では，堆積物上に海水という空間が存在しており，実際，*Nitzschia* sp. は付着珪藻であるにもかかわらず，浮遊状態にある細胞も認められた．また，夏期に干出直後から冠水直前にかけて現場表層堆積物中の Chl *a* 濃度の測定を行い，干出時における底生微細藻類群の増殖をモニターしたが，増殖に適した高温，高照度条件下にあったにもかかわらず，堆積物中の Chl *a* 濃度に大きな増加は認められなかった (Table 1)．仮に表層堆積物中の現場微細藻類群が培養試験で得られたような高い増殖速度を持っていたならば，たとえ 3〜4 時間程度のモニタリングであったとしても明らかな Chl *a* 濃度の増加が認められるはずである．以下に本研究において *Nitzschia* sp. 培養株が示した増殖特性を基に，実験終了時に観察されるであろう表層堆積物中の Chl *a* 濃度をおおよそで概算してみる．各実験日の泥温は 29.9〜32.9℃ (Table 1)，光量子量は 1,767〜1,953 μM photons m^{-2} s^{-1} であったことから，これらの気象条件として温度を 30℃，堆積物直上の光量子量を 1,850 μM photons m^{-2} s^{-1} と考える．*Nitzschia* sp. は 30℃において 3.8 divisions d^{-1} で増殖し (Fig. 7)，また，本調査干潟で単離培養した底生微細藻類の多くは 200 μM photons m^{-2} s^{-1} 程度でその増殖速度が飽和するため（一見，未発表），*Nitzschia* sp. も同様の増殖生理を持つと仮定する．Ichimi et al. (in press) から Stn. B における堆積物への透過光量を見積もると，0.8 mm 深まで 200 μM photons m^{-2} s^{-1} 以上の光量が透過するが，1.1 mm 深で 100 μM photons m^{-2} s^{-1} を，さらに 2 mm 深で 10 μM photons m^{-2} s^{-1} を下回り，補償深度に達していると考えられる．今，0.8 mm 以深では光量子量の減少と同じ割合で微細藻類の増殖速度も低下していくと仮定すると，表層堆積物中 (0〜2 mm) に存在する微細藻類全体の増殖速度はおおよそ 2.3 divisions d^{-1} と見積もられる．堆積物中の Chl *a* 濃度は 0 mm から 2 mm 深まで一定であったと仮定し，さらに 3〜4 時間当たりの増殖速度に補正して Chl *a* の増加量を算出すると，2004 年 8 月 24 日（初期 Chl *a* 濃度：17.5 μg g^{-1} および 30.5 μg g^{-1}），2005 年 7 月 22 日（初期 Chl *a* 濃度：24.7 μg g^{-1}），8 月 19 日（初期 Chl *a* 濃度：16.7 μg g^{-1}）における実験終了時の Chl *a* 濃度はそれぞれ 24.5 μg g^{-1} および 42.7 μg g^{-1}，34.5 μg g^{-1}，26.1 μg g^{-1} となる．すなわち実験終了時には初期濃度の 1.5 倍程度に増加する計算になるが，上述したように，結果として Chl *a* 濃度の増加はほとんど認められなかった．以上の実験結果は，本干潟の底生微細藻類は高い増殖能力を有しているものの，通常，干出時における増殖はそれほど大きいものではなく，海水の流入出による表層堆積物の再懸濁等も含め，冠水時に大きく増殖している可能性があることを示唆している．ただし，堆積物中には底生微細藻類を摂食する原生動物や線虫等も存在することから，今後は知見に乏しいこれら生物による摂食速度についても調査を行う必要がある．

本研究の実験結果から，亜熱帯の干潟に生息する底生微細藻類は，とくに高水温期に著しく高い増殖活性を有することが明らかとなった．前述したように約 5 divisions d^{-1} という値は，浮遊珪藻類も含め過去にもほと

んど報告されていない高い増殖速度であり，高温・高照度環境にある夏期の数カ月間は干潟域で非常に大きな一次生産が行われていることを予想させる．一方で，擬似現場法で得られた増殖速度はあくまで潜在的な増殖能力であり，とくに干出時の干潟上ではその大きな増殖能力が発揮されていない可能性がある．今後は干満の水位変化に伴い，現場干潟域で底生微細藻類の増殖・生産性がどのように促進・抑制されているのか明らかにする必要がある．

引用文献

Admiraal, W. 1977 a. Influence of light and temperature on the growth rate of estuarine benthic diatoms in culture. *Mar. Biol.* **39**: 1–9.

