

## 大海湾干潟のクロロフィル-*a* とフェオ色素の鉛直分布

松 尾 豊

### Vertical Distribution of Chlorophyll-*a* and Phaeopigments on an Intertidal Flat in Ohmi Bay.

YUTAKA MATSUO

The vertical distribution of chlorophyll-*a* and phaeopigment concentrations on an intertidal flat in Ohmi Bay was investigated from June 1982 to February 1984. Samples in the uppermost 10cm of the tidal flat were taken by a hand core, 36mm in inner diameter. Chlorophyll-*a* concentration was highest in the surface layer of every samples examined. Phaeopigment was also abundant in the surface layer. However, concentration was also high below 7-8 cm depth, in the place where *Ulva* sp. was accumulated. The fractionation of samples into Epipsammon, Epipelon, and Detritus, revealed that more than 50% of chlorophyll-*a* was accounted for Epipsammon. Seasonal changes of vertical profile of chlorophyll-*a* and phaeopigment were not clear. In the uppermost layer, however, concentration became high through summer to autumn and low in winter. This tendency was observed down to 10 cm depth.

干潟は、干潮時に露出する砂泥質の平底であり、潮間帯域に形成される。干潟の1次生産者としては、アナアオサ類、アマモ類などの大型海藻(草)類が一般に知られており、研究も進んでいる。小型の藻類としては、干潟そのものに生活の基盤をおく珪藻類を主とする底生微小藻類があり、大型藻類とともに干潟の重要な1次生産者の1つであることが報告されている (COLIJN and DIJKEMA 1981, COLIJN and DE JONGE 1984)。しかし、底生微小藻類の現存量や生産量、特にその鉛直分布に関する研究は、主にヨーロッパを中心に行なわれてきているが、植物プラントンや大型藻類に比較して研究は遅れている (COLIJN and BUURT 1975, COLIJN and DIJKEMA 1981, COLIJN and DE JONGE 1984, GARGAS 1970, GARGAS 1980, GARGAS and GARGAS 1982, JOINT *et al.* 1982, RASMUSSEN *et al.* 1968, STEELE and BAIRD 1968, TIETJEN 1968)。

本研究は、潮間帯域の浄化機能の研究の一環として、山口県の瀬戸内海側に面する大海湾で、干潟泥中の微小藻類現存量について、その鉛直分布の季節変化を明らかにする目的で行われた。

干潟泥中のクロロフィル-*a* を測定するにあたり、御助力いただいた南西海区水産研究所山口峰生技官に深く感謝する。

なお、本研究は、環境庁国立機関公害防止等試験研究費で行われた。

## 方 法

大海湾は、山口県の瀬戸内海側に面する小湾で、佐波川が流入し、河口から湾岸にかけて干潟が形成されている (Fig. 1)。

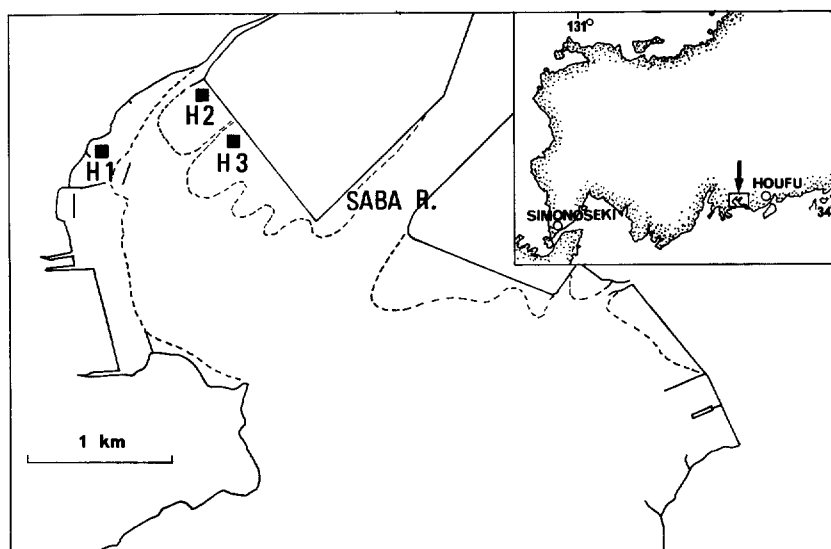


Fig. 1 Map showing the sampling stations in Ohmi Bay.

