

# 懸濁物質がノリ殻胞子の着生に及ぼす影響

鈴木祥広<sup>1</sup>・丸山俊朗<sup>2</sup>・三浦昭雄<sup>3</sup>

<sup>1</sup>正会員 水産博 宮崎大学助手 工学部土木環境工学科 (〒889-21 宮崎市学園木花台西1-1)

<sup>2</sup>正会員 工博 宮崎大学教授 工学部土木環境工学科 (〒889-21 宮崎市学園木花台西1-1)

<sup>3</sup>理博 青森大学教授 工学部生物工学科 (〒030 青森市幸畑2-3-1)

ノリの殻胞子に対する懸濁物質の物理的影響を明らかにすることを目的とし、種類と粒径の異なる粘土粒子と有機懸濁物質を用いて、殻胞子と懸濁物質の同時混合による着生影響試験を行った。その結果以下の知見を得た。(1) 殻胞子の着生に及ぼすカオリン粒子の影響は粒径に大きく依存し、カオリン濃度が一定の場合では大型の粒子の方が着生阻害作用が大きい。(2) 5種類の粘土粒子は、殻胞子の着生に対して、いずれも著しい阻害作用を示した。(3) 有機懸濁物質は、粘土粒子の場合と比較すると、殻胞子の基質への着生阻害作用は著しく小さい。

**Key Words :** *adhesion, conchospores, suspended matters, Porphyra*

## 1. はじめに

海藻群落の保全は、沿岸域の環境を保全ないし修復していく上で極めて重要な課題の一つである<sup>1)~4)</sup>。海藻群落が衰退する原因は、地域・沿岸環境によって多様かつ複雑であり、現在においても不明な点が多いが、懸濁物質の沿岸域への流入による海藻に対する着生阻害が原因の一つとして考えられる<sup>4)~9)</sup>。懸濁物質は都市化の拡大、森林の伐採、ならびに河川の護岸・改修などによって、降雨時には河川を通して局所集中的に沿岸域に排出される。さらに、浚渫、海底改良などの海洋土工事においても発生すると考えられる<sup>10)</sup>。したがって、懸濁物質の海藻の着生に及ぼす影響を明らかにすることは今後の雨水・濁水の対策を講じていく上で重要な課題である。

海藻群落が形成され、維持されるためには、海藻の生殖細胞が基質(海藻の着生基盤)に確実に着生することが最も基本的な条件である。これまでに、数種の褐藻について、74 $\mu$ m以下の砂の粒子(550℃で強熱処理、種類や平均粒径は不明)<sup>5)</sup>とカオリン粒子<sup>6)</sup>・<sup>7)</sup>が遊走子の基質への着生または生存に影響を及ぼすことが報告されている。著者らは、カオリン粒子についてスサビノリ(*Porphyra yezoensis* Ueda)殻胞子の着生・発芽におよぼす影響試験の結果から、海藻の胞子の着生時期には懸濁粒

子が著しい影響を及ぼす可能性のあることを報告した<sup>11)</sup>。懸濁物質の存否は、海藻の胞子および遊走子が基質に着生できるか否かを左右する重要な因子の一つである。

実際の沿岸域に流入する懸濁物質は多様であり、種類と粒径が異なる粘土粒子などの無機物質と、フミン酸やデトリタスなどの有機物質が混在していると考えられる。懸濁物質の水中における挙動が種類と粒径に依存することから、懸濁物質の海域への負荷も種類と粒径によって強く支配されると考えられる。したがって、懸濁物質の海藻への影響を評価する上で、懸濁物質の種類と粒径の違いによる胞子および遊走子の基質への着生に及ぼす影響に関する知見が必要である。しかし、これらに関する研究は見あたらない。

そこで本研究では、スサビノリ殻胞子を材料としてその着生に対する懸濁物質の影響について、種類と粒径の異なる粘土粒子と有機懸濁物質を用いて、着生殻胞子数の測定によって検討した。

## 2. 材料と方法

### (1) カオリン粒子の粒径の分別方法

カオリン(学名:カオリナイト, 和光純薬, 化学

用)を3つの異なる粒径の粒子(大粒子, 中粒子, 小粒子)に分別した。方法は, 蒸留水1000mlにカオリン10gを懸濁させ, ピロリン酸ナトリウム0.2gを加えて3分間激しく混合し<sup>12)</sup>, つづいて1000mlのメスシリンダーに移し入れてさらに1分間激しく振り混ぜて行った。大粒子は5分間で沈降した粒子, 中粒子は5~30分で沈降した粒子, 小粒子は1時間後も懸濁していた粒子である。回収したそれぞれの粒子は, 同じ操作を3回繰り返して精製した。精製した粒子は孔径0.45 $\mu$ mのフィルターでろ過後, 蒸留水でよく洗浄し, 110℃で2~3時間乾燥させた。

