

「原著」

干潟表層泥における基礎生産

中根 徹

1. はじめに

海と陸との接点である干潟は、近年埋め立て等により消滅しつつある。

一方で、海域の富栄養化の問題が深刻になるにつれ、陸域の汚濁物質、特に窒素、リン負荷の削減の観点から、干潟の浄化機能が注目されるようになってきた。

我が国における従来の干潟の研究は、飛来する鳥類を含め、そこに生息する生物の種組成、現存量、分布を記述することが主であり、浄化機能を含めた干潟域の物質収支の研究は少ない。佐々木(1989)は、アメリカにおけるSalt marsh(塩沢地)の研究事例をとりまとめ、研究者の関心が「近接海域に対してmarshが物質の供給源(source)となるのか、物質を取り除く(sink)役割を持つのか」に払われていると指摘している。さらに、三河湾一色干潟における窒素の循環について考察し、栄養物質の干潟から湾への流出は夏季に減少し(sink)、三河湾における赤潮、貧酸素水塊の形成を抑えることを報告している。

干潟域の物質収支を把握するためには、生息する数多くの栄養段階の生物について、それらの現存量、代謝等を調査するだけでなく、流入負荷量、海域への流出

量、漁業によるとりあげ等、膨大なデータの蓄積が必要となろう。著者は干潟の表層泥の基礎生産力に着目し、東京湾盤洲干潟において明・暗条件下の酸素変化からその測定を試みた。

2. 材料と方法

東京湾盤洲干潟(図1)において、1989年11月30日に4測点(St.1, 2, 3, 4)から、1990年1月31日に3測点(St.1, 3, 5)から2本ずつ表層泥(深さ約10cm)を柱状採集した。用いたコアは、内径5cm、高さ約30cmの透明アクリルパイプ(図2)である。各コアとも採集後の乾燥と温度上昇を防ぐため、現場海水をわずかに添加し実験室に持ち帰った。各々のコアに現場海水を静かに添加後、ゴム栓で密封し、明・暗条件下で現場海水を用いた対照区とともに培養した。培養時の水温は現場環境に近い温度とした。明条件下の培養は、飽和光を得るために晴天時の自然日光下で行った。表1に培養条件を示す。

各コアの明・暗条件下での培養後、コア内に採集されたコアマモ(*Zostera japonica*)の生産速度と呼吸速度、アサリ(*Ruditapes philippinarum*)、ユスリ

カ科幼虫等、ベントスの呼吸速度についても明・暗ビン酸素法により測定した。DO（溶存酸素量）の測定は、ウィンクラー・アジ化ナトリウム変法（日本規格協会, 1986）を用いた。

