【 100 】

氏　　　　名	今井勝喜（いまい かつのぶ）
博士の専攻分野の名称	博　　士（工　学）
学 位 記 番 号	第 14297 号
学位授与年月日	平成11年2月25日
学位授与の要件	学位規則第4条第2項該当
学 位 論 文 名	Computation-Universality, Synchronization and Self-Reproduction in Reversible and Conservative Cellular Automata (可逆性と保存性を持つセル・オートマトンの計算万能性，同期性および自己増殖性に関する研究)
論 文 審 査 委 員	(主査) 教 授 佐藤 俊輔 (副査) 教 授 福島 邦彦　教 授 中野 馨

論文内容の要旨

単電子デバイス，量子計算，DNA計算などの次世代の計算機構と目されているものの多くは，情報がキャリアとなる物質に直接結びついており，物質の物理的性質を反映した計算モデルの研究が注目されるようになってきた，その中でも可逆論理に基づく可逆計算モデルが近年注目を集めるようになってきている。たとえば量子計算においては計算過程が可逆であり，観測時を除いてどの計算のステージも情報の欠損を伴わず，その計算過程は可逆的なものとして構成されなければならない。そのような可逆な計算モデルのひとつとして，可逆セル・オートマトン (CA) がある。可逆CAとは，どの時点でも必ず1ステップ前の状態に一意に逆戻りできるようなCAである。この性質のため，可逆CA上での信号やパターンの生成や消滅には制約が伴うことになるが，一般のCA同様，計算万能性を有するものが知られている。しかし，従来のCAに関しては多数の研究が行われている構成万能性や同期問題など，より高次の機能についてはほとんど調べられていなかった。そこで本論文では，可逆CAにおける計算能力の研究を，計算万能性，同期動作，パターン配置問題としての自己増殖能力の観点から行った。まず計算万能性について考察し，従来から知られていたモデルよりも状態数の少ない8状態の2次元計算万能可逆CAを示した。次に従来の非可逆なCAの同期問題として研究されてきた一斉射撃問題を可逆CA上で実現するための条件を示し，実際に可逆解を構成した。さらに質量保存的な性質を反映したCAによるモデルとしてビット保存的なCAを拡張したNumber-Conserving CAを提案し，その上での一斉射撃解を構成した。また，可逆システムにおけるパターン配置問題に対するアプローチとして，2次元と3次元可逆空間における自己参照メカニズムに基づく自己増殖セル・オートマトンが構成可能であることを示した。

論文審査の結果の要旨

本論文では，可逆セル・オートマトン（以下CAと略す）における計算能力を，計算万能性，同期動作，パターン配

置問題としての自己増殖能力の観点から研究したもので，５章から成る。

第１，２章では，研究背景ならびに，可逆 CA についての諸定義や既知の主要な結果について述べた。

第３章では計算万能性をもつ８状態の可逆 CA を構築した。まず可逆 CA の計算万能性について，その定式化に用いられている保存論理とともに概観した。計算万能な可逆 CA については，種々のモデルが知られている。本章では三角形状の近傍を用いることにより８状態の計算万能なモデルを構成し，状態数が従来のモデルで示されたものよりもさらに削減可能であることを示した。これは PCA の枠組みを用いた等方的な規則を持つモデルの中では最小状態数のものである。構成した CA が計算万能であることは，万能な可逆論理素子である Fredkin ゲートの入出力関係を模倣できることを示すことによった。

第４章では，CA 上の同期問題の基本的なモデルとして用いられている一斉射撃問題をとりあげ，可逆 CA や Number-Conserving CA における実現可能性を議論した。まず従来の非保存的な CA の上の一斉射撃問題について概説し，一斉射撃問題を保存的な CA で実現するための条件を議論した。ここでは従来の単一の射撃状態からなる可逆解は構成できないことを示し，可逆 CA における一斉射撃解条件を新たに定義した。この条件の下で，Minsky らの３n 時間解に基づく99状態解を１次元可逆 PCA によって構成した結果を示す。さらに２次元の場合の解や，より高速に同期する解などについての結果も示した。次に Number-Conserving　CA 上における一斉射撃問題を考察した。まず Number-Conserving　CA の基本的な性質を考察し，その上での一斉射撃解の条件について述べた。そして，実際に Number-Conserving CA 上の解が構成可能であることを示した。

第５章では，２次元可逆空間で自己増殖する8^5状態のセル・オートマトン SR8 を構成した。これは Langton の８状態自己増殖 CA に基づいているが，自分自身の形状を参照することにより，簡単な機構にもかかわらず自由度の高い増殖メカニズムを可逆空間上に実現している。また，SR8 の自己参照メカニズムは増殖時に形状を子孫へ伝えるために用いられるが，さらにパターンの配置場所の制御にも応用できることを述べた。さらに，SR8 を基本的な性質を保ったままで３次元へ拡張できることを示し，可逆空間におけるパターン配置のための枠組みとなりうることを示した。

これらの結果は次世代の計算機構として期待されている量子計算や DNA 計算などにおけるプログラミング技術として応用できるものであり，CA の分野に一定の寄与をした。よって，博士（工学）の学位論文として価値があると認める。