クロロフィル-*a* およびフェオ色素量測定用の干潟泥は、1982年11月から1984年3月にかけて6回、湾内の3点において干潮時に露出した干潟に、内径36mmのアクリル製コアを手で干潟に押し込むことにより、深さ10cmまで採取した。原則として各測点で3本採取したが、1983年7月の測点H2では2本、1983年11月の全点と1984年2月の測点H2では4本採取した (Table 1)。

各泥試料は測点毎に未分画試料 (Whole sample) と分画試料 (Fractionated sample) に分けた。各測点で処理した本数を Table 1 に示す。

未分画試料は、試料を1cm毎に切断後、そのままグラスファイバーフィルター (Whatman GF/C) 上で吸引脱水後、凍結保存した。

分画試料は、試料を1cm毎に切断後、MOSS and ROUND (1967) に従い、Epipelon (運動性の珪藻類), Epipsammon

Table 1. Date of sampling and number of samples taken at 3 stations indicated in Fig. 1. F: fractionated sample W: whole (non-fractionated) sample.

		H1		H2		H3	
		W	F	W	F	W	F
June	1982	2	1	2	1	2	1
Nov.	1982	2	1	2	1	2	1
Mar.	1983	2	1	2	1	2	1
July	1983	2	1	1	1	2	1
Nov.	1983	2	2	2	2	2	2
Feb.	1984	2	1	2	2	2	1

(砂礫に固着した藻類)と残りの **Detritus** に分画した (Fig. 2)。Epipelon の分画は次のように行なった。試料を96×60mmの透明プラスチックの箱の中に拡げ、その上にレンズペーパー (Whatman No.5) を3~4枚載せ、照明下に1晩置く。Epipelon は、この間にレンズペーパー内に移動することが知られており (MOSS and ROUND 1967)、翌日レンズペーパーを取り、濾過海水と共によく振とう後、レンズペーパーの繊維を除くため0.3mm目合のふるいを通して Epipelon のみとし、グラスファイバーフィルター上で吸引脱水後、凍結保存した。Epipsammon は、Epipelon を分離した残りの泥に濾過海水を入れ、よく振とうし、数十秒後に上澄みと沈澱に分けることを数回繰り返した後、沈澱部をグラスファイバーフィルター上で吸引脱水することにより分画した。また、上澄みの **Detritus** 状の残渣も同様に処理し、**Detritus** 分画としてそれぞれ凍結保存した。

クロロフィル-*a*及びフェオ色素量は、各保存試料について、乳鉢で磨砕後直ちに90%アセトンで抽出し、蛍光光度計 (TURNER DESIGN 110) により蛍光法で測定して求めた。

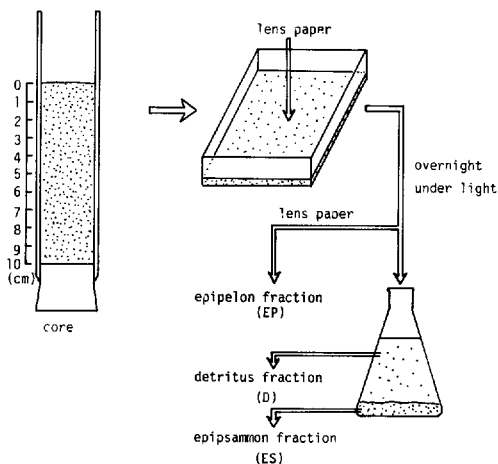


Fig. 2 Schematic diagram of the fractionation of 9 core samples.

## 結 果

### 1. 各測点のクロロフィル-*a*及びフェオ色素の鉛直分布

Fig. 3~5に、各測点別のクロロフィル-*a*とフェオ色素の平均値の鉛直分布と、クロロフィル-*a*に占める各分画間の割合を示した。平均値は、未分画試料についてはその値を、分画試料については **Epipelon**, **Epipsammon**, **Detritus** の各分画の和の値を用い、未分画試料と分画試料の色素量の合計から求めた。