表層泥（0～2 cm）のクロロフィル a とフェオ色素は、湿泥を90%アセトン抽出後、蛍光光度法（海洋観測指針, 1985）により測定した。

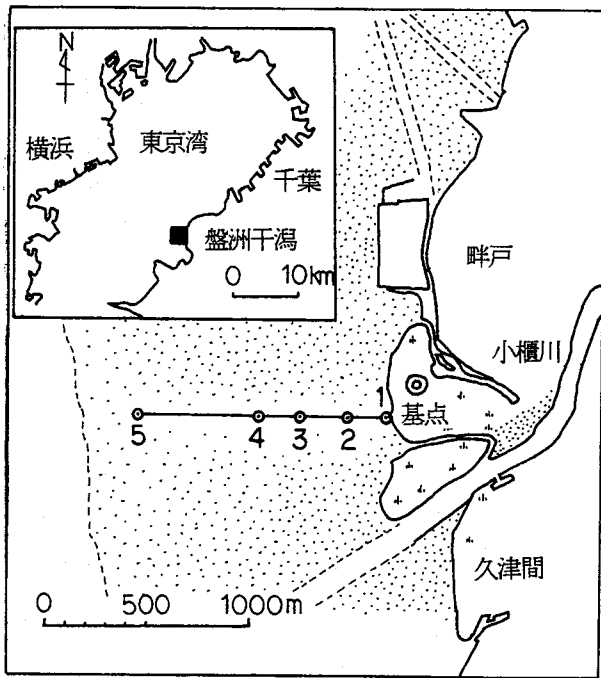


図1 東京湾盤洲干潟と試料採集測点

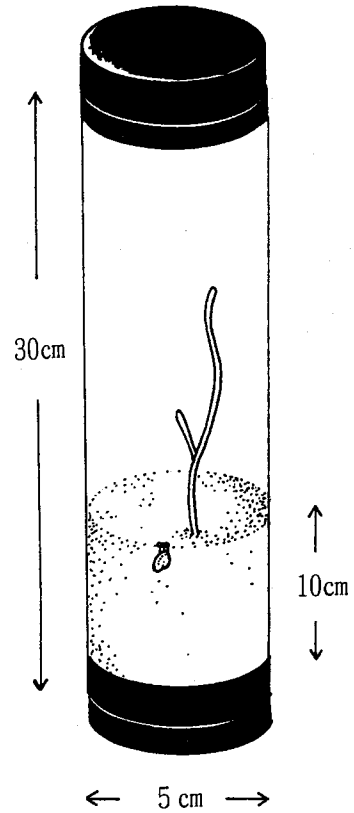


図2 表層泥の柱状採集に用いたコア

表1 表層泥コアの培養条件

実験No.	採集年月日	培養条件		
		光	水温 (°C)	実験時間
EX. 1	Nov. 30, 1989	DARK	10 - 11	Nov. 30 18:30 - Dec. 1 9:00
EX. 2		LIGHT (1600)	12 - 15	Dec. 1 10:00 - Dec. 1 15:00
EX. 3	Jan. 30, 1990	DARK	10 - 11	Jan. 30 19:00 - Jan. 31 10:00
EX. 4		LIGHT (850)	10 - 11	Feb. 2 10:20 - Feb. 2 14:20

() : $\mu E/m^2/sec$

3. 結果

3.1 表層のクロロフィルaとフェオ色素

表層泥(0~2 cm)のクロロフィルaとフェオ色素を図3に示す。1989年11月にはクロロフィルaが1.00~2.48 $\mu\text{g/gdw}$, フェオ色素が0.38~3.21 $\mu\text{g/gdw}$ の含有量であり, 両項目ともSt.3, St.4(基点から400~600m)で低かった。クロロフィルaは沖合いのSt.5(基点から800m)で高かったが, フェオ色素は基点St.1で最高値を示した。全色素量で見ると, 岸寄りのSt.1とSt.2, 沖合いのSt.5で高く, その中間の測点(基点から400~600m)で低い分布を示した。

1990年1月にはクロロフィルaが1.15~7.36 $\mu\text{g/gdw}$, フェオ色素が1.00~5.42 $\mu\text{g/gdw}$ の含有量であり, クロロフィルa, フェオ色素とも基点St.1で高い値を示した。クロロフィルaは基点から沖合いに向かって低くなったが, フェオ色素は基点以外の4測点では0.70~1.10 $\mu\text{g/gdw}$ と変化が小さかった。

3.2 コア内の生物

各測点で任意に採集したコア内には, 海草のコアマモの他, アサリ, ユスリカ科幼虫等のベントスが混在していた。それらの出現状況を表2に示す。

また, 1990年1月のSt.3のコア内には, 底生性の鞭毛藻類 *Amphidinium klebsii* が多数出現し, 暗条件下で放置するとコアの壁面を上昇する現象がみられた(約15時間で最大3 cm移動した)。本種は鞭毛を持ち, 背腹面で平たく楕円に近い四角形の細胞で全長25~53 μm , 全幅13~