## (2) 無機粘土粒子の種類

粘土粒子はその種類によって性状が異なり, イオンを含む水溶液に浸漬すると, 表面にイオンの集積が起こり, イオン交換が行われる<sup>13)</sup>。したがって, 粘土粒子の種類によって海水中における界面の状態も異なると考えられる。そこで, わが国の代表的な粘土粒子として, カオリン(精製していないもの), 酸性白土(モンモリロナイト型), モルデナイト(モルデナイト型), ベントナイト(モンモリロナイト型), およびハロイサイト(カオリン型)を用いた。カオリン以外の粘土粒子は水沢商事株式会社より分譲を受けた。

## (3) 懸濁海水の調製

### a) 粘土粒子

上記の粘土粒子0.1gを100mlの1/20PES培地<sup>14)</sup>に懸濁させ, 手で激しく1分程度攪拌後, 一昼夜静置した。これを粘土粒子懸濁海水の原液とした。なお, 粘土粒子を注入する直前に攪拌して再懸濁させてから着生影響試験に用いた。

### b) 有機懸濁物質

フミン酸と植物プランクトンのデトリタスを有機懸濁物質の試料とした。

フミン酸懸濁海水: フミン酸(和光純薬)1.0gを1000mlの1/20PES培地に懸濁させ, 24時間静置した。これをフミン酸懸濁海水の原液として所定の濃度になるように添加し, ノリ殻胞子の着生影響試験を行った。フミン酸が海水に溶解することによる懸濁物質質量の変化を調べるため, 24時間後のフミン酸懸濁海水の原液の懸濁物質質量を測定した。その結果, 添加したフミン酸の98%が懸濁物質として海水中に存在したことから, フミン酸の懸濁物質質量は変化しないものとした。また, 沈降性を調べた結果, フミン酸懸濁物質は24時間で79%が沈殿した。

デトリタス懸濁海水: 海産植物プランクトン(珪

藻, *Skeletonema costatum*, 細胞密度 $10^6$ cells/ml)を培養した培地約2 $\ell$ をオートクレーブ(121℃, 1.2atm, 30min)にかけて死滅させた。つづいて減圧ろ過法(0.45 $\mu$ m)によって懸濁物質を回収し, 100mlの1/20PES培地に再懸濁させ, デトリタス懸濁海水の原液とした。この原液のSSは0.605g/lであった。沈降性を調べた結果, 20mg/lとなるように調整したデトリタス懸濁海水中の懸濁物質は24時間でその81%が沈殿した。

## (4) ノリ殻胞子の着生影響試験

ノリ殻胞子(粒径約10 $\mu$ m)は保存培養しているスサビノリのフリー糸状体から, 実験当日に1/20PES培地中に放出させたものを用いた。なお, スサビノリ殻胞子の採取は, 高見ら<sup>15)</sup>が開発した方法で適時・確実に入手できる。

着生実験は, 培養ウェルプレート(Cell-Wells, Corning社製, 6wells, 直径34.6mm, 深さ17.6mm, 底面積9.40cm<sup>2</sup>)底面にガラスプレート(武藤化学社製カバークラス, 10mm $\times$ 10mm)を置き, これを基質としてカオリン等の懸濁海水と殻胞子懸濁液(殻胞子数約500~1000個)を同時に所定の濃度になるよう注入した。ガラスプレートは予め, 洗剤と塩酸で洗浄した後, 一昼夜1/20PES培地に浸漬させたものを用いた。懸濁海水と殻胞子懸濁液の総容量を10mlとした。試験区の粘土粒子と有機懸濁物質の濃度は, それぞれ0.5~20mg/lの間で5または6濃度区と2~500mg/lの間で6または8濃度区とした。なお, 粘土粒子の添加量の全量が底面に均一に沈降した場合, 10mg/lの懸濁海水を10ml注入したときの沈降した粒子量(堆積粒子量)は, 10.6 $\mu$ g/cm<sup>2</sup>となる。対照区として, 1/20PES培地のみを用いてガラスプレート上に殻胞子を着生させた。培養条件は温度15℃, 光量子密度140 $\mu$ E/m<sup>2</sup>/s, 明暗周期10hL:14hDとした。

着生した殻胞子数の計数方法は, 試験開始から24時間後にガラスプレートを静かに引き上げ, 別に用意した1/20PES培地に垂直に静かに3回浸漬する方法で未着生殻胞子を洗い流し, つづいてガラスプレート上に残った着生個体数を倒立顕微鏡(ニコン社製, DIAPHOTO 300)で計数した。この浸漬法で洗浄した後のガラスプレート上の着生数と沈降した全殻胞子数の割合はほぼ一定となる<sup>15)</sup>。なお, 着生影響試験は一つの濃度区について3連で行った。