#### H1

クロロフィル-*a*: 各季節とも表面で最も多く、深くなるに従って減少した。表層 (0-1 cm) の値は、 $0.4-2.2\mu\text{g}\cdot\text{cm}^{-2}$  の範囲にあったが、3-4 cm以深では  $1\mu\text{g}\cdot\text{cm}^{-2}$  以下となり、減少傾向は、表層の値が高いほど大きかった。表層の値が  $0.4\mu\text{g}\cdot\text{cm}^{-2}$  と低かった1982年11月の場合、減少傾向は小さいものの、深くなるに従い、徐々に減少した。

フェオ色素: クロロフィル-*a*に比べ、表層では  $1.1-3.4\mu\text{g}\cdot\text{cm}^{-2}$  (0-1 cm) と高かったがクロロフィル-*a*と同様、深くなるほど減少した。しかし、減少傾向は、クロロフィル-*a*より緩やかであり、従ってクロロフィル-*a*に対する割合は、深い層ほど増加した。

分画: 1983年3月を除き、クロロフィル-*a*の50%以上が **Epipsammon** に由来することが

示された。特に、1983年7月、11月、1984年2月は70%以上が *Epipsammon* に含まれていた。各分画間の割合は、季節により異なるものの、鉛直的には表面から10cm深までほぼ一定であった。*Epipelon* は占める割合が最も少ない分画であったが、1982年6月と1983年7月は0-1 cm層で、それぞれクロロフィル-*a*の15、20%を占め、その値もそれぞれ0.33、0.35 $\mu\text{g}\cdot\text{cm}^{-2}$  と他の季節に比べ高く、夏季、*Epipelon* が多いことを示した。

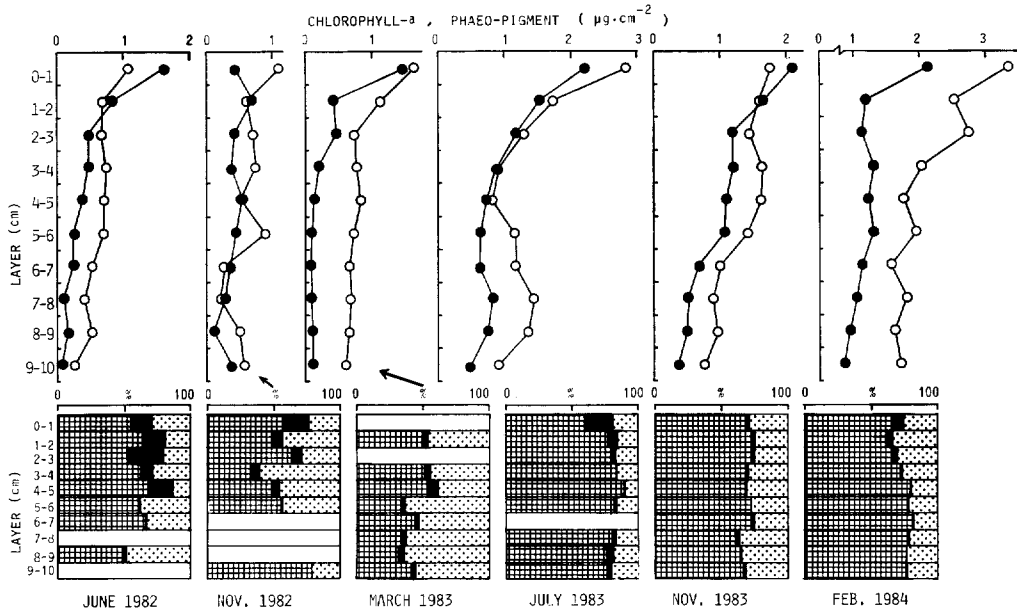





Fig. 3 Vertical profile of chlorophyll-*a* and phaeopigment at Stn H1. Top: Chlorophyll-*a* (closed circle) and phaeopigment (open circle) concentration. Bottom: Percentage composition of fraction in the chlorophyll-*a* (*Epipsammon*:  *Epipelon*:  *Detritus*:  ).