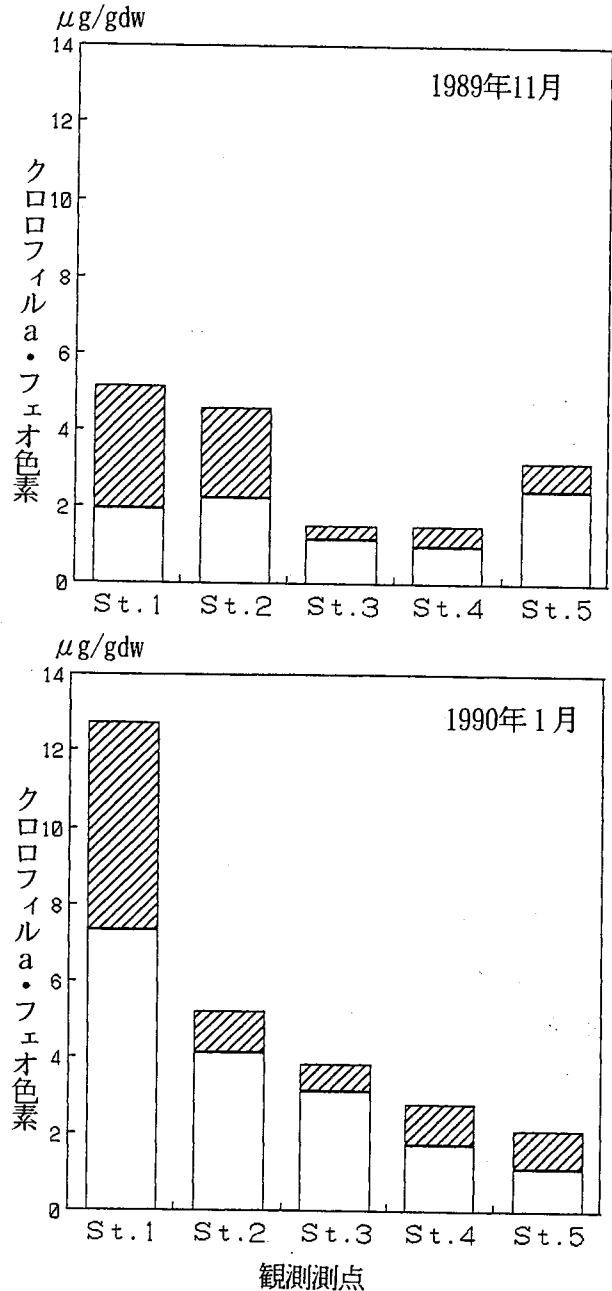


図3. 表層泥のクロロフィルaとフェオ色素の分布白抜き:クロロフィルa, 斜線:フェオ色素

32 μm , ニューカレドニア, 琉球等に分布する (Fukuyo, 1981)という。

本種の細胞当りのクロロフィルaを測定した結果, $87.2 \times 10^{-12} \text{g/cell}$ となった。

表2 コア内 (19.6cm²) に採集されたコアマモ、マクロベントスの
個体数 (株数) と湿重量、乾重量。(目視で観察された主な種)

調査年月日	St. No.	種名	個体数 (株数)	WW (mg)	DW (mg)	
Nov. 30, 1989	3	1	コアマモ	(2)*	220	11.1(54.0)**
	3	2	コアマモ	(2)*	82	14.3(19.8)**
	3	2	アサリ	5	968	123
Jan. 30, 1990	1	1	ユスリカ科幼虫	51	20	5.9
	1	1	イトミミズ類	32	—	1.2
	1	2	ユスリカ科幼虫	21	10	2.2
	1	2	イトミミズ類	12	—	0.4
	3	2	ケフサイソガニ	1	48	15.2
	5	1	アサリ	1	564	26.1
	5	2	アサリ	2	48	8.3

*: 株数

** : 地上部と地下茎部()

3.3 明・暗条件下でのDO変化

図4に明条件、暗条件でのコア内のDO変化を示す。1989年11月は明条件下で4.76~73.9mgO₂/m²/hのDO増加(純生産速度)、暗条件下で4.50~27.9mgO₂/m²/hのDO減少(呼吸速度)となった。純生産速度の最大値73.9mgO₂/m²/hは基点St.1の1本のコアで測定されたが、同測点の他のコアは24.6mgO₂/m²/hと低い値であった。St.3では、それぞれ43.2, 53.5mgO₂/m²/hと他の測点より高い値であったが、これはコア内のコアマモの生産が加わり、面積当りの生産速度を増加させたためである。呼吸速度はアサリが5個体出現したSt.3-2(St.3のNo.2のコア、以下コア試料については同様に記す)で27.9mgO₂/m²/hと大きかったが、このコアを除けば、呼吸速度は4.50~11.3mgO₂/m²/hと岸寄りの測点で高く、沖合いに向かって低くなる傾向がみられた。

1990年1月は明条件下で17.1~170.6mgO₂/m²/hのDO増加(純生産速度)、暗条件下で10.3~52.5mgO₂/m²/hのDO減少(呼吸速度)となった。1989年11月と採集測点が異なるが、生産速度、呼吸速度とも岸寄りの測点で高く、沖合いの測点で低い傾向は同じであった。

St.1のコアには、ユスリカ科幼虫、イトミミズ類等のマクロベントスが観察され、表層から2cm以深には還元層がみられた。St.1の2本のコアは生産速度、呼吸速度ともに他の測点より大きく、明条件下の培養時には底泥表面に気泡の発生が確認された。St.3のコアには底生性の鞭毛藻類が多く、純生産速度はコアマモが出現していた11月の測定値より大きかった。St.3-2にはケフサイソガニ、St.5の2本のコアにはアサリが混在し、呼吸速度が大きくなっている。

3.4 コアマモの生産力

1989年11月のSt.3のコアに含まれたコアマモの純生産速度は、St.3-1で7.57mgO₂/gdw/h、St.3-2で10.27mgO₂/gdw/hとなった。また呼吸速度はSt.3-2で1.39mgO₂/gdw/hであった。呼吸商を1と仮定し、これらの速度を炭素に換算すると、純生産速度はそれぞれ2.8、3.8mgC/gdw/h、呼吸速度は1.39mgC/gdw/hで、総生産速度はそれぞれ4.2、5.2mgC/gdw/hとなった。

