

## 審査の結果の要旨

氏名 小松 秀徳

システムは、要素の相互作用によって要素単体には見られない全体特性が創発すること  
を特徴としている。社会や人工物の発展につれ、構成要素の複雑化、複合化やネットワー  
クによる要素接続性の高まりによって、現代の多くのシステムは複雑な全体特性を示す。  
このような複雑系のうち、人間の関与が含まれる社会システムは、全体特性や環境、条件  
の変化を受けて要素が適応的に動作を変え、また、これによりシステム全体も適応的な機  
能を示す複雑適応系となる。複雑適応系の動作と機構を理解し、それらを社会システムの  
分析、設計、制御などに役立てていくことは今日の重要な課題となっている。

本論文は、これを背景として複雑適応系としての社会システムを対象に、行動ルールの  
進化と適応を基本とした複雑適応系のモデルを開発し、いくつかの問題に適用して有用性  
を実証しつつ、社会システムの分析、設計に有用となる知見を得たものである。論文は 6  
つの章で構成されている。

第 1 章は序論であり、複雑適応系とそのモデル化について現状をまとめた上で、遺伝的  
アルゴリズムに代表される既存の進化アルゴリズムがスケーラビリティに乏しい点を指摘  
し、これを克服するために生物発生を規範とする発生型のアルゴリズムを用いること、遺  
伝子型として行動ルールを用いることを提案し、研究目的をまとめている。

第 2 章は、発生型の進化アルゴリズムによるネットワーク型の構造形成を扱った章であ  
る。発生型アルゴリズムである **Artificial Embryogeny** は、これまでルールの繰り返し適用  
による空間パターンの生成に用いられてきたが、これをネットワーク型の構造を生成でき  
るように拡張し、さらに不均一突然変異を導入することで収束特性を大幅に改良できるこ  
とを示した。このアルゴリズムをネットワーク型の構造で記述できるロボットに適用した。  
シミュレータ上に質点、ばね、筋肉から構成されるロボットで、さまざまなタスクをロボ  
ットに与え、そのタスクを効率良く行うようにロボット構造の生成ルールを進化させた。  
この結果、それぞれのタスクに適応したロボット構造が獲得され、構造生成のルールを進  
化させることで効率的な進化が可能であること、問題規模の増大に対してスケーラブルに  
適用できる方法であることを示している。

第 3 章では発生型アルゴリズムを動的最適化問題へ適用した。巡回セールスマン問題に  
巡回先の追加、削除、移動を取り入れた動的巡回セールスマン問題を対象として、**Artificial Embryogeny** に細胞間の相互作用である転写因子と細胞接着の要素を抽象化してモデルに  
組み込み、これを動的巡回セールスマン問題のベンチマーク問題に適用した。開発した手  
法は既存の進化計算に基づく手法よりも優れた性能をもつこと、変化していく環境に対す  
る追従性に優れ条件変化に対してロバスト性をもつことを示した。

第 4 章は発生型アルゴリズムを制御問題に適用した章である。ヒートポンプ式の給湯器を例として、運転ルールを行動ルールとして記述しルール集合を進化させることによって、柔軟な制御を可能とする運転ルールが得られること、複数世帯の制御も可能であることから社会の協調制御にも応用できる可能性を示した。

第 5 章は人間行動を進化、適応の視点から分析した章である。人間集団をマルチエージェントで表現しエージェントの行動ルールを適応的に変えていくことを基本としたリスク認知のモデルを作成し、便益の大小に応じてリスク忌避的またはリスク選好的態度が進化すること、条件によって利他性が発生することを示した。そして利他性など人間行動の社会性を誘導するための介入方策について議論し、省エネルギーの例を用いて行動変容を促す効果的な情報提示法を検討した。

第 6 章は得られた成果を結論としてまとめた章である。

以上を要するに、本論文は、複雑適応系としての社会システムを対象に、行動ルールを進化、適応させる発生型のアルゴリズムが有効であることを提案し、これに基づくモデルは複雑で大規模な問題にもスケーラブルに対応できること、環境や条件の変化に柔軟に対応できるロバストさをもつことを示している。そしてネットワーク構造で記述されるシステム、動的最適化問題、家電制御問題、人間行動分析に適用し有用性を実証したものである。得られた成果は、複雑適応系として適応性と創発性を示す社会システムの機構解明や制度設計に資することが期待され、システム創成学への多大な寄与が認められる。よって本論文は博士（工学）の学位請求論文として合格と認められる。