H2

クロロフィル-*a*: 測点H1と同様、深くなるほど減少し、0-1 cm層では、0.6-3.5 $\mu\text{g}\cdot\text{cm}^{-2}$ であったものが、3-4 cm以深では1 $\mu\text{g}\cdot\text{cm}^{-2}$ 以下となった。1982年11月には、クロロフィル-*a*は、0-1 cm層で0.6、1-2 cm層で1.1 $\mu\text{g}\cdot\text{cm}^{-2}$ と低い値であったが、1 cm以深では0.5 $\mu\text{g}\cdot\text{cm}^{-2}$ 以下と更に減少しており、他の季節と同様、クロロフィル-*a*が表層で最も多いことを示した。

フェオ色素: 0-1 cm層で、0.9-6.8 $\mu\text{g}\cdot\text{cm}^{-2}$ とクロロフィル-*a*よりも高い値を示した。鉛直分布は、表面から6ないし7 cmまでは減少したが、それ以深では、逆に増加する傾向を示した。この逆転傾向は、1983年3月と1984年2月に著しかった。この測点には春から夏にかけて湾内に増殖したアナアオサ類が多量に堆積した。この結果、堆積したアナアオサ類が分解し、干潟泥中に沈降したためフェオ色素量が6-7 cm以深で増加したと考えられる。

分画: クロロフィル-*a*に占める割合の高かった分画は、1983年11月を除き、*Epipsammon*

大海湾干潟のクロロフィル-*a*とフェオ色素

分画であり、全クロロフィル-*a*量の70—80%を占めていた。また、各分画間の割合は、測点H1と同じく、深さにかかわらず、ほぼ一定であった。1983年11月は、Epipsammonの割合は低く、50%台であり Detritus 由来のクロロフィル-*a*が多かった。この時期は、フェオ色素量が多いことから、海藻あるいはプランクトンに由来する Detritus が多かったものと思われる。Epipelon は、最も多い時期で $0.2\mu\text{g}\cdot\text{cm}^{-2}$ と少なく、この測点では Epipelonが 少ないことが明らかになった。

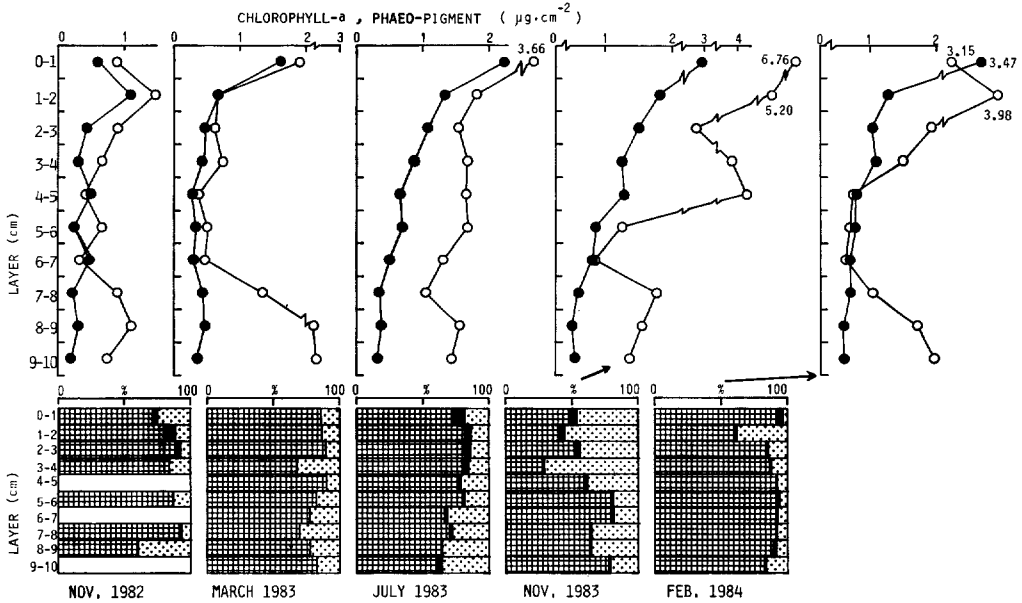





Fig. 4 Vertical profile of chlorophyll-*a* and phaeopigment at Stn H2. Top: Chlorophyll-*a* (closed circle) and phaeopigment (open circle) concentration. Bottom: Percentage composition of fraction in the chlorophyll-*a* (Epipsammon:  Epipelon:  Detritus:  ).