アマモ類の純生産速度は、その多くが酸素測定法か¹⁴C法によって推定されている。葉量1g当りの生産量(mgC/gdw/h)は光と温度条件で大きく変化するが、種を変えてもほとんどすべて0.1~2.5mgC/gdw/hの範囲におさまる(McRoy & McMillan, 1977)。しかし、コアマモについては、Ogata and Matsui(1965)が6.4~8.4mgC/gdw/hという高い速度を報告している(McRoy & McMillan(1977)から引用)。本報で得られたコアマモの純生産速度は、2.8、3.8mgC/gdw/hとOgata and Matsui(1965)の測定値より低い。盤洲干潟では、コアマモは初夏に多く、秋季には枯失する株が多くなる。11月の測定値はコアマモの光合成活性が低下する時期の生産力と考えられる。

梅林・松村(1983)は三河湾の一色干潟において、アマモとコアマモのC(炭素)、N(窒素)含有量の季節変化を測定し、C含有量はおおむね6月よりは8月に高く、秋季10月に最低値(コアマモの葉中央部で約34%)を示し、1月には再び増加し(約39%)、3月にはさらに

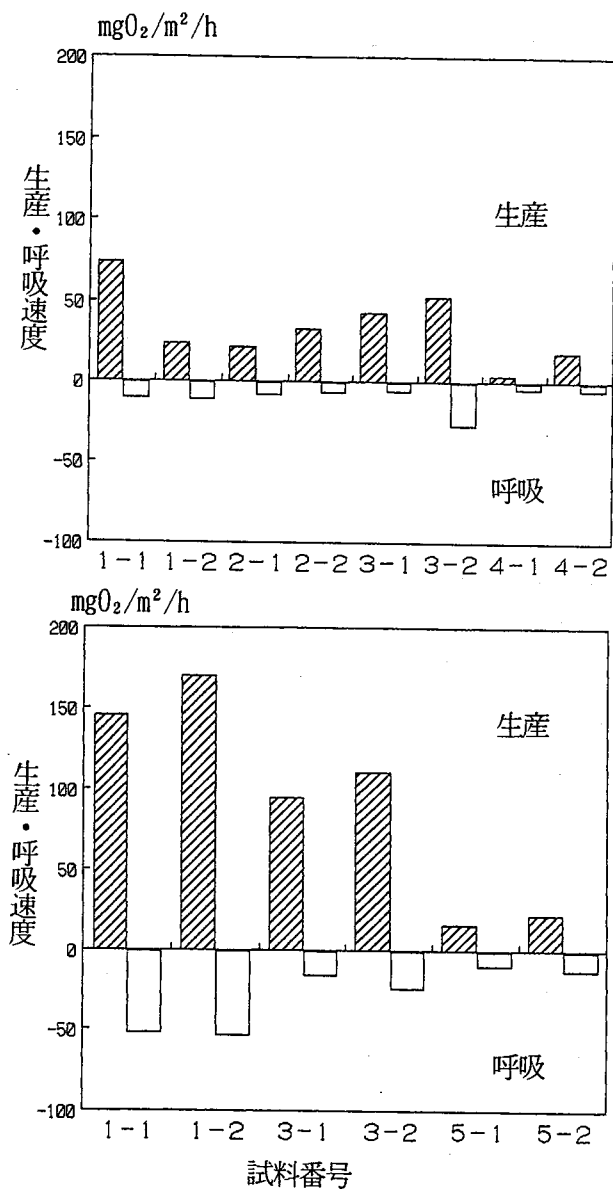


図4 明暗条件下でのコア内のDO変化
斜線：純生産速度，白抜き：呼吸速度

高くなると報告している。また、アマモの葉の炭素含有量は、乾重量当り40% (Aioi & Mukai, 1980) という報告がある。コアマモの葉の炭素含有量を40%と仮定し、地上部の1日当りの成長率を推算すると、それぞれ3.4%、4.6%となった。

コアマモのクロロフィルa含有量は、湿重量で0.24~0.75mg/gww, 平均0.51mg/gww, 乾重量で1.0~2.5mg/gdw, 平均2.0mg/gdwとなった。クロロフィルaの含有量については、アマモで0.513mg/gww(向井, 1982), 2~5mg/gdw(梅林・松村, 1985)といわれており、コアマモのクロロフィルaはアマモとほぼ同じ含有量となった。