また, 1/20PES培地ベースの2~10mg/lの懸濁物質のみを培養ウェルプレートに入れて, 着生影響試験と同様の操作を行い, それぞれの沈降した粒子の

表-1 粘土粒子の粒径と被覆率

種類	平均粒径±S D ( $\mu\text{m}$ )	90%径* ( $\mu\text{m}$ )	堆積粒子数 (個/ $\text{cm}^2$ ) 10mg/lのとき	被覆率 (%)
カオリン 大粒子	5.3±4.1	10.6	$2.0 \times 10^4$	0.5
中粒子	1.7±1.0	3.2	$5.9 \times 10^5$	1.3
小粒子	1.6±0.7	2.5	$6.7 \times 10^5$	1.4
カオリン 未精製 (カオリン型)	1.9±1.5	3.7	$3.3 \times 10^5$	0.9
酸性白土 (モンモリロナイト型)	2.2±2.4	4.2	$8.8 \times 10^4$	0.3
モルデナイト (ゼオライト型)	2.0±1.6	3.9	$2.5 \times 10^5$	0.9
ベントナイト (モンモリロナイト型)	1.8±1.4	3.4	$1.9 \times 10^5$	0.5
ハロイサイト (カオリン型)	2.0±2.0	3.9	$1.1 \times 10^5$	0.4

\*累積粒度の値が90%のところの粒径を意味する。

形状等について倒立顕微鏡で観察した。

カオリン粒子のノリ殻胞子の基質への着生に対する影響を定量的に評価するため、最小影響濃度 (Lowest-Observed-Effect Concentration, LOEC) を求めた。LOECは、米国環境保護庁の提示した ANOVA test (分散分析)<sup>16)</sup>に従って求めた。

### (5) 粒径と沈降粒子数の測定

沈降速度の異なる3つのカオリン粒子 (大, 中, 小粒子) と種類の異なる粘土粒子 (カオリン, 酸性白土, モルデナイト, ベントナイト, およびハロイサイト) の粒径と粒子数について、フロー式粒子像分析装置 (東亞医用電子社製, FPIA-1000) を用いて測定した。FPIA-1000は、撮影した数千個の粒子画像をそれぞれすべて画像解析し、粒子像の投影面積と同じ面積を持つ円の径 (円相当径) から粒度分布, 平均粒径, ならびに粒子数を測定できる。

ウェルプレートに注入した懸濁海水 (水量10ml: 水深1.1cm) 中のカオリン小粒子 (粒径 $1.6\mu\text{m}$ , 密度 $2.6\text{g}/\text{cm}^3$ ) の沈降に要する時間は、粒子を球形で自然沈降すると仮定した場合、ストークスの式より約1.5時間である。殻胞子の沈降に要する時間は実測の結果、6時間程度であったことから、カオリン粒子は殻胞子の着生前にガラスプレートに堆積する。その他の粘土の密度も $2.1\sim 2.6\text{g}/\text{cm}^3$  (株水澤商事による) であるから殻胞子よりも沈降速度が速いとみなすことができる。したがって、着生阻害作用を検討するためには、粒子濃度, 堆積量, および沈降

粒子の単位面積当たりの投影面積の占める割合 (被覆率, %) が重要な因子となる。被覆率は、得られた平均粒径と粒子数から粘土粒子濃度10mg/lのとき、底面積 ( $9.40\text{cm}^2$ ) に全粒子が沈降するとして算出した。粘土粒子に関する分析結果を表-1に示した。

## 3. 結果と考察

### (1) 粒径の違いによる殻胞子の着生に及ぼす影響

3つの粒径の異なる大, 中ならびに小径のカオリン粒子について、24時間後における殻胞子の着生影響の3回の繰り返し試験 (Size test-1~3) の結果を図-1に示した。横軸は各粒子濃度で、縦軸の着生率は対照区の着生数に対する各濃度区の着生数の割合 (%) で表した。大, 中, 小粒子の平均粒径は、それぞれ5.3, 1.7と $1.6\mu\text{m}$ である (表-1)。Size test-1~3に供した殻胞子は、それぞれ異なった放出時期のものである。また、Size test-1, 2, 3における着生殻胞子数は、それぞれ $38\sim 67$ 個/ $\text{cm}^2$ ,  $109\sim 118$ 個/ $\text{cm}^2$ および $153\sim 372$ 個/ $\text{cm}^2$ であった。3回のいずれの試験 (図-1, Size test-1, 2, 3) においても、LOECは同様の傾向を示した。対照区の殻胞子懸濁液の殻胞子密度の違いによる着生率に対する影響は、低密度区 (Size test-1) と高密度区 (Size test-3) では明確な違いはみられなかった。大, 中, 小粒子のうち、最も殻胞子の着生阻害を示したのは