H3

クロロフィル-*a*: 0—1 cm層では $0.6\text{--}2.4\mu\text{g}\cdot\text{cm}^{-2}$ の範囲の値を示したが、他の2測点と同じく、深くなるにつれて徐々に減少した。しかし、表層のクロロフィル-*a*値が $0.6\mu\text{g}\cdot\text{cm}^{-2}$ と低かった1982年6月と1983年3月は、クロロフィル-*a*は、10cm深までほぼ一定の値を示した。

フェオ色素: 0—1 cm層では $0.7\text{--}4.7\mu\text{g}\cdot\text{cm}^{-2}$ の値を示し、また、他の2測点と同様、クロロフィル-*a*よりも多かった。クロロフィル-*a*に対する割合は深度が増すにつれて増加した。

分画: いずれの時期も各層とも Epipsammon が主体であり、最も少なかった1982年6月の0—1 cm層でも全クロロフィル-*a*量の50%を占めており、1983年3, 7, 11月はほぼ70%以上を占め、他の2測点に比べて Epipsammon の割合が高い特徴が認められた。Epipelon は、最も多い1984年2月で $0.2\mu\text{g}\cdot\text{cm}^{-2}$ と少なく、測点H2と同様、Epipelon の少ない測点であることが示された。

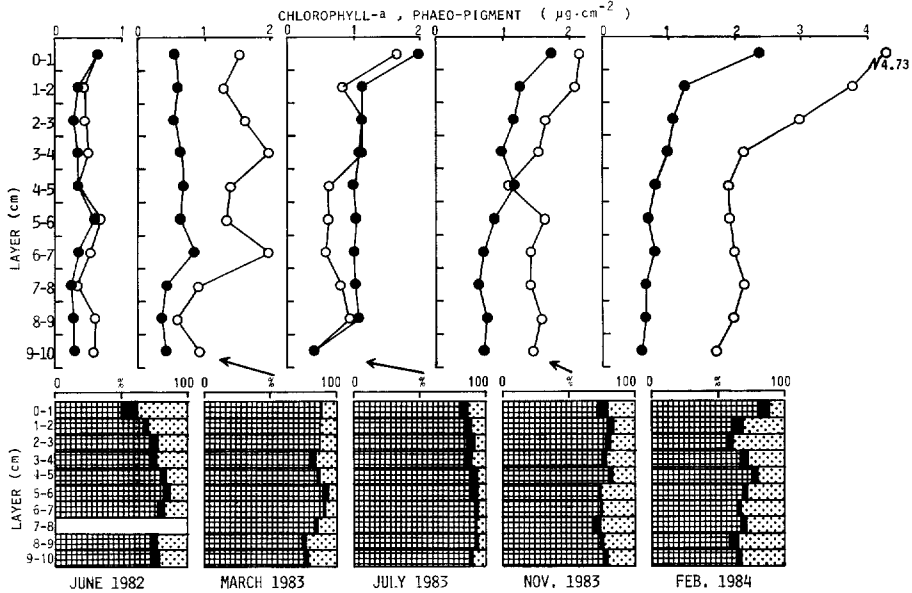





Fig. 5 Vertical profile of chlorophyll-*a* and phaeopigment at Stn H3. Top: Chlorophyll-*a* (closed circle) and phaeopigment (open circle) concentration. Bottom: Percentage composition of fraction in the chlorophyll-*a* (Epipsammon:  Epipelon:  Detritus:  ).

## 2. クロロフィル-*a* の鉛直分布の季節変化

ここでは、クロロフィル-*a* の鉛直変化について述べる。Fig. 6 には、各試料から得られたクロロフィル-*a* の値 (分画したものは Epipsammon, Epipelon, Detritus の和) を白丸で、それらの平均値を実線で示した。

測点 H 1 と H 3 の季節変化は類似し、明瞭な変化は認められなかったものの、濃度は夏季に高く、秋季から冬季にかけて低い傾向が見られた。この傾向は、深度が増すにつれて弱くなるものの、9—10cm層でも認められた。測点 H 2 では、H 1, H 3 と異なり、クロロフィル-*a* 濃度は、秋季 (1983年11月) に最も高くなる傾向が認められた。これは、分画の結果に示されるように、Detritus 由来のクロロフィル-*a* が秋季に多かったためである。この Detritus が、植物プランクトンに由来するものか、大型海藻類の破片に由来するものか、あるいは、底生微小藻類に由来するものかについては、実際に検鏡していないため不明である。しかし、この時期は、フェオ色素量がクロロフィル-*a* 量の2.3倍と非常に多く、アナオサ類はほとんど存在していなかった。このことは、このクロロフィル-*a* 及びフェオ色素の由来が植物プランクトンないし底生微小藻類によると考えられる。