3.5 ベントスの呼吸速度

アサリの呼吸速度は、1989年11月のSt.3-2の個体では3.5~8.0 $\mu\text{gO}_2/\text{ind}/\text{h}$, 1990年1月のSt.5の個体では3.7~13.1 $\mu\text{gO}_2/\text{ind}/\text{h}$ であった。また1990年1月にSt.1で出現したユスリカ科幼虫の呼吸速度は、St.1-1の個体で36.9 $\text{ngO}_2/\text{ind}/\text{h}$, St.1-2の個体で42.9 $\text{ngO}_2/\text{ind}/\text{h}$, 同じくSt.1で出現したイトミミズ類は5.5 $\text{ngO}_2/\text{ind}/\text{h}$ の呼吸速度を示した。

これらのマクロベントスによる面積当りの呼吸速度は、St.3-2で1989年11月が15.1 $\text{mgO}_2/\text{m}^2/\text{h}$ (アサリ), 1990年1月が11.5 $\text{mgO}_2/\text{m}^2/\text{h}$ (ケフサイソガニ), 1990年のSt.5で出現したアサリでは、St.5-1で6.6 $\text{mgO}_2/\text{m}^2/\text{h}$, St.5-2で7.6 $\text{mgO}_2/\text{m}^2/\text{h}$ となった。またユスリカ科幼虫は出現個体数が多いにもかかわらず、1990年1月の面積当りの呼吸速度はSt.5

-1で0.5 $\text{mgO}_2/\text{m}^2/\text{h}$, St.5-2で1.0 $\text{mgO}_2/\text{m}^2/\text{h}$ と小さかった。ユスリカ科については、低酸素に耐性を示す種もある(林, 1989)といわれ、ベントスの呼吸速度は慎重に評価する必要がある。

4. 考察

干潟には、様々な栄養段階の生物が生息する。表層泥の底生微小藻類、コアマモ等の海草(オゴノリ, アオサ, アオノリ等の海藻の場合もある)のような一次生産者。消費者としては、線虫類, 底生橈脚類等のメイオベントス, ゴカイ, アサリ, カニ等のマクロ・メガロベントス, さらに高次の魚類, 鳥類が一般的であろう。また堆積物中のバクテリアは、有機物の分解だけでなく、物質循環の様々なプロセスで重要な役割を持つ。さらに満潮時には、沖合い水が干潟を覆い海中の生物が加わることになる。

本報の測定例のように、干潟の表層泥を明条件下と暗条件下で培養した場合、コア内のDOの変化量は以下のように考えることができる。

明条件下のDO濃度の増加量

$$\Delta\text{O}_2(\text{L}) = \text{SG}_{\text{GP}} + \text{BA}_{\text{GP}} - (\text{SG}_{\text{R}} + \text{BA}_{\text{R}} + \text{BR} + \text{SD}_{\text{R}})$$

暗条件下のDO濃度の減少量

$$\Delta\text{O}_2(\text{D}) = \text{SG}_{\text{R}} + \text{BA}_{\text{R}} + \text{BR} + \text{SD}_{\text{R}}$$

ここで、

SG: 海草 (Seagrass, Zostera等)

BA: 底生微小藻類 (Epibenthic algae)

- B : ベントス (Benthos)
 SD : 表層泥の呼吸 (Sediment)
 (バクテリアによる分解,
 化学的酸素消費)
 GP : 総生産量 (Gross Production)
 NP : 純生産量 (Net Production)
 R : 呼吸量 (Respiration)

実際には、海草の表面には微小藻類 (Epiphytic algae) が付着し、SGはSG+EAとなる。1989年11月の盤洲干潟における調査時には、コアマモの表面に付着藻類がかなり多く観察されたが、コア内に採集された株には付着藻類は少なく、本報ではその生産量EAを区別して測定しなかった。

また、明・暗ビンの定義から

$$SG_{GP} = SG_{NP} + SG_R$$

$$BA_{GP} = BA_{NP} + BA_R$$

コアマモSGが存在しないコア内の総生産量 ($\Delta O_2(L) - \Delta O_2(D)$)は、底生微小藻類の総生産量 BA_{GP} と考えられる。しかし純生産量 BA_{NP} は、 $\Delta O_2(D)$ のなかでベントスと表層泥の呼吸 (B_R と SD_R)の影響が大きいため算出できない。 B_R は実測値を用い除外することができるが、 SD_R は不明である。ここでは、飽和光下における藻類の呼吸量は総生産量の約10%とみなすことができる (有賀, 1973)と仮定し、

$$BA_R = 0.1 \times BA_{GP}$$

これにより、表層泥の呼吸 SD_R が推定できる。

逆に、1989年のSt. 3のコアのように、コアマモ等の海草類SGが存在する場合の

底生微小藻類BAの生産量、呼吸量を算出するためには、別途測定した海草類の生産量 SG_{GP} 、 SG_{NP} 、呼吸量 SG_R を差し引く必要があり複雑となる。