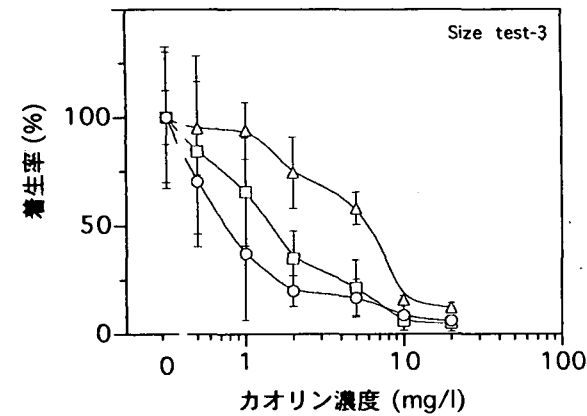
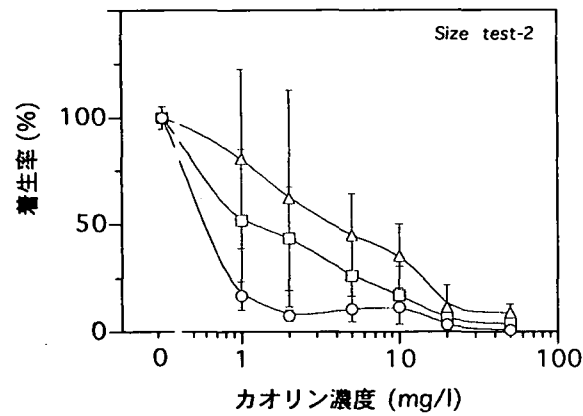
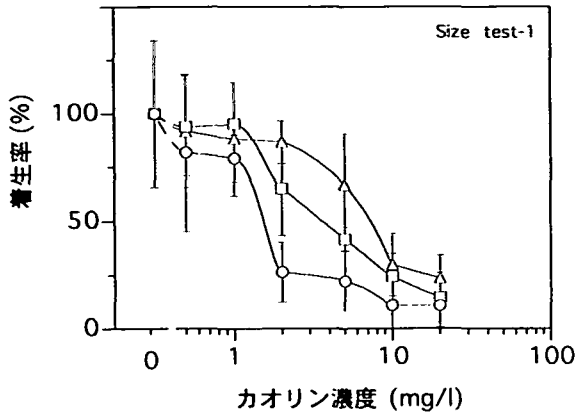


図-1 ノリ殻胞子の着生におよぼすカオリン粒子径の影響。(n=3, エラーバーはSDを示す)  
○: 大粒子, □: 中粒子, △: 小粒子.

大粒子の場合であり、3回の試験で得られたLOECは1.0~2.0mg/lであった。ついで影響の大きかったのは中粒子の場合であり、LOECは1.0~5.0mg/lであり、小粒子は最も影響が小さく、LOECは2.0~10.0mg/lであった。大粒子と小粒子のLOECを比較すると、大粒子の方が小粒子の場合の1/2~1/5倍低い濃度を示し、着生阻害効果が大きいことが明らかとなった。

以上の結果から、カオリン粒子の粒径の違いによる着生阻害の機構について考察する。基質の単位面積当たりの粒子の被覆率をみると(表-1)、同濃度(10mg/l)では、小さい粒子ほど被覆率が高くなる傾向を示し、大粒子0.5%, 中粒子1.3%, ならびに小粒子1.4%であった。ところが、殻胞子の着生阻害効果は、基質の被覆されていない面積(非被覆面積)の広さとは逆に、大粒子の方が小粒子と比較すると著しい阻害効果を示した。また、殻胞子の着生できる非被覆面積の割合は、着生率が20%程度にまで低下した10mg/lにおいて約98%であり、基質面積の減少のみでは、カオリン粒子による着生阻害の機構を説明できない。そこで、もう一つの着生阻害の要因として、沈降時におけるカオリン粒子の殻胞子への付着が挙げられる。カオリン粒子の方が密度が高いために、着生時にはカオリン粒子が殻胞子の下になり、殻胞子の表面が基質に直接的に着生できないことが考えられる<sup>11)</sup>。殻胞子に付着したカオリン粒子が基質の上に沈降した場合、その粒子の粒径が大きいほど殻胞子と基質との距離が長くなり、殻胞子の表面と基質が接触できる機会が少なくなることから、大粒子の方が小粒子よりも大きな着生阻害効果を示したと説明することができる。すなわち、沈降過程において殻胞子にカオリン粒子が付着し、その付着した粒子の粒径が着生率を大きく左右した要因と考えられる。

粘土粒子は、人為的な負荷が全くない沿岸環境においても、陸水の流入や潮流、波動による舞い上がりによって海藻の生育の場に懸濁し、沈降しているはずである。本研究の結果、その粒子が微細粒子(小粒子)の場合は、そこに着生する海藻に及ぼす影響は大粒子の場合よりも小さいと考えられる。これに対して、大粒子が負荷された場合、その量が極微量であったとしても、着生に著しく影響を及ぼす可能性が高い。河川等からの流水量と流水速度の増加は、大型の粒子を含んだ大量の懸濁粒子を沿岸域まで運ぶことになるため、人為的な環境変化に伴う懸濁粒子の沿岸域への流出は、海藻群落の形成初期に著しい影響を及ぼす可能性がある。