測点 H 1 と H 2 では、春季あるいは秋季には、年によりクロロフィル-*a* の量が大きく異なった。これは、干潟の微小藻類の現在量が、年によって大きく変動することを表わしている。この原因としては、干潟の状態が潮汐や採具により一定していないこと、また、春季から夏季にかけて、湾内に繁殖したアナオサ類が干潟上を覆うため、干潟泥中の微小藻類の増殖に影響したこ

とが考えられる。

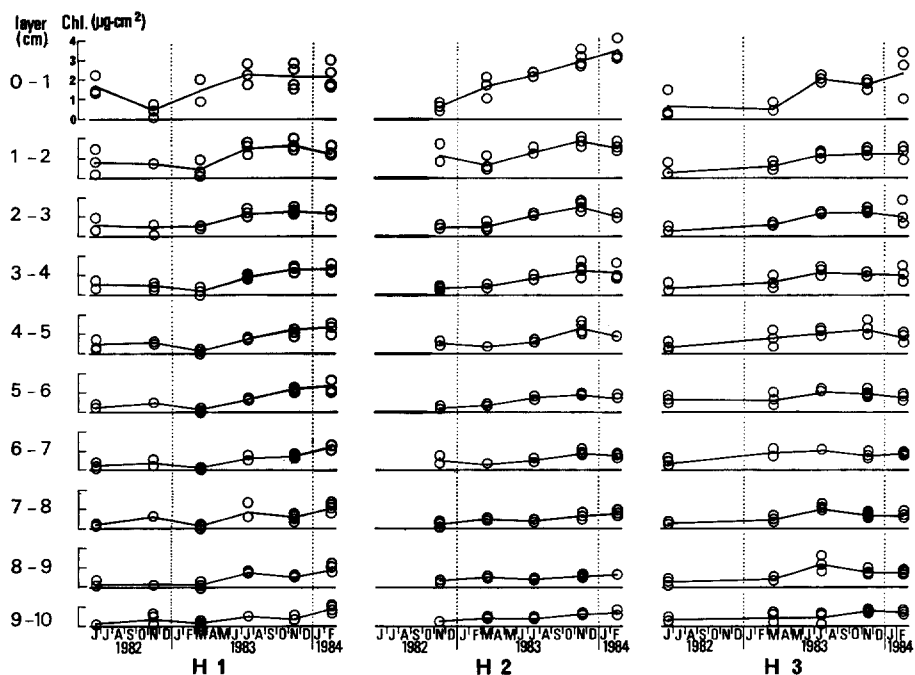


Fig. 6 Seasonal change of chlorophyll-*a* concentration in each layer of 3 sampling stations. Solid line shows the mean chlorophyll-*a* value of each layer. Open circle indicates chlorophyll-*a* value of whole sample or sum of 3 fractionation (Epipsammon, Epipelon and Detritus).

## 考 察

### 1. 鉛直分布

本研究の結果、大海湾干潟の表層10cmのクロロフィル-*a*鉛直分布は、季節にかかわらず表面で最も高い値を示した。また、クロロフィル-*a*濃度は夏季から秋季にかけて高く、冬季から春季にかけて低かった。

冒頭に述べたように、干潟域の微小藻類の現存量や生産量の鉛直分布に関する研究は少ない。STEELE and BAIRD (1968) は、Scotland の砂浜の生産生態の研究の結果、干潟のクロロフィル-*a*の鉛直分布には、表面から深さ約20cmまでは、一定の減少ないし増加傾向は見られず、むしろ、ある深さでクロロフィル-*a*の値が高くなることを報告した。GARGAS and GARGAS (1982) は、Denmark の Nivå Bay の岸近くでは表層10cmのクロロフィル-*a*の鉛直分布は年間を通じて表面で最も高く、また、クロロフィル-*a*に対するフェオ色素の割合は、深くなるほど増加することを見出した。JOINT *et al.* (1982) は、England の干潟の表層20mmを1mm毎に精査し、優先種5種類は、表面に近いほど多く、特に、珪藻4種類は、表面から8mmまでに集中している