以上の考え方をもとに、DOの変化から算出した各生物の生産速度、呼吸速度を、3.4と同様に呼吸商を1として炭素収支に換算し、表3に示した。

コアマモが存在するSt. 3のコアでは、底生微小藻類の総生産速度が2本のコアとも負の値、すなわちコアマモの総生産速度がコア中の総生産速度を上回ってしまった。この原因としては、測定時の光と水温の環境が必ずしも同一でないこと、コア内の底生微小藻類が少なく (クロロフィルa含有量が低い)、生産量のほとんどがコアマモに依存していることが挙げられる。

コアマモが存在しない他のコアについては、コア内の総生産速度が、そのまま底生微小藻類の総生産速度となり、1989年11月には3.5~31.9mgC/m²/h、1990年1月には10.3~84.0mgC/m²/hとなった。

表4は底生微小藻類について報告された既存の総生産速度である。本報で得られた結果は冬季の満潮時の速度と考えられ、Pomeroy (1959)が行ったGeorgia州のSapelo salt marshの50mgC/m²/hに近い値である。松尾 (1985)は、溶存酸素量の変化から山口県大海湾の5月の干潟泥の生産速度を11~98mgC/m²/hと報告しているが、表層 (0~1cm)のクロロフィルa量と溶存酸素発生量に相関関係を認めていない。図5は本調査の表層泥 (0~2cm)のクロロフィルa含有量

表3. コア内の炭素収支 単位: mgC/m²/h

調査年月	コアNo.	B A _{GP} <S G _{GP} >	B A _{NP} <S G _{NP} >	TOTAL RESP.	B A _R	B _R	S D _R
Nov. 1989	1-1	31.9	27.7	4.2	3.2	-	1.0
	1-2	13.5	9.2	4.2	1.4	-	2.8
	2-1	11.5	8.4	3.1	1.2	-	1.9
	2-2	15.1	12.6	2.5	1.5	-	1.0
	3-1	-0.4 (11.2) <19.0>	16.2 <16.1>	2.4 <2.9>	(1.1)	-	(1.3)
	3-2	-1.3 (11.2) <31.9>	20.1 <28.1>	10.5 <3.8>	(1.1)	5.7	(3.7)
	4-1	3.5	1.8	1.7	0.4	-	1.3
	4-2	9.2	7.1	2.1	0.9	-	1.2
Jan. 1990	1-1	74.5	54.8	19.7	7.4	0.4	11.9
	1-2	84.0	64.0	20.0	8.4	0.2	11.4
	3-1	42.2	36.0	6.2	4.2	-	2.0
	3-2	50.9	41.7	9.2	5.1	4.3	-0.2
	5-1	10.3	6.4	3.9	1.0	2.5	0.4
	5-2	13.5	8.5	5.0	1.4	2.9	1.2

注) 略語については、本文を参照。

< > : コアマモに関する生産速度、呼吸速度

() : 表層泥のクロロフィルaと底生藻類の総生産速度との回帰式を用い、クロロフィルa含有量から推定。

($\mu\text{g/gdw}$)と底生微小藻類の総生産速度 B A_{GP} (mgC/m²/h) との関係を示したものである。両者の間には直線関係がみられ、以下の回帰式を得た。

