

氏名	すずき やすひろ 鈴 木 泰 博
学位(専攻分野)	博 士 (情 報 学)
学位記番号	論 情 博 第 26 号
学位授与の日付	平 成 13 年 11 月 26 日
学位授与の要件	学 位 規 則 第 4 条 第 2 項 該 当
学位論文題目	Abstract Rewriting System on Multisets and its Application for Biological Systems (マルチ集合書き換え系とその生物システムへの応用)
論文調査委員	(主 査) 教 授 片 井 修 教 授 松 田 哲 也 教 授 木 上 淳

### 論 文 内 容 の 要 旨

本論文では、「マルチ集合上の書き換え系計算モデル」(Absiract Rewriting System on Multisets (ARMS))を提案し、その表現力と実問題への応用の可能性について検討している。全体は7章からなり、1章から4章まではARMSと、ARMSに膜構造を導入したACS(Active Cell System)の振る舞いについて、計算機実験と数理的分析を行った結果について述べられている。5章では、ACSの提案と、その生態系解析への応用について述べられている。6章ではARMSをはなれ、一般の集団内の相互作用の出現と発展についてランダムグラフをベースにしたモデルを用いた分析法が示されている。

1章は序章であり、ARMSの背景となる抽象化学系について簡潔にまとめられている。また、ACSの背景となるL. Luisiの生命の起源のモデルについての紹介と、ACSと関係する計算モデルであるP Systemsの紹介が行われている。さらに、ARMSを適用して解析を試みる生態系のモデル(3者相互作用系)の簡潔な紹介が行われている。

2章では、ベースとなる計算モデルと抽象書き換え系(ARS)の紹介の後に、本論文の主題となるARMSの提案が行われている。

3章では、書き換え規則の適用順序と系の時間発展についての計算機実験の結果が、背景となる逐次力学系の研究紹介と併せて述べられている。また、BZ反応の数値モデルであるブルセラータをARMSを用いてシミュレーションした結果について述べられている。

4章では、ARMSの計算停止の条件について、抽象書き換え系での停止性の証明で用いられる代数的順序(実際には辞書式順序)を用いた特徴づけが行われている。また、停止性の強弱に関するパラメータとして $\lambda e$ パラメータが提案されている。このパラメータは停止性の強弱に関するパラメータであるが、出現するサイクル数と周期の多様性に関するパラメータにもなっていることが計算機実験により確認されている。このパラメータはセルラオートマトンの時間発展のクラス分類であるWolframのクラスとLangtonの $\lambda$ パラメータとに関連があることが示されている。

5章はARMSの変種として、ARMSに膜の概念を導入したACSモデルが導入されている。ACSでは任意の記号を膜物質と定義し、マルチ集合内の膜物質の増減により膜の生成と消滅が実現される。膜は物質の透過性を持ち、また、膜物質は時間とともに徐々に消失するように定義されているため、膜の外部から得た物質を用いて膜内で膜物質を生成する代謝様のふるまいをみせる細胞が出現し、また、それらが進化していくことが確認されている。また、細胞分裂の際に書き換え規則の一部を変異させて娘細胞に遺伝させることにより遺伝的な要素を導入し、その結果、細胞が内部構造を構築するにしたがって膜物質の生産性が低下し、細胞内部で機能分化様の現象が出現することを示されている。

5章の後半では、植物—食植者—天敵の3者生態系をARMSを用いてモデル化し、計算機実験を行った結果について述べられている。この3者系では、植物は食害をうけると匂い化学物質を生産し天敵を誘導して害虫を駆除する。ARMSを用いてこの生態系をモデル化し計算機実験を行った結果、匂い化学物質が害虫の生存にとって有利な場合のあることを明らかにした。

最後の6章においては、相互作用の下で構造の出現とその発展について、ランダムグラフをベースにしたモデルを用いて考察し、議論のしめくりとしている。

7章は結論であり、本研究の成果を基に今後の研究課題を展望している。

### 論文審査の結果の要旨

本論文は、マルチ集合上での抽象書き換え系である ARMS: Abstract Rewriting System on Multisets を新たに提案し、その性質の数理的な特徴付けと、モデルの表現力と応用可能性について検討している。モデルの表現力についてはブルセラータのような非線型モデルのシミュレーションや膜物質を導入した変種の ARMS の構築を通してその可能性を探求し、応用に関しては実際に化学生態学で提案されている生態モデルに応用することにより、その可能性について検討している。得られた主な結果は以下のように要約される。

1. 抽象書き換え系 (Abstract Rewriting System (ARS)) をマルチ集合上でのマルチ集合書き換え系へと拡張した計算モデル, Abstract Rewriting System on Multisets (ARMS) の提案を行った。この計算モデルはマルチ集合の書き換えを行うため数量概念を導入することが可能な書き換え計算モデルである。
2. ARMS の振る舞いについて、書き換え規則の適用順序が系の時間発展に影響を与えることを示した。また、適当な摂動を与えることにより倍周期様の振動が出現することを発見した。また、ARMS の停止性の条件を数学的に明らかにした。
3. ARMS は連続系の化学反応モデルをシミュレート可能であることをブルセラータのシミュレーションを通して明らかにした。
4. ARMS の停止性の強弱に関する書き換え規則の性質を用いたパラメータを発見した。
5. ARMS に膜の概念を導入したモデルを提案し、計算機実験により代謝様の現象や進化的なふるまい、また、機能分化様の現象が出現することを確認した。
6. ARMS を生態学における3者相互作用系に適用し解析を行い、ARMS が相互作用系を解析するための手法として用いることが可能であることを示した。

以上、要するに本論文は新たな計算モデルの提案とそのモデルとしての表現力と実際の問題への適用の可能性に関して考察を行ったものであり、情報学の展開上寄与するところが少なくない。よって、本論文は博士(情報学)の学位論文として価値あるものと認める。また、平成13年10月24日実施した論文内容とそれに関連した試問の結果合格と認めた。