

氏 名	関 成 子 せき しげ こ
学位の種類	理 学 博 士
学位記番号	理 博 第 608 号
学位授与の日付	昭 和 55 年 3 月 24 日
学位授与の要件	学 位 規 則 第 5 条 第 1 項 該 当
研究科・専攻	理 学 研 究 科 生 物 物 理 学 専 攻
学位論文題目	Biologically Motivated Parallel Information Processing (生体系に起因する並列情報処理)

論文調査委員 (主 査) 教 授 寺 本 英 教 授 山 口 昌 哉 教 授 高 須 達

論 文 内 容 の 要 旨

生物における情報処理の特徴は、極めて多数の細胞や機能単位（素子）が空間的に有機的に結合された系を構成し、かつそれが時間的に並列動作する点にある。これは、電子計算機が極めて高速度ではあるが時間的に逐時動作をするのと対照的である。このような多素子系の並列動作を研究するために、生物の様々なレベルにおいて様々な数理モデルが提案されてきた。神経系については視覚系の神経回路網の研究が盛んである。他方生体の発生現象や多細胞系の自己組織化現象も多素子の並列情報処理の立場から論じられている。

主論文は、PART I と PART II の二部から成っている。

PART I では、網膜のように2次元の拡がりを持った情報処理系のオートマトンモデルを提唱し、そのモデルの実時間情報処理能力を詳細に調べている。このモデルは BCA (Bounded Cellular Automaton) といい、例として一次元の場合を説明すると、有限オートマトン（セルという）を有限個一列に並べ、各セルは左右両隣と情報交換ができ、入力が各セルに同時に入ってくる。入力が時々刻々変化するので、結局一次元 BCA が扱う入力情報は、時空間合わせて二次元パターンになる。入力パターンを有限時間入れた後に系の状態があらかじめ定められたある正規集合に属する場合、そのパターンが BCA によって認識されるとする。

申請者は、まず入力記号が一記号の場合について、BCA が認識できる入力パターンのクラスを調べ、時間軸が空間軸の長さの多項式で表わされるようなパターンはすべて BCA で認識できることを明らかにした。ついで認識できる入力パターンのクラスがどのようなパターンの演算のもとで閉じているかを調べ、集合の和、積などでは閉じているが、時間軸方向の接合では閉じていないことなどを明らかにした。

PART II では、ある種の藻類に見られるような糸状の体制をとる生物の生長過程をモデル化した Lindenmayer による L system 理論を扱っている。L system 理論は現在ヨーロッパを中心に研究されているが、申請者は、とくに細胞間の情報交換に着目した研究成果を書いている。

L system 理論は、一次元状の有限個の細胞から成る系を記号の有限列として表現するもので、細胞分裂による生長はこの記号列の書換えという操作に置換えて論ずるものである。すなわち、 $S=(\Sigma, P)$ を L scheme といい、 Σ は記号のアルファベット、 P は書換規則の集合である。 P が決定論的で、左右の記号に依存しない書換規則ばかりから成るとき、 S を DOL scheme といい、依存する場合を DIL scheme という。

申請者は、細胞間情報交換の意味を論ずるのに以下のように定式化を行っている。いま Σ の記号から成る有限記号列全体を Σ^* と書くとき、 Σ^* の部分集合 Γ が、 P の書換規則 f のもとで閉じているとき (Γ, P) を S の L scheme という。いま、二つの L scheme $X=(\Gamma_x, P_x)$ と $Y=(\Gamma_y, P_y)$ の間に 1 対 1 の写像 $h: \Gamma_x \rightarrow \Gamma_y$ があって、 $f_x \cdot h = h \cdot f_y$ が成立つとき、 X と Y は同型であるという。これは X で起きる現象は、写像 h を通して見れば、 Y で起きる現象と同じであることを意味している。

申請者は細胞間情報交換のある系 DIL scheme がどのような条件を満たすとき、情報交換のない系、DOL scheme に同型になるかを詳細に調べ、多数の必要十分条件を与えることに成功している。なかんづく、細胞分裂の速さの速い DIL scheme は DOL scheme によって simulate され得ることを明らかにした。この仕事によって、L system 理論における情報交換の意味が深く理解されることとなった。

次に申請者は、L system 理論における locally catenative 性 (l.c. 性、局所接合性) に関する真偽決定問題を扱っている。この性質は、植物生長のある時点での生体がそれ以前の生体の接合として表わされ得る場合があるが、これを抽象化し、定式化したものである。ある L system が l.c. 性を持つか否かを決定する問題は以前から未解決の問題である。申請者はその一部の問題として、DIL system についてはこの決定問題が非可解であることを証明している。

論文審査の結果の要旨

生物における情報処理は、関係する機能単位が極めて多数であること、情報処理が時間的に並列に行なわれること等から解決が困難な分野である。従って、有効な数理モデルを提案し、関連する理論的問題を解くことは重要な課題である。

主論文はこの分野における二つのテーマを扱っている。

PART I では網膜のように空間的拡がりのある系に時間的に変化する入力情報が入ってくる場合のモデルとして、BCA (Bounded Cellular Automaton) というオートマトンモデルを提唱し、そのパターン認識能力を詳細に調べている。その結果、一次元の場合、一記号入力パターンについて、時間軸が空間軸の長さの多項式で表わされるような任意のパターンが BCA で認識できる事など興味ある結果を得ている。また BCA で認識できる入力パターンの集合の各種演算のもとでの閉包性を証明するのに成功している。

PART II では、Lindenmayer の提唱した L system 理論を扱っている。申請者は、新たに、細胞間相互作用の意味を深く調べるために、L scheme 間の同型の概念を提案し、相互作用のある系が、ない系に同型になるための必要十分条件を求めるのに成功している。とくに細胞分裂の速さが速い場合、相互作用のある系は、本質的には、相互作用のない系に等しいという顕著な結果を示している。これは植物の生長の研究に対して意義深いものである。

最後に申請者は、ある時点の植物がそれ以前の生体の接合で表わされるという局所接合性を論じ、細胞間相互作用のある系では、一般に局所接合性があるか否かを決定することが不可能であることを証明している。これはこの分野で永らく未解決である問題に関連したものである。

以上のように、二部到大別される主論文の内容から判断すると、申請者は数理生物学、オートマトン理論において深い思考力を持っていることがわかる。

よって、本論文は理学博士の学位論文として価値があるものと認められる。