

氏名	きつね 狐	ざき 崎	そう 創
学位(専攻分野)	博 士 (理 学)		
学位記番号	理 博 第 1858 号		
学位授与の日付	平 成 9 年 5 月 23 日		
学位授与の要件	学 位 規 則 第 4 条 第 1 項 該 当		
研究科・専攻	理 学 研 究 科 物 理 学 第 一 専 攻		
学位論文題目	バクテリアコロニーにおける <i>fingering pattern</i> の形成とそのダイナミクス		
論文調査委員	(主 査) 教 授 蔵 本 由 紀	教 授 小 貫 明	教 授 山 田 耕 作

### 論 文 内 容 の 要 旨

本研究は、バクテリアコロニーにおける成長パターンに関するいくつかの数理モデルの提出とその解析に関するものである。申請者は、特に *finger* とと呼ばれる基本的な構造単位的重要性に着目し、個々の *finger* がどのように形成され、多数の *finger* がどのようなダイナミクスで大域的なパターンを作り出すかを考察している。本研究ではバクテリアコロニーを物理系として捉える立場に立脚しており、その生物学的詳細に関わるものではない。事実、*finger* はバクテリアコロニーに固有の成長パターンではなく、viscous *fingering*、電析、結晶成長、放電現象、亀裂など多くの物理現象に共通するものである。申請者の研究はしたがって *finger* 構造このような普遍性を絶えず念頭に置きつつ、この構造がどのような点で普遍的であり、どのような点でバクテリアに固有のものであるかを詳細に考察しつつ進められている。

申請者はまず、実験的に詳しく調べられている枯草菌コロニーのパターン形成を研究対象として取り上げ、バクテリアコロニーにおける *finger* の形成を論じている。具体的には、実験結果を定性的に再現する新しい偏微分方程式モデルを提案し、解析している。このモデルは物理系における *fingering* パターンとの比較に便利な簡明なモデルである。申請者はさらに特異的摂動法を用いてこのモデルを界面のダイナミクスに縮約し、*fingering* の機構、既知の物理系との共通点、相違点などを論じている。

次いで申請者は *finger* が十分に発達した段階におけるより複雑なパターン形成を論じるために、*finger* が十分に局在しているという理想的な状況を考え、*finger* 間の相互作用を考察した。その結果、大域的な複雑な *fingering* パターンの形成においては、*finger* の分裂の過程が必要であることを主張している。

さらに申請者は個々の *finger* を運動、成長する単純な要素と見なす立場から、このような要素から成る多体のダイナミクスとして *fingering* パターンを捉える試みを展開している。*fingering* パターンをダイナミクスな視点で捉えた実験・理論がまだ乏しいという状況を考慮し、申請者は問題を単純化し、1次元空間で相互作用しつつ運動する簡単な離散要素モデルを提案し、解析している。個々の要素に分裂過程を導入すれば、このモデルはさまざまな *fingering* パターンを再現することが明らかとなった。このようなモデルは要素数が時間とともに変化するという特徴をもつが、従来の力学系と同様手法で解析できることが示される。これに基づき、申請者は *fingering* パターンに見られる乱流状態の特徴を調べ、フラクタル的空間構造が現れる原因を考察している。

### 論 文 審 査 の 結 果 の 要 旨

非平衡条件における成長パターンのダイナミクスは非線形科学の最大のテーマの一つである。成長パターンはさまざまな物理系や生物系に見られ、多様な現れ方を見せる反面、動力学的な立場からはその基本的メカニズムには普遍性が見出される。申請者の研究は、バクテリアコロニーにおける実験事実の理解という具体的な動機を出発としつつも、最終的には成長パターン一般に潜む普遍性の解明を目標とするものである。申請者は成長パターンにおいて広く見られる *fingering* パター

ンに標的を絞り、パターン形成の諸段階を、単一の finger の形成メカニズム、finger 間の相互作用と finger の安定性、発達した多数の finger が作る大域的なパターン、のように区分した。そして、各レベルにふさわしい独創的なモデルを提出し、それらを詳細に解析して多くの新しい結果を得ることに成功している。このようなアプローチは、fingering パターンがバクテリアコロニーにおいて持つ固有性と、広範な系に共される同パターンの普遍性の両面を明らかにしていく上で極めて有効な方法である。最も下位のレベルのモデルである偏微分方程式モデルにおいては、系の固有性が相当色濃く反映される。このモデルを通じて、たとえば viscous fingering のような物理系に見られる finger の発生機構における類似性や相違点が明確に理解される。特に、偏微分方程式モデルを特異摂動法を用いて界面ダイナミクスに縮約することにより、この事情はいっそう明確になる。十分に発達した finger が互いにどのように相互作用し、全体としてどのようなパターンを生じるかについては、より上位のモデルが必要である。申請者は finger の作る濃度場を通じて finger が互いに非局所的相互作用をするという状況を巧みにモデル化し、finger の分裂過程の重要性を浮き彫りにすることに成功している。多数の finger による大域的なパターンを論じるためにはより上位のモデルが必要である。申請者は、各 finger を分裂過程を含む単純な運動ルールに従う力学要素として捉える独創的立場から、大域的レベルにおける fingering パターンの記述に成功している。このようなモデルは、要素数が時間的に一定でない大自由度散逸力学系のモデルとして重要な意義をもつものと思われる。解析の結果、従来知られているものを含め、さまざまな fingering パターンが条件に応じて見出されることが明らかとなった。これらは多くの場合一種の乱流的様相を呈し、フラクタル的な空間構造を持つのであるが、申請者は散逸力学系の手法や概念を駆使することによって、このような挙動の発生原因に対して明確な物理的解釈をあたえている。

成長パターンの研究において、下位レベルから上位レベルの各段階にわたってこのように徹底した解析を行ったものは過去になく、申請者の研究はこの分野に大きな貢献をなすものと思われる。

よって、本論文は博士（理学）の学位論文として価値あるものと認める。

なお、主論文に報告された研究業績を中心として、これに関連した研究分野についても試問した結果、合格と認めた。