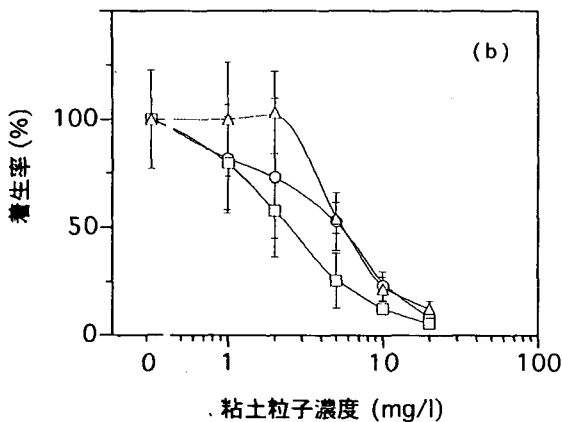
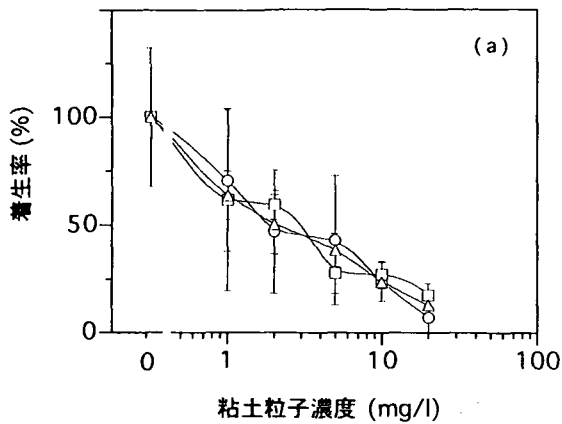


図-2 ノリ殻胞子の着生におよぼす粘土粒子の影響。  
(n=3, エラーバーはSDを示す)

- (a) カオリン (○), 酸性白土 (□), モルデナイト (△) の着生影響試験  
(b) カオリン (○), ベントナイト (□), ハロイサイト (△) の着生影響試験

## (2) 種類の異なる無機粘土粒子が殻胞子の着生に及ぼす影響

カオリン, 酸性白土, モルデナイト, ベントナイト, およびハロイサイトについて, 24時間後における粒子濃度と殻胞子の着生率の関係を図-2-a, bに示した。カオリンと比較して影響を評価するため, カオリン・酸性白土・モルデナイト, ならびにカオリン・ベントナイト・ハロイサイトの組み合わせで試験を行った。カオリン・酸性白土・モルデナイトの試験は, 放出時期の同じ殻胞子を供試体として,

それぞれ3種類の粘土について別々に実験を行ったものである。カオリン・ベントナイト・ハロイサイトの試験も同様である。横軸はそれぞれの粒子濃度で, 縦軸の着生率は対照区の着生数に対するそれぞれの濃度の着生数の割合 (%) で表した。なお, 5種類の粒子の平均粒径は $1.8 \sim 2.2 \mu\text{m}$ の極めて狭い範囲内に収まっており, それぞれの標準偏差も小さく, 90%径も $3.4 \sim 4.2 \mu\text{m}$ の狭い範囲内にあることから(表-1), 粒径の違いによる影響はないとみなされる。

カオリン・酸性白土・モルデナイトの試験における対照区の着生殻胞子数は,  $39 \sim 77 \text{個}/\text{cm}^2$ であった。酸性白土とモルデナイトはカオリンと極めて似た変化を示し, 粘土粒子濃度の増加とともに着生率が低下し,  $20 \text{mg/l}$ では対照区の20%以下に達した。カオリン, 酸性白土およびモルデナイトのLOECはそれぞれ2.0, 2.0,  $1.0 \text{mg/l}$ であった。カオリンと酸性白土のLOECは等しかったが, 被覆率(表-1)では酸性白土はカオリンの1/3であった。そこで, 沈降した粒子の様子を観察した。カオリンは, 凝集している粒子はほとんどみられなかった。一方, モンモリロナイト型である酸性白土は数個の粒子が凝集して微細なフロック( $5 \sim 10 \mu\text{m}$ 程度)を形成しているのがみられた。このことから, 酸性白土の微細なフロックが大型粒子と同様の役割を示し, 被覆率が小さいのにもかかわらずカオリンと同じLOECを示したのではないかと考えられた。また, モルデナイトはいくつかの粒子は凝集していたが, 全沈降粒子からみると少なかった。モルデナイトはゼオライト型の鉱物であり, 吸着性やイオン交換能がその他の粘土よりも高いことから, 殻胞子への付着性が高く, このことが着生阻害に影響したのではないかと考えられる。

