

報告番号 <sup>\*</sup> 甲 第 2305 号

# 主論文の要旨

題名

拡散粒子の凝集モデル (Diffusion-Limited Aggregation)

に基づく対称形分枝コロニーの成長

氏名 松浦 執

# 主論文の要旨

報告番号

※甲第

号

氏名

松浦 執

糸状菌の菌糸体は複雑に枝分かれした管状の菌糸によって構成されている。菌糸体成長は、先端優先と呼ばれる菌糸先端部分が伸長する形式によって行われる。その伸長速度は各菌糸によりかなりの差異があり、また、枝分かれも相当程度ランダムに形成されることが知られている。近年、Diffusion-Limited Aggregation (DLA) モデルを適用する事によって、このような分枝パターン形成の機構を、生物の特殊性としてでなく、物理的な普遍的現象として明らかにすることが可能に成りつつある。本論文ではこの見地に立って、糸状菌の菌糸パターンについて特にその空間的対称性が出現する条件及びその過程をこのモデルに基づいて明らかにすることを目的とした。

DLAモデルは、1981年にWittenとSanderによって提唱されたもので、ランダムウォーカーを格子空間上の凝集体表面に順次吸着させる仮定のもとで非可逆的な凝集体クラスターの成長を取り扱ったものである。この機構のもとに、統計的自己相似性をもつ開いた分枝形態を示すクラスターが生成され、また、その構造は格子空間のEuclid次元 $d$ よりもかなり低いフラクタル次元 $D_f$  (2次元格子上では $D_f \approx 1.7$ ) を持つことが知られている。

麹カビ (*Aspergillus oryzae*) に関する我々の実験では、25°Cで寒天培地上 (Czapek寒天培地) で培養したとき、培地が0.1% w以上グルコースを含有する場合には、菌糸体は菌糸を放射状に伸長・分枝させて円形の菌糸コロニー (集落) を形成するのが見られた。このとき菌糸はコロニー周縁で最も盛んに成長しており、隣接する菌糸同志で互いに或る程度の間隔を取りながらコロニー外方へと放射状に伸長しているのが観察される。この円対称性の原因は、菌糸密度が高くなった結果、成長方向並びに各菌糸の占有面積についての統計的平均化効果が顕著になった事によるものと推測される。一方、グルコースが不足するときには菌糸コロニーの周縁は不規則なフィヨルド状になる。これは菌糸密度が低くなった結果、上のような平均効果が発生しにくくなったためと理解される。

このような形態の違いを我々の実験から求めたフラクタル次元 $D_f$ によって表すと、対称的な成長をする培養条件では $D_f \approx 2$ であるが、不規則周縁が形成される貧栄養条件下では $D_f < 2$ となることが分かった。

本論文の目的は、コロニーの円形対称性を維持するように菌糸が放射状に配

置される物理的要因を、2次元格子上的DLAモデルを基礎にして探求することである。

この目的のもとに、先ず、新しく湧き出し型粒子供給モデルを検討して、表面効果の存在しないランダムな分枝成長系では、分枝密度が高い場合にも分枝パターンの不均一性が增大することを見いだした。

続いて、クラスター周縁部の粒子分布の均一度を人工的にコントロールする、“吸着-削定”の手法を考案し、従来のモデルでは考慮されなかったクラスターの表面効果による分枝パターンの対称性の発現を検証した。

この“吸着-削定”モデルでは、粒子を $M_0$ 個づつクラスターに吸着させ、その度毎に、1回目から順に半径 $l_0$ ,  $\sqrt{2}l_0$ ,  $\dots$ ,  $\sqrt{l}l_0$ ,  $\dots$ の円外の粒子を取り除く操作を行う。この方法に於ては、表面の粒子分布の均一度をコントロールするパラメーターとして $l_0^2/M_0$ という量が特に重要である事が分かった。このモデルを検討し、以下のような結果を得た。

1.  $l_0^2/M_0$ が低い値に設定されるほど分枝密度が高くなる。そして $1 \leq l_0^2/M_0$ の範囲では、各回での削定円面積を $S$ 、 $S$ 内の粒子数を $M$ とするとき、分枝密度 $M/S$ の値がクラスターの成長過程で一定である事が見出された。またこの事が分枝形態が自己相似になるための前提条件であることが示された。これらの事実は、表面に一定量の粒子が一定分布で吸着していく時フラクタル的な分枝パターンが形成されることを示すものである。
2.  $1 \leq l_0^2/M_0$ では、 $D_f$ の値はただ一つのパラメーター $l_0^2/M_0$ によって決まり、 $l_0^2/M_0$ を5から1に下げていくとき、 $D_f$ は1.7から2へとほぼ線形的に増加する。1.の事実と合わせると $l_0^2/M_0$ は表面効果の度合を決定する量であることが分かる。 $l_0^2/M_0 \approx 5$ の場合は一般のDLAパターンに一致する。
3.  $D_f \approx 2$ のクラスターでは、分枝系が原点から放射状に対称形に伸長分岐し、全コロニー空間 $S$ を均一に覆うようなパターンになる。このことから、成長表面の粒子分布の平均化効果、即ち表面エントロピー効果によって対称的な分枝パターンが生成されることが結論される。
4.  $l_0^2/M_0 < 1$ の範囲では、 $M_0$ が大きい場合に、クラスター成長の過程で分枝密度 $M/S$ が一定にならず漸近的に増加するのが見いだされる。これは均一なパターンへと漸近する過渡的な状況であるとみられる。

これらの結果から、分枝体の表面の粒子分布（分枝分布）を平均化するエントロピー効果が、分枝形態の均一性・対称性を決定する重要な熱力学的要因であることが結論された。なお上記の操作と異なった変則的な削定の下での分枝

パターン形成についても言及した。

糸状菌の菌糸パターン形成に於いては、一定のコロニー面積に生産される菌糸量を上の $M_0$ と対応させることができる。それ故、貧栄養培地上で菌糸密度が低くなる事は、 $l_0^2/M_0$ に於て一定の $l_0^2$ に対して $M_0$ が低い場合に相当し、表面均一化効果が低くなって $D_f < 2$ となるものと定性的に説明できる事が分かった。

また本論文では、菌糸パターン形成に対する上記DLAモデルの適用性とその限界、及び今後の発展の可能性等についても言及した。