$$\text{総生産速度} = 11.4 \times \text{Chl. a} - 2.17$$

$$(r = 0.96, n = 6)$$

底生微小藻類の総生産力が負の値となったSt.3の2本のコアについて、この回帰式を用い表層泥のクロロフィルaか

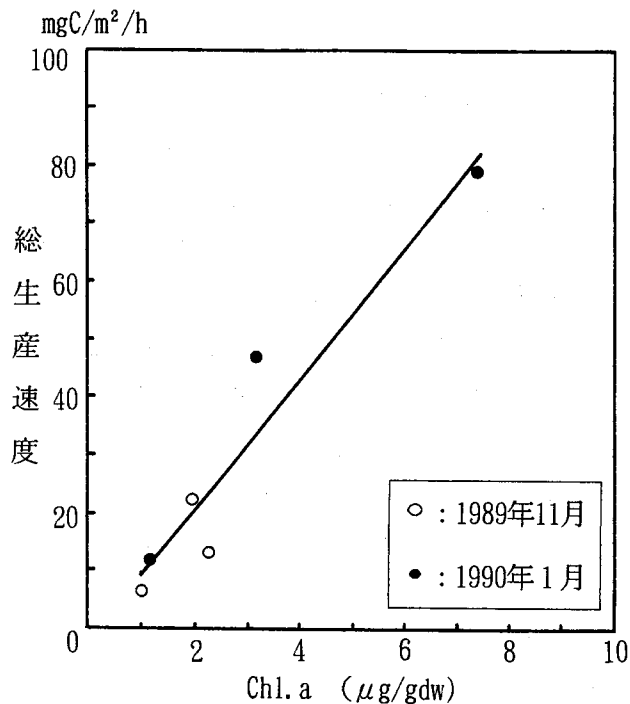


図5 表層泥のクロロフィルa含有量と底生微小藻類の生産速度(2本のコアの平均値)の関係

ら総生産速度を推定すると11.2mgC/m²/hとなった(表3()内)。

呼吸速度についてみると、1990年1月のSt.1で約20mgC/m²/hの値が得られているが、その約55%は表層泥の呼吸(有機物の分解等)、40%は底生微小藻類の呼吸であり、ユスリカ科幼虫、イトミミズ

類等の呼吸は少ないといえる。一方、アサリ、ケフサイソガニの存在したコアでは、これらのベントスによる呼吸が全体の50%近くを占める結果となった。他のコアでは表層泥の呼吸速度SD_Rはほぼ3mgC/m²/hで、底生微小藻類BA_Rの呼吸速度とほぼ同程度であった。

表4. 付着藻類(Epibenthic algae)の総生産力

調査地域	環境条件	総生産力		測定方法	出典	注
		mgC/m ² /h	gC/m ² /y			
Georgia Sapelo salt marsh	満潮時	夏	200	Bell jar 酸素法	Pomeroy(1959)	(1)
		冬	50			
	干潮時	夏	20-30	Flowing-air system (CO ₂ 吸収カラム)		
		冬	150			
年平均	(46)	200				
Georgia Sapelo salt marsh	刈り浅瀬の裸地	干出時	132	¹⁴ C法	Pomeroy et al.(1981)	(2)
		水中	5			
	土手(tall Spartina)	干出時	11			
		水中	23			
	marsh上部(Short Spartina)	干出時	7			
		水中	6			
	Massachusetts marsh	年平均	40	¹⁴ C法	Van Raalte et al.(1976)	(1)
	British Columbia marsh	塩分等の環境変化が激しい	(50)	酸素法	Pomeroy & Stockener(1976)	(1)
安定した環境			(183)			
年平均	(49)					
Delaware salt marsh		18		Gallagher & Daiber(1974)	(2)	
有機物が豊富な砂泥域のシバケリアフィルム		324	微小酸素電極法	Revsbech et al.(1988)	(3)	
付着珪藻が生息する潮干帯の砂浜域		84	微小酸素電極法	Revsbech et al.(1988)	(3)	
Lynher, UK		(33)	143	Joint(1978)	(4)	
Ythan, UK		(7)	31	Leach(1971)	(4)	
Grevelingen, NL		(6-8)	25-37	Wolff(1977)	(4)	
Barataria Bay, USA		(55)	240	Wolff(1977)	(4)	
一色干潟		(68)		Chl. aからの推算	佐々木(1989)	
山口県大海湾	5月	11~98		酸素法	松尾(1985)	
盤洲干潟	1989年11月	3.5~31.9		酸素法	本報(1990)	
	1990年1月	10.3~84.0				

()の生産速度は、年間、日間の生産力から換算(1日のうち12時間が生産と仮定)

注:(1)佐々木(1989)

(2)Pomeroy et al.(1981)

(3)Revsbech et al.(1988)

(4)McLusky, D. S.(1981)

5. 今後の課題

最初に、測定方法に関して再検討が必要である。本報では干潟域の生産力の測定に明・暗条件下での酸素法を用いたが、他に ^{14}C を用いる方法がある。近年では、微小酸素電極の開発により、酸素電極を用いて、明・暗サイクル下でのDO変化から生産力を測定する方法もとられている(Revsbech et al., 1988)。微小酸素電極を用いることにより、表層泥の数mm単位の生産構造が短時間に明かとなりうる。これらは精度向上の問題であるが、一番厄介であり工夫が必要なのは、干出時の生産力の測定方法である。表4に示した様に、干出時と冠水時では底生微小藻類の生産力に大きな差が認めらる。また、Ogata & Matsui (1965)によれば、コアマモは空中露出による乾燥のあと51%以上の光合成阻害が起こる(向井, 1982から引用)。松尾(1984)は、プロダクトメータを用いて干潟泥の生産量を測定しているが、 CO_2 の変化量をガスクロマトグラフィー、赤外吸収法等で測定する方法も検討する必要があるだろう。