カオリン・ベントナイト・ハロイサイトの試験の対照区の着生殻胞子数は,  $129 \sim 199 \text{個}/\text{cm}^2$ であった。ベントナイトはカオリンと似た変化を示し, 粘土粒子濃度の増加とともに着生率が低下した。ハロイサイトは $2.0 \text{mg/l}$ では影響がなく,  $5.0 \text{mg/l}$ で着生率が低下する傾向を示した。カオリン・ベントナイト・ハロイサイトの試験のいずれの種類の粘土粒子も $20 \text{mg/l}$ では対照区の20%以下に達し, カオリン・酸性白土・モルデナイトの試験と一致する傾向を示した。カオリン・ベントナイト・ハロイサイトの試験の3種類の粒子のLOECは, それぞれ5.0, 2.0,  $5.0 \text{mg/l}$ であった。ベントナイトはカオリンよりも低いLOECを示したが, 被覆率をみると(表-1), カオリンの約1/2であった。沈降した粒

子の様子を観察すると、ベントナイトは酸性白土と同様に数個の粒子が凝集して微細なフロック（5～10 $\mu$ m程度）がみられたことから、微細なフロックが大型粒子（粒径約5～10 $\mu$ m）と同様の働きを示したと考えて良い。カオリンとハロイサイトの2.0mg/l以下の濃度区における着生率を比較すると、ハロイサイトの方が有意に高かった。このことはハロイサイトの被覆面積がカオリンよりも狭いため（表-1）、被覆されていない基質面積が大きかった結果、殻胞子が着生できたと考えられた。

カオリンについては同様の試験をさらに3回繰り返した。その結果、カオリンのLOECはそれぞれ低い順に、2.0、2.0、5.0mg/lとなった。著者らは殻胞子とカオリン粒子の物理的な相互関係に関するモデル実験を行った際に、本研究と同じ条件において、5.0mg/lのLOECを得ている<sup>11)</sup>。したがって、本法によるカオリンを用いた着生試験のLOECは2.0～5.0mg/lの範囲で変動することを考慮すると、種類の異なるカオリン、酸性白土、モルデナイト、ベントナイト、およびハロイサイトの5種類のLOECは、狭い範囲にあることが明らかとなった。また、粘土粒子の凝集性の違いによる影響が重要であることも示唆された。

一般に、粘土粒子は海水中において凝集する。モンモリロナイト型（酸性白土とベントナイト）の粘土粒子は海水中でよく凝集することが知られており、海産赤潮プランクトンを凝集沈降させる除去剤として使用できることが報告されている<sup>17)</sup>。代田<sup>17)</sup>は、海水中で海産クロレラと1.47g/lのモンモリロナイトを混合すると直ちにフロックを形成しその大きさは5mmに達したが、カオリンを用いた場合は、全く凝集効果が得られなかったことを報告している。丸山ら<sup>18)</sup>は、酸性白土を酸処理した粘土（海水に混合したときに少量のAlとFeが溶出する）を50～250mg/lになるように散布することによって、効率良く赤潮プランクトンを凝集沈殿できることを報告している。これらの報告にある粘土粒子濃度は、本実験と比較して1～3オーダーも高く、このために海水中でフロックが良好に形成されたと考えられる。また、楠田ら<sup>19)、20)</sup>は、塩水中における3種類の粘土粒子（ベントナイト、カオリンおよび底泥）の凝集特性に関する研究を行い、ジャーテスターで60分間程度の急速攪拌することによって、どの粘土粒子も凝集して100～200 $\mu$ mのフロックを形成したことを報告している。そのなかで、フロックの形成が完了して平均粒径が最大値に達した場合においても、未凝集の粒子が存在し、粒子数からみると未凝

集の粒子の方が10<sup>4</sup>倍も多いことを示している。本実験では、全ての粘土粒子を通じて約20 $\mu$ mより大きな凝集体は観察されず、ほとんどの粒子は未凝集かあるいは微細フロックであった。このことは、懸濁粒子の濃度が低いこと、および懸濁海水の作成・注入の操作における攪拌・混合では、粒子どうしの衝突回数が低く、凝集するまでには至らなかったためと考えられる。これらのことから、海域に負荷された粘土粒子には、凝集してフロックを形成する粒子（100～5,000 $\mu$ m）と未凝集の粒子（または微細フロック、約2～10 $\mu$ m）が存在していると考えられる。カオリンでは粒径の大きな粒子の方が殻胞子の着生により大きな影響を示し、酸性白土とベントナイトでは微細フロックを形成し、ともに大きな阻害効果を示すと推測された。大型のフロックは沈降しやすく、沿岸域に広く拡散する可能性は低い。これに対して、未凝集の粒子や微細フロックは広範囲の沿岸域に輸送されると考えられる。本研究の結果では、粘土粒子の凝集性の違いに関係なく、殻胞子は低濃度（1～5mg/l、基質上の粒子量で表すと1～5 $\mu$ g/cm<sup>2</sup>）の粘土粒子によって著しく着生が阻害された。したがって、粘土粒子の沿岸域への負荷は、局所のみならず、広範囲にわたって海藻の着生に悪影響を及ぼす可能性がある。

