

報告番号	※甲	第	号
------	----	---	---

主 論 文 の 要 旨

論文題目 外界との相互作用に基づく自律分散系の
自己組織化の理解と応用
氏 名 岩瀬 雄祐

論 文 内 容 の 要 旨

本論文は、自律分散系の抽象モデルとしてセルオートマトンを用い、外界との相互作用によって自己組織化するセルオートマトンの特性を理解し、応用の可能性を探ることを目的としたものである。具体的には、マクロレベルの相互作用という視点に基づいて次の研究成果をまとめている。まず、外的な作用に基づく自己組織化として、外乱によって異なる大域的な状態を出現させるセルオートマトンを進化的に探索している。次に、より機能的な振舞いとして、外乱の発生をきっかけにして、複数種のセルの状態からなる大域的な混合状態を任意の順序で出現させるセルオートマトンを求めている。さらに、マクロレベルの相互作用について、外乱によって自己組織化するセルオートマトンと人間(実世界)とのインタラクションを設計している。そして、以上を総括して外界との相互作用に基づく自律分散系の自己組織化について議論している。以下、各章の概要を述べる。

1章では、本研究の背景について述べている。生物(生態系)、社会等のように、細胞(個体)、人といった個々の構成要素が相互作用することによって自己組織化し、マクロレベルで多様な振舞いを示す複雑なシステムがある。しかしながら、外的な作用の影響や、システム間のマクロレベルの相互作用について十分に議論されているとはいえず、新しい視点や方法論が求められている。本研究では、自律分散系における自己組織化を議論するためにセルオートマトンを取り上げる。セルオートマトンは空間を格子点で分割し、各点にセルと呼ばれる有限オートマトンを配置することで構成される。交通シミュレーション、生態系モデリング、そして、分散型パーベイシブシステムに向けた制御モデルの提案等、様々な応用が示されている。さらに、密度分類問題や一斉射撃問題のように、大域的な状態遷移に基づく並列分散処理を行うセルオートマトンについて議論されている。ただし、セルオートマトンの大域的な状態遷移から情報処理を見出すためにフレームワークが必要と

されている。また、セルオートマトンの振舞いは、セルの同期・非同期性、境界条件、セルの状態遷移におけるノイズといったシステムの外からの影響によって変化し得る。しかしながら、いかにしてセルオートマトンから外的な作用に基づく自己組織化を引き出すべきかについては、従来議論が不十分であった。

2章では、外的な作用に基づく自己組織化として、外乱の発生(セルの状態値を1増やす)をきっかけにして異なる大域的な状態を出現させるセルオートマトンを求めている。間隔をあけて生じる外乱による局所的な状態の改変をきっかけに、セルのとり得る状態の存在割合である密度分布で表される大域的な状態を切り替える問題を設定し、こうした振舞いを出現させるセルオートマトンの遷移規則を遺伝的アルゴリズムによって探索した[岩瀬2007, Iwase2007]。その結果、外乱の発生をきっかけに、複数種の大域的な安定状態をサイクリックに出現させる遷移規則が得られた。この遷移規則を適用したセルオートマトンは、外乱の蓄積がある閾値を越えるとその影響が大域的な状態へ広がる自己組織的な性質により、複数種のセルの状態からなる大域的な混合状態を含め、最大でセルの状態数の2倍に及ぶ大域的な安定状態を出現させた。さらに、外乱によって自己組織化するセルオートマトンに基づくマルチエージェントシステムの制御を検証した[Iwase2010]。一般に、マルチエージェントシステムにおける各エージェントは局所的に通信しながら動作する人が多い。そこで、セルオートマトンのセルをエージェントと対応づけることによって、セルオートマトンと同様にして、マルチエージェントシステムにおいても、外乱によって複数種の大域的な安定状態がサイクリックに出現することを示した。外乱によって自己組織化するセルオートマトンの振舞いは、確率的な外乱の発生を想定した問題から得られたものである。しかし、外乱を外から与えられるシステムの制御信号とみなした場合、自律分散系をダイナミックに制御する手法が得られたと考えられる。

3章では、外乱によって自己組織化するセルオートマトンについて、より機能的な振舞いとして、外乱の発生をきっかけにして大域的な混合状態を任意の順序で出現させることのできるセルオートマトンを示している。具体的には、大域的な状態空間において、大域的な混合状態の出現を制御する「普遍部品」を提案し、制御したい大域的な混合状態の数だけ普遍部品を組み合わせることで、大域的な状態遷移を制御する構成回路を組むことを提案している。ここでは、5状態のセルオートマトンについて、遺伝的アルゴリズムを用いた遷移規則の探索を通じて、大域的な状態に含まれるセルの状態種に応じた自己組織的な特性を獲得することによって、普遍部品が得られた。さらに、遷移規則変換によって、5状態のセルオートマトンで得られた普遍部品がより多状態のセルオートマトンを制御できることを検証した。そして、大域的な混合状態列の出現を評価することによって、タスクの成功率について検証を行った。普遍部品を用いたセルオートマトンの制御は、自律分散

システム一般の柔軟な制御法の開発に有用な知見をもたらすと期待できる。また、普遍部品は、大域的な状態遷移に注目したセルオートマトンの振舞いの設計に役立つと考えられる。

4章では、マクロレベルの相互作用の視点から、セルオートマトンと人間(実世界)とのインタラクションの新たな可能性を検討している[岩瀬2010]。この章では、タッチパネルディスプレイを介して、外乱によって自己組織化するセルオートマトンと人間とのインタラクションシステムを提案した。タッチによる外乱生成によってセルオートマトンの大域的な状態におけるクラスタ構造にさまざまな影響を与えることができるようになり、外乱をきっかけにセルオートマトンと人間との間に多様なインタラクションが出現した。現象を観察するだけでは理解の難しい概念に対してインタラクティブなツールは役立つと考えられ、マクロレベルの相互作用という新たな視点は自己組織系のさらなる理解につながると期待できる。さらに、対話型進化計算による遷移規則のカスタマイズを試み、比較的短い世代において、マクロレベルの相互作用を促進するとみられる遷移規則を得られた。ユーザの主観的な評価によって、新たなインタラクションの形態を見つけられる可能性があり、アートや教育等への応用が考えられる。これまで、セルオートマトンへの外乱の発生にタッチパネルディスプレイやカメラ[岩瀬2008]を用いたが、こうしたデバイスを備えた計算端末はパソコンやワークステーションに限られない。また、セルオートマトンの状態遷移、ならびに、外乱の発生位置の決定には複雑な演算を必要とせず、セル数や画素数等によって計算負荷を調節することが可能である。そのため、スマートフォンやゲーム機等の携帯端末への適用も可能であると考えられる。

5章では、これまでの研究を総括し、外界との相互作用に基づく自律分散系の自己組織化について議論している。外乱の発生をきっかけにした自己組織的な振舞いによって、マクロレベルの相互作用につながる外的な作用に基づく自己組織化が得られたと考えられる。そして、外乱によって自己組織化するセルオートマトンと人間とのインタラクションにおいて、複数の自己組織系におけるマクロレベルの相互作用が見出されたと考えられる。外乱によって自己組織化するセルオートマトンは、外乱の発生をきっかけに異なる大域的な安定状態へ遷移するものであり、大域的な状態空間においてアトラクタの切替えを示したと考えられる。さらに、複数の自律分散系に生じるマクロレベルの相互作用では、他の自律分散系の大域的な状態の変化がアトラクタの切替えを引き出す外乱になり得ると考えられる。その結果、マクロレベルの相互作用からインタラクションにおける文脈が自己組織化するのではないかと考えられる。