コアマモ等の維管束植物は酸素ガスを植物体内に保持すること、光呼吸の問題等により、酸素法や ^{14}C 法では生産力を過少評価するという批判もある。現存量の変化を測定する方法等、海草類に関して従来から用いられている生産力の推定方法も併用したい(これらについては、Phillips and McRoy, 1980; McRoy, C. P. and C. McMillan, 1977 に詳しい)。

本調査の最終の目的は、基礎生産の担い手であるコアマモ等の海草、オゴノリ、

アオサ等の海藻、底生微小藻類、海草付着藻類、海水中の植物プランクトンが各季節、各潮時において、干潟域全体の基礎生産にどれだけ寄与しているかを把握することである。まだデータ収集を開始したばかりであるが、生産力の測定と同時に考慮すべき消費者の生物過程も多い。例えば、コアマモの分解時におけるDOの消費(バクテリアの呼吸)、ベントスについては呼吸速度測定時の埋没基質の影響、呼吸速度と潮汐周期との関連(伊藤・水本, 1983)、海水の濾水・摂餌速度、呼吸色素を持つユスリカ科幼虫に関しては、低酸素時の呼吸速度の低下があげられよう。

末筆ではあるが、表層泥の採集に協力していただいた当研究所の諸氏に感謝の意を表したい。

引用文献

- 有賀祐勝, 1973. 水界植物群落の物質生産
Ⅱ. 共立出版, 91pp.
- FUKUYO, Y., 1981. Taxonomical Study on
Benthic Dinoflagellates Collected
in Coral Reefs. Bulletin of
Japanese Society of Scientific
Fisheries, 47:967-978.
- 林文男, 1989. 低酸素濃度に対する水生昆
虫の呼吸反応. Jpn. J. Limnol., 50:255-
268.
- 伊藤克彦・水本三郎, 1983. 貝類, 代謝.
内湾底泥をめぐる物質収支の動態解明
に関する研究, 5年間の研究成果, 133
-140.
- 松尾豊, 1984. 1次生産者をめぐる窒素収
支の動態. 昭和58年度潮間帯周辺海域
における浄化機能と生物生産に関する
研究, 179-187.
- 松尾豊, 1985. 一次生産者をめぐる窒素収
支の動態. 昭和59年度潮間帯周辺海域
における浄化機能と生物生産に関する
研究推進会議資料, 69-72.
- McLusky, D. S., 1981. Primary producers.
In: The Estuarine Ecosystem. Black-
ie, 150pp.
- McRoy, C. P. and C. McMillan, 1977. Pro-
duction ecology and physiology of
seagrasses. In: Seagrass Ecosystems.
McRoy, C. P. and C. Helfferich (eds.),
Marcell Dekker inc, 53-87.
- 向井宏, 1982. アマモ (*Zostera marina*
L.) の生理と生態, 海草藻場 (特にア
マモ場) と水生生物について. (社)
- 水産資源保護協会, 1-48.
- 日本気象協会, 1985. 海洋観測指針 (気象
庁編), 428pp.
- 日本規格協会, 1986. 工場排水試験方法
(JIS K 0102), 254pp.
- Phillips, R. C. and C. P. McRoy (eds.),
1980. Handbook of Seagrass Biology.
Garland STPM Press, 353pp.
- Pomeroy, L. R., W. M. Darley, E. L. Dunn,
J. L. Gallagher, E. B. Haines and D. M.
Whitney, 1981. Primary Production.
In: The Ecology of a Salt marsh.
Pomeroy, L. R. and R. G. Wiegert (eds.).
Springer-Verlag, 39-67.
- Revsbech, N. P., J. Nielsen and P. K.
Hansen, 1988. Benthic Primary
Production and Oxygen Profiles. In:
Nitrogen Cycling in Coastal Marine
Environments. Blackburn, T. H. and J.
Sørensen (eds.), John Wiley & Sons,
69-83.
- 佐々木克之, 1989. 干潟域の物質循環. 沿
岸海洋研究ノート, 26:172-190.
- 梅林脩・松村皐月, 1983. アマモ類の生育
実態と成分変化. 昭和57年度潮間帯周
辺海域における浄化機能と生物生産に
関する研究, 113-120.
- 梅林脩・松村皐月, 1985. 藻場草類の実態
と生産. 昭和59年度潮間帯周辺海域に
おける浄化機能と生物生産に関する研
究推進会議資料, 53-56.