Admiraal, W. 1977 b. Influence of various concentrations of orthophosphate on the division rate of an estuarine benthic diatom, *Navicula arenaria*, in culture. *Mar. Biol.* **42**: 1–8.

Admiraal, W. 1984. The ecology of estuarine sediment-inhabiting diatoms, p. 269–322. In *Progress in Phycological Research* Vol. 3 (eds. Round, F. E. & D. J. Chapman). Biopress Ltd., Bristol.

Admiraal, W. & H. Peletier 1980. Influence of seasonal variations of temperature and light on the growth rate of cultures and natural populations of intertidal diatoms. *Mar. Ecol. Prog. Ser.* **2**: 35–43.

Colijn, F. & G. van Buurt 1975. Influence of light and temperature on the photosynthetic rate of marine benthic diatoms. *Mar. Biol.* **31**: 209–214.

Colijn, F. & V. N. de Jonge 1984. Primary production of microphytobenthos in the Ems-Dollard Estuary. *Mar. Ecol. Prog. Ser.* **14**: 185–196.

Eppley, R. W. 1977. The growth and culture of diatoms, p. 24–64. In *The Biology of Diatoms* (ed. Werner, D.). Blackwell Scientific Publications, London.

Holm-Hansen, O., C. J. Lorezen, R. W. Holmes & J. D. H. Stickland 1965. Fluorometric determination of chlorophyll. *J. Cons. Perm. int. Explor. Mer.* **30**: 3–15.

Ichimi, K., K. Tada & S. Montani. Simple estimation of penetration rate of light in intertidal sediments. *J. Oceanogr.* (in press)

Lorezen, C. J. 1967. Determination of chlorophyll and pheopigments: spectrophotometric equations. *Limnol. Oceanogr.* **12**: 343–346.

McIntire, C. D. & W. W. Moore 1977. Marine littoral diatoms: ecological consideration, p. 333–371, In *The Biology of Diatoms* (ed. Werner, D.). Blackwell Scientific Publications, London.

MacIntyre, H. L., R. J. Geider & D. C. Miller 1996. Microphytobenthos: The ecological role of the "Secret Garden" of unvegetated, shallow-water marine habitats. I. Distribution, abundance and primary production. *Estuaries* **19**: 186–201.

Mizuno, M. 1992. Influence of salinity on the growth of marine and estuarine benthic diatoms. *Jpn. J. Phycol.* (*Sorui*) **40**: 33–37.

Montani, S., P. Magni & N. Abe 2003. Seasonal and interannual patterns of intertidal microphytobenthos in combination with laboratory and areal production estimates. *Mar. Ecol. Prog. Ser.* **249**: 79–91.

Neale, P. J. 1987. Algal photoinhibition and photosynthesis in the aquatic environment, p. 39–65. In *Photoinhibition* (eds. Kyle, D. J., C. B. Osmond & C. J. Arntzen). Elsevier Science Publishers B. V.

Okaichi, T., S. Nishino & Y. Imatomi 1983. Massculture of marine phytoflagellates: an approach to new sources of biologically active compounds, p. 141–144. In *IUPAC Pesticide Chemistry* 2 (eds. Miyamoto, J. & P. C. Kearney). Pergamon press, New York.

Parsons, T. R., Y. Maita & C. M. Lalli 1984a. *A Manual of Chemical and Biological Methods for Seawater Analysis.* Pergamon press, Oxford, pp.173.

Parsons, T. R., M. Takahashi & B. Hargrave 1984b. *Biological Oceanographic Processes* 3rd ed. Pergamon Press, Oxford, pp. 330.

Peletier, H., W. W. C. Gieskes & A. G. J. Buma 1996. Ultraviolet-B radiation resistance of benthic diatoms isolated from tidal flats in the Dutch Wadden Sea. *Mar. Ecol. Prog. Ser.* **135**: 163–168.

Pinckney, J. & R. G. Zingmark 1991. Effects of tidal stage and sun angle on intertidal benthic microalgal productivity. *Mar. Ecol. Prog. Ser.* **76**: 81–89.

Round, F. E. 1971. Benthic marine diatoms. *Oceanogr. Mar. Biol. Ann. Rev.* **9**: 83–139.

高松地方気象台 2003年8月～2004年12月． 香川県の気象（香川県気象月報）．

Underwood, G. J. C. & J. Kromkamp 1999. Primary production by phytoplankton and microphytobenthos in estuaries. *Adv. Ecol. Res.* **29**: 93–153.

Williams, R. B. 1964. Division rates of salt marsh diatoms in relation to salinity and cell size. *Ecology* **45**: 877–886.