### (3)有機懸濁物質の殻胞子の着生に及ぼす影響

フミン酸とデトリタスの懸濁海水について、24時間後における懸濁物質濃度と殻胞子の着生率の関係を図-3に示した。有機懸濁物質試験における対照区の着生殻胞子数は、72～147個/cm<sup>2</sup>であった。フミン酸とデトリタスはともに、濃度が高まるとともに着生阻害作用を示した。粘土粒子の結果と比較すると、有機懸濁物質の着生阻害効果は小さく、20mg/lにおける着生率は、粘土粒子では約10%であったのに対し、25%以上を示した。LOECはフミン酸とデトリタスそれぞれ10、20mg/lとなり、先に得られた無機の粘土粒子におけるLOECよりもワンオーダー高い値を示した。フミン酸懸濁物質は、粘土粒子と比較すると沈降速度が遅く殻胞子の着生前に基質を覆う粒子が少なかったと考えられ、比較的高い着生率を保証したとみなされる。同様にデトリタスは植物プランクトンの遺骸であり、沈降速度は殻胞子と同程度かあるいは遅いと考えられる。また、有機懸濁物質の凝集性や殻胞子への付着性が粘土粒子と異なっていることも影響したのではないかと考えられる。

懸濁物質の負荷の著しい東京湾の表層堆積物中の

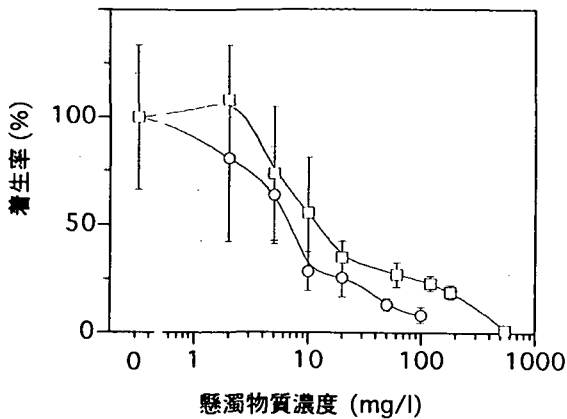


図-3 ノリ殻胞子の着生におよぼす有機懸濁物質の影響。  
(n=3, エラーバーはSDを示す)  
○: フミン酸, □: デトリタス。

有機物の割合は、高くても3%程度であるから<sup>21)</sup>、この割合の懸濁物質が河川等から流入するとすれば、LOECである10mg/lに相当するフミン酸懸濁物質が流入する環境には、その数十倍量の無機懸濁物質が同時に負荷されることになる。無機懸濁物質、すなわち粘土粒子の方がフミン酸よりも殻胞子の着生に及ぼす影響濃度が低かったことから、実際の海域ではフミン酸様の有機懸濁物質による海藻の胞子の基質への着生に及ぼす物理的な阻害効果は、極めて小さいと考えることができる。また、SSとして20mg/lのデトリタスを得るのに必要な生物量は、植物プランクトンの細胞密度として $10^5$  cells/mlであった。この細胞密度は大阪湾の珪藻による赤潮状態<sup>22)</sup>よりもさらに高い値に相当することから、実際の海域では、沿岸域のデトリタスによって胞子の基質への着生が物理的に阻害される可能性は低いと考えることができる。

以上の実験結果から、有機懸濁物質は海藻の胞子の基質への着生に及ぼす物理的な影響は小さいと考えられた。

#### 4. まとめ

粘土粒子の粒径、種類、および有機懸濁物質について、ノリ殻胞子の着生影響試験を行い、以下の知見を得た。

(1) 殻胞子の着生に及ぼすカオリン粒子の影響は粒径に大きく依存し、大型粒子ほど阻害効果が大き

くなる。平均粒径 $1.6\mu\text{m}$ と $5.3\mu\text{m}$ のカオリン粒子では、同じ濃度では大型の粒子の方が約2~5倍も着生阻害効果が高く、大粒子( $5.3\mu\text{m}$ )のLOECは $1.0\sim 2.0\text{mg/l}$ ( $1\sim 2\mu\text{g/cm}^2$ )である。

(2) カオリンをはじめとする異なる5種類の粘土粒子においても、平均粒径が約 $2\mu\text{m}$ の場合、それぞれのLOECの平均は $2.8\pm 1.7\text{mg/l}$ (約 $3\mu\text{g/cm}^2$ )であり、ほぼ同程度である。

(3) 有機懸濁物質であるフミン酸とデトリタスは、粘土粒子の場合と比較して、着生阻害効果は小さく、フミン酸とデトリタスのLOECはそれぞれ10と20mg/lである。これらの値は、先に得られた粘土粒子のLOECよりもワンオーダー高い値である。

謝辞：本研究を行うに当たり、各種粘土粒子をご提供いただいた水澤商事株式会社の水谷厚氏、粘土粒子径等の測定にご協力いただいた東亜医用電子株式会社事業推進室の佐藤晴明氏、ならびに関係者各位に深く感謝いたします。本研究の一部は文部省科学研究(奨励研究A)補助金によって行われた。

#### 参考文献

- 1) 地球・人間環境フォーラム：自然環境，環境要覧'93/94，古今書院，pp. 122-123, 1993.
- 2) 磯部雅彦：日本の海岸の現状と問題点，海岸の環境創造(磯部雅彦)，朝倉書店，pp. 5-6, 1994.
- 3) 徳田廣：地球生態系と海藻，海藻資源養殖学(徳田廣，大野正夫，小河久朗)，緑書房，pp. 1-12, 1986.
- 4) 寺脇利信，川崎保夫，本多正樹，山田貞夫，丸山康樹，五十嵐由雄：海中林造成技術の実証，第2報 三浦半島西部でのアラメおよびカジメの生態と生育特性，電中研研報，Vol. U91022，pp. 37-64, 1991.
- 5) Devinsky, J. S. and Volse, L. A.: Effects of sediments on the development of *Macrocystis pyrifera*, Mar. Biol., Vol. 48, pp. 343-348, 1978.
- 6) 荒川久幸，松生洽：褐藻類カジメ・ワカメの遊走子の沈降速度および基質着生に及ぼす海水中懸濁粒子の影響，日本水産学会誌，Vol. 56, pp. 1741-1748, 1990.
- 7) 荒川久幸，松生洽：褐藻類カジメ・ワカメの遊走子の着生と生長，生残および成熟に及ぼす海底堆積粒子の影響，日本水産学会誌，Vol. 58, pp. 619-625, 1992.
- 8) 寺脇利信：藻場，21世紀の海藻資源(大野正夫)，緑書房，pp. 1-27, 1996.
- 9) 坂本龍一：クロモ藻場衰退原因調査結果，南西海ブロック藻類研究会誌，Vol. 14, pp. 62-77, 1994.
- 10) 堀江毅：港湾浚渫が沿岸域に及ぼす影響，用水と廃水，Vol. 28, pp. 54-59, 1986.
- 11) 鈴木祥広，丸山俊朗，三浦昭雄，申宗岩：懸濁または堆積カオリン粒子のスナビノリ殻胞子の基質への着生と発芽に及ぼす影響，土木学会論文集，No. 559/VII-2, pp. 73-79, 1997.

- 12) 日本工業標準調査会：9. 濁度，工業用水試験方法 JIS，日本規格協会，pp. 15, 1991.
- 13) 後藤光亀：2.3 浮遊物質および堆積物質の組成ならびに性状，水環境工学(佐藤敦久)，技報堂，pp. 26-49, 1987.
- 14) 丸山俊朗，吉田多摩夫：静置培養における養殖ノリの生育に及ぼす都市下水処理水の影響，日本水産学会誌，Vol. 53, pp. 2235-2241, 1985.
- 15) 高見徹，丸山俊朗，鈴木祥広，三浦昭雄：スサビノリの殻胞子と発芽体を用いた毒性試験法，土木学会論文集，No. 556/VII-3, pp. 71/80, 1997.
- 16) USEPA(Cincinnati, OH)：Short-term methods for estimating the chronic toxicity of effluents and receiving waters to marine and estuarine organisms, US Environmental Protection Agency, EPA/600/4-87/028, 1988.
- 17) 代田昭彦：8. 赤潮生物の駆除，赤潮発生機構と対策(日本水産学会)，恒星社厚生閣，pp. 105-123, 1980.
- 18) 丸山俊朗，山田僚一，薄井耕一，鈴木弘之，吉田多摩夫：酸処理粘土による海産赤潮プランクトンの除去，日本水産学会誌，Vol. 50, pp. 1811-1819, 1987.
- 19) 楠田哲也，古賀憲一，栗谷陽一：塩水中における粘土粒子の凝集，用水と廃水，Vol. 20, pp. 295-300, 1978.
- 20) 古賀憲一，栗谷陽一，楠田哲也：塩水中における微粒子の成長と沈降性に関する研究，第18回衛生工学研究討論会講演概要集，pp. 160-165, 1982.
- 21) 高田秀重：1. 東京湾底質，海洋環境を考える(日本海洋学会)，恒星社厚生閣，pp. 72-73, 1994.
- 22) 矢持進：大阪湾，水域の窒素：リン比と水産生物(吉田陽一)，恒星社厚生閣，pp. 84-95, 1993.

(1996. 9. 4 受付)

## EFFECT OF SUSPENDED MATTERS ON THE ADHESION OF *PORPHYRA YEZOENSIS* CONCHOSPORES

Yoshihiro SUZUKI, Toshiroh MARUYAMA and Akio MIURA

The effect of different kinds of suspended matters and their grain size on the adhesion onto the substrate of *Porphyra yezoensis* conchospores were investigated. The results are summarized as follows: (1) The inhibition effect of the adhesion of conchospores were depended on the size of the suspended clays, and the large particles were more effective in the inhibition than the small ones at the same concentration. (2) Five kinds of clay inhibited adhesion of conchospores in their low concentration. (3) The suspended organic matters had the smaller influence on the adhesion of conchospores than the clay particles.