と述べている。

本研究の結果は、STEELE and BAIRD (1968) の結果とは異なるものの、GARGAS and GARGAS (1982) や JOINT *et al.* (1982) の結果とよく一致する。すなわち、微小藻類の現存量は、表面で最も高かった。STEELE and BAIRD (1968) は、干潟泥の鉛直混合がクロロフィル—*a* の鉛直分布と生産に大きく影響を与えると述べている。その結果でも、低潮線より下の測点では、クロロフィル—*a* は、表面に近いほど高い値を示した。これらの結果は、干潟域のクロロフィル—*a* の鉛直分布は、表面で最も高くなるが、波浪や採貝などの人工的な原因による干潟泥の攪乱が大きい場合、深くなるにつれ減少するという一定の傾向は認められなくなることを示している。

PERKINS (1963) によれば、砂の光の透過率は、湿泥では2 mmで5%以下になり、土では2 mmで0.43%になる。すなわち、干潟の表面から数mmの深さでは光は殆んど届いていないと考えられる。このことから、干潟泥の中に沈降した微小藻類は暗黒下におかれるため、再び表面に持ち上げられない限り死滅していくが考えられる。しかし、STEELE and BAIRD (1968) は、砂から分離した珪藻類は、暗黒下で23日間、色素が分解することなしに生存したと述べている。GARGAS (1970) によれば、表面から10cm深まで基礎生産量を測定した結果、基礎生産量は深度が増すにつれ徐々に減少していた。これは、表面から1 cm以上深いところの藻類も生産能力があることを意味している。これらの結果は、底生微小藻類が暗黒下でもある期間生存している可能性を示唆しているが、生存には溶存酸素、水温、塩分などが影響を与えるとの報告があるものの (GARGAS and GARGAS 1982)、どの程度の期間生存可能か、また、干潟泥の擾乱が、底生微小藻類の鉛直分布にどの程度影響を与えるかについての報告はない。したがって、表面から数mm以深に分布した微小藻類が、干潟域での基礎生産にどの程度寄与するかについては、現在のところ不明である。

## 2. 分 画

干潟泥を Epipsammon, Epipelon, Detritus に分画した結果、クロロフィル—*a* の50%以上が Epipsammon に由来することが示された。

STEELE and BAIRD (1968) は、干潟の砂を検鏡した結果、砂に固着した珪藻類が優占種であると述べている。GARGAS (1970) によれば、Nivå Bay では、psammophytic fraction ((Epipsammon に相当) と pseudobenthic fraction (Epipelon + Detritus に相当) に分画した結果、5月から11月にかけて、0—1 cm層の基礎生産の72%が psammophytic fraction によると報告した。このように、海域が異なっても、干潟域の微小藻類現存量に占める割合は、Epipsammon、すなわち砂礫に固着した藻類が卓越することが明らかにされた。

## 3. 鉛直分布の季節変化

大海湾干潟のクロロフィル—*a* の季節変化は、深さ10cmまで及んでおり、夏季から秋季に高く、冬季から春季に低いという結果が得られた。GARGAS (1970) は、表層0—2 mmの基礎生産速度は、5月から11月の間では、9月が最も高いことを報告した。COLIJN and DIKEMA (1981) の結果によれば、表層0—2 cmのクロロフィル—*a* 値は、5—6月に最も高く、この他、春と秋に小さいピークが観察された。GARGAS and GARGAS (1982) は、1、2月を除く9月から翌年8月にわたり、0—1 cm層のクロロフィル—*a* の値は、春から夏にかけて高く、一度低下して、再



び秋に高くなり、冬は低いことを報告した。COLIJN and DE JONGE (1984) は、オランダの Wadden Sea では、クロロフィル-*a* 値は8月が最も高く、12—2月が最も低くなることを見出した。

このように、いずれの研究においても、海域は異なるものの、干潟のクロロフィル-*a* は夏季に最も高い値を示し、冬季に最も低くなることが明らかにされている。COLIJN and BUURT (1975) によれば、底生微小藻類の光合成速度は60,000lux までは光阻害を見せなかった。RASMUSSEN *et al.* (1983) は、底生微小藻類は、800 $\mu\text{E}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$  まで光阻害を起こさず、9月の試料では、温度が高いほど(5—30℃の範囲)光合成速度は高かったと述べている。これらの結果から、底生微小藻類は、夏の干潟の表面でも光阻害を起こさず、高い水温に適応して高い光合成速度を維持することにより、活発に増殖することが考えられる。そのため、底生微小藻類の現存量は一般的に夏季に最も高くなると言える。

## 摘 要

1. 山口県大海湾の干潟上の3測点で、1982年6月から1984年2月にかけて6回、クロロフィル-*a* とフェオ色素の鉛直分布について研究した。干潟泥は深さ10cmまで採取し、1cm毎の色素量を蛍光法で測定した。同じ測点で得られた試料の内、一部の試料についてはそのまま、残りの試料については運動性の珪藻類である *Epipelon*、固着性の微小藻類である *Epipsammon* と残りの *Detritus* に分画し、各々の色素量を測定した。*Epipelon* は、レンズペーパー法で分画し、*Epipsammon* は、*Epipelon* を除いた残泥の砂礫部、*Detritus* は、残泥の懸濁部として分画した。
2. クロロフィル-*a* は、各季節とも、表面で最も多く、深くなるにつれて減少し、6—7cm以深では1 $\mu\text{g}\cdot\text{cm}^{-2}$  以下であった。フェオ色素は、クロロフィル-*a* と同様、表面が最も多かった。しかし、アナアオサ類が堆積する測点では、7—8cm深より再び増加した。
3. 干潟泥を、*Epipsammon*、*Epipelon*、*Detritus* の3分画に分けた結果、クロロフィル-*a* の50%以上が固着性の微小藻類である *Epipsammon* に由来することが明らかにされた。分画間の構成比は、深度にかかわらずほとんど一定であった。運動性の珪藻類である *Epipelon* は、量的に最も少ない分画であったが、夏季に増殖する傾向が認められた。
4. 鉛直分布の季節変化は明瞭でなかったが、夏季から秋季にかけて高く、冬季に低い傾向が見られた。この季節変化は、9—10cm層でも弱いながら認められ、季節変化は少なくとも10cmまで及ぶことが明らかにされた。

## 引用文献

- COLIJN, F. and G. VAN BUURT, 1975: Influence of light and temperature on the photosynthetic rate of marine benthic diatoms. *Mar. Biol.*, **31**, 209-214.

- COLIJN, F. and K. S. DIJKEMA, 1981: Species composition of benthic diatoms and distribution of chlorophyll a on an intertidal flat in the Dutch Wadden Sea. *Mar. Ecol. Prog. Ser.*, **4**, 9-21.
- COLIJN, F. and V. N. DE JONG, 1984: Primary production of microphytobenthos in the Ems-Dollard estuary. *Mar. Ecol. Prog. Ser.*, **14**, 185-196.
- GARGAS, E., 1970: Measurements of primary production, dark fixation and vertical distribution of the microbenthic algae in the Øresund. *Ophelia*, **8**, 231-253.
- GARGAS, E., 1980: Production and photosynthetic efficiency of microalgae (phytoplankton and microbenthos) in a shallow Danish fjord. *Vatten*, **2**, 125-138.
- GARGAS, M. and E. GARGAS, 1982: Growth physiological conditions of marine microalgae in the topmost 10 cm of the sediment. *Vatten*, **38**, 189-198.
- JOINT, I. R., J. M. GEE and R. M. WARWICK, 1982: Determination of fine-scale vertical distribution of microbes and meiofauna in an intertidal sediment. *Mar. Biol.*, **72**, 157-164.
- MOSS, B. and F. E. ROUND, 1967: Observations on standing crops of epipellic and epipsammic algal communities in Shear Water, Wilts. *Br. phycol. Bull.*, **3**, 241-248.
- PERKINS, E. J., 1963: Penetration of light into littoral soils. *J. Ecol.*, **51**, 687-692.
- RASMUSSEN, M. B., K. HENRIKSEN and A. JENSEN, 1983: Possible causes of temporal fluctuations in primary production of the microphytobenthos in the Danish Wadden Sea. *Mar. Biol.*, **73**, 109-114.
- STEELE, J. H. and I. E. BAIRD, 1968: Production ecology of a sandy beach. *Limnol. Oceanogr.*, **13**, 14-25.
- TJETJEN, J. H., 1968: Chlorophyll and phaeo-pigments in estuarine sediments. *Limnol. Oceanogr.*, **